

# AIST

## 平成26年度

# 産業技術総合研究所年報



国立研究開発法人  
産業技術総合研究所  
<http://www.aist.go.jp>

## 目 次

I. 総 説	1
1. 概 要	1
2. 動 向	4
3. 幹部名簿	17
4. 組 織 図	18
5. 組織編成	19
II. 業 務	21
1. 研 究	21
(1) 研究推進組織	23
1) 環境・エネルギー分野	25
①研究統括・副研究統括・研究企画室	25
②メタンハイドレート研究センター	25
③コンパクト化学システム研究センター	29
④先進パワーエレクトロニクス研究センター	34
⑤太陽光発電工学研究センター	38
⑥バイオマスリファイナリー研究センター	43
⑦触媒化学融合研究センター	49
⑧再生可能エネルギー研究センター	54
⑨ユビキタスエネルギー研究部門	59
⑩環境管理技術研究部門	66
⑪環境化学技術研究部門	77
⑫エネルギー技術研究部門	83
⑬安全科学研究部門	101
2) ライフサイエンス分野	110
①研究統括・副研究統括・研究企画室	110
②幹細胞工学研究センター	110
③創薬分子プロファイリング研究センター	121
④糖鎖創薬技術研究センター	126
⑤ゲノム情報研究センター	132
⑥健康工学研究部門	135
⑦生物プロセス研究部門	146
⑧バイオメディカル研究部門	154
⑨ヒューマンライフテクノロジー研究部門	173
3) 情報通信・エレクトロニクス分野	187
①研究統括・副研究統括・研究企画室	187
②ネットワークフォトンクス研究センター	187
③デジタルヒューマン工学研究センター	191
④ナノスピントロニクス研究センター	196
⑤サービス工学研究センター	199
⑥フレキシブルエレクトロニクス研究センター	205
⑦知能システム研究部門	209
⑧情報技術研究部門	216
⑨ナノエレクトロニクス研究部門	222
⑩電子光技術研究部門	239
⑪セキュアシステム研究部門	246

⑫強相関電子科学技術研究コア	251
4) ナノテクノロジー・材料・製造分野	253
①研究統括・副研究統括・研究企画室	253
②ナノチューブ応用研究センター	253
③集積マイクロシステム研究センター	257
④グリーン磁性材料研究センター	267
⑤先進製造プロセス研究部門	269
⑥サステナブルマテリアル研究部門	294
⑦ナノシステム研究部門	300
5) 計測・計量標準分野	313
①研究統括・副研究統括・研究企画室	313
②生産計測技術研究センター	313
③計測標準研究部門	320
④計測フロンティア研究部門	340
⑤計量標準管理センター	350
⑥計量標準総合センター	351
6) 地質分野	371
①研究統括・副研究統括・研究企画室	371
②地圏資源環境研究部門	371
③地質情報研究部門	378
④活断層・火山研究部門	399
⑤地質調査情報センター	411
⑥地質標本館	415
⑦深部地質環境研究コア	418
⑧地質調査総合センター	418
7) フェロー	420
(2) 内部資金	421
(3) 外部資金	464
1) 国からの外部資金	464
①経済産業省	466
②文部科学省	493
③環境省	495
④その他省庁	498
2) 国以外からの外部資金	504
①新エネルギー・産業技術総合開発機構	504
②その他公益法人	527
3) その他の収入	632
2. 事業組織・本部組織業務	920
(1) 事業組織	920
1) 東京本部	921
2) 北海道センター	921
3) 東北センター	922
4) つくばセンター	923
5) 臨海副都心センター	925
6) 中部センター	925
7) 関西センター	926

8) 中国センター	927
9) 四国センター	927
10) 九州センター	929
11) 福島再生可能エネルギー研究所	930
(2) 本部組織	932
1) 企画本部	933
2) コンプライアンス推進本部	933
3) イノベーション推進本部	934
①イノベーション推進企画部	935
②知的財産部	936
③産学官連携推進部	938
④国際部	954
⑤ベンチャー開発部	966
⑥国際標準推進部	968
⑦イノベーションスクール	969
4) つくばイノベーションアリーナ推進本部	969
5) 環境安全本部	971
①環境安全企画部	971
②安全管理部	976
③施設整備部	978
④情報基盤部	978
⑤情報化統括責任者	979
6) 総務本部	979
①業務推進支援部	979
②人事部	980
③財務部	981
④ダイバーシティ推進室	982
⑤法務室	982
7) 評価部	983
8) 広報部	984
9) 監査室	1001
III. 資料	1003
1. 研究発表	1004
2. 兼業	1006
3. 中期目標	1007
4. 中期計画、年度計画、年度実績	1016
5. 職員	1204

# I . 総 説



# I. 総 説

## 1. 概 要

任 務：

独立行政法人産業技術総合研究所（以下、「産総研」という。）は、平成13年4月の発足以来、旧工業技術院時代の研究所単位の研究活動を統合して、今後の産業技術シーズとなる大学等の基礎的研究の成果を民間企業が行う製品化につなぐために出口を見据え基礎から製品化に至る連続的な研究（「本格研究」）を一貫して推進し、我が国のイノベーション創出に大きく貢献をしてきた。また、同時に、研究所内の資源配分を旧工業技術院の枠組みにとらわれずに最適化し、社会的、政策的な研究ニーズに応じて機動的かつ柔軟に研究組織の廃止又は新設を行う等の適時、かつ、適確な見直しを行い、イノベーション創出と業務の効率化を両立させるよう努めてきた。

このような取組により、これまでに管理費を削減するなどの効率化を図る一方で、第1期、第2期中期目標期間における特許や計量標準等の目標を達成するとともに、国際的な研究開発能力の指標である論文被引用件数についても高い成果を挙げてきた。

第3期は、近年の技術の高度化、複雑化により基礎的研究と製品化研究の間に存在する技術課題が増大し、基礎的研究の成果を製品化につなぐという産総研の機能がこれまで以上に重要とされる中、政府として実現を目指している「課題解決型国家」に貢献するため、「21世紀型課題の解決」「オープンイノベーションハブ機能の強化」を大きな柱に位置づけて、重点的に研究開発等に取り組む。

「21世紀型課題の解決」への取り組みとして、経済と環境を両立する「グリーン・イノベーション」の推進のため、太陽光発電等の低炭素社会実現に貢献する技術等を開発するとともに、国民生活向上のための「ライフ・イノベーション」の推進のために、創薬、医療、介護を支援する技術等の開発を行う。また、産総研の優位性を活かし情報通信技術、材料、部材技術等の革新的な技術開発を行う他、地域においても、地域ニーズを踏まえた国内最高水準の研究開発を行う。さらに、計量標準の充実及び高度化、地質情報の整備等とともに、新規技術の性能及び安全性評価、国際標準化等により、産業や社会の「安全・安心」を支える新時代の産業基盤の整備を行う。

「オープンイノベーションハブ機能の強化」として、産学官が一体となって研究開発や実用化、標準化等を推進するための「場」を産総研が提供する。産総研施設の外部利用、地域の中小企業等やアジア等との連携を含め、オープンイノベーションのハブとなるための新たなイノベーションシステムを構築する。また、我が国の産業技術の向上に資することができる人材を社会に輩出するため、ポストドク等の若手研究者の育成や中小企業等の企業研究者の受入れ等によりイノベティブな人材養成を推進する。

産総研は、上記の取組を実施するにあたり、例えば「グリーン・イノベーション」分野での太陽光発電技術等や「ライフ・イノベーション」分野での生活支援ロボット等、産総研が第1期、第2期中期目標期間を通じて蓄積してきた実績を更に発展させる形で、取り組む。また、産総研が果たすべき社会における役割を強く認識し、我が国社会の一員として、また各研究拠点が設置されている地域社会の一員として、社会に開かれ、社会で活用され、社会とともに歩むことを通じて、世界をリードする研究成果等を創出することにより、人類の持続的成長に大きく貢献する。

組 織：

産業技術総合研究所は、平成17年度に非公務員型の独立行政法人へ移行したことに伴い、柔軟な人材交流制度を構築するなど、そのメリットを最大限活用することにより組織のパフォーマンス向上を図っているところである。平成22年10月には組織及び業務体制の見直しを行い、研究開発の中核をなす研究推進組織と、研究開発の運営業務に携わる事業組織・本部組織で構成する新しい体制へと移行した。

現在、研究推進組織としては、「研究ユニット」、「研究企画室」、「地質調査情報センター」、「地質標本館」、「計量標準管理センター」を設置している。このうち、「研究ユニット」には、時限的・集中的に重要テーマに取り組む「研究センター」、中長期戦略に基づき継続的テーマに取り組む「研究部門」、研究センター化を目指して分野融合性の高いテーマ等に機動的・時限的に取り組む「研究ラボ」の3つの形態がある。事業組織としては、「東京本部」、「北海道センター」、「東北センター」、「つくばセンター」、「臨海副都心センター」、「中部センター」、「関西センター」、「中国センター」、「四国センター」、「九州センター」を設置しており、平成25年10月に、東日本大震災復興基本法第3条等に基づき制定された「東日本大震災からの復興の基本方針」及び「福島復興再生基本方針」（閣議決定）等を踏まえ、福島で「再生可能エネルギー」の技術開発から実証までを行う拠点として、「福島再生可能エネル

## 総説

ギー研究所」を新設した。本部組織としては、「企画本部」、「コンプライアンス推進本部」、「イノベーション推進本部」、「研究環境安全本部」、「総務本部」、「評価部」、「広報部」を設置しており、平成25年4月につくばイノベーションアリーナ推進関連の業務に係る意思決定の効率化等のため、「つくばイノベーションアリーナ推進本部」を設置し、平成25年10月に内部監査体制の見直しを行い、「監査室」を「コンプライアンス推進本部」から理事長直下の組織として再配置し、平成26年4月に業務運営管理上の必要性から、「研究環境安全本部」を「環境安全本部」に再編した。

なお、平成24年4月に寄託生物の管理に係わる業務を独立行政法人製品評価技術基盤機構に承継したことに伴い、「特許生物寄託センター」（平成22年10月に研究推進組織として設置）を廃止し、平成25年4月につくばイノベーションアリーナ推進関連の業務の一元化に伴い、「ナノデバイスセンター」（平成23年4月に研究推進組織として設置）を廃止した。

平成27年3月31日現在、常勤役員13名、研究職員2,237名、事務職員670名の合計2,920名である。

沿革：

① 平成13年1月

中央省庁等改革に伴い、「通商産業省」が「経済産業省」に改組。これにより工業技術院の本院各課は産業技術環境局の一部として、また工業技術院の各研究所は産業技術総合研究所内の各研究所として再編された。

② 平成13年4月

一部の政府組織の独立行政法人化に伴い、旧工業技術院15研究所と計量教習所が統合され、独立行政法人産業技術総合研究所となった。

③ 平成17年4月

効率的・効果的な業務運営を目的とし、特定独立行政法人から非公務員型の非特定独立行政法人へと移行した。

産業技術総合研究所の業務の根拠法：

- ① 独立行政法人通則法 (平成11年7月16日法律第103号)  
(最終改正：平成25年11月22日 (平成25年法律第82号))
- ② 独立行政法人産業技術総合研究所法 (平成11年12月22日法律第203号)  
(最終改正：平成25年12月13日 (平成25年法律第99号))
- ③ 独立行政法人通則法等の施行に伴う関係政令の整備及び経過措置に関する政令  
(平成12年6月7日政令第326号)
- ④ 独立行政法人産業技術総合研究所の業務運営並びに財務及び会計に関する省令  
(平成13年3月29日経済産業省令第108号)  
(最終改正：平成26年3月10日経済産業省令第10号)

主務大臣：

経済産業大臣

主管課：

経済産業省産業技術環境局技術振興課

産業技術総合研究所の事業所の所在地（平成27年3月31日現在）：

- ① 東京本部 〒100-8921 東京都千代田区霞ヶ関1-3-1
- ② 北海道センター 〒062-8517 北海道札幌市豊平区月寒東2条17-2-1
- ③ 東北センター 〒983-8551 宮城県仙台市宮城野区苦竹4-2-1
- ④ つくばセンター 〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 (代表)
- ⑤ 臨海副都心センター 〒135-0064 東京都江東区青海2-3-26
- ⑥ 中部センター 〒463-8560 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98
- ⑦ 関西センター 〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31
- ⑧ 中国センター 〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-11-32
- ⑨ 四国センター 〒761-0395 香川県高松市林町2217-14
- ⑩ 九州センター 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1



① 福島再生可能エネルギー研究所 〒963-0298 福島県郡山市待池台2-2-9

## 2. 動 向

産総研の分野別年間研究動向の要約

### I. 環境・エネルギー分野

#### 1. 分野の目標

産総研で重点的に取り組んでいる「グリーン・イノベーションの推進」において、環境・エネルギー分野（以下、「環エネ分野」）は大きな役割を担っている。環エネ分野では「グリーン・イノベーションの推進」に向けて、(1) 再生可能エネルギーの導入を拡大する技術の開発、(2) 省エネルギーのための技術開発、(3) 資源の確保と有効利用技術の開発、(4) 産業の環境負荷低減技術の開発、(5) グリーン・イノベーションの評価・管理技術の開発、の5項目の重点戦略を策定し、これに沿った研究開発を実施している。

##### (1) 再生可能エネルギーの導入を拡大する技術の開発

低炭素社会の構築に向けて、枯渇の心配がない再生可能エネルギーの導入拡大が必須とされている。環エネ分野では、再生可能エネルギーを最大限に有効利用するために、太陽光発電や風力発電の高性能化・信頼性向上やバイオマスからの液体燃料製造などに関する技術開発を進めている。

##### (2) 省エネルギーのための技術開発

省エネルギーは、温室効果ガス削減に直接的かつ早期の効果が期待されている。環エネ分野では、エネルギーを高効率で利用するための高性能蓄電デバイスや燃料電池などの技術開発、省エネルギーのためのエネルギーマネジメントシステムなどに関する技術開発を進めている。

##### (3) 資源の確保と有効利用技術の開発

物質循環型社会を実現するためには、バイオマス資源や鉱物資源など、多様な資源の確保とその有効利用が不可欠である。環エネ分野では、バイオマスなどの再生可能資源を原料とする化学品や燃料を製造するプロセスの構築と高度化を進めている。また、枯渇性資源である石炭やメタンハイドレートなどの化石資源、レアメタルなどの鉱物資源を有効利用する技術やリサイクル技術などの開発を進めている。

##### (4) 産業の環境負荷低減技術の開発

産業分野での省エネルギー、低環境負荷を実現するためには、各産業の製造プロセスの革新が必要である。環エネ分野では、化学品等の製造プロセスにおける環境負荷物質排出の極小化や、分離プロセスの省エネルギー化を目指す、グリーン・サステイナブルケミストリー技術の開発を進めている。また、様々な産業活動に伴い発生した環境負荷物質の低減と、環境修復に関する技術開発を進めている。

##### (5) グリーン・イノベーションの評価・管理技術の開発

持続可能社会を構築するためには、新しいエネルギー技術や先端材料の開発とともに、それらを正しく評価、管理する必要がある。環エネ分野では、新しいエネルギー技術の導入シナリオを分析・評価するとともに、二酸化炭素削減に関する各種取り組みに対する評価を行う。また、産業活動における化学物質によるリスクや環境負荷物質による環境影響を正しく評価するための技術開発を進めている。

#### 2. 分野の組織構成

環エネ分野では、7つの研究センター（メタンハイドレート研究センター、コンパクト化学システム研究センター、先進パワーエレクトロニクス研究センター、太陽光発電工学研究センター、バイオマスリファイナリー研究センター、触媒化学融合研究センター、再生可能エネルギー研究センター）、5つの研究部門（ユビキタスエネルギー研究部門、環境管理技術研究部門、環境化学技術研究部門、エネルギー技術研究部門、安全科学研究部門）を中心に研究開発を行っている。なお、環エネ分野以外の5研究分野とも強く連携を取りつつ、上記重点戦略達成に向け、研究開発を進めている。

#### 3. 主な研究動向

平成26年度の主な研究動向は以下のとおりである。

##### (1) 再生可能エネルギーの導入を拡大する技術の開発

- ・太陽光発電の長寿命化及び信頼性向上において、n型とp型の結晶シリコン、CIGSの各太陽電池で電圧誘起劣化の機構がそれぞれ異なることを見出すとともに、寿命30年の達成には高温高湿試験4000時間以上の耐久性が必要なことが、酢酸量を指標に示唆された。また、当該試験後も劣化せず、寿命30年以上と予測される結晶シリコンモジュールを実現した。有機系太陽電池モジュールに関しては、封止材からの揮発成分が劣化の一因であることを見出した。
- ・薄膜太陽電池の高効率化において、アルカリ金属制御技術など、化合物薄膜太陽電池の高効率化の技術開発を進

め、CIGS 小面積セルで変換効率20.7%を達成した。また、格子整合しない材料系どうしの積層を可能にするスマートスタック技術を使った革新的太陽電池で変換効率31.6%を達成し、初期的な信頼性試験を行ったところ、実用的な耐久性を確認した。

- ・次世代型太陽光エネルギー利用技術において、n 型光電極上で過酸化水素などの有用化学品が効率良く製造できることを見出すとともに、電圧ロスを考慮した太陽エネルギー変換効率として2.1%を達成した。
- ・電力変換エレクトロニクス技術の開発において、材料から回路応用に至る一貫研究体制のもと、SiC、GaN 等の高性能パワー素子と、その電力変換器応用技術の開発を推進するとともに、つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC) 等を通じた企業への技術移転を進め、開発した技術の早期実用化に貢献した。
- ・風力発電の高度化と信頼性向上において、日本の厳しい風条件を定量的に明らかにし、新規に開発した風車設計のための風モデルを新たな IEC 国際規格として提案するとともに、各種の検証データを提供することで、次版の IEC 国際規格として採用の目処を得た。
- ・地熱資源のポテンシャル評価において、科学的知見の蓄積と技術的な多くのブレークスルーが必要なものの、東日本を中心に国内に多数ある古カルデラで一か所あたり数百 MW 以上（全国規模で数 GW 規模）の発電可能性があることを見出し、発電可能性を探る企画研究を開始した。また、東・東南アジアへの地中熱研究の展開を図り、タイ国チュラロンコン大学との研究で地中熱冷房システムの実証試験を行い、バンコクにおいて空気を熱源としたエアコンより優位な COP4以上の性能を示した。

#### (2) 省エネルギーのための技術開発

- ・次世代自動車用高エネルギー密度蓄電デバイスの開発において、Li 過剰系酸化物正極で20サイクル後の容量維持率を90%以上に高める見通しを得るとともに、シリコン系負極で従来電池の1.5倍以上の容量と300サイクル以上の寿命を実現し、250 Wh/kg を超えるエネルギー密度の単電池が設計可能であることを示した。また、充電開始が可能で2.5~5電子反応の容量を持つリチウム含有金属多硫化物の開発に成功した。
- ・新材料を含む電力変換デバイスの開発において、結晶方位が品質に与える影響を明確化して最適値を見出すとともに、基板温度分布が成長速度の均一性を左右することを突き止め、2インチ大のダイヤモンドウェハを再現よく作製できる条件を明確化した。また、研磨損傷層を除去した低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個/cm<sup>2</sup>を有する低欠陥コビーウェハを合成することに成功し、2インチ低欠陥ウェハ製造技術を実証した。

#### (3) 資源の確保と有効利用技術の開発

- ・バイオマスを利用する材料及びプロセス技術において、高含水でもナノファイバーの凝集抑制、脱水・乾燥および複合化を同時に進行させる実的な複合化方法を確立した。また、産総研コンソーシアム「ナノセルロースフォーラム」を設立し、国際標準化、新規用途開発を加速した。
- ・使用済み電気・電子製品等の未利用資源を活用する技術の開発において、複管式気流選別機を四管式へ拡張し、選別精度向上を伴う100%の処理効率向上を達成するとともに、管長を30%短縮した装置として製品化を果たし、第2号のプラント導入を可能とした。電子素子選別シミュレーションソフトについては、検索システムを構築しソフトを完成させた。平成26年10月に我が国初の都市鉱山開発官民連携フォーラムとなる「SURE コンソーシアム」を設立し、産総研が提唱する「戦略的都市鉱山」の研究体制を築いた。
- ・メタンハイドレートからの天然ガス生産技術の開発において、メタンハイドレート再生成による管内流動障害対策として、環境負荷の少ない尿素・水スラリーの流動特性を測定し、再生成阻害剤として有効であることを見出した。また、通電加熱法の減圧条件での適用性について実験を行い、低電流密度においても生産性が高まることを明らかにした。

#### (4) 産業の環境負荷低減技術の開発

- ・環境負荷物質の排出を極小化する反応・プロセス技術において、過酸化水素酸化に関する新規触媒を検討することで、硫黄を含む化合物を高選択的に酸化する触媒系を開発し、反応率90%以上、選択率99%以上を達成した。また、高機能有機ケイ素部材用触媒開発では、ケイ素-酸素結合を持つ化合物であるアルコキシシランの合成において、高選択的に複数の異なるアルコキシ基を持つアルコキシシラン類を合成する触媒技術を見出した。
- ・コンパクトな化学プロセスを実現する技術において、環境負荷を低減する特異的反応場利用技術として、有機溶媒の代わりに水を溶媒として利用した高性能の触媒反応系を構築した。水溶媒と固体酸触媒および担持金属触媒を組み合わせて用いるレプリン酸メチルの水素化触媒反応プロセスの開発により、樹脂原料や香料原料等に利用されるラクトン類の一種  $\gamma$ -バレロラクトンを従来法に比較して300%の収率で選択的に合成することに成功した。

#### (5) グリーン・イノベーションの評価・管理技術の開発

- ・先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法において、カーボンナノチューブ (CNT) を取り扱う

事業者の自主的な安全管理を支援するために CNT 複合材の破砕等で発生する粒子の計測データを取得した。2種の単層 CNT の「ケーススタディ報告書」を公開した。さらにリスク管理指針を確立するために、「同等性判断基準」の考え方を提案し、代表的な物理化学的特性との関連性に基づく素案を作成した。

- ・環境負荷物質及び環境浄化能の計測手法の開発において、環境微生物の懸濁液を電場を使って効率よく濃縮するマイクロデバイスの試作に成功した。環境微生物の MALDI-MS を利用した迅速識別法の開発では、微生物種を迅速同定するだけでなく、植物病原菌の毒性型やアオコの原因となるシアノバクテリアの毒性の有無を迅速かつ正確に判定する技術を、国内外の大学及び公的微生物保存機関と共同で開発した。

## II. ライフサイエンス分野

### 1. 分野の目標

ライフサイエンス分野では、健康で安心して暮らすことができる健康長寿社会の実現および環境負荷を抑えた持続可能な社会の実現を目指し、新たな健康評価技術や創薬支援技術の開発あるいは個人の状態に合わせて健康維持・増進・回復を支援する技術の開発により、ライフ・イノベーションに貢献する。また、バイオプロセスを用いた環境負荷低減技術の開発によりグリーン・イノベーションに貢献する。

### 2. 分野の組織構成

当分野は4つの研究センター（糖鎖創薬技術研究センター、ゲノム情報研究センター、創薬分子プロファイリング研究センター、幹細胞工学研究センター）と、4つの研究部門（健康工学研究部門、バイオメディカル研究部門、生物プロセス研究部門、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）から構成され、バイオテクノロジーから医工学・人間工学までの幅広い研究分野の研究開発を実施している。また、分野を跨る融合研究を推進することにより、新領域の技術開発にも積極的に取り組んでいる。

### 3. 主な研究動向

以下に平成26年度の主な研究動向を示す。

#### (1) 健康を守るための先進的、総合的な創薬技術、医療技術の開発

疾病の予防や早期診断、早期治療、個の医療の充実などの課題を解決するため、細胞操作及び生体材料技術を応用した再生医療技術や先端医療支援技術の開発、医療機器の開発基盤の整備を行う。また、有用な新規バイオマーカーを利用して疾病の予防や早期診断を行うために、生体分子の機能分析及び解析技術の開発を行う。さらに情報処理と生物解析の連携、融合により、安全性を保ちつつ開発コストを低減する高効率創薬技術の開発を行う。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・「培養液を用いて非侵襲的に ES/iPS 細胞を検出する技術」を完成させ、企業へのライセンスを行った。また、薬剤融合型 AiLecS1を用いて「ES/iPS 細胞を選択的に殺傷除去する技術」を開発した。間葉系幹細胞の骨・軟骨分化能を判別するための新たなレクチン AiLecS2を開発し上市された。
- ・次世代 SeVdp-iPS ベクターと、動物由来成分不含の培地、組換えラミニン断片を用いて、約0.4%の効率でのヒト単球の初期化に成功した。4個の転写因子を搭載した次世代 SeVdp ベクターを用いてヒト線維芽細胞から神経幹細胞様の細胞を作製した。
- ・ゲノム配列比較の感度を大幅に向上させる技術やタンパク質のフレームシフト検出の新技术を開発した。独自の情報ツールを用いた脂肪細胞の分化過程における DNA メチル化変化の情報解析から、細胞状態を制御する新しい機構を発見した。細胞内小器官で働くタンパク質の進化速度を考慮した細胞内局在予測法を開発し、従来法を補えることを示した。
- ・遺伝子多型 DB に対する秘匿検索技術を考案し、デモ用ソフトウェアを開発した。また、さらに機能を高めたアルゴリズムを考案した。東北メディカルメガバンクとの共同研究契約により、ヒトゲノム DB 上での秘匿検索技術の実証実験としての応用研究を行った。
- ・モデル動物研究およびヒト試料研究から今後の創薬開発に向けた創薬標的候補分子の決定とその周辺分子の病態も明らかにした。すなわち、抗うつ薬抵抗性モデルマウスのうつ様行動に注目してマウスが既存抗うつ薬投与でも改善されない時期を同定した。また、質量分析法によりこのような抗体うつ薬耐性に関する蛋白質群を網羅した。抗うつ薬抵抗性となる時期に発現変動する分子群をウェスタンブロット法により決定した。

#### (2) 健康な生き方を実現する技術の開発

心身ともに健康な社会生活を実現するために、高齢者のケア、健康の維持増進、社会不安による心の問題の解決が社会の重要課題になっている。そこで、健康な生き方を実現する技術の開発を目指して、ストレス等を含む心身

の健康状態を定量的に計測する技術や、個人に適した治療やリハビリテーションによる健康の回復、維持増進を支援する技術の開発を行う。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・表面増強ラマン散乱 (SERS) の増強度の限界が10の10乗倍程度であり、この値を超えるとプラズモン共鳴によって分子の電子励起状態などが変化してしまうことを実証し、電磁気学モデルで定量した。SERS スペクトル分析によって、この異常増強を検証し金属と分子との電荷移動錯体が原因である可能性を示した。チップ増強ラマン散乱 (TERS) 探針を暗視野照明することで先端のプラズモン共鳴が評価可能となった。
- ・コンジュゲート可能状態にしたガドリニウムとテルビウムの配位化合物を用いて、新規蛍光磁性バイモダルナノプローブを開発するとともに、これを用いて単純構造と磁気特性を有する生体適合性バイモダルナノプローブの開発に成功し、光線力学的療法のための活性酸素種を効率的に生成した。また上皮成長因子 EGF と共にラベリングした量子ドットを用い、内部移行前の受容体が最適でクラスター形成へと進行する EGF 受容体の二量体の機序解明に成功した。
- ・マイクロ流体デバイス型 PCR では、各種微生物および遺伝子ターゲットを含む体液由来試料での測定が可能であることを明らかとした。また製品用プロトタイプ装置の完成度を高め、産総研ベンチャーからの上市を達成した。
- ・マラリア超高感度・迅速診断デバイスの評価については、ウガンダ共和国での解析症例数は例年より雨季の時期が遅れるなどしたため48症例となった。各症例について、既存診断法とマラリア原虫感染率について比較検討したところ、疑陽性・偽陰性の問題もなく PCR 法に匹敵する正確な高感度検出が認められた。今年度名古屋大学医学部でリクルートされた肺がん患者は19人に留まったが血液中の循環がん細胞 (CTC) 検出を行った結果、既存診断法であるセルサーチ法と同等以上に、上皮細胞接着分子 (EpCAM) の発現に依存しない CTC の検出に成功した。
- ・2種類の金属が混合した金属ナノアロイ粒子を分散させたカーボン薄膜電極をアンバランストマグネトロンスパッタ法により一段階で作製する工程を確立した。内毒素の捕捉効率の高いプローブと微小流路デバイスを開発し、検出限界100 pg/mL 以下を達成した。
- ・骨髄高転移性乳がん細胞において、皮下投与時の脊椎への転移性が80%以上の高転移性細胞株を樹立した。また抗がん剤耐性がん細胞において、耐性に関与する FGF13がアミノ酸トランスポータータンパク質と相互作用することを見出した。
- ・リガンドタンパク質固定化用の官能基の種類、及び、導入の反応条件を検討することによって、非特異的吸着を低減した96ウェルマルチカラムプレートを開発した。
- ・ウイルス由来の RNA 合成酵素と宿主リボソームタンパク質との複合体構造決定に成功し、リボソームタンパク質の役割を明らかにした。タンパク質合成に関わる鋳型非依存的 RNA 合成酵素のうち tRNA 修復に関わる酵素単体、RNA との複合体を複数構造決定し反応分子機構を明らかにした。
- ・生理活性ペプチドの基本構造を保ち標的分子認識部位の配列にランダムに変異を導入したペプチド遺伝子配列ライブラリーを作製し、標的分子に結合する分子を取得する技術を開発した。標的結合分子配列候補をより短時間で解析するための技術開発を行い、その過程で大腸菌の内膜とペリプラズム空間を利用する PERISS 法を考案した。この方法により標的分子を大腸菌内膜にペプチドライブラリーをペリプラズム空間に発現させ、標的分子と相互作用するペプチドを迅速にスクリーニングする技術を開発した。
- ・ $\mu$  オピオイド受容体結合 DNA アプタマーの薬理学的特性を明らかにした。低分子化合物の酵素反応阻害活性および標的結合活性を NMR により高速・大量に評価する系を確立し、抗 NTD 創薬の複数の標的分子に対して適用した。
- ・担がんマウスを用いて放射線治療増感剤の有効性を検証した。また、乳酸菌の二重鎖 RNA によるインターフェロン $\beta$ を介した抗炎症メカニズムを解明した。
- ・天然物由来ポリフェノール系化合物であるシコニンのサーカディアンリズム周期短縮作用が細胞内のトポイソメラーゼ2活性阻害により生ずることを見いだした。また、ユリノキの葉に含まれる抗炎症作用を示す新規の天然化合物を単離、NMR による構造分析、質量分析を行いその分子構造と化合物の実体を明らかにした。
- ・唐辛子の有効成分であるカプサイシンやその他のカプサイシノイドについてエストロゲン様の遺伝子発現プロファイルを示すことを明らかにし、さらに細胞内シグナル伝達経路の解析により、エストロゲン受容体と他の受容体との間のクロストークによりシグナルが伝達されることを明らかにした。
- ・Ap-FGF 付加創外骨折固定ピンの安全性確認の臨床研究を4例遂行した。いずれも有害事象は無く、ピンの抜去トルク/挿入トルク比が平均0.8と、ヒトでも骨との良好な結合が得られた。また、人工心臓用ポリカーボネート

をプラズマ処理後に、抗血栓性分子を含有するリン酸カルシウム過飽和溶液に浸漬し、抗血栓性分子 - アパタイト複合層を形成する方法を構築した。

(3) 産業の環境負荷低減に役立つバイオプロセス活用による高品質物質の高効率な生産技術の開発

化学プロセスに比べて反応の選択性が極めて高く、高付加価値化合物の効率的な生産が可能なバイオプロセス（微生物や酵素を利用した物質生産）の活用範囲の拡大を目指して、微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明、生体高分子の高機能化とバイオプロセスの高度化技術・設計技術、遺伝子組換え植物の作出技術及び密閉型遺伝子組換え植物生産システムの実用化のための技術開発を進め、高効率なバイオものづくり技術を開発する。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・大規模な生物解析と柔軟な情報解析のパイプライン化により、産業界が着目する重要な課題について、二次代謝遺伝子クラスターを正確に予測し、遺伝子組み換えによる生産性の向上に成功した。多数の変異株のゲノム情報、転写発現情報を中心とした網羅的解析を行い、既知の情報に基づいた遺伝子の機能分類、代謝パス解析などにより、生産性に重要な鍵となる遺伝子の予測を行った。
- ・トリグリセリド生産時の発現データに対し時系列解析を行い、活性化している代謝パスウェイを推定し、その結果、脂肪酸高生産株では通常とは異なるパスウェイを通してトリグリセリド生合成を行っていることを明らかにした。また、他の近縁種とのゲノム比較を行うことで、脂肪酸高生産株特異的な性質のキープクター候補となる遺伝子群を推定した。
- ・P450vdh によるビタミン D 水酸化体生産に向け、高機能化された1アミノ酸変異体ならびに食品添加物を活用した細胞内への基質透過の改善により、単位時間あたりのビタミン25位水酸化体生産を世界最速にすることに成功した。また、臨床診断用酵素について、無作為な変異導入により構造安定性に変化はなく酵素活性が2倍程度上昇した変異体の作成に成功するとともに、大腸菌で発現困難な酵素を放線菌（ロドコッカス属細菌）の系により発現することに成功した。ロドコッカス属細菌を宿主として開発した組換え DNA 実験系は、文部科学省告示の認定宿主ベクター系に新たに追加され（H26.7.1施行）、産総研が開発した宿主ベクター系としては初の事例となった。

III. 情報通信・エレクトロニクス分野

1. 分野の目標

情報通信・エレクトロニクス分野においては、持続的発展可能な社会の実現に向けて分野の担うべきミッションを「新しいデバイスの開発と IT（情報技術）の有効活用によって省エネを進め、安全やサービスへの応用によって、健全な社会の発展に寄与すること」と定めて研究開発を行っている。このミッションを実現するために以下の3つを分野の戦略目標として定めている。

- (1) 高速光スイッチ、不揮発メモリ、フレキシブルディスプレイなどの新しい機能を低エネルギーで発揮するデバイスを開発する。
- (2) IT（情報技術）活用による安全・安心な社会生活を実現するために、ディペンダブル IT システムの研究開発を推進する。
- (3) サービスを科学し、機械化することにより、GDP の7割を占めるサービス産業の効率化と新サービス産業を創出する。

2. 分野の組織構成

当分野の研究組織は、5つの研究センター（ネットワークフォトニクス研究センター、ナノスピントロニクス研究センター、フレキシブルエレクトロニクス研究センター、サービス工学研究センター、デジタルヒューマン工学研究センター）、5つの研究部門（知能システム研究部門、ナノエレクトロニクス研究部門、電子光技術研究部門、情報技術研究部門、セキュアシステム研究部門）で構成されている。

3. 主な研究動向

- (1) 高速光スイッチ、不揮発メモリ、フレキシブルディスプレイなどの新しい機能を低エネルギーで発揮するデバイスの開発

- ・ネットワークフォトニクス研究センターでは、超低エネルギーで動作可能なダイナミック光パスネットワーク技術の開発を行っている。各要素技術のプロトタイプ開発を進めダイナミック光パスネットワーク・テストベッドを構築し、従来技術に比べて3-4桁高い電力効率を確認した。また、これにスーパーハイビジョンによる遠隔合奏などのアプリケーションを実装し公開デモ実証を行った。シリコンフォトニクスによる世界最小の32x32光

- スイッチを開発した。
- ・ナノスピントロニクス研究センターでは、大容量不揮発性メモリ「スピン RAM (STT-MRAM)」に関する基盤技術の開発を行っている。垂直磁化トンネル磁気抵抗素子の MgO トンネル障壁の作製プロセスおよび組み合わせる強磁性電極層・キャップ層の材料・プロセスの最適化により、 $5 \text{ } \Omega \mu\text{m}^2$ 以下の低抵抗化と150%超という大きな磁気抵抗比を同時に実現した。
  - ・フレキシブルエレクトロニクス研究センターでは、フレキシブルディスプレイなどのフレキシブル情報端末デバイスの開発を行っている。大きな変形にも耐えるウェアラブルデバイスの実現に向けて、倍以上の長さに伸ばしても抵抗がほとんど変化しない高伸縮性配線技術を開発した。また、非加熱非加圧印刷実装技術を開発し、フィルム基板上でも変形なくフレキシブル高精細実装が可能となることを示した。
  - ・電子光技術研究部門では、高機能光インターコネクションに向けた光電子集積デバイス、ハイブリッド回路基板の開発を行っている。シリコンフォトニクス集積プロセス技術をベースに世界最小となる5 mm 角の光トランシーバーを開発した。また、3次元光回路に向けた縦方向曲り導波路の低損失化に成功した。さらに、1300 nm 波長帯域の光信号伝送に対応した光電子ハイブリッド回路基板を試作、25 Gbps の光信号伝送を達成した。
  - ・ナノエレクトロニクス研究部門では、半導体や超伝導体の集積化技術、及び、これらを多様な用途へ応用するための製造・設計技術の研究開発を行っている。超格子相変化材料の不揮発メモリ動作時の長期耐久性を確認するとともに新しい磁気特性を見出した。低消費電力 FPGA について実用性を向上させたチップと評価ボードを開発し、多品種少量生産向けミニマルファブ装置については対応する製造工程を拡大した。
  - ・情報技術研究部門では、ダイナミック光パズネットワークのためのネットワーク・ストレージ・計算機統合資源管理技術を開発し、ネットワークフォトニクス研究センターや協働企業等と共にテストベッドを用いた高精細映像伝送等の実証実験を行い、消費電力削減効果を実証した。
- (2) IT (情報技術) 活用による安全・安心な社会生活を実現するために、ディペンダブル IT システムの研究開発の推進
- ・知能システム研究部門では、ロボット介護機器の効果安全評価基準の策定、これに基づく機器の評価を行い、屋外歩行支援ロボットと施設用見守りシステムの製品開発を支援した。社会インフラ点検ロボットの開発を行い、現場で実証評価を行った。産業用ロボットの利用を中小企業に拡大するため、安価なセンサを用いた操作システムを開発した。
  - ・セキュアシステム研究部門では、情報システムのセキュリティと、安全性、信頼性の研究を行っている。ウェブサービスの HTTP 認証方式標準案の改訂と実システムへの実装、IC チップの真正性を保証する PUF 技術の試作と評価、ゲノム情報と地図情報それぞれについて、秘匿データベース検索技術の開発と実用化推進、制御システムのサーバシステムコールを可視化し、異常動作を明示する技術の開発、テスト設計支援ツールの機能拡充と車載機器テスト設計への適用を行った。消費者機械向け規格をとりまとめ、OMG 規格策定の最終段階に進め、自動車業界などへの移転を進めた。
  - ・電子光技術研究部門では、人々の生活の安全安心に資する光センサーシステム及び高精度イメージング技術の開発を行っている。交通インフラの維持管理において、より効率的にコンクリート構造物の劣化の点検診断を可能とする高感度近赤外分光装置を開発し、企業への技術移転を行ってプロトタイプの完成に至った。また、蛍光増強を利用したバイオセンサーによるウイルスの迅速高感度検出技術、マイクロ流路と光学センサーを融合したポータブル血液検査技術などを開発した。
  - ・情報技術研究部門では、ASTER や LANDSAT8号などの人工衛星の観測データから火災や火山活動などの高温域や、地物の状況の変化を検出するシステムを開発した。また、昨年度に引き続き最新の地球観測画像の一般への提供を行うとともに、利便性を向上するインタフェースを開発した。これらは防災・環境監視・農林水産業などの分野に貢献することが期待される。
- (3) サービスを科学し機械化することによる GDP の7割を占めるサービス産業の効率化と新サービス産業の創出
- ・情報技術研究部門では、能動的音楽鑑賞サービス Songle の解析結果に基づき、音楽の中身に連動して実世界デバイスやコンピュータグラフィックスを制御可能なフレームワークを開発した。それを応用し、企業と共同で、複数のロボットを様々な楽曲に合わせて踊らせるシステムを開発した。
  - ・デジタルヒューマン工学研究センターでは、人間の歩行・走行運動、力のデータを蓄積、モデル化し、健康維持や転倒予防に役立つ歩行評価サービスに組み込んだ。日用品、移動機械、スポーツ用品、センサなどの企業との資金提供型共同研究を通じて技術移転を進めた。
  - ・サービス工学研究センターでは、広域での人間の行動と環境を継続的に計測してモデル化し、多数のエージェントが広域環境下でどのように振る舞うかをシミュレーションする技術を開発した。地方都市でのオンデマ

ドバス設計、花火大会での避難経路設計などに活用された。

#### IV. ナノテクノロジー・材料・製造分野

##### 1. 分野の目標

ナノテクノロジー・材料・製造分野では、ナノテクノロジーをキー技術としてグリーン・イノベーションの核となる材料やデバイスの創成、ならびに製造プロセスの革新を進めることにより、わが国の国際競争力を強化し、持続的発展可能な社会の実現を目指したグリーン・イノベーションへの貢献を目標としている。

##### 2. 分野の組織構成

当該分野は平成26年度末において3つの研究センター（ナノチューブ応用研究センター、集積マイクロシステム研究センター、グリーン磁性材料研究センター）、3つの研究部門（先進製造プロセス研究部門、サステナブルマテリアル研究部門、ナノシステム研究部門）の計6研究ユニットで構成されている。

##### 3. 主な研究動向

当該分野の先端研究事業の代表例を以下に示す。

当該分野では、積極的に産業界や大学と連携して研究開発を実施している。その代表的なものとして経済産業省の「未来開拓研究プロジェクト」では次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発、革新的構造材料等技術開発、未利用熱エネルギー革新的活用技術開発、同じく経済産業省所管の「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム」では次世代型産業用3Dプリンタ技術開発及び超精密三次元造形システム技術開発を実施している。また NEDO プロジェクトとして、低炭素社会を実現する革新的カーボンナノチューブ複合材料開発プロジェクト、高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発、革新的省エネセラミックス製造技術開発、希少金属代替材料開発プロジェクト、グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクトを実施している。さらに、内閣府の最先端研究開発支援プログラム（FIRST）では、グリーン・ナノエレクトロニクスのコア技術開発、マイクロシステム融合研究開発を実施している。

平成26年度の主な研究成果は、以下の通りである。

##### (1) 持続的社会的構築に資するナノカーボン材料、ナノ粒子など革新的ナノテク材料、およびデバイスの基盤技術開発

- CNT を用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、企業に CNT 試料ならびに分散液、CNT 複合材料等を20件提供した。微粒子を基材に用いるスーパージョイント CNT 量産技術を開発し、低コスト化を可能にした。銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、4センチ角の CNT 銅複合材料を開発した。イオン交換クロマトによる分離技術を利用して eDIPS 法単層 CNT からバンドギャップ1 eV 以上の半導体性カイラリティの分離・インク化に成功した。
- プラズマ CVD 法の条件最適化、基板表面処理技術の高度化によりグラフェン成長初期段階の詳細観察を可能とし、これに基づいて結晶性の向上（結晶サイズの10 nm 程度から100 nm 程度への拡大）、および層数制御性の向上（3層以下の制御が可能）を達成した。さらに原子層グラフェンの転写技術およびドーピング技術の向上により、透過率95%（2層）でシート抵抗130 Ω と、導電性とフレキシビリティの向上を達成した。ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した新規放熱型電子デバイス用基板であるシリコンオンダイヤモンド基板（SOD）について、低温での直接の張り合わせによる作製技術を開発した。
- 低加速高分解能電子顕微鏡に新規開発のモノクロメータを搭載し、目標をしのぐエネルギー分解能24 meV を達成した。従来の顕微鏡より一桁以上の分解能向上を実現した。また加速電圧30 kV において、0.12 nm の空間分解能を達成し、目標であった波長比17倍の分解能を実現した。低加速電子顕微鏡を用いた低損傷分光法をフラーレン分子の同定に応用し、分子ひとつひとつの電子線吸収スペクトルを撮影することに成功した。これにより各分子を分光学的に識別することが可能になった。また単原子分光技術を用いて、グラフェンなどの低次元物質に存在するエッジや不純物の吸収端微細構造解析により、欠陥周辺の電子状態を原子レベルで明らかにする技術を確立した。
- 単層 CNT の金属型と半導体型の大量分離技術開発において、カラム分離条件の再検討によりフラーレンの直径よりも細かい CNT の分離に成功したほか、多くの種類の単一構造半導体型 CNT の単離を実現した。これらの単一構造 CNT で半導体純度99%を達成した。また、簡便で大量分離も可能な鏡像体 CNT（右巻き・左巻き）の分離法を開発した。長尺半導体型 CNT の分離にも成功し、本 CNT を用いた薄膜トランジスタで世界最高レベルの性能（移動度106 cm<sup>2</sup>/Vs、on/off 比10<sup>5</sup>以上）を得た。



- ・セシウム除染技術について、プルシアンブルー類似体のマイクロカプセル技術とフリーズドライ法を組み合わせ、 $\mu\text{m}$  スケールでの多孔質化を実現し、従来比の約4-6倍の吸着速度を達成した。また農業用ため池 (2,800  $\text{m}^2$ ) からの放射性物質汚染拡散防止対策として、池内の底質に含まれる放射性物質の回収技術を確認し、さらに排水中の溶存態セシウムを除去するために、プルシアンブルー担持不織布カラムを利用する技術が農林水産省の対策マニュアルに具体例として掲載された。加えてマイクロミキサーによるプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の連続合成を実現するとともに、粒径及び組成の制御方法を一部材料に対して確立した。これらの制御された材料を用い、透明-青色変化素子について10万回超のサイクル耐性を実現した。
- ・新規希土類磁石化合物  $\text{NdFe}_{12}\text{N}$  の磁化・磁気異方性について、構造と希土類イオンの影響を明らかにした。また、最局在ワニエ軌道により有機強誘電体 TTF-CA の特異な自発分極発現機構を解明した。単一成分有機超伝導体  $[\text{Ni}(\text{hfdt})_2]$  では、超伝導の発現する高圧下での電子状態を求め、三方晶テルルにおいては、特異なスピン構造と圧力下で空間反転対称性の破れたワイル半金属になる可能性を見出した。さらに GaN の格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定した。
- ・太陽電池デバイスを高い変換効率で動作させるため、STEM-EDX 装置により種々の条件における相分離構造と組成の定量解析を行った。特に本年度は、これらを3次的に元素マッピングすることにより、物性に影響するナノレベルの膜中状態を実空間上で実像化し、有機層の挙動解明を通して高変換効率化への知見を得た。また新規低次元材料を一原子層毎に剥離する制御技術の確立のため、産総研独自の技術である吸引型プラズマエッチングによるエッチング制御試験を行い、膜の剥離が可能な条件を見つけるに至った。

## (2) 資源の有効活用・代替と省エネルギーのための技術開発

- ・Al 合金の凝固時に電磁的な攪拌を行うことで、凝固組織を制御する技術を開発した。これにより破壊の起点になりやすい晶出物の微細分散化が可能になることを見出した。さらに、Al 合金鋳造材の欠陥防止のため、セミソリッド状態での成形におけるせん断力と流動性の関係を明らかにした。軽量の各種 Mg 合金に対して、高温圧延法や結晶粒微細化処理により成形性を改善するとともに、蒸気養生法により耐食性の改善を行い、塩水噴霧／高温乾燥／高温湿潤の複合サイクル試験において310時間後でも表面に肉眼で識別できる腐食欠陥が認められなかった。
- ・調光ミラーについて、スイッチング繰返し1万回以上の耐久性と透明時の可視光透過率70%以上を得た。同時に新型調光材料として偏光制御型の調光材料を試作した。木質材料については、厚さ0.2 mm の薄肉材の成形を可能にした。調湿材料については、ハスクレイを用いた相対湿度60%前後で吸放湿挙動に優れた内装材を開発し、環境調和型建材実験棟を利用した実証を継続するとともに、構成元素の見直しを行い非晶性鉄ケイ酸塩系材料の効果を確認した。保水セラミックスについて JIS A 1435の中の気中凍結気中融解法で試験した結果、凍結融解50回に耐える成果を得た。
- ・微量添加元素により  $\text{TiC}(\text{N})$  を用いたサーメットの靱性を従来材の1.3倍に高めることができ、タングステン使用量を30%以上低減した工具材料を開発した。さらにレアメタルフリーの耐熱硬質材料 ( $\text{TiC-FeAl}$  系) も開発した。表面ポリオール還元法の確立により白金族使用量を50%低減したディーゼル車排ガス浄化用酸化触媒を開発した。磁性材料の開発は研究センターへ移行し、当センターでは金属溶解技術を用いた希土類元素分離技術を開発した。ビスマスを使わない熱電モジュールでは10秒以下での素子ニアネット焼結技術を開発し、量産化に向けたモジュール化技術を開発した。

## (3) 産業の環境負荷低減や省エネに資する MEMS、エネルギー部材などの製造技術開発

- ・パーマロイフィルムに50  $\mu\text{m}$  以下幅のコイル構造を形成する製造技術を開発し、電流400 A、曲率半径1 mm 以下の過酷条件下に対応する、電池レス無線通信機能付きフレキシブル電力センサ端末を実現した。また、6シンボルでの超短電文通信が可能な、3 mm 角通信機能付きチップと受信機を実現した。温湿度センサ端末等から得られる環境情報と、消費電力量とを統合した電力プロファイリングシステムを、小規模店舗網やクリーンルームに適用し、消費エネルギーを2,000店舗平均で、2年間で10%削減できることを示した。
- ・レーザー援用 IJ 法を用いることにより、基材表面粗面化によるアンカー効果やレーザーアニールにより、PET フィルム上に実用レベルの密着強度のある Ag 微細配線描画に成功した。光 MOD 法によって、従来の1/2の膜厚で2倍の発光強度の面積蛍光体膜の作製に成功した。温間スピニング加工により、マグネシウム合金 AZ31 の深絞り加工が可能となった。レーザー援用 IJ 法によりの配線補修や光 MOD 法による薄膜抗体トリミング、AD 法による異種材料接合のための接合層形成など、リペア・アップグレードへの有効性を確認した。3D 積層造形では、安価な破砕粉の金属積層造形への適用性を確認するとともに、IJ 法を利用した鋳造用鋳型製造用のプロトタイプ装置を開発した。
- ・小型電源向けのボタン等の炭化水素による急速発電が可能なマイクロ SOFC で、100回の起動停止及び1000時

間での連続発電にて電圧低下が10%以下のセル製造技術を開発した。さらに、大型化へ組合せ集積可能な100 ccの単位モジュール構造で、数百 W 級（600 °C下において）の急速起動スタック製造プロセスを見出した。また、ガーネット型酸化物で世界最高性能の常温導電率を有する電解質材料の合成に成功し、全固体電池等の新規蓄電デバイスのセル化技術として展開を行った。さらに、AD 法を用いることにより、有機フィルム上の色素増感太陽電池としては世界最高水準である変換効率9%を達成する、フレキシブル色素増感太陽電池の製造技術を開発した。

## V. 計測・計量標準分野

計量標準と計測技術及びその標準化は、あらゆる科学技術活動、財・サービスの生産等の経済活動、さらには社会生活全般において最も基本となる基盤技術である。私たちが客観的・科学的な根拠に基づいて適正な試験データを取得できるように、計測・計量標準分野では、国が一元的に提供することを要請されている計量標準と標準物質の整備、および我が国の産業技術競争力の向上に必要な計測技術とその標準化の研究を行っている。特に、計量標準の整備に関しては、以下のわが国の三つの指針の実現を支えることを目的に開発を進めている。①各種エネルギー貯蔵技術・利用技術の推進や省エネルギー・エネルギー利用率化技術の開発を支援し、グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準の整備。②先進医療機器の開発・臨床検査の信頼性や食品の安全性などの生活環境の健全性の確保に資する、ライフ・イノベーションの実現を支える計量標準の整備。③わが国の産業の国際通商を円滑に実施するために必要な国際規格や法規制に対応する計量標準およびナノデバイスやロボットなどのわが国の先端産業の国際競争力を支援し、産業の国際展開を支える計量標準の整備。

当分野の研究組織は、2つの研究部門（計測標準研究部門、計測フロンティア研究部門）、1つの研究センター（生産計測技術研究センター）の計3つの研究ユニットと計量標準管理センターで構成されている。平成26年度の主な研究動向は以下の通りである。

### 1. 計量標準

計量標準整備については、計測標準研究部門がわが国の中核としてそれを担い開発・供給を行っている。第3期中期計画の5年間では、グリーン・イノベーション、ライフ・イノベーション、産業の国際展開を柱として整理した62種類の新規標準の開発、省エネルギー技術の利用や生産現場計測器の信頼性確保、中小企業の技術開発力向上、トレーサビリティ体系の合理化などを目指した71種類の標準の高度化を予定していた。平成26年度の実績としては、20種類の新規標準の開発（第3期累計で65種類）を実施し、23種類の標準の高度化（第3期累計で73種類）を実現した。サービスの実施件数としては、特定二次標準器の校正427件、特定副標準器の校正は27件、依頼試験は1,901件であった。標準物質の頒布数は1,703件であった。特定計量器の型式承認試験は78件、基準器検査は3,148件、比較検査15件、検定0件、各種計量教習は延べ621人を行った。国家計量標準の相互承認を目的とし、計量標準の国際比較および他国の専門家による技術審査（Peer review）受入等を行った。また、国際基準に準拠した品質システムを運用することにより ISO/IEC 17025および ISO ガイド34認定（ASNITE-NMI）を取得・維持している。国際関係ではメートル条約と国際法定計量条約における調整活動への参加を通して我が国の計量技術を代表した責務を果たすと同時に、アジア太平洋地域では計量組織における調整活動や各国の計量技術者に対する研修等を通して計量先進国としてのプレゼンスを発揮した。

#### (1) グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

- 蓄電デバイス評価技術として、高品質正弦波信号生成システムを低インピーダンス測定用に最適化し、0.1 mΩの分解能で1 mΩ程度まで測定可能な評価装置を構築した。
- 代替冷媒の熱物性評価が可能なシングルシンカー式磁気浮上密度計を開発し標準供給を開始するとともに、冷凍空調機器およびヒートポンプに用いられる新しい低 GWP 冷媒候補物質および高温用作用流体に関して、熱力学性質を測定しサイクル性能評価を支援した。

#### (2) ライフ・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

- 食品の安全性などに係る各種法規制や国際規格に対応した、基準検査項目の分析に必要な標準物質を開発した。玄麦の残留農薬分析及び頭足類の微量元素分析について、技能試験を外機関と連携し企画・実施した。微量元素分析の技能試験について国内企業との連携による技能試験提供体制を構築した。

#### (3) 産業の国際展開を支える計量標準の整備

- 電磁波規制に対応する計量標準として、高周波電力標準の2.4 mm 同軸への拡張、新たな導波管線路による高周波インピーダンス標準器の周波数範囲の拡張を行い、標準供給を開始したほか、75 GHz～110 GHz 帯の導波管減衰量、電磁界強度（ホーン、GTEM セル）、高周波位相量（同軸）に関して標準供給を開始した。

#### (4) 国家計量標準の高度化・合理化

- ・質量分析計を標準コンダクタンスエレメントによって校正することができる計測評価システムを開発し、有機EL用水蒸気バリア膜評価装置として製品化した。この装置を粘土膜クレストの水素バリア性評価に応用した。
- ・産業現場やサービス産業への計量トレーサビリティの普及を図るため、NMIJにトレーサブルな標準物質の供給に関しては、定量NMR法を中心とした依頼試験による純度校正サービスの範囲を医療・健康分野に展開し、新たに13物質の純度校正を可能にして、校正サービスの対象物質を182物質に拡充した。

#### (5) 国際計量標準への貢献

- ・タイ国内ならびにASEAN地域全体の計量標準ネットワーク構築を促進する新たな支援プログラム「メトロロジ・ハブ in ASEAN」を平成25年度に引き続き継続し、現地セミナーによる技術支援・普及啓発や招聘事業による人材育成に取り組んだ。平成26年度中の実績としては、現地にて国際セミナーを計3回開催し、ASEANのうち2か国（インドネシア、マレーシア）から合計4名を招聘した。また、計測標準研究部門への技術研究生の招聘として、タイ、インドネシア、マレーシア、カンボジア、ミャンマーから合計15名を招聘した。

## 2. 計測技術

計測技術に関しては、計測フロンティア研究部門と生産計測技術研究センターを中心に研究開発を行っている。前者は、独創性が高く、従来技術の質的転換を図る計測機器の開発と、計測結果から情報を取り出し、意味ある形に仕上げる解析・評価技術の開発を目的としている。また、開発した計測機器、解析技術を駆使した社会の発展に寄与する新しい情報（知識）の獲得と体系化や、標準化による開発技術の普及を進めている。後者は、品質・生産性の向上、製品不具合対処、安全確保、環境保全などに資する新たな計測技術を生産現場へ提供することや企業の生産現場に精通した技術統括者であるマイスターとの連携によって産業界の計測ニーズに沿った研究開発を推進することを目的としている。

平成26年度の2ユニットにおける計測・評価技術の主な研究成果は以下のとおりである。

#### (1) 産業や社会に発展をもたらす先端計測技術、解析技術の開発

- ・光学顕微鏡による微小変形計測で、ミクロンサイズの規則格子を被検体に描写する技術を構築した。また橋梁全長の10万分の1を超える精度で橋梁の変形分布を計測できた。超音波可視化探傷では計測システムを64ビット化し、画像データを間引がずに画像処理で接合部欠陥を検出できた。
- ・カーボンナノ構造体を用いた重量2 kg以下のバッテリー駆動小型X線源を開発し、管や円柱状の対象物の断層像を得る手法の確立により保温材付鋼管の外面の0.1 mmの段差を計測できた。
- ・垂直型陽電子ビーム装置によるイオン液体のサブナノ～ナノ空隙計測、実環境でのナノ材料測定用のAFM探針制御方法の開発とカンチレバー励起の高度化、および、ピコ秒過渡吸収測定の高励起と観測の波長範囲の拡大（250-1500、400-5000 nm）等の改良に成功した。
- ・AFMプローブ評価方法のISO規格（ISO13095:2014）が刊行された。電気測定AFMの国際持ち回り試験の国内分をほぼ完了し海外分の準備を進める一方、国内審議委員会でNWIP提案の了承を得た。マグネシウム中酸素分析のWD審議が開始された。

#### (2) 生産性向上をもたらす計測ソリューションの開発と提供

- ・プリント基板の金メッキの目視検査を自動化する技術について規格化することも目的として、金メッキ光沢ムラの判定装置の開発に取り組んだ。光沢ムラの原因を見出し、偏光反射光測定により光沢ムラを数値化する小型検査装置を開発し、0.5 mm角の金めっき部位の自動評価技術の実用化に成功した。この成果を元に、金メッキ部位の自動評価法の国際標準化をめざし、規格原案をIECに提案した。
- ・半導体計測機器メーカーとともに、稼働中の量産プラズマ装置へ後付けが容易なプラズマインピーダンス計測装置を共同で製品化し、上市した。
- ・応力発光材料、ならびにナノ材料開発全般に関するソリューション提供を大手企業に対して進めた。

## VI. 地質分野

### 1. 分野の目標

地質分野では、知的基盤整備の一環として陸域及び海域における「地質の調査」を行い、様々な地質情報の計画的・継続的な整備を進める。そしてそれらを基盤に、安全・安心で持続的発展可能な社会の実現に向けた地震・火山災害等の国土の安全に係る研究、高レベル放射性廃棄物地層処分、地圏・水圏等における環境保全に係る研究、エネルギー・資源の安定供給に係る研究等を実施する。また、地質の調査に関連した、海外地質調査所や地球科学研究機関等との国際研究連携を推進する。

## 2. 分野の組織構成

地質分野では、「地質の調査」を確実に実施するため、地質調査総合センター（Geological Survey of Japan, AIST）として、3つの研究部門（活断層・火山研究部門、地圏資源環境研究部門、地質情報研究部門）、再生可能エネルギー研究センター、地質調査情報センター、地質標本館等から構成される連携体制を構築している。また、国際的にもこの体制の下で、東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）等の国際機関や世界地質調査所会議（ICOGS）、世界地質図委員会（CGMW）等に対して、我が国の地質調査機関の代表として対応している。

## 3. 主な研究動向

平成26年度の主な研究動向は以下の通りである。

### (1) 地質情報の統合化と共有化・国土及び周辺域の高度利活用

- 最新の地球科学的知識に基づき、5万分の1地質図幅（陸域）、20万分の1地質図（陸域・海域）、地球物理図、地球化学図、火山関連図、地震関連図など各種地球科学基本図、地球科学主題図等の網羅的・系統的な整備を行い、知的基盤として整備・公表している。本年度は、整備計画に従って、5万分の1及び20万分の1地質図幅の調査を実施した。次世代20万分の1日本シームレス地質図では、東北及び北海道地域の地質図編集を行った。現行のシームレス地質図はデータの更新を行った。また、5万分の1地質図幅2区画、20万分の1地質図幅3区画を完成し、海洋地質図2面、火山地質図2面を整備した。
- 都市沿岸海域の地質・活断層調査では、地質図や地下構造図が未整備である沿岸域において、海域－沿岸域－陸域をつなぐシームレスな地質情報の整備を地質調査総合センターのユニットが連携協力して行っている。本年度は、房総半島沖から相模湾沿岸域における地質、活断層調査、千葉県北部及び多摩川低地の地質地盤調査を実施した。また、平成25年度に実施した沿岸域調査研究の成果を地質調査総合センター速報として出版した。さらに、平成23年度から平成24年度に実施した石狩低地帯南部沿岸域の調査結果を海陸シームレス地質情報集として出版した。
- 海洋地質図作成のための海底地質情報を取得するため、奄美大島周辺海域の海洋地質調査を実施し、海底地形、反射法音波探査、全磁力及び重力測定、岩石や堆積物の採取を行った。また、既存資試料の解析を進め、2区画の地質図を出版するとともに、海底堆積物データの整理を行い、データベースの改善を進めた。
- 地質図情報を閲覧する統合ポータルである地質図 Navi への文献検索機能、ユーザー情報の追加表示機能を実装し、シームレス地質図オフライン版を公開した。また、20万分の1地質図幅データベースとのリンクを試作した。

### (2) 地圏循環システムの解明と解析技術の開発による地球と人間との共生社会の実現

- 地質分野では、地質学、地球化学、地球物理学等の地球科学的手法を駆使し、地圏・水圏循環システムの理解に基づく国土有効利用実現のため、1)水資源等の環境保全及び地熱や鉱物資源探査、2)土壤汚染リスク評価、3)地層処分環境評価、4)メタンハイドレート等天然ガス資源の調査、5)CO<sub>2</sub>地中貯留に関する技術、6)地圏・水圏環境にかかわる知的基盤情報の整備・提供等の研究を実施している。
- 水資源の保全に資する研究としては、石狩地域の水文環境図を出版するとともに、駿河湾地域、大阪平野についても調査が順調に推移し、駿河湾地域を富士山地域と名称変更した上で次年度出版の計画である。また、東日本大震災の影響が残る東北地方を含めた地下水データベースの拡充を実施した。
- 鉱物資源評価の研究では、レアメタル等鉱物資源の安定的確保の観点から、南アフリカ共和国、米国、ミャンマーにて、公的地質調査機関との共同でレアアース・レアメタル鉱床の開発可能性評価を行い、特に南アフリカの難処理レアアース鉱石の選鉱技術開発を実施した。鉱石・岩石の微粉末を用いたレーザーアブレーション ICPMS による化学分析法の確立、米国地質調査所との共同で世界的レアアース資源データベースの編集を進めるとともに、知的基盤整備として500万分の1アジア鉱物資源図を発行した。また、非金属鉱物材料のハスクレイの大規模蓄熱システムへの適用や福島県内の粘土鉱物等による放射性物質の吸着状況の系統的分析等を行った。
- 土壤汚染リスク評価の研究においては、茨城県地域表層土壌評価基本図の出版、発光細菌による重金属類の毒性と濃度評価技術の開発を行った。自然由来汚染と堆積環境との関連性を解明し、環境・社会及び経済性までも考慮した汚染対策・措置の必要性を ISO 会議等で提唱した。また、酸性硫酸塩土壌による残留性有機汚染物質の分解機構を解明し、微生物による複合汚染の浄化技術等を開発するとともに、環境水中低濃度 Cs の迅速測定装置と高精度分析法を開発し、放射性 Cs を含む除染土壌等の管理・保管施設の安全性評価手法を確立した。
- 地層処分環境評価の研究では、海域地質環境調査確証技術開発を進め、駿河湾の沿岸域を対象として3次元反射法地震探査、海域微地形調査、海底湧出地下水調査、ボーリング掘削調査ならびに広域・長期地下水流動解析

を実施した。これらの調査・解析結果を基に、海底下の淡水地下水領域の同定を行い、長期的に安定した地下水領域を判定した。さらに、これまで構築してきた関連データベースや沿岸域地質調査研究の成果を取りまとめ、体系化した。

- メタンハイドレート等の天然ガス資源の調査については、特に上越沖、最上トラフ、隠岐トラフ等で自立型無人潜水機 (AUV) 等を用いた潜水探査や掘削調査等を通じた表層型メタンハイドレート (MH) 探査を実施した。MH 胚胎の可能性の高いポックマークの成因について考察し、報告した。関東地方の水溶性天然ガスについて、その分布状況、化学分析結果、ガスの成因の解明等についての最終的なとりまとめを行い、燃料資源図「関東地方」として整備した。南関東ガス田のかん水より有機物分解経路に関与する微生物種を分離培養した。油層水中の未培養細菌が原油中の芳香族炭化水素の分解に関与している可能性を見出した。
- CO<sub>2</sub>地中貯留 (CCS) に関する技術では、米国サイトで CO<sub>2</sub>圧入時モニタリングを継続するとともに、モニタリング手法改良のため、超電導重力計並行測定を試行し、苫小牧実証調査サイトにおけるデータ取得を開始した。物理量変換プログラムの適用範囲を拡げるため、地盤変位ポスト・プロセッサを改良した。断層・軟岩・砂泥互層の力学・水理学的特性等ならびに地化学データの蓄積を継続し、ジオメカニズムを考慮したシミュレーションの拡張を実施した。さらに、CCS 環境での微生物によるメタンガス生成メカニズムの解明とその影響まで考慮したリスク評価技術の改良を行った。

### (3) 地質現象の将来予測と評価技術の開発による災害リスクの最小化と安全・安心な社会の構築

- 国土の安全を目指した自然災害に関する研究では、地震及び火山に関する研究を重点的に実施している。日本の地震・火山に関する研究については、災害軽減のための国の各施策（地震に関する観測・測量・調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策、災害の軽減に貢献するための地震・火山観測研究計画の推進について）に基づいて、関連機関が相互に連携を取りつつ分担・実施する体制が取られている。地質分野では主要活断層調査、地震短期予測のための地下水等の観測、活断層データベース、平野地下構造のモデル化、短期的・長期的火山噴火推移予測の研究のほか、地震発生及び火山噴火メカニズム等にかかわる基礎的研究を実施している。
- 活断層の活動性評価としては、糸魚川－静岡構造線活断層系の1地点で古地震調査を実施し、最新活動に伴う地震時変位量を復元するとともに、神城断層との連動性を評価した。東アナトリア断層系の1地点で古地震調査を実施し、最近3回の活動履歴を明らかにした。地形表現に乏しい佐賀平野北縁断層帯において、群列ボーリングにより同断層帯の平均変位速度や傾斜角を初めて明らかにし、地震規模評価のためのデータを得た。断層破砕物質を用いた断層活動性評価手法の一般化に向け、活動性の異なる断層から採取した試料の鉱物化学分析を実施し、手法を補強・改良した。
- 千島・日本海溝、相模トラフ、南海トラフ沿いでそれぞれ津波堆積物調査等を実施した。三陸海岸広田湾では、高解像度の音波探査記録に基づいた海上からの掘削により、2011年東北地方太平洋沖地震、およびそれより前の津波の痕跡を検出することに成功した。また房総半島九十九里浜では、これまで歴史上に知られていない津波の痕跡を検出した。高知県では東洋町、四万十町、黒潮町でそれぞれ過去の津波と思われる複数枚の砂層を検出した。ほか東北地方太平洋沿岸を襲った1454年享徳地震津波の断層モデルを構築するために津波シミュレーションを行った。
- 国の東海地震予知事業の一環として、前兆的地下水位変化検出システムの運用を継続し、歪・傾斜等統合データによる短期的スロースリップイベント (SSE) 解析結果を委員会等へ報告した。今までの解析結果から同 SSE 発生域の平均すべり速度分布を求め、同 SSE の自動検出手法をデータ解析・表示システムに組み込んだ。1980年代までの測量データ等から東海地域では規模の異なる複数の長期的 SSE が発生していたことが判明した。深部低周波微動の発震機構解の時空間分布を調べ、特定の場所で低角逆断層からずれることを示した。1946年南海地震直前の四国太平洋沿岸部での目撃証言をまとめた。
- 桜島、御嶽山、阿蘇山、西之島、口永良部島では噴火に対応した火山ガス観測および噴出物解析を実施し、その特徴を把握した。富士山では岩脈が山体の高標高部に密集した時期にプリニアン噴火が発生したことを明らかにした。アナログ実験では液体の粘性と噴出率には逆相関があるが、密度変化の効果が分離困難である事を明らかにした。口永良部島において噴気温度および地殻変動の連続観測を行い、噴火に至るまでの経時変化を把握し、熱水系の変動に起因する地殻変動や自然電位分布のモデリングを行った。
- 高レベル放射性廃棄物地層処分の安全規制の技術的支援となる調査研究を深部地質環境研究コアにおいて引き続き実施した。火山 DB・断層 DB・各種地下水 DB の更新・拡充を継続した。長期的な気候・地質変動に関する時空分布を調査し、その変動要因について検討した。地下水の混合関係や混合年代等の解析・評価手法の適用性の検討および地質関連事象による周辺地下水系への影響を予測する評価手法・技術の検討を行った。異常間

隙水圧の形成過程に関して、室内実験システムと数値解析コードを開発した。このシステムによって地下数百 m における実際の応力状態と化学環境に近い条件での評価が可能となると同時に、化学環境による相違を説明する電気化学的モデルを提唱した。これらの検討結果を総合し、不確実性低減のための課題を抽出し、取りまとめを行った。

(4) 緊急地質調査・研究の実施

- ・平成26年度には、広島市の土砂災害をはじめ、西之島、口之永良部島、御嶽山、阿蘇山などの火山噴火、長野県北部の地震発生などの大きな自然災害が続けて発生した。地質分野として、随時 HP などを通して情報の発信をするとともに、緊急的に現地における調査を実施し、それらの情報を火山噴火予知連絡会（気象庁）や地震調査研究推進本部（文科省）等に提供するなど、地質調査のナショナルセンターとしての機能を果たした。特に、長野県北部の地震災害においては緊急調査対応本部を設置した。また、9月27日噴火の御嶽火山の緊急調査を行い、その調査報告を GSJ ホームページに掲載し、地質標本館ロビーでも速報展示した。

(5) グローバルな地質情報ネットワークにおけるイニシアティブの発揮

- ・東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）の東南アジア地下水研究においては、グローバルな視点で地球規模の環境問題も考慮しつつ加盟国の地下水環境調査を支援し、この情報を広く発信した。
- ・統合国際深海掘削計画（IODP）の推進のため、日本地球掘削科学コンソーシアムの理事機関として、IODP 部会に幹事1名および執行委員1名、さらに IODP 国際パネル SEP 会議に1名が出席し、運営に貢献した。また ICDP ニューゼalandアルパイン断層掘削に2名が参加し、うち1名は構造地質学のサブリーダーを務めた。
- ・OneGeology コンソーシアムの運営に参加し、アジア地域の地質図データの整備に貢献した。世界地質図委員会プロジェクトとして出版する東・東南アジア地域地震火山災害図の作成に着手した。第3回国連防災世界会議（3月、仙台）関連事業として、地質災害リスク低減を主題とする国際ワークショップを主催した。

## 3. 幹部名簿

役職（本務）	役 職（兼務）	氏 名	就任期間	就任年月日	備 考
理事長	コンプライアンス推進本部長	中鉢 良治	2年	平成25年4月1日	
副理事長	つくばセンター所長、つくばイノベーションアリーナ推進本部長、コンプライアンス推進本部副本部長	金山 敏彦	9ヶ月	平成26年7月1日	※H22/4/1～26/6/30までは理事
理事		矢部 彰	7年	平成20年4月1日	
理事		湯元 昇	7年	平成20年4月1日	
理事	イノベーション推進本部長	瀬戸 政宏	6年	平成21年4月1日	
理事（非常勤）		中江 清彦	4年	平成23年4月1日	
理事	地質分野研究統括地質調査総合センター代表	佃 栄吉	3年	平成24年4月1日	
理事	計測・計量標準分野研究統括計量標準総合センター代表	三木 幸信	3年	平成24年4月1日	
理事	環境安全本部長 評価部長	島田 広道	2年	平成25年4月1日	
理事	企画本部長	川上 景一	2年	平成25年4月1日	
理事	総務本部長	福岡 徹	1年10ヶ月	平成25年6月28日	
理事	イノベーションスクール長	富樫 茂子	9ヶ月	平成26年7月1日	
監事		大谷 進	4年	平成23年4月1日	
監事		伊東 一明	2年	平成25年4月1日	

(平成27年3月31日現在)

4. 組織図



# 産総研組織図

2014年9月1日現在





## 5. 組織編成

年月日	組織規程	組織規則
平成26年4月1日	<p>研究環境安全本部を廃止  研究環境安全本部長の職制を廃止  環境安全本部を設置  環境安全本部の設置に伴い、環境安全本部長の職制を設置  中部センターの瀬戸サイトを廃止</p>	<p>企画本部の法人統合準備室を廃止  環境安全本部に環境安全企画部、安全管理部、施設整備部、情報基盤部を設置  同本部の環境安全企画部に環境安全総括室、ファシリティマネジメント室を設置し、ファシリティマネジメント室に施設計画グループ、施設調達グループを設置  同本部の安全管理部に安全企画室、施設管理室、ライフサイエンス実験管理室、放射線管理室を設置  同本部の施設整備部に技術管理室、施設整備室を設置  同本部の情報基盤部に情報企画グループ、情報基盤グループを設置  環境安全本部に環境安全副本部長、総括主幹、主幹、主査、職員、キャリア主幹の職制を設置  同本部の環境安全企画部に総括企画主幹、企画主幹の職制を設置  アジア・バイオマスエネルギー研究コアを廃止  地質調査総合センターに再生可能エネルギー研究センターの地熱チーム、地中熱チームを設置  糖鎖医工学研究センターを廃止  新燃料自動車技術研究センターを廃止  生命情報工学研究センターを廃止  活断層・地震研究センターを廃止  糖鎖創薬技術研究センターを設置し、同研究センターに創薬技術開発チーム、標的分子評価研究チーム、標的糖鎖探索チームを設置  ゲノム情報研究センターを設置し、同研究センターにアルゴリズムチーム、ゲノム配列情報チーム、生体分子情報チーム、ネットワーク情報チームを設置  グリーン磁性材料研究センターを設置し、同研究センターに粉末合成・焼結チーム、表面修飾チーム、材料解析・開発チーム、応用・周辺技術開発チームを設置  活断層・火山研究部門を設置し、同研究部門に活断層評価研究グループ、地震テクニクス研究グループ、地震地下水研究グループ、海溝型地震履歴研究グループ、地震災害予測研究グループ、火山活動研究グループ、マグマ活動研究グループ、深部流体研究グループ、地下環境機能研究グループ、長期地質変動研究グループを設置  生産計測技術研究センターの計測基盤技術チームを廃止  ネットワークフォトニクス研究センターに光パスポセッサ研究チームを設置  ナノスピントロニクス研究センターに電圧スピントロニクスチームを設置  太陽光発電工学研究センターの革新デバイスチームを廃止し、有機系薄膜チーム、先進多接合デバイスチームを設置  計測標準研究部門の法定計量技術科、計量標準技術科を廃止し、法定計量科を設置  同研究部門の法定計量科に法定計量室を設置  先進製造プロセス研究部門の特異反応場プロセス研究グループを廃止  サステナブルマテリアル研究部門の相制御材料研究グループを廃止  地質情報研究部門の沿岸海洋研究グループ、火山活動研究グループ、マグマ活動研究グループ、長期変動研究グループ、深部流体研究グループ、地下環境機能研究グループを廃止  エネルギー技術研究部門のエネルギーネットワークグル</p>

総 説

		<p>ープ、統合水素システムグループ、水素エネルギーグループ、エネルギー社会システムグループを廃止し、エネルギーシステム戦略グループ、水素エネルギー技術グループ、エンジン燃焼排気制御グループを設置</p> <p>情報技術研究部門のサービスウェア研究グループを廃止し、データサイエンス研究グループを設置</p> <p>安全科学研究部門の持続可能性ガバナンスグループを廃止</p> <p>バイオメディカル研究部門にバイオアナリティカル研究グループを設置</p> <p>セキュアシステム研究部門の次世代セキュリティ研究グループを廃止し、次世代暗号研究グループを設置</p> <p>瀬戸内海沿岸環境技術連携研究体を廃止</p> <p>連携研究体グリーン・ナノエレクトロニクスセンターを廃止</p> <p>次世代自動車エンジン連携研究体を設置</p>
平成26年6月1日		<p>バイオマスリファイナリー研究センターの酵素利用チーム、微生物変換チーム、BTL プロセスチーム、実証・実用化チームを廃止し、バイオ変換チーム、バイオ燃料チームを設置</p>
平成26年9月1日		<p>コンプライアンス推進本部の法務室、リスク管理室を廃止し、コンプライアンス推進室を設置</p> <p>総務本部に法務室を設置</p> <p>総務本部に審議役の職制を設置</p>
平成26年10月1日		<p>デジタルヒューマン工学研究センターのスマートアシスト技術研究チームを廃止</p>

## II. 業 務



## Ⅱ．業 務

### 1. 研 究

産業技術総合研究所（産総研）は、産業界、学界等との役割分担を図りつつ、【鉱工業の科学技術】、【地質の調査】、【計量の標準】という各研究開発目標を遂行して、産業技術の高度化、新産業の創出及び知的基盤の構築に貢献し、我が国経済の発展、国民生活の向上に寄与する。そのため、各分野における社会的政策的要請等に機動的に対応するために、最新の技術開発動向の把握に努め、重要性の高い研究課題や萌芽的な研究課題の発掘、発信を行うとともに、研究体制の構築等の必要な措置を講じ、研究開発を実施し、産業競争力の強化、新規産業の創出に貢献する。

また、外部意見を取り入れた研究ユニットの評価と運営、競争的研究環境の醸成、優れた業績をあげた個人についての積極的な評価などにより、研究活動の質的向上を担保する。

さらに、研究活動の遂行により得られた成果が、産業界、学界等において、大きな波及効果を及ぼすことを目的として、特許、論文発表を始めとし、研究所の特徴を最大限に発揮できる、様々な方法によって積極的に発信する。同時に、産業界、大学と一体になったプロジェクトなど、産学官の研究資源を最大限に活用できる体制の下での研究活動の展開へ貢献するものとする。

独立行政法人産業技術総合研究所法において産総研のミッションとして掲げられた研究目標とその概要は以下の通りである。

#### 1. 鉱工業の科学技術

##### I. グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進

グリーン・イノベーションを実現するためには、二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量削減と、資源・エネルギーの安定供給の確保を同時に図る必要がある。温室効果ガスの排出量削減のため、再生可能エネルギーの導入と利用拡大を可能とする技術及び運輸、民生等各部門における省エネルギー技術の開発を行う。資源・エネルギーの安定供給のため、多様な資源の確保と有効利用技術、代替材料技術等の開発を行う。将来のグリーン・イノベーションの核となるナノ材料等の融合による新機能材料や電子デバイスの技術の開発を行う。産業部門については、省エネルギー技術に加えて環境負荷低減や安全性評価と管理、廃棄物等の発生抑制と適正処理に関する技術の開発を行う。

##### II. ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進

ライフ・イノベーションを実現するためには、疾病や事故の予防、治療や介護支援の充実に加えて、健康で安全な生活を送りやすくすることが必要である。疾病を予防し、早期診断を可能とするため、生体分子の機能分析、解析技術等の開発を行う。疾病の革新的治療技術を実現するため、効率的な創薬技術の開発、先進的な医療支援技術の開発を行う。健康を維持増進し、心身ともに健康な生き方を実現するために必要な計測、評価技術等の開発を行う。また、社会生活の安全を確保するための情報通信技術（IT、センサ）や生活支援ロボットの安全を確立するための技術開発を行う。

##### III. 他国の追従を許さない先端的技術開発の推進

様々な資源、環境制約問題を乗り越えて我が国の国際競争力を強化するためには、技術指向の産業変革により新産業を創出する必要がある。特に、情報通信産業の上流に位置づけられるデバイスの革新とともにデバイスを製品へと組み上げていくシステム化技術の革新が重要である。そのため、競争力強化の源泉となる先端的な材料、デバイス、システム技術の開発を行う。また、情報通信技術によって生産性の向上が期待できるサービス業の発展に資するため、サービス生産性の向上と新サービスの創出に貢献する技術の開発を行う。さらに、協調や創造によるオープンイノベーションの仕組みを取り入れた研究開発を推進する。

##### IV. イノベーションの実現を支える計測技術の開発、評価基盤の整備

イノベーションの実現と社会の安全・安心を支えるために必要な、基盤的、先端的な計測及び分析技術並びに生産現場に適用可能な生産計測技術の開発を行う。また、信頼性ある計測評価結果をデータベース化し、産業活動や社会の安全・安心を支える知的基盤として提供する。さらに、製品の安全性や適正な商取引、普及促進に必要な製品やサービスの認証を支える評価技術の開発を行い、試験評価方法の形で提供するとともにその標準化を行う。

### 2. 地質の調査（地質情報の整備による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）

活動的島弧に位置する我が国において、安全かつ安心な産業活動や生活を実現し、持続可能な社会の実現に貢献するために、国土及び周辺地域の地質の調査とそれに基づいた地質情報の知的基盤整備を行う。地球をよく知り、

地球と共生するという視点に立ち、地質の調査のナショナルセンターとして地質の調査研究を行い、その結果得られた地質情報を体系的に整備する。地質情報の整備と利便性向上により産業技術基盤、社会安全基盤の確保に貢献する。また、地質の調査に関する国際活動において我が国を代表し、国際協力に貢献する。

3. 計量の標準（計量標準の設定・供給による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）

我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献するため、計量の標準の設定、計量器の検定、検査、研究、開発、維持、供給及びこれらに関連する業務、並びに計量に関する教習を行う。その際、メートル条約及び国際法定計量機関を設立する条約の下、計量標準と法定計量に関する国際活動において我が国を代表する職務を果たす。

具体的には、産業構造審議会産業技術分科会、日本工業標準調査会合同会議知的基盤整備特別委員会の方針、見直し等を踏まえて、計量標準に関する整備計画を年度毎に改訂し、同計画に基づき計量標準の開発、維持、供給を行う。計量標準、法定計量に関して国際基準に適合した供給体制を構築して運営し、国家計量標準と発行する校正証明書及び法定計量の試験結果の国際相互承認を進めるとともに、我が国の供給体系の合理化を進める。特に、新規の整備及び高度化対象となる計量標準に関しては、先端技術の研究開発や試験評価方法の規格化と連携して一体的に開発を進める等、迅速に整備し、供給を開始する。また、我が国の法定計量の施策と、計量標準の戦略的活用に関して、経済産業省の政策の企画、立案に対して技術的支援を行う。

## (1) 研究推進組織

研究推進組織としては、「研究ユニット」、「研究企画室」、「地質調査情報センター」、「地質標本館」、「計量標準管理センター」を設置している。「研究ユニット」には、社会的なニーズの高い研究を集中的に実施するための時間的な組織である「研究センター」、研究を実施する上での基盤的な組織であり、研究センターを生み出すとともに研究センター終了時の吸収母体となる「研究部門」、弾力的かつ迅速な立ち上げプロセスにより、将来の研究センターの設立に向けての先駆的な役割を果たす「研究ラボ」の3つの形態がある。個々の研究ユニットについては、永続的なものと位置付けず、定期的に評価を行い、戦略的視点に基づき、柔軟に廃止・新設などの再編を行っている。

従来、理事長に直結する形で配置していた研究ユニットの組織体制を平成22年10月に見直し、6つの研究分野にまとめるとともに、分野ごとに研究戦略を考え実施する体制である「研究統括」、「副研究統括」及び「研究企画室」を設置し、研究ユニット長と連携して、研究分野内及び研究分野間の融合や産業界、大学などとの連携を加速する体制とし、内外の優れた研究者をタイムリーに起用するとともに、最新のシーズと幅広いニーズを踏まえた課題の発掘と解決に努めている。

<凡 例>

研究ユニット名 (English Name)

研究ユニット長：〇〇 〇〇 (存続期間：発足日～終了日)

副研究ユニット長：〇〇 〇〇

総括研究員：〇〇 〇〇、〇〇 〇〇

所在地：つくば中央第×、△△センター (主な所在地)

人 員：常勤職員数 (研究職員数)

経 費：執行総額 千円 (運営交付金 千円)

概 要：研究目的、研究手段、方法論等

外部資金：

テーマ名 (制度名/提供元)

テーマ名 (制度名/提供元)

発 表：誌上発表〇件 (総件数)、口頭発表〇件 (総件数)  
その他〇件 (刊行物等)

〇〇研究グループ (〇〇English Name Research Group)

研究グループ長：氏 名 (所在地)

概 要：研究目的、研究手段、方法論等

研究テーマ：テーマ題目 1、テーマ題目 2、テーマ題目 3

××研究グループ (××English Name Research Group)

研究グループ長：氏 名 (所在地)

概要：研究目的、研究手段、方法論等

研究テーマ：テーマ題目 2、テーマ題目 7、テーマ題目 8

□□連携研究体 (□□Collaborative Research Team)

連携研究体長：〇〇 〇〇 (つくば中央第△、研究職数名)

概要：研究目的、研究手段、方法論

研究テーマ：テーマ題目 2、テーマ題目 7、テーマ題目 8

[テーマ題目 1] (運営費交付金、資金制度 (外部) もしくは〇〇研究ユニットと共同研究などで行っている「重要研究テーマ」)

## 研 究

[研究代表者] 氏 名 (〇〇研究部門△△研究グループ)  
[研究担当者] 〇〇、△△、××、(常勤職員〇名、他〇名)  
[研究内容] 研究目的、研究手段、方法論、年度進捗  
[分野名] 〇〇〇〇〇〇〇〇  
[キーワード] △△△△、〇〇〇〇、☆☆☆☆

[テーマ題目2] (運営費交付金、資金制度(外部)もしくは〇〇研究ユニットと共同研究  
などで行っている「重要研究テーマ」)  
[研究代表者] 氏 名 (〇〇研究部門△△研究グループ)  
[研究担当者] 〇〇、△△、××、(常勤職員〇名、他〇名)  
[研究内容] 研究目的、研究手段、方法論、年度進捗  
[分野名] 〇〇〇〇〇〇〇〇  
[キーワード] △△△△、〇〇〇〇、☆☆☆☆



## 1) 環境・エネルギー分野

(Environment and Energy)

### ①【研究統括・副研究統括・研究企画室】

(Director-General・Deputy Director-General・  
Research Planning Office)

研究統括：小林 哲彦

副研究統括：四元 弘毅

#### 概要：

研究統括は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究推進に係る業務の統括管理を行っている。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

副研究統括は、研究統括の命を受けて、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

### 環境・エネルギー分野研究企画室

(Research Planning Office of Environment and  
Energy)

所在地：つくば中央第2

人員：9名（8名）

#### 概要：

環境・エネルギー分野研究企画室は、環境・エネルギー分野（以下、環エネ分野とする。）における研究の推進に向けた業務を行っている。

具体的な業務は以下のとおり。

- (1) 環エネ分野における研究の推進に向けた研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営等の策定
- (2) 環エネ分野における大型プロジェクトの立案や調整
- (3) 複数の研究分野間の連携や分野融合プロジェクトの立案や調整
- (4) 環エネ分野に関連した経済産業省等の関係団体等との調整
- (5) 研究統括及び副研究統括が行う業務の支援

機構図（2015/3/31現在）

[環境・エネルギー分野研究企画室]

研究企画室長 吉田 郵司 他

## ②【メタンハイドレート研究センター】

(Methane Hydrate Research Center)

(存続期間：2009.4.1～2016.3.31)

研究センター長：成田 英夫

副研究センター長：海老沼 孝郎、天満 則夫

所在地：北海道センター、つくば西事業所

人員：14名（14名）

経費：944,041千円（144,600千円）

#### 概要：

メタンハイドレート研究センターは、天然ガスの役割が増大するエネルギー社会の到来をわが国の中期的未来の姿としてとらえ、その安定供給の確保、自給率の向上ならびに新産業創出に向けた研究技術開発を行うことによってグリーンイノベーションの実現に貢献することを目的としている。

このため、わが国周辺海域を始め世界各地に賦存するメタンハイドレート資源から天然ガスを安定かつ経済的に採取する「生産手法開発に関する研究開発」およびガスハイドレートの物理的特性を利用した革新的な省エネルギー技術を創出する「ガスハイドレート機能活用技術開発」を重点課題として推進している。また、オープンイノベーションによる研究連携の意義は一層増しており、わが国のメタンハイドレート研究のプラットフォームとなるべく、人材育成および技術移転の推進、産学官連携の推進、連携先の開拓、適切な情報発信など新たなイノベーションを創出していくための「メタンハイドレート研究アライアンス事業」を実施している。

生産手法に関する研究開発においては、以下の課題を設定し、相互の研究成果を共有しながら商業的産出のための技術整備を進めている。

- 1) メタンハイドレート資源から天然ガスを効率的かつ大量に生産するための「生産技術の開発」
- 2) 生産性や生産時の地層の挙動を評価するために不可欠な貯留層パラメータを解析し貯留層モデルを構築する「貯留層特性の評価」
- 3) 生産に伴う地層の力学挙動および坑井の健全性を評価するための「生産モデルの開発」
- 4) 生産時のメタンハイドレート再生成や坑井内の流動状態を解析し生産障害を回避するための「物理特性の解析」  
また、後述の機能活用技術分野を含め当センターがメタンハイドレート研究のプラットフォームとなることを目指した以下の事業を実施している。
- 5) 外部連携の推進、人材育成、技術移転、実験教室開催、講演会開催等を活動内容とする「メタンハイドレート研究アライアンス事業」

さらに、生物プロセス研究部門、地圏資源環境研究部門との連携によって、大水深海底下のメタン生成システムを解明するため、高圧条件下での微生物のメタン生成能の実験的評価を実施している。

「生産技術の開発」においては、強減圧法、通電加熱法等生産手法のエネルギー効率向上、回収率の向上のための研究、生産時の細粒砂移流・蓄積、メタンハイドレート再生成による浸透率低下等の生産障害因子を解析し生産障害対策技術の開発を実施する。また、これらの研究開発によって得られた新たな知見を室内大型産出試験設備によって検証を行う。さらに、第一回海洋産出試験の生産挙動について、生産シミュレタを用いた検証を実施する。「貯留層特性の評価」においては、生産シミュレタによる生産性評価や地層変形シミュレタによる地層変形評価に不可欠なメタンハイドレート濃集域の貯留層モデルを構築するために、海洋産出試験事前掘削コアの層分析、断層のパラメータ評価、地層の不均質性の評価を行い、貯留層モデルを開発する。「生産モデルの開発」においては、コア試験によるメタンハイドレート層の力学パラメータ取得の継続や坑井の健全性評価のための接触面強度に関する室内実験や数値解析を行うと共に、メタンハイドレート貯留層の圧密変形・強度特性、生産時の地層内応力分布等を扱うことが可能な地層変形シミュレタを高度化する。さらに、同シミュレタを用いて、第一回海洋産出試験の出砂挙動、圧密変形挙動などの検証を実施する。「物理特性の解析」においては、高圧・低温環境下にある生産坑井内での気液二相流の流動特性の解析を行うと共に、実環境条件におけるメタンハイドレートの再生成について解析を実施する。また、地層内でのメタンハイドレート再生成の評価に必要なメタンハイドレート層の熱特性の評価を行う。

ガスハイドレートの物理的特性を利用し、メタンハイドレート資源開発の経済性向上と新たな産業技術の創出を目指す機能活用技術においては、天然ガスの省エネルギー輸送・貯蔵プロセスを開発するため、天然ガスハイドレート (NGH) 輸送用ペレットの成型条件や搬送条件を設計するための力学特性を実験によって解析し評価する。また、ヒートポンプ用の実用化レベルの新規冷熱媒体を開発するために混合ガスハイドレートの生成・解離条件に関する実験的探索を行う。さらに、セミクラスレートハイドレートを利用したガス分離・精製技術の開発を行い、産業界と連携した実証試験を実施する。

メタンハイドレート研究アライアンス事業においては、メタンハイドレート資源の生産手法開発に関する連携を行う7企業10大学からなる「生産手法開発グループ」および機能活用技術の工業化に関心の高い9企業と4大学を結集した「ガスハイドレート産業創出イノベーション」を運営し、企業に対する技術移転、大

学人材の育成を通じ工業化を促進するほか、国民・社会との対話事業として、実験教室、出前講座、講演会、定例シンポジウムなどを開催する。これらの事業によって、当センターがメタンハイドレート研究のプラットフォームとなることを目指す。

発表：誌上発表33件、口頭発表64件、その他7件

#### 生産技術開発チーム

(Production Technology Team)

研究チーム長：長尾 二郎

(北海道センター)

概要：

メタンハイドレート資源からの天然ガス生産において、高い生産性と回収率を確保するための生産手法、生産増進法の開発を実施している。具体的には、持続的な天然ガス生産性評価の一環として、新たに開発した生産増進法である強減圧法について、大型室内試験ならびに生産性評価シミュレタを用いて、増進効果の定量的評価を実施している。また、貯留層モデルの高度化においては、海洋産出試験地の圧力コア解析を継続して行い、包接ガス成分・組成、浸透率などの分析結果を貯留層モデル構築に適用している。一方、液化天然ガスに代わる新たな省エネルギー的天然ガス輸送・貯蔵媒体としてのガスハイドレート利用促進を目的に、自己保存性等ガスハイドレート特有の現象の発現機構の解明や新たな分解制御技術開発等の研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

#### 貯留層特性解析チーム

(Reservoir Modeling Team)

研究チーム長：皆川 秀紀

(北海道センター)

概要：

メタンハイドレート濃集域の貯留層モデルを構築するため、メタンハイドレート胚胎層の分析、断層パラメータの評価、地層の不均質性の評価を行い、三次元貯留層モデルの開発を実施している。メタンハイドレート胚胎地域の地層の力学特性・浸透率特性に関する貯留層パラメータの取得と構成式の構築を目的として、採取された天然堆積物の堆積構造の記載および堆積物の物性分析 (粒度分布、粒子密度、主要鉱物組成) とそれらの情報に関するデータベース作成および標準試料作製等を行っている。さらに、地層中に内在する不均質性と断層等による不連続性を模擬したリングせん断実験の実施、およびそれらを考慮した三次元貯留層モデルの開発、メタンハイドレート貯留層からの天然ガスの増進回収法の開発、CMR 検層の高度解析技術解析の他、高圧条件下でのメタン生成菌のメタン生成

能の評価等を実施している。これらの研究を産総研内外の研究機関と連携しながら進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

#### 生産モデル解析チーム

(Reservoir Simulator Team)

研究チーム長：天満 則夫

(つくば西)

概要：

メタンハイドレート資源からの天然ガス生産においては、安全で安定な生産を実現するための地層変形や応力分布を数値的に解析する手法が不可欠である。メタンハイドレート貯留層からのメタンガス生産に伴う地層変形・圧密挙動を解析するために、圧力コアや模擬コア等を用いてメタンハイドレート層に係る強度等の力学パラメータを継続して取得するとともに、新たに圧力を保持した状態で、三軸試験が可能となる可視化型の力学試験機を用いて、より精度の高い力学パラメータの取得を進め、開発中の地層変形シミュレータの解析精度の向上を図っている。坑井にかかる応力を評価するために室内貫入試験を行い、坑井の健全性評価に必要なケーシング、セメントおよび地層の各材料間の接触面強度等の実験データの取得や接触面における力学挙動解明のための数値解析を行っている。第1回海洋産出試験結果の評価のために、出砂現象を評価するための出砂評価試験装置を導入した。また、生産挙動を高い精度で予測・解析する生産性・生産挙動評価技術の開発では、詳細な現場データに基づく数値解析モデルと等価な解析結果が得られるようなアップスケール手法の開発を行い、計算負荷の軽減が可能となる数値モデルの最適な分割手法等のシミュレータ機能の強化に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

#### 物理特性解析チーム

(Physical Property Analyses Team)

研究チーム長：山本 佳孝

(つくば西)

概要：

メタンハイドレート資源の開発における生産障害対策・抑制技術として、メタンハイドレート再生成過程を含む気液固三相流れのシミュレーションのための物性データ取得、ハイドレートの膜厚・成長速度等を予測可能なモデルの構築等を行っている。また、細粒成分を含む系におけるメタンハイドレート生成・分解過程解明のため、泥水成分や塩類の生成・分解反応に与える影響等を解析している。さらに、砂、ガス、水、メタンハイドレートが共存する系での熱伝導率を測定し、生産時の熱伝導率モデルを開発している。坑井周辺のスキニング問題に対しては、多相流数値モデルを

用いて多孔質内における細粒砂の移流・蓄積によるスキニング形成過程の解明および対策技術の開発を行っている。ガスハイドレートの機能活用技術として、ガスハイドレートの熱交換媒体としての利用を目的とした、各種ハイドレートの相平衡、相転移潜熱、ケージ占有率について、実測及び統計熱力学的モデルによる推算等による検討を行っている。また、施設園芸におけるCO<sub>2</sub>ハイドレート利用技術の開発、ハイドレートを固定相とするガスクロマト分離・分析技術等の研究を国内外の大学・企業と協力して行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

#### [テーマ題目1] メタンハイドレート資源の生産手法開発に関する研究開発

[研究代表者] 成田 英夫

(メタンハイドレート研究センター)

[研究担当者] 海老沼 孝郎、天満 則夫、長尾 二郎、神 裕介、今野 義浩、木田 真人、皆川 秀紀、野田 翔兵、米田 純、片桐 淳、宮崎 晋行(兼務)、山本 佳孝、室町 実大、清水 努、村岡 道弘、清野 文雄(兼務)、(常勤職員16名、他40名)

#### [研究内容]

メタンハイドレート資源から天然ガスを安定かつ経済的に採収する効率的な生産手法を開発するための生産技術の開発、貯留層特性の評価および生産モデルの開発を実施すると共に、外部機関などとの連携を促進し、新たなイノベーションを創出するためのメタンハイドレート研究アライアンス事業を行った。

減圧生産法の生産量増進を図るため、強減圧時のガス生産挙動に及ぼす影響を大型室内産出試験設備による実験から解析し、通常減圧から強減圧へ連続的に減圧した場合に、ガス生産性が約2倍に増進することを確認し、強減圧生産法の有効性を実証した。また、海洋産出試験地の事前掘削コアの分析を行い、原位置と同程度のハイドレートを含有するコアで測定した初期水有効浸透率を検層データと比較し、生産挙動解析に資する貯留層モデルの高度化を行った。また、海洋産出試験地の圧力コア解析を継続して行い、生産ガス量に影響するハイドレート結晶のガス包蔵性、包接ガス成分・組成、天然ガスの成因などを明らかにした。さらに、第一回海洋産出試験事前調査井掘削コア試料の熱伝導率を原位置条件に準拠した温度・圧力条件で測定した結果、初期は並列モデルに近い値をとるが分解が進むと共に大きく低下し分散モデルの推算値へ推移した。長期安定生産のためには、生産井内におけるハイドレートの再生成による坑内流動障害を解析する必要がある。このため、ハイドレートスラリーの流動特性を解析する装置を用いて、圧力・温度条件、流速と再生成挙動、付着・凝集挙動に関するデータ

取得を行った。

貯留層特性の評価では、メタンハイドレートが胚胎する砂層を模擬した珪砂試料について、広範な垂直応力下で大変位せん断試験を行い、供試体内に模擬断層を作成した結果、せん断後の孔隙率と浸透率は有効垂直応力が大きいほど低下し、有効垂直応力依存性を示した。浸透率と有効垂直応力関係について、2つの有効垂直応力範囲におけるそれぞれの関係式を得た。また、せん断後供試体からの採取試料に対して行った電子顕微鏡によるせん断層の微細構造観察により、孔隙の状態や粒子破碎がせん断時の有効垂直応力によって異なることが分かった。せん断層の粒度試験結果より、高い有効垂直応力ではせん断による粒子破碎により粘土・シルトの粒径まで細粒化したことが認められた。生産増進法の一つとして検討している通電加熱法に関してはキセノンガスハイドレートを胚胎させた東北7号珪砂堆積物および東北8号珪砂堆積物に対して、減圧法と通電加熱法を併用した場合、減圧法と比較して約1.5倍～2倍の生産速度が得られ、併用法による生産性増進の効果を明らかになった。

生産時の海底地盤の変形および坑井の健全性評価の解析精度向上のため、メタンハイドレート層の力学パラメータを実験的に継続して取得した。新たに圧力を保持した状態で力学試験が可能となる可視化型の三軸試験装置を用いて、天然コアの圧力を減ずることなく力学試験を行い、貯留層のより確度の高い力学パラメータの取得を行った。また、弾塑性挙動解析用の新たなモデルを組み込み、地層変形シミュレータの精度向上を図った。また、坑井にかかる応力を評価するために、ケーシング、セメントおよび地層の各材料間の接触面のさらなる実験データ取得や数値解析を行うとともに、海洋産出試験で使用したグラベルバックの設計条件を整理し、今後の出砂対策を検討するために、生産井周辺に配置するグラベル厚さとメタンハイドレート層を構成する砂の貫入深さとの関係の予備的検討を実施し、より長期間の生産ではグラベルの鉛直方向の拘束などの措置を講じることが必要などの設計条件を示唆した。さらに、第1回海洋産出試験結果の検証用に出砂評価試験装置を導入した。浸透率低下モデル式の組み込みに必要な主要パラメータを明らかにするとともに、生産挙動シミュレータに組み込むための陽的結合と繰返し法の組合せを提案した。

メタンハイドレート研究アライアンス事業において、企業、大学が参加する生産手法開発グループを運営し、それぞれ3回の意見交換会および進捗状況検討会を開催した。また、大学研修生受入れ15件、企業への技術移転3件等の人材育成を行ったほか、実験教室開催7回や依頼講演等を通じ、国民との対話を推進した。加えて、他機関と連携して地方でシンポジウムを企画・開催やメタンハイドレート研究に関する2回の講演会を開催したほか、国内のメタンハイドレート関連研究者が一同に会した第6回メタンハイドレート総合シンポジウムを開催

した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】メタンハイドレート、貯留層特性、生産シミュレータ、地層変形シミュレータ、エネルギー効率、天然ガス、生産技術、原位置計測技術、熱特性、力学特性、圧密特性、相対浸透率、流動障害

【テーマ題目2】ガスハイドレート機能活用技術の開発

【研究代表者】成田 英夫

(メタンハイドレート研究センター)

【研究担当者】海老沼 孝郎、天満 則夫、長尾 二郎、神 裕介、今野 義浩、木田 真人、皆川 秀紀、山本 佳孝、室町 実大、清野 文雄(兼務)、前川 竜男(兼務)  
(常勤職員11名、他6名)

【研究内容】

ガスハイドレートは、水分子で構成される籠状構造の中にガス分子を包みこんだ低温・高圧下で安定な固体物質であり、高いガス包蔵性、大きな生成・融解潜熱、高い温度・圧力応答性、高い反応選択性を有する等の機能的特徴を持っている。これらの物理的な性質を活用した工業技術を創出するために、ガスハイドレートおよびセミクラスレートハイドレート(準包接水和物)を利用した天然ガス輸送・貯蔵技術の開発、効率的熱媒体の開発およびガス分離技術の開発を行った。

ガスハイドレートによる省エネルギー的天然ガス輸送・貯蔵技術においては、ガスハイドレートをより高温・低圧で分解抑制するため、加圧による分解抑制効果の定量的分析を行い、メタンハイドレートの分解をより高温まで制御可能とするとともに、この効果による製造設備のコスト削減に関するFSを開始した。超音波霧化法による低温低圧ハイドレート生成においては、生成率の経時変化を測定し、CO<sub>2</sub>分子の拡散に基づく生成速度モデルにより解析した。昨年度に引き続き、反応後期での反応率低下の要因について、伝熱および力学的な観点から考察を行った。生成熱による生成障害の影響を伝熱モデルにより見積もったところ、生成速度を低下させる効果があることが分かった。力学特性の評価では、生成に伴う膨張圧と降伏応力の関係式を導出し、生成速度への影響を検討した。膨張圧の値は未知であるが、ハイドレートの応力に比べて十分大きいと予想されるため、生成障害要因としての可能性は小さいと考えられた。反応生成物の体積膨張による粒子間のCO<sub>2</sub>ガス圧の低下が挙げられる。四級アンモニウム塩(TBAB)のハイドレートを固定相とするクロマトグラフィーの溶出特性を検討した。また、ハイドレートクロマト装置を試作し溶出特性の検討を開始した。東京大学、計測フロンティア部門と連携し、ハイドレート冷熱を用いた農工融合に関する共同研究を実施した。

ガス分離技術の開発においては、ガスハイドレートの選択的なガス包蔵特性を利用して、硫化水素、CO<sub>2</sub>等のガスを分離するための研究開発を行った。ガスハイドレートと類似な水分子から成る籠状結晶構造を持ち、四級アンモニウム塩等を包接するセミクラスレートハイドレートは、常温、常圧で安定である。本研究開発では、このセミクラスレートハイドレートの中空の籠状構造に、特定のガス種を選択的に取り込ませることにより、常温、常圧でガス分離を行うものである。本年度は、ハイドレートを利用した潜熱蓄冷熱技術の開発に実績を有する民間企業と、セミクラスレートハイドレートによる排ガスからのCO<sub>2</sub>分離効率の向上を目的に、実証試験を行った。この試験にもとづく経済性の検討から、セミクラスレートハイドレートのCO<sub>2</sub>ガス包接密度などを明らかにした。

セミクラスレートハイドレートの潜熱を利用した冷熱技術の開発においては、新規冷熱媒体となる生成剤の結晶構造と熱力学特性の関係を解明した。その他、効率的にガスを包蔵するセミクラスレートハイドレートの包接密度に関する吸収量の測定などを行った。

さらに、メタンハイドレート研究アライアンス事業の一部として、工業化に関心の高い企業と大学を結集した「ガスハイドレート産業創出イノベーション」を運営し、総会のほか、講演会を開催し、産総研成果の発信、調査情報の共有等を行い、連携を促進した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ガスハイドレート、セミクラスレートハイドレート、天然ガス輸送、天然ガス貯蔵、自己保存効果、炭酸ガス分離、硫化水素分離、冷凍システム、ヒートポンプ、TBAB、THF

### ③【コンパクト化学システム研究センター】

(Research Center for Compact Chemical System)

(存続期間：2010.4.1～2017.3.31)

研究センター長：花岡 隆昌

副研究センター長：角田 達朗

首席研究員：蛭名 武雄

所在地：東北センター

人員：28名(28名)

経費：531,505千円(287,196千円)

概要：

本研究センターは、化学産業分野に求められている、グリーン・サステナブル・ケミストリー(GSC)の実現により、大量消費・廃棄型のシステムを脱し、産業の省エネルギー化と環境負荷削減に貢献することを重要な目標としている。また、電子部品・機械生産等

の「ものづくり産業」を中核とする東北地域の、地域産業競争力強化に役割を果たす。

また、本研究センターでは「持続可能社会の構築」につながる、産業からの環境負荷低減を実現するため、化学産業のプロセスイノベーションとコンパクトでシンプルな生産システム確立をミッションとし、さらに、GSC技術の他産業への適用により、東北地域のものづくり産業の低環境負荷化(グリーン化)への貢献を目指す。

上記を実現するため、(1)高温高压マイクロ化学エンジニアリング技術の開発、(2)無機材料プロセス技術の開発、(3)融合反応場技術の開発、の3つをコア技術とし、技術の高度化と社会への成果還元を目指している。また、“本格研究”推進のため、コア技術間の有機的な連携・産総研内外の異分野技術との融合を進めた。特に、外部機関とはコンソーシアム活動等を活用し、研究シーズと産業におけるニーズとのマッチング、社会への技術移転加速を促進した。

1) 高温高压マイクロ化学エンジニアリング技術の開発：化学反応プロセスの環境負荷低減に向け、高温高压状態を利用した化学プロセスは、難反応性原料の利用や特異的な反応選択性に有利であり、反応時間の大幅な短縮、生成物分離の簡素化効果が大きい。そのため、重点的に取り組んだ。具体的には、有機溶媒に替えて高温高压の水や二酸化炭素、イオン液体等の特殊環境場を利用した合成反応プロセスや分離プロセス、これらの状態に適した触媒の開発、材料製造技術の開発に取り組んできた。さらに、プロセス開発の基盤となる、各種のデバイス開発とエンジニアリング技術に取り組んだ。

上記のエンジニアリング技術は、化学産業のみならず様々な産業における環境負荷低減に寄与できる。例えば二酸化炭素塗装技術は、連携企業による製品化のための技術移転を実現した。それ以外にも、当該技術は、材料の塗布技術、コーティング、印刷、紡糸等の各種のものづくり産業において、有機溶媒の大幅使用削減や工程の簡素化、エネルギー消費削減に大きな効果があることから、技術の確立と技術移転を推し進めた。

2) 無機材料プロセス技術の開発：化学プロセスのグリーン化技術開発では、無機多孔質材料や無機層状物質は大きな役割を果たす。特に、触媒や環境浄化材料、吸着・分離材料等、また、高温や有機薬品等に暴露される部位の材料として有効である。

本研究センターでは、新規な無機材料として、粘土膜の利用技術の開発に大きな成果を挙げ、また、層状化合物やゼオライト、多孔体材料等のシリケート材料を中心とした材料創製・評価・機能化・部材化技術の研究開発にも成果を挙げてきた。粘土膜等の製品開発段階にある材料については、企業との共

同研究により技術移転を積極的に進め、コンソーシアムを活用して効率的に新たな製品化を推進した。

また、シリケート材料の合成・構造解析技術を活用して、新規な多孔質材料等の創出とそれを利用する分離膜等の部材、無機・バイオハイブリッド材料の開発を行い、プロセスへの適用を進めた。さらに、これら材料の持つ場の特性を利用し、様々な分子やイオン認識機能を高度化して計測手法へ適用するとともに、マイクロ波等の特殊環境場を利用した材料製造技術開発、材料の複合化に取り組んだ。開発材料については、耐高温高压材料、バイオプロセス材料、膜分離材料、触媒反応材料等へと発展させ、他の重点研究課題と協奏的に発展させた。この他、無機材料の特質を生かし、機能性材料への応用をユニット外部のポテンシャルとも連携して実施した。

- 3) 融合反応場技術の開発：長期的な産業競争力強化のためには、技術の融合による次世代型反応プロセスの開発が必要であり、大きな環境負荷低減が実現すると考える。このため、各種技術及び高温高压技術や材料技術による複合型の反応場利用技術を開発する。特に、複合的反応場や触媒を利用する反応プロセスのシステム化を重点的に進めた。

具体的には、触媒反応技術を中心とした水・二酸化炭素媒体と触媒開発による新規な反応系の開発や、マイクロリアクターや小型マイクロ波装置・膜型反応器と触媒反応の融合技術開発を行った。また、無機材料やプロセス技術と融合したバイオ触媒技術、シミュレーション技術等を融合した研究開発やイオン流体を用いた複合的なガス分離技術開発を進め、低環境負荷型の化学プロセス提案を目指した。

-----  
内部資金：

運営費交付金

融合・連携推進／戦略

「クレーストの高度化とガス透過度測定法の国際標準化推進」

「グラフェン系材料の電磁波対策分野への応用」

「バイオマスリファイナリー技術」

産総研-JAXA 課題解決型研究推進事業

「イオン液体を用いた極低濃度 CO<sub>2</sub>の分離回収技術の開発」

「クレースト材料を用いた再生型燃料電池用軽量タンクの検討」

外部資金：

経済産業省 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業「高压二酸化炭素の光還元に関するプロセス化技術の開発」

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発 ALCA）「反応性イオン液体のCO<sub>2</sub>吸収機構解明」

独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）「エネルギー集中型マイクロ波照射装置による微粒子表面の局所加熱効果を用いた高効率顔料表面改質プロセスと機能性顔料の実用化開発」

独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）「希釈溶剤代替として高压 CO<sub>2</sub>を用いた低環境負荷型建設機械塗装技術の実証研究」

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）「木質バイオマスの全炭素成分有効利用を目指した触媒化学変換技術の開拓」

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）「ギ酸脱水素化触媒による高压水素供給プロセスの構築」

独立行政法人 科学技術振興機構 研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）「無機有機ナノコンポジット高耐久表面処理技術の開発と宮城伝統工芸「玉虫塗」への展開」

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター（森林総研）戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）（SIP）「地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「ソルボサーマル合成による新規アルミノシリケートの創出・制御と触媒応用に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「木材資源（セルロース）から高分子原料を製造するための触媒反応技術の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A) 「セルロースから化学品への直接合成を実現する環境調和型触媒反応システムの構築」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「超臨界水還元法による銅ナノ粒子の合成及び配線用銅ナノインクの調製」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「東南極の湖沼におけるコケ坊主生物圏のゲノム解析」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「ppbレベルのナノ薄膜試験紙、実用化のための基盤技術の深化と環境試料による評価」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「イオン液体を利用した環境調和型 CO<sub>2</sub>吸収分離再生プロセスの開発」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「メソ細孔内過冷却水を反応分析場とする低温生化学実験系の構築」

発表：誌上発表55件、口頭発表175件、その他18件

#### コンパクトシステムエンジニアリングチーム

(Compact System Engineering Team)

研究チーム長：金久保 光央

(東北センター)

#### 概要：

コンパクトシステムエンジニアリングチームは、特殊反応場（超臨界流体、高温高压流体、イオン液体等）を利用した低環境負荷、シンプル、コンパクトで高効率、高選択的な物質合成技術を開発するとともに、高压マイクロデバイス技術の開発や、熱や流体の高度な数値解析技術をベースとして、分散適量生産が可能なコンパクト化学プロセスを工業化技術として確立することを目的としている。また、本チームは産総研における関連分野のエンジニアリング拠点として機能することを目指している。

高温高压エンジニアリング技術として、低粘度から極めて高粘度の流体を対象とできるマイクロデバイスを開発し、各種マイクロ化学プロセスへの適用を図っている。二酸化炭素を用いた粘度低減・霧化技術による革新的な塗装プロセスや最先端ものづくり技術の開発、高压二酸化炭素を利用した樹脂加工技術の開発、高温高压水による金属酸化ナノ粒子合成の体系化を行っている。さらに、イオン液体を用いたガス分離・精製プロセスの開発とその特性評価及びイオン液体の新規分野の開拓を実施している。

研究テーマ：高温高压エンジニアリング技術の開発、水・CO<sub>2</sub>を媒体とした脱有機溶媒型製造プロセスの開発、イオン液体を用いたガス分離・精製プロセスやガス空調システムの開発

#### 触媒反応チーム

(Catalysis Team)

研究チーム長：山口 有朋

(東北センター)

#### 概要：

触媒反応チームでは、水や二酸化炭素の高温高压場等を利用することで、有害な化学物質の使用を極力抑え、有害廃棄物の排出を最小化し、かつ省エネルギー型の有用化学物質合成法の確立を目指し、固体触媒表面上での反応挙動をその場観察する基礎的研究から、新規な触媒や反応器の開発、そして化学プロセス開発といった製品化研究まで行っている。

具体的には、1)超臨界二酸化炭素溶媒と固体触媒を利用する多相系システムにより、医薬品中間体や化学品原料の合成反応について検討を行っている。このシステムでは、これまでの液相系や有機溶媒利用プロセスに対して、反応の高速化とそれに伴う反応温度の低下、装置のコンパクト化、生成物分離工程簡略化、触媒寿命向上等の長を有する。2)高温水や超臨界水を用いる化学品原料製造システムでは、種々のバイオマス由来物や廃棄物から有用化学物質への変換やガス化技術、さらに、プラスチック等高分子のケミカルリサイクル研究を実施した。バイオマスに含まれるセルロース、ヘミセルロース、リグニンを有用化学物質へ変換する研究を実施している。以上の研究を中心に、その場観察する基礎的研究から、高機能触媒開発や新たな反応系の開拓を行い、触媒反応プロセスの実用化を目指している。

研究テーマ：超臨界二酸化炭素を利用する固体触媒反応、高温水を利用する触媒反応

#### 化学プロセス強化チーム

(Chemical Process Intensification Team)

研究チーム長：宮沢 哲

(東北センター)

#### 概要：

化学プロセス強化チームでは、持続可能な社会の実現に向けた環境負荷を低減するための新規な反応場であるマイクロリアクター技術、マイクロ波利用技術を用いた化学品製造プロセスおよび省エネ機能部材の開発を行っている。

##### 1) マイクロ波装置技術の高度化に関する研究

各種装置への組込を指向したマイクロ波照射に必要な発信器、共振器、チューナー等のコンパクト化ならびにマイクロ波を利用した化学反応場の計測技術に関する研究を展開している。

##### 2) マイクロ波加熱を利用した機能性材料創製に関する研究

マイクロ波の特徴である選択加熱を利用した反応場設計とこれを利用したハイスループットな省エネ機能部材の開発を行っている。省エネ機能部材として貴金属ナノ粒子、有機-無機ハイブリッ

ド材料、光応答性材料等を開発ならびに大学、企業等との連携を通じた実用化開発にも積極的に取り組んでいる。

### 3) マイクロリアクターを利用した製造技術に関する研究

マイクロリアクターの特徴である精密な混合・温度制御を利用して有機アルミニウム等の危険性の高い化学薬品を安全に取り扱い可能な合成プロセスの構築に取り組んでいる。

研究テーマ：マイクロ波装置技術の高度化に関する研究、マイクロ波加熱を利用した機能性材料創製に関する研究、マイクロリアクターを利用した材料創製に関する研究

### 有機材料合成チーム

(Organic Material Synthesis Team)

研究チーム長：川波 肇

(東北センター)

#### 概要：

有機材料合成チームでは、今まで蓄積してきた高温高圧技術とマイクロ空間技術を主とした、様々な有機化合物や有機材料を合成する基盤技術を用いて、社会（主に化学産業）ニーズに柔軟に対応しながら、求め期待される各種有機化合物合成等を通じ、これらの合成プロセス技術の高度化を図り、モノづくり産業の低環境負荷に貢献、更に新たなグリーンイノベーションを引き起こすことを目指している。

具体的には、マイクロ反応場と高温高圧水との協奏による、有機溶媒を限りなく排除した水中でのクロスカップリングや縮合反応等の有機合成プロセスや、粒径が高度に制御された有機ナノ粒子合成法等の研究・開発を行っている。また超臨界二酸化炭素を反応媒体とした酸化還元、特に金属ナノ粒子担持メソポーラスシリカ触媒による還元法を行い、各種化成品の還元だけではなく、バイオマス由来の化合物変換技術等へも応用している。

研究テーマ：高温高圧技術およびマイクロリアクター技術を駆使した水や二酸化炭素を媒体とする連続的有機合成・材料合成技術の開発、マイクロリアクター技術を用いたポリマー微粒子合成技術の展開

### 機能性ナノポーラス材料チーム

(Functional Nano-porous Materials Team)

研究チーム長：佐藤 剛一

(東北センター)

#### 概要：

機能性ナノポーラス材料チームでは、低環境負荷でコンパクトな化学システムの実現に向けて、高度な分子認識能、吸脱着機能、触媒機能、分離機能等を持つ

新規材料の開発と解析、膜化等の部材化やモジュール化の技術開発を行ってきた。

材料創成では、ナノメートルサイズの空間や規則構造を持つゼオライト、メソポーラス物質、層状化合物など、幅広い多孔質材料を対象とし、マイクロ・ナノ構造、材料物性や機能を詳細に解明することで、高性能なナノ空間材料の設計と合成法を開発している。同時に、機能性有機分子等との複合材料開発や高機能膜部材の開発等を目指している。

また、材料利用では、ポーラス構造を活用した化学反応用触媒、膜部材の気相・液相での選択的分離精製や環境浄化利用、膜触媒によるメンブレンリアクター等への応用を進めている。

研究テーマ：多孔質無機材料の開発、マイクロ・ナノ構造や材料物性の解明技術の開発、高度複合化機能性材料の開発、機能化多孔質材料の部材化と応用分野開拓

### 先進機能材料チーム

(Advanced Functional Materials Team)

研究チーム長：石井 亮

(東北センター)

#### 概要：

先進機能材料チームでは、様々な素材から機能性材料を効率的に作製する材料プロセス技術並びに材料機能の応用開発に取り組んでいる。

具体的には、超臨界水を利用した酸化ナノ結晶の合成（高速晶析反応）、水熱プロセスによる無機材料の合成、層状粘土鉱物の水への分散と積層化による粘土膜の作製及びその応用を、プロセス技術開発並びに新材料開発のターゲットとしている。

環境負荷の小さい材料製造プロセスを実現するため、媒体として“水”の利用を積極的に行っている。また、原料の選択においても天然鉱物資源、バイオマス等の低環境負荷資源の利用を重視している。

材料機能の応用例として、1)ナノ粒子合成を基礎とする蛍光体や導電性ペーストの開発、2)高選択性イオン分離材の合成、3)粘土素材を利用したシート材製造及び太陽電池部材への応用、4)無機有機複合構造を有する機能化膜、等がある。

材料の作製プロセスの要素技術を押さえ、技術移転の基礎を固める。他チームや外部との連携により、膜、触媒、等への応用展開のシナリオの明確化に取り組んだ。特に、低炭素社会の実現に寄与する用途等への展開に取り組んでいる。また、東北地域の企業との連携に基づく産業振興に努めた。

研究テーマ：ナノ粒子合成を基礎とする機能材料の開発、高選択イオン分離、機能性粘土膜の開発と実用展開に関する研究



## 無機生体機能集積チーム

(Bio-Inorganic Materials Property Integration Team)

研究チーム長：角田 達朗

(東北センター)

## 概要：

無機生体機能集積チームでは、低環境負荷で高効率な化学プロセスを実現するため、生体高分子材料、特に、酵素の特性・機能の積極的な利用を実現するため、無機多孔質材料との複合化を中心に融合領域における技術開発を行っている。

## 1) 生体高分子と無機材料との複合化による新規機能発現とその利用

タンパク質等の生体高分子と無機多孔質体をはじめとする無機材料との組み合わせにより、酵素の高度利用、酵素リアクターの開発、酵素機能を利用したセンサー等のデバイス開発、およびエネルギー変換技術の開発等、新規機能発現とその利用を積極的に展開している。

## 2) 機能融合材料設計技術の開発

多孔質材料が有する特異空間と酵素などの生体高分子とを組み合わせた双方の機能集積による新機能創出とその利用の研究を材料開発面から支える、部材開発を行う。無機多孔質材料と生体高分子の機能集積により発現する機能を利用した化学システムの開発のために、重要となる生体高分子の担体としての多孔質材料について、目的に応じたマイクロ及びメソポーラス材料を設計・合成・評価し、さらには各種表面処理等を行うことで、分離膜部材、生体分子等の固定化材料、マイクロリアクター部材等として利用可能とするための技術開発を実施する。

## 3) タンパク質のリフォールディング技術の確立

大腸菌発現系等により産生されたタンパク質において、しばしば問題となる封入体形成を解決するため、タンパク質の可溶化、機能回復法として有効なゼオライトを用いた手法の技術的確立、技術の質的向上、最適化、適用例の蓄積を目指している。

研究テーマ：生体高分子と無機材料との複合化による新規機能発現とその利用、機能融合材料設計技術の開発、タンパク質のリフォールディング技術の確立、酵素利用反応プロセスの開発

## [テーマ題目1] 高温高圧マイクロ化学エンジニアリング技術の開発

[研究代表者] 花岡 隆昌 (コンパクト化学システム研究センター)

[研究担当者] 花岡 隆昌、相澤 崇史、増田 善雄、川崎 慎一朗、藤井 達也、川波 肇、石坂 孝之、永翁 龍一、横山 敏郎、

小野 實信、大川原 竜人、櫻井 優子、畑田 清隆、井口 昌幸、Chatterjee Maya、砂金 正芳、小川 佳代子、八重嶋 早枝子、藤山 仁美 (常勤職員8名、他11名)

## [研究内容]

高圧二酸化炭素を利用し、スプレー塗装におけるVOC排出を大幅に抑制する技術を開発してきた。本技術 (CAT: CO<sub>2</sub> Atomizing Technology) は、薄膜コーティングや微粒子製造等の高粘性の有機物を扱うモノづくり工程に広く応用が可能である。また、二酸化炭素を有機溶媒代替として環境負荷の低減とプロセスの高効率化を提案するものであり、様々な噴霧試験に対応できるような基盤的利用施設の整備を進めた結果、多数の民間企業との共同研究の加速的な実施につながった。

さらに、高温高圧水とマイクロリアクター技術を融合した新規な化学プロセスに対応できる装置を開発した。この反応装置により、様々な有機合成反応が水を媒体として実現でき、同時に従来に比べ装置の大幅な小型化と省エネ化が達成されることを示し、多くの共同研究につながった。また、燃料電池触媒等に应用する金属微粒子の高速高効率な連続合成技術を開発してきた。例えば、多段マイクロ合成技術を駆使した金、白金等のコア・シェル金属微粒子、ポリマー (ポリイミド) 微粒子への応用に発展させ、新しい材料の製造方法として提案した。また、高圧二酸化炭素を利用したプラスチックの加工技術について、公設研との連携により取り組み、基盤的な可能性を実証した。

## [分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 高温高圧、マイクロリアクター、マイクロデバイス、超臨界面、超臨界二酸化炭素、脱有機溶媒、流体特性、反応場観測、反応場制御、有機合成

## [テーマ題目2] 無機材料プロセス技術の開発

[研究代表者] 花岡 隆昌 (コンパクト化学システム研究センター)

[研究担当者] 花岡 隆昌、角田 達朗、蛭名 武雄、石井 亮、林 拓道、和久井 喜人、中村 考志、佐藤 剛一、清住 嘉道、長瀬 多加子、池田 拓史、長谷川 泰久、日吉 範人、岩田 伸一、鈴木 麻実、庄司 絵梨子、志村 瑞己、夏井 真由美、阿部 千枝、亀山 嘉裕、羅 紅岩、外門 恵美子 (常勤職員13名、他9名)

## [研究内容]

化学プロセスのグリーン化やシンプル化技術の開発では、無機多孔質材料や無機層状物質は大きな役割を果たしてきた。特に、触媒や環境浄化材料、吸着・分離材料

等として用いられ、また、高温や有機薬品等に暴露される部位の材料として使用されている。

粘土を主成分とする新しい膜材料「クレスト」は、高いガスバリア性や耐熱性、不燃性を持つため、次世代シート材としての利用が期待される。これまでに用途としての展開として、i) 透明耐熱材の開発、ii) クレストのガスバリア層を含む燃料電池車用水素タンクの作製、iii) 薄膜太陽電池等次世代電子デバイスに使用可能な超水蒸気バリア膜に展開してきた。さらに、原料粘土の低コスト生産方法を検討した。また、ユーザー企業との連携を目指した体制 (Clayteam コンソーシアム) による技術移転を促進している。

ナノメートルサイズの空間や、規則構造を持つ無機材料の合成、構成元素の特性を生かした機能化、様々な分子の特性を生かした複合化により高度の分子認識触媒機能、分離機能等を付与した材料の利用では、膜部材化による気相・液相での選択的分離精製、環境浄化・殺菌、高性能触媒への応用を進めた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】粘土膜、高温シール材、ガスバリア、水素タンク、粘土膜、耐熱性、難燃性、ゼオライト、水熱合成、パラジウム膜、ゼオライト膜、メンブレンリアクター、膜反応、分離機能、膜透過機能、層状珪酸塩、構造解析

【テーマ題目3】融合反応場技術の開発

【研究代表者】花岡 隆昌 (コンパクト化学システム研究センター)

【研究担当者】花岡 隆昌、金久保 光央、牧野 貴至、山口 有朋、佐藤 修、三村 直樹、宮沢 哲、佐藤 剛一、西岡 将輝、角田 達朗、伊藤 徹二、松浦 俊一、新妻 依利子、久保山 周子、渡邊 紘章、佐藤 富人、川内 亮子、宮川 正人、小野寺 亜由美、松浦 和佳子、佐藤 恭子、村上 由香、村松 なつみ、勝又 昌代、加藤 恵莉、千葉 真奈美 (常勤職員12名、他14名)

【研究内容】

産業競争力強化のためには、技術の融合による次世代型反応プロセスの開発が必要であり、それにより大きな環境負荷低減が実現する。このため、高温高圧技術やそれによる特殊環境、新材料との融合による複合型反応場を利用した反応システムを開発してきた。

具体的には、水・二酸化炭素媒体、高温高圧場と触媒の最適融合による新規な反応システムの開発や、小型マイクロ波装置・膜型反応器と触媒反応との融合による新規反応場の開発と利用技術の研究を行った。特に、再生可能原料としてのバイオマスを原料とした変換反応にお

いて、高温水反応の適用の有効性を実証することができた。また、無機材料と生体高分子並びにプロセス技術とを融合したバイオ触媒技術に取り組んだ。例えば、酵素等の生体高分子を無機多孔質材料のナノ空間に固定することにより、酵素の立体構造、熱的、機械的な安定性を飛躍的に向上させ、酵素の高い特異性を高度に利用してきた。また、不揮発・難燃性のイオン液体を特徴的な反応場としたガス吸収再生システムの開発を進め、低環境負荷型のプロセスの提案を行い、プロジェクトの中心技術として研究開発を実施した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】無機-バイオ複合、タンパク質リフォールディング、固定化酵素、酵素センサー、イオン性流体、二酸化炭素分離、マイクロ波、マイクロ波反応場、ナノ粒子、固体触媒

#### ④【先進パワーエレクトロニクス研究センター】

(Advanced Power Electronics Research Center)

(存続期間：2010.4.1～2018.3.31)

研究センター長：奥村 元

副研究センター長：山口 浩、坂本 邦博

所在地：つくば中央第2、つくば西

人員：24名 (24名)

経費：2,336,598千円 (591,800千円)

概要：

21世紀社会におけるエネルギー流、情報流、物流における電力エネルギーの重要性は今後ますます増大していく。電力エネルギーの有効利用は、省エネルギー、新産業創出によるトリレンマ解決のキーである。産総研発足時から一貫して行われてきたパワーエレクトロニクスに関する革新的な技術開発をミッションとする当研究センターは、エネルギーの最も合理的な利用形態である電力エネルギーにおける省エネルギー技術および新エネルギーの大量導入のための高効率電力変換技術等、大容量から小容量までの電力エネルギー制御・有効利用のための半導体エレクトロニクス (デバイス/機器応用) の実証と確立を目指す。

特に、過負荷耐性などの極限仕様への対応が期待される SiC や GaN などのワイドギャップ半導体デバイス/システムの電力エネルギー制御への活用を中心課題に据えるとともに、それらによるパワーエレクトロニクス技術の革新、大/中/小の各容量における電力エネルギーのネットワーク化運用・制御の実現を念頭に、エネルギーエレクトロニクス領域への展開を図る。その目標の達成のために、ウェハプロセス、エピタキシャル成長、SiC パワーデバイス、SiC デバイスプロ

セス、SiC デバイス設計、超高耐圧デバイス、GaN パワーデバイス、パワー回路集積、パワーエレクトロニクス応用チームの9つの研究チームを組織し、有機的な協同体制で上記の新規半導体のデバイス化には不可欠な「結晶ーデバイスプロセスーデバイス実証ーパワーモジュール化ー機器応用」の各段階の技術に関する一環本格研究を強力に推進する。

本年度の研究内容としては、技術研究組合「次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構（FUPET）」を活用した NEDO プロ「新材料パワー半導体」プロジェクト（平成22～26年度）や内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代パワーエレクトロニクス/SiC に関する拠点型共通基盤技術開発」における研究拠点としての活動や SiC 低損失スイッチングデバイス/電力変換器実証に関する企業との大型共同研究を中心に進めた。また、当研究センターはこれらの複数の大型プロジェクトを実施するため、企業研究者を特定集中研究専門員として積極的に受入れるなど、各種企業と密接な連携のもとに研究開発を遂行するなど、常勤研究員だけでなく、共同研究員、併任研究員、ポスドク、補助員等の契約職員、各種フェロー、連携大学院生を積極的に活用して研究活動を行い、総勢200名超の組織となっている。

内部資金：

TPEC 活用パワーエレクトロニクス研究

SiC ベア・エピウエハ評価法の国内及び国際標準化

外部資金：

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）/次世代パワーエレクトロニクス/SiC に関する拠点型共通基盤技術開発/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）/次世代パワーエレクトロニクス/GaN に関する拠点型共通基盤技術開発/GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発  
拡散接合法による SiC 素子用高信頼性冷却（放熱）基盤の開発

新規界面原子導入による高移動度 SiC MOSFET 作製技術の確立

炭化ケイ素（SiC）MOS 界面欠陥の起源と移動度劣化メカニズムの分光学的解明

発表：誌上発表31件、口頭発表78件、その他0件

ウエハプロセスチーム

（Wafer Process Team）

研究チーム長：加藤 智久

（つくば西）

概要：

当チームでは、SiC バルク単結晶の伝導度制御技術および溶液法による高品質成長技術、高速高品質ウエハ加工技術の開発を行っている。

ウエハ伝導度の低抵抗化を目的にした昇華法による高ドーピング SiC 単結晶成長技術の開発では、高濃度 n 型領域（キャリア濃度： $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上）において積層欠陥を発生させないドーピング方法を見いだした。Si 融掖を使った SiC 溶液成長技術の開発では、n 型結晶育成でマクロ欠陥が発生しやすい問題に対し、成長面の過飽和度制御方法を改善し、2インチ径20mm 以上の結晶を実現した。また、比抵抗約  $60 \text{m}\Omega \text{cm}$  の低抵抗 p 型 SiC バルク結晶を得た。SiC ウエハ加工技術の開発では、6inch の大口径ウエハにおいて、バルク結晶の切断から仕上げ研磨までの一貫工程を10時間以内に完了する高速高品質プロセス技術を確立した。

エピタキシャル成長チーム

（Epitaxial Growth Team）

研究チーム長：児島 一聡

（つくば中央第2、つくば西）

概要：

当チームでは、SiC エピタキシャル薄膜成長技術とその材料評価を中軸に、大口径並びに高速エピタキシャル成長技術の開発とその材料評価の高度化を行い、SiC パワーデバイスの早期普及に資する材料開発を目指すとともに、低オフ角化技術、埋め込みエピ技術、高品質多層厚膜化技術といった SiC デバイスの高機能化に資する新規 SiC 薄膜成長技術の開発を推進した。6インチエピタキシャルウエハでは、一度に3枚のエピタキシャル成長で  $42 \mu\text{m/h}$  の高速成長と高均一・低欠陥化を達成し、6インチプロセスの垂直立ち上げに資する成果を得た。2° オフウエハ、微傾斜ウエハにおいても  $10 \mu\text{m/h}$  前後の成長速度ながら4° オフウエハと同等以上の高均一、低欠陥化が可能なエピタキシャル成長技術を開発した。

新規高均一高速エピタキシャル成長技術では4° オフウエハで  $67 \mu\text{m/h}$  の成長速度で8° オフウエハと同等の平坦なエピ膜を実現できる技術を開発した。

トレンチ埋め込みによる SJ 構造形成では、HCL ガス添加によるエッチング効果により、メサトップの成長は抑制しつつ、トレンチ底の成長を行うという選択成長技術を開発し、深さ  $10 \mu\text{m}$  のトレンチを3インチほぼ全面で埋め込むことに成功した。

新規評価技術においては KEK において回折系と X 線 CCD カメラによる X 線回折イメージ取得の連動を行うとともに、画像解析ソフトウエアを導入し、ウエハの2次元評価機構を整備、試行実験に成功した。

**SiC パワーデバイスチーム**  
(SiC Power Device Team)

研究チーム長：原田 信介

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、本格的実用化へ向けた大面積 SiC パワーデバイスの開発・応用展開を企業・大学との共同研究を通じて進めると共に、複数の国家プロジェクトを通じて新構造かつ先進的な SiC パワー MOSFET の開発推進を目標としている。また、MOSFET のゲート酸化膜形成に関し先進的なプロセス技術、評価技術の開発にも積極的に挑戦し、SiC パワーデバイスの更なる高性能化を追求している。

平成26年度は、トレンチ型 MOSFET において、移動度と安定性を両立するゲート酸化膜およびトレンチゲート形成技術を開発し、更にトレンチ MOSFET の独自構造を開発することで、3.3kV クラスにおいて耐圧3,800V、特性オン抵抗 $8.3\text{m}\Omega\text{cm}^2$ という SiC-MOSFET の世界最小オン抵抗を実現した。またスーパージャンクション構造形成技術の開発においては、マルチエピタキシャル成長技術を開発し耐圧2060V、ドリフト抵抗 $1.12\text{m}\Omega\text{cm}^2$ と SiC 理論限界のドリフト層抵抗を45%低減することを実証した。埋戻しエピ法ではエッチング条件の最適化と塩素ガスをうまく活用することで、深さ50 $\mu\text{m}$  のトレンチ形成と深さ9 $\mu\text{m}$  の埋戻しエピに成功した。MOS 界面評価に関しては過渡応答現象を利用した界面準位評価手法及び XRR 法による SiC-MOS 構造解析手法を確立した。また、極低温でのサブスレショルド特性から伝導帯端の界面準位密度が得られることを示し、これまで認知・評価されてこなかった伝導帯端の界面準位が移動度抑制原因であると明らかにした。

**SiC デバイスプロセスチーム**  
(SiC Device Process Team)

研究チーム長：宮島 將昭

(つくば西)

概要：

当チームでは、産業界への橋渡し後期にあたる SiC デバイスの製造プロセスにおける研究開発を進め、それらの量産化試作実証を行うことを目的とする。産総研の西事業所5D 棟に SiC 専用のクリーンルームを構築し、プロセス装置の導入、立上げ、および条件出しを行う。平成26年度の実績としては、付帯施設及び装置運用方法の改善を行い、5月よりクリーンルームの24時間連続稼働を開始。これにより従来3ヶ月を必要としていたサンプル作製期間を2ヶ月に短縮する事が可能となった。新たなデバイスとしてはトレンチエッチング装置を導入し、耐圧1.2KV 及び3.3KV のトレンチ MOS の試作を進め、実用的な作製プロセス確

立の目処をつけた。

**SiC デバイス設計チーム**  
(SiC Device Design Team)

研究チーム長：大西 泰彦

(つくば西)

概要：

当チームでは、市場より要求される低損失な SiC パワーデバイス、更には高信頼性な SiC パワーデバイスの設計・開発を進め、それらの量産化試作実証を行なうことを目的としている。そのため、産総研の西事業所5D 棟にある SiC 専用のクリーンルームを活用し、長期信頼性での特性変動を抑制したデバイス構造の創出、高歩留りを達成するデバイス構造の最適化を行っている。

平成26年度は、NEDO プロで研究・開発された IE 型トレンチ MOSFET のプロセスを西事業所5D 棟の試作量産ラインに移植し、低オン抵抗化が可能なトレンチ MOSFET のプロセスインテグレーションおよびデバイス開発を推進した。作製した3mm 角の1200V IE 型トレンチ MOSFET は、デバイス構造及び不純物濃度の最適化により、耐圧1500V、オン抵抗 $6\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 、しきい値5V を達成した。また、3300V IEMOS の開発では、CSL 層の最適化により業界最高レベルのオン抵抗と高  $V_{th}$  化を実現するとともに、サンプル評価においては1200V のほか600V クラスの低損失 IEMOS の展開を積極的に行った。更には、SiC デバイスプロセスチームと歩留り改善を推進し、3mm 角 IEMOS の歩留りを前年の50%から68%に改善した。

**超高耐圧デバイスチーム**

(Ultra High-Voltage Device Team)

研究チーム長：米澤 喜幸

(つくば西)

概要：

当チームでは、パワーエレクトロニクス応用に向けて、パワーデバイスにおける様々な問題の解決を目指し、メカニズム解析を念頭に置いた、基礎検討からのアプローチを行っている。具体的には、バイポーラデバイス要素技術、ゲート酸化膜要素技術を行うとともに、デバイス開発においては、特にスマートグリッドや直流送電システムのパワーエレクトロニクス機器応用を目指した、10kV 以上の超高耐圧 SiC デバイスに関する研究開発を SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) を中心に進めている。

バイポーラ要素技術としては、PiN ダイオードのカソード、IGBT のコレクタにおいて、スイッチング損失低減のために、ホール注入制御技術に取り組んだ。電極構造の工夫と、ICL 層 (Injection Control

Layer) によりホール注入を抑制できることを実証した。

また過去の FIRST プログラムで問題となった、P++コレクタ層による問題解決を目指して、自立 n-エピ基板を用いた試作準備を、SiC デバイスプロセスチーム、ウエハプロセスチームとともに行った。具体的には量産試作ラインにおける、透明薄ウエハの流動検討である。透明ウエハ流動におけるは対策を行うことができ、n-自立エピ基板を用いた、IGBT 試作を開始することができた。

一方、酸化膜検討に関しては新規に B ドープによる界面特性の向上及び解析を行った。結果としてアクセプタである B を用いて移動度の向上を図ることに成功し、論文を投稿し採択された。

次年度は、導通損とスイッチング損のトレードオフを解決していくことを目指し、ホール注入制御された、20kV 耐圧 PiN ダイオードの実証、ホール注入コントロールを行った IGBT の検討及びこれらを支える要素技術に関する検討を行い、低炭素社会に向けて必要な、新規 SiC 超高耐圧デバイスの実現に向けて開発を進める予定である。

#### GaN パワーデバイスチーム

(GaN Power Device Team)

研究チーム長：清水 三聡

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、結晶成長技術開発、デバイス設計・プロセス開発、回路設計技術を通して GaN 半導体を用いた低損失電力素子の実用化を図ることを目的とする。

GaN on Si 技術は6~8inch のシリコン基板上に MOCVD によりデバイス構造を製作するウエハ技術であり、低価格化が可能なことから応用範囲が広がりパワーデバイスのみならず LED などにも使用が始まっている。GaN on Si ウエハを用いた AlGaN/GaN HEMT パワーデバイスは用途が広いことから家電メーカー等が注目しており、当チームでは、GaN on Si 技術を用いた AlGaN/GaN パワーデバイスの信頼性評価技術、及びスイッチング回路への応用のための等価回路を用いた設計技術の開発を行っている。

GaN 単結晶上の縦型デバイス技術は、イオン注入が不可能なことから一般的なパワーデバイスへの応用は不可能であり、高周波等の限定された応用先が考えられる。当チームでは、縦型パワーデバイスの設計製作に必要となる低濃度のドーピング技術を開発している。

また、さらにシーズ発掘が重要であると考え、新しい成長技術、デバイス構造、用途などの開拓を行っている。

#### パワー回路集積チーム

(Power Circuit Integration Team)

研究チーム長：佐藤 弘

(つくば中央第2)

概要：

SiC などワイドギャップ半導体パワーデバイスの、高性能かつ超低損失な特長を活かした、高機能・小型・低消費電力の電力変換装置実用化のための基盤技術研究開発を目的とする。平成26年度は、これまで研究を進めてきた Ag 添加 Au-Ge 接合について高度化を行い、ボイドの発生を解消し、高強度化および高信頼性に成功した。貴金属を用いない低価格な接合材料として期待される Cu-Sn 金属ペーストを用いた接合技術では、示唆熱走査熱量測定にて遷移的液相焼結の反応温度を推定、これをもとに実際にパワーデバイスの耐高温接合が可能であることを明らかにした。両面接合技術に向けたソース・ゲート側接合技術では、Au バンプ、AL バンプを用いた接合技術をそれぞれ評価し、AL バンプのほうが高温放置試験・冷熱サイクル試験において高い信頼性を示すことを明らかにした。Au-Ge はんだ、AL バンプを用いて、実際に SiC パワーデバイスをセラミクス基板2枚で挟むように作製した両面接合モジュールを作製した。ベースプレートに、線膨張係数 (CTE) の異なる3種類の金属 (AL, Cu, SUS410) を用いたところ、-40℃~+250℃冷熱サイクル試験にて、金属の CTE がセラミクス基板の CTE に近いほど信頼性が高くなることを、超音波探傷試験および過渡熱試験にて明らかにした。これら技術を用いて作製した実 SiC 両面モジュールにて、225℃におけるダブルパルス試験を行ったところ、モジュールに組み込んだ高耐熱受動部品 (抵抗、コンデンサ) を用いたスナバ回路により、サージ電圧やリングングを抑制できることを明らかにした。また、連続通電試験にて、モジュールの自己発熱15分で200℃に制御したが、その状態で正常に動作することを確認した。

#### パワーエレクトロニクス応用チーム

(Power Electronics Application Team)

研究チーム長：坂本 邦博

(つくば西)

概要：

当チームでは、SiC パワーデバイスの大量導入が期待される自動車用の民生用途から、高エネルギー加速器電源のような特殊用途にいたる、幅広い電力変換分野での SiC パワーエレクトロニクスの応用開拓を目指し、SiC パワーデバイスの特長を発揮する高性能モジュール実装技術の開発を進めている。平成26年度は、民間企業と共同で、SiC パワーデバイスの高速動作に適合する低インダクタンス汎用モジュールパッケ

ージを開発し、高速スイッチング動作を確認した。また、応用に特化した小型 EV 駆動専用モジュールの設計試作も行った。昨年度に引き続き、産総研で試作した SBD、MOSFET チップを、本実装ラインで標準パッケージに組み立てて、応用開発を行う共同研究パートナーに提供している。

研究テーマ：テーマ題目

### ⑤【太陽光発電工学研究センター】

(Research Center for Photovoltaic Technologies)

(存続期間：2011.4.1～2015.3.31)

研究センター長：仁木 栄

副研究センター長：松原 浩司

所在地：つくば中央第2、つくば中央第5、九州センター

人員：26名 (26名)

経費：1,284,344千円 (479,763千円)

概要：

人類の持続的発展のためには環境に配慮したエネルギーの確保が最重要課題であり、自然エネルギーへの期待が高まっている。その中でも無尽蔵な太陽光をエネルギー源とする太陽光発電は、設置制約が少なく温室効果ガスの削減も期待できるなど、世界的に注目を集めている。このような背景の中、2011年に前身の太陽光発電研究センター（2004-2010年）を発展的に解消し、産総研が太陽光発電研究に対して戦略的に取り組む拠点として新たに太陽光発電工学研究センターが設立された。

産総研の第3期ミッションである“21世紀型課題の解決のためのグリーンイノベーションの推進”を支える中核ユニットとして、エネルギー供給の安全保障と低炭素化、経済発展、国内雇用創出を同時に実現するために、太陽光発電に関連する技術分野に体系的かつ包括的に取り組み太陽光発電の技術及び普及の持続的発展に貢献することをミッションとする。

そのために、

- 1) 民間企業とのコンソーシアム等を通じたデバイス、システムの技術開発、
- 2) 産業基盤となる一次基準セル校正、デバイス、システムの中立評価、
- 3) 長期的視点からの革新的基礎技術の開発、を3つの柱として推進する。  
さらに技術開発と並行して、
- 4) 健全な技術競争を醸成するために、ユーザ視点に立った国際標準の確立への貢献、
- 5) 研究開発成果を広く普及させ、地域センターと連携した地域経済活性化への貢献、

に注力している。

具体的な研究テーマとしては、各種太陽電池の高性能化技術、モジュールの信頼性評価・向上技術、太陽電池の校正・性能評価技術、安全安心な太陽光発電を実現するための技術など幅広い研究テーマに取り組んでいる。各研究テーマ間の有機的な連携を図りながら太陽光発電に関する中核機関として太陽光発電の発展に貢献する。

内部資金：

重点研究加速予算（戦略予算）「メガソーラーの長寿命化技術」

融合・連携推進予算（戦略予算）「有機薄膜太陽電池の屋内用途試験・評価方法の国際標準化の技術開発」

外部資金：

経済産業省 平成25年度国際エネルギー使用合理化等対策事業委託費「省エネルギー等普及基盤構築支援調査事業：太陽電池モジュール出力測定及び信頼性評価規格に関する技術的協力支援事業」

経済産業省 日米等エネルギー環境技術研究・標準化協力事業「太陽電池の耐久性・信頼性と発電効率向上のための評価技術の開発」

新エネルギー・産業技術総合開発機構「新エネルギー技術研究開発／革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）／高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発」

新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽エネルギー技術研究開発／革新的太陽光発電技術研究開発（革新型太陽電池国際研究拠点整備事業）／高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発（日 EU 共同開発）集光型太陽電池セル、モジュールの標準測定技術の開発（WP4）」

新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」

新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発」

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）「新材料の探索と太陽電池技術の開発」

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)  
「励起子サイエンス」

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)  
「CZTS 系薄膜太陽電池の欠陥・界面・粒界の評価および高性能化技術の開発」

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST)  
「PV 発電予測の不確実性評価および電力系統シミュレーションによる評価」

科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (さきがけ)  
「ヘテロエピタキシーを基盤とした高効率単結晶有機太陽電池」

日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (C)「薄膜シリコン成長時の半導体特性評価法の開発と欠陥形成機構の解明」

日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「シリコン系ナノ結晶表面での多重励起子の生成」

発表：誌上発表154件、口頭発表246件、その他13件

#### 先端産業プロセス・低コスト化チーム

(Advanced Low Cost Processing Team)

研究チーム長：松原 浩司

(つくば中央第2)

年度進捗：

光劣化の少ないアモルファスシリコン (a-Si:H) の製膜技術としてトライオード (三極放電) 型プラズマ CVD 法を適用し、単接合 a-Si:H 太陽電池の光吸収層を作製している。トライオード法による光吸収層の高品質化に加え、デバイスを構成する各層の最適化を行った結果、1sun、50°C、1000時間の光劣化条件下で世界最高の安定化効率10.22% (AIST 高精度測定) を達成した。また、同手法を a-Si:H/微結晶シリコン ( $\mu\text{c-Si:H}$ ) タンデム型太陽電池のトップセル光吸収層の製膜に適用した結果、世界最高の安定化効率12.69% (AIST 高精度測定) を達成した。これら単接合およびタンデム型太陽電池の光劣化率はそれぞれ約10%、3%とこれまで報告されたものに比べて低く、本手法の優位性がデバイスで実証された。

多接合型太陽電池の高性能化に向けて、 $\mu\text{c-Si:H}$  太陽電池の発電効率向上に関する研究開発を実施している。独自に開発した良好な光閉じ込め効果と高品質膜成長を両立させるハニカムテクスチャ基板の技術を土台とした上で、大面積・高速製膜プラズマ CVD 装置による高品質真性 (i)  $\mu\text{c-Si:H}$  層の形成法や、有機金属化学気相堆積法で製膜したボロン添加酸化亜鉛

(BZO) を利用した窓電極などの技術開発により、単一接合 $\mu\text{c-Si:H}$  太陽電池の発電特性を昨年度から更に改善し、世界最高となる発電効率11.77% (AIST 高精度測定) を達成した。こうした技術を多接合型太陽電池に展開するため、ハニカムテクスチャ基板を用いたサブストレート型の a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$  三接合型太陽電池の開発を行った。その結果、光安定化処理後の効率として世界最高となる13.60% (AIST 高精度評価) を達成し、今回開発した技術の優位性を多接合太陽電池にて実証した。また、薄膜太陽電池全般に活用できる光閉じ込め技術として平坦型光散乱基板を開発し、薄膜シリコン太陽電池のみならず薄膜 GaAs 太陽電池においても長波長感度向上を実現した。

高品質なシリコン薄膜の成長に用いるプラズマプロセス技術の最適化と薄膜成長プロセスの診断を進めている。シリコン材料の高品質化には、①成長温度、②製膜前駆体種、③水素 (H) 原子の供給量を制御することが求められており、本年度は、プロセス中の H 原子の供給量に着目し、真空紫外吸収分光法ならびに発光分光測定法を用いて H 原子の絶対密度測定を行った。測定より、H 原子密度は、高品質なシリコン薄膜の成長条件において $10^{10}\sim 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 程度であり、H 原子の供給量に換算すると $10^{15}\sim 10^{16}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ に相当することがわかった。また、H 原子密度は、成長条件によって変化し、特に製膜圧力 (シラン分圧) と放電電力に対し強い依存性を持つことが示された。したがって、材料品質をさらに向上させるためには、H 原子の生成、輸送、反応等の素過程をそれぞれ独立に制御する必要があり、そのためにはプラズマのリモート化やパルス化等が有効であるとの指針を得るに至った。今後は、電磁流体シミュレーションを行い、水素原子の生成・反応に関する素過程や振る舞いを調べると共に、プラズマのリモート化やパルス化により高品質なシリコン材料の作製を進めていく予定である。

シリコンよりもバンドギャップが小さく直接遷移型の光学特性が期待できる次世代の太陽電池材料としてシリコン-スズ合金 (SiSn) ナノ結晶の開発を行っている。SiSn ナノ結晶はレーザーアブレーション法により作製し、量子サイズ効果が期待できる直径4 nm程度のナノ結晶の合成に成功した。また、理論的に直接遷移型の光学特性が期待できる組成比の $\text{Si}_{0.88}\text{Sn}_{0.12}$ ナノ結晶を評価したところ、光学的なバンドギャップは0.81 eV とシリコンのバンドギャップよりも十分小さいことを確認した。この SiSn ナノ結晶を PTB7ポリマーと混合した無機-有機ハイブリッド型太陽電池を試作した結果、光電変換機能を確認することができた。

## 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体

(Collaborative Module-Reliability Research Team)

連携研究体長：増田 淳

(つくば中央第2、九州センター)

### 概要：

本連携研究体では、太陽電池モジュールの信頼性に関する研究ならびに屋外に設置した太陽電池モジュールの実環境性能評価の研究を実施している。

前者においては、太陽電池モジュールの信頼性向上・長寿命化に繋がる研究を通じて、発電コストの低減に資するとともに、信頼性を正確に判定可能な試験法開発を通じて、太陽電池モジュールの信頼性を可視化し、付加価値の向上に資することを目標に研究を実施している。当面目標とする太陽電池モジュールの寿命は30年であり、将来的には40年の寿命に繋がる技術を開発する。長期屋外曝露を経た太陽電池モジュールの劣化機構を解明するために、劣化事例を収集、解析するとともに、テストモジュールを用いて劣化モデルを証明する。これらの知見をもとに、太陽電池モジュールの信頼性を正確に評価できる試験法を開発する。また、複数の劣化要因を組み合わせた試験法や試験時間の短縮に繋がる高加速試験法を開発する。さらには、まったく新規の要素技術を含む試験法や有機太陽電池等に応用可能な試験法を開発する。これらの試験法開発を通じて、屋外曝露と加速試験を関連付ける科学的指標を見出す。

後者においては、新型太陽電池モジュールの長期屋外曝露試験を実施し、太陽電池特性、日射量、気温等のデータを系統的に収集し、発電量を含む実環境性能評価ならびに長期信頼性評価を実施する。得られたデータをもとに、新型太陽電池モジュールを含む各種太陽電池モジュールの発電量を、日射量・気象データから推定する発電量定格技術を開発する。さらに、色素増感・有機薄膜等の研究段階の太陽電池モジュールの屋外性能や降灰地域に設置した太陽電池モジュールの発電量も解析する。

### 年度進歩：

第 II 期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアムの後継コンソーシアムを開始した。その他、公的資金や民間企業との個別共同研究により、太陽電池モジュールの劣化機構明確化や新規加速試験法開発に資する研究成果を得た。また、新規開発された封止材、バックシート等の優位性を検証した。これらの研究を通じて得られた成果の代表例について述べる。紫外光照射試験と高温高湿試験の組合せ試験が屋外曝露と類似の劣化を誘起することを示すとともに、紫外光照射だけでは顕著な劣化を引き起こさないものの、紫外光照射を事前に施した場合は、湿熱負荷による劣化を促進することを示した。このことは、加速試験における紫外光照射の有効性を示すものである。また、

湿熱負荷による電極劣化の原因が、電極の体積抵抗そのものの増加によるものではなく、電極とシリコンの界面抵抗の増加であることを見出した。システム電圧が高いメガソーラ等において、短時間で発電量が大きく低下する電圧誘起劣化 (PID) 現象に関しても基礎的検証を進め、PID 試験前に逆電圧を印加することで、PID 現象を抑止可能なことを見出した。また、PID を抑止可能な封止材として知られるアイオノマーを用いた場合においても、PID 試験中にナトリウムの拡散が生じていることを見出した。このことは、従来 PID の直接的原因であると推測されていたナトリウムの拡散が、十分条件ではないことを示すものである。さらに、屋外に構築した高システム電圧の設備を用いることにより、PID 現象を再現することにも成功した。信頼性向上技術に関しては、封止材にポリビニルブチラールを用いることにより、認証試験に用いられる IEC 規格に定められている試験時間の20倍に相当する20,000時間を超える高温高湿試験 (温度85℃、相対湿度85%) を経ても性能低下が生じないアモルファスシリコン太陽電池の開発に成功した。

屋外曝露設備では、ヘテロ接合型やバックコンタクト型を含む結晶シリコン系、フレキシブル型を含む薄膜シリコン系や化合物薄膜系等の市販されている太陽電池を中心に、新規部材を用いた試作品も含め、各種モジュールを設置して系統連系運転を行った。10分毎に各ストリングの電流-電圧特性ならびに気象データを収集し、データを蓄積した。平成27年3月末時点で、16種類で計62 kW の太陽電池においてアレイ単位の実環境性能評価を実施している。さらには、市販太陽電池のモジュール単位の実環境性能評価や、研究開発段階の5種類の色素増感太陽電池モジュールならびに1種類の有機薄膜太陽電池モジュールの実環境性能評価も実施している。所外では、鹿児島県の降灰地域 (霧島、桜島) に太陽電池モジュールを設置し、火山灰や火山性ガスが発電量ならびに長期信頼性に及ぼす影響の調査を継続した。

## 先端産業プロセス・高効率化チーム

(Advanced High Efficiency Processing Team)

研究チーム長：柴田 肇

(つくば中央第2)

### 概要：

薄膜系太陽電池でモジュール変換効率25% (PV2030+目標) を実現するための要素技術を開発すると共に、薄膜系太陽電池の適用範囲の拡大と低コスト化を目指す。具体的には、以下の3項目に重点的に取り組む。

- (1) 化合物薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発
- (2) 化合物薄膜太陽電池のモジュール化技術の研究開発



(3) 新材料・新構造・新成膜技術による太陽電池の高効率化技術の研究開発

年度進歩：

(1) 化合物薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

$\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  (CIGS) 太陽電池の変換効率を抑制している主な要因の一つは、CIGS/CdS ヘテロ接合界面における光生成キャリアの再結合である。従って、CIGS 太陽電池を高効率化するためには、CIGS/CdS ヘテロ接合界面を高品質化することが最も重要な課題の一つである。そして、CIGS/CdS ヘテロ接合界面を高品質化するためには、CIGS 薄膜に K (カリウム) を添加することが非常に有効であることが、最近になって海外の多くの研究機関から報告されている。我々は、CIGS 薄膜に K を添加する方法として2種類の方法を開発し、CIGS 太陽電池の高効率化に成功した。第1の方法は、真空蒸着法による CIGS の成膜後に、そのまま真空中において KF (フッ化カリウム) を堆積するという方法であり、この方法によって  $x=0.3$  である CIGS において20.7%という高い変換効率を得ることに成功した。第2の方法は、基板材料である青板ガラスから K を CIGS 薄膜中へ拡散させるという方法であり、この方法によって  $x=1.0$  という値を持つ  $\text{CuGaSe}_2$  (CGS) の太陽電池において、高品質な CIGS/CdS ヘテロ接合界面を実現することに成功した。

(2) 化合物薄膜太陽電池のモジュール化技術の研究開発

$\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  (CIGS) 太陽電池は、小面積セルの変換効率は22%付近にまでに到達しているにもかかわらず、市販モジュールの変換効率は13-14%に留まっている。この変換効率の大きな差異は、CIGS 太陽電池の大きな課題となっており、CIGS 太陽電池のモジュール化技術を更に向上させることが、CIGS 太陽電池の研究における急務となっている。我々は、CIGS 太陽電池のモジュール化技術の開発の一環として、特に P3と呼ばれるスクライブ技術について研究を行った。具体的には、まず従来技術であるメカニカル・スクライブ法でスクライブされた P3スクライブ箇所が発生する化学変化が、サブモジュール特性の経年劣化の要因となっていることを突き止め、その解決手段を開発した。また、レーザー・スクライブ法により P3スクライブを行う技術を開発した。レーザー・スクライブ法はメカニカル・スクライブ法と比較して、高い潜在能力を持つと期待されているが、スクライブされる物質が加熱されるという短所があり、CIGS 太陽電池への適用は研究段階に留まっている。我々は、フェムト秒パルスレーザーを利用したレーザー・スクライブ法により、P3スクライブを行う技術を開発し、メカ

ニカル・スクライブ法で作製された CIGS サブモジュールと同程度の変換効率を得ることに成功した。

(3) 新材料・新構造・新成膜技術による太陽電池の高効率化技術の研究

CZTS( $\text{Cu}_2\text{ZnSnSe}_{4-x}\text{S}_x$ ) は、CIGS ( $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ ) 太陽電池のような資源制約の問題を持たない、高効率・低コストな薄膜太陽電池用の材料として注目されている。CZTS の潜在能力は非常に高いと考えられているが、その太陽電池性能は現時点では CIGS に及ばず、未だ開発途上の段階にある。その主な理由は、CZTS 薄膜の結晶品質が、CIGS 薄膜のそれと比較して大きく劣っていることにあると考えられる。逆に述べるならば、CZTS 薄膜の結晶品質を顕著に向上させる技術のブレークスルーを達成すれば、CZTS 太陽電池の実用化が達成され、薄膜太陽電池の産業技術に大きな転換がもたらされると考えられる。我々は、そのようなブレークスルーの可能性を秘めた技術として、CZTS 薄膜の結晶性を大幅に向上させる技術の開発に成功した。その方法の本質は、CZTS に Ge を添加することである。

CZTS に Ge を添加すると、 $\text{Cu}_2\text{ZnSn}_{1-y}\text{Ge}_y\text{Se}_{4-x}\text{S}_x$  という混晶系化合物 (以下においては CZTGS と略称する) が生成される。CZTGS も CZTS と同様にして、優れた太陽電池用材料であると考えられている。我々は、CZTS に Ge を添加することにより、CZTS 薄膜の結晶性を大幅に向上させる技術の開発に成功した。CZTS に Ge を添加する方法は、Ge を含む雰囲気の中で CZTS 薄膜に高温で熱処理を施すという方法である。この熱処理により、CZTGS が形成されると共に、薄膜の結晶粒のサイズが顕著に増大して薄膜の結晶性が顕著に増大すると共に、膜質が緻密で膜中の気孔が少なく薄膜表面の平坦性が向上することが明らかとなった。この方法を利用して、 $\text{Ge}/(\text{Sn}+\text{Ge})=0.39$  という組成比の高品質な CZTGS 薄膜を成膜し、その薄膜を利用して CZTGS 太陽電池を作製した結果、10.03%という高い変換効率を達成することができた。

システムチーム

(PV System and Application Team)

研究チーム長：加藤 和彦

(つくば中央第2)

概要：

太陽光発電設備の健全な普及に資することを目的として、利用者の視点に立脚した太陽電池モジュールの屋外暴露データや各種太陽光発電設備の性能評価・不具合事例分析を通じた太陽光発電設備の長期信頼性や安全性に関する研究開発、および、太陽光発電技術が将来におけるわが国の基幹系統電源となるために必要な発電量予測手法の技術開発などを実施している。ま

た、太陽光発電の導入ポテンシャルや付加価値を高めるための新しいシステム技術の提案や太陽光発電技術の普及を側面的に支援するための社会制度や政策に関する提言も行っている。

年度進歩：

太陽光発電設備の長期信頼性に関する研究開発については、2012年2月に当所つくばセンターに設置されている太陽光発電設備の全数測定作業が終了し、10年間における太陽電池モジュールの出力低下量や不具合発生に関する統計的あるいは現象論的解析を実施している。

また、太陽光発電設備の安全性に関する研究開発では、その設計・施工から運用・保守までを対象範囲とした「太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報」文書を作成したほか、大容量パワーコンディショナの事故時運転継続機能および単独運転検出機能に関する試験をスケールダウンして行うための試験法を構築し、技術文書としてまとめた。

#### 評価・標準チーム

(Calibration, Standards and Measurement Team)

研究チーム長：菱川 善博

(つくば中央第2)

概要：

太陽電池評価技術およびその基となる基準太陽電池校正技術の開発と高度化、トレーサビリティ維持を図る。また国際比較、標準化等を通してその国際的整合を確立、推進することで太陽電池、システム輸出入の促進に貢献する。新型太陽電池の測定技術の確立や規格化においても中心的な役割を果たし、太陽電池の低コスト化、高信頼性化、広範な普及に欠かせない共通基盤技術を開発、実施する。

- 1) 太陽電池性能評価の基本となる一次基準太陽電池セル校正技術の高度化技術を開発するとともに、実施する。Qualified Lab たる高い技術レベルを以って世界の主要な研究所・機関における基幹国際比較に参画するとともにその維持・高精度化を図る。
- 2) 結晶 Si・薄膜 Si・化合物半導体・多接合・有機等、各種材料構造の新型太陽電池の高精度な評価を可能にするために、各種太陽電池に特有なデバイス構造・分光感度特性・時定数・照射効果・温度照度依存性等を正確に考慮した性能評価技術を開発し、実施するとともに技術の国際整合、標準化を推進する。
- 3) 様々な気象条件・設置条件での太陽電池の日間・月間・年間等の発電量 (kWh 定格) を屋内、屋外で高精度に評価する技術を開発する。

年度進歩：

- 1) ソーラシミュレータ法による一次基準太陽電池セルの校正を実施すると共に、更に高精度な校正技術

開発を行っている。ソーラシミュレータ法による太陽電池校正技術を高度化するための要素技術の開発として、精密構造型絶対放射計の開発、超高温定点球体輻射等を用いた校正技術の高度化とともに、絶対分光感度法による一次基準太陽電池校正技術開発を行った。

- 2) 太陽電池メーカー等で研究・開発された各種裏面電極構造結晶 Si、両面受光型結晶 Si、CIS 系、DSC、有機薄膜、ペロブスカイト、集光型等各種新型太陽電池セル・モジュールの測定技術開発および測定を行った。IEC 等国際標準化、学会論文等発表、欧米の太陽電池評価機関との比較測定等による国際整合性検証及び開発成果の普及を推進した。
- 3) 今後ますます重要性が高まると見込まれる太陽電池モジュール屋外高精度測定技術、モジュール電位非接触測定技術等の新性能評価要素技術を開発した。

#### 先進多接合デバイスチーム

(Smart Stack Device Team)

研究チーム長：菅谷 武芳

(つくば中央第2)

概要：

将来の太陽電池の変換効率の大幅な向上 (40%超) や発電コストの大幅な低減 (7円/kWh 以下) の達成に向けて新しい概念や原理に基づく太陽電池技術を開発している。既存の材料や技術にとらわれない新しい概念や原理を用いることで、太陽電池の飛躍的な効率向上、低コスト化を目指す。このために新原理の検証のような基礎的な研究から、材料開発、新しい作製方法の開発など広い範囲にわたって取り組む。

年度進歩：

高い変換効率を有する多接合型太陽電池の実現のため、様々な太陽電池を低コストで簡便な半導体接合法により接続する技術 (スマートスタック技術) の開発を行っている。本年度の成果としては、開発中の導電性ナノ粒子配列を接合界面に介在させた直接接合技術を用いて、InGaP/GaAs//InGaAsP/InGaAs 4接合セルを試作し、変換効率31.6%を達成した。また、本技術の信頼性に関し、3温度水準の劣化試験において実用化レベルの信頼性を有することを確認した。さらに、表面活性化装置の導入により、Pd を介した GaAs/Si、GaAs/InP の2インチウェーハでの接合を確認、量産への可能性を検証した。今後は、セルの構造最適化により35%以上の高効率を目指すとともに、信頼性、量産性等の実用化技術研究を加速する。スマートスタック太陽電池のトップセル材料としては、固体ソース MBE を用いて初めて InGaP/AlGaAs/GaAs3接合トップセルを作製し、トップセルの開放電圧3.1V を得た。またボトムセル材料としては、バンドギャップ 1.0eV の InGaAsP、0.7eV の InGaAs、ナローギャップ

プ SiGe を研究している。InGaAsP セルは開放電圧 0.52V、InGaAs セルでは 0.3V を達成し、さらに InGaAsP/InGaAs<sub>2</sub> 接合ボトムセルを、固体ソース MBE を用いて初めて作製した。SiGe 薄膜の作製においては、バッファ層の形成プロセス中の成膜温度やアニール温度に最適な値があることを明らかにし、転位密度の目標値  $10^4 \text{cm}^{-2}$  を安定して得られる本技術を確立した。太陽電池特性では、ヘテロ接合化プロセス、ドーピングプロファイルを改善することにより、Si ヘテロ接合型太陽電池において、開放電圧を前年度の 0.4V から 0.58V まで改善させ、この技術を SiGe ボトムセル作製に応用した。

一方、単接合で飛躍的な高効率を達成できる技術として期待されている量子ドット太陽電池では、SiC 歪み補償中間層を用いた積層 Ge 量子ドットの作製技術の開発と光学特性の評価を行った。SiC 中間層上の Ge 量子ドットは、表面の C 原子の影響により量子ドットの均一性が劣化した。Si/SiC/Si 中間層構造を用いることにより均一性を向上させた。歪み補償法を用いた積層 Ge 量子ドットは、Si 中間層を用いた場合に比べて積層数の増大に伴う量子ドットサイズの増大が抑制され、有効な中間層であることが分かった。今後は量子ドット太陽電池のさらなる特性改善を目指す。

#### 有機系薄膜チーム

(Functional Thin Films Team)

研究チーム長：近松 真之

(つくば中央第5)

#### 概要：

太陽電池の低コスト化を実現するための技術開発として、省資源性に優れ大面積製造も可能な有機系太陽電池（有機薄膜太陽電池、有機無機ハイブリッド太陽電池）の研究開発を行っている。

#### 年度進捗：

有機薄膜太陽電池に関しては、発電層におけるバルクヘテロ構造の構造制御や積層界面における双極子層導入における開放端電圧 (Voc) の向上を目指した。バルクヘテロ構造の構造制御では、発電層への添加剤の効果を高輝度 X 線 (Spring-8) による乾燥過程のその場測定により観測した。その結果、添加剤導入により p 型ポリマーの  $\pi$  スタック距離が減少する結果が得られ、添加剤がバルクヘテロ層の相分離構造に与える重要性を明らかにした。また、双極子層導入については、アルミキノリノール錯体 (Alq<sub>3</sub>) やスクアリウム色素 (SQ) などを検討した。SQ については、膜厚を最適化することにより Voc を 0.62V から 0.86V と、最大で約 40% 向上することに成功した。

有機薄膜太陽電池のモジュールの試作では、企業共同研究コンソを組織し、各社の技術を持ち寄って高性能、高耐久のモジュール開発に取り組んだ。産総研が

ハブとなり、それぞれフレキシ印刷版技術、バリア膜付き PEN フィルムに適合した封止材、およびフレキシブル配線コネクタの技術を有する企業間の橋渡しを行い、要素技術をすり合わせることで、有機薄膜太陽電池の特長を活かしたパターン印刷によるフレキシブルモジュールの作製に成功した。また、多直列による高電圧化や、発電層材料や封止構造の変更による高効率化・高耐久化を実現した。

急速な変換効率の向上により注目を集める有機無機ハイブリッド太陽電池に関しては、発電層であるペロブスカイト層について作製プロセスとして蒸着法と塗布法を検討した。蒸着法では、クリーンな環境での組成精密制御および結晶成長技術を開発し、高品質な薄膜作製および高効率化を目指している。今年度は新規にレーザー蒸着法を開発し、精密な蒸着レート制御と組成制御が可能となり、高い変換効率を達成した。塗布法では、印刷プロセスに適用可能な材料・プロセス開発を行い、既存の太陽電池の製造コストを大きく下回る、低コスト化を目指している。今年度は、作製基盤技術の確立を目指し、塗布法（主にスピコート）を用いた様々なプロセスおよび素子構造の検討を行った。その結果、FTO 基板/酸化層/ペロブスカイト層/ホール輸送層/Au 電極の素子構造では、プロセス検討により高い変換効率を達成した。また、ペロブスカイト太陽電池は、作製後数日で特性低下が見られることから、いずれのプロセスにおいても高耐久化に向けたデバイス開発は必須であることが示唆された。

#### 革新材料チーム

(Next Generation Material Team)

研究チーム長：佐山 和弘

(つくば中央第5)

#### 概要：

主務であるエネルギー技術研究部門 太陽光エネルギー変換グループを参照のこと。

#### ⑥【バイオマスリファイナリー研究センター】

(Biomass Refinery Research Center)

(存続期間：2012.4～2015.3)

研究センター長：平田 悟史

研究主幹：矢野 伸一

所在地：中国センター

人員：17名 (17名)

経費：544,418千円 (180,637千円)

#### 概要：

(1) 研究目的と手段

産総研では経済と環境を両立する「グリーン・イ

ノベーション」の推進に取り組んでおり、再生可能で利用にあたって温室効果ガスの濃度に影響を与えないバイオマス資源を、効率よく安価に利用する技術の研究開発もその一つである。バイオマスリファイナリー研究センター（BRRC）では、地球上に最も多く存在する有機化合物であるリグノセルロース（木質系・草本系バイオマス）を出発物質として、化学品原料、高性能複合材料、液体燃料を安価に製造するプロセス技術及び要素技術を開発している。

オイルリファイナリーとは原油を精製・分解・変換して、化学品、プラスチック、繊維、液体燃料など、さまざまな物質を作り出すプロセス技術である。これに対しバイオマスリファイナリーはバイオマス資源を出発物質に、化学品原料、複合材料、液体燃料を作るプロセス技術であり、BRRC はリグノセルロースを出発物質として、ピルビン酸、エタノール、乳酸などの化学品原料、セルロースナノファイバーを用いたバイオマスナノコンポジット（高性能複合材料）、バイオジェット燃料、バイオエタノールなどの液体燃料を製造する技術の開発を進めている。

バイオマス資源及び生成物は種類が多岐にわたっており、すべてのバイオマス資源、生成物を研究開発対象にすることはできない。BRRC ではバイオマス資源として資源量が多く、比較的安価に調達が可能で、食料生産との競合が少ないリグノセルロースを選択し、研究開発を進めている。一方、バイオマス資源の利用にあたっては、高付加価値のものから順番に利用するというカスケード利用が実現可能性を高める上で重要であるので、単位重量あたりの価格が安いエネルギー利用以外に、付加価値の高いマテリアル、ケミカルとしての用途開発も進めている。BRRC では実現可能性並びに市場ニーズから、生成物として化学品原料、高性能複合材料、液体燃料の3つを選択して、研究開発を行っている。

ところでリグノセルロースから化学品原料、高性能複合材料、液体燃料を製造するためには、多数の変換プロセスと要素技術が関与している。BRRC では経済性、環境性を指標にして種々のプロセスを比較し、その中から実現可能性の高いプロセスを選択して集中的に研究開発を進めている。また、BRRC 内だけでなく産総研内で異なる専門分野の研究者が連携することで、研究開発を効率的に進めている。

バイオマスリファイナリーは、糖（シュガー）を基幹物質として生成物を作るシュガープラットフォームと、熱分解ガス化によって製造された水素と一酸化炭素を主成分とする気体（合成ガス）を基幹物資として生成物を作る合成ガスプラットフォームに分けられる。それぞれメリットとデメリットがあり、

また研究の進捗状況も異なる。BRRC では両プロセスとも実現可能性があると考え研究開発に取り組んでいる。

## (2) 戦略課題への取り組み

BRRC が戦略課題として集中的に取り組んでいる研究テーマは次の3つである。

### ① ケミカル原料製造基盤技術の開発

ケミカル原料を製造するためには、まず原料となるリグノセルロースを糖とリグニンに分解する必要がある。リグノセルロースを糖に分解するプロセス及び要素技術は数多く提案されているが、どれも一長一短があり、同じ原料を用いて、同じ条件で定量的に比較したデータが存在しない。そこで BRRC では、これまでに提唱されている主要な分解・糖化技術について、比較検討を進めている。具体的には、針葉樹で国内生産される代表的な樹種であるスギ、広葉樹で海外において大規模植林されているユーカリ、国内・海外で大量に発生する農業残渣である稲わら、東南アジアのパームオイル産業で廃棄物として発生するアブラヤシ空果房（Empty Fruit Bunch）、ブラジル、東南アジアのバイオエタノール産業で廃棄物として発生するサトウキビの搾りかすであるバガスの5種類を標準原料として確保し、これを BRRC の保有技術である水熱・メカノケミカル・酵素糖化法、及びこれまで提唱されている主要な分解・糖化プロセスで処理したときの、糖化率、エネルギー投入量などを、定量的に比較する検討を、成分分離チームとバイオ燃料チームで進めている。

分解・糖化におけるキーテクノロジーの一つが、糖化酵素である。リグノセルロースに含まれる成分であるセルロース、ヘミセルロースを分解して糖にする酵素としては、セルラーゼ、ヘミセルラーゼがある。糖化酵素を取り巻く世界の状況をみると、欧米の酵素メーカーが糖化酵素の市場を独占している。これに対し BRRC は、1) 純国産技術による糖化酵素の製造・供給プロセスの構築、2) 酵素のオンサイト生産によるコストダウン、3) 酵素の高機能化による差別化、の3つの視点で研究開発に取り組んでいる。産総研の前身である微生物工業技術研究所の研究者が単離した微生物の遺伝子操作技術を確立し、目的とする酵素の生産性を高めるための研究開発を進めているほか、この微生物や酵素を必要とする場所で培養・生産することで、酵素を含んだ培養液を糖化に用いるという手法の開発、さらに、糖化酵素の耐熱化の検討にバイオ変換チームが取り組んでいる。

リグノセルロースを分解・糖化すると、セルロースとヘミセルロースは分解されて糖になるが、高分子で複雑な構造の芳香族化合物であるリグニ

ンは、分解されずにそのまま残る。リグニンはその構造から分解・利用が困難で、ボイラ燃料として利用されることが多かった。BRRC ではリグニンの分解・利用技術の研究開発に取り組んでいる。BRRC の独自技術である水熱・メカノケミカル・酵素糖化法で得られたリグニンは、酸による変性を受けていないため、天然の状態に近く、改変、利用が容易であるといわれている。そこでこのリグニンの性状について調べ、続いて低分子化の方法について検討している。本研究は成分分離チームが担当している。

化学品原料は、糖をバイオ変換、化学変換することで製造されるが、この技術はすでに確立し、医薬品や化学品の製造に使われている。BRRC ではすでに知られている方法よりも高い効率で化学品原料となる物質を製造するため、酵母、大腸菌をプラットフォームとしたバイオ変換の研究に取り組んでいる。具体的には酵母や大腸菌の代謝系を改変することで、さまざまな化学品原料への変換が容易なピルビン酸、エタノール、乳酸を製造するための基盤技術の開発に、バイオ変換チームが取り組んでいる。

一方、合成ガスを出発物質としてケミカル原料を製造するための研究開発も行っている。合成ガスの成分である水素、一酸化炭素、二酸化炭素を原料としてエタノールや乳酸を製造する微生物を土壌から単離し、その遺伝子操作技術を確立することで、目的とする物質を効率よく生産する微生物の製造を目指して、バイオ変換チームが研究を進めている。

## ② 高性能複合材料製造基盤技術の開発

セルロースは植物細胞の細胞壁及び繊維の主成分で、これをナノレベルに精製したセルロースナノファイバー、セルロースナノクリスタルは、製造方法の研究開発と、用途開発が並行して進められている。セルロース利用チームではセルロースナノファイバーをリグノセルロースから効率よく製造する技術を開発し、さらにその効率を高めるための研究開発や、セルロースナノファイバーの定量的な評価技術の開発を進めている、また複数の民間企業と共同で、セルロースナノファイバーを添加した高性能複合材料を試作し、その性能を評価するとともに、用途開発も進めている。

## ③ 液体燃料製造技術の開発

バイオマス資源から製造する液体燃料として、BRRC では BTL プロセスによるジェット燃料製造と、糖化・発酵プロセスによるバイオエタノール製造の2つを手掛けている。前者はガス化によって合成ガスを製造し、触媒を用いた化学反応によってジェット燃料を製造するので、合成ガスプラッ

トフォーム、後者はバイオマスの糖化によって製造した糖から、エタノール発酵によってエタノールを製造するので、シュガープラットフォームに、それぞれ分類される。

BTL プロセスにおけるキーテクノロジーは、1) バイオマスのガス化技術、2) ガス化で得られたガスの精製技術、3) 合成ガスから Fischer-Tropsch 反応で炭化水素を作り、さらにそれを水素化分解反応で目的生成物にするための触媒技術の3つである。このうちガス化技術についてはすでに国内外で多くの研究実績があり、原料と規模によって適用される技術が決まる。またガス精製技術についても、採用されたガス化技術によって適用される技術が異なるため、BRRC では Fischer-Tropsch 反応及び水素化分解反応で用いられる触媒の研究開発を中心に進めている。この研究はバイオ燃料チームが担当している。

一方、糖化・発酵プロセスによるバイオエタノール製造は、BRRC の前身のバイオマス研究センターで基盤技術の研究が進められ、一部は民間企業によるパイロットスケールでの実証研究が行なわれている。したがって BRRC は、民間企業が実施する実証・実用化研究の支援、要素技術の改良による変換効率向上並びにエネルギー消費量低減のための要素技術の改良研究、新たなバイオマス資源へ技術を適用するための応用研究の3つに絞り、バイオ燃料チームが担当している。

-----  
内部資金：

融合・連携推進予算（戦略予算）「産総研発バイオマス化学の研究開発」

外部資金：

経済産業省 日米エネルギー環境技術研究・標準化協力事業（日米クリーン・エネルギー技術協力）「非可食性バイオマスを原料とするバイオマスリファイナリー研究」

新エネルギー・産業技術総合開発機構 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発「木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発」

科学技術振興機構 生体触媒要素技術開発：セルラーゼとリジン脱炭酸酵素の高機能化・低コスト化技術開発（I）－酵素の解析と改良

科学技術振興機構 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム「ボルネオ生物多様性保全のためのパームバイオマスを活用した革新的グリーン産業の創出」

新エネルギー・産業技術総合開発機構 戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業「水熱処理とゼオ

ライト触媒反応による高品質バイオ燃料製造プロセスの研究開発ー省エネルギー・高効率水熱反応技術の開発」

文部科学省 グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス事業 (GRENE) 「植物 CO<sub>2</sub>資源化研究拠点ネットワーク」

農林水産省 「農林系廃棄物を用いたハイブリッドバイオマスファイバー製造および複合材料開発」

文部科学省 気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム 「森と人が共生する SMART 工場モデル実証」

発表：誌上発表54件、口頭発表34件、その他2件

#### 成分分離チーム

(Ingredient Separation Research Team)

研究チーム長：仲山 賢一

(中国センター)

概要：

リグノセルロースからのセルロース、ヘミセルロース、リグニン成分の分離法として、これまでに開発してきた水熱・メカノケミカル・酵素処理法他に、アセトン/水処理法、アルカリ処理法等についても実施し、リグニン含有率、構成糖等の特性分析を行った。

水熱・メカノケミカル・酵素処理については、実用化を視野に入れた大規模処理工程を検討した。特に大規模化が困難であった粉碎処理の代替工程として、製紙産業用のリファイナーを用い、従来法と変わらない酵素糖化性が得られることを明らかにした。

酵素糖化残渣中のリグニンの抽出方法として、水熱加水分解処理と有機溶媒加熱抽出の比較・検討を行った。それぞれの抽出リグニンの成分の特性分析を行った結果、水熱加水分解処理では、リグニン抽出率が高いものの、得られたリグニンの分子量が大きくなることが分かった。一方、有機溶媒加熱抽出では数百程度の分子量のリグニン成分が得られることが明らかとなった。

システムシミュレーターを用いて、リグノセルロースからの成分分離、リグニン成分の生成に係わる工程の経済性ならびにエネルギー収支の最適化を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

#### バイオ変換チーム

(Bio-Conversion Research Team)

研究チーム長：星野 保

(中国センター)

概要：

シュガープラットフォームにおいて、リグノセルロ

ース糖化に適したセルラーゼの開発および高効率糖化に関する研究を行った。産総研で単離されたセルラーゼ高生産糸状菌 *Talaromyces cellulolyticus* のゲノム解析データから本菌の転写因子を明らかにし、これを用いた遺伝子組換え技術により本糸状菌のセルラーゼ生産性を向上させた。また、本菌の生産するアクセサリー酵素の機能評価をおこなった。

木質バイオマスから調製した糖化液を原料にした微生物発酵による効率的な化学品製造には、糖化液中の含量がグルコースに次いで高いキシロースの有効利用が重要である。炭素カタボライト抑制解除大腸菌のゲノムにキシロース誘導性プロモーター下流にエンハンサー遺伝子および酵素遺伝子を導入することにより、糖化液成分により遺伝子発現制御が出来る系を開発し、大腸菌が生産不可能なイソブタノールの生産に成功した。一方、バイオマスのガス化によって得られる合成ガスを原料に微生物発酵による化学品製造では、新たな代謝経路の構築が必要となる。宿主微生物の代謝物解析をおこない、通常の微生物同様の代謝経路を有することを確認した。また、ゲノム解析では確認できなかった代謝経路の存在を示唆する結果を得た。

研究テーマ：テーマ題目1

#### セルロース利用チーム

(Cellulose Research Team)

研究チーム長：遠藤 貴士

(中国センター)

概要：

当研究センターが開発した、水熱・メカノケミカル処理技術を基盤として、木質等のバイオマスからのリグノセルロースナノファイバーの製造技術、ナノファイバーと樹脂との複合材料化技術およびナノファイバー特性評価技術に関する研究開発を行った。

水熱・メカノケミカル処理では、水熱処理と湿式粉碎を組み合わせることで、効率的にナノファイバーを製造することができる。ナノファイバーの特性を活かして複合材料化するためには、高含水状態で得られるナノファイバーの凝集を抑制して樹脂へ均一分散することが重要である。また、ナノファイバーの利用性を高めるためには形状や表面状態の評価も必要となる。

本年度は、種々の木質原料や農林系廃棄物を用いてナノファイバー製造効率および複合材料としての利用性評価技術を構築した。また、ナノファイバーの樹脂複合化技術開発では、高含水状態のナノファイバーを固相状態でせん断を印加することで直接的に樹脂に複合化できることを明らかにし、製品試作を行うことができた。また、ナノファイバー評価技術では、水晶振動子センサーを用いて、ナノファイバー表面の木質成分の堆積構造を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目2

## バイオ燃料チーム

(Biofuel Research Team)

研究チーム長：平田 悟史

(中国センター)

## 概要：

FT合成反応において、Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒に関して、 $\theta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>構造を持ち、共浸法により La: 2 wt%および V: 0.5 wt%を添加することで、炭素数5以上の炭化水素への空間時間収率が279 mg/ (g-cat h) まで向上した。水素化分解反応について、マイクロエマルジョンを用いて Pt 担持 $\beta$ 型ゼオライト触媒を調製し、Pt 粒子径の影響を調べた。250°C、H<sub>2</sub>初期圧0.5 MPa、反応時間1時間で Pt 粒子径4.2 nmの時、ジェット燃料収率30.0 C-mol%を得た。

バイオエタノール、ケミカル原料製造原料となるグルコース等を含む糖化液をリグノセルロースから効率良く製造するために、水熱・メカノケミカル法による前処理条件の検討を行った。産総研が開発した高温性の酵母を用いた並行複発酵によるバイオエタノールの生産実験を行い、この株の優位性を明らかにした。平成27年度から実施するパイロット実験用の設備を整備し、これらを用いた前処理実験を実施した。さらにパームオイル産業で発生する各種バイオマスから糖化液を効率良く製造するための前処理条件の検討を行い、原料ごとの最適条件を決定した。

研究テーマ：テーマ題目3

## [テーマ題目1] ケミカル原料製造基盤技術の開発

[研究代表者] 平田 悟史 (研究センター長)

[研究担当者] 仲山 賢一、井上 誠一、柳下 立夫、藤本 真司、石川 一彦、井上 宏之、藤井 達也、渡邊 真宏、星野 保、村上 克治、秋田 紘長、MOHD RAFEIN BIN ZAKARIA、片岡 未有、木村 善一郎、鈴木 俊宏、新 優子、諏訪 祥士、高橋 和香、時藤 千歳、西本 有紀、福田 和義、横山 英幸、蒲池 沙織、立石 能子、角井 みゆ、吉見 美穂、根亘 香奈子、高田 裕紀、橋本 智代、濱田 佳子 (常勤職員11名、他19名)

## [研究内容]

本研究はリグノセルロースを出発物質とし、化学品原料を安価に製造するプロセス技術及び要素技術の開発を目的としている。

各種バイオマスを原料とした水熱・メカノケミカル処理による酵素糖化への影響ならびに糖化後に生成される残渣中のリグニンの特性について検討を行った。これまで重点的に取り組んできたユーカリを用いた水熱・メカノケミカル・酵素処理では、酵素糖化残渣中のリグニン

の抽出方法として水熱加水分解処理と有機溶媒加熱抽出を比較、検討した。水熱加水分解処理はリグニン抽出率が高いものの、得られたリグニンの分子量が大きくなる一方、有機溶媒加熱抽出では数百程度の分子量のリグニン成分が得られた。また、水熱・メカノケミカル・酵素処理法以外にアセトン/水処理法、アルカリ処理法、マイクロ波処理法についてもそれぞれの処理サンプルを作成し、リグニン含有率、構成糖等の特性分析を行った。

草本系のバイオマス種として、稲わらを用いた水熱・メカノケミカル・酵素糖化法により生成した糖化残渣中のリグニンの特性を明らかにするとともに、糖化残渣中のリグニンの分離・精製のための水熱処理の影響の検討を行った。水熱処理時の温度条件を振り、水可溶分と固形分の重量変化を測定し、温度上昇とともに水可溶分と固形分中のクラフソンリグニン含有率の増大が確認された。さらに、パームオイル残渣として産業利用の可能性のあるオイルパーム空果房、メソカープファイバーを用いて、少ない投入エネルギーで高い糖化効率を得るための前処理方法・前処理条件の最適化を行った。

リグノセルロースの糖化に適した酵素のオンサイト生産によるコストダウン、酵素の高機能化による差別化のため、酵素製剤の開発および高効率糖化に関する研究を行った。*Talaromyces cellulolyticus* のゲノム解析データを用いて遺伝子組換え技術を開発し、この技術を用いて本糸状菌の転写遺伝子の改良をおこない、セルラーゼ生産性を向上させた。

糖化液からバイオ変換により化学品原料を高効率で製造するため、酵母、大腸菌をプラットフォームとした技術開発では、キシロースなどの通常酵母が資化できない五単糖に対する発酵性の付与、糖化反応と発酵時の温度差を解消するため宿主の耐熱性や前処理によって生ずる阻害物質に対する耐性が求められる。耐熱酵母の有する五単糖発酵遺伝子を高発現する菌株を作成し、糖化液を用いた発酵能の向上を確認した。また、組換え大腸菌を用い、ピルビン酸代謝系の遺伝子の破壊および低発現株を開発し、ピルビン酸の効率的な生産を確認した。

一方、合成ガスを出発物質とする発酵法によるケミカル原料の製造を目的とした研究開発では、合成ガス成分を用いて培養した際に、微生物の代謝物分析をおこない、グリセロールが電子伝達に重要な代謝物質であることを明らかにした。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] リグノセルロース、糖化酵素、バイオ変換

## [テーマ題目2] 高性能複合材料製造基盤技術の開発

[研究代表者] 遠藤 貴士 (セルロース利用チーム)

[研究担当者] 遠藤 貴士、岩本 伸一郎、石黒 真希、熊谷 明夫、谷岡 拓弥、妙見 夕佳、齋藤 有紀、大田 民

(常勤職員2名、他6名)

### 〔研究内容〕

地球環境保全等の観点から、木質系バイオマスの利活用技術開発においては、バイオエタノール等エネルギー転換技術とともにマテリアルとしての利用が重要である。木質の主要成分はセルロース、ヘミセルロース、リグニンであるが、木質中でセルロース分子はマイクロフィブリルと呼ばれるナノサイズの超微細繊維を形成している。この超微細繊維は、セルロースナノファイバー（ナノセルロース）とも呼ばれ、その強度は鋼鉄の5倍でありながら比重は5分の1という軽量・高強度の特性を持っている。本テーマでは、木質からの直接的ナノファイバー製造技術および得られたナノファイバーの特性を活用して、汎用プラスチック以上の性能を発揮する高性能複合材料製造基盤技術の開発を目指している。

木質系バイオマスからのナノファイバー製造では、当研究センターで開発した水熱・メカノケミカル処理を基盤技術としている。木質組織は、ナノファイバーが集合・積層した構造であり、適切な方法で解繊すればナノファイバーが製造できる。しかしながら、木質はセルロース等の成分が複雑に積層した強靱なナノ構造体であるため、ナノサイズへほぐすのは容易ではない。水熱・メカノケミカル処理では、最初に木質を100℃以上の加圧熱水を用いて水熱処理することにより、ヘミセルロース等の成分を部分的に加水分解する。この処理により木質組織は脆弱化する。次に、ディスクミル等を用いて機械的に湿式粉碎することで、木質組織は効率的にナノファイバーにほぐされる。しかし、ナノファイバーの製造においては水が必須であるため、生成物は高含水スラリーとして得られる。ナノファイバーをポリプロピレン等の疎水性の樹脂と複合化するためには、水を除去する必要があるが、単純な加熱乾燥等ではナノファイバーは強度に凝集し、利用性が著しく低下する。

本年度は、ヒノキやもみ殻等のバイオマスを原料として、リグニンやヘミセルロースを含有した、リグノセルロースナノファイバーおよびバイオマスフィラーを製造し、その特性評価および樹脂との複合材料化技術の開発を進めた。

高含水ナノファイバーは、160～180℃で溶融させたポリプロピレン樹脂に直接混合すると、急激に水が蒸発してナノファイバーが凝集し、樹脂の補強効果が著しく低下する。これまでに、低融点樹脂を用いて凝集を抑制しながら脱水・複合化を行うマスターバッチ法および粉末状樹脂にナノファイバーを直接的に複合化させる固相せん断法の構築を進めてきた。本年度は、粉末化したポリプロピレンに高含水ナノファイバーを溶融させない固相状態でせん断を印加して混合し、乾燥後に溶融させて複合化することで、ポリプロピレンに均一分散でき、強度および伸び物性に優れた複合材料が製造できることを明らかにした。これら技術により、少ないナノファイバ

一添加量で物性を向上させることができ、さらに成形加工性も高い複合材料を製造することができた。これら成果を活用して、連携先企業とともに汎用射出成形機を用いて、種々の製品試作を行うことができた。

木質等バイオマスからのナノファイバー製造効率および利用性評価では、モデル系として種々の原料から得られたナノファイバーとポリビニルアルコールから複合材料を作製し、その強度物性とナノファイバーの比表面積および光透過沈降法による水中での沈降性の値との関係性について評価した。その結果、光透過沈降法による解析値と強度物性が相関することが示された。

木質等から直接的に製造したナノファイバーは、セルロースとともにヘミセルロースやリグニンを含有しているリグノセルロースナノファイバーである。このようなナノファイバーを利活用するためには、その表面におけるリグニン等の堆積構造を明らかにする必要がある。これまでに、種々の処理条件で得られたナノファイバーについて、水晶振動子マイクロバランス法により、酵素の反応機構を明らかにした。本年度は、各種酵素を解析プローブとして用いて、その吸着・分解挙動から、原料樹種によって、ナノファイバー表面におけるリグニンおよびヘミセルロース成分の堆積構造が、広葉樹由来と針葉樹由来で異なることを明らかにした。

農林系廃棄物を原料とした、ナノファイバーを含むバイオマスフィラーの製造技術では、もみ殻を湿式粉碎処理することで、もみ殻含有のシリカ成分が、表面に分散・固着した、幅500nm以下のバイオマスフィラーが製造できることを明らかにした。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕ナノセルロース、リグノセルロース、複合材料

### 〔テーマ題目3〕液体燃料製造技術の開発

〔研究代表者〕平田 悟史（バイオ燃料チーム）

〔研究担当者〕平田 悟史、村上 克治、花岡 寿明、宮澤 朋久、志村 勝也、矢野 伸一、松家 万起、Mohd Rafein bin Zakaria、滝村 修、横山 英幸、新谷 紀子、土肥 康浩、時藤 千歳、住広 匡謙、岩本 光一、西田 麻衣子、西本 有紀、野中 寿子、下村 香保里、仁田 英美、辻 将大（常勤職員6名、他15名）

### 〔研究内容〕

BTL プロセスの中で、Fischer-Tropsch (FT) 合成および水素化分解の各工程において高性能な触媒の開発を目的とする。FT 合成においては、①担体として  $Al_2O_3$  を用いた Co 触媒の高性能化、水素化分解においては、②Pt 担持ゼオライト触媒を用いた FT 生成物から高収率なジェット燃料の製造について検討を行った。

①について、ラボスケールのスラリー床型流通式反応



装置を用い、Co/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒について、FT 合成反応における炭素数5以上の炭化水素収率を評価した。FT 合成反応特性は Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>担体の表面積および細孔径に大きく依存した。一方、結晶構造にはほとんど影響されなかった。 $\theta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>構造を持ち、比表面積が中程度の84 m<sup>2</sup>/g の担体を用いた場合、担持された Co の粒子径が比較的均一で分散された結果、炭素数5以上の炭化水素の空間時間収率 (STY) 231 mg/ (g-cat h) を得た。さらに添加金属の影響を調べたところ、La: 2 wt%および V: 0.5 wt%を添加することで、同反応条件で炭素数5以上の炭化水素への STY が279 mg/ (g-cat h) へ向上した。

②については、オートクレーブを用い、Pt 担持ゼオライト触媒について、木材由来の FT 合成生成物の水素化分解反応におけるジェット燃料 (炭素数9-15の炭化水素) 収率の向上を図った。担体のスクリーニングにより、性能が高かった  $\beta$  型ゼオライトについて、マイクロエマルジョンを用いて担持量が等しく、異なる Pt 粒子径を持つ触媒を調製し、Pt 粒子径の影響を調べた。その結果、250℃、H<sub>2</sub>初期圧1 MPa、反応時間1時間の条件で Pt 粒子径7.6 nm の時、ジェット燃料収率29.1 C-mol%を得た。さらにマイクロエマルジョン内で Pt 粒子を形成する微粒子形成剤の種類を変えることで、3.8-6.1 nm の範囲で精密に Pt 粒子径を制御することができた。その結果、250℃、H<sub>2</sub>初期圧0.5 MPa、反応時間1時間の条件でジェット燃料収率30.0 C-mol%を得た。

糖化・発酵プロセスによるリグノセルロース系バイオマスからの液体燃料生産については、バイオエタノール製造における出発物質となるグルコース等を含む糖化液をリグノセルロース系バイオマスから効率良く製造するために、水熱・メカノケミカル法による前処理の最適条件の検討を行った。またユーカリ、スギ、稲わら、サトウキビバガス、オイルパーム空果房 (EFB)、の主要バイオマス、およびこれらを前処理した試料について、成分分析法を確立して分析を行った。産総研が開発した高温性の酵母を用いて同時糖化発酵によるサトウキビバガスからのバイオエタノールの生産実験を行い、この株の高温での優位性を明らかにすると共に、スケールアップに向けた培養条件の検討を行った。また平成27~28年度に実施を予定する同時糖化発酵によるエタノール生産のパイロット実験関係の設備を整備し、これらを用いた前処理実験を実施した。さらにオイルパーム産業で発生する空果房、中果皮繊維、葉状体繊維から、糖化液を効率良く製造するために、水熱・メカノケミカル法を中心とした前処理条件の検討を行い、原料ごとの最適条件を決定した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオエタノール、バイオジェット燃料、BTL プロセス

## ⑦【触媒化学融合研究センター】

(Interdisciplinary Research Center for Catalytic Chemistry)

(存続期間：2013.4.1~2020.3.31)

研究センター長：佐藤 一彦

副研究センター長：浅川 真澄

所在地：つくば中央第5

人員：22名 (22名)

経費：357,164千円 (161,778千円)

概要：

### 1. ミッション

触媒は、化学品製造技術の要であり、グリーン・イノベーションを通じた持続可能社会構築に向けた、キーテクノロジーの一つである。そこで、以下の3つの観点から、革新的な触媒を利用した、機能性化学品の製造技術に関する研究を進める。

- 省エネルギー：反応温度の低下、反応時間の短縮
- 選択性の向上：副生成反応物の低減、分離エネルギーの低減
- レアメタルの大幅な削減：貴金属触媒からの転換  
具体的には、「ケイ素化学技術」「革新的酸化技術」「官能基変換技術」「触媒固定化技術」の4つの戦略課題に取り組む。石油化学由来の機能性化学品製造技術は、酸化技術、還元技術、炭素結合制御技術、官能基変換技術 (機能付加技術)、に大別できる。また、ケイ素化学技術は、石油化学由来の化学品製造技術とは別な体系を持つ。当該研究センターでは、石油化学由来の製造技術のうちの2つと、ケイ素化学技術、更にはこれらの技術の共通基盤となる分子触媒の固定化・リサイクル技術に取り組むことで、多くの機能性化学品製造に適応できる技術を開発する。

固体触媒、分子触媒、酵素など、広範な分野にまたがる触媒技術を、機能を発現する構造の観点から捉え直し、体系的に整理することでイノベーションを起こすため、産総研の触媒技術者、酵素技術者や微生物活用技術者が加わる分野融合型の研究会を主催する。

研究の発想段階から企業ニーズを意識した触媒開発を行うため、研究支援チームを作り、研究開発初期から企業や業界との情報交換を通じて、企業ニーズの把握や業界の動向把握を行う。従来、研究者の自由な発想から得られたシーズ技術を元に、企業とマッチングさせて共同研究を行っているが、それに比べて実用化の成功率の大幅向上が期待される。

### 2. 戦略課題への取り組み

(1) ケイ素化学技術

未来開拓研究 PJ の中で、砂からの有機ケイ素原料製造プロセス、および有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発を行い、有機ケイ素材料の性能向上・新機能発現、大幅なコストダウンの達成を目指す。

(2) 革新的酸化技術

酸素や過酸化水素水など、クリーンな酸化剤を利用した酸化技術について、新規触媒の設計、触媒の機能化（反応活性、選択性、および耐久性の向上）、を通して酸化技術の拡充・深化を図り、実用的プロセス構築によって、多様な高機能化学品製造への展開を進める。

(3) 官能基変換技術

触媒反応による官能基変換・制御・付加技術を駆使して、セルロースに代表される生物由来原料や二酸化炭素に代表される難反応性原料および含ヘテロ元素化合物からの有用化学品合成反応の開発、および官能基変換技術を応用した高機能部材開発に取り組む。

(4) 触媒固定化技術

触媒分離・リサイクルの容易性、触媒成分の製品への混入抑制、連続流通反応による生産といった観点から、不均一系触媒による精密合成技術の開発が望まれている。様々な機能性化学品を高効率かつ低環境負荷で製造するための分子触媒の固定化・リサイクル技術の開発に取り組む。

内部資金：

内部資金 戦略予算 電子線を利用する次世代化合物製造技術の開発

外部資金：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 酸素又は窒素の固定化を利用した機能性化学品製造に関する先導的検討

独立行政法人科学技術振興機構 研究活動スタート支援 空気酸化によるエポキシ化合物の効率的合成法の開発

独立行政法人科学技術振興機構 基盤研究(C) 疎水性場の付与に基づく磁性ナノ粒子固定化遷移金属触媒の高機能化

独立行政法人科学技術振興機構 挑戦的萌芽研究 高スピンドル型金属触媒：新しい触媒領域の展開

独立行政法人科学技術振興機構 基盤研究(A) 短寿命代替フロン物質の地球温暖化ポテンシャル新指標の開発

発表：誌上発表38件、口頭発表92件、その他12件

ケイ素化学チーム

(Silicon Chemistry Team)

研究チーム長：島田 茂

(つくば中央第5)

概要：

当チームは、有機合成化学、触媒化学、有機金属化学、錯体化学、ヘテロ元素化学等の有機・無機合成化学技術を中心とした諸分野のポテンシャルを併せて、当センターの中核的研究課題の1つである「ケイ素化学技術」の開発を中心に推進している。具体的には、1) 有機ケイ素機能性化学品のための触媒技術開発、2) 触媒関連基盤技術開発の2つの課題に取り組んでいる。1つ目の課題については、①有機ケイ素原料を現状より格段に低エネルギー・低コストで製造する革新的な触媒技術の開発、②高機能有機ケイ素材料開発に繋がる高度構造制御触媒技術や白金代替触媒技術等に取り組んでいる。2つ目の課題「触媒関連基盤技術開発」については、将来の種になるような触媒開発に関連する有機金属、錯体、ヘテロ元素、材料技術等における挑戦的なテーマや産総研の独自性の高いテーマに取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

革新的酸化チーム

(Innovative Oxidation Team)

研究チーム長：佐藤 一彦

(つくば中央第5)

概要：

当チームでは、有機合成化学・触媒化学・錯体化学を基盤技術として、従来にない高効率且つ高選択的な触媒を創製し、高機能な化学品を製造でき且つ環境にやさしい酸化反応を開発している。開発したクリーン酸化技術は環境負荷の高い重金属類が排出されず有機溶媒の使用量を極小化しているため、当センターの戦略課題である「環境負荷物質の排出を極小化する反応・プロセス技術」の推進に貢献している。具体的には、過酸化水素を用いることで、反応後の廃棄物が水のみ且つ塩素フリーな方法で酸化する技術を推進している。特に高機能な触媒を用いる過酸化水素酸化技術を開発することにより、電子材料として有用なエポキシやカルボン酸を含む新規機能性材料を、実用化可能なレベルで製造できる方法の開拓に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目2

**官能基変換チーム**

(Functional Group Transformation Team)

研究チーム長：富永 健一

(つくば中央第5)

**概要：**

物質が持つ様々な特性や機能は、その物質を構成する分子の骨格と官能基により発現する。それらの骨格や官能基を変換したり、新たな官能基を付加することにより、物質に新たな機能を与え、有用な化学品を合成することが可能になる。

当チームは、触媒反応による官能基変換・制御・付加技術を駆使して、当センターの中核的課題の一つである「官能基変換技術」の開発に取り組んでいる。具体的には、(1)セルロースに代表される生物由来原料からの有用化学品合成、(2)小分子の付加による機能性化学品合成、および(3)官能基変換技術を応用した高機能部材開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目3

**ヘテロ原子化学チーム**

(Heteroatom Chemistry Team)

研究チーム長：韓 立彪

(つくば中央第5)

**概要：**

機能性化合物は、ハイテク産業を支える鍵物質である。当グループでは、ヘテロ元素資源の有効利用とより機能性の高い材料の創出を目指して、リン・イオウ・ケイ素・ホウ素等の各種機能性ヘテロ元素化合物の省エネルギー・省資源・環境保全型製造法の開発から、含ヘテロ元素機能性材料の試作までの一貫した研究を行っている。具体的には、触媒手法を用いた機能性リン化合物・機能性イオウ化合物の高効率合成法の開発と、リン・イオウ・ホウ素・ケイ素系機能性材料の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目3

**触媒固定化設計チーム**

(Catalyst Design Team)

研究チーム長：安田 弘之

(つくば中央第5)

**概要：**

当チームでは、化学プロセスにおける廃棄物の更なる低減、エネルギー効率の一層の向上、循環型資源への原材料転換を目指し、その実現のためのキーテクノロジーである触媒の分子・原子レベルでの設計・開発を行っている。具体的には、当センターの4つの中核的課題の中の「触媒固定化技術」に主として関与する中で、触媒の分離・リサイクルを容易にし、触媒成分の製品への混入を防ぐための分子触媒の固定化・リサイクル技術や、触媒の低コスト化、省資源のための貴

金属代替・省量化技術の開発に取り組んでいる。また、二酸化炭素からの有用化学品製造技術や有機ケイ素化学品の高効率製造技術の開発も合わせて行っている。研究開発のキーワードは、高効率（高活性、高選択性）、高品質（残留金属低減、ノンハロゲン）、低環境負荷（E-ファクター低減）、再生可能資源（二酸化炭素、ケイ砂）利用等である。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3、テーマ題目4

**[テーマ題目1] ケイ素化学技術****[研究代表者]** 島田 茂 (ケイ素化学チーム)

**[研究担当者]** 島田 茂、佐藤 一彦、浅川 真澄、田村 正則、清水 政男、中島 裕美子、五十嵐 正安、八木橋 不二夫、江口 勝哉、石原 吉満、山下 浩、安田 弘之、崔 準哲 (常勤職員13名、他16名)

**[研究内容]**

シリコンに代表される有機ケイ素材料は、耐熱性、耐候性、耐光性、高光透過性、耐寒性、離型性等の様々な優れた特性を有しており、他の材料では代替できない材料として極めて広範な分野において利用されている。また、その原料は岩石や砂としてどこにでも多量に存在しているが、製造規模は有機材料に比べはるかに小さい。その理由として、中間原料の製造に多量のエネルギーが必要であることや、高性能材料開発に欠かせない触媒技術の開発が有機材料に比べ大きく遅れていることなどが挙げられる。そこで、本テーマでは、以下の2つの研究課題に取り組むことにより、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現とともにコストダウンを達成し、エネルギー関連部材・電子機器用部材をはじめとする高性能・高機能部材開発を通して、有機ケイ素部材の市場拡大に繋がる基盤技術の開発を行っている。

(砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発)

本課題では、有機ケイ素原料製造における大幅な省エネルギーの達成を目標に、砂から金属ケイ素を経由せずに有機ケイ素原料を製造するための触媒技術開発を行う。具体的には、ケイ砂を効率的に反応させるための処理方法の検討や不純物の影響の解析等、触媒の中心元素の種類や配位子構造の検討等を行う。更に、温度や反応媒体等の反応条件についても検討する。なお、これらを複数の反応経路を想定して実施する。

平成26年度は、主に以下の4点について検討を行った。  
①シリカを原料としたアルコキシシランへの変換ルートについて、触媒候補である様々な金属アルコキシドの性能を、反応条件である塩基存在下での安定性および副生成物抑制の観点から検討し、最も良い触媒候補としてチタンアルコキシドを選定した。  
②水素を還元剤としてアルコキシシランやハロシランのケイ素-酸素結合やケイ素-ハロゲン結合をケイ素-水素結合に変換するため、

既知の遷移金属ヒドリド錯体を触媒として用いた検討を行うとともに、新たに鉄やコバルトからなる触媒の設計を行い、新規錯体を合成した。③高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発に関して、高活性ケイ素化学種と芳香族化合物や金属塩などの固体状基質との反応を検討するとともに、気体状基質との反応を検討し、反応効率に影響を与える要因に関する知見を得た。④その他、ポリケイ酸や稲わら由来の  $\text{SiO}_2$  の利用、プラズマや電気化学的手法を用いた有機ケイ素原料合成の可能性について文献調査を行った。また、ポリケイ酸を利用する方法に関して、予備的な実験的検討を開始した。(有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発)

本課題では、有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造するため、現行の白金触媒を代替する非金属系等の触媒や有機ケイ素部材の高度な構造制御を可能とする触媒等の研究開発を行う。具体的には、複数の高機能有機ケイ素部材を想定し、触媒の活性中心元素や配位子構造の検討等を行い、更に触媒反応のシミュレーションを実施する等、触媒の高活性化や反応の高効率化を検討する。

平成26年度は、主に以下の3点について検討を行った。①ニッケル触媒を用いた検討を行い、アルコキシ基やシロキシ基等反応性置換基を有するヒドロシランおよび配位性置換基を有するオレフィン類を基質とするヒドロシリル化反応に有効であることを見出した。②ケイ素-酸素結合形成技術においては、選択的にケイ素-酸素結合を形成できる反応の開発に関して、従来法では合成が困難な種々のシラノールを無水条件下で合成・単離することに成功し、構造制御された有機ケイ素材料の基本原料として利用可能なシラノール類を合成する触媒や反応経路を選定することができた。メトキシシラン類又はエトキシシラン類とアシロキシ化剤との反応によりアシロキシシラン類を効率よく与える触媒反応系を見出した。クロスカップリング反応に関しては、副反応である置換基の交換反応の抑制を期待し、ヒドロシラン等価体を用いたアルコキシシランとの脱水素的クロスカップリング反応を検討した。その結果、ヒドロシランを用いた場合に比べて交換反応が抑制される傾向を見出すことができた。③ケイ素-ケイ素結合形成技術においては、脱水素カップリング反応に関して、高次シランを製造する検討を実施した。触媒探索を継続した結果、無触媒と比較して100度低い反応温度でも無触媒時に比べて高収率で高次シランを生成する触媒を見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ケイ素材料、機能性材料、貴金属触媒、卑金属触媒、固体触媒、省エネルギー

【テーマ題目2】革新的酸化技術

【研究代表者】佐藤 一彦 (革新的酸化チーム)

【研究担当者】佐藤 一彦、今 喜裕、田中 真司  
(常勤職員3名、他4名)

【研究内容】

酸化反応は、石油化学製品製造の最も基本的なプロセスの一つであり、全化学プロセスの30%を占めると言われ、工業的に最重要な反応である。しかし、これまでの反応は、酸化剤に起因する廃棄物による環境への負荷が大きく、今後クリーンな酸化剤を使用することによる環境低負荷なプロセスへの転換が喫緊の課題である。本研究テーマでは、反応後に排出される廃棄物が水のみであり、有効酸素含有率も高い過酸化水素を用いる酸化技術の開発を行う。過酸化水素は紙・パルプの漂白、殺菌、半導体洗浄などに用いられ、消毒薬としてもなじみが深い。産業においてもヒドラジン、カテコール、ナイロン原料、樹脂原料など石油からの基礎化学品製造に使用されている。一方で、医薬品や電子材料など高機能化学品の製造にはほとんど使用されていない。これは過酸化水素の酸化力があまり高くなく、高機能化学品製造に適用できるレベルでの選択性や反応効率が達成されていないためである。本テーマでは、過酸化水素の選択性や反応効率を飛躍的に向上させる触媒を新規に開発することにより、医薬品や電子材料などの高付加価値品をクリーンに製造する技術を開発し、日本の産業競争力を向上させることを目的としている。

近年、本テーマの推進により、半導体封止材用途の二官能エポキシ化合物や鉄を触媒に用いるスチレンオキシドの製造法開発に成功している。これら成果により、レアメタルを用いない鉄によるエポキシ化反応が可能になり、工業品のエポキシ化にも対応可能となってきた。今年度は、アリルアルコール類の選択酸化技術を行った。さらに、新たな試みとして、酸素を酸化剤とする選択酸化技術を目指して検討を開始した。

(アリルアルコール類の選択酸化反応)

アリルアルコール類を過酸化水素と新規触媒を用いて酸化し、高選択的に $\alpha,\beta$ -不飽和カルボニル化合物を合成する技術を開発した。 $\alpha,\beta$ -不飽和カルボニル化合物は、医薬品原料や香料などに使用される中間体の主骨格であり、穏和な条件下で合成する必要がある。鉄とピコリン酸からなる触媒に用い、アリルアルコールから $\alpha,\beta$ -不飽和カルボニル化合物を穏和な条件下、少ない過酸化水素使用量で合成する技術を開発した。配位子として用いるピコリン酸を基質に合わせて適切に選ぶことにより、様々な $\alpha,\beta$ -不飽和カルボニル化合物が収率80%以上で合成できることを確認した。

(酸素を酸化剤とする酸化反応の検討)

これまでクリーンな酸化剤として過酸化水素を用いる酸化技術の開発を進めてきたが、究極的に環境にやさしい酸化剤として、空気中の酸素を酸化剤とする選択酸化技術を目指して検討を開始した。酸素を用いる酸化反応について技術調査、市場調査を行うとともに、鉄やモリ

ブデン等の化合物を触媒に用い酸素酸化を検討した結果、不飽和カルボン酸合成反応を見出すに至った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 選択酸化、過酸化水素酸化、遷移金属触媒

### 〔テーマ題目3〕 官能基変換技術

〔研究代表者〕 富永 健一（官能基変換チーム）

〔研究担当者〕 富永 健一、今野 英雄、根本 耕司、韓 立彪、内丸 祐子、山下 浩、安田 弘之、坂倉 俊康、藤田 賢一、小野澤 俊也、崔 準哲、深谷 訓久（常勤職員12名、他17名）

#### 〔研究内容〕

物質を構成する分子の骨格変換や官能基付加は、物質に新たな機能を与え、有用な化学品を合成することを可能にする。今日、有機合成反応技術は高度なレベルに達しているが、高性能・高機能部材をさらに高効率かつ省資源なプロセスにより製造するための触媒開発が望まれている。本テーマでは、(1)セルロースに代表される生物由来原料からの有用化学品合成、(2)小分子の付加による機能性化学品合成、(3)ヘテロ元素系反応技術および(4)官能基変換技術を応用した高機能部材開発に取り組んでいる。今年度の進捗の概要は下記の通り。

（生物由来原料からの有用化学品合成）

レブリン酸はセルロース系バイオマスから合成可能な化学品の中でも、燃料、基本化学品、機能性化学品の中間体として利用可能であり、基幹物質として高いポテンシャルを有している。今年度はバイオマス由来のリグノセルロース原料を用いた水中でのレブリン酸合成について検討し、その結果、リグノセルロース原料を用いた場合でも試薬の微結晶セルロースを原料とした場合と同様に反応が進行し、しかも微結晶セルロースを原料とした場合よりも収率よくレブリン酸が生成することを確認した。

（小分子の付加による機能性化学品合成）

二酸化炭素からの化学品製造について、今年度は、市販の含窒素複素環カルベンを触媒として用いることにより、二酸化炭素雰囲気下プロパルギルアミンのカルボキシル化—環化反応が進行し、反応温度や二酸化炭素圧を選択することにより、対応する2-オキサゾリジノンや2-オキサズロンそれぞれが収率よく得られることを見出した。芳香族アミンと二酸化炭素、スズアルコキシド化合物とを反応させて、芳香族ウレタンを高収率で得られることを見出した。この手法は2,4-ジアミノトルエンを用いた芳香族ウレタンの合成にも適用可能である。また反応後の残留物からスズアルコキシド化合物を再生することに成功した。また、二酸化炭素をより反応性の高い一酸化炭素に変換する触媒の開発を行い、従来貴金属錯体のみ可能であったこの反応を、ニッケル錯体を用い

て行なうことに成功した。

（ヘテロ元素系反応技術）

電子線照射によりヘテロ原子化合物が有機材料に直接導入できることを見出し、ヘテロ原子化合物の簡便な合成法を開発した。

（高機能部材開発）

有機エレクトロルミネッセンス（EL）素子の発光材料として用いることが可能な発光性金属錯体材料の開発を行った。ヘテロレプティックフェニルピリミジン系イリジウム錯体が室温下溶液中で強い緑色発光を示すこと、ならびに昇華性が良好であることを見出し、有機材料として非常に高いポテンシャルを有することを明らかにした。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 バイオマス、二酸化炭素、キラルリン化合物、有機 EL 素子

### 〔テーマ題目4〕 触媒固定化技術

〔研究代表者〕 安田 弘之（触媒固定化設計チーム）

〔研究担当者〕 安田 弘之、崔 準哲、坂倉 俊康、高橋 利和、藤田 賢一、小野澤 俊也、深谷 訓久（常勤職員7名、他10名）

#### 〔研究内容〕

高度部材産業を支える情報電子材料や医薬品中間体などの機能性化学品を省エネルギー、省資源かつ低環境負荷で製造するための技術開発がますます重要になりつつある。機能性化学品の合成には多くの場合、高い活性・選択性を有し、分子設計が比較的容易な錯体触媒などの分子触媒（均一系触媒）が用いられる。一方で、触媒分離・リサイクルの容易性、触媒成分の製品への混入抑制、連続流通反応による生産といった観点から、不均一系触媒による精密合成技術の開発が望まれている。本テーマでは、様々な機能性化学品を高効率かつ低環境負荷で製造するための分子触媒の固定化・リサイクル技術の開発および触媒の低コスト化、省資源のための貴金属代替・省量化技術の開発を行っている。

平成26年度は、シリカ担持含窒素複素環カルベン—金錯体を合成し、この触媒活性を検証した。トリメトキシシリルを有する含窒素複素環カルベン—金錯体を調製しシリカ存在下トルエン中で加熱還流することにより、シリカ担持体が得られた。これを触媒として用い、プロパルギルアミンのカルボキシル化—環化反応を行ったところ、対応する2-オキサゾリジノンが得られた。触媒成分の担体への吸着と液相への溶出を温度によって制御できる触媒の開発を行った。開発した触媒をプロモオクタンハロゲン交換反応に適用すると、同様の均一系触媒の活性には及ばないものの、従来の共有結合で固定化された触媒より30倍以上の活性を有することがわかった。さらに、濾過による触媒の繰返し使用を行うと、4回目

の反応でも触媒活性の低下は見られなかった。キレート配位によって Ti-O-Si 結合を安定化させたチタンシロキシ錯体を合成し、この錯体をシリカ表面に分散させて固定化し、焼成することで、Ti-O-Ti の結合を持っていないチタノシリケート触媒を得ることに成功した。得られたチタノシリケート触媒の活性を、tert-ブチルヒドロペルオキシド (TBHP) によるシクロヘキセンの酸化によって評価したところ、従来の触媒と比べ非常に高活性であることが明らかになった。<sup>29</sup>Si 同位体を約40%含む Al-MCM-41を調製し、<sup>1</sup>H-<sup>29</sup>Si FSLG HETCOR 実験を行い、Si に近接した<sup>1</sup>H シグナルを決定した。<sup>1</sup>H-<sup>13</sup>C CPMAS、<sup>19</sup>F-<sup>13</sup>C CPMAS 実験結果をフルオロアルキルおよびフルオロアリアル基修飾シリカの構造解析に適用した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】固定化触媒、シリカ、 dendrimer、酸化反応、固体 NMR

### ⑧【再生可能エネルギー研究センター】

(Renewable Energy Research Center)

(存続期間：2013.10.1～2017.3.31)

研究センター長：大和田野 芳郎

副研究センター長：古谷 博秀

総括研究主幹：安川 香澄

所在地：福島再生可能エネルギー研究所

人員：26名 (26名)

経費：2,813,916千円 (243,084千円)

概要：

#### 1. ミッションと目標

再生可能エネルギー研究センターは、政府の「東日本大震災からの復興の基本方針」及び「福島復興再生基本方針」を受けて設立された、福島再生可能エネルギー研究所における唯一の研究ユニットであり、そのミッションは、「世界に開かれた再生可能エネルギー研究開発の推進」及び「産業集積と復興への貢献」としている。

また、当研究センターでは、第3期中期計画に基づく「研究戦略」の「I グリーン・イノベーションの推進戦略」の第一課題である「I-1 再生可能エネルギー技術」の研究開発を担当する。また、分野別研究推進戦略では、環境・エネルギー分野重点課題「再生可能エネルギー」、地質分野重点課題の「地圏の資源と環境」中の「地下水・地熱資源ポテンシャル評価」を担当する。

#### 2. 研究開発の方針

上記目標と中期計画を実現するために、再生可能エネルギーの大量導入の早期実現に向けて解決すべ

き以下の技術を戦略的研究課題として設定し、これらの研究課題を企業、大学等と共同で進めていく。

- ・再生可能エネルギーの大量導入のための新システム統合技術
- ・太陽光発電の高効率化・低コスト化技術
- ・地熱・地中熱の適正開発技術

「再生可能エネルギーの大量導入のための新システム統合技術」に関しては、時間的に大きく変動する太陽光発電や風力発電の出力を水素キャリア等の貯蔵技術を利用して需要とマッチングさせると共に、商用電力系統との円滑な連系を可能とする。

「太陽光発電の高効率化・低コスト化技術」に関しては、未だに高い太陽光発電の発電単価を大幅に低減することにより導入を加速する。

「地熱・地中熱の適正開発技術」に関しては、地熱発電や地中熱利用に関して高度な地熱モニタリング技術と正確なデータマップを提供し、環境に適合した適切な導入を支援する。

以上3つの研究課題を、国内及び世界の主要な研究所・拠点と連携し、世界最先端の再生エネルギーの研究開発を行うと共に、福島県等の東北被災県の企業、大学、公設試等とも連携することにより、再生可能エネルギー産業集積を促進し復興に貢献する。

これら3つの研究課題を解決するため、具体的に次の6つの研究開発を重点的に進める。

#### (1) 再生可能エネルギーネットワーク開発・実証

時間的に大きく変動する再生可能エネルギーの高密度の大量導入に必要な、様々な貯蔵技術を活用したエネルギーネットワークを構築し、エネルギー需要とのマッチングや電力系統との円滑な連系を可能とする技術を開発・実証する。最終的には、福島拠点において再生可能エネルギーによる100%のエネルギー自給を実証する。また、電力変換器や電力貯蔵等の新技術の性能評価及び国際標準化、ICT 技術を活用した高精度広域発電量予測技術の開発も行う。

#### (2) 水素キャリア製造・利用技術

太陽光・風力発電等の変動電源から水素キャリア(有機ハイドライド、アンモニア等)を製造することにより、変動する再生可能エネルギーを大量貯蔵・輸送し、高効率で利用するシステム技術を開発・実証する。システムの中心となるコジェネエンジン技術では、燃料の80%を再生可能エネルギー由来の水素に置き換えられる技術を確認する(現状技術の水素割合20%)。また残りの20%の燃料について、現状は軽油を使用しているが、燃料利用の高度化技術によりバイオマス燃料比率を高める。最終的には全ての燃料を再生可能エネルギー由来(水素80%/バイオマス燃料20%)とするコジェネエンジンの実現を目指す。

(3) 高性能風車要素技術およびアセスメント技術

ナセル搭載 LIDAR による発電量向上・長寿化技術を確立し、発電量を現在の1MWあたり1.75GWhから5%以上増加し、風車寿命を現在の約20年から5~10%程度延ばすことを目指す。また、数値モデルと各種計測技術を統合した高精度サイトアセスメント技術を開発し、風力発電の年間発電量を高精度（誤差±5%以下）に推定可能とし、アセスメントにかかる計測費用を現状の約5,000万円（数十MW程度のウィンドファームを想定）から2、3割削減を目指す。

(4) 薄型結晶シリコン太陽電池モジュール技術

結晶シリコンインゴットから太陽電池モジュールまでの一貫製造ラインを用いて、高効率・低コスト・高信頼性を兼ね備えた薄型結晶シリコン太陽電池モジュールの量産化技術を企業群（次世代結晶シリコンPVコンソーシアム構成企業など）と連携して実現する。厚さ80µmの太陽電池セルと薄型ガラスを用いた軽量（現行汎用品の半分）モジュールで、変換効率22%、寿命30年を目指す。さらに厚さ50µm以下の超薄型セルの開発を進め、変換効率23%の軽量化モジュールの実現を目指す。

(5) 地熱の適正利用のための技術

地熱発電所の持続的な運転や周辺温泉への影響監視・評価に必要なモニタリング技術、地熱発電可能地域を拡大する技術等を開発する。また、地熱利用の社会的受容性を高めるため、地熱モニタリング技術開発の成果、及び地熱情報データベース等を利用し、温泉資源との共生を支援する合意形成支援手法を開発する。

(6) 地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術

地下水流動・熱交換量予測シミュレーションに基づく高分解能（<1kmメッシュ）地中熱ポテンシャルマップを作成し、それを活用して地中熱利用システムの最適化・高精度設計技術の開発を行う。地中熱ポテンシャルマップと最適設計手法により、2030年に設備容量2,000MWt（現在の約100倍）の地中熱利用システムの導入を目指す。

外部資金：

経済産業省

「地熱エネルギー抽出量増大のための革新的技術の開発」  
「再生可能エネルギー発電システム最適化のための評価技術の開発」

農林水産省（農業・食品産業技術総合研究機構）

「施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発」

NEDO

「風力発電高度実用化研究開発/10MW 超級風車の調査研究（要素技術）」

「地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」

「島弧日本のテラワットエネルギー創成先導研究」

科学技術振興機構

「アンモニア内燃機関の技術開発」

「水素エンジン燃焼技術」

石油天然ガス・金属鉱物資源機構

「地熱貯留層評価・管理技術」

福島県

「福島県における再生可能エネルギー大量導入に向けた再生可能エネルギー発電観測システムの開発及び解析」

科学研究費助成金

「地中熱ポテンシャル評価手法の高度化と東北5地域における地中熱ポテンシャル評価」

発表：誌上発表65件、口頭発表145件、その他9件

エネルギーネットワークチーム  
(Energy Network Team)

研究チーム長：大谷 謙仁

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

再生可能エネルギーは自然と共に変化するため、それによる電力供給を安定化するためには、電力貯蔵や利用者側の調整が必要となる。また、再生可能エネルギーは場所による偏在もあるため、それぞれの場所に適した再生可能エネルギーを選択し、様々な組み合わせを検討する必要がある。当チームでは、大規模な太陽光発電と風力発電に、水素と蓄電池による電力貯蔵を組み合わせた再生可能エネルギーネットワーク（マイクログリッド）を構築し、柔軟な設備更新とオープンな試験環境によって、電気利用者の目線に立つ新しいエネルギー供給モデルの提案を進める。

具体的には、再生可能エネルギーの導入拡大を進めるため、特に太陽電池に関する各技術の性能を検証、再生可能エネルギーによる電源価値を向上するため、蓄電技術や水素製造・貯蔵・利用技術、さらには、熱利用技術を統合した再生可能エネルギーマネジメントシステムを開発など、これらの技術開発により、再生可能エネルギーの導入可能量を大幅に引き上げ、再生可能エネルギー100%による電力自立などの様々な利用シーンの実証を目標とし、米 NREL、ノルウェーの SINTEF といった国内外の研究機関との連携し

た共同研究と国際標準化を推進する。

研究テーマ：テーマ題目1

### 水素キャリアチーム

(Hydrogen Energy Carrier Team)

研究チーム長：辻村 拓

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

太陽光・風力などの再生可能エネルギーは自然状況に左右されて変動するため大量導入の妨げとなっている。本研究では、再生可能エネルギーと水を使って水素を発生させ、その水素を安全かつ軽量・コンパクトな水素キャリアへ化学変換する技術を開発、また大量に貯蔵できる水素キャリアを、エネルギーの需要地でクリーンかつ高効率に利用する技術を開発し、再生可能エネルギーの大規模利用に貢献する。

具体的には、水素キャリアとなる有機ハイドライドの一種であるメチルシクロヘキサン (MCH) の製造や MCH から脱水する触媒の過渡性能などを評価、また、非石油起源のキャリアの可能性を拡げるため、原料や不純物が触媒性能に及ぼす影響を調査、同様に水素キャリアとなるアンモニアをハーバーボッシュ法 (500℃、200気圧) よりも低温・低圧の下で効率的に製造するための触媒反応技術の開発を進める。

また、水素キャリアを効率良く使うため、脱水素触媒を装着した廃熱回収型コージェネエンジンにおいて、脱水素によって取り出した水素ガスをコージェネエンジン等の燃料の一部として使い、安全かつ高効率に電気と熱をつくるエンジン技術を開発する。

こうした水素キャリアの製造から利用までをシステム化した『水素キャリア製造・利用統合実証システム』により様々なエネルギー貯蔵・利用モデルの検討を進めていく。

研究テーマ：テーマ題目1

### 風力エネルギーチーム

(Wind Power Team)

研究チーム長：小垣 哲也

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

風力発電の更なる本格普及のためには、発電コストの更なる低減を目指し、風車の高出力化・長寿命化や低騒音化による設備利用率の向上や、事前の設置予定次の選定や年間発電量評価のためのアセスメント技術の高精度化が大きな課題となる。こうした課題に対して、近年、国際的に注目されつつある「ナセル搭載 LIDAR」を活用すると、風車前方の風速や風向をリモートセンシングにより計測することができるが、これにより風向急変や突風等を事前に察知し、風車の制御を予め実施することにより、発電出力の向上、寿命

向上、故障の低減といった事が期待される。本研究では、ナセル搭載 LIDAR として求められる仕様を検討し、その仕様を満たすプロトタイプ機を開発した。今後は、フィールドにおける計測精度の実証と、風車の予見制御技術の先導研究として予見制御アルゴリズムの開発を行うと共に、設備利用率、性能評価、荷重低減効果に関する実証研究を実施する。更には、長期間使用可能な全天候型光マイクロホンの開発と共に、無人航空機を活用した現地計測技術、気象シミュレーション技術、衛星画像データによる風速推定技術を統合し、洋上風力発電のアセスメント手法の高精度化に寄与する研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1

### 太陽光チーム

(Photovoltaic Power Team)

研究チーム長：高遠 秀尚

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

太陽光発電の将来にわたる持続的な普及・発展には、その中心となる結晶シリコン太陽電池セル・モジュールの一層の高効率化・低コスト化が必要となる。太陽光チームでは、結晶シリコンインゴットのスライスからセル・モジュールまでの一貫製造ラインを構築し、ウェハ・セル・モジュールを一体とした研究開発を進める。

また、量産に対応した先端的な製造技術の開発を民間企業と共同で行うことにより、太陽電池関連産業の技術力向上と国際競争力の強化とを図る。

具体的には、厚さ100 $\mu\text{m}$ 以下のウェハを実現するために、固定砥粒 (ダイヤモンドワイヤー) 方式によるシリコンインゴットのスライス技術の開発、高効率・低コストの結晶シリコンセルの実現を目指した厚さ100 $\mu\text{m}$ 以下の新しい構造のセルの開発、高効率・低コスト・高信頼性・軽量結晶シリコン太陽電池モジュールの実現のための薄型ガラスを用いたダブルガラス構造のモジュールの開発、量産に対応した先端的なプロセス技術の開発などを行っていく。

研究テーマ：テーマ題目2

### 地熱チーム

(Geothermal Energy Team)

研究チーム長：浅沼 宏

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

我が国の地下に存在する地熱エネルギーの量は世界第三位とされているが、様々な理由によりそれを十分に利用できていないのが現状である。本チームでは、資源の不確定性や温泉との共生などの導入阻害要因の克服、社会・地下状況に合わせた最適開発手法の提示、



工学的手法による地熱エネルギー利用可能地域の増大を目指した研究を行い 我が国における地熱発電増大に早急に寄与することに加え、国際連携を通じて特に東アジア地域での地熱発電の導入促進に寄与する。

具体的には、MEMS、光ファイバ等を利用したセンシングシステムの開発、多元非定常信号処理法、統合解釈法等の高度解析技術の導出を通じて貯留層内で生じている現象の可視化を目指す。また、産総研が有する膨大な地熱資源情報を高度データベース化するとともに地球熱シミュレータの開発を通じて最適な開発手法の提示や温泉との共生に寄与する。さらに水圧刺激や注水による貯留層最適作成・制御技術を開発し、地域に依存しない開発・利用方法を導出していく。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 地中熱チーム

(Shallow Geothermal and Hydrogeology Team)

研究チーム長：内田 洋平

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

「地中熱ポテンシャル評価」では、各地域において現地地質調査・地下水調査を実施し、地下水流動・熱交換量予測シミュレーションに基づく地中熱ポテンシャルマップを作成する。その一環として、福島県を中心とした東北地域における地中熱ポテンシャルを評価すると共に、設計の高精度化とシステムの低コスト化により、地中熱利用の促進と拡大を目指している。また、「地中熱システムの最適化技術開発」では、地域の地質的特性・地下水流動特性に合った地中熱システムの最適化、および総合的な地中熱システム技術開発を行っている。

具体的には、地中熱利用の対象となる地下数 m～100m 付近には、地下水が豊富に存在しており、それらの地下水を有効に利用しつつ、保全することを目的としている。当チームでは、適切な地中熱利用の普及促進ため、地質・地下水環境や地下熱環境に関する研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 【テーマ題目1】再生可能エネルギーの大量導入のための新システム統合技術

【研究代表者】大谷 謙仁（エネルギーネットワークチーム）

【研究担当者】大谷 謙仁、佐々木 仁、前田 哲彦、橋本 潤、遠藤 成輝、辻村 拓、難波 哲哉、小島 宏一、小垣 哲也、菊島 義弘、竹山 優子、嶋田 進（常勤職員12名、他34名）

#### 【研究内容】

「再生可能エネルギーの大量導入のための新システム

統合技術」に関しては、時間的に大きく変動する太陽光発電や風力発電の出力を水素キャリア等の貯蔵技術を利用して需要とマッチングさせると共に、商用電力系統との円滑な連系を可能とする。

再生可能エネルギーネットワーク開発・実証については、以下の研究を実施した。

#### ・システム統合技術とエネルギーマネージメント

太陽電池モジュール10種以上、パワーコンディショナ3機種22台で構成された太陽光発電システム、固体高分子型水電解システム（燃料電池機能付）、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵システム等の個別要素技術の性能分析を行い、これを基盤とする多くの共同研究を実施した。今後、模擬電力系統を介したシステム統合の実証やシミュレーション技術、変動する再生可能エネルギーによる水素製造と電気自動車を活用した平滑化実証等のシステム研究を推進する。

#### ・再生可能エネルギー資源の高度モニタリング

福島県再生可能エネルギー次世代技術開発事業（平成25～26年度）を通じて、福島県内に太陽光発電と風力発電が大量導入された場合の、発電電力の時間的・空間的変動を把握するための再生可能エネルギー発電観測システムを開発した。福島県全域の発電量（太陽光・風力）を1時間単位/2km メッシュで推定が可能であり、また、同じ計算モデルで数時間先の発電予測も可能になった。今後、更に精度を上げて本システムの全国展開を検討している。

#### ・再生可能エネルギーによる水素製造・貯蔵・利用システム

太陽電池を固体高分子型水電解装置に直結し、最適な運転ポイントで水素を製造する運転手法と水電解装置を開発した。今後、再生可能エネルギーによる水素製造コストの低減へ向けた技術開発を進める。関連技術開発を行い FCV 普及と水素エネルギー社会実現を目指している。

水素キャリア製造・利用技術については、以下の研究を実施した。

#### ・有機ハイドライドの触媒性能評価

水素着脱反応触媒評価装置及びオンラインガスクロマトグラフを活用し、生成物種及びその濃度を定量的に測定した。有機ハイドライドの製造プロセスへの設計指針を構築するとともに、流通時の規格・標準化へのバックデータを取得した。現在、水素化・脱水素化プロセスの繰り返し回数を増し、水素着脱反応による生成物の質及び量の推移を調べている。

#### ・水素キャリア製造・利用統合システム実証

大型アルカリ水電解、水素化触媒塔、大型貯蔵タンク、脱水素触媒搭載型コジェネエンジンを統合した世界最大級の水素キャリア製造・利用統合システム実証機を稼働した。約1年間で5MWh の電力（一般家庭500軒日分）を水素あるいはMCHとして貯蔵した。今後は、

FREA のエネルギーネットワークに組み込み、電力貯蔵・利用方法を提案する。

・MCH を用いた次世代コジェネエンジン技術

MCH を用いた次世代コジェネエンジンにおいて、エンジン排熱エネルギーを MCH の脱水素に活用する熱回収技術および水素のエンジン燃焼技術を研究開発している。エンジン排熱の高温化等の熱回収を強化することで、世界トップ水準の MCH からの水素発生を実現している。また、水素のエンジン燃焼技術において、熱効率40%超の高効率かつ高排気温を実現した（通常、高効率にすると排気温度が下がるが、高排気温度の維持によって MCH の分解が可能になった）。

・アンモニア内燃機関の技術開発

東北大学と共同でアンモニアの直接燃焼利用技術を研究開発している。小型ガスタービン（50kW 定格）での燃焼利用に挑戦し、メタンとアンモニアの混合ガスを用いた混焼により、41.8 kW の発電に成功した。本研究開発は、内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「エネルギーキャリア」（管理人：国立研究開発法人科学技術振興機構）によって実施している。

高性能風車要素技術およびアセスメント技術については、以下の研究を実施した。

・ナセル搭載 LIDAR のフィールド実証結果

高性能なナセル搭載 LIDAR により、風車上流側の風速分布をリモート計測することに成功し、ナセル搭載 LIDAR によって得られる風車前方の風向情報を基に、 $\pm 10^\circ$ 以上のヨーエラーの出現率を改善することで、最大で6%程度、風力エネルギーを多く得ることが可能であることを見出した。

・アセスメント技術の高度化（数値気象モデル）

経産省 ASTER データを用いることにより、数値気象モデルの空間解像度を高解像度化するシミュレーション環境を整備した。海上風シミュレーションに特化した高解像度海面水温データセット MOSST（Shimada 2015）を開発し、海面付近における大気安定度の再現性を大幅に改善した。

・アセスメント技術の高度化（衛星リモートセンシング）

大気安定度を考慮した SAR（合成開口レーダ）による風速推定の補正手法を開発し、SAR 風速推定における風向の依存性の課題（陸風の場合、SAR 風速値は、実測値よりも過小評価傾向）を抽出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エネルギーネットワーク、太陽光発電、風力、水素キャリア

【テーマ題目2】太陽光発電の高効率化・低コスト化技術

【研究代表者】高遠 秀尚（太陽光チーム）

【研究担当者】高遠 秀尚、水野 英範、

Mitchell Jonathon、望月 敏光

（常勤職員4名、他11名）

【研究内容】

「太陽光発電の高効率化・低コスト化技術」に関しては、未だに高い太陽光発電の発電単価を大幅に低減することにより導入を加速する。

平成26年度においては、以下の研究を実施した。

・FREA 標準セル作製プロセスの確立

福島再生可能エネルギー研究所（FREA）における新規導入装置の立ち上げを行い、FREA 標準セル作製プロセス（AI-BSF 構造で、メーカーの量産品と同等以上の、セル平均効率約19.3%の量産化試作施設）を確立した。この一環として、シリコンインゴットのダイヤモンドワイヤーを用いたスライスによる薄型ウェハ（厚さ0.12mm）の作製技術を確立した。厚さ0.12mm ウェハの量産に近い加工条件を確立し、歩留まり99.8%を達成した。さらに、先進的な太陽電池技術の試みとして、厚さ0.1mm の両面受光型太陽電池セルの試作を実施した。さらに、イオン注入技術により、ピラミッド状の表面においても深さが均一な拡散層の形成に成功し、イオン注入技術によりセルの変換効率18.7%を達成した。

・次世代多接合太陽電池「スマートスタック技術」の開発

整列したナノ粒子を用いて異種の材料の太陽電池を簡単に積層する、産総研のオリジナル技術であるスマートスタック技術について、GaAs/InP 系の4接合セルに適用し、変換効率31.6%を達成した。

・モジュールの信頼性向上・新規評価方法の開発

モジュールの新しい評価技術として、絶対 EL 法、in-situ AC インピーダンス測定法を開発した。本評価技術により故障箇所を非破壊で同定可能であり、モジュール内の各セルの電圧を個別に評価することが初めて可能とした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽光発電、結晶シリコン太陽電池

【テーマ題目3】地熱・地中熱の適正利用のための研究

【研究代表者】安川 香澄（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】安川 香澄、浅沼 宏、内田 洋平、相馬 宣和、最首 花恵、石橋 琢也、高橋 保盛、吉岡 真弓、Shrestha Gaurav、石原 武志（常勤職員10名、他8名）

【研究内容】

「地熱・地中熱の適正開発技術」に関しては、地熱発電や地中熱利用に関して高度な地熱モニタリング技術と精確なデータマップを提供し、環境に適合した適切な導入を支援する。

地熱の適正利用のための技術については、以下の研究を実施した。

- ・地熱井への加圧注水シミュレータの開発  
坑井を介した貯留層への加圧注水により地熱貯留層の能力改善を試みることがある。欧米の研究者と連携して加圧注水に対する亀裂の応答を模擬するシミュレータを開発した。東北地方の地熱フィールドで還元能力が低下した坑井を対象に実証試験を行った結果、事前シミュレーションで予測した通りに能力改善を実現し、発電量を増大（約1.1MW）させることに成功した。
- ・温泉泉質の遠隔連続モニタリングシステムの開発  
地熱発電と温泉との関連を科学的に説明可能にするために、温泉の泉質（温度、流量、電気伝導度）を計測できるシステムの開発を開始し、プロトタイプを製作した。このシステムは自立型計測を可能とし、インターネットを通じて、連続的に取得したデータをサーバへ転送する。今後、模擬温泉水生成装置を利用した性能評価やフィールド実証試験を重ね、2017年度末の実用化を目指している。  
地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術については、以下の研究を実施した。
- ・津軽平野の地中熱ポテンシャル評価  
熱応答試験（TRT）結果を組み入れた地下水流動・熱輸送モデルを構築し、流動解析結果と TRT 結果を基に有効熱伝導率の分布を推定するとともに、有効熱伝導率と地下温度分布図を GIS で重ね合わせ、全く新しいポテンシャルマップ（暖房利用）を作成した。既存の観測井データと TRT 結果を組み合わせ（産総研オリジナル技術）、少数の観測井でも高精度のマップが作成可能になった。
- ・会津盆地の水理地質構造の解明  
福島大学との共同研究を通じて、福島県会津地域における第四紀地質構造解析と水理構造（地下温度構造など）解析を行い、地中熱ポテンシャル評価の基盤データを構築した。
- ・自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの性能評価  
被災地企業のシーズ支援プログラムを活用して、日本地下水開発（株）との共同研究により、自噴井を利用した地中熱システムを構築した。システムを高度化させ、自噴を井戸内温度によって制御するシステムを構築した。運転方法にもよるが、冷房運転では COP7以上、暖房運転では COP5以上を確認した。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】地熱、地中熱、モニタリング、ポテンシャル、社会的受容性、地下水、シミュレーション

#### ⑨【ユビキタスエネルギー研究部門】

(Research Institute for Ubiquitous Energy Devices)

(存続期間：2004.4.1～2015.3.31)

研究部門長：谷本 一美  
副研究部門長：安田 和明  
首席研究員：香山 正憲  
総括研究主幹：鹿田 真一、小林 弘典

所在地：関西センター

人員：75名（75名）

経費：1,465,557千円（569,432千円）

概要：

東日本大震災、原子力発電所の事故により、わが国のエネルギー需給構造の変更を余儀なくされ、化石エネルギーへの依存が大きくなるとともに、使用するエネルギー量も増えつつあります。また、産業振興国での経済成長に伴い長期的に見てもエネルギー需要が今後も増加すると思われます。一方で、エネルギー資源産出諸国が中東や中央アジアであり、それらの地域の経済発展に伴う社会構造変化により、政情の不安定さがエネルギー供給の不確かに繋がりエネルギーコストの上昇をもたらして、我が国産業界への負担となっています。さらに地球温暖化の原因ともされている二酸化炭素の排出量の削減対応も、これらの経済的な負担軽減からも必要性が迫られています。その中でわが国の産業活動による継続的に経済が成長するとともに社会生活が持続可能となる社会システムへ再構築する必要があります。その対応策の一つとして自然エネルギー利用技術の期待が高く、その活用に向けての技術開発も進みつつあります。資源、環境、社会情勢の制約の中で、安全・安心なくらしの確保し、新しい産業技術開発の展開につながるようわが国の産業競争力を強化すべく、消費者に受容られる製品について、これまでの製品生産活動にとどまらず社会生活での利活用を拡げることも念頭においたイノベーションを起こすことが求められています。産総研として進めるグリーン・イノベーションを基軸として、環境調和型社会の構築と経済発展の両立を持続可能という条件も加えて、その実現を目指しています。

以上のような社会背景に基づき、産総研の第三期中期目標では、グリーン・イノベーションを実現するための課題解決型の研究開発の推進を進めています。その中で、当研究部門では以下の研究開発を分担実施しています。

- 省エネルギーによる低炭素化技術の開発
  - ✧ 運輸システムの省エネルギー技術
  - ✧ 住宅・ビル・工場の省エネルギー技術
  - ✧ 情報通信の省エネルギー技術
- グリーン・イノベーションの核となる材料、

## デバイスの開発

### ◇ ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材

より具体的には、家電や自動車などエネルギー需要者側における省エネルギーと環境保全を目指し、蓄電池、燃料電池などの新しい小型・移動型電源（ユビキタス・エネルギー）技術の研究開発を行うとともに、照明をはじめとする家電製品での省エネ・省資源化に資するため、材料基礎からシステム化まで通した研究に取り組んでいます。平成26年度は、第3期の最終年度であり、これらの研究開発を通した研究成果がどの程度まで進捗し、今後、産業界への展開が期待されるかを示すことも求められる時期となっています。そのため、これまで研究開発での構成要素である電極材料、電解質材料、触媒、エネルギー貯蔵材料、発光材料、蓄光材料、光電変換材料、有機電子材料などの材料開発を重視するとともに、材料開発の基礎となる材料科学や材料開発方法論等を部門のコア・コンピタンスと位置付けてきました。さらに、社会、特に産業界を「顧客」として位置付け、未来産業の創出は未来社会に貢献する新産業技術シーズの提案やハイリスク技術の実証などの「先導的産業技術の提案」および、国際標準や評価技術、寿命予測技術などの国際競争力のバックアップとなる「産業基盤技術の提供」を進めることを方針として考えてきました。そしてこれらの研究開発をバランスよくマネジメントすることで基礎研究から製品化までの「本格研究」を実践し、社会・産業界の発展に貢献したいと考えて展開してきました。

関西地域は、製造業生産高が関東の約半分であり、家電、繊維、医薬品などの産業界が関西からの移転で、わが国の経済規模の占める割合が十数%程度と従来に比べて低くなっています。しかしながら、関西地域は情報家電・電機、住宅等を支える素材産業やものづくり産業が高いポテンシャルを持っています。また、京大、阪大、神戸大の外に大阪府大、同志社大、立命館大、関西大等のレベルの高いアカデミアでの当該分野の集積は、関西地域の特徴であり、産総研におけるユビキタスエネルギー技術の産学官連携の戦略拠点として、関西地域での活動が重要といえます。このような特徴ある研究開発の集積の基に、近畿経済局、大阪科学技術センターなどの公的なコーディネータ機関とのネットワークを活用して、当研究部門ではナショナル・プロジェクトや研究コンソーシアム等を通したオープン・イノベーションのハブ（研究・連携拠点）としての役割を果たします。特に蓄電池などの省エネルギー技術を主体とする環境エネルギー技術分野では、技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター（LIBTEC）との連携、電気安全環境研究所とは、定置用蓄電池の安全性評価手法、日本自動車研究所とは電気自動車搭載の蓄電池の劣化状態把握などの研究

を進めることで、蓄電池の開発拠点の強化を図り、関西地域の産業競争力の向上に貢献するとともに、わが国の産業競争力強化に貢献する役割も果たしてきたと考えています。

#### 内部資金：

「新基幹材料としての機能性配位高分子の研究」

「 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 負極を用いたリチウム二次電池のナトリウム置換による低コスト・省レアメタル化研究開発」

「宇宙機用高エネルギー密度電池の開発」

#### 外部資金：

経済産業省 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業／「再生可能エネルギーのキャリアーとしての水素・化学水素化物の活性化技術に関する研究」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／「次世代パワーエレクトロニクス 将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発／ダイヤモンドパワーデバイス用ウエハの研究開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／「革新的設計生産技術／ガラス部材の先端的加工技術開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業／革新型蓄電池先端科学基礎研究開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発／基盤技術開発／定置用燃料電池システムの低コスト化のためのMEA高性能化（高濃度CO耐性アノード触媒開発）」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「液晶科学に基づく革新的塗布型有機太陽電池の開発（液晶性有機半導体の分子設計および合成と構造形成）」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「イオン液体中でのリチウム dendrite 成長の抑制と保護層への適用」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「通電焼結法を用いた酸化物バルク型全固体電池の創成」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (ALCA)

「①電極シートを主軸とした全固体電池の構築プロセスの設計」

「②全固体電池用電極シートの作製プロセス開発と高性能化」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (ALCA)

「ゼロソルベントによる新規電解質の開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (ALCA)

「Si 系負極および S 系正極の両電極に適合する電解液の探索、選定」

独立行政法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)

「マイクロカプセル化機能性文具の開発」

国立大学法人東京大学

「金属系構造材料の高性能化のためのマルチスケール組織設計・評価手法の開発」の推進

国立大学法人京都大学

「京都大学構造材料元素戦略研究拠点」 構造材料の粒界・欠陥の基礎物性の第一原理計算」

国立大学法人北海道大学

「ダイヤモンド金属-半導体電界効果トランジスタ (MESFET) の開発」

一般財団法人日本自動車研究所

「車載電池の性能評価手法の技術開発」

一般財団法人電気安全環境研究所

「装置用リチウムイオン二次電池の安全性評価技術等の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「薬物送達システムに資する無機中空蛍光体の蛍光特性に関する基礎的研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「高品質半導体ダイヤモンドを用いた高温動作パワースイッチングデバイスの研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「プラズモン増強効果を示す量子ドット分散微小球のゾルーゲル法を駆使した作製と評価」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「ビスマスナノプレートの磁気的および電気的特性に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「レドックスフロー電池を応用した間接型燃料電池」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「電子受容性単層カーボンナノチューブの有機系太陽電池への応用と最適化」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「高効率パワーデバイスの動作に影響を及ぼす CVD ダイアモンドの転位の解明」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「超省エネ型パワーデバイス作製の大型ダイヤモンド単結晶ウェハ合成フロンティア開拓」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「低融点アルカリ金属溶融塩のリチウム二次電池用電解液特性の解明」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A)

「低欠陥ダイヤモンドウェハ」

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究

「ダークステートを含めた感応性化学種の励起エネルギー準位構造の解明」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「金微粒子触媒における電気伝導特性と触媒反応機構の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「高機能性ポラス炭素の創成とエネルギー貯蔵への応用に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「面発光レーザーの表面実装に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「原子レベル構造解析に基づいたリチウムイオン電池電極材料の表面・界面理論の構築」

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究

「組織化された液晶性色素半導体を内部に持つ酸化チタンナノ粒子の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究

「シリカガラス中の特異な酸素配置を有する光活性イオンによる新規機能の創製」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)  
「高励起状態への遷移による有機分子の短波長励起二光子吸収特性の解明とその機能化」

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B)  
「二種の鎖状分子の同時配向制御と有機薄膜太陽電池の異方的な電子物性に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「高性能水素貯蔵材料としてのホウ素-炭素-窒素系多孔質高分子の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「次世代高エネルギー密度型リチウムイオン電池およびナトリウムイオン電池用正極材料」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「高性能液相化学水素貯蔵材料の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「高性能ホウ素-窒素系水素貯蔵材料の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「微細組織制御による発電用熱電変換材料の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費  
「人工層状構造を有する多機能材料の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 研究活動スタート支援  
「リチウム資源問題を解決する常温作動型ナトリウム二次電池の開発」

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究  
「第一原理計算によるバルクナノメタルの基礎物性設計」

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究  
「理論と実験の協奏的アプローチによる複合スピンの励起子変換制御」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (S)  
「ダイヤモンド量子センシング」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A)  
「高エネルギーイオン大気取出し窓兼位置敏感型検出器としてのダイヤモンド薄膜の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A)

「マルチラジカル性を有する開殻超分子系の光磁気機能物質の創成」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)  
「分子レベルでのグラフェンの電子構造の理解と新規物性の探索」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)  
「Zr系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則-不規則配列と酸化物イオン伝導」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C)  
「Zr系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則-不規則配列と酸化物イオン伝導」

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究  
「無機・有機複合体におけるランタニド錯体の多機能性発光特性の研究」

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B)  
「イオンビーム誘起 CVD 技術の高度化と SiC ヘテロエピ成長への応用」

発表：誌上発表163件、口頭発表443件、その他20件

#### ナノ材料科学研究グループ

(Materials Science Research Group)

研究グループ長：秋田 知樹

(関西センター)

#### 概要：

ユビキタスエネルギーデバイス開発の鍵を握るのは、触媒、燃料電池電極、蓄電池材料、水素吸蔵材料など優れた機能材料の開発であり、特に金属/無機ナノヘテロ界面は優れた機能が期待される。電子顕微鏡観察や走査プローブ顕微鏡観察と第一原理計算との連携は、こうした材料の構造や機能の基礎的解明に威力を発揮し、解明を通じた設計技術の確立や新規材料探索が期待される。当グループは、電子顕微鏡観察や走査プローブ顕微鏡観察、第一原理計算など、ナノ・ミクロの解析技術を用いて、金属/無機ナノヘテロ界面系をはじめとするナノ界面機能材料の原子・電子構造や機能のメカニズムの解明を行い、ナノ材料科学のフロンティアを切り拓く。また、ユビキタスエネルギーデバイスの新機能材料開発や蓄電池、燃料電池の機能や劣化メカニズムの解明など、材料開発・デバイス開発に基礎解析からの具体的貢献を行う。

ナノ・ミクロ解析技術とコンビケム技術の融合により、基礎解析を材料開発に積極的に活かして効率的に新材料を開発する新しい方法論-マテリアロミクス-の基盤技術の確立を図る。以上により、当ユニットの本

格研究の一翼を担い、ユニットのコア技術の醸成を図る。

### 新エネルギー媒体研究グループ

(New Energy Carrier Research Group)

研究グループ長：清林 哲

(関西センター)

#### 概要：

携帯電話から電気自動車に至るまで、電池に対する要求は、エネルギー密度や安全性、寿命、コスト、資源・環境に対する配慮などなど、あらゆる側面において今後も増す一方と予想される。当グループでは、現行の電池では実用化されていないものの、上記の電池に対する要求に応える鍵となるべき材料・物質を探求している。例えば、現行のリチウムイオン電池に多用されているコバルトなどの希少遷移金属を含む無機材料を、有機物に置き換えられれば、省資源や低コスト化に繋がり得る。リチウムそのものにも資源の偏在などの問題があり、ナトリウムで代替できれば資源量の制約からは逃れられる。二価のイオンであるマグネシウムを上手く利用できれば電池の高エネルギー密度化が図れるかも知れない。水素化物で新しい電池系が構築できないか、とも考えている。以上のように、既存の電池材料に代わる新しい材料系の可能性を追究している。

今年度の研究課題としては以下を推進した。(1) リチウムに代えてナトリウムやマグネシウムなどを用いた電気化学デバイス、(2) レアメタルなど希少資源を用いない有機物による電池材料、(3) 新しい電池系構築を指向した、水素化物に対する電極触媒の研究。

### 次世代燃料電池研究グループ

(Advanced Fuel Cell Research Group)

研究グループ長：五百蔵 勉

(関西センター)

#### 概要：

次世代の燃料電池に資する新技術やその派生技術に関する基礎技術研究を進めるとともに、新たなコンセプトの萌芽的研究テーマに取り組んでいる。(1)高い耐酸化性を有する酸素欠損型チタン酸化物を担体に用いたカソード触媒に関して、実セル環境における高電位加速劣化試験後の発電特性において、従来触媒の10倍以上の高い活性を有する白金合金触媒を開発した。(2)一酸化炭素酸化活性の高い新規な有機錯体系アノード触媒の開発については、白金ルテニウム触媒との複合化手法の改善により従来の1/9のロジウム量で同等の耐CO特性を実現した。(3)ダイレクト燃料電池に関しては、ヒドラジン誘導体(ジアミノウレア)を効率よく酸化できる触媒として鉄-フタロシアニンが優れていることを見出した。(4)亜鉛-空気電池の

可逆空気極触媒としてペロブスカイト型酸化物とアンチモンドープスズ酸化物担体の複合化手法の検討を行い、炭素担体を用いた従来触媒に比べ充放電サイクル安定性が優れていることを示した。(5)レドックスメディエータを用いた新規なレドックスフロー電池型の燃料電池システムに関する研究では、メディエータとしてヘテロポリ酸で過電圧の低い材料を見出すとともに、電極反応解析のためのインピーダンス測定技術を構築した。

その他、固体高分子形燃料電池・水電解可逆セルに関する高性能酸素極触媒の開発、非白金錯体系酸素還元触媒材料の開発、アルカリ形燃料電池用触媒材料の開発に関する研究等を行った。

### 蓄電デバイス研究グループ

(Advanced Battery Research Group)

研究グループ長：小林 弘典

(関西センター)

#### 概要：

電動クリーンエネルギー自動車の利便性向上のため、さらに、高効率でのエネルギーマネジメントが可能となるスマートシティ/スマートコミュニティ実現のためには、十分な信頼性・安全性を兼ね備えた高エネルギー密度の蓄電池が必須であることから、当研究グループでは、「(1)次世代型二次電池のデバイス化に向けた技術開発」、「(2)高エネルギー密度・高出力密度型電極材料の開発」並びに「(3)国際標準化及び認証に向けた技術開発」に取り組んでいる。(1)に関しては、新型蓄電デバイスである無機固体電池の研究開発に注力してきており、硫化物固体電解質系では電極及び固体電解質シートを組み合わせたラミネートセルで、酸化物固体電解質系では低融点固体電解質を用いたセラミックス積層体で電池として作動することに成功してきている。(2)に関しては、金属硫化物系正極活物質の性能向上が図られた。(3)に関しては、車載用LIBの残存性能評価手法に資するべく劣化機構を明らかにするとともに、定置用LIBの長期試験後の安全性評価試験を実施することで、国際標準化を見据えた技術開発を実施してきた。

### 電池システム研究グループ

(Battery System Collaborative Research Group)

研究グループ長：齋藤 唯理亜

(関西センター)

#### 概要：

本研究グループでは、企業との資金提供型共同研究と公的資金プロジェクト研究を主体として、電池材料やデバイスに関する基礎から応用に至る研究開発を実施している。リチウム電池や新型電池の新規電極・電解質材料の開発とその物性評価、電池デバイスでの性

能実証と安全性評価を行っており、具体的な成果は次のとおりである。1) 試作したニッケル電池用合金系材料の電極化と電池システムでの性能評価を行い、実用化に向けて最適化。2) 開発した超高容量シリコン系負極とイオウ系正極を用いて1Ahクラスの電池を試作し、性能実証と安全性評価を実施。この中で、より薄い鉄系集電体を開発し、性能実証。3) 磁場勾配NMRを用いた拡散係数測定を通して、セパレータ膜と膜内イオンとの相互作用力を求め、膜構造とイオン移動特性との関係を定量的に解明、セパレータ設計指針を提示。4) イオン液体の対アニオンとして非対称アミドアニオン (FTA) からなるアルカリ金属塩 (MFTA, M=Li,Na,K,Rb,Cs) を合成、熱物性の検討からナトリウムを除く他のすべての金属塩の100°C近傍の低融点を見出す。これらの白金上へのアルカリ金属の電気化学的析出/再溶解性から、リチウム以外の金属負極への可能性を発見。5) マグネシウム金属負極を用いた二次電池のサイクル充放電が適用可能な電解液を検討、テトラエチルアンモニウムビストリフルオロメチルスルホニルアミド中温溶解塩を見出す。6) 金属多孔体上に緻密なパラジウム系合金薄膜をめっきした実用的水素分離膜の開発と水素透過機構の解明、400°C以上でのメタノール水蒸気改質による水素製造触媒の開発と耐久性の実証。7) 液体クロマトグラフィー質量分析法によりリチウムイオン電池電解液中の劣化物質を同定し、生成機構を解明。さらに、ダイレクトプローブ質量分析法で同定した電極表面有機化合物との関連を実証。

#### デバイス機能化技術グループ

(Photonic Device Application Group)

研究グループ長：谷垣 宣孝

(関西センター)

概要：

持続可能社会実現のため、主に家庭やオフィスにおける省エネルギーに資する光デバイスの開発を目標とする。無機材料技術、有機・高分子材料技術、材料プロセス技術、光計測技術、理論解析を駆使して、光デバイス研究を進める。(1)有機・高分子材料の分子配向に着目した光-電気エネルギー変換素子(有機EL素子、有機薄膜太陽電池)の開発、有機EL素子の光取り出しに関する理論的研究、(2)大容量光データ記録のための二光子吸収を示す分子、及び光の有効利用のための光アップコンバージョンを示す分子の探索、(3)可視光通信やセンサを志向したプラズモニック波長フィルタの開発、(4)ナノ構造制御した希土類含有酸化物蛍光体の開発、(5)多孔質ガラス中の光エネルギー変換の研究等を行っている。省エネルギー、省資源に貢献するデバイス技術とともに、製造プロセスの省エネルギー化についても取り組んでいる。また、光

マネジメント技術をベースにして未利用の光を効率よく使う技術(集光・拡散・導光)についても研究している。

#### ナノ機能合成グループ

(Synthetic Nano-Function Materials Group)

研究グループ長：清水 洋

(関西センター)

概要：

ナノテクノロジーをベースとして、ナノ空間の制御による材料の高機能化や新材料の開発を行い、実用的なモジュール、デバイス化技術も含めた総合的な研究開発を旨とした活動を行っている。具体的には、(1)金属酸化物による新規かつ実用性に優れた熱電材料とモジュール化技術の研究開発、(2)ナノ細孔を持つシリカ粒子の内部修飾による新たな高機能材料の研究開発、(3)液晶性材料の独自の特徴を生かした新規なエレクトロニクス応用を目指した研究開発、(4)金ナノ粒子やナノカーボンから金属酸化物に至る種々の材料系における機能性ナノ集合構造の構築と応用技術の研究開発、(5)革新的水処理技術の開発等により新たな省エネルギー、新エネルギー技術の研究開発を通して新産業創出を目指す。また、関西地域のナノテクノロジー研究開発の尚一層の促進と新産業創出に貢献すべく、地域の視野から国際的な視野に至る広範な視野の中で新たな情報発信拠点として材料創製及び機能システム創製のための独自の研究活動を展開している。

#### 高機能ガラスグループ

(Advanced Glass Group)

研究グループ長：赤井 智子

(関西センター)

概要：

民生のエネルギー技術開発の中で照明の省エネルギーは重要な課題となっている。普及がはじまりつつある、固体照明においてより高性能を達成するためエネルギー効率を向上させる部材の開発、材料設計基盤技術の開発は重要である。

照明の省エネルギー・省資源を目的として、当グループでは、(1)希土類を使用する高効率蛍光ランプ用蛍光体の使用量低減技術、(2)LED照明用蛍光材料、材料設計基盤技術の開発を行っている。またさらなる省エネを達成するために蓄光材料の開発も行っている。

蛍光ランプ用蛍光体の希土類低減技術については、昨年度まで開発した廃蛍光体から緑色蛍光体LaPO<sub>4</sub>:Ce,Tbを分離する技術において、実用化のために必要な前処理方法等を検討した。また、照明用に開発した近紫外励起用蛍光シリカガラスについて太陽電池への応用が有望であることを見出し、太陽電池用途に向けた発光波長の制御を試みた。蓄光ガラスにつ



いては、ガラスと蓄光材料の複合方法を検討し、圧膜化することで従来品の1.5倍の残光輝度を示すことを見出した。

#### エネルギー材料標準化グループ

(Research Group for Standards of Energy-related Material)

研究グループ長：安田 和明

(関西センター)

##### 概要：

エネルギー材料標準化グループは、燃料電池・水素・蓄電技術の円滑な社会への普及を目指して、それら各技術に関わる材料及び応用システムの標準化・規制整備・安全性確保に資するべく、その裏付けとして必要な基礎データの取得を推進する。

燃料電池技術に関しては、日本電機工業会と連携し、マイクロ燃料電池等の標準化推進に必要な評価を実施するとともに、燃料電池の評価に資する研究開発を行っている。水素技術に関しては、水素製造用シフト反応触媒の研究開発、水素貯蔵材料の特性・耐久性に関する検討、水素利用脱硝技術に関する研究開発を行った。蓄電池技術に関しては、蓄電デバイス研究グループと連携してリチウムイオン電池の安全性の標準化推進に資する研究開発を行うとともに、つくばイノベーションアリーナ推進室と連携し、蓄電池基盤プラットフォームとして電池材料及び電池構造評価に資する研究基盤を整備し、運営に参画している。

#### イオニクス材料研究グループ

(Ionics Research group)

研究グループ長：蔭山 博之

(関西センター)

##### 概要：

リチウム二次電池用をはじめ、高エネルギー容量および長期でのサイクル特性に優れた二次電池用材料の開発を進めるとともに、高効率でクリーンな燃料電池を目標として、新たなアニオン膜電解質材料の固体高分子形燃料電池への適用可能性の評価を進めている。また、二次電池用の新規材料について、その機能発現や状態・形態変化を調べる計測分析法の開発も進めている。リチウム二次電池に関しては、電気自動車用途の二次電池製造を行う電池メーカーが、当所がNEDOプロジェクトにて産学官連携で開発を進めてきた鉄-マンガン系酸化物正極材料を用いて、NEDO実用化助成事業において研究開発を実施している。当研究グループは、この助成事業にも再委託先として参画し、実用化に向けた更なる高機能化に繋がる材料設計指針を提供するため、電池容量やサイクル特性の劣化などの電池特性と電池材料の状態・形態の変化との関連性に関する研究を行っている。一方、固体高分子

形燃料電池に関しては、技術研究組合 FC-Cubic へ参画し、電池特性に密接に係る電極触媒と高分子電解質（アイオノマー）界面での状態と物質移動特性の関係などについての研究を進めている。

#### ダイヤモンドデバイス化研究グループ

(Diamond Research Group)

研究グループ長：奈野 由明

(関西センター)

##### 概要：

ダイヤモンドは、熱伝導率、絶縁破壊電界で物質中、最高の値を有し、高いキャリア移動度、耐放射線性など極めて優れた性能を有するワイドギャップ半導体材料である。SiC等の他材料を圧倒的に凌駕する高耐压、低損失、高速動作の性能が予想され、究極の冷却フリー・高出力の新概念の省エネパワーデバイスとして期待されており、そのためのウエハ及びデバイスの開発を進めている。上記ミッションを達成するため、具体的に下記の第三期目標を掲げ、研究テーマを実施している。①次世代パワーデバイス用ウエハ等への応用を目指して、単結晶ダイヤモンドの成長技術及び結晶欠陥評価等の技術を利用した低欠陥2インチ接合ウエハ製造技術を開発する。②省エネルギーに効果的な次世代ダイヤモンドパワーデバイスの実用化を目指して、結晶欠陥評価技術の高度化により低欠陥高品質エピタキシャル膜の製造技術を開発する。また、実用的な縦型構造を有し、低損失かつ冷却フリーで250℃において動作するパワーダイオードを開発する。

本年度は、①結晶方位が品質に与える影響を明確化して最適値を見出すと共に、プラズマシミュレーションと実験結果との比較から、基板温度分布が成長速度の均一性を左右することを突き止め、2インチ大のウエハを再現よく作製できる条件を明確化した。種結晶の欠陥評価・選別技術を開発するとともに、低窒素濃度域での結晶成長条件の最適化を行った。低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個 $\text{cm}^{-2}$ を有する低欠陥コピーウエハを合成することに成功し、低欠陥ウエハ製造技術を実証した。②X線トポ法を用いた転位解析により、欠陥の束などを解析し、パワーデバイス実用化のための指針となる、エピ中を貫通する各種転位の数や種類とデバイス漏れ電流との相関について知見を得た。厚膜フィールドプレートの形成とエピ層ドーピング濃度の制御技術開発のプロセス組み込みにより、縦型ショットキーバリアダイオードにおいて小型素子では250℃での0.8~2kVの耐压を実現し、さらに大型素子では、250℃において5Aまでの大電流動作を実現し、高温動作を確認した。円形小型MESFETにおいて1kVを超える耐電圧を世界で始めて実現した。

⑩【環境管理技術研究部門】

(Research Institute for Environmental Management Technology)

(存続期間：2004.5.1～)

研究部門長：田中 幹也

副研究部門長：近藤 裕昭、尾形 敦

所在地：つくば西

人員：58名 (58名)

経費：712,035千円 (456,949千円)

概要：

1. 部門のミッション

環境管理技術研究部門では、持続的発展可能な社会の実現に向け、経済産業の発展と安全・安心な環境を両立させるため、産業起源の環境負荷の管理・低減・再資源化に関する科学技術研究開発を行い、環境技術産業の振興・創出を図るとともに環境関連政策の立案・実効へ貢献することをミッションとしている。

2. 研究開発の方針

社会的・政策的ニーズおよび緊急性の高い研究課題として、環境診断、環境負荷低減・修復技術、レアメタル等金属・化成品のリサイクル技術および地球温暖化対策技術評価などを第3期中期における部門の重点課題に設定し、研究を行っていく(3.参照)。

産総研の他ユニットとの共同研究推進、産学官連携による製品化と標準化研究を重点的に進める。また、「製品」に繋がる「第2種基礎研究」の実践とともに新規技術シーズを創出する「第1種基礎研究」を推進する。

3. 重点研究課題等

[重点課題1] 環境診断技術の開発

化学物質・重金属の国際規制に対応するため、製品及び産業プロセスにおける有害物質の迅速検出法を開発し、標準化を行う。また、生物応答に基づく有害性のスクリーニング技術を開発する。さらに、環境修復技術に必要な、分析効率(スピード・コスト・労力)を現状比5倍以上に向上させた環境微生物の迅速検出法を開発する。これらの技術開発を通して、将来、誰もが容易に身の回りの生活環境情報にアクセスできる社会、自然の浄化機能を活かした安全で安心な社会、生体診断やトキシコゲノミクスなど次世代の環境診断産業において国際競争力を有する社会の創出に貢献する。

[重点課題2] 環境負荷低減技術、修復技術開発

水や大気に含まれる低濃度の環境負荷物質を、従来比で最大4倍の総合処理効率(処理能力/エネルギー消費)

で処理可能な浄化技術を開発する。具体的には、ナノ空間材料や特殊反応場を利用した選択的吸着技術、触媒技術等を活用して、反応選択性や効率の向上を図る。また、残留性有機汚染物質(POPs)等難分解性物質を焼却によらずに完全に無機化できる反応技術、さらには有価物への変換技術を開発する。また、太陽光や植物等の自然界が有する環境浄化能力を促進、拡大強化することにより、環境負荷が少なく、オンサイトでも利用可能な土壌、水、空気的环境修復技術を開発する。例えば、これまで困難であった低濃度広域汚染サイトや複合汚染サイトの低環境負荷型浄化・修復を可能とするために、既存法に比べて除去コストを1/4に縮減する浄化技術を開発する。

[重点課題3] レアメタル等金属・化成品の有効利用・リサイクル技術の開発

レアメタル等の有用な材料の安定供給に資するため、使用済み電気・電子製品等の未利用資源を活用する技術を開発する。具体的には、金属や化成品の回収・リサイクル時における抽出率、残渣率、所要段数、利用率等の効率を50%以上向上させる粒子選別技術、元素レベルでの分離精製技術及び精密反応技術を開発する。

[重点課題4] 地球温暖化関連物質の環境挙動解明と二酸化炭素対策技術評価

二酸化炭素の海底下地層貯留技術や海洋中深層隔離に必要な環境影響評価のため、二酸化炭素の漏えいや注入を想定した室内実験等により、微生物活性や、炭素等の親生物元素の挙動等、物質循環の駆動にかかわる過程へ与える影響について評価手法を開発する。また、環境影響を最小限に抑えた、生態系内炭素貯留を可能とする、森林や海域内生態系の炭素固定メカニズムの解明とその強化方法、モニタリング及び環境影響評価技術を開発する。

内部資金：

標準基盤研究

「水中ふっ素化合物の定量のための流れ分析法」

「全有機炭素測定による光触媒水質浄化性能評価方法の開発」

戦略予算

「戦略メタル資源循環技術(戦略的都市鉱山)」

「アジア戦略「水プロジェクト」」

「人工生物発光酵素(ALuc)の産業化基盤技術の開発」

外部資金：

経済産業省 エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費

「平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業/多

核金属錯体の CO<sub>2</sub>多電子還元機構の解明」

「平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業／クラスタ化学に基づく（光）エネルギー変換システムの研究」

経済産業省 平成26年度試験研究調査委託費

「南鳥島における多成分連続観測によるバックグラウンド大気組成変動の高精度モニタリング」

「センサーネットワーク化と自動解析化による陸域生態系の炭素循環変動把握の精緻化に関する研究」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「太陽光発電リサイクル技術開発プロジェクト／低コスト分解処理技術 FS（開発）／可溶化法を用いた使用済み太陽電池からの資源回収技術の開発」

「エネルギー・環境新技術先導プログラム／フェムトリアクター化学プロセスの研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構 研究成果開発事業【研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）探索タイプ】

「希薄な希土類元素の選択的吸着分離剤の開発」

研究成果開発事業【研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）ハイリスク挑戦タイプ】

「エレクトロスプレー繊維加工技術の開発」

「活性酸素表面処理装置の開発と医療用滅菌器への応用」

研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）シーズ顕在化タイプ】

「繊維導電性加工に用いる金属ナノ粒子分散液の量産化技術開発」

戦略的創造研究推進事業（CREST）

「時間分解スペクトル法を用いた CO<sub>2</sub>還元光触媒反応の機構解明」

「自己組織化ナノ液晶高分子によるイオン・分子の輸送・分離の計算機シミュレーション」

戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発）[ALCA]

「アンモニア合成とプロセス解析」

復興促進プログラム【マッチング促進】

「生体分子のセンシングデバイスへ応用可能なマイクロ流路用金型の作成技術開発」

「微量元素の挙動解析のための熱分解／誘導結合プラズマ質量分析装置（Py/ICP-MS）の開発」

公益財団法人岐阜県産業経済振興センター 平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業（再委託）

「ナノ空間を利用した高リサイクル鋳物砂による無機系砂型鋳造技術の高度化」

一般財団法人関西環境管理技術センター 平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業（再委託）

「大風量低濃度排ガス用直接加熱式吸着回収装置の研究開発」

国立大学法人名古屋大学 地球観測技術等調査研究委託事業

「フィードバックパラメタリゼーションを用いた詳細なダウンスケールモデルの開発と都市暑熱環境・集中豪雨適応策への応用」

国立大学法人東京大学 地球観測技術等調査研究委託事業

「大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

「平成25年度海底熱水鉱床採鉱技術開発等調査事業（産業技術開発加速化事業に係るもの）に係る選鉱・製錬技術調査研究」

一般社団法人産業環境管理協会 平成26年度社会ニーズ（安全・安心）・国際幹事等輩出分野に係る国際標準化活動実施計画（テーマ名：水質関連の測定に関する国際標準化）

「水中アルキル水銀測定法の標準化のための水銀化合物の誘導体化法の評価試験」

文部科学省 科学研究費補助金

「酸素安定同位体連続観測と群落多層モデルを用いた森林生態系の呼吸・光合成の分離評価」

「降水試料濾過フィルターを用いた元素状炭素粒子の現在・過去の地表面性沈着量評価」

「スマートパーティクルセンシングデバイスの開発」

「ハイブリッドゲルによる新規陰イオン吸着材の開発」

「垂直細孔配列メソ多孔体膜付着グラフェンナノ複合体／複合膜の創製」

「希酸溶液による廃棄物含有貴金属の溶解に関する研究」

「電気化学的手法を用いた廃棄物系有機物からの高純度水素の製造技術の開発」

「金属との相互作用を活用したグラファイト状窒化炭素の特性制御」

「リボソームタンパク質を指標とするアスペルギルス症原因菌の新規系統分類」

「硫酸イオン活性化昨日をもつ環境浄化用触媒の開発」

「地下圏炭素・エネルギー動態に関与する中核微生物群の同定と新機能解明」

「北極海海氷・周辺氷河融解による有害化学物質再放出現象の定量的評価研究」

「大気圧プラズマ由来ラジカル種の触媒等固体表面における反応機構解明」

「温室効果ガス観測衛星「いぶき」による発生源解析のための局所 CO<sub>2</sub>輸送モデルの開発」

「分子制御による融合マテリアル形成の計算科学シミュレーション」

「固体プラズマを利用した光応答性高分子の創生に関する研究」

「発光性細胞株アレイを用いた高速 PM<sub>2.5</sub>評価系の構築」

「協同効果を利用した新規路地有無抽出系開発及びそのメカニズム解析」

「都市域の猛暑の発生に及ぼす風上地面状態の影響評価」

「低温プラズマと触媒複合プロセスの活性化メカニズムの解明と高度利用技術の確立」

「環境浄化と微生物代謝学の再考：シンプルな代謝設計で CO<sub>2</sub>からの有価物生産に挑む」

「配位高分子のネットワーク構造がもたらす特徴的なカチオン交換特性」

「細胞選択的な微量元素分析のためのマイクロ流体デバイス/ICP 質量分析装置の開発」

「ヒト iPS 細胞を用いた次世代環境センシングシステムの開発」

「海洋有機物における糖ペプチドの構造解明および炭素循環に果たす役割の評価」

「アップコンバージョン効果促進太陽光型光触媒ナノ複合構造及び環境リスク削減への応用」

「放射性降下物大気輸送モデリングと移行過程の理解」

「融合マテリアル：分子制御による材料創成と機能開拓の総括研究」

「森林生態系の炭素代謝プロセス動態の時空間的変動機構の統合的解明と温暖化影響予測」

「高圧ジェット装置を用いた活性汚泥減量化機構の解明」

「インドにおける医薬品および薬剤耐性菌環境汚染調査」

「氷で制御されたナノ-マイクロ空間の分析化学」

「英国における海洋漏出 CO<sub>2</sub>の環境影響評価のための実海域実験」

「選鉱・製錬技術を用いた2次電池からのレアメタルの分離と回収」

「海洋化学トレーサの組み合わせによる南大洋における人為起源二酸化炭素吸収量の見積もり」

「都市気象・建物エネルギー連成数値モデルの熱環境・電力需給予測への実証的適用」

一般財団法人キヤノン財団 理想の追求

「都市型ブルーカーボン：新たな沿岸海域炭素循環像の構築」

公益財団法人鉄鋼環境基金 2014年度環境助成（一般研究助成）

「現場環境下で容易に測定できる水銀検知手法の開発」

公益財団法人発酵研究所 平成25年度一般研究助成

「リボソームタンパク質をバイオマーカーとした質量分析法による *Aspergillus* 属真菌の新しい系統分類法の開発」

公益財団法人住友財団 2014年度環境研究助成

「東日本大震災スペシメンバンクを用いた有害物質挙動解析と将来予測」

公益財団法人鈴木謙三記念医科学応用研究財団 平成26年度調査研究助成

「化学物質の健康影響を簡易・迅速に評価する RNA センサチップの開発」

発表：誌上发表108件、口頭発表341件、その他35件

#### 計測技術研究グループ

(Measurement Technology Research Group)

研究グループ長：鳥村 政基

(つくば西)

概要：

従来の環境計測技術にバイオ・ナノ技術を融合させた次世代環境診断技術を開発するため、その基盤となる分析装置、センサ類の試作と性能評価を実施している。平成26年度は、1) 有害試薬を使わないモニタリング法として、試作・実証を進めてきたオンライン連続監視システムについて装置の小型化を行った。また、環境中微量重金属の分析法の国際標準化に向けて、種々の環境条件下での処理技術の確立を進めた。2) オンサイト型計測法として土壌・地下水の重金属や環境基準濃度レベルの VOC が測定可能な振動子センサの吸着特性向上をセンサ表面の化学修飾技術により図った。3) 化学物質の生体影響評価を行うための新たな指標ツールとしての機能性細胞の構築に成功し、従来の評価用細胞よりも高い迅速性を持つことが確認できた。また、化学物質の生体影響を計測するための発光検出器について感度の大幅改良を行い、わずかな輝度でも変化を追跡できる装置を開発した。4) 質量分析装置を利用した環境微生物の迅速識別法の汎用性を高めるために、測定試料の対象を環境中の藍藻類にまで拡大し、微生物種の同定だけでなく機能予測までを可能とした。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目5

#### 未規制物質研究グループ

(Potential Pollutants Group)

研究グループ長：忽那 周三

(つくば西)

概要：

未規制物質研究グループは、化学物質の環境対策の指針を構築するために必要な、化学物質の環境分析法の開発、環境動態の解明（環境分析、関連物理化学定数の測定）、および有効利用・無害化のための反応系の開発を行う。

26年度は、国際的な規制物質である PFOS 等残留性有機フッ素化合物群（PFASs）について、国際合同調査航海に参加し、北極海、南大洋を含む地球規模で環境試料を採集した。大気経由の長距離輸送経路を明らかにするため、大気中の PFASs を損失なく捕集する大気低温捕集装置を企業と共同開発し、観測に適用した。採集試料の分析・解析をすすめ、外洋海水等の PFASs の三次元濃度分布、経年変化データを得た。太陽光照射による PFASs の消失・生成をフィールド実験と室内実験により確認した。外部研究機関と共同し、インドにおける医薬品及び薬剤耐性菌環境汚染を現地調査した。反応系の開発では、二酸化炭素光還元活性をもつ二核金属錯体触媒について、錯体ユニット間電子移動速度等を定量評価し、二酸化炭素光還元反応効率を最大にする電子移動速度に対応する架橋構造条件（ヘテロ原子の導入等）を明らかにした。

研究テーマ：テーマ目6

## 環境分子科学研究グループ

(Environmental Molecular Science Research Group)

研究グループ長：脇坂 昭弘

(つくば西)

概要：

分子・クラスターの構造・反応特性、ナノ粒子・エアロゾルの生成・複合化、及び金属-有機化合物間相互作用による配位高分子の形成に関する分子科学的研究に基づき、「環境診断技術の開発」「レアメタル等金属のリサイクル技術の開発」及び「環境負荷低減技術開発」に関する研究を行った。特に以下の1～4について顕著な成果を得た。1. エレクトロスプレー法による繊維加工技術（染色・抗菌加工）を開発し、実用化レベルの高速加工を目指した試作機の開発を開始した。2. エレクトロスプレーによって生成した荷電液滴を反応場として金属ナノ粒子を合成する技術を開発し、量産化を目指した試作機の開発を開始した。3. 金属イオンと有機リン酸エステルとの配位高分子化反応を利用した分別沈殿法によるレアメタル分離・回収技術を開発した。4. 質量分析法による溶液中のクラスター構造解析技術を産業用冷媒の高性能化に適用する研究を開始した。

研究テーマ：テーマ目2

## 環境負荷制御研究グループ

(Environmental Purification Technology Research Group)

研究グループ長：根岸 信彰

概要：

有害化学物質リスク削減を目的として、1) 空気・水・土壌等の環境中汚染物質・有害化学物質の光分解除去とその機構解明、及び環境浄化材料やシステム開発の実施、2) 低温プラズマと触媒の複合化システムにおけるシナジー効果の機構解明を行った。1) VOC 汚染された土壌浄化では、実証型光触媒装置を製作し実太陽光による長期連続運転を行ったところ、トリクレン10ppm を10L/min の流通速度で導入しても数ヶ月以上に渡って効率良く除去出来ることを確認した。また、非金属型可視光応答型光触媒の開発では、窒化炭素に金属を複合化する手法を開発し、硫黄系悪臭物質の分解性能を向上させた。2) アンモニア合成反応へのプラズマ技術の応用ではルテニウム担持アルミナ触媒のライトオフ温度付近でプラズマによる触媒活性が大幅に向上することを見出し、熱の寄与分を含めるとプラズマアンモニア合成の世界最高値である30g-NH<sub>3</sub>/kWh の収率を達成した。

研究テーマ：テーマ目2、テーマ目7

## 吸着分解研究グループ

(Adsorption and Decomposition Technology Research Group)

研究グループ長：加茂 徹

(つくば西)

概要：

当グループは、吸着技術や分解技術を駆使して VOC や廃プラスチック等による環境負荷を低減するための革新的な技術やシステムの開発を目指している。太陽電池の封止材として広く用いられている架橋化 EVA を各種のアルキルアルコールおよびアルキルフェノールを溶媒として、アルカリ化合物あるいは酸を添加して各溶媒の沸点近くで攪拌しながら加熱処理すると、15～30分程度の短い時間が可溶性され、銀等の有用な金属やシリコン薄板を容易に回収できることを見出した。ポリプロピレン等を混合炭化水素ガスへ約80%の収率で変換するプロセスを確立し、企業へ連続運転実証機の設置に至った。この装置は木質原料からも可燃性ガスを製造でき、また、石灰添加でタール量低減を確認した。交互積層成膜法を市販の高性能光触媒（P25）ナノ粒子とグラフェンとの複合膜の作成に適用し、非複合膜より約3倍近く光触媒活性が高かった。ポアサイズが制御できたメソポーラスシリカグラフェン複合体を合成し、汚染物に対するセンシングテストを試みた。溶融炭酸塩へのステンレス成分の

溶け出し量の定量的な評価を行い、液膜状の熔融炭酸塩に対しても僅かであること、特に Ni の溶出が少ないことがわかった。

研究テーマ：テーマ題目8

### 浄化機能促進グループ

(Advanced Remediation Group)

研究グループ長：尾形 敦

(つくば西)

概要：

有害化学物質によるリスク削減のために、(1)自然が持つ浄化能力を強化した原位置型土壌修復技術の開発、(2)排水・廃液処理技術の開発、(3)生物機能の解明及び高度な解析技術に裏打ちされた基礎的知見の集積を行っている。

(1) 重金属汚染サイトの修復では、セレンの微生物還元(固定化・低毒性化)が炭素源の供給により活性化されることを見出し、さらにその指標となるセレン還元微生物を複数種同定した。同法を積極的な土壌汚染対策技術として提案した。

(2) 膜分離活性汚泥法と逆浸透膜処理法を組み合わせた装置を設計・構築し、有機物負荷を上昇させながら長期間の運転を行った。鉱物油の分解処理と許容限界、各処理膜のファウリング発生等の変化を追跡し、この間の微生物群集遷移を明らかにした。

(3) 沿岸域海底に蓄積したヘドロ分解については、独立栄養性イオウ酸化細菌によって固定化された炭素が他の嫌気微生物群により利用される可能性を見出した。一方、酵素による排水処理の高度化に関する研究では、酵母における担子菌ラッカーゼの分泌生産系について、遺伝子構造および培養条件の観点から検討し、最適な条件を見出した。

研究テーマ：テーマ題目9

### リサイクル基盤技術研究グループ

(Advanced Recycling Technology Research Group)

研究グループ長：大木 達也

(つくば西)

概要：

レアメタル等の資源確保に資するため、廃電気・電子製品等の使用済み複合製品をはじめとする未利用の天然及び人工資源を対象に、安価で安全かつ効率的に金属成分を濃縮する、粒子の粉碎・選別・制御技術の開発を推進する。今年度は、1) 金属リサイクル効率化のための基盤技術開発、2) 都市鉱山を実現する廃電気・電子機器等のリサイクルに有効な総合選別技術開発、3) 電気・電子機器等の個別製品に対する特定希少金属のリサイクル技術開発、4) 貴金属リサイクルの促進と回収粒子の高付加価値化に関する研究、5) 未利用天然鉱石からの金属資源回収に関する研究を实

施。また、「戦略メタル資源循環技術(都市鉱山)プロジェクト」を中核的に推進するとともに、「戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)」の運営、SURE フォーラム・SURE クラブを設立し、民間企業と連携しつつ、近未来の資源循環を目指した総合的なリサイクル技術の開発を実施した。

研究テーマ：テーマ題目3

### 金属リサイクル研究グループ

(Metals Recycling Group)

研究グループ長：田中 幹也

(つくば西)

概要：

途上国の急速な経済成長による金属資源の枯渇懸念や価格高騰を背景に、金属循環型社会の構築が重要課題となっている。当グループでは、これを実現するための技術の確立に貢献することを目指して、溶媒抽出法や吸着法等の湿式法、および熔融塩を用いた電解法に関して、省エネルギー的で高選択的な金属分離回収技術の開発を行ない、一次資源(天然鉱石)および二次資源(使用済み製品、廃棄物)からの金属回収に関する新規プロセス、新規手法を提案することを目標としている。今年度は、(1) 希土類金属の回収及び精製、(2) 貴金属分離精製のための新規抽出系及び分離材の開発、(3) その他有用金属の分離・精製・回収等について研究した。

(1) では、高分子粒子担体の吸着剤に関して、希土類元素を選択的に吸着可能な粒子を作製し、各元素の吸着特性を明らかにした。また合金隔膜を用いた手法について、希土類の相互分離性を評価した。

(2) では、新規抽出剤 BisAA によるロジウム抽出系における分離メカニズムの解析を進めるとともに、BisAA による白金/鉄分離特性を明らかにした。

(3) では、超硬工具スクラップからのタングステンの回収や使用済み無電解ニッケルめっき液からのニッケル回収法について検討した。

研究テーマ：テーマ題目3

### 大気環境評価研究グループ

(Atmospheric Environment Study Group)

研究グループ長：村山 昌平

(つくば西)

概要：

当グループでは、大気環境における観測・シミュレーション技術を基盤として、森林生態系の炭素固定能のモニタリング技術、産業活動の環境影響評価手法及び地球温暖化防止のための対策評価手法の開発に関する研究を行っている。H26年度は、岐阜県高山市の落葉広葉樹林(飛騨高山サイト)及びタイの熱帯林において炭素収支観測を継続した。飛騨高山サイトにおけ

る12年分のデータを用いて気候変動と樹木の着葉期間の関係を解析した。海洋貯熱量変動の重要な指標である、大気中アルゴン濃度の観測を国内外5箇所で開催した。月平均大気上端正味放射が海面温度の月毎の変動に追従して変動していることを見いだした。病院での室内と外気のPM2.5濃度の同時測定により、院内PM2.5濃度削減に対する市販の空気清浄機の有効性の調査を行った。福島原発事故時の関東北部山岳域における放射性物質の沈着には、通常の湿性沈着ではなく雲・霧沈着の影響が大きいことを示した。南大洋上におけるエアロゾル粒子の光学特性の計測を行った。都市暑熱環境と疲労との関係の調査するため、夏季に被験者実験を行った。濃尾平野における将来の街区／建物形態シナリオおよび将来の人工排熱データを作成した。

研究テーマ：テーマ題目4

### 海洋環境評価研究グループ

(Marine Environment Study Group)

研究グループ長：鈴木 昌弘

(つくば西)

概要：

海洋環境評価研究グループは、海洋を利用した産業技術が環境に及ぼす影響やその効果を評価する手法を開発することにより政策策定の根拠としうる知見の提供を目的としている。平成26年度は、温室効果ガス排出抑制技術として期待される二酸化炭素の回収貯留(CCS)技術と生態系を利用した二酸化炭素削減技術に関連して、海水中のCO<sub>2</sub>モニタリングセンサーの開発と英国における海域二酸化炭素放出実験のデータ解析を進めた。合わせて沿岸海洋生態系の創生による大気二酸化炭素削減と沿岸環境浄化技術の評価として、産業副生物を用いた沿岸生態系(アマモ場)創生技術に関わる擬似現場実験試料の各種化学分析とデータ解析を実施した。アマモ場における物質循環プロセス、特に栄養塩と微量金属の挙動および微生物代謝機能の解析を進めてきた。

研究テーマ：テーマ題目4

### 水環境工学研究グループ

(Hydro-environmental Technology Research Group)

研究グループ長：清野 文雄

(つくば西)

概要：

水環境工学研究グループは、第3期中期目標期間において水環境を浄化・修復・保全する新しい水処理技術を実現するための基盤を確立することを目標としている。より具体的には、(1)シクロデキストリン、ナノシート等を利用した有害化学物質の吸着回収技術、(2)水素、触媒等を利用した硝酸の還元無害化技術、

ならびに(3)マイクロバブル、オゾン等を用いた酸化無害化技術をターゲットとして、それらの特性を徹底的に解明し、実用化技術の開発へ向けた基礎データを構築するものである。

(1)では、クロロホルムが飽和吸着したCDポリマーに加熱した純水を下向流で通液し、通液量25mLごとに1mLを試験管に採取してGC分析を行い、CDポリマーに吸着したクロロホルムを脱離させるのに必要な水温を明らかにした。また、アガロース—層状複水酸化物(LDH)ハイブリッドゲルについては、徐放性、強度、並びに乾燥物での吸着特性を検討した。

(2)では、H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスをマイクロバブルとして水溶液中に注入し、Pd-Cu/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒を固定したセルローズ繊維多孔膜固定床に循環させ、水溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を還元除去する手法について検討し、H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>混合ガスをマイクロバブルとして注入することにより、通常気泡を用いた場合の約4~8倍の速度でNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を還元除去することを明らかにした。さらに、水溶液に浸漬したPtの電位を測定し、Pt電位からもマイクロバブルのほうが還元能力が高いことを示した。

(3)では、環境負荷物質回収機能を持つ分子設計の基盤的知見を得るために、水中の炭酸塩イオン物質と強く相互作用するペプチドなどを対象とした計算科学研究を実施し、分子-イオン間相互作用とイオン結晶化・凝集制御との関係等を解明した。

研究テーマ：テーマ題目10

#### [テーマ題目1] 環境診断技術の開発

[研究代表者] 鳥村 政基 (計測技術研究グループ)

[研究担当者] 青木 寛、金 誠培、愛澤 秀信、

谷 英典、重田 香織

(常勤職員6名、他2名)

#### [研究内容]

国内外での化学物質の規制強化に伴い、多数の物質の生体影響評価が必須となるため、膨大な数の生体影響試験を高速かつ分子レベルで解析するシステムの開発を推進する必要がある。安全安心な社会の実現に向けて、製品や産業プロセスから排出され環境中に存在する化学物質やナノ粒子だけでなく、有害微生物等の測定、及びこれらへの暴露によって引き起こされる体内の健康状態の変化をモニタリングすることができる迅速で信頼性の高い分析法が必要とされている。

これらの目的を達成するためには新たな原理に基づいた分析技術の開発が望まれるが、ここでは細胞および細胞内分子を指標とする分析技術の構築を戦略的に進めてきた。例えば、細胞内遺伝子の変化を迅速かつ簡便に追跡する技術として、細胞特定配列を持った遺伝子の存在をわずかな量でも検知できる高性能遺伝子プローブの開発を行ってきたが、H26年度では複数種類のわずかな量の遺伝子を正確に測定する技術を液体ハンドリング装置

の改良と併行して行うことで実現した。また、幹細胞等のヒト細胞を利用した新しい化学物質の生体への影響評価試験技術の開発が強く期待されている中、H26年度はこれまで開発を進めていたストレスホルモン等を検出するための分子発光プローブについては、より高感度に細胞内発光現象が追跡できるように、簡易発光観察装置の光学系を改良することで、複数のサンプルでも高感度に分析が行えるシステムを構築することができた。さらに、ヒト細胞等を使った環境汚染物質の計測技術開発では、種々の化学物質について細胞内のノンコーディング RNA の発現を重点的に解析した結果、従来の細胞内応答マーカーよりも早く高い応答性を有する新規バイオマーカーとして何種類かのノンコーディング RNA の同定に成功した。この成果は化学物質の細胞影響を評価する上で極めて重要な新指標になることが期待できるが、上述の遺伝子の高速スクリーニング技術との組合せにより、迅速簡便な環境診断技術へと発展出来ると期待される。また、このノンコーディング RNA の細胞内濃度の変化を利用した新たな機能性細胞の創出にも着手し、その有用性を確認することができた。これら細胞の機能を利用した各種分析技術は、細胞一つ一つを的確にハンドリングできる基盤技術との組合せにより環境診断技術に大きな発展をもたらすと期待されるため、既存の細胞ハンドリング技術の課題の洗い出しを行い、新たな単一細胞ハンドリング技術の構築を進めた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】分子プローブ、可視化、細胞

## 【テーマ題目2】エレクトロスプレー反応場に関する研究

【研究代表者】脇坂 昭弘

(環境分子科学研究グループ)

【研究担当者】脇坂 昭弘、小原ひとみ(常勤職員2名)

### 【研究内容】

環境浄化用触媒として、金属ナノ粒子や金属ナノ粒子と酸化チタンとの複合粒子の触媒機能に注目が集まっている。これら触媒の活性は金属ナノ粒子のサイズと密接な関係があり、特に5nm以下の金属ナノ粒子で高い触媒活性が数多く報告されており、その合成法に高い関心が集まっている。金属ナノ粒子の量産化に対応できる最も優れた方法は、溶液中の金属イオンを化学的に還元してナノ粒子化する方法であり、自己会合による巨大粒子化を抑制するために、様々な方法が検討されている。ミセルやマイクロカプセルのような微小反応場やマイクロリアクター技術による高速混合法により自己会合を抑制する技術が研究され、シングルナノ粒子の合成例が報告されているが、スケールアップの難しさや生成物によるリアクター内の閉塞などが問題となって実用化には至っていない。よって、高機能の環境浄化用触媒を調製するために、金属ナノ粒子の高効率・高選択的な新たな合成

技術の開発が急務となっている。本研究において、量産化に対応できる金属ナノ粒子系触媒調製法を開発するため、液中エレクトロスプレー法によって、液体を直径マイクロメートルサイズ(体積フェムトリットルレベル)の帯電した極微小液滴に微細化し、正一負荷電液滴間の衝突を電場で制御することにより、フェムトリットルレベルの極微小液滴を反応場として利用するフェムトリアクター技術の適用を試みた。塩化金酸溶液中の金イオンをアスコルビン酸で化学的に還元して粒子化する反応に適用し、酸化触媒活性を示す5nm以下の金ナノ粒子の合成法を確立した。さらに、液中エレクトロスプレーは、エレクトロスプレーを行う液体媒体の電気化学的性質によって、発生する液滴のサイズが顕著に変化することを見出した。例えば、ヘキサンなどの電導性の小さい液体媒体中で水をエレクトロスプレーすると10 $\mu$ m以下のサイズの極微小の水滴をスプレーさせることができる。ヘキサンに5%以下の微量の極性物質を添加することにより、エレクトロスプレーで生成する液滴サイズは、100~200 $\mu$ mの分布に変化し、液滴のサイズ制御が可能であることを見出した。この液滴のサイズ制御技術により、フェムトリアクターの反応場の体積を自在に制御することが可能になる。今後、この液滴のサイズ制御のメカニズムを明らかにするとともに、金属ナノ粒子のサイズ制御法などへの応用を検討し、環境浄化用触媒の調製技術としての適用を検討する。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】エレクトロスプレー、金属ナノ粒子、触媒

## 【テーマ題目3】リサイクル技術の開発

【研究代表者】大木 達也(リサイクル基盤技術研究グループ)

【研究担当者】大木 達也、古屋仲 茂樹、西須 佳宏、林 直人、田中 幹也、小山 和也、成田 弘一、大石 哲雄、加茂 徹、小寺 洋一、半田 友衣子(常勤職員10名)

### 【研究内容】

戦略金属の安定供給に資するため、未利用の人工及び天然資源を対象とした物理選別技術を開発した。リサイクル技術と生産技術の融合を目指し、「戦略的都市鉱山研究拠点(SURE)」を核とした戦略予算「戦略金属資源循環技術(都市鉱山)プロジェクト」を推進し、官民連携フォーラム「SURE コンソーシアム」を創設した。また、多種の電子素子を複数同時回収可能な「四管式気流選別機」の開発、複管式と同一動力源で4管に拡張可能であることを突き止め、製品化装置の開発に成功した。蛍光体については、高勾配磁選機の連続処理システムの製品化に成功するとともに、ラピッドスタート形蛍光ランプと3波長域発光形蛍光ランプの識別を可能



とする装置を試作した。一方、レーザー3次元解析法によるソーティング技術では、廃小型家電の3D形状データベースを拡充（10品目382機種を追加）、識別計算に使用する独立変数2種類を新たに追加することで、識別アルゴリズムの高機能化が可能となり、大量処理への適用性が一層向上した。海底熱水鉱床に関しては、我が国研究機関に標準試料を配布するハブ機能を果たすとともに、高勾配磁選により銅濃縮、単体分離度に関する新たな測定手法を開発した。

希土類金属の新規分離精製法の開発として、シリカゲルを基材とした高選択性吸着剤の開発を進め、バッチおよびカラムによる吸着データを取得した。鉄(III)や亜鉛といったベースメタルが多量に共存する中でもジスプロシウム等の重希土類を選択的に吸着できること、脱着も容易であることを明らかにした。また有機リン酸抽出剤と希土類金属との配位高分子生成を利用した希土類金属の分別沈殿についても研究し、ネオジムとジスプロシウムの分別沈殿が可能であることを示した。

これまで各種の有機溶媒中でエポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂を可溶化し、有用な金属等の回収を検討してきた。H26年度は、使用済み太陽電池から有用資源を回収するため、従来法ではほとんど溶かすことが出来なかった架橋化したエチレン・ビニル酢酸共重合体(EVA)を温和な条件下で可溶化させることを試みた。架橋化EVAにアルカリ化合物を添加しアルコール系溶媒中160~180°Cで加熱処理すると、15~30分程度で可溶化されて銀・鉛およびシリコン等の有用資源が容易に回収できることを見出した。可溶化反応はアルカリ化合物の添加量に比例して促進され、擬一次反応で整理できることがわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】レアメタル、リサイクル、物理選別、微粒子選別、抽出剤、吸着剤、配位高分子、プラスチック処理

#### 【テーマ題目4】地球温暖化関連物質の環境挙動解明と二酸化炭素対策技術評価

【研究代表者】近藤 裕昭（副研究部門長）

【研究担当者】近藤 裕昭、村山 昌平、田口 彰一、兼保 直樹、古賀 聖治、前田 高尚、石戸谷 重之、高根 雄也、鈴木 昌弘、鶴島 修夫、山田 奈海葉、塚崎 あゆみ（常勤職員12名）

【研究内容】

20年以上観測を続けている岐阜県高山市の冷温帯落葉広葉樹林（高山サイト）及び10年以上観測を続けているタイの熱帯林において陸域生態系における炭素収支観測を継続した。観測サイトへの情報通信技術導入による、つくばからの現地の遠隔監視、受信データの自動処理を進めた。その結果、特にタイにおける観測は、従

来、荒天や老朽化などにより観測機器等の障害が頻発し、欠測が多かったが、データ取得率が大幅に改善した。高山サイトにおける大気中の酸素(O<sub>2</sub>)と二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度の連続観測結果から、傾度法により大気森林間フラックスのO<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>交換比を導出し、森林生態系の呼吸と光合成量を分離評価した。また、CO<sub>2</sub>および水の同位体観測結果から、夜間の生態系呼吸を土壌呼吸と葉呼吸に分離し、春~秋にかけて、土壌呼吸の占める割合が増加する傾向を明らかにした。

大気CO<sub>2</sub>の吸収源として重要な海草場・干潟などの沿岸生態系は、近年消失が著しく、修復・創生技術の開発が急務となっている。そこで、産業副生物である製鋼スラグを海草(アマモ)場基盤材として活用するアマモ場創生技術の評価を行った。製鋼スラグに大量に含まれるアマモの生育に不可欠なリンについて、連続抽出法による形態分別分析を試みたところ、アマモに利用可能なリンの割合はスラグ中の全リンの~81%と大きく、スラグがリンの供給源として有用であることが示された。また、アマモや底生生物の生育にリンと並んで重要な窒素と有機物を豊富に含む浚渫土を製鋼スラグに混合することで、藻場生産性のさらなる向上が期待できる基盤材を作製し、阿賀臨海実験場で大型海水水槽実験により、アマモの生育状況と物質フローの解明を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】炭素固定、陸域生態系、製鋼スラグ、沿岸生態系、アマモ場

#### 【テーマ題目5】環境微生物の迅速検出法の開発

【研究代表者】鳥村 政基（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 浩昭、鳥村 政基  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

微生物は我々の生活と密接な関係があり、例えば医療健康分野では食中毒や感染症の原因となる微生物の特定、環境分野では化学物質の分解・浄化、物質循環等に重要な役割を果たす微生物の探索、機能材料開発や食品分野では有用微生物の探索など、様々な分野で微生物の迅速簡便かつ正確な分類・同定法の開発が求められている。その手段として本研究では、あらゆる生物の細胞に普遍的かつ多量に含まれるリボソームサブユニットタンパク質群(以下、リボソームタンパク質)を指標とした質量分析法による微生物の迅速同定法の開発を行ってきた。平成26年度は、(1)富栄養化が進行した湖沼などで発生する「アオコ」の原因となるシアノバクテリアの毒素産生株の識別への応用、および(2)真核生物への適用範囲拡大を目指して *Aspergillus* 属真菌(カビ)の分析を試みた。

(1)シアノバクテリア(*Microcystis aeruginosa*)には、毒素を生産する株としない株が存在することが知られている。さらに、遺伝子解析により *M. aeruginosa*

は遺伝多様性があることは分かっているが、地域性との関係については詳細は明らかではない。そこで本研究では、タンパク質の発現プロファイルを質量分析法により解析し、*M. aeruginosa* の遺伝多様性と地域性及び毒性との関係について評価を行うことを目的とした。本研究は国立環境研究所 (NIES) 微生物系統保存施設との共同研究として実施し、試料は、NIES が保有する *M. aeruginosa* のゲノム解読株および霞ヶ浦等から採取された野生株を用いた。まず初めに試料調製法を検討し、菌体中のバイオマーカータンパク質を高感度に観測する条件を最適化した。次にゲノム解読株の解析を行って、基準となるタンパク質のプロファイルを得た。そして、野生株の分析を行い、タンパク質のプロファイルを基に系統樹を作成することができた。その分類結果は、遺伝子解析によるグループ分けとある程度の相関が認められた。特に、毒性のタイプが異なる株を識別することが可能であり、本法は、迅速簡便性に加えて、高感度な株レベルの分類が可能手法であることが示された。

(2) 真菌 (カビ) は、生活環境の汚染により発生し、様々な疾患の原因となり得るため、その種類の迅速な同定・判定が重要である。とくにアスペルギルス症原因菌の一種である *Aspergillus fumigatus* 及びその関連菌種は、抗真菌剤に対する感受性が異なるため、特に医真菌学の分野でこれらの迅速かつ正確な種レベルでの分類が求められている。また、*Aspergillus* 属真菌の中には、コウジカビとして利用される種がある一方で、遺伝学的に極めて近縁に毒素を生産する種があり、これらを確実に識別することが重要である。そこで本研究では、リボソームタンパク質を指標とした質量分析法による *Aspergillus* 属真菌の新しい系統分類法の開発を試みた。まず初めに、マスペクトルのピーク質量とゲノム配列から予測されるタンパク質の計算質量を比較しながら、リボソームタンパク質を帰属し、同定用のバイオマーカーリストを作成した。その過程で、公共データベースに登録されている翻訳アミノ酸配列には、遺伝子配列のイントロン部分の誤判定により誤って登録されているものがあることを明らかにした。次に、試料前処理として菌体破砕法とリボソームタンパク質の簡易精製法を検討し、マスペクトルが良好に観測できる条件を最適化した。そして、*Aspergillus* 属真菌のマスペクトルの比較を行い、リボソームタンパク質の差異は分子系統をある程度反映していることを明らかにした。そして、信頼性の高いバイオマーカーリストを作成することにより、遺伝子解析法では分類が困難であった *Aspergillus* 属真菌を種レベルで分類・識別することができ、有毒種を迅速かつ正確に識別することが可能になった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アオコ、シアノバクテリア、真菌、カビ、質量分析

【テーマ題目6】HFC 冷媒の海水への溶解度

【研究代表者】忽那 周三 (未規制物質研究グループ)

【研究担当者】忽那 周三 (常勤職員1名)

【研究内容】

ヒドロフルオロカーボン類 (HFCs) は、冷媒等として広く使用されているが、温室効果気体であるため、地球温暖化能 (GWP) を指標として使用量および放出量を監視し地球温暖化への影響を評価している。国際条約の下、多数の国が年間放出量を国際機関に報告する義務をもつ。さらに、HFCs の地上大気濃度が地球規模の観測ネットワークにより長年にわたり連続観測されており、その観測データから大気モデルを用いて大気への HFCs 放出量が推定されている。この大気放出推定量と国際機関への報告値を比較することにより、報告値の誤差または国際機関に報告義務のない国 (中国など) からの放出量を見積もることができる。大気寿命 (大気中からの除去速度の逆数) は、GWP 評価および大気放出量の推定を行うために必要な HFCs の特性である。本研究では、大気寿命のうち、海洋への溶解による寿命の決定に必要な、海水への溶解度を室内実験で測定した。HFCs の大気寿命は、主に気相 OH 反応で決まり、海洋への溶解は HFCs の大気寿命に有意には寄与しないと考えられている。しかし、上述した地上観測データから大気放出量を推定する際、海洋への溶解が推定結果に有意な影響を及ぼす可能性がある。特に大気濃度が年々増加している場合は、その可能性が大きい。

26年度は、昨年度に引き続き、空調用冷媒等として使用されているジフルオロメタン (HFC-32) を対象とした。ジフルオロメタンの大気寿命は5.4年でほぼ気相 OH 反応 (大気寿命5.5年) で決まり、海洋への溶解による寿命は有意でないと考えられている。しかし、ジフルオロメタンの大気濃度は年々増加しているから、上述したように、地上大気濃度観測データから大気放出量を推定する際に、海洋への溶解が有意な影響を及ぼす可能性がある。

パーズ法により、昨年度より測定点 (測定温度) を増やして、ヘンリー定数を測定した。その結果、決定したヘンリー定数の温度依存性は、3つのパラメータからなる積分型のファントホッフ式で整理できた。ジフルオロメタンの25°Cにおけるヘンリー定数 (単位、 $\text{M atm}^{-1}$ ) の決定値は、最新レビューの推奨値より小さかった。今回の測定結果は、レビューの推奨値に相当する水溶性より実際は低い水溶性であることを意味する。

また、模擬海水を用いて、パーズ法によりジフルオロメタンの気液分配係数のイオン強度依存性を詳しく調べた。模擬海水中の気液分配係数とヘンリー定数の比は、ジフルオロメタンの模擬海水中の活量係数に相当する。さらに、その自然対数は過剰溶解自由エネルギーに対応し、ジフルオロメタンのような電氣的に中性な物質では、多くの場合溶液のイオン強度に比例することが経験的に

知られている。しかし、昨年度より測定点（イオン強度）を増やして実験データを蓄積した結果、ジフルオロメタンの場合、上述した値は、イオン強度に比例するのではなく、イオン強度の平方根に比例することがわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】地球温暖化、大気寿命、ヘンリー定数、salting-out 効果

【テーマ題名7】作業環境 VOC 濃度低減を目指した低温プラズマ・触媒複合技術の省エネ化

【研究代表者】寺本 慶之（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】寺本 慶之（常勤職員1名）

【研究内容】

プラズマ・触媒複合技術による揮発性有機物質（VOC）ではオゾンと VOC の触媒表面反応が重要な役割を果たしている。またこのオゾン生成は主にプラズマ中の O 原子と O<sub>2</sub>分子との反応によることが知られている。しかし、空気プラズマ（ストリーマ放電）中の O 原子の詳細な挙動観測はこれまでにない。本研究では二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法（2D-TALIF）を用いることで、大気プラズマ中における O 原子の二次元計測に世界で初めての試みとなるストリーマ進展中における O 原子の二次元の挙動観測を試みた。本計測の結果、放電進展直後（0-20 ns：一次ストリーマ）において O 原子はほとんど生成しないことが分かった。一方、放電後20 ns（二次ストリーマ）から急激に O 原子密度が増加し、160 ns に掛けて上昇していくことが分かった。また O 原子密度の上昇速度は高電圧印加電極から離れるに従い徐々に低下していった。二次元密度分布の計測結果から、O 原子は高電圧印加電極近傍で多く生成し、電極から離れるにつれ急激に減少することが分かった。次に電圧波形が O 原子生成量に与える影響を調査した。パルス幅100 ns と400 ns の電圧波形を用い、O 原子生成量を比較した。結果からパルス幅が短いほど、O 原子が急速に生成することが分かり、この結果短パルスの方が O 原子生成エネルギー効率が高いことが分かった。この知見を基に、10 J/L あたりのトルエン分解量が従来法と比較してプラズマ投入エネルギー波形の最適化を行うことで10 ppm から40 ppm まで向上し、1/4の省エネ化を達成した。

低温プラズマ・触媒複合技術のプラズマ部では NO<sub>x</sub> が副生成物として生成する。プラズマ中におけるこの NO<sub>x</sub> の生成・分解反応機構をプラズマ中活性種に着目し、レーザー分光法（レーザー誘起蛍光法）を用いて定量的に解明した。大気圧プラズマ中における窒素原子の二次元計測は世界初となる。この結果、窒素原子が NO<sub>x</sub> 分解・生成の主要因であることが分かった。窒素原子と酸素分子による NO 生成反応はガス温度の影響を大きく受けることが知られていることから、プラズマ中ガス温度を低下させることで NO 生成の抑制を試みた。プラズ

マ中ガス温度並びに振動温度はレーザー分光法（コヒーレント・アンチストークス・ラマン散乱法）を用い計測した。この結果、プラズマ生成時の投入エネルギー波形を最適化することでプラズマ温度を70 K 程度低下させ、NO<sub>x</sub> の生成量を従来比1/10まで抑制することに成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】VOC、低温プラズマ・触媒複合技術、窒素原子の二次元計測

【テーマ題名8】交互積層法によるグラフェン・チタニア透明複合膜の構築及び環境リスク削減への応用

【研究代表者】王 正明（環境負荷制御研究グループ）

【研究担当者】王 正明、根岸 信彰、孫 明超、ベン 文琴（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

生活・作業環境下で微量でも人体・生体に長期的または潜在的に危害を加える揮発性有機汚染物（Volatile Organic Compounds、VOC と略す）、持続性有機汚染物質（Persistent Organic Pollutants、POPs と略す）、新規な医薬品及びその関連製品（Pharmaceutical and Personal Care Products、PPCPs と略す）汚染物などに由来する環境リスクを削減するためにグラフェンの高機能性、表面化学の制御しやすさを活用したナノ複合化技術を開発している。今まではチタニアナノ粒子とグラフェンの両方の構造を制御することで微量な有機汚染物を高効率的に分解する吸着濃縮促進複合型光触媒を開発したが、この複合体を更に高機能化するために、交互積層法（layer-by-layer 法、LBL と略す）によるグラフェン・チタニア複合膜の構築に関する研究を近年計画している。昨年度に於いて LBL 法によりグラフェンとチタニアナノチューブの交互積層膜が効率よくでき、少ない触媒量でも極めて高い促進型光触媒能が実現できた。本年度において、この手法を更に市販の高性能チタニアナノ粒子（P25）とグラフェンの交互複合膜の構築に適用し、汚染物に対する処理効果を確かめた。複合膜として、P25ナノ粒子とグラフェンをそれぞれ一層ずつ交互に構築する交互複合膜とあらかじめ P25とグラフェン酸化物の混合分散液を作り、この混合分散液を原液に LBL 法を適用して構築する混合積層膜の二種類を用意し、昨年度得られたグラフェン・チタニアナノチューブ複合膜とも性能比較を行った。その結果、いずれの場合においても、濃度、構築順番など、最適な条件が存在し、適宜な条件を用いれば、均質で透明な複合膜を得られた。三種類の複合膜の中、P25とグラフェンの混合積層膜の方は色素の一種であるメチルオレンジ（MO）に対する光分解活性が一番高く、同一条件で構築したピュアな P25積層膜に比較して約3倍程度光触媒活性が高かった。断面透過電顕などを用いて解析した結果、グラフェンと

チタニアナノ粒子の混ざり合い度合いは P25とグラフェンの混合積層膜の中において一番効率的で、このような高い触媒活性の促進効果をもたらしたと結論した。しかし、混合積層膜が基板上への付着強度がそれほど強くないこと、光触媒反応に伴い炭素成分が分解するなどの問題も見つかり、今後の改善課題となった。また、カルバマジンなどのいくつかの汚染物に対する処理効果の評価も行った。その結果、汚染物の性質に応じて分解性能に差が現れ、グラフェン以外の親水性無機ナノ粒子とチタニアの複合体・膜の構築・使用も今後の検討課題になり得ることを示唆した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】グラフェン、チタニア、複合膜、交互積層法、光触媒、環境リスク削減

【テーマ題目9】MBR 膜ファウリング過程における微生物群集と細胞外タンパク質の高解像度ダイナミクス

【研究代表者】尾形 敦（浄化機能促進研究グループ）

【研究担当者】尾形 敦、堀 知行、佐藤 由也、松尾 和幸（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

膜分離活性汚泥法（MBR: Membrane bioreactor）は近年注目を集める廃水処理技術である。一方、廃水処理能は汚泥中の微生物が担っており、それらを高活性で維持し安定的に運転するためには一定の経験を要する。また、大きな問題とされているのは微生物による膜の目詰まり（ファウリング）である。膜ファウリングの早期検知は重要な課題であるが、一般的に測定される水質指標からは予測が難しいことが報告されている。そこで本研究では、膜ファウリング形成過程・リアクター荒廃過程における MBR を生物学的解析に基づき特徴づけ、MBR の健全性の指標となりうる因子としての可能性について検討した。

本研究では、PAN 製の平膜モジュール（孔径0.07  $\mu\text{m}$ 、有効膜面積0.24  $\text{m}^2$ ）を採用した3槽式のパイロットスケール MBR（230 L）2基を31日間運転した。種活性汚泥はきぬアクアステーションより提供を受けた。処理水の引き抜き量を通常4倍（HRT = 12時間）に設定して運転することで、早期に膜ファウリングを誘導した。さらに、膜ファウリング発生後も膜洗浄を行いながら31日目まで運転を続けた。運転期間中の24時点において活性汚泥を採取して固液分離し、上清部分についてはタンパク質解析を、固体画分については次世代シーケンサーを用いた微生物群集構造解析を行い、細胞外タンパク質プロファイルおよび微生物群集構造を特徴づけた。また、運転終了後にファウリング膜を採取し、付着物質を抽出して微生物群集構造解析およびタンパク質解析を行った。

結果として、上述の高負荷条件での運転により、パイ

ロットスケール MBR は運転開始後数日で膜ファウリングを生じた。微生物群集構造は運転期間中に大きく変化し、ファウリング発生時には  $\beta$ -proteobacteria 網が急増し、運転最終日には  $\alpha$ -proteobacteria 網が最も優占化していた。運転終了時の膜上に形成された微生物群集構造は活性汚泥中（液相）とは異なっており、 $\alpha$ -proteobacteria 網だけでなく  $\beta$ -proteobacteria 網も多くを占めていた。OTU レベルでの解析の結果、運転7～14日の間では  $\beta$ -proteobacteria 網に属する1種の細菌によって活性汚泥の50%以上が占められるという、偏った微生物群集構造が観察された。この微生物はカビなどの生きた真菌を捕食することが知られており、活性汚泥中で溶菌した他の微生物由来の成分を栄養源として急激に増殖したと考察される。

汚泥中の細胞外タンパク質濃度は運転期間を通じて増加したが、処理水中では大きな変化はなく、MBR 槽内にタンパク質が濃縮されていた。SDS-PAGE（ゲル電気泳動）では、運転初期には特定のピークは観察されず、微生物溶菌由来と考えられる多様なサイズのタンパク質が不鮮明に検出された。一方、運転後期では1つの高濃度のタンパク質が検出され、サイズ分布に偏りが見られた。また、ファウリング膜からはこれと同様のタンパク質が検出され、水溶性タンパク質が MBR 膜に付着していることが分かった。本研究で用いたパイロットスケール MBR を安定的に運転した場合、微生物群集構造および細胞外タンパク質は一定の多様性を維持することが確認されている。安定運転時と荒廃期とは、MBR 内微生物群集およびタンパク質の多様性に大きな相違があることが分かった。

微生物群集では多様性の欠如に伴い、微生物生態系の強度も損なわれる。本研究の荒廃期 MBR では上述の通り偏った菌叢が形成されており、安定運転時とは大きく異なることが示された。興味深いことにタンパク質の分布にも多様性の欠如が見られ、MBR の健全性の判断指標になりうることを示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】膜分離活性汚泥法、膜ファウリング、微生物、次世代シーケンサー、タンパク質解析

【テーマ題目10】水中の有害化学物質の分解・吸着除去技術に関する研究

【研究代表者】上榎 勇（水環境工学研究グループ）

【研究担当者】中山 紀夫、清野 文雄（常勤職員3名）

【研究内容】

水中の有害化学物質の分解技術に関する研究では、水素と触媒を併用した硝酸の分解技術の研究に取り組んだ。本年度は、 $\text{H}_2/\text{N}_2$ 混合ガスを通常気泡（粒径1.5mm～2mm）として注入した場合とマイクロバブル発生装置を用いて注入した場合とで、 $\text{NO}_3^-$ 還元反応速度を比較

するとともに、Pt 電位の測定を行った。実験は、 $\text{KNO}_3$ 水溶液に気液二相流せん断方式のマイクロバブル発生装置を使用して  $\text{H}_2/\text{N}_2$ 混合ガスを吹き込み、イオンクロマトグラフを用いて水溶液中の硝酸イオン、亜硝酸イオン等の濃度の経時変化を測定した。Pt 電位は Pt 線を貯槽に浸漬し、飽和  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  電極を基準電極として、ポテンシオスタット/ガルバノスタットを用いて測定を行った。マイクロバブルを用いた場合には、80min における  $\text{NO}_3^-$  転化率は94%、120min では100%で  $\text{NO}_3^-$  は完全に還元除去された。一方、通常気泡で注入した際の80及び120min における  $\text{NO}_3^-$  転化率は12及び26%で、マイクロバブル注入時の約1/8及び1/4であり、マイクロバブル注入により高効率で  $\text{NO}_3^-$  を還元除去できることを明らかにした。また、マイクロバブル注入時の電位は通常気泡注入時よりも0.17~0.3V 卑であり、Pt 電位からも通常気泡よりマイクロバブルの還元能力が高いことを示した。

水中の有害化学物質の吸着除去技術に関する研究では、シクロデキストリン分子の化学物質に対する高度な選択性を利用することにより水中のクロロホルムを除去する技術の開発を進めた。まず、各種のシクロデキストリンポリマーを用いてバッチ試験、並びに流通試験を行いクロロホルム吸着性能を評価した。次いで、加熱水流通による吸着剤の再生法について検討した。バッチ式吸着試験では、前処理したシクロデキストリンポリマーに、クロロホルム水溶液を加え、恒温水槽内で振とうし、静置後、水層をガスクロ分析した。流通式吸着試験では、ガラス管に前処理したシクロデキストリンポリマーを充填し、クロロホルム水溶液を下向流で通液して、通過液をガスクロ分析した。この結果、単位重量当たりのクロロホルムの吸着量は、 $\beta$ - $\alpha$ - $\gamma$ -CD ポリマーの順であることを明らかにした。

$\gamma$ -CD の疎水性空洞は、クロロホルム1分子を取り込むのに十分な広さがあるが、空洞内でのパッキングがよくないために捕捉力が小さく、吸着除去率が低くなったと考えられる。吸着剤再生試験では、温水を用いてシクロデキストリンポリマーからクロロホルムを脱離して、吸着剤を再生できることを示した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水環境、有害化学物質、吸着、酸化・還元処理、ポテンシオスタット

## ⑪【環境化学技術研究部門】

(Research Institute for Innovation in Sustainable Chemistry)

(存続期間：2004.5.1~)

研究部門長：北本 大

副研究部門長：榊 啓二

総括研究主幹：藤谷 忠博、新納 弘之、池上 徹

所在地：つくば中央第5、つくば西

人員：36名 (36名)

経費：464,563千円 (289,763千円)

概要：

### 1. ミッションと目標

環境影響を考慮しつつ、持続可能な社会とそれを支える化学産業などの進むべき方向を示唆する、「グリーン・サステナブルケミストリー (GSC)」が提唱されている。GSC とは、簡単に言えば「環境に優しいものづくりの化学」である。環境破壊の主因のように言われることもある化学だが、およそすべての製造業の基盤として、化学なくして「ものづくり」はあり得ない。

本研究部門では、長期的視野も取り入れ GSC をより広くとらえ、「環境共生化学」として以下の技術課題に関する研究を実施する。

- 1) 再生可能資源を利用する材料・反応・プロセス技術
- 2) 化学プロセスの省エネ化を可能とする分離技術
- 3) 産業の環境負荷低減を図るレーザー化学技術
- 4) 先端化学材料の評価技術

上記課題に関する最終ゴールは、再生可能資源を用いて環境負荷となる廃棄物を生み出すことなく、また最小のエネルギー使用量で、選択的に目的製品を製造する技術の開発である。一方、現在の産業技術体系は膨大な既開発技術の蓄積に基づいており、産業技術転換には莫大なコストと長期にわたる新技術導入期間が不可欠となっている。そこで本研究部門では、短・中期的観点から既存産業の環境負荷低減技術及びエネルギー効率向上技術の研究開発を、長期的観点から上記最終ゴールを目指す画期的な産業技術の研究開発をバランス良く進める。

また、産総研が産業技術向上のための公的研究開発機関であることを踏まえ、総合研究所としての優位性を活かしつつ、経済性・社会性を考慮した研究開発を進めることが重要である。特に、新産業技術創出のための核となる異分野技術の融合には、化学技術の特徴を活かし、常に積極的に取り組むとともに、製品をイメージし、企業ニーズに適応した研究開発を行っていく。

### 2. 研究の概要

本研究部門は、独立行政法人の存立のよりどころである第3期中期目標・中期計画の達成に向けて全力を傾ける。また、本研究部門が化学技術分野の研究者の集団であることも考慮して、上記の4つの技術課題を第3期中期計画期間における重点課題として設定している。

近年の社会・経済情勢の変化により次の3点が本研究部門の研究開発方針に影響を及ぼしている。

- ・原油価格は、今後も高止まりの状況が続く。
- ・二酸化炭素等による地球温暖化問題が顕在化し、省エネルギー技術の普及とともに循環型資源・エネルギーへの転換加速がより強く求められている。
- ・複数の材料メーカーとユーザーメーカーが集結して拠点を形成し、先端材料の性能を適切に評価する手法を開発・共有することが望まれている。

このため、重点課題の1)については、化学製品原料の石油資源からバイオマスへの転換技術実現の加速が求められる状況にあり、また注目が集まるバイオベース材料については、民間企業との協力を視野に入れつつ、研究開発の重点化・加速化を図る。2)については研究対象を新規分離材料の開発に限ることなく、実用化時期とその規模を見据えつつ、ニーズに合った形で反応・分離・製造プロセスの省エネルギー化に関して研究開発を実施する。3)については、新しい省エネルギー型レーザー表面化学プロセスの開発により製造の高効率化を図り、産業活動の環境負荷低減に貢献するとともに、技術研究組合次世代レーザー加工技術研究所の技術開発に協力する。さらに4)については、次世代化学材料評価技術研究組合で行う有機エレクトロニクス材料等の評価・標準化技術、及び基礎解析技術の開発に協力する。

### 3. 体制・運営

#### 1) 体制・運営に関する工夫・努力

本研究部門は、職員および外部研究員で100名程度の規模の研究ユニットである。従って、研究部門長のみによるフラットな組織管理・運営は困難と考え、研究グループ長を一次管理者、研究部門長を二次管理者とする二階層による組織管理・運営を基本とする。研究グループ内の予算配分・個々の研究者の研究課題設定・外部資金への応募等については、研究グループ長が一次判断を行う。研究グループ内の予算・スペース・勤務時間・各種リスクの管理も、研究グループ長が一次管理者を務める。

研究部門長はライン上にある研究グループ長の一次判断を尊重しつつ、必要に応じてスタッフである副研究部門長・総括研究主幹等の意見を聞きながら最終決定を行う。また、研究部門長は研究グループ間の調整を行うほか、他研究ユニットや産総研外の組織と研究グループとの関係についても総括責任者として調整する。副研究部門長及び総括研究主幹はこれを補佐する。以上のように、研究部門長を中心とするラインとスタッフの役割分担と責任の所在を明確にした形で運営を行っている。

#### 2) 本格研究の考え方

本研究部門における多くの研究は第二種基礎研究、すなわち既知の知識の融合・適用によって社会・産業ニーズに応えようとする研究と位置付けられる。ただし、ともしれば論文・特許等の目に見えやすく

アウトプットが現れやすい、開発研究からやや距離を置いた位置に止まりがちとなっている。産業界への技術移転を速やかに進める観点から、本研究部門では第二種基礎研究における上流から下流まで、すなわち第二種基礎研究のシーズから開発研究の導入部までを実施する。また、第一種基礎研究については、第二種基礎研究を実施中にしばしば得られる未知現象の原理解明を中心とし、真に新たな技術シーズにつながる可能性のある課題を主対象として研究を実施する。

#### 3) 産学連携・知的財産・成果普及・広報についての考え方

本研究部門は、研究者のオリジナルな成果を核とした技術の研究開発及びその展開を最も高い優先度で推進する。研究課題の実施に当たっては、基本特許となるべき発明を単独で行うことを優先し、強固な知的財産権を確立した後、共同研究等を通じて技術移転を行い産業化を進める。

一方、集中的研究実施体制が効果的と考えられる社会・産業ニーズの大きい課題については、初期段階から国家プロジェクトあるいは資金提供を受けた研究コンソーシアム等を通じた共同研究体制により、加速的に研究開発を推進する。この場合、技術シーズのすべてが産総研オリジナルではないケースも想定されるが、産総研のミッションが産業技術向上への直接貢献であることを踏まえ、さらなる知的財産権の獲得を目指しつつ、技術展開における中核的役割を果たすと同時に、国際標準化も視野に入れて活動する。

個別ニーズに応える産業技術の研究開発課題については、競争関係にある民間企業と適切な関係を保ちつつ、技術の早期の完成を目指した受託研究・共同研究を推進する。これらの積極的展開は、場合によっては知的財産権の複雑化を招くが、知的財産関係の情報漏洩には十分留意し、民間企業を含む外部機関関係者との信頼関係醸成に努める。

本研究部門は、ナショナルイノベーションシステムにおける産総研の役割を認識し、学界に止まらず広く社会や産業界を対象として積極的な成果普及・広報を心がけるとともに、「活動の見える化」を推進する。特に、産総研が主として公的資金に基づく組織であることを踏まえ、各種のアウトリーチ活動や、社会への研究活動・成果の紹介に注力する。その際には、一般の人にも理解しやすい明快な広報に努める。

---

内部資金：  
戦略予算 代替フロンとしての微燃性冷媒の標準評価法の研究（冷凍空調機メーカー参加のコンステレーション型PJに向けて）

外部資金：

農林水産省 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 畑作の省力化に資するバイオプラスチック製農業資材分解酵素の製造技術と利用技術の開発

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 基礎化学品製造における革新的省エネルギープロセスに関する先導的検討

独立行政法人科学技術振興機構 A-STEP 機能性バイオ化学品の用途拡大を自指した大量製造技術の開発

独立行政法人科学技術振興機構 CREST ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化

独立行政法人科学技術振興機構 ALCA 触媒の表面化学、構造解析と設計

独立行政法人科学技術振興機構 ALCA 高性能アンモニア分解触媒の開発

独立行政法人科学技術振興機構 ALCA 炭素膜の研究開発とプロセス検討

独立行政法人科学技術振興機構 A-STEP デシカントモジュール用波形水蒸気吸脱着厚膜の開発

独立行政法人科学技術振興機構 SIP 高性能アンモニア分解触媒の開発

独立行政法人科学技術振興機構 SIP 炭素膜の研究開発とプロセス検討

独立行政法人科学技術振興機構 SIP 有機ハイドライド向け実用型炭素膜の開発と膜分離システム設計

国立大学法人東京大学 ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価と着火エネルギー評価法の開発

公益財団法人名古屋産業科学研究所 戦略的基盤技術高度化支援事業 自動車部品等の軽量化を促進するためのメタルと炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のレーザを用いる異材接合技術のシステム開発

一般社団法人日本ゴム工業会 「省エネルギー等国際標準開発(ゴム及びゴム製品のバイオベース度の測定方法に関する国際標準化)」に関わる提案規格の汎用性の調査

文部科学省 科学研究費補助金 化学発光法を用いた化

学材料評価手法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 プラスチックの嫌気生分解の解析

文部科学省 科学研究費補助金 金属・有機構造体を用いた機能性分離膜の開発

文部科学省 科学研究費補助金 副生グリセリン利用を指向したキラル酸化バイオプロセスの高度化と応用

文部科学省 科学研究費補助金 メタロミセルの化学環境の理解と高効率水中触媒反応への応用

文部科学省 科学研究費補助金 有機テンプレートをを用いない高シリカケージ型大空間ゼオライトの革新的合成手法の開拓

文部科学省 科学研究費補助金 短寿命代替フロン物質の地球温暖化ポテンシャル新指標の開発

文部科学省 科学研究費補助金 色素増感太陽電池における電子移動機構の完全解明

発表：誌上発表77件、口頭発表124件、その他19件

界面有機化学グループ

(Interfacial Organic Chemistry Group)

研究グループ長：池上 徹

(つくば中央第5)

概要：

優れた有機材料は使用される用途に応じて様々な機能を持つ。その機能は有機化学反応や有機エレクトロデバイス中における反応界面にて発揮される。当グループでは、精密有機合成技術と界面評価技術を組み合わせ、反応界面の制御を目的とした機能性有機分子材料の開発および界面制御を考慮に入れた機能性化学品の精密合成に関わる新規プロセス開発を主眼とした研究を行っている。これにより、高性能・高信頼性エネルギー変換デバイスへの応用や化学材料の品質管理のための迅速評価手法への適用を目指している。

研究テーマ：テーマ題目4

機能表面化学グループ

(Functional Surface Chemistry Group)

研究グループ長：藤谷 忠博

(つくば中央第5・つくば西)

概要：

物質循環型社会を実現するためには、炭素資源や鉱物資源などの多様な資源の確保とその有効利用が不可

欠である。そのため、バイオマス資源や再生可能資源等を原料とする化学品製造プロセスの構築に向けた技術の高度化が必要とされている。当グループでは、バイオマスを原料とする化学品製造プロセスに必要な触媒による化学変換の技術開発に取り組んでいる。具体的には、セルロース由来の有機酸から芳香族等の有用化学品の合成、レブリン酸の水素化および芳香族化反応、およびバイオマスエタノールからプロピレンへの変換に対する高性能触媒の開発研究を進めている。さらに、表面科学的手法等の高度な *in situ* 計測・分析技術も駆使しながら、実用化に向けた触媒の高性能化に関する検討も行っている。

研究テーマ：テーマ題目1

### 膜分離プロセスグループ

(Membrane Separation Processes Group)

研究グループ長：榊 啓二

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、膜利用高効率化学プロセスの構築に貢献することを目的として、膜素材の合成から製膜・評価技術の確立と膜応用プロセスの開発まで、膜分離の基礎から応用にわたる基盤研究を一貫して推進している。膜素材としては、水素のみを選択的に透過する水素透過性金属膜、及び分子スケールの孔で小さな分子を透過させる分子ふるいカーボン膜や金属有機構造体膜、選択透過性を有するゼオライト膜に着目している。膜や分離システムの開発はもとより、高精度・高感度な測定解析手法の開発や計算機シミュレーションを活用した膜・膜モジュールの評価解析も進めている。得られた技術や知見は、分離膜以外へも積極的に展開している。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目4

### 化学システムグループ

(Energy-Efficient Chemical Systems Group)

研究グループ長：遠藤 明

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、化学システムの省エネルギー化や環境負荷低減化の分野において、化学工学及び材料科学の観点から材料技術とシステム技術を一体化してとらえた研究を展開し、得られた成果を積極的に社会・産業界に発信していくことを通じて、持続発展可能な社会の構築に資することを目標としている。具体的には、ナノ空間及び界面での物質移動・吸着現象・化学反応に注目し、材料の合成－構造－機能の関係を意識しつつ、グリーン・サステイナブルケミストリーの発展に貢献するための材料合成技術・構造評価技術の開発、ナノ多孔材料の特性を活かした反応場の構築及び

プロセス開発、省エネルギープロセスの解析とプロセス強化・システム化に関する研究を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

### バイオケミカルグループ

(Bio-Chemical Processes Group)

研究グループ長：羽部 浩

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、バイオマス等の未利用資源の積極的な活用を目的として、各種の生物・化学プロセスを活用した高付加価値製品の生産技術に取り組むとともに、革新的な産業技術の創出を目指した機能性化学品の利用技術の開発も行っている。具体的には、環境適合性と機能性を併せ持つ新しい材料であるバイオサーファクタントの各種産業分野への応用を目指し、酵素や微生物を利用した製造技術の高度化や用途開拓等を進めている。また、バイオディーゼル燃料の製造等において副生するグリセリンの有効利用を目的として、グリセリンからグリセリン酸を生産する技術の高度化や、グリセリン酸を誘導体化して得られる新規な機能性化学品について、各種物性・機能性の評価を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

### 高分子化学グループ

(Polymer Chemistry Group)

研究グループ長：国岡 正雄

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、持続可能な循環型社会システムに適合し、原料を石油に限定することなく、未利用の再生可能原料（バイオマス・農業廃棄物等）からリサイクル可能な循環型高分子を開発している。その製造に用いる環境適合型プロセス、利用が促進されるような高機能な性能を持つバイオマスプラスチック、バイオマスからの効率的な生産法、及びその基盤技術の開発を行っている。また、環境に負荷を与えない廃棄物処理として、生分解・再資源化についても併せて検討している。具体的な研究テーマは次の通り。1)循環型高分子材料の利用促進のために、化学的手法（有機合成化学反応・光化学反応）を用いて、熱的・機械的性質や機能に優れた循環型高分子を開発する。2)環境適合技術及びその関連技術を利用して、実際にその製品の実用化に関与している企業とともに効率的生産法を開発する。3)循環型高分子の市場への投入促進のために、バイオプラスチックに関わる再資源化率・生分解率・バイオマス炭素含有率等の測定法の国際規格の原案作りを行う。4)高分子材料の耐久性評価技術の標準化の検討を行う。



研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4

### レーザー化学プロセスグループ

(Laser-Induced Materials Processing Group)

研究グループ長：佐藤 正健

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、レーザー化学技術の研究に基づく、新しい省エネルギー型レーザー表面化学プロセスの高効率化を行うとともに、先端的光技術と分野融合による新技術開拓を目的として、光化学表面反応プロセスを駆使した省工程・省部品化を目指すレーザー局所場処理技術の創出を行い、産業活動の環境負荷低減に貢献するグリーンイノベーションに取り組んでいる。特に、太陽電池の高速スクライブ加工並びに超軽量構造材である炭素繊維複合材料に対する省エネルギー型高速加工技術を開発している。

研究テーマ：テーマ題目3

### 化学材料評価基盤グループ

(Chemical Materials Evaluation Group)

研究グループ長：須田 洋幸

(つくば中央第5)

概要：

有機 EL 素子や有機薄膜太陽電池などの電子デバイスの分野では、素子に用いられる機能性有機・高分子材料や、封止材などの周辺部材の高耐久化・長寿命化が喫緊の課題となっている。当グループでは、産業界のニーズを踏まえた先端化学材料の耐久性評価としての加速劣化試験法の開発、構造及び機能評価技術の高度化、基礎解析技術の開発、劣化機構の解明、評価手法の国際標準化、材料設計指針の確立等の分野横断的な取り組みを推進している。これにより、先端化学材料・部材を迅速かつ確実に製品化につなげる共通基盤的な化学材料評価研究拠点を形成し、我が国化学産業の国際競争力強化に貢献することを目指している。

研究テーマ：テーマ題目4

#### [テーマ題目1] 再生可能資源を利用する材料・反応・プロセス技術

[研究代表者] 藤谷 忠博 (総括研究主幹)

[研究担当者] 藤谷 忠博、北本 大、中村 功、高橋 厚、SULTANA ASIMA、羽部 浩、井村 知弘、佐藤 俊、森田 友岳、福岡 徳馬、国岡 正雄、大内 秋比古、船橋 正弘、八木 久彰、大石 晃広 (常勤職員15名、他6名)

[研究内容]

化石資源に替わってバイオ原料から化学品を製造するための技術開発及びプロセス開発は、日米欧を中心に戦

略的な取り組みが始まっている。本テーマでは、国際競争力のあるバイオ由来化学品生産プロセスの確立を目指し、バイオアルコールからの基幹物質製造プロセス開発、バイオ基幹物質製造技術・利用技術の開発、及びプラスチック製品の組成毎のバイオマス炭素含有率の測定法の開発に取り組み、各基盤技術の確立を図るとともに実用化指向の全体プロセス設計・評価を行っている。

(バイオアルコールからの基幹物質製造プロセス開発)

バイオエタノールからプロピレンを製造するための反応プロセス、及び分離プロセスの開発を行った。触媒反応においては、これまでに見出した酸化物系触媒の性能を検討した。種々の酸化物と複合させることで、触媒活性は大幅に改良できることを見出した。また、これまでの問題点であった触媒寿命については、酸化物表面からの格子酸素の脱離が主な劣化原因であることを明らかにした。この表面格子酸素の脱離についても、数種の微量酸化物と複合することにより、効率的に抑制することができ、長時間安定な触媒の調製法を開拓した。

(バイオ基幹物質製造技術・利用技術の開発)

グリセリン酸はバイオディーゼル燃料の製造で副生するグリセリンを原料に微生物生産可能な化学品であり、種々の応用が期待されている。そこでグリセリン酸の各種誘導体を製造し、用途開拓に向けた物性、機能性評価を行った。グリセリン酸誘導体として、配糖体の一種である $\alpha$ -グルコシルグリセリン酸を合成し、化粧品素材としての機能性評価を行ったところ、コラーゲン産生促進活性を有する可能性が見出された。また各種モノアシルグリセリン酸を合成し、界面物性を調べたところ、石油由来の界面活性剤と比べて高い表面張力低下能を有することが明らかとなった。

(プラスチック製品の組成毎のバイオマス炭素含有率の測定法の開発)

プラスチック製品はほとんどが石油由来であり、どの程度バイオマス由来炭素が含まれているかが重要な要素となっている。プラスチック製品のバイオベース度に関わる ISO 国際標準規格の ISO 案 (ISO/DIS16620シリーズ) を作成し、技術委員会61 (TC61プラスチック) で国際審議を行い、発行することができた。ゴム製品に関わるバイオベース度に関わる ISO 国際標準規格の提案・国際審議を技術委員会45 (TC45ゴム及びゴム製品) で行った。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] バイオアルコール、バイオサーファクタント、グリセリン、バイオベースプラスチック

#### [テーマ題目2] 化学プロセスの省エネ化を可能とする分離技術

[研究代表者] 榎 啓二 (膜分離プロセスグループ)

[研究担当者] 榎 啓二、根岸 秀之、吉宗 美紀、原 伸生、遠藤 明、川合 章子、

片岡 祥、上村 佳大、池上 徹  
(常勤職員9名、他7名)

#### 【研究内容】

化学プロセスを環境調和型プロセスへ変革するために、エネルギー消費の約40%を占める分離プロセスの革新が求められている。この要求に応えるべく、本テーマでは原理的に高効率な膜分離法及び産業分野で広く利用されている吸着分離に関する研究開発を行っている。膜素材・吸着剤の開発から、モジュール化・システム化・評価・解析などの性能実証までに必要な技術を発展・融合させることにより、本格研究を実践している。さらに、開発した技術の用途開拓を積極的に推し進め、化学プロセス以外の用途にも展開することにより、広く社会に貢献することを目指している。

(化学プロセスのための新規分離膜の開発)

分子ふるい炭素膜による化学原料の脱水精製について、難度の高い水/酢酸系の詳細検討を行った。炭素膜の細孔径を制御することにより、水/酢酸選択性を5.4から3500以上まで大幅向上させることに成功した。この実験結果をもとに脱水精製プロセスを設計計算した結果、従来の蒸留法と比較して、分離にかかる消費エネルギーが87%削減できることを明らかにした。

金属有機構造体の一種であるゼオライト様イミダゾレート構造体を用いた気体分離膜(ZIF-8膜)の開発を行った。分離層の欠陥低減効果のある対向拡散法によるZIF-8膜の作製において、溶液濃度および溶媒種類が膜構造と選択透過特性に影響を与えることを明らかにした。さらに単成分および混合成分の気体透過特性の解析から、分子サイズの違いに基づいて、高いプロピレン/プロパン分離性能を示すことを明らかにした。

バイオブタノール分離用シリカライト-1膜の作製と実発酵液での膜性能評価を行った。スイートソルガム搾汁液でのブタノール生産菌 *Clostridium beijerinckii* SBP2-HB 株の発酵液中のブタノール濃度は約0.8wt%であったが、浸透気化法による膜分離で透過液ブタノール濃度は74.6~85.3wt%と高い値を示した。また、発酵液を pH 調整と活性炭処理することで、透過流束が4倍以上に向上することを明らかにした。

(低温廃熱の有効利用が可能な新規ナノ多孔質吸着剤の開発)

低温廃熱において再生が可能な新規ナノ多孔質吸着剤として、メソポーラスシリカが有力な候補であるが、これまで低温における水蒸気の吸着・脱着挙動や、泳動電着法による金属基板上への固定化等の検討を行ってきた。

本年度は昨年度から検討している材料側からみた吸着・脱着速度のメカニズム検討結果を踏まえ、従来型にない新しいタイプのデシカント構造の考案を開始した。これまでの実験結果から、実際の除湿課程においては細孔内の物質移動(水蒸気の移動)が律速となることが示唆されている。また、吸着速度と脱着速度がことなるこ

ともわかっており、これらの速度課程を定量的に検討した結果、従来のハニカム型でない構造のデシカントモジュールの提案に至った。昨年度実施したポリマーをバインダーとしたメソポーラスシリカの固定化法において、粒子間空隙を制御することで構造の最適化を行うことが必要であり、今後数値シミュレーションと併せて最適な構造設計を明確化したうえで実験的検証を進める。

また、アルマイトの作成条件を検討すると、メソポーラスシリカの細孔径にきわめて近い程度のシリンダー状細孔を得ることも可能となり、別の水蒸気吸着モジュールとしての可能性があることも判明した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】省エネルギー、膜分離プロセス、分子ふるい分離膜、脱水分離、デシカント空調、ノンフロスト、ナノ多孔質材料

#### 【テーマ題目3】産業の環境負荷低減を図るレーザー化学技術

【研究代表者】新納 弘之(総括研究主幹)

【研究担当者】新納 弘之、佐藤 正健、川口 喜三、高田 徳幸、奈良崎 愛子、中住 友香  
(常勤職員6名、他1名)

#### 【研究内容】

産業の環境負荷低減に資するグリーンイノベーションを目指して、レーザー化学技術の研究に基づいた新規な省エネルギー型レーザー表面化学プロセスの高効率化と、先端的光技術と分野融合による新技術開拓を目的として、光化学表面反応プロセスを駆使した省工程・省部品化を実現するレーザー局所場処理技術の創出に取り組んでいる。今年度は、太陽電池の高速スクライブ加工、先端化学材料の光計測技術、並びに、炭素繊維強化プラスチックの高速・高品位レーザー加工について検討を行った。炭素繊維強化プラスチックのレーザー加工では、3ミリ厚試料に対して6m/分を超える加工速度を実証するなど、優れた成果が得られた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】光化学表面反応プロセス、レーザー化学技術

#### 【テーマ題目4】先端化学材料の評価技術

【研究代表者】須田 洋幸

(化学材料評価基盤グループ)

【研究担当者】須田 洋幸、権 恒道、陳 亮、水門 潤治、萩原 英昭、滝澤 賢二、山根 祥吾、高橋 利和、内丸 忠文、国岡 正雄、船橋 正弘、大石 晃広、佐藤 正健、奈良崎 愛子、甲村 長利、井村 知弘、村上 拓郎、平 敏彰(常勤職員18名、他5名)

#### 【研究内容】

有機エレクトロニクス等の先端デバイスに利用される高性能化学材料は、我が国化学産業の強みである。一方、複数の国内化学メーカーが個々に先端材料開発で競争を行っているため、開発内容の重複に加えて高額な研究設備等への重複投資が起こっている。さらに、海外セットメーカーにおける内製化も進んでいることから、国内化学メーカーの開発効率の最大化が求められている。これらを背景に、先端化学材料分野で国際競争力を確保し、また持続可能社会の実現に貢献するために、耐久性評価を始めとする共通基盤的な先端化学材料の評価研究開発を担う拠点の整備が急務となっている。

そこで本テーマでは、化学材料の耐久性評価としての加速劣化試験法の開発、構造・機能評価法の高度化、材料設計指針の確立、を3本の柱として研究を実施している。具体的には、加速劣化試験法開発において、汎用耐候性試験装置を用いた加速劣化試験に加えて、大気化学の知見を活用した独自の加速劣化試験法の開発を目指す。構造・機能評価法の高度化においては、多様な評価・分析装置を用いた新しい構造・機能評価法の開発と、これに基づく劣化機構の提案を目指す。材料設計指針の確立については、加速劣化試験及び劣化機構の解析結果等を反映した材料設計指針を提案・確立することを目指す。(加速劣化試験法の開発)

有機薄膜太陽電池(OPV)のデバイス特性を、雰囲気制御した光照射条件下において in-situ 評価可能な装置を製作し、種々の条件における耐久性評価を実施した。OPV 周辺材料の評価に関して、酸素の存在下で消光するりん光化合物をプローブとして OPV デバイスに組み込み、封止した作動中のデバイス内の酸素濃度変化を、検出感度0.04%で非破壊検出するシステムを開発した。

(構造・機能評価法の高度化)

OPV の劣化機構解明に向けて、発電層の劣化に伴う構造・機能変化を評価した。スピントラップ ESR 法により、p 型半導体であるポリチオフェンの光酸化過程における酸素活性種として生成する一重項酸素が、劣化にはほとんど関与しないことを明らかにした。MALDI-TOFMS により、n 型材料のフラーレンの光酸化機構を明らかにし、更に p 型材料との混合により光酸化が抑制されることを見出した。また、特定構造を持つ n 型材料を用いたデバイスが高い熱耐久性を示すことを見出し、固体 NMR により評価したドメインサイズが熱耐久性と相関を示す可能性を見出した。さらに、バックシートに用いられるポリエチレンテレフタレート(PEt)の加速劣化を行い、陽電子消滅法による非晶構造解析や動的粘弾性解析等を組み合わせて系統的に検証を行うことで、複雑な劣化反応機構を解明した。

異なる電子ドナー部位を持つ色素で構成された色素増感太陽電池(DSSC)の電荷再結合反応抑制機能を検討した。その結果、ドナー部位のフリーなフェニル基が再結合抑制に寄与することがわかった。一方、非共有電子

対等の局所的な電荷は、再結合を助長することもわかった。再結合反応は熱劣化により加速されるため、ドナー構造を工夫することで再結合反応を抑制し熱劣化も抑制できる可能性が示唆された。

(材料設計指針の確立)

OPV 発電層材料の光酸化機構の解析結果から、p 型材料に加えて n 型材料の耐光酸化性を考慮した発電層材料設計が必要であることが示唆された。

DSSC において、色素ドナー部位にあるフリーなフェニル基とアルキル鎖の立体障害が再結合抑制に寄与するとの設計指針に基づき、アルキルフェニル基をドナーに導入した色素を設計・合成・利用したところ、想定通りに再結合が抑制され、変換効率が向上した。

一方、MALDI-TOFMS 法において、難溶性の測定試料とマトリックスとの親和性を増大させた界面活性型マトリックスを新たに設計・合成・利用し、質量分析感度を著しく増大させることに成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】先端化学材料、耐久性評価、加速劣化試験、構造・機能評価法、材料設計指針

## ⑫【エネルギー技術研究部門】

(Energy Technology Research Institute)

(存続期間：2004.7.1～2015.3.31)

研究部門長：小原 春彦

副研究部門長：竹村 文男、羽鳥 浩章

首席研究員：周 豪慎、佐山 和弘

総括研究主幹：山崎 聡、嘉藤 徹

所在地：つくば中央第2、つくば中央第5、つくば東、つくば西

人員：113名(113名)

経費：2,077,610千円(750,659千円)

概要：

### 1. ミッションと目標

エネルギー技術研究部門は、地球温暖化の防止、限りあるエネルギー資源の有効利用およびエネルギーの安定供給確保を同時に達成するための研究開発を進め、持続発展可能な社会を実現するとともに産業競争力の強化に資することをミッションとする。

太陽光・水素・クリーン燃料等のクリーンエネルギー技術の研究開発、燃料電池等の分散型エネルギー技術の研究開発、蓄電・蓄熱・水素貯蔵等のエネルギー貯蔵技術の研究開発、およびこれらの技術を体系的に統合化し電力・ガス・熱の需給を適切にマネジメントする分散型エネルギーネットワーク技術の研究開発を行う。これらの研究開発を通じて、高効率・低環境負荷で柔軟性・利便性の高いエネルギ

一供給を可能とする総合エネルギー産業の成長と、わが国の長期的エネルギービジョン、エネルギー政策の立案に貢献する。

また、本年度より平成25年度末に終了した新燃料自動車技術研究センターを統合したことから、当該センターのミッション、新燃料及び新燃料を使用する自動車技術の普及、運輸部門の石油依存度の低減への貢献およびクリーンな排出ガスと自動車燃費の大幅な向上についても引き継いで実施する。

## 2. 主要研究項目と研究推進手段

新燃料自動車技術研究センターを新たに統合したエネルギー技術研究部門では、次に示す4つの産総研第3期中期計画項目について研究開発を進めている。

- 「I-1 再生可能エネルギーの導入拡大技術の開発」に関しては、多様な再生可能エネルギーの利用拡大に向けて、先進性の高い太陽光の発電・利用技術、出力変動の大きな自然エネルギーの大量かつ高効率な利用を可能とする電力ネットワーク・マネジメント技術、バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術に関する研究開発を行う。
- 「I-2 省エネルギーによる低炭素化技術の開発」に関しては、省エネルギー推進による低炭素社会の実現のため、運輸用途に向けた安全で安価な高エネルギー密度蓄電池材料や燃料電池自動車用水素貯蔵技術に関する研究開発、自動車エンジンシステムの高度化技術、住宅・ビル・工場等における設備を効率的に運用し需給合理化を図る電力マネジメント技術、エネルギー密度・パワー密度共に優れた電力貯蔵用キャパシタ技術に関する研究開発、定置用燃料電池の高効率化技術に関する研究開発、未利用熱エネルギーの高度利用技術に関する研究開発を行う。
- 「I-3 資源の確保と高度利用技術の開発」に関しては、枯渇性資源の最高効率活用による物質循環型社会実現のため、石炭ガス化プロセス等に関わる高度利用基盤技術に関する研究開発を行うとともに、レアメタル等金属の有効利用、リサイクル、代替を目指したディーゼル自動車排ガス浄化用触媒の白金使用量削減技術開発を行う。
- 「I-6 持続発展可能な社会に向けたエネルギー評価技術、安全性評価及び管理技術並びに環境計測及び評価技術の開発」に関しては、二酸化炭素削減のための技術と取組の評価に資するために、二酸化炭素の回収貯留や水素を媒体としたエネルギーシステム等、革新的なエネルギーシステム関連技術開発や導入シナリオに関する分析と評価を行う。

これらの中期計画達成のために、以下の戦略的研

究課題を設定するとともに、第1期、第2期中期目標期間を通じて蓄積してきた実績と多様な研究ポテンシャルおよび産学官に跨る幅広い連携体制を活かしつつ、それぞれの課題について複数の研究グループが機能的に協力して研究推進を図る。

- 1) エンドユースの省エネルギー技術に関する研究
 

電力、熱（燃料）等の需要の低減による一次エネルギー消費削減を目的として、主にエネルギーの最終消費側に導入される省エネルギー技術に関わる研究を行う。具体的には様々な排熱発生場所に適用可能な熱電変換技術、発電効率の高い分散型電源である固体酸化物形燃料電池（SOFC）の性能向上、適用性拡大、耐久性向上に向けた研究を行う。また高効率な電力変換を目指した低抵抗高耐圧パワーデバイスに関する研究、自動車エンジンシステムの高度化技術の研究、バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術に関する研究開発を行う。
- 2) プロセスの省エネルギー技術に関する研究
 

産業部門における製品製造過程で消費される大量の一次エネルギーの削減を目的とした省エネルギー技術に関わる研究を行う。具体的には炭素繊維材料の製造過程における耐炭化工程の省略を可能とする技術等の研究開発を行う。また従来プロセスに比べてエネルギー消費が少ないプラズマ技術を使った新たな製造プロセスについても検討する。
- 3) エネルギー生成技術に関する研究
 

利用率の低いエネルギー資源の新規開拓を目指し、褐炭等の低品位炭の触媒ガス化技術の開発、高品位燃料への転換技術の開発を行う。さらに将来の太陽エネルギー変換技術として、人工光合成のメカニズムを応用して、酸化物半導体光電極を開発する。
- 4) エネルギー貯蔵技術に関する研究
 

エネルギー媒体として優れた特長を持つ水素を取り入れた電気、熱、水素を自在に操れる統合型水素エネルギー利用システムを開発する。高圧水素ガスを利用した燃料電池自動車（FCV）の導入・普及に向けて安全性が確保された水素インフラを構築するための技術開発を行う。さらに次世代の二次電池について、有望視されているリチウム-空気電池等の革新的電池を開発する。
- 5) 新燃料自動車技術に関する研究
 

新燃料製造技術の研究開発、自動車エンジンシステムの高度化技術の研究開発、新燃料標準化の研究開発を行う。新燃料製造技術開発においては、低燃費化が期待できる石油系燃料の高品質化、および輸送用燃料の石油代替が期待できるバイオ燃料などの新燃料製造の核心技術となる触媒技術の研究開発を行う。自動車エンジンシステム技術開発においては、従来の燃焼技術の新燃料への適応化技術や革新的次世代低公害エンジン技術、新着火技術等の新燃料燃

焼技術、さらに、NO<sub>x</sub> などの有害物質に対する高性能後処理触媒の研究開発、後処理触媒の白金族金属の代替や使用量低減を目指す新燃料燃費・排出ガス対策技術研究開発を行う。合わせて、新燃料規格化・標準化の推進を行う。

また、上記1)～5)の他、新たな展開やブレークスルーをもたらす革新的・萌芽的エネルギー技術の研究にも積極的に取り組み、次世代プロジェクトの芽を育てる。

-----  
内部資金：

「ジメチルエーテル（DME）燃料品質分析法の精度解析」  
「熱電発電社会実装 FS」  
「長期深宇宙運用を目指した劣化機構の解明と長寿命化」

外部資金：

経済産業省

日米等エネルギー技術開発協力事業

「バイオ燃料の高度利用・標準化技術開発（1）新燃料の燃焼機構の解明に資する数値解析及び実験解析」

「バイオ燃料の高度利用・標準化技術開発（2）バイオ燃料の物理的特性が噴霧発達機構に及ぼす影響解析」

「高効率 CO<sub>2</sub>還元触媒の半導体光触媒への複合化に関する研究」

「色素増感起電力を利用した水分解水素製造」

「蓄電デバイス用ナノ電極材料の開発と電子状態解析」

「ナノ構造を利用した低環境負荷で高効率な熱電変換材料」

「クリーンアップ石炭ガス化ガスのための SOFC 燃料極開発」

「再生可能エネルギー導入に備えた統合型水素利用システムの研究開発」

「水素容器・蓄圧器の特性評価・技術指針・規格化に関する共同研究」

「熱電変換モジュールの性能評価技術の開発」

工業標準化推進事業委託費

「戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発事業：医療用途のプラズマ装置等に関する国際標準化）」

農林水産省

農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業

「耕作放棄地を活用した大規模スケールでの藻類バイオマス有効利用技術の確立」

（委託プロジェクト研究）農山漁村におけるバイオ燃料等生産基地創造のための技術開発

「林地残材を原料とするバイオ燃料の製造技術の開発」

総務省

戦略的情報通信研究開発推進事業

「ダイヤモンドを用いた次世代量子暗号用素子の基盤技術開発研究」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発

「固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究」

風力等自然エネルギー技術研究開発

「風力等自然エネルギー技術研究開発／風力発電高度実用化研究開発／10MW 超級風車の調査研究（発電機）」

水素利用技術研究開発事業

「トータルシステム導入シナリオ調査研究」

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）次世代パワーエレクトロニクス 将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発

「パワーデバイス実用化を可能とする革新ダイヤモンド結晶成長技術開発」

水素社会構築技術開発事業

「水素エネルギーシステム技術開発 発電機能を有する水素製造装置を用いた水素製造・貯蔵・利用システムの研究開発」

エネルギー・環境新技術先導プログラム

「再生可能エネルギー大量導入時代の系統安定化対応先進ガスタービン発電設備の研究開発」

先導的産業技術創出事業（助成事業）

「能動流体制御技術を用いたバーチャルブレード構築による風力発電システムの飛躍的な始動性及び設備利用率向上に向けた研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構

戦略的イノベーション創造プログラム

エネルギーキャリア（SIP）

「アンモニア合成触媒の開発・評価」

「アンモニア合成とプロセス解析」

革新的燃焼技術（SIP）

「ディーゼル噴霧におけるノズル内部・近傍流動の先進光学計測」

「誘電体バリア放電を用いた予混合気の燃焼促進法の開発」

戦略的創造研究推進事業（CREST）

「超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築」

「SOFC 高性能化のためのイオン電子流れ解析技術の開発」

「高性能・高機能なギ酸脱水素化触媒の開発」

「センサデバイス性能向上及びプロセス基盤技術」

戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「超高耐圧高効率小型真空パワースイッチの作製と評価」

「高温超伝導固定化巻線技術の研究開発」

「リグニン由来溶液の詳細構造解析と反応経路の解明」

「アンモニア内燃機関の技術開発」

「金属-空気電池における正極および電解質の開発」  
戦略的創造研究推進事業 (ACT-C)

「プロトン応答性錯体触媒に基づく二酸化炭素の高効率水素化触媒の開発と人工光合成への展開」  
国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム)

「PEFC 性能向上のためのマイクロポーラス層 (MPL) 付ガス拡散層 (GDL) および流路構造の最適化」

「マイルドな熱分解とガス化を組み合わせた化学基幹物質製造プロセスの開発及び低品位炭の水熱抽出・改質技術の開発」

戦略的国際科学技術協力推進事業

「統合水素エネルギー利用システムの性能向上に資する水素貯蔵材料、及び貯蔵方法に関する基礎的研究」

国際科学技術共同研究推進事業 (地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム) (SATREPS)

「ジャトロファからの高品質輸送用燃料製造・利用技術」研究成果展開事業 (研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP))

「車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発」

「半導体ダイヤモンドの開発」

「次世代型無煙薪ストーブのための除煙ユニットの開発」研究成果展開事業 (戦略的イノベーション創出推進プログラム)

「次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション」

国立大学法人九州大学

水素利用技術研究開発事業再委託

「高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化」

国立大学法人東京大学

新構造部材 (革新炭素繊維基盤技術開発)

「新規前駆体化合物 A の開発、炭素化過程における構造・物性変化の解明、マイクロ波等による炭素化技術の確立、単繊維材料の力学的特性評価手法並びに熱膨張率計測法の開発」

一般財団法人石炭エネルギーセンター

ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発

CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術に関する検討

「酸素キャリアの反応流動試験を行い、キャリアの反応速度や耐損耗性の高い流動化条件の検討」

独立行政法人国際協力機構

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

「非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術」

独立行政法人日本原子力研究開発機構  
科学技術試験研究委託事業

「エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究」の「水素貯蔵材料の劣化機構解明と新規軽量材料の探索」

独立行政法人日本学術振興会

平成26年度科学研究費助成事業 (科研費)

「中性子散乱による鉄系超伝導体のスピン揺動の研究」 (基盤研究 (B))

「非平衡プラズマによる高圧可燃予混合気の着火機構に関する研究」 (基盤研究 (C))

「中性子線補足療法のための革新的ナノ粒子剤に関する研究」 (基盤研究 (B))

「超高性能鉛カルコゲナイド系バルク体熱電材料の創製」 (基盤研究 (C))

「水蒸気を水素・酸素源として利用する重質炭化水素の軽質化技術の開発」 (基盤研究 (C))

「レーザー航跡場とビーム航跡場のハイブリッド多段加速による超高エネルギー電子加速」 (挑戦的萌芽研究)

「レーザーブレイクダウンしきい値近傍のパラコレーションモデルによる統一的理解」 (挑戦的萌芽研究)

「無消光で校正不要な定量可視化用感温中空マイクロカプセルの開発」 (挑戦的萌芽研究)

「希土類系高温超伝導多芯細線作製技術の開発」 (挑戦的萌芽研究)

「グラフェン膜の革新的大気圧低温生成法の開発」 (若手研究 (B))

「エレクトロスピンニング法による Na イオン電池用正極材料のナノ構造制御」 (若手研究 (B))

「水素吸蔵合金の耐久性向上を目指した水素吸蔵放出に伴う空孔形成回復メカニズムの解明」 (若手研究 (B))

「オペランド軟 X 線吸収/発光分光を用いた二次電池電極材料の電子状態解析」 (若手研究 (B))

「液膜内流れの3次元4成分温度速度同時計測法開発による濃度温度差表面張力対流の解明」 (基盤研究 (B))

「リング型プラズマアクチュエータを用いたタービン翼列先端流れの能動制御」 (基盤研究 (B))

「氷核不活性化による疎水性固体表面の創出」 (基盤研究 (B))

「最適化手法に基づく複数住宅での温水需要予測技術とマネジメント技術の開発」 (基盤研究 (C))

「高効率な水酸化反応実現のための光触媒表面制御」 (若手研究 (B))

「太陽エネルギーの効率の利用を目指した金属ナノ粒子複合型光電極による水分解水素製造」 (若手研究 (B))

「Co レドックスを用いた高効率色素増感太陽電池のための多核錯体の精密設計と特性制御」 (若手研究 (B))

「高齢・単身世帯化する地域の移動需要変化とモビリティに関する研究」 (基盤研究 (C))

「ナノワイヤー熱電変換素子の高効率化と物性解明」  
(研究活動スタート支援)  
「自己組織化分子膜に配置した DNA 分子の放射線損傷の物理化学素過程の研究」(若手研究(B))  
「プリカーサー溶液プラズマ溶射法(SPPS)による遮熱コーティング形成技術の研究」(特別研究員奨励費)平成26年度科学研究費助成事業(科研費、研究分担者)  
「MHz 級デトネーションエンジンの物理機構解明:バルブ共振型と回転爆轟波型エンジン」(基盤研究(A))  
「急速合体加熱と定常中性粒子ビーム加熱を駆使した球状トーラスの限界ベータ検証実験」(基盤研究(A))  
「地域分散型のエネルギーシステムへの移行戦略に関する研究」(基盤研究(A))  
「省エネ用半導体の実現に向けたマクロ・ナノ統合結晶成長法の構築」(基盤研究(B))  
「ドレスト光子フォノンによる高効率人工光合成材料の開発」(基盤研究(B))  
「錯体水素化物における原子・イオン輸送機構の解明—中性子散乱と陽電子消滅の相補利用」(基盤研究(A))  
「超高密度パワーSOC (Supply on Chip) 用集積回路基板の研究」(基盤研究(B))

発表: 誌上発表285件、口頭発表552件、その他33件

#### ターボマシングループ

(Turbomachinery Group)

研究グループ長: 壹岐 典彦

(つくば東・西)

概要:

持続可能社会の実現をもたらす分散型エネルギーネットワーク技術の開発を積極的に推進している。

[1]ガスタービンシステムの研究として、タービンを石炭ガス化装置や燃料電池と組み合わせたシステムなど様々なサイクル計算を行い、燃料改質ガスの燃焼特性など関連する研究を行っている。[2]ターボ機械を出口として想定したデバイス・制御技術に取り組んでいる。セラミック熱交換器などのエネルギーデバイスの開発やその評価技術について研究開発を進めている。流れの能動的制御に関して、誘電体バリア放電プラズマアクチュエータ(DBD-PA)の開発を進めており、減速領域にできる剥離の抑制について研究している。

更にターボ機械の漏れ流れを減らす新しいプラズマアクチュエータを考案し、開発を進めている。[3]ターボ機械に関わる材料・プロセス技術に取り組んでおり、サスペンションプラズマ溶射技術を始め、セラミック基複合材料(CMC)等について研究開発を進めている。

研究テーマ: テーマ題目1

#### 燃焼評価グループ

(Combustion Control Group)

研究グループ長: 土屋 健太郎

(つくば西)

概要:

金属とその酸化物の酸化還元反応を利用した新しい燃焼器の開発を目的とする研究を進めている。本年度は、媒体粒子摩耗性評価装置を試作し、これを用いて摩耗性を定量的に評価する手法を開発した。PCBに代表される有機塩素化合物を分解し無害化処理する研究も行っている。新規に開発した脱ハロゲン触媒は難燃剤のデカブプロモジフェニルエーテルから臭素をほぼ完全に脱離させることができた。Noxに関連する詳細反応機構の構築に向けた研究も進めている。また、当グループから2名が次世代自動車エンジン連携研究体に参画し、EGR デジットの生成要因解明の研究およびディーゼル酸化触媒反応のメカニズム解明とモデル化の研究にあたっている。

#### 熱電変換グループ

(Thermoelectric Energy Conversion Group)

研究グループ長: 山本 淳

(つくば中央第2)

概要:

熱電変換は特殊な半導体や金属(熱電材料)を用いて熱エネルギーと電気エネルギーを直接変換する技術である。熱電材料に温度差を与えると起電力が発生する効果(ゼーベック効果)を用いて、熱エネルギーから電気エネルギーを取り出したり、逆に熱電材料に電流を流すことで生じる吸熱効果(ペルチェ効果)を用いて物を冷やしたりすることができる。また、熱電変換は温度が低く捨てられている低品位な未利用熱でも、電気エネルギーに変換することができる。一方、熱電変換の効率は熱源の温度、熱電材料、モジュールの性能に依存するため、その実用化普及には材料からモジュール開発、高温と低温の熱源との熱交換方法などまで幅広い研究開発が必要である。当グループでは、未利用熱を効率よく電気エネルギーとして回収するための材料とモジュールの開発を進めている。経済性を良くするためにはさらに、熱電変換用の材料の高性能化が重要であり、このための材料開発を実施している。また長時間使用したときの劣化モードの調査や加速試験の方法も含め、モジュール性能評価技術の開発も実施している。

研究テーマ: テーマ題目3

#### エネルギー貯蔵材料グループ

(Energy Storage Materials Group)

研究グループ長: 吉澤 徳子

(つくば西)

概要:

電力貯蔵はエネルギー利用の多様化と高効率化のために重要な技術の一つであり、大規模な定置型用途から自動車・モバイル機器への搭載用途まで、二次電池やキャパシタなどの電力貯蔵デバイスとして我々の社会に必須のものとして利用されるに至る。炭素材料は、導電性や化学的安定性などの優れた基礎的物性に加え、結晶からアモルファスにわたる構造多様性を有することから、電力貯蔵デバイスの電極用部材として一部が既に実用化されている。さらに最近脚光を浴びる一連のナノカーボン材料の登場により、精密な構造的要素の制御が可能になりつつあり、ナノカーボン材料が持つ種々の特性を必要に応じて、いわばテーラーメイドで引き出すことで、蓄電デバイスの性能をより高いステージへと引き上げることが期待できる。当グループでは、長年培ってきた炭素材料のナノ構造制御・解析技術を活かして、電気化学キャパシタ用高性能電極の開発を中心に行っている。また、革新的省エネルギーシステムの要素技術となりうる水素製造技術や水素貯蔵技術に関しても、先導的な研究を推進している。

研究テーマ: テーマ題目4

太陽光エネルギー変換グループ

(Solar Light Energy Conversion Group)

研究グループ長: 佐山 和弘

(つくば中央第5)

概要:

太陽光エネルギーの高効率な利用によるクリーンエネルギーの生産プロセスの提案と実証を最終的な目標とし、新しい次世代型太陽電池として注目されている色素増感太陽電池、及び太陽光エネルギーを利用して水を直接分解し水素を合成し、さらに炭酸ガスを固定する人工光合成について研究を行っている。色素増感太陽電池については、モジュールを構成する単セルの高効率化を目指した技術開発を中心に、耐久性の向上に向けた基礎的知見を得ることを目指している。具体的には、近赤外光まで利用できる錯体増感色素の開発およびその新規色素を有効利用できる酸化物半導体電極や電解液、セル構成法の開発を行い、2020年までに単セルの変換効率15%以上の実現を目標としている。人工光合成については、水を水素と酸素に完全分解するための高性能光触媒や光電極の半導体材料の開発、反応機構の解明、可視光を高効率で利用する反応システムの設計、炭酸ガスをギ酸に還元したりギ酸から水素を取り出す錯体触媒開発、環境浄化光触媒開発等を行い、その実現可能性について検討している。

研究テーマ: テーマ題目5、テーマ題目6

新燃料グループ

(Advanced Fuel Group)

研究グループ長: 鷹背 利公

(つくば西)

概要:

「3E (Energy, Economy, Environment) + S (Safety)」の解決策として、埋蔵量が豊富で安価な未利用低品位炭、非在来型石油等の重質化石資源を、高効率でクリーンな燃料に転換する技術開発を実施する。グループの主要な研究開発目標は次の3項目である。

1. クリーンコールテクノロジーとして、低品位炭の触媒ガス化技術の開発、溶剤改質あるいは水熱抽出による原料化と高品位燃料への転換技術の開発を行う。
2. 重質油および超重質油のアップグレーディング技術として、溶剤凝集緩和、超臨界水分解、水素化分解、水蒸気による酸化分解等の技術開発を行う。
3. 多様な未利用炭素資源の利用拡大のための基盤技術として、新規詳細構造解析法の開発およびそれを用いた反応性評価法を開発する。

研究テーマ: テーマ題目7

クリーンガスグループ

(Clean Gas Group)

研究グループ長: 鈴木 善三

(つくば西)

概要:

石炭・バイオマス・未利用廃棄物などの有機物をクリーンに、かつ、高効率で使用することを目的として、石炭・バイオマス・プラスチック廃棄物等を対象に、主として流動層技術を応用した装置により燃焼・ガス化・熱分解し、エネルギー・燃料ガス・液体燃料・化学原料を高効率かつクリーンに転換する方法の研究を実施している。主な研究課題としては、2塔式流動層ガス化装置の開発、石炭ガス化ガスの SOFC への適用性、加圧条件でのバイオマスの固定層ガス化、触媒循環流動層を用いたメタンからのベンゼンの選択的合成プロセスの開発、アンモニアを水素媒体とする新エネルギーシステム、中国を念頭に置いた低温脱硝触媒の開発等、固体を含む多相系の反応装置を中心としてエネルギー・環境問題に資するための研究を行っている。

熱・流体システムグループ

(Thermal and Fluid System Group)

研究グループ長: 平野 聡

(つくば東・西)

概要:

再生可能エネルギー、人工排熱等の未利用エネルギーの導入を促進し、高効率のエネルギー需給とエネルギー利用効率の向上を図った分散型エネルギーネットワークシステムの構築を目差して、熱・流体システムに関わる要素技術や計測・制御技術の開発およびシス



テム化の検討等を行い、低炭素社会の実現に資することをグループの目標としている。

具体的なテーマとして、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の総合効率向上を目指した研究開発、未利用熱エネルギーの革新的活用技術の研究、相変化を利用した高効率の蓄熱技術に関する研究、100℃超の熱利用を可能にする次世代ヒートポンプシステムの研究開発、大地の熱的機能を利用する冷暖房・給湯システムの研究、水の過冷却制御による冷熱輸送媒体の高機能化の研究、感温燐光粒子や蛍光体粉末を用いた流体温度・速度分布の同時計測手法の開発等を行っている。

研究テーマ：テーマ題目9

### 超電導技術グループ

(Superconductor Technology Group)

研究グループ長：山崎 裕文

(つくば中央第2)

概要：

液体窒素温度で電気抵抗がゼロとなる高温超電導酸化物の電力機器などへの応用を目指して、超電導材料・素子の作製・評価技術、マグネット製作技術と応用技術、冷却技術などの研究を行なっている。

電力系統の短絡事故時の過電流を瞬時に抑制する限流器の実用化のため、高抵抗の金銀合金分流層を有し、高電圧がかかる限流時の発熱を抑制した高電界型超電導薄膜限流素子を開発している。素子の電流容量化に伴って、常電導転移時の急激な発熱で素子が破壊するホットスポット問題が深刻になることが分かってきた。並列接続素子においては並列した超電導素子間の急速な転流がその原因であることを明確にし、適当なインダクタンスを介して並列することが、問題解決に有効であることを示した。また、一般に、電流配分過程における高電流密度、あるいは、磁束雪崩現象がホットスポット発生の原因であることを示唆した。

研究テーマ：テーマ題目10

### 燃料電池システムグループ

(Fuel cell system Group)

研究グループ長：嘉藤 徹

(つくば中央第2)

概要：

燃料電池システムグループでは、大幅な炭酸ガス排出削減、省エネルギーが期待できる固体酸化物形燃料電池 (SOFC) についてセル性能評価技術、システム性能評価解析技術の研究開発を行うとともに開発した試験方法の規格・標準化を通して、SOFC の早期実用化を支援する。また、SOFC システムのさらなる高効率化を目指し、アノード排ガスガスサイクル技術や排熱利用技術の検討、ゼロエミッション SOFC システム等、次世代 SOFC の可能性と、それらの開発

時の課題を明らかにするための基礎研究を実施している。さらにこれらの研究で蓄積した電気化学技術、セル作製技術を利用し、高温水蒸気電解による水素・燃料製造技術、レドックスフロー蓄電池等についても研究開発を実施している。

研究テーマ：テーマ題目11

### 燃料電池材料グループ

(Fuel Cell Materials Group)

研究グループ長：山地 克彦

(つくば中央第5)

概要：

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性・信頼性の向上は、商用化・本格普及のために重要な技術課題である。当グループでは、SOFC セル・スタックの耐久性・信頼性の向上に関する研究開発を主として行っており、スタックメーカー及び大学等と協力しながら、その劣化機構解明・耐久性向上を推進している。10年 (9万時間) 以上の耐久性を確保するためには、微少な化学変化や不純物反応挙動を詳細に捉える必要がある。そこで、微量成分の検出感度が高い2次イオン質量分析法 (SIMS)、結晶相の微妙な変化を検知できる顕微ラマン分光法などを適用し、構成部材・材料の特定部位での変化を詳細に分析し、劣化機構を解明している。実機試料に含まれる微量成分を ppm レベルで分析し、劣化に及ぼす影響を明らかにするとともに、不純物による加速劣化試験法も検討している。また、劣化機構・反応機構をより詳細に解明するための新規分析・解析法の検討も行なっている。さらに、次世代 SOFC に適用される材料の基礎研究、SOFC の応用技術である SOEC に関する基礎研究も実施している。

研究テーマ：テーマ題目12

### エネルギー界面技術グループ

(Energy Interface Technology Group)

研究グループ長：周 豪慎

(つくば中央第2)

概要：

固体・液体・気体の界面において、物質・イオン・電子の移動、吸着、注入や、酸化・還元など物理化学の現象を解明すると共に、それらを上手く利用して、クリーンなエネルギー貯蔵/変換デバイス (=リチウムイオン電池、ナトリウムイオン電池、リチウム硫黄電池、リチウム空気電池、リチウムレドックスフロー電池など革新蓄電池) の開発をすることを目標としている。

平成26年度には、優れている活物質などを利用した高性能リチウムイオン電池やナトリウムイオン電池など電極の合成と電池性能の評価、水系リチウム硫黄

電池の構築と評価、リチウムレドックスフロー電池の開発、又は革新的な電解液や触媒などを利用して、水系や有機系や固体電解質系などのリチウム-空気電池の開発を行った。

研究テーマ：テーマ題目13

### 電力エネルギー基盤グループ

(Energy Enabling Technology Group)

研究グループ長：西澤 伸一

(つくば中央第2)

概要：

将来の電力化社会では、電力エネルギーが時空を超えてユビキタスに利用される。そのため、2030年までに高度電力エネルギーマネージメントシステムの実用化に不可欠な次世代エレクトロニクスの実現を目指し、以下の研究開発を行った。1) 次世代パワーデバイスとその材料研究(パワーエレクトロニクス産業の基盤となるシリコン、GaN およびダイヤモンドなどの次世代半導体素子の実現を目指した物性、デバイスおよび応用基礎技術の研究、ダイヤモンド特有の電子物性をいかした発光素子、光センシングと駆動、新型パワーデバイスなどの新規デバイスの研究)、2) パワーエレクトロニクスシステム集積化技術の研究(次世代パワーエレクトロニクス信頼性設計技術の研究、超小型高熱流束冷却技術とその応用研究、ポリダイヤモンドを使った3次元集積化技術の研究、パワーエレクトロニクス統合設計法とそれによるバーチャルプロトタイピングの研究)、3) 新グリッドの応用基礎技術の研究(新グリッドのエネルギーマネージメントのキーとなる超小型電力変換技術およびインテリジェントスイッチ技術の研究、外部と連携による新しいグリッドコンセプトの研究)

研究テーマ：テーマ題目14

### 先進プラズマ技術グループ

(Innovative Plasma Technologies Group)

研究グループ長：榊田 創

(つくば中央第2)

概要：

プラズマ現象は太陽など宇宙において普遍的であり、地球上においても様々な科学・産業分野において利用され、人類の発展に貢献してきている。当グループでは、プラズマ等に関する技術を核として更に発展させることで、エネルギー・環境を始めとして様々な分野への融合・展開を図り、新産業創出を目指して研究開発を行っている。

平成26年度は、主に次項に関して研究を進めた。プラズマ医療に関して、文科省科研費新学術領域「プラズマ医療科学の創成」、経済省「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業(医療機器等に関

する開発ガイドライン策定事業)」、及び経済省「国際標準開発事業」を通して、外科手術用低侵襲プラズマ止血機器の早期実用化に向けた活動と現象の理解に関する研究を行った。特に、プラズマ医療機器に関する国際電気標準化について、Ionized gas coagulation equipment に関する新規規格を策定する新ワーキンググループを発足させた。

高効率緑色レーザー光の実現のため、波長変換結晶内の損傷機構を数値シミュレーションにより計算し、光吸収機構について評価を行った。

高効率に大面積の成膜を可能とさせるために、マイクロ波方式の新規大気圧プラズマ CVD 装置の開発を行い、成膜試験を開始した。

放電による高効率ガス処理に関する研究に関して、複数の極短パルス放電の制御法のエネルギー効率の評価を行った。

パルス電子ビームによる表面処理を目的とし、電子ビームシステムの装置を組み上げ、照射実験の準備を進めた。

固体元素のアーク放電と RF 放電の重畳により、薄膜形成試験を行った。

アリカリ金属熱電発電の高効率化に関する研究として、新規な電極製作技術の開発を進めた。

また、第6回プラズマ医療・健康産業シンポジウムを共催し盛況の内に終了した。

### 資源変換触媒グループ

(Resource conversion Catalyst Group)

研究グループ長：鳥羽 誠

(つくば中央第5)

概要：

資源変換触媒グループでは、輸送用燃料の石油依存度低減に貢献するため、バイオ燃料の導入・普及により直接的に石油代替が期待できる新燃料製造技術、並びに燃焼改善や排出ガス処理装置への負荷低減等により低燃費化が期待できる石油系燃料の高品質化技術の研究開発を行っている。新燃料製造技術では、各種油糧作物等を原料とし、酸化安定性に優れた高純度バイオディーゼル燃料を製造する触媒技術を開発すると共に、非食糧系バイオマス等を原料とした急速熱分解を経由する高品質新燃料製造のための触媒技術の研究を行っている。更に、炭化水素含有藻類油からのジェット燃料・軽油製造のための水素化分解用触媒及び燃料や化学品中間体への展開が期待される合成ガスからのエタノール等の混合アルコール合成についての研究開発を行った。ディーゼルエンジンの低燃費化に資する EGR システムのデポジット生成抑制技術開発に、分析技術を通して寄与した。これらの研究に加え、国際共同研究を通して、我が国とアジア諸国などの諸外国の研究人材・技術者の育成にも貢献している。

研究テーマ：テーマ題目15

#### 水素材料先端科学グループ

(Hydrogen Industrial Use and Storage Group)

研究グループ長：飯島 高志

(つくば西)

概要：

水素エネルギーの実用化にあたっては、実際に水素環境下で使用する機器類に対する水素脆化の度合いや進展状況を正確に計測し、評価することが必要になる。特に、燃料電池自動車の普及を拡大させるためには、燃料電池自動車に水素を供給する水素ステーションに使用される金属材料に関して、高い信頼性と経済性の両立が求められる。そこで、主にオーステナイト系ステンレス鋼を対象として、水素脆化機構を解明するための原子・分子レベルでの材料表面観察や、水素脆化初期き裂や破面などの直接観察を行い、水素と金属の相互作用を微視的に明らかにすることを試みている。また、米国の研究機関などとの国際連携を通して、高圧水素ガス中での水素脆化評価技術を体系化し、評価手法の標準化を目指している。

#### 水素材料先端科学連携研究体

(Hydrogen Industrial Use and Storage Collaborative Research Team)

連携研究体長：飯島 高志

(つくば西)

概要：

安全で経済的な水素社会を実現するために、燃料電池自動車や水素ステーションなどに使用される材料（金属、セラミックス、高分子）に与える水素の影響を明らかにすることを目指している。特に鉄鋼材料に関して、高圧水素ガス中での材料試験を実施し、水素環境下での材料挙動の解明、および高圧水素ガス中での材料強度試験方法の確立を試みている。これにより、材料使用条件の明確化に資するデータベースの構築と有限寿命設計のための指針を確立させ、高圧水素を貯蔵する容器や蓄圧器に関する使用鋼種の拡大を目指している。さらに、国内外の水素関連機器事故事例の分析を通して、主要構成材料に関する強度や組織などのリスク因子の検討を試みている。

#### エネルギーシステム戦略グループ

(Energy systems analysis and Policy Study Group)

研究グループ長：村田 晃伸

(つくば東・西・つくば中央第2)

概要：

システム工学の手法を用いて、社会的基盤としてのエネルギーシステムや関連する社会経済的側面について研究する。具体的には、(1)エネルギー経済モデル

を用いた長期的エネルギーシナリオの分析、(2)二酸化炭素の回収隔離に関する政策研究、(3)レジリエントな地域エネルギーシステムの構築に関する研究、(4)新技術による社会へのインパクトに関する研究、(5)効率的な省エネルギーの促進に関する研究、等を実施する。さらに、これらの研究開発を通じて、国内外の研究者や政策担当者とのネットワークを醸成し、国際戦略的視点をも踏まえて、エネルギー技術政策および二酸化炭素削減に係る政策を支援・提言する役割を果たす。

研究テーマ：テーマ題目8

#### 水素エネルギー技術グループ

(Hydrogen Energy Technology Group)

研究グループ長：中納 暁洋

(つくば東・つくば中央第5)

概要：

クリーンエネルギーとして着目されている水素の普及には水素の製造・輸送・貯蔵・利用において高い経済性と合理性を合わせ持つ技術開発を進めてゆく必要がある。水素エネルギー技術グループは国内外の研究機関と協力して水素製造技術、貯蔵技術、供給技術、及び燃料電池技術を駆使して統合型水素エネルギー利用システムの開発を進めている。これは一体再生型燃料電池と水素吸蔵合金タンクを組み合わせた定置型の水素システムで、電気に加え熱や物質（水素）も併給可能な特長を持ち、再生可能エネルギーも取り込むことができ、且つ優れた省エネルギー性を併せ持つ低炭素化社会の公共インフラとなり得る水素システムである。更に当グループでは水素吸蔵合金を中心に高性能な水素貯蔵材料の開発、及びそれらの基礎となる最先端の研究を推進している。

研究テーマ：テーマ題目2

#### エンジン燃焼排気制御グループ

(Engine Combustion and Emission Control Group)

研究グループ長：小淵 存

(つくば西)

概要：

当グループは、第3期中期計画課題「自動車エンジンシステムの高度化技術」を担っている。さらに将来的には、次世代自動車用エンジンの燃焼と排気浄化に関する先進技術の開発に向けた基礎的および先導的研究を行っている。また、これらの延長として、実用化研究に資する技術研究組合における研究開発や企業等との共同研究に積極的に貢献している。今年度は、ディーゼルパーティキュレートフィルタ（DPF）や窒素酸化物処理触媒と組み合わせて使用する酸化触媒に関して、反応シミュレーションモデルの構築に向け、炭化水素の吸着および酸化に関するパラメータを取得した。

また、世界初となる X 線噴霧計測技法を開発し、それを用いて燃料物性、ノズル形状など噴霧形成を支配する諸因子の影響を予測する新たなモデル案を提示した。さらに、プラズマの照射によってエンジン着火、燃焼促進をもたらす物質としてアルデヒド類の寄与を明らかにするなど、革新的燃焼技術に関する先導的研究を行った。

研究テーマ：テーマ題目16

### 次世代自動車エンジン連携研究体

(Collaborative Engine Research Team for Next Generation Vehicles)

連携研究体長：小熊 光晴

(つくば東・西・つくば中央第5・中央第3)

概要：

自動車用エンジンは、燃料、燃焼、動力の発生、気体の流動、排気ガスの処理、温度・濃度の計測、全体システムの制御といった多くの学問分野が集積したシステムである。当連携研究体は、自動車技術に関する競争前領域の研究課題に対し、オール産総研として英知を結集して積極的に取り組み、日本の産業競争力強化に貢献する。具体的には、国内自動車メーカーが直面している「競争前領域」の「共通課題」について、産総研の技術ノウハウを集約・発展させて解決を目指し、自動車メーカーと協力してエンジンシステム的环境適合技術のスピードアップを図る。また、自動車燃料に係わる国内外標準化を継続的に推進する。これらを通じ、技術者の育成に貢献し、エンジンシステム研究に関するイノベーションハブとして機能することを目指す。

研究テーマ：テーマ題目17

#### ----- [テーマ題目1] エクセルギー再生技術に関する研究開発

[研究代表者] 壹岐 典彦 (ターボマシングループ)

[研究担当者] 壹岐 典彦、井上 貴博、鈴木 雅人、松沼 孝幸、岡田 孝、小椋 友加、川添 美智子、川添 義徳、千坂 文武 (常勤職員4名、他4名)

#### [研究内容]

熱・化学エクセルギー再生と自己熱再生の概念を適用して、SOFC システム内で発生する熱・未燃燃料を高度に利用して、SOFC および SOFC-熱機関ハイブリッドシステムの高効率化を図るとともに開発上の課題を把握する。そのために、システム構成、評価手法について研究するとともに、自己熱再生に必要な装置の基盤技術を研究している。エクセルギー再生に必要なとなる600~1000℃の高温で使用可能な熱交換技術の開発を進めた。セラミック熱交換器の熱交換部のために、高温域において、高い熱伝導率と信頼性を両立させるセラミック基複合材料の製造技術に取り組んだ。セラミック材料

特有の脆性破壊を薄層の積層によって回避する構造とした開発複合材料について伝熱特性を調べ、セラミック熱交換器の断熱部のために、高温域断熱構造壁形成技術に取り組んだ。熱の放散を抑制する遮熱壁を形成するため、サスペンションプラズマ溶射法 (SPS 法) の開発と適用を進め、溶射のパラメータを適切に選択することにより、粒子径および気孔率の幅広い制御が可能で、緻密な構造と多孔質の構想とを作り分ける技術の改良を進め、共同研究への発展を目指して試作を進めた。またサスペンションの微粒化過程について基礎的研究を進めて、振動を抑制した噴射弁への改良を試みた。水-ジルコニア懸濁液、エタノール-ジルコニア懸濁液の噴霧挙動を調べて安定的な成膜法の開発に役立つ知見を得た。またIGFCの性能に対する炭種の影響をまとめて発表した。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 再生可能エネルギー発電、スマートグリッド、配電系統

#### [テーマ題目2] 統合型水素利用システムの開発

[研究代表者] 中納 暁洋

(水素エネルギー技術グループ)

[研究担当者] 中納 暁洋、伊藤 博、榎 浩利、榊 浩司、浅野 耕太、斉田 愛子、キム ヒョンジョン、ボジーラ サタヤシェッカー、高木 聡美 (常勤職員7名、他2名)

#### [研究内容]

統合型水素利用システムの水電解・燃料電池一体型セルの開発では、酸素極側ガス拡散層 (GDL) について、セル運転中の物質移動に及ぼす多孔度および孔径の影響を検証するために、高多孔度層と低多孔度層の2層からなる GDL の試作に取り組んだ。具体的には、チタン繊維からなる高多孔度のチタン不織布とチタン粒子からなる緻密層の2層を結着させることに取り組み、試行錯誤の結果、特定の条件下で焼成過程のみで両層を結着することに成功した。水素貯蔵装置については昨年度に引き続き、高圧ガス保安法に係らない10気圧以下で運転可能な水素吸蔵合金を搭載した横置型水素吸蔵合金タンクの性能評価試験を実施した。その結果、24時間連続運転における合金反応熱利用率は吸蔵で75%以上、放出で72%以上であることを確認した。また、米国のサバンナリバー国立研究所 (SRNL) で行った太陽光発電による水素製造・貯蔵実験、及び燃料電池運転実験で得た水素流量データとマスフローコントローラを用いて産総研の実験室でそれらの水素流量を再現し、水素吸蔵合金タンクへの水素吸蔵・放出実験を実施した。その結果、太陽光発電による水素製造・貯蔵の水素吸蔵模擬実験では実験後半で水素製造量が減り、圧力の上昇率が緩和されることから合金利用率が100%に達することを確認した。一方、燃料電池運転の水素放出模擬実験から、実験終盤

における水素吸蔵合金タンクの水素放出能力が SRNL に設置して実験を行った合金タンクよりも若干劣ることが分かった。但し、高出力の燃料電池運転では複数タンクでの運用となることから、これについては特に問題とはならない。ここで製作した横置型水素吸蔵合金タンクと一体再生型燃料電池を組合せ、世界で初めて統合型水素利用システムを構築した。一体再生型燃料電池の水電解モード運転時の最大出力は約4kW、一方、燃料電池モードは約0.7kW という仕様である。一体再生燃料電池の水電解モード運転で製造した水素ガスに含まれる水分濃度を測定したところ、これを直接水素吸蔵合金タンクに吸蔵させると合金が水蒸気で被毒されるレベルであることが明らかとなり、モレキュラーシーブを用いた除湿装置の製作を進めた。この除湿装置を組み込み水素吸蔵合金タンクに水素を吸蔵させたところ、被毒による性能低下は認められず、統合型水素利用システムを完成させることができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素システム、水素貯蔵、水素吸蔵合金、水電解・燃料電池一体型セル、水電解、燃料電池

#### 【テーマ題目3】熱電変換による SOFC の排熱利用

【研究代表者】山本 淳（熱電変換グループ）

【研究担当者】山本 淳、小原 春彦、李 哲虎、太田 道広、村田正行、木方邦宏、國井 勝、西当 弘隆、長瀬 和夫、島田 和江、天野 雅継（常勤職員5名、他6名）

#### 【研究内容】

燃料電池システムの内部には、燃料ガス、空気、水蒸気等の様々な物質間で熱交換が行われており、中には大きな温度勾配を伴うエクセルギーロスが大きい熱交換部位もある。このような部分に熱電発電モジュールを取り付けることにより電力を回収し、燃料電池セルスタックの発電出力に加えてさらに出力を得ることができれば、燃料電池システム全体の効率を上げることができる。

本研究では1kW 級 SOFC に組み込む事を想定した、小型で信頼性の高い高性能熱電発電モジュールの開発を目標としている。ビスマステルル系材料よりも高温度域（300℃以上）で利用できる新規熱電材料の開発と発電モジュールの試作を実施している。これまでにスクワレルダイト、亜鉛アンチモン、硫化物、鉄系化合物等の性能向上に取り組み、新規材料を用いた発電モジュールの試作ならびに評価を実施してきた。平成26年度はモジュールの発電性能評価方法の誤差要因について詳細に検討し、輻射熱損失の効果、真空度の発電効率に与える影響実験的に検証したほか、1素子のみによる発電効率評価の検討を行った。また熱交換器型の発電ユニットの耐久性試験や各種熱源への適合性評価も実施した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】固体酸化物形燃料電池（SOFC）、熱電発電、熱電モジュール、排熱利用、熱交換器

#### 【テーマ題目4】高パワー密度電気化学キャパシタの開発

【研究代表者】吉澤 徳子

（エネルギー貯蔵材料グループ）

【研究担当者】吉澤 徳子、曾根田 靖、加登 裕也、児玉 昌也、井元 清明、山本 恭世、山口 貴史（常勤職員4名、他3名）

#### 【研究内容】

自然エネルギーの出力変動緩和や負荷平準化など、電力貯蔵技術には幅広い用途が期待されている。特に高速充放電（パワー密度）が必要とされる場面においては、電気化学キャパシタが重要な役割を担うことになる。キャパシタの高パワー密度化において、活性炭等の多孔質カーボンが持つ複雑な細孔構造は、イオンのスムーズな拡散を阻害する要因となる。カーボンナノチューブではこの問題は改善されるが、コスト面等で実用化にはまだ高い障壁がある。平成26年度は当グループが開発に関与した MgO 鋳型メソポーラスカーボン（MgO-MPC）を用い、キャパシタとしての新規充放電メカニズムを取り入れた技術への取り組みを行った。MgO-MPC はメソ孔が3次的につながる連通孔を有する点、メソ孔と共にマイクロ孔が発達する点でキャパシタ電極材料として有利な細孔構造を有し、使用する系に応じた最適な電極を容易に実現しうる点に特徴がある。成果として、多孔質カーボン電極へのナトリウム挿入を利用した疑似容量の発現機構に関して細孔構造・電極密度との関連から新たな知見を得た。さらに同じく MgO-MPC に関し、イオン液体によるキャパシタ特性を評価し、低温環境下でも従来の多孔質カーボン電極には見られない高性能を示すことを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】電力貯蔵、電気化学キャパシタ、ハイブリッドキャパシタ、メソポーラスカーボン、低温特性、高速充放電特性

#### 【テーマ題目5】色素増感太陽電池の高機能化と信頼性向上のための基盤研究

【研究代表者】佐山 和弘

（太陽光エネルギー変換グループ）

【研究担当者】佐山 和弘、北尾 修、草間 仁、小西 由也、小野澤 伸子、船木 敬、春日 和行、中澤 陽子、船越 裕美（常勤職員6名、他3名）

#### 【研究内容】

クリーンで無尽蔵な太陽光エネルギーの高効率な利用

を目的として、次世代型太陽電池として注目されている色素増感太陽電池について検討し、高効率な光電変換を実現するための技術開発を行っている。色素増感太陽電池は、酸化チタン粉末などの安価な素材を利用し、製造プロセスが容易なため、大幅なコストダウンが期待されている次世代の太陽電池であり、近年大きな注目を集めている。色素増感太陽電池はパワーデバイス用途だけでなく、電極基板材料や色素を変えることによって形状や色彩に多様性をもたせることが容易な電池である。基板をガラスからプラスチックフィルムに変えることでフレキシブルな電池を作ることが可能であることに加えて、朝夕の斜めからの太陽光や室内などの弱い場所でも高い光電変換性能で発電することからインテリア用、インドア用太陽電池としての利用も期待されている。研究の具体的な内容としては、近赤外光まで利用できる錯体増感色素の設計合成、酸化チタンを代表例とする酸化物半導体電極の製造技術、酸化還元電解質溶液の構成・調製法、対極、セル構成法等の要素技術について検討し、世界最高水準の光電変換特性を持つ色素増感太陽電池を開発する。

平成26年度は、新規ルテニウム錯体色素の開発、電解質溶液系の最適化、計算科学と色素合成との融合連携、反応機構解明、色素増感起電力の応用研究などを行った。さらに、色素増感太陽電池から派生したペロブスカイト型太陽電池に関しても研究を行った。

色素増感太陽電池用増感剤としては、世界最高レベルの変換効率を示す、テルピリジントリカルボン酸とフェニルピリミジン誘導体を配位子とするシクロメタル化ルテニウム錯体色素について、配位子のピリミジン部分に $\pi$ 共役系を拡張できる置換基を導入すると、大きな吸光係数を持つ色素が得られることを確認し、10%以上の変換効率を示す色素も新たに3種合成できた。光安定性の高い新規ルテニウム錯体色素の開発については、高い安定性を示すピリジンジカルボキシラト配位子を持つ色素への置換基導入効果や新たな構造の三座配位子の導入を検討し、色素の劣化メカニズムが基準色素とは大きく異なることを確認した。実験と理論計算との融合に関しては、前年度に行ったシクロメタル化ルテニウム錯体色素と有機色素による共増感太陽電池性能向上の要因を密度汎関数法(DFT)にて検討した。電池性能を向上させる有機色素はルテニウム錯体色素と、カルボキシル基の環状水素結合で強く分子間相互作用し、酸化チタン電極表面でのルテニウム錯体色素の凝集を大幅に抑制することが分かった。これにより酸化チタン電極から酸化還元電解質への好ましくない逆電子移動が低減され、電池性能が向上すると考察された。開発した新規色素および論文に報告された各種増感色素に関しては、これまでに引き続き、順次データベースに情報を格納して更新した。色素構造、分子量、慣用名、異性体、溶液中の吸収スペクトル、吸光係数、吸収末端波長、各吸収 max 波長、

酸化還元電位、(HOMO、LUMO)、電池特性 ( $J_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $ff$ ,  $\eta_{sun}$ ) IPCE スペクトル、IPCE 最高値、LHE、測定条件、DFT 計算予測値、などを整理した。

ペロブスカイト型太陽電池に関しては、構成要素の一つである酸化チタン緻密膜の作製と、光吸収材料の高純度化についての検討を行った。酸化チタン緻密膜の作製について、スプレイパイロリシス法と Atomic Layer Deposition (ALD) 法の二つの方法を用いて検討を行った。その結果、ALD 法を用いることにより、ピンホールがなく、薄く、緻密度の高い膜が再現性良く成膜できることがわかった。光吸収材料の高純度化については、ヨウ化メチルアンモニウムとヨウ化鉛を、それぞれ再結晶することにより高純度化することができた。また、これらの材料を組み合わせることにより、変換効率を10%以上に向上させることができた。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 色素増感、太陽電池、錯体色素、電解液、計算科学

【テーマ題目6】 人工光合成技術の研究開発

【研究代表者】 佐山 和弘

(太陽光エネルギー変換グループ)

【研究担当者】 佐山 和弘、姫田 雄一郎、草間 仁、小西 由也、小野澤 伸子、船木 敬、三石 雄悟、福 康二郎、砂 有紀、眞中 雄一、前川 秀、徐 紹安、Wang Nini、王 万輝、西尾 尚弥、斉藤 愛、小久保 雅子、寺島 直宏、宮瀬 雄太、藤田 佳那

(常勤職員8名、他12名)

【研究内容】

太陽光エネルギーの効率的な利用技術の確立を目指し、自然が巧妙に行っている光合成プロセスを手本として、太陽光エネルギーと水と炭酸ガスから、クリーンエネルギーである水素や炭化水素等の有機系資源の製造を可能とする、人工光合成技術の開発を行っている。特に、太陽光エネルギーの大半を占める可視光エネルギーを利用した水の分解による水素製造技術の実用化のための検討を行う。また、炭酸ガスの水素化・脱水素のための錯体触媒に関する技術開発を行い、基礎的知見を集積する。さらに、環境浄化のための高性能な光触媒を開発する。

光電極反応に関して、水分解の研究のほとんどは水素の製造・回収に着目していることから、アノードの酸化反応に対する意識は低い。アノード反応も有効利用し、水素のみならず酸化生成物の製造・回収も高効率で実現出来れば、より経済性に優れた画期的なシステムの構築が期待できる。 $HSO_4^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $IO_3^-$ ,  $Ce^{3+}$ を含む各種電解液を選択することで、 $S_2O_8^{2-}$ ,  $H_2O_2$ ,  $IO_4^-$ ,  $Ce^{4+}$ といった付加価値の高い酸化剤が高い効率で製造出来ることを見出した。これらは従来の水分解酸素生成の電解電位よ

りも正に大きい反応であることから、太陽光の有効利用にも繋がる。とくに  $\text{WO}_3$  光電極を用いた過硫酸・水素生成では、電圧印加時の太陽光エネルギー変換効率 (ABPE 効率) が2.2%と非常に高い値が得られた。また、当グループで開発した FT89色素からなる DSSC を補助電源として組み込むことで、外部バイアスを導入しなくてもこれらの製造が可能になり、電圧を印加しない系での太陽光エネルギー変換効率 (STH) も、世界最高値の5.2%が達成できた。

光触媒-電解ハイブリッドシステムのための粉末光触媒反応系に関しては、可視光を十分に吸収できる既存材料の高性能化および新規材料の開発を行った。安価で安定な材料であり、600nm までの光を吸収できる  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  光触媒に少量の  $\text{CoO}_x$  を修飾することで、その性能を2倍に向上できることを見出した。 $\text{CoO}_x$  は助触媒として機能していると推測される。興味深いことに、 $\text{CoO}_x$  はレドックスの再酸化を抑制する機能があることがわかった。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  を利用した Z スキーム型光触媒で初めて水を完全分解することに成功した。540nm までの幅広い可視光を利用できる  $\text{PbCrO}_4$  が、可逆レドックスを利用した水の酸化反応を進行できる新材料であることを見出した。バンド構造の詳細な解析を行った結果、伝導帯位置が +0eV vs. RHE と非常に高い位置に形成されており、幅広い可視光を利用できる材料としては非常に魅力的なバンド構造を有していることを明らかにした。また、耐アルカリ性の向上のためにビスマスを添加した環境浄化用可視光応答型酸化タングステン光触媒薄膜について、可視光照射時の塗布したステアリン酸の分解による親水性の増加からセルフクリーニング性能にも優れることを確認した。

また、二酸化炭素の水素化・ギ酸の脱水素に関する研究では、高性能触媒開発に向けた基礎研究を実施し、二酸化炭素の有効利用 (「二酸化炭素の水素化によるギ酸製造」と「ギ酸の脱水素化による水素製造」) のための触媒設計指針を得ることができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】光触媒、人工光合成、光電極、水素製造、炭酸ガス、ギ酸

#### 【テーマ題目7】先進的クリーン燃料製造技術の研究

【研究代表者】鷹觜 利公 (新燃料グループ)

【研究担当者】鷹觜 利公、シャーマ アトゥル、  
松村 明光、川島 裕之、森本 正人、  
崎元 尚土、丸山 一江  
(常勤職員5名、他2名)

#### 【研究内容】

高い水分量と自然発火性の問題から、これまで輸送が困難であった褐炭、亜歴青炭等の低品位炭を高効率でクリーンに利用する技術開発のため、触媒を用いた低温ガス化に関する研究開発を行なっている。これまでの研究

成果において、水蒸気をガス化剤とする触媒ガス化では、600~700°C という低温において、選択的に水素と二酸化炭素が生成するため、水素製造と二酸化炭素固定化技術への応用が期待されている。また、ガス化剤として、新たに水蒸気+二酸化炭素の混合ガスを用いることにより、生成ガスとして水素と一酸化炭素の合成ガスが得られ、水蒸気と二酸化炭素の比率を変えることにより、合成ガス比を制御して一段階で合成ガスを製造することができることを見出している。この技術開発により、未利用資源である低品位炭を原料として、合成ガスからクリーンな燃料、化学原料であるメタノール、ジメチルエーテル (DME)、メタン等の最終製品の製造が高効率で可能になる。そこでこの新規の合成ガス製造技術を商業化プロセスへ展開するため、連続式触媒ガス化装置を用いた実証試験を行っている。

平成26年度は、豪州褐炭のロイヤング炭を使用して、650°C のガス化試験を行い、水蒸気/石炭比が2.0以上の条件において、タール発生量、微量ガス成分発生量を抑制した運転が可能であることが確認でき、その際、安定的に水素が製造できることが明らかとなった。同様の条件で、ガス化剤の水蒸気/ $\text{CO}_2$  比を変化させてガス化試験を行い、生成する合成ガス比  $\text{H}_2/\text{CO}$  比を1~3に任意に制御できることを連続運転で実証した。ガス化炉の熱供給方式を検討し、実用化の観点から可能性が高い装置の概念設計が完了した。

また、豪州褐炭の触媒ガス化試験を連続ガス化装置で実施し、水蒸気をガス化剤とすることで、700°C 以下の極めて低い温度で安定的にガス化反応が進行し、水素製造が可能であることを実証した。また、ガス化剤としての水蒸気/ $\text{CO}_2$  の割合を変えることにより、生成ガスの  $\text{H}_2/\text{CO}$  比が制御可能となり、従来プロセスと比較して極めて高効率 (60%程度) で合成ガスまたは水素を製造できる世界初の技術を開発した。低温ガス化で課題となるタール発生について、水蒸気/石炭比が2以上の場合、ほぼすべてのタール分が分解してガスが生成し、併せて微量ガス成分発生量も数 ppm~20ppm 程度に抑制できることを実証した。

この低温触媒ガス化プロセスは、従来のガス化プロセスに比べ、10ポイント以上極めて高い効率で合成ガスが製造できるため、 $\text{CO}_2$  排出量の大幅な削減が可能である。将来のビジネスモデルとして、褐炭を多量に有する豪州やインドネシアで、このプロセスを利用してクリーンな燃料、化学原料の製造が可能となることから、現地でのエネルギー安定供給と大幅な  $\text{CO}_2$  排出量の削減に貢献できる。また、最終製品が輸送可能な燃料、化学原料であるため、これらを産炭国から輸入することにより、我が国の安全で安定なエネルギー供給に貢献する。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】褐炭、低温ガス化、触媒ガス化、合成ガス製造、水素製造

〔テーマ題目8〕革新的なエネルギーシステムの分析、  
評価

〔研究代表者〕村田 晃伸

(エネルギーシステム戦略グループ)

〔研究担当者〕村田 晃伸、遠藤 栄一、西尾 匡弘、  
益田 泰輔、近藤 康彦、梁 建国、  
時松 宏治、関 成孝、田中 加奈子  
(常勤職員5名、他4名)

〔研究内容〕

低炭素社会の実現のためには、革新的なエネルギー技術の大幅な導入が必要であり、そのためには政策に立脚した技術開発・導入普及の推進が不可欠となる。その過程において、実現すべき技術のポテンシャル評価と研究開発動向、開発・導入シナリオの明確化等が求められる。本研究では、①エネルギー技術開発・普及に関するエネルギーシナリオ分析、②環境・資源制約下でのエネルギー・資源需給等に関するモデル構築、等を行った。

- ① 水素等の新しいエネルギーキャリアの導入拡大や、天然ガスの大規模利用が将来のエネルギーシステムの課題として重要性を増してきている。これらのエネルギーキャリアの導入普及には大規模なエネルギーインフラの構築が重要であり、エネルギーシナリオの分析にはエネルギーキャリア輸送チェーンを考慮した評価が不可欠である。そのため、分析ツールとしてのエネルギーシステムモデルにもエネルギーキャリア輸送チェーンを組み込むことが必要である。平成26年度は、エネルギーキャリアコスト分析や用途別許容コスト分析の成果を参考にして、エネルギーシステムモデル MARKAL に組み込んだエネルギーキャリアの転換、利用を表現するフローと技術のモデルを詳細化した。化石燃料等との相対価格、二酸化炭素排出制約、エネルギーキャリアを燃料とする発電技術の開発、等の要因を考慮したエネルギーキャリアの導入分析を実施し2030年、2050年における一次エネルギー供給、電源構成、最終需要への影響等をキャリア別に評価した。その結果、発電部門における導入が重要であること、量的には少なくとも導入に適した用途が個別に存在することが分かった。キャリアの輸送、利用に関して収集したモデル用データに基づいて、エネルギーキャリアの国内輸送チェーンを多地域 MARKAL モデルに組み込み、エネルギーキャリアの国内輸送システム評価の枠組みについて検討を行った。
- ② エネルギー・資源・環境・経済の相互連関を考慮して開発した統合評価モデルに対して、環境影響の経済性評価を行う関数を組み込み、技術進歩、人口、割引率、世代間衡平性を表す諸パラメータに関する感度解析を行った。温室効果ガス排出制約や、人口・GDP・最終需要などを変更した複数のシナリオ分析を実施し、持続性指標の将来動態に関する感度解析を行った。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕革新的エネルギー技術、環境制約、資源制約、シナリオ、持続性指標

〔テーマ題目9〕SOFC の高度排熱利用技術に関する研究開発

〔研究代表者〕平野 聡(熱・流体システムグループ)

〔研究担当者〕平野 聡、竹村 文男、遠藤 尚樹、  
上山 慎也、稲田 孝明、染矢 聡、  
馬場 宗明、小林 成嘉、高橋 三餘、  
計良 満(常勤職員7名、他3名)

〔研究内容〕

一般家庭などの小規模需要に対してコジェネレーションシステムを導入して、省エネルギーを促進する試みが模索されており、実際に都市ガスを燃料とした1kW クラスの小型分散用のガスエンジンや PEFC (固体高分子形燃料電池) システム、SOFC (固体酸化物形燃料電池) システムも販売されている。しかし、大規模発電プラントの発電効率の向上、負荷変動が激しい小型分散発電機特性、初期コストなどを考慮すると、それらの導入による省エネルギー効果には多くのメリットを見出せない状況にあり、より効率の高いシステムの開発が望まれている。

最近の SOFC の技術的発展は目覚しく、DC 端出力で60%を超える発電効率が得られる例もある。さらに、SOFC に加え、その排熱でガスタービンを動作させる複合システムでは、発電効率がさらに向上することがサイクル計算により示されている。しかし、高効率が期待できる SOFC-ガスタービン複合システムは、マイクロガスタービンを用いても、150kW 以上の規模が対象となる。他方、スターリングエンジンは、現状の技術レベルでも、数 kW クラスにおいて20%を超える熱効率を有する上、作動ガス温度も500℃から700℃と SOFC の排出ガス温度に近く、SOFC との適合性も優れている。また、ガスタービンとは異なり、SOFC 内を加圧する必要がないため、現在コジェネレーション用として開発されている SOFC 技術の多くを流用できる利点もある。

そこで、SOFC とスターリングエンジンの小型複合システムに注目し、これまでにサイクル計算による SOFC-スターリング複合システムの性能予測、1kW クラスのスターリングエンジンの開発・評価、高温熱交換部のヒータ構造の研究および起動用バーナの開発、SOFC 開発状況の調査と、複合システムの実現に必須となる燃料再循環技術などの検討を行ってきた。その結果、低空気過剰率での動作が可能となれば、複合システム化により10%以上の発電効率向上が見込まれることがわかった。

SOFC の動作温度は750℃から900℃と高温のため、小型システムにおいては、回転部を持たないエジェクタ



ポンプを燃料の再循環に用いることが有効である。すなわち、新気の燃料を流速の早い駆動流とし、セル出口のアノードガスを吸引させて運動エネルギーを与え、ディフューザで圧力回復させるものである。セル出入口前後の圧力損失を上回る圧力回復ができれば、アノード排ガスを再循環できることになる。モデル解析によれば、セルでの圧力損失が100Pa の場合に、その回復に必要な駆動流の流速は、175m/s 以上と見積もられた。そこで、燃料再循環用エジェクタの設計・試作を行い、常温から600℃に至る過程での再循環率と回復圧力の温度依存性を調べ、高温においても燃料再循環に必要な再循環率と回復圧力がほぼ得られることを明らかにした。また、定格1kW の SOFC スタックを用いて、外部からの水蒸気供給が不要となるレベルのアノードガス再循環実験を実施した。その結果、燃料再循環率が高まり、水蒸気的外部供給量が低下するにつれて、発電量が増加することを確認できた。再循環時の電池スタックの長手方向には、改質反応で50℃程度の温度分布が生じることもわかった。

平成26年度は、1kW SOFC スタックを用いて、部分負荷時のアノード排ガスリサイクル特性を実験的に明らかにした。また、補助燃焼器による起動特性改善の可能性を検討し、実用化に必要とされる運転条件を明らかにした。さらに、アノード排ガスリサイクルのためのガス分離部の高温条件下でのガス拡散量、およびエジェクタでの炭素析出条件を実験から明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】固体酸化物形燃料電池、複合システム、スターリングエンジン、エジェクタ

#### 【テーマ題目10】大型風車用小型軽量超電導発電機のための基盤技術開発

【研究代表者】淵野 修一郎（超電導技術グループ）

【研究担当者】淵野 修一郎、山崎 裕文、古瀬 充穂、玉田 紀治（常勤職員3名、他1名）

#### 【研究内容】

自然エネルギー導入量の飛躍的拡大は、我が国が取組むべき最重要課題の一つである。風力発電に関しては発電サイトの総発電容量を増大させる風車の大型化と洋上への拡大が大きなトレンドとなっており、高電流密度・高磁界を特長とする超電導技術を利用することで、信頼性が高く軽量の大容量発電機を製作することが可能である。洋上風力発電の普及拡大を大きく促進することを目的として大型風車用超電導発電機を製作するための基盤技術の開発が進められている。超電導回転機のメリットの一つに軽量化があるため、風力発電に限らず船舶電動機等の開発も進められているが、デメリットとして静止系に設置されている冷凍機から、回転系に設置されている超電導コイルに冷却するための冷媒を供給する冷媒給排装置が必要となることである。この冷媒給排装置に用

いられる HTC (Helium-Transfer-Coupling) 技術の信頼性が確立されていないことが、超電導回転機の実用化のボトルネックとなっている。

過去に実施された Super-GM 超電導発電機は液体 He 冷却であり、冷凍系への負担は大きい。HTC の実現は容易であった。何故ならば、液体 He 冷却ではセルフポンピング効果を有効に利用し発電機内部を負圧にできるので供給側（大気圧）との圧力差が小さく、また、戻り He ガス温度も発電機のダンパーやトクルチューブを冷却して常温に戻るためガス回収が容易なためである。しかし、Y 系あるいは Bi 系等の酸化物超電導線を用いる HTS 超電導発電機では、コイル温度が20~30K、冷凍機からのガス圧が2~3気圧、更に鉄心入りタイプの超電導発電機ではダンパーやトクルチューブが無いので戻り He ガス温度が極低温となり、Super-GM 超電導発電機の HTC 技術をそのまま転用することができない。この HTC 技術の難しさから、先行する HTS 超電導回転機の開発では、ほとんど、HTC を使わない伝導冷却方式か、冷凍機と一緒に回転させる方式となっている。しかし、これではシステムの信頼性が低いため、真の実用化はありえず、HTS 超電導発電機に適した高信頼度の HTC 技術の確立が必要となっている。

そこで、本研究では、先ず HTC の重要要素技術である磁性流体シールのモデル解析を行った。その結果、磁極歯数（段数）を多くすれば高圧化できるが、寒冷ガス圧力が急激に変動する場合には単純な磁極歯の多数化では対応できないことが明らかになった。このような急激なガス圧の変動に対処するには、磁性流体シールを2個使用して中間室を設け中間室をバッファ空間として機能させるとか、中間室の圧力も制御する方法で対応する必要があることが分かった。このような圧力制御機構を有する中間室を有する磁性流体シールを『タンデム型磁性流体シール』と名付け、以後、この検討結果を述べる。

例えば、圧力制御系が中間室圧力を一定値に制御すると巨大なバッファ空間を設けた場合に相当するので、急激な高圧ガス上昇により高圧側磁性流体シールの磁性流体膜が万が一崩壊しても、低圧側磁性流体シールの差圧には殆ど影響しない。このことは急激なガス圧上昇で高圧側磁性流体シールが崩壊しても、低圧側磁性流体シールの健全性を確保できるので HTC としての機能は保てることを意味する。高圧側磁性流体シールが崩壊すると、ガスは制御排気系から押し出されるので、これを検知して中間室のガス圧力を徐々に上昇させると高圧側磁性流体シールの圧力差が低下し、高圧側磁性流体シールは強制的に回復させられる事になる。このようにタンデム型磁性流体シールは磁気歯数を多数化して高圧対応の HTC を実現する従来の考え方とは異なり、万が一、磁性流体シールが崩壊しても復帰させる機能を有しているので、超電導発電機の HTC の信頼度を格段に向上できると考えた。そこで、超電導発電機の HTC は高圧動作

対応と低温動作対応の両方の技術が必要で単純ではないが、タンデム型磁性流体シールのシミュレーション実験として市販の磁性流体シールを2個の磁性流体シールを組み合わせて動作確認した。個々の磁性流体シールの最大圧力は2気圧で、2個組み合わせているので原理的には耐圧が4気圧である。この装置の高圧側を3気圧、低圧側を1気圧、中間室圧力を2気圧として約10rpmの回転試験を行い動作の正常性を確認した。

次に、圧力が急変動する状態を再現するため、高圧側を急激に4気圧に上昇する試験を行い、磁性流体シールの動作健全性を確認した。今回のシミュレーション試験によりタンデム型磁性流体シールが HTC の信頼度向上に有効であることが明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】超電導風力発電機、極低温冷媒給排装置、ヘリウムトランスファーカップリング (HTC)、磁性流体シール、タンデム型

#### 【テーマ題目11】ゼロエミッション SOFC の先導研究

【研究代表者】嘉藤 徹 (燃料電池システムグループ)

【研究担当者】嘉藤 徹、門馬 昭彦、佐藤 縁、田中 洋平、根岸 明、野崎 健、飯村 葉子、吉原 美紀 (常勤職員4名、他4名)

#### 【研究内容】

50%を超える発電効率を有する固体酸化物形燃料電池 (SOFC) システムの開発を目指し、燃料利用率を90%以上まで向上させる技術、排熱有効利用技術等の要素技術の開発、および SOFC システムと二酸化炭素回収システムを組み合わせたゼロエミッションシステムの性能を評価することを目標にした研究を展開している。

第3期最終年度の平成26年度は、アノード排ガスリサイクル (AGR) による発電効率の向上を中心に研究を進め効率向上の可能性を明らかにした。

アノード排ガスリサイクルを模擬した発電実験とこれまでに開発したシミュレーションモデルを利用して、発電効率向上のメカニズムを調査した結果、AGR 実施時は AGR が無い場合に比べて、アノード入口ガスの燃料濃度が低く、出口ガスの残留燃料濃度が高いため、AGR が無い場合に比べてセルの電流密度が均一であり、発電に寄与するセル面積が大きいことなどにより、同じ燃料利用率条件下でも発電効率が3~5pt 程度向上することや、内部抵抗の小さい性能の優れたセルほど AGR の効果が発揮されやすいことが判明した。

また、民間企業のリサイクル用ブローア開発を支援するとともに、試作ブローアの実験データ、SOFC 単セルの発電性能データを利用して、アノード排ガスリサイクルシステムの性能を計算した結果、リサイクルブローアの効率が28% (ブローア試作機の現状の効率) 程度でもシステム発電効率55~62%程度が期待できることが判明した。

さらに、二酸化炭素回収型 SOFC システムについて、燃料として LNG を使用する大型システムを想定し、LNG の冷熱を二酸化炭素回収に利用によるシステムの検討を行った結果、冷熱利用により SOFC システムの発電効率をほとんど低下させずに二酸化炭素の回収が可能であることを明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高効率 SOFC、燃料利用率、アノード排ガスリサイクル、排熱有効利用

#### 【テーマ題目12】高効率発電における電極高性能化に関する研究

【研究代表者】山地 克彦 (燃料電池材料グループ)

【研究担当者】山地 克彦、岸本 治夫、Katherine Bagarinao、堀田 照久、石山 智大 (常勤職員4名、他1名)

#### 【研究内容】

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の高性能化のためには、セル・スタックの発電効率の向上が必要である。そのためには、高い燃料利用率で安定に作動する電極の開発が必要となる。本研究では、高い燃料利用率 (70%以上) でも、信頼性・耐久性が高い燃料極の開発指針を得るために、SOFC 燃料極 (ニッケルと酸化物が接する界面) 近傍における、ガスとそのイオン化、固体表面・固体中での移動・拡散などの相互作用を感度よく検出する解析技術を開発している。

H26年度は、ペロブスカイト型酸化物系のプロトン伝導性材料に溶解した溶解プロトンの状態を in-situ FT-IR スペクトルにより解析する手法について検討した。この手法により、プロトンの溶解サイトおよびプロトンの溶解・脱離の温度、雰囲気依存性を明らかにすることができることを確認した。並行して計測したプロトンの脱離および溶解に伴う電気伝導特性の雰囲気依存性の測定結果およびイオン輸率の測定結果との相関から、プロトン伝導体中の伝導キャリアの温度、雰囲気依存性を明らかにできた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高効率 SOFC、燃料利用率、その場観察、相変態

#### 【テーマ題目13】住宅用エネルギーシステム技術に関する研究/超高エネルギー密度二次電池の開発

【研究代表者】周 豪慎 (エネルギー界面技術グループ)

【研究担当者】劉銀珠、北浦 弘和、岡垣 淳、宋智平、尉海軍、李得 (常勤職員4名、他3名)

#### 【研究内容】

出力変動の大きな自然エネルギー発電技術のバックアップ用途として、定置用次世代蓄電池技術の開発が求められている。本研究では、定置用蓄電池の一層の高エネ

ルギー密度化や低コスト化を実現するため、リチウムイオン電池用新規電極材料の開発、新型リチウム硫黄電池やナトリウムイオン電池の開発、リチウム-空気電池用の新規空気極触媒の探索等に取り組んだ。また、長寿命化（高安定化）や高安全化に着目した検討も行った。

H26年度に得られた主な成果を以下に列記する。

- (1) リチウムイオン二次電池において、従来用いられている遷移金属酸化物をベースとした電極材料に比べ、重量当たりのエネルギー密度の向上が期待できることから有機電極材料が注目されている。しかしながら有機電極材料は非水系電解液に溶解しやすく、安定性や特性の劣化が問題となっている。本研究では、ベンゾキノンベースとした有機リチウム塩モノマーからオリゴマーを合成し、それを電極活物質として用いたリチウムイオン二次電池を開発した。オリゴマーのような重合体としたことで電解液への溶解が抑制され、電極の安定性が飛躍的に向上し、一般的な遷移金属酸化物正極と同等の充放電性能を実現した。
- (2) リチウム-空気電池と並び、大容量リチウム二次電池として期待されているリチウム硫黄電池は、放電時に硫黄正極で生成する  $\text{Li}_2\text{S}_6$  などの多硫化リチウム化合物が有機電解液中へ溶出し、リチウム負極と反応して失活する（シャトル効果）ことによる劣化が問題視されている。溶出した多硫化物を正極側でレドックス対として用い、レドックスフロー電池として動作させる試みもあるものの、有機電解液への溶解度の問題から充放電容量は200mAh/g程度にとどまっている。本研究では、よりリチウムリッチな多硫化物である  $\text{Li}_2\text{S}_4$  を溶解する水系電解質を正極側に用い、負極側に用いた有機電解液との間を固体電解質材料で隔離したハイブリッド電解質構造を導入することで、大容量を有する水系リチウム硫黄電池を提案し、充放電が可能であることを世界で初めて確認した。
- (3) 大容量化・大型化リチウムイオン電池の普及に伴い、原料リチウムの採掘地の偏在や資源量の希少さから、資源制約が今後顕在化してくることが予想される。ナトリウムイオン電池はこのような資源制約を解決しうる重要な電池技術であり、定置用途や電気自動車の展開・普及に不可欠な技術として世界的に研究開発が競われている。正極材料については、層状構造を有する遷移金属酸化物以外でもリン酸系やプルシアンブルー類似体等を中心に活発な研究が行われている。その一方で、負極材料については容量特性から炭素系材料が中心となっているが、放電電位が0.1V程度とナトリウム析出電位に近い副反応としてナトリウム析出を起こしやすく、安全性の問題が懸念されている。本研究では、層状構造を有するコバルト置換チタン酸ナトリウムを合成し、 $\text{Ti}^{3+}/\text{Ti}^{4+}$ レドックス対によるナトリウムイオン電池用負極材料を開発した。得られた負極材料は平均電位0.7Vで動作し、室温において3000

回の充放電サイクル経過後も84%を超える容量を維持したことから、高い安定性を有することが確認された。

- (4) 重量当たりの高いエネルギー密度を有するリチウム-空気電池では、電解液の分解による特性の劣化が解決すべき重要な課題となっている。特に、空気極の触媒に用いたカーボン系材料が充電時に分解していることが指摘されており、このことが電解液の分解や放電生成物  $\text{Li}_2\text{O}_2$  との副反応による過電圧の上昇を促進している可能性がある。このため、カーボン系材料を代替する触媒の開発が模索されている。高い電子伝導性や多孔質構造を有し、強酸化性環境下でも安定で、酸素還元反応（ORR）および酸素発生反応（OER）両方で触媒活性を有することが求められる代替材料の候補として、ナノ細孔構造を有する金、炭化チタン、ルテニウムを担持した酸化インジウムスズ等を空気極の触媒とするリチウム-空気電池がこれまでに開発されており、良好なサイクル安定性や過電圧の低減が実現しているものの、重量当たりの容量特性においては軽量のカーボン系材料に大きく劣っている。そこで本研究では、アンチモン添加酸化スズおよびルテニウムのナノ粒子複合体触媒を担持したカーボンフリー空気極を用いてリチウム-空気電池を作成し、大容量で低過電圧かつ、安定な充放電サイクル特性が得られることを確認した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 リチウム-空気電池、リチウムレドックスフロー電池／燃料電池、リチウムイオン電池、ナトリウムイオン電池

【テーマ題目14】 環境エレクトロニクスの研究

【研究代表者】 西澤 伸一

（電力エネルギー基盤グループ）

【研究担当者】 西澤 伸一、中島 昭（常勤職員2名）

【研究内容】

民生領域ではモータが電力使用量のおよそ半分を占め、その省エネルギー化が重要な開発課題になっている。モータの省エネルギー化に関して、インバータ導入率の向上およびその高効率化による省エネルギー効果の促進がキーテクノロジーになる。インバータ導入率向上には、インバータの小型高パワー密度化による低コスト化が重要技術の一つである。現在、特にモータ用インバータはモータ故障に対応する保護回路機能としてのコンデンサーが組み込まれており、これがインバータ回路の小型化の大きな障害になっている。ここでは、モータ故障にともなう過電流を、従来はコンデンサーに回避させていた方法から、耐量の高いワイドバンドギャップ半導体の熱容量を利用して回避させる方法を提案している。今年度は、特にモータドライブ用 GaN デバイス集積化技術として、同一基板上に n 型および p 型トランジスタを作成し、ゲート構造を改良しリーク電流を抑え、室温での

動作実証を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ワイドバンドギャップ半導体、先進モータ、省エネルギー

#### 【テーマ題目15】非食糧系バイオマスからの液体燃料製造技術の開発

【研究代表者】鳥羽 誠（資源変換触媒グループ）

【研究担当者】鳥羽 誠、劉 彦勇、稲葉 仁、高原 功、望月 剛久、陳 仕元、葎村 雄二、村田 和久、阿部 容子、菊田 由美子、豊田 麻須美（常勤職員6名、他5名）

#### 【研究内容】

バイオ系新燃料の製造・高品質化技術のキーテクノロジーである触媒技術の基盤構築と実証化に向けた研究を通して、地球環境に優しい輸送用燃料の社会への提供・普及に貢献することを目的とする。

本年度は、開発した FAME 型バイオディーゼル中の易酸化成分である多不飽和脂肪酸メチルを、選択的に低温流動性が良好で、比較的酸化安定性の高いモノエン酸メチルエステルに水素化できる担持貴金属触媒を用いて、タイに設置したパイロットプラントにおいてパーム油を原料として東アジアサミット推奨規格を満たす高品質バイオディーゼル燃料を製造した。得られた高品質バイオディーゼル燃料を20vol%混合した軽油の実車（タイの現行環境規制 EUROIV 対応車）走行試験を行い、走行性能および排ガス性能から、自動車適合性を有することを実証した。また、高品質化技術の大型化を視野に、タイ国で流通しているバイオディーゼル燃料の微量成分の精密分析を行うとともに、流通式反応装置でを用いて部分水素化反応実験を行い、被毒原因を特定するとともに、反応条件や触媒の調製法の改良により、耐久性を向上させることができた。

油糧作物や木質系バイオマスの急速熱分解技術開発では、ジャトロファ残渣の触媒併用熱分解を行い、生成油（バイオオイル）中の酸素分とともに、窒素分の低減が可能であり、後段の水素化精製触媒の活性低下を抑制できることを見出した。また、タイに設置した流動層型熱分解パイロットプラント（原料供給量20kg/h）の試験運転を継続し、安定してバイオオイルを得ることに成功するとともに、トラップシステムの改良により、液収率を向上させることができた。

燃料や化学品中間体への展開が期待される合成ガスからのエタノール等の混合アルコール合成について、銅系およびロジウム系触媒について検討を行った。触媒に第三成分を添加することにより、一酸化炭素転化率および混合アルコール選択率が向上することを見出した。反応機構の考察から、C2以上のアルコールを得るには、メチレン吸着種に一酸化炭素挿入反応を選択的に起こさせ

る触媒が有効であると推察された。

さらに炭化水素含有藻類油からのジェット燃料・軽油製造のための水素化分解用触媒開発について、モデル物質としてスクワレンを用い、選択的にジェット燃料に適した留分が得られる触媒の探索を行った。担持 NiMo 系触媒を用いた場合、通常のゼオライトやシリカ-アルミナを担体に用いた場合には、ガソリン留分への過分解がかなり起こったが、担体の最適化により、ジェット留分が選択的に得られることを見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】輸送用燃料、バイオ系新燃料、高品質化触媒、バイオディーゼル、急速熱分解、バイオオイル、アルコール合成触媒、藻類燃料、燃料品質確保

#### 【テーマ題目16】自動車エンジンシステムの高度化技術の研究開発

【研究代表者】小淵 存

（エンジン燃焼排気制御グループ）

【研究担当者】小淵 存、小熊 光晴、高橋 栄一、内澤 潤子、佐々木 基、文 石洙、畑中 健志、鳥羽 誠、望月 剛久、土屋 健太郎、難波 哲哉、駒田 佳介、日暮 一昭、松野 真由美、貝塚 昌芳、吉田 昭洋、飯島 広子、斉藤 孝季、黄 鎮海、廣木 一輝、長谷部 奨、佐藤 直子、羽田 政明、小野 拓磨、柏崎 貴司、岡室 葉子（常勤職員11名、他15名）

#### 【研究内容】

本研究では、エンジン燃焼の超高度制御化、排出ガス浄化および計測評価技術の高度化、排出ガス浄化触媒の希少金属使用量低減化に資する研究開発を実施している。平成26年度における実施内容は以下の通りである。

エンジン燃焼の超高度制御化については、原子レベルの波長と高エネルギー、またナノ秒以下の時間分解能を有するシンクロトロン X 線を用いて、圧力2000気圧以上、速度650 m/s 以上の超音速流動の解析を可能とする世界初の計測技法を開発し、次世代超高压噴射技術の開発に貢献した。その技術を活かして、次世代新燃料の物性、様々な噴射条件、ノズル設計因子等が、噴射弁の挙動、噴射弁近傍の微粒化及び噴霧ダイナミクスに与える影響に関して幅広く調べた。結果を元に、高压燃料噴霧の初期噴流発達に及ぼす燃料物性およびノズル設計因子の影響を明らかにすると同時に、その結果を従来噴霧モデルと比較することで、従来噴霧モデルの問題点を浮かび上がらせた。本研究で構築した計測技法および研究成果は、業界および学界から注目されており、多数の自動車メーカーおよび大学との研究協力へ展開された。

排出ガス浄化および計測評価技術の高度化については、

第1に、ディーゼル酸化触媒（DOC）の実用反応挙動を明らかにするため、代表的な炭化水素としてのデカンおよびプロピレンについて DOC に対する吸脱着特性および反応特性を調べた。HC 吸脱着特性については、平衡脱着法と呼ばれる簡便法により吸着平衡データを取得できることを確認し、吸着等温データを取得した。反応特性については、マイクロハニカムおよび小流量の流通型触媒活性試験装置を用いて検討した結果、高温域の測定結果から境界拡散速度に関するデータを、低温域の測定結果から触媒反応速度に関するデータを取得する手法を確立した。また、実験結果からラングミュア型の総括反応速度式を導出した。さらに、シミュレーションモデル構築に必要な反応成分の過渡応答挙動を評価することが可能な反応性評価装置を設計、導入した。排ガス中のいくつかの成分について過渡応答試験を行った結果、成分の種類により動的な吸脱着挙動が異なることを見出した。第2に、ディーゼルエンジンにおける EGR（排気再循環）デポジットについて、排出ガスおよびデポジットの詳細分析結果からデポジット要因物質の特定と重合物生成反応を推定した。また、バッチ炉試験や模擬ガス試験により、推定した重合物生成反応を検証した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エンジン、ディーゼル、自動車、燃焼、燃料、噴射、噴霧、火炎、排ガス浄化、酸化触媒、反応速度、省エネルギー、燃費、EGR、デポジット

#### 【テーマ題目17】新燃料標準化の研究開発

【研究代表者】小熊 光晴（次世代自動車エンジン連携研究体長）

【研究担当者】小熊 光晴、鳥羽 誠、沼田 雅彦、渡邊 卓朗、日暮 一昭、林 由起子、後藤 新一、葭村 雄二  
（常勤職員4名、他4名）

#### 【研究内容】

燃料製造技術、エンジン燃焼技術及び燃費・排出ガス対策技術それぞれの基盤研究成果や各種検証試験データの蓄積により、新燃料の規格化に必要な情報を整理し、ISO や東アジア地域における基準調和などの国際規格や、JIS 等国内規格の策定を推進する。規格策定にあたっては業界団体と密に連携し、必要に応じて国内外の標準化に関わるワーキンググループ（WG）や委員会の設置あるいは委員派遣を行う。

1) 東アジア地域におけるバイオディーゼル燃料品質のベンチマーク策定

東アジア・アセアン経済研究センター（ERIA）事業のワーキンググループ運営を継続し、東アジア・アセアン地域における Renewable Mobility Energy の考え方、方向性について議論を進めた。

2) DME 燃料の国内外標準化

ISO/TC28/SC4/WG13（DME 燃料品質、コンピナーナとして参加）および同 WG14（DME 燃料品質の分析方法、エキスパートとして参加）において、DME 燃料品質および4種不純物測定方法それぞれ発行に向けた作業を継続し、2015年5月11日をもって全て発行された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】標準化、国際標準、基準調和、ベンチマーク、東アジア、バイオディーゼル燃料、FAME、ジメチルエーテル、DME、ISO、バイオエタノール、JIS

#### ⑬【安全科学研究部門】

(Research Institute of Science for Safety and Sustainability)

(存続期間：2008.4.1～)

研究部門長：本田 一匡  
総括研究主幹：匂坂 正幸  
総括研究主幹：緒方 雄二

所在地：つくば西、つくば中央第5

人員：38名（38名）

経費：983,040千円（522,918千円）

#### 概要：

本研究部門は、事故や災害の被害予測、技術や製品の健康・環境・経済への影響評価等、幅広い分野にわたる評価技術を総合し、科学的な評価のみならず、社会的な評価も同時に行う、総合的なリスク評価・管理手法を開発することを通じて、安全で持続的発展可能な社会の実現に貢献することを目標としている。このため、これまでに高い評価を受けてきた化学物質リスク評価、フィジカルハザード評価、ライフサイクルアセスメント等、個別の評価手法を融合させ、学際的な融合研究を推進して、安全と持続可能性を同時に追求する「安全科学」の確立を目指している。

平成26年度は、リスク評価戦略、環境暴露モデリング、物質循環・排出解析、爆発衝撃研究、高エネルギー物質研究、爆発利用・産業保安研究、素材エネルギー研究および社会と LCA 研究の8グループで研究開発を行った。

本研究部門は、環境・安全対策の最適ソリューションを提供し、新規技術に係る評価を行うことを目的として、以下のミッションを掲げている。

ミッション1：従来の枠にとらわれない学際的な融合研究を推進し、環境リスクや産業・災害リスク、社会システムの持続可能性を評価する手法及びツールを開発する。また、複数の拮抗するリスク（温暖化、資源、生態系、人健康等）の間のリスクトレードオフの最適

化を図るための手法を開発する。

ミッション2：信頼性の高いデータ、使い易い評価ツールを提供し、評価結果を公表するとともに、市民や産業、行政が評価結果を活用できるよう支援する。

ミッション3：評価結果に基づく政策提言や、評価手法の国際標準化等への取り組みを通じて、産業の国際競争力の強化に貢献する。

これらのミッションに対応して、平成26年度は、本研究部門のプレゼンスを示す具体的な戦略課題として1)~4)を選定し、融合研究を実施した。

#### 1) 新規技術体系のリスク評価・管理手法の研究

平成26年度は、ナノ材料の効率的な有害性評価手法の開発として、酸化ニッケルナノ材料、二酸化ケイ素ナノ材料の体内動態の解析を行い、これまでの研究成果を国際機関へ発信した。一方、事業者の自主安全管理技術の開発として、培養細胞試験による有害性評価方法に関する手順書の英語版、及びケーススタディ報告書を公開した。またカーボンナノチューブ複合材料加工からの飛散粒子の評価を行った。さらに、長繊維カーボンナノチューブの有害性評価に関する研究を実施した。

#### 2) フィジカルハザード評価と産業保安に関する研究

火薬類等の高エネルギー物質や高圧ガスが関与する災害を防止するために、火薬庫土壌が地震等で一部損壊した場合の爆発影響低減効果の検討、高圧ガスの漏えい拡散挙動や燃焼性評価と被害予測シミュレーション、高エネルギー物質の生成や火薬類の熱危険性等のハザード評価に関する研究、産業保安力向上のためのリレーショナル化学災害データベース(RISCAD)の継続的な運用や保安力評価に関する経済分析等の広範囲な研究を行った。

#### 3) リスクトレードオフ評価・管理手法の研究

室内空気、皮膚、口経由のばく露評価ツールを試作し、企業ニーズを調査した。従来より時空間高解像度の大気と河川モデル公開版を完成した。統計学的ヒト健康影響推定モデルを試作し、生態リスク評価ツール英語版を公開するとともに、高精度予測可能な銅の毒性推定モデルを構築した。低頻度大規模災害の総合リスク評価システムを完成した。鉛の階層的リスク評価手法を確立し、中国の不法リサイクル汚染地域のヒト健康リスク評価で、小児のリスクが懸念されるレベルにあることを明らかにした。

#### 4) 新規社会システムのライフサイクル評価手法の研究

社会システムの個々の構成要素と環境問題の関係だけでなく、システム全体が与える新しい影響領域を評価する手法の検討を実施している。本年度は、環境負荷原単位データベース IDEA の拡充および英語版構築を実施した。水資源消費が人間健康へ与える影響については、生活用水および農業用水不足

による感染症、栄養失調被害を対象として、世界的な貿易による多国間の連鎖関係も考慮した影響評価モデルを構築し、世界162カ国に対応した影響評価係数リストを作成した。また、IDEA マトリックスやマテリアルフローモデルを用いて、自動車産業における新規技術の評価を実施した。具体的には、電気自動車やハイブリッド自動車の導入がもたらす国内産業構造の変化や、自動車鋼板リサイクルの促進に有効な技術開発の検討を実施した。

#### 外部資金：

経済産業省 受託研究費「平成26年度産業技術研究開発(低炭素社会を実現する超軽量・高強度革新的融合材料プロジェクト(NEDO 交付金以外分) ナノ材料の安全・安心確保のための国際先導的安全性評価技術の開発)」

経済産業省 受託研究費「平成26年度化学物質安全対策(消費者製品に含まれる化学物質の室内暴露評価に係る調査)」

経済産業省 受託研究費「平成26年度火工品に係る海外規制等実態調査」

経済産業省 受託研究費「平成26年度石油精製業保安対策事業(高圧ガスの危険性評価のための調査研究)」

経済産業省 受託研究費「平成26年度水素ネットワーク構築導管保安技術調査(水素拡散挙動調査)」

学校法人東京理科大学 受託研究費「微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価」(独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 受託研究費「高効率ノンフロン型空調機器技術の開発」に係る再委託)

一般社団法人日本化学工業協会 受託研究費「事業者の自主的リスク評価・管理を支援する環境リスク評価ツールの開発」

東アジア・アセアン経済研究センター(ERIA, Economic Research Institute for ASEAN and East Asia) 受託研究費「EAS 諸国における再生可能エネルギーの持続的な活用」

東京大学先端科学技術センター 受託研究費「プラットフォーム化を目指した日常行動に関わる LCA データの整備と教材開発-家事行動に関する算定ツールの開発-

特定非営利活動法人安全工学会 受託研究費「事故リスク評価検討調査」(経済産業省 受託研究費「平成26年

度現場保安力維持向上基盤事業（現場保安力維持・向上に向けた調査・分析）」に係る再委託）

一般社団法人産業環境管理協会 受託研究費「平成26年度グリーン貢献量認証制度等基盤整備事業（持続可能なLCAデータベース運営に向けた調査・検討事業）におけるデータ整備試行検討等業務」

独立行政法人科学技術振興機構 受託研究費「エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対するリスク評価手法開発と社会受容性調査」

独立行政法人科学技術振興機構 受託研究費「製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進ー上流インベントリデータベースの開発ー」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）受託研究費「再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発事業」

九州防衛局 請負研究費「針尾島(25)保管庫移設解析業務」

公益社団法人全国火薬類保安協会 共同研究費「爆発影響低減化の技術基準の作成に関する研究」

厚生労働省 科学研究費補助金「中小規模事業場向けのリスクアセスメント手法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「国際環境協力を資する河川シミュレーションモデルの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「QAAR（定量的活性活性相関）手法による化学物質等の有害性推論手法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「ナノ秒衝撃圧縮によるペンスリット単結晶爆薬の衝撃起爆機構の解明」

富山高等専門学校 科学研究費補助金「水による爆風圧低減化のメカニズム解明と応用」

国立大学法人神戸大学 科学研究費補助金「持続可能な資本主義に関する実験経済学的研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「分散型エネルギー取引市場制度設計に関する理論構築、経済実験及び社会実装」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「金属特異性を考慮した包括的な生態リスク評価手法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「リレージョナル化学災害データベース」

公立大法人秋田県立大学 科学研究費補助金「住宅のDampnessによる健康損失の評価と建築的防除に向けた因果構造の解明」

国立医薬品食品衛生研究所 厚労省科学研究費補助金「家庭用品から放散される揮発性有機化合物／準揮発性有機化合物の健康リスク評価モデルの確立に関する研究（サブテーマ：非定常型曝露シミュレーション手法の開発）」

民間受託研究費「平成26年度化学物質安全対策（スクリーニング・リスク評価における調査）：リスク評価単位の検討」

発表：誌上発表103件、口頭発表217件、その他65件

-----  
リスク評価戦略グループ

(Risk Assessment Strategy Group)

研究グループ長：蒲生 昌志

(つくば西)

概要：

（研究目的）主に化学物質に関する具体的な課題についてリスク評価を実施しながら、リスク管理を目的としたリスク評価の考え方の検討を行う。

（課題）ナノ材料のリスク評価、化学物質の代替に伴うリスクトレードオフ解析（ヒト健康リスク、生態リスク）を中心的課題とする。

（研究内容）ナノ材料のリスク評価については、カーボンナノチューブ（CNT）の自主安全管理のための「CNTの安全性試験のための試料調製と計測、および細胞を用いたインビトロ試験の手順」（英語版）を公開した。また、OECD ナノ材料の細胞毒性試験方法の試験所間比較試験に参加した。さらに、酸化ニッケルナノ材料、二酸化ケイ素ナノ材料の体内動態の解析を行い、これまでの研究成果を国際機関へ発信した。

化学物質のリスクトレードオフ解析については、ヒト健康影響について、ラット肝毒性の細胞実験評価結果と動物実験評価結果との関連性を表現する統計モデルの構築を目的とし、有害性評価支援システム統合プラットフォーム（HESS）搭載の既存動物実験データと化学物質応答性核内受容体の細胞実験データから、解析に資するデータセットを構築した。生態影響については、国内魚種およびミジンコ類への有害性補正モデルのパラメータを精緻化し、実験室の調整水では高

精度で毒性予測が可能であることを確かめた。さらに生態リスク評価ツール AIST-MeRAM の日本語改良版（搭載データ・機能向上）と英語版を安全科学研究部門ホームページ上に公開した。また、化学物質審査において問題となっている混合物のリスク評価単位に関する検討を行った。

さらに、放射性物質の除染に係る費用と効果の解析、個人被ばく線量の計測・解析に関する研究に取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

### 環境暴露モデリンググループ

(Environmental Exposure Modeling Group)

研究グループ長：東野 晴行

(つくば西)

概要：

化学物質のリスク管理において、環境中の濃度を知ることが最も重要な課題の一つと考えられる。環境中濃度は、観測を行うかモデルによる計算で求められるが、新規の物質等観測データが存在しない場合の推定や限られた観測データからの全体状況の把握、将来や過去の状況推定等でモデルの果たす役割は大きいと言える。

このような背景から、当グループでは、化学物質のヒトや生態系へのリスク評価において、最も基礎となる暴露評価技術の開発を行っている。大気、室内、河川、海域等、複数の環境暴露評価モデルの開発と排出シナリオの構築を行い、これらを用いた暴露・リスク評価を他のグループと連携して実施し、その結果を化学物質管理等の政策に反映させる。平成26年度は、以下に示す内部及び外部資金によるプロジェクトと、他部門との融合・連携研究の推進を中心に研究を進めた。

- ① リスクトレードオフ評価・管理手法の研究
- ② 平成26年度化学物質安全対策（消費者製品に含まれる化学物質の室内暴露評価に係る調査）
- ③ 家庭用品から放散される揮発性有機化合物/準揮発性有機化合物の健康リスク評価モデルの確立に関する研究（サブテーマ：非定常型曝露シミュレーション手法の開発）
- ④ 地下微生物を利用したメタンガス合成技術(地圏資源環境研究部門と共同で実施)
- ⑤ 放射性セシウム廃棄物等の管理・保管における安全性評価手法の確立(地圏資源環境研究部門と共同で実施)

また、これまで開発してきたモデルや研究成果の普及や維持管理にも努めた。

研究テーマ：テーマ題目3

### 物質循環・排出解析グループ

(Substance Flow and Emission Analysis Group)

研究グループ長：恒見 清孝

(つくば西)

概要：

新規物質のリスク評価や代替物質のリスクトレードオフ評価を通じて、物質の代替・開発の意思決定や排出抑制対策等の行政、企業のリスク管理に還元することを目標として、物質フロー推定手法や環境中への排出量推定手法の開発、発生源の同定手法、環境中動態推定手法およびヒト・生物の暴露量推定手法の開発を行っている。平成26年度は、以下の研究を実施した。

#### ① 環境排出量推計手法の開発

- ・室内で使用される様々な製品に使用されるプラスチック部材に含まれる可塑剤と、印刷物等のインキに含まれる顔料を対象にサブスタンスフロー解析を行い、製品別物質別の室内流入量や存在量を推定した。また、ハウスダスト模擬体として、ガラスビーズ、関東ローム、混合ダストの各試験用粉体を使用して、臭素系とリン系難燃剤4種類のハウスダスト移行試験を行い、物性をパラメータとするハウスダスト移行量推定式を構築した。
- ・フィリピンの小規模金鉱山周辺の金精錬プロセスからの水銀排出量と廃棄量を調査し、物質フローを確認するとともに、排出係数推定のための基礎データを取得した。

#### ② 環境中動態推定手法の構築

- ・中古品貿易データの精度を改善した世界各国のサブスタンスフロー手法、衛星夜間光強度データを用いた環境排出量の空間割り振り手法、局所での暴露推定手法からなる鉛の階層的リスク評価手法を確立した。ヒトの鉛ばく露量の多い地域として中国の不法リサイクル汚染地域を対象としヒト健康リスク評価を実施し、小児のリスクが懸念されるレベルにあることを明らかにした。
- ・フィリピンにおいて環境媒体中濃度の調査を行い、土壌から植物への重金属移行パラメータを取得した。

#### ③ カーボンナノチューブ（CNT）の複合材料の排出・暴露評価

- ・CNTの複合材料のライフサイクルにおける排出および作業等への暴露量を評価するために、炭素分析等の計測技術の有用性を評価するとともに、現場計測や模擬排出試験により、想定される排出プロセスや排出形態に関する情報を集積した。

#### ④ エネルギーキャリアとしての水素活用における先進的リスク評価

- ・様々な事故漏洩時の急性暴露を推定するために、大気拡散に関わる沿道モデルと漏洩直後の非定常状態モデルを作成した。また、急性および慢性影響の精緻化のために、生理学的薬物動力学モデルの分配・



代謝パラメータに関する定量的構造-物性相関手法を構築した。

- ・東京23区、川崎市、横浜市を対象に、建物棟数、建物内人口の10m メッシュの暴露データを作成した。水素ステーションのガソリンスタンド併設シナリオの解析のため、同地域を対象にガソリンスタンド位置情報データを構築した。
- ・水素ステーションに関する現状の社会受容性の調査結果を元に、リスク認知の特徴を属性別に解析し、リスク認知モデルのプロトタイプを作成した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

### 爆発衝撃研究グループ

(Explosion and Shock Waves Group)

研究グループ長：中山 良男

(つくば中央第5)

概要：

本グループは、固体および液体等の凝縮系の高エネルギー物質等の爆発現象の解明とそれらの爆発影響を低減化するための基礎研究を行っている。高エネルギー物質の爆発安全に関する研究では、爆風・衝撃波の減衰機構や爆発現象の解明を目的に、独自の数値計算プログラムを開発し、水上を伝播する衝撃波の減衰効果の定量評価に関する研究を行った。その結果、水と空気の温度差による熱エネルギー交換が重要であることが示唆された。また、ニトロメタン中を伝播する爆轟波の薬径効果に関する研究を行い、過去の実験を再現する結果を得た。爆発影響評価の関係では、金属土堤モデル周囲の爆風の密度変化を定量的に可視化する手法を少量量の爆発実験に適用して、土堤モデルと爆風の干渉の様子を高速度撮影した。その結果、土堤モデルに対して爆風の回折・反射の様子を詳細に解析した。衝撃起爆機構の分子論的な解明においては、実験装置の高度化改修を行い、ラマンスペクトルと粒子速度を同時に測定できる見通しが得られた。

研究テーマ：テーマ題目2

### 高エネルギー物質研究グループ

(Energetic Materials Group)

研究グループ長：松永 猛裕

(つくば中央第5、北センター)

概要：

当グループは、爆発現象を化学的な視点で捉え、高エネルギー物質の反応機構の解明、安全化技術、分子設計、危険性評価技術の開発等の研究を行うことを目的にしている。このため、近年、特にコンピュータケミストリ手法の利用と分光計測技術の導入に力を注いでいる。具体的な研究内容は大きく分けて3つあり、①化学物質の爆発性評価および保安技術に関する研究においては、主として外部の依頼による発火・爆発性

の評価を行っている。②火薬類の有効利用に関する研究については、爆発性のある物質を含有する物の安全な処理技術、爆発を使った新材料合成等に関する研究を行う。③高制御花火の開発においては、グリーン、ミニマムエミッションをキーワードに人と環境に優しい花火を創成することを目指す。特に、落下物、煙、塩素、硫黄の低減化、および、花火用新素材の探索について研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目2

### 爆発利用・産業保安研究グループ

(Industrial Safety and Physical Risk Analysis Group)

研究グループ長：和田 有司

(つくば西)

概要：

本研究グループでは、火薬類等の高エネルギー物質および高圧ガス、可燃性ガス等の安全利用技術に関する基盤的な研究と産業保安の研究を実施している。火薬類の安全に関する研究では、火薬庫土堤が地震等で一部損壊した場合の爆発影響低減効果の評価のため、野外実験に参加し、種々の条件の土堤の地盤振動と飛散物影響を評価した。また、震災時に使用する人命救助用の新しいミニプラスティング技術の開発、爆発影響評価の数値解析で重要となる爆轟ガスの状態方程式に関する研究を実施した。高圧ガスおよび可燃性ガスの安全性に関する研究では、半導体産業等で利用が拡大している支燃性ガスおよび代替フロンとして着目される微燃性冷媒の爆発危険性評価、化学プラント等における爆発影響予測手法の開発、水素供給用導管から一般集合住宅等のパイプシャフト内で漏えいした際の拡散挙動調査等を実施した。産業保安に関する研究では、リレーショナル化学災害データベース (RISCAD) の継続的な運用、事故を時系列で整理して分析する事故分析手法 PFA の普及活動、安全基盤と安全文化からなる保安力評価項目と事故原因との関連性分析、事故の影響の経済分析等を行った。

研究テーマ：テーマ題目2

### 素材エネルギー研究グループ

(Material and Energy Sustainability Assessment Group)

研究グループ長：匂坂 正幸

(つくば西)

概要：

持続的発展可能な社会に向けて、素材、エネルギーの利活用のあるべき方向について以下の2つの課題を中心に研究を行った。

① 素材、エネルギーの持続可能な利活用評価

バイオマス起源の素材、エネルギーをはじめ、持続可能性を有するとされる資源の利活用について、

ライフサイクルアセスメント、システム分析、アンケート調査等を通じて環境、経済、社会等の側面から評価を行う手法の開発、適用を通じた普遍化を行っている。平成26年度は、未利用の木質、草本資源や廃棄物等を原料とした新規素材の評価、エネルギー利用の可能性、タイにおける自動車燃料としての適合性を評価した。

また、東アジア地域における持続可能な再生可能エネルギーのあり方を検討するために、東アジア各国で実施されている小規模再生可能エネルギー導入の意思決定に必要な要素について関係各国の政策関係者、研究者らと議論を進めた。

- ② 低環境負荷技術・行動による環境改善効果の評価  
環境負荷低減技術・行動のライフサイクルを考慮した環境影響評価に必要な要素研究を進め、環境影響や受容性を定量化することを試みている。平成26年度は、低環境負荷技術の経済評価のために発展途上国での大気汚染に対する経済価値について分析を進め、大気汚染による健康被害回避に対する支払意志額に影響を与えている要因について定量的な分析と共に、環境影響と経済性に加えて利便性を考慮したトレードオフの分析を進めた。さらに、電気自動車を石油代替燃料の自動車だけでなく、蓄電デバイスとしても位置付け、家庭への電力供給可能なシステムとして導入した際の GHG 削減と経済的メリットに関する分析を行った。

研究テーマ：テーマ題目4

## 社会と LCA 研究グループ

(Advanced LCA Research Group)

研究グループ長：田原 聖隆

(つくば西)

### 概要：

新たな技術や政策の導入に対して、その影響を評価することは必要不可欠であるが、現状では直接的な影響の定量評価に留まっている。間接的な影響も含めた、統合影響評価モデルを構築する必要がある。そこで、本研究グループでは、産業への影響（産業構造変化等）と、社会（消費者）への影響を分析するモデルをそれぞれ作成し、それらを用いて統合影響評価モデルを完成させることを目標としている。産業への影響は、サプライチェーン分析やマテリアルフロー分析（MFA）によって評価し、消費者への影響は、消費者行動分析によって評価する。最終的に、産業影響、社会影響モデルを統合し、産業戦略や政策評価に活用できるものにする。本年度の具体的な研究成果は、昨年度に引き続き統合影響評価モデルで基盤となるインベントリデータベース（IDEA ver.2）および、産業影響評価用データベース（IDEA マトリックス）の構築を行った。温暖化、オゾン層破壊原因物質の拡充を行い、環境フ

ットプリントへの対応を図った。IDEA マトリックスは、既存の IDEA に生産量の情報を付加することで、我が国全体の物質のやりとりが記述できるものであり、このマトリックスを用いて、次世代自動車が導入されたことによる産業構造変化分析を実施した。また、希少金属の原材料から最終製品までのサプライチェーンを時系列で推計することで、IDEA マトリックスにおける非鉄金属分類を詳細化した。

環境影響評価手法の開発では、水資源消費に関わる影響評価手法として、世界の食糧貿易を通じた水消費および土地利用影響評価モデルを開発し、水消費に関わる影響評価モデル間の定量的比較による特徴分析も実施した。研究成果や研究に用いたインベントリデータベースやソフトウェア、手法、指標等は、論文、HP、ソフト等により公開し、ライフサイクル思考だけでなく、リスク評価、ハザード評価等を用いた持続的発展可能な社会構築における環境や安心安全に関する基盤技術として蓄積を行っている。

研究テーマ：テーマ題目4

### 【テーマ題目1】新規技術体系のリスク評価・管理手法の研究

【研究代表者】 蒲生 昌志（リスク評価戦略グループ）

【研究担当者】 蒲生 昌志、本田 一匡、五十嵐 卓也、藤田 克英、小倉 勇、篠原 直秀（常勤職員6名）

### 【研究内容】

今後新規に開発される先端科学技術に応用可能な安全管理体系の構築を目指し、その一つの適用事例として、ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を行っている。ナノ材料は、その新規な物理化学特性のため、様々な科学技術分野における技術革新をもたらすものと期待されている一方、ナノスケールのサイズに由来する新規のリスクをもたらすという懸念もある。平成26年度は、以下の研究・活動を実施した。

#### ① 効率的な有害性評価のための手法開発

ナノ材料は極めて多様なものが存在し、また、今後開発・市場化されると考えられることから、効率的な有害性評価の枠組みが必要とされている。そのために、産総研内の他ユニット、外部の大学や研究機関と連携して、下記の2つを柱とする研究プロジェクトを進めている；1）有害性の観点から同等と見なせるナノ材料をグループ化するための考え方（同等性判断基準）を構築すること、2）気管内投与試験を、呼吸器系への有害性に対するスクリーニング試験として確立すること。その中で、安全科学研究部門は、ナノ材料の体内動態と影響に関する数理モデルの開発を行っている。

平成26年度は、酸化ニッケルナノ材料、二酸化ケイ素ナノ材料を投与した動物の臓器について、臓器・

組織試料の分析を行い、臓器間移行や臓器内分布の分析・観察結果に基づいて試行的な数理モデルを構築し、二酸化チタンナノ材料での結果との比較やモデルパラメータと物理化学特性との比較を行った。そのために、ラット肺、BALF（気管支肺胞洗浄液）、主要臓器に含まれるニッケルとケイ素の定量分析を行った。また、蛍光 X 線顕微鏡によって肺組織切片のチタン分布を測定した。さらに、細胞毒性試験により、二酸化チタンを中心に複数のナノ材料の細胞障害性等を比較した。

## ② 事業者による簡易自主安全管理技術の開発

事業者自らが安全性評価を実施することを可能とするため、ナノ材料製品のカーボンナノチューブ（CNT）等について、培養細胞試験による簡易な有害性評価技術、及び、模擬排出試験や簡易な暴露評価手法からなる簡便な作業環境暴露評価手法を要素技術として開発を進めている。

平成26年度は、これまで開発してきた手法をまとめて、「CNTの安全性試験のための試料調製と計測、および細胞を用いたインビトロ試験の手順」（英語版）や「ナノ炭素材料の自主安全管理支援のためのケーススタディ報告書」を公開した。また、CNT複合材料の機械加工や粉砕時に飛散する粒子を、様々な母材について評価した。NanoSafety ウェブサイトにおいて、約170件の速報を流した。

## ③ 長繊維 CNT の有害性評価

繊維の長い CNT の有害性を確認する目的で、ナノシステム研究部門、ナノチューブ応用研究センター、計測フロンティア研究部門と連携し、生体毒性が低い界面活性剤を使用して長繊維状態を保存した分散液を作成し、気管内投与試験によるラットに対する有害性評価を実施した。長期観察試験が終了した。

## ④ 国際発信と協力

OECD 吸入テストガイドラインをナノ材料に適合させる改正作業のための専門家グループに参加した。OECD WPMN（工業ナノ材料作業部会）において、専門家会合へ参加・報告し、第3パイロットプロジェクトを主導し、ナノ材料の細胞毒性試験方法の試験所間比較試験に参加した。また、ISO/TC229（ナノテクノロジー専門委員会）では、日本主導の技術仕様書作成に参画し、また、複数の技術報告書作成に我が国の意見を反映させた。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] ナノテクノロジー、ナノ材料、リスク評価、有害性評価、暴露評価、リスク管理、カーボンナノチューブ

[テーマ題目2] フィジカルハザード評価と産業保安に関する研究

[研究代表者] 緒方 雄二（総括研究主幹）

[研究担当者] 緒方 雄二、中山 良男、松村 知治、

若林 邦彦、杉山 勇太、松永 猛裕、薄葉 州、秋吉 美也子、岡田 賢、和田 有司、久保田 士郎、椎名 拓海、佐分利 禎、牧野 良次、高橋 明文、松木 亮（常勤職員16名）

## [研究内容]

火薬類等の高エネルギー物質や高圧ガスが関与する災害を防止するために、野外爆発実験や漏洩拡散実験等のハザード評価に関する研究、基盤となる計測技術の開発に関する研究、産業保安力向上のための研究を柱として広範囲な研究を行っている。平成26年度は主に下記の研究開発を行った。

### ① 爆発影響低減手法の検討

火薬庫土堤による爆発影響低減化へ向けた検討では、野外での爆発実験を実施して、土堤の片側のこう配を垂直とした土堤（片側垂直土堤）の技術基準検討に資するデータの蓄積と、巨大地震による土堤の損壊状況の想定および損壊土堤の爆発影響低減効果に関する検討を行った。爆風の伝播に対する土堤の効果を定量的に評価するため、独自の数値計算プログラムを開発し、室内土堤モデル実験を再現する解析を実施した。その結果、爆風圧について実験の再現に成功し、土堤モデル形状に対する爆風の反射・回折挙動を解明した。また、地下構造物内での爆発について、構造物の形状を変化させた解析を実施した結果、発生する爆風の強さが構造物の形状から推定できることを示した。

### ② 爆発性物質の発火・爆発危険性の解明

化学物質の発火及び爆発危険性の現象解明、危険性評価技術の開発、安全な取り扱い技術の基準作成を爆発現象の基礎的知見に基づき高度化させることを目的とした。

本年度は火工品の適用除外に関する調査研究を行った。また、シュウ酸銀、蟻酸銀等の銀化合物について危険性を詳細に調べた。これらの銀化合物は爆発性が高いために物性がほとんど知られていない。この他、次亜塩素酸ナトリウムの爆発危険性評価、火薬の熱安定性評価、不純物が混入した硝酸の安定性評価、打ち揚げ煙火の健全性評価等を行った。

### ③ 産業保安力向上のための研究

産業保安力向上のための研究では、事故情報を事故防止に活用するためにリレーショナル化学災害データベース（RISCAD）の継続的な運用を行い、事故を時系列で整理して分析する事故分析手法 PFA の普及活動を行った。また、安全文化と安全基盤からなる保安力評価項目と最近起きた国内外の大きな化学事故の原因との関連性の分析や事故影響の経済性分析、保安力評価データ収集のためのデータベースシステムの開発を行った。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 火薬類、火薬庫、保安距離、行政ニーズ、

安全性評価、爆風圧、可視化計測、BOS法、環境低負荷、爆破解体、破砕デバイス、電子制御、破壊実験、ナノリスク、粉塵爆発、混合液化ガス、液体酸素、液体酸素濃度、光吸収、高圧ガス、可燃性ガス、支燃性ガス、微燃性冷媒、爆発影響評価、リレーショナル化学災害データベース (RISCAD)、事故分析手法 PFA、保安力評価、安全文化、経済性分析

**[テーマ題目3] リスクトレードオフ評価・管理手法の研究**

**[研究代表者]** 恒見 清孝

(物質循環・排出解析グループ)

**[研究担当者]** 恒見 清孝、東野 晴行、蒲生 昌志、梶原 秀夫、堀口 文男、林 彬勤、小野 恭子、井上 和也、石川 百合子、牧野 良次、内藤 航、篠崎 裕哉、加茂 将史、竹下 潤一

(常勤職員14名)

**[研究内容]**

化学物質間のリスクトレードオフ評価の成果発信を行うとともに、暴露解析ツール、有害性推論ツール、リスク評価管理手法等のリスクの定量的評価技術の向上をめざした。

① 消費者製品に含まれる化学物質暴露評価手法の開発

室内環境下において消費者製品に含まれる化学物質に対する現実的な暴露評価手法開発を目的として、室内における排出・暴露シナリオの構築や、化学物質移行の測定とモデル化を行うとともに、人の身体表面積や製品含有成分の配合や室内存在量に関するデータ集を作成した。上記を取りまとめ、消費者製品に由来する化学物質の吸入、経皮、経口いずれかの暴露経路による暴露量推定ができるプロトタイプモデルを開発した。また同モデルを用いて製品暴露に関する企業ニーズを調査した。

② 環境動態モデルの機能向上

大気モデルについては、評価時間の詳細化、ワーストケースの抽出機能等を搭載した AIST-ADMER ver.3.0の公開版を開発した。また、AIST-ADMER-PRO にガス・粒子平衡モデルを組み込み、アンモニア、硝酸、硫酸についてガス・粒子態別に濃度計算が行えるように改変した。河川モデルについては、日本の全水系へと拡張し、250 m メッシュかつ日単位の非定常解析モデルへと改良した AIST-SHANEL ver.3.0の公開版を開発した。また、農業用水を考慮した流出解析のプログラムを追加し、水田から稲への放射性セシウムの移行量を推定できるようにモデルを改良した。海域モデルについては、東京湾内における

放射性物質の環境中濃度と魚類体内濃度の実測調査を昨年に引き続き実施した。また、Linux版生物蓄積モデルをベースとして Windows版 AIST-CBAM ver.3.0を開発した。さらに、AIST-MeRAM と AIST-RAMTB の結合モデルを作成した。

③ 有害性推論モデルの確立

ヒト健康影響については、ラット肝毒性の細胞実験評価結果と動物実験評価結果との関連性を表現する統計モデル構築のために、有害性評価支援システム統合プラットフォーム (HESS) 搭載の既存動物実験データと化学物質応答性核内受容体の細胞実験データから、解析に資するデータセットを構築した。生態影響については、国内魚種およびミジンコ類への有害性補正モデルのパラメータを精緻化し、実験室の調整水では高精度で毒性予測が可能であることを確かめた。さらに生態リスク評価ツール AIST-MeRAM の日本語改良版 (搭載データ・機能向上) と英語版を安全科学研究部門ホームページ上に公開した。

④ アジア対応暴露解析の開発

中古品貿易データの精度を改善した世界各国のサブスタンスフロー手法、衛星夜間光強度データを用いた環境排出量の空間割り振り手法、局所での暴露推定手法からなる鉛の階層的リスク評価手法を確立した。ヒトの鉛ばく露量の多い地域として中国の不法リサイクル汚染地域を対象としヒト健康リスク評価を実施し、小児のリスクが懸念されるレベルにあることを明らかにした。

⑤ 低頻度大規模災害のリスク評価手法開発

一次災害予測シミュレーションサブシステム、二次被害定量化サブシステム、リスク評価サブシステムから構成される低頻度大規模災害の総合リスク評価システムを完成した。

**[分野名]** 環境・エネルギー

**[キーワード]** 消費者製品、暴露解析、有害性推論、サブスタンスフロー、環境動態モデル、アジア対応

**[テーマ題目4] 新規社会システムのライフサイクル評価手法の研究**

**[研究代表者]** 田原 聖隆 (社会と LCA 研究グループ)

**[研究担当者]** 田原 聖隆、本下 晶晴、河尻 耕太郎、畑山 博樹、工藤 祐揮、野村 昇、本田 智則、玄地 裕、匂坂 正幸 (常勤職員9名)

**[研究内容]**

社会システム (新規技術・政策) の導入による環境・経済・社会への直接的な影響だけではなく、人間の生活行動を考慮した最適なシステム導入やそれに伴う産業構造等、社会全体に波及的に生じる間接的な影響まで、動的かつ包括的に評価することが求められている。そこで、

ライフサイクル評価手法の研究開発として、社会システムの個々の構成要素と環境問題の関係だけでなく、システム全体が与える新しい影響領域を評価する手法の検討を通じ、普及の見込まれる新規社会システムの影響評価手法を開発する。本研究課題では、持続的発展可能な社会を目指す際に必要となる社会システムの実現に寄与することを目的に研究を実施している。本年度は、以下の項目を注力した。

#### ① 影響評価手法の高度化

新規社会システム導入に伴う多様な環境影響をより包括的に評価するため、既存の環境影響評価手法である LIME や Eco-indicator' 99、Impact world+等では対応できていない、新たに社会的なニーズが高まっている水資源消費や希少鉱物資源の消費に対応した影響評価手法の開発を進めてきた。水資源消費が人間健康へ与える影響については、生活用水および農業用水不足による感染症、栄養失調被害を対象として、世界的な貿易による多国間の連鎖関係も考慮した影響評価モデルを構築し、世界162カ国に対応した影響評価係数リストを作成した。また、希少鉱物資源消費ではレアアースの消費に関わる特性化係数の開発と利用可能性の実証事例として、レアアース磁石のリサイクル技術評価への適用を行い、従来手法からの精緻化の効果を検証した。さらに、従来の生物多様性だけでなく、生態系サービスへの影響評価へのニーズの高まりに対応して、土地利用を対象として、人為的な土地利用区分に対応した世界のメッシュレベル ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ) での生態系サービス損失評価係数モデルを開発した。

#### ② インベントリデータベース IDEA の開発・素材、資源フローの解析

既往のインベントリデータベースはケーススタディの結果の蓄積に基づいており、環境負荷データが提供される製品は限定的であった。そこで、網羅性が担保された世界最大規模のインベントリデータベース構築を目標として IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis) 開発を実施している。データ数は3800程度で世界最大シェアのインベントリデータベース Ecoinvent と同等であり、世界最高水準を達成した。さらに、製品環境フットプリントの算定で要求される新たな影響領域に対応するため、水消費や土地利用のインベントリデータを拡充した。データベースは英語マニュアルを作成し、日本語版/英語版を同時にリリースする。

このデータベースに各製品の国内生産量および供給量の情報も同時に実装することで、我が国全体の物質のやりとりを記述した産業影響評価用データベース (IDEA マトリックス) を構築した。また、インベントリデータを基に、素材需要やリサイクル可能量を時系列で分析するためのマテリアルフロー分析モデルの構築を実施した。主要金属である鉄鋼およびアルミニ

ウムについては、グローバルスケールでの分析が可能なモデルを構築し、先端技術に用いられるレアメタルについては、日本国内を対象としたモデルの構築を進めている。

#### ③ ケーススタディ

再生可能エネルギーからの電力で電気分解等により水素を製造し、水素あるいはアンモニアや有機ヒドライド等のエネルギーキャリアに変換して貯蔵・輸送・利用するシステムについて、それぞれのプロセスのエネルギー・マテリアルバランスを反映させることにより、ライフサイクル全体にわたる二酸化炭素排出量を、IDEA を用いて分析をしている。この結果は、2030年、2050年に向けた水素エネルギー導入・普及のためのシナリオ策定と、新技術の性能・達成時期目標を示すとともに、目指すべき方向を提示するための基礎データとして使用する。また、再生可能エネルギーの導入に伴う持続可能性については、東アジア・ASEAN 経済研究センター (ERIA) のプロジェクトの一環として、東アジアサミット参加各国のエネルギー政策担当者実務者級会合であるエネルギー協力タスクフォース (ECTF) からの要請を受け、平成20~25年にかけて東アジア地域に適したバイオマスエネルギーの持続可能性をトリプルボトムライン (環境・経済・社会の3側面) から評価する指標 (環境側面: ライフサイクル温室効果ガス排出量、経済側面: 総付加価値、社会側面: 雇用創出と近代的エネルギーへのアクセス) を提案し、またこれらの指標の適用可能性を東アジア4カ国で実施されていたバイオマスプロジェクトで確認した。またこれらの実績が評価され、ECTF からの要請に基づき、バイオマスを含めた再生可能エネルギーの東アジアにおける持続可能な利用のためのトリプルボトムラインからの要件の抽出を、平成25年から実施している。

また、IDEA マトリックスやマテリアルフローモデルを用いて、自動車産業における新規技術の評価を行っている。具体的には、電気自動車やハイブリッド自動車の導入がもたらす国内産業構造の変化や、自動車鋼板リサイクルの促進に有効な技術開発の検討を実施した。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] LCA、インベントリデータベース、産業マトリックス、消費者行動、バイオマス、土地利用、水資源

2) ライフサイエンス分野  
(Life Science and Biotechnology)

[生物資源管理グループ]  
グループ長 大和田 一雄 他

①【研究統括・副研究統括・研究企画室】  
(Director-General・Deputy Director-General・  
Research Planning Office)

研究統括：松岡 克典  
副研究統括：織田 雅直

概 要：

研究統括は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

副研究統括は、研究統括の命を受けて、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

ライフサイエンス分野研究企画室  
(Life Science and Biotechnology)

所在地：つくば中央第2  
人 員：8名（7名）

概 要：

産総研として特色ある研究の方向性や、開発技術を社会に還元することを意識し、ライフサイエンス分野の研究資源の最適配置をはじめとした研究管理を行っている。

具体的には、当該分野における研究方針、研究戦略、予算編成等の策定。研究プロジェクト立案や調整。研究分野をまたがる融合研究の立案や調整。BioJapan、JST 新技術説明会や LS-BT などを始めとする各種イベント出展に対する立案や出展テーマの調整。見学、視察対応。新規採用・任期付研究員のパーマネント審査に関する業務など。

平成26年度は、通常業務に加えて例として以下のような業務を行った。

1. 創薬支援 NW 事業への参画
2. 動物飼育施設の運営、集約に関する検討
3. アジア諸国（インドネシア、インド）との連携強化に向けた立案、調整
4. 産総研が参画している研究技術組合活動の調整

機構図（2015/3/31現在）

[ライフサイエンス分野研究企画室]  
研究企画室長 大西 芳秋 他

②【幹細胞工学研究センター】  
(Research Center for Stem Cell Engineering)  
(存続期間：2010.4.1～2015.3.31)

研究センター長：浅島 誠  
副研究センター長：中西 真人、鈴木 理  
首席研究員：平林 淳

所在地：つくば中央第2、つくば中央第4、つくば中央第5  
人 員：17名（17名）  
経 費：582,175千円（292,667千円）

概 要：

本研究センターでは、臓器や器官を形作るための基盤となる幹細胞に注目し、幹細胞の高効率な樹立、性質的的確な評価、選択的な分化制御についての技術開発に加えて、幹細胞を用いた医薬品開発のスクリーニング系や再生医療への応用を目指した研究を進めている。幹細胞を効果的に利用するための情報基盤として、モデル生物を利用して細胞分化や臓器・器官形成を制御するメカニズムの探索（臓器ロードマップ作成）を行い再生医療や創薬への応用展開を図る取り組みを行っている。更に、得られた知見を元に、癌や生活習慣病などの新しい予防法への応用も検討している。具体的には、以下の4つの大きなテーマを中心とし、さらにその周辺技術開発を行うことにより、将来の創薬や再生医療に貢献しうる研究を行う。

① マイクロアレイ解析などを行うことにより、マウス、あるいはツメガエルの未分化細胞を用いて心臓、膵臓、神経器官などの誘導・分化に関与する遺伝子・因子を同定する。個々の遺伝子の機能解析を行うとともに得られた情報を集積することにより、各器官の分化ロードマップを作成する。一方、疾患臓器のプロファイルと比較することで臓器別疾患発病因子を探索し、疾患の早期発見、予防方法を考案する。また、疾患モデルマウスを利用して試験管内で形成した臓器の移植などを行い、治療の応用へと発展させる。さらに、微小重力条件下での臓器培養法の確立も試みる。

② ①で得られた研究結果を具体的に医療応用に結びつけるためには、患者本人の幹細胞を臓器再生に用いることが求められる。そこで、成体の体細胞から幹細胞を効率的に樹立または単離する技術の開発や、幹細胞の未分化性維持の分子機構に関する研究、また幹細胞から目的の細胞への分化誘導技術の開発を行う。具体的には、ゲノムに組み込まれない安全な「持続発現型 RNA ベクター」を開発し、これを用

いてより安全で高効率な幹細胞樹立方法の技術開発を行う。また、プロテオミクス解析やマイクロアレイ解析、エピゲノム解析、糖鎖解析等によって未分化状態特異的に発現するマーカーの探索を行う。それと共に幹細胞を未分化に保つ候補因子を探索し、これを基に幹細胞の未分化性維持機構の解明を図る。さらに、分化能の高い幹細胞を選別するのに有効な細胞表面マーカーの検索を行い、良質の幹細胞の調製を容易にし、再生医療への利用を目指す。

- ③ 再生医療実用化の鍵として ES 細胞に代わり期待されているヒト iPS 細胞であるが、iPS 細胞の性質は多様で、どのような iPS 細胞が実用可能な幹細胞なのか不明である。創薬応用や臨床試験に耐えうる iPS 細胞とはどういう幹細胞かを明確に規定し、幹細胞の評価法を確立して iPS 細胞を標準化することを目指す。また ES/iPS 細胞とは異なり多分化能は有しないものの、生体中に存在し、より安全で既に一部で臨床応用が始まっている間葉系幹細胞などの体性幹細胞も、その性質は十分には解析されていない。ヒト体性幹細胞についてもその的確な評価方法を開発することを目指す。本研究の一部は NEDO 受託研究として行う。

上記②や③で幹細胞の的確な評価選別技術が開発された後にそれを創薬に応用するためには、幹細胞に適した効率的なリード化合物のスクリーニング系が必要となる。そこで、流動状態、物質移動や温度制御を厳密にコントロールするシステムを構築し、マイクロプロセスで培養環境を精密に制御できる細胞チップの開発とその周辺技術の整備を行う。また光による細胞マニピュレーション技術を開発する。さらに再生医療への利用に向け、複数の分化誘導細胞を組織化し機能化するための3次元組織構築技術開発や機能制御系としての電子デバイスとの融合技術開発を行う。

-----  
外部資金：

文部科学省 地域産学官連携科学技術振興事業費補助金  
「ストレス型 RNA ベクターを使った再生医療用ヒト細胞創製技術」

国立大学法人京都大学 受託研究費「最先端研究開発支援プログラム/iPS 細胞技術の評価・検証会」

独立行政法人 科学技術振興機構 受託研究費 「無細胞タンパク質合成を実現するマイクロゲル粒子分散型反応システムの開発」

独立行政法人 医薬基盤研究所受託研究費「持続発現型 RNA ベクターやトランスジェニック植物を利用した革新的バイオ医薬品製造技術の開発」

国立大学法人 筑波大学受託研究費 「マウスを用いた宇宙環境応答の網羅的評価」

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構受託研究費 「ホメスタシス維持機能を持つ農林水産物・食品中の機能性成分多視点評価システムの開発と作用機序の解明

文部科学省 科学研究費補助金(新学術領域研究 研究領域提案型)「光分解造形法による灌流可能な血管ネットワークを有する三次元組織体の構築」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 B)「呼吸器再生基盤技術の構築」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 B)「光酸発生培養基材への精密光照射による接着細胞の物理プロセッシング」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 B)「糖尿病による神経幹細胞の機能低下メカニズムの解明」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 C)「大規模ケミカルライブラリーを駆使した、新規心臓形成シグナルパスウェイの探索と解明」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 C)「膜タンパク質の再構成マトリックス材料となる含フッ素擬環状型人工脂質の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(基盤 C)「Nanog 遺伝子を持たないツメガエル細胞におけるリプログラミングの研究」

文部科学省 科学研究費補助金(挑戦的萌芽)「人為的リプログラミング法を用いた間葉系幹細胞制御機構の解明」

文部科学省 科学研究費補助金(若手 A)「幹細胞糖鎖の機能解析と再生医療に貢献する新規糖鎖工学技術の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(若手 A)「膵β細胞・自律神経細胞の人工作製と神経インターフェース化」

文部科学省 科学研究費補助金(若手 A)「3D イメージングセルソーティング法の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(若手 B)「マイクロ RNA の機能を制御できる細胞質 RNA ベクターの開発と

細胞改変技術への応用

(つくば中央第4)

文部科学省 科学研究費補助金(若手B)「4次元培養環境制御による BBB in vitro 脳毛細血管組織の再構築」

文部科学省 科学研究費補助金(特別研究員奨励)「癌幹細胞分化制御薬による膵臓癌根絶法の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(特別研究員奨励)「光分解型3次元培養基材を用いたテーラーメイド抗がん剤感受性検査法の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(特別研究員奨励)「膵臓がん幹細胞の分化促進化合物を用いた革新的治療技術開発」

文部科学省 科学研究費補助金(科研費 分担者)「HDL型脂質膜ディスクによる膜タンパク質配向制御技術の開発」

文部科学省 科学研究費補助金(科研費 分担者)「がん間質消滅治療:自殺遺伝子を導入した骨髄間葉系幹細胞によるがん間質の入れ換え」

文部科学省 科学研究費補助金(科研費 分担者)「構造生物学的解析によるR型レクチンのシアル酸含有糖鎖結合能獲得メカニズムの解明」

厚生労働省 科学研究費補助金(科研費 分担者)「iPS細胞の品質変動と実用化を目指した培養技術の標準化に関する研究」

厚生労働省 科学研究費補助金(科研費 分担者)「ヒトiPS分化細胞を利用した医薬品のヒト特異的有害反応評価系の開発・標準化」

財団助成金「成体幹細胞を制御する Wnt3 因子の機能解析」

財団助成金「霊長類由来の神経幹細胞を用いたインスリン産生の制御機構解析」

財団助成金「インスリン発現制御と幹細胞活性化メカニズムの解析」

発表:誌上発表38件、口頭発表94件、その他10件

#### 幹細胞制御研究チーム

(Stem Cell Differentiation Research Team)

研究チーム長:栗崎 晃

#### 概要:

近年 iPS 細胞作成技術が発明され、患者自身の細胞を用いた再生医療の実用化が大きく期待されているが、現実には作成された iPS 細胞の分化能などの性質はかなり不均一であり、また目的細胞へと分化させた後に成体に移植しても予期せずがん化するという問題も十分な解決策が得られていない。そこで幹細胞制御研究チームでは、効率的な幹細胞分化促進技術を開発するとともに、細胞表面マーカー等を利用した幹細胞操作技術を開発することにより、実用可能な分化細胞を作成する基盤技術の開発を目的として研究を行っている。また、心筋特異的に分化しやすい間葉系幹細胞を選別するための細胞表面マーカーを利用して、生体組織から心疾患に治療効果の高い幹細胞を選別する技術の開発も進めている。

さらに、後述の器官発生研究チームが進めている臓器形成ロードマップ因子をマウスやヒト幹細胞で活用することにより、幹細胞の効率的な分化制御技術開発を進めるとともに、その制御機構の解明も進める。また、産総研のもつバイオリソースを活用して幹細胞を分化制御する新たな基盤技術の開拓を進める。さらに、成体に極わずかに存在する幹細胞を活性化させる手法についても検討し、新たな再生医療技術の開発も進める。これらの幹細胞分化制御技術や選別技術を開発することにより、毒性試験等の創薬に利用できるヒト分化細胞や実用的な再生医療に必要な細胞分化制御を可能にする基盤技術を開発する。

研究テーマ:テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3、  
テーマ題目4、テーマ題目5

#### 器官発生研究チーム

(Organ Development Research Team)

研究チーム長:伊藤 弓弦

(つくば中央第4)

#### 概要:

ヒト ES/iPS 細胞や間葉系幹細胞は再生医療材料として注目を集めている。しかしながら、由来組織、樹立方法、培養方法等の違いによって、得られる幹細胞の性質のばらつきが指摘されており、明確な規格がないのが現状である。そこで我々は、ヒト ES/iPS 細胞を適切に産業応用へと導くために、多くの細胞株の性状に関連する基礎データを網羅的に収集し、良質な ES/iPS 細胞の「品質管理方法」「拡大培養方法」確立を目指す。また、間葉系幹細胞などを含む体性幹細胞は、継代を経てその増殖能、分化能が失われていくことが、問題点とされている。そこで我々は、ヒト間葉系幹細胞の増殖能、分化能等を担保するマーカー探索を行い、細胞治療時における治療効果の高い間葉系幹細胞供給の支援を目指す。



一方、再生医療を現実のものとするためには、必要とする細胞を「正確に」「大量に」作り出すことが必要とされる。そのためには、発生期に種々の臓器が形作られた仕組みを知り、その方法を応用することが重要と考えられる。そこで、臓器形成メカニズムを解明する上で有用な性質を備えるアフリカツメガエルを実験動物として、様々な臓器を誘導し、その系を用いて、各種臓器が形成する際に必要な遺伝子を網羅的にスクリーニングする。こうして得られた知見から、ヒトと共通の臓器作りのレシピである「臓器形成ロードマップ」を作成する。

研究テーマ：テーマ項目1、テーマ項目4、テーマ項目15

### バイオセラピューティック研究チーム

(Biotherapeutic Research Team)

研究チーム長：中西 真人

(つくば中央第4)

概要：

再生医療・遺伝子治療・難治性疾患治療用のバイオ医薬品の開発など、先端医療の分野では遺伝子を動物細胞（ヒト細胞を含む）に導入して発現させる技術が欠かせない。その中でも、外来遺伝子を長期にわたって持続的に発現させる技術は重要な鍵となっている。これまで、動物細胞で外来遺伝子を持続的に発現させるためには、レトロウイルスベクターなどの挿入型ウイルスベクターや物理的遺伝子導入を使って、染色体に外来遺伝子を組み込んで安定化する必要があった。しかし染色体への外来遺伝子の挿入は、染色体上の遺伝子の破壊や挿入された遺伝子が再活性化により細胞のがん化を招くことが知られている。またバイオ医薬品の生産に当たっては、導入した遺伝子の発現量を最大にするために、いったん染色体に挿入した遺伝子のコピー数を増幅するという労力のかかる方法を取らざるを得なかった。

我々が開発したオリジナル技術「持続発現型 RNA ベクター」は、染色体には挿入されない RNA 分子を転写の鋳型として、細胞質で長期間（180日以上）にわたって外来遺伝子の発現を持続できる、従来の常識を覆した世界で唯一の遺伝子導入・発現系である。この遺伝子発現系は、細胞に対する障害性を持たない特殊なセンダイウイルス変異株 Cl.151株をベースに、大きなゲノムの改変を行って開発されたもので、ウイルス感染初期のサイトカイン誘導を回避して長期持続性を実現しているのが大きな特徴である。以下の研究課題では、この技術の特徴を活かして、先端医療の実用化に貢献できる新しい技術の開発を目指した。

研究テーマ：テーマ項目6、テーマ項目7

### 医薬品アッセイデバイスチーム

(Drug Assay Device Team)

研究チーム長：金森 敏幸

(つくば中央第5)

概要：

創薬に要する費用の高騰が問題視されて久しい。この問題を解決するために、リード化合物のスクリーニングの効率化、迅速化が極めて重要である。これまでもこの目的でヒト細胞を用いたスクリーニングが行われているものの、動物実験や臨床治験といった創薬プロセス後期で行われる評価と必ずしも対応せず、信頼性に欠けているのが現状である。特に昨今は第2相臨床治験で問題が見つかり、開発を中止する例が多発しており、その経済的損失は著しい。その原因としては、スクリーニングに用いる細胞の標準化がなされていないことと、用いられている細胞が体内における機能を発現していないことによると考えられる。

そこで我々は、既存の株化細胞や ES 細胞や iPS 細胞から誘導される標準化細胞により、医薬品候補化合物のスクリーニングを効率的に行う技術を開発している。培養細胞の機能を体内に近づけるためには、培養環境を精密に制御し、より体内環境に近づけることが重要である。そこで、培地の流動状態や物質移動をマイクロメートルレベルで制御が容易なマイクロプロセスにおいて細胞を取り扱うことが可能な、細胞チップの開発に注力している。マイクロプロセスはチップ上に様々な機能を集積することができるため、医薬品候補化合物の探索において必要不可欠であるハイスループット化が容易であることも利点ある。

研究テーマ：テーマ項目8、テーマ項目9、テーマ項目10、  
テーマ項目11、テーマ項目12、テーマ項目13、テーマ項目14

### 糖鎖レクチン工学研究チーム

(Glycan Lectin Engineering Team)

研究チーム長：平林 淳

(つくば中央第2)

概要：

平成24年の組織改編により、当チームの前身である糖鎖工学研究センター・レクチン応用開発チームの一部は幹細胞工学研究センターに配属となり、新たに幹細胞評価システムの一環として糖鎖プロファイリング技術の開発を担当する。すでに、器官発生研究チーム等と各種共同研究(企業、NEDO等)を協力推進し、目に見える成果を発表している。当チームは世界でもユニークな、レクチンを基本軸に据えた研究を展開しており、フロントル・アフィニティクロマトグラフィー、レクチンマイクロアレイ、糖鎖複合体アレイ、タンパク質進化工学などの独自の先端技術を有する。これら優位技術のさらなる実用化、応用探索を推進していく一方、最先端の糖鎖プロファイリング技術にさらに磨きをかけ、広くライフサイエンス領域への浸透を

図るため、レクチンライブラリーの開発と強化、レクチン工学を駆使したレクチン開発を併せて推進する。レクチンのリコンビナント化は共同研究関連薬メーカーを通し順次上市していく

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目15

#### 間葉系幹細胞ダイナミクス研究チーム

(Mesenchymal Stem Cell Dynamics Research Team)

研究グループ長：木田 泰之

(つくば中央第4)

#### 概要：

幹細胞を用いた迅速な再生医療応用および創薬支援のための技術体系構築を目指す。その中で、体内から大量に採取可能な間葉系幹細胞の活用における基盤研究開発を行い、失われた身体機能の回復において、高次脳領域、代謝疾患や癌における先端的細胞治療として広く貢献する技術を開発することにより、本格研究への橋渡しを行う。

人工多能性幹細胞 (iPS 細胞) の誘導技術開発は再生医療としての多大な可能性を広げるのみならず、化合物による細胞制御と遺伝子操作による最先端の細胞工学技術開発を導いた。本チームではヒト脂肪由来間葉系幹細胞 (MSC) を iPS 細胞誘導の材料とする技術を開発し (PNAS.2010, Nat.Proc.2011)、概念的な研究ポテンシャルとアウトカムの基盤技術として MSC からの iPS 細胞誘導技術を起点とする研究を計画している。そのマイルストーンの中で、次世代シーケンサーを活用して得られる MSC や癌組織に含まれる MSC の完全遺伝情報の整備、その情報を活用した幹細胞操作技術の開発、さらには複数誘導細胞を組織化・機能化するための3次元組織構築技術及び電子デバイスとの融合技術開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目16

#### [テーマ題目1]臓器ロードマップを構成する新規分子の探索と機能解析

[研究代表者] 伊藤 弓弦

[研究担当者] 伊藤 弓弦、栗崎 晃、小沼 泰子、  
原本 悦和、小川 朝子、大嶋 友美、  
Houda Zrelli (常勤職員4名、他3名)

#### [研究内容]

「アフリカツメガエル、ネッタイツメガエル及びマウスの未分化細胞を用いた各種臓器誘導系」と「マイクロアレイや遺伝子導入/欠損の技術」を組み合わせることにより、心臓・血球・血管・神経など様々な臓器・器官への分化に関わる遺伝子を網羅的に同定・検証することで、臓器形成ロードマップ、すなわち、未分化細胞からどの時期にどの遺伝子が発現することによって臓器の分化が達成されるか、その道筋が記述されたロードマップを構築する。本ロードマップの情報は、将来の再生医療

への利用を見越した、「ヒト幹細胞からの各種臓器細胞形成法確立」に活用し、効果的な研究推進に貢献する。

また、作成されたロードマップ上の遺伝子が特定臓器疾患と関連するかどうかについてバイオインフォマティクス的手法を用い、ロードマップ上のどのような遺伝子が臓器特異的疾患マーカーとして利用可能かを探索する。特に興味深い知見が数多く明らかになってきた心血管形成系及び血球形成系に関する解析を深め、可能な限り臓器発生のロードマップの構築を進める。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 初期発生、器官形成、再生医療

#### [テーマ題目2]未分化細胞の維持と分化のメカニズム解明

[研究代表者] 栗崎 晃

[研究担当者] 栗崎 晃、高田 仁実、石嶺 久子、  
渡邊 加奈子、中島 由郎、王 瑩瑩  
(常勤職員2名、他4名)

#### [研究内容]

臓器ロードマップ作成の次の展開には、臓器再生が挙げられる。その際問題となるのは、実際に医療に応用可能な幹細胞の調製である。2007年ヒト iPS 細胞の樹立が報告されたが、実際の実用化にはまだいくつもの解決すべき問題が残されている。安全性の観点から考えると、組織性幹細胞を効率的に調製し必要な組織に分化させて医療に用いる方が安全面からは現実的であるとの見方もあるが、いずれの場合でも幹細胞の未分化性制御技術や効率のよい幹細胞・前駆細胞・分化細胞の調製技術が非常に重要となる。特に組織からの幹細胞の調製や iPS 化された細胞の選別には、幹細胞のよいマーカーの同定が必要である。本研究課題では、幹細胞や前駆細胞特異的に発現するマーカー検索と、幹細胞の未分化性を制御する新規遺伝子の探索、機能解析、さらには分化方法の開発を進める。具体的には、ES 細胞のプロテオミクス解析により同定した幹細胞特異的に発現する新規制御因子について、安定発現 ES 細胞株を樹立し、その幹細胞制御活性を詳細に解析して作用機序を明らかにする。また、細胞表面膜タンパク質を特異的に精製し濃縮した膜タンパク質についてプロテオミクス解析やマイクロアレイ解析を行い、未分化制御活性をもつ細胞膜タンパク質候補因子や新たな幹細胞・前駆細胞表面マーカーを同定していく。

これまでの解析から、プロテオミクス解析 (J. Med Invest. in press) により同定した幹細胞特異的に発現するクロマチン制御因子 TIF1 $\beta$  について、幹細胞の未分化状態維持促進活性があることを見出した。また、TIF1 $\beta$  は C 末セリンのリン酸化型は主に活性化クロマチンに局在し、多くの未分化マーカーの発現を誘導することで未分化状態の維持に必須であることを明らかにしている (PNAS 2010)。iPS 化を促進する活性を持ち、神経分

化を抑制する活性を有することを見出しており、現在その作用機構について解析を行っている。また、未分化 ES 細胞のミトコンドリアで高発現する PHB2 は ES 細胞の増殖を制御しており、過剰発現すると内胚葉と神経などの外胚葉への分化を抑制することを見出した (PLOS ONE 2013)。さらに核小体に局在する Fibrillarlin は未分化 ES 細胞の核小体に局在し、cMyc の下流で rRNA 合成を制御し、未分化状態や細胞分化をコントロールすることを発見した (Stem Cells 2014)。細胞表面膜タンパク質についても、効率的に定量比較できるデファレンシャルプロテオミクス解析法を確立して、数十個の新規幹細胞表面タンパク質を同定し、主なものについてウェスタンブロッティングや免疫蛍光染色により検証を行い Proteomics 誌で報告した。これらはヒト (患者) の体細胞から幹細胞を樹立するときの重要な表面マーカー候補となるだけでなく、分化誘導後の未分化な幹細胞の混入による癌化を防止するための表面マーカーの重要な候補となりうる因子群といえる。現在、これらの細胞表面マーカーの中から癌化の問題を解決しうる有用な細胞表面マーカーを検証中である。

さらに前駆細胞の表面マーカーも分化過程で適宜目的細胞への分化を評価・選別する上で重要と考えられる。我々は胃組織を分化させるため、まず胃の前駆細胞に相当するマウス胎児の胃の形成期の組織を取出してマイクロアレイ解析し、胃の前駆細胞特異的に発現する表面マーカーを特定した (Gene Expression Patterns 2012)。さらに、マウス ES 細胞を用いて分化誘導プロトコルを最適化することで、世界で初めて機能的な胃を丸ごと作製することに成功した (Nature Cell Biol. in press)。

さらに我々は、肺の様々な構成細胞を分化させるための条件を検討するため、各種増殖因子の効果を検討し、特に BMP シグナルが初期分化制御に重要であることを明らかにした (In vitro cell differentiation Animal 2013)。また、内分泌組織の培養条件を検討するために、その一例としてマウス下垂体細胞を不死化し、その培養条件の最適化方法を検討した (BBRC in press)。さらに我々は、このような一連の分化過程で発現するマーカーを探索する過程で、腺癌などの肺癌細胞で発現する新たな癌マーカーの同定に成功した (BBRC 2013)。本マーカーは肺癌患者血中で優位に発現が高い分泌性のマーカーである。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 幹細胞、器官形成、再生医療

#### [テーマ題目3] 間葉系幹細胞から心筋組織誘導するためのマーカー分子の探索

[研究代表者] 栗崎 晃

[研究担当者] 栗崎 晃、高田 仁実、石嶺 久子、山川 哲生 (常勤職員2名、他2名)

[研究内容]

ヒト組織には、骨髄由来の造血幹細胞や間葉系幹細胞、脂肪組織由来の幹細胞など、様々な組織に組織幹細胞が存在する。しかしながら、これら組織から取り出した幹細胞を含む集団は種々雑多な細胞が混在する不均一な細胞集団であり、幹細胞を用いた再生医療を効果的かつ安全に遂行するためには、細胞品質を検証する重要性が指摘されている。現在間葉系幹細胞として用いられている接着性の細胞集団の中には、分化能が異なる様々な幹細胞・前駆細胞が含まれると考えられており、個々の治療に適した細胞種の選択を可能とする評価技術が望まれている。このような幹細胞集団の細胞品質を検証するひとつの方法として細胞表面マーカーの使用が考えられている。目的組織への分化能が高い幹細胞を特定できる細胞表面マーカーがあれば、それを利用して様々なロットの間葉系幹細胞の細胞品質を評価することができる。例えば、心再生に適した間葉系幹細胞、肝細胞分化能の高い間葉系幹細胞、膵β細胞への分化能が高い間葉系幹細胞など、移植部位に適した均一な間葉系幹細胞集団かどうかを適切に評価することができれば、幹細胞治療効果を最大限に引き出し、安定した治療結果へと結びつけることが可能になる。

そこで、心再生に関連する幹細胞や前駆細胞を規定できる細胞表面マーカーを利用してヒト間葉系幹細胞の分化能を評価する方法の有効性を検証する。最近、我々は ES 細胞を用いた心筋分化法を開発し、その分化過程で細胞表面マーカーを利用して心筋特異的に分化する幹細胞や前駆細胞を選別する方法を見出した。これらのマーカータンパク質を間葉系幹細胞に応用し、心再生に適した評価技術の開発を検討した。ところ、発生期の心臓で発現する表面マーカー群に注目して、間葉系幹細胞における発現量とその心筋分化能との相関を検討した結果、ヒト間葉系幹細胞の心筋分化能を予言的に評価しうる新たな細胞表面マーカー N-cadherin を見出した。さらに、この表面マーカー抗体でヒト間葉系幹細胞を濃縮することで心筋分化能力の高いヒト間葉系幹細胞集団を得ることに成功した (Ishimine ら BBRC 2013)。しかし間葉系幹細胞から心筋を効率的に分化させる方法はまだ未開発であり、今後も分化技術の開発を進めていく必要がある。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 幹細胞、再生医療

#### [テーマ題目4] ヒト幹細胞の標準化

[研究代表者] 伊藤 弓弦

[研究担当者] 伊藤 弓弦、栗崎 晃、平林 淳、館野 浩章、小沼 泰子、相木 泰彦、樋口 久美子、清水 真都香、鈴木 加代、比江森 恵子 (常勤職員5名、他5名)

[研究内容]

ES/iPS 細胞の産業応用を実現していく上では、

ES/iPS 細胞の未分化状態を統一的に評価・判別するための「評価指標」及び「その簡便な判別方法の確立」の作成が必要とされている。ES/iPS 細胞は株や培養方法に依存してその未分化状態や分化指向性に差が生じることが知られているため、数多くの ES/iPS 細胞株に関するエピゲノム、トランスクリプトーム、グライコーム等を明らかにし、各ファクターの情報統合することにより、ES/iPS 細胞の品質管理をするための「マーカー開発」及び「品質管理システム確立」を目指している。また、ES/iPS 細胞よりも安全性の面から臨床応用が近い、間葉系幹細胞の品質管理マーカー及びそれらを搭載した品質カタログの作成も、同様のストラテジーで進めている。これらは、今後 ES/iPS 細胞等幹細胞の応用技術を開発する上で必須となる「幹細胞の標準化」に直結する極めて重要なアプローチである。

また、上述の成果を基盤に、ヒト幹細胞の安定大量供給を目指して、自動培養装置の開発/検証を進めている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 幹細胞、再生医療

【テーマ題目5】 成体の組織幹細胞の制御機構の解析と自己組織幹細胞を用いた再生医療法の開発

【研究代表者】 桑原 知子

【研究担当者】 桑原 知子、若林 珠美、藤巻 慎  
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

成体の脳内には日々分裂し、神経新生を起こしている神経幹細胞が存在する。近年の研究から、「成体期」の神経新生は、発生段階の「胎生期」とは全く違った制御機構であることが徐々に明らかになってきた。成体の海馬で生じる神経新生現象は、記憶や学習機能、またうつ病、認知症やアルツハイマー等の神経疾患とも密接な関係がある。

うつ病など個人の状態（慢性性ストレスや経験、環境による変化）で罹患および病態が左右するような脳神経疾患と、成体の神経新生の分子メカニズムの相関を調べるため、健康体コントロールグループのラットと、鬱病モデルグループのラットを作成した。それぞれの海馬から成体神経幹細胞を樹立し、培養システムを構築した。まず *in vitro* でうつ病および神経疾患関連遺伝子の発現プロファイルを詳細に調べ、候補遺伝子の制御機構への関与解明に解析を進めた。さらに、病態を左右する候補遺伝子の発現量の増減が、転写レベルで左右されているのか、エピジェネティックに制御されているのかを調べるため、ゲノム上の制御配列のクロマチン免疫沈降やメチル化状態の比較を検討した。

その結果、うつ病ラットと正常体ラット間の比較発現解析により、ラットの脳海馬の歯状回領域から樹立したアストロサイト細胞培養系において、神経新生を誘導する細胞外因子 Wnt3 の顕著な発現変動を確認した。疾患

による Wnt3 因子の発現減少に伴って変動するシグナル下流因子を絞り込み、候補遺伝子のシグナル応答について、ノックダウンおよび過剰発現系を構築し、培養細胞系だけでなく *in vivo* での効果に付いても評価を行い、成体の神経新生に与える影響を評価した。

更に組織幹細胞については、マウスおよびラット成体脾臓、筋組織からそれぞれの組織幹細胞を樹立し、その培養系を確立することで、*in vivo*、*in vitro* 制御機構の解析を進めた。脳内海馬、嗅球、脾臓、筋肉等、様々な部位から樹立した成体の組織幹細胞の発現制御機構について定量 PCR 解析やウェスタンブロット法などを用いて比較解析し、それぞれの系統の組織幹細胞の樹立・培養や分化制御に有用な遺伝子および細胞外因子の機能を解析した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経疾患、うつ病、幹細胞、糖尿病、再生医療、運動、筋肉

【テーマ題目6】 安全性の高いヒト人工多能性幹細胞 (iPS 細胞) 樹立法の開発

【研究代表者】 中西 真人

【研究担当者】 中西 真人、佐野 将之、大高 真奈美、海老原 利枝、飯島 実、久保 陽子  
(常勤職員2名、他4名)

【研究内容】

iPS 細胞は、数個の初期化遺伝子を異所的に発現させることにより、皮膚の線維芽細胞など初期化して作製した胚性幹細胞 (ES 細胞) と同等の機能を持つ細胞である。しかし、従来の iPS 細胞は、染色体上に初期化遺伝子が残っているため安全性の懸念があった。本研究では、4個のヒト遺伝子 (Oct4、Sox2、Klf4、c-Myc) を搭載した持続発現型 RNA ベクター SeVdp-iPS を使ったヒトの組織細胞の初期化、特に末梢血由来細胞の初期化について解析した。

本年度は、ヒト末梢血に含まれる白血球の一種、単球を素材としたヒト iPS 細胞の作製技術を改良し、臨床用 iPS 細胞の作製において求められる「動物由来成分不含 (Xeno-free) 及びフィーダー細胞を使わない (Feeder-free) 条件下での iPS 細胞の樹立」を検討した。その結果、市販の Xeno-free 培地を使い、またフィーダー細胞の代わりに組換えタンパク質基質を使うことで、約0.4%の高い効率で臨床用の基準を満たした iPS 細胞を作製することに成功した。

単球由来 iPS 細胞は、抗体遺伝子や T 細胞レセプター遺伝子の再構成が起こっていないため造血幹細胞に分化できる可能性がある他、リンパ球由来 iPS 細胞よりも安全性が高いと考えられ、この成果は末梢血由来 iPS 細胞を臨床応用する上で大きな進歩である。

また、平成26年度は、産総研の持つ iPS 細胞作製技術を実用化するために、文部科学省 地域産学官連携科学

技術振興事業費補助金「ステルス型 RNA ベクターを使った再生医療用ヒト細胞創製技術」の支援を受けて、産総研技術移転ベンチャー「ときわバイオ株式会社」を設立した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】iPS細胞、再生医療、ウイルスベクター

【テーマ題目7】革新的バイオ医薬品製造技術の開発

【研究代表者】中西 真人

【研究担当者】中西 真人、佐野 将之、吉田 尚美  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

バイオ医薬品の多くは動物細胞で産生されるが、高い遺伝子発現を得るために染色体に組み込まれた遺伝子のコピー数を増幅する段階が非常に時間と労力を要すること、抗体のように複数のサブユニットからなるタンパク質は、それらを同時に増幅することが困難であること等が問題点としてあげられている。さらに遺伝子増幅が可能な細胞はハムスターCHO 由来細胞にほぼ限られている。

産総研が開発したオリジナル技術「欠損・持続発現型センダイウイルスベクター (SeVdp)」は、遺伝子増幅することなく最初から非常に高い遺伝子発現が持続すること、幅広い動物種由来の細胞で同等の遺伝子発現が可能であることなど、多くの利点を有している。

本年度は、バイオ医薬品製造用ベクターの構造の改良に取り組み、6遺伝子を同時に搭載する改良型 SeVdp ベクター(ステルス型 RNA ベクター)の開発に成功した。さらにこのベクターを使って、IgM の H 鎖・L 鎖・J 鎖の3つの cDNA を同時に搭載したベクターの作製に成功した。また、無血清培地での IgG 生産法の改良により、常時30 pg/cell/day の発現を達成した。以上の結果は、抗体医薬品の簡単な多品種中量生産に道を開いたものと評価できる。また、IgM cDNA 搭載ベクターは、これまで有効性が示されていながら医薬品にできなかった自然免疫抗がん抗体の利用の道を開く成果である。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ウイルスベクター、ステルス型 RNA ベクター

【テーマ題目8】マイクロプロセスおよび機能性材料を利用した細胞機能誘導技術の開発

【研究代表者】金森 敏幸

(医薬品アッセイデバイスチーム)

【研究担当者】金森 敏幸、須丸 公雄、馬場 照彦、高木 俊之、杉浦 慎治、佐藤 琢、柳川 史樹、田村 磨聖、森下 加奈  
(常勤職員5名、他5名)

【研究内容】

上市された医薬品の1製品当たりの開発費は1,000億

円に達するという報告もあり、開発費の高騰が新薬開発の阻害要因となっていると指摘されている。新薬開発の費用削減のためには、いわゆるリード化合物(医薬品候補化合物)の効果的なスクリーニングが極めて需要である。この目的で、動物細胞を用いたアッセイ(細胞アッセイ)が既に用いられているものの、動物実験や臨床治験との相関が必ずしも十分ではない点が問題視されている。

我々はこの問題を解決する鍵として、細胞培養環境の精密制御に着目している。細胞の大きさがたかだか数十μmであることを勘案すると、複数種の細胞を目的とする空間配置で培養し、細胞周囲の濃度分布や剪断応力を精密に制御しながら培養するためには、マイクロプロセスが適している。

本研究テーマでは、細胞の培養からアッセイまでの一連のプロセスを一つのマイクロチップ上に集約したマイクロ組織チップの開発を目指している。

昨年度まで第一三共(株)との共同研究によって開発を進めてきたざり応力付加型灌流培養チップについては、操作性を著しく向上したタイプに設計を変更し、また自動制御装置も同時に開発し、現在同社において数百個単位の試用を開始したところである。

光応答性細胞培養基材については、新たな材料を数種開発し、その物理化学的な性質を明らかにして、国際学会を含むいくつかの国内学会において発表し、大きな反響を生んだ。現在はこの材料を用いた基材において細胞を培養し、光照射による変化を観察中である。

光分解性ゲルによる3次元培養技術は、がん細胞を培養しつつ、その形態によって特定の細胞を培養系から取り出すことに成功し、エンジニアリングシステム(株)、筑波大学医学部消化器内科、名古屋大学大学院創薬科学研究科と共同研究を行い、革新的がん細胞診断システムのα機の試作に取り組んでいる。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】細胞アッセイ、ハイスループットアッセイ、マイクロプロセス

【テーマ題目9】光酸発生培養基材への精密光照射による接着細胞の物理プロセッシング

【研究代表者】須丸 公雄

(医薬品アッセイデバイスチーム)

【研究担当者】須丸 公雄、高木 俊之、金森 敏幸  
(常勤職員3名)

【研究内容】

本研究では、互いにつながった培養細胞の切断・剥離・細分化等の物理操作を、面的な精密光照射によって行うことのできる光応答性培養基材、及びそれを用いた新規細胞プロセッシング技術を開発している。基材状で培養される足場依存性細胞に対し、削り取る、ちぎるといった「力づく」プロセッシングを、光で外部から無菌的に行え

るアドバンテージは重要である上、**imaging cytometry**との連携やコロニー等の細胞集団への適用などにおいて特に優位性が高く、今後活発化が予想される培養細胞利活用の場に、パワフルな汎用バイオツールを提供することが期待される。

光酸発生基を側鎖に有する PMMA (pPAGMMA) 上への、様々なポリマーのコーティングを検討、細胞単層の切断と局所的な細胞剥離の両方を照射で誘起可能な基材を、ポリ酢酸ビニルのオーバーコートによって調製する条件を特定した。この培養基材上で MDCK、NIH/3T3からなる細胞単層が、強いグリッドパターン照射によって切断、弱い青色光の面的照射と培地の吹きつけにより、青色照射域からのみ細胞単層を剥離・回収することができることが確認された。また pPAGMMA コート表面上に、架橋ヒドロキシプロピルセルロース (HPC) 層を形成、20-30%の水を含むエタノール中でパターン照射を行うことによって、架橋 HPC 層を選択的に剥離できること、これにより極めて高い阻害/接着コントラストを有するパターンニング基材が実現できることが明らかになった。さらに、別の光細胞操作手段として検討したジアリールエテン誘導體 (龍谷大学内田欽吾教授提供) について、光細胞毒性を光スイッチングする所見を得た。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞プロセッシング、細胞培養、光制御

【テーマ題目10】 光分解造形法による灌流可能な血管ネットワークを有する三次元組織体の構築

【研究代表者】 杉浦 慎治

【研究担当者】 杉浦 慎治、柳川 史樹、高木 俊之、須丸 公雄、金森 敏幸  
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

本研究では、複雑な微細構造を有する三次元細胞システムを構築する新手法として、フォトリソグラフィの要領で三次元組織を加工する「光分解造形法」を用いた三次元組織体の構築方法の確立を目指している。この方法では、光分解性ゲルに細胞を内包化し、微細パターン光を照射して照射領域のゲルを分解し、照射光のパターンを反映した微細構造を有する三次元組織を加工する。

本年度は昨年度まで使用していた活性エステル型の光開裂性架橋剤ではゲルの成形性の用条件において細胞毒性が見受けられたため、新たにクリック架橋型の光開裂性架橋剤を合成した。また、マイクロ流体デバイス内で、三次元生体組織光分解造形法を用いて、血管様マイクロ流路を含んだ三次元組織体を形成するため、ゲルの調整条件、光分解条件に関する検討を行い、適切な条件を見出した。一方、今年度検討したマイクロ流路の構造について改善が必要である点が見出され、次年度以降に改善

する予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 高分子ゲル、組織工学、三次元構造

【テーマ題目11】 3D イメージングセルソーティング法の開発

【研究代表者】 杉浦 慎治

【研究担当者】 杉浦 慎治、佐藤 琢、金森 敏幸  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

フローサイトメーター等の従来の細胞分離法では、表面抗原をマーカーとして細胞を分離する。一方、がん組織や幹細胞培養系などのヘテロな細胞集団の中にはマーカーの定まっていない細胞も多く、細胞の機能を細胞毎に個別に解析して細胞を分離する手法の開発が期待されている。本研究では、我々の開発した光分解性ゲルを利用して、正常細胞とがん細胞の混合培養系から三次元培養下での形態や、浸潤能、薬剤耐性といった細胞機能を指標として悪性度の高いがん細胞を単離する新手法の開発を目指している。昨年度までの検討では、活性エステルタイプの光開裂型得架橋剤を用いてゼラチン系の光分解性ゲルに細胞を内包することで、限定された条件で細胞の生存率を保ったまま細胞分離が実施可能であることが確認されていた。しかしながら、活性エステル基の細胞毒性が問題となり、低架橋密度のゲルを使用する必要があるため、浸潤能評価が可能なゲル組成での細胞分離は実現していなかった。

本年度は、この問題を解決するために、細胞毒性の低いクリック反応性光開裂型架橋剤を新たに合成し、合成した架橋剤の吸収や光反応特性に関する基礎データを取得し、細胞分離実験の実証を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 高分子ゲル、タンパク質スクリーニング、マイクロリアクター、エマルジョン

【テーマ題目12】 膜タンパク質の再構成マトリックス材料となる含フッ素擬環状型人工脂質の開発

【研究代表者】 高木 俊之

(医薬品アッセイデバイスチーム)

【研究担当者】 高木 俊之、金森 敏幸  
(常勤職員2名)

【研究内容】

脂質膜および膜タンパク質から成る脂質-膜タンパク質ハイブリッドセンサは、医薬品開発のスクリーニングツールとして注目されている。本研究は、安定人工脂質膜の設計・機能評価、膜タンパク質再構成基材の設計・機能評価、人工脂質・膜タンパク質複合化、複合体の機能性基板への固定化・機能評価により、安定な脂質-膜タンパク質複合体を利用したバイオセンサの開発研究を

行うことを目的としている。

本年度は、膜流動性に興味深い影響を及ぼすペルフルオロブチル基 (F(CF<sub>2</sub>)<sub>4</sub>基 : F4) に着目し、F4を含む含フッ素化擬環状リン脂質 (PC-F4-DTPC) の合成およびPC-F4-DTPCを用いた膜タンパク質バクテリオロドプシン (bR) の再構成を試みた。また、PC-F4-DTPC再構成bRの構造および機能評価から長期安定性および熱安定性を検討した。

PC-F4-DTPC への bR の再構成は、70%以上の高い収率で再構成試料を得ることができた。PC-F4-DTPC 再構成 bR の集合状態は、可視円二色性分光法 (CD) から天然紫膜と類似した CD スペクトルを示したことから、bR の三量体構造を形成していると考えられる。また、再構成 bR の熱安定性試験において、加熱前後の CD および UV-VIS スペクトル測定を比較することで評価した。PC-F4-DTPC 再構成 bR では、①液晶相にも拘わらず再構成 bR の変性がほとんど見られず、さらに、②CD スペクトルにおいては70度付近まで負のピークが観測されたことより、70度付近までは天然紫膜と同様に bR の三量体構造を保持している、ことが分かった。従って含フッ素擬環状リン脂質 (PC-F4-DTPC) は bR に対して天然紫膜と同様の環境を提供し、さらに長期および熱安定性を向上させることが分かった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 フッ素、擬環状人工脂質、膜タンパク質、再構成

#### 【テーマ題目13】 HDL 型脂質膜ディスクによる膜タンパク質配向制御技術の開発

【研究代表者】 馬場 照彦

【研究担当者】 馬場 照彦 (常勤職員1名)

【研究内容】

血漿中に存在するアポリポタンパク質 A-I (apoA-I) は、脂質存在下で、高密度リポタンパク質 (HDL) を形成し、その構造維持や脂質代謝に関与することが知られているが、HDL 形成初期では、脂質と均一サイズの開放構造である脂質膜ディスク構造を形成することが特徴的である。この現象に着目し、本研究では、1) apoA-I 改変によるディスク膜骨格タンパク質の高機能化、2) 人工脂質を用いた膜タンパク質再構成系の構築と配向制御技術に関する方法論を開発することを目的とする。この技術により、膜タンパク質をバイオセンサの要素として利用することや、1分子構造機能解析に資する基盤技術を得ることを目指す。

平成26年度では、通常の apoA-I の形成する脂質膜ディスク直径が約10 nm であるのに対し、より大きなサイズの脂質膜ディスクを形成し得るディスク膜骨格タンパク質を設計し、脂質/タンパク質の量比変化によって、直径20nm 程度まで増大させ得ることを確認した。また、脂質膜ディスク固定化を検討するための表面修飾基板を用

いて、ディスクを構成する脂質膜部分の固定化を検討し、機械的に安定な膜形成性人工脂質については、平面脂質膜と同程度の膜抵抗と膜厚を形成し得ることを確認した。さらに、膜タンパク質モデルを導入した脂質膜ディスクの生成条件を引き続き検討した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アポリポタンパク質、脂質、脂質膜ディスク、膜タンパク質、再構成、バイオセンサ

#### 【テーマ題目14】 4次元培養環境制御による BBB in vitro 脳毛細血管組織の再構築

【研究代表者】 柳川 史樹

【研究担当者】 柳川 史樹、杉浦 慎治、高木 俊之、須丸 公雄、金森 敏幸  
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

新規医薬品の開発および生体機能の解明には、生体組織構造を模倣した *in vitro* 3次元培養モデル作製が要求されており、培養環境を構築する上で組織工学的なアプローチが必要となってくる。そこで我々は、マイクロ流体デバイスとハイドロゲルを用いた微小培養環境の構築に着手した。本年度は、我々が開発した光分解性ハイドロゲルを用いて、本検討に適した「細胞接着性を有する光分解性基剤の組成検討」および「灌流型マイクロデバイスの流路設計および加工」を行った。その結果、ゲル組成を調整することで、細胞接着性の制御が可能であることが明らかとなった。さらにゲルの光分解能については、光照射強度とゲル組成の相補的なコントロールにより、制御可能であることが明らかとなった。さらに開発したゲルを用いた灌流培養を遂行するため、灌流培養に適したデバイスのプロトタイプ開発を行った。その結果、パターン化ハイドロゲルの導入が可能な開閉型マイクロデバイスの作製に成功した。しかしながら本プロトタイプ機は、間質流による灌流培養を行う上では問題ないが、当初計画していたパターン化ハイドロゲル内における長期灌流培養をデバイス内で遂行するにあたり、さまざまな課題が生じている。その一例として、①ゲルデバイス間の密閉性向上した流路設計、②ゲル膨潤に影響されないパターン化ゲルの作製、③灌流培養下でパターン化ゲルの形状維持および細胞接着性向上のためのゲル組成最適化、④高濃度光開裂性架橋剤使用時の細胞傷害性の影響が上げられる。そこで次年度は、上記の課題を解決した上で長期灌流培養に適したデバイス開発を進め、細胞を用いた工程の再現性についてより詳細な検討を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 創薬スクリーニング、三次元培養、灌流培養

#### 【テーマ題目15】 糖鎖プロファイリングによる細胞評価

## 技術開発

〔研究代表者〕平林 淳(糖鎖レクチン工学研究チーム)

〔研究担当者〕平林 淳、館野 浩章、伊藤 弓弦、  
小沼 泰子、鈴木 加代、比江森 恵子、  
村上 仁子、箕嶋 文、清井 佳代  
(常勤職員4名、他5名)

## 〔研究内容〕

再生医療の実現には各種有用マーカー、中でも未分化性、分化能の指標となる信頼性の高いマーカー検出技術の開発が必須である。当チームが糖鎖医工学研究センター時代に世界に先駆け開発した糖鎖プロファイリング(レクチンマイクロアレイ)技術を、幹細胞工学研究センターの有する、細胞培養技術、分化制御技術と連携させることで、幹細胞の分化度や分化指向性を評価・選別する実効性に優れた細胞表面マーカーを開発する。企業共同研究を含めた研究開発を通し有効性の認められたマーカー検出プローブ(レクチン)については速やかに特許出願するとともに、関連企業へのライセンスを通しメーカーから販売することで、速やかな社会還元を努める。具体的には、実用化が期待される iPS/ES 細胞等の多能性未分化性を瞬時に判断可能な糖鎖マーカーや、より実用性の早い各種間葉系幹細胞の分化能・増殖能を担保する糖鎖関連マーカーの開発に注力することで、社会が要請する安心・安全な再生医療の実現に貢献する。

当該チームが糖鎖工学研究センター時代に開発、上市したレクチンマイクロアレイのさらなる性能向上を目指し、従来45種であったレクチン数を96に倍加させた高密度レクチンマイクロアレイを開発。搭載した40種近くの組み換えレクチンを共同研究企業にライセンスし、すでに数品目については上市されている。上記高密度レクチンマイクロアレイを用い、所内外連携を通じ、iPS・ES 細胞と体細胞の比較糖鎖プロファイリングを実施した結果、未分化細胞に特徴的な糖鎖変化の検出に成功し、新規未分化細胞検出プローブ、rBC2LCN の発見に至っている(Tateno et al., 2011, J Biol Chem)。山中4因子の導入によってもたらされる糖鎖変化は、Nグリカンにおけるシアル酸結合様式の $\alpha 2-3$ 型から $\alpha 2-6$ 型への変化、OグリカンにおけるHタイプ3構造(Fuca1-2Gal $\beta$ 1-3GalNAc)の出現等に顕著にみられることが、詳細な構造解析によって示された(Hasehira et al., 2012, Mol Cell Proteomics)。一方、本レクチン、rBC2LCNは体細胞には全く結合しない反面、iPS/ES細胞にきわめて鋭敏に、かつ固定操作をせず生染色できることが判明し(Onuma et al., 2013, Biochem Biophys Res Commun)、その結合相手はポドカリキシンという多数のOグリカンで覆われた膜タンパク質であることを示している(Tateno et al., 2013, Stem Cells Transl Med)。さらに、ポドカリキシンが未分化細胞から培地中へと分泌されることを見出し、培養液を用いてヒトiPS/ES細胞を定量測定する技術を開発した(Tateno et

al. Sci Rep 2014)。最近では、rBC2LCNに緑膿菌由来毒素の触媒ドメインを融合させた組み換えタンパク質rBC2LCN-PE23を開発し、これを用いてヒトiPS/ES細胞から作製した移植用細胞に残存する未分化なヒトiPS/ES細胞を効率的に殺傷除去する技術の開発に成功した(Tateno et al. Stem Cell Reports 2015)。一方、間葉系幹細胞の分化・増殖能を担保するような糖鎖マーカーの開発を関連研究者と連携しながら進めることで、間葉系幹細胞の分化・増殖能を判別することが可能なAiLec-S2の同定に至った。更に、AiLec-S2の標的分子を2種同定した。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕糖鎖プロファイリング、rBC2LCN

## 〔テーマ題目16〕間葉系幹細胞を活用した幹細胞操作技術とメタボリックデバイスの開発

〔研究代表者〕木田 泰之(間葉系幹細胞ダイナミクス研究グループ)

〔研究担当者〕木田 泰之、高山 祐三、櫛笥 博子、  
渋谷 陽一郎(常勤職員2名、他2名)

## 〔研究内容〕

実用化できる幹細胞操作技術の開発において、間葉系幹細胞の活用を最優先候補として技術開発する。そのアウトカムである幹細胞および分化誘導細胞・機能細胞を用いる再生応用を実施することを目標とする。

## I. 次世代シーケンスからの統合データ取得・解析技術の開発

効果的かつ確実な治療や病気の予測等に利用できる次世代シーケンスによるゲノム・エピゲノムデータは膨大であるが、それ故、目的の結果を導く手段の発達が遅れている。本技術は、エピゲノム情報を紐解く効果的な情報解析を可能とする。本テーマにおいて、次世代シーケンサーを活用して得られる間葉系幹細胞の完全遺伝情報の整備、その情報を活用した神経細胞や心血管系細胞へのTrans-differentiation(Direct-reprogramming)技術の開発、さらには複数誘導細胞を組織化・機能化するための3次元組織構築技術及び電子デバイスとの融合技術開発を行っている。

## II. 遺伝的性質に基づいた幹細胞同定技術と微細加工による特異的分化誘導・組織構築技術

先端的細胞医療においてはiPS細胞の登場より以前から間葉系幹細胞が使われているが、性質は規定されていない。本技術は、遺伝的性質および細胞外環境の制御により、有用な細胞を抽出・利用することを可能とする。オミクスデータ解析結果からマーカーによる新規幹細胞の同定、最先端の微細加工技術から開発している新規デバイスへのアダプテーションによる幹細胞培養の研究および開発を進めている。

生体内臓器は特徴的な3次元構造を構築することで特異的な機能を獲得する。機能制御では、臓器が神経



信号制御を受けることで生体は複雑な生理活動を調節し、恒常性を維持している。これを踏まえると幹細胞を用いた再生医療応用や創薬支援に対しても誘導細胞を3次元組織化させ、生体臓器と類似する機能を人為的に制御することが重要である。本テーマでは、微細加工技術を積極的に利用した3次元組織化技術、誘導神経細胞と電子デバイスを用いた神経インターフェース技術に基づく誘導組織機能の観測と制御技術開発を行っている。

この「幹細胞作製技術」と「微細加工技術」の両面から、高次脳機能、メタボリズム、癌を機能的に制御する組織デバイス（メタボリックデバイス）を開発することを目指している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 間葉系幹細胞、再生医療、細胞分化

### ③【創薬分子プロファイリング研究センター】

(Molecular Profiling Research Center for Drug Discovery)

(存続期間：2013.4.1～)

研究センター長：夏目 徹  
副研究センター長：堀本 勝久  
副研究センター長：久保 泰

所在地：臨海副都心センター  
人員：14名（14名）  
経費：625,628千円（359,712千円）

#### 概要：

現在、世界的に新薬開発力が急速に喪失しつつある。我が国においても例外ではなく、過去6年間での新薬開発費の総額は約8兆円であるが、日本独自の新薬の上市は25品目にとどまる。この問題に産官学が一体となって取り組まなければならないが、創薬の経験のないアカデミアと製薬業界の乖離は甚だしく、両者の役割分担スキーム、連携のモデルといったものは示されておらず、強い社会的要請に応えることが未だ出来ない。

新薬開発上のボトルネックであり、アカデミアと産業界を乖離させる最大の要因はヒット化合物をリード化するうえでの、化合物プロファイリング※の非効率性・曖昧性である。しかし、この問題は各企業が単独で解決することは出来ず、アカデミアにおいて、この問題に取り組んでいる研究機関はない。そこで本研究センターでは、産総研内に構築された世界屈指の研究リソース計測・解析技術やデータベース構築技術を発展させるとともに、これらを活用し化合物プロファイリングの問題に特化して取り組み解決する。さらにこのプロファイリング技術を広く提供し、産業界と他の

アカデミア研究機関とを有機的に橋渡し連携させ、創薬産業を短期的に活性化させるとともに、産学官「一体型」創薬を実現し、創薬開発プロセスの効率化・高度化を図るとともに、生命科学における新パラダイム創出を目指すことを本研究センターのミッションとする。

※化合物の作用・副作用について、標的、ネットワーク上での位置づけ、原子論的な作用機構などを知り尽くすこと。

重要研究課題としては、下記項目を掲げている。

- (1) 定量プロテオミクスの高度化と自動化
- (2) タンパク質アレイによる創薬支援
- (3) 数理システム解析と情報統合による知的基盤構築
- (4) 計測と理論計算の融合による分子設計

-----  
内部資金：

戦略予算（創薬エンジン推進プログラム（LEAD））「IT・計測・ロボット技術による医薬候補分子の最適化技術」

戦略予算「タンパク質エントロピー指向型の新規リード最適化技術による制癌標的 Phosphatidyl Inositol 5-phosphate 4-kinase 阻害剤の構築」

外部資金：

文部科学省受託研究費「がん関連遺伝子産物の転写後発現調節を標的とした治療法の開発」（がん抑制遺伝子の翻訳抑制機構を標的とした核酸医薬の開発）

独立行政法人科学技術振興機「再生医療のための細胞システム制御遺伝子発現リソースの構築」

独立行政法人科学技術振興機構「生体防御系を利用した疾患診断の基盤技術開発」

独立行政法人科学技術振興機構「分子モデリングに基づく高度創薬支援」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ポストゲノム解析による感染体一宿主ネットワーク」

日本学術振興会 科学研究費補助金「X線結晶構造解析・核磁気共鳴法の融合によるキナーゼ複合体の動的立体構造解析」

日本学術振興会 科学研究費補助金「中心体・一次シリアと細胞周期」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ウイルス感染現象

における宿主細胞コンピテンシーの分子基盤」

日本学術振興会 科学研究費補助金「シリア・中心体系による生体情報フローの制御」

日本学術振興会 科学研究費補助金「C型慢性肝炎治療成績の向上と肝発癌阻止を目指した分子基盤の確立」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ヒト由来膜タンパク質の NMR 構造解析に向けた基盤研究」

経済産業省「天然物化合物及び IT を活用した革新的医薬品創出技術」

独立行政法人医薬基盤研究所 5) バイオマーカー開発

日本学術振興会 科学研究費補助金「レドックス・プロファイリングによる細胞内レドックス維持機構の定量解析手法の開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「臨床現場での使用に向けた検査システムの開発」に係わる中の「エクソソームを補足するための抗体及び抗原に関する調査」

文部科学省「がんワクチン治療患者の血中の自己抗体測定（対象サンプル1：膵癌）」

文部科学省「がんワクチン治療患者の血中の自己抗体測定（対象サンプル2：大腸癌）」

独立行政法人医薬基盤研究所「数理情報解析技術を活用した創薬標的候補探索」

独立行政法人国立がん研究センター「数理的・統計学的解析（モデル構築、シミュレーション解析など）のための基礎的検討並びに解析手法の研究・開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「エピジェネティックな遺伝子調節タンパク質に基づく発達障害疾患の創薬基盤の構築」

独立行政法人科学技術振興機構「特異的相互作用を基盤とする多剤耐性機構の動的立体構造解析」

日本学術振興会 科学研究費補助金「多剤耐性転写制御因子の動的薬剤認識と機能発現の NMR 解析」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ネオグライコバイオロジクスの創製とリソソーム病治療薬開発への応用」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ナノチューブ内マイクロ環境を利用した分子進化学の高度化に関する研究」

日本学術振興会 科学研究費補助金「バイオロジーにおける3D活性サイト科学」

独立行政法人科学技術振興機構「大規模ライブラリーの高速スクリーニングによる新規ペプチド抗がん剤の開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「天然物を模したペプチドの大規模ライブラリーからのリガンド探索法の開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「細胞内生体分子を標的とする大環状 N アルキルペプチドの高速試験管内分子進化」

発表：誌上発表33件、口頭発表36件、その他4件

-----  
**定量プロテオミクスチーム**

(Quantitative Proteomics Team)

研究チーム長：五島 直樹

(臨海副都心センター)

概要：

創薬を支援するために定量プロテオミクスの技術基盤開発を行っている。ナノテク、クリーン技術と高度なロボット技術を駆使し、超々高感度な質量分析システムを構築し、化合物のターゲット決定と、薬理薬効メカニズム解明に役立てている。

また、質量分析による網羅的絶対定量を実現するために、プロテオームワイドな内標準タンパク質の合成システム (In vitro proteome) を構築している。In vitro proteome は、プロテインアレイとしても活用されており、血清中の自己抗体プロファイリングによって疾患の診断やバイオマーカー探索にも応用されている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

**数理システム解析チーム**

(Computational Systems Biology Team)

研究チーム長：堀本 勝久

(臨海副都心センター)

概要：

創薬支援、副作用予測等に応用可能な数理解析技術を開発している。特に、近年開発した独自技術は、時間や環境に応じて変化する動的ネットワーク構造評価技術を改良し、具体的な要因候補分子の絞り込むための技術（ネットワーク・スクリーニング）と多層オミ

クスデータを利用した表現型データから分子機能を同定する技術である。

さらに、独自開発数理解析技術を体系的に融合し、オミックスデータから検証可能な要因候補分子選定のための分子群絞り込みシステムやドラッグリポジショニングのための薬剤候補推定システムを構築している。

研究テーマ：テーマ題目3

#### データ管理統合チーム

(Data Management and Integration Team)

研究チーム長：福井 一彦

(臨海副都心センター)

概要：

パブリックやプライベート・クラウドコンピューティングなどの IT 技術を利用し、実験データ、データベース、ソフトウェア、解析ツールを選択・組み合わせ可能とする環境の整備を行い、利用目的に合った情報解析システムを開発している。

また本センターにおける様々なデータの収集・集約を行い、データの一元管理による品質維持を実施することで、効率的な解析や研究上の意思決定に活用可能となる知的インテグレーション・システムの構築を目指している。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 分子相互作用解析チーム

(Molecular-Recognition Structure Analysis Team)

研究チーム長：福西 快文

(臨海副都心センター)

概要：

主に溶液 NMR 実験装置を用い、独自のタンパク質発現技術、測定技術を駆使することで、タンパク質-タンパク質間、タンパク質-薬剤間相互作用の立体構造的解析を行っている。

さらに、理論分子設計チームで開発された手法を用いて、NMR の実験結果を満たすように3次元的な構造モデル構築を行うことも可能であり、視覚的に、薬物の作用様式を高い精度で解明することができる。また、これらの技術のユーザーに向けた技術指導も行っている。

研究テーマ：テーマ題目4

#### 理論分子設計チーム

(in-silico Drug Design Team)

研究チーム長：広川 貴次

(臨海副都心センター)

概要：

創薬支援ソフトウェア myPresto、各種創薬支援ソフトウェア、化合物データベースなどを開発しており、ユーザーのニーズに合わせたソフトウェアの改変・作

成が可能である。また、タンパク質-タンパク質複合体阻害剤を始め、数十の標的タンパク質に対して、数百のヒット化合物に加え、多数のリード化合物の創成に関わった経験がある。

これらのノウハウと技術により、市販ソフトウェアを超える性能、市販ソフトウェアでは実現できなかった作業を可能にし、日本の分子設計の技術的課題解決をリードしている。

研究テーマ：テーマ題目4

[テーマ題目1] 定量プロテオミクスの高度化と自動化

[研究代表者] 夏目 徹 (研究センター長)

[研究担当者] 夏目 徹、新木 和孝、北澤 将史、  
五島 直樹 (常勤職員4名、他15名)

[研究内容]

研究目的:

定量プロテオミクス基盤技術の高度化

研究内容:

創薬分子プロファイリング技術開発において定量プロテオミクスや一般的なバイオ実験ベンチワークの高度化を目指して、実験手法を汎用ヒト型ロボットにより実施しヒトよりも高い精度と再現性でサンプル調製が行えるプラットフォームの構築を行ってきた。本年度はさらに Easy-to-Use を目指して、従来のロボットコントローラーを使用せずに、パソコン上からロボットを動作させるシステムを構築し、パソコン上で個々の動作を組み合わせて、様々な実験手法を作成しロボットに実行させるソフトウェアを開発した。さらに、ロボット作業未経験者により上記ソフトウェアを使用させ、実際にロボットを動作させ実験作業を行うことが可能であることを確認した。このシステムを運用し製薬企業4社との実証研究を実施し、1化合物の薬理薬効メカニズムを解明するとともに、2化合物の分子標的を決定し、メカニズム解明のための検証研究を開始した。

Ito K, Sakai K, Suzuki Y, Ozawa N, Hatta T, Natsume T, Matsumoto K, Suga H.

Artificial human Met agonists based on macrocycle scaffolds. Nat. Commun.11, 6373, (2015 Mar)

Tsukumo Y, Tsukahara S, Furuno A, Iemura S, Natsume T, Tomida A

TBL2 is a novel PERK-binding protein that modulates stress-signaling and cell survival during endoplasmic reticulum stress. PLOS ONE13:9(11):e112761. (2014 Nov)

Adachi S, Natsume T

Purification of noncoding RNA and bound proteins using FLAG peptide-conjugated

antisense-oligonucleotides. *Methods Mol. Biol.*1262:265-74. (2015 Jan)

Adachi S, Homoto M, Tanaka R, Hioki Y, Murakami H, Suga H, Matsumoto M, Nakayama KI, Hatta T, Iemura S, Natsume T  
ZFP36L1 and ZFP36L2 control LDLR mRNA stability via the ERK-RSK pathway. *Nucleic Acids Res.* 42(15): 10037-10049. (2014 Nov)

Doi T, Yoshida M, Ohsawa K, Shinya K, Takagi M, Uekusa Y, Yamaguchi T, Kato K, Hirokawa T, Natsume T  
Total synthesis and characterization of thielocin B1 as a protein-protein interaction inhibitor of PAC3 homodimer. *Chem. Sci.*, 5, 10037, (2014).

Hayakawa N, Noguchi M, Takeshita S, Eviryanti A, Seki Y, Nishio H, Yokoyama R, Noguchi M, Shuto M, Shima Y, Kuribayashi K, Kageyama S, Eda H, Suzuki M, Hatta T, Iemura S, Natsume T, Tanabe I, Nakagawa R, Shiozaki M, Sakurai K, Shoji M, Andou A, Yamamoto T  
Structure-activity relationship study, target identification, and pharmacological characterization of a small molecular IL-12/23 inhibitor, APY0201. *Bioorg. Med. Chem.* 22(11): 3021-3029. (2014 Jun)

Jiang P, Nishimura T, Sakamaki Y, Itakura E, Hatta T, Natsume T, Mizushima N  
The HOPS complex mediates autophagosome-lysosome fusion through interaction with syntaxin 17. *Mol. Biol. Cell.* 25(8): 1327-37 (2014 Apr)

[分 野 名] ライフサイエンス  
[キーワード] 質量分析、ロボット技術、薬剤標的タンパク質、絶対定量

[テーマ題目2] タンパク質アレイによる創薬支援  
[研究代表者] 五島 直樹 (定量プロテオミクスチーム)  
[研究担当者] 五島 直樹、福田 枝里子、鍵和田 晴美 (常勤職員3名、他34名)

[研究内容]  
研究目的:  
タンパク質アレイの実証研究への応用  
研究内容:  
プロテインアクティブアレイを創薬分子プロファイリングへ応用するための実証研究への応用を展開するとともに、ペプチドプローブ作製の基盤技術の完成により、

さらのペプチドプローブアレイを大規模に製作し、定量プロテオミクスの基盤をさらに強化する。

平成26年度進捗状況は以下の通り。

- ・JST 先端計測において、プロテインアレイを用いた自己抗体解析を行い、潰瘍性大腸炎及びクローン病の活性期と寛解期の区別を各90%及び95%の精度で判定可能な自己抗体群を発見した。厚労省治験では、がんワクチン投与前後の抗体解析を行った。
- ・JST 再生医療において、歯髄細胞から高効率に iPS 細胞を誘導する因子を発見した。また、京大 CiRA、京都府医大と共同研究を行い、角膜上皮や成熟肝細胞への分化誘導法を発見した。
- ・細胞システム制御遺伝子を強化した HGPD-RM データベースを構築した。

Detection of tumor-associated antigens in culture supernatants using autoantibodies in sera from patients with bladder cancer.

*Biomedical Research (Tokyo)* 35 (1) 25-35, (2014)

Sho MINAMI, Ryo NAGASHIO, Junpei UEDA, Kazumasa MATSUMO, Naoki GOSHIMA, Manabu HATTORI, Kazuo HACHIMURA, Masatsugu IWAMURA, and Yuichi SATO

Genome-wide co-localization screening of nuclear body components using a fluorescently tagged FLJ cDNA clone library.

*Methods in Molecular Biology* (in press)(2014)

Tetsuro Hirose and Naoki Goshima

[分 野 名] ライフサイエンス  
[キーワード] 網羅的抗体解析、プロテインアレイ、バイオマーカー、抗原タンパク質、免疫モニタリング

[テーマ題目3] 数理システム解析と情報統合による知的基盤構築

[研究代表者] 堀本 勝久 (副研究センター長、数理システム解析チーム)  
福井 一彦 (データ管理統合チーム)

[研究担当者] 堀本 勝久、福井 一彦、井上 雅世、末永 敦、山崎 智 (常勤職員5名、他6名)

[研究内容]  
研究目的:  
センター内計測データを含む創薬ビッグデータの有効活用のための情報管理・統合システムの構築と、それらを利用した創薬のためのシステム数理情報解析技術の開発  
研究内容:

当センターにおいて計測されるプロテオミクスデータ及び既知の知識・計測データに基づき、特異的な遺伝子群を表現型の相異から分子機能を推定する独自技術、既知関係性評価法（ネットワークスクリーニング）により遺伝子群の階層的ネットワーク構造を高精度で解明する技術、シミュレーション技術により進展のキーとなる階層内要因分子を特定する技術の統合を進めている。

平成26年度進捗状況は以下の通り。

- ・多層オミックスデータ解析システム及び疾患オミックスデータを利用した薬剤探索システムを構築した。
- ・これら2つのシステムを活用し、乳がん、肺がん、腎がん、拡張型心筋症、脊柱管狭窄症の多層オミックスデータ解析による疾患メカニズム解明、病型分類を国立センターグループとの共同研究で行い、また13希少疾患の公開データ解析から、既承認薬の適用拡大を行った。
- ・リン酸化量及び転写量データに基づく刺激応答パルスウェイ推定システムを開発した。
- ・拡張型心筋症、脊柱管狭窄症、乳がん、腎がん、肺がん、認知症、大動脈瘤など様々な疾患に対応したオミックス解析を可能とするワークフローを構築した。
- ・データの集約化のため計測データの標準化を行い、有益なオープンデータと共にデータレポジトリにデータを蓄積した。また解析ツールとの連携やデータ検索技術と併用したデータの可視化を可能とした。

Telomerase Reverse Transcriptase has an Extratelomeric Function in Somatic Cell Reprogramming.

J. Biol. Chem., 289: 15776-15787, 2014

1Kinoshita, T. Nagamatsu, G., Saito, S., Takubo, K., Horimoto, K., Suda, T.

Tertiary structure prediction of RNA-RNA complexes using secondary structure and fragment based method

JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND MODELING, 54-2, pp.672-682, 2014/01

Satoshi Yamasaki, Takatsugu Hirokawa, Kiyoshi Asai, and Kazuhiko Fukui

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】システム生物学、システム薬理学、ネットワーク数理解析、多層オミックス、データベース、タンパク質構造解析、RNA構造解析

【テーマ題目4】計測と理論計算の融合による分子設計

【研究代表者】福西 快文（分子相互作用解析チーム）  
広川 貴次（理論分子設計チーム）

【研究担当者】福西 快文、広川 貴次、竹内 恒、  
本野 千恵（常勤職員4名、他16名）

【研究内容】

研究目的:

理論計算と NMR 計測の融合による新規創薬基盤技術の開発とその適用による新規リード化合物の発見

研究内容:

タンパク質-薬物相互作用解析は、重要な創薬基盤技術であり、センターで研究する主要課題の1つである。我々は既に、独自の NMR によるタンパク質-化合物相互作用の計測技術を開発中であり、この情報を組み込んだ計算手法を開発している。

平成26年度進捗状況は以下の通り。

- ・新たに設計した分子の合成容易性を、過去に合成された分子群との比較、分子構造の特徴から判定する手法を開発し、合成化学者と同等精度で判定に成功した。H26年度では1分子の計算に10分間を要したが、データ構造やプログラムの抜本的な書き直しを行い1分子の合成容易性予測を0.1秒に短縮し、1000倍以上の高速化を達成した。
- ・薬物結合時の運動変化を NMR 法により定量し、構造エントロピーへと変換する手法を開発・応用することで、多剤耐性タンパク質が様々な薬剤に対して高親和性を発揮する機構を明らかにし、本手法に基づく新たな薬物設計戦略を提案した。また関連する成果として、MAP キナーゼ p38に関し、基質とのアロステリック部位における相互作用が、p38の構造平衡を変調させることで細胞ストレスに伴う ATP 枯渇時においても、安定的なシグナル伝達を可能にすることを見出した。当該アロステリック部位は、保存性が低いことから、新たな創薬標的部位として期待される。
- ・創薬等支援基盤技術プラットフォーム事業において、5件の支援研究を実施した。民間企業5社との資金提供型共同研究、2社の技術研修指導を行った。
- ・創薬インフォマティクス技術者養成コースを4コース開催した。
- ・高度化研究では、タンパク質立体構造に基づく、ドラッグリポジショニング予測システムの開発において、創薬標的タンパク質の立体構造構築と既知化合物のドッキング評価まで達成した。「京」計算機を用いた創薬研究では、分子動力学計算による高精度相互作用予測を GPCR に拡張し手法の有用性を示した。

Structural insights into the function of a thermostable copper-containing nitrite reductase. The Journal of Biochemistry. 2014, 155 (2) 123-135.

Y. Fukuda, K. Man Tse, M. Lintuluoto, Y. Fukunishi, E. Mizohata, H. Matsumura, H. Takami, M. Nojiri, and T. Inoue.

Prediction of synthetic accessibility based on commercially available compound databases. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 2014, 54 (12) 3259-3267.

Y. Fukunishi, T. Kurosawa, Y. Mikami, H. Nakamura. Synthesis and biological comparison of enantiomers of mepenzolate bromide, a muscarinic receptor antagonist with bronchodilatory and anti-inflammatory activities. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 2014, 22 (13) 3488-3497.

Y. Yamashita, K. Tanaka, T. Asano, N. Yamakawa, D. Kobayashi, T. Ishikawa, K. Hanaya, M. Shoji, T. Sugai, M. Wada, T. Mashimo, Y. Fukunishi, T. Mizushima.

Cross-saturation and transferred cross-saturation experiments Takumi Ueda, Koh Takeuchi, Noritaka Nishida, Pavlos Stampoulis, Yutaka Kofuku, Masanori Osawa and Ichio Shimada *Quarterly Reviews of Biophysics* 2014, 47, 143 - 187. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/S0033583514000043>

The LxVP and PxIxIT NFAT motifs bind jointly to overlapping epitopes on Calcineurin's catalytic domain distant to the regulatory domain. Gal M, Li S, Luna RE, Takeuchi K, Wagner G. *Structure*. (2014), 22, 1016-27. doi: 10.1016/j.str.2014.05.006.

Allosteric enhancement of MAP kinase p38 $\alpha$ 's activity and substrate selectivity by docking interactions. Tokunaga Y, Takeuchi K, Takahashi H, Shimada I. *Nat Struct Mol Biol*. 2014 Aug;21(8):704-11. doi: 10.1038/nsmb.2861.

NMR resonance assignments of the catalytic domain of human serine/threonine phosphatase calcineurin in unligated and PVIVIT-peptide-bound states. Takeuchi K, Sun ZY, Li S, Gal M, Wagner G. *Biomol NMR Assign*. 2015, 9,201-205

NMR 法により明らかとなるタンパク質複合体の機能的運動性、竹内 恒、嶋田 一夫、日本核磁気共鳴学会機関誌、5、 pp.83-89

Dynamic multidrug recognition by multidrug transcriptional repressor LmrR. Takeuchi K, Tokunaga Y, Imai M, Takahashi H, Shimada I. *Sci Rep*. 2014, 4, 6922. doi: 10.1038/srep06922.

[分 野 名] ライフサイエンス

[キーワード] タンパク質-化合物複合体予測、RNA-RNA 複合体予測、NMR、薬物分子シミュレーション、薬物活性予測

#### ④【糖鎖創薬技術研究センター】

(Glycomedicine Technology Research Center)

(存続期間：2014.4.1～2015.3.31)

研究センター長：福田 道子  
副研究センター長：竹原 淳一

所在地：つくば中央第2、つくば中央第6

人 員：8名 (7名)

経 費：532,396千円 (332,413千円)

概 要：

「研究目的」

糖鎖は DNA やタンパク質に対し第三の鎖ともいわれる重要な生体物質であるが、基礎研究面でも臨床研究面でも他の分野にくらべると遅れていると言わざるを得ない。糖鎖に着目した創薬は未開拓であり、大きな成果を挙げられる可能性がある分野でもある。新研究ユニットでは、従来の DNA やタンパク質の検索や機能解析では理解を深めるのが困難だった疾患を、糖鎖を含めてしかし糖鎖に固執することなく広範囲に検討し、診断や創薬へ発展させ臨床の現場に届けて国民の健康と福祉に貢献する事をめざす。本研究ユニットで得られた成果は産総研の多岐に渡る最新の科学技術を応用し産業化へと発展させ、日本経済の国際競争力を高める事で国益に貢献する事を目的とする。

「研究手段」

本研究センターでは、第一に社会や臨床現場でのニーズ、また企業の意見をふまえ、課題設定を行なう臨床的必要性の高い疾患を選定した。第二に、選定した疾患の診断と治療のためにどのような手法が使えるかという“Reverse Translational Research”(逆方向橋渡し研究)のコンセプトを中心に据えて、どのような診断薬あるいは治療薬が求められているか方針を決定した。最後に、これらの考えに基づいて、例えば 細胞生物学や生化学の知識が十分でない場合でも標的分子や細胞の同定をすすめる事が可能であるペプチド提示ファージディスプレイの手法を駆使して、診断薬や治療薬の開発を遂行した。また並行して、旧糖鎖医工学センターで開発した、種々の糖鎖・糖タンパク質解析・生産技術をさらに改善・開発すると同時に、これらを応用して、疾患糖鎖バイオマーカー開発や感染症等の治療薬開発の基盤となる技術開発及び情報集積を行った。さらに、糖鎖改変動物や細胞を作製、利用して、糖鎖機能の解明を進めた。

「方法論等」

従来の創薬開発の考えは、基礎研究の延長線上に診断薬や治療薬があるとの考えに基づき基礎研究絶対主義であった。我々は必要な手段はすでに開発されているとの考えから、出口を重視した逆向きの発想で問題に取り組み成功を収めている。一方、疾患に伴う糖鎖変化を指標として、疾患型糖鎖認識レクチンとそのキャリアを同定し、これをバイオマーカー候補とするフォワード型のアプローチによっても、糖鎖バイオマーカーの開発、実用化に成功した。この戦略にかかる技術をさらにブラッシュアップし、マーカー探索及び創薬のための基盤技術の改善、確立に取り組んだ。また特定の糖タンパク質を捕捉する分子の開発のため、細胞での生産、酵素-化学合成法を検討し、様々な糖ペプチド、糖タンパク質を作製した。これらを免疫源として利用するほか、表面プラズモン共鳴などによる定量的結合能評価により糖鎖部分に対する結合能を評価する系を確立した。

-----  
内部資金：

産総研戦略的融合研究事業 (STAR) 「革新的創薬推進エンジン開発プログラム (LEAD)」

戦略予算「改良 PERISS 法の民間製薬企業との連携に向けた知財化」

外部資金：

厚生労働省 平成26年度厚生労働科学研究費 (肝炎等克服実用化研究事業 (肝炎等克服緊急対策研究事業)) 「肝疾患病態指標血清マーカーの開発と低浸襲かつ効率的に評価・予測する新規検査系の実用化」

厚生労働省 肝炎等克服実用化研究事業 (肝炎等克服緊急対策研究事業) (平成26年度) 「B 型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機能解析と医用応用技術の実用化へ」

独立行政法人科学技術振興機構 ライフサイエンスデータベース統合推進事業「糖鎖科学統合 DB のオントロジー開発と RDF 化及び糖鎖発現プロファイル統合データベースの新規開発」

独立行政法人科学技術振興機構 復興促進プログラム【マッチング促進】「糖タンパク質の糖鎖品質を全自動で定量評価できる省エネ・省スペース型装置の開発」

国立大学法人浜松医科大学 独立行政法人医薬基盤研究所 予算 (創薬ブースター事業) (再委託) 「子宮内膜症組織にアポトーシスを誘導するペプチドの薬物動態試験等」

学校法人慶應義塾 科学技術試験研究委託事業 (再委託) 「保存血清のメタボローム解析による疾患診断の有用性の検証と応用」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究 (C) 「構造生物学的解析による R 型レクチンのシアル酸含有糖鎖結合能獲得メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 若手研究 (B) 「糖鎖による細胞表面生体分子の機能の調節・制御機構の解明」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究 (C) 「分子進化工学的手法によるカルシウムチャンネルサブファミリーを識別するペプチドの創製」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究 (A) 「糖鎖機能の統合的理解を目指した糖鎖改変マウスの N-統合グライコプロテオーム解析」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究 (C) 「ヒト体液を用いた精子無力症原因因子の簡易検査法の開発」

発表：誌上発表9件、口頭発表45件、その他0件  
-----

創薬技術開発チーム

(Drug Development Team)

研究グループ長：福田 道子

(つくば中央第2)

概要：

1. 悪性腫瘍血管標的癌治療薬は糖鎖模倣ペプチドのひとつである IF7 と名付けられたアミノ酸7個からなるペプチドが脳血管障壁を乗り越える事を見いだした。IF7 に臨床的にすでにつかわれている抗がん剤を結合させたものは、悪性脳腫瘍に標的しかつ脳腫瘍の増殖を抑制する事を可能にする画期的な薬剤である。
2. 本グループは子宮内膜症治療ペプチド薬を開発し子宮内膜症のサルでその短期の効果を確認した。このプロジェクトは創薬ブースターの支援をうけて前臨床試験にはいつている。ファージライブラリーをスクリーニングして血清マーカーの同定を行なった。
3. 日本人の40%は花粉症であるが、このアレルギー疾患に対する根治治療法は開発されていない。我々は ファージディスプレイ法を応用してこの問題にブレークスルーをもたらす計画である。
4. 大腸菌を用いたペプチドディスプレイ技術である PERISS 法を用いたイオンチャンネル阻害ペプチドの創製に向けた技術開発を進める。

標的分子評価研究チーム

(Glycomedicine Validation Research Team)

研究グループ長：千葉 靖典

(つくば中央第6)

概 要：

糖鎖は DNA やタンパク質に対し、第三の鎖ともいわれる重要な生物物質である。病態に起因する糖鎖構造の変化に着目して、これまでに疾患糖鎖マーカーの開発が行なわれているが、糖鎖を標的としたあるいは糖鎖を利用した創薬は開発が遅れている。この1つの理由として、糖鎖とレセプターとの結合力が弱いため、その能力の測定や検出が容易ではないことが挙げられる。また標的分子が糖タンパク質の場合、その糖鎖構造が不均一であるため、プローブとの相互作用の評価が難しいことも課題の1つである。この問題を解決すべく、糖タンパク質の完全合成法を構築し、表面プラズモン共鳴などによる定量的結合能評価により糖鎖部分に対する結合能の評価系を確立するとともに、揺らぎが大きい糖鎖分子に対して構造解析と計算化学を組み合わせた結合能の評価技術を開発し、特異性の高い標的化技術を開発する。

標的糖鎖探索チーム

(Glycoproteomics Team)

研究チーム長：梶 裕之

(つくば中央第2)

概 要：

細胞が体液中に分泌するタンパク質や、細胞表面等、膜に埋まっているタンパク質の多くは糖鎖修飾を受けている。糖鎖は、アスパラギン残基側鎖に結合する N 型糖鎖あるいはセリン/スレオニン側鎖に結合する O 型糖鎖として主に存在する。これらのタンパク質上の糖鎖は、多数の糖鎖合成酵素類の逐次のおよび競争的作用によって合成されるので、多様かつ不均一な構造を持っている。また、それらの構造バラエティーは、糖鎖を合成する細胞の種類によってそれぞれ異なり、さらに、感染、がん化、分化、環境変化、刺激など、細胞の状態が変わると、これに連動して変化する。タンパク質機能の発現や調節には、糖鎖の有無のみならず、その構造にも影響を受けている例が知られているが、構造が多様なため、糖鎖構造と糖タンパク質機能の関係を解析することは現在も極めて困難な状況である。そこで、本研究チームでは、糖鎖の機能解明と糖鎖修飾の特性を利用した臨床応用、および糖鎖生物学の発展を目的として、以下の研究を進めた。1) レクチンアレイ法や質量分析法等の解析技術を用いた糖鎖修飾の実態や変化の検出と、これを基礎とした疾患糖鎖バイオマーカー開発および基盤技術の開発、2) 人為的な糖鎖改変を導入したモデル生物や培養細胞を利用した糖鎖機能の解明、及び、3) 糖鎖修飾に関連する情報を収集、整理し、利便性の高い糖鎖科学データ

ベースの構築とそのための情報技術開発。

医工連携推進班

(Glycodiagnosis & Drug Translation Research Party)

研究班長：久野 敦

(つくば中央第2)

概 要：

本研究班は、当センターの前身である糖鎖医工学研究センターが開発した新規糖鎖バイオマーカーを市民病院等で測定できるような新たな技術を開発、ないし汎用的な診断技術で測定するためのノウハウを蓄積し、それを拠り所にした関連企業への橋渡し研究を行っている。本年度は、拠点であるつくば研究サイトにおいて、企業との共同研究をベースとした実用化研究を進めるのと並行して、前段階の基礎研究や臨床研究の加速を目論み、慶應義塾大学医学部・慶応義塾大学病院との包括協定 ([https://www.aist.go.jp/aist\\_j/news/pr/20140123.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/news/pr/20140123.html)) により設置された連携ラボ（慶應義塾大学医学部）も有効に活用して、悪性腫瘍や慢性疾患の診断に有効なあらたな糖鎖バイオマーカーの開発を行った。それにより、病変に伴う糖鎖変化を5つ見出すことができ、うち2つについては新規特許出願にまで至った。今後この成果をもとに、新規糖鎖診断薬シーズを生み出し、速やかに企業への橋渡しをしていく予定である。

[分 野 名] ライフサイエンス

[キーワード] 糖鎖バイオマーカー、診断薬、橋渡し研究、レクチンマイクロアレイ

糖鎖科学データベース班

(Glycodbase Research Party)

研究班長：成松 久

(つくば中央第2)

概 要：

糖鎖科学統合データベースの開発と公開

JST/NBDC の統合化推進プログラムの中で、国内外の糖鎖関連データベースを保有する研究機関や大学などと連携し統合化を推進した。プロジェクトの方針として、セマンティックウェブ化を進めているため当センターが保有する糖タンパク質 DB (GlycoProtDB) や病原体と糖鎖との結合情報 (PACDB) や糖鎖関連遺伝子が原因遺伝子となる疾患(GDGDB)などのデータを RDF 化した。SPARQL Endpoint を介して検索し結果を表示できるインターフェースの開発を行った。また、当該プロジェクトの共同研究グループと共同開発した WURCS を利用した国際的な糖鎖構造リポジトリシステムの運用を支援した。

[分 野 名] ライフサイエンス

[キーワード] 糖鎖、統合データベース、糖鎖遺伝子デ



データベース、糖タンパク質データベース

-----

【テーマ題目1】プローブと標的分子の結合能評価に関する研究

【研究代表者】千葉 靖典（標的分子評価研究チーム）

【研究担当者】千葉 靖典、久保田 智巳、清水 明、  
米田 幸代、櫻田 紀子  
（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

糖タンパク質の合成により糖鎖部分に対する結合能の評価系を確立するとともに、揺らぎが大きい糖鎖分子に対して構造解析と計算化学を組み合わせた結合能の評価技術を開発し、特異性の高い標的化技術を開発することを目標とする。今年度は下記の2課題について実験を進めた。

ある糖鎖構造を認識するレクチン W は糖鎖バイオマーカーの検出などに有効なレクチンである。このレクチン W は大腸菌での組換え体の生産効率が低く、実用化に適さないという課題があった。そこで、まずこのレクチン W について酵母での発現系を検討した。酵母はメタノール資化性酵母 *Ogataea minuta* を用いた。レクチン W の糖鎖付加部位、およびダイマー形成に関与すると推定されている部位に変異を導入し、この二重変異体の発現を検討した。その結果、50 mg/L 程度の生産性を有する酵母発現株を育種することが可能であり、N 末端に付加した His タグを利用することで、20%程度の回収率で精製する方法を構築した。次にレクチン W 結晶構造解析のために、タグの付加位置などの発現コンストラクトを改良し、大腸菌や酵母で発現系を検討した。その結果、検出用の FLAG タグを除くことで発現が向上し、加えて精製条件を詳細にすることで目的のレクチンを高純度で精製することが可能となった。

ペプチドプローブと標的分子との相互作用を測定すべく、Biacore での測定条件の検討を行なった。レクチン様ペプチドは40残基程度でレクチン活性を示すことが明らかになっていた。今回 Biacore を利用し、IgG をチップに固定、ペプチドをさらに IgG の糖鎖との相互作用の結合定数や結合モル比を決定した。次にレクチン様ペプチドをさらに N 末端、C 末端側から削りこんで低分子化したペプチドの評価を行い、最小単位となるドメインを推定した。加えて相互作用解析のために必要となる糖ペプチド調製技術を確立し、共同研究者にサンプルを提供した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】糖鎖認識プローブ、レクチン、相互作用解析

【テーマ題目2】酵母を用いた有用糖タンパク質の生産に関する研究

【研究代表者】千葉 靖典（標的分子評価研究チーム）

【研究担当者】千葉 靖典、清水 明、伊藤 理恵、  
高橋 佳江、小松崎 亜紀子、  
狩谷 絢香  
（常勤職員1名、他6名）

【研究内容】

酵母における糖鎖合成経路の改変、宿主改良、培養プロセスの検討、精製法の検討などを進め、有用な糖タンパク質を酵母によって生産する研究を行なった。

メタノール資化性酵母 *Ogataea minuta* 由来のエンド-β-N-アセチルグルコサミニダーゼ (Endo-Om) について、その諸性質の解明を行うとともに、糖鎖改変のツールとして活用すべく、各種変異体の作製を行なった。また結晶構造解析のため、酵母と大腸菌での同酵素の発現系を構築し、それぞれからの酵素の精製を検討した。大腸菌内から得られる不溶性酵素のリフォールディングについて様々な条件を検討したが、活性型の酵素を得ることは出来なかった。一方、大腸菌の培養時に温度を下げ、弱い誘導を行うことで菌体内から活性型の酵素を得ることに成功した。

抗体の Fc 領域を酵母で発現し、フラスコ培養で50 mg/L 以上の生産性を有する酵母株を育種した。この酵母株について、プロテアーゼ導入や Fc 領域の配列の改良を行い、N 末端や C 末端が均一な Fc 領域を発現できることを確認した。精製した Fc についてエンド-β-N-アセチルグルコサミニダーゼのトランスグリコシレーション反応により糖鎖を転移するための条件を検討した。モル比、pH、温度等の転移条件の検討や反応を阻害する副産物の除去条件を検討し、80%以上の Fc に対し糖鎖を転移することに成功した。

酵母でのヒト O-型糖鎖の生産を進めるべく、糖ヌクレオチドのエピメラーゼ及び輸送体、糖転移酵素などをコードする糖鎖関連遺伝子を出芽酵母 *Saccharomyces cerevisiae* へ導入し、モデル糖ペプチドへの糖鎖付加の確認と構造決定を行なった。目的の糖鎖が十分に得られなかったため、遺伝子の発現量や、発現コンストラクト、株の改良等を進めた。最終的に糖転移酵素の補助因子を培地中より供給することで目的産物を確認することが可能となった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】酵母、糖鎖改変、トランスグリコシレーション

【テーマ題目3】肝疾患糖鎖バイオマーカーの開発と実用化

【研究代表者】成松 久

【研究担当者】成松 久、梶 裕之、久野 敦、  
梅谷内 晶、佐藤 隆、松田 厚志、  
曾我部 万紀、藤田 弥佳、萩原 梢、  
海野 幸子、雄長 誠  
（常勤職員4名、他7名）

## 【研究内容】

### 研究目的：

C型慢性肝炎患者の多くは、肝線維化が進展し、肝硬変を経て、やがて肝がんを発症する。この慢性肝炎の治療には抗ウイルス療法が適用され、その効果判定や肝硬変、肝がんハイリスク患者の困り込みには、肝線維化の程度を知ることが重要である。本研究グループでは、これを判定するための糖鎖バイオマーカー、M2BPGi (WFA+M2BP) の開発に成功し、PMDAによる製造販売承認の獲得、および本検査の保険収載を達成した。一方、初期の肝線維化の判定、HCV感染のない肝炎患者における肝線維化、および背景の依存しない肝がんの発症や進展など肝疾患病態指標マーカーの開発が残されている。そこで厚生労働省科学研究費の支援の下、これらの糖鎖バイオマーカーの開発と実用化を行うことを目的とした。

### 研究手段・方法論：

疾患に伴う糖鎖変化の検出とプローブレクチンの選択、疾患関連糖鎖のキャリアタンパク質の同定、構造検証、測定系の確立、臨床試料を用いた有効性検証、という糖鎖バイオマーカー開発のパイプラインに沿い、1) 上述の各開発工程の技術開発及び改善、2) 新規マーカー候補の探索、及び3) 開発途中のマーカー候補についての有効性検証を行った。

### 年度進捗：

1-1) 組織簿切試料を用いた極小部位の糖鎖プロファイリング技術の開発。病理標本中の肝癌および周辺組織のきわめて微小な領域 (<0.5mm<sup>2</sup>) をレーザーマイクロダイセクションによりそれぞれ単離し、レクチンアレイによる比較糖鎖解析するまでのプロトコルを確立した。この方法により、肝がんにて特徴的な糖鎖変化を検出するのに最適なプローブ(レクチン)を選抜したのちに、その妥当性を検証するための高感度簡易アッセイ系の構築を行った。

1-2) 組織簿切試料を用いた糖タンパク質の同定、構造検証、定量技術の開発

FFPE 簿切試料 (病理組織標本) の微小部位のレクチンアレイ分析から選出されたレクチンを捕集プローブとして用いて、これに結合する糖タンパク質を同じ組織標本から同定することは、効率的な候補選抜に寄与すると考えられる。そこで、簿切試料から、プロテオーム、グライコーム、グライコプロテオーム、およびレクチン選別グライコプロテオームのプロファイリングができるよう、分析の微量化を進めた。はじめに、マウス肝臓の簿切試料をモデルとして作成し、種々の試料調製条件を検討、至適化した。その結果、マウスでは1mm<sup>2</sup>の試料から約200種の糖タンパク質が同定できるようになった。

2) 1-1で開発した技術を用い、HCV感染およびHBV/HCV非感染肝がん患者簿切試料を分析した。そ

の結果、肝がんに関連するレクチンが選択されたので、その妥当性をより定量的な高感度簡易アッセイ系で検証し、確認した。さらにこのレクチンに反応する糖鎖の局在・変化を組織染色により確認した。以上のプローブレクチンの成果に関して特許の申請を行った。またこのレクチンに反応性を示す肝がん培養細胞株2種からキャリアタンパク質を同定し、リスト化した。これらの糖タンパク質の性状 (可溶性/膜タンパク質) や糖鎖結合部位数、組織発現、細胞内局在などを予測し、候補タンパク質の選別を行った。さらに、用いた捕集レクチンに結合した糖鎖の質量分析を行い、その特異性を確認した。

3) WFA+CSF1R の測定系の確立、抗体・標準物質の作製、及び有効性検証：患者血清の分析から肝硬変・肝がんマーカーの候補として選出された WFA+CSF1R について、抗体-レクチンサンドイッチ ELISA 測定系に用いる特異抗体 (抗 CSF1R 抗体) の作製とその結合特性の評価、および ELISA 測定系への適応について検討した。また、キャリブレーションのための標準 WFA+CSF1R リコンビナント糖タンパク質の作製と、その上の糖鎖構造の確認を行うとともに、サンドイッチ ELISA 系での有効性を確認した。系の構築と並行して、従来構築済みの抗体-レクチンサンドイッチ ELISA 測定系によって、臨床試料セットを用いた臨床的有効性の先行的な検証を行った。

### 【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 糖鎖、糖タンパク質、疾患糖鎖バイオマーカー、グライコプロテオミクス、肝臓疾患、肝線維化、迅速診断

【テーマ題目4】 B型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機能解析と医用応用技術の実用化へ (厚生労働省補助金)

【研究代表者】 成松 久

【研究担当者】 成松 久、千葉 靖典、梶 裕之、久野 敦、榎谷内 晶、佐藤 隆、安形 清彦、助川 昌子、我妻 孝則、平野 朋子、辻川 紫華子、黒須 克恵、高野 慶子、高野 等寛 (常勤職員5名、他9名)

### 【研究内容】

#### 研究目的：

日本には約140万人の B型肝炎ウイルス (HBV) 保有者がいると考えられている。HBV が感染すると、急性肝炎を発症し、慢性肝炎に移行すると肝硬変や肝がんが発症する。従来 HBV 感染は母子感染によることが多く、ワクチン接種によって減少傾向にあったが、最近では水平感染によって広がりつつある。現在 B型肝炎の治療の選択は主に IFN と核酸アナログ薬である。B型肝炎においては IFN による治療成績が悪い場合が多く、持続感

染を防ぐための核酸アナログ薬の継続投与でも薬剤耐性ウイルスの出現が問題になっており、逆転写酵素に代わる創薬ターゲットの発見が重要な課題となっている。最近のウイルスの感染機構の解明により、糖鎖や糖タンパク質が様々なウイルスの受容体となっている事が明らかになりつつある。そこで、本研究では HBV の感染／複製機構における糖鎖の関与をより詳細に理解しつつ、これまでとは異なる視点から創薬ターゲットを探索し、新規治療法の開発に寄与することを目的とする。本研究は、平成26年度厚生労働科学研究費補助金（B型肝炎創薬実用化等研究事業）として採択され実施した。

研究手段・方法論：

本研究では、HBV 感染における糖鎖の機能を解析し、HBV 感染症に対する創薬実用化を図るために、最先端の糖鎖機能解析技術を開発・実用化して来た産総研・糖鎖医工学研究センター（統括：成松）と肝疾患や HBV 作製・感染実験の専門家（臨床機関）から構成される肝臓グループ（統括：溝上）とが協力体制（医工連携体制）を構築して進めた。また本研究課題を進めるにあたり、「ヒトゲノム・遺伝子解析に関する倫理指針（平成25年文部科学省・厚生労働省・経済産業省告示第1号）」、「遺伝学的検査に関するガイドライン」、「疫学研究に関する倫理指針（平成19年文部科学省・厚生労働省告示第1号）」を遵守した。また、人権擁護上の配慮、研究方法による研究対象者に対する不利益、危険性の排除や説明と同意（インフォームド・コンセント）、動物実験等の実施に関する基本指針を含めた各種手続きを行い、許可の承認を得た。実験に関わる研究者及び技術者にワクチン接種と血液検査 HBV 取り扱いにおける諸注意を周知するなど実施体制を整え、実施した。

年度進捗：

- 1) HBs 抗原サンプルから、糖鎖付加部位や糖鎖構造の同定および化学的修飾も同定し、HBV 感染とワクチン開発の基礎情報を取得した。ナノグラムオーダーのウイルス粒子を破壊せず糖鎖構造情報を取得する方法の確立に成功し、HBV 感染患者の血清 HBV の糖鎖プロファイリングを行った。
- 2) 感染可能な肝細胞と感染出来ない肝癌細胞について糖鎖遺伝子定量システムや次世代シーケンサー、質量分析器によるグライコム解析を行い、肝細胞特異的に発現する糖鎖関連遺伝子（糖転移酵素と内在性レクチン）の発現と糖鎖構造の差を解析した。
- 3) HBV 感染実験においてグリコシダーゼやレクチンの影響が明らかになり、HBV 感染に関与する内在性レクチンの候補分子をリストアップした。また、NTCP 発現 HuH7細胞を複数株作製し、感染モデルを構築した。
- 4) 糖鎖遺伝子 siRNA スクリーニング系を構築し HBV 粒子の形成・分泌能を解析した結果、HBV 作成実験でも HBV DNA を減少させる幾つかのターゲット遺

伝子を選出した。

- 5) 出芽酵母体内から超遠心法による糖鎖付き HBs 抗原の精製法を確立した。糖鎖付き HBs 抗原を各種免疫し反応性を現行ワクチンと比較解析した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 B型肝炎ウイルス、糖鎖、グライコプロテオミクス、レクチンアレイ、ワクチン

【テーマ題目5】糖鎖機能の統合的理解を目指した糖鎖改変マウスの N-統合グライコプロテオーム解析（科学研究費）

【研究代表者】 成松 久

【研究担当者】 成松 久、梶 裕之、梅谷内 晶、佐藤 隆、安形 清彦、鈴木 奈美、野呂 絵里花、杜東 寧、中根 隆浩、富岡 あづさ（常勤職員3名、他7名）

【研究内容】

研究目的：

細胞からの分泌タンパク質や、細胞表面などの膜タンパク質の多くは糖鎖で修飾されている。これら糖タンパク質の機能発現や調節には、糖鎖の付加だけでなく、特定の糖鎖構造の存在が影響を及ぼしていると考えられている。しかし糖鎖は、細胞内に存在する多数の糖鎖合成関連酵素、タンパク質群によって合成されるので、多様かつ不均一な構造を持ち、その機能解析は技術的に非常に困難である。そこで、本研究では、グライコプロテオーム分析の手法を応用して、特定糖鎖構造を生理的に保有するタンパク質やその部位を同定し、さらに、その構造を生合成する酵素を欠失させた場合の変化などを解析することで、糖鎖の機能を統合的に理解することを目的とした。

研究手段、方法論：

特定の糖鎖構造の役割を解析するための一つの有効なアプローチとして、興味ある糖鎖構造を合成するための糖転移酵素遺伝子をノックアウトし、その影響（フェノタイプ）を見いだしたのち、その分子機構を解明する、いわゆる逆遺伝学的アプローチがある。糖鎖変化とフェノタイプを関連づけるためには、まず、注目する糖鎖構造を生理的に保有する糖タンパク質を同定することが必要となる。この同定は基本的に、レクチンカラムを用いた糖鎖構造選択的な捕集と、LC/MS を用いたタンパク質同定を組み合わせることによって行う。また平行して、糖転移酵素をノックアウトした動物の分析も行い、生じた糖鎖構造の変化を検証する。糖鎖変化と糖タンパク質のプロファイルより、糖鎖の機能に関する情報を収集する。今年度はルイス x 構造（Galβ1-4（Fucα1-3）GlcNAcβ-R）を合成するフコース転移酵素 Fut9 に注目し、Fut9 発現組織である腎臓を試料に、生理的なルイス x キャリアを固定した。この同定には、最近開発した糖鎖付加部位特異的糖鎖分析法を適用し、さらに Fut9 ノック

クアウトマウスの試料と比較して、糖鎖構造変化を解析した。

年度進捗：

Fut9マウスの解析においては、まず野生型マウスの糖鎖構造をプロファイルし、複合型糖鎖のほとんどにフコースが含まれていることが判明し、さらにこれらが Fut9KO マウスにおいても保持されていたことから、複合型糖鎖キャリアを網羅的に同定するため、マウスの腎臓組織よりフコース含有糖タンパク質 (AAL 結合糖ペプチド) を網羅的に同定した。これらのペプチドの内、フコースを複数含む糖鎖を持つ (すなわちルイス x を含むと予想される) 糖ペプチドを識別、同定するために、部位特異的糖鎖分析を実施し、ルイス型糖鎖キャリアタンパク質を網羅的に同定した。さらに Fut9 KO マウスも同様の解析を行い、ルイス x が消失している糖タンパク質を選別することで、ルイス x キャリア糖タンパク質 (Fut9標的タンパク質) であることを確認した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 糖鎖、糖タンパク質、糖鎖機能、グライコプロテオミクス、N-結合型糖鎖、糖転移酵素、遺伝子ノックアウトマウス

### ⑤【ゲノム情報研究センター】

(Computational Biology Research Center)

(存続期間：2014.4.1～2015.3.31)

研究センター長：ポール ホートン (Paul Horton)

副研究センター長：藤 博幸

所在地：臨海副都心センター

人 員：13名 (13名)

経 費：373,368千円 (263,155千円)

概 要：

生命情報科学研究センター、生命科学工学センターが築き上げてきたアジア随一のパイオインフォマティクス研究及び人材養成拠点という役割を引き継ぎながら、ゲノム情報研究センターとして新しい研究展開を行う。具体的には、ゲノムシーケンシングが癌の最先端病院を始め、各種産業の現場で普及してきている時代の要請に応えるべく、DNA シーケンシングデータから(発現やエピゲノムも含めた)ゲノム異常の高速・高感度抽出技術及びその異常が疾病とどう関連するかを推定する解析技術の開発を行う。

また、プライバシーの懸念が個人ゲノム情報の普及の妨げとなりかねない現状を踏まえ、セキュアシステム研究部門と連携して遺伝情報の秘匿データベース検索技術を開発する。さらに、目的に合った物質を効率的に生産する為の複数の遺伝子を含むゲノム領域の設計技術を開発し、バイオテクノロジー産業の活性化を

目指している。

内部資金：

平成26年度ライフ分野特別研究予算

第一三共戦略的アラインス

次世代再生医療用細胞の実用化

産総研 STAR 事業「革新的創薬推進エンジン開発プログラム (LEAD)」

イノベーション推進本部裁量予算

データベースの秘匿検索技術の開発

外部資金：

独立行政法人理化学研究所「HPCI 戦略プログラムにおける人材養成プログラムの実施」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業チーム型研究 (CREST)「珪藻ゲノムのインフォマティクス解析」

独立行政法人科学技術振興機「エピゲノム標準化情報基盤の構築」

独立行政法人科学技術振興機「個別化医療を実現するプライバシー保護ゲノム情報解析」

独立行政法人科学技術振興機「大規模ゲノム情報の安全な統合分析を実現する超高機能暗号」

文部科学省「タンパク質の立体構造及び相互作用推定のための構造インフォマティクス技術の開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「類似ゲノムの差異を逃さない Denovo ゲノム解析技術の開発

日本学術振興会 科学研究費補助金「構造方程式モデリングによる多能性幹細胞での細胞分化制御因子の推定」

日本学術振興会 科学研究費補助金「配列解析によるミトコンドリア由来オルガネラにおける品質管理因子の網羅的探索」

日本学術振興会 科学研究費補助金「RNA・タンパク質相互作用の網羅的予測と検証」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ミトコンドリア内

膜におけるタンパク質の制御機構に関する生命情報学的解析」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ゲノムアダプテーション限界を決定する統計的解析手法の開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「適応形質と原因遺伝子の複雑な結びつきを解く手法の開発」

日本学術振興会 科学研究費補助金「なぜフタバガキの種子の羽はなくなったのか：機能喪失型形質の獲得間こうと時期の解明」

日本学術振興会 科学研究費補助金 NLS-NESdb—一蛋白質核内外移行シグナルのデータベース

日本学術振興会 科学研究費補助金 ナノ構造情報に基づいた機能探索

日本学術振興会 科学研究費補助金 RNA・タンパク質相互作用の網羅的予測と検証

日本学術振興会 特別研究員奨励費 時系列遺伝子発現データからの遺伝子制御ネットワークの推定

発表：誌上発表22件、口頭発表89件、その他0件

アルゴリズムチーム

(Algorithm Team)

研究チーム長：瀬々 潤

(臨海副都心センター)

概要：

疾患原因因子、特に多因子に起因する複雑な疾病の原因因子同定手法の開発を行う。また、ゲノム情報の流通を促進するため、プライバシー保護データマイニング技術 (PPDM) の開発をおこなう。複数因子に起因する原因因子の同定においては、現在の多重検定補正で行われている近似を、より高精度にすることで統計的に有意な複合因子の発見につなげる。PPDM は、より多くのゲノム関連情報についてプライバシーを保護した状態で解析できるよう、アルゴリズムの拡張を進める。

進捗：

(1) 疾患因子の複合要因探索

2013年度に開発した、無限次数多重検定法の高速化を行った。初期のアルゴリズムでは、幅優先探索手法を利用していたが、重複した探索が多くなることがあり、疾病因子探索に用いるには十分な速度ではなかった。これを、深さ優先探索による逐次的な枝刈り法を導入することで、平均100倍程度の高速

化を実現し、全ゲノム関連解析に対して適用できる示唆を得た。

(2) プライバシー保護データマイニング

これまでに開発してきた高機能暗号技術に基づくデータベース秘匿検索技術について、範囲指定型の検索内容に対応する技術拡張を行い、プロトタイプ実装を行った。その成果により、情報処理学会主催のシンポジウム CSS 2014において優秀デモンストレーション賞を受賞した。また、ゲノムアリル頻度の秘匿検索への拡張に関する技術開発を行い、東北大学東北メディカル・メガバンク機構における共同実証実験の実施へに向けた準備を行った。また、遺伝子型の秘匿検索技術の実用化に向けた開発、及び、秘匿ゲノムアラインメントのアルゴリズムの設計を行った。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 機能性 RNA、次世代シーケンサー、配列解析、ワークフロー、統合 DB、Web サービス、プラットフォーム、秘匿検索

ゲノム配列情報チーム

(Genome Sequence Information Team)

研究チーム長：光山 統泰

(臨海副都心センター)

概要：

ゲノム医薬の技術基盤となるゲノム配列解析技術の研究開発に取り組んでいる。

新規計算アルゴリズムの開発と有用な情報ツールの発信をテーマに掲げて活動している。

ゲノム医薬を支えるのは、新規臨床検査技術として普及しはじめた次世代シーケンサによる分子レベルの高分解能検査技術であるが、次世代シーケンサで不可欠なのは配列情報解析技術である。我々は、ゲノム医薬に求められる高信頼性かつ高精度の配列情報解析技術を開発している。この技術は未成熟であり多くの開発予知を残している。ゲノム医薬分野における業界標準となるような技術開発を目指して、より高速かつ高精度で計算できる新規アルゴリズムの開発、およびより有用な情報ツール (ソフトウェア) の開発を行っている。

研究テーマ：高感度ゲノム変異検出技術の開発、高精度 DNA メチル化変化検出技術の開発

生体分子情報チーム

(Biomolecular Informatics Team)

研究チーム長：富井 健太郎

(臨海副都心センター)

概要：

生体内の分子機能を情報解析によって明らかにし、創薬、有用物質生産などの産業応用につながる課題に

応用する。

疾病関連因子の推定や創薬、有用物質の生産性向上などへの応用に向け、タンパク質の立体構造、局在予測技術や、酵素活性部位などの特定技術、酵素データベースの開発などに取り組んでいる。生物プロセス研究部門などとともに、黴の二次代謝に関与する遺伝子クラスターの情報解析を行い、代謝物の生合成機構を解明するとともに、二次代謝に関与する酵素の分類なども行っている。アポトーシス誘導や細胞分化などに関わる分解酵素の基質およびその認識部位予測システムを構築するとともに、細胞内小器官の制御機構解明のための情報解析にも取り組んでいる。また、こうした研究を支える基盤技術の開発や高度化を実施している。

【研究担当者】 富井 健太郎、長野 希美、今井 賢一郎、山田 和範、陳 鯨太、中山 尚子、小田 俊之、深沢 嘉紀、池田 和由、伊東 純一、竹嶋 伸之輔、中村 司  
(常勤職員3名、他9名)

#### 【研究目的】

疾病関連因子の推定や創薬、有用物質の生産性向上などへの応用に向けた計算生物学的解析/予測法の開発と実データへの応用

#### 【研究内容】

疾病関連因子の推定や創薬、有用物質の生産性向上などへの応用に向け、タンパク質の立体構造、局在予測技術や、酵素活性部位などの特定技術、酵素データベースの開発を行うとともに、開発手法を応用研究へ適用する。

これまでに開発してきたタンパク質の立体構造、局在予測技術や、酵素活性部位などの特定技術、酵素データベースなどの基盤技術をさらに発展させるとともに、それら技術を用いた、疾病関連因子の推定や創薬、有用物質の生産性向上などへの応用研究を実施した。応用研究は、「革新的バイオマテリアル実現のための高機能化ゲノムデザイン技術開発」及び「創薬等支援技術基盤プラットフォーム」という二つの事業での連携をはじめとする産総研内外の多くの研究者との共同研究として実施された。

平成25年度進捗状況は以下の通り。

創薬等支援技術基盤プラットフォーム事業を通じて、複数の支援研究を実施した。ここでは、ミトソームに局在すると考えられる新規膜タンパク質の同定、アポトーシス誘導などに関わる分解酵素の立体構造解析による基質特異性の解明、タンパク質の網羅的基質結合(候補)部位比較データベースである PoSSuM の経口薬データへの応用、赤痢アメーバのリソソーム輸送受容体タンパク質に存在するドメインの立体構造推定などに関する4件の誌上発表を行った。また同事業における高度化研究では、アポトーシス誘導や細胞分化などに関わる分解酵素の基質およびその認識部位の高精度予測システム

ScreenCap3を愛媛大学と共同開発し、公開した。また、革新的バイオマテリアル実現のための高機能化ゲノムデザイン技術開発では、これまでに継続して開発されている酵素データベース EzCatDB の充実化と改良を行った。

今井 賢一郎、富井 健太郎、ポール ホートン “A novel Mitosomal  $\beta$ -barrel Outer Membrane Protein in *Entamoeba*.”, *Scientific Reports, Engineering and Technology* 2015/2/25

富井 健太郎 “データ駆動型アプローチによるがんの脆弱性予測”, *実験医学* 2015/2/1

今井 賢一郎、富井 健太郎 “The apoptotic initiator caspase-8: its functional ubiquity and genetic diversity during animal evolution.”, *Molecular Biology and Evolution* 2014/12/31

伊東 純一、池田 和由、山田 和範、富井 健太郎 “PoSSuM v.2.0: data update and a new function for investigating ligand analogs and target proteins of small-molecule drugs.”, *Nucleic Acids Research* 2014/11/17

長野 希美、富井 健太郎 “EzCatDB: the enzyme reaction database, 2015 update.”, *Nucleic Acids Research* 2014/10/16

傅 思縉、今井 賢一郎、富井 健太郎 “ScreenCap3: Improving prediction of caspase-3 cleavage sites using experimentally verified noncleavage sites.”, *Proteomics* 2014/9/14

富井 健太郎 “進化情報を考慮した疾患関連 SNPs の新しい同定法”, *実験医学* 2014/7/1

長野 希美 “Characterization of the biosynthetic gene cluster for the ribosomally synthesized cyclic peptide ustiloxin B in *Aspergillus flavus*.”, *Fungal Genetics and Biology* 2014/5/16

富井 健太郎 “Ligand heterogeneity of the cysteine protease binding protein family in the parasitic protist *Entamoeba histolytica*.”, *International Journal for Parasitology* 2014/6/5

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 疾病関連因子、二次代謝、遺伝子、タンパク質、局在予測、酵素、酵素データベース

## ネットワーク情報チーム

(Network Informatics Team)

研究チーム長：油谷 幸代

(臨海副都心センター)

## 概要：

ネットワーク情報チームは細胞内における遺伝子、タンパク質の挙動を中心に据えた研究・技術開発を重視する。特に、数理モデルによる生物学データの解析と創薬支援を目標とし、各種オミクス情報やタンパク質の構造情報に対し、数理解析手法の研究・開発を実施する。開発した手法を実データへ適用することで、有用化合物や抗体医薬などの効率的生産を支援する。

具体的には、昨年度から継続している「革新的バイオマテリアル実現のための高機能化ゲノムデザイン技術開発」に関する研究を発展させ、より高度な技術への改良及び成果のとりまとめを行う。さらに開始した「次世代治療・診断実現のための創薬基盤技術開発（国際基準に適合した次世代抗体医薬等の製造技術のうち高生産宿主構築の効率化基盤技術の開発に係るもの）」の基盤技術の開発・研究を行う。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】分子モデリング、分子動力学計算、タンパク質、データベース、データマイニング、遺伝子モジュール、酵素、ネットワーク、文献情報、遺伝子発現、パルスウェイ解析、時系列解析、記号計算

## ⑥【健康工学研究部門】

(Health Research Institute)

(存続期間：2010.4.1～)

研究部門長：吉田 康一

副研究部門長：達 吉郎、大家 利彦

総括研究主幹：茂里 康、脇田 慎一

研究主幹：大槻 荘一

所在地：四国センター、関西センター（池田）、関西センター（尼崎）

人員：64名（64名）

経費：710,410千円（461,036千円）

## 概要：

産業技術総合研究所は、社会的要請を踏まえた研究戦略の下、ライフ分野では「Ⅱ．ライフイノベーションを実現するための研究開発の推進」を第3期中期計画の大分類として設定し、取り組むべき課題として、先進的・総合的な創薬医療技術の開発、健康な生き方を創出する技術の開発、生活安全のための技術開発を掲げた。本研究部門は、第2期において蓄積されてきた研究資源を礎に、人間生活における人体の健康維持

管理に関する研究開発を進める。本部門の研究理念は、「100歳を健康に生きる」技術の開発であって、人間の健康状態を計測・評価し、その活動を支援するため、先端的なバイオ技術と材料・システム開発技術を融合し、健康な生活の実現に寄与する技術を確立することである。日常生活において自らの意志で生きがいを持って生活するための健康維持管理に関する工学的研究を中心に、本格研究に基づいた技術開発を進め、健康工学研究領域の確立、並びに21世紀における新たな健康関連産業創出に貢献することを目指す。

上記理念達成のため、大きく三つのミッションを設定する。

## 【ミッション1】研究開発

持続的で安心かつ豊かな生活の構築に貢献するため、人間の身近な健康維持、向上に関する工学的研究に焦点を絞り、以下の課題を推進する。

1. 疾病の発症を未然に予防できる先端的な疾患予知診断技術の研究開発
2. 生活圏におけるリスク解析・除去技術の開発
3. 組織・細胞の機能を再生・代替できるデバイスの開発
4. 細胞機能の計測、操作技術の開発
5. ヒト機能の高精度計測を基盤にした人間と適合性の高い機器開発

## 【ミッション2】地域との共同

健康関連産業の振興に資するため、産総研における健康工学研究関連ユニットの連携体制構築の一翼を担うとともに、地域の健康関連産業の活性化への貢献を図る。

## 【ミッション3】人材育成

理念達成のため、社会で活躍する産業技術人材の育成を部門内のみならず広く産業界、大学から人材を受け入れることによって推進する。

第一に着実な研究成果を生み出し社会へ迅速に普及させるため、1) 人間生活における人体の健康維持管理に関して、発症を予防する先端的な疾患予知診断技術につながる各種疾病マーカーの探索及び疾患の早期診断に役立てるためのナノバイオデバイス技術の開発、2) 安全・安心な生活環境を創出する上で、健康リスク因子を高度に検出する技術や削減、無害化する技術の開発、3) ヒトの機能の科学的理解に基づいて、失われた機能の補完・代替技術や生活を快適にする技術、4) 遺伝子、細胞、情報、ナノテクノロジーなどの研究を統合し、健康・医療に関わる知的・技術的基盤の形成と応用技術の創出、5) 人間の認知・行動特性の科学的理解に基づき、高度情報化された生活環境の中で少子高齢化を迎えた社会に暮らす人々のためになる製品を生活に導入する技術開発、等を研究開発の重点課題とする。

次に、本研究部門は四国・関西を中心とした西日本

に拠点を置き、地域の健康関連産業の活性化への貢献を着実に推進することを任務とする。健康・医療は社会全体に関わるものであり、従来型のものづくり産業の考え方であった利便性や有効性に直接的に関わる技術だけでなく、無形であっても高度で多面的な価値を持つ大きなシステムの創成が求められている。そこに関わる要素技術の開発が重要な課題であって、部門や産総研単独ではなしえない。このような観点から、四国・関西という地域性を十分考慮しながら、西日本の「健康工学」の拠点として関連する公的研究機関はもとより、より一層地域産業界との連携を強化する。

最後に、今後、人類社会にとって持続的社会的構築に科学技術は必須であることは言うまでもなく、産総研は真に地球レベルでの科学技術発展に資する人材を育成し社会に送り出す役割を担っている。当部門においてもその役割を着実に果たすことをミッションとする。

-----  
内部資金：

融合・連携推進予算

EAP アクチュエータを用いた医療福祉デバイスの実用化開発

融合・連携推進予算

マラリア超早期診断デバイスの製品化

その他予算

細胞内マルチパスウェイの時系列変動を可視化するセルベースアッセイ系の構築

その他予算

ヒドロキシリノール酸をバイオマーカーとした緑内障、白内障の早期診断法開発と知財拡幅へ向けた検討

その他予算

がん幹細胞検出・分離法の構築

外部資金：

経済産業省

平成26年度石油製品需給適正化調査等「石油精製物質等の新たな化学物質規制に必要な国際先導的有害性試験法の開発」

独立行政法人科学技術振興機構

戦略的創造研究推進事業（CREST）

がんモデルメダカの開発及び該メダカを用いた創薬スクリーニングシステムの開発

独立行政法人科学技術振興機構

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム

シーズ育成タイプ

超高真空、低温チップ増強ラマン分光イメージング装置の開発

一般財団法人大阪科学技術センター

戦略的基盤技術高度化支援事業

グリーンプラスチックの超臨界二酸化炭素による連続発泡成形技術の開発

公益財団法人京都高度技術研究所

戦略的基盤技術高度化支援事業

世界市場を開拓する Sake・大吟醸生産システムの革新

公益社団法人農林水産・食品産業技術振興協会

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）

農林水産系のファインバブル技術開発

独立行政法人科学技術振興機構

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム

フィジビリティスタディステージ探索タイプ

生物由来材料を用いたセキュリティ印刷手法の開発

独立行政法人科学技術振興機構

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム

フィジビリティスタディステージ探索タイプ

ゲノム編集による遺伝子ノックインニワトリの樹立

独立行政法人科学技術振興機構

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム

フィジビリティスタディステージ探索タイプ

新規バイオマーカー群を用いた糖尿病リスクの早期検出の実用化

日本板硝子株式会社

研究成果展開事業 先端計測分析技術・機器開発プログラム

環境中病原性微生物の迅速定量装置の実用化開発

厚生労働省

厚生労働科学研究委託事業 医療機器開発推進研究事業 細胞チップを応用した超高感度マラリア診断装置の開発

文部科学省

先導的創造科学技術開発費補助金

可搬型生物剤・化学剤検知用バイオセンサの開発

一般財団法人大阪科学技術センター

中小企業経営支援等対策費補助金

射出成形の超微細構造プリズムレス SPF バイオセンサ



チップ及び装置の開発	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 表面吸着因子の解析による生分解性材料の生分解性制御に関する研究
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 産業技術研究助成事業 ヒト型糖鎖を均一に有する組換え糖タンパク質を高効率に生産する代替宿主としての酵母株の開発	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 生物発光共鳴エネルギー移動機構を利用した低分子化合物の光イメージング法の開発
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究） 分子間相互作用アニメーション構築支援ソフトウェアの開発	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） “光励起”と“化学励起”を併用した生細胞蛍光観察技術の構築と実証
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究） メダカの発生過程におけるリンパ管と神経の相互作用の解明	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） バイオマス資源利用を目指した耐熱性キチン分解酵素の反応メカニズム解明
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究）研究分担者 生体酵素系に生成する感応性化学種の同定と機能解明	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 外来遺伝子の安定発現を可能にするニワトリ遺伝子組み換え技術の開発
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 B） 酸化亜鉛コーティングプラズモニクチップを用いた高感度イムノセンサーの研究	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 因果推論が多感覚統合プロセスに及ぼす影響の検討
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 B） 新型補聴器の開発のための骨導超音波の末梢伝搬・受容メカニズムの解明	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 神経活動履歴に伴う受容体輸送制御における Rab エフェクター分子の役割
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 B） ブラズモン共鳴と強結合した単一色素分子をプローブとする光学応答増強場の定量的検証	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 血中循環がん細胞の検出を目指した細胞チップデバイスの開発
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 B）研究分担者 聴覚音声支援のための聴知覚特性の解明と信号処理開発	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 多孔質電極の熱力学
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 B）研究分担者 仮想触感提示技術によるヒトーモノ間のインタフェースを対象とした多型性表現モデル	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 空中駆動可能なナノカーボン・高分子アクチュエータの開発と応答メカニズム解明
独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C） 共存微生物由来物質の摂取による海藻代謝変動の解明とその水圏環境浄化への利用の研究	独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究 C）

光トラップ場の時空間構造の動的制御による3次元マイクロ操作の研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
色覚バリアフリー照明の高性能化と試作に関する研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
神経栄養因子 BDNF のノンコーディング RNA 分子機能に関する研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
光ナノ複合材料による健康阻害ガスセンサに関する研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
散乱光の偏光解析を用いた生体組織の構造および形態の解析についての研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
細胞チップを用いた細胞機能解析を可能とするマラリア迅速・高感度検出システムの構築

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
セシウムイオン選択性捕捉剤の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）  
色覚バリアフリー照明の設計に関するシミュレーションの研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）研究分担者  
聴覚器官としての球形囊の役割—不可聴音の聴覚認知への関与

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（基盤研究 C）研究分担者  
スマート材料のシステム論的モデル化による高効率エナジーハーベスティング

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 A）  
集光レーザー摂動による神経細胞ネットワークダイナミクス の 解 明

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
二量化、クラスタ構成、および膜受容体細胞内輸送に関する単一分子蛍光の研究

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
時計遺伝子発現変動と糖尿病性血管障害との相互関係の解明

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
ナノチップによる巨大環状 DNA1 分子の実時間ダイナミクス解析

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
細胞チップを用いた血中循環がん幹細胞の検出法の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
行動生理計測に基づく抑うつ状態評価改善技術の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
栄養不足に起因する胎児の膵臓  $\beta$  細胞の発生障害の分子メカニズムの解明

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
マウス及びヒト iPS 細胞を用いた神経分化誘導での神経栄養因子 BDNF の機能解析

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
オンサイト遺伝子迅速検知用集積化マイクロチップの開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（若手研究 B）  
カーボンナノチューブの有効利用のためのアレルギー増悪評価系の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）  
表面プラズモン増強効果を利用した細胞内分子マニピュレーション手法の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）

ダウン症モデル Ts65Dn マウス中枢神経障害発症機序に関わる酸化修飾蛋白質

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）  
骨導超音波と視覚情報を利用した最重度難聴児のための発話訓練装置の開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）  
組織特異的生着能を有する間葉系幹細胞の探索

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）研究分担者  
視覚および聴覚情報の運動への変換方略メカニズムに基づく演奏教育プログラムの開発

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）研究分担者  
細菌膜蛋白質複合体の分子配列メカニズムに関する光学・電子顕微鏡複合解析

独立行政法人日本学術振興会  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）研究分担者  
側枝血管の確実な血流維持を可能とする脳動脈癌治療用カバードスタントの開発における孔設計

環境省  
環境研究総合推進費  
ハロモナス菌による木材から3-ヒドロキシ酪酸等の生産技術開発に関する研究

独立行政法人日本学術振興会  
外国人招へい研究者（短期）  
ペプチド性疾患治療薬の開発と問題点の洗い出し  
Peptidic therapeutic agents: development and clarifying the issues

発表：誌上発表165件、口頭発表311件、その他47件

生体ナノ計測研究グループ  
(Nano-bioanalysis Research Group)  
研究グループ長：脇田 慎一（兼務）  
(四国センター)

概要：  
当研究グループでは、光を使って生体関連分子や細胞をイメージングまたは微小場での微粒子操作や流体制御を行うことを通して、疾病の予知・診断技術を開発することを目指している。光としては、蛍光、ラマン散乱やレイリー散乱等及び、光の圧力を利用する。

蛍光を利用する場合は、量子ドットの蛍光イメージング機能に、新たな機能を付与した新規機能性ナノ粒子を合成し、がん細胞の検出する体内診断薬や光線治療応用を目指した基盤技術を開発している。がん細胞の膜受容体細胞内輸送に関する単一分子蛍光による解明を進めている。

ラマン散乱は、生体分子の識別能力が高いが、感度が低い。そこで、金属ナノ粒子と併用した表面増強ラマン分光法の増強機構を解明することで特定の生体分子の1分子検出を目指している。さらに、金属ナノ粒子のプラズモン共鳴散乱現象を利用して、強結合現象によるスペクトル分裂を実証した。

光の圧力を利用することで、多種類の細胞をソーティングし、回収再利用するマイクロ流体チップを開発している。光の圧力を利用した微小なピンセットを用いることで、珪藻任意の3軸周りに移動させる三次元操作技術を開発した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4

バイオデバイス研究グループ  
(Biodevice Research Group)  
研究グループ長：大家 利彦（兼務）  
(四国センター)

概要：  
疾患の未病予知や健康状態を数値化可能なデバイスの開発を目的として、各種精密微細加工技術、インクジェット法による抗体の固定化、及び紙基材を用いた新規バイオデバイスの研究開発を行っている。具体的には「極微量の血液から各種バイオマーカーを数分以内で解析できるデバイス」や「オンサイトで遺伝子を迅速検知できるデバイス」などが挙げられる。

平成26年度は、①インクジェット法による抗体固定化における超短パルスレーザを用いた表面処理の効果についての追加検証と基本メカニズムの検討、②紙基材を用いた新規バイオデバイス開発におけるチップの改良と新機能の追加、③単一マイクロ流路チップを用いた測定の自動化に向けたサンプルと試薬の導入/駆動方法の検討を実施した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

健康リスク削減技術研究グループ  
(Health Hazards Reduction Research Group)  
研究グループ長：苑田 晃成  
(四国センター)

概要：  
ヒトの健康を維持・管理する一つの方法は、身近な生活環境中に存在する健康リスク要因を測定・除去・無害化し、人体内でのそれらの相互作用を阻止することである。従って、水、大気等媒体中に存在する微量でも有害な健康リスク要因となる物質(イオン、分子、

微生物等)を安全かつ効果的に除去・無害化する基盤技術を化学的・物理的手法を用いて開発する。更に、これらの技術と自然浄化機能を活用する生物学的手法も統合した浄化システムを提案する。東日本大震災に伴う福島原発事故を受け、放射性セシウム除去剤の検討も行った。H26年度の主な成果は以下の通りである。

- 1) トドロカイト型マンガン酸化物を3種類合成し、Csの交換特性を詳細に検討した。Mg体を酸処理したものが、Cs吸着剤として有望であった。これら以外に、ニオブ酸カルシウム系吸着剤も合成し、A型ゼオライトやCa-モンモリロナイトに比べ、Cs吸着容量が高いことを明らかにした。また、他の吸着剤と比べ、Mgが共存しても、Cs吸着量に影響しない特長を明らかにした。
- 2) にんにく粉末中のアリインおよび梅肉粉末のポリフェノールの分析法をラウンドロビンテストし、良好な結果が得られたので、フォーラム標準とした。

研究テーマ：テーマ題目2

#### 生体機能制御研究グループ

(Biofunctional Regulation Research Group)

研究グループ長：中島 芳浩

(四国センター)

概 要：

生体リズムや免疫応答などの生体メカニズムを、独自に開発した発光レポーター技術を用いて可視化・解析するとともに、高機能化した有用タンパク質、あるいは食品機能性成分により生体機能を制御するための技術開発を行う。

具体的には、以下の4つの主要テーマを推進している。①生物発光技術を活用した細胞機能の可視化・検出システムの基盤技術開発、②発光レポーター導入細胞を用いたセルベースアッセイシステムの構築、および化学物質毒性評価システム開発、③ヒト型複合糖鎖を有するタンパク質医薬品生産のための酵母の開発、④食品機能性成分による炎症抑制、糖尿病発症予防効果の解析。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目4

#### バイオマーカー解析研究グループ

(Biomarker Analysis Research Group)

研究グループ長：片岡 正俊

(四国センター)

概 要：

マイクロ化学チップを中心としたピオナノデバイスを用いて、生活習慣病や感染症を対象に Point of Care Testing への応用が可能なデバイス構築を行っている。糖尿病発症の主要因と考えられ内臓脂肪の蓄積によるインスリン抵抗性に深く関与する各種アディポネクチンのオンチップ定量検出系の構築を行っている。

る。マイクロメータ単位のマイクロチャンバーをアレイ状に配列した細胞チップを用いたマラリア診断チップおよび循環がん細胞診断チップを開発している。診断デバイスの製品化に向けて、企業との共同研究を進めるとともにマラリア診断ではウガンダ共和国をはじめとする流行域でのフィールドテストを進めており、さらに循環がん細胞検出系の構築ではがん患者血液を用いて高感度かつ正確な標的細胞の検出系の構築と一細胞レベルでのがん細胞機能解析を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

#### ストレスシグナル研究グループ

(Stress Signal Research Group)

研究グループ長：萩原 義久

(関西センター池田)

概 要：

ストレスシグナル研究グループでは様々な環境に対して生命が対応する中で表れる変化、すなわちストレスシグナルを研究対象とする。ストレスシグナルは複雑、精緻な生命機能により発するものであり、その機構の根源的理解に基づく工学的研究を展開するためには、分子、細胞、個体レベルの実験を進めるとともに、ストレスシグナルを計測し、さらにはこれを利用する技術を開発する必要がある。当該グループには、ライフサイエンス実験技術及び材料、機器開発技術についての高度な技術蓄積があり、これらの強みを複合的に組み合わせ、ストレスシグナルについての本格研究を展開する。その研究成果により健康な生活の実現に寄与する健康工学研究領域の確立と新たな健康関連産業創出に貢献することを目標とする。この目標に向かい、H26年度は1) ストレスシグナルを指標とした健康状態計測技術の開発として『イムノアッセイ用ディスク型微小流体デバイスの実用化を目指した研究開発』『酸化ストレスを指標としたストレスの客観的評価法の検討』『酸化ストレスマーカーによる疾患早期診断技術の開発』『マラリア感染症に対する治療法の開発に関する研究』、2) バイオマーカー計測評価バイオチップの開発として『レシプロカルフローPCRを用いた超高速かつディスプレイ可能な遺伝子検査用微小流体システムの開発』、3) 新規ナノ機能性材料のストレス研究分野への応用として『次世代抗体の開発』『体外における疑似組織の構築』を中心に行った。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目5

#### 人工細胞研究グループ

(Artificial Cell Research Group)

研究グループ長：安積 欣志

(関西センター池田)

概 要：

身体的ハンディを克服・支援する機器・技術等の開

発において、生物と同じ様な、環境変化に対する物性変化をする特性をもち、しかもソフトで軽量な人工材料（刺激応答材料）を開発することは重要である。これらは、臓器、組織等の機能回復のためのリハビリテーションデバイスの開発等で、また、介護ロボット、手術デバイス等の支援機器の開発で、いずれも、人体に直接接する機器、デバイスの開発において刺激応答材料の役割があると考えられる。以上の視点に立ち、外部環境の変化に自律的に応答する耐久性のある高分子材料の創製を行うことにより、「人間の心身活動能力を補い社会参画を支援するためのインターフェース等の技術開発」を行うことを目標とする。具体的には、これまでの我々の研究実績をふまえ、人工筋肉材料の研究と、それをベースとした医療・福祉機器デバイスの開発を進める。

研究テーマ：テーマ題目3

### 生体分子創製研究グループ

(Biomolecule Design Research Group)

研究グループ長：上垣 浩一

(関西センター池田)

概要：

健康に資する技術開発を目指し“生体分子を知り、操り、機能性材料を創製する”という視点から当グループでは親水性、柔軟性、生分解性などを制御した高分子バイオ材料の開発、極限微生物を用いた健康食品や化成品原料の生産法の開発、健康創薬促進技術開発に有用な蛋白質の物性・構造・機能の解明と改良等を推進して健康産業、再生医療への展開を目標としている。本年度は①バイオ材料への応用を目指したポリ乳酸ステレオコンプレックスをグリコール酸との共重合体を用いることにより良好な生分解性を持つステレオコンプレックスを開発した。②ポリアミド4の安全性評価について、微生物を用いた変異原性試験を行い変異原性が無いことを確認した。③好塩、好アルカリ・ハロモナス菌を用いた3-ヒドロキシ酪酸の生産を検討し、事業化可能な生産量を達成した。④抗酸化蛋白質、代謝系酵素の構造・機能解析を行い糖代謝酵素の阻害剤開発を行った。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4

### 生体分光解析研究グループ

(Spectroscopic Bioanalysis Research Group)

研究グループ長：田和 圭子

(関西センター池田)

概要：

健康な生き方を想定する技術の開発、生活安全のための技術開発のために、健康向上に関する工学的研究として、分光技術を用いた細胞・固体レベルの機能計測、操作技術の開発を目指している。ナノレベルでの

計測・解析を行う疾患マーカータンパク質の高感度検出技術の開発、細胞の蛍光顕微鏡観察における高感度イメージング技術の開発、蛍光性ナノ粒子開発やそれを利用した細胞の毒性評価計測をはじめ、電子顕微鏡を用いたタンパク質等のナノ構造の計測に取り組み一方、ヒトへの照明光の影響解明に関する研究にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目4

### バイオインターフェース研究グループ

(Biointerface Research Group)

研究グループ長：小島 正己

(関西センター池田)

概要：

うつ病の多様な精神病理と分子病態に関する前臨床評価系（モデル動物など）を開発し、脳の健康と疾患に関する従来の概念や薬物治療を超える遺伝子治療の開発に貢献した。iPS細胞から分化した神経細胞を用いて精神神経疾患に関連する薬剤の評価系を構築し、脳神経疾患の精査診断法および次世代技術ブレインマシンインターフェースの開発のために、特定脳領域や脳内深部の機能を非侵襲かつ高精度に計測・制御できる革新的技術として、フェムト秒レーザーを初めとしたレーザー光を用いた神経細胞の局所機能および神経機能分子を光操作・計測する技術を開発した。そして、卵管細胞特異的に有用蛋白質を発現できる3種類の遺伝子発現制御系の開発、疾患治療有用蛋白質を発現する始原生殖細胞株を樹立、これら始原生殖細胞株からトランスジェニックニワトリを作出し、有用蛋白質生産系の総合的評価系の開発を目指した。

研究テーマ：テーマ題目3

### くらし情報工学研究グループ

(Living Informatics Research Group)

研究グループ長：達 吉郎（兼務）

(関西センター池田)

概要：

安全で安心できる健康的な生活を実現するためには、不規則で多様化している生活そのものを理解して、生活者の身体適応能力や知覚・認知能力を維持・改善する生活空間の創出、あるいはQOLを高めるための生活サポート技術の開発が必要になっている。

とくに、日常生活を対象に生活者の行動・生理応答や知覚・認知応答を計測する技術の開発、得られた生活情報から生活者の状態を評価・理解する技術の開発、生活者の状態理解に基づいた人間に適したサポートを提供する技術の開発と標準化を行う。

同時に、疾病等で低下した知覚・認知機能を高い精度で計測・評価し、適切な診断や効果的なリハビリテーションを実現することが重要である。そこで、人間

が持つ共通基盤的な特性であるヒトの五感（聴覚、視覚、嗅覚、味覚、体性感覚）のみならず言語・記憶等の高次機能に関わる機能メカニズムの解明を脳磁界計測、脳波計測、VRを用いた心理物理実験などの非侵襲的手法によって進めるとともに、脳機能の高度診断技術・障害補償技術および快適環境設計技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5

#### 組織・再生工学研究グループ

(Tissue Engineering Research Group)

研究グループ長：弓場 俊輔

(関西センター尼崎)

#### 概要：

これまで実施した100症例もの臨床研究の中で有害事象が全く認められなかった安全な間葉系幹細胞を用いて、外部医療機関と「ヒト幹細胞臨床研究」を進めている。大学附属病院との連携で、先天性骨代謝疾患に対して幹細胞治療の顕著な有効性を確認しているが、一般病院との連携で、さらに患者数が多い末梢動脈疾患にもその適応を拡大しつつある。一方、こうした再生医療用細胞を製造する施設として、従来のセルプロセッシングセンターに代替しうる新規製造システムも企業と共同開発中である。その他、薬物送達システムの開発にも繋がる、微絨毛等の細胞表面微細構造の形態形成機構解明にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 細胞分子機能研究グループ

(Functional Biomolecular Research Group)

研究グループ長：佐藤 孝明

(関西センター尼崎、池田)

#### 概要：

蛋白質は細胞の多彩な機能を支える最も重要な分子であり、「健康長寿の達成と質の高い生活の実現」に必要な細胞機能の分子機能を理解し、その仕組みに基づく新しい細胞機能計測・操作技術の開発を、新規発光・蛍光プローブ開発、機能発現系構築・センサ化、モデル動物作出、分子動態モデル化などについて推進する。本年度は、1)キチンからグルコサミン生産に必要な2種の耐熱性酵素の新規結晶構造を決定し、高温での一連の反応モデルを提案した。2)固層化 BAF 法に関する研究では、非特異的発光を低減できるセルロース素材を見出し、高感度プロテアーゼ活性分析法の基盤検出系を確立し、核内 DNA センシングと修復動態可視化用の経時観察培養細胞系を再構築した。3)血中ホモシステイン評価法の開発では、ホモシステイン-S-メチルトランスフェラーゼを介し生成される SAH の発光アッセイシステムを構築し、エピジェネティック新規検出法の開発では、DNA 中の脱メチル化反応での孤立

グアニンを発光定量できるビオチン化試薬を作製した。4)嗅上皮特異的発現活性を有するメダカプロモータの機能評価をメダカ個体で行うとともに、マウス嗅覚受容体発現メダカ作製のためのベクターの構築に応用した。また、神経細胞内 Ca 変動可視化メダカ系統の樹立、神経未分化細胞可視化メダカの応用などにより、種々の個体機能解析を可能とした。5)嗅覚センサの開発では、4種遺伝子安定発現株を高感度化する培養条件と遺伝子を見出しセンサ化の見通しを得た。背側受容体欠損による2組の鏡像異性体ペアに対するマウス感度・識別能変化について興味深い結果を見出し、原因受容体を推定した。また、膀胱がん患者の腫瘍摘除前後の尿ペアをマウスは高希釈度でも識別可能であることが示唆された。6)透過型電顕像解析では、単粒子画像用に新たに開発した傾斜撮影による角度推定手法により角度補正が不要となり、結晶構造と良好な一致を示す耐熱酵素デアセチラーゼの3次元再現像を得た。7)好熱菌発現系開発では、誘導物質存在下で発現誘導がかかるベクター開発に取り組み、βガラクトシダーゼアッセイ系で利用可能な発現誘導ベクター用の1種を見出した。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

#### [テーマ題目1] バイオマーカーの機能解析・同定とその検知デバイス技術開発

[研究代表者] 脇田 慎一 (総括研究主幹)

[研究担当者] 生体ナノ計測研究グループ

脇田 慎一(兼務)、大槻 荘一(兼務)、  
田中 芳夫、Biju Vasudevan Pillai、  
平野 研、伊藤 民武  
(常勤職員6名、他1名)

バイオデバイス研究グループ

大家 利彦(兼務)、田中 正人、  
刈脇 雄介(常勤職員3名)

ストレスシグナル研究グループ

萩原 義久、永井 秀典、山添 泰宗、  
出口 友則、七里 元督、赤澤 陽子  
(常勤職員6名、他8名)

バイオマーカー解析研究グループ

片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平  
(常勤職員3名、他4名)

バイオインターフェース研究グループ

小島 正己、清末 和之、大石 勲、  
細川 千絵、北畠 真子

(常勤職員5名、他5名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

#### [研究内容]

健康状態や未病状態を科学的に評価することが可能なバイオマーカーを生体における機能を解明することによって同定する。さらにそれらのマーカーや既存のマーカー

一を迅速、簡便に測定することが可能なデバイスの開発を行う。

1) マルチマーカー候補の選定と産総研ベストチップ・検出システムの開発

75例の経口糖負荷臨床試験データの統計解析結果、経口糖負荷試験 (OGTT) に頼らず空腹時のマルチマーカー測定のみで、耐糖能とインスリン抵抗性の異常同時推定できた。さらに、産総研技術を集約した産総研ベストチップの産業技術化を企業共同研究により着実に進めた。

2) 酸化ストレスバイオマーカーの探索・解析・評価・検証

ストレス負荷時に増加するアラキドン酸由来脂質酸化物が、マウスのストレス後の行動異常に関与することに関するデータを得た。アラキドン酸由来脂質酸化物がストレスに対する生理的意義を持つという重要な知見である。また、酸化 DJ-1 のパーキンソン病診断での有用性の検証に関しては被験者数をさらに増やして検討を行い、その再現性を確認した。

3) 唾液ストレス計測デバイスの産業技術化と唾液マーカー候補の実証研究

超小型 FET センサによる電子体温計型プロトチェッカを試作し、大型操船シミュレータや実習船を利用した緊張ストレス被験者実証研究を着実に進め、数百検体のデータを取得した。

4) 脳疾患関連バイオマーカーの同定と機序解明

産総研が開発したうつ病バイオマーカー抗体と測定条件を確立し、診断試薬キット及び高感度のプラズモニクチップ検出を搭載した血中 BDNF の迅速測定装置の試作機を共同開発した。

5) 表面増強ラマン散乱 (SERS) 等を用いた単一分子検出技術

表面増強ラマン散乱 (SERS) は、金属粒子表面の分子を単一レベルで非標識検出・同定できる手法である。しかし、スペクトル形状や強度が不安定なことが、実用化や汎用化の妨げになっている。そこで理論計算と実験の比較によって、金プラズモン共鳴と分子分極との電磁相互作用の時間・空間揺らぎにあることを定量的に明らかにし、分子と金属粒子の量子状態間の干渉が生じる強結合現象による蛍光スペクトル分裂が実証された

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] バイオマーカー、酸化ストレスマーカー、表面増強ラマン散乱、1分子シーケンス、マイクロ流体デバイス、バイオセンサー

[テーマ題目2] 健康リスク計測・評価とリスクモニタリング技術の開発

[研究代表者] 吉田 康一 (研究部門長)

[研究担当者] 健康リスク削減技術研究グループ

苑田 晃成、小比賀 秀樹、垣田 浩孝、  
横田 洋二、田部井 陽介  
(常勤職員5名、他2名)

バイオマーカー解析研究グループ

片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平  
(常勤職員3名、他4名)

バイオデバイス研究グループ

大家 利彦 (兼務)、田中 正人、  
淵脇 雄介 (常勤職員3名)

ストレスシグナル研究グループ

萩原 義久、永井 秀典、山添 泰宗、  
出口 友則、七里 元督、赤澤 陽子  
(常勤職員6名、他8名)

生体機能制御研究グループ

中島 芳浩、安部 博子、室富 和俊、  
安永 菜由 (常勤職員4名、他3名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

[研究内容]

身体内部あるいは環境に存在する健康阻害因子を高精度に計測・評価し、因子そのもの、あるいは健康への影響を効果的に低減するための技術を開発する。

1) 細胞チップを用いた病原性原虫感染症の超早期診断技術の開発

人類にとって非常に深刻な寄生虫感染症であるマラリアについて、その感染をいち早く迅速・簡便に診断することが可能な細胞チップをもちいた技術を確認した。

(計測に要する時間15分間でマラリア感染率0.0001%以下を検出する技術は世界トップレベル)。細胞チップをマラリア診断に応用することで、ゴールドスタンダードであるギムザ染色による光学顕微鏡法の100倍の超高感度に、操作時間15分で100万個に1個のマラリア原虫感染赤血球の超高感度検出法を構築した。これを用いることで、発症前診断が可能になる。さらにこの検出技術を基盤として、がん原発巣から脈管浸潤を介して遠隔臓器に転移する際に見られる循環がん細胞 (CTC) の検出チップの開発を行った。複数種類の抗体染色を可能とすることで、従来法では検出が不可能であった EpCAM 低発現の CTC も正確に検出可能になった。実際の臨床現場での使用を見据え、マラリア診断ではウガンダ共和国、CTC 検出では名古屋大医学部との共同研究をすすめ、患者血液を用いてマラリア診断及び CTC 検出の双方で、企業と資金提供型共同研究を展開しておりそれぞれ製品化を目指している。

2) 細菌やウイルスの超迅速検知を可能とする遺伝子増幅装置の開発

様々な現場で病原性微生物を迅速に検知することを目的に、遺伝子を高速に検知可能な可搬型の小型遺伝子増幅装置を開発した。発症する最小濃度の病原性微生物から毒素遺伝子を5分以内に定量でき、将来、高病原性インフルエンザや口蹄疫等のパンデミック発生源

場にて求められる確定検査やノロウイルスなどのリスク評価を迅速に実施可能なツールとしてベンチャー事業化を行った。

- 3) 生活環境水中のイオン一斉分離計測デバイスの研究開発現場で無機イオンを迅速に定量することを目的に、非接触型電気伝導度検出 (C4D) センサを採用した可搬型キャピラリー電気泳動システムを開発した。

泳動条件の検討を行ったところ、2.5分以内に6種類の主要な無機陰イオンと5種類の主要な無機陽イオンの一斉分離を達成した。

- 4) 健康への影響を効果的に低減するための技術

飲料水中の硝酸イオン除去技術を開発すると共に、硝酸イオンセンサの開発も行い、FET型イオン電極上に硝酸イオン選択性層状イオン交換体を複合化、硝酸イオンを0.05mMまで可逆的・安定的に測定出来た。

新規有害陰イオン捕捉材料の開発として、臭素酸イオンや過塩素酸イオンの除去材料も開発した。

特許取得技術「ヒ素除去剤」が東南アジア地区のヒ素汚染に適用できることを確認した。また、安価な原料を用いた場合でも、曝気などと併用すれば適用可能な事がわかった。

震災以降、セシウム除去材料の検討も行い、新規除去材料の開発にも成功した。

- 5) 食品中の機能性成分標準分析法

アンセリン、6-ジングロール、ノビレチンおよびタンゲレチン、アリイン、梅ポリフェノールの分析法をフォーラム標準化した。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] マラリア、CTC、遺伝子増幅、ベンチャー企業、健康リスク削減、硝酸イオンセンサ、セシウムイオン選択性捕捉剤、機能性成分標準分析法

[テーマ題目3] 組織・細胞の機能の再生・代替技術の開発

[研究代表者] 大家利彦 (副研究部門長)

[研究担当者] 弓場 俊輔、立花 宏一、出口 友則  
(常勤職員3名、他4名)

人工細胞研究グループ

安積 欣志、清原 健司、杉野 卓司、  
寺澤 直弘、中村 真里

(常勤職員5名、他3名)

生体分子創製研究グループ

上垣 浩一、中村 努、中山 敦好、  
山野 尚子、川崎 典起

(常勤職員5名、他4名)

バイオインターフェース研究グループ

小島 正己、清末 和之、細川 千絵、  
北島 真子、大石 勲

(常勤職員6名、他8名)

くらし情報工学研究グループ

達 吉郎 (兼務)、中川 誠司、  
渡邊 洋、吉野 公三、添田 喜治

(常勤職員5名、他12名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

## [研究内容]

再生医療の早期実用化を目指して、細胞の分化誘導技術や組織形成技術を、神経組織の光治療に向け、細胞機能再生用レーザー光技術を開発する。また、筋肉の機能を代替可能なデバイスの実現に向けて高分子アクチュエータの高性能化を推進する。

### 1) 再生医療支援技術

低フォスファターゼ症に対する臨床研究に並行して、患者数の多い末梢動脈疾患のうち重症例に対して、間葉系幹細胞移植の臨床研究を実施した。セルプロセッシングセンターで製造した健常者骨髄由来の間葉系幹細胞を同疾患患者に他家移植として全身投与した「ヒト幹細胞臨床研究」では、全身の骨再生のみならず、延命効果等、顕著な有効性を確認した。また、新規再生医療用細胞製造システムとして開発中の再生医療用アイソレータの試作機を完成するとともに、これを用いて従来の製造施設であるセルプロセッシングセンターと同等の細胞増殖能・分化能、また無菌性を保った培養に成功し、その製造に関する標準作業手順書をほぼ完成させるに至った。

### 2) 細胞機能再生用レーザー光技術の開発

集光レーザーを用いた神経細胞の局所操作手法として、光ピンセットにより神経細胞内シナプス小胞群や細胞接着分子の運動が束縛される機構について解明し、シナプス小胞群の放出過程を抑制できることを明らかにしてきた。この神経細胞内分子集合操作を進展させ、量子ドットで標識した神経細胞接着分子の細胞表面における分子集合操作に成功し、レーザー集光領域に分子集合体が複数個捕捉され、レーザー光強度の増大に伴い分子集合体の運動が束縛される機構を解明した。

### 3) トランスジェニックニワトリ

抗体医薬品などの高品質組換え蛋白質を遺伝子組換えによりニワトリ卵内に高効率に生産させる一連の技術の開発を行った。主要な成果として、①ヒト抗体医薬発現制御系をニワトリ始原生殖細胞に高効率に導入する方法を開発した。②電離放射線照射により内在性始原生殖細胞を選択的に除去し、移植組換え始原生殖細胞が90%以上の極めて高いキメラ率を有する生殖巣キメラヒヨコ作成法を開発した。③新たなニワトリ始原生殖細胞培養、遺伝子組換え、移植操作により、組換え後代を得た。④ニワトリ始原生殖細胞を用いた遺伝子編集技術の開発を行ない、標的遺伝子を部分欠損する細胞株4系統の作製に成功し、組換え技術に依存しないニワトリ遺伝子操作技術開発に向けた端緒を得ることができた。



## 4) 高分子アクチュエータの高性能化

従来から開発を進めてきた、カーボンナノチューブとイオン液体のポリマーゲル電極からなるアクチュエータ素子の電極へ、ポリアニリンあるいはカーボンナノホーン等の導電性微粒子の添加することにより、発生圧と伸縮率を向上させることに成功した。さらに、産総研で開発されたスーパーグロースカーボンナノチューブを用い、前記導電性微粒子、ポリマー、イオン液体との分散技術を改良した。また、電荷移動錯体を電極層に添加することで、アクチュエータの実用的課題である DC 通電時の長期耐久性が改良できることを見出した。結果として、素子レベルでは、運動アシストに提供可能なレベルの素子開発に成功した。

## 5) 高分子アクチュエータの駆動モデルの確立

インピーダンス測定により、カーボンナノチューブを高分子に分散させた伸縮性電極を調べ、電場伸縮における応答において、電極内におけるイオン移動速度が、応答速度を決定する重要な因子であるということを見いだした。分子シミュレーションにより、導電性微粒子を分散させた伸縮性電極の電場印加における応力発生メカニズムについて、電極層の誘電率、あるいは微粒子密度などの関数で応力発生が決まることを見いだした。さらに、精密な電気機械測定系を構築し、その測定により、ナノカーボン高分子アクチュエータの変形を駆動するのは、イオンの体積効果であること、一定電圧を加え続けた際、変形の揺れ戻しなどは、高分子の粘弾性特性に起因することが分かった。これらは、素子レベルでの、目標の運動アシスト機器に適用可能なアクチュエータの材料設計指針となる。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 再生医療、iPS 細胞、脳機能改善・治療、レーザー治療、高分子アクチュエータ

## [テーマ題目4] 細胞機能計測・操作技術の開発

[研究代表者] 茂里 康 (総括研究主幹)

[研究担当者] 生体分光解析研究グループ

田和 圭子、川崎 一則、  
安藤 昌儀、田村 繁治  
(常勤職員4名、他2名)

細胞分子機能研究グループ

佐藤 孝明、藤田 篤、上野 豊、  
川崎 隆史、星野 英人、峯 昇平、  
呉 純、廣野順三 (常勤職員8名、他5名)

生体分子創製研究グループ

上垣 浩一、中村 努、中山 敦好、  
山野 尚子、川崎 典起、河田 悦和  
(常勤職員6名、他7名)

パイオインターフェース研究グループ

小島 正己、清末 和之、細川 千絵、  
北島 真子、大石 勲

(常勤職員5名、他5名)

生体ナノ計測研究グループ

脇田 慎一(兼務)、大槻 莊一(兼務)、  
田中 芳夫、平野 研、

Biju Vasudevan Pillai、伊藤 民武

(常勤職員6名、他1名)

生体機能制御研究グループ

中島 芳浩、安部 博子、室富 和俊、  
安永 茉由 (常勤職員4名、他3名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

## [研究内容]

遺伝子、細胞、情報、ナノテクノロジーなどの研究を統合し、健康・医療に関わる知的・技術基盤の形成と応用技術の創出を目指す。

## 1) 産業利用を目指した有用蛋白質の構造機能解析

細胞機能の産業利用を目指し、糖代謝系を担う耐熱性蛋白質の構造解析を通して、それらの基質特異性や反応機構を解明した。

## 2) バイオマーカーとしての新規光生体プローブの探索と検知システムの開発

個体・組織・細胞において数時間から数週間までマーカー分子の動態をリアルタイムで検知できる光生体プローブと検知システムに関する開発を進めた。単一細胞レベルでの発光イメージングではオルガネラレベルでの2種の遺伝子発現の経時的な可視化に成功した。検知システムの開発では3種類の遺伝子発現の変動を同時且つリアルタイムに7日間以上検知可能なマルチウェルプレート対応生細胞リアルタイム多色発光測定装置の試作に成功した。

## 3) 新規量子ドットの開発と表面プラズモン励起増強蛍光法

ナノテクノロジーや材料合成技術と融合した独自性の高い生体分子の計測・解析技術の開発を実施した。バイオマーカーや生体分子のメカニズム解明において、細胞内での各分子の挙動の検出のための分子認識プローブの開発を行っており、分子イメージング技術への展開を図った。特にプラズモニクチップを用いた生体分子測定法(表面プラズモン励起増強蛍光法)等の開発を行った。

## 4) ヒト型複合糖鎖を有するバイオ医薬品生産のための酵母の開発

代替宿主を利用するバイオ医薬品の生産において、糖鎖をヒト型に変換する過程がボトルネックとなっている。そこで増殖能力の保持と、ヒト型糖鎖生産可能な出芽酵母株の確立を目指し、ヒトの複合型糖鎖を生産する酵母株に遺伝子改変を重ねた。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] バイオマーカー、高発光型プローブ、多色発光マウス、ナノテクノロジー、バイオマス、量子ドット、表面プラズモン共

鳴

## [テーマ題目5] ヒト生理機能解析技術の開発

[研究代表者] 達 吉郎 (副研究部門長)

[研究担当者] くらし情報工学研究グループ達 吉郎 (兼務)、中川 誠司、  
渡邊 洋、吉野 公三、添田 喜治、  
梅村 浩之、岩木 直 (兼務)

(常勤職員7名、他12名)

細胞分子機能研究グループ佐藤 孝明、藤田 篤、上野 豊、  
川崎 隆史、星野 英人、峯 昇平、  
呉 純、廣野 順三 (兼務)

(常勤職員8名、他5名)

ストレスシグナル研究グループ萩原 義久、永井 秀典、山添 泰宗、  
出口 友則、七里 元督、赤澤 陽子

(常勤職員6名、他7名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

## [研究内容]

非侵襲脳機能・生理機能計測技術を基盤に、聴覚機能障害の補償技術、高臨場感・快適環境の設計技術および日常健康モニタ技術を開発する。

## 1) 高精度な非侵襲脳機能可視化技術の開発とヒト高次脳機能可視化への応用

対面する相手の視線方向を知覚する課題遂行中に、互いの脳波と脳磁界信号を同時に計測する実験データに対し、脳領域間の相互作用を因果関係のモデル化技術を適用した。この結果、相手の視線方向を観測している被験者で、前頭部と頭頂部の他者の行為を認識に寄与する脳部位におけるガンマ帯域脳活動強度が上昇すること、またこれらの脳部位における神経活動時系列の間に有意な因果関係があることを明らかにし、非言語的なコミュニケーションにおける他者認識に関わる脳部位間の連携を定量的に解析できることを示した。

## 2) 日常生活での生理計測技術・快適環境の設計技術の開発

日常生活での生理・行動・心理に関する被験者実験を行い、解析を行った。また、行動が環境・対象の認知過程に及ぼす影響を実験的に検討し、その過程のモデル化を行い、視覚系と運動系の協調過程について解析を行った。

## 3) 映像の生体安全性

3D 視覚疲労および映像酔い二つの観点からの人間工学実験を実施し、標準基盤に資するデータの収集を行った。ISO/TC159/SC4/WG12セクレタリーとして2回の国際会議を運営し、FDIS 承認、および FDIS 投票を達成した。

## 4) 聴覚機能の神経基盤解明

骨伝導知覚メカニズム研究の成果を生かした難聴者

福祉機器群の開発と改良、評価を進め、末梢での骨伝導音伝搬過程を精細に明らかにし、一部についてはその実用性や継続的使用に伴う難聴者のパフォーマンス向上、さらには脳機能レベルでの変化を観察した。また、時間変動する音に対する聴覚メカニズムの解明に関しては、音の動的処理機能モデル化に関し、実際の環境や製品の評価に向けた検討を進め、最適サイン音のデザインのための基礎的データを得ることができた。環境音の定量化・類型化に関しては、様々な環境音を相関指標により定量化・類型化し、さらに得られた指標と心理量の関係を調べ、環境音の心理評価に有効な物理指標を明らかにした。また、エアコン音の最適化に応用した。

## 5) 疾病診断用嗅覚センサの開発

家庭で疾病初期の検知が可能になると期待される、個人特有の体臭変化検知用の嗅覚代替センサの開発を、細胞センサ素子として用いるセンサ細胞、および嗅覚の匂い評価機構の解明について進め、嗅覚受容体の安定機能発現株の感度改善法を検討し、5種類の遺伝子の一過性共発現で高感度化されることが確認され、1種類の受容体発現株への組み込み作業を開始した。動物行動実験では、背側受容体欠損により生じる大きな感度低下の新規な特徴を発見し、その解析から匂い識別を支配する受容体候補を考察した。また、膀胱がん患者特有の尿臭をマウスが低濃度でも識別可能であると示すデータを蓄積した。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 非侵襲脳機能可視化技術、骨導超音波、日常生活での生理・心理計測、映像の生体安全性、嗅覚代替センサ、生理機能モデル

## ⑦【生物プロセス研究部門】

(Bioproduction Research Institute)

(存続期間：2010.4～)

研究部門長：田村 具博

副研究部門長：湯本 勲

副研究部門長：扇谷 悟

総括研究主幹：町田 雅之

総括研究主幹：花田 智

所在地：北海道センター、つくば中央第2、

つくば中央第6

人員：62名 (62名)

経費：998,441千円 (476,211千円)

概要：

## 1. ミッション

バイオプロセスによる高効率な物質生産を目指し

た基礎的・基盤的研究から実用化研究に至るまでの一貫した研究を行い、化石燃料代替物質、化成品原料、医薬化学品、有用タンパク質、生物資材など、物質循環型社会の実現ならびに高品位な物質生産技術の開発に貢献する。当該目的を達成するために(1)微生物・各種生物遺伝子資源の探索ならびに探索技術の開発、(2) 遺伝子情報を高速で解析し、有用遺伝子を *in silico* で探索する技術の開発、(3) 各種ゲノム・生体分子情報をもとに遺伝子組み換え植物・微生物・動物などによる有用物質生産技術の開発、(4) タンパク質・核酸・生体関連化学物質材料などの開発に取り組む。また新部門は北海道センターとつくばセンターにまたがる部門であり、北海道センターにおいては、多様な地域連携を行いつつ、特に次世代アグリバイオテクノロジー研究拠点として地域貢献を果たして行く。

## 2. 研究の概要

- 1) 医薬品生産のための産総研植物工場と植物の遺伝子組換え技術開発 (イヌインターフェロン $\alpha$ を発現する遺伝子組換えイチゴ) を融合し、企業と共同で組換え植物体を原薬とする動物薬の世界初の承認を取得。H26年春から上市。
- 2) 水生植物-微生物共生系の開拓とその利活用のために水生植物に棲息する未知微生物の探索を行った。その結果、7門、161綱、80属、90種におよぶ系統学的に多様で新規な、水生植物微生物ライブラリーを構築した。さらに当該微生物ライブラリーから水生植物の成長を促進する新規微生物を10種類以上見いだした。
- 3) 大規模な生物解析と柔軟な情報解析のパイプライン化により、産業界が着目する重要な課題について、二次代謝クラスターを正確に予測し、遺伝子組み換えによる生産性の向上に成功した。

## 外部資金：

- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「植物細胞壁の酵素分解におけるキシログルカン分解酵素の作用機構の解明と利用」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「糖尿病の改善効果を評価するための新規指標物質の開発」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「持続型アンチ miRNA 創薬の開発と心疾患治療薬への展開」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「C型肝炎ウイルス糖ペプチドを用いた中和抗体作製と、新規診断技術への応用」

- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「電気化学顕微鏡を用いた心筋細胞解析技術の開発」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「次世代シーケンシング技術を利用したアブラムシ社会の分子基盤および進化に関する研究」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「高効率・高感度な薬物代謝マルチアッセイシステムの開発」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「DNAによる効率的な多酵素反応場の構築と一細胞測定用電極への展開」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「高機能型新規バイオミネラル結合タンパク質の開発に関する研究」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「放線菌における系統分類と生産物質のデータベース化と新規生産株の簡易検出法の開発」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「植物発現組換えタンパク質の安定的蓄積に関する研究」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「人工キメラリプレッサーによる汎用的な新規植物ジーンサイレンシング技術の開発」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「多様な温室効果ガスの大気圏からの消費に植物圏微生物が果たす新規生態系機能の発見」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「昆虫-大腸菌人工共生系による共生進化および分子機構の解明」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「共生細菌による宿主昆虫の体色変化：隠蔽色に関わる共生の分子基盤の解明」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「生合成マシナリー構築に向けたロドコッカス属細菌の宿主最適化と遺伝子ツールの拡充」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「ホソヘリカメムシ *Burkholderia* 共生系における共生成立機構の解明」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「大腸菌リボソームの可塑性と表現型進化の機構解明」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「陸域地下圏の未知アーキア系統群：環境ゲノム情報と培養技術で切り拓く

- その新生物機能」
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金「全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「アカトンボの体色と色覚の進化」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性の包括的理解とその応用技術の創成」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「メタン湧水帯に棲息する進化系統学的に極めてユニークな培養困難細菌のメタゲノム解析」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「*O.minuta* 酵母の基礎生物学を進めるための遺伝学的基盤解析系の確立」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「糸状菌におけるリボソームペプチド生合成経路の合理的探索」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「スベリン合成制御因子を利用したカスパリー線機能強化植物の作出」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「メタゲノム由来高機能β-グルコシダーゼの解析と応用」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「ナノクラスター化による天然物由来高活性新規抗菌剤の開発研究」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「海棲発光動物の発光における分子機構の解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「ムチンにおける周波数依存性マイクロ波効果の探索と応用」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「水-二酸化炭素によるバイオマス新規糖化法の開発」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「シントロフィーを促進するサポーター微生物の存在とその新規微生物間相互作用の解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「ゲノム分子進化を用いた弱毒ウイルス作出法の開発」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「暗所に生きる細菌に体内時計は必要か？」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「遺伝子水平伝播に同調する新規プログラム細胞死の解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「シオカラトンボのUV反射Waxの解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「一年生植物シロイヌナズナを多年生にする」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「リボソームRNAの抗生物質耐性変異の網羅的解析」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「インジゴ還元槽中の微生物叢の機能解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「海洋性油糧微生物由来のドコサペンタエン酸合成系を導入した出芽酵母の創製」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「昆虫共生細菌による宿主性比操作メカニズムの解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「植物ウィルス感染応答制御に関する転写因子の研究」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「共生系の季節適応：昆虫-微生物における共進化機構の解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「適応放散における進化-生態フィードバックの寄与：微生物モデル系による実験的解析」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「同一ゲノムから生じる2種類の生物社会の進化機構」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「クワガタムシ・コガネムシ類における昆虫-菌類の共生関係の解明と保全生物学的応用」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「冥王代類似環境微生物」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「酵母でのリシノール酸の生産に関する研究」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「複合適応形質進化の遺伝子基盤解明」
  - ・ 文部科学省 科学研究費補助金「二次代謝産物生産に適した糸状菌遺伝子発現システムの開発」

- ・文部科学省 科学研究費補助金「冥王代生命学の創成」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「担持型酸化触媒による臭素系難燃剤の分解に及ぼす腐植物質の影響」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「植物における転写因子複合体を形成する因子の網羅的な解析」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「非天然分岐型糖鎖含有デタージェントライブラリの構築と膜蛋白質の可溶化」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「花卉におけるクロロフィル代謝制御機構の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「利他行動」を制御する新規化合物の探索とその作用機構の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「青年期アスペルガー症候群の社会的認知と社会不適応状況のテキストマイニング分析」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「遺伝子組換えと同等の形質を植物に付与する化合物開発システムの構築」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「細胞外シグナルと細胞内調節の相互作用による器官形成ロジックの多元的理解」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「植物発生ロジックの多元的開拓」
- ・文部科学省 科学研究費補助金「トランスクリプトームとエネルギー代謝から紐解くマングローブの生態ニッチ決定機構」
- ・経済産業省「平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業／脂肪酸など環境低負荷を目的とした炭化水素系化合物の生産技術の開発に関する研究」
- ・農林水産省「共生細菌によるカメムシ類の農薬抵抗性獲得機構の解明」
- ・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「バイオマスエネルギー技術研究開発／バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業／有用微生物を用いた発酵生産技術の研究開発」
- ・独立行政法人科学技術振興機構「生物発光を利用した高感度遺伝子検出システムの開発研究」

- ・独立行政法人科学技術振興機構「ゼロから創製する新しい木質の開発」
- ・独立行政法人科学技術振興機構「水生植物根圏微生物の培養技術開発と根圏微生物ライブラリーの構築」
- ・独立行政法人科学技術振興機構「アポミクシス関連候補因子の検証とイネへの展開」
- ・北海道科学技術総合振興センター「植物素材の機能性評価に関する研究」
- ・北海道科学技術総合振興センター「植物素材の新規機能性に関する可能性調査研究」
- ・独立行政法人医薬基盤研究所「微生物由来の新規抗生物質の生産菌株の生産性向上試験」

発表：誌上发表140件、口頭発表302件、その他19件

-----  
植物分子工学研究グループ

(Plant Molecular Technology Research Group)

研究グループ長：松村 健

(北海道センター)

概要：

植物の遺伝子組換え技術を利用して、医薬品原材料等の有用・高機能性物質を植物での高発現・高生産を可能にする技術開発と、これと並行して薬用植物、遺伝子組換え植物を密閉、かつ人工環境下で栽培から製剤化までの一貫した工程を実施可能な植物工場システムの確立を目標に研究を進めている。

遺伝子組換え植物での創薬という新しい研究開発分野において、上記技術を活用し、組換え植物体を原薬として世界初の製品化に至ったイヌ歯肉炎軽減剤「インターベリーα®」に引き続き、アルツハイマーワクチンダイズ、ブタ下痢症ワクチンレタスなどの開発を行っている。さらに、これまでの医薬品生産植物工場設計・稼働のノウハウを活用し、地域自治体、経済界、民間との共同で物質生産目的植物工場を新たに開発、生薬植物類の人工環境下での栽培技術開発を行っている。また、新たな植物への遺伝子導入方法として、アグロバクテリウムとキュウリモザイクウイルスベクターを融合させた一過性遺伝子高発現系の改良に成功した。

- 研究テーマ：1.閉鎖型植物生産施設に適した有用物質生産基盤植物の開発研究  
2.植物ウイルスベクターの開発  
3.薬用植物の人工環境植物工場での水耕栽培技術開発

## 分子生物学研究グループ

(Molecular and Biological Technology Research Group)

研究グループ長：森田 直樹

(北海道センター)

## 概要：

当研究グループは、有用タンパク質・有用脂質・有用糖質の新しい生産・利用システムの開発において、従来よりも優れた技術を開発し、最終的に産業応用に貢献することを目標としている。

真核微生物におけるタンパク質発現系の研究では、出芽酵母において、FMDV 2A region を用いたポリシストロニックな発現システムの確立を目指している。3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドを有する遺伝子組換え酵母での遺伝子発現の至適化については、宿主と脂肪酸不飽和化酵素遺伝子の種類を変えてみることで、予想される不飽和脂肪酸が検出できた。また、脂肪酸鎖長伸長酵素遺伝子を各々単独で発現し、脂肪酸組成の変動が観られるか否かを確認したが、変動は観られなかった。宿主として用いている出芽酵母は飽和脂肪酸とモノ不飽和脂肪酸のみを有していることから、これら脂肪酸は遺伝子を導入した脂肪酸鎖長伸長酵素の基質にならないことが予想された。

糖鎖の簡易解析手法の開発では、糖鎖抗原をエピトープ認識するIgGクラスのモノクローナル抗体の取得が現状技術では困難なため、免疫法の改良について検討したところ、免疫原の調整方法を変えるとIgGが誘導され易くなることを見出した。病態特異的な糖鎖発現制御機構の解析では、糖尿病のモデルマウスを用いた解析により、インスリン抵抗性の発症に関わるスフィンゴ糖脂質の肝臓における発現量が、Nutritional stressによって変化することを見出した。

核内受容体活性化の評価による食品素材の機能性解析では、地域イノベーション戦略推進事業「さっぽろヘルスイノベーション『Smart-H』」の「評価系プロジェクト（食の機能性に関する分析・評価拠点の機能強化）」に参画し、核内受容体アッセイを用いて道産食品中に含まれる機能性成分の機能評価を行った。

- 研究テーマ：1.生物発光系を活用したレポーターアッセイ系及び分子イメージング技術の開発  
2.真核微生物を用いた新規タンパク質発現系の開発  
3.機能性脂質の代謝工学的生産法の開発  
4.糖鎖の簡易解析手法の開発及び病態特異的な糖鎖発現制御機構の解析  
5.核内受容体活性化の評価による食品素材の機能性解析

## 生体分子工学研究グループ

(Biomolecular Engineering Research Group)

研究グループ長：小松 康雄

(北海道センター)

## 概要：

本研究グループでは、核酸、タンパク質、細胞の活性等を、有機化学ならびに工学的手法によって解析および改良し、物質生産、医薬品開発、高感度物質検出に活用することを目指している。

ガン細胞ではグルコースの消費量が増加していることから、細胞環境の変化とグルコース消費量を電気化学的に高感度に測定する技術の開発を我々は進めている。昨年度までに、2本鎖間を架橋化して安定化させたDNA上に、グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼを最適な距離間隔で配置させることで、グルコースの電気化学的な定量が可能であることを示した。H26年度においては、細胞近傍におけるグルコース濃度を定量するため、上記の2種類の酵素とDNAの複合体を、走査型電気化学顕微鏡に用いる微小電極上に作製し、その性能を評価した。その結果、微小電極上に構築された酵素・DNA複合体は、極微小空間における局所のグルコース濃度を検出可能であることを確認した。

また、RNAに高い親和性で結合する核酸は、RNAの機能を阻害する医薬品をはじめ、遺伝子解析に利用することが可能である。今回、RNAと相補的な配列を有するDNAが、RNAとの結合領域に隣接して配列内部が架橋された2本鎖を有する場合、RNAとの結合が架橋化2本鎖領域によってどのような影響を受けるかどうかを調べた。その結果、架橋化2本鎖構造を有するDNAは、RNAとの結合が高度に安定化されるという現象を見出した。本成果に関しては新規であったことから特許を出願した。

- 研究テーマ：1.核酸の安定化と効率的化学修飾技術の開発  
2.電気化学を利用した、生体関連物質の機能解析と検出技術の開発

## 生物材料工学研究グループ

(Bio-material Engineering Research Group)

研究グループ長：佐々木 正秀

(北海道センター)

## 概要：

本研究グループは機能性物質の新規合成法開発として、糖鎖部分の構造均一化や作用部分であるペプチド部の位置選択的かつ効率的な調製法について検討するとともに、生物材料の化学原料化、さらには生体分子等の位置選択的固定化技術に関する研究を進めている。

機能性物質の新規合成法開発では、糖加水分解酵素

や糖転移酵素の反応におけるマイクロ波効果を研究し、生物製剤である糖タンパク糖鎖部分の構造均一化法の研究を展開した。また、糖ペプチド合成技術を生かして、B型肝炎ウイルスやC型肝炎ウイルスの新薬や診断薬候補化合物の開発研究を進めている。さらに、天然物を利用した高感度に特定の複合糖鎖を認識する新しいナノマテリアルの開発に成功した。

生物材料の化学原料化は木質系バイオマスの水熱反応で観測されるロス分について、その原因と対処法について検討を進めた。液状生成物の詳細な分析により、ロス分は反応過程で生成する低分子成分量に対応することが判明した。低分子成分の生成は、過分解が原因と考えられ、そこでより温和な条件での水熱反応を実現するために、昇温速度を20°C/minから5°C/minに変更することにより、ロス分をほぼゼロにすることに成功した。

位置選択固定化技術に関しては、ガラス基板と機能性物質を結合させるリンカーについて、基板上に均一に固定化する条件を見出し、さらに機能性物質の固定量の定量手法を開発した。

研究テーマ：1.機能性物質の新規合成法開発  
2.生物材料の化学原料化  
3.生体分子・細胞の位置選択的固定化技術

### 生物システム工学研究グループ

(Molecular Systems Bioengineering Research Group)

研究グループ長：町田 雅之

(北海道センター)

概要：

本研究グループは、迅速・大規模に生産されるゲノム情報を迅速かつ効果的に物質生産や環境低負荷などに資することを目的として、生物情報解析技術と柔軟な情報処理技術との統合によって、大規模ゲノム情報の産業利用に必要なシステムの開発を進めている。

これまでに、ゲノム塩基配列、転写発現、代謝物などの情報を利用して、二次代謝や脂質関連物質の生産に関連する新規遺伝子の発見と機能予測・解析に関する研究を進めてきたが、次の課題として、これらの物質の迅速な生産性の向上に関する研究を進めている。このための方策として、標的物質を生産する株に対して摂動を与えてその前後の生理状態を計測し、得られた複数の情報を有機的に連携して解析することにより、生産性を向上させるために重要な遺伝子を探索することなどが考えられる。このような方法を実現するためには、生物解析系と情報解析系の効果的な連携を実現するためのシステムの開発が必要不可欠である。そこで、情報解析を専門とする研究ユニットの連携を構築することにより、このためのプラットフォームを開発し、産業的に重要な物質生産系の開発と改良に関する

評価と実証を進めている。

研究テーマ：1.有用なゲノム・遺伝子資源の探索と利用技術の開発  
2.システム生物学を利用した生物機能解析・利用技術の開発

### 合成生物工学研究グループ

(Synthetic Bioengineering Research Group)

研究グループ長：宮崎 健太郎

(北海道センター)

概要：

当研究グループでは、微生物機能を産業利用するための各種基盤技術開発を行う。具体的には、合成生物学的手法による宿主デザイン、メタゲノム手法による有用遺伝子の探索、進化分子工学による生体分子の機能改変、蛋白質の立体構造解析を行う。

合成生物学的手法による宿主デザインでは、大腸菌をプラットフォームとして、リボソームの大小サブユニットに含まれるrRNAを異種生物由来のものと置換する方法により、異種遺伝子発現効率の向上や宿主の代謝変動が起きることを明らかにした。放線菌による物質生産系については、aurachin RE生産株 *Rhodococcus erythropolis* JCM 6824, のドラフトゲノム解析を行った。

メタゲノム手法による有用遺伝子の探索では、リボソームの構成成分であるrRNAを対象としたメタゲノムスクリーニング及びDNAシャッフリングにより、宿主機能改変に有効な遺伝子を多数獲得した。

進化分子工学による蛋白質の機能改変では、芳香環に感応する転写因子のランダム変異により、転写誘導活性の向上した変異体の獲得に成功した。

蛋白質立体構造解析については、高活性型細菌由来不凍蛋白質等の構造決定に成功した。

### 環境生物機能開発研究グループ

(Environmental Biofunction Research Group)

研究グループ長：湯本 勳

(北海道センター)

概要：

微生物が主な機能を担う場における微生物叢の解析、有用微生物の分離、微生物叢の形成原理、微生物間相互作用、微生物の物質循環への寄与等の解明を通じて、環境保全・環境改善・産業利用に微生物を活用することを目指して研究を行う。また特殊環境下でも生育する個性の強い微生物群である極限環境微生物についてその生態および生きている仕組みを解明することによって、通常とは別の角度から生物の代謝や外界の有害物質から防御する仕組みを明らかにすることを目標に研究を行う。

過酸化水素を分解する酵素であるカタラーゼは非常

に速い反応性を持つことで知られている。そのメカニズムの一つは、限られた大きさの基質のみが活性中心にアプローチ出来ることにある。今回基質導入部位の特定のアミノ酸に着目し、当該アミノ酸の存在と基質が導入される速度との関係を見積もった結果、相関性があることが認められた。

パーラー排水処理施設においてその流入する排水には抗生物質が含まれている場合がある。そのため特定の微生物群を排水処理の効率化のために使用するには、ある程度の多様性を持たせることが重要である。そこで今回は、現場の排水およびその他の試料から乳脂肪を分解する真菌類の分離を試みた。その結果複数株の乳脂肪分解能を持った真菌類が分離出来た。

これまでに害虫カメムシ類が土壤中の農薬分解細菌を体内に共生させることで農薬抵抗性を獲得することを発見した。本年度は次世代シーケンサー解析および飼育実験により、農薬の推奨散布範囲内（2回の散布）で土壤中の農薬分解細菌が十分量増殖し害虫カメムシに感染する事を解明した。また菌叢の比較解析により、害虫カメムシが土壤中の全細菌種のわずか0.006%を占めるに過ぎない農薬分解菌を特異的に獲得する事を明らかにした。さらに農薬分解細菌のゲノム解析・トランスクリプトーム解析により、農薬分解遺伝子を同定し、体内解毒機構を明らかにした。

魚類のモデル系であるメダカについて腸内細菌叢の解析を行い、実験室内で飼育された多くのメダカは *Aeromonas* 属細菌が優先する特徴的な腸内細菌叢を発達させていたが、野外で採集されたメダカは地域によって腸内細菌叢の構成が大きく異なり、生息環境によって腸内細菌叢が大きく影響を受ける可能性を明らかにした。

- 研究テーマ：1.機能性微生物の探索と環境適応機能解明に関する研究  
2.微生物を応用した新規物質変換法および環境浄化法の開発  
3.微生物と有害物質との関係、微生物と宿主および微生物間相互作用についての機構解明

**生物共生進化機構研究グループ**  
(Symbiotic Evolution and Biological Functions Research Group)

研究グループ長：深津 武馬

(つくば中央第6)

概 要：

非常に多くの生物が、恒常的もしくは半恒常的に他の生物（ほとんどの場合は微生物）を体内にすまわせている。このような現象を「内部共生」といい、これ以上ない空間的な近接性で成立する共生関係のため、極めて高度な相互作用や依存関係が見られる。このよ

うな関係からは、しばしば新規な生物機能が創出される。共生微生物と宿主生物がほとんど一体化して、あたかも1つの生物のような複合体を構築することも少なくない。

我々は昆虫類におけるさまざまな内部共生現象を主要なターゲットに設定し、さらには関連した寄生、生殖操作、形態操作、社会性などの高度な生物間相互作用を伴う興味深い生物現象について、進化多様性から生態的相互作用、生理機能から分子機構にまで至る研究を多角的なアプローチから進めている。

我々の基本的なスタンスは、高度な生物間相互作用を伴うおもしろい独自の生物現象について、分子レベルから生態レベル、進化レベルまで徹底的に解明し、理解しようというものである。

- 研究テーマ：1.昆虫－微生物間共生関係の多様性の解明  
2.共生微生物が宿主に賦与する新規生物機能の解明  
3.共生関係の基盤となる生理、分子機構の解明

**生物資源情報基盤研究グループ**  
(Microbial and Genetic Resources Research Group)

研究グループ長：木村 信忠

(つくば中央第6)

概 要：

本研究グループでは、未知・未培養・未利用の生物資源を探索する技術を開発し、生物遺伝子資源を活用した物質生産技術・環境制御技術等の開発を行うとともに、微生物・遺伝子資源情報の外部提供を目的とした技術開発を行っている。

具体的には

- (1) 未知・未培養微生物ならびに未利用生物資源の探索・同定・分類ならびにライブラリー化を進め、これらの微生物資源の有効活用を目指した。その結果、これまで未知であった各種細菌・古細菌の分離に成功した。(2) 様々な自然・人工環境から分離された新規微生物群の機能解明・ゲノム解析・機能利用・微生物間相互作用の解明を行った。特に、地下圏環境からは原油を分解してメタンを生成する地下微生物群集の集積培養化に成功するとともに嫌気共生系による原油分解メタン生成メカニズムの解明を進めた。また水生植物の成長を促進する新規な根圏微生物を複数発見し、その共生メカニズムの解明とバイオプロセスへの利活用に関する研究を進めた。(3) 微生物を分離培養することなく直接環境 DNA・RNA を利用するメタゲノム・メタトランスクリプトーム解析により酵素群の探索を行った。本年は微生物間コミュニケーションに関わる酵素や化合物をメタゲノムライブラリーから発見した。(4) 環境制御・浄化に資する微生物の生態学的解析・利用技術の開発を行い、特に、揮発性有機化合物の分



解性に優れた微生物を浄化現場に投入するバイオオーグメンテーション試験を実施し、遺伝情報を利用した生態影響手法を開発した。

- 研究テーマ：1.未知・未培養微生物ならびに未利用生物資源の探索・同定・分類ならびにライブラリー化
- 2.新規（微）生物群の機能解明・ゲノム解析・機能利用・微生物間相互作用の解明
- 3.環境ゲノム解析技術：メタゲノム・メタトランスクリプトーム解析技術の開発と利用
- 4.環境制御・浄化に資する微生物の生態学的解析・利用技術の開発

### 生体物質工学研究グループ

(Biological Substance Engineering Research Group)

研究グループ長：神坂 泰

(つくばセンター第6)

概要：

当研究グループは、健康食品、化成品原料、バイオディーゼル燃料など幅広い用途が期待されている脂質を自在に生産できる酵母の系の確立と、バイオマス資源から得られる物質から生分解性など環境保全のための新規機能性高分子の開発・評価を目指している。

酵母による脂質生産では、遺伝子改変により脂質含量を45%に増加させた形質転換出芽酵母株を用いて機能性脂肪酸であるパルミトオレイン酸を生産させることを検討し、高濃度メチオニン存在下での培養等によって、生産性が従来の2.5倍に増加することを見出した。また、高度不飽和脂肪酸生合成系の中で律速段階とされている $\Delta 6$ 不飽和化に関して、15-40g/lの界面活性剤 Tergitol NP40を0.2g/l ヒスチジンと同時に添加した場合に、 $\Delta 6$ 不飽和化が亢進し、出芽酵母によるステアリン酸生産が向上することを見出した。さらに、オレイン酸の12位にOH基を持ち、石油化学製品の代替材料として注目されているリシノール酸の分裂酵母での生産において、リシノール酸の毒性による増速阻害を解除する遺伝子として同定した plg7 (フォスホオリパーゼ A2) を低温で強発現させると、遊離型のリシノール酸が高効率で細胞外に分泌することを見出した。

一方、脂質や糖質等の再生可能なバイオマス資源から得られる新規機能性高分子の開発については、セルロース由来物質であるレブリン酸から合成した2-メチレン-4-メチル-1,3-ジオキセパンを、ラジカル開始剤存在下60℃で加熱すると、開環重合してポリエステルとなることを見出した。

- 研究テーマ：1.機能性脂質の生物生産高効率化の研究
- 2.バイオマス由来高分子素材の合成と高機

能化の研究

### 植物機能制御研究グループ

(Plant Gene Regulation Research Group)

研究グループ長：鈴木 馨

(つくば中央第6)

概要：

産業、環境、健康などの様々な面での植物利用の高度化、拡大のために、植物が本来持っている様々な機能を制御するメカニズムの解明と植物機能を有効に利用するための制御技術の開発を目指して研究を進めている。具体的には、①各種植物機能を制御する転写因子の同定と機能解明では、クチクラ形成を制御する因子の新規生理機能などを明らかにした。②パラゴムノキの分子育種に関する研究では、マイクロアレイデータを取得し、ラテックス合成・蓄積に関係する候補因子を複数同定した。また、形成層制御に関わる候補因子の機能解析を進めた。③環境変動適応型スーパー植物の開発では、植物のストレス耐性獲得に関する新規機構を発見した。また、転写抑制に関与する因子を新たに同定した。④新規な木質を形成する植物の開発では、木質の各構成成分を独立して制御する技術を開発したほか、木質を増強した木本植物を開発するなどした。

- 研究テーマ：1.各種植物機能を制御する転写因子の同定と機能解明
- 2.パラゴムノキの分子育種に関する研究
- 3.環境変動適応型スーパー植物の開発
- 4.新規な木質を形成する植物の開発

### バイオデザイン研究グループ

(Bio-Design Research Group)

研究グループ長：矢追 克郎

(つくば中央第6)

概要：

本研究グループでは、ゲノム情報、遺伝子発現情報、生体分子の構造・機能相関等の解析技術を基盤として生物プロセスによる有用物質生産基盤技術の開発を行っている。具体的には(1)セルロース系バイオマスを分解する酵素であるセルラーゼやヘミセルラーゼについて、糸状菌由来の既存酵素について進化分子工学やラショナルデザインの手法を用いた機能改変とともに、メタゲノム手法等による新規有用酵素の探索と機能解析を行った(2)バイオマスからの高効率なバイオエタノール生産を目指し、キシロース代謝酵素の改変等によってエタノール生産実用酵母株のキシロース代謝能向上に関わる技術開発を進めた(3)糸状菌や担子菌酵母の比較ゲノム解析、およびトランスクリプトーム解析により、麹菌の脂質や二次代謝の高生産、および酵母の分解酵素の分泌高生産化に関わる要因の

解析を進めた(4) 産業廃水の処理や環境汚染物質の分解を担う微生物群集のメタゲノム解析を行い、有害化合物の分解に寄与している微生物群の解析および分解遺伝子の同定を行った。

**複合糖質応用研究グループ**

(Advanced Glycoscience Research Group)

研究グループ長：亀山 昭彦

(つくば中央第2、中央第6)

概 要：

糖鎖はタンパク質や脂質などと結合して存在する。このような物質を複合糖質と呼ぶ。バイオ医薬の多くも複合糖質である。当研究グループは、複合糖質の糖鎖部分の機能を創薬などに活用することを目的として、糖鎖の分析・制御・生産・機能に関わる技術開発を進めている。

抗体医薬の糖鎖分析について、簡便かつ迅速な化学的糖鎖遊離法の検討を開始した。また、分子マトリクス電気泳動を活用して、抗体医薬の糖鎖評価法の開発を開始した。制御および生産については、安価かつ大量に培養ができ、ウイルス感染などの影響もないメタノール資化性酵母を用いた糖タンパク質の生産系を構築している。有性生殖を可能にすることによって生産宿主としての高機能化を図るため、この酵母の接合型変換のメカニズムを明らかにした。機能については、糖脂質グリコシルホスファチジルイノシトール(GPI)の生合成機構の研究を進め、酵母において、GPIのグリカン部分の構造変化がイノシトールの取り込み量に影響を与えることを見いだした。

- 研究テーマ：1.バイオ医薬開発・生産における糖鎖管理技術  
 2.酵素法と酵母細胞を利用した糖タンパク質合成  
 3.分子マトリクス電気泳動法の開発と応用

**⑧【バイオメディカル研究部門】**

(Biomedical Research Institute)

(存続期間：2010.4.1～)

研究部門長：近江谷 克裕

副研究部門長：本田 真也

首席研究員：ワダワ レヌー

総括研究主幹：矢吹 聡一、丹羽 修、上田 太郎

所在地：つくば中央第6、第2、第4、臨海センター

人 員：82名(82名)

経 費：1,286,749千円(712,256千円)

概 要：

バイオメディカル研究部門は、ライフ・イノベーション

を実現するための産総研ミッションである「先進的・総合的な創薬技術、医療技術の開発」、「健康な生き方を実現する技術の開発」の技術開発を推進するため、①生体分子の構造・機能を理解・解明し、それらの知見に基づいた創薬基盤技術・医療基盤技術を確立する、②創薬・医療に関わる基礎・基盤技術の動向を把握し、将来に向けた技術の芽を発掘し育成を、部門ミッションと定め、新しい創薬基盤技術・医療基盤技術および関連技術の研究開発を推進している。上記の部門ミッションを遂行するため、以下の四つの戦略課題を設定し、重点的に予算を配分し研究を実施している。それぞれの戦略課題には複数の研究グループを配置し、課題解決に向け複数の研究グループが一体となって研究を実施するよう促している。また経済産業省、文部科学省、新エネルギー・産業技術総合開発機構、科学技術振興機構などの受託研究や企業等との共同研究など、外部資金による研究開発も積極的に推進している。

**戦略課題1. 生体分子の構造・機能解析と高機能化**

タンパク質等の生体高分子のエックス線結晶構造解析や高分解能電子顕微鏡解析を行い、これら分子の構造と機能の相関関係を明らかにするとともに、臨床薬のターゲットとなる膜タンパク質の迅速構造解析法等の開発を行う。また、タンパク質設計技術、改良技術の開発を行うとともに、これらを抗体親和性タンパク質等に適用して、抗体医薬品開発におけるダウンストリーム工程および品質管理分析工程の高度化に貢献する。独自のBACライブラリー調製技術を用いて従来生産することが困難であった生理活性天然化合物生産を行うとともに、世界最大級の天然物ライブラリーを活用して種々の標的に対する創薬スクリーニングを展開する。更に簡便な遺伝子定量法や核酸標準品の開発を行いバイオ計測の標準化に資するプラットフォームを整備する。

**戦略課題2. 生体メカニズムの解明とその制御物質の探索**

健康状態における生体リズムの変動や加齢に伴う生体分子の変化などを個体・細胞・遺伝子レベルで解析し、これらの現象を引き起こす生体分子メカニズムの解明を目指す。また得られた解析成果を利用して生体機能の評価系を開発し、これを制御する生理活性物質を天然物などから探索・同定するとともに、その作用メカニズムを分子レベルで明らかにする。さらに、様々な環境要因や遺伝的要因により引き起こされる疾病、特に睡眠障害などの生体リズム障害および体内時計に関連する精神疾患、高血圧、血栓症、がんなどの生活習慣病をターゲットとして、健康状態をモニタリングするためのバイオマーカー開発やこれら疾患の予防や改善を目的とした天然物由来生理活性物質の発見を目指す。

### 戦略課題3. 健康・疾患に関連する細胞制御分子の解明と利用

健康や病気の生体や組織において、その機能を調節する核酸やタンパク質、細胞間シグナル伝達に働く種々のシグナル分子などを解析し、これら生体分子による細胞制御メカニズムの解明を目指す。また、脳神経疾患や生活習慣病を始めとする種々の疾患のモデル細胞・モデル動物の作製を通して、各疾患のバイオマーカーや原因因子を探索する。これらの疾患における標的分子を検出する核酸やペプチド分子の高機能化技術、細胞の機能異常を捉える可視化技術開発を行い、健康の増進や疾患の予防・診断・治療に貢献することを目指す。

### 戦略課題4. ナノバイオ技術融合による極微量生体分子の計測解析技術開発

微細加工技術、表面加工技術と言ったナノテク技術、薄膜材料や自己組織化膜材料などの材料技術、バイオ分野の技術を融合したバイオ診断計測解析技術の開発を行う。具体的には、生体分子と強く相互作用し信号変換する分子認識材料や発光分子プローブ材料の合成、生体分子を高感度に検出できるナノカーボン薄膜電極材料、および一細胞毎の計測が可能なナノ針アレイ等のデバイス技術の開発を行う。また、それら要素技術を融合し、薬剤管理や代謝評価センサ、タンパク質や遺伝子を高感度に認識できるバイオセンサやマイクロ流路型デバイス、単一細胞解析が可能なセルソータなどの実現をめざす。

研究推進に加え、産総研のミッションや仕組みを十分理解し、産総研職員として自ら考案的に行動できる職員の育成を行うとともに、産総研のミッションである「若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進」を実施するため、③「自ら考え着実に行動・実践・対話できる人材の育成」を三つめの部門ミッションと定め、産総研職員の育成と共に、産総研イノベーションスクール生、ポストドクや博士課程の学生、企業等からの外部研究員などを受け入れ、研究現場にて研究開発を行いながら人材育成を行っている。さらには部門内に若手研究者の会を立ち上げ、相互の研究課題の理解を深め、新たな研究の芽の育成に努めている。

さらに国際連携研究を重視したミッション④「アジアのバイオハブを目指した国際連携を推進する」を目標に掲げ、特別課題としてアジアのバイオテクノロジー研究をリードする研究ハブの構築を実施する。インド、インドネシア等のアジアの各国とバイオ研究分野における国際連携を推進、イメージングやスクリーニングなどのコア技術をベースとした国際ワークショップを開催、国際交流、国際連携を深化させる。

当部門は、質の高い論文として研究成果を発信することおよび開発技術の工業所有権（特許）の取得を行うことで成果の普及を行っている。研究論文において

は国際的に評価の高い論文誌への投稿を重視し、特許においてはその具体的技術移転を想定した戦略的出願を重視している。また、企業等との共同研究を積極的に行うと共に、産総研テクノブリッジフェア、技術相談、学会・研究会などを通して成果の発信や普及を進めている。

#### ----- 内部資金：

- ・戦略予算「放射線によるがん治療の副作用低減技術の開発」
- ・戦略予算「インドの生物資源を活用した創薬スクリーニングとイメージング技術」
- ・戦略予算「ナノニードルによるゲノム編集技術の実用化」
- ・戦略予算「液中試料の高分解能観察を可能とする変動電位透過観察ホルダと高感度検出ユニットの開発」

#### 外部資金：

- ・経済産業省受託研究費 工業標準化推進事業委託費「平成26年度工業標準化推進事業委託費（戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業：標準物質を用いた臨床検査機器の測定妥当性評価に関する国際標準化・普及基盤構築）」
- ・経済産業省受託研究費 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業（日米先端計測技術研究協力）
- ・文部科学省受託研究費 科学技術基礎調査等委託事業「次世代がん研究推進のためのシーズ育成支援基盤」（天然物ライブラリーを用いた探索試験の実施）」
- ・農林水産省受託研究費 農林水産資源を活用した新需要創出プロジェクト「国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発」
- ・農林水産省受託研究費 国産農産物の多様な品質の非破壊評価技術の開発「平成26年度国産農産物の輸出先における嗜好性の予測技術の開発」
- ・農林水産省受託研究費 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業委託事業「ウシの小型ピロプラズマ病に対するワクチンの開発研究」
- ・農林水産省受託研究費 「耕作放棄地を活用した大規模スケールでの藻類バイオマス有効利用技術の確立」
- ・独立行政法人科学技術振興機構受託研究費 戦略的創造研究推進事業（CREST）「シグナル攪乱複合体の電子顕微鏡解析」
- ・独立行政法人科学技術振興機構受託研究費 戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発：ALCA）「多糖類利用バイオプラスチック用の藻類由来原料、および、藻類由来原料を利用した多糖類系バイオプラスチックの研究」
- ・独立行政法人科学技術振興機構受託研究費 復興促進プログラム（マッチング促進）「高機能化細胞増殖因子を用いたヒトiPS細胞用の無血清培養液の開発」

- ・独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構受託研究費 インビボ評価(病理学的解析)「がん超早期診断・治療機器の総合研究開発/超早期高精度診断システムの研究開発:画像診断システムの研究開発/がんの性状をとらえる分子プローブ」
- ・経済産業省受託研究費 戦略的基盤技術高度化支援事業「生理活性物質特定と作用メカニズム解析による生産プロセスの最適化と発酵産物高機能化に寄与する技術開発」
- ・独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター受託研究費 SIP 戦略的イノベーション創造プログラム「食シグナルの認知科学の新展開と脳を活性化する次世代機能性食品開発へのグランドデザイン」
- ・独立行政法人科学技術振興機構受託研究費 研究成果展開事業「先端計測分析技術・機器開発プログラム」 「微弱発光標準光源開発による発光蛍光計測定量化」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「エストロゲン様化学物質影響評価のための細胞内新規シグナル伝達経路の解明」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「張力によるアクチンの構造変化と、それに依存したミオシンの結合増加及び局在制御」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「高分解能 3次元組成分析システムの開発と生物試料の解析」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「酸化ストレスマーカータンパク質検出用蛍光分子プローブの創製と医療診断への展開」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「転写因子 SATB1に対する複合標的核酸創薬基盤の開発」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「転移 RNA の硫黄修飾塩基の生合成とその制御機構」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「低分子量 G タンパク質間クロストーク制御による細胞移動と軸索伸長メカニズムの解析」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「分化能の異なるがん幹細胞の同定とがん免疫療法による治療可能性の検討」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「廃用性筋萎縮の新たなメカニズムの解明:体内時計の乱れは筋肉をも壊してしまうのか?」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「ナノカーボン電極を用いたリムルス試薬非依存型 LPS 定量デバイスの開発」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「アミノレプリンの X-線増感放射線療法の検証と遺伝子発現解析による作用機序の解明」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「睡眠障害性代謝異常のメカニズムの解明とその時間栄養学的改善方法の開発」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「イムノセンシング界面構築に関する研究」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「CpG オリゴヌクレオチド刺激による抗原特異的抗体産生活活性化機構の解明」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「中空系配列体を用いた細胞マイクロアレイチップの開発」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「抗体産生キャリアとして機能する金ナノ微粒子の抗原提示機構の解明」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「レクチンアレイ型微細構造観察ホルダの開発」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「遺伝子発現プロファイル手法による血液 RNA 診断に向けた基礎的研究」
- ・科研費補助金 若手研究(B)「自己倍数化抑制に基づく酵母育種法の開発」
- ・科研費補助金 若手研究(B)「前駆体マイクロ RNA へのポリウリジル化反応の構造基盤」
- ・科研費補助金 基盤研究(A)「ナノニードルを用いた核輸送による高効率ゲノム編集」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「新規発光・蛍光技術ソースの探索を目指した発光生物調査」
- ・科研費補助金 若手研究(A)「ミトコンドリアにおける tRNA プロセッシング機構の解明」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「シグナル制御複合体の構造と細胞内局在の電子顕微鏡解析」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「医療用マイルドプラズマによる創傷治癒の確立とプラズマ組織細胞相互作用の解明」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「アメーバ運動を統御するアクチン構造多型マシナリー」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「SecDF のタンパク質膜透過促進機構に関する電子顕微鏡構造解析」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「CRISPR システムにおけるエフェクター複合体の構造機能解析」
- ・科研費補助金 新学術領域研究「TRP チャネルをターゲットとする天然物リガンドのマルチモーダル活性化機構」
- ・科研費補助金 基盤研究(B)「金属ナノアロイ分散カーボン薄膜電極の開発と腸疾患糖マーカーの一括測定への応用」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「分子グラフィティンによるアルブミン結合性ヒト型アダプタータンパク質の分子設計」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用したシーケンス選択的なメチル化解析」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「ニューロンにおけるゲノム DNA 化学修飾酵素の機能解析」
- ・科研費補助金 基盤研究(C)「唾液を用いた生体時刻測定法の確立」
- ・科研費補助金 若手研究(B)「ポリ ADP リボシル化による癌抑制型マイクロ RNA プロセッシングの制御機構」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「アミロイドβタンパク質のモノマーとオリゴマー動態がシナプス機能を調

節する」

- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「がん細胞由来エキソソームを特異的に識別する核酸アプタマーの単離とその診断への応用」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「大腸菌のサブポピュレーションの可視化に基づいたトランスクリプトームの解析」
- ・科研費補助金 若手研究(B)「幹細胞の品質モニタリングを目指した酵素/高分子電解質複合体センサーアレイの開発」
- ・特別研究員奨励費「プロテオミクス、バイオインフォマティクス、イメージングによる表皮ガン治療法の研究」
- ・特別研究員奨励費「基質親和性の高い微生物を利用した低濃度温室効果ガス処理技術の開発」
- ・科研費補助金 若手研究(B)「外来遺伝子防御の定量的可視化に基づく遺伝子導入メカニズムの解明と高効率化」
- ・科研費補助金 基盤研究(A)「RNA 合成酵素複合体の分子構造進化基盤」
- ・科研費補助金 挑戦的萌芽研究「近赤外デジタルホログラフィー法による動物プランクトン計測技術の開発」

発 表：誌上発表179件、口頭発表304件、その他25件

### 蛋白質デザイン研究グループ

(Protein Design Research Group)

研究グループ長：広田 潔憲

(つくば中央第6)

概 要：

欲しい機能を有するタンパク質を創製できるようにするため、我々は配列空間探索というコンセプトのもとに、タンパク質デザイン法の研究を進めている。また、タンパク質の生体外での利用技術の開発にも取り組んでいる。例えば、網羅的一アミノ酸置換変異体や組み合わせ変異体の特性解析を行い、個々の変異効果について曖昧な加算性を仮定した適応歩行によるタンパク質デザイン法が有効であることを見出している。また、近年急成長している抗体医薬品に関して、その製造プロセスのプラットホーム技術の高度化が要望されているので、このようなタンパク質デザイン法を利用して抗体精製用のアフィニティ・リガンドタンパク質の開発を進めている。さらに、デザインしたアフィニティ・リガンドタンパク質、及び当グループで開発したタンパク質の配向制御固定化法を利用して、民間企業とも協力し、抗体医薬品精製用のアフィニティ担体や、抗体医薬品精製用マルチカラムプレート等の関連技術の開発にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

### 健康維持機能物質開発研究グループ

(Physiologically Active Substances Research Group)

研究グループ長：宮崎 歴

(つくば中央第6)

概 要：

健康維持機能物質開発研究グループでは各種疾病の予防やその軽度な段階での改善、健康維持の為の生理活性物質の開発を進めながら、疾患の分子機構解明や新規生理活性物質探索の為の基盤技術開発を目的としている。植物を中心とした生物資源より様々な天然化合物を抽出し、単離精製して構造決定するとともに、それらの天然化合物をサーカディアンリズム、抗炎症活性、脂肪組織でのアディポネクチン合成などを指標としたバイオアッセイに供し、その新規生理活性を見いだす。また、その生理活性を引き起こす要因となる分子メカニズムについても、転写制御系を中心として解析をすすめ、健康維持に貢献できる物質のエビデンスのある機能付与を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

### 生物時計研究グループ

(Biological Clock Research Group)

研究グループ長：大石 勝隆

(つくば中央第6)

概 要：

現代社会においては、社会の24時間化や急速な高齢化に伴い、睡眠障害やうつ病、不登校・入社困難などの神経症が急増しており、体内時計との関連が注目されるようになった。体内時計と様々な疾患の発症の間には、複雑な相互作用が存在し、それぞれの作用メカニズムを解明することにより、新規な治療法や予防法の開発が可能になるものと考えられる。生物時計研究グループでは、体内時計と様々な疾患発症との関連性を分子レベルで解明することにより、時間医療・時間薬理学分野へ貢献するのみならず、生活習慣と体内時計との関連性に着目し、予防的観点から国民の健康医療に貢献することを最大の目標とする。

研究テーマ：テーマ題目3

### 分子細胞育種研究グループ

(Molecular and Cellular Breeding Research Group)

研究グループ長：本田 真也

(つくば中央第6)

概 要：

細胞や生体分子が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、これらを合目的的に改良する新たな基盤技術（分子細胞育種技術）の研究開発を行う。その遂行においては、細胞や生体分子が高い機能を実現する合理的な機械であるという側面とそれらが長久の進化の所産であるという側面を合わせて深く理解するこ

とを重視し、そこに見出される物理的必然性と歴史的偶然性を有機的に統合することで、新たな「育種」技術の開拓を図ることを基本とする。また、技術開発課題の立案においては、内外のライフサイエンス/バイオテクノロジー分野における技術ニーズを把握し、現実的な社会還元が期待される適切な対象と方法論を選択することに努める。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5、テーマ題目6

#### RNA プロセッシング研究グループ

(RNA Processing Research Group)

研究グループ長：富田 耕造

(つくば中央第6)

概 要：

RNA はその鋳型である DNA から転写された後、多岐にわたる加工プロセスを経て、機能をもった RNA へと成熟化されます。RNA プロセッシング研究グループでは、RNA が合成され、最終的に機能をもった RNA へと成熟化される一連の“RNA プロセッシング”過程に注目し、この過程に関わるタンパク質、タンパク質複合体装置の“機能”、“構造”、“進化”、そして“制御”の解析を通して、RNA とタンパク質の協同的な機能発現、制御、進化の詳細な分子機構を明らかにすることを目指す。具体的には RNA 合成、RNA の代謝、RNA の成熟化、RNA の機能付加に関わる酵素複合体に注目し、その中でも、“RNA 合成酵素群”に注目し、それらのタンパク質、タンパク質複合体の詳細な反応分子機構、分子認識機構、分子進化、制御機構の解明を、生化学、分子細胞生物学、構造生物学的手法を用いて多角的に明らかにする。

研究テーマ：テーマ題目7

#### ナノバイオデバイス研究グループ

(Nano-biodevice Research Group)

研究グループ長：丹羽 修

(つくば中央第6)

概 要：

新規なカーボンや自己組織化膜などのナノ薄膜材料、免疫系分子、合成プローブ、酵素等を利用した高精度な分子認識界面を構築し、生体分子を高感度に検出可能なセンシング手法を開発する。併せて、検出法の高感度化、マイクロナノ加工技術を融合した前処理工程の集積化や多項目試料測定が可能なデバイスの実現を目的とする。具体的な研究手段、方法論として、電気化学センサに用いる新規薄膜電極材料の開発とその生体分子検出応用、交差反応性を利用した生体成分・細胞解析技術、エピゲノム変化の迅速診断に向けた配列特異的なメチル化 DNA 検出法の開発などを行った。また、戦略予算：アジア戦略「水プロジェクト」で環境管理部門等と協力し、カーボン薄膜電極を用いた重

金属イオンの高感度電気化学計測法の開発を担当した。

研究テーマ：テーマ題目8

#### バイオ界面研究グループ

(Bio-Interface Research Group)

研究グループ長：田中 陸生

(つくば中央第6)

概 要：

様々な知見に立脚した界面構築材料の創製、材料物性に応じた界面構築法、分子レベルでの界面構造解析、界面の機能解析等、界面に関する一連の基盤研究を統合的に展開し、センシング素子や選択的透過膜等の機能性界面構築技術の確立、さらには機能性界面を用いたセンサ開発等、実用化を目指した応用技術の確立を目標とする。センシング界面構築材料となるタンパク質固定化材料、非特異吸着抑制材料、糖鎖材料等の機能性表面修飾材料の開発や、補体レセプター等の機能性タンパク質の産生・精製法の開発を行っている。これらの材料を用いて機能性界面構築を行い、走査型プローブ顕微鏡や電子顕微鏡を用いて界面構造を解析し、界面構造と機能との相関を検討している。ここで得られた界面に関する知見をバイオセンサのセンシング界面構築に展開し、材料によるセンシング機能の体系化を行って、表面修飾材料に関するライブラリーを構築した。さらには、センシング界面構築材料となり得る機能性タンパク質の産生・分離法や核酸の合成法を検討した一方で、核磁気共鳴法を用いて代謝生成物等を包括的に解析できるプロファイリング法の普及を行った。

研究テーマ：テーマ題目9

#### バイオメジャー研究グループ

(Bio-Measurement Research Group)

研究グループ長：関口 勇地

(つくば中央第6)

概 要：

(1) 産業や医療分野などでのバイオ計測の信頼性確保、その国内及び国際的な比較互換性の確保（基準測定法の確立、標準物質の整備など）に資する技術開発と基盤整備

バイオ計測（生体由来物質の計測：バイオメジャー）は広く産業、医療分野等において行われているが、その信頼性確保のための基盤整備は不十分である。本課題では、バイオ計測の信頼性確保、比較互換性の確保に向け、そのための課題整理と標準化ニーズ調査を進めるとともに、そのために必要な技術的検討を行った。また、バイオ標準に関する基盤技術の確立とバイオ標準物質の開発、整備を実施すると共に、バイオ計測の精度管理方法の開発、およびバイオ計測の国際標準化に資する研究開発を実施した。

(2) 生体由来物質（核酸、ペプチド・タンパク質、代謝物、細胞、その他個体としての生命活動など）を検出・定性・定量するための新しい有用な基盤技術の創成

生体由来物質を対象とした計測分野のさらなる発展は、今後のバイオテクノロジー分野、医療分野等の進歩に大きく寄与する重要な課題である。本課題では、核酸や動物細胞を中心に、それらバイオ計測技術を進展させるための基盤技術の開発を行った。遺伝子量評価、あるいは遺伝子発現解析を念頭に、核酸を配列特異的に検出、定量を行う新規な手法の開発と、その応用を行った。また、微生物由来核酸の定量技術開発を行った。また、核酸と相互作用する酵素の活性を迅速かつ網羅的に評価するための基盤技術開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目10、テーマ題目11

### バイオアナリティカル研究グループ

(Bioanalytical Research Group)

研究グループ長：野田 尚宏

(つくば中央第6)

概要：

(1) バイオテクノロジーの標準化に関する国内・国際的連携体制の構築

ライフサイエンス分野における標準化は幅広い経済活動の中で必要とされているものの、その普及は進んでいないのが現状である。微生物による物質生産や医療分野における遺伝子関連検査など、バイオテクノロジーが社会に密接に関わっている時代においてはバイオテクノロジーの標準化の推進が重要である。そのような現状を鑑み、バイオ計測技術の信頼性確保、データの品質管理のための標準化およびそれに資する標準物質の作製・評価技術を開発した。さらに開発した核酸標準物質の普及を促進するために、業界団体との連携体制を構築した。

(2) 生体分子解析技術の開発と応用

核酸、タンパク質、細胞等を解析する技術の開発を行った。蛍光一分子解析技術などを用いて、生体由来分子を精密に解析する技術の開発を行った。核酸関連酵素を取得するとともに、それらの活性（核酸の結合・切断等）を評価するための蛍光アッセイシステムを構築し、創薬基盤技術としての応用可能性を検討した。

研究テーマ：テーマ題目12、テーマ題目13

### 脳遺伝子研究グループ

(Molecular Neurobiology Research Group)

研究グループ長：戸井 基道

(つくば中央第6)

概要：

超高齢社会に伴い増加の一途をたどる神経・精神疾患において、その発症予測や治療、機能回復に関わる

技術に対しての社会的要請が強まりつつある。しかしながら、神経細胞の分化・維持機構、脳におけるネットワーク形成やその可塑的变化を分子レベルで計測し、その詳細を理解することは依然として十分ではなく、そのことが疾患の予測・治療手法や、有効な創薬開発が進まない原因の一つとなっている。そこで当研究グループでは、主にモデル動物を用いた遺伝子解析技術と光学的イメージング技術に基づいて、神経細胞の維持・再生・移植技術に関する基礎技術の提供を研究目標とする。特に、モデル動物を用いた遺伝子操作や、培養細胞への遺伝子導入手法により、神経細胞の基本特性の制御に関与するキー遺伝子の機能や神経疾患に関連した遺伝子産物機能、さらには脳内神経ネットワークの形成・維持制御機構等を解明する。そのために、新規の神経疾患モデル動物の作製や疾患に関与するキータンパク質群の生体内での動態解析技術、疾患変異型モデル生物を用いた新規のスクリーニング技術の開発を行っている。並行して、これらの解析に必須である、分子レベルから個体レベルまでの生体現象の可視化に向けた、新たな顕微鏡システムや観察基盤技術の開発も進めている。これらの解析により、生体脳内や神経細胞内のイベントを詳細かつ鮮明に観察しながら、個々の疾患状態の把握や治療効率の向上に繋げていく。

研究テーマ：テーマ題目14

### 脳機能調節因子研究グループ

(Molecular Neurophysiology Research Group)

研究グループ長：波平 昌一

(つくば中央第6)

概要：

生物の細胞間・細胞内の情報伝達、また、ゲノムDNAからの遺伝情報の読み取りは、生体分子の相互作用により制御されている。これら生体分子が本来持っている機能を解析しそれを利用した技術開発・機器開発などを遂行している。具体的には、生理活性ペプチド、タンパク質、核酸などが結合する標的分子の認識機構を主に分子生物学的手法により解析し、分子間相互作用機構を利用し、中枢神経系疾患の創薬に資する技術開発、機器開発などを行う。また、ゲノムDNAやクロマチン構成因子を修飾するエピジェネティクス制御タンパク質についても、その神経系細胞における機能解析を行い、標的領域制御機構を解明する。さらに、それらのエピジェネティクス制御タンパク質の機能を利用し、新規神経疾患モデル動物やモデル細胞を開発する。

研究テーマ：テーマ題目15

### シグナル分子研究グループ

(Signaling Molecules Research Group)

研究グループ長：近江谷 克裕

## (つくば中央第6)

## 概要:

当研究グループでは、産総研ミッションである「先進的・総合的な創薬技術、医療技術の開発」、「健康な生き方を実現する技術の開発」の技術開発によるライフ・イノベーションの実現のため、創薬・医療に関わる生体分子の構造・機能の理解・解明と創薬・医療に関わる基礎・基盤技術の開発をめざしている。特に、各種組織を構成する細胞の、増殖・分化・機能等を制御するシグナル分子を研究の起点として、ヒトなど高等動物の細胞と個体の機能制御メカニズムに関する知見を獲得するための研究を推進している。研究手段は、分子レベル、細胞レベル、個体レベルにまたがっている。得られた知見については、これを活用し、シグナル分子とその制御分子を用いて生命現象を細胞レベル・個体レベルで評価・制御するテクノロジーを開発し、創薬と医療支援に係る産業の振興に資することを目標としている。

研究テーマ：テーマ題目16、テーマ題目17

## 構造生理研究グループ

(Structure Physiology Research Group)

研究グループ長：佐藤 主税

(つくば中央第6)

## 概要:

生体は組織から始まって細胞・分子・原子に至る様々な階層での相互作用の積み重ねによって成立している。我々は、主に組織、細胞、微生物を対象に、主に電子顕微鏡技術を利用して、分子・細胞・神経回路網レベルで研究している。光学顕微鏡で細胞を観察する際、分解能は200nm までが限界だが、電子顕微鏡はもしも電子線を十分に照射しても大丈夫なサンプルであれば0.2nm にも達する高い分解能を誇る。しかし従来の方法ではタンパク質は電子線にそれほど強くはなく、照射量が限られるため微かに薄い像としてしか写らない。薄い像でも膨大な数の電頭像を組み合わせれば、高分解能の3次元構造を計算できる。我々は、この単粒子解析技術を、情報学を駆使して開発し、神経のシグナル機構、細胞内輸送、タンパク質分泌、抗がん剤などに関係する様々な膜タンパク質・複合体の構造を解析している。さらに、もう少し大きな組織・細胞内の微細構造を自然な環境において中間倍率で観察するために、半導体製造で用いるSiN 薄膜越しに液体中の細胞を直接SEM で見る全く新しい電子顕微鏡を、(株)日本電子と共同開発しさらにその免疫電頭法に成功した。また、分子動力学法を複数の方法により開発している。これら方法を相互に組み合わせながら、細胞内外におけるタンパク質や細胞内小器官レベルでの構造と機能の相関を広く研究している。

研究テーマ：テーマ題目18、テーマ題目19

## セルメカニクス研究グループ

(Cell Mechanics Research Group)

研究グループ長：中村 史

(つくば中央第4)

## 概要:

本研究グループは、生物の有する機械的な運動機能、関連する生体分子の構造と機能を明らかにする、あるいはそのための装置・技術の開発を行う。明らかにした生物の情報、開発された技術により、学術研究、医療、創薬、あるいは細胞そのものを応用する新産業等に貢献することを目指す。細胞骨格系タンパク質の構造変化に基づく機能を新規に解明することで、医療応用における基盤情報の確立の一助と成る。近年 iPS 細胞に代表される幹細胞の応用に注目が集まっているが、移植医療への応用を実現するためには、免疫原性の抑制等を行い安全な細胞を提供する高度な細胞制御技術が必要となる。そのために細胞の構造と機能を理解し、低侵襲で効率よく解析・操作・分離を行う新しい技術、セルサージェリー技術の開発を行う。これらの研究は、バイオインフォマティクス、ナノテクノロジーなどの分野融合によって生み出される全く新しい生体分子工学、細胞工学の技術体系の構築とこれを利用した産業の創出に資するものである。

研究テーマ：テーマ題目20、テーマ題目21

## 細胞増殖制御研究グループ

(Cell Proliferation Research Group)

研究グループ長：ワダワ レヌー

(つくば中央第4)

## 概要:

我々の研究グループはこれまで細胞の老化や不死化、がん化などについての基礎研究を積み重ねてきた。独自に同定したモータリン (hsp70ファミリーに属するタンパク質) は、細胞のがん化と老化に強い関わりがあることが明らかになってきた。我々はモータリンに対する抗体によりその細胞内局在を明らかにし、細胞を追跡するナノ粒子の構築に成功した。モータリンの染色は正常細胞とがん化細胞の区別にも応用できる。また、がん抑制タンパク質 p53の制御因子として同定した CARF 遺伝子が細胞老化に深く関わっていることを明らかにした。CARF 遺伝子に対する siRNA ががん治療に応用できる可能性を見出した。さらに薬剤耐性とがん転移に関わる遺伝子スクリーニングを行っている。

老化やがん化の分子メカニズムを探索するため、siRNA ライブラリーや cDNA 発現ライブラリーを用いたスクリーニング実験も行っている。我々がインドに自生する植物アシュワガンダの葉から新規に同定した薬効成分についても解析を進め、抗がん活性や抗老化活性のある成分や関連する遺伝子群を同定している。



その他にも、タンパク質を構成しないノンコーディング RNA (ncRNA) に着目し、生きたままの細胞内で ncRNA を蛍光検出する新規手法を通じて分子解析を進めている。上記のような標的因子の細胞内での挙動を制御することで、細胞の不死化やがん化を自在に操ることができる技術の開発を行い、「より良い医薬品の開発・提供」や「健康産業の創造」に貢献できるような研究活動を行っている。

研究テーマ：テーマ題目22、テーマ題目23、テーマ題目24

### 分子複合医薬研究グループ

(Molecular Composite Medicine Research Group)

研究グループ長：宮岸 真

(つくば中央第6)

概要：

分子複合医薬研究グループでは、多様な機能分子と様々な技術要素を複合的に組み合わせた医薬技術の開発、および、健康な社会の実現を目指し、タンパク質構造から、細胞・個体レベルに及ぶ、多面的なテーマに取り組んでいる。構造解析に関しては、遺伝子発現調節因子、疾患関連因子を対象とし、NMR 分光法や X 線結晶回折法などの構造生物学的解析を中心とした物理化学的アプローチにより、機能発現に関わる分子認識機構の解明を行っている。抗体医薬を目指した取り組みとして、人工ライブラリーシステムの高度化に関する技術開発、シグナル分子や関連分子を認識するモノクローナル抗体作製・応用化技術の開発を行っている。ポスト抗体医薬として注目されている核酸医薬の開発を進め、次世代アプタマーを用いた検出系、核酸医薬品の開発を行っている。また、疾患のターゲット分子を容易に明らかにする技術として、トランスフェクションアレイを用いたがん転移に関わるターゲット分子の探索、および、ペプチドを用いたアレイ技術の開発を行っている。個体レベルの研究としては、消化管免疫の分子機構の解明、および、脳におけるてんかん、モルヒネ鎮痛効果の分子機構の解明等を行い、医療技術や医薬品の開発へと展開を図っている。OMICS を用いた遺伝子発現解析による生理状態評価において、特に放射線ストレス評価を行い、環境評価においても応用範囲を広げている。

研究テーマ：テーマ題目25、テーマ題目26

### 次世代ゲノム機能研究グループ

(Genomic Neo-Function Research Group)

研究グループ長：新家 一男

(臨海副都心センター)

概要：

本グループは、ヒトゲノムに限定せず、幅広い生物のゲノム機能の解析とそれを応用した創薬支援を目的

とし、①機能性 RNA の解析、②ゲノム情報に基づくタンパク質構造の解析、及び③二次代謝産物合成遺伝子を応用した化合物生産研究を展開している。さらに、遺伝子情報およびそれらがコードするタンパク質構造情報等を分子標的とし、天然物ライブラリーを主とした創薬スクリーニングを行っている。

具体的な研究内容として、ゲノムから産生されるタンパク質をコードしないノンコーディング RNA (ncRNA) を対象に、タンパク質合成に重要な役割を担う tRNA の機能獲得に必須な RNA 修飾メカニズムに関して研究を展開している。

また、タンパク質立体構造研究に関しては、主に、膜タンパク質や複合体の構造に重点を置き研究を行っており、電子顕微鏡などの手法を用いて、それらの原子レベルの立体構造を解析し解明している。

ヒトゲノム以外の応用研究として、上市されている医薬品の6割以上を占める天然化合物を対象に、微生物や植物が持っている二次代謝産物合成遺伝子を応用した化合物生産を行っており、それらをライブラリーとして用いて創薬スクリーニングを展開している。

研究テーマ：テーマ題目27

#### [テーマ題目1] タンパク質デザインに関する研究

[研究代表者] 広田 潔憲

(蛋白質デザイン研究グループ)

[研究担当者] 広田 潔憲、末森 明夫、竹縄 辰行

(常勤職員3名)

#### [研究内容]

欲しい機能を有するタンパク質を創製するためのタンパク質デザイン法の研究、及び、生体外でのタンパク質利用技術の研究開発を行っている。

一つには、新機能芳香族化合物の産生における変異タンパク質の利用を図るべく、フラビントタンパク質系芳香族化合物水酸化酵素の効率的な機能改変を行う新技術の開発を目指している。具体的には *Pseudomonas fluorescens* PAO1株由来を始めとするフラビントタンパク質系芳香族化合物水酸化酵素群や P450シトクローム群における逆進化的アプローチ (Retro-evolutional approach) を行うことにより、芳香族化合物水酸化酵素群の基質結合部位における保存性アミノ酸残基群 (ancestral amino acid residues) の存在を明らかにし、基質特異性の設計・改変に関する戦略指針の基盤となるデータベースの構築を行った。

また、抗体精製用のアフィニティ・リガンドタンパク質の開発も進めてきた。近年、抗体医薬品製造プロセスのプラットフォーム技術の高度化が要望されている。そこで、当グループが開発したタンパク質デザイン法を応用して、低分子抗体をアフィニティ精製するためのアフィニティ・リガンドタンパク質の開発を進めてきた。具体的には、プロテイン L 等の抗体結合タンパク質をフレ

ームとしたリガンドタンパク質の新たな変異体ライブラリーを作製し、変異型リガンドタンパク質の低分子化抗体に対する親和性を測定した。その中の有望な変異型リガンドタンパク質を担体に固定化し、低分子化抗体を精製した結果、実際に精製が可能で、変異導入前のリガンドタンパク質を固定化した担体と比較して約10%結合容量が向上していることを確認した。また、過去にデザインしたリガンドタンパク質を利用して、抗体医薬品精製の96ウェルマルチカラムプレートと協力して開発した。開発したプレートは、45分以内に96種類の0.2mlの培養液から抗体を精製し、5 $\mu$ g/mlの低濃度抗体でも280nmの吸光度測定により検出・定量することを可能にした。また、よりマイルドな条件 (pH=4.5以上) で抗体を精製し定量することが可能な96ウェルマルチカラムプレートも開発した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質デザイン、配列空間探索、抗体医薬品、アフィニティ精製、アフィニティ・リガンドタンパク質

【テーマ題目2】 健康維持機能物質開発に関する研究

【研究代表者】 宮崎 歴 (健康維持機能物質開発研究グループ)

【研究担当者】 宮崎 歴、大西 芳秋、森井 尚之、市村 年昭、河野 泰広、小川 昌克 (常勤職員6名)

【研究内容】

健康維持機能物質開発研究グループでは各種疾病の予防やその軽度な段階での改善、健康維持の為の生理活性物質の開発とともに、疾患発症の分子機構解明や新規生理活性物質探索の為の基盤技術開発を目的としている。疾患発症のメカニズムを知ることで健康改善にアプローチする研究を行いつつ、新規に疾患予防活性を見いだす為の新しいバイオアッセイ系を確立することも進めている。また、食経歴のある植物を中心とした生物資源より様々な天然化合物を抽出し、単離精製して構造決定するとともに、それらの天然化合物をサーカディアンリズム、抗炎症活性、脂肪組織でのアディポネクチン合成などを指標としたバイオアッセイに供し、その新規生理活性を同定する事を目指す。さらに、その生理活性を引き起こす要因となる分子メカニズムについても、転写制御系を中心として解析をすすめ、健康維持に貢献できる物質のエビデンスのある機能付与に貢献することを最終目的としている。疾患発症メカニズムの解明としては、アルツハイマー病原因物質のアミロイド $\beta$ やプリオン病の異常プリオンなどのアミロイド性タンパク質が不規則な集積体ではなく、決まった $\beta$ 構造領域でのアミノ酸残基間の疎水性相互作用が積層して構造形成を誘導していることを突き止め、学会報告を行った。またストレスにより発症する睡眠障害モデルマウスを用いて、睡眠障害と同時

に気分障害の傾向が認められる事を見だし報告した。新規なバイオアッセイ系を確立する事を目的として、蛍光タンパク質タグの付いたインフルエンザウイルスヘマグルチニン (HA) を約20%の細胞数が発現する MDCK 細胞の作成に成功した。この細胞をもとにインフルエンザ感染予防物質のスクリーニング系を構築する可能性を見いだしたことに加えて、インフルエンザウイルス膜成分を可視化できる新規蛍光物質の特性評価も行った。生理活性物質のスクリーニング研究においては、リンパ球および脂肪細胞を用いた抗炎症マーカーおよびアディポネクチンマーカーを指標とし、抗肥満作用をもつ可能性のある食用植物由来の天然化合物8種を単離同定した。その中でもある植物由来の物質Aは細胞毒性をもたないが、濃度依存的に抗炎症作用をもつことが明らかとなり、単離精製を進めて NMR での構造解析、質量分析による物質同定を終えた。また、抗炎症を示す物質が抗炎症作用のみならず、サーカディアンリズムに影響を及ぼす事もみいだした。特にムラサキ由来のシコニンがサーカディアンリズムの周期延長を引き起こすこと、シコニンが核内へ集積すること、転写制御に関係する事をあきらかにして、論文として報告し、シコニンの体内リズム調整剤としての可能性を示唆した。東北や沖縄地域特異な海産物や農産物、その発酵成分などを用いて、血圧低下を示すペプチドの探索を進め、発酵食品抽出物に含まれる有効ペプチドを見出した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 機能性食品、天然化合物、アルツハイマー病、メタボリックシンドローム、サーカディアンリズム

【テーマ題目3】 体内時計に関する疾患発症メカニズムの解明とその予防法の開発

【研究代表者】 大石 勝隆 (生物時計研究グループ)

【研究担当者】 大石 勝隆、富田 辰之介、中尾 玲子 (常勤職員3名、他5名)

【研究内容】

近年、生活環境の24時間化に伴う体内時計の乱れは、睡眠障害を増加させ、精神的・肉体的・経済的に深刻な社会問題を引き起こしている。睡眠障害は、遺伝的な要因よりもむしろ、シフトワークや不規則な食生活、心理的ストレスなどの環境因子が主要な原因となっているものと考えられる。我々は、ヒトの睡眠障害への外挿が可能なストレス性睡眠障害モデルマウスや明暗周期の攪乱による睡眠障害モデルマウスを作製し、生体リズムの異常に関連する様々な疾患の発症メカニズムの解明や、新たな予防・改善・治療法の開発を目指した研究を行っている。また、睡眠障害や生体リズムの乱れを改善するための技術開発として、神経培養細胞を用いて体内時計に作用する天然化合物の探索を行っている。

ストレス性睡眠障害モデルマウスを用いた研究におい

ては、肝臓などの末梢組織における時計遺伝子発現がほとんど影響を受けないものの、血中の遊離アミノ酸プロファイルが時刻依存的に大きく影響を受けていることが判明した。具体的には、明期（非活動期）には多くの血中遊離アミノ酸が減少する一方で、暗期（活動期）においては分岐鎖アミノ酸が特異的に増加することが判った。これらの知見は、血中のアミノ酸プロファイルが、睡眠障害の診断のためのバイオマーカーとなる可能性を示している。また、本モデルマウスにおいては、腸内フローラの劇的な変化とともに、腸管組織における遺伝子発現が大きく影響を受けていることが判明し、睡眠障害性の大腸炎との関連に着目し、現在その詳細を検討している。

明暗サイクルの攪乱による睡眠障害モデルマウスにおいては、明暗24時間周期（明期12時間：暗期12時間）の飼育条件を、明暗6時間周期（明期3時間：暗期3時間）の飼育条件に移すことにより、深部体温の概日リズムが完全に消失するとともに、肝臓などの末梢組織における時計遺伝子の日周発現が消失し、末梢時計が明暗環境の乱れによって大きく影響を受ける可能性が示された。また明暗サイクルの攪乱は、食餌中脂質の量に依存して活動量を低下させ、肥満を促進することが判明した。すなわち、普通食摂餌下においては、明暗サイクルの攪乱は活動量や体重には影響しないものの、高脂肪食摂餌下においては、明暗サイクルの攪乱によって活動量の低下と体重の増加が認められた。

体内時計に作用する天然化合物を探索する目的で、PER2::LUC マウスの胎仔脳から分化させた神経細胞を用いた *in vitro* リアルタイムレポーターシステムを用いて研究を行った。本システムを用いて、生薬に含まれる約100種類の化合物のスクリーニングを行い、周期の短縮や延長、位相のシフト、振幅の増大など体内時計に作用する可能性のあるいくつかの化合物の同定に成功した。現在、個体レベルでの体内時計調節作用についてマウスを使った実験を行っている。

マウスの座骨神経切除による廃用性筋萎縮モデルにおいて、骨格筋の萎縮が、骨格筋における時計遺伝子の日周発現に影響するのみならず、糖・脂質代謝に関わる様々な遺伝子の日周発現に影響することが判明した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 体内時計、睡眠障害、食品

#### 【テーマ題目4】 タンパク質の分子育種技術の開発

【研究代表者】 本田 真也（分子細胞育種研究グループ）

【研究担当者】 本田 真也、村木 三智郎、

小田原 孝行、渡邊 秀樹

（常勤職員4名、他7名）

#### 【研究内容】

タンパク質が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、構造情報を基盤とする論理的分子デザイン法とファージディスプレイ等の分子進化学法の有機的活用

による新規の標的親和性人工タンパク質創製技術の研究開発を行う。また、医療応用を目指した、ヒトサイトカイン等の機能改変の研究開発を行う。

平成26年度は、当グループが独自に開発した、抗体の非天然型構造を認識する人工タンパク質 AF.2A1の親和性を立体構造情報と進化分子工学情報を基に合理改変し、nM オーダーの平衡解離定数で非天然型抗体を認識する変異体 AF.2A1\_Q5R を作製した。これを解析素子とした抗体医薬品の品質評価系は、従来の野生型 AF.2A1を用いた評価系に比べ10-100倍の感度向上を示した。

バイオ医薬品として認可済みのサイトカインタンパク質の生体内代謝安定性を向上させた後続バイオ医薬品の開発を目指して、同タンパク質を構成するポリペプチド主鎖の両末端を連結した環状化サイトカインを合成し、その生体内における安定性をラットを用いた動物実験で評価した。具体的には、Sprague Dawley ラットに対して、サイトカインを静脈へ単回投与し、20分後から24時間後までのサイトカインの血中残存量を測定した。その結果、環状化サイトカインは直鎖状の野生型サイトカインと比較して血中半減期が延長しており、生体中においても有意に安定化していることが明らかとなった。

医療用タンパク質として潜在的に有用なヒト Fas リガンド細胞外ドメインについて、これまで開発、改良を進めてきた酵母 *Pichia pastoris* を宿主とする分泌発現生産系を基盤に、糖鎖構造の改変ならびに部位特異的の化学修飾法による新規誘導体の調製と機能解析に関する研究を行った。前者については、ヒト型糖鎖構造前駆体を産生する変異株宿主を用いた発現系の構築などについて検討した。後者についてはヒト Fas レセプター細胞外ドメインへの特異的結合活性を保持したポリエチレングリコール修飾誘導体の調製や N-エチルマレイミド修飾誘導体のヒト結腸がん由来細胞に対する細胞死誘導活性の発現が可能であることなどを明らかにした。

会合することで機能を持つ生体高分子は数多く知られている。生体高分子の会合における細胞内分子やイオンの役割を理解するため、性質の異なる14種類のタンパク質／界面活性剤粒子の沈殿曲線を決定し、沈殿曲線の分布と細胞内の分子やイオンの濃度効果とを比較した。細胞液の約0.2M の電解質イオン濃度は、分子の会合がその性質に応じて疎水性相互作用、或は枯渇力のいずれかを駆動力として利用するのに適している濃度であることがわかった。また、タンパク質をはじめとする細胞内生体高分子濃度10～30% (w/v) は、生体高分子が共存する自身よりも小さな生体高分子からの枯渇力により会合し、その程度を制御するのに適した範囲内にあることがわかった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質、分子設計、立体構造、バイオ医薬品、抗体医薬品、分子進化学、膜タンパク質、発現生産、化学修飾

#### 【テーマ題目5】微生物の細胞育種技術の開発

【研究代表者】福田 展雄（分子細胞育種研究グループ）

【研究担当者】福田 展雄（常勤職員1名、他2名）

##### 【研究内容】

微生物が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、酵母の接合型変換および接合応答制御技術を確認し、交配育種への応用を目指す。また、酵母のシグナル伝達経路をヒト受容体の機能解析へと利用するための基盤技術を開発し、創薬候補物質の探索での活用を図る。

平成26年度は、交配育種への利用を目指して、接合能を有さない清酒酵母協会7号から、接合能を有する酵母株を製造した。酵母の交配には、a型および $\alpha$ 型酵母が必要となるが、一般的な産業用酵母はa/ $\alpha$ 型の接合型を有する。しかしながら、これらのa/ $\alpha$ 型酵母を培養していると、染色体の複製異常により、a型および $\alpha$ 型酵母が極低頻度で出現することが知られている。そこで、a型または $\alpha$ 型細胞特異的に選択マーカー遺伝子を発現する技術を用いることで、清酒酵母協会7号から派生したa型および $\alpha$ 型酵母を単離することに成功した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】酵母、交配、接合

#### 【テーマ題目6】微細藻類育種技術のための多糖類利用技術の開発

【研究代表者】芝上 基成（分子細胞育種研究グループ）

【研究担当者】芝上 基成（常勤職員1名、他1名）

##### 【研究内容】

微細藻類が有する物質産生機能の広範な産業利用を促すため、物質産生機能の改良やこれらの物質の利用技術開発を図る必要がある。本課題では特に藻類が産生する多糖について利用技術を確認し、その出口を明確にすることで微細藻類の産業利用を促進することを目的とする。

具体的にはユーグレナ（ミドリムシ）が多量に蓄積する高純度の多糖（パラミロン）に着目した。高い生産性と高純度は工業原料として好適である。さらにパラミロンはセルロースと同じくブドウ糖が連なった高分子であるが、ブドウ糖の結合様式が異なるためセルロースとは異なる素材としての活用が期待される。平成26年度は主として熱可塑性樹脂原料であるパラミロン誘導体の簡易合成法の確立に注力し、従来法と同等の諸物性を示す誘導体が本法により合成できることを確認した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】微細藻類、熱可塑性樹脂

#### 【テーマ題目7】RNA合成酵素の反応制御機構

【研究代表者】富田 耕造（RNAプロセッシング研究グループ）

【研究担当者】富田 耕造、竹下 大二郎、杉本 崇（常勤職員3名、他4名）

##### 【研究内容】

本テーマ課題では、典型的な鋳型を用いないRNA合成酵素、ウイルス由来の宿主因子と複合体を形成して機能するRNA合成酵素、そして高次生命現象発現に関与するノンコーディングRNAの代謝等にかかわる特殊な鋳型RNA合成酵素群に注目し、それらの酵素群の反応制御基盤を明らかにすることを目的とする。

本年度は、典型的な鋳型を用いないRNA合成酵素のうちtRNAの修復をする酵素、A付加酵素の基質認識、反応機構、ウイルスRNAの複製能力を有するリボゾーマルタンパク質を含むRNA合成酵素のRNA複製におけるリボゾーマルタンパク質の役割解明、マイクロRNAのタンパク質分解、代謝に関与する鋳型非依存的RNA合成酵素の反応制御機構を明らかにすることを目的として研究を遂行した。

具体的には、細菌由来のA付加酵素、単体、tRNAとの複合体のX線結晶構造解析、Q $\beta$ ウイルスのRNA複製能力を有するリボゾーマルタンパク質を含む酵素複合体のX線結晶構造解析を行った。また、ノンコーディングRNAの代謝にかかわるRNA合成酵素に相互作用するタンパク質、RNAの質量分析、とその酵素の結晶化などをおこなった。

A付加酵素とtRNAの複合体の構造決定することに成功し、反応開始から反応終結に至る複数の状態の可視化に成功した。tRNA認識の分子構造基盤やヌクレオチドの特異性の分子構造基盤、動的反応分子機構が明らかになった。また、ウイルス由来のRNA複製酵素に関してはRNA複製能を有したリボゾーマルタンパク質を含む4者複合体の構造を決定することに成功し、宿主因子の結合様式が明らかになった。特に、リボゾーマルタンパク質のRNA複製開始において役割が構造解析、機能解析から示唆された。また、ヒト由来の、マイクロRNAの代謝分解のシグナルを、RNAへ付加する鋳型非依存的RNA合成酵素に関しては、これらのヒト細胞での恒常的発現細胞を樹立し、この細胞を用いて、これらのRNA合成酵素と相互作用するタンパク質因子、RNAを質量分析によって解析をおこなった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】RNA合成、ウイルス、RNA、反応制御、機能、構造

#### 【テーマ題目8】ナノマテリアル材料を利用した高性能センシング素子開発

【研究代表者】丹羽 修（ナノバイオデバイス研究グループ）

【研究担当者】丹羽 修、佐藤 縁、鈴木 祥夫、吉岡 恭子、栗田 僚二、加藤 大、富田 峻介（常勤職員7名、他4名）

##### 【研究内容】

本テーマでは、疾病マーカー分子などを高い感度と選択性で検出するためのカーボン薄膜材料、交差反応性と

多変量解析を用いた新規バイオセンシング技術の構築、新規エピゲノム変化検出法の開発、および、そのデバイス化を目指している。大きく分けると、(1)スパッタカーボン薄膜やナノ材料を用いた電極基板開発とバイオセンシングへの展開 (2)交差反応性を利用したセンサアレイを利用したバイオ解析技術 (3)免疫センシング法をベースとした配列特異的なメチル化 DNA 検出法やホルモン検出、更に新規なセンシングデバイスの開発である。

(1)では、共スパッタが可能なアンバランストマグネトロン (UBM) スパッタ装置を用いて、カーボンと金属を同時にスパッタすることにより、金属ナノ粒子がドーパされたハイブリッド型カーボン薄膜電極を形成し、金属ナノ粒子に由来する高い電極触媒作用とカーボンに由来する低いノイズ電流を両立できることを確認した。具体的には、ニッケルと銅からなる金属ナノアロイを含むカーボン膜では、腸疾患糖マーカーであるマンニトールなどに対して良好な電極触媒活性を、あるいは金ナノ粒子を含むカーボン膜では、ヒ素イオンに対する高感度検出が可能であることを実証した。内毒素 (リポポリサッカライド: LPS) の高感度電気化学バイオセンシングへの応用では、新規測定法として、亜鉛錯体と LPS 認識分子から構成される LPS プローブを設計・開発した。LPS 認識微粒子に LPS を吸着させた後、ここへ LPS プローブを添加した。さらにここへ酸性溶液を添加することで亜鉛イオンを溶出した。スパッタナノカーボン薄膜電極を用いて亜鉛イオン抽出溶液の電気化学測定を行ったところ、亜鉛イオンの応答電流と LPS 濃度には相関性があり、本法での LPS の検出下限濃度は200 pg/mL を達成した。また、従来カーボン電極を用いた場合、電極由来のノイズ電流の影響を受け、低濃度 LPS の定量が困難であったことから、ナノカーボン電極の有用性が実証された。また、マイクロ流路を用いて高感度化、試料の微量化、測定時間の短縮を図るため、昨年度開発した LPS 吸着高分子ビーズを充填可能な PDMS 製流路を用いたマイクロ流路デバイスの性能評価を行った。その結果、センサ性能の観点から、微粒子は細密充填せずに、最大許容量の半分程度とし、なおかつ流速を5~20 $\mu$ L/min と設定することが好適であることが明らかとなった。

(2)では、ポリエチレングリコールとカチオン性高分子電解質のブロック共重合体に対し疎水性の異なる様々な官能基を修飾することで、タンパク質に対して多様な交差反応性を有した新規高分子化合物を合成した。これらのブロック共重合体をアニオン性酵素と混合することで、酵素/ブロック共重合体間のポリイオン複合体 (PIC) ライブラリーを作製した。PIC ライブラリーを配置したセンサアレイにより、配列の70%以上が同一で構造が非常に類似しているアルブミンホモログや細胞の培養に用いた培養液の判別成功した。

(3)では、合成オリゴマーで原理を確認したシーケンス選択的なメチルシトシンのイムノアッセイ法について、

本年度は長鎖 DNA をターゲットとし、非標識の表面プラズモン共鳴 (SPR) 法、および、マイクロタイタープレートを利用した吸光度測定により検出することに成功した。具体的には、ゲノム DNA を制限酵素処理により適当な長さに切断した後、測定対象の (メチル) シトシンのみとミスマッチを形成する相補的なビオチン化プローブ DNA を混合する。本混合溶液をアビジン修飾基板上へ固相化した後、抗メチルシトシン抗体を導入することで、測定対象シトシンのメチル化状態を選択的に検出することに成功した。また、免疫センシングデバイスの簡便な検出デバイス開発を目的として、有機 FET を利用した生体分子センサの検討を山形大学と共同して行い、抗原抗体反応を有機 FET で計測することに成功した。

最後に他部門との協力として、戦略予算「アジア戦略水プロジェクト」に参加し、ナノカーボン薄膜電極を用いて環境中の重金属イオン (カドミウムや鉛イオン) を電極上に濃縮し、その後酸化するアノードックストリッピング法で高感度検出を試みた。カーボン膜中のダイヤモンド (sp<sup>3</sup>) 結合とグラファイト結合 (sp<sup>2</sup>) の比を最適化し、さらに環境管理部門の光照射前処理技術と連携することで、妨害有機物質の影響を受けることなく高選択的な重金属の検出に成功した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 DNA、エピジェネティクス、表面プラズモン共鳴、イムノアッセイ、電気化学測定、ナノカーボン薄膜、重金属測定

【テーマ題目9】 機能性界面構築技術の開発

【研究代表者】 田中 陸生 (バイオ界面研究グループ)

【研究担当者】 田中 睦生、澤口 隆博、根本 直、石井 則行、平田 芳樹、村上 悌一 (常勤職員6名、他2名)

【研究内容】

本テーマでは、界面に関する様々な知見に基づく基盤的な研究を行うと同時に、ナノバイオデバイス研究グループをはじめとした他の研究グループや機関と協力して界面構築に関する基盤技術を展開し、疾病マーカー分子等、生体関連物質を計測するバイオセンシングシステムの新規構築を目指している。

センシング界面構築材料として、抗体や酵素など機能性タンパク質を共有結合固定化できる表面修飾材料、タンパク質の非特異吸着を抑制する表面修飾材料、レクチンを検出できる糖鎖を導入した表面修飾材料等の開発や、免疫に関わる補体タンパク質を検出できる機能性タンパク質である補体レセプター等、センシング界面構築に有用な機能性タンパク質の産生・分離法などを検討している。これらの界面構築材料を用いて界面を構築し、界面の構造と機能を解析し、目的とした機能性界面構築法の確立へと展開している。界面構造解析においては、原子間力顕微鏡 (AFM) や走査型トンネル顕微鏡 (STM)

等の走査型プローブ顕微鏡や透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて分子レベルでの構造解析を行っている。

バイオセンシングシステムの開発では、バイオセンサにおけるタンパク質の非特異吸着抑制、DDS における塩析効果に起因するドラッグキャリアー凝集抑制、表面濡れ性など、目的に応じた生体適合性を付与できる表面修飾材料が必要である。様々な生体適合性表面修飾材料を合成して修飾表面を構築し、走査型プローブ顕微鏡や電気化学的手法等による表面解析を行い、非特異吸着抑制機能、凝集抑制機能、表面濡れ性を体系的に検討することによって、表面修飾材料に関するライブラリーを構築することができた。さらには、タンパク質の非特異吸着抑制に関与していると示唆されている界面近傍での水和分子層構造に関する知見を得るために AFM 観測を行い、水和分子層構造と非特異吸着抑制機能の相関について検討した。

センシング材料開発においては、補体タンパク質を検出できる機能性タンパク質である補体レセプターの産生・分離を検討し、従来報告されている補体レセプターよりも優れた結合機能を持つ補体レセプターを得ることができた。センシング界面構築材料としても期待されている核酸の大量合成法を検討し、RNA モノマーであるウリジン、アデノシン、シチジン、グアノシンホスホネート塩の数グラムスケールでの合成法を見いだした。さらには、TEM を用いたイメージング手法への展開を目的として、要素技術である染色材料の探索を行った。

生体の代謝生成物に代表されるように、多種多様な物質の混合物解析は困難である。そこで多変量解析法と核磁気共鳴法等の分光学的手法を組み合わせて代謝生成物等を包括的に解析できるプロファイリング法を開発し、その手法を農産物の品質評価に応用して普及を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 表面修飾材料、センシング材料、機能性タンパク質、走査型プローブ顕微鏡、プロファイリング

【テーマ題目10】 バイオ計測の信頼性確保および比較互換性の確保に向けた研究開発

【研究代表者】 関口 勇地

(バイオメジャー研究グループ)

【研究担当者】 関口 勇地、川原崎 守、水野 敬文、

Tourlousse Dieter

(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

バイオ計測の信頼性確保、およびその国内及び国際的な比較互換性の確保 (基準測定法の確立、標準物質の整備など) に向け、そのための課題整理と標準化ニーズ調査を進めるとともに、必要な技術的検討を行った。バイオ標準に関する基盤技術の確立とバイオ標準物質の開発、整備を実施し、NMIJ から再頒布を予定している DNA

および RNA 認証標準物質の整備に関して必要な検討を実施した。また、バイオ計測の精度管理方法の開発として、次世代シーケンサーによる遺伝子定量技術の品質管理用核酸候補標準品の有用性の評価を実施し、その成果をとりまとめた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 標準化、遺伝子、DNA 定量、PCR、DNA 標準物質、RNA 標準物質、国際比較

【テーマ題目11】 バイオ計測基盤技術の研究開発

【研究代表者】 関口 勇地

(バイオメジャー研究グループ)

【研究担当者】 関口 勇地、川原崎 守、水野 敬文、

Tourlousse Dieter

(常勤職員4名、他6名)

【研究内容】

核酸や動物細胞を中心に、それら生体由来物質の計測技術 (バイオ計測技術) を進展させるための基盤技術の開発を実施した。複合微生物群に由来する遺伝子量評価、あるいはヒトおよび微生物群の遺伝子発現解析を念頭に、核酸を網羅的に検出、定量する新規な手法の開発および応用研究を行った。また、微生物由来核酸の定量技術の開発を実施し、スパイクイン16S rRNA 遺伝子による微生物相解析技術の品質管理方法を各種環境試料の評価に応用した結果をさらに蓄積させた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 遺伝子、DNA 定量、PCR、マイクロチップ、細胞機能評価、動物細胞、凍結保存、バイアビリティ、バイオイメージング

【テーマ題目12】 遺伝子関連検査を始めとした核酸計測の質保証のための標準物質開発

【研究代表者】 野田 尚宏 (バイオアナリティカル研究グループ)

【研究担当者】 野田 尚宏、陶山 哲志、横田 亜紀子、

松倉 智子、佐々木 章、三輪田 恭子

(常勤職員6名)

【研究内容】

遺伝子関連検査等の核酸計測のデータ品質管理に資する核酸標準物質の作製を行った。すでに計測標準部門と共同で開発した実績のある RNA 標準物質の第2ロットを作製するため、その作製プロトコルを見直し、より効率的な生産方法を検討した。また、生体由来分子の量をより正確に測定することができる新しい手法として一分子蛍光測定法に着目した。一分子蛍光測定法を用いて蛍光性の生体由来分子を正確かつ簡便に測定する技術を確立した。核酸標準物質の普及を促進するため、国内の企業団体等との連携体制の構築を進めた。また、米国標準技術研究所の研究者とゲノム標準物質に関する議論を

行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 遺伝子、核酸標準物質、PCR、DNA、RNA

〔テーマ題目13〕 生体分子解析技術の開発と応用

〔研究代表者〕 野田 尚宏（バイオアナリティカル研究グループ）

〔研究担当者〕 野田 尚宏、陶山 哲志、横田 亜紀子、松倉 智子、佐々木 章、三輪田 恭子（常勤職員6名）

〔研究内容〕

核酸と相互作用する核酸関連酵素を取得し、その機能特性を評価する手法を確立した。核酸関連酵素としてはヘリケースやRNA切断酵素に着目し、それらを発現・精製・取得し、蛍光色素を用いた活性評価系を構築した。活性評価系を活用することで、取得した酵素の基質特異性や活性の強弱などを効率的に評価することができた。さらに活性評価系を用いることで、これらの核酸関連酵素の機能を阻害する分子のスクリーニングを実施した。その結果、ヘリケースなどの活性を阻害するいくつかの小分子を見出すことに成功した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 酵素、DNA、RNA、蛍光

〔テーマ題目14〕 神経疾患モデル動物と分子動態可視化技術の開発

〔研究代表者〕 戸井 基道（脳遺伝子研究グループ）

〔研究担当者〕 戸井 基道、加藤 薫、海老原 達彦、落石 知世、佐々木 保典（常勤職員5名、他5名）

〔研究内容〕

疾患発症の分子メカニズムの解明とそれに対する創薬支援技術の開発には、病態解析や様々な薬効解析を可能にするモデル動物の作製が非常に有効である。特に脳神経疾患や精神疾患については、その分子機構の詳細が不明なものが多く、現在においても有効な治療方法や効果的な薬剤の開発には至っていない。そこで、特に神経変性や神経細胞死を誘発する神経疾患の原因タンパク質について、その分子レベルでの細胞内動態解析と、その動態変化に基づいた創薬候補物質スクリーニングに利用可能なトランスジェニック動物の作製と解析を進めている。昨年度までに作製したアルツハイマー病の主要原因タンパク質であるアミロイドβ可視化動物および発現培養細胞を用い、生細胞内でのアミロイドβ融合タンパク質の凝集抑制効果を持つ因子のスクリーニングを行った。融合タンパク質を導入した安定発現細胞を確立し、定量的かつ迅速なスクリーニングを可能にした。これらの細胞における蛍光量可視化を指標にし、天然物および化合物から蛍光量を増大させる比較的強い活性を有する物を1

つ、若干の活性を有する物を3つ得ることができた。これらの因子については、実際の細胞内でのアミロイドβの凝集抑制活性をNative-PAGEで解析するとともに、細胞生存率に与える影響を解析し、現在個体レベルの効果について検討している。並行して、線虫およびマウスを用いて、生体内での可視化アミロイドタンパク質の脳神経機能に与える影響を細胞レベルで解析し、オリゴマー化による機能損傷を明らかにした。さらに、これらの神経機能阻害をもたらす神経生理機能をリアルタイムで観察するシステムの構築を目指して、生きた動物内に様々な蛍光プローブを発現させた。これらのトランスジェニック動物を用いて神経活動のリアルタイム計測を行った。

また、これらの可視化細胞や可視化動物の観察に必要とされる顕微鏡システムの開発に向けて、特に超解像観察に適した染色方法およびサンプル調整法の開発を進めた。染色試薬として、従来の超解像解析に使用可能なものの以外に適切なものを開発し、これらの試薬を用いて国内最高レベルの解像度での観察を可能にした。大気圧電子顕微鏡を用いた観察対象例も増やし、実例を発表した。来年度以降これらの観察システムを用いて、作製した疾患モデル動物における神経構造の変化やタンパク質動態、組織レベルでの神経情報伝達の異常を解析していく予定である。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 脳神経疾患、トランスジェニック動物、細胞内分子動態、可視化解析

〔テーマ題目15〕 生体分子の高機能化及びそれを利用した脳神経疾患に対する創薬基盤技術開発

〔研究代表者〕 波平 昌一

（脳機能調節因子研究グループ）

〔研究担当者〕 波平 昌一、近藤 哲朗、稲垣 英利、大塚 幸雄、平野 和巳（常勤職員5名）

〔研究内容〕

生物の細胞間・細胞内の情報伝達は生体分子の相互作用により制御されている。その中でも特に神経細胞に存在する受容体やイオンチャネルなどを標的とした生理活性ペプチド、及び、ゲノムDNAやクロマチンを構成するヒストンタンパク質に修飾を施すエピジェネティクス制御タンパク質の標的認識メカニズムを解析し、それを利用した創薬基盤技術開発・機器開発を行う。

ヘビ・クモなどの毒腺には、ヒトの神経細胞の機能に影響を与える様々な生理活性ペプチドが存在する。これらの分子は自然界において長い時間をかけた進化の過程で特化した機能、すなわち標的分子を特異的に認識し結合する能力を獲得している分子であると考えられる。当グループではこれまでに、それらのペプチドをコードする遺伝子の配列上の特徴を利用して、指向的分子進化工学手法を用いて目的の標的分子に結合する活性分子の探

索技術を開発し、多種の生理活性ペプチドの標的分子の認識機構の迅速な解析を可能にした。これらの解析により得られたペプチドの配列・立体構造情報などは、創薬の際有効に利用されることが期待される。現在、脳神経系特異的に機能する生理活性ペプチドの探索と機能解析を遂行している。

また、哺乳類の後天的なゲノム修飾機構であるエピジェネティクスを担うタンパク質についても、その分子が担うゲノム領域の認識機構を解析している。精神疾患や脳腫瘍といった脳神経系疾患は、その発症が思春期以降となるため、原因解明や創薬開発に資するモデル細胞やモデル動物の確立が遅れている。最近、それらの発症にエピジェネティクス制御機構である DNA メチル化やクロマチン制御機構の破綻が起因していることが疑われている。そこで、それらのエピジェネティクス制御タンパク質に焦点を当て、神経系細胞における機能解析と標的領域認識機構を明らかにする。さらにそれを利用して発達依存的な病態モデル細胞や動物を作製する。これらにより、脳腫瘍及び精神疾患治療に対する創薬スクリーニングのための次世代型新規研究材料の開発と提供を目指す。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 指向的分子進化学、生理活性ペプチド、エピジェネティクス、脳神経疾患

【テーマ題目16】 細胞増殖因子の機能解析とその創薬開発

【研究代表者】 浅田 眞弘 (シグナル分子研究グループ)

【研究担当者】 浅田 眞弘、鈴木 理  
(常勤職員2名、他5名)

【研究内容】

シグナル分子群の中で生体機能制御の鍵分子である細胞増殖因子の新規機能とそこに介在するシグナル伝達機構の解明を通じ、新たな創薬ターゲットの発掘や新たな生体機能制御技術の開発を行うことを目標としている。これまでの研究から繊維芽細胞増殖因子を創薬の標的とするためには、その安定性の向上が不可欠と考えられた。そこで、安定化改変型細胞増殖因子 FGFC をターゲットとした創薬開発を進めるため、GMP 準拠可能なレベルでの製造方法の確立、複数の宿主による生産、それぞれの標品の活性比較等を行い、製品化のための基盤を構築した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞増殖因子、シグナル伝達、創薬

【テーマ題目17】 がんのシグナル伝達関連遺伝子の機能解明による診断・治療への利用

【研究代表者】 木山 亮一 (シグナル分子研究グループ)

【研究担当者】 木山 亮一 (常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

本課題では、ゲノムサブトラクション法を用いた腎がんのゲノム解析により見出されたがん抑制遺伝子 *Kank* について、がんのメカニズムの解明とがんの診断・治療や創薬への利用を目標として、様々な細胞機能に関わるシグナル伝達メカニズムを解明するための研究を行っている。すでに我々は、*Kank* タンパク質が様々な低分子量 G タンパク質と相互作用をすることでそれらに関わる細胞機能の制御に関与していることを示してきた。低分子量 G タンパク質には、Rho ファミリーや Arf ファミリーなどのタンパク質が存在しており、それぞれに特異的な細胞機能を制御しており、例えば、*Kank* は Rho ファミリーの *Rac1/Cdc42* と相互作用をすることで細胞運動の制御を行い、また、*Arf1* と相互作用する *BIG1* を介して細胞内輸送の制御に関わっている。本年度は、昨年度から継続して、*Kank* と細胞分裂に関わる低分子量 G タンパク質に関して解析を進めて、*Kank* による細胞分裂の制御のメカニズムについて詳しい解析を行った。その結果、中心体複製の制御による細胞分裂の制御のメカニズムと細胞のがん化に関して新たな情報を得ることができた。また、*Kank* をマーカーとして用いて淡明細胞がん、嫌色素がん、乳頭がんなどの腎がんのサブタイプの分類法を確立し、病理診断への利用を進めるために、退色しにくい新規蛍光色素を用いた多重蛍光免疫染色法を開発し、論文発表を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 がん抑制遺伝子、細胞運動、シグナル伝達、免疫組織化学法

【テーマ題目18】 電子線単粒子解析法の開発と新たなタンパク質構造の解明

【研究代表者】 佐藤 主税 (構造生理研究グループ)

【研究担当者】 佐藤 主税、小椋 俊彦 (常勤職員2名)

【研究内容】

光学顕微鏡は多色観察が可能な素晴らしい顕微鏡である。しかし、特に Diffraction に依存する光学顕微鏡は光の波長が数百 nm のため、分解能はこの値から大きく離れることは難しい。これに対して、電子顕微鏡は 0.2nm にも達する高い分解能を誇る。しかしタンパク質では、照射量が限られ微かに薄い像としてしか写らない。しかし、膨大な数の電顕像を組み合わせれば、高分解能の3次元構造を計算できる。我々は、この単粒子解析アルゴリズムを、情報学を駆使して開発し、神経興奮の発生や、Ca シグナル、痛みの伝達に重要なイオンチャネルを中心に研究してきた。イオンチャネルは脳において、神経興奮を司る重要な役割を果たし、イオンを情報伝達物質として制御することで様々な高次機能を実現している。単粒子解析を開発し、これを用いて、Na チャネル、IP<sub>3</sub>受容体チャネル、TRP チャネル、ORAI 等様々の心臓疾患や免疫疾患に対する創薬に重要なタンパク質構造を解明してきた。本年度は、動的な重合・解離する複



合体である microtubule とその上を走るモータータンパクであるキネシンが相互に結合した複合体構造の解析に成功した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電子顕微鏡、単粒子解析、イオンチャンネル

#### 【テーマ題目19】 新しいSEM 電子顕微鏡技術の開発

【研究代表者】 佐藤 主税 (構造生理研究グループ)

【研究担当者】 佐藤 主税、小椋 俊彦 (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

光顕は細胞をハイスループットに観察できる素晴らしいツールである。しかし、その分解能は紫外線の波長でも200nm と大きい。電子顕微鏡はサブ nm レベルの分解能を誇るが、サンプルを真空中に置く必要がある。サンプルは、真空中に耐えるために脱水や蒸着等の長い処理をする必要があり、その処理により特に柔らかい細胞内構造は壊される可能性がある。走査電子顕微鏡 SEM の技術を最新の半導体製造用薄膜技術を電子顕微鏡技術と融合させ ASEM を開発し、これまでに観察不可能であった細胞内のダイナミックな構造変化を、自然な状態で観察する。ASEM は、現状で8nm の分解能で液体中のサンプルを観察できる電子顕微鏡である。ASEM は疎水処理を必要としないために免疫電顕としても抗原の保護性能が高く、様々な抗原が検出できる。本年度は、金による免疫ラベルや染色法の開発により、今問題となっている様々な疾患に関連するタンパク質の細胞内での局在などを決定した。さらに様々な生物の微細構造、細胞内小器官の観察を行った。さらに ASEM による組織レベルでの観察にも、大脳皮質や脊髄、肝臓、腎臓などを用いて成功した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電子顕微鏡、光学顕微鏡、細胞内小器官

#### 【テーマ題目20】 新規セルソーターシステムの開発

【研究代表者】 中村 史 (セルメカニクス研究グループ)

【研究担当者】 中村 史、小林 健

(常勤職員2名、他9名)

#### 【研究内容】

本研究では、従来標的に出来なかった細胞内のマーカータンパク質を標的とした新しい細胞分離技術の開発を目的とした。シリコンウエハを基板とし、直径200 nm、長さ20  $\mu\text{m}$  のナノニードルが30  $\mu\text{m}$  間隔に100 $\times$ 100本、合計1万本配列したナノニードルアレイを作製した。このナノニードルアレイに抗体の Fc ドメインに特異的に結合する ZZ-BNC を修飾し、抗体固定化を行った。ナノニードルアレイの直下に細胞配列させるために細胞膜修飾剤 BAM をマイクロコンタクトプリント法により、スポット状に塗布し、細胞アレイを作製した。AFM を用いて標的である中間径フィラメントネスチンに対する抗

体結合力を評価したところ、P19において $20.1 \pm 11.9$  nN、NIH3T3において $1.8 \pm 1.7$  nN であった。通常の培養を行った接着力はP19で $37 \pm 29$  nN、NIH3T3で $470 \pm 140$  nN であり、10倍以上異なるが、3 mM BAM インク液を用いて細胞アレイを作製し、接着力を測定した結果、P19において $9.9 \pm 5.6$  nN、NIH3T3において $10.4 \pm 7.2$  nN とほぼ同一のレベルに調整することが出来た。抗ネスチン抗体修飾ナノニードルアレイを用いて分離操作を行った結果、P19の回収率は平均21%、NIH3T3の混入率は平均4%となった。また抗 GFP 抗体を用いて分離操作を行った結果、P19回収率は1.9%、NIH3T3回収率は1.5%であり、抗ネスチン抗体により特異的な細胞分離が行われていることが示された。

未分化 iPS 細胞は腫瘍形成能を有するために、分化誘導細胞群から除去する必要がある。我々は、未分化ヒト iPS 細胞では中間径フィラメントとしてビメンチンが発現していることを確認し、ビメンチンを標的に力学的に細胞を分離する手法の開発に着手した。まず抗体修飾した AFM カンチレバー型ナノニードルを細胞への挿入し、ビメンチンとの抗原抗体結合力を評価した。この時、抗体結合力が細胞の基板への接着力を大きく上回る必要がある。ナノニードルの抗体修飾には、ZZ-BNC を、シランカップリング剤を用いた化学修飾により固定化していたが歩留まりが低いという問題があったため、新規に吸着固定を検討した。SiO<sub>2</sub>層を除去したナノニードルに ZZ-BNC を吸着させ IgG を固定化した後に、BS3による架橋を行った。その結果、ビメンチン陽性細胞 HeLa で計測された抗体結合力は、従来3 nN 程度であったのに対し、20 nN 程度に向上した。さらに、挿入中にニードルを押し付ける力を40 nN から200 nN に上げ、細胞内でニードルを停留させる時間を 2 秒から 60秒へ延長したところ、抗体結合力は およそ30 nN に向上した。今後、未分化 iPS 細胞に対して検討を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞分離、抗原抗体反応、ナノニードル、AFM、接着制御

#### 【テーマ題目21】 アクチンフィラメントの力学応答と機能分化

【研究代表者】 上田 太郎

(セルメカニクス研究グループ)

【研究担当者】 上田 太郎、長崎 晃

(常勤職員2名、他5名)

#### 【研究内容】

アクチンフィラメントは、真核細胞の細胞運動や細胞内物質輸送等のさまざまな現象で非常に重要な機能を果たしている。たとえば、運動中の細胞性粘菌アメーバの前部では、アクチンフィラメントの伸張が仮足を前方に押しだし、後部ではミオシン II と相互作用して後端を収縮させる。このように、細胞内にはアクチンフィラメン

トを主成分とする多様な構造が共存し、それぞれ特異的な機能を果たしている。このようなアクチンフィラメントの機能分化は、相互作用しているタンパク質の差異に基づくと考えられているが、個々のアクチンフィラメントが、どのようにして適切なアクチン結合タンパク質と結合するののかについてはよく分かっていない。これに対してわれわれは、細胞内アクチンフィラメントのこうした機能分化には、外力や特異的アクチン結合タンパク質によるフィラメントの構造変化が重要な機能を果たしているのではないかという仮説の検証に取り組んでいる。今年度は以下の成果を得た。

1. 細胞内のアクチン結合ドメイン (ABD) の局在に関して、フィラミンの ABD が前後極性をもったアメーバ細胞の後部に集積しやすいことが以前から報告されており、われわれはそのメカニズム解明を進めてきた。紫色の刺激光で蛍光が緑から赤に変化する蛍光タンパク質 mKikGR とフィラミン ABD の融合タンパク質を細胞性粘菌で発現し、前後極性をもった細胞の中央部の mKikGR-フィラミン ABD を赤色に変換したところ、6秒以内に細胞後部が赤色蛍光を発するようになった。この結果は、細胞前後のアクチンフィラメントの構造が異なっているためにフィラミンが細胞後部に集積するという仮説を強く支持する。
2. ミオシン II とコフィリンはともにアクチンフィラメントと協同的に結合するが、それらの協同的結合は相互排他的であることを示してきた。そこで S1 (ミオシン II のモーター領域) とコフィリンが共存する際、両者がアクチンフィラメントとどのように結合するかを高速 AFM で観察したところ、ATP 存在下で S1 アクチンフィラメントと相互作用している状況では、コフィリンのアクチンフィラメント結合が強く阻害されることを見出した。ATP 存在下では S1 とアクチンフィラメントの結合は非常に短寿命であり、任意の時点において大半のアクチンプロトマーは S1 と結合していないにもかかわらずコフィリン結合が強く阻害されたということは、S1 によるアクチンフィラメントの構造変化に関して、強い距離的な協同性があるか、時間的なメモリー効果があることを示している。
3. 動物やアメーバ細胞とは細胞内力学環境が大きく異なると推測される植物由来のアクチンをアイソフォームに分けて精製することに成功し、それらの生化学的性質が大きく異なることを発見した。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 細胞極性、メカノバイオロジー、協同的結合

[テーマ題目22] がんにおけるモータリンと CARF の分子解析と抗がん剤の開発

[研究代表者] ワダワ レヌー (細胞増殖制御研究グループ)

[研究担当者] ワダワ レヌー、カウル スニル  
(常勤職員2名、他4名)

[研究内容]

ストレス応答タンパク質の一種であるモータリン (ミトコンドリア熱ショックタンパク質70) はがん細胞に過剰発現しており、ヒトの発がんに関与することが示唆されている。さらに、これまでの研究から、モータリンを抑制する siRNA は、がん細胞において増殖を抑制またはアポトーシスを誘導する。一方、我々による詳細な解析の結果、がん細胞における p53 変異体の活性化により、カスパーゼ3を通じたアポトーシスが引き起こされる。さらに、モータリンと p53 の相互作用ががん細胞およびストレス細胞に特異的であることを明らかにした。したがって、これらは治療に向けたがん細胞特異的な標的となる。我々は、モータリンががん細胞の核に局在し、がんの亢進性・浸潤性に関与するテロメラーゼおよび hnRNPK を活性化することを見いだした。パーキンソン病に見られるモータリン変異体の細胞内における機能解析により、モータリン変異体は p53 の活性化および酸化ストレスを引き起こすことが明らかとなった。さらに、Mot-2 はテロメラーゼを活性化するのに対して、パーキンソン病に見られる変異体はテロメラーゼを活性化しないことが明らかとなった。CARF はがん抑制遺伝子 p53 の経路を活性化する因子として以前より報告されている。最近我々は、CARF の過剰発現がヒト細胞において早期の老化を引き起こすことを見出した。CARF は、薬剤やがん性ストレス、テロメアの脱保護によって誘導されたがん細胞において発現が上昇する。これは、CARF が細胞レベルにおいて、ストレス応答性マーカーもしくは細胞老化応答性マーカーとして機能していることを示している。CARF を過剰に発現させると細胞増殖が抑制されるが、さらに大過剰に発現させると増殖力の高い表現型を示した。したがって CARF はその DNA 損傷シグナルへの作用を通じて、濃度依存的に細胞増殖を制御することが明らかとなった。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] モータリン、抗がん作用、内在化抗体、ナノ粒子、モータリン、siRNA、CARF、CARF siRNA、apoptosis

[テーマ題目23] 生体分子メカニズムの解明とこれを制御する天然物由来活性物質の探索・利用

[研究代表者] ワダワ レヌー (細胞増殖制御研究グループ)

[研究担当者] ワダワ レヌー、カウル スニル  
(常勤職員2名、他4名)

[研究内容]

伝統的なハーブ療法は、基礎研究のみならず臨床面でも、統合的かつ実証的な西洋医療と並んで、高く評価されてきている。アシュワガンダ (*Withania somnifera*;

Solanaceae) は、インド周辺地域において自生するハーブであり、1000年以上伝承されてきた伝統的な民間治療薬として広く使われてきた。長年にわたる知見から健康に有効であることが信じられてきたものの、アシュワガンダが作用するメカニズムについては、ほとんど理解されてこなかった。そこで我々は、独自にアシュワガンダ葉部のアルコール抽出物 (i-Extract) を精製し、培養細胞および動物実験において抗がん活性があることを見出した。また、i-Extract とその成分 (i-Factor/Withanone) が一定の濃度において、正常細胞には影響を与えずにがん細胞を選択的に死滅させることを見出した。これらのデータから、アルコール抽出物および水溶性抽出物に由来する抗がん活性は、異なるメカニズムによって効果を発揮することが明らかとなり、個別に精製した化合物よりもハーブの混合物の方が高い機能を有するという伝統的な言い伝えと医学的な経験を分子レベルで裏付ける証拠となった。我々は、正常細胞には安全で、優れた抗がん作用をもつウィザフェリンA及びウィザノンの組み合わせを見出した。生化学、イメージング、バイオインフォマティクス、および分子構造シミュレーションなど多岐に渡るアプローチにより、この作用に関する分子メカニズムを明らかにした。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞増殖制御、老化、がん、植物抽出物、酸化ストレス、神経分化

【テーマ題目24】 生体分子メカニズムの解明とこれを制御する天然物由来活性物質の探索・利用

【研究代表者】 ワダワ レヌー (細胞増殖制御研究グループ)

【研究担当者】 ワダワ レヌー、カウル スニル、加藤 義雄 (常勤職員3名、他3名)

【研究内容】

細胞には、細胞分裂によって細胞数を増やす「増殖」と、自己増殖を止めて別の特性を持つ細胞へと舵を切る「分化」という2つの方向性がある。従来、細胞増殖や分化に関わる細胞性の因子を探索するために、タンパク質をコードする遺伝子について様々な解析が行われてきたが、依然として不明な部分も多い。そこで我々はタンパク質をコードしないノンコーディング RNA の中でも特に小さな RNA (miRNA) に着目し、細胞増殖や分化においてどのような miRNA の発現が変化しているかについて解析を行っている。これまでに種々の疾患に関与する miRNA が見出されてきており、治療薬や診断薬のターゲット分子として、産業応用されることが期待されている。我々の研究では、細胞増殖に関与する miRNA を同定した。ヒトのがん細胞においては、特殊な薬剤 (5-Aza-dC) によって細胞老化が誘導されるが、この細胞老化から逃れて増殖するような現象に関与する miRNA について、現在解析を進めている。特に miR-335

に着目し、細胞増殖制御における miR-335 の役割を種々の手法を用いて同定した。また、miRNA は細胞内での遺伝子発現を調節するだけでなく、細胞外に放出されることが明らかとなってきた。細胞外に放出された miRNA は、脂質二重膜に覆われたエクソゾームと呼ばれる 30-100 nm の粒子に存在していると言われている。しかしながら、細胞外に放出された miRNA がどのような役割を持っているのか、依然として不明な点が多い。そこで我々は、転移性のがん細胞で発現が低下している miR-143 に着目し、細胞外に放出された miR-143 の機能解析を行った。始めに、miR-143 を間葉系幹細胞にリポフェクションによって導入した後、培養培地を回収してエクソゾーム画分を得た。このエクソゾーム画分には miR-143 が多く含まれていることを RT-PCR により確認した。次に、miR-143 を含むエクソゾームを骨肉腫培養細胞 (143B 細胞) に添加したところ、骨肉腫培養細胞の転移能が低下することが明らかとなった。我々の研究結果から、miR-143 を人工的にエクソゾームの形として細胞外に放出させ、そのエクソゾームが骨肉腫培養細胞に取り込まれて miR-143 が機能し、転移能を抑制する効果があることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 miRNA アレイ、細胞増殖、細胞分化、miRNA-296

【テーマ題目25】 次世代シーケンサーによる環境粉じんの粒子径別植物痕解析

【研究代表者】 高橋 淳子 (分子複合医薬研究グループ)

【研究担当者】 高橋 淳子 (常勤職員1名)

【研究内容】

空気中に浮遊する微粒子 (=粉じん) は重金属等を含む無機物と有機物から構成され、土壌、生物、燃焼、人為的な排気等を起源として発生し、大気中に飛散する。中でも、PM2.5 と黄砂は、環境汚染粉じんとして知られている。それに加え、病原微生物、新種のインフルエンザや口蹄疫等の病原ウイルスの蔓延、花粉症を引き起すスギ花粉等、大気中のエアロゾルの影響はヒトや家畜の健康影響を引き起すのみに留まらず多大な社会および経済損失を伴う可能性がある。このため、粉じんが引き起す被害のリスクを評価し適切な対処をするためには、粉じんの起源を特定する必要がある。

これまでに、粉じん中の有機物は腐植物質だけではなく、細菌、真菌、ウイルス等、生物由来の成分を含有していることが明らかになってきた。また我々は、環境エアロゾル中のスギ花粉アレルゲンの計測を行い、実環境中には完全状態のものに加え、数ミクロン以下の微小な断片の状態としても飛散・存在することを確認してきた。そこで本研究では、植物、動物が有する地理的情報に着目し、次世代シーケンサーを用いたメタゲノム解析による、粉じんからの地理的情報評価の可能性を検討した。

メタゲノム解析の結果、3.3 $\mu\text{m}$  から11 $\mu\text{m}$ 、および3.3 $\mu\text{m}$  以下の何れの粒子径の範囲においても、多くの細菌、菌類、および植物の遺伝子配列が検出された。16S rRNA 領域の配列から *Gammaproteobacteria*, *Clostridia*, *Bacilli*, *Alphaproteobacteria*, *Actinobacteria* が特定された。ITS I からは *Cladosporium*, *Altarnalia*, *Peniophora*, *Trametes* 等、キノコを含む菌類が特定された。*rbcL*からは多種類の植物の配列が特定され、特に *Medicago sativa*, *Cryptomeria japonica* 等が多く重複して検出された。植物で特定された配列で重複が少なかったものに着目し、その棲息地域を調べたところ、リスト中に *Leonurus cardiaca* 等の外来植物が検出された。植物種別の配列の重複度により、植物の外来を含む拡散、絶滅、異常繁殖等の情報が得られる可能性が考えられる。

本研究により、微小な粉じん中に多種類の細菌、菌類、および植物の遺伝子配列が存在することが確認された。空気中に長く滞留・飛散し、かつ呼吸により人体に取り込まれ易い、微小な粉じんの生物痕解析は、地理的情報の取得、および生物被害の基礎データとしての両面で有用と考える。本研究を展開することにより、近隣諸国間での粉塵を介した生物の連携状況や地域分布の把握に繋がりたい。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】粉塵、次世代シーケンズ解析、メタゲノム解析

【テーマ題目26】 $\mu$ -オピオイド受容体に対する DNA アプタマーの創製

【研究代表者】池本 光志 (分子複合医薬研究グループ)

【研究担当者】池本 光志 (常勤職員1名)

【研究内容】

G Protein Coupled Receptors (GPCRs) は、痛みなどの重要な生理機能の発現に必須な膜タンパク質であり、主要な創薬標的因子である。本研究は、GPCR 関連鎮痛創薬開発ツールの樹立を目的とし、 $\mu$ -オピオイド受容体を認識する DNA アプタマーの創製を試みた。まず、 $\mu$ -オピオイド受容体の N 末端に HA タグを融合させた HA- $\mu$ -オピオイド受容体タンパク質をテトラサイクリン依存的に発現誘導する293安定細胞を樹立した。次に、本細胞を用いて改良型 Cell SELEX を行い、40塩基長の任意配列を含む一本鎖 DNA ライブラリーからスクリーニングを行った。十数回の $\mu$ -オピオイド受容体タンパク質発現細胞を用いたポジティブセレクションおよびテトラサイクリン非誘導293細胞を用いたネガティブセレクションを行った後、配列解析を行ったところ、複数の配列が濃縮していることが判明した。再合成した DNA を用いて、 $\mu$ -オピオイド受容体タンパク質に対する結合の解析を行ったところ、濃縮した配列を有する DNA は、 $\mu$ オピオイド受容体に対して特異的かつ高親和性に結合し、

強いアゴニスト活性を有することが判明した。今回取得した、 $\mu$ オピオイド受容体結合アプタマーは、GPCR 関連鎮痛創薬開発における有用なツールとなり得ると考えている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】核酸アプタマー、鎮痛、GPCR、核酸医薬、 $\mu$ -オピオイド受容体

【テーマ題目27】ゲノム情報を応用した創薬支援研究

【研究代表者】新家 一男 (次世代ゲノム機能研究グループ)

【研究担当者】廣瀬 哲朗、三尾 和弘、嶋 直樹、佐々木 保典、新家 一男 (常勤職員5名、他3名)

【研究内容】

RNA は転写後にスプライシングや修飾などのプロセスを経て成熟し機能を発揮する。ノンコーディング RNA (ncRNA) の機能発揮の仕組みを明らかにするためには、この多数の生合成因子が関与する複雑な過程を解明する必要がある。転移 RNA (tRNA) はタンパク質合成においてコドンとアミノ酸を結び付ける分子である。本研究では立体構造の安定化やコドン認識に関わる、tRNA の硫黄修飾塩基の生合成機構の解明を目的とした。生合成系の異常は、疾病の発症にも関連している。生合成系は生物間での保存性が高いと考えられるので、本研究では真正細菌の系をモデルとして用いた。

これまでに構築した迅速試験管内反応解析法を改良し、RNA 硫黄修飾反応について各生合成因子の寄与を定量的に解析した。また特に修飾酵素 TtuA には補酵素が結合し、それが酵素活性に重要であることをこれまでに明らかにしている。そこで共同研究により補酵素の種類と状態を分光法により決定し機能を推定した。また変異 TtuA タンパク質を用いて、補酵素や ATP の結合と硫黄転移反応に必要な残基を特定した。以上の結果と立体構造情報から新規な反応機構を提案した。この RNA を硫黄化する仕組みは生物間で保存されており、共通のメカニズムであると考えられる。今後ヒト等の真核生物の系についても解析することにより、創薬基盤技術への応用が期待される。

タンパク質立体構造に指南された創薬戦略の実現を目指し、創薬の標的として今後より重要と考えられる膜タンパク質や複合体について、構造解析技術の改良と創薬支援に向けた基盤技術の開発を行う。構造解析技術としては、極低温電子顕微鏡を主軸に X 線結晶構造解析や NMR、計算機シミュレーション等の情報も取り入れながら行う。

細胞膜を介するペプチド輸送に働くペプチドチャンネル (トランスロコン) においては、そのシャペロンタンパク質である12回膜貫通 SecDF タンパク質の電子顕微鏡構造解析を推進すると共に、単粒子構造解析アルゴリズム

ム改良を行い、解析基盤の強化を図った。核内構造の理解に向けて、ゲノム制御や筋肉や神経のジストロフィー発症、10倍速度で老化が進行する早老症発症に繋がる核内ラミンに関する研究を行った。ラミンが分子複合体を形成し核内で機能を発揮するためには、リンカー領域のアミノ酸組成が特に重要であることが判ったので、その部位の電荷や親水性、鎖長の異なる様々な変異体を作成して実験を行った。精製ラミタンパク質の性質はそれぞれ大きく変化し、疾病（ラミノパチー）の発症には1アミノ酸変異で十分であることが示された。さらに放線菌の二次代謝産物誘導機構の解明を目指し、電子顕微鏡学的解析を進めている。

天然化合物は、生合成遺伝子と呼ばれる遺伝子によって生産されるが、近年のゲノム解析技術の進歩により、微生物ゲノム中には、人類が利用出来ていない未利用生合成遺伝子が多数存在することが明らかになってきている。今年度はドラフトゲノムシーケンス結果から、120 kbp を超える巨大な生合成遺伝子クラスターに着目し、未利用生合成遺伝子クラスターのクローニングを行った。放線菌の BAC ライブラリー調製において種々の改良を行った結果、インサートサイズが200 kbp 以上の BAC ライブラリーを調製可能な技術の確立に成功した。これらの BAC ライブラリーより、目的全長生合成遺伝子クラスターのクローニングを行い、放線菌ホストに導入し、化合物の異種発現生産を検討した。その結果、分子量1325の新規化合物を含む数個の新規化合物の異種発現生産に成功した。

また、今年度は土壌試料を用いて、メタゲノム BAC ライブラリーの調製も行った。その結果、150 kbp の BAC ライブラリーの調製に成功し、3個の I 型ポリケタイド生合成遺伝子クラスター、および2個の NRPS 生合成遺伝子クラスターを取得した。

また、我々は国内有数の製薬および発酵企業より、天然物ライブラリーの提供を受け、25万サンプル以上の世界最大級の天然物ライブラリーを保有しているが、本ライブラリーを用いて、製薬系企業由来のスクリーニング3種類、公共機関発のスクリーニング10種類以上の各種創薬スクリーニングを行った。また、創薬支援 NW 関連の2種類のアッセイ系の構築を行い、パイロットスクリーニングを実施した。これらのスクリーニングを通じて、特許申請を行うような有望な化合物を見出した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核酸、RNA、RNA 修飾、硫黄転移反応、電子顕微鏡、構造生物学、ケミカルバイオロジー、天然物化学、二次代謝産物生合成、創薬スクリーニング

## ⑨【ヒューマンライフテクノロジー研究部門】

(Human Technology Research Institute)

(存続期間：2001.4～2015.3)

研究部門長：松岡 克典  
副研究部門長：鎮西 清行、兵藤 行志  
首席研究員：赤松 幹之  
総括研究主幹：梅山 伸二

所在地：つくば中央第6、第2、東事業所

人員：84名（84名）

経費：803,815千円（465,217千円）

概要：

ヒューマンライフテクノロジー研究部門では、生活者や生体システムとしての人間を科学的に探求することにより、少子高齢化し高度に情報化された社会の中で暮らす人々のニーズを見極めつつ、人間にとって安全で安心かつ有益な技術を人々の生活に導入することを目標として研究開発を行う。この目的のために、安全・安心な生活環境を創出する機器、使いやすい製品を設計することを支援する技術、健康増進のための機器、患者にとって安全で負担の少ない医療機器技術、医療高度化の支援技術などの研究開発を進め、さらに人間生活及び医療福祉機器関連産業の育成・活性化に貢献する。

特に人間の心身活動を深く理解するための研究を行うとともに、科学技術の利用者である人間側に視点をおきながら、人間の能力発揮や機能回復を支援する技術を開発することをミッションとする。

### 課題1 人間の状況認知・遂行能力の評価・支援技術（人間生活工学分野）：

ダイヤモンドとパフォーマンスの適合による認知行動タスクの最適化を目指し、以下の要素技術の開発に取り組む。即ち人間の認知処理容量を脳全体の酸素代謝から推定するための光と超音波を組み合わせた計測方法の開発を継続し、人間工学実験によって有効性を確認する。近赤外脳機能計測装置に対しては、頭部血流動態の生理学的考察やシミュレーションに基づき、アーティファクト除去が可能な手法の開発を進める。また、人間の適応的タスク遂行能力のモデル化によりタスクダイヤモンドを行動から推定する手法の構築を行う。

### 課題2 心身の適応力の向上のための評価・支援技術（健康福祉工学分野）：

健康維持増進技術の一環として、心身の適応能力向上のための評価・支援技術を構築する。そのために、心身の相互応答特性を解明するとともに、心身の適応状態を計測・評価する技術を開発する。

具体的には、運動習慣、睡眠、温熱環境などの身体的要因と、精神ストレス、心理状態、認知機能などの精神・心理要因との関係を明らかにし、身心適応能力を向上させる技術開発につなげる。また、血流応答や

血管硬化度、音声情報などを用いて、身心の適応性を計測・評価するための生理的・心理的手法を開発する。

**課題3 生活自立支援のための身体機能回復技術（福祉工学分野）：**

次世代リハビリテーション技術の指針を提供することを目標に、生活自立支援のための身体機能回復技術構築の一環として、脳機能に着目したニューロリハビリテーション技術と食の QOL 向上のための基盤研究を行う。具体的には、動物実験を通じて脳の適応能力機構を解明し、その回復のプロセスと要因を明らかにするとともに、残存機能を活かすニューロリハビリテーション技術を開発する。また、身体の生理機能や認知機能の理解に関わる研究を通じて、長寿社会での人々のライフスタイルの充実に向けた、食生活の QOL 向上のための介護・リハビリ支援技術の基礎を構築する。

**課題4 安全で負担の少ない医療機器技術、医療高度化の支援技術（医工学分野）：**

医工学分野におけるトランスレーショナル・リサーチや本格研究の実践によって、第三世代生体材料の研究開発やその基礎研究を核としながら、次世代人工心臓の開発を行うとともに、低侵襲機器と組合せた治療法の研究開発を進める。適用疾患として骨疾患、心疾患、がんを想定し、それぞれ、高齢社会の QOL 向上、二大死因の克服といった社会ニーズに対応する。

**課題5 人間生活製品、福祉、医療機器技術の標準化研究（標準化分野）：**

人間特性に基づいた適正な製品の設計・開発や安全で迅速な医療機器の設計・開発を支援することをねらいに、人間工学的視点及び医療機器に対する技術的視点から、アクセシブルデザイン技術の標準化研究、映像の生体安全性に関する国際標準化、再生医療製品を含む医療機器開発に対するガイドライン策定と標準化を推進する。

-----  
内部資金：

交付金 標準基盤研究 1型色覚および2型色覚の等歩度色知覚尺度（色差）、色差式および均等色空間

交付金 戦略予算 産総研レギュラトリーサイエンス（RS）拠点構築

交付金 戦略予算 パロ癒し効果の科学的解明

交付金 標準基盤研究 インプラント用材料の電気化学的な評価方法の標準化

交付金 標準基盤研究 映画等映像コンテンツのバリアフリー化に向けた補助字幕設計手法の標準化

交付金 標準基盤研究 光学的応力イメージング技術の標準化

外部資金：

経済産業省 平成26年度産業技術研究開発委託費 平成26年度未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業(医療機器等に関する開発ガイドライン策定事業)

経済産業省 平成26年度工業標準化推進事業委託費 平成26年度工業標準化推進事業委託費（戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発・普及基盤構築）アクセシブルデザイン（AD）製品及びその認証に関する国際標準化・普及基盤構築）

経済産業省 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業（日米先端計測技術研究協力） 3D 映像

（独）科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（RISTEX）多世代視覚障害者移動支援システムにおけるクラウド・ナビ・訓練システムの社会実装

（独）科学技術振興機構 研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）探索タイプ】可搬型血液濾過システムの開発

（独）科学技術振興機構 研究成果展開事業【産学共創基盤基盤研究プログラム】バイオメディカル光イメージングにおける数理モデルと画像再構成

（公財）静岡県産業振興財団 平成25年度課題解決型医療機器等開発事業（ふじのくに先端医療総合特区）高生体適合性（カスタムメイド）インプラントの上市を目指した研究開発

文部科学省／（大）東北大学 平成26年度橋渡し研究加速ネットワークプログラム シーズ B（再委託）「神経・血管温存下に最大限の病変摘出を行う手術用治療器（パルスウォータージェットメス）の開発」における物性値データ解析

経済産業省／（一財）日本規格協会 平成26年度経済産業省 平成26年度高機能 JIS 等整備事業：安全・安心な社会形成に資する JIS 開発（再委託）アクセシブルデザイン（AD）に関する JIS 開発

経済産業省／（公財）木原記念横浜生命科学振興財団 平成26年度医工連携事業化推進事業（京浜臨海部ライフ

イノベーション国際戦略総合特区) 超音波画像装置の試作開発

(一社) 環境情報科学センター 2014年度研究助成 人体温熱環境評価に関するフィージビリティ研究

公益信託 小澤・吉川記念エレクトロニクス研究助成基金 平成26年度研究助成 血液内ラマン散乱シミュレーションに基づく血液分析装置の開発

(一社) 日本人工臓器学会 2013年度研究助成 体外循環における非採血式血液凝固・生化学検査を実現する血液内近赤外光散乱モデルの開発

(財) 大川情報通信基金 2013年度研究助成 Compressed sensingは超短時間MR Elastographyを可能にするか

(一財) キャノン財団 平成25年度研究助成 脳神経情報に基づく視覚体験の可視化技術の開発

(公財) 鈴木謙三記念医科学応用研究財団 2013年度研究助成 可搬型受動的嚙下速度無侵襲計測システムの開発

(公財) 立石科学技術振興財団 平成24年度研究助成(B) アバターロボットを制御する脳波コミュニケーション技術の開発

(公財) 武田科学振興財団 2013年度研究助成 触知覚における情報統合機構の解明

(公財) 内藤記念科学振興財団 2013年度研究助成 神経伝達物質のリアルタイム計測技術の開発と実践ー神経科学とナノテクノロジーの融合ー

(公財) 鈴木謙三記念医科学応用研究財団 2013年度研究助成 注意・意識を担う神経ネットワークとその病態解明

(公財) 上原記念生命科学財団 平成25年度研究奨励金 脳内化学プロセスのリアルタイム計測技術の開発

(財) 上月スポーツ・教育財団 2012年度研究助成 下肢血流制限を伴う動的運動が中心循環動態に与える影響

(公財) 交通エコロジー・モビリティ財団 平成25年度 ECOMO 交通バリアフリー研究助成 高齢者およびロービジョン者の情報受容歩行の解明

(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構/幹細胞評価基盤技術研究組合 平成26年度「再生医療の産業化に向けた評価基盤技術開発事業/再生医療の産業化に向けた細胞製造・加工システムの開発」事業 (A5 ヒューマンライフ) 再生医療の産業化に向けた細胞製造・加工システムの開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 認知行動を取捨選択制御する前頭前野神経回路機構の研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 社会的公正性に配慮したデータマイニング技術

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 加齢変化を考慮した騒音評価方法の開発に向けた聴覚モデルの構築

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 血液自身を潤滑液として回転浮上する長期使用可能な補助循環ポンプに関する研究開発

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 前頭前野における神経調節物質の影響に関する研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 高齢者の健康で安全な生活のための居住環境と住まい方に関する基礎的・実践的研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 運用現場における音案内の誘導性能をリアルタイムに評価するツールの開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 不均一な弾性構造の知覚特性の研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 特徴空間の幾何構造を利用した学習アルゴリズムの構築

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 運動に伴う血圧変化メカニズムの解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 脳損傷後の運動機能回復の基盤となる分子・解剖レベル変化

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 多点電気刺激による顔情報制御の研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 異なる感覚モダリティ・属性に共通した「時間」と「内容」の情報統合メカニズムの解明

## 研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 業務引き継ぎカイゼンシステムを用いた OJT 教育プログラムのフレームワーク

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 神経活動依存的に変動する脳内乳酸濃度の全脳計測

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (A) 動脈硬化の加齢変化の個人差を生むメカニズムの解明－10年間の追跡に基づく検討－

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (A) レム睡眠が感情記憶に及ぼす効果検証

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 機械学習を利用した反応材料分布と環境エネルギー条件の推定法構築

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A) ホームケアをサポートする人間生活調和型コンパクトアクチュエータの総合的研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 動的脳活動の非侵襲計測データ統合解析に基づく高次視覚認知のデコーディング技術

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (A) 多感覚情報の脳内統合機構の解明

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 物体視覚情報の時間的統合を支える神経メカニズムの解明

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 主観的同時性と時間順序を実現する神経基盤の解明

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 スパースモデリングを用いた顔の個体認知の神経機構の解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) ヒトの認知の基盤となる神経計算学的圏論

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) メタ認知を支える神経基盤と多重モデルの解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 動画像特徴による形状予測に基づく変形物体の追跡手法の研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 自己選択による意思決定情報の可視化と解読

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 脳梗塞片麻痺ラットを用いた感覚運動連合学習における動作アシストの効果の解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 直感的・潜在的な選好判断に関わる脳内情報処理メカニズムの解明

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) Multi-functional Hollow Mesoporous Silica Adjuvant for Cancer Immunotherapy

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 予測の脳内メカニズム解明：刺激文脈ベースの予測と行為ベースの予測の協調機序の検討

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) インテリジェント人工臓器創成を目指した人工臓器内血流の分光イメージング

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 個人間の脳活動相関性に着目した協調作業効率の評価技術

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 ロービジョン者の紙面書字活動を支援する新奇な拡大読書器の提案と開発

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 脳血管疾患発症予測のための中心動脈循環特性プロファイリング

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 色覚障害者に配慮した均等色空間および色差式の確立に向けた基礎研究

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) スパース辞書学習による信号の構造を利用した柔軟な多次元信号処理

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) あがり巧みな運動に与える影響－情動と運動学習の接点－

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 集団行動における行為の主体感と行動モニタリングの変容メカニズムの解明

文部科学省 科学研究費補助金 若手研究 (B) 感情



コミュニケーションにおける表情模倣の機能

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 意思決定における「迷い」の検知・制御メカニズム

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 スパースモデリングと高次元データ駆動科学創成への支援と広報

文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究 質感認知に関わる視聴触覚情報の心理物理的分析

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A) 嗅覚による味覚変化の時間特性の解明: 実験心理学・脳機能計測・動物行動学の統合研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 運動機能可塑性における赤核機能・構造連関の解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 強化学習モデルによるヒトの潜在的な心理状態の予測に基づく共通適応 BMI

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 運動習慣が脳循環動態・脳循環調節機能に及ぼす影響: 脳疾患予防の基礎的研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 病態生理に基づく革新的な意思伝達手段の開発と長期経過追跡による適応評価研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 数値流体力学解析に基づく脳動脈奇形の血流解析と集学的治療への応用

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 行動決定における価値判断の脳内情報コーディング機構

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 生理反応の複数人同時測定による、集団内・間相互作用における潜在的心理過程の解明

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 認知症高齢者を対象としたメンタルコミットロボット・パロを活用したケア効果

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 潜在

的な認知機能低下を可視化する認知ストレス画像法 DSCSI の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (B) 人体に対して頑健かつ高精度に追従する非侵襲超音波医療診断・治療統合システムの構築

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) パルスジェットメスによる末梢神経機能温存下拡大経蝶形骨洞腫瘍摘出法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 内頸動脈閉塞におけるリアルタイム脳血流量評価法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 高齢者の熱中症予防に向けた住環境整備と住まい方に関する研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) パルスジェットメスによる深部頭蓋底腫瘍摘出法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) パルスジェットメスによる脊髄神経機能温存下脊髄腫瘍摘出法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 認知的負荷が多属性意思決定に及ぼす影響の解明: 生体信号・生理指標に基づく分析

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 機械学習における自己情報コントロール機構の構築

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 人工臓器内の高せん断場血栓検出と赤血球膜破断シミュレーションとの融合

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 放射線と免疫療法を融合したロコ・システムックがん治療法の開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 情報論的自己組織化マップとその応用

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 非侵襲超音波痛み評価・治療統合システム

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 笑い  
を誘発する音声メディアの特徴分析に基づいた笑い誘発  
音声フィルタの試作

文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 実世界  
環境下での輻輳眼球運動計測による視空間情報処理の  
研究

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (C) 孤立  
した大地震被災地の初動救命活動を支援する可搬動力シ  
ステムの開発

文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究 (A) 生体  
内超音波ビーム計測及び制御法を用いた低侵襲超音波診  
断治療統合システム

厚生労働省 再生医療実用化研究事業 多施設ヒト幹細胞  
臨床研究による3次元再生皮下軟骨の有効性確認

発 表：誌上発表260件、口頭発表453件、その他50件  
-----

**アクセシブルデザイン研究グループ**  
(Accessible Design Group)

研究グループ長：兵藤 行志

(つくば中央第6)

概 要：

高齢社会における安全で快適な生活に関する研究を  
遂行し、人間生活関連産業の育成・活性化に貢献する  
ことを目標とする。この目的のために、人間の感覚知  
覚の分野において、高齢者・障害者の特性を人間工学  
的に計測し、そのデータベースを作成・公開するとと  
もに、それに基づいて ISO/IEC ガイド71に推奨され  
た高齢者・障害者配慮の設計技術（アクセシブルデザ  
イン技術）を開発する。さらに、その技術を国内外の  
規格として制定することにより、アクセシブルデザ  
イン製品の普及を目指す。

研究領域は、聴覚・視覚・触覚等の基本的な感覚知  
覚特性及びこれらの感覚情報から認識レベルに至る過  
程の特性（言語理解、文字認識など）を対象とする。  
具体的には、高齢者、色覚障害、及びロービジョン（弱  
視）のための視覚情報提示技術、音響及び音声による  
情報提示・移動支援技術、加齢効果を考慮した騒音評  
価法、視覚障害者のための触覚情報提示技術などを研  
究課題とする。

研究テーマ：テーマ題目5

**マルチモダリティ研究グループ**

(Multimodal Integration Research Group)

研究グループ長：氏家 弘裕

(つくば中央第6)

概 要：

人間の視覚、聴覚、味嗅覚、平衡覚および運動感覚  
等についての情報の統合機構解明を前提として、人間  
の感覚知覚統合機能に適合した VR 環境等のマルチモ  
ーダル情報提示に関する技術開発を目指し、以下の研  
究を実施する。

(1) 製品・環境等のパフォーマンス適合性評価：

人間環境を取り巻くマルチモダリティ情報提示の機  
能性について、パフォーマンス適合性の観点による  
計測・評価手法の開発を目指す。具体的には、視覚、  
聴覚、体性感覚フィードバックによる行為特性の解  
明と製品・環境の適合性評価への展開、及び口腔内  
での味覚、嗅覚、触覚間の統合機能の解明と味・嗅  
覚機能検査法の確立とを目指す。前者に対してはそ  
の基盤として、感覚モダリティ間の時空間統合特性  
の解明や、視覚と前庭の情報統合と姿勢との関係の  
解明、さらに情報提示技術として三次元音響記録再  
生技術の開発を同時に進める。

(2) 生体影響リスク低減に資する知的基盤確立：

情報提示による生体影響に関するデータ収集とそ  
の蓄積を行い、これに基づく健康面への影響評価技  
術を開発し、ISO での国際規格化を目指す。具体的  
には、マルチモダリティ環境でとりわけ問題となる立  
体視による視覚疲労やサイバー酔いについて、情報  
内要因、情報提示要因、さらに個人特性による影響  
を明らかにすることで、評価技術開発を目指すとし  
もに、それぞれの要因に対して有効な対策指針の規  
格原案審議に結びつける。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5

**認知行動システム研究グループ**

(Cognition and Action Research Group)

研究グループ長：岩木 直

(つくば中央第6)

概 要：

人間の認知メカニズムは、外界の環境中にある多様  
な課題要求に応じて機能する。課題要求と人間の認知  
機能の適合性を検討するためには、認知機能の解明が  
必要不可欠である。特に、認知メカニズムがどのよ  
うな機能単位（モジュール）から成り立っており、それ  
らが互いにどのように機能するかを明らかにする必要  
がある。そこで、人間の認知活動に必要な注意、記憶、  
構え、遂行などの情報処理モジュールを特定する手法  
を開発し、モデル化に向けた枠組みを構築する。

この目標に向けて、個人の認知処理能力を評価する  
とともに、従事する特定のタスクに対してどの程度の  
パフォーマンスを発揮することができるか予測するこ  
とが可能かどうか検証する。とくに、認知課題遂行中  
の脳波計測実験を行い、心的モデルと外界視覚情報と  
の間のミスマッチが発生した場合に特徴的に発生する

脳波成分を特定する。また、作業者が能動的に外界情報を操作している場合の、作業者の操作意図が、外界の心的モデルの更新に与える影響を明らかにする。さらに、当該分野の新しい展開を視野に入れ、認知行動における人間と環境との適合性を解明する新たな研究パラダイムを創出するための萌芽的研究に取り組む。

研究テーマ：テーマ題目1

#### システム脳科学研究グループ

(Systems Neuroscience Group)

研究グループ長：高島 一郎

(つくば中央第2)

概要：

システム脳科学研究グループでは、脳が持っている高い能力を引き出し、支援するために必要な基盤的研究を行う。

認知・行動制御メカニズムの解明に必要な適応モデル動物を確立しつつ、活動中の脳におけるニューロン活動の計測と解析を行い、脳で行われている認知や行動様式の基礎となっている情報処理の仕組みの解明を目指す。同時に、注意や動機、疾病診断等の生理的指標として有用な、視線・瞳孔径を高速かつ非侵襲的に計測する装置などの評価支援システムの開発を進める。

また、脳損傷モデル動物を用いて、ニューロリハビリテーションの神経基盤の解明を目指す。大脳皮質運動野が損傷された後のリハビリ訓練により手の巧緻動作の回復が促進されることが明らかになっているので、その背景にある遺伝子・分子・神経回路レベルの変化を統合的に解明する。さらに、脳損傷後に生じる疼痛性感覚異常の克服を目指した霊長類モデルの開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

#### ユビキタスイタラクショングループ

(Human Ubiquitous-Environment Interaction Group)

研究グループ長：佐藤 洋

(つくば中央第6)

概要：

人間生活においては生活環境における情報化及び情報と通信の融合が進み、情報技術がオフィスばかりでなく生活の場へも浸透し、ユビキタス社会が実現しつつある。すでに、携帯電話やPDA、またITS(高度道路交通システム)などの情報支援機器や行動支援機器、ネットワーク対応した家電機器の開発などが行われているが、その支援の恩恵を誰もが享受できるユビキタス社会を実現することが、社会的な要請となっている。

この要請に応えるために、ユビキタス機器利用時の人間の認知行動特性の理解を得ること、また、それに適合した情報支援・行動支援環境を創出することを目

的として、生活行動の把握技術の開発、ユビキタスイタラクションの評価技術の開発を行う。さらに、これらの認知行動特性の理解に基づいて、ユビキタス社会における人間の活動を支援することのできるユビキタスイタラクションの開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目1

#### 情報数理研究グループ

(Mathematical Neuroinformatics Group)

研究グループ長：赤穂 昭太郎

(つくば中央第2)

概要：

人間の認知行動を評価・予測するモデルを構築するために、ビデオ画像や生体信号などの大量データから有用な情報を抽出する機械学習・データマイニングアルゴリズムの構築を行う。

まず、その基礎技術となる確率・統計モデルについて情報幾何学などを用いた理論的な観点からの学問的体系化を行う。近年、インターネットや計測技術の発達に伴い、計測されるデータの多様性が増し、データ解析の結果を還元する際にもさまざまなサービスが開発されている。当グループでも、理論的なバックグラウンドに基づいて多様なデータの解析手法の開発や、新規のサービスの提案などを行っていく。

具体的には、インターネットにおける検索や推薦といった問題や、コンピュータビジョンによる高速な画像処理・パターン認識技術の構築などに取り組む。また、人間の認知機能やその発達などの数理モデルを構築し、認知行動の評価や予測を目指す。

研究テーマ：テーマ題目1

#### 環境適応研究グループ

(Environmental Control Research Group)

研究グループ長：都築 和代

(つくば中央第6)

概要：

少子高齢社会において安全・安心で質の高い生活を実現することを目的に、人の心身機能の維持・改善や快適性を高める環境を創り出す研究を行う。

そのため、実際の生活現場において、低侵襲・低拘束な計測方法を駆使し、人の生理・心理・行動データの収集、ならびに、環境側データの収集を行う。その結果を解析し、実態を把握するとともに、因果関係の解明に努める。また、実態把握にとどまらず、現場実験等も有効な研究手法であるため、必要に応じて生活現場における介入実験を行う。実験室では、眠気、体温調節等のメカニズム解明のための実験計画や非正常不均一な温熱環境における快適性の評価のための基礎研究を行い、人の心身機能の維持・改善や快適性を高める環境の構築技術の開発を行う。特に、高齢者につ

いてのデータを収集し、青年と比較することにより加齢の影響の導出に取り組み、環境改善による生活の質の向上を目指す。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

### 身体適応支援工学グループ

(Physical Fitness Technology Group)

研究グループ長：井野 秀一

(つくば中央第6、つくば東)

概 要：

少子高齢社会において安全・安心で質の高い生活(Quality of Life: QOL)の実現を後押しする多様な人間支援技術の構築を目指し、人間の生理機能・感覚運動機能・スキル等を計測・評価する手法を開発すると共に、それらを基盤とする下記の研究テーマに取り組む。

- ① 心循環機能・動作機能に関する研究：心身適応力の向上による健康維持増進技術を開発する。生体を計測する新しい技術を検討するとともに、自律神経・血圧反射・心循環応答等の循環調節機能や姿勢制御等の動作機能に着目して、環境変化やストレスへの心身の適応性向上のための技術構築を目指す。
- ② 心身親和性の高い生活自立支援技術に関する研究：心身特性との親和性を考慮した生活自立支援技術を開発する。運動機能・感覚機能・認知機能等に着目し、高齢者や障害者等の活動的な日常生活や機能訓練を支えるヒューマンインタフェース技術やロボットセラピー技術の構築を目指す。
- ③ 手術手技スキル向上支援技術に関する研究：ドライラボ(人工物によるシミュレータ)と手術室での実際の手術の操作情報を融合した、より臨場感の高い遠隔手術手技研修システムおよび自習システムの構築を通じて、安全で効率の良い手術スキル向上支援技術の確立を目指す。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目4

### ニューロテクノロジー研究グループ

(Neurotechnology Research Group)

研究グループ長：長谷川 良平

(つくば中央第2)

概 要：

神経科学研究で得た知見に基づき、人々の「生活の質(QOL)」向上や、新産業の創出を視野に入れたさまざまな研究開発を行う。そのため、人や動物の脳・神経系の構造・機能を調べる基礎研究から、身体機能を補償するシステムの開発・実用化を目指している。具体的には、以下の研究を主に実施している。

- (1)ブレインーマシン インターフェース (BMI) 技術の開発：

脳/身体機能に障がいを持つ方々の社会参加を

補助・促進することを目的とし、脳と機械を繋ぐ技術の開発を行う。具体的には、動物や人の脳から発せられる生体信号抽出、読み取った生体信号の解読手法、さらには解読した信号で外部機器を動かすシステムの開発全般を実施する。開発した装置の試作機を使って実証実験を行い、実用化へと積極的に取り組む。

- (2) 色覚バリアフリー実現に関する基盤技術の開発と標準化：

色覚障がい者にも見やすい視環境を評価・整備できるようにすることを目的に、色覚異常の色差(色と色の差異の程度)に関する学術的知見を明らかにすると共に、色覚検査要件などに関する国際標準化を目指している。また当該知見に基づき、色の識別性の良さを判定する方式の開発、識別性が悪い場合に色を補正・強調する技術の開発とその実用化、および国際標準化などを進めている。

研究テーマ：テーマ題目3

### 脳機能計測研究グループ

(Brain Function Measurement Research Group)

研究グループ長：梅山 伸二

(つくば中央第2)

概 要：

生体の脳が、外界からの刺激を受け、どの場所でのように反応しているかを見ることは、脳機能の解明や病気の診断、また脳機能回復訓練の効果などを判定する上で非常に重要であり、このためfMRI、fNIRS、EEGなどの様々な計測手法が開発されてきた。特に近赤外脳機能計測技術(fNIRS)については、その低侵襲性の高さや測定の手軽さ、装置自体が安価であることなどから、近年多くの注目が集まっているが、その反面、測定プローブコンタクトの不安定性や皮膚血流由来によるアーティファクトの問題など、高い精度の計測が難しいことが問題となっている。本グループでは、fNIRSについて、その計測原理の解明を行い、またノイズやアーティファクトに強い計測手法の開発を進めることにより、より信頼度の高い計測技術を実現することを目指す。

研究テーマ：テーマ題目1

### 医用計測技術グループ

(Biomedical Sensing and Imaging Group)

研究グループ長：鎮西 清行

(つくば東)

概 要：

ユニットのミッションである「人間個人が、複雑な社会の中で人々との関係を保ちつつ、自立して知的で快適な生活を安心して送ることを可能とするため、人間の心身活動を深く理解するための研究を行うと共に、

技術のユーザである人間側に視点をおき、人間の能力発揮及び機能回復を支援する技術を開発する」において、当グループは、従来は視ることができなかった、測れなかった物理的・生理的事象を計測可能とする技術開発を基軸として、部門内連携研究を推進し、ユニットミッションの遂行に資することを目標とする。

具体的には、電磁波（ラジオ波（MRI）、赤外光、近赤外光、可視光、X線）及び超音波技術を用いた新規検出・解析方法の創出及び高度化と共に、電気生理、分子・生化学、生体力学計測等の相互補完的な活用によって、(1) 安全で負担の少ない医療機器技術・医療高度化の実現に資する「生体組織の物理・生理特性新規計測技術」、(2) 人間の状況認知・遂行能力の評価・支援のための「全脳代謝計測の基盤技術」を確立すると共に、(3) 人間生活に関わる製品・環境の評価・設計支援のための規格化における「医療機器に対する評価技術」を開発し、その標準化を推進する。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

### 治療支援技術グループ

(Surgical Assist Technology Group)

研究グループ長：小関 義彦

(つくば東)

概要：

病変部位を安全確実にピンポイント同定・到達・治療する微細低侵襲技術の確立を目的とする。また高度医療技術が迅速かつ安全に実用化されることを目指して、医療機器の橋渡し研究の推進と評価技術の確立を目的とする。

病変部位の同定方法として、普及型診断機で生体組織の弾性を無侵襲に計測する生体力学計測について、圧縮センシングを応用し、短時間で高品質の計測に取り組む。病変部位への到達方法として、針穿刺時に針にかかる抵抗力を適切に使用者に提示する穿刺力提示について、空気圧駆動・制御方式にすることで、安価・安全なプロトタイプの開発に取り組む。また、病変部位の治療を可視化する手段として、薬剤と超音波可視な造影剤を合成させた機能性造影剤について、造影剤を担持体でコーティングする技術に取り組む。さらに、橋渡し研究と評価技術として、手術ロボットの清潔性確保のために洗浄性評価に取り組む。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

### 高機能生体材料グループ

(Advanced Biomaterials Group)

研究グループ長：伊藤 敦夫

(つくば中央第6、つくば東)

概要：

組織再生を促進するシグナル物質を担持した骨折固定具の橋渡し研究を行う。この担持技術を応用して高

機能アジュバントを開発し、*in vitro*・*in vivo* 安全性、有効性試験を行う。

硬組織再生医療用途の高機能生体材料の開発に向けた細胞培養系での生体材料の有効性予測技術開発を行う。また、再生医療用途の細胞培養加工システムの最適化検証と標準化研究を実施する。

生体物質の分子間相互作用解析を通じて、医薬品であり、生体材料分野にも適応が期待される各種タンパク質を、迅速且つ低欠陥で結晶化させるために必要なメカニズムを解明する。また、硬組織形成過程で生ずる未知の準安定相に関する探索を行う。

大腿骨の骨格構造に最適なカスタムメイド人工関節ステムの型成型技術の開発および表面にブラスト処理を施す技術を検討し、ステムの耐久性試験を実施する。また、高生体適合性 Ti 合金素材の低コスト化に向けて、Ta の量を低減した高生体適合性 Ti-15Zr-4Nb 合金の製造技術を検討するとともに、力学的安全性のデータを取得する。

インプラント型再生軟骨の有効性評価法を確立するため、再生軟骨組織の MRI 測定における各種データ値と等価な値を有するファントムを作成し、異なる MRI 機種での同一ファントムの測定値から、機種の違いによる補正係数を算出する。ファントムの組成として、寒天やグリセリンの濃度を変えて、力学特性との相関を明らかにする。また、移植した再生軟骨と当該ファントムを同時に MRI 撮影することで、移植後の成熟度の指標を得る。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

### 人工臓器グループ

(Artificial Organ Group)

研究グループ長：丸山 修

(つくば東、つくば中央第6)

概要：

組織再生技術や生体材料技術を利用した喪失機能デバイス技術の開発を推進するため、補助循環血液ポンプにおいては、ポンプ材料であるポリカーボネートの試験片を作成してアルブミンを固定し、*in vitro* 血液適合性試験を行った。前年度までの成果等と総合して、アパタイトの存在下でアルブミンを固定したチタン製の動圧軸受遠心ポンプが、90日間の無血栓を達成できることが示唆された。

非接触式補助循環血液ポンプの開発では、射出成形可能な円錐形状の動圧軸受を設計し、数値流体解析により優れた軸受剛性を確認するとともに、東北大学での1週間の動物実験を実施した結果、溶血と血栓形成の問題を確認したため、更なる検討を行なっている。人工心臓埋め込み患者の流量計測の実現のため、直管を利用した質量流量計を新たに考案し、流量計の形状の最適化を進めている。

人工心臓の開発においては、NEDO プロジェクト採択課題の研究委託機関として、耐久性評価システムを構築し、開発中の小柄患者用補助人工心臓の6ヶ月間の耐久性試験を完了した。耐久性試験前後における人工心臓の圧力流量特性等に変化が見られなかったため、人工心臓の長期信頼性について確証を得た。また、共同研究により企業が実用化した体外循環用遠心ポンプについて、補助循環ポンプとしての使用に向けたさらなる長期信頼性を得るための、羽根回転の安定性および血液適合性に基づく流体力学的検討を進め、羽根形状により羽根の浮上特性が変化することで回転安定性が変化する一方、羽根の傾き特性の回転安定性への影響は小さいことを、数値流体力学解析と実験により確認した。また、次モデルの検討のため、光造形により作製した遠心ポンプは、切削加工により作製したポンプと圧力流量特性がほぼ一致することを確認した。

可視及び近赤外光を使用した、血液凝固監視装置の実用化を行い、体外循環システムへの応用を目指している。また、血液内光伝播理論の構築を行い血液の光計測の校正問題の解決に取り組み、これを応用した従来の限界を超えた高精度血糖計測や、定量的生体機能イメージング法の開発を行っている。これらを密な医工連携により実施しており、迅速な橋渡しを達成させる。

脳血管疾患における身体機能回復技術の開発では、失われた脳機能を回復させるための効率的なリハビリテーション手法を開発することを目的として、動物実験モデルを用い、タスク学習訓練中に強制的に応答動作を誘発して運動感覚を呈示することによって学習過程が促進される条件を明らかにする。

研究テーマ：テーマ項目3、テーマ項目4

#### [テーマ項目1] 人間の状況認知・遂行能力の評価・支援技術

[研究代表者] 岩木 直（認知行動システム研究グループ）  
高島 一郎（システム脳科学研究グループ）  
宇津木 明男（ユビキタスインタラクシヨングループ）  
赤穂 昭太郎（情報数理研究グループ）  
梅山 伸二（脳機能計測研究グループ）  
兵藤 行志（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

[研究担当者] 岩木 直、瀧田 正寿、武田 裕司、木村 元洋、吉江 路子、小高 泰、小村 豊、菅生 康子、山本 慎也、梅山 伸二、山田 亨、岩野 孝之、兵藤 行志、谷川 ゆかり、新田 尚隆、宇津木 明男、高橋 昭彦、竹内 晴彦、

中村 則雄、横山 一也、佐藤 稔久、熊谷 徹、西田 健次、市村 直幸  
（常勤職員24名、他12名）

#### [研究内容]

- 1) 信頼性の高い近赤外脳機能計測技術の開発  
近赤外脳機能計測技術について、その計測原理の解明を行い、またノイズやアーティファクトに強い計測手法の開発を進めることにより、より信頼度の高い計測技術を実現することを目指す。  
平成26年度は、我々が提案する血流動態モデルに基づく信号分離法について国際誌への発表を行った。本手法の市販携帯型 NIRS 装置上での運用を可能とするため、メーカ企業と共同でその改良を行い、運動課題時の脳活動計測を通して手法の有効性を示した。また、毛髪雑音/プローブ固定不備の影響低減技術のため、プローブ先端部に偏光フィルタを装着することにより、プローブ間光直接伝搬に由来する毛髪雑音の影響を軽減する手法を開発し、特許出願を行った。
- 2) 全脳代謝計測技術の基盤研究  
脳のマクロな酸素代謝推定を可能とするために、計測モダリティ及び計測方法の基盤的な研究開発を行い、脳の酸素代謝を伴う人間工学実験によって開発した手法の有効性を確認する。  
平成26年度は、血管形状及び血行動態を検出するための超音波計測、そして血液の酸素化度を検出するための光計測を相互補完的に併用し、かつ一体化させた「超音波・光複合計測プローブ」を試作した。超音波プローブと送受光の光ファイバの相対的な位置が固定され、計測対象領域に接触させることで、再現性高い計測を可能とした。また、計測対象領域を超音波によって可視化することにより、光伝搬経路の推定や補正をより容易にするなど、より高精度な計測に資するものである。
- 3) ニューロン活動計測による処理資源にかかわる神経基盤の解明  
サルをモデル動物として使用し、認知資源の配分と制御に関わる未知の神経基盤を同定することを目的とする。  
平成26年度は、視覚的認知に関する研究において、顔が上下逆さに提示されると、神経細胞が処理する情報のうち、顔の個体や表情の情報量のみが減少することを発見した。また、行動学的データとの相関解析から、柔軟な認識と関連する神経活動は視覚野では少ないことが明らかになった。さらに、感覚の情報統合における脳内の処理過程において、時間差の補正メカニズムが存在することを発見し、感覚情報間の統合と分離の切り替えメカニズムの一端を明らかにした。
- 4) 認知情報処理モジュールに関わる脳機能評価技術の開発  
日常的な認知活動の基礎となる情報モジュールごと

に、その情報処理を反映する脳活動パターンを特定し、認知状態を評価するための技術開発を目指す。

平成26年度は、認知パフォーマンスの個人差を定量的に評価することを目標に脳波やMEG、fMRI等の脳活動計測実験を行い、トップダウン抑制機能が強い個人では脳内モジュール間の機能的結合を反映するガンマ帯域脳波の位相同期性が高いことと、ガンマ帯域脳活動強度と心的な視空間処理パフォーマンスとの間に有意な相関があることを明らかにした。また、疑似的な自動車運転課題中に課題非関連聴覚プローブ刺激を呈示し、運転パフォーマンスとプローブ刺激に対する脳波成分の関係性を検討し、運転のタスクディマンドと、運転パフォーマンスの個人差をそれぞれ反映する脳波成分があることを示唆する結果を得た。

#### 5) 行動データに基づくタスクディマンドの評価技術

日常的な活動におけるリスク要因を、基本的なタスクのディマンドと人間のパフォーマンスの適合性によって評価する手法を確立するために、タスクを遂行する人間の行動データの統計的分析によりタスクディマンドを推定する技術を開発する。

平成26年度は、自動車運転中の環境要因によるディマンド等、タスクの負荷量をリアルタイムに定量化する手法を開発し、異なる環境による視覚的ディマンドの定量化に成功した。そして、安全なタスク遂行を実現するため、ユーザの低下している認知機能の種類に応じてタスク負荷を低減する方法を明らかにした。さらに、約10年にわたる高齢ドライバーを対象とした運転行動の経年変化の分析結果から、長めの車間を取る運転対処行動は70歳までで、70歳以降は車間が短くなる傾向が確認された。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 近赤外脳機能計測技術、fNIRS、アーティファクト除去、脳領域間結合、fMRI、EEG、超音波循環動態計測、ニューロン活動の計測、タスクディマンド、認知パフォーマンス、確率ネットワークモデル

[テーマ題目2] 心身の適応力の向上のための評価・支援技術の開発

[研究代表者] 都築 和代（環境適応研究グループ）、小峰 秀彦（身体適応支援工学グループ）

[研究担当者] 都築 和代、永田 可彦、稗田 一郎、武田 裕司、甲斐田 幸佐、菅原 順、新田 尚隆、小峰 秀彦、関 喜一  
（常勤職員9名、他15名）

[研究内容]

#### 1) 心身相互応答特性の解明

睡眠不足が情動記憶に及ぼす影響について調べた結果、断眠をした後には感情に関係ない事象の記憶力は低下するものの、情動に関する事象の記憶力は低下し

ないことがわかった。さらに1週間後の記憶を調べたところ、断眠直後とは逆に、情動に関する記憶は忘却され易くなっていることがわかった。この結果は、レム睡眠を選択的に削減した場合にも同様に認められた。

高齢者の周囲温熱環境と睡眠との関係について、介入の効果が認められ、夏の睡眠環境がエアコン等で適切に温度制御され、睡眠効率が改善したことを確認した。冬の睡眠に関しては、布団による保温効果が有効であったことが確認された。

身体活動に代わる心血管リスク低減手段を確立するため、下肢温熱刺激が中心循環動態に与える影響を中高年女性で検討したところ、下肢温熱刺激は若年者の末梢動脈スティフネスを減弱させたものの、中心動脈圧を下げる効果は認められなかったが、中高齢者では下腿への局所的な温熱刺激負荷に伴う左心室後負荷指標の有意な低下が確認された。つまり、中高齢者においては一過性の下肢温熱刺激により心血管疾患リスクである左心室後負荷を軽減できる可能性が示唆された。

#### 2) 心身の適応状態を計測・評価する技術の構築

高齢者の健幸度を計測する手段の1つとして、日常生活において高齢者が人と行うコミュニケーションの量と健幸度の関係に着目する。コミュニケーションの量を計測する手段として、日常生活における会話をマイクロホンで採取して音声から感情を分析する技術により喜怒哀楽の感情変化を記録する手法を導入し、健幸度を計測する手段としてはWHO質問紙等を導入し、予備実験を実施した。評価の有効性を確認し、今後の検討課題を明らかにした。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] ストレス、認知機能、体温調節、循環調節、運動処方、リラクゼーション、心理状態

[テーマ題目3] 生活自立支援のための身体機能回復技術

[研究代表者] 井野 秀一（身体適応支援工学グループ）  
肥後 範行（システム脳科学研究グループ）

藤崎 和香（マルチモダリティ研究グループ）

[研究担当者] 金子 秀和、肥後 範行、村田 弓、林 隆介、稗田 一郎、藤崎 和香、井野 秀一、長谷川 良平、岩月 徹、関 喜一、坂本 隆、氏家 弘裕、伊藤 敦夫、遠藤 博史、小早川 達、柴田 崇徳、木村 健太（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、梅村 浩之（健康工学研究部門）  
（常勤職員18名、他5名）

[研究内容]

#### 1) 残存機能を活かすニューロリハビリ技術

医薬品開発で一般的に用いられるラットを用いた研究と、ヒトに近いサルを用いた研究を並行して行うことで、独創的かつ効率的なニューロリハビリテーション技術の開発に繋がる研究成果を目指す。

サルを用いた研究では、効率的なニューロリハビリテーション技術の開発を目指して、遺伝子レベルから行動レベルに繋がる生理学的なエビデンスを得るための研究を実施した。その結果、脳損傷後に把持運動の訓練によって把持機能の回復を示したサルでは、SPP1 (secreted phosphoprotein 1) などの神経細胞の構造に関わる遺伝子の脳皮質損傷部位周辺での発現や、ミエリン鞘を形成するオリゴデンドロサイト前駆細胞マーカの皮質下への投射経路の周囲での発現が増加した。さらに把持運動の回復過程で、運動前野腹側から小脳核への投射が形成され、これが新たな運動出力経路として機能している可能性が得られた。このような遺伝子または神経回路レベルでの変化は、損傷後の訓練によって促進される可能性が示唆された。

ラットを用いた研究では、そのような効果を生じる訓練方法として、片側大脳皮質脳損傷ラットを用いて強制的にタスク応答動作を誘発させる効果について検討した。その結果、応答動作に類似した運動感覚（筋緊張、皮膚感覚など）を誘発することが効果的であるという知見が得られた。

以上、ヒトに近いサルを用いた研究と医薬品開発で一般的に用いられるラットを用いた研究を並行して実施することで得られたこれらの成果は、脳損傷からの回復を促進する新たな薬剤や訓練装置の開発において、基礎的かつ重要な新知見である。

## 2) 食生活の QOL 向上のための介護・リハビリ支援技術

長寿社会での人々のライフスタイルの充実に向けて、本テーマでは、楽しい語らいのある食生活を目指した福祉介護技術（嚥下リハビリ・遠隔食事介護システム）に関する基礎から応用に至る研究開発を展開し、「食生活の QOL 向上のための介護・リハビリ支援技術」を提案することを目指す。

嚥下リハビリの研究に関しては、食塊の移動状態を嚥下音で評価する新技術の検討を医工連携で開始し、そのための簡便な計測システムを試作した。また、東京医科歯科大学と共同で実際に患者から嚥下音を採取し分析する一貫工程による作業を実施した。その結果、病院などで利用されている検査装置に比べて、安全でポータブルな在宅向けの新しい簡易嚥下評価システムに応用できる可能性が示唆された。さらに、誤嚥予防の周辺技術研究も進め、これまでのエアブロー（息吹きかけ）式に加えて、嚥下に必要といわれる筋肉を積極的に使う表情の検出で進行するゲームの作成を行った。その結果、リハビリでの気分を楽しく向上させる副次的効果を付与できた。

遠隔食事介助の研究に関しては、インターネットな

どを経由した情報通信の伝達遅延量がインタラクティブな介助動作に及ぼす影響について、食事介助の場面を模擬したバーチャルリアリティ環境の遅延視覚フィードバック実験により調べた。その結果、遅延時間の増大とともに、介助者が被介助者の口元へスプーンを運ぶ到達時間は線形的に増加し、1秒の遅延を想定した場合での到達時間の延長は10秒以内であった。実際の介助現場における食事提供の間隔が1分程度であるため、この程度の遅延の影響は許容範囲内であると示唆された。

さらに、食事の楽しみある雰囲気向上技術の構築に向けて、食感と咀嚼の相互関係に関する生体情報学的課題に着手した。この課題は、介護食などの歯ごたえの少ない食品の咀嚼時に筋電由来の人工的な咀嚼音を付加することで（一種の拡張現実感）、咀嚼音を豊かに表現し、食感や食事の楽しみの向上を目指すものである。簡易的な試作システムを用いたパイロット実験からは、上記の実現可能性（食事環境改善）を示唆する結果が得られた。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 脳卒中、動物モデル、運動リハビリテーション、動作アシスト、嚥下リハビリ、遠隔介護、食生活の QOL、コミュニケーション支援

## [テーマ題目4] 安全で負担の少ない医療機器技術、医療高度化の支援技術

[研究代表者] 伊藤 敦夫（高機能生体材料グループ）

丸山 修（人工臓器グループ）

鎮西 清行（医用計測技術グループ）

小関 義彦（治療支援技術グループ）

[研究担当者] 伊藤 敦夫、王 秀鵬、岡崎 義光、

小沼 一雄、廣瀬 志弘、丸山 修、

金子 秀和、西田 正浩、小阪 亮、

迫田 大輔、鎮西 清行、小関 義彦、

葭仲 潔、鷲尾 利克、兵藤 行志、

三澤 雅樹、新田 尚隆

（常勤職員17名）

## [研究内容]

### 1) 第三世代生体材料の先行臨床応用と基礎研究

皮膚内に天然歯周囲組織と類似の組織の形成を促進する、線維芽細胞成長因子-2 (FGF-2) とアパタイト複合層を形成した創外骨折固定ピンの臨床研究を、筑波大学との共同研究で実施するとともに、薬物・機械器具コンビネーション製品の第一階層第二階層ガイドライン素案を作成して学会検討を行った。

### 2) バイオリズドポンプ

バイオリズドポンプの構成材料として、チタン材料に続き、汎用医療材料であるポリカーボネートを選択した。Type1バイオリズドポンプの表面材料とな



るアルブミンを固定化したポリカーボネート試験片を作製し、*in vitro* 血液適合性試験を行った。ポリカーボネートではアルブミンを固定しない試験片と比較して、抗血栓性が有意に優れる確証は得られなかったが、前年度までの成果等と総合して、アパタイトの存在下でアルブミンを固定したチタン製の動圧軸受遠心ポンプが、90日間の無血栓を達成できることが示唆された。

### 3) 生体力学計測と穿刺力提示、機能性造影剤

生体力学計測については生体組織弾性計測に圧縮センシングを応用し、従来の33%のk空間データから完全k空間データと遜色ない画像を再構成できた。穿刺力提示については、従来の電気駆動式より安価で清潔になると期待される空気圧駆動プロトタイプを試作・評価した。機能性造影剤については超音波造影剤表面に担持体を析出させ、超音波画像によって観察できることを示した。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 血管内皮細胞、バイオリゾドポンプ、線維芽細胞成長因子-2、アパタイト、シグナル分子、穿刺支援技術、ナノバブル可視化、物理・生理計測技術

[テーマ題目5] 人間生活製品、福祉、医療機器技術の標準化研究

[研究代表者] 倉片 憲治 ((兼) アクセシブルデザイン研究グループ)

氏家 弘裕 (マルチモダリティ研究グループ)

鎮西 清行 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

[研究担当者] 倉片 憲治、関 喜一、伊藤 納奈、佐藤 洋、佐川 賢、氏家 弘裕、渡邊 洋、鎮西 清行、鷲尾 利克、岡崎 義光、廣瀬 志弘、山下 樹里、兵藤 行志、三澤 雅樹、谷川 ゆかり、新田 尚隆 (以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、

池原 譲 (バイオメディカル研究部門)、伊藤 弓弦 (幹細胞工学研究センター・器官発生研究チーム)、

木山 亮一 (バイオメディカル研究部門・シグナル分子研究グループ)、

榎田 創 (エネルギー技術研究部門・先進プラズマ技術グループ)、

弓場 俊輔 (健康工学研究部門・組織・再生工学研究グループ)

(常勤職員21名、他8名)

[研究内容]

#### 1) アクセシブルデザイン技術の標準化研究

ISO/TC 159/SC 5/WG 5 (特別な配慮を必要とする

人々のための物理的環境 WG) コンビーナとして「公共空間等の音声アナウンス」の ISO 規格原案 (ISO 24504) の審議を進め、国際規格 (IS) の発行に至った。「色の組合せ方法」の ISO 規格原案 (ISO 24505) の審議を進め、投票の結果、国際規格原案 (DIS) が可決した。また、「年齢別聴覚閾値分布」の ISO 改訂規格原案 (ISO 7029) の審議を進め、投票の結果、DIS が可決した。その他、視覚・聴覚・触覚に関する ISO 規格案及び技術レポート (TR) 案、計6編の審議又は標準化提案のための準備を進めた。

国際照明委員会 (CIE) において TR 案2編の審議を進めた。TC1-84 (目立ちの視野の定義) では TR 前半部分を構成する視野の分類方法とまとめ方について審議した。TC3-44 (高齢者および視覚障害者のための照明) ではロービジョンの視覚に及ぼす照度の影響やデータの応用法に関する記載が終了し、TR 原案の部会内投票中である。国内においては、「公共空間の音案内」の日本工業規格 (JIS) が制定されるに至った。

これまでの標準化研究において収集した人間特性データ、及び発行した JIS・ISO 規格の効果的な普及を目的として公開した産総研「高齢者・障害者の感覚特性データベース」の改修を行った。新しいデータ項目1件を追加するとともに、ヘルプ機能の充実など、利用者の利便性向上を図った。

#### 2) 映像の生体安全性に関する国際標準化

ISO/TC 159/SC 4/WG 12 (映像の生体安全性 WG) コンビーナとして審議を進め、光感受性発作に対する ISO 規格原案第2版 (DIS 9241-391.2) の DIS 投票が行われ、その結果承認されたため、引き続き最終国際規格案 (FDIS) を作成し、ISO 中央事務局に受理された。また、立体映像の生体安全性に関して、(一社) 電子情報技術産業協会と連携して新作業項目提案に導いた立体映像による視覚疲労に対する標準化では、国際規格案 (DIS 9241-392) 投票による承認を受けて最終国際規格案 (FDIS) を作成し、この FDIS 投票により承認された。

#### 3) 医療機器開発に対するガイドラインの策定と標準化の推進

医療機器開発ガイドライン策定事業における審議に基づき、新規に再生医療 (1件)、体内埋め込み型材料 (2件)、プラズマ応用技術 (1件)、ナビゲーション医療 (1件) における6件の開発ガイドライン案を策定した。これまでに策定した開発ガイドライン案は総計40件 (改訂版等を含む) に達する。

再生医療等製品に関連する標準化では、再生医療製品製造用途の除染接続装置開発について、ISO/TC 198/WG 9 (ヘルスケア製品の無菌操作法 WG) にて日本提案を含む委員会原案 (CD 18362) を作成・審議し、FDIS 投票の段階となった。再生医療製品の製造プロセスの標準化について、(一社)再生医療イノベー

ションフォーラムと連携し、ISO/TC 276 (バイオテクノロジーTC) WG 4 (Bioprocessing WG) にて、新規業務規格案 (Methods to control bioreactor processes for cell culturing) の作成を進め、PWI 20398としての登録に寄与した。また、バイオセラミックスの生体模倣環境中での評価方法に関する国際標準化について、(一社)日本ファインセラミックス協会と連携し、CD投票に向けた細胞侵入性評価法の新規業務規格案 (WD 19090) の改訂を進めた。

近赤外光診断装置の標準化では、ISO/TC 121/SC 3/JWG 10 (パルスオキシメータ WG) にて(一社)電子情報技術産業協会と連携して日本提案の国際規格原案 (CDV) が審議を経て平成27年3月、62D/1238/FDIS IEC 80601-2-71: Medical electrical equipment - Part 2-71: Particular requirements for the basic safety and essential performance of functional near-infrared spectroscopy (NIRS) equipment として登録、回付となった。

赤外線サーモグラフィ試験の標準化では、(一社)日本非破壊検査協会と連携して、ISO/TC 135/SC 8/WG 2 (赤外線サーモグラフィ試験 WG) コンビーナとして試験方法通則 ISO/AWI 10880の委員会原案を完成させ、DIS投票を行うことが技術委員会で決議された。

マイクロX線CTの標準化では、ISO/TC 213/WG 10 (三次元測定機) へのデータ提供と協議、産総研コンソーシアム「3次元内外計測コンソーシアム」の設立 (平成27年2月) を行った。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 高齢者、障害者、ロービジョン、聴覚特性、触覚認識、映像の生体安全性、映像酔い、立体映像、視覚疲労、医療機器、ガイドライン、製造販売承認、JIS、ISO

## 3) 情報通信・エレクトロニクス

(Information Technology and Electronics)

## ①【研究統括・副研究統括・研究企画室】

(Director-General・Deputy Director-General・  
Research Planning Office)

研究統括：金丸 正剛

副研究統括：関口 智嗣

## 概要：

研究統括は、情報通信・エレクトロニクス分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行うとともに、研究分野間の融合を推進する業務を実施している。

副研究統括は、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括するとともに、研究分野間の融合を推進する業務を実施している。

## 情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室

(Research Planning Office of Information  
Technology and Electronics)

所在地：つくば中央第2

人員：9名（7名）

## 概要：

当室は、情報通信・エレクトロニクス分野に置かれ、研究所の業務のうち、当該研究分野における研究の推進に関する業務を実施している。

具体的には、研究戦略の策定と研究計画のとりまとめ、研究戦略予算テーマの立案、分野重点化課題研究テーマの選定・評価、研究ユニットへの交付金予算の配分、分野内・分野間のスペース利用の調整、プロジェクトの企画・立案・総合調整、経済産業省その他関係団体等との調整、研究統括及び副研究統括が行う業務の支援、オープンプラットフォーム推進に係る企画・調整、技術研究組合の窓口業務、見学・視察対応等の業務を行っている。

平成26年度は、通常業務に加え、例として以下の業務を行った。

- 1) 情報通信・エレクトロニクス分野に係る第4期中期計画の策定
- 2) 産総研戦略的融合研究事業（STAR）「高電力効率大規模データ処理イニシアチブ（IMPULSE）」の研究推進及びシンポジウム開催

機構図（2015/3/31現在）

[情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室]

研究企画室長 田中 良夫 他

## ②【ネットワークフォトンクス研究センター】

(Network Photonics Research Center)

(存続期間：2008.10.1～)

研究センター長：並木 周

副研究センター長：河島 整

所在地：つくば中央第2、つくば西 TIA 連携棟

人員：15名（15名）

経費：687,659千円（195,323千円）

## 概要：

インターネットの普及で映像情報を中心として通信トラフィックが大きく増加している。これに対応してネットワークの消費電力が急激に増大している。今後、ネットワークを活用して、より効率的で安全、安心な社会を形成していくためには、低消費電力で、大量の情報を扱うことの出来るネットワークインフラを構築して行く必要がある。このために、我々は IP をベースとした従来のネットワークに加えて、大幅な低消費電力化が期待できる光の回線交換を用いた光パスネットワークを提案している。これに向けて、文部科学省のイノベーションシステム整備事業の「先端融合領域イノベーション創出拠点形成」のプログラムで「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」を形成し、企業10社と産総研関連研究ユニットと連携して研究開発を推進している。

先端融合領域イノベーション拠点では、企業と連携して、90Tbps 収容可能な大規模ダイナミック光パスネットワーク・テストベッドをつくば地区に構築した。これを用いた公開実証実験を行い6kW という超低電力性を実証した。テストベッド構築に用いた要素技術は以下の通りである。まず、光パスネットワークでの経路切り替え用のスイッチとして、小型・大規模化が可能なシリコンフォトンクスを用いたスイッチおよび多ポート入出力型の新しい波長選択スイッチの開発を進めた。シリコンフォトンクスのスイッチでは、熱光学効果を用いた干渉計型スイッチの大規模化、偏波無依存化、低クロストーク化、広帯域化について、前年度より継続的に検討し、8x8スイッチプロトタイプをテストベッドに実装し動作実証に成功した。一方、PILOSS 型では世界最小かつ最大規模の32x32光スイッチの試作に成功した。波長選択スイッチでは、前年度に試作した5x5のプロトタイプモジュールをテストベッドに実装し動作実証に成功した。また、光パスネットワークの独自の波長変換技術では、前年度開発したプロトタイプを用いて実用上重要となる多段動作の実証に成功した。加えて、光パスネットワークのダイ

ナミックノードのインターフェース検討およびその要素技術として、ODU スイッチの試作、波長可変レーザの高速制御技術、CDC-ROADM によるプロテクション動作をテストベッドに実装し動作実証に成功した。さらに、同テストベッドを利用して、光パスネットワークによってのみ可能となる8K スーパーハイビジョン非圧縮映像伝送による遠隔合奏公開実験を行った。

以上の研究開発に加えて、InGaAs 系のサブバンド間遷移素子やII-VI族のサブバンド間遷移素子の開発で培った高度の量子井戸の結晶成長技術を新しいデバイスに展開する研究、ビッグデータ時代のデータセンターを支える新しい光スイッチ・光インタコネクタ技術に関するフィージビリティスタディを行った。

#### 外部資金：

文部科学省 イノベーションシステム整備事業「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」・「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」

科研費（研究分担者）「ランダムショートカットと光通信技術による超低遅延グリーンインターコネクタ」

科研費「Be カルコゲナイドを用いた高信頼性緑色～黄色半導体レーザの実現」

科研費「サブバンド間遷移の超高速光非線形性を集積化した全光信号処理デバイスに関する研究」

科研費「通信波長帯動作するサブバンド間遷移フォトダイオードの開発」

科研費「光電流によるスピン注入磁化反転に関する研究」

発表：誌上発表56件、口頭発表53件、その他3件

#### 機能フォトニクス研究チーム

(Functional Photonics Research Team)

研究チーム長：楯塚 治彦

(つくば中央第2)

#### 概要：

将来の通信ネットワークであるダイナミック光パスネットワークに不可欠となる、光ノード内装置の制御技術、波長制御技術、および光位相制御技術の研究開発を行った。

光ノード内装置の制御技術では、多粒度多層型ノードを構成するノード内装置の制御技術の開発を進めている。ネットワーク制御と光デバイス制御との仲立ちを行う、中間制御インターフェース（開発名 BlueBox）のハードウェア、ソフトウェアの実証を行った。

波長制御技術として、高速に光源の波長を切りかえる、波長可変光源高速制御技術の研究開発を進めるとともに、将来の波長多重通信規格である Flexible Grid の必要とする精度と品質で、通信用光源の波長を高速に制御できる技術の開発を進めた。

さらに、超高速光信号のフォーマットの一つとして主流となりつつある位相多値信号に関して、光信号処理の可能性を検討した。様々な位相変調信号の処理を実現するために不可欠な、位相が制御された光源の研究を、企業と共同で進めた。

研究テーマ：テーマ題目1

#### ナノフォトニクス集積研究チーム

(Nanophotonics Integration Research Team)

研究チーム長：河島 整

(つくば中央第2、つくば西 TIA 連携棟)

#### 概要：

ネットワークトラフィックの持続的拡大と省エネルギーを両立させるダイナミック光パスネットワークの構築には、光回線交換機能の強化が必要である。Silicon-On-Insulator を基に作製されるシリコン光導波路は、石英平面光回路を凌駕する集積密度を実現するプラットフォームとして注目を集めており、当チームは、シリコン光導波路に基づく集積型の多ポートスイッチ（光回線交換器）の開発を目指して、その低損失化やパッケージング、更には効率的な校正方法の開発に取り組む。実用性の高い波長選択スイッチについては、空間光学系を利用したプロトタイプを開発する。光制御型位相変調素子や可視光源など、化合物半導体を用いた萌芽的基盤技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目2

#### 光信号処理システム研究チーム

(Optical Signal Processing System Research Team)

研究チーム長：並木 周

(つくば中央第2)

#### 概要：

将来のネットワーク像を模索し、システムにおける光の役割を検討・提案しながら、光ネットワークの実現を目指す研究を進めている。光機能性材料・デバイスを活用した光信号処理システム、特に、非線形光学現象を用いる新しい光信号処理の提案を行い、システムレベルでの検証を行う。光ネットワークの要素技術として、波長変換、可変分散補償、光信号再生などを優先的な課題としている。非線形光学材料として、高非線形ファイバ、シリコン導波路、化合物半導体などを用いる。このチームでは材料開発は行わないため、ネットワークフォトニクス研究センターや電子光技術研究部門など産総研内の関連部門だけでなく、国内外の先端研究グループとの材料に関連した連携・シナジ

一を積極的に追及している。ネットワークレベルなど上位レイヤーでの検討評価についても、内外の関連研究グループとの連携を行い、目指すネットワークのシステムデモンストレーションを実施する。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 光パスプロセッサ研究チーム

(Optical Path Processor Research Team)

研究チーム長：池田 和浩

(つくば西 TIA 連携棟)

概要：

産総研に形成されている「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」が目指すダイナミック光パスネットワークにおいて、その鍵となる光パスプロセッサの開発を進めている。SCR 棟の300mm ラインを活用し、テストベッド用8x8シリコンスイッチ・チップの作製、および実装・評価を行い、ダイナミック光パスネットワークにシリコンフォトニクス技術を活用できること実証する。また、5x5波長選択スイッチの特性改善を進め、テストベッドへ導入する。その上で、中長期的な視点として、同拠点の残り4年間で光パスプロセッサの性能を実用レベルに高めるために、残る課題の解決に取り組む。まず、大規模化に向けて、SCR 棟の300mm ラインを使用した世界最大規模の32x32シリコンスイッチ・チップ作製、および実装・評価を行う。この結果をもとに、デバイス設計・実装技術について問題点を明確にし、翌年度試作へフィードバックし、特性改善につなげる。さらに課題として残されている偏波無依存化、広帯域化、省電力化、低漏話化それぞれについて、解決策の基礎検討を進める。

研究テーマ：テーマ題目4

-----  
 [テーマ題目1] 光デバイス制御技術（運営交付金、文部科学省・イノベーションシステム整備事業「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」・「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」）

[研究代表者] 鍛塚 治彦

(機能フォトニクス研究チーム)

[研究担当者] 鍛塚 治彦、小笠原 剛、須田 悟史、松浦 裕之、Albores-Mejia Aron

(常勤職員3名、他2名)

[研究内容]

中間制御インターフェース (Blue Box) は、制御層と光スイッチとをつなぐ中間インターフェースであり、多粒度多階層への対応、種々/多数の装置・モジュールの制御、物理/論理インターフェース差異吸収、光スイッチベンダー間のコマンド詳細の秘匿、Wrapping (OXC と WSS を組み合わせた WXC の実現) 等の様々な機能を提供できる。接続情報、制御情報、制約情報の分離等の上

位層との共有情報の決定、ハードウェア設計用の回路図エディタで、デモ・システム全体を回路図化、ネットリストの作成等を行い、公開テストベッドにおいて、動作を実証した。また、モニタ制御機能の拡張等を進めた。

波長制御技術においては、光パコンディショニングの PTDC 用光源として、拠点の協働企業とともに高速に波長の変えられる光源の開発を行った。協働企業では、チップ温度一定で動作とする波長可変レーザの開発を行い、産総研では、チップ前後の温度勾配をプリエンファシスで高速制御する技術の開発を行った。開発の結果、1ms 以下の高速波長スイッチングを実現・C-band 内の全 Ch 間高速スイッチングを実現、高速波長可変と実用的線幅を世界で初めて両立することができた。PTDC 用光源として装置への実装を行い、公開テストベッドで動作を実証した。また、新しい WDM の Flexible Grid 対応した波長ロッカー技術の開発を行った。従来の50GHz グリッドのエタロンを組み合わせることにより、6.25GHz 間隔の波長間隔の波長ロッカーを実現した。この波長ロッカーを用い、次世代の WDM 光源として Flexible Grid 波長可変レーザを世界で初めて実現した。この波長ロッカーは、半導体レーザモジュールに内蔵可能であり、協働企業と小型化集積化の検討を進めた。次世代の WDM 光源として、実用化を検討している。

位相多値信号の制御技術として、半導体レーザ注入同期位相制御光源の研究を、多値化に向けたレーザの一層の線幅化、位相感応型ローカル発振器として光受信器に用いることによる、DSP 信号処理の肩代わりや、PSA 等の位相変調信号の光信号処理用光源等への適用を目的に、将来の光信号処理に向けた萌芽的研究として行っている。この技術は、位相変調信号をレーザに注入する簡便な構成で実現され、レーザ内部の活性層の3次光非線形効果による位相感応型増幅効果と、レーザ共振器の超狭帯域光フィルタ効果を組み合わせて実現される。簡単な構成で、64QAM 位相変調信号の搬送波位相を再生できることを世界で初めて実証した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] 光制御、半導体レーザ、波長多重、位相変調、光信号処理

[テーマ題目2] 光スイッチ集積技術（運営交付金、文部科学省「イノベーションシステム整備事業」・「先端融合イノベーション創出拠点の形成」、科研費「Be カルコゲナイドを用いた高信頼性緑色～黄色半導体レーザの実現」、科研費「サブバンド間遷移の超高速光非線形性を集積化した全光信号処理デバイスに関する研究」、科研費「通信波長帯動作するサブバンド間遷移フォトダイオードの開発」)

〔研究代表者〕 河島 整

(ナノフォトニクス集積研究チーム)

〔研究担当者〕 河島 整、秋本 良一、牛頭 信一郎、

Cong Guangwei、鈴木 恵治郎、

谷澤 健、上塚 尚登、立蔵 正男、

Kim Sang-Hung、Jijin Feng

(常勤職員6名、他4名)

〔研究内容〕

光パスネットワークの回線切り替え用スイッチとして、熱光学移相器に比べて電力消費が小さく、同じ SOI 基板上に小型のドライバ回路を集積できる展望に明るい、p-i-n 移相器の開発に取り組み、この目的のために p-領域、n-領域のパターニングに i 線リソグラフィーを使う工程を開発した。空間光学系と MEMS を利用した5×5波長スイッチの組み立てを完了し、10月のダイナミック光パスネットワーク公開実験においてノード装置に組み込み、その動作と信頼性を実証した。III-V 化合物半導体量子井戸構造による光制御型超高速位相変調素子について、挿入損失と変調効率の更なる改善に取り組みをしながら、新たな応用を検討した。可視光源応用に向けては、II-VI 半導体結晶成長技術を更に改良した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 光スイッチ、シリコンフォトニクス、波長選択スイッチ、化合物半導体、ISBT

〔テーマ題目3〕 光信号処理システム (運営交付金、文部科学省・イノベーションシステム整備事業「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」・「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」)

〔研究代表者〕 並木 周

(光信号処理システム研究チーム)

〔研究担当者〕 並木 周、黒須 隆行、来見田 淳也、

井上 崇、石井 紀代、Karen

Solis-Trapala、Hung Nguyen Tan

(常勤職員6名、他2名)

〔研究内容〕

光パスネットワークの主要技術の一つである、光ファイバの非線形性を活用した高性能波長変換技術の研究では、WDM において多値位相変調信号に対する波長変換特性について実用的な見地から詳細に調査した。電子デバイスの消費電力が負担となる超広帯域信号の伝送効率を向上するため、ナイキスト時分割多重波長多重技術という独自の方式を提案し、そのネットワークノードでのアドロップやデフラグメンテーション動作を実証した。光信号の位相雑音を抑える光信号再生では、非線形ファイバと位相変調器をハイブリッドに組み合わせる独自の構成により位相変調信号の効率的な位相雑音抑制に成功し、また、複数波長や高次の変調信号への適用性について調査検討した。

前年度までに開発した各種プロトタイプを集約実装し、多粒度多階層よりなる90Tbps 収容可能な大規模ダイナミック光パスネットワーク・テストベッドをつくば地区に構築した。これを用いた公開実証実験を行い6kW という超低電力性を実証した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 光パスネットワーク、高非線形ファイバ、波長変換、位相再生、グリーンネットワーク

〔テーマ題目4〕 光スイッチ集積技術 (運営交付金、文部科学省・イノベーションシステム整備事業「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成」・「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」)

〔研究代表者〕 池田 和浩

(光パスプロセッサ研究チーム)

〔研究担当者〕 池田 和浩、鈴木 恵治郎、谷澤 健、

Kim Sang-Hung、上塚 尚登、

立蔵 正男 (常勤職員3名、他3名)

〔研究内容〕

産総研に形成されている「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」が目指すダイナミック光パスネットワークにおいて、その鍵となる光パスプロセッサの開発を担当している。当該年度の第一の目標である、光パスネットワーク実運用テストベッドの構築およびデモンストラティブイベントを成功させるため、他チームおよび協働企業と連携を取りながら、同テストベッドに組み込む光パスプロセッサ (シリコンマトリクススイッチおよび波長選択スイッチ) を完成させた。具体的には、SCR 棟の300mm ラインを使用した8x8シリコンスイッチ・チップの作製、および実装・評価を行い、テストベッドへの導入、公開デモンストラティブにおける動作実証に成功した。これにより、ダイナミック光パスネットワークにシリコンフォトニクス技術を活用できることを内外にアピールできた。オフチップ・ダイバーシティ構成により偏波無依存な光学特性を有し、実用レベルに近く、実際にテストベッドにおいて運用している。また、特性を改善した5x5波長選択スイッチの2次試作を行い、テストベッド公開デモンストラティブを完成させ、動作を実証した。

当該年度の第二の目標は、中長期的な視点から、同拠点の残り4年間で光パスプロセッサの性能を実用レベルに高めるために、残る課題の解決に取り組んだ。まず、大規模化に向けて、SCR 棟の300mm ラインを使用した32x32シリコンスイッチ・チップ作製、および実装・評価を行い、基礎的な動作データを取得することに成功した。世界最大規模のシリコンフォトニクス・マトリクススイッチとして当分野の主要国際会議に発表した。今回の結果から、デバイス設計・実装技術について問題点が明確になり、翌年度試作の設計に改善につながる構造を

組込むことができた。さらに課題として残されている偏波無依存化、広帯域化、省電力化、低漏話化それぞれについて、解決策の基礎検討を進めた。エレメント素子レベルの実験的検討で偏波無依存化、広帯域化を実証し、翌年度の大規模スイッチへの導入に見通しが得られた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】光スイッチ、シリコンフォトニクス、波長選択スイッチ

### ③【デジタルヒューマン工学研究センター】

(Digital Human Research Center)

(存続期間：2010.4.1～2015.3.31)

研究センター長：持丸 正明

首席研究員：西田 佳史

所在地：臨海副都心センター

人員：13名(13名)

経費：239,478千円(105,115千円)

#### 概要：

デジタルヒューマン工学研究センターの前身であるデジタルヒューマン研究センターでは「人間個人の機能モデルで個人の欲求を満足するように製品・サービスを最適化する技術」を研究し、成果をあげてきた。しかしながら、個人の欲求を追求することの積分が、社会・環境の価値に繋がるわけではない。個人の満足と持続的社会の共存という問題は、人間個人の機能モデルだけでは解決し得なかった。そこで、「個人にとって付加価値の高い製品・サービス(＝個人欲求充足による市場原理)を通じて、健康で安全で持続可能な社会(＝社会・市場の価値形成)を実現すること」を次なるグランドチャレンジに据える。このグランドチャレンジを達成するための方策として、いままで培ってきた「人間個人の人体機能モデル」に、新たに「人間生活の機能モデル」を研究する。ここで、人間生活とは、人間の個体だけでなく、関係する他の人間や周囲の環境を含むものであり、また、時間的な文脈を備えたものである。人間生活の機能を計算論的にモデル化することとは、すなわち、人間生活を観測し、それをひとつのシステムとして記述し、人間生活同士を比較し、再現提示できることを意味する。これには、実験室における人間観測とモデル化だけではなく、実生活の場における人間と環境の観測とモデル化研究が必要になる。人間(ユーザ)とその生活がモデル化されれば、生活をまもる、生活を変える、生活を支えるような製品・サービスの設計を支援することができる。このような製品・サービスを通じて、ユーザに個別満足を与えつつ、ユーザにその製品・サービスのもつ社会・環境価値も合わせて提示し、ユーザの欲求と社会・環

境価値をバランスする社会創成を目指す。このような実社会に開かれたサイクルにデジタルヒューマンモデルを組み込むことで、持続的に人間生活特性データを蓄積し、モデルをアップデートしていく研究アプローチそのものが、デジタルヒューマン工学研究センターのセントラルドグマである。

デジタルヒューマン工学研究センターでは、先に掲げたグランドチャレンジに寄与する研究のアウトリーチシナリオを立て、そのシナリオに駆動されて必要な技術開発や技術の統合を進める。ここでは大きく3つのアウトリーチシナリオにしたがって研究を推進する。

- (1) 身体機能に適合し活用する製品設計支援技術の研究
- (2) 健康を維持し人間生活機能を高める健康増進支援技術の研究
- (3) 事故を予防し人間生活機能をまもる傷害予防工学の研究

個々のシナリオについて、最終的な社会還元を見据え、単に必要な新規技術を開発するだけでなく、シナリオ実現に不可欠な既存要素技術との統合、ステークホルダーを巻き込む組織体の構成なども行い、シナリオ遂行におけるイニシアチブを発揮し、社会的にインパクトのある成果につなげる。中核となる新規技術については、個々のシナリオの枠内にとどまらず、他のシナリオや他のアプリケーションでも幅広く活用できるように、できるだけ汎用的な基盤技術として確立することを目指す。すなわち、人間とその生活を、機能的、生成的にモデル化する技術を、できるだけ普遍的なモジュールとして確立し、それらを社会シナリオの実現に役立てることをミッションとする。

平成26年度は、3つのアウトリーチシナリオについて「人間生活モデル」を指向した具体的な研究を推進した。(1)の製品設計支援技術については、手と全身の姿勢生成モデル・運動生成モデルを組み込み、製品との相互作用を評価できるソフトウェアプラットフォーム「DhaibaWorks」の機能拡張を進めた。大学、企業とのコンソーシアムを通じて、評価モジュールの拡張と実用評価を進めるとともに、日用品、包装品等のデザインを支援する共同研究を通じて技術移転を行った。(2)の健康増進技術については、健康に関係する身体機能の評価を通じ、身体機能を維持・増進させる取り組みを日常生活の中で「つづけさせる」ことを目標とした。健常者(高齢者含む)の歩行データベースを200名規模に拡充した。この歩行データベースに基づく歩行モデルを用いて、身体装着センサなどから得られる部分情報から全身歩容を推定し、転倒リスクを推定する技術を確立した。この技術に基づき、身体に装着したスマートフォンのみから全身歩容を再現提示する試作システムの開発を行った。企業とのコンソーシアム、個別の共同研究を通じて技術移転を進めた。(3)傷害予

防工学については、病院などから事故・傷害データを収集し統計モデルを構成する技術や、事故原因を究明し対策効果を検証するための人体転落・転倒シミュレーション技術、これらを支える基本人体特性データベースの整備を進めた。これらの技術に基づき、歯ブラシ、幼児イス、ブラインドひもなどの安全設計や安全標準の策定を行った。また、安全と健康を中心に、生活者の日常行動をコード化してモデル化することで、生活状態の類型、比較を可能とする技術を開発した。さらに、生活空間の環境観測と行動観測を行う移動型のロボット技術を開発した。

-----  
内部資金：

戦略予算「汎用の転倒・インシデント発生シーン検出ソフトウェア開発および転倒・インシデントシーンデータベース構築」

外部資金：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術「リアクティブ3D プリンタによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と社会経済的な価値共創に関する研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）「予防安全分野の多機関分散データの統合的利活用技術のテストヘッド開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「外傷記録評価システムおよびISS版総合安全学習プログラムの実装」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）「データ利用技術の開発と普及」

文部科学省 メダル獲得に向けたマルチサポート戦略事業（パラリンピック競技「B研究開発プロジェクト」）「トレーニングに使用される競技種別（クラス）に共通又は特化した機器、装置、情報コミュニケーション技術、ソフトウェア等の研究開発」及び「コンディショニング（リカバリーを含む）に使用される競技種別（クラス）に共通又は特化した機器、装置、システム等の研究開発」

厚生労働省 地域医療基盤開発推進研究事業「被災後の子どものこころの支援に関する研究」

一般社団法人日本皮革産業連合会 平成26年度 革靴履き心地解析等事業「革靴の製造品質管理ガイドライン作成」

全日本革靴工業協同組合連合会 平成26年度「足入れの良い革靴プロジェクト」事業

公益財団法人三菱財団 「クラウド型児童虐待データベース蓄積・虐待診断支援システムの開発とその導入におけるバリア分析に基づいた活用促進プログラムの作成」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「嚥下メカニズムの解明による喉ごしの定量評価法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「運動性を考慮した可動領域表現による人の手の運動機能の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「コード化環境光を用いた完全鏡面物体の3次元形状計測」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「情報集約による日常生活の構造的な理解のための情報処理システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「デジタルハンドによる製品の操作性評価に基づくエルゴノミック設計支援システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「自動運転のための組込み情報通信技術の研究開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発ー日常の歩容を見守ることによる転倒数減少策」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「屍体標本を用いたシミュレーションに基づく母指関節運動における主動筋相互作用の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「高フレームレート全身形状計測を用いた人間の運動機能解析」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「スポーツ用義足における生体力学的特性の解明とデータベースの構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「キッズデザインに対応するためのデータベースの設計及び応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開」



独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値に関する基礎的研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「アパレルの質と国際競争力向上の基盤となる日本人の人体計測データの構築と多角的分析」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「こどもの事故の発生要因の解析と予防—地域、年齢、疾患特性の解析—」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費助成事業「イナーシャマッチングに基づく階段歩行スキルの解明と大腿義足制御への応用」

発表：誌上発表51件、口頭発表74件、その他6件

-----  
**身体機能中心デザインチーム**

(Human Centered Design Team)

研究チーム長：多田 充徳

(臨海副都心センター)

概要：

身体の機能に即した安全で扱いやすい製品をデザインできるようにすることで、製品の付加価値、ひいては日本の製造業の国際競争力を高めることが求められている。身体機能中心デザイン研究チームでは、製品使用時の身体と製品との間の相互作用や、その結果生じる体感を予測することで、身体機能に即した最適な製品デザインを実現するための技術確立を目的とする。

これを実現するために、身体の形体、運動、そして体感を定量的に扱うための計測技術、計測したデータを統計的または力学的に解釈し、再利用できるように蓄積するためのデータベース化技術、そして、計測したデータを運動学または動力学的に解釈し、それらをコンピュータ上に再現するためのモデル化技術を研究する。また、構築したデータベースやモデルを用いて、コンピュータ上で対象ユーザの使用感を評価し、それが最適となるような製品形状を明らかにするためのデザイン技術を確立する。具体的なアプリケーションを想定しない身体の機能に関する基礎的な研究から、アプリケーションに駆動された実践的な研究まで、研究のフェーズや、データベースとモデルの完成度に応じて適切なアプローチをとる。

具体的なテーマとして、1) モーションキャプチャで計測した姿勢や運動を蓄積するためのデータベース化技術、2) 製品に対する身体の姿勢を生成するための姿勢生成アルゴリズム、3) 生成した姿勢から製品の安定性や関節のトルクを予測するための力学モデル、4) 予

測した力学指標とユーザが感じる体感を関連付けるための主観モデルに関する研究を行う。また、これらの研究成果を、標準の制定や企業との共同研究で活用する。

研究テーマ：テーマ題目1

**生活・社会機能デザイン研究チーム**

(Human and Social Functioning Technology Team)

研究チーム長：西田 佳史

(臨海副都心センター)

概要：

日常生活における製品による事故や、個々の環境や人に対して適切に個別化された製品設計の困難性の問題の最深部には、日常生活という複雑システムを扱う科学技術が未成熟であるという共通問題がある。

生活・社会機能デザイン研究では、人間の生活機能と計算機や人工物による生活支援機能とを有機的に組み合わせ再構成することで、人の日常生活をデザイン可能にする技術体系（生活機能構成学）および社会体系を確立することを目的とする。

生活機能構成学を確立するためには、日常生活を記述し、再利用可能な知識として扱えるようにする科学的方法が必要となる。そこで、本研究では、人間の生活現象を、心身機能、活動機能、そして社会参加機能の側面から捉え、生活機能構造を解明するなど、日常生活を科学的に取り扱うことを可能にする技術を開発する。また、この研究によって開発した生活機能モデルと、知能メカトロニクス (IRT) コンポーネントを用いて生活機能を再構成可能にする工学の研究、さらに、どのような生活機能設計が望ましいかという規範や考え方の整理を通じて、生活支援システム/サービスの開発や評価の方法論やあり方を明らかにする研究を行う。また、生活機能構成学を確立するためには、科学技術（技術体系）のみならず、多機関連携やオープンイノベーションを促進する社会的な仕組みを構築することで、問題解決する体制の構築も重要となる。このような観点から、技術体系と社会体系は相互に関係して存在するため、本研究では、技術体系と社会体系の両方を同時に開発するアプローチをとる。

具体的研究テーマとして、1) 介護施設・行動センシング技術、2) 再利用性の高い日常生活機能データベース技術、3) 生活構造分析手法、4) 個人適合型動機づけによる生活デザイン支援技術、5) 目的志向の状況記述技術、6) 日常生活の可制御化（変えられる化）モデル、7) ステイクホルダー間知識循環技術、8) アクションリサーチ支援技術を開発する。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

**健康増進技術研究チーム**

(Health Technology Team)

研究チーム長：持丸 正明

(臨海副都心センター)

概要：

健康の維持・増進は、長期的な医療費の削減として社会的に大きな効果があるだけでなく、健康維持・増進を支える製品、サービス産業としても大きな市場を有している。しかしながら、それらの製品やサービスを持続的に使わせることは困難であり、多くの製品やサービスが「三日坊主」に終わっている。本研究チームでは、単に健康に資する要素技術を開発するだけでなく、それらを個人の特性・状態に合わせて提供し、使用効果を適切に呈示することで、健康に対する取り組みを「つづけさせる」技術として統合することを目標に掲げる。平成26年度では、健常者（高齢者含む）歩行データベースを200名規模に拡充した。このデータベースに基づく歩行モデルを用いることで、身体装着型のセンサで得られた加速度・角速度情報のみから全身歩行運動をスマートフォンで再現提示するシステムを試作開発した。企業との共同研究を通じて、技術移転とシステム開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目4

#### 傷害予防工学研究チーム

(Injury Prevention Engineering Research Team)

研究チーム長：持丸 正明

(臨海副都心センター)

概要：

傷害予防工学では、日常生活現象の理解、そして、傷害という生理現象の理解まで踏み込んで傷害予防を可能とする技術体系と社会体系の確立を目的とする。傷害予防の技術体系に関しては、製品のリスクを制御するために我々が制御可能な対象を、大きく環境・製品と、人の意識・行動とに分類し、その全体を環境改善と行動変容の両方からなる一つの制御システムと捉えフィードバックループを作って持続的改善していく包括的なアプローチを可能とする科学技術の構築を目指す。さらに、傷害予防工学の研究活動では、技術開発に留まることなく、傷害予防のための社会体系として、「安全知識循環型社会システム」の社会実装を多機関連携によって進める。

傷害予防工学のための社会体系に関しては、キッズデザイン産業のためのオープンイノベーション支援システム、母子保健分野・地域安全・学校安全の支援者支援システムの社会実装を進める。それを支える技術体系として、1) 傷害データベース技術、2) 傷害解析・再現技術、3) キッズデザイン製品開発支援技術、4) コミュニティ参加支援技術、5) 効果的行動・意識変容支援技術を開発し、社会システムの構築に向けた活動を行う。

研究テーマ：テーマ題目5

-----  
[テーマ題目1] 人間機能モデル Dhaiba の拡張と国際人体特性データベース

[研究代表者] 多田 充徳

(身体機能中心デザイン研究チーム)

[研究担当者] 多田 充徳、宮田 なつき、遠藤 維

(常勤職員3名)

[研究内容]

身体の形状については、36件の手指寸法と、30件の全身寸法と形状を新規に計測することでデータベースを拡充した。また、運動については、モーションキャプチャを用いて日常生活に出現する365件の把握運動を計測すると共に、過去に計測した359件の子どもの歩行の縦断計測データに対して解析を行った。

形状データについては、固有ベクトルを用いた欠損値推定手法を実装することで、与えられた少数の既知寸法から、手や全身の全寸法を推定できるようにした。また、これらの寸法拘束を満たすように基準となる3次元形状データを変形させることで、手長と手幅、そして身長と体重のような少数の項目から個人別の3次元身体モデルを生成できるようにした。運動データについては、関数データ解析手法と、位相方向のレジストレーション手法を実装することで、振幅と位相を分離した連続値データとして表現できるようにした。子どもの歩行データに対して同手法を適用した結果、位相のシフトやピークの尖度が位相方向のバリエーションとなることが分かった。

上記身体形状や身体運動データの解析、身体と製品との相互作用の予測、そしてこれらの可視化を実現するためのソフトウェアとして、DhaibaWorks の開発を継続して行った。計測したモーションキャプチャのマーカ位置と、身体モデル上の仮想マーカの位置の誤差を最小化する、最適化に基づく姿勢生成アルゴリズムを実装した。この方法により、従来の仮想バネの引力を用いた方法に比べて10倍以上高速に姿勢を生成できるようになった。また、このソフトウェアの普及と持続的拡張を実現するために、企業や大学関係者を対象としたコンソーシアムを立ち上げた。平成26年度は、6社のメーカと18機関の大学や公的研究機関がメンバーとなり、これらの機関に対して5回の DhaibaWorks 講習会を実施した。

筋活性に基づく主観評価を実現するために、手指の筋骨格モデルを構築した。筋骨格モデルについても個人差を再現するために、慣性パラメータと筋パラメータを推定するための方法を開発した。慣性パラメータについては、個人別の3次元手モデルからリンクごとの質量、重心、そして慣性テンソルを計算することで、筋パラメータについては最大筋収縮時の発揮力から、既存の最大筋力をスケールリングすることで個別化できるようになった。この個別化された筋骨格モデルを用いることで、10%程度の誤差で任意の姿勢で発揮可能な最大力を推定できるようになった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】製品設計、形体、運動、体感、身体機能データベース、身体機能モデル、最適デザイン支援、デジタルヒューマン

【テーマ題目2】生活デザイン支援技術に関する研究

【研究代表者】西田 佳史  
 (生活・社会機能デザイン研究チーム)

【研究担当者】西田 佳史、堀 俊夫、北村 光司、  
 大野 美喜子(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

生活データベースに関して、介護施設での事故や不具合についてのデータベースを対象に、施設内地図上に、個人が施設内で生活するための動線を入力することで、その近くで起きた事故や不具合を検索可能な機能を開発した。また、介護者や被介護者のタスクを構成する行動や動作を階層構造で定義したオントロジーを事故や環境と紐づけて登録することで、異なる環境やタスクであっても構成する行動や動作が類似しているタスクで発生した事故を潜在的なリスクとして提示可能な機能を開発した。生活機能データベースを用いた生活構造分析手法に関して、個人の生活機能、趣味・生きがいや、サービスが提供可能な生活機能などを、一般の人が入力しやすいソフトウェアを開発した。開発ソフトを使用し、南相馬市で18人の高齢者を対象に生活調査を行ってデータベース化した。また、南相馬地区のサービスについても、327件データベース化を行った。データベースとソフトを、緊急通報サービスを行っている企業で実際に試用してもらい検証も行った。また、グラフ構造分析に関しては、グラフエディット距離を用いた類似度計算により、生活推薦を、生活構造が類似している人の生活データから徐々により良い状態の人の生活データを活用する、といった生活推薦のプロセスをデザインすることが可能となった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】生活データベース、生活モデル、行動モデル、行動シミュレーション、標準化技術、フルボディインタラクション、ヒューマンエラー、センサーネットワーク、大規模データ

【テーマ題目3】スマートアシスト技術の研究

【研究代表者】トンプソン・サイモン  
 【研究担当者】トンプソン・サイモン、佐々木 洋子  
 (常勤職員2名)

【研究内容】

自律移動ロボットによる人環境理解を目指し、主に下記の各項目について研究を行った。

【a】多様な人環境での自律移動技術の研究

(1) 位置・姿勢変化に頑健な3次元地図作成

レーザスキャナと3軸慣性情報を用いた、センサの位置・姿勢変化に強い3次元形状復元技術を開発した。各時刻で得られるスキャンデータからセンサの位置(x, y, z)、姿勢(roll, pitch, yaw)を高精度に推定することで、歪みの少ない3次元地図を作成する。手に持って走り回る、振り回すといった、センサの位置・姿勢変化に強いという特長を持つ。

(2) リアルタイム6次元位置・姿勢推定

事前に作成した3次元地図に対し、ロボットの位置(x, y, z)、姿勢(roll, pitch, yaw)の6次元位置・姿勢推定を様々な環境でリアルタイムに行うシステムを実現した。点群で構成される3次元形状地図からあらかじめ尤度場モデルを構築し、Voxel Grid Filterを活用することで、各時刻で得られるLiDARセンサの疎なデータを入力とし、事前作成した3次元地図に対し、高速かつ安定した6DoF自己位置・姿勢推定が可能となった。

これまで位置・姿勢推定が難しかった人混みの中や広い屋外等、環境の形状情報を捉えにくい環境においても、正確なロボットの自己位置・姿勢推定ができることを示した。多くの人が集まるイベント会場において、人に囲まれても自己位置を見失わずに自律移動可能である。

(3) 通行者情報地図による人環境中の自律移動

ビジネス展示会場のような多数の人が往来する環境でのロボットの自律移動を実現するため、通路として使うべき場所を優先する経路計画手法を提案した。1)人の行動観測、2)通行者識別に基づく通路領域推定、3)通行者情報を使った経路計画、の3つの要素技術から成っている。実際に、日に数千人が来場する展示会で実証実験を行い、近道であっても他人のブースを横切らない、人の流れに倣った行動ができるようになり、人混み環境での安定した自律移動が可能になった。

【b】視聴覚による人と生活環境の理解機能の研究

(4) 様々な実環境データの分類・識別法

定位・分離した音響情報、人の移動軌跡、物体の3次元点群情報、といった実環境で得られる様々なセンサデータに対し、ネスト型無限混合ガウスモデルを使った分類・識別機能が有効であることを示した。事前知識を最少にし、本来未知である対象の種類数(クラス数)や複雑さ(各クラスの次元数)をデータから自動学習できることが特長で、未知クラスを含む様々なセンサデータに適用可能であることを示した。

(5) 移動ロボットによるオンライン物体モデル獲得

LiDARセンサを搭載したロボットが、移動しながら逐次的に物体の3次元形状モデルを獲得する手法を構築した。各時刻で得られる疎な点群データからセグメンテーションを行う手法であり、走行中のロボットから周囲を観測し、移動・静止物体を判断しながら、物体ごとに分割された3次元モデルとして逐次的に物体

情報を獲得できる。また、センサの推定位置を用いることで、各物体モデルに対し、未計測面、信頼度、点群密度が得られる。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 自律移動ロボット、3次元視覚、地図作成、位置認識、経路計画、人環境理解

【テーマ題目4】 歩行データベース整備と歩行評価システムの研究

【研究代表者】 持丸 正明

(健康増進技術研究チーム)

【研究担当者】 持丸 正明、森田 孝男、三輪 洋靖、小林 吉之、保原 浩明 (常勤職員5名)

【研究内容】

店頭や生活環境で顧客の歩行を観測し、歩き方の特徴を評価する技術、健康増進に効果のある歩き方を推奨する技術、その歩き方に変容させる製品開発に関する研究を進めた。要素技術として、健常者の歩行(運動、床反力)を蓄積した歩行データベースの整備、歩行の個人差を表現する歩行主成分モデルの確立、さらに身体装着センサの部分データと歩行主成分モデルから全身歩行を再現評価する技術の開発を行った。平成22年度までに開発してきたトレッドミル型歩行評価システムに加え、生活環境で利用可能な身体装着センサ型の歩行評価システムを開発した。平成26年度では、(1)健常者(高齢者含む)歩行データベース累積200名分を整備した(中期計画IV-3)。(2)歩行データベースに基づき、歩行のばらつきから転倒リスクを評価・提示する手法を開発した。(3)開発した技術を、日用品、スポーツ用具、移動機械メカなどとの共同研究を通じて、システム実装し、サービス開発を進めた。(4)健康維持のための走行を障がい者にも幅広く展開するために、義足ランニングについて、身体機能と義足機能の整合性と走行パフォーマンスに関する研究を開始した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 健康工学、生体力学、デジタルヒューマン

【テーマ題目5】 傷害予防・地域安全技術に関する研究

【研究代表者】 持丸 正明 (傷害予防工学研究チーム)

【研究担当者】 山中 龍宏、西田 佳史、北村 光司、高野 太刀雄、大野 美喜子、持丸 正明、河内 まき子、多田 充徳 (常勤職員5名、他3名)

【研究内容】

身体地図情報システムを用いた事故と虐待による傷害の鑑別支援技術に関して、今までに開発してきたローカル PC 上で動作する虐待の鑑別支援システムを、ウェブ上で傷害に関する情報を入力することで利用可能なクラウドシステムとして開発した。これにより、鑑別支援に

必要な処理はサーバー側で行うことため、サーバー側のデータベースをメンテナンスすることでデータの更新も容易に行うことが可能となった。また、虐待鑑別支援システムを現場に導入するためのリーフレットも作成し、現場での利点や利用しやすさなどを分かり易く伝えることが可能となった。傷害予防のための支援ツール開発に関して、傷害サーベイランスをデザイン現場で活用可能にする技術(傷害情報可視化技術)を開発し、日本インダストリアルデザイナー協会と協力することで、窒息防止、転落などの課題に対する有効性評価を行った。活動は、海外の情報誌で取り上げられた。

学校安全の取り組みをサポートするツールに関しては、システムにデータを入力することで、統計分析の結果を簡単に出力可能で、すぐに学校独自の教材を現場で作成可能な機能を開発した。その機能を追加したシステムを2校の小学校に導入することに成功した。現場では養護教諭を中心にデータを入力する仕組みとし、1校では172件、もう1校では651件の傷害データを収集した。また、こちらで作成した教材を活用して小学校の教諭が安全学習の授業を行ったり、こちらから小学校に出向いてデータ分析の結果をふまえた情報発信を行った。また、複数の小学校や日本スポーツ振興センターの災害給付制度の傷害データを活用して、同じ状況での重症度の高い傷害を提示する検索システムの開発を行った。また、傷害サーベイランスシステムと連動した安全教育プログラムを作成し、都内の2校において初めて電子版の傷害サーベイランスソフトウェアの導入に成功した。また、安全教育プログラムを5時限実施することで、効果を検証した。技術的には、ビッグデータを活用した現場支援技術である類似状況下重傷事故検索アルゴリズムを開発した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 傷害データベース、傷害シミュレーション、リスクコミュニケーション、オープンイノベーション、安心・安全、製品安全、リスクアセスメント、知識循環、虐待防止、不慮の事故

④【ナノスピントロニクス研究センター】

(Spintronics Research Center)

(存続期間：2010.4.1～)

研究センター長：湯浅 新治

副研究センター長：福島 章雄

所在地：つくば中央第2

人 員：16名 (16名)

経 費：658,064千円 (272,952千円)

概 要：

電子の電荷のみを用いた従来の半導体エレクトロニ

クス対して、電子の持つ“スピン”の自由度も活用した新しいエレクトロニクス技術が「スピントロニクス」です。IT 社会の発展に伴って急増する電子機器の消費電力を抑制するために、電子機器が仕事をしていない“入力待ち”時間の消費電力（待機電力）を大幅に削減する必要があり、そのためには電源を切っても記憶が保持される不揮発性メモリ」の開発が不可欠となります。

当研究センターでは、この不揮発性を最大限に引き出すため、固体中のスピン制御技術を極める学術的基礎研究からデバイス応用研究まで、スピントロニクスの技術開発を企業や大学と連携し推進します。

当研究センターでは以下の3つのミッションを掲げ電子スピンを活用したスピントロニクス技術とナノテクノロジーを融合した「ナノスピントロニクス技術」により、大容量・高速かつ高信頼性を有する不揮発性メモリの開発を行い、この技術を中核にして、待機電力ゼロの究極グリーン IT である「ノーマリー・オフ・コンピュータ」の実現を目指します。また、半導体中でのスピン注入、スピン操作、スピン検出の「半導体スピントロニクス技術」を開発し、「スピン・トランジスタ」を開発します。さらに、半導体中のスピンと光の相互作用に基づく「光スピントロニクス技術」を活用し、光通信ネットワークの高度化のための新デバイス「スピン光メモリ」の研究開発を行います。

- ・ミッション1 グリーン・イノベーションの実現  
ナノスピントロニクス技術を中核にして、大容量・高速・高信頼性の不揮発性メモリ「スピン RAM」を開発し、コンピュータの主要メモリを不揮発化することによるグリーン・イノベーションの実現を目指す。
- ・ミッション2 半導体スケール限界の突破  
スピン RAM によるメモリの不揮発化だけでなく、ナノサイズでも安定に動作するメモリセルを開発することにより、半導体メモリのスケール限界を打破することも目標とする。
- ・ミッション3 革新的電子デバイスの開発  
光メモリや不揮発性スイッチング素子、スピン・トランジスタ、高周波デバイスなど、将来的に IT に革新をもたらすポテンシャルを有する新デバイスの創出を目指す。

-----  
内部資金：

スピントルク発振の高出力化に関する研究

半導体スピントロニクス技術を用いた超省電力素子に関する研究

高電力効率大規模データ処理イニシアチブ (IMPULSE)

外部資金：

独立行政法人科学技術振興機構 (CREST) 「金属／機能性酸化物複合デバイスの開発」

独立行政法人科学技術振興機構(さきがけ)「単原子層デザインによる希少金属フリー超高磁気異方性薄膜の開発」

独立行政法人科学技術振興機構 (S-イノベ) 「3次元磁気記録新ストレージアーキテクチャのための技術開発」

独立行政法人科学技術振興機構 (ALCA) 「電気磁気効果を有する反強磁性連続媒体を用いた電界操作磁気記録原理の理論精査をシミュレーション技術の開発」

独立行政法人化学技術振興機構 (さきがけ) 「スピンを利用したニューロモルフィックシステムの理論設計」

独立行政法人科学技術振興機構 (ImPACT) 「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (S)) 「高周波スピントロニクスの研究」

文部科学省 科学研究費補助金 (新学術領域研究) 「スピンエレクトロニクス材料の探索」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金 (若手研究 (A)) 「電子スピンを利用する円偏光レーザの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金 (若手研究 (A)) 「電界による磁気光学効果制御技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「スピントルク発振を用いた、高時間・高空間分解能をもつ電子スピン共鳴法の理論開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「熱活性領域におけるスピントルク磁化ダイナミクスの理論的研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「電流により誘起される磁界作用トルクを用いた磁気高周波検波素子の高感度化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (研究活動スタート支援) 「磁性金属における電圧誘起磁化反転の低電圧化に向けた研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（特別研究員奨励費）「スピントランジスタのための Ge/Si ヘテロ構造への高効率スピン注入・検出」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究）「電氣的スピン変換」

発 表：誌上発表32件、口頭発表120件、その他3件

-----  
**金属スピントロニクスチーム**

(Metal Spintronics team)

研究チーム長：久保田 均

(つくば中央第2)

概 要：

MgO-MTJ 素子の巨大 TMR 効果とスピントルク磁化反転を用いた大容量不揮発メモリ「スピン RAM」の研究開発を行っています。特に、垂直磁化電極を用いた nm サイズ MTJ 素子の開発を行い、書き込み時の低消費電力化と電源を切っても情報が保持される不揮発性の両立を目指しています。また、同じ基盤技術を活用した新デバイスの研究開発、具体的には、ナノサイズのマイクロ波・ミリ波発振器および検波器、物理乱数発生器、不揮発性スイッチング素子の開発も行っています。さらに、薄膜成長技術を応用した新規スピントロニクス素子の開発も進めています。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

**半導体スピントロニクスチーム**

(Semiconductor Spintronics team)

研究チーム長：齋藤 秀和

(つくば中央第2)

概 要：

半導体スピントロニクスと呼ばれる新技术を用いた新奇伝導及び光素子の研究開発を行っています。具体的には、不揮発的に情報を記憶できる（電源を切っても情報を保持する）スピントランジスタの実現を目指した半導体へのスピン注入・制御・検出、およびシリコン導波路一体型強磁性薄膜光アイソレータや円偏光発振するスピンレーザなどの光デバイスの研究開発を行います。スピントランジスタの実現により、従来技術では困難であったコンピュータの消費電力の劇的な削減に繋げ、将来的には待機電力がほぼ零である「ノーマリー・オフ・コンピュータ」に繋がるのが期待されます。また、新型光アイソレータはシリコンフォトニクス技術を用いた情報通信に大きく貢献し、スピンレーザはレーザ発振の省電力化や光通信のブロードバンド化と共に、スピン情報の増幅装置としての役割が期待されています。

研究テーマ：テーマ題目2

**理論チーム**

(Theory Team)

研究チーム長：今村 裕志

(つくば中央第2)

概 要：

ナノ構造における磁性・スピンドYNAMICSを記述する新規理論の構築、および理論的なアプローチを用いた新規ナノスピントロニクス素子開発の先導を目指して研究を行っています。具体的には、ナノ構造におけるスピンドYNAMICSを利用した超高密度磁気記録の読み出し・書き込み技術の開発、スピントルクを利用したナノサイズのマイクロ波発振器の開発、および電圧を用いたスピン制御に関する基礎理論の構築・理論解析を行っています。

研究テーマ：テーマ題目1

**電圧スピントロニクスチーム**

(Voltage-driven Spintronics Team)

研究チーム長：鈴木 義茂

(つくば中央第2)

概 要：

電流をほとんど用いずに、電界（電圧）によってナノ磁性体のスピン操作を行う基盤技術の研究開発を行っています。低電圧かつ超高速でナノ磁性体の双方向磁化反転を実現することにより、スピントルクを用いた場合に比べて情報書き込みの消費電力を1桁から2桁下げることが目標に、基本材料と素子構造の開発および高速スピンドYNAMICSの制御技術の研究開発を行っています。

研究テーマ：テーマ題目4

-----  
[テーマ題目1]スピントルク発振の高出力化に関する研究

[研究代表者] 久保田 均

[研究担当者] 湯浅 新治、福島 章雄、薬師寺 啓、野崎 隆行、甲野藤 真、松本 利映、谷口 知大、今村 裕志  
(常勤職員9名、他3名)

[研究内容]

本研究では、MgO トンネルバリアを有する強磁性トンネル接合をベースとする、マイクロ波発振器および検波器の開発に取り組んでいる。原理は、強磁性トンネル接合中を流れるスピントルクが作るスピントルクとスピンの配置に依存してトンネル確率が変化する強磁性トンネル効果に基づく。これらのデバイスは、サイズが非常に小さく、自励発振であるため共振器不要で回路中に組み込みやすいなどの特徴を持ち、半導体素子にない特徴を有している。26年度は、外部回路との組み合わせによる発振周波数の制御に取り組み、安定した発振周波数を得ることに成功した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] スピントルク発振素子

[テーマ題目2] スピンを利用した革新的半導体伝導・光素子に関する研究

[研究代表者] 齋藤 秀和

[研究担当者] ロナルド・ヤンセン、オレリー・スピーサー  
水林 亘 (ナノエレクトロニクス研究部門)、バディム・ザエツ、揖場 聡  
福島 章雄、湯浅 新治  
(常勤職員11名、他1名)

[研究内容]

本研究では、電子のスピン自由度を半導体素子中で積極的に利用することにより、従来型素子には実現不可能であり、将来の高度情報社会に貢献し得る新機能素子の開発を目指す。具体的には、1)不揮発的な情報記憶機能を備えるスピントランジスタ、2)シリコン基板上に作製可能な強磁性/半導体ハイブリッド光アイソレータ、3)円偏光発振機能を有するスピンレーザに取り組む。本年度は主に以下の成果を挙げた。

- 1) スピントランジスタ：超省電力駆動の重要な技術であるシリコンへの電流フリーのスピン注入技術に関して、我々の研究チームが発見した強磁性電極と Si 間に熱勾配を設けるだけで Si へのスピン注入が実現される「スピントネル・ゼーベック効果」のスピン注入効率について従来手法である電流を用いた場合と比較検討を行った。その結果、電流を用いた場合と比較して、熱によるスピン注入効率が非常に高くなっている可能性を示した。
- 2) 新型光アイソレータ：産総研オリジナルの素子である強磁性体表面のプラズモンを利用する「プラズモニク・アイソレータ」をシリコン導波路上に作製し、プラズモンを介した光透過率の低減に成功した。
- 3) スピンレーザ：スピンの発光層として用いられる GaAs/AlGaAs 量子井戸の結晶成長条件の最適化を筑波大学大野裕三教授と共同で行った。具体的には、結晶成長温度と材料供給量を系統的に変化させた試料を作製し、表面観察、発光特性(フォトルミネセンス)、電子寿命および電子スピン寿命の測定より量子井戸特性を評価した。その結果、従来レーザ应用到最適と考えられていた作製条件が、必ずしもスピンの発光には適さないことが明らかとなった。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] スピントランジスタ、光アイソレータ、スピンのレーザ

[テーマ題目3] 金属/機能性酸化物複合デバイスの開発

[研究代表者] 湯浅 新治

[研究担当者] 野崎 隆行、松本 利映、甲野藤 真、

薬師寺 啓、久保田 均、福島 章雄  
(常勤職員7名)

[研究内容]

本プロジェクトでは、産学官の連携により高品質の酸化物薄膜を低い基板温度で大面積基板上に高効率に作製できる革新的成膜プロセスを開発し、それをを用いて酸化層と強磁性金属層を複合化した新機能デバイスの創生を目指している。具体的には、(1)スパッタ成膜プロセスの開発、(2)電圧印加磁化反転技術の開発、(3)不揮発性スイッチング素子の開発、の3項目について研究開発を行う。平成26年度は、電圧による磁気異方性制御を利用した新規磁化反転技術の開発に取り組み、電圧誘起共鳴ダイナミクスを利用して磁化反転磁界を80%低減することに成功した。従来技術のように大きな電流を流す必要が無い場合、スピントロニクスデバイスの低駆動電力化に有効であると期待される。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] 金属酸化物、スイッチング素子、電圧効果

⑤【サービス工学研究センター】

(Center for Service Research)

(存続期間：2008.4.1～2015.3.31)

研究センター長：持丸 正明

副研究センター長：本村 陽一

所在地：臨海副都心センター、つくば中央第2

人員：19名 (19名)

経費：353,126千円 (174,304千円)

概要：

サービスは GDP においても雇用においても日本経済の7割を占めるようになってきた。特に、急速に進む少子高齢化などの社会構造変化や、企業の業務効率化のためのアウトソーシングなどによりサービスへの需要は拡大しており、製造業と並んで日本の経済成長の牽引役となることが期待されている。しかし、経済や産業におけるこのような重要性にもかかわらず、近年、サービス産業の生産性の伸び率が低いと言われている。

製造業・サービス業の労働生産性上昇率(2009～2012年/年率平均値)

	日本	米国
サービス業	0.1%	0.1%
製造業	7.9%	5.2%

(日本生産性本部『日本の生産性の動向2014年版』より作成)

上表のとおり日本および米国のサービス業の労働生産性上昇率はともに0.1%であり、製造業の7.9%、5.2%

と比べるとサービス業の伸びが極めて小さい。このような意味でサービスの生産性の向上は急務となっている。こうした状況を背景として、政府レベルの政策においても、サービスの生産性向上は重要課題と位置づけられるようになってきた。

これを受け、本研究センターは、サービス産業の生産性を向上させるため、サービス現場においてデータに基づいて仮説を立て、それを検証しながらサービスを改善していくという「サービスの最適設計サイクル」を自立的に廻るようにすることをグランドチャレンジに据え、サービス産業に最適設計サイクルを普及させることを目標とする。サービスにおいては、ものづくり以上に「人」の関わりが重要であり「人」の機能のモデルが重要であると考えている。サービスの現場での「人」である顧客と従業員の行動とサービスプロセスを観測し、それを分析して人やサービスプロセスのモデルを構築する。そして、シミュレーション技術等を活用して効率的なサービスを再設計し、それを現場に適用するという最適設計サイクルを繰り返す「人」基点のサービス工学を推進する。これを推進する体制として、次の5つを行う研究チームを設けている。

- ・顧客、従業員の行動観測と提示技術の研究
- ・行動観測で蓄積した大規模データモデリングの研究
- ・サービスプロセスのモデル化に関する研究
- ・シミュレーションによるサービス支援の研究
- ・都市型空間での新サービス創出の研究

こうした体制の下、サービス産業に属する企業との連携を通じて実際のサービス現場で具体的研究を推進しながら、幅広いサービス産業に展開可能なサービス工学要素技術の開発を進めていく。また、企業コンソーシアムを活用しながら、これらの要素技術を企業に導入する方法論の確立とサービス工学の理論の構築・研究者および技術者の裾野の拡大も図っていく。

-----  
内部資金：

イノベーション推進予算

「カタパルト H26（自動車の顧客価値の評価手法に関する研究Ⅱ）」

「健康増進コミュニティ支援技術の開発（活動支援の道具部分）」

融合・連携推進予算（戦略予算）

「異音検知等の IT 化による検査の自動化・低コスト化技術」

その他（戦略予算）

「AIST エキシビジョンパッケージに関する FS 研究」

外部資金：

厚生労働省「重度運動機能障害者支援のためのモジュール

型非接触非拘束ジェスチャインタフェースの研究開発」

農林水産省「養殖カキの共販事業における予約取引市場に関する実証研究」

独立行政法人科学技術振興機構「精神的価値が成長する感性イノベーション拠点」

独立行政法人科学技術振興機構「複合階層モデルを用いた都市エリアシミュレーションの開発と利用方法の確立」

独立行政法人科学技術振興機構「大規模社会シミュレーション実行計画機構の開発」

独立行政法人科学技術振興機構「スマートアクセスビークルシミュレーション設計」

独立行政法人科学技術振興機構「電子商取引を利用した消費者コミュニケーション型水産加工業による復興」

独立行政法人科学技術振興機構「対話型モバイル拡張現実体験（AMIE）：メンテナンスサービスへの応用」

独立行政法人科学技術振興機構「土壌・栽培情報価値の可視化による精密復興農業モデルの構築」

独立行政法人科学技術振興機構「人流解析による医療救護訓練の科学的解析手法の開発」

独立行政法人科学技術振興機構「価値創成クラスモデルによるサービスシステムの類型化とメカニズム設計理論の構築」

独立行政法人科学技術振興機構「交通・群集シミュレーションとハザード・リスク評価」

株式会社レクサー・リサーチ「製造リードタイム向上のための工場内物流支援システムの開発」

国立大学法人京都大学「都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究（1）円滑な応急・復旧対応を支援する災害情報提供手法の開発（b）マイクロメディアサービス開発（2）マイクロメディアサービスにおけるマッシュアップ・双方向インタラクション技術の開発」

公立大学法人北九州市立大学国際環境工学部「情報伝達・共有型図上訓練を用いた危機管理体制強化マネジメ



ントプログラム」

企業からの資金提供型共同研究：19件

発表：誌上発表93件、口頭発表113件、その他10件

-----  
**行動観測・提示技術研究チーム**

(Human-Behavior Sensing and Visualization  
Research Team)

研究チーム長：蔵田 武志

(つくば中央第2)

概要：

サービス生産性向上、サービスオペレーションの革新、新サービス設計、及び価値共創社会の構築のために、行動観測・提示技術研究チームでは、ヒト、モノ、コト（プロセス）の微視的・巨視的な把握に資する行動計測・提示に関する研究開発とその実証に取り組む。特に、歩行者推測航法（PDR）のメンテナンスフリー化、PDRと動作認識の融合（PDRplus）、省電力PDR指向モーションコプロセッサ（Frizz）、拡張現実（AR）トラッキング、RGB-Dセンシング、広域サブメートル測位のためのセンサデータフュージョン（SDF）等のG空間コンピューティング技術の研究開発を推進する。また、動的環境モデリング技術、可視化（情報循環）技術等の開発や、各技術の現場適用及び実証にも取り組む。サービスフィールドシミュレータ（SFS）については脳波計測や動作認識の導入やマーケティング等での活用を進める。雑誌論文や国際会議への積極的な投稿、展示会やメディア等でのサービス工学の普及啓蒙、企業との共同研究や技術移転（情報開示、実施）、標準化活動等を通じた技術の社会実装を積極的に推し進めることもこのチームの目標とする。

研究テーマ：テーマ題目1

**大規模データモデリング研究チーム**

(Data Based Modeling Research Team)

研究チーム長：本村 陽一

(臨海副都心センター)

概要：

現実社会の中で行われるサービスに対する観測・分析・設計・適用を可能にするために、サービスを通じて得られる大規模データから計算モデルを構築し、それを活用してサービスの最適化を可能にする技術を開発する。実際のサービス現場の中でデータを観測するためにはアクションリサーチが必要になる。すなわち実際のサービス活動を改善しながら、サービスの現場で日常的に行われているサービス提供者とサービス受容者の活動を、主観的な領域も含めて観測可能な大規模データとして観測・分析し、計算モデル化を行う大規模データモデリングの技術を現場で利用可能な状態

で提供することが重要である。具体的には、人間行動を観測する情報工学的技術、心理学的特性を推定する認知・行動科学的技術、大規模データから潜在的な意味カテゴリを抽出する数理的手法や計算技術、計算モデルを構築する確率的情報処理技術、計算モデルを用いた予測・制御・シミュレーション技術、これらの技術をサービス現場に実装し、社会化を促進する応用開発技術の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目2

**サービスプロセスモデリング研究チーム**

(Service Process Modeling Research Team)

研究チーム長：西村 拓一

(臨海副都心センター)

概要：

人（従業員と顧客）が中心となるサービス業では、効率的・高付加価値を実現するために、複数の人々が組織を超えて連携する複雑なシステムとなっている。また、人は意欲、価値観などによって作業品質や人間間コミュニケーションの効率も変化する。このため、生産性向上や新サービス創出に必要な俯瞰的・定量的な現場プロセスの把握が困難となっている。

そこで、本チームでは、人を中心とするプロセスの記述、モデリング、可視化技術およびインタラクション技術を統合的に研究する。これにより、現場プロセスの把握、現場参画型開発の方法論確立、プロセス改良後の効果測定、各業務とコスト・顧客満足度との関係の推定などを目指す。

研究テーマ：テーマ題目3

**サービス設計支援技術研究チーム**

(Service Design Assist Research Team)

研究チーム長：野田 五十樹

(つくば中央第2)

概要：

社会サービスを含めた各種サービス全体をシステムとみなし、サービス提供者・利用者を含めた計算機モデルを構築し、シミュレーションによりサービスを多方面から評価し、その設計を支援する技術を構築する。対象とするサービス分野としては、地域における公共交通サービスや地域防災施策、あるいは農水産流通を取り上げる。これらを対象に、人の動きや取引を継続的かつ非接触型でモニタリングする技術によるサービス状況のデータ化と、それらのデータに基づく計算機モデルの構築、さらには、サービスを取り巻く多様な状況を網羅して大規模にシミュレーションし分析する技術の開発を進める。これをもとに、各種状況におけるサービス改善施策の効果を見える化する手法を構成して、ICTを用いた効率の良いサービス構築手法を探求し、地域活性化のための基盤情報技術を確立する。

研究テーマ：テーマ題目4

**都市空間サービス基盤技術研究チーム**

(Urban Space Service Architecture Research Team)

研究チーム長：車谷 浩一

(臨海副都心センター)

概要：

サービス設計ならびにサービス最適化の例として、都市空間への来訪者へのサービス提供ならびに都市住民の生活・業務支援サービスの創出と、環境や来訪者・住民からのセンシング情報を元にサービスを最適化する基盤技術の創出を目指す。高度に諸機能が集約された都市空間においては、環境センサによって取得された環境情報や、人（来訪者・住民）が保持する携帯情報端末から取得されたセンシング情報を用いることにより、人の移動（歩行、モビリティ利用）における適切な支援情報の提示、人の行動の見守り、さらには都市空間における効率的な農業の支援等の新規のサービスの創出が可能となり、かつセンシング情報を用いてこれらのサービスの質の向上や効率向上を図ることが可能となる。当チームでは、このような都市空間におけるサービス設計・最適化を実現するための基盤技術である、環境センシング、センシング情報解析、サービス提供プラットフォーム等の技術の創出と、それらを用いたサービスの社会実装を目指す。

研究テーマ：テーマ題目5

-----  
**[テーマ題目1] 行動観測・提示技術群の構築**

**[研究代表者]** 蔵田 武志

(行動観測・提示技術研究チーム)

**[研究担当者]** 蔵田 武志、大隈 隆史、興梠 正克、松本 光崇、大西 正輝、牧田 孝嗣、福原 知宏、Thangamani Kalaivani、一川 良介、奥野敬丞、張 慶椿、

Luis Carlos Manrique Ruiz

(常勤職員5名、他7名)

**[研究内容]**

サービス生産性向上、サービスオペレーションの革新、新サービス設計、及び価値共創社会の構築のためには、ヒト、モノ、コト（プロセス）の微視的・巨視的な把握が求められる。本テーマでは、特に、サービス現場等での顧客・従業員行動と環境刺激との双方の測る化、見える化の実現に資する基礎・応用研究とその実証に重点的に取り組んでいる。具体的には、歩行者推測航法（PDR）のメンテナンスフリー化、PDR と動作認識の融合（PDRplus）、省電力 PDR 指向モーションコプロセッサ（Frizz）、拡張現実（AR）トラッキング、RGB-D センシング、広域サブメートル測位のためのセンサデータフュージョン（SDF）等の G 空間コンピューティング技術の研究開発を推進している。また、動的環境モデリン

グ、可視化（情報循環）、サービスフィールドシミュレータ（SFS）を含めた拡張サービス・プロセス・リエンジニアリング技術群の現場適用及び実証にも取り組んでいる。

本年度は、まず、省電力 PDR 指向モーションコプロセッサ（Frizz）に関しては、昨年度開発した進行方向推定手法を含めた省電力型 PDR ソフトウェアを開発して消費電流を約83%削減した上で Frizz に実装することができた。PDR のメンテナンスフリー化、PDRplus については、工場や物流倉庫での実証を通じてより実質的な課題抽出ができた。これに加えて、顧客サービス応用としては、民間の屋内ナビサービスへの PDR 採用が決まり、H27年度は約320箇所の地下街等での利用が可能となる見込みである。また、加速度・角速度・磁気センサーに加え、気圧を含めた10軸センサーでの PDR と BLE (Bluetooth Low Energy) との組み合わせによる高さ方向の移動も含めた計測技術を開発した。これにより、同じフロアでの細かい気圧変化も把握できる可能性が出たため、気圧データの PDRplus への適用への道が開けた。さらに、PDR の高い需要を背景に企業や大学等二十数組織からの賛同を得て、PDR ベンチマーク標準化委員会を草の根活動として設立した。

AR トラッキングについては、その道路メンテナンスサービスへの作業支援応用研究についての成果を発表した国際会議においてベストペーパー賞を受賞した、また、AR トラッキングベンチマーク標準化の新規提案が ISO/IEC JTC 1/SC 24で承認され、国際標準策定を進めることになった。RGB-D センシングについては、PDR との連携による動線の識別と精度向上のための技術開発と基礎実証を進めた。動的環境モデリングについては、気仙沼横丁での実証を進めると共に、ソーシャルネットワークとの組み合わせによるコンテンツの鮮度維持に関する研究を進め、その成果を発表した国内シンポジウムにおいてオーガナイズドセッション賞を受賞した。サービスフィールドシミュレータ（SFS）については、実店舗、実商品を対象としたマーケティング応用を企業と進めることができた。

拡張サービス・プロセス・リエンジニアリング技術の現場適用・実証については、行動データと会計データとの組み合わせによる包括的な測る化・見える化に基づく CSQCC (Computer-supported QC Circle) に関して、その実店舗等での実証が、新聞・雑記・テレビ・ウェブで取り上げられ、実社会での関心が高まっていることがわかった。

モノの流れやその供給プロセスの把握に関して、製品サービスの価値向上に向けた課題抽出を行った。製品アフターサービスの補修用製品パーツ供給の効率化は、保守修理の需要が拡大する中での重要課題であり、時系列分析手法に基づくパーツ受注量の推定モデルの構築を実施し、その精度検証を行った。協力企業とともに精度向

上と現場適用に向けた課題特定を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】行動計測、PDR、G 空間コンピューティング、拡張サービス・プロセス・リエンジニアリング、サービス工学、複合現実、製造業のサービス化

#### 【テーマ題目2】大規模データモデリングの研究

【研究代表者】本村 陽一

(大規模データモデリング研究チーム)

【研究担当者】本村 陽一、竹中 毅、櫻井 瑛一、  
宮本 亜希(常勤職員3名、他1名)

#### 【研究内容】

日常生活における様々なサービス活動において、購買履歴や電子カルテ、業務上の記録などの大規模データが多く企業や機関で集積されるようになってきている。しかし、これらの大規模データはいまだ十分に活用されているとは言い難く、その原因としてパーソナルデータの安全な扱いが確立されていないこと、データを活用できる人材の不足、多機関連携が困難である問題が指摘されている。そこで、本研究では、大規模データの中にある意味のある概念クラスとその間の因果的な構造を抽出し、プライバシーを保護しながら、十分な情報を保持した計算モデルを構築する技術を開発し、データの活用を容易にし、需要予測や経営効率改善に活用できる実証研究を行った。本研究の成果によって、実際のサービス活動を支援し、サービス産業にとどまらず、消費者からのフィードバックを反映した製品開発や製造業支援にも貢献することを示した。具体的には、i) サービス現場の既存システムから得られる大規模データを効果的に活用する情報処理システムの開発、ii) 実サービスの中に現れる主観的な領域や異質性も含めた人の行動特性の分析方法の開発、iii) 人間の行動と心理学的特性の間の関係を共通の意味として対応づける確率的潜在意味構造を自動抽出する技術の開発を行った。とくに平成26年度は従来のサービス現場に限らず、公共施設でのイベントや健康福祉関連サービスでの待ち時間などにおける利用者フィードバックデータの効果的な収集技術、時間・空間情報にも配慮した利用者セグメント抽出技術を開発した。またこれまでに開発した大規模データモデリング技術を技術移転した10社以上の企業と連携することで、大規模データ活用技術の利用コミュニティを立ち上げ、公開イベントを開催し、ビッグデータに関する情報メディアにもとりあげられるなど成果普及の点で十分な成果をあげることができた。以上の活動によりサービス現場に新たな価値をもたらす観測・分析・最適化システムを開発すると同時にそれをサービス現場に導入し、異業種のステークホルダーと協調して実社会で観測・分析・設計・適用のループを継続的に実行するための技術基盤を社会実装できた。さらに本格的な技術の橋渡しを展開し、本研究の成

果をもとにした新たな技術開発や社会実装活動を継続するために大学や企業と連携した新たな研究センター(産総研人工知能研究センター)、及び人工知能技術コンソーシアムの設立にも協力した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】サービス工学、アクションリサーチ、ビッグデータ、機械学習、人工知能

#### 【テーマ題目3】サービスプロセスモデリングの研究

【研究代表者】西村 拓一

(サービスプロセスモデリング研究チーム)

【研究担当者】西村 拓一、山本 吉伸、三輪 洋靖、  
渡辺 健太郎、福田 賢一郎、吉野 公三、  
茨田 和生、長尾 知香、山田 洋子、  
大久保 賢子、加藤 和美、山田 クリス  
孝介、中島 正人  
(常勤職員6名、他5名)

#### 【研究内容】

本テーマでは、看護・介護サービス向上に資する技術開発、および観光地振興・地域活性化のための開発を進めた。

前者では、看護・介護サービスの現場において、従業員が主体的に作業プロセスを見直し、その作業に必要な道具の仕様を考え、業務改善することを支援する現場参加型開発支援技術の構築を進めた。

従来のタイムスタディを拡張しサービス品質の記録と分析を支援するツールQualityStudyを改善することで、従業員主体で現場の作業品質を評価することが可能となった。すでに介護サービス現場にて運用されている、日々の申し送りを通して現場の気付きや暗黙知を記録・共有するためのツール DANCE (Dynamic Action and Knowledge assistant for Collaborative sErvice fields)のデータを分析し従業員による課題発見、業務改善のループを回しメディアにて取り上げられた。複数の従業員が自身の持つサービス現場の情報や知識を表現・共有し振り返ることで、よりよい作業プロセスをデザインすることを支援するツール DRAW (Design Representation tool for Autonomous Work systems)を開発した。これらの技術を統合することにより、作業プロセスのデザインと、その作業に必要なロボット介護機器などの道具を、介護施設ごとの多様性を考慮して従業員主体で評価、改善、仕様作成できる支援技術を目指す。

観光地振興・地域活性化技術に関しては、温泉地において顧客にIDを配布する基盤技術(顧客ID化基盤技術)の地域活用を進めた。たとえば高齢者の見守り実務を担当する民生委員の活動を支援する技術として、顧客ID化基盤技術上で収集した独居高齢者の日常活動ログの周期性を分析、日常から外れた行動が散見された人の確認を促すインタフェースを試作、地域市役所福祉課との連携を開始した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 サービス工学、地域活性化、アクション  
 リサーチ、現場参画型開発、現場共有知

【テーマ題目4】 サービス設計支援技術群の構築

【研究代表者】 野田 五十樹  
 (サービス設計支援技術研究チーム)  
 【研究担当者】 野田 五十樹、宮下 和雄、依田 育士、  
 山下 倫央、岡田 崇、黒嶋 智美、  
 松島 裕康、小柴 等、渡辺 隼史  
 (常勤職員4名、他5名)

【研究内容】

本テーマでは、サービスプロセスの改善を定量的・工学的に予測するために、マルチエージェントシミュレーション(社会現象を、人や情報機器の相互作用としてモデル化し、それを計算機上に再現すること)をコアとしたサービスプロセス評価技術およびそのもととなるモニタリング・モデリング技術、さらにはサービス流通円滑化のための取引制度設計の研究開発を重点的に行っている。

サービスプロセス評価技術に関する、人の流れのシミュレーションでは、本年度は金沢市海岸部における津波避難を対象として、避難路の補強などの施策選択と組み合わせ、多様な選択肢からインタラクティブにシミュレーションを行うシステムを構築した。このシステムは金沢21世紀美術館において半年間、災害対策の事前準備の重要性を体感できる展示として、多数の来場者に操作してもらい、好評を得た。

また、地域のオンデマンド公共交通への取り組みでは、函館市を舞台として学会参加者を中心に SAVS (Smart Access Vehicle Service) の実証実験を実施し、順調に運用できることを示した。特に本システムは、予約から配車まで完全自動で行うことができるものとしては世界初となっている。さらに、函館においてサービスの規模を拡大していく場合の収益性や利便性の変化等をシミュレーションにより評価し、現状のバスサービスのレベルを損なうことなく SAVS に移行できる条件などを示すことができた。

モニタリング・モデリング技術では、防災分野において、子供向けの防災教育のコンテンツやシステムを開発し、楽しみながら医学的・科学的裏付けのある防災知識の獲得を円滑にするシステムの開発に着手した。

サービス流通円滑化のための取引制度設計の研究開発については、東北地方の水産業を題材として、「おらほのカキ市場」として、需要と供給のマッチングを柔軟に行うシステムの実証と現場への実装を行った。これにより、中小の生産者と小売業者を直接マッチングすることができ、水産物の高付加価値化・ブランド化と円滑な流通を支える手法として実用性を示すことができた。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 サービス設計、サービス最適化、シミュレーション、情報循環

【テーマ題目5】 都市空間サービス基盤技術の構築

【研究代表者】 車谷 浩一(都市空間サービス基盤技術研究チーム)  
 【研究担当者】 車谷 浩一、幸島 明男、河本 満、  
 池田 剛、富樫 宏謙、梅林 由紀子  
 (常勤職員3名、他3名)

【研究内容】

本テーマでは、サービス設計・最適化の例として、高度に諸機能が集約された都市空間において、環境センサや携帯情報端末から取得されるセンシング情報を用いて、人の移動における適切な支援情報の提示、行動の見守り、都市空間における効率的な農業の支援等の新規のサービス創出、ならびにセンシング情報を用いたこれらのサービスの質の向上・効率向上のための研究開発を重点的に実施する。特に、環境センシングデバイス、センシング情報解析、サービス提供プラットフォーム等の技術の創出を目指す。

本年度は、特に都市空間における人の移動支援サービスの設計と実装に重点を置いた。沿線において高齢化が進み、住民・来訪者への移動支援技術が必要とされる鉄道駅ならびに隣接商業施設において、住民・来訪者の効率的で安全な移動を支援する基盤技術に関し、鉄道駅ならびに隣接商業施設における、人の徒歩による移動、ならびに電動車椅子(パーソナルモビリティ)による移動を支援するため、移動経路の選択に有用な混雑情報(密度情報)や、移動速度に影響をもたらす移動体の種別情報を効率的に計測し情報提供するシステムの設計・実装を行った。

これらの密度情報・種別情報を含む人の流れを把握するためのセンシングデバイスとして、対象空間をステレオビジョンによって観測し直接的に人流・種別情報を計測するシステムの実装を行った。また対象空間での音の発生事象、発生方向・位置、ならびに音の特徴を自動的に計測し、その結果を用いてデータ補間によって人流情報を推定するためのマイクロフォンアレイシステムを対象空間実環境に設置し、人流計測・音空間計測の実装と実験を行った。取得されたセンサ情報を情報ネットワーク経由で遠隔データベースに構造的・効率的に送信し、データベースに格納されたセンサ情報を用いて人流情報を推測するためのプラットフォームとして、時空間データベースシステムならびにセンサ情報解析ツール等の実装し、動作検証を行った。さらに、取得されたセンサ情報ならびに解析によって推定された人流情報等を、情報の受け手である人(来訪者・住民)がより理解しやすくするためのユーザインターフェイスシステム、具体的には一般の Web ブラウザからアクセス可能で、3次元的に可視化可能なシステムを実装した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス  
 [キーワード] サービス設計、サービス最適化、環境センシング、ユビキタスコンピューティング

⑥【フレキシブルエレクトロニクス研究センター】  
 (Flexible Electronics Research Center)  
 (存続期間：2011.4.1～2019.3.31)

研究センター長：鎌田 俊英  
 副研究センター長：牛島 洋史  
 総括研究主幹：長谷川 達生

所在地：つくば中央第5、第4  
 人員：21名 (21名)  
 経費：432,291千円 (316,980千円)

概要：

1. ミッション

社会の隅々にまで行きわたる情報通信技術の普及には、人々が直接情報の入手・発信に触れるためのツールとなる情報端末機器の利便性の向上と高度普及化が重要な課題となっている。本研究センターでは、こうした課題を解決し、これにかかる新産業創出、国際競争力強化に貢献していくために、ディスプレイやセンサーなどの情報通信端末機器用のデバイス技術としての使用利便性の向上および省エネルギー化の促進を目指して、軽い、薄い、落としても壊れない、形状自由度が高いという特徴を備えたフレキシブルデバイス技術の開発を推進する。これにより、より利便性の高い革新的情報端末機器を社会に普及させ、新市場創出による経済効果の拡大を図る。また、これら情報端末デバイスの低消費電力化技術の開発とともに、フレキシブルデバイスを省エネルギー・省資源・高生産性で製造する技術となる印刷法を駆使したデバイス製造技術の開発に取り組み、大量普及する情報端末用デバイスの低消費電力化、製造エネルギーの削減を推進して、グリーン・イノベーションに貢献する。さらに、これらの技術に係る材料基盤・計測標準化技術の開発に取り組み、産業基盤支援と国際競争力強化に貢献することを目指す。

2. 研究開発の課題

ミッション遂行のために、下記の研究開発課題を設定して、技術開発を推進する。

① フレキシブルデバイス技術の開発研究

超薄型、軽量、形状自由度、大面積、耐衝撃性に優れた情報入出力インターフェースデバイスの創出を目指し、柔軟性を有するフィルム基板上に回路・デバイスを設置したフレキシブルデバイス技術の開発を行う。

特に、ディスプレイなどの表示・出力デバイス、圧力、光、熱応答の入力デバイス、無線アンテナ、配線等、回路デバイスなどをフレキシブルデバイス化する技術を中心に技術開発を推進する。

② プリントブルデバイス製造技術の開発研究

フレキシブルデバイスの省エネルギー・省資源・高生産性製造プロセス技術として、脱真空プロセス、脱高温プロセス、脱フォトリソグラフィプロセスによりデバイスの製造エネルギーを著しく軽減させ、高速高生産性デバイス製造を可能にする溶液プロセスに立脚した印刷デバイス製造技術の開発を推進する。特に、高精度高精細印刷デバイス製造技術、低温印刷デバイス製造技術、高機能化印刷デバイス製造プロセス、大面積高均質デバイス製造技術などを中心に、技術開発を推進する。

③ フレキシブルデバイス用材料基盤・評価技術の開発研究

フレキシブルデバイス用材料の開発ならびにそれらの基礎物性、寿命、効率、素子性能等にかかる評価、計測に関する技術の開発を推進する。特に、有機半導体材料などのデバイス用有機機能性材料の開発

3. 研究開発の推進体制

研究開発の推進に当たっては、本研究センター内に下記5つの研究チームを設置し、それぞれ設定研究課題に対応した研究開発課題を推進する。

- (ア) 印刷エレクトロニクスデバイスチーム
- (イ) 表示機能デバイスチーム
- (ウ) 先進機能表面プロセスチーム
- (エ) 機能発現プロセスチーム
- (オ) フレキシブル有機半導体チーム

特に、本研究センターの研究開発技術は、産業界の技術開発と密接に関係していることから、関連する多業種の企業群からなる技術研究組合を構成し、その中で企業と一体的な技術開発をすることで、技術の円滑な産業普及と推進を図っていく。現在、次世代プリンテッドエレクトロニクス技術研究組合 (JAPER)A)、および未利用熱エネルギー 革新的活用技術研究組合 (TherMAT) の二つの技術研究組合に参加し、それぞれ印刷技術に基づくフレキシブルデバイスの製造技術、フレキシブル熱電変換材料デバイス技術の開発を行っている。さらに、産業界との情報交換の場としての産総研コンソーシアム「次世代プリンテッドエレクトロニクスコンソーシアム」を設置し、当該関連分野の最新の産業動向を反映させた技術開発の推進を図っている。

外部資金：

経済産業省

[平成26年度省エネルギー等国際標準化・普及基盤事業]

「プリンテッドエレクトロニクスに関する国際標準化」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
(NEDO)

[NEDO 委託事業]

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／極限シリコン結晶太陽電池の研究開発（銅ペーストの研究開発）」

「太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発」

独立行政法人日本学術振興会 (JSPS)

「印刷技術を用いた両親媒性分子による独立二分子膜の構築と選択的イオン透過膜の創成」

「シリコーンゴムを利用した微細パターンニング技術における転写メカニズムの解明」

「低侵襲フレキシブルバイオセンサ」

独立行政法人科学技術振興機構 (JST)

「新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFT を基盤とするフレキシブルディスプレイの開発」

「有機強誘電体の新材料開発、薄膜プロセス技術の開発及び結晶構造の解明」

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

「地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新」

発表：誌上発表67件、口頭発表119件、その他18件

### フレキシブル有機半導体チーム

(Flexible Organic Semiconductor Team)

研究チーム長：堀内 佐智雄

(つくば中央第4)

概要：

- 目的：フレキシブルエレクトロニクスによるグリーン・イノベーションを目指し、有機半導体・導電体・強誘電体などの電子機能性材料を印刷プロセスに適用するための材料基盤技術を開発する。特に、プロセス適合性をもつ高性能な電子機能性材料の開発、材料の特質に立脚した革新的印刷プロセスの開発、高性能化に必要な不可欠となる高度な微視的材料評価技術の開発を推進する。
- 意義、当該分野での位置づけ：物性物理学・物性化学・電子工学を基盤とする先端的知見を活用しながら、新規材料・新機能開拓と、印刷プロセスの革新、微視的评价技術の開発に取り組み、主に学術雑誌を通じた成果発信により情報通信・エレクトロニク

ス・材料分野に貢献する。

- 国際的な研究レベル：銀ナノメタルインクと反応性表面により高解像度配線を実現できる超簡易印刷法を世界に先駆けて開発、常温常圧の溶液・印刷プロセスで製膜可能な高性能有機半導体や高分極有機強誘電体の材料を開発、材料評価技術として電荷変調分光法を用いた有機半導体のキャリア輸送の研究で世界のトップを走るなど。

研究テーマ：テーマ題目1

### 先進機能表面プロセスチーム

(Advanced Surface Processing Team)

研究チーム長：牛島 洋史

(つくば中央第5)

概要：

薄膜トランジスタやセンサ等を印刷によって作製するために必要になるプロセス、材料、評価の各要素技術開発を行っている。特にマイクロコンタクトプリント法やスクリーンオフセット印刷法による超高精細印刷技術については製版から印刷装置の試作を進めている。更に、走査型プローブ顕微鏡の技術を応用した表面や微小領域の評価技術に関する基盤的な研究、トランジスタやセンサの機能を向上させるための表面処理技術などについて研究を進め、プリンテッドエレクトロニクスの実現を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

### 機能発現プロセスチーム

(Functionalizing Process Team)

研究チーム長：白川 直樹

(つくば中央第5)

概要：

フレキシブルエレクトロニクスの実用化には、材料の精密な配置技術と、材料の持つ機能をフルに引き出す技術を、相互作用しながら同時に進めていく必要がある。機能発現プロセスチームでは、従来の1/1000以下の微少液滴吐出が可能なスーパーインクジェットに代表される、非接触・無版印刷技術と、酸素分圧が10のマイナス30乗以下の極低酸素雰囲気を作ることができる酸素ポンプ技術等を用いて、材料本来の機能を発現させるプロセスを開発している。

具体的には、スーパーインクジェットと金属ナノ粒子を用いた一桁ミクロン線幅のマスクレス配線パターン形成、銅ナノ粒子インクに関して酸素ポンプ技術を用いた還元焼成による低抵抗銅配線作成、ワイヤーメッシュを用いたパターンニング、めっきプライマーインクの印刷とめっきによる配線形成などの研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目3

## 印刷エレクトロニクスデバイスチーム

(Printed Electronics Device Team)

研究チーム長：吉田 学

(つくば中央第5)

### 概要：

- ・目的：情報入出力機器の軽量化・フレキシブル化及びグリーン・イノベーションに貢献するフレキシブル印刷デバイスの創製技術の開発に向け、印刷プロセス要素技術の開発、フレキシブル情報入力デバイスの開発、デバイス・プロセス・材料に基づく評価基盤技術の開発を推進する。これらを通して、高信頼ヒューマンインターフェース情報端末機器の普及を目指す。
- ・手段：大型プロジェクト、技術研究組合との連携、企業・大学との共同研究等における研究開発を積極的に推進するとともに、社会のニーズや新規研究テーマの発掘に努める。またフレキシブルエレクトロニクス開発に必要な要素技術の高度化・集積化を図るため、分野横断的な連携を推奨する。
- ・方法論：新規低温焼成技術としてマイクロ波焼成＋光焼成技術に関する研究開発を推進する。また導電性繊維を用いた高伸縮圧力センサーアレイの開発や情報機器のための新たな入力デバイスの開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目4

## 表示機能デバイスチーム

(Functional Display Device Team)

研究チーム長：星野 聡

(つくば中央第5)

### 概要：

- ・研究目的：ディスプレイをはじめとする情報端末のユーザビリティの向上や低消費電力化、また非連続的なイノベーション創出に資する部素材、デバイス、及びそのプロセス技術やアSEMBリー技術の基盤的な研究開発を行い、高度情報ネットワーク社会の実現と進展、我が国の情報通信・エレクトロニクス関連産業の持続的な発展に貢献することを目的とする。
- ・研究手段：ディスプレイの低消費電力化と高生産性を両立させる製造技術の基盤開発、およびプロセスダメージ評価技術の研究開発、機器・端末のユーザビリティを向上させる要素技術となるフレキシブル、プリンタブル電子デバイス技術基盤として、印刷プロセスでも高特性を示す有機半導体材料・半導体微粒子の材料・インキ化技術の開発、多様な形状の物体等への適応性、耐衝撃性を向上させるフレキシブル部素材・プロセス技術の開発を行う。
- ・方法論：
  - 1) 低損傷プロセスと低損失・高効率部材活用によるディスプレイ他、情報通信端末の低消費電力化とフレキシブル化を同時に成立させるための基盤的技術、

- 2) 情報端末のユーザビリティ向上のため、高いエネルギー変換効率を示すフィルム状のフレキシブル熱電変換素子の実現に向けた部素材、デバイス設計技術の研究開発を進める。

研究テーマ：テーマ題目5

### 【テーマ題目1】フレキシブル有機半導体に関する研究

【研究代表者】堀内 佐智雄

(フレキシブル有機半導体チーム)

【研究担当者】堀内 佐智雄、山田 寿一、峯廻 洋美、堤 潤也 他(常勤職員4名、他9名)

### 【研究内容】

フレキシブルエレクトロニクスによるグリーン・イノベーションを目指し、有機半導体・導電体・強誘電体などの電子機能性材料を印刷プロセスに適用するための材料基盤技術開発を行う。プロセス適合性をもつ高性能な電子機能性材料の開発、材料の特質に立脚した革新的印刷プロセスの開発、高性能化に必要な不可欠となる高度な微視的材料評価技術の開発を推進する。平成26年度には、次の成果を得た。

革新的印刷プロセスとして前年度に開発した、光反応性表面とアルキルアミン銀ナノインクによる高精細度印刷技術については、印刷治具の平坦化とUV光露光時の密着度を改善するエラストマー膜によるガス加压装置を設計・導入した。これにより、印刷面積を10センチ角に大面積化するとともに、5ミクロン線幅であった解像度をサブミクロン線幅にまで高精細化に成功した。

基板上におけるマイクロ液滴の混合現象を高速カメラで観察することで、インクジェット印刷による薄膜析出メカニズムを解明した。これにより代表的な有機半導体材料であるC8-BTBT等の、有機分子の高均質薄膜を作製するための液滴混合における必要条件を明示できた。

印刷プロセス適合化を目指す半導体材料開発では、新規に合成したベンゾチエノベンゾチオフェン誘導体について放射光回折実験による結晶構造評価を系統的に進め、優れた溶解度・耐熱性・半導体特性を併せ持つ材料設計指針を得た。また、これら材料にブレードコート法を適用することで、極めて均質性の高い単結晶性薄膜を大面積にわたり作製することに成功した。

有機強誘電体の薄膜・印刷化技術として、ブレードコート製膜技術を適用することで、プロトン互変異性分子である2-メチルベンゾイミダゾール(MBI)を、基板の親水領域に沿って結晶性薄膜をパターン形成することに成功した。強誘電体に特有な分極履歴を数ボルト程度の低電圧下で明瞭に観測することに成功した。

微視的材料評価技術の開発では、有機TFTアレイの一括検査技術としてゲート変調(GM)イメージング技術の開発に取り組み、本技術がTFTアレイの配線・半導体欠陥や素子特性のばらつき評価の迅速化に極めて有効であることを明らかにした。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 有機半導体、有機デバイス、プリントドエレクトロニクス、材料評価技術

〔テーマ題目2〕 先進機能表面プロセスに関する研究

〔研究代表者〕 牛島 洋史  
(先進機能表面プロセスチーム)

〔研究担当者〕 牛島 洋史、安部 浩司、山本 典孝  
福田 伸子、野村 健一、日下 靖之  
尾上 美紀、粕谷 陽子、藤田 真理子  
後藤 理恵、忽那 志満子、真中 潤  
小倉 晋太郎 (常勤職員6名、他7名)

〔研究内容〕

プリントドエレクトロニクスおよびフレキシブルエレクトロニクス実現のため、印刷技術による高精細なパターンニングや、更に微細なパターンニングを可能にする技術、パターンニングを行う際に刷版や被印刷物表面に施す修飾や改質処理技術、表面の形状や物理化学的性質を評価する技術の確立を目指している。高精細パターンニング技術としてのマイクロコンタクトプリント技術や反転オフセット印刷、スクリーンオフセット印刷等について、重ね刷り精度の向上や、膜厚の均一化と平坦化を中心にデバイス作製プロセスの開発を行い、コロイド化学や表面化学的手法と走査型プローブ顕微鏡の技術を統合した表面分析技術による評価法の開発も進めている。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 マイクロコンタクトプリント、反転オフセット印刷、スクリーンオフセット印刷、走査型プローブ顕微鏡、印刷技術、コロイド化学、表面化学、プリントドエレクトロニクス

〔テーマ題目3〕 機能発現プロセスに関する研究

〔研究代表者〕 白川 直樹  
(機能発現プロセスチーム)

〔研究担当者〕 白川 直樹、徳久 英雄、所 和彦、  
塚本 志帆、中野 栄司、森田 智子  
(常勤職員3名、他3名)

〔研究内容〕

昨年度に引き続き、酸素分圧が10のマイナス30乗以下の極低酸素雰囲気を作ることができる固体電解質型酸素ポンプと、従来比1/1000以下の体積の微少液滴が吐出可能なスーパーインクジェットプリンタを用いて、エポキシ基板上に銅配線をマスクレスで作成する研究を行なった。配線材料として、マイグレーション耐性の高い銅を銀の代わりに使えるようにする技術が求められているが、銅インクは空気中焼成では導電性が出ないので、還元雰囲気での焼成が必須である。そこに酸素ポンプによる極低酸素雰囲気を適用するのが、本研究のユニークな点で

ある。昨年度は新たに発明したプロセスで、250℃で2.7 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ の低抵抗率と50倍以上の粒径の成長を達成したが、今年度はこのプロセスをさらに改良し、180℃で2.6 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ を達成した。これほどの低温の処理であるにもかかわらず、抵抗率の面でも金属組織の面でもバルク材料と遜色無いものが得られる。

また、撥水性材料を、ワイヤーメッシュを用いてパターンニングすることにより、親水性基板上に超撥水性を発現させることに成功した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 スーパーインクジェット技術、極低酸素技術、低温粉末焼結技術、非接触印刷技術、無版印刷技術、超撥水技術

〔テーマ題目4〕印刷エレクトロニクスデバイスに関する研究

〔研究代表者〕 吉田 学  
(印刷エレクトロニクスデバイスチーム)

〔研究担当者〕 小笹 健仁、所 和彦、植村 聖、  
吉田 学 (常勤職員4名、他20名)

〔研究内容〕

1) 印刷プロセス要素技術に関する研究開発

印刷プロセスにより形成した配線(回路)・バリア膜(保護膜)・半導体膜を実装したフレキシブルデバイスの高度普及を目指し、低温・高速・高生産性印刷製造技術の開発を行う。

平成26年度は、

- ・90℃の焼成温度でガラス基板上に $3\times 10^{15}\Omega\text{cm}$ 以上の高抵抗率を示す $\text{SiO}_2$ 絶縁膜を作製する技術の開発に成功した。
- ・酸化物半導体の高速、低温プロセスとしてマイクロ波焼成+光焼成技術を開発した。本プロセスで成膜した酸化物半導体におけるトランジスタ特性を評価した結果、 $1\text{cm}^2/\text{Vs}$  台の移動度を得た。

2) フレキシブル情報入力デバイス創製技術の開発

大面積・高伸縮な情報入力デバイスの創製技術の開発を行う。導電性繊維や金属ペーストを用いて柔軟な導電配線や圧力センサーシートの開発を目指す。

平成26年度は、

- ・3倍以上伸ばしても抵抗値変化が20%以下の高伸縮導電配線を開発した。
- ・導電性繊維を用いて高伸縮圧力センサーマトリクスを作製し、靴の中敷きとして配置した足圧センサーシステムを開発した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス、  
環境・エネルギー、ナノテクノロジー・  
材料・製造

〔キーワード〕 プリントドエレクトロニクス、印刷金属配線、銅ペースト、太陽電池、印刷メモリ、圧力センサー、RFID タグ、有機



エレクトロニクス、評価解析技術

## 〔テーマ題目5〕表示機能デバイスに関する研究

〔研究代表者〕星野 聰（表示機能デバイスチーム）

〔研究担当者〕星野 聰、末森 浩司、渡邊 雄一  
（常勤職員3名）

## 〔研究内容〕

高度情報ネットワーク社会の実現と進展、我が国の情報通信・エレクトロニクス関連産業の持続的な発展に貢献することを目的とし、ディスプレイをはじめとする情報端末のユーザビリティの向上や低消費電力化、また非連続的なイノベーション創出に資する部素材、デバイス、及びそのプロセス技術やアSEMBリー技術の基盤的な研究開発を推進した。平成26年度は、次世代の高ユーザビリティディスプレイとして期待が高まるフレキシブルディスプレイに適用可能な低消費電力表示技術として、エレクトロクロミズムを利用したカラー反射表示の高速応答化と低消費電力化を両立させる反応電極の技術開発を推進した。具体的には、拡散による速度律速を回避するため、エレクトロクロミック色素を担持固定化させる透明酸化微粒子の凝集体からなる多孔質電極に関して、微粒子凝集体をベースに、従来電極と同等の高い比表面積と空隙率、及び透明性を有する一方で、体積抵抗率は6～8桁程低く抑えた透明多孔質電極形成技術の開発に成功した。本低抵抗電極を用いることにより、従来電極を用いた場合に比べてエレクトロクロミズム反応効率が大幅に改善することを確認した。

ディスプレイをはじめとする情報通信端末や入出力機器のユーザビリティにイノベーションをもたらす要素技術開発に関しては、エネルギーハーベスティング素子として情報通信分野や環境・エネルギー分野でユーザビリティの更なる向上が要求されている熱電変換素子に対して、素子作製に印刷プロセスが適用可能で大面積化や大量生産が容易に行える、フレキシブルなフィルム状の素子が作製でき設置場所の形状に対する追従性や省スペース性を大きく改善できる、原材料や部材に希少金属を必要とせず希少資源使用による普及の制約を受けないなど、優れた特徴を持つカーボンナノチューブ分散高分子からなるフレキシブル熱電変換材料、インキ化技術の開発、それを用いたフレキシブルフィルム状熱電変換素子の開発と高性能化技術開発を推進した。平成26年度は、分散させるカーボンナノチューブのバンドル径と熱電変換層の電子特性との関係性を調べ、同じ分散濃度では、分散させるカーボンナノチューブバンドルの径を細くすることによって、ゼーベック係数、熱伝導率には変化を与えず、導電率を大きく改善させることが可能であることを明らかにした。本知見から、バンドル径と分散濃度を最適化することによってフレキシブルな熱電変換材料として世界最高のパワーファクターを示す材料の開発に成功した。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕フレキシブルディスプレイ、プリンテッドエレクトロニクス、フレキシブルデバイス、低消費電力化

## ⑦【知能システム研究部門】

(Intelligent Systems Research Institute)

存続期間：2001.4.1～

研究ユニット長：比留川 博久

副研究部門長：横井 一仁、大場 光太郎

総括研究主幹：松本 治

所在地：つくば中央第2、つくば東

人員：69名（69名）

経費：1,125,247千円（488,991千円）

## 概要：

## 1. ユニットの理念・目的

人間の行動を支援あるいは代行する、知能情報処理・ロボティクスに関わる技術を知能システム技術と位置づけ、その基礎原理、要素技術、システム化技術の研究開発を行い、成果を社会に普及させる努力を通じ、持続的発展可能な社会実現・産業競争力強化に貢献すること。

## 2. ユニットの研究の方向性

「出口を見据えた基礎研究の推進」を基本運営方針とし、アウトカムの社会的有用性の精査を前提として、中長期的基礎研究を推進する。

ロボット介護機器開発・導入促進事業をユニットの基幹研究として大型外部資金で実施する。この他、先端的技術開発として、製造業の省力化・高効率化のための産業用ロボット知能化技術、ロボット自律移動技術、社会インフラ点検ロボット技術、災害対応ヒューマノイド技術の研究開発等に取り組む。

## 内部資金：

イノベーション推進本部裁量予算（標準基盤研究）

「RT ミドルウェアの動的なコンポーネント配置・設定（DDC4RTC）の標準化」

イノベーション推進本部裁量予算

「課題解決型研究推進事業 H26（宇宙デブリ除去ミッションのための形状計測技術に関する試行的研究）」

イノベーション推進本部裁量予算

「漁港のスマートコミュニティ化実証：鯉仕分け自動化システム」

重点研究加速予算（戦略予算）

「災害対応ロボットシステム開発」

外部資金：  
経済産業省

産業技術研究開発委託費

「ロボット介護機器開発・導入促進事業（基準策定・評価事業）」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発/道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発」

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発/マルチコプタを利用した橋梁点検システムの開発」

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発/可変構成型水中調査用ロボットの研究開発」

「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発/災害調査用地上/空中複合型ロボットシステムの研究開発」

「環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト/ロボット分野の国際研究開発・実証事業/災害対応ヒューマノイドロボット HRP-2改の研究開発」

「環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト/ロボット分野の国際研究開発・実証事業/Choreonoid フレームワークを用いた災害対応ロボットシミュレータの研究開発」

「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）/インフラ維持管理・更新・マネジメント技術/維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発/橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構

革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）

「サイバニックシステムに対する安全検証手法の開発」

研究成果展開事業【Sイノベ】

「高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発」

建久成果展開事業（センター・オブ・イノベーション（COI） program at a glance）

「感性に基づく個別化循環型社会の創造」

公益財団法人新潟市産業振興財団

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業（委託）

「チタンアルミ合金切削加工技術の確立による環境対応型先進 UAV 用ターボジェットジェネレーターの開発」

独立行政法人宇宙航空研究開発機構

「ワイヤ投擲型プローブシステムの研究」

一般財団法人日本自動車研究所

平成26年度戦略的イノベーション創造プログラム

「平成26年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）:全天候型白線識別技術の開発及び実証「車線維持制御における白線識別性能評価」

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）

「土地利用型大規模経営に向けた農作業機械の自動化・知能化による省力・高品質生産技術の開発」

一般社団法人日本ロボット工業会

平成26年度戦略的国際標準化加速事業

「移動ロボットの運動検知技術に関する実証試験等」

独立行政法人日本学術振興会

基盤研究(A)

「医療・介護・福祉の融合—現場発ヘルスサービスリサーチによる地域包括ケアの実現」

「知能化センサネットワークによる障害・高齢者の健康リスク管理技術の開発」

「プログラム可能な結び目システムに関する研究」

「全身感覚運動情報の多相計測と能動再構成に基づく身体性変化即応認知行動機能の研究」

「視聴覚を利用した見まね学習によるアクティブな動的動作生成に関する研究」

「柔軟物連続操作のための視覚認識とアクションの双方向連動に関する研究」

基盤研究(B)

「スマートモビリティと環境固定センサ群の相互支援による走行時リスク検出法の開発」

「モノアイの研究」

「Beyond multi-contact planning」

「情動の最適制御に向けて：緊張が運動に与える影響の計算モデルと神経機構」

「検索をベースとした大規模ソフトウェアの変更解析に関する研究」

「潜在意味空間において感覚情報を言語化し言語的思考を行うロボットの実現」

「人側/装置側の両者の力触覚機能向上による新しい医用力覚呈示システム」

「対象物の柔軟性を考慮した組立作業計画」

基盤研究(C)

「作業プログラムの機能的構造を用いた自動チューニングに関する研究」

「グラフオートマトン上の自己組織的な振動生成と構造遷移」

「ベッド上空間スイッチによるロボットの作業指示」

「駆動源 HMM のトポロジー自動生成を用いた病的音声の疾患検知」

「サーバ通信を利用したカメラの自己位置配信と特徴点ベース地図の開発」

「直観的理解の容易さと合理的根拠を兼ね備えた医療の質評価内容の表現法および計算法」

#### 若手研究(B)

「ユーザビリティと高性能を両立するクラウド型リアルタイム画像解析処理ミドルウェア」

「テンソル表現に基づくパターン識別法に関する研究」

「時空間最適化による人の身体力学系のバイオメカニカルコンピューティング」

#### 挑戦的萌芽研究

「遠隔操作型ロボットの人間らしさの調節による発達障害児への対話支援法の探索」

#### 研究活動スタート支援

「動作中の身体と装着物のインタラクションを再現するデジタルヒューマンモデル」

#### 特別研究員奨励費

「車椅子型ロボットにおけるジェスチャーによる HMI の開発と評価」

「ヒューマノイドの複雑動作生成のための効率的な数値解法の研究」

「ヒューマノイドによる動作模擬に基づく人間動作解析と理解」

#### 新学術領域研究

「超高速微細操作技術を用いた3次元細胞システム構築」

「胎児・新生児シミュレーションに基づく初期発達原理とその障害の解明」

「人ロボット共生学総括班」

#### 戦略的国際研究交流推進事業費補助金

「人の能力を超える緊急事態対応ロボットに関する国際共同研究」

#### 助成金

「人間動作を模擬するヒューマノイドロボット制御手法の研究」

発表：誌上发表143件、口頭発表282件、その他18件

#### ヒューマノイド研究グループ

(Humanoid Research Group)

研究グループ長：金広 文男

(つくば中央第2)

#### 概要：

少子高齢化社会においても豊かな暮らしを実現するには、労働力不足の解消が必要である。我々人間のためにデザインされている社会環境において、様々な仕事を人の代わりに、また人とともに行うには、その形体も人間に近いヒューマノイドロボットが最も適している。ヒューマノイド研究グループでは、ヒューマノイドロボットを用いた新たなサービスの創出を目指し、企業と共同でヒューマノイドロボットを開発するとともに、その移動機能、作業機能、聴覚・対話機能、動作教示・指示手法を確立すべく研究開発を行っている。さらに、クールジャパンを代表するコンテンツ分野におけるヒューマノイドサービスの試行や、今後重要となる過酷環境におけるヒューマノイドサービスを指向することで、働くヒューマノイドの実現に挑戦している。

研究テーマ：テーマ題目6

#### 統合知能研究グループ

(RT-Synthesis Research Group)

研究グループ長：谷川 民生

(つくば中央第2)

#### 概要：

ロボットシステムに必要な知識を統合し、高信頼システムを構成するために、RT ミドルウェアを技術コアとした基盤アーキテクチャを設計し、開発支援ツールを提供するとともに、その手法の体系化を目指しています。集合知や空間知能などのロボット技術 (RT) を蓄積してニーズに応じた柔軟なシステム構築を目指すとともに、基盤技術をベースに住宅から街全体まで考慮したスマートコミュニティ型 RT システムという生活・産業支援を実現するプロトタイプシステムの開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

#### タスクビジョン研究グループ

(Vision and Manipulation Research Group)

研究グループ長：原田 研介

(つくば中央第2)

#### 概要：

3次元視覚情報処理、力覚・触覚情報処理、把持・作業計画など、知能システムに要求される作業知能に関する要素技術の高度化を中心に、ロボット作業の体系化を図り、様々なニーズに応えるロボット技術の

確立を目指した研究開発を行っている。具体的には、人間の作業・活動を支援または代行するシステムとして、産業用ロボットや生活支援ロボットでの応用を目的に、環境や対象物の3次元計測・認識技術、把持計画・動作計画技術、触覚センサ技術、センシング・制御戦略を実装した作業・動作プリミティブに基づく知的マニピュレーション技術等の研究開発とともに、新たな取り組みとしてセンシング技術と作業技術の密な融合による高精度な作業知能技術の確立を目指している。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目6

### ディペンダブルシステム研究グループ (Dependable Systems Research Group)

研究グループ長：中坊 嘉宏

(つくば中央第2)

概 要：

ディペンダブルシステム研究グループでは、次世代ロボット普及のため、システムを高信頼かつ安全（ディペンダブル）に構成するための技術についての体系化を図っています。応用システムとしては、福祉システム、車椅子、対人アーム、ディペンダブル・モビリティなどを想定し、高信頼、機能安全、リスクアセスメント、ヒューマンファクターズ、Physical Human-Robot Interaction (pHRI)、人間中心設計、安全認証試験・国際規格などの技術課題についての研究、開発、普及などを行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目5

### サービスロボティクス研究グループ (Service Robotics Research Group)

研究グループ長：松本 吉央

(つくば中央第2)

概 要：

サービスロボティクス研究グループでは、家庭、病院、高齢者施設、オフィス等、人と共存する実環境において、人の活動を支援するロボットの研究開発を行い、少子高齢化社会の課題解決に資する次世代ロボットの実現を目指している。役に立つ支援のための要素技術を開発し、高信頼なシステム構築を行うだけでなく、企業との連携や実証実験を通して、実用化による社会への成果還元を目指している。

具体的な研究内容としては、サービスロボットロボットのうちの生活支援ロボット（アームロボット、移動ロボット、コミュニケーションロボット等）のためのセンシング技術、インタフェース技術、制御技術等の要素技術の開発に加え、介護支援ロボットも含めた支援ロボットの設計・評価技術に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目3

### スマートモビリティ研究グループ (Smart Mobility Research Group)

研究グループ長：松本 治

(つくば中央第2)

概 要：

中心市街地での移動を自動車に過度に依存せず、パーソナルモビリティを有効活用することで、CO<sub>2</sub>削減や省エネ等を実現しようとする機運が高まっている。スマートモビリティ研究グループでは、これまでに蓄積してきた広域3次元環境構築技術やロボット自律移動技術をコア技術とし、さらに技術の高度化や関連技術との統合化を図ることにより、高信頼でかつ安全性の高いパーソナルモビリティの先行研究開発を行っている。さらに、ロボット技術を搭載したパーソナルモビリティ（モビリティロボット）の公道走行実験を可能とする「つくばモビリティロボット実験特区」を有効活用し、開発した技術の検証やシェアリング運用を行い、実運用データを取得・解析・蓄積することにより、シミュレータによる交通手段選択予測や充電インフラの最適配置、安全情報提供など、パーソナルモビリティを活用した効率的な都市交通計画を支援するための研究開発も実施している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

### フィールドロボティクス研究グループ (Field Robotics Research Group)

研究グループ長：加藤 晋

(つくば中央第2)

概 要：

少子高齢化社会において、重労働・危険作業者の減少対策や移動手段の確保のため、人の代わりに作業や移動を支援することや、自律的に行うシステムが期待されている。フィールドロボティクス研究グループでは、特に「災害対応」、「社会インフラの維持・整備」、「資源開発」に資するロボティクス技術の研究・開発を進め、これらの実環境下における移動、運搬、情報収集、探索、点検や各種作業の安全かつ効率化を実現する移動・作業型システムの実現を目指している。具体的には、移動検査ロボット、自律作業ホイールローダー、飛行ロボット、モビリティロボット、ITSやロボットの自動運転や運転・作業支援を対象に、環境認識技術、先進制御技術、ナビゲーション技術、ヒューマンインターフェース技術、通信技術など、屋外環境で使えるシステム技術や要素技術に関する研究を推進している。

研究テーマ：テーマ題目4

### 社会知能研究グループ (Social Intelligence Research Group)

研究グループ長：森 彰

(つくば中央第2)

概要:

社会で循環・蓄積される情報や知識を計算機処理可能な形に構造化して分析し、問題の同定や解決策の発見につながる技術の研究を行っている。こうした技術は、社会におけるさまざまなサービスを、エビデンスに基づいて比較・評価・改善することに用いることができる。サービスとは価値共創であり、目的や文脈を関係者が共有して協力することを前提としているが、情報の非対称性が大きかったり価値の評価が難しいかったりする場合には、その協力が不十分で、高い価値が生まれないことが多い。一般市民がエビデンスに基づく仮説検証としての科学を日常的に実践できるようにすれば、こうした問題を解決していくことができるであろう。このような観点から、個人主導のデータ共有、大規模データの解析、共創プラットフォームの社会実装、セキュリティやプライバシーの担保などの技術に関する研究を進めている。

研究テーマ：テーマ題目2

## スマートコミュニケーション研究グループ

(Smart Communication Research Group)

研究グループ長：佐藤 雄隆

(つくば中央第2)

概要:

情報ネットワークは今や社会や家庭に深く浸透しているが、これによってもたらされるはずの豊かな生活を真に実現するためには、生活環境や利用者の特性と情報システムとの不整合を解消し、さらなる技術開発によって高度化し拡張することが必要である。本研究グループでは、人と人、人とモノとのつながりが形成されるプロセスに着目してこれを分析し、情報ネットワークとともに様々なセンサデバイスやメディア処理技術を駆使することによってより豊かな人間本位のコミュニケーション環境を実現する研究開発を行っている。

これまでに全方向ステレオカメラシステム (SOS) によって安全性・操作性を高度に確保した電動車いす、不明瞭な発話でも機器操作や移動を支援する音声認識システム、異常行動や機器の動作異常を映像や音によって検知する技術等の開発を行い、現在は生活安全・生活支援のための見守り技術、高齢者のための対話型情報支援システム等の研究テーマに外部機関等と連携して取り組んでいる。また更に、要素技術の水平展開として社会インフラの診断技術に関する研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

## AIST-CNRS ロボット工学連携研究体

(CNRS-AIST JRL(Joint Robotics Laboratory),

UMI3218/CRT)

連携研究体長：吉田 英一

(つくば中央第2)

概要:

AIST-CNRS ロボット工学連携研究体 CNRS-AIST JRL(Joint Robotics Laboratory)、UMI3218/CRT は、フランス国立科学研究センター (CNRS) と産業技術総合研究所により設立された国際共同研究組織で、知能システム研究部門内に設置されている。ロボットの自律性の高めるための研究を、ヒューマノイドロボットを主要なプラットフォームを使用して両国からの研究者の密な協力によって進めている。主な研究テーマは、作業や動作の計画と制御、応答性の高い行動制御、視覚や触覚、脳神経信号などの感覚を統合したインタフェースによる人間・ロボット協調システムなどである。日本や EU のプロジェクトなどへの参加により、国内外の研究機関とも積極的に共同研究を行っている。

JRL は、CNRS では Unite Mixte Internationale (UMI、国際混成研究所) として、産総研では連携研究体 (CRT) という正式な組織として位置づけられている。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目6

## [テーマ題目1]移動ロボットによる市街地多次元環境構築・活用に関する研究

[研究代表者] 松本 治 (スマートモビリティ研究グループ)

[研究担当者] 松本 治、堀内 英一、富田 康治、宮腰 清一、阪野 貴彦、橋本 尚久、横塚 将志、谷川 民生、関山 守、金 奉根、原 功、増田 健  
(常勤職員12名、他3名)

## [研究内容]

低炭素社会実現に貢献する都市計画の1つとして、中心市街地での輸送 (人および物) を自動車に過度に依存しないコンパクトシティ構想が地方自治体を中心に提案されており、関連施策としてロボット技術を搭載したパーソナルモビリティの公道走行実験を可能とする「つくばモビリティロボット実験特区」が2011年6月から始まっている。本研究開発では、上記特区を活用して、当該ロボット等の移動を支援する技術である広域多次元環境構築・活用に関して、無線通信によるクラウドを活用したナビゲーションサービス等に関する研究開発を行っている。具体的には、移動ロボット等の移動体に3次元環境情報取得用センサユニットを開発・搭載し、センサユニットからクラウドへの情報送信により、クラウド上で計算機負荷の高い3次元環境情報の合わせ込み等を行い、屋内・外をカバーした高精度広域多次元環境を構築する。それにより、構造情報提供のみならず、関連付加情報を含む多次元環境情報提供等のサービスに寄与すると共に、

クラウドから各移動体への多次元環境情報の送信により、ロボットナビゲーション等のサービスに貢献することを目指している。

広域3次元環境構築技術については、移動ロボットのナビゲーション利用を想定し、実時間で単眼カメラによる密な形状復元手法を開発。実時間でピクセル単位の全面素マッチングを実現したことにより、高精度かつ高精細な形状が計測可能となった。

屋外ナビゲーション技術については、上記技術から得られた色付き形状情報を地図として利用し、カメラで取得した画像と地図との対応付けを全面素でマッチングし、高精度な位置・姿勢を推定する技術を開発した。

3次元環境利用技術については、車載データ送受信システムの核となる可搬データロガーの開発、データロガーを用いた複数環境データの継続的な収集とクラウドクラスタ上に実装したDB上への環境データの蓄積を実施した。データ利用についてはUIの実装を行い環境データの分析を開始した。さらに、スマートシェアリングシステムの拡張(TX 研究学園駅、つくば市役所)および関係者による試験運用を実施した。GPSによる移動履歴(位置、速度)データ、画像データや加速度情報等を取得・蓄積・解析し、走行環境や走行状態の推定を行うとともに、搭乗者の特徴などとの相関関係より、搭乗者に合わせた注意喚起などの支援機能を実装した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】パーソナルモビリティ、車いす、自律走行、GPS、障害物回避、操作支援、無線センサ、シェアリング

#### 【テーマ題目2】実用化ロボットの開発と安全・高信頼開発基盤の構築

【研究代表者】中坊 嘉宏(ディペンダブルシステム研究グループ)

【研究担当者】中坊 嘉宏、原 功、角 保志、藤原 清司、安藤 慶昭、尾暮 拓也、ビッグス ジェフ、花井 亮、松本 治、横塚 将志、森 彰、和泉 憲明、Geczy Peter(常勤職員13名)

#### 【研究内容】

安全で高信頼な実用化ロボットのための開発基盤を目指して、以下の4つのパッケージ化を行った。実用化ロボットの開発として、遠隔ショッピングロボットをアプリケーションとして、安全高信頼開発技術を適用したロボットを開発し、商業施設等での検証と実用化を想定したリスクアセスメントを実施した。その際課題となった転倒安全性の耐故障性を確保する技術として作動型冗長駆動機構を開発した。また安全マネジメントパッケージの構築として、IEC61508機能安全ボードの開発と発売を企業と共同で進め、都産技研と産総研のコンソーシアムで普及啓発を行った。また企業の実用化ロボットの

ISO13482認証取得を支援し、安全マネジメント、リスクアセスメント、安全コンセプト開発を行った。さらに、実用化ロボットのための高信頼開発パッケージの構築として、GSN、SysML/Marte、SafeMLを連携させた高信頼化アプリケーション開発パッケージを開発し、OMG標準化活動とともに、ツールベンダーによる商用ツールへの組込みを行った。最後にセキュリティパッケージの構築として、組み込みプログラムの安全性を確保するバイナリコード解析手法を開発し、Windows デバイスドライバのメモリリークを検知可能にした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボット、ソフトウェア、安全、セキュリティ、認証可能

#### 【テーマ題目3】空間情報理解のための次世代センサレイ技術の開発

【研究代表者】佐藤 雄隆(スマートコミュニケーション研究グループ)

【研究担当者】佐藤 雄隆、佐宗 晃、増田 健、永見 武司、小林 匠、松本 吉央、佐川 立昌、田中 秀幸、谷川 民生、鍛冶 良作(常勤職員10名)

#### 【研究内容】

空間情報の高度なセンシングのためには、センサ単体の性能向上を狙うと同時に、センサをアレイ化して用いる戦略が有効である。しかしアレイ化にはセンサ配置、干渉対策、同期制御、キャリブレーションなど独特の技術・ノウハウの集積が必要であり、技術的に解決すべき課題が多い。また、センサ単体に関しても非走査で大域を同時取得する能力や屋外対応化が求められる。本PJでは所内で個別に研究が行われている関連技術を取りまとめ、これらの技術課題を解決することを目的とする。

本年度の研究は順調に進捗した。具体的には、まず、波線グリッドパターン投影によるワンショット形状計測における処理をGPUを用いて並列計算する手法を開発し、高密度な形状データを5~10fpsで生成することを可能にした。一方、平行して近赤外光によるランダムパターン投影とカメラ2台を用いたシステムについても実験を行い、25fps程度で奥行き誤差約2mm(@2m)程度で3次元復元できることを確認した。更に、波線グリッドパターン投影プロジェクタおよびカメラを円形内向きのアレイとして構成し、観測対象の全周形状を誤差約2mm(@2m)で計測可能にした。また、RGB-Dセンサアレイをセンサ間の位置関係が任意であってもキャリブレーションを可能にする技術の開発を進めており、プロトタイプソフトウェアの実装を行った。この方法は、2つのセンサに共通の平面を異なる3つの姿勢で提示するだけで互いの3次元的位置関係を高精度に推定する方法で、極めて手軽にキャリブレーションを行うことが可能になる。一方、センサアレイを構成するセンサ数が多い

場合、2センサずつキャリブレーションすることを繰り返すので誤差が累積する問題があり、適用問題の要求精度によっては不都合になる場合が考えられる。したがって、現在誤差の詳細な分析と、その解消法について検討を行っている。これらの目処がついたのち、ソフトウェアライブラリとして整備を進める。空間情報解析技術の開発に関しては、ロバスタ統計を応用することで、三次元情報に含まれる例外値（アウトライヤ）を的確に除去しながら位置合わせを行うアルゴリズムの実装を行っている。これにより、RGB-D カメラのようにノイズが多く、且つ半径数メートル程度の狭い範囲しか同時に取得できないセンサで得た情報であっても、高い精度で位置合わせを行い、広域3次元モデルを生成することが可能になる。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】センシング、センサアレイ、空間情報認識

#### 【テーマ題目4】屋外過酷環境下の作業ロボットの高度化に関する研究

【研究代表者】加藤 晋（フィールドロボティクス研究グループ）

【研究担当者】加藤 晋、大山 英明、森川 泰、有隅 仁、岩田 拓也、神村 明哉、前川 仁、黒河 治久、安達 弘典（常勤職員9名、他3名）

#### 【研究内容】

人の立ち入りが困難な屋外の過酷環境下である高所や水中、狭歪部、危険箇所等に移動し、調査や作業を行うことに対するロボット化は、社会・産業インフラの維持管理、災害対応、資源開発などの応用が期待されている。本研究開発では、配管等で複雑化した産業インフラの点検保守に対応できる作業ロボットを対象とし、求められる高アクセス機能を実現するための状況認識と移動制御技術、複数で協調して高い作業効率を実現するための通信と作業統制技術の研究開発を目標としている。現状のプラント配管の点検ロボットは、点検時の移動は自動化されているが、点検箇所への寄り付きや継ぎ目や障害物回避は人手に頼っており、足場の設置が必要となっている。そのため、このような一連の移動を高アクセス機能としてロボットに実現することが求められている。また、費用対効果を高めるには作業効率の向上が課題であるが、まだ単体の運用にとどまっており、複数の協調した効率的運用制御が求められている。そこで、以下のような技術開発を行い、平成26年度はまず試作機の構築と基礎的な機能の検証を目標とする。

1. 高アクセス機能を実現するための状況認識と移動制御技術：走行機能と飛行機能の融合型によるアクセス能力を拡大する複合型移動制御技術（移動機構・遠隔半自律制御）とそのための周辺状況の認識技術を開発

する。

2. 高い作業効率を実現するための通信と作業統制技術：複数・異種のロボットによる協調作業を想定したネットワーク構成技術を開発し、さらに効率を考慮した作業統制技術を開発し、運用システム化を行う。

平成26年度の進捗は、作業ロボットの高アクセス機能の実現に対して、飛行と吸着等の複合型移動制御技術の開発に着手し、マルチコプタと磁気吸着との組み合わせによる移動機構やマルチコプタと遠隔台車との組み合わせなどの開発を進めて、マーカーセンサによる安定飛行制御等のプログラムを開発した。これにより、屋外ではGPSを用いたウェイポイントの指定による経路飛行が行われているマルチコプタにおいて、屋内やGPS信号の到達しにくい環境下での安定した経路飛行や吸着や台車移動が可能となっている。また、高い作業効率の実現に対しては、複数・異種のロボットによる協調作業を想定したネットワーク構成技術の開発、協調作業用の分配技術についてシミュレータの開発に着手し、連携通信や中継通信の基礎実験を行った。時分割での通信を用いることにより、中継ノードの増減に対して、柔軟な通信経路で確実に通信が行えることなどを確認している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】産業インフラ、維持管理、高アクセス機能、高作業効率、複合型移動制御技術、移動機構、遠隔半自律制御、協調制御、マルチコプタ

#### 【テーマ題目5】全自動セル生産システム実現へ向けた基盤研究

【研究代表者】原田 研介（タスクビジョン研究グループ）

【研究担当者】原田 研介、永田 和之、山野辺 夏樹、中村 晃、吉見 隆、植芝 俊夫、音田 弘、中坊 嘉宏、花井 亮、吉田 英一、河井 良浩（常勤職員11名、他3名）

#### 【研究内容】

消費者の多様な価値観にきめ細かく対応するためには、オンデマンドに製品を製造することが必要であり、その究極的な製造形態として、CAD データを入力すると製品を出力する「全自動セル生産システム」の構築を目指す。この製造形態により製品開発のスピードを究極的に早めることが可能であるが、これを実現するには、部品を造形するフェーズのみならず、造形された部品をロボットで自動的に組み立てるフェーズの技術を確立することが必要である。

全自動セル生産システムを実現するためには、多種多様な形状や材質の部品に対応可能なロバスタな組み立て技術を確立する必要がある。そのために、以下の技術課題に取り組んだ。

## 1. ロバストな組立動作制御手法の開発：

部品の形状モデルをクラスタリングし、組み立てにおける接触状態をクラスタ同士の接触におけるクラスタの ID の組み合わせにより表現し、これにより組み立てにおける状態遷移グラフを構築した。特に、Choreoid 上に実装したプログラムによりグラフを自動的に生成し、グラフの各ノードがどのような接触状態に対応しているかを明確にした。また、爪を有する機械部品の組み立てにおいて、組み立てのエラー状態を力センサの出力から判定する手法を開発した。これに基づき、エラー状態を判定すると、組み立てをやり直す動作を実装中であり、これにより成功率が上がる事が期待される。

## 2. シミュレータを併用した組立計画：

有限要素法を基にした組立動作シミュレータを構築し、簡単な組み立て動作で有効性を確認した。また、ゴム製の機械部品の組み立て動作を計画した。現在、ゴム製の機械部品の組み立て動作計画を、有限要素法を基にした組立動作シミュレータ内で行った。また、実際の双腕ロボットを用いて有効性を確認した。

## 3. 組み立て・検査工程を考慮した製品設計手法の開発：

Jamming Gripper と4指ハンドを組み合わせた構造のハンドを試作し、このハンドの基礎的な動作確認を行った。また、ロボットによる組み立て動作を解析し、一つのハンドで3種類の部品を把持して組み立てる技術を開発した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ティーチング、シミュレーション、弾性変形物体、嵌め合い動作、作業・動作計画

[テーマ題目] 災害対応ヒューマノイドロボット技術に関する研究

[研究代表者] 金広 文男（ヒューマノイド研究グループ）

[研究担当者] 金広 文男、梶田 秀司、金子 健二、森澤 光晴、中岡 慎一郎、Abderraman Kheddar、吉田 英一、喜多 泰代、阪口 健、服部 静子、北川 孝志（常勤職員9名、他2名）

[研究内容]

東京電力福島第一原子力発電所廃止措置は、今後20年以上かかる。施設内には配管が林立した狭隘部、垂直梯子など、既存ロボットでは対応できず、人による作業が必須な箇所が数多くある。本研究テーマは、作業員の被曝量低減のために、原子炉建屋内の全領域において作業を行えるヒューマノイドロボットシステムという出口を見据えて、基盤技術の開発を行うものである。

本年度は、内部の状況が分からない作業現場において移動・作業を行えるようにし、通信路の状態が悪く、通

信スピードが大きく制限される状況においても、遠隔操作による指示を受けながらロボットが移動・作業を遂行できるようにするためのシステム構築及びハードウェアプラットフォームの改良を行った。

移動機能については外部から受ける負荷に応じて適応的に歩容を変化させる負荷感応適応歩容生成技術を開発し、これを用いることで従来研究に対して1.4倍の速度でドアを通過することが可能となった。また、足先のみならず手先等も組み合わせて環境と接触させることで複雑な3次元環境移動を可能とする多点接触動作制御技術を開発し、原子炉建屋内に多く見られ、クローラタイプのロボットでは移動ができない垂直梯子の実機による移動を実現した。また、路面の状態を計測する環境計測機能、計測結果から適切な着地位置を計画する機能、計測誤差等による想定外の路面の凹凸に対応可能なバランス制御機能とを組み合わせることで、コンクリートブロックで構成される不整地の移動を実現した。

作業技術、遠隔操作技術については、ロボット用統合 GUI ソフトウェアである Choreonoid を基盤として用いた遠隔操作インタフェースを開発し、主要な運動制御機能、計測機能、計画機能をロボット側に搭載して、遠隔操作インタフェースとは最小限の通信を行うシステム構成とすることにより、悪通信環境下においても作業が可能な遠隔操作環境を構築した。ロボットが作業を行う際の手順を記述し、定型的部分は自動的に実行しながらも、必要に応じてオペレータが作業の実行に介入し、現場の状況に応じて作業手順を変更することが可能なタスク記述システムを Choreonoid 上に構築し、これを用いてバルブ回しや工具を用いて壁を切断する等の作業機能を実現した。

ハードウェアプラットフォームの改良については、米国で開催された災害対応ロボットの競技会 DARPA Robotics Challenge の予選タスクをベンチマークとしてシミュレータ上で評価を行って改良点の仕様を策定し、改良を実施した。予選タスクで設定された瓦礫による大段差の移動に対応する為に脚部の延長及びモータアンプ等の出力強化を行い、作業性を向上させる為に腕部も延長し、手先部の形状変更を行った。また通信帯域が制限された状態においてもロボット内部の自律機能を用いて活動を継続できるようにロボット内部の計算機のアップグレードも行った。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ヒューマノイドロボット、災害対応ロボット、遠隔操作

## ⑧【情報技術研究部門】

(Information Technology Research Institute)

(存続期間：2005.7.15～)

研究部門長：工藤 知宏



副研究部門長：錦見 美貴子  
 総括研究主幹：小島 功

所在地：つくば中央第2

人員：37名（37名）

経費：706,390千円（426,472千円）

#### 概要：

情報技術研究部門では、情報技術（IT）に関わる基礎分野から応用分野までをカバーし、社会インフラとしてのITを提供する技術と利用者指向でITを利用する技術の研究開発を行っている。

社会インフラとしてITを提供する技術としては、ネットワーク、サーバ/クラスタといったハードウェアだけでなく、プログラミング環境、データベースやストレージを含むミドルウェア、さらには、高度なアプリケーションを実行する並列・分散環境から、実問題を対象とするアプリケーションや情報サービスの提供まで、幅広い領域での研究開発を進めている。研究における大きな方向性としては、グループの枠を超えた融合・連携研究を強化する。特に、ユニット内を横断するビッグデータ処理基盤構築に係る研究開発を行う。さらに分野内外の他ユニットや外部機関と連携することで大型プロジェクトとしての取り組みに発展させる。具体的には、ビッグデータのための次世代クラウドコンピューティング/ポストペタコンピューティングに必要とされるディペンダビリティ、スケーラビリティ、および省エネルギーを重要な課題として設定している。特に、マルチコアからメニーコアへのプロセッサコア数の増大や、広域に多数のコンピュータが分散する状況に対応して、機器の台数に比例した処理性能を得るスケーラビリティや、頑健性やセキュリティを保持するディペンダビリティを重視した研究開発を行っている。加えて、低炭素社会を実現するためのIT機器の電力消費低減も大きな課題であり、ネットワークの低消費電力化やデータセンタにおけるサーバ・ストレージの省エネ運用手法なども、重要な研究課題として取り組んでいる。また、社会インフラとしてワンストップで情報サービスを提供するため、サービスプラットフォームに関する研究開発を行っている。広域に分散した研究機関やグループを有機的に結び付ける研究基盤構築の一環として、様々なデータベースの効果的な統合やメタデータの分散処理・管理技術の研究開発している。特に、多様な応用分野でユーザが手軽にデータを扱えることを目指した地球観測情報のサービスプラットフォーム構築に関する研究開発を進めている。クラウド技術を用いて地球観測衛星データなどの大規模アーカイブと高度処理を行い、分散環境下の各種観測データと地理情報データを統融合した処理、機械学習による解析やユーザフレンドなインタフェー

スによるサービス提供を行うプラットフォームを構築中である。また、データ統合の視点から地球観測情報のみならず、公的データを有機的につなげ新たな知見の発見を行うための研究開発にも取り組んでいる。

利用者指向でITを活用する技術としては、医療、エネルギー、環境、社会インフラ、コンテンツビジネスなどの応用分において、安全・安心な生活と知的活動の飛躍的向上の実現を目的に、実世界における環境情報、計測などによって生成される多種多様なデータから有効な意味的情報を抽出する技術、それらを活用する技術の研究開発を行っている。特に実世界で扱われる音楽、映像、テキストなどのメディア情報については、これらを認識理解する技術の一層の高度化を進めるとともに、他のシステム資源や人的資源とのネットワーク化およびインタラクションの形成を促進することによって認識精度の向上およびデータの高付加価値化を図る研究を行っている。これによって、様々なメディア情報において最適な検索閲覧機能を実現する技術、コンテンツ自動生成のための技術、位置や状況に応じた情報提示に関する技術などの開発を進め、新しい情報サービスの創出に取り組んでいる。また、持続的社会のためのエネルギー運用管理技術としてのスマートグリッドをITで支える技術の研究開発を行っている。これまで培ってきた有線通信技術を中心とした大規模なセンサーネットワーク技術を適用することで、太陽光発電モニタリングなど有用な出口応用を実現することを目標とし、通信基盤技術やその応用技術の研究開発を進めている。さらに、アプリケーションの開発の利便性およびアプリケーションの動作の信頼性を向上させるために、情報数理学を中心とした理論研究、およびオープン・システムで幅広く利用される実証的ミドルウェアの開発と公開を行っている。

#### 内部資金：

「地理空間情報メタデータおよびWEB配信方式の国際標準策定」

#### 外部資金：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
 IT融合による新社会システムの開発・実証プロジェクト  
 （データ処理基盤分野）「リアルタイム大規模データ解析処理基盤の研究開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 風力発電高度実用化研究開発「スマートメンテナンス技術研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（CREST）「音楽を中心とした類似度可視化情報環境の実現と全体統括」

独立行政法人科学技術振興機構 JST復興促進プログラム マッチング促進(タイプII)「メガソーラーの最適運用システムの開発」

独立行政法人科学技術振興機構 JST復興促進プログラム マッチング促進(タイプII)「病理画像のがん検出ソフトウェアの開発」

独立行政法人情報通信研究機構 課題名：新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発課題イ ネットワークテストベッドを活用した日欧における実証的共同研究「FEderated Test-beds for Large-scale Infrastructure eXperiments (FELIX)」

独立行政法人日本原子力研究開発機構 平成25年度東京電力福島第一原子力発電所事故による環境モニタリング等データベースの構築事業「複数データベースからのデータ取得のためのフレームワークの構築及びデータベースの国際連携」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究(B)「非線形固有値解法の先端アルゴリズム開発と実アプリケーションへの応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A)「大規模・異種の時空間データ統合で生じる矛盾を許容するサイエンスクラウド基盤」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C)「ディザスタリカバリを可能にする高速退避型遠隔ライブマイグレーションの研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(A)「Linked Data 検索のための結合効率化に基づくメタデータクラウドの研究開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「性能可搬性を提供する仮想計算機マイグレーション技術の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「ストリーム処理とデータ分析処理を統合した戦略的データ活用基盤の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「画像認識技術を用いた大腸内視鏡画像の客観的評価手法の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「合成開口レーダ画像および海洋観測に基づく

海上風シミュレーションの精度向上」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「ポストペタスケール計算機環境に向けた高可用分散協調スケジューリングの研究」

発表：誌上発表87件、口頭発表137件、その他13件

### メディアインタラクション研究グループ (Media Interaction Group)

研究グループ長：後藤 真孝

(つくば中央第2)

概要：

実世界のメディア情報(音楽、動画、ユーザ活動等)を対象に、人々の利便性を向上させるためのメディアインタラクション技術の研究開発に取り組んでいる。主に、実世界メディア理解技術(自動理解・マイニング・推定)、インタラクション技術(インタフェース・検索・ブラウジング)の研究開発をおこなっている。実世界メディアは Web を中心に多様化し増加し続けているが、それを人々が活用する技術は未成熟である。そのため、計算機が人間に代わって理解し、人間の意図や嗜好に合わせた形態で提示することで人々の利便性向上を図る技術が求められている。特に、音楽情報処理及び音楽インタラクションに関する研究、Web インタラクション及びユーザ支援に関する研究等に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目5

### プロセスウェア研究グループ (Processware Research Group)

研究グループ長：大崎 人士

(つくば中央第2)

概要：

ソフトウェアの開発プロセスの向上を通じてソフトウェアの品質を高めるための研究開発を行っている。高品質なソフトウェアは、現代社会を支える情報システムの高信頼・高安全・高可用化技術にとって必須のものであるが、これを安定的に供給するためには、エンジニアの職人的能力に期するのではなく、ソフトウェアを工学的に開発する手法が必要である。そのため本グループでは、1)小規模組織向け、2)オープンなシステム、という特徴を有するソフトウェア・エンジニアリング・ツールチェーンの開発と、その普及活動を行っている。これは、ソフトウェア開発の95%以上は、開発者数25名以下の小規模組織によって行われているという状況と、共通の概念・用語・手法等を確立して複数のソフトウェア開発を連携可能とするためにはオープン・スタンダードに基づいている必要があるという点に対応するためである。具体的には、ソ

フトウェアライフサイクルプロセスの国際規格に基づいて、組織のプロセス実装を支援するプロセス展開パッケージと、プロセス定着度の評価・改善のためのプロセスアセスメントキットの開発をしている。

#### スマートシステム研究グループ

(Smart System Research Group)

研究グループ長：村川 正宏

(つくば中央第2)

概要：

近年のセンサ、計測技術、通信技術の進歩により、実世界の膨大なセンシングデータが取得できるようになってきた。さらにクラウドコンピューティングを利用することで、その膨大なデータを蓄積し、高度な解析を行い、実世界に対して実時間でフィードバックできる環境も整ってきた。本グループでは、このような大きなループを回すための要素技術の研究開発、ならびにループを回すことで新たな価値を創造する応用分野の開拓を行っている。要素技術では、(a)電力線通信などの有線通信技術 (b)データ解析のための画像認識技術、時系列信号解析技術 (c)確率的最適化手法、などを研究している。応用分野では、スマートグリッドおよび医療分野を主な対象としている。

研究テーマ：テーマ題目1

#### インフラウェア研究グループ

(Grid Infraware Research Group)

研究グループ長：中田 秀基

(つくば中央第2)

概要：

動的な情報処理基盤構築のための資源管理・仮想化技術と資源利用技術の研究開発を行う。近年注目を集めているクラウドでは、ユーザは自ら資源を持つ必要がなく、その一方で資源の利用効率を高めることができる。本グループでは、計算機やストレージに加えてネットワークをも資源として管理する手法の研究を進めている。また、クラウド運営に関する知見を収集することを目的の一つとして、内部向けにクラウドサービスを提供する。さらに、昨今のデバイス技術の進展と、新たなアプリケーションを前提に計算機アーキテクチャを根底から設計する研究を行う。これらの技術により、より広い用途に使用できる動的インフラを構築可能にしていく。また、資源の有効利用やエネルギーコストの低い資源の優先利用による省エネルギー化を図る。また、並列分散環境で実行するアプリケーションの一つとして、脳機能を模した BESOM モデルの並列実装を行う。

研究テーマ：テーマ題目2

#### データサイエンス研究グループ

(Data Science Research Group)

研究グループ長：小川 宏高

(つくば中央第2)

概要：

計算機・ネットワーク技術の普及と各種センサ技術の発展に伴い、多種多様なモノがネットワークに接続され、現実世界のさまざまな事象を「データ」として情報技術の世界から捉えることが可能になってきた。本グループでは、こうした時々刻々と生成される膨大なデータの収集・蓄積・発信・分析・発見・利用を可能にする技術を中心に研究開発を行っている。特に、(a) 多種多様大量のデータを対象としたスケーラブルで高性能なデータ解析処理技術、(b) オープンデータ(公的な知的基盤情報)の高度利活用を可能にする分散検索技術ならびに並列演算アルゴリズム、(c) ジオソーシャルデータに代表される地理空間情報を対象としたデータ利活用技術、の研究開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

#### ジオインフォマティクス研究グループ

(GEOinformatics Research Group)

研究グループ長：中村 良介

(つくば中央第2)

概要：

本グループでは、地球全体を網羅する人工衛星データの大規模アーカイブを構築し、各地に分散する各種センサデータや地理情報システムデータと統融合するためのプラットフォーム GEO Grid (地球観測グリッド: Global Earth Observation Grid) の開発をすすめている。さらに、このプラットフォームを利用して、エネルギー資源開発・環境モニタリング・災害対応といった各種応用分野の研究、および産業基盤となる社会基盤データの作成に関する研究を行っている。具体的には、膨大な衛星画像から地物種別/土地被覆といった高度な地理空間情報を高速かつ高精度で抽出する機械学習技術や、屋内・屋外でシームレスに利用できる測位技術の研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目4

-----  
[テーマ題目1]実時間ガイドによる高度医療支援システム

[研究代表者] 野里 博和

(スマートシステム研究グループ)

[研究担当者] 野里 博和、高橋 栄一、坂無 英徳、  
岩田 昌也、村川 正宏 (常勤職員5名)

[研究内容]

医療用検査機器のデジタル化による医療データの爆発的な増加に伴い、データ処理に要する医師の負担増大に起因する医療過誤の危険性が増し、また一方で多くの情報が活用されない状況が生じるなど、患者の不利益を招

く恐れが生じている。一方、情報産業においては、膨大なデータを戦略的に活用するビッグデータ処理技術が急速に発展しているが、医療分野での活用には至っていない。そのため、医療現場において診察中に検査画像などから瞬時に必要な情報を抽出し、増加し続ける膨大な医療データと合わせて分析した結果をリアルタイムに提示可能なパターン認識・検索・インタフェース技術の確立が強く求められている。

本研究開発では、大腸内視鏡検査や乳腺超音波検査を題材として、医師の診断を支援する情報をリアルタイムに医療データから検索・提示することにより、医師の操作・診断・治療方針の決定をガイドする高度医療支援システムの新規実現を目標とする。具体的には、(1)動画認識技術、(2)類似症例自動検索技術、(3)支援情報の可視化・提示技術の要素技術を開発すること、プロトタイプシステムを開発してメーカーにアピールし、共同研究もしくは公的研究公募への共同提案の材料とすることが達成目標である。

平成26年度の成果は、以下の通りである。

(1)動画認識技術については、乳腺超音波検査において、超音波画像内の隣接する領域における乳腺組織のテクスチャ構造の変化を解析する手法およびその解析結果を活用した新たな病変検出手法を提案し、協力病院から提供された乳腺超音波画像から、腫瘍や診断の難易度の高い非腫瘍性病変を検出可能なことを示した。

(2)類似症例自動検索技術については、抽出した高次局所自己相関特徴とヒストグラム特徴量をベースにした手法を開発し、従来の輝度値だけの検索に比べ、潰瘍性大腸炎の内視鏡画像に対する検索精度が約20%向上することを確認した。

(3)支援情報の可視化・提示技術については、内視鏡画像の自動分類・類似画像検索の結果を表示するソフトウェアを試作した。操作画面の構成や表示すべき情報などに関して共同研究先の医師らの意見を参考に、開発中の支援システムの改良を進め、類似症例検索結果を提示する機能を追加した。

また、これら研究成果の実用化を目指した国内医療機関や医療機器メーカーとの共同研究に移行し、本研究開発の目標を達成することができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】医療画像、画像認識、動画画像認識、リアルタイム処理

【テーマ題目2】ポストペタスケール高性能計算技術の研究

【研究代表者】池上 努(サービスウェア研究グループ)

【研究担当者】池上 努、中田 秀基、高野 了成、竹房 あつ子、(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

現行のペタスケール計算機の後継として、エクサフロ

ップス規模の高性能計算機(スーパーコンピュータ)の研究開発が世界各国で進められている。エクサフロップス計算機ではシステム規模の増大に伴い、システムの一部で障害が発生する頻度が増大し、システムソフトウェアレベルで障害を隠蔽する従来型のアプローチには限界がある。このため、長時間に亘る大規模計算を遂行するには、アプリケーションレベルで明示的に障害に対応する必要があると考えられている。しかし障害発生時の例外処理に関わるコーディングは複雑かつ膨大な量になると予見され、その全てをアプリケーション側に記述するのは現実的ではない。

本研究開発は、システムソフトウェア・ミドルウェア・アプリケーションの三者が連携して耐障害性を実現する、新たな耐障害性モデルを確立することを目指すものである。障害発生時の例外処理の大半をシステムソフトウェアと連携したミドルウェア層で担うことで、耐障害性を備えかつスケーラブルなアプリケーションを迅速に開発可能な技術を創出する。また、階層的なプログラミングモデルを採用し、これに則った耐障害性モデルを提供することで、数千万演算コア×時間規模の大規模シミュレーションの開発を加速し、科学技術の発展に貢献する。基盤として用いるシステムソフトウェアには、高性能計算で広く用いられている MPI (Message Passing Interface) 標準規格に障害時の例外処理を追加した ULFM-MPI (User Level Failure Mitigation MPI) を採用し、既存のソフトウェア資産やプログラム経験を有効活用する。

計画3年目となる平成26年度は、前年度に開発した耐障害型プログラミングミドルウェア Falanx のベータ版を基に、実アプリケーションの開発を通じてその完成度を高めた。ベータ版に残されていた様々な制約を取り払い、プログラミングの自由度を大幅に向上させただけでなく、京速計算機など一般の高性能計算環境での利用を可能にするため、コードの変更なしに標準 MPI 環境でも動作する設定を新たに追加した。ミドルウェアは量子化学計算パッケージ OpenFMO に適用し、実証実験を通じて耐障害性の装備に伴うオーバーヘッドがほぼ無視できるレベルであることを確認した。また、ミドルウェアに装備された資源管理部分の多重化を図るため、分散ディレクトリサービス Zookeeper を用いた資源管理機構を試験的に実装し、外部のディレクトリサービスと協調動作可能であることを示した。実アプリケーションでの検証を終えたミドルウェアはドキュメントを整備し、Falanx バージョン1.0として正式に公開した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ポストペタスケール、高性能計算、プログラミングモデル、耐障害性

【テーマ題目3】公的データの LOD (Linked Open Data) 「化」と「利用」促進に関する研究

〔研究代表者〕 的野 晃整（データサイエンス研究グループ）

〔研究担当者〕 的野 晃整、中村 章人、  
Steven Lynden、小島 功  
（常勤職員4名）

#### 〔研究内容〕

多様かつ膨大なデータを2次利用できる形での発信・共有化は、データを活用したビジネスやイノベーションの創出に不可欠なものであり、G8でのオープンデータ憲章の採択や日本政府の閣議決定など国家レベルで推進されている。またコミュニティレベルにおいても、様々なコンテストや会議の開催、先進的自治体での積極的な取り組みなど、利用制限のないオープンデータへの期待は世界的潮流となっている。特に、オープンなデータ間でリンクを構築して連携する LOD (Linked Open Data) は、データの高度利用に不可欠なものとして注目されている。

本課題では LOD によるブレークスルーを達成するための技術を研究開発し、府省連携等での産総研によるオープンデータ主導への貢献を目的とした。LOD「化」と「利用」のポジティブスパイラルを実現するために、以下の研究開発項目を実施した。

①-A LOD「化」：カタログサーバの整備・公開・運用  
〔目標〕 産総研データへの到達性・一覧性を提供するために、RIODB およびデータバンク等産総研データのカタログサーバを整備する。

〔成果〕 産総研データを登録したカタログを整備したカタログサーバを所内 LAN 向けに試験的公開し、運用した

①-B LOD「化」：ガイドラインの策定

〔目標〕 レガシーデータを LOD に変換するガイドラインを作成する。平成25年度の LOD 変換の結果を元に、スキーマ設計、名寄せ、一貫性維持、版管理等の方法・ノウハウ・ワークフローを記載する。

〔成果〕 まず、平成25年度に産総研の代表的なデータである有機化合物のスペクトルデータベースシステム (SDBS) と地理系 DB であるシームレス地質図の凡例データを LOD 化した。さらに平成26年度は SDBS の第2版 LOD を作成した。これらのノウハウを元にガイドラインを作成した。

②-A LOD「利用」：基盤技術研究開発

〔目標〕 データ量や経路長・サイト数等に対するスケラビリティの高い検索を支援する基盤技術の研究開発を行う。

〔成果〕 研究開発として次の二つを行い、それぞれ国際会議で発表した。1) MapReduce を用いて、ディスク IO とネットワーク IO を減少することで LOD 検索に頻出する低選択な結合（入力が膨大だが、共通要素が非常に少ない）演算を効率化するアルゴリズム

2) 分散環境における SPARQL 問合せ処理を時間的制

約がある中でベストエフォートな解を求め、その信頼性を数値的に評価する手法

②-B LOD「利用」：アプリケーション開発

〔目標〕 産総研が有するオープンデータの LOD へ適用可能なアプリケーションを開発する。

〔成果〕 任意の LOD アプリケーションを容易に試作できるプラットフォーム「D'ownLOD」を開発した。LOD アプリケーション開発の煩雑で面倒な部分を動的に提供するため、アプリケーション開発者は SPARQL と HTML を書くだけで、即時実行可能な LOD アプリケーションをダウンロードすることができるものである。

これらの研究開発を通じて、既存のレガシーデータの LOD 変換をはじめ、カタログによる LOD の二次利用促進、大規模 LOD 検索処理、および LOD アプリケーションの開発が実現できるようになり、LOD「化」と「利用」の促進に貢献した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 LOD、オープンデータ、データ検索

〔テーマ題目4〕 機械学習による画像ビッグデータ解析

〔研究代表者〕 中村 良介

（ジオインフォマティクス研究グループ）

〔研究担当者〕 岩田 敏彰、神山 徹、小川 宏高、  
中田 秀基、岩田 健司（常勤職員5名）

#### 〔研究内容〕

ビッグデータ解析の対象は、従来のテキストよりも圧倒的にデータ量が大きい画像や各種センサデータに拡大しつつある。情報技術研究部門でも (i) 15年にわたって地球全域を観測している衛星センサ ASTER の全画像アーカイブ (ii) Landsat-8衛星が観測した日本全域の画像を受信後2時間以内に即時処理・配信するシステムを運用しており、(i) (ii) を合わせるとデータの総量は1PB、生成量は100Gbyte/day にも及ぶ。本研究開発では、こうした膨大な衛星画像を対象とし、機械学習によって画像上の地物・土地被覆およびその時間変動を高速かつ高精度で自動判定するシステム構築を目指す。本研究の具体的な研究開発内容と平成26年度の成果は以下のとおりである。

(1) 衛星画像からのリアルタイム変化情報抽出

衛星画像には幾何情報の誤差による位置ずれ、センサ感度の経年劣化といった問題がある。ASTER、Landsat-8に関するこうした問題を克服し、自動的に新規受信データと過去のアーカイブを比較することで、数日～15年におよぶ様々な時間スケールで、地球上の変化をすべて捉えることのできる自動変化検出アルゴリズムを完成させた。

(2) 機械学習による変化種別の自動判定システム開発

上記の項目(1)で検知された地表の変化に対応する高次地理空間情報を、機械学習を用いて自動的に獲得

するシステムを開発する。今年度はまず、特定の画像にうつっている特定の地物を認識するため(a)NPCH特徴量とサポートベクトルマシン(b)GPU上で動作するConvolution Neural Networkという2種類のアルゴリズム開発し、その性能を比較した。その結果、認識精度/計算速度とも(b)が圧倒的に優れていることが判明したため、次年度移行の開発は主にこの手法を用いてすすめる。

(3) 画像ビッグデータ解析向けミドルウェアの実装

膨大な衛星画像を対象として、変化の自動検知、変化種別の自動分類を実現するには、画像ビッグデータに対する高速なデータ処理・機械学習処理を備えた並列分散ミドルウェアが求められる。2013年度研究課題「ビッグデータの処理基盤構築技術に関する研究」で構築した処理基盤をベースとして時空間的な局所性の利用・データ圧縮等による変化検出処理の高速化、機械学習処理の高速化を達成した。

[分 野 名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ビッグデータ、大規模データ処理、機械学習

[テーマ題目5] ユーザ貢献活用型ソーシャルコンテンツ技術に関する研究

[研究代表者] 後藤 真孝 (メディアインタラクション研究グループ)

[研究担当者] 後藤 真孝、濱崎 雅弘、中野 倫靖、深山 覚、加藤 淳 (常勤職員5名)

[研究内容]

コンテンツを身近で手軽に活用、創造できる技術は、日本が目指すコンテンツ立国実現に不可欠であり、経済産業省技術戦略マップ2012、第4期科学技術基本計画でもその重要性が指摘されている。一方、従来の静的な理解技術では、膨大で動的に変化しソーシャル化するコンテンツを計算機が処理し、人々の利便性向上を図るには不十分である。そこで、ユーザからのフィードバック・貢献を活用する新技術の研究によりコンテンツの一層の活用を図ることを目指している。

ユーザに役立ちながら技術開発を進めるため、本研究では、ソーシャルコンテンツを対象としたユーザ貢献の収集+蓄積+再利用技術、ソーシャルコンテンツ理解技術及びインタラクション技術、ユーザが利用して我々の研究成果を体験できるWeb上のサービス創出等の研究開発を実施している。

平成26年度は以下の研究開発を行った。まず、Web上で一般公開している「音楽理解技術に基づいて楽曲の中身を自動解析する能動的音楽鑑賞サービス Songle」と「音楽コンテンツの関係性を可視化する音楽視聴支援サービス Songrium」の二つを拡張しながら、実証実験を継続した。Songleの拡張では外部連携の仕組みを強化して、関連するプレス発表を行った。Songriumの拡張で

はコンテンツの投稿歴史をブラウジングできる新たな機能を実現・公開した。

次に、複数ユーザが協調して検索クエリを作り込めるユーザ貢献活用型ソーシャルコンテンツ検索サービスQueryShareを開発し、音楽コンテンツに対する複雑なクエリとLinked Open Dataに対する複雑なSPARQLクエリの二つに対応させた。本サービスは、ユーザが作りこんだ貴重な「知的資源」である検索クエリを共有して活用する探索的な検索用インタフェースを提供する。これにより一般ユーザは、自分では作成困難な熟練ユーザによる複雑なクエリを使用でき、熟練ユーザも、クエリを再利用・洗練化できる。

[分 野 名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ソーシャルコンテンツ、音楽情報処理、歌声情報処理、メディアインタラクション

⑨【ナノエレクトロニクス研究部門】

(Nanoelectronics Research Institute)

(存続期間：2011.4.1～)

研究部門長：安田 哲二

副研究部門長：青柳 昌宏

首席研究員：富永 淳二、Kolobov Alexander

総括研究主幹：安藤 淳、中野 隆志、秋永 広幸

所在地：つくば中央第2、つくば中央第4、つくば西

人 員：51名 (51名)

経 費：1,440,774千円 (795,514千円)

概 要：

1. ミッション

ナノエレクトロニクスにおける我が国の産業競争力強化と新産業の創出を目指し、その源泉となるコア技術を開発することをミッションとする。ナノスケールデバイスの構造、材料、作製プロセス、設計、システム化、および、解析評価に関する技術蓄積を活かし、産総研第3期中期計画が掲げるグリーンイノベーション等に資するナノエレクトロニクス技術を創出する。研究成果の創出・蓄積に加えて、産総研内外との連携を推進し、社会ニーズや技術課題を的確に把握してその解を技術統合によりタイムリーに提供するオープンイノベーションハブ機能を発揮することを目指す。

2. 研究の方向性

IT機器とネットワークの普及に伴い、データの生成と蓄積が指数関数的に増加しており、情報処理に要する電力が総エネルギー需要の中で無視できない割合を占めつつある。また、大規模データの活用が様々な製品やサービスを生み出す鍵となりつつあり、

IT 機器やセンサ等に対する社会や市場の多様なニーズにタイムリーに 대응していくことが求められている。その一方で、微細化により進展してきた半導体技術は、技術的にも経済的にも限界に近付き、今後の高電力効率化や高性能化の要求に応えるために、様々な技術オプションを使いこなすことが求められるポストスケーリング世代が間近に迫っている。このような社会的および技術的背景のもと、当部門では、ポストスケーリング世代においても情報処理の低消費電力化と高性能化の継続を可能にする集積化技術や多様なニーズへの迅速な対応を可能にする設計・プロセス技術を中心に研究開発を進めた。より具体的には、戦略課題「シリコンナノデバイスの研究開発」においてシリコンをベースとした微細化技術（More Moore）を追求しつつ、More Than Moore の要素を含む戦略課題として、シリコンと新材料の融合により性能限界突破や新機能実現を狙う「新材料・新構造インテグレーションの研究開発」、及び、半導体に対するニーズの多様化へ対応する「半導体設計・製造技術の研究開発」を設定した。さらに、これらの3つの研究開発を支える計測技術に関する「ナノ計測エレクトロニクスの研究開発」、シリコン等の半導体と動作原理は異なるが集積化を追求する点で共通点のある「超伝導集積エレクトロニクスの研究開発」の課題を設定した。これら5つの戦略課題につき、以下に内容をまとめる。

### 3. 研究課題

#### (1) シリコンナノデバイスの研究開発

シリコン CMOS の更なる微細化を可能とする新規な材料、プロセスを開発し、それを基にした新機能、新原理シリコンナノデバイスの実現と集積回路化により低消費電力化を実現するべく研究を進めた。特に、微細 CMOS の主要デバイスである Fin 形トランジスタにおける素子特性ばらつき抑制や、トンネル効果などの動作原理を導入したトランジスタの開発を行なった。

#### (2) 新材料・新構造インテグレーションの研究開発

産総研オリジナルの超格子型相変化材料を用いた相変化 RAM に加えて、酸化物を用いた抵抗変化メモリや強誘電 FET-NAND メモリについて、実用化を目指して開発を推進した。超格子型相変化材料についてはトポロジカル絶縁体としての新物性や応用の開拓も進めた。微細化以外の手法による CMOS 性能向上を実現する等価スケーリング技術として、化合物半導体やゲルマニウムを用いた高移動度チャネル MOS トランジスタの研究を進めた。また、半導体加工技術を利用したフィールドエミッタアレイ等の新構造デバイスの開発にも取り組んだ。

#### (3) 半導体設計製造技術の研究開発

ユーザーニーズに合わせた変種変量製造システムと

して産総研が提唱するミニマルファブ技術について、賛同する企業をとりまとめた装置開発を進めた。半導体チップを積層した3次元 LSI について、熱マネジメント、チップ積層技術、積層計測評価技術の研究を行った。また、産総研が提案した省電力性において世界トップの Flex Power FPGA について、試作チップの開発・評価を行い、普及のためのボードを開発した。

#### (4) ナノ計測エレクトロニクスの研究開発

ナノスケールデバイスではそのデバイス特性が原子スケールの構造揺らぎに敏感になり、デバイス中の局所的な物性を原子スケールで計測・制御することが必要不可欠となる。共焦点ラマン分光法や走査プローブ顕微鏡技術等の測定技術と、物理モデルの新規構築・組み込みが可能な TCAD シミュレーションとの統合により、ナノスケール評価解析技術の高度化を進めた。

#### (5) 超伝導集積エレクトロニクスの研究開発

半導体デバイスや磁性体デバイスでは実現不可能な高精度・低雑音・高感度の計測を可能にする超伝導デバイスについて、産総研の超伝導デバイス集積化技術の強みを生かして、高感度低雑音センサ技術や次世代電圧標準デバイス技術の研究開発を行った。この研究開発を実施するためのプラットフォームとして、超伝導デジタル/アナログ集積回路作製の拠点（CRAVITY）を整備・運営し、国内外の研究機関との共同研究等を実施した。

外部資金：

エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費／平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業／共同施設相互利用によるナノエレクトロニクス、ナノ材料開発に関する研究

／次世代スマートデバイス開発プロジェクト/車載用障害物センシングデバイスの開発

／エネルギー・環境新技術先導プログラム/新材料/新構造メモリデバイス基盤技術の研究開発

／エネルギー・環境新技術先導プログラム/U LP センサモジュールの研究開発

戦略的創造研究推進事業（CREST）／極薄強誘電体膜の形成と機能デバイスの開発

戦略的創造研究推進事業（CREST）／カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製

戦略的創造研究推進事業 (CREST) / テラヘルツ検知用半導体ナノ素材・素子の研究

平成26年度原子力基礎基盤研究委託事業 / 超伝導転移端センサが切り拓く革新的原子力基盤計測技術

戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) / 遷移金属内包シリコンクラスターを用いた低消費電力トランジスタ材料・プロセスの創出

平成26年度科学技術試験研究委託事業 / 微細加工プラットフォーム

戦略的創造研究推進事業 (先端的低炭素化技術開発) [ALCA] / ナノ Si 熱電材料の実現のための材料設計指針の探索

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業 (委託) / 超小型電子光学系と異形小型高真空ポンプを内蔵した小型・低価格な測長用電子顕微鏡 (CD-SEM) の開発

戦略的創造研究推進事業 (先端的低炭素化技術開発) [ALCA] / 微小ジョセフソン接合の開発と超伝導集積回路の高度化

新学術領域研究 / ナノギャップ電極を用いた分子 ReRAM の創成

研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 探索タイプ】 / 超高速 CPU 開発に向けた高品質シリコンゲルマニウム結晶基板製造の研究

研究活動スタート支援 / 超格子相変化薄膜の基礎的研究と電子デバイスへの応用

研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) ハイリスク挑戦タイプ (復興促進型)】 / 高機能部品内蔵インターポーザの実現に向けた超高密度部品実装技術の開発

基盤研究 (C) / 次世代高移動度チャネル材料向け全窒化膜ゲートスタック技術の研究

研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) ハイリスク挑戦タイプ (復興促進型)】 / 集光加熱法によるアスベストその場溶解無害化装置開発

挑戦的萌芽研究 / 原子層シリサイド半導体を用いたドーピング制御

基盤研究 (B) / 決定論的ドーピング法による量子物性制御

戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】「革新的構造材料」 / 微細加工施設及び陽電子施設を中心とした先端計測技術開発と拠点形成

基盤研究 (B) / ジョソン雑音温度計のための集積型量子電圧雑音源

研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) シーズ顕在化タイプ】 / Si 貫通電極ウェーハの超平坦・超洗浄・薄化技術の開発と装置化

基盤研究 (A) / III - V 族 p チャネル MOSFET のための価電子帯エンジニアリングと界面双極子制御

基盤研究 (B) / テラヘルツ対応 CMOS-FinFET を用いた低コストセキュリティ技術の確立

平成26年度原子力基礎基盤研究委託事業 / 微小真空冷陰極アレイを用いた高い放射線耐性を持つ小型軽量撮像素子の開発

基盤研究 (C) / 低温走査トンネル顕微鏡による単一ドーパント原子の電界誘起イオン化ダイナミクス観察

基盤研究 (B) / トポロジカル絶縁体によるアレイ型テラヘルツイメージングデバイスの開発

先端計測分析技術・機器開発プログラム / 超伝導検出器を用いた分析電子顕微鏡の開発

挑戦的萌芽研究 / 2次元層状薄膜を用いた励起子レーザの開発

平成26年度科学技術試験研究委託事業 / 相変化記録膜材料の X 線回折プローブによる格子ダイナミクス / ② 時間分解 XANES システムの試作と相変化記録膜材料への応用

特別研究員奨励費 / 3次元 LSI デバイス積層システムにおける放熱を考慮した LSI デバイス設計技術の研究

基盤研究 (S) / 熱力学的極限に挑む断熱モード磁束量子プロセッサの研究

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業 (再委託) / 角形チップ用フォトリソ塗布装置・現像装置の開発

基盤研究 (S) / シリコンナノ構造を基盤としたドーパ



ト原子デバイスの開発

基盤研究(S)／百万画素サブミクロン分解能中性子ラジ  
オグラフィのための固体超伝導検出器システム

基盤研究(B)／超伝導光検出器を用いた液体ヘリウム  
TPCの開発と軽い暗黒物質の探索

基盤研究(B)／変調ドーブと結晶粒径極微制御による高  
移動度・低熱伝導率ナノシリコン熱電材料の創成

基盤研究(B)／MEMS技術を用いた300GHz帯  
FW-TWTの開発

基盤研究(C)／心血管疾患リハビリ研究に資する血液の  
マイクロ流動性特性評価に関する研究

基盤研究(B)／固体ゲート絶縁体を利用した電界効果に  
よる強相関酸化物の電子相制御

基盤研究(A)／大規模SSPDアレイによるシングルフォ  
トンイメージング技術の創出

発表：誌上発表210件、口頭発表275件、その他17件

### シリコンナノデバイスグループ

(Silicon Nanoscale Devices Group)

研究グループ長：昌原 明植

(つくば中央第2)

概要：

IT社会はますます拡大の一途をたどっているが、それをハードウェアの面で支えるのは、今後もシリコン集積回路であることは間違いない。安全・安心なIT社会の持続的な発展には、シリコン集積回路の更なる高性能化と低電力化が不可欠である。我々は、ユビキタス情報ネットワークの中核となる高性能かつ低消費電力なシリコンナノデバイスを実現するための基盤技術を開発し、我が国のIT社会と半導体産業に寄与することを目指している。これまで、半導体の高性能化は、微細化によって進められてきた。しかしながら、微細化に伴う諸問題により、更なる高性能化が極めて困難になってきている。我々は、産総研発立体チャネルデバイス技術を基に、その障壁を打開し得る新規なシリコンナノデバイスの研究開発を進めている。10nm以細のデバイスとしてはFinFETや接合レスFET、そして、それらデバイス技術と新規な材料技術を融合した革新的回路技術、また、通常のCMOSでは成し得ない極めて低消費電力な新原理シリコンナノデバイスの開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目11

### 新材料・機能インテグレーショングループ

(New Materials and Devices Integration Group)

研究グループ長：宮田 典幸

(つくば中央第4)

概要：

高度情報社会を支える半導体エレクトロニクスは、半導体素子の微細化技術をテクノロジドライバとして発展してきた。微細化が物理的限界に近づきつつある一方で、エレクトロニクスに対する社会からの要請は益々高度かつ多様なものとなっている。このような状況に応じたイノベーションにおいて、ポストシリコン材料と呼ばれる新規半導体材料の導入や新機能デバイスとの融合が有効な手段であると期待されている。当グループでは、グリーン・ライフイノベーションにつながる電子デバイスの高性能化、低消費電力化、及び、新機能・多機能化を目指しており、主に下記の3研究課題を推進している。(1)化合物半導体やゲルマニウムの高移動度チャネルを用いた高性能トランジスタ技術、およびシリコンウエハ上への異種材料・デバイス集積化技術による高機能ハイブリッドデバイスの研究開発。(2)半導体加工技術により実現される小型フィールドエミッタアレイ(FEA)や新規酸化物半導体を利用したイメージング素子の研究開発。(3)強誘電体材料を利用したNANDフラッシュメモリに替わる高性能不揮発メモリの研究開発。以上の研究テーマに加え、絶縁膜/半導体界面の基礎物性・評価などの基盤的要素研究や、半導体技術を活用した新規応用分野の探索にも力を入れている。

研究テーマ：テーマ題目2、カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製、超高速CPU開発に向けた高品質シリコンゲルマニウム結晶基板製造の研究、微小真空冷陰極アレイを用いた高い放射線耐性を持つ小型軽量撮像素子の開発、次世代高移動度チャネル材料向け全窒化膜ゲートスタック技術の研究、III-V族pチャネルMOSFETのための価電子帯エンジニアリングと界面双極子制御、2次元層状薄膜を用いた励起子レーザの開発、MEMS技術を用いた300GHz帯FW-TWTの開発

### 相転移新機能デバイスグループ

(Functional Phase-change Device Group)

研究グループ長：中野 隆志

(つくば中央第4)

概要：

相変化材料を用いた不揮発メモリである相変化メモリ[PCM]は、高集積度や多値記録といった面で利点があることで開発が進められ、実用化が始まっている。

しかし、これまでの PCM は結晶-アモルファスの相変化を記録に使うため、大きなエネルギーを必要とし、比較的消費電力が大きいことが産業展開において課題となっている。

一方、産総研が主体となって研究開発を進めている超格子型の相変化材料は、原子の配位数の変化のみの相転移であるため、相転移に必要なエネルギーが通常の合金型の1/10以下であり、高速動作可能な特長を持っている。そのため、この超格子型材料による iPCM と名付けた超省電力不揮発メモリの開発が、現在、産学官共同で勢力的に進められている。

また、この超格子型の相変化材料は、室温でトポロジカル絶縁体の特性を示すことが明らかとなり、超巨大磁気抵抗変化、スピンメモリ機能、鏡面对称な磁気 Kerr ヒステリシスといった現象や、ナローバンドギャップの半導体としての特性によるテラヘルツ帯域での興味深い特性が発見されている。

当グループでは、提案している iPCM のさらなる省電力化等の開発を進めると共に、このような新しい機能が期待される相転移（結晶-アモルファス相変化、結晶-結晶相変化、トポロジカル相転移、等）を用いた新機能デバイスの研究開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目15

### 3D 集積システムグループ

(3D Interconnection System Research Group)

研究グループ長：青柳 昌宏

(つくば中央第2)

概要：

3次元 LSI 積層実装技術を活用した超並列バス・マルチコアアーキテクチャーと高熱伝導構造の採用による低消費電力 LSI 実装システムの開発に取り組む。平成26年度は、昨年度に引き続き、高度な並列処理を目指した超並列バス・マルチコアアーキテクチャーとヒートスプレッド放熱構造により高密度デバイス集積を具現化できる3次元 LSI 積層実装をコア技術とした低消費電力 LSI 実装システムの開発を進めた。特に、高密度微細バンパ接続技術、3次元積層 LSI デバイス量産製造基盤技術、3次元 LSI 熱電気協調設計技術などの研究を進めた。具体的には、微細バンパ接続技術の実用化に向けた、フリップチップ接続用微細円錐バンパ形状検査技術の開発、および、3次元積層 LSI デバイスの量産製造基盤技術確立に向けた Si 貫通電極 (TSV) 形成技術、Si ウェハ薄型加工技術などの要素技術開発を進めた。さらに、要素技術を統合して、実用レベルの応用技術として、高熱伝導放熱層による積層構造の熱拡散技術、3次元 LSI 熱電気協調設計技術などの開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目4

エレクトロインフォマティクスグループ

(Electroinformatics Group)

研究グループ長：小池 帆平

(つくば中央第2)

概要：

エレクトロインフォマティクスグループは、エレクトロニクス技術が提供するシーズと情報処理技術からのニーズとを垂直統合的に分野融合させ、新たな付加価値を有し新規市場開拓が可能な未知の電子情報技術を創出することによって、新型デバイス研究開発に於ける「死の谷」を乗り越える方法論を確立し、実践することを目指して設立された研究グループである。

新しいタイプのデバイスを実用化へとつなげていくには、デバイス単体の研究だけでは不十分である。新たな回路技術の発案、回路シミュレーションの実現、キラーアプリケーションの提示など、広範な分野にまたがる技術を総合していくことで、はじめて新型デバイス研究開発の「死の谷」を乗り越えることが可能となる。そこで当グループでは、産総研で発明された XMOS トランジスタを用いた回路設計を支援するために、XMOS デバイスモデルの開発を進めてきており、その成果は国内外の回路設計者に利用されている。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) の電力消費問題を解決して XMOS トランジスタのキラーアプリケーションとなることを目指して、しきい値電圧をプログラム可能な Flex Power FPGA の開発を進め、一連の試作チップと専用の CAD ソフトウェア群の開発を通じて、消費電力削減効果の確認に成功してきた。平成24年度からは LEAP プロジェクトに参加して、SOTB (Silicon on Thin BOX) トランジスタを用いた Super Flex Power FPGA 試作チップの開発を進め、大幅な性能改善の確認に成功するとともに、LEAP での原子スイッチ素子を応用した FPGA 開発への協力等を行っている。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目17

### ミニマルシステムグループ

(Minimal System Group)

研究グループ長：原 史朗

(つくば中央第2)

概要：

低コスト集積回路製造の究極の姿は、ルームサイズのファクトリーである。それぞれの製造装置は1フィート立方程度の大きさとなる。この新しい産業システム構築構想を「ミニマルファブ構想」と名付け、2010年1月にファブシステム研究会（設立時：企業16社2大学、本報告執筆時点：109社11大学3特許事務所5公的機関）を立ち上げ、構想実現のための技術開発を進めている。ミニマルファブは、現行300mm ウェハと比較しておおよそ面積が1/1,000のハーフインチュエハ（正確には直径12.5mm）を用いることで、装置サイ

ズを幅30cmまで縮小し、これによって設備投資額も1/1,000の5億円程度まで抑える最小単位の半導体デバイス生産システムである。

研究会企業、そして2012年に設立したミニマルファブ技術研究組合とともに産総研を中核としてミニマルファブの開発を進めている。本グループのミッションは、その開発全体を統括し開発をリードすること、ミニマルファブの共通コア技術であるウェハ搬送系の開発を行うこと、ミニマルファブに関する様々な要素の仕様決定を推進すること、開発装置群を用いたデバイスを試作することなどである。本年度は、昨年度開発した前工程装置群を用いて、CMOSインバータの試作を実現し、その電気的動作を確認した。また、CVDやイオン注入など周辺装置群、及びパッケージ装置群の開発を進めた。今後、これらミニマル装置群の実用化へ向けた改良と他のミニマルプロセス装置群の実用化開発を進めて行く。

研究テーマ：テーマ題目6

#### ナノスケール計測・プロセス技術研究グループ (Nanoscale Characterization and Processing Research Group)

研究グループ長：多田 哲也

(つくば中央第4)

概要：

現代社会を支えるIT機器の性能向上は、CMOS LSIの進化に支えられている。そのため、LSIを構成するトランジスタ寸法の縮小（微細化）による高集積化による性能向上、動作電圧を下げることによる低消費電力化等の技術開発が精力的に行われている。しかしながら、従来の延長線上にあるSiトランジスタでは性能向上に限界があり、FinFETのような立体構造デバイス、新たな材料を用いたデバイスの研究開発が行われている。

これら微細化されたデバイスの特性は、ナノスケールの構造揺らぎに敏感に影響されるようになり、その設計や作製が困難になる。したがって、ナノレベルの空間分解能で、形状や構造、構成材料の組成やポテンシャル分布、デバイス動作に影響を与える熱特性や応力分布を測定・評価する方法を確立することは、極めて重要である。

当研究グループは、これらのことを踏まえ、ナノデバイスにおけるラマン散乱分光法による局所ひずみの評価解析技術、フォノン・熱特性測定評価技術、走査プローブ顕微鏡（SPM）を用いたポテンシャル分布の計測・評価技術、テクノロジーCAD（TCAD）の研究開発、ヘリウムイオン顕微鏡を用いたナノスケール加工・観察技術の研究開発を行っている。また、これら計測評価技術と密接に連携して、原子スケールで材料制御を行い、新たなデバイス材料・熱電材料の開発を

行っている。

研究テーマ：テーマ題目7、テーマ題目12

#### 超伝導計測デバイスグループ

(Superconducting Sensors and Circuits Group)

研究グループ長：神代 暁

(つくば中央第2)

概要：

科学技術・産業技術に関わるあらゆる分野で重要性が認識される計測と、その信頼性を保証する計量標準の発展に資するため、半導体や磁性体等、他の素材では実現不可能な高精度計測・低雑音計測を実現する超伝導デバイス、およびそれを中核とする計測器を開発し、産業発展に不可欠な基盤技術と分析評価技術や、国民の健康や安全・安心な生活に資する技術の拡充を目指した研究を行っている。また、通信・情報処理を含む広汎な応用において、日本の超伝導エレクトロニクス研究の土台を支えるため、共同研究機関に頒布できる良好な特性と制御性・再現性に富むニオブ(Nb)・窒化ニオブ(NbN)ベースの超伝導デバイス・集積回路をCRAVITY(Clean Room for Analog digital superconductiVITY)で作製するための技術の維持・発展に必要な研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目8、テーマ題目14

#### エマージングデバイスグループ (Emerging Device Group)

研究グループ長：秋永 広幸

(つくば中央第2)

概要：

「新しい研究分野あるいは研究概念を創造し、将来のナノエレクトロニクス技術の発展方向を明確な科学的根拠を以て社会に提示すること」、「研究及び開発の成果を社会に実装する駆動力となること」が本グループの長期目標である。機能性酸化物を主たる研究対象とし、それらの物質をナノ構造化、あるいは異種材料の界面を原子レベルで精密に接合することによって、合目的に設計されたデバイス機能の発現と制御を可能としたナノデバイスの開発成功例を積み上げていくことを本グループの活動指針としている。さらに、目標達成に際し、「新機能・高機能」、「省エネ・省資源」、そして「高生産性・低コスト」の3つの性能指標を相反させないことをガイドラインとしている。

また、産総研が社会と共有するイノベーション創造の場として、当グループではAISTナノプロセッシング施設(Nano Processing Facility: NPF)を運営している。NPFでは、産学官、様々な産業分野、様々な研究開発フェーズを担う人材のアイデア実現を機動的に加速し、異分野融合や創発的研究開発を推進する協創場の構築を中長期的な目標としている。

研究テーマ：テーマ題目9、テーマ題目10

-----  
**【テーマ題目1】シリコンナノパイプの研究開発**

**【研究代表者】** 昌原 明植（シリコンナノデバイスグループ）

**【研究担当者】** 昌原 明植、遠藤 和彦、柳 永勲、  
松川 貴、大内 真一、塚田 順一  
（常勤職員5名、他1名）

**【研究内容】**

半導体の微細化が進むにつれて最初に動作限界の危機に直面すると考えられている半導体メモリ SRAM（Static Random Access Memory）の技術課題解決を目指している。

素子技術として、微細化に伴う短チャネル効果に強い Fin 形状チャネルを有するトランジスタ（FinFET）の特性ばらつき低減技術を開発している。これまでに、仕事関数ばらつきを抑制した TaSiN 非晶質金属ゲートを用いることで、FinFET の特性ばらつきを顕著に低減できることを発見している。本年度はさらに、システム LSI（SoC）に必要な複数種のしきい値を実現するために、薄い埋め込み酸化膜を持つ SOI 基板（SOTB）を活用した低ばらつき SOTB（Silicon on Thin-Burried Oxide）-FinFET の開発を行った。これにより、fin チャネルのドーピングによる方法と比べ、ばらつき劣化が格段に小さいしきい値調整が可能となった。さらに、TaSiN 非晶質金属の組成の制御を試み、幅広い組成の範囲で非晶質構造が得られ、これにより低ばらつき性を損なわずにしきい値の調整が可能であることが示された。

特性ばらつきの低減は、デジタル回路のスケーリングには有効であるが、同様に SoC に含まれるアナログ回路においては低周波ノイズがスケーリングの障害となっている。一般に用いられている多結晶金属ゲートと TaSiN 非晶質金属ゲートを比較して、FinFET の低周波ノイズの解析を行った。その結果、非晶質金属ゲートにより低周波ノイズレベルは大幅に低下し、素子ごとのノイズレベルのばらつきも抑制されることが明らかになった。ノイズの原因となる界面トラップの密度は、多結晶金属と非晶質金属ゲートで大きな違いは無く、非晶質金属ゲートによる仕事関数ばらつき抑制がノイズレベルの低下に貢献していると考えられる。また、3次元デバイスシミュレーションにより、多結晶金属ゲートによりもたらされる不均一な仕事関数がノイズ振幅を増大させるメカニズムも明らかにした。非晶質金属ゲートの FinFET により実現するノイズレベルは、バルクプレーナ形で報告されている値に比べ格段に小さく、この技術がアナログ回路のスケーリングにも有効であることが示された。

SRAM 回路技術として、短チャネル効果に強い Fin 形状チャネルを有するトランジスタ（FinFET）を用いて、しかも2つの独立ゲートを付与した新構造トランジスタ（4端子 FinFET）を用いた新しい SRAM セル

（Flex-Pass-Gate SRAM）を開発している。FinFET に非晶質金属ゲートを導入することにより、素子の特性ばらつきを世界最小レベルまで低減できること明らかにしており、非晶質金属ゲートを導入した Flex-Pass-Gate SRAM を用いると、14nm 世代以降に微細化をしても十分な雑音耐性を維持できることを明らかにした。

また、アナログ回路の極低消費電力化、高性能化、低コスト化を目指し、4端子 FinFET アナログ回路の開発にも取り組んでいる。これまでに、4端子 FinFET が導入された新型低電圧演算増幅器及び比較器を試作し、動作を確認した。今年度は、本回路の適用範囲拡大可能性の実証を目的とし、SOTB 構造を用いた平面型 SOI トランジスタでの実装検討を行った。試作・評価の結果、提案型回路の0.8V 動作の実証に成功した。試作した回路は、平面型プロセスにも適用可能であり、より汎用性の高いトランジスタにおけるロジック・アナログ混載型集積回路にも適用可能であることが示された。

**【分野名】** 情報通信・エレクトロニクス

**【キーワード】** ダブルゲートトランジスタ、FinFET、SRAM、メモリ、集積回路、しきい値、低電圧動作、システムオンチップ（SoC）

**【テーマ題目2】新材料・新構造インテグレーションの研究開発**

**【研究代表者】** 宮田 典幸（新材料・機能インテグレーショングループ）

**【研究担当者】** 宮田 典幸、清水 貴思、板谷 太郎、  
前田 辰郎、長尾 昌善、高橋 光恵、  
吉田 知也、森 貴洋、酒井 滋樹、  
大崎 壽、小倉 睦郎、Zhang Wei、  
久米 英司、石井 裕之、Hai Van Le、  
服部 浩之、吉田 智一、吉澤 俊一、  
政岡 文平、椎野 あすか、  
大塚 ひとみ、村井 博信、後藤 高寛  
（常勤職員8名、他15名）

**【研究内容】**

グリーン・ライフイノベーションなどの新成長戦略において、半導体エレクトロニクスへの要求は益々高まっており、さらなる高性能、高機能・多機能、低消費電力化に向けた取り組みが必要となっている。一方、半導体素子のテクノロジードライバであった微細化技術は物理的限界に近づきつつあり、新たなブースター技術としてポストシリコン材料や新機能デバイスとの融合が期待されている。本研究では、微細化以外の電子デバイス技術として、(1)異種材料・デバイス集積化（インテグレーション）技術による CMOS 高性能化と高機能ハイブリッドデバイス、(2)半導体加工技術で作製される小型フィールドエミッタアレイ（FEA）を利用した撮像素子、(3)強誘電体材料を利用した新規不揮発メモリに関する研究開発を行っている。(1)異種材料・デバイス インテグレ

ーションでは、高移動度チャネルや高誘電率ゲート絶縁膜を用いた MOSFET 技術、さらに異種材料やデバイスのインテグレーション技術を開発し、集積回路やアナログ回路の低消費電力・高性能化を目標としている。本年度は、はり合わせ技術を用いて絶縁膜上に微細チャネル（ $\sim 30\text{nm}$ ）を有する InGaAs-nMOSFET と SiGe-pMOSFET の三次元集積構造を試作し、両デバイスの動作実証に成功するとともに、CMOS リングオシレーター回路の低電圧動作（電源電圧0.37 V）にも成功した。(2)新規撮像素子の研究では、産総研が有する小型フィールドエミッタアレイ（FEA）技術の新規応用展開として社会的要請の高い原子炉などの耐放射線小型軽量撮像素子のための要素技術開発を進めている。本年度は、読み取り素子である FEA の微細化と独自のビーム集束技術の開発を進め、1画素 $150\mu\text{m}$ のビーム集束性能を達成した。(3)強誘電体不揮発メモリの研究開発では、NAND フラッシュメモリに替わる新規不揮発メモリとして、強誘電体トランジスタ（FeFET）の開発を進めている。本年度は、従来の SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>（SBT）強誘電体膜に代え、新たに Sr<sub>1-x</sub>CaxBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>（SCBT）を用いた強誘電体ゲート電界効果トランジスタ（FeFET）の微細デバイスの試作を進めた。リソグラフィ、エッチング、アニール条件等の適正化により金属ゲート長 $100\text{nm}$ の FeFET の作製と動作実証に成功した。以上の主要3課題に加え、新材料・機能インテグレーションのための要素技術開発や機構解明・原理追求を行っており、本年度は、CMOS 用の高移動度チャネル材料として注目されている GaSb MOS 界面準位の原因解明が進展しており、今後、高性能な GaSb MOSFET の開発に繋がると期待される。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】MOSFET、III-V 族化合物半導体、集積化、撮像素子、フィールドエミッタ、不揮発メモリ、強誘電体

【テーマ題目3】相転移新機能デバイスの研究開発

【研究代表者】中野 隆志（相転移新機能デバイスグループ）

【研究担当者】中野 隆志、Paul Fons、齊藤 雄太、富永 淳二、Alexander Kolobov、王 曉民、牧野 孝太郎、Mitrofanov Kirill、近藤 礼子（常勤職員5名、他4名）

【研究内容】

書換型の光ディスクの実用化に利用された相変化材料は、現在、結晶-アモルファスの相転移による抵抗値変化を情報記録に利用した相変化メモリ [PCM]（固体メモリ、不揮発）としての研究開発が進められている。この相変化材料には様々な種類があるが、その相変化が生じる過程や、材料構成自体にも興味深い特性がある。特

に、構成材料を原子層で制御した超格子構造を実現することで、原子の配位数の変化による相転移のスイッチングが可能となり、相変化メモリとした場合に低消費電力化や、高速スイッチングが実現できることが分かってきている。また、この超格子型の相変化材料は、室温でトポロジカル絶縁体の特性を示すことが明らかとなり、磁気特性やナローバンド半導体としての特性を用いた新機能デバイスの創成が期待されている。

H26年度は、iPCM が GeTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>超格子で0.15V 動作の実証や SiTe/Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>といった新規材料の開発が進んだことで、これらの超格子構造が示した常温でのトポロジカル絶縁体特性をより積極的に利用したトポロジカルスイッチング RAM (TRAM) の産業化に向けた開発を産学官連携して進めた。

また、このトポロジカル絶縁体特性の利用した新機能スピンドバイスの研究開発に向けて、第一原理計算による詳細なバンド計算の解析を進めると共に、ホール効果測定や光磁気 Kerr 効果の測定を行い、スピンによる磁気特性を確認した。特に、光磁気 Kerr 効果の測定では、[(GeTe)<sub>2</sub>(Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)<sub>1</sub>]<sub>n</sub>系超格子が440Kの SET 状態（高温相）で、外部磁場の増減によって、磁場の極性に対して鏡面对称なカー回転が観測された。これは、(GeTe)<sub>2</sub>層内の -Te-Ge-Ge-Te-の空間反転対称が壊れ、-Te-Ge-Te-Ge-になることによる、Ge-Te の結合長の変化によって発現すると考えられることが判明した。今後、外部磁場による時間反転対称破壊を用いたスイッチング（相転移）制御について検討を継続する。

超格子型相変化材料が持つナローバンドギャップ特性を利用したテラヘルツ波検出デバイスの開発では、超格子材料のテラヘルツ波に対する特性評価を進めるとともに、テストデバイスを作製し、テラヘルツ波入射における超格子材料の抵抗変化を常温で検出することに成功した。今後、テラヘルツ波検出の感度や高速応答性についての評価を進める。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】相転移、トポロジカル絶縁体、ナローギャップ半導体、不揮発メモリ、テラヘルツ波、スピントロニクス

【テーマ題目4】三次元 LSI デバイス積層実装技術の研究開発

【研究代表者】青柳 昌宏（3D 集積システムグループ）

【研究担当者】青柳 昌宏、菊地 克弥、渡辺 直也、馮 ウェイ、メラムド サムソン、ブイ トウン、荒賀 佑樹、島本 晴夫、根本 俊介、井川 登、橋野 健、馬 菜娜（常勤職員4名、他8名）

【研究内容】

本研究では、高品質・高機能な3次元 LSI デバイス積層実装プロセスを実用レベルで実現することを目指して

様々な要素技術の開発を行っている。

Si 貫通電極 (TSV) 構造を形成した LSI デバイスを積層化するため、加工後の厚さを精密に制御した Si 基板の薄型加工プロセスを開発する必要がある。従来のプロセスフローでは、研削、CMP、ドライエッチングなど複数工程を組み合わせ、厚さのバラツキを抑え込んでいたのに対して、高コストの CMP、ドライエッチング工程を削減した、研削と化学エッチングによる Si 基板薄型化プロセスの開発を進めた。

平成26年度は、高圧ジェット洗浄を伴う研削工程とアルカリエッチングによるダメージ層の除去工程を組み合わせ、Si 基板薄型化プロセスを開発し、TSV の Cu 電極露出工程への適用を試みて、実用レベルの低残留 Cu 濃度を確認した。

ミニマルファブ仕様の3次元 LSI デバイス製造プロセスラインにおいて品質確保に不可欠な測長用電子顕微鏡 (CD-SEM) の開発を行った。

平成26年度は、昨年度に開発した熱電界放出型超小型電子光学系と SIP 機能、異形小型真空ポンプに対して、精密真空ステージを追加して、超小型 CD-SEM 装置を組み上げ、高解像 SEM 画像の取得に成功した。

3次元 LSI 積層体を搭載する実装基板として必要不可欠な部品内蔵基板について、部品間0.1mm で超高密度部品実装する技術、部品内蔵インターポーザの電源ノイズ低減評価技術の開発を行った。

平成26年度は、10~20mm 角の回路基板内に0.1mm 以下の狭間隔で100~500個の0402型微小チップ部品を実装した部品内蔵回路基板について、試作した評価基板を用いて、電気特性評価、信頼性試験などを進めて、実用レベルの製造条件、設計ガイドラインを求めた。

積層化を想定した3次元 LSI デバイス設計技術として、動作時の LSI デバイスからの発熱による積層後のデバイス内の温度分布を解析しながら、放熱を考慮した LSI レイアウト設計を実施できる3次元 LSI 熱電気協調設計環境の構築を進めた。

平成26年度は、熱電気協調解析手法を用いた、3次元積層対応 LSI 設計フローを確立し、3次元積層バスインターフェース回路の実用設計ガイドラインを策定した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】3次元 LSI 積層、薄型化、Si 貫通電極 (TSV)、放熱、積層インターフェース

【テーマ題目5】低消費電力 FPGA チップの研究開発

【研究代表者】小池 帆平 (エレクトロインフォマティクスグループ)

【研究担当者】小池 帆平、日置 雅和、小笠原 泰弘、石垣 隼人、堤 利幸、中川 格、関川 敏弘 (常勤職員3名、他4名)

【研究内容】

Microsoft 社の検索エンジンサーバーへの搭載や、

Intel 社による Altera 社の大規模買収にも見られるように、FPGA (Field Programmable Gate Array) の重要性がより一層高まる中、その大きな問題点の一つとして静的消費電力の大きさが挙げられている。我々は、FPGA の静的消費電力を大幅に削減可能とする技術として、ボディバイアス手法を用いて、マップされる応用回路に応じたしきい値電圧のきめ細かな最適化を、ルックアップテーブル、マルチプレクサなどの FPGA 要素回路単位の細粒度で実現する、Flex Power FPGA の研究を進めてきた。

NEDO/LEAP プロジェクトで開発された SOTB (Silicon on Thin BOX) トランジスタは、その優秀なしきい値制御性と特性ばらつきの少ない低電圧動作能力ゆえに、Flex Power FPGA の実現に最適なデバイスと考えられたことから、近年は、SOTB トランジスタを用いた Super Flex Power FPGA 試作チップの開発に力を入れてきており、これまでに開発した最初の試作チップにより、静的消費電力を1/51に削減できる、際立って高い静的消費電力削減能力を実証してきた。

今年度は、低電圧動作可能な2つ目の試作チップの評価、面積オーバーヘッド削減手法を盛り込んだ3つ目の試作チップの開発、実際に評価ボードに搭載し、ユーザーによる実用レベルの評価を可能とすることを目標とした、4つ目の試作チップと評価ボードの開発と、実用化へ向けての改良を段階的に進めた。

まず、0.4V での低電圧動作を可能な2つ目の試作チップを用いて、低電圧動作としきい値最適化を組み合わせることにより、単位処理あたりの動作エネルギーを1/13に削減可能であること、したがって、Flex Power FPGA 技術は FPGA の低電圧最小エネルギー動作に必須であることを実証した。この成果を国際学会で発表し、ベストペーパー賞を受賞した。

次に、実用化に向けての大きな障害となっていた面積オーバーヘッドの削減手法として、チップ製造者が指定するウェル分離設計ルールを見直す TEG の評価を行ない、Flex Power FPGA チップの動作条件に適合した、独自の設計ルールを見いだした。更に、バイアス制御回路の見直しによる面積の縮小もあわせることによりタイル面積を半減させ、搭載タイル数を2.25倍に増大させた試作チップを開発し、動作を確認した。

次に、これまでの論文データ収集を目標とした実験チップ開発から脱却し、評価ボード搭載を目標とした、新たな改良版試作チップの開発を行なった。このチップの特徴は、チップ規模の拡大にあわせてタイル間配線能力を強化した改良されたタイルアーキテクチャを有すること、実用開発において不可欠となるブロック RAM を搭載したこと、これまでに達成されてきた低エネルギー動作において新たにネックとして浮上したクロック分配網の動的消費エネルギーを削減するために、回路構成データをもとに自動的にクロックゲーティングを行なう機

能を盛り込んだことである。

さらに、この改良版試作チップを搭載した評価ボード AISTino を開発した。AISTino は、近年幅広く普及が進んでいる小型 CPU ボード Arduino と、基板サイズ、ピン配置、信号仕様などの互換性を持たせることにより、極めて多くの種類が市場に出回っている Arduino 用の周辺ペリフェラルボード（シールド）を自由に活用することが可能となるとともに、AISTino 自身を Arduino 用のアクセラレータシールドとして動作させることも可能であり、ユーザーが AISTino を用いた応用システムを容易に開発することが可能となっている。また、リチウムポリマー電池制御回路を搭載することにより、チップの低エネルギー動作能力を活かした長時間の電池動作が可能となっている。さらに、Flex Power FPGA 用ソフトウェアツールによって生成された回路構成データは、市販の FPGA チップに見られるような特殊な専用データ書き込みケーブルを必要とすることなく、パソコンの USB インタフェスを通じて容易かつ手軽に転送できるように作られている。

年度末までに、機能拡張された改良版 Super Flex Power FPGA チップの開発と、このチップを搭載し、ユーザーが容易に Flex Power FPGA を評価可能な評価ボード AISTino の開発を完了し、目標通りに動作することが確認できている。今後は、ソフトウェアツールの対応を進めて行く予定である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】低消費電力 FPGA、SOTB、Arduino

【テーマ題目6】シリコンファブ装置群の研究開発

【研究代表者】原 史朗（ミニマルシステムグループ）

【研究担当者】原 史朗、前川 仁、池田 伸一、クンプアン ソマワン、石田 夕起、昌原 明植、遠藤 和彦、松川 貴、青柳 昌宏、渡辺 直也、神代 暁、山森 弘毅、中野 禪、小木曾 久人、岡崎 祐一、増井 慶次郎、清水 禎樹、大平 俊行、鈴木 良一、伊藤 寿浩、高木 秀樹、銘荊 春隆、鈴木 章夫、前田 龍太郎、宮下 和雄、松本 光崇、秋永 広幸、鋤塚 治彦、金高 健二、鹿田 真一、行村 健、猿渡 新水、今岡 和典、石川 浩、井上 道弘、飯田 健次郎（常勤職員31名、他5名）

【研究内容】

集積回路製造工場（半導体ファブ）では、設備投資の巨大化で採算性が悪化し新規参入が困難になり、また、研究開発とファブの生産能力の乖離が顕著となり、死の谷が益々大きくなりつつある。さらに、少量の需要に対して高コスト化が顕著になり、少量生産へほとんど対応できなくなっている課題がある。これに対して、産総研

では IC を1個1個作るのに最適なハーフィンチウエハを用い、かつ巨大なクリーンルームに代わる局所クリーン化技術を導入して、数億円投資で半導体生産を可能にするミニマルファブを提案している。本研究では、ミニマルファブ方式で実用的な半導体生産ラインを構築できることを実証する。ミニマルプロセス技術の要素となる約10種類のプロセス装置の内、コアとなる CVD 装置、露光装置、エッチング装置、洗浄装置、コータ・ディベロッパ装置開発と、実用搬送装置開発、実用ウエハを完成させることで、ラインとして稼働させ、基本デバイスを試作する。また、イオン注入技術など研究開発要素の高い要素技術については、ミニマル化へ向けて基礎技術開発を行う。平成26年度は、半導体の前工程を中心に、ミニマル装置群の実用化開発を行い、主要プロセス装置について、ミニマル装置化を進めることができた。その結果、ミニマル装置群だけを用いたデバイスプロセスによって、CMOS インバータを試作することに成功した。また、パッケージングプロセス装置開発を行い、ミニマル装置群だけを用いて、ハーフィンチウエハを円形パッケージングすることに成功した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造、計測・計量標準

【キーワード】ミニマルファブ、局所クリーン化、搬送システム、マイクロファクトリ、デスクトップファクトリ、アジャイルファブ、生産技術、多品種少量、変種変量、1個流し、オンデマンド、ミニマルマニユファクチャリング、低コスト化、小型化、CMOS、MEMS、洗浄、エッチング、スパッタ、塗布・現像、CVD、露光、リソグラフィ、イオン注入、プラズマアッシング、マイクロプラズマ、CMP、接合、実装、ウエハ、シリコン、ハーフィンチ

【テーマ題目7】ナノ計測エレクトロニクスの研究開発

【研究代表者】多田 哲也（ナノスケール計測・プロセス技術研究グループ）

【研究担当者】多田 哲也、福田 浩一、内田 紀行、内藤 裕一、ウラジミール・ポボロッチ、レオニード・ボロトフ、小川 真一、岡田 直也

（常勤職員4名、契約職員3名、他1名）

【研究内容】

近年、デバイスの消費電力の低減、高性能化の要求の中、デバイスの微細化や、新材料を用いたデバイスの開発が益々重要な課題となっている。本研究開発は、電子材料やデバイスの特性をナノスケール領域で計測する技術、及びそれら計測技術と連携して、新しいデバイス材料・プロセス技術の研究開発を行うものである。具体的な研究開発項目は、ラマン分光法を用いたデバイスの局所

応力解析、走査プローブ顕微鏡、高分解能電子エネルギー損失分光を用いたポテンシャル分布解析、ヘリウムイオン顕微鏡を用いたナノデバイス作製、遷移金属内包 Si クラスタを用いた新デバイス材料開発である。本年度の成果を以下に記述する。

ラマン分光法を用いた計測解析技術開発においては、Si デバイス構造の局所応力分布を Selete (株式会社 半導体先端テクノロジーズ) が開発した3次元 TCAD (Technology computer aided design)、HyENEXSS と連携して解析する技術を開発してきた。微細デバイスの測定では、デバイス構造が、光の伝播をナノメートルスケールで複雑に変調し、測定されるラマンスペクトルにも大きな影響を与えるため、単純にラマンスペクトルのピーク波数を応力値に変換するだけでは、正しい応力分布を得ることが出来ないという問題点があった。我々は、この問題を解決するため、ラマン散乱測定の際の励起光と散乱光の伝播を、時間領域差分法 (FDTD) による電磁場解析で計算し、有限要素法 (FEM) による応力解析と共に用いて解析を行うラマンシミュレーションシステムを開発した。これにより、デバイス構造が光の強度分布をナノメートルスケールで変調する効果を取り入れてラマンスペクトルを精密に計算し、デバイス中の応力分布を定量的に求めることが出来るようになった。昨年度導入した収束光の光源を用い、立体構造デバイスの解析を行った。これにより、プロセスシミュレータが予測していた応力分布が、実際と異なっていたことを明らかにした。その他、ラマン分光法を用い、Si ナノ構造の熱伝導度を評価する手法を開発した。

走査プローブを用いた計測解析技術開発においては、走査型トンネル顕微鏡 (STM) によるポテンシャル分布測定結果を解析するシミュレーションシステムを HyENEXSS に移植したシステムを開発し、FinFET に適用した。FinFET はナノエレクトロニクス研究部門が早期から提案してきた次世代高性能トランジスタである。チャンネル不純物が不要のため、デバイスバラツキから離散不純物の影響を減らせることを確認しており、次の原因となるメタルゲートの仕事関数バラツキがデバイス特性に影響を与えることを TCAD シミュレーションで明らかにした。すなわち、STM による計測により、仕事関数のばらつきを評価し、仕事関数のばらつきが電氣的にどのような影響があるかを、世界に先駆けて検証した。

TCAD シミュレーションシステムの研究開発については、情報技術研究部門と協力し、デバイスシミュレータの行列ソルバー部分を MPI/OpenMP のハイブリッド並列化することで、京速コンピュータや産総研のクラスター計算機上で分散化を実現、従来の100倍以上の高速化を達成した。本成果は半導体理工学研究センター (STARC) との共同研究として、半導体メーカー・自動車メーカーなどに還元された。パワーデバイス等の大規

模解析などの活用が期待されている。

ヘリウムイオン顕微鏡については、評価・材料物性制御・加工技術を世界に先駆けて研究開発中である。ナノデバイス構造における焦点深度の深い観察、高分子機能膜・細胞など荷電ビーム照射 (従来の SEM、TEM 観察手法) に弱いソフトマテリアルの表面構造観察や絶縁膜内部に埋もれた (数10 nm 深さ) 構造の可視化評価、ヘリウムイオンと固体・ガスとの相互作用を積極的に利用したグラフェン膜伝導機構制御、微細 (数 nm 径) 金属柱の形成および3次元 TEM 観察用マーカーへの応用を図った。

新材料研究開発においては、原子スケールで構造を制御することにより、遷移金属内包 Si クラスタ薄膜を用いたコンタクト材料の開発を行った。今年度は、WF<sub>6</sub>ガスと SiH<sub>4</sub>ガスの気相反応による WSi<sub>n</sub>膜の成膜技術の確立に注力し、WF<sub>6</sub>ガス温度の制御が、MSi<sub>n</sub>膜の成膜に有効であることを示した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ラマン散乱、局所応力分布解析、走査プローブ顕微鏡、STM、SCM、ポテンシャル分布計測、グラフェン、T-CAD、シミュレーション、ヘリウムイオン顕微鏡、遷移金属内包クラスタ、コンタクト材料

【テーマ題目8】超伝導集積エレクトロニクスの研究開発

【研究代表者】神代 暁(超伝導計測デバイスグループ)

【研究担当者】神代 暁、佐々木 仁、平山 文紀、前澤 正明、山森 弘毅、山田 隆宏、日高 睦夫、永沢 秀一、佐藤 哲朗、北川 佳廣、伊坂 美千代、原島 栄喜、岩田 比呂志、入松川 知也  
(常勤職員11名、他4名)

【研究内容】

科学技術・産業技術に関わるあらゆる分野で重要性が認識される計測と、その信頼性を保証する計量標準の発展に資するため、半導体や磁性体等、他の素材では実現不可能な高精度計測・低雑音計測を実現する超伝導デバイス、およびそれを中核とする計測器を開発し、産業発展に不可欠な基盤技術と分析評価技術や、国民の健康や安全・安心な生活に資する技術の拡充を目指した研究を行っている。また、通信・情報処理を含む広汎な応用において、日本の超伝導エレクトロニクス研究の土台を支えるため、共同研究機関に頒布できる良好な特性とそれに関する制御性・再現性に富むニオブ (Nb)・窒化ニオブ (NbN) ベースの超伝導デバイス・集積回路を CRAVITY (Clean Room for Analog digital superconductivity) で作製するための技術の維持・発展に必要な研究を行っている。以下に具体例を挙げる。

知的基盤整備技術として、計測標準研究部門と共同



で、次世代標準に資する超伝導デバイスの作製・評価技術を開発するとともに、生産現場に導入でき、校正の手間・経費の削減を可能とする低廉、低消費電力、ユーザフレンドリな小型電圧標準器の製品化に対する課題を解決する。2014年度は、企業・公的研究センターでの前年度の巡回検査において見出された不安定性の問題の原因が、室温回路の要素部品の電圧ドリフトであることを突き止め、低ドリフト部品への交換によりこの問題を解決した。改良後に、一次標準で定期的に値付した二次標準の発生電圧の経時変化を測定し、誤差である $\pm 0.2$  ppm以内で一致を見た。

材料分析・核物質管理や国民の健康・安全・安心な生活に資する技術として、高いエネルギー分解能を持つ X 線・ $\gamma$ 線分光器や、電磁波・生体磁界等の微弱信号イメージング用超伝導検出器アレイの実現上重要な、極低温での読出信号多重化技術を開発する。具体的には、高エネルギー分解能検出器の典型的動作温度である、絶対温度 0.1 K での実験系を立ち上げ、信号対雑音比を低下させずに 1 本の読出線あたりの多重化数増大に有利な、マイクロ波帯周波数多重読出回路チップの低雑音性を決定する一要因である、超伝導薄膜共振器の共振  $Q$  値を評価し、2013年度に測定した 4 K での  $Q$  値に比べ 1 桁の増大に成功した。また、ダイナミックレンジ増大・入出力特性の線形性改善に効果のある磁束変調回路を含んだ室温エレクトロニクスを設計し、評価に着手した。

企業からの依頼に基づき超伝導量子干渉素子 (SQUID) チップを試作し、実用上問題のない程度のパラメータ制御性を実現するとともに、磁力計システムに組み込み動作させ、検出部で  $7 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$  の磁界分解能を得た。また、同様の SQUID を、透過型電子顕微鏡付属 X 線マイクロアナライザのエネルギー分解能を約 1 桁改善できる超伝導転移端検出器の読出に使う研究を行い、SQUID 素子パラメータのばらつきを、3 inch 径ウエハ内 5% 以下、5 mm $\times$ 5 mm チップ内 1% 以下で実現した。大学との共同研究において、半導体回路に比べ 6 桁小さな極限的低消費電力論理回路を基本とするメモリの開発を目的とし、多層配線回路に必要な平坦化技術の開発を行い、良好な表面と接合特性を得た。また、超伝導検出器の読出回路にデジタル超伝導集積回路を用いる研究を行い、検出器とデジタル回路との作製上の親和性を見出した。入射光子のエネルギーによる超伝導体インダクタンス変化を原理とする光子検出器の研究において、比較的高い共振  $Q$  値の得られる Nb でデバイスを作製し、56 画素分の共振特性を観測した。温度精密計測技術向上に資するジョンソン雑音温度測定法におけるシステムの簡素化・低廉化のため、量子電圧雑音源を制御回路とともに 1 チップ上に集積化する研究において、基本動作を確認し、温度測定への応用に目途を付けた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超伝導エレクトロニクス、電圧標準、超

伝導検出器、マイクロ波帯周波数多重読出回路、共振器、超伝導量子干渉素子 (SQUID)、多層配線

#### 【テーマ題目9】エマージングデバイスに関する研究開発

【研究代表者】秋永 広幸 (エマージングデバイスグループ)

【研究担当者】秋永 広幸、島 久、浅沼 周太郎  
(常勤職員3名)

#### 【研究内容】

主に機能性酸化物を用いた極低消費電力デバイスの開発を行っている。具体的には、抵抗変化型不揮発性メモリと、酸素欠陥分布の電界制御により特性を変えられるダイオード、トランジスタの開発を行っている。特に、前者に関しては、産総研で開発した技術を民間企業に技術移転し、実用化実証を進め、製品化研究を行っている。本年度は、不揮発性抵抗スイッチデバイスについて、メモリ動作信頼性評価手法、より具体的には、抵抗スイッチ現象に伴う元素移動を評価する手法を開発した。メモリのオン・オフ動作時に、電流方向に沿って、酸素濃度のピーク位置が 1~数 nm の範囲で移動していることを明らかにした。機能性酸化物を用いた極低消費電力デバイスの性能向上には、上記のように結晶欠陥の高精度制御が非常に重要となるため、結晶内および結晶/メタル界面の各種欠陥 (電荷トラップ) 密度、エネルギー準位を測定評価するための、熱刺激電流 (Thermally Stimulated Current) 測定法の開発も行った。より具体的には銅酸化膜の測定にこれを適用し、従来検出に手間のかかった銅空孔および酸素空孔の準位密度や電子レベルを簡単に観察できる可能性を得た。この手法は他の多くの酸化物/金属、半導体/金属界面をもつデバイスに適用可能と考えられることから、この結果を国際電気標準会議 (International Electrotechnical Commission、IEC) で国際標準化提案し、Preliminary Work Item (PWI) として承認された。

カーボンナノチューブ (CNT) やグラフェンに代表されるナノカーボン材料は既存材料には超越できない優れた物性を有するため、トランジスタチャンネル、およびバックエンド材料として世界規模で研究開発が推進されている。しかし、ナノカーボン材料との電氣的コンタクトの困難さゆえ、電気抵抗率などの基礎物性評価に標準的な方法が存在せず、懐疑的論議が少なからず存在する他、時には不適切な評価法が罷り通る重大な懸念がある。一方、我が国には、既に CNT 単体の高信頼性抵抗率測定法が確立されおり、また、世界に先駆けて 300mm ウエハ上に高均一、高品質ナノカーボン成長が可能となるなど、市場投入を視野に入れた大量生産が現実味を帯びている。そこで、ナノカーボンの電氣的特性評価に関する手法をベンチマーキングし、標準化すべき評価法を

抽出し、我が国の国際産業競争力に資することを目的として国際標準化を促進した。本年度は、ナノカーボン特性評価にかかわる情報収集および分析結果に基づき、国際標準化すべきナノエレクトロニクス関連技術と評価項目等の具体化と文書化を行った。その結果、IECにおいてPWIとして承認された。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】不揮発性メモリ、機能性酸化物、酸素欠陥

#### 【テーマ題目10】先端機器共用施設における成果普及と技術指導

【研究代表者】秋永 広幸（エマージングデバイスグループ）

【研究担当者】秋永 広幸、島 久、三沢 源人、秦 信宏（常勤職員4名、他12名）

#### 【研究内容】

有料民間ファウンドリとは一線を画した、真のイノベーション・ハブ機能を備えた共用施設となることを目指した。いわゆる「ファウンドリ・サービス」機能としても最先端の研究環境を提供できる場であると同時に、プレコンペティティブ段階（前競争段階）にある研究内容に関しては、それら研究分野の融合、産学官の広範囲な研究者・研究機関のネットワーキング、事業内外における人材育成を推進する場となるような取り組みを進めた。

共用施設の運用に関しては、ナノプロセッシング施設（Nano Processing Facility、NPF）において、機器利用、技術補助、技術代行、共同研究、技術相談からなる年間155件の支援を行った。また、本年度の機器利用に伴うトレーニング件数は274件、要素技術スクール育成人数は年間184名（内訳：講義126名、実習58名）であり、双方ともに目標値を上回った。また、外部共用率の目標を定めた登録装置の平均外部共用率は約50%、このうち民間企業が占める割合は約80%を達成した。

平成26年度は、平成24～25年度に最適化した各種規程類をシステムに実装し、その高度化を行った。利用申請、安全管理のための規程類などについて、NPFで推進している文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム・微細加工プラットフォーム事業用に最適化した。より具体的には、セミナー開催時の募集用ホームページで、応募者が当該情報を得るに至った経緯をたずねる項目を追加する等により、広報活動の効果測定ができる機能を強化した。また、施設面での管理を高度化し、より効率的な支援業務を目指して、施設・装置の日常点検と安全管理、薬品管理、在庫品管理、マニュアルの見直し及び最適化を行った。より具体的には、平成25年度支援者研修での議論などを経て、当該共用施設のホームページに危険予知トレーニングの機能を実装し、その運用を行った。

産総研外部研究者の利便性を高め、安全に上記研究支

援活動を行うために構築してきた装置予約、利用時間管理、利用者による支援進捗状況の確認などを、インターネットを介して実現するネットワーク環境の改良を行い、特に企業ユーザーの利用を促進した。より具体的に、平成26年度は、ネットワークを通じて技術相談を行う機能の高度化、プロセスレシピを当該施設及び事業のホームページからダウンロードする機能の追加を行った。

高校生や大学・大学院生の長期休暇を利用した実習、大学・独立行政法人の若手研究者、地域にある公設研の研究者や企業の中堅技術者など、多様な人材に対する要素技術の習得を目指したスクールを開催し、人材育成を通じて、受講者に要素技術等を習得してもらい、受講者の研究・開発の進展に寄与した。平成26年度は、平成25年度に引き続き、微細加工プラットフォーム内の機関と連携した人材育成スクールを企画し実施した。より具体的には、高等専門学校学生研修、微細加工実践セミナー、ナノ光応用分析実践セミナー、成膜プロセス技術実践セミナー等を開催した。

また、外部連携のための情報発信を進めるため、当該分野における最新情報、当事業で開発され公開可能なノウハウなどを、産総研外部研究者に向けてニュースとして発信した。より具体的には、当委託事業の成果をデータベース化するとともに、11報のニュース配信を行い、イノベーション創出を推進するプラットフォームを産学官の研究者に提供した。また、当委託事業参画機関、公設研など関連施設との連携を図るためのシステム構築を進めた。また、支援内容がプレコンペティティブ段階にある場合には、積極的に外部利用者（派遣元）同士の連携や研究分野の融合によるネットワーキングを推進する機会を設けた。

平成26年度は、利用者満足度調査の視点を含めた支援実績の報告をNPFにて行うとともに、微細加工プラットフォーム実施機関と協力してその手続きフローの効率化を行った。また、これら実施機関との連携により、技術支援者の技術力向上を図った。さらに微細加工プラットフォーム事業に参画する機関との連携を密にして、当該プロジェクト全体の進捗状況を確認し、計画の合理化を検討し事業を推進した。全国に展開しているプラットフォーム内を一つの構造体として活用し、各地域に無い機能をプラットフォーム内の他の地域の機関が補完するようにマネージメントを行うことによりシームレスな支援を実現した。その他にも、ナノフォトニクス&EB実践セミナーや三次元造形&薄膜実践セミナー、さらにはトレーサブルな校正結果付の試料を用いたラウンドロビンテストを基に技術支援者研修による支援技術の高度標準化の試みを主体的に行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ナノプロセッシング、先端機器共用施設、人材育成

〔テーマ題目11〕 環境発電電力で駆動するトランジスタとその回路応用

〔研究代表者〕 昌原 明植（シリコンナノデバイスグループ）

〔研究担当者〕 昌原 明植、遠藤 和彦、松川 貴、柳永 勳、大内 真一、水林 亘、右田 真司、森田 行則、太田 裕之、福田 浩一、森 貴洋、宮田 典幸（常勤職員12名）

〔研究内容〕

防災、医療・福祉、防犯・セキュリティ分野等、様々な社会システムにおいて、省エネ、安全、安心な社会を実現するためセンサーネットワークの活用が注目されている。この実現のためには、メンテナンスフリーでかつ様々なセンサーからのデータを処理可能なスマートセンサーノードを開発する必要がある。つまり、各センサーノードが環境発電（energy harvesting）で発生する微弱電圧・電力で、センシングとともにデータ処理を行える集積回路の実現が必須である。センサーノードの情報処理集積回路では、ある閾値を超えた場合にのみデータ処理を行うなど、スタンバイが極めて長い状況が想定される。また、環境発電で得られる電力は極めて微弱であるため、電源電圧は勿論、駆動電流にも制限がある。従って、必要最小限の集積度で、OFF 電流を小さく、かつ、ON/OFF 比を高めた極低スタンバイエネルギーデバイスが必要となる。

今年度は、OFF 電流が小さく、かつ、ON/OFF 比が高い極低スタンバイエネルギーデバイスの有力候補としてトンネル FET(TFET)の開発を進め、p 型および n 型の双方で60mV/decade 以下の急峻な電流立ち上がりを持ち、対称に近い動作を示すシリコン TFET の作成に成功した。これはエピタキシャル成長技術による急峻なトンネル接合をもつ FinFET 類似形状の TFET で、シリコン・オン・インシュレーター基板上に、CMOS プロセスを用いて形成された。OFF リークは800fA/ $\mu\text{m}$  まで低減されている。

また TFET の駆動電流を増大させる技術として等電子トラップ技術を提案・実証した。これは、産総研がオリジナルに提案した世界初の技術である。実証実験では、シリコンチャンネルに Al-N 複合不純物による等電子トラップを導入することで中間準位を形成、11倍の駆動電流増大を確認するとともにスイッチング特性の急峻化を実現した。

TFET 実用化の上で、高性能化に加え、信頼性の確保も必要な鍵となるが、これまで、TFET の信頼性に関する報告例はほとんどなく、動作電圧領域下で動作寿命10年を保証できるかは分かっていなかった。今回、TFET のしきい値電圧の経時劣化が、これまで懸念されていたソースとゲートエッジでの電界集中ではなく、ドレインからのキャリア注入が主要因であること、また、動作状

況下では、ドレインからのキャリア注入が抑制されるため、寿命が大幅に改善され、動作寿命10年を保証できることを、世界で初めて明らかにした。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 CMOS、LSI、FinFET、トンネル FET、センサー

〔テーマ題目12〕 ヘリウムイオン顕微鏡技術を用いた材料評価・加工・制御

〔研究代表者〕 多田 哲也（ナノスケール計測・プロセス技術研究グループ）

〔研究担当者〕 小川 真一、内藤 裕一、飯島 智彦、多田 哲也（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

ヘリウムイオン顕微鏡 (HIM) が2006年に米国で実用化され、現在は HIM を用いた表面構造観察、評価および加工技術など HIM の応用研究開発が世界各所で行われている。タングステンチップ先端に減圧低温環境 (73K) で吸着させたヘリウム (He) 原子を電界蒸発させ、先端三原子 (トライマー) から放射されるビームの一つをプロービングビームとして選択し試料に走査照射して発生する二次電子を用いて微細表面構造観察などを行う。産総研は2010年1月に HIM を国内で初めて導入し、HIM を用いた観察、評価、加工手法の研究開発を行っている。得られるビームは点光源に近く、エッジコントラスト法による分解能は0.21nm を得ている。走査型電子顕微鏡 (SEM) に対する HIM の利点として、① 観察時の単位体積当たりへの照射エネルギー密度が約1000倍小さいという利点を活かした ULSI プロセスでの low-k 膜、レジスト材料など熱に弱い材料のビーム照射ダメージ (熱変形) の少ない観察、② エネルギーの低い (約1eV) 二次電子の特性を活かした絶縁膜中に埋め込まれた導体の観察、などが特徴的である。また W(CO)<sub>6</sub> ガス雰囲気での He イオンビーム照射による nm オーダーのタングステン構造堆積、He イオンビーム照射によるグラフェン膜のエッチング・パターンニング、格子欠陥導入による伝導特性制御 (導体→半導体→絶縁体)、生体細胞観察、などが可能である。

今年度は HIM を用いた、SiO<sub>2</sub>膜上のグラフェンへの nm オーダーの構造形成に注力した。加速電圧30 kV でドーズ量 $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2} \sim 2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  のヘリウムイオンビーム (約0.3nm 径) をグラフェンに照射した結果、走査型容量顕微鏡による観察評価では、 $2.0 \times 10^{16} \text{ He}^+ \text{ cm}^{-2}$  照射領域のみでグラフェンが絶縁体化していることがわかった。照射したヘリウムイオンは、その0.4% がグラフェン C 原子に衝突し、 $2.0 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$  のヘリウムイオン照射では、グラフェン中に約2%の欠陥を形成する。これらの欠陥はグラフェン中のキャリアを局在させることにより、抵抗を増大させ、グラフェンを絶縁体へと転移させる。この原理により、HIM による He イオン

ビーム照射によりグラフェン上にナノスケール構造を、マスクやレジストを用いることなく直描またはすることを可能とした。

またヘリウムイオン顕微鏡観察技術の普及の一環として本ヘリウムイオン顕微鏡装置を SCR 機器共用プラットフォームの一つとして一般利用を開始した。本利用に関する情報は

<http://unit.aist.go.jp/tia/orf-co/scr/ja/outline.html#outline1>に掲載されており、研究開発などの支援として多くの方々にご利用頂ける。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 ヘリウムイオン顕微鏡、ヘリウムイオン、イオンビーム、観察、加工、二次電子、グラフェン、欠陥、

【テーマ題目13】 ポスト Si 材料・デバイス CMOS バックエンド集積化技術

【研究代表者】 前田 辰郎 (新材料・機能インテグレーショングループ)

【研究担当者】 前田 辰郎、森 貴洋、多田 哲也、板谷 太郎、高木 秀樹、倉島 優一、石井 裕之、久米 英司、服部 浩之、Wen-Hsin Chang (常勤職員6名、他4名)

【研究内容】

Si の性能限界を超える高性能・低消費電力化のために、最先端 CMOS では III-V や Ge 等のポスト Si と呼ばれる材料のフロントエンドでのチャンネル材料への導入が、精力的に検討されている。これらの材料・デバイスを Si CMOS 工程後のバックエンドで集積化できれば、III-V/Ge チャンネル導入が容易になるのみならず、これらの材料の物性を生かした多機能 SoC の可能性が広がる。本研究テーマでは、以下の三つの開発目標を設定し研究を進めた。

1. ポスト Si 材料・デバイスの転写技術の開発
2. バックエンド環境でのポスト Si 材料・デバイスと Si CMOS の集積技術の開発
3. ポスト Si デバイスに係る要素技術の高度化

まず、転写技術の開発においては、最終的なデバイス構造に適し、かつ簡便な手法として酸化膜同士を貼り合わせ面にした転写手法を確立した。接合強度は、従来のプラズマ接合と同等の強度を有していることを明らかにした。接合後の薄膜転写法として、化学的な基板削除法とリフトオフ法による基板回収法を開発した。また、転写された薄膜の表面は極めて平坦で、かつ微細化に適した~10nm レベルの薄膜化や高速化に適したヘテロ構造の作成も可能である。4インチのウェハーサイズでの一括転写技術を使って、III-V OI や GeOI 基板の作成に成功した。酸化膜同士の転写は、Si 基板だけでなく他の様々な基板に適応が可能で、III-V と Ge を積層したハイブリッド基板作成などにも応用されている。一方、より

生産ラインに即した300mm ウェハー基板の要望もあるが、ポストシリコン材料である III-V/Ge 基板のサイズは300mm ではないため、転写サイズは III-V/Ge 基板のサイズに律速されている。そこで、マルチチップ貼り合わせによる大口径化手法を開発した。転写する基板の膜厚や平坦性の改善、温度履歴の少ないプロセスにすることで、面積比80%程度まで Ge で占有された300mmSi 基板上 Ge 基板の作成に成功した。ポストシリコン CMOS 化の大きな障害となっている、大口径高品質ポストシリコン基板提供の解決に向けた大きな成果といえる。

作成された大口径 III-V/Ge OI 基板を用いて、400°C 以下のプロセス温度 (バックエンド環境) でトランジスタの試作し、高性能動作実証に成功した。また、バックエンド環境でのポスト Si 材料の CMOS 集積技術として、下地の SiGe pMOSFET の上に開発された高精度転写技術を用いて、InGaAs 層を形成し、nMOSFET を作製した。上下の MOSFET を3次的に配線し、インバータおよびリングオシレータの動作に成功している。また、単純な材料同士の貼り合わせではなく、平坦化技術や金属層挿入などにより、デバイスの高機能化がはかれることが明らかになった。Si CMOS よりもプロセス熱耐性の低い材料にも関わらず、その上部に作製されたデバイスと、下部のデバイスとがともに高性能デバイス動作することに成功しており、ポストシリコン材料の3次元デバイス展開の可能性を示す大きな成果である。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 半導体、ポストシリコン、薄膜転写、大口径ウェハー

【テーマ題目14】 新薬前臨床試験の高スループット化資する心磁計用 SQUID アレイ

【研究代表者】 神代 暁 (超伝導計測デバイスグループ)

【研究担当者】 神代 暁、佐々木 仁、佐藤 昭、平山 文紀、山森 弘毅、日高 睦夫、永沢 秀一、入松川 知也、福田 大治\*、佐藤 泰\* (\*計測標準研究部門) (常勤職員9名、他1名)

【研究内容】

現存する磁気センサの中で最も磁界分解能の高い超伝導量子干渉素子 (SQUID) の普及を阻害する二大要因{(1)微弱磁界計測のため高価な磁気遮蔽室が必要、(2)磁気イメージングのために多画素(アレイ)化が望まれるが、極低温環境下の SQUID と室温信号処理系の間の信号配線数の増大に伴う室温からの熱流入の増大により、大型・高価な極低温冷凍機が必要}を解決するための研究開発を目的とする。具体的には、以下の技術開発を志した。(1) 安価な簡易型磁気遮蔽室との併用により目的とする微弱磁界計測を可能とするため、均一磁界には不感で、勾配(場所微分)磁界に反応する差分検出コイルを集積

化した SQUID を開発する。この時、互いに交差し二層以上に渡る電極から成るので、差分検出コイルには、層間絶縁や異層電極間の電氣的接続の信頼性が要求される。当研究グループの持つ多層超伝導配線技術を適用し、その実現を図る。(2) 極低温下で少数の読出線上に、信号対雑音比を維持したまま、従来に比べ多数画素信号の多重化を図ることが可能な、マイクロ波帯周波数多重読出回路を開発する。

2014年度の実施概要と成果のあらましを述べる。(1) SQUID を試作し、素子パラメータのチップ内均一性、及び既存 SQUID に比べ高い入出力変換効率を実験的に得た。一方、外部機関で実施を予定した差分検出コイルの選択性能(均一磁界の打消し度)評価は、外部共同研究機関の都合により実施を先送りとした。(2) SQUID 性能の向上には、SQUID の磁束分解能を制約する主要雑音源の同定、各雑音源のトータル雑音への寄与度の評価、その通減法開発が必要である。昨年度まで行って来た絶対温度4 Kの実験では充分解明できなかった雑音源に関する標記知見を得るため、より低温(0.1 Kまで冷却可能)での読出回路の性能評価が可能な極低温冷凍機を立ち上げ、冷却実験に着手した。また、SQUID 特有の非線形かつ周期的な入出力特性を線形化し、ダイナミックレンジ拡大を図るため採用した、信号磁束よりも充分高い周波数の鋸歯状波磁束の印加による変調動作に必要な室温エレクトロニクス回路を設計し、製作・納品後の動作試験を行った。その結果、10 kHz 程度の信号磁束を変調可能な繰返周波数60 kHzの鋸歯状波の発生に成功した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】SQUID(超伝導量子干渉素子)、微弱磁界計測、マイクロ波、周波数多重読出回路

【テーマ題目15】超格子型相転移材料による THz デバイスに関する研究

【研究代表者】中野 隆志(相転移新機能デバイスグループ)

【研究担当者】中野 隆志、齋藤 雄太、P. Fons、  
牧野 孝太郎、A. Kolobov、富永 淳二  
(常勤職員5名、他1名)

【研究内容】

テラヘルツ(THz)波は未開拓の周波数領域であったが、安心安全のセンシング、近距離ネットワーク等での有用性から盛んに研究開発が進められている。この THz 波応用の実用化でキーとなる THz 送受信デバイスは、現在小型化が進んできているが、他の半導体デバイスと比較すると大きく、冷却機能等の必要性から高価なものになっている。また、THz 波が可視光等と比べてエネルギーが低いいため、これまで研究が進められてきている材料では限界があり、新機能材料の探索が期待されている。

一方、我々が超低消費電力型の相変化メモリとして研究開発を進めてきた超格子型相変化材料は、バンド構造にディラックコーンを持つトポロジカル絶縁体特性を室温で有することが判明し、THz 波のようにエネルギーの低い光に対する優れた反応(光検出)特性を有する材料として期待できることが分かってきた。また、このトポロジカル絶縁体特性を示すバンド構造は、電場や磁場の印可等で高速制御が可能であるため、送受信デバイスだけでなく、THz 波のスイッチや分波器といった機能素子への展開も期待できる。本重点課題テーマでは、超格子型相変化材料を用いた小型・高性能の THz デバイスの開発、産業展開を目的として研究開発を進める。

本年度は、THz 検出器に向けた基礎実験として、本材料への THz 波入射による抵抗変化等を評価するためのデバイス試作と評価実験系の検討を進めた。デバイスは高抵抗 Si や他光学系とのマッチング等も考えてサファイア基板上への超格子成膜を行った。これらのサンプルで THz 波の透過率の測定を行い、超格子型相変化材料の THz 波透過特性(0.5~2THzの領域でブロードに低い透過率を示す(同一組成の合金型の相変化材料の透過率の70%以下))が示されていることから、サファイア基板上でも超格子膜が問題なく形成できていることを確認した。また、THz 波が透過できる電極材料として ITO 膜が利用できることを確認した(可視での透明電極とは組成比率は異なる)。また、THz 波励起による抵抗値変化(面内)をプローバー電極間の電圧の変化として検出・増幅する測定系を組み立てて、大阪大学の高強度 THz 波(ピコ秒パルス)発生システムに持ち込み、サンプルの測定を行った。その結果、msec オーダーの変化ではあるが、THz 励起による抵抗値変化を電圧変化として検出することに成功した。今後、検出回路の特性やノイズ除去を進め、高速応答特性についての解析を進める。(本課題については、H26年度のCRESTに採択された、“カルコゲン化合物・超格子のトポロジカル相転移を利用した二次元マルチフェロイック機能デバイスの創成(研究代表:富永淳二)に、”ヘリカルスピ制御型光デバイス創成“のテーマとして参画しているため、来年度以降はCRESTのテーマとして実施する。)

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超格子型相変化材料、テラヘルツ波、トポロジカル絶縁体

【テーマ題目16】ナノエレクトロニクスブースター材料・プロセス技術の開発

【研究代表者】安藤 淳(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】安藤 淳、内田 紀行、多田 哲也、  
前田 辰郎、内藤 裕一、宮田 典幸、  
森 貴洋、三枝 栄子、堀川 昌代  
(常勤職員9名)

### 〔研究内容〕

CMOSのポスト微細化、ポストSiテクノロジーブースターとして、2次元機能性原子薄膜等をはじめとする多種多様な新規ナノエレクトロニクス材料・プロセス技術の導入が諸外国において勢力的に検討されており、当該技術分野における国内産業界の国際競争力の獲得に向けては、当該技術の導入可能性検討に資するエビデンスデータを早期に蓄積することが重要である。本研究は、具体的な新規ナノエレクトロニクス材料として、低次元金属含胞シリコンクラスター (M@Si<sub>n</sub>) 材料、2次元単層遷移金属ダイカルコゲナイド (TX<sub>2</sub>) 機能性原子薄膜材料を設定し、低次元性材料が発現する新機能を活用しメモリやトランジスタにさらなる機能を持たせた“ナノエレクトロニクス”ブースター技術を開発し、そのノウハウやプラットフォームを産総研内に蓄積するとともに国内産業界に提示することにより、当該技術分野における国際競争力の獲得に資することを旨とする。本年度は、低次元 M@Si<sub>n</sub> 材料においては、昨年度実証した材料としての有効性を生産現場における実プロセスへ展開することを目的として、量産プロセスに適用可能な CVD (化学気相蒸着) を用いた成膜方法の開発を実施した。WSi<sub>n</sub>膜作製に関する CVD 技術の原理的な検証を行うとともに、装置構成及び成膜条件の最適化により、WSi<sub>n</sub>膜の Si 組成比 *n* を広範囲に亘り制御できることを実証した。2次元単層 TX<sub>2</sub>機能性原子薄膜材料においては、薄膜低温成長の実現に重要となる、TX<sub>2</sub>ナノインク作製技術およびその安定化技術を開発するとともに、ナノインクを用いて形成した塗布膜をチャンネルとする3端子デバイス動作に成功した。また、塗布膜形成時において2原子層厚の大面积 TX<sub>2</sub>膜が自己組織的に形成可能なことを見出した。昨年度に引き続き、デバイス化プロセス技術の構築を進め、良好なコンタクト形成実現に必要な前処理技術の開発や、high-*k* ゲート絶縁膜スタック技術も含めたトップゲート構造デバイスプロセスの構築がほぼ完了し、確立されたノウハウ等のつくばにおける共通基盤施設にむけた展開を開始した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ポストシリコンテクノロジー、シリコンクラスター、機能性原子薄膜

〔テーマ題目17〕 Super Flex Power FPGA Market Creation Platform に関する研究

〔研究代表者〕 小池 帆平 (エレクトロインフォマティクスグループ)

〔研究担当者〕 小池 帆平、日置 雅和、小笠原 泰弘、石垣 隼人、堤 利幸、中川 格、関川 敏弘 (常勤職員3名、他4名)

### 〔研究内容〕

Intel 社による Altera 社の大規模買収にも見られるように FPGA (Field Programmable Gate Array) の重要

性がより一層高まる中、その大きな問題点の一つとして静的消費電力の大きさが挙げられている。我々は、FPGA の静的消費電力を大幅に削減可能とする技術として、ボディバイアス手法を用いて、マップされる応用回路に応じたしきい値電圧のきめ細かな最適化を、ロックアップテーブル、マルチプレクサなどの FPGA 要素回路単位の細粒度で実現する、Flex Power FPGA の研究を進めてきた。

NEDO/LEAP プロジェクトで開発された SOTB (Silicon on Thin BOX) トランジスタは、その優秀なしきい値制御性と特性ばらつきの少ない低電圧動作能力ゆえに、Flex Power FPGA の実現に最適なデバイスと考えられたことから、近年は、SOTB トランジスタを用いた Super Flex Power FPGA 試作チップの開発に力を入れてきており、際立って高い静的消費電力削減能力や、低電圧動作としきい値最適化を組み合わせることによる最小エネルギー動作の実現などを実証するとともに、実用化に向けての大きな障害であった面積オーバーヘッド削減手法も確立してきた。

今年度は、このように段階的に実用化へ向けての改良を進めて来た Super Flex Power FPGA チップを実際に評価ボードに搭載し、ユーザーによる実用レベルの評価を可能とすることを目標とした、Super Flex Power FPGA Market Creation Platform の開発を行なった。

まず、これまでの論文データ収集を目標とした実験チップ開発から脱却し、評価ボード搭載を目標とした、新たな改良版 Super Flex Power FPGA チップの開発を行なった。このチップの特徴は、タイル間配線能力を強化した改良されたタイルアーキテクチャを有すること、実用開発において不可欠となるブロック RAM を搭載したこと、低エネルギー動作において新たにネックとして浮上したクロック分配網の動的消費エネルギーを削減するために、回路構成データをもとに自動的にクロックゲーティングを行なう機能を盛り込んだことである。

次に、この改良版チップを搭載した評価ボード AISTino を開発した。AISTino は、近年幅広く普及が進んでいる小型 CPU ボード Arduino と、基板サイズ、ピン配置、信号仕様などの互換性を持たせることにより、極めて多くの種類が市場に出回っている Arduino 用の周辺ペリフェラルボード (シールド) を自由に活用することが可能となるとともに、AISTino 自身を Arduino 用のアクセラレータシールドとして動作させることも可能であり、ユーザーが AISTino を用いた応用システムを容易に開発することが可能となっている。また、リチウムポリマー電池制御回路を搭載することにより、チップの低エネルギー動作能力を活かした長時間の電池動作が可能となっている。さらに、Flex Power FPGA 用ソフトウェアツールによって生成された回路構成データは、市販の FPGA チップに見られるような特殊な専用データ書き込みケーブルを必要とすることなく、パソコンの

USB インタフェスを通じて容易かつ手軽に転送できるように作られている。

年度末までに、機能拡張された改良版 Super Flex Power FPGA チップの開発と、このチップを搭載し、ユーザーが容易に Flex Power FPGA を評価可能な評価ボード AISTino の開発を完了し、目標通りに動作することが確認できている。今後は、ソフトウェアツールの対応を進めて行く予定である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス分野

【キーワード】低消費電力 FPGA、SOTB、Arduino

## ⑩【電子光技術研究部門】

(Electronics and Photonics Research Institute)

(存続期間：2011.4～)

研究部門長：原市 聡  
副研究部門長：森 雅彦  
副研究部門長：粟津 浩一  
首席研究員：柏谷 聡  
総括研究主幹：土田 英実  
研究主幹：外岡 和彦

所在地：つくば中央第2、つくば中央第4、  
つくば中央第5、つくば西

人員：61名 (61名)

経費：737,783千円 (527,054千円)

概要：

### (1) 当部門のミッション

安全・安心で持続可能な社会の実現に向けて、電子と光の特性を最大限に活かした情報処理・通信技術の高度化に加えて、新たな電子と光の可能性を追求していく。具体的には、光インターコネクションや生体情報センシングなどの電子と光が融合する領域の新技术、量子情報処理や強相関電子系、超伝導、有機材料など、新しい電子・光技術の応用の拡がりを目指した理論や材料、素子の研究開発を進める。またレーザー基盤研究に基づく新しい光加工プロセスや光・電子による新しい計測技術を実現するシステムまで、幅広い課題解決手段によるイノベーションを推進する。

(2) 世界規模の情報共有による社会システムの急激な変化がもたらした環境・エネルギー問題を初めとして、超高齢化社会の課題、社会基盤インフラ老朽化の問題、大規模災害対策の問題等を解決して、安全安心で持続的な人類の発展に貢献するために、電子と光という従来は個別に発展してきた技術を統合的に捉え、様々な21世紀型課題に対する解決の方向性を探る。電子・光技術の新しい応用の拡がりを目指すとともに電子と光が融合する領域の新技术につい

て研究開発を推進するために、当部門が有するコア技術を軸に、以下の三つの重点研究課題を設定する。

### 光情報技術

爆発的な増加を続ける情報通信トラフィックとこれに伴う電力消費の増大に対応するため、情報通信機器内外の近距離光伝送技術を中心とした情報通信技術の高度化を通して、グリーンイノベーションに貢献する。特に光、電子技術を融合した次世代光インターコネクションの実現に向けて、光源、光機能素子、光導波路、光集積回路技術に関する研究開発を進める。また、次世代コヒーレント光伝送のための高機能光源と信号処理・計測技術の開発、量子情報通信・計測技術の基盤確立を通して、次世代情報通信の高度化とセキュリティ向上に貢献する。

a-1) 次世代の近距離光通信（光インターコネクション）用の光源・光機能素子、光導波路素子・光増幅器および光電子集積回路等をシリコンフォトニクスおよびポリマーフォトニクス技術を用いて開発する。

a-2) 光位相制御を利用したスペクトル利用効率向上等、大容量化のための新しい光源素子、光信号処理・計測技術を開拓する。

a-3) 量子暗号鍵配布等、光技術による量子情報通信技術開発を推進する。

### 光応用技術

光計測センシングやイメージングといった計測基盤技術の高度化とともに、ウイルス、菌、血液等の簡易、高感度センシング技術を開発しライフイノベーションに貢献する。レーザー光源技術の研究に基づく次世代高速高品位レーザー加工プロセスの開発を行うとともに、先端的な光技術と分野融合による新技术開拓、将来を切り開く革新的技術の創出によってグリーンイノベーションに貢献する。

b-1) 導波モードセンシングを提案し、高感度、温度安定、小型化可能といった特徴を生かした測定を実現し、インフルエンザ亜種の同定、微量重金属の検出などを実用化していく。また光ディスク型センシングでは、これまでに培った光ディスク技術をウイルスや菌、原虫の検出へ適用するための研究開発を進めている。

水溶液中でも消光のおこらない発光性金属錯体の開発技術、菌類に特異的に吸着、発光する金属錯体の合成を行う。また近赤外分光法による無侵襲血液検査を実現していく。QOL向上のためのセンシングと位置付けて肌の水分量モニタリング技術を開発するとともに、量子イメージング技術を用いて生体医療光計測への展開を図っている。

b-2) 加工プロセス用の高出力かつコンパクトな光源開

発を行うとともに、次世代プロセスや高度計測技術への応用を目指した光ファンクションジェネレータの研究開発を重点的に進める。特に省エネ型レーザー加工プロセスについては、他ユニットとの連携研究により、引き続き次世代の高速高品位加工プロセス開発を進める。

新原理エレクトロニクス

高温超伝導や強相関酸化物、有機半導体を中心に、シリコン半導体の限界を超えた極限的な省エネルギーデバイス技術を探索し、グリーンイノベーションに貢献する革新的な電子デバイスの開発を推進する。

- c-1) 各種材料（有機・無機・微粒子など）の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光／電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。具体的には、有機材料の設計・合成、マイクロ・ナノパターン形成技術、デバイス作製技術、計測評価技術の開発を行う。
- c-2) 情報通信・エレクトロニクス技術の革新にむけ、卓越した機能を有する超伝導材料の開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導発現機構解明、およびそれらの知見に基づく新規超伝導応用の提案とその実現に向けた技術開発を推進する。
- c-3) 低環境負荷酸化物デバイス技術の基盤確立をめざして鉛フリー圧電体、酸化物発光材料など材料開発、酸化物電子材料の新機能開拓、および独自実験技術知財の製品化普及を行う。
- c-4) 情報通信技術を活用したグリーンイノベーションの推進に必要な低環境負荷デバイスの開発を目的に、強相関電子系の電子相制御という新動作原理に基づく革新的な低消費電力デバイスの研究開発を行う。

外部資金：

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

- [戦略的イノベーション創造プログラム]
- 「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／点検・診断技術の実用化に向けた研究開発／高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術の研究開発」

経済産業省

- [戦略的基盤技術高度化支援事業]
- 「めっき液中の添加剤の劣化に起因するめっき液性能劣化診断用計測器の開発」

文部科学省

- [科学研究費補助金]
- 「ダイヤモンド量子センシング」
- 「静電キャリア濃度制御で切り開く新物性探索とモットロニクス」

「ナノフォトニクス、画像認識技術、金属錯体の融合による菌類同定システム研究」

「時間分解プラズモン励起発光イメージングを用いたノロウイルス検出システム研究」

「ナノ NMR センシングを可能とする高機能ダイヤモンド合成」

「可視域位相制御ファイバー光源を用いた実時間動的分子構造制御」

「軌道純化に基づく高温超伝導体の圧力・非平衡制御と転移温度増強の理論・実験的研究」

「強磁性体効果を用いたトンネル接合型冷凍機の実現」

「強誘電性と導電性の共存を利用した強誘電抵抗スイッチングの物理的機構に関する研究」

「サイクロイド様サブ波長断面構造での高効率局在プラズモン発生と超高感度センサー応用」

「高圧力磁気測定 of 技術開発がもたらす磁性・超伝導材料研究のブレイクスルー」

「相変化材料のナノ秒領域における高速結晶化温度特性の解明と多値記録への応用」

「近赤外温度・濃度同時イメージング法によるマイクロ反応拡散場の直接定量評価」

「微小カイラル超伝導体のエッジ電流による磁化の SQUID 測定」

「微小ジョセフソン接合集団における量子同期の理論」

「電流注入型有機半導体マイクロレーザーの開発」

「異種ファイバレーザーのコヒーレント合成による高繰返し極短パルス光源の開発」

「多値多層記録と超解像再生を同時に達成する InSb 不定比酸化物薄膜の作製と機構評価」

「レーザー誘起ブレイクダウンを用いた密度分布測定」

「TDGL 方程式のシミュレーションによる超伝導ストリップライン検出器の高性能化」

「価数スキップ揺らぎによる新規超伝導体の理論設計」

「電子相関機構に基づく高温超伝導機構の解明と新規超伝導体のデザイン」

「表面層深さ方向の迅速評価が可能な回転楕円面鏡全反射ラマン散乱光学系の開発」

「超臨界金属における金属絶縁体転移のミュースアール法による研究」

「多様な三層型 Bi 系高温超伝導体を得るための改良型（温度勾配付与）TSFZ 法の研究」

「一次相転移系遷移金属酸化物の電界相制御」

「固有接合量子メタマテリアルを用いた光制御技術に関する理論研究」

「クロム化合物をターゲットとした新規超伝導体探索」

「カーボンナノチューブ透明導電膜を用いた有機薄膜太陽電池の開発」

「オンチップ三次元光集積回路に向けた a-Si:H 多層光伝送デバイスの開発」



「固有ジョセフソンフォトリックデバイスの数値的研究：新奇テラヘルツ帯デバイスの提案」  
「ハイブリッド固体ゲート絶縁膜を用いた新奇なモットトランジスタの開発」  
「構造最適化による高温超伝導体の転移温度向上」

[科学研究費補助金 新学術領域研究]  
「時間反転対称性を破る超伝導体の新奇界面現象」

[科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究]  
「非平衡光プロセスを用いたナノカーボン系薄膜作製とデバイス応用」  
「光で寿命制御可能な生分解性材料の創製」  
「ナノ空間電場増強を利用した自己組織化単層膜の電子・格子結合ダイナミクスの光制御」  
「テラヘルツ STM 発光分光へのピコ秒時間分解能の付与」

独立行政法人科学技術振興機構 (JST)

[受託 (戦略的創造研究推進事業 (さきがけ))]  
「強誘電体と機能性酸化物の融合による不揮発ナノエレクトロニクス」

[受託 (国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム))]  
「光および化学エネルギー利用のためのポルフィリンナノ構造体制御の分子技術：ポルフィリン集合体の作製と構造評価」  
「鉄系超伝導体の高 Tc 化指針の確立と純良単結晶、多結晶試料を用いた超伝導特性評価」

[受託 (研究成果展開事業：先端計測分析技術・機器開発プログラム)]  
「救急および災害現場で用いるポータブル血液検査装置の開発」

[受託 (研究成果展開事業：戦略的イノベーション創出プログラム)]  
「テラバイト時代に向けたポリマーによる三次元ベクトル波メモリ技術の実用化研究」

発表：誌上発表209件、口頭発表361件、その他43件

情報フォトリックグループ

(Information Photonics Group)

研究グループ長：山本 宗継

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：情報通信ネットワークの大容量化・高度化に資すること目的として、光源開発、光信号処理・計

測技術、量子通信技術に関して、サブシステム化まで視野に入れた研究開発を行う。

- ・意義、当該分野での位置づけ：コヒーレント光伝送による通信ネットワークの大容量化・高機能化、および量子力学的効果の利用による通信のセキュリティ向上に寄与する。
- ・国際的な研究レベル：マルチキャリア光発生などの光信号処理技術や、コヒーレント伝送用光源評価技術に関して、独自性と優位性を有している。光通信波長帯における光子検出、および量子もつれ状態の発生・検出・伝送に関して、世界最高水準の技術を保有している。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-2、a-3)

インターコネクティブフォトリックグループ

(Interconnect Photonics Group)

研究グループ長 佐々木 史雄

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：次世代の省エネルギー・大容量光情報通信、特に光インターコネクティブ用の光・電子融合デバイスおよび光電子集積技術、光計測・制御技術を開発することを目的としている。新材料として、化合物半導体ナノ材料および有機・ポリマー材料を念頭に置き、半導体量子ナノ構造・ナノ光構造を用いた次世代光デバイス、光電子集積技術、有機・ポリマー材料を用いた微小光源&光増幅器、光導波路回路の研究開発、及びおよびそれらの応用技術の開発を行う。
- ・意義、当該分野での位置づけ：次世代の光・電子融合デバイス、光電子集積技術を開発し、光情報通信システムに応用することで、通信ネットワーク・機器内インターコネクティブの大容量化・省エネルギー化・高機能化、及び産業競争力強化に資する。
- ・国際的な研究レベル：ナノ材料・デバイス技術、有機結晶・ポリマー材料・デバイス技術、精密計測技術を用いて、量子ドット光源、光電子融合デバイス、有機半導体レーザー、ポリマー光増幅器の研究を展開し、先進的な技術開発結果を得ている。

研究テーマ：テーマ題目 (a-1)

シリコン光電子集積グループ

(Silicon Photo-Electronics Group)

研究グループ長：森 雅彦

(つくば中央第2、つくば西)

概要：

- ・目的：次世代の情報処理、情報通信機器の高機能化、省エネルギー化を目指し、シリコンフォトリック技術を基盤技術として開発している。特に、光インターコネクティブのための光電子融合デバイスおよび

光電子集積技術の作成を目指して、シリコンフォトニクス集積基盤プロセス技術の開発、バックエンドプロセスに基づくシリコンフォトニクス、アモルファスシリコンフォトニクスの研究に取り組んでいる。

- ・意義、当該分野での位置づけ：次世代の光・電子融合デバイス、光電子集積技術を開発し、光情報通信システムに応用することで、通信ネットワーク・機器内インターコネクションの大容量化・省エネルギー化・高機能化、及び産業競争力強化に資する。
- ・国際的な研究レベル：シリコンフォトニクス微細加工プロセス、集積プロセスは世界最高性能であり、これらを利用した光電子集積システムは世界最高の情報伝送密度を実現している。また、アモルファスシリコンフォトニクス技術、3次元光回路技術は世界の研究をリードしている。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-1)

### 超高速フォトニクスグループ (Ultrafast Photonics Group)

研究グループ長：鳥塚 健二

(つくば中央第2)

概 要：

- ・目的：パルス光波合成等の新技術を開発し、未踏領域の光パルス発生、制御、応用を開拓することで、超高速技術を先導する。
- ・意義、当該分野での位置づけ：超高速光技術を利用した加工や物質プロセス制御、計測に資する技術である。主な研究内容は、(1)超短パルスレーザーの特性を生かした表面加工等の技術開発。特に、熱負荷に弱い次世代太陽電池材料や医療用材料、複合材料等の新しいレーザー加工プロセスの開発に他分野の研究者とも連携して取り組む。(2)パルス光を電界波形のレベルで制御することで、未踏時間分解の光波合成と新応用を開拓する。多波長光の極短パルス化、タイミングと光波位相(キャリアエンベロープ位相; CEP)の精密制御をすすめると共に、それらの新機能を計測や分子制御に応用する技術を開発する。
- ・国際的な研究レベル：超短光パルスの関連技術を持ち、特に、異波長パルス光間の位相制御及びタイミング制御は当所が先導して開拓してきた技術で、世界最高の時間精度を有する。また、パルス内光波位相(CEP)制御光の増幅を、再生増幅器と回折格子ストレッチャーを組合せた高出力化が可能な方式で実現した。本年度は、高平均出力の Yb ドープ超短パルスファイバーレーザーの高性能化とその応用について重点的に取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-2)

### 光センシンググループ (Optical Sensing Group)

研究グループ長：藤巻 真

(つくば中央第5)

概 要：

- ・目的：健康な暮らしを誰もが享受できる社会、安全安心な住環境、より高い国際競争力を持つ生産技術、の実現に資する光学的センシングシステムの開発を行う。より具体的には、生活安全に向けたウイルス、細菌、環境汚染物質などを迅速かつ高感度に検出可能な光センサシステム、生体組織内の機能や形態の低侵襲、無侵襲センシング技術、交通インフラの劣化診断用システム、工業用材料の管理用センサシステムの開発を推進する。
- ・研究手段：近接場光学や高速光走査による微量微小物質検出技術や、高感度分光技術、イメージセンシング技術をコア技術とし、これらの技術を微細加工技術や各種高度計測手法によってサポートすることにより、各種要素技術を高度化するための研究開発を実施すると共に、実用化に向けた研究体制の構築を図る。菌、ウイルス、汚染物質などの検出においては、当グループが開発した、光ディスク型センサ、導波モードセンサ、表面プラズモン共鳴励起蛍光増強を利用したV溝バイオセンサなどをベース技術として用い、検出対象物質に最適化した検出手法の確立を行っていく。人の無侵襲な健康診断技術や、コンクリート構造物の非破壊診断技術、各種工業プロセスのモニタリング技術には、当グループが得意とし世界的にも高いレベルにあるマルチスペクトルイメージング技術、高感度近赤外分光技術、高温熱物性測定技術、などの個々の技術をより高度化させながら、また、各技術の長所を生かしながら組み合わせることによって、その課題解決に資する技術開発を実施する。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-1)

### 分子集積デバイスグループ (Molecular Assembly Group)

研究グループ長：阿澄 玲子

(つくば中央第5)

概 要：

- ・目的：各種材料(有機・無機・微粒子など)の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光/電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。
- ・研究手段、方法論：有機分子の設計、有機合成、分子パッキングの予測、粒子分散技術、各種薄膜作製技術、微粒子の自己組織化、光化学/マイクロ波化学などの技術を駆使して、エレクトロニクス・フォトニクスに有用な部材・プロセスの開発を行っている。またこれらの技術開発から派生して、小型可搬・簡便な計測評価装置の開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-1)

### 超伝導エレクトロニクスグループ

(Superconducting Electronics Group)

研究グループ長：吉田 良行

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：情報通信・エレクトロニクス技術の革新に向けた、新奇超伝導材料の物質開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導機構解明、およびそれらの知見に基づく新機能超伝導デバイスの提案と技術開発を推進し、超伝導研究におけるフロンティアを開拓する。
- ・研究手段、方法論：高压合成法をはじめとする先進的物質合成手法と理論予測、更には高压下物性測定を組み合わせることにより、より高い性能を有する超伝導体、従来にない性質を示す超伝導体の開発を行う。また、高品質単結晶試料を用いた系統的物性評価を通して、銅酸化物、鉄ヒ素系に代表される高温超伝導体の超伝導発現機構を明らかにする。得られた知見を元に、同物質群を対象とした電子デバイス・線材プロトタイプを試作し、超伝導エレクトロニクス開発への指針を確立する。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-2)

### 酸化物デバイスグループ

(Oxide Electronics Group)

研究グループ長：相浦 義弘

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：低環境負荷酸化物デバイス技術の基盤確立をめざして、酸化物半導体、鉛フリー圧電体、酸化物発光材料など材料開発および機能開拓を行う。
- ・研究手段：薄膜接合形成にはレーザーアブレーション法等を、物性発現機構の解析には光電子分光法をはじめとする研究手段を用いる。
- ・方法論：鉛フリー圧電デバイスの実用化研究を推進した。開発した鉛フリーAEセンサーは市販の鉛系AEセンサーより高感度であり、インフラのヘルスマニタリングに実用可能であることを示した。また、価電子帯に金属のs軌道を使うことで高いキャリア移動度が期待できる新しいワイドギャップp型酸化物半導体の開発を行い、正孔移動度 $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ を実現した。加えて、ペロブスカイト型酸化物薄膜電界発光(EL)の開発を継続し、 $(\text{Ca}_{0.6}\text{Sr}_{0.4})\text{TiO}_3:\text{Pr}$ を発光層とした二重絶縁構造をもつEL素子において低電圧駆動による赤色発光で $500 \text{ cd}/\text{cm}^2$ 以上の高輝度化を得た。また、双回転楕円体面鏡型光学系STAR GEM、小型単結晶育成装置iAce、極低温超高真空用多軸非磁性マニピュレータiGONIO-LT、

高精度中空型ロータリーステージiRS等の実験技術知財の高度化、製品化普及を進めた。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-3)

### 強相関エレクトロニクスグループ

(Correlated Electronics Group)

研究グループ長：澤 彰仁

(つくば中央第4)

概要：

- ・目的：新しい電子デバイス動作原理である強相関電子系の電子相制御技術の開発と、それに基づく不揮発性メモリや低消費電力スイッチなど低環境負荷の革新的デバイス技術の開発を行う。
- ・意義、当該分野での位置づけ：原理的にサイズ効果のない強相関電子系の電子相転移を外場により制御する技術を確立し、半導体デバイスのスケール限界を超えた領域で動作する低消費電力スイッチ、メモリ等を開発することで、情報通信技術を活用したグリーンイノベーションに貢献する。
- ・国際的な研究レベル：強相関酸化物など金属酸化物の大型・良質単結晶を作製可能なレーザー加熱単結晶作製技術、金属酸化物デバイス開発に不可欠な最先端の計測解析技術と微細加工技術・設備を有している。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-4)

### [テーマ題目1] 光情報技術

[研究代表者] 森 雅彦 (副研究部門長)

[研究担当者] 森 雅彦 他 (常勤職員11名、他6名)

[研究目的]

a-1) ナノフォトニクス技術による超小型光素子・光集積回路開発

次世代の省エネルギー・大容量光情報通信、特に光インターコネクション用の光・電子融合デバイスおよび光電子集積技術、光計測・制御技術を開発することを目的とし、シリコンフォトニクス技術、アモルファスシリコン技術、高品質半導体ナノ材料・ナノ光構造の作製技術、および有機・ポリマー材料技術を基に、次世代の光源・光増幅素子、光スイッチ・光機能素子等の光デバイス及び光電子集積化のための、プロトタイプの試作、実証を行う。平成26年度はポリマー光導波路を用いた光電子集積基盤を開発し、25Gbpsの光信号伝送に成功した。また、45度ミラーを開発、低損失での結合を実現した。シリコンフォトニクス技術では、縦方向曲り導波路の低損失化をはかり、3dB以下のファイバ結合を実現した。さらに、液晶を用いたシリコン細線マッハツェンダー光スイッチを開発し、スイッチング動作を確認した。

a-2) 次世代コヒーレント伝送のための光源、光信号処理・計測技術の開発

実用化を迎えたコヒーレント伝送の更なる大容量化、高度化に資する光信号処理・計測技術の研究開発を進める。平成26年度は超小型マルチキャリア通信用光源として SiN 非線形導波路を利用した4光波混合デバイスの試作を行った。SiN 成膜方式の再検討を行い、化学量論組成で膜厚800nm 以上までクラックフリーを実現し、高温熱処理不要な状態で導波損失を4.5dB/cm(1530nm)、2.5dB/cm(1600nm)まで低減した。また、次世代データセンター用の波長バンクとして、光周波数コムによる注入同期を利用して、高スペクトル純度の位相同期マルチキャリア光源を開発した。

### a-3) 量子通信技術の開発

情報通信のセキュリティ向上に資するため、光通信波長帯における高密度波長多重量子暗号通信システムの開発を行う。平成26年度は広帯域量子もつれ光子対による群速度分散不感干渉計を構成して古典光と比較した。その結果、波長幅115.8nm の量子もつれに対して可干渉時間42.7fs を観測した。同程度の波長幅を持つ古典光による分散広がりには250fs であり、量子もつれによる分散不感効果を確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】光インターコネクション、シリコンフォトニクス、3次元光回路、光電子集積素子、ポリマー光導波路、ナノ構造デバイス、非線形光学、コヒーレント光信号処理、光変調フォーマット変換、光信号波形計測、量子もつれ光子対、光子検出、量子暗号通信

### 【テーマ題目2】光応用技術

【研究代表者】栗津 浩一（副研究部門長）

【研究担当者】栗津 浩一、他（常勤職員17名、他9名）

### 【研究目的】

生きる上でのほとんど全ての幸福が満たされている現代先進国社会において、人々はより高度の安心安全を求めるようになってきている。またこれまでには想定してこなかった問題点もでてきた。またべつの観点から見ると、増続ける医療費を削減させるためには、病気になる前に健康状態をモニターしておくことを人も医療関係者ともに求めるようになってきている。そこで新たなセンシング技術を開発し、これまでに見えなかった危険、有害物質、日々の健康状態などをセンシングする技術が求められている。例えば、今後特にアジアで水が不足すると言われており、既に汚水等を再生して飲料水にする技術も開発されている。同時にそのような水の安全性には問題もあると指摘されている。国内においても水源付近の農場やゴルフ場に散布される農薬、牧場から水源へと流出する汚水、アオコの発生など水源の安全を脅かす事例も多々発生している。個人がこれから食しようとする食物においても、残留農薬、微量重金属といった

有害物質をその場で見ることは不可能であるが、実際に規制値よりも高い濃度の有害物質が検出されることがあることはよく知られている。また鳥インフルエンザが発生した場合、H7N9型では動物での発熱などの症状はないが、人に感染した場合、人には免疫がないために重篤な状態に陥ることが指摘されている。

光センシンググループは、無機材料、有機材料、酸化物材料などの材料研究、あるいは補償光学、近接場光学、ナノフォトニクスと研究をこれまで行ってきた。これらの知見をもとに、社会の要請の強い安心安全な社会の基盤となるセンシングという一つの目標に向かって研究を集中化させている。これまでの学問分野を融合させ、互いに連携させることで新概念を発見し、産総研オリジナル技術として強い特許を取得し、あるいはノウハウ化させるという知財戦略をとっていく。その後極めて短期間で応用研究へとフェーズを切り替えて、実用化を目指す研究を行っている。

### b-1) 光センシング技術に関する研究

光センシンググループでは検体や利用状況に応じた様々なセンシングシステムの開発を行っている。センシングの高精度化、センサの小型化に取り組み、オリジナル技術である導波モードセンシングで手のひらサイズの小型センサの操作システムを開発した。また、導波モードセンサで ELISA, SPR, イムノクロマトグラフィーなどの競合する他のセンシング手法では達成できない測定を実現してきた。これまで達成したインフルエンザ亜種の同定などに加え、微量重金属の検出感度の向上などに取り組んだ。光ディスク型センシングでは、これまでに培った光ディスク技術を利用したウイルスの検出に成功し、菌の検出にも目途が立ってきている。さらに所内情報技術研究部門画像認識技術グループとも連携を行い、情報科学とも融合させた新原理センシング開発を開始した。また救急医療現場を想定し、迅速かつ数滴の血液で感染症と血液型を判定できるデバイス開発を行った。また新しい近赤外光測定技術を開発して、コンクリートなどの構造物の劣化（構造物ヘルスマonitoring）を検出する技術開発を開始した。

### b-2) 超高速フォトニクスとレーザー加工プロセス応用

加工プロセス用の高出力かつコンパクトな光源開発を行うとともに、次世代プロセスや高度計測技術への応用を目指した光ファンクションジェネレータの研究開発を重点的に進める。

平成26年度には、当所で開発した超短パルス Yb ファイバーレーザー装置出力のビームパターン整形とパルス長の可変技術を開発した。これを用いて、環境化学技術研究部門レーザー化学プロセスグループ他と協力して CIGS 太陽電池薄膜のレーザースクライブ加工条件の最適化を行うと共に、効率低下の原因解明を

すすめた。これらにより、超短パルスレーザースクライブによって、機械加工と同程度の電池効率を同等以上の信頼性で実現することができた。また、炭素繊維強化複合材料の高品位・高速レーザー加工の研究にレーザー制御関係での協力を行った。光ファンクションジェネレータについては、応用展開に向けて必要な長時間安定性を、システムのファイバー化によって確保するべく研究をすすめた。Yb ファイバーレーザーとタイミング同期された Er ファイバーレーザー超短パルス増幅システムを新たに開発した。特に、融着で構成した高信頼 Er ファイバーレーザーにおいて分散と非線形性の最適化に成功し、波長1.5 $\mu\text{m}$ 、41fsの超短パルスを発生できた。また、Yb ファイバーレーザーにおける高強度短パルス化を行い、産総研独自の利得狭窄補償の技術によって、従来限界のほぼ1/2となる100nJ、65fsの増幅超短パルスの発生に成功した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 センシング、安全安心、光計測、QOL、超短パルスレーザー、レーザー加工

### 〔テーマ題目3〕 新原理エレクトロニクス

〔研究代表者〕 柏谷 聡 (首席研究員)

〔研究担当者〕 阿澄玲子、吉田 良行、相浦 義弘、澤 彰仁 他 (常勤職員33名、他31名)

#### 〔研究目的〕

高温超伝導や強相関酸化物、有機半導体を中心に、新しい機能性材料の研究を行う。シリコン半導体の限界を超えた極限的な省エネルギーデバイス技術を探求し、グリーン・イノベーションに貢献する革新的な電子デバイスの開発を推進する。主な研究課題は下記の通りである。

#### c-1) ボトムアップ集積型デバイスの構築

各種材料 (有機・無機・微粒子など) の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光/電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。具体的には、有機材料の設計・合成、マイクロ・ナノパターン形成技術、デバイス作製技術、計測評価技術の開発を行う。

平成26年度は下記のような成果が得られた。

- 平成25年度までに開発してきたカーボンナノチューブ透明導電膜をハロゲン化銅ナノ粒子とハイブリッド化させることにより、透過率85パーセントでシート抵抗60ohm/square 程度の高い導電性を、数か月間安定に保つことのできる技術を確立した。
- 短パルス光照射による常温大気下焼成法により、異種材料間の密着性が向上することを明らかにし、医療デバイスや電子デバイスの部材作製技術への応用可能性を示した。
- 平成25年度までに開発してきたポータブルバイオセンサーの光学系部分を活用し、スマートデバイスで操作可能なポータブル分光光度計を試作し、性能向

上のための要素技術の抽出を行った。

- c-2) 先進機能超伝導材料の開発と新規超伝導応用の開拓  
情報通信・エレクトロニクス技術の革新にむけ、卓越した機能を有する超伝導材料の開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導発現機構解明、およびそれらの知見に基づく新規超伝導応用の提案とその実現に向けた技術開発を推進する。

平成26年度は下記のような成果が得られた。

- 線材開発：パウダーインチューブ法を用いた (Ba, K) Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>の線材開発を行い、作製プロセスの最適化により2Tの磁場中での臨界電流密度 J<sub>c</sub>~20000A/cm<sup>2</sup>を達成した。
- 物質開発：(Sr,Na) Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>について、高 T<sub>c</sub> (36.5K) の純良多結晶試料を世界で初めて発見し、合成条件や T<sub>c</sub> の組成依存性などを明らかにした。コンビナトリアル探索で、理論家が推奨するバレンススキップ元素を含む新物質 LaBi<sub>3</sub> (T<sub>c</sub>=7.4K) を見いだした。また、APX (A=Zr, Hf, X=S, Se) 系超伝導体をとる層状的な結晶構造に着目し、結晶学的な見地からの探索のアプローチにより、この系の T<sub>c</sub> を6.3K→6.5Kと向上化させることに成功した。
- 超伝導理論：Zr(Se,P)<sub>2</sub>等の新奇超伝導体に対して第一原理計算を行い、バンド構造を決定した。その結果、Zr(Se,P)<sub>2</sub>においては全状態密度と T<sub>c</sub> との相関は見られないことが明らかになり、より精密な解析により、この系の超伝導における Zr-d 電子の寄与の重要性を示した。また、ハバードモデルにおいてクーロン相互作用が強い領域に超伝導相関が増大する領域があり、銅と酸素を含んだ d-p モデルにおいてもモンテカルロシミュレーションにより、高温超伝導が可能である強相関領域が存在することを明らかにした。
- 超伝導デバイス：Al(Mn)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al 型の N/I/S 型固体冷凍機の作製と評価を進め、バリア特性の改善と電子冷却効果を検証した。またカイラルトポロジカル超伝導と従来超伝導体を用いたジョセフソン接合にて、カイラルドメイン構造を検証した。超伝導ストリップイオン検出器の動作に関して、TDGL 方程式、熱拡散方程式、および回路方程式を連立した数値計算を行い、MgB<sub>2</sub>ナノストリップにおける局所的常伝導転移過程を明らかにした。
- 圧力下物性測定：以前から注目していた水銀系銅酸化物高温超伝導体の T<sub>c</sub> の圧力効果について、圧力下でドーピング量が増えるかどうかをこれまであまりはつきりしていなかったため、様々なドーピング量の試料に対する圧力効果の観測を行った。これにより、おそらく圧力によってドーピング量は増加する傾向にあり、圧力下で最適化を行うためにはややアンダードーブの状況から加圧を行うのが有利であることを明らかにした。

c-3) 低環境負荷酸化物デバイスの開発および機能性酸化物電子材料の新機能開拓

低環境負荷酸化物デバイス開発の契機となるような酸化物半導体、鉛フリー圧電体、酸化物発光材料開発、および機能性酸化物電子材料の新機能開拓を推進する。加えて、独自実験技術知財の製品化普及を行う。

平成26年度は下記のような成果が得られた。

- ・ワイドギャップ p 型酸化物半導体の開発を行い、バンドギャップ > 2.0 eV、キャリア濃度 ~  $10^{17}$  /cm<sup>3</sup>、移動度 ~ 1 cm<sup>2</sup>/Vs を示す新材料の開発に成功した。
- ・開発を行った鉛フリー AE センサーを用いて、橋のヘルスマニタリング実証実験を行った。試作した鉛フリー AE センサーは、インフラのヘルスマニタリングに実用可能であることを示した。
- ・(Ca<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>)TiO<sub>3</sub>:Pr を発光層とした二重絶縁構造をもつペロブスカイト型酸化物薄膜電界発光(EL)素子において、低電圧駆動による赤色発光で 500cd/cm<sup>2</sup>以上の高輝度化に成功した。
- ・多層型高温超伝導体について、第2の超伝導を発見した。多バンド超伝導の内部位相の再配置に起因する初めて転移と見られる。内部位相のフラストレーションを人工的に再現した超伝導フラストレーション情報ビットを提案した。
- ・既存の単軸駆動方式と異なる多軸駆動方式を開発し、材料の高精度な位置制御を可能にする真空ステージの開発に成功した。

c-4) 強相関材料を用いた電界効果素子および不揮発性メモリの開発

情報通信技術を活用したグリーン・イノベーションの推進に必要な低環境負荷デバイスの開発を目的に、強相関電子系の電子相制御という新動作原理に基づく革新的な低消費電力デバイスの研究開発を行う。

平成26年度は下記のような成果が得られた。

- ・フッ化マグネシウム基板上に成長させたエピタキシャル二酸化バナジウム(VO<sub>2</sub>)薄膜を用いた電気二重層電界効果トランジスタを作製し、1V 程度のゲート電圧によってVO<sub>2</sub>の抵抗率を大幅に変調させることに成功した。さらに、組成分析により相転移の原因がVO<sub>2</sub>中へのプロトンの移動であることを解明した。
- ・強誘電体 BaTiO<sub>3</sub>超薄膜のスイッチング層と Co 電極を用いて、スイッチング電圧0.5 V、電流密度10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>以下で動作する強誘電トンネル抵抗スイッチング素子を開発した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】有機エレクトロニクス、超伝導、酸化物エレクトロニクス、強相関エレクトロニクス

⑪【セキュアシステム研究部門】

(Research Institute for Secure Systems)

(存続期間：2012.4.1～)

研究部門長：伊藤 智

副研究部門長：寶木 和夫

所在地：つくば中央第2、関西センター尼崎支所

人員：30名(30名)

経費：381,843千円(278,998千円)

概要：

セキュアシステム研究部門は、主に、2011年度までに終了したシステム検証研究センターと情報セキュリティ研究センターの成果を承継する研究部門として、2012年度に発足した。さまざまな機器、ビジネス、やり方、仕組みが IT 化、サイバー化される社会は、コンピュータやプログラムで制御されるが故の脆弱性が残っている。システムが複雑化するために、設計、実装、テスト、保守が困難となり、システムの信頼性が低下するシステムディペンダビリティの問題解決と、システムや通信に秘匿される重要情報を窃取したり、IT で動作するシステムを誤動作させたりすることを狙った犯罪行為に対するサイバーセキュリティ向上のための技術開発をミッションとする。また、これら技術や制度の標準化、規格化への貢献も重要な任務である。ディペンダビリティ、セキュリティ技術は、低い確率でしか発生しない事象への備えであるため、技術の効果を体感することが難しい。規格化することによって技術を可視化し、製品やサービスへの組み込みを促すことが可能になる。

これらのミッションの実現のために、問題を出口指向の4つに分解し、5つの研究グループで研究を実施する。

●IT サービスのセキュリティ

インターネットでのショッピングや SNS など、またスマートフォンでの各種のアプリの利用などに潜む脆弱性、危険性への対策技術を開発し、また政府の委員会等でのこれらのサービスの利用ガイドラインの制定に貢献する。Web ブラウザをサーバに接続してサービスを受ける場合、偽のサーバが本物のサーバになりすまして、利用者からクレジット番号やパスワードを詐取する詐欺が起こりうる。これに対抗するために、通常のサーバがユーザを認証すると同時に、ユーザがサーバを認証する仕組みを実現した HTTP 相互認証プロトコルの国際規格化に取り組む。

●制御システムセキュリティ

サイバー攻撃は、家庭やオフィスの PC を対象にしたものから、エネルギー、交通、金融、工場などの重要インフラの制御システムへの標的型攻撃に移っ

てきている。技術研究組合制御システムセキュリティセンター（CSSC）に参加して、制御システムの高セキュア化技術の研究開発を行う。また、クレジットカードなどの IC カードを誤動作させるようなハードウェアへのサイドチャネル攻撃に対抗するため、標準的なサイドチャネル攻撃評価ボードを開発、頒布してきた。この活動をより広い範囲で活用するための普及促進策と、より微細化が進む半導体プロセスでのサイドチャネル攻撃耐性評価技術、模倣部品の検出や暗号鍵の生成などに応用可能な PUF（Physically Unclonable Function: 物理複製困難関数）の研究開発を行う。

#### ●ディペンダブルシステム

関西センターとつくばとの2拠点で、前者が主にシステムの要求分析とテスト段階の高信頼化、後者が設計から仕様の実装段階での高信頼化に取り組む。高信頼システムは、どういうシステムを作るかという要求仕様を矛盾なく設計仕様にまとめ、それを矛盾のない実装に落とし、その実装が元々の仕様書が規定する機能を正しく実現していることをテストすることで達成される。この無矛盾性を確保するために、仕様を論理的に記述して自動定理証明を適用したり、設計から導出されるモデルが、仕様を満足するかを検証したりするモデル検査を実施する。並行処理を簡潔に可視化するツール、プログラムが仕様を満たすことを証明するツール、仕様から網羅的なテストを自動的に生成する FOT (feature oriented test) 法とそのツールの研究開発を進める。また、企業との共同研究を通じて、これらの技術の実証を行う。また組込適塾などの人材育成プログラムにも貢献する。

#### ●次世代セキュリティ

セキュリティ技術の多くは、暗号に基礎をおいている。暗号は、秘密通信だけでなく、認証などの情報の真正性の証明、著作権の保護などにも利用される。計算機の性能が向上するにつれて、現在実用されている暗号の解読が容易になるため、新たな暗号の案出やその評価は、将来の IT 社会の保全のために継続的に必要である。現在広く使われている暗号の中には、その安全性の証明が不十分であったり、破綻が近かったりすることが予見されているものがある。安全性の証明には、数学的素養が必要であるにもかかわらず暗号の応用が加速しているため、不完全な暗号が広がる危険性が増している。より機械的な方法で安全性を証明する方法を研究する。インターネットやクラウドが普及するにつれて、暗号は、一对一の通信ではなく、一对多や、多対多、また時間的に機能が変化する応用が生まれつつある。このような状況に対応する関数型暗号や代理再暗号化技術を研究する。クラウド等に委託したデータをクラウド

業者等に盗み見られることなく情報処理を行う方法の一つとして、データベースの情報を暗号化されたまま検索する技術を研究する。

-----  
内部資金：

IC の偽造防止技術の開発

データベースの秘匿検索技術の開発

外部資金：

総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業「クライアントおよびサーバ双方からの情報漏えいを防止するアクセス制御技術の研究開発」

総務省 戦略的情報通信研究開発推進事業「低遅延異種多入力映像表示装置の研究開発」

独立行政法人科学技術振興機構 「サイドチャネル攻撃への安全性評価手法の確立および PUF デバイスの実装・評価とセキュリティシステムへの応用」

独立行政法人科学技術振興機構 「電力・電磁波解析攻撃向け評価プラットフォームの開発」

独立行政法人科学技術振興機構 「テスト技法 FOT の支援ツール開発、技法の拡充、及び実証実験による実用化研究」

独立行政法人日本学術振興会 「二国間交流事業共同研究/セミナー」

独立行政法人情報通信研究機構 「通信プロトコルとその実装の安全性評価に関する研究開発 副題：形式手法によるプロトコル実装の検証技術と形式仕様に基づく網羅的ブラックボックス検査技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「クラウドコンピューティングミドルウェアのソフトウェアモデル検査手法」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「低容量回線でも高画質画像を活用できる「超舞台」遠隔交流学习支援システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「分散チェックポイントを用いたネットワークアプリケーションのモデル検査」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「モダン符号の形式化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「複数主体のバイオメトリクスデータベース管理と評価技術の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「組込みソフトウェアの安全な構築のためのC言語のモデルとその形式検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「問題ある平文の暗号化を不可能とする暗号方式の実現に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「複製困難な物理特性を用いたセキュアな動的再構成システムの実現」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「並列索引構造の形式検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金「IDの法的研究ー共通番号、国民ID及び民間IDのプライバシー・個人情報保護」

発表：誌上発表103件、口頭発表135件、その他7件

**セキュアサービス研究グループ**  
(Secure Services Research Group)

研究グループ長：渡邊 創

(つくば中央第2)

概要：

ますます利用が拡大しているインターネット上でのサービスや、そのクラウド化におけるセキュリティ、プライバシー侵害、信頼性への対策法を研究する。ネット上でのなりすまし等の不正を防ぐため、パスワードやICカード、バイオメトリクスを用いた認証技術などのセキュリティ対策技術を研究する。制度や新サービスの技術基準や標準的手法を提案し、システムとしての安全性と利便性の向上に貢献する。より広くIT社会の安全性を向上させるため、電子情報システムにおける暗号の利用法や、携帯アプリにおけるプライバシー情報の扱い方に関するガイドラインの策定等を行う。

研究テーマ：テーマ題目3

**制御システムセキュリティ研究グループ**  
(Control System Security Research Group)

研究グループ長：古原 和邦

(つくば中央第2)

概要：

特定の組織やシステムを標的とし高度に仕組まれたサイバー攻撃は、産業と社会を揺るがす激甚化した脅

威になりつつある。制御システムセキュリティ研究グループの目的は、システムの可用性や既存システムへの親和性などをも考慮しながら、重要インフラのセキュリティ強化に貢献することにある。この目的を達成するために、技術研究組合制御システムセキュリティセンター (CSSC: Control System Security Center) や電子商取引安全技術研究組合 (ECSEC: Electronic Commerce Security Technology Research Association) などの外部組織とも連携しながら、現場における制約や要求、また、最新の攻撃手法などを正確に把握し、それらに応じた実効性のある対応策について研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

**システムライフサイクル研究グループ**  
(System Life-Cycle Research Group)

研究グループ長：寶木 和夫

(関西センター尼崎支所)

概要：

医療・健康、交通、エネルギーなどあらゆる分野で、センサー、クラウド、組込み系、アクチュエータ他が統合され、安全かつセキュアに動作するためのソフトウェア開発およびその運用管理の重要性が増している。特に、組込み系ではソフトウェア開発量の増大に伴い、機敏、かつ、低コストな開発への要求も増している。本研究グループでは、システムおよびソフトウェアの開発開始から検査、認証取得、出荷、導入、運用までの工程の流れを「システムライフサイクル」として俯瞰し、信頼性と効率性の高いシステム構築をめざし、システム検証、テスト支援手法、開発工程管理などの各工程で必要となる技術を研究開発する。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

**高信頼ソフトウェア研究グループ**  
(Software Reliability Research Group)

研究グループ長：磯部 祥尚

(つくば中央第2)

概要：

ソフトウェアの大規模・複雑化が進むなかで、その信頼性を保証することが難しくなっている。高信頼ソフトウェア研究グループでは、高信頼化を現実的なコストで達成できるようにする技術開発を目的とし、システム開発工程のうち、特にソフトウェアの設計から実装までの動作の一貫性を検査・保証するための技術を研究開発し、最終的に実用的な開発プロセスツールとしての実用展開を目指す。そのために、設計書や実装プログラムを対象として、モデル記述、モデル検査、定理証明、プログラム生成・変換等の高信頼化技術を研究開発し、要求される安全性レベルとコスト要求に応じて、これらの技術を選択・連携できる技術開



発を行う。

研究テーマ：テーマ題目5

### 次世代暗号研究グループ

(Research Group for Innovative Cryptography)

研究グループ長：花岡 悟一郎

(つくば中央第2)

概要：

クラウド等の高度なネットワーク技術をより一層安全で広範に活用するための暗号技術として、関数暗号等に代表されるような、新機能をもつセキュリティ技術に関する研究を行う。また、量子計算機を有する攻撃者など、現在想定されているものより一段と高度な攻撃モデルにおける安全性についてもその実現に向けた基盤的研究を推し進める。さらに、既存技術の安全性評価を行い、それらの厳密な安全性レベルを明らかにする。たとえば、安全性が未証明なものについて、厳密な数学的安全性証明を与えたり、もしくは、具体的な攻撃方法を提示したりする。これらの研究を主に理論研究の立場から行い、次世代セキュリティ技術を実現していくための盤石な基盤作りを行うことを大きな目的とする。本年度に関しては、関数暗号等の高機能アクセス制御暗号の一層の機能拡張を進めるとともに、より強力な攻撃者に対しても安全な公開鍵暗号技術を構成するための手法について研究を行う。また、これまでに、引き続きプライバシー保護が可能な秘匿データベース検索の開発を進める。本年度は特に、実システムへの導入に向けた外部連携を推進する。さらに、さまざまな暗号技術について、詳細な安全性解析を行う。

研究テーマ：テーマ題目3

#### 【テーマ題目1】ハードウェアセキュリティ

【研究代表者】坂根 広史 (制御システムセキュリティ研究グループ IC チップセキュリティ研究室)

【研究担当者】坂根 広史、古原 和邦、片下 敏宏、堀 洋平、今福 健太郎、川村 信一、藤原 充、諸藤 力  
(常勤職員5名、他3名)

#### 【研究内容】

情報システムにおけるソフトウェアの情報セキュリティ対策は、通信路や暗号チップなどのハードウェアが高い信頼性を持つことを前提としている。しかしながら近年そのような信頼性を損なうハードウェアセキュリティ上の脅威が報告されるようになってきた。ソフトウェアにセキュリティ脆弱性が見つかったら修正プログラムを配布・適用して対策をとることができるが、ハードウェアの場合は一般に製造・販売後の修正は困難である。このことから、情報システム製品の製造・流過程の早い段

階でのハードウェアセキュリティ評価・検証が必要とされている。

脅威をもたらす攻撃技術は年々高度化している。それに対応するため、本研究では評価・検証技術の高度化に資する研究課題として1)ハードウェア型トロイの木馬検出技術の開発、2)機器の電磁波測定による攻撃手法と対策の開発、3)機器への異常信号による故障誘発攻撃とその防御技術の開発、を設定した。これらの課題に取り組むため、これまで蓄積してきた暗号モジュールのセキュリティ検証技術に加え、電磁波測定システムや機器利用の実環境に近い実験システムを整備した。

今年度は、1)では周辺電磁波の観測・解析により正常時と異常時を判別する手法の開発を目的とし、FPGAを用いた模擬攻撃回路の判別実験に成功した。2)では、液晶ディスプレイの漏洩電磁波からの表示図形の復元に成功したほか、スマートフォン上の暗号処理情報を持つ漏洩電磁波信号の観測・同定、市販暗号モジュールの近傍磁界解析によるサイドチャンネル攻撃耐性の検証実験、情報圧縮技術を用いたサイドチャンネル解析の高度化を進めた。3)では、昨年度までに蓄積したレーザによる故障誘発攻撃手法の研究成果について外部機関と情報交換を行ったほか、車載 CAN のセキュリティ強度を調べるため通信パケット認証コードの解析を進めた。

今後、IoT/M2M 機器が社会インフラや生活空間で広く利用されることが予想されている。これらはハードウェアの重要性が高く、そのセキュリティ評価・検証の充実につながる本研究をさらに推し進めることで安心・安全な情報社会の構築に貢献することが期待される。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ハードウェア、セキュリティ評価、トロイの木馬、電磁波測定、サイドチャンネル攻撃、故障誘発攻撃、車載 CAN、IoT/M2M 機器

#### 【テーマ題目2】マルウェアテストベッド

【研究代表者】須崎 有康 (マルウェアテストベッド研究室)

【研究担当者】須崎 有康、田中 哲、瀬河 浩司、高橋 孝一、小方 一郎、古原 和邦 (セキュアシステム研究部門)、森 彰 (知能システム研究部門)  
(常勤職員7名、他1名)

#### 【研究内容】

悪意を持って計算機の挙動を変更し、情報漏えいや攻撃の踏み台に使われるマルウェアを解析して防御技術を開発することは重要である。しかし、使用する計算機に悪影響を及ぼすかもしれないマルウェアを適切に扱う技術は確立されていない。このため、セキュリティインシデントの対応機関である JPCERT/CC の支援を受けて、マルウェアを安全に扱う技術を研究した。マルウェアテ

ストベッド研究班では ISO/IEC 27001の情報セキュリティマネージメントシステム (ISMS) を参考に、脅威の識別、脅威のインパクト (重篤度×発生確率)、想定するテストベッドの条件、テストベッドでの脅威に対する防御の方法、残存リスクなどを解析し、マルウェアの管理規定および手順書を作成した。管理規定では PDCA サイクルを適切に回すために実験記録の保存、機材の管理および廃棄する場合の情報消去、定期的な教育と打合せなどを定めた。手順書では規程に従い具体的に作業を進められるようにした。一例としては、マルウェアの実験に使う OS (Windows) のバックアップを実験前に取り、実験後は OS のイメージを含むハードディスクを国際的なデータ消去基準 (NIST SP-800-88等) に沿って浄化した後にバックアップから戻すことで漏えいを防げるようにした。また OS の更新は別の計算機上でバックアップをベースに行い、決してマルウェアが外部ネットワークに漏えいしないようにした。

この管理技術をベースにして産総研で開発したセキュリティ技術の評価に使った。具体的には産総研で開発した Windows で不要なプロセスを走らせないホワイトリスト制御技術の評価やハイパーバイザーで Windows のシステムコールのログを取る技術の評価を行った。この評価を通して市販のアンチウィルス振る舞いを観察し、それぞれのシステムコール利用に対して特徴があることを確認した。また、管理技術の研究と並行して、USB などのデバイスが PC に接続した際に OS が不用意にデバイスドライバをインストールすることが、デバイス管理の脆弱性の一つであることが判明した。Stuxnet のような USB メモリを介したマルウェアの混入ばかりでなく、スマートフォンを接続したことによる情報漏えいなどの事例もある。このような問題に対処するために、ハイパーバイザーを使って不要なデバイスを OS に見せない技術 DeviceDisEnabler を開発した。DeviceDisEnabler の成果はセキュリティに関する主要な会議である BlackHat São Paulo、および Trusted Computing Group のセキュリティーワークショップで発表した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】脆弱性評価、セキュリティインシデント対応、振る舞い解析

【テーマ題目3】不正や事故検知困難な環境でのセキュリティ対策技術

【研究代表者】渡邊 創 (セキュアサービス研究グループ)

【研究担当者】渡邊 創、辛 星漢、高木 浩光、中田 亨、村上 隆夫、寶木 和夫、大塚 玲、大岩 寛、花岡 悟一郎、Nuttapong Attrapadung、縫田 光司、松田 隆宏 (常勤職員12名、他5名)

【研究内容】

PC やスマートフォンのマルウェア感染、偽サーバや偽アプリなどにより、カード情報やパスワード情報などが盗まれ、金銭を奪われる等の被害が拡大している。本研究では、バイOMETRICS認証やパスワード認証等、個人認証法の安全性評価、これら悪意あるプログラム等に不正な操作を行われたとしても、技術的に被害を防止しユーザに正しい操作が行われたことを提示できる技術の研究開発を行う。また、パーソナルデータが本人の感知できないところで不適切に利用されるのを防ぐことを目的とし、行動履歴の保護やスマートフォンアプリによる電話帳等パーソナルデータ利用のユーザへの適切な提示方法について研究を行う。今年度は以下のような成果を得た。

バイOMETRICS認証について、従来最も安全とされていた生体認証判定方法 (対数尤度比法) が、ある種のなりすまし攻撃 (ウルフ攻撃) に対して脆弱であることを世界で初めて証明し、安全性を高めるための条件を示した。米国電子政府システムの視覚障がい者向け CAPCHA 技術が安全でない (90%以上突破可能) であることを明らかにし、その代替手法を提案した。

ネットショッピングなどのサービスで、偽サーバに誘導されパスワードを盗まれる被害が問題となっている。このような被害を防止する個人認証技術として、これまでに HTTP Mutual 認証プロトコルを開発し、インターネット標準化機関 IETF に提案してきた。本年度は、IETF HTTPAUTH WG での標準化議論を進め、WG での議論結果に基づき、プロトコル本体、プロトコル機能実現のための拡張、プロトコルで使用する暗号技術、の3つの標準化案を改訂した。さらに、これら最新の標準化案に準拠した Firefox ベースのウェブブラウザ実装、ウェブサーバを実装するためのライブラリである WEBrick を利用したサーバ実装を作成し公開することで、提案技術の標準化や利用を促進した。また、VPN などで用いられるパスワードを用いた認証付鍵共有プロトコルを IETF に提案していたが、本年度 RFC 6628 Efficient Augmented Password-Only Authentication and Key Exchange for IKEv2として標準化された。

自身の行動履歴を隠すため、病院では SNS に情報を上げないなど、自分の位置情報の提供を制御することが有効であるが、他人の行動履歴を活用し、機械学習理論を応用することで、これまで知られていたよりも行動履歴が推測される危険が高まることを明らかにし、そのような推測への効率的な対策を提案した。スマートフォンアプリにおけるパーソナルデータ利用のユーザへの適切な提示方法について、その達成度指標を提案し、世界各国達成度調査と比較を行った。その結果が総務省の関連報告書でも引用された。

プライバシーコントロール技術の開発においては、さらなる将来の応用分野開拓を目指し、柔軟で効率の良い暗号方式構成フレームワーク、実装方法に関する研究を

行い、論文発表を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】認証、フィッシング対策、マルウェア対策、偽アプリ対策、プライバシー

【テーマ題目4】ソフトウェアのQCD改善検証ツール  
 【研究代表者】磯部 祥尚（高信頼ソフトウェア研究グループ長）  
 【研究担当者】磯部 祥尚、秋葉 澄孝、Affeldt Reynald、田中 哲、竹内 泉、山形 頼之、竇木 和夫、大岩 寛、田口 研治、Artho Cyrile、崔 銀恵、西原 秀明、北村 崇、初谷 久史（常勤職員12名、他2名）

#### 【研究内容】

組込みソフトウェアの大規模複雑化が進み、ソフトウェアのミスが原因の事故も発生している。ソフトウェアの正しさを厳密に証明するツールとして定理証明器があるが、証明の作業コストが高いという問題がある。ソフトウェアのQCD（品質、コスト、納期）をバランスする技術、及び品質を保証する技術の確立が課題となっている。本年度は、品質を保証する技術として、①テスト設計技術、②実装の正当性証明技術、③並行処理可視化技術、④認証技術に関する研究を行った。以下、各研究について説明する。

①組合せテスト数を効果的に削減するため、優先度付の組合せテスト生成方法 Calot を考案し、その成果を国際会議で発表した。モデルベーステスト生成ツール Modbat の評価・適用事例として、クラウドコンピューティングの主要コンポーネント Zookeeper のテスト用モデルを作成した。

②C言語とアセンブリ言語間連携の形式化に着手するとともに、暗号プロトコル TLS のパーズ関数の形式検証に適用し、その成果を国際誌に発表した。また、LDPC符号の形式検証基盤を洗練して国際ワークショップで成果発表するとともに、知財登録して公開した。

③並行性・非決定性を網羅的に検査するため、並行処理の可視化ツール CONPASU のプロトタイプを完成させ、産業展開に向けた企業訪問プレゼン等で紹介した。

④消費者機械安全規格の策定タスクフォースを設立するとともに、認証工学フォーラム、認証工学セッション（SICE 年次大会）等を開催し、安全やセキュリティの国際規格認証取得方法論の議論を促進するために貢献した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】テスト設計、形式検証、並行処理解析、認証工学

#### ⑫【強相関電子科学技術研究コア】

（Research Core for Correlated Electrons）

（存続期間：2008.4.1～2015.3.31）

研究コア代表：澤 彰仁  
 所在地：つくば中央第4、つくば中央第2

#### 概要：

本研究コアは、産総研において開発してきた強相関電子科学技術を継承・発展させ、第1種基礎研究から応用・実用化研究開発まで総合的に展開することにより、新動作原理である強相関電子系の電子相制御に基づく革新的な先端デバイスの開発を目指している。また、産総研と他機関が参画する強相関電子科学技術フォーラムを運営し、機関間共同研究の中心的な役割を果たしている。研究コアメンバーは、本年度においては、電子光技術研究部門、フレキシブルエレクトロニクス研究センター、ナノエレクトロニクス研究部門ならびにナノシステム研究部門から構成され（常勤職員23名、契約職員4名）、分野横断的に跨った体制となっている。

本研究コアでは、革新的な先端デバイスの開発を目指して、以下の研究課題と目標を設定し、研究開発を推進している。

- ・強相関不揮発性メモリ：二元系遷移金属酸化物を用いた抵抗変化型不揮発性メモリ（ReRAM）を主なターゲットとして、材料最適化、高集積化技術の開発、及び実用化のためのプロセスインテグレーションを一貫して行い、その実用化を目指す。
- ・強相関界面機能：遷移金属酸化物薄膜のエピタキシャル接合界面におけるスピン・電荷交差相関現象を利用し、電界スピン制御、磁気分極制御など、電子・磁気機能を融合させた革新的な酸化物エレクトロニクス素子・スピントロニクス素子を開発する。
- ・強相関有機エレクトロニクス：高性能有機半導体材料の開発、分子間電荷移動を用いた界面高機能化とその評価技術の開発、及び有機エレクトロニクスをシリコンエレクトロニクスに融合させるための新規プロセス技術の開発を行い、高度有機エレクトロニクスを実現するための基盤技術を開拓する。
- ・強相関物性制御：光・磁気・伝導機能融合型の新規遷移金属酸化物バルク材料の開発と電子機能の開発、及び各電子機能の組成・格子パラメータによる最適化を行うとともに、各課題にフィードバックする。さらに、これら多彩な電子機能を発現する強相関電子材料によるデバイス開発を加速するため、これに不可欠となる①ナノスケール磁気評価技術、②超精密構造解析技術、③格子パラメータ制御技術等の最先端計測解析技術を開発・拡充する。
- ・先進機能超伝導材料：卓越した機能を有する超伝導材料の開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導発現機構解明、およびそれらの知見に基づく新規超伝導応用の提案とその実現に向けた技

術開発を推進する。

本年度においては、下記のような成果が得られた。

- ・強誘電体 BaTiO<sub>3</sub>超薄膜のスイッチング層と Co 電極を用いて、スイッチング電圧 0.5 V、電流密度 10<sup>3</sup>A/cm<sup>2</sup>以下で動作する強誘電トンネル抵抗スイッチング素子を開発した。
- ・基板上におけるマイクロ液滴の混合現象を高速度カメラで観察することで、インクジェット印刷による薄膜析出メカニズムを解明した。これにより有機半導体材料 C8-BTBT などの有機分子の高均質薄膜を作製するための必要条件を明示できた。
- ・二元系遷移金属酸化物を用いて 10nm スケールの ReRAM を作製し、動作電流制限値を制御することによって、通常の ON/OFF 電流値より 2桁小さい、より具体的には 10~100nA レベルにおける ReRAM 動作の実証に成功した。
- ・ニクトゲン元素を含む物質群を対象として新超伝導体の探索を行った結果、鉄系超伝導体と同一の PbFCl 構造を有する新超伝導体 AP<sub>2-x</sub>X<sub>x</sub> (A = Zr, Hf; X = S, Se)を発見した。本系の超伝導転移温度は S、Se 置換量  $x$  に依存し、 $x = 0.75$  で最大値 6.3 K をとる。また、Bi を含む (Sr,Na)Bi<sub>3</sub> および Ba<sub>2</sub>Bi<sub>3</sub> が、それぞれ  $T_c = 9.0$  K、4.4 K の超伝導体であることを見いだした。
- ・強誘電体 TTF-CA、BaTiO<sub>3</sub>、PbTiO<sub>3</sub> について、第一原理電子状態計算を行い、Berry 位相と最局在ワニエ軌道を用いた定量的解析を行うことで、共有結合性由来の電子分極の発現機構を解明した。

その他、研究コアの活動として、外部講師を招いた研究討論会として強相関コアセミナーを 4 回開催するとともに、コア内部の研究討論会である強相関コアミーティングを 2 回開催し、強相関エレクトロニクスに係わる研究テーマについて議論を深めた。

#### 4) ナノテクノロジー・材料・製造分野 (Nanotechnology, Materials and Manufacturing)

##### ①【研究統括・副研究統括・研究企画室】

(Director-General・Deputy Director-General・  
Research Planning Office)

研究統括：金丸 正剛  
副研究統括：村山 宣光

##### 概要：

研究統括は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

副研究統括は、研究統括の命を受けて、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室  
(Research Planning Office of Nanotechnology,  
Materials and Manufacturing)

所在地：つくば中央第2  
人員：8名（7名）

##### 概要：

ナノテクノロジー・材料・製造研究分野における研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務、研究分野間の連携の推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整に関する業務、経済産業省その他関係団体等との調整に関する業務、研究統括及び副研究統括が行う業務の支援に関する業務などを行っている。

機構図（2015/3/31現在）

[ナノテクノロジー・材料・製造研究分野研究企画室]

研究企画室長 吉田 勝 他

##### 業務報告データ

- ・第4期中長期ビジョンと予算案の策定
- ・nano tech2015への出展の取り纏め
- ・材料フェスタ in 仙台の出展補助
- ・国プロの立案に向けた総合調整
- ・技術研究組合との各種調整

#### ②【ナノチューブ応用研究センター】 (Nanotube Research Center)

(存続期間：2008.4.1～)

研究センター長：飯島 澄男  
副研究センター長：湯村 守雄  
副研究センター長：佐々木 毅

所在地：つくば中央第5  
人員：22名（22名）  
経費：1,069,227千円（546,541千円）

##### 概要：

本研究センターではこれまで開発してきたカーボンナノチューブとグラフェンの用途開発を更に進め、我が国の新たな産業創出に貢献すると共に、ナノチューブ材料の国際標準化を目指す。さらに、ナノチューブ・グラフェン材料を含むナノ構造体を対象とした超高性能計測・分析技術の開発を推進し、物質の機能を原子レベルで解析する低加速電圧透過型電子顕微鏡を開発する。これらを通じて、世界をリードするナノカーボン材料の総合研究センターとして、日本の産業を支える科学技術の開発を強力に推進する。

これまでの成果をもとに、企業と連携しカーボンナノチューブとグラフェンの実用化・産業化を進める。カーボンナノチューブの実用化・産業化・標準化、グラフェン系ナノ材料の大量生産技術の開発・応用探索、世界最高性能計測・分析技術の研究開発を推進する。具体的には、以下の研究開発を実施する。

- 1) カーボンナノチューブの実用化・産業化・標準化のための研究開発  
スーパーグローブ法やe-DIPS法をもとに、産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術を開発し、単層カーボンナノチューブの用途開発を進めることを目標とする。さらに、これらを企業と共同連携し、製造メーカーと用途開発メーカーの間でBtoBの流れの形成を促進し、カーボンナノチューブ実用化・産業化の達成を目指す。また、カーボンナノチューブ産業の国際競争力強化の点から、カーボンナノチューブの品質評価法などの国際標準化を進める。
- 2) グラフェン系ナノ材料の研究開発  
低温プラズマCVD法を用いて、グラフェンの工業的な連続生産技術を確立し、フレキシブル透明導電フィルム製造を実現する他、グラフェンの潜在的応用分野の探索を進める。
- 3) 世界最高性能計測・分析技術の研究開発  
高次幾何収差および色収差を同時に補正する低加速高性能透過型電子顕微鏡を開発し、空間分解能と、エネルギー分解能の向上を目指す。また、ナノチュ

ープ・グラフェン材料などの物理特性と欠陥やドーパントなど原子レベルの構造との相関を解明するとともに、単分子・単原子からの発光を利用した超高感度検出技術を開発する。

外部資金：

経済産業省「日米エネルギー環境技術研究・標準化協力事業（日米先端技術標準化研究協力）」

独立行政法人科学技術振興機構「低加速高性能電子顕微鏡を用いた単分子・単原子計測技術の開発と、物質現象・生命現象の観察実験への応用」

独立行政法人日本学術振興会

科研費補助金

「励起子自由度を制限できる分子配列構造に基づいた光学的機能の創出」

「高効率光電変換素子に向けたナノアンテナ構造の開発」

「透過電子顕微鏡法による金属有機構造体およびその分子内包複合構造の構造解析」

「生体内分解可能なナノカーボンを用いた標的癌治療薬剤の創製」

「不規則構造内のリチウム単原子の電子分光によるその場検出」

「化学修飾ナノカーボンを活用した新規細胞機能制御技術の開発」

「低温合成した窒素ドーピンググラフェンの局所領域における伝導機構の解明」

「高速測定によるナノ構造および電子状態解析」

「ナノスペースを利用した低次元材料の原子スケール評価と応用に向けた要素技術開発」

「ナノカーボンによるリソソーム膜障害と毒性発現メカニズム」

「酸化カーボンナノチューブ近赤外蛍光プローブ」

「有機半導体分子の合成とナノ組織化による高効率光電変換」

「原子層の量子物性測定と新規物性探索」

「複合原子層の界面特性理解と原子層デバイスへの応用」

発 表：誌上発表68件、口頭発表112件、その他11件

### スーパーグロース CNT チーム

(Super Growth CNT synthesis Team)

研究チーム長：Futaba Don

(つくば中央第5)

概 要：

画期的なカーボンナノチューブの合成法、スーパーグロース法（水添加化学気相成長法）を開発し、基板から垂直配向した単層カーボンナノチューブを高効率に高純度で成長させることに成功している。

このスーパーグロース法に基づく量産基盤技術開発を行い、「かつてない規模・価格での単層カーボンナノチューブの工業的量产」を目指している。より具体的にはカーボンナノチューブ成長効率を高める炭素源・温度・触媒賦活剤の開発、大面積合成技術や連続合成技術開発などである。さらに、カーボンナノチューブには直径・長さ・結晶性・密度・カイラリティなど、さまざまな構造の多様性を有するが、これらの構造が各用途に適したものに調整されたカーボンナノチューブの成長技術を開発する。さらにはこれらのすり合わせ合成技術の量産化検討を進める。

研究テーマ：テーマ題目1

### CNT 用途開発チーム

(CNT Application Team)

研究チーム長：山田 健郎

(つくば中央第5)

概 要：

カーボンナノチューブを用途で活用するためには、その優れた性能を損なうことなく、分散・成形加工・複合化する技術を開発して、部品・部材などに作り、デバイスに組み込む必要がある。特に当チームでは長尺配向の特徴があるスーパーグロース法で作製した単層カーボンナノチューブを中心に、その特長を活かした、成形加工・微細加工・分散手法の開発を行っている。

これらの技術を活用して、カーボンナノチューブのポテンシャルを十分に引き出した、従来にない革新的な機能を有する複合材料の開発及びその部材化、それらを組み合わせたデバイス開発、実用化研究にとり組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目2

### 流動気相成長 CNT チーム

(Direct Injection Pyrolytic Synthesis Team)

研究チーム長：斎藤 毅

(つくば中央第4・第5)

概 要：

改良直噴熱分解合成法（eDIPS 法）を用いた単層カーボンナノチューブ（CNT）の量産的合成技術および直径制御合成技術を高度化することなどにより、単層CNTの特性を決定する構造パラメータである直径・長さ・カイラリティ・結晶性にする合成・分離精製（一次構造制御）技術開発を行う。さらに、単層CNTを各種応用に適した形態に加工するために薄膜化・パターンニング・配向・紡糸といった二次構造制御の基盤技術開発にも取り組みつつ、企業との共同研究を積極的に推進し、社会的ニーズが高い省資源・低コスト製造プロセスであるプリンテッドエレクトロニクスデバイスをはじめとした多方面に及ぶ実用化・産業化研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目3

### 高度機能 CNT チーム

(Advanced Functional CNT Team)

研究チーム長：岡崎 俊也

(つくば中央第5)

#### 概要：

新規材料開発において材料特性を的確に評価する手法は、組成、形状あるいは合成条件を最適化していく上でなくてはならないものである。CNT 開発においても、それは例外ではない。当研究チームでは、分光法などを利用した新しい CNT 品質評価法や凝集状態評価法の開発研究をおこない、CNT の高品質化に貢献する。また、CNT 実用化によって重要である、ナノ安全性に資する評価法の開発もおこなう。そして、開発した手法の国際標準規格化を目指し、わが国の生産する CNT の差別化をはかる。

また、CNT が、生体物質透過性が高い近赤外蛍光を発するという稀有な光学的特性を持つことに着目し、近赤外蛍光標識としての用途開発をおこなう。

研究テーマ：テーマ題目4

### グラフェン材料チーム

(Graphene Team)

研究チーム長：長谷川 雅考

(つくば中央第5)

#### 概要：

グラフェンおよびナノ結晶ダイヤモンド薄膜（ナノダイヤモンド薄膜）を中心としたナノ材料コーティング技術の開発および構造、物性、機能等の評価解析を行うことにより、機械的機能あるいは化学的・電気的機能に優れ、環境に適合するコーティング製品を開発することを目的としている。

気相化学蒸着法（CVD）による高品質なグラフェンの大面積・低温形成技術を開発するとともに、ロール TO ロール合成法などの量産技術の開発と応用技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目5

### カーボン計測評価チーム

(Nano-Scale Characterization Team)

研究チーム長：越野 雅至

(つくば中央第5)

#### 概要：

カーボンナノチューブやフラーレン、グラフェンなどのナノカーボン物質の多様な構造を正確に把握し、そこで生じる特異な物理・化学現象の実験的検証を進めることは、ナノカーボンの科学の探求と画期的な応用法の確立の両面において、極めて重要な課題である。超高感度電子顕微鏡装置開発を通じ、これまで困難で

あったナノカーボン材料における原子レベルでの元素同定や構造解析法を実現する。それとともに、これら評価技術を駆使した新たなナノカーボン材料のナノスペース科学の構築とその応用を目指した研究開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目6

### [テーマ題目1]カーボンナノチューブ成長効率の本質的限界に関する研究

[研究代表者] Futaba Don

(スーパーグロース CNT チーム)

[研究担当者] Futaba Don、畠 賢治、湯村 守雄、

桜井 俊介、陳 国海、石沢佐智子

(常勤職員4名、他2名)

#### [研究内容]

カーボンナノチューブ成長効率を高めるためには、成長速度と同時に、触媒の寿命を長くすることが求められる。過去の研究からは、この二つを共に高くすることは困難であることが示唆されていたが、具体的にどのような相関があるのかは未知であった。そこで本研究では、様々な炭素源・温度・触媒賦活剤を用いた330条件での CNT フォレスト成長を分析し、両者の相関について調査した。その結果、両者は基本的に反比例する関係にあることが分かった。

まず単層 CNT の合成温度の影響を調査した。成長温度を高くすると、成長速度は高くなる代わりに寿命は短くなった。炭素源の濃度を高くした場合、エチレン・アセチレン炭素源の場合は成長速度が高くなり寿命は短くなったが、ブタン・プロパン炭素源の場合は成長速度が低くなり寿命は長くなった。加えて、上記のような成長速度と寿命の排反関係は、成長賦活剤（水）の量を変えた場合や、過去の CNT 成長に関する文献で報告されている値を用いて、3桁以上に広がる範囲の成長速度/寿命についてプロットしても成り立ち、大まかに両者は反比例する傾向が示された。

このように成長速度と寿命の反比例関係は、広く一般的に成り立つことから、CNT の成長機構そのものに由来することが示唆される。即ち、高い成長速度と長い成長寿命を両立させるのは、現在の CNT 成長機構の範囲内では困難であることを示していると考えられる。今後は、今回の調査では含まれなかった成長機構（気相成長など）について、今回観測された CNT 成長の制限を解消できるかの検証を行う予定である。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] カーボンナノチューブ、触媒、CVD

### [テーマ題目2] スーパーグロース CNT の実用化検討用途開発研究

[研究代表者] 山田 健郎 (CNT 用途開発チーム)

[研究担当者] 山田 健郎、畠 賢治、関口 貴子、

小橋 和文、阿多 誠介、友納 茂樹、  
田中 文昭、  
LASZCZYK Karolina Urszula、  
三浦 湖波、吉田 理佐  
(常勤職員5名、他5名)

**【研究内容】**

カーボンナノチューブ (CNT) 特にスーパーグロース法によって製造される単層 CNT を用い、その長尺、高純度と言った特徴を駆使した、新しい単層 CNT の部材開発を行い、用途開発へとつなげることを目的としている。たとえば、ゴム材料にスーパーグロース法で合成した長尺の単層 CNT を均一に複合化することにより、ゴムの性質を維持したまま、導電性を付与出来るばかりでなく、その他のゴムの特性も向上することを明らかにした。さらに、CNT の分散性がそれらゴム複合材料の特性に影響を及ぼすことも示唆できた。

また、スーパーグロース法で合成された単層 CNT と銅との複合化にも成功し、高い電流を流す炭素材料の特徴と、低い抵抗値を有する銅の特徴を併せ持ち、銅と同程度の抵抗値を持ちつつ銅の100倍電流を流せる、CNT 銅複合材料に対し、CNT の配向性とその特性との相関を見出した。

これら長尺、高純度の単層 CNT のポテンシャルを十分に引き出し、従来にない革新的な機能を有する部材の開発やそれらを用いたデバイス開発を通じ、CNT の実用化研究を展開している。

**【分野名】** ナノテクノロジー・材料・製造

**【キーワード】** カーボンナノチューブ、スーパーグロース、CNT 複合材料、CNT デバイス

**【テーマ題目3】** DISP 法による超高品質単層カーボンナノチューブの量産技術と材料加工技術開発およびその応用探索

**【研究代表者】** 斎藤 毅 (流動気相成長 CNT チーム)

**【研究担当者】** 斎藤 毅、栗原 有紀、八名 純三、  
清宮 維春、平井 孝佳、二瓶 史行、  
沼田 秀昭、大森 滋和、小林 明美、  
星 和明、佐々木扶紗子  
(常勤職員2名、他9名)

**【研究内容】**

本研究では単層カーボンナノチューブ (CNT) を高効率低コストで大量に製造可能なプロセスである改良直噴熱分解合成法 (enhanced Direct Injection Pyrolytic Synthesis: eDIPS 法) の高度化開発と、この合成プロセスで得られる超高品質単層 CNT の直径を制御する技術、短尺化あるいは長さ分級等で長さを制御する技術、金属型・半導体型に分離精製する技術、薄膜・インク・線材などに加工するための基盤技術および単層 CNT の産業応用探索として薄膜トランジスタなどのデバイス製造プロセス技術に関する研究など、CNT 実用化を目指して川

上から川下まで幅広い分野の研究開発を行っている。平成26年度には CNT 薄膜の半導体チャネルを有するトランジスタの性能向上とばらつきの低減を目指して、eDIPS 法単層 CNT から特定のカイラリティを分取してインク化し、湿式プロセスでデバイス製造する技術に関して研究を行った。その進捗を下記に報告する。

本研究グループにおいて開発された eDIPS 法は、炭素源およびキャリアガスの種類、濃度、触媒および助触媒組成、反応温度など制御によって単層 CNT の平均直径や層数など CNT 形状を作り分けることができる。また様々な分離精製技術を利用することによって、現在では金属/半導体分離や長さ分級、カイラリティ分離をすることも可能となってきた。そこで平成26年度は、特定のカイラリティの CNT と相互作用すると報告されている合成 DNA を分散剤として用い、イオン交換クロマトによってカイラリティ分離を行った。その結果として eDIPS 法単層 CNT から (7,5) 等のバンドギャップ1eV以上の半導体性カイラリティの分離・インク化に成功した。また分離した特定のカイラリティを有する単層 CNT を用いて薄膜トランジスタを作製し、デバイス特性を評価したところ、未分離のものに比べてオンオフ比が大幅に向上する (10の6乗以上) ことが確認された。

本研究で得られた知見を用いて、今後省エネルギーかつ低コストで製造することができる電子デバイス製造技術であるプリンテッドエレクトロニクスに適する単層 CNT インク材料の創成に向けて研究を展開する。

**【分野名】** ナノテクノロジー・材料・製造

**【キーワード】** ナノチューブ、CVD、印刷技術、トランジスタ

**【テーマ題目4】** 実用化に向けた CNT 評価法開発および CNT 近赤外蛍光標識開発

**【研究代表者】** 岡崎 俊也 (高度機能 CNT チーム)

**【研究担当者】** 岡崎 俊也、湯田坂 雅子、張 民芳、  
都 英次郎、丹下 将克、飯泉 陽子、  
森本 崇宏、境 恵二郎、生田 美植、  
高野 玲子、巽 かおり、永好 けい子、  
Chechetka Svetlana  
(常勤職員4名、他9名)

**【研究内容】**

溶液中および複合材中のカーボンナノチューブ (CNT) 分散状態を総合的に評価する手法の開発をおこなった。特に、複合材料中の CNT の伝導パスを実空間計測する手法として、ロックイン式サーマルスコープおよびレーザー照射による電気抵抗変化観測が有効であることを確定した。さらに、分散液中の CNT 分散状態評価法として、ディスク式遠心沈降法を検討した。CNT ゴム複合体の導電率と、ディスク式遠心沈降法で見積もられた CNT 分散体サイズとを比較したところ、CNT 分散体サイズが60nm 前後の場合、最も導電率が高いことが分か



った。また、紡糸用 CNT 分散液を評価したところ、スーパーグロス単層カーボンナノチューブの場合、100nm 前後のサイズを持つ分散体形成が、紡糸の可否に関連していることが分かった。

また、CNT を近赤外蛍光プローブとして応用することを試みた。特に、発光効率を実質的に100倍以上向上できる酸化 CNT について、近赤外光プローブ応用の実現性を探るため、実際に抗体分子と結合させ、特定のタンパク質との免疫沈降反応をおこなった。その過程で従来得られているものとは別種の酸化 CNT を合成できることを発見した。この酸化 CNT は従来法で得られる酸化 CNT よりも長波長で発光するものが得られ、カイラル指数 (6, 5) の CNT に対して1300nm 付近で発光し、生体中の蛍光プローブとしては最適であることが分かった。この酸化 CNT をポリエチレングリコールで水溶化し、抗体分子であるイムノグロブリン G を化学結合させた。さらに、G タンパクとの免疫沈降反応をおこなったところ、未酸化 CNT と同様に非常に効率よく反応することが確認できた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 カーボンナノチューブ、品質評価、分光、臨床検査、ナノ安全

#### 【テーマ題目5】 グラフェン系ナノ材料の研究開発

【研究代表者】 長谷川 雅考 (グラフェン材料チーム)

【研究担当者】 長谷川 雅考、石原 正統、山田 貴壽、  
沖川 侑揮、川木 俊輔  
(常勤職員4名、他1名)

#### 【研究内容】

##### ① 高品質・大面積グラフェンの形成技術開発

当センターで開発したプラズマ CVD を用いた低温・大面積・高速グラフェン合成技術をさらに発展させた。グラフェンの結晶核発生密度と成長速度の精密制御により、高品質グラフェンを短時間で合成する手法を開発し、PET 基板に転写したグラフェンで光透過率93%以上・シート抵抗150Ω以下を達成した。並行して銅箔基材からのグラフェンの剥離・転写法を高度化し、これらの成果をもとに A4サイズ大面積高品質グラフェン透明電極とそれを利用した透明ヒーターを試作した。さらに原子層グラフェン透明電極を用いた有機 LED の高輝度発光に成功した。

##### ② ナノダイヤモンドコーティングの用途開発

ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した用途として、シリコン・オン・インシュレータ (SOI) 構造を有する熱放散型デバイス基板の、貼り合わせによる作製技術を開発した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 グラフェン、ロール TO ロール成膜、ナノ結晶ダイヤモンド薄膜、波プラズマ CVD、有機 LED、SOI、熱放散型デバイ

ス基板

#### 【テーマ題目6】 世界最高性能計測・分析技術の研究開発

【研究代表者】 末永 和知 (首席研究員)

【研究担当者】 末永 和知、佐藤 雄太、劉 崢、  
越野 雅至、千賀 亮典、OviduCRETU、  
YungChan Lin、新見 佳子、  
佐藤 香代子、齋藤 昌子  
(常勤職員5名、他5名)

#### 【研究内容】

カーボンナノチューブ応用のための要素技術開発として、超高感度電子顕微鏡装置開発を通じ、これまで困難であった新炭素系物質における原子レベルでの元素同定や構造解析法を実現する。特に単分子・単原子レベルでの計測・分析技術を確立させるためには電子顕微鏡のさらなる高分解能化・高感度化が必要である。それには電子光学系の革新的発展、検出器の高効率化、装置環境の高安定化などの基礎的技術開発に加え、用途に応じた電子顕微鏡の多機能化が必要となる。それとともに、これら評価技術を駆使した新炭素系物質のナノスペース科学の構築とそれを制御した新機能発現とその応用を目指した研究開発を行う。

また、化学反応の素過程の観察や単分子の構造解析など化学・生物分野への電子顕微鏡解析手法の展開を図る。新しい収差補正技術の確立や試料作製技術などの発展にも貢献する。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 電子顕微鏡、収差補正、欠陥構造、ピーポッド、内包フラーレン、光学測定

#### ③【集積マイクロシステム研究センター】

(Research Center for Ubiquitous MEMS and Micro Engineering)

(存続期間：2010.4.1～)

研究センター長：前田 龍太郎

副研究センター長：廣島 洋、伊藤 寿浩

所在地：つくば東

人員：25名 (25名)

経費：441,001千円 (222,813千円)

#### 概要：

本ユニットでは情報技術分野に必要とされる、微細加工を利用したマイクロデバイスに関する研究開発およびその分野に関連する人材を養成することをミッションとする。

経済産業省では現在つくばにナノテック拠点 (つくばイノベーションアリーナ・Nano) 計画を進めている。MEMS 分野はこの中で6つのコア領域のうち、主要な

分野と位置付けられている。この拠点化構想において産総研は、精密機械工業と情報産業、装置ベンダー、材料メーカーを融合した業界とのオープンイノベーション拠点形成を目指す。つくば拠点におけるナノエレクトロニクス等半導体、カーボン系の新材料等の研究ユニットとの連携を強化し、我が国の自動車や情報家電、健康医療デバイス等の競争力を強化する。MEMS技術の実証の場として、クリーンルームやデータセンター、およびコンビニでの省エネを行ってきたが、さらに平成26年度は生産計測技術研究センター等と連携し、上記に加えて農業・畜産分野や交通インフラでのMEMS技術によるセンサシステム実証実験等を実施した。

産業界と連携してMEMSデバイスの量産技術の開発および集積化MEMS試作環境の整備を行ってきた。同時に環境に対して優しくコストの低いグリーンフレキシブル微細加工、および大面積ナノ製造技術を開発し、さらにそれらを使ったユビキタス電子機械システム、特にユビキタスグリーン見守りシステムや国民の安全安心や先端医療に資するユビキタスシステムの開発を行ってきた。さらにエレクトロニクスとの連携を図るために、本年度はウエハの外観検査装置等の充実および人材育成のためのコンテンツ開発を行った。

これらの研究開発に加え、MEMS試作ファウンドリサービス・人材育成による産業化促進等の共通基盤技術により、第3期中期計画の達成を図ってきた。

平成26年度は、前年に引き続きナノテクノロジー・材料・製造分野の重点課題として位置づけられた下記の2つの重点課題を中心として研究を推進してきた。

◆第3期加速のための重点化課題

・高集積・大面積製造技術の開発

光学機能、表面機能、生体適合性などの様々な特性を有するナノ構造を、大面積、高生産性、低環境負荷で製造するナノ構造形成技術と、それら異種の特性を有したナノ構造体とMEMSや半導体を融合するための集積化製造技術を開発することにより、産業競争力の強化と生産活動における環境負荷の低減に貢献する高集積マスマプロダクション技術の開発を行ってきた。平成26年度は、射出成形による表面ナノ構造形成技術を応用する樹脂製品の防曇機能付与技術、常温で高強度を実現する金封止構造によるMEMSパッケージング技術、X線望遠鏡に使用するスリット構造付き12インチSiウエハの高精度曲面形成技術、メモリ・センサ等の高密度3次元実装のための光熱併用インプリント技術によるポリイミドの高アスペクト比パターン形成技術の開発等を行った。

◆第3期推進のための重点化課題

・ユビキタス電子機械システムの開発

バイオ、化学、エネルギーなど異分野のデバイスを

融合・集積化したMEMSデバイスを製造するための技術ならびに低消費電力かつ低コストMEMSコンポーネント製造技術を開発し、安全安心や省エネルギー社会実現に資するユビキタスマイクロシステムを開発してきた。

平成26年度は、コンビニ用センサネットワークシステムの開発では約2千店舗に約1万6千個のセンサ端末を実装し、3年間にわたりデータを収集した。2014年、1,860店舗で10%の省エネを達成した(2012年比)。オフィス用センサネットワークシステムの開発：中小オフィス用では、単一種類センサ(赤外線アレセンサ)で、複数オフィスにネットワークシステムを構築し、夏期/中間期/冬期の各期間において10%以上の省エネを達成した。大規模商業ビル用では、オンラインリアルタイム表示可能な室内環境の見える化システムを開発し、3種類の大規模商業ビルにネットワークシステムを構築して、10%以上の省エネを確認した。ファクトリ用センサネットワークシステムの開発：センサデータに基づく電力ピーク抑制シミュレーションを可能にするため、生産工程の稼働/非稼働(待機電力)自動判定プログラムおよび電力ピークシフトシミュレーションプログラムを試作し、これにより10%以上の省エネを確認した。

内部資金：

分野重点課題「高集積・大面積製造技術の開発」

分野重点課題「ユビキタス電子機械システムの開発」

研究組合連携インセンティブ(NMEMS技術研究機構)  
「グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発」

研究組合連携インセンティブ(NMEMS技術研究機構)

「道路インフラ状態モニタリング用センサ端末及びモニタリングシステムの研究開発」

イノベーション推進予算「非線形自励発振型マイクロ・ナノレゾネータによる高精度・高機能センシングへのブレークスルー」

外部資金：

独立行政法人 日本学術振興協会

科学研究費補助金(基盤研究(A))「牛消化器疾病早期摘発のための無線ルーメンセンサ・ネットワークシステムの開発」

科学研究費補助金(基盤研究(A))「無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化」

科学研究費補助金(基盤研究(C))「圧電素子の積層化による振動発電装置の高出力化に関する研究」

科学研究費補助金(基盤研究(C))「フェーズフィールドモデルに基づくマイクロ多孔質体内相変化二相流計算法の開発」

科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「ソーレ効果を活用したガス分離用マイクロ流体デバイスの開発」  
科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「耳内部血管流における左右非対称性の検証」  
科学研究費補助金（若手研究(B)）「Wakeup による圧電 MEMS 用 PZT 薄膜の圧電特性向上」

独立行政法人 科学技術振興機構

復興促進プログラム（マッチング促進）「無反射ナノ構造体による撮像用マイクロレンズの製造技術開発」  
研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)】ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）「ナノ構造体による高機能防曇ゴーグルの開発」  
研究成果展開事業【研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)】（本格研究開発）【ハイリスク挑戦】「8インチ基板を用い、安全性を強化した高反応・高吸収効率 MEMS フローリアクターの高精密製作量産化技術の開発」

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ状態モニタリング用センサシステム開発／ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発／コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発  
SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術／チーム双方向連成を加速する超上流設計マネジメント／環境構築の研究開発

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）次世代農林水産業創造技術「生体センシング技術を活用した次世代精密家畜個体管理システムの開発」

共同研究

センサネットワークに関する研究

発表：誌上発表97件、口頭発表106件、その他10件

#### グリーンナノデバイス研究チーム

(Green Nano Device Research Team)

研究チーム長：井上 朋也

(つくば東)

概要：

環境低負荷かつ持続可能な社会・生活の実現のために MEMS 技術を通して貢献する技術開発を本チームのミッションとする。社会への貢献という観点から、MEMS デバイスそのものの開発はもとより、実際に利用されるためのインターフェースの開発までを必要に応

じて行う。応用分野は、社会へのインパクトを鑑みエネルギー・化学システムおよびヘルスケア関連分野とする。

研究テーマ：テーマ項目1、テーマ項目2、テーマ項目3、  
テーマ項目4、テーマ項目6、テーマ項目9、  
テーマ項目15、テーマ項目18

#### ヘテロ融合研究チーム

(Hetero Convergence Team)

研究チーム長：松本 壮平

(つくば東)

概要：

インフラや環境のモニタリング、ヘルスケアなどの応用領域に適応する MEMS デバイスに求められる新しい微細加工技術・デバイス技術を実現するため、異分野技術との融合を進め、MEMS 技術の拡張を図る。具体的には、3次元微細構造やマルチスケール構造を実現する微細加工技術、これらと流体・物質との相互作用に基づくデバイスの構築とシミュレーション技術を中心に研究開発を実施する。長期的には、これらの融合によりユビキタスマイクロシステムにおける化学・物理センサ機能、エネルギー変換機能等を有するマイクロデバイスの実現を目指す。

研究テーマ：テーマ項目2、テーマ項目3、テーマ項目4、  
テーマ項目5、テーマ項目9、テーマ項目10、  
テーマ項目18

#### 大規模インテグレーション研究チーム

(Large Scale Integration Research Team)

研究チーム長：高木 秀樹

(つくば東)

概要：

高機能で高付加価値なシステムを実現するため、異種デバイスおよび異種材料の集積化技術の開発を進めている。そのために、表面の平坦化と活性化処理を用いた低ダメージ接合技術の開発を行っている。平成26年度は犠牲層膜を利用して超平滑なメッキ表面を作製することにより、金メッキ封止枠を用いて常温での接合により気密封止を行うプロセスを開発した。またウエハの低温直接接合技術と、エピタキシャル成長による多層膜のリフトオフや、水素イオン注入による剥離技術を組み合わせ、異種基板上に高品質の半導体薄膜を転写する技術を開発している。さらに、微細ナノ構造により各種表面機能を実現する技術に関し、反射防止機能を微小レンズ表面に形成するプロセス、および表面の親水化により曇りを防止するプロセスの開発を、民間企業と共同で推進した。また、これらの加工技術を利用して宇宙での利用を想定したデバイス開発を、JAXA および鳥取大学と共同で推進した。

研究テーマ：テーマ項目1、テーマ項目3、テーマ項目13、

## テーマ題目14

## ネットワーク MEMS 研究チーム

(Networked MEMS & Man-Machine Science  
Research Team)

研究チーム長：一木 正聡、前田 龍太郎

(つくば東)

## 概要：

通信機能を有するセンサ端末であるセンサネットワーク等を駆使して環境センシングやエネルギー消費最適化等を行う技術開発及び、人間・生体の健康管理、安全安心のための自然・人工物のモニタリング技術を開発するとともに、製造技術の省エネルギー化やグリーン化を推進するため、ユビキタス電子機械システムの開発を行っている。

具体的には、物理量や化学量センサ、発電機能素子など異分野融合デバイスを統合した数 mm 角程度の通信機能付きセンサノードチップを実現するための要素・集積化・実装技術の開発を行い、上記のセンシング・モニタリングシステムの開発を進めている。また見守りシステムに応用可能なヒューマンインターフェースの調査・開発研究を進めている。実証試験として、コンビニエンスストアにおける電力消費モニタリングを行い、データの収集環境の整備を行った。

さらに、これらのデバイス・システムの社会へ実装を推進するため、オープンイノベーション拠点としての TIA (つくばイノベーションアリーナ)・N-MEMS 拠点の立ち上げ・充実化・運用を主導するとともに、この中で大学・企業等との連携を積極的に進めるため、人材育成サービスプログラムおよび MEMS ファウンダリシステムの充実化を図っている。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目4、  
テーマ題目6、テーマ題目7、テーマ題目8、  
テーマ題目11、テーマ題目16、テーマ題目18、テーマ題目19

## ライフインターフェース研究チーム

(Life Interface Research Team)

研究チーム長：亀井 利浩

(つくば東)

## 概要：

ライフサイエンスの最前線は、分子生物学的な手法による、核酸、たんぱく質など生体分子の構造・機能の解明から、様々な生体分子が高度に組織化されたシステムとしての細胞や生命体を理解する方向にシフトしている。このような文脈の中で微小電子機械システム (MEMS)、マイクロ流路技術、および半導体集積回路は、並列動作・処理、小型性、三次元加工、試薬消費量の低減、分析の高速化等の特徴により、今後、Point-of-Care 診断、創薬、再生医療、個別化医療を革

新し、少子高齢化社会を迎える我が国において、生活の質を維持しながら、医療費を削減できる技術として期待されている。これを実現するために、明確な出口イメージを描きながら、シリコンフォトニクス、マイクロ流路、圧電 MEMS 技術など、異なる専門分野を融合し、システムレベルでの設計・動作・性能の最適化を図っていく。また、ライフサイエンス分野では、産業界、大学、公的研究機関等、産総研内外の研究人材を積極的に糾合していくことがイノベーションにとって特に重要であるため、MEMS 共用施設の活動の一翼を担うことによって、ライフイノベーションを実現することを目指す。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3、  
テーマ題目4、テーマ題目12、テーマ題目16

## [テーマ題目1] 高集積・大面積製造技術の開発

[研究代表者] 廣島 洋

(グリーンナノデバイス研究チーム)

[研究担当者] 廣島 洋、高木 秀樹、亀井 利浩、

栗原 一真、魯 健、倉島 優一、  
銘苺 春隆、尹 成圓、高松 誠一、  
鈴木 健太、前神 有里子

(常勤職員11名)

## [研究内容]

この研究では、高機能で安価かつ大面積での MEMS 製造技術を開発することを目指している。具体的には、100nm より微細な3次元構造体をメートル級の大きさにわたり、低コストかつ低環境負荷で、レジストや金属メッキ構造体、多結晶シリコン材料等を用いて MEMS を量産するための基盤技術を開発する。

射出成型による表面ナノ構造形成技術をスイミングゴーグルに適用する研究開発を行った。防曇機能を付与するために、従来は塗工工程が必要であったが、ナノ凹凸構造をゴーグル表面に付与することで射出成形だけで防曇機能を発現させることができた。プロトタイプの防曇構造は塗工工程の防曇膜と比べて、初期の防曇性能は劣るが継続使用時の防曇性能の劣化が少ないことが分かった。ナノ凹凸構造の改良で初期性能は向上すると考えている。また、経時劣化が少ないのはナノ凹凸構造が有する防汚効果によるものと考えている。

MEMS のパッケージングには一般的に金メッキによる封止枠やバンプ電極が用いられ熱圧着法により MEMS 基板と接合されている。この際使用される金メッキの表面は粗く、接合では金を軟化させる必要から高温でプレスを行う必要がある。一方、高温プロセスは MEMS のパッケージング影響を及ぼし、MEMS の性能を劣化させかねない。そこで、信頼性の高い封止プロセスとして、封止枠表面に仮基板から原子レベルで超平滑な形状を写し取り、その超平滑な表面を接合させる手法

を開発し、この手法により常温で高強度な接合を実証した。

大面積MEMSデバイスとして12インチSiウエハに微細貫通スリットを形成後、Siウエハを湾曲させ、複数枚組み合わせるMEMS-X線望遠鏡デバイスの開発に取り組んでいる。Siウエハを回転させることで回転対称性良くメッキを行い、目標である曲率半径3m程度にSiウエハをメッキ応力により湾曲できることを確認した。

メモリやセンサなどの高密度3次元実装のための光熱併用インプリント技術を研究している。このインプリント用樹脂である可溶性ブロック共重合ポリイミドの感光剤の重量割合を最適化することで、世界では前例のない最小100nmとアスペクト比6.5の高アスペクト比のポリイミドパターンの形成に成功した。

高齢者の見守りなどに用いるための圧力センサアレイを開発している。従来の静電容量センサでは靴着用時に圧力検知が困難になるという問題があったが、PZT圧電膜が形成されたMEMSカンチレバーを柔らかいPDMSゴムでパッケージングした構造で、押すことにより電荷が発生する圧電型圧力センサチップを開発することにより靴着用時も安定して圧力を検知することが可能となった。

このほか、蛍光検出素子の励起光源の実装技術として、45°ミラーを有する貫通キャビティウエハと貫通配線を有するガラス基板を接合後に微小なLD(250 $\mu$ m×350 $\mu$ m)を接合したウエハと蛍光検出デバイスを形成したウエハを接合するためのプロセスの開発を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 MEMS製造ライン、人材育成事業、大面積インプリント、ポリマーMEMS

#### 【テーマ題目2】 ユビキタス電子機械システムの開発

【研究代表者】 伊藤 寿浩 (副研究センター長)

【研究担当者】 伊藤 寿浩、松本 壮平、池原 毅、張 毅、小林 健、岡田 浩尚、鈴木 章夫、森川 善富、井上 朋也、高田 尚樹、松本 純一、山下 崇博 (常勤職員12名)

#### 【研究内容】

絆創膏サイズ(2cm×5cm以下)のフレキシブルランプ式電流センサを実現するため、パーマロイフィルムに50 $\mu$ m以下幅のコイル構造を形成する製造技術を開発した。具体的には、400巻き以上のフレキシブルコイル構造を備えた、サイズ2cm×5cm以下のフィルム型(厚さ100 $\mu$ m)フレキシブルランプ式電流センサの製造プロセスを開発し、実際のセンサ試作に成功した。センサを15程度接続して使用することで3V/30Aを超える変換効率が得られることを確認した。また、これを用いて、電流400A、曲率半径1mm以下の過酷条件下に対応する、電池レス無線通信機能付きフレキシブル電力センサ端末

を実現した。

また、6シンボルでの超短電文通信が可能な、3mm角通信機能付きチップと受信機とを実現した。特に、超低消費電力無線通信技術の開発では、300MHz帯用と、900MHz帯用の2つのアナログフロントエンド基板をデジタル処理基板に接続し、同時受信可能な受信機を開発した。シミュレーションにより、1000端末の場合には20s以上の間欠時間であれば1%以下の電文衝突確率で受信できることを明らかにした。開発した受信機から-130dBmの信号を受信できる仕様を示し、理論的に開発した通信プロトコルを用い、1%以下のシンボル誤り率で-130dBmの信号を受信できることを明らかにした。

温湿度センサ端末等から得られる環境情報と、消費電力量とを統合した電力プロファイリングシステムを、小規模店舗網やクリーンルームに適用し、消費エネルギーを2,000店舗平均で2年間で10%削減できることを示した。

また、アニマルインターフェースの開発に関して、牛の受精適期判定用の膣内センサについて、留置用構造の基本設計と試作、および最適測定方法を検討した。ルーメン機能解析用のセンサに関しては、加速度によるルーメン内容物の流動性評価の基本手法を検討するとともに、センサからの無線通信を中継する首輪中継器のプロトタイプ試作を実施した。さらに、体表温センサについては、牛への持続的装着方法、持続的モニタリング方法、無線データの解析方法の基本開発を終えるとともに、耐久性等を改良した体表温センサの設計・試作を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 無線センサネットワーク、電力モニタリングシステム、ヒューマンインターフェース、マイクロ流体、化学合成、流体シミュレーション

#### 【テーマ題目3】 グリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発

【研究代表者】 前田 龍太郎 (研究センター長)

【研究担当者】 前田 龍太郎、伊藤 寿浩、高木 秀樹、池原 毅、張 毅、小林 健、魯 健、岡田 浩尚 (常勤職員7名、他1名)

#### 【研究内容】

省エネに資する革新的センサ端末(無線通信機能、自立電源機能、及び超低消費電力機能を搭載)の開発、それらのセンサを用いたネットワークシステムの構築と省エネ実証を行い、以下の結果を得た。

##### ①グリーンMEMSセンサの開発

電流・磁界センサの開発：100pTから1mTの磁界を検出可能な小型なセンサ部、自立電源部、および無線通信部から成る端末で、平均消費電力65 $\mu$ Wを達成した。塵埃量センサの開発：イベントドリブン機能を搭載したセンサ部、自立電源部、および無線通信部から成る端末で、平均消費電力96 $\mu$ Wを達成した。CO<sub>2</sub>濃度センサの開

発：イオン液体のガス吸着部、電極部から成る小型センサ部、自立電源部、および無線通信部から成る端末で、平均消費電力約40 $\mu$ Wを達成した。VOC濃度センサの開発：ポリマーを用いた共振式センサ部、自立電源部、無線通信部（産総研試作）から成る端末で、平均消費電力36 $\mu$ Wを達成した。赤外線アレーセンサ：サーモパイル型赤外線センサ部、自立電源部、および無線通信部から成る端末で、平均消費電力95 $\mu$ Wを達成した。

②無線通信機能及び自立電源機能を搭載したグリーンセンサ端末の開発

ナノファイバー構造自立電源の開発：室内照明に適した有機半導体と電荷輸送ロスの低減に有効なナノファイバー構造の利用により室内の低照度環境下で2 $\times$ 5cmのサイズで、150 $\mu$ W以上の出力を達成した。超小型高効率及び低照度環境向け自立電源システムの開発：蛍光灯500ルクス下で、196 $\mu$ W出力が得られる4直DSCモジュールとEDLCで構成される発電・蓄電一体型モジュールを開発した。グリーンセンサ端末機能集積化技術の開発：エネルギーマネジメントアルゴリズムをハードウェア実装した端末用LSIを開発し、自立電源の高効率化と端末起動時間の短縮効果を確認した。超低消費電力無線通信技術の開発：920MHz、315MHz帯を同時受信可能な受信機および通信プロトコルを開発し、1%以下のシンボル誤り率で-130dBmの信号が受信できることを確認した。グリーンセンサコンセントレータ（GCON）の開発：3G/LTE、WiFi、920MHz、315MHzの各無線ユニットに対応したコンセントレータを開発し、最長で約1年間にわたる実証実験を行い、クラウドへのデータ送信率約90%を達成した。

③グリーンセンサ・ネットワークシステムの構築と実証開発

コンビニ用センサネットワークシステムの開発：約2千店舗に約1万6千個のセンサ端末を実装し、3年間にわたりデータを収集した。2014年、1,860店舗で10%の省エネを達成した（2012年比）。オフィス用センサネットワークシステムの開発：中小オフィス用では、単一種類センサ（赤外線アレーセンサ）で、複数オフィスにネットワークシステムを構築し、夏期／中間期／冬期の各期間において10%以上の省エネを達成した。大規模商業ビル用では、オンラインリアルタイム表示可能な室内環境の見える化システムを開発し、3種類の大規模商業ビルにネットワークシステムを構築して、10%以上の省エネを確認した。ファクトリ用センサネットワークシステムの開発：センサデータに基づく電力ピーク抑制シミュレーションを可能にするため、生産工程の稼働／非稼働（待機電力）自動判定プログラムおよび電力ピークシフトシミュレーションプログラムを試作し、これにより10%以上の省エネを確認した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】MEMSセンサ、無線センサ端末、センサ

ネットワーク、低消費電力化、大規模実証実験、省エネルギー

【テーマ題目4】道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発／道路インフラ状態モニタリング用センサ端末及びモニタリングシステムの研究開発

【研究代表者】伊藤 寿浩（副研究センター長）

【研究担当者】伊藤 寿浩、小林 健、魯 健、岡田 浩尚、山下 崇博（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

NEDO「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト、インフラ状態モニタリング用センサシステム開発、道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発」において、技術研究組合NMEMS技術研究機構に参画し、フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発を実施した。本研究開発では、極薄ひずみセンサをフレキシブルシート上にアレイ化したフレキシブル面パターンセンサシートを開発し、橋梁の主桁や床版のひずみ分布の簡易測定により、橋梁補修後の経過観察や災害時の状態確認が可能なモニタリングシステムを実現することを目的とする。

理論計算により長さ5mm、厚さ10 $\mu$ m以下の極薄長大ひずみセンサとすることで、50 $\mu$ mと現実的な接着層厚さでも、ひずみ伝達感度が0.8以上となることが分かった。また、このような極薄長大ひずみセンサをフレキシブル回路基板上に実現可能な、極薄シリコン転写、配線プロセスを開発した。このフレキシブル面パターンセンサの耐水性保護層としてUVカット層を水蒸気バリア用PETフィルム上に形成したものをロール to ロールプロセスにて形成可能であることを実証した。

適用箇所として鋼橋溶接部を選定し、センサ仕様決定のための簡易検証モデルを開発した。有限要素法シミュレーションを行い、厚さ200 $\mu$ mの粘接着シートを介しても、センサに100 $\mu$ eの感度があれば亀裂発生を検知することが分かった。

極薄ひずみセンサアレイの太陽電池による自立電源で駆動について、動作シーケンスと合わせて検討した。ひずみセンサ12個を有するフレキシブル面パターンセンサを想定し、センサ1で10秒間測定する（サンプリング0.1秒、0-100 $\mu$ eを10bit）ひずみのデータのうち上位5番までを動ひずみ、20-80の平均を静ひずみとして、温度と共にデータを格納し（60bit）、これをセンサ2-12で繰り返す（合計720bit）。このとき温度も同時に測定し（サンプリング10秒、10bit）、端末ID（10bit）と共に受信機にデータを送信する（合計750bit）。このときの消費電力は、センサ：1mW（アンプ含む）、MCU：10mW（AD変換込）、RF-IC：90mW（920MHz、150kbpsで100m

通信)であり、上記の750bitを150kbpsで送信すると、送信時間は750/150k = 5msである。待機電力は1.8uWであるので消費電力量は1mW\*120s(センサ)、10mW\*120s(MCU)、90mW\*0.005s(送信)、1.8uW\*3600s(待機)の積算となり1350mWsとなる。したがって、これを3600sで割った375uWを太陽電池で発電できれば良いことになる。市販の携帯機器用太陽電池(7×4cm<sup>2</sup>)の最大出力電力は300mWであり、雨天などにより1%の能力しか発電できなかったとしても、今回提案のフレキシブル面パターンセンサは太陽電池による自立電源動作が可能であると見込まれる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 MEMSセンサ、ひずみセンサ、センサネットワーク、自律電源、橋梁、社会インフラ

【テーマ題目5】 非線形自励発振型マイクロ・ナノレゾネータによる高精度・高機能センシングへのブレークスルー

【研究代表者】 松本 壮平 (ヘテロ融合研究チーム)

【研究担当者】 松本 壮平、山本 泰之 (計測標準研究部門) (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

各種センシングデバイスに広く用いられているマイクロ・ナノレゾネータは、微細化により高共振周波数化が可能であり、検出速度が向上するが、一方で、微細化に伴う表面起因のダンピング力増加等により感度低下を招くというトレードオフが存在する。このトレードオフを解消し、検出感度の飛躍的向上を図るため、従来のレゾネータで主に使われている強制加振によるセンシング方法(周波数応答曲線のピーク周波数とピーク高さに基づく検出方法)に代え、非線形自励発振型の励振・センシング手法を提案し、これにより次世代の高精度・高機能な質量センサ、粘性センサ等の開発を目指す。筑波大学と産総研の共同研究により、両者のシーズを融合し独自のイノベーション創出につなげる併せ技ファンダ事業として実施している。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 MEMS、レゾネータ、非線形自励振動、質量センサ、粘性センサ

【テーマ題目6】 牛消化器疾病早期摘発のための無線ルーメンセンサ・ネットワークシステムの開発

【研究代表者】 伊藤 寿浩 (副研究センター長)

【研究担当者】 伊藤 寿浩、岡田 浩尚、高松 誠一、野上 大史 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

平成25年度のプロトタイプ端末の評価試験を受けて実用型(普及型)センサ端末の試作を行った。演処理回

路・信号処理回路が搭載されたメイン基板サイズとアンテナ基板サイズを、それぞれ12mm×33mmと7mm×33mmとして、試作した。電源には、リチウム塩化チオニル電池(サイズ:14.55mm×25.15mm、電池容量:1200mAh)を使用することにより、ルーメン内留置型センサ端末の全体サイズは、23mm×70mmとできた。また、端末の理論寿命が3年以上となるよう、無線送信頻度を60秒に1回(無線給電電力:10dBm、送信方法:5秒に1回のルーメン運動のデータおよび1分に1回の温度、pHのデータの一括送信)と設定した。ルーメン内の端末と受信機との受信性能評価試験において、無線給電電力10dBm、アンテナからの出力2.9dBm時、アンテナでの受信強度は16dB以上確保でき、実用的な受信率(95%以上)を得ることが可能である。

動物衛生研究所と共同で、開発したセンサ端末をルーメン内に留置して得られた加速度データ(ルーメン内流動性変化)と、Force Transducer (FT)法(外科手術で電力をルーメン漿膜面に縫着して収縮運動を導出する観血的測定法)による測定データとの比較を複数頭数で実施した。その解析結果より、加速度データとFT法で得られるルーメン収縮運動の相関は高いことが判明した。また、ルーメン運動の収縮頻度が最も高いのは採食時で、反芻、休息の順に低くなることなど、ルーメン内容物の流動性解析によるルーメン運動評価技術の確立、およびルーメン機能監視システムの開発のための知見を得ることができた。また牛のルーメン内での長期試験では、4か月以降では外装の破損が生じたが、外装の材質等に求められる条件、耐酸性、許容耐荷重などを明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 リモートセンシング、無線センサ端末、圧電センサ

【テーマ題目7】 無線通信による熱中症予防支援システムの構築と被服環境デザインの最適化

【研究代表者】 一木 正聡

(ネットワークMEMS研究チーム)

【研究担当者】 一木 正聡、鈴木章夫 (常勤職員2名)

【研究内容】

暑熱環境下でのスポーツ時、オフィス作業時や肉体労働時等の各種作業時の熱中症予防に向けて、実際の生活環境での着衣の温熱環境状態計測を連続して行うため、人体、着衣、環境に関わる温熱環境物理量を計測し無線で集積し、人の温熱的快適性の指標となる温熱感覚計測を行う。被験者に装着負荷が少なく、常時モニタリング可能な無線機能付きのウェアラブルシステムを開発し、ウェアラブルシステムでの計測・解析・評価を行い、熱中症予防に貢献するシステムを構築することを目的とする。

また、暑熱環境時の熱中症予防のため温熱的に最適な着衣の条件を検討するため、着衣の熱水分移動性能への

風、動作および着衣のデザインによる影響を評価するシステムを構築する。手足の揺動による着衣のふいご作用による換気は、人体からの熱水分移動性を促進させるため環境の風の効果以上に着衣の温熱快適性向上に重要であるが、定量法が確立していない状況である。そこで、本研究では、温熱的に快適な着衣の条件を検討するため発汗・歩行動作マネキンとトレーサガス法を用いて温熱的に快適な着衣のデザインを検討する評価法を構築する。

実証試験をフィールドと実験室環境で行うために取得した生体データの解析と小型・高性能化に向けたシステム構築のための検討を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 熱中症、センサ、無線、被服、環境、予防、システム化

#### 【テーマ題目8】 圧電素子の積層化による振動発電装置の高出力化に関する研究

【研究代表者】 一木 正聡（ネットワーク MEMS 研究チーム）

【研究担当者】 一木 正聡（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

エンジン、走行車両、発電機システムなど振動する人工構造物において消散されている振動エネルギーを、高効率に変換する圧電素子を用いた振動発電素子の開発を目的とする。まず、エネルギー変換効率の指標となる電気機械結合係数を高めるために添加剤の種類、濃度および厚さ、積層数を最適化する。さらに、負荷荷重や振動回数が圧電素子の発電性能、耐久性および構造健全性に及ぼす影響を明らかにし、圧電素子の長時間振動発電試験、繰り返し圧縮・除荷試験、破壊試験を行う。一連の研究により、高出力かつ高信頼性な機械構造物のための振動発電素子を開発する。

本研究では、この PZT を用いて、高エネルギー変換効率、かつ高信頼性を有する振動発電用素子を開発することを主目的とする。さらに、鉛フリーの圧電素子の適用性も検討する。

PZT への添加剤、添加濃度、添加剤の組み合わせなど添加剤の最適配合を決定するため、有力な各種添加剤を組み合わせる添加した PZT を用いた荷重除荷試験を行い、発電特性を把握する。これらの最適条件を組み合わせる高エネルギー変換効率を持つ積層型 PZT、すなわち、発電素子の最適な材料成分と構造を決定する。

これまで定式化されていなかった圧電素子の発電特性に関する等価電気回路モデルを導出するとともに、最適発電素子を用いた発電装置として蓄電までの周辺回路を含めた最適化を行う。

PZT への負荷荷重や繰り返し荷重が発電性能や強度などの耐久性に及ぼす影響を把握する。振動回数は1000万回とする。

この知見を鉛フリー圧電材料に対しても適用し、次世

代の環境低負荷素材の発電特性向上の検討を行う。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 圧電、発電、セラミックス、素子、高出力化

#### 【テーマ題目9】 フェーズフィールドモデルに基づくマイクロ多孔質体内相変化二相流計算法の開発

【研究代表者】 高田 尚樹（ヘテロ融合研究チーム）

【研究担当者】 高田 尚樹、松本 純一、井上 朋也、竿本 英貴（活断層・火山研究部門）  
（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究では、地質・環境・エネルギー・製造分野の様々な問題に見られる、微小スケールの空隙が不規則に連なる多孔質媒体の内部で気体・液体・固体等複数の相が相変化を伴い混在して流れる複雑な流動現象を従来よりも高精度・高効率に予測するためのシミュレーション手法及びその計算コードを開発する。マイクロスケールの気液・液液・固液等の二相流動を対象として、(1)流体界面と固体の形状を解像可能な空間スケールで流動を予測する詳細シミュレーション法の開発、及び(2)空間・時間平均化された流動を予測する疎視化シミュレーション法の開発、を行う。本年度は、シミュレーションに使用する多孔質体構造データをマイクロリアクタ流路の X 線 CT 計測結果に基づき作製した。また、多孔質体構造データを流動境界に設定可能な計算コードを作製して、平滑または微小凹凸形状を持つ固体表面上での水・油滴のシミュレーションを実施し、油滴の形状・挙動に関して理論予測・実験結果と比較して定性的に妥当なシミュレーション結果を得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 マイクロデバイス、濡れ性、表面改質、コンピュータシミュレーション

#### 【テーマ題目10】 ソーレ効果を活用したガス分離用マイクロ流体デバイスの開発

【研究代表者】 松本 壮平（ヘテロ融合研究チーム）

【研究担当者】 松本 壮平（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

芝浦工業大学との協力により、マイクロ化学プロセス等における精製工程での応用を想定したガス分離用マイクロ流体デバイスの開発を行っている。成分分離の原理として、温度勾配によって駆動される分子拡散現象であるソーレ効果を応用することで、廃熱等を利用し化学的処理を一切必要としない新しいガス分離技術の確立を目指す。マイクロスケールでは大きな温度勾配の形成や安定した層流の実現が容易であるためソーレ効果の発現には有利である一方、実用的な分離効果と処理量を両立させるための MEMS 流体デバイスの開発は、複数の機構



による物質輸送が共存する流れ場の適切なハンドリングが要求される挑戦的な課題となっている。今年度は、多段化と大温度差による性能向上を図るため、ステンレス積層による分離デバイスを試作し、効果を確認した。加えて、飛躍的な高性能化を実現するための大規模分離素子ネットワーク構造を提案し、理論的検証を進めるとともに、小型デバイスによる予備的評価を実施した。今後は、この素子ネットワーク型分離デバイスを中心とする研究展開を図る。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 MEMS、マイクロ流体デバイス、ガス分離、廃熱利用

#### 【テーマ題目11】 耳内部血管流における左右非対称性の検証

【研究代表者】 森川 善富（ネットワーク MEMS 研究チーム）

【研究担当者】 森川 善富（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

本研究課題で用いるワイヤレス計測機器は無線で脈波情報を伝送するものであり、密接な関連がある各種ウェアラブル機器の最新情報を技術面、応用面を含めて幅広く精力的に収集した。本計測機器を用いて実測した耳内脈波データの左右差に着目した生体信号解析を進め、具体的に非対称性指標を抽出して研究会・学会等において発表、報告した。

昨年来検討してきた被験者実験実施計画を基に、実験実施に向けた研究環境の整備を進めるとともに、所属機関内の人間工学実験委員会へ実験計画書を提出して生命論理3原則に則った審査を受けた。実験計画書は3段階にわたる審査により様々な観点から吟味され、必要とされる修正や補足を適宜加えて最適化を図ることにより承認を受けた。

生体情報計測の観点から所属機関の外部公開に積極的に協力した。主として近隣の地域住民を対象とした一般公開では代表者として出展し、幼児から高齢者に至る広範囲年齢層の来場者の脈波を実測して脈波計測のノウハウを蓄積すると共に、計測結果を来場者に印刷手渡し生体計測への理解を深めていただいた。

今後、被験者実験実施に必要な所属部局内内規を作成後、承認を受けた実験実施計画を基に被験者実験実施へと展開していく予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 センサ、生体情報計測、ウェアラブル機器

#### 【テーマ題目12】 Wakeup による圧電 MEMS 用 PZT 薄膜の圧電特性向上

【研究代表者】 小林 健（ライフインターフェース研究チーム）

【研究担当者】 小林 健、牧本 なつみ、鈴木 靖弘（常勤職員1名、他2名）

#### 【研究内容】

##### 目標

本研究ではこの wakeup について、現象の解明から、条件の最適化を経て、圧電 MEMS 作製プロセスへの導入までを検討し、圧電薄膜の特性向上のための新たに普遍的な手法を確立することを目的とした。

テトラ組成、MPB 組成いずれの場合も、パルスポーリングによって、DC ポーリングよりも高い圧電定数が得られることが明らかになった。また、MPB 組成については、テトラ組成の場合と異なりユニポーラパルスポーリングが wakeup させるには必須であることが新たに見出された。パルスポーリングによる wakeup はプロセス完了後に行う方が、高い圧電定数を得るのに有効であることが明らかになった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 圧電、MEMS、プロセス、ポーリング

#### 【テーマ題目13】 無反射ナノ構造体による撮像用マイクロレンズの製造技術開発

【研究代表者】 栗原 一真（大規模インテグレーション研究チーム）

【研究担当者】 栗原 一真、倉島 優一、高木 秀樹、鎌田 かおり（常勤職員3名、他1名）

#### 【研究内容】

近年、マイクロレンズユニットは、8~12メガピクセル以上の高解像度をもち、小型化したレンズユニットを低価格で提供することが要求されている。本研究は、マイクロレンズの表面にナノ構造体を作製することで、反射防止コートと同等の反射防止効果を得て、蒸着工程を省ける製造技術を開発している。

本課題では、成形だけで既存の反射防止技術と同等の反射防止特性を実現するナノ構造体金型と、そのナノ構造体の金型を用いて、撮像用マイクロレンズに要求される低光収差を実現する成形技術の研究開発を行い、量産化の目途を立てることを目標とする。

平成26年度は、ナノ凹凸構造体の検討と金型を改良し、より面精度や入射角度による反射防止特性を向上させた反射防止ナノ構造体を実現することができた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノ構造体、反射防止、モスアイ、サブ波長光学素子、光学レンズ

#### 【テーマ題目14】 ナノ構造体による高機能防曇ゴーグルの開発

【研究代表者】 栗原 一真（大規模インテグレーション研究チーム）

【研究担当者】 栗原 一真、倉島 優一、高木 秀樹、橋本 はる代（常勤職員3名、他1名）

### 〔研究内容〕

近年では、防曇機能が付与されたゴーグルが一般的になり、ゴーグル生産量の9割以上を占めている。しかしながら防曇機能では、初期性能が良好であってもそれが維持できる回数が30回程度（実使用期間：半年程度）と短い事が問題になっている。

本課題では、現在の製造方法である塗工工程による防曇膜に比べ飛躍的な防曇機能の向上が見込まれる、“凹凸構造によって濡れ性が向上するという Wenzel 理論”を利用することで、現状品に比べて性能を向上できるスイミングゴーグルを実現することを目標とする。

平成26年度は、ナノ凹凸用塗膜の検討開発を行い、澆油・親水性の薄膜についての検討や耐指紋性についての評価を行った。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ナノ構造体、親水、撥水、濡れ性、サブ波長光学素子、光学

### 〔テーマ題目15〕 8インチ基板を用い、安全性を強化した高反応・高吸収効率 MEMS フローリアクターの高精密製作量産化技術の開発

〔研究代表者〕 井上 朋也（バイオインターフェース研究チーム）

〔研究担当者〕 井上 朋也（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

目標

水素及び酸素の直接反応による過酸化水素製造用途の安全かつ高効率（実用濃度の一段製造、高圧不要、冷却不要）ガラス製マイクロリアクターの製造技術をシーズ技術として、①オンサイト過酸化水素製造用反応器、②汎用フローリアクターの実用化に向けた反応器製造技術開発を目指す。

研究計画

①耐圧性向上：50℃、50気圧の圧力による連続運転に堪えるだけの耐圧性向上について、とくに配管接合法およびそれをサポートする治具の開発を中心に行う。

②除熱効率向上：小型マイクロリアクターを用いた実測結果に基づいて熱収支モデルをつくり、放熱板込みのマイクロリアクター設計につなげる。

年度進捗状況

①研究担当者が出願人である特願2012-170090の手法を進展させ、配管をマイクロリアクターの側面方法から接合する方法について耐圧性を強化する方法を検討した。

②研究担当者らが発明者である特願2013-41822の手法を進展させ、ガラスにシリコンを接合した反応器についてシミュレーションにより放熱効果を予測した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 マイクロリアクター、ナンパリングアップ、水素および空気（酸素）の直接反応プロセス、過酸化水素

### 〔テーマ題目16〕 ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発／コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発

〔研究代表者〕 伊藤 寿浩（副研究センター長）

〔研究担当者〕 伊藤 寿浩、小林 健、岡田 浩尚、武井 亮平、牧本 なつみ（常勤職員4名、他1名）

### 〔研究内容〕

本開発では、振動発電センサデバイスと鹿威し回路の組み合わせることで、振動波形のピーク値だけをモニタリング可能となり、消費電力を1/100程度低減しながらポンプの異常診断ができるシステムを実現する。実証機関の高砂熱学への調査から、ポンプ等の振動について30Hz-0.5m/s<sup>2</sup>を想定すれば良いことが分かった。また、産総研がこれまでに開発してきた鹿威し回路について、コンパレータの消費電力の低減により2V-0.68μW にまで低電力化できることが分かった。すなわち30Hz-0.5m/s<sup>2</sup>に対して2V-0.68μW 以上の発電量が振動発電センサデバイスの開発目標となった。産総研保有の圧電 MEMS 技術により、PZT 薄膜を用いた振動発電デバイスを開発し、DC0.074V-0.017μW の発電量が得られることが分かった。また、AlN 薄膜を用いた振動発電デバイスを開発し、DC0.4V-0.041μW の発電量が得られることが分かった。これらの実験値を利用した有限要素法シミュレーションによる設計手法を確立した。性能指数を利用した考察から、圧電材料を ScAlN に置き換えることで0.97V-0.1μW の発電量が得られさらに梁形状の最適化、圧電薄膜の直列接続により目的とする発電量が得られる見込みを得た。今回開発する振動発電センサデバイス用の鹿威し回路について、従来開発品に対して電源部を振動発電センサデバイスと常時電源用と鹿威し用のキャパシタを備えた電源制御回路に、省電力コンパレータ、高周波用振動発電センサデバイスからなる構成を決定した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 圧電、MEMS、振動発電、低消費電力回路

### 〔テーマ題目17〕 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術／チーム双方向達成を加速する超上流設計マネージメント／環境構築の研究開発

〔研究代表者〕 手塚 明（集積マイクロシステム研究センター）

〔研究担当者〕 手塚 明、澤田 浩之、増井 慶次郎、近藤 伸亮、高本 仁志、古川 慈之、澤田 有弘、平岡 洋二、鈴木 健、持丸 正明、多田 充徳、遠藤 維、宮田 なつき（常勤職員12名、他1名）

### 【研究内容】

製造企業の技術的優位性を競争力優位につなげる目的で、ものづくりの川上川下や顧客とメーカー、専門家チーム間等の双方向連成を加速し、顧客価値の高い製品・システム開発を可能とする設計能力の飛躍的向上のための超上流マネジメント・環境構築の研究開発を行う。

平成26年度は、以下の成果を得た。

- ・研究開発の実効的な遂行のため、SIPの研究開発チーム、研究開発の暫定ユーザーチームである構想設計コンソーシアム、事業化検討企業チームの三位一体で化学反応を促進できる研究開発体制をいち早く構築した。
- ・デザインブレインマッピングツール（※産総研独自開発の関係性デザイン議論共有ソフトウェア）をベースに、構想設計に適したユーザビリティの改良開発を行い、構想設計コンソーシアム企業において検証を行う事で、PDCA (plan-do-check-action) サイクルを構築した。
- ・構想設計コンソーシアム企業の知見をベースに、設計コンテンツ等の設計秘匿情報なしで企業内設計フローを把握する手法の開発を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造、情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 上流設計、設計マネジメント、構想設計

### 【テーマ題目18】 生体センシング技術を活用した次世代精密家畜個体管理システムの開発

【研究代表者】 伊藤 寿浩（副研究センター長）

【研究担当者】 伊藤 寿浩、魯 健、張 毅、  
岡田 浩尚、野上 大史、張 嵐  
（常勤職員4名、他2名）

### 【研究内容】

（1）「腔内及び体表温センサを用いた授精適期判定法の基盤技術の開発」、（2）「多機能型ルーメンセンサを用いたルーメン機能解析法の基盤技術の開発」、（3）「体表温センサの開発及び診断・利用のための基盤技術の開発」を担当した。

（1）については、4電極構造を持つ小型無線腔内センサの試作を行い、高測定精度（5Ωcm、0.2℃）を実現した。生体適合性の留置用構造およびパッケージ設計・試作を行い、実際の腔内状況を模したテストシステムを構築して、最適測定条件の検討を行った。

（2）については、共同研究機関に提供するための、ルーメン内留置型センサ（サイズ30mm×70mm）を試作した。また、無線通信に関しては、通信品質牛の姿勢に影響されること明らかにした。さらに、ルーメン内容物の流動性を評価するための必要な最低測定頻度の検討を開始するとともに、将来センサに搭載予定の完全固形型 pH センサの基本設計を行った。首輪中継器については、牛の体組織の損失等を考慮した無線システムに関し

て検討を行った。

（3）については、牛の尾根部への装着が適したセンサを開発し、体表温データの持続的なモニタリングに成功した。また測定した体温データはある一定時間の最高温度を算出すれば、有効なデータとして活用できることを示した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 生体センシング、家畜個体管理、無線センサ、腔内センサ、ルーメンセンサ、体表温センサ

### 【テーマ題目19】 センサネットワークに関する研究

【研究代表者】 手塚 明（集積マイクロシステム研究センター）

【研究担当者】 手塚 明、伊藤 寿浩、鈴木 章夫、  
鈴木 健、藤本 淳  
（常勤職員4名、他1名）

### 【研究内容】

工場の電力使用量の最適化、生産工程の最適化を行うために、電力使用量を計測するセンサの開発を行い、ピークカットなどの電力使用量の最適化や、生産工程を最適化するための手法の確立のために、生産ラインの電力使用量を測定するシステムの提案を行うべく、共同研究を行った。

無線センサは配線などの設置工事が不要で、稼働状態の工場に短時間低コストで容易に設置可能であるという利点を有する。その一方、その一方、広い工場内に多数の大型工作機械等が設置されているという、劣悪ともいえる電波環境での受信状況を不安視する声もある。

各機械への電力供給を停止せずに短時間で多数のセンサの設置・メンテナンス（電池交換など）が可能であり、広い建屋内に2ヶの受信機を設置するのみで高いレベルでデータを計測可能なことを実証した。蓄積された電力消費状況を可視化することにより、省エネや作業工程の効率向上に役立てることができると確認出来た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 センサネットワーク、可視化、工場の電力使用量

### ④【グリーン磁性材料研究センター】

(Green-Innovative Magnetic Material Research Center)

(存続期間：2014.4.1～2015.3.31)

研究部門長：尾崎 公洋  
副研究部門長：安岡 正喜  
主幹研究員：園田 勉

所在地：中部センター  
人員：14名（14名）

経 費：168,195千円（157,035千円）

概 要：

資源問題、環境問題、エネルギー問題の解決に寄与できるバルク磁性材料の開発を目的として、研究プロジェクトへの貢献と産総研独自の磁性材料開発とその実用化研究、さらには応用領域や周辺領域まで研究開発を行うことにより、産総研のミッションの一つである持続可能な社会の構築に向けたグリーン・テクノロジーによる豊かで環境にやさしい社会の実現に寄与することを旨とする。

資源リスクが少ない元素を用いた磁石材料の開発、エネルギー損失の少ない軟磁性材料の開発を通して、次世代自動車の省エネルギー化を実現するための高効率モーターの技術開発に貢献する。これらは経済産業省の大型プロジェクトの推進と並行して産総研の独自技術開発を進める。また、地球温暖化ガスであるフロン類を使用しない新しい冷凍システムの構築とそれを構成する磁気熱量材料の開発を行う。これらの研究開発および実用化展開を図ることにより、持続的な社会の構築を目指したグリーンイノベーションを推進し、中期目標・計画の達成を目指す。

平成26年度の重点化方針

環境リスクの高い重希土類元素を使用しない高性能磁石の開発を加速する。特に Sm-Fe-N 系磁石の開発に集中する。民間企業との共同研究を行い、実用化につながる取り組みを進める。未来開拓研究プロジェクト・次世代自動車向け高効率モーター用磁性材料技術開発を受託している技術研究組合において、難焼結磁性材料粉末の焼結技術の開発を進め、参画企業の実用化開発に寄与する。さらに、モーターコアを目指した軟磁性材料のシーズ開発を進める。

これまで開発してきた磁気熱量材料を用いて、民間企業との共同研究により、新しい冷凍システムの構築に取り組む。さらに、より高い出力を持つ磁気熱量材料の開発を進める。外部資金の獲得に向け、成果の発信を行う。

内部資金：

戦略予算「車載モーター用 Dy free 高性能磁石開発」

外部資金：

(独) 日本学術振興会 科研費(基盤研究(C)(一般))  
「インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安定性に関する研究」

公益財団法人 永井科学技術財団 平成25年度共同研究奨励金「ナノ粒子コーティングによる電子セラミックスの構造制御と高機能化」

発 表：誌上発表14件、口頭発表53件、その他7件

粉末合成・焼結チーム

(Powder Synthesis and Sintering Team)

研究チーム長：高木 健太

(中部センター)

概 要：

資源リスクやエネルギー問題に対応した高性能磁石の開発を行った。とりわけ、ハイブリッド自動車の駆動用モーターに利用される磁石に含まれる重希土類元素を使用しない磁石の開発に注力した。そのために、新しい合成技術や成形技術、焼結技術の開発を中心に行った。重希土類フリー磁石として配向微結晶 Nd-Fe-B 磁粉が開発されており、その成形技術および焼結技術の開発を行った。磁場配向圧密のシミュレーション技術を開発し、それに基づいて高磁場で磁場配向圧密を可能とする装置を設計・製作した。また、高加圧通電焼結と高速熱処理により高保磁力の配向微結晶 Nd-Fe-B 焼結磁石が作製できることを見出した。また、耐熱性を持つ重希土類フリー磁石として Sm-Fe-N 磁石の開発を行った。Sm-Fe-N 磁粉合成としては、高保磁力・高磁化を目指した水素中熱処理法の開発を継続しており、水素反応による組織微細化のメカニズムを明示した。また、化学手法による微粉末合成法の開発も行い、1 $\mu$ m 以下の Sm-Fe-N 微粉末の合成に成功した。

研究テーマ：車載モーター用 Dy free 高性能磁石開発、高性能磁石の開発

材料解析・開発チーム

(Analyses and Innovation Team)

研究チーム長：藤田 麻哉

(中部センター)

概 要：

重希土類を用いない新しい高性能磁性材料の発現機構解析および新機能開発のために、種々のプロセスを組み合わせた磁性材料の作製を進めた。磁気熱量材料の高度化のためには、La(Fe, Si)<sub>13</sub>系の反応性焼結などの粉末冶金技術を基盤とした新しい作製法を探索した。また、Mn<sub>3</sub>GaN 反強磁性体の磁気体積効果を利用した新しい圧力熱量効果現象の検証をおこない、さらに VO<sub>2</sub>におけるスピントロピーの電場制御を提唱した。硬質磁性材料の新規合成プロセスとして磁場あるいは電磁場などの外場効果を付与した磁性材料の凝固・拡散制御を実施した。加えて、薄膜および微細加工技術を用いた SmFe 系磁性材料の合成を行うとともに、磁石材料の微粒子において、表面修飾効果などを解明/制御するため、新たな作製方法を検討した。これらの解析から得られた知見をもとに、工学あるいは産業応用さらにはリサイクル技術を見据えた材料特

性の開発を実施した。  
研究テーマ：小型高効率磁気冷凍システムの開発、高性能磁石の開発

杵鞭 義明、砥綿 篤哉、鈴木 一行、  
楠森 毅、田村 卓也、中山 博行、  
園田 勉、中尾 節男  
(常勤職員14名、他5名)

#### 表面修飾チーム

(Surface Modification Team)

研究チーム長：安岡 正喜

(中部センター)

概要：

資源問題、環境問題、エネルギー問題の解決に寄与できるバルク磁性材料の開発を目的として、新規磁性材料の探査、材料合成及び表面修飾に関するプロセスの最適化等の研究を主体として行いオリジナリティーのある磁性材料の開発を長期的目標とする。

本年度は希土類フリーの磁石として有望視されている窒化鉄系材料である  $\alpha$ "  $\cdot\text{Fe}_{16}\text{N}_2$  の微細粒子の開発に取り組んだ。従来作製されている微粒子は凝集体として得られていたためその特性を効率よく利用できなかったが、微細粒子の表面修飾を多段的に行うことにより、微細でかつ分散性が非常に優れた原料粉末の作製に成功した。また、分子動力学法を用いて窒素の侵入サイト移動に伴う相分離過程を解析し、実験とよい一致を示すことがわかった。

研究テーマ：高性能磁石の開発

#### 応用・周辺技術開発チーム

(Applied and Peripheral Technology Team)

研究チーム長：尾崎 公洋

(中部センター)

概要：

磁石材料や軟磁性材料の開発を目的として、材料開発ならびにその応用技術や焼結プロセスなどの周辺技術開発を行った。特に、高速焼結プロセスや焼結に使用する金型材料開発、さらには金型表面の反応性を低下させるためのコーティング技術について研究を進めた。焼結プロセスにおいては、新しい方式を構築し、その有効性を確認した。また、従来から開発を続けている通電焼結用金型 (WC-FeAl 超硬合金) の性能向上を目指して、高温特性を調べ、高温での従来超硬合金との比較により、特性確認を行った。さらに、次世代自動車の省エネルギー化を実現するための高効率モーターの技術開発に貢献するために、エネルギー損失の少ない軟磁性材料の研究を開始した。

研究テーマ：車載モーター用 Dy free 高性能磁石開発、高性能磁石の開発

#### 【研究内容】

資源リスクやエネルギー問題に対応した高性能磁石の開発を行った。とりわけ、ハイブリッド自動車の駆動用モータに利用される磁石に含まれる重希土類元素を使用しない磁石の開発に注力した。そのために、新しい合成技術や成形技術、焼結技術の開発を中心に行った。耐熱性を持つ重希土類フリー磁石として Sm-Fe-N 磁石の開発を行った。Sm-Fe-N 磁粉合成としては、高保磁力・高磁化を目指した水素中熱処理法の開発を継続しており、水素反応による組織微細化のメカニズムを明示した。また、化学手法による微粉末合成法の開発も行い、 $1\mu\text{m}$  以下の Sm-Fe-N 微粉末の合成に成功した。また、硬質磁性材料の新規合成プロセスとして磁場あるいは電磁場などの外場効果を付与した磁性材料の凝固・拡散制御を実施した。加えて、薄膜および微細加工技術を用いた SmFe 系磁性材料の合成を行うとともに、磁石材料の微粒子において、表面修飾効果などを解明/制御するため、新たな作製方法を検討した。加えて、高速焼結プロセスや焼結に使用する金型材料開発、さらには金型表面の反応性を低下させるためのコーティング技術について研究を進めた。焼結プロセスにおいては、新しい方式を構築し、その有効性を確認した。また、従来から開発を続けている通電焼結用金型 (WC-FeAl 超硬合金) の性能向上を目指して、高温特性を調べ、高温での従来超硬合金との比較により、特性確認を行った。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】永久磁石、磁石薄膜、焼結、粉末冶金、通電焼結、超硬合金

#### ⑤【先進製造プロセス研究部門】

(Advanced Manufacturing Research Institute)

(存続期間：2004.4.1～2015.3.31)

研究部門長：淡野 正信

副研究部門長：吉澤 友一、市川 直樹

首席研究員：大司 達樹、明渡 純、加藤 一実

総括研究主幹：平尾 喜代司

所在地：中部センター、つくば東、つくば中央第5

人員：95名 (95名)

経費：1,214,275千円 (724.370千円)

概要：

我が国の製造産業は、二酸化炭素排出量の削減、資源制約の緩和、高付加価値製品の開発、製品開発のスピードアップ、エネルギー・環境関連製品の製造力強

#### 【テーマ題目1】高性能磁石の開発

【研究代表者】尾崎 公洋(応用・周辺技術研究チーム)

【研究担当者】尾崎 公洋、高木 健太、藤田 麻哉、  
安岡 正喜、岡田 周祐、曾田 力央、

化、メンテナンス・アフターサービスの強化、少子高齢化の中での技術技能の継承等の課題に直面している。

当研究部門では、我が国の製造産業が抱えるこれらの課題解決のため、「最小の資源」「最小のエネルギー」「最小の廃棄物」で「最大限の機能・特性」を発揮する製品を「高効率」で作る製造プロセス技術（ミニマルマニュファクチャリング）に関する研究開発を先導することにより、我が国の製造産業の持続的発展、すなわち、我が国の製造産業の環境との調和と国際競争力の向上に貢献することをミッションとする。また、中小企業など多数の企業の課題解決や人材を育成するための「ものづくり支援ツール」の開発と普及を行う。

具体的には、第3期では、下記の6つの分野重点化課題（戦略課題）を定め、材料技術と機械・加工技術とが融合化した研究開発を進めるとともに、製造現場の技術と技能継承のための「ものづくり支援ツール」の開発と普及を行う。また、製造技術の新たな潮流への取組みを進める。

① 高性能セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネルギー製造技術の開発

素材、機械等の基幹産業を対象とし、熱利用の高効率化、低摩擦化、長寿命化等を可能とする高性能セラミック部材の製造技術、ならびに素形材への表面機能付与プロセス技術等の加工技術を開発する。

② 多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術の開発

多様なニーズに応え、かつ、部材・デバイス・製品製造に関する省資源・省エネルギーに貢献するため、必要な時に必要な量だけの生産が実効的に可能であり、かつ多品種変量生産に対応できる製造基盤技術を確立する。

③ 資源生産性を考慮したエネルギー部材とモジュールの製造技術の開発

固体酸化物燃料電池、蓄電池等に使用される高性能材料・部材・モジュールを創製するため、希少資源の使用量を少なくし、従来に比べて小型、軽量で同等以上の性能を実現する高度集積化製造技術や高スループット製造技術を開発する。

④ 無機・有機ナノ材料の適材配置による多機能部材の開発

部材の高付加価値化を進めるため、セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料の接合・融合化と適材配置により、多機能部材を開発する。

⑤ 製造分野における製品設計・概念設計支援技術の開発

機械やシステムの基本設計に必要とされる候補材料の加工に対する信頼性、機械寿命、リサイクル性を予測するために、実際の運用を想定した評価試験と計算工学手法を融合したトータルデザイン支援技術を開発する。

⑥ 現場の可視化による付加価値の高い製造技術の開発

高品位な製造を可能にし、またそれを支える高度な技能を継承するため、ものづくり現場の技能を可視化する技術、利便性の高い製造情報の共有技術、高効率・低環境負荷な加工技術を開発する。

当研究部門の研究拠点は、材料・プロセスに関する研究ポテンシャルを持つ中部センター（7研究グループ）と、機械・加工技術や物質合成・プロセスに関する研究ポテンシャルを有するつくばセンター（13研究グループ）の2カ所にあり、計20研究グループ及び4研究班で研究を進めた。本年度においては、戦略課題①～⑥の推進のため、以下の10課題を部門重点課題、2課題を萌芽育成課題とした。

部門重点：

- ・「高性能セラミックス部材と表面加工技術を用いた省エネ製造技術(高性能セラミックス部材関連技術)」
- ・「高性能セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネ製造技術の開発（表面機能付与プロセス技術の開発)」
- ・「オンデマンド・リペア技術の基盤の開発」
- ・「先進コーティング PF 活性化のためのベンチマーク評価の促進」
- ・「オンデマンドプロトタイプング技術の開発」
- ・「次世代セラミック電池材料・製造技術の開発（熱利用 SOFC/SOEC 技術、次世代二次電池技術）」
- ・「ナノ多機能部材のセンサデバイス開発」
- ・「熱とじ込め型による CFRTP のマイクロ波高速成形」
- ・「新たな加工技術、劣化評価技術を包含した機器設計のための基本システムツール開発」
- ・「ものづくり支援技術の普及」

萌芽育成：

- ・「新素材エンジニアリング」
- ・「複合加工技術」

さらに、以下の19課題を萌芽研究課題とした。

- ・「どろどろ」度の量的な評価技術の開発」
- ・「ケイ素鋼の積層造形加工適用可能性の検討」
- ・「植物生育に関与しない照明用新蛍光体材料の開発」
- ・「ベクトル型3D プリンタの試作」
- ・「可変パルス幅レーザを用いたマイクロ3D 積層造形に関する基礎的検討」
- ・「電子ビーム積層造形における溶融、合金化現象の解明」
- ・「CAE による高付加価値鋳造品製造における欠陥予測を目的とした 人工砂の熱物性値の取得」
- ・「含浸法による無機化合物の形態制御技術の開発」
- ・「戻り光モニタリングによるレーザ溶接の高度化」

- ・「球型全方向移動車両の開発」
- ・「先進ものづくりのための最適設計計算手法の調査と開発」
- ・「分子シミュレーションによるイオン液体の潤滑特性評価」
- ・「電極部材用ニッケルナノクリスタルの合成」
- ・「電界紡織を用いたナノファイバー形成及びにそれを利用したナノ空間形成に関する研究」
- ・「ミリ波用コンポジット誘電体材料の実装技術に関する研究」
- ・「機能性積層フィラーの層間力低減化技術の開発」
- ・「機能性粒子材料の新規高速合成プロセスの開発」
- ・「結晶界面制御による無機・有機複合材料の高機能化に関する研究」
- ・「位置揺らぎの無い AFM/FFM 複合顕微鏡の粗動機構の開発」

-----  
内部資金：

- ・「ダイヤモンドライクカーボン膜の密着性評価の標準化」
- ・「パワーデバイス用セラミックス放熱基板の機械的特性試験方法の標準化」
- ・「3D プリンターの産業創出プラットフォーム形成事業」
- ・「AD 法による3次元コンポジット膜実装環境の整備」

外部資金：

経済産業省

平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業

- ・「ナノ構造電極を活用する発電のための新たな電気化学反応器の開発」

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

- ・「高品質マグネシウム合金板のコスト半減を実現する高速双ロール鋳造・圧延技術の開発」
- ・「船舶用エンジンの高出力化とクリーン化の革新をもたらす高疲労強度すべり軸受製造技術の確立」
- ・「超音波プレス加工を用いた医療機器の実用化」
- ・「SUS304超塑性発現材を利用したナノ精度マイクロ部品の加工技術開発」
- ・「低コスト・小規模投資で薄肉高強度を実現する革新的ダイカスト技術の開発」
- ・「高速双ロール式縦型鋳造法による難加工性高機能薄板の革新的製造技術の確立」
- ・「超高分子量ポリエチレン繊維を用いた海洋構造物係留ロープの耐久性向上技術の開発」
- ・「電解式不動態皮膜改質技術によるステンレス鋼の耐塩素孔食・耐応力腐食割れ性の革新的向上」
- ・「次世代型放熱部品の開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

- ・「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発／次世代技術開発／マイクロ SOFC 型小型発電機」
- ・「高付加価値セラミックス造形技術の開発」
- ・「立体造形による機能的な生体組織製造技術の開発／細胞を用いた機能的な立体組織および立体臓器作製技術の研究開発／高機能足場素材とバイオ3Dプリンタを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費補助金 基盤研究(A)

- ・「ナノストライプパターンニングによる薄膜流体潤滑技術の高度化に関する研究」
- ・「多面体幾何学にもとづく球面駆動システムの研究」

科学研究費補助金 基盤研究(B)

- ・「分子構造デザインによる非シリカ系ハイブリッドメソ多孔体の精密合成技術の開発」
- ・「切削力フィードバックによる能動切込制御型マイクロ・ナノ切削加工システムの実証研究」

科学研究費補助金 基盤研究(C)

- ・「表面化学修飾法による核磁気共鳴画像用ガドリニウム担持ナノダイヤモンド粒子の作製」
- ・「熱音響システムの高効率化のためのハニカムセラミックスの検討」
- ・「事例とシナリオモデリングに基づく持続可能ビジネス設計・立案支援手法」
- ・「パイプを伝搬するガイド波のモード解析」
- ・「マイクロ・マグネティックキャラクタリゼーションによる高温劣化損傷機構の解明」
- ・「正20面体クラスター構造を持つ水潤滑用低摩擦・低摩耗ホウ化物セラミックスの開発」
- ・「燐光現象を利用した低温場の高速測定技術の構築とその光アニールプロセスへの応用」
- ・「傷形状の復元アルゴリズム統合による磁気計測探傷法の新展開」

科学研究費補助金 若手研究(B)

- ・「配向酸化物薄膜/構造体の高オンデマンド作製手法の開発」
- ・「リン酸塩ガラス電解質燃料電池の高性能化開発」
- ・「数値計算と定性推論を融合したモデルベース設計検証理論の研究」

独立行政法人科学技術振興機構

戦略的創造研究推進事業 (CREST)

- ・「新規固体酸化物形共電解反応セルを用いた革新的エネルギーキャリア合成技術 (キャリアファーム共電解技術) の開発」

先端的低炭素化技術開発 (ALCA)

- ・「単結晶ナノキューブのボトムアップによる高性能小型デバイス開発」

- ・「リチウム空気二次電池の基盤技術開発／セラミックスセパレータ技術の開発」
- ・「ガーネット型酸化水電解質材料の創出」

戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）革新的構造材料

- ・「裁断の技術開発と製造条件確立ならびに量産実証パイロットプラント設計」

研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）

- ・「低酸素濃度を計測する半導体式酸素センサシステムの開発」
- ・「乳製品中のアレルゲンを選択的に除去する特定タンパク質吸着剤の開発」
- ・「良好な熱伝導性・熱的信頼性を有するアルミナ-アルミニウム接合体の開発」
- ・「住環境向け色素増感型アンピエント太陽電池の研究開発」
- ・「金属3Dプリンターによる製品製造実現にむけた集合組織形成の抑制技術」
- ・「アルミナ膜コーティングによる耐摩耗性を強化した産業用ロール製造技術の開発」

発 表：誌上発表215件、口頭発表399件、その他33件

#### 難加工材成形研究グループ

(Low-Formability-Materials Processing Group)

研究グループ長：松崎 邦男

(つくば東)

概 要：

マグネシウムやチタン、ステンレス等の難加工材の成形や難易度の高い形状への成形について、省エネ工程で環境に配慮した成形技術を金型の潤滑システムとともに開発する。そのために、素材の製造技術とその成形技術を粉体加工と塑性加工を主としたプロセスの高度化、複合化、融合化によって開発する。素材の成形性を改善するための加工熱処理技術の確立、応力条件を制御した温間・熱間鍛造技術の開発、ひずみを制御した軟磁性材料の打ち抜き加工、マグネシウム合金板材の冷間プレス成形技術の開発およびスピニング加工さらに電磁力を利用した高速成形技術の高度化を行う。また、医療デバイスを目指して精密 Mg 細管を製造するための押出し、引抜き加工技術を開発する。さらに難加工材の加工のための工具材料の開発を行う。チタン合金やステンレス等については粉末法を用いた機能性材料の開発とレーザーによる積層造形技術を開発する。これらの技術を統合することでオンデマンド成形の構築を目指す。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4、テーマ題目5、  
テーマ題目9、テーマ題目14、テーマ題目  
17

#### テーラードリキッド集積研究グループ

(Tailored Liquid Integration Research Group)

研究グループ長：加藤 一実

(中部センター)

概 要：

21世紀の高度情報化社会・環境調和型社会の持続的発展と高齢化社会における医療福祉技術の高度化のため、グリーン・イノベーションの核となる材料・システムの創成に向けて、無機・有機ナノ材料の適材配置により、ナノレベルで機能発現する材料・多機能部材を開発する。当研究グループでは、溶液化学をベースとした集積プロセス技術の体系化を目指し、溶液内機能発現ユニットの合成技術、溶液反応を経由したナノ～マイクロ領域の構造形成技術、複雑形状基板やフレキシブル有機高分子材料上への精密構造体の集積化技術等に関する研究開発を実施し、産業技術基盤と国際競争力の強化を図る。具体的には、酸化ナノクリスタルの合成・配列・接合、および解析・評価に関する基盤技術の開発、誘電／蓄電デバイスの高性能小型化に向けた単結晶ナノキューブのボトムアップ技術の開発、医療用センサ部材ならびにエネルギー関連部材に向けた集積化ナノ構造やメソ～マクロ孔を有する無機・有機系機能性薄膜の形成に関する基盤技術の開発を実施した。また、多様な外部機能との階層的な連携を通して、開発材料の産業応用の可能性を検討した。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目7、テーマ題目11、  
テーマ題目25

#### トライボロジー研究グループ

(Tribology Group)

研究グループ長：大花 継頼

(つくば東)

概 要：

製造分野における製品設計・概念設計支援技術の開発を意識しながら、表面加工技術を用いたトライボロジー技術の開発を中心に据え、基盤的および先端のトライボロジー技術を有機的に連携させることで省エネに資する製造技術の開発を行う。その中で、環境面への配慮や信頼性も含めたシステム性能の向上や、表面および潤滑システムに新しい機能を発現させることを目指す。中・長期的には、マイクロ／ナノからマクロへの展開を主軸とした研究を進め、トライボロジーを科学的に深化させ、トライボロジー技術の革新を指向する。具体的には表面テクスチャリングを有する摺動面の開発やトライボコーティング技術、さらにはモデリングによる摺動面のシミュレーションやメンテナンス・トライボロジー技術の開発に取り組んだ。また、最先端の技術情報拠点となるべく、研究グループ内の研究者個人の研究ポテンシャルを高めるとともに、共同研究等を通じて実用化を目指した応用研究および



標準化に取り組み、産業界の根幹技術であるトライボロジー技術の向上と普及に努めた。

研究テーマ：テーマ項目2、テーマ項目4、テーマ項目9、  
テーマ項目13

### 集積加工研究グループ

(Integration Process Technology Group)

研究グループ長：小木曾 久人

(つくば東)

概要：

集積加工研究グループでは、デバイス応用まで視野にいったコーティング技術や表面処理技術とその評価技術の研究開発を行っている。常温でセラミックスコーティングを可能にしたエアロゾルデポジション法の太陽電池やリチウム空気電池、熱電変換素子などのエネルギーデバイスへの多様な応用や、小型高密度プラズマ発生技術を生かし、ミニマルファブ用の世界最小のハイパワーインパルス (HIPIMS) 型のスパッタ成膜装置も開発し、SEMICON などの展示会に出品した。26年度は新しい取り組みとして、コーティング技術の延長としての付加加工技術 (AM) にも取り組んだ。26年度開始の経産省の大型プロジェクト「次世代型産業用3D プリンタ技術開発」に参画し、指向性エネルギー堆積型 (DED) の金属積層装置の開発を大手民間企業と共同で進めている。

また、超音波流量計の感度を上げる為の基本的な解析に取り組み、パイプ内を伝搬するガイド波の伝搬特性の解析や金属積層造形物の超音波非破壊評価技術も開始した。

研究テーマ：テーマ項目3、テーマ項目4、テーマ項目6、  
テーマ項目18、テーマ項目27

### 生体機構プロセス研究グループ

(Bio-Integration Processing Group)

研究グループ長：加藤 且也

(中部センター)

概要：

高齢化社会の到来を迎え、医療・バイオ分野における高付加価値製品のフレキシブル製造プロセス技術開発が急務である。当研究グループでは、生体内で行われている物質合成反応や構造組織化を巧みに取り入れた生体模倣型製造プロセスを開発し、従来の製造方法では実現が困難であった無機-有機ハイブリッドコンポーネントの開発を行っている。特に、生体外で利用されるバイオ部材 (バイオセンサーや触媒担体、吸着剤、積層型不織布など) の研究開発を重点化している。本年度は、H25年度実施中に課題として上がった、酸化チタン基板上での酵素の構造解析を中心に研究を展開した。さらに今後の研究展開に向けて、これまで当グループ内で培ったシリカやアパタイトなどの無機粒

子の合成や表面機能化技術を高度化し、現在実用化のために求められているシーズを取り込み、新たな「粒子設計」や「表面・界面設計」を行い、具体的な部材への展開を検討した。

研究テーマ：テーマ項目7、テーマ項目11、テーマ項目26、テーマ項目30

### 機能薄膜プロセス研究グループ

(Thin Films Processing Group)

研究グループ長：相馬 貢

(つくば中央第5)

概要：

当研究グループは、部門のミッションである製造技術の低コスト化・高効率化・低環境負荷を実現する部材・製造プロセスの開発に関連して、特にエネルギー関連部材・モジュールの開発に貢献した。超電導材料を中心とした機能性無機薄膜材料の①ナノ構造制御薄膜コーティング技術および②省エネルギー薄膜部材・モジュール集積化技術の開発を主に行ってきた。①に関して、塗布熱分解法、塗布光照射法、および、これらと基板表面や中間層の制御技術、複雑形状基材への成膜技術、超電導膜へのイオン照射技術などを組み合わせたナノ構造制御コーティング技術を開発した。さらに、それに基づく薄膜材料の高特性化およびプロセスの高速化や省エネルギー化を図った。また、②に関して部門内外および企業等と連携し、超電導マイクロ波フィルタ素子や超電導限流器等の省エネルギー素子モジュール・プロトタイプ作製技術への展開を図った。

研究テーマ：テーマ項目4、テーマ項目6

### 表面機能デザイン研究グループ

(Surface Interactive Design Group)

研究グループ長：三宅 晃司

(つくば東)

概要：

本研究グループでは、種々の環境条件に対応した(摺動)部材開発、部材表面への微細形状付与による摩擦・摩耗の制御技術の開発、表面修飾技術の開発をベースとした表面機能創成と応用を中核とし、これらの知見を基にした表面設計技術の開発を行う。上記研究開発を通し、分野重点課題である「製品設計・概念設計支援技術」および「省エネ製造技術」の開発に貢献するとともに、製造技術への物理化学的視点からのアプローチにより、製造産業の発展に貢献していく。特に「低環境負荷流体からなるトライボシステムの構築」に向けた研究を推進すると共に、「表面機能デザインに向けたシミュレーション技術」に関する研究を重点的に推進している。材料破壊の初期過程や、雰囲気ガスと材料との相互作用、材料中のガスの透過性、等のシミュレーション技術の高度化により、材料と雰囲気ガスと

の相互作用により生じる被膜形成を利用した、アクティブに摩擦をコントロールするための新規基盤技術開発に繋げていく。さらに、上記技術シーズのトライボロジー以外の分野への展開も推進している。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目9、テーマ題目24

### 無機複合プラスチック研究グループ

(Inorganic-Based Plastics Group)

研究グループ長：堀田 裕司

(中部センター)

概 要：

高機能化・多機能化が要求される次世代社会基盤部材製造を支えるため、異種材料の融合・複合化による先進材料の創製、及びその製造プロセス技術の開発を進めている。当研究グループは、特に、機能性に優れたセラミックス、カーボン等の無機材料と軽量性・成形性に優れた樹脂・プラスチックの異種材料を複合化するためのプロセス技術及び先進複合材料に関して研究開発を遂行し、無機材料の特性を最大限に引出した高機能性プラスチック部材の製造技術の確立を目指している。樹脂・プラスチックへの無機材料フィラーの複合化を粒子ハンドリング、粉末構造制御、界面制御、外部場を用いたプロセス技術等の視点から取り組むことで、無機材料の特性を最大限引出した無機複合プラスチック部材の開発を実施し、産業技術基盤と国際競争力の強化を図る。

研究テーマ：テーマ題目8、テーマ題目11、テーマ題目27、テーマ題目28

### 電子セラミックプロセス研究グループ

(Electroceraamics Processing Research Group)

研究グループ長：申 ウソク

(中部センター)

概 要：

医用機器等の高付加価値製品やエネルギー・環境関連製品の材料・部材技術をさらに発展させるために、セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料のマルチスケールでの接合・融合化と適材配置による高性能ガスセンサや新しいデバイス応用の多機能部材開発を行い、①新材料によるデバイス開発、②デバイスプロセスによる新機能発現と実証を基本方針とし、材料開発からプロトタイプの前製までトータルな研究開発を進める。

単分散の形状機能性粒子技術の開発、コアシェル機能性粒子を用いた多機能塗膜技術の開発、高性能の熱電材料及びモジュール技術の開発を行った。半導体式酸素センサ素子では、可燃性ガスの影響を減らす多層膜設計を行った。半導体式NOセンサについては、種々の貴金属触媒がガス応答に及ぼす効果を検討し、数十～数百 ppm の NO ガス応答を高感度化した。ヘルス

ケア応用を目的とした酸化物半導体ナノ粒子を用いた高温型ガスセンサについては、材料組成の最適化を行い、1ppm 以下のメチルメルカプタンを検知するガスセンサを開発した。キャリアーをドーピングしたSrTiO<sub>3</sub>のナノ粒子を合成し、キューブ状等の3次元超格子構造を形成するナノ粒子プロセスについて、ナノ粒子結晶粒界での組成分析等のナノ粒子製造及び分散方法を検討した。

研究テーマ：テーマ題目6、テーマ題目7、テーマ題目11

### マイクロ加工システム研究グループ

(Ingenuous Micro-Manufacturing Systems Research Group)

研究グループ長：芦田 極

(つくば東)

概 要：

マイクロファクトリ（製造対象の寸法に見合った小型の生産加工システム）のコンセプトに基づき、創意工夫に富んだ新たなマイクロ加工システムの研究を推進する。加工装置および加工対象を小型化しようとする、これまでの製造技術では対応できない新たな課題に直面する。それらを解決するために、新原理や複合加工を適用したマイクロ加工プロセス、マイクロ計測・検査技術、小型アクチュエータ要素、これらを組合せた制御システム等を試作開発し、評価を行う。機械加工および加工機械のマイクロ化により、生産システムの省エネルギー・省資源効果、およびフレキシビリティ向上による多品種少量生産に資する製造技術を創造し、ミニマルマニュファクチャリングの具現化を目指した研究を展開している。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目9、テーマ題目12、テーマ題目17、テーマ題目21、テーマ題目22

### フレキシブル化学コーティング研究グループ

(Flexible Chemical Coating Group)

研究グループ長：土屋 哲男

(つくば中央第5)

概 要：

本研究グループは、重点課題「多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術の開発」を主に担当し、グリーン・ライフイノベーションに資する材料・部材・デバイスの省資源・省エネルギー製造に貢献するフレキシブルな化学コーティング技術の確立をミッションとし、以下の3つの課題に取り組んでいる。1)フレキシブル化学コーティング技術開発、2)化学コーティング材料開発、3)部材・デバイス開発への応用展開

本年度、課題1)、2)では、平成26年度部門内重点課題「1.戦略課題名：オンデマンドリペア技術の基盤の開発」を中心として、塗布照射法、ナノ粒子光反応

法により、高耐熱抵抗膜及び高輝度蛍光体膜の開発及びポリマー材料への表面化学修飾手法の開発を行った。また、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」において高耐熱抵抗膜の開発、サポイン事業による海洋構造物係留ロープの開発などを行った。課題3)では、企業との共同研究で、安全表示部材、小型赤外センサ開発、表面化学修飾による接合技術、大学との共同研究（新規顕微鏡蛍光体膜、体内貯留型新規MRI造影剤）などの新しい部材・デバイス作製技術を開発した。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4、テーマ題目15

### セラミック機構部材プロセス研究グループ

(Ceramic Mechanical Parts Processing Group)

研究グループ長：近藤 直樹

(中部センター)

概要：

一般にセラミックスは高度に精製された原料を使用し、高温で焼き固めて作製されており、その製造時に多大なエネルギーを消費している。一方、その優れた特性を活かし、セラミック部材の使用によりエネルギー消費を抑えることもできる。環境調和と競争力の両立を狙いとしたミナマルマニュファクチャリングでは、製造時と使用時の資源やエネルギーの消費が最小となるよう、かつ、製品性能や価格が競争力を持てるよう考慮しつつ、開発を進めることが必要である。

当研究グループでは、上記考えに基づき、構造用セラミックスを、各種産業の製造装置用部材、あるいは、熱消費型製造業や熱エネルギー分野でのサーマルマネジメント部材として用いるための製造技術開発を進めている。具体的には、小型のユニットを作製し、それらを組みあわせて部材化する方法を開発している。関係要素技術として、ユニットのニアネット成形技術、ユニットのアセンブリ技術（接合など）、ユニットやアセンブリの信頼性評価技術（特に高温下や腐食環境下）などの研究開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

### セラミック組織制御プロセス研究グループ

(Ceramic Structure Controlling Group)

研究グループ長：吉澤 友一

(中部センター)

概要：

高度化・高性能化する製造システムや産業機器を支えるための中核となる先進構造部材を創製することを目的に、セラミックスの材料機能を目的かつ効率的に部材構造中に付与する材料組織制御技術の開発を行っている。特に、セラミックスが本質的に有する高い硬度、耐熱性、耐食性、化学的安定性等を部材機能に取り込んだ高熱伝導部材、高性能多孔体部材、高耐摩

耗性部材等の開発を目指している。このため、材料特性を支配する因子を検討するとともに、その因子を制御するプロセス技術の開発に取り組んでいる。高熱伝導窒化ケイ素では、残留酸素と粒界相の制御、多孔体では、気孔の形状、孔径、気孔率などの制御を行っている。また、これらの材料の評価技術の開発や標準化にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

### 機能集積モジュール化研究グループ

(Functional Integration Technology Group)

研究グループ長：藤代 芳伸

(中部センター)

概要：

高性能なセラミックリアクターや次世代蓄電デバイス等の実現には、資源生産性を考慮したエネルギー部材・モジュール製造技術および革新的な材料・製造技術の発展が必要とされる。このような電気化学デバイスの小型高効率化や多機能化といった飛躍的な性能向上を実現するためには、従来技術では不可能であった機能を発現する部材の構築を目指した、高度集積構造を造り込むモジュール化技術の開発が不可欠となる。特に、ナノレベルでのセラミック電極構造制御やイオン伝導性材料・機能触媒材料等の最適化が重要となる。当研究グループでは、高度なセラミック集積化プロセス技術の開発により、次世代型固体酸化燃料電池(SOFC)等の電気化学デバイスにおいて、多燃料利用技術や低温域からの急速起動・停止運転での耐久性向上等を目指した研究開発に取り組んでいる。例えば、マイクロ燃料電池等の接続技術として、ガスシール性を有し接続抵抗値を実用レベル以下に抑えるセラミック集電シール接続技術を開発し、新しいモジュール構造を実現した。また、LPGで直接発電可能なハンディ型燃料電池デバイス開発や高効率電気化学物質変換デバイスの実現を目指し、低温域で高効率発電・電解が可能なセル・スタック製造技術等を開発した。さらに、次世代セラミック蓄電池の実現に向けて、セラミック電解質を金属負極用セパレータ等に適応可能とする界面制御技術等を開発した。これらの成果は電動化が進む次世代自動車やポータブル分散電源等での高効率発電と高容量蓄電技術を組合せたハイブリッド電源技術等の実現に大きく寄与すると考えられる。

研究テーマ：テーマ題目6、テーマ題目29

### 結晶制御プロセス研究グループ

(Crystal and Materials Processing Group)

研究グループ長：秋本 順二

(つくば中央第5)

概要：

資源生産性を考慮したエネルギー部材・モジュール

製造技術として、次世代型のリチウム二次電池等に適用可能な高性能な結晶材料の開発が期待されている。当グループでは、低温溶液合成法などの素材製造技術、良質な結晶育成技術、並びに結晶構造解析技術・評価技術を応用・発展させて、新規結晶材料の開拓とその製造技術の確立を目指している。

具体的には、イオン交換合成法、低温溶融塩法、オゾン酸化法、マイクロ波加熱法などの低温溶液を用いた素材合成技術を開拓・適用し、コバルトフリー正極材料に代表される高容量・低コストの電極材料であるマンガン酸化物、チタン酸化物、さらには固体電解質材料であるガーネット型酸化物材料などの新規機能性無機結晶材料の合成・開発を実施した。また、基盤技術である結晶構造解析技術・物性評価技術の高度化、および精密結晶成長技術の確立を目指した研究開発を行った。さらに、次世代ポストリチウム二次電池への応用が期待される新規酸化物材料等の設計・合成と評価を実施した。

研究テーマ：テーマ項目6、テーマ項目20

**機能・構造予測検証研究グループ**

(Functional and Structural Damage Verification Group)

研究グループ長：鈴木 隆之

(つくば東)

概要：

近年、機器構造物は「最小の資源」、「最小のエネルギー」で、「安全信頼性」を確保しつつ、「最大限の機能・特性」を発揮することが要求されている。したがって、製造時や供用過程中に生じる損傷・欠陥を評価し、これに基づき機器構造物の「寿命・余寿命予測」や「メンテナンス計画の策定」を実施すること、さらにはこれらの知見を通して設計上流の概念設計へと反映させることが必要になっている。当研究グループではこれらの要求に応えるべく、先進材料を含む様々な系の材料を用いた機器構造物を対象に、実機で生じる微小欠陥や複雑欠陥について評価が可能な非破壊損傷評価技術の開発を行う。また、材料の耐久性評価試験や損傷・欠陥解析を実施し、機器構造物の寿命・余寿命予測システムを構築する。さらに、これらの知見をもとに合理的なメンテナンス計画の策定に反映させる。

研究テーマ：テーマ項目9、テーマ項目23

**システム機能設計研究グループ**

(System Functional Design Group)

研究グループ長：増井 慶次郎

(つくば東)

概要：

本年度は、部門重点課題である「新たな加工技術、劣化評価技術を包含した機器設計のための基本システ

ムツール開発」において、デザイン・ブレイン・マッピングツール (DBM) と他のツールとの連携を図り、事例を通じてトータルデザイン支援技術としての有効性検証を行った。宇宙機器開発事例では、これまでに構造化した離散的な設計文書の解析を進め、DBM上のモデルとして表現することができた。また電磁鋼板加工事例では、グラフ演算を用いて大量の知識データの中から特定の関係だけを抽出することに成功した。また、戦略予算「戦略メタル資源循環技術(都市鉱山)」においては、小型家電製品のライフサイクルシミュレーションを実施し、戦略的都市鉱山の在り方を設計問題として捕えるための定式化を行った。その一方で、リサイクル中間処分量における作業容易化を目的とした製品情報開示に関する標準化提案内容についての検討も行った。

研究テーマ：テーマ項目9、テーマ項目23

**製造情報研究グループ**

(Manufacturing Information Group)

研究グループ長：澤田 浩之

(つくば東)

概要：

企業の競争力や体質の強化を目的として、受注、製品設計、工程設計、生産計画、製造管理、出荷管理、在庫・物流管理等、設計製造プロセスの情報化推進を支援するための研究開発およびその導入のための技術指導を行っている。その一環として、あらかじめ用意されたソフトウェア部品を組み合わせることによって簡単にITシステムを構築するソフトウェア作成ツール MZ Platform を開発し、「MZ プラットフォームユーザー会」を通じて無償公開している。また、ものづくり支援ツールの1つとして、各地の公設試験研究機関や産総研産学官連携推進部等との協力により、普及セミナーや講習会の開催、技術研修、製造業への導入と業務システム開発、民間ソフトウェアベンダーへの技術移転を進めているほか、設計因子関係記述ソフトウェア等、MZ Platform をベースとした設計製造支援ソフトウェアの研究開発も実施している。これ以外にも、製品設計の初期段階や工程設計段階で利用可能なシミュレーション技術やモデリング技術の研究、数理的手法の製造技術への応用研究を並行して行っている。

研究テーマ：テーマ項目9、テーマ項目10、テーマ項目

**基盤的加工研究グループ**

(Metal Processing Research Group)

研究グループ長：岡根 利光

(つくば東)

概要：

切削、鍛造、鍛造、熱処理等の各加工技術を対象に、

加工評価実験・加工現象のモニタリング手法やシミュレータ開発を通して、加工メカニズムの解明と高度化を進めている。さらに AR 技術を活用した作業支援技術の開発、積層造形技術の活用による鋳造用砂型製作及び鋳造技術の開発を行っている。

IT を活用した技能継承技術の開発を目標に、ものづくり製造分野における技術・技能を分析・モデル化して表現する技術の研究を進め、これらの成果をベースとした技能継承支援ツール「加工テンプレート」について普及活動を進めている。IT を利用した中小企業への技術の普及・技術支援を目的に、現在 web で公開している「加工技術データベース」についても、当グループの対象加工分野についてメンテナンスと拡充・普及活動を進めている。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目10、テーマ題目12、テーマ題目18、テーマ題目19

### 加工基礎研究グループ

(Processing Fundamentals Research Group)

研究グループ長：三宅 晃司

(つくば東)

概要：

金属などの延性材料に対しては、クラックを加工物に残さずに材料の一部を削り取る延性モード加工が当然と考えられている。半導体や単結晶、セラミックス、そして光学ガラス等の硬くて脆い材料であっても、一定の条件を満たせば金属材料と同様に微視的に塑性変形が発生し、延性モード加工が可能になる。そこで、「難加工材」とよばれる部材の高効率高精度加工を実現する加工方法を考える場合、微視的な領域で発生する塑性変形挙動や物理化学現象について詳細に解析し、活用することが必須であると言える。本研究グループでは、様々な専門知識を有する研究員が加工プロセスを物理化学的見地から観察・分析・解析し、材料の「変形」と「すべり」と「表面破壊」をきちんと理解することにより、機械加工のための基礎現象を把握することで、制御性の良い「難加工材」の加工方法の開発を目指す。これらの研究を進めるうえで企業との連携も重要と考え、資金提供型共同研究を「トライボロジー研究グループ」および「表面機能デザイン研究グループ」と協力して積極的に推進するとともに、それぞれの重点課題参加グループとも連携を取りながら研究を推進する。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目9、テーマ題目10、テーマ題目31

### エンジニアリングセラミックス研究班

(Engineering Ceramics Research Party)

研究班長：平尾 喜代司

(中部センター)

概要：

半導体、非鉄、鉄鋼などの製造業、さらには、環境・エネルギー分野における機器、システムはますます高度化し、これらのシステムを構成する部材に求められる要求性能も高いものになってきている。セラミックスは高い弾性率、硬度、耐熱性、軽量性、耐食性など優れた特性を兼ね備えており、金属、プラスチックでは対応が困難な環境で用いられる材料・部材としてますます重要なものとなっている。

当研究班は、この様な社会的な要請に応えるため、エンジニアリングセラミックスに係る二つの研究グループ（セラミック機構部材プロセス研究グループ及びセラミック組織制御プロセス研究グループ）を横断的にまとめ、本分野における研究を一層加速させるために平成20年度に設置された。これまでに蓄積してきたセラミックスの材料・プロセッシングに関する研究成果を基盤技術として、NEDO プロジェクト（パワーエレクトロニクス用高耐熱部品の開発等）や民間企業との共同研究を通して高性能セラミック部材を活用した省エネルギーに資する技術の開発を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

### 先進コーティング技術プラットフォーム研究班

(Research party for Advanced coating technology platform)

研究班長：明渡 純

(つくば東、つくば中央第5、中部センター)

概要：

産総研オリジナルのコア技術を縦串に、従来技術に関する先端的な知見を横串にした新しい産学官連携の試みや技術移転を実践する活動を行うため、先進コーティング技術プラットフォーム (Advanced Coating Technology Platform: ACT-P) を形成し、先進製造プロセス研究部門で開発された「エアロゾルデポジション法」や「光 MOD 法」、「レーザー援用インクジェット (LIJ) 法」、「テラーリキッドソース」及び「表面化学修飾」などの新規コーティング手法の高度化や新規コーティング手法の開発を行った。本年度は、昨年同様、企業からのニーズを構成メンバー内でのミーティングを通し、新たなベンチマークを行った。具体的なベンチマーク対象としては、昨年度、同プラットフォームで民間企業から技術相談、試料提供契約に至った案件の中で、特に市場ニーズが明確なパワーデバイス用高密度配線応用や耐摩耗、潤滑膜コーティングなどを想定し、AD 法や光 MOD、テラーリキッドソース、ナノクリスタル材料を LIJ 法などと組み合わせ、従来技術のスパッタ法や CVD 法等とのベンチマークを行い、その特徴や優位性を明らかにし、技術移転を加速した。また、本プラットフォーム主催の講演会やオープンラボなどを通して積極的に成果発信

を行うことで、新しいニーズ調査や応用展開を図った。  
 研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4、テーマ題目5、  
 テーマ題目6、テーマ題目7、テーマ題目9、  
 テーマ題目10、テーマ題目11、テーマ題目  
 15、テーマ題目18、テーマ題目25、テーマ  
 題目27

### ものづくり支援ツール研究班

(Monozukuri Support Tools Research Party)

研究班長：岡根 利光

(つくば東)

#### 概 要：

平成21年度まで、産総研旧デジタルものづくり研究センターでは、日本の製造業の技術力向上、技術・技能継承、IT化促進を目的として、中小企業庁プロジェクト等において、機械部品製造に係る幅広い加工技術情報をインターネットで公開する「加工技術データベース」、自社の技術・技能の分析・蓄積・利用による技能継承・共有化するためのITツールとしての「加工テンプレート」、高度なIT知識を必要としない業務用アプリケーションソフトの開発環境としての「MZプラットフォーム」を開発し、製造企業への普及を図ってきた。平成22年度から、旧デジタルものづくり研究センターが先進製造プロセス研究部門と統合するにあたり、これらの開発に携わってきた2つの研究グループ（基盤的加工研究グループ及び製造情報研究グループ）を横断的にまとめ、上記の開発成果を「ものづくり支援ツール」としてさらに整備し、企業現場へのさらなる普及活動を実施することを目的として当研究班を設置した。

企業への普及においては、産総研地域センター、各地の公設試験研究機関、工業組合等の諸団体との連携による普及活動を進めている。

研究テーマ：テーマ題目10

### CFRP 研究班

(CFRP Research Party)

研究班長：堀田 裕司

(中部センター、つくば東)

#### 概 要：

炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は、次世代自動車や航空機等の輸送機器、医療機器、社会インフラ材の軽量化を主な目的として、活発な研究開発が国内外で進められている。当研究班では、熱硬化性及び熱可塑性 CFRP (CFRTS、CFRTP) を対象に、低コスト製造プロセスの確立を目指し、高速成形技術、加工技術、およびそれらの基礎となる基盤技術の研究開発を部門内の研究グループを横断して推進してきた。研究開発を推進するため、VaRTM（真空含浸工法）成形機、繊維と樹脂の密着性の評価機器、機械特性及び

疲労特性の評価機器などの研究開発のインフラ整備を行い、成形から材料の信頼性評価についての研究開発を進めている。さらに、関連する大学、企業、公的研究機関との連携を積極的に進め、CFRPの産業応用を加速するためのネットワーク形成を図っている。

研究テーマ：テーマ題目8、テーマ題目11、テーマ題目  
 27、テーマ題目28

-----  
 [テーマ題目1]高性能セラミックス部材と表面加工技術を用いた省エネ製造技術（高性能セラミックス部材関連技術）

[研究代表者] 近藤 直樹（セラミック機構部材プロセス研究グループ）

[研究担当者] 近藤 直樹、長岡 孝明、堀田 幹則、北 憲一郎、吉澤 友一、日向 秀樹、周 游、宮崎 広行、福島 学、平尾 喜代司、大司 達樹（常勤職員11名）

#### [研究内容]

製造業における消費エネルギーの削減はエネルギー・環境問題の両面から極めて重要な課題である。本研究では、製造業における生産からリサイクルに至るプロセス全体の省エネルギー化を図るために、断熱性等の機能を2倍以上とした革新的セラミック部材等の製造技術を開発することを目的としている。平成26年度の成果は次の通りである。

ゲル化凍結法による高気孔率多孔体の作製では、安価な工業原料から高気孔率高強度断熱材の作製をおこなった。安価な天然原料であるカオリンと水酸化アルミニウムよりムライト粉末を合成し、これを原料に用いた。初期スラリーの固形分濃度、凍結温度、不凍タンパク質（AFP）の添加有無をゲル化凍結法の製造プロセス因子とし、断熱材作製をおこなった。焼結温度は1,500℃とした。初期スラリーの固形分濃度が高いほど気孔率が低く、高圧縮強度を示すものの熱伝導率も高くなり、断熱性能が劣るものになった。AFPを加えることで楕円状の粗大な気孔の生成を抑制できた。固形分7%のスラリーから作製した断熱材で気孔率85.2%、熱伝導率0.38W/mK、固形分6%のスラリーから作製した断熱材で気孔率89.4%、熱伝導率0.29W/mKを達成した。なお、熱伝導率と凍結温度に相関は観られなかった。以上のように、天然原料と安価な工業原料を用いてゲル化凍結法により高気孔率多孔体を作製する事ができた。

また、アルミ溶湯搬送用の断熱容器をもとに、溶融塩蓄熱容器への展開をはかるための中空ユニットの改良をおこなった。溶融塩と中空ユニット材質の候補として、KCl-NaCl混合塩（融点：660℃）及び多孔質 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を選定した。実使用において多孔質 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>中空ユニットの溶融塩接触面は緻密に被膜する必要があるため、中空ユニット表面への Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶射、Ni溶射、Niコールドスプ

レー、及び Ni メッキを試みた。各種被膜の密着性や緻密化の評価をおこない、被膜形成には Ni メッキ法が有望であることを見出した。Ni メッキで表面を被膜処理した  $\text{Al}_2\text{O}_3$  多孔体について、 $\text{KCl-NaCl}$  混合塩による高温・長時間（ $800^\circ\text{C}-100\text{h}$ 、 $\text{N}_2$  気流中）埋没腐食試験をおこない、耐久性を評価した。結果、メッキ相に腐食によるピットや熱履歴によると考えられる亀裂が散見されるものの、 $\text{NiO}$  等の腐食生成物は認められず、Ni メッキによる被膜作製が耐食性に優れた有効な被膜手法である可能性が示された。これらの知見を基に、1/2サイズモデル用中空ユニットの改良を行い、熔融塩接触面とそれを取り囲む側壁面の一部を Ni メッキでコーティング処理を施した中空ユニットを試作した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 多孔体、気孔、隔壁、断熱、中空ユニット、搬送容器、蓄熱、熔融塩、耐食性

【テーマ題目2】 高性能セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネ製造技術の開発（表面機能付与プロセス技術の開発）

【研究代表者】 大花 継頼

（トライボロジー研究グループ）

【研究担当者】 大花 継頼、鈴木 健、是永 敦、間野 大樹、三宅 晃司、日比 裕子、中野 美紀、碓井 雄一

（常勤職員8名）

【研究内容】

自己修復性を持つ潤滑表面の開発に向けて、構造および材料に着目したナノストライプ潤滑のメカニズム検証と、機械要素へ適用するための実機検証の2つの課題を並行して行った。

メカニズム検証については、昨年度に引き続きナノストライプを構成する材料の組み合わせの最適化を密着性・摩擦特性・自己修復性をその場観察等によって評価することで低摩擦発現機構を検討し、機械要素への適用については、20%の摩擦低減効果の実証を目指して、すべり軸受を対象としたナノストライプ構造の最適化を進めるとともに、ランダムテクスチャリングの実用化を目的とした研究を実施した。

ナノストライプ構造の摩擦メカニズムについて検証するため、表面エネルギーが異なる材料である鉄と金からなるナノストライプを例にとり、原子間力顕微鏡を用いて凝着力、摩擦力の湿度依存性について測定した。比較のため、鉄、金それぞれについても同様の測定を行ったところ、ナノストライプ構造のように材料が微細化、ナノ構造化した際の凝着力および摩擦特性については、均一表面の場合と異なることが明らかとなった。すなわち、ナノ構造化が低摩擦発現に関与している可能性が示唆された。

一方、摩擦損出20%削減の目標に向け、機械要素とし

てすべり軸受を用いた模擬試験を行った。マイクログレンブが存在する現行のすべり軸受の金属表面に、 $\text{SiC}$  と  $\text{C}$  の膜を交互に7層積層させて、ナノストライプ構造を作製した。このすべり軸受を用いて、本年度改造したすべり軸受試験機で荷重 $30\sim 66\text{N}$ 、滑り速度 $0.9\sim 2.7\text{m/s}$ の条件で試験を行い、成膜していない現行軸受とトルクを比較することで、開発した軸受の摩擦損出低減効果を見積もった。現行品に比べて開発品が混合潤滑から境界潤滑領域で低摩擦を示していることが明らかとなり、20%の摩擦低減効果を確認した。

また、ランダムテクスチャリングについては、ブロック試験片の摩擦面（平面）にショットブラストによってランダムな微細凹凸を形成し、この試験片を用いて、摺動時の圧力分布と油膜厚さを測定した。ディンプル構造など数十  $\mu\text{m}$  サイズのパターニング表面と比較し、ナノ構造の潤滑特性についてさらに検討を行っている

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 トライボロジー、表面機能化、テクスチャー、摩擦制御技術、コーティング

【テーマ題目3】 オンデマンド・リペア技術の基盤の開発

【研究代表者】 明渡 純（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】 明渡 純、土屋 哲男、小倉 一朗、芦田 極、佐藤 治道、松崎 邦男、荒井 裕彦（常勤職員7名）

【研究内容】

本プロジェクトでは、多様なニーズに応え、部材・デバイス・製品製造に関する省資源・省エネルギーに貢献するため、オンデマンドで多品種変量生産に対応できる製造基盤技術、さらには高効率製造、長寿命化を考慮したリペア技術の確立を目的とし、レーザー援用インクジェット（LIJ）、欠陥モニタリング、光 MOD による薄膜パターニング、スピニング加工によるオンデマンド成形技術の開発を行った。

LIJ では、実用化のネックとなっていた密着強度の課題に対し、レーザー照射による基板表面粗面化によりテープ剥離試験に十分耐えられる密着強度を実現した。また、大手インクメーカーとの連携、超低焼結温度の Ag インクの提供を受け実用用途で要求されている PET フィルム（ガラス転位温度： $80^\circ\text{C}$ ）上での LIJ 描画や局所レーザーアニールによる低温プロセス化に目途を付け、PET 基板上で体積抵抗率  $\sigma = 6 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 、線幅  $20\mu\text{m}$ 、膜厚： $15\mu\text{m}$  の描画を実証（世界初）した。また、上記 LIJ 法を利用して、「オンデマンド・リペア」を実証していくため、本年は、主に配線の割れと剥離に注目してこれらを検出する手段について検討した。また、レーザースキャンとフォトダイオード光学系を用いた変位検出・欠陥モニタリング機構を構築するための光学系の検討を行い、スキャン方向に広範囲で線形性の高い変位検出が可能な変位検出システムの構築を実現するような複数の

検出系を検討し、割れ・剥離測定に相当する高さ測定が可能であることを示した。一方、光 MOD では、オンデマンド・リペア手法を用いた抵抗体製造時のトリミングによる劣化のない新規プロセスを考案し、薄膜の低温成膜と共にパターンニング及び抵抗体材料の抵抗値制御を実証した。更に、環境対応部材のオンデマンド成形技術関連では、スピニング加工と材料創製技術を融合することで、多品種変量生産に対応した製造技術を開発した。溶融圧延材を用いるとともにスピニング加工の高速化、効率的な加工により、素材製造から板材加工に係るエネルギーの30%削減を達成できる目処が立った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 オンデマンド、リペア、多品種少量、レーザー援用インクジェット、塗布光照射法、欠陥検出、レーザー走査、スピニング加工

【テーマ題目4】 先進コーティング PF 活性化のためのベンチマーク評価の促進

【研究代表者】 明渡 純（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】 明渡 純、土屋 哲男、中村 挙子、中島 智彦、篠田 健太郎、加藤 一実、木村 辰雄、真部 高明、相馬 貢、山口 巖、松井 浩明、大花 継頼、廣瀬 伸吾、小木 曾久人、佐藤 治道、朴 戴赫、馬場 創、佐藤 宏司、瀬渡 直樹、鈴木 宗泰、中野 禪、村上 敬、荒川 さと子  
（常勤職員22名、他1名）

【研究内容】

先進製造プロセス研究部門で開発された新規コーティングプロセスをスピーディーに実用化して社会に還元するため、産総研オリジナル手法と従来型のコーティング法とのベンチマークによる比較検証、また、用途に応じた適用性の系統的分析を HP 上で公開することで、成膜プロセスの産業化への課題抽出や新規応用開拓など、企業連携促進を目的として活動を行った。本年度も昨年度同様、ウェブサイト訪問者数：5,000人を越え（平均約20名/日）、年間100件を超す技術相談を受け、この活動が開始された平成22年12月～現在までに、技術相談件数：400件以上、試料提供契約：50件以上、資金提供型共同研究：30件以上、民間企業からの資金提供額合計：200百万円以上の実績を上げることができた。成果発信として、AD 法とコールドスプレー法、及び光 MOD や従来薄膜技術とのベンチマークを実施し、その結果を HP で公開した。また、本年度は、NIMS との共催で、第6回つくば国際コーティングシンポジウムを開催し、国内外から多数の参加者を集めるなど、高い関心を集めた。一方、地方公設試・大学連携による成果普及については、一昨年度から栃木県産業技術センターと進めてき

た「栃木モデル」をベースに、イノベーション推進本部・関東産学官連携推進室と、地域試や県下の中小企業との連携を図る新しい仕組みを構築した。現在、これを産議連・関東甲信越静地域部会・表面処理研究会でのテーマとして全国展開に広げ、更に他3件との連携に至っている。また、AD 法の3D造形への応用、光 MOD 法を用いたオンデマンド・リペア、表面化学修飾法による異種材料接合などへの応用展開を積極的に図り、SIP やサポイン等、国プロに採択された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 エアロゾルデポジション、レーザー援用インクジェット、光 MOD、ナノクリスタル、表面化学修飾

【テーマ題目5】 オンデマンドプロトタイプング技術の開発

【研究代表者】 松崎 邦男

（難加工材成形研究グループ）

【研究担当者】 松崎 邦男、岡根 利光、中野 禪、清水 透、花田 幸太郎、佐藤 直子、岩本 和世、梶野 智史、今村 聡、  
 本山 雄一、伊藤 哲  
（常勤職員11名）

【研究内容】

製造分野での国際競争力強化と新しい産業での雇用創出のために、革新的な製造プロセスの開発が望まれている。本研究では従来の手法では製造が困難な複雑形状・構造で高付加価値を有する製品を製造するために、試作のみならず最終製品の迅速な成形が可能な積層造形法の開発と積層造形技術をベースにした複雑・薄肉形状のオンデマンド鋳造品の生産技術開発を進める。そのために複雑・薄肉形状への高品位充填を可能にする充填プロセス技術、AR 技術を利用したシミュレーション情報等の作業情報と現場との重ね合わせ表示技術等による作業の支援と評価技術、製品の欠陥・物性評価技術を開発し、オンデマンド生産に対応した製造プロセスの確立を目指す。

レーザー積層造形では多孔質や格子構造等の造形を行い、その造形条件を確立するため、基本的な造形における深さ方向の組織構造に及ぼす条件の検討を進めた。面内はレーザーの照射により制御できるが、深さ方向の制御は難しく、積層造形の場所により結合の状況が異なることを見出した。

セラミックスと金属の複合化技術に関しては PBF（粉末床溶融型）での実験を行い、ジルコニア単体を用いた積層を行ったところ、真空雰囲気中では酸素の離脱が生じ、酸化物の還元が進むことが分かった。一方、大気中では酸素の離脱は無く、ジルコニアとして造形ができる。セラミックスと金属粉を混ぜて焼結する場合には、金属の酸化とセラミックスの還元が発生するため、これを抑



止する必要があることが分かった。この観点から、特に構造材や機能材として期待されるジルコニアやチタンなどの複合化が難しいことが予想される。

インクジェット積層造形技術をベースに生産性向上に向けた技術開発、成型した鋳型の評価技術開発、薄肉複雑形状に対応した鋳造技術開発を行い、1液式で硬化する有機バインダ、無機バインダの開発とインクジェット積層造形システムへの適合評価を行った。有機バインダについては、硬化テスト、可使時間の確認などを行い、十分な性能が得られていることを確認した。

また、無機バインダにおいても、全く新たな硬化システムとして、1液式で硬化するバインダ硬化システムを開発した。無機バインダがインクジェット射出出来るように脱泡処理など検討し、射出が出来ることを確認した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 Additive Manufacturing、積層造形、粉末冶金、鋳造、複雑形状、複雑構造、レーザー、インクジェット

【テーマ題目6】 次世代セラミック電池材料・製造技術の開発（熱利用 SOFC/SOEC 技術、次世代二次電池技術）

【研究代表者】 藤代 芳伸

（機能集積モジュール化研究グループ）

【研究担当者】 藤代 芳伸、濱本 孝一、鈴木 俊男、山口 十志明、鷺見 裕史、秋本 順二、間宮 幹人、木嶋 倫人、永井 秀明、片岡 邦光、赤松 貴文、申 ウソク、真部 高明、廣瀬 伸吾、明渡 純  
（常勤職員15名、他2名）

【研究内容】

資源生産性を考慮したエネルギー部材・モジュール製造技術として、次世代自動車や再生可能エネルギー利用のスマートグリッドでの分散電源等に利用される、安全、大容量、低コストの新たな次世代電池デバイス材料・部材製造プロセス技術開発を行った。具体的にはナノレベルからの構造制御を活用する機能性セラミック材料や集積技術等の製造プロセス技術を活用する次世代セラミック蓄電池を検討した。全固体電池や空気電池等の次世代蓄電池の実現を目指したセラミック電解質部材技術開発においては水系リチウム空気二次電池のデバイス化基盤技術確立を目的とし、水系空気二次電池のセル構築とその利用環境での高いリチウムイオン伝導性と負極材料への酸素ガスの拡散を抑制し、且つ、セル作製でのスタック構造の実現を可能とするリチウムイオン伝導性セラミックス固体酸化物型電解質等の材料・製造技術の開発を進めた。その結果、リチウム伝導性が高く、耐水性の高い LATP 等のリチウムイオン伝導性酸化物材料にて、セル作製に必要なガスシール性や機械的強度の達成とセラミックスシートの緻密化に不可欠な組織制御技術を開

発し、固体電解質材料の粒子制御技術や熱処理条件等のプロセス条件を最適化した。さらにガーネット型結晶構造を有する LLZ (Li<sub>7</sub>La<sub>3</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>12</sub>) 系について、緻密で大型の電解質シートを得るための検討を行い、正方晶及び立方晶 LLZ 粉末それぞれを出発原料とした均質で大型のグリーンシートの作製に成功した。

SOEC 開発としては、二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）および水蒸気の高効率共電解セル作製技術および電解性能評価技術開発を目的とし、高精度分析手法の開発および電解性能の向上について研究を進めた構成材料の改良、数値解析結果の利用等により、電流密度を大きく向上させることで、750℃のサーモニュートラル条件の1.33V で0.55A/cm<sup>2</sup>と従来を大幅に向上する結果が得られた。また、中低温作動向け共電解セルを開発し、空間速度5,000 l/h、400℃、1.4V 作動条件にて CO<sub>2</sub>から CH<sub>4</sub>への転化率約80%を達成し、電解電流以上の CH<sub>4</sub>生成が得られる非ファラデー電気化学的触媒活性 (NEMCA) 効果を見出した。さらに、Ba(CeZr)O<sub>3</sub>系電解セルにて共電解実験を行った結果、O<sub>2</sub>-導電系電解セルと異なり、400℃付近で C-C カップリングによる C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が新たに検出された。さらに、AD 法での色素増感型太陽電池製造技術として、AD 法による二酸化チタン多孔質光電極構造の作製を行い、作製条件を最適化した。これらの検討により、セル構造による電池特性評価を実施し、ガラス基板上での変換効率9.2%、プラスチック基板上で変換効率8.0%を達成し(4mm 角、AM1.5、100mW/cm<sup>2</sup>)、フィルム基板を用いた色素増感太陽電池として熱を加えない光電極作製プロセスにて、世界最高レベルの変換効率を得ることに成功した。以上のように、材料・製造基盤技術での性能向上により、省資源量で最大限の効果を有するエネルギーモジュール関連技術を明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 機能-構造部材融合化、マイクロ

SOFC 製造技術、水蒸気電解セル、ポータブル電源、セラミック電解質、高集積化プロセス、機能性イオン伝導セラミックス、セラミックナノ構造電極、ナトリウムイオン電池、金属空気二次電池、全固体電池、シート成形、電気自動車、分散電源

【テーマ題目7】 ナノ多機能部材のセンサデバイス開発

【研究代表者】 申 ウソク（電子セラミックプロセス研究グループ）

【研究担当者】 申 ウソク、伊豆 典哉、伊藤 敏雄、赤松 貴文、加藤 且也、中村 仁美、加藤 一実、木村 辰雄、増田 佳丈（常勤職員9名）

【研究内容】

ヘルスケア応用に向けた呼気分析のために従来の分析

機器の性能を小さな検知器に集積化し、簡便且つ迅速にガス成分を検出するマイクロセンサ素子及び材料技術を開発する。熱電式のマルチガスセンサについては、マイクロデバイスのデザイン及び製造プロセスの改良と信頼性向上のための要素技術を開発する。バイオセンサについては、酸化チタン薄膜上で高活性を示すバイオセンシング部位を検討し、酸化チタンナノ結晶構造表面への酵素の吸着特性や構造と活性の相関関係を解明する。ノナナールガスセンサについては、酸化物粒子からなる塗布膜上へにナノシート膜を複合化する部材化プロセスを検討する。

平成26年度は、熱電式センサについては、センサ歩留まりと検知器搭載での問題だったオフセット電圧についてセンサデバイス動作時の伝熱・熱応力シミュレーションを実施し、オフセット電圧制御効果を確認した。この解析及び実証では、熱電センサ素子のオフセット制御だけでなく、触媒による伝熱及び発熱の定量評価技術を確立した。

バイオセンサでは、酸化チタン薄膜の焼成過程で生じる粒構造の発達に伴う表面構造の変化と酵素活性の関係について、各種温度で焼成した酸化チタン粒子を用いて酵素反応速度論的解析を行った結果、酸化チタン表面上への吸着により酵素と基質との親和性が大きく低下し、酵素の高次構造の変化が基質との結合を阻害していることが分かった。酸化チタン電極をバイオセンサ基板として用いるための作製方法、酵素の高次構造評価ならびに活性評価方法を確立した。

厚膜の表面にナノシートを複合化したノナナールガスセンサについては、酸化スズの粒子と貴金属の粒子を含む厚膜を楕形微細電極に塗布したセンサの上に、ナノシートの成長時間を変化させて異なる膜厚のセンサを試作し、ガス応答特性を調べた。ナノシート酸化スズの厚膜を薄くすると低濃度域までの線形性がよく、一方、膜厚が厚い場合、高温での高濃度域での線形性が向上できた。上記の粒子塗布膜上へのナノシート膜の複合化技術では、ガスセンサデバイスのさらなる高感度化の応答特性のための新たな材料プロセスの指針が得られた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 デバイス集積化用触媒、ガスセンサ、熱電、酵素、酸化チタン、溶液析出法、ナノ結晶

【テーマ題目8】 熱とじ込め型によるCFRTPのマイクロ波高速成形

【研究代表者】 堀田 裕司

(無機複合プラスチック研究グループ)

【研究担当者】 堀田 裕司、今井 祐介、佐藤 公泰、島本 太介、富永 雄一

(常勤職員5名)

【研究内容】

次世代の輸送機器（航空機、自動車、鉄道等）、発電用風車、建材に於いて、軽量性・強度に優れる炭素繊維強化プラスチックが注目されている。炭素繊維強化プラスチックは炭素繊維と樹脂からなる複合材料であり、熱硬化性樹脂が一般的にマトリックスとして用いられることから成形時間が長く、大量生産品への対応が困難なこと等の問題がある。そのため、炭素繊維強化プラスチックの開発に於いては、マトリックスに用いる樹脂を現状の熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂へ転換することが求められている。特に生産性と品質保証が大きな課題である自動車分野では、熱可塑性CFRP (CFRTP) の高速成形及び品質確保のための新規なプロセス技術開発と基礎的データの蓄積が重要とされている。

CFRTP の成形は、加熱によるマトリックス樹脂の熔融工程を経て行われる。すなわち、試料全体が高速に加熱されれば、成形工程の効率化と高速化を図ることが可能である。本研究開発では、「高速・高効率加熱による高速成形」に有望なマイクロ波プロセスに着目し、CFRTP の成形技術にマイクロ波プロセスを適用するための研究開発を実施した。マイクロ波プロセスを用いた CFRTP の成形では、マイクロ波の吸収による炭素繊維の急速な加熱と、加熱された炭素繊維からマトリックスへの急速な熱伝播、さらには熱を逃がさない、すなわち熱の封じ込めが可能な成形型の開発が重要である。また、マイクロ波プロセスを用いて成形された CFRTP の材料としての信頼性評価も、CFRTP の新規成形法の開発にとって重要な研究課題である。そのため、本年度の具体的な研究として、「マイクロ波プロセスを CFRTP 成形に適用させるための熱とじ込め成形型の開発と高速成形の実証」、「マイクロ波プロセスを用いた時の炭素繊維/マトリックス界面の密着性の評価」、「マイクロ波プロセスで作製した CFRTP 成形体の信頼性評価」について実施した。本研究課題では高熱伝導性マトリックスを開発し、その開発マトリックスを用いた CFRTP を開発型に挟み込み、マイクロ波照射を試みた。その結果、試料全体が成形可能な温度に短時間で加熱され、短時間の成形が可能であることを実証した。マイクロ波プロセスを用いた CFRTP の高速成形には、試料全体に熱を伝播させる高熱伝導性マトリックスが有効あることを見出した。また、炭素繊維/マトリックス界面の密着性は、CFRTP の強度等の機械特性に影響するため、炭素繊維1本と高熱伝導性マトリックスからなる試料を作製し、界面密着性評価法のフラグメンテーション試験を実施した。その結果、炭素繊維/高熱伝導性マトリックスとの界面密着性は、従来品の熱可塑性樹脂をマトリックスに用いた場合と同等であった。さらに、マイクロ波照射した CFRTP を部材として使用するためには、信頼性評価は重要となる。マイクロ波照射した CFRTP について曲げ疲労試験を行った。同一荷重では、高熱伝導性マトリックスを用いた CFRTP の試験片は、従来品と比較して破断するまでの

曲げ回数が2桁大きくなった。マイクロ波プロセスによって作製した CFRTP は高耐久性を有することを見出した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 複合材料、CFRTP、熱可塑性樹脂、マトリックス、マイクロ波、高速成形、界面密着性、信頼性評価

〔テーマ題目9〕 新たな加工技術、劣化評価技術を含むした機器設計のための基本システムツール開発

〔研究代表者〕 増井 慶次郎

(システム機能設計研究グループ)

〔研究担当者〕 増井 慶次郎、鈴木 隆之、西村 良弘、笹本 明、原田 祥久、中住 昭吾、平澤 誠一、藤澤 悟、松崎 邦男、花田 幸太郎、中野 禅、加藤 正仁、大花 頼継、鈴木 健、是永 敦、間野 大樹、三宅 晃司、日比 裕子、中野 美紀、近藤 伸亮、往岸 達也、澤田 有弘、高本 仁志、芦田 極、栗田 恒雄、澤田 浩之

(常勤職員26名)

〔研究内容〕

本研究は、機械やシステムの基本設計に必要とされる構造材料に関する加工性、信頼性、機械寿命、リサイクル性などの情報を、評価試験および計算工学手法の両面から整理し、設計上流段階での活動を支援することを支援することを目的としている。

本年度は、これまでに開発したデザイン・ブレイン・マッピングツール(DBM)と他のツールとの連携を図り、二つの性質の異なる事例を通じてトータルデザイン支援技術としての有効性検証を行った。一つ目の事例である、多数の意思決定者が存在する開発プロセスの解析(宇宙機器開発事例)では、これまでに構造化した離散的な設計文書の解析を進め、DBM 上のモデルとして表現することを試みた。また二つ目の事例である、分野横断的な知見の体系化(電磁鋼板加工事例)では、実験結果等をDBM に実装し、加工技術や電磁鋼板製品の設計・管理技術の重要事項を抽出できるか検証した。以下、それぞれの成果について概説する。

まず、DBM が設計上流の意思決定過程の表現・分析に有効であるか検討した。事例は重力発生装置という宇宙機器であり、開発する機器だけでなくそれが組み込まれる環境下に利害関係者が多く、制約が多いことを特徴としている。今回装置開発プロジェクト(終了プロジェクト)の開発に係るデータを分析した結果、モデルには、DBM で表現される因子間関係(DBM モデル)と、様々な計算や実験モデル(検証モデル)が存在し、それらに関連付け因子間関係の経時的発展過程を分析することが

プロジェクト管理方法として効果的であることを見出した。そこで、これを支援するため、自然言語解析技術を用いて開発データから因子間関係の分析・可視化を支援する手法を開発した。

次に、加工試験・シミュレーションの結果から得られる種々の数値データの関係を計算機上で統合(モデル化)・解析するツールを開発した。事例としては本研究課題で加工技術について開発している電磁鋼板、およびその素材を用いる製品レベル事例として、電気自動車の設計因子間関係の解析を行った。具体的には、「電磁鋼板の加工技術及び性能評価技術開発」に関するDBMを作成し、これらの知識に基づいた様々なグラフ演算処理が行えるようにした。「電磁鋼板試験片の鉄損に影響を与える因子」を網羅的に見つける例では、通常人間では探し出せない大規模データについても因子の抽出が可能であることを示した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 上流設計、概念設計、設計支援ツール、非破壊損傷評価、寿命・余寿命予測、電磁鋼板

〔テーマ題目10〕 ものづくり支援技術の普及

〔研究代表者〕 澤田 浩之(製造情報研究グループ)

〔研究担当者〕 澤田 浩之、徳永 仁史、古川 慈之、岡根 利光、今村 聡、碓井 雄一、伊藤 哲、山内 真、梶野 智史、岩本 和世(常勤職員10名、他6名)

〔研究内容〕

製造業の後継者の育成や高付加価値・低環境負荷な製造を可能にするために研究開発してきた、ものづくり現場の技能技術を解明・可視化し、それらの情報を利活用する技術を、「ものづくり支援ツール」として企業の現場で使いやすく、導入しやすい形にまとめてその普及を進める。また、地方公共団体や工業会等との連携を強化するとともに、技術移転先ソフトウェアベンダー相互の情報交換を推進することによりものづくり支援ツールの商用利用を促進し、従来の産総研を中心とした普及体制から、外部機関を中心とした自立的な普及体制へ漸進的に移行する。今年度は、加工技術データベース、技能継承ツール加工テンプレート、ソフトウェア開発ツール MZ Platform のそれぞれについて以下の活動を行った。

加工技術データベースにおける CFRP 加工関連データ充実のため、CFRP 切削加工実験結果に基づいてその加工特性を検討し、加工条件及び積層構造に対する切削抵抗の分類・整理を行った。

MZ Platform については、ビジネス利用を推進するため、平成26年6月にリリースした Ver.3.2より、希望のあった技術移転先企業に対してソースコードを開示した。同時に、ツール利用者相互の情報交換や意見交換を推進するため、掲示板機能を備えた新版 Web ページを正式に

公開し、ツールのダウンロードによる配布を開始した。さらに、MZ プラットフォーム版加工テンプレートとして熱処理テンプレートを作成し、平成26年12月にリリースした Ver.3.3より、付属アプリケーションとして配布した。

ものづくり支援ツール普及活動としては、公設研との連携でMZ Platform 講習会開催2件を実施したほか、シンポジウムでの講演によるものづくり支援ツールの紹介1件を行った。ユーザー登録者数は、加工技術データベースが16,555、MZ Platform が472であり、そのうち平成26年度中の新規登録者数は、それぞれ1,423、70である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 可視化技術、加工技術、情報技術、技能継承

#### 【テーマ題目11】 新素材エンジニアリング

【研究代表者】 加藤 一実

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 加藤 一実、安井 久一、木村 辰雄、増田 佳丈、三村 憲一、申 ウソク、伊豆 典哉、堀田 裕司、今井 祐介、富永 雄一、佐藤 公泰、加藤 且也、永田 夫久江、稲垣 雅彦、中村 仁美  
(常勤職員15名)

#### 【研究内容】

昨今の部素材産業における国際競争力の低迷に対し、先進製造プロセス研究部門でこれまでに長年蓄積してきたセラミックスとそのプロセスに関する知見をフルに活用し、既存プロセスを抜本的に見直して、新しい価値を社会に普及するために、新素材、および新たな利点を生む要素技術、それらが連携したシステム化技術からなる、新素材エンジニアリングの開発を先行的に実施した。これにより、新たな社会的・経済的価値を創造し、セラミックスを中心とした部素材産業の国際競争力の強化を狙う。特に、「粒子設計」「界面設計」「部材設計」を基本概念とし、様々なキラーアプリケーション（ヘルスケアセンサ、スーパーキャパシタ、マイクロ燃料電池、分離精製用クロマト担体、超省エネ熱利用システムなど）の開発のための新素材エンジニアリングを推進することを目的とした。

平成26年度は、部門が保有する「新素材」群の中で主に次の四つの課題を抽出した。①誘電体単結晶ナノキューブの部材化技術、②単分散形状機能性粒子・コアシェル機能性粒子を用いた光学デバイス開発、③機能性複合材料の素材及び製造プロセス技術開発、④メソポーラス材料の部材化技術、である。その結果、①ナノキューブが規則配列した構造体において、個々のナノキューブ(結晶粒)の界面接合により緻密化する新たな焼結挙動に基づく膜状焼結体の形成過程の解明と、特異な微細構造

と電気的特性との相関性について基礎的知見を獲得した。②コアシェル機能性粒子を用いた光学デバイス開発に向けて、シェルに光硬化性の機能を持たせるなどのシェル改質技術プロセスを検討し、コアシェル粒子の分散性の改善を可能にした。③機能性複合材料の開発に向けて、機能性非膨潤層状化合物の機械的処理によるナノシート化技術、及びセラミックスフィラーを混練分散可能な新しい機械的プロセス技術について新たな知見を得た。④メソポーラス材料の合成テンプレートとなる有機化合物の構造を見直し、新規に設計・合成を検討し、特異なマクロ構造を持つメソポーラス粉体の合成条件を見出した。今後、量産化や部材化に向けた検討を実施する予定である。

このように、それぞれの課題が獲得した成果を共有し基盤化することにより、今後の部素材開発の統一的な指針を明らかにすることができた。これにより、素材を部材化するための研究を一体的に推進した「新素材エンジニアリング」の意義を提示した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 新素材、粒子設計、界面設計、部材設計、ナノクリスタル、単結晶ナノキューブ、コアシェル粒子、機能性複合材料、メソポーラス材料、その場解析、形状制御、サイズ制御、量産化

#### 【テーマ題目12】 複合加工技術

【研究代表者】 栗田 恒雄 (マイクロ加工システム研究グループ)

【研究担当者】 栗田 恒雄、花田 幸太郎、梶野 智史  
(常勤職員3名)

#### 【研究内容】

従来加工法は基本的に1つの物理・化学現象を用いている。例えば、機械加工は力学的破壊・変形、電磁波加工は熱学的溶融・蒸発、化学加工はイオン化による結合・乖離反応である。もし、加工現象を複数効率的に適用できれば、従来に比べ飛躍的な機能、効果を持つ加工技術の創成が期待できる。特に異種材料、複合材料は需要の高まりに反し、複数の材料特性が混在しているため従来加工法を適用することが難しく、普及が進まなかったが、材料それぞれの特徴に合わせた加工技術を融合することで、オンリーワン、ナンバーワンの加工技術を開発できる。本提案では、飛躍的な機能向上が見られる加工技術の組み合わせを探索するために、加工現象のメカニズム解明および結晶構造解析などの材料分析を通して、加工特性と材料との適合性を体系化する。その結果を基に、対象とする材料情報(結晶構造、組成など)や付与したい付加価値(微細形状、低加工変質など)に合わせて、適切に加工技術を複合・融合することで、単に従来技術の限界を打破するだけに留まらず、将来、世界をリードする新たな付加価値を生み出す加工法の開発を目指す。さ

らに、計測や制御などの周辺技術、及び近年注目を集める3D プリント技術などと連携することで、加工影響を低く抑え、材料の特性劣化（生体適合性など）の抑制や、長寿命化・高信頼性な微細かつ高精度な加工技術を開発し、日本のものづくり技術に関するアドバンテージの維持、強化に貢献する。

本年度は、複合加工・複合製造技術の開発状況と動向について調査するために、同一加工機上で同時に複数の加工技術が実行される場合、及び同一加工機上で複数の行程が順次実行される場合の国内・海外加工技術の調査を行った。さらに、今後複合化することで飛躍的な機能を生み出すポテンシャルを持つ加工技術の個別加工要素について調査するために、比較的付加価値の高い製品を加工対象とした技術、加工ニーズ、関連知財について調査を行った。これらの調査結果から加工要素技術の組み合わせ状況を把握し、ニーズなどを鑑みながら新しい複合加工・製造技術を探索、検討した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 レーザ加工、プレス加工、放電加工、電磁成型加工、複合加工

#### 【テーマ題目13】 「どろどろ」度の量的な評価技術の開発

【研究代表者】 鈴木 健（トライボロジーグループ）

【研究担当者】 鈴木 健、大花 継頼、是永 敦、間野 大樹（常勤職員4名）

#### 【研究内容】

高温となったグリースや重質油・廃油のように、いわゆる「どろどろ」な性状を有する物質は自然物、人工物を問わず存在する。「どろどろ」の意味するところは、一般的には流動性が低いということであり、それにより管の詰まりのような不具合が生じることがあるが、反面これは付着性が高いということでもあり、例えば油膜が切れないことを求められる潤滑では不可欠な特性である。本課題では「どろどろ」な物質について、いままで官能的に評価されてきたその「どろどろ」具合およびそれに起因する流動、付着・密着の性質を物質および接触面の視点から量的に評価することを目的とし、そのために、実験的および数値的な研究を行った。

まず、実験的な研究として傾斜式の流下試験機を作製し、接触面の材質、流動物質、流下の条件を様々に変更して物質の流下挙動の観察を行った。また、パラメータスタディを行うための数値プログラムを構築した。計算法としてはナビエ・ストークス式と連続条件を支配方程式とし、メッシュレス解法を用いた。

上記の実験的、数値的な結果から、「どろどろ」の程度を量的に表現するために、特徴を示すパラメータを定義する。表面張力を有する流体の運動を特徴づける既知のパラメータとしては、ウェーバー数やレイノルズ数を考えることができるが、今回は流動と表面の影響を一体と

して考えるため、別の数の定義を試みた。流下の挙動が物質の粘度、密度、表面の自由エネルギー、転落角によって決定されると考えることにより、ひとつのパラメータを得ることができ、このパラメータを用いて流下を整理すると実験の条件によらず挙動を整理することができた。他の観測から得られた結果についても、同様にパラメータを考えることができ、それを用いて他の側面からも「どろどろ」な特性を評価できると考えられる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 トライボロジー、レオロジー、表面張力、粘性、付着

#### 【テーマ題目14】 ケイ素鋼の積層造形加工適用可能性の検討

【研究代表者】 佐藤 直子

（難加工材成形研究グループ）

【研究担当者】 佐藤 直子、松崎 邦男、中野 禪（常勤職員3名）

#### 【研究内容】

モータ効率向上が求められる中で、モータコアとして用いられる電磁鋼板においては、磁気特性の損失の抑制が課題である。磁気特性の損失は、打抜き加工工程で生じるひずみに等に起因することが知られており、また最も磁気特性に優れる Fe-6.5%Si は脆く、打抜き加工が困難である。そこで、モータの高性能化を目指し、材料の脆さが加工性として影響しない、3D プリント技術として知られる積層造形法における選択的レーザ溶融法（SLM 法: Selective Laser Melting）を用いた。SLM 法とは、原料粉末を薄く敷き（リコーティング）、必要な部分だけレーザを照射して、溶融凝固させることを繰り返す、製品の最終形状を成形する加工方法である。本研究では、粉末のリコーティング特性と、Fe-6.5%Si のレーザ照射による溶融現象の評価を実施し、改善の方向性を示すことを目標とした。

原料粉末には、水アトマイズ法により作製された Fe-6.5Si-5Cr 粉末で、粒径を200mesh 以下に調整したものをを用いた。粉末形状は、球形状のものが多く、一部で不規則形状の粉末も含まれていた。リコーティング特性を評価するため、SLM 装置において一層分のリコーティングを大気中で行った。SLM 装置の粉末を敷くリコータは、ローラで、進行方向に対して逆方向に自転する機構とした。評価は、流動性の悪い Ti6Al4V の破碎粉では、リコーティングにおいて層に亀裂が生じたり、粉末がリコータに引きずられたりする様子が目視で確認できるため、目視で行った。リコーティングの結果、Fe-6.5Si-5Cr では、粉末がリコータに引きずられることなく、薄く均一に敷くことができた。これは、用いた原料粉末が球形状であり、流動性がよいためと思われる。以上より、本研究では原料粉末の流動性改善は行わず、水アトマイズままの粉末を用いて造形を行った。

適当な造形条件を探索するため、一層のみ、レーザーパワーを変えた条件で造形を行った。パワーは30W から140W まで10W 刻みで変化させた12通りとし、走査速度は50mm/s、走査幅は0.1mm とし、1mm×1mm の形状を造形した。結果は、パワーに関係なくポーリングが生じることがわかった。ポーリングとは、熔融状態での表面張力が大きいために熔融部がぬれずに球状に集まる現象である。Fe-6.5Si-5Cr では、ポーリングが生じるとそのまま凝固し、球がいくつも連なった造形物となった。パワーが小さい50W までは、小さい球が連なった状態で形状は保ったが、60W 以上では、球が大きくなり、形状を保たなかった。これは、Si 濃度を3.5%に変化させた場合でも、同様の傾向であった。また、形状を保った造形物は、パワーが小さいほど脆くなった。以上より、最適条件は形状と強度を担保できる、パワー50W、走査速度50mm/s、走査幅0.1mm とした。積層すると、小さな球が立体的に連なった造形物が得られた。これは多孔質体であり、空気を絶縁体としたモータコアとして、有効に働くことが期待できる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 積層造形、3D プリンタ、電磁鋼板

#### 【テーマ題目15】 植物生育に関与しない照明用新蛍光体材料の開発

【研究代表者】 中島 智彦 (フレキシブル化学コーティンググループ)

【研究担当者】 中島 智彦、土屋 哲男  
(常勤職員2名)

#### 【研究内容】

目標：

照明用蛍光体材料開発は近年 LED 化の流れによって大きく進展し、実際に実用化され広く利用されているが、夜間外灯などの悪影響により、自然遺産における意図しない苔や藻の発生、あるいは夜間外灯による農作物の光害の問題が指摘され始めている。そこでこれら特殊環境の屋内照明や一般外灯を想定した植物の生育に関与しない新規 LED 照明用蛍光体の開発を目標として研究を行った。

研究計画：

植物の生育に関与しないようにする主な方策として植物の光合成に寄与するクロロフィルに吸収を持たせない、複数の波長の混色による光合成の協奏効果を防ぐ等が挙げられる。その点を満たす発光波長を有する蛍光体で白色光を生み出す組み合わせを検討し材料開発を行う。

研究進捗状況：

光合成の抑制に対して光合成に大きく影響を及ぼすクロロフィルの吸収波長から外れた波長の光を発する蛍光体色中心を調査し、白色光を創出することの出来るイオンを検討した結果、Dy<sup>3+</sup>が有効であることを見出した。作製した新規蛍光体を用いて LED 化を行い、従来の白

色 LED と比べて植物の光合成量(生育量)を1/4にまで低減させることに成功した。その要因を調べた結果、新規 LED の赤色発光を大幅に抑えたことによって単波長に対する光合成量(クロロフィル等の吸収の大きさ)だけでなく多波長の協奏効果を抑制させる効果が強く働いたものと結論付けた。このように Dy<sup>3+</sup>を用いた蛍光体が植物環境を保全するために多角的な効果を有していることを明らかにすることが出来た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 蛍光体、照明、外灯、植物生育、光合成

#### 【テーマ題目16】 ベクトル型3D プリンタの試作

【研究代表者】 古川 慈之 (製造情報研究グループ)

【研究担当者】 古川 慈之、徳永 仁史  
(常勤職員2名)

#### 【研究内容】

一般的な3D プリンタは、重力方向に垂直な平面を基準として材料を積層(ラスタ型の積層)するため、造形経路に強い制約があり、既存物体に付加加工できない等の課題がある。この課題を解決するために、本研究テーマでは造形経路と造形姿勢の自由度を高めたベクトル型3D プリンタを試作して、その得失を明らかにすることを最終的な目標とする。なお、対象とする3D プリンタの造形方式は熱可塑性樹脂を用いた熱溶解積層法とする。

今年度は、試作に必要な機器の選定と、それらをソフトウェアで制御するためのテストを実施した。また、粒子法による造形中の樹脂挙動シミュレーションの検討を実施し、3D プリンタのノズルから樹脂が押し出される際の挙動についてシミュレーションを試行した。

機器の制御には、当部門で開発しているソフトウェア作成基盤の MZ プラットフォームを用いており、MZ プラットフォームで作成したソフトウェアから機器の制御が実現できることを確認した。テストに使用した機器は、ロボットアーム、ペン型3D 造形装置、各種センサ等である。これらの対象機器は、主にシリアル通信でバイトコードや文字列でコマンドを送信して動作を制御可能であり、各種センサについてはバイトコードや文字列で計測値を受信可能な機器を選定した。このような機器に対するバイトコードまたは文字列の送受信は、MZ プラットフォームが提供するシリアル通信コンポーネントの機能で実現可能であり、実際に MZ プラットフォームで作成したソフトウェアで機器との送受信を実施して動作することを確認した。

今後は、造形経路と造形姿勢の自由度を高めたベクトル型3D プリンタの実現に向けたソフトウェア側の研究開発を実施する予定である。また、これらの研究成果は3D プリンタに限らず、様々な加工システムに応用可能であると考えられるため、同様にその適用を検討する予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 3D プリンタ、積層造形、付加加工、ロボットアーム

[テーマ題目17] 可変パルス幅レーザーを用いたマイクロ3D 積層造形に関する基礎的検討

[研究代表者] 芦田 極

(マイクロ加工システム研究グループ)

[研究担当者] 芦田 極、佐藤 直子、栗田 恒雄

(常勤職員3名)

[研究内容]

近年、金属粉末を収束したレーザービームや電子ビームで局所的に熔融し、選択的に固化することを繰り返すことで任意の立体構造を有する金属部材を作製するプロセス、いわゆる金属3D 積層造形技術が注目されている。現在の技術開発の流れは、大型化、高能率化に主眼が置かれ、高出力の CW レーザを高速に走査することで熔融状態のコントロールが行われている。一方、大型化、高能率化の流れに反して、金属3D 積層造形技術による微細、高精度形状の造形も今後望まれる方向性であると考えられる。本テーマでは、微細、高精度形状に対応した金属3D 積層造形技術を提案することを目的とする。まず、既存の金属3D 積層造形技術を活用した微細、高精度形状の造形方法として、既存の金属3D 積層造形技術で造形した形状に対し、レーザー照射により造形表面近傍のみを選択的に熔融させることによる表面平滑化加工、及びレーザー照射により造形表面を局所的に蒸発、除去することで微細形状付与、表面平滑化を行う加工技術について検討する。次に、金属3D 積層造形自体を微細、高精度化するために、レーザーパルス変調による精密な加熱・冷却制御を行うことにより、より小さな領域での熔融領域および温度の制御を行うことを検討する。さらに、それぞれの加工手法の検討、両手法の比較を行うことで、付加加工と除去加工を同一の光源で行う最適なレーザー加工光源の仕様を提案、専用レーザー光源の開発を目指す。これらの成果を用いて、微細金属造形向け3D プリンタを実現化、レーザー微細加工技術の高度化に貢献する。

本年度は、金属3D 積層造形装置の金属粉末熔融の基礎特性を調査するため、積層条件を変化させ加工実験を実施し、形成された金属材料の形状、表面粗さ変化を計測、評価した。評価結果のなかで、高速であるが表面状態が悪い、低速であるが表面状態が良い状態を想定した試料を作製した。それぞれの造形表面をナノ秒パルスレーザーの出力、走査速度、パルス幅、パルスピークエネルギー、パルス周波数を変化させ、表面平滑化実験、局所的除去加工実験を行った。それぞれのレーザー加工表面を評価することで、金属3D 積層表面を平滑化、局所的除去可能なレーザー加工条件、及び両プロセスを実現できるレーザー光源の仕様について検討した。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 可変パルス幅レーザー、微細、積層造形

[テーマ題目18] 電子ビーム積層造形における熔融、合金化現象の解明

[研究代表者] 梶野 智史

(基盤的加工研究グループ)

[研究担当者] 梶野 智史、廣瀬 伸吾、岡根 利光

(常勤職員3名、他1名)

[研究内容]

近年、金属粉末を用いた部材の直接造形法として電子ビーム積層造形法が注目されている。様々な用途に用いるために合金化した部材の製造が求められており、混合した異種金属粉末を用いて作製する試みが行われているが、積層造形中における熱履歴や熔融、合金化現象はいまだ詳細には明らかにされておらず、これを解明することが合金造形の実現に向け、非常に重要であるといえる。

本提案では、金属粉末熔融時の表面温度、基板温度をモニタリングすることによって熱履歴・分布を明らかにし、粉体の熔融、合金化現象に対し組織観察、組成分布評価を行うことによって、熔融金属内での攪拌、拡散などによる組成の変化や凝固冷却に伴う組織形成などの各種現象を明らかにしていくことを目標とする。

真空チャンバーの観測窓に高速度カメラと二色温度計から成る計測システムを取り付け、電子ビームを照射した個所の温度を計測した。

二色温度計では真空チャンバー外からでも観測窓を通して温度計測が可能であることが確認できた。放射温度計では、観測窓に使用している材質の問題で、温度計測そのものが不可能であったが、二色温度計は観測窓の材質の影響を受けにくい計測技術であるため、本課題でも温度計測が可能であった。しかしながら、今回の温度計測システムは時間応答性に主眼を置き、高速度カメラに二色温度計測を組み込んだ計測システムであったため、温度分解能はあまり良好ではなく、測定結果においても、ビーム照射個所の温度がオーバーレンジになってしまい、計測できないという結果となった。そこで、温度分解能に主眼を置き、計測用の素子2つで温度計測する温度計測システムでの温度計測を検討し、温度計測可能領域が拡大させる可能性を示している。

本課題によって試した温度計測システムを用いて、電子ビーム照射個所の温度履歴をリアルタイムで計測する予定である。また、温度計測と並行して、ビーム照射箇所の画像撮影も同時に起こっているため、熔融池の観察と連動させることによって、熔融池で起こっている対流や流出、周囲の粉体へ浸透などを詳細に把握することも可能である。これらの観察から熔融金属内での攪拌、拡散などによる組成の変化や凝固冷却に伴う組織形成などを明らかにし、積層造形条件の最適化や合金化積層造形技術に応用する予定である。加えて、温度を詳細に測定することで、金属粉の熔融を判定する技術につなげていく予定である。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 積層造形、溶融、合金化、温度履歴測定、二色温度計計測

〔テーマ題目19〕 CAEによる高付加価値製造品製造における欠陥予測を目的とした人工砂の熱物性値の取得

〔研究代表者〕 本山 雄一（基盤的加工研究グループ）

〔研究担当者〕 梶野 智史、岡根 利光

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

### 1. 背景

3次元積層造形鑄型を用いた高付加価値なものづくりが次世代の日本の鑄造業に期待されている。産総研としても3次元積層造形鑄型を用いた製造技術、並びに製造支援技術の確立が急務である。製造支援技術の1つとして、CAEによる鑄造欠陥予測技術の確立が挙げられる。高精度に鑄造欠陥の予測を行うためには砂型の熱物性値の取得が必要である。そこで本研究では、今後、積層造形鑄型の骨材として用いられることが確実な人工砂の熱物性値の取得のための装置の開発を行う。そして、装置によって得られた人工砂の熱物性値を用いて、3次元積層造形鑄型を用いた鑄造の熱流動凝固解析を実施し、どの程度、欠陥予測精度が向上するのか検討を行う。

### 2. 成果の概要

熱流動凝固解析に影響を及ぼす砂型の物性値として熱伝導率に着目した。熱伝導率を測定する方法として有名なものにレーザーフラッシュ法等がある。しかし、比較的熱伝導率が低いものの測定には、レーザーフラッシュ法は向いておらず、熱線法と呼ばれる手法が用いられる。そこで本研究では、鑄造時、砂型の温度が1,000℃程度まで上がることから、1,000℃までの熱伝導率が測定可能な熱線法装置をまず開発し、測定を行い、最終的には人工砂を用いた積層造形鑄型の熱伝導率を含めた熱物性をデータベース化することを目指す。装置は直流電源と、電熱線、電熱線の温度を測定するために電熱線にスポット溶接されたK熱電対、K熱電対の電圧信号を測定するマルチログャー、電熱線が生じた熱量を測定するための電圧計からなる。今回、1,000℃までの砂型の熱電対の測定を目標としたため、電熱線にはPt-13%Rh線を用いた。作製した装置の測定精度の検討を行うために、室温において、既知の熱伝導率を持つ断熱材とシェル天然砂型を用いて測定を実施、文献値との比較を行った。比較の結果、測定値と文献値はほぼ同じ値を示し、開発装置の有効性を確認出来た。今後は、加熱ユニットを装置に導入し、高温域まで測定可能な装置へと仕上げていく予定である。

### 3. 今後の展望

今年度より、人工砂を用いた積層造形鑄型を作製する装置が本グループで立ち上がる予定である。それに

合わせて熱伝導率測定装置の方も加熱ユニットを導入し、高温下での熱伝導率の測定が可能となるようにしていく。今年度中に、人工砂を用いた積層造形鑄型の熱物性値のデータベース化を行ない、データベースを用いた鑄造欠陥予測と実際の欠陥の比較を行い、高精度鑄造欠陥予測技術の確立を行う。そして、CAEを用いた高精度鑄造欠陥予測技術により、本邦の積層造形鑄型を用いた鑄造技術を支援していく。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 積層造形砂型、熱物性値

〔テーマ題目20〕 含浸法による無機化合物の形態制御技術の開発

〔研究代表者〕 永井 秀明

（結晶制御プロセス研究グループ）

〔研究担当者〕 永井 秀明、片岡 邦光

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

無機化合物の形態制御は、その物質の持つ種々の特性を引き出す上で重要な要素の1つである。本研究では、これを粉砕のような後加工ではなく、合成段階で達成することを目標としている。また、粉砕では得られないような異方性粒子などの特殊な形状の無機化合物を合成することも可能である。そこで、溶液法で得られた金属酸化物粉体に各種の塩を含浸・焼成し、得られる無機化合物の形態や結晶構造を制御するための関係性を調べた。

硫酸チタニル水溶液の加熱加水分解によって生成した多孔質チタニア水和物に各種無機塩を含浸し、焼成して無機チタン酸化物を得た。含浸水溶液のpHがアルカリ性の場合には目的とするアルカリ金属を含む無機チタン酸化物を得ることが出来た。しかし、同じアルカリ金属を含むpHが中性域の水溶液の場合には、アナターゼ型のチタニアが得られた。この場合でも、含浸水溶液のpHをアルカリ性に調整することで、目的とするアルカリ金属を含む無機チタン酸化物を得ることが出来た。これらことから、含浸水溶液のpHがアルカリ性の場合においてアルカリ金属イオンが多孔質チタニア水和物粒子の深部にまで浸透し、目的とするアルカリ金属を含む無機チタン酸化物が得られたことがわかった。この多孔質チタニア水和物の等電点を測定したところ、pH5.9付近に等電点があることがわかった。この粒子を水溶液中に分散した場合、粒子表面はpH5.9を中心とした中性域ではほとんど電荷を帯びておらず、アルカリ性側でマイナスに帯電していることから、プラスに帯電したアルカリ金属イオンをより効果的に吸着できる。そのため、多孔質チタニア水和物に必要な量のアルカリ金属イオンを内包することによって、目的とするアルカリ金属を含むチタン酸化物を得ることが出来たと考えられた。

各種無機塩を含浸・焼成した場合に得られた無機チタン酸化物については、出発原料に用いているチタニア水



和物の製造方法により、異なる粒子性状（比表面積、細孔容積など）を持つ多孔質チタニア水和物が合成でき、無機塩を含浸後に得られる粒子形状が以下のように二通りが得られる事がわかった。(1)比表面積や細孔容積の大きいチタニア水和物では異方性の高い針状粒子がチタニア粒子を放射状に取り巻くように成長していた。(2)粒子サイズが概ね同等であるが、比表面積や細孔容積が上記の1/3程度の粒子では、概ね原料のチタニア水和物粒子の形状を反映した等方性の形をしていたが、やや角張っていた。チタニア水和物の合成方法の違いによって比表面積や粒径分布や細孔分布が変化し、無機チタン酸化物の成長過程が変化したためと考えられた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 無機チタン酸化物、多孔質チタニア水和物、無機塩含浸、形態制御

#### 【テーマ題目21】 戻り光モニタリングによるレーザー溶接の高度化

【研究代表者】 小倉 一朗

(マイクロ加工システム研究グループ)

【研究担当者】 小倉 一朗、栗田 恒雄、芦田 極

(常勤職員3名)

#### 【研究内容】

レーザーを用いた溶接加工は従来のアーク溶接に比べ高速で熱歪の少ない部材溶接が可能である。エネルギーを集約させた細いビーム径で切れ目なく溶接を行うために、溶接棒をリール状にしたワイヤを溶加材として連続供給する必要がある。しかしながら、現状約0.6mmと言われるレーザースポットに対し安定してワイヤを連続供給することが難しいため、レーザー溶接のさらなる速度向上におけるネックとなっている。一方、溶接進行方向に対してトーチを振動させながら溶接を行うウィービング溶接は、溶融部を振動させることから、ブローホールなどの溶接欠陥を防ぎながら広い範囲を溶接することが可能であり、アーク溶接では広く用いられている。この技術をレーザー溶接に適用する場合、レーザースポットを連続回転させながらワイヤを連続供給する必要があるが、前述のとおりレーザースポットの小ささから安定供給が難しいという課題がある。そこで本研究ではレーザー加工における戻り光をモニタリングすることで、溶加材のワイヤ位置を正確に計測し、ワイヤ供給の先端位置を制御するための情報を得ることを目的とした。提案するシステムは加工用光源の光を傾斜させた光学ガラス板が挿入されている回転機構に入射させる。この回転機構を回転させることで屈折方向を変化させ、レンズを介して溶接面上にウィービング動作を生じさせる。溶接面からの反射光はビームサンブラと焦点レンズを使ってフォトダイオードに結像される。ウィービングレーザー光内における溶接ワイヤの有無や位置によって、反射光の状態が変化する。そのためワイヤの位置検出が可能になる。また、溶接板からの反

射光の状態をモニタリングすることで、溶接板の間隔の測定も可能となる。提案する手法の有効性を確認するため、実験システムを構築した。今回の実験では測定システムを確立することが目的であるため、加工用の光は使用せず、出力1mWのHe-Neレーザーを光源に用いた。この光を2次元ガルバノスキャナとf- $\theta$ レンズに入れ、ウィービングを模擬した動作として集光面上を走査した。ビームスプリッターとフォトダイオードを光路中に挿入し、集光面からの反射光量を検出した。直径0.5mmの模擬ワイヤを対象に位置検出実験を行った。模擬ワイヤを集光面上に挿入し、挿入位置から0.1mmずつ移動させたときの光量変化のピーク検出場所をウィービング動作の回転角としてプロットした。ウィービング動作は速度100msec/rev、回転半径は3mmである。その結果、サブミリメートルでのワイヤ位置検出が可能であり、ワイヤの位置制御への情報として利用可能であることを明らかにした。バックグラウンドとなる溶接板の間隔検出も行った。2枚の模擬溶接板の間隔に応じた反射光の変化時間を求めた結果、ワイヤ検出同様に板間隔に応じた出力変化が得られていることが確認できた。以上のように、簡単なモニタリングシステムを挿入することで、レーザー溶接用ワイヤの位置と溶接材の間隔を検出することが可能であることを示した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 レーザ溶接、モニタリング、ウィービング溶接

#### 【テーマ題目22】 球型全方向移動車両の開発

【研究代表者】 笠島 永吉

(マイクロ加工システム研究グループ)

【研究担当者】 笠島 永吉、芦田 極 (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

現在、移動用車両としては駆動輪と操舵輪を用いた乗用車型のものが一般的である。しかしながら、この機構は縦列駐車の際の不便さからもわかるように、真横に移動することが出来ない。そのため、目的位置に達するためには複雑な操舵の制御による切り返しが必要になる。これは狭い場所などで取れる姿勢に制限がある場合は致命的である。全方向に移動できる機構としては、オムニホールやメカナムホイールなどの車輪がすでに考案されているが、これらの機構では大きな車輪を用いながら小さな段差しか越えられないという欠点が問題となる。

一方、球型の移動機構を考えると、これは全方向に対称形であるため、姿勢の制限はなく、どの方向にも全く同じように回転・移動することが可能である。本研究では電磁型の球面モータ技術の応用として、機体全体が駆動および操舵輪となる球型全方向移動車両の開発を行う。永久磁石を配置した外側の球殻をロータとし、これを内側の球殻上に配置した電磁石によって任意方向に回転駆動する構造である。

本研究におけるトルク発生理論は、任意の磁極配置に適用可能なものであるが、今回設計した実験装置では、ロータ外郭の永久磁石を切頂八面体の頂点に対応する位置に配置し、電磁石を正十二面体の頂点に対応する位置に配置することとした。また、基礎実験用の装置であるため、内部に独立電源を配置せず、外側のロータを半球状にして外部から電源を供給できる形に設計し、3D プリンタを用いて制作した。

まず、ロータ上の永久磁石によって生成される磁場分布を考慮することにより、電磁石により発生可能なトルクの大きさと方向をマッピングしたトルクマップをロータ座標系において制作した。

このトルクマップを用いて、垂直軸周り0~359度におわたって回転方向のトルクのみを発生する電磁石電流分布を計算して通電したところ、オープンループではあるが、ロータを計算通りの軸周りに回転できることが確認できた。

今後、ロータ姿勢を検出するためのセンサ機構を付加することにより、任意方向のロータ回転のフィードバック制御を行う予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 多自由度アクチュエータ、球面エンコーダ、電磁モータ、全方向移動車両

【テーマ題目23】 先進ものづくりのための最適設計計算手法の調査と開発

【研究代表者】 澤田 有弘

(システム機能設計研究グループ)

【研究担当者】 澤田 有弘、近藤 伸亮、高本 仁志、中住 昭吾、往岸 達也、増井 慶次郎  
(常勤職員6名)

【研究内容】

3D プリンタをはじめとする先進的なものづくり機器の発展と普及と共に、複雑な設計データを製造機器へ出力する CAD 系ソフトの進化と、複雑な設計解そのものを探索・提示する人工知能的な設計支援技術の高度化への期待が増している。本研究ではこれらを背景に、機械学習や計算力学に基づく数値計算ベースの最適設計手法の調査と、今後開発の形状最適化プログラムの仕様の検討と開発環境の整備及び開発への着手を行った。

複雑な機能部品の設計に有効な最適設計手法は、力学的根拠に基づく手法として主に三種類存在することが明らかとなった。一つは、あらかじめ設定した外形状の部分寸法を連続的に変更して最適解を探索する寸法最適化手法、二つ目は外形状全体を滑らかに変更しながら探索する形状最適化手法、三つ目は内外形状のトポロジー変更も可能とするトポロジー最適化手法である。中でもトポロジー最適化手法は、最適設計問題を設計空間における材料濃度分布問題に置き換えることを実施しており、最も広域な最適解を探索可能な計算手法であることが明

らかとなった。しかしながら現存のトポロジー最適化手法は、最適化計算の結果としての材料濃度分布に中間値領域が多発したり、分布がチェッカボード状になったり、求まる最適解が探索初期形状に依存したり、製造困難な形状が導かれる場合があるなど、未だ多くの課題を残していることも明らかとなった。一方で、各種存在するトポロジー最適化手法の相対的な比較を行うと、近年提案された人工的な界面エネルギーを導入したレベルセット関数法に基づくトポロジー最適化手法は、前述の課題を解決しつつあることが明らかとなった。従って、当該手法を本研究の最適設計手法のベースとなる仕様として決定し、プロトタイプの開発への着手を行った。

研究の結果、当該手法で導入している人工的な界面エネルギーを今後さらに高度化・緻密化していくことにより、最適解の結果として得られる内外形状の複雑さの制御や、複雑さ制御に基づく製造可能性の考慮や、複雑さ指標に基づく製造コストの評価など、力学的なファクター以外も考慮した多目的最適化設計手法に今後発展させていくことが可能であるとの見込みを得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 最適設計、計算力学、数値計算

【テーマ題目24】 分子シミュレーションによるイオン液体の潤滑特性評価

【研究代表者】 西村 憲治

(表面機能デザイン研究グループ)

【研究担当者】 西村 憲治、三宅 晃司

(常勤職員2名)

【研究内容】

摩擦、摩耗、潤滑はマクロな動的現象であるが、その特性を決めるのは表面近傍の数分子の動的挙動であると考えられており、原子モデルに基づく分子シミュレーションによる現象の理解および特性の評価が期待されている。本研究では、イオン液体を一例として、バルク液体中および壁面近傍における諸特性を評価するシミュレーション技術を開発した。

解析に用いたイオン液体は、イミダゾリウム系イオン液体(ヘキサフルオロリン酸1-ブチル-3-メチルイミダゾリウム)である。カチオンはイミダゾリウム環と呼ばれる五員環を有する。解析に用いた系内には、カチオン分子が125個、アニオン分子が125個含まれる。設定温度303K、設定圧力0.1MPaとした。

計算から求められた系の密度は1.370g/cm<sup>3</sup>となり、実験値1.365g/cm<sup>3</sup>とよく一致した。カチオン-カチオン、アニオン-アニオン、カチオン-アニオンの相関を示す動径分布関数を求めた。カチオン-アニオン相関において、近距離のピークが2つ観察された。これは、イミダゾリウム環近傍に低エネルギー領域が2か所あり、アニオンは高い確率でこの領域内に存在すると考えられる。この結果は電子状態計算から導かれる結果と整合する。

遠距離において、異種イオンの相関と同種イオンの相関を比較すると、異種イオンの相関が高いところでは同種イオンの相関は低く、異種イオンの相関が低いところでは同種イオンの相関は高いことが観察された。この結果から、アニオンとカチオンが交互に並んでいることが予測される。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 分子シミュレーション、イオン液体、潤滑

【テーマ題目25】 電極部材用ニッケルナノクリスタルの合成

【研究代表者】 三村 憲一（テラードリキッド集積研究グループ）

【研究担当者】 三村 憲一、加藤 一実  
（常勤職員2名）

【研究内容】

電子デバイスの小型化・高性能化に伴い、構成する部素材についても微細化が求められている。本グループでは既に誘電体材料であるチタン酸バリウムナノクリスタルについて、液相プロセスによるサイズの均一なキューブ形状制御及び規則配列集積法の開発を行っており、高い誘電特性を有する次世代新材料としての応用が期待できる。しかしながら、電子デバイスの小型・高性能化に向けて電極用材料の開発についても同時に必要である。本研究では、積層セラミックスコンデンサの電極材料に着目し、ニッケルナノクリスタルの合成方法の確立および形状制御、サイズ制御について検討を行った。ニッケルβ-ジケトナートの液相還元反応により、ニッケル粒子の合成が可能であることは確かめられており、さらに界面活性剤等を利用することで立方体形状およびサイズを制御したニッケルナノキューブの合成法を検討した。界面活性剤の利用は、形状・サイズ制御だけでなく、溶液への分散性付与など集積時の高いハンドリング性能も期待される。本研究では、まず初めにt-ブチルアミンを還元剤としたニッケルβ-ジケトナートの液相還元反応によりニッケル粒子の合成が可能であることを見出し、さらに界面活性剤としてオレイルアミンを用いることで、ファセットが発達したキューブ類似形状が得られることが明らかとなった。しかしながら、粒子同士が凝集して非常に大きな二次粒子が得られてしまい、分散性に乏しいことが問題となった。これはt-ブチルアミンの還元剤としての効果が弱く、ニッケルの合成に最短でも18時間程度は必要であったため、溶解析出により一次粒子の粒成長ならびに凝集が生じてしまうためであると考えられた。さらに、ニッケルは粒成長するに従い強磁性が現れるため、磁性による強い凝集も避けられない。ニッケルは約10nm以下で超常磁性となるという報告があり、磁気的な作用による凝集を同時に防ぐためには、10nm程度への均一なサイズ制御を第一の課題として抽出した。

そのため、より強力な還元剤により短時間でニッケルナノクリスタルの核生成を行い、従来の溶解析出反応が生じない反応系の確立が必要であると考え、ヒドラジン・一水和物を還元剤、トリオクチルホスフィン（TOP）を界面活性剤として用いたニッケルナノクリスタルの合成方法を検討した。合成条件の最適化により、1-6時間でニッケルナノクリスタルを合成することができ、大幅な反応時間の短縮による10nm程度のサイズが均一なニッケルナノクリスタルの合成が可能となった。得られたナノクリスタルはエタノールに分散性が高く、良好なコロイド溶液を得ることができ、磁石による回収及び溶媒への再分散が可能であった。この挙動から粒子が超常磁性を示すサイズであることが示唆され、実際にSEM像から粒子サイズが10-20nm程度であることが分かり、凝集もある程度防ぐことができた。また、XRD測定結果から、ニッケル単相であり、シェラー式から約8nmの結晶子サイズであることが確認でき、SEM観察結果とほぼ一致することが明らかとなった。一方、TEM像からは、2-3nmの比較的厚いシェル層が見られ、表面層はアモルファス層であり、表面の一部に結晶性のNiO層が存在することも確認された。さらに、STEM-EDXの結果から、粒子表面は粒子内部と比べてC、O、Pの成分がより多量に存在していることが確認され、表面層はTOPにより被覆されていると考えられた。ただし、TOPには酸素原子は存在しないため、表面にあるOは、アモルファスまたは部分的に結晶化した酸化ニッケル、あるいは表面に吸着しているTOPが酸化されている可能性がある。また、一次粒子内部の回折コントラストから、一部の粒子は多結晶体であることも確認された。これらのことから、液相還元プロセスにより10nm程度の均一なニッケルナノクリスタルの合成およびコロイド溶液の調製が可能となったが、今後は界面活性剤の種類や添加量並びに昇温速度等の最適化を図ることにより粒子の形態とともに核生成過程についても制御を行う。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノクリスタル、ニッケル、電子デバイス用電極材料

【テーマ題目26】 電界紡織を用いたナノファイバー形成及びにそれを利用したナノ空間形成に関する研究

【研究代表者】 稲垣 雅彦  
（生体機構プロセス研究グループ）

【研究担当者】 稲垣 雅彦、加藤 且也、永田 夫久江、  
中村 仁美（常勤職員4名）

【研究内容】

エレクトロスピニング（電界紡織）法による3次元繊維成形体の形成を確実なものとするため、繊維が綿状に形成される条件の確立を目的として研究を実施した。

エレクトロスピニング法はポリマー溶液を電場により

引き伸ばしながら溶媒を揮発させて繊維を形成するが、形成されるポリマー繊維は高電圧の印加に伴い帯電するため、クーロン力によりコレクター（電極）上に引き寄せられ緻密な繊維の堆積物（不織布）を形成する。また一般的には、ポリマー繊維は帯電による静電反発によりコレクターに到達するまでは繊維が凝集することはない。これまでに研究代表者は、形成した繊維がコレクターに到達する前に綿状に凝集する新規の方法を見いだしている。この方法を利用すると、従来の方法に較べて繊維成形体の繊維密度が数十倍程度異なる成形体を形成することが可能になる。本研究ではエレクトロスピンニングにより綿状の成形体が得られるポリマー溶液の組成や形成条件が成形体の微構造などに与える影響について明らかにするため系統的な実験を行った。

原料ポリマー溶液に加える添加剤について、添加量の増加に伴い原料溶液の粘度が増加し、エレクトロスピンニングによる線維化が困難になる領域があることが明らかになった。線維化可能な範囲は用いるポリマーの分子量ならびに濃度にも影響された。また、添加量が低すぎると綿化せずに不織布状の成形体が得られることも明らかになった。エレクトロスピンニングのプロセッシングパラメーターの内、ポリマー溶液の供給速度が線維径に大きく影響することが明らかになった。

綿化した繊維成形体において、繊維の構造について調べるため、SEM ならびに顕微 FTIR で観察した結果、特徴的な構造を有していることが明らかになった。

また、エレクトロスピンニングを利用して細胞培養用の足場材料を形成し、当該足場材における細胞の細胞応答、生体組織に対する炎症反応の有無を検証する実験について、東北大学歯学部との MTA の締結により実施した。その結果、エレクトロスピンニングにより得られた細胞培養用足場材において、播種した細胞の足場材への付着ならびに、足場材に付着した細胞の細胞応答を確認できた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 エレクトロスピンニング、足場材料、3次元培養

【テーマ題目27】 ミリ波用コンポジット誘電体材料の実装技術に関する研究

【研究代表者】 今井 祐介

(無機複合プラスチック研究グループ)

【研究担当者】 廣瀬 伸吾 (集積加工研究グループ)、堀田 裕司、今井 祐介

(無機複合プラスチック研究グループ)

(常勤職員3名)

【研究内容】

我々は、各種高周波用途への適用を意図したコンポジット系誘電材料の開発を進めてきた。その成果として、単一材料系では実現困難な低誘電率・低誘電損失性材料の設計に関する知見を蓄積しており、さらに、セラミッ

クスフィラーの形状を検討することにより、温度特性も含めて、実用上の要求特性レベルにまで誘電特性、熱膨張率等を向上することに成功している。

これらの成果を元に各種用途展開に向けた検討を進めているが、ひとつの課題として、開発した材料をデバイス化する際に必要となる各種技術、特に電極の接合に関する技術の検討が十分でないことを認識している。そこで、本研究では、前記の材料技術を基盤として、ミリ波デバイス化のための各種実装技術を確立することを目指した。

コンポジット試料としては、もっとも優れた高周波誘電特性を示し、熱膨張率等も比較的抑えることのできている iPP/MgO (40vol%) 組成を検討対象とした。具体的なデバイス構造のターゲットとして、高周波伝送特性を評価するためのマイクロストリップ線路 (MSL) 構造を作製することとした。材料の誘電率から、厚さ250 $\mu$ m程度のフィルム試料を基板として用いることとし、ホットプレス法により、均一な厚さのフィルムを作製して用いた。

MSL の電極には、導電性の観点から、5 $\mu$ m 以上の厚さの銅電極が必要となる。そこで、電極構造の作製には、成膜速度が速く、高純度の金属膜が得られる電子ビーム蒸着法を検討した。また、電極の密着性を向上させるため、中間層として異なる金属種を導入することを検討した。原料の種類（メーカ、純度、等）や蒸着条件等について、種々の条件を検討した。検討初期には、成膜後、電極が自発的に剥離してしまうほど密着性が悪く、断面観察においても明らかな剥離が認められたが、密着層の導入や蒸着条件の改善により、剥離のない電極を形成することに成功した。基板の柔軟性も保たれていた。条件検討結果を元に、各種の長さの MSL 試料を作製した。スケジュールの関係で伝送特性評価は終えられていないが、目標とした電極構造の作製について、一定の成果を得られ、実装技術の確立に前進した。

電極作成検討の過程で、コンポジット材料の耐熱性に改善の余地があることが明らかとなってきたので、高耐熱熱可塑ポリマー、熱硬化性ポリマーの両面から、引き続きマトリックスポリマーの検討を進める。同時に、本萌芽研究での成果を元に、実装技術の改善を進めて、デバイスとして優れた特性を示す可能性を持つ高周波コンポジット誘電材料とすることを目指す。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 誘電材料、ミリ波、実装技術

【テーマ題目28】 機能性積層フィラーの層間力低減化技術の開発

【研究代表者】 佐藤 公泰、富永 雄一

(無機複合プラスチック研究グループ)

【研究担当者】 佐藤 公泰、富永 雄一、堀田 裕司

(常勤職員3名)

## 〔研究内容〕

無機フィラーの機能を高めるためにフィラーをナノ化する研究が行われており、特に六方晶窒化ホウ素(h-BN)等の積層型のフィラーにおいては、剥離によるナノシート化が注目されている。剥離技術として、超音波やボールミルを利用した方法があるが、低い生産性、アスペクト比の低下等の問題が未解決である。我々のグループではこれまでに、湿式ジェットミル(WJM)を利用することで、アスペクト比を低下させることなくh-BNを剥離させることができることを見出した。本研究では、h-BNの層間に作用するファンデルワールス(vdW)力を低減化することにより、ナノシート化プロセスのさらなる高効率化を目指した。物質間にvdW力が作用する原理に注目し、vdW力の低減化に有効な手法を見出した。当該手法を用いた上でWJM処理を行うことで、h-BNの剥離効率が大幅に向上した。

ナノシートのサイズを評価するには、電子顕微鏡や原子間力顕微鏡(AFM)を用いることが多い。しかし電顕やAFMの観察像は、極めて狭い範囲からの情報を示しているに過ぎない。我々のナノシート化技術ではフィラーを高効率に剥離させることが可能であり、ナノシートのサイズ評価もある程度まとまった量の試料を対象とすることが求められる。シンクロトロン光を利用して精密な粉末X線回折(XRD)測定を行うことで、電顕やAFMに比してはるかに多量の試料を対象としたナノシートのサイズ評価を実現した。

XRDの回折ピークは、結晶子サイズがナノスケールになると幅が拡大することがわかっている。精密に測定したXRDプロファイルについて、002回折ピークと100回折ピークの幅を解析することで、ナノシートの横方向の大きさと厚みを評価した。WJM処理を経たh-BN粒子の002ピークはもとのh-BN粒子に比べ30%程度幅が拡大していた。さらに、vdW力低減化の手法を導入してWJM処理したh-BN粒子は40%程度幅が拡大していた。vdW力の低減化により、ナノシート化がさらに進行することがわかった。100ピークの幅に変化がないことから、ナノシートの横方向のサイズは変化しておらず、WJM処理による剥離プロセスではナノシートが分裂して小さくなることはないことがわかった。これは、ナノシートをフィラーとして用いる際に極めて有利な特長である。

積層型無機フィラーのナノシート化技術は、電気機器産業、自動車/航空機産業、化粧品産業など多くの分野で利用できる。本萌芽研究においては、無機ナノシートフィラーを高効率に作る技術と、ナノシートが実際にできていることを確かめる評価技術とを実現した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 窒化ホウ素、ナノシート、ナノスケール評価

〔テーマ題目29〕 機能性粒子材料の新規高速合成プロセス

## スの開発

〔研究代表者〕 島田 寛之

(機能集積モジュール化研究グループ)

〔研究担当者〕 島田 寛之、山口 十志明、濱本 孝一、藤代 芳伸(常勤職員4名)

## 〔研究内容〕

固体酸化物形燃料電池(SOFC)をはじめとするセラミック電気化学デバイスにおいて、高活性・高耐久性多孔質電極を実現するために、その原材料となる「機能性粒子」を合成する新規手法を開発する。機能性粒子を電極材料に用いることは、電極微細構造を制御する有効手段であり、様々な粒子合成手法が提案されている。その中でも「噴霧熱分解法」は、粒子径、粒度分布、粒子形状、材料分散について設計の自由度が高い手法である。しかしながら、粒子の生産性に課題があり、他研究機関においても性能面では多くの成功例が報告されているにも関わらず、産業界への技術展開には至っていない。そこで本研究は、噴霧熱分解法の技術をベースとし、従来の粒子品質(粒子径、粒度分布、粒子形状、材料分散)を維持したまま、セラミック機能性材料粒子の高速合成プロセスの開発を目的とした。

噴霧熱分解法は、合成する金属塩が含まれた水溶液を超音波等により霧化させ、キャリアガスで搬送、そのまま加熱処理することでナノオーダーの粒子を得る手法である。噴霧熱分解法における粒子の合成量は、原料水溶液中に溶解している元素濃度に比例する。そこで本研究では、高濃度水溶液の噴霧を制御することに焦点を当てて検討を行った。原料はNi-YSZ硝酸水溶液を用いた。本霧化装置の蒸留水の霧化処理量は1.39L/hであった。したがって、1mol/L水溶液において、全ての霧を熱処理・粒子捕集することができれば、得られるNiO-YSZ粒子量は126g/hとなる。これまで文献等で多く採用されている0.1mol/Lでの生成量0.2g/hに対し、濃度を0.3mol/Lとした際には、約3倍量である0.665g/hとなり、水溶液の高濃度化の効果を得ることができた。しかしながら、理論値である38gと大きな乖離が存在し、これは多量の金属元素溶解による水溶液の密度増加や霧の搬送損失によるものだと考えられた。一方、粒子品質に関しては、均一粒度分布かつメジアン径<1 $\mu$ mの微粒子を得られた。さらに高濃度である1mol/L水溶液を使用したところ霧自体が発生せず、粒子生産量は0gとなった。霧の生成は水溶液温度にも依存することから、水溶液温度を20℃から40℃としたところ、霧の発生を確認し、生産量0.833g/hを得た。生産量の目標値にはまだ未達であるが、水溶液制御により生産量が向上できることや課題を明らかにすることができ、機能性粒子高速合成の可能性を示せる結果であった。

今後は、1kW級電気化学モジュールで必要となる20g/hを達成することを目指す。また、本プロセスに関する知見を蓄えて生産量を向上させていくとともに、電

気化学セルを試作し、その電気化学特性を評価することで、本プロセスと複合ナノ粒子の有用性を示していく。燃料電池や電解セルに適用し、産業界への技術発信を行う。加えて、挑戦的な取り組みとして、新規組成材料の合成や、焼結性などの新機能を付加した粒子の合成を目指していきたい。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 機能性ナノ複合粒子、噴霧熱分解、合成プロセス

#### 【テーマ題目30】 結晶界面制御による無機・有機複合材料の高機能化に関する研究

【研究代表者】 永田 夫久江

(生体機構プロセス研究グループ)

【研究担当者】 永田 夫久江、加藤 且也、稲垣 雅彦、中村 仁美 (常勤職員4名)

#### 【研究内容】

リン酸カルシウムセラミックスの一種であるアパタイトはタンパク質吸着剤として注目されている。アパタイトのタンパク質に対する選択的吸着機構として広く支持されているのは、アパタイトの各結晶面に現れる理論上の原子配置から、a面は正の電荷を帯びるため酸性タンパク質が吸着し、c面は負の電荷を帯びるため塩基性タンパク質を吸着する、という結晶面特異的相互作用型の吸着機構である。この吸着機構理論に沿って、アパタイトの形態制御とタンパク質吸着に関する研究が行われてきたが、残念ながらこれまでに明確な選択的吸着を示す結果は得られてきていない。本研究では、アパタイトのタンパク質吸着特性が一定しない理由として、合成されたアパタイトの結晶界面が制御されていないことが原因と考え、結晶界面に着目したアパタイトの合成とタンパク質吸着特性の関係を明らかにすることを目標とした。

まず、アパタイトの表面微細構造とタンパク質吸着との関係を調べるために、タンパク質吸着に影響を及ぼすことが知られている形態や結晶性などの要素をほぼ等しくし表面微細構造のみを変化させたアパタイト結晶を得るための合成法を検討した。その結果、湿式法を用いて比較的低い温度で合成し、合成時間を変化させることにより、形態や結晶性を大きく変化させることなく表面微細構造のみを変化させたアパタイト結晶が得られることを見いだした。このようにして得られたアパタイト結晶を用いてタンパク質吸着量を測定したところ、タンパク質の種類によってアパタイトの表面微細構造、特に細孔径分布に影響を受けるものがあることがわかった。例えば、ウシ血清アルブミン (BSA) の吸着量は、アパタイト粒子の細孔体積との間に明らかな負の相関があった。これは、今回合成したアパタイト表面に存在する細孔径が BSA のサイズよりも小さいため、細孔内の表面が BSA 吸着に寄与しなかったためと推察された。このように、本研究では、HAp のタンパク質吸着において、粒子

の形態だけでなくその粒子の表面微細構造が重要な要素となることを明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 アパタイト、タンパク質、結晶界面

#### 【テーマ題目31】 位置揺らぎの無い AFM/FFM 複合顕微鏡の粗動機構の開発

【研究代表者】 藤澤 悟 (加工基礎研究グループ)

【研究担当者】 藤澤 悟、三宅 晃司 (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

原子スケールの加工が可能で摩耗の観察も可能な原子間力/摩擦力複合顕微鏡 (AFM/FFM) に用いられる試料 (ワーク) 又はプローブ (加工刃) の粗動機構において、それらの固定時に電気系ノイズが圧電体で増幅される電気ノイズ由来の揺らぎが無い粗動機構の開発を試みた。特殊なバネ構造を持つ構造体を考案して用いる事により、インチワーム機構の足の部分に圧電体と平行する機械的バネを導入して、PZT 積層アクチュエータに電圧をかけずに積層圧電体を縮めた状態でその直交方向には伸びることを利用した構造を開発した。これを試料台に固定することが出来る様に加工して、インチワーム型に組み立てた。動作距離はワンステップ当たり最大32マイクロンで、圧電体への印加信号の電圧を減少させることによって最高で約10-4倍に縮小できるようになった。このワンステップを例えば1kHz で駆動させれば、1秒で1マイクロン変位させることが出来る。これが意味するところは、簡易的光学顕微鏡で200マイクロン (0.2mm) まで試料とプローブを接近させておいたとすると、わずか200秒 (3分20秒) で接触させることが出来る変位を発生させることが出来、粗動機構としては十分な性能を持っていることが分かる。また、粗動機構は高い剛性を有するため、このまま加工刃の移動制御に用いる事が十分可能である。

第4期への展開としては AFM/FFM 複合顕微鏡の実用化を目標とする。そのためには、AFM/FFM に新型粗動機構を組み込んで、原子レベルの加工、すなわち摩耗現象の高精度な観察を試みる。計測の機械的機構を高度に安定させた後には、それを生かす事の出来る AFM/FFM の光テコ方式検出計の高感度化に取り組み、原子レベルの摩耗の発現と観察を高精度に行うことにより、加工の基礎現象の解明に取り組む。原子レベルの加工や摩耗はサイエンティフィックでもあるが、エンジニアリングの究極の目標でもあることから、今後の研究結果を活用して、究極の加工に挑戦することを考えている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 AFM/FFM、粗動機構

#### ⑥ 【サステナブルマテリアル研究部門】

(Materials Research Institute for Sustainable Development)

(存続期間：2004.4.1～)

研究部門長：中村 守

副研究部門長：田澤 真人、小林 慶三

所在地：中部センター

人員：46 (46名)

経費：372,998千円 (297,686千円)

## 概要：

サステナブルマテリアル研究部門は、材料、素材及び部材に関わる研究開発によって、産業・社会の持続可能な発展の実現に貢献することを目指す。特に、産業上重要でありながら、将来の供給に不安があるレアメタル資源対策のための技術開発、及びエネルギー資源の節約と、化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素排出量の抑制による地球環境への負荷低減のための、材料及び部材に関わる研究開発に取り組んでいる。具体的には、可採埋蔵量が少ない上に、極少数の国への埋蔵資源の偏在が著しいため、我が国の産業にとって重要でありながら、将来の安定供給に不安があるいくつかのレアメタル元素について、代替材料技術及び消費量削減技術の研究開発を推進した。また、将来のエネルギー不足への対応及び地球温暖化の防止を目的とする研究においては、エネルギー消費削減に資する材料と部材に関わる研究開発として、自動車等の輸送機器用超軽量材料としてのマグネシウム合金を中心とした軽量金属素材に関わる研究開発と、住宅・オフィスにおける冷暖房のためのエネルギー消費の削減を目指した窓、壁等の建築材料及び部材に関わる研究開発を重点課題として実施した。

平成26年度は、各重点課題において力を入れたテーマは、以下の通り。

- ① レアメタルの研究については、低温で高いCO酸化特性を示す水賦活処理白金-鉄担持アルミナ触媒について構造の解明を進めた。白金族触媒からの白金族資源の回収について、低環境負荷リサイクル技術開発を継続した。さらに、WC-Coを代替するWC-FeAlの靱性と強度を大幅に向上させ得ることを示した。また、WC-FeAlを工具として利用した場合の効果について調査した。
- ② 軽量金属素材についての研究では、相対的に優れた強度を有するマグネシウム合金(AZ61:Mg-Al-Zn合金)を対象として、優れた室温張出し成形性と高強度を両立するプロセス条件を得た。また、軽量金属の低コスト振動鋳造プロセスの可能性について検討し、振動印加条件と結晶粒の関係等を調べた。
- ③ 省エネルギー住宅・オフィス用材料技術についての研究では、ガスクロミック調光ミラーシートの耐久性を上げ、実用化に向けた研究開発を進展させた。また、サーモクロミック・ナノ粒子の作製方法を確

立すると共に、液晶を用いた新規熱応答型光制御素子の性能向上を図った。

木質サッシの開発については、形状付与及び形状安定性の向上を目指した研究を進めた。省エネルギー効果の評価については、環境調和実験棟において、開発部材の実使用環境での省エネルギー効果の実証試験を継続した。

## 外部資金：

財団法人石川県産業創出支援機構

「航空機中空複雑形状鋳物用、砂型差圧鋳造技術の開発」

公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

「同時複数組成蒸着膜製造技術による安全・小型・低コスト水素検知センサおよびシステムの製品化」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 平成26年度新規希少金属プロジェクトのための事前検討

「高機能軽希土材料等の有効活用による自動車排ガス浄化触媒における白金族元素省量化の検討」

公益財団法人北九州産業学術推進機構

「非常用電源としてのマグネシウム空気電池を実現する難燃性マグネシウム合金鋳造薄板による革新的電極素材の開発」

一般社団法人日本アルミニウム協会

「半溶融射出成形による高機能部材成形の開発」

独立行政法人日本学術振興会 研究活動スタート支援

「変形機構解明に向けた高延性バルクナノ結晶 Fe-Ni合金のメゾスケール組織の観察」

独立行政法人日本学術振興会 挑戦的萌芽研究

「(基金 E26) VO<sub>2</sub>マイクロフレック創製と熱応答型表面熱伝達制御素子の開発」

神戸市立工業高等専門学校

「液晶高分子複合体への液晶分子配向形成による自律分光制御型デバイス開発」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究(A)

「ナノ空隙の吸着サイト改質とマイクロ界面すべり制御による木材の超塑性加工法の開発」

公益財団法人天田財団

「Ti (C, N) -Ni系サーメットの高靱性化に関する研究開発」

公益財団法人大幸財団

「Microstructure and Mechanical Properties of WC-FeAl Composites Fabricated by Pulse Current Sintering」

公益財団法人内藤科学技術振興財団

「ナノ複合化による高効率シリコン系熱電変換材料の開発」

公益財団法人内藤科学技術振興財団

「複合酸化物を経由する白金族金属の低環境負荷回収プロセスの基盤研究」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究(C)

「貴金属と低次元酸化物のナノ界面制御による低温酸化触媒の構築」

独立行政法人物質・材料研究機構科研費分担金(補助金)

新学術領域研究

「生物規範階層ダイナミクス」(分担者1)

独立行政法人物質・材料研究機構科研費分担金(補助金)

新学術領域研究

「生物規範階層ダイナミクス」(分担者2)

千歳科学技術大学科研費分担金(補助金) 新学術領域

研究

「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

国立大学法人名古屋工業大学 基盤研究(B)

「フナムシの微細毛流路を模倣した水-油分離プロセスの構築」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究(C)

「(基金 E26) 異周速圧延法によるチタン板材の集合組織制御と高性能化」

独立行政法人日本学術振興会 基盤研究(C)

「インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安全性に関する研究(金属系)」

京都大学 基盤研究(B)

「双晶～転位間相互作用の体系化に基づく高加工性マグネシウム合金の創出」

発 表 : 誌上発表122件、口頭発表198件、その他29件

-----  
凝固プロセス研究グループ

(Solidification Processing Group)

研究グループ長 : 多田 周二

(中部センター)

概 要 :

所属部門の重点課題である軽量金属材料技術ならびにレアメタル対策技術を中心に、産業・社会の持続可能な発展に資する新しい鋳造プロセスの開発に取り組んだ。平成26年度は、アルミニウム合金の特性向上に向けた基盤技術として、電磁攪拌による晶出物微細化ならびに溶解過程における脱ガスプロセスの開発に取り組み、開発した方法の有用性を確認した。また、セミソリッド成形技術では、ゲート形状を最適化することによって、流動性の向上を図るとともにガスの巻き込みや欠陥量を大幅に低減することができた。さらに、凍結鋳型に関する研究では、細径長尺の形状をもつ凍結中子の造型技術を開発するとともに、これを使用して中空部を有するアルミニウム合金鋳物の試作を行い、目的形状の鋳物を作製することに成功した。これにより、複雑な中空形状をもつ鋳造品に対する凍結鋳型の適用性を示すことができた。新しい産業を創出するための萌芽的研究として、電析法によるバルクナノ結晶メタルの創製に向けた技術開発にも取り組んだ。

研究テーマ : テーマ題目2

環境応答機能薄膜研究グループ

(Energy Control Thin Film Group)

研究グループ長 : 吉村 和記

(中部センター)

概 要 :

多層薄膜を利用した省エネルギー効果の大きい窓ガラス材料として、調光ミラーガラス、サーモクロミックガラス、液晶を用いた新規調光ガラス、全反射を用いた新規調光ガラスの研究を行なった。調光ミラーガラスの研究においては、マグネシウム・イットリウム合金薄膜の耐久性向上に成功し、新しいガスクロミック方式を用いる調光ミラーシートを実用化するための研究を企業と共同で推進した。サーモクロミックガラスについては、優れた特性を持つナノ粒子の作製手法を確立した。液晶を用いた新規調光ガラスの研究では、液晶の相転移を用いた熱応答型光制御素子の特性向上を行った。また、全反射を用いた新規調光ガラスの研究では、企業で作製した大型調光の省エネルギー性能を評価した。

研究テーマ : テーマ題目3

木質材料組織制御研究グループ

(Advanced Wood-based Material Technology

Group)

研究グループ長 : 田澤 真人

(中部センター)

概 要 :

樹木は太陽エネルギーによる光合成で成長する。木材は大気中の二酸化炭素固定による「地球温暖化対策」



と、再生産による「資源枯渇対策」として有望な材料である。近年、公共建築物への国産木材利用を促進する法律も施行された。このような背景に基づき、木材の有効利用の大幅拡大が期待されているが、それを実現するためには、①強度向上技術、②形状付与加工技術、③寸法安定性向上技術、④耐久性向上技術並びに評価・保証技術などが必要である。

そこで平成26年度は、②を中心テーマとして、その遂行に際して①③④も考慮して取り組んだ。木材の細胞間層を選択的に軟化させて、隣り合う細胞同士のせん断滑りを生じさせることによって、材料を複雑3次元形状へ変形加工する「流動成形」の検討を進めた。特に、素材に微細構造制御によって変形抵抗の顕著な低減の可能性を見出した。

研究テーマ：テーマ題目3

### セラミックス応用部材研究グループ

(Applied Technology with Traditional Ceramics Group)

研究グループ長：杉山 豊彦

(中部センター)

概要：

窯業、陶磁器に関して蓄積した研究手法やノウハウを活用して、省エネルギーに役立つ建築部材の技術開発を行なう。外壁・内壁・屋外などに用いられるセラミックス建材として、保水性、調湿性、透水性、断熱性、防音性などの機能を付与した部材を開発する。同時に廃棄物のリサイクルのための技術開発を行なう。また、釉薬関連、データベース構築などの基礎研究およびセラミックス製造技術等を活かした応用研究を行なう。平成26年度は、保水性セラミックスについて耐凍害性を向上させた部材について技術移転のための検討と特性評価を行った。調湿建材用に開発し環境調和型建材実験棟に施工した調湿塗り壁材については性能評価を継続して行くと共に、コストダウン等の可能性を検討し、構成元素の異なる建材用新規調湿材料の開発に成功した。また、湿度制御した湿潤空気を導入可能な熱重量分析装置を組み立て、水蒸気の吸脱着速度による調湿材料の新規評価法による研究を開始した。その他の研究として環境適合型顔料、粉体への特性付与と評価技術および標準化、日射反射釉薬の開発、粘土系部材への機能付与、開発部材の応用研究などを行った。

研究テーマ：テーマ題目3

### 融合部材構造制御研究グループ

(Advanced Integrated Materials Research Group)

研究グループ長：松本 章宏

(中部センター)

概要：

結晶性や組織の制御・融合化によるレアメタル代替材料の創製と射出成形や高エネルギービームを用いた部材化に至る技術開発を行っている。

コバルト代替硬質材料 WC-FeAl に関して、焼結体表面に生成する残留応力を制御することにより、破壊靱性を大きく改善できることを明らかにした。特に結合相割合を制御した多層焼結体の成否に関して、WC-FeAl においても各層間の熱膨張差により整理できることを明らかにした。タングステン代替硬質材料として開発している TiC-FeAl に関して、フェロアルミニウム粉を用いて適切にプロセス条件を制御することによって、機械的特性、耐酸化性を改善できることを明らかにした。また、高靱性サーメットに関して、鉄系材料用の摩擦攪拌ツールとしての適用可能性について検討し、超合金ツールに比して、耐酸化性、耐反応性の点で優位性があることを明らかにした。

開発している硬質材料の工具や金型への応用を促進するため、開発材料を用いた工具による切削試験を行い、市販超合金工具との結果を比較検討し、今後の課題を整理した。

研究テーマ：テーマ題目1

### 物質変換材料研究グループ

(Catalytic Nanomaterials Group)

研究グループ長：多井 豊

(中部センター)

概要：

環境浄化やクリーンエネルギー開発分野におけるレアメタルの代替・少量化や、当該分野に関連する資源採取に資する研究を推進した。

環境浄化材料関連では、複合酸化物担持酸化銅触媒について、調製ゾル・ゲルプロセスにおける銅原料の添加方法を検討した。添加方法の最適化により、非晶質で比表面積の大きい触媒が得られることが分かった。金属担持触媒の高温耐久性向上では、水を使用した処理によって、高温焼成時の白金のシンタリングを抑制できた。また、酸化鉄の共存により、炭化水素燃焼を促進出来ることが分かった。

クリーンエネルギー開発関連分野においては、遷移金属を含むアルミナゾルをゲル化・凍結乾燥して得られるクリオゲル触媒が他の方法による触媒に比べて優れた特性を示すことを見いだした。

資源採取分野においては、スピネル型マンガン酸化物系 Li 吸着材料の工業的利用に向けた技術開発を行った。吸着材料を大量合成するため、回転式反応炉を用いて固相反応によるワンポット合成を実施し、量産化の可能性を示唆する結果を得た。また実用化を念頭に置いた吸着材料の樹脂複合化を行い、粉末の脱落がない状態で使用できることを確認した。

研究テーマ：テーマ題目1

## 高耐久性材料研究グループ (Durable Materials Group)

研究グループ長：穂積 篤

(中部センター)

### 概要：

当グループは、レアメタル・ベースメタル（含主要軽金属）の代替材料および使用量削減技術、当該材料使用製品の長寿命化、二酸化炭素削減のための輸送機器軽量化、建材等構造部材への機能性表面創成技術の開発を目指し、1)ウェットプロセスを用いた高機能表面／薄膜の創製、2)材料の機械的特性評価技術の開発およびその標準化等に取り組んでいる。平成26年度、1)では、平成25年に開発したポリマーブラシ製造法を用いて、金属メッシュ上に親水性ポリマーブラシを作製し、水と油の分離を試みた。予め処理したメッシュを水に浸漬させ、超親水化させた後に、水と油（ヘキサデカン）の混合液を流すことで、バッチ式ではあるが、水と油（ヘキサデカン）を分離することに成功した。

2)では、機械的特性評価技術に関する研究として、高分子材料が紫外線と水により劣化する挙動を顕微インデントにより定量解析した。耐候性試験機で作製したポリプロピレンの劣化モデル材では、弾塑性（マイヤー硬度）、弾性（ヤング率）、塑性（降伏応力）の各力学パラメータが、劣化した表層・中間部から未劣化の深層部に向けて傾斜分布することなど多面的に評価した。顕微インデント試験法は、従来のマイクロ引張試験法よりも評価可能なパラメータが多く、マイクロ領域での劣化評価や劣化機構の解明に有用であることが分かった。

研究テーマ：テーマ題目1、2

## 金属系構造材料設計研究グループ

(Group for structural metals design)

研究グループ長：千野 靖正

(中部センター)

### 概要：

軽量金属材料の一次成形プロセスに関する研究として、マグネシウム合金の圧延プロセスに関する研究を実施した。また、マグネシウム合金の一次空気電池負極への適用可能性を検討した。

マグネシウム合金の圧延プロセスに関する研究では、室温成形性を改善するために開発した手法（高温圧延法）を用いて、ランダムな結晶配向有する AZ31合金板材を作製し、熱処理により結晶粒径を変化させた際の室温成形性への影響を調査した。その結果、結晶粒径の増加に伴い、室温成形性が劣化することを明らかにした。また、室温変形中の組織変化を測定し、粗大結晶粒を有する板材には破壊の起点となる双晶群が多数生成することを確認した。

マグネシウム合金の一次空気電池負極への適用に関する研究では、汎用マグネシウム合金にカルシウムを添加すると放電特性が改善する理由を調査した。具体的には AM60合金と AMX602合金の放電試験後の組織や放電生成物を調査した。その結果、Al-Ca 系金属間化合物が腐食の起点となることや、カルシウムの添加に伴い放電生成物層の厚みが減少することを明らかにし、上記の組織や被膜の変化が放電特性に影響を及ぼすことを確認した。

研究テーマ：テーマ題目2

### [テーマ題目1] レアメタル等金属の省使用・代替材料の開発

[研究代表者] 中村 守 (研究部門長)

[研究担当者] 中村 守、小林 慶三、西尾 敏幸、三上 祐史、松本 章宏、加藤 清隆、下島 康嗣、細川 裕之、古嶋 亮一、多井 豊、尾崎 利彦、三木 健、大橋 文彦、富田 衷子、山口 渡、粕谷 亮、多田 周二、尾村 直紀、穂積 篤、浦田 千尋、宮島 達也  
(常勤職員21名)

### [研究内容]

部材における機能の高性能化・小型化により省資源・省エネルギーを実現しながら、機能性部材を構成するレアメタルへの依存度を抑制した新しいコンセプトの部材開発に向けた基盤的な研究を行う。特に資源が希少でその偏在性が高く、我が国産業の今後の発展に不可欠なレアメタル資源に着目し、その使用量の低減を目指した材料開発・プロセス開発を行う。開発対象材料としては高性能永久磁石、硬質耐摩耗性部材（工具や金型）、熱を電気や力に変えるエネルギー変換部材の開発を行う。また、環境負荷低減を目指して、環境触媒における白金族などの省使用化技術の開発や、鉛の削減技術の開発とそれに伴うレアメタル資源の有効利用技術の開発なども実施する。具体的には、資源的に豊富なチタンと軽元素（B、C、O、N 等）を主たる構成要素としながら、非平衡相からの微細結晶創製技術等を利用して新規な機能性材料を開発し、希少金属の代替化を進めるための技術基盤を構築する。鉛については環境規制を考慮しながら、鉛フリー化を進め、代替材料となるビスマスの使用量を低減する技術開発を行う。触媒に関しては、白金族の使用量を削減するため、分散技術や構造制御、担持用の多孔質セラミックスの特性向上等を行う。

平成26年度の進捗状況は下記の通りである。

切削工具や耐摩耗材料などに利用される超硬合金（WC-Co）のタングステン使用量を低減するため、Ti（C, N）を用いたサーメットに微量な元素を添加することでサーメットの靱性を従来材料の1.3倍に高めることができ、タングステン使用量を30%以上低減した工具材

料の基盤技術を確立した。また、耐摩耗材料として開発してきた WC-FeAl 超硬合金を用いて、切削工具としての可能性を検討した。特にレアメタルの一つであるコバルトの発がん性が指摘されたことから、非コバルト系の硬質材料への要求が高くなっている。これまでに WC-FeAl はコーティング母材として膜密着性に優れることを明らかにしてきたが、WC-FeAl 超硬素材の可能性を明らかにした。金属間化合物 FeAl の高い高温硬度や金属に対する低溶着性などから、WC-FeAl が有効な被削材が存在することを明らかにした。さらに、高温での用途へ対応するため、レアメタルを含まない TiC-FeAl 硬質材料についても作製技術を構築し、その特性を明らかにすることができた。今後、産業界での用途を精査しながら、これらの硬質材料による性能面での置き換えを検討していく。

白金族の使用量削減に向けた研究開発では、ディーゼル酸化触媒調製において、削減効果の大きい表面ポリオール還元法の高度化を目指し、担体上に還元析出される Pt ナノ粒子の粒子径に影響を及ぼす因子について検討した。その結果、ポリオール還元剤量および Pt 担持量の増加とともに粒子径が大きくなることがわかった。貴金属の粒径制御により、触媒のさらなる耐熱性の向上が期待できる。また、白金族回収技術に関しては、アルカリ金属との複合酸化物を経由する回収技術の Pd への適用性を検討した。その結果、Pd 複合酸化物は0.1M という低濃度の塩酸に対しても、常温で極めて迅速に溶解することが明らかになった。

使用済み Nd-Fe-B 磁石から特に偏在性が著しい重希土類（ジスプロシウム等）を回収するため、パイロリサイクル技術に着目し、溶解による分離を検討した。黒鉛を添加して銅-鉄の2相分離を行うことで銅側へ重希土類が分離できることを確認した。さらに外力を印加することで銅と鉄の分離性を向上できることを明らかにした。

近年ますますエネルギーの有効利用が求められる中、廃棄されている熱エネルギーを電気として再利用するため、Bi,Te 等の希少なレアメタルの使用量を低減した低温域での熱電変換材料の開発ならびにモジュール化技術について検討した。これまでに開発してきた鉄をベースとした Fe<sub>2</sub>VAl ホイスラー合金系熱電変換材料について、非化学量論的な組成制御を行うことで、レアメタル等の第四元素を添加すること無く性能向上が可能であることを確認した。この非化学量論組成制御において、粉末冶金技術を用いることでホイスラー結晶構造が熱的に非平衡な組成範囲においても焼結体試料を作製できることを明らかにした。また、実用化の観点からは、従来の元素置換による特性制御に比べて、非化学量論組成制御では熱電性能のピーク温度を高温側へシフトできることから、排熱を利用した熱発電において、より幅広い温度範囲で効率良くエネルギー回収できることが期待できる。

青銅合金鋳物における鉛代替材料であるビスマスに対

して、凍結鋳型を用いた鋳造による湯流れ性向上と組織微細化によりビスマス量を低減して微細分散する技術を確認した。これにより、青銅合金鋳物における凍結鋳造技術の実用化が加速された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 タングステン、耐摩耗材料、切削工具、超硬合金、重希土類、高性能磁石、パイロリサイクル、青銅合金、凍結鋳造、鉛代替材料、熱電材料、モジュール、短時間焼結、白金触媒、排ガス浄化、白金回収

【テーマ題目2】 軽量合金による輸送機器の軽量化材料技術の開発

【研究代表者】 中村 守（研究部門長）

【研究担当者】 中村 守、小林 慶三、多田 周二、尾村 直紀、李 明軍、村上 雄一郎、松井 功、千野 靖正、斎藤 尚文、鈴木 一孝、渡津 章、黄 新ショウ、湯浅 元仁、穂積 篤、宮島 達也、浦田 千尋（常勤職員16名）

【研究内容】

自動車消費する全エネルギー（生産、使用、廃棄に要するエネルギー）の90%が走行時に消費されるガソリン等の石油燃料に由来することから輸送機器の軽量化に着目し、マグネシウム等の軽量金属を輸送機器の構造部材等へ応用するために必要な要素技術の開発を行う。

平成26年度までの進捗状況は以下の通りである。

アルミニウム合金やマグネシウム合金における鋳造組織の微細化技術として開発を進めてきた電磁振動プロセスは、組織の微細化に極めて有効であることがわかった。ただ、強力な磁場を発生するには設備のコストや大型化の際に問題となる。そこで、アルミニウム合金の凝固時に電磁的な攪拌を行うことで、凝固組織を制御する技術を開発した。電磁的な攪拌を行う温度条件や攪拌条件などを詳細に調べ、本技術の有効性を確認した。これにより破壊の起点になりやすい晶出物の微細分散化が可能になるものと考えられる。さらに、アルミニウム合金鋳造材の欠陥を防止するため、セミソリッド状態での成形における剪断力と流動性の関係を明らかにした。剪断力を効果的に利用することで薄肉や複雑形状の鋳物を欠陥の生成を抑制しながら作製できるものと考えられる。

マグネシウム合金については、圧延プロセスに関する研究を実施するとともに、マグネシウム合金の一次空気電池負極への適用可能性を検討した。前者の研究では、室温成形性を改善するために開発した手法（高温圧延法）を用いて、ランダムな結晶配向を有する AZ31合金板材を作製し、熱処理により結晶粒径を変化させた際の室温成形性への影響を調査した。その結果、結晶粒径の増加に伴い、室温成形性が劣化することを明らかにした。後

者の研究では、マグネシウム合金にカルシウムを添加すると放電特性が改善する理由を調査した。具体的にはAM60合金とAMX602合金の放電試験後の組織や放電生成物を調査した。その結果、カルシウム添加に伴うAl-Ca系金属間化合物の生成や、放電生成物層の厚みの減少が放電特性に影響を及ぼすことを明らかにした。

さらに、マグネシウム合金の耐食性を改善するため、蒸気養生法により耐食性の改善を行い、JISZ2371に準拠した塩水噴霧/高温乾燥/高温湿潤の複合サイクル試験において310時間後でも表面に肉眼で識別できる腐食欠陥が認められない技術を開発した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 軽量合金、マグネシウム、アルミニウム、組織微細化、晶出物微細化、加工性、塑性加工、表面処理、耐食性

【テーマ題目3】 省資源型環境改善建築部材の開発

【研究代表者】 中村 守 (研究部門長)

【研究担当者】 中村 守、田澤 真人、吉村 和記、田嶋 一樹、岡田 昌久、山田 保誠、垣内田 洋、金山 公三、重松 一典、三木 恒久、関 雅子、前田 雅喜、堀内 達郎、犬飼 恵一、西澤 かおり、杉山 豊彦、大橋 優喜、楠本 慶二、佐野 三郎、高尾 泰正、穂積 篤、浦田 千尋 (常勤職員22名)

【研究内容】

民生部門におけるエネルギー消費や二酸化炭素排出量は依然として増大しており対策が求められている。このうち室温制御に必要な冷暖房負荷を低減するため、住環境の快適性を維持しつつ、窓、壁等、建物外皮を通過する熱流を制御する機能や室内環境を調整する機能等によって省エネルギー化を可能とする建築部材の開発を目的とした材料研究を行った。

具体的には、①省エネルギー型窓ガラスの研究、②木質サッシの研究、③調湿材料の研究、④保水セラミック部材の研究、⑤省エネルギー効果の評価を行う。

平成26年度の進捗状況は下記の通りである。

①省エネルギー型窓ガラスの研究においては、調光ミラーシートの実用化に向けた開発を進展させた。また、サーモクロミック・ナノ粒子の作製手法を確立すると共に、液晶を用いた新規な熱応答型光制御素子の性能向上を行った。②木質サッシの研究においては、有機材料の含浸による形状付与及び形状安定性の向上を目指した研究を進めた。③調湿材料の研究においては、ハスクレイをベースとした塗り壁材を施工した部屋内の環境測定を継続した。④保水セラミック部材の研究においては、開発した保水性材料の耐凍害性などの実証試験を継続し、実用に近い性能を得た。⑤省エネルギー効果の評価については、環境調和型建材実験棟において、上記各種建築

部材の実使用環境での省エネルギー効果の実証試験を継続した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 調光窓材料、木質窓サッシ、調湿材料、保水性材料

⑦【ナノシステム研究部門】

(Nanosystem Research Institute)

(存続期間：2010.4～)

研究部門長：山口 智彦

副研究部門長：浅井 美博、池上 敬一

首席研究員：片浦 弘道

総括研究主幹：川西 祐二、水谷 亘、長嶋 雲兵、古屋 武

所在地：つくば中央第2、つくば中央第4、つくば中央第5、つくば東

人員：94名 (94名)

経費：1,118,455千円 (627,170千円)

概要：

1. ユニットのミッション

ナノメートルサイズの新物質創製からデバイス実現までの道筋は、階層的なシステムの形成過程として捉え直すことができる。当ユニットでは、原子・分子技術からナノ材料を複合・統合化した高度なシステム・デバイスの開発までを段階的に推進するとともに、多才な研究者群の協働のもとで国際規模の融合領域研究・開発を展開し、私たちの未来社会に貢献する。

また、2011年3月11日の東日本大震災および福島原子力発電所の事故とその後をふまえ、研究者として何ができるかを真摯に考え、日本産業の復興と安全・安心な社会の再興にむけて全面的に取り組む。

○産総研のミッションとの関係

アウトカムとしてのグリーン・イノベーションならびにライフ・イノベーションを目指し、部門内の垂直統合的な研究を推進する。また、その実現に不可欠な「テクノロジーブリッジ」の概念を確立して国内外に貢献する。すなわち、構造・機能・プロセス等を予測し評価するための理論・計算科学的シミュレーション、高度なナノ計測技術、ソフトマテリアルやナノ粒子などの機能性材料の創成、およびナノ安全・ナノリスク、等の研究を重視するとともに、分野や産総研内のみならず国内外との協働によって、基礎から応用、製品化までを視野に入れた研究開発を行う。これはまさしく産総研における本格研究としての「第2種基礎研究」に他ならない。

2. 研究ユニットの研究開発の方針

## ① 中期目標・計画を達成するための方策

産総研第3期中期計画において、本ユニットが実施する研究開発は、以下の大分類、大項目、中項目に位置づけられている。

大分類：グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進

大項目：I-4 グリーン・イノベーションの核となる材料、デバイスの開発

中項目：(1) ナノレベルで機能発現する材料・多機能部材 (2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用

大項目：I-2 産業の環境負荷低減技術の開発

中項目：(1) 製造技術の低コスト化・高効率化・低環境負荷の推進

大項目：I-6 持続発展可能社会に向けたエネルギー・安全性・環境評価技術開発

中項目：(3) 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

大分類：ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進

大項目：II-1 先進的・総合的な創薬・医療技術の開発

中項目：(1) 細胞操作・生体材料技術の応用による医療支援技術

これらの課題を推進するにあたり、

- (1) 「グリーンシステム」(環境・エネルギー)、
- (2) 「ITシステム」(情報通信・エレクトロニクス)、
- (3) 「ソフトシステム」(ライフ・バイオ、ソフトマテリアル)
- (4) 「テクノロジーブリッジ」(理論・シミュレーション、ナノ計測、ナノ安全・リスクなど)

の4つを主要研究項目とする。「テクノロジーブリッジ」は出口に向けた(1)～(3)の研究開発を前線に近いところで橋渡しする役割を担う。

具体的には、以下の5つの課題をユニットの重点課題と位置付け、中期目標の達成に向けて研究開発を推進する。

- (1) 材料・デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発
- (2) ソフトマテリアルを基にした省エネ型機能性部材の開発
- (3) 高付加価値ナノ粒子の合成と製造プロセスへの応用に関する研究
- (4) 炭素系ナノエレクトロニクス材料の開発と革新的デバイス構築に関する研究
- (5) ナノバイオ材料評価・操作技術とナノ材料リスク評価・管理技術の開発

これらの研究開発成果を産総研内や外部の企業や研究組織と結び付ける仕組みとしてユニット独自の3つの組織(後述)を設け、オープンイノベーションを推

進する。

## ② 平成26年度の重点化方針

産総研の第3期開始と同時に発足した研究ユニットとして、上記の5つのユニット重点課題の目標達成を目指す。福島県における放射性セシウム(Cs)の除染に関しては、引き続きユニットをあげて全面的に取り組む。安全・安心な社会構築に向けた超高感度カメラ(ハイビジョン暗視カラーカメラやガンマ線カメラ: Invisible Vision)の開発、および環境中に広くかつ薄く存在するエネルギーや稀少金属を効率的に回収する未利用熱エネルギー/マテリアル・ハーベスティングに関する研究に注力する。ソフトマテリアルに関しては、理論・計算と実験の部門内連携を強化するとともに、未来技術としての「やわらかいロボット」の実現に向けた要素材料・技術の研究開発を進める。さらに、所内連携はもとより、TherMATをはじめとする技術研究組合や企業連携、産学連携のイノベーションハブとしての活動などを一層強化する。

また、今まで培ってきた国際連携についても重視する。特に、LOIを締結しているNANOTEC(タイ)との交流を一層促進するとともに、国際協定を締結している国立ナノテクノロジー研究所(NINT:カナダ)、Indian Institute of Technology(IIT) Bombay、華東理工大学(中国)、IMEC(ベルギー)、カールスルーエ工科大学(独)、マックスプランク研究所(独)、ブルックヘブン国立研究所(米)やローレンスリバモア国立研究所(米)などとの国際共同研究を進める。

一方、以下に掲げる6つのユニット重要業務に関しては、研究員のエフォート率の20%以上を充てて取り組むとともに、その遂行に際しては、当ユニットの優位性である「理論・計算シミュレーション/計測/実験」のさらなる協働を推進する。

- (1) 福島原発の放射能汚染に伴うセシウム(Cs)の回収
- (2) Invisible Vision
- (3) エネルギー/マテリアル・ハーベスティング(未利用熱等)
- (4) 自己組織化技術の深化とやわらかいロボットにつながる部材等の開発
- (5) 技術研究組合への協力
- (6) 未来技術の探索と検証: 次世代スーパーコンピューターの検討と設計において、産学官の中核的活動を目指す。また、ナノ材料・プロセスおよび計測技術の高度化に向け、積極的な情報収集と産学連携による素子の試作(見える化)を行う。

-----  
内部資金:

「MOF/PCP ナノ粒子によるアンモニア管理技術の創製」

「看板ナノ材料を目指した原子薄膜研究シーズの育成」  
 「基盤技術の相互連携による革新的バリア素材開発のフ  
 ィージビリティスタディ」  
 「ナノ炭素材料界面物性の光制御－光応答性分散剤を用  
 いた CNT 透明電極の作成および CNT のパターンニング」

外部資金：  
 経済産業省

「日米等エネルギー技術開発協力事業／重水素化増感触  
 媒の耐久性に関する研究」  
 「日米等エネルギー技術開発協力事業／高性能固体高分  
 子型燃料電池の開発に関する研究」  
 「日米等エネルギー技術開発協力事業／水素生成光触媒  
 電極の耐久性向上に関する研究」  
 「エネルギー使用合理化国際標準化推進事業委託費（省  
 エネルギー等国際標準共同研究開発事業：異種材料複合  
 体の特性評価試験方法に関する国際標準化）」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「エネルギー・環境新技術先導プログラム／可変バリア  
 機能の発現に基づく革新的エネルギー制御材料基盤技術  
 開発」

独立行政法人科学技術振興機構

「光脱着型 CNT 分散剤を用いた微細加工可能なフレキ  
 シブル塗布型透明導電膜作製技術の開発」  
 「グラファイト複合構造体の基礎物性解明」  
 「スライド型ナノアクチュエータの開発に向けた基盤技  
 術の確立」  
 「特異的溶解性・電荷輸送を示すリチウムイオン液体の  
 計算化学的解析」  
 「高機能神経内視鏡用リトラクターの開発」

福島県岩瀬郡天栄村

「ため池等汚染拡散防止対策実証事業（汚染拡散防止対  
 策工）」

独立行政法人物質・材料研究機構

「平面波基底法（QMAS）などを基軸にした磁気物性量  
 の高精度計算手法の開発」

公益財団法人ふくい産業支援センター

「CNT 複合めっきによる次世代ソーワイヤの実用化」

公益財団法人群馬県産業支援機構

「超高速・低温フレームを特徴とする衝撃焼結被覆技術  
 を用いた、熔融相を持たない昇華性材料、窒化アルミニ  
 ウム（AlN）溶射皮膜形成技術の開発」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

「平成26年度－平成27年度「技術ソリューション事業  
 （フェーズ1案件）」に関する技術開発課題「自己組織化  
 ナノ材料を用いた随伴水処理技術の開発」

国立大学法人東京大学

「1）重点課題「エネルギー変換の界面科学」の研究推進  
 2）計算科学技術推進体制構築の「産学官連携」の推進」

財団法人木原記念横浜生命科学振興財団

「再生医療等に用いるヒト軟骨デバイスの実用化のため  
 の3次元細胞培養システムの開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（助  
 成金）

「化学反応を駆動源とする超省エネ型・新規自励振動ゲ  
 ルアクチュエータを用いた外部装置フリーのマイクロ流  
 体素子の開発」

文部科学省（科学研究費補助金）

「錯体分子超構造膜の構築と量子効果発現」  
 「in situ XAFS と XRD 同時測定による無機発光材料の  
 活性点構造の解明」  
 「グラフェン・ナノ構造の電気伝導」  
 「第一原理計算によるスピン軌道相互作用系の電界効果  
 の研究」  
 「有機ナノチューブの基礎特性評価と高機能化」  
 「潰瘍性大腸炎治療を指向したカーボンナノチューブに  
 よる経口投与薬物送達」  
 「第一原理計算に基づくシリコンナノシートの有機分子  
 修飾による機能化」  
 「新規炭化ホウ素ナノワイヤの熱電物性計測及び伝導機  
 構解明による廃熱発電素子の開発」  
 「空間的拘束下でフラストレートした液晶の秩序形成と  
 ダイナミクス」  
 「高強度・高じん性を有する微粒子／液晶複合ゲルの創  
 製」  
 「完全制御カーボンナノチューブの物性と応用」  
 「微小錐台におけるエバネッセント光の結合効果による  
 自然放出光の指向性制御」  
 「高品質酸化ナノ粒子製造のための核発生と成長過程  
 の厳密評価用マイクロデバイス開発」  
 「生物規範界面デザイン」  
 「高分子粗視化シミュレーションによるソフトアクチュ  
 エータ材料の物性とダイナミクス」  
 「ナノ接合での熱電変換と局所加熱、熱散逸の第一原理  
 シミュレーション」  
 「高度歯科医療のための液相レーザープラズマ技術の開  
 発」  
 「単一分子と組織化分子ネットワークの非線型伝導理論」  
 「グラフェン原子層境界における谷分極伝導」

「Studies on the thermoelectric properties of PEDOT:PSS」

- 「孤立カーボンナノチューブのナノ配列制御と電子デバイス応用」
- 「実験と理論の連携による可逆的固液光相転移の機構解明」
- 「カーボンナノチューブを用いた蛋白質の光クロマトグラフィ」
- 「糖鎖結合性タンパク質の分子認識／反応機構に関する分子基盤の構築」
- 「光駆動型有機・無機ハイブリッドナノ空間を用いたバイオリアクターの創製」
- 「窒化ガリウム系共鳴トンネルダイオード作製とテラヘルツ波発振に関する研究」
- 「気相中熱酸化プロセスによるハイブリッドナノ粒子の創生と形態制御」
- 「カーボンナノチューブ電極を用いた半透明有機薄膜太陽電池の開発」
- 「局所加熱による熔融液相を用いたチタン酸化合物球状粒子の合成」
- 「Gene-activating scaffold による in vivo 組織再生」
- 「半導体型カーボンナノチューブの高精度純度評価と「超」高純度化」
- 「水中におけるカーボンナノチューブと糖の新規吸着反応メカニズム」
- 「有機材料とナノ構造体材料における熱電効果の理論研究」
- 「ヘキサシアノ鉄酸金属錯体を用いた電気化学的 Cs 回収における高効率吸着電極の開発」
- 「社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化」
- 「第一原理有効モデルと関連科学のフロンティア」
- 「ナノ構造形成・新機能発現における電子論ダイナミクス」
- 「知能分子ロボット実現に向けた化学反応回路の設計と構築」
- 「生物多様性を規範とする革新的材料技術」
- 「第一原理分子動力学法による構造サンプリングと非平衡ダイナミクス」
- 「乱流摩擦抵抗低減のためのポリマー溶出界面の研究開発」
- 「生物毒素に対する分子認識素子の創製と効果的な除染法の開発」
- 「単分子素子の機構解明を先導する機能性  $\pi$  電子系の創製」
- 「高移動度を示す有機トランジスタ中のキャリアの電子状態とダイナミクス」
- 「階層的分子モデリングによる生体膜融合過程の研究」
- 「局所的短パルス加熱による材料プロセスでの現象解明とその応用」

「Molecular level studies of advanced phosphide catalysts with high activity in hydrodeoxygenation」

- 「マイクロ非平衡場の制御による細胞サイズ分子ロボットの動的自己組織化と自律運動」
- 「生物はなぜ振動・同期するのか—酵母細胞における解糖系振動現象の生命機能の解明」
- 「生体膜における不均一構造のダイナミクス」
- 「水素結合型有機誘電物質における強誘電性光制御の理論」
- 「水素結合型強誘電体における同位元素効果の分子論的起源」
- 「分子アーキテクニクス：単一分子の組織化と新機能創成」
- 「構造化ゲルと化学反応場の協働による運動創発」
- 「キラルプレステッド酸触媒による制御システムの理論的検討」

公益財団法人名古屋産業振興公社

「コンタクトプローブ耐久性向上表面処理及び微小部品多品種少量生産めっきシステムの開発」

公益財団法人新産業創造研究機構

「iPS 細胞等の3次元大量培養技術の開発」

発表：誌上发表220件、口頭発表640件、その他57件

非平衡材料シミュレーショングループ

(Nonequilibrium Materials Simulation Group)

研究グループ長：宮崎 剛英

(つくば中央第2)

概要：

当グループでは、産業上重要な材料の非平衡状態に関係するシミュレーション技術の開発と適用を行っている。(1) 熱電物性計算方法をナノ構造体に適用できるよう拡張し、材料スクリーニングに適したシミュレーションスキームの構築と層状無機化合物への適用を行った。分子接合の多段階抵抗スイッチの計測データの検証と現象の解明を理論計算から行った。(2) 酵素反応の作業仮説を検証するため、酵素 ODCase を例として、触媒活性の起源を量子計算から解析した。活性中心のアミノ酸残基が電子状態を支配し、基底状態と遷移状態の相対的な安定性を調整する事で、高い酵素活性が現れる事を確認した。(3) 第一原理分子動力学計算を行う際に、非常に大きなステップを用いた時間発展を可能にするようなアルゴリズムを開発した。高温のリチウムガラス融体に対する研究を進め、有効電荷の時間変化の解析や NMR パラメータの推定等を行った。(4) 第一原理分子動力学シミュレーションによって、アモルファス  $\text{Li}_2\text{O}$  の金属副格子と酸素副格子には、ともに、五角両錐形中距離秩序が存在すること

を見いだした。その結果から、アモルファス  $\text{Li}_2\text{O}$  は、これまでに調べたアモルファス  $\text{HfO}_2$  などと同様に、2重ランダム充填構造をとることを予測した。

研究テーマ：テーマ題目6

### 相関材料シミュレーショングループ (Correlated Materials Simulation Group)

研究グループ長：石橋 章司

(つくば中央第2)

概要：

当グループでは、しばしば電子相関がその特異物性発現の鍵を握っている磁性材料・超伝導材料・強誘電／圧電材料などの構成物質を主たる対象として、第一原理電子状態計算を軸に、必要な手法・プログラムの開発・整備を行ないながら、研究を進めている。平成26年度の代表的な研究活動を以下に挙げる。新規磁石化合物探索の一環として、 $\text{NdFe}_{11}\text{TiX}$ の典型元素  $X$  を  $\text{B} \cdot \text{C} \cdot \text{N} \cdot \text{O} \cdot \text{F}$  と変えた場合の磁化と結晶場係数を、第一原理計算により求め、 $\text{N}$  が最適元素であることを確認した。磁化と異方性磁場の温度依存性を解析する計算手法を開発し、 $\text{GdCo}_5$ において、室温付近の磁気特性が、希土類と遷移金属の交換結合に大きく影響されることを明らかにした。テルル・セレンの圧力下での電子状態を調べ、ワイル半金属相の存在を見出した。GW+DMFT法を開発し、 $\text{SrVO}_3$ における励起スペクトル構造の起源の解析に応用した。最局在ワニエ軌道を用いた電子分極発現機構の解析手法を提案し、有機強誘電体  $\text{TTF} \cdot \text{CA}$  に適用した。陽電子消滅法による窒化物半導体中の格子欠陥の評価のため、欠陥での陽電子状態・消滅パラメータの理論計算を行なった。

研究テーマ：テーマ題目6

### 電気化学界面シミュレーショングループ (Electrochemical Interface Simulation Group)

研究グループ長：中西 毅

(つくば中央第2)

概要：

当グループでは、持続可能な社会の達成に不可欠な、スマートなエネルギー材料の研究開発を加速するために、シミュレーション技術の開発、シミュレーションによる高効率で高寿命なエネルギー材料の開発を目指している。そのために、分子動力学法による自由エネルギー計算の高効率化・高精度化、水素吸蔵機構の理論的解明とモデルの構築を行ってきた。本年度の成果として、電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発し、有効遮蔽媒質法と組み合わせることにより、電極を標準電極電位にコントロールした、より実験環境に近いシミュレーションが可能となった。また高分子電解質膜内のプロトン伝導に関して、化学構造とプロトン伝導との相関をシミュレ

ーションから明らかにし、新しい化学構造の提案を行った。燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関して、電解質膜のどの部分が劣化しやすいのかをシミュレーション技術を用いて特定するとともに、劣化しにくい構造の提案を行った。

研究テーマ：テーマ題目6

### ナノ炭素材料シミュレーショングループ (Nanocarbon Materials Simulation Group)

研究グループ長：宮本 良之

(つくば中央第2)

概要：

当グループは、ナノ炭素材料の平衡・非平衡状態での挙動を知ること、低エネルギー消費を特徴とするデバイス開発とそれにより情報・エレクトロニクス産業へ役立てることをミッションとしている。本年度は、昨年度までに開発してきた計算技術をいくつかの材料に適用した。FMO法による巨大有機分子電子状態計算の手法はQM/MM法に適用され、分子動力学や安定構造探索を高効率化した。光電場による電子状態或いはフォノン振幅の変調を利用してファンデアワール力を増強できることを時間依存第一原理計算から予測し、ヘリウム電子間力、hBNシート間力の増強を予測した。触媒表面の被毒機構・還元機構を解明するための計算手法を開発しPt表面に適用した。また、電気化学反応中の電極電位揺らぎ現象を第一原理計算結果より予測した。シェル・モデルを用いた分子動力学シミュレーションにより、ピエゾ係数の温度依存性を計算する技術は $\text{KNbO}_3$ に適用された。

研究テーマ：テーマ題目6

### ソフトマターモデリンググループ (Soft Matter Modeling Group)

研究グループ長：米谷 慎

(つくば中央第2)

概要：

当グループでは、新規ナノ材料・デバイス・プロセス創成を目的として、理論・シミュレーションを先導的な手段として用いた研究を進めている。題目1「ソフトマテリアルを基にした省エネ型機能性部材の開発」に関連し、液晶性ドナー／フラーレン系アクセプタ溶液における構造形成プロセスを、粗視化溶媒中での溶媒蒸発に伴う構造形成プロセスとしてモデル化し、自己組織形成される液晶性ドナー／フラーレン系アクセプタ界面の構造をシミュレーションにより得た。その結果、フラーレン系アクセプタが液晶性ドナー共役面直上に配置する、光電変換に伴う分離電荷取り出し時に重要となるキャリアパスにおいてキャリアトラップが生じ得る構造が特徴として得られた。この結果から、本構造を抑制することで当該有機薄膜太陽電池の特性



を向上させることができる可能性を材料設計指針として提案した。

研究テーマ：テーマ題目1

#### ナノ理論グループ

(Nanoscale Theory Group)

研究グループ長：関 和彦

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、有機ナノ構造・界面に関するシミュレーション・理論解析技術を向上させ、高効率な光・電子デバイスの実現を目指した研究を行った。電流電圧特性から有機薄膜の易動度を測定するためには、膜の性質を変えず膜厚を変化させた膜を用意する必要があった。当グループでは、通常とは逆に電圧を電流に対してプロットした図の解析に役立つ理論式を導出し、一つの膜厚のサンプルで膜厚と易動度を同時に測定できることを示した。有機半導体の輸送特性は、分子の種類、分子配向、構造に大きく依存する。有機半導体輸送層に用いられる典型的な芳香族分子に対して、最近開発が進んでいる結晶構造予想法を適用し、手法の有効性を検討した。有機自己組織化膜の形成は、分子の微視的な挙動に大きく影響される。粗視化分子動力学法および解析的な理論により、界面上に自己組織化膜が形成されていく過程のダイナミクスを解析し、基板界面への表面吸着プロセスにおける分子の微視的な挙動と被覆率の関係を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目6

#### ソフトデバイスグループ

(Soft Devices Group)

研究グループ長：古屋 武

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、有機分子や生体由来材料が持つやわらかな構造特性と自己組織化や省エネ型液体プロセスを活用した人や環境との親和性の良い「やわらかい」デバイスの開発に取り組んでいる。具体的には、液晶性有機半導体材料、省エネ型・高耐久性表示素子、高機能バイオメディカル素子、外部刺激に応答する構造制御高分子、マイクロ波加熱を利用する高効率・省エネプロセス等の研究・開発を進めている。本年度は引き続き、高い電荷移動度を持つ液晶性有機半導体材料の開発、粒子配列と配向制御を利用したコロイドデバイスの開発、レーザーを利用したリン酸カルシウム球状粒子合成技術・リン酸カルシウム薄膜形成技術の高度化、刺激応答高分子の開発と延伸履歴の可視化・クロミズム温度範囲の拡大、マイクロ波加熱を利用する高効率・省エネプロセス等の研究・開発を行った。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目7

#### ソフトメカニクスグループ

(Soft Mechanics Group)

研究グループ長：古屋 武

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、高分子化合物や生体由来の材料が持つしなやかな構造特性や特異性、可塑性、興奮性および広義の自己組織化能を基盤とするソフトマテリアルの研究開発を行う。より具体的にはゲル、高分子、液晶、コロイド等のソフトマテリアルの微小空間と表面の機能合成技術、およびナノメートルからミリメートルに至る階層を越えたソフトメカニクス材料を、バイオミメティクスと自己組織化を意識した統合的な開発を行う。その中でも、アクチュエーター応用を考えた階層構造を持つ機能性ゲルの開発、ゲル内バイオミネラル化の解明とその応用、固/液界面における物理化学的現象の解明と化学センサー等のデバイスへの応用、無機・有機複合材料開発、金属ナノロッドの作製と動的機能創出の研究・開発に対して、化合物の設計と選択から、基礎物性評価、階層組織体構成、機能発現までを、物理・化学の両方の視点から統合的に推進していく。

研究テーマ：テーマ題目1

#### フィジカルナノプロセスグループ

(Physical Nano-Process Group)

研究グループ長：川口 建二

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、新規な物理的プロセスを利用して従来法では得られない、ナノ粒子、球状微粒子、ハイブリッド微粒子などの新規ナノ構造体を調製するためのプロセス技術を開発している。具体的には、大気圧マイクロプラズマ法、液中レーザー溶解法、気相中熱酸化法など、いずれも新規な物理的手法を用いて開発に取り組んでいる。このような技術を駆使したアプローチにより調製した新規ナノ構造体は、触媒特性や光学特性などの無機材料機能発現のみならず、中性子捕捉療法などの医療応用への展開も含めて実用特性を検討している。また、安全科学研究部門や外部研究組織と連携して、ナノ材料の安全評価技術の開発のための、試験用ナノ粒子安定分散液の調整技術の研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目8

#### ナノ炭素材料研究グループ

(Carbon Nanomaterials Research Group)

研究グループ長：田中 丈士

(つくば中央第4)

概要：

当グループでは、カーボンナノチューブ（CNT）を代表とするナノ炭素材料特有の新たな機能を見出し、革新的デバイスへ応用するために、分散・分離・成膜技術開発、さらにその基礎となる物性研究を行っている。今年度は、ゲルを用いた単層 CNT の高精度化や、デバイス応用、CNT 安全性の観点から重要となる生体分子との相互作用に関する知見を得るための研究を中心に行った。単一構造半導体型単層 CNT の高精度分離技術開発において、これまでに開発した過剰試料投入法や温度制御分離法で、鏡像体（右手と左手のように互いに重ね合わせる事の出来ない関係）の単層 CNT 分離に成功した。産総研で合成された高品質 e-DIPS 単層 CNT を分離した半導体型 CNT を用いた塗布型薄膜トランジスタを作製し、on/off 比が $10^5$ 以上で、移動度が $100\text{cm}^2/\text{Vs}$ を超える優れたデバイスを得ることに成功した。生体分子との相互作用を調べるためのモデル系として、ホモアミノ酸オリゴマーを用いた実験から、アルギニン側鎖が単層 CNT との相互作用に重要な役割を果たすことを見出した。コンビナトリアルケミストリーから得られたポリペプチドを用い非常に低濃度で単層 CNT を分散することに成功した。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目8

#### グリーンテクノロジー研究グループ (Green Technology Research Group)

研究グループ長：川本 徹

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、(1)環境中における放射性セシウムに関する除染技術開発、(2)放射性廃液用再利用可能なセシウム吸着材の開発、(3)電気化学的に色制御可能なエレクトロクロミック材料を使用したディスプレイ開発、を行った。これらの研究で用いたプルシアンブルー型錯体は、その結晶中に内部空孔を持ち、そこに陽イオンを出入りさせることが可能である。セシウムをそこに吸着させる技術を用いたのが(1)であり、(2)、(3)については、電気化学的に吸着及び放出できる再利用可能な吸着材、繰り返し色変化が可能なディスプレイ等を開発している。昨年度に引き続き、特にプルシアンブルーを利用して環境中のセシウムの吸着技術の開発において顕著な結果が得られた。造粒法を再検討し、吸着速度が従来の3.5倍となる吸着剤の開発に成功した。また、使用後吸着剤を安定的な酸化物に変換する技術を開発した。さらに、放射性セシウムを含む焼却灰の除染技術について、詳細なコスト検討を行い、セメント固化など、従来技術に比べ十分なコスト削減効果があることを明らかにした。エレクトロクロミック素子については、電解液などの最適化を進め、サイクル耐性、耐光性の向上を進めた。

研究テーマ：テーマ題目2

#### スマートマテリアルグループ (Smart Materials Group)

研究グループ長：木原 秀元

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、次世代材料として期待されている自己修復材料、光機能性材料、有機相変化材料等の実現を目指して、化学反応や分子間相互作用の利用による情報の感知、変換、保存、再生を行う新しい分子組織体の構築を目的として研究開発を行っている。併せて、そのために必要な新しい分子組織体の探索と分子組織体と光、熱、溶媒等の外部環境に係る相互作用について基礎的研究を行っている。ナノテクノロジーの発展系としての次世代省エネ技術、環境分野、および情報技術分野においては、分子間相互作用を高度利用した機能性分子組織体に対する期待が大きい。すなわち、分子組織体の構造を精密に制御することで、新たな機能を発現することが可能と考えられる。また、分子組織体は自発的な構築が可能でエネルギー的に経済的であり、得られたものはしなやかで刺激に対して劇的に応答する特徴がある。さらに、刺激によって生じる組織構造が変化した複数の状態を速度論的に安定化できる可能性がある。グループの研究スタンスの特徴は、各種の機能性有機化合物の設計・合成から、基礎物性測定、組織体構築、機能評価までを一貫して行うことである。

研究テーマ：テーマ題目1

#### ナノシステム計測グループ (Nanosystem Characterization Group)

研究グループ長：久保 利隆

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、高度な計測技術を用い技術の橋渡しに向けた実用化研究推進に貢献している。産総研ミッションに対する対応、技術研究組合や先端機器共有化への協力、喫緊の解決課題に対して、原理解明や計測手法の高度化を通じて研究推進をサポートした。本年度の代表的な成果を以下に示す。SFG 分光を用い、剥離剤界面や毛髪モデルの分子挙動追跡に関する知見を得た。電子顕微鏡を用い、高異種材料接合やめっき状態に関する情報を得た。吸引プラズマ加工装置の性能評価・信頼性向上に努め、同装置の国内外への普及展開の支援を行った。XAFS を用いたバイオマス触媒や繊維状粒子の反応条件下での触媒構造変化に関する知見を得た。バイオミメティック技術を適用した新しい膜調製技術法の検討を行った。マイクロ波に対する物質の評価技術向上に努め、産業に直結するマイクロ

波技術の開発を行った。走査プローブ顕微鏡を用いヘテロ界面顕微鏡解析を行った。このように基礎研究から実用化開発まで、また分野融合的に活動を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

#### ナノ光電子応用研究グループ

(Nano Optoelectronics Research Group)

研究グループ長：池上 敬一

(つくば中央第2)

概要：

当グループでは、光や電子の閉じ込め構造の最適設計と精密作製技術を基に、光エレクトロニクスに関連した高効率発光素子（革新的光デバイス）と不可視光景の可視化技術（インビジブルビジョン）を中心として、新規ナノ量子構造とこれらに必要なナノ評価技術を開発している。成果を以下に挙げる。革新的光デバイスでは、AlGaInP 微小円錐台の作製技術を開発し、高出力赤色 LED として世界最高となる51%の発光効率を低温において達成した。インビジブルビジョンでは、赤外線カラー暗視カメラ用撮像素子を試作しカメラの小型化を実現、併せて赤外線照射機を改良し、50m 先の被写体のカラー暗視撮影に成功した。新規ナノ量子構造では、窒化物半導体を用いた共鳴トンネル素子の劣化メカニズムを解明し、共鳴トンネルとサブバンド間遷移を用いた超高速不揮発メモリ実現の可能性を示した。ナノ評価技術では、走査型電子顕微鏡に組み入れた独自ナノマニピュレータを用いて金属同士の機械的接触による構造変化と電気抵抗の関係について新しい知見を得た。近接場光評価技術では、デュアルプローブ計測と数値計算を進めるとともに、凍結乾燥試料作製法の開発に着手し、低密度ながら非凝集の粒子分散試料の作成に成功した。

研究テーマ：テーマ題目4

#### ナノ構造アクティブデバイスグループ

(Nanostructured Active Devices Group)

研究グループ長：石田 敬雄

(つくば東)

概要：

当グループでは、ナノスケール構造体特有のアクティブな量子効果などの物性を利用した新規デバイスの創出やその要素・評価技術の研究を行っている。具体的には錯体分子、導電性高分子、ナノワイヤー、金属ナノギャップなどのアクティブな性質を利用したメモリー、熱電素子などのデバイスの開発とデバイス評価技術の確立を目指している。26年度はまず導電性高分子を用いた熱電素子において電気伝導性、ゼーベック係数、熱伝導率の構造異方性を考慮した精度の高い計測法を確立することに成功した。金属錯体分子膜に関してはルテニウム錯体分子膜の形成法による角度の制

御と電子移動能制御の要因を解明した。ナノギャップデバイスについては約1ナノメートルのギャップ幅を自己整合的に制御しながらばらつきを大幅に減らした作成技術を確立した。

研究テーマ：テーマ題目4

#### ナノケミカルプロセスグループ

(Nano Chemical Process Group)

研究グループ長：依田 智

(つくば中央第5)

概要：

当グループではナノ粒子・ナノ構造材料を幅広い産業分野へ応用していくためのオンデマンド連続製造、階層化および関連するプロセス技術の研究開発を目標とする。ナノ粒子・ナノ構造を作り出し、それらを階層的に構築して、デバイス、材料、製品へと結びつけるプロセスの技術は、新機能、高機能の創出、製品開発速度の向上、ナノリスクの低減などに貢献できる。連続的な製造および階層化においては、溶媒、流体をベースとしたプロセスを構築し、流体の特性、物質の溶解度や相状態の把握、化学反応の精密制御を行うことが不可欠となる。これらの物性・反応を緻密に制御するパラメータとして、“圧力”を導入し、さらにマイクロ流路、マイクロミキサーなどのプロセス技術を組み合わせることによって、様々な新規ナノ粒子・ナノ材料に対応したプロセスを構築することが可能となる。当グループでは各種ナノ粒子、ナノ材料の連続製造、および階層化プロセスの開発に取り組むとともに、高圧下での諸物性測定・化学反応など必要な基盤技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目2

#### スマートセンシンググループ

(Smart Sensing Group)

研究グループ長：横山 憲二

(つくば中央第4、第5)

概要：

当グループでは、ナノテクノロジーとバイオテクノロジーを融合させた革新的スマートセンシングに関する研究開発を行っている。ヘルスケア産業、安全安心な社会の実現に貢献するバイオセンサー、バイオチップ、生化学分析システムの実用化研究を重点的に行っているが、センシングに必要な高性能新規酵素、糖鎖などの生体関連材料に関する基礎研究も行っている。具体的には、①民間企業との共同研究としての血糖値センサーの製品化に関する研究を行っている。特に血糖値センサーで用いる酵素について、当グループで好熱性糸状菌から発見したフラビン型グルコース脱水素酵素が極めて優れた特性を有することを示した。②民間企業との共同研究として、健康マーカー測定法およ

び食品・産業用バイオセンサーの開発を行った。③ナノバイオ技術に関する統合的研究の中で、骨芽細胞マーカーとなるタンパク質をハイスループットで高感度に解析できる分離、検出法の開発を行った。④ブロッキングを行った5糖誘導体固定化チップを用い、モデル毒素を検出したところ、ブロッキングをしない場合と比べて検出レスポンスが向上することを見出した。

研究テーマ：テーマ題目7

### 形態機能ナノシステムグループ

(Morphofunctional Nanosystem Group)

研究グループ長：増田 光俊

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、的確に設計された有機分子が自発的に集し極微細構造を形成する現象（自己集合と呼ぶ）で生み出されるチューブ状ナノ構造材料（有機ナノチューブ）について、医療・ナノバイオ分野、食品・健康分野、環境・農業分野等での用途開発に取り組んでいる。有機ナノチューブは内部に均質な中空ナノ空間、両端に開口部を有するため、種々のゲスト化合物を包み込んで保護し、必要に応じてこれを放出するナノカプセルとしての利用が期待されている。そこでこれら材料開発の基盤となる形態・サイズ制御技術、内包するナノ空間の科学の確立、用途に応じた合目的な表面修飾や複合化技術、ゲスト放出制御技術、大量製造技術等の開発を行っている。本年度は、有機ナノチューブの薬剤徐放コンタクトレンズへの応用を目指し、内表面に正あるいは負電荷をもつ有機ナノチューブを種々のゲル材料と複合化した。そして得られた複合材料が物理的強度、光透過性、薬物徐放性に優れていることを明かにした。

研究テーマ：テーマ題目1

#### [テーマ題目1]ソフトマテリアルを基にした省エネ型機能性部材の開発

[研究代表者] 山口 智彦（研究部門長）

[研究担当者] 山口 智彦、池上 敬一、水谷 亘、大園 拓哉、吉田 勝、秋山 陽久、木原 秀元、松澤 洋子、山本 貴広、井上 貴仁、谷田部 哲夫、土原 健治、杉山 順一、有村 隆志、岩坪 隆、岸 良一、川西 祐司、西村 聡、原 雄介、奥本 肇、宮前 孝行、米谷 慎、福田 順一、森田 裕史、武仲 能子、長畑 律子、増田 光俊、青柳 将、亀田 直弘、小木曾 真樹、丁 武孝、南川 博之、寺岡 啓  
(常勤職員33名)

[研究内容]

光相転移を用いた接着剤に関しては、合成経路を改良することで量産が可能となり試薬メーカーから販売されることになった。コーティング剤に関しては、汎用ポリマー、液晶、光応答性分子を複合化させることで、光によりゴム-ガラス転移を示す薄膜が得られた。光記録材料として用いてきたアントラセンから可逆接着剤にも使用できる新規物質を開発した。光応答性分散剤を用いたナノ炭素材料の微細加工技術に関しては、カーボンナノチューブの高濃度分散液を作製することが可能となり、透明電極などの実用化を目指して企業と共同研究契約を締結した。

ソフトアクチュエータ部材はケモメカニカルゲルのマイクロポンプを実現し、金属層導入導電性ゲルの電場変形や圧縮による抵抗変化等を見出した。炭酸カルシウム系軟骨型部材を開発し、軽量化に成功した。ソフト構造界面の新機能開拓と応用では、ソフト界面の構造可変による摩擦力の制御を可能にした。異方性媒体やナノ粒子の配列化とデバイス応用では、異方的相互作用での配列が期待される異方性ナノ粒子の合成、液晶コロイド分散液の調整と電気光学効果評価に成功した。重水素標識発光材料によるフルカラー発光素子の耐光性は、10%強向上した。

溶媒蒸発に伴い自己組織的に形成される液晶性ドナー/フラーレン系アクセプタ界面の構造形成プロセスの計算シミュレーションを行った。その結果、フラーレン系アクセプタが液晶性ドナー共役面の直上に配置する特徴的な構造が得られ、分離電荷取り出し時にキャリアトラップが生じる可能性が示唆された。この知見に基づいて、本構造の抑制が当該有機薄膜太陽電池の特性向上につながるであろうという材料設計指針を提案した。

有機ナノチューブの医療用ナノカプセルへの用途開発に資する技術として、チューブ外表面へのポリエチレングリコール鎖の導入に成功した。これにより生理条件での分散安定性や生体内での血中循環特性も大幅に向上することが分かった。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 光相転移、光応答性材料、コーティング、液晶、光記録、カーボンナノチューブ、ゲル、アクチュエータ、導電ゲル、コロイド、電気光学効果、表示デバイス、重水素、フラーレン、有機薄膜太陽電池、シミュレーション、有機ナノチューブ

#### [テーマ題目2]高付加価値ナノ粒子製造とその応用技術の開発

[研究代表者] 川本 徹（グリーンテクノロジー研究グループ）

[研究担当者] 佐々木 毅、川本 徹、田中 寿、久保 利隆、小平 哲也、阪東 恭子、堀内 伸、宮脇 淳、陶 究、

伯田 幸也、依田 智、竹林 良浩、  
 古屋 武、川口 建二、古賀 健司、  
 清水 禎樹、Pyatenko Alexander、  
 高橋 颯、石川 善恵、中村 真紀、  
 南 公隆、Parajuli Durga、中村 徹  
 (常勤職員23名)

#### 〔研究内容〕

セシウム除染技術については以下の成果を得た。1) プルシアンブルー類似体の粒状化技術として、マイクロカプセル技術とフリーズドライ法を組み合わせ、 $\mu\text{m}$  スケールでの多孔質化を実現し、従来比の約4-6倍の吸着速度を達成した。2) 農業用ため池 (2,800 $\text{m}^2$ ) からの放射性物質汚染拡散防止対策に取り組み、池内を攪拌後の濁水除去により、底質に含まれる放射性物質を回収、固液分離、排水処理後に水を放流する技術を確立した。排水処理には、溶存態セシウムを除去するために、プルシアンブルー担持不織布カラムを利用した。本技術は農林水産省の対策マニュアルに具体例として掲載された。また、マイクロミキサーによるプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の連続合成を実現するとともに、粒径及び組成の制御方法を一部材料に対し確立した。これらの制御された材料を用い、透明-青色変化素子について10万回超のサイクル耐性を実現した。

液中レーザー溶融法により、酸化チタンと炭酸マグネシウムの混合分散液から強誘電体材料であるチタン酸マグネシウム球状粒子を、気相中熱酸化法によって、触媒利用が期待される単結晶の金-酸化ニッケルヘテロ接合ナノ粒子を合成することに成功した。

マイクロミキサーおよびマイクロリアクターを有する流通式の装置を用い、モデル化合物として2種の MOF ナノ粒子を連続合成するプロセスを検討した。両者について市販品を大きく下回る100nm 以下の粒子径でかつ狭い粒径分布を持つ MOF ナノ粒子を連続的に合成することができた。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ナノ粒子、プルシアンブルー、セシウム、吸着、除染、色変化素子、レーザー溶融、強誘電体、マイクロミキサー、マイクロリアクター、MOF

#### 〔テーマ題目3〕 ナノ構造を利用した革新的デバイス材料の開発

〔研究代表者〕 池上 敬一 (副研究部門長)

〔研究担当者〕 石田 敬雄、重藤 知夫、永宗 靖、  
 清水 哲夫、王 学論、内藤 泰久、  
 向田 雅一、永瀬 成範、桐原 和夫、  
 衛 慶碩、堀内 伸、板谷 太郎  
 (常勤職員12名)

#### 〔研究内容〕

ナノギャップ電極によるメモリ動作に関しては、既存

の不揮発性メモリを遥かに凌駕する600 $^{\circ}\text{C}$ でのスイッチング動作および情報保持を確認した。AlGaInP 系発光ダイオードについては、リッジ構造と比較して微小円錐台構造はさらに強いエバネッセント光の結合効果が期待できることから、AlGaInP 微小円錐台の作製技術の開発に取り組み、素子の作製に成功した。また、結晶成長条件の最適化により LED 素子内の結晶品位を内部量子効率として20%から40%へと向上することに成功した。上記技術を取り入れた LED の外部量子効率および光取出し効率はいずれも薄膜高出力型赤色 LED として世界最高となる51%および60~70% (150K において) に、それぞれ達した。

有機薄膜型太陽電池デバイスを高い変換効率で動作させるため、STEM-EDX 装置により種々の条件における相分離構造と組成の定量解析を行った。特に本年度は、これらを3次元的に元素マッピングすることにより、物性に影響するナノレベルの膜中状態を実空間上で実像化し、有機層の挙動解明を通して高変換効率化への知見を得た。また新規低次元材料を一原子層毎に剥離する制御技術の確立のため、産総研独自の技術である吸引型プラズマエッチングによるエッチング制御試験を行い、膜の剥離が可能な条件を見つけるに至った。

導電性高分子を用いた熱電素子において電気伝導性、ゼーベック係数、熱伝導率の構造異方性を考慮した精度の高い計測法を確立することに成功した。金属錯体分子膜に関してはルテニウム錯体分子膜の形成法による角度の制御と電子移動能制御の要因を解明した。

インビジブルビジョンでは、赤外線カラー暗視カメラ用撮像素子を試作しカメラの小型化を実現、併せて赤外線照射機を改良し、50m 先の被写体のカラー暗視撮影に成功した。新規ナノ量子構造では、窒化物半導体を用いた共鳴トンネル素子の劣化メカニズムを解明し、共鳴トンネルとサブバンド間遷移を用いた超高速不揮発メモリ実現の可能性を示した。ナノ評価技術では、走査型電子顕微鏡に組み入れた独自ナノマニピュレータを用いて金属同士の機械的接触による構造変化と電気抵抗の関係について新しい知見を得た。近接場光評価技術では、デュアルプローブ計測と数値計算を進めるとともに、凍結乾燥試料作製法の開発に着手し、低密度ながら非凝集の粒子分散試料の作成に成功した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ナノギャップ、LED、光取出し、エバネッセント光、太陽電池、STEM-EDX、プラズマエッチング、導電性高分子、熱電、ルテニウム錯体、インビジブルビジョン、暗視、共鳴トンネル素子、不揮発メモリ、走査型電子顕微鏡、近接場光

#### 〔テーマ題目4〕 ナノチューブ系材料の創製とその実用化及び産業化技術の開発

【研究代表者】片浦 弘道（首席研究員）

【研究担当者】片浦 弘道、田中 丈士、藤井 俊治郎、  
平野 篤（常勤職員4名）

【研究内容】

ゲルを用いた単層 CNT の高精度化や、デバイス応用、CNT 安全性の観点から重要となる生体分子との相互作用に関する知見を得るための研究を中心に行った。単一構造半導体型単層 CNT の高精度分離技術開発において、これまでに開発した過剰試料投入法の改良により、C<sub>60</sub> フラーレンの直径よりも細い (5,4) 型 CNT の分離に世界で初めて成功した。また、新たに開発した混合界面活性剤を用いたゲルへの選択吸着法と、段階溶出法を組み合わせる事により、単一構造 CNT を従来法よりも桁違いに高い効率で分離する技術を開発した。これにより、小型の装置で 1 mg/day のスループットで (9,4) 型および (10,3) 型 CNT の単一構造分離が可能となった。特に、(9,4) 型 CNT では、可視域に CNT 固有の吸収構造を持たないため、目視による着色がほとんど無い invisible CNT となり、透明トランジスタ材料として有望である。一方、過剰投入法と段階溶出法を組み合わせる事で、8種類の超高純度単一構造 CNT 分離に成功した。同手法で鏡像体（右手と左手のように互いに重ね合わせる事の出来ない関係）の高純度分離にも成功した。観測された円二色性スペクトルは、既報値の2倍以上となり、世界最高純度を達成した事が確認された。さらに、これらの単一構造 CNT で半導体純度99%を達成した。半導体型・金属型大量分離技術においては、金属型と半導体型を分離すると同時に、長さも分離する技術を開発し、産総研で合成された高品質 e-DIPS 単層 CNT から得られた長尺の半導体型 CNT を用いた塗布型薄膜トランジスタにおいて、on/off 比が10<sup>5</sup>以上で、移動度が100cm<sup>2</sup>/Vsを超えるポリシリコンに匹敵する特性のデバイスを得ることに成功した。また、半導体型を溶出する際に用いる界面活性剤を従来の胆汁酸塩からポリマー型非イオン界面活性剤に変更する事により、半導体純度を大幅に向上させる手法の開発に成功した。生体分子との相互作用を調べるためのモデル系として、ホモアミノ酸のポリマーとオリゴマーを用いた実験を行った。鎖長の異なるポリアルギニンとポリリジンを用いた単層 CNT の分散の結果から、アルギニン側鎖のグアニジウム基を介した、疎水性相互作用、ファンデルワールス相互作用、 $\pi$ - $\pi$ 相互作用などが単層 CNT との相互作用に重要な役割を果たしていることを見出した。コンビナトリアルケミストリーにより得られたポリペプチドを用いることで、非常に低濃度の分散剤で単層 CNT を分散することに成功した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】カーボンナノチューブ、界面活性剤、ゲル、鏡像体、分離技術、薄膜トランジスタ、構造分離、分散、コンビナトリアル

ケミストリー、ポリペプチド

【テーマ題目5】材料・デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発

【研究代表者】浅井 美博（副研究部門長）

【研究担当者】浅井 美博、長嶋 雲兵、大谷 実、石橋 章司、宮本 良之、米谷 慎、西尾 憲吾、橋本 保、宮崎 剛英、織田 望、三宅 隆、小川 浩、折田 秀夫、崔 隆基、手塚 明則、森下 徹也、石田 豊和、内丸 忠文、都築 誠二、三浦 俊明、土田 英二、Fedorov Dmitri、中村 恒夫、福田 順一、森田 裕史、下位 幸弘、関 和彦、中西 毅  
(常勤職員28名)

【研究内容】

新規希土類磁石化合物 NdFe<sub>12</sub>N の磁化・磁気異方性について、構造と希土類イオンの影響を明らかとした。また、最局在ワニエ軌道により有機強誘電体 TTF-CA の特異な自発分極発現機構を解明した。単一成分有機超伝導体 [Ni(hfdt)<sub>2</sub>] では、超伝導の発現する高圧下での電子状態を求め、三方晶テルルにおいては、特異なスピン構造と圧力下で空間反転対称性の破れたワイル半金属になる可能性を見出した。さらに GaN の格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定した。

電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発し、有効遮蔽媒質法と組み合わせることにより、電極を標準電極電位にコントロールしたシミュレーションを行った。高分子電解質膜内のプロトン伝導に関し、化学構造とプロトン伝導との相関をシミュレーションから明らかにし、新しい化学構造の提案を行った。燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関しては、電解質膜のどの部分が劣化しやすいのかをシミュレーション技術を用いて特定するとともに、劣化しにくい構造の提案を行った。

電荷、熱輸送、エネルギー交換プロセスのモデリングとシミュレーション適用により、熱電素子や有機、無機材料の不揮発性メモリの提案と実証に成功した。第一原理分子動力学計算に向けた時間積分法を開発した。第一原理分子動力学法によりアモルファス Li<sub>2</sub>O の構造が HfO<sub>2</sub>等と同様の2重ランダム充填構造をとることを明らかにした。ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体の生成モデルを構築した。天然型/変異型酵素の反応解析を行い、基底/遷移状態の安定性を巧みに制御する事で、タンパク質が酵素活性を持つ事を確認した。

磁気メモリー低電圧動作のため、磁性材料と MgO との中間にグラフェンを入れる構造を提案し特許出願を行った。電子密度汎関数強束縛と FMO を組み合わせ、巨

大分子の計算を分子サイズのほぼ1.2乗の計算負荷で数値計算できることを実証した。絶縁物誘電体において簡便なシェルモデルによる誘電率の計算手法を開発しKNbO<sub>3</sub>やBaTiO<sub>3</sub>にて誘電率を再現した。近年提案されているリチウムと酸素よりなるダイヤモンド表面被覆構造が、安定で高効率な電界放出を達成できることを第一原理計算より示した。

多環芳香族分子からなる有機固体について、結晶構造予測法を適用しその有用性を検討した。有機薄膜の伝導特性について、電気伝導度と膜厚が同時に計測できることを理論的に示した。また、溶液からの有機分子の界面吸着については、界面での配向と吸着のダイナミクスをMDシミュレーションと理論により明らかにした。また、リチウムイオンとアニオンとの相互作用の強さがリチウム溶媒和イオン液体中のリチウム-グライム錯体の安定性を支配していることを明らかにし、リチウムイオン電池の電解質に用いる溶媒和イオン液体の設計指針の確立に寄与した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 第一原理計算、希土類磁石、強誘電体、格子欠陥、分子動力学シミュレーション、プロトン伝導、燃料電池、熱電変換、不揮発メモリ、ダイヤモンド、酵素、磁気メモリ、密度汎関数、FMO、電界放出、芳香族分子、リチウムイオン電池

【テーマ題目6】 幹細胞等を利用した再生医療に資する基盤技術・標準化技術の開発

【研究代表者】 水谷 亘（総括研究主幹）

【研究担当者】 水谷 亘、植村 壽公、大矢根 綾子、横山 憲二、平塚 淳典、鶴沢 浩隆、中村 真紀（常勤職員7名）

【研究内容】

間葉系幹細胞の分離と回収方法の検討を進め、分離技術の精度の向上と操作の自動化を行った。医療用輸液を用いてリン酸カルシウムナノコンポジット層を作製する溶液濃度、反応時間等について検討し、細胞への遺伝子導入効率を向上させるコンポジット設計指針を得た。iPS細胞に関して、未分化マーカー発現、核型解析、三胚葉への分化試験を用いたバリデーションの検討手法を確立した。未分化の間葉系幹細胞や分化した骨細胞のタンパク質をウェスタンブロッティングなどにより分離、検出し、細胞分別マーカーとしての利便性を評価した。

耳介軟骨膜由来幹細胞を用いた軟骨再生のための3次元培養法の最適化を行い、力学評価などマルチモーダル測定などを駆使し、構築した組織の評価を試みた。その結果、3次元培養法の最適化により、5mm角程度の軟骨組織を患者由来耳介軟骨膜細胞から構築し力学測定等からヒト耳介軟骨と同程度の力学特性をもった組織を得ることに成功した。

過飽和溶液中に設置された材料基材の表面にパルスレーザー光を非集光照射することで、固・液・光の界面におけるプラズマ表面処理とリン酸カルシウム形成反応を単一工程内で迅速に進める技術（過飽和液相レーザープラズマ技術）を開発することを目指した。その結果、レーザー光吸収性を有する高分子および金属材料については、レーザープラズマによる表面処理効果（表面ぬれ性の向上、表面粗さ増大、表面酸化）、ならびに局所加温効果（物質移動速度の増加、過飽和度の上昇）が、リン酸カルシウム形成に寄与していることを明らかにした。また、骨形成促進効果の期待される成分として、生体微量元素である亜鉛、ならびに生理活性タンパク質であるフィブロネクチンを過飽和溶液中に添加することで、これらの成分をリン酸カルシウムと共に基材上に固定化できることも明らかにした。

生物毒素吸着材の開発においては、毒素認識素子である合成糖誘導体をシリカモノリス担体に固定化する必要がある。今回検討したシリカモノリス担体表面にはカルボン酸が存在するので、①還元末端側にアミノ基を有する糖誘導体を用い、従来から知られている NHS ケミストリー法による糖固定化を検討した。また、② 1,3-Dipolar cycloaddition による糖固定化について検討するため、カルボン酸修飾モノリスを、いったん、アルキン修飾したモノリスに変換し、アジド糖誘導体の導入を計画した。吸着剤固定相には、カルボン酸修飾小型シリカモノリス担体（φ2.8 mm×t1 mm）を用いた。①による固定化では、縮合剤の存在下、ガラクトース、ラクトース誘導体をマイクロ波照射して固定化し、糖修飾モノリスを作製した。②では、カルボン酸修飾モノリスに対してアルキン基の導入を検討した。

カーボンナノホーン（CNH）を経口投与薬物送達に用いることを目的とし、ポリエチレングリコール（PEG）修飾を施した CNH の細胞毒性評価を行った。CNH の分散剤として報告されている phospholipid-PEG (PL-PEG) を用いて、PEG 修飾を施した CNH を作製した。その際、様々な重量比で PLPEG と CNH を混合した。これを、マウスマクロファージ様細胞である RAW264.7 に添加し、細胞毒性を評価した。その結果、PLPEG / CNH = 0.5 の際に最も毒性が低く、PLPEG がそれより少なくても、多くても毒性が高まることが明らかとなった。現在、細胞内取り込み量などの解析により、その理由を解明中である。また同様の目的のため、キトサン修飾を施した CNH を作製した。キトサンは、甲殻類の外骨格に含まれるキチンを原料として得られる多糖類であり、生体適合性を備えた高分子生体材料である。また、大腸の腸内細菌により特異的に分解する。このキトサンを CNH に修飾することで、大腸における薬物送達効率の向上が期待される。CNH へのキトサン修飾法を検討した結果、キトサンの溶解液に CNH を混合し、物理的に吸着させることで、効率良く CNH にキトサン修飾を施すことが

できることを明らかにした。

民間企業との共同研究としての血糖値センサーの製品化に関する研究を行った。特に血糖値センサーで用いる酵素について、当グループで好熱性糸状菌から発見したフラビン型グルコース脱水素酵素が極めて優れた特性を有することを示した。同様に、民間企業との共同研究として、健康マーカー測定法および食品・産業用バイオセンサーの開発を行った。ナノバイオ技術に関する統合的研究の中で、骨芽細胞マーカーとなるタンパク質をハイスループットで高感度に解析できる分離、検出法の開発を行った。ブロッキングを行った5糖誘導体固定化チップを用い、モデル毒素を検出したところ、ブロッキングをしない場合と比べて検出レスポンスが向上することを見出した。

【分野名】ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】再生医療、幹細胞、ナノコンポジット、細胞分別マーカー、遺伝子導入、三次元培養、レーザープラズマ、リン酸カルシウム、生物毒素、吸着剤、薬物送達、カーボンナノホーン、ポリエチレングリコール、細胞毒性、キトサン、バイオセンサー

【テーマ題目】先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法の開発

【研究代表者】佐々木 毅（ナノシステム研究部門付）

【研究担当者】佐々木 毅、片浦 弘道、阿部 修治、藤田 克英、川口 建二、古賀 健司、清水 禎樹、田中 丈士、藤井 俊治郎、平野 篤（常勤職員10名、他2名）

【研究内容】

近年、ナノ材料は様々な省エネルギー分野で利用が進められてきており、低炭素社会実現のキーテクノロジーと期待されているが、一方で、その多様なナノ材料の有害性評価が従来の手法では対応しきれない懸念があり、新たな効率的・合理的なナノ材料の安全性評価技術の確立が求められている。本研究開発は、多様なナノ材料を物理化学的な観点から同等性の判断基準を構築することで、有害性評価の効率化・合理化を試みるものである。

本研究課題を遂行するために、動物試験による有害性評価を担当する外部機関へ、市販の二酸化ケイ素、酸化ニッケル、二酸化チタンや酸化セリウムナノ粒子等に関して、投与器具による影響を避けるために2 $\mu\text{m}$ 以上の粗大凝集二次粒子を含まず、また、投与期間中の安定分散を保つ分散液の調製を行い、連携する外部機関へ二酸化チタン7種、酸化ニッケル4種、二酸化ケイ素9種、酸化セリウム1種の計21種類の試験試料の提供を行った。

また、これらのナノ材料のカテゴリー分けに必要な物理化学特性評価やキャラクタリゼーションを進め、透過

型及び走査型電子顕微鏡観察による一次粒子径分布測定と形状観察、DLS粒子径測定装置による二次粒子径分布測定、BET法による比表面積測定、X線回折による結晶度解析、エネルギー分散型蛍光X線分析による不純物分析などを行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】リスク評価、分散、ナノ粒子、電子顕微鏡、粒子径、比表面積、X線回折



## 5) 計測・計量標準分野 (Metrology and Measurement Science)

### ①【研究統括・副研究統括・研究企画室】 (Director-General・Deputy Director-General Research Planning Office)

研究統括：三木 幸信

副研究統括：八瀬 清志

#### 概要：

研究統括は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

副研究統括は、研究統括の命を受けて、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

### 計測・計量標準分野研究企画室 (Research Planning Office of Metrology and Measurement Science)

所在地：つくば中央第2

人員：5名（4名）

#### 概要：

当室は、産総研組織規程第6条の規定に基づき、計測・計量標準分野における研究の推進に関する業務を行っている。具体的には、第3期中期目標の達成に向けて、産総研のミッションの遂行のための戦略を策定し、他独法、産業界、大学等への働きかけと連携の強化、ならびに分野内外の融合研究などの種々の取り組みを促進するため、平成26年度は主に下記6つの計画の下、業務を行った。

- 1) 研究戦略、予算編成等に係る方針の企画及び立案並びに総合調整
- 2) 分野プロジェクトの企画、立案及び総合調整
- 3) 分野間連携推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整
- 4) 関係団体等との調整
- 5) 研究統括及び副研究統括が行う業務の支援
- 6) 研究分野における研究の推進に関する諸業務の遂行

1)については、研究分野における研究の推進に係る研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行った。また、第4期中長期期間への移行に向け、当研究分野の新組織・人員構成、予算の検討の他、新た

な中長期目標・計画ならびに年度計画の策定を関係各部署・機関と調整の上行った。

2)については、研究分野におけるプロジェクトの企画、立案及び総合調整に関する業務を行った。さらに、シーズ発掘、各種連携や融合などへの発展を促進した。また、分野の成果の発信の支援として、重点課題報告会や各種講演会及び展示会などの企画と運営を行った。

3)については、研究分野間の連携の推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行った。

4)については、研究分野における経済産業省その他関係団体等との調整に関する業務を行った。他独法、産業界、大学等への働きかけにより組織的な対話の機会を設け、連携の強化やプロジェクトの共同提案などの発展を支援した。また、「計量・計測システム分野技術戦略マップ2015」の作成に向け、関係する工業会等への説明と意見交換を行った。

5)については、研究統括及び副研究統括が行う業務の支援に関する業務を行った。

6)については、研究分野における研究の推進に関する諸業務を行った。委員会等の事務局、各種発注等の取りまとめなど、分野運営・研究推進に係る諸業務を遂行した。研究ユニットと情報交換を行い、研究ユニットの円滑な運営を支援した。また、ユニット幹部とともに、企業幹部を訪問し、共同研究の推進に努めた。

#### 機構図（2015/3/31現在）

[計測・計量標準分野研究企画室]

研究企画室長 小島 時彦 他

### ②【生産計測技術研究センター】

(Measurement Solution Research Center)

(存続期間：2007.8.1～2015.3.31)

研究センター長：坂本 満

副研究センター長：野中 秀彦

所在地：九州センター

人員：24名（24名）

経費：343,575千円（175,877千円）

#### 概要：

計測技術は、製品開発、生産、市場化、使用、リユース/リサイクル及び廃棄の各局面で利用され、それぞれの評価の基盤となっている。中でも生産局面における計測は、わが国ものづくり産業の競争力の維持・強化に重要な役割を果たしており、その高機能化・高効率化・迅速化などが常に求められている。当研究センターは、産業や社会の広い意味での「生産現場」で

発生する多様な計測課題に対して、産総研内外の様々な技術を高度化・統合し、その成果を計測ソリューションとしてオンタイムで提供することにより、我が国の基幹産業を支える高度な製造産業の競争力の維持・強化と、産業や社会の安全・安心の実現に貢献することを目指している。

これを実現するために、当研究センターでは、生産現場の計測課題を熟知した企業の専門家（マイスターと呼び、マイスターを活用するシステムをマイスター制度と呼ぶ）と連携した課題解決の取り組み（タスクフォース）を推進するとともに、業界や社会に共通的な課題に対してはコンソーシアム型の取り組みを行う。また、これらの課題解決事例を蓄積し、適時情報発信していく。

本研究センターで実施する研究開発は、第2種の基礎研究を中核として第1種の基礎研究を含みつつ製品化研究へ展開される本格研究であり、具体的な課題解決に向けて以下の3項目を主題として取り組む。

#### ① 生産現場計測技術の開発

高品質のものづくりと生産の高効率化に直結する製品検査技術およびプロセス管理技術では、非接触、非破壊、高スループット、可視化などの共通的な諸要件に加え、各製造現場に対応した計測技術の開発が求められている。そこで、これらの現場ニーズに柔軟に対応できる光学的手法を主体に用いて、半導体微小欠陥検査技術など、新規なインライン計測技術の開発に取り組み、検査装置化を進める。

また、とくに半導体デバイスメーカーの生産ラインでは生産効率や品質を低下させる共通課題として、プラズマエッチング装置で発生するパーティクルや異常放電の発生がある。これらを解決するために、生産ラインの課題を再現できるプラズマエッチング装置をオープンイノベーションスペースに設置し、実環境下での計測技術の開発と同時にデバイスメーカー、装置メーカー、素材・周辺機器メーカー等と共同でプラズマ耐性材料や電源技術等の開発に取り組む。このような活動を通して生産ラインの課題を解決する有効なソリューションの実用化研究を進める。

#### ② 測定が困難な条件に適用可能な力学計測技術の開発

内燃機関等の燃焼圧計測や上述のプラズマ異常放電の検知など、過酷環境下での圧力振動計測技術を開発するために、耐熱性圧電体薄膜を用いた新しい広帯域圧力・振動センサに関する研究を行う。このために、実際にセンサを試作し、実証（模擬）試験等により問題を明らかにし、その解決に取り組む。さらに、センサの性能を向上させるために、高性能な圧電特性を示す複合窒化物・酸化物の材料探索や、薄膜のナノレベルでの構造制御技術などにも取り組む。

また、応力発光技術を基盤とした先進計測システムを開発するため、アドバンスド・センシングを中心に、現象の基礎研究からその応用まで一連の研究を行う。「応力発光技術」とは、圧縮、引張り等の機械的外力により発光する応力発光体を中心とする一連の技術であり、応力発光現象の機構解明、材料開発から製造技術、デバイス化技術、システム化技術、そして各種現場計測を始め、環境・エネルギーなどへの利用技術へと大きな拡がりを持っている。応力発光体の大きな特長は、微粒子一つ一つがセンサとして機能することにより、マイクロからマクロまで、空間的なダイナミックレンジにはば制約を受けない点にあり、この特性を活かした各種応力計測システムや異常検出システムの研究開発に力を入れる。

#### ③ 微量・迅速・精密化学計測技術の開発

マイクロ空間化学技術等を用いた微量・迅速・精密化学計測技術を開発し、バイオ・化学・素材関連産業分野におけるソリューションの提供を目指す。具体的には、以下の研究を実施する。

1) ナノ粒子高速開発システムの構築：ソリューション提供のためのナノ粒子高速開発システムの構築を目的とし、用途に応じた分析・計測・解析技術等の検討・開発を行う。

2) 食品加工業の生産現場でのオンサイト計測技術開発：マイクロ流体チップなどを用いて食品成分・遺伝子・各種薬品、あるいは細胞診断を行うデバイスの開発を行う。また、計測に加え、被測定物を測定可能な状態にするための前処理デバイス、ならびに両者を組み合わせたオンサイト計測デバイスを開発し、プロセス制御への応用を図る。当センターの平成26年度の研究開発計画は、以下の通りである。

①-1) シリコンウエハ検査装置については、企業と共同でクリーンルーム等の生産現場で実用機としての最終調整をおこない、量産化ラインへの組み込みを達成する。さらに、検査装置の製品化を意図した開発と本装置を用いた技術普及を進める。また、外観検査技術については、自動車エンジン部材の欠陥検査等、関連の外観検査技術の開発と生産現場への適用を行う。

①-2) 装置部品メーカーとの共同研究により、前年度に引き続き量産用エッチング装置のウエハ静電吸着ステージに内蔵した複数の音響センサの感度を補正する実装技術、音響センサからの信号を大気側に引き出す光ファイバーを使用する光給電方式による配線技術の研究開発と装置試作を行う。また、材料メーカーとの共同研究により、高いプラズマ耐性と導電性を有するセラミックスやコーティング材のユーザーニーズに基づく耐性評価を行い、最適化を進めて製

品の実用化を目指す。

- ②-1) 半導体デバイスのボンディング不良検出に関しては、実機装置にセンサを設置してプロセス情報の収集と解析を行い、本法によるボンディング不良検知技術に目途をつける。また、鋼板製造における溶融金属被覆工程での金属浴中のロールの損耗状態モニタリングにおいては、ラボ試験による状態検知に基づいて、実機による可動部の摩擦摩耗状態モニタリングの可能性実証を行う。多元同時スパッタリング法や化学溶液法、第一原理計算などを用いて、高い耐環境性を示す新しい複化合物圧電体薄膜の探索と材料合成を行う。
- ②-2) 新規の計測デバイス開発を目指して、赤外イメージング可能な近赤外応力発光センサの高効率化を行い、オンサイト生体計測の可能性を検証する。さらに可視応力発光体の用途の拡大に資するレアアースフリーの応力発光体材料の探索を継続し、得られた材料についてはその発光機構解明を進める。高压容器の健全性診断については、前年度に引き続いて異常検出及び応力記録システムの高度化を進め、理論解析と数値計算、及び他の実験手法の結果との比較検証を行い、微小ひずみの検出感度において実用レベルの検出技術を確立する。
- ③ ナノ材料に関してはベンチャーを介し複数のソリューション提供を進め、具体的な移転成果を一件以上を完結させる。卵細胞分別チップならびにマイクロ流路を用いた精子のオンサイト分離技術に関しては、前年度に引き続きデバイスの最適流路設計技術を確立し、最適化設計デバイスによる分別技術の高度化と現場適用を進めるとともに、畜産現場で実用・普及させるためのビジネス展開モデルの検討を行う。食品加工業のオンサイト計測技術開発に関しては、CdSe/ZnS/TiO<sub>2</sub>/PEG においては、食中毒要因菌が産生する毒素蛋白質検出抗体の接合技術を確立し、モデル系でのその検証を進める。さらに前年度に引き続いて蛍光性ナノ粒子用の免疫クロマトグラフィーの最適化用部材の選定を継続し、実証による検証を行う。

外部資金：

経済産業省

エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費

「大口径マルチモード光ファイバ・コネクタ及びその通信性能に関する国際標準化・普及基盤構築」

独立行政法人科学技術振興機構

SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)

「国産データベースの開発 (セラミックス系の汎用データベースおよび物性データベースの開発) / 国産ソフトウェアの開発」

「構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発」

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム  
ハイリスク挑戦タイプ (復興促進型)

「ITO 電極表面修飾方法の確立と光電気化学バイオセンサーチップの開発」

研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム  
フィジビリティスタディステージ検索タイプ

「高分子基材料内部における応力ひずみ同時計測による動的弾性率分布マイクロ断層可視化システム (多機能 OCT) の開発」

公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団

「同時複数組成蒸着膜製造技術による安全・小型・低コスト水素検知センサおよびシステムの製品化」

「電子回路基板の多品種変量生産を実現する常圧加熱水蒸気を用いた高熱効率・均一加熱リフロー装置の開発」

一般財団法人九州産業技術センター

「分散剤を含まない金ナノ粒子分散溶液を用いる金薄膜形成と表面増強ラマン散乱分光分析チップへの応用」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

(助成金)

「製造プロセスの高度化に向けた多様環境対応型 静電気計測技術の開発」

文部科学省

科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「高空間分解能静電気分布モニタリング計測システムの開発」

科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究

「有機応力発光センサの創出」

科学研究費補助金 基盤研究 (A)

「格子・電荷・光結合系の設計と制御によるフォトニクス機能の進化」

科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「透過電頭を用いたナノ蛍光体単一の光学特性評価と粒子構造との関係解明」

科学研究費補助金 若手研究 (B)

「高密度イオン軌道ベクトル制御プラズマによる高速・高アスペクト比エッチングの創成」

「高分子樹脂を用いた圧電発電の高効率化」

「プラズマエッチング中の剥離パーティクル発生メカニズムの解明」

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特

定産業技術研究支援センター

「生体センシング技術を活用した次世代精密家畜個体管理システムの開発」

環境省

環境総合総合推進費補助金

「ホスト分子による希少金属オンサイト分離のためのマイクロリアクターシステムの構築」

発 表：誌上発表48件、口頭発表112件、その他18件

### 光計測ソリューションチーム

(Optical Measurement Solution Team)

研究チーム長：野中 一洋

(九州センター)

概 要：

本研究チームでは、マイスター型連携研究を中心に、半導体・エレクトロニクスをはじめ、自動車、太陽電池、化学・素材等の様々な生産現場から抽出した製品検査、プロセス管理に関わる計測課題に取り組んでいる。光学的・電磁気的手法を用いて、非破壊・高スループット・可視化など、インライン化の共通要件に柔軟に対応できる新規計測技術を開発し、検査装置化を進める。さらに、開発装置や評価方法は標準化していき、産業界へ普及させる。

地域連携活動として、産総研各地域センターや大学、公設研等と連携して、生産計測技術に関する情報発信と企業ニーズの収集・分析、具体的な共同開発 PJ 化などに取り組み、全国的なネットワーク形成を進める。この内、九州地域によりフォーカスした取り組みとして、計測・診断システム研究協議会および地域産技連での各種研究会活動などを推進する。

研究テーマ：テーマ題目1

### プラズマ計測チーム

(Plasma Diagnostics Team)

研究チーム長：上杉 文彦

(九州センター)

概 要：

LSI、FPD などの生産ラインではプラズマプロセスが多用されている。しかしながら、特にプラズマエッチング装置で発生するパーティクルや異常放電が量産安定性を阻害し、製造品質を低下させている。そこで、量産対応のプラズマエッチング装置を用いて生産ラインと同じエッチング条件を実現させた環境下でこれらの課題を再現させ、現象の基礎的な理解を進めてきた。得られた知見に基づくソリューションの提供を行うために、高プラズマ耐性材料、プラズマ計測機器の共同開発を進め、前者については大手デバイスメーカーが採用を決定し、後者については上市し継続的に企

業等が購入している。さら、センサネットワーク社会の到来に対応するため、ミニマル3DIC ファブ開発の一翼を担い、3DIC 製造に不可欠な Si 貫通孔形成用のプラズマエッチング装置の開発を進めている。

また、九州地域の畜産業を支援することを目的として、肥育牛の肉質評価技術について研究している。現在、超音波エコー画像を利用する方法と、生体電気インピーダンスを利用する方法を検討している。前者に関しては、製品化に向けたライセンス契約と販売契約の締結を完了した。後者については、基礎的な評価アルゴリズムを検討し、妥当性を確認した。

研究テーマ：テーマ題目2

### 応力発光技術チーム

(Advanced Integrated Sensing Team)

研究チーム長：徐 超男

(九州センター)

概 要：

圧光計測・診断の基盤技術として、応力発光体の高効率化、プロセッシング、塗料化、薄膜化、ハイブリッド化、デバイス化などの基盤的研究の推進と共に、応力発光体の規格化や、標準化、発光特性のデータベース化を行い、応力発光技術の普及、利用拡大を図る。具体的に以下の技術を行う。

高効率化を目指した短波長応力発光体の開発については、発光波長は青色、さらに紫外領域まで発光する応力発光体を開発し、発光効率の向上を実現する。また、短波長応力発光体の光エネルギーを化学的に利用するシステムの構築を検討し、応力履歴の記録システムを創出するとともに、光触媒とのハイブリッド化などによる利用拡大を図る。

圧光計測のデバイス化を目指して、オールセラミックス応力発光薄膜の合成技術、数十 nm の応力発光微粒子の製造技術、応力発光体超微粒子の表面処理技術、有機・無機ハイブリッド化技術、コーティング技術を検討し、新規な圧光デバイスを開発する。

応力発光の計測技術については、2次元画像解析、リモート光検出技術、応力発光の定量法を開発し、応力発光計測システム技術の構築を行う。さらに実環境フィールドへの展開の中で、応力モニタリング安全管理ネットワークシステム、および製品設計を支援するための設計支援モデリングシステムの実現を目指す。

応力発光体の規格化や、標準化、発光特性のデータベース化については、応力発光体の発光挙動並びに発光機構の解明と平行して、種々の応力印加形式に対する発光強度の関係をデータベース化すると共に、単一応力発光粒子への極めて微小な負荷応力と発光強度との関係を定量的に把握することができる微小応力計測法の開発を行う。これらの結果を元にして、応力発光材料の規格化と応力発光計測の標準化を進め、新規な

自立応答型応力計測技術を確立する。

研究テーマ：テーマ題目3

#### プロセス計測チーム

(Process Measurement Team)

研究グループ長：田原 竜夫

(九州センター)

概要：

複合窒化物圧電体薄膜を検知材料に使用した、高温用アコースティックエミッション (AE) センサおよび燃焼圧センサの試作を行い、それぞれのセンサの基本性能を明らかにし、実証 (模擬) 試験などを通して、実用化に向けた材料選択、構造設計および課題抽出を行う。また、電子顕微鏡や走査型プローブ顕微鏡などを用いた断面や分極分布状態観察などを行い、複合窒化物薄膜の高圧電化メカニズムの解明を行う。更に、二元同時スパッタリング法や化学溶液法によって、高い圧電性を示す複合窒化物・酸化物などの材料探索、ナノレベルでの構造制御技術の研究なども同時に行っていく。

研究テーマ：テーマ題目4

#### 生化学分析ソリューションチーム

(Biochemical Analysis Solutions Team)

研究チーム長：宮崎 真佐也

(九州センター)

概要：

本チームでは、マイクロ流体の持つ高い流体操作性を基盤として、化学産業のみならず、環境、医療、製薬、バイオ関連、食品産業、化成工業等への応用展開に関する検討を行う。具体的には、流体操作性による最少試料化 (微量)、集積化などによるその場計測や化学反応自体の加速による効率的な計測 (迅速)、短い実効拡散距離などの効果を利用した分析 (精密)・計測などを行う。

研究テーマ：テーマ題目5

#### 〔テーマ題目1〕 光学的手法を主体とした製品検査・プロセス管理に関する計測技術の開発

〔研究代表者〕 野中 一洋 (研究チーム長)

〔研究担当者〕 野中 一洋、山田 浩志、古賀 淑哲、菊永 和也、坂田 義太郎、坂井 一文、劉 臨生、蒲原 敏浩、檜枝 龍美、山下 博史、江頭 正浩、筒井 美寿江、平川 智恵子、大久保 玲子  
(常勤職員5名、他8名)

#### 〔研究内容〕

アジア新興国など、海外との競争激化や生産の海外シフトが進んでいる中、我が国製造業の国際競争力を維持・強化させるには、高品質・高信頼なものづくり共に、

生産性の向上が喫緊の課題となっている。

当研究チームでは、マイスター型連携研究を中心に、半導体・エレクトロニクスをはじめ、自動車、化学・素材等の様々な生産現場から抽出した製品検査、プロセス管理、および現場メンテナンスに関わる計測課題に取り組む。現場に潜む業界共通の基本的かつ波及効果の大きい課題を抽出・分析し、非破壊・非接触、高スループット、可視化など、現場計測の共通要件に柔軟に対応できる光学的・電磁気的手法、もしくは放射線を用いた新規計測技術を開発し、プロトタイプ検査装置開発、水平展開、及び標準化などとして、我が国産業界全体へ向けたインパクトのある研究成果の発信を目指す。

平成26年度の進捗状況：

#### ①マイスター型連携研究課題

マイスター企業2社から提案された課題について、装置実用化、検査法の標準化・規格化に取り組んだ。

半導体生産計測課題の内、化学的機械的研磨 (CMP) 処理後のシリコンウエハ表面欠陥検査装置については、LSI 量産メーカーの工場クリーンルーム内において CMP モニタリング装置としての実証試験に取り組んだ。実用機としての測定再現率の向上を中心に検討を行い、量産適用に向けた課題等を整理した。これと並行して、国内検査機器メーカーと共同で新規光学系を適用した製品プロトタイプ機の開発に取り組んだ。さらに、本検査技術の新規素材への適用可能性について企業と共同で取り組んだ。

プリント基板生産計測課題の内、めっき外観検査については、検査ニーズの大きい銅めっきをはじめ、種々のめっき表面に対応した新たな光学系を持つ検査装置を開発した。本検査法の標準化については、関連の学会および工業会と連携して国際標準化 (IEC) 会議での新規紹介を行った。さらに、電気銅めっき液浴中の1価銅濃度分析については、新たに開発したインジェクション法を用いて、一価銅の生成・蓄積プロセスに関して呈色反応の反応初期過程のより精密な分析を行い、企業と共同で高精度3次元めっきプロセスへの応用に取り組んだ。

静電気の可視化計測のため、集束超音波を用いた高速な静電気計測技術および多点電界計測を用いた高空間分解能な静電気分布計測技術を開発した。また、プラスチック成形品の搬送工程において静電気センサを開発した。

簡易的な X 線画像記録方法として、産総研オリジナル材料である無機フォトクロミック材料を利用した方法を提案している。本年度は、実験室系 X 線源を用いて USB デバイスの透過 X 線画像が記録出来ることを実証した。また着色・脱色の繰り返し応答性、着色持続性、脱色の温度依存性などを評価した。さらに、着色量による X 線照射量の定量化の検討を行った。以上の評価・検討結果をまとめ、無機フォトクロミックを利用した X 線記録技術として特許出願を行った。

## ②地域連携課題

産総研コンソーシアム計測診断システム研究協議会インスペクション技術研究会を長崎県工業技術センターと共同で開催し、競争力のあるものづくり技術とそれを支える検査技術、およびグローバル化と国際標準化について、地元企業等へ向けた情報発信及び意見交換等を行った。企業との連携としては、サポイン事業に提案・採択され、具体的な共同開発に着手した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】マイスター、計測技術、生産現場、CMP、微小欠陥、外観検査、標準化・規格化、めっき、静電気、無機フォトリソミック、可視化

## 【テーマ題目2】プラズマプロセスに関連する計測技術の研究開発

【研究代表者】上杉 文彦（プラズマ計測チーム）

【研究担当者】上杉 文彦、福田 修、笠嶋 悠司、本村 大成、鍋岡 奈津子（常勤職員4名、他1名）

## 【研究内容】

LSIの生産ではコストを抑えつつ品質を高めることが求められている。中でも車載用LSIは不良個数ゼロという高品質が求められる。不良発生の大きな要因は、装置内壁部材の化学的腐食や内壁に付着した反応生成物の剥離によるパーティクル発生、および内壁の帯電に起因する異常放電であり、プラズマエッチング工程において多く発生する。これらの課題を解決するために、オープンインベションスペースに設置した量産用プラズマエッチング装置を用いて、装置内壁部材の開発を材料メーカーとの共同で、異常放電検出機能を有するウエハステージの開発を装置部品メーカーと共同で、また量産用プラズマ処理装置向けインピーダンス計測機器を計測器メーカーと共同で、材料、部品、計測の観点から多面的に取り組んだ。

装置内壁用部材の開発では、材料メーカーと共同でレアメタルを使用しない導電性高プラズマ耐性材料の開発を行った。標準的に使用されている酸化アルミニウム( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )よりもプラズマ損耗量の小さな酸化イットリウム( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )と同等の耐性を有し抵抗率が通常の $10^{14} \Omega \text{cm}$ に比べて $10^7 \Omega \text{cm}$ ほどの小さな材料である。さらに資源供給の観点から新規なこうプラズマ耐性材料の開発も進めた。これを大手デバイスメーカーにサンプル提供し、生産ラインで最終評価を行った結果、採用が決定された。

プラズマエッチング用の異常放電検出は重要な技術であることが知られている。既に、放電エネルギー $50 \mu\text{J}$ の微小な異常放電を検出するのに有効なアルミナナイトライド(AIN)からなる音響センサを開発しており、ウエハやその近傍での異常放電の検出を実証している。装置

メーカーと共同で、半導体ウエハのデバイス構造に起因した異常放電のその場検出の実証に向け、従来よりも高感度な薄型AEセンサの試作及び量産用エッチング装置への実装を実施した。装置メーカーから提供されたTEG (Test Element Droup) ウエハを用いた異常放電検出に取り組み、検出可能性を示唆する結果を得た。

量産用プラズマ処理装置に容易に取り付けることができるインピーダンス計測機器の開発では、高周波通信分野で培われてきた電磁波計測技術を用いてプラズマインピーダンス計測機器の開発を行った。量産用プラズマエッチング装置に装着し、装置異常によるインピーダンス変化を高感度で検出できることを実証した。特に企業での使用実績が継続し実績も向上している。

今後到来が予測されるセンサネットワーク社会においては、機器の状況をモニタするためのセンサと通信用のデバイスからなる3DICが必要になると考えられる。さらにこの3DICは多品種になり、生産する上では多品種少量生産が必要になると考えられる。この生産に適したミニマル3DICファブ開発の一翼を担い、3DIC製造に不可欠なSi貫通孔形成用のプラズマエッチング装置の開発を進めている。これまでに小型高密度プラズマ源の開発を行い、提案する装置設計に従ったエッチング速度が得られることを実証した。今後、ミニマル規格の筐体に収まるエッチング装置の開発を進めていく。

また、地域連携拠点として、九州地域における重要な産業の1つである畜産を支援することを目的に、肥育段階にある生牛の肉質を評価する技術について、研究を行った。肉質の評価基準はリブローズ部位における脂肪交雑値(BMS: Beef Marbling Standard)とし、脂肪の量や分布に応じた12段階に分類することを目標とした。通常、畜産農家では30ヶ月程度の期間を要して牛を飼育し、出荷するが、屠殺されるまで脂肪交雑値を知ることができない。出荷額は脂肪交雑値を大きく反映するため、すなわち、農家は出荷額の見込みが立たない状況で30ヶ月の飼育をすることになる。もし肥育期間中に、脂肪交雑値を知ることができれば、飼育方法や出荷時期、出荷先の調節など、経営計画に資する有益な情報となることは間違いない。

肥育中に脂肪交雑値を評価するための方法として2つのアプローチを検討している。1つは、超音波エコー画像を利用する方法である。この方法は非侵襲的にリブローズ芯部分をイメージングし観察することができる。2つ目は生体電気インピーダンスを計測し、脂肪交雑値を推定する方法である。この方法は計測値にリブローズ周囲の脂肪交雑の影響を受けるものの、計測システムを軽便に構成することが可能であり、将来の普及が見込める。

超音波エコー画像を利用した脂肪交雑の評価に関しては、エコー画像のエクスチャー特徴量を抽出し、ニューラルネットでパターン認識するアルゴリズムをこれまでに確立し、推定精度の検証を実施してきた。製品化に向

けて、アルゴリズムのソフトウェア化のライセンス契約、ソフトウェアの販売会社との販売契約の締結を完了した。

生体電気インピーダンスに基づく脂肪交雑値の評価についても、これまでに50頭程度の肥育牛を対象に、データ収集と基礎的な評価アルゴリズムの検討を開始している。既に生体電気インピーダンスから推定した細胞内抵抗と BMS の間に有意な相関を確認しており、今後も引き続き精度の向上を目指したいと考えている。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕プラズマ、エッチング、パーティクル、異常放電、セラミックス、音響センサ、ミニマル、3DIC、Si 貫通孔、インピーダンス、畜産業、脂肪交雑値、超音波エコー、ニューラルネット

#### 〔テーマ題目3〕応力発光技術に関する研究

〔研究代表者〕徐 超男（応力発光技術チーム）

〔研究担当者〕徐 超男、寺崎 正、藤尾 侑輝、川崎 悦子、久保 正義、古澤 フクミ、末成 幸二、河原 弘美、野上 有美、佐野 しのぶ、津山 美紀、有本 里美（常勤職員3名、他9名）

#### 〔研究内容〕

本研究では、ニーズの詳細な調査とシーズのマッチング精査を基に課題設定を行い、個別課題から抽出された共通的な課題として、外部の評価によって多数の提案から厳正に選抜された課題を中核課題とし、センシング技術の高度化からシステム化技術の高度化に至る新しい計測技術開発を、材料技術と情報技術の緊密な連携の下に遂行するものである。材料技術では、応力発光現象の機構解明など、基礎・基盤的な技術開発を行い、応力発光センサ素子の特性向上とデバイス化を経て、リアルタイム応力異常検出システムや応力履歴記録システムなどの各種応力センシングデバイスを構築する。各種応力センシングデバイスの機能の最適化を行い、デバイススペースでの評価によって応力発光センシングのデータベースへ向けたデータ蓄積を行う。情報技術では、構造体のセンシングシステム構築に向けたセンシングデバイス・ノードの開発、適用構造体の挙動解析、適応型信号処理の高機能化等によって基盤技術を構築し、センシングノードの高機能化と多目的化、センサネットワークの駆動ソフトウェア開発を行い、構成したシステムのパフォーマンス評価とデータ蓄積を行う。

本年度は、生体イメージング可能な応力発光センサの開発では、生体透過可能な近赤外センサの高感度化を進め、新規 SSO 系を見出した。また、高次構造制御によりオンサイト異常検出に有用な微小ひずみの検出感度向上を達成した。さらに、高压容器の健全性診断のためのセンサとシステムの製品化体制を構築し、連携プロジェ

クトを立ち上げた。内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）では、「構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発」が採択され、産学官連携による実証試験に着手した。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕応力発光、可視化、センシング、健全性診断

#### 〔テーマ題目4〕圧電体薄膜を用いた過酷環境下での圧力振動計測技術の開発

〔研究代表者〕田原 竜夫（プロセス計測チーム）

〔研究担当者〕田原 竜夫、岸 和司、長瀬 智美、上原 雅人、石田 秀一、上野 多鶴子、松田 修、土渕 香織（常勤職員5名、他3名）

#### 〔研究内容〕

本研究では、窒化アルミニウムや酸化亜鉛などの圧電体薄膜をセンサの検知材料に用い、通常では測定困難な高温や高压下などの過酷環境下における圧力・振動計測技術の研究開発を行っている。これら計測技術が望まれる工場等の製造現場をはじめとする使用環境に適用できるよう、使用する圧力センサや振動センサの構造の最適化、及び検出感度や安定性などの基本性能の評価を行っている。また、多元同時スパッタリング法や化学溶液法（ゾルゲル法）を用いて、耐熱性に優れ、高い圧電性を示す新しい複合化合物圧電体に関する材料探査も行っている。

本年度は、半導体デバイスの製造現場で使用される量産用エッチング装置に新設計のセンサシートを設置して異常放電を検知するための実用化技術について検討し、センサシートやケーブル等の電氣的絶縁性改善の効果を確認した。燃焼圧センサに関しては、その動作安定性の向上を図るために構成部品の材質や形状等が検出信号ドリフト量に与える影響を調査した。検出素子周辺部品には高い剛性や伝熱制御が必要であることを明らかにして、これらの点をセンサ設計にフィードバックした。新しい複合窒化物圧電体薄膜材料の探索においては、多元同時スパッタリング法などにより新たに4元窒化物薄膜についても検討し、ScAlN に次ぐ良質な圧電体を得ることに成功した。また、圧電性を向上させるために、ZnO 薄膜への他元素ドーブ効果を調べ、Al と Li の最適ドーブ量を明らかにした。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕圧電体薄膜、圧力センサ、振動センサ、高温高压

#### 〔テーマ題目5〕微量・迅速・精密化学計測技術の開発

〔研究代表者〕宮崎 真佐也（生化学分析ソリューションチーム長）

〔研究担当者〕宮崎 真佐也、中村 浩之、山下 健一、

松田 直樹、大庭 英樹、岩崎 渉、  
石地 友香、天本 真里子、松浦 和真、  
齋藤 亜弥、中島 達郎、岡部 浩隆、  
中村 志織、龍 美月  
(常勤職員6名、他8名)

**【研究内容】**

南九州一帯は我が国の食肉用肥育牛の一大生産拠点である。しかし、先年の口蹄疫問題で顕在化したように、その生産・肥育プロセスには工学的視点から解決すべき問題も多い。そこで、本チームでは肥育用子牛生産プロセスにおける効率化を図るため、1) 雌雄産み分け用の精子分別デバイスの開発、2) 受精卵・卵子の活性度を判別するための分別デバイスの開発を行った。1) の雌雄産み分け用の精子分別デバイスの開発に関しては、凍結精子の活度による分別技術の畜産現場へのソリューション提供を進めるとともに、雌雄産み分け技術の確立に向けた研究を進めた。また、技術移転ベンチャー設立に向けたタスクフォース事業を立ち上げた。2) の受精卵・卵子の活性度を判別するための分別デバイスに関しては、これまでに開発した密度差分離による高品質の精子分別デバイスの体外受精卵への適用も進めた。また、受胎適期のセンシングに向けたホルモンセンサ開発も進め、黄体形成ホルモン検出が可能なセンサ素子2種に加え、ステロイドホルモンの検出のためのオンサイト型センサの開発に着手した。

また、ナノ材料分野の研究開発プロセスを迅速化・効率化する技術である、当チームが保有していた LED 用蛍光ナノ粒子の生産にソリューションの大手企業への提供も進めた。

その他、食品生産現場でのソリューション提供に向けた課題抽出を進めた。

**【分野名】** 計測・計量標準

**【キーワード】** マイクロ空間化学、微小流体デバイス、細胞分離、ナノ粒子

**③【計測標準研究部門】**

(Metrology Institute of Japan)

(存続期間：2001.4.1～)

研究部門長：千葉 光一

副研究部門長：新井 優、高辻 利之、藤本 俊幸

首席研究員：山田 善郎、藤井 賢一

所在地：つくば中央第3、第2、第5、つくば北

人員：240名 (240名)

経費：2,656,191千円 (1,793,461千円)

概要：

計量標準及び法定計量  
第三期の目標：

計量の標準

産業、通商、社会で必要とされる試験、検査や分析の結果に国際同等性を証明する技術的根拠を与え、先端技術開発や産業化の基盤となる計量の標準を整備するとともに、計量法で規定されている法定計量業務を的確に行うことにより、我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化と新規産業の創出の支援、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献する。

- (1) 新たな国家計量標準の整備
- (2) 国家計量標準の高度化
- (3) 法定計量業務の実施と関連する工業標準化の推進
- (4) 国際計量標準への貢献
- (5) 計量の教習と人材の育成

○研究業務の方向付け

- (A) 標準整備計画にもとづき、信頼される計量標準を早期に供給開始する。
- (B) 計量標準及び法定計量の確実かつ継続的な供給体制を構築し的確に運用する。
- (C) 計量標準・法定計量の国際相互承認を進める。
- (D) 計量標準と計測分析技術において世界トップクラスの研究成果を挙げる。

発表：誌上発表412件、口頭発表624件、その他316件

**時間周波数科**

(Metrology Institute of Japan, Time and Frequency Division)

研究科長：保坂 一元

(つくば中央第3)

概要：

時間周波数標準及び波長標準は、基本単位の中でも最も高精度な計量標準であり、他の組立量の決定にも必要とされる計量標準体系の基盤を形成する物理標準である。当該標準の研究・開発及びその産業界への供給・普及を持続・発展させることは、我が国の産業技術や科学技術を高度化する上で極めて重要である。時間周波数科ではこのような目標を達成するために、標準器や関連技術の研究開発、それらに立脚した信頼性並びに利便性の高い標準供給を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

**長さ計測科**

(Metrology Institute of Japan, Lengths and Dimensions Division)

研究科長：高辻 利之

(つくば中央第3)

概要：



長さ・幾何学量の標準供給は、産業・科学技術の要であり、その安定的供給には大きな期待が寄せられている。この分野では、高精度な上位の標準から、現場で用いられる下位の標準まで、幅広い標準が求められる。これらに応えるためには、信頼性の高い長さ測定技術の開発が不可欠である。当科では、産業界から求められ、また国際比較などで求められている長さや幾何学量に関して標準の確立とそれらの供給体制の整備を行った。民間との連携によって、階層構造に基づく我が国のトレーサビリティ体系を構築している。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5、テーマ題目6

### 力学計測科

(Metrology Institute of Japan, Mechanical Metrology Division)

研究科長：藤井 賢一

(つくば中央第3)

#### 概要：

力学計測科では、質量、力、トルク、重力加速度、圧力、真空、リークなどの広範囲な物理量について標準から現場計測に至るまでのトレーサビリティの道筋を確保し、また取引証明に使われる質量計量器の信頼性の確保に関する業務を果たすことを主なミッションとする。質量（分銅の校正）、質量計、力（力計の校正）、圧力（圧力標準器の校正）、圧力計、トルクメータ・トルクレンチ、真空計、標準リーク、分圧計などについてのトレーサビリティが JCSS 校事業者や産業界でも確保されるよう校正技術や技術基準の開発を行っている。また、非自動はかり及び質量計用ロードセルの性能試験については品質管理体制を整備し、新規の大容量ロードセルを含む OIML-MAA に則った試験サービスを実施している。研究開発については、キログラムの新しい定義を実現するための計測技術の開発、小容量トルク標準機の開発、グリーン・イノベーションに貢献する気体高圧力標準の開発、標準コンダクタンスエレメントを用いた定量ガス流量導入器の製品化、組立量としてのリーク標準の整備などに貢献した。特にキログラムの定義改定についてはアボガドロ国際プロジェクト（IAC）を海外の計量標準研究機関と協力して推進し、次世代質量標準として期待されているシリコン球体の高精度質量計測を行うと共に、欧州計量研究計画（EMRP）におけるキログラム再定義の共同研究にも参加した。これらの活動を通じて、プランク定数に基づく新しいキログラムの定義を実現し、SI 基本単位の定義改定と、再定義後の質量標準の実現及び高度化を目指した研究を行っている。これらと並行して、電圧天びんによる微小質量計測技術の開発も進め、従来の技術では測れなかった微小質量を新しい定義にもとづいてトレーサブルに計測する技術についても検討した。

研究テーマ：テーマ題目7、テーマ題目8、テーマ題目9

### 音響振動科

(Metrology Institute of Japan, Acoustics and Vibration Metrology Division)

研究科長：藤本 俊幸

(つくば中央第3)

#### 概要：

音響、超音波、振動、強度の標準は、環境、医療、機械診断、材料評価など広い分野にわたってニーズがあり、近年、その重要性も高まっている。音響標準、振動加速度標準、及び硬さ標準については、国際比較結果などにより、世界的なレベルに到達していることが既に示されているが、さらに標準供給体制の充実を図るため、供給範囲、供給品目の拡大、不確かさの低減の他、新規の計量標準技術開発等をめざす。超音波標準も昨今の医用超音波技術の進歩に対応するため、校正範囲拡大に必要な研究開発を継続するとともに、国際比較に実施に向けた準備を行う。材料強度の標準、固体材料の特性評価を、従来のバルク材料から薄膜などの微小なレベルで行うための研究開発を継続する。また、産業技術の高度化に応じて、先進的な計測標準開発を推進する。

研究テーマ：テーマ題目10、テーマ題目11

### 温度湿度科

(Metrology Institute of Japan, Temperature and Humidity Division)

研究科長：丹波 純

(つくば中央第3)

#### 概要：

温度・湿度の計測とその標準は、科学技術や産業において、あらゆる場面で必要とされており、当科では、これらに必要な標準供給体制の整備を進めている。国際的同等性を確保しつつ標準供給の種類、範囲を拡大するために、設備や体制を整え、標準の維持・供給に必要な研究開発及び関連の計測技術の研究を行った。5月に行われた測温諮問委員会 CCT に参加し、温度の単位の定義の改定に関する情報収集などを行った。常温域では、熱力学温度計である音響気体温度計の開発を進めた。低温域では50mK～0.65K の温度範囲で、抵抗温度計の依頼試験による校正を開始した。中温域の放射温度標準として、160℃～960℃で単色放射温度計の依頼試験校正を開始した。湿度標準の高度化のため、拡散管方式の微量水分発生装置を開発し、Ar 中微量水分標準を確立した。

研究テーマ：テーマ題目12、テーマ題目13、テーマ題目14、テーマ題目15、テーマ題目16

流量計測科

(つくば中央第3)

(Metrology Institute of Japan, Fluid Flow Division)

研究科長：寺尾 吉哉

(つくば中央第3)

概 要：

流量計を用いた石油や天然ガス等の取引は、経済産業活動の中でも最も大きな取引であり、また、水道メータ、ガソリン計量器等の流量計は国民生活に最も密接している計量器の一つである。さらに、最新の半導体製造技術、公害計測技術等の先端技術分野や環境・医療技術分野においてもより困難な状況下での高精度の流量計測技術が求められている。当科では、これらの広範な分野に必要な流量の標準を開発し、その供給体制の整備を進める。既に気体小流量、気体中流量、液体大流量、液体中流量、液体小流量、石油大流量、石油中流量、石油小流量、気体中流速、微風速ではJCSSが整備されており、また、体積に対しては依頼試験による標準供給を行っている。平成26年度は石油小流量の流量範囲の拡大を行った。また、気体大流量の標準を整備し標準供給を開始した。

さらに、計量法に基づき法定計量業務を適切に遂行すると共に、国際計量システムの構築に貢献している。

研究テーマ：テーマ題目17、テーマ題目18、テーマ題目19

材料物性科

(Metrology Institute of Japan, Material Properties Division)

研究科長：山田 修史

(つくば中央第3)

概 要：

信頼性の高い材料物性データが確実に利用できるための知的基盤整備を目的として、エネルギー、環境、石油化学等の分野で求められる密度、粘度、屈折率等の計測・校正技術と標準、及びエネルギー、エレクトロニクス、素材産業等の分野で求められる固体熱物性の計測・校正技術と標準・標準物質の開発・供給を行った。開発された熱物性計測技術と標準物質を元にして得られる信頼性の高い熱物性データを分散型熱物性データベースに収録し、インターネットを介して広く提供した。また、国際単位系改定に向けた基礎物理定数に関わる高精度データの取得と国際度量衡委員会傘下の担当する量に関する諮問委員会を中心とする国際協力活動を推進した。

研究テーマ：テーマ題目20、テーマ題目21

電磁気計測科

(Metrology Institute of Japan, Electricity and Magnetism Division)

研究科長：金子 晋久

概 要：

我が国の電気電子情報産業を含む広い産業界に直流・低周波電気標準を供給するために、標準の維持、供給、研究開発を行っている。特に、直流電圧標準、直流抵抗標準、キャパシタンス標準、インダクタンス標準、交流抵抗標準、誘導分圧器標準、変流器標準、高調波電圧電流標準、交直(AC/DC)変換標準、交流シャント標準、電流標準等の研究開発と供給を行っている。

研究テーマ：テーマ題目22、テーマ題目23

電磁波計測科

(Metrology Institute of Japan, Electromagnetic Waves Division)

研究科長：島田 洋蔵

(つくば中央第3)

概 要：

高周波・電磁界標準の電波領域の電磁波を対象とし、高周波電力、減衰量、インピーダンス、雑音、各種アンテナ、電界・磁界、材料特性等の標準に関し、精密計測と校正技術の研究・開発を進め、標準供給システムの構築と供給体制の維持、校正業務により標準供給を行った。標準開発の進展は、伝送線路を伝搬する電磁波の標準については、高周波電力標準に関し、2.4mm同軸への拡張技術を開発し標準供給を開始した。高周波インピーダンス標準に関し、導波管線路の新たな標準器を開発し、また機械Sパラメータの被評価コネクタタイプを2.92mm同軸まで拡張し標準供給を開始した。導波管減衰量標準では、75 GHz～110 GHz帯の標準供給を開始した。高周波位相量標準について従来の同軸減衰量標準の校正システムを拡張し新規標準量として標準供給を開始した。テラヘルツ帯電力標準に関し、超高感度なテラヘルツ帯電力センサのプロトタイプを完成し、不確かさの主要因について評価を完了した。電波に関連する空間量の標準としては、任意周波数ホーンアンテナ利得及びパターン標準について、18 GHz～26.5 GHz帯の校正システムを整備し標準供給を開始した。散乱断面積(RCS)標準では75 GHz～110 GHz帯の標準ターゲット評価のためのミリ波帯高感度受信システムを構築した。電磁界強度標準では新電波暗室の整備と設備の移設を行い、標準電界発生と電波遮蔽の基本性能評価を完了した。国際計量標準に関連し、CCEMおよびAPMP国際比較を推進するとともに、高周波誘電率のパイロットスタディのための準備を進めた。また、高周波・電磁界標準とその校正技術の開発に伴う知見を基に、NMIJ成果発表会や計測クラブなどを通じて産業界への成果普及を実施した。

研究テーマ：テーマ題目24、テーマ題目25

## 光放射計測科

(Metrology Institute of Japan, Photometry and Radiometry Division)

研究科長：座間 達也

(つくば中央第3)

### 概要：

光関連産業の発展に欠かせない技術基盤であるレーザー標準及び測光・放射標準の研究・開発を通じて、各種基本量の精密評価技術や校正技術を確立すると共に、当該技術の拡張・高度化を進める。また、トレーサビリティ整備・推進に寄与する。今年度は、1 kW レベルレーザーパワー校正、850 nm 帯光ファイバーパワー校正・応答非直線性校正およびこれらに対する波長依存性試験、765 nm 帯・845 nm 帯・1020 nm 帯ビーム系応答非直線性の波長依存性試験、分光放射照度（紫外）拡張による放射束校正、分光拡散反射率（可視域）の幾何条件拡張、分光応答度（紫外、可視、近赤外）の校正範囲拡張（オーバーフィル条件）に必要な一連の技術開発を完了させ、これらの標準供給を開始した。併せて、2π・紫外放射光源用の分光全放射束標準確立、分光拡散反射率（可視域）の多様な幾何条件への拡張に向けた開発を進めた。国際比較については、全光束（CCPR-K4）、光度（APMP、CCPR-K3.a リンク）、可視域レーザーパワー（APMP.PR-S5）に関して幹事研究所として実施を主導した。また、LED 光源等の試験方法・試験所認定等に関わる国内・国際活動に協力した。

研究テーマ：テーマ項目26、テーマ項目27

## 量子放射科

(Metrology Institute of Japan, Quantum Radiation Division)

研究科長：齋藤 則生

(つくば中央第2)

### 概要：

放射線、放射能および中性子標準は、放射線防護、医療、産業、先端科学にとって非常に重要であり、ニーズに対応した標準の立ち上げおよび高度化等の研究開発、標準の維持・供給、MRA 対応の国際基幹比較に努めている。震災以後、放射線・放射能に対するニーズは高く、環境レベル放射能標準の開発、線量当量標準の開発、セミナー開催などを積極的に進めている。震災支援に対応し、放射性セシウムを含む玄米の標準物質を利用して放射能検査機関を対象とした確認試験・技能試験を実施した。医療分野では、Ir-192小線源線量標準の不確かさ評価、医療用リニアック高エネルギー電子線用のカロリメータの開発、を行った。一方、放射性ガス放射能標準および高エネルギー中性子フルエンス率標準を開発した。

研究テーマ：テーマ項目28、テーマ項目29

## 無機分析科

(Metrology Institute of Japan, Inorganic Analytical Chemistry Division)

研究科長：日置 昭治

(つくば中央第3)

### 概要：

標準物質は研究開発・生活の安全安心および産業発展を支える知的基盤として、その加速的整備が国策のもとに推進されている。当科では JCSS の基準物質となる新規無機標準物質、RoHS 指令規制対応標準物質など工業材料標準物質、微量元素・ひ素化合物・海水栄養塩等の分析のための環境・食品関連組成標準物質を開発して、化学分析あるいは化学計量を支える標準を供給するとともに、併せて、関連する CCQM、APMP 国際比較に参加している。標準物質の開発と連動させて技能試験及び講習会も開催している。また、電量滴定法等の基本分析手法の高度化、同位体希釈質量分析法などの高感度元素分析法の高精度化を行い標準物質の値付け、環境・食品計測の高度化等に使用するとともに、我が国の分析技術向上の支援、産業の高度化及び科学技術のテクノインフラに寄与している。

研究テーマ：テーマ項目30、テーマ項目31、テーマ項目32

## 有機分析科

(Metrology Institute of Japan, Organic Analytical Chemistry Division)

研究科長：高津 章子

(つくば中央第3)

### 概要：

環境、食品、材料や臨床検査分野をはじめとする種々の分野における濃度測定の信頼性確保のためには、各種標準ガス、有機汚染物質などの有機標準物質（標準液、組成標準物質）や生体関連物質などのバイオ関連標準物質など、さまざまな標準物質が必要とされる。そこで、これらを社会ニーズに即して供給することを目標に、新規標準物質の開発と、その基盤となる分析技術の開発・整備・高精度化に取り組んだ。標準物質の開発供給においては ISO ガイド34に基づく品質システムの整備を行うとともに、開発した標準物質の維持管理を適切に行い、安定かつ継続的な標準供給を行っている。国際比較等にも積極的に参加し、計量標準の国際相互承認においては、標準物質値付け能力（CMC）を国際相互承認（MRA）の付属文書（Appendix C）へ登録し、国際的にも高いレベルでの当該分野の標準物質の整備を目指した。

研究テーマ：テーマ項目33、テーマ項目34、テーマ項目35

## ナノ材料計測科

(Metrology Institute of Japan, Nanomaterials  
Characterization Division)

研究科長：藤本 俊幸

(つくば中央第5)

概要：

薄膜・超格子、ナノ空孔、微粒子等の先端材料系における国際単位系へのトレーサビリティを確保した質の高い標準を開発・維持・供給する。このため、高度な計測・評価技術の開発にも注力するとともに、国際的な度量衡関連組織における標準へのトレーサビリティ活動、ISO/JIS等の標準化活動に積極的に対応する。

ナノメートルスケールの薄膜、空孔、粒子等の標準を開発、供給するとともに、X線反射率法による精密評価技術、透過電子顕微鏡による3次元計測の高度化、光電子分光およびX線吸収分光の基礎技術、MALDI-TOFMSの分析法、動的および静的光散乱法、流動場分離法を用いた微粒子分級技術、2次イオン質量分析技術等において基礎データを蓄積した。

研究テーマ：テーマ題目36、テーマ題目37、テーマ題目38

計量標準システム科

(Metrology Institute of Japan, Measurement  
standards system division)

研究科長：日置 昭治

(つくば中央第3)

概要：

計量標準システム科では、計測分野におけるトレーサビリティの供給および供給方法の高度化を科全体の目標としている。化学分野においては、最上位の標準物質開発・供給・校正サービスを行うとともに計量トレーサビリティ体系の高度化・合理化のための研究を行う。また、ソフトウェアを含む計量情報システムの適合性評価のための研究、計測・計量における情報提供等を行う。

具体的には、主に有機分析化学に関する研究とその成果をベースとして、有機標準基盤研究室では、ニーズに対応した質の高い、環境、食品、臨床化学に関連する有機標準物質の供給、化学計量システム研究室では、定量NMR(核磁気共鳴)法などを中心とした環境及び食品分野の多数の化学物質に対する校正サービスを行っている。また、計量標準基盤研究室は、高分子グループと計量情報システム研究グループからなり、高分子グループでは、高分子分析用の標準物質の開発供給を主体に研究開発を行っており、RoHS指令に対応する添加剤分析用標準物質とコロナCAD検出HPLC等の新規定量法の開発を行っている。一方、計量情報システム研究グループでは、計量器ソフトウェアの評価技術の研究として、計算アルゴリズムによる計算にともなう不確かさを評価する枠組みの研究等

を行っている。また、不確かさ評価に関わる統計的手法の開発・応用を行うとともに、不確かさの普及・啓発活動を行っている。さらにスペクトルデータベースの運營業務も行っており、化学物質のデータベース、ソフトウェア認証等の広い意味でのトレーサビリティの供給活動においても、国家計量標準研究所として貢献できるように努めている。

グローバルMRAに基づく国際的な同等性の確認に必要な国際比較等の活動にも積極的に参加し、標準物質の校正測定能力に関する国際度量衡局のデータベース(KCDB、appendix-C)への登録を行っている。

研究テーマ：テーマ題目39、テーマ題目40、テーマ題目41、テーマ題目42、テーマ題目43

法定計量科

(Metrology Institute of Japan, Legal Metrology  
Division)

研究科長：小谷野 泰宏

(つくば中央第3)

概要：

経済産業大臣から委任された法定計量業務及び当科のミッションを適切に遂行するため関連技術室との連携を密にし、型式承認、校正、試験、検査業務を適正かつ迅速に行うとともに、当該業務に対する現状の問題点を把握し、能率化とユーザへのサービス向上を図り、ニーズの収集、蓄積を行う。国内の活動として、計量法技術基準の国際整合化を促進し、未整備な工業標準(JIS)の整備を重点的に行う。法定計量システムの簡素化・効率化のモデルを検討する。JIS化及び計量法改正作業において、特定計量器間とのバラツキを最小限にするために、関係機関、関係業界等との調整を積極的に行う。担当業務に関する承認機関品質システム及び試験機関品質システムの整備については、NMIJ、製品評価技術基盤機構等が実施する品質システム研修又は個々の専門分野研修等に積極的に参加し、資質向上を図ると共に適切な文書整備を早急に行う。また、品質システムの運営については、関連する部署との積極的な技術交流を図り円滑な実施に努めると共に各種試験の信頼性の確保を図る。国際活動については、国際会議等に積極的に参加するとともに、国際文書の議論・検討に必要とする翻訳文書等の整備を行う。

研究テーマ：テーマ題目44、テーマ題目45、テーマ題目46

-----  
[テーマ題目1] 時間・周波数標準の高度化に関する研究

[研究代表者] 池上 健

(時間周波数科 時間標準研究室長)

[研究担当者] 池上 健、萩本 憲、平野 育、

柳町 真也、高見澤 昭文、田邊 健彦、

渡部 謙一（常勤職員7名）

## 〔研究内容〕

原子泉方式一次周波数標準器（1号器）においては、真空を復活させ、光学系を整備したが、再び真空に問題が生じた。現在対処中である。

不確かさ低減のために開発中の2号器においては、枯渇したセシウム源を交換するため、真空を一度破って再セットアップした。そして、マイクロ波強度依存シフトを除くトータルの不確かさを $1.1 \times 10^{-15}$ と評価した。また、長期運転をして、circular T を通じて TAI と比較し、不確かさの範囲内で一致していることを確認した。

また、冷凍機で冷却する方式の低温サファイア発振器を長期間運用することでドリフトの改善を行い、平均時間10000秒まで $1 \times 10^{-15}$ より優れた安定度が得られることを確認した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕時間周波数、原子時計、セシウム一次周波数標準器、原子泉、低温サファイアマイクロ波発振器、位相雑音

## 〔テーマ題目2〕光周波数（波長）標準の開発と光周波数計測技術の研究

〔研究代表者〕保坂 一元（時間周波数科 波長標準研究室長（兼務））

〔研究担当者〕保坂 一元、稲場 肇、安田 正美、赤松 大輔、大久保 章、大苗 敦、洪 鋒雷、小林 拓実、岩國 加奈、世良 英之（常勤職員6名、他4名）

## 〔研究内容〕

次世代の周波数標準を目指した光格子時計については、 $10^{-17}$ 以下の不確かさを実現することを念頭に研究を進めている。現在、Yb および Sr 光格子時計の最大の不確かさ要因は、黒体放射による周波数シフトである。これは、光格子に捕獲された中性原子が輻射場として感じる温度を正確に決定できない事に原因があり、同じ輻射場に捕獲された異種原子を用いることで不確かさの低減が期待される。平成26年度は、Yb および Sr 原子を同一真空チャンバー内で捕獲可能なデュアル光格子時計の開発に成功し、両原子の同時トラップを達成した。また、光周波数コムによる、線幅転送技術を用いて狭線幅化した時計遷移励起用レーザを用いて、両原子の時計遷移の観測に成功した。観測された時計遷移スペクトルの線幅は、数10 Hz であった。なおこれと並行して、光格子時計の長期運用を目指し、光源の改良やシステムの簡素化なども行った。

光周波数コムに関しては、高速制御型光周波数コムによる超高安定光コム、並びに光周波数コムを分光用光源として用いるデュアルコム分光技術の開発を行った。デュアルコムを用いた近赤外領域における分光においては、これまで報告された帯域で最も広い140 THz の超高帯

域分光を実現した。長さの特定標準器である「光周波数コム装置」については、jcss 校正2件、依頼試験7件を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕光格子時計、光周波数コム、光周波数測定、ヨウ素安定化 He-Ne レーザ、ヨウ素安定化 Nd:YAG レーザ、光通信帯

## 〔テーマ題目3〕時系・時刻比較の高度化に関する研究

〔研究代表者〕雨宮 正樹（時間周波数科 周波数システム研究室長）

〔研究担当者〕雨宮 正樹、渡部 謙一、鈴木 智也、和田 雅人、奥田 敦子（常勤職員4名、他1名）

## 〔研究内容〕

本テーマの目的は、時間周波数国家標準である UTC (NMIJ) を高安定化、高信頼化するとともに時間周波数比較精度を向上させ、標準供給を実施することである。平成26年度は、水素メーザ及びセシウム原子時計の出力信号間の時間差測定の高精度化の検討を行い、デュアルミキサ時間差測定法 (DMTD 法) による装置を完成させ本格運用を開始した。その結果、高安定・高信頼な UTC (NMIJ) を発生し運用することができた。この UTC (NMIJ) を用いて高精度な周波数校正サービスを提供した。特に周波数遠隔校正サービスの17ユーザに対して不確かさが小さく利便性の高い供給を行った。遠方の時計の高精度比較技術に関しては、GPS キャリアフェーズ法、衛星双方向技術、ACES プロジェクト、VLBI などの幅広い比較技術に対応すべく他機関と連携して開発を進展させた。特に超高精度化が期待される光ファイバに関しては、位相補償システム（光キャリア法）の検討を行い室内実験の結果17桁オーダの比較精度を得た。さらに光ファイバ比較システムの位相制御系の改良による振動対策と干渉系の恒温化の実施により関東圏にある複数の光格子時計を18桁の精度で比較可能なプロトタイプを完成させた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕時間周波数標準、時系、標準供給、遠隔校正、GPS、衛星双方向時間周波数比較、光ファイバ

## 〔テーマ題目4〕光波干渉による長さ標準の開発に関する研究

〔研究代表者〕尾藤 洋一

（長さ計測科 長さ標準研究室長）

〔研究担当者〕尾藤 洋一、平井 亜紀子、日比野 謙一、近藤 余範、寺田 聡一、鍛島 麻理子、堀 泰明、向井 誠二（常勤職員7名、他1名）

## 〔研究内容〕

短尺ブロックゲージ、長尺ブロックゲージ、標準尺、光波距離計、平面度などに関して、標準供給と高度化を実施した。JCSS 制度への協力として、認定・更新審査における技術アドバイザーの派遣、技術的根拠のための依頼校正を行った。ブロックゲージに関しては、27の機関が参加した持ち回り技能試験に対して参照値の付与を行った。また、新規素材（低熱膨張材料）の経年変化評価を推進した。段差高さに関しては、新たな評価装置（レーザ干渉計）を開発し、校正対象の拡大を実現した。平面度に関しては、新たな原理（角度測定方式）に基づく測定装置を開発し、既存の平面度校正装置を超える測定精度を達成し、標準供給を開始した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕ブロックゲージ、段差高さ、標準尺、距離計、干渉測長器、固体屈折率、長さ標準、平面度、球面度

〔テーマ題目5〕幾何学量の高精度化に関する研究

〔研究代表者〕阿部 誠

（長さ計測科 幾何標準研究室長）

〔研究担当者〕阿部 誠、渡部 司、藤本 弘之、  
鍛島 麻里子、佐藤 理、近藤 余範、  
大澤 尊光、福島 博之、堀口 美央、  
呂 明子（常勤職員6名、他4名）

〔研究内容〕

二次元グリッド及び小径内径の標準開発を完了し、標準供給の態勢を整えた。jcss 校正「ロータリエンコーダ」を1件行った。依頼試験校正について、「CMMによる幾何形状測定」7件、「ステップゲージ」3件、「多面鏡」：1件、「オートコリメータ」：2件の計13件を実施し、円滑に標準供給できるように設備及び測定環境を整備した。JCSS 認定制度への協力として、認定・更新審査における技術アドバイザーの派遣を行った。また、工業標準化への協力として ISO 化1件（プロジェクトリーダー）、JIS 化5件、ISO 原案開発における国際エキスパート、国内委員会委員等の派遣を行い、JIS 原案開発における委員等の派遣を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕幾何寸法・幾何形状、角度標準、座標測定機、ステップゲージ

〔テーマ題目6〕ナノメートルスケール寸法・形状標準の開発に関する研究

〔研究代表者〕権太 聡（長さ計測科 ナノスケール標準研究室長）

〔研究担当者〕権太 聡、土井 琢磨、直井 一也、  
三隅 伊知子、菅原 健太郎、堀 泰明、  
木下 和人（常勤職員6名、他1名）

〔研究内容〕

測長型原子間力顕微鏡、走査電子顕微鏡、干渉顕微鏡、

触針式粗さ計などについて高度化を進め、パターン寸法及び AFM 粗さについての標準供給の態勢を整えた。これまで標準供給を宣言した9項目に対して円滑に標準供給できるように設備及び測定環境を整備した。JCSS 認定制度への協力として、認定・更新審査における技術アドバイザーの派遣を行った。また、工業標準化への協力として、ISO 化、JIS 化、JIS 改正作業における国際エキスパート、国内委員会幹事補佐・委員等の派遣を行った。ナノ粒径に関するアジア地域の国際比較の共同幹事国として、最終報告書の策定に向けた測定データの取り扱いの検討を台湾の機関と協力して進めた。線幅（パターン寸法）については、矩形断面を有するラインパターンの垂直側壁を含む正確な三次元形状を、原子間力顕微鏡の特殊な走査法を適用することで実現し、国際比較への参加を実現した。また、超微細スケールの校正を念頭に、超高分解能レーザ測長技術や小角入射 X 線回折技術の開発を進めた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕微小寸法、微細形状、表面性状、顕微鏡

〔テーマ題目7〕質量力関連標準の開発と供給

〔研究代表者〕上田 和永

（力学計測科 質量力標準研究室長）

〔研究担当者〕上田 和永、孫 建新、植木 正明、  
大串 浩司、水島 茂喜、林 敏行、  
前島 弘、西野 敦洋、小森 昌史  
（常勤職員9名）

〔研究内容〕

質量標準に関しては、多数の校正依頼に対応し着実に標準供給を行うと共に、キログラムの定義改正に向けた国際度量衡局による臨時校正に対応し、また定義改正後に必要となる標準器の保管設備を整備した。1 mg より小さい微小質量領域での標準確立に向けて電圧天びんの試作を進めた。力標準に関しては、着実に標準供給を行うと共に、六分力計の性能評価技術の開発を進めて傾斜台を利用し高精度力計を参照標準として用いる評価装置を試作した。タイの国家計量標準機関 NIMT のピアレビューにも協力した。トルク標準に関しては、参照用トルクレンチの校正範囲の下限を5 N・m から0.1 N・m に拡大して校正サービスを開始したほか、トルクメータの校正範囲の更なる拡大に向け定格容量0.5 N・m の小容量トルクメータを開発した。トルク試験機の動トルク特性の簡易評価法を考案し公表した。重力加速度標準に関しては、基幹国際比較の報告書取りまとめへの協力や国土地理院などとの定期的な国内共同観測への参加を通して、重力加速度計測の国際整合性確保に協力した。このほか JCSS トレーサビリティ制度に関しては、質量・力・トルクの各技術分科会に参加し技術基準の作成や改定並びに技術的諸問題の解決に協力すると共に、校正事業者の登録審査や定期検査で技術アドバイザーを務

めるなど JCSS 認定機関に協力した。特に今年度は、一軸試験機の JCSS 技能試験の運営と結果の取りまとめや分銅の技能試験の結果の取りまとめなどの技術支援に貢献した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】質量、力、トルク、重力加速度

【テーマ題目8】圧力真空標準の開発と供給

【研究代表者】藤井 賢一

(力学計測科 圧力真空標準研究室長)

【研究担当者】藤井 賢一、吉田 肇、杉沼 茂実、  
新井 健太、小島 桃子、梶川 宏明、  
飯泉 英昭 (常勤職員7名)

【研究内容】

校正事業者登録制度 (JCSS) における圧力標準、真空標準、リーク標準についての特定二次標準器の校正と依頼試験による校正を行うとともに、各標準の整備と校正技術の高度化を進めた。国際比較については、国際度量衡委員会 (CIPM) 質量関連量諮問委員会 (CCM) の基幹比較及びアジア太平洋計量計画 (APMP) の基幹比較を進め、液体高圧力標準、真空標準、リーク標準などの基幹比較を幹事所あるいは参加機関として推進し、国際同等性を確保した。新たな研究開発については、グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準として水素ステーションなどにける圧力計測の信頼性を確保するために、70 MPa までの気体高圧力標準の開発に継続して取り組み、液体潤滑法による気体圧力校正装置などを整備し、依頼試験による校正サービスを開始した。また、当研究室で開発した特許技術「標準コンダクタンスエレメント」を活用し、ガスバリア膜のガス透過度評価などに貢献した。その他に昨年度からの継続テーマであるリーク標準の JCSS 化、気体低圧力標準・液体高圧力標準、極高真空標準などについても開発を進めた。特にリーク標準については He、N<sub>2</sub>、R134a についての依頼試験を行うとともに、フロン規制に対応するために、製品評価技術基盤機構 (NITE) と協力し、JCSS 校正事業を開始した。1 Pa から10 Pa の領域の気体低圧力標準については比較法による依頼試験を開始し、10<sup>-9</sup> Pa までの極高真空領域についても依頼試験による校正サービスを開始した。JCSS については、圧力の技術分科会における検討事項の提案、技術的要求事項適用指針改訂へ協力、校正事業者の登録審査や定期検査における技術アドバイザーとしての審査への協力、圧力・真空の技能試験への参照値の提供などを行った。特に組立量としてリーク標準の JCSS を立ち上げるための準備を行った。技術基準の作成に関しては、「JIS B 7610重錘形圧力天びん」「JIS Z 0029真空計の校正値の不確かさ評価」、「JIS Z 2330非破壊試験－漏れ試験方法の種類と選択」、「JIS Z 2332圧力変化漏れ試験方法」の原案作成に協力した。また、隔膜真空計と熱陰極電離真空計の国内

外規格の作成に協力した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】圧力標準、真空標準、重錘形圧力天びん、高精度圧力計、真空計、リーク標準、分圧標準

【テーマ題目9】質量計の試験検査

【研究代表者】福田 健一

(力学計測科 質量計試験技術室長)

【研究担当者】福田 健一、浜川 剛、大谷 怜志、  
薊 裕彦、高橋 豊 (常勤職員5名)

【研究内容】

質量計に関する法定計量業務 (特定計量器の基準適合性評価：型式承認試験及び基準器検査) を計量法の技術基準に基づき実施した。今年度は特に法定計量業務のつくば集約により、基準はかり (関西地区分) 及び基準分銅 (特級基準分銅) の検査業務が当室に移管された初年度であったが、概ね適切に実施された。また、OIML 条約に基づく国際勧告 (OIML-MAA) に従い、非自動はかり及び質量計用ロードセルの性能評価試験を実施し、テストレポートの発行を行った。非自動はかりの性能評価を円滑かつ効率的に行うためのモジュール試験 (非自動はかりの指示計及びロードセル) を実施。また、これらの試験に使用する設備の整備及び OIML 勧告に従った試験において、品質マネジメントシステム ISO/IEC17025に基づく機器管理を実施した。国際法定計量に関し、国際法定計量調査研究委員会、作業委員会へ積極的に参加・協力し、常に国際基準・規格に対応するように技術能力の確保に努めた。また、5年毎に実施される、MAA ピアアセスメント及び ASNITE 審査を受け、技術力及び品質管理能力が一定水準以上であることを確認した。その他、JIS 規格の改正原案作成委員会及び計量調査事業 (試買品検査) にも参加・協力し、産業界及び行政機関との連携を図った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】法定計量、型式承認、非自動はかり、OIML、基準器検査、天びん、分銅、NMIJ クラブ、法定計量クラブ

【テーマ題目10】音響・超音波標準の維持、供給及び開発

【研究代表者】堀内 竜三 (音響振動科 音響超音波標準研究室長)

【研究担当者】堀内 竜三、松田 洋一、吉岡 正裕、  
高橋 弘宜、内田 武吉、山田 桂輔、  
米畷 和香子 (常勤職員6名、他1名)

【研究内容】

音響関連では、音響測定器の jcss 等校正サービスについて、品質システムの継続的運用の下、jcss 校正7件、騒音基準器検査22件、低周波域でのマイクロホン音圧

感度の依頼試験1件を実施した。製品評価技術基盤機構に対しては前年度終了した技能試験後の対応についての技術的支援を行った。JCSS 登録申請事業者に対しては、2件の登録審査を行った。また騒音源の定量的評価に不可欠な音響パワーレベル標準としての基準音源の校正（100 Hz から10 kHz）、および空中超音波領域（20 kHz 以上）を対象としていた WS3マイクロホンの自由音場感度校正の校正周波数の可聴域（20 Hz から20 kHz）への拡張について、両者とも校正値の妥当性および不確かさの評価を完了し、標準供給を開始した。

超音波関連では、天秤法による超音波パワー校正、光干渉法によるマイクロホン感度校正の一次校正、同比較校正、超音波音場パラメタ校正の各標準を維持し、依頼試験を継続した。26年度には、超音波パワー校正は1件、マイクロホン感度校正は28件、超音波音場パラメタは1件の依頼試験を実施した。また、医用超音波機器の性能、安全性評価や産業応用のニーズに応えるため校正範囲の拡張を進めた。医用超音波機器や超音波洗浄機で求められる高出力超音波パワー標準として開発したカロリメトリ法による100 W までの校正、超音波診断におけるエコー画像分解能向上のニーズに対応するため周波数上限を40 MHz に拡張した光干渉法によるマイクロホン感度校正、広帯域医用超音波やソノケミストリで要求される周波数帯域100 kHz～1 MHz の相互校正法を用いたマイクロホン感度校正について、標準供給を開始した。また、諸外国の超音波標準との同等性を相互承認するため、超音波パワー校正（CCAUV.U-K3.1）及びマイクロホン感度校正（CCAUV.U-K4）に関する国際基幹比較に参加した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕音圧レベル、標準マイクロホン、空中超音波、超低周波音、音響パワーレベル、超音波パワー、超音波振動子、超音波音圧、マイクロホン、超音波音場パラメタ

〔テーマ題目11〕振動衝撃加速度・硬さ標準の維持、供給及び開発

〔研究代表者〕服部 浩一郎

（音響振動科 強度振動標準研究室長）

〔研究担当者〕服部 浩一郎、野里 英明、清野 豊、高木 智史、穀山 渉、石神 民雄  
（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

振動測定は航空宇宙、自動車、建設、プラント、地震等、広範囲で行われ、その測定に用いられる振動加速度計は安価で大量の加速度計測を行うのに必要不可欠である。振動加速度計の校正サービス（jcss 校正及び依頼試験（特殊）；加速度振幅 0.03 m/s<sup>2</sup>～200 m/s<sup>2</sup>、振動数範囲 0.1 Hz～10 kHz、及び、衝撃加速度の依頼試験（一般）；ピーク加速度50 m/s<sup>2</sup>～10000 m/s<sup>2</sup>）は、レーザ干渉計と加振器で構成された校正装置によって行われ、品質システムに則り維持・管理されている。平成26年度の活動としては、振動加速度計を対象とし、20 Hz～5 kHz の供給範囲で位相シフトの校正サービスを依頼試験として開始した。サービス供給済み範囲に関して品質システムに即した維持・管理を実施し、jcss 校正1件を実施した。JCSS 制度の円滑な運営のために技術アドバイザー業務に協力した。角振動標準については、角速度について品質システムの技術的部分の構築を完了し、角速度範囲 0.087 rad/s～5.2 rad/s（5 °/s～300 °/s）の校正サービスを依頼試験として開始した。

硬さ試験は機械部品等の強度特性を簡便に評価できる工業試験法であり、鉄鋼・自動車・航空を始め、幅広い産業分野で利用されている。平成26年度の活動としては、硬さの国家標準として供給しているロックウェル硬さとビッカース硬さに関して、品質システムに即した維持・管理を実施し、jcss 校正1件を実施した。また、硬さ校正事業者の認定にかかわる技術アドバイザー業務を行った。ロックウェル硬さ B スケール標準に関して30 HRB～90 HRB の範囲でのデータを収集し不確かさ評価を進めた。

シャルピー衝撃試験は破壊強度（特に遷移温度）を測定する材料試験法として、産業界で広く用いられているものである。金属材料のシャルピー衝撃試験の標準は当研究室で維持されており、依頼試験を通じて産業界に供給されている。平成26年度は JIS B7740基準試験機の依頼試験を1件実施した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕振動加速度、衝撃加速度、地震計、振動試験、レーザ干渉計、金属材料、材料試験、ロックウェル硬さ、ビッカース硬さ、極微小硬さ、ナノインデンテーション、衝撃値、シャルピー衝撃試験、吸収エネルギー、遷移温度、脆性、材料試験

〔テーマ題目12〕抵抗温度計標準の維持供給及び高度化効率化

〔研究代表者〕山澤 一彰

（温度湿度科 高温標準研究室長）

〔研究担当者〕山澤 一彰、丹波 純、Januarius V. Widiatmo、佐藤 公一、原田 克彦、三澤 哲郎、斉藤 郁彦、安曾 清（常勤職員7名、他1名）

〔研究内容〕

供給中の抵抗温度計の温度範囲－40 °C～420 °Cについては特定副標準器等の、660 °Cアルミニウム点においては特定二次標準器の校正を行った。－40 °C～420 °Cまでの国際基幹比較（CCT-K9）について、幹事機関（米国 NIST）と共同して追加測定を開始した。ベトナム VMI との水の三重点の2国間国際基幹比較の測



定を行った。ボルツマン定数の測定を行うため、戦略予算（別途）を活用して、フランスや韓国の研究機関と連携し、熱力学温度計である音響気体温度計（Acoustic Gas Thermometer）の開発を行った。銀凝固点装置の不確かさを低減し、これを論文発表した。海洋温度センサの評価に用いる水槽を評価し、発表を行った。企業の開発する極小型白金抵抗温度計の評価実験を行った。JCSS 認定制度を支援するため、技術アドバイザーの派遣を行った。計量技術の普及、向上のため計量教習に講師派遣を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】標準、温度、抵抗温度計、温度定点、校正技術

### 【テーマ題目13】熱電対標準の技術開発

【研究代表者】山澤 一彰

（温度湿度科 高温標準研究室長）

【研究担当者】山澤 一彰、井土 正也、小倉 秀樹、

増山 茂治、黄 毅

（常勤職員3名、他2名）

#### 【研究内容】

熱電対の標準供給として、銀点（962℃）、銅点（1085℃）、パラジウム点（1554℃）において特定二次標準器の校正を、コバルト-炭素（Co-C）共晶点（1324℃）において依頼試験を行った。ロジウム-炭素共晶点（1657℃）の評価に着手した。不均質評価装置を利用して、白金/パラジウム（Pt/Pd）熱電対、R熱電対およびB熱電対の不均質特性を評価すると共に、ロットの異なるR熱電対の0℃～1550℃での補間特性の評価を継続中である。ルテニウム-炭素（Ru-C）共晶点（1953℃）実現装置を用い、タングステン-レニウム（W-Re）熱電対であるType C熱電対の安定性評価を行った結果が論文として出版された。また、民間企業と共同で行った、イリジウム-ロジウム熱電対のRu-C共晶点における特性評価の結果を発表した。スウェーデンとの熱電対校正用Co-C共晶点の共同研究が論文出版された。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】標準、温度、熱電対、共晶点、校正技術

### 【テーマ題目14】低温度標準の研究開発と維持・供給

【研究代表者】中野 享（温度湿度科 低温標準研究室長）

【研究担当者】中野 享、島崎 毅、中川 久司、

鷹巣 幸子（常勤職員3名、他1名）

#### 【研究内容】

50 mK～0.65Kの温度範囲（PLTS-2000）において、極低温抵抗温度計の依頼試験による標準供給を開始した。アルゴンの三重点（84 K）での特定二次標準器の校正、および、13.8 Kまでの温度領域の白金抵抗温度計の依

頼試験を行った。4 K～14 Kの温度範囲にて低温抵抗温度計の評価を行った。イタリアが中心となり全9ヶ国が行ったネオンの三重点（25 K）の同位体依存性に関する国際共同研究において、測定結果をまとめた論文の執筆・投稿に貢献した。CCT-K2.5（13.8K～273.16K）の基幹比較を終了し、NMIJはKCRVと不確かさの範囲で一致していることを確認し、その結果を誌上発表した。CCT-K1.1（0.65 K～25 K）の基幹比較を継続した。国際基幹比較CCT-K9では、アルゴンの三重点（84 K）での測定結果を提出した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】PLTS-2000、校正、依頼試験、白金抵抗温度計、国際比較、ネオンの三重点、同位体

### 【テーマ題目15】放射温度標準の研究開発と供給

【研究代表者】山田 善郎（温度湿度科 放射温度標準研究室長）

【研究担当者】山田 善郎、笹嶋 尚彦、清水 祐公子、

山口 祐、金子 由香、王 云芬、

皆広 潔美（常勤職員4名、他3名）

#### 【研究内容】

高温域においては、特定副標準器の単色放射温度計（0.65μm、0.9μm）の校正を実施したほか、タイの国家計量標準機関向けに定点黒体（銅点、銀点、アルミ点、亜鉛点）の依頼試験校正を実施した。金属-炭素系高温定点については、熱電対校正用セル（Co-C共晶点）の依頼試験校正を実施した。中温域においては、160℃～960℃の温度域における単色放射温度計（1.6 μm）の依頼試験校正を実施した。また、高放射率黒体炉の技術を確立し、160℃～500℃の温度域における赤外放射温度計の新たな依頼試験校正サービスを開始した。熱力学温度測定技術に関し、絶対分光応答度評価技術を確立し、銅点の熱力学温度値測定を達成した。JCSS制度の運営に関し、非接触温度計分野の技術アドバイザー等による支援を行った。国際的には国際度量衡委員会のものとのワーキンググループ活動として960℃から3000℃の新たな基幹比較へ移送標準器を提供するとともに、参加機関として単色放射温度計および金属-炭素系高温定点の測定を実施した。アジア太平洋地域における156℃から2800℃までの基幹比較・補完比較を幹事機関として継続的に実施したほか、海外の国家計量標準機関のCMCレビュー作業、ピアレビュー作業、技術研修等に貢献した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】放射温度標準、JCSS、依頼試験、放射温度計、黒体炉、金属-炭素共晶、高温定点

### 【テーマ題目16】気体中水分の計測・制御技術に関する

## 研究開発

〔研究代表者〕阿部 恒（温度湿度科 湿度標準研究室長）

〔研究担当者〕阿部 恒、天野 みなみ、橋口 幸治、丹羽 民夫、北野 寛（常勤職員3名、他2名）

## 〔研究内容〕

半導体製造や次世代のハイテク材料の性能評価等が必要とされる、気体中微量水分の標準発生技術の開発を進めている。窒素ガスに対する微量水分標準は既に確立しているが、これをさらに他のガス種へと展開するため、拡散管方式に基づく微量水分発生装置の開発を進めており、本年度は Ar 中微量水分標準を確立した。キャビティリングダウン分光法に基づく高感度微量水分測定システムの高感度化を進め、ノイズの標準偏差50 pmol/mol (ppt) を達成した。

湿度標準供給については範囲拡大と効率化の研究を進めている。高湿度領域露点95℃～-10℃、低湿度領域露点-10℃～-70℃、微量水分領域1.2 μmol/mol (ppm)～12 nmol/mol (ppb) の範囲で安定的な標準供給を実施しており、本年度の校正件数は23件だった。JCSS 制度の運営支援のため、技術アドバイザーを派遣した。他国の標準研究機関の技術的なレビューを行い、また他国の研究機関の研究者を技術研修生として受け入れるなど、国際的な貢献も行った。APMP.T-K8（露点95℃～30℃）の幹事機関として活動している。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕湿度、高湿度、低湿度、微量水分、拡散管、露点、物質質量分率（モル分率）

## 〔テーマ題目17〕気体流量・気体流速標準の研究開発・維持・供給

〔研究代表者〕石橋 雅裕（流量計測科 気体流量標準研究室長）

〔研究担当者〕石橋 雅裕、栗原 昇、森岡 敏博、船木 達也、岩井 彩、櫻井 真佐江（常勤職員5名、他1名）

## 〔研究内容〕

気体小流量、気体中流量、微風速、気体中流速の各標準の品質システムに関し、品質システムに従って維持、供給を行った。気体中流速に関する基幹国際比較 CCM-K3に参加し、LDV および超音波風速計トランスファーの測定を行った。新規の標準として、水素ガス・都市ガス流量標準、および大流速標準の供給を開始した。ガスメーターの JIS 改訂への技術的支援を行い、天然ガス計量に関する JIS 改正を進め、気体流量計の校正に関する JIS 改正のための原案を完成させた。特定標準器による校正、依頼試験を行い、技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者の認定審査に参加した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕気体流量・気体流速標準

## 〔テーマ題目18〕液体流量体積標準の研究開発・維持・供給

〔研究代表者〕寺尾 吉哉（流量計測科 液体流量標準研究室長）

〔研究担当者〕寺尾 吉哉、嶋田 隆司、土井原 良次、古市 紀之、Cheong KarHooi、和田 守弘、長島 豊、武田 一英、渡部 理夫、沼口 昌美、矢島 美代子、菱沼 裕子（常勤職員6名、他6名）

## 〔研究内容〕

水流量については、従前と同じく0.005～3000 m<sup>3</sup>/h の範囲で特定標準器による校正、0.002～12000 m<sup>3</sup>/h の範囲で依頼試験を行った。石油流量標準については流量の下限を拡大し、従来の範囲と併せて0.1 m<sup>3</sup>/h～300 m<sup>3</sup>/h 並びに0.022～67 kg/s の範囲に対して灯油及び軽油を使用した特定標準器による校正並びに依頼試験を行い、0.02 L/h～0.1 m<sup>3</sup>/h 並びに4.4×10<sup>-6</sup>～2.2×10<sup>-2</sup> kg/s の範囲に対して灯油及び軽油を使用した依頼試験を行った。また、0.1～15 m<sup>3</sup>/h 並びに0.022～3.4 kg/s の範囲に対しては、スピンドル油を使用した依頼試験を行った。さらに、体積標準を維持した。また、技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者の認定審査に参加した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕液体流量標準、石油流量標準、体積標準

## 〔テーマ題目19〕特定計量器の適合性評価に関する研究開発・試験検査

〔研究代表者〕森中 泰章（流量計測科 流量計試験技術室長）

〔研究担当者〕森中 泰章、戸田邦彦、安藤 弘二、藤本 安亮、菅谷 美行、堤 寛子、宮澤 豊、山田誠一郎（常勤職員5名、他3名）

## 〔研究内容〕

平成25年度に引き続いて、型式承認試験（14型式）及び基準器検査（488件）を実施した。国際勧告であるOIML のテストレポートを3件発行した。さらに、新たな熱量計の評価方法の原案の作成、基準器検査の効率化及び省力化に取り組んだ。水素ディスペンサの今後の方向性を探るため、米国の状況調査に参加し、今後の水素ディスペンサの方向性を見いだした。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕特定計量器の適合性評価、OIML、JIS

## 〔テーマ題目20〕固体熱物性標準の整備

〔研究代表者〕山田 修史（材料物性科 熱物性標準研

研究室長)

**[研究担当者]** 山田 修史、渡辺 博道、  
阿子島 めぐみ、八木 貴志、  
阿部 陽香、山下 雄一郎、鈴木 智世  
(常勤職員7名)

**[研究内容]**

固体材料を対象とした熱物性(熱膨張率、熱拡散率、熱伝導率、比熱容量および薄膜熱物性など)に関して供給中の依頼試験および標準物質などに関して外部への遅延のない供給業務を遂行するとともに、NMIJの品質システムに基づいた内部監査や校正設備の管理を実施し品質の維持・管理を確実とした。熱拡散率標準の供給において新規認証標準物質 NMIJ CRM5807-a 熱拡散率測定用セラミックス( $Al_2O_3$ -TiC系)を開発し、供給を開始した。薄膜熱物性に関して、新規認証標準物質(NMIJ CRM5808-a 熱拡散率測定用モリブデン薄膜(400nm))を開発し、供給を開始した。熱流密度標準に関して、室温領域での熱流センサーを校正対象とした依頼試験を立ち上げた。供給中の認証標準物質である NMIJ CRM 5806-a 比熱容量測定用単結晶シリコンに関して有効期間の5年延長を行った。また、引き続き各標準供給項目に関しての継続的な研究開発による校正技術の改良と高度化、不確かさの検証と低減化を進めた。熱物性関連の計測規格および標準化に関して低熱伝導率材料の熱伝導率測定法の標準化委員会、遮熱コーティングの熱伝導率測定法のISO化に係る委員会、薄膜熱拡散率測定法のISO規格化に関する国内審議委員会などに参画した。国際比較関連として、2014年5月及び9月に測温諮問委員会熱物性作業部会(CCT TG-ThQ(旧WG9))に参加した。また、Pilotを務める Supplementary ComparisonのAPMP T-S9に関して2014年9月にKoreaで開催されたAPMP TCT meetingにおいて作業進捗を報告した。分散型熱物性データベースに関して、不確かさが評価された計測装置による信頼性の担保された熱物性データを46件追加登録した。

**[分野名]** 計測・計量標準

**[キーワード]** 固体熱物性標準、標準物質、熱膨張率、熱拡散率、熱伝導率、比熱容量、薄膜熱物性、熱物性データベース

**[テーマ題目21]** 密度・屈折率・粘度標準の開発と供給に関する研究

**[研究代表者]** 藤田 佳孝(材料物性科 流体標準研究室長)

**[研究担当者]** 藤田 佳孝、早稲田 篤、倉本 直樹、竹中 正美、粥川 洋平、山本 泰之、狩野 祐也(常勤職員7名)

**[研究内容]**

密度・屈折率標準については、標準供給では固体密度に関して校正室空調設備工事で校正実施不可能な時期を

考慮し依頼案件は相談のうえ次年度実施とした。次世代計量標準の開発では、参加しているアボガドロ国際プロジェクトおよび欧州計量研究プログラム(EMRP)の定期会合に出席し、プロジェクト参加機関によるシリコン28同位体濃縮結晶球体の持ち回り測定スケジュールの協議を行い、4月から12月末までNMIJが測定を実施できるよう調整を行った。光波干渉計の大幅な改良により、従来の測定結果に比して半減することができ、世界最高精度で決定した。この主要不確かさ要因の低減は、キログラム再定義実施条件として設定されている精度を満たすものであり、プロジェクトにおけるアボガドロ定数高精度化の目標達成に大きく寄与した。またプロジェクトにおける温度測定の国際比較に参加するとともに球体表面酸化膜厚測定分光エリプソメーターを真空下測定とする整備を行った。高温ヒートポンプ性能評価の需要に向けた高温・高圧に拡張した磁気浮上密度計による流体PVT性質測定システムを完成させ、品質システムを確立して供給を開始するとともに、本装置による測定含め、代替冷媒候補物質の各種熱物性測定・評価を実施した。ステンレス分銅密度の基幹比較CCM.D-K3の実施に向けた準備を幹事機関として進め、CCM密度・粘度WGに出席して、これまでのQuestionnaire回答のとりまとめ結果に基づきプロトコル作成に向けた比較内容の提案を行った。

粘度標準については、依頼試験を通じてバイオ燃料認証標準物質に対する均質性・安定性評価を含めた粘度校正を実施した。非ニュートン流体の標準物質供給に向けて、候補物質に関してユーザとの測定の相互比較を進めた。粘度の国際基準値である水の粘度の見直しに向けた落球法による絶対測定技術の開発については、継続している落球落下速度に対する円筒型試料槽境界の影響補正のための考案した円筒内径可変機構の駆動方式を検証するために予備槽を用いた試験システムの準備を進めた。粘度の基幹比較CCM.V-K3の幹事機関としてDraft A報告を作成し参加機関へ配布するとともに、CCM密度・粘度WGに出席して報告し、改訂版に向けた議論や次期比較実施に向けた意見交換を行った。JCSS制度への協力として粘度に関して技術分科会、技能試験実施に向けた調整、登録審査における技術アドバイザーや適用指針改定に対応した。

**[分野名]** 計測・計量標準

**[キーワード]** 密度、密度標準、シリコン結晶、密度標準液、PVT性質、屈折率、キログラム、再定義、アボガドロ定数、格子定数、モル質量、粘度、粘度標準、粘度標準液、細管粘度計、非ニュートン流体、落球法、粘度の絶対測定

**[テーマ題目22]** 応用電気標準の開発と高度化に関する研究

〔研究代表者〕 藤木 弘之（電磁気計測科 応用電気標準研究室長）

〔研究担当者〕 藤木 弘之、岩佐 章夫、山田 達司、坂本 憲彦、昆 盛太郎、天谷 康孝、坂巻 亮、林 誠二郎、勝目 真弓、張 剣奇（常勤職員7名、他3名）

#### 〔研究内容〕

##### (1) 誘導分圧器標準、交流電流比標準、高調波電圧電流標準、交流シャント標準

誘導分圧器標準について3件の特定二次標準器等の校正とピアレビューを実施した。交流電流比標準について2件の依頼試験を行うとともに、10 kHz への周波数拡張および100 A への電流拡張のための検討を行った。交流シャント標準について標準整備計画に基づき周波数3 kHz まで供給範囲を拡大し、標準を立ち上げ、供給を開始した。高調波電圧電流標準について高周波化の研究を進め、広帯域分圧器の開発・評価に関する検討を行った。

##### (2) AC/DC 標準、交流電圧標準

AC/DC 標準について、5件の特定副標準器の校正、3件の jcss 校正、及び1件の所内校正を行った。また、電力量標準で用いられる交直電圧比較装置の3件の依頼試験を行った。また、交流電流交直変換の国際比較に参加した。加えて、国際整合性の確保のため、交直変換標準と交流電圧標準のピアレビューを実施した。また、10 Hz 以下の低周波範囲拡大に向けて研究開発を進めた。素子を改善し10 V 以上の出力が可能となった交流プログラマブルジョセフソン電圧標準システムを用いたサンプリング回路を試作し、市販の交流電圧発生器の精密な評価を行った。さらに、薄膜型サーマルコンバータの熱伝導の数値シミュレーションを行い、真空中動作により低周波特性と感度の改善が可能であることを示した。

##### (3) 中容量キャパシタンス標準、インダクタンス標準、蓄電池・電力貯蔵キャパシタ標準

中容量キャパシタンス標準及びインダクタンス標準について、1件の依頼試験を行い、ピアレビュー・ASNITE 審査を受けた。物理標準整備計画に基づき、蓄電池・電力貯蔵キャパシタ標準の研究開発を進めた。今年度は、充放電法によるキャパシタンスの校正システムを開発し、10 mF のキャパシタンスについて標準を立ち上げた。また、次年度以降の供給開始に向け、蓄電デバイス内部のインピーダンスの周波数依存性の測定が可能な装置を設計、試作した。特に、大容量の蓄電デバイス評価を目的とした、1 mΩ レンジの低インピーダンス値を高精度に測定可能な装置の開発を行った。この装置で、1 mΩ 以下の大規模蓄電池群を用いた実証実験を行うとともに、不確かさ評価を進めた。

##### (4) 直流電圧計用標準

液体ヘリウムフリーな直流電圧計校正装置を用いた

直流電圧発生器の校正システムの評価を行い、ピアレビューを実施した。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 応用電気標準、実用電気標準、直流電圧、誘導分圧器、変流器、交流電圧、中容量、インダクタンス

#### 〔テーマ題目23〕 量子電気標準の開発と高度化に関する研究

〔研究代表者〕 金子 晋久（電磁気計測科 量子電気標準研究室長）

〔研究担当者〕 金子 晋久、福山 康弘、浦野 千春、堂前 篤志、丸山 道隆、大江 武彦、中村 秀司、岡崎 雄馬、飯田 保、渡辺 幸次、吉田 俊介、秋山 美郷、高橋 ひかり（常勤職員8名、他5名）

#### 〔研究内容〕

##### (1) 直流抵抗標準

直流抵抗標準について17件（jcss11、依頼3、所内1、科内2）の特定二次標準器等の校正を行った。二次標準器として利用できる超安定小型100 Ω と10 Ω 標準抵抗器の開発を終了し、100 Ω に続いて10 Ω 抵抗器も最終的な箱詰め段階にある。これら抵抗器に関しては共同研究先より販売が開始されており、他国標準研究所などへ納入されている。他の抵抗値についても同様な抵抗器を開発し、評価中である。開発した100 Ω 抵抗器を仲介器とした三国間比較を韓国 KRISS と米国 NIST と行い、10 ppb 程度以下で測定結果が整合すること及び、開発した抵抗器が仲介器として使用可能であることを実証した。次世代量子ホール効果抵抗標準として、量子ホール抵抗アレイデバイスを作製し、従来素子との整合性を10 ppb 以下で確認している。次世代の量子抵抗標準の材料として注目されているグラフェンの基礎研究をナノエレクトロニクス研究部門および米国国立標準研究所（NIST）と共同で行った。また、名古屋大学と共同で、室温付近で抵抗温度曲線に緩やかなピークを示す逆ペロフスカイト型マンガン窒化物の標準抵抗器への応用を検討し、市販の標準抵抗器とほぼ同等の温度特性・経年変化特性を得た。

##### (2) 直流電圧標準

直流電圧標準について、7件（jcss5、依頼1、科内1）の特定二次標準器等の校正を行った。システムの近代化のため、ミリ波発振器の更新を行った。液体ヘリウムフリーなプログラマブルジョセフソン電圧標準（PJVS）による校正システムの開発を完了し、標準供給に供与できる体制を整えた。PJVS 素子の伝熱解析を行い、冷凍機実装における発熱の影響を明らかにするとともに、実装モジュールの改善指針を得た。次世代の高安定なツェナー標準電圧発生器の開発を企業

と共同で行っており、エンジニアリングサンプル製品の開発に成功するとともに、ノイズ特性等の評価や改良を継続中である。

### (3) 交流抵抗標準、キャパシタンス標準

キャパシタンス標準について4件の特定二次標準器の校正、交流抵抗標準について2件の特定二次標準器の校正および1件の依頼試験を行った。次世代二次標準器として利用できる1 k $\Omega$ 標準抵抗器の開発において、抵抗値の長期安定性・温度依存性の評価を外部機関と共同で行った。交流量子ホール効果抵抗を基準として100 k $\Omega$ 交流抵抗器を直接校正可能なブリッジ回路の検討を行い、その回路のキーデバイスである7.75比誘導分圧器の開発と評価を行った。

### (4) 交流ジョセフソン電圧標準

次世代交流ジョセフソン電圧標準として、プログラマブル駆動ジョセフソン電圧標準、パルス駆動ジョセフソン電圧標準について研究開発を進めている。前者は、主に低周波領域の交流電圧標準として応用電気標準研究室と共同研究を行っている。これまでに、実効値で10 Vまでの交流波形生成実験に成功し、交直変換素子等の評価に向けた改良を進めている。後者については、商用周波数から1 MHzの周波数範囲で任意波形の発生に成功している。この方法で発生した量子電圧雑音を基準として、ジョンソンノイズを精密に測定することにより、ボルツマン定数を再定義する研究を温度湿度科と共同で行っている。実験から求めたボルツマン定数と2010年 CODATA 値の間には数十～100ppm程度の違いが見られ、この原因の解明とこの問題の解消が大きな課題である。これらの研究において、そのジョセフソン素子はナノエレクトロニクス部門との共同開発である。

### (5) 電流標準

直流量子電流の標準を開発している。NEC/理研グループ、フィンランド国立標準研究所(MIKES)と共同し、電子ポンプ素子として超伝導/絶縁体/常伝導/絶縁体/超伝導の接合素子(SINIS型素子)等を開発している。この素子の特徴は安定な高速動作が可能な点である。本年度は、SINIS素子の低抵抗化、並列化により発生電流の増幅に取り組んだ。その結果、単一素子、並列化素子ともに100pA以上の電流を発生できることを示した。また電荷の実時間測定を目指した測定系の開発も同時に行い、微小電流計測、量子電流標準の実現に向けた研究に取り組んだ。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 量子電気標準、直流抵抗、交流抵抗、直流電圧、交流電圧、電流標準、キャパシタンス、量子ホール効果、ジョセフソン効果、単電子トンネリング効果

[テーマ題目24] 高周波計測標準に関する研究

[研究代表者] 島田 洋蔵(電磁波計測科 高周波標準研究室長)

[研究担当者] 島田 洋蔵、島岡 一博、Widarta P Anton、岸川 諒子、飯田 仁志、堀部 雅弘、木下 基、吉本 礼子、小寺 眞理子(常勤職員7名、他2名)

[研究内容]

高周波標準に関する校正業務では、高周波電圧に関する jcss 校正を1件実施した。高周波電力については、jcss 校正を12件、依頼試験を9件、それぞれ実施した。高周波減衰量については、同軸可変減衰器に関する jcss 校正を9件、依頼試験を3件、導波管可変減衰器に関する依頼試験を4件、それぞれ実施した。高周波インピーダンスについては、jcss 校正を18件、依頼試験を26件、それぞれ実施した。また、標準開発においては、高周波電力標準に関し、2.4mm 同軸への拡張技術を開発し標準供給を開始した。高周波インピーダンス標準に関し、導波管線路の新たな高周波インピーダンス標準器を開発し周波数範囲を拡張し、また機械 S パラメータの被評価コネクタタイプを2.92mm 同軸まで拡張し標準供給を開始した。導波管減衰量標準では、75 GHz～110 GHz帯の標準供給を開始した。高周波位相量(同軸)標準について従来の同軸減衰量標準の校正システムを拡張し新規標準量として標準供給を開始した。テラヘルツ帯電力標準に関し、超高感度なテラヘルツ帯電力センサのプロトタイプを完成し、不確かさの主要因について評価を完了した。国際比較について、高周波インピーダンスに関する CCEM 国際比較、高周波減衰量に関する CCEM 国際比較および高周波電力に関する APMP 国際比較をパイロットラボとして推進するとともに、高周波誘電率に関するパイロットスタディのための準備を進めた。NMIJ 成果発表会において実験室公開を実施し、高周波電気量の基本量である高周波標準の校正設備を紹介し、また高周波クラブを2回開催するなど高周波標準に関する成果普及を行った。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 高周波、マイクロ波、ミリ波、電波、伝送線路、電力計、減衰器、インピーダンス、移相量

[テーマ題目25] 電磁界・アンテナ計測標準に関する研究

[研究代表者] 黒川 悟(電磁波計測科 電磁界標準研究室長)

[研究担当者] 黒川 悟、廣瀬 雅信、森岡 健浩、石居 正典、飴谷 充隆、加藤 悠人、関川 晴子、山崎 芳樹、柿本 優(常勤職員6名、他3名)

[研究内容]

ダイポールアンテナについて30 MHz～2 GHzの周波数範囲におけるアンテナ係数の校正サービスを行った。ループアンテナについて20 Hz～30 MHzの周波数範囲における磁界アンテナ係数の校正サービスを行った。また、9 kHz～30 MHzに関して、校正可能な周波数点の拡充と不確かさの改善を行った。50 Hz並びに60 Hzの磁界強度標準の校正サービスを行った。EMI規制測定用の1 GHz～6 GHzの広帯域ホーンアンテナであるダブルリジッドアンテナの校正サービスを行った。50 GHz～110 GHzのミリ波帯標準ホーンアンテナに関するアンテナ利得校正サービスを実施した。1 GHz～6 GHz、50 GHz～110 GHzのホーンアンテナ利得およびパターン標準について、光デバイスを用いた測定技術の研究開発を推進した。また、レーダ散乱断面積(RCS)の校正システムを開発し、75 GHz～110 GHz帯において一辺の寸法が75 mm～125 mmの三面コーナーフレクタのRCS校正を開始した。30 MHz～1 GHzのEMI測定用広帯域アンテナのアンテナ係数校正サービスについては、震災等により破損した設備等の改修が完了し、校正サービスを再開した。また、ボウタイアンテナとログペリオディックアンテナを組み合わせた複合広帯域アンテナの30 MHz～1 GHzの開発を行い、平成26年度末に標準供給を可能とした。電界標準についてはTEMセルと電波暗室内に生成した標準電界強度によって電界プローブの校正が行える様に校正システムの再構築を最優先に進め、平成26年度末に標準供給を可能とした。また、新しい電界測定技術として光電界センサを用いた測定システムの研究開発を推進した。さらに、1 GHz超のEMI測定用電波暗室の定期点検のためのコムジェネレータの開発を行い、関東4公設研究機関との比較試験を実施するとともに、九州・四国・中国地方の7公設研究機関との暗室性能評価に関する共同研究を実施した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】マイクロ波、ミリ波、アンテナ、アンテナ係数、アンテナ利得、電界、磁界、レーダ散乱断面積

【テーマ題目26】レーザ標準の開発と供給

【研究代表者】福田 大治（光放射計測科 レーザ標準研究室長）

【研究担当者】福田 大治、雨宮 邦招、沼田 孝之、田辺 稔、（常勤職員4名）

【研究内容】

国家標準の供給については、レーザパワー応答度や応答非直線性に関し jcss 校正を6件、依頼試験校正を14件実施した。国家標準の新規開発について、まず空間系のレーザに対しては、波長1.1  $\mu\text{m}$  のレーザパワー応答度を出力1 kWへ拡大するため高出力レーザに対する光減衰量評価技術と光パワーメータ感度校正技術を確立し、

依頼試験供給を開始した。また、波長770 nm帯、850 nm帯、1010 nm帯のレーザパワー応答非直線性の波長依存性試験を開始した。次に、光ファイバ系レーザに対しては、光パワー重畳法による応答非直線性校正装置や波長範囲拡大に伴う不確かさ評価方法を開発し、波長850 nm帯において光ファイバパワー応答度と応答非直線性に関する依頼試験及びこれらの波長依存性試験を開始した。国際比較に関しては、可視域レーザパワー応答度の国際比較（APMP.PR-S5）の幹事研究所として実施を主導するとともに、ハイパワーレーザ応答度の国際比較（Euromet.PR-S2 part2）と光ファイバ長の国際比較（APMP.PR-S8）への参加に向けた準備を進めた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】レーザパワー、光ファイバ

【テーマ題目27】光放射標準の開発と供給

【研究代表者】座間 達也（光放射計測科 光放射標準研究室長）

【研究担当者】座間 達也、市野 善朗、薮 洋司、神門 賢二、木下 健一、丹羽 一樹、中澤 由莉、齊藤 一朗（常勤職員7名、他1名）

【研究内容】

分光応答度 jcss 校正2件、依頼試験14件、分光放射照度 jcss 校正1件、依頼試験2件、分光拡散反射率依頼試験2件、分光全放射束依頼試験2件を実施した。紫外域での高強度 LED 全放射束標準の確立、分光放射照度（紫外）の拡張による放射束校正技術の確立、分光拡散反射率（可視域）の幾何条件拡張、分光応答度（紫外、可視、近赤外）の校正範囲拡張（オーバーフィル条件）に関わる技術開発を完了させ、標準の供給を開始した。2 $\pi$ 放射光源用及び紫外域用の分光全放射束標準の開発に必要な参照標準器開発・配光測定法の最適化、分光測定装置の分光感度・直線性評価、多様な幾何条件に対応可能な分光拡散反射率標準（可視域）の開発に必要な装置開発および測定条件最適化を進めた。国際比較の内、CIPM 基幹比較に関しては、全光束（CCPR-K4）の幹事国として当該国際比較開始に向けた参加国との諸調整を進め、光度（CCPR-K3）に関する測定の実施、分光応答度（CCPR-K2.a, -K2.b）への参加に向けた準備を進めた。APMP 基幹比較では、光度（CCPR-K3.a にリンク）の幹事国として仲介器巡回を実施した。併せて LED 電球・照明等に関する試験方法や試験所認定等で利用される技能試験の国際的調和を目指して国際エネルギー機関（IEA）が開始した IEA 4E SSL Annex 活動に協力し、当該 Annex 技能試験の国内プロバイダとして、最終報告者取りまとめを行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】測光・放射測定

〔テーマ題目28〕医療・産業・先端研究等における放射線標準の開発・供給・維持

〔研究代表者〕齋藤 則生（量子放射科 放射線標準研究室長）

〔研究担当者〕齋藤 則生、黒澤 忠弘、森下 雄一郎、加藤 昌弘、田中 隆宏、清水 森人、能田 理恵子、永沼 あき（常勤職員6名、他2名）

〔研究内容〕

医療用リニアック用線量標準に関し、電子線量グラファイトカロリメータを製作し、光子線標準に関してBIPMとの国際比較の準備を行うとともに、水カロリメータを設計・製作した。粒子線治療の線量評価技術を開発するために、粒子線の特性測定および、カロリメータを用いた熱量測定を試みた。Ir-192空気カーマ標準について測定環境改善、不確かさ等の評価を行った。震災復興支援に関連して、汚染域の推定手法、また放射性物質の土壌に対する汚染深さの推定手法を開発した。高線量ガンマ線標準の開発のために、アラニン線量計によるガンマ線水吸収線量の測定を行った。また、X線自由電子レーザー用のマイクロカロリメータを開発に試みた。放射線線量計の校正に関して、jcss19件（ $\gamma$ 線8件、水吸収線量2件、中硬 X線7件、軟 X線2件、 $\beta$ 線0件）、依頼試験41件（ $\gamma$ 線22件、水吸収線量7件、中硬 X線6件、軟 X線3件、 $\beta$ 線3件）を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕線量標準、軟 X線、中硬 X線、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線、水吸収線量、医療用リニアック、X線自由電子レーザー

〔テーマ題目29〕放射能特定標準器群の維持・向上、および中性子標準の開発・供給

〔研究代表者〕柚木 彰（量子放射科 放射能中性子標準研究室長）

〔研究担当者〕柚木 彰、原野 英樹、佐藤 泰、松本 哲郎、海野 泰裕、増田 明彦（常勤職員6名）

〔研究内容〕

放射能標準に関して、希ガス及びメタンガスを対象とした放射性ガス標準を開発した。セシウムを含む玄米の標準物質を利用し、国内測定機関を対象とした技能試験を継続的に展開した。国際比較では、Fe-59放射能測定国際比較（APMP.RI(II)-K2.Fe-59）をパイロットラボラトリとして進めた。校正サービスについては、jcss校正5件、依頼試験14件を実施した。

中性子標準に関して、JAEA-TIARAの施設を利用したピークエネルギー45 MeVの高エネルギー中性子フルエンス率標準を開発した。校正サービスについては、依頼試験14件（放出率5件、熱中性子6件、速中性子3件）を実施した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕放射能、放射性ガス、高エネルギー中性子、フルエンス、標準物質、国際比較、技能試験

〔テーマ題目30〕無機標準物質に関する研究

〔研究代表者〕三浦 勉（無機分析科 無機標準研究室長）

〔研究担当者〕三浦 勉、野々瀬 菜穂子、大畑 昌輝、鈴木 俊宏、朝海 敏昭、チョン 千香子、和田 彩佳、山内 喜通、城所 敏浩、石澤ゆかり（常勤職員7名、他3名）

〔研究内容〕

平成26年度は高純度物質1種（高純度炭酸カルシウム）、金属標準液1種（水銀標準液）、非金属イオン標準液9種（有機体炭素、塩素酸イオン、臭素酸イオン、シアン化物イオン、塩化物イオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン、りん酸イオン、臭化物イオン標準液）を新規認証標準物質として開発した。鉛同位体標準液を開発するための測定法を開発した。JCSS基準物質として金属標準液認証標準物質55試料を指定校正機関に継続して供給した。計測標準研究部門量子放射科と共同で放射性セシウム分析用玄米認証標準物質の安定性モニタリングを行い、有効期限を延長した。3件のCCQM国際比較に参加した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕無機標準物質

〔テーマ題目31〕pHおよび電気伝導度の標準確立

〔研究代表者〕三浦 勉（無機分析科 無機標準研究室長）

〔研究担当者〕三浦 勉、鈴木 俊宏、朝海 敏昭、Maksimov Igor、大沼 佐智子（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

Harnedセル法によるpH測定システムの改良を引き続き進めた。このシステムを用いて6種類のpH緩衝液に対しての保存安定性の測定を継続した。pH標準液認証標準物質17試料を、JCSS基準物質として指定校正機関に継続して供給した。電気伝導度セルの設計試作を行い、温度制御ほかの基礎検討を続けた。pH・電気伝導度関連のCCQM国際比較（CCQM-K99りん酸塩緩衝液）に引き続き参加するとともに、幹事ラボとしてAPMP国際比較（APMP.QM-K91フタル酸塩緩衝液）を開始した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕pH標準

〔テーマ題目32〕環境分析用組成標準物質および微量分

## 析技術に関する研究

〔研究代表者〕 稲垣 和三（無機分析科 環境標準研究室長）

〔研究担当者〕 稲垣 和三、成川 知弘、宮下 振一、黒岩 貴芳、朱 彦北、小口 昌枝、工藤 いずみ（常勤職員5名、他2名）

## 〔研究内容〕

食品・環境分析における信頼性確保に資することを目的として、組成型標準物質の開発、分析技術の高度化、および技能試験の実施に取り組んだ。

組成型標準物質に関しては、平成26年度は頭足類標準物質（微量元素分析用）および水道水標準物質（微量元素分析用）の値付け分析法として、一次標準測定法である同位体希釈 ICP 質量分析法、ICP 質量分析法、ICP 発光分光分析法、電気加熱原子吸光分析法などの複数の分析法の妥当性確認を実施した。その他、開発済みの標準物質の安定性の評価を継続実施した。

分析手法の高度化としては、玄米中ひ素の化学形態別分析手法の高度化、極微量での高感度分析手法、高精度分析のためのマトリックス除去法を検討・開発した。一方、国際的な標準化の活動の一環として CCQM 国際比較に継続的に参加することで、標準物質開発に関連する分析能力を示した。具体的には、dNMP の純度評価および総リン量の定量分析（CCQM-P156）に参加するとともに、幹事ラボとしてバイオ燃料中無機元素分析（CCQM-K123/P157）を実施した。

技能試験に関しては、農研機構 食品総合研究所と共同で、第7回分析技能向上支援プログラム「頭足類中無機元素分析」を実施した。技能試験の参加人数は116名、講習会参加人数は東京会場102名、大阪会場40名であった。さらに、昨年度タイ王国で実施した玄米中無機元素の技能試験のフォローアップを兼ねたシンポジウム（2日間、各日100名参加）をバンコク市内で実施した。

## 〔テーマ題目33〕 標準ガスの開発・供給の研究

〔研究代表者〕 下坂 琢哉（有機分析科 ガス標準研究室長）

〔研究担当者〕 下坂 琢哉、松本 信洋、渡邊 卓朗、青木 伸行、高田佳恵子（常勤職員4名、他1名）

## 〔研究内容〕

窒素中ホルムアルデヒド標準ガスの依頼試験については、磁気浮遊式つり下げ天秤を用いた動的標準ガス発生法による SI トレーサブルな高精度標準ガス調製法を確立し、また ISO/IEC 17025に基づく品質システム整備等を行い、新規にそのサービスを開始した。標準ガスに関する国際比較である APMP.QM-K111（窒素中1 mmol/mol プロパンの分析）の測定を開始した。環境大気分析用の標準ガスの生産を目的として、質量比混合法による高精度酸素標準ガスの調製法について研究を進め、

秤量法を改善することで目標とする濃度の不確かさ（1 $\mu$ mol/mol）が達成できる見込みとなった。また、調製濃度を検証するために、磁気式酸素計を用いた高精度酸素濃度測定の研究を行った。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 標準ガス、ホルムアルデヒド、質量比混合法、動的発生法、高精度測定

## 〔テーマ題目34〕 安全・安心に寄与する有機標準物質の開発と供給

〔研究代表者〕 沼田 雅彦（有機分析科 有機組成標準研究室長）

〔研究担当者〕 沼田 雅彦、鎗田 孝、羽成 修康、伊藤 信靖、大竹 貴光、稲垣 真輔、宮本 綾乃、岩澤 良子、青柳 嘉枝、松尾 真由美、坂元 智子（常勤職員7名、他4名）

## 〔研究内容〕

有機溶媒やバイオ燃料中の微量水分、繊維製品中の有害成分など、第4期以降に標準物質などとして開発を検討している対象について、値付けのための精確な分析法の開発を行った。さらに、関連する品質システムの整備、既存の標準物質の維持（延長5種を含む：玄米、ネギ、キャベツ、トンネル粉じん、水分標準液）を行った。そのほか、国内分析機関への分析精度管理に関する啓発などを目的として、玄麦試料を用いた残留農薬分析の技能試験を主催し、72機関の参加があった。また、来年度実施する技能試験のための玄米試料の調製とその分析についての予備検討を行った。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 組成型標準物質、有機標準液、高純度有機標準物質、環境標準物質、食品標準物質

## 〔テーマ題目35〕 バイオメディカル計測標準の先導開発

〔研究代表者〕 高津 章子（有機分析科 バイオメディカル標準研究室長）

〔研究担当者〕 高津 章子、加藤 愛、絹見 朋也、藤井 紳一郎、川口 研、柴山 祥枝、山崎 太一、坂口 洋平、恵山 栄、吉岡 真理子、水野 亮子（常勤職員8名、他3名）

## 〔研究内容〕

臨床検査医学分野やバイオ分析分野における測定結果の互換性や国際整合性の向上に資するために、計量学的トレーサビリティの構築を目指した上位の標準物質開発を行っている。そのために必要となる生体高分子や各種生体成分についての高精度かつ高感度分析手法として、血清中ステロイドホルモンの高感度測定法の開発や、タンパク質の定量法の開発などに取り組んだ。特に、アミ



ノ酸分析法によるタンパク質定量については、試料の取り扱いや加水分解と測定条件の詳細な検討により、高精度なタンパク質の濃度決定を可能とし、これらの方法を適用してヒト血清アルブミン標準物質の開発を行った。ISO ガイド34に基づく品質システムを維持し、これまでに開発した標準物質の安定性評価を継続して行った。コルチゾール分析用ヒト血清（4濃度レベル）、C-ペプチド、および定量解析用リボ核酸（RNA）水溶液の標準物質について有効期限の延長を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】標準物質、臨床検査医学、バイオ分析、トレーサビリティ

【テーマ題目36】薄膜・表面評価技術の高度化と標準開発

【研究代表者】黒河 明（ナノ材料計測科 表面・ナノ分析研究室長）

【研究担当者】黒河 明、寺内 信哉、張 ルウルウ、林田 美咲、東 康史、城 昌利、福本 夏生、今村 元泰、熊谷 和博、内田 みどり、伊藤 美香（常勤職員9名、他2名）

【研究内容】

薄膜の二次イオン質量分析校正用の多層膜標準物質として、デルタ BN 多層膜（As ドープ基板）（CRM5206-a）を開発し認証を受けて供給を開始した。外部機関からの依頼によって行う依頼試験として、X線反射率法を用いた薄膜・多層膜構造材料の各層の膜厚校正サービスを実施した。これまで供給している標準物質の維持のための安定性評価を継続的に行った。ナノ材料の欧州規制等に対応するため計測機器開発コンソーシアムに参画し、ナノ材料の分析・評価技術の研究を進めた。ナノ構造化材料を三次元可視化するための電子線トモグラフィの高度化を進め、高分解能の三次元像の取得に成功した。国際的な標準化活動の一環として CCQM 国際比較に参加し表面電子分光法による薄膜組成の定量分析（CCQM-K129）を実施した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】薄膜、多層膜、組成、ナノ構造、材料分析、材料標準物質、表面電子分光法、電子顕微鏡

【テーマ題目37】材料分析標準の研究、開発、維持

【研究代表者】伊藤 賢志（ナノ材料計測科 ナノ構造化材料評価研究室長）

【研究担当者】伊藤 賢志、富樫 寿、平田 浩一、高塚 登志子、山脇 正人、後藤 寛子（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

500ピコ秒未満の陽電子寿命を持つ金属、半導体や類

似試料を対象とした陽電子消滅寿命測定の精度管理、測定方法および測定結果の妥当性確認に用いることができる標準物質「陽電子寿命による空孔欠陥測定用ステンレス鋼」（RM5607-a）を開発した。また供給中の認証標準物質の安定性試験を行い、品質に問題がないことを確認した。構造物の疲労検査や材料研究へ適用可能な陽電子寿命計測に関する非破壊検査方法の高度化を行うとともに、マトリックス支援レーザ脱離イオン化質量分析法、イオンビームを用いた2次粒子計測高感度表面分析法により各種機能性材料の測定を行い、これらの分析法の感度や再現性に関するデータを取得した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】材料分析、イオン注入標準物質、微細空孔標準物質、質量分析、ナノ・サブミクロン粒子

【テーマ題目38】粒子標準の開発と供給

【研究代表者】桜井 博（ナノ材料計測科 粒子計測研究室長）

【研究担当者】飯田 健次郎、加藤 晴久、坂口 孝幸、桜井 博、高橋かより、高畑 圭二、前田 綾香、水野 耕平、村島 淑子、大沼 恵美子（常勤職員9名、他1名）

【研究内容】

粒径、気中と液中各々における粒子数濃度、比表面積、高分子分子量の標準について、依頼試験業務や標準物質供給を行うとともに、標準の新規開発や高度化を進めることを目標としている。今年度は、発生器型気中粒子数濃度標準、粒径分布幅標準、粒径・粒径分布標準物質（ポリスチレンラテックスナノ粒子2種、CRM 5702-a、5703-a）、有機溶媒系静的光散乱用分子量標準物質（RM 5012-a）の開発を完了した。また、粒径標準の粒径範囲下限を20 nmへ拡張した。動的光散乱法、静的光散乱法、流動場分離法、計数ミリカン法、電気移動度法、パルス磁場勾配核磁気共鳴法による粒径、粒子質量、分子量の値付けを高精度化する研究を進めた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】粒径、粒径分布、粒子質量、粒子数濃度、比表面積、分子量

【テーマ題目39】不確かさ評価及び同等性確認における統計的問題の研究と技術支援

【研究代表者】田中 秀幸（計量標準システム科 計量標準基盤研究室）

【研究担当者】田中 秀幸、城野 克広、城 真範（常勤職員3名）

【研究内容】

不確かさ評価に関わる統計的手法の開発・応用を行うとともに、産総研内外での不確かさ評価の技術支援・普及啓発活動を行うことを目標としている。今年度は、測

定結果の同等性評価、校正期間や補正限界の最適化、抜取検査を含む実用的問題にモンテカルロ法、及びベイズ統計を利用した手法の提案・高度化を行った。さらに、中上級者を対象とした2日間にわたる不確かさ講習会の開催、校正・計測に関わる不確かさ評価の技術相談、不確かさクラブの主宰と不確かさクラブ総会の開催を含む普及・啓発活動を行った。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】不確かさ評価、試験所間比較、トレーサビリティ、適合性評価、ベイズ統計

【テーマ題目40】有機化学標準の開発と供給

【研究代表者】沼田 雅彦（計量標準システム科 有機標準基盤研究室長）

【研究担当者】沼田 雅彦、石川啓一郎、清水 由隆、羽成 修康、北牧 祐子、山崎 太一、吉村 恵美子、藤木 直美、森井 奈保子、堀内 梅子、中村 哲枝（常勤職員6名、他5名）

【研究内容】

平成27年度以降開発予定である水道法規制成分の基準物質について、(クロロ)フェノール類5種、ハロ酢酸2種、カビ臭2種、非イオン界面活性剤1種（以上、高純度品）、陰イオン界面活性剤5種（溶液）の候補標準物質を入手し、均質性・安定性の評価や値付け手法の開発を開始した。バイオディーゼル燃料標準物質については、均質性・安定性の評価や認証項目の値付けを行い、さらには本試料を用いた元素分析についての国際比較（CCQM-K123）をNISTと共同で主催した。主催している定量NMR技術に関する国際比較（CCQM-P150）については、報告結果の解析を実施した。また、既存の認証標準物質については安定性モニタリング等の安定供給に必要な作業を行い、うち認証標準物質5種（硫黄標準液2種、揮発性有機化合物3種）の有効期限を延長した。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】高純度有機化合物、有機標準液、燃料

【テーマ題目41】化学計量トレーサビリティ体系の高度化に関する研究

【研究代表者】井原 俊英（計量標準システム科 化学計量システム研究室長）

【研究担当者】井原 俊英、齋藤 剛、加藤 尚志、齋藤 直樹、山中 典子、鈴木 彰子、大手 洋子、大塚 聡子、鮑 新努、宇佐美 佳代（常勤職員4名、他6名）

【研究内容】

国家計量標準機関の供給する標準物質（以下、国家標準物質）が整備されていない化学物質については、計量トレーサビリティの確保された標準物質の市場への供給

がなされておらず、これまでは正確な計量が困難な状況にあった。そこで、標準物質の値付けに用いる校正技術を高高度化することにより、国家標準物質の整備されていない化学物質であっても計量トレーサビリティを確保できる迅速かつ簡便な計測手法を開発した。農薬類標準物質及びアミノ酸類標準物質を中心に実用化研究を行っており、平成23年度より開始した産総研依頼試験による高純度有機標準物質の純度校正では、約180種の化学物質の校正サービスを提供中である。また、純度校正の中核技術として用いている定量NMR（核磁気共鳴）法に関しては、国際度量衡局との共同研究を実施中である。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】標準物質、計量トレーサビリティ

【テーマ題目42】ナノ・高分子標準物質の開発供給

【研究代表者】松山 重倫（計量標準システム科 計量標準基盤研究室）

【研究担当者】松山 重倫、齋藤剛、衣笠 晋一、折原 由佳利（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

ナノ・高分子関連標準物質の研究開発については、プラスチック中の低分子成分含有量に関する認証標準物質について、RoHS指令対応の標準物質1件（NMIJ CRM 8152-a, ポリ塩化ビニル）を開発し、頒布中の認証標準物質2種に対する安定性モニタリングを行い、頒布前の候補標準物質2種に対する安定性試験を行った。

高分子分析あるいは分子特性解析技術においては、コロナCAD検出器の検出挙動を検討し、2報の論文を発表した。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】高分子標準、RoHS指令、添加剤分析用標準

【テーマ題目43】計量情報システムの適合性評価技術の研究

【研究代表者】松岡 聡（計量標準システム科 計量標準基盤研究室）

【研究担当者】松岡 聡、渡邊 宏（常勤職員2名）

【研究内容】

法定計量業務の支援の一環として、ガススマートメーターの調査を支援し、計量器ソフトウェアクラブを開催した。法定計量クラブと合同で開催した計量器ソフトウェアクラブでは、平成20年に制定された国際文書OIML D31「ソフトウェアで制御された計量器の一般要求事項」が国内JISなどの個別計量器規格へ適用されている状況、および国内で実施されている計量器ソフトウェア認証について、現状をまとめて報告し、関係者へ情報提供した。

計量器ソフトウェアの評価技術の研究としては、新しい評価技術の開発を目標とした二つの研究を進めた。一

つ目の研究として、平成25年度から取り組んできた計算アルゴリズムによる計算に伴う不確かさを評価する枠組みの研究で、計算にもなる不確かさ伝播を評価する手続きを、プログラム意味論を用いて書き下し、平滑化曲線の変曲点導出の計算など具体的事例へ適用することを検討した。二つ目の研究として、プルーフネットについての様々な計算を自動的に行う proof net calculator の開発を更に進めた。これに関連して、金沢で開かれた jaist logic workshop “constructivism and computability” にてこれまでの結果を大幅に拡張する typed Bohm Theorem についての成果を外部発表した。さらに新たな取り組みとして、適合性評価の基盤的なツールとして有望視される Assurance Case の技術的課題を集め、フィジビリティを検討することを目的に、神奈川大学との共同研究を平成26年12月から開始した。共同研究では、有機化合物のスペクトルデータベースを持つ NMR スペクトルとそれから評価された帰属のデータを事例に、評価結果および評価プロセスの妥当性を主張する Assurance Case を作成する実験を開始した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】計量器ソフトウェア、ソフトウェア認証、ソフトウェア適合性評価

【テーマ題目44】法定計量システムの整備、企画、立案、調査

【研究代表者】根本 一（法定計量科 法定計量室）

【研究担当者】根本 一、伊藤 武、西川 一夫、戸田 邦彦（兼務）、高橋 豊（兼務）、松岡 聡（兼務）、渡邊 宏（兼務）（常勤職員3名、他4名）

【研究内容】

法定計量室は、法定計量システム政策の支援のために経済産業省を始めとする行政機関や国内産業界との連携及び技術的支援を行うため、関連する行政会議技術委員会、質量計分科会の運営を行った。法定計量業務の技術基準となる標準化（JIS 制定・改訂及び標準化調査研究委員会等）作業として、非自動はかり JIS の改定、家庭用特定計量器 JIS の改定及び計量法省令改定に係る検討、提案を行った。OIML（国際法定計量機関）や ISO/IEC の国際文書、勧告及び規格等の発行又は改訂に関する国内の各テーマごとの作業委員会に参加し、その内容の検討、審議を行った。法定計量セミナー及び法定計量クラブの計画、運営を行った。その他計量研修センターが行う講師派遣等に関する実施及び調整を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】計量法、特定計量器、家庭用特定計量器、全国計量行政会議技術委員会、OIML、法定計量セミナー、法定計量クラブ

【テーマ題目45】特定計量器の型式承認及び基準適合性

評価

【研究代表者】上田 雅司（法定計量科 型式承認技術室長）

【研究担当者】上田 雅司、原田 克彦、分領 信一、神長 亘、長野 智博（常勤職員5名）

【研究内容】

当室の型式承認審査業務は、タクシーメーター、非自動はかり、水道メーター、各種燃料油メーター、液化石油ガスメーター、ガスメーター、積算熱量計、圧力計、アネロイド型血圧計（電気式・機械式）、体温計（抵抗・ガラス製）、照度計及び環境用計量器に当たる濃度計（大気）、濃度計（pH）、振動レベル計等の特定計量器78型式について国内法に規定する技術基準への適合性を評価し、型式承認の審査をするとともに、承認型式軽微変更届出329件の審査業務を実施した。これらは、計量標準総合センターの認証システム（ISO/IEC ガイド65）に則って、当室が実施する特定計量器の型式の承認に関わる認証マニュアルに従って業務を実施しているものである。

その他、特定計量器の技術基準作成に参画し、計量法の省令改正 JIS 化に協力した。また、OIML（国際法定計量機関）の活動による、国際文書、勧告の発行に関する国内の各分野の作業委員会において、委員会メンバーとしてその内容の検討や審議を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】特定計量器の基準適合性評価、OIML、医療用計量器、環境計量器

【テーマ題目46】基準器検査、特定計量器の型式承認試験及び基準適合性試験

【研究代表者】三倉 伸介（法定計量科 校正試験技術室）

【研究担当者】三倉 伸介、西川 賢二、島田 正樹、井上 太、福崎 知子（育児休業）（常勤職員5名）

【研究内容】

当科が担当する基準器検査（基準ガラス製温度計、基準液柱型圧力計、基準重錘型圧力計、基準密度浮ひょう、液化石油ガス用基準浮ひょう型密度計、基準酒精度浮ひょう、基準比重浮ひょう、基準重ボーメ度浮ひょう、基準サーボ式ピックアップ）832件及び計量器の型式承認試験（タクシーメーター、抵抗体温計、ガラス製体温計）、アネロイド型圧力計、アネロイド型血圧計）30件、比較検査（酒精度浮ひょう）15件、及び依頼試験（ガラス製温度計、密度浮ひょう）1件を品質システム（技術マニュアル）の適正な運用を図りつつ実施した。また、JCSS 校正事業者登録制度による技術審査において、技術アドバイザーとして協力した。その他、経済産業省からの依頼による試買品検査（抵抗体温計、アネロイド型血圧計）に対応した。

[分 野 名] 計測・計量標準

[キーワード] 法定計量、基準器検査、型式承認試験、  
基準適合性試験、比較検査、標準供給、  
医療用計量器

④【計測フロンティア研究部門】

(Research Institute of Instrumentation Frontier)

(存続期間：2004.4.1～2015.3.31)

研究部門長：山内 幸彦

副研究部門長：齋藤 直昭、時崎 高志

首席研究員：鈴木 良一

所在地：つくば中央第2、第5、西事業所、

中部センター

人 員：56名 (56名)

経 費：681,651千円 (341,060千円)

概 要：

当部門では先端計測・解析技術の開発により科学技術や産業技術の発展に寄与することを目的に、計測機器開発：今まで未知であった対象を計測可能にする新たな計測技術や機器の開発、解析手法開発：計測結果から重要な情報を引き出す解析技術の開発、標準開発：技術の標準化や計測の基準となるデータベースの整備、の3つのフロンティア開拓に取り組んでいる。また、開発した技術を活用して、今までは理解できなかった現象や、その現象が発現する機構を解明するなど、社会に役立つ情報を提供している。このような研究開発を推進するために、特徴あるコア技術を持つ8つの研究グループをつくばセンターと中部センターに配置している。各グループの特徴は以下のとおりである。

- ・陽電子プローブグループ (つくば)  
陽電子を使った原子スケールの欠陥計測と量子ビーム源の開発、小型化、省エネルギー化技術
- ・超伝導分光グループ (つくば)  
超伝導検出器の開発と超伝導検出器を用いた各種分析装置の高度化
- ・イオン化量子操作グループ (つくば)  
レーザ、イオンビーム等を活用した量子操作技術の開発と開発技術を用いた質量分析装置の高度化
- ・小型量子ビーム源グループ (つくば)  
電子加速器技術を基盤とした X 線、テラヘルツ波等の分析プローブ開発とその計測分析への応用
- ・構造物画像診断グループ (つくば)  
超音波、光ファイバ、干渉縞などを活用した材料、構造物の検査技術の開発
- ・ナノ顕微分光グループ (つくば)  
各種顕微鏡法、分光法によるナノ材料とその作製

プロセスの計測、解析、評価、及び工業標準化

・精密結晶構造解析グループ (つくば)

X 線構造解析、固体 NMR 等による物質、材料の構造や状態の解析

・マルチスケール統合解析グループ (中部)

各種分光法と統計的手法による材料機能発現機構の解析と評価・分析手法の規格化

各グループは有するコア技術を磨くとともに、新しい計測、分析技術の芽を育てている。

第3期中期目標期間 (2010年度～2014年度) においては、社会ニーズに応えるための重点課題として次の5つのテーマを設定し、各グループの連携により推進した。

1. ライフイノベーションのための計測分析技術開発 (有機・生体関連ナノ物質の状態計測技術の開発)
2. グリーンイノベーションのための計測分析技術開発 (多階層制御材料の多元的動的計測・解析技術に関する研究)
3. 安心安全のための計測分析技術開発 (インフラ診断技術の開発)
4. 先端計測分析機器の公開 (材料評価のための先端計測及び分析機器開発)
5. 国際標準 (ISO-IEC-JIS)、データベース (物質の分析・評価技術の開発と標準化)

以下に重点課題の成果、外部資金による研究テーマ、及び各グループの活動状況を述べる。

【重点課題1】ライフイノベーションのための計測分析技術開発：イオン化量子操作 G、超伝導分光 G、小型量子ビーム源 G、ナノ顕微分光 G、マルチスケール統合解析 G

タンパク質の凝集が関係する特定疾患がある。その凝集の初期状態観察や凝集メカニズムを解明するために、計測分析技術開発を実施した。具体的には、凝集するタンパク質の構造解析や定量的評価を目指した、円二色性分光計測技術開発と、凝集体やタンパク質複合体の分析を目指した、超伝導分子検出器を搭載した質量分析技術の開発である。円二色性分光では、ランプ光源による紫外～真空紫外線領域に対応した円二色性計測装置の高度化を行い、試料自動交換システムを構築した。これにより各種キラル分子試料・ブランク試料の円二色性スペクトルの自動計測に成功した。質量分析では、分子量に依存しない検出感度を有している超伝導検出器において、超伝導検出器中に存在する超伝導電流ダイナミクスを解明し、バイアス抵抗を実装することにより、高速 (20 ns)・大面積 (2×2 mm<sup>2</sup>)・量子効率100%を実現した。また、超伝導エレクトロニクスと接続し、「フル超伝導分子検出システム」による生体分子の質量分析を初めて実現した。X 線を利用した生体イメージングに関しては、レーザ

ーコンプトン散乱 (LCS) X線発生装置によって位相イメージングに重要な干渉縞を測定することに成功した。ナノ材料の安全性評価を目的とし、ナノ粒子を食食した肺胞マクロファージ炎症反応を追跡するために、対照群を用いて Toll 様受容体4産生の免疫組織学的解析を行ない、TLR4によるマクロファージの活性化状況の追跡がナノ粒子の有害性評価に有効であることを示した。

**【重点課題2】グリーンイノベーションのための計測分析技術開発（多階層制御材料の多元的動的計測・解析技術に関する研究）**：陽電子プローブ G、超伝導分光 G、イオン化量子操作 G、ナノ顕微分光 G、精密結晶構造解析 G、マルチスケール統合解析 G

グリーンテクノロジー分野において重要な役割を果たす機能性材料やデバイス等の開発を推進するためには、機能発現機構などを詳しく調べることができる計測分析技術が必要とされている。そのためには、原子レベルからの計測や動的な計測ができる先端的な計測技術とマルチスケールの計測結果を統合的に解析できる解析技術が必要である。そこで本課題では、陽電子欠陥計測、精密 X線構造解析、レーザー過渡吸収や軽元素 X線吸収分光等の分光分析、イオン化量子操作、質量分析などの先端的な計測分析技術と統合的解析技術の開発を行い、グリーンイノベーション推進に貢献する。

本年度は、陽電子計測の湿度及び温度制御による計測条件の高度化、X線吸収分光による半導体中のマグネシウムの検出、レーザー励起光電子放出とその検出、3色のフェムト秒位相制御レーザー場フリーエ合成の制御手法開発、レーザー蒸発共鳴イオン化質量分析での脱離イオンと中性種の同時観測、単結晶構造の平均原子欠陥量の1%台の精密化、など計測技術の高度化を行うとともに、高純度鉄の延伸変形での多階層のマップ情報の関係の追跡手法を確立した。

**【重点課題3】安全安心のための計測分析技術開発（インフラ診断技術の開発）**：構造物画像診断 G、陽電子プローブ G、小型量子ビーム源 G

本課題では構造物安全性確保に資する迅速かつ高精度、可搬性に優れた健全性評価システムを開発することを目標とし、具体的にはデジタルカメラを用いた高精度な変位分布計測技術、および超音波探傷装置や可搬型 X線検査装置を活用して構造物中におけるサブミリメートルサイズの欠陥情報のその場可視化技術を開発する。本年度は以下の研究を行った。1) サンプリングモアレ法による橋梁モニタリングを常磐道の新設橋梁(9橋)のたわみ振動計測に適用し、今後健全性評価に必要な健全時の初期値を取得することができた。ミクロンスケールの材料評価では、新たにマルチ

スケール格子の作製方法を考案し、高精度かつ広い視野で変形分布を測定できる2次元モアレ法を開発した。

2) X線を利用した非破壊検査技術については、プラント配管などの狭隙部の検査を実現するためカーボンナノ構造体電子源を利用した X線管を用いて重さ2kg以下で150keV以上の X線を発生できる X線源を開発し、X線源は100万ショット以上の透過像撮影の寿命を有することを確認するとともに、0.1mmの精度でイメージングできることを確認した。3) 陽電子を利用した非破壊検査については、超短パルスガンマ線を用いた光子誘起陽電子寿命測定システムのシステム時間分解能を評価するためにイットリア安定化ジルコニアの陽電子寿命を測定した。その結果約190ピコ秒の寿命値が測定された。これは他手法で得られた値と一致することを確認した。

**【重点課題4】先端計測分析機器の公開（材料評価のための先端計測及び分析機器開発）**：陽電子プローブ G、超伝導分光 G、ナノ顕微分光 G、精密結晶構造解析 G

当部門が開発した先端計測分析機器をユーザーに公開し、市販装置では対応できない研究開発課題の解決にチャレンジして適用例を蓄積する。同時に、ユーザーニーズを反映させて改良を行うことで、分析解析手法を高度化して確立する。これらの計測分析の支援によりイノベーション推進に貢献する。

陽電子プローブアナライザー装置で、液体試料計測用サンプルホルダーを製作し、イオン液体試料のサブナノ～ナノ空隙を計測できた。X線吸収分光装置では、マグネシウムドーパリウムナイトライド中のマグネシウム蛍光 X線の測定に成功した。ピコ秒過渡吸収分光装置で、励起と観測の波長範囲の拡大(250-1500nm, 400-5000nm)に成功し、ワイドバンドギャップ材料やキャリアの評価を可能にした。また、表面プローブ顕微鏡では、溶液中での精密形状計測技術とその安定な動作や高速動作を実現し、また、ナノ構造の形状測定誤差低減技術と組み合わせることでナノデバイス計測に対応できるようにした。これら開発した公開装置で、企業等からのさまざまな相談や支援依頼に対応し、所内外に対しての研究開発支援を実施した。

**【重点課題5】国際標準(ISO-IEC-JIS)、データベース(物質の分析・評価技術の開発と標準化)**：構造物画像診断 G、ナノ顕微分光 G、マルチスケール統合解析 G

計測分析技術を広く普及させるためには、国際標準化が必要不可欠である。工業用カーボン材料などの熱膨張係数や電気抵抗など温度依存性を有する特性についてデータを取得するとともに、材料の構造因子との関係について調べた。原子間力顕微鏡 (AFM) につ

いては、プローブ評価方法の ISO 規格 (ISO13095:2014) が刊行された。また電気測定 AFM に関する国内機関による持ち回り試験をほぼ完了し、海外機関との試験の準備を開始するとともに、新業務項目 (NWIP) 提案の了承を得た。

データベースについてはオージェ電子分光のスペクトルデータの整備を継続して行った。

-----  
内部資金：

戦略予算

「Investigation of deformation characteristics at submicron/nano-scale by developing multi-scale and high-accuracy deformation measurement technique」

戦略予算「インフラ診断用後方散乱 X 線イメージングのための MeV 電子源の開発」

戦略予算「超伝導計測デバイスの開発」

外部資金：

経済産業省 エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費「ファインバブル技術に関する国際標準化・普及基盤構築」

経済産業省 工業標準化推進事業委託費「平成26年度工業標準化推進事業委託費（戦略的国際標準化推進事業（国際標準共同研究開発事業：ナノ材料の安全性評価基盤に関する国際標準化））戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発事業：ナノ材料の安全性評価基盤に関する国際標準化）」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト「インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／超小型 X 線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発」

独立行政法人科学技術振興機構 復興促進プログラム【マッチング促進】「産業用 X 線照射装置の大線量冷陰極 X 線管の開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】インフラ維持管理・更新・マネジメント技術「レーザー超音波可視化映像からの欠陥定量検出法の開発」

独立行政法人科学技術振興機構 戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】インフラ維持管理・更新・マネジメント技術「コンクリート内部を可視化する後方散乱 X 線装置の開発」

経済産業省 革新的ものづくり産業創出連携促進事業

（戦略的基盤技術高度化支援事業）「超音波を用いた自動車用マフラー等気密容器漏れ検査装置の開発」

公益財団法人科学技術交流財団「製造コストの大幅削減を可能にするエイズ治療薬中間体の革新的合成」

経済産業省 産業技術研究開発委託費「ファインバブル基盤技術研究開発事業」

文部科学省 光・量子融合連携研究開発プログラム「小型加速器を用いた逆コンプトン散乱光源による最適なイメージング手法の開発」

経済産業省 平成25年度次世代構造部材創製・加工技術開発「次世代構造部材創製・加工技術開発（軽金属構造）」

文部科学省 平成26年度科学技術試験研究委託事業「微細構造解析プラットフォーム」

独立行政法人日本学術振興会 平成26年度科学研究費助成事業（科研費）

「イオン・陽電子同時照射系を用いるトランジェント陽電子計測法の開発」基盤研究(B)

「分子トンネルイオン化の量子制御を利用したレーザー場フーリエ合成」基盤研究(B)

「イオン価数弁別可能な超高速超伝導ナノストリップライン分子検出器の開発」基盤研究(C)

「レーザーコンプトン散乱 X 線による可視不能生体材料のリアルタイム可視化装置の開発」基盤研究(B)

「近接場過渡吸収イメージング分光装置の開発と次世代有機太陽電池への応用」基盤研究(C)

「生体光計測のための強度相関イメージング技術の研究」基盤研究(C)

「基板吸収型超伝導トンネル接合 X 線検出器の開発」基盤研究(C)

「イオン液体を用いた高集束性液滴ビーム源の開発：有機系試料の高精度 SIMS への展開」基盤研究(C)

「構造物健全性診断のための超音波伝搬可視化法による定量的非破壊評価」基盤研究(C)

「ファイバ・リング・レーザを用いた FBG 振動検出システムの開発」基盤研究(C)

「超短パルス制動ガンマ線を用いた欠陥分布3次元イメージングに関する研究」若手研究(B)

「引張りによる高分子部材の構造変化を検出するレオ・オブティカル近赤外分光器の開発」若手研究(B)

「質量顕微鏡による高空間分解能分子動態解析」新学術領域研究

「真空紫外マイクロビームを用いた円二色性計測による隕石中のキラリティ分析手法の検証」新学術領域研究

「タンパク質機能発現の解明を目指した高強度テラヘルツ時間分解分光システムの開発」 基盤研究(B)

「水分子によって構成されるかご型ナノ空孔を有する物質の構造相転移」 基盤研究(C)

「陽電子発生用超伝導加速器の電子銃開発」 若手研究(B)

「針葉樹型カーボンナノ構造体電子源を用いた高輝度白色 X 線源の開発」 若手研究(B)

「超短電子ビームによる高強度ラジアル偏光テラヘルツを用いた巨視的光ピンセットの開発」 挑戦的萌芽研究

「テラヘルツ領域における世界初の円二色性スペクトル計測への挑戦」 挑戦的萌芽研究

「パイ共役分子／金属界面に現れる界面準位の起源および形成機構の解明」 若手研究(B)

「フェムト秒電子パンチの6D 位相空間分布計測可能な単一ショット非破壊モニターの開発」 基盤研究(A)

「サハリン島西方沖タートルトラフの天然ガスハイドレート生成環境の解明」 基盤研究(B)

「FT-ICRMS 分析を用いた森林の溶存有機物の構成種とその変動メカニズムの解明」 基盤研究(B)

「多結晶効果の高効率・高精度解明を実現するコンビナトリアル型照射損傷研究の新提案」 基盤研究(B)

「立木用ポータブル X 線検査装置の開発と材質研究およびマツ材線虫病研究への適用」 基盤研究(B)

「新奇な圧力誘起水素－炭素間相互作用の制御とその機構解明」 基盤研究(C)

「加水分解産物からサリドマイドへの逆反応過程の検証と代謝経路の新規構築」 挑戦的萌芽研究

「CO<sub>2</sub>ハイドレートの内部生成および分解制御による革新的な青果物貯蔵技術の開発」 挑戦的萌芽研究

発表：誌上発表138件、口頭発表253件、その他23件

#### 陽電子プローブグループ

(Positron Probe Group)

研究グループ長：鈴木 良一

(つくば中央第2)

概要：

機能性材料の開発では材料中の原子レベル～ナノレベルの欠陥や空隙がその特性に大きな影響を及ぼすため、これらの極微構造を詳しく分析・評価できる技術が望まれている。当研究グループでは高品質・高強度のエネルギー可変短パルス陽電子ビームを発生し、これを計測プローブとした新しい極微構造評価技術の開発を行っている。

今年度は、これまで困難だった液体や粉体の試料の計測を可能にするため、垂直入射の陽電子ビームを用いてイオン液体の陽電子寿命スペクトルを測定し、液体中の空隙を測定可能であることを実証した。

また、陽電子発生用電子加速器の技術を応用して非

破壊検査用の超小型 X 線源の開発を行い、化学プラントの配管等の検査に利用できる重さ3kgの針葉樹型カーボンナノ構造体電子源を用いた可搬型 X 線源を開発するとともに、カーボンナノ構造体電子源の寿命特性を調べ1000時間以上の連続動作が可能であることを確認した。また、携帯型放射線線量計の技術を応用して、移動しながら線量をモニタできる超小型線量計の試作を行った。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目2、テーマ題目4、テーマ題目8

#### 超伝導分光グループ

(Superconducting Spectroscopy Group)

研究グループ長：小池 正記

(つくば中央第2)

概要：

急速に高度化する産業分野、科学技術分野において、従来の分光分析手法の限界を越える性能の実現が必要不可欠になっている。超伝導を計測技術に応用すると、極微小エネルギー量子の検出、高い量子効率、高速応答を実現できる。このため、超伝導検出器を分光法に応用して、従来の限界を越える性能を有する計測分析装置として仕上げることをミッションとする。例えば、半導体検出技術では困難な軟 X 線のエネルギー分散分光が可能のため、半導体中微量軽元素ドーパントの X 線吸収微細構造 (XAFS) 分光に応用している。質量分析は、分子量とイオンの電荷数の比 ( $m/z$  値) によってイオンを分離分析する分析法で、 $m$  を一意に決定できない、中性粒子を分析できないという限界があるが、超伝導検出器により、これらの限界を克服する真の質量分析が可能になる。生体高分子等のようなナノ粒子と X 線光子といった光量子を観測対象として、二原子分子といった低分子から非共有結合タンパク質複合体のような数 MDa までの広い分子量範囲を分析対象とする。従来の質量分析の原理的制限を越える質量分析性能や、超精密な元素の分離を軟 X 線領域で可能とする光子分光性能を実現する。このような性能を、機能性材料の性能向上及びタンパク質凝集関連疾患の凝集メカニズム解明等に活用する。

平成26年度は、トンネル接合検出器のパターンの3次元化技術を開発、先端計測および分析機器として、微量軽元素のナノ構造分析のために蛍光収量 X 線吸収分光システムの装置利用公開を進め、機能性材料の分析を実施した。また、分子量を一意に決定する超伝導ストリップイオン検出器の開発を進展させた。具体的には、検出器の信号読出しに超伝導信号処理回路を使用することで高速信号の処理を可能とし、分解能の向上を計った。また、さらに、計測デバイス作製用クリーンルームの拡張を完遂、共用

施設としての能力を向上させた。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目4、  
テーマ題目6

### イオン化量子操作グループ

(Ionization and Quantum Manipulation Group)

研究グループ長：山本 和弘

(つくば中央第2、第5)

概 要：

生命現象の源であるナノ物質（タンパク質など）、大気環境中の超微粒子等の物質、先端技術である高機能材料やナノデバイス等のナノ物質の計測・解析・評価技術の研究開発は重要である。その中で、質量分析は、「質量」の計測のみでなく、構造や反応性等の様々な性質の分析と評価が可能であるため、非常に重要な分析方法である。当グループでは、レーザー技術、イオンビーム技術、ソフトイオン化技術等を利用した試料抽出技術やイオン化技術等の質量分析に関する要素技術の研究開発、及び、これら先端的な要素技術から構成される質量分析装置の開発とその応用に関する研究開発を実施している。

今年度は、レーザー共鳴多光子イオン化法によるストロンチウム同位体の高感度分析装置の開発、イオン液体クラスターイオン銃を TOF-SIMS 装置に搭載して二次イオン計測による性能評価、ナノ粒子の生体安全性評価のための Toll 様受容体4産生の免疫組織学的解析に関する研究開発を行なった。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目4、  
テーマ題目10

### 小型量子ビーム源グループ

(Compact Quantum Beam Source Group)

研究グループ長：豊川 弘之

(つくば中央第2)

概 要：

ライフイノベーション、国民の安全安心への貢献を目的として、小型電子加速器技術をベースにした量子ビーム源の開発と利用研究、および放射線計測・イメージングの新技术に関する研究を行う。第3期中に、小型加速器を用いた高強度量子ビームと利用技術の実用化を目指す。得られた研究成果は、迅速な研究成果発信や装置公開を通じて産総研やユニットのミッションに貢献する。

今年度は磁石表面の磁区観察を行うため紫外線光電子顕微鏡を開発し、光電子像の取得に成功した。新規セラミックシンチレータを用いて、陽電子消滅ガンマ線を計測する小型検出器システムを開発し、基準物質を用いて陽電子寿命の比較を行った。電界放出カソードを用いたテーブルトップサイズ高周波電子銃を開発し、電子の電界放出特性を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

### 構造物画像診断グループ

(Structure Image Diagnosis Group)

研究グループ長：津田 浩

(つくば中央第2、西事業所)

概 要：

全視野計測による材料の微視的変形から構造物全体の巨視的変形評価技術の開発、超音波伝搬状況を可視化することで構造物中の欠陥を容易に検出する構造物健全性評価システムの開発、並びに炭素材料の適用環境における材料特性評価とその評価手法の開発を行っている。

今年度の成果を以下に記す。サンプリングモアレ法による橋梁モニタリングを常磐道の新設橋梁（9橋）のたわみ振動計測に適用し、今後健全性評価に必要な健全時の初期値を取得することができた。ミクロスケールの材料評価では、新たにマルチスケール格子の作製方法を考案し、高精度かつ広い視野で変形分布を測定できる2次モアレ法を開発した。また超音波可視化探傷技術においては、鋼橋の欠陥を非接触で検出するインフラ診断技術および航空機用チタン合金接合部材の微小欠陥検出技術について、それぞれ民間企業と共同で開発を進めた。工業用カーボン材料の使用環境である高温物性の計測ではねじ接合したグラファイト電極の高温電気抵抗を測定し、熱膨張率の違いが高温物性に与える影響を検討した。炭素繊維の単繊維による特性評価では、炭素繊維の外径を精密に測定する装置を試作し、繊維軸方向の外径の変化を評価した。炭素繊維の断面は楕円形状で、それが軸方向にらせん的に回転しているものと推定され、実際に材料力学的特性を評価するとき、楕円を考慮するとばらつきが小さくなった。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5

### ナノ顕微分光グループ

(Nanoscale MicroSpectroscopic Analysis Group)

研究グループ長：中村 健

(つくば中央第2)

概 要：

薄膜とこれに関わる表面・界面は典型的なナノ材料であり、機能性素子の要素として現代社会の基盤である種々の大規模システムを構築している。当グループでは、本年度も引き続き反応性の高い活性種が重要な役割を果たすこれらナノ材料及びその作製プロセスに関して、計測・分析・評価技術の研究開発を進めた。ナノ材料を各種顕微鏡法、質量分析法、分光法・光学的手法により各々構造・形状、組成、状態を計測・分析する研究を進め、ナノ材料の作製プロセスでの活性種の巨視的・微視的状态を計測・分析してプロセス制



御に資する研究を進めた。

第3期中期目標期間の最終年度である今年度は、分光法・光学的手法については、レーザー過渡吸収分光法の励起光及び検出光の独立制御による測定空間分解能向上に関する最終調整を行い異なるスケールの空間での分析能力の向上を図る一方、本手法との複合計測の要素技術としてレーザー光励起による光電子放出の検出と解析に取り組んだ。ISO/TC201における質量分析法及び顕微鏡法の国際標準化策定を進め、後者の国際標準が刊行される一方で固液界面のナノ顕微観察技術の向上に進捗があった。ナノ材料の作製プロセスに関しては、鋼板材料のプラズマ表面処理に関わるその場プロセス解析を行った。関連する表面・界面・薄膜のプロセスとその計測・分析・評価技術の研究開発を行なった。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目4、テーマ題目5、  
テーマ題目7

#### 精密結晶構造解析グループ

(Accurate Crystal Structure Analysis Group)

研究グループ長：後藤 義人

(つくば中央第5)

概要：

次世代産業における有望な材料の研究開発あるいは化学物質の安全安心な取扱い指針の確立のため、X線結晶構造解析、固体 NMR (核磁気共鳴) 等の手法を中心に、主に固体の化学結合状態、原子配列・分子配向状態の解析および相の同定に関する高度な計測解析評価技術を用いて、物質の重要な知見である原子構造・状態変化、イオン・分子種の移動現象の機構解明などを目的とした研究をおこなっている。とりわけ、環境・エネルギー分野において重要な次世代高性能エネルギー材料の開発のために、結晶構造、イオンの拡散機構および構造相転移等の現象を精密に評価する基盤技術の開発および知識の体系化を進めており、グリーンイノベーションの創出に向けた貢献を目指している。さらに、軽元素含有材料の結晶構造あるいは組成・状態変化について、精密 X 線回折測定、分光測定等の温度・圧力変化を含めた実験データを基に定量的な評価を行うために、計算化学、統計科学等の数理科学的方法の利用を目指して推定する手法の構築を進めている。

今年度は、単位格子中に100個以上の原子を含む複雑な結晶構造を持つ無機化合物の粉末 X 線構造解析を補完する計算化学的手法として分子力場法および分子動力学法を導入した。水分子を骨格構造として水素原子を多数含むことで知られるセミクラスレート系物質に本解析手法を適用した結果、ハロゲン原子周りの水素結合状態をモデル化して特徴を明らかにすることができた。また、固体 NMR 装置の公開に

より内外との共同研究を進めた。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目4、テーマ題目9

#### マルチスケール統合解析グループ

(Multiscale Integration Analysis Group)

研究グループ長：兼松 渉

(中部センター)

概要：

非石油由来の高分子材料や排ガス浄化用触媒材料などグリーンイノベーションに資する新材料およびそのプロセスの設計指針を明らかにするために、系統的な計測とそのデータの解析により新知識の獲得・体系化を図る。具体的には、材料機能発現のために意図的に導入された不均質性(例えば、マトリクス中に分散されたナノ粒子の分散・化学結合状態などの空間ゆらぎや結晶構造の場所による違いなど)に注目し、これらと材料機能との間の関係を定量的に記述することを目指す。研究手段としては、分光学的手法等を用いて原子・分子レベルからサブミリサイズまでの異なるスケール(マルチスケール)での計測を行い、各種統計理論などによる解析(統合解析)を行って、どのスケールの因子が他の因子とどのように関連しながら機能発現を支配しているかを明らかにする。また得られた知識を基に、新材料の特性評価手法を中心とする JIS/ISO 等の工業標準提案にも取り組む。

今年度は、ポリマーブレンドによりエラストマーのモデル試料を作成し、ポリマー用に最適化された X 線 CT 用いて三次元構造の計測を行った。その結果、ドメイン構造の異方性・分散性などの特徴を空間統計学により数値情報として抽出可能であることを示した。また、耐水性粘土鉱物をフィラーとしてアクリル樹脂に分散させたモデル材料を作成し、分散性と相反する特性(透明性と耐吸水性)との相関を調べる研究にも着手した。一方、JIS/ISO 等の工業標準提案に向けた取り組みに関しては、マグネシウム中不純物酸素分析手法の作業原案(WD)審議が開始された。ファイナブルに関しては、国際標準化の利害関係者の理解を得るため、水中に滞留する気泡径分布などファイナブルの存在の裏付けとなる基礎データの収集を行った。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目5

#### 【テーマ題目1】ライフィノベーションのための計測分析技術開発

【研究代表者】山本 和弘

(イオン化量子操作グループ)

【研究担当者】山本 和弘、浮邊 雅宏、高橋 勝利、志岐 成友、柏谷 裕美、全 伸幸、小池 正記、田中 真人、黒田 隆之助、平 義隆、豊川 弘之、早川 由夫、太田 一徳、井藤 浩志、藤原 幸雄、

齋藤 直昭、中村 健  
(常勤職員17名)

**【研究内容】**

ライフイノベーションのための計測技術開発として、組織から分子レベルの生体計測技術により生命現象を解明ために、飛行時間型質量分析法による分子量測定、質量分析分子イメージング、免疫透過電子顕微鏡法による生体内ナノ粒子物質イメージング、円二色性不斉分子の分析等による分子構造解析、X線及びテラヘルツイメージングの開発を行った。

- 1) 超伝導検出器中に存在する超伝導電流ダイナミクスを解明し、バイアス抵抗を実装することにより、高速(20ns)・大面積(2×2mm<sup>2</sup>)・量子効率100%を実現した。また、超伝導エレクトロニクスと接続し、「フル超伝導分子検出システム」による生体分子の質量分析を初めて実現した。
- 2) ナノ材料の安全性評価を目的とし、ナノ粒子を貪食した肺胞マクロファージ炎症反応を追跡するために、対照群を用いて Toll 様受容体4産生の免疫組織学的解析を行い、TLR4によるマクロファージの活性化状況の追跡がナノ粒子の有害性評価に有効であることを示した。
- 3) ランプ光源による紫外～真空紫外線領域に対応した円二色性計測装置の高度化を行い、試料自動交換システムを構築した。この装置を用いて各種キラル分子試料やブランク試料の円二色性スペクトルの自動計測に成功した。
- 4) 産総研レーザーコンプトン散乱(LCS) X線発生装置を用いて位相イメージングに重要な干渉縞を測定することに成功した。
- 5) テラヘルツ波を用いて高分子化合物の吸収係数の測定に成功した。コヒーレント遷移放射(CTR)の偏光分布を観測し、偏光がラジアル偏光的に二次元分布することを確認した。
- 6) イオン液体を真空中でエレクトロスプレーする方式のビーム源を開発後、TOF-SIMS装置に搭載してm/z 1000以上の二次イオン計測を確認した。さらに、生体関連試料(アルギニン)等の分析を行い、SIMS分析が可能であることも確認できた。感度の低さが大きな課題であるが、イオン液体の種類を変えることで二次イオン強度を増大できる事がわかった。

**【分野名】**計測・計量標準

**【キーワード】**質量分析、TOF-MS、MALDI、ESI、生体分子、超伝導デバイス、円二色性、真空紫外、円偏光、透過型電子顕微鏡、TEM

**【テーマ題目2】**グリーンイノベーションのための計測分析技術開発

**【研究代表者】**鈴木 良一(陽電子プローブグループ)

**【研究担当者】**鈴木 良一、鈴木 淳、永井 秀和、大村 英樹、齋藤 直昭、中村 健、古部 昭広、松崎 弘幸、細貝 拓也、後藤 義人、山脇 浩、藤久 裕司、竹谷 敏、兼松 渉、丸山 豊、新澤 英之、木野村 淳、大島 永康、大平 俊行、小池 正記、志岐 成友、浮辺 雅宏(常勤職員22名)

**【研究内容】**

省エネルギーや創エネルギーに資する機能性材料や電子デバイス等では、微量元素や微小領域からマクロな領域に到る構造が機能発現に重要な役割を果たしている。材料開発では、これらを計測し制御することによって様々な機能を発現させることができる。しかしながら、微量の軽元素や原子～ナノレベルの空孔・空隙などは従来の計測技術では材料開発に必要な情報を得ることができない場合が多い。具体的事例としては、海水淡水化や有害物質除去のための分離膜、バイオプラスチック、太陽電池・燃料電池材料、光触媒、ワイドギャップ半導体、超伝導体などが挙げられる。これらの材料の詳細な評価を行うため、以下のナノ材料計測分析技術の高度化を進めた。

陽電子欠陥計測では、高分子薄膜の温度と湿度環境を同時に制御しながら陽電子寿命計測ができる技術を開発した。X線吸収分光測定では、LED用半導体に含まれるマグネシウム等の軽元素 X線吸収分光測定に成功した。レーザー過渡吸収分光計測では、過渡吸収分光法と複合化したレーザー励起光電子分光法の開発に向けて、レーザー励起光電子放出とその検出に成功した。イオン化量子操作技術開発では、4色のフェムト秒位相制御レーザー場フーリエ合の制御手法を確立し、OCS-3原子分子に対して位相に強く依存した配向選択分子イオン化に成功した。レーザー蒸発-共鳴イオン化質量分析において、ストロンチウムの脱離イオンと中性種を同時に観測することに成功した。X線精密構造解析では、結晶構造の密度分布のバイアス推定を行い、単結晶構造の平均原子欠陥量の精密化に1%台の精度で成功した。統合的解析技術開発では、高純度鉄の延伸変形試料において陽電子や電子ビーム計測によって得られた多階層のマップ情報の微視的構造とマクロな材料変化の関係の追跡手法を確立した。

**【分野名】**計測・計量標準

**【キーワード】**陽電子欠陥計測、レーザー過渡吸収分光、X線吸収分光、X線構造解析、イオン化量子操作、質量分析、相関解析

**【テーマ題目3】**安全安心のための計測技術開発

**【研究代表者】**津田 浩(構造物画像診断グループ)

**【研究担当者】**津田 浩、卜部 啓、宮内 秀和、山本 哲也、遠山 暢之、李 志遠、

王 慶華、鈴木 良一、加藤 英俊、  
豊川 弘之、平 義隆（常勤職員11名）

【研究内容】

本課題では構造物安全性確保に資する迅速かつ高精度、可搬性に優れた健全性評価システムを開発することを目標とし、具体的にはデジタルカメラを用いた高精度な変位分布計測技術、および超音波探傷装置や可搬型 X 線検査装置を活用して構造物中におけるサブミリメートルサイズの欠陥情報のその場可視化技術を開発する。本年度は以下の研究を行った。1) サンプリングモアレ法による橋梁モニタリングを常磐道の新設橋梁（9橋）のたわみ振動計測に適用し、今後健全性評価に必要な健全時の初期値を取得することができた。ミクロンスケールの材料評価では、新たにマルチスケール格子の作製方法を考案し、高精度かつ広い視野で変形分布を測定できる2次モアレ法を開発した。2) X 線を利用した非破壊検査技術については、プラント配管などの狭隙部の検査を実現するためカーボンナノ構造体電子源を利用した X 線管を用いて重さ2kg 以下で150keV 以上の X 線を発生できる X 線源を開発し、X 線源は1000万ショット以上の透過像撮影の寿命を有することを確認するとともに、0.1mm の精度でイメージングできることを確認した。3) 陽電子を利用した非破壊検査については、超短パルスガンマ線を用いた光子誘起陽電子寿命測定システムのシステム時間分解能を評価するためにイットリア安定化ジルコニアの陽電子寿命を測定した。その結果約190ピコ秒の寿命値が測定された。これは他手法で得られた値と一致することを確認した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】変形分布計測、構造物検査、イメージング技術、放射線線量計、光子誘起陽電子消滅

【テーマ題目4】先端計測分析機器の公開

【研究代表者】齋藤 直昭

【研究担当者】志岐 成友、全 伸幸、浮辺 雅宏、  
小池 正記、古部 昭広、松崎 弘幸、  
井藤 浩志、中村 健、後藤 義人、  
大島 永康、木野村 淳、  
オローク ブライアン、鈴木 良一、  
大平 俊行、松林 信行、  
（常勤職員16名）

【研究内容】

新たな産業の創出と発展を先導するための先端計測や分析機器の開発と、オープンイノベーション通じた社会への貢献のため、下記のユーザーニーズに対応した改良研究を実施して装置の利用公開を高度化した。

1) 垂直入射型陽電子ビームラインにおいて、液体試料計測用サンプルホルダーを製作し、イオン液体試料の陽電子ビーム計測を行い、陽電子消滅スペクトル計測

に成功しサブナノ～ナノ空隙を計測できることを確認した。

2) X 線吸収分光装置では、有感面積拡大のため配線器を STJ 検出器下部に配置した3次元 STJ 検出器を試作し、X 線検出器として動作することを確認した。炭素蛍光 X 線に対するエネルギー分解能は12 eV（FWHM）で通常の STJ 検出器と変わらない性能を実現した。また、従来測定が不可能であった、マグネシウムドーパリウムナイトライド中のマグネシウム蛍光 X 線の測定に成功した。

3) 可視～近赤外過渡吸収分光では、ピコ秒過渡吸収分光装置において、新たなレーザー光源を導入して、励起と観測の波長範囲の拡大（250-1500nm, 400-5000nm）に成功し、ワイドバンドギャップ材料やキャリアの評価を可能にした。また、ナノ秒過渡吸収分光では装置改良により、観測時間領域を広域化（500ps～100 ms）した。有機太陽電池、有機電界発光材料、光触媒材料、ナノカーボン複合材料などの過渡吸収測定を行って、デバイス及び材料の基礎物性や機能性評価に貢献した。

4) 表面プローブ顕微鏡では、実形状を精密に測定するための溶液中での精密形状計測技術を開発し、公開機器として利用可能にした。大気測定での問題を克服するために、探針・試料を溶液中に入れて探針先端と試料間の接着力を低減して安定な動作と高速な動作を実現した。さらに、探針に起因するナノ構造の形状測定誤差低減技術と組み合わせ、ナノデバイス計測分野での支援に対応できるようにした。

5) 固体 NMR 装置では、多様なニーズに対応するために前年度導入した600MHz 固体 NMR 装置の調整を進めて本格稼働できるようにした。また、固体酸触媒材料の表面状態観測で、パルス系列を工夫して、水存在下における表面近傍の状態を選択的に観測できるようにした。さらに、無機複合有機高分子材料、プロトン伝導材料、食品材料など多様な材料それぞれに対応した固体 NMR の手法を考案して適用できるようにした。

6) 超電導アナログデジタル計測デバイス開発拠点（CRAVITY）で、微細パターンの形状評価を迅速に可能な表面形状評価装置を導入し、大規模デバイスの作製歩留まり向上を果たした。超伝導検出器のチップ配布を新たに開始した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】蛍光 X 線、超伝導検出器、陽電子、欠陥計測、固体 NMR、レーザー分光法、過渡吸収分光法、走査プローブ顕微鏡（SPM）、原子間力顕微鏡（AFM）

【テーマ題目5】標準（ISO-IEC-JIS）とデータベース

【研究代表者】兼松 渉

(マルチスケール統合解析グループ)

【研究担当者】 岩下 哲雄、永井 英幹、森川 久、  
 柘植 明、兼松 渉、辻内 亨、  
 山内 幸彦、井藤 浩志、野中 秀彦、  
 藤原 幸雄、鈴木 淳、中村 健、  
 大久保 雅隆 (常勤職員13名)

【研究内容】

本課題では、物質の分析・特性評価に必要な計測技術の研究及び標準化を行う。本年度は、以下の研究開発を進めるとともに、規格発行に向けた国内外の関係者との意見調整などを行った。1) 種々のカーボン材料の高温電気抵抗および熱膨張などの温度依存性のデータを取得し、前者については結晶構造因子から推定できる可能性を示唆する知見を得た。2) AFM プローブ評価方法のISO規格 (ISO13095:2014) が刊行された。電気測定AFMの国際持ち回り試験の国内分をほぼ完了し海外分の準備を進める一方、国内審議委員会で新業務項目 (NWIP) 提案の了承を得た。3) マグネシウム中不純物酸素分析手法について、作業原案 (WD) 審議が開始された。4) ファインバブルの測定手法やバブルの有する各種効果の評価手法標準化に向けて、まずは利害関係者の理解を得るため、水中に滞留する気泡径分布などファインバブルの存在の裏付けとなる基礎データの収集を行った。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 超高温、熱膨張、マグネシウム、酸素分析、原子間力顕微鏡、ファインバブル

【テーマ題目6】 多重散乱光の能動的制御による高分解能イメージング技術

【研究代表者】 白井 智宏

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】 白井 智宏 (常勤職員1名)

【研究内容】

一般に、微粒子の集合体や生体組織などの多重散乱媒質に光波を入射すると、媒質内部において光波が不規則に散乱され出射光はほぼ一様に広がってしまう。しかし、最近の研究により、適切に制御された波面分布をもつ光波を入射すると、媒質内部での光波の挙動がうまく制御され出射光を1点に集光できることが明らかとなっている。この結果は、多重散乱媒質と光波面の最適化の組み合わせが、ある種のレンズとして作用することを示しているため、これを利用すると原理的には多重散乱媒質を通したイメージングが可能となる。

本研究では、光を使って生体の深部組織を高分解能でイメージングする技術の創出を目指して、入射光波面の制御に基づく散乱レンズ実現システムの構築とその最適な実現法の考案、およびそれを利用したイメージング技術の諸特性の評価を行う。

平成26年度は、最初に散乱レンズ実現システムを構

築した。このシステムは、波面制御素子として高分解能の液晶空間位相変調器を、波面の最適化に必要な集光点の強度を取得する検出器として高感度かつダイナミックレンジの広いデジタル EMCCD カメラを採用することにより、検出光が微弱であっても高精度な波面制御が可能となっている。空間位相変調器の位相を1画素ずつ連続的に変化させ、検出強度が最大になるように各画素の位相値を決定する基本的な最適化手法を利用して動作の確認を行ったところ、検出強度の初期値に依存せず、多重散乱体を透過した光波が常に微小な点に集光されることが確認された。

前述の最適化法では、最適化が終了するまでに1時間程度の時間が必要となっていた。この最適化法の高速化を図るために、最適化の際に1画素の位相値を連続的に変化させる代わりに位相シフト干渉法で使用される位相解析アルゴリズムを適用したところ、最適化に必要な時間は約半分となった。さらに、1画素ずつではなく、2値で構成される直交モードに基づき最適化を行ったところ、最適化に必要な時間を最終的に数分程度にまで短縮することに成功した。

今後は、構築した散乱レンズ実現システムと既存のイメージング光学系を融合することにより、より深部の高精度イメージングを可能とする技術の確立を目指す。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 光波面制御、イメージング、生体医用光計測

【テーマ題目7】 レーザ光電子収量分光装置の開発：材料のフロンティア軌道電子状態とキャリアダイナミクスの相関解析を目指して

【研究代表者】 細貝 拓也

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】 細貝 拓也、松崎 弘幸、古部 昭広、  
 中村 健 (常勤職員4名)

【研究内容】

物質の電子機能を司る価電子帯または伝導帯の電子構造は光電子分光法または逆光電子分光法により決定できるが、近年では物質の励起状態 (または励起子) における電子構造を唯一調べられる二光子光電子分光法 (2PPE) に注目が集まりつつある。しかし、2PPE は測定に超高真空環境を必要とするため、材料やデバイス開発で重要な大気下などの実環境での分析は一般に不可能である。そこで本研究では、この2PPEの技術と古来より閾値分光法として知られる光電子収量分光法 (PYS) を組み合わせることで、主に大気雰囲気下で材料の励起状態の電子構造が決定可能な新規分析装置の開発を目的としている。

本課題では、まず初めに大気下での2光子吸収による光電子放出の可能性を調べるため、金板を試料に用いて Nd:YAG レーザの第三高調波の照射によって流れる試

料電流を観測した。キセノンランプの定常光では照射光強度の増加に比例した試料電流値が観測されたのに対して、パルスレーザ光の照射では2光子吸収に由来する二次関数に対応した試料電流が得られた。そこで、暗電流およびノイズ電流を極力低減するために超高真空対応の小型測定チャンバーを製作し、同様に実験を行ったところ直流電圧200V 印加状態での暗電流で2フェムトのノイズ電流まで低減することに成功した。これによって2PPE による数フェムトアンペアからの極めて微小電流の観測が可能となった。今後は、本装置を用いて2光子をそれぞれ分光した時の光電子放出過程を調べ、大気下での材料の励起状態における伝導準位を調べる予定である。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕電子分光、光電子収量分光法、伝導帯、励起状態、励起子、機能性材料

#### 〔テーマ題目8〕陽電子発生用超伝導加速器の電子銃開発

〔研究代表者〕オローク・ブライアン

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕オローク・ブライアン、鈴木 良一、大島 永康 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

陽電子は機能性材料の特性に支配する原子レベルからナノスケールの空孔・空隙のユニークなプローブである。陽電子は物質中で電子と消滅して $\gamma$ 線(光子)を放出して、試料中の欠陥等を非破壊的に評価する。産総研では、電子線形加速器を利用して発生した高強度低速陽電子ビームにより世界最先端測定技術を開発してきた。近年陽電子ビームをマイクロビーム化することにより欠陥イメージングや実環境測定を成功した。その技術を公開し、産業ニーズに十分対応可能な施設を構築することを目標とし、陽電子ビーム強度を増強するための超伝導加速器の開発している。超伝導加速器の電子エネルギーを増加し、パルス構造を最適化するため、電子銃としてレーザーフォトカソードの開発を開始した。26年度ではテスト実験用の紫外線レーザーを利用して、フォトカソード電子銃の予備実験を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕超伝導加速器、電子銃、フォトカソード、低速陽電子ビーム

#### 〔テーマ題目9〕粉末 X 線回折実験と分子力場計算によるセミクラスレートの結晶構造解析

〔研究代表者〕藤久 裕司

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕藤久 裕司、竹谷 敏、後藤 義人 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

セミクラスレートは、メタンハイドレートと同様に、水分子で形成されるケージ構造を有する氷状の結晶である。これまでの国内外のテトラ n-ブチルアンモニウム (TBA) 分子を含むセミクラスレートの研究では、結晶中の水素が見えないため水素結合状態やハロゲンイオンと水分子の関係等、物性を司る情報が欠落しており、冷媒等への産業利用に向けての完全な構造解析が急務とされていた。また水素を含む1000個以上の原子を精度よく取り扱うのは現状の粉末 X 線構造解析や DFT 計算では難しかった。

本研究では、原子間に働く力をポテンシャルエネルギーによって計算する分子力場計算を利用した構造解析を行うことを試みた。結晶構造モデルの作成、X線回折パターンシミュレーションには Accelrys 社の Materials Studio (MS) Reflex を使用した。分子力場計算には MS Forcite Plus と Compass を用いた。

まず結晶格子中に原子数が342個の、構造が比較的シンプルな系である臭化テトラ n-ブチルアンモニウムクラスレート (TBAB) について、水素位置を分子力場計算による構造最適化と分子動力学シミュレーションにより解析した。その結果臭素イオンの周囲を水分子の水素が4配位していることが分かった。DFT 計算によっても同じ結果が得られることが確かめられた。

次に結晶格子中に原子数が約800個の、塩化テトラ n-ブチルアンモニウムクラスレート (TBAC) について、同様の解析を試みた。この物質の構造はロシアのグループによる単結晶構造解析の論文が報告されているが、隣り合う TBA がぶつかってしまう問題があった。これを分子力場計算により修正し、正しい構造モデルを得ることに成功した。今後原子数が2000個を超える系の構造解析においても、本手法による解析が有効であると考えられる。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕セミクラスレート、テトラ n-ブチルアンモニウム、結晶構造、相転移、ガス貯蔵、力場、分子動力学計算

#### 〔テーマ題目10〕プロトン導電性の新規マトリクスを用いた二次イオン質量分析 (SIMS) の高感度化技術の開発：プロトン付加反応の促進による有機・生体関連分子の二次イオン収率の増大

〔研究代表者〕藤原 幸雄

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕藤原 幸雄 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

二次イオン質量分析 (Secondary Ion Mass Spectrometry : SIMS) は、一次イオンビームを試料表面に照射することで生じた二次イオンを質量分析する手法である。従来の SIMS では、酸素やセシウム等のイ

オンビームを用いていたが、高分子量域の二次イオンがほとんど検出できないという課題があった。

しかし、近年、クラスターイオンビーム照射を用いることで、有機材料等を構成する大きな分子も検出できるようになり、半導体産業のみならず、化学や医学分野等においても、SIMS の応用範囲が広がっている。クラスターイオンビーム照射の場合には、試料分子の分子構造を保持しつつ、気相 (=真空) 中に脱離させることができる点が大きな特徴である。

一方、クラスターSIMS の課題は、二次イオン収率の向上である。一般的に、イオンビーム照射によって試料表面から脱離する粒子の殆どは、二次イオンではなく電氣的に中性な原子や分子である。従って、有機・生体関連分子をソフトに、かつ効率的に二次イオン化する新しい技術が必要となる。

本研究は、分析試料の前処理を工夫することにより、SIMS の高感度化を目指すものである。本年度は、昨年度に準備を進めた実験装置を用いて SIMS 実験を行った。有機試料としてアルギニンを用い、プロトン導電性の液体とアルギニンを混合させたサンプルに対してアルゴンビームを照射し、生成されるアルギニンの二次イオン強度を調べた。比較のため、非プロトン導電性の液体についても同様の実験を実施した。結果として、プロトン導電性の液体を用いることで、アルギニン分子にプロトンが付加した二次イオンの量が増加することが明らかとなった。

[分 野 名] 計測・計量標準

[キーワード] 表面分析、イオン化

### ⑤【計量標準管理センター】

(Metrology Management Center)

所在地：つくば中央第3

人 員：26名 (19名)

概 要：

計量標準は円滑な国際通商を実現するために不可欠であり、さらに産業技術や研究開発の技術基盤であるとともに、環境・安全を評価するための技術基盤を与えるなど、国民の生活に密着したものである。

社会に必要とされる計量標準を的確に把握してその整備・普及の方向性を見出し、標準の供給を的確に行うとともに、計量標準に係わる活動の成果を社会に広く普及していく役割を担っている。

機構図 (2015/3/31現在)

[計量標準管理センター]

センター長 臼田 孝

[計量標準計画室]

室長 竹歳 尚之 他

[標準供給保証室]

室長 岸本 勇夫 他

[標準物質認証管理室]

室長 黒岩 貴芳 他

[国際計量室]

室長 加藤 英幸 他

[計量研修センター]

センター長 衣笠 晋一 他

計量標準計画室 (Metrology Planning Office)

(つくば中央第3)

概 要：

計量標準の開発や供給を通じて産業界や社会のイノベーションを促進させるため、研究実施部門と密接に連携して、計量標準整備計画の策定、維持、改善を図るとともに、講演会や成果発表会などの開催、報告書・技術資料の発行などを通して、新しい計量標準に関する研究成果の発信を行っている。

また、計量標準に係る活動内容や研究成果などを広く普及するため、産技連知的基盤部会、NMIJ 計測クラブ、計測標準フォーラムなどと連携し、NMIJ ホームページ、展示会出展、パンフレット等、様々な形態の広報・啓発普及活動の企画運営を行っている。

標準供給保証室 (Metrology Quality Office)

(つくば中央第3)

概 要：

産総研の成果である多岐にわたる物理系計量標準の供給事務 (申請書受付、証明書類発行など) を一元的に行うとともに、その信頼性を保証するために必要な ISO/IEC17025、ISO/IEC ガイド65 に基づいた品質システムの支援業務を行う。

標準供給業務としては、次のものがある。

- ・ 特定計量器の検定、比較検査、基準器検査
- ・ 特定計量器の型式承認試験
- ・ 特定二次標準器の校正
- ・ 特定副標準器の校正
- ・ 技能試験参照値の付与
- ・ 研究開発品の頒布
- ・ その他計量に係わる試験・校正サービス

標準物質認証管理室 (Reference Materials Office)

(つくば中央第3)

概 要：

産総研において研究開発された標準物質の頒布に関する事務を行うとともに、その品質を保証するために必要な ISO ガイド34、ISO/IEC17025 に基づいた品質システムの支援業務を実施している。主な業務としては、標準物質の認証のための業務 (標準物質認証委員会の開催、標準物質認証書の発行等)、標準物質の

該当法規に従った安全な管理、標準物質の頒布業務、標準物質に関わる技術相談、ホームページやカタログ配布等による標準物質関連情報のユーザーへの発信などがある。

#### 国際計量室

(International Metrology Cooperation Office)

(つくば中央第3)

#### 概要：

計量標準・法定計量に関わる国際戦略策定の取りまとめ。国際メートル条約、及び国際法定計量条約に関係する各種国際会議・委員会・作業委員会（国際度量衡委員会、国際法定計量委員会等）への対応。国際相互承認（CIPM MRA、OIML MAA）への対応。計測標準研究部門が参加する国際比較等の支援・管理。二国間 MoU に基づく国際活動の取りまとめ。JICA プロジェクト等の研修事業の支援。途上国向け技術研修の受入支援。国際機関事務局（APMP 及び APLMF）との連絡・調整などを実施している。

#### 計量研修センター（Metrology Training Center）

(つくば中央第1)

#### 概要：

計量研修センターは、都道府県・特定市の計量行政公務員の研修及び民間の計量技術者に対して、一般計量士、環境計量士の資格付与などのため、一般計量関係及び環境計量関係の教習を企画・実施する研修機関である。前身は、1952年に当時の通商産業省傘下に創設された計量教習所で、2001年に独立行政法人化し、産総研に合流した。

年間約600人の研修生を迎えて一般計量教習、一般計量特別教習、環境計量特別教習、短期計量教習、環境計量講習（濃度、騒音、振動関係）、及び計量行政機関の職員並びに計量士になろうとする者のための特定教習などを企画し実施している。また、計測技術者向けの技術研修などを実施している。

業務報告データは、計量標準総合センターの業務報告データに記載。

#### ⑥【計量標準総合センター】

(National Metrology Institute of Japan)

所在地：つくば中央第3

#### 概要：

計量標準総合センター（National Metrology Institute of Japan : NMIJ）は、計測標準研究部門、計量標準管理センター、計測フロンティア研究部門、生産計測技術研究センター、計測・計量標準分野研究企画室の計5部署から構成される。計量標準の整備は

計測技術の研究開発とともに、計量標準総合センターの重要なミッションであり、産業技術の基盤として大きな発展が望まれている。計測標準研究部門と計量標準管理センターが互いに連携を取りながら、経済産業省が企画立案する政策のもと、計量標準や計測分析技術に関する先導的な研究開発を行うとともに、質の高い標準供給を行い、我が国のトレーサビリティ制度と法定計量制度の発展に貢献している。また、計量標準総合センターは、外部からは産総研の計量に関わる活動の中核的な組織として位置付けられ、国際的にはメートル条約などにおいて日本の代表機関として位置付けられている。なお計量標準総合センターの計量標準以外の活動については該当する部署の記載を参照されたい。

計量に関わる活動を円滑かつ確実に実施するため、計量標準管理センターの計量標準計画室を事務局とする計量業務運営協議会及びその下部の物理標準分科会、化学標準分科会を、それぞれ定期的に開催している。

具体的な、主な活動は以下の通りである。

- 1) 標準整備計画に基づく、既存の計量標準の維持・改善と新しい標準の研究・開発
- 2) 高品質な標準の供給、共同研究・技術指導、広報・啓発活動等による成果の普及
- 3) 計量標準の需要動向の調査と、それに基づく標準整備計画や研究課題への反映
- 4) メートル条約、OIML 条約などの国際条約に基づく活動（計量標準の国際相互承認 [MRA]、各国の国家計量標準機関 [NMI] との研究協力・技術協力など）
- 5) 計量や計測に関する人材の育成
- 6) 計量法に基づく計量器の型式承認、基準器検査等

#### 関連組織（2015/3/31現在）

[計量標準総合センター] 代表 三木 幸信

[計測標準研究部門]

部門長 千葉 光一 他

[計量標準管理センター]

センター長 白田 孝 他

#### 業務報告データ

- ・計量標準全体会合 2回  
(4月1日、1月5日)
- ・計量業務運営協議会 47回
- ・第3期中期計画における2014年度の計量標準整備種類数 20
- ・2014年度供給開始標準項目  
物理標準 17、標準物質 13
- ・ピアレビュー及びASNITE-NMI 認定審査  
技術ピアレビュー・ASNITE-NMI 認定の合同審査を通じて、校正サービスの3技術分野について認定を継

続・拡大した。

- ・ JCSS 審査等への技術専門家の派遣  
延べ73件、技術専門家の派遣を実施した。
- ・ 講演会等 5回
  1. AIST 放射線計測セミナー「放射線計測技術開発による復興支援」(NMIJ 主催) 9月3日 幕張メッセ
  2. NMIJ 標準物質セミナー2014「きつと使える分析ノウハウと標準物質」(NMIJ 主催) 9月4日 幕張メッセ
  3. NMIJ 計量標準セミナー2014「自動車産業を支える計測技術と計量標準」(NMIJ 主催) 9月18日 東京ビッグサイト
  4. NMIJ 法定計量セミナー2014「安全と安心のモノサシ」(NMIJ 主催) 9月19日 東京ビッグサイト
  5. 2014年度計量標準成果発表会 1月22日～23日 産総研つくばセンター共用講堂
- ・ 技能試験
  1. NMIJ 分析技能向上支援プログラム「農薬残留分析の信頼性向上のための技能試験(第3回) 玄麦中の農薬分析」 5月12日～7月25日、参加者72名
  2. NMIJ-NFRI 分析技能向上支援プログラム「バリデーションと不確かさ評価のための技能試験-第7回: 頭足類(イカ) 中無機元素分析-」 9月24日～11月21日、参加者116名
- ・ 主なイベント参加
  1. 「JASIS2014」ブース出展 9月3日～5日 幕張メッセ
  2. 「INTERMEASURE2014」ブース出展 9月17日～19日 東京ビッグサイト



## ①物理標準

最上位に位置する国の計量標準の設定・維持・供給という責務を果たすため、さまざまな量に対する国の計量標準を整備して、計量・計測器の校正・試験、標準物質の頒布といった形で利用者への標準供給サービスを行っている。

なお、平成25年度までは、つくばセンター及び関西センターにおいて計量業務を行っていたが、平成26年度からはつくばセンターに集約された。

## 法定計量

	種 類	受理個数	検査・ 試験個数	不合格個数	不合格 (%)
イ	検定	0	0	0	-
ロ	型式承認	75	78	7	11.5
ハ	基準器検査	3,163	3,148	29	0.9
ニ	比較検査	15	15	0	0.0

## 校正・試験等

	種 類	受理個数	校正・試験個数
ホ	特定標準器による校正 (特定二次標準器)	461	427
へ	依頼試験 (一般)	1,606	1,590
	依頼試験 (特殊)・技能試験用校正	305	304
	特定標準器による校正 (特定副標準器)	24	27
	OIML 適合性試験	7	7
ト	研究開発品頒布	2	2

## イ、検 定

当所で現在行われている計量法に基づいた検定業務は、精度の極めて高いものと高度の検定設備能力を必要とするものなどの機種だけがその対象となっている。

種 類	項 目	受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
ガラス製温度計		0	0	0	-

研 究

ロ、型式承認

計量器の構造（性能及び材料の特性を含む。）をあらかじめ十分に試験して、一定の基準に適合するものに「型式の承認」を与え、同一構造のものについては、その後の計量器の検定に際し、構造の検定を省略（一部残るものもある）し、検定の適正化と効率化を図る制度である。

種 類		項 目	受 理 個 数			試 験 個 数	承 認 個 数	不承認 個 数	不承認率 (%)
			新規	追加	計				
タクシーメーター			0	0	0	0	0	0	-
質量計	非自動はかり		3	19	22	23	19	4	17.4
温度計	ガラス製体温計		0	0	0	0	0	0	-
	抵抗体温計		13	0	13	13	10	3	23.1
	小 計		13	0	13	13	10	3	23.1
体積計	水道メーター		7	1	8	8	6	2	25.0
	温水メーター		0	1	1	1	1	0	0.0
	燃料油メーター		0	0	0	0	0	0	-
	液化石油ガスメーター		0	0	0	0	0	0	-
	ガスメーター		0	5	5	7	7	0	0.0
	小 計		7	7	14	16	14	2	12.5
圧力計	アネロイド型圧力計		0	0	0	0	0	0	-
	アネロイド型血圧計		10	7	17	17	17	0	0.0
	小 計		10	7	17	17	17	0	0.0
熱量計	積算熱量計		0	0	0	0	0	0	-
騒音計	普通騒音計		0	0	0	0	0	0	-
	精密騒音計		0	0	0	0	0	0	-
	小 計		0	0	0	0	0	0	-
振動計	振動レベル計		1	0	1	1	1	0	0.0
濃度計	ジルコニア式酸素濃度計		0	0	0	0	0	0	-
	溶液導電率式二硫化硫黄濃度計		0	0	0	0	0	0	-
	磁気式酸素濃度計		1	0	1	1	1	0	0.0
	紫外線式二酸化硫黄濃度計		0	0	0	0	0	0	-
	紫外線式窒素酸化物		0	0	0	0	0	0	-
	非分散型赤外線式二酸化硫黄濃度計		0	0	0	0	0	0	-
	非分散型赤外線式窒素酸化物濃度計		0	0	0	0	0	0	-
	非分散型赤外線式一酸化炭素濃度計		1	0	1	1	1	0	0.0
	化学発光式窒素酸化物濃度計		1	0	1	1	1	0	0.0
	ガラス電極式水素イオン濃度検出器		2	0	2	2	2	0	0.0
	ガラス電極式水素イオン濃度指示計		2	0	2	2	2	0	0.0
小 計		7	0	7	7	7	0	0.0	
照 度 計			1	0	1	1	1	0	0.0
合 計			42	33	75	78	69	7	11.5

## ハ、基準器検査

計量器の構造、修理などの事業を行う者及び計量関係行政機関等が、検定、定期検査、立入検査などを行う場合には、その標準として基準器検査に合格して基準器検査成績書が交付された基準器を用いることになっている。基準器検査の対象機種種の大半については当所が検査を行っており、これらの業務は計量法に基づいて行う重要な標準供給業務となっている。なお、基準器検査は検定手数料の関係から次の二つに大別される。

(1) 手数料を徴収する検査（計量器メーカー等が使用するもの）

(2) 手数料を伴わない検査（計量行政機関等が使用するもの）

種 類		項 目	受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
長さ		基準巻尺	18	18	0	0.0
質量基準器		基準手動天びん	150	150	2	1.3
		基準台手動はかり	1	1	0	0.0
		基準直示天びん	4	4	0	0.0
		特級基準分銅	1,636	1,636	4	0.2
		小 計	1,791	1,791	6	0.2
温度基準器		基準ガラス製温度計	126	123	1	0.8
		抵抗温度計	0	0	0	-
		小 計	126	123	1	0.8
体積基準器		基準フラスコ	169	169	3	1.8
		基準ビュレット	11	11	0	0.0
		基準ガスメーター	64	62	4	6.5
		基準水道メーター	48	48	1	2.1
		基準燃料油メーター	47	47	0	0.0
		液体メーター用基準タンク	129	121	1	0.8
		液体タンク用基準タンク	3	3	0	0.0
		ガスメーター用基準体積管	2	2	0	0.0
		液体メーター用基準体積管	22	24	1	4.2
		小 計	495	487	10	0.2
密度基準器		基準密度浮ひょう	2	2	0	0.0
		液化石油ガス用浮ひょう型密度計	61	58	1	1.7
		小 計	63	60	1	0.2
圧力基準器		基準液柱型圧力計	199	199	7	3.5
		基準重錘型圧力計	337	335	2	0.6
		小 計	536	534	9	0.2
騒音		基準静電型マイクロホン	22	22	0	0.0
振動		基準サーボ式ピックアップ	4	5	0	0.0
濃度		基準酒精度浮ひょう	13	13	0	0.0
比重基準器		基準比重浮ひょう	89	89	0	0.0
		基準重ボーム度浮ひょう	6	6	2	33.3
		小 計	95	95	2	0.2
総 計			3,163	3,148	29	0.9

研 究

ニ、比較検査

比較検査は、検定と同様に合否の判定を行うが、具体的な器差を明らかにして成績書を交付し、精密な計量に奉仕する制度である。

種 類 \ 項 目	受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
酒精度浮ひょう	15	15	0	0.0

ホ、特定標準器による校正試験

特定標準器による校正(特定二次標準器)

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
01.長さ 波長安定化レーザ	2 2	1 1
02.幾何学量 ロータリーエンコーダ	1 1	1 1
03.時間 周波数標準器	170 170	154 154
04.質量 標準分銅	90 90	82 82
05.力 実荷重式、こうかん式又は油圧式力基準機	4 4	7 7
06.トルク 参照用トルクレンチ	5 5	5 5
07.圧力 ピストン式重錘型圧力標準器	8 8	8 8
09.真空 粘性真空計	3 3	3 3
10.流量 ISO型トロイダルスロート音速ノズル 液体流量校正装置 石油用流量計 超音波流速計 微風速校正風洞	17 7 2 6 1 1	10 0 2 6 1 1
11.密度	0	0
14.音響 標準マイクロホン	7 7	7 7
16.振動加速度 振動加速度計	1 1	1 1
19.直流・低周波 交直変換器 交流抵抗器 電圧発生装置 標準キャパシタ 標準抵抗器 誘導分圧器	35 3 2 5 5 17 3	33 3 2 5 4 16 3
20.高周波 ピストン減衰器	51 1	49 1

## 産業技術総合研究所

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
固定長エレメント型ダイポールアンテナ	2	0
光パワー測定装置	4	4
光電検出器	2	2
高周波インピーダンス	23	23
高周波電圧	1	1
高周波電力 2.9mm 同軸	3	3
高周波電力 7mm 同軸	8	8
同軸可変減衰器	6	6
同軸固定減衰器	1	1
21.測光量・放射量	3	3
分光応答度	2	2
分光放射照度	1	1
22.放射線	17	17
放射線線量計	17	17
23.放射能	5	6
放射能測定装置(遠隔校正)	5	6
24.中性子	0	0
25.温度	21	18
貴金属熱電対	13	10
白金抵抗温度計	8	8
26.湿度	18	19
露点計	18	19
28.硬さ	3	3
ロックウェル硬さ標準片	3	3
合 計	461	427

へ、依頼試験

依頼試験

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
01.長さ	14	14
ブロックゲージ絶対測定	1	1
距離計	4	4
固体屈折率	1	1
波長（周波数）安定化レーザ	7	7
波長計	1	1
02.幾何学量	32	28
CMMによる幾何形状測定	7	7
オートコリメータ	1	2
ステップゲージ	3	2
ボールバー	1	1
ロータリーエンコーダ	1	1
歯形・歯すじ・歯車ピッチ	1	1
真円度測定機用倍率校正器	2	0
多面鏡	1	1
平面度	15	13
03.時間	50	53
周波数（遠隔校正）	48	50
周波数発振器 原子発振器・商用発振器	2	3
04.質量	33	33
特性試験	18	18
分銅又はおもり	15	15
05.力	5	5
高精度力計	5	5
06.トルク	7	7
トルクメータ	5	5
参照用トルクレンチ	2	2
07.圧力	2	2
気体	2	2
08.重力加速度	0	0
09.真空計	17	16
リーク	11	10
真空計	3	3
標準コンダクタンス	3	3
10.流量	3	4
液体小流量	1	1
液体大流量及び中流量	2	2
石油小流量（軽油・灯油）	0	1
11.密度	2	0
密度標準液	2	0
12.粘度・動粘度	0	0
13.体積	1	1
フラスコ(出用)	1	1
14.音響	1	1
音場感度（計測用マイクロホン）	1	1

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
15.超音波	30	30
音場感度 (ハイドロホン)	28	28
超音波パワー	1	1
超音波音場パラメタ	1	1
17.衝撃加速度	0	0
18.角振動・角速度	0	0
19.直流・低周波	4	4
インダクタ	1	1
標準抵抗器	1	1
変流器	2	2
20.高周波	51	51
アンテナ係数試験	1	1
レーザーエネルギー	2	2
レーザーパワー	6	6
応答非直線性 (光パワーメータ)	4	4
応答非直線性 (光パワーメータ) の波長依存性試験	2	2
光ファイバパワー応答度(光パワーメータ)	1	1
高周波インピーダンス	21	21
高周波電力	4	4
同軸可変減衰器	4	4
導波管可変減衰器	1	1
利得 (ホーンアンテナ)	5	5
21.測光量・放射量	19	20
N-9 分光全放射束 ( $4\pi$ 放射光源用)	2	2
分光応答度	13	14
分光拡散反射率 (可視域)	2	2
分光放射照度	2	2
22.放射線	1,198	1,196
Co-60 $\gamma$ 線水吸収線量	6	6
$\beta$ 線	282	281
高エネルギー光子線水吸収線量	1	1
照射線量 (率) 測定器	21	20
放射線量検出素子	888	888
23.放射能	3	4
放射能濃度	3	4
24.中性子	15	15
中性子源校正試験	5	5
中性子測定器校正試験	10	10
25.温度	18	16
カプセル型白金抵抗温度計	2	2
ガラス製温度計	1	1
貴金属温度計	1	1
非接触温度計・校正装置	14	12
26.湿度	4	5
露点計	4	5
27.固体物性	12	12
熱膨張率 (線膨張係数)	12	12

研 究

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
29.衝撃値	1	1
衝撃試験機	1	1
30.粒子・粒子特性	5	5
粒子数濃度	5	5
31.純度	49	35
高純度有機標準物質	49	35
32. 薄膜・多層膜	1	1
膜厚	1	1
51.計量器の構成要素及び検査装置の試験	16	19
質量計用ターミナル・デジタルディスプレイ	2	4
質量計用指示計（アナログ信号）	6	8
特定計量器外部接続装置の性能試験	2	2
燃料油メーター用ホース	2	2
燃料油メーター用表示装置	4	3
52.その他	13	12
体積	7	7
流量	6	5
合 計	1,606	1,590

へ、依頼試験

依頼試験(特殊)・技能試験用校正

種 類	受 理 個 数	校 正 個 数
04.質量	0	0
05.力	0	0
09.真空	0	0
10.流量	0	0
11.密度	0	0
13.体積	0	0
14.音響	0	0
16.振動加速度	0	0
19.直流・低周波	1	1
交直電圧比較装置	1	1
20.高周波	4	4
レーザパワー校正	1	1
高周波電力	2	2
導波管可変減衰器	1	1
21. 測光量・放射量	2	2
光度	1	1
全光束	1	1
25.温度	1	0
非接触温度計・校正装置	1	0
28.硬さ	0	0
52.その他	297	297
アネロイド型血圧計	60	60
家庭用はかり	177	177
抵抗体温計	60	60
合 計	305	304



## へ、依頼試験

特定標準器による校正(特定副標準器)

	受 理 個 数	校 正 個 数
19.直流・低周波	8	8
交流電圧用交直変換器	4	4
交流電流用交直変換器	1	1
電圧発生装置	1	1
標準抵抗器	2	2
21.測光量・放射量	12	15
コイルM字型分布温度標準電球	3	3
コイルM字型光度標準電球	3	3
単平面型照度標準電球	3	3
分光放射照度標準電球	0	3
全光束標準電球	3	3
25.温度	4	4
温度計用	2	2
放射温度計校正用	2	2
合 計	24	27

## へ、依頼試験

OIML 適合性試験

種 類	項 目	受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
試験成績書審査		1	1	0	0.0
非自動はかり		3	2	0	0.0
自動車等給油メーター		1	1	0	0.0
ロードセル		0	0	0	-
質量計用ロードセル (OIML –MAA 適合試験)		0	0	0	-
質量計用ロードセル (OIML R60 に対応する型式)		2	2	1	50.0
水道メーター (OIML R49 に対応する型式)		0	1	0	0.0
合 計		7	7	1	14.3

## ト、研究開発品

種 類	頒布個数
1.熱拡散率試験片 (4 枚)	0
2.石英ヨウ素セル	1
3.パッシブ型シールドループアンテナ	0
4.標準コンダクタンスエレメント	0
5.ジョセフソン電圧標準素子	0
6.極低温電流比較器インサート	1
合 計	2

②認証標準物質

計量標準総合センターでは品質システムを整備し、生産計画に基づいて標準物質の生産を行っている。特性値は安定性と均一性を確認し、妥当性が確かめられた測定方法とトレーサビリティの確立された計測標準を用いている。また、不確かさを算出した上で内部の標準物質認証委員会にて審議され、認証標準物質（NMIJ CRM）を随時頒布している。

認証標準物質の一覧表  
(NMIJ 認証標準物質)

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 1001-a	鉄-クロム合金 (Cr 5%)	1
NMIJ CRM 1002-a	鉄-クロム合金 (Cr 15%)	1
NMIJ CRM 1003-a	鉄-クロム合金 (Cr 20%)	1
NMIJ CRM 1004-a	鉄-クロム合金 (Cr 30%)	1
NMIJ CRM 1005-a	鉄-クロム合金 (Cr 40%)	1
NMIJ CRM 1006-a	鉄-ニッケル合金 (Ni 5%)	1
NMIJ CRM 1007-a	鉄-ニッケル合金 (Ni 10%)	1
NMIJ CRM 1008-a	鉄-ニッケル合金 (Ni 20%)	1
NMIJ CRM 1009-a	鉄-ニッケル合金 (Ni 40%)	1
NMIJ CRM 1010-a	鉄-ニッケル合金 (Ni 60%)	1
NMIJ CRM 1011-b	鉄-炭素合金 (C 0.1%)	4
NMIJ CRM 1012-b	鉄-炭素合金 (C 0.2%)	4
NMIJ CRM 1013-b	鉄-炭素合金 (C 0.3%)	4
NMIJ CRM 1014-b	鉄-炭素合金 (C 0.5%)	4
NMIJ CRM 1015-b	鉄-炭素合金 (C 0.7%)	4
NMIJ CRM 1016-a	鉄クロム合金 (Cr 40%)	0
NMIJ CRM 1017-a	EPMA 用ステンレス鋼	1
NMIJ CRM 1018-a	EPMA 用 Ni (36%) - Fe 合金	0
NMIJ CRM 1019-a	EPMA 用 Ni (42%) - Fe 合金	1
NMIJ CRM 1020-a	EPMA 用高ニッケル合金	0
NMIJ CRM 3001-b	フタル酸水素カリウム	38
NMIJ CRM 3002-a	ニクロム酸カリウム	5
NMIJ CRM 3003-a	三酸化二ひ素	16
NMIJ CRM 3004-a	アミド硫酸	25
NMIJ CRM 3005-a	炭酸ナトリウム	5
NMIJ CRM 3006-a	よう素酸カリウム	3
NMIJ CRM 3007-a	しゅう酸ナトリウム	10
NMIJ CRM 3008-a	塩化ナトリウム	1
NMIJ CRM 3011-a	塩化アンモニウム	1
NMIJ CRM 3012-a	トリス (ヒドロキシメチル) アミノメタン	1
NMIJ CRM 3201-a	塩酸 (0.1 mol kg <sup>-1</sup> )	1
NMIJ CRM 3401-a	一酸化窒素	0
NMIJ CRM 3402-b	二酸化硫黄	0
NMIJ CRM 3403-a	亜酸化窒素標準ガス (高濃度、窒素希釈)	0
NMIJ CRM 3404-c	酸素	0
NMIJ CRM 3406-d	一酸化炭素	0
NMIJ CRM 3407-a	二酸化炭素	0
NMIJ CRM 3408-a	窒素希釈酸素 (10 μmol/mol)	0
NMIJ CRM 3601-a	ナトリウム標準液 Na (1000)	0

## 産業技術総合研究所

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 3602-a	カリウム標準液 K (1000)	2
NMIJ CRM 3604-a	マグネシウム標準液 Mg (1000)	3
NMIJ CRM 3605-a	アルミニウム標準液 Al (1000)	2
NMIJ CRM 3606-a	銅標準液 Cu (1000)	2
NMIJ CRM 3607-a	亜鉛標準液 Zn (1000)	2
NMIJ CRM 3608-a	鉛標準液 Pb (1000)	2
NMIJ CRM 3609-a	カドミウム標準液 Cd (1000)	2
NMIJ CRM 3610-a	マンガン標準液 Mn (1000)	2
NMIJ CRM 3611-a	鉄標準液 Fe (1000)	2
NMIJ CRM 3612-a	ニッケル標準液 Ni (1000)	2
NMIJ CRM 3613-a	コバルト標準液 Co (1000)	2
NMIJ CRM 3614-a	ひ素標準液 As (1000)	3
NMIJ CRM 3615-a	アンチモン標準液 Sb (1000)	2
NMIJ CRM 3616-a	ビスマス標準液 Bi (1000)	3
NMIJ CRM 3619-a	セレン標準液 Se (1000)	2
NMIJ CRM 3620-a	リチウム標準液 Li (1000)	0
NMIJ CRM 3621-a	バリウム標準液 Ba (1000)	2
NMIJ CRM 3622-a	モリブデン標準液 Mo (1000)	3
NMIJ CRM 3623-a	ストロンチウム標準液 Sr (1000)	2
NMIJ CRM 3624-a	ルビジウム標準液 Rb (1000)	0
NMIJ CRM 3625-a	タリウム標準液 Tl (1000)	2
NMIJ CRM 3626-a	すず標準液 Sn (1000)	2
NMIJ CRM 3627-a	ほう素標準液 B (1000)	2
NMIJ CRM 3628-a	セシウム標準液 Cs (1000)	0
NMIJ CRM 3629-a	インジウム標準液 In (1000)	2
NMIJ CRM 3630-a	テルル標準液 Te (1000)	5
NMIJ CRM 3631-a	ガリウム標準液 Ga (1000)	2
NMIJ CRM 3632-a	バナジウム標準液 V (1000)	2
NMIJ CRM 4001-b	エタノール	1
NMIJ CRM 4002-a	ベンゼン	23
NMIJ CRM 4003-b	トルエン	21
NMIJ CRM 4004-a	1,2-ジクロロエタン	1
NMIJ CRM 4005-a	ジクロロメタン	0
NMIJ CRM 4006-a	四塩化炭素	0
NMIJ CRM 4011-a	<i>o</i> -キシレン	1
NMIJ CRM 4012-a	<i>m</i> -キシレン	0
NMIJ CRM 4013-a	<i>p</i> -キシレン	1
NMIJ CRM 4014-a	1,1-ジクロロエチレン	0
NMIJ CRM 4019-a	ブロモホルム (トリブロモメタン)	0
NMIJ CRM 4020-a	ブロモジクロロメタン	0
NMIJ CRM 4021-a	エチルベンゼン	1
NMIJ CRM 4022-b	フタル酸ジエチル	2
NMIJ CRM 4030-a	ビスフェノール A	7
NMIJ CRM 4036-a	ジブロモクロロメタン	4
NMIJ CRM 4038-a	1,2-ジクロロプロパン	0
NMIJ CRM 4039-a	1,4-ジクロロベンゼン	0
NMIJ CRM 4040-b	アクリロニトリル	20

研 究

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 4051-b	メタン	0
NMIJ CRM 4052-b	プロパン	0
NMIJ CRM 4054-a	アセトアルデヒド	12
NMIJ CRM 4055-a	スチレン	7
NMIJ CRM 4056-a	ペルフルオロオクタン酸	6
NMIJ CRM 4057-a	1,4-ジオキサン	0
NMIJ CRM 4058-a	<i>tert</i> -ブチルメチルエーテル (MTBE)	0
NMIJ CRM 4203-a	$\gamma$ -HCH 標準液	3
NMIJ CRM 4206-a	PCB28標準液	0
NMIJ CRM 4207-a	PCB153標準液	0
NMIJ CRM 4208-a	PCB170標準液	0
NMIJ CRM 4209-a	PCB194標準液	0
NMIJ CRM 4210-a	PCB70標準液	0
NMIJ CRM 4211-a	PCB105標準液	0
NMIJ CRM 4213-a	ベンゾ[a]ピレン標準液	1
NMIJ CRM 4214-a	<i>p,p'</i> -DDT, <i>p,p'</i> -DDE, $\gamma$ -HCH 混合標準液	3
NMIJ CRM 4215-a	燃料中硫黄分分析用標準液	10
NMIJ RM 4216-a	トルエン (燃料中硫黄分分析用—ブランク)	6
NMIJ CRM 4217-a	燃料中硫黄分分析用標準液-高濃度	0
NMIJ CRM 4220-a	ペルフルオロオクタンスルホン酸カリウム標準液 (メタノール溶液)	4
NMIJ CRM 4221-a	ジブチルスルフィド (燃料中硫黄分分析用—高純度)	11
NMIJ CRM 4222-a	水分分析用標準液 (0.1 mg/g)	18
NMIJ CRM 4403-a	SF <sub>6</sub> ・CF <sub>4</sub> 混合標準ガス (窒素希釈、排出レベル)	0
NMIJ CRM 4404-a	SF <sub>6</sub> ・CF <sub>4</sub> 混合標準ガス (窒素希釈、濃度0.5%)	0
NMIJ CRM 4405-a	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ・CF <sub>4</sub> 混合標準ガス (窒素希釈、濃度0.5%)	0
NMIJ CRM 4406-a	SF <sub>6</sub> ・C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> ・CF <sub>4</sub> 混合標準ガス (窒素希釈、濃度0.5%)	0
NMIJ CRM 4601-a	定量 NMR 用標準物質 (1H, 19F) (3,5-ビス (トリフルオロメチル) 安息香酸)	11
NMIJ CRM 5001-a	ポリスチレン2400	11
NMIJ CRM 5002-a	ポリスチレン500	11
NMIJ CRM 5004-a	ポリスチレン1000	5
NMIJ CRM 5005-a	ポリエチレングリコール400	5
NMIJ CRM 5006-a	ポリエチレングリコール1000	4
NMIJ CRM 5007-a	ポリエチレングリコール1500	4
NMIJ CRM 5008-a	ポリスチレン (多分散)	1
NMIJ RM 5009-a	ポリスチレン8500	2
NMIJ CRM 5010-a	ポリエチレングリコールノニルフェニルエーテル	0
NMIJ CRM 5011-a	ポリエチレングリコール (23量体)	1
NMIJ CRM 5101-a	しゅう酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5102-a	フタル酸塩 pH 標準液	4
NMIJ CRM 5103-a	中性りん酸塩 pH 標準液	3
NMIJ CRM 5104-a	りん酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5105-a	ほう酸塩 pH 標準液	4
NMIJ CRM 5106-a	炭酸塩 pH 標準液	4
NMIJ CRM 5202-a	SiO <sub>2</sub> /Si 多層膜標準物質	9
NMIJ CRM 5203-a	GaAs/AlAs 超格子	7
NMIJ CRM 5204-b	極薄シリコン酸化膜	0
NMIJ CRM 5205-a	デルタ BN 多層膜	3

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 5401-a	シクロヘキサン (熱分析用標準物質)	13
NMIJ CRM 5502-a	動的粘弾性 (PVC)	1
NMIJ CRM 5503-a	動的粘弾性 (PMMA)	8
NMIJ CRM 5504-a	動的粘弾性 (PE-UHMW)	1
NMIJ CRM 5505-a	動的粘弾性 (PEEK)	5
NMIJ CRM 5506-a	シャルピー衝撃試験 (PVC)	6
NMIJ CRM 5507-a	シャルピー衝撃試験 (PMMA)	2
NMIJ CRM 5601-a	陽電子寿命による超微細空孔測定用石英ガラス	2
NMIJ CRM 5602-a	陽電子寿命による超微細空孔測定用ポリカーボネート	1
NMIJ CRM 5603-a	低エネルギーひ素イオン注入けい素 (レベル: $3 \times 10^{15}$ atoms/cm <sup>2</sup> )	0
NMIJ CRM 5604-a	低エネルギーひ素イオン注入けい素 (レベル: $6 \times 10^{14}$ atoms/cm <sup>2</sup> )	0
NMIJ CRM 5605-a	ハフニウム定量用酸化ハフニウム薄膜	0
NMIJ CRM 5606-a	陽電子寿命による空孔欠陥測定用単結晶シリコン	0
NMIJ CRM 5701-a	ポリスチレンラテックス ナノ粒子 (120nm)	7
NMIJ RM 5711-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積11 m <sup>2</sup> /g・大粒子径・表面無処理)	6
NMIJ RM 5712-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積57 m <sup>2</sup> /g・小粒子径・脂肪酸表面修飾)	1
NMIJ RM 5713-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積76 m <sup>2</sup> /g・小粒子径・イソブチル基表面修飾)	1
NMIJ CRM 6001-a	コレステロール	8
NMIJ CRM 6002-a	テストステロン	0
NMIJ CRM 6003-a	プロゲステロン	2
NMIJ CRM 6004-a	17β-エストラジオール	8
NMIJ CRM 6005-a	クレアチニン	4
NMIJ CRM 6006-a	尿素	7
NMIJ CRM 6007-a	ヒドロコルチゾン	1
NMIJ CRM 6008-a	尿酸	3
NMIJ CRM 6009-a	トリオレイン	3
NMIJ CRM 6011-a	L-アラニン	2
NMIJ CRM 6012-a	L-ロイシン	5
NMIJ CRM 6013-a	L-イソロイシン	4
NMIJ CRM 6014-a	L-フェニルアラニン	7
NMIJ CRM 6015-a	L-バリン	5
NMIJ CRM 6016-a	L-プロリン	4
NMIJ CRM 6017-a	L-アルギニン	32
NMIJ CRM 6018-a	L-リシンー塩酸塩	2
NMIJ CRM 6019-a	L-チロシン	2
NMIJ CRM 6020-a	L-トレオニン	2
NMIJ CRM 6021-a	L-セリン	1
NMIJ CRM 6022-a	グリシン	3
NMIJ CRM 6023-a	L-メチオニン	2
NMIJ CRM 6024-a	L-ヒスチジン	1
NMIJ CRM 6025-a	L-シスチン	1
NMIJ CRM 6026-a	L-グルタミン酸	2
NMIJ CRM 6027-a	L-アスパラギン酸	2
NMIJ CRM 6201-b	C 反応性蛋白溶液	4
NMIJ CRM 6204-a	定量解析用リボ核酸 (RNA) 水溶液	41
NMIJ CRM 6401-b	コルチゾール分析用ヒト血清 (4濃度レベル)	3
NMIJ CRM 6901-b	C-ペプチド	9

研 究

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 7202-b	河川水 (微量元素分析用 添加)	99
NMIJ CRM 7302-a	海底質 (有害金属分析用)	4
NMIJ CRM 7303-a	湖底質 (有害金属分析用)	8
NMIJ CRM 7304-a	海底質 (ポリクロロビフェニル、塩素系農薬類分析用—高濃度)	0
NMIJ CRM 7305-a	海底質 (ポリクロロビフェニル、塩素系農薬類分析用—低濃度)	0
NMIJ CRM 7307-a	湖底質 (多環芳香族炭化水素分類分析用)	2
NMIJ CRM 7308-a	トンネル粉じん (多環芳香族炭化水素分析用・有害元素分析用)	6
NMIJ CRM 7402-a	タラ魚肉粉末標準物質 (微量元素・アルセノベタイン・メチル水銀分析用)	28
NMIJ CRM 7403-a	メカジキ魚肉粉末 (微量元素・アルセノベタイン・メチル水銀分析用)	25
NMIJ CRM 7404-a	スズキ魚肉粉末(有機汚染物質分析用)	0
NMIJ CRM 7405-a	ひじき粉末 (微量元素・ひ素化合物分析用)	41
NMIJ CRM 7501-a	白米粉末 (微量元素分析用 Cd 濃度レベル I)	20
NMIJ CRM 7502-a	白米粉末 (微量元素分析用 Cd 濃度レベル II)	20
NMIJ CRM 7503-a	白米粉末 (ひ素化合物・微量元素分析用)	15
NMIJ CRM 7504-a	玄米粉末 (残留農薬分析用)	13
NMIJ CRM 7505-a	茶葉粉末 (微量元素分析用)	6
NMIJ CRM 7507-a	ネギ粉末 (残留農薬分析用)	4
NMIJ CRM 7508-a	キャベツ粉末 (残留農薬分析用)	11
NMIJ CRM 7509-a	大豆粉末 (残留農薬分析用)	11
NMIJ CRM 7510-a	リンゴ粉末 (残留農薬分析用)	7
NMIJ CRM 7511-a	大豆粉末 (微量元素分析用)	4
NMIJ CRM 7512-a	ミルク粉末 (微量元素分析用)	10
NMIJ CRM 7531-a	玄米粉末 (カドミウム分析用)	35
NMIJ CRM 7532-a	玄米粉末 (ひ素化合物・微量元素分析用)	73
NMIJ CRM 7541-a	玄米 (放射性セシウム分析用)	19
NMIJ CRM 7541-b	玄米 (放射性セシウム分析用)	10
NMIJ CRM 7601-a	海水 (栄養塩; 極低濃度)	54
NMIJ CRM 7602-a	海水 (栄養塩; 中濃度)	55
NMIJ CRM 7603-a	海水 (栄養塩; 高濃度)	54
NMIJ CRM 7901-a	アルセノベタイン水溶液	20
NMIJ CRM 7902-a	絶縁油 (ポリクロロビフェニル分析用—高濃度)	5
NMIJ CRM 7903-a	絶縁油 (ポリクロロビフェニル分析用—低濃度)	1
NMIJ CRM 7904-a	重油 (ポリクロロビフェニル分析用)	1
NMIJ CRM 7905-a	重油 (ポリクロロビフェニル分析用—ブランク)	1
NMIJ CRM 7906-a	ポリクロロビフェニル混合標準液 (KC 混合物ノナン溶液)	1
NMIJ CRM 7912-a	ひ酸 [As(V)] 水溶液	43
NMIJ CRM 7913-a	ジメチルアルシン酸水溶液	22
NMIJ CRM 8001-a	ファインセラミックス用炭化けい素微粉末 ( $\alpha$ 型)	7
NMIJ CRM 8002-a	ファインセラミックス用炭化けい素微粉末 ( $\beta$ 型)	7
NMIJ CRM 8003-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (直接窒化合成) I	6
NMIJ CRM 8004-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (直接窒化合成) II	27
NMIJ CRM 8005-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (イミド分解合成)	3
NMIJ CRM 8006-a	ファインセラミックス用アルミナ微粉末 (低純度)	3
NMIJ CRM 8007-a	ファインセラミックス用アルミナ微粉末 (高純度)	5
NMIJ CRM 8102-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd, Cr, Pb; 低濃度)	9
NMIJ CRM 8103-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd, Cr, Pb; 高濃度)	7
NMIJ CRM 8105-a	重金属分析用 ABS 樹脂ディスク (Cd, Cr, Pb; 低濃度)	3

## 産業技術総合研究所

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 8108-b	臭素系難燃剤含有ポリスチレン	37
NMIJ CRM 8109-a	臭素系難燃剤含有ポリ塩化ビニル	7
NMIJ CRM 8110-a	臭素系難燃剤含有ポリスチレン (高濃度)	12
NMIJ CRM 8112-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd, Cr, Hg, Pb ; 低濃度)	9
NMIJ CRM 8113-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd, Cr, Hg, Pb ; 高濃度)	8
NMIJ CRM 8115-a	重金属分析用 ABS 樹脂ディスク (Cd, Cr, Hg, Pb ; 低濃度)	31
NMIJ CRM 8116-a	重金属分析用 ABS 樹脂ディスク (Cd, Cr, Hg, Pb ; 高濃度)	5
NMIJ CRM 8123-a	重金属分析用 PVC 樹脂ペレット (Cd, Cr, Hg, Pb; 高濃度)	9
NMIJ CRM 8133-a	重金属分析用 PP 樹脂ペレット (Cd, Cr, Hg, Pb ; 高濃度)	4
NMIJ CRM 8136-a	重金属分析用 PP 樹脂ディスク (Cd, Cr, Hg, Pb; 高濃度)	35
NMIJ CRM 8137-a	臭素分析用 PP 樹脂ペレット	1
NMIJ CRM 8151-a	ポリプロピレン (フタル酸エステル類分析用)	26
NMIJ CRM 8155-a	ABS 樹脂 (ペルフルオロアルキル化合物分析用)	0
NMIJ CRM 8202-a	鉛フリーはんだチップ (Sn96.5Ag3Cu0.5) (Pb 低濃度)	5
NMIJ CRM 8203-a	鉛フリーはんだチップ (Sn96.5Ag3Cu0.5) (Pb 高濃度)	2
NMIJ CRM 8301-a	バイオエタノール	4
化学系標準物質計		1,675
NMIJ RM1101-a-1	熱膨張率標準物質 (単結晶シリコン) 形状 : 1	9
NMIJ RM1101-a-2	熱膨張率標準物質 (単結晶シリコン) 形状 : 2	0
NMIJ RM1102-a-1	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素) 形状 : 1	2
NMIJ RM1102-a-2	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素) 形状 : 2	2
NMIJ RM1104-a	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素)	0
NMIJ RM1301-a	熱拡散時間標準薄膜 (窒化チタン薄膜 / 石英ガラス基板)	4
NMIJ RM1401-a	熱伝導率標準物質 (等方性黒鉛)	3
NMIJ CRM5803-a-1	熱膨張率測定用単結晶シリコン (低温用) 形状 : 1	0
NMIJ CRM5803-a-2	熱膨張率測定用単結晶シリコン (低温用) 形状 : 2	0
NMIJ CRM5804-a	熱拡散率測定用等方性黒鉛	4
NMIJ CRM5805-a	熱膨張率測定用高純度銅	0
NMIJ CRM5806-a	比熱容量測定用単結晶シリコン (低温用)	4
物理系標準物質計		28
合 計		1,703

## 研 究

### ③外国出張・招へい、協力協定、国際比較

#### 外国出張

出張件数	出張先国	出張目的
191件	韓国	国際度量衡委員会 国際度量衡委員会諮問委員会 国際法定計量委員会 アジア太平洋計量計画 アジア太平洋法定計量フォーラム 二国間比較 その他
	フランス	
	タイ	
	中国	
	米国	
	ドイツ	
	インドネシア	
	ブラジル	
	オーストラリア	
	ニュージーランド	
	フィンランド	
	アラブ首長国連邦	
	シンガポール	
	台湾	
スイス		
その他9カ国		

#### 外国人招へい

件数	招へい国	招へい目的
9	韓国、シンガポール、台湾、 中国、フランス	ピアレビュー
15	タイ、インドネシア、 マレーシア、カンボジア、 ミャンマー	技術研究協力 (メトロロジー・ハブ・イン・アセアン)
3	ドイツ、フランス、 アルゼンチン	研究協力

#### 産総研技術研修による外国人の受入

分野	人数(人)	相手国
温度標準	1	台湾
定量NMR	1	南アフリカ

#### JICA 予算による外国人の受入

1件 インド国別研修「社会・産業インフラとしての法定計量」1カ国12名

#### JST 予算による外国人の受入

1件 日本・アジア青少年サイエンス交流事業(さくらサイエンスプラン)

「日タイ連携によるデジタルエンジニアリングを利用したものづくりの高度化」1カ国10名

#### 外国機関との研究協力覚書締結

4件



## 国際比較

分野 (BIPM)	件数
時間・周波数	0
長さ	1
質量関連量	2
音響・超音波・振動	2
測温	2
物質量	7
測光・放射	1
放射線	5
電気・磁気	2
合計	22

研 究

④講習・教習

平成26年度計量教習実績

計量標準管理センター 計量研修センター

講習・教習名		対 象 者	期 間		場 所	受講者数
一般計量教習	前 期	計量士になろうとする者及び計量行政機関の職員	H26. 4. 8～ 7. 4	3月	つくば	8
	後 期		H26. 9.16～12.12	3月	つくば	35
一 般 計 量 特 別 教 習		計量士になろうとする者及び計量行政機関の職員で一般計量教習を修了した者	H27. 1. 8～ 3. 6	2月	つくば	23
環境計量特別	濃 度 関 係		H27. 1. 8～ 2.27	7週間	つくば	12
教 習	騒音・振動関係		H27. 3. 2～ 3.17	2.5週間	つくば	3
短期計量教習	第一回	計量行政機関等の職員	H26. 7. 8～ 8. 5	1月	つくば	25
	第二回		H26. 8.18～ 9.12	1月	つくば	29
特 定 教 習	計量検定所・計量検査所 新任 所長 教習	都道府県及び特定市の新任所長	H26. 6. 2～ 6. 4	3日	つくば	23
	計量検定所・計量検査所 幹 部 職 員 教 習	都道府県及び特定市の幹部計量公務員	H26. 7.23～ 7.25	3日	つくば	10
	都道府県・特定市計量行政 新人 教 習	都道府県及び特定市の新任計量公務員	H26. 5.14～ 5.16	3日	臨海	37
			H26. 5.21～ 5.23	3日	関西	35
	指 定 製 造 事 業 者 制 度 教 習	当該制度の検査に携わる都道府県等の職員	H26. 6.23～ 7. 4	2週間	つくば	20
	環 境 計 量 証 明 事 業 制 度 教 習	都道府県及び特定市の職員	H26. 6. 9～ 6.20	2週間	つくば	17
技 術 教 習	都道府県及び特定市の計量公務員	H26.10.23～10.24	2日	つくば	15	
特定計量証明事業管理者講習		当該事業の環境計量士（濃度関係）であって、ダイオキシン類の実務の経験一年以上以下の者	H26.10.20～10.24	5日	つくば	2
計 量 研 修	計測における不確かさ研修（中・上級コース）	計量関係技術者	H26. 9.25～ 9.26	2日	つくば	24
	APMP・CMM 計測技術研修	APMP 域内 NMI 所属校正業務従事者	H26. 7.28 ～8. 1	5日	タイ	22
環 境 計 量 講 習	濃 度 関 係	環境計量士の国家試験に合格した者であって、施行規則第51条（登録条件）の条件を満たさない者。登録しようとする区分に係る環境計量証明事業者等に属し、かつ、計量に関する実務に1年以上従事している方については、その実務経験が認められれば環境計量士として登録することが出来るので本講習を受講することは不要	H26. 7.15～ 7.18	各4日	つくば	29
			H26. 7.29～ 8. 1			30
			H26. 8.26～ 8.29			29
			H26. 9. 9～ 9.12			28
			H26. 9.16～ 9.19			30
			H26. 9.30～10. 3			27
			H26.10.14～10.17			19
			H26.11. 4～11. 7			14
	H26.11.25～11.28		18			
	騒 音 ・ 振 動 関 係		H26.10. 6～10.10	各5日	つくば	20
			H26.10.27～10.31			22
H26.11.17～11.21		15				
合 計 （人）						621

## 6) 地質分野

(Geological Survey and Applied Geoscience)

## ①【研究統括・副研究統括・研究企画室】

(Director-General・Deputy Director-General・  
Research Planning Office)

研究統括：佃 栄吉

副研究統括：矢野 雄策

## 概要：

研究統括は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

副研究統括は、研究統括の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の企画及び立案に参画するとともに、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究分野間の融合を推進し、業務を実施している。

地質分野研究企画室（Research Planning Office of  
Geological Survey and Applied Geoscience）

所在地：つくば中央第2、つくば中央第7

人員：7名（6名）

## 概要：

当研究企画室は、独立行政法人産業技術総合研究所組織規程第10条及び組織規則第7条の規定に基づき、研究所の業務のうち、地質分野における研究の推進に関する業務を行っている。具体的には以下のとおり。

1. 分野の運営に関する業務
2. 原課及びその他関連機関への対応
3. 学会、業界、企業等の外部機関との連携促進に関する業務
4. 国際案件に関する業務
5. 地震・火山噴火等の自然災害に対する緊急対応
6. 研究統括及び副研究統括の支援

そして、これら業務の結果として地質分野における傑出した研究成果の創出、知的基盤としての地質情報整備、外部研究資金獲得の増加、所内外そして海外での産総研地質分野の存在アピール向上に貢献している。

1. については、研究戦略や予算編成等の、分野の基本方針の策定、年度計画・年度実績の取りまとめ、及び分野融合プロジェクトの企画並びに総合調整を行っている。

2. については、経済産業省等の省庁原課との連携調整に関する業務全般、視察への対応等を行っている。

3. については、関連する業界団体との定期懇談会やシンポジウムの開催、ビジネスマッチングフェア出

展の取りまとめを行う等、外部機関との積極的な連携の強化を図っている。

4. については、地質調査総合センター（GSJ）としての MOU 締結等の海外地質調査所や地球科学研究機関との連携に関する業務、海外からの研修生の受け入れ、その他国際機関や国際会議への対応等、分野の国際活動を推進している。

5. については、地質分野に関係する自然災害に備えた緊急連絡体制の整備を行い、災害発生に際しては社会的要請に応じて緊急調査の実施及び成果の発信に係る業務を行う。なお、平成26年度においては、長野県北部の地震対応のほか、口永良部島火山・御嶽火山・阿蘇火山中岳の噴火活動に関して、各研究ユニットとの連携のもと、現地調査のための研究者の派遣やマスコミ対応に関する支援、ホームページを通じた情報発信等を実施した。

## 機構図（2015/3/31現在）

[地質分野研究企画室]

研究企画室長 荒井 晃作 他

## ②【地圏資源環境研究部門】

(Institute for Geo-Resources and Environment)

(存続期間：2001.4.1～)

研究部門長：中尾 信典

副研究部門長：光畑 裕司、佐脇 貴幸、今泉 博之

総括研究主幹：丸井 敦尚

所在地：つくば中央第7

人員：59名（59名）

経費：4,654,758千円（515,673千円）

## 概要：

現代社会の営みは、多くの天然資源の消費の上に成り立っている。しかし、20世紀後半からの我々人類の生産及び消費活動の活発化は著しく、21世紀の近い将来においても天然資源の枯渇が現実的な問題になりつつある。また、化石燃料資源の大量消費による地球温暖化を始めとして、資源と環境の分野は密接に関連しており、それらの関係を見据えた対応が差し迫った課題となっている。このような状況を背景に、地圏資源環境研究部門は、持続発展可能な社会の構築に向けて、環境への負荷を最小化しつつ資源の開発や地圏の利用を行うための研究及び技術開発を行い、その成果を社会に還元することをミッションとする。

ミッション達成のための具体的な研究及び技術開発として、以下のユニット戦略課題を設定して取り組む。

- 1) 土壌汚染評価技術の開発、2) 二酸化炭素地中貯

留評価技術の開発、3) 地層処分にかかわる評価技術の開発、4) 鉱物・燃料資源のポテンシャル評価、5) 地下水・地熱資源のポテンシャル評価および、6) 地圏の資源環境に関する知的基盤の構築に関する研究を進める。

これらの研究の推進にあたっては、独立行政法人の位置づけを十分に意識し、基礎研究、戦略基礎研究、応用研究、企業化研究とつながる研究発展の流れの中で、戦略基礎研究（第2種基礎研究）を中心に据え、我が国の経済産業が順調に推移するための資源及び環境分野における研究貢献を果たしていく。また、社会ニーズを把握しながら、資源の安定供給や地圏環境の保全に必要な萌芽的・基盤的研究にバランスよく取り組む。

【ユニット戦略課題】

1. 土壌汚染評価技術の開発
2. 二酸化炭素地中貯留評価技術の開発
3. 地層処分にかかわる評価技術の開発
4. 鉱物・燃料資源のポテンシャル評価
5. 地下水・地熱資源のポテンシャル評価
6. 地圏の資源環境に関する知的基盤の構築

【内部資金】

「重レアアース鉱床の探査技術の実用化」

「重金属類土壌汚染調査評価及びリスク低減方策に関する技術開発」

「地下微生物を利用したメタンガス合成技術」

「放射性セシウム廃棄物等の管理・保管における安全性評価手法の確立」

「地下圏メタン生成菌の新たな代謝経路の解明と石炭利用メタン生成ポテンシャルの評価」

「ベントナイト性能標準試験法の開発」

「吸着剤を使用した水中の低濃度の放射性セシウムのモニタリング方法の標準化」

【外部資金】

経済産業省 平成26年度地層処分技術調査等事業「地層処分共通技術調査：海域地質環境調査確証技術開発」

経済産業省 平成26年度二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業「弾性波探査を補完するCO<sub>2</sub>挙動評価技術の開発」

経済産業省 平成25年度希少金属資源開発推進基盤整

備事業「資源権益確保推進事業のうち資源開発可能性調査にかかるもの」

農林水産省（一般社団法人食品需給研究センター） 食料生産地域再生のための先端技術展開事業「平成26年度野菜栽培による農業経営を可能とする生産技術の実証研究委託事業」

農林水産省（岐阜大／熱CO<sub>2</sub>コンソーシアム） 地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発「施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 「地熱発電技術研究開発／地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発／地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール／腐食等予測・対策管理）」

独立行政法人科学技術振興機構 国際科学技術共同研究推進事業（地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム）「新規廃棄物処分場の適地選定手法の構築」

独立行政法人物質・材料研究機構 粘土鉱物に対する放射性物質の吸着機構解明と減容法の開発「低結晶質粘土鉱物・非晶質物質におけるCs吸着特性脱着挙動の検討」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 メタンハイドレート開発促進事業「新規取得試料の微生物学的分析」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 エネルギー使用合理化希少金属資源開発推進基盤整備事業「鉱物・地球化学的解析に基づく付加体堆積岩からのレアアース分離・回収技術開発」

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構「平成26年度希少金属資源開発推進基盤整備事業（探査基盤技術高度化支援事業）」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「生物的原油分解メタン生成ポテンシャルとメカニズムに着目した油層特性評価技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「環境微生物集団における未知微生物群の探索」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「重希土類資源として最適な難溶性鉱物の資

源評価法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「除染・帰還を見据えた地域別の放射性 Cs 流出特性評価とリスク管理戦略の構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（研究活動スタート支援）「地殻から上部マントル環境下におけるかんらん石の3価鉄の存在状態と存在領域の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（A））「CO<sub>2</sub>地中貯留と生物的原油分解メタン生成反応を両立する資源創成型 CCS 技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「CO<sub>2</sub>地中貯留におけるキャップロックの長期シール性能評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「粘土鉱物に吸着したセシウムイオンの構造解明と脱離法の探索」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究 研究分担）「堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B） 研究分担）「孔内用精密制御振源とトモグラフィ解析による表層地盤の S 波速度構造の高精度決定」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B） 研究分担）「シビアな環境汚染除染以降のブラウンフィールド問題とリスクコミュニケーションの課題」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B） 研究分担）「丘陵地森林の放射性物質の流出・循環の景観生態学的分析と里山の生態的再生の検討」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「市場経済移行国における資源開発に関するガバナンス」

経済産業省 平成26年度メタンハイドレート開発促進事業「非砂層メタンハイドレート賦存層の科学的調査研究」

発表：誌上発表158件、口頭発表259件、その他42件

地下水研究グループ

(Groundwater Research Group)

研究グループ長：丸井 敦尚

(つくば中央第7)

概要：

地球の水循環系を構成する地下水について、その流域規模での量・質・流れ・変動・温度分布等を明らかにする調査研究を実施するとともに、地下水の開発・利用・管理・環境改善に関わる評価手法の開発やモデリングの高度化を行う。また、地下水を主題とする知的基盤情報を水文環境図等により公開するほか、水文データベース、地中熱利用ポテンシャル・データベースを更新する。

研究テーマ：テーマ題目 2、テーマ題目 3、テーマ題目 5、テーマ題目 6

地圏環境リスク研究グループ

(Geo-Environmental Risk Research Group)

研究グループ長：張 銘

(つくば中央第7)

概要：

土壌・地下水汚染に係る調査・評価技術、浄化・対策技術ならびにリスク評価・管理技術の研究開発と知的基盤整備を重点的に推進する。また、関連開発技術と成果を広く社会へ還元するために、原発事故や二酸化炭素地中貯留、核廃棄物の地層処分、休廃止鉱山跡地管理およびモルスケールマイニングなどの多くの実社会問題にも適用し、社会実装と普及を図る。

研究テーマ：テーマ題目 1、テーマ題目 2、テーマ題目 5、テーマ題目 6

CO<sub>2</sub>地中貯留研究グループ

(CO<sub>2</sub> Geological Storage Research Group)

研究グループ長：西 祐司

(つくば中央第7)

概要：

環境に調和した地下の有効利用を促進するために必要な技術開発を行う。特に、地球温暖化対策としての二酸化炭素地中貯留に関わる技術の開発を行うとともに、環境に負荷を与えない地下利用・資源開発のための技術、環境を保全し安全を評価する技術などについて研究を実施する。

研究テーマ：テーマ題目 2、テーマ題目 6

地圏環境システム研究グループ

(Geo-Environmental System Research Group)

研究グループ長：雷 興林

(つくば中央第7)

概要：

岩石・岩盤力学、物理探査、地圏流体シミュレーションなど主として物理学的実験およびフィールドワー

ク的手法を用いて、地層処分安全研究、CO<sub>2</sub>地中貯留研究、地熱等資源研究、地下利用技術研究に取り組み、地圏環境との調和を考えた地下の有効利用および資源開発に必要な技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目6

#### 物理探査研究グループ

(Exploration Geophysics Research Group)

研究グループ長：光畑 裕司

(つくば中央第7)

概 要：

地圏の利用や環境保全、資源・エネルギー開発あるいは地質災害に対する防災等のための基盤技術として、各種物理探査手法の高度化と統合的解析手法の研究を行うとともに、地層処分や二酸化炭素の地中貯留等における岩盤評価、地下水環境・地質汚染等における浅部地質環境評価・監視、地熱・鉱物・燃料資源探査などの分野へ物理探査法を適用し、対象に即した効果的な探査法の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目4、テーマ題目5、テーマ題目6

#### 地圏化学研究グループ

(Resource Geochemistry Research Group)

研究グループ長：佐脇 貴幸

(つくば中央第7)

概 要：

地圏内の物質の分布・挙動を、地化学的・地質学的・鉱物学的手法により明らかにする事を目指し、燃料資源、非金属鉱物資源・材料及びこれらに関連する流体等を研究対象として、資源の成因解明・開発、環境保全、製品化等に資する研究を進める。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目6

#### 地圏微生物研究グループ

(Geomicrobiology Research Group)

研究グループ長：坂田 将

(つくば中央第7)

概 要：

地圏における微生物の分布と多様性、機能、活性を評価することにより、元素の生物地球化学的循環に関する基盤的情報を提供するとともに、天然ガス等の資源開発、地圏の環境保全や利用に資する研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目4、テーマ題目6

#### 燃料資源地質研究グループ

(Fuel Resource Geology Research Group)

研究グループ長：鈴木 祐一郎

(つくば中央第7)

概 要：

メタンハイドレート等天然ガス資源を初めとする燃料地下資源の探査技術高度化を目指し、燃料資源探査法、燃料鉱床形成機構及び燃料資源ポテンシャル評価法の研究を行うとともに、我が国土及び周辺海域の3次元的地質調査情報に基づく燃料資源ポテンシャル把握の精度向上のための基盤的研究を進める。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目6

#### 鉱物資源研究グループ

(Mineral Resources Research Group)

研究グループ長：高木 哲一

(つくば中央第7)

概 要：

国民生活、日本の産業にとって不可欠な各種の鉱物資源、特に産業界からの要請の強いレアアース等の希少金属資源および非金属資源の探査手法の開発を行う。また鉱物資源に関する基礎的情報を提供するとともに、鉱物資源のポテンシャル評価を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目6

#### [テーマ題目1] 土壤汚染評価技術の開発

[研究代表者] 光畑 裕司

[研究担当者] 光畑 裕司、今泉 博之、張 銘ほか  
(常勤職員12名、他10名)

#### [研究内容]

水中低濃度放射性 Cs の迅速モニタリング技術の開発を行い、商品化と普及を図るとともに、農林水産省・環境省・原子力規制庁、福島県および IAEA をオブザーバーに迎え、技術資料の作成を行った。また、除染廃棄物の中長期的な保管・管理に係る安全性評価技術を確立するために、福島県内の除染廃棄物の保管施設(仮置場)周辺の環境水中の放射性 Cs のモニタリングや福島県内の代表的な土壤の粘土鉱物含有量の定量化ならびに土壤カラム試験による Cs 吸着能の評価を実施するとともに、地圏環境リスク評価システム(GERAS)と産総研・水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL)を融合し、河川を通じた環境中の Cs の拡散や、Cs の農地への移行に対する除染活動の効果を予測する数値シミュレーションを実施した。

土壤汚染対策法の改正に伴う土壤汚染の原位置浄化の高いニーズを背景に、技術の実用化と普及による社会への還元を目標に、関連調査技術、浄化技術及びリスク評価技術に関する体系的な研究開発を民間企業および他研究機関との研究協力のもとで継続して実施している。今年度は、これまでの成果を踏まえ、鉛やヒ素などに代表される重金属類の長期溶出特性の評価や重金属類濃集メカニズムの解明を進めた。特にヒ素の存在形態と堆積環境や土壤有機物との関連性を明らかにし、20th World Congress of Soil Science 国際学会において Best Poster

Award の受賞に至った。また、リスク評価に基づく浄化対策を国際規格へ反映させるために、平成26年度では、ISO/TC190 (Soil Quality)、WG12 (Risk Based Remediation Measures) 委員会活動に継続的に参加し、新規規格素案に対する議論を深めた。

揮発性有機化合物 (VOCs) の原位置浄化技術の実用化に向けて、関連企業と連携し、特に微生物を利活用した低コスト・低環境負荷バイオレメディエーションに関する研究を戦略的に推進し、ベンゼンやクロロエチレン類による複合汚染の微生物分解技術を確立した。また、科学的自然減衰 (MNA : Monitored Natural Attenuation) 研究に関しては、実汚染サイトでのモニタリングを実施し、汚染物質の濃度減衰と酸化・還元環境との関連性を評価した。加えて、低コストで実用性の高いヒ素汚染水処理技術の確立に向けて、高い吸着能力のあるヒ素吸着材の開発と評価に成功を収めた。

わが国の地圏環境における環境リスクを評価するための解析手法として、地圏環境リスク評価システム (GERAS) の開発を継続実施している。今年度は、物質移行における化学反応現象や農業への対応をも評価可能となるように改良を重ねた。10年以上に亘る GERAS の継続的開発ならびに事業所等へ広く普及させた成果などにより、第41回環境賞優良賞を受賞した。

さらに、汚染土壌や下水スラッジおよび堆積中の PCB、PAH 及びダイオキシン分析に関連する ISO 規格制定に係る活動を継続的に実施するとともに、重金属類の溶出 (カラムテスト) に関連する ISO 規格改定の提案を行った。加えて、ベトナムにおける鉱物資源開発に関するガバナンスならびにスリランカでの廃棄物処分場立地に関するリスクマップや適地選定のマニュアル作成等、土壌・地下水汚染調査・研究の国際展開を図った。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】土壌汚染、地下水汚染、リスク評価、放射性セシウム、国際規格

#### 【テーマ題目2】二酸化炭素地中貯留評価技術の開発

【研究代表者】中尾 信典

【研究担当者】中尾 信典、西 祐司、高倉 伸一ほか  
(常勤職員22名、他3名)

#### 【研究内容】

大気中の CO<sub>2</sub>削減のため、大規模発生源に近い沿岸域において CO<sub>2</sub>を地下1,000m 程度の深部に圧入する地中貯留技術が期待されている。弾性波補完モニタリング技術の開発では、重力、自然電位、AE (Acoustic Emission) などの多面的なモニタリング技術を CO<sub>2</sub>地中貯留に適用し、弾性波探査 (反射法など) を補完できるモニタリング技術を構築することで、長期的なモニタリングコストの低減を目指す。今年度は、我が国に先行して大規模な CO<sub>2</sub>圧入が予定されている米国・南西部炭素隔離地域パートナーシップ (SWP) の CO<sub>2</sub>大規模

圧入テストサイト ファーンズワース (Farnsworth Unit) (米国テキサス州) において CO<sub>2</sub>圧入開始時データ取得を継続するとともに、高感度重力連続記録のドリフト評価・信号分離に有用な並行測定を短期間試行した。また、苫小牧において我が国への適用に欠かせない海浜部での重力・自然電位の補助データ取得を開始するとともに、比抵抗調査のための予備調査も実施した。最適モデリング技術の開発では、数値シミュレーションにより計算される温度、圧力、CO<sub>2</sub>飽和度等の変化量を、観測可能な物理量 (理論計算値) に変換するプログラムの開発・整備を行い、長期 CO<sub>2</sub>挙動予測の精度向上に寄与することを目指す。今年度は、地盤変位ポストプロセッサ改良と機能追加を行った。さらに、ゴードン・クリーク (Gordon Creek) テストサイトの地質モデルと圧入プランを用いて、潜在リスクを想定した CO<sub>2</sub>圧入時の圧力・地表変位・重力・反射法の変動予測計算を行い、浅部帯水層へ上昇する CO<sub>2</sub>の検知に高精度の連続重力測定が有効であることを示せた。

遮蔽性能評価技術の開発のうち、ジオメカニクスを考慮した断層モデリング手法の開発では、ナチュラル・アナログ研究手法により、CO<sub>2</sub>遮蔽性能に特化して断層のモデル化を進めることで、モデリング手法の確立を目指す。今年度は、せん断・透水試験システムを改良し、別所層松代泥岩、苫小牧の滝ノ上層岩石のせん断・透水試験を実施し、既取得データと統合して新規構成則を構築して数値解析に取り込んだ。また、前年度までの長野県松代地域の地質モデルを基に、ヒストリー・マッチング及び断層破碎ゾーンの細分割により主要観測データ全部を説明できるモデルを構築できた。CO<sub>2</sub>移行性能評価技術の開発では、地中貯留用の地層となる砂泥互層に関して、CO<sub>2</sub>長期挙動シミュレーションに資する地質モデリング手法の開発を目的とする。シール圧の評価手法の検討では、地中貯留を模擬した温度、圧力条件下において、内部構造を制御した焼結体試料に対する浸透実験を実施した。今年度は、粉砕シリカ、平板状シリカおよび平板状マイカからなる焼結体をそれぞれ作製し、スレッシュールド圧と浸透率の相関性に及ぼす粒子形状および鉱物組成の効果の検証を行った。その結果、これらの試料の測定値は、本研究課題でこれまでに取得してきた岩石の測定値に対する近似直線、および最密充填直線のいずれとも異なるトレンドを有することが示唆された。これに対して、泥岩を対象とした同様の浸透実験からは、岩石の載荷過程において、塑性変形領域ではスレッシュールド圧と浸透率に明瞭な相関性が認められるのに対して、弾性変形領域では相関性の有無に違いがあることが明らかとなった。化学的反応プロセスの評価では、昨年度に続いて CO<sub>2</sub>地中貯留のナチュラル・アナログとみなされる炭酸泉および炭酸水素塩泉において現場反応実験を行った。今回は、さらに CO<sub>2</sub>地中貯留に近い条件とするために温泉水に CO<sub>2</sub>を追加で注入した結果、温泉水の飽

和度低下と炭酸塩成長速度の減少が計測されたが、本結果は地化学シミュレーションにおいて重要なデータセットになり得る。さらに、砂泥互層内でのCO<sub>2</sub>挙動に関する感度解析シミュレーションからは、砂泥互層を地質モデルに反映する際には一般的な浸透率、毛管圧等のパラメータに加えて、堆積層の内部構造に十分留意する必要があることが示唆された。これらの結果に基づき、細分互層構造等の効率的なモデリング方法を検討する必要性を提示した。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】二酸化炭素、地中貯留、環境

### 【テーマ題目3】地層処分にかかわる評価技術の開発

【研究代表者】光畑 裕司

【研究担当者】丸井 敦尚、光畑 裕司、町田 功、横田 俊之、上田 匠、井川 怜欧ほか  
(常勤職員8名、他8名)

#### 【研究内容】

沿岸域において、原子力政策大綱でいう、地上からの調査を想定した、ボーリングによる地質・地下水環境を調査・観測しながら、段階的かつ繰り返し地下水の流動解析を行い、沿岸域における塩淡水境界の形状把握と地下水の長期的な流動・滞留状況を評価する。これによって、ボーリング掘削を含めた地下水調査と物理探査との組合せや関連データベースの活用等を含めた、沿岸域における淡水地下水の賦存状態や断層等による地下水流動の把握及びその長期的な変遷の評価に係る総合的な調査評価手法として構築することを目的としている。

沿岸域から浅海域の地質構造を詳細に把握することを目的に、エアガン震源および海底設置型受振ケーブル(OBC)を用いた3次元反射法調査を実施した。その結果、限定的な領域(東西方向約1km×南北方向500m)ではあるものの、地下構造を3次元的に捉えることができ、断層構造などの地下構造の把握が容易となった。その一例として、深度300m程度までの領域において、海底地形に沿った構造および沿岸近くにおいては東落ちの反射面が捉えられた。この位置は、陸域の入山瀬断層の延長に当たり、断層活動に起因するものであると解釈することができる。

経済産業省委託事業「平成25年度沿岸域の地質・活断層断層調査」および「水文環境図(富士山地域)」(編集集中)で得たデータや地下水サンプルを二次利用することにより、各種地球化学データを取得し、それらを用いて地球化学データにもとづく富士山流域における広域地下水流動系調査の結果と沿岸部や断層付近において確認された各種シグナルについて検討を行なった。その結果、富士山地域における水質や同位体比のデータ分布は、地下水の流動と非常に調和的であり、また各種同位体比や微量元素成分を使用することで、地下における地下水の影響範囲の広がりを把握できることが明らかとなった。

また富士川の河口域において断層あるいは塩淡水境界に起因する地下水の上昇流が存在している可能性が示唆された。

ボーリング調査では、富士川右岸地区において、富士川砂礫層が深度180mまで分布することが確認され、認められた土質ごとの透水性・水質を把握した。富士川左岸地区においては、富士川砂礫層中に挟在する富士火山噴出物(安山岩～玄武岩溶岩)が確認された。両地区で実施した水理試験においては、観測した孔内水位に潮汐による変動が認められた。地下水・間隙水の解析では、特に地下水の化学的性状の把握とそれが意味する地下水流動の解明を主とした解析をおこなった。その結果、第四紀火山噴出物が分布する沿岸域においても、塩水楔の形状に深度ごとに違いがあることが推定された。しかし、FGB-1孔の深度約150mから得られた地下水の<sup>14</sup>C年代は10,000年前後と考えられ、この地点で見られた塩淡水が現海水のものであるかどうかは、慎重な議論を必要とする。塩水と淡水が混合する領域では海面の位置と陸側の地下水位との関係により、深層の地下水が地表に運ばれ得る。このことを考慮すると、今後は塩淡水境界の存在とその挙動をより確かな方法で確認する必要がある。

富士川西部から田子の浦港東部にかけて行った海底地形調査から、これまでの海底地形図で認識されていなかった細かな谷・尾根地形が明らかとなった。また、海域への延伸が推定されている入山線断層の付近における特徴的な地形や、氷期の侵食の可能性がある急崖部を検出するなど、沿岸域の地質構造を評価する上で活用できる知見を得た。サイドスキャンソナー等で得られる音波散乱記録について、海底からの地下水の湧出に伴う諸現象(砂のまきあげや気泡の混入など)を仮定してその分布域の抽出し、ROVによる光学画像と水質計による確認を行った。その結果、抽出された分布域において塩分濃度の有意な低下が確認され、海底湧出地下水の存在が推定され、散乱記録が海底湧出地下水検出のための指標のひとつになる可能性が示唆された。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】地層処分、深部地下水、断層、三次元反射法調査、深部地質環境

### 【テーマ題目4】鉱物・燃料資源のポテンシャル評価

【研究代表者】佐脇 貴幸

【研究担当者】高木 哲一、鈴木 祐一郎、坂田 将、佐脇 貴幸、棚橋 学ほか  
(常勤職員26名、他13名)

#### 【研究内容】

レアメタル資源国と共同で資源調査を実施し、我が国の資源権益確保に必要な各種資源情報を獲得するために、資源エネルギー庁委託費によりレアアース鉱床の現地調査・情報収集などを実施した。そのために、レーザーアブレイション ICPMS等の先端的機器を用いた高度な化



学分析により、国外の有望レアアース鉱床の資源ポテンシャル評価を実施した。国際共同研究の推進としては、特に米国地質調査所（USGS）との研究協力が2年ぶりに再開され、カリフォルニア州、ジョージア州で共同調査を実施した。また、国内外の学会等で多数の講演、普及活動、技術移転等を実施した。グローバル・リモートセンシング利用資源解析強化事業では、アジア鉱物資源データベース構築のためのデータ整備を昨年度に引き続き実施した。非金属鉱物資源の研究では、前年度に引き続き東北地方のベントナイト資源の賦存量調査とともに、品質評価のためにメチレンブルー吸着量測定法の標準化に関する試験を実施した。また、青森県、岡山県、大分県、鹿児島県などに分布する珪石鉱床の現地調査を実施した。

日本海の表層型メタンハイドレートの原因・資源ポテンシャル評価を目的とした経済産業省委託研究を平成25年度に引き続き実施した。地形調査を主とした広域地質調査、海底および海底下浅層部の音響探査を目的とした AUV 詳細地質調査、掘削調査として掘削同時検層（LWD）や地質サンプリング（コアリング）、また海洋電磁探査や ROV を用いた海底環境調査などの調査を実施した。隠岐トラフ、上越沖、最上トラフを主としてメタンハイドレートが期待されるマウンド等の特異地形の分布を明らかにし、これらの地質構造や地質性状、比抵抗分布や海底環境を調査することで地下地質性状やメタンハイドレートの分布状況などの整理を進めた。海底長期モニタリングでは、熱流量計等の機器を回収、さらに設置し、海底環境のベースライン情報の蓄積を進めた。また、民間会社との共同研究として、三陸沖堆積盆の地質解釈や合同地質調査を実施するなど、国内堆積盆の炭化水素ポテンシャル評価に関わる研究を進めた。南関東ガス田の地化学データについてメタン生成反応に関連する指標を解析し、気相でのメタンの移動が起きていることを指摘した。また、天水浸入による鉱床破壊過程での地化学指標の変化を明らかにした。沖縄の基盤岩型水溶性天然ガス鉱床について、基盤の年代測定を行った。微生物に関する研究では、メタンの起源・生成経路を炭素・水素同位体比から判別する地球化学的評価法の有効性を検証する目的で、水素資化性メタン菌を異なる圧力条件で、単独系（水素・CO<sub>2</sub>基質）または酢酸酸化細菌との共生系（酢酸基質）で培養し、生成するメタンと炭素源（培地の溶存無機炭素）、水素源（水）との同位体比の相違（=同位体分別）を測定した。その結果、炭素の同位体分別と水素の同位体分別のいずれも、培養条件に大きく依存することを見出した。天然ガス資源にかかわる研究として、ハイドレート生成促進剤として知られる t-ブタノール水溶液を用いてメタン及び二酸化炭素のハイドレート相平衡条件を実験的に測定した。その結果、t-ブタノールを添加するとメタンハイドレートの生成が促進されたのに対し、二酸化炭素ではその効果が得られ

ず、ガス種の違いによって挙動が異なることが示された。通常の油田ガスと、高温で生成した地熱ガスの炭化水素組成の違いを調べた結果、地熱ガスの方がネオペンタン／イソブタン比が高いことが明らかになった。この比は油田ガス間でも生成温度が高いほど高くなることをこれまでの研究により明らかにしており、生成温度の指標として有効であることが示された。

【分野名】地質

【キーワード】鉱物資源、レアメタル、レアアース、ベントナイト、天然ガス、メタンハイドレート、メタン生成、同位体分別

【テーマ題目5】地下水・地熱資源のポテンシャル評価

【研究代表者】丸井 敦尚

【研究担当者】丸井 敦尚、井川 怜欧、町田 功、柳澤 教雄ほか（常勤職員11名、他3名）

【研究内容】

地下水は、これまで水資源として利用されてきたが、現在では環境を評価する重要な因子であり、今後はそのエネルギー利用も唱えられている。これを背景に、これまで蓄積されてきた地下水情報をエネルギー利用の観点からカスタマイズして整備し、その有効利用を図ることを目的とする。本研究では、当該年度に札幌地区の地質（第四紀層と新第三紀層）の3次元分布をデータ化し、各地層内での地下水位（地下水ポテンシャル）及び基礎物理情報（透水係数・間隙率・熱伝導率など）を推定した。この結果を用いて、札幌地域について地盤地層データを500m～1km メッシュ単位で可視化できるようにした。今後は地下水流動の方向や深度を自動的に可視化するシステムの構築を目指す。

温泉発電システムの開発と実証では、現地実証試験にともなったモニタリングおよびメカニズムの解析などを行った。モニタリングについては、温泉発電を実施する温泉井戸ならびに周辺1km の源泉について毎月温泉水を採取し、昨年度に引き続き水質等が安定していることを確認した。さらに、地下水位の連続観測により季節変動を確認した。そして、温泉水の自動サンプリング装置の試作を行った。また、メカニズムの解析では、温泉のガス分析を行い、メタンガスが主成分となる温泉貯留構造を推定した。

【分野名】地質

【キーワード】地下水資源、地下水環境、流動特性、エネルギー利用、データベース、地熱資源、地中熱

【テーマ題目6】地圏の資源環境に関する知的基盤の構築

【研究代表者】佐脇 貴幸

【研究担当者】光畑 裕司、今泉 博之、丸井 敦尚、張 銘、坂田 将、佐脇 貴幸、

鈴木 祐一郎、高木 哲一、高倉 伸一、  
西 祐司ほか（常勤職員42名、他7名）

#### 【研究内容】

本テーマでは、地圏における地下水・熱環境や物質の循環および集積メカニズムの解明を通じて、土壌汚染、地熱資源、鉱物資源、燃料資源等に関する情報を整備し、データベース構築、地圏資源環境に係る各種地球科学図を作成する。また、地圏の諸現象解明に必要な新たな各種基盤的地質調査技術の開発を行う。平成26年度は、以下の研究を行った。

表層土壌評価基本図に関しては、昨年度に引き続き、茨城県地域を対象とした土壌・地質環境の基本調査を実施し、表層土壌中の化学成分、土壌中における各種有害重金属類の含有量および溶出量の化学分析を行った。これら分析結果をもとに、土地の用途や地域の生活パターンなどを考慮したリスク解析を実施し、茨城県地域におけるバックグラウンド情報と曝露・リスク情報を整備した。また、整備した各種基盤情報を CD-ROM で公開し、表層土壌評価基本図として出版した。

地下水環境に関しては、平成23年の東日本大震災以降、エンドユーザーが求める情報が、より多角化し高精度になってきていることを踏まえ、水の資源・環境・熱利用を含めた多角的データの拡充を図ること、さらに列島の水文データをとりまとめた形で今後の出版に向けた知的基盤整備を進めた。従来まで出版してきた水文環境図の内容をさらに充実させ、新基準（地質調査研究報告にて公表）に基づく作図を実施し、水文環境図第8号「石狩平野（札幌）」を出版した。これに続き「富士山地域」、「石狩平野(南部)」、「大阪平野」の調査出版作業を継続した。

鉱物資源関係では、2012年度までに出版した東アジア鉱物資源図、中央アジア鉱物資源図等をさらに発展させ、500万分の1アジア地質図を基図とした、500万分の1アジア鉱物資源図を完成させ、発行に至った。また、ASEAN 諸国と協力して東アジア鉱物資源データベースの作成を進めた。燃料資源関係では、関東地方における水溶性天然ガスの賦存状況に関する研究成果について、燃料資源図「関東地方」として出版した。地下水の塩分濃度が帯水層中のメタン菌に与える影響を調査する目的で、北海道北部勇知層・更別層から採取された地下水試料の地化学的・分子生物学的分析を行った。メタンの炭素・水素同位体分析の結果、深層塩水中の溶存メタンの生成経路は CO<sub>2</sub>還元、浅層淡水中の溶存メタンの生成経路は CO<sub>2</sub>還元と酢酸分解の混合と推定された。一方、16S rRNA 遺伝子と mcrA 遺伝子に基づく菌相解析の結果、水素資化性メタン菌は塩水～淡水のすべてで優占、酢酸資化性メタン菌は淡水でのみ優占しており、地化学分析の結果と整合的であった。筑豊炭田の既存資料の収集と編集を進めた。既存燃料資源関係の資料については、層序試錐資料や原料炭調査資料、埋蔵炭田資料などの電

子ファイル化を推進した。層序試錐資料については資料集の公表に向けて作業を進めている。

物理探査技術に関して、金属鉱床探査で利用される誘導分極（IP）法の高度化を目的に、黄鉄鉱と磁鉄鉱を含む人工試料の複素比抵抗の周波数変化を計測し、従来の IP 法では識別が難しかった硫化鉱物と磁鉄鉱の分布がスペクトル IP 法で識別可能であることを示した。

地下流体に伴う誘発地震は、流体注入後挙動モニタリング等において有用である一方、関連事業の社会的受容性に関わる重要な課題でもあるため、発生条件と回避技術に関する研究を進めている。今年度は、注水誘発地震が多発している四川盆地の天然ガス田から採集した代表的な岩石試料を用いて室内岩石実験を行った。また、同地域でシェールガス開発に伴う誘発地震が急増しているため、関連データ収集・解析を行った。

岩盤の掘削技術は、地圏の調査・開発・利用分野において根幹となる重要な基盤技術と位置付けられる。掘削技術に関する複数の研究テーマに共通する最重要パラメータである岩石力学特性を着実に取得するため、材料試験機を更新した。また、新しい評価技術発掘のため、掘削用チップの岩石貫入時における AE 観測を試みた。

【分野名】地質

【キーワード】地質調査、知的基盤、地球科学図、土壌環境評価基本図、水文環境図、鉱物資源図、水溶性天然ガス、塩分濃度、メタン生成経路、炭田図、地熱資源評価、ポテンシャルマップ、誘導分極（IP）法、スペクトル IP 法、誘発地震解析、掘削技術

### ③【地質情報研究部門】

(Institute of Geology and Geoinformation)

(存続期間：2004.5.1～)

研究部門長：牧野 雅彦

副研究部門長：宮崎 一博、田中 裕一郎

首席研究員：齋藤 文紀

総括研究主幹：池原 研

研究主幹：村田 泰章

所在地：つくば中央第7

人員：67名（67名）

経費：1,100,023千円（646,489千円）

概要：

#### 1.1 研究目的

日本は、四方を海に囲まれ、大地震や火山噴火が頻発する数少ない先進国である。私たちが暮らし、産業活動を行っている地球の環境を守り、地質災害による被害を少なくするためには、まず、足もとの

大地の様子と成り立ちをよく知るための地球システムの深い理解が必要である。どこまで地球のことを理解することができたかによって、将来起きることの予測の精度が決まり、これに応じた対策をとることができる。

地質情報研究部門は、国の「地質の調査」を所掌する産総研地質分野のユニットとして、長期的視点にたって陸と海の研究を一元的に実施し、関連するユニットとともに、国の知的基盤として信頼性の高い地質情報を整備し社会に発信する。知的基盤整備・発信及びその基礎となる研究については、部門全体で取り組む。同時に、人類と地球が共生し、安心・安全で質の高い生活と持続可能な社会の実現に向けて、重点的かつ戦略的に研究に取り組む。

## 1.2 中期目標・計画達成のための方針

産総研地質分野では第3期中期計画の戦略目標および課題を策定し、平成26年度はその中期計画期間の最終年度である。地質情報研究部門は地質分野の中核ユニットとして、その戦略目標および課題に対応して、国土の地質情報を取得・整備するとともに、理論モデル構築による的確な将来予測の実現と社会の要請に応えることを目指して研究課題に取り組む。

研究実施にあたっては、研究グループを基盤とする研究と、これらを横断する重点プロジェクトによるマトリックス方式を採用する。これらの研究を進める中で、陸域と海域の研究の融合を進め、バックグラウンドの異なる研究者間の交流、シーズ研究の創出や次世代の人材育成を進める。

研究グループは専門家集団としての特徴を生かし、研究ポテンシャルの向上を目指すとともに、重点プロジェクト研究の基礎を支える研究、あるいは将来のプロジェクト創出の基となる研究を実施する。一方、重点プロジェクト課題を設定し、グループを横断した協力連携でもって研究を推進する。

## 1.3 グループ体制と重点課題

当部門の組織体制は13研究グループから構成される。当部門では研究グループを横断する以下の6プロジェクト（P）を設定し、連携・協力して研究を進める。

- ・陸域地質図 P：国土基本情報としての陸域の島弧地質と知的基盤整備。
- ・海域地質図 P：国土基本情報としての海域の島弧地質と知的基盤整備。
- ・海底鉱物資源 P：海底熱水鉱床ポテンシャル評価に資するための広域調査。
- ・大陸棚調査 P：大陸棚画定の科学的根拠提示のための地質調査研究。

- ・沿岸域の地質・活断層調査 P：陸域—沿岸域—海域をつなぐシームレス地質情報の整備と活断層の評価。地質調査総合センターのユニットが連携協力して平成20年度から取り組む政策課題。
- ・衛星画像情報および地質情報統合化 P：衛星画像情報の整備と地質情報の統合のための研究。

## 1.4 内外との連携

社会の要請に積極的に応えるために、地質情報の信頼性の確保と利便性の向上を図り、国・自治体・産業界との連携を強化して、科学的根拠に基づいて提言などを行う。

他の関連ユニットとの連携を強め、産総研における地質調査総合センター（GSJ）としての機能を十分に果たす中核を担うとともに、産総研内外の連携を推進する。総合科学技術会議などの日本の科学技術政策の中で、産総研地質調査総合センターの果たすべき役割について検討し、必要な働きかけを行う。

研究によって形作られる地質情報はもちろんのこと、地球を理解する科学技術は、地質学的にも関連の深いアジアをはじめとする世界にとって共通の財産であり、地質情報研究部門は CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）等の国際組織や IODP（統合国際深海掘削計画）、ICDP（国際陸上科学掘削計画）などの国際プロジェクトを通じて世界に貢献する。また、地すべりなど地質災害の緊急課題についても、地質調査総合センターとして迅速に取り組む。

内部資金：

融合・連携推進予算（戦略予算）「沖縄トラフ東縁海域の海底鉱物資源ポテンシャル調査」

融合・連携推進予算（戦略予算）「伸縮自在なセンシングデバイスの開発」

その他（戦略予算）「ルミネッセンス計測技術の地質・環境試料解析への応用」

重点研究加速予算（戦略予算）「重レアアース鉱床の探査技術の実用化」

外部資金：

農林水産省 水産業再生プロジェクト（生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発）「生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復技術の開発」

独立行政法人国立環境研究所 環境研究総合推進費「海洋生物が受ける温暖化と海洋酸性化の複合影響の実

験的研究 ((2) 我が国周辺のサンゴ種の成長への水温と海洋酸性化の影響) による研究委託業務」

国立大学法人新潟大学 IODP 乗船後研究 「Exp. 339 地中海流出に支配されたカディス湾ドリフト堆積体の成立と時空変化の解明」のうち、泥質コンターライトの識別基準の確立と堆積相モデルの構築」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 平成25年度延伸大陸棚等資源権益保全調査事業 「平成25年度延伸大陸棚等資源権益保全調査事業に係るサンプリング調査及び情報収集」

独立行政法人海洋研究開発機構 平成26年度科学技術試験研究委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」

独立行政法人日本学術振興会 平成26年度国際共同研究事業 多国間国際研究協力事業 「DELTA : Catalyzing action towards sustainability of deltaic systems with an integrated modeling framework for risk assessment」

独立行政法人海洋研究開発機構 戦略的イノベーションプログラム (SIP) 海洋資源調査 「海洋資源の成因に関する科学的研究」

国立大学法人東京大学 IODP 乗船後研究 「Exp. 346 中新世以降のアジアモンスーンに対する日本海の応答」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (A)) 「砂丘堆積物を用いた中世以降の東アジア冬季モンスーン変動の検出」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「世界最大級の海洋コアコンプレックスにおける流体浸透過程の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「前期ペルム紀巨大オンコイドの形成とパンサラッサスーパーブルームの影響に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「世界規模の気候変動と地域的な構造運動に関連した日本海の海洋循環の成立と進化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「第三紀泥岩の分類: 分光測色による「色層序学」の構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (A)) 「造礁サンゴ骨格による気候変動解析の新展開」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (A)) 「SQUID 顕微鏡による惑星古磁場の先端的研究の開拓」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (B)) 「重力・地震波の同時観測によるスロースリップ発生域の浅層地下水モニタリング」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「地質アナログ模型の開発と地学教育における活用と検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「砕屑岩岩石学から復元する黒瀬川帯ペルム紀島弧の進化過程」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「弥生の小海退の確証による沖積低地における河川地形の発達過程の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (若手研究 (B)) 「ルミネッセンス法を用いたイベント堆積物の運搬過程の解明と高精度年代測定」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (C)) 「高時空間分解能での地殻歪場の推定によるゆっくり地震の発生過程と条件の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 「SQUID グラジオメータによる氷床コア中の火山灰の非破壊検出」

独立行政法人日本学術振興会 特別研究員奨励費 「ユーラシア東部湖沼堆積物の精密年代決定と環境変動解析」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (S) 研究分担) 「地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (S) 研究分担) 「海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (基盤研究 (S) 研究分担) 「北極海の海水激減—海洋生態系へのインパクト—」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（S）研究分担）「完新世における東アジア水循環変動とグローバルモンスーン」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A）研究分担）「複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A）研究分担）「地球史海洋底断面復元プロジェクト：太古代から原生代への環境大変動解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A）研究分担）「マルチビーム測深技術を用いた浅海底地形学の開拓と防災・環境科学への応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「パレオテチス収束域における島弧－縁海系の発達・崩壊過程に関する地質学的検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「中央海嶺下マントルの再考：マントルの均質／不均質化と海洋プレートの物質科学的実体」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「ドミニカ共和国における近過去から現在のバッテリー工場起源沿岸域鉛汚染の調査・解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「南鳥島 EEZ に眠るマンガノジュールとレアアース泥の成因と資源ポテンシャル」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「タイ国産腕足動物化石の炭素・酸素同位体組成を用いた石炭紀～ペルム紀の古環境復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「沈降域の沖積層を用いた最終氷期最盛期以降の海水準変動復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「全国地質 Sr 同位体比マッピングー古代における”もの”の移動の解明に向けてー」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「生物源マグネタイトの役割の解明による古地磁気・岩石磁気研究の刷新」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B）研究分担）「アラスカ湾堆積物から探る北米氷床の消長と海洋環境動態」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C）研究分担）「信頼度を含む高分解能地質情報を発信するための WebGIS3次元地質モデラーの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C）研究分担）「低圧変成帯の温度圧力構造と島弧地殻のダイナミクスの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C）研究分担）「河川砂礫堆の3次元形成ダイナミクス：水路実験と現世堆積物の GPR による融合」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「有孔虫安定同位体組成のバラツキを活かす：海洋底層環境指標の時空間評価へ向けた試み」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「東海地震に関する防災政策の経済的インパクトの研究」

NPO 法人自然再生センター「中海浚渫窪地の埋め戻し時の高精度音響モニタリングに関する研究」

経済産業省 平成26年度石油資源遠隔探知技術研究開発「石油資源遠隔探知技術の研究開発」

経済産業省 平成26年度産業技術研究開発 次世代地球観測衛星利用基盤技術の研究開発「ハイパースペクトルセンサの校正・データ処理等にかかる研究開発」

発表：誌上発表123件、口頭発表333件、その他72件

**平野地質研究グループ**

(Quaternary Basin Research Group)

研究グループ長：宮地 良典

(つくば中央第7)

概要：

堆積平野とその周辺丘陵地を主な研究対象とし、それらの実態把握と形成プロセスの総合的な理解に努め、自然災害の軽減・産業立地・環境保全等に貢献する地質情報を提供する。この目的のため、特に沿岸の地質・活断層調査プロジェクトにも積極的に参加し、また関連する内外の諸研究グループや機関とも連携して研究を進める。関東平野、駿河湾沿岸、北海道西南部、下北半島などの沿岸平野及び近江盆地、会津盆地などの内陸盆地を重点的に調査・研究している。平野を構

成する地層の詳細な層序・地質特性・地質構造などを把握し、またそれらの形成プロセスを明らかにするとともに、地質情報のマップ化、データベース化を進めている。さらに平野地域に関連した自然災害が発生した場合は関係諸グループと連携を取り、被害調査などを実施する。

2011年東北地方太平洋沖地震による地盤災害や液状化調査や2014年長野県北部の地震の土砂災害調査などについても調査・研究を進めているほか、国際共同研究についても準備を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目9、テーマ題目10、テーマ題目11、テーマ題目16、テーマ題目26

### 層序構造地質研究グループ

(Stratigraphy and Tectonics Research Group)

研究グループ長：中江 訓

(つくば中央第7)

概 要：

日本列島（活動的島弧）と周辺の東・東南アジア地域（大陸縁辺域）の地質学的実態を把握し、その長期的地質現象の過程を解明するために、[1] 海溝－前弧域での堆積・造構過程ならびに造山帯の造構作用の解明、[2] 火山弧周辺（前弧－火山フロント-背弧内堆積盆）における堆積環境・火山活動の時空間変遷などの解明、[3] 第四紀島弧内堆積盆における層序区分の高精度化ならびに堆積環境・気候変動の解明、などの地質学的問題を主要な課題と位置づけた「層序構造地質の研究」を、系統的かつ総合的に展開する。さらに国土の基本地質情報整備のために部門重点課題として実行される「陸域地質図プロジェクト」の中核研究グループとして、「層序構造地質の研究」の成果と最新の地質学的知見を融合し、我が国の知的基盤情報として各種の陸域地質図整備を担当する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目27

### 地殻岩石研究グループ

(Orogenic Processes Research Group)

研究グループ長：宮崎 一博

(つくば中央第7)

概 要：

地殻岩石の研究では、変成帯・火成岩体を研究対象とし、その形成において本質的な沈み込み帯での変形・変成作用、島弧地殻での変形・変成・火成作用などを、地層・岩体の地質調査、岩石・鉱物の化学分析・構造解析、及び形成モデリングにより明らかにする。また、国土の基本地質情報整備のために部門重点課題として実行される陸域地質図プロジェクトに、その中核研究グループとして参画する。陸域地質図プロジェクトにおいては、地殻岩石の研究成果及び既存の

地質体形成過程に関する知見を融合・適合することにより高精度の地質図の作成を行う。研究成果は論文・地質図・データベースなどを通じて公表する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目28

### シームレス地質情報研究グループ

(Integrated Geo-information Research Group)

研究グループ長：斎藤 眞

(つくば中央第7)

概 要：

陸域地質図プロジェクトの主要グループとして5万分の1及び20万分の1地質図幅の研究を行う。また、20万分の1日本シームレス地質図サイトの改良を行うとともに、次世代型20万分の1日本シームレス地質図の編集を行う。産総研地図系データバンクのコアシステムとして20万分の1日本シームレス地質図をベースとした地球科学図の統合データベース「地質図 Navi」の公開を行う。5万分の1縮尺のシームレス地質図等をベースとした新たな大縮尺地質図データベース構築のための基礎研究を行う。更に、地質情報を、社会に役立つ、新たな価値を創出する情報として発信するための研究開発や標準の策定を行う。アジアの地質情報の研究・整備・解析、野外調査を基礎とした地質学的・地球物理学的研究も実施する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目29

### 情報地質研究グループ

(Geoinformatics Research Group)

研究グループ長：中澤 努

(つくば中央第7)

概 要：

これまで地質情報は主に現地調査の成果として蓄積されてきた。一方、様々な潜在的な地質情報を含む衛星情報は1970年代から膨大なアーカイブとして蓄積されてきた。情報地質研究グループの研究は、このような地質情報・衛星情報を高度化し統合することによって、新たな地質学的視点を創出することを目的とする。そのために、野外調査や各種室内分析、X線CT等の機器を用いて基礎的な地質情報を高精度化するとともに、それら地質情報の処理技術の開発研究を行う。また衛星情報から潜在的な地質情報を抽出し、これらをシームレス化・デジタル化された地質情報と統合することにより、地質災害軽減等に関する研究を行う。さらに、それら高度化・統合化した地質情報・衛星情報を公開する方策も検討する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目10、テーマ題目12、テーマ題目13、テーマ題目16、テーマ題目19、テーマ題目24、テーマ題目30

### 海洋地質研究グループ

## (Marine Geology Research Group)

研究グループ長：片山 肇

(つくば中央第7)

## 概要：

海域地質図プロジェクトおよび沿岸域プロジェクトの中核を担って研究を遂行する。日本周辺海域の海洋地質情報を整備公開するとともに、それらデータを基に日本周辺海域の地質構造発達史、活断層評価、堆積作用、古環境変動、および海底火山や熱水活動に伴う地質現象の解明を行うことを目的とする。白嶺等の調査船を用いて音波探査、堆積物及び岩石採取を行い、それらの解析によって海洋地質図（海底地質図および表層堆積図）を作成、出版する。これらの調査で得られたデータをデータベースとして整備しインターネットでの公開も進める。地質情報に乏しい沿岸海域についても、小型船舶を用いて音波探査と堆積物採取を行い、沿岸域の地質情報の整備を進めるとともに沖合と陸上の地質情報の統合的な解析を行う。これらの調査結果および他機関の調査航海やデータ等を活用し、活動的構造運動や堆積作用、古環境変動等の海域における地質現象の解明を行う。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目6、テーマ題目20、テーマ題目22、テーマ題目31

## 地球変動史研究グループ

(Paleogeodynamics Research Group)

研究グループ長：田中 裕一郎

(つくば中央第7)

## 概要：

地磁気層序、岩石磁気層序及び微化石層序学的研究を統合した高分解能年代スケールを基盤とし、海陸の地質及び地球物理学的情報を融合して、地質学的時間スケールの地球システム変動及びテクトニクスを解明することを目的とする。また、日本列島及び周辺海域のテクトニクスの解明を行う。海陸の地質並びに地球物理情報を総合的に解析、モデル化することにより、プレート運動と日本列島及びその周辺海域のテクトニクスの関係を解明する。さらに、海底及び沿岸域における高分解能表層物理探査に関する研究や技術開発を行う。これにより、陸域・海域の地質調査及び地球科学基本図の高精度化などの当部門のミッション達成に貢献する。これらの研究ポテンシャルを生かし、陸域地質図及び海洋地質図・地球物理図作成、海底鉱物資源ポテンシャル評価・資源情報整備に関して分担する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目32

## 資源テクトニクス研究グループ

(Tectonics and Resources Research Group)

研究グループ長：下田 玄

(つくば中央第7)

## 概要：

我が国周辺海域における海底鉱物資源の広域ポテンシャル評価に資する研究を行った。その為に我が国周辺海域で採取された地質試料に対して地質学的・岩石学的・地球化学的な研究を行った。これらの複数の研究手法を組み合わせることで、海底鉱床の生成に重要な元素の移動や濃集過程を解明し、鉱床形成につながる元素濃集過程の指標を科学的に見いだすことを試みた。岩石学的研究は、日本周辺海域の構造発達史を明らかにする為に用いた。日本周辺の広大な海域について海底鉱物資源のポテンシャル評価を行う為には、海底熱水鉱床が形成されるテクトニックセッティング、すなわち、前弧海底拡大、超低速拡大軸、背弧・島弧内リフト盆地の形成過程の解明が不可欠である。これらの形成過程を科学的に解明することで海底鉱物資源の広域的なポテンシャル評価に資する研究を行った。地球化学的な研究は、海底鉱床の生成に重要な元素の移動や濃集過程の解明に応用することができる。すなわち、同位体比や化学組成が変化する過程を科学的に解明することで、鉱床形成につながる元素濃集過程の指標を科学的に見出す為の研究を行った。

研究テーマ：テーマ題目15、テーマ題目18、テーマ題目21、テーマ題目33

## 海洋環境地質研究グループ

(Marine Geo-Environment Research Group)

研究グループ長：鈴木 淳

(つくば中央第7)

## 概要：

地球環境保全や地質災害などに関する科学的根拠の提示のため、旧海洋環境地質研究グループと沿岸海洋研究グループが合同して、新たに海洋環境地質研究グループが設置された。都市沿岸域の環境、およびそれに大きな影響を及ぼす地球環境について、その環境変動幅と変動要因を明らかにする。地球環境問題、すなわち温暖化(海域・内水域)、海水準上昇、海洋酸性化に関係する地質学的諸問題の解明に当たるとともに、それらの過去の変遷を復元する研究に注力する。これら目標実現に向けて、安定同位体比分析を始め各種地球化学的分析法および光ルミネッセンス (OSL) 年代測定法等の高度化について重点的に取り組むと共に、堆積学、古生物学、海岸工学など多様な手法の連携により、研究課題に対して総合的なアプローチを取る。部門の重点プロジェクト研究に位置づけられている「海域地質図プロジェクト」(沖縄海域プロジェクト)に積極的に参画して研究展開を図る。また、海底鉱物資源の探査・開発に海洋環境研究の観点からの貢献をめざし、将来の新たなプロジェクト創出のシーズを探索する。地質災害・地層処分関連の研究については、

深部地質環境研究コアや活断層・火山研究部門との連携研究を推進するとともに、環境・エネルギー領域との共同による研究課題の実施を図る。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目24、テーマ題目25、テーマ題目34

**地球化学研究グループ**  
(Geochemistry Group)

研究グループ長：岡井 貴司

(つくば中央第7)

概要：

地殻における元素の地球化学的挙動の解明を中心とした地球化学情報の集積・活用と高度な分析技術の開発を目的とし、元素の地球化学的挙動解明の基礎となる地球化学図の作成、あらゆる地質試料の分析の基礎となる地球化学標準物質の作製、地質関連試料の高度な分析技術の開発と維持・普及を行う。地球化学図の研究では、大都市市街地における元素のバックグラウンドを明らかにするために、従来の10倍の精度を持つ精密地球化学図を作成するとともに、既に公開している地球化学図データベースの充実を図る。標準物質の研究では、岩石標準試料の国内唯一の発行機関として、ISO に対応した各種地質試料の認証標準物質の作製を行うとともに、岩石標準試料の各種情報をデータベースとして公開する。また、地球化学の基礎技術として、様々な地質試料中の元素の高度な分析技術の開発と、それらを用いた元素の挙動解明の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目17、テーマ題目23、テーマ題目35、テーマ題目39

**地球物理研究グループ**  
(Geophysics Group)

研究グループ長：伊藤 忍

(つくば中央第7)

概要：

地球物理データを取得する調査手法ならびに解析技術の開発・高度化を行い、地下地質構造に関する実態解明を目的とする。地球物理図の作成及び重力データベースの拡充を行い、国土の知的基盤地質情報整備と利活用に貢献する。また、平野部や沿岸域において地震探査や重力探査、磁気探査など物理探査を実施し地層や断層に関する詳細な地下構造を求める。これらの研究成果は論文・地球科学図・データベースや産総研一般公開・地質情報展などを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目7、テーマ題目8、テーマ題目36

**地質地殻活動研究グループ**  
(Dynamic Earth Research Group)

研究グループ長：名和 一成

(つくば中央第7)

概要：

本グループは、地球物理情報を効率的に活用し国土とその周辺地域の成り立ちを理解することを目的として、地球物理情報と地質情報を総合した地質地殻活動に関する研究を実施するため、24年度に新設された。地球物理研究グループとも協力して、地球物理学的な調査手法、解析技術、シミュレーション技術の開発・高度化を行うとともに、重力図の作成及び重力データベースの拡充を行う。地球物理情報と他の地質情報を統合・連携した研究を推進することで、国土の知的基盤地質情報の利活用に貢献する。これらの研究成果は論文・地球科学図・データベースや産総研一般公開・地質情報展などを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目37

**マグマ熱水鉱床研究グループ**

(Magma-Hydrothermal Deposits Research Group)

研究グループ長：池原 研

(つくば中央第7)

概要：

マグマ熱水鉱床を含む系における元素の移動、分配、沈澱により鉱物の同位体・化学組成が変化する素過程を、同位体比測定や流体包有物の解析等に基づき明らかにし、熱水の進化や鉱床成因を解明することを目指す。岩石・鉱物の同位体・化学組成は微小領域では不均質なため、二次イオン質量分析装置 (SIMS) 等を用いて微小領域同位体・化学分析を行うことにより、現象の本質を解明して鉱物資源の探査法の開発やポテンシャル評価を行う。一方、鉱床の起源となるマグマの性質を解明するため、火山岩等に含まれるメルト包有物の SIMS 分析を実施し、マグマの進化・脱ガス機構やマグマ供給系の深さを明らかにする。また、同位体分析法等の開発に関する研究を行う。陸域の鉱物資源のポテンシャル評価では、微小領域分析や同位体分析等に基づき、鉱物資源の成因解明や探査法の開発に関する研究を行う。また、鉄マンガンクラストの成因解明など、海底鉱物資源に関する調査研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目14、テーマ題目15、テーマ題目18、テーマ題目21、テーマ題目22、テーマ題目38

-----  
[テーマ題目1] 陸域地質図の研究 (運営費交付金：重点プロジェクト)

[研究代表者] 中江 訓 (層序構造地質研究グループ)

[研究担当者] 中江 訓、原 英俊、野田 篤、中島 礼、辻野 匠、工藤 崇、内野 隆之、宇都宮 正志、宮崎 一博、宮地 良典、田邊 晋、小松原 純子、納谷 友規、松浦 浩久、山崎 徹、



佐藤 大介、遠藤 俊祐、斎藤 眞、西岡 芳晴、中澤 努、濱崎 聡志、山元 孝広（活断層・火山研究部門）、星住 英夫（活断層・火山研究部門）、石塚 吉浩（活断層・火山研究部門）、中野 俊（活断層・火山研究部門）、古川 竜太（活断層・火山研究部門）、石塚 治（活断層・火山研究部門）、及川 輝樹（活断層・火山研究部門）、宮下 由香里（活断層・火山研究部門）、高木 哲一（地圏資源環境研究部門）、渡辺 真人（地質標本館）、長森 英明（地質標本館）、長谷川 健（茨城大学）、植木 岳雪（千葉科学大学）、海野 進（金沢大学）、金山 恭子（金沢大学）、竹内 誠（名古屋大学）、青矢 睦月（徳島大学）、横山 俊治（高知大学）、鹿野 和彦（鹿児島大学）、廣瀬 亘（北海道立総合研究機構）、川上 源太郎（北海道立総合研究機構）、林 圭一（北海道立総合研究機構）、山内 靖善（島根県土質技術研究センター）、脇田 浩二（山口大学）（常勤職員32名（うち他研究ユニット11名）、他13名）

#### 【研究内容】

「陸域地質図の研究」の実施にあたっては、本部門・他研究ユニット及び外部研究機関の研究者との協働体制のもと、「層序構造地質」・「地殻岩石」・「シームレス地質情報」・「火山活動」（活断層・火山研究部門）の4つの研究グループが中心となって推進している。

20万分の1地質図幅については、横須賀・松山・大分の3区画を完成させ、高知の地質調査を進捗させた。

5万分の1地質図幅に関しては、新規に上総大原・久賀・本山の3区画の調査を開始し、羅臼・網走・十和田湖・一戸・川越・糸魚川・明智・豊田・鳥羽・米子・馬路・鶴川の12区画の地質調査を進捗させるとともに、川俣・冠山の2区画の地質図及び報告書を完成させた。

#### 【分野名】地質

【キーワード】地質図幅、20万分の1地質図、5万分の1地質図

#### 【テーマ題目2】海域地質図プロジェクト（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、片山 肇、井上 卓彦、板木 拓也、佐藤 智之、天野 敦子、西田 尚央、小田 啓邦、佐藤 太一、鈴木 淳、長尾 正之、田中 裕一郎、下田 玄、針金 由美子、野田 篤、辻野 匠、石塚 治（活断層・火山研究

部門）、岡村 行信（活断層・火山研究部門）、兼子 尚知（地質標本館）、多恵 朝子、片山 礼子（常勤職員19名、他2名）

#### 【研究内容】

日本周辺海域の地球科学的調査・研究を通じて、地殻を中心とした海洋地球に関する基盤的情報を系統的に整備し、広く社会へ提供する。特に、海洋地質図の整備、海洋地質データベースの構築とインターネット公開、これらを支え発展・高度化させる基礎的基盤的研究に関して世界をリードする研究に取り組む。なお、海洋地球に関する基盤的情報及び科学的知見は、国や社会の持続的発展を支える基本的公共財として、産業立地を含む各種海洋開発・災害軽減・環境管理などに対する基礎的資料となる。

本年度は、鹿児島県奄美大島東方～北方周辺海域及び沖永良部島～徳之島周辺海域の2回の調査航海を実施するとともに、これまでの調査航海の結果に基づき、海洋地質図の整備を進めた。その結果、前者では約1620海里の航走観測、6回の有索式無人探査装置による海底観察と岩石採取を行い、17試料の岩石を採取した。これにより、この海域の海底地質層序と構造の概要を把握した。また後者では47地点での表層堆積物採取と3地点での柱状採泥を行い、表層堆積物分布の概要を得た。これらの航海の結果は速報にとりまとめた。また、襟裳岬沖海底地質図と種子島付近表層堆積図をCD出版した。

#### 【分野名】地質

【キーワード】海底地質図、表層堆積図、重力・地磁気異常図、データベース、日本周辺海域、南西諸島海域、白嶺

#### 【テーマ題目3】地球物理図（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】伊藤 忍（地球物理研究グループ）

【研究担当者】伊藤 忍、名和 一成、大熊 茂雄、村田 泰章、宮川 歩夢、山谷 祐介、駒澤 正夫、中塚 正（常勤職員5名、他3名）

#### 【研究内容】

活動的島弧に位置する国土の地下地質構造を体系的に解明するために重力図、空中磁気図、データベースなどの作成を行う。20万分の1重力図については、和歌山、名古屋、金沢、静岡地域などの調査・編集を進めた。空中磁気図については、養老山地地域を出版し、富士火山地域の編集を完了した。重力データベース（地質情報データベース）では、地下構造可視化システム（活断層セグメント）に対応する67地域の各種重力図を公開した。日本列島基盤岩類物性データベース（地質情報データベース）の維持作業を行った。

#### 【分野名】地質

〔キーワード〕 地球物理図、重力図、空中磁気図、岩石物性、データベース

〔テーマ題目4〕 地球化学図（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕 岡井 貴司（地球化学研究グループ）

〔研究担当者〕 岡井 貴司、今井 登、金井 豊、御子柴 真澄、太田 充恒、久保田 蘭、立花 好子（常勤職員5名、他2名）

〔研究内容〕

元素の地球化学的挙動解明の基礎となる地球化学図の作成において、大都市市街地を含む地域における元素のバックグラウンドを明らかにするために、従来の日本全国図の10倍の精度を持つ精密地球化学図を作成する。また、日本全国のヒ素、水銀、カドミウムなどの有害元素をはじめとする53元素の濃度分布の全データをデータベース化し、地球化学図データベースとしてインターネットを通して活用できるようにするとともに、日本における地球化学基盤情報を提供する。

精密地球化学図の作成では、昨年度、関東北部地域（埼玉県、茨城県、群馬県、栃木県）から採取した、388個の試料について53元素の化学分析を行い、これまでに分析した結果と合わせ、約1,500個の試料のデータを用いて「関東地方精密地球化学図」を作成した。化学分析は、試料を硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸で分解後、硝酸酸性の試料溶液を作成し、主成分元素は ICP 発光分光分析法、微量成分元素は ICP 質量分析法で行い、水銀については試料を直接、加熱気化原子吸光法により分析した。「関東地方精密地球化学図」は分析で得られた元素濃度を元に、地理情報システムを用い53元素について作成し、解説及び試料の情報を含め来年度出版予定である。また、関東地方の次の予定地として、名古屋市を中心とした中部地域について予察調査を開始し、予定地域の北部（滋賀県、岐阜県、長野県、愛知県、静岡県）から264個の河川堆積物試料を採取した。試料は各河川の指定された地点の周辺において、その河川の上流域から供給された細粒の堆積物（最大粒径3mm 程度以下）約1kg をスコップ等で採取し、実験室で乾燥したのち80メッシュ以下の成分を篩分け、自然乾燥した後、粉碎し、分析に用いる試料とする。

地球化学図データベースでは、日本全国の陸域とそれにつながる沿岸海域のヒ素、水銀、カドミウムなどの有害元素をはじめとする53元素の濃度分布図を公開しており、作成に用いた河川堆積物試料（陸域、約3,000個）及び海底堆積物試料（海域、約5,000個）の採取地点の他、各元素の分析データを閲覧・ダウンロードできる。また、試料中のカリウム、ウラン、トリウム含有量から計算式により求めた、日本における大地からの自然放射線図についても公開している。日本全国の地球化学図は ZOOMA ビューワを用いて表示していたが、今年度作

成した「関東地方精密地球化学図」を加えて表示するにあたり、表示縮尺に応じた地図の切り替えを行う必要があるため、GoogleMaps を用いて縮尺レベルによるフィルタリングで日本全域版と関東地方詳細版（関東地方精密地球化学図）を切り替えられるよう改修を行った。大縮尺時は日本全国図を表示し、一定のズームレベルに達すると関東詳細版に自動的に切り替わる。現在、18元素について GoogleMaps 版を作成して試行しており来年度以降随時公開の予定である。また、GoogleMaps を用いることで、将来的に、試料詳細等の位置情報を持つデータとの重ね合わせを可能にした。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 地球化学図、データベース、有害元素、バックグラウンド、環境汚染、元素分布

〔テーマ題目5〕 大陸棚調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕 田中 裕一郎（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 田中 裕一郎、岸本 清行、西村 昭、湯浅 真人、小田 啓邦、石塚 治（活断層・火山研究部門）、下田 玄、棚橋 学（地圏資源環境研究部門）（常勤職員4名、他4名）

〔研究内容〕

本テーマは部門の重点プロジェクトのひとつであるが、部門を横断する大陸棚チーム員および招聘研究員、研究顧問等の協力のもとに取り組んだ。現在「大陸棚調査」では、二つの課題がある。ひとつは2012年4月26日にわが国が受領した「延長大陸棚勧告」の技術的検討に関する「大陸棚審査対応部会」（総合海洋政策本部所掌）を通じたフォローアップ作業であり、他のひとつは、大陸棚申請作成のために用いた資試料のうち産総研が保有するものを研究利用も含め維持管理することである。

1) 2012年に受領したわが国の「延長大陸棚勧告」には一部の審査未了海域が含まれており、早期の審査実施（再開）を国連大陸棚限界委員会に国として働きかけているところである。産総研としての役割は「勧告」内容の精査と分析を行い、今後の大陸棚画定の国内作業や国連大陸棚限界委員会とのさらなる対応における地球科学的・技術的な検討を「大陸棚審査対応部会」を通して行うことである。当該年度は、内外の国際法の専門家による「大陸棚画定」に関するワークショップに参加し、地球科学以外の課題についても認識を深めた。また、我が国の大陸棚申請海域と一部境界を接する米国の大陸棚調査対応チームの求めに応じ、総合海洋政策本部の担当者に同行して出張して情報収集・意見交換を行った。

2) 前述のように「大陸棚審査対応部会」機能の一部は、将来の審査再開のためにも当面維持することが求められている。このことに連動して、大陸棚調査で得られ

た岩石試料等の適切な保管と利活用が産総研の責務となっている。コンパイルされたこれらの解析資料やコア試料は、今後日本の周辺海域で必要となる詳細な地球科学的調査の基礎となる資試料であり、関連する地形・地球物理データとともに試料庫やコンピュータに保管されている。また系統的に採取されたコアリングによる海底岩石試料とその分析データは検索可能な新たなデータベースとして登録した。このデータベースでは、試料庫に保管されたコア試料とも関係づけられており、資試料の利活用のためのツールとして公開される予定である。

- 3) 大陸棚調査に関して、産総研内外への広報について、今年度以下のことを行った。大陸棚調査の科学的な貢献に関する学協会の発行雑誌での特集号の企画があり、審査対応部会メンバーでの議論の上、取り組みを開始した。産総研の研究者の筆頭論文3件が投稿中である。産総研のサイエンス・スクエアの改修として、産総研の研究成果の歴史の一つとして、「大陸棚調査への貢献」が取り上げられ、展示試料の提供・作成で協力した。地質標本館の展示改修においても、大陸棚調査関連の映像展示に展示試料の提供・作成で協力した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕海洋地質調査、大陸棚画定、国連大陸棚限界委員会

〔テーマ題目6〕沿岸域の地質・活断層調査－沿岸海域の海洋地質の研究（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕池原 研（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕池原 研、片山 肇、井上 卓彦、天野 敦子、佐藤 智之、岡村 行信（活断層・火山研究部門）、西田 尚央、古山 精史朗、味岡 拓、多恵 朝子（常勤職員7名、他3名）

〔研究内容〕

地質情報に乏しい沿岸域の地質情報の整備と沿岸域のよりよい調査手法の確立が本調査研究の目的である。本年度は、房総半島周辺海域の反射法音波探査、表層堆積物採取と柱状採泥を行った。その結果、外房沖の海底地質層序と地質構造、表層堆積物分布の概要を把握するとともに、柱状試料のいくつかにはタービダイトの挟在を確認した。これらの結果は、報告書原稿として取りまとめた。また、一昨年度北海道勇払沖の調査結果を海陸シームレス地質図「石狩低地帯南部沿岸域」として DVD 出版するとともに、昨年度静岡県駿河湾の調査結果を DVD 出版するための作業を行った。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕沿岸域、活断層、音波探査、堆積作用、九十九里-房総沖、駿河湾

〔テーマ題目7〕沿岸域の地質・活断層調査－陸海接合の物理探査（地球物理 RG-1）（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕伊藤 忍（地球物理研究グループ）

〔研究担当者〕伊藤 忍、山口 和雄、山谷 祐介、横倉 隆伸、岡田 真介（東北大学）（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

沿岸付近の陸域と海域の地質情報の整備を目的として、地震探査・重力探査の新規調査、既存データの情報収集と再解析を行う。平成26年度は、千葉県九十九里沿岸域で反射法地震探査を実施し、当該地域を含む関東沿岸域の既存地下構造データを収集した。また、千葉県鴨川低地断層帯周辺で電磁気探査を実施した。

九十九里沿岸域での反射法地震探査は沖積層基底等を対象としており、その測線長は4.5km である。収集した既存地下構造データは、房総半島の太平洋側、三浦半島、足柄平野のものである。また、九十九里沿岸域での調査では、新規に導入した独立型探査システムの試験運用も実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕沿岸域、関東平野、九十九里浜、房総半島、反射法地震探査

〔テーマ題目8〕沿岸域の地質・活断層調査－陸海接合の物理探査（地球物理 RG-2）（運営費交付金：重点プロジェクト－沿岸域調査）

〔研究代表者〕大熊 茂雄（地球物理研究グループ）

〔研究担当者〕大熊 茂雄、山谷 祐介、駒澤 正夫、中塚 正（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

陸域と沿岸海域とをつないだシームレス地球物理図を作成し、活断層や地下地質を含めた統合化された地質情報を提供することを目的として、本研究では陸海接合の物理探査を行う。平成26年度は、神奈川県相模湾北部沿岸域で浅部地下構造を広域的に把握するため2014年11月に海底重力調査を実施した。小田原市沖から藤沢市江ノ島にかけて500m～2km の測定間隔で海底重力計を用いた重力調査を実施し、総測点数は70点である。既存の陸上及び船上重力データと新規取得の海底重力データを編集し、海陸を接続したブーゲー異常図を作成した。この結果、二宮町沖の大磯海脚付近では低重力異常が分布し、国府津－松田断層沿いの低重力異常に連続する可能性が示唆された。大磯町付近の低重力異常は、海底重力データを加えることにより沖合の低重力異常と連続することが明らかとなり、一連の構造であると考えられる。藤沢市の江ノ島から西方の平島方向の海域に、東西性の高重力異常が分布し、三浦半島にみられる東西性の地質構造の一部が連続する可能性を示唆する。

一方、高分解能空中磁気探査は、2014年11月～12月

に伊勢原市子易場外ヘリポートを飛行基地として、小田原市国府津を中心とした東西15km×南北12kmの陸海域で主測線間隔250m、対地高度150mの仕様で実施された。調査の結果、暫定的に作成した空中磁気図では、大磯丘陵西端部に高磁気異常帯が分布し、その西端部は国府津－松田断層に対応することが分かった。また、図画西端の箱根火山東麓部で地形の起伏に伴い磁気異常が分布し、箱根火山の火山噴出物に対応する。これらの磁気異常のうち一部は足柄平野にも連続することから、平野下に箱根火山の火山噴出物が伏在することが推定される。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕重力探査、海底重力調査、空中磁気探査、重力図、空中磁気図、地球物理図、相模湾

〔テーマ題目9〕沿岸域の地質・活断層調査－平野域の地質調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕宮地 良典（平野地質研究グループ）

〔研究担当者〕水野 清秀、小松原 琢、小松原 純子、田邊 晋、宮地 良典、佐藤 善輝、國本 節子、田中 ゆみ子（常勤職員5名、他3名）

〔研究内容〕

陸域と沿岸海域とをつないだシームレス地質図を作成し、活断層や地下地質を含めた統合化された地質情報を提供することを目的として、本研究では陸域の地質調査を行う。

平成26年度から28年度にかけての調査対象範囲である相模湾沿岸域から房総半島沿岸域に対しては、活断層と平野の形成が密接に関係しているところとして足柄平野と相模平野をあげることができる。また、その他の大規模な平野として九十九里浜平野があり、これらの平野はいずれも海溝型の大地震が発生した場合に地殻変動や津波などの影響が現れやすい地域でもある。そこでこの3平野に重点を置き、浅層地下地質構造を既存のボーリング資料の収集・解析と独自のボーリング調査によって明らかにする。調査結果を平野ごとに地質断面図に表現するとともに沖積層基底あるいは上部更新統鍵層の深度分布図などとして示す。

国府津－松田断層及び足柄平野については、これまでに多くのボーリング調査、トレンチ調査、物理探査等が行われているが、足柄平野全体の地質構造が明確にされていない。そこで既存資料に乏しい平野中央部を中心にして、地下に分布する上部更新統及び沖積層の分布と地質構造を明らかにすることを目的とした。平成26年度は、既存ボーリング資料の収集・解析と既存コアの分析を行った。また、足柄平野南部で掘削深度20～70mの4本のボーリング調査とそのコア解析を行った。その結果、

鬼界－アカホヤ火山灰降灰層準前後に2回、国府津－松田断層の影響とみられる堆積環境の変化が見られた。そのほか国府津－松田断層による変位量や活動度について、露頭調査を中心に新たな情報を得ることに努めた。

また、九十九里平野の沖積層については、これまで多くの研究があるが、それらを整理して、既存ボーリング資料の収集・解析を進め、地下データの乏しい地域などを抽出した。千葉県インフォメーションバンクや市町村の既存ボーリングを収集した。さらに旭市および匝瑳市所有のボーリング資料から<sup>14</sup>C年代測定を行い、この地域の沖積層埋没谷の形状などについて整理した。

勇払低地や、駿河湾北岸平野については、研究報告としてとりまとめを行った。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕ボーリング調査、活断層、第四紀堆積物、沖積層、シームレス地質情報、足柄平野、九十九里平野、国府津－松田断層

〔テーマ題目10〕沿岸域の地質・関東南部沿岸地域の地質・活構造情報図の整備（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕宮地 良典（平野地質研究グループ）

〔研究担当者〕小松原 琢、水野 清秀、尾崎 正紀（常勤職員3名）

〔研究内容〕

関東平野南部地域において、最新データ及び全テーマの3年間の成果を取り込んだ総合解析図として、海陸情報をシームレス化した20万分の1活構造図情報図を作成する。今年度は、活構造の存否を含めて再検討が必要とされている鴨川低地断層帯を対象として、地表踏査を中心とする地質調査を実施し、20万分の1活構造図の作成に寄与する。また、大縮尺の地質図（油田ガス田図）が欠けている「大多喜」図幅北部の上総層群上半部を対象とする補備地質調査を行い、房総半島南部の5万分の1地質図「大多喜」北部地域の作成に寄与することを目的とした。

平成26年度は、断層の存否が明らかにされていない房総半島南部の鴨川低地帯の地質構造を対象として、空中写真判読と地表地質踏査（更新世段丘の編年と変位の有無の確認及び地質断層の有無の確認）および既存ボーリングデータの収集を行った。この結果、従来鴨川低地帯断層帯は正断層と考えられてきたが、高角横ずれ断層として第四紀まで活動していた可能性があり、今後検討が必要ながわかった。「大多喜」地域の地質図を1/25,000スケールでとりまとめ、報告書として投稿した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕地表踏査、活断層、第四紀堆積物、シームレス地質情報、房総半島、鴨川低地帯

〔テーマ題目11〕沿岸域の地質・活断層調査－東京湾西

**部の沖積層アトラス（運営費交付金：重点プロジェクト）**

【研究代表者】 田邊 晋（平野地質研究グループ）

【研究担当者】 田邊 晋、羽佐田 紘大（名古屋大学・院生）、國本 節子、和田 明美（常勤職員1名、他3名）

**【研究内容】**

平成26年度は、(1)既存のボーリング柱状図資料の収集と数値化、(2)2本のボーリングコア堆積物の掘削と解析を行った。(1)については、東京都土木技術支援・人材育成センターと東京都港湾局、川崎市環境局、横浜市の「地盤 View」から、ボーリング柱状図資料を借用もしくは提供していただき、合計11,579本の数値化データセットを構築した。そのうえで、多摩川低地における沖積層基底と岩相、*N* 値の空間分布を暫定的に明らかにした。(2)については、川崎市川崎区桜本において60m長、同中原区木月において27m 長のボーリングコア堆積物を採取し、岩相と生物化石相の記載、含水率と泥分含有率、貝化石と植物片の放射性炭素年代測定を行った。(1)と(2)の解析の結果、多摩川低地には海進期の河成層が分布しないこと、海進期の湾口堆積物が急速に堆積しバック・ステップしていること、デルタの発生期にはプロデルタの泥層が存在しないこと、などが明らかになった。このような新たな知見は、多摩川低地における沖積層層序を大幅に改訂することにつながると考えられる。

【分野名】 地質

【キーワード】 多摩川低地、沖積層、層序、堆積相、放射性炭素年代

**【テーマ題目12】 沿岸域の地質・活断層調査－海陸空間情報の整備（運営費交付金：重点プロジェクト）**

【研究代表者】 川畑 大作（地質情報研究グループ）

【研究担当者】 川畑 大作、田中 裕一郎、尾崎 正紀（常勤職員3名、他2名）

**【研究内容】**

沿岸域地質・活断層調査で得られた成果を多種多様な目的で活用できるよう空間情報の整備や標準化、公開手法の検討、利活用のための技術開発などを行っている。また、研究成果物（研究報告、DVD）作成のサポートを行っている。

平成26年度は、既刊の海陸シームレス地質情報集「能登地域」及び「新潟地域」の空間情報の修正とラスト画像の整備、「福岡地域」、「北海道地域」の空間情報作成、調査情報アーカイブとファイル共有環境の運用を行った。また、駿河湾の沿岸域調査成果の公開 DVD 用データの作成を行った。

【分野名】 地質

【キーワード】 空間情報、情報共有、標準化、海陸シームレス地質情報集

**【テーマ題目13】 衛星画像情報及び地質情報の統合化（運営費交付金：重点プロジェクト）**

【研究代表者】 宮崎 一博（地質情報研究部門）

【研究担当者】 中澤 努、浦井 稔、野々垣 進、西岡芳晴、吉川 敏之、川畑 大作、巖谷 敏光、斎藤 眞、内藤 一樹（常勤職員9名）

**【研究内容】**

シームレス地質図3D 版の改良では、新たに Cesium ライブラリを導入して再開発し、表示の高速化を図り、かつこれまで非対応であった Android、iOS 等のモバイル環境に対応した。成果配信のための基本情報であるデジタルアーカイブを、タブレット PC をはじめとした携帯端末に記録するための技術開発として、携帯電話用クリノメーターアプリケーション iPhone for GeoClino の iOS の最新バージョンに対応した改良を行った。また、新しい計算アルゴリズムを導入し、計測値の精度向上を実現した。デジタル地質情報を活用した地すべりポテンシャルマップの作成では、マップの作成に必要な地形情報と地質情報の検証を行った。数種類の地質情報と数種類の標高データ、地すべり分布のデータを利用して地すべり地域における地質図の違いによる地すべり分布傾向について調査した。火山衛星画像データベースの作成では、画像のオルソ化・画像の色付けの変更などを実施した火山衛星画像データベースのバージョン3.0を公開した。

【分野名】 地質

【キーワード】 デジタルアーカイブ、野外調査情報、Cesium、シームレス地質図、地すべり、火山衛星画像データ

**【テーマ題目14】 陸域の鉱物資源のポテンシャル評価に関する研究（運営費交付金：重点プロジェクト）**

【研究代表者】 池原 研

（マグマ熱水鉱床研究グループ）

【研究担当者】 池原 研、濱崎 聡志、清水 徹、

後藤 孝介、森下 祐一、清水 日奈子（常勤職員4名、他2名）

**【研究内容】**

SIMS（二次イオン質量分析装置）実験室を利用して、南アフリカ共和国の白金族鉱山から採取した鉱石の微小領域分析を行い、硫化鉱物中のプラチナや金の含有量が鉱物の種類（ペントランド鉱、磁硫鉄鉱、黄銅鉱）により異なる事を明らかにした。また、白金族に関して行った調査研究を基盤として、資源地質学会シンポジウム：白金族一探索、開発および研究において「白金族元素と白金族資源」と題した招待講演を行った。

雲仙火山の熱水変質鉱物から地下温度構造を明らかにするとともに、島原半島の地熱水データの検討を行った。

その結果、雲仙火山は島原半島西部を熱源とする広域熱水系の東縁部に相当し、鉱床を形成し得る熱水系の発達にはマグマ活動の東進に伴う今後のフェーズであると推定した。成果は国内学会で公表した。

菱刈鉱床産セレン含有金銀鉱石を用いて、顕微鏡観察およびX線マッピング解析を行い、元素濃集過程を考察した。特に金とカリウム濃集度合いの逆相関の成因を明らかにした。以上の成果は論文として国内誌に投稿した。

鉱床成因の解明を念頭に、ガーナのエンスタマンガン鉱床のRe-Os同位体分析を行った。その結果、鉱床の形成年代が約22億年前であることを明らかにした。得られた年代は、火山岩のジルコンU-Pb年代などから、間接的に求められていた堆積年代と良く一致した。また、Os同位体比より、鉱床の形成には熱水が関与した可能性が高いことを明らかにした。エンスタマンガン鉱床が、熱水活動の活発な環境で形成したことを示唆する。

【分野名】地質

【キーワード】二次イオン質量分析装置、SIMS、鉱物資源、白金族、金、インジウム、鉄マンガングラス

【テーマ題目15】海底鉱物資源（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】下田 玄

（資源テクトニクス研究グループ）

【研究担当者】下田 玄、針金 由美子、後藤 孝介

（常勤職員3名）

【研究内容】

海底鉱物資源探査指標の確立のため、高精度化学分析に適した実験室環境の構築・整備を行った。また、石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）との連携を強化して海底鉱物資源の広域ポテンシャル調査を推進した。熱水鉱床形成が起きている可能性の高い地域、及び過去に生成された鉱床が存在している可能性のある地域を抽出するため、日本周辺海域に分布する島弧-前弧-背弧域における海洋リソスフェアの形成過程を明らかにした。陸上のオフィオライト調査についても研究を進めており、本年度に採取した岩石試料を中心に化学分析や鉱物学的岩石学的研究の為に試料調整を進めた。さらにフィリピン海プレートを構成している前弧域にあたる伊豆-小笠原海域で採取された岩石試料を用いた島弧形成初期の上部マントル構造について研究を行った。

【分野名】地質

【キーワード】海底鉱物資源、テクトニクス、沖縄トラフ、フィリピン海プレート、地球化学、岩石学

【テーマ題目16】ボーリングデータの一元化と地質地盤図の作成（運営費交付金：重点プロジェクト）

クト）

【研究代表者】中澤 努（情報地質研究グループ）

【研究担当者】中澤 努、宮地 良典、野々垣 進、小松原 純子、納谷 友規、長 郁夫（常勤職員6名）

【研究内容】

本研究課題では、都市部の地質情報整備の加速化を目的として、国・自治体等のボーリングデータを一元化し、それらを基に地下情報を表示する3次元地質地盤図の作成を試みている。平成26年度は、千葉県北部をモデル地域として、基準ボーリングデータ整備、一部地域の3次元地質地盤モデルの高精度化、ボーリングデータ管理システムのプロトタイプの実現を行った。

基準ボーリングデータの整備では、成田市及び印西市において更新統木下層の谷埋め泥層を対象としたボーリング調査を実施した。また千葉県から船橋市にかけての東京湾岸地域において、沖積層及び埋立層を対象としたボーリング調査を実施した。詳細な層相記載とテフラ分析、放射性炭素年代測定を行い、これらの地域の層序の基準となるデータ整備を行った。また、前年度までに掘削採取したコア試料の微化石分析や粒度分析をすすめた。自治体よりボーリングデータの提供を受け、それらをJACIC様式XMLファイルに変換した。岩相コードの割り振り等、変換に関するいくつかの問題が生じたが、これらは次年度に継続して対応する。これらのデータを利用して、湾岸低地では沖積層基底地形の概要を明らかにするとともに、柏市付近では軟弱層を含む更新統の3次元地質モデルを作成した。

JACIC様式のボーリングデータを自治体担当者など地質の専門家以外でも容易にデータベース管理できるシステムの開発を行った。開発言語にはVisual Studio C# 2010 (.NET Framework 4.0) を、DBにはPostgreSQLを用いた。本システムは、柱状図登録機能、柱状図の位置およびメタデータ確認機能、柱状図の検索機能、柱状図の出力機能、管理DBのバックアップ機能、他システムと連携した柱状図の表示機能、他システムと連携した柱状図の編集機能を備えている。今後、利便性に関する改良を行っていく予定である。

【分野名】地質

【キーワード】ボーリングデータ、3次元地質モデル、地質地盤図

【テーマ題目17】新素材に関する融合研究（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】金井 豊（地球化学研究グループ）

【研究担当者】金井 豊、坂本 靖英（地圏資源環境研究部門）、三田 直樹、岡崎 智鶴子（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

2011年の福島原発事故以来、復旧・復興のための

様々な作業が行われているが、現地では高放射線量に阻まれてなかなか困難を極めている。そのため、被ばくを少しでも低減させることを目指し、既存の特許技術を利用した遮へい能を有する新素材を検討した。この新素材は弾力性・柔軟性を有し、軽い力で曲げることが可能であり、力を除くと元に戻る特質があり、最適化を目指して混合物の種類や組成比を変えて検討した。その結果、弾力性・柔軟性を保持しながら、金属鉛に対して60%近い遮へい効果を有する素材を作ることができた。これらの関連する成果については特許出願を行い、現在、複数の企業との間で共同研究の実施を目指した検討を進めている段階にある。また、産総研 TODAY に特許紹介の記事を掲載し、外部への情報提供も進展した。

【分野名】地質

【キーワード】素材、遮へい体、放射線

【テーマ題目18】 鉱物資源の成因解明に向けた高感度重金属安全同位体分析の確立（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】 下田 玄（資源テクノニクス研究グループ）

【研究担当者】 下田 玄、後藤 孝介（常勤職員2名）

【研究内容】

重金属元素の安定同位体比は、鉱物資源の成因解明を理解するための新たな指標である。従って、産総研における重金属元素安定同位体分析の確立は、海底・陸域鉱物資源研究に重要である。しかし、当部門が所有する重金属元素安定同位体分析機器（MC-ICP-MS）は、国内や国外の多くの研究機関が所有する MC-ICP-MS に比べ、感度が1/100程度であり、高精度・高確度の分析が困難であった。そこで、脱溶媒ネブライザーを導入し、これまで困難であった重金属元素の安定同位体分析を行うことを試みた。その結果、感度が4倍程度向上し、現状のシステムでは困難な元素に関しても、同位体測定方法を確立することが可能となった。今後、このシステムの最適化を行い10倍程度の感度向上とイオンビームの安定化を試みる。

【分野名】地質

【キーワード】海底鉱物資源、地球化学

【テーマ題目19】 次世代シームレス地質図の編纂（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】 齋藤 眞（シームレス地質情報研究グループ）

【研究担当者】 齋藤 眞、宮崎 一博、水野 清秀、石塚 吉浩（活断層・火山研究部門）、工藤 崇、西岡 芳晴、宝田 晋治、森尻 理恵、内野 隆之、尾崎 正紀、竹内 圭史、佐藤 大介、松浦 浩久、高橋 浩、小松原 琢、古川 竜太（活

断層・火山研究部門）、山元 孝広（活断層・火山研究部門）、中野 俊（活断層・火山研究部門）、及川 輝樹（活断層・火山研究部門）

（常勤職員19名、他2名）

【研究内容】

次世代20万分の1のシームレス地質図の編纂を行う。平成23年度までに統一凡例の作成を行い、平成24年度～平成26年度で編纂を行い、平成27年度に全体編纂と配信システムの開発を行う。現行の20万分の1日本シームレス地質図は1992年に発行された100万分の1日本地質図の凡例を踏襲している。それから20年後の最新の知見に基づく新凡例はコードで構造化されているため、詳細な凡例から平易な簡易区分まで、自在に凡例を変更することができるものである。

本年度は、20万分の1のシームレス地質図の北東北～北海道、北方四島の編纂を行った。まず、統一凡例を各20万分の1地質図幅のデジタルデータに対応させた。一部は土质地質図を基にしたデータに対応させた。その後北海道の地質図デジタルデータが2000年以降の知見で地質体の分割がされている部分を統一凡例に対応させた。境界部の調整を行って、当該地域の一通りの編纂は終了した。今後各年度ごとの境界部の調整や、全体を通しての調整作業を行って、公開可能な地質図データにしていく必要がある。

【分野名】地質

【キーワード】シームレス地質図、統合、数値地質図、標準化、データベース、統一凡例

【テーマ題目20】 都市沿岸域の反射法音波探索システム受波部の補修と改修（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】 佐藤 智之（海洋地質研究グループ）

【研究担当者】 佐藤 智之、古山 精史朗、井上 卓彦（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

海陸シームレス地質図を作成するための沿岸海域調査に用いる反射法音波探査機器の補修と改修を行った。沿岸域での調査には大水深の沖合調査と比べ、一般に高い分解能が要求され、専用の受波センサーと曳航システムが必要とされる。しかしこれまではセンサー部のみ高分解能のものを使い、曳航システムについては沖合での海底地質図調査に用いる大水深向けのものをコンバータを挟むことで兼用していた。安く調査機器を運用することができていたが、曳航バランスや船上での取り回しが悪く、作業効率が悪い上にデータ品質も下がっていた。また、本年度調査中、接続部に力が集中したためかコンバータ部において断線と漏電が発生、機器が破損した。そのため、まずは破損箇所の修理を行い、沿岸域向けの高分解能センサーに対応した純正の曳航システムを導入し

た。その結果、余分なコンバータを挟む必要がなくなっており取り回しが良くなり、浮力バランスもメーカー設計どおりになるため、曳航バランスも向上する。船上での事故、破損のリスクが低減され、データ品質の向上も見込まれる。新曳航システムは内部充填物が液体から固体に変更されているため、万が一の破断時にも海洋汚染しない。また、今回の改修によって高分解能と大水深用の2系統の機器が一式揃ったため、沿岸調査と沖合調査、あるいは海底資源調査が同時期に重なっても問題なく調査できるようになった。

【分 野 名】地質

【キーワード】反射法音波探査、海洋地質、沿岸域

【テーマ題目21】重レアアース鉱床の探査技術の実用化  
(運営費交付金：戦略予算)

【研究代表者】下田 玄 (資源テクトニクス研究グループ)

【研究担当者】下田 玄、後藤 孝介 (常勤職員2名)

【研究内容】

レアアース、タングステン、白金、リチウム、アンチモン、モリブデン等は、資源ナショナリズムの影響を受けやすく、輸出規制や価格高騰により供給不安に陥るリスクがある。このことから、これらの元素はクリティカル元素とも呼ばれる。もし、これらクリティカル元素のリスクが顕在化した場合、国内ハイテク産業への打撃は計り知れない。そこで、これらクリティカル元素に含まれる希土類元素やモリブデンについて同位体比測定を含む測定法の開発を行いつつある。

【分 野 名】地質

【キーワード】資源、地球化学

【テーマ題目22】沖縄トラフ東縁海域の海底鉱物資源ポテンシャル調査 (運営費交付金：戦略予算)

【研究代表者】池原 研 (地質情報研究部門)

【研究担当者】池原 研、下田 玄、片山 肇、  
針金 由美子、山岡 香子、石塚 治  
(活断層・火山研究部門)、佐藤 太一、  
佐藤 智之、板木 拓也、天野 敦子、  
後藤 孝介 (常勤職員11名)

【研究内容】

我が国で鉱物資源の供給不安が広がる昨今、海底に賦存する鉱床の存在が注目されている。本研究では、沖縄トラフ東縁海域において海底地質調査を実施し、新たな海底熱水鉱床の発見の基礎となる海底地形・地質データの収集と解析が目的となる。本年度は第1奄美海丘と硫黄島島堆で有索式無人探査装置を用いた海洋地質調査を実施し、第1奄美海丘で1地域 (9地点)、硫黄島島堆では2地域 (4地点) の熱水活動域を発見した。また、それぞれの地域の熱水噴出口の温度計測を行った結果、第

1奄美海丘では100度を超える熱水噴出口を2つ、硫黄島島堆では200度を超える熱水噴出口を7箇所、100-200度のものを5箇所で見出した。

【分 野 名】地質

【キーワード】海底熱水活動、プルーム、海底カルデラ、硫黄島島堆

【テーマ題目23】伸縮自在なセンシングデバイスの開発  
(運営費交付金：戦略予算)

【研究代表者】金井 豊 (地球化学研究グループ)

【研究担当者】金井 豊、三田 直樹、岡崎 智鶴子  
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

センサの曲面への設置やウェアラブル化を目指し、伸び縮みした状態でも圧力の検出可能なセンシング技術を開発するため、情報通信・エレクトロニクス分野の4ユニットと共同の研究プロジェクトで、本年度は2年目で最終年度に当たる。当部門では柔軟性が高く高品位印刷できるストレッチャブルな基板の作製に関する研究を分担する。昨年度は、立体化石や立体地形など任意の形状の三次元表面に貼り付け可能なシートの作製技術を活用し、ストレッチャブルなシート基盤の作製を行い、印刷可能であることを確認したが、圧力センサに用いるには耐久性に課題があった。このため、今年度は素材や混合比の検討などを行って問題点の改善を図った。その結果、シートを作成するのに最適なシリコン樹脂の選択、伸縮性の向上剤を検索、手順や混合比率などを選択して、高温処理後に常温に戻しても可逆的な伸縮をする基盤の作成に成功した。更に、実際にシート基盤に電極配線の印刷を試みたところ、センサとしての導通機能を確認した。今年度が最終年度であることから、富士山の立体模型の山体に電極の配線を印刷した基盤を密着させて貼り合わせてセンサを作成することを試み、当部門で開発したシート基盤にセンサを印刷したフィルムと、共同研究部門でのセンサフィルムを貼り合わせて、圧力センサとして機能することを確認し、富士山模型の曲面への圧力センサの設置に成功した。

【分 野 名】地質

【キーワード】3次元、伸縮自在素材、シート

【テーマ題目24】ルミネッセンス計測技術の地質・環境試料解析への応用 (運営費交付金：戦略予算)

【研究代表者】鈴木 淳 (地質情報研究部門)

【研究担当者】鈴木 淳、中島 礼、岡井 貴司、  
田中裕一郎、中澤 努、田村 亨、  
高田 徳幸 (環境化学技術研究部門)、  
奈良崎 愛子 (環境化学技術研究部門)、  
新納 弘之 (環境化学技術研究部門)  
(常勤職員9名、他1名)



### 〔研究内容〕

各種のルミネッセンス計測技術は、有機エレクトロニクス材料や構造素材の品質管理に応用する研究が実施されてきた。ルミネッセンスを引き起こす刺激は、各種の光、熱、化学反応、応力など多様であり、ルミネッセンス計測技術は、地質分野ではまだその利用が限られている。地質試料の続成変質の評価へのルミネッセンス計測技術の応用の可能性を探る第一段階として、生物源炭酸塩、とくにサンゴ骨格の構成鉱物である「あられ石」に注目する。あられ石は、地球表層の温度圧力条件では不安定で、時間の経過とともに、より安定な「方解石」に変化して行く。炭酸塩を主体とする石灰岩や化石試料などは、紫外線の照射により可視光領域の多様なルミネッセンスを呈することが知られている。しかし、その発光機構の物理メカニズムは未解明であって、同様の現象の利活用の障害となっている。そこで、これまで収集してきた生成年代と続成変質の程度がさまざまな化石試料を対象に、紫外線照射による可視光ルミネッセンスの続成変質の評価有効性の検証を試みた。具体的には、まず現生サンゴ骨格のルミネッセンスの成因解明に取り組み、粉末およびスラブ（薄板）の形状の試料を用いて、顕微蛍光スペクトル、顕微ラマン・反射型顕微赤外分析等を行い、ルミネッセンス特性およびその発光機構を評価した。有機物起源と思われるルミネッセンスは認められず、結晶構造に起因するルミネッセンス発光の可能性が指摘された。サンゴ骨格のルミネッセンスは、生息地近傍に流入する河川の降水量や洪水現象との関連が強く、サンゴ骨格に取り込まれた陸源有機物の寄与が指摘されてきたが、今回の結果はむしろルミネッセンスがサンゴ骨格を形成する炭酸カルシウム自体に起因することを示すものである。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕ルミネッセンス、サンゴ、続成作用

〔テーマ題目25〕【産総研－東北大マッチング研究支援事業】沿岸域激甚災害後の環境評価技術の開発 ―松島湾でのケーススタディー―（運営費交付金：イノベーション推進）

〔研究代表者〕長尾 正之（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕田中 裕一郎、鈴木 淳、高橋 暁、藤原 治（活断層・火山研究部門）、西村 修（東北大学大学院工学研究科）（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

将来予想される沿岸域激甚災害後の沿岸環境評価技術を、地質学と環境生態工学の融合により確立し、その知見に基づき環境保全と養殖水産業・観光業とが両立できる施策提言を最終目的とする。そのために、激甚災害後の沿岸環境評価技術開発を東北大学と展開するための外部研究費を獲得するために、提案書強化に必要な研究を

行う。具体的には、東日本太平洋沖地震津波で被災した宮城県松島湾をモデル水域とし、被災前、被災直後ならびに被災後環境回復初期の3時点での生物多様性および物理化学的環境に関わるデータを整える。

平成26年度は、微小有殻生物・遺骸からみた震災からの底生生態系回復過程を捉えるため、10月14日に松島湾で東北大学と共同調査を行い、2012年の調査結果ならびに1990年代の先行研究結果との比較を行った。この結果、微小有殻生物のひとつの有孔虫混合群集クラスターの経年変化より、震災直後の2012年は、群集は外湾から湾奥にかけて帯状に分布していたが、2014年には、群集は外湾と湾奥の群集分布と構成は変化しないものの、湾内生物の群集の分布パターンと構成が変化することがわかった。また、有孔虫産出量は、震災直後の2012年は1990年代よりも多産エリアが湾奥（北）に移動していたが、2014年調査では、さらに多産エリアが湾内西部に拡大していた一方で、湾内東部では2012年から大きな変化はみられなかった。さらに、砂質有孔虫の相対産出量頻度を1990年代、2012年、2014年について比べると、1990年代に比べて特に湾奥で2012年に大きく減少していたものの、2014年には2012年に減少していた湾最奥部で増加傾向になっていた。このことは、湾最奥部が砂質を好む底生有孔虫に適した環境に移行しつつあることを示唆していると考えられた。

今後もモニタリングを継続し、海底の生物群集が、津波で変化した底質環境に適応したのか、今後1990年代の分布に戻るのか、あるいは全く別の分布に推移するのかについて解明していきたいと考えている。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕津波、環境、地形、環境変動

〔テーマ題目26〕平野地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕宮地 良典（平野地質研究グループ）

〔研究担当者〕宮地 良典、水野 清秀、小松原 琢、小松原 純子、田邊 晋、佐藤 善輝、國本 節子、田中 ゆみ子（常勤職員5名、他3名）

〔研究内容〕

本研究は、平野・盆地内あるいはその周辺の丘陵地・台地や低地地下を構成する主に第四紀堆積物の堆積プロセス、層序、地質構造、あるいは地形の形成プロセス、環境変動などを明らかにすることを目的としている。

平成26年度は主に関東平野・会津盆地・近江盆地などの沿岸平野や内陸盆地を構成する地層の詳細な層序・地質特性・地質構造などを把握し、それらの形成プロセスを明らかにすることを目的とし、新関西地盤図「近江盆地」や特殊地質図「関東平野中央部の地下地質情報とその応用」に取りまとめた。

さらに自然災害が発生した場合には関係諸グループと連携を取り、被害調査を実施し、被害の地質学的要因の

究明を行い、災害復興へ資するデータの提供を行う。平成26年度は長野県北部の地震に伴う土砂災害調査に関する緊急調査を行った。また、利根川下流域で実施した液状化調査の結果を地質調査総合センター速報などへ取りまとめを行った。また、定期的に関係諸研究者との意見交換会も実施している。

その他沿岸域珪藻についての研究や標本が充実しているポーランドの Szezecin 大学との在外研究を実施した。

【分野名】地質

【キーワード】第四紀層、関東平野、近江盆地、古地震、活断層、珪藻、土砂災害、液状化災害、国際共同研究

【テーマ題目27】層序構造地質の研究（運営費交付金）

【研究代表者】中江 訓（層序構造地質研究グループ）

【研究担当者】中江 訓、原 英俊、野田 篤、中島 礼、辻野 匠、工藤 崇、内野 隆之、宇都宮 正志（常勤職員8名、他2名）

【研究内容】

日本列島を構成する活動的島弧と周辺の東・東南アジア諸国を含む大陸縁辺域における様々な地質現象を解明するための地質調査・研究を実施している。今年度は以下の調査研究を実施した。

- (1) 世界各地の前弧堆積盆の地形的特徴を文献調査からまとめた結果、付加体の存否が堆積盆の形状に重要な役割を果たしていることが明らかになった。
- (2) 海外調査として以下の成果を得た。
  - ・タイのペルム系～三疊系前弧海盆堆積物中の碎屑性ジルコン U-Pb 年代測定結果に基づき、後背地における島弧火成活動を評価した。
  - ・米ワイオミング州に分布する Green River Formation 中の蛇行河川成チャネル堆積物の特徴から、堆積当時の古斜面傾斜及び古水深を推定した。
- (3) 国内研究として以下の成果を得た。
  - ・八甲田カルデラ周辺の前期更新世火砕流堆積物から中期更新世のジルコン FT・U-Pb 年代を得たため、火山活動史の再検討が必要となった。
  - ・南部北上帯の最下部をなす玄武岩質岩の全岩化学組成を測定した結果、これが背弧環境で形成された可能性を見出した。
  - ・新潟県加茂の第三紀泥岩で測定した分光データは、後期中新世の不整合の下位ではあるトレンドで変化するのに対し、上位では一定領域に集中する傾向がある。
  - ・産出した貝化石とその<sup>14</sup>C年代に基づき、九十九里平野の沖積層の堆積環境はエスチュアリーから外浜・前浜へ変遷した事を明らかにした。
  - ・房総半島東部の上総層群の岩相層序ならびに三浦半島北部の三浦層群・上総層群の石灰質ナノ化石層序を確立した。

- ・松山市郊外の和泉層群凝灰岩（77Ma の FT 年代値）の碎屑性ジルコン粒子の U-Pb 年代を測定したところ、FT 年代よりも古い U-Pb 年代値（83Ma）を得た。
- ・那覇市周辺で掘削されたボーリングコア（砂岩）の地質学的帰属を明らかにするため年代測定を実施し、約 100Ma の年代値（ジルコン U-Pb 法）を得た。

【分野名】地質

【キーワード】層序、構造地質、活動的島弧

【テーマ題目28】地殻岩石の研究（運営費交付金）

【研究代表者】宮崎 一博（地殻岩石研究グループ）

【研究担当者】宮崎 一博、松浦 浩久、竹内 圭史、高橋 浩、二宮 芳樹、山崎 徹、佐藤 大介、遠藤 俊祐、山下 康平、河原 弘和、鈴木 文枝（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

島弧地殻形成において重要な変形作用・変成作用・火成作用の進行過程を明らかにするため、日本列島の主要な変成帯・火成岩体の野外調査、岩石試料の分析・解析、地質体及び岩石の形成モデリングを行い、以下のような成果を得た。

- 1) 泥質岩の炭質物のラマン分光分析を行い、四国中央部秩父帯北帯の三波川変成作用で生じた温度構造を明らかにした。同帯の弱変成苦鉄質岩の EPMA 分析を行い、秩父帯から初めてヒスイ輝石を見出し、定量的な変成温度・圧力履歴を導出した。また、四国中央部三波川帯高変成度域及び四国西部四万十帯～三波川帯のジルコン U-Pb 年代データを取得し、三波川帯変成岩の原岩の多くが四万十帯付加コンプレックスと同時代の堆積岩であることを明らかにした。四国西部三波川帯では、原岩堆積年代と変成継続時間が異なる変成岩が地殻深部で剪断変形を伴いながら接合する形成履歴を持つことを明らかにした。四国中央部では、産総研リサーチアシスタントとともに野外地質調査と室内研究を行い、白髪山岩体周辺域の地質図を完成させた。本調査研究で浅部マントルウェッジの岩石学に関する重要な知見が得られた。地質調査の人材育成に貢献し、また図幅調査をベースに先端的な地質学研究を展開しつつある。
- 2) 北部九州に分布する深成岩類・変成岩類及び火山岩類の U-Pb 年代測定結果を整理した。これを基に、白亜紀の北部九州地殻中・深部のダイナミクスを熱拡散と粘性流動によりモデル化することで、高温型変成帯上昇の時間及び空間スケールと火成活動との関係について新たな知見を得た。
- 3) 播州赤穂」図幅のジルコン U-Pb 年代を含めた近畿地方後期白亜紀の火成活動の時間的空間的変遷を明らかにした。

【分野名】地質

〔キーワード〕 地殻、岩石、島弧、沈み込み帯、変成作用、火成作用

〔テーマ題目29〕 シームレス地質情報の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 斎藤 眞

（シームレス地質情報研究グループ）

〔研究担当者〕 斎藤 眞、巖谷 敏光、森尻 理恵、西岡 芳晴、宝田 晋治、内藤 一樹、吉川 敏之、中川 充  
（常勤職員8名、他4名）

〔研究内容〕

20万分の1のシームレス地質図の改訂に必要な基礎的な野外調査を行う。20万分の1日本シームレス地質図のシステム開発を主導すると共に、次世代型20万分の1日本シームレス地質図の編集作業を主導する。地質調査の際にデータをデジタルデータとして直接収集するシステムの開発を行う。標準化の国際動向を把握して、シームレス地質図や地質情報のアジア地域での共通化に関する研究を行う。

本年度は、20万分の1日本シームレス地質図については、山間部や災害時のネットワーク非接続時にも使用できるオフライン版を公開するとともに、地理院地図に対応して表示機能画面の保存等の機能を追加した。地質図Naviについては、地球化学図等の追加データ表示機能と GEOLIS 連携機能を実装した。地層名検索データベースは対象データを着実に増やすとともに、地質図Navi と連動して地質図を表示させる機能を追加し、さらに今後の標準層序データの入力に適合させるためにデータベース構造の見直しを行った。また凡例数2,500の次世代型20万分の1日本シームレス地質図の東日本の編集を主導した。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 シームレス地質図、統合、数値地質図、標準化、データベース、JIS、G-EVER  
日本工業標準調査会

〔テーマ題目30〕 情報地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 中澤 努（情報地質研究グループ）

〔研究担当者〕 中澤 努、浦井 稔、中野 司、川畑 大作、山本 浩万、野々垣 進、尾崎 正紀、長 郁夫、小畑 建太  
（常勤職員8名、他1名）

〔研究内容〕

本研究課題では、地質情報及び衛星情報の高度化・統合化に関する研究を実施した。衛星情報に関する研究では、西之島火山において、ASTER と LANDSAT を使った火山監視を実施し、新島の面積がほぼ一定の割合で増加していることや噴火活動に伴う温度異常が引き続き観測されたことを明らかにした。また、これまでに観測

された全ての ASTER 夜間観測データを用いて、全球の時系列オルソ画像を作成した。土壌の明るさの影響に対応可能なソイルアインライン方程式等を用いた衛星画像品質向上のためのアルゴリズムを開発した。また、米国の衛星センサーで取得された実データを用いて提案したアルゴリズムの検証実験を行った。3次元地質モデルの構築手法に関する研究として、露頭柱状図に示される地層境界の標高情報を基礎データとした、論理的手法に基づく木更津地域の3次元地質モデリングを行い、論理的手法がもつ利点や欠点を整理した。地質情報の高度化の研究では、地質現象の数値シミュレーションに用いる岩石の電気伝導度・透水係数・拡散係数等の異质性に関する理論研究と、それを応用した岩石試料の X 線 CT 画像の解析ソフトウェアの開発を行った。また、SPRing-8にある X 線 CT 装置を高度化し、それを用いて小惑星探査船「はやぶさ」の回収試料や月のレゴリスの3次元形状解析を行うことにより地球以外の天体の地質現象を考察した。広島豪雨災害の地質調査を行い、斜面災害と地質の関係について情報収集を行い論文発表した。秋吉帯の石炭—ペルム紀石灰石鉱床を例に、時代別・堆積環境別に区分してリンの含有量の既存データを整理し、石灰石鉱床内でのリンの偏在の実態について明らかにした。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 情報地質、衛星情報、地質情報

〔テーマ題目31〕 海洋地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 片山 肇（海洋地質研究グループ）

〔研究担当者〕 片山 肇、板木 拓也、井上 卓彦、天野 敦子、佐藤 智之、西田 尚央  
（常勤職員6名、他4名）

〔研究内容〕

日本周辺海域の海洋地質情報を整備公開するとともに、日本周辺海域の地質構造発達史、活断層評価、堆積作用、古環境変動、海底火山や熱水活動等に伴う地質現象の解明を目指している。今年度は以下のような成果を得た。

日本周辺海域の地質構造発達史に関する研究では、奄美大島東方海域において調査を行い、琉球弧前弧域における層序や構造発達史に関する資料を得た。また、奄美大島周辺海域において多数の泥火山を発見し、そこで採取された試料には古い年代を示す角礫を含むことが明らかとなった。房総半島沿岸海域調査では、陸上の鴨川低地帯に発達する断層の海域への延長が明らかとなった。堆積作用の研究では、沖永良部島～徳之島周辺海域および房総半島周辺沿岸域の表層堆積物調査から堆積物の分布と海洋環境との関係を明らかにした。さらに、房総半島陸上に露出する堆積層の堆積過程やコンターライトの微細堆積構造の検討を行った。古環境変動の研究では、沖縄周辺のコア試料、日本海および東シナ海で採取されたボーリング試料および表層堆積物試料を用い、微化石および元素組成の分析結果などを基に海洋環境の変遷お

よびその原因となった海水準変動や海流の変動との関係について検討した。また、微化石組成から表層水温を復元する手法の開発を行った。さらに、これまでの海洋調査で取得された音波探査記録のデータベース化を進めた。

【分野名】地質

【キーワード】海洋地質、日本周辺海域、海底地質構造、海域活断層、堆積作用、古環境

#### 【テーマ題目32】地球変動史の研究（運営費交付金）

【研究代表者】田中 裕一郎

（地球変動史研究グループ）

【研究担当者】田中 裕一郎、柳沢 幸夫、高橋 雅紀、七山 太、小田 啓邦、佐藤 太一  
（常勤職員6名）

#### 【研究内容】

##### (1) 新生代統合高分解能タイムスケールの研究

微化石・古地磁気・火山灰層序および放射年代の年代層序の精度と確度を向上させるとともに、複数の年代層序を複合してその高度化をはかり、複合年代尺度の標準化を行うことを目的とする。平成26年度は、新たに海成層中に含まれる淡水生珪藻を記載しそれらが年代層序として有効なことを示した。また、これまでの研究成果を総合して、高分解能の新第三紀～第四紀タイムスケールを作成した。

##### (2) フィリピン海プレートに関わるテクトニクス研究

フィリピン海プレートの過去300万年間の運動について、オイラー極が過去（1,500～300万年前）の位置（房総半島の東方沖）から現在の場所（北海道の北東方）に連続的に移動してきたと仮定して、三重会合点の西向き移動速度を再計算した。その結果、オイラー極の移動速度が一定であったと仮定しても、日本海溝の西向きの移動速度が徐々に加速されるのではなく、前半ほど西向き速度が大きく現在に向かって西向き速度が減衰することが判明した。このことは、これまで第四紀の東西圧縮応力場は徐々に強くなってきたと考えられてきたことと相反する。フィリピン海プレートの回転角速度を一定とする仮定に問題がある可能性が考えられ、第四紀の東西圧縮応力場が徐々に強くなってきたとする地質学的観察事実を再現するためには、他の要因を探る必要性が明瞭となった。

##### (3) 地球物理探査の研究

海底地球物理マッピング技術の研究及び有人・無人潜水艇を用いた海底近傍物理探査の研究を行い、海底構造探査の高分解能化をはかる。また、地中レーダーを用いてイメージングされた過去のパリアー堆積物の海浜および砂丘相で、厳密に堆積構造として認識できる反射面の特定とその成因を考察する。平成26年度は奄美大島および喜界島周辺の海域地質調査に関わり、地球物理図作成のためのデータを取得した。加えて沖永良部島周辺の地球物理観測から中琉球弧における火

山フロントの変遷に関する誌上発表を行い、同海域の地球物理図も提出した。

##### (4) 古地磁気・岩石磁気研究

過去の地磁気変動の解明、特に、数千年～数十万年の時間スケールを持つ古地磁気強度・方位の永年変動及び地球磁場逆転・地磁気エクスカージョンの実態解明を進めるとともに、これらの基礎となる磁気顕微鏡に関する基礎技術開発、岩石磁気学研究及び、岩石磁気手法の古環境研究への応用も行う。平成26年度は、房総半島からブルネー松山地球磁場逆転層準の堆積物を採取し、続成作用による硫化磁性鉱物の影響の除去を行った。

【分野名】地質

【キーワード】複合年代層序、タイムスケール、フィリピン海プレート、テクトニクス、物理探査、地球物理マッピング、古地磁気、岩石磁気

#### 【テーマ題目33】資源テクトニクスの研究

（運営費交付金）

【研究代表者】下田 玄

（資源テクトニクス研究グループ）

【研究担当者】下田 玄、針金 由美子、山岡 香子、田中 弓（常勤職員3名、他1名）

#### 【研究内容】

海底鉱物資源探査指標の確立のため、高精度化学分析に適した実験室環境の構築・整備を行った。これにより、海底熱水鉱床、マンガクラスト、海底噴出熱水、海底堆積物などの元素・同位体分析の為の環境を整え、海底鉱物資源の形成プロセスに基づいた探査手法の開発に着手することが可能となった。特に今年度は、同位体分析の高感度化を重点的に行った。また、海底鉱物資源に関連する様々な試料の元素分析や同位体分析を行い、地球化学的指標の検討を行った。海底鉱物資源探査指標の確立には、海底岩石中にどのような種類の有用元素が分布しているのかが重要である。なぜなら、鉱床の成因や規模を特定することが期待できるからである。これらの手法を陸域の塊状硫化物鉱床に適用して有用性を検証すれば、海域の鉱化作用の分布と規模の評価への応用が可能になると考えているので、画像解析に関する研究も行った。

【分野名】地質

【キーワード】海底鉱物資源、テクトニクス、沖縄トラフ、フィリピン海プレート、地球化学、岩石学

#### 【テーマ題目34】海洋環境地質の研究（運営費交付金）

【研究代表者】鈴木 淳（海洋環境地質研究グループ）

【研究担当者】鈴木 淳、高橋 暁、長尾 正之、田村 亨、西田 梢、丸茂 克美

(常勤職員4名、他2名)

#### 【研究内容】

人類活動により影響を受ける将来の環境を考えるため、都市沿岸域の環境および地球環境について、環境変動幅と変動要因を明らかにすべく、安定同位体比分析法および光ルミネッセンス (OSL) 年代測定法の高度化を進めると共に、海洋環境地質に関する研究を実施した。

海洋酸性化が炭酸塩殻生物に与える影響に関する研究の一環として、海洋環境条件が温帯性サンゴに与える影響を飼育実験により検討し、本州南方の温帯性サンゴ種の飼育実験により、現在の海水の酸性化条件では約3℃の水温上昇は石灰化量の増大をもたらすが、今世紀末以降に予想される海洋酸性化条件では石灰化量が減少することを示唆する結果が得られた。また、サンゴ化石を用いて最終氷期以降、完新世に至る海洋環境変遷の復元と解析に関する研究を実施した。また、サンゴ骨格に紫外線を照射してみられる蛍光バンドの成因についての研究を実施した。

内水域の地球温暖化に伴う環境影響解明の一環として、霞ヶ浦等の酸素炭素同位体比および炭酸系のモニタリングを実施して炭素循環過程について考察した。霞ヶ浦への流入河川の炭酸系の季節変動を明らかにし、炭素同位体比分析から溶存無機炭素の供給源の推定を試みた。

沿岸域において、過去の巨大災害 (津波・ストームなど) や海岸侵食、地殻変動、気候変動の復元に有用である砂丘・浜堤堆積物や津波石などを対象に、過去のイベントの復元手法についての研究を実施した。光ルミネッセンス (OSL) 年代測定をデルタや浜堤平野の堆積物について継続実施するとともに、浜堤を利用した巨大サイクロン等の履歴復元手法の問題点を明らかにし、手法の高精度化に向けての提言を行った。

【分野名】地質

【キーワード】地球温暖化、海洋酸性化、海面上昇、沿岸、炭素循環、気候変動、古海洋学、サンゴ礁、デルタ、酸素同位体比、土壌、光ルミネッセンス年代測定法

【テーマ題目35】地球化学の研究 (運営費交付金)

【研究代表者】岡井 貴司 (地球化学研究グループ)

【研究担当者】岡井 貴司、金井 豊、御子柴 真澄、太田 充恒、久保田 蘭 (常勤職員5名)

#### 【研究内容】

地殻における元素の地球化学的挙動解明の研究として、炭酸塩中の元素の挙動と分析法の研究、放射性核種の地球科学的挙動の研究、火成岩の地球化学的研究、鉱物・土壌・堆積物等における微量元素の挙動及び存在形態解析の研究を行った。

炭酸塩中の元素の挙動と分析法の研究では、サンゴ中の Sr/Ca 比及び Mg/Ca 比を用いた環境変動の解明について、指標となる成分の精密分析法の改良を検討すると

ともに、国内外で採取した現世炭酸塩について、環境要因の変化による元素の挙動について検討した。放射性核種の地球科学的挙動の研究では、昨年度に引き続き産総研敷地内においてエアロゾル試料の採取を行い、人工および天然放射性核種の観測を継続して濃度変化を報告し、2012年以降は原発からの影響よりも観測点周辺に沈積した粒子の再飛散と移動による影響因子が相対的に重要で、 $^{137}\text{Cs}$  濃度と $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}$  比との関係が再飛散を示唆する有効なパラメータの一つとなる可能性を明らかにした。また、福島原発事故前2005年と、事故後2013年に採取した河川堆積物中の放射性核種、特にセシウム同位体の粒度別 Cs 濃度を中心に、河川堆積物の化学元素組成や源岩の化学組成、地球化学図や放射線量データとの関係について検討するとともに、天然に存在するベリリウムの放射性同位体である $^{10}\text{Be}$  および $^{7}\text{Be}$  のデルタ堆積物などへの応用等、堆積学・堆積地球化学の分野に適用したレビューを行った。火成岩の地球化学的研究では、東日本地域における深成岩の調査と主・微量成分分析を行い、同位体分析法について、検討を行うとともに、深成岩の地球化学データ・岩石学的データをとりまとめ、阿武隈山地の花崗岩類の主成分元素組成の変化傾向は、日本の花崗岩類の平均組成変化に近いことを解明した。鉱物・土壌・堆積物等における微量元素の挙動及び存在形態解析の研究では、X線吸収分光法及び国際的に規定された逐次溶解法である BCR 法を用いて、土壌・堆積物の地球化学標準物質中の銅の存在形態について明らかにするとともに、土壌試料中のクロム、銅、亜鉛の存在形態について、X線吸収分光法及び逐次溶解法による検討結果をとりまとめた。また、隠岐の島周辺海域の表層堆積物中の元素の挙動についてとりまとめるとともに、瀬戸内海～土佐沖の表層堆積物中の元素の挙動の検討及び種子島、屋久島地方の河川堆積物試料の採取を行った。

【分野名】地質

【キーワード】地球化学、土壌、堆積物、炭酸塩、放射性核種、火成岩、存在形態

【テーマ題目36】地球物理の研究 (運営費交付金)

【研究代表者】伊藤 忍 (地球物理研究グループ)

【研究担当者】伊藤 忍、大熊 茂雄、山口 和雄、村田 泰章、山谷 祐介、横倉 隆伸、駒澤 正夫、中塚 正、稲崎 富士 (常勤職員4名、他5名)

#### 【研究内容】

地震波を用いた地下構造調査や、重力・磁気など様々な物理探査手法で取得した地球物理学的データを活用し、地球内部の構造・現象を解明する研究を進めている。従来から実施している手法を駆使する他、地震波干渉法や海底重力観測、各種物理探査手法の融合や、新規に機器を導入してより柔軟な調査を可能にすること等に取り組んでいる。平成26年度は、可搬型パイプレーター震源

の本格運用を開始し、また、独立型地震探査システムの試験運用を開始した。

【分 野 名】地質

【キーワード】地球物理、地殻構造、重力、電磁気探査、地震探査、地震波干渉法

【テーマ題目37】地質地殻活動の研究（運営費交付金）

【研究代表者】名和 一成

（地質地殻活動研究グループ）

【研究担当者】名和 一成、大滝 壽樹、大谷 竜、

住田 達哉、宮川 歩夢

（常勤職員5名）

【研究内容】

重力、地震波、変位、歪、物性など様々な地球物理学的データおよびその他の地質情報を総合し、地震学・測地学・地盤工学等を駆使して、地球の内部構造とそこで起きる様々な現象を解明する研究を進めている。現在の地球の姿の解明に留まらず、過去から未来への変動予測に関わる研究にも取り組んでいる。平成26年度は、地震学的研究において、理論波形計算での予測を基に、新たに開発した手法で自然地震の解析を行い、地球の外核底の地震波速度を、従来よりも高精度で求めた。地下浅部 S 波速度構造についてもデータ解析を進めた。高圧物性研究においては、NaCl の状態方程式に関する研究を進展させ、従来よりも汎用性が高く高精度な関係式を導いた。重力研究において、九州の地熱地域で重力連続観測を行うとともに、東北地方太平洋沖地震後の地殻変動の研究のため、長野県の超伝導重力計観測点で絶対重力測定を実施した。また、東北大学が進める仙台平野南部の重力探査に協力した。変動予測に関連して、断層活動性評価手法のレビューを行い、日本の内陸断層に適用可能な評価手法の抽出およびその適用性評価を行った。また、既存の地球物理情報に基づく数値シミュレーションを行った。それらの結果について国際学会および国際誌上で発表した。

【分 野 名】地質

【キーワード】地球物理、地下構造、地殻変動、重力、地震波、GNSS、歪、物性、統合解析、シミュレーション

【テーマ題目38】マグマ熱水鉱床に関する研究（運営費交付金）

【研究代表者】池原 研

（マグマ熱水鉱床研究グループ）

【研究担当者】池原 研、濱崎 聡志、清水 徹、

後藤 孝介、斎藤 元治、宮城 磯治

（活断層・火山研究部門）、森下 祐一、

清水日奈子（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

地球科学では鉱物内に複雑な構造を持つ試料を扱う必

要がある。このような地質試料を簡単な系で代表させることは困難であり、微小領域において現象の本質を研究する必要がある。このため、高感度・高質量分解能の大型二次イオン質量分析装置（SIMS）や炭素・酸素安定同位体比などを研究手法とし、鉱物資源探査や火山の噴火メカニズム研究等の社会的に重要な課題に適用した。

米国アラスカ州の金鉱床では熱水性炭酸塩鉱物（シデライト、アンケライト、方解石）が産出する。炭酸塩鉱物の酸素同位体比は熱水性鉱床の生成温度を推定する上で重要であり、炭素同位体比は熱水の性質を指示する。炭酸塩鉱物の炭素・酸素安定同位体比分析を行い、三種類の炭酸塩鉱物の同位体比から金鉱床の成因（鉱化熱水の進化）を明らかにした。

伊豆半島の第四紀火山活動に伴う高硫化型熱水鉱床について、形成過程および熱水鉱物の同位体組成からその成因を考察した。また、マグマ近傍の流体の特性を明らかにするため、同鉱床岩石中の微量成分分析用の現地調査を行った。

北海道光竜鉱山産金銀鉱石を用いて、石英成長組織の時空的多様性と流体包有物の分類を再解釈した。その結果、鉱床深部と浅部それぞれに特有な鉱脈組織が、熱水沸騰レベルの変動によって、同一深度に重複していたことを明らかにした。さらに、本重複の原因として、隣接する火山活動による地下水レベルの大きな変動を挙げた。これらの成果は論文として国際誌に公表した。

鉱物資源のポテンシャル評価を念頭に、久米島西方より採取された熱水性マンガン酸化物の Re-Os 分析および微量元素分析を行った。Os 同位体比より、分析試料には熱水と海水を起源とする Os が取り込まれているが、海水の寄与がより大きいことを明らかにした。また、Re はマンガン酸化物にほとんど濃集しないことを確認した。鉱床成因論の新たな指標開発に関する研究にも着手し、Mo 同位体比分析に使用する陰イオン・陽イオン交換樹脂の調整を行った。

【分 野 名】地質

【キーワード】金鉱床、マグマ熱水性鉱床、炭素・酸素同位体比、熱水性マンガン酸化物、流体包有物

【テーマ題目39】地球化学標準試料 ISO（運営費交付金）

【研究代表者】岡井 貴司（地球化学研究グループ）

【研究担当者】岡井 貴司、今井 登、金井 豊、

御子柴 真澄、太田 充恒、久保田 蘭、

立花 好子（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

地質試料は多種・多様な成分で構成され、化学分析の際には各成分が互いに影響しあうため、正確な分析を行うためには、目的とする試料と主要な化学組成が良く似た、目的成分の濃度が決められている標準試料が必要不可欠である。地質情報研究部門は化学分析用岩石標準試

料の国内唯一の発行機関として、1964年以来50年以上にわたって地質関連試料の標準試料を作製し、世界各国の研究機関との共同研究により、化学組成や同位体組成、年代値の信頼性の高いデータを定め公表してきた。この標準試料は世界中で活用されており、分析精度を高める標準として世界的に大きな貢献をしている。しかしながら、近年の国際化の動きの中で、標準物質は国際的な標準である ISO のガイドラインに対応することが必要とされるようになってきたため、当部門発行の岩石標準試料についても、NITE 認定センターより、ISO に対応した標準物質生産者としての認定 (ASNITE 認定) を取得し、ISO の規定に則った認証標準物質 (地球化学標準物質) とした。

本年度は、花崗岩標準試料 JG-2の在庫が少なくなったため、再調製試料として、JG-2a 試料を作製した。試料は、JG-2作製時に採取され、保存されていた、岐阜県中津川市の花崗岩試料 (苗木花崗岩) 140kg を用い、粉碎・篩分け・瓶詰めを行って、100g 入り1,100本を作製した。ボールミルでの粉碎に際しては、試料量が十分にある場合は、アルミナボールとともに、こぶし大の源岩も粉碎用のボールとして使用しているが、JG-2試料は試料がもろく、くずれやすいため、ボールとして使用すると粉碎中に割れてしまい、粒度の粗い試料が混じることが懸念されたため、源岩ボールは用いずアルミナボールのみで粉碎を行った。主成分元素について粉碎直後に行った分析では、JG-2試料と比べ、鉄及びマンガン含有量が若干多く、マグネシウム及びナトリウム含有量が若干少ない傾向が見られたが、ほぼ同程度で、いずれの元素においても均質性には問題がなかった。

標準試料の各種情報はデータベースとしてインターネット上で公開しており、認証書の見本や、これまでに報告された各試料および成分毎の個別的分析データ等を見ることができる。今年度はデータベースの管理機能を改善し、個別的分析データの入力・修正等をより行いやすくした。

標準物質生産者としてのISO認定の維持に必要な各種文書やデータ類の管理においては、マニュアル・記録類の維持・管理を行うとともに、過去の分析データの再点検や文書の改善を行い、品質管理を向上させた。また、標準試料の各種情報をデータベースとしてインターネット上で公開した。

【分野名】地質

【キーワード】国際標準、標準物質、地球化学、岩石、土壌、化学組成

【テーマ題目40】アジアの海岸沿岸域における基礎地質情報と環境保全に関する研究 (運営費交付金)

【研究代表者】齋藤 文紀 (地質情報研究部門)

【研究担当者】齋藤 文紀、西村 清和

(常勤職員1名、他1名)

#### 【研究内容】

アジアの海岸沿岸域における基礎地質情報と環境保全に資するため、中国地質調査局青島海洋研究所、華東師範大学、キール大学、アンドラ大学等と共同研究を行った。青島海洋研究所との共同研究では、旧黄河河口が位置していた江蘇省沿岸域の過去約100年間の海岸侵食量を古地理図、海図、海域の音波探査データを総合してとりまとめ、同沿岸域の沿岸侵食が世界の沿岸侵食量の再評価が必要なほど大きいことを国際学術誌で公表した。また最終氷期最盛期以降の渤海の古環境をとりまとめ同じく国際学術誌から公表した。メコンデルタとマレー半島の完新世における海水準変動をとりまとめ、マレー半島における完新世中期の高海面とメコンデルタにおいて9-8千年前に非常に急激な海面上昇があったことを明らかにし、国際学術誌から発表した。インド半島東部のゴダバリデルタの完新世における古環境変遷をとりまとめ、国際学術誌に投稿した。IPCC 第5次評価報告書の第2ワーキンググループにおいて責任執筆者として報告書原稿作成に参加し、最終報告書が出版された。

【分野名】地質

【キーワード】アジア、デルタ、沿岸、平野、地球環境

#### ④【活断層・火山研究部門】

(Institute of Earthquake and Volcano Geology)

(存続期間：2014.4～)

研究部門長：桑原 保人

副研究部門長：増田 幸治、伊藤 順一

首席研究員：岡村 行信、篠原 宏志

総括研究主幹：竹野 直人、小泉 尚嗣、

山元 孝弘

研究主幹：星住 英夫

所在地：つくば中央第7

人員：66名 (66名)

経費：980,878千円 (530,628千円)

概要：

活断層・火山研究部門は、2014年4月に新しく設置された研究部門である。本部門は、旧活断層・地震研究センターで地震研究を行ってきたおよそ30名の研究者、地質情報研究部門で火山の研究を行ってきた20名弱の研究者と長期地質変動の研究を行ってきた20名弱の研究者が集まり、10の研究グループで構成されている。2011年東日本大震災以後、地震・火山噴火等の大規模自然災害への社会的関心は高まり、地質情報に基づく、より精度の高い地震・津波や火山情報の提供への期待が大きくなっている。また、東京電力福島第一原子力発電所の事故を契機に、原子力施設の立地・廃止・廃棄・最終処分安全規制等に関わり、

より長期的な視点での地下水を含めた地質変動予測研究に対しての行政・社会ニーズも増加している。本部門の設置目的は、これらのニーズに係る研究者を統合することによって、地震、火山、長期的な地質変動の研究について、これまで以上の発展を図ることとされている。具体的には、1) 地震・火山活動に関わる地質情報の整備、2)地震・火山活動と災害の誘因となる事象の評価・予測手法の開発、3)長期的な地質変動の評価・予測手法の開発および知見の整備、また、アジアを中心とした地震火山情報の整備も積極的に進めている。この中で、1) 活断層評価および災害予測手法の高度化、2) 海溝型地震評価の高度化、3) 火山噴火推移予測の高度化、4) 放射性廃棄物地層処分の安全規制の支援研究を、4つの重点課題として設定し、研究を進めている。また、地震や火山に関わる突発災害が起こった場合には、その後の現象の推移の予想や、その時にしか得られないデータの取得のため、緊急調査を実施している。本年度は、2014年9月の御嶽山噴火、他複数の火山噴火の緊急調査や2014年11月の長野県北部の地震（M6.7）の緊急調査を実施した。

-----  
内部資金：

戦略予算「南海・東南海地震の前兆現象検出精度向上のための研究」

外部資金：

文部科学省 科学技術基礎調査等委託事業「活断層の補完調査」

文部科学省 科学技術基礎調査等委託事業「沿岸海域における活断層調査」

文部科学省 科学技術基礎調査等委託事業「地域評価のための活断層調査（九州地域）」

原子力規制庁 原子力規制委員会 原子力施設等防災対策費等委託費「火山影響評価に係る技術的知見の整備」

原子力規制庁 原子力規制委員会「地震動評価のための柏崎広域地下構造モデルの高度化及び精度検証」

科学技術振興機構 国際科学技術共同研究推進事業（地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム）「震源地で採取した岩石試料の物性および破壊特性の研究」

日本原子力研究開発機構 平成26年度エネルギー対策特別会計委託事業 外部ハザードに対する崩壊熱除去機能のマーゲン評価手法の研究開発「火山噴火ハザード評価手法の開発」

京都大学 平成26年度科学技術基礎調査等委託事業「別府一万山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」

海洋研究開発機構 IODP 乗船後研究「Exp.348掘削試料解析に基づく南海トラフ付加体内部の応力と変形機構」

海洋研究開発機構 IODP 乗船後研究「Exp.351掘削試料による伊豆小笠原マリアナ弧島弧形成開始時のマグマプロセスの解明」

日本学術振興会 科研費基盤研究（C）「爆発的噴火をもたらす浅部火道システムの構造発達過程」

日本学術振興会 科研費基盤研究（C）「活動的火山の脱ガスに伴う自然電位異常の発生に関する研究」

日本学術振興会 科研費基盤研究（C）「非火山性深部低周波微動の波動特性を利用したメカニズム解決と微動発生機構の解明」

日本学術振興会 科研費基盤研究（B）「火山噴火の物質収支」

日本学術振興会 科研費基盤研究（B）「高精度年代測定による海洋プレート沈み込み開始過程のタイムスケールとその要因の解明」

日本学術振興会 科研費挑戦的萌芽研究「岩石の不安定挙動への分岐とその準備過程」

日本学術振興会 科研費若手研究（B）「自然地震データと物理モデルを用いた広い速度レンジでの摩擦特性の推定」

日本学術振興会 科研費若手研究（B）「延岡衝上断層下盤メランジュの変形機構の解明」

日本学術振興会 科研費若手研究（B）「東京地域における都市地下温暖化の形成過程解明と将来予測に関する研究」

日本学術振興会 科研費研究活動スタート支援「P波振動極性の統計的性質とそれを考慮した高感度地震検出手法の開発」

日本学術振興会 科研費基盤研究（C）「水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-Wプロジェクト」



日本学術振興会 科研費若手研究 (B) 「ブルカノ式噴火前の火山ガス蓄積プロセスの解明」

日本学術振興会 科研費基盤研究 (C) 「フィールドサーバによるリアルタイム降灰観測手法の開発」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「観察・観測による断層帯の発達過程とマイクロからマクロまでの地殻構造の解明」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「異なる時空間スケールにおける日本列島変形場の解明」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「地殻流体の実態と島孤ダイナミクスに対する役割の解明」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」

本学術振興会 科研費基盤研究 (A) 「深部マグマ供給系と火山活動」

日本学術振興会 科研費基盤研究 (B) 「南海トラフにおける未知の巨大津波に関する地形・地質学的研究」

日本学術振興会 科研費基盤研究 (B) 「高圧下における地盤材料の圧縮、せん断と固化のマイクロメカニクス」

日本学術振興会 科研費新学術領域研究 「岩石変形実験による地殻の力学物性の解明：流体の影響」

日本学術振興会 科研費基盤研究 (C) 「津波痕跡高を用いた地震規模推定法の高度化研究」

日本学術振興会 助成金 「沿岸域の堆積物を用いた日本海溝南部における古地震研究」

日本学術振興会 「大規模山体崩壊を伴う海域火山の火砕流の流動定置機構とマグマ供給系の解明」

海洋研究開発機構 受託研究 「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」

大崎総合研究所 受託研究 「動力学シミュレーションにおける傾斜逆断層の解析的検討」

Ghent University 共同研究費 「Paleo-tsunami and earthquake records of ruptures along the Nankai Trough, offshore South-Central Japan (QuakeRecNankai)」

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) 受託研究 「ベレア砂岩および Otway 砂岩の透水係数拘束圧依存性およびマイクロフォーカス X 線 CT による空隙3次元幾何学情報の抽出」

Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences (中国科学院 武漢岩土力学研究所) 受託研究 「三軸圧縮応力下における破断面近傍のベレア砂岩の空隙情報解析」

発表：誌上发表74件、口頭発表262件、その他76件

#### 活断層評価研究グループ

(Active Fault Research Group)

研究グループ長：宮下 由香里

(つくば中央第7)

概要：

将来発生する内陸地震の規模や時期を予測することを目的として、全国の陸上および沿岸海域の活断層を対象に、活断層の位置や形状を詳細に把握し、過去の活動履歴を明らかにするための各種調査研究を実施する。また、隣接する活断層が同時に活動して地震規模が大きくなる可能性や、地形表現が不明瞭なため通常の調査では認定しにくい活断層についても、新たな調査・評価手法の開発研究を行う。調査の結果得られたデータは、政府の地震調査研究推進本部に提出し、国としての活断層評価に活用されるほか、既存の研究成果とともに「活断層データベース」へ収納され、インターネット上で公開される。さらに、大地震が発生した場合には、地表に現れた断層のずれ等の地殻変動を把握するため、速やかに緊急調査を実施し、結果を公表する。

研究テーマ：テーマ題目1

#### 地震テクトニクス研究グループ

(Seismotectonics Research Group)

研究グループ長：今西 和俊

(つくば中央第7)

概要：

本研究グループは地震が発生する場や発生にいたるプロセスを断層岩の地質調査、室内岩石実験、数値シミュレーション、地震観測・解析など多面的なアプローチにより解明し、地震の発生時期と規模の予測技術を確立することを目指す。本年度は主に中小地震の地震データを用いた精密解析により、関東、大阪、東北

沖における応力場を明らかにした。中央構造線を事例研究とした断層変形プロセスの研究に関しては、断層露頭観察に基づく内部構造解析と地殻深部の高温高压環境を実現できる実験装置を使用した変形・破壊実験を行い、断層帯内部の摩擦・変形機構に関する基礎データを得た。また、人工岩石を用いた塑性変形実験という新たな課題については、実験装置の改造や技術開発に取り組んだ。その他、南海トラフの深部構造・応力状態解明のための地震観測の維持なども行っている。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目4

#### 地震地下水研究グループ

(Tectono-Hydrology Research Group)

研究グループ長：松本 則夫

(つくば中央第7)

概 要：

南海トラフ巨大地震の短期・中期予測をめざして地下水および地殻変動の観測および解析を実施するとともに、国の東海地震予知事業および地震調査研究業務を分担している。東海・近畿・四国地域を中心に全国で50以上の観測点において地下水の水位・水圧・水温等を観測し、一部の観測点では、歪・GPS・傾斜計等による地殻変動や地震の同時観測も行っている。これは、地震予知・予測研究のための地下水観測網としては質・量において世界有数のものである。観測データは通信回線等を通じて当グループに送信され、それらのデータを用いて南海トラフ巨大地震の予測精度向上に不可欠な深部ゆっくりすべりや深部低周波微動のモニタリングや地下水等の変動メカニズム解明のための研究などを行っている。特に重要なデータは気象庁にもリアルタイムで送られて東海地震予知のための監視データとなっている。観測結果は、解析手法とともにホームページを通じてデータベースとして公開しており (<https://gbank.gsi.jp/wellweb/>)、地震防災対策強化地域判定会（東海地震の予知判定を行う気象庁長官の諮問機関）・地震予知連絡会・地震調査委員会にデータを報告・説明している。

研究テーマ：テーマ題目5

#### 海溝型地震履歴研究グループ

(Subduction Zone Paleearthquake Research Group)

研究グループ長：宍倉 正展

(つくば中央第7)

概 要：

海溝型地震は2011年東北地方太平洋沖地震のようにまれに巨大化し、大きな津波を発生させることがある。そのような巨大地震は数百年以上の長いくり返し間隔を持つため、正確な規模や長期的な発生時期を予測するには、過去にどのような地震や津波が起きていたのかを数千年オーダーで遡って解明する必要がある。

そこで海溝型地震履歴研究グループでは、歴史記録や地形・地質に記録された痕跡の調査から、過去の海溝型巨大地震の発生時期や規模を解明し、地球物理学的な検討を通して震源域・波源域を復元する研究を行っている。特に東日本大震災以降は、最大クラスの地震や津波について、より具体的な上限規模を提示し、今後の想定に役立てることを目指している。また各地で得られたデータについては、津波堆積物データベースで web 公開していき、被害予測に貢献する成果を社会に提供している。

研究テーマ：テーマ題目6

#### 地震災害予測研究グループ

(Earthquake Hazard Assessment Group)

研究グループ長：阿部 信太郎

(つくば中央第7)

概 要：

地震災害の原因となる強震動と地表付近の変形の予測研究を行って地震災害の軽減に取り組む。地表変形に関する研究では、都市部にある活断層を対象に、活断層調査等で得られた地形・地質情報を活用し、新たな探査も実施して、地下深部の断層運動と表層における変形との相互作用を考慮した数値計算手法を開発した。強震動の研究では、既往の地震を対象に推定方法を検証しながら、地震発生が予想される断層の形状やすべり量などの震源特性の不均質を推定した。本年度は、最新データの処理法により既存の地下探査データを再処理しつつ、地下構造モデルの高度化に関する研究を進めた。

研究テーマ：テーマ題目7、テーマ題目8

#### 火山活動研究グループ

(Volcanic Activity Research Group)

研究グループ長：石塚 吉浩

(つくば中央第7)

概 要：

中期的な火山噴火予測のため、活動的火山の噴火履歴・成長史を解明し、将来の活動様式・時期を予測するとともに、火山地質図を作成する。また、長期的な火山活動場変遷の規則性を明らかにするために、日本の第四紀火山活動の時間空間分布を明らかにする研究を実施する。これらに加え、年代測定法や化学分析法などの技術開発および高度化を行うとともに実測定を実施し、物質科学的な見地から火山の総理解を深める。火山噴火あるいは火山活動時においては、社会的要請に応えるための組織的かつ機動的な緊急調査を実施する。また、地質調査総合センター全体で実施する陸地地質図プロジェクトのコアグループの一つとして、新生代火山岩地域における高精度の地質図作成を行う。これらの研究成果は、論文・地質図・データベースな

どを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目9、テーマ題目10、テーマ題目12、陸域地質図（地質情報研究部門テーマ題目）

#### マグマ活動研究グループ

(Magmatic Activity Research Group)

研究グループ長：篠原 宏志

(つくば中央第7)

概要：

短期的火山噴火予知・活動推移予測の基礎となる、噴火機構・マグマ供給系の物理化学モデルの構築を目指し、マグマ系における化学反応・力学過程などの素過程の実験・理論的研究と活動的火山の観測・調査に基づくマグマ活動の把握及びモデル構築を行う。具体的には、火山ガス放出量・組成観測、放熱量観測、地殻変動観測など活火山の観測研究と、メルト包有物や斑晶組織・組成の解析によるマグマの性質と進化の研究、地質調査に基づく岩脈貫入や噴火時系列の解析、高温高圧実験やアナログ物質を用いた模擬実験などによる素過程の解析などを実施する。研究成果は火山噴火予知連にも報告され、火山活動の評価などの基礎資料としても用いられる。

研究テーマ：テーマ題目11、テーマ題目12

#### 長期地質変動研究グループ

(Geodynamics Research Group)

研究グループ長：塚本 斉

(つくば中央第7)

概要：

日本列島における、長期的な地殻変動（隆起・沈降・侵食・堆積・地震・断層・火山・火成活動など）の基礎的理解を深めることを目的として、隆起・侵食速度やメカニズムに関する研究、地質・地形学的手法による第四紀地殻変動の研究、断層解析による地殻応力場変遷史の研究、第四紀火山の地質・岩石学・鉱物学的研究を行う。これらの調査結果による知見や各種の調査手法開発による研究結果は、地質情報センターにおいて、深部地質環境研究コアのミッションとして実施される地質環境の長期変動予測や安定性評価手法の開発に応用される。さらに、原子力規制委員会による放射性廃棄物地層処分の安全審査時のバックデータとして活用され、国による安全規制を科学的にサポートする。この他、福島第一原子力発電所における汚染水対策に関連した研究を行い、国が行う施策を科学的にサポートする。

研究テーマ：テーマ題目13、テーマ題目16

#### 深部流体研究グループ

(Crustal Fluid Research Group)

研究グループ長：風早 康平

(つくば中央第7)

概要：

日本列島各地における浅層～深層地下水、温泉、ガス等を調査し、その起源、成因や流動状態を解明するための手法を開発することにより、深層に存在する地下水系や深部流体の流動や循環を明らかにすることを目的とする研究を行う。具体的研究手法は、地下水・ガスの各種化学・同位体組成からわかる地下水やガスの物質収支および形成機構の解明、希ガス・放射性塩素同位体組成等を用いた超長期地下水年代測定、地質や地質構造と深層地下水流動の関係を明らかにするGIS ベースのDB 開発などである。これらの調査結果による知見や各種地下水調査手法開発による研究結果は、深部地質環境研究コアのミッションとして実施される深層地下水系の長期変動予測や安定性評価手法の開発に応用される。さらに、原子力規制委員会による放射性廃棄物地層処分の安全規制のためのガイドライン作成等に活用され、国による安全審査を科学的にサポートする。

研究テーマ：テーマ題目14、テーマ題目16

#### 地下環境機能研究グループ

(Geological Isolation Research Group)

研究グループ長：伊藤 一誠

(つくば中央第7)

概要：

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全規制を支援する研究として、地層処分の立地及び安全審査段階におけるセーフティケースの妥当性の判断に求められる地質学的知見を整備し、技術情報として提供し、社会の安全に役立てる。このために、地下実験施設などを利用した観測および地下水・岩石試料の採取とその同位体や化学組成などの各種分析を実施し、それらを基にモデル化と数値シミュレーションによる地下環境の変遷についての予測と評価を行う。これらの一連の解析を通じて、地層処分の立地選定段階で必要とされる地下環境のベースラインデータについての調査方法を、水理・熱・力学・化学（生物を含む）の各プロセスに応じて取得する手法としてまとめるとともに、今後必要とされる安全評価などの安全性の確認を検討する上での基礎的知見とする。これらの調査・評価結果による知見や各種の調査手法開発による研究結果は、地質情報センターにおいて、深部地質環境研究コアのミッションとして実施される地質環境の長期変動予測や安定性評価手法の開発に応用される。さらに、原子力規制委員会による放射性廃棄物地層処分の安全審査時のバックデータとして活用され、国による安全規制を科学的にサポートする。

研究テーマ：テーマ題目15

-----

【テーマ題目1】活断層評価の研究

【研究代表者】宮下 由香里（活断層評価研究グループ）

【研究担当者】宮下 由香里、栗田 泰夫、吉岡 敏和、丸山 正、近藤 久雄、勝部 亜矢、谷口 薫（常勤職員6名、他1名）

【研究内容】

活断層評価の高精度化および評価手法の高度化を図るため、国内およびトルコ共和国の活断層について、地形地質調査と古地震調査を実施した。本年度は、国内では、菊川（山口県）、佐賀平野北縁、小倉東、福智山、西山（以上福岡県）の各断層、糸魚川静岡構造線活断層系の調査を実施し、既存評価を改定する古地震パラメータを取得した。また、11月に発生した長野県北部地震の緊急調査と古地震調査を実施した。地形表現が不明瞭な活断層の評価手法の開発を目的として、高解像度地形データを用いた地形解析手法の確立と断層破砕物質の鉱物化学分析・試料採取を行った。調査結果の普及と有効活用の目的で公開中の活断層データベースについては、追加データ入力、産総研データ表示機能の追加、活動セグメントデータの修正・追加を行った。

【分野名】地質

【キーワード】活断層、地震、古地震、活動性、評価、データベース、緊急調査

【テーマ題目2】地震テクトニクス研究

【研究代表者】今西 和俊（地震テクトニクス研究グループ）

【研究担当者】今西 和俊、佐藤 隆司、重松 紀生、高橋 美紀、安藤 亮輔、北島 弘子、内出 崇彦、東郷 徹宏、松下 レイケン、中井 未里、武田 直人（常勤職員7名、他4名）

【研究内容】

地震の発生時期と規模の予測技術の確立を目指し、今年度は下記のテーマを実施した。

1) 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

別課題（関東地域における地震テクトニックマップの試作）で実施中の地震テクトニックマップの有効性と限界を確認するため、上町断層帯と東北沖における応力場とその意味について検討を行った。上町断層帯に関しては、推定した応力場と断層深部形状をもとに活動性評価を行い、地形地質学的に明らかにされている活動性と調和的な結果を得た。東北沖については、2011年東北地方太平洋沖地震以前の小地震の応力降下量の空間分布を推定し、地震活動や2011年東北地方太平洋沖地震におけるすべり分布と対応付けて、摩擦強度分布として解釈した。両研究ともに国際誌に発表した。

2) 脆性から塑性に至る断層変形プロセスの解明

人工岩石を用いた塑性変形実験という新たな課題に向けて、曹長石岩の合成を先進製造プロセス研究部門とともに試みた。昨年までの実験から曹長石は拡散速度が遅く融点が低いため焼結が困難であることがわかっていった。圧媒体を変えることにより焼結時の圧力を40 MPa から100 MPa に上げることで、一定の効果があることを確認した。その他、主に外部予算（岩石の不安定挙動への分岐とその準備過程、岩石変形実験による地殻の力学特性の解明：流体の影響、観察・観測による断層帯の発達過程とマイクロからマクロまでの地殻構造の解明、地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー）を活用し、中央構造線の断層露頭観察と高温高压実験による断層帯内部の摩擦・変形機構に関する基礎データ取得、平面歪試験機を用いた岩塩の歪集中過程の観察、などの成果を得た。

3) 地震発生の物理モデルの研究

地震サイクルシミュレーションに計算コストの高い地震時動的破壊過程を組み込むために、動的境界要素法の高速計算手法を開発した。福島県浜通り・茨城県北部における小地震のスペクトル解析を精密に行ったところ、一般的な断層モデルでは説明できない震源スペクトルが推定された。この物理的意味については、今後の検討課題である。

4) 地下水等モニタリング施設の維持管理

産総研の保有する地下水等観測施設の地震計に関わる部分の観測維持とデータの整理を行った。三重県海山紀北観測点の孔底地震観測装置に故障が生じたが、2月に復旧させた。

【分野名】地質

【キーワード】テクトニクス、応力場、地震発生物理モデル、脆性ー塑性遷移、中央構造線、高温高压

【テーマ題目3】関東地域における地震テクトニックマップの試作

【研究代表者】今西 和俊（地震テクトニクス研究グループ）

【研究担当者】今西 和俊、内出 崇彦、松下 レイケン、阿部 信太郎、堀川 晴央、吉見 雅行、大坪 誠、桑原 保人、石田 瑞穂、杉山 雄一、宮川 歩夢（地質情報研究部門）（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

将来起こり得る地震の規模や発生様式を含めたポテンシャル評価を行う上で、応力情報や地形地質情報等とともに地震発生場の地域性を総合的に検討した地図（地震テクトニックマップ）の整備が急務の課題である。そこで H25年度より関東地域の25km 以浅をケーススタディとして試作に取り組み始めた。今年度は主に千葉県・

神奈川県で過去10年間程の間に発生した微小地震解析を実施し、決定精度の高い震源分布とメカニズム解を決定した。昨年度推定した結果と合わせて、関東地域全域に渡る微小地震解析を一通り終えた。メカニズム解は逆断層型が約半数を占めるが、横ずれ成分を持つ地震も多く発生している。また、正断層型の地震も局所的に見られ、これまで知られていた福島県浜通り、銚子沖、霞ヶ浦南端直下の他に、関東山地の比較的深いところなどにおいても発生していることがわかった。次にこれらの解を用いて応力テンソルインバージョンを適用し、応力マップを作成した。応力方位および応力場のタイプは数十kmほどのスケールで顕著な空間分布を示す。特に特徴的なのは、伊豆半島から関東山地、栃木県へと南から北に向かうに従い、最大主応力方位が時計回りに回転していく様子である。このようなパターンは伊豆半島の衝突を考慮した数値シミュレーションにより説明できるものの、関東平野北西縁断層帯および山梨県北東部で確認された約90°に及ぶ最大主応力方位の急変までは説明できない。山梨県北東部において実施している臨時観測に関しては、データの蓄積を行うとともにデータ解析も実施し、応力場が急変する場所の実態解明に向けた準備を進めた。また、活褶曲や原位置応力測定結果をコンパイルし、地震があまり起こっていない場所の応力場を考察するための情報整備も並行して行った。

【分野名】地質

【キーワード】地震テクトニックマップ、関東地域、応力、地質情報、臨時観測

【テーマ題目4】ニュージーランド・アルパイン断層掘削 DFDP-2における断層内部構造等の解析

【研究代表者】重松 紀生（地震テクトニクス研究グループ）

【研究担当者】重松 紀生、松本 則夫、森 宏、東郷 徹宏（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

ニュージーランド・アルパイン断層は上盤の隆起速度が速く、断層深部の変形を直接明らかにできる可能性を持つ、世界で唯一の活断層である。このアルパイン断層の掘削（DFDP-2）が国際陸上科学掘削計画（ICDP）の1つとして行われ、これに参加した。

アルパイン断層上盤のノンコア掘削の工程において、ノンコア掘削時に発生したカッティングスの記載、検層データと地質データの対比を行った。断層上盤のアルパイン片岩はアルパイン断層への接近に伴い、石英の細粒化を含めた各種鉱物の微細構造の変化が観察された。物理検層の1つである超音波による坑壁画像 BHTV においてもマイロナイトの面構造が観察されるとともに、主としてアルパイン断層と平行な亀裂とそれと共役方向の亀裂が観察されることを確認した。また、線検層において

も、カッティングス中の黒雲母量と対応することを確認した。また温度検層と DTS（Distributed Temperature Sensing）光ファイバによる測温に基づき140°C/km と非火山地帯としては異例の高い地温勾配であることが明らかになった。

途中事故により掘削は中止となり、当初予定されていたコアリング、アルパイン断層の貫通は行われなかった。このためボーリングコアを用いた各種解析、またボーリングコア孔を用いた水理試験を含む各種試験は行わないこととした。

【分野名】地質

【キーワード】国際陸上科学掘削計画、アルパイン断層、カッティングス、物理検層、DTS 光ファイバ

【テーマ題目5】地下水等総合観測による地震予測精度向上に関する研究

【研究代表者】松本 則夫（地震地下水研究グループ）

【研究担当者】松本 則夫、小泉 尚嗣、高橋 誠、木口 努、北川 有一、板場 智史、落 唯史、武田 直人、佐藤 努、中村 衛（琉球大学）、角森 史昭（東京大学）、田阪 茂樹（岐阜大学）、大久保 慎人（東濃地震科学研究所）、山本 明彦（愛媛大学）、頼 文基（台湾国立成功大学）（常勤職員7名、他8名）

【研究内容】

本研究は、東海地震予知事業における地下水観測分野及び「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（建議）」（文科省測地学分科会）の地下水等総合観測によるプレート境界滑りの時空間発展に関する研究に相当する。

平成26年度には、前兆的地下水位変化検出システムを引き続き東海地方で運用し、地下水等観測データを地震防災対策強化地域判定会（判定会）等に報告した。産総研・防災科研・気象庁データの統合解析を継続し、短期的ゆっくりすべりと深部低周波微動の解析結果を地震調査委員会・判定会・地震予知連絡会などの各種委員会や地震に関する地下水観測データベースで公開した。歪計埋設・設置に使用するセメントの長期安定性を評価する試験手法を検討し、試験を実施した。新たに検討したセメントおよび添加材が、長期的により安定的であることを確認した。水圧破碎試験を実施した7つの観測点で物理検層から求めた透水性亀裂の向きと現在の応力場の関係について検討した。紀伊半島・徳島県・香川県での1946年南海地震前の目撃証言の収集を行った。台湾成功大学との共同研究「台湾における水文学的・地球化学的手法による地震予知研究」を引き続き推進し、産総研で第13回ワークショップを開催した。琉球大学と協力して1999年集集地震時の台湾での地下水位変化に対する地震

動の寄与の周波数依存性について、不圧地下水と被圧地下水とで区別した場合の違いを明らかにした。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕地震予測、地下水、地殻変動、東海地震、南海地震、東南海地震、短期的ゆっくりすべり、深部低周波微動

#### 〔テーマ題目6〕海溝型地震履歴の研究

〔研究代表者〕宍倉 正展（海溝型地震履歴研究グループ）

〔研究担当者〕宍倉 正展、藤原 治、澤井 祐紀、行谷 佑一、松本 弾、谷川 晃一朗、篠崎 鉄哉（常勤職員6名、他1名）

#### 〔研究内容〕

海溝型地震は通常、数十年から百年程度のサイクルで発生するが、数百年から千年に1度、まれに巨大化することが知られ、2011年東北地方太平洋沖地震はその典型例である。本研究テーマの目的は、海溝型巨大地震の履歴を解明すること、および過去の巨大地震に伴う津波や地殻変動を復元して地球物理学的検証から震源・波源の断層を推定することである。平成26年度に実施した内容は次の通りである。千島・日本海溝沿いでは、北海道東部沿岸、岩手県南部広田湾で津波堆積物調査を実施した。北海道では、厚岸町および浜中町の5地点においてハンドコアラーおよびハンディジオスライサーを用いた掘削を行った。広田湾では、海上の5箇所、おもにパイプコアを用いて深度4 mまでのコアを採取し、実験室において各種分析を実施した。また、仙台平野において発見された1454年享徳地震による津波堆積物のデータを利用し、津波の浸水計算を行うことで同地震の規模について推定した。相模トラフ沿いでは房総半島九十九里浜平野で津波堆積物調査を実施し、地権者交渉およびハンディジオスライサーやハンドコアラーを用いた掘削を実施した。掘削調査は、山武市の1地点、一宮市の20地点で実行した。また前年度までに房総半島沿岸各地で得られているボーリングコア試料について分析を進めた。南海トラフ沿いでは静岡県浜松平野、太田川低地において23本のボーリング掘削調査を実施するとともに、前年度までに採取したボーリングコア試料の分析を進めた。各地の津波堆積物調査でこれまでに得られているデータについて整理し、津波堆積物データベースとして整備して平成26年10月15日より web 上で公開した。基本は地図上に掘削調査地点の位置情報を載せ、青森県、仙台平野、福島県、茨城県の一部については各地点の地質柱状図およびその解説や869年貞観地震における推定津波浸水域のシミュレーション結果も表示できるようにした。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕千島海溝、日本海溝、相模トラフ、南海トラフ、海溝型地震、津波、地殻変動、

津波堆積物、断層モデル、データベース

#### 〔テーマ題目7〕地震災害予測の高度化に関する研究

〔研究代表者〕阿部 信太郎（地震災害予測研究チーム）

〔研究担当者〕阿部 信太郎、堀川 晴央、吉見 雅行、竿本 英貴、加瀬 祐子、森 宏、林田 拓己（建築研究所）、木村 治夫（電力中央研究所）、関口 春子（京都大学）、吉田 邦一（地域地盤環境研究所）（常勤職員5名、他5名）

#### 〔研究内容〕

本研究では、地震被害軽減に資するよう地震動予測および断層運動に伴う地表変形予測に関する調査・研究を実施している。本年度は、関東地域の深部基盤構造については、過去の様々なプロジェクトにより取得されてきた反射法地震探査データに対して、最新の知見に基づく新たなデータ処理を実施することにより、従来よりも明瞭かつ高い信頼度で活断層の深部における基盤の変位、変形構造を明らかにした。地盤変形シミュレーション手法については、地表変位情報から断層形状を推定するための数値解析手法を新たに構築し、従来よりも解析結果に対する客観性が向上した。また震源断層部分については従来までの動力学的な破壊解析手法をさらに高度化し、比較的低角（傾斜角30°程度）な断層の破壊の解析を可能にすることにより、その適用範囲をさらに拡大した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕地震動、地盤変形、反射法地震探査、有限要素モデル

#### 〔テーマ題目8〕沿岸海域の地質構造調査

〔研究代表者〕阿部 信太郎（地震災害予測研究グループ）

〔研究担当者〕阿部 信太郎、佐藤 智之（地質情報研究部門）、古山 精史朗（地質情報研究部門）、井上 卓彦（地質情報研究部門）（常勤職員3名、他1名）

#### 〔研究内容〕

沿岸域の地質情報を整備して海陸シームレス地質図を作成するため、房総半島東部沿岸海域の地質構造調査を行っている。二ヵ年での地質図完成を目指しており、初年度にあたる平成26年度は全体の概要を掴むための調査を行った。役務契約を交わした業者と協力しながら8月から10月にかけて現場で反射法音波探査を実施し、良好な反射記録を得た。地形と地質構造の特徴から、まずは海域ごとに層序区分を行った。調査海域北東側の九十九里沖の地層は、浸食により形成されたと考えられる明瞭な不整合を境に2層に層序区分できる。このうち下位層は周辺層序との対比によって上総層群に対比できると考える。また下位層には、北西-南東の走向を持つ背斜構造を確認できた。調査海域南西側の鴨川沖において

も明瞭な不整合を境に2層に層序区分できる。上位層には、砕屑物が鴨川周辺から供給されたことを示唆するプログラデーションパターンが確認できた。また鴨川沖南部においてグラーベンを確認した。その位置と走向から、グラーベン形成には葉山-嶺岡隆起帯の運動の影響が考えられる。海域ごとの層序区分同士の対比や広域地質構造の中での位置づけの考察については平成27年度の追加調査にて裏づけ、地質図としてまとめる予定である。

【分野名】地質

【キーワード】反射法音波探査、海洋地質、沿岸域、関東地方、第四紀

#### 【テーマ題目9】火山活動の研究

【研究代表者】石塚 吉浩（火山活動研究グループ）

【研究担当者】石塚 吉浩、中野 俊、宝田 晋治、古川 竜太、石塚 治、下司 信夫、及川 輝樹、山崎 誠子、松本 哲一、川辺 禎久（常勤職員10名）

#### 【研究内容】

国の火山噴火予知研究を分担し、日本の第四紀火山活動の時間空間分布及び活動的火山の噴火履歴を明らかにするとともに、火山の総合理解を深める研究の実施を目的としている。平成26年度は、活火山の活動史や第四紀火山の時間空間分布を明らかにするために、九重火山、蔵王火山及び伊豆半島等に産する火山岩のK-Ar年代測定を行った。また、感度法によるK-Ar年代測定の高効率化、必要試料の低減化に向けた技術開発を開始するとともに、岩石化学分析の低ブランク化に向けた実験室整備を実施した。火山データベースについては、沼沢、新島、開聞岳等の活火山に関する詳細データを日本の火山データベースに公開し、全国20万分の1火山図整備のため北海道と北東北の第四紀火山について編纂を進めた。噴火中の火山（御嶽山、阿蘇山、口永良部島、西之島、桜島）を対象に、関係機関と連携し噴出物調査や上空観察により活動推移把握を行い、結果を迅速に公表した。

【分野名】地質

【キーワード】第四紀火山活動、噴火履歴、年代測定、火山データベース、活火山

#### 【テーマ題目10】火山地質図

【研究代表者】石塚 吉浩（火山活動研究グループ）

【研究担当者】石塚 吉浩、下司 信夫、石塚 治、古川 竜太、中野 俊、及川 輝樹、山崎 誠子、川辺 禎久、星住 英夫、伊藤 順一、高田 亮、山元 孝広、伴 雅雄（山形大学）、三浦 大助（電力中央研究所）、荒井 健一（アジア航測株式会社）（常勤職員12名、他3名）

#### 【研究内容】

火山噴火予知連絡会によって選定された「火山防災

のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」に重点をおき、活動的火山の噴火履歴を野外調査及び室内実験等に基づき明らかにし、火山地質図としてとりまとめる。平成26年度は、昨年度まで実施してきた調査・研究に基づき、九重火山と蔵王火山の火山地質図原稿を完成し、九重火山地質図及び蔵王火山地質図として刊行した。また火山地質図作成のため、八丈島火山の野外調査を引き続き実施し、恵山火山については今年度調査を開始した。社会的要請が高く初版の出版から46年経過している富士火山については、補備の野外調査を実施するとともに改訂作業を進めた。

【分野名】地質

【キーワード】活火山、噴火履歴、火山地質図、火山防災、噴火予知

#### 【テーマ題目11】マグマ活動の研究

【研究代表者】篠原 宏志（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】篠原 宏志、高田 亮、田中 明子、斎藤 元治、松島 喜雄、東宮 昭彦、風早 竜之介、斎藤 英二、小森 省吾（常勤職員8名、他1名）

#### 【研究内容】

活動的な火山において放熱量等の熱的観測や電磁氣的観測を行い、地質構造や、他の地球科学的観測量を参照しつつマグマ放熱過程のモデル化を行うことを目的としている。口永良部島火山にて、GPS、自然電位および地中温度の観測設備の保守を行い、連続観測を継続した。8月3日の突発的な噴火に際して、噴火直前までの記録を取得した。雌阿寒岳火山にてAMT法による比抵抗探査および自然電位の分布調査を実施し、薩摩硫黄島火山や伊豆大島火山との比較研究を行い、脱ガスに伴う自然電位異常の発生様式を評価した。

マグマ供給系の長期的進化の解明を目的として、薩摩硫黄島火山の鬼界アカホヤ噴火の幸屋（船倉）降下軽石および竹島火砕流堆積物下部ユニットのメルト包有物18個についてSIMSによるH<sub>2</sub>OおよびCO<sub>2</sub>濃度測定を行い、マグマ溜まりの圧力が100-250MPaであることを明らかにした。2014年9月27日の御岳山水蒸気噴火の火山灰に微量含まれる新鮮なガラス光沢岩片の分析と熱力学的解析を行い、地下4km程度の深さにほぼ固結したマグマが存在し、これが熱源である可能性を提示した。現在活発に噴火活動をしている西之島火山および阿蘇山について噴出物の岩石学的解析とメルト包有物分析を行った。その結果、西之島2014年噴火マグマが1973-74年噴火マグマと同じ岩石学的特徴を持つこと、およびマグマが高温・低含水量・低粘性であるために、噴火が継続した可能性を明らかにした。阿蘇中岳について、2014年11月噴火マグマの岩石学的特徴が1979年噴火と同様であること、脱ガスマグマ量が同時期の火山灰放出量の100倍以上であることを明らかにした。

火山活動推移の把握と火山ガス放出過程のモデル化を目的として吾妻山および三宅島において火山ガス組成観測を実施し、三宅島においては火山ガス放出活動の低下に伴うと考えられる火山ガス組成変動が観測されたのに対し、吾妻山では最近数年間では組成の顕著な変動がないことが明らかとなった。御嶽山噴火直後に、気象庁との協力で火山ガスの緊急ヘリ観測を実施し、火山ガス組成の特徴を把握した。

富士山で過去6000年間の噴火履歴を解析した結果、宝永噴火を除くプリニアン噴火をしたのは、岩脈が山体の高標高部に密集した時期に発生したことが明らかとなった。島弧と大陸の火成作用の違いを理解するため、ベトナムの火山岩を採取し観察を実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕火山、噴火、マグマ、噴火予知

## 〔テーマ題目12〕火山噴火推移予測の高度化

〔研究代表者〕篠原 宏志（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕篠原 宏志、石塚 吉浩、川辺 禎久、石塚 治、古川 竜太、及川 輝樹、下司 信夫、宝田 晋治、松島 喜雄、斎藤 元治、宮城 磯治、東宮 昭彦、風早 竜之介、高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）、西 祐司（地圏資源環境研究部門）、石戸 恒雄（地圏資源環境研究部門）、小森 省吾（常勤職員15名、他2名）

### 〔研究内容〕

桜島昭和火口および阿蘇中岳の火山灰粒子構成物の解析から、火道浅部における爆発的噴火駆動過程の解明を試みた。桜島昭和火口における個々の爆発噴火に対応した噴出物の採取を行い、個々の噴火における噴出物構成粒子の構成比や構成粒子の岩石学的特徴の時間変化を明らかにし、それに基づく火道浅部におけるマグマの上昇プロセスを明らかにした。阿蘇火山では噴火開始前および11月25日の噴火開始以降継続的に火山灰を解析し、噴出物の構成比や組織特徴から噴火推移の変化を明らかにした。霧島山新燃岳火山および桜島火山の降灰観測装置を維持し、噴火監視を継続的にこなった。桜島火山では複数のセンサによる降灰量観測を行い、降灰量測定値の較正に必要な基礎データを取得した。

阿蘇火山中岳において、火山活動の把握と火山ガス・熱水供給系の解明を目的として火山ガス組成観測を実施し、中央火孔（噴火後141火孔）からの火山ガスおよび南壁噴気の組成の分別定量およびその時間変化の把握を行った。その結果2014年11月の噴火開始後においても、噴火以前の湯だまり活動期に観測されたと同様の火山ガス組成の幅が観察され、その幅の中での短時間の組成変動を明らかにした。また、噴出物中に中空の水溶性の物質を見だし、水溶性成分の化学分析を行った結果、過

去の湯だまり湖水組成と類似の組成であり、噴火活動中においても地下では熱水系が継続できに存在している事を明らかにした。

伊豆大島をテストフィールドとして、地球物理学的観測から地下構造、地下水系を把握し、噴火活動期のマグマ上昇、脱ガスに伴う熱水系変動についてモデリングを行うため、地下の熱水流動を反映する観測量である自然電位（SP）に着目した研究を進めている。SPの連続観測を継続し、バックグラウンドの変動を把握した。また変動要因に関連すると思われる地中温度の観測を並行して行い、土壌中の水分量の変化から季節変動を説明するモデルを作成した。また、防災研究所との共同研究において、人工降雨に伴うSP変動についてのデータを蓄積した。

伊豆大島火山における地殻内マグマ長距離移動の検討と側火口へのマグマ供給システムを解明する目的で、東海大学と共同で、大島北西沿岸でサイドスキャンソナーによる海底微地形調査、海底カメラによる海底観察、南東部波浮港沖で海底カメラによる海底観察およびドレッジによる岩石試料採取を実施した。前年度サイドスキャンソナーによる調査において温度躍層の存在によるものと思われるデータ異常が見られたが、今回観測時期を変えることでこの影響がなく、はるかに良好なデータの取得に成功した。海底観察では、マグマ水蒸気爆発を起こした火口である可能性のある地形の観察を試みたが、比較的古いとみられる溶岩表面を確認したが、現在さらに解析中である。

三宅島火山では、カルデラ形成期後の噴火活動を把握する目的で、前々回のカルデラ形成期から2000年カルデラ形成までの噴火史の再構築を行っている。9世紀以降の噴火堆積物について層序・年代の見直しを行ったところ、従来の不完全な歴史記録に基づく噴火史はすべて誤りで、噴火年代や噴火頻度が大きく変更された。その結果、三宅島火山は、最近1000年間は顕著な休止期を挟まず100年に1～3回の頻度で2000年まで噴火を続けていたことがわかった。また、従来複数の見解があった18世紀の割れ目噴火の位置、年代についての知見が集約し、混乱を解決する糸口が得られた。

高圧実験により作成した安山岩およびデイサイト組成のガラス試料を対象に透過 FTIR 測定を行い、H<sub>2</sub>O および CO<sub>2</sub>の濃度を決定した。H<sub>2</sub>O および CO<sub>2</sub>濃度既知の玄武岩および流紋岩組成のガラス試料を用いて SIMS 検量線を作成するとともに、霧島火山2011年噴火のメルト包有物の SIMS 測定を実施した。SIMS の調整・修理を行い、利用可能な状態を維持した。反射 FTIR 法による火山ガラスの含水量簡易測定方法について玄武岩ガラスを用いて検討し、検出限界を確認した。斜長石の微量元素濃度を LA-ICP-MS で微小領域分析するための測定条件を検討し、適切な条件では分析値が SIMS 分析と整合的であることを確認した。



我が国の大規模火山の多くの事例を俯瞰可能なデータ集としてまとめ、噴火・前兆現象の共通項と差別要因を抽出することにより、個別噴火の事例研究に留まってきた噴火推移に関する理解を、将来予測に資する噴火推移過程の類型化に基づく噴火推移規制要因のモデルに発展させる事を目指す。文献記録から噴火推移情報を抽出するための手法を検討し作成した、共通のフォーマットに基づき、日本列島における最近400年間の VEI4のないし噴火マグニチュード4以上のプリニー式噴火13噴火について、各噴火の推移情報を関連文献の調査を行いとりまとめた。その成果を研究資料集として公開した。

火山重力流の流動機構と災害予測技術高度化のため、雲仙火山1991-95年火砕流及び火砕サージを対象とした堆積物の現地調査を実施し、火砕流、火砕サージの挙動解明を進めると共に、Titan2D による数値シミュレーション、噴火当時の地形データのデジタル化を実施した。また、イタリア INGV と共同で、大規模火砕流に関する予察的な数値シミュレーションを実施した。

【分野名】地質

【キーワード】火山、噴火、マグマ、噴火予知

#### 【テーマ題目13】長期地質変動の研究

【研究代表者】塚本 斉（長期地質変動研究グループ）

【研究担当者】塚本 斉、間中 光雄、大坪 誠、城谷 和代、西来 邦章、宮川 歩夢（地質情報研究部門）、勝部 亜矢（常勤職員7名）

#### 【研究内容】

断層の再活動性評価手法の検討のため、房総半島の現地調査を行い、最新活動期や応力場の変遷に伴う断層活動の変遷を推定するための現地調査と試料採取を行った。また、断層・断層活動とその水理特性の関係を検討するため、延岡衝上断層の現地調査を行い、水理特性に関する予察的な検討を行った。

隆起・侵食量評価手法の検討のため、スイス・ベルン大学や JAEA 東濃地科学センターと共同研究を実施した。また、JAEA 東濃地科学センターの加速器質量分析計を用いて、宇宙線生成核種の測定を行い、削剥速度の見積もりを行った。

福島第一原子力発電所汚染水対策に係る科学的知見の整備の一環として、福島第一原子力発電所周辺の水文地質構造と地下水流動の解析を行い、汚染水を減少させる対策として表面遮水処理（フェーシング）とともに、従来の地下水バイパスに加えて新たな地下水バイパスを福島第一原子力発電所1~4号機を取り囲むように配置する対策の有効性を明らかにした。

【分野名】地質

【キーワード】長期地質変動、断層の再活動性、隆起・侵食量、隆起・侵食速度、福島第一原子力発電所、汚染水対策、地下水バイパス

#### 【テーマ題目14】深部流体の研究

【研究代表者】風早 康平（深部流体研究グループ）

【研究担当者】風早 康平、安原 正也、高橋 正明、塚本 斉、佐藤 努、森川 徳敏、高橋 浩、宮越 昭暢、松本 則夫、戸崎 裕貴、堀口 桂香、大和田道子（常勤職員9名、他3名）

#### 【研究内容】

福島県いわき市で生じた M7.0の2011年4月11日の内陸地震により、噴出した温泉水の定期採取（毎月）、分析および流量の繰り返し観測を行った。その結果、自噴した3カ所のうち2カ所については、4年後においても噴出する湯量は減少していない。また、湧出量および温泉水組成には降水の影響と考えられる小さな変動が存在するものの大きな変動はみられていない。湧出量が減少しない原因について解明するため、水質変動と降水量との対比などの検討を行い、地下に存在が推定される熱水リザーバーについてその規模の検討を行った。また、北海道東部の屈斜路カルデラの周辺部において、湧水・地下水の調査を行い、データが不足しているマグマ性ガスの浅層地下水系への流入量に関するデータを収集し、成層火山とカルデラ火山の地下水系への熱水流量の比較について詳細に検討を行った。

【分野名】地質

【キーワード】深部流体、地下水、地震、火山性熱水、温泉水

#### 【テーマ題目15】地下環境機能の研究

【研究代表者】伊藤 一誠（地下環境機能研究グループ）

【研究担当者】伊藤 一誠、高橋 学、富島 康夫、朝比奈 大輔、廣田 明成、竹田 幹郎（常勤職員5名、他1名）

#### 【研究内容】

地下深度300~1000m の水理・熱・力学・地化学・微生物環境と岩盤の隔離性能の調査・評価に係る研究を実施した。断層・断層活動とその水理特性の調査・評価のため、延岡衝上断層の現地調査を行い、水理特性に関する予察的な検討を行った。また、岩盤力学の研究では、JAEA 幌延深地層研究センターで行われた圧裂試験及び一軸圧縮試験を数値解析によってモデル化し、試験で得られた物性値による応力ひずみ関係の再現や、き裂進展のモデル化を行い、第8回アジア岩の力学シンポジウム（ARMS-8、札幌）で発表した。岩盤の隔離性能の研究では、地質媒体内の放射性核種移行解析におけるパラメータ感度のデータベース化を行い、その成果の一部を資源・素材学会で発表した。

【分野名】地質

【キーワード】地層処分、天然バリア、人工バリア、安全評価

### 〔テーマ題目16〕地質現象の長期変動に関する影響評価技術の研究

〔研究代表者〕山元 孝広（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕山元 孝広、塚本 斉、間中 光雄、大坪 誠、城谷 和代、西来 邦章、宮川 歩夢（地質情報研究部門）、宮下 由香里、田村 亨（地質情報研究部門）、風早 康平、安原 正也、高橋 正明、佐藤 努、森川 徳敏、高橋 浩、宮越 昭暢（常勤職員16名）

#### 〔研究内容〕

断層破砕物質に基づく断層の再活動性評価手法の検討のため、警固断層の現地調査を行い、活動履歴を推定するための試料採取を行った。また、断層破砕物質に含まれるFeの価数を正確に測定する手法について、島根大学ほかの共同研究者と検討を行った。

隆起・侵食量評価手法の検討のため、東京大学タンDEM加速器研究施設の加速器質量分析計を用いて、宇宙線生成核種の測定を行い、削剥速度の見積もりを行った。

海成段丘（青森県上北平野）を用いた隆起量評価手法の検討のため、現地調査・堆積相解析を行い、年代測定用試料を採取した。年代測定用試料は、試料中に含まれる放射性核種量を分析し、長石のルミネッセンス年代を測定した。

琉球弧における第四紀火山・火成活動の検討のため、第四紀に活動した可能性のある栗国島の火山・火山岩に対する現地調査を行い、活動履歴を検討するための試料採取を行った。

島根県において、スラブ起源水の湧出量詳細測定のための水文地質学的調査を行った。いずれも断層（NE-SW）系を水みちとしていることを確認した。大阪府においては塩水成分の起源・年代解析のための浅層及び深層地下水の採取調査を行った。深層地下水の採水及び水理試験用に深井戸用水中ポンプを導入し、また本宮観測井において小口径深井戸用水中ポンプを用いた採水及び水理試験を実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕長期地質変動、断層、隆起、侵食、第四紀火山・火成活動、深層地下水、スラブ起源水

### 〔テーマ題目17〕東北日本太平洋沿岸域の12万年以降の地殻変動史の詳細解明

〔研究代表者〕伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 順一、田村 亨（地質情報研究部門）（常勤職員2名）

#### 〔研究内容〕

地質学的に三陸沿岸域を長期的な隆起傾向と認定していた根拠は、沿岸地域に約12万年前の海面位置を示唆する海成段丘（MIS 5e 段丘）が、現海面上に存在して

いたことにある。しかしながら、従来の成果は、12万年前の旧海面と現海面との相対高度を単純に比較したに過ぎず、12万年前から現在までの地殻変動がどのような変遷を辿ってきたかについては解明されていない。そこで、近年進んだ沿岸地域の堆積相解析の研究を用い、堆積物の特徴からどのような海陸沿岸環境場での地層形成が為されたのかを推定することで、12万年以降の地殻変動について従来よりも高精度での地殻変動の解明をめざした地質調査を実施した。陸前高田市において検土杖を用いた簡易試錐調査により、東日本大震災による地殻変動の影響を除き、現海面下1m 付近に約5.5千年前の海陸境界を示唆する堆積物を確認することができ、最近5千年間は沈降傾向にあることが推測された。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕長期地質変動、隆起、段丘編年

### 〔テーマ題目18〕アジア太平洋地域の地震火山情報の整備

〔研究代表者〕宝田 晋治（火山活動研究グループ）

〔研究担当者〕宝田 晋治、桑原 保人、小泉 尚嗣、石川 有三、高田 亮、古川 竜太、吉見 雅行、丸山 正、Joel Bandibas（常勤職員7名、他2名）

#### 〔研究内容〕

G-EVER 推進チームでは、CCOP を始めとするアジア太平洋地域の研究機関と協力し、自然災害の軽減、アジア太平洋地域の協調、災害時に役立つ各種災害情報の整備、データ交換・共有・分析のための国際標準化等を進めている。アジア太平洋地域地震火山災害情報図プロジェクトでは、ユネスコ傘下の世界地質図委員会より出版予定の東アジア地域地震火山災害情報図の作成を進めるとともに、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムの試験公開を開始した。大規模地震ハザード・リスク評価 WG では、歴史地震のデータ整備、巨大地震と火山噴火の相関の検討を実施した。大規模火山噴火ハザード・リスク評価 WG では、巨大噴火への準備過程の解明のため、インドネシアのスンピン・スンドロ火山の調査・年代測定を行った。火山災害予測支援システム WG では、Titan2D によるオンラインシミュレーションシステムの公開、インターフェイスの改良を実施した。第3回国連防災世界会議において、2015アジア太平洋地域地震火山ハザード・リスク情報国際ワークショップを開催した。CCOP 諸国と進めている東・東南アジア地質情報共有基盤整備プロジェクトにおいて、CCOP 地質情報総合共有システムの構築を進め、データ整備のためのポータルサイトを作成した。インドネシア火山地質災害防災センター（CVGHM）と協力し、インドネシアの活火山情報を整備し、活火山の噴火履歴、災害履歴、ハザードマップ、地質図、文献が閲覧できるインドネシア火山情報システムを構築した。イタリア国立地球物理火

山学研究所（INGV）と、火山重力流、確率論的火山ハザード・リスク評価に関する研究協力を実施した。

【分野名】地質

【キーワード】G-EVER、地震、火山、アジア太平洋、ハザード、リスク

⑤【地質調査情報センター】  
(Geoinformation Center)

所在地：つくば中央第7

人員：20名（6名）

概要：

地質調査情報センターは、産業技術総合研究所内の地質分野の研究部門・研究センター・研究コア・地質分野研究企画室・地質標本館等との密接な連携のもとに、地質・地球科学に関する信頼性の高い、公正な地質情報を国民に提供している。また、国土の利用、地震・火山噴火等の災害対策、資源の確保、環境問題などへの対応に効果的に使われるべき公共財として、地質情報の活用の利便性向上を図っている。

機構図（2015/3/31現在）

【地質調査情報センター】センター長 渡部 芳夫

次長 土田 聡

総括主幹 小賀野 功

【地質・衛星情報整備企画室】 室長 吉川 敏之

【地質・衛星情報アーカイブ室】 室長 小賀野 功

【地質・衛星情報サービス室】 室長 田中 明子

地質・衛星情報整備企画室

(Geoinformation Management Office)

(つくば中央第7)

概要：

地質・衛星情報整備企画室は、地質の調査に係る数値情報の統合及び提供に関すること、地質の調査に係るデータベースの統合及び提供に関すること、衛星情報と地質情報との統合に関すること、地質の情報に係る連携及び融合に関することを担当する組織として、地質調査総合センター全体における研究情報の集約・共有・発信のあり方を検討するとともに、地理空間情報に係るデータ整理とクラウドコンピュータ上でのデータベースシステムの運用及び改善を行った。

国際標準規格である WMS/WMTS 形式での配信を拡充し、配信しているすべてのサービスのプレビューが可能なポータルページを新たに制作・公開した。プレビュー用のビューアプログラムを、誰もが自由に利用できるよう、オープンソースソフトウェアとして整備・公開した。写真やイラストを多用した非専門家向けの用語解説ページを公開した。

このほか、国内外の地質情報利活用事例や市場ニーズの調査を進め、とりまとめた結果の公開準備を完了した。

地質・衛星情報アーカイブ室

(Geoinformation Archive Office)

(つくば中央第7)

概要：

地質・衛星情報アーカイブ室は、「地質の調査」に係るメタデータの整備及び提供、地質文献資料・地質図等の収集・管理及び地質調査に係る基礎データのアーカイブに関する業務を掌る。メタデータの整備については、地質文献データベース及び地理空間情報クリアリングハウスにおいて、それぞれの管理・運営とデータの追加更新及びシステム改修等を行った。文献資料・地質図等の収集活動については、国内外関連機関との文献交換等を通じて行った。文献収集活動等の情報の整備とデータベースによる提供を組織的に行うことにより、地質情報の活用を促進した。既刊出版物の管理・頒布・払い出し・オンデマンド印刷を行った。地質図幅調査に係る調査時基礎データのアーカイブに関しては、論文等の多様な研究成果に係る基礎データへと対象を広げ、登録・保管を進めた。並行して、システムをオープンソース文書管理システムへと移植し、それにより機能追加等の大幅改良を施した。

地質・衛星情報サービス室

(Geoinformation Service Office)

(つくば中央第7)

概要：

地質衛星情報サービス室は、産総研の「地質の調査」業務に基づく地質・地球科学に関する研究成果の出版及び管理、地質情報の標準化整備及び数値化、並びにこれら研究成果の普及に関する業務を行った。研究部門・センターで作成された地質図・地球科学図の編集と出版、研究報告書の編集と出版、数値地質図やデータ集の CD-ROM 出版を行った。地質出版物・データベースの著作物利用申請には23件対応した。

地質情報整備では地質情報に関する標準化を進めており、既刊地質図類のラスターデータ整備を実施した。また、地質標本館及び地質分野研究企画室と協力して地質情報展等の地質関連イベントで成果普及活動を行うとともに、地質図類のより一層の利活用促進を目指し、Web 等を通じて研究成果品の紹介・普及を進めた。

地質調査総合センターの Web サイトの維持・管理を継続した。オープンデータ施策に対応するため、ダウンロードサイトの登録制を廃止した上で、40区画分の5万分の1地質図幅 Shapefile と kml のベクトル形式のデータを追加公開した。

地質の調査

① 地球科学図

本年度の各種地質図類の編集・発行は、20万分の1地質図幅2件、5万分の1地質図幅4件、火山地質図2件、海洋地質図2件、重力図1件、空中磁気図1件、CD-ROM/DVD-ROM4件、海外地球科学図1件である。

刊 行 物 名	件 数	発行部数	摘 要
	図類・冊子		
20万分の1地質図幅	2・0	各 2,000	横須賀（第2版）、大分（第2版）
5万分の1地質図幅	4・4	各 1,500 1,800	南部、鴻巣、冠山 川俣
火山地質図	2・0	各 2,000	No.18 蔵王火山、No.19 九重火山
海洋地質図	CD-ROM 2	各 1,000	No.83 襟裳岬沖海底地質図 No.84 種子島付近表層堆積図
重 力 図	1・0	1,100	No.31 京都地域重力図
空中磁気図	1・0	700	No.46 養老断層地域高分解能空中磁気異常図
海陸シームレス地質図	DVD-ROM 1	1,000	S-4 海陸シームレス地質情報集「石狩低地帯南部沿岸域」
水文環境図	CD-ROM 1	1,000	No.8 石狩平野（札幌）
土壌評価図	CD-ROM 1	1,000	E-6 茨城県地域
燃料資源図	CD-ROM 1	1,000	FR-3 関東地方
海外地球科学図	1・1	800	アジア鉱物資源図

② 地球科学研究報告

本年度の研究報告書は、地質調査研究報告が第65巻1/2号～11/12号6件、活断層・古地震研究報告1件、地質調査総合センター速報3件である。

刊 行 物 名	件 数	発行部数	摘 要
地質調査研究報告	6	各 200	Vol.65 No. 1/2, 3/4, 5/6, 7/8, 9/10, 11/12
活断層・古地震研究報告	1	1,550	活断層・古地震研究報告 第14号（2014年）
地質調査総合センター速報	3	300	No.65 平成25年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告
		500	No.66 巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告
		300	No.67 平成26年度研究概要報告書－奄美大島、徳之島、沖永良部周辺海域－

③ 刊行物販売状況

研究成果普及品のうち「地質の調査」に係るものは、地質情報等有料頒布要領（26要領第4号）により、地質調査情報センター及び地質標本館が有料頒布業務を遂行することになっている。平成26年度は、下記のように有料頒布を実施し、収入を得た。

○平成26年度 研究成果普及品頒布収入

地球科学図及び地球科学データ集

6,437,937円

内 訳	頒布部数	頒布金額
委託販売収入（4社合計）	3,277	5,310,720
直接販売収入（地球科学図ほか）	278	673,455
直接販売収入（オン・デマンド）	348	453,762
合 計	3,903	6,437,937

普及出版物及び絵葉書

569,747円

内 訳	頒布部数	頒布金額
直接販売収入（普及出版物ほか）	868	569,747

## ○平成26年度 シリーズ別 頒布部数トップ5

シリーズ名	頒布部数
5万分の1地質図幅	1,632
20万分の1地質図幅	554
数値地質図	379
火山地質図	269
海洋地質図	226

## ○平成26年度 出版物別 頒布部数トップ10

シリーズ名	出版物名	頒布部数
5万分の1地質図幅	八王子	77
5万分の1地質図幅	南部	53
5万分の1地質図幅	鴻巣	52
火山地質図	No.1 桜島火山地質図 (第二版)	47
火山地質図	No.4 阿蘇火山地質図 (第3刷)	46
5万分の1地質図幅	早池峰山	43
200万の1地質編集図	No.4 日本地質図 (第5版)	39
火山地質図	No.10 伊豆大島火山地質図	35
数値地質図	DGMG-16 20万分の1日本シームレス地質図	35
数値地質図	DGMGT-4 全国地熱ポテンシャルマップ	35

## ④ 文献交換

「地質の調査」に係る研究成果物をもとに、国内外の「地質の調査」に係る機関と文献交換を行い、地質文献資料の網羅的収集に努めている。さらに、収集資料の明確化と広範囲の利用者の利便性を考慮して、地質文献データベースを構築し、インターネットで公開を行っている。

## 国内外交換先

	計	JAPAN	EUROPE	ASIA	AFRICA	U.S.A.	CANADA & C. AMERICA	SOUTH AMERICA	OCEANIA
国数	147	1	34	37	42	1	10	12	10
機関数	1,064	427	220	164	57	83	30	47	36

## 交換文献内訳

	計	地質調査研究報告	その他報告類	地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)	その他図幅	CD-ROM
件数	28	6	1	6	7	8
所外送付部数	3,893	944	218	644	898	1,189
国外送付部数	5,323	72	229	1,408	1,637	1,977

## ⑤ 文献情報活動

文献交換等で収集した地質文献資料の効果的・効率的な利用を目指して、地質文献データベース（統合版 GEOLIS 及び貴重資料データベース）を構築し Web 公開を継続している。今年度は、異体字検索の改善、検索履歴の保存・ランキング機能追加、統合版 GEOLIS 及び貴重資料データベースの異種データベース間の一括検索等の機能改善を行った。統合版 GEOLIS の登録数は15,959件、Web 公開で7,085,881件のアクセス数（Webalizer による、以下同様）である。貴重資料データベースの登録数は331件、アクセス件数は78,430件であった。また、地質文献データベースのデータを使用した LOD 化に向けた調査・分析作業を行った。

受 入

	単行本 (冊)	雑誌 (冊)	地図類 (枚)	研究資料集・ 受託研究資料	電子媒体資料 (個)
購 入	187	218	123	0	10
寄贈・交換	142	3,299	742	16	151
計	329	3,517	865	16	161

製本・修理 (冊) 904

地質文献データベース登録数・アクセス件数など

	登録数	登録総数	アクセス件数
統合版 GEOLIS	15,959	455,721	7,085,881
貴重資料データベース	331	886	78,430
計	16,290	456,607	7,164,311

閲覧・貸出など情報提供

所外閲覧者	入館者 (括弧内外国人)	閲覧件数	貸出件数	返却件数
182	4,567(31)	4,404	4,954	6,295

地質文献複写外部委託

件数 (件)	通常コピー (枚)	カラーコピー (枚)	電子媒体 (部)
370	8,467	453	3

⑥ メタデータ及びデータベースの整備

「地質の調査」の成果である地質図・地球科学図等の情報に関し、インターネットを通じて利活用出来るよう、メタデータ作成、数値化及びデータベース化を行っている。

メタデータ整備業務では、国土交通省国土地理院の地理空間情報クリアリングハウス用の地理標準フォーマット JMP2.0版に基づくメタデータを1,638件整備し Web 公開した。

⑦ 数値化・地理空間情報の配信

地質図類ベクトル数値化整備業務では、5万分の1地質図幅9図幅をベクトル数値化し、データの校正・編集を行った。5万分の1地質図幅40図幅の Shapefile と kml 形式のベクトルデータを公開した。

○平成26年度 地質図・地球科学図データベース及びメタデータ整備

1. 地質図・地球科学図データベース整備 (件数)	
5万分の1地質図幅、海洋地質図幅の数値化数	9
5万分の1地質図幅ベクトルデータ公開	40
2. メタデータ整備 (件数)	
地理空間情報クリアリングハウス：メタデータ登録数	1,638

⑧ 5万分の1地質図幅調査に係る調査時基礎データのアーカイブ作成

地質図幅等の産総研地質調査総合センター発行出版物はもとより、論文等の多様な研究成果に係る基礎データの登録・保管を進めた。並行して、システム改良のためにオープンソース文書管理システムへの移植を行い、緯度経度入力機能追加やワークフロー機能追加等の、大幅改良を施した。

⑥【地質標本館】  
(Geological Museum)

所在地：つくば中央第7

人員：16名（9名）

概要：

地質標本館は、世界的にユニークな地球科学専門の博物館として、地質標本、地球科学全般と地球の歴史・変動のメカニズム、人間生活との関わりについて展示し、土・日・祝日も開館している。また、地球科学の普及、地質調査に関する広報及び地質相談業務、地質試料等の整備・調製、並びにこれらに係る研究などに関する業務を行っている。

機構図（2015/3/31現在）

[地質標本館] 館長 利光 誠一  
副館長 下川 浩一  
キャリア主幹 大和田 朗  
キャリア主幹 西澤 良教

[企画運営グループ]  
グループ長 渡辺 真人 他

[地質試料管理グループ]  
グループ長 角井 朝昭 他

[地質試料調製グループ]  
グループ長（兼）利光 誠一 他

企画運営グループ  
(Museum Management Group)

(つくば中央第7)

概要：

企画運営グループは、展示施設の維持管理、館内での特別展示や行事・外部イベント出展などの企画・調整・運営を行っているほか、ジオパーク、ジオネットワークつくば、地質情報展など、産総研地質分野を代表して、外部機関との連携をとりながら行うアウトリーチの推進業務を行っている。また、GSJ 地質ニュースの編集・発行を行うほか、「地質相談所」を窓口として、所内外からのさまざまな階層の地質相談業務を行っている。

地質試料管理グループ  
(Curating Group)

(つくば中央第7)

概要：

地質試料管理グループは、地質試料の整備、管理・保管、登録、利用支援、アーカイブ、データベース化並びにこれらに関する研究を行っている。

地質試料調製グループ  
(Quality Petrographic Section Group)

(つくば中央第7)

概要：

地質試料調製グループは、地質の調査・研究に不可欠な岩石試料等の薄片・研磨片等の作製を行うほか、独自の作製方法を開発することにより、更なる難試料作製に応じられるよう努めている。その他、作製現場の見学、技術相談、指導等の要請にも応じている。

研究

平成26年度 地質標本館行事一覧

実施期間	特別展及び速報	講演会	外部出展	イベント	入館者・参加者
2014/3/4～6/29	春の特別展示「地質の目で見る地震災害の連鎖」				入館者 7,926人 (4/1～6/29迄)
2014/4/19		地質標本館特別講演会「巨大地震に伴う地下水のリスク」「土壌・地下水汚染—古くて新しい環境問題—」			聴講者 38人
2014/4/19				科学技術週間イベント：『実験で学ぶ、火山と地震』	来場者 198人
2014/4/28～5/2			地球惑星連合大会ブース出展（パシフィコ横浜）		
2014/5/7～30			地質の日関連イベント経産省本館ロビー展示		
2014/5/10				地質の日関連イベント「作って学べる！工作コーナー」	入館者 150人
2014/5/10～11			つくばフェスティバル2014ブース出展		参加者 592人
2014/7/15～10/13	夏の特別展示「地質アナログ模型の世界」				入館者 19,316人
2014/7/19				つくばセンター一般公開：施設見学ツアー「石に光を通す—岩石薄片の世界—」及び「地中熱ミニツアー実施」	参加者 72人
2014/7/19		特別講演会「ジオラマ模型で覗く地質の世界」・「関東平野の地下旅行」			聴講者 146人
2014/7/20			学都「仙台・宮城」サイエンスディ出展		入場者 1,320人
2014/7/26				夏休みイベント：石に光を通してみよう—万華鏡で知る花こう岩の色彩—	参加者 20人
2014/8/2			中部センター一般公開		来場者 2,727人
2014/8/5～6			サイエンスフェスタ in 秋葉原		来場者 100人
2014/8/6～7			経産省子供デー（経産省本館地下2階）		来場者 300人超
2014/8/22				夏休みイベント：化石クリーニング教室	参加者 20人
2014・8・23				地球何でも相談日	相談件数 19件
2014・8・26			中国センター一般公開		来場者 699人
2014/9/13～15				地質情報展2014かごしま（鹿児島市中央公民館）	来場者 1051人
2014/10/1～5/31	御嶽火山の噴火に関する情報緊急展示				入館者数11,193人（3/31までの入館者数）
2014/10/25				野外観察会「霞ヶ浦周辺の地層と貝化石（国立科学博物館との共催）」	参加者 38人
2014/10/25～26			つくば産業フェア出展「筑波山粘土模型作製」		参加者 344人
2014/11/5～3/22	冬の特別展示「地質情報展2014かごしま—火山がおりなす自然の恵み—」				入館者 7,240人
2014/11/8～9			つくば科学フェスティバル2014出展「化石のキャスト作成」		参加者 170人
2014/11/30			青少年のための科学の祭典・日立大会		来場者 5,000人超
2015/1/5			新宿伊勢丹特別出展（砂絵作成）		参加者 40人
2015/1/16		第23回 GSJ シンポジウム「日本列島の長期的地質変動の予測に向けた取り組みと今後の課題—数十万年の過去を解明し、将来を予測する技術・知見・モデル—」			来場者 232人
2015/2/9			平成26年度埼玉県地震対策セミナー		来場者 1,000人
2015/3/1			ジオネットの日（エキスポセンター）		参加者 95人
2015/3/5～5/31	つくばエキスポセンター研究機関紹介展示「地震と火山を学ぼう」				
2015/3/14				自分で作ろう：化石レプリカ	参加者 47人
2015/3/14～18			国連防災世界会議出展（東北大学）		
2015/3/15				日本地学オリンピックとつば・レクチャー	聴講者 100人超



## 地質標本館 平成26年度 入館者総数 36,969人

## 地域別入館者数内訳

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
市内	766	491	415	3,180	4,147	437	414	603	253	217	673	352	11,948
県内	644	930	488	1,134	1,432	565	739	512	282	201	196	380	7,503
都内	446	576	357	592	775	476	492	355	188	188	212	257	4,914
他県	685	1,207	832	1,158	2,722	720	1,225	1,220	472	283	348	774	11,646
外国	14	55	20	187	229	96	95	77	78	25	8	74	958
計	2,555	3,259	2,112	6,251	9,305	2,294	2,965	2,767	1,273	914	1,437	1,837	36,969

## 職業別入館者数内訳

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
小学	217	442	155	1,624	2,864	368	306	423	168	81	125	175	6,948
中学	360	345	26	329	479	27	387	181	16	11	275	57	2,493
高校	414	229	458	481	935	42	328	247	144	7	4	256	3,545
大学	70	160	90	196	198	177	149	146	75	73	83	125	1,542
教諭	73	102	121	153	268	116	159	80	45	53	47	54	1,271
家庭	820	1,040	643	2,107	3,131	960	876	1,097	473	384	538	741	12,810
一般	601	941	619	1,361	1,430	604	760	593	352	305	365	429	8,360
計	2,555	3,259	2,112	6,251	9,305	2,294	2,965	2,767	1,273	914	1,437	1,837	36,969

## 団体見学への館内説明対応件数 199件

## 団体見学への館内説明対応実績内訳

	区分	件数	内容
学校関係	小学校	18	地層・岩石の話
	中学校	24	地層・岩石の話
	高校	49	地質調査に係る研究成果紹介
	高等専門学校	0	地質調査に係る研究成果紹介
	大学	4	地質調査に係る研究成果紹介
視察・VIP	視察・VIP	24	地質調査に係る研究成果紹介
海外研修生	海外研修生	16	地質調査に係る研究成果紹介
その他（一般団体）	その他（一般団体）	64	地質調査に係る研究成果紹介
合計		199	

## 職場体験学習生・研修受入

職場体験学習生	つくば市立並木中学校 3人	1日間（3人）	研究業務体験とイベント教材作製
	芝浦工業大学柏中学校 3人	1日間（3人）	研究業務体験とイベント教材作製

博物館実習	千葉大学 8人	9日間（8人）	博物館業務に係る試・資料の収集・保管・展示等の指導
	筑波大学 2人	12日間（1人）	
		10日間（1人）	
	茨城大学 2人	9日間（2人）	
	工学院大学 1人	10日間（1人）	
川村学園女子大学 5人	10日間（5人）		
薄片技術指導	アースサイエンス株式会社 1人	5日間（1人）	膨潤性鉱物の補強と接着技術の指導
	国立大学法人京都大学 1人	5日間（1人）	湿式法による薄片作製技術の指導
	国立大学法人北海道大学 1人	5日間（1人）	乾式法による薄片作製技術の指導

⑦【深部地質環境研究コア】

(Research Core for Deep Geological Environments)  
(存続期間：2007.4.1～2015.3.31)

研究コア代表：渡部 芳夫

所在地：つくば中央第7

人 員：1名 (1名)

経 費：293,760千円 (18,295千円)

概 要：

研究コアとしての設立は、2007年に原子力安全・保安院より、産総研が実施する放射性廃棄物地層処分に対する安全規制の技術的支援研究を、代表制を持って統括するしくみを強く要請され、政策当局、関連機関等との調整、協力において、組織的代表的代表制が不可欠となったことによる。

本研究コアの課題とミッションは、産総研地質分野において、放射性廃棄物地層処分事業の概要調査結果の規制庁レビュー等における、地層処分の安全基準を策定していくために必要となる調査研究を実施することであり、産総研地質分野の研究戦略（戦略課題3-(2)高レベル放射性廃棄物の地層処分のための地質環境評価）に基づき、地質情報研究部門、活断層・地震研究センターならびに活断層・火山研究部門、地質調査情報センターの研究者等44名（常勤職員41名、契約研究職員3名）が研究コアメンバーとして実施した。

本研究コアの対外的な代表性に基づく活動は、現原子力規制委員会原子力規制庁等の安全規制機関への技術支援等の活動と、規制支援研究機関との協力、ならびに上記の外部要請に基づいた外部資金プロジェクトの運営・統括等からなるが、研究プロジェクト自体の成果は、研究コアメンバーの所属する研究ユニット等の業務の一環として実施したものであり、詳細な内容は各研究ユニットの項に記述した。

⑧【地質調査総合センター】

(Geological Survey of Japan)

所在地：つくば中央第7 他

概 要：

産業技術総合研究所地質調査総合センターは、以下に示すように地質調査総合センター代表のもとに構成される研究ユニット及び関連部署からなる産総研内の「地質の調査」に関連する組織の総称である。この組織はほぼ旧工業技術院地質調査所を引き継いでおり、対外的には“Geological Survey of Japan”の名称の下で、各国地質調査所に対して我が国を代表する窓口となっている。

「地質の調査」は、産総研のミッションの一つとし

て位置付けられている。地質学及び関連科学の幅広い分野にわたる研究者の属する地質調査総合センターは、学際的・境界領域的研究分野の積極的開拓を目指した連携体制を構築し、国の知的基盤整備の一翼を担うとともに、地震・火山噴火等の突発的地質災害発生時の緊急調査・観測体制に対応する機能を持っている。また、地質調査総合センターは、構成する研究ユニットの地質分野における研究成果を一つの出口としてまとめ、旧工業技術院地質調査所の出版物刊行を引き継いだ出版活動及び成果普及活動を実施している。さらに、産学官連携活動の一環として、経済産業省知的基盤課との適宜意見交換、関連業界団体である(社)全国地質調査業協会連合会、地方公共団体等との定期懇談会、産技連知的基盤部会・環境エネルギー部会等を開催している。

地質調査総合センターでは、各研究ユニット等及び研究管理・関連部署間の意思の疎通を図るために、毎月、連絡会議を開催し、情報交換・意見交換等を行っている。

-----  
関連組織 (2015/3/31現在)

[地質調査総合センター]

代表 佃 栄吉

研究ユニット等

[活断層・火山研究部門]

研究部門長 桑原 保人 他

[地圏資源環境研究部門]

研究部門長 中尾 信典 他

[地質情報研究部門]

研究部門長 牧野 雅彦 他

[深部地質環境研究コア]

代表 渡部 芳夫

研究管理・関連部署

[地質調査情報センター]

センター長 渡部 芳夫 他

[地質標本館]

館長 利光 誠一 他

事務局

[地質分野研究企画室]

研究企画室長 荒井 晃作 他

業務報告データ

日付 地質調査総合センター行事

H26. 7.15～10.13 夏の特別展「地質アナログ模型の世界」(産総研つくば中央第7事業所 地質標本館)

H26. 9.13～9.15 「地質情報展2014かごしまー火山がおりなす自然の恵みー」(鹿児島市中央公民館)

- H26.11. 5～H27. 3.22 地質情報展2014かごしまー  
火山がおりなす自然の恵みー（産総研つ  
くば中央第7事業所 地質標本館）
- H27. 1.16 第23回地質調査総合センターシンポジウ  
ム（秋葉原ダイビル2F 秋葉原コンベン  
ションホール）

7) フェロー

【フェロー】

(AIST Fellow)

所在地：つくば中央第2、第3、第5、西

概 要：

フェローは、理事長の諮問を受けて、研究者の代表として他の研究者の指導にあたりるとともに、特別な研究を行っている。

平成26年度は、5人のフェローを置いている。

-----  
機構図

フェロー	安藤 功兒
フェロー	中西 準子
フェロー	田中 充
フェロー	清水 敏美
フェロー	福田 道子

**(2) 内部資金**

【研究題目】セシウム汚染物除染・減容事業の本格稼働に向けた要素技術開発—中間貯蔵に向けた灰除染の課題解決—

【研究代表者】菅原 孝一（イノベーション推進本部）

【研究担当者】川本 徹、南 公隆、田中 寿、  
伯田 幸也、小川 浩、池上 敬一、  
李 慶武、浅井 幸、保高 徹生、  
宮津 進、黒澤 暁彦、菅原 孝一、  
景山 晃（常勤職員8名、他5名）

【研究内容】

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所からの放射性物質漏えい事故以降、環境中からの放射性セシウム（以下、 $r$ -Cs）の除去は我が国にとって極めて重要な課題となっている。産総研は事故当初からこの課題に取り組む、農地除染、焼却灰除染、ため池からの汚染拡散防止、環境水中  $r$ -Cs 濃度評価など、プルシアンブルー（以下、PB）ナノ粒子吸着剤を活用した幅広い技術開発を行ってきた。吸着剤の性能については外部から高い評価を得ているが、最も注力した焼却灰除染技術の実用化に向けては、(1)更なる吸着性能の向上、(2)吸着剤からのシアノ錯体溶出の防止、(3)使用済み吸着剤の長期保管時の安定性評価、(4)本技術の適用による社会的コストおよび保管時の環境リスク低減に関する定量評価などの課題があり、本研究でその解決に取り組んだ。

(1)について乾燥法にフリーズドライ法を導入することで吸着速度を3.5倍以上に向上させた。(2)についてはPB内の鉄を銅に置換することにより中性域での溶出量を約1/5に低減した。(3)については過熱水蒸気による酸化法を開発した。通常酸化では熱暴走によるセシウム再飛散の懸念があるが、水蒸気を用いることで再飛散を防ぐ処理が可能となった。PBを酸化鉄に変換し、さらにゼオライトなどの安定吸着剤と混合して保管される。(4)のコスト試算の結果、 $r$ -Cs汚染物の最終処分コストが従来の放射性廃棄物と同様ならば、灰除染処理を進めるほうが全費用は安価になる可能性が示唆された。処理費用の大半が $r$ -Cs汚染物の最終処分コストであるため、それを低減できる場合には、改めて灰洗浄のコストを精査し、その必要性を検討することが望ましい。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】放射性セシウム、除染、焼却灰、プルシアンブルー、ナノ粒子、吸着剤、銅置換体、水蒸気酸化、放射性廃棄物、灰洗浄、コスト

【研究題目】ジメチルエーテル（DME）燃料品質分析法の精度解析

【研究代表者】小熊 光晴（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】小熊 光晴、渡邊 卓朗（常勤職員2名）

【研究内容】

ジメチルエーテル（DME）燃料の品質および同品質の分析方法4種は、平成26年度末時点で、ISOとして発行されたが、これらの分析方法について、FDIS登録時に、TC28より実施したラウンドロビントテストのラボ数and/orテストサンプル数の少なさが指摘されていた。すなわち、ラウンドロビントテスト時に、時間的制約や、技術的に対応可能なラボ数の制約、サンプル数の制約から、DME燃料の品質で定義される不純物混入限界濃度の範囲の1点のみのサンプルで実施することで、WG14の各国エキスパートからは了解を得ていたが、TC28からは、より正確にラウンドロビントテストを実施する必要性が指摘された形となる。最終的には、ISO16861（DME燃料品質）を満たすか否かを分析するためのみに使用される分析方法である、などの注記を追加することで、TC28からも理解を得た。

本研究では、DME燃料品質およびその分析方法4種のISOの初回定期見直し時まで、FDIS投票前にTC28から指摘を受けたラウンドロビントテストの不十分な精度解析データを補充するためのラウンドロビントテスト及びその精度解析を再実施するものである。

平成26年度は、前回ラウンドロビントテスト結果の再解析を実施し、5点の測定水準を実施することを目標とすることとした。なお、参加ラボについては、前回参加ラボをメインに勧誘し、全てのテストにおいて8ラボ以上確保することを目指す。また、各ラボでの1サンプルの測定回数は、3回とする。さらに、ラウンドロビントテスト実施協力先ラボの確保のため、DME燃料関連の国際会議等で技術交流および情報交換を実施した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】新燃料、ジメチルエーテル、DME、燃料品質、分析方法、標準化、ラウンドロビントテスト

【研究題目】熱電発電社会実装FS

【研究代表者】山本 淳（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】山本 淳、西当 弘隆、村田 正行、  
太田 道広、李 哲虎  
（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

熱電発電技術は、熱源に追加的に発電ユニットを設置することで分散型小規模発電システムを構築できることから、未利用熱エネルギーの1つの活用法として実用化が期待されている。本研究では、産総研で開発した10W級スタック型熱電発電ユニットを、熱源を保有する外部機関に設置し発電試験をすることで、長時間運転時の耐久性、その他の想定外の影響の有無等を検証した。適用先としては、①鋳物工場の炉冷却水、②温泉施設の2次熱交換熱水、③温泉地区における65℃程度の温泉水の直接利用、について検討を行った。

工場の未利用廃熱では風雨に暴露される状況で54日

間の実証試験で発電ユニットの劣化は見いだせなかった。温泉2次温水を利用した発電実証では、遠隔地での連続発電データを産総研でリアルタイムに観測、記録しながら連続試験を行うシステムを構築した。源泉をそのまま利用した温泉発電では、高低差や湧き水等の周辺自然環境を利用した発電実証に成功した。pH3程度の強酸性の温水を直接利用した発電においても発電ユニットの劣化は見いだせなかった。いずれの場合もラボで計測した発電量と同等の発電量が計測され、実証により、短期間ではあるものの耐久性も確認できたため、今後より大規模、長期の発電実証により、実用化のための課題抽出をおこなえることが明らかとなった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】熱発電、未利用熱、排熱、廃熱、省エネルギー

【研究題目】長期深宇宙運用を目指した劣化機構の解明と長寿命化

【研究代表者】細野 英司（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】細野 英司、松田 弘文、朝倉 大輔、齋藤 喜康（常勤職員4名）

【研究内容】

深宇宙での長期利用を念頭においた Li イオンに電池において、劣化メカニズムの解明や電池特性の長寿命化は極めて重要な課題である。

産総研ではこれまでに蓄電デバイス用ナノ電極材料の開発と電子状態解析に取り組んでおり、高性能二次電池材料開発の指針の明確化を目的として、多面的かつ系統的に電極材料の高性能化を図ってきた他、放射光施設を用いた電極材料の電子状態解析を遂行してきた。X線分光と理論解析に加え、軟 X 線を用いた電位操作下測定に関しては当グループの特徴的な解析技術である。

JAXA 宇宙研においては、小惑星探査機「はやぶさ」に代表されるように宇宙用 Li イオン電池の長期運用経験等を持つのみならず、宇宙用二次電池に必要な知見を有している。したがって、連携研究体制を構築し、劣化電池の特性に関する JAXA の知見と、産総研の材料評価技術を融合させることにより、劣化機構を解明し、抑制手法を見出すことが期待でき、ひいては深宇宙における長期運用可能な Li イオン電池の開発に繋げることが出来ると考えられることから、共同研究を実施した。

産総研での放射光等による材料評価結果と JAXA 宇宙研での電気化学データ解析の融合研究により、今後大きな発展が期待される。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】電気化学、リチウムイオン電池

【研究題目】水中ふっ素化合物の定量のための流れ分析法

【研究代表者】宮崎 章（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】宮崎 章、中里 哲也、田尾 博明  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

フローインジェクション法（FIA）及び連続流れ分析法（CFA）を用いた流れ分析法により水中ふっ素化合物を定量する方法を ISO 規格とするために、ISO TC 147（水質専門委員会）、SC2（物理、化学、生物化学的方法分科委員会）に規格案を提案している。すでに委員会原案（CD）まで採択されているため、国際規格原案（DIS）を作成し、投票を行なってもらうために事務局に送付した。また、国際共同実験（Inter-Continental Laboratory Trial, ICLT）を行い、CFAでは日本を含め5か国の機関に試料を送付した、分析値が得られた試料は河川水4件、湖水4件、温泉水3件、研究所廃水3件、合成試料（模擬排水試料）4件の合計18件であった。FIAでは日本を含め5か国に試料を送付し、得られた結果は、河川水2件、湖水2件、研究所排水2件、合成試料（模擬排水試料）2件、合計8件であった。分析精度の指標である RSD（相対標準偏差）が CFA では4.5%以下、FIA では4.3%以下と良好であった。また、日本環境測定分析協会ご提供の水試料についても韓国を含む5機関で CFA 分析の共同実験を行った結果は、RSD も3%以下と良好な分析精度が得られた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水質分析法、ふっ素化合物、標準化、ISO

【研究題目】全有機炭素測定法による光触媒材料の水質浄化性能評価試験法の開発

【研究代表者】平川 力（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】平川 力、竹内 浩士（評価部）、西本 千郁（常勤職員3名）

【研究内容】

全有機炭素測定法を用いた水質浄化用光触媒および応用材料の光触媒の性能を評価する試験方法を開発するために、試験試料水を試験中に安定に維持するためのリザーブ容器を試作した。試作したリザーブ容器は、水温、溶存酸素濃度を一定に維持するような機構とした。また、条件を安定に維持するために必要な通気器具を決定した。リザーブ容器を試験システムに組み込み、試験条件を厳密に決定するために必要な通気および攪拌速度、光強度、水温について、本試験を実施するに必要なかつ十分な条件を詳細に決定した。また、試験結果に影響を与える前処理および試験試料水の条件として、試験片からの遊離物の処理方法や pH 変化などについて検討し、試験片に必要な前処理および水質条件に付いて決定した。上記の試験条件を基に、全有機炭素測定法の操作手順および測定方法を決定した。その他、本試験に必要な器具の選定、試験装置構成の改良を行った。これらの結果を基に、水質浄化用光触媒および応用材料の光触媒の性能を評価す

る試験方法に関する JIS 原案を作成するための素案をまとめた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 光触媒、全有機炭素、水質浄化、活性評価方法、標準化、JIS

〔研究題目〕 Investigation of deformation characteristics at submicron/nano-scale by developing multi-scale and high-accuracy deformation measurement technique

〔研究代表者〕 津田 浩（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕 津田 浩、李 志遠、王 慶華（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本研究では小さなスケールにおけるモアレ法の高精度化および大視野の両立を目指した。我々は、サブミクロン・ナノメートルスケールでの変形測定のため、新規に高精度なマルチスケールのモアレ計測技術を提案した。本手法は、ナノメートルからメートルまでのマルチスケールでの構造材料の定量的な非破壊評価に利用できる。

高精度かつ大きな視野で計測できるように、顕微鏡走査モアレ法とサンプリングモアレ法を統合した2段モアレ法を開発した。本技術によれば、従来では達成することが極めて困難な広い領域に $10^{-6}$ ~ $10^{-3}$ の全視野ひずみを測定することができる。同時に異なるスケールでの変形測定を達成するために、 $0.5\ \mu\text{m}$ ~ $200\ \mu\text{m}$ のピッチの1種類の立体や2種類の平面マルチスケール格子を設計・製造した。大小スケール格子のピッチ比は自由に調整でき、 $10^6$ に達することもできる。また、変形測定に顕微鏡の走査ゆがみの影響を除去することができる2次モアレ技術を考案した。さらに、 $60\ \text{mm}$ のストロークを持つミニ機械的負荷装置と圧電モーターを使用して2方向に位相シフトできる装置を設計した。試料は、引張、圧縮、三点曲げや位相試験中の光学顕微鏡またはレーザー顕微鏡下で *in situ* 観察することができる。位相シフトモアレ法により三点曲げ試験下 CFRP 片の変形特性を解析した。

サブミクロン・ナノメートルスケールの変形解析は、材料の微視的破壊挙動を理解するのみならず、電子デバイスの成形条件や不安定性を評価するのに極めて有用である。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 微小寸法、変形計測、ひずみ分布、マルチスケール、モアレ法、位相シフト、CFRP 複合材料

〔研究題目〕 インフラ診断用後方散乱 X 線イメージングのための MeV 電子源の開発

〔研究代表者〕 豊川 弘之

（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕 豊川 弘之、平 義隆（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究は後方散乱 X 線を用いて内部を片側からのアクセスで可視化する手法を開発するものであり、米国では空港ゲートや、税関でのトラック検査などで既に利用されている。後方散乱 X 線イメージング法は X 線法による高い空間分解能と、反射法による測定の簡便さを兼ね備えた手法として、現場での検査の効率化と高精度化が期待できる。透過試験が適用できない複雑な形状の構造物や、足場の悪い現場、内部構造が不明の建造物でも、片側からのアクセスで内部を可視化できる。

今年度は従来10Hzで駆動していた X 線発生装置の繰り返しを100Hzとすることにより高線量化を図った。具体的にはマグネトロンを駆動する既存の高電圧スイッチング電源内部を大幅に改造し、高繰り返し化、高耐電圧化、冷却機構の改良、過電流遮断装置の増設、制御機構の改良を行った。その結果最大印加電圧30 kV 以上をマグネトロンに印加することが可能となった。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 インフラ診断、後方散乱 X 線、電子加速器、コンクリート

〔研究題目〕 微小粒子強度測定標準化

〔研究代表者〕 高尾 泰正

（サステナブルマテリアル研究部門）

〔研究担当者〕 高尾 泰正（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本基盤研究は、10ミクロン以下の一つの粒子（顆粒や造粒物ではない。以下、単粒子と呼称）に圧縮荷重を印加した場合の、変形や破壊（粒子性状が塑性／脆性／粘弾性の何れの傾向があるかによって変化）強さを規定する。

平成26年の評価機メーカー・材料ユーザー・学識経験者の選抜を経て、平成27年度の共通試験を通じた規格の主意（①複数の評価法の公約数を抽出した方法でまとめるか、②代表的な材料種で標準試料として整理するか）を確定し、平成28年度原案作成、一般財団法人日本規格協会の平成29年度 A 組（4~3月）提案を行う

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 圧縮破壊試験、単粒子、顆粒、弾塑性変形、脆性破壊、展延性

〔研究題目〕 研究情報の公開データベース化事業（RIO-DB）

〔研究代表者〕 杉山 豊彦

（サステナブルマテリアル研究部門）

〔研究担当者〕 杉山 豊彦、大橋 優喜、楠本 慶二（常勤職員3名、他3名）

〔研究内容〕

産総研に30数万点の釉薬テストピースが保管されている。それらのテストピースは陶磁器試験所以来の90年以上の陶磁器研究の過程において作成され、研究過程とその結果が見える形で残された貴重な資料である。この資料から研究情報を抽出し体系的に整理して、産業や新規研究開発に有効活用することを目的としてデータベース構築を行う。平成26年度は、データ作成を継続して行い、一般に公開するセラミックカラーデータベース用の新規データを準備した。また、一般公開用に再構築したデータベースの修正、改良を行い新規検索機能などを充実させた。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 セラミックス、陶磁器、釉薬、発色、データベース

【研究 題 目】 構造部材への機能性表面創成技術の研究  
(萌芽テーマ)

【研究代表者】 穂積 篤

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 穂積 篤、浦田 千尋

(常勤職員2名、他1名)

【研究 内 容】

はつ油処理は、指紋付着防止、フラックス這い上がり防止、包装容器の油残り防止等、幅広い産業分野で実施されている。一般にはつ油処理は、テフロン®に代表される有機フッ素化合物(低表面エネルギー材料)の使用に依存しており、本用途に向けた多種多様な有機フッ素化合物が開発されてきた。しかしながら、近年、有機フッ素化合物の製造に必要な原料(蛍石)の価格高騰や、長鎖パーフルオロアルキル含有有機フッ素化合物の人体・環境への悪影響が懸念されており、本物質群に対する規制も年々厳しくなっている。このような現状を受けて本研究の担当者は、これまで、表面分子の駆動性を上げることで、表面の動的な濡れ性(滑液性)を向上させることを試みてきた。平成26年度は、新しい試みとして、生物の分泌機能を模倣した透明ゲルの作製を実施した。ゲルの原料と種々の有機液体を混合し、その親和性の違いで有機液体が離しよう(ゲル内部から液体がにじみ出る現象)する場合と、しない場合があることを見出した。離しようしたゲル表面は、粘性の高いエマルジョンに対して優れた滑落性を示すことがわかった。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 はつ油性、滑油性、透明ゲル、離しよう、動的濡れ性

【研究 題 目】 「調光ミラーシートのスイッチング機構に関する研究」平成26年度中小企業共同研究スタートアップ事業

【研究代表者】 吉村 和記

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 吉村 和記、山田 保誠(常勤職員2名)

【研究 内 容】

調光ミラーシートのスイッチング機構に関して、企業と共同で進めている研究開発を加速するため、スイッチングのテストに用いる B4サイズ及び A1サイズの大型の調光シートを外注し、作製してもらった。このテスト用調光シートを用いて実用的なスイッチング機構に関する開発を行い、プロトタイプ的なスイッチング機構を開発した。その成果を基に NEDO プロジェクトに企業と共同で応募し、採択された。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 調光ミラー、ガスクロミック

【研究 題 目】 IC の偽造防止技術の開発

【研究代表者】 堀 洋平(セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】 堀 洋平、松井 俊浩、寶木 和夫、古原 和邦、川村 信一、坂根 広史、片下 敏宏、昌原 明植、金丸 正剛、柳 永勲、大内 真一、大野 守史、柳原 昌志、五十嵐 泰史、小池 帆平、小笠原 泰弘、吉田 学、鎌田 俊英、牛島 洋史、植村 聖、近松 真之(常勤職員17名、他4名)

【研究 内 容】

IC(半導体集積回路)の設計・製造工程の複雑化・国際化や、リバースエンジニアリング技術の高度化に伴い、偽造 IC の流通が顕在化して深刻な問題となっている。IC の価値そのものに目をつけた偽造行為は IC ベンダ企業やユーザの金銭的損失をもたらし、2011年度の調査では被害額は1690億米ドル(約20兆円)に達すると報告された。また、現代において IC は重要インフラを支えるための必要不可欠な部品であり、粗悪な偽造 IC は国民の生命に関わる重大な被害をもたらす危険性がある。したがって、産業の利益と国民の生命・財産の保護のための偽造 IC の防止・検出技術の開発が急務である。

本研究では前述の問題を解決するため、セキュアシステム研究門、ナノエレクトロニクス研究部門およびフレキシブルエレクトロニクス研究センターが協力し、情報セキュリティ研究とデバイス研究を融合することで IC の偽造防止技術 Physically Unclonable Function (PUF) の研究を行う。それぞれの研究ユニットは、(1) PUF 構成・評価方式および利用技術開発、(2) 新型素子・物理設計技術による PUF 高性能化基礎研究、(3) PUF の低コスト製造と容易な利用を目指すプリンテッド PUF の基礎研究、を担当する。

今年度は、TSMC 65nm CMOS プロセスを用いて PUF の有効性を評価するための実験用 Test Element Group (TEG) チップを作製し、評価を行っている。また、新型素子「三次元ポリシリコンチャネル FinFET」



を用いた SRAM フルセル TEG を製造し、特性評価を行った。新型素子は良好な I-V 特性を示すことが示され、この成果は国際会議 VLSI-TSA への採択が決まった。さらに、印刷および蒸着によりリングオシレータの評価 TEG を作成し、有機半導体 PUF の性能評価を行った。昨年度に数十ボルトで動作したリングオシレータは、今年度の改良により2ボルト程度で発振することが確認され、大幅な性能向上が達成された。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】Physically Unclonable Function、(PUF)、偽造防止、ポリシリコン FinFET、ばらつきのレイアウト依存性、有機半導体プリント PUF

【研究題目】データベースの秘匿検索技術の開発

【研究代表者】花岡 悟一郎

(セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】花岡 悟一郎、伊藤 智、竇木 和夫、渡邊 創、古原 和邦、Nuttapong Attrapadung、辛 星漢、松田 隆宏、Zongyang Zhang、照屋 唯紀 (セキュアシステム研究部門)

(常勤職員8名、他2名)、

Paul Horton、瀬々 潤、清水 佳奈、縫田 光司、浅井 潔、津田 宏治、浜田 道昭 (ゲノム情報研究センター) (常勤職員4名 (内1名は兼務)、他3名)、中村 良介、小島 功、中村 章人、的野 晃整 (情報技術研究部門)

(常勤職員4名)

【研究内容】

科学技術の知識を集積したデータベース (DB) は、IT と他分野との融合が進む中で、急速にビジネス活用の機会を増大させている。しかし、ここにはジレンマが存在する。DB でビジネスをするためには、DB の内容を秘密にしておく必要があるが、その DB を使ってみようとする利用者は、自分の欲しいデータが記載されていることを確認しておきたい。試しの検索を許せば、利用者はそれだけで満足し、ビジネスが成立しない可能性がある。また、利用者の検索は、たとえば新機能物質の分子構造のような利用者の興味対象を露見することになり、DB の所有者に有利な情報を与えてしまいかねない。検索を秘密にするために DB 全体を利用者に渡すことは極めて高価であり、契約が成立しない。これらを解決し、科学技術成果の集積と DB ビジネスの健全な発展を期するためには、利用者が自分の検索対象を秘匿にしたままデータ検索を行う技術の実現が急務である。そのような DB の典型例に、創業において利用される化合物 DB がある。

この問題に対し、セキュアシステム研究部門、ゲノム

情報研究センター、情報技術研究部門は、一昨年度 (平成24年度) および昨年度 (平成25年度) 戦略予算研究により、化合物 DB に対するプライバシー保護検索技術の開発、安全性評価、および機能実証とデモ実演のための試験実装の作成を行ってきた。また、当該技術の化合物 DB に留まらない応用の可能性を模索し、さらに今後の共同研究や実用化に向けた潜在的連携先の開拓を行ってきた。具体的には、次の二つの特長的機能をもつデータ検索技術の研究開発を行ってきた：

(i) 利用者の検索内容を DB 側が一切知ることができない。

(ii) 利用者側は自分の検索内容と十分に関連するデータ項目の個数を知ることができるが、それ以外の情報は一切知ることができない。

本技術の実用化に向けた課題は、次の(1)~(3)となっている：

(1) 化合物 DB 秘匿検索技術、および範囲検索など対象を拡大した秘匿検索技術について、数学的安全性評価、速度向上およびユーザの実用的ニーズを考慮した機能拡張の実現

(2) 上記の設計方式の、上記連携先などでの実システム適用へ向けた技術的課題の検討

(3) 上記開発技術の実用化に向けた周辺技術整備、広報活動、連携・技術展開先獲得  
上記の目標に関し、本年度までに以下のような進捗状況となっている。

【課題(1)に対する進捗】

- ・範囲検索に対応した DB 秘匿検索技術の基本プロトコル設計と試験実装の作成を行い、処理時間などパフォーマンス計測を行った。一例として、16ビット値の3次元インデックスを持つデータ500件に対する秘匿範囲検索の実行時間が通常の PC 上で約31秒など、実用上想定される DB サイズで高速な検索が可能であることを明らかにした。

- ・上記秘匿範囲検索技術の今年度新たに開拓した連携先として、株式会社パスコが提供する衛星画像データ検索システムへの秘匿範囲検索技術の適用を目標に共同研究を開始した。現在、上記の適用に向けた技術的課題の洗い出しおよびそれに基づく検索プロトコルの改良、試験実装作成を行っている。

- ・上記の秘匿範囲検索技術について特許申請を行った。

【課題(2)に対する進捗】

- ・これまでに開発した化合物 DB 秘匿検索技術に関して、株式会社 RNAi が提供する化合物 DB 検索システムへの適用を念頭に置いた技術的検討を行った。現在、同社のシステムへの技術提供に向けた契約準備中である。

- ・東北大学東北メディカル・メガバンク機構との連携の下、同機構の提供するゲノム情報 DB に本研究で開発した DB 秘匿検索技術の試験実装を適用し、実環境を

想定した動作実験を行った。その結果を基に、実行速度やユーザ認証機能など実システムへの同技術の適用に向けた技術的課題の洗い出しを行った。

- 上記の技術的検討結果を基に、プロトコルの機能拡張と高速化のための設計改良を行い、またその結果を反映させる試験実装の改良を行った。

[課題(3)に対する進捗]

- 本研究で作成した試験実装を用いて、情報処理学会が主催し約400人が参加したコンピュータセキュリティに関する国内有数の学術会議コンピュータセキュリティシンポジウム2014 (CSS2014)において秘匿範囲検索技術のデモ実演を行い、優秀デモンストレーション賞を受賞した。また、フィンランド HIIT (Helsinki Institute for Information Technology) の Antti Honkela 教授らと共同応募した、JST (科学技術振興機構) 戦略的国際科学技術協力推進事業「日本 - フィンランド研究交流課題」の研究提案が採択され、Honkela 教授やフィンランド Aalto University の Kaisa Nyberg 教授らと今後の研究連携に向けた話し合いを行った。
- 本研究でこれまでに開発したスマートフォン電話帳の共通友人秘匿検索アプリケーションの一般向け公開を想定し、個人情報保護法をはじめ法律への対応上の注意点の整理を行った。また、秘匿検索技術およびその構成要素となる暗号技術の一般向け紹介を目的とする Android アプリの開発を開始し、現在までにプロトタイプ実装の作成を完了している。
- 前述の機能拡張方式の設計と安全性解析に必要となる基盤理論の整備を行った。特に、個人ゲノム情報の適切な保護に求められる安全性要件の検討とそれに応じた秘匿計算プロトコルの設計の研究をはじめ、多様なデータ形式に関する秘匿計算プロトコルの設計、暗号プロトコルの設計、より高機能かつ効率的な準同型暗号技術の開発に関する研究を行い、査読付国際会議での発表および論文投稿を行った。

[分 野 名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] 秘匿計算、ゼロ知識証明、データベース検索

[研究 題目] 高品質組み合わせテストの差分開発技術

[研究代表者] 大岩 寛 (セキュアシステム研究部門)

[研究担当者] 大岩 寛、北村 崇師、崔 銀惠、Artho Cyrille、山田 晃久、林 伸行 (常勤職員4名、他2名)

[研究 内容]

産業界も広く使われる検査手順設計手法である組み合わせテスト法を、既存ソフトウェア製品からの差分・派生開発においても効率的に適用可能にする技術の研究を行った。差分開発においては、少ない開発期間で効率よくソフトウェアを設計・実装することを目的としており、

テスト工程においてもできる限りの省力化が求められるが、既存のテストがどれだけ再利用できるか、どれだけの追加テストが必要になるかの見極めは難しく、品質保証の妨げとなっていた。本研究では、差分開発において、既存部分の開発で作成したテスト組み合わせを再利用しつつ、新規部分を含めた全体でのテスト組み合わせを最適化し、少ない追加テストで可能な限り高い不具合発見率を実現する、産総研独自のテスト自動設計ソフトウェアエンジンを開発した。更に、テスト設計の入力となる機能分類設計を、画面上で簡便なユーザインタフェースで設計できるような支援ソフトウェアを試作した。本支援ソフトウェアでは、画面上に木構造で機能分類を表示し、マウスを用いて編集することができ、機能間制約関係を2項関係や論理式で記述できるほか、機能の優先度など追加の拡張情報を自由に記述することができ、ソフトウェアエンジンの今後の機能拡張に柔軟に対応できるようにした。

[分 野 名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ソフトウェア工学、信頼性、テスト設計

[研究 題目] パスワードを用いた匿名認証/属性認証技術の国際標準化

[研究代表者] 古原 和邦 (セキュアシステム研究部門)

[研究担当者] 古原 和邦、辛 星漢 (常勤職員2名)

[研究 内容]

短いパスワードのみを使ってサーバ、クライアント間で相互に認証し、暗号鍵を共有する従来のプロトコル (例えば、IPsec や無線 LAN などの PSK : Pre-Shared Key 方式など) は、通信路を盗聴するかサーバやクライアントに一度接続するだけで、それ以降はサーバに接続することなく大量かつ並列にパスワードを試す攻撃 (オフライン全数探索) が可能となるという問題点があった。スマホ、タブレット端末、IoT 機器などでは長いパスワードの打ち込みは容易でないため、短いパスワードを使いつつオフライン全数探索を防ぐ仕組みが必要となる。我々は従来よりこの仕組みを効率よく実現する暗号学上の仕組みの研究を行ってきており、その応用方式を国際標準として提案し成立させることが本研究の目標となる。具体的には、ユーザを特定することなくそのユーザが特定のグループに属していることをパスワードのみを用いて実現する方式を ISO/IEC 20009-4 の SKI mechanism として提案し、今年度、WD (Working Draft) から CD (Committee Draft) に進ませることができた。また、短いパスワードのみを用いた相互認証鍵共有方式であり我々の提案方式である AugPAKE を ISO/IEC11770-4に含めるか否かを議論する SP (Study Period) の立ち上げにも成功した。

[分 野 名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] パスワード、認証、鍵共有、プライバシー、標準

〔研究題目〕ダイヤモンドライクカーボン膜の密着性  
評価の標準化

〔研究代表者〕大花 継頼  
(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕大花 継頼、間野 大樹  
(常勤職員2名)

〔研究内容〕

ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜は低摩擦・耐摩擦特性に優れた硬質炭素膜であり、広く産業界に適応が始まっている。しかしながら、膜内に残留応力を持ち、しばしば皮膜のはく離が問題になっているにもかかわらず、統一的な評価法は確立されていない。そこで、DLC 膜密着評価のための適切な評価法や評価条件について検討を行った。昨年度に引き続き、振動型摩擦摩耗試験機を用いて、ステップ的に荷重を変化させながら摺動試験を行い、皮膜のはく離状況について検討した。ドライ環境下では、摩耗粉の発生が皮膜のはく離に大きな影響を与えていることが推測されたので、摩耗痕の発生過程についてアコースティック・エミッション (AE) 法を用いて検討したところ、初期には摩耗痕の両端から AE の発生が観測され、往復動によってシビアな摩耗が起きていることが明らかとなった。さらに摩擦係数の変動に伴い、摩耗痕全域で AE の発生がみられ、摩耗粉の噛みこみが起きていることが AE 法によっても確認された。さらに、はく離荷重は摩耗粉の発生とその噛み込みが重要な因子であることから、はく離荷重のばらつきは必然的なものといえることが明らかとなった。そこで、摩耗粉が噛みこんだ場合をシビアなはく離、噛みこみがほとんど起きなかった場合をマイルドなはく離と定義し、摩耗痕の分類を試みた。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕トライボロジー、硬質炭素膜、はく離、標準化、評価法

〔研究題目〕パワーデバイス用セラミックス放熱基板の機械的特性試験方法の標準化

〔研究代表者〕宮崎 広行  
(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕宮崎 広行、吉澤 友一、大司 達樹、平尾 喜代司 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

本研究では、セラミックス放熱基板の機械特性として重要な「破壊靱性」と「破壊強度」を評価する手法の開発をする。どちらの測定法も、バルク材を対象とした評価手法は標準試験法が規格化されているが、現状では薄いセラミックス基板を測定することが困難であることから、薄いセラミックス基板に最適な試験法の検討を行った。

「破壊靱性」評価においては、薄板試験片の測定に有望である SEPB 試験法をもとに、薄板試験片において

も測定できるように開発した手法のラウンドロビン試験を行い、試験実施の容易性と再現性の検証を行った。また、作業がより容易な SEVNB 試験法についても検討し、ラウンドロビン試験による検証を行い、どちらの試験法でも、一般の研究機関において実施可能であり、再現性が得られることが明らかとなった。そこで、国際規格素案における種々の規定のバックデータとなる基礎データの整備を精力的に進めて素案の骨格を定め、国際的なラウンドロビン試験による再現性の検証を行った。また、国際規格素案を作成し、ISO の当該専門委員会 (ISO/TC206「ファインセラミックス」) へ提案した。

「破壊強度」評価においては、精度良く測定可能な最適試験法の検討を行い、現在主流の3点曲げ試験においては、エッジ破壊を低減する試験片加工法の開発が必要であることが明らかとなった。また、エッジ破壊が原理的に生じない2軸曲げの試験法の検討も併せて行う。各測定法につきセラミックス放熱基板の製品に固有の反りなどに影響されにくく、簡便かつ再現性があるかを実験的に検証する。最終的に国際規格素案を作成し、ISO の当該専門委員会 (ISO/TC206「ファインセラミックス」) へ提案する予定にある。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕セラミックス、放熱基板、機械特性、標準化、パワーデバイス、窒化ケイ素、強度、破壊靱性蛍光体膜

〔研究題目〕汎用の転倒・インシデント発生シーン検出ソフトウェア開発および転倒・インシデントシーンデータベース構築

〔研究代表者〕小林 吉之 (デジタルヒューマン工学研究センター)

〔研究担当者〕小林 吉之、坂無 英徳、野里 博和、高橋 栄一、保原 浩明、持丸 正明  
(常勤職員6名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、防犯カメラなどで撮影された映像から転倒やそのインシデント (以下転倒など) の発生シーンを収集したデータベースを構築するために、すでに特定条件の動画像から転倒などの発生シーンを検出できることが示されている「CHLAC 特徴量に基づく異常検出アルゴリズム ((独)産業技術総合研究所情報技術研究部門 (以下「産総研 ITRI」) が開発)」の運用方法や改良点について研究し、更に将来的な転倒シーンデータベースの立ち上げに繋げることである。

本年度はこれまでに開発した検出技術を手軽に使用できるようにするための「汎用転倒シーン検出エンジン制御ソフトウェア」を開発し、当該ソフトウェアを用いた検証実験を実施した。当該ソフトウェアは、異常検出アルゴリズムを GUI (Graphical User Interface) で直感的に用いることができ、任意に指定された動画について

アルゴリズムに基づいて処理を行い、結果を出力できるものである。

開発したソフトウェアについて、実験室内で撮影した模擬的な転倒（屈み込み）やつまずき（歩行中のスキップ）の動画を用いて検証実験を行った。検証実験に用いた動画は、進行方向に対して横から撮影できるように設置した614万画素のデジタルビデオカメラ（SOINY-PJ800）を用いて撮影した、申請者本人が実験室内を歩行している以下の15の動画とした：通常の歩行を撮影した動画9試行分（通常歩行）、歩行中に屈み込む動画3試行分（模擬転倒）、および歩行中にスキップする動画3試行分（模擬つまずき）。各シーンはそれぞれの対象者が1人で通路を右方向に歩いている状態のものとし、画面にフレームインする前からフレームアウト後までを約10秒のファイルとして切り出した。

今回の検証実験では、6試行分の通常歩行を学習に用い、残りの通常歩行3試行分、模擬転倒3試行分、模擬つまずき3試行分を検証に用いた。その結果、模擬転倒および模擬つまずきともに、通常歩行時よりも大きな異常度を示すことが確認された。ただしその傾向は各種パラメータの設定によって大きく変わることから、本研究の目的に最適な設定を今後検討する必要がある。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】歩行、人間計測、デジタルヒューマン、CHLAC、転倒

【研究題目】MOF/PCP ナノ粒子によるアンモニア管理技術の創製

【研究代表者】川本 徹（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】川本 徹、高橋 颯、中村 徹、Durga Parajuli、南 公隆、田中 寿、野田 恵子、杉山 泰、野口 裕未（常勤職員6名、他3名）

【研究内容】

本研究では、高密度に  $\text{NH}_3$  を吸着し、固体状態で安定に保管できる吸蔵材料の確立の基盤構築を行った。この実現により、エネルギー用途においては、取扱いが容易なエネルギーキャリアが実現でき、環境浄化・廃液処理の結果得られるアンモニアの再利用にも道が広がることが期待される。

これらの性能を実現できる材料として、多孔性配位高分子（MOF や PCP と呼ばれる）の一つである金属-ヘキサシアノ金属錯体 ( $\text{A}_x\text{M}[\text{M}'(\text{CN})_6]_{1-x} \cdot z\text{H}_2\text{O}$ , 別名プルシアンブルー型錯体、MHCF) に着目した。MHCF は  $\text{NH}_4^+$  を選択的に吸着する空隙サイトと、 $\text{NH}_3$  を吸着する配位サイトをその空隙ネットワーク中に有する。空隙サイトは加圧下では  $\text{NH}_3$  も吸蔵することを確認した。この両方の吸着サイトに  $\text{NH}_3$  を吸蔵した場合、原理的には、 $\text{AM}[\text{M}'(\text{CN})_6]_{0.5}$  の吸着容量は  $0.57 \text{ g}(\text{NH}_3)/\text{mL}$  となる。これは、エネルギー源としての水素を、圧縮水素

の6.4倍の密度で、固体状態で安全に貯蔵できることが期待される。

その他、以下の結果が得られた。 $\text{NH}_x$  を吸蔵する配位子サイトは結晶内の  $[\text{M}'(\text{CN})_6]$  欠陥を増加させることにより密度を上昇させることに成功した。 $\text{NH}_3$  水溶液に MHCF-NP を浸漬し、 $\text{NH}_3$  を吸着させたのち、 $200 \sim 250^\circ\text{C}$  程度での  $\text{NH}_3$  の脱離を確認できた。これらの結果により、プルシアンブルー型錯体はアンモニア吸着力を有し、実用化の可能性があることが確認できた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア、悪臭対策、エネルギーキャリア、多孔性配位高分子

【研究題目】看板ナノ材料を目指した原子薄膜研究シーズの育成

【研究代表者】清水 哲夫（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】清水 哲夫、宮脇 淳、藤井 俊治郎、久保 利隆、三宅 晃司、安藤 淳、三枝 栄子、森 貴洋、宮田 典幸、阿澄 玲子、島田 悟（常勤職員10名、他1名）

【研究内容】

低炭素社会を目指したウェアラブル・フレキシブル高速・大量情報処理端末などの実現に向け活発な開発が行われる中、これまでフラーレン、ナノチューブが大きな注目を集めてきた。これに続きグラフェンという原子層薄膜が驚異的な特徴を示すことが明らかにされて以来、グラフェンと類似の2次元層状構造を持つ遷移金属カルコゲナイドが、次世代機能性材料として世界的に注目されている。遷移金属とカルコゲンの組み合わせにより、絶縁体から半導体、金属、超伝導体までの電気伝導特性を実現することが可能で、グラフェンを含む多様な物質による積層原子薄膜フレキシブルデバイスへの応用が期待されている。たとえば、微細・極薄高移動度電子デバイス、フレキシブル高効率太陽電池・熱電変換材料、全固体二次電池等の革新的特性実現を目指して世界的に研究開発競争が急速に盛んになっている。

遷移金属カルコゲナイドの一つである二硫化モリブデン ( $\text{MoS}_2$ ) を用いた研究を契機に、本研究分野は活発になってきたが、不純物制御がなされていない天然鉱物を用いた研究が未だに多く、結晶高品質化が世界的に研究のボトルネックとなっている。そこで不純物制御された真性半導体の成長と評価・ドーピング効果による性能向上等を検討し、極限性能を達成させ、積層原子薄膜フレキシブルデバイス材料開発・実現の視点で差別化を図り、本材料の社会適応に向けた橋渡しの基礎研究を進める。そのために産総研にある複数ユニットの総合力を結集させ、早急に「原子薄膜材料・デバイス」を看板とするトップランナーになることを目指し、材料の構造、移動度、プラズマ加工、溶液処理による薄層化プロセスの

検討を行った。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 二次元層状物質、遷移金属ダイカルコゲナイド、フレキシブルデバイス、原子薄膜

〔研究題目〕 基盤技術の相互連携による革新的バリア素材開発のフィジビリティスタディ

〔研究代表者〕 依田 智 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 池上 敬一、依田 智、田澤 真人、吉村 和記、蛭名 武雄、石井 亮 (常勤職員6名)

〔研究内容〕

有用な物を漏洩させず、有害・不要な物を遮断する「バリア」機能により、省エネ・省資源、安全・安心を実現する「革新的バリア機能素材」を用いた製品の飛躍的な高性能化、高機能化のためには、透明性、柔軟性、耐熱性、高熱伝導率、防曇性、反射防止といった機能、物質・熱・光・応力といった外部刺激に対する応答性など、バリア機能と両立されるべき機能群との両立が求められる。このためには、『物質そのものが持つ性質』と『微細構造・界面の精密制御』の両立、高度化による、素材の高次機能発現を達成する必要がある。本研究ではコンパクト化学システム RC におけるガスバリア材料の研究、サステナブルマテリアル RI における調光材料の研究 (光バリア)、ナノシステム RI における断熱材料の研究 (熱バリア) など、「革新的バリア素材」技術を相互に連携させ、「革新的バリア機能素材」の性能の向上、多機能化等を実証することを目的とした。具体的には水素バリア膜とガスクロミック窓材の複合化、水素バリア膜による断熱材料の対流抑制、光バリアと熱バリアを導入した住宅の省エネルギー効果のシミュレーション等の検討を行い、それぞれにバリア機能と多機能の両立や、より優れた性能を発現する可能性が示唆された。これらの成果をもとに NEDO プロジェクトの提案を行い、採択された。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 バリア材料、水素バリア膜、断熱材、調光材料、窓材

〔研究題目〕 ナノ炭素材料界面物性の光制御—光応答性分散剤を用いた CNT 透明電極の作成および CNT のパターンニング—

〔研究代表者〕 松澤 洋子 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 松澤 洋子、木原 秀元、吉田 勝、斎藤 毅 (ナノチューブ応用研究センター) (常勤職員4名)

〔研究内容〕

各種のカーボンナノチューブ (CNT) は、ナノ炭素材料の一つとして、種々の産業応用が期待されている。

しかし、CNT は溶解性に乏しく、精製や分離、ならびにデバイス応用を目的とした材料への導入、複合化等において、CNT のハンドリングや加工技術の開発が求められている。このような社会的背景を鑑み、CNT の扱いを簡便化するための産総研独自の材料を開発してきた。その成果の1つとして、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) を安定に孤立分散し、かつ光に応答して分散性を精密に制御可能な光応答性分散剤を開発しプレスリリースを行った (「単層カーボンナノチューブの分散性を光で制御する新技術」2011年7月)。さらに、この機構を改良し、市販されている不純物を多く含む SWCNT を簡便に精製することの出来る技術として確立し、主な研究成果として発表した (「単層カーボンナノチューブを効率的に分散できる分散剤。光で簡単に外せて単層カーボンナノチューブ精製プロセスに応用可能」2014年5月)。また、本成果を産総研オープンラボ (2011年、2013年) やプリンタブルエレクトロニクス展 (2013年) 等の展示会において積極的に産業界へアピールしてきた。今後、企業へ技術移転し試作品作製のフェーズに移行するためには、これに続く分散液調製法や製膜法などを確立し、関連する知財権の確保が必須である。本年度は、SWCNT を含むナノ炭素材料の特性を最大限発現させることが可能なデバイス作製に向けた基盤の技術への貢献を目指し、ナノ炭素材料の新規界面特性制御技術を確立して権利化して産業化へと推進するための薄膜加工技術に特化した検討を行った。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ナノチューブ、有機電解質化合物、有機光化学、コロイド界面化学

〔研究題目〕 グラフェン系材料の電磁波対策分野への応用

〔研究代表者〕 長谷川 雅考

(ナノチューブ応用研究センター)

〔研究担当者〕 長谷川 雅考、石原 正統、山田 貴壽

(ナノチューブ応用研究センター)、

堀部 雅弘、飴谷 充隆、加藤 悠人

(計測標準研究部門)、中村 考志、

蛭名 武雄 (コンパクト化学システム研究センター)、南條 弘 (ナノテクノロジー・材料・製造分野企画室付)、

石川 純 (計測・計量標準分野企画室)、

渡辺 一寿 (イノベーション推進本部知的財産部) (常勤職員11名)

〔研究内容〕

電磁波利用が生活に浸透し「第4の社会インフラ」となっている。今後、不要電磁波対策の要求がさらに高まることから、電磁環境 (EMC) ・ノイズ対策関連市場の成長は著しい。グラフェンは、軽量でかつ電気伝導性および熱伝導性に優れることが従来謳われてきたが、それ

に加えて、物質レベルでの広範な電磁波特性の制御性が優れていることが最近分かってきた。グラフェンは安価な黒鉛から剥離分散した酸化グラフェンとして合成でき、コスト・性能共に可能性が高く、様々な周波数帯域に対応した電磁波吸収部材の開発に革新をもたらす材料となる。これにより、従来品と比較して革新的な薄さの電磁波吸収体を実現することを目標としている。

H26年度は、プラズマ CVD で作製したグラフェンによる電波遮蔽効果を向上し、目標である周波数2GHzで30 dBを実証した。ナノメートルの薄さと電磁波遮蔽特性を備えた稀有な材料として期待できる。またグラフェン-粘土複合膜では非常に高い電磁波遮蔽効果を達成したほか、シート・膜・複合材など、さまざまな形状による遮蔽材を実現し、各種用途への適用を検討した。さらに極薄グラフェン膜や粘土グラフェン複合膜に特化した測定系の整備と手法・評価方法の確立を行い、広範囲な周波数帯域での電磁波吸収・遮蔽特性の高信頼性評価技術を確立した。これらと並行して国際標準化への準備活動、および企業インタビューによるニーズの把握と連携の可能性を調査した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造・環境・エネルギー

【キーワード】 電磁波対策、グラフェン、粘土、測定技術

【研究題目】 放射線によるがん治療の副作用低減技術の開発

【研究代表者】 浅田 真弘（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 浅田 真弘、鈴木 理、岡田 知子、古川 功治、高橋 淳子  
（常勤職員5名、他4名）

【研究内容】

近年、放射線障害の予防・治療薬の必要性が広く認識されている。我々は、高線量放射線被ばくによる障害の予防・治療に向けた細胞増殖因子の利用を目指してきた。まず、繊維芽細胞増殖因子（FGF）群のなかで FGF1、FGF7、FGF10に、X線照射後のマウス腸管の生存クリプト数減少を抑制し、骨髄におけるアポトーシスマーカー出現を抑える効果を確認した。さらに、腸管の障害防止効果においては、これらの中で FGF1が優れていることを示した。さらに、FGF1の基本特性の多くを備えつつ、安定性の高いキメラ細胞増殖因子 FGFC について、放射線影響の防護に関する有効性を動物実験によって評価した。平成26年度は FGFC の放射線防護活性を複数の評価系で実証した。特に、放射線を被ばくした個体の免疫細胞集団の偏った増殖を FGFC が抑制する効果を詳細に検証した。また、FGFC を高品質の組換えタンパク質としての生産・精製する方法を確立し、前臨床試験の一環として実験動物を用いた急性毒性試験、亜急性毒性試験を実施した。これらの結果をもとに、放射線が

もたらす障害から生体を防護する医薬として FGFC を開発するための基盤を整備した。

また、FGFC を放射線防護剤として用いた際に、それが増殖因子であるが故にがん細胞の増殖を促進してしまうことが懸念されるが、そのような可能性はないことを、マウスのモデル系を用い複数のがんにおいて実証した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 放射線、障害防護、細胞増殖因子、がん細胞

【研究題目】 日印融合研究を核としたアジア持続的ライフイノベーション

【研究代表者】 ワダワ レヌー（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 近江谷 克裕、ワダワ レヌー、カウル スニル、大西 芳秋、戸井 基道、加藤 薫、落石 知世  
（常勤職員7名）

【研究内容】

産総研・インド DBT 間 MOU 協定をベースとして設立された DBT-AIST ジョイントラボ（DAILAB）の運営を通じてアジア地域との広い連携を可能とする集中研究機能、人材育成機能及び国内バイオ技術の普及機能を持った研究ハブの強化・拡充を目標とする。具体的には本ジョイントラボでは AIST と DBT の健康・医療分野における更なる研究協力の推進と人材育成を含めた研究者交流を実施、目標としてはがんをターゲットとした創薬スクリーニングと選択された候補物質の細胞内イメージングを利用した作用機序の解明を通じた創薬開発を目指す。さらに日本発・産総研発のバイオ技術のアジアでの普及、及びアジア連携に必要なバイオ技術の開発を行う。具体的には、1)産総研内の DAILAB においてインドのバイオソースより生理活性物質をスクリーニング、探索する。一方、探索された創薬候補物質についてはイメージング技術を活用し、生きた細胞内での分子間相互作用や動態を含めた機能解析を実施、最終的にはアジア連携に必要なバイオ技術を創出する2)産総研研究者を RCB 内の DAILAB に派遣し、インドのバイオソースより生理活性物質をスクリーニング、探索する。また、探索された創薬候補物質については動物個体を用いて薬効、毒性評価を実施する。さらにインド側では国内バイオ産業の機器、試薬を重点的に活用、その普及に努め、国内バイオ産業の先導的な役割を担う。3)AIST-DBT ジョイントシンポジウムを開催、学術交流を促進すると共に国内バイオ産業の製品の紹介、普及に貢献する。4)インド若手研究者を含めたアジア若手研究者のための最先端技術ワークショップを実施する。本ワークショップには国内イメージング関連企業ニコン、オリンパス、アトー社が参加、協力する。

〔分野名〕 ライフサイエンス  
 〔キーワード〕 イメージング、スクリーニング、国際連携

〔研究題目〕 ナノニードルによるゲノム編集技術の実用化

〔研究代表者〕 中村 史（バイオメディカル研究部門）  
 〔研究担当者〕 中村 史、長崎 晃、加藤 義雄、松本 大亮（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

現在のゲノム編集技術では、細胞内に導入する人工ヌクレアーゼの量をコントロールすることが困難であるため、目的遺伝子以外の箇所を書き換えてしまう「オフターゲット効果」が問題となっている。本研究では、細胞内の人工ヌクレアーゼ量を全反射顕微鏡でモニターしながら量的コントロールを行いつつ、ナノニードルを用いて細胞内に人工ヌクレアーゼを導入することによって安全なゲノム編集の至適条件を探る。ゲノム編集効率及び ZFN の導入効率を同時に定量化するため、ゲノム編集を確実に検出するための遺伝子座特定型 GFP レポーター細胞及び RFP を融合した ZFN タンパク質をそれぞれ構築した。タンパク質でラベルしたナノニードルの表面を観察するために全反射顕微鏡をもちいて斜光照明により検出を試みていたが、アレイ化されたナノニードルの先端部をより広視野で多検体検出する必要が生じた。そこで、より低倍の60倍 TIRFM レンズを新たに導入し観測条件の調整及び画像取得を行った。HIV 感染の補受容体である CCR5 を標的としたレポーター細胞を用いてナノニードルに吸着した ZFN 導入試験を行った結果、リポフェクションと同等程度で GFP 陽性細胞を構築できることが明らかとなった。タンパク質導入量はナノニードル表面への全吸着量の半分程度であり、約10万分子であった。

〔分野名〕 ライフサイエンス  
 〔キーワード〕 ゲノム編集、オフターゲット効果、ナノニードルアレイ、全反射顕微鏡

〔研究題目〕 液中試料の高分解能観察を可能とする変動電位透過観察ホルダと高感度検出ユニットの開発

〔研究代表者〕 小椋 俊彦（バイオメディカル研究部門）  
 〔研究担当者〕 小椋 俊彦（常勤職員1名）

〔研究内容〕

目標：

本提案は、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、水溶液中の生きた生物サンプル（細胞・ウイルス等）を電子線ダメージ無く高分解能・高コントラストで観察する液中観察ホルダと、電頭内に設置することにより、電位透過画像を高感度で取得する検出ユニットの実用化に関するものである。この開発を通して、特許の出願・取得

を積極的に行い、競争力の高い製品として社会へと供給することを目標とする。

研究計画：

変動電位透過観察技術は、電子線を試料ホルダの支持膜である窒化シリコン薄膜上に照射させ、この照射部位に生じた電位変化を、水溶液中のサンプルを透過し検出する。この時、検出信号は、水溶液の誘電率により変化するため、生物試料の誘電率が水に比べて著しく低いことにより、染色処理なしに高コントラストでの観察が可能となる。本開発予定のサンプルホルダは溶液中の試料を簡便に薄膜層に封入可能であり、かつ真空中の耐圧性能を備えた使い捨て型とする。この薄膜層の間隔は、観察する試料に合わせて、0.1~3 $\mu\text{m}$  で一定とする。二枚の薄膜を一定の間隔で保つためには、薄膜内にスペーサーを形成し、双方を固定化する必要がある。こうした構造は、半導体プロセスを用いて本プロジェクトで開発する。サンプルを透過した電位変化は、極めて微弱なため、高感度かつ SN 比の高い検出システムが必要となる。さらに、電頭内部に設置する必要があるため、出来るだけ小型化を行う。そのためには、小型で高感度かつ低ノイズのアンプを開発する。これらは、簡便に既存の SEM に取り付け可能なように、各社メーカーの SEM 用アタッチメントを開発する。

年度進捗状況：

溶液中の生物試料を簡便に観察するホルダの開発を行い、細胞やバクテリア、タンパク質複合体の観察を可能とした。さらに、高感度・低ノイズアンプの開発を進め、これまでの10倍の感度向上を達成した。これにより、より高コントラスト・高解像度の撮像が可能となった。

〔分野名〕 ライフサイエンス  
 〔キーワード〕 走査電子顕微鏡、生物試料、ナノバイオ、誘電率

〔研究題目〕 1型色覚および2型色覚の等歩度色覚尺度（色差）、色差式および均等色空間

〔研究代表者〕 坂本 隆（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 坂本 隆（常勤職員1名）

〔研究内容〕

標準規格としての障害者等配慮設計指針を考える上で、色覚異常を有する者（特に該当者が多い1型色覚と2型色覚）への配慮は欠かせない。例えば、日本人男性の多く（概ね20人に1人）が1型色覚か2型色覚である。にも拘わらず、視認性確保のための客観的評価法、および1型色覚と2型色覚が知覚する色の差異を表現する基準（色差）などは、標準化されていない。

そこで本研究では、1型色覚と2型色覚に配慮した視覚標識物設計に際して必要となる、色の差異を客観的数値として表現するための基準（色差）、計算式（色差式）、色差を定義可能な尺度系（均等色空間）の構築と検討、標準規格提案（JIS、CIE、ISO など）を目標とする。

平成26年度の進捗は以下の通りである。

国際照明委員会（CIE）の技術委員会 TC1-89で取りまとめが進められている「色覚障害者向け画像強調法（Enhancement of Images for Colour Defective Observers）」技術報告書については、TC1-89の各委員による執筆が計画通り進行しており、平成27年度にはドラフト版が完成予定である。この TC1-89の技術報告書に、1型色覚と2型色覚に配慮した色差、色差式、均等色空間に関する記述を含めることが、昨年（平成26年）の第8回 TC1-89会議（平成26年1月24日開催）において了承され、研究代表者（坂本）を中心に当該部分の執筆が進められている。

1型色覚と2型色覚に配慮した色差、色差式、均等色空間の活用については、平成25年4月、マレーシア（クアラルンプール）で開催された CIE の Division 会議において、「運送のための色覚要件に関する国際勧告 CIE143:2001（International Recommendations for Colour Vision Requirements for Transport）」の改定を審議する JTC を発足させること、および古荘雅生（神戸大学）が議長に、坂本隆（産業技術総合研究所）が副議長に、それぞれ就任することが内定した。この CIE143:2001改訂で、1型色覚と2型色覚に配慮した色差、色差式、均等色空間の活用が可能であると考えられるが、平成26年度は JTC の発足や活動がなく、CIE において改訂が進められるのか心配されたが、議長に内定した古荘（神戸大学）から TC メンバーを集めているとの報告があり、平成27年に英国（マンチェスター）で開催される CIE 大会で、何らかの報告がされるものと期待される。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 快適安全の標準化、障害者等配慮設計指針、視認性、色覚異常、色差、色空間

【研究題目】 レギュラトリーサイエンス拠点化にむけた調査研究

【研究代表者】 鎮西 清行（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 鎮西 清行、佐藤 洋（常勤職員2名）

【研究内容】

医療機器分野のイノベーションには、医学・工学・産業のネットワーク化、医療ニーズと事業性を合わせた事業化ニーズの発掘プロセスの確立と、臨床研究までの期間短縮の3つが必要である。この分野では、これら3つを進めるにあたって薬事制度などの理解をふくむレギュラトリーサイエンス（RS）が欠かせない。本研究は、医療機器分野のイノベーションを推進する「医療機器産業化ネットワーク」の構築を行い、その拠点となることを長期目標として、平成25年度には既存のシーズを活用した医療機関、企業、産総研等工学研究機関をネットワーク化する試みを行った。

その結果、昨年度体制構を築した筑波大旧病棟を活用した模擬病室で看護師等が実験参加できる環境を活用して、電子カルテと連携する輸液ポンプについてユーザビリティ検証を行った。看護師の経験により使いやすさについての評価は分かれたが、安全性を確保するための技術としてのニーズがあることは明確になった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 医薬品医療機器等法（薬事法）、サービス工学、医療機器ソフトウェア

【研究題目】 パロ癒し効果の科学的解明

【研究代表者】 柴田 崇徳（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 柴田 崇徳、小峰 秀彦、岩野 孝之、高野 千尋、川口 幸隆、Lu Cao  
（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
梶谷 勇（知能システム研究部門）  
（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

動物のように人と共存し、特に身体的な相互作用を通して、楽しみや安らぎの精神的効果を与え、人の心を豊かにすることを目的に、メンタルコミットロボット「パロ」の開発を行っている。動物の場合には、アレルギー、人畜感染症、噛み付き、引っかき事故、管理、衛生などの問題で、動物を飼うことができない人々や一般家庭・医療福祉施設などがある。メンタルコミットロボットは、動物と同様に、人々に様々な効用を与えようとしている。

これまでに、アンケート調査や医療福祉施設での長期実験などから、パロの効用に関して様々な評価を行い、定量的、定性的研究により実証してきた。一般家庭ではペットの代替として家族の一員に、医療福祉施設ではアニマルセラピーの代替として高齢者向け施設での生活の質を向上させ、認知症高齢者の脳機能や行動を改善している。

本年度は、アザラシ型ロボット・パロとふれあった時の生理学的、心理学的応答を調べることによって、パロによる心身への影響がどのようにして発生するのかを調べた。また、fMRI により、パロとのふれあいが人の脳機能に与える効果の検証について研究準備を進めた。さらに、国内外の社会制度にパロを組み込むための臨床評価データの蓄積等も医療福祉施設、研究機関、地方自治体等と連携して実施した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 パロ、癒やし効果、ロボット・セラピー、認知症

【研究題目】 インプラント用材料の電気化学的な評価方法の標準化

【研究代表者】 岡崎 義光（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）



ジー研究部門)

〔研究担当者〕 岡崎 義光、有田 千成子  
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

革新的な医療機器の製品化の早期実現のためには、開発費用の削減と薬事製造承認申請の加速化に有用な試験方法を開発ガイドライン、或いは公的な規格等として制定することが不可欠である。これらによって、インプラント産業の活性化、輸入依存度からの脱却が期待される。

薬事製造承認制度が日本と欧米とでは大きく異なるため、薬事法に準拠し、開発費用の削減と薬事製造承認申請の加速化のためには、生物学的安全性試験の代替え、或いは省略につながる感度の高い工学的試験方法の開発ガイドライン、或いは公的規格等を制定することが求められている。具体的には、ISO 16428に引用されているJIS T 0302「金属系生体材料のアノード分極試験による耐食性評価方法」を参考に、簡便で高精度な新たな試験方法として交流インピーダンス試験方法を加えることを検討し、ISO の電気化学的な試験溶液等を踏まえたJIS等の規格案を作成するとともに、規格化に必要な技術開発、生物学的な安全性の基準データ等の薬事製造承認申請に有用なデータを取得し、解説等に記載して取得データの活用を図る。

平成26年度の成果としては、測定条件、最適な測定周波数範囲の検討、解析方法等について最適な条件を確立した。また、膜抵抗と静電容量に対する材料組成および皮膜厚さの影響等に関する基礎式の妥当性を検証した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 整形インプラント、生物学的安全性の評価、動物代替試験

〔研究題目〕 映画等映像コンテンツのバリアフリー化に向けた補助字幕設計手法の標準化

〔研究代表者〕 大山 潤爾 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 大山 潤爾、平出 英津子、小林 貴子  
(常勤職員1名、他2名)

〔研究内容〕

音や声を聞き取りにくい利用者のために、ニュースや映画などの映像において、母国語のセリフや効果音を母国語の字幕で表示することを、“補助字幕”と言う。現代においては、緊急災害時から日常生活まで、あらゆる場面で映像から情報を得る機会が多く、日本を含む世界の先進国では、映像のバリアフリー化に向けた補助字幕対応が急がれている。日本では、聴覚障害者と高齢の軽度難聴者などを合わせると、600万人以上が音や声が聞こえにくい状況にある。更に、認知機能の低下による聞き取りにくさも考慮すると、補助字幕による情報保障は2000万人以上に有効であると見込まれる。

本研究は、補助字幕の必要十分な品質を確保するため

に、わかりやすい字幕設計の客観的根拠となるデータを取得し、国際規格として提案することを目的とする。具体的には、映像と字幕に対する利用者の視覚認知についての実験心理学的研究から、適切な字幕の設計条件を調べる。また、現状の映像や字幕の設計と、利用者の理解や印象を調べ、日本の現状の字幕環境を踏まえて、映像や字幕の製作会社とともに実現可能な設計標準を作成し、日本から世界に提案する。

今年度は、世界6カ国の言語について字幕の国際比較調査を行った。また、健聴者において字幕が映像鑑賞や映像内容理解に及ぼす影響を調べた。研究結果は学会や研究会で発表し、これらの知見を元に、各種メディアで、映像のバリアフリー化の普及に向けた現状などを広く紹介した。また、得られた知見を元に国際補助字幕規格草案を作成し、ISO/IEC JTC 1国際規格委員会にて、日本からわかりやすい字幕を作成するためのガイドラインの国際規格を提案した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 視認性、映像、注意、認知、記憶、バリアフリー、高齢者対応、障害者対応、情報保障

〔研究題目〕 光学的応力イメージング技術の標準化

〔研究代表者〕 兵藤 行志 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 兵藤 行志、徐 超男 (生産計測技術研究センター) (常勤職員2名、他3名)

〔研究内容〕

光学的な応力イメージング技術である熱弾性応力測定法や応力発光法は、実際の測定対象物の表面力学状態を、非接触で、もれ点なく計測することができる利点を有する。昨今の撮像素子の技術的進展、産総研(徐)における応力発光材料創成とも相まって、その応用範囲は製造業や建築・土木分野等々拡大している。しかしながら、熱弾性応力測定法(試験方法)はJISやISOが未だ整備されておらず、応力発光法は国内外で、用語規格すら制定されていないのが実情である。

よって、当該標準基盤研究では、熱弾性応力測定法や応力発光法の技術的な有効性を比較・検証しつつ、関連学協会との連携のもと、国内・外の標準化を推進することを目的とする。

平成26年度は次の内容を実施した。

(1) 熱弾性応力測定法

1) 標準試験片における適用・試験条件の精査

材料の赤外域における光学特性を計測・精査し、可能な適用方法を検討した。具体的には、最近応用が進んでいる高分子材料も含め、その光学特性(吸収係数)を標準試験片により分光計測し、選択すべき計測波長、試験条件を検討した。

その結果、短波長カメラ及び長波長カメラの検出波

長域である3-5  $\mu\text{m}$  及び8-12  $\mu\text{m}$  において、吸収係数が低い（赤外光を透過しやすい）材料を同定し、その分光吸収特性を確認できた。当該手法の規格化においては、これらの光学特性を有する材料を考慮に入れての検討、規定が不可欠となる。

## (2) 応力発光法

### 1) 高機能応力発光体の試験特性評価

将来的な試験方法の標準化を視野に入れて、高機能（高輝度、波長選択）応力発光体の試験特性評価を進めた。具体的には、ミクロな構造評価、発光特性評価（波長、残光、応力分解能等）を行い、非破壊試験における適用範囲を検討した。

その結果、短波長青色応力発光体（400-500 nm）、長波長の赤色応力発光体（600-700 nm）、緑色応力発光体（500-600 nm）の中から、発光強度の高い材料を選出し、これら材料の規定が不可欠となることを確認した。また、人間の視感度の高い緑色応力発光体について、高輝度を示す材料を同定した。当該標準化検討において、応力発光スペクトル、応力分解能、検査の基材も含めて、今後規格化の対象の検討を継続する必要がある。

### 2) 用語の標準化に向けた検討

標準化すべき用語の選択とその定義に関して考察すべく、規格原案委員会の構成員を検討した。その結果、製造、使用者、中立等からの内諾を得、基本的な用語の選択を開始した。

【分野名】 ライフサイエンス、計測・計量標準

【キーワード】 力学、応力、赤外線サーモグラフィ試験、応力発光、非破壊試験、JIS、ISO

【研究題目】 アクティブ・バックプレーンの全印刷製造プラットフォーム

【研究代表者】 長谷川 達生（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 長谷川 達生、牛島 洋史、鎌田 俊英、山田 寿一、峯廻 洋美、堤 潤也、野村 健一、日下 靖之、山本 典孝、福原 克郎、塙 優子、松岡 悟志、小倉 晋太郎、藤田 真理子（常勤職員9名、他5名）

#### 【研究内容】

本研究は、シート状電子デバイスの構成に不可欠となる大面積・フレキシブルなアクティブ・バックプレーンの全印刷製造を目標に、高均質な有機半導体薄膜を製造する半導体印刷技術と、高精細な金属電極配線を製造する導電体印刷技術に関わる産総研の独自技術を基盤に、これらを統合する全印刷製造プラットフォームを開発する。本年度は、前年度までに開発してきた半導体・導電体・誘電体の各印刷技術と精密位置合わせ等の各種要素技術の選択と集中を進め、目標達成に向けた研究開発を

加速させた。特に室温付近で高精細（最小線幅0.8 $\mu\text{m}$ ）な電極配線パターンの印刷が可能な光反応性表面ナノメタル印刷法（SuPR-NaP 法）を本研究のベース技術に位置づけ、ゲート電極パターン/ゲート絶縁層/ソース・ドレイン電極パターンの各層を積層させたアクティブ・バックプレーンのベースプレート製造技術を確立した。これにより解像度200ppi のベースプレートの試作に成功するとともに、これを1000ppi まで高解像度化できることを確認した。上記に電極の表面化学修飾によるキャリア注入高効率化技術と、各種半導体印刷技術を組み合わせることにより、全印刷アクティブ・バックプレーンを得た。さらにその動作確認とバックプレーン上の数百万個に及ぶ素子の性能分布を評価するため、半導体チャンネルの駆動状態による光透過/反射率の微小変化を捉え、素子の性能分布をイメージ化するゲート変調イメージング（GMI）法を新たに開発した。これらをもとに、全印刷アクティブ・バックプレーンの性能分布評価を進めた。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 プリンテッドエレクトロニクス、アクティブ・バックプレーン、薄膜トランジスタ、インクジェット法、マイクロコンタクト印刷、有機半導体、金属ナノインク

【研究題目】 伸縮自在なセンシングデバイスの開発

【研究代表者】 植村 聖（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 植村 聖、吉田 学、渡邊 雄一、野村 健一、延島 大樹、永見 武司、長久保 晶彦、小林 匠、加賀美 聡、小林 吉之、多田 充徳、宮田 なつき、阿澄 玲子、島田 悟、KIM YEJI、三田 直樹、金井 豊、岡崎 智鶴子（常勤職員14名、他4名）

#### 【研究内容】

健康で安全な生活の実現を目指し、カメラのようなプライバシーの侵害なしに要介護者や入院患者を見守ることができるベッドサイズの圧力センサーの開発を行ってきた。圧力センサーは体の動きを直接検出可能であることから、人の細かな動きを検出するために圧力分布の分解能を約1cm 角とし、約100×200個の圧力センサーアレイを全印刷プロセスで作製し、離床、転倒等の異常検出の実証実験を進めている。

本プロジェクトではシート型センサーより柔軟で伸縮性のあるセンサーの開発とその実地試験を最終目標としている。それを実現するために最も重要な技術開発は低抵抗で伸縮時にその抵抗の変化が少ないセンサー電極と引き出し配線の形成である。その伸縮自在な引き出し配線として導電性の繊維をバネ状に形成することで、3倍

に伸長した際の抵抗値変化が20%以下に収まるものを実現した。さらに導電性の短繊維を一方向に配列させたパターンニング電極を伸縮自在なセンサー電極として用い、引き出し配線と組み合わせることでシート状の伸縮自在な圧力センサーシートの作製を実現した。このセンサーは伸縮や折り曲げ、さらには強い荷重にも耐えることができることから、靴のインソールに設置し、運動や歩行時の体重の動きやバランスを計測して転倒防止や運動解析を行えるセンサーとして仕上げることを目的とし、所内のデバイス開発を担当するユニットと情報処理の開発を担当するユニットで連携して実施している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】圧力センサー、見守りセンサー、フレキシブルデバイス、ストレッチャブルデバイス、印刷デバイス

【研究題目】プリンテッドエレクトロニクス技術の標準化に向けた計測・評価技術

【研究代表者】山田 寿一（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】山田 寿一、徳久 英雄、吉田 学、植村 聖、星野 聡、末森 浩司、小笹 健仁、白川 直樹、山本 典孝、福田 伸子、安部 浩司、野村 健一、所 和彦、堤 潤也、日下 靖之（常勤職員15名）

【研究内容】

目標：

- ◆プリンテッドエレクトロニクスに関する国際標準において、認証機能を海外機関に主導されることによる国内産業への弊害が無いよう、我が国での認証機能実現のための評価対応体制の構築を目指す。
- ◆プリンテッドエレクトロニクスにおける材料、デバイスの国際標準において、我が国の技術優位性を発現させるための差異化点を評価する信頼性評価技術の確立を目指す。

研究計画：

- (1) 認証機能実現のための評価体制構築に向けた、材料基本性能評価設備の整備ならびにそれをを用いた評価データベースの構築を目指した指針作成を目指す。
- (2) 上記印刷形成単体パターンおよびデバイスの基本電気物性に対する標準寿命・信頼性評価技術を確立し、標準評価法として提案することを目指す。
- (3) 標準策定に関する業界との連携を強化するため、プリンテッドエレクトロニクス国際標準の受託団体である JEITA との連携を図り、JEITA 規格ならびに国際標準に材料、信頼性評価にかかる提案を行う。

年度進捗状況：

1. インク材料と基板に関するデータベース維持拡大前年度に引き続き、種々のインク材料と基板に関する印

刷塗布性能評価及び、粘度評価等の印刷特性以外の情報を含めてデータベースに追加し、信頼性の向上を目指している。このデータベースは、プリンテッドエレクトロニクスにおける国際標準策定に協力する際の前提条件となるだけでなく、産総研のみでなく国内の技術動向を把握することにつながる。

本データベースは、持ち込みインク等を対象としているため、単機能としての評価としてだけでなく、技術スクリーニングサービスとして技術アドバイスをを行うことによって公的機関の役割を果たすことも視野に入れており、今後もデータ蓄積を継続する。

2. プリンテッドエレクトロニクスにおける標準策定活動コンソーシアムを通じた各種印刷用インク材料に関する情報交換だけでなく、認証業務への発展を目指し、標準委員会において標準策定の活動への協力を昨年度に引き続き、オブザーバー参加という形で行った。2つの JEITA 案が NP 提案（基材およびインク）として出され、当初の予定より早く投票用委員会原案（CDV）まで、進捗している。早ければ2015年9月に TC119の最初の国際標準（IS）となる見込みである。

3. 信頼性評価技術の開発

材料性能の優位性を発揮するポイントは材料寿命、信頼性にある。この優位性を保ち、技術レベルのボーダーを導入していくための評価技術として、標準信頼性評価技術の確立・整備を行った。今年度は、微視的材料評価技術として、電気的励起電荷を光学的に検出する装置を組み上げ、有機 TFT アレイの一括検査技術としてゲート変調（GM）イメージング技術の開発に取り組み、TFT アレイの動作中の電気的励起電荷のイメージを取得することに成功した。本技術は、TFT アレイの配線・半導体欠陥や素子特性のばらつき評価の迅速化に極めて有効であり、印刷性評価技術としての確立を目指し開発を継続している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】国際標準、標準策定、認証機能、信頼性評価、JEITA 規格、印刷、印刷評価データベース、インク材料、プリンテッドエレクトロニクス、フレキシブルエレクトロニクス

【研究題目】印刷技術によるマイクロ波・ミリ波回路の革新的製造方法の技術検討

【研究代表者】吉田 学（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】吉田 学、小笹 健仁（常勤職員2名）

【研究内容】

現行のマイクロ波・ミリ波用のデバイス校正用の標準基板（ISS）の作製にはフォトリソグラフィやレーザートリミングプロセスなどの複雑な製造プロセスが用いら

れている。ISS を印刷製造プロセスを用いて簡便に作成できれば、工程数減少、低価格化が可能となり産業的なメリットが大きい。故に、本研究開発では印刷プロセスにより作製したマイクロ波・ミリ波用パターンの特性を評価し、これらのような高周波デバイスに対し印刷製造プロセスが適応可能かどうかを検討する。

平成26年度は、高精細スクリーン印刷を用いて、Agペーストをパターンニングし、ミリ波帯までの周波数特性を現行のISS基板と比較した。比較的高温でAgペーストを焼成することにより、現行のISS基板と同等またはそれ以上の特性が得られることが明らかとなった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス、計測・計量標準

【キーワード】マイクロ波・ミリ波デバイスプリンテッドエレクトロニクス

【研究題目】ICの偽造防止技術の開発

【研究代表者】吉田 学（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】植村 聖、吉田 学（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

印刷技術による回路の物理特性を PUF（Physical Unclonable Function）に応用する手法を研究するとともに、PUFの基本回路を印刷技術によって実現するプリンテッド PUF を開発し、将来のプリンテッド RFID の実現に道筋をつける。

平成26年度は、P型有機半導体とN型有機半導体を用いた CMOS インバータを基本とした3段リングオシレータを作製し、発振周波数のばらつきが1.2kHz～1.7kHzの間に分布することを明らかにした。これにより、有機半導体を用いた PUF の実現可能性を示した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス分野、環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】プリンテッドエレクトロニクス、印刷金属配線、RFID タグ、有機エレクトロニクス

【研究題目】新基幹材料としての機能性配位高分子の研究

【研究代表者】徐 強（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】徐 強（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、高効率・高性能で付加価値の高いエネルギー貯蔵・変換デバイス（水素製造、スーパーキャパシタ、二次電池など）等の基幹材料としての配位高分子（MOF）の開発と利用を目的とし、これまで産総研で見出された技術シーズの応用展開を目指す。

今年度は、二鋳型法（Double Template Method）を

開発し、マイクロ・メソ孔を合わせ持つ階層型多孔質炭素材料を合成した。第1の鋳型・前駆体である多孔質 Al 配位高分子の細孔に第2の鋳型である金属（Cu<sup>2+</sup>）イオンを導入し、アルゴン雰囲気下で炭化処理を行うことにより、マイクロ・メソ孔を併せ持つ階層型多孔質炭素材料を形成した。第1の鋳型・前駆体である配位高分子の炭化により、炭素材料において主にマイクロ孔が形成される一方、第2の鋳型である金属 Cu<sup>2+</sup>イオンは、配位高分子から炭素への変換過程において、配位高分子の分解生成物である酸化アルミニウム（Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）とともに、粒径が数十 nm のナノ粒子を形成し、反応後の酸処理により、メソ孔を形成する。このように合成したマイクロ孔とメソ孔を合わせもつ多孔質炭素材料を電極材料として用いるスーパーキャパシターは、高い電流密度において極めて高い容量を示した。このような多孔質炭素材料におけるメソ孔の存在は、高い電流密度におけるイオンの高速輸送に寄与し、エネルギー貯蔵・輸送の効率を向上させることができることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エネルギー貯蔵

【研究題目】Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>負極を用いたリチウム二次電池のナトリウム置換による低コスト・省レアメタル化研究開発

【研究代表者】片岡 理樹（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】片岡 理樹、清林 哲（常勤職員2名）

【研究内容】

豊富なナトリウムを電荷担体として用いるナトリウム二次電池は、リチウム二次電池と比べると資源的制約が低減されるため、電力貯蔵用電源など大型用電源としての利用が期待されている。その実現のためには安価で資源豊富な、ナトリウム二次電池正極材料が求められている。我々は、特に安価な鉄を利用し、レアメタルを一切含まない α-NaFeO<sub>2</sub>を Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>と組み合わせた場合、従来の Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>を負極に用いたリチウム二次電池の一つである「SCiB™」と同等の電圧を維持でき、目標達成に有望であることを見いだしている。しかし、実用化には α-NaFeO<sub>2</sub>の更なる高容量化とサイクル寿命特性の改善が課題となっている。

そこで本研究では、充電時の構造安定性が Fe よりも高い異種元素で一部置換することで、Fe の特徴を最大に生かしつつ、α-NaFeO<sub>2</sub>の構造が安定化された高性能材料の開発を試みた。Fe の30 at.%を Mn および Ni で置換した Na(Fe<sub>0.7</sub>Mn<sub>0.15</sub>Ni<sub>0.15</sub>)O<sub>2</sub>が、α-NaFeO<sub>2</sub>と同程度のサイクル特性を維持しつつ、1.5倍の高容量化が可能であることがわかった。また、in situ XRDにより結晶構造変化を調査した結果、α-NaFeO<sub>2</sub>では充電の過程で元の層状構造に歪が生じ、結晶構造の変化が確認されたのに対し、Fe の一部を元素置換すると結晶構造変化

が確認されなかったことから、元の層状構造の安定化が高容量化に有効であることがわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナトリウム二次電池、省レアメタル、鉄系酸化物

【研究題目】宇宙機用高エネルギー密度電池の開発

【研究代表者】小林 弘典（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】小林 弘典、鹿野 昌弘、齋藤 喜康（常勤職員3名）

【研究内容】

宇宙機では日が当たらない時間帯の電力維持用にリチウムイオン二次電池（LIB）が適用されてきている。実用に際し、10年以上に及ぶ実時間での長期耐久性試験による寿命の確証が必要とされてきたため、旧世代のLIBが現在も採用されており、現在のモバイル用途のLIBと比較してエネルギー密度が劣っている。一方、電池のエネルギー密度の向上は軽量化に繋がることから、宇宙機の軽量化に対するニーズの視点において重要である。本研究開発では200Wh/kg級以上の宇宙機用高エネルギー密度LIBの開発を短期間で実施することを目標として実施した。現在、モバイル用途に採用されている国内外製の18650型円筒電池では、従来のコバルト酸リチウムを用いた電池においても高電圧領域利用による容量増大により、他の正極材料を用いた電池系とほぼ同等の高エネルギー密度を示すことが確認された。

今年度は、より高エネルギー密度の電池を実現するため、次世代大容量負極材料候補であるシリコン系材料についてスクリーニングを行い、電極材料としての初期性能を把握した。複数のシリコン系負極材料について、電極作製の活物質、導電助剤とバインダーの種類や配合比等の条件について検討を実施したところ、酸化シリコン負極材料において、活物質重量当たりの初期放電容量が約200mAh/gを示す負極電極を作製することができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】宇宙機用リチウムイオン電池、寿命評価試験、シリコン系負極

【研究題目】水素等の輸送貯蔵における安全ガイドラインの提案

【研究代表者】和田 有司（安全科学研究部門）

【研究担当者】和田 有司、恒見 清孝、中山 良男、吉田 喜久雄、小野 恭子、佐分利 禎、牧野 良次、久保田 士郎、椎名 拓海、高橋 明文、松木 亮、松村 知治、杉山 勇太（常勤職員12名、他1名）

【研究内容】

本研究では、水素ステーションの社会受容性を向上させるために、水素ステーションのリスクを説明する際に

必要な、万が一事故が起きたらどういう被害があるかを、これまでの漏洩口径を限定した被害ではなく、容器破損や配管破断等の様々な条件を想定して、被害を数値シミュレーションによって予測するとともに、それらの被害予測に対してどういう対策によって、どの程度リスクが低減されているかを明確に示す先進的なリスク評価手法の開発を目指す。加えて、アンモニアの燃焼爆発特性を明らかにし、火災、爆発被害を予測するためのデータを取得するとともに、アンモニアやメチルシクロヘキサン（MCH）漏洩時の周辺住民の暴露解析および有害性評価を行う。

また、水素に関する社会受容性調査については、まず、水素ステーション設置に関して、導入シナリオを複数設定する。次に、水素ステーション導入シナリオによる大気汚染物質と二酸化炭素の排出低減効果の定量的な評価をシナリオごとに行い、地域および地球環境の持続性の側面から、ヒト健康リスクと温暖化リスクの評価を行う。その上で、水素に関するリスクと便益の定量的評価結果を提供した社会受容性調査を実施して、過大視されやすいリスクイメージを変化させ、水素ステーションの安全と安心に関するリスクコミュニケーションのあり方を検討する。

本年度は、昨年度想定した開口径や漏えい量でパターン化した事故シナリオについて、特に水素蓄圧器と水素ディスペンサーからの水素漏えいを大学との研究連携によりシミュレーション手法の開発を行い、数値シミュレーションの妥当性を検証した。また、リスク定量化のために必要な漏洩頻度を導出するための国内事故情報の精査や水素取扱施設の基数調査等を行った。

安全文化評価に関しては、水素取扱施設に固有の安全文化面のリスク要因を抽出するために文献調査ならびに現地ヒアリング調査を行った。それらの結果を昨年度のCNGスタンドの安全文化評価結果と合わせて、水素ステーションにおける「保安管理ガイドライン」を作成した。

また、同一試験環境・条件下で他のエネルギーキャリアとの燃焼特性の違いを比較するため、アンモニアの燃焼爆発特性実験を安全に実施する実験環境の整備を進めた。

東京23区、川崎市、横浜市およびつくば市内の仮想水素ステーションでのMCHの漏洩時の急性暴露リスクの評価を行った。その際、暴露濃度の時間変化を推定できる急性影響評価ツールを開発した。MCHの急性毒性基準値については、非常に少ない既存情報から暫定的に設定した。

リスクの定量化に関して、質調整生存年数によるリスクの定量化に向け、熱傷、鼓膜破裂、および肺損傷の「生活の質」を測定するためのアンケート調査を実施した。

社会受容性調査に関しては、既に構築されている水素

ステーションのイメージにもとづく予備調査結果について、リスク認知の特徴の整理と解析を進め、水素ステーションに関する恐ろしさ因子と未知因子を性別等の属性ごとに定量した。リスクコミュニケーション手法に関する既存ガイドラインを調査し、データベース化した。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 水素ステーション、リスク評価、被害予測、アンモニア、暴露解析、有害性評価、社会受容性、リスクコミュニケーション、リスクイメージ、大気汚染、二酸化炭素排出

【研究 題目】 ナノリスク～繊維仮説への挑戦～

【研究代表者】 本田 一匡（安全科学研究部門）

【研究担当者】 本田 一匡、江馬 眞、阿部 修治、佐々木 毅、片浦 弘道、田中 丈士、藤井 俊治郎、平野 篤、藤田 克英、兼松 渉、小野 泰蔵、太田 一徳、早川 由夫、山本 和弘、山脇 浩、湯村 守雄、斎藤 毅  
（常勤職員14名、他3名）

【研究 内容】

ナノ材料のリスク評価における最大の障壁である繊維病原性仮説を検証するため、①繊維特性を保存した状態で単層カーボンナノチューブ（SWCNT）を分散させる技術の開発、②長繊維 SWCNT 分散液を用いた有害性試験による生体影響の検証、③ナノ材料の包括的なリスク管理のあり方の検討、を行った。①及び③は25年度までに終了した。②では、①において開発した天然 DNA を分散剤とする方法を用いて作製した、長さ10μm 以上の長繊維 SWCNT を高含有率で含む分散液を気管内投与した24ヶ月有害性試験を実施し、3月に終了した。現在、病理試験が委託試験機関において行われている。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノテクノロジー、ナノ材料、カーボンナノチューブ、有害性評価、繊維病原性仮説、分散剤

【研究 題目】 花火に関する国連勧告試験法の改良および ISO 化への寄与

【研究代表者】 薄葉 州（安全科学研究部門）

【研究担当者】 薄葉 州、松永 猛裕、秋吉 美也子、岡田 賢（常勤職員4名）

【研究 内容】

花火（煙火製品）の危険性分類において、煙火に含まれる火薬が爆発力の強い閃光組成物に該当するか否かは重要な要因である。しかしその判定のための国連勧告試験法（HSL 試験）は再現性に問題があり、日本の煙火業界の国際化を進める上で、HSL 試験の信憑性が疑問

視されている。本研究は、米国から提案された US 試験と現行の HSL 試験の比較試験を種々の煙火組成物に対して行い、US 試験が HSL 試験の代替として国連勧告試験法に採用されるよう、国連危険物輸送専門家小委員会（TDG）に提案を行うこと、及びその提案結果をもとに日本工業規格と国際標準を作成することを目的とする。平成26年度は、

- （1）US 式試験法と HSL 試験法の比較データを取得・解析し、両者の判定基準の検討結果を国連非公式提案文書として TDG に提出した。
- （2）US 式と HSL 式試験法の相違点を科学的に把握するため、煙火組成物の燃焼のスケール効果の研究を東京大学と共同で実施した。
- （3）英国 HSE から提案された HSL 試験の改良案に関し、日（AIST）、英（HSE）及び米（DOT）3者でラウンドロビン試験を実施した。
- （4）TDG 議長からの要請を受け、US 試験法に関する正式提案文書を作成し、平成26年12月開催の TDG に提出した。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 危険物、爆発性物質、煙火、花火、国連勧告、危険物輸送、危険性分類、火薬類、標準

【研究 題目】 福島における放射性物質汚染のリスク管理のあり方に関する研究

【研究代表者】 内藤 航（安全科学研究部門）

【研究担当者】 内藤 航、黒澤 忠弘、小野 恭子、保高 徹生、上坂 元紀、山田 千恵  
（常勤職員4名、他2名）

【研究 内容】

現在、福島県の除染対象地域では、一律の面的な除染だけでなく、社会的・経済的に合理性の高い放射性物質の適正なリスク管理・対策、さらには各地域の実情にあわせた除染や放射線被ばく管理・対策が求められている。本研究では、地域の実情にあわせた今後の放射線防護対策や除染廃棄物の合理的な管理方法に関する意思決定の基礎となるデータ・情報・技術を提案することを目的とする。個人被ばく線量の評価研究では、福島県の地元住民150人以上を対象に、個人線量計（D-シャトル）を用いた個人被ばくの実態調査を実施し、被ばく線量の高くなる要因や空間線量との関係を明らかにし、利用可能な情報に応じて将来の被ばく線量の予測を可能にする外部被ばく線量推定ツールのプロトタイプを作成した。高被ばく線量地域においてガンマ線スペクトロメーターを用いて汚染域の方向・距離推定手法のための基礎データを取得した。除染廃棄物の減容化・保管・管理オプションの評価では、不燃物の減容化オプション評価モデルのプロトタイプモデルを構築した。さらに、アンケートにより被ばく線量と帰還意志の関係を定量化し、放射線に特有

のリスク認知パターンを解析し、放射線被ばくを避けるための緊急避難によるリスク増減を定量化した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 福島、放射性物質、被ばく線量、リスク、除染廃棄物

〔研究題目〕 実用化スケールでの利用を想定した将来技術のLCA評価手法の開発

〔研究代表者〕 河尻 耕太郎（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 河尻 耕太郎、田原 聖隆、畠 賢治、今 喜裕（常勤職員4名）

〔研究内容〕

近年、大学、公的研究機関、民間企業等で、研究開発段階の将来技術の環境負荷削減効果を評価し、既存技術と技術的な優位性を比較したいという要望は高い。しかしながら、研究開発段階では製造スケールが小さく、プロセスの効率が低いため、実用化スケールで利用されている既存技術とその環境負荷を直接比較することは難しい。そこで、本研究では、実用化スケールで用いられる状況を想定して、研究開発段階の将来技術が有する環境負荷削減効果をライフサイクル全体で評価する手法を開発することを目的とする。

本年度は、カーボンナノチューブのスーパーグロース合成法と、過酸化水素を用いた酸化プロセスをケース・スタディとして研究を行った。本手法では、最初に、ラボ・実証スケールの各要素プロセスにおける原材料投入量と、①装置カタログや特許・論文等の文献情報、②化学物理モデル等による原材料投入量のスケールファクターを用いて、実用化スケールの原材料投入量を推計し、最終的にラボ・実証・実用化スケールの環境負荷を推計する。本年度は、特にエネルギー消費量に着目してスケール効果の分析を行い、上記2ケースのラボ・実証・実用化スケールの将来技術のCO<sub>2</sub>排出量を評価した。

結果として、上記2ケースともに、製造スケールの増加とともにCO<sub>2</sub>排出量が減少した。また、カーボンナノチューブのケースでは、実証スケール以降で連続プロセスを用いた場合、外気を遮断するための窒素ガスを製造するためのCO<sub>2</sub>排出量の割合が大きくなる可能性が示唆される等、環境負荷削減のための将来的な技術課題を検討するためにも、本手法が有効であることが示唆された。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 LCA、将来技術評価、スケール効果、カーボンナノチューブ、過酸化水素を用いた酸化プロセス

〔研究題目〕 産総研物質・材料データベースポータルサイトの整備

〔研究代表者〕 松永 猛裕（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 松永 猛裕、薄葉 州、秋吉 美也子、

岡田 賢（常勤職員4名）

〔研究内容〕

「化学物質の爆発安全情報データベース」は世界的にも例が少ない化学物質の爆発危険性を情報発信するものである。平成24年度から、「分散型熱物性データベース」と「有機化合物のスペクトルデータベース（SDBS）」を統合し、一つの総合的なデータベースとして運用できるような作業を開始している。本データベースは平成25年秋より、外部クラウドへの移行を開始し、コンテンツを移行している。本年度は、結晶構造データベース、爆風被害予測プログラムの移行を行った。また、種々のデータの追加作業を行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 爆発、データベース、物性、危険物、情報、標準

〔研究題目〕 南海・東南海地震の前兆現象検出精度向上のための研究

〔研究代表者〕 松本 則夫（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 松本 則夫、小泉 尚嗣、高橋 誠、今西 和俊、北川 有一、安藤 亮輔、板場 智史、落 唯史、武田 直人（常勤職員7名、他2名）

〔研究内容〕

本研究は、南海・東南海地震予測に資するために、短期的ゆっくりすべり（短期的SSE）・深部低周波微動（微動）の分布や発生間隔の解析精度の向上を目標として、産総研・防災科研の歪・傾斜データを共有し、短期的SSEの高度な解析やメカニズム解明のために平成22年度から開始した。

平成26年度には、一昨年開発した4成分の水平歪センサーで計算できる4組の水平歪に着目した短期的SSEの客観的な検出方法のシステム化を行った。短期的SSEの解析結果の表示システムの一部を地下水等データ解析・表示システムに組み込んだ。最近30年程度の水準測量データ等から東海地域では規模の異なる複数の長期的SSEが判明した。微動の物理モデルを明らかにするため、紀伊半島にある産総研・飯高観測点周辺で38台の高感度地震計と3台の広帯域地震計からなるアレイ観測を引き続き実施した。今年度は直下で起こった微動活動を3回（5月、7月、1月）捉えることができ、微動の物理モデル構築に向けたデータ蓄積が実現できた。このデータセットを用いて微動の詳細な時空間分布を調べる研究を開始した。国土地理院が公開するGNSS・水準測量データ等の解析により東海地域等のプレート間固着等の1980年代からの時空間変化を明らかにした。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 地震予測、歪、傾斜、地下水、短期的ゆっくりすべり、深部低周波微動、長期的ゆっくりすべり、東南海地震、南海地震

【研究題目】バイオマスリファイナリー技術

【研究代表者】山口 有朋（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】山口 有朋、佐藤 修、三村 直樹、日吉 範人、花岡 隆昌、加藤 恵莉、勝又 昌代（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

原油価格の高騰、温室効果ガス排出削減の観点から、現在原油から製造されている化学品を、再生可能なバイオマス資源から製造するための技術開発が求められている。本研究では、リグノセルロースからイソソルビド、フランジカルボン酸等の縮合系高分子原料への変換に必要となる、反応場の設計・構築を行った。木粉からの直接変換における製品収率の増大を目指し、前処理法の最適化、反応条件の検討を行った。

スギ等の木質バイオマスを反応物として、担持金属触媒を用い水素化分解反応を行うと収率約60%で糖アルコールが得られた。さらに、酸触媒としてイオン交換樹脂を共存させると、木質バイオマスからイソソルビドへの直接変換が可能であることが分かった。

セルロースの加水分解で得られるグルコースからヒドロキシメチルフルフラール（HMF）へ効率的に変換する触媒としてリン酸カルシウム触媒を見出した。リン酸カルシウム触媒を用いることで、セルロースや木質バイオマスからも HMF が効率的に得られることが明らかになった。HMF を酸化することにより、フランジカルボン酸を製造することが可能である。

木質バイオマスから、イソソルビドおよびフランジカルボン酸の製造技術の構築を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】木質バイオマス変換反応、高温水反応場、イソソルビド、ヒドロキシメチルフルフラール

【研究題目】バイオマスリファイナリー技術

【研究代表者】中岩 勝（環境・エネルギー分野）

【研究担当者】中岩 勝、片岡 祥、平田 悟史、星野 保、村上 克治、松鹿 昭則、秋田 紘長、藤本 真司、井上 誠一、遠藤 貴士、柳下 立夫、北本 大、藤谷 忠博、榑 啓二、中村 功、SULTAN ASIMA、浅川 真澄、富永 健一、根本 耕司、花岡 隆昌、山口 有朋、三村 直樹、佐藤 修、日吉 範人、田村 具博、宮崎 健太郎、矢追 克郎、三谷 恭雄、菅野 学（常勤職員29名）

【研究内容】

本研究では、産総研が独自に有するリグノセルロースの分解技術、化学変換技術、バイオ変換技術を融合させ、

アルコール、有機酸、芳香族化合物などの基幹化学品を体系的に製造可能なプロセスの開発を行う。バイオマスリファイナリー研究センター、生物プロセス研究部門、環境化学技術研究部門、コンパクト化学システム研究センター、触媒化学融合研究センターの5ユニットが、連携し研究開発を行った。

大腸菌のピルビン産代謝遺伝子を破壊・制御することにより、ピルビン酸高生産株を作成した。同株はグルコースを炭素源として、先行研究と同等の濃度25 g/L のピルビン酸を収率43%で生産した。化学変換技術によるリグノセルロースからのレブリン酸製造について、原料木粉の前処理効果を比較したところ、メタノール中の触媒変換反応では、原料の水熱処理により収率が向上することが分かった。さらにレブリン酸を芳香族化合物に高収率で変換する触媒として、10員環構造を有する H-ZSM-5や H-FER を見出した。また、イソソルビドをセルロースや木粉から直接化学変換する反応条件を検討し、Ru/C と Amberlyst の混合触媒系を用いワンポッドでのイソソルビド収率として、セルロース原料で56%、スギ木粉原料で25.5%を得た。リグニン利用については、水熱メカノケミカルと酵素糖化处理により作成した低変性糖化残渣リグニンの精製法を検討した。アセトンを用いる有機溶媒加熱抽出法により、収率は低いものの、分子量と分散度が小さい、樹脂原料に適した低分子量リグニンを得ることができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオマスリファイナリー、リグノセルロース、ピルビン酸、レブリン酸、リグニン

【研究題目】代替フロンとしての微燃性冷媒の標準評価法の研究

【研究代表者】滝澤 賢二（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】滝澤 賢二、水門 潤治、須田 洋幸、薄葉 州、渡利 広司（常勤職員5名）

【研究内容】

現在、冷凍空調機器に使用されている代替フロン冷媒は高い温暖化効果（GWP）を有しているため、生産・消費の段階的削減が喫緊の国際的課題となっている。現在、僅かに燃焼性はあるものの GWP の小さい「低GWP・微燃性冷媒」への転換が最善のソリューションと考えられており、微燃性冷媒の実用上の安全性を保証する技術基準の確立が急務となっている。

我々は、微燃性冷媒の安全性評価に必須な燃焼速度等の信頼性の高い評価法の開発及び評価を実施してきた。これらの成果は国際標準化提案に繋がり、冷凍空調メーカー等の国際競争力の強化に貢献してきた。本課題では、燃焼速度が極めて低く浮力（重力）の影響を強く受ける微燃性冷媒を高精度で評価するために、微小重力実験装置を用いた微燃性評価装置をつくばセンターに作製



し、産業界からの燃焼性評価のニーズに迅速かつ効率良く対応することを目的とした。

まず、微小重力装置を作製するために必要な技術課題を検討するため、国内外の研究機関及び産総研北海道センターの施設の調査を行った。調査結果をふまえ、屋内型微小重力装置を設置可能な場所の確保、並びに設置建物の改修及び安全対策を行った。次に、当該装置を設計したが、装置設置に問題があり、作製には至らなかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】冷凍空調、冷媒、代替フロン、地球温暖化、燃焼性、微小重力、標準化

【研究題目】戦略メタル資源循環技術（戦略的都市鉱山）

【研究代表者】大木 達也（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】大木 達也、田中 幹也、成田 弘一、大石 哲雄、尾形 剛志、加茂 徹、古屋仲 茂樹、西須 佳宏、林 直人、半田 友衣子、玄地 裕、工藤 祐揮、田原 聖隆、畑山 博樹、増井 慶次郎、近藤 伸亮、高本 仁志、松本 光崇、森本 慎一郎、小林 慶三、多田 周二、西尾 敏幸、尾村 直樹、村上 雄一朗、多井 豊、大橋 文彦、尾崎 公洋、中山 博行、田村 卓也、柘植 明、森川 久、清水 佳奈（常勤職員32名）

【研究内容】

都市鉱山ポテンシャル評価に基づき、製品・部品選別～製錬処理の境界領域を精緻化したリサイクルビジョンと、戦略的な都市鉱山形成のための評価・設計をする生産ビジョン構築に向け研究を実施した。都市鉱山リサイクルポテンシャル評価では、各金属の資源確保必要性をクリティシティ評価で明確にした上、戦略メタルを判断するチャートを作成した。製品選別の自動化では、廃小型家電の3D形状DBを10品目382機種に拡充、特定メーカーのスマートフォンのみを選別可能なシステムを開発、また、ARENNAソータ1号機を製作してリサイクル企業への導入を果たした。また、蛍光ランプの自動選別装置、プリント基板の選択剥離装置の基礎開発も実施した。廃棄物等からの希土類分離回収では、ベースメタルからの希土類の選択的分離及び希土類元素内での相互分離技術を検討、新規の吸着・沈殿・抽出分離系を見出すに至った。また、廃リチウムイオン電池ではリチウム吸着材の取り扱いを容易にする技術の開発、超硬工具では熔融塩電解を用いたタングステンを高い電流効率で全溶解できる技術、ハイブリッド車用モータの希土類回収では、モータ高周波溶解して問題点を抽出した。資源循環促進のためのリサイクル設計については、タンタル等希少金属のリサイクル容易化のための設計標準化についてエコマーク等環境ラベルの利用を検討し、認定基準に

組み入れることに成功。また、リサイクルフローの可視化・分析を可能にすると共に、製品設計・プロセス設計のデザインルールを抽出する枠組みを構築した。また、本プロジェクト思想の早期社会導入を実現する目的で、官民連携のSUREコンソーシアムを設立した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】都市鉱山、リサイクル、戦略メタル、レアメタル、レアアース、物理選別、製錬、エコデザイン、マテリアルフロー、代替材料

【研究題目】アジア戦略「水プロジェクト」

【研究代表者】鳥村 政基（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】鳥村 政基、中里 哲也、愛澤 秀信、金 誠培、佐藤 浩昭、谷 英典、長縄 竜一、野田 和俊、根岸 信彰、田尾 博明、王 正明、堀 知行、尾形 敦、佐藤 由也、柳下 宏、大井 健太、遠藤 明、上村 佳大、川合 章子、羽部 浩、丹羽 修、栗田 僚二、加藤 大、栗津 浩一、島 隆之、藤巻 真、高橋 栄一、村川 正宏、野里 博和、樋口 哲也、苑田 晃成、横田 洋二（常勤職員32名）

【研究内容】

水不足は21世紀の世界が直面する最大の問題であり、アジアの水問題の解決と、わが国の水ビジネスの競争力強化のため、水質監視技術、水質改善技術、情報ネットワーク技術を一体的に開発することにより、水資源の有効利用に不可欠なスマートウォーターを先導するグローバルな技術開発拠点を目指している。

水質監視技術に関しては、排水の適正処理や飲用水の安全性確保の観点から重要となる①オンサイト・インプラント型水質監視技術、②生体応答を利用する水質監視技術、③微生物の迅速監視技術の開発を進めた。①②では、分析装置の性能向上や小型化を行い、重金属濃度測定などは環境基準濃度まで測れる技術に発展させ、③では光ディスク型微生物検出装置の分解能を大幅に向上させた。

水質改善技術に関しては、既存の水処理技術では処理困難な物質に対して、水処理技術として将来性が高く、かつ、発展途上国にも適したものとして、①膜分離活性汚泥法（MBR：メンブレンバイオリアクター）、②ナノ吸着材/光触媒型水処理法を開発した。①では、産業排水として処理性能を高く維持するための試験運転を進め、微生物群集の応答をメタゲノム解析から明らかにしつつ、安定同位体追跡試験（SIP）を用いた高処理能微生物を同定へと展開した。②では、清華大学等と共同で炭素系層状ナノ材料のPPCPsに対する吸着特性を体系的に評

価し、光触媒による滅菌および有害物質の分解技術はタイおよびベトナムで実証試験を進めた。健康工学 RI や環境化学技術 RI では資源としてのリンの重要性に配慮しリン吸着材の開発を継続的に進め機能を高めた。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 水問題、水質監視技術、水質改善技術、情報ネットワーク技術、スマートウォーター

【研究 題目】 人工生物発光酵素 (ALuc<sup>®</sup>) の産業化基盤技術の開発

【研究代表者】 金 誠培 (環境管理技術研究部門)

【研究担当者】 金 誠培、鳥村 政基、丹羽 一樹、志村 隆二 (常勤職員3名、他1名)

【研究 内容】

人工生物発光酵素 (ALuc<sup>®</sup>) が革新的発光標識技術として市場に定着し、世界的なシェアを獲得するためには、実用化基盤研究が必要である。研究期間が短期間である点を考慮して以下の2つのテーマに絞った研究を実施した。

(1) 基礎発光標識応用への基盤研究：

本研究チームは「頻度の高いアミノ酸を抽出し、熱力学的に安定性の優れた ALuc<sup>®</sup>群」を新たに樹立した。まず、今までの ALuc30番台に加え、40番台と50番台の新規人工発光酵素を開発しその輝度と発光安定性、金属イオン感受性などに関する基礎データを得た。ALuc<sup>®</sup>は pH と多数の重金属に対する一定の感受性を持つことから、ALuc<sup>®</sup>の重金属センサーとしての利用可能性を新たに発見し、この研究成果を国際ジャーナルに投稿中である。また ALuc<sup>®</sup>の基質適合性に関する研究を進め、セレンテラジン類似体に対する ALuc<sup>®</sup>の選択性と発光輝度に関する基礎データを得た。

(2) 医薬・環境応用への基盤研究：

初めに効率的な発光標識 (ALuc<sup>®</sup>) 生産技術を研究した。ALuc<sup>®</sup>を発光標識として産業利用するためには、ALuc<sup>®</sup>の発現・精製技術が重要な課題である。ALuc<sup>®</sup>は原核細胞では発現に難点があり、真核細胞では発現量が少ないというジレンマがある。この問題点を解決するために、ジスルフィド結合 (S-S) 形成に有利な SHuffle コンピテントセルを用いた新たなプロトコルを開発し、ALuc<sup>®</sup>の発現の質と純度を飛躍的に向上させた。

次に ALuc<sup>®</sup>を用いた新規ホルモン可視化プローブを開発した。バイオアッセイ分野で ALuc<sup>®</sup>の利用価値を高めるためには、ALuc<sup>®</sup>を用いた多くの発光プローブ群を開発することが有効である。本研究期間中、ALuc<sup>®</sup>を用いた新規分子歪みセンサーを開発し、免疫毒性を測定できた。この成果は、英文国際ジャーナルに投稿中である。

【分 野 名】 環境・エネルギー、計測・計量標準

【キーワード】 生物発光、人工生物発光酵素、可視化、イメージング

【研究 題目】 超伝導計測デバイスの開発

【研究代表者】 浮辺 雅宏

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】 大久保 雅隆、浮辺 雅宏、藤井 剛、金丸 正剛、神代 暁、日高 睦夫、仁木 栄、柴田 肇 (常勤職員8名)

【研究 内容】

大規模 STJ アレイ検出器のような大規模超電導デバイスの作製プロセス確立に必要なプロセス検査装置として、光学顕微鏡、レーザー顕微鏡、SPM 測定を1台で行うナノサーチ顕微鏡の導入と、アレイ検出器の3次元構造作製に必須な装置群を現在設置されている4-4棟01111室から、CRAVITY クリーンルーム2-12棟1131室の隣1133室に集約、同じ建屋内での一体運用を可能とすることによりモザイク状態を解消、作製環境を向上させ、大規模超電導デバイス開発を加速し、90%以上の安定した歩留まりを達成した。また整備した CR は、超電導デバイスのみならず、半導体デバイス等の開発にも使用できるよう IBEC にて共用公開した。

また、本研究では、超電導デバイスを搭載した X 線分析装置を、LED 材料の GaN 中の Mg 不純物のナノ構造分析に応用することを目標とする。そこで、微量の Mg からの特性 X 線を検出可能な超電導検出器を作製し、X 線吸収微細構造分光 (XAFS) (KEK PF に産総研製装置を設置) による分析を試み、GaN 中の Mg 不純物の蛍光 X 線のみを識別可能なことを確認した。今後は Mg 不純物 XAFS スペクトルを取得し、Mg 不純物原子の回りの原子スケール構造を明らかにする予定である。さらに、前年度導入した TEOS CVD 装置で得られる応力フリー絶縁膜と本年度整備した機器を活用し、立体配線構造を持つ100素子の超電導トンネル接合アレイ検出器の作製に成功、1000素子を超えるアレイ検出器を可能とする技術を確認した。

【分 野 名】 計測・計量標準

【キーワード】 STJ、X 線検出器、軟 X 線、Na、CIGS 太陽電池、歩留まり、エネルギー分解能、アレイ素子、KEK-PF、XAFS

【研究 題目】 クレーストの高度化とガス透過度測定法の国際標準化推進

【研究代表者】 吉田 肇 (計測標準研究部門)

【研究担当者】 吉田 肇、新井 健太、藤井 賢一 (常勤職員3名)

【研究 内容】

高品質なガスバリア膜は、従来、食品包装や電子機器の保護のために求められてきた。さらに近年、燃料電池車やロケット・航空機のための水素バリア膜や、地球温

暖化防止のための新冷媒（代替フロン：微燃性がある）のためのバリア膜のニーズが高まっている。これらガスバリア膜の性能（ガス透過度）は、安心・安全や、製品の品質に直結するため、信頼性の高いガスバリア膜とその評価方法の確立が求められている。

そこで産総研が持つ2つのシーズを融合させることにより、上記問題を解決する。1つ目の技術シーズは、工学計測標準研究部門が持つ、気体導入素子「標準コンダクタンスエレメント（SCE）」である。SCEは、ステンレス多孔質焼結体製の気体導入素子であり、従来よりも安定性・信頼性に優れ、ガスバリア性評価を評価する上で、信頼性の高い基準となる。2つ目の技術シーズは、化学プロセス研究部門が持つ、粘土膜「クレースト」である。ガスバリア膜の多くは、PET等の有機フィルムの上に無機膜を堆積させて製造するため、耐熱性や膜の密着性が問題となるが、「クレースト」は、耐熱温度（～300℃）が高く、また、単層のガスバリア膜となるため信頼性が高い。

本年度は、標準コンダクタンスエレメントを用いた国家標準にトレーサブルな、多ガス種対応のガスバリア性絶対評価装置の開発を行った。また、粘土膜「クレースト」のサンプル供給を受けて、評価装置の安定性試験を開始し、従来の測定値と矛盾が無いことを確認した。今後、よりガスバリア性が高いクレーストの開発、及び評価を実施すると共に、同手法の国際標準化を推進する。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ガスバリア、ガス透過、水素、冷媒、真空、粘土膜

【研究題目】国際単位系（SI）の定義改定にもとづく革新的計測技術の開発

【研究代表者】藤井 賢一（計測標準研究部門）

【研究担当者】藤井 賢一、倉本 直樹、早稲田 篤、山本 泰之、上田 和永、水島 茂喜、小森 昌史、日置 昭治、成川 知弘、黒河 明、東 康史、張 ルウルウ、金子 晋久、中村 秀司、浦野 千春、丸山 道隆、堂前 篤志、大江 武彦、福山 康弘、山澤 一彰、Januarius Widiatmo、三澤 哲郎、藤田 佳孝、狩野 祐也、洪 鋒雷、大苗 敦、稲場 肇、安田 正美、保坂 一元、赤松 大輔、田邊 健彦、大久保 章（常勤職員32名）

【研究内容】

SI基本単位のなかで、キログラムは唯一人工物である国際キログラム原器によって定義され、その質量の歳月に伴う変動が報告されている。このため、2011年に開催された国際度量衡総会では、国際キログラム原器を将来廃止し、プランク定数にもとづく定義へ移行するこ

とが決議された。同様に電流と温度の単位であるアンペアとケルビンについても現在の古典的な定義からそれぞれ電荷素量とボルツマン定数にもとづく新しい定義へ移行することが決議された。これらの単位については2018年に新しい定義へと移行するための準備が国際的に進められている。また、時間の基本単位である秒についても現在の定義であるマイクロ波領域から光周波数領域における定義へと移行することが2022年頃に予定されている。

キログラムについては、X線結晶密度法によってアボガドロ定数を測定するために、<sup>28</sup>Si 同位体濃縮単結晶から作成された1 kgの球体の体積、表面、質量、モル質量などの精密計測を行った。そのために、球体の直径測定用レーザ干渉計の改良、真空中における分光エリブソメトリーを実現するための真空システムの開発、球体表面の汚染物質が球体質量に与える影響を評価するためのX線光電子分光分析装置（XPS）の整備などを行った。モル質量については、濃縮同位体（<sup>28</sup>Si、<sup>29</sup>Si および<sup>30</sup>Si）と、試料となる<sup>28</sup>Si濃縮シリコン球体周辺の結晶を溶液化し、マルチコレクター誘導結合プラズマ質量分析装置（MC-ICP-MS）を用いた同位体希釈法によって質量分析測定を行った。その結果、アボガドロ定数（プランク定数）を $2.0 \times 10^{-8}$ の相対標準不確かさ（世界最高精度）で測定することに成功した。

アンペアについては、単一電子ポンプにおける定電流発生の不確かさ向上と電流量の増幅を目標として研究を行った。具体的には超伝導、常伝導を用いた SINIS ターンスタイルの不確かさの向上と電流量の増幅をめざし、トンネル接合の抵抗の最適化を行った。これによりマイクロ波領域においても単電子ポンプを行うことが可能となった。また素子の抵抗減少と伴に発生する余剰電流を磁場印加と伴に減少できることを示した。また同時に半導体二次元電子系を用いた単電子ポンプ素子の電流を大きくするため、素子の並列化を行った。電流測定系を新たに構築し、フィルタ作製や極低温電流比較器の準備などを行った。

ケルビンについては、常温域における次世代の一次標準となる熱力学温度計として、海外で高度な実績がある音響気体温度計（Acoustic Gas Thermometer: AGT）の開発を進めた。AGT装置開発において、音響測定系と電磁波測定系とからなる精密測定システムを構築し、試作共鳴器を用いたボルツマン定数の測定を開始した。海外機関との連携を深めることで、実験に使用するアルゴンガスの平均分子質量の情報の提供を受け、50 ppm程度の不確かさでボルツマン定数の測定ができる見通しが立った。また電磁波共振による試作共鳴器の体積測定に関する平成25年度の発表で、若手研究者が SICE センシングフォーラムの研究技術奨励賞を受賞した。

秒については、近い将来の秒の再定義を念頭に、 $10^{-17}$ のオーダー、あるいはそれ以下の不確かさを目指

して研究を進めた。光格子時計の周波数安定度を改善するためには、時計遷移励起用レーザーの短期周波数安定度を改善する必要があるが、既存のレーザーにおいては周波数安定化に用いる光共振器の熱雑音により制限されていた。平成26年度は、この熱雑音を低減するために、半導体薄膜を高反射ミラーの反射膜に用いた光共振器を採用し、温度揺らぎや微小振動などの外乱の影響を排除したシステムを構築した。これにより、1秒平均の周波数安定度として、 $2 \times 10^{-16}$ を達成できる見通しが立った。また、現在、光格子時計の最大の不確かさ要因は、黒体輻射による不確かさであるが、これは捕獲された原子が輻射場として感じる温度を正確に求められない事にある。そこで、同じ輻射場に捕獲された異種原子（Yb 原子、Sr 原子）を用いることで、温度に起因する不確かさを低減が期待される。Yb および Sr 原子を同じ真空チャンバー内に捕獲するデュアル光格子時計を開発し、両原子の時計遷移の観測に成功した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】国際単位系、SI、キログラム、アンペア、ケルビン、秒、アボガドロ定数、プランク定数、電荷素量、ボルツマン定数、X線結晶密度法、シリコン結晶、同位体濃縮、単電子ポンプデバイス、音響気体温度計、光格子時計

【研究題目】ナノ材料の適正管理に向けた世界標準の獲得

【研究代表者】藤本 俊幸（計測標準研究部門）

【研究担当者】藤本 俊幸、黒河 明、櫻井 博、稲垣 和三、東 康史、寺内 信哉、林田 美咲、熊谷 和博、加藤 晴久、齋藤 直昭、山本 和弘、古部 昭広、時崎 高志、三木 幸信、八瀬 清志、石川 純、高橋かより（常勤職員17名）

【研究内容】

ナノテクノロジー産業では更なる材料の高機能化を効率的かつ迅速に推進するため、機能特性を支配する”サイズ”と”化学組成”を併せた計測評価を可能とする技術の開発は喫緊の課題となっている。一方、ナノ材料は2011年 EC（European Commission）による“直径100nm以下の1次粒子を個数濃度で50%以上含む工業材料をナノ”と定義されたことに基づき、すでに当該定義に従ったナノ材料の輸出入時の申請義務に関する法案化を実施している国もあることから、ナノ材料であるか否かの判定をその定義に従って簡便に行える検査技術が切望されている。

このような背景を踏まえ、本研究ではナノ材料適正管理実現のための手法として、国産ナノテク産業が開発した材料の EC ナノ定義への合致判定だけではなく、サイズ情報に基づいた組成、修飾、含有量等の評価情報に基

づくナノ材料の管理に対応した、サイズ分離技術に高感度計測技術を融合したハイスループット且つ多角的な分析技術を開発推進している。

本年度はナノ粒子のサイズ・サイズ分布・組成を高精度に評価できる、分級システムをコアモジュールとし計測評価用周辺モジュールから構成される複合計測システムの開発を継続し、各周辺モジュール単独での粒子計測を可能とした。

また、異なる粒径のナノ粒子が混在した試料における、既存各種粒径評価法の問題点の解析結果を元に、2014年11月に行われた ISO/TC229/JWG2の会議において現在開発している複合システムをベースとした規格案についてプレゼンを行い、新規作業項目提案に向けた議論を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ナノ材料、粒径、粒径分布、SEM、TEM、CFFF、DMA、分級

【研究題目】Standard for Rectangular Metallic Waveguides and Their Interfaces for Frequencies of 110 GHz and Above（110 GHz 以上の方形導波管およびインターフェースの標準化）

【研究代表者】堀部 雅弘（計測標準研究部門）

【研究担当者】堀部 雅弘（常勤職員1名）

【研究内容】

昨今、110 GHz を超える無線通信等の研究開発において、導波管のベクトルネットワークアナライザが多用されているが、110 GHz 以上の周波数では、接続部（フランジ、インターフェース）の規格がなく、デファクトスタンダードあるいは、それらを改良したフランジが氾濫している。また、テラヘルツ領域では、既存フランジでも高精度接続を実現できないことから、新たな構造のフランジの開発・実証と標準化が必要となっていた。

新たなフランジ構造を考案し、1 THz を超える周波数で接続の再現性を実証した。既存のフランジでは、接続の繰り返しにより特性のばらつきが0.15程度であったものが、開発したフランジでは0.01程度以下を実現している。そして、IECTC46/SC46F に提案し、CDV（Committee Draft Voting）で了承された。現在、IS（国際標準）の制定に向けて、文書を作成している。また、導波管の性能評価についても現在の計測技術を導入した標準化提案の準備を進めている。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】導波管フランジ、接続再現性、国際標準化、テラヘルツ、ミリ波、サブミリ波

【研究題目】遠心加速度校正に関する標準化研究

【研究代表者】大田 明博（計測標準研究部門）

【研究担当者】大田 明博、野里 英明、穀山 渉

(常勤職員3名)

## 【研究内容】

自動車の衝突安全性能試験に使用されるひずみゲージ式加速度計の計測信頼性を確保するために、日本で従来まで広く利用されてきた ISO 5347-7遠心加速度校正法の廃案が審議され、反対を唱える日本に対して不確かさを含めた規格改訂案の提案が要求されている。日本としては、衝撃加速度校正を主とする欧州をはじめとした諸外国勢を説得するために、遠心加速度校正に関する不確かさ評価、及び、衝撃加速度校正と遠心加速度校正との整合性検証を行い、それら結果を反映した規格改訂案を作成することが必要とされる。

本研究では、遠心加速度校正装置の民間製造事業者、そのユーザである民間事業者（自動車業界）、衝撃加速度校正装置を所有する産総研が協力して、遠心加速度校正と衝撃加速度校正の整合性検証のためのラウンドロビンテストと遠心加速度校正の不確かさ評価を行い、その結果をとりまとめ、規格改訂案に反映させる。

平成26年度は、前年度実施したラウンドロビンテストの結果をとりまとめ、自動車技術会にて報告した。さらに、2015年3月に行われた ISO/TC108/SC3会議において、本研究結果を報告した。その結果、ISO 16063-17原案（ISO 5347-7の改訂版）に関して、DIS 投票段階の CD として進めることが承認された。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】遠心加速度、衝撃加速度、ISO 5347-7、ラウンドロビン、不確かさ評価

## 【研究題目】X線CTによる書籍情報の一括閉じたままデジタル化に関する知財創出

【研究代表者】阿部 誠（計測標準研究部門）

【研究担当者】佐藤 理、高辻 利之、藤本 弘之、松崎 和也（常勤職員4名）

## 【研究内容】

21世紀の今日、コンテンツに関するデジタルデータの存在しない書籍は文字通り膨大な量が存在しており、効率よくデジタル化するニーズがある。これについて物体内部を減弱しながら透過する X 線等の電磁波などによる断層撮影技術を利用し、書籍のコンテンツのデジタル化を行うことが考えられる。本研究は X 線 CT 装置による書籍のデジタル化について、印刷部の形状・寸法の変化に注目した検出法を中心とした請求項及び明細書を提案することを目指している。書籍の印刷部の形状・X 線の減弱に関する調査および実験的撮像を行い、X 線の減弱あるいは断層撮影の適用範囲に関する検討を行った。次いで装置構成および撮像条件に関する検討を経て書籍情報の読み出しに適した設定条件の抽出に取り組んだ。引き続き印刷された文字部の形状および X 線の減弱についての特性を利用した知財化を進めている。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】三次元座標計測、CT、X線CT

【研究題目】3mm線量当量測定技術の開発とX線、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線校正方法 JIS 規格の改定

【研究代表者】黒澤 忠弘（計測標準研究部門）

【研究担当者】黒澤 忠弘、加藤 昌弘（常勤職員2名）

## 【研究内容】

2011年4月に国際放射線防護委員会（ICRP）は、眼の水晶体の線量限度を、「5年間の1年当たりの平均値として20 mSv、かつ、単一年度で50 mSv を超えないように」との声明を発表した。これは現行の年間150 mSv という限度値を大幅に下回る。眼の水晶体の線量限度は、水晶体の3mm 線量当量で評価するため、今後は水晶体の3mm 線量当量を正確に測定する必要が生じる。このニーズに早急に対応するため、現在確立している放射線防護用の線量標準と線量当量測定手法を基本技術とし、発展させることで、3mm 線量当量の測定手法を開発する。具体的には、①X線・ $\gamma$ 線・ $\beta$ 線の3mm 線量当量を測定する技術を開発する、②校正事業者や作業現場における測定者が3mm 線量当量を測定するために必要な測定技術や物理定数を評価することで、放射線作業従事者が作業現場で使う線量計で信頼できる値の3mm 線量当量を測定できるようにする。これらの成果に基づき、現在 PTB が主導で改正する予定の ISO 規格（ISO4037 と ISO6980）に対し、本研究の成果と日本の関連団体の意見を反映した改正案を提案する。ISO の規格が改定された後、X線・ $\gamma$ 線・ $\beta$ 線に関する校正手法の JIS 規格（Z4511 と Z4514）はそれぞれ ISO4037 と ISO6980に対応した内容であるので、ISO 規格の改訂に応じた両 JIS 規格の改訂案を提案する。

本年度は、光子に対する空気カーマから3mm 線量当量への換算係数を得るために、シミュレーション環境を開発し、球形ファントムに対するシミュレーションを行った。また光子の場合3mm 線量当量が問題となる IVR 装置周辺での、光子スペクトルの測定を行い、測定環境について検討を行った。 $\beta$ 線に関しては、外挿電離箱を使った絶対値測定システムを開発した。また吸収線量率の、組織等価ファントム内の深さ方向の分布補正をするためのシミュレーション計算および測定を行った。また、一般的なワーキングスタンダード測定器での測定結果と外挿電離箱での測定結果を比較した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】 $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線、水晶体、3mm 線量当量

## 【研究題目】非直交非接触三次元測定機の国際標準化

【研究代表者】阿部 誠（計測標準研究部門）

【研究担当者】阿部 誠、佐藤 理、鍛島 麻理子、松崎 和也、高辻 利之（常勤職員5名）

### 【研究内容】

工業製品や人体形状等さまざまな対象の形状計測や寸法測定に使われる非直交型非接触三次元測定機の性能評価法の国際標準を開発する。産総研は国内標準の開発成果として JIS B7441:2009 “非接触座標測定機の受入検査及び再検査”を開発済みであり、その国際標準への展開として ISO 10360-8:2013 CMMs equipped with optical distance sensor の開発をプロジェクトリーダーとして推進し、制定を達成した。JIS B7441は装置構成によらず広く適用可能な規格となっているが、ISO 10360-8は ISO/TC213/WG10での開発当初の合意に基づき、直交型の装置構成をもつ座標測定機に限定したスコープが設定された。そのため、非直交型の座標測定機の性能評価法に関する国際標準化は手つかずの状態であり、開発に着手することについて産業界から強いニーズが寄せられている。こうした要請に応えるため、非直交型非接触座標測定機の性能評価法を標準化する ISO 10360-13 Non-Cartesian Optical CMMs (仮称) を ISO/TC213/WG10に提案する。非直交型光学式座標測定機の国際標準化に着手するにあたり、はじめに日本国内の利害関係者5社に対するヒアリングを実施した。その結果に基づき、①性能評価に供する測定領域などの定義、②検査用標準器の長さの水準数と形状、及び③測定領域のつなぎ合わせなどの潜在的懸案についてニーズ情報を確認した。2014年9月 ISO/TC213/WG10パリア会議における日本からの規格のフレームワークに関するプレゼン資料に基づいて WG10に対して提案を行い、WG10の議決として採択された。また、これにより、本提案に関する合意形成に成功し、WG10のプロジェクトとして開発を進めることについて賛同が得られた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】三次元座標計測、工業標準、評価法規格

【研究題目】電気移動度法による気中ナノ粒子粒径分布計測の標準化

【研究代表者】桜井 博 (計測標準研究部門)

【研究担当者】桜井 博、高畑 圭二、村島 淑子  
(常勤職員3名)

### 【研究内容】

本研究では、ISO 15900:2009の問題点を解消するために必要な試験・校正技術の開発と実証を行う。ISO 15900は気中浮遊ナノ粒子に対する粒径分布計測法の一つ、電気移動度法についての ISO 規格であり、特に測定精度の保証に関し、改善の余地が多くある。本研究では、我々の持つ高精度校正技術に裏付けされ、かつ、測定現場で適用可能な簡便さを併せ持つ試験・校正法を確立することを目指す。H26年度は、ISO 15900:2009に記載された2つの粒径校正法の使い分け方を見いだすとともに、校正法の1つについて不確かさ評価手順を作成した。また、単分散粒子を用いた試験法の有効性を検討

した。さらに、荷電装置評価手順を文書化し、実証実験によって手順の有効性を確認した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】エアロゾル、ナノ粒子、粒径、粒径分布、個数濃度、電気移動度分析器、凝縮粒子計数器、標準粒子

【研究題目】リアルタイム自己校正機能付きロータリエンコーダの実用化

【研究代表者】渡部 司 (計測標準研究部門)

【研究担当者】渡部 司、藤本 弘之、阿部 誠、高辻 利之 (常勤職員4名)

### 【研究内容】

機器やロボットに組み込んだ後は不可能と思われたロータリエンコーダの角度誤差をリアルタイムに評価し、さらにその誤差補正まで行う低価格で小型な次世代ロータリエンコーダの実用化にかかわる知財確保の研究を行う。

ロータリエンコーダの高精度化技術について、従来技術の様に部品の高精密化・高剛性化を軸としたハードウェア開発は重要である。しかしその結果、従来のロータリエンコーダは高価格化・大型化が避けられなかった。産総研は、特許第3826207号「自己校正機能付き角度検出器」、特許第4984269号と「複合自己校正機能付き角度検出器」を開発した。この新技術はロータリエンコーダから出力される角度信号から、ソフトウェア処理を行うことで角度誤差の検出を可能とする方法である。しかしこの自己校正機能付きロータリエンコーダ (SelfA) は、その角度誤差の解析処理にコンピュータ (PC) を必要とする。そのため、角度信号のリアルタイム性を必要とする工作機械への導入には困難性があった。そこで、PC が行う解析を SelfA 内部で一気処理することで、リアルタイムに角度誤差を補正した角度信号を直接出力することが可能なリアルタイム自己校正機能付きロータリエンコーダ (SelfART) の実用化が期待されている。

直径120 mm のリアルタイム自己校正機能付きロータリエンコーダのリアルタイム解析処理回路の開発を行い、小型化、低価格化を推進するための新たな知見を得た。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】長さ計測、角度、位置決め精度、計測技術

【研究題目】高分子の定量 MALDI 質量分析法の国際標準化

【研究代表者】衣笠 晋一 (計測標準研究部門)

【研究担当者】衣笠 晋一、高橋 かより、松山 重倫、厚見 英里 (常勤職員3名、他1名)

### 【研究内容】

MALDI-TOFMS (マトリックス支援レーザー脱離イオン化飛行時間型質量分析) 法は、合成高分子やタンパク

質の構造解析手法として多用されていった。本研究ではこれを定量的な手法として用いるために必要な基礎情報と検討を行い、それに基づいた共同測定の実施と測定規格素案（ISO規格を念頭に）の提案を行うことを目的とする。対象としては末端基の異なるポリエチレングリコール（PEG）誘導体の混合物を選び、MALDIスペクトルの面積比から質量混合比の推定が可能かどうかのポイントとなる。

前年度に行った VAMAS TWA28 のプロジェクトの共同測定に基づき、「Plastics — Determination of average molecular mass and mixture ratio of poly (ethylene glycol) and its derivatives by MALDI-TOF-MS」のタイトルで ISO へ新規提案を行い、採択された。定例の国際会議後 CD 段階へ進んだ。平成25年度において、CD 投票の前段階へ進んでいる（ISO/CD 19929）。また、共同測定の結果と ISO 化については VAMAS 運営委員会で発表を行った。その他、後継の標準化に向け、ポリマー中の添加剤濃度の定量評価も、Irganox259 と Irganox1010 の混合物について標準添加法で行い、比較的良好な結果（並行精度20%）を得た。また、ペプチド混合試料についても実験を実施した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】MALDI-TOFMS、定量分析、共同測定、ISO規格

【研究題目】ナノ材料の特性評価手法に関連した標準化

【研究代表者】水野 耕平（計測標準研究部門）

【研究担当者】水野 耕平、阿部 修治、竹歳 尚之、藤本 俊幸（常勤職員4名）

【研究内容】

ナノ粒子の粒子径測定は、各国で法規制の準備が進められる中、重要性を増している。しかし高価な装置や使用者の高度な熟練を要するものが多く、より低コストな方法を望む声は大きい。本研究ではナノ粒子の比表面積測定より計算される実効的な粒子径と電子顕微鏡観察等により測定される粒子径との対応関係を調査し、比表面積測定による簡便な粒子径決定法の規格化を検討する。本年度は代表的なナノ粒子について画像計測や比表面積測定を実施しデータ収集を行った。

また、ナノテクの社会受容の促進を図るため ISO/IEC のナノテク用語規格 TS 80004 のうち、Part 1: Core terms に対応する JIS/TS 原案の作成・提案および Part 3: Carbon nano-objects の定期見直しに対応する。前者は ISO による改訂作業が進められ、昨年11月のニューデリー会議参加などを通じて作業に協力した。現在出版に向け最終投票中であり、時期を見計らい JIS/TS 化を検討する。後者についてはニューデリー会議において当時の提案者として討議に関わった。結果として、2014年3月の投票結果に従って今回は修正を行わ

ず、TS の3年延長にとどめることに決定された。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ナノテクノロジー、ISO、ナノ粒子、比表面積、JIS、ナノ物体、用語

【研究題目】頭足類中無機元素分析の分析技能向上支援プログラム

【研究代表者】稲垣 和三（計測標準研究部門）

【研究担当者】稲垣 和三、成川 知弘、宮下 振一、黒岩 貴芳、朱 彦北、小口 昌枝、工藤 いずみ（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

食品分析における分析者の技能向上支援を目的として、（独）農業・食品産業技術総合研究機構 食品総合研究所と共同で、頭足類中無機元素分析の技能試験とフォローアップ技能講習の一体化プログラム（分析技能向上支援プログラム）を実施した。当該技能試験は、適合性評価—技能試験に対する一般要求事項（ISO/IEC17043）に準拠しており、試験認定における要求事項（ISO/IEC17025）における外部精度管理として機能するものである。

技能試験参加者は116名であり、フォローアップ技能講習会および個別技術相談は、東京・大阪の2会場で実施し、参加者は、それぞれ102名、40名であった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】技能試験、技能講習会、頭足類、カドミウム、ひ素

【研究題目】EAP アクチュエータを用いた医療福祉デバイスの実用化開発

【研究代表者】安積 欣志（健康工学研究部門）

【研究担当者】安積 欣志、杉野 卓司、清原 健司（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

目標：

産総研で開発を行った電気活性高分子（EAP）アクチュエータ素子について、医療福祉デバイスの実用化を目指し、ドイツ、フラウンホーファーIPA（生産技術・オートメーション研究所）とオートマイクロペットプロトタイプ共同開発を進め、EAP アクチュエータの早期実用化を目指す。

研究計画：

医療用や化学分析用に应用可能な EAP アクチュエータを用いた薄型低電圧駆動オートマイクロペットの開発を、プロトタイプを作製することで行う。産総研において、素子の材料構成を検討し、IPA においてシステム・デバイス化技術の検討を行う。

進捗状況：

本年度は、前年度まで開発を進めてきた薄型オートマイクロペットプロトタイプをベースに、様々な電極デザインと

アクチュエータの変形デザインを試み、プロトタイプを作成した。具体的には、フラウンホーファーIPA と共同で、産総研で開発を行った EAP 高分子アクチュエータを用い、フラウンホーファーIPA で設計した、マイクロピペットプリント基板を用いて、様々なプロトタイプを作製、評価し、次年度の実用化プロトタイプ作製へ向けた基礎データの蓄積を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電気活性高分子 (EAP)、高分子アクチュエータ、システム化、デバイス、プロトタイプ、オートピペット、医療機器、化学分析

【研究題目】 マラリア超早期診断デバイスの製品化

【研究代表者】 片岡 正俊 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

目標：

産総研独自の技術であるマイクロメーター単位のマイクロチャンバーを2万個、アレイ状に配列した細胞チップ基板技術をもとに、迅速・超高感度・易操作性のマラリア超早期診断デバイスの開発を進める。そのため、アフリカを中心とするマラリア流行地域での実証試験を企業との共同ですすめ、フィールドで使用できるデバイス開発を進める。

研究計画：

マラリアは HIV、結核とともに世界3大感染症の一つで、年間2億人の感染者と66万人が死亡する赤血球へのマラリア原虫による寄生虫感染症である。WHO をはじめ世界的なレベルでマラリア対策は講じられているが、迅速・高感度・易操作性の診断法は未だに開発されておらず、赤血球ギムザ染色の光学顕微鏡を用いた肉眼的観察が未だにゴールドスタンダードとされている。そこで、我々は、民間企業との共同研究により開発中の赤血球分離用カラムと蛍光検出機、さらに細胞チップによる実証試験を目的に、ウガンダ共和国グル市ラチョ病院においてマラリア患者血液の解析を進めた。27名のマラリア患者血液を用いて通常の赤血球ギムザ染色による光学顕微鏡観察によるマラリア感染率の算出を行うと同時に、全血からの赤血球分離カラムによる赤血球分離・細胞チップでのマラリア感染赤血球染色と開発した蛍光検出機によるマラリア感染率の算出を行い比較検討した。その結果、27名のマラリア患者において擬陽性や偽陰性がなく迅速・正確かつ易操作性な検出が可能なが示された。

フィールド用マラリア診断デバイス開発のため、アフリカやアジアを中心にマラリア流行域でのフィールドテストをさらに行い、製品化を目指す。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 マイクロナノデバイス、細胞チップ、ギムザ染色、マラリア、マラリア診断、寄生虫感染症、光学顕微鏡、赤血球分離、蛍光検出

【研究題目】 細胞内マルチパスウェイの時系列変動を可視化するセルベースアッセイ系の構築

【研究代表者】 中島 芳浩 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 堀江 祐範、丹羽 一樹 (常勤職員2名)

【研究内容】

目標：

細胞内パスウェイの時系列変動を定量的に可視化することで、創薬、毒性、食品等の多岐に渡る分野において、生体に対する作用を高精度に予測するためのセルベースアッセイシステムの構築を目的とする。

研究計画：

バイオインフォマティクスやシステム生物学の進展に伴い、遺伝子発現をはじめとする細胞応答の時系列変化の解析は、細胞内ネットワークの理解のみならず、創薬ターゲットの同定や高精度な毒性予測に必要な不可欠な方法となりつつあるが、網羅的に細胞応答の経時変化をモニターできる解析システムは殆ど例がない。そこで本研究では、これまで申請者らが独自に開発した発光レポーターシステムを駆使し、細胞内の主要なパスウェイの時系列変動を定量的に可視化することで、薬効、毒性さらには食品機能性の高精度な予測が可能なセルベースアッセイ系の開発を行う。本年度は、炎症シグナルを可視化する発光培養細胞を樹立し、96ウェルプレートベースでのリアルタイム発光計測を行ったところ、ハイスループット性を確保しつつ、炎症性サイトカインの濃度に応じた炎症シグナル活性化のキネティクスを高い時間分解能でモニターできることを明らかにした。一方、複数色の発光レポーターの色分離について検討した結果、各色を分離する光学フィルター数を増やすことで色分離の解像度が向上することを明らかにした。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 発光レポーター、培養細胞、細胞内パスウェイ、セルベースアッセイ

【研究題目】 ヒドロキシリノール酸をバイオマーカーとした緑内障、白内障の早期診断法開発と知財拡幅へ向けた検討化

【研究代表者】 堀江 祐範 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 堀江 祐範、梅野 彩、吉田 康一 (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

目標：

リノール酸酸化代謝物 HODE をバイオマーカーとした緑内障、白内障の早期診断の手法を開発し、新たな疾



患領域での知財確保を図る。さらに、本手法を用いて企業と連携し、白内障、緑内障の予防に寄与する機能性因子の探索研究へと進める。

研究計画：

一重項酸素 ( $^1O_2$ ) は紫外線照射により発生することから、生体において紫外線による曝露機会の多い眼科疾患への関与が示唆されている。そこで、 $^1O_2$  特異的生成物である 10、12-(Z, E)-HODE を用いて、血漿、眼内液ついて、それぞれ定量分析を行う。さらに、疾患データとの相関性の評価により、早期診断マーカーや疾患特異性等の評価を行い、早期診断マーカーとして有用性を精査する。

進捗状況：

眼内液中の脂質酸化物は条件検討により定量に成功した。被験者 60 名において、緑内障の総 HODE (t-HODE)、10、12-(Z, E)-HODE は白内障より高く、酸化ストレスの亢進が示唆された。緑内障は偽落屑症候群・落屑緑内障の t-HODE、10、12-(Z, E)-HODE に対して同等または高くなった。現在、疾患データとの解析による疾患特異性を進めており、結果の知財化、論文化を速やかに進める。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 一重項酸素、脂質酸化生成物、緑内障、早期診断

【研究題目】 がん幹細胞検出・分離法の構築

【研究代表者】 片岡 正俊 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

目標：

産総研独自の技術であるマイクロメーター単位のマイクロチャンパーを2万個、アレイ状に配列した細胞チップ基板技術をもとに、循環がん細胞中に存在すると考えられるがん幹細胞の検出系および細胞回収法の構築を行う。

研究計画：

がん組織の中で、組織中の存在する極少数の環細胞機能を有するがん幹細胞が、がんの分化・増殖を担っており、がん幹細胞を単離・解析することでその薬剤耐性や悪性度の判定が可能になる。循環がん細胞は、がん原発巣から血中に遊離して血流を介して遠隔臓器に定着・分化・増殖することで遠隔転移すると考えられている。まさに循環がん細胞 (CTC) の中には幹細胞機能を有するがん細胞が存在することが予想される。既に細胞チップを用いて、上皮マーカーであるサイトケラチンと EpCAM による二重染色による CTC 検出系を構築しており、この検出系で幹細胞マーカー CD133 等を用いたがん幹細胞検出系の構築を始めた。さらにマイクロチャンパーから標的細胞をマイクロキャピラリーによる回収

と Real time PCR による一細胞遺伝子解析法も構築しており、がん患者血液を用いたがん幹細胞検出を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 マイクロナノデバイス、細胞チップ、がん幹細胞、循環がん細胞、幹細胞マーカー、一細胞解析、マイクロキャピラリー

【研究題目】 大規模数値計算と画像ビッグデータを統合したハイブリッドな太陽光発電量予測システムの開発

【研究代表者】 神山 徹 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 神山 徹、村川 正宏、河西 勇二、高野 了成、中村 良介、大関 崇、大竹 秀明 (常勤職員6名、他1名)

【研究内容】

本研究では、人工衛星や地上のセンサネットワークから得られる画像ビッグデータから従来データよりも高い解像度で雲の分布を導き出し、その移動を解析することで太陽光発電量の短期予測アルゴリズムを検討することを目的とした。また観測から得られた結果に対して大規模気象シミュレーションに基づく予測モデルや発電量の実測データと比較することで、両者の利点を兼ね備えたハイブリッド型予測モデルの可能性を検討することを目標とした。

本研究は単年度での研究実施であり、本年度は地上センサネットワークから雲の分布を導き出す技術の実証と、人工衛星データとの統合による精度検証を行った。具体的には2台の全天パノラマカメラを用いて同じ時刻に得られた視差のある雲画像を利用することで雲の3次元座標を導出し、さらに全く同時刻に得られた衛星画像との比較から、雲の水平位置精度を導出した。また雲の分布再現に強みを持つ、大規模並列計算に応用可能な気象シミュレーションパッケージ「CReSS」の導入を行い、開発者である名古屋大学坪木研究室の指導を仰ぐことで、情報技術研究部門が運営・管理する「AIST Super Green Cluster」上で並列計算の実施が可能であること、計算ノード数の増加に比例して計算時間が線形に減少することを確認し、将来の大規模計算利用に有効であることを確認した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 太陽光発電量予測、地上センサネットワーク、雲分布、大規模並列計算、気象シミュレーション

【研究題目】 個人線量計を有する移動体情報を統合管理する時空間センサ情報基盤

【研究代表者】 金 京淑 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 金 京淑、小川 宏高、中村 章人、小島 功 (情報技術研究部門)、内藤 航 (安全科学研究部門)、

鈴木 良一、浮辺 雅弘（計測フロンティア研究部門）（常勤職員7名）

#### 〔研究内容〕

本研究では、個人線量計など放射線に関わるセンサ情報の利活用を推進するため、センサの国際標準に基づく時空間情報基盤に対し、個人線量計の情報を容易に取り込み検索、表示、解析する基盤技術の萌芽研究を行った。本研究は、オープンデータとセンサ情報とのデータ統合を行い、状況に応じて携帯電話のメッセージングで通知する応用シナリオを構築、実装して有効性等を検証することで「安全な社会生活に資するセンサ情報処理」技術に貢献するものである。平成26年度の成果は、以下の通りである。

#### (1)産総研の開発した個人線量計（D-シャトル）のデータを統合管理するセンサ情報基盤の開発

国際標準（Open Geospatial Consortium）に基づいて放射線モニタリング情報を管理する時空間情報基盤上に、移動体センサ（個人線量計）の情報を効率良く統合する手法を研究開発した。大量かつリアルタイムに流れ込んでくるセンサ情報を処理するため、NoSQL データベースを基盤として用い、放射線モニタリングデータの特徴を考慮したインデックスを構築することで、効率的なデータ検索を可能にした。

#### (2) 移動体センサ情報のリアルタイムデータ処理の開発

移動体センサを時空間的に検索して所望の情報が得られるかどうか検証するとともに、設定した時空間的条件を破るデータが発生すると携帯電話のメッセージングで自動的に通知する方式（リアルタイムジオフェンシング）を研究開発した。これにより、移動体が危険領域に入る可能性がある、あるいは移動体相互が近接しているなどの情報をタイミング良く通知可能になった。

#### (3) 応用シナリオによる検証

応用として、オープンデータとして公開されている線量データ、個人線量計データ等に基づいて、個々の生活パターンならびに外部被曝線量を推定し、状況に応じて携帯電話のメッセージングで通知するというシナリオを設定した。今年度は、この応用シナリオの基盤となるモバイルアプリケーションとクラウドサービス環境 RALFIE（Radiation Exposure Lifelog indicator）を開発し、個人の生活パターンに関して外部被曝量を予測するためのデータ検索・可視化機能を実現した。今後は福島県の住民のための外部被ばく線量推定支援ツールとして発展させる予定である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 移動体センサ、環境モニタリング情報、時空間情報

〔研究題目〕 高電力効率大規模データ処理イニシアチブ（IMPULSE）

〔研究代表者〕 金山 敏彦（副理事長）

〔研究担当者〕 金山 敏彦、安田 哲二、湯浅 新治、福島 章雄、久保田 均、野崎 隆行、甲野藤 真、今村 裕志、薬師寺 啓、松本 利映、塩田 陽一、北岡 幸恵、アナ コジョルラクワル、富永 淳二、コロボフ アレキサンダー、中野 隆志、フォンス ポール、王 曉民、牧野 孝太郎、齊藤 雄太、澤 彰仁、山田 浩之、並木 周、河島 整、鉄塚 治彦、池田 和浩、鈴木 恵治郎、谷澤 健、黒須 隆行、井上 崇、石井 紀代、森 雅彦、土田 英実、山本 宗継、榊原 陽一、天野 建、岡野 誠、亀井 利浩、外山 宗博、金丸 正剛、昌原 明植、柳 永勲、松川 貴、森田 行則、右田 真司、遠藤 和彦、太田 裕之、大内 真一、水林 亘、青柳 昌宏、菊地 克弥、小池 帆平、宮田 典幸、前田 辰郎、多田 哲也、内田 紀行、チャン ウェンシン、福田 浩一、鈴木 爾、浅井 美博、宮崎 剛英、中村 恒夫、大谷 実、西尾 憲吾、伊藤 智、工藤 知宏、広渕 崇宏、高野 了成、小川 宏高、小島 功、谷村 勇輔、池上 努、越本 浩央、竹房 あつ子、中田 秀基、的野 晃整、田中 良夫、油井 誠、杉田 正（常勤職員70名、他9名）

#### 〔研究内容〕

大規模化するデータの利活用は社会課題解決やビジネス創出の鍵である。データ量は10年で10倍以上という指数関数的増加を続けており、2030年にはデータセンタのエネルギー消費が総発電量の30%を超える可能性が指摘されている。本研究課題は、データセンタ等における集中処理の電力効率を飛躍的に改善するために、産総研が強みを有する不揮発メモリ、高性能ロジック、光ネットワーク、計算機アーキテクチャの各要素技術を発展させ、これらを統合することにより、高電力効率の大規模データ処理技術開発を先導しようとするものである。本研究課題は平成25年度に産総研 STAR 事業として開始し、2年目の今年度は以下の研究開発を行った。

不揮発メモリについては、動作時の電流を桁違いに小さくする電圧制御書き込み技術の原理実証を目指して研究を進めた。スピン RAM の界面をエピタキシャル成長により高品質化し、電圧制御書き込みに用いる超薄膜磁性層の磁気異方性の大幅な改善に成功した。また、相変化 RAM の書き込みにおけるセッターリセット間の遷移を電界方向により制御できることを実証した。第一原理

計算により、磁気異方性の更なる増大のために界面へのグラフェン層の挿入が効果的であることを提案するとともに、相変換材料を構成する Ge 原子と Te 原子の相対位置が反転して伝導度が変化するにはガンマ点以外の k 点におけるバンド構造変化が寄与していることを明らかにした。

高性能ロジックについては、チャンネル移動度が大きい Ge を用いたフィン FET 技術の確立を目指して研究を進め、高品質の MOS 界面として知られる GeO<sub>2</sub>/Ge 構造に匹敵する電子移動度を、より微細化に適した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ge 構造において実現した。デバイスの設計や動作解析に用いる TCAD について、有限体積法の実装、領域分割を行った場合の収束手法の基本動作確認、Newton 法で用いる微分式の物理方程式からの自動生成を進めるとともに、三次元集積ロジックの動作特性解析に着手した。

光インターコネクトについては、光スイッチや波長多重化を進展させて、データ伝送の高速化と低消費電力化を同時に実現することを目指して研究を進めた。今年度はネットワーク高密度多重化に関して、Si-WDM フィルタを試作し、可変動作とクロストーク制御を確認するとともに、世界最先端となる64QAM 伝送技術を立ち上げた。

アーキテクチャについては、近未来のデータセンタの性能要件を明確にし、その実現のためのアーキテクチャやオペレーティングシステムを提案・開発するとともに、本課題で開発するデバイスを統合した大規模データ処理システムの基本コンセプトを提示することを目的として検討を進めた。2030年のデータセンタに向けたロードマップ検討の一つとして、3次元積層パッケージを光ネットワークにより接続する将来のアーキテクチャを提案した。また、より近い将来（2020年頃）のデータセンタを想定したオペレーティングシステムについて、不揮発メモリを活用する省エネハイパーバイザの開発を進め、CPU 仮想化機能を用いた軽量メモリトレース機能を実現した。

産総研 STAR 事業として実施している本研究課題を広く社会や産業界に広報するために、産総研 STAR シンポジウム「大規模データ処理を実現する超消費電力ハードウェアの将来像」を平成27年1月26日に開催し、研究開発の狙いと進捗状況の報告を行った。

【分野名】情報・エレクトロニクス

【キーワード】データセンタ、低消費電力化、不揮発メモリ、ロジックデバイス、光インターコネクト、計算機アーキテクチャ、第一原理計算、デバイスシミュレーション

【研究題目】電子線を利用する次世代化合物製造技術の開発

【研究代表者】韓 立彪（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】韓 立彪、内丸 祐子、山下 浩

（常勤職員3名）

【研究内容】

化学結合の切断に基づく化合物の変換法は、触媒などによる化学的手法と熱などによる物理的手法がある。現在、殆どの化合物は、前者の化学的手法(主に触媒手法)により製造されている。1世紀以上の歴史を持つ由緒のある技術で、現在も精力的に研究し、改良をなされているが、しかし、時代の進歩とともに、化学的手法の限界も明らかになってきた。一方、技術の進歩により、いくつかの優れた物理的手法が開発されている。その一つは、電子線である。電圧をかけ、電子をビーム状に収束・加速させることにより、粒子線をつくる。これを使えば、従来の熱や光などの物理的手法では難しかった、化合物結合の切断を容易にできるのは特徴である。金属加工やタイヤ処理に広く利用されている。本プロジェクトでは、電子線（物理的手法）を用いた、化合物の高効率製造技術の開発を行った。電子線によるヘテロ原子化合物、特にリン酸誘導体の放射線反応について、その化学構造、状態（液状、粉末状）や反応条件（溶媒、温度など）を検討することで、反応効率を向上させることに成功した。生成物の分離・同定により、放射線反応特有の新規物質の探索を行った。また、ポリエチレンなどの高分子固体にヘテロ原子化合物やリン酸誘導体を添加することで、放射線反応による高分子固体の難燃性など諸特性の改質の検討も行い、本技術ではラジカル活性種の制御が可能であり、新しい有機化合物の合成手法であることを実証された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】電子線、無触媒、新合成技術

【研究題目】パラゴムノキラテックス増産を目指したゲノム解析と分子育種

【研究代表者】鈴木 馨（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】鈴木 馨、光田 展隆、藤原 すみれ、大島 良美、鄭 貴美  
（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

天然ゴムは、タイヤを中心とするゴム産業において必要不可欠な原材料であり、世界的な需要は増加の一途をたどっている。その一方で、アブラヤシとの競合や森林保全の観点などから耕地面積の拡大は難しいため、単位面積当たりの生産性を向上させることが重要な課題となっている。そこで、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）、ブリヂストン、産総研の3者で連携してパラゴムノキにおけるラテックス生産性の向上を目指した分子育種の基盤技術構築をテーマに国際共同研究を実施している。天然ゴムは、パラゴムノキが産出するラテックスと呼ばれる乳液より生産される。我々は、パラゴムノキにおけるラテックス収量増加を目的として、遺伝子情報解析や植物バイオテクノロジー研究に基づいた分子育

種のための基盤技術開発に関する研究を進めており、ラテックスの生産器官である乳管の形成機構の解明と形質転換技術の確立を目指している。平成26年度は、形成層の形成制御に関与する候補遺伝子の機能解析を進めた。パラゴムノキにおいて取得したマイクロアレイデータの解析を進めた、パラゴムノキ培養細胞を用いた形質転換法の検討では、効率の向上を目指した条件検討を進めた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 パラゴムノキ、天然ゴム、ラテックス、分子育種

【研究題目】 イヌ皮膚炎改善薬作用機構の解明

【研究代表者】 松村 健（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 松村 健、伊藤 亮（常勤職員2名）

【研究内容】

イヌの皮膚炎、特にアトピー性を含む慢性皮膚炎は、ヒトと同様に主な慢性疾患のひとつとして問題視されている。これに加えて、広義の皮膚炎と位置づけられている外耳道炎についても、全身性慢性皮膚炎に次いで多い疾患である。一方、我々は企業との共同研究により、イヌインターフェロン（CaIFN）発現イチゴ粉末を原薬としたイヌの歯肉炎軽減剤を開発し、世界初の組換え植物による動物用医薬品として実用化に成功している。本研究では、この CaIFN 発現イチゴの新たな効能拡大を狙い、本剤のイヌ慢性皮膚疾患に対する改善効果の基礎的解析を試みた。具体的には、人工的にアレルギー様皮膚炎あるいは外耳道炎発症モデル犬に対して CaIFN を投与したところ、症状の低減ならびにアレルギー因子の低下が確認された。さらに、重度の全身性慢性皮膚炎を既に発症している犬に対しての効果確認では、皮膚炎症状は消沈し、炎症時に認められる血液中因子の低下が観察された。本成果により、CaIFN 動物用医薬品の新規効能を示す強力な基礎データとして有用であると同時に、CaIFN の皮膚疾患に対する免疫学的効果解析の一端を証明しうるものと考えている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 イヌインターフェロン、慢性皮膚炎、遺伝子組換えイチゴ、症状低減効果

【研究題目】 新規認定宿主ベクター系微生物の完全ゲノム解析

【研究代表者】 北川 航（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 北川 航、田村 具博  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

2014年7月より特定のロドコッカス属細菌とベクターの組み合わせが文部科学省の指定する“認定宿主ベクター”となった。これは属レベルで新規の微生物が新たに認定宿主ベクター系に加わった初めての例であり、今後の組換え微生物実験と応用、利用に大きなインパクトを

与えるものである。本微生物は難分解性化合物の強力な分解能や有機溶媒耐性、更に優れた二次代謝生産性をもつことから盛んに遺伝子レベルの研究が行われてきた。ロドコッカスはまた同時に株レベルでの個性に富んだ微生物であり、同属同種であっても抗生物質の生産性が異なる事が知られ、また線状プラスミド、環状プラスミドのバリエーションも豊富である。今回の認定によって更にロドコッカスが研究や微生物関連産業の現場で用いられることが予想されるが、完全ゲノムの解析された株が各現場で有利になることは間違いない。しかしその構造の複雑さから完全ゲノムが解析された株は数少ない。今回第三世代シーケンサーと呼ばれる PacBio を用いる事によって個性に富んだ複数株の完全ゲノム解析を試みた。その結果ショートリードの第2世代シーケンサーでは全く解明に至らなかった染色体ゲノムをほぼ完全に解明することに成功した。染色体の塩基配列は各株間で99%以上一致していたが、それ以外の部分では抗生物質生産系の遺伝子などが見いだされ、株レベルの個性を遺伝子レベルで明らかにすることに成功した。しかしその一方、線状プラスミドについては PacBio システムの未知の性質により、ほとんど明らかにすることは出来なかった（配列情報の欠落）。これに対して解析を依頼した分析会社にも問い合わせたが、明確な回答は得られなかった。放線菌を扱う別の機関の研究者も PacBio シーケンサーで同様のトラブルを経験しており、今回のサンプルに限ったことでは無いことが分かった。第2世代シーケンサーで既に得ている配列情報を基に、今後全ての株の完全ゲノム解析を試み、これを基に各株の“良いところ取り”のゲノム構造を持つ新規宿主に改変して行く予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 Rhodococcus、認定宿主ベクター、ゲノム解析

【研究題目】 人為的アポミクシス誘導技術の開発による植物育種革命 「攻めの農業への橋渡し」

【研究代表者】 光田 展隆（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 光田 展隆、高木 優  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

農業／商業作物において、異なる純系もしくは近交系を交配して得られる雑種（種内雑種）第一代が、多くの生育特性において両親のいずれよりも優れた形質が均一に発現される雑種強勢という現象が見出されている。しかし、一代雑種はその性質上優れた特性を発揮するのは一代限りであり、次世代以降は形質のばらつきが非常に大きくなるために次世代以降は農業栽培には適さない。もし一代雑種の形質を種子を経てそのまま次世代以降に遺伝させることができるようになれば、一代雑種生産コストを劇的に低下させられるだけでなく、育種年限を大

幅に短縮し、また、多様な新品種開発が可能となる。また、現状ではヘテロな「エリート系統」に生産を依存しているような植物においても、エリート系統の形質を種子を経てそのまま次世代以降に遺伝させられるようになれば、生産性が大幅に向上する。これを実現させるには、受精無しに次世代が発生するアポミクシスという現象を人為的に引き起こす必要がある。われわれは特定の転写制御因子の働きを抑制することにより、アポミクシスが発生しうるとする仮定の下、シロイヌナズナにおいてアポミクシスを引き起こす転写制御因子の探索を行った。本年は次世代発生に必要な胚発生と胚乳発生を引き起こす転写制御因子についてそれぞれ探索と再現性確認を進め、複数の有力因子を発見した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アポミクシス、シロイヌナズナ、単為発生、分子育種

【研究題目】 分泌型ルシフェラーゼ発光変異体による簡便な核内受容体アッセイ法の開発

【研究代表者】 森田 直樹（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 森田 直樹、坂下 真実、西宮 佳志（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

核内受容体は、外部から細胞内に取り込まれた活性化物質（リガンド）と結合することで活性化され、生命維持の根幹に関わる遺伝子や生活習慣病に関わる遺伝子の転写を制御している。そのため、医薬品開発における分子標的とされている。農林水産物や食品にも核内受容体に結合する成分を含有するものがあり、これらが遺伝子転写の制御に寄与するかどうかは食品の機能性を科学的に評価する指標になり得る。しかし、従来の核内受容体アッセイ法は、コストとスループットの面で課題があり、食品産業における利用は進んでいない。そこで本研究では、ウミホタル由来分泌型ルシフェラーゼ（Cluc）の発光色変異体を用いて、簡便・安価・ハイスループットな核内受容体アッセイ法を開発し、医薬分野および食品分野での核内受容体解析に貢献することを目指す。

我々は、既に異なる発光色を呈する2種類の変異体（CLuc-B, CLuc-R）の作製に成功している。しかし、CLuc-R の発光強度が不十分であり、CLuc-B と CLuc-R 用いた内部標準と遺伝子転写活性の同時測定は実現していない。そのため CLuc-R の改良に取り組んだ。

- 1) 分泌発現量の向上：我々が独自に所有する酵母由来分泌シグナル配列ライブラリーから CLuc-R に適切な配列の選定を行った。その結果、単位培養液当たりの発光強度を約4倍に増強することに成功した。
- 2) 改良型 CLuc-R の構築：ランダム変異導入による活性変化と CLuc の二次構造および立体構造予測結果から活性中心の推定を試みた。活性に大きく寄与する残基が立体構造上近傍に位置することが示唆された。活

性部位候補の周辺残基に部位特異的変異導入を行い、改良型 CLuc-R の取得を進めている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 分泌型ルシフェラーゼ、発光変異体、レポーターアッセイ、核内受容体

【研究題目】 TPEC 活用パワーエレクトロニクス研究

【研究代表者】 奥村 元（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 奥村 元、福田 憲司、原田 信介、岡本 光央、辻 崇、後藤 雅秀、俵 武志、坂井 隆夫（常勤職員5名、他24名）

【研究内容】

地球温暖化抑制のために二酸化炭素排出量削減が叫ばれる中、電力損失の削減（省エネルギー化）に重要な技術として、SiC による超低損失デバイスを用いた高効率電力変換器（インバータ）の実現がパワーエレクトロニクス産業界から期待されている。そのために、TPEC（Tsukuba Power Electronics Constellations）活用パワーエレクトロニクスプロジェクトにおいて富士電機株式会社、アルバック株式会社、住友電気工業株式会社、アルバック株式会社等と連携して大容量 SiC-SBD/MOSFET の実用レベルでの量産技術の共同研究を行い、世界のトップレベルのデバイスをアプリ側へ供給すると同時に低オン抵抗化のためにトレンチ構造を有する MOSFET の量産技術の開発を開始した。また、高温、高耐圧用の実装技術の開発については、モジュール試作ラインの立ち上げを完了し、アプリ側へ2in1モジュール、大容量モジュールの提供を行った。さらに、高温、高耐圧用のパッケージ/モジュール用の部材の評価を開始した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 SiC、低損失デバイス、MOSFET、SBD、パワー半導体、量産技術

【研究題目】 SiC ベア・エピウエハ評価法の国内及び国際標準化

【研究代表者】 先崎 純寿（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 先崎 純寿（常勤職員1名）

【研究内容】

現在、パワーデバイスに関する国際標準は「半導体デバイス」に関して IEC/TC47でその標準化が進められているが、「半導体ベア・エピウエハ」に関する TC/SC は存在しない。そのため、次世代パワーデバイスの基板材料として期待されている SiC ウェハについても、統一されたスペックはなく、特にウェハ品質を決定する結晶欠陥について、その定義や判別手法など不明確であり、適切なウェハ品質確認が困難な状況である。その結果、

ウエハコストの増大、製品歩留まりの低下など、SiC パワーデバイス実用化を阻害する問題が多数存在する。これらの問題を解決するため、SiC ウエハスペックを共通の指標で協議可能とする国際規格の制定が強く求められている。そこで、本研究では「SiC エピ/ウエハ欠陥検出手法」に関する国際規格の制定を目標としている。

本事業では NEDO 事業において開発された「SiC エピ/ウエハ統合評価プラットフォーム」によって蓄積された SiC エピ/ウエハ評価データ及びウエハ欠陥とデバイス信頼性の相関データを活用して、「SiC エピ/ウエハ欠陥検出手法」を確立した。さらに本手法に関する国際標準規格制定を目的とするプロジェクトへの提案体制の構築を図った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 パワーデバイス、SiC ウエハ

〔研究題目〕 3D プリンターの産業創出プラットフォーム形成事業

〔研究代表者〕 芦田 極

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 芦田 極、松崎 邦男、中野 禪、清水 透、佐藤 直子、小木曾 久人、瀬渡 直樹、廣瀬 伸吾、馬場 創、岡根 利光、梶野 智史、徳野木 綿子、他22名(常勤職員33名、他1名)

〔研究内容〕

産業界による Additive Manufacturing (AM) 技術(3D プリンター)を利用した製品開発に資するため、国家プロジェクトと密接に連携をとりながら、造形物の分析・評価装置の開発、傾斜材料造形技術の開発、アプリケーションサイドから発想する設計支援技術の開発、及び製品の試作・評価プロセスの実証を行い、また国際標準化や地域連携の取り組みを通じて、三次元造形技術による産業創出プラットフォームの形成を目指す。三次元造形技術の活用が期待されている事例として、タービン部品及び人工心臓部品について、実験機・モデル実験系での評価を可能とするプロトタイプを作製し、本課題で開発する3D 造形物の分析評価技術を用いてプロトタイプの欠陥・構造評価や機能評価をフィードバックする先行事例を示して、実用化への橋渡しを行う。またナノテクノロジー・材料・製造分野と計測・計量標準分野との連携により X 線 CT 装置で得られる内部欠陥の観察と組み合わせ、環境負荷をかけたときの空孔進展等との関連性を調べる。更に、国際標準化への貢献及び公設研との連携を行うことで、三次元造形技術を活用する新たな国家プロジェクトの立案に繋げるとともに、民間との共同研究を展開する。AM は製造の非専門家でも使用可能な事から、デザイナー主導でプロトタイプングを行い、少量から製品を製造、市場展開し、反応を得ることで、迅速かつ低リスクにモノ(ハード、ソフト)・サービスを

をテストし社会ニーズを探索することが可能となることが期待されている。そこでナノテクノロジー・材料・製造分野と情報通信・エレクトロニクス分野が協力しながら、今後 AM 技術が産業界でフルに活用される状況を想定し、「AM 技術で何を作るか」「どのように使われるか」に関わる設計支援技術の開発を行う。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造、

計測・計量標準分野、情報通信・エレクトロニクス分野

〔キーワード〕 3D 積層造形、材料評価、国際標準化、地域連携

〔研究題目〕 AD 法による3次元コンポジット膜実装環境の整備

〔研究代表者〕 明渡 純(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 明渡 純、土屋 哲男、中島 智彦、篠田 健太郎、小木曾 久人、鈴木 宗泰、瀬渡 直樹、廣瀬 伸吾、馬場 創、周 豪慎、北浦 弘和(常勤職員11名)

〔研究内容〕

本プロジェクトでは、先進コーティングプラットフォームでの連携企業での実用化の加速、新しいコーティング手法の開発に関する基盤技術の高度化及び民間企業とのコンソーシアム形成、大型プロジェクトへの展開など、イノベーション・ハブ機能強化が可能な体制を整えることを目的とし、AD、光 NOD 膜実装環境の整備を行った。

AD 法に関しては、3D プリンターなどで形成された3次元の金属、樹脂機材上に、セラミックス膜やコンポジット膜を形成するための装置改造、環境整備と粒子噴射方向、基材形状の成膜特性への影響など基礎的検討を行った。その結果、義歯などを想定したチタン合金の複雑形状構造物表面に、100ミクロン程度セラミックス厚膜が高速形成可能なことが確認されると同時に、実用的用途での課題抽出を完了した。また、樹脂機材上へは中間層の形成により50MPa 以上の密着強度で10ミクロン厚み程度の高透明なアルミナ膜が形成できる条件を見出した。以上の結果を踏まえ、精密機械メーカー、医療部材メーカー、大手塗料メーカーにサンプル試供を行い、一部資金提供型共同研究に移行することができた。

一方、光 MOD では、ロールツーロールへの対応が可能な大型照射装置を導入した。これにより、1~10ミクロンの厚膜を、従来の2倍の成膜速度で処理することが可能となった。また、フィルム上へのフレキシブル導電体膜や大面積フレキシブル蛍光体膜の作製に成功した。これらの成果は、SIP プロジェクトや資金提供型共同研究の獲得に繋がった。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 エアロゾルデポジション、光 MOD

〔研究題目〕タンパク質エントロピー指向型の新規リード最適化技術による制癌標的 Phosphatidyl Inositol 5-phosphate 4-kinase 阻害剤の構築

〔研究代表者〕竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕竹内 恒、福西 快文（常勤職員2名）

〔研究内容〕

現在の創薬における課題はリード最適化にあり、活性が不十分なリード化合物が臨床試験に突入することで、莫大な時間と資金が喪失されている。リード最適化においては、薬物スクリーニングによるヒット化合物の平均結合エネルギー約6 kcal/mol を、医薬品の平均値である10 kcal/mol まで向上させる必要がある。タンパク質と薬物の結合エネルギーは、タンパク質と薬物の特異的結合形成（水素結合など）によるエンタルピー利得と結合に伴う構造固定化によるエントロピー減少、脱水和による溶媒エネルギー変化の総和により決定される。従来の分子設計では、水素結合などの特異的な結合を導入することで親和性の向上を目指すのが、薬物に接する部分ではタンパク質構造が固定化されることでエントロピー減少が起き、思ったほどの親和性向上が見られないことが多かった。一方、申請者らは、NMR 法および計算機科学的手法を用いた運動性解析により、薬物がタンパク質に結合した際に、薬物と直接接触しないアロステリック領域において、タンパク質の柔軟性が増大する複数の事例を見出した。化合物結合に伴う運動性増大は、結合エネルギーの増大につながるため、申請者らが発見した遠位運動性の増大を積極的に利用出来れば、大幅な化合物の活性上昇が期待できる。

本年度は NMR 法を用いた運動性解析により、薬物結合に伴い遠位でのタンパク質の柔軟性が増大することを見出した薬物・タンパク質相互作用系において運動性増大を定量的に評価する新たな計測技術を確立した。その結果、多剤耐性タンパク質で3~5 kcal/mol のエントロピー的エネルギー利得が生じることを、定量的に明らかにすることが可能になった。また同様の方法を MAPK p38-化合物複合体に適用することで、結合時の化合物の運動性やタンパク質-化合物の空間相補性を明らかにすることが可能であった。また PI5P4K に対する化合物スクリーニング技術を確立し、結合定数10 uM 以下の化合物8種を得た。これらの定量的運動性解析技術および化合物を基に、理論的に分子設計を進め、合成展開を行うことで PIP4K に対する高い親和性と特異性を両立したリード化合物を創生することを目指す。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕キナーゼ、阻害剤、運動性、エントロピー

〔研究題目〕革新的創薬推進エンジン開発プログラム（戦略予算）「IT・計測・ロボット技術

による医薬候補分子の最適化技術」

〔研究代表者〕夏目 徹（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕夏目 徹、堀本 勝久、広川 貴次、福井 一彦、五島 直樹、福西 快文、竹内 恒、久保 泰（常勤職員14名、他49名）

〔研究内容〕

創薬には莫大なコストと時間がかかり、日本発の新薬開発力が喪失しつつある。これは、バイオ IT を含めこれまで培ってきた日本の創薬基盤技術と人材が散逸してしまう危機的状況である。この現状を短期的且つ効果的に打破するには、開発途上で開発中止されたリード化合物（ドロップ薬）を有効利用することである（再リード化）。各製薬企業がリード化合物としてコストと時間をかけて開発してきた化合物は、どれも極めて興味深い薬理活性がありユニークな構造を有している。しかし、主に二つの理由で、多くのリード化合物は臨床研究の途上でドロップしてしまう。

- ① 前臨床研究において、薬効作用メカニズムを完全に解明することが出来なかったため、有効性を示すための対象疾患を詳細に絞り込むことが出来ない。
- ② やはり前臨床研究において、十分な副作用メカニズムが解明できず、臨床研究の第1・2相で、副作用と薬効濃度を十分乖離させることが出来ない。

従って、薬効メカニズム解明と毒性回避を行う技術基盤を提供できれば、これまで各製薬会社が「涙をのんで」開発を中止した膨大な数のドロップ薬の開発を再開することが出来る。

しかし、薬効作用あるいは副作用メカニズムの解明は容易ではない。また、解明ができたとしても、副作用を回避し薬効を高める最適化（再リード化）も約束されていない。従って、臨床研究に特化せざるを得ない製薬企業には、再リード化を目指すことはできない。また、アカデミアの従来の計測・IT 技術でも対応不可能である。仮に可能だとしても、必要な基盤技術を有する複数の研究室が有機的に融合することはない。

これまで、計測実験研究者は、データ解析を効率自動化のために IT 技術を用いるのみであり、IT 理論研究者は既存のデータをただ単に利用するに過ぎない。作用・副作用解明という高度な課題に挑戦するには、計測と IT 技術が相補的にインテグレートされていなければならない。

産総研においては、独自のロボット・ナノテク・クリーンルーム技術・cDNA リソース・計算機と IT 技術の整備により、従来困難であった超高精度なタンパク質絶対定量解析を可能にした。また、独自に開発した大規模計測データを用いた数理ネットワーク手法の開発による細胞システム解析に成功している。また、化合物とタンパク質複合体に特化した NMR 立体構造解析技術も蓄積

されており、且つ産総研独自に開発されてきたドッキングシミュレーションソフトウェアも開発されている。さらに、これらの世界的トップレベルの基盤技術が、一極集中的に臨海センターに整備されているため、各技術をインタラクティブにインテグレーション可能である。その結果、作用・副作用メカニズム解明と、それを基にした化合物の再最適化を体系的に行うことが可能となる。

具体的研究内容は、

- ① 化合物処理前後の、細胞内全タンパク質の変動解析と、化合物ターゲットタンパク質機能複合体ネットワーク変動に特化した計測システムを構築するとともに、データ処理の自動化ソフトを開発する。
- ② ①で行った計測をもとに、化合物の作用メカニズム及び、副作用メカニズム推定に特化した数理ネットワークシステム開発を行う。
- ③ タンパク質と化合物とのドッキングシミュレーションから、化合物の高活性化と副作用低減化のための最適化ソフトウェアを開発する。
- ④ NMR 等での構造生物学的解析により、ドッキングシミュレーションを検証し、精度を高める手法を開発する。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] リード化合物、質量分析、NMR、シミュレーション、プロテオミクス、数理システム解析、ネットワーク解析

[研究題目] ネクスト PV プロジェクト（新生ペロブスカイト系太陽電池の先導研究（FS））

[研究代表者] 松原 浩司

（太陽光発電工学研究センター）

[研究担当者] 松原 浩司、仁木 栄、吉田 郵司、近松 真之、宮寺 哲彦、Kazaoui Said、柴田、肇、反保 衆志、鯉田 崇、佐山 和弘、小野澤 伸子、船木 敬、（以上、太陽光発電工学研究センター）、甲村 長利、村上 拓郎

（以上、環境化学技術研究部門）、

高島 浩（電子光技術研究部門）、

宮崎 剛英、宮本 良之、関 和彦、

中村 恒夫、大谷 実、池上 敬一、

浅井 美博（以上、ナノシステム研究部門）、

真部 高明、土屋 哲男（以上、

先進製造プロセス研究部門）

（常勤職員24名）

[研究内容]

本課題では、ペロブスカイト太陽電池の効率向上、高効率な発電機構の解明に向けた研究開発を、太陽光発電工学研究センターおよび産総研内の関連する分野の連携により推進した。塗布法によりペロブスカイト太陽電池の基本製造技術の向上を図るとともに、高効率化を目指

した蒸着法による作製法の確立を図った。また関連の材料開発や作製法の検討、高効率な発電機構の理論的な検討にも取り組んだ。

ペロブスカイト太陽電池の基本作製技術の確立をめざし、塗布法（主にスピコート）を用いた様々なプロセスおよび素子構造の検討を行った。FTO 基板/TiO<sub>2</sub>層/ペロブスカイト層/ホール輸送層/Au 電極の素子構造において、成膜条件等の検討を行い変換効率12%以上を得るプロセスを確立した。また高効率化に向けて新たに開発したホール輸送層、Co 材料などを用いた素子作製にも取り組んだ。

有機鉛ペロブスカイト薄膜の組成・構造を精密に制御して作製することを目指し、当該材料に特化した蒸着装置を導入した。温度制御を精密に行うことにより、安定した蒸着レートで材料供給することが可能となった。また、赤外レーザー加熱によるレーザー蒸着法も開発した。蒸着レートを自動制御することで数時間にわたり安定して材料を供給させることが可能となった。今後これらの装置を用いて、組成を精密制御したペロブスカイト光吸収層を作製し、ペロブスカイト太陽電池の高効率化を目指す。

ペロブスカイト太陽電池の要素技術である電子輸送層については、製膜方法、材料系の検討を行った。ペロブスカイト太陽電池では、スプレー法による TiO<sub>2</sub>の利用が一般的であり、高い効率が得られているが、大面積化や、生産性の面で問題がある。そこで、MOD（Metal Organic Decomposition）法による TiO<sub>2</sub>の適用を試み、有効性を確認した。また、TiO<sub>2</sub>以外の酸化物質材料（ZnO 等）の適用も検討した。

ペロブスカイト太陽電池の動作機構等の理論的な検討については、計算科学の研究者と各種太陽電池の研究者が、他の太陽電池との共通点と相違点等についての議論を深め、研究開発にフィードバックした。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 太陽電池、ペロブスカイト

[研究題目] メガソーラーの長寿命化技術

[研究代表者] 増田 淳

（太陽光発電工学研究センター）

[研究担当者] 櫻井啓一郎、仁木 栄、増田 淳、土井卓也、原 浩二郎（以上、太陽光発電工学研究センター）、近藤 道雄（福島再生可能エネルギー研究所）、（常勤職員6名）

[研究内容]

太陽電池モジュールの高電圧耐久性試験

太陽電池モジュールは本来、数百～1kV 程度の高電圧がかかる状況下で数十年間稼働し続けなければならない。しかし近年、PID（Potential Induced Degradation：電圧誘起劣化）と呼ばれる現象により、



特定の状況下で設計よりも速く劣化することが明らかとなり、分析と対策が進められている。当センターでは屋内環境で PID を短期間で再現する手法を開発したが、パワーコンディショナーに接続されていないなど、屋外の実際の環境とは異なる点もある。

そこで、より実際の環境に近い状態で PID を再現できる設備を開発・構築した。この設備では、屋外環境において、パワーコンディショナーとの様々な接続方式や、アースとの間の電位、真水・塩水の噴霧といった様々な条件を変えながら PID を再現でき、屋内における加速試験と、実環境試験との対応状況を調査できるようになった。設備の構築と試運転は平成25年度までに完了し、平成26年度は本格的な運用を開始した。その結果、1000 V のシステム電圧で運用した多結晶シリコン太陽電池モジュールにおいて、30分毎に散水を行った場合は、4週間で初期値の7割程度に性能が低下したのに対し、散水を行わなかった場合には、4週間後においても性能低下はほとんど観測されなかった。また、エレクトロルミネセンス像でも性能低下が裏付けられた。国内でもシステム電圧1000 V のメガソーラーの運転が既に開始され、喫緊の PID 対策が求められているところであり、屋外で PID を再現可能なシステムの構築に成功した意義は大きい。

また上記の設備とは別に、石川県工業試験場に既設の太陽光発電設備の一部のモジュールを利用して、系統連系下での実環境における PID の加速試験を行うため、平成25年度に設備の改造工事を実施した。平成26年度は北陸電力との系統連系協議を完了し、運用を開始した。17年間の長期曝露を経たモジュールを高システム電圧で運転することにより、長期曝露による様々な劣化現象と PID の関係が明確化されることが期待される。

これらの研究により、様々な PID 対策の基盤となるデータを提供し、太陽電池モジュールの信頼性向上、さらには太陽光発電システムの生涯発電量の向上、発電コストのさらなる低減に貢献する。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽電池、太陽光発電、電圧誘起劣化、高システム電圧、信頼性

【研究題目】有機薄膜太陽電池の屋内用途試験・評価方法の国際標準化の技術開発

【研究代表者】吉田 郵司  
(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当者】吉田 郵司、他(太陽光発電工学研究センター、常勤職員2名) 須田 洋幸、他(環境化学技術研究部門、常勤職員11名、他4名)、池上 敬一、他(ナノシステム研究部門、常勤職員3名)、古部 昭広、他(計測フロンティア研究部門、常勤職員2名)

【研究内容】

本研究は、太陽光発電工学研究センターを中心に、有機薄膜太陽電池の屋内用途試験・評価方法の国際標準化を推進するために、産総研内の各ユニット(太陽光発電工学研究センター、環境化学技術研究部門、ナノシステム研究部門、計測フロンティア研究部門)との連携に基づいて、関連技術基盤の整備を集中的に行うことを目的としている。具体的には、有機薄膜太陽電池の劣化評価技術(シミュレーションを含む)、屋内性能評価技術等の確立を目指すものである。

発電層の劣化現象の解明に向けて、有機半導体材料の光酸化による一次構造変化、及びバルクヘテロ接合(BHJ)の熱による高次構造変化の解析を行った。スピントラップ ESR 法により、p 型高分子材料の光酸化において一重項酸素とスーパーオキシドの2種の酸素活性種が生成し、前者が材料の劣化を引き起こすことを明らかにした。MALDI-TOFMS により p 型高分子材料や n 型材料のフラーレン誘導体の光酸化メカニズムを明らかにした。BHJ 構造の熱劣化に関して、固体 NMR によるドメインサイズ解析を行い、p/n 材料の分散性が熱耐久性と相関があることを見出した。

更に、塗布印刷装置を用い、プラスチック基板上へのフレキシブルモジュールの作製方法の改良を行い、多直列による高電圧化や、発電層材料や封止構造の変更による高効率化・高耐久化を実現した。

周辺部材評価として、封止したデバイス中への酸素浸入を検出するための酸素プローブ法を開発した。酸素存在下で消光するりん光化合物を組み込んだ OPV デバイスを作製し、駆動状態における酸素濃度変化のその場測定を実現した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】有機薄膜太陽電池、劣化解析、屋内性能特性、サブモジュール、国際標準化

【研究題目】災害対応ロボットシステム開発

【研究代表者】横井 一仁(知能システム研究部門)

【研究担当者】横井 一仁、加藤 晋、山野辺 夏樹、森川 泰、安達 弘典、大山 英明、金子 健二、神村 明哉、中岡 慎一郎、阪野 貴彦(以上、知能システム研究部門)、鈴木 良一、浮辺 雅宏(以上、計測フロンティア研究部門)  
(常勤職員12名)

【研究内容】

東京電力福島第一原子力発電所廃止措置に向けた作業に貢献するため、各種災害対応ロボットシステムに関する研究開発を行った。

本田技術研究所、東京電力と共同で開発した遠隔操作で原子炉建屋内1階高所・狭隘部等の調査を行う「高所調査用ロボットシステム」を用いて、平成26年5月に3

号機原子炉格納容器内部調査に向けた計画策定のために北西エリアの線量測定を実施した。また、同ロボットシステムのインタフェースソフト改良と検証等を行った。

災害対応ロボットシミュレータとして十分な性能である解像度数百程度・フレームレート数百程度のラインスキャナ数個のシミュレーションを実時間で実行可能なレンジセンサのシミュレーション機能を、Choreonoid の機能拡張として実現した。

原子炉格納容器ナックル部の健全性調査を行う「ナックル部健全性調査装置」の要素技術の開発を行った。具体的には、工業用内視鏡を送り出す機能ならびに振る機能を備えた「送り出し装置」を、昨年度実施した基本設計に基づき開発した。また、工業用内視鏡を目的部位であるナックル部まで座屈することなく誘導する「ガイド装置」を設計し開発した。加えて、工業用内視鏡をスムーズに送り出せるように工業用内視鏡に装着する「ガイドボール」を設計し開発した。模擬環境を用い、工業用内視鏡をペネ入口からナックル部まで送り出せることを確認した。この工業用内視鏡先端部に搭載し放射線量率を計測するための超小型放射線線量計を開発した。開発した線量計は、PIN Si ダイオードをセンサ素子として放射線量を測定するもので、1kGy/h 以上の線量率まで計測できることを確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】災害対応、東京電力福島第一原子力発電所廃止措置、高所調査用ロボットシステム

【研究題目】RT ミドルウェアの動的なコンポーネント配置・設定 (DDC4RTC) の標準化

【研究代表者】ビッグス ジェフ (知能システム研究部門)

【研究担当者】ビッグス ジェフ、中坊 嘉宏、堀 俊夫 (デジタルヒューマン工学研究センター)、安藤 慶昭、神徳 徹雄 (常勤職員5名)

【研究内容】

多種多様なニーズに対応するオーダーメイド型の生活支援ロボット産業の市場は萌芽期にあり、製品コストを下げるためにもシステム開発効率の向上が求められている。この問題を解決するために、ロボット技術をソフトウェア的にモジュール化して再利用性を高め技術の蓄積を可能にする RT ミドルウェアのコンセプトを NEDO プロジェクトにおいて示し、2008年に OMG においてロボット用のコンポーネントモデル(RTC: Robotic Technology Component)標準を発行してきた。平成26年度の計画では、OMG の新しい標準化活動(次世代コンポーネントモデル、UCM: Unified Component Model)に参加し日本からの提案を提供することと、日本・ホンダ技術研究所が提案した RTC 用状態遷移モデル規格 (FSM4RTC) の標準化が主な目的であった。

したがって、DDC4RTC の標準化活動が停止した。平成26年度に3回の技術会議に参加し、UCM の標準化活動の開始に参加した。2014年6月の技術会議に産業技術総合研究所からの一時仕様提案を提出した。他の組織からの3件と合わせて一時仕様提案は合計4件である。2014年6月、12月と2015年3月の技術会議で統一の議論が進んできた。平成27年度に活動を続ける予定である。FSM4RTC の仕様提案書が2014年9月の技術会議に採択された。現在、仕様検証・文書化作業を行っている。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボットソフトウェア、標準化活動、動的組込みシステム、RT ミドルウェア、OMG

【研究題目】課題解決型研究推進事業 H26 (宇宙デブリ除去ミッションのための形状計測技術に関する試行的研究)

【研究代表者】佐川 立昌 (知能システム研究部門)

【研究担当者】佐川 立昌、松本 吉央 (常勤職員2名)

【研究内容】

近年、宇宙デブリの問題の深刻化が懸念されている。既に混雑軌道のデブリ密度は十分に高く、たとえ今日人類が宇宙活動をやめたとしても、デブリ同士の衝突によりデブリ数は増え続けると予想されている。混雑軌道の環境改善には、大量の小型デブリの発生源となる潜在的確率が高い、「混雑軌道に存在する大型デブリ」の積極的除去 (ADR: Active Debris Removal) が効果的であることがわかっている。ADR の実現のためには、除去衛星がデブリに接近し何らかの作業を行う必要がある。ADR の実現に問題となるのが、デブリへの接近のための「航法」である。産総研ではこれまでに、パターン光を観測対象に投影し、投影パターンをカメラで観測することにより対象の形状を計測する手法を実現してきた。その手法の特徴として、撮影した1枚の画像から形状計測を実現でき、運動・変形する対象の形状計測に適した手法である。本研究では、産総研で開発した形状計測法を試験環境内でテストし、上記ミッションのためのセンシング法として利用可能性を検討した。極端な照明環境、宇宙機特有の表面材質という宇宙デブリ形状計測の課題に対して、提案手法と (1) レーザ光の利用、(2) HDR 画像の利用、(3) パターン明滅による差分抽出処理という工夫を組み合わせることで、部分的な形状 (特にロケット断熱材部) であれば、安定して計測ができることが確認できた。しかし全体形状の安定計測は、上記の工夫だけでは困難があり、強力に太陽によって照明される太陽側の側面の形状計測や、金属面、MLI 面は光沢のためほとんど光が反射しない場合の形状計測といった問題が今後解決すべき課題である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 宇宙デブリ除去、ワンショット形状計測、位置姿勢計測

〔研究題目〕 漁港のスマートコミュニティ化実証：鯉仕分け自動化システム

〔研究代表者〕 谷川 民生（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕 谷川 民生、大場 光太郎、小島 一浩（常勤職員3名）

〔研究内容〕

東日本大震災の被災により三陸沿岸地方の多くの漁港が物理的被害を受けた。この被災地のなかでも宮城県気仙沼市はカツオの水揚げ量を17年連続全国一になるなど世界有数の漁場を有している。しかし、震災の影響により就労人口の市外流出やインフラ復旧事業への労働移転により、人手による鮮魚選別における歩留まり低下が発生し、地場産業競争力に多大な影響を及ぼすこととなった。一次産業における就労人口減少は、人口が減少する我が国において今後の課題でもあり、また水産庁が進める食品加工における安全性の世界標準である HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) への対応が求められ、漁港における省人化・自動化・効率化は課題である。そこで、産総研は、東北大学 IIS センター（情報知能システム研究センター）、気仙沼漁業協同組合と協力し、漁港における鮮魚選別の自動化（スマートコミュニケーション化）の実証実験を行った。

プロトタイプ機作成にあたり、鮮魚選別ラインの作業手順を現場にて確認、分析することから開始した。その後、気仙沼漁業行動組合へのヒアリングにより、プロトタイプ機の要件定義、機能定義と進めた。要件定義としては、鮮魚としてカツオを扱うこと、カツオの商取引慣習から重さで選別できること、ヒレに傷を付けないことなどを明確にし、これらを満たす機能要件として、整列モジュールと重量選別モジュールの2モジュール構造として実現することとした。また性能として、処理能力を2ないし3匹／秒とした。これは、もっとも漁獲量が多くなる時期において、迅速に水揚げ、入札、出荷を進めることにより、漁船の荷揚げ待ち時間を減少、市場距離の延長、適正価格の安定化など、上流から下流までにおける気仙沼漁港の価値を向上させるものである

以上によりプロトタイプ機的设计を行い、完成後に実証実験を実施した。実証実験により、整列と重量選別を行えることを確認した。これらの結果を受け、気仙沼漁業協同組合は、当該プロトタイプ機をもとに新型機の仕様を決定し、宮城県の補助金を獲得することに成功した。また、東北大学 IIS センターを中心に民間企業を事務局として、気仙沼市行政、気仙沼漁業協同組合が参画した魚の品質情報利活用の研究会が形成され、産総研は技術協力として参画するに至った。今後、我が国における水産業の国際競争力向上にむけて、民間企業と共同のもと気仙沼を実証実験の場として進めて行く予定である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 水産業、省人化・自動化・効率化

〔研究題目〕 重レアアース鉱床の探査技術の実用化

〔研究代表者〕 中尾 信典（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 中尾 信典、高木 哲一、昆 慶明、荒岡 大輔、大野 哲二、徐 維那、江島 輝美（常勤職員5名、他2名）

〔研究内容〕

本研究は、重レアアース鉱床の探査技術として重要な鉱石中の微量成分の迅速分析技術開発を主な目的として実施された。鉱石中のレアアースを含む微量成分の分析において、既存の分析法にはそれぞれに苦手とする元素・試料種がある。そのため、多種多様な試料について分析を試みる場合、個々の分析対象試料・目的元素に対し、最適な分析手法をそれぞれ用いる必要があった。

そこで、全試料単一手法元素分析を目指し、レーザーアブレーション ICP 質量分析計 (LA-ICPMS) よる粉末試料直接分析法の開発を行った。『粉末ペレット』は、試料粉末を圧縮成型し作成するが、加熱・化学反応を伴わない手法であるために調製時の元素の欠損と混染を避けることが可能である。特に、本研究では粉末ペレットをレーザーアブレーションする際にペレットが破壊され粉末が飛散する点に関して改良を行い、粉末飛散の抑制に成功した。その結果、LA-ICPMS での信号強度・信号強度比の安定化を達成し、カルシウムやナトリウム等の主成分元素や、ストロンチウムやランタン（希土類元素）等の微量元素に関して、直線性の良い検量線が得られた。

また、ICPMS では分析が困難な水素・酸素・フッ素等軽元素分析を得意とするレーザー誘起ブレイクダウン分光分析装置 (LIBS) を導入した。この LIBS と LA-ICPMS との組み合わせにより、水素からウランまでほぼ全元素の定量分析が可能となる装置構成を達成した。その他、分析の効率化のため、試料前処理用オートクレーブの導入、分析用ガス混合器、ガスフィルター容器等を導入した。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 レアアース、レアメタル、元素分析、粉末ペレット、LA-ICPMS、LIBS

〔研究題目〕 重金属類土壌汚染調査評価及びリスク低減方策に関する技術開発

〔研究代表者〕 張 銘（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 張 銘、川辺 能成、原 淳子、坂本 靖英、保高 徹生、井本 由香利、杉田 創、昆 慶明、高木 哲一（常勤職員9名）

〔研究内容〕

「土壌汚染対策法」の改正に伴う土壌汚染の原位置浄

化の高いニーズと、東日本大震災の津波によって発生した大量の津波堆積物に含まれる汚染物質への緊急対策を背景に、本研究では、関連調査技術、浄化技術及びリスク評価技術に関する体系的な研究開発を民間企業および他研究機関との研究協力のもと実施し、技術の実用化と普及による社会への還元を行う。

具体的に、汚染物質濃度のオンサイト計測技術、汚染物質のミクロな存在形態に関する検討、土壌有機物質の存在や鉱物組成が浄化効率に及ぼす影響の検討、酸性電解水及び動電学的手法を用いた浄化技術の開発並びに地盤における汚染物質の移行評価と環境リスク評価技術の開発を行う。4年目である平成26年度では、これまでの研究成果を取りまとめるとともに、鉛やヒ素などの重金属類の長期的溶出特性の評価とモデル化に重点を置き、合計60地点以上の土壌試料の統合的分析と評価を実施した。特に、鉛などの重金属類の溶出特性と有機物含有量、交換態、炭酸塩結合態、Fe-Mn 酸化物結合態、有機物結合態及び鉱物結晶格子態との相関性を明らかにし、存在形態を考慮したリスク評価モデルの考案を実施した。また、リスク評価モデルを国際規格へ反映させるために、平成26年度では ISO/TC190 (Soil Quality)、WG12 (Risk Based Remediation Measures) 委員会活動に継続的に参加し、新規格提案案に対する議論を深めた。今後、リスク評価に基づく浄化技術の開発に重点を置きながら、現状の民間企業との共同研究を拡大し、関連技術の実用化と普及を推進していく予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】土壌汚染、重金属類、調査技術、浄化技術、リスク軽減

【研究題目】地下微生物を利用したメタンガス合成技術

【研究代表者】中尾 信典 (地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】中尾 信典、坂田 将、眞弓 大介、吉岡 秀佳、竹内 美緒、持丸 華子、片山 泰樹、田中 敦子、坂本 靖英、西 祐司、加野 友紀、鎌形 洋一、玉木 秀幸、鈴木 昌弘、鶴島 修夫、山田 奈海葉、塚崎 あゆみ、中里 哲也、東野 晴行、匂坂 正幸 (常勤職員20名)

【研究内容】

#### 1) CCS と微生物機能の融合技術の開発

山形県の油田から採取した油層試料を用いた高温高压培養実験によって、原油を分解しメタンを生成する微生物コミュニティの獲得に成功した。本微生物コミュニティに対する地球化学および分子生物学的解析を行った結果、トルエンなどのアルキルベンゼンの分解に伴うメタン生成反応とそれに関与する微生物種を特定した。

上記の獲得した原油分解微生物コミュニティを用

いて原油分解ポテンシャルが存在しない油田を賦活化させるバイオオーグメンテーション技術と CCS 技術の融合を目指し、原油分解微生物コミュニティに与える CO<sub>2</sub> 圧入の影響を評価するため、原油分解微生物コミュニティを添加した油層水の CCS 環境を模擬する高温高压培養実験を開始した。

南関東ガス田においても原位置微生物による顕著なクロジェン分解メタン生成活性が検出され、深部帯水層もまた資源創成型 CCS 技術の適合サイトである可能性が見出された。

#### 2) CCS と微生物機能の融合技術の実用性評価

CCS と微生物機能を融合させた資源創成型 CCS 技術において、天然ガス資源の増進回収と温暖化ガス低減効果を定量的に評価することを目的として、前年度までに構築した地下微生物のメタン生成反応を組み込んだメタン生成ポテンシャル評価のための数値シミュレーターを改良してさらに高度化した。具体的には、地下微生物によるメタン生成プロセスにおいて想定されるメタン生成や鉱物の溶出等の多成分系での反応を伴う多相流動の数値解析の機能の高速化と高精度化を行った。本シミュレーターに国内の枯渇油田のキャプブロックの構造や貯留層条件を適用し、メタン生成ポテンシャルおよび生成メタンの再生産プロセスを定量的に評価した。10年間に100万トンの CO<sub>2</sub> を1本の坑井から注入した後に90年間静置する仮定で、100年後に数千〜数万トンのメタン生成ポテンシャルを得た。

得られたメタン生成ポテンシャルを用いて、環境影響評価および便益評価を行った。前年度までに構築した資源創成型 CCS 技術のサイトモデルに得られたメタン生成ポテンシャルを適用し、大気・海洋への環境影響と温暖化ガス低減効果とエネルギー回収効果の評価した。一般的な CCS や油井産業の経験を利用してモンテカルロシミュレーションによってリスクを評価した結果、資源創成型 CCS 技術のサイト周辺に対する環境影響は同等であり、特段の新たなリスク要因は生じないことを明らかにした。100年先のメタン生成ポテンシャルの経済的効果を論じても意味のある検討とはならないと考え、その点についての評価は行わなかった。代わりに CO<sub>2</sub> 排出削減効果について温暖化効果指標 GWP を用いて検討を加えた。その結果、資源創成型 CCS 技術はエネルギー回収効果を付加できる点で一般的な CCS に比較して便益は明らかに大きい点を明らかにした。

【分野名】地質、ライフサイエンス、環境・エネルギー

【キーワード】高温高压培養実験、メタン生成菌、原油分解メタン生成ポテンシャル、CCS、CO<sub>2</sub>-EOR、シミュレーション、リスク解析、環境影響

**〔研究題目〕放射性セシウム廃棄物等の管理・保管における安全性評価手法の確立**

**〔研究代表者〕** 光畑 裕司（地圏資源環境研究部門）

**〔研究担当者〕** 光畑 裕司、坂本 靖英、保高 徹生、川辺 能成、東野 晴行、石川百合子（安全科学研究部門）（常勤職員6名）

**〔研究内容〕**

本研究では、福島第一原子力発電所事故に伴う除染活動により発生した除染廃棄物の中長期的な保管・管理に係る安全性評価技術を確立し、調査や除染の効率化をはじめ、外部研究機関や所内研究協力のもと、リスク・コミュニケーションや復興方策の策定に寄与できる中立的・公共的立場による基盤技術の提供を目的とする。

現場調査・モニタリング技術の開発では、福島県内の除染廃棄物の保管施設（仮置場）周辺の環境水中の放射性セシウムのモニタリングを実施した。迅速かつ高精度な評価を可能にするために、現場で利用可能な可搬型分析装置を導入し、当該技術の精度と適用性を検討した。さらに、放射性セシウムの濃縮による簡易モニタリング技術の技術移転、社会への普及を推進するとともに、連携企業との協力体制のもと、濃縮用カートリッジの商品化を実現し、我が国における当該技術の標準化に寄与した。

保管施設の下部地盤の安全管理技術の確立では、粘土鉱物等の現地土壌を利用した高吸着能かつ高透水性を有する土壌吸着層等の開発を目指し、福島県内の代表的な土壌の粘土鉱物含有量の定量化ならびに土壌カラム試験によるセシウム吸着能の評価を実施した。県内の土壌の大部分が粘土質に富む土壌種であり、高いセシウム吸着能を有することが判明した。これらの検討を通じ、下部地盤のセシウム吸着能を指標とした保管施設の立地条件の提示を可能とする基礎データの蓄積を図った。

放射性セシウムの環境中の移動性や移行特性の検討では、セシウムの環境動態に関する調査・解析データをもとに、土壌から地下水、河川、農地等への多媒体間での移行特性を反映した数値モデルを作成した。地圏環境リスク評価システム（GERAS）を基礎にして、安全科学研究部門が所有する水系暴露評価システム（AIST-SHANEL）とのモデル間での境界条件の引渡しにより、セシウムの多媒体間での移行を数値解析により再現することを可能とした。福島県内の2地域に AIST-SHANEL を適用し、河川を通じた環境中のセシウムの拡散や、セシウムの農地への移行に対する除染活動の効果を予測する数値シミュレーションを実施し、環境モニタリングの結果と比較検討して、開発した数値モデルの検証を行った。さらに、これらの土壌や調査、モニタリング、数値解析結果を検証するための基盤技術を整理し、調査手法、環境モニタリング技術、リスク管理技術および技術資料などの具体的な形で研究成果を社会に発信した。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 放射性物質、セシウム、リスク管理、土壌汚染

**〔研究題目〕地下圏メタン生成菌の新たな代謝経路の解明と石炭利用メタン生成ポテンシャルの評価**

**〔研究代表者〕** 眞弓 大介（地圏資源環境研究部門）

**〔研究担当者〕** 眞弓 大介、吉岡 秀佳、片山 泰樹、坂田 将、玉木 秀幸、加藤創一郎、鎌形 洋一（常勤職員7名）

**〔研究内容〕**

深部地下油層環境から分離したメタン生成菌が石炭を構成するある種の化合物を直接分解しメタンを生成することを発見した。その化合物について約30種類の類似物質からメタンを生成できることを明らかにし、そのメタン生成代謝経路が既存の代謝経路とは全く異なる新規のメタン生成経路であることを明らかにした。さらに、本菌の石炭からのメタン生成ポテンシャルを評価した結果、本菌は単独で石炭から直接メタンを生成する事が明らかになり、深部未回収石炭資源の天然ガス化回収技術の可能性が示された。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 石炭、メタン生成菌、新規メタン生成経路

**〔研究題目〕ベントナイト性能標準試験法の開発**

**〔研究代表者〕** 高木 哲一（地圏資源環境研究部門）

**〔研究担当者〕** 高木 哲一、大野 哲二、昆 慶明、三好 陽子、須藤 定久、宮腰久美子（常勤職員3名、他3名）

**〔研究内容〕**

ベントナイトは従来の鋳物砂粘結剤、掘削泥、ペット用トイレ砂などの用途に加えて、産業・放射性廃棄物処分場の遮蔽剤への用途が拡大しつつある。しかし、現在、ベントナイトの性能評価は各メーカーが独自に実施しているため、同処分場の安全評価にあたってその標準化が求められている。本研究は、代表的性能評価法の1つであるメチレンブルー吸着量測定法に焦点を絞り、標準分析法の確立を目指している。平成26年度は、標準化基盤研究（2年計画）の2年目として、日本粘土学会発行の標準試料「三川」を用いて、ろ紙法による標準測定法の策定を行った。また、同時に比色法による測定も実施し、ろ紙法の結果と比較した。検討にあたっては、所内に同標準試験法に関する検討委員会を大学、メーカーの専門家で組織し、2回の検討会をつくばにて開催した。その結果、「三川」を用いたメチレンブルー吸着量測定法の最適化はほぼ終了したが、試料の分散方法などにまだ課題があること、「三川」以外のベントナイト試料についても適用性を試験する必要があることから、日本工業規格（JIS）原案の策定は平成27年度に延期すること

にした。

〔分 野 名〕 地質

〔キーワード〕 ベントナイト、標準化、メチレンブルー  
吸着量、比色法、放射性廃棄物

〔研究 題目〕 吸着剤を使用した水中の低濃度の放射性  
セシウムのモニタリング方法の標準化

〔研究代表者〕 保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 保高 徹生、川本 徹、南 公隆  
（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

地圏資源環境研究部門ならびにナノシステム研究部門  
ではブルシアンブルー不織布を用いたモニタリングシス  
テムの開発を進めており、特許取得・実用化が進めてき  
た。一方、水中の放射性セシウムのモニタリング技術開  
発は、複数の研究機関・大学・民間企業等で進められ  
ているが、低濃度領域／高濁度領域の方法は標準化やガ  
イドラインが未作成であり、課題となっていた。

本研究の目的は、水中の放射性セシウムのモニタリ  
ング技術に関する技術資料の作成による基盤情報の整理  
および公開である。具体的には、①水中の放射性セシ  
ウムモニタリング方法の標準化に関する研究会を開催し  
、②水中の放射性セシウムモニタリング方法の標準化に  
関するに共通試験を進めた。また、研究機関・大学・民  
間企業からなる検討委員会の設置準備を行い、技術資  
料の基盤を作成した。

〔分 野 名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 放射性セシウム、水、モニタリング、ブ  
ルシアンブルー

〔研究 題目〕 最先端センサ技術の比較検討、特徴抽出

〔研究代表者〕 栗津 浩一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 栗津 浩一、藤巻 真（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

各種センサが内外で開発されているがそれぞれの技術  
の間での明確な性能比較がなされていないケースが多く  
、感度のみならず、信頼性やコスト、ハンドリングの難  
易度、などを基準となる物質及び基準となる測定環境  
下で客観的に比較、検証した例は殆どない。また特に  
生体物質検出においては、単位も統一されていないこ  
とも多い。不純物の無いクリーンな媒質の中で1分子  
検出を行うことと、実環境中や血液中の分子のセン  
シングを行うことは、全く難易度が異なり別技術であ  
るにも関わらず、「1分子検出に成功したので、医療にも  
応用が期待できる」といった記述が学術誌に散見され  
社会に大きな誤解を与えている。また、開発された  
センサの欠点は記載されないことが多く、なんら問  
題がないような誤解を与えている。そこで、インフル  
エンザウイルスを事例の1つとして選択して、実際に  
センサ間の比較検討試験を行った。具体的には、感  
染価のわかっているウイルスを用い

てイムノクロマトグラフィー、PCR、そして我々の  
開発した導波モードセンサで感度比較などの比較検  
討を行った。イムノクロマトグラフィーでは感度  
そのものよりも、前処理で用いるフィルターが  
高性能であり、非特異吸着反応を抑制している  
ことなどがわかった。

〔分 野 名〕 情報通信・エレクトロニクス、ナノ  
テクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 センシング、ウイルス、光

〔研究 題目〕 改良 PERISS 法の民間製薬企業  
との連携に向けた知財化

〔研究代表者〕 木村 忠史（糖鎖創薬技術研究センター）

〔研究担当者〕 木村 忠史、岡田 水香  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

産総研オリジナル技術である PERISS 法に  
様々な検討を行い、その改良を行っている。今年  
度は、PERISS 法で扱うライブラリーのサイ  
ズの拡大を試みた。その結果、これまでと比  
較して1000～10,000倍以上のライブラ  
リーサイズを扱うことができるようになった。更  
にノイズの低減を試み、大腸菌スフェロプラ  
ストの洗浄工程を改良したところノイズの低  
減が可能となっただけでなく、効率的な洗  
浄工程による自動化の可能性が考えられた。

〔分 野 名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ペプチドディスプレイ、PERISS 法

〔研究 題目〕 イオン液体を用いた極低濃度  
CO<sub>2</sub>の分離回収技術の開発

〔研究代表者〕 金久保 光央（コンパクト化学システム  
研究センター）

〔研究担当者〕 金久保 光央、牧野 貴至、  
川崎 慎一郎、佐藤 剛一、渡邊 紘章  
（常勤職員4名、他1名）

〔研究 内容〕

宇宙ステーションなどの閉鎖系では、生活空間を快適  
に保ち生命活動を存続するために、～1%未満の極低濃  
度の CO<sub>2</sub>の分離回収や調湿などの環境維持技術が必要  
となる。そのため、ゼオライト等の多孔質材料を用いた  
脱炭酸システムの開発が進められてきた。それらは極低  
濃度の CO<sub>2</sub>を吸着分離できるが、水蒸気などの共存成  
分の吸着により脱着過程で高温が必要で、再生エネル  
ギーが多分に掛かることが課題であった。

本研究では、カチオンおよびアニオンのみからなるイ  
オン液体を CO<sub>2</sub>吸収液とした脱炭酸システムの開発を  
行った。イオン液体は不揮発性で、エタノールアミン水  
溶液などの従来の揮発性吸収液とは異なり、真空下でも  
利用が可能である。化学吸収機能を付与したイオン液体  
を用いて、～4000 ppm の極低濃度ガスから CO<sub>2</sub>の吸  
収分離試験を行い、CO<sub>2</sub>濃度を～100 ppm 以下に低減  
できることを明らかにした。一方、使用した吸収液を真空

下で処理することで、吸収液の損失無く、室温近辺でも再生可能なことが分かった。また、気液混合器に適切なマイクロミキサーを選択することで、気液混合が促進され、所定の吸収液でも CO<sub>2</sub>の除去率を向上できることが見出された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】イオン液体、二酸化炭素、環境維持技術

【研究題目】クレースト材料を用いた再生型燃料電池用軽量タンクの検討

【研究代表者】蛭名 武雄（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】蛭名 武雄、石井 亮、相澤 崇史  
（常勤職員3名）

【研究内容】

燃料電池、再生型燃料電池は有人宇宙活動や探査等の大電力量を必要とするミッションにおいて期待される電力供給システムでは、宇宙空間では空気が利用できないため、水素、酸素共にタンク等により貯蔵する必要がある。再生型燃料電池を構成するコンポーネントのうち、タンクの質量が大きな割合を占めるため、タンクの小型・軽量化が必須の技術課題である。粘土鉱物を主成分とするクレーストはガスバリア性が非常に高く、さらに柔軟性、耐熱性、耐久性が高く不燃性であることから、クレーストをガスバリア層に用いた複合材水素タンクの開発も行っている。本研究では、クレーストの宇宙材料適合性を評価して、今後の複合材タンクの試作へとつなげていくことを目的とする。

ガスバリア材としてタンク内層に使用されることを前提に、比較的伸びがありガスバリア性の高いクレースト newH2B を選択し、産総研側でクレースト膜を作成、JAXA 側で環境試験を行い、産総研側で試験後のクレースト膜を評価した。温度サイクル試験（-200～120℃、8サイクル）、 $\gamma$ 線照射試験（静止軌道上20年に対応する約 $2.5 \times 10^4$  Gy）を行ったあと、試験前後での水素および酸素ガス透過性、引っ張り強度についてテストしたところ、水素・酸素とも試験前・試験後のサンプルとも検出限界以下（水素:10 mL/（m<sup>2</sup>・day・atm）以下、酸素:100 mL/（m<sup>2</sup>・day・atm）以下）であった。引っ張り強度も試験前後で違いが見られなかった。酸素適合性試験を2回行なったが、いずれも着火が見られず、クレーストが宇宙材料として使用できる可能性が示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】クレースト、宇宙材料、環境試験

【研究題目】車載モーター用 Dy free 高性能磁石開発

【研究代表者】尾崎 公洋  
（グリーン磁性材料研究センター）

【研究担当者】尾崎 公洋、高木 健太、岡田 周祐、  
豊川 弘之、田中 真人、小川 博嗣

（常勤職員6名、他1名）

【研究内容】

逆磁区の発生と成長メカニズムを解明することで、粉末粒界と微細結晶界面の2つの界面を最適に制御した焼結条件を短期間で見いだして、粉末の90%以上の高保磁力を有する Sm-Fe-N 焼結磁石を開発することを目標とする。逆磁区の発生と成長の様子を観察する装置を開発して試料を評価・解析する。解析結果を基に、焼結条件と粒界層を系統的に変化させた試料を作製し、再度それを評価・解析する。計測、解析、試料作製を繰り返して収斂させ、逆磁区の発生と成長メカニズムを解明する。上記目標を達成するには、多数の試料を測定するために、現在、放射光施設を利用して観測している測定手法を改め、放射光を用いずに磁区を観察するラボサイズの装置の開発に着手した。また、高保磁力の Sm-Fe-N 粉末を開発するために、粒径が数十 $\mu\text{m}$ 以上の粗い多結晶 Sm-Fe 合金粉末を均質に窒化する技術の開発に着手した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】Sm-Fe-N、焼結、高保磁力

### (3) 外部資金

中期目標や中期計画で定められているように、産業技術総合研究所は、業務の効率的な実施による費用の低減、自己収入の増加その他の経営努力により財務内容の改善を図ることとなっており、そのため、外部資金や自己収入の増加と固定的経費の割合の縮減に努めている。

外部資金の多くは、各省庁からの様々な制度に基づく委託研究費で、その多くが、公募型資金となってきている。産業技術総合研究所が受け入れる外部資金は、制度的には、主に受託研究として受け入れられ、研究終了後それぞれの委託元に詳しい成果報告がなされている。

平成26年度に受け入れた受託収入等の状況

資 金 名	件数 (テーマ)	決算額 (千円)
<b>受託収入</b>		16,377,488
<b>(1) 国からの受託収入</b>		8,604,781
<b>1) 経済産業省</b>		7,540,860
石油天然ガス基礎調査等委託費	1	4,785,336
エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費	8	1,018,279
産業技術研究開発委託費	5	744,458
放射性廃棄物処分基準調査等委託費	1	509,332
温暖化対策調査等委託費	1	132,851
石油資源開発技術等研究調査等委託費	1	95,986
工業標準化推進事業委託費	5	94,580
希少金属資源開発推進基盤整備委託費	1	44,946
化学物質安全対策委託費	1	37,305
石油製品需給適正化調査等委託費	1	36,670
非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費	1	34,477
高圧ガス等技術基準策定研究開発委託費	1	6,640
<b>2) 文部科学省</b>		291,280
科学技術基礎調査等委託事業	3	205,880
科学技術試験研究委託事業	2	85,400
<b>3) 環境省</b>		464,752
地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備委託費	2	258,233
原子力施設等防災対策費等委託費	1	138,298
試験研究調査委託費	1	25,001
その他	2	43,220
<b>4) その他省庁</b>	19	307,889
<b>(2) 国以外からの受託収入</b>		7,772,707
<b>1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構</b>	48	2,936,873
<b>2) その他公益法人</b>	318	4,085,753
<b>3) 民間企業</b>	162	741,720
<b>4) 受託出張</b>		8,362
その他収入		8,925,337
<b>(1) 資金提供型共同研究収入</b>		3,560,303
<b>(2) 知的所有権収入</b>		319,536
<b>(3) 外部グラント（個人助成金の間接経費分）</b>		544,152
<b>(4) その他</b>		4,501,346
<b>合 計</b>		25,302,825

※ 千円未満四捨五入のため、合計と一致しないことがあります。

#### 1) 国からの受託収入

##### 【経済産業省】

##### ■石油天然ガス基礎調査等委託費 1テーマ 47.9億円

日本周辺海域に相当量の賦存が期待されているメタンハイドレートを将来のエネルギー資源として利用可能とするため、平成30年度までに経済的に掘削、生産回収するための研究開発を実施し、我が国のエネルギー長期安定供給の確保に資する研究を実施するための経費。

##### ■エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費 8テーマ 10.2億円

優れたクリーン・エネルギー技術を持つ我が国研究機関と米国などの企業・大学・研究機関等との密接な連携の下で、これら技術開発のための国際共同研究プロジェクトを実施し、先進的なクリーン・エネルギー技術の迅速な確立を推進するための経費、他。

##### ■産業技術研究開発委託費 5テーマ 7.4億円

重点分野（移乗介助、移動支援、排泄支援）のロボット介護機器の実用化に不可欠の実証プロトコル確立のための研究や、機能や部品等のモジュール化や標準化の研究を実施するための経費、他。

##### ■放射性廃棄物処分基準調査等委託費 1テーマ 5.1億円

我が国において、これまでの原子力発電の利用に伴って既に放射性廃棄物が発生しており、その処理処分対策を着実に進める必要があり、高レベル放射性廃棄物等の地層処分においては、多重バリアシステムによって長期的な安全確保がなされる。この処分システムの成立性や安全性に係る信頼性を一層高めていくため、天然バリアである深部地質環境の状況把握と将来変化に係る調査評価技術の信頼性向上を行うための経費。

##### ■温暖化対策調査等委託費 1テーマ 1.3億円

CCS 実用化に向けて安全性評価のために、弾性波探査（反射法）を補完するモニタリング技術の開発に加えて、モニタリング技術そのものを補完する観点から弾性波探査で検知が困難と考えられる小規模な断層や薄い砂泥互層などの地質構造の遮蔽性能を評価する技術の開発、及びそれら基盤となる知見やデータの取得・整備を総合的に行い、CO<sub>2</sub>挙動評価精度の向上とモニタリング・コストの低減化を目指すための経費。

##### ■石油資源開発技術等研究調査等委託費 1テーマ 1.0億円

石油等の資源開発および関連する環境管理等の分野において、人工衛星から取得される画像データの利用技術に関する研究開発を実施するための経費。



■工業標準化推進事業委託費 5テーマ 0.9億円

医療用途のプラズマ装置等について、安全性指標についての研究を進め、国際ワーキンググループと連携を行いながら、新規規格の提案を通じて、同装置についての国際標準化を達成することを目的とする経費、他。

■希少金属資源開発推進基盤整備委託費 1テーマ 0.4億円

レアメタル資源の供給安定性を向上させるため、資源国の有望鉱床に関する資源開発可能性調査を実施し、その情報を我が国の資源開発企業等に提供することにより投資リスクを軽減し、レアメタル資源の権益確保を促進させることを目的とする経費。

■化学物質安全対策委託費 1テーマ 0.4億円

消費者製品に含まれる化学物質の吸入、経皮及び経口暴露を評価するツールを開発し、そこに現実的なデータを搭載させ、事業者や行政が実務に使用できる、日本の実情にあった暴露評価の実施を可能とするため、プロトタイプモデルの開発及び含有物質とヒト行動のデータ収集のための経費。

■石油製品需給適正化調査等委託費 1テーマ 0.4億円

最近問題となっている支燃性ガスを含む様々な混合ガスの爆発事故被害を予測出来るシミュレーション技術を開発し、実験的計測により解析・評価を行い、これらのガスを安全に取り扱うために必要な措置の調査検討を行うとともに、石油精製プラント及び石油化学プラントにおいて爆発事故が発生した際のプラント内外への被害を予測するための手法の開発を目指すための経費。

■非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費 1テーマ 0.3億円

一般需要家向けの水素のパイプライン供給に際して、保安確保のために必要となる導管等のガス工作物について、そのネットワークとしての運用に係る安全基準や工法等の具体的措置を明確化するため、これに有用な基盤技術、知見を整理し、ガス事業法の技術基準等の見直しに反映させることで、水素ネットワーク社会構築における保安確保を図るための経費。

■高圧ガス等技術基準策定研究開発委託費 1テーマ 0.1億円

火工品についての海外における規制等の実態を調査することにより、我が国における規制や適用除外指定の在り方、火工品の適切な取扱いについての検討を行い、もって火薬類による災害発生を防止し、公共の安全を確保することを目的とする経費。

【文部科学省】

■科学技術基礎調査等委託事業 3テーマ 2.1億円

地震調査研究推進本部によって公表された「九州地域の活断層の長期評価（第一版）」では、九州地域に分布する主要活断層以外にも、マグニチュード6.8以上の地震を引き起こす可能性のある活断層について、新たに主要活断層と同様の評価を実施するための経費、他。

■科学技術試験研究委託事業 2テーマ 0.9億円

国内の基礎的がん研究の優れた成果を戦略的に育成し、効率的かつ速やかに臨床研究の実施へとつなげることに、次世代がん医療の開発研究を加速することを目的とする経費、他。

【環境省】

■地層処分への安全審査に向けた評価手法等の整備委託費 2テーマ 2.6億円

地層処分への安全審査に向けた評価手法等の整備のため、特に天然バリアに焦点を当て、将来の安全審査を見据えて、審査における基本的考え方の取りまとめを行うべく、必要となる自然事象や地下水流動に関する調査・評価手法の構築及びその適用性の確認や不確実性を低減するための手法の整備のための経費、他。

■原子力施設等防災対策費等委託費 1テーマ 1.4億円

火山活動とその休止期間の関係を火山の特性、地下構造、地球物理学的及び地球化学的調査手法等の最新の知見に基づく火山活動に起因する事象調査から、原子力施設に影響を与える火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準、火山活動のモニタリング基準を作成するための経費。

■試験研究調査委託費 1テーマ 0.3億円

環境省設置法第4条第3号の規定に基づいて、関係府省の試験研究機関が実施する地球環境の保全に関する試験研究費を「地球環境保全試験研究費（地球一括計上）」として環境省において一括して予算計上し、その配分を通じて国の環境保全に関する試験研究の総合調整を行うための経費。

■その他 2テーマ 0.4億円

【その他省庁】

19テーマ 3.1億円

2) 国以外からの受託収入

■新エネルギー・産業技術総合開発機構

平成26年度は、48テーマを29.4億円で実施した。

■その他公益法人

平成26年度は、318テーマを40.9億円で実施した。

■民間企業

平成26年度は、162テーマを7.4億円で実施した。

■受託出張

平成26年度は、受託出張の経費0.1億円を受け入れた。

3) その他収入

■資金提供型共同研究収入

平成26年度は、民間企業から32.9億円、民間企業以外から2.7億円の合計35.6億円の資金提供を受け共同研究を実施した。

■知的所有権収入

平成26年度は、当所が所有する産業財産権等を企業等に利用させた実施料収入等として3.2億円を獲得した。

■外部グラント

平成26年度は、科研費補助金及び研究助成金の経理委任収入（間接経費分）として5.4億円を受け入れた。

■その他

平成26年度は、計量標準供給業務・計量教習業務による手数料収入、地質図幅等の頒布収入、産学官連携活動の一環として当所施設内で連携先が共同研究等を行うときの経費負担収入及び国等からの機関補助金等として、45.0億円を受け入れた。

①経済産業省

・石油天然ガス基礎調査等委託費

【研究題目】平成26年度メタンハイドレート開発促進事業（生産手法開発に関する研究開発）

【研究代表者】成田 英夫

（メタンハイドレート研究センター）

【研究担当者】成田 英夫、海老沼 孝郎、天満 則夫、

長尾 二郎、神 裕介、今野 義浩、

木田 真人、皆川 秀紀、野田 翔兵、

米田 純、片桐 淳、宮崎 晋行（兼

務）、山本 佳孝、室町 実大、

清水 努、村岡 道弘、清野 文雄（兼

務）、小野 晶子、佐藤 章子、

毛利 大、長原 さゆり、内海 崇、

袴田 陽子、池田 育子、林 順子、

眞城 一憲、渡辺 敬一、渡邊 瑞穂、

森田 洋充、大島 基、柏原 進、

深見 英司、羽田 博憲、金子 広明、

西村 興男、木村 匠、泉 彰子、

西川 泰則、榎井 明、明円 文子、

小林 秀男、青木 一男、覺本 真代、

熊谷 小百合、大野 孝雄、古屋 敦子、

安部 俊吾、香川 慎吾、大竹 道香、

宮田 雅子、須々木 尚子、

野崎 たみ、椿 卓也、河田 諒、

三吉 峻、加茂 莉咲子、白鳥 治子

（常勤職員17名、他40名）

【研究内容】

メタンハイドレート開発促進事業の生産手法開発に関する研究開発では、大量かつ安定的にメタンを生産する生産手法高度化技術の開発、坑井のガス生産性およびメタンハイドレート貯留層の生産挙動を高い精度で予測する生産性・生産挙動評価技術の開発および生産に伴う地層変形・圧密挙動について長期的な安全性を評価するための地層特性評価技術を開発する。

生産手法高度化技術の開発においては、生産増進および初期有効浸透率の改善を目的とした交流電加熱法について、減圧法との併用の効果を実験的に評価した。キセノンハイドレートを孔隙に胚胎させた砂質模擬堆積物に対し、減圧法によって分解させた後通電加熱を行うことにより、生産速度が増加したほか回収率は75%から90%以上と顕著に向上し、通電加熱法の分解法としての有効性が認められた。CO<sub>2</sub>/水エマルジョン圧入による生産増進法について、CO<sub>2</sub>/海水エマルジョンの生成過程と増進法としての評価を行った。取水深度397mの海洋深層水および3wt%～0.09wt%の塩化ナトリウム水溶液を用いて50vol%-CO<sub>2</sub>のエマルジョンを生成し観察を行ったところ、液滴径10μmのCO<sub>2</sub>が多数分散したエマルジョンが連続的に生成されることを確認し、海水を利

用することが可能と判断された。また、純水に比較し、 $10\mu\text{m}$ 未満の $\text{CO}_2$ 滴径が安定して存在する条件が生じており、これは海水中のアルカリ金属類の陽イオンの影響と解釈された。

生産障害対策・抑制技術の開発に関しては、減圧法適応時ガスの生産性を低下させる孔隙レベルでの生産障害である「細粒砂移流・蓄積」および「氷生成・メタンハイドレート再生」について、それぞれのモデルの高度化を行った。孔隙内の氷成長過程の温度変化を観測し、孔隙内核形成した後、速やかに孔隙内の水が氷へと相変化していく様子が確認された。その後、砂のモデルであるガラスビーズ側へと熱が移動しており、生成熱は孔隙内全ての水が相変化した後、砂粒子を伝わっていくことを明らかにした。スキン形成過程のモデル化において、規則的に配置された骨格砂により形成される単純な孔隙モデルにおける3次元固液流動シミュレーションを行い、細粒分の蓄積の再現とそのメカニズムの考察を行った。浸透率低下と流速に関する検討を行った結果、粒子間引力（Van der Waals力）と流体力のバランスが浸透率低下に大きく寄与していることが分かった。また、砂層中の流動により砂泥界面で泥層が剥離する現象について数百 $\mu\text{m}$ 程度の計算領域における骨格砂孔隙内の流動計算を実施し、砂泥互層界面にかかるせん断応力分布の数式モデルを導出した。スキン除去対策技術の開発を目的として、模擬堆積物試料を用いた目詰まり過程の再現実験、超音波による浸透率改善実験、及び坑井内加振機構の検討を行った。土質試料の粒度分布を考慮した目詰まり判定基準に基づいて作製した実験土層を用いて目詰まり過程の観察実験を行い、同日詰まり基準で浸透率低下を説明できることが分かった。坑井内加振機構については、圧電素子を用いた超音波振動体の設計を行い、坑井壁面の直接加振を目的として振動方向を坑井軸方向からラジアル方向に変換する振動変換体の検討を行った。振動変換体を設計・試作して、機械的な振動特性を測定したところ、材料のポアソン比を上回る（縦横方向の）変位振幅比が得られ、振動方向の変換効率が良好であることを確認した。

生産性・生産挙動評価技術の開発においては、生産シミュレータの機能強化と商業生産の生産性評価に関しては、生産シミュレータ MH21-HYDRES に  $\text{CO}_2$ /水エマルジョン圧入による増進回収法の計算機能を付加するため数値計算コードの改良を行い、 $\text{CO}_2$ /水エマルジョン圧入実験で計測された4つの異なる圧力・温度挙動について実験結果の再現が可能となった。また、改良した計算コードを使用し、 $\text{CO}_2$ /水エマルジョンと水の一定量のスラグを交互に圧入する方式について検討し、圧入条件を調整することによって  $\text{CO}_2$ /水エマルジョン圧入法の効果を最適化できることが分かった。これまで開発・改良してきた水理モデル（MH21-HYDRES）と力学モデル（COTHMA）を統合する手法について検討し、

統合化手法、引き渡すべき変数、グリッドの扱いを中心に、両者の具体的な統合化法を考案した。

生産挙動評価用三次元貯留層モデルの開発と産出試験の予測・検証については、貯留層およびその周辺に存在する断層の生産挙動に与える影響を評価するため、その浸透率を実験的に解析した。メタンハイドレートが胚胎する砂層を模擬した珪砂試料について、所定の垂直応力下で大変位リングせん断試験を行ったところ、浸透率と孔隙率は大変位せん断によって低下する傾向を示し、大変位せん断後の浸透率は、圧密後の浸透率から2～5桁の低下が認められた。また、垂直応力依存性が明瞭に認められ、有効垂直応力 $0.5\sim 2.0\text{MPa}$  および $2.0\sim 8.0\text{MPa}$ のそれぞれで明瞭な関係式が得られた。せん断層の微細構造および粒子破砕が浸透率に及ぼす影響を明らかにするため、FE-SEM 画像観察およびレーザ回折粒度分析を行ったところ、特に $3.0\text{MPa}$ 以上で粒子の細粒化が顕著であり、浸透率低下の主原因と判断された。さらに、堆積層の粒度分布との関係を求めたところ、50%粒径（D50）が約 $200\mu\text{m}$ から約 $160\mu\text{m}$ では、浸透率および孔隙率は急激な減少を示し、それ以下では緩やかに減少することが明らかとなった。

一方、貯留層モデルの構築のため、引き続き第一回海洋産出試験地において圧力コア取得作業を行うとともに、取得したコア解析を実施した。第二渥美海丘周辺域において取得された海洋産出試験事前掘削コア試料について、粒度分析、粉末エクセス線回折実験、強熱減量試験、電子顕微鏡分析を行った。その結果、下位層ほど細粒堆積物と粗粒堆積物が多く淘汰度が高いこと、深度方向の粒径変化に伴って鉱物組成も変化していたこと、石灰質微化石以外の有機物が下位層ほど多めに含まれること、下部砂質層の砂層の孔隙は細粒物質で充填されているが上部砂泥互層の砂層ではあまり充填されていないこと、石膏や菱鉄鉱などの初期続成鉱物が晶出していること、上部砂泥互層の砂層には再堆積を示唆する星状微化石 Discoaster が含まれることなどが明らかになった。海洋産出試験事前掘削コアリングで採取し、高压状態を保持したまま凍結したコアを用いることによって極力土の骨格構造の擾乱が少ない状態での力学試験を実施した。メタンハイドレート飽和率79%の力学試験結果は、高い初期剛性とピーク強度の増加が確認された。せん断変形に伴うダイレイタンスー変化は膨張挙動に転じており、既往の研究成果からも裏付けされた。メタンハイドレート飽和率79%の力学試験結果はこれまでになく、メタンハイドレート飽和率の増加に伴い、力学的強度が線形的に増加することが明らかになった。また、その絶対値はメタンハイドレートを含まない土の強度に大きく依存することが分かった。

地層特性評価技術の開発においては、地層変形シミュレータの機能強化の一つとして、これまでに取得してきた力学パラメータをもとにメタンハイドレート含有砂質

堆積物の粘弾性を表すため、ひずみ速度の減速していく1次クリープ、加速していく3次クリープにおける挙動および定ひずみ速度試験におけるひずみ速度依存性を説明可能な構成方程式を開発した。これによって、メタンハイドレート含有砂質堆積物の粘弾性挙動を表現可能とした。

東部南海トラフ域のメタンハイドレート貯留層を想定した詳細モデルを作成し、減圧法を適用した際の圧密変形を解析的した結果、生産井の近傍の要素で減圧初期に平均有効応力の増加が急速に生じ、その後時間の経過とともに高いせん断応力が発達し、局所的な変形が生じることが確認された。また、海底地盤は密度が高いほど、拘束圧が小さいほど変形の局所が大きくなることになった。さらに、拘束圧が大きい場合は地盤の変形は圧縮挙動が支配的となり、歪みレベルが大きくなっても局所的な変形は生じにくいことが確認された。これらの変形による土粒子の内部構造を観察するため、マイクロフォーカス X 線 CT 装置を用いた超小型三軸圧縮試験を実施し、地盤は圧縮に伴う負のダイレイタンスが生じて収縮挙動を生じながら定常的な強度を発揮することが明らかとなった。また、既往のフィールドにおける地下水揚水による地層の変形データを COTHMA によって再現計算し、シミュレータの信頼性および有用性を確認したほか、並列処理機能を有する汎用解析ソルバプラットフォームの導入によって、生産に伴う地層の変形挙動・応力分布を高精度かつ高速度で解析できる広域地層変形シミュレータに改良した。坑井の健全性評価に関しては、第1回海洋産出試験に坑井仕様に準拠して坑井をモデル化し、生産試験中に発生した出砂の要因に関する検討を実施した。その結果、浸透率が大きく異なる地層で水の流速が局所的に増大し、グラベルや地層を押し退けた可能性が示唆された。

地層と坑井の接触面強度を定量的に評価するための押し抜き試験を実施し、ケーシングとセメント、ケーシングと砂およびセメントと砂の3種類の接触面に関して接触面における破壊や局所変形のメカニズム把握のため、個別要素法 (Discrete Element Method: DEM) により、接触面挙動を解析する方法について検討した。DEM 解析には、豊浦砂の土粒子形状を模擬したクランプ粒子を用い、実験で観測される力学応答の拘束圧依存性が再現できることがわかった。また、シミュレーションから得られた拘束圧とせん断抵抗角の関係は、既往の実験とほぼ一致することが確認された。また、押し抜き試験で計測した鋼棒の表面粗さと同程度になるような表面モデルを作製し、一定拘束圧の下で、表面モデルを一定速度で移動させることにより、シミュレーションを行ったところ、押し抜き試験の接触面摩擦強度を定量的に再現した。坑井の健全性評価のため、メタンハイドレート層を対象とした大型室内産出試験装置による実験的評価を行うと共に地層変形シミュレータ COTHMA を用いた再現解

析を実施した。その結果、地層変形シミュレータ COTHMA による解析では、模擬メタンハイドレート砂層の沈下やガス生産状況などを概ね再現出来ることが明らかになった。

リングせん断試験機内の珪砂試料中で TBAB 等をハイドレート化するメタンハイドレート代替試料作製法を開発し、リングせん断試験を実施した。リングせん断試験時の定常状態での残留強度を検討することにより海底地盤の地すべり発生条件を検討した結果、TBAB ハイドレートの融解温度より若干低い4度付近にピークがあり、温度が高くなるに従いせん断抵抗が減少した。一方、長距離せん断の進行にしたがい、せん断摩擦による温度上昇で摩擦抵抗が減少することが明瞭に現れた。このデータは強震時の強制せん断、あるいはメタンハイドレート層からのガス生産に伴う潜在すべり面あるいは断層面に沿う長距離高速せん断が生じた場合に、すべり面の傾斜が残留強度より小さくなる条件下では、摩擦角の減少により加速する可能性があることを示唆した。また、高速せん断中にメタンが十分気化する程度の温度に達した場合には過剰間隙圧が発生し大きくせん断抵抗が低下する可能性を示唆した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】メタンハイドレート、貯留層特性、生産シミュレータ、エネルギー効率、天然ガス、生産技術、原位置計測技術、熱特性、力学特性、圧密特性、相対浸透率、産出試験、東部南海トラフ、地層変形、生産障害

【研究題目】非砂層メタンハイドレート賦存層の科学的調査研究

【研究代表者】森田 澄人 (地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】森田 澄人、鈴木 祐一郎、中嶋 健、佐藤 幹夫、後藤 秀作、光畑 裕司、上田 匠、坂田 将、吉岡 秀佳、松林 修、棚橋 学  
(常勤職員9名、他11名)

【研究内容】

主に日本海に分布が知られている表層型メタンハイドレートについて、平成25年4月、政府は3年間の集中的な広域調査実施を盛り込んだ海洋基本計画を閣議決定した。これを受け、平成25年度から経済産業省の受託研究「メタンハイドレート開発促進事業」の一部として、表層型メタンハイドレートの調査を開始した。

調査実施種目として、1)広域地質調査、2)詳細地質調査、3)掘削同時検層 (LWD)、4)地質サンプリング (掘削コアリング)、5)海洋電磁探査、6)海底環境調査で構成される。

広域地質調査では調査船による MBES (マルチビーム測深器) により広域な海底地形図を取得し、SBP

(サブボトムプロファイラ)で海底下浅層部の音響学的構造断面の取得を実施した。これにより、マウンド地形等の表層型メタンハイドレートが胚胎しうる特異点とそれらに伴う音響学的ブランキングの分布を明らかにした。詳細地質調査では、MBES、SBP および SSS (サイドスキャンソナー)を装着した AUV (自律型海中巡航探査機)を用い、広域地質調査よりも更に地域を絞ったエリアでの特異点とその周囲の地質構造を明らかにした。

掘削同時検層では、各種センサーを装備した掘削機器によりマウンド等の特異点の海底下における比抵抗や自然ガンマ線量、核磁気共鳴 (NMR) 等のプロファイルデータを取得した。掘削コアリングでは、特異点における地質サンプリングを行うとともにメタンハイドレート試料の採取を行った。塊状、板状、脈状、粒状などのメタンハイドレートを掘削採取し、塊状メタンハイドレートについては最大で厚さ1.3m のものを掘削採取した。掘削調査後は試料分析等を進めている。

海洋電磁探査では、上越沖の3エリアにおいて曳航式の電磁探査を実施した。結果としてマウンド地形に伴う音響学的ブランキングの分布にほぼ対応して高い比抵抗の物質が地下に分布していることが分かった。

海底環境調査では、ROV を用いた海底のベースライン調査を実施した。ROV 潜航調査による海底での観察や底質サンプリング、生物サンプリング等を行うとともに、長期モニタリングを実施した。長期モニタリングシステムは平成25年度に設置したものを回収し、新たに再設置を行った。回収したデータについては解析を進めている。

3年目にあたる平成27年度調査では、資源量評価を含めた研究を進める予定である。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】メタンハイドレート、表層型、広域地質調査、AUV、掘削同時検層、掘削コアリング、海洋電磁探査、環境調査

・エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費

【研究題目】大口径マルチモード光ファイバ・コネクタ及びその通信性能に関する国際標準化・普及基盤構築

【研究代表者】松田 直樹  
(生産計測技術研究センター)

【研究担当者】松田 直樹、野中 秀彦  
(常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

本事業では50m 以下の短距離マルチモード光ファイバーを使った車載 LAN に関する国際規格と実証システムの開発、及び開発した国際規格の認証基盤の構築を行う。プラスチック光ファイバー (POF) 使用で1Gbit/s、ハードプラスチッククラッド光ファイバー (HPCF) 使

用で10Gbit/s の高速通信を実現する車載 LAN を対象として、光トランシーバの励振条件や、接続コネクタ、光 LAN 物理層等の規格開発を行う。具体的には POF や HPCF 等のステップインデックス型マルチモード光ファイバ (SI-MMF) を用いた短距離通信用途において、光ファイバ・中を伝送するモード分布を EAF (Encircled Angular Flux) 法を用いて計測し、IEC、IEEE、ISO と言った国際規格へ提案を行う。

H26年度は EAF 法等、光ファイバーやデバイスを組み合わせたシステム評価方法開発を行った。また IEC、IEEE 等へ国際規格提案や提案準備のためのデータ取得を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】マルチモード光ファイバー、国際標準、車載用光ネットワーク、

【研究題目】ファインバブル技術に関する国際標準化・普及基盤構築

【研究代表者】兼松 渉 (計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】辻内 亨、兼松 渉 (計測フロンティア研究部門)、安井 久一、平澤 誠一 (先進製造プロセス研究部門)、綾 信博 (ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室)、桜井 博、高橋 かより、加藤 晴久 (計測標準研究部門)、川崎 一則、川崎 隆史、苑田 晃成 (健康工学研究部門)、高尾 泰正 (サステナブルマテリアル研究部門)、松本 壮平 (集積マイクロシステム研究センター)  
(常勤職員13名)

【研究内容】

近年、ファインバブル (ミクロンからナノオーダーにわたる特殊な機能を有する気泡を指す。特に1ミクロン未満の気泡をウルトラファインバブルと呼ぶ。)を利用した技術の世界的な広まりを受け、平成25年6月には国際標準化機構 (ISO) に日本を幹事国とする新たな専門委員会 (TC281 (ファインバブル技術)) が設置された。ファインバブル技術は日本発の革新的技術であるもののその存在や機能についての科学的評価手法が確立されていないため、国際標準化を推進するには、これらを第三者の立場から包括的に検証する体制整備も必要となっている。

このため、本研究開発では、国際規格の策定を推進するため、国際標準化に関係する機関や専門家にファインバブル技術を正しく理解してもらうことをめざし、技術データなど適切な情報発信を行うことを目標とする。具体的にはファインバブルの生成消滅・安定化等挙動、ファインバブルの計測手法及び効果評価方法の基礎データの収集分析を行うとともに、その成果を国内外の関連学

会等で発表する。

今年度は、水中に浮遊するファインバブルの透過型電子顕微鏡観察を行うため、生物試料を電子顕微鏡で観察するために発展してきた試料調整技術である急速凍結レプリカ法の適用を試みた。その結果、直径130nm から200nm 程度の気泡の存在を示す画像が得られ、ウルトラファインバブルの形状を電子顕微鏡によって直接観察が可能であることが実証された。また、水に含まれる固形物の指標となり得る水の清浄度が気泡径分布に及ぼす影響について調べた結果、清浄度の低下にともなって気泡の数密度が上昇する傾向が見られ、水中の有機物による気泡安定化の可能性を示唆するものと考えられた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ファインバブル、国際標準化、透過型電子顕微鏡、清浄度

【研究題目】バイオ燃料の高度利用・標準化技術開発  
(1) 新燃料の燃焼機構の解明に資する数値解析及び実験解析

【研究代表者】辻村 拓 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】辻村 拓、小島 宏一、小熊 光晴  
文 石洙、日暮 一昭  
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

本事業では、次世代バイオマス燃料の一つであるイソペンタノールについて、可能な限り詳細な反応機構を取り入れた詳細化学反応モデルを構築し、その詳細モデルを基にした簡略化モデルの構築へと展開し、最終的には化学反応と熱輸送を併せて考慮できるバーチャルエンジンシミュレーションによって新燃料の評価を行うことを目標とし、米国ローレンスリバモア国立研究所との共同研究を実施した。これまでに511種の化学種と3001式の素反応式で構成されるイソペンタノールの詳細化学反応動力学モデルを構築した。また、詳細モデルの本質を忠実に継承しつつモデルサイズを大幅に縮小する手法によって化学種数106、素反応式数501の簡略化モデルも併せて構築した。詳細モデルも簡略化モデルも、着火実験、燃焼速度、熱分解速度など反応過程において重要な特性を精度良く再現できることを確認した。平成26年度は、開発したの簡略化モデルをバーチャルエンジンシミュレーションに適用し、エンジン燃焼室内の熱輸送や流動を伴う反応場における次世代エンジン燃焼技術(予混合圧縮着火燃焼)を再現することに成功した。これは当初計画のとおり、検証と改良を続けた詳細化学反応モデルを基にして簡略化モデルを構築したことが奏功したと考えられる。この簡略化モデルを使用したバーチャルシミュレーションによる予測精度は、詳細化学反応モデルを使った無次元シミュレーションよりも高精度にエンジン圧縮初期温度等を予測し、実験値に対して10%以内の予測精度を得ることに成功し、実用性の高い

モデルであることが示された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】イソペンタノール、化学反応動力学モデル、簡略化モデル、バーチャルエンジンシミュレーション

【研究題目】バイオ燃料の高度利用・標準化技術開発  
(2) バイオ燃料の物理的特性が噴霧発達機構に及ぼす影響解析

【研究代表者】文 石洙 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】文 石洙、小熊 光晴、辻村 拓、  
駒田 佳介、斉藤 孝季、黄 鎮海  
(常勤職員3名、他3名)

【研究内容】

日米協力事業の一環として実施する本研究では、新燃料の能動的かつ効率的な導入促進による低炭素社会の早期実現を目指し、新燃料の燃料品質の標準化に資する有用なバックデータを取得するため、新燃料噴霧及び燃焼過程についての実験及び数値解析を行う。特にバイオ燃料の物理的特性が燃料噴霧に及ぼす影響に着目し、燃料噴霧基部及び下流部の発達過程について X 線撮影による高精度計測等の実験解析を行う。また数値解析に関して、多様なバイオ燃料の燃料噴霧解析を可能とする燃料物性の推算モデルを構築する。

平成26年度に終了となった本事業では、アメリカアルゴンヌ国立研究所の研究協力を元に、高速 X 線技法を用いて世界初となる圧力2000気圧以上、速度650 m/s以上の超音速燃料流速データの取得・解析を実施した。その技術を活かして、次世代新燃料の物性および様々な噴射条件が、噴射弁内部および近傍の流動挙動に及ぼす影響に関して幅広く調べた。その結果を従来噴霧モデルと比較することで、従来噴霧モデルの問題点を浮かび上がらせた。また、従来噴霧モデルの改善方案として、様々な燃料物性及び噴射条件による噴霧構造の変化を予測するスケーリング法を提案した。スケーリング法に基づいて定めた噴霧モデルの係数を商用数値解析ツールに反映して噴霧数値解析を行い、スケーリング法に基づくモデル係数の選定が噴霧数値解析の精度改善に有効であることを確認した。本研究にて得られた噴霧形成過程に関する物理的な理解及び高精度噴霧モデルの構築が、噴射技術の向上を実現し、これにより次世代エンジンの燃費向上、および次世代新燃料の早期導入に貢献できると期待される。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】次世代新燃料、燃料物性、X 線噴霧計測、噴霧数値解析、日米協力事業

【研究題目】高効率 CO<sub>2</sub>還元触媒の半導体光触媒への複合化に関する研究

【研究代表者】姫田 雄一郎

(エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】 姫田 雄一郎、三石 雄悟、砂 有紀、  
徐 紹安、尾西 尚弥、前川 秀、  
小久保 雅子（常勤職員2名、他5名）

## 【研究内容】

本事業では、半導体光触媒の水分解により生じた水素（電子）を用いて二酸化炭素の固定化・燃料化を目指した人工光合成技術の基礎研究を目的とする。二酸化炭素の変換錯体触媒などの高い二酸化炭素の還元触媒技術を持つ産総研と、錯体触媒等の高度な材料・反応機構解析技術を有する米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）が、補完的に協力し、共同研究を行うことにより、革新的な人工光合成触媒の基盤的技術の確立を目指す。

本年度は、これまでの研究で得られた研究を取りまとめるとともに、二酸化炭素有効利用技術の実用化に向けた取り組みを始めた。本事業で開発した高性能触媒の電子的効果、ペンダントベース効果について、速度論的同位体効果、密度汎関数法で詳細に解析し、その結果を取りまとめた。これらの成果は、今後の二酸化炭素利用技術における触媒開発の指針と考えている。また、企業との情報交換から、実用化に向けた技術ニーズに対応する触媒開発を行った。その結果、触媒性能を低下させることなく、長期間触媒性能が劣化しない触媒を開発することができた。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 炭素固定、水素貯蔵

## 【研究題目】 色素増感起電力を利用した水分解水素製造

【研究代表者】 佐山 和弘（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 佐山 和弘、小野澤 伸子、草間 仁、  
船木 敬、三石 雄悟、小西 由也、  
北尾 修、福 康二郎、中澤 陽子、  
大塚 裕美（常勤職員8名、他2名）

## 【研究内容】

光のエネルギーを用いて見かけの電気分解効率を向上させ、水素コストを大幅に低下させる技術として半導体光電極水素製造がある。この光電極は太陽電池による補助電源が一般的には必要であるが、この電源電力も低コスト化する必要がある。本事業では、低コスト水素製造のために半導体光電極および、補助電源用の太陽電池として革新的な低コスト化が期待できる色素増感セルの起電力を組み合わせた統合水素製造システムの研究を米国のブルックヘブン国立研究所（BNL）と協力して行った。

WO<sub>3</sub>半導体の反応機構の解明に関する研究では、光電着を利用した酸化反応促進サイトの可視化およびDFT計算による仕事関数予測、結晶面の織りなす角度などの結果を総合的に判断し、酸化反応の結晶面は(112)である可能性が示唆された。色素増感セル

(DSSC)に関しては、Ru色素の劣化のメカニズムについての検討を行った。大気中の水分よりも酸素が増感色素の劣化に大きく影響していることが示唆された。NCS基をもたない増感色素は加速試験において比較的高い安定性を示した。DFT計算の結果、NCS基をもたない増感色素はO<sub>2</sub>との相互作用が弱く劣化し難いことを裏付けることが出来た。WO<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub>光電極の高性能化と、DSSCを組み合わせたタンデム型光電極システムの設計を検討し、STH効率が4.0%が達成された。光電極上に様々な酸化物膜をコートして、高い光電流と安定性の両方を同時に満たせるかどうか実験を行った結果、アモルファスTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>でコートすると安定性を向上できることがわかった。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 水素製造、色素増感、光電極

## 【研究題目】 蓄電デバイス用ナノ電極材料の開発と電子状態解析

【研究代表者】 周 豪慎（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 周 豪慎、細野 英司、朝倉 大輔  
難波 優輔、王永慶、星野 純一  
武田 聖子、嶋田 陽子  
（常勤職員3名、他5名）

## 【研究内容】

省エネルギー・地球温暖化対策に資する分散型エネルギーネットワーク構築のキーテクノロジーである高性能二次電池として、リチウムイオン二次電池の高性能化が期待されている。本研究では、既存の正極材料では得られない電極特性の発現を目指し、高性能リチウムイオン二次電池の実現を目指す。特に、ナノ材料における電気化学反応メカニズムの解明を放射光内殻励起分光法により行い、電極特性の高性能化への指針を得るとともに、指針に基づいた材料設計を行う。

平成26年度の研究内容として、ナノサイズLiFePO<sub>4</sub>やLiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>等の電極材料に対して、ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）の放射光施設Advanced Light Source（ALS）や国内施設における軟X線吸収分光、及び軟X線発光分光による電子状態測定を行った。その測定結果に対して、クラスターモデルを用いた多重項計算による詳細な解析を行い、電極材料の電気化学特性と関連性について検討した。特に、充放電サイクル特性と電子状態との間に明瞭な相関があることを見出し、結晶制御や元素置換等の手法による高性能化の指針を得ることが出来た。さらに、充放電動作中の電極材料に対する軟X線発光分光測定技術の確立を達成し、遷移金属元素の酸化還元反応に関する詳細な知見を得た。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 リチウムイオン二次電池、正極材料、ナノ材料、軟X線分光

〔研究題目〕 ナノ構造を利用した低環境負荷で高効率な熱電変換材料

〔研究代表者〕 山本 淳 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 山本 淳、太田 道広、  
JOOD Priyanka、國井 勝、  
西当 弘隆 (常勤職員2名、他3名)

〔研究内容〕

熱電発電デバイスを用いることで、産業・民生・運輸部門から棄てられている膨大な未利用熱エネルギーを、利用価値の高い電気エネルギーとして回収できる。本研究では、低環境負荷な熱電変換材料に関する研究を推進している産業技術総合研究所と、高効率な熱電変換材料に関する研究を展開しているアルゴンヌ国立研究所が協力して、互いの技術を融合することで、二つの特徴を有する、すなわち、低環境負荷で高効率な熱電変換材料の開発研究を加速する。

日米が強い信頼関係のもとに研究を進めたことで、次に示す革新的な成果を得ることができた。第一に、ナノ構造を制御することで、鉛テルル PbTe バルク体焼結体において、これまでの材料を大きく凌駕する非常に高い p 型の熱電性能指数  $ZT = 1.8$  (550 °C) を達成した。また、n 型の PbTe においては、PbI<sub>2</sub>のドーピング量を変化させ、キャリア濃度を最適化することで高い  $ZT = 1.2$  (540 °C) を達成した。次に、これら PbTe 系熱電変換材料を用いて、熱電発電デバイスを実際に試作して発電検証を実施した。発電試験において、高い変換効率と高い発電出力密度を確認した。さらに、低温側にビスマス・テルライド Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>、高温側に PbTe を使用したセグメント型熱電発電デバイスにおいて、従来技術を凌駕する非常に高い変換効率を達成した。次に、熱電変換材料の環境調和性を改善するために、銅と硫黄を主成分としたコーラーサイト Cu<sub>26</sub>V<sub>2</sub>Ge<sub>6</sub>S<sub>32</sub>を開発して、やや高い  $ZT$  (390 °Cで0.7) を達成した。コーラーサイトは、PbTe の次を担う環境調和型熱電材料である。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 熱電変換材料、熱電発電、未利用熱エネルギー活用、金属物性・材料、日米等エネルギー技術開発協力

〔研究題目〕 クリーンアップ石炭ガス化ガスのための SOFC 燃料極開発

〔研究代表者〕 堀田 照久 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、  
倉本 浩司、巖 康  
(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

クリーンアップされた石炭ガス化ガスを固体酸化物形燃料電池 (SOFC) で適用するための材料基礎研究を行った。特に、石炭ガス化ガス特有の不純物が多量に含まれるガス雰囲気下において、作動しうる高性能燃料極

の開発を行うことが目的である。SOFC 材料の不純物・劣化分析技術に優れる我が国とガス不純物の影響評価に先行する米国との英知を結集し、共同で石炭ガス化ガス不純物の SOFC 材料に対する影響を解明し、許容範囲を明らかにすると共に高性能燃料極の開発を行う。

今期は、これまで検討してきた Ni サーマット系電極、SrTiO<sub>3</sub>系酸化物電極に加え YCrO<sub>3</sub>系酸化物電極をとりあげ、性能向上効果、電極/電解質界面安定性、不純物被毒耐性などを検討した結果、900°Cの運転温度では目標値である0.5W/cm<sup>2</sup>程度の出力性能には届かなかったが、運転温度の上昇、微細構造の検討により性能の向上が見込まれた。また、GDC とのコンポジット化には、反応活性場の拡張だけでなく、電解質/酸化物燃料極間の反応の抑制という効果があることが示され、反応防止層の挿入なしに酸化物燃料極を利用できる可能性が示唆された。これは、今後の電極設計の可能性を広げるものとなる。石炭ガス複合発電で使用されるガス組成 (H<sub>2</sub>-CO ベース) に PH<sub>3</sub>などの不純物を添加し、燃料極の化学的反応性を検討した結果、0.1ppm 程度の濃度であればセラミックスペースの電解質や電極材料への影響が小さいことが確認でき、IGFC における酸化物電極の有効性が示唆された。一方で酸化物電極の適用には更なる性能向上と、耐久性・安定性の評価が必須となる。

石炭ガス化ガス中微量不純成分模擬ガス製造のための不純成分揮発法として、パーミエーションチューブ法等を用いて S、Cl、F、As 水素化物、Si 蒸気等、幾つかの気相微量成分濃度を制御可能な模擬ガス発生法を確立した。また、これを用いて H<sub>2</sub>S が ppb~ppm レベルで燃料ガス中に存在した場合の、発電時の燃料極被毒挙動の評価を行い、H<sub>2</sub>S による性能低下を回避するためには0.02ppm 程度まで低減する必要があることを明らかにした。また、加湿燃料により発電を行うと、Si および Mn といった無機成分が分極条件下の電極-電解質界面領域に蓄積すること判明した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 固体酸化物形燃料電池、石炭ガス化ガス、不純物、酸化物燃料極、安定性

〔研究題目〕 再生可能エネルギー導入に備えた統合型水素利用システムに関する研究

〔研究代表者〕 伊藤 博 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 伊藤 博、中納 暁洋、前田 哲彦、  
榎 浩利、榊 浩司、浅野 耕太、  
斉田 愛子、Kim Hyunjeong、  
高木 聡美 (常勤職員8名、他1名)

〔研究内容〕

再生可能エネルギーは不安定であることから、それが大量に導入されると一時的なエネルギー貯蔵装置が必要になる。統合型水素利用システムは主に水素製造装置、水素貯蔵装置、水素供給装置、及び燃料電池で構成され



る定置型の水素システムである。これを設置することにより電気に加え、熱、及び物質（水素）を供給することができ、水素の形でエネルギー貯蔵を行うことからエネルギーの長期・大量貯蔵に適した再生可能エネルギー利用促進に有望なシステムである。本研究の目的は再生可能エネルギーを最大限取り込むことができ、且つ、優れた省エネルギー性を併せ持つ低炭素化社会の公共インフラとなり得る統合型水素利用システムを米国のサバンナリバー国立研究所（SRNL）と共同で開発することにある。

本年度は、昨年度作製した横置型水素吸蔵合金タンクについて、タンク設置スペースの最小化を図るため断熱材を含めたタンク総体積の低減を試みた。そのためフレキシブルな真空断熱材を開発し、断熱性能を損なうことなくタンクの直径を低減させることに成功し、この断熱材について「真空断熱材及びその製造方法」という名称で特許申請を行った。

また、横置型水素吸蔵合金タンク、及び一体再生型燃料電池を接続しベンチスケールの統合型水素利用システムを完成させた。各種運転試験を通じて同システムの効率評価を行い、水電解運転約11時間、燃料電池運転13時間の24時間連続運転において、総合効率は約62%という結果を得た。本研究により更に総合効率を上げるための改善・改良点を明確にすることができ、総合効率目標値の75%達成に対する設計指針を得ることができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素システム、再生可能エネルギー、水素貯蔵

【研究題目】水素容器・蓄圧器の特性評価・技術指針・規格化に関する共同研究

【研究代表者】飯島 高志（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】飯島 高志、安 白、孫 正明、中道 修平（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

燃料電池自動車の開発普及と、水素ステーションの設計開発が2015年の同時投入を目指して加速段階にきている。いずれも水素容器・蓄圧器による水素の貯蔵・運搬が大きな技術開発要素である。今回の米国サンディア国立研究所との共同研究では、水素蓄圧器の安全性・経済性を念頭において、実験データを基に日米の問題意識の共通化を図ることで、燃料電池自動車の車載水素容器や水素ステーションの蓄圧器の設計に必要な、国際規格・標準の整備・強化を目指し、日米で世界標準をリードしていくことを目的とする。水素利用社会の構築に向けて、日米が協力して高圧水素ガス中での材料の破壊靱性など材料特性評価方法の検討、ならびにそれらデータの取得を行い、水素容器・蓄圧器の開発に必要な国際規格・標準化を推進するための技術的裏付けを日米共同で明らかにすることを目的として、①フェライト鋼の水素

ガス中での破壊特性評価、②ステンレス鋼の水素脆化メカニズムの把握について研究を実施した。①では、米国規格の試験片（SA372 Grade J）を用いて、115 MPaまでの水素圧力で除荷コンプライアンス法によるき裂進展開始試験を実施し、日米両機関において破壊靱性特性のクロスチェックを行った。②では、フェライト相（ $\alpha$ ）とオーステナイト相（ $\gamma$ ）を有する二相ステンレス鋼について、破断面付近の表面及び内部の水素脆化き裂の観察を走査型プローブ顕微鏡を用いて行った。その結果、二相ステンレス鋼の水素誘起微小クラックはフェライト相で発生・成長し、オーステナイト相を貫通して広がることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素、燃料電池自動車、水素脆化、国際標準

【研究題目】高圧二酸化炭素の光還元に関するプロセス化技術の開発

【研究代表者】川波 肇（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】川波 肇、石坂 孝之、川崎 慎一郎、八重嶋 早枝子、Maya Chatterjee、藤山 仁美、David G. Grills（常勤職員3名、他4名）

【研究内容】

本研究は、日米間の連携を築きながら、エネルギー環境技術の開発を行うもので、当該研究課題は、高圧二酸化炭素中で光エネルギーにより二酸化炭素還元反応を行うことで、従来効率の悪かった人工光合成技術を高密度で行い、より生産的な技術へと展開を図ることを目的としている。加えて、高圧条件に適した反応システムを再構築することで、新しい反応システムの提示を行い、プロセス化への道を切り開くことが目的である。

平成26年度は、平成25年度に引き続き米国との間で統一した手法に準じて遷移金属を中心金属とした均一系触媒の改良を行った。光還元による二酸化炭素変換効率の向上の可能性を図り、米国の分光学的な測定・解析技術（時間分解 FT-IR 法）に高圧技術を組み合わせ、超臨界二酸化炭素中における反応メカニズムの解明を行なったところ、置換基の還元が起り、触媒の寿命を短くしていることを見出した。そこで、より還元が起りにくい置換基の探索をした結果、アミド系配位子を有する錯体を用いることにより、昨年まで用いていた触媒に対して触媒回転数が2倍程度加速されることが分かった。これより光還元システムに、超臨界二酸化炭素を用いたシステムを構築することで、従来法と比較して200倍程度向上することが分かり、今後の二酸化炭素から一酸化炭素への変換プロセスとして有効であることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

〔キーワード〕 二酸化炭素、光、還元

〔研究題目〕 共同施設相互利用によるナノエレクトロニクス、ナノ材料開発に関する研究

〔研究代表者〕 秋永 広幸  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 秋永 広幸、島 久、野田 周一  
(常勤職員2名、他1名)  
亀井 利浩  
(集積マイクロシステム研究センター)

〔研究内容〕

目的：

先端機器共用施設は、その場において多様な研究課題と人材の交流がなされることから、オープンイノベーションプラットフォームとしての機能を持つ。日米共に、このようなプラットフォーム間のネットワーク構築事業において世界を先導してきた経験を持ち、両者が連携を組むことは、全世界的課題に対する研究を推進する上で極めて効率的である。本事業では、日米の先端機器共用施設を相互利用することにより、低炭素社会の実現を目指した環境・エネルギー分野の革新的研究開発の促進と、研究者交流や最先端情報の共有化等、協働のシナジーによる研究連携ネットワークの強化を図る。

年度進捗状況：

米国側は Center for Integrated Nanotechnologies (CINT) / Sandia National Laboratories (SNL)、日本側は Nano Processing Facility (NPF) / AIST が窓口となり、以下の研究開発と国際標準化を実施した。

まず、薄膜太陽電池デバイス素子の安定化と光吸収  $\text{Cu}_2\text{O}$  層の厚膜化によるセル単体でのエネルギー変換効率向上を目指した。精密に酸素ガス圧力が制御できる減圧雰囲気下での再結晶化アニールを行うことにより、リファレンスとしていた PLD (Pulsed Laser Deposition) 膜よりも高品質のスパッタ  $\text{Cu}_2\text{O}$  膜を得ることに成功した。作製した太陽電池では、エネルギー変換効率0.69%が得られた。 $\text{Cu}_2\text{O}$  のバンドギャップから決定される感度域300~600 nm 帯における外部量子効率(入射光子数に対して外部回路に取り出せる電子数の割合)は47%であった。この値はスパッタ法で形成する  $\text{Cu}_2\text{O}$  薄膜太陽電池としては現状で最高の値となる。構築した太陽電池作製基本プロセスおよび蓄積した作製ノウハウは、太陽電池(ダイオード)プロセスモジュールとして NPF で公開した。この他、理論計算により、ナノメートルオーダーの領域の電界分布などの貴重な知見を得ることができた。

太陽電池の性能向上には、上記のように結晶欠陥の高精度制御が非常に重要となるため、結晶内および結晶/メタル界面の各種欠陥(電荷トラップ)密度、エネルギー準位を測定評価するための、熱刺激電流(Thermal Stimulation Current: TSC)測定法の開発も行った。

$\text{Cu}_2\text{O}$  膜の測定にこれを適用し、従来は検出に手間のかかった Cu 空孔および酸素空孔の電子準位やその密度を簡単に評価できる可能性を得た。この手法は他の多くの酸化物/メタル、半導体/メタル界面をもつデバイスに適用可能と考えられることから、この結果を IEC で国際標準化提案し、Preliminary Work Item (PWI)として承認された。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 先端機器共用施設、太陽電池、ナノ光アンテナ、酸化物半導体

〔研究題目〕 重水素化増感触媒の耐久性に関する研究

〔研究代表者〕 川西 祐司(ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 川西 祐司、宮沢 哲、下位 幸弘、椎名 祥己、井上 杏子、松浦 和佳子  
(常勤職員3名、他3名)

〔研究内容〕

重水素(D)は水素の安定同位体で、天然に約150ppm存在し、存在比の最も高い軽水素(H)の倍の質量数(=2)を有する。有機分子中に含まれる軽水素を重水素に置き換えることにより、光や酸化還元などに対する有機分子の耐久性が、20~100%以上向上することを近年見出し、独自の同位体交換技術による有機電子材料等への展開を検討している。本課題は、長期駆動可能な光エネルギー変換系の実現に資する、高耐久な増感色素・分子触媒等の増感触媒の開発を目的としており、水の人工的な光分解ならびに二酸化炭素固定に関する基礎研究に優れる米国ブルックヘブン国立研究所との協力下で進めている。最終年度は、これまでに得られた金属錯体型色素N3の耐久性実験結果に基づき、N3を増感色素とする色素増感太陽電池の耐久性評価を行った。重水素体N3-Dによる電池は軽水素体N3-Hによる電池に比べ、短絡電流値の減少率において約6~8%優れていた。N3の主たる分解ルートが酸化体経由であることから、ホールの高速埋め戻しを意図して電子ドナー性分子をN3-H色素周辺に共存させた結果、短絡電流値をN3-Hのみの場合に比べ3割以上高く維持することに成功した。また、太陽電池構成部材であるポーラス半導体膜と白金ナノ粒子担持膜について、色素吸着や電解液拡散により優れた半導体膜、三ヨウ化物イオンをより安定に還元できる白金膜が容易に得られる、改良合成法を確立した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 色素増感太陽電池、耐久性、重水素標識、増感色素

〔研究題目〕 高性能固体高分子形燃料電池の開発に関する研究

〔研究代表者〕 崔 隆基(ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 崔 隆基、土田 英二(常勤職員2名)

〔研究内容〕

アルカリ電解質形燃料電池（AMFC）は白金のような高価な貴金属を用いなくてもいいので、既存の固体高分子形燃料電池の実用化の妨げとなっている白金使用の問題を回避できる。

しかしながら AMFC に用いられる電解質膜（AEM）は膜の水酸化物イオンによりすぐ劣化してしまう問題があり、解決すべき課題となっている。最近、膜の骨格部分での劣化により膜が本来保つべきである機械的強度が低下する問題が分かってきた。本年度は骨格の安定性を向上させるために、骨格部分にアミド結合を有する膜を作成した。アルカリ環境下でのこの新規の膜の劣化の詳細をしらべるため、密度汎関数法を用いて劣化反応の解析を行った。解析の結果、アミド基をフェニル基に直接つなげた骨格の膜の安定性は低いことが明らかになった。一方、アミド基とフェニル基の間にアルキル基を導入した膜は高い安定性が示された。したがって、今後このような構造をベースにした膜を作ることで、耐久性の向上が可能になることが示唆された。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 燃料電池、高分子電解質膜、分子シミュレーション

〔研究題目〕 水素生成光触媒電極の耐久性向上に関する研究

〔研究代表者〕 大谷 実（ナノシステム研究部門）

〔研究担当者〕 大谷 実（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年の地球規模での気候変動に関わる環境・エネルギー問題の解決は人類にとって喫緊の問題であり、化石資源に変わりうるクリーンエネルギーの開発は最重要課題である。本事業では計算科学的手法を用いて、太陽エネルギーから化学エネルギーへの変換効率を飛躍的に向上する材料開発へ向けた研究を行う。本年度は計算手法の開発からプログラム開発まで行い、電気化学界面シミュレーションのためのインフラストラクチャーの構築が終了した。エネルギー材料の性能評価関数導出のための新たなプログラム開発も行い、一般に利用可能な形で整備した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 太陽光水素発生反応、第一原理分子動力学シミュレーション、有効遮蔽媒質法

〔研究題目〕 非可食性バイオマスを原料とするバイオマスリファイナリー研究（1）細胞壁脆弱化・機械的ナノ解繊処理と糖化酵素によるセルロース分解挙動の研究

〔研究代表者〕 遠藤 貴士（バイオマスリファイナリー研究センター）

〔研究担当者〕 遠藤 貴士、岩本 伸一朗、熊谷 明夫、足立 真希、妙見 夕佳

（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

本テーマは、リグノセルロース系バイオマスの利活用技術開発として、産総研が持つ木質等をナノサイズに解繊できる水熱・メカノケミカル処理技術と米国オークリッジ国立研究所（ORNL）が持つ1つの微生物で酵素糖化と発酵を同時進行させる統合バイオプロセス（CBP）技術との融合を進めることを目的としている。これら技術によりリグノセルロースから効率的かつ効果的にバイオ燃料や化学品を製造する技術開発を目指している。

本年度は、米国で研究対象とされているバイオマス原料を用いて水熱・メカノケミカル処理によるナノ解繊の高効率化および種々の条件により得られたナノセルロース表面における木質成分の堆積構造の評価を行った。その結果、機械的なナノ解繊処理の前段での水熱処理時に水酸化ナトリウム等のアルカリを添加することで、解繊処理が効果的に進行し、処理物の比表面積解析から3倍以上向上できることを明らかとした。また、水酸化ナトリウムを固形分比で20重量%添加した系では、セルロースの酵素糖化率はほぼ100%となった。これらのことから、アルカリを併用することで水熱・メカノケミカル処理技術を高度化でき、低コスト・高効率でのナノ解繊による酵素糖化前処理が実施できることが示された。

さらに、種々の条件での水熱・メカノケミカル処理により得られたナノ解繊物を用いて、その表面特性を、水晶振動子マイクロバランス法（QCM）を用いて評価した。その結果、広葉樹と針葉樹では、セルロース微細繊維上のヘミセルロースおよびリグニンの堆積状態が異なることを明らかし、酵素糖化時の、酵素の組み合わせ等の最適化が実施できることが示された。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 リグノセルロース、ナノ解繊、ナノセルロース

〔研究題目〕 非可食性バイオマスを原料とするバイオマスリファイナリー研究（2）糖化酵素生産糸状菌及び糖化酵素の高機能化研究

〔研究代表者〕 石川 一彦（バイオマスリファイナリー研究センター）

〔研究担当者〕 石川 一彦、井上 宏之、渡邊 真宏、藤井 達也、蒲池 沙織、吉見 美穂（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

バイオ燃料製造における糖化酵素コストの削減を目的に、米国国立再生可能エネルギー研究所（NREL）と連携し、セルロース系バイオ燃料の生産に適合した酵素生産糸状菌の開発を行った。昨年度までに、セルラーゼ高生産糸状菌 *Talaromyces cellulolyticus* の非相同組換

えによる同種組換え糖化酵素の生産によってバイオマス糖化に重要なコア酵素であるエキソグルカナーゼ (Cel7A, Cel6A)、エンドグルカナーゼ (Cel5A, Cel7B)、キシラナーゼ (Xyl10A, Xyl11) の発現生産に成功し、種々の酵素機能および活性の評価を行った。今年度は、本菌が生産する糖化酵素液の更なる高機能化および低コスト製造を目指して 1) 酵素の生産性向上、2) 酵素の高機能化、3) 機能未知遺伝子の解析を実施した。

酵素の生産性向上においては、セルロース誘導下で Cel7A および  $\beta$ -グルコシダーゼ (Bgl3A) の生産性を強化した酵素組成改良株を作成し、NREL 前処理コンストラクターに対する糖化に対して約 10 mg/g-グルカンの酵素添加量で約 80% のセルロース糖化率を達成した。酵素の高機能化においては、Cel7A/Xyl10A によるバイオマスの相乗分解を解析し、キシラナーゼが保有するファミリー1セルロース結合モジュールがセルロースの相乗分解および酵素添加量の削減に重要であることを見出した。また、Cel7A を蛋白質工学的に改良し、野生型よりも 8°C 以上耐熱性 (変性温度 70°C 以上) が向上した Cel7A の構築に成功した。機能未知遺伝子の解析においては、マイクロアレイ解析により、セルロースに素早く応答する 4 種類の機能未知なセルラーゼおよびヘミセルラーゼ遺伝子を見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオ燃料、セルラーゼ生産糸状菌、酵素糖化

【研究題目】非可食性バイオマスを原料とするバイオマスリファイナリー研究 (3) 糖化酵素及び発酵阻害物質の効率的除去に関する研究

【研究代表者】星野 保 (バイオマスリファイナリー研究センター)

【研究担当者】星野 保、村上 克治、松鹿 昭則、木村 善一郎、濱田 佳子 (常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

本研究では、産総研の木質系バイオマス糖化技術と米国ローレンス・バークレー国立研究所の電子顕微鏡3D解析技術を組み合わせて、木質系バイオマスの糖化に必要なセルラーゼの使用量削減を目的とし、セルラーゼ阻害物質を効率的に分解・除去する技術開発を行った

前年までの研究により、*T. cellulolyticus* 由来セルラーゼに非イオン性界面活性剤を添加することにより、酵素阻害物質の効果を軽減し、イオン交換樹脂処理とほぼ同等の酵素量の削減効果があることを確認した。また、この糖化液を用いて酵母による発酵をおこなった結果、Tween 80 の添加が最適であることを明らかにした。さらに糖化反応時に Tween 80 と同時に、脂質分解酵素を

添加することにより、糖化酵素使用量を1/5にまで削減できることを明らかにした。発酵阻害物耐性の高い2種の酵母のゲノム解析を行い、発酵阻害物耐性に関与する7遺伝子の存在を確認した。このうち NADPH 依存性アルデヒド還元酵素遺伝子を高発現させた大腸菌は、発酵阻害物を含む糖化液中での増殖が、非組換え株に対して 25% 向上した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】糖化反応、発酵阻害、界面活性剤

【研究題目】再生可能エネルギーのキャリアーとしての水素・化学水素化物の活性化技術に関する研究

【研究代表者】徐 強

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】徐 強、Yao Chen, Hui Yang, Sandipan Roy (常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

本事業は、米国エネルギー省 (DOE) 傘下のパシフィックノースウェスト国立研究所 (PNNL) との共同研究によって、高密度化学的水素貯蔵材料の高機能化を行い、高効率化学水素貯蔵技術を確立すると共に、化学水素化物に共通した活性化機構の基礎的解明を行い、化学的水素貯蔵材料の規格標準化に向けた基盤構築を目的としている。本研究では、金属前駆体の導入法及び還元法を工夫することにより、均一な粒子径分布を持ち、高分散された超微細銅・コバルト (CuCo) 合金ナノ粒子を多孔性配位高分子 MIL-101 のメソ細孔内への固定化に成功した。合成された CuCo@MIL-101 材料は、アンモニアボランの加水分解による水素発生反応において、触媒として高い機能性を示した。「非貴金属犠牲法」という新しい手法を開発し、貴金属の還元過程において共析出された非貴金属の犠牲により、層状炭素であるグラフェン担体に超微細貴金属 AgPd ナノ粒子を固定化することに成功した。このようにグラフェン (RGO, reduced graphene oxide) 担体に固定化した超微細 AgPd ナノ粒子触媒 (Co6) Ag0.1Pd0.9/RGO は、ギ酸の分解・水素発生反応において、不均一系触媒として世界で最も高い活性を示した。ギ酸分解反応における (Co6) Ag0.1Pd0.9/RGO 触媒の高い触媒活性は、「非貴金属犠牲法」によって固定化された PdAg ナノ粒子における Ag と Pd の金属間協同効果及び極めて高い分散度と小さい粒子径に起因している。さらに、(Co6) Ag0.1Pd0.9/RGO 触媒は本反応において高い耐久性を示した。本研究により、多孔性担体や層状担体への超微細金属ナノ粒子の固定化やナノ粒子の形態制御及び異種金属間協同効果は、高い水素含有量を持ち、水素貯蔵材料として有望な化学水素化物アンモニアボランやギ酸の活性化に極めて有効であることが明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

〔キーワード〕 水素、燃料電池

〔研究題目〕 多核金属錯体の CO<sub>2</sub>多電子還元機構の  
説明

〔研究代表者〕 小池 和英（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕 小池 和英、佐野 泰三

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究では、究極の再生可能エネルギーである光（太陽光）エネルギーを利用した CO<sub>2</sub>の有効利用技術としての「人工光合成」システム構築を目的とする。化学的な「人工光合成」系として、触媒活性や選択性の点で有望な金属錯体触媒を CO<sub>2</sub>と直接反応（多電子還元反応）する基本要素に選び、多核化や金属クラスター触媒等との複合化により、ボトルネックとなっている多電子酸化還元反応の高効率化を目指す。

H26年度は、高効率の CO<sub>2</sub>光還元活性を示すルテニウム-レニウム複核錯体について、レニウム側のリン配位に電子吸引性基や電子供与性基を導入して還元電位を系統的に変化させた3種類の複核錯体を合成し、光増感部位（ルテニウム錯体）の光吸収に続く還元的消光による1電子還元体が生成してから、触媒部位（レニウム錯体）に電子が移動する「ユニット間電子移動速度」の測定を行った。犠牲還元剤として、従来用いていた1-Benzyl-1,4-dihydronicotinamide (BNAH) に代わり、より強力な1,3-dimethyl-2-phenyl-2,3-dihydro-1H-benzof[d]imidazole (BIH) を用いることにより、3種類の複核錯体について電子移動速度を見積もることができた。

これらの同じ架橋構造を持つ3種の複核錯体においては、自由エネルギー変化が発熱的であるほどユニット間電子移動速度は速くなっており、その傾向は CO<sub>2</sub>光還元効率（量子収率、ターンオーバー数）とも一致していた。

その結果、ルテニウム-レニウム複核錯体において、共役構造をもたない架橋構造でも光還元反応の進行に十分に高速のユニット間電子移動が実現していることを証明するとともに、より高効率な触媒設計指針として電子移動の高速化が有効であることを示すことができた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 人工光合成、CO<sub>2</sub>、金属錯体、触媒

〔研究題目〕 クラスター化学に基づく（光）エネルギー  
変換システムに関する研究

〔研究代表者〕 大古 善久（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕 大古 善久、脇坂 昭弘、久保 史織、  
長嶋 雲兵（常勤職員4名）

〔研究内容〕

再生可能エネルギーの利用を促進するため、低コストで高効率な技術やシステムの開発と共に、技術に見合っ

た市場形成の見極めが重要である。日本の優れた環境技術分野（光触媒や吸着、クラスター分析等）の研究者と、米国のナノ物質化学や（光）電気化学、エネルギー分析の分野の研究者が協力することにより、革新的な（光）エネルギー変換システムの基礎技術を開発する。計算機シミュレーションによって反応経路を予測しながら、微細で質の高いナノ物質の創製を進め、太陽光から高効率かつ安定に水素ガスを発生させ、得られた水素を貯蔵するための最適なナノ材料開発を行うことを目標としている。

今年度は、特に硫化物系の光触媒 CdSe について検討を進め、Science 誌に報告された量子効率36%を上回る高性能の CdSe ナノ粒子の合成に成功した。一方、赤外分光法（FTIR）を用いた表面分析により表面修飾剤のジハイドロリポ酸を追跡し、溶液中の Ni<sup>2+</sup>イオンと錯体を形成して H<sub>2</sub>生成反応のための最適な助触媒と成り得る動的反応モデルを得た。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 光触媒、クラスター分析、カーボンナノ材料

〔研究題目〕 脂肪酸など環境低負荷を目的とした炭  
化水素系化合物の生産技術の開発に関する研究

〔研究代表者〕 町田 雅之（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 町田 雅之、玉野 孝一、小池 英明、  
梅村 舞子（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

微生物の持つ物質の分解・生産能力を利用して、バイオマス等の植物成分原料から化石燃料に代わる燃料物質を作製することを目的として、ディーゼル燃料の原料物質である脂肪酸、その他の炭化水素系化合物であるテルペノイドや二次代謝化合物の生産系の構築と生産性の向上技術の研究を進めている。

本年度は、炭化水素系化合物の中の脂肪酸について、これまでに麹菌でその生産性が最も向上したアシル CoA 合成酵素遺伝子破壊株を用いて、ある特定化合物の添加による脂肪酸分泌生産条件下で野生株と全ゲノムの発現を比較して、脂肪酸生産の律速となっている遺伝子を情報科学的に予測した。その予測結果に基づき、当破壊株に対して組換えによって変異を追加した結果、生産性をさらに1.5倍に高めることができた。これにより、4.1 g/L の脂肪酸生産量を達成した。さらに、この脂肪酸生産性が最大を示した麹菌2重変異株について、発酵生産現場で良く用いられるジャー培養機で培養し、その結果フラスコ培養と同程度の脂肪酸生産量を出せることを確認した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 バイオディーゼル、二次代謝、糸状菌、比較ゲノム科学

**〔研究題目〕 ナノ構造電極を活用する発電のための  
新たな電気化学反応器の開発**

**〔研究代表者〕** 藤代 芳伸

(先進製造プロセス研究部門)

**〔研究担当者〕** 藤代 芳伸、鈴木 俊男、濱本 孝一、  
山口 十志明、鷺見 裕史

(常勤職員5名、他1名)

**〔研究内容〕**

燃料電池に代表される高性能電気化学反応器は、高効率物質・エネルギー変換技術として注目されている。日本側で開発を進めているセラミックリアクター製造技術における様々な構造、材料からなるナノ構造電極を共有し、米国機関（アルゴンヌ国立研究所）と連携し、米国 DOE 放射光施設（APS）等で、最新の発電のための機能性セラミック電極のナノレベルでの表面状態評価を実施目標とし、今後のナノ構造電極を活用する新しい高効率電気化学反応器の開発展開に向けた課題抽出を検討した。実施計画として、日本側が先行する独自の世界最高レベルのナノ電極材料製造技術によって様々な電極構造を具現化し、高度な電極表面の評価が実施できる米国機関で相互に解析を進め、両機関の技術を効果的に発展させる目的で産総研研究員を米国へ派遣し、共同申請で使用が許可された米国放射光施設（APS）や集束イオンビーム加工観察装置付き電子顕微鏡（FIB-SEM）等を活用することにより、日米共同での電極ナノ構造の機能解析を進めた。その結果、本年度は、アルゴンヌ国立研究所、米国ノースウエスタン大学と連携し、産総研で開発しているナノ構造電極を有するチューブ型 SOFC 電極の三次元構造評価によって、ナノ構造を有する燃料極構造の影響を検討した。具体的には、日本で製造したナノ構造電極を有する電気化学セルをアルゴンヌ国立研究所の有する FIB-SEM で観察実験を実施し、米国ノースウエスタン大学と共に、それによりナノ構造を有する燃料極の画像解析を実施した。多孔質ナノ構造電極の気孔制御を行い、電気化学的手法で反応器性能の比較検討を行った。その結果、気孔制御によって燃料利用率（発電効率）を飛躍的に向上させることができることが分かった。今後は、更なる電極構造や界面構造の3次元解析データを蓄積し、ナノ構造電極をプラットフォームにした電気化学セルの標準化に不可欠となる高性能化、高耐久性化を実現する新規ナノ構造電極の開発およびその評価技術の高度化を進める。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** ナノ構造電極、電気化学反応器、セラミックス、固体酸化物形燃料電池、放射光施設、機能・構造制御、低炭素、発電、セラミックリアクター

**〔研究題目〕 熱電変換モジュールの性能評価技術の開発**

**〔研究代表者〕** 山本 淳（エネルギー技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 舟橋 良次、松村 葉子、池西 ひとみ、  
岩岡 さおり（ユビキタスエネルギー研究部門）、阿子島 めぐみ、天谷 康孝、  
鈴木 英理子（計測標準研究部門）、  
山本 淳、太田 道広、Hu Xiaokai、  
長瀬 和夫、西当 弘隆

(エネルギー技術研究部門)

(常勤職員5名、他7名)

**〔研究内容〕**

熱電変換は熱と電気間の直接エネルギー変換技術であり、可動部がなくシンプルな発電システムを構築できることから、小型分散型の温度差発電に適した発電技術として世界で注目を集めている。中でも熱電変換モジュールは重要な役割を果たす部品であり、その性能の評価は重要である。将来の国際標準化に向けて、発電性能や耐久性などの熱電変換モジュールの評価技術を開発することが本事業の目的である。

本年度は、平成25年度に引続き、高温で使用可能な熱電変換モジュールの開発、新評価技術の開発、世界各国の研究機関と連携した熱電変換モジュール相互評価を実施した。

評価技術の高度化としてはモジュール内部抵抗の正確な評価方法を開発した。小型モジュール専用の評価装置、大気中1000℃で評価できる装置、簡易型評価装置などの新しいモジュール評価技術を開発し、計測データの妥当性を検証した。

熱電モジュールの開発では、酸化物熱電モジュール等について長期試験を実施し、劣化の様子を観察した。2000時間超でも抵抗変化率1%以内であり、定常的な温度差下にあるモジュールとして十分に耐久性があると結論づけられた。また発電効率の高いハーフホイスラー材料を使用して熱電モジュールを試作し、クロスチェック評価用に利用可能であることを確認した。ドイツ、台湾等海外の研究機関とのクロスチェック連携を継続し、モジュール評価の妥当性を検証した。また同様のクロスチェック連携を国内の企業とも実施し、測定結果の良い一致をみた。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 熱電発電、熱電変換、熱電変換モジュール、耐久性、長期試験、日米等エネルギー技術開発協力

**〔研究題目〕 異種材料複合体の特性評価試験方法に関する国際標準化**

**〔研究代表者〕** 堀内 伸（ナノシステム研究部門）

**〔研究担当者〕** 堀内 伸、船橋 正弘、伯川 秀樹、  
大沼 吉乃（常勤職員2名、他2名）

**〔研究内容〕**

近年、自動車分野において、環境負荷に配慮した燃費

向上の要求により、軽量化への取り組みが従来以上に加速されている。軽量化効果による低燃費化や CO<sub>2</sub>削減に向け、金属の特性と樹脂や CFRP の特性を補完し合う異種材料の複合体は、国内外市場において非常にニーズが高まっている。近年国内メーカーを中心に、金属-樹脂、および金属-CFRP の複合体のための革新的技術が開発され、自動車部品や電子部品への応用が期待されているが、接合特性および耐久性の評価方法が確立されていないことが、本技術の産業分野への普及が進まない理由の1つになっている。本事業では、日本発の技術である「樹脂-金属」および「金属-CFRP (CFRTP)」異種材料複合体の特性評価試験方法を他国に先駆けて国際標準化し、日本の省エネルギー技術の国際競争力強化、及び日本の優れたモノ作り技術の差別化を図っていくことを目的とする。

「樹脂-金属」特性評価試験方法規格案の有用性を実証するため、素材の組合せの違い、構造接着剤による接合などによる特性評価やデータ取得を広範に行った。特に、長期耐久性評価試験（高温高湿、冷熱衝撃試験等）を実施し、信頼性評価試験データの取得を実施した。評価結果が接合界面の特性を反映していることを実証するため、電子顕微鏡等による解析により接合界面の構造と破壊機構を明らかにした。さらに、ラウンドロビンテストを実施し、評価方法の正当性を実証した。「金属-CFRP (CFRTP)」異種材料複合体の特性評価試験方法の標準化提案のため、破壊靱性特性評価を重点的に検討し、CFRP の破壊靱性評価規格である ISO15024を参考にし、CFRP (CFRTP) / 金属接合界面の破壊靱性評価のための最適な測定条件を見出した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 接合、界面、標準化、成形加工

#### 【研究題目】 大規模蓄電池に適した低インピーダンス計測技術の開発

【研究代表者】 新井 優（計測標準研究部門）

【研究担当者】 新井 優、金子 晋久、藤木 弘之、坂本 憲彦、坂巻 亮（常勤職員5名）

#### 【研究内容】

太陽光発電などの再生可能エネルギー電源は、気象条件により発電電力量が変動し、電力網の不安定化に至るといふ欠点がある。蓄電池は、これを解決する電力平準化のキーデバイスとして普及が進んでいるが、蓄電池の劣化が電力品質へ悪影響を及ぼす懸念があることから、劣化を極力早期に検出可能な計測技術の確立が期待されている。本研究では、非破壊かつ蓄電池への負担が少ない評価法であるインピーダンス法に着目し、大規模蓄電池を評価対象としたインピーダンス計測技術の高精度化を行なっている。高精度計測システムからオンサイト評価に適した可搬型の計測器まで開発し、計量トレーサビリティにより信頼性を付与することにより、蓄電池の総

合的評価の技術確立を目指す。

本年度は、低インピーダンス評価装置の定量性向上と、評価用模擬電池の開発を中心に実施した。昨年度の事業で開発した、大規模蓄電池をターゲットとした低インピーダンス評価装置への信頼性付与のため、電圧電流発生器の不確かさ解析、インピーダンス基準器の評価、及び評価装置の定量性評価を実施した。まず、上位の直流電気標準を基準に、交流電流用交直変換器を利用して、高精度電圧電流発生器の評価を行ない、不確かさ360 ppmの1 A 交流電流信号源を実現した。この電圧電流発生器を利用し、インピーダンス基準器の校正を実施し、交流抵抗器1 mΩを1 %以内、10 mΩを概ね0.1 %前後の不確かさであることを実証した。これを上位基準器として評価装置による測定を行なうことにより、低インピーダンス評価装置の定量性を向上させた。評価用模擬電池デバイスは、蓄電池の内部インピーダンスを、より安定な素子で模擬するデバイスで、蓄電池評価装置のオンサイト校正のための仲介器の役割を担うものとして提案した。NIST では、全固体電池によるデバイスを試作し、充放電強制劣化により、その電気特性変化を研究している。全固体電池は有望な模擬デバイス素子と考え、これを利用した評価用デバイスの試作と評価を実施した。また、全固体電池の抵抗起源を評価するため、固体電解質材料の局所抵抗測定を行なった。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 蓄電池、リチウムイオン電池、非破壊劣化評価、交流インピーダンス、電気標準、電気特性評価

#### 【研究題目】 水素インフラ実用化に向けた高圧水素計量管理技術の開発

【研究代表者】 寺尾 吉哉（計測標準研究部門）

【研究担当者】 寺尾 吉哉、森岡 敏博、船木 達也、岩井 彩、石橋 雅裕、梶川 宏明、飯泉 英昭、小島 桃子、藤井 賢一（常勤職員9名）

#### 【研究内容】

高圧水素を用いた燃料電池車を実用化し、信頼性のある水素の商取引を行うためには、高圧水素用の流量計や圧力センサといった計量器を管理する技術が重要となる。本研究では、これらの流量計や圧力センサに対して国家標準にトレーサブルな校正・試験を行えるようにするため、水素流量の計測システム及び気体高圧力の標準を整備し、その国際同等性を確認することを目的とする。

本年度は、水素流量の計測システム及び気体高圧力の標準を整備し、仲介器を用いて国際比較を実施した。高圧水素の流量計測に関しては、各国法規制の違いから安全面における障害や輸送トラブルにより、国際整合性の十分な確認までには至らなかったが、今後、NIST や PTB だけでなく、海外各国の参加を募って、改めて国

際比較を実施する予定である。気体高圧力の圧力測定に関しては、圧力センサの校正・特性評価を安全・効率的に行うため、全自動測定システムを構築した。また、NISTとの国際比較を行い、10 MPa から100 MPa の範囲について国際整合性の確認ができた。今後、全世界規模で水素流量及び気体高圧力に関する国際比較が行われる可能性があり、産総研が主導的な立場を担えると期待できる。

これらの成果は、今後の水素エネルギー社会の普及において水素供給インフラの場で必要となる適切な計量管理に貢献できるものと期待される。また、更なる国際比較実施によって、国際同等性を確認し、高圧水素関連機器の海外展開の基盤を整備することができる。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】水素、気体流量標準、気体高圧力標準、国際比較

【研究題目】バイオディーゼル燃料認証標準物質の開発

【研究代表者】藤本 俊幸（計測標準研究部門）

【研究担当者】藤本 俊幸、朱 彦北、沼田 雅彦、黒岩 貴芳、北牧 祐子、稲垣 真輔、日置 昭治（常勤職員7名）

【研究内容】

地球温暖化対策のひとつとして世界各国で普及の進んでいるバイオディーゼル燃料（BDF）は、原料由来の夾雑物などに起因するエンジントラブル等を引き起こすことが懸念されていることから、品質管理のための規格（JIS K 2390）が制定されている。そこで本事業では、米国・国立標準技術研究所（NIST）と連携して、上記規格の対象成分のうち6元素（Na, K, Ca, Mg, P, S）の精確な値付け方法を確立し、その成果を活用して、分析の精度管理に用いる BDF 認証標準物質を開発する。本標準物質により分析値の信頼性を確保することで、BDF の適切な品質管理を実現し、その普及に貢献するものとする。

本年度は、前年度に調製した候補標準物質の安定性試験および値付けを行った。水分・メタノール・元素など各認証予定項目の値付けには、昨年度に開発した分析法を含む原理の異なる2種類以上の手法を用い、信頼性を確保した。さらに元素（Na, K, Ca, Mg, P, S）濃度の妥当性と国際整合性は、国家計量標準機関間の国際比較（CCQM-K123/P157）を国際度量衡委員会傘下の無機分析ワーキンググループ（IAWG）において実施することで確認することとした。10月1日までに報告された各機関の結果は、10月に日本（つくば）で開催された IAWG 会議において議論された。その後、本国際比較を NMIJ と共同主催した米国国立標準技術研究所（NIST）と技術的な問題点などについて議論を行い、さらに各参加機関の結果の再確認を経て、各元素の参照値を決定する予定

である。次年度は BDF 標準物質について認証値とその不確かさの付与を行い、産総研内外での審議を経て試験機関等への頒布を開始する予定である。本事業により開発される測定法と認証標準物質は、BDF の品質確保のほか、国内・国際規格の制定や改訂などを通して、日本やアジア地域のみならず、世界的な BDF の普及に貢献することが期待される。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】バイオディーゼル燃料（BDF）、認証標準物質、国際比較

【研究題目】日米先端計測技術研究協力①ナノテクノロジー分野 1）薄膜膜厚計測

【研究代表者】東 康史（計測標準研究部門）

【研究担当者】藤本 俊幸、黒河 明、寺内 信哉、東 康史、尾高 憲二（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

半導体・エレクトロニクス産業等、ナノ構造を有する材料を積極的に利用する極めて広い産業分野において材料の微細化は進んでおり、ロバストかつ簡便な薄膜構造評価法の確立が期待されている。X線反射率（XRR）法は、膜厚計測の絶対測定法であること、大気下での非破壊測定が可能なこと、トレーサビリティが明確であり、測定の再現性が高いこと等々から、研究開発のみならず、製造現場における品質管理に向けた応用が期待されている。本研究では、XRR法を用いた膜厚評価の産業応用化を目指して、手法の高精度化を目指すとともに、米国・国立標準技術研究所（NIST）と連携し国際標準化に向けた課題の検討を行う。

薄膜の内部構造に関する正確な情報は、XRR法による膜厚評価に必要な不可欠なものである。しかしながら、良く知られた材料である Si 基板上の熱酸化（SiO<sub>2</sub>）膜でさえ、その構造は十分には明確になっていない。これまでの研究により、SiO<sub>2</sub>膜は加熱温度、昇温法等により遷移層、バルク層の密度は離散的に変化することが明らかになっているが、本年度研究により、製膜後の加熱処理により遷移層の密度を積極的に変化させることができることが明らかになった。興味深いのは窒素雰囲気下においては遷移層の密度を減少させるのに対して、酸素雰囲気下ではその密度を増加させることができることである。製膜条件、製膜後の加熱処理を組み合わせることによって、様々な密度構造をもつ SiO<sub>2</sub>膜の作製が可能になることが明らかになった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】X線反射率法、膜厚計測、国際標準化

【研究題目】太陽電池の耐久性・信頼性と発電効率向上のための評価技術の開発

【研究代表者】増田 淳



(太陽光発電工学研究センター)

〔研究担当者〕 仁木 栄、松原 浩司、柴田 肇、  
増田 淳、櫻井 啓一郎、土井 卓也、  
原 浩二郎、永井 武彦、猪狩 真一  
(太陽光発電工学研究センター)  
(常勤職員9名)

#### 〔研究内容〕

以下の①～④のテーマについて研究を実施した。成果の概要について述べる。

##### 課題①：酸生成量の評価技術の実証

太陽電池モジュールの高温高湿試験中に、モジュール内に実装した pH センサ基板から発生する蛍光を多点同時に実時間計測可能な反射スペクトル計測装置を用いて、水分浸入にともなう酸の生成過程を検証した。また、東京農工大学への再委託により、pH センサ基板の高度化を図った。平成26年度は以下の成果を得た。

- (1) 太陽電池モジュール内の酢酸水蒸気成分を早期に検出するために、毛管凝縮現象により低い蒸気圧で結露が可能なナノ構造 pH 検出センサを考案した。PTFE 材料のメンブレンフィルター(細孔径200 nm)を利用した結果、溶液に対する蛍光色素の pH 応答とほとんど変わらない pH センサであることを確認した。
- (2) フィルター型 pH センサの検出感度を、分流式酢酸蒸気発生装置で評価した結果、5%の酢酸相対湿度を検出できることが明らかとなった。
- (3) 高温高湿試験時のフィルター型 pH センサによる酢酸検出の有効性を明らかにするため、5000時間の高温高湿試験を完了したモジュールから取り出したエチレン酢酸ビニル共重合体(EVA)切片をセンサ周囲に配置したモジュールを製作し、1000時間の高温高湿試験を行った結果、蛍光強度比が0.8から1.6程度(pH に換算すると7.0から5.2の変化に相当)に上昇し、モジュール内の酢酸による酸性化現象を非破壊的に検出することに成功した。このことにより、ナノ構造 pH センサ基板を太陽電池モジュール内に実装し、pH7.0～6.0の範囲でモジュール内の酸性度分布を非破壊かつ加速試験中に実時間測定できることを実証するとの当初目標を達成した。

##### 課題②：モジュール構成樹脂材料の性能評価技術の開発

超高抵抗なモジュール内部の封止材やバックシートの電気的特性の評価技術の開発を進めた。種々の誤差要因を特定・抑制し、旧来技術では誤差が2～3桁に及ぶような場合でも、誤差を概ね1割程度まで抑えて測定する技術を開発し、国際ラウンドロビンによって妥当性を確認した。また、各種新材料を用いてモジュールを試作するにあたって必要な加熱時の変形特性の評価技術や、モジュールにした際の物理的耐久性の評価技術の開発も行った。並行して、電気的特性評価および加熱時変形特性に関する2つの IEC 規格の策定作業を進めた。実用サイズのモジュールを試作し、実環境で曝露し、抵抗値の低

い材料では電圧誘起劣化(PID)が容易に発生し得ることを確認した。

##### 課題③：ヘテロ接合界面での電子状態の精密な評価技術の開発

平成25年度に構築を完了した逆光電子分光測定システムを改良し、エネルギー分解能を0.3 eV 程度とすることに成功した。さらに、試作した装置性能を実証するため、太陽電池用化合物半導体薄膜として有望である CuGaSSe (CGS) 薄膜を測定対象試料とし、同薄膜における電子状態評価に関する研究を実施した。その結果、同材料の表面処理法により電子状態が大きく変化し、フェルミ準位を基準とし、伝導帯のエネルギー準位が大きく変化することを明らかとした。これにより、同材料を用いたヘテロ接合太陽電池を作製する際の材料選択が可能となり、作製後の太陽電池の評価技術としてのみならず、作製前の材料選択・評価法としても有効であることが実証された。

##### 課題④：基準太陽電池セルのインターコンパリゾン

結晶シリコン系太陽電池ならびに薄膜系用疑似セル(トップ用・ボトム用)で製作した基準太陽電池セルについて、インターコンパリゾン(比較校正)を実施した。統計的解析により全てのセルで  $E_n$  数が1以下となり、双方の一次校正の不確かさの推定方法とその値が妥当であることが確認できた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 太陽電池、太陽光発電、モジュール、信頼性評価、pH センサ、樹脂材料、逆光電子分光、基準セル、インターコンパリゾン

#### 〔研究題目〕凝集状態評価

〔研究代表者〕 岡崎 俊也

(ナノチューブ応用研究センター)

〔研究担当者〕 岡崎 俊也、丹下 将克、高野 玲子、  
巽 かおり(常勤職員2名、他2名)

#### 〔研究内容〕

世界的規模で取り組みが行われている地球温暖化対策の推進を背景に、平成21年2月の日米首脳会談において環境・エネルギー技術を中心とした日米協力の重要性について合意された。さらに、日米間の協力を基礎とした標準の策定を促進することとし、MOU (Memorandum of Understanding) にて署名が行われた。このような背景を受け、代表的ナノ物質であるカーボンナノチューブについて、その分散および凝集状態について国際標準化を目指した研究を行っている。

平成25年度までの研究から、レーザー散乱法、偏光解消動的散乱法や可変型微細孔を用いた電気的検知帯法など、様々な測定手法の CNT 分散状態評価法としての可能性を検討してきたが、いずれの方法においても、定量的評価法としては問題があることがわかってきた。

そこで、平成26年度は、画像解析粒度分布法やカーボンブラックの粒度分布計測法として既に規格化されている頻度別遠心沈降（DCS）法などの検討を行った。

多層 CNT ミセル水溶液について DCS 法による凝集体サイズ評価をおこなったところ、初期段階では1 $\mu$ m程度の大きな凝集体が、分散時間の増加と共に、徐々にそのサイズが小さくなっていく様子が観測された。さらに強力な超音波ホモジナイザによって分散させると、ほぼ1本に CNT がほぐされ、約30nm 付近にほぼ1本の CNT を示すピークが主に観測された。全く同じ分散液を動的光散乱法で評価したところ、分散の強さを増すにしたがって粒子サイズが小さくなっていくことは観測できるが、DCS のように凝集体が1本の CNT へと解けていく様子を明瞭には観測できなかった。つまり、CNH とは異なり、複雑な分散状態を形成する CNT には、DLS よりも DCS の方が、きめ細やかな評価を行うことができることがわかった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 カーボンナノチューブ、凝集状態、分散状態、国際標準化

【研究題目】 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業（日米先端計測技術研究協力）

【研究代表者】 関口 勇地

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 関口 勇地、野田 尚宏、水野 敬文、松倉 智子（常勤職員4名、他2名）

【研究内容】

DNA マイクロアレイ技術、次世代 DNA シークエンシング技術、定量的 multiplex PCR 技術などの多種の核酸種を標的とした核酸計測技術の信頼性確保、測定技術の分析的妥当性評価、比較互換性確保を目的に、米国標準技術研究所（NIST）と共同研究を実施し、以下の2つの技術開発を実施した。(1) 複合16S rRNA 遺伝子解析などのマルチプレート定量 PCR 解析、RNA スプライスバリエーション解析、コピー数多型解析、ゲノムリアレンジメント解析などの高度な核酸解析技術の信頼性確保のための内部核酸標準の作製、(2) 核酸標準品中の核酸分子の純度、およびその塩基配列のエラー率を従来の方法よりも高い精度で評価する技術の開発。平成26年度は、マルチプレート定量 PCR 解析を想定し、医療あるいは環境分野での微生物検査の品質管理に利用できる内部標準16S rRNA 遺伝子（これまでに作製した12セット）および外部標準試料（15セット）に関して、その包括的な有用性評価と実試料への適用可能性評価を実施した。また、これまで作製した RNA 用内部標準物質に関して、その利用法を取りまとめた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核酸標準物質、DNA マイクロアレイ、次世代 DNA シークエンシング

【研究題目】 平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業（日米先端計測技術研究協力）

【研究代表者】 本田 真也

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 本田 真也、渡邊 秀樹

（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

タンパク質医薬の会合凝集性評価法を標準化するために必要な会合凝集性の測定分析のための校正用タンパク質を開発することを目的とする。平成26年度は、標準タンパク質候補として、前年度までに試料調整法が完成した3種についての保存安定性を評価した。はじめに、検証に適切な温度範囲を検討するため、フーリエ変換赤外分光法（FT-IR）または円偏光二色性分光法（CD）で測定された構造安定性の結果に基づいて保存安定性試験を計画した。凝集をあらわす FT-IR（1624 $\text{cm}^{-1}$ ）を指標としたヒトフェリチン（huFT）の変性中点は66 $^{\circ}\text{C}$ だった。シャペロニン GroEL はいずれの FT-IR 波長でも約70 $^{\circ}\text{C}$ 付近に変性中点がみられた。プロテイン G（PG）とプロテイン G 二量体（PGD）の CD(222nm)を指標とした変性中点は約80~85 $^{\circ}\text{C}$ だった。これらの結果から、保存安定性の検証温度を40 $^{\circ}\text{C}$  75% RH、25 $^{\circ}\text{C}$  60% RH、4 $^{\circ}\text{C}$ 、-30 $^{\circ}\text{C}$ と定めた。次いで、バイアルに分注、瓶詰めされた3つ以上のサンプルを、各温度・各期間で、アイソクロナス実験計画に従って恒温恒湿槽に設置した。保存試験終了後は、各サンプルを分解・劣化・変質などがほとんど無い条件に移した。huFT と GroEL は4 $^{\circ}\text{C}$ 保存でサンプル性状がゲル状に変質する現象がみられたため、参照条件は-30 $^{\circ}\text{C}$ とした。huFT の40 $^{\circ}\text{C}$ 保存では、サイズ排除クロマトグラフィー（SEC）測定で評価した保持時間と純度に変化がみられ、回帰分析の結果は95%信頼区間で有意な傾きを示した。それに対して25 $^{\circ}\text{C}$ では、SEC クロマトグラムピーク図からは凝集成分のわずかな増加が確認できるものの、回帰分析では傾き無しの結果だった。CD と動的光散乱法（DLS）測定の結果も同様に有意な傾きは判定されなかった。GroEL の保存安定性試験の回帰分析の結果、40 $^{\circ}\text{C}$  75%RH では、SEC 純度と DLS 粒径のどちらも有意な傾きを示し、25 $^{\circ}\text{C}$ 、60%RH では、SEC 純度に有意な傾きは見られなかった。PG、PGD の40 $^{\circ}\text{C}$ 、75%RH 及び25 $^{\circ}\text{C}$ 、60%RH の短期保存安定性試験では、どちらもサンプルの外観に変化は見られなかったが、SEC 純度の回帰分析は有意な傾きを示した。4 $^{\circ}\text{C}$ の長期保存では、6か月後でも SEC 純度に大きな変化はみられなかった。以上の結果から、huFT は1か月常温の保存や配送に耐えうるが、-30 $^{\circ}\text{C}$ 保存が望ましく、また GroEL、PG、PGD は常温を避け、4 $^{\circ}\text{C}$ または-30 $^{\circ}\text{C}$ における保存や配送とすべきであることが示された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 バイオ医薬品、タンパク質、凝集、標準

化、保存安定性

**【研究題目】**平成26年度日米等エネルギー技術開発  
協力事業（日米先端計測技術研究協力）  
3D映像

**【研究代表者】**氏家 弘裕（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

**【研究担当者】**氏家 弘裕、渡邊 洋（健康工学研究部門）（常勤職員2名、他7名）

**【研究内容】**

立体（3D）映像メディア技術を情報機器・システムに導入することで3DTV 会議システムや3D テレワーク等の活用により、CO<sub>2</sub>を多く排出する交通機関の利用を避ける事が可能になる。本テーマでは、立体映像を提示し、これによる心理学的及び生理学的な影響を調べ、映像酔いや視覚疲労など好ましくない生体影響をできるだけ生じさせない立体映像のためのガイドライン草案を作成し、その国際標準化を図ることで、誰にでも安全・安心に立体映像が利用可能な環境を日米連携で早急に整備、世界的な立体映像関連市場立ち上げをスムーズかつ急速に進め、エネルギー消費削減とともに、新しい産業による雇用創出への貢献を目指す。

具体的には、以下の2点について実施した。

(1) 3D 生体安全性国際規格化審議の基盤となる生体影響計測

3D 映像による視覚疲労要因のうち、今年度は両眼間の複合的な影響を調べる実験（実験1及び3）を行うとともに、3D 映像での映像酔いについて、ヘッドマウント・ディスプレイを想定した頭部位置補正の3D 映像酔いへの効果（実験2）や3軸の回転による映像酔いへの効果（実験4及び5）を調べた。

まず、両眼間非整合要因間の複合的な影響を調べるために、昨年度の再検証として両眼間回転ずれと両眼視差範囲の効果（実験1）について実験参加者13名（20～30歳）で実験を行うとともに、両眼視差範囲の大きさを中心位置による効果（実験3）についてもpart1を実験参加者21名（24～70歳）で、part2を実験参加者12名（22～46歳）で実験を行った。その結果、実験1からは、視差範囲の増加や両眼間非整合（回転ずれ）の増加に伴い快適度スコアが明らかに低下することが確認され、また実験3からは、快適視域と言われる視差範囲を超えて視対象が分布する場合に快適度が低下する一方、快適視域の範囲内であっても、視差範囲が比較的大きい場合に快適度が低下することが明らかにされた。

次に、3D 映像での映像酔いに関して、頭部位置の移動に応じた映像投影の補正による効果を調べるために没入型のVR システムを用いた実験（実験2）について実験参加者25名（22～30歳）で実験を行った。その結果、補正有りに比較して補正無しの方が

映像酔いアンケートの主観評価スコアが増加した。また、1人称視点での移動を伴う3D 映像での3軸の回転運動による影響（実験4）について実験参加者30名（20～60歳）で実験を行い、いずれの軸の回転運動についても、使用した速度範囲の最大値120 deg/s で、主観評価スコアが最大となった。一方、視点の移動を伴わない3軸の回転運動による影響（実験5）について実験参加者19名（20～61歳）で行った結果では、主観評価スコア及び重心動揺ともに、特定の速度帯域で値が最大となるバンドパス型の傾向が見られ、1人称視点での移動を伴う実験4の結果とは異なるものとなった。この相違については、視点の移動がどのように作用したかについて、今後さらに検討を進める必要がある。

(2) 3D 映像ガイドラインの国際規格化活動

ISO/TC 159/SC 4/WG 12（映像の生体安全性WG）において、上記の（1）に基づいて実施された3D 映像における生体安全性に関する国際規格化は、研究担当者がWG コンビナー及びセクレタリーとして審議を進めてきた。前年度までに親委員会（ISO/TC 159/SC 4（人間とシステムのインタラクション））での投票により国際規格案（DIS 9241-392）が承認されており、これを承けて最終国際規格案（FDIS）を作成し、さらに投票の結果、FDIS が承認されるに至った。

なお本テーマは、（社）電子情報技術産業協会と共同で実施した。

**【分野名】**ライフサイエンス

**【キーワード】**立体映像、生体安全性、国際標準化

・産業技術研究開発委託費

**【研究題目】**平成26年度未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業（医療機器等に関する開発ガイドライン策定事業）

**【研究代表者】**赤松 幹之（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

**【研究担当者】**赤松 幹之、鎮西 清行、鷺尾 利克、岡崎 義光、廣瀬 志弘、山下 樹里（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、木山 亮一（バイオメディカル研究部門）、片岡 正俊、弓場 俊輔（健康工学研究部門）、伊藤 弓弦（幹細胞工学研究センター）、坂無 英徳（情報技術研究部門）、本間 敬子、梶谷 勇（知能システム研究部門）、榊田 創（エネルギー技術研究部門）、池原 謙（バイオメディカル研究部門）（常勤職員15名）

### 〔研究内容〕

次世代の医療機器を早期に臨床導入するためには、円滑な機器の開発、迅速な薬事審査、市販後の安全維持を総括的に検討すべきで、これらは関連する産業の発展、国際競争力の強化、安心・安全な機器の利用、国民のQOLの向上に大きく寄与する。本研究は、円滑な機器の開発と迅速な薬事審査への寄与を目的とした開発ガイドラインを策定することにある。

平成26年度は、再生医療分野（ヒト細胞製造システム）、体内埋め込み型材料分野（高生体適合性[カスタムメイド]他関節インプラント）、体内埋め込み型材料分野（高生体適合性[カスタムメイド]脊椎インプラント）、体内埋め込み型材料分野（積層造形医療機器）、プラズマ応用技術分野（プラズマ処置機器）、ナビゲーション医療分野（PDT 機器）、ナビゲーション医療分野（再発食道がん PDT 治療トレーニングシステム）につき検討課題として選定された。

これらの課題に関して、関連する医学系学会、工学系学会、開発企業等の専門的知見を有する外部有識者で構成される開発ガイドラインワーキンググループを編成・開催した。厚生労働省の事業に基づいて設置された審査WGと連携して、開発者および審査関係者に有益な事項に関して技術的側面に関する開発ガイドライン案を検討した。必要に応じて各種評価試験、ヒアリング・調査などを実施した。また、合同検討会を開催してその成果を報告した（下記）。これらの内容を、成果報告書およびそれぞれのWGごとの詳細版の成果報告書として取りまとめた。最終的に、再生医療分野、体内埋め込み型材料分野、プラズマ応用技術分野、ナビゲーション医療分野における5件の開発ガイドライン（案）（改訂版を含む）を取りまとめた。

開発ガイドラインの普及啓蒙活動として、既刊の遺伝子発現解析用DNAチップ開発ガイドライン、およびヘルスソフトウェア開発の基本的考え方ガイドライン（手引き）の2テーマにつき、医療機器関連の開発者等を対象とするセミナーを開催した。セミナーを3回開催し、合計357名の受講者をあつめた。

また、新たに専用のアドレス <http://md-guidelines.pj.aist.go.jp> を取得してガイドラインの広報、普及啓蒙をはかった。ほか、上記ウェブページ上にて新規に開発ガイドラインを策定すべき医療機器等の一般公募を開始した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 医療機器開発ガイドライン、再生医療、手術ロボット、リハビリテーション機器、生体適合性インプラント、医療用ソフトウェア

〔研究題目〕 平成26年度産業技術研究開発（低炭素社会を実現する超軽量・高強度革新的融

合材料プロジェクト（NEDO 交付金以外分）ナノ材料の安全・安心確保のための国際先導的安全性評価技術の開発）

〔研究代表者〕 本田 一匡（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 本田 一匡、蒲生 昌志、五十嵐 卓也、篠原 直秀、佐々木 毅、川口 建二、古賀 健司、古屋 武、清水 禎樹、陶 究、伯田 幸也、山本 和弘、榎原 研正、飯田 健次郎、櫻井 博、江馬 眞、張 貴華、斎藤 英典、カザウイ 理香、福井 浩子、蒲生 吉弘、宮本 宏幸、内田 邦夫、森田 佳実、吉田 智子、林田 津安子、根田 雅美（常勤職員15名、他12名）

### 〔研究内容〕

ナノ材料の物理化学性状がどのような範囲の材料であれば有害性が同等と見なせるか（同等性）の判断基準の構築と、簡便な初期有害性試験方法の確立を目的として、以下の研究開発を行った。

- 1) 同等性評価のための試料調製技術とキャラクタリゼーション
 

二酸化チタン、酸化ニッケル、結晶質及び非晶質シリカ、酸化セリウムについて、分散液の調製とキャラクタリゼーションを進めた。なお、100nm 以下粒径の結晶性シリカナノ粒子については、遠心分離による分級とアルカリ溶解によるアモルファス成分除去によって試料調製を行った。また、キャラクタリゼーションに関しては、動的光散乱測定、走査型及び透過型電子顕微鏡観察、顕微鏡観察像を基にした粒径分布解析、比表面積測定等を進めた。
- 2) エアロゾルの安定発生手法の構築
 

マイクロゾル発生装置等を用いた、酸化セリウムナノ粒子の懸濁液の液滴からエアロゾル粒子を発生させるプロセスに対して、乾燥制御による損失抑制と気中イオンでの荷電による液滴破碎を同時に組み合わせ、より小粒径・高質量濃度でエアロゾル粒子を発生させることが出来る条件を見出した。また吸入暴露試験を実施する機関と協同して吸入暴露試験を実施した。
- 3) エアロゾルの液相捕集手法の構築
 

エアロゾルの液中捕集前後でナノ材料に生じ得る特性変化を把握するため、捕集前気中粒子の粒径分布・濃度と捕集後液中粒子の粒径分布・濃度を評価し、これらを比較する技術を開発した。
- 4) ナノ材料の体内分布及び生体反応分布の定量化技術の開発
 

前年度までに開発した透過型電子顕微鏡法による肺胞マクロファージの微細構造形態観察手法およびTLR4による炎症性マクロファージ識別法の手順書の高度化を図るために、有害性が低いと考えられる二酸化チタンと有害性が高いと考えられる酸化ニッケルを

投与したラット動物試験に適用して手順書の有用性を検討した。

5) ナノ材料の体内動態と生体反応に関する数理モデルの構築

酸化ニッケルナノ材料、シリカナノ材料を投与した動物の臓器について、臓器・組織試料の分析を行い、臓器間移行や臓器内分布の分析・観察結果に基づいて試行的な数理モデルを構築し、二酸化チタンナノ材料での結果との比較やモデルパラメータと物理化学特性との比較を行った。

6) 培養肺胞モデル評価系の開発と数理モデル化への利用方法に関する研究開発

ラットから抽出したⅡ型肺胞上皮細胞を *in vivo* に近い条件に模倣するための培養条件等の最適化を行った。また、透過膜上に形成したⅠ型肺胞上皮細胞の単層膜上にマクロファージを共培養したラット初代培養モデルを確立し、粒子を暴露し、細胞相基底側への粒子の透過量測定を行い、各相への粒子移行現象を数理モデルにより記述が可能であることを確認した。

7) 国際動向の把握

OECD WPMN（工業ナノ材料作業部会）や ISO/TC229（ナノテクノロジー専門委員会）での標準化等に関する議論や米国や EU 等における規制動向について情報を収集した。OECD では、吸入テストガイドラインをナノ材料に適合させる改正作業のための専門家グループに参加した。また、専門家会合へ参加して研究成果を報告するとともに、第3パイロットプロジェクトを主導した。さらに、ISO/TC229では、日本主導の技術仕様書作成に参画し、また、技術報告書作成に我が国の意見を反映させた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノ材料、同等性、キャラクタリゼーション、有害性評価、体内動態、細胞試験、気管内投与試験、吸入暴露試験、国際発信

【研究題目】 ロボット介護機器開発・導入促進事業（基準策定・評価事業）

【研究代表者】 比留川 博久（知能システム研究部門）

【研究担当者】 大場 光太郎、松本 吉央、中坊 嘉宏、松本 治、梶谷 勇、本間 敬子、角 保志、脇田 優仁、田中 秀幸、宮腰 清一、吉田 英一、吉安 祐介、鮎澤 光、安藤 慶昭、原 功、藤原 清司、尾暮 拓也、佐川 立昌、大川 弥生（知能システム研究部門）、西田 佳史、堀 俊夫、三輪 洋靖、多田 充徳、遠藤 維、北村 光司（デジタルヒューマン工学研究センター）、西村 拓一（サービス工学研究センタ

一）（常勤職員25名、他1名）

【研究内容】

今年度、ロボット介護機器の効果と安全の評価基準の開発と審査、および開発補助事業者に対する開発支援を行った。具体的には開発・導入プロセスの基準として、従来の機械システムの開発に人との関わりを追加した V 字開発モデルを策定し、ICF（国際生活機能分類）の生活機能モデルに基づく被介護者、介護者の一日の生活の課題の解決を示し、目標志向開発のコンセプトとして、機器の設計と評価を行う「開発コンセプトシート」、機械としての安全を確保するための「リスクアセスメントシート」、「安全コンセプトチェックシート」を開発した。一方、V 字モデルの右側にあたる実生活の場での効果および安全性の検証を行う実証試験について、「実証試験計画書」、倫理審査の支援、「最低限の安全の確認」を行う試験法を開発した。またこれら基準を満たすための「実証試験許可プロセス」を構築して、開発補助事業者による実証試験の適切な実施を担保した。介護現場における効果の検証として、生活機能面、施設業務面の評価基準と検証、およびシミュレーションの手法を開発し、機器としての性能を評価、シミュレーションするための評価試験手法・装置、効率的で高信頼な開発を支援するモジュール化設計手法を開発した。またステージゲート審査として、上記の評価基準に基づく書類審査と実機審査を行って、開発補助事業者のロボット介護機器の評価を行った。以上の成果は「NEDO ロボット介護機器開発パートナーシップ」で発表し普及に努めた。成果報告会の開催や各種展示会、講演会への参画、学会発表、「ロボット介護機器ポータル」ウェブページを通じた外部への成果の発表と広報活動を行うと同時に、国際標準化を視野にいたった標準化戦略の策定と委員会活動、大手介護事業者や自治体への導入促進の働きかけ、テクノエイドのロボット介護推進事業への積極的な支援などを行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 ロボット、介護支援機器、基準、評価、安全、効果

【研究題目】 平成26年度三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム（次世代3次元内外計測の評価基盤技術開発）

【研究代表者】 高辻 利之（計測標準研究部門）

【研究担当者】 阿部 誠、藤本 弘之、佐藤 理、松崎 和也（計測標準研究部門）（常勤職員4名）

【研究内容】

製品に対する省エネルギー、省資源の要求が高まり、部品の薄肉化・高密度化・複合化が求められ、複雑化、3次元化の動向にある。複雑に入り組んだ精密な内部構造をもつ部材や、異種材料・複合材料を組み合わせた部

品を製造する機会が増えてきている。その際、部品同士における寸法・形状のずれや強度不足、さらに部品内部における予測できない変形・欠陥が発生するため、製造部品の内部まで設計通りの加工寸法・組立配置が実現されているかを正確に計測することが求められている。本研究では、複数の部品及び数種類の材質からなる産業製品内部を非破壊で高精度に計測し、高エネルギーで計測精度の保証があるディメンショナル X 線 CT を開発し、その性能や計測結果の信頼性を客観的に評価する評価技術の開発を実施する。本年度は高エネルギー X 線 CT 装置に関して、コントラスト分解能評価のためのゲージ試作及びステージ系の運動学誤差の評価について実験的検証を行った。国際標準化については、物質透過による測定誤差の影響を感度良く検出するため、スタイラスフォレストとステップシリンダ等を併用する枠組みの提案を行い、ISO/TC213/WG10 の関係各国による持ち回り測定を開始することが決まった。ISO 国際標準化のプロジェクトリーダーを獲得した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】三次元座標計測、X 線 CT、CT、X 線

#### ・放射性廃棄物処分基準調査等委託費

【研究題目】平成26年度地層処分技術調査等事業（地層処分共通技術調査：海域地質環境調査確証技術開発）

【研究代表者】丸井 敦尚（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】丸井 敦尚、光畑 裕司、町田 功、井川 怜欧、横田 俊之、上田 匠、小野 昌彦、小原 直樹、越谷 賢、楠瀬勤一郎、古宇田亮一、森山 哲郎、樽沢 春菜、伊藤 成輝、吉澤 拓也、西崎 聖史（常勤職員6名、他10名）

#### 【研究内容】

我が国では、これまでの原子力エネルギー利用に伴い既に放射性廃棄物が多量に発生しており、この処理処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物等の地層処分については、「原子力政策大綱」等に沿って、国や研究開発機関等がそれぞれの役割分担を踏まえつつ、密接な連携の下で基盤研究開発を着実に進めていくこととしている。しかし、有力な候補地となりうる沿岸域（とくに浅海域）では、これまで物理探査が困難であることなどから断層等の地質構造調査が十分になされてこなかった。沿岸域に潜在する断層は、地質学的な安定性を欠くばかりでなく、深層地下水の流路として核種の選択的な移行経路になる可能性がある。また、塩淡境界に伴う地下水の上向き流動なども人間生活圏に大きな危険を及ぼす恐れがある。沿岸域が処分場の候補地となる可能性がある以上、沿岸域に係る調査法や既存データの再解析法の適用性や信頼性を向上させる必要があると考え、本委託事業「海域地質環境調査確証技術開発」は、

原子力発電環境整備機構（NUMO）の強い要請を受け、平成19年度より開始している「沿岸域塩淡境界・断層評価技術高度化開発（H19-H24）」および「海域地質環境調査技術高度化開発（H22-H23）」の発展的な研究課題として、前述の全体計画のうち「地質環境特性調査評価技術」における要素技術の開発・改良・高度化研究の一つとして位置付けられた。

本研究は、沿岸域において、原子力政策大綱でいう、地上からの調査を想定した、ボーリングによる地質・地下水環境を調査・観測しながら、段階的かつ繰り返し地下水の流動解析を行い、沿岸域における塩淡境界の形状把握と地下水の長期的な流動・滞留状況を評価する。これによって、ボーリング掘削を含めた地下水調査と物理探査との組合せや関連データベースの活用等を含めた、沿岸域における淡水地下水の賦存状態や断層等による地下水流動の把握及びその長期的な変遷の評価に係る総合的な調査評価手法として構築することを目的としている。

沿岸域から浅海域の地質構造を詳細に把握することを目的に、エアガン震源および海底設置型受振ケーブル（OBC）を用いた三次元反射法調査を実施した。その結果、限定的な領域（東西方向約1km×南北方向500m）ではあるものの、地下構造を3次元的に捉えることができ、断層構造などの地下構造把握が容易となった。その一例として、深度300m 程度までの領域において、海底地形に沿った構造および沿岸近くにおいては東落ちの反射面が捉えられた。この位置は、陸域の入山瀬断層の延長に当たり、断層活動に起因するものと解釈することができた。

経済産業省委託事業「平成25年度沿岸域の地質・活断層断層調査」および「水文環境図(富士山地域)」(編集)中で得たデータや地下水サンプルを二次利用することにより、各種地球化学データを取得した結果、富士山地域における水質や同位体比の分布は、地下水の流動と非常に調和的であり、また各種同位体比や微量元素成分を使用することで、地下における地下水の影響範囲の広がりを把握できることが明らかとなった。さらに富士川の河口域において、断層あるいは塩淡境界に起因する地下水の上昇流が存在している可能性も示唆された。

ボーリング調査では、富士川右岸地区において、富士川砂礫層が深度180m まで分布することが確認され、地層ごとの透水性や水質を把握できた。富士川左岸地区においては、富士川砂礫層中に挟在する富士火山噴出物（安山岩～玄武岩溶岩）が確認された。両地区で実施した地下水・間隙水の解析では、第四紀火山噴出物が分布する沿岸域においても、塩水楔の形状に深度ごとに違いがあることが推定された。富士川右岸地区の深度約150m から得られた地下水の<sup>14</sup>C年代は10,000年前後と考えられ、この地点で見られた塩淡水が現海水のものであるかどうかは、慎重な議論を必要とすることも判明した。

富士川右岸から田子の浦港東部にかけて行った海底地形調査から、これまでの海底地形図で認識されていなかった微地形を明らかにした。また、海域への延伸が推定されている入山瀬断層の付近における特徴的な地形や、氷期の侵食の可能性がある急崖部を検出するなど、沿岸域の地質構造を評価する上で有用な知見を得た。サイドスキャンソナー等で得られる音波散乱記録について、海底からの地下水の湧出に伴う諸現象（砂のまきあげや気泡の混入など）を仮定してその分布域の抽出し、ROVによる光学画像と水質計による確認を行った。その結果、抽出された分布域において塩分濃度の有意な低下が確認され、海底湧出地下水の存在が推定されることから、散乱記録が海底湧出地下水検出のための指標のひとつになる可能性が示唆された。

今後は地質・地質構造と地下水流動の関係を的確にとらえ、現世の地下水流動から外れた安定的な地下水領域の検証と評価手法の開発、ならびに地下水シナリオの高精度な評価を確立する計画である。

【分野名】地質、環境・エネルギー

【キーワード】沿岸域、海底湧水調査、地層処分、深部地下水、断層、三次元反射法調査

#### ・温暖化対策調査等委託費

【研究題目】平成26年度二酸化炭素回収・貯蔵安全性評価技術開発事業（弾性波探査を補完するCO<sub>2</sub>挙動評価技術の開発）

【研究代表者】西 祐司（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】西 祐司、中尾 信典、菊地 恒夫、杉原 光彦、雷 興林、相馬 宣和、俣徠 正夫、加野 友紀、船津 貴弘、石戸 恒雄、奥山 康子、高倉 伸一、及川 寧己、佐々木 宗建、宮越 昭暢、名和 一成、上田 匠、中島 善人、藤井 孝志、上原 真一、宮崎 晋行、光畑 裕司、田中 明子、眞弓 大介、宮川 歩夢（常勤職員23名、他2名）

#### 【研究内容】

##### 1) 弾性波補完モニタリング技術の開発

本研究では、重力、自然電位、AE（Acoustic Emission）などの多面的なモニタリング技術をCO<sub>2</sub>地中貯留に適用し、弾性波探査（反射法など）を補完できるモニタリング技術を構築することで、長期的なモニタリングコストの低減を目指す。今年度は、我が国に先行して大規模なCO<sub>2</sub>圧入が予定されている米国・南西部炭素隔離地域パートナーシップ（SWP）のCO<sub>2</sub>大規模圧入テストサイト ファーンズワース（Farnsworth Unit）（米国テキサス州）においてCO<sub>2</sub>圧入開始時データ取得を継続するとともに、高感度重力連続記録のドリフト評価・信号分離に有用な並行測定を短期間試行した。また、苫小牧において我が

国への適用に欠かせない海浜部での重力・自然電位の補助データ取得を開始するとともに、比抵抗調査のための予備調査も実施した。

最適モデリング技術の開発では、数値シミュレーションにより計算される温度、圧力、CO<sub>2</sub>飽和度等の変化量を、観測可能な物理量（理論計算値）に変換するプログラムの開発・整備を行い、長期CO<sub>2</sub>挙動予測の精度向上に寄与することを目指す。今年度は、地盤変位ポストプロセッサ改良と機能追加を行った。さらに、ゴードン・クリーク（Gordon Creek）テストサイトの地質モデルと圧入プランを用いて、潜在リスクを想定したCO<sub>2</sub>圧入時の圧力・地表変位・重力・反射法の変動予測計算を行ない、浅部帯水層へ上昇するCO<sub>2</sub>の検知に高精度の連続重力測定が有効であることを示すことができた。

##### 2) 遮蔽性能評価技術の開発

ジオメカニクスを考慮した断層モデリング手法の開発では、ナチュラル・アナログ研究手法により、CO<sub>2</sub>遮蔽性能に特化して断層のモデル化を進めることで、モデリング手法の確立を目指す。今年度は、せん断・透水試験システムを改良し、別所層松代泥岩、苫小牧の滝ノ上層岩石のせん断・透水試験を実施し、既取得データと統合して新規構成則を構築して数値解析に取り込んだ。また、前年度までの長野県松代地域の地質モデルを基に、ヒストリー・マッチング及び断層破砕ゾーンの細分割により主要観測データ全部を説明できるモデルを構築できた。

CO<sub>2</sub>移行性能評価技術の開発では、地中貯留用の地層となる砂泥互層に関して、CO<sub>2</sub>長期挙動シミュレーションに資する地質モデリング手法の開発を目的とする。シール圧の評価手法の検討では、地中貯留を模擬した温度、圧力条件下において、内部構造を制御した焼結体試料に対する浸透実験を実施した。今年度は、粉砕シリカ、平板状シリカおよび平板状マイカからなる焼結体をそれぞれ作製し、スレッシュホールド圧と浸透率の相関性に及ぼす粒子形状および鉱物組成の効果の検証を行った。その結果、これらの試料の測定値は、本研究課題でこれまでに取得してきた岩石の測定値に対する近似直線、および最密充填直線のいずれとも異なるトレンドを有することが示唆された。これに対して、泥岩を対象とした同様の浸透実験からは、岩石の載荷過程において、塑性変形領域ではスレッシュホールド圧と浸透率に明瞭な相関性が認められるのに対して、弾性変形領域では相関性の有無に違いがあることが明らかとなった。化学的反応プロセスの評価では、昨年度に続いてCO<sub>2</sub>地中貯留のナチュラル・アナログとみなされる炭酸泉および炭酸水素塩泉において現場反応実験を行った。今回は、さらにCO<sub>2</sub>地中貯留に近い条件とするために温泉水にCO<sub>2</sub>を追加で注入した結果、温泉水の飽和度低下と炭酸塩成長速度の減少が

計測されたが、本結果は地化学シミュレーションにおいて重要なデータセットになり得る。さらに、砂泥互層内での CO<sub>2</sub>挙動に関する感度解析シミュレーションからは、砂泥互層を地質モデルに反映する際には一般的な浸透率、毛管圧等のパラメータに加えて、堆積層の内部構造に十分留意する必要があることが示唆された。これらの結果に基づき、細分互層構造等の効率的なモデリング方法を検討する必要性を提示した。

【分野名】 環境・エネルギー、地質

【キーワード】 CO<sub>2</sub>地中貯留、モニタリング、重力、自然電位、AE、米国 SWP、断層、モデリング、ジオメカニクス、ナチュラル・アナログ、砂泥互層、シール圧、地化学プロセス

・石油資源開発技術等研究調査等委託費

【研究題目】 石油資源遠隔探知技術の研究開発

【研究代表者】 山本 浩万（地質情報研究部門）

【研究担当者】 山本 浩万、岩男 弘毅、土田 聡、小畑 建太、堂山 友己子（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

本研究は、我が国のエネルギー安定供給確保に資するため、経済産業省が開発した衛星搭載型地球観測センサ ASTER のデータを用いて、処理・解析技術の先端的研究開発を実施するものである。当部門では、画像データの校正・検証・補正技術及び処理・解析技術の高度・高精度化の研究・次世代アーカイブシステムの技術開発を担当している。

ASTER 代替校正実験においては、平成25年度末から代替校正の成果を大幅に採用した放射量補正が L1処理に反映されているが、本年度はその放射量補正で用いられている劣化曲線の技術的背景をとりまとめた。また、米国ネバダ州において ASTER VNIR を対象とした代替校正実験を夏季に1回実施し、全体としてはこれまでの劣化曲線のトレンドに一致するものと判断できた。MODIS データを用いた相互校正においては、不確かさを要因別に定量化することにより達成できる放射量校正の精度を明らかにした。次世代アーカイブシステムの構築では、新 ASTER 処理システムとして平成25度から仮想マシン VM での処理体制に移行していたが、平成26年度では、新処理サーバにおいて8スロットで生データからの高次データの生成処理、管理用データベースである Postgresql DB やジョブ管理スケジューラが滞りなく動作する一連のシステムを構築した。生データ、処理データ (L1A) は共に1日10GB~20GB 程度増加していくが、各2TB 分のデータストアによるテープアーカイブ、同ペースで増加する高次データ (L3) も NFS による WMS サーバへのアーカイブの仕組みを構築した。WMS サーバは既存15年分の115TB に加え、今後約14

年間分の L3データを保持することを可能としている。

【分野名】 地質

【キーワード】 衛星画像、校正・検証、画像補正、ASTER

・工業標準化推進事業委託費

【研究題目】 医療用途のプラズマ装置等に関する国際標準化

【研究代表者】 榑田 創（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 榑田 創、池原 譲（バイオメディカル研究部門）、金 載浩、増金 勲、藤原 大、大隈 利恵子、中西 博之（エネルギー技術研究部門）、池原 早苗、長榮 世（バイオメディカル研究部門）（常勤職員3名、他6名）

【研究内容】

2013年4月に上海にて開催された IEC/TC62-SC62D 総会において、「発生させたプラズマを Medical application で利用する」と定義される医療用プラズマデバイスについて、特に IEC の定める止血機器の国際標準 IEC60601-2「High Frequency Electrosurgery Equipment」でカバーされない項目が存在することが確認され、これに対応する New Working Item Proposal (NWIP) 提案の必要性が確認された。そこで、Ionized gas coagulation equipment に関する新規 NWIP ドラフトの策定を産総研、ニコン、東大病院、国際医療福祉大学が行い、日本が提案した。国際投票の結果、新規ワーキンググループ (IEC/TC62-SC62D WG34) の発足が認められ、次年度より新規規格 IEC60601-2-76の規格策定を正式に行うこととなった。

【分野名】 環境・エネルギー、ライフサイエンス、計測・標準

【キーワード】 プラズマ、プラズマ診断、医療機器、外科手術、国際標準

【研究題目】 戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業：標準物質を用いた臨床検査機器の測定妥当性評価に関する国際標準化・普及基盤構築）

【研究代表者】 野田 尚宏

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 野田 尚宏、関口 勇地、松倉 智子、佐々木 章、高津 章子、藤井 紳一郎、柴山 祥枝（常勤職員7名）

【研究内容】

遺伝子関連検査の測定妥当性保証に利用するための核酸標準物質をデザインし、そのプロトタイプ作製に必要な要件及び評価項目の検討を行った。PCR プライマーやプローブのような短い合成オリゴヌクレオチドの標準物質開発について鎖長や GC%などの具体的項目につい



て検討を行った。

低濃度定量分析用 DNA 溶液の開発およびその評価方法を検討した。サイズ排除クロマトグラフィにおいて、条件を最適化することで、核酸分子をより高感度に検出できる可能性を示した。DNA 溶液のプロトタイプ作製要件として必須である安定的な保存方法として、吸着を防止する疎水性表面処理チューブを新規に開発した。

RNA 認証標準物質を用いて、分光光度計や極微量吸光度測定装置による吸光度測定から算出される核酸濃度、マイクロチップ型電気泳動装置や定量的 PCR 法 (q-PCR) を用いた核酸濃度測定を行った。精度、ダイナミックレンジの評価、および核酸検査のプラットフォーム間差、サンプル間差、施設間差、試験者間差を推定し、臨床検査機器における測定妥当性評価に関する基礎データの収集に貢献することを目的としている。それぞれの測定装置を用いて核酸標準物質を測定するための標準的手順書を作成し、機関比較試験の円滑な運用に貢献する基盤を築いた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 核酸標準物質、遺伝子関連検査、DNA、RNA

〔研究題目〕 戦略的国際標準化加速事業(国際標準共同研究開発事業:ナノ材料の安全性評価基盤に関する国際標準化)

〔研究代表者〕 山本 和弘  
(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕 山本 和弘、藤本 俊幸、熊谷 和博、竹歳 尚之、田中 充 (常勤職員5名)

〔研究内容〕

透過型電子顕微鏡を用いたナノ粒子材料の一次粒子粒度分布計測の手法を開発し、国際標準化をすることを目的に、以下の研究開発を行った。

(1) 透過型電子顕微鏡を用いた一次粒子粒度分布測定方法の開発

ISO/TC229の“Study Group on primary particle size distribution by TEM”において実施した国際ラウンドロビン試験の計測を行なった。単分散した球状粒子の例として金ナノ粒子、単分散したロッド状粒子の例として金ナノロッド粒子、凝集したナノ粒子の例としてカーボンブラックと酸化チタンの計測を行なった。金ナノ粒子、金ナノロッド粒子、カーボンブラックはコンピュータソフトウェアによる自動計測により粒子径計測を行ない、酸化チタンは測定者のマニュアルに依る凝集体から1次粒子のトレースによる検出と粒子径計測を行なった。

(2) 透過型電子顕微鏡を用いた一次粒子粒度分布計測のための標準化審議支援

ナノテクノロジー分野の国際標準化活動を円滑に推進するため、ISO/TC229国内審議団体として、国内

審議委員会本委員会、分科会等を開催し、ISO/TC229の会議報告と今後の対応について審議した。当該事業に関しては計量・計測合同分科会を中心に審議を行った。また、国内関係機関への情報発信及び情報収集も行った。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 透過型電子顕微鏡、ナノ粒子、ナノ材料、粒子径、サイズ、一次粒子径

〔研究題目〕 戦略的国際標準化加速事業(国際標準共同研究開発事業:アクセシブルデザイン及びその適合性評価に関する国際標準化)

〔研究代表者〕 赤松 幹之 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 赤松 幹之、倉片 憲治、伊藤 納奈、大山 潤爾、関 喜一、佐藤 洋、佐川 賢、水浪 田鶴、野田 景子、榊 和子 (以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、田村 繁治、茂里 康、長澤 真紀 (以上、健康工学研究部門)、横井 孝志 (日本女子大学) (常勤職員8名、他6名)

〔研究内容〕

本事業では、JIS「高齢者・障害者配慮設計指針」シリーズ、ISO/IEC Guide 71、及び ISO/TR 22411に基づいて、高齢者及び障害者のニーズに対応した製品やサービスに関する一連の国際規格原案を作成し、ISO に提案する。また、その目的のために、高齢者や障害者の人間特性データ収集のための実験等を行う。さらに、それらの規格に準拠し、アクセシビリティに配慮された製品であることを確認し、消費者に的確に示すための適合性評価制度の検討を行う。

平成26年度の実績は以下のとおりである。(1) アクセシブルデザイン適合性評価制度に関する指針の国際提案に向けて、評価基準の試案の作成を行った。(2) ISO/IEC Guide 71及び ISO/TR 22411の改訂作業を、それぞれ ISO/IEC/JTAG 及び ISO/TC 159/WG 2にて行った。(3) ISO/TC 173において、公共空間の音案内に関する原案の審議を行った。(4) ISO/TC 159における国際標準化に関して、次の i) ~ v) に関する調査・実験の実施、標準化提案の準備、原案の審議等を行った: i) 色の組合せ方法、ii) 最小可読文字サイズ推定方法、iii) 触知図形の基本設計方法、iv) 消費生活用製品の報知光、v) 消費生活用製品の音声案内。(5) 上記 (1) ~ (4) の国際標準化活動を円滑に行うために、欧州との連携強化及び調整を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 高齢者・障害者配慮、ISO/IEC Guide

71、国際標準化、JIS、感覚特性、身体特性

〔研究題目〕クラウドセキュリティに資するバイオメトリクス認証のセキュリティ評価基盤整備に必要な国際標準化・普及基盤構築

〔研究代表者〕 寶木 和夫  
(セキュアシステム研究部門)

〔研究担当者〕 寶木 和夫、大塚 玲  
(常勤職員2名、他2名)

〔研究内容〕

バイオメトリクス認証技術に対する社会的に認知されたセキュリティ評価基準がないことで、各製品のセキュリティ性を客観的に評価できない状況を改善するため、バイオメトリクス製品のCC (Common Criteria) 認証に向け、国内に、①産業界が無理なく参加可能、②十分に有効性があり、③継続性のある、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価基盤を3年間で整備することを目的とした。

研究計画として、精度については評価ツール、また安全性については既にあるセキュリティ評価基準に則ってPP (Protection Profile) 及びPPに付随する評価手法を作成し、更に評価機関及び認証機関がPP及び評価手法に基づく評価及び認証を実施可能にすることによって、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価・認証基盤を整備することとした。また、本事業に参加するベンダー各社の協力を得て、各社のバイオメトリクス製品に対して、作成する精度評価ツールを適用して精度評価を実施し、開発したPPを基に各社製品のST (Security Target、セキュリティ機能仕様書) を作成して、各社のバイオメトリクス製品に対するパイロット評価・認証の実施に取り組むこととした。

平成26年度は、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価について、海外各国の動向調査を行った上で、PPについて研究し、開発した。開発したPPは、評価機関による評価に合格し、国内認証機関であるIPAによる認証を取得過程にある。今後は、バイオメトリクスに関する高い専門性が要求される精度評価と脆弱性評価について、評価手法を整理し、サポート文書の作成や評価ツール開発を推した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 バイオメトリクス、脆弱性評価、セキュリティ評価・認証基盤

・希少金属資源開発推進基盤整備委託費

〔研究題目〕 資源権益確保推進事業のうち資源開発可能性調査に係るもの

〔研究代表者〕 高木 哲一 (地圏資源環境研究部門)

〔研究担当者〕 高木 哲一、大野 哲二、昆 慶明、荒岡 大輔、森本 慎一郎、徐 維那、

江島 輝美、Jacqueline Vidal Satur、Buenaveturada Calabria、須藤 定久、月村 勝宏、森田 沙綾香、猪川 洋子 (常勤職員5名、他8名)

〔研究内容〕

本事業は、平成25年度補正予算 (1年繰り越し) により、資源エネルギー庁から受託したものである。本事業は、1) アメリカ合衆国レアアース鉱床の資源開発可能性調査、2) 南アフリカ共和国ブッシュフェルト地域のレアメタル資源開発可能性調査、3) ブラジル連邦共和国におけるレアメタル資源開発可能性調査、4) 東南アジア地域におけるレアメタル資源開発可能性調査の4項目で、地圏資源環境研究部門により実施された。

1)では、米国地質調査所 (USGS) と共同で、カリフォルニア州南部の先カンブリア紀片麻岩に付随するレアアース鉱床、ジョージア州中部のカオリン鉱床に付随するレアアース鉱床の2カ所を対象に現地調査を実施した。ミズーリ州中部の鉄鉱床に付随するレアアース鉱床は、同鉱山の事故により立ち入り禁止となっていたため、ミズーリ州地質調査所との情報交換のみを実施した。カリフォルニア州南部の鉱床では、片麻岩中のモナザイト・ゼノタイム濃集帯にレアアースの有望な鉱徴が認められた。ジョージア州では、レアアース鉱徴が予想されるカオリン鉱山での試料採取が不許可だったため、道路沿い露頭試料のみの分析となったが、一般にレアアース量は低く、有望な鉱徴は認められなかった。

2)南アフリカ地球科学審議会 (CGS) と共同で、平成25年度までに実施した8本の浅層ボーリングの結果に基づき、平成26年度は鉱体中央部に長さ10m、深さ2mのトレンチ掘削を2カ所で行った。トレンチ断面 (風化殻) を詳細に観察すると共に、約100kgの試料を採取し、数十kgを産総研に輸送して選鉱試験を実施した。また、Mintek (国立鉱物研究所) を訪問し、同研究所での選鉱試験実施に関する打合せを行った。産総研における選鉱試験では、レアアースの回収率は良好であるものの濃集率が上がらず、従来の浮選・磁選のみでは精鉱の作成が困難であることが明らかになった。

3)は、ブラジル鉱産局の事情により平成26年度内に現地調査が実施できなかったため、平成25年度に現地調査を行ったゴイアス州北部のセハヴェルデ・イオン吸着型鉱床の試料分析のみを実施した。同分析では、弱酸によるレアアースの溶出は認められるものの、相当量のレアアースが重鉱物として残渣に残ることが判明した。また、再委託事業として、放射光を用いたイオン吸着鉱中のレアアース存在状態の解析を実施した。

4)は、再委託先の企業と共同で主にタンダリー管区のスズ・タングステン鉱床等の現地調査を実施した。また、同地区でのレアアース鉱床の予察的調査も実施した。

これらの調査研究を進めるために、レアメタル分析・

選鉱実験手法の改良・高度化を進めた。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕レアアース、地質調査、選鉱実験、米国、南アフリカ、ブラジル、ミャンマー

・化学物質安全対策委託費

〔研究題目〕消費者製品に含まれる化学物質の室内暴露評価に係る調査

〔研究代表者〕東野 晴行（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕東野 晴行、恒見 清孝、梶原 秀夫、篠崎 裕哉、村井 賀子、高井 淳、川本 朱美（常勤職員4名、他3名）

〔研究内容〕

室内環境下において、消費者製品に含まれる化学物質への暴露による健康影響や製品事故等は、依然解決されておらず対策が必要である。消費者製品に含まれる化学物質に対する現実的な暴露評価を可能とすることを目的として、以下の調査・研究・開発を実施した。

(1) 吸入暴露に関する調査

- 1) 製品からの化学物質排出状況のモデル化を行った。
- 2) 製品からの化学物質放散速度の経時変化を測定し、放散速度推定式を構築した。
- 3) 壁紙、床材等の室内表面を構成する製品部材に対する吸着係数を推定するモデル式を構築した。

(2) 経皮・経口暴露に関する調査

- 1) 経皮・経口暴露について代表的な暴露シナリオを抽出し、暴露量推定のためのモデル式を構築した。
- 2) 樹脂表面からハウスダストへの物質直接移行についてハウスダスト模擬体を用いた実験を行い移行量推定式を構築した。

(3) データ集作成

- 1) 経皮暴露における製品との接触表面積推定に用いるデータをとりまとめた。
- 2) 消費者製品の表面部材の成分についてヒアリング調査を行いモデル配合データを得た。
- 3) サブスタンスフロー解析によって製品に含まれる可塑剤および顔料の室内流入量や存在量を推定した。

(4) モデルに関するニーズ調査

事業者および業界団体へのヒアリングを行い、消費者製品暴露評価ツールに求められているニーズ等を調査した。

(5) プロトタイプモデルの開発

消費者製品に由来する化学物質の吸入、経皮、経口いずれかの暴露経路による体重当たり暴露量を推定することを可能とするプロトタイプモデルを開発した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕室内環境、消費者製品、吸入暴露、経皮暴露、経口暴露、暴露モデル

・石油製品需給適正化調査等委託費

〔研究題目〕平成26年度石油精製業保安対策事業（高圧ガスの危険性評価のための調査研究）

〔研究代表者〕椎名 拓海（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕椎名 拓海、緒方 雄二、土屋 健太郎、和田 有司、久保田 士郎、佐分利 禎、高橋 明文、松木 亮、金山 正明、橋本 進吾、伊藤 俊介、田邊 朋昭、菅原 光滋、田山 雄一（常勤職員8名、他6名）

〔研究内容〕

近年、支燃性ガスを含む様々なガスの爆発事故が報告され問題となっている。そこで、高圧ガス使用時の危険性を適切に評価し、安全性の向上を図るための爆発影響予測技術の構築を目的として、支燃性ガスの自然発火現象に関する研究および爆発威力評価の研究を行った。爆発威力評価研究では、液化ガスを貯蔵した密閉容器が加熱された際の容器爆発を爆発研究所吉田博士と、大気中に放出された液化可燃性ガスの蒸気雲爆発を山形大学大学院桑名准教授およびアドバンスソフト富塚博士と連携して行った。

容器爆発の研究では、液化ガスが貯蔵された密閉容器が加熱され部分的に破損した際に、液化ガスの突沸と液撃により容器が破壊されるとする現象を、大型石英窓を取り付けた容量約1Lの耐圧密閉容器に不活性液化ガスを封入して急速開放口を開く、スケールモデル実験により検証した。また、蒸気雲爆発の研究では、日本自動車研究所の耐爆火災試験設備内で、高圧配管に封入した可燃性液化ガスであるプロパンとn-ブタンを高圧窒素で加圧して上向きに放出し、放電点火装置の高さや放電タイミングを変えながら点火して、高速度カメラと爆風圧センサーによる観測を行った。さらに、突沸現象と蒸気雲爆発を再現するシミュレーション手法について調査した。

また、支燃性ガスが配管中の可燃物と高温で接触することにより発火する接触発火現象について、高圧ガス配管中に存在、または残留する可能性がある可燃物として、鉄、ステンレス鋼、銅、真ちゅう、アルミニウムの金属粉を用い、耐腐食性の密閉容器ごと試験温度まで加熱した後、支燃性ガスの三フッ化塩素を吹き込んで、発火の様子を温度変化により観測した。鉄とステンレス鋼では350°Cを超えた温度領域で発火が確認された。化学量論式から計算された発熱量と発火性には相関がなく、金属粉の発火過程は速度論支配の現象であることが示唆された。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕高圧ガス保安、ガス爆発、容器爆発、蒸気雲爆発、被害予測、支燃性ガス、金属粉、三フッ化塩素、自然発火、プロパン、n-ブタン、シミュレーション

・非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費

〔研究題目〕平成26年度水素ネットワーク構築導管  
保安技術調査（水素拡散挙動調査）

〔研究代表者〕久保田 士郎（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕久保田 士郎、高橋 明文、和田 有司、  
椎名 拓海、松木 亮、佐分利 禎、  
橋本 進吾、金山 正明、伊藤 俊介、  
田邊 朋昭、菅原 光滋、田山 雄一  
（常勤職員6名、他6名）

〔研究内容〕

水素供給ネットワーク構築事業に係る保安対策のため、一般集合建物内への水素配管供給を行った際のパイプシャフト内における配管継手部からの水素漏えいを想定し、模擬空間内における水素拡散挙動の調査実験を行った。また、実験で得られた水素の濃度変化をシミュレーションにより再現し、実験結果との比較検証を実施した。

実験を行うにあたっては扱う水素の量が大量となるため、野外実験を主体とした。実際のパイプシャフトを参考に製作した模擬空間を外部環境の影響を避けるためにプレハブ式建造物の防護室内に設置し、測定に際しては100ppm～4%の濃度分解能のある熱電式水素濃度センサーおよび接触燃焼式水素濃度センサー（～10%）ならびに熱電対を用いて水素濃度分布と温度を測定した。

実験に関するパラメータは、漏えい位置、漏えい量、密閉（換気口なし）もしくは半密閉（天井近くと床面近くの計2か所に換気口設置）であり、これらの組み合わせで実験を行った。

まず、密閉条件（換気口なし）においては、漏えい量に従った滑らかな水素濃度の上昇が観測され、模擬空間および測定方法が適正であることが示された。同時に防護室の外部の風や熱を遮断する性能も十分であることが確認された。換気口ありの条件においては、防護室内の濃度が開口によって平衡に達し、濃度上昇が抑制される様子が正確に観測された。一方、外気温が極端に低く（3℃以下）防護室内で人間の体温の余熱や測定装置の発熱による温度ムラが排斥できない場合は換気を阻害する流れが生じ水素濃度は平衡に達しえないケースが観測された。

シミュレーションには主に米国 NIST の FDS を用いた。その結果、密閉状態については、実験を行ったすべての条件においてほぼ正確に水素の拡散挙動を再現できることが確認され、今回用いた計算手法が妥当であることが示された。一方、開口ありの条件におけるシミュレーションにおいては実験結果とシミュレーションとの間で剥離が生じたため、水素を漏えいさせず温度ムラが模擬空間に存在する条件についてシミュレーションしたところ、1℃以下の微小な温度ムラによって換気を阻害し対流を促進する方向の気流が発生することが確認され、現実の現象を定性的に再現し擾乱の影響が無視できないことが実験とシミュレーションの双方で示された。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕水素、空気、窒素、都市ガス、パイプライン、導管、配管、集合住宅、パイプシャフト、継手、漏えい

・その他（国際エネルギー使用合理化等対策事業委託費）

〔研究題目〕平成26年度火工品に係る海外規制等実態調査

〔研究代表者〕薄葉 州（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕薄葉 州、松永 猛裕、秋吉 美也子、  
岡田 賢、奥田 順子、加藤 和彦  
（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

少量の火薬類を用いた火工品の製品開発が進む中、海外で製造された火工品が、製品の安全性が十分に確認されないまま国内に持ち込まれるケースが危惧される。他方、それら火工品の中には、海外において既に使用に関する安全性が評価され、多くの使用実績を有するものも少なくない。そこで本研究では、

- （1）国内外で使用されている少量の火薬、爆薬を使用した火工品であって、国連分類1.4S 又はそれに相当し用途の異なる火工品を20製品程度抽出し、米国、豪州、ドイツ、イギリス及びフランスの5か国における上市のための手続き及びその法的根拠を調査・分類した。
- （2）抽出した火工品について、火薬・爆薬の組成、薬量、反応生成物、感度、威力、用途、使用場所、使用者、製品の構造図、試験結果、流通形態、耐用年数及び廃棄方法等の情報を収集した。
- （3）火薬類を収納する容器包装に関して、国連勧告、船舶安全法及び火薬類取締法の規定が比較できる表を作成するとともに、専門家の意見等を参考に、火薬類取締法の製造時における容器包装の告示改正案を作成した。
- （4）上記の調査結果と、学識経験者、火薬類関係者等の専門家による委員会及びワーキンググループの意見等を参考に、少量の火薬・爆薬を使用した火工品についての我が国における規制、適用除外及び無許可消費等の適切な在り方を取りまとめた。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕火工品、火薬類取締法、海外調査、危険物、容器包装、国連勧告

〔研究題目〕天然物化合物及び IT を活用した革新的医薬品創出技術

〔研究代表者〕福西 快文（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕福西 快文、竹内 恒  
（常勤職員2名、他14名）

## [研究内容]

- i) 化合物リガンド・データベースの開発：市販化合物等約4000万件の化合物情報を収集し、3次元化合物DBを作成するパイプラインの設計を行うとともにツールソフトを改良し、溶解度予測データなどの物性予測データを付加してDB (LigandBOX) を作成し、インターネット上で公開する。
- ii) 化合物設計・合成評価用ソフトウェアの新規開発：計算機上で作成した分子が合成可能とは限らないため、市販化合物のDB (LigandBOX) と合成化学者が化合物の合成容易性を評価した結果を用いて、合成容易性を予測するソフトウェアを開発・公開する。化合物の合成容易性を部分構造の出現確率等で記述し、回帰分析により予測した結果、ほぼ合成化学者と同じ精度で合成容易性が予測することを目的とする。
- iii) タンパク質の動的構造変化を考慮した、高速・高精度のタンパク質/リガンド複合体、及びタンパク質/タンパク質複合体モデリング手法の新規開発：分子動力学 (MD) 計算における遠距離静電相互作用の計算はコストのかかる計算であるが、ZD (Zero-dipole Summation) 法を空間分割による並列化手法とともに組み込んだ myPresto/psygene を開発し、最新のGPU向けに移植を行う。
- iv) 最新のGPU及びメニーコアPCクラスターを用いたスクリーニングソフトの高速化・高精度化：MD計算はスクリーニングにおいても有用であり、上記したZD法によるMD計算を行う myPresto/psygene ではGPUの利用が効果的なため、GPU専用ソフト (myPresto/psygene-G) を開発し、いくつかの標的タンパク質に適用する。一方、蛋白質-化合物複合体の高速計算を行うために、マルチスケールドッキングMD手法を開発し、挙動の解析を行う。
- v) 運動性と充足度を同時に評価可能で薬剤の構造最適化に資する新たなNMR解析技術、禁制コヒーレンス遷移 (FCT) 解析法の開発に取り組み、創薬ターゲットを多く含むタンパク質キナーゼの1種 p38に適用することで、結合時における化合物の運動性および交換下における結合ペプチドの運動性を解析することに成功した。また関連する成果として、活性部位から離れた位置で p38と基質等とが結合するドッキング相互作用が、p38のキナーゼ活性をアロステリックに増強することを見出した (Tokunaga et al., Nat. Str. Mol. Biol., (2014), **21**, 704-11)。また、多剤耐性転写因子 LmrR と化合物との相互作用において、LmrR が構造エントロピーを増大させることで多剤結合を達成する機構を明らかにした (Takeuchi et al., Sci. Rep. (2014), **4**, r6922)。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 化合物データベース、分子シミュレーション、合成容易性、分子設計、複合体予

測

[研究題目] ハイパースペクトルセンサの校正・データ処理等にかかる研究開発

[研究代表者] 山本 浩万 (地質情報研究部門)

[研究担当者] 山本 浩万、土田 聡、小畑 建太、堂山 友己子 (常勤職員2名、他2名)

## [研究内容]

地球観測の中で高波長分解能を有するハイパースペクトルセンサは、高波長分解能のデータを取得することができるため従来のセンサと比べ、より詳細な対象物の性質の分析が期待できる。当部門では、次期衛星センサとして経済産業省が開発中の衛星搭載型ハイパー・マルチスペクトルセンサ (HISUI) に対して、校正技術のうち代替校正、相互校正、校正検証計画、校正アーカイブシステムにかかる研究開発を、データ処理技術のうち大気補正プロダクト作成処理技術にかかる研究開発を実施した。代替校正においては、豪州で代替校正実験を実施し、標準反射板パネルの二方向反射特性を得るべくシステムの微調整・修繕、自動試料ステージ導入、その性能チェックを行い、代替校正情報にかかる処理およびデータセットの校正アーカイブシステムへの導入についても検討した。相互校正においては、マルチスペクトルデータおよび補助データからハイパースペクトルデータを導くための手法を開発した。校正検証計画においては、米国衛星センサの校正検証計画について調査を行い、全体概要作成のための参考情報を収集した。校正アーカイブシステムについては、データ保存機能、輝度値を校正するために用いるパラメータ群作成機能、L1処理に必要な機能等を詳細化し、設計仕様作成に関する研究開発を進め、外部とのインターフェースについて調整を行った。大気補正プロダクト作成処理技術については、暗画素法が有効に機能する短波長域において、標高とパスラジアンスの関係をエアロソル量毎に放射伝達コードを用いて計算し、エアロソル量を推定する手法の検討を行った。

[分野名] 地質

[キーワード] 衛星画像、校正・検証、画像補正、ハイパースペクトルセンサ、HISUI

## ②文部科学省

・科学技術基礎調査等委託事業

[研究題目] がん関連遺伝子産物の転写後発現調節を標的とした治療法の開発 (がん抑制遺伝子の翻訳抑制機構を標的とした核酸医薬の開発)

[研究代表者] 夏目 徹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

[研究担当者] 夏目 徹 (常勤職員1名、他2名)

## [研究内容]

多くの癌に於いてがん抑制遺伝子の発現抑制が起こっ

ている事が知られており、それらのがん抑制遺伝子発現上昇を誘導できれば癌の治療が期待できる。我々はこれまでに、マススペクトロメーターを用い mRNA の翻訳（安定性）制御因子を同定できる事、また、その制御を解除するアンチセンスオリゴ（USO）を用いる事により特定のタンパク質の発現上昇を引き起こせる事を明らかとしてきた。

この技術を用いる事により我々は、がん抑制遺伝子の翻訳抑制機構を標的とした核酸医薬の開発を行う事目標とし、平成23-27年の間に以下の行程での研究を計画している。1.発現上昇により癌の治療が期待される標的癌遺伝子の決定、2.がん抑制遺伝子 mRNA の翻訳（安定性）制御因子を同定、3.制御を標的としたアンチセンス=USO を設計、4.In Vitro における USO の機能確認、および、USO の最適化、5.マウスを用いた薬効確認実験。

本年度は、上記の研究計画4の行程の研究を行った。前年度設計し機能確認を終えていたヒトがん抑制遺伝子に対するアンチセンスオリゴ（USO）について、配列の最適化を行った。また、マウスゼノグラフトモデルを用いた実験の予備実験として、USO 導入方法の検討及び、効果の持続性等の確認を行った。さらに、マウス発がんモデルを用いた動物実験のため、標的がん抑制遺伝子のマウスホモログに対する USO を設計、マウス培養細胞を用い性能の確認を行った。その結果、我々の設計したマウス配列に対する USO は期待通り、マウス細胞においても、標的がん抑制遺伝子産物タンパク質の発現増強効果を持つことを確認した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】癌抑制遺伝子、アンチセンスオリゴ、mRNA 制御、質量分析計

【研究題目】「次世代がん研究推進のためのシーズ育成支援基盤」（天然物ライブラリーを用いた探索試験の実施）

【研究代表者】新家 一男  
（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】新家 一男、加賀谷 紀貴  
（常勤職員1名、他4名）

【研究内容】

国内の基礎的がん研究の優れた成果を戦略的に育成し、効率的かつ速やかに臨床研究の実施へとつなげることに、次世代がん医療の開発研究を加速することを目的とし、次世代がん研究シーズ戦略的育成プログラムが策定されている。当該プログラムは、「次世代がん医療創生研究 HQ」によるマネジメントのもとで、「革新的がん医療シーズ育成グループ」、及び「がん臨床シーズ育成グループ」の2つの研究グループに加え、これらシーズ育成グループの研究開発を支援する「シーズ育成支援基盤」の3つの研究開発組織により推進される。当担当

は「シーズ育成支援基盤」において、(1) 革新的シーズ育成の促進のため、化合物ライブラリーを用いた阻害剤探索等の技術支援を行った。

本年度は、上記機構の基、7種類のアッセイ系のハイスループットアッセイ系の構築を行い、10種類のアッセイ系に関してスクリーニングを実施した。25万ライブラリー以上の世界最大級の天然物ライブラリーを用いたランダムスクリーニングの結果得られたヒットサンプルに関しては、活性物質の単離・精製、化合物構造同定を行った。また、優れた活性を示した新規天然化合物に関して、動物試験用の大量サンプル調製を行った。幾つかの化合物に関しては、特許申請を行う成果が得られた。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】天然物スクリーニング、がん分子標的、抗がん剤

【研究題目】活断層の補完調査

【研究代表者】吉岡 敏和（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】吉岡 敏和、宮下 由香里、勝部 亜矢、栗田 泰夫、楮原 京子（山口大学）  
（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

本研究は、地震調査研究推進本部が定めた基盤的調査観測対象断層帯にのうち、これまでの調査結果に基づく評価で将来活動確率が十分絞り込めなかった断層帯について補完調査を実施することを目的に、文部科学省からの委託を受けて行われたものである。

平成26年度の調査対象断層帯は山口県に位置する菊川断層帯であり、断層帯の位置形状を詳細に解明するとともに、後期更新世末以降の断層活動時期をより限定するために、約20 km 範囲の地形地質調査と2地点でのボーリング調査（総掘進長44 m）を実施した。またこれらの調査結果を考慮し、菊川町上諏訪地点でトレンチ調査を実施した。トレンチ壁面には下位より、基盤岩（泥岩およびデイサイト）、人頭大の礫を含む粗粒な礫層、腐植質シルト層、シルトを挟む砂礫層、表土が露出した。断層はトレンチ底面付近では複数条から構成される幅60 cm 程度の破碎帯を形成し、上方に向かって幅1~2 m 程度に分散していく形態を示す。堆積物と断層の詳細な切断・被覆関係の観察と、放射性炭素年代測定および火山灰分析の結果、約14,800年前（暦年較正済み）以降、2回の古地震イベントが認定された。1つ前のイベント年代は、14,800年前以降、14,100年前以前であり、最新イベントは、約6000年前以降、約3400年前以前であることが明らかになった。

【分野名】地質

【キーワード】活断層、活動履歴、菊川断層帯、地震調査研究推進本部、補完調査

## 〔研究題目〕沿岸海域における活断層調査

〔研究代表者〕阿部 信太郎（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕阿部 信太郎、佐藤 智之、古山 精史朗（地質情報研究部門）、杉山 雄一、岡村 行信、森 宏、坂本 泉（東海大学）（常勤職員3名、他4名）

## 〔研究内容〕

地震調査研究推進本部政策委員会調査観測計画部会が平成21年4月に策定した「新たな活断層調査について」に基づき、三浦半島断層群（海域部）、鴨川低地断層帯（海域部）について、既存の探査データも参照し、延長部も含めて海域部の全体的な位置・形状を確認し、全長を明らかにするとともに、活動履歴の解明するためブーマーを音源とするマルチチャンネル反射法地震探査、海底堆積物の柱状採泥を実施した。

## 1) 三浦半島断層群（海域部）

本断層群周辺海域で取得されている既存の反射法地震探査記録から活構造、完新統の分布状況等を事前に推定し、その上で、同断層群主部の海域延長部も含めて、相模湾側および東京湾側において、ブーマーを音源とするマルチチャンネル反射法地震探査を実施した。その結果、三浦半島を横断する葉山層の隆起帯の延長部が最も顕著な地質構造として認識された。その南側の縁付近が三浦半島断層群武山断層帯の海域延長部にあたり、深部では地層のキンクも認識された。また衣笠・北武断層帯の海域延長部には隆起帯を形成する葉山層内部に複数の断層が認識された。

## 2) 鴨川低地断層帯（海域部）

本断層群周辺海域で取得されている既存の反射法地震探査記録から活構造、完新統の分布状況等を事前に推定し、その上で、太平洋側および東京湾側において、ブーマーを音源とするマルチチャンネル反射法地震探査を実施した。その結果、鴨川沖（太平洋側）の保田層群と三浦層群（より上位の地層）との境界は、反射記録断面上は海底面に変位を伴う断層として認識された。この断層は陸域部に分布する鴨川低地断層帯の直接的な延長部にはあたらないものの、陸域に近づくに従って海底面の撓みとなりつつ雁行状に連続している。一方、保田沖（東京湾側）には海底谷が発達しているが、累積を伴った顕著な活構造は認識されなかった。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕三浦半島断層群、鴨川低地断層帯、ブーマー、反射法地震探査、葉山層、三浦層、保田層、隆起帯

## 〔研究題目〕地域評価のための活断層調査（九州地域）

〔研究代表者〕吉岡 敏和（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕吉岡 敏和、丸山 正、宮下 由香里、

近藤 久雄、勝部 亜矢、堤 浩之（京都大学）、楮原 京子（山口大学）（常勤職員5名、他2名）

## 〔研究内容〕

本研究は、地震調査研究推進本部公表した「九州地域の活断層の長期評価」において、将来発生する地震の規模や発生確率が十分絞り込めなかった断層帯について調査を実施することを目的に、文部科学省からの委託を受けて行われたものである。

平成26年度は2年計画の2年目にあたり、九州地域の活断層のうち、小倉東断層、福智山断層帯、西山断層帯／嘉麻峠区間、佐賀平野北縁断層帯を対象に、断層の位置・形状、活動度等を明らかにするための調査を実施した。

## 1) 小倉東断層

小倉東断層では、北九州市小倉南区の上志井地点でのトレンチ調査の結果、基盤岩および堆積層を変位させる明瞭な断層が露出し、過去約20,000年間に複数回の断層活動があったことが明らかになった。また、断層の北方延長にあたる山口県下関市西方海域で実施した海上音波探査の結果、海底面直下の堆積物に西側隆起を示す段差が連続的に認められ、この海域に断層が分布する可能性が高くなった。

## 2) 福智山断層帯

福智山断層帯では、中部の直方市後山地点において群列ボーリング調査およびトレンチ調査を実施した結果、古生界の緑色岩と古第三系が接する高角度の明瞭な断層が確認された。断層は、基盤岩の上位に載る礫層の一部を明瞭に変位させており、その分布から断層は左横ずれ変位を有しているものと推定された。

## 3) 西山断層帯／嘉麻峠区間

西山断層帯／嘉麻峠区間では、断層帯中部で実施したトレンチおよびピット調査では明瞭な断層破砕帯が確認された。南部の朝倉市杷木町の群列ボーリング調査では、約5500年前に断層活動があった可能性が推定された。

## 4) 佐賀平野北縁断層帯

佐賀平野北縁断層帯では、神崎市城原地区において実施し、ボーリング調査の結果、同地区における佐賀平野北縁断層帯が南に約50～70度傾斜する正断層であり、また過去約9万年間の平均変位速度の上下成分は約0.1 m/千年であることが明らかになった。またトレンチ調査では、約4万年前以降に少なくとも2回の断層活動が認められた。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕活断層、活動履歴、地域評価、九州、地震調査研究推進本部

## ③環境省

〔研究題目〕平成26年度火山影響評価に係る知見の整備

〔研究代表者〕 山元 孝広（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 山元 孝広、及川 輝樹、石塚 治、  
古川 竜太、石塚 吉浩、田中 明子、  
宮城 磯治、斎藤 元治、松島 喜雄、  
星住 英夫、山崎 誠子、山崎 雅、  
田村 亨（地質情報研究部門）、  
工藤 崇（地質情報研究部門）、  
中川 光弘（北海道大学）、宮縁 育夫  
（熊本大学）、藤田 英輔（防災科研）  
（常勤職員13名、他4名）

#### 〔研究内容〕

本調査は、火山活動とその休止期間の関係を火山の特性、地下構造、地球物理学的及び地球化学的調査手法等の最新の知見に基づく火山活動に起因する事象調査から、原子力施設に影響を与える火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準、火山活動のモニタリング基準を作成することを目的とし、その達成のため以下の4項目の調査研究を実施した。

##### 1) 火山活動履歴の情報整備

平成25年度から開始した噴出量-時間階段図のパートナー情報整備のために、今年度は関東地方以西の約31の活火山やカルデラ火山（那須岳火山、日光火山群、赤城火山、榛名火山、草津白根火山、浅間火山、妙高火山、新潟焼山火山、焼岳火山、乗鞍岳火山、御嶽火山、白山火山、北八ヶ岳火山、箱根火山、富士火山、伊豆東部火山群、伊豆大島火山、新島火山、神津島火山、三宅火山、八丈島火山、大山火山、三瓶山火山、由布・鶴見岳火山、九重火山、雲仙岳火山、阿蘇カルデラ、霧島山火山、桜島-始良カルデラ、阿多・池田カルデラ、鬼界カルデラ）について文献から過去数十万年間のマグマ噴出量の時間変化に関する情報を抽出し、噴出量-時間階段図を作成して、データベース化した。データベース化にあたっては、昨年度と同様に各噴火のマグマ量や噴火年代の元データも表示し、その信頼性の検討が可能なものとしている。その上で北海道・東北地方の火山について整備した平成25年度成果の成果と合わせて、我が国の代表的火山の長期的な活動傾向に関する知見として当所 HP から一般向けに公開した。

大規模な噴火を繰り返す火山や終息傾向にある指標策定に重要な火山については、階段図の高精度化に必要な地質調査と年代測定を実施し、噴火イベント・噴出量・噴火年代を認定し直し、上記のデータベースに成果を反映させた。平成25年度に検討を行った日光火山群、蔵王火山、赤城火山、利島火山、十勝火山に加えて、三宅島火山、黒姫火山について、引き続き地質調査やマグマ組成変化の検討、噴出物の年代測定を実施した。さらに、今年度は十和田火山の噴火履歴高精度化のために、ルミネッセンス年代測定のための調査を行った。青森県の上北平野には、10万年前以降

の十和田火山起源の火山灰層が堆積しており、ボーリング掘削により火山灰層を含む連続的な地層を採取し、火山灰層と互層する砂層や泥層に対するルミネッセンス年代を適用する。

##### 2) 大規模噴火の事例調査

10万年前よりも若い時期に大規模噴火を起こした十和田・支笏・阿蘇カルデラをモデル事例とした地質調査を実施し、大規模噴火準備期の噴火履歴の詳細な調査を行った。また、インドネシアでは過去1000年間に3回のカルデラ形成噴火が発生しており、カルデラ火山を調査する上で好適なテストフィールドであることから、比較対象事例として現地調査を行った。

十和田火山については、カルデラ形成に先行する先カルデラ期及びそれに引き続くカルデラ形成期の噴出物の連続サンプリングを目的としたボーリング掘削調査をカルデラ北東縁で実施するとともに、得られた試料の放射年代測定や化学分析等を実施した。また、掘削地点周辺の地表踏査や音波探査等によるカルデラ湖底の構造調査も合わせて実施している。

支笏カルデラについては、平成25年度までの調査結果を整理するとともに、地表踏査に加えてボーリング掘削調査を実施し、支笏火砕流噴火に先行する火山噴出物の存在確認と、支笏火砕流堆積物の連続試料採取による大規模カルデラ形成噴火の推移の詳細化を行った。また、野外調査では、支笏カルデラ形成以前の長期の火山活動履歴調査のための地質調査および K-Ar 法による火山岩の年代測定を実施した。

阿蘇カルデラについては、4回の大規模火砕流噴火直前の火山活動の確認を目的に、カルデラ壁に露出した噴出物の野外調査を実施した。そのうち特に最初の火砕流噴火である阿蘇1に先行した降下火砕物対象に火山ガラス・斑晶鉱物や包有物の化学組成分析を実施し、マグマ形成条件の検討を行った。

インドネシアのカルデラ形成噴火では、これまでの調査研究によりインドネシアのカルデラ火山では成層火山体を建設するステージからカルデラ形成噴火に至る数千年間で噴出率、噴火様式、マグマの性質に変化が見られることがわかりつつある。今年度は AD1257年にカルデラ形成噴火を起こしたロンボク島のリンジヤニ火山を対象にカルデラ形成噴火前後の全岩化学組成分析を行った。

##### 3) 火山影響評価のためのマグマ供給系発達過程の検討

噴出量-時間階段図データベースで取り上げる火山の中から重要度の高いものについて、噴出物の全岩化学組成（主成分、微量成分、同位体比など）分析や斑晶鉱物の微小領域化学組成分析を行い、噴火をもたらしたマグマ供給系の発達過程を検討した。

具体的には、日光火山群、御嶽火山等火山噴出物の年代層序がある程度確立された活火山において、最新の ICP-MS を導入し、年代既知試料について系統的



な全岩微量成分分析を実施した。この分析により、マグマの多様性の原因となる、結晶分化、地殻混染、マンントル物質の不均質等の寄与の程度を明らかにした。

鬼界カルデラについては、7.3千年前のカルデラ形成噴火である鬼界アカホヤ噴火初期に噴出した降下軽石の鉱物およびメルト包有物について EPMA および SIMS による微小領域化学分析を行い、マグマの温度・圧力条件を決定した。さらに、同噴火で噴出した火砕流堆積物について、野外地質調査、XRF および ICP-MS による全岩化学分析、SEM および EPMA による鉱物や石基の微小領域化学分析を行い、大規模噴火マグマの化学的特徴と温度条件を明らかにした。さらに、斑晶鉱物中のメルト包有物の揮発性成分 ( $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、S) の濃度測定を EPMA および SIMS を用いて行い、マグマの揮発性成分濃度を明らかにし、大規模噴火をもたらしたマグマ溜まりの圧力条件を検討した。

#### 4) カルデラ噴火前兆評価シミュレーション技術開発

カルデラ噴火前兆評価シミュレーションの前提となるカルデラ火山のマグマ溜まりについて、地球物理学的にその存在を検出した報告事例について、主に2000年以降の文献をレビューし結果を整理した。また、前兆評価シミュレーション技術開発では、地上においてのみ観測される地殻変動からカルデラ噴火の前兆（準備過程）を捉える新たな視点を確立し、それに沿った噴火評価基準の指針の提案を試みていく今後の研究に備えて、数値実験モデルの簡単な検証を行った。まず、カルデラ噴火に先立つ大規模マグマ溜まりの増圧や減圧が観測されることが想定されており、想定される複数のモデル及び推定される地殻変動のパターンについて、弾性モデルによる Mogi モデルによる簡易地殻変動計算を行い基本的なパターンを把握した。また、弾性変形にマグマの移動による破壊を含めた弾塑性モデルとして、個別要素法による地殻変動シミュレーションを行い、地殻変動パターンの特徴を把握した。さらに、3次元並列化有限要素コードを用いて、地殻内におけるマグマの蓄積に対する地殻・マンントルの粘弾性応答、つまりマグマの挙動が生み出す地殻変動の振る舞いを定量的に記述した。大規模カルデラ噴火に至るマグマ溜まりの場合、これまで主に注目されていた上部地殻におけるマグマの挙動だけではなく、より深部の中部・下部地殻における挙動も視野に入れる必要があるため、弾性応答だけではなく粘弾性応答を考慮することが重要になることを指摘している。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕火山活動履歴、大規模噴火、カルデラ、シミュレーション

〔研究題目〕南鳥島における多成分連続観測によるバックグラウンド大気組成変動の高精度モ

## ニタリング

〔研究代表者〕村山 昌平（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕村山 昌平、石戸谷 重之、宇佐美 哲之（環境管理技術研究部門）  
下坂 琢哉、青木 伸行（計測標準研究部門）（常勤職員4名、他1名）

### 〔研究内容〕

本研究では、気象庁南鳥島観測所において、大気中酸素 ( $\text{O}_2$ ) 濃度、二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) 安定同位体比の高精度連続観測を実施する。また、大気観測用  $\text{O}_2$  濃度標準ガスを開発し観測データの標準化を図る。

H26年度は、南鳥島において、フラスコサンプリング法と質量分析計を用いた手法による大気中  $\text{O}_2$  濃度の高精度観測を行い、陸上生物活動および大気-海洋間  $\text{O}_2$  交換に起因した季節変動と、化石燃料消費に起因すると考えられる経年減少を捉えることに成功した。さらに、大気中  $\text{O}_2$  濃度連続観測に応用し得る高精度の磁気式  $\text{O}_2$  分析計を選定し、現場観測に必要な観測システムを設計して製作した。フラスコサンプリング法と質量分析計を用いた手法による大気中  $\text{CO}_2$  の安定同位体比の高精度観測を行い、 $\text{CO}_2$  濃度の変動と組み合わせた解析により、季節変動の要因について考察を行った。また、これまでのデータから、 $\text{CO}_2$  の安定同位体比の長期トレンドの年々変動の特徴を明らかにした。SI トレサブルな高精度  $\text{O}_2$  標準ガスの開発に着手し、 $\text{O}_2$  濃度の不確かさ 1ppm 以下の  $\text{O}_2$  標準ガスを質量比混合法で調製するための準備を行った。目標とする高精度  $\text{O}_2$  標準ガスを調製するために、 $\text{O}_2$  秤量に小型の容器を用い、その質量測定に適した高精度天秤を用いることで秤量不確かさの向上を図った。また、調製した高精度  $\text{O}_2$  標準ガスの濃度の妥当性を評価するために使用する磁気式  $\text{O}_2$  計の高精度化も行った。

〔分野名〕環境・エネルギー、計測・計量標準

〔キーワード〕南鳥島、酸素濃度、二酸化炭素安定同位体、バックグラウンド大気、連続観測、高精度酸素濃度標準ガス、炭素循環

〔研究題目〕センサーネットワーク化と自動解析化による陸域生態系の炭素循環変動把握の精緻化に関する研究

〔研究代表者〕前田 高尚（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕前田 高尚、村山 昌平、石戸谷 重之、近藤 裕昭（常勤職員4名、他5名）

### 〔研究内容〕

運用中の陸域生態系炭素収支の長期連続観測を継続しつつ、遠隔地にある観測現場の測器からのデータ収集、処理、データベース搭載までのプロセスに、観測機器運用の遠隔監視やデータ流通・解析の自動化といった情報通信技術を、参画他機関と共同でそれぞれの観測サイトに導入し、これらを通じて安定で精度の高い観測とその

データベース化、他の観測データとの統合を技術面から推進する。

平成26年度は、岐阜県高山市（高山観測サイト）、タイ中西部カンチャナブリ県（メクロン観測サイト）、タイ東北部ナコンラチャシマ県（サケラート観測サイト）の森林内において、大気・陸面間の二酸化炭素フラックスおよび気象等の関連環境諸量の観測を継続して実施した。現地でも得られた2014年の気象等のデータでは、高山では夏季の日射量の減少および低温が、タイでは雨季前半の少雨および低土壌水分量が、他の年より顕著で、エルニーニョ現象と思われる異常気象の影響が示唆された。今後これに伴う植生の活動や二酸化炭素収支の変化について詳細な検討を行う。

現地観測のセンサーネットワーク化のためのシステムの構築と改良では、障害発生等の自動遠隔監視を上記3サイトで、センサ類とデータ収録機器、通信機器について通年運用を行い、欠測期間を短縮できた。特にタイの2つの観測サイトでは、現地訪問作業を増やすことなく、フラックス測定用データ取得率が2サイトの平均で90%を達成した。並行して、国内外3サイトそれぞれから受信した一般気象等の環境データの自動処理を構築し、準実時間での可視化と整形を開始した。また、フラックス測定用データ処理自動化のための現地対応を始めた。

その他、現地訪問時や国内外の学会集會等において、情報交換や人材育成活動を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】地球温暖化、二酸化炭素収支、陸域植物生態系、環境情報

【研究題目】地震動評価のための柏崎広域地下構造モデルの高度化及び精度検証

【研究代表者】吉見 雅行（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】吉見 雅行、林田 拓己（建築研究所）、堀川 晴央、高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

目的は旧原子力安全基盤機構が柏崎深部地震動観測システムプロジェクトにおいて作成した広域地下構造モデルの高度化並びに地下構造モデルの設定方法の検討に資するため、広域地震動観測データ（15観測点）及び電磁探査データ（1測線）等を既存の地下構造モデルデータに追加・再整理し、広域地下構造に関する総合解析・評価を行うことである。このため、既存の地形・地質・物理探査・地震動観測データを用いて、3次元速度構造のジョイントインバージョン解析を実施し、観測データを総合的に満足する地下速度構造モデルを探索した。さらに、2014年栃木県北部の地震の再現計算を実施し、モデルの精度を評価した。

【分野名】地質

【キーワード】地下速度構造、新潟地域、ジョイントイ

ンバージョン、地震動

④その他省庁

【研究題目】耕作放棄地を活用した大規模スケールでの藻類バイオマス有効利用技術の確立

【研究代表者】芝上 基成

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】芝上 基成（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

微細藻類の中にはその細胞内に多量の油分を蓄積するものが存在することが知られており、この藻類由来オイルの利用可能性について国内外で積極的に検討が行われている。その主たる出口イメージとして燃料、例えば航空機燃料などが挙げられる。この用途においては大量生産が要求されることから、特に生産規模の拡大において微細藻類産業を大いに振興することにつながるものである。しかしその一方で、本来燃料は安価でなくてはならず、低廉化のための研究開発があわせて求められているが検討の余地はまだまだ広いのが現状である。本研究課題では、ある種の微細藻類が産生する、燃料として利用可能な炭化水素の燃料以外の用途開拓を目的としたものである。そのための手段としては、有機合成化学的手法による化学修飾、および天然の炭化水素を異種分子と混合することの2つが挙げられる。平成26年度は主として後者について検討した。具体的には、各種汎用樹脂に微細藻類由来炭化水素を10～100重量パーセント混合して得られる樹脂の諸物性について検討を行った。特に、疎水性である汎用樹脂と混合した場合、いずれの組成においても樹脂は可視光領域で透明性を発揮することから、汎用樹脂と藻類由来炭化水素は分子レベルで相溶であることが示唆された。これは微細藻類由来炭化水素の高い疎水性に由来するためと考えられる。さらに可塑性について検討を行ったところ、混合比率に応じて樹脂は異なる可塑性を発揮することが確認された。以上の結果は、汎用樹脂の添加剤、具体的には可塑剤としての利用可能性を示唆するものと考えられた。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】微細藻類、樹脂添加剤

【研究題目】耕作放棄地を活用した大規模スケールでの藻類バイオマス有効利用技術の確立

【研究代表者】村田 和久（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】村田 和久、劉 彦勇  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

ボトリオコッカス産生油の運輸燃料（ジェット燃料・軽油）への変換技術では、炭素数30を越える炭化水素オイルの水素化分解により、炭素数10から20のジェット燃料・軽油を製造するための触媒と反応条件を探索し、またオイル中の不純物の反応への影響を把握すること、

さらには得られたオイルの品位を評価することにより、目的燃料の収率向上を目指す。またオイル抽出残渣の有効利用に関して、急速熱分解法を検討する。

産生油からのジェット燃料・軽油製造のための水素化分解法について、H26年度は再生触媒でも収率30%を目指した。ボトリオコッカス産生油の2回再生触媒によるバッチ式の水素化分解では、温度、水素圧、触媒、原料／触媒比などを探索し、粗油、精製油ともに今年度目標を超える30%超のジェット燃料＋軽油相当分の収率を示し、使用触媒系の運輸燃料化への可能性を示すことができた。またスクワレン原料による流通式反応を水素／油＝800、水素2MPa、LHSV=1.6 h<sup>-1</sup>、310℃、で行ったところ、バッチ式反応と同程度のジェット燃料・軽油収率が得られることを確認した。液体生成物の物性評価を行った。残渣の急速熱分解を550-650℃で行い、炭素数10から20の炭化水素製造の可能性を確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】藻類産生炭化水素油、水素化分解、ジェット燃料・軽油、抽出残渣

【研究題目】林地残材を原料とするバイオ燃料の製造技術の開発

【研究代表者】鈴木 善三（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】鈴木 善三、松田 聡、細貝 聡、陳 玉蓮（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、林地残材を原料とするバイオマス急速熱分解によるバイオ燃料の製造技術を開発する。そのため、バイオマス粒子の熱分解機構のモデル化、熱分解装置の最適化、熱分解プロセスの性能評価・最適化、生成オイルの性状と現行の化石液体燃料規格との比較等を行う。今年度は、プレート加熱型粒子落下式急速熱分解装置を用いて急速熱分解実験を行い、バイオマス粒子の熱分解の進行を予測可能な急速熱分解モデルの構築を行った。また、本研究で採用したオージェ型熱分解装置の内部における急速熱分解反応をモデル化するべく、粒子シミュレーションを用いたオージェ内部粒子の挙動の数値計算を行った。これによりオージェ内部の熱媒粒子とバイオマス粒子の混合過程を明らかにし、より粒子混合と伝熱が改善するようなスクリュウ形状の提案を行い、実機でその効果を確認した。プロセス評価では、現行のベンチ装置の熱・物質フローを評価し、熱・物質収支計算を行った。この結果を元に、バイオオイルの製造コストを見積もった。また、プロセスの熱効率を改善するため、副生するチャーを急速熱分解に必要な熱源として用いる場合の効率を試算し大きく熱効率が改善されることを確かめた。この結果を現行のベンチ装置に反映させるため、装置内部での具体的なチャーの熱源としての利用方法を提案した。製品の利用法の探索では、製造したバイオオイルの性状を化石燃料の規格と照合し、石油製品を代表

とする既存の化石燃料と競争可能なバイオオイルの利用方法を検討した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオマス、急速熱分解、プロセス解析

【研究題目】ダイヤモンドを用いた次世代量子暗号用素子の基盤技術開発研究

【研究代表者】山崎 聡（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】山崎 聡（常勤職員1名）

【研究内容】

単一光子源素子や量子ノード等の将来の実用化を見据えた際、要求される重要な技術要素として室温動作できる点、電気的動作ができる点、実用レベルの効率化が挙げられるが技術的な課題が多く、実現されていない。本研究ではダイヤモンド中の発光中心に注目し、室温動作する高効率な単一発光素子実現に向けた基盤技術及び量子ノード素子の将来の実用化に必要な、スピンの電気的制御及び電気的検出に関する基盤技術の創成を目指す。

NV 中心には保有する電子数に応じて異なる電荷状態がある。そのなかで負に帯電した NV<sup>-</sup>では光励起による電子スピンの初期化と読み取りが可能である。しかし NV<sup>0</sup>は光励起によって中性の NV<sup>0</sup>などに変化する。そこで、n 型ダイヤモンドを作製することにより、光励起下において、NV<sup>0</sup>への変化を抑制し、全測定時間の99%以上を NV<sup>-</sup>にすることに成功した。これは NV<sup>-</sup>の EL 観測、及びその電流注入型素子を用いたスピンの電気的制御及び EL 強度の増大に資する成果と言える。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】情報通信、ダイヤモンド、電子デバイス

【研究題目】平成26年度厚生労働科学研究委託費（再生医療実用化研究事業）非組換え生物薬品（NRBCD）の品質安全性評価法の開発

【研究代表者】石井 明子（国立医薬品食品衛生研究所 生物薬品部 第二室長）

【研究分担者】高橋 かより（計測標準研究部門）

【研究協力者】高津 章子、絹見 朋也、山崎 太一（計測標準研究部門）

【研究内容】

米国薬局方（USP）やヨーロッパ薬局方（EP）において、ヘパリンの分子量評価の導入の動きがあり、日本薬局方においても、ヘパリンの分子量測定的重要性が考えられている。一方でヘパリンは基本骨格の官能基が異なる分子によるポリマーであり、重合度と分子量が厳密には一致しない。そこで、本研究ではヘパリンの分子量測定の基準として、特定の化学構造を有するプルランを用いることが可能かについての検討を目的として研究を行った。

ヘパリン類は多種の重合体の混合物であり、重合度や置換基が単一でないことから、ヘパリン類分析の高度化のために、(1)分子量による分離手法の開発、さらに、(2)分離した試料に対する分子量分析手法の開発を行う必要がある。本研究では、(1)分子量による分離手法の開発のため、液体クロマトグラフィー (HPLC) とサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) の分離技術を適用し、分子量に対する高分解能分離を行った。また、(2)分離した試料に対する分子量分析手法の開発のため、(1)において分離された狭分子量分布をもつヘパリンに対して光学的計測手法を適用し、分子量の絶対測定ならび SEC 等簡易測定法のための分子量マーカーとなる物質の開発を行った。

分取 LC により得られたヘパリンの分子量測定から、ヘパリンの分子量マーカーとして、化学構造が単一なプルランを利用できる可能性が示唆される結果が得られた。SEC においては移動相条件でヘパリンのクロマトグラムに変化が見られたため、分子量測定する際の適切な移動相条件が必須である。分子量測定においては、ヘパリンはプルランに比べて分子間引力が働きやすい傾向にあり、水中では非常に大きな会合体を形成していると推測された。光散乱計測による第2ビリアル係数測定を行うことにより、分子間相互作用がプルランと同様に正となるような塩添加等の条件を精査することが重要であることが明らかとなった。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕生物薬品、品質公定試験法、薬局方、分子量、分子量分布、分子量マーカー、標準化

〔研究題目〕細胞チップを応用した超高感度マalaria診断装置の開発

〔研究代表者〕片岡 正俊 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平 (常勤職員3名、他2名)

〔研究内容〕

目標：

世界3大感染症の一つで、WHO を中心として世界的な対策が図られているマalariaについて、治療法とともに大きな課題とされる診断法の確立を目標に、産総研独自の技術であるマイクロメーター単位のマイクロチャンバーを2万個、アレイ状に配列した細胞チップ基板技術を応用して、迅速・超高感度・易操作性のマalaria超早期診断デバイスの開発を進める。そのため、アフリカを中心とするマalaria流行地域での実証試験を企業との共同ですすめ、フィールドで誰でも簡単に使用できるデバイス開発を進める。さらに、感染マalaria種の同定や薬剤耐性の有無を判定するため、オンチップ PCR 系の構築を目指す。

研究計画：

マalariaは年間2億人の感染者と66万人が死亡する赤血球へのマalaria原虫による寄生虫感染症である。マalaria対策の大きな問題点として、迅速・高感度・易操作性の診断法は未だに開発されておらず、赤血球ギムザ染色の光学顕微鏡を用いた肉眼的観察がゴールドスタンダードとされている。我々は、民間企業との共同研究により開発中の赤血球分離用カラムと蛍光検出機、さらに細胞チップによる実証試験を目的に、アフリカや東南アジアなどマalaria流行域において患者血液を用いて、全血からの赤血球分離カラムによる赤血球分離・細胞チップでのマalaria感染赤血球染色と開発した蛍光検出機によるマalaria検出のフィールドテストを行う。H26年度では、ウガンダ共和国でのフィールドテストの結果、擬陽性や偽陰性がなく迅速・正確かつ易操作性な検出が可能なが示された。さらに大規模なテストを行い、製品化へのフィードバックを図る。また、オンチップ PCR 系の構築のため、一細胞 PCR 系の条件検討を進めると同時にマイクロチャンバーを反応場とした PCR 反応を構築する。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕マイクロナノデバイス、細胞チップ、ギムザ染色、マalaria、マalaria診断、寄生虫感染症、光学顕微鏡、赤血球分離、蛍光検出、種、薬剤耐性

〔研究題目〕共生細菌によるカメムシ類の農薬抵抗性獲得機構の解明

〔研究代表者〕菊池 義智 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕菊池 義智、堀 知行、佐藤 由也 (常勤職員3名、他4名)

〔研究内容〕

多くの昆虫の体内には共生細菌が生息し、宿主に対して重要な生物機能を果たしている。最近我々は、ダイズの重要害虫として知られるホソヘリカメムシが環境土壌中のフェニトロチオン分解細菌を体内に共生させ、これによってフェニトロチオン抵抗性になるという現象を発見した。これまでの研究から、この現象は①農薬散布による土壌中の農薬分解細菌の増殖、②増殖した農薬分解細菌のカメムシによる選択的取り込み、③カメムシ体内に定着した農薬分解細菌による解毒という3つの過程を経て起きると考えられるが、それぞれの過程でどのような細菌群集動態、感染機構、遺伝子発現が見られるのかはまったく分かっていない。本研究では、これら3つの過程それぞれについて、野外調査と遺伝子発現の網羅的解析・操作実験を有機的に組み合わせ解析することで、共生細菌によるカメムシ類の農薬抵抗性の獲得機構および分子基盤を総合的に明らかにすることを目的とした。今年度はこれら農薬分解細菌の感染動態や体内解毒機構について以下の点が解明された。①次世代シーケンス解析により、土壌細菌叢の内わずか0.006%を占めるに

すぎない *Burkholderia* 系統の農薬分解細菌が選択的にカメムシに獲得されることを解明した。②土壌・作物・害虫カメムシの細菌群集を包括的に解析し、野外農耕地環境における農薬分解細菌の群集動態を解明した。③ゲノム比較解析により共生細菌系統特異的遺伝子を同定し共生の成立に重要な遺伝子を発見した。④遺伝子破壊実験により農薬分解遺伝子の機能と農薬分解経路を決定した。⑤内部共生時には農薬分解がカメムシと細菌の協力の下で行われることを解明した。⑥分解細菌が持つ農薬分解遺伝子遺伝子が土壌診断の標的になることを示した。以上の結果は、土壌中の農薬分解細菌による害虫カメムシの農薬抵抗性獲得機構の総合的な理解につながる成果であり、農薬抵抗性化のリスク評価および診断技術、さらには害虫カメムシの新規防除技術の開発につながる基盤的な知見といえる。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】昆虫、微生物、農薬抵抗性、病害虫防除

【研究題目】平成26年度野菜栽培による農業経営を可能とする生産技術の実証研究委託事業

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究内容】

福島県は、東日本大震災による地震、津波被害に加え東京電力第一原子力発電所の事故による放射性物質による影響が極めて大きい。本研究は、津波、原子力災害の被災地である浜通り地域が、県内向けの種苗供給産地であったことから、種苗生産に着目し、地域農業を最先端種苗産業として発展させることで、雇用対策や地域農業の起爆剤として、復興の後押しとなる実証研究を行うものである。

プロジェクト全体の研究課題としては、①高付加価値苗の技術確立、②育苗労力低減技術確立、③苗生産における放射性物質のリスクマネジメントの確立研究に取り組み、研究担当者は、研究課題③のチームリーダーとして、育苗における放射性セシウムの影響回避のための育苗施設内の放射性セシウムのモニタリング技術確立、施設内に影響を及ぼさないための放射性物質除去システムの開発・導入、育苗環境の最適化に関する研究を推進している。

具体的には、育苗施設内で簡易に実施可能な水中の放射性セシウムのモニタリングおよび浄化手法の開発を、研究担当者らが開発したプルシアンブルーおよびその類似体を担持した不織布を用いる技術を応用して実施した。また、大気中の放射性セシウムの簡便なモニタリング方法の検討、さらには育苗環境が苗中の放射性セシウムに与える影響についても検討した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】放射性セシウム、野菜栽培、育苗環境、農業振興

【研究題目】施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発

【研究代表者】山本 佳孝（メタンハイドレート研究センター）

【研究担当者】鈴木 正哉、森本 和也  
（常勤職員2名）

【研究内容】

施設園芸における収量増加と品質向上を目的としたCO<sub>2</sub>施用では、灯油燃焼式CO<sub>2</sub>発生機や液化炭酸ガスボンベが主に用いられている。これに対し、加温機の排気からCO<sub>2</sub>を回収貯留し、園芸作物への施用ができれば、CO<sub>2</sub>排出総量と燃料費の削減が期待できる。また、貯留された高濃度CO<sub>2</sub>を利用すると、効率的な局所CO<sub>2</sub>施用も可能となる。そこで、加温機排気中のCO<sub>2</sub>を効率よく回収貯留し再利用するための、施設園芸用CO<sub>2</sub>貯留・供給装置を開発することを目的としている。

今年度は、施設園芸用CO<sub>2</sub>貯留・供給装置において、水蒸気が存在する条件でもCO<sub>2</sub>の吸脱着が可能な吸脱着剤の探索・選定を行った。その結果、活性炭はゼオライトと異なり、相対的に水蒸気を多く吸着するとCO<sub>2</sub>を放出し、CO<sub>2</sub>を多く吸着すると水蒸気を放出することから、水蒸気存在下でもCO<sub>2</sub>の吸脱着工程が繰り返し行えることが明らかとなった。さらに様々な活性炭について検討を行ったところ、活性炭の違いによるCO<sub>2</sub>吸脱着量の差異は少なく、現在試作を行っているCO<sub>2</sub>貯留・供給装置において3kgのCO<sub>2</sub>を貯留・供給するには、最低でも240Lの容器に225kgの活性炭を充填する必要があることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】施設園芸、二酸化炭素、活性炭

【研究題目】生態系ネットワークの再生によるアサリ資源回復・生態系修復技術の開発

【研究代表者】高橋 暁（地質情報研究部門）

【研究担当者】高橋 暁、安永 恵三子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

瀬戸内海において漁獲量が激減しているアサリの資源量回復を目的に、その原因究明として、アサリ生態系ネットワークの分断箇所を特定するため、広島湾と松永湾を対象海域に、浮遊幼生分布調査や流況調査の結果と、アサリ浮遊幼生の移流・拡散モデル実験結果を合わせた流動解析を行う。

今年度は、潮汐・風・海面熱収支・河川流入を考慮した広島湾の流動モデルを作成し、同湾の潮流・吹送流・密度流を精度良く再現することに成功した。また、このモデルを用いてアサリ浮遊幼生に見立てた粒子の移流拡散数値実験を行った結果、広島湾においては春季と秋季で浮遊幼生の輸送過程に違いがあることが明らかとなった。

【分野名】地質

【キーワード】アサリ、浮遊幼生、生態系ネットワーク、移流・拡散数値モデル実験

【研究題目】肝疾患病態指標血清マーカーの開発と低侵襲かつ効率的に評価・予測する新規検査系の実用化

【研究代表者】成松 久（糖鎖創薬技術研究センター）

【研究担当者】成松 久、梶 裕之、久野 敦、  
梅谷内 晶、佐藤 隆、雄長 誠、  
松田 厚志、曾我部 万紀、萩原 梢、  
藤田 弥佳、海野 幸子  
（常勤職員4名、他7名）

【研究内容】

本邦には約300万人の B・C 型ウイルス性肝炎患者が存在し、肝炎関連疾患で年間約4万人が死亡している。現在肝がんは早期発見できれば5年生存率は7割を超えているが、現時点での肝がんマーカーである AFP、AFP-L3、PIVKA-II を駆使した早期がん検出の正診率は7割に留まり、高価な CT、MRI、超音波機器を駆使しているのが現状である。正診率向上には1つのマーカーや診断技術に頼るのではなく、病変（病態）を細分化しそれぞれを定量的に検出できるマーカー（分子病態マーカー）の開発と、その実用化が必須である。本研究では、これら肝炎患者の、病態の進展や予後予測、治療効果を判定する検査薬を開発、実用化し、適切な治療の開始、治療法の選択による患者 QOL の向上に資することを目的とする。

本目的達成のため、①（病理解析を応用した肝がん糖鎖）マーカー探索班、②（微量迅速測定）キット開発班、③（多施設共同による）バリデーション班の3つの開発班を設定し、それぞれに適切な人材・技術を配置すると同時に、役割を明確にする。

以下に各班の本年度における成果を要約する。

① マーカー探索班

- 肝がん特徴的な糖鎖変化を、肝がん組織を対象としたレクチンアレイで見出した。簡易レクチン評価法等において、当該糖鎖変化を1つのレクチン X の反応性で説明できることを確認した。
- レクチン X を用いたがん部・非がん部の組織染色により、がんの特徴的な染色パターンを確認した。
- FFPE 簿切試料（5 $\mu$ m 厚、1mm<sup>2</sup>領域）を対象とした、IGOT-LC/MS 分析により、200種の糖タンパク質の同定を可能にする手法を確立した。
- 糖鎖付加位置ごとの糖鎖バラエティをハイスループットに同定する分析手法を構築し、バイオマーカー候補における糖鎖変化を確認できるようにした。
- レクチン X 結合性糖タンパク質を、肝がん培養細胞株培養上清より370種の糖タンパク質を同定した。

② キット開発班

- 肝硬変マーカー WFA<sup>+</sup>-CSF1R の微量迅速測定キット用のキャリブレーション作製技術を開発し、供給体制を構築した。

- 性能比較のため ELISA を実施したところ、開発したリコンビナント体は市販品に比べ、検出レクチン（WFA）との結合性で7.76倍高く、優れていた。

③ バリデーション班

- 肝硬変マーカー WFA<sup>+</sup>-CSF1R の臨床の有効性を先行検証するために、市販抗体やレクチンを活用したマニュアルサンドイッチ ELISA 系を構築した。
- 収集された臨床検体の一部について、バリデーション試験を実施したところ、構築した測定は肝細胞がんの「高発がん群」の同定に有用であり、高危険群の囲い込みに有用となる可能性が示された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】糖鎖、糖タンパク質、疾患糖鎖バイオマーカー、グライコプロテオミクス、肝臓疾患、肝細胞がん、迅速診断

【研究題目】農林水産資源を活用した新需要創出プロジェクト 平成26年度国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発委託事業

【研究代表者】根本 直（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】根本 直、廣山 華子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は国産農産物のもつ品質に対して新しく実用的な計測尺度の構築を目指している。農産物の代表として、品種が多くその健康効果や成分などの基礎的知見が蓄積されているトマトを解析対象とし、NMR-メタボリック・プロファイリング（MP）によって成分を包括的に解析し、他の機器分析データや品質評価データと関連づけることで、隠れた品質・複雑な品質を簡便に計測する技術を開発することを目標としている。

様々な品種・栽培条件の生育履歴のはっきりとした生食用・加工用トマト試料の提供を受け、そのまま、あるいは凍結乾燥粉末やジュースに加工したものについて、NMR-MP 計測のための試料調製法、NMR の測定条件、データ処理法等の検討を行った。また、NMR-MP により試料の特性を多変量解析で可視化し、試料の特性を反映する NMR シグナルの特定を試みた。

その結果、品種ごとに大まかな散布傾向が観察され、昨年と同様の状況を再現し、品種ごとのクラス形成を認めた。品種によっては散布界が大きい物も存在した。さらに、他の機器分析データや品質評価データとの統合解析に相応しい標的試料と変数を選択し、マーカーシグナルのアノテーションを行った。

NMR-MP 法により、Exploratory Analysis として探索的統計解析を実施し、その情報を他チームに提供することにより、計画策定に寄与し、トマトジュースの種類

や製造工程等での差異の比較検討を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 メタボロミクス、NMR、非標的分析、探索的統計解析、農産物

〔研究題目〕 国産農産物の多様な品質の非破壊評価技術の開発 平成26年度国産農産物の輸出先における嗜好性の予測技術の開発

〔研究代表者〕 根本 直（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 根本 直、廣山 華子  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究課題では、国産農産物の輸出先の国・地域の消費者の嗜好性と輸出する農産物の多様な品質の双方を正確に、かつ容易に把握できるようにするとともに、輸出先の嗜好性に適合する品質を容易に判別できるようにするための技術を開発することを目的としている。

輸出する国産農産物として産地や品種が異なるモモを対象とし、配布された国産食用モモの凍結乾燥粉末について NMR・メタボリック・プロファイリング (MP) 計測のための試料調製法、NMR の測定条件、データ処理法等の検討を行った。また、NMR・MP により試料の特性を多変量解析で可視化し、その特性を反映する NMR シグナルの特定を試みた。

その結果、構成する特徴空間は、糖類・リンゴ酸の寄与が顕著であった。さらに、他の機器分析データや非破壊計測データ、品質評価データとおおまかに関連づけることで嗜好性に紐付けされるシグナルの候補を検討し、アノテーションを行った。また、緩衝液を用いない重水希釈簡易測定によりモモ単体の部位ごと9試料のスペクトルを検討し、縦方向における NMR スペクトルの類似性を見出し、今後の NMR 試料調製方法の基礎知見とした。単一果で部位によって食味が異なることは経験することであるが、食味に近い計測量として、NMR でモモ果実の特徴を把握するとともに有機酸の一種であるリンゴ酸のケミカルシフトの濃度依存性の変化を確認した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 メタボロミクス、NMR、非標的分析、探索的統計解析、農産物

〔研究題目〕 ウシの小型ピロプラズマ病に対するワクチンの開発研究

〔研究代表者〕 池原 譲（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 池原 譲、池原 早苗、山口 高志  
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業で実施した「家畜原虫病に対する Th1免疫誘導型糖鎖被覆リポソームワクチンの開発研究」の成果を実用化することである。

対象疾患は、学名 *Theileria orientalis* の感染により発症するウシの小型ピロプラズマ病で、畜産業界からのワクチン開発に対する強いニーズに応えるものである。貧血や発熱を主症状とする同病は現在においても、日本国内における発生と経済的被害の原因となっている一方で、有効な治療薬やワクチンが存在しないのである。

産業技術総合研究所、帯広畜産大学と東海大学は、新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業にて、ウシの小型ピロプラズマ病に対するワクチン開発・実用化が必要となる一連の技術やノウハウを確立した。本研究の目標は、ワクチンの製造販売事業を実施する機関（動物医薬品会社）へこれらの成果を移転し、畜産業からのニーズに対応するワクチン製剤を速やかに上市できるプロセス開発の完了である。

産総研では、同ワクチンの投与したウシに誘導される抗原特異的な Th1免疫応答について、定量的な検出評価技術を確認して知財化している他、免疫応答を担う抗原のエピトープ配列についても明らかにしている。事業実施機関となる動物医薬品会社に対して、関連する技術・ノウハウの移転を進めるとともに、薬事法及び動物医薬品の治験ガイドラインにおいて要求される事項の確認、要求される成績を得るためのワクチン効果試験を開始した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ワクチン、糖鎖、検査技術

〔研究題目〕 畑作の省力化に資するバイオプラスチック製農業資材分解酵素の製造技術と利用技術の開発

〔研究代表者〕 森田 友岳（環境化学技術研究部門）

〔研究担当者〕 森田 友岳、羽部 浩、佐藤 俊、小池 英明、白田 忍、雑賀 あずさ  
（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

生分解性プラスチック（生プラ）製の農業用マルチは、使用後の分解制御が普及のための課題となっているが、酵素処理による急速劣化で鋤込み可能になれば、生プラマルチの普及によって、廃棄物の削減だけでなく、労力を減らした畑の計画管理や大規模農業への対応が可能になると期待される。そこで本研究開発では、①生プラ分解菌の選抜と分子情報に基づいた培養条件の確立による生プラ分解酵素の大量生産、②遺伝子組換え手法による生プラ分解酵素生産性の飛躍的な向上、③多様な環境に適用するブレンド酵素剤の選定、の3つの研究課題に取り組むことにより、生プラ分解酵素の安定的な大量生産と、様々な農業環境で使用済みマルチの急速劣化を可能にするブレンド酵素を開発し、生プラ製農業用マルチの普及促進を目指す。

本年度は、生プラ分解酵素の生産量の向上を目指して、生プラ分解菌の遺伝子発現プロファイルを解析し、酵素

生産に関連する因子の抽出に着手した。また、生プラ分解酵素の活性阻害物質の生産を欠損した遺伝子破壊株を作製し、精製酵素を用いた *in vitro* 実験と合わせて、活性阻害物質の酵素生産及び活性阻害に対する影響の検証を進めた。また、生プラ分解酵素の分解特性を、前年度に確立した機器分析手法で評価し、生プラ成分をランダムに分解する可能性を示した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕生分解性プラスチック、農業資材、酵素、遺伝子組換え、ゲノム科学

〔研究題目〕針尾島(25)保管庫移設解析業務

〔研究代表者〕中山 良男(安全科学研究部門)

〔研究担当者〕中山 良男、松村 知治、杉山 勇太、若林 邦彦、久保田 士郎、和田 有司、緒方 雄二、高久 義裕、高柿 大輔、堀川 貴広、出雲 充生(常勤職員7名、他4名)

〔研究内容〕

地中式火薬庫(保管庫)の設置に際して、火薬類取締法施行規則に基づく特別承認を得るに当たり、当該保管庫の安全性に関して、委員会による検討、および実験等による基礎的なデータの収集・解析を行う。概要を以下に示す。

(1) 委員会による検討

4回の委員会と2回の視察を行った。委員会については、室内実験計画と数値解析計画の確認(第1回)、室内実験結果の評価と中規模室外実験計画の確認(第2回)、中規模室外実験結果及び数値解析結果の評価(第3回)、火薬庫の安全性に係る検討・評価の総括(第4回)、の4回であり、視察については、①中規模室外実験視察、②既設火薬庫及び火薬庫設置予定地域の視察、の2回である。

(2) 実験等による基礎的なデータの収集・解析

委員会での事前の確認、事後の評価を受けながら、火薬庫の安全性に係る室内実験と中規模室外実験を計画・実施した。また、実験を再現する数値解析手法を用いて、実規模火薬庫での安全性に係る検討を行った。得られた結果をとりまとめて委員会に報告し、適切であるとの承認を得た。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕地中式火薬庫、土堤、数値シミュレーション、保安距離、爆薬、扉飛散

2) 国以外からの受託収入

①新エネルギー・産業技術総合開発機構

〔研究題目〕固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究

〔研究代表者〕山地 克彦(エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕山地 克彦、岸本 治夫、Katherine Bagarinao、堀田 照久、趙 度衡、呂 佩玲、Jeffrey De Vero、石塚 香(常勤職員4名、他4名)

〔研究内容〕

これまで、平成17年度より平成19年度まで行われたNEDO「固体酸化物形燃料電池システム技術開発/信頼性向上に関する研究開発」をスタートとして、平成20年度から平成24年度にはNEDO「固体酸化物燃料電池システム要素技術開発/耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」の下、SOFCのスタック・モジュールメーカー及び他の研究機関と連携し、SOFCの耐久性向上に向けた基礎研究を遂行してきた。弊所では熱力学解析をベースに、二次イオン質量分析法やラマン分光分析法など種々の分析技術を駆使し、SOFC材料の信頼性を向上させるべく、その劣化挙動の把握とメカニズムの解明に取り組んできた。その成果を踏まえ、本年度から新たに、NEDO「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発/固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究」が開始され、弊所もこれまでの成果を踏まえ、発展的に成果を排出すべくプロジェクトにかかわることとなった。そこでは、10年間の耐久性(劣化率0.1%/1000h)を早期に見通すことを目標に、主に3つの課題、①中温筒状平板形の耐久性評価、②熱力学的解析による劣化機構解明と加速要因分析、③耐久性迅速評価方法の開発、に取り組むことになる。

本年度は①について、都市ガス燃料仕様は30,000時間超運転の2009・2010年度機、LPG燃料は16,000時間超運転の2011年度機を対象に、フィールド実証機の解体分析を新たに実施した。②については、各セルスタックの劣化挙動解明に向け、SIMS分析とラマン分光分析を中心に解体分析を開始し、空気極の被毒現象について、実機に近い条件での加速試験を開始した。また、モデル界面と用いた拡散対実験により、空気極/中間層/電解質界面におけるカチオンの拡散挙動とSrZrO<sub>3</sub>の生成挙動について評価を進めた。③については、電解質の経年劣化を予測するためのデータ整理と定式化を進め、東北大と共同で劣化シミュレーションの検討を開始した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕固体酸化物形燃料電池、SOFC、耐久性、信頼性、不純物、2次イオン質量分析計、セルスタック

〔研究題目〕風力等自然エネルギー技術研究開発/風力発電高度実用化研究開発/10MW超



## 級風車の調査研究（発電機）

〔研究代表者〕 淵野 修一郎

（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 山崎 裕文、淵野 修一郎、古瀬 充穂、  
名取 尚武、岡野 眞  
（常勤職員3名、他2名）

## 〔研究内容〕

昨今の我が国のエネルギーに関する諸事情から、風力発電は以前にも増して注目され、導入拡大が期待されている。一層の導入拡大のための課題は、設備利用率の向上と、発電コストの低減である。これらを克服するため、近年は2MW～5MW級の風車が主流となっており、さらに大容量風車の実現のための技術開発が世界的に盛んに行われている。風車の大型化に伴い顕在化してきた問題は、ナセル重量の増大である。

この問題を解決するため、現用発電機と同じく磁性材料を使用し、界磁巻線導体を酸化銅系高温超電導線材に置き換える「レトロフィット」方式を採用することにした。最大磁束密度は磁性材料の飽和磁束密度によって制限されるが、超電導の高い電流密度を活かすことにより、発電機の小型軽量化が実現できることが明らかになった。この超電導発電機の回転子は直径が約6mもあり、磁性材料を使用していることから、回転子全体ではなく、超電導界磁巻線だけを低温に冷却する機構の開発が求められる。各極の超電導界磁巻線をそれぞれ真空容器に納め、低温のガス配管と接触させて伝導で冷却する方式を採用した。

超電導発電機や超電導モータのような超電導回転機の冷却は、冷凍機を回転系に設置できないため、静止系より回転系へ冷媒を供給せざるを得ないのが現状で、超電導回転機実用化のボトルネックとなっている。そこで、この技術課題を解決するため、本要素技術開発においては、循環ポンプ内蔵型冷却システムの構築のため内蔵型循環ポンプと回転・静止型熱交換器の研究開発を行った。

循環ポンプに関しては、モジュールコイル1個分を冷却するのに必要な冷媒循環量を有する循環ポンプを設計・試作を行い、原理検証を行った。更に、要求仕様の冷媒循環を達成するための改良を行ったが、目標値は達成できなかった。その原因はスラスト力の不足であることが明確になり、この課題に対処することにより、10 MW超電導発電機用循環ポンプの設計手法を確立することにより、その実現可能性を示した。

回転・静止型熱交換器に関しては、設計条件を明確にするとともに、小型モデルでの性能試験等の知見も踏まえて、10 MW超電導発電機用熱交換器の設計手法を確立することにより、その実現可能性を示した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 超電導風力発電機、コイルモジュール、冷媒給排装置、循環ポンプ、回転・静止型熱交換器

## 〔研究題目〕 水素利用等先導研究開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査研究

〔研究代表者〕 高木 英行（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 高木 英行、嘉藤 徹、後藤 新一、  
村田 晃伸、小熊 光晴、田中 洋平、  
遠藤 栄一、安芸 祐久、野津 育朗、  
広津 敏博、松丸 陽子、吉原 美紀、  
宮本 銀一（常勤職員8名、5名）

## 〔研究内容〕

再生可能エネルギーはじめ CO<sub>2</sub>フリーあるいは低減可能なエネルギー源を用いて水素を製造し、水素・エネルギーキャリアに変換して貯蔵・輸送、利用するシステムについて、個別要素及び全体のシステム効率やコスト分析を行い、本システムが普及するためのシナリオを策定するとともに、技術的な課題を明らかにする。また、水素エネルギーの導入による長期的なエネルギー需給や二酸化炭素排出削減効果、導入のための標準規格、水素製造における風力エネルギー推計の高精度化等について調査・分析を行う。本事業で産総研は、「①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討」、「②用途別の許容コスト分析」、「③シナリオ検討」、「④CO<sub>2</sub>排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討」、「⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ」の5項目を実施したが、エネルギー技術研究部門では、④のLCA 的評価導入検討以外を担当した。

「①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討」については、(a)個別シナリオ・戦略検討、(b)水素製造における高効率熱利用の検討、(c)再生可能エネルギーを活用可能なアンモニア製造方法に関する調査、(d)液体水素計量法（ISO 規格）の検討、(e)水素製造技術分析を実施し、十分な成果を得た。

「②用途別の許容コスト分析」については、需要サイドから見た水素の「許容コスト」という概念（尺度）を用いて、発電、輸送、民生部門等の用途別に分析・評価を行い、その結果、許容コストは、マクロ面では、CO<sub>2</sub>排出量の制約、原油価格の水準、電源構成等の影響を、ミクロ面では、水素のサプライチェーンを構成する各要素のコストの削減やエネルギーの変換効率の向上に依存することを明らかにした。

「③シナリオ検討」では、各 WG の成果等を統合しながら、シナリオ検討・分析委員会に情報を上程し、委員による議論の取りまとめを行った。

「④CO<sub>2</sub>排出削減及び長期需給影響評価」では、日本の長期的エネルギー需給への影響評価について、エネルギーシステムモデルを用い、化石燃料等との相対価格、二酸化炭素排出制約、エネルギーキャリアを燃料とする発電技術の開発等の要因を考慮したエネルギーキャリアの導入分析を実施し、発電部門における導入が重要であること、量的には少なくとも導入に適した用途が個別に

存在することを明らかにした。

「⑤シナリオ検討・分析委員会及び各 WG のロジ」では、シナリオ検討・分析委員会を4回、エネルギーキャリア技術のコスト分析 WG を3回、用途別の許容コスト分析 WG を3回、液体水素の計量法検討 WG を1回開催した。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 水素、再生可能エネルギー、CO<sub>2</sub>フリー、エネルギーキャリア、水素サプライチェーン、技術開発、トータルシナリオ

【研究 題目】 パワーデバイス実用化を可能とする革新ダイヤモンド結晶成長技術開発

【研究代表者】 牧野 俊晴（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 牧野 俊晴、山崎 聡、竹内 大輔、小倉 政彦、加藤 宙光（常勤職員5名）

【研究 内容】

ダイヤモンド半導体は次世代材料として開発が進んでいる SiC や GaN と比べて絶縁耐圧、熱伝導率などにおいて優れた物性値を有しており、従来にない高性能なパワーデバイスの実現が期待されている。本プロジェクトではパワーデバイスへの展開を可能とするために必要となるダイヤモンド結晶成長技術の高度化を実現するとともに、デバイスプロトタイプによりダイヤモンドパワーデバイスのコアコンピタンスを実証することを目的とし、物質材料研究機構（NIMS）・東京工業大学・コーンズテクノロジー・産総研の4拠点で研究を進めている。

産総研では、pin 接合デバイス・接合型電界効果トランジスタ（JFET）等のダイヤモンドパワーデバイスを形成するためのプロセス技術の高度化を図るとともに、NIMS が作製した高品質ダイヤモンド膜で基本的な接合構造を形成しデバイス特性を解析することによって、高品質ダイヤモンド膜のパワーデバイスへの有用性を実証する。

本年度は JFET のノーマリーオフ特性に必要なサブミクロン微細加工プロセス技術の開発を行い、電子線リソグラフィと反応性イオンエッチングプロセスの高度化および統合によりサブミクロンスケールの微細なメサ構造（メサ構造の幅0.5μm 以下、メサ構造の幅と高さのアスペクト比8以上）を形成することに成功した。さらにこの微細構造を JFET のチャンネル部分に応用することにより、ノーマリーオフを実現した。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 パワーデバイス、ダイヤモンド

【研究 題目】 水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発／発電機能を有する水素製造装置を用いた水素製造・貯蔵

・ 利用システムの研究開発

【研究代表者】 中納 暁洋（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 中納 暁洋、伊藤 博（常勤職員2名）

【研究 内容】

平成26年度は本事業で開発を行うシステムと類似の水素システムで採用されている水素貯蔵装置の水素貯蔵方法に関し調査を行った。我々がこれまで開発を進めてきたラボスケールの統合型水素エネルギー利用システム、サバンナリバー国立研究所（SRNL）で開発が行われた非常用電源システム、（株）東芝の「水素による自立型エネルギー供給システム H<sub>2</sub>One」、及び「H<sub>2</sub>Omega」、フランスのコルシカ島で実証が行われている「MYRTE」プロジェクトの太陽光発電と水素貯蔵技術を組み合わせた再生可能エネルギーの電力標準化水素システムを調査対象とした。当該事業で開発するシステムの水素貯蔵量はフィールド試験機で18 Nm<sup>3</sup>と SRNL のシステムより若干小さな規模となる。一方、事業化時に想定する水素の貯蔵規模は1200～1800 Nm<sup>3</sup>と「H<sub>2</sub>One」の4～6倍程度、コルシカ島での実証試験システムとほぼ同規模となることを確認した。まず、日本国内で水素システムを運用する場合、高圧ガス保安法に係らない圧力で運用することが重要視されている。小規模な水素システムでは水素吸蔵合金タンクによる水素貯蔵方式が最善の貯蔵方法と考えられるが、事業化時に想定する水素貯蔵規模では工夫が必要である。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 水素システム、水素貯蔵、水素製造

【研究 題目】 再生可能エネルギー大量導入時代の系統安定化対応先進ガスタービン発電設備の研究開発

【研究代表者】 壹岐 典彦（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 壹岐 典彦、村上 顯、松沼 孝幸、小椋 友加（常勤職員3名、他1名）

【研究 内容】

再生可能エネルギー大量導入時代に向けた系統安定化対応型先進ガスタービン発電設備に関する技術開発の国家プロジェクト立ち上げを目指して、将来のガスタービン発電設備の負荷変動追従性を高めるために必要となる基盤技術や解決すべき課題について先導的に研究を行い、開発課題を明確化することを目的としている。本事業では、長時間の定格運転を前提とし、熱効率の向上を狙ってきたこれまでのガスタービン発電設備の技術を基盤としつつもその延長線ではなく、始動性や負荷追従性を重視し、過渡応答性に優れ、繰返し負荷に耐えるガスタービン発電設備の実現に向けた開発課題の明確化を行う。急激な負荷変動への対応は、定格負荷で最高効率を狙うピンポイントでの性能から、様々な状況に柔軟に対応できる運用性を向上させた状態での性能を重視するという設計思想の転換になるため多くの技術課題が生じうるが、

本事業ではいち早く着手すべき課題として以下を取り上げ、企業・研究機関・大学が協力して調査・検討を行っている。

- A. 急速負荷変動のガスタービンプラントへの影響検討・評価
- B. 負荷変動を吸収するもしくは負荷変動に対するマージンを拡大する技術
- C. 負荷変動に急速に追従する技術、急速起動を可能にする技術
- D. 負荷変動を予測して発電量を変化させる技術
- E. 過渡応答、繰り返し負荷による材料劣化への対応技術

独立行政法人産業技術総合研究所は、課題Bに対応した事業項目の「負荷変動を吸収する発電システムの検討」を担当しており、電力の需給ギャップに対して電力システムを安定化する様々なシステムについて負荷変動を吸収する能力を調査・検討し、負荷変動対応型先進発電設備の研究開発計画を実効性のあるものにするべく研究開発に取り組んでいる。具体的な調査検討項目は、システムの発電規模もしくは蓄エネルギーの規模、変動への応答速度・対応可能な変動範囲、開発要素、各種コスト等とし、文献調査等を基に整理を行って明確化する予定である。本年度は①将来のエネルギーシステム・電力システムに関するレビューや整備計画の調査、②負荷変動吸収システムの調査を開始した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 系統安定化、ガスタービン発電、負荷変動、再生可能エネルギー、圧縮空気貯蔵

【研究題目】 高機能軽希土材料等の有効活用による自動車排ガス浄化触媒における白金族元素省量化の検討

【研究代表者】 多井 豊

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 多井 豊、三木 健

(サステナブルマテリアル研究部門)

難波 哲哉

(再生可能エネルギー研究センター)

小淵 存、内澤潤子

(エネルギー技術研究部門)

(常勤職員5名)

【研究内容】

新規高機能軽希土材料や高耐熱性アルミナ材料を利用して、三元触媒やディーゼル酸化触媒における白金族低減が達成可能かどうかについてフィージビリティスタディをおこなった。

高機能系希土材料を用いて調製した粉体触媒にスチーム存在下1000℃での耐久処理を施し、三元触媒性能をライトオフ評価した。比較対象とする基準触媒の組成は、1wt% Rh/CeO<sub>2</sub> + 2.5wt% Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (CeO<sub>2</sub>:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=1:2)と

した。開発触媒の中には、Rh25%、Pd40%減としても、基準触媒と比較して高い性能を有するものがあった。この触媒から、さらに Rh を40%減にした場合、またセリアの割合を増加させた場合には、活性は低下した。この結果から、活性を最大化する組成の最適値があることが示唆された。また、アルミナの耐熱性を向上させた担体を用いた場合には、Rh を40%減にしても、基準触媒と同等のNO<sub>x</sub>還元性能が得られることが分かった。

ディーゼル酸化触媒性能に関しては、高耐熱性アルミナに、表面ポリオール還元法を用いて、0.9wtPt および0.1wt%Pd を担持した触媒のライトオフ性能評価をおこなった。その結果、この触媒は酸化触媒性能向上のためにメソ細孔径を制御し、また、Pt-Pd 割合を最適化した条件で作製した基準触媒と同等の性能を示した。開発材料に対する条件最適化により、更なる性能向上が期待できる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造、環境・エネルギー

【キーワード】 白金族、希土類、自動車触媒

【研究題目】 バイオマスエネルギー技術研究開発／バイオ燃料製造の有用要素技術開発事業／有用微生物を用いた発酵生産技術の研究開発

【研究代表者】 鎌形 洋一 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 藤森 一浩、佐原 健彦、扇谷 悟、森田 直樹 (常勤職員4名、他5名)

【研究内容】

本研究では、セルロース系バイオマスからの高効率なエタノール生産のため、同時糖化並行複発酵に資するエタノール生産酵母に求められる特徴であるキシロース代謝能、耐熱性、および発酵阻害物質耐性の向上に関わる有用遺伝子や遺伝子変異等を同定し、それらをエタノール生産実用酵母株に実装することで、同時糖化並行複発酵に資する酵母株の開発を目的としている。

耐熱性向上に関わる有用遺伝子情報の取得のため、崇城大学によって新たに作出された耐熱性発酵能を有する自然突然変異株4株について、次世代シーケンサーを用いた全ゲノム解析および変異解析を行った。その結果、各変異株ゲノムにおいて、それぞれ約1,800カ所の変異情報を網羅的に取得することができた。得られた変異情報を用いて、各変異株の遺伝的背景を考慮した論理プログラミング手法による原因遺伝子変異の高精度予測を行った結果、それぞれの変異株において耐熱性発酵向上に関わる原因遺伝子変異の候補情報を取得することに成功した。

また、キシロース代謝能の向上のため、複数種類のキシロースイソメラーゼ遺伝子 (XI) をそれぞれ導入した実用酵母株を構築し、各構築株のキシロース代謝能について評価を行うことで、高いキシロース代謝能を宿主

酵母株に付与可能な XI 遺伝子を選抜した。さらに本 XI 遺伝子に進化分子工学的手法によって変異を導入し、発酵に資する実用酵母株におけるスクリーニングを行った結果、野生型 XI 遺伝子よりも高いキシロース代謝能を実用酵母株に付与可能な改変型 XI 遺伝子を取得することに成功した。これらの改変型 XI 遺伝子と既知の有効遺伝子変異と合わせてエタノール生産実用酵母株に実装することによって、中間代謝産物であるキシリトールの蓄積を解消し、キシロースからのエタノール生産効率が向上した酵母株の構築に成功した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】バイオエタノール、酵母、キシロース代謝、耐熱性、発酵阻害物質耐性

【研究題目】固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発／次世代技術開発／マイクロ SOFC 型小型発電機

【研究代表者】藤代 芳伸

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】藤代 芳伸、鷲見 裕史、山口 十志明、鈴木 俊男 (常勤職員4名)

【研究内容】

本開発課題では、これまで産総研で開発を進めてきたマイクロ SOFC のセルを数十本以上集積した小型電源向けスタックへ適用するための製造プロセス技術について検証した。今年度は、数十本のセルを電気接続するために、ディスペンサーロボットで集電体を3D印刷する技術、セルを半自動的に整列させる機構、金属パーツでセル間を接続する技術等を確立し、それぞれの実現に必要な部材の開発を行った。本開発によって、SOFC スタック量産化の見通しが立ち、セル間での電気化学抵抗のバラつきが10%以下に抑制できていることを確認した。

希釈水素を用いてマイクロ SOFC の発電特性を評価したところ、650℃、0.8V の条件にて、約50% (低発熱量基準) の発電効率が出ることを確認した。また、600℃、0.15A/cm<sup>2</sup>の条件で100回の起動停止を繰り返しても劣化率が10%以下であることを実証した。以上の成果を元に、64本のセルを直列接続したマイクロ SOFC スタック6個 (直流200W 相当) を開発し、セル1本あたりの電圧および抵抗が単セルと同等であることを確認した。650℃にて直接プロパン、ブタンを供給しても100時間での電圧の低下は数%以内であったが、事前に部分酸化改質を施すことによって電極上での炭素析出を飛躍的に抑制できることを確認した。以上の開発により、市販液化石油ガス (LPG) カセットボンベを用いたマイクロ SOFC 小型発電機の実用化に向けた要素技術を確立することができた。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】燃料電池、小型発電機、電気化学、エネルギー部材製造技術

【研究題目】高付加価値セラミックス造形技術の開発

【研究代表者】大司 達樹

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】大司 達樹、明渡 純、近藤 直樹、長岡 孝明、堀田 幹則、北 憲一郎、嶋村 彰紘、篠田 健太郎、鈴木 雅人、森 正和 (常勤職員9名、他1名)

【研究内容】

本事業では、従来のセラミックス製造プロセスでは困難であった高付加価値部材の製造を可能とし、革新的部品設計を高付加価値製品群として実現できるセラミックス造形技術として、複雑形状付与技術 (3D 積層造形技術) および表面構造付与技術 (ハイブリッドコーティング技術) を新たに開発するとともに、実際にこれらの新技術を活用した高付加価値部材開発を通じて、イノベーションスタイルを実証することを目的とする。

3D 積層造形技術では、主として、粉末積層造形を検討し、原料として粒度の異なるアルミナ原料粉末を4種選定、また、各種バインダーから2種を選定し、それぞれの組み合わせで混合および造粒をおこなった。これら混合粉末の特性評価をおこなった結果から、粉末積層造形に使用可能な粉末、混合方式、バインダーの組み合わせを選定した。選定した混合原料粉末を用いて積層とレーザー加熱により造形試験をおこなった。この際、造形に必要なバインダー量やバインダーに適合するレーザー出力も検討した。これらの結果をもとに、選定した粉末を用いて積層とレーザー加熱を繰り返し、直径27mm、厚み1.5mm で、1辺4mm の角穴をもつ古銭状の成形体の作成に成功した。この成形体を焼成することにより、焼成体の作製にも成功した。

ハイブリッドコーティング技術では、主として、応用対象部材の実用化の鍵となる AD 法と従来溶射法の長所を複合化したハイブリッド AD プロセスにおいて、エアロゾル中の微粒子へのプラズマ援用条件を明らかにすることを試みた。既存の小型 AD 装置に、温度測定装置を導入し、また、熱プラズマ流体シミュレーターを用い、広い圧力条件範囲において形成される誘導プラズマ状態とセラミックスエアロゾルへの加熱溶解効果や表面活性化効果の関係を検討した。その結果、イットリア粉末のプラズマ援用 AD プロセスにおいて、プラズマ援用効果により成膜レート的大幅な向上が確認された。また、この時、基材への熱的なダメージもなかったことから、本プラズマ援用パワー領域の粒子結合促進効果は、加熱溶解効果ではなく主に表面活性化効果によるものであることが確認された。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】セラミックス、造形技術、コーティング技術

〔研究題目〕地熱発電技術研究開発／地熱発電の導入拡大に資する革新的技術開発／地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール／腐食等予測・対策管理）

〔研究代表者〕柳澤 教雄（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕柳澤 教雄、増田 善雄  
（常勤職員2名）

〔研究内容〕

1. 材料腐食およびスケールデータベースの整備

① 既存の材料試験データの整理

産業技術総合研究所東北センターに現存する昭和54年度から平成5年度のサンシャイン計画成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究」（15冊）、平成6年度から14年度までのサンシャイン計画成果報告書「地熱用材料の開発に関する研究」（7冊）のデジタル化を行った。

それらの報告書について、a)室内実験、b)現地実験、c)現場での材料腐食事例解析、d) データベースの設計の項目分類を行い、それぞれの項目について研究・調査の進展、実験データの精度、リスクシステム設計に重要なデータの種類などについて整理を行った。

また、当時地熱材料研究を行っていた元産総研東北センターの研究者2名へのヒアリングを実施し、材料腐食を評価するあたり、化学的な作用のほか、地下での流体挙動の解析など様々な研究成果の解析が必要であることが示された。特にケーシングパイプの鋼種選定にはセッティングの前、すなわち探査・検層時に流体の性状を予測する技術が課題であることを確認した。

② 地熱材料・スケール研究の文献および海外動向調査

地熱材料腐食・スケールの国際的な研究動向について、産総研東北センターが研究を終了した2003年以後の論文・学会発表状況を調査した。その結果、2003～2014年の間に、合計で164件の論文発表がされており、その収集を行った。論文誌では *Geothermics*、*Corrosion* 誌などが多く、国際会議では世界地熱会議で24件、GRC（米国地熱会議）で36件、世界材料腐食会議で25件が発表されていた。4年ごとの内訳では、2003～6年が30件、2007～10年が47件、2011～14年が85件と急速に増加しており、地熱開発での材料腐食・スケール問題の注目度が世界的にも高まっていることを確認した。

また、論文の題名に含まれている用語として、酸性を示す Acid が26件あり、酸性流体の原因となる H<sub>2</sub>S（硫化水素ガス）が9件、CO<sub>2</sub>（炭酸ガス）が35件であった。腐食やスケールの場所については、Turbine（発電機）が32件、Well（井戸）が30件であった。さらに EGS（高温岩体システム）は11件であった。このように、酸性流体の問題、発電機における問題、EGS などについて地熱材料腐食・スケールの問題が

議論されているのが近年の特色であることを確認した。

③ データベースの設計

上記のデータの整理・収集に基づき、昭和60年代に東北センターが設計したデータベースシステムを基本とした設計を行った。この際、様々な手法の室内での腐食試験、現地での実験や腐食状況などいくつかの категорияに分ける必要性の検討・課題の抽出を行った。

2. プラントリスク評価システムのためのモニタリング技術の開発

① モニタリング手法の課題抽出

既存報告書のデジタル化にあわせて、材料腐食のモニタリングに関する課題を抽出するとともに、東北センターの試験経験者へのヒアリングを実施し、厚さ測定や流れの測定に関する意見を収集した。さらに海外の最新調査事例などの調査を進めた。

〔分野名〕地質、環境・エネルギー

〔キーワード〕材料腐食、スケール、データベース、地熱、温泉、配管

〔研究題目〕SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術 リアクティブ3D プリンタによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と社会経済的な価値共創に関する研究開発

〔研究代表者〕持丸 正明（デジタルヒューマン工学研究センター）

〔研究担当者〕持丸 正明、多田 充徳  
（常勤職員2名）

〔研究内容〕

店舗における簡易ランニング計測の実施に先立ち、研究室での精密な運動計測を実現するためのシステムを構築した。具体的には、産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターが所有する既存の運動計測システムに、1枚の床反力計を追加することでランニング時の関節運動と床反力を同時に計測できるようにした。

また、多様な足部形状をコンピュータ上に再現するために、医用画像を対象とした形状の統計処理技術を整備した。この技術を用いれば、(1) 輝度勾配に対する画像処理に基づき形状の差異を医用画像から計測すること、(2) 計測した差異に対する統計解析に基づき形状の特徴を抽出すること、そして(3) 多数の医用画像に対する特徴抽出の結果に基づき骨部などの内部構造も含んだ足部形状のデータベースを整備することができる。このデータベースを活用すれば、医用画像や少数の代表寸法値から特定個人の3次元足部形状を復元すること（リードユーザ）や、日本人を代表する統計的な3次元足部形状（例えば平均形状や95パーセントイル形状など）を復元すること（一般ユーザ）ができる。

また、データベースの整備が完了するまでの間に、運動・感覚シミュレーションに関する予備的な解析を実施するために、皮膚表面と骨部表面の形状から構成される3次元足部モデルを構築し、連携する機関に提供した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、ランニング、有限要素モデル、筋骨格モデル

【研究題目】次世代スマートデバイス開発プロジェクト／車載用障害物センシングデバイスの開発

【研究代表者】青柳 昌宏

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】青柳 昌宏、菊地 克弥、渡辺 直也、馮 ウェイ、Bui Thanh Tung、荒賀 佑樹、島本 晴夫、井川 登、馬 菜娜（常勤職員4名、他5名）

【研究内容】

本研究では、昼夜問わず20 m 以上先の歩行者等多数の障害物の位置と距離を同時にリアルタイムで測定できるセンシングデバイス及び三次元 LSI 積層技術といった省スペース化と高速信号伝送特性を併せ持つ車載品質のデバイスの小型化技術を株式会社デンソー、ラピスセミコンダクタ株式会社とともに共同で開発する。

平成26年度は、想定する車載用センシングデバイスのために、三次元 LSI 積層システムからの要求仕様（電気、熱、応力）に応じた、積層チップを含む三次元 LSI 積層構造全体に関する解析評価技術の開発を進めた。特にトランジスタ動作によって生じる局所的な熱（ホットスポット）の解析評価技術の開発において、電気・熱の連成解析評価技術の構築と、その実測評価を行うための微小部分熱解析装置の導入を行い、実測と解析の比較検証できる環境の整備を行った。また、TSV 電気特性評価用試料であるプロセス TEG の設計を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】車載用センシングデバイス、三次元 LSI 積層技術、省スペース化・小型化

【研究題目】エネルギー・環境新技術先導プログラム／可変バリア機能の発現に基づく革新的エネルギー制御材料基盤技術開発

【研究代表者】池上 敬一（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】池上 敬一、蛭名 武雄、古屋 武、吉村 和記、依田 智、石井 亮、林 拓道、相澤 崇史、和久井 喜人、棚池 修、中村 考志、山田 保誠、垣内田 洋、岡田 昌久、西澤かおり（常勤職員15名）

【研究内容】

「ナノマテリアル合成技術」、「ナノ構造・機能制御技術」、「ハイブリッド構造制御技術」、「刺激応答性制御技術」といった技術シーズを融合させる事により、透過性や遮断性などの性能が必要に応じて人為的あるいは自律的に望ましい方向に変化する「可変バリア機能」を発現させ、熱や光、ガスといったエネルギーの流れを制御できる革新的な材料を創成することを目的とする。具体的には(1) 無機ナノシートと有機物とのハイブリッド構造体(クレースト)において、高い水素保持能力を発現させ、反射型日射バリア可変材料にコーティングする技術の検討、(2) 易加工性で、光透過性と高断熱性を併せ持つ光透過性ナノハイブリッド断熱材料の実現に向けた技術開発、(3) 透明状態を長期間保つという特長を有する反射型の日射バリア可変フィルム開発のための先導的研究開発、を担当する。平成26年度の進捗は以下の通り。(1) 光透過度75%以上を有する水素バリアコーティング技術の開発に向けた検討を開始した。(2) 量産化対応が可能な手法で、100nm オーダーの空間を集積した多孔構造を持つナノハイブリッド断熱材料の作成に向けた検討を開始した。(3) 十分なスイッチング繰り返しに耐す耐久性、および耐候性を備えた反射型日射バリア可変薄膜の動作原理実証、酸化劣化しにくい高分子／ナノ粒子コアシェル構造の作製条件について検討を開始した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】バリア材料、ナノシート、水素バリア膜、ナノハイブリッド、断熱材、日射可変バリア

【研究題目】木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発

新エネルギー・産業技術総合開発機構  
非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発

【研究代表者】平田 悟史（バイオマスリファイナリー研究センター）

【研究担当者】平田 悟史、柳下 立夫、井上 誠一、松家 万起、諏訪 祥士、高橋 和香、時藤 千歳、横山 英幸、土肥 康浩、岩本 光一、辻 将大（常勤職員3名、他8名）

【研究内容】

木質バイオマスからセルロース、ヘミセルロース、リグニンの3成分を分離する方法として当所が開発している水熱・メカノケミカル・酵素処理法について、大規模処理が困難であった粉碎処理の代替工程として、製紙産業用のリファイナリー用い、従来法と変わらない酵素糖化性が得られることを明らかにした。

酵素糖化残渣中のリグニンの抽出方法として、水熱加水分解処理と有機溶媒加熱抽出を比較、検討した。水熱加水分解処理はリグニン抽出率が高いものの、得

られたリグニンの分子量が大きくなる一方、有機溶媒加熱抽出では数百程度の分子量のリグニン成分が得られた。NMR や熱分解 GC/MS 等により、それぞれの成分の特性分析を行った。また、得られたリグニン成分を本プロジェクト内のリグニン利用グループにサンプル提供して評価してもらい、その結果に基づいて溶媒の変更や処理条件の最適化を検討した。

水熱・メカノケミカル・酵素処理法の他に、アセトン/水処理法、アルカリ処理法、マイクロ波処理法についてもそれぞれの処理サンプルを作成し、リグニン含有率、構成糖等の特性分析を行った。また、システムシミュレーターを用いた前処理技術のシステム評価のためのデータの収集、アップロードを行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】3成分分離、酵素糖化残渣、リグニン抽出法

【研究題目】極限シリコン結晶太陽電池の研究開発  
(銅ペーストの研究開発)

【研究代表者】鎌田 俊英 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】徳久 英雄、伊東 宇一、吉田 学  
(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

結晶シリコン太陽電池の低コスト印刷製造を実現する技術として、電極構成部材のひとつとして低温焼結型銅合金ペーストを開発した。しかし、現行電極材料である銀と同等レベルで扱うためには、銅の更なる低抵抗化、銅拡散防止層の低コスト導入プロセスなど周辺技術を開発する必要がある。

平成26年度では、スクリーン印刷用銅ペーストにより形成される銅電極をさらに低抵抗化するために印刷+メッキ技術を開発した。さらに、オール印刷で導入できる銅拡散防止層について研究開発を行った。

印刷により形成された金属電極をさらに低抵抗化するためにメッキを施す技術はこれまでにあったが、通常印刷した電極周辺に同心円状に成長したメッキ層が形成され、印刷後のパターンよりも線幅、膜厚共に大きくなることが知られている。そこで、印刷後の電極を多孔質(ポーラス)な電極とすることにより、メッキを電極内部で成長させ、緻密な銅電極を作製することにより、印刷パターン通りの低抵抗な電極を形成する事を考えた。その結果の一つとして、熱分解性高分子を用いてポーラス電極を作製することにより、その後メッキを施すことにより、印刷パターン通りに緻密な銅電極を形成する事ができ、バルクレベルの $3\mu\Omega\text{cm}$ の低抵抗化に成功した。

銅拡散防止層として、太陽電池表面の反射防止絶縁膜(SiNx)のエッチング剤にカーボンブラックを混合し、エッチングと同時にカーボン層を導入することを検討した。その結果、エッチング後1~2 $\mu\text{m}$ のカーボン層が形

成され、その上に銅蒸着及び加熱処理を行っても銅の拡散は確認されず、銅拡散防止層として機能することが分かった。さらに、その技術を用いて結晶シリコン太陽電池上に電極を設け、性能を評価した結果、変換効率が11%になることが分かった。これは、まだ予備実験レベルであるが、今後種々の条件を最適化することにより大幅な変換効率の改善が期待される。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】銅ペースト、太陽電池、スクリーン印刷

【研究題目】銅ペースト量産化技術と試験・評価方法に関する研究開発

【研究代表者】徳久 英雄 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】徳久 英雄、伊東 宇一、吉田 学  
(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

太陽電池低コスト化のための銅ペーストの事業化を目的に、銅ペーストの試験・評価方法の開発を実施した。

新しく市場に銅ペーストを太陽電池用電極として導入するためには、信頼性を十分に証明できる試験・評価方法を開発する必要がある。平成26年度は、銅ペーストの太陽電池性能評価のために従来型太陽電池のバスバー電極として導入したミニモジュールを作製し、環境試験を行い、耐久性を検討した。また、印刷により作製された銅電極のシリコン基板への耐拡散性を評価するために照度-電圧特性(Suns-Voc)により得られる擬似曲線因子(pFF)を用いて評価を行った。

バスバー電極として開発した銅ペーストを導入し、さらに銅リボンをはんだ付けしたミニモジュールを作製し、耐久性を検討した。その結果、ダンプヒート試験(85°C、85%RH 環境下、2000時間)、温度サイクル試験(-40°C-85°C、600サイクル)のいずれにおいても、初期性能をほぼ維持し(<5%)、厳しい環境試験下での耐久性を確認することができた。

Suns-Voc 測定を行い、シリコンのダイオード特性に感度をもつ pFF を算出し、バスバー電極中の銅のシリコン基板への拡散について検討を行った。その結果、275°C以上の加熱により銅は接触しているフィンガー電極(銀)を介してシリコン基板へ拡散することを明らかにした。また、銅電極に含まれる樹脂が銀電極との間に介在することにより、銀電極への銅の拡散を顕著に抑制することが分かった。信頼性の高いバスバー電極材料のひとつとして本研究で開発された樹脂銅ペーストがあげられることを実証した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】銅ペースト、太陽電池、スクリーン印刷

【研究題目】SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) / 次世代パワーエレクトロニクス

### 将来のパワーエレクトロニクスを支える 基盤研究開発／ダイヤモンドパワーデ バイス用ウエハの研究開発

〔研究代表者〕 鹿田 真一

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 鹿田 真一、茶谷原 昭義、杵野 由明、  
坪内 信輝、山田 英明、梅沢 仁、  
加藤 有香子、大曲 新矢

(常勤職員8名)

#### 〔研究内容〕

ダイヤモンドを用いたパワーデバイスの実現、検証を可能とする低欠陥、低抵抗のウエハ作製技術を開発することで、ダイヤモンドのパワーデバイス用材料としての有用性、他材料との使い分けを明確化し、世界に先がけたダイヤモンド半導体の実用化に向けた環境づくりを行うことを目的とし、千葉大学、大阪大学とともに、ダイヤモンドウエハの大型化・低欠陥化に向けた具体的技術課題抽出のための実験的検討、ウエハのレーザー切断、平坦化などの加工技術検討、ならびにダイヤモンドパワーデバイスの将来性およびそれに必要なウエハ仕様の明確化検討を行う。

今年度は、低欠陥ウエハの大型化に必要な基盤技術として、高温高圧合成の低欠陥基板を種として、イオン注入を用いたウエハコピー技術（ダイレクトウエハ化技術）により、単結晶 CVD ダイヤモンド基板の作製を行った。得られた基板を X 線トポグラフィ等により評価した結果、従来の CVD ダイヤモンド基板と比較して、低欠陥化できることがわかった。また、大型バルク結晶合成に向けた課題抽出のための実験的検討に必要な設備導入を行い、CVD 装置上で動作確認を行った。また、加工技術として、平坦化プロセスに使用するドライエッチング装置の整備を行い、エッチング速度の反応ガス依存性などの基礎データの収集を行った他、無損傷研磨技術の検討を行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、単結晶、ウエハ、  
CVD、加工

### 〔研究題目〕 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術／ガラス部材の先端的加工技術開発

〔研究代表者〕 赤井 智子

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 赤井 智子、福味 幸平、北村 直之、  
金高 健二（常勤職員4名）

#### 〔研究内容〕

ガラスは、ディスプレイ、太陽電池、照明、光通信等の製品において、基板、カバーガラス、レンズとして使用されており、製品サイズ、デザイン、性能を決めるキーマテリアルのひとつである。しかしながら、ガラスは

割れやすいという典型的な難加工材料であることから、広範な製品への適用が阻害されている。本研究開発においては、成型・切断・接合という3つのガラス加工の要素について、ガラス内部に生じる複雑な現象を解明することで、速度、精度、面積を飛躍的に向上させる革新的な生産技術を開発する。また、加工のベースとなるサイエンスの構築やシミュレーション技術の開発を関西圏に集積するガラス関連の大学・研究所で実施する。その結果を元に、現在、技術、市場で世界的に優位性をもつ複数のガラス企業で製品開発し、ユーザーからのフィードバックを受けながら部素材、加工方法をパッケージで供給することを目指す。当所では大面積精密成型技術に必要な成型温度付近における粘弾性挙動の解明、ガラス融液とモールドの反応機構の解明にとりくむ。また、それらの知見を元に8インチの大面積マイクロレンズアレイの成型技術を開発することを目的とする。

本年度は、既存の装置を用いて、低融点ガラスを成型温度付近の種々の温度・負荷・時間で変形量をはじめとする成型性を調べるとともに、成型性と粘弾性特性の評価法を検討した。単純な組成のガラスを用いてモールドとガラスの反応性について調べ、界面状態の観察と界面反応部分の組成分析などの評価方法の検討を行った。また、成型装置を大型化した際の課題を検討し、8インチ対応大型精密成型装置の仕様を検討した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ガラス、加工、プレス成型、マイクロレンズアレイ

### 〔研究題目〕 「革新型蓄電池先端科学基礎研究事業／革新型蓄電池先端科学基礎研究開発」

〔研究代表者〕 栄部 比夏里（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 辰巳 国昭、栄部 比夏里、竹内 友成、

松本 一、鹿野 昌弘、小林 弘典、  
佐野 光、作田 敦、蔭山 博之、  
城間 純、香山 正憲、秋田 知樹、  
田中 真吾、窪田 啓吾、藤原 直子、  
五百蔵 勉、永井 つかさ、田口 昇、  
森垣 健一、菊園 康雄、太田 静生、  
横田 秀則、仁居 俊勝、上原 稔、  
阿座上 理恵、奥本 めぐみ、  
吹谷 直美、八坂 美枝  
(常勤職員18名、他10名)

#### 〔研究内容〕

本研究は、革新型蓄電池先端科学基礎研究事業の研究開発項目の一つである「材料革新」について、リチウムイオン電池のエネルギー密度の向上並びに長寿命化・高度信頼性の同時達成のための高電位正極および高容量負極の材料の革新に資する指針の提案を示すものである。

平成26年度は、革新的にエネルギー密度の高い電池



の構築を目指し、京大拠点の革新電池グループと連携して Li-硫黄系電池の開発と亜鉛空気電池の空気極の開発に取り組み、合金負極の開発も行った。さらに  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$  母材を中心に引き続き被覆効果の検証と、正極／電解質界面での副反応抑制機構の解明を目標とした。

硫黄系正極材料においてこれまでに見出した高容量の金属多硫化物材料を用いて電池を試作するために電極化の検討を開始した。空気電池用空気極については、炭素に代わる耐酸化性担体としてアンチモンドープスズ酸化物を取り上げ、ペロブスカイト型酸化物触媒と複合化した電極の耐久性評価を行い、充放電中の電圧の安定性から炭素担体を用いた場合より大幅に耐久性が向上することを見いだした。合金負極についてはシリコン系に着目し、生産性と性能を両立させる材料の製造方法を見出した。正極／電解質界面の高度安定化に関しては引き続き湿式法での被覆量低減と最適化を進め、同時に分光学的・電気化学的手法で被覆の効果発現メカニズムを詳細に調べた。この結果活物質の表面の2nm程度の原子配列に修飾を行うことで大幅に耐久性が向上し、活物質を覆うような堆積物としての被覆は必要がないことを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二次電池、リチウム電池、リチウムイオン電池、革新電池、正極、負極、界面、自動車、硫黄、空気電池、被覆

【研究題目】固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発／基盤技術開発／定置用燃料電池システムの低コスト化のための MEA 高性能化（高濃度 CO 耐性アノード触媒開発）

【研究代表者】山崎 眞一

（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】山崎 眞一、城間 純、前田 泰、朝日 将史、五百蔵 勉

（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

本研究開発では、CO を低過電圧で酸化除去できる錯体（Rh-ポルフィリン）系触媒と PtRu 触媒とを複合化させることにより、高濃度 CO 耐性アノード触媒の開発を目指した。ここで鍵となる技術は、錯体分子が Pt-Ru 粒子を被毒することなく、充分な量の錯体分子を Pt-Ru 触媒に吸着させる複合化技術である。そこで、本研究では錯体と Pt-Ru 粒子との複合化方法の検討を行った。一方で、Rh ポルフィリン錯体の CO 酸化機構に関する検討を行った。

今年度は Rh ポルフィリン錯体と Pt-Ru 触媒を複合化する新手法を開発した。この複合化方法では簡便でかつ Rh 量を従来に比べて大幅に低減できることが利点である。この複合触媒は Rh 量が1/9となっても耐 CO 性

を発揮することが明らかになった。

さらに、この触媒の CO 酸化反応機構を解析した。反応中間体として考えられる Rh ポルフィリン-CO 錯体の X 線単結晶構造解析・IR・ $^{13}\text{C}$ -NMR 解析を行い、CO が低過電圧で酸化される理由について検討した。さらに Rh ポルフィリン-CO 錯体が実際に水を含む有機溶媒中で電子受容体を還元することを示し、この Rh ポルフィリン-CO 錯体を經由して進行する経路が存在することを示した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】耐 CO アノード触媒、ポルフィリン、燃料電池

【研究題目】基礎化学品製造における革新的省エネルギープロセスに関する先導的検討

【研究代表者】榎 啓二（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】榎 啓二、遠藤 明、吉宗 美紀、原 伸生（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究では、基礎石油化学製品製造において、蒸留法に代わる省エネルギープロセスとして大きな期待が寄せられている革新的膜分離技術の適用可能性について、他の複数機関と共に先導的調査研究を行った。

モデル石化工場を想定し、エチレンプラントにある4本の蒸留塔の膜ハイブリッド化の省エネ効果をコプロピンチ解析で評価したところ、分離膜とのハイブリッド化による省エネが、蒸留塔単独で考えた場合に70%の省エネになるとの設定の場合、システム全体は8%のコスト削減になるとの計算結果を得た。コンビナート全体システムを考えた場合、単独の蒸留塔での省エネ性の議論では十分とはいえず、本調査研究で示したコプロピンチ解析のような全体最適化手法が有効であると考えられる。炭素膜の評価法と JIS 等の既存の測定規格に関する調査を行った。測定規格と論文の事例を比較すると、濃度分極や膜の吸着性などが膜の分離性能に与える影響が十分に想定されていないという課題が明らかになった。

また、前駆体にポリフェニレンオキシドを用いて、高透過性と高選択性を有する2種類の中空糸炭素膜を作製し、炭化水素系ガスを含む各種ガスの透過試験を行った。得られた分離性能を既報の炭素膜の文献値と比較した結果、同等あるいは優れた性能が得られており、炭素膜は「コールドボックス」、「プロピレン精留塔」、「脱プロパン塔」への適用が好ましいと思われる。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】省エネルギー、コプロピンチ解析、膜分離、炭素膜

【研究題目】可溶化法を用いた使用済み太陽電池からの資源回収技術の開発

【研究代表者】加茂 徹（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕 加茂 徹、大石 哲雄  
(常勤職員2名、他3名)

〔研究内容〕

本研究では、使用済み太陽電池モジュールから有用な資源を回収するため、太陽電池モジュールのガラスとEVAを加熱したカッターで切り離した太陽電池モジュールのEVAを温和な条件下で可溶化してシリコンや金属を効率的に回収する技術を開発する。

EVA-Aを溶媒A中160℃付近、60 minで可溶化した場合、EVA-Aの可溶化率は添加物の濃度が高くなるに従って増加し、添加物とEVAの比が0.26 g/g以上ではほぼ完全に可溶化された。溶媒Bを用いた場合、EVA-Bは速やかに可溶化され15 min以内で90%以上が可溶化された。また、溶媒Bを用い、溶媒Aの沸点と同じ温度で可溶化した場合、溶媒Aに比べて可溶化速度が速いことが分かった。太陽電池モジュールから切り取ったEVA試料は、溶媒A中では30~60 min、溶媒B中では30 min以内で完全に可溶化され、金属やシリコンが回収された。減圧蒸留法を用いて溶媒を回収すると、溶媒Aでは97.3%、溶媒Bではほぼ100%回収できた。

可溶化法で回収されたシリコンを用いた熔融塩電解精製の実証には至らなかった。しかし試料表面の酸化の程度は従来法に比べて軽く、可溶化法は熔融塩電解精製の前処理として適していることを確認した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 太陽電池、リサイクル、可溶化、EVA、シリコン

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム／フェムトリアクター化学プロセスの研究開発

〔研究代表者〕 脇坂 昭弘 (環境管理技術研究部門)

〔研究担当者〕 脇坂 昭弘、小原ひとみ、金 賢夏、寺本 慶之、富永 健一、根本 耕司、井戸 洋平、金久保 光央、和久井 喜人、牧野 貴至  
(常勤職員9名、他1名)

〔研究内容〕

液中でのエレクトロスプレー法によって、液体を直径マイクロメートルサイズ(体積フェムトリットルレベル)の帯電した極微小液滴に微細化し、それらの移動・混合を電場で制御することにより、フェムトリットルレベルの極微小液滴内で混合、分離、加熱などを可能にするフェムトリアクター技術を開発することを目的とする。このため、(1)液中エレクトロスプレーのメカニズムをレーザー回折法や高速度撮影法によって解析し液滴のサイズ・電荷密度の制御法を確立すること、(2)フェムトリアクターの特徴である極微小体積・高界面比率・強電場中の分極を高度に利用した有機化学合成の精密制御、環境浄化用触媒調製制御、分離・回収プロセスの最

適化などのへ適用し応用範囲を拡大すること、(3)フェムトリアクターを適用した金属ナノ粒子合成法による量産化を実証するための装置を試作し参画企業と共に実証試験を行うこと、について検討し、革新的な省エネルギー化学プロセスの設計指針を構築する。今年度は、エレクトロスプレーフェムトリアクターの基礎となる液中エレクトロスプレー制御技術、フェムトリアクターが適用可能な反応系、およびフェムトリアクターによる量産化装置の仕様について検討した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 エレクトロスプレー、化学反応場、ナノ粒子、触媒、有機合成

〔研究題目〕 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／超小型X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発

〔研究代表者〕 鈴木 良一

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕 鈴木 良一、加藤 英俊  
(常勤職員2名)

〔研究内容〕

高度成長期に整備された社会インフラ及び産業インフラを適切に維持管理するには、その健全性を効率的に検査し対策をとることが必要である。X線は、検査対象物を透過させて対象物を壊すことなく内部の様子を調べることができることから各種検査に使われている。また、中性子は水分等に対する散乱・吸収等の相互作用が大きく、インフラ構造物の腐食に係る水分の有無を非破壊で調べることができる。本研究では、これらの検査装置を小型化・軽量化して非破壊検査装置をロボットに搭載することにより効率的なインフラ維持管理を実現することを目指している。

本年度は、小型・軽量・長寿命の超小型X線源の開発を行い、厚み70mm以下、重量3kg以下で170keV以上のX線を発生できるX線源を試作し、ロボット駆動用のバッテリーで出射間隔が2秒以下のX線パルスの発生に成功し、このX線を用いた保温材被覆配管の外形検査が可能であることを確認した。また、中性子水分センサ搭載用配管検査ロボットの開発において、6インチ保温材付き配管の水平部を移動して配管の上下の双方の含水率検査ができるロボットを試作した。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 カーボンナノ構造体、X線源、インフラ診断、プラント保温材付き配管、非破壊検査

〔研究題目〕 水素利用技術開発事業／燃料電池自動車

及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発/水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

【研究代表者】 森岡 敏博（計測標準研究部門）

【研究担当者】 寺尾 吉哉（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、将来の FCV 及び水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の段階的な基準化・規格化のため、トレーサビリティを確保した水素計量技術の開発と技術実証を行う。本研究開発では、当研究グループが所有する気体流量国家標準にトレーサブルなマスターメーター法による校正装置の構築及び臨界ノズルの最適化を行うとともに、共同実施者と協力して「水素計量基準」案の策定を目指す。

今年度は、マスターメーター法による校正設備の構築に資するため高圧水素用臨界ノズル式流量計について、高圧水素特性におけるノズルスロート径の影響調査を行った。その結果、臨界背圧比は調査した理論レイノルズ数範囲において0.93程度で非常に高い値を示しているが、スロート直径の違いによる有意な差は見られなかった。流出係数は理論レイノルズ数の増加に伴って単調減少し、スロート直径の違いにより、値や傾きに違いはあるものの、スロート直径の違いによる影響を示す定性的な傾向を確認することはできなかった。これらについては、より詳細な調査が必要であると考えており、次年度以降も継続して実施していく予定である。

さらに、水素ステーションにおける燃料電池自動車用の燃料水素の計量システムの適切な計量の確保を目的として、「水素計量基準」案として“水素計量管理の運用ガイドライン”を作成し、業界ガイドラインとして制定された。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 水素、気体流量標準、燃料電池自動車、水素ステーション、取引計量器

【研究題目】 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／点検・診断技術の実用化に向けた研究開発／学習型打音解析技術の研究開発

【研究代表者】 村川 正宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】 村川 正宏、河西 勇二、高橋 栄一、岩田 昌也、緒方 淳、樋口 哲也、叶 嘉星、蔵田 武志、大隈 隆史、張 慶春、一刈 良介（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

本事業では、インフラ老朽化に伴い急激に増加する点

検作業に対し、点検員の技術に左右されず正確に損傷の検出が可能な打音検査技術の開発を目的とする。研究体制としては、産総研が有する音響解析技術を核として、打音装置および打音解析システムを開発する。打音装置は、機構設計に長年の経験とノウハウを有する株式会社テクニーが担当し、首都高技術株式会社および東日本高速道路株式会社東北支社が実構造物における打音収集を分担する。この実データに基づき、開発した打音解析システムの実証評価を共同提案者4者で行い、高性能化と実運用性を高めたシステム開発を行う。

4年計画の1年目となる平成26年度は、打音解析手法の研究においては、打音検査対象の正常部での打音を学習し、そこからの逸脱（相対的な違い）として打音の異常の度合を出力できる損傷推定エンジンを開発した。打音装置の開発においては、台車型打音装置ならびに高所打音装置の打撃機構ならびに集音部分の検討を行った。テクニー社が試作したプロトタイプをもちいて、その打撃機構のブラッシュアップと集音性能の確認を行った。拡張現実感技術（AR）を用いた打音解析結果の表示機能に関しては、タブレット端末の初期位置と初期方位を簡易に設定し、タブレット端末越しに打音データを実際の道路に重量表示する機能を実装した。

性能評価においては、トンネル壁面の正常部と損傷部の打音を、高所用打音装置のプロトタイプを用いて首都高技術社と取得実験を行った。また、アスファルト舗装面下の土砂化を模擬した供試体に対して NEXCO 東日本社と打音取得実験を行い、台車型打音装置のプロトタイプを用いて、正常部と損傷部の打音を取得した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 コンクリート構造物、異常検知、打音解析、機械学習、拡張現実感技術

【研究題目】 風力等自然エネルギー技術研究開発／風力発電高度実用化研究開発／スマートメンテナンス技術研究開発（分析）（リスク解析等）

【研究代表者】 村川 正宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】 村川 正宏、緒方 淳、岩田 昌也、叶 嘉星、小垣 哲也、菊島 義弘、阿部 裕幸、嶋田 進、小野 智恵（常勤職員7名、他2名）

【研究内容】

本研究開発は、風車の不適切なメンテナンスや技術欠落を原因とする風車の稼働率低下（設備利用率の低下）、故障の増加や風車の停止時間の増大といった課題の解決を目的とする。このために、目標稼働率95%を達成可能なメンテナンス技術を開発し、風力発電事業で適切に活用されるためのメンテナンスチェックリスト、保険やO&M（運転管理・保守点検）認証への適用性検討など実効的なスキームを検討する。体制としては、プロジェ

クトリーダーである東京大学、助成事業に参画する企業群と連携して研究開発を遂行し、産総研は、各種要素部品の状態監視システム CMS (Condition Monitoring System) の活用と、関係するセンサーデータからの故障検知技術の開発を分担する。

3年計画の2年目となる平成26年度は、風車ナセル内ドライブトレイン(動力伝達部)の各機器に取り付けられた加速度センサから取得される振動データを対象に、故障予兆を検知するための特徴抽出手法、機械学習手法の検討を行い、プロトタイプシステムを開発した。また、振動データ解析とは別に、風車システム全体を監視するために蓄積されている SCADA データ(気温、風速、風向、機器の温度等の情報)を解析し、異常検知を行う技術の検討も行った。

さらに、助成事業で設置されている CMS で取得された各種データを整理するとともに、実機データでの評価やシステム改良を進めた。また、福島再生可能エネルギー研究所所有の実験風車に低周波騒音計を設置し、ナセル内(高さ41.5m)、タワー内(高さ30m)、フィールド(地上0m)における低周波音、可聴音の計測を開始した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】風力発電、メンテナンス、異常予兆検知、データ解析、機械学習

【研究題目】有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

【研究代表者】佐藤 一彦  
(触媒化学融合研究センター)

【研究担当者】佐藤 一彦、島田 茂、浅川 真澄、田村 正則、清水 政男、中島 裕美子、五十嵐 正安、八木橋 不二夫、江口 勝哉、石原 吉満、安田 弘之、崔 準哲、遠藤 明、片岡 祥、上村 佳大、山下 浩、崔 隆基  
(常勤職員17名、他19名)

【研究内容】

シリコンに代表される有機ケイ素材料は、耐熱性、耐候性、耐光性、高光透過性、耐寒性、離型性等の様々な優れた特性を有しており、他の材料では代替できない材料として極めて広範な分野において利用されている。しかし、有機ケイ素原料の製造は、高エネルギー消費プロセスであり、また、有機材料に比べ、触媒技術の開発が大きく遅れており、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現、コストダウンに大きな余地を残している。そこで、本研究開発では、①砂から有機ケイ素原料を低エネルギー低コストで製造する触媒技術、②有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造する触媒技術の2つの研究課題に取り組むことにより、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現とともにコストダウンを達成すること

を目的としている。

平成26年度は、砂等の原料から金属ケイ素を経由せずにアルコキシランを製造する触媒技術に関して、触媒候補である様々な金属アルコキシドの性能を検討し最も良い触媒候補の選定に成功した。また、水素を還元剤としてヒドロシランを製造する方法に関して検討し、新規金属錯体触媒を合成した。高機能有機ケイ素部材を製造する触媒技術のうちケイ素-炭素結合を形成する触媒技術に関しては、ヒドロシリル化反应用触媒に関して検討し、反応性置換基を有する基質に対しても有効な触媒を見出した。ケイ素-酸素結合を形成する触媒技術に関しては、従来法では合成が困難な種々のシラノールを無水条件下で合成・単離することに成功した。また、ケイ素-ケイ素結合形成技術に関しては、脱水素カップリング反応による高次シランの製造に有効な触媒を見いだした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ケイ素、触媒、シリコン、シリコーン、パラジウム、ルイス酸

【研究題目】酸素又は窒素の固定化を利用した機能性化学品製造に関する先導的検討

【研究代表者】浅川 真澄  
(触媒化学融合研究センター)

【研究担当者】今 喜裕、田中 真司  
(常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

本研究課題の目標は、空気の資源化技術、すなわちグリーンサステナブルケミストリーに基づく酸素固定化技術、窒素固定化技術に関する最新の技術情報を集積し、空気の資源化技術に関する複数の研究開発テーマを提案することである。すなわち、各種製造プロセスの先行技術を調査し、またその技術から想定される製品の市場を調査し、及び可能性を見極めるために探索研究を実施して、日本が近い将来着すべき革新的技術テーマを選定して提案することである。具体的には、従来の環境負荷の大きい酸化剤や多大なエネルギーを使わずに、空気(酸素と窒素)の固定化を利用してシンプルな省エネルギーで環境に優しい酸化・窒素化反応プロセスによる化学製品の製造技術の構築を目指すものである。技術調査、市場調査を行うとともに、酸素固定化技術の先導的研究として、提案テーマの候補として有力な、酸素によるオレフィンのエポキシ化反応について、実験実施により研究テーマの難易度、実現可能性について考察を行った。

ターゲットとするエポキシ化合物として電子材料用樹脂原料として有用なグリシジルエーテルを選定し、種々触媒を用いて酸素によるエポキシ化を検討した。その結果、鉄触媒を用いることにより、グリシジルエーテル誘導体を80%以上の選択率で得ることに成功した。また、エポキシ化反応を検討する中で派生した研究結果として、

選択的な酸素酸化による不飽和カルボン酸合成触媒の開発にも成功した。不飽和カルボン酸もまた化学産業において重要な化学品の1つであり、酸素固定化技術のターゲット反応候補の1つとして報告するに至った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】空気資源化、触媒、窒素固定化、酸素固定化、酸化

【研究題目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／SiCに関する拠点型共通基盤技術開発／SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発

【研究代表者】奥村 元（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】奥村 元、山口 浩、加藤 智久、米澤 喜幸（常勤職員23名）

【研究内容】

本開発テーマでは、SiC パワーエレクトロニクスの普及と適用先拡大を目指した次世代技術として、①エピ成長やウエハ加工をも含めて革新的手法を取り入れた次世代 SiC ウエハ（基板）作製技術、②低損失性・高耐圧性をより向上させる新規構造／プロセスを取り入れた次世代 SiC デバイス作製技術、③高電流密度デバイスを搭載したうえで小型軽量化と信頼性評価法確立を目指す次世代 SiC モジュール作製技術を対象に、一貫した統合的研究開発を当該分野における産学官の有力研究機関の研究者を結集して行う。

プロジェクト初年度である本年度は、上記3研究開発課題について研究開発を行い以下のような成果を得た。

①次世代 SiC ウエハの技術開発

①-(1) 伝導度制御技術開発

昇華法コドープに関して、N-Al（濃度）の値が  $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  を上回る試料では  $10 \text{m} \Omega \text{cm}$  を下回る比抵抗が得られることが確認できた。また、積層欠陥を抑制するには Al 濃度が  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  以上のコドープ条件が必要であることが判明した。

溶液法を用いたバルク成長では、るつぼ構造見直しと計算機シミュレーションを通して結晶成長面の改善を行い、 $8 \times 10^{18} \text{cm}^{-3} \sim 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  程度の安定成長を実現した。p 型成長は平均比抵抗約  $60 \text{m} \Omega \text{cm}$  の 3inch 低抵抗 p 型 SiC バルク単結晶を得た。

低濃度 n 型単結晶に関しては、成長の多形安定性を調査した結果、4H 多型は (000-1) C 面でのみで得られることが判明した。また、活性層の薄化ウエハ加工の破損リスクを回避する技術を検討するためウエハ抗折力試験など着手し、薄化研削では4インチウエハで  $150 \mu\text{m}$  厚を達成した。

①-(2) 高耐圧化対応技術開発

平成26年度は、順方向劣化の抑制を目的としたライ

フタイム制御技術、転位変換による基底面転位密度低減技術、 $250 \mu\text{m}$  超の高品質厚膜成長に必要な低欠陥化、外形制御技術の開発を Si 面、C 面の両面極性において実施するための環境整備と現状把握を中心に実施した。

順方向劣化の抑制を目的としたライフタイム制御については、Si 面における高濃度ドーピングによるライフタイム制御の試みを開始した。転位変換による基底面転位密度低減に関して、現状の転換効率、基本的な成長パラメーター依存性、CVD 装置依存性の系統的な再確認を行った。

高耐圧化に対応する厚膜成長の開発に関して、 $250 \mu\text{m}$  成長のトライアルを開始し、欠陥密度や、外形（ワレ・欠けの原因となりうるステップフローの上流での多形発生、後工程で問題となりうる外周部での異常成長（エピクラウン）、エピ後のそり）の現状確認を行った。

②次世代 SiC デバイスの技術開発

②-(1) 新構造ユニポーラデバイス技術開発

平成26年度は、次年度以降の SJMOSFET のプロトタイプ試作を念頭に、 $6.5 \text{kV}$  の SJ 構造（SJ ドリフト層）の基本設計を行った。基本設計に際してはトレンチ加工精度、埋め戻しエピ濃度の制御性、イオン注入マスク加工精度などを考慮し、プロセスマージンを考慮した pn ピラー幅、埋め戻し領域のエピ濃度および pn ピラー構造直下のバッファ層厚などを検討した。またトレンチテーパ角に対する耐圧劣化の調査から、ドリフト層の高濃度化によりテーパ角増加に対する耐圧劣化が増大することを確認した。トレンチ埋戻しエピ法による SJ 構造の形成では、成長温度、成長圧力、原料投入量、C/S 比などの各種成長条件の詳細な検討に加え、塩素系の原料ガスおよびエッチングガス（ $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{HCl}$  など）の導入効果、埋め戻しエピ成長途中でのエッチング工程導入効果について、トレンチ幅依存性を含めた系統的な検討を行った結果、厚さ  $10 \mu\text{m}$  以上のボイドレス埋め戻しエピの見通しが立った。

一方 SiC ゲート酸化膜界面連携体制に関しては、酸化膜界面物理の学理解明に向け、SiC 酸化膜に関する研究に参画する各機関（筑波大・産総研・阪大・東大・東北大）との連携体制を構築した。本取り組みでの目標を共通化し、それを達成するために必要な評価項目を挙げ、評価に適した種々の TEG パターンを決定した上で、その共通評価 TEG パターンを用いたリソグラフィ用のマスク作成を完了させた。

②-(2) バイポーラデバイス技術開発

本年度はオン特性とスイッチング特性の両立を目指した要素技術として、バイポーラデバイスのホール注入制御に関する検討を行った。具体的にはコレクタ側の電極構造及び層構成をシミュレーションにより最適化し、TEG（PiN ダイオードのカソード構造）試作を行い、順方向特性を測ることにより、ホール注入制御方法の検

証を行った結果、P++コンタクト領域の比率をコントロールすることにより、Vf を100-200%の間で、コントロールできることが明らかとなった。

IGBT については、コレクタ側電極構造の検討を行い、Vf に及ぼす影響をシミュレーションと TEG 試作により検証を行った。また薄ウエハプロセスの検討を行い、問題点の把握と対策を進めた。

バイポーラデバイス、ユニポーラデバイス共通の問題である順方向劣化に関して、ウエハテーマ（高耐圧化対応技術開発）側と連携しながら、現状把握を行った。PiN ダイオード試作を行い、順方向劣化特性を計測し、順方向劣化現象の、電流密度依存性、トポ像、PL 観察による解析などを進め、その原因解明につながる知見が得られつつある。

### ③次世代 SiC モジュールの技術開発

SiC チップ開発側との性能・仕様に関する情報交換と並行して、高耐熱部品（産総研中部センターを中心拠点）、耐高温接合（阪大産業科学研究所を中心拠点）、高温実装（産総研つくばセンターを中心拠点）の各側面から、適用可能な材料・要素技術の選定やその組合せ方法に関する調整を進めた。

上記の高温実装の検討として、参画応用機器企業とのモジュール仕様に関する議論を通じ、応用機器への適用の視点から空冷方式での高チップ電流密度（1kA/cm<sup>2</sup>級）化を図る方針を決定し、この高電流密度形モジュールの実現に適用可能と考えられる材料および要素技術の選定を高耐熱部品および耐高温接合の拠点と相互調整をとりながら進め、これに基づく2 in 1モジュールの基本構造設計を行った。

モジュールの基礎設計の確認を目的とした要素構造等の組合せ評価方法を決定した。特に、組合せ状態での耐久性の評価に関しては、応用機器側からの要望と開発期間を考慮した調整を重点的に行い、高温保持（250℃・1,000h）、温度サイクル（-40℃～+250℃・1,000回）、パワーサイクル（30,000回）による評価から、実用化への基礎データ取得を行うこととした。

また、高電流密度（1kA/cm<sup>2</sup>級）化とそれに伴う高発熱密度化に対応するために必要な設計技術の高度化を目的に、設計の基礎データとなるモジュールを構成する材料・部品の低温から高温域における熱的物性および機械的物性に関して、高耐熱部品、耐高温接合、高温実装を担当する各グループ間で試験方法や取得データ内容の調整を行い、試験サンプルの設計と試験方法・条件を決定した。

耐高温接合技術に関しては、Cu-Sn 系 TLPS（遷移的液相焼結）接合の接合界面分析の結果から、接合強度や熱的特性に改善余地があることを解明した。この結果を受け、特性向上を図る観点から、材料組成の改良と接合形成条件の最適化に向けた試験を行う事となった。

【分野名】環境・エネルギー

【研究題目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／GaN に関する拠点型共通基盤技術開発／GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発

【研究代表者】清水 三聡（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】清水 三聡、井手 利英、沈 旭強、中島 昭（常勤職員4名）

### 【研究内容】

GaN の絶縁破壊電界は3.3程度あり、SiC の絶縁破壊電界の2.5と比較すると2～3割程度大きい。縦型パワーデバイスにした場合に単位面積当たりの素子抵抗が絶縁破壊電界の3乗分の1に比例する。よって SiC の場合に比較して単位面積当たりの素子抵抗は半分程度にすることが可能なため縦型デバイスの研究開発が行なわれている。しかしイオン注入が不可能なことから通常のパワーデバイスは困難であると予想される。

しかし GaN 単結晶を用いたダイオード等は、様々な用途が考えられるため、エピ成長技術は重要である。当グループでは、ダイオード等の縦型デバイスで必要となるエピ成長技術の開発を行なっている。

平成26年度は、16乗台以下のドーピング制御を行なった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】GaN、SiC

【研究題目】GaN 双方向電力変換器の研究開発／デバイスモデリング技術の開発

【研究代表者】井手 利英（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】井手 利英、清水 三聡、沈 旭強、鍛冶 良作（知能システム研究部門 統合知能研究グループ）（常勤職員4名）

### 【研究内容】

GaN（窒化ガリウム）を用いたパワーデバイスは、Si（シリコン）を用いたパワーデバイスよりも低損失化が可能である。特に、AlGaIn/GaN HEMT（high electron mobility transistor）は、高速動作が可能であることから、それを用いれば、市場の大きい家電製品などに用いられる AC アダプタや、コンピュータの DC 電源などの受動部品の小型化が可能となり、回路の低価格化などが期待できるため、世界的に注目を浴びている。

本テーマでは、パナソニック株式会社と共同で、AlGaIn/GaN HEMT を電力変換回路へ応用する場合に必要な技術開発を行なっている。産総研では、回路の設計技術に必要な高性能なモデリング技術の研究を行なった。ゲート部の pn 接合部の特性を取り入れることにより高精度なモデリングが可能であった。

【分野名】環境・エネルギー

[キーワード] GaN、デバイスモデリング

[研究題目] GaN on Si パワーデバイスを用いた民生用大電力変換器の開発／大電力用 GaN パワーデバイスの開発

[研究代表者] 清水 三聡 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

[研究担当者] 井手 利英、清水 三聡、沈 旭強、宮田 典幸 (エレクトロニクス・製造領域 ナノエレクトロニクス研究部門 システマティックマテリアルズデザイングループ) (常勤職員4名)

[研究内容]

6~8inch の Si 基板上に MOCVD 法により AlGaIn/GaN HEMT パワーデバイスを構築する手法は、低価格化が可能である。特に二次元電子ガスを用いていることが大きな特徴であり、よって高速動作が可能であることから、それを用いれば、市場の大きい家電製品などに用いられる AC アダプタや、コンピュータの DC 電源などの受動部品の小型化が可能となり、回路の低価格化などが期待できるため、世界的に注目を浴びている。産総研では、大電力化に必要となる要素技術に関して研究開発を行った。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] MOCVD 法、AlGaIn/GaN HEMT

[研究題目] 立体造形による機能的な生体組織製造技術の開発／細胞を用いた機能的な立体組織および立体臓器作製技術の研究開発／高機能足場素材とバイオ3D プリントを用いた再生組織・臓器の製造技術の開発

[研究代表者] 清水 透 (先進製造プロセス研究部門)

[研究担当者] 清水 透、中野 禅、佐藤 直子、梶野 智史、寺岡 啓 (常勤職員5名)

[研究内容]

本研究の課題は、1) 造形された造形物の評価尺度と評価方法の確立をおこなうこと、2) バイオ3D プリントの最適プリント条件を探し出す評価尺度と評価手法の確立することである。

本年度は、模倣素材による試験的成型製品を作製、入手し、試験的評価の検討を開始した。また、造形製品の形状を試験造形し、その評価法を検討した。

1) CMET より、模倣素材であるゼラチンを微細化した造形製品の提供をうけ、その造形品をもとに今後の評価試験法の検討をおこなった。その結果、評価においては材料装置により3点曲げによる強度評価と、CT による内部評価が妥当と判断した。CT 装置での評価は外部の装置の利用を検討している。

2) 造形品の造形形状は足場材 (スカフォールド) を

想定した。造形形状はラティス構造 (格子構造) を想定する。このような、構造には1) 立方体構造、2) アンジュビーの構造、3) ダイヤモンド構造 (格子点で4本の枝が交わる構造)、4) 14面体構造を想定し、その造形用、強度評価用モデルを作製した。

次年度以降においては、具体的な造形と CAE による評価、モデル材料による作製と評価を検討する。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 3D プリンティング、バイオプリンティング、スカフォード

[研究題目] 高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発

[研究代表者] 仁木 栄

(太陽光発電工学研究センター)

[研究担当者] 仁木 栄、坂田 功、加藤 俊一、近藤 道雄、永井 武彦、増田 淳、川浪 仁志、山中 光之、柴田 肇、石塚 尚吾、反保 衆志、小牧 弘典、牧田 紀久夫、菅谷 武芳、大島 隆治、松原 浩司、小西 正暉、宮田 直之、吉田 郵司、近松 真之、宮寺 哲彦、王 植平、柴田 陽生、鯉田 崇、松井 卓矢、齋 均、Svrcek Vladimir、Kazaoui Said (以上、太陽光発電工学研究センター)、高遠 秀尚、水野 英範 (再生可能エネルギー研究センター)、橋 浩昭、藤原 享子 (以上、電子光技術研究部門)、長谷川 達生、堤 潤也、山田 寿一、松岡 悟志 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)、古部 昭広 (計測フロンティア研究部門) (常勤職員28名、他10名)

[研究内容]

40%を超える変換効率を目的として、最適なバンドギャップを有する複数の高度秩序薄膜材料を新たに設計・創製するとともに、波長選択型導電層を介した2端子メカニカルスタック太陽電池形成を目指す。光マネジメント技術、二光子利用技術等についても検討を行う。本研究開発は計9機関で共同実施するものであり、産業技術総合研究所は6テーマを実施している。各サブテーマの成果は以下のとおりである。

I-1-1: メカニカルスタック・デバイス化技術の開発

多接合太陽電池の高効率化および低コスト化を目指して、スマートスタック技術の開発を行っている。本年度は、導電性ナノ粒子配列を接合界面に導入した直接接合技術に関し形成条件等の継続検討により、InGaP/GaAs/InGaAsP/InGaAs-4接合構造において効率31.6%を得て、プロジェクト最終目標を達成した。また、

試作した多接合太陽電池に関し加速劣化試験および温度サイクル試験等を行い、初期的ではあるが実用に適う長期信頼性を確認した。

#### I-2-1：高度光利用技術の開発

高効率薄膜多接合太陽電池に向けた高度光利用技術開発として、前年度に引き続き、(1)平坦型光閉じ込め基板 (FLiSS) の高性能化、(2)プラズモン利用型光閉じ込め技術、の開発を実施した。(1)に関しては、これまで薄膜シリコン太陽電池で実証試験を行ってきたが、より高い発電効率が期待できるⅢ-V族化合物半導体に適用することを試みた。光学解析の結果、薄膜 GaAs 太陽電池に FLiSS を適用すると膜厚2倍相当の光路長増加効果が得られることが示された。実際にエピタキシャルリフトオフ法にて剥離した GaAs 太陽電池を FLiSS 基板に接合して評価した結果、光閉じ込め効果による長波長感度向上を実験的に確認した。(2)については、転写で作製可能なプラズモン銀ナノディスク構造をⅢ-V族太陽電池に適用した。モデルとして薄膜 GaAs 太陽電池を用い、裏面にプラズモン構造を配置した場合の光吸収変化をシミュレーションしたところ、GaAs 吸収端付近における吸収向上を確認した。実際にエピタキシャルリフトオフ法にて剥離した GaAs 太陽電池をプラズモン基板に接合して評価した結果、プラズモン効果による外部量子効率向上を確認した。スマートスタックにおける接合界面光マネジメントに関する重要な知見となった。

#### II-1-1：SiGe 系薄膜ボトムセルの開発

0.9~1.0 eV 帯 Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> ボトムセル (x: 0.4~0.85) を開発した。分子線エピタキシー法を用いて組成傾斜バッファ層技術を構築し、Si 基板上3μm 厚 Si<sub>0.16</sub>Ge<sub>0.84</sub> 薄膜の転位密度を10<sup>5</sup>cm<sup>-2</sup>以下に低減させた。a-Si/SiGe ヘテロ接合型太陽電池を開発し、短絡電流密度を Si セルの15.2 mA/cm<sup>2</sup>から Ge 組成0.84において24.0 mA/cm<sup>2</sup>に増大させた。

#### II-2-1：ナノ材料系ボトムセルの開発

前年度に観測した、高純度半導体単層 CNT を用いた太陽電池において入射光強度が一定の値を超えると J<sub>sc</sub>、V<sub>oc</sub>、変換効率が4倍以上に増加する現象について詳細な検討を行った。変換効率が約4倍に増加する光強度は約500 SUN 以上であり、この現象を利用するには高倍集光が必要であることが分かった。J<sub>sc</sub> の増加のメカニズムとしては多重励起子生成効果だけではなくオージェ再結合効果も考えられる。

#### II-3-1：強相関材料ボトムセルの開発

多数のナローギャップ半導体を与え、ボトムセル用半導体として有望な有機系の強相関材料に関し、光電変換の高効率化を目標とした薄膜積層型素子の構築に取り組んだ。具体的内容を以下に記述する。1. 昨年度までに開発した層状結晶性の分子化合物半導体 (diC8-BTBT)(F<sub>2</sub>TCNQ) (m=0,2,4) について、両成分の蒸着速度を最適化した共蒸着膜の作製に取り組み、薄膜の高

均質・高結晶化に成功した。2. 得られた高均質薄膜について、電極との界面バンドアラインメントの最適化に取り組んだ。陰極側については、フッ素原子置換数が2の(diC8-BTBT)(F<sub>2</sub>TCNQ)と銀電極との組み合わせで最適化に成功した。陽極側については、(diC8-BTBT)(F<sub>2</sub>TCNQ)の価電子準位が ITO よりも0.5eV も深いという問題があったため、正孔輸送層として p 型半導体の BP2T を挿入することで、良好なバンドアラインメントを達成した。上記取り組みを通して、正孔輸送層なしの時に比べて100倍の効率での発電に成功した。

#### III-2-1：化合物系トップセルの開発

固体ソース分子線エピタキシー法 (MBE) を用いた InGaP 成長技術のさらなる高度化を行い、バンドギャップ1.9eV で変換効率16.1%を実現し、プロジェクト最終目標を達成した。また InGaP/GaAs タンデムトップセルにおいて変換効率22.6%を実現し、全体の最終目標達成に貢献した。さらなる高効率トップセル作製を目指し、世界で初めて固体ソース MBE により InGaP/AlGaAs/GaAs<sub>3</sub>接合トップセルを試作し、開放電圧3.1V を達成した。各セルの膜厚が薄いため短絡電流密度が低いが、この結果は MBE を用いて高品質な3接合トップセルが作製できることを示唆している。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】 薄膜多接合太陽電池、高度秩序構造、メカニカルスタック太陽電池、ナノ粒子、光マネジメント技術、多重励起子生成

【研究題目】 発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発

【研究代表者】 菱川 善博 (太陽光発電工学研究センター)

【研究担当者】 菱川 善博、増田 淳、土井 卓也、加藤 和彦、高島 工、猪狩 真一、大谷 謙仁、大関 崇 (常勤職員8名)

【研究内容】

① 太陽電池性能評価・校正技術 (AIST)

a. 太陽電池性能評価技術

(i) 太陽電池実効性能評価技術の研究開発

光照射効果を含めた性能評価技術について、アモルファスについてはアニール速度の分布等を、CIGS については光照射繰り返し効果等を考慮した解析を行うことにより、屋外暴露一年以上の出力を予測できることを確認し、最終目標を達成した北杜システムの継続モニタを実施した。

(ii) 屋外高精度性能評価技術の研究開発

通常の結晶 Si 太陽電池モジュールの屋外測定において、PV モニタセルによる高精度日射測定および測定時間を約200ms 以内とすることにより、最終目標である測定再現性±2%以内を達成済みである。モジュール温度の高精度測定技術について、放射率の小さ



な貼付材を使用すると計測値が定常時で4-6℃と大きな差を引き起こすことを明らかにした。

(iii)各種新型太陽電池性能評価技術の研究開発

NEDO 開発品、新型太陽電池等（集光型を含む）の高精度性能測定約80件を予定通り実施した。多接合太陽電池、集光型太陽電池等評価に関わる IEC 国際規格議論に貢献した。国内の PV 評価機関との比較測定を実施し、整合性の確認、課題・要素技術の抽出および成果実用化を推進した。

b. 基準太陽電池校正技術

(i)精密構造型 WRR 絶対放射計測技術および超高温定点黒体炉計測技術の研究開発

精密構造型 WRR 絶対放射計測技術では、2010年に IPC に参加して WRR ファクターが評価されている AHF 型絶対放射計との比較測定により、精密構造型 WRR 絶対放射計の WRR ファクターが0.5%以下であることが確認でき、所期の目標を達成した。超高温定点黒体炉計測技術では、平成26年度に開発した新型絶対分光放射計の特性を評価し、ノンリニアリティ誤差の解消と極めて高い波長精度・波長分解能での測定を実現した。以上により、WRR ファクター0.5%以内の精密構造型絶対放射計および超高温定点黒体炉を用いた校正技術を確立した。

(ii)絶対分光感度法による一次校正技術に関する研究開発

ソーラシミュレータ法による一次校正が、ソーラシミュレータ、分光感度測定装置、分光放射計等の複数の装置を必要とするのに対し、分光感度測定システムのみで一次校正が可能で、省エネ・低コスト校正技術が実現し、その一次校正の不確かさが現状では0.8% (k=1) 程度であることを明らかにした。

② 発電量推定と予測技術 (AIST、JWA、GU、UT、MRI)

a. 発電量定格技術

(i)発電量定格方式の研究開発 (AIST)

産総研つくばセンター及び九州センターにおいて、8種類12型式の太陽電池モジュールの発電量を、2012年4月から2014年12月までの2年9ヶ月計測を行い、発電量推定モデルを検証するための太陽電池モジュール発電量データセットを作成した。標準試験条件における出力と日射強度、モジュール温度、日射スペクトルの影響から構成される発電量推定モデルを構築し、結晶シリコン太陽電池の発電量は、±3%の精度で推定可能であることを確認した。また、n型ヘテロ接合型や CIGS 太陽電池は、I-V 曲線の挿印方向や速度、プレコンディショニングの時間など、標準試験条件における出力の測定精度を向上させることにより、±3%の精度で発電量推定が可能になることを確認し、目標を達成した。産総研九州センターの実証システムにおいて、薄膜太陽電池モジュールを拡張導入した。各種

有機系太陽電池の屋外発電量評価を系統的に実施した。

集光型太陽光発電 (CPV) に特有な角度特性に関連して、追尾誤差及び風による追尾架台0.1° のミスアライメントが4%～の出力低下を引き起こし、性能を決定づける支配的な要因であることを実証的かつ定量的に明らかとした。

b. 発電量予測技術

(i)分散・広域発電量推定技術の研究開発

PV システムの発電予測における、分散発電量予測及び広域発電量予測モデルについて機械学習モデルをベースに高精度化を行った。また、広域予測に関しては、4つの手法を提案し電力会社の運用を想定したケーススタディを行った。全数計測ケースと比較して、サンプリング手法、全量把握ケース、日射予測からの推定ケースについても RMES において0.05kW/m<sup>2</sup>以下に抑えることができた。また、区間予測として過去1年の予測誤差から推定するノンパラメトリック手法と過去60日のデータから分布推定するパラメトリック手法の開発を行った。また、東大と共同して、予測技術評価のためのモデル・手法の開発を行い、予測の効果試算を行った

(ii)気象パラメータ予測技術の研究開発

気象庁の各気象官署で観測された全天日射量データを用いて、気象庁メソモデル (MSM: 水平解像度5 km) および予測精度の検証を行った。MSM の日射量予測誤差について季節、経年変動の特性を調査し、予測誤差のマッピングからその地域特性も調べた。現状の MSM では本州などの中緯度よりも低緯度 (亜熱帯) での日射予測精度が比較的低下することが明らかになった。これらの分析結果をもとに、格子以下のスケールの雲量の改善として部分凝結スキームの改良を行った。改良後の通年の予測誤差評価の結果、従来モデルよりも約5%の改善が見られた。

II) 信頼性評価技術と長寿命化技術の開発

① モジュール・機器耐久性評価技術

b. 新規信頼性試験方法の開発

(i)新加速試験技術の研究開発

(a) 新規加速試験法として、4点の機械式曲げ荷重方式の試験を実施した結果、本試験方式でインタコネクタの破断を再現可能なことを確認した。インタコネクタの材料特性 (組織の配向性・材料の延性) により、推奨されるセル間隔が異なることが推定される。また、温度や荷重面を変化させた場合の試験結果がシミュレーションにより再現可能なことも確認した。

(b) 結晶シリコン系太陽電池モジュールの屋外での劣化状況を模擬するために、前年度に引き続き、光と湿熱の双方を考慮した紫外光照射・高温高湿の複合加速試験を行い、モジュールの劣化に対する光照射効果を評価した。複合サイクル試験においては、ガラス面

へ照射したモジュールの方が、バックシート面へ照射したモジュールよりも出力低下が大きかった。モジュールの出力低下はガラス側の EVA 中の残存酢酸濃度とモジュール内の酢酸の滞留時間に依存することが明らかになった。屋外曝露モジュールと比較すると、残存酢酸量は複合サイクル試験と屋外曝露モジュールが同程度であり、長時間の高温高湿試験で観測されるような高濃度ではないことも確認された。以上の結果から、本複合加速試験により、モジュール発電特性への紫外光照射の影響が実証されたとともに、モジュールの長期信頼性加速試験には紫外光照射を含んだ複合試験の重要性が示唆された。

(c) 順方向・逆方向電圧電流サイクリック試験では、フルサイズモジュールでの試験を複数の型式（異なる製造者）でそれぞれ複数枚実施し、屋外で見られるバックシートの焦げやセル-EVA 間での気泡といった不具合を再現できることを確認した。

(d) 結晶シリコン系太陽電池モジュールの電圧誘起劣化 (PID) 現象の解明のために、①塩水による PID の促進、②PID の回復を促進する逆電圧印加条件の制御、の二つの観点から PID の促進と抑制の可能性を検討した。塩水 (NaCl 水溶液) を用いた検討では、モジュール内に NaCl を含有させただけでは PID は起こらず、高温高湿条件で Na のイオン化を促進させると PID 現象が起きることが明らかになった。このことは Na の電荷状態が PID 現象の発生や抑制に大きく関わっていることを示唆している。この現象は NaCl に限らず、KCl でも起こることが示された。一方、逆電圧印加は PID の回復を促進することがこれまでに知られているが、PID 試験の前に逆電圧を印加することで、PID の抑制が可能となることを初めて明らかにした。事前印加電圧 (逆電圧) が大きいほど、また印加温度が高いほど、さらに印加時間が長いほど、その後の PID 抑制効果が高いことが示された。抑制効果が得られたモジュールは、長時間の PID 試験を経ても最大出力の低下が小さく、個々のばらつきも小さいことが明らかになった。

(ii) モジュール内水蒸気浸入経路調査方法の研究開発有機系太陽電池モジュールにおいては、水蒸気、酸素に加えて端面封止材からの揮発成分がモジュール特性の劣化に関与することを見出した。モジュール作製時の真空内での加熱処理により揮発成分を低減させることも、信頼性向上に有効であるとの知見も得た。加速試験時のモジュールの劣化特性は、端面封止材の種類に依存し、封止材の使用量を低減することとバリア性を両立することが、信頼性の高い有機系太陽電池モジュールの実現に重要との指針を得た。本研究期間の最初の3年間に実施した無機系太陽電池モジュールでの成果も併せ、各種太陽電池における水蒸気浸入経路調査に用いるテストモジュール作製方法の確立に成功し

た。

## ② システム点検技術

### a. オンサイト発電性能点検技術

システム点検技術に関して、日射量等のデータを利用した場合のオンサイト発電性能点検技術として、線形内挿法の適用について検討を行った。屋内モジュールIVデータを利用したケースおよび、実アレイIVカーブを利用したケースについて検討を行った。屋外アレイIVカーブをベースにしたケースとして、IVカーブを2~3週間計測し、線形内挿法に利用する基準IVカーブの選択を行った。その結果、住宅モニタリングサイト8サイト分の評価を行い、モニタリングシステムによる性能評価との比較において±10%により推定できることを示した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 太陽電池、太陽光発電、エネルギー、環境、性能評価、信頼性評価、システム

【研究題目】 太陽エネルギー技術研究開発／革新的太陽光発電技術研究開発 (革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)／高効率集光型太陽電池セル、モジュール及びシステムの開発 (日 EU 共同開発)／集光型太陽電池セル、モジュールの標準測定技術の開発 (WP4)

【研究代表者】 菱川 善博

(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当者】 菱川 善博、大谷 謙仁、高島 工

(常勤職員3名)

【研究内容】

1. 高照度パルス光源 (屋内評価用ソーラシミュレータ) による集光型太陽電池セル高精度評価
  - ① 昨年度までの成果を基に集光倍率 (約40suns~700suns) によって分光放射照度の面内均一性が異なる効果を考慮にいて、高効率集光型太陽電池セルの性能を高精度に測定する技術を開発し、実施した。以下のラウンドロビン測定の成果も併せ、変換効率で±0.5%以内の再現性を達成した。
  - ② EU 研究機関 (Fraunhofer ISE) と、昨年度に加えて更に研究者訪問による測定技術の比較改善、2サンプルラウンドロビン測定を行った。2種類の代表的な集光型3接合太陽電池セル (GaInP/GaAs/Ge, GaInP/GaAs/InGaAs) の性能パラメータについて、集光下で相対値±1%以内の一致を確認した。測定誤差の要因として考えられるプローブの抵抗、パルス光による温度上昇、測定について、許容範囲内であることを検証した。更に新たに高効率構造である4接合太陽電池についても比較測定を実施した。
2. 集光型太陽電池ミニモジュール (集光型太陽電池セル+集光光学系) 性能評価技術

- ① 高平行度定常光源（屋内評価用ソーラーシミュレータ）による性能評価

Pmax と Isc の角度依存性、屋外における周辺光の影響等、昨年度まで開発した技術に基づき、新型集光型ミニモジュールの高平行度定常光源による測定技術を検証した。

- ② 昨年度まで開発した技術に基づき、新型集光型3接合太陽電池ミニモジュールの屋外性能評価を実施した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽電池、太陽光発電、エネルギー、環境、性能評価、集光型、信頼性評価、システム

【研究題目】太陽エネルギー技術研究開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／CZTS 薄膜太陽電池の高効率化技術の研究開発

【研究代表者】仁木 栄

（太陽光発電工学研究センター）

【研究担当者】仁木 栄、柴田 肇、反保 衆志

（常勤職員3名）

【研究内容】

次世代の化合物薄膜太陽電池用材料として、希少金属を含まないために安価に製造でき、かつ高い変換効率が期待できる CZTS ( $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_{4-x}\text{Se}_x$ ) が注目されている。本研究の目的は、これまでに CIGS 系薄膜太陽電池の高効率化に大きく寄与した Na 効果、禁制帯幅のダブルグレーディング効果（深さ方向の組成分布）、溶液成長バッファ層による効果を CZTS 系太陽電池において検証し CZTS 薄膜太陽電池に最適なデバイス構造とプロセスを確立し高効率化実現を目指すことである。

2014年度は、CZTS のバンドギャップ制御に取り組んだ。CZTSe 単体ではそのバンドギャップが約1eV であるため、光吸収層のバンドギャップとしては小さい。そこで、Ge を添加させた CZTGeSe 薄膜のバンドギャップの制御を試み、それを用いて太陽電池を作製した。CZTGeSe 混晶のバンドギャップは Ge の組成によりほぼ線形に変化することが分かった。また、CZTGeSe は熱処理時に GeSe を添加することにより、結晶粒径が膜厚程度まで大きくなり、また非常に平坦な表面が得られることが分かった。この原因についてはまだ不明ではあるが Ge-Se 系の液相の関与を示唆する結果であった。また、熱処理条件を最適化することにより、CZTGeSe 太陽電池により、変換効率10.01% (Voc: 540mV、Jsc: 29.46mA/cm<sup>2</sup>、FF: 0.63) が得られた。この変換効率は CZTGeSe 太陽電池では世界最高レベルである。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽電池、化合物半導体、CZTS

【研究題目】インフラ維持管理・更新等の社会課題対

応システム開発プロジェクト／イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発／道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発

【研究代表者】永見 武司（知能システム研究部門）

【研究担当者】永見 武司、小林 匠、増田 健、植芝 俊夫、村川 正宏（情報技術研究部門）、岩田 昌也（情報技術研究部門）、佐藤 枝美子、佐々木 久之（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

道路構造物における重要な点検項目であるコンクリートのひび割れについて、その定量的把握および経過観察を精密かつ効率的に行うための自動検出技術およびモニタリングシステムの実現を目的とする。このため、点検対象である床版、橋台、橋脚、トンネル、道路、付帯構造物に対し、幅0.2mm 以上のひび割れを80%以上の確率で検出するひび割れ自動検出技術をはじめ、パノラマ合成技術、経年変化検出技術等の要素技術を開発し、これを実装したモニタリングシステムを28年度末までに稼働させ、その後2年間の実証評価を行うこととしている。平成26年度は、床版、橋台について、コンクリート表面を撮影した画像データをもとに画像解析技術によってひび割れを自動で検出する技術を開発し、撮影条件や対象物の表面状態の違いにおける適用性を検討した。また、実験用モニタリングシステムとして、点検画像や付帯情報を対象に登録・検索・閲覧機能を実装したシステムを試作した。本システムは、地図上の位置や撮影時刻等で情報抽出や分類が可能で、PC や携帯端末から利用できるユーザーインターフェースを備えている。このシステムに連携動作させるようひび割れ自動検出機能を実装した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】自動点検、画像処理、異常検出

【研究題目】インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／マルチコプタを利用した橋梁点検システムの開発

【研究代表者】岩田 拓也（知能システム研究部門）

【研究担当者】岩田 拓也、安達 弘典、加藤 晋（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

道路法施行規則の一部改正（H26.3.31公布、H26.7.1施行）により、道路橋（約70万橋）に対して、国が定める統一的な基準による5年に1回の近接目視点検が義務付けられた。しかしながら市町村では、予算不足、人不足、技術力不足等の理由から、点検の確実な実施が困難なことが予想される。このような社会情勢を鑑み、本

研究開発では、点検していない橋の撲滅と定められた点検サイクルの実施が確実に担保された社会の実現を最終目的として、橋梁下面（床版下面、桁外面、下部工外面、支承部）の近接目視点検作業を支援する、マルチコプタを利用した橋梁点検システムを開発する。本研究開発では、二種類のシステムを開発しているが、産総研は主に高精細画像取得用マルチコプタシステムの開発を担当し、橋梁下面を自律的に飛行し、床版下面、桁外面等に対する高精細画像を取得する有線給電式のマルチコプタシステムの開発を担当している。このシステムは地方公共団体の所轄する橋も含めた膨大な数の橋を、時間をかけずに定期的に確実に点検することを目的とする。取得データは、次の段階の近接目視点検を行うかどうかのスクリーニングに用いられる他、取得できるデータの均質性という特徴を生かし、経年変化等のモニタリングに利用する。平成26年度は、機能試作機を設計・製作し、この機体を用いて、マルチコプタの操縦性の把握、性能の確認、各モジュール取り付けのためのハードポイント位置の検討等を行った。また、有線給電装置を設計・製作し、基本機能などの評価検証を行い、さらに、機能試作機に適用するためのセンサ系及び制御系の基本設計を行い、実証実験を行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 社会インフラ、維持管理、橋梁点検、近接目視、マルチコプタ、ドローン

【研究題目】 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／可変構成型水中調査用ロボットの研究開発

【研究代表者】 有隅 仁（知能システム研究部門）

【研究担当者】 有隅 仁、加藤 晋  
（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本プロジェクトでは、(株)キュー・アイ、(株)日立製作所ディフェンスシステム社、産総研がコンソーシアムを形成し、ロボット技術を用いてダム・河川施設等の社会インフラの点検作業を実現することを目標としている。当該研究者らは、産総研の分担として河床の洗掘や河川施設の損傷の状況を安全かつ効率よく把握する可変構成型ロボットシステムの開発を行っている。本年度は、水中カメラのケーブルを繰出・巻取可能な機構、ケーブルの角度を計測する装置、各種内界センサ値とカメラ画像データを陸地側の操作者へ無線通信する装置、それらの装置とスラスト4基を搭載したボートタイプの無人水上航行機を開発した。また、国交省が主催する次世代社会インフラ用ロボット現場検証に参加し、多摩川緊急船着場において開発した航行機を用いた多摩川大橋の橋脚基礎部調査を行った。その結果として、まず無人水上航行

機のマニュアル操作により船着場から橋脚までの流水下を安定に航行、停留できることを確認した。次に、ケーブル繰出・巻取機構による水中カメラの降下動作、水中カメラ着底時の光軸傾斜動作（45度）をそれぞれ確認した。また、2軸ジンバル機構を用いたケーブル角度計測器ならびにケーブル繰出量測定器を用いてケーブルの方向と繰出量の計測を行い、それらの値により水中のカメラ位置を算出できることを示した。さらに、GPS計測による航行機の絶対座標位置、橋脚基礎部の水中高画質映像、ならびに航行機に対する水中カメラ相対位置を無線送信機によりリアルタイムに陸地側の操作者に提示できることを確認した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 水中調査用ロボット、船舶工学、画像処理、マイコン通信

【研究題目】 インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／災害調査用地上／空中複合型ロボットシステムの研究開発

【研究代表者】 神村 明哉（知能システム研究部門）

【研究担当者】 神村 明哉、有隅 仁、安達 弘典、加藤 晋（知能システム研究部門）、光畑 裕司、上田 匠、高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）（常勤職員7名）

【研究内容】

本事業では、企業3社と共同で、災害時の初動調査および情報収集を実現するシステムとして、地上移動型と空中飛行型のロボットをそれぞれの利点や特徴を活かした複合的な形態で活用する「災害調査用地上／空中複合型ロボットシステム」の開発を行っている。最終的には、収集情報の可視化や災害情報データベースまで含めた総合システムを実現する。本年度は、半自律・遠隔操作型無人調査プラットフォーム車両システムとして、①30cm以上の高段差を乗り越え可能なアーム付試作機（時速8km、重量300kg）を製作し、無線遠隔操縦のための基板及びPC上インターフェイスソフトウェアにより遠隔操作を実現した、②係留型ヘリ発着用としてのヘリの自動巻き取り装置を開発した、③不整地踏破アーム付無人調査車両の開発において、ミニショベルを改造した遠隔操作可能な試作機を開発した。次に、無人調査プラットフォームヘリシステムとして、①係留型ヘリ用離発着装置の開発において、15mの高度で2時間以上の運用を実現する巻取装置を開発した、②吊り下げ式電磁探査機構を開発し、桜島での現場実証においてデータの収集を検証した。災害調査情報の可視化及び災害情報データベースの開発における地質調査情報の解析技術の開発において、①電磁探査システムの現場適用性評価を実施した、②土壌物性計測プローブの現場適用性

評価を実施した。その他、地滑り感知センサネットワークノード及びインターフェイスソフトウェアを開発した。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕災害調査用ロボット、インフラ維持管理用ロボット、無人探査ロボット、マルチコプター、電磁探査

〔研究題目〕環境・医療分野の国際研究開発・実証プロジェクト／ロボット分野の国際研究開発・実証事業／災害対応ヒューマノイドロボット HRP-2改の研究開発

〔研究代表者〕金広 文男（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕金広 文男、梶田 秀司、金子 健二、森澤 光晴、中岡 慎一郎、徳永 彰（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

本年度は災害対応ヒューマノイドロボットハードウェアの開発及び遠隔操作構造化インタフェースの開発を行った。

ハードウェアの開発については、ヒューマノイドロボット HRP-2をベースに以下の改造を実施した。(a)センサで得られた情報を高速に処理し自律的な動作計画に反映するため、コンピュータシステムの高速化を実施し、これに伴い電源の強化も実施した。(b) DRC Trials 2013で用いられた8つのタスクをベンチマークとし、これらのタスクを実現するため、首リンク、脚リンク、腕リンクを延長し、肘関節側から腕先に向けての手首関節の配置を変更した他、瞬間的に大電流を流せるように、内部抵抗が低いバッテリーとして、リチウムフェライトバッテリーを採用した。

遠隔操作構造化インタフェースについては、低水準の操作要素をより高水準の操作要素へと構造化し、これによって人間のオペレータによる操作を極力少なくし、操作効率と操作の確実性を向上させるための基盤として、「タスクシステム」の設計と開発を行った。これはタスク遂行のための一連の操作手順をいくつかの「フェーズ」からなる「タスクシナリオ」として記述しておく、このタスクシナリオを進めることでロボットの操作を行うというものである。タスクシナリオを逐次的に実行することで、オペレータは低水準のマニュアル操作を行わずにタスクを遂行していくことが可能で、オペレータの確認が必要な場面以外ではタスクの遂行を自動化することも可能である。一方で、必要があれば部分的に低水準のマニュアル操作を併用し、想定外の状況に対応することも可能となっている。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕ヒューマノイドロボット、災害対応ロボット

〔研究題目〕環境・医療分野の国際研究開発・実証プ

ロジェクト／ロボット分野の国際研究開発・実証事業／Choreonoid フレームワークを用いた災害対応ロボットシミュレータの研究開発

〔研究代表者〕金広 文男（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕金広 文男、中岡 慎一郎、吉田 英一、鮎澤 光、松下 正吾（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

本年度は米国で開発されたシミュレーターGazebo と日本で開発しているシミュレーターChoreonoid との互換性向上及び正確なシミュレーションを行うために必要となる、シミュレーションモデルの同定機能の開発を行った。

Gazebo との互換性強化では、(ア) URDF, SDF と VRML の相互変換機能、(イ) 制御ソフトウェア開発基盤の開発を行った。前者については URDF や SDF を VRML に、また VRML を URDF や SDF に変換することが可能なソフトウェアモジュール、simtrans を開発した。これを用いることで Gazebo と Choreonoid 用に整備されたモデルファイル群が相互に利用可能となった。後者については産業技術総合研究所がロボットの制御ソフトウェア開発基盤として公開している hrpsys-base と呼ぶソフトウェアを Choreonoid のみならず、Gazebo とも接続可能とすることで同一の制御ソフトウェアを2つのシミュレータで共用できるようにした。

ロボットの力学パラメータ（質量、慣性モーメント、重心位置）を正確に推定するシミュレーションモデルの同定は精度よくロボットのシミュレーションを行うには不可欠である。そこでリグレッサと呼ばれる行列の部分行列の条件数を指標に、目標の精度が得られるまで計算を繰り返すことで励起動作を系統的に生成した後、最適化手法を適用して力学パラメータ同定を行う手法を開発した。また、モーションキャプチャシステムと床反力計を用いて、ロボットの関節運動と床反力を計測し、ロボットのセンサ環境の校正および力学パラメータの精度検証を行った。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕災害対応ロボット、シミュレーター

〔研究題目〕SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発／橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発

〔研究代表者〕岩田 拓也（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕岩田 拓也（常勤職員1名）

〔研究内容〕

平成24年12月に発生した笹子トンネル崩落事故をは

じめとして、老朽化したトンネル・橋梁等のインフラ点検が急務となっており、特に高所作業車を必要とするトンネル上部や特殊な台車を必要とする橋梁下部、橋脚等の点検困難箇所を効率的に点検する方法の確立が求められている。日本全国の点検対象となる橋梁（2m以上）は約699,000（内、16%が50年経過）、道路トンネル数は約10,300本（内、18%が50年経過）である。また、それ以外にも水路（導水路／放水路）トンネル、河川トンネル等の点検を必要とする施設が多数ある。放水路トンネルの一例としては、巨大な地下空間、立坑を有する首都圏外郭放水路などがあり、施設内の高所等の状態点検を安全かつ効率よく行うことが課題である。さらに水路トンネル、河川トンネルのような通水状態の施設、河川橋梁のように橋脚下からアプローチができないという困難を伴う点検作業については、検査を可能かつ容易とする技術のニーズは高い。以上のインフラ点検には附属物等による複雑な外形を有する部位への接近、高所作業、通水等で人員立ち入りが困難な区域への進入などへの対応が必要であり、作業負荷軽減のためには空間的な移動の自由度を有する点検ロボットが必要となる。本研究開発では、小型軽量のマルチロータヘリを飛行ロボットのプラットフォームとして、そこに打検機、目視用光学センサ等を搭載することにより、作業車などの大型設備を使用せずにインフラ内高所の壁面状況のモニタを実現する。また、取付した打音情報・画像情報をデータベース化し、その変化・変状についての把握を容易とする情報処理システムを実現する。実際のトンネル定期点検時の交通規制の多くは片側交互通行規制であり、片側2車線のうち1車線を規制して点検を行い、他の1車線では交通を通す方式である。飛行ロボットを使用した点検は、道路上の作業であることから「建設工事公衆災害防止対策要綱土木工事編（建設省事務次官通達：平成5年1月12日）」により、一般交通への危険及び渋滞の防止、歩行者の安全等を図るための交通の処理方法について検討し、道路管理者及び所轄警察署長の指示するところに従い、必要な対策を講じることとなる。産総研は主にマルチローター型飛行ロボットの衝突安全技術を検討し、①放射状に伸びた細くて強靱なCFRPフレームの突き刺さりをなくす構造、②クラッシュブル構造、③大径プロペラをゆっくり回転する衝突安全型マルチコプターの設計・製作を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】物流無人機、Cargo-UAV、無人航空機、飛行ロボット

【研究題目】高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術の研究開発

【研究代表者】藤巻 真（電子光技術研究部門）

【研究担当者】藤巻 真、古川 祐光、服部 峰之、栗津 浩一（常勤職員4名）

【研究内容】

コンクリート劣化診断試験を行う手法の多くは、コンクリート構造物に近接して試験する必要があるため、作業の長期化、コスト高の原因となっていた。そのため、遠方からコンクリートの状態を把握し、近接しての試験の回数を減らす、または試験箇所を限定する為の1次スクリーニング技術が必要とされている。特に中性化や塩害などの化学的な劣化に関しては、遠方からの観測技術が存在せず、その開発が強く望まれていた。このような化学的劣化は、近赤外分光法を用いて計測することが可能であることが報告されている。しかし、現状の近赤外分光法では、分光器の検出感度が低く、装置をコンクリートに近接させて計測を行わなければならない。このような問題点を解決し、遠方からコンクリートの化学的劣化診断を実現するキーテクノロジーとして、インラインマルチチャンネルフーリエ分光による高感度近赤外分光技術が挙げられる。本開発では、この高感度近赤外分光技術に基づくインフラ遠隔診断技術を開発する。

共同研究先から提供されるコンクリート供試体を用いて、我々がこれまでに試作した高感度分光システムの性能評価、特に感度、高速性、再現性に関する評価を実験室内にて行ったところ、試料までの距離を30cmとしたとき、計測時間0.2秒でのスペクトル計測が可能であることを実証した。

さらには、光学干渉システム作製に関するノウハウ、近赤外カメラにおけるインターフェログラムの処理、解析技術を共同研究先企業に技術移転し、インフラ診断システムのプロトタイプ作製をサポートした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】近赤外光、分光、フーリエ分光、コンクリート、塩分、水分

【研究題目】再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発事業

【研究代表者】工藤 祐揮（安全科学研究部門）

【研究担当者】工藤 祐揮、匂坂 正幸、田原 聖隆、北川 直美、村山 麻衣（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

再生可能エネルギーからの電力で電気分解等により水素を製造し、水素あるいはアンモニア等のエネルギーキャリアに変換して貯蔵・輸送・利用するシステムについて、個別要素および全体のシステム効率解析やコスト解析を詳細に実施し、本システムが普及するための課題やシナリオについて検討し、本システムが実現された場合の長期的なエネルギー需給や二酸化炭素排出削減効果への影響を評価する。本事業で産総研は①個別研究課題毎の目標妥当性、個別シナリオ・戦略検討、②用途別の許容コスト分析、③シナリオ検討、④CO<sub>2</sub>排出削減及び長期需給影響評価、LCA 的評価導入検討、⑤シナリオ検

討・分析委員会等のロジ、の5項目を平成26年度に実施したが、安全科学研究部門は④の中で水素エネルギーキャリアのライフサイクルでの二酸化炭素排出削減可能性の評価を担当した。

本評価では、各種エネルギーキャリアが製造されるまでの過程で投入されるエネルギーや物質に起因する排出量を含めた、ライフサイクル全体での二酸化炭素排出量とエネルギー消費量を算出した。具体的には、各種水素エネルギーキャリアのサプライチェーンに投入されるエネルギーや物質に、安全科学研究部門で開発しているライフサイクルインベントリ分析用データベース IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis) の原単位データを適用することにより、共通のプラットフォームに基づいて二酸化炭素排出量・エネルギー消費量を算出した。

平成26年度はこれまでに収集した文献データに基づき、海外で太陽光・風力発電から製造した水素を、液体水素・メチルシクロヘキサン・アンモニアとして日本に輸送した後に、水素を供出する過程に含まれるプロセスのエネルギー・物質投入量に IDEA を適用することにより、それぞれの水素サプライチェーンのライフサイクル温室効果ガス排出量を算定した。その結果、液化水素の水素液化時、メチルシクロヘキサンの脱水素時、アンモニア合成時の排出削減に資する技術開発・プロセス設計が、水素サプライチェーンの低炭素化に必要であることがわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】再生可能エネルギー、エネルギーキャリア、水素サプライチェーン、ライフサイクル分析、二酸化炭素、エネルギー消費量

## ②その他公益法人

【研究題目】エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対するリスク評価手法開発と社会受容性調査

【研究代表者】恒見 清孝（安全科学研究部門）

【研究担当者】恒見 清孝、和田 有司、佐分利 禎、小野 恭子、牧野 良次、吉田 喜久雄、吉田 愛、木原 武弘、阿部 祥子（常勤職員5名、他4名）

【研究内容】

水素エネルギーキャリアに関して、事故シナリオ、暴露シナリオ、被害・リスク推定からなる一貫したリスク評価を実施するための手法開発を行っている。暴露シナリオでは、爆発による周辺への影響と、化学物質漏洩による周辺への影響を推定するとともに、脆弱性として爆風圧や有害化学物質漏洩によるヒトへの有害性を推定し、被害関数を確立する。被害・リスク評価手法を確立するとともに、爆発によるリスクと化学物質漏洩によ

るリスクの統合評価を実施する。また、そのリスクデータにもとづくエネルギーキャリアの社会受容性の調査を行う。平成26年度は、以下の研究を実施した。

### (1) 発生確率解析

メチルシクロヘキサン (MCH) をキャリアとして使用するステーションを対象としたイベントツリー解析モデルを作成し、一般的なプラント等の国外事故データ等を用いて、事故発生確率の試算を行った。

### (2) ハザード評価

爆風圧による人体影響に関して、主に海外の文献を対象に情報整理を行った。実規模評価が可能な解析サーバを整備した。東京23区、川崎市、横浜市の仮想的ステーションを対象に、MCH 受入時の水素ステーションからの定常時の大気排出量とステーション周辺の大気中濃度分布を推定した。

### (3) 脆弱性推定

MCH の急性毒性試験を OECD TG409に従って実施した。予備試験ではラットに4時間曝露しても最大濃度 (20,000 mg/m<sup>3</sup>) で影響は見られていない。MCH の慢性毒性試験の既存結果をまとめ、ヒト無毒性量を暫定的に3 mg/m<sup>3</sup>と決定した。

### (4) 暴露データ構築

東京23区、川崎市、横浜市を対象に、建物棟数、建物内人口の10m メッシュデータを作成した。水素ステーションのガソリンスタンド併設シナリオの解析のため、同地域を対象にガソリンスタンド位置情報データを構築した。

### (5) 被害・リスク評価

東京23区、川崎市、横浜市の仮想的ステーションを対象に、MCH の定常排出時のヒト健康リスクの簡易的な計算を行い、定常排出時のリスクは懸念されないことを確認した。爆発と化学物質漏洩のリスク評価の枠組みをそれぞれ確立し、リスク評価書の目次を作成した。

### (6) 安全要件の検討

諸外国の水素ステーション等に関する社会受容性調査事例を収集しレビューした。既存事例はイメージを尋ねる定性的な調査のみで、社会受容性調査の際に定量的リスク情報を提示することが課題であることが明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素、エネルギーキャリア、リスク評価、社会受容性

【研究題目】アンモニア合成触媒の開発・評価

【研究代表者】高木 英行（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】高木 英行、難波 哲哉（再生可能エネルギー研究センター）、藤谷 忠博（触媒化学融合研究センター）、Rahat Javaid（再生可能エネルギー研

究センター) (常勤職員3名、他1名)

#### 【研究内容】

風力発電を中心とした再生可能エネルギーの利用や海外の安価な中小ガス田からの水素利用を推進するため、20ton/day という小規模、コンパクトで低コストのアンモニア合成プロセスを開発することを目的としている。本プロセスの開発における主な課題は、「アンモニア合成プロセスの低圧・低温化」「効率的なアンモニア濃縮分離技術の確立」「変動への対応」の3点であり、産業技術総合研究所では、このうちアンモニア合成プロセスの低圧・低温化を担当し、「アンモニア合成触媒の開発・評価」を実施する。また、変動への対応に関連して、実証試験装置評価等についてサポートを実施する。

Haber-Bosch 法では鉄系の触媒が用いられているが、本事業では低温、低圧でより高い反応活性を有するルテニウム (Ru) 系触媒を中心にしながら、これらの触媒を活用した新たな合成プロセスを開発する。触媒の開発に向けて、触媒の電子供与性がアンモニア合成に必要な因子であることをベースとしながら、電子供与性の向上に寄与する金属および担体の複合化について検討を行う。また、新規材料を触媒成分もしくは触媒担体として使用することで高効率化を図る。

本年度は、アンモニア合成触媒の活性評価のための反応装置およびガス分析装置を導入するとともに、低温・低圧の条件下でより高い活性が発現するアンモニア合成触媒の開発に向けて、触媒担体の検討と構造解析を実施した。また、代表的なアンモニア合成触媒として、カーボン担体を利用した触媒のほか、MgO および CeO<sub>2</sub> を担体として利用した触媒を調製し、アンモニア合成反応に対する活性を評価した。その結果、300~600℃、また0~2.5MPa の条件における基本的なデータを取得し、今後の開発に向けた指針を得ることができた。さらに、前駆体として RuCl<sub>3</sub> の使用を想定して、耐塩素 Ru 触媒に関する検討を行った。その結果、耐塩素性を有する担体を見出し、そのメカニズムが Ru の高分散化によるものである可能性を示す知見を得た。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア、再生可能エネルギー、中小ガス田、触媒開発、活性評価

【研究題目】ディーゼル噴霧におけるノズル内部・近傍流動の先進光学計測

【研究代表者】文 石洙 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】文 石洙、小熊 光晴、駒田 佳介 (常勤職員2名、他1名)

#### 【研究内容】

次世代エンジンの50%熱効率に向けた、「燃焼速度および燃焼相制御による等容度向上」、「コンパクトな火炎形成による熱損失低減」を実現するためには、高精度の混合気制御を可能とする革新的な噴射技術の導入が要求

される。エンジン内の混合気制御を目標とした多段噴射などの従来の噴射技術は、各段の噴射における噴射圧力や噴射弁挙動の制御性能が十分ではない。本事業では、混合気の制御性能を更に高める手段として、可変噴射率噴射と超高压噴射を組み合わせる新たな噴射制御戦略を適用し、それに関する詳細解析を行う。様々なノズル仕様、噴射圧力、可変噴射パターンがノズル内部流れから下流の混合気形成までの一連の過程に関する X 線噴霧計測を行い、その結果を元に、今後の噴射系に必要な性能・機能を明らかにすると同時にエンジン数値解析の精度を高めることを目指している。

5年課題の初年度である平成26年度には、可変噴射条件におけるノズル内部及び近傍流動の単発高速撮影を可能とする高速 X 線撮影装置を構築した。今年度に構築した高速 X 線撮影装置は、超短 X 線パルス (150ps) のみを間引いて受光できる仕組みになっており、150ps の非常に短い露光期間を用いた噴霧高速撮影を実現したものである。また、高速撮影による空間分解能の減少を最小限にし、2μm/pixel の非常に高い画像解像度を実現している。今年度に構築した高速 X 線撮影装置は、これから本事業にて推進する可変・超高压噴射におけるノズル内部や近傍流動の過渡現象を解明し、グループ内で行われる数値解析に重要な入力・検証データを提供することに非常に有用なものであるといえる。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】革新燃焼技術、燃焼制御、超高压噴射、可変噴射率噴射、X線噴霧計測

【研究題目】誘電体バリア放電を用いた予混合気の燃焼促進法の開発

【研究代表者】高橋 栄一 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】高橋 栄一、瀬川 武彦 (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

自動車用エンジンの熱効率の革新的な向上のためには希薄燃焼の実現を含め、各種損失の削減など、総合的な取り組みが不可欠と考えられている。本研究では、その中でも希薄化に伴う予混合気の着火性の悪化、燃焼速度の減少に対処するために、近年注目されている非熱プラズマによる燃焼支援技術の一つとして、誘電体バリア放電による燃焼促進技術の開発を目指している。非熱プラズマは従来のスパーク放電の様な熱を利用するプラズマに比べて高いエネルギーの電子成分を有し、従来の燃焼における化学反応経路とは異なった反応を実現できる可能性を有している。本研究では様々な非熱プラズマ生成技術の中で耐久性の高い誘電体バリア放電に着目した。本年度は計画の初年度にあたり、耐久性の高いセラミックを用いたプラズマリアクタを開発するとともに、燃焼速度を評価するためにシュリーレン計測光学系を構築した。開発したセラミックリアクタを用いて、ノルマルヘ



ブタン予混合気に非熱プラズマを照射し、燃焼速度の評価を実施した。実験では非熱プラズマ照射予混合気を急速圧縮膨張装置で圧縮し、スパーク放電によって着火した。シュリーレン計測による火炎面の移動速度より、燃焼速度の増大を確認した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ストリーマ放電、誘電体バリア放電、希薄燃焼、EGR

〔研究題目〕 超低損失パワーデバイス実現のための基盤構築

〔研究代表者〕 山崎 聡 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 山崎 聡、西澤 伸一、大橋 弘通、大串 秀世、竹内 大輔、牧野 俊晴、小倉 政彦、加藤 宙光、中島 昭、宮崎 剛英、宮本 良之、松本 翼、工藤 唯義、桑原 大輔、水落 憲和、徳田 規夫、鈴木 真理子、小泉 聡、波多野 睦子、岩崎 孝之、都築 康平、佐藤 一樹、齊藤 丈靖  
(常勤職員9名、他14名)

〔研究内容〕

#### ダイヤモンド特有の電子輸送現象の解明

ダイヤモンドと従来の半導体の電子物性の大きな相違点は、ダイヤモンドの比誘電率が従来の半導体の半分程度しかないことをから生じる。最も顕著な特異な特性として、ダイヤモンドでは自由励起子が室温下でも安定に存在できることが挙げられ、従来の半導体でのデバイス物理は自由電子・正孔の運動を考慮して構築されたのに対し、ダイヤモンドでは自由電子・正孔に加えて自由励起子の運動を考慮して構築しなければならないことになる。本年度はダイヤモンド特有の電子正孔再結合機構およびトラップ現象を明らかにした。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 パワーデバイス、ダイヤモンド、電子デバイス

〔研究題目〕 SOFC 高機能化のためのイオン-電子流れ解析技術の開発 (エネルギー高効率利用のための相界面化学)

〔研究代表者〕 山地 克彦 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 山地 克彦、Katherine Bagarinao、岸本 治夫、堀田 照久、王 芳芳  
(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 電極では、酸素分子の固体電極表面での吸着・解離→イオン化→拡散→燃料酸化という一連の反応がおこる。この反応の最適化には、多孔質電極/緻密電解質/多孔質燃料極界面での反応機構解明が重要である。酸素 (あるいは酸化物イオン) の

流れ・動きをマイクロレベルで視覚化することができれば、SOFC 高性能電極の設計、高機能界面の設計に有益な情報を与える。本研究では、安定同位体酸素 ( $^{18}\text{O}$ ) を利用し、異種機能材料界面でおこる酸素イオン化と拡散をマイクロレベルで視覚化する技術を開発する。また、この観測結果に基づき、高機能・高性能電極/電解質界面の設計指針を提案する。

本年度も、空気極に関しては、引き続き結晶方位の異なる YSZ 単結晶基板上に製膜した GDC 膜を用い、酸素交換能に与える GDC 膜の結晶方位等の影響について評価を進めた。GDC 膜上に電極材料である LSCF 膜を製膜した場合の影響についても検討を開始した。また、燃料極に関しては、種々の酸化物基板上に Ni を製膜したモデル燃料極を用い、炭素析出に基板材料が与える影響について評価を進めた。今年度は、特にセリア系材料の酸化還元が与える影響について検討を進めた。また、チーム内での連携として、東北大で作成したモデル界面について、酸素同位体交換と二次イオン質量分析計 (SIMS) を用いた解析を実施した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 固体酸化物形燃料電池、石炭ガス化ガス、不純物、酸化物燃料極、安定性存

〔研究題目〕 高性能・高機能なギ酸脱水素化触媒の開発

〔研究代表者〕 姫田 雄一郎

(エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 姫田 雄一郎、松岡 浩一、眞中 雄一  
(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、水中 $100^{\circ}\text{C}$ 以下の温和な条件下、高性能・高エネルギー効率で、ギ酸から一酸化炭素を含まない“高圧・高品質水素”の連続供給を可能とする技術開発を目標とする。具体的には、実用に適した温度領域で、低環境負荷型かつ高性能なギ酸分解触媒の開発と、ギ酸から発生する高圧ガスを利用した簡便な水素の濃縮・精製プロセスの構築を行うことにより、他の化学系液体燃料からでは得られない優れた特性を持つ水素供給システムの開発を行う。

本年度は、高効率および高耐久性錯体触媒の触媒の探索を行った。高効率触媒として、水酸基を有するピリジンアゾールおよびピリジンアゾール系配位子を有する触媒を見出した。これらは、これまでに最も高い反応速度と触媒回転数を示した。高耐久性触媒の開発では、ギ酸濃度、反応温度、ギ酸添加などの耐久性の評価を行っている。現在触媒性能が1か月以上劣化しないことを確認している。さらに、高圧水素製造プロセスで使用する触媒を供給し、得られた反応結果を触媒開発にフィードバックしている。また、国際強化支援策として、スイス連邦工科大学と高圧水素発生反応の反応機構解析に関

する国際共同研究を実施することになった。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 炭素固定、水素発生

〔研究題目〕 センサデバイス性能向上及びプロセス基盤技術

〔研究代表者〕 牧野 俊晴（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 牧野 俊晴、品田 賢宏、竹内 大輔、  
小倉 政彦、加藤 宙光、山崎 聡、  
宮崎 剛英、宮本 良之  
（常勤職員8名）

〔研究内容〕

ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体（NV センタ）は、固体では唯一、室温で単一スピンを操作・検出でき、さらに磁気共鳴の光検出が可能であることから、高空間分解能かつ高感度な磁気センサへの応用が期待されている。また、NV センタの検出限界は現在常温で用いられているホール素子やインピーダンスセンサの値をはるかに凌ぎ、理論計算上は SQUID に匹敵する感度が常温で得られることが示されている。本プロジェクトは、常温で SQUID に匹敵する感度を有しかつ高空間分解能でイメージング可能な磁気センサシステムを、ダイヤモンド膜中の NV センタを用いた磁気センサで実現することを目指し、東工大・阪大・京大・ルネサス・産総研の5拠点で研究を進めている。

産総研では、単一イオン注入による NV-センタの規則配列技術、NV-センタを安定に形成できるデバイスの形成、検出系での電気制御（EDMR）に必要となる構造の形成、センサデバイスを高感度・高分解能にするための微細構造の形成、などのプロセス・デバイスのプラットフォームを構築する。

本年度は、化学気相成長法で合成したダイヤモンド（111）基板において NV センタが [111] 方向に揃うという実験結果を踏まえ、その原子スケールでのメカニズムを第一原理計算を用いて解明した。また、磁気センサ動作に必要な NV-センタを安定化させる横型 nin 接合構造を設計し、さらにデバイスプロセス技術を高度化しつつ横型 nin 接合デバイスを作製することに成功した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 磁気センサー、ダイヤモンド、窒素-空孔複合欠陥

〔研究題目〕 超高耐圧高効率小型真空パワースイッチの作製と評価

〔研究代表者〕 竹内 大輔（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 竹内 大輔、小泉 聡、八井 崇、  
山崎 聡、大橋 弘通、西澤 伸一、  
大串 秀世、牧野 俊晴、小倉 政彦、  
加藤 宙光、中島 昭、宮本 良之

（常勤職員8名、他4名）

〔研究内容〕

これまで本研究では、ダイヤモンド半導体の特長を利用した真空を用いた高耐圧パワースイッチを作製し、動作実証に世界で初めて成功してきた。これは、真空管で固体素子同様のパワースイッチングが可能であることを世界で初めて実証したことを意味している。実験結果から、理論的に従来の10分の1の大きさで、100kV 以上で99.9%の効率が得られる大電力変換装置が可能になる。将来、日本近海の洋上風力エネルギー導入や日本列島間での効率的な送電などを行う際に、この技術を利用することで、新しいエネルギー戦略に貢献することが期待できる。

本年度は、昨年度用いた高濃度ボロンドープ低抵抗基板よりボロン濃度の低い（抵抗の高い）基板を改めて用い、ダイオード形電子源としての性能を確認した。その結果、電子放出効率は、高濃度基板では0.1%未満であったものが1%以上と向上し、これまでで最高の4A/cm<sup>2</sup>の安定な電子放出電流を得ることに成功した。本素子を用いて、耐圧7kV において効率74%のパワースイッチとしての動作実証に成功した。一方、昨年度の高濃度基板上に作製した電子源からの電子放出像観察に成功し、メサ構造の側壁からの電子放出が主であることを確認し、電子放出機構についての理解で進展した。今回の基板依存性についてさらに理解を進め、大電流化と高電圧化を進めていく。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 パワーデバイス、ダイヤモンド、負性電子親和力、真空パワースイッチ

〔研究題目〕 高温超伝導固定化巻線技術の研究開発

〔研究代表者〕 古瀬 充穂（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 古瀬 充穂（常勤職員1名）

〔研究内容〕

中・大型電気自動車や鉄道用の高効率・高トルク密度超電導モータの実現を目指し、大電流密度高温超電導コイル技術の開発を行っている。

実現しようとしているモータは、京都大学を中心としたグループが開発した「高温超電導誘導同期回転機」（従来のかご形誘導モータのかご形巻線を高温超電導線材で構成したもの）をベースとし、さらに固定子巻線も超電導化した全超電導モータである。高温超電導誘導同期回転機は、同期・非同期トルクの両立、それによる制御性能向上、同期運転による高効率化といった、従来機では実現できない特性を持つ。そのため十分なトルク密度を持つモータが実現できれば、電気自動車等の一層の高効率化、始動・加速特性の大幅な向上が期待できる。

固定子巻線の超電導化には、レーストラック形状巻線技術の確立、鉄心中での大電流容量化、低交流損失化などの技術課題がある。

平成26年度は、これまでに開発した半田接続を伴わない導体転位巻線法を用いて、2並列導体のレーストラックコイルを製作した。液体窒素中での試験により、設計通りの大電流容量が得られること、および2本の導体に均等に電流が流れることを実証した。また鉄心中での通電電流特性についても明らかにし、磁性材料による磁界補正で臨界電流が向上する効果を実験的に確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】超電導回転機、電気自動車、誘導同期回転機、高温超電導コイル

【研究題目】リグニン由来溶液の詳細構造解析と反応経路の解明

【研究代表者】鷹背 利公（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】鷹背 利公、麓 恵里、佐藤 信也、近藤 輝男、中川 美幸、丸山 一江（常勤職員2名、他4名）

【研究内容】

リグニンなど劣質な未利用難処理炭素資源は C-C、エーテル、エステル結合を介して芳香環が組み込まれており、場合によっては芳香環が縮合している。そのため、従来資源化する技術がないために減容・焼却されてきた。本研究では芳香環同士を結び付ける多様な結合と置換基について、所望の結合のみ分解することで、それらを構成する基本構造である単環芳香族を単離・製造するプロセス開発に結び付く要素技術を開発するものである。

リグニンなど劣質な未利用難処理炭素資源は巨大分子であるため、実用化の際には実施者が提案する2段階プロセスで単環芳香族を生成する。まず低分子化（分解）を行い、次いで酸化鉄を中心とした触媒による接触分解を行うことで単環芳香族を生成する。

本研究では、上記プロセスにおけるリグニンの可溶化機構の解明と可溶化液の詳細分析を行い、硫黄、窒素、酸素も含めた構造解析法を確立した。

リグニン分解物の元素分析、 $^1\text{H}$ -、 $^{13}\text{C}$ -NMR 分析、数平均分子量および酸素のタイプ分析を行い、その結果より平均分子の特徴を推定した。分解物は主にベンゼン環に2~3個の酸素が結合した構造を持つものであった。その一部は芳香環に結合した環状エーテルと予想された。分子量の最も小さい分画は SIMDIS 分析により沸点  $650^\circ\text{C}$  以下の成分が大部分であり、GC 分析が可能であることが分かった。そこで GC-MS 分析の結果、多価フェノール骨格を持つものが確認された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオマス、リグニン、可溶化、構造解析

【研究題目】アンモニア内燃機関の技術開発

【研究代表者】壹岐 典彦（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】壹岐 典彦、倉田 修、松沼 孝幸、井上 貴博、鈴木 雅人、辻村 拓、古谷 博秀、生田目 紀子（常勤職員7名、他1名）

【研究内容】

クリーンで、かつ量的なポテンシャルも備えている再生可能エネルギーを大規模に利用するためには、一旦エネルギーキャリアに変換し、これを消費地まで運搬して最適の形でエネルギーに戻すようなシステムの構築が必要となる。アンモニアは、肥料原料や汎用化学品原料として大量に使用されている。沸点が  $-33^\circ\text{C}$  であり、水素と比較して容易に液化され、その体積当たりの水素貯蔵量は約18wt%と水素吸蔵合金（ $<5\text{wt}\%$ ）や高圧水素に比してはるかに高密度である特徴がある。さらに液体水素、有機ハイドライドに比しても水素貯蔵量は大きい。また製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が十分に整備されており、次世代の低炭素社会を担うエネルギーキャリアとしての可能性を十分に秘めている。エネルギー消費地における水素への変換、燃料電池デバイス、燃焼などアンモニアの利用技術が確立されることにより、アンモニアをエネルギーキャリアとする社会が構築される。その中でアンモニアを燃料とした内燃機関の燃焼技術の開発を担当している。これらにおいて、克服すべき技術課題の詳細は以下のとおりである。

- (1) 排出ガス低 NOx 化技術の開発
- (2) 燃焼強化技術の開発

ガスタービンやレシプロエンジンなどの実用燃焼器においてこれらの技術課題を解決するために、燃焼器の改良を進め、新燃焼コンセプトの実現可能性を検証する。平成26年度は50kW 級ガスタービンをを用いたモデル燃焼試験として、灯油を燃料として起動した後、アンモニアガスを供給して、灯油-アンモニア混焼でガスタービン発電を行った。約26kW 発電時に25%の灯油を削減して、アンモニアガスに置き換えることができた。更に、アンモニア専焼での発電を行うための、アンモニアガス供給設備の整備を進め、7月末で終了した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エネルギーキャリア、アンモニア直接燃焼、内燃機関、ガスタービン、実証試験、燃焼モデル

【研究題目】金属-空気電池における正極および電解質の開発

【研究代表者】周 豪慎（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】周 豪慎、松田 弘文、劉 銀珠、北浦 弘和、岡垣 淳、朝倉 大輔、Liao Kaiming、Zhang Chaofeng、Liu Xizheng、Zhang Tao、Yi Jin、Sun Yang（常勤職員6名、他6名）

## 〔研究内容〕

導電性がある金属、酸化物、炭化物など化合物（例えば Ru ナノ粒子、RuO<sub>2</sub> ナノシート、C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ナノシートなど）をリチウム空気電池の空気極として、酸化還元 ORR と酸化 OER 反応を調べた。更にリチウム酸素電池を構築して、放・充電特性とレット特性を調べていた。一部の実験結果からみると Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> が生成され、充電過電圧が高く (>4.2V vs Li/Li+) になると、サイクル特性が不安定になることがあるため、過電圧とサイクル特性の改善を試みた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 触媒、空気極、リチウム空気電池

〔研究題目〕 プロトン応答性錯体触媒に基づく二酸化炭素の高効率水素化触媒の開発と人工光合成への展開

〔研究代表者〕 姫田 雄一郎

(エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 姫田 雄一郎、三石 雄悟、尾西 尚弥、徐 招安 (常勤職員2名、他2名)

## 〔研究内容〕

本研究では、(1)「水素の貯蔵を指向した高効率な二酸化炭素の水素化触媒の開発」と(2)「多機能型錯体触媒を目指したプロトン応答性触媒の設計指針の構築」を目的とする。具体的には、温和な反応条件で二酸化炭素を還元できるエネルギー効率の高い触媒を開発し、二酸化炭素をエネルギー貯蔵物質として利用するための基盤技術の確立を目指す。また、提案者が開発した独創的触媒設計概念である「プロトン応答性」触媒の反応機構の解明および「多機能型触媒」の開発を行うことにより、新しい触媒技術への貢献を目的とする。

本年度は、5員環配位子であるアゾール系配位子を用いた高性能触媒の探索を行った。その結果、水酸基を有するピリジリイミダゾールおよびピリジミルイミダゾール系配位子が二酸化炭素の水素化反応に対して極めて高い触媒活性を示すことを見出した。これらの錯体触媒は、水中常温常圧条件でもギ酸塩を高効率で生成することが分かった。次に、ギ酸脱水素化反応におけるペンダントベース効果を検証した。ペンダントベースである水酸基の置換位置によって、速度論的同位体効果が異なり、ギ酸脱水素化反応においても、ペンダントベース効果による反応の加速効果があることを確認できた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 炭素固定、水素貯蔵

〔研究題目〕 PEFC 性能向上のためのマイクロポーラス層 (MPL) 付ガス拡散層 (GDL) および流路構造の最適化

〔研究代表者〕 宗像 鉄雄 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 宗像 鉄雄、伊藤 博、染矢 聡、

中納 暁洋、前田 哲彦、坂田 藍美、鈴木 かほり (常勤職員5名、他2名)

## 〔研究内容〕

固体高分子形燃料電池 (PEFC) の性能向上に資するため、ガス拡散層 (GDL) 撥水性分布及びマイクロポーラス層 (MPL) 素材構造の影響評価と燐光分子センサによるガス流動の可視化手法開発に関する研究を行ない、MPL 付 GDL および流路構造の構造最適化に向け研究を進めた。

具体的には、断面方向に撥水剤分布のあるカーボンペーパーの電極側表面に自作の MPL を付加した GDL を用いて発電実験を行い、その効果を検証した。その結果、MPL 付加によって排水性能が向上すること、MPL を付加した場合でも、カーボンペーパー内の撥水剤分布の影響が残ることを明らかにした。

また、温度計測用分子センサを確認し、昨年度確認した酸素濃度計測用分子センサと組み合わせた場合の酸素濃度と温度に対する依存性を明らかにした。なお、酸素濃度計測用分子センサは GDL に直接塗布できることが判明したため、GDL に塗布し、燐光強度の酸素濃度と温度に対する依存性を明らかにし、GDL 供給ガス流路側表面の酸素濃度を可視化計測できる手法を開発した。

更に、今回開発した GDL を JARI セル準拠の単セルに用い、燐光分子センサによってセル内のガス濃度分布を可視化するための準備を進めた。ここでは、セルの製作を行うと共に、25cm<sup>2</sup>の面積を照明可能な光源、過度な照明による分子センサの光劣化を抑制するためのパルス駆動回路、光源とカメラの同期制御システムを開発し、素材や製造メーカーの異なる GDL に酸素濃度計測用の分子センサを塗布し、可視化計測予備試験を行った。また、流路の幅と深さを変更することにより、流路形状の影響についての予備実験も行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 燃料電池、ガス拡散層、流路構造

〔研究題目〕 マイルドな熱分解とガス化を組み合わせた化学基幹物質製造プロセスの開発及び低品位炭の水熱抽出・改質技術の開発

〔研究代表者〕 鈴木 善三 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 鈴木 善三、松岡 浩一、倉本 浩司、細貝 聡、佐藤 浩昭、川端 康正、鷹嘴 利公、Atul Sharma、森本 正人、Qingxin Zheng (常勤職員8名、他2名)

## 〔研究内容〕

本研究では、石炭のガス化過程における多環芳香物などのタール排出低減、ならびに水熱抽出・改質技術に関する基盤技術開発を行った。タールの低減に関しては、循環流動層装置を利用し、石炭チャーによるタールの改質効果を定量的に検討した。石炭チャーを循環流動層内でリサイクルさせることにより、チャーとタールの接触

を強化したところ、重質タールの排出を抑制できることが明らかとなった。さらに、重質タールを **Spiral TOF-MS** により分析し、得られた膨大なマススペクトルを **Kendrick** の提唱した **Kendrick diagram** に基づき解析した。その結果、タールの性状が一目瞭然となり、高温で生成する重質タールは酸素をほとんど含まず、高温ほど重質タールの脱酸素が促進することが明確になった。

タール低減に加えて、低品位炭をガス化燃料とオイル燃料に高効率転換することを目的とした研究も実施した。ここでは、**350℃**程度の穏和な条件の熱水を用いて低品位炭を抽出し、タール（抽出物）と高品位なガス化燃料（抽出残渣、改質炭）を製造する。また、タールを同様の水熱条件で高品位なオイル燃料へ改質するための触媒を開発する。本年度は、前段の水熱抽出法を産地の異なる3種類の褐炭に適用し、得られた各抽出物の詳細分子組成を高分解能質量分析により同定した。いずれの褐炭を用いた場合でも、同様の分子組成・性状を有する抽出物が得られることがわかり、本手法の有効性を確認した。また、後段の水熱触媒改質について、抽出物のモデル化合物と各種触媒を用いた実験を実施した結果、亜臨界水中で従来法より高効率に脱炭酸反応を進行させる触媒を発見した。本手法を応用し、穏和な条件下で低品位炭を化学原料源へ転換できるプロセスを提案した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】石炭、ガス化、タール分解、改質、亜臨界水

【研究題目】統合水素エネルギー利用システムの性能向上に資する水素貯蔵材料、及び貯蔵方法に関する基礎的研究

【研究代表者】中納 暁洋（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】中納 暁洋、伊藤 博、斉田 愛子、前田 哲彦、宗像 鉄雄、高木 聡美（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

常温付近・10気圧未満で水素貯蔵が可能な低温型の水素貯蔵装置について、産総研の水素吸蔵合金タンクで使用している **MmNi5**合金サンプルを共同研究先のドイツ、ヘルムホルツ協会（**HZG**）、材料・沿岸地帯研究センターに送付すると共に、産総研職員を同所に派遣し熱伝導率測定を実施した。その結果、活性化する前の合金の熱伝導率が  $0.190 \pm 0.001 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 、活性化した合金の熱伝導率が  $4.44 \text{ kPa}$  の圧力条件下で  $0.206 \pm 0.001 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  という実験結果を得た。昨年度実施した数値解析で用いた疑似熱伝導率、 $0.34 \sim 0.48 \text{ W/m} \cdot \text{K}$  と比べると若干小さい値であるが同オーダーであることを確認した。圧力条件が若干異なることを考慮すると、数値解析で用いた熱伝導率はほぼ妥当な値であることが裏付けられた。一方、固体酸化物型燃料電池（**SOFC**）の排熱利用を想定した  $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$  の温度範囲で作動する

水素貯蔵装置の開発については、実用に耐える水素貯蔵材料に関し更なる研究が必要なため、ここでの水素貯蔵装置開発への適用には時期尚早であると判断した。そのため  $200^\circ\text{C} \sim 300^\circ\text{C}$  の中温域で作動する水素貯蔵装置の開発を検討することになり、共同研究先のノルウェー、エネルギー技術研究所（**IFE**）から提示された複合金属水素化物のナトリウムアラネート（**NaAlH<sub>4</sub>**）を使用した水素貯蔵装置について検討を行った。日本での運用を考えると運用圧力が約 **20MPa** と 高压ガス保安法に係る圧力になるのに加え、非常に反応性の高い物質であることから消防法も考慮する必要がある。また、水素貯蔵装置の設置場所は排熱源のある場所が望ましい等、日本での市場化には大きな制約に係ることが予想される。よって、この水素貯蔵装置開発に関し、日本での実験や評価試験等は困難であることを欧州側に伝え了解を得た。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素システム、水素吸蔵合金タンク、水素貯蔵材料

【研究題目】ジャトロファからの高品質輸送用燃料製造・利用技術

【研究代表者】葭村 雄二（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】葭村 雄二、後藤 新一、鳥羽 誠、小熊 光晴、村田 和久、杉本 義一、匂坂 正幸、望月 剛久、陳 仕元、阿部 容子、西嶋 昭生、佐村 秀夫（常勤職員5名、他7名）

【研究内容】

本研究では、タイとの国際共同研究の中で、非食糧系バイオマスとして注目されているジャトロファ（**Jatropha**）果実の総合利用効率を高めるため、オイル留分からの高品質バイオディーゼル製造技術、並びにオイル抽出残渣の熱分解から得られるバイオオイルの輸送用燃料化技術の開発を行うと共に、各種バイオ燃料の燃焼特性、エンジン特性、排ガス特性等から新燃料の社会実装に向けた基盤を構築する。更に、タイ国研究者への技術指導等を通し、タイ国研究者の自立に向けた能力開発も併せて推進する。本年度は、以下の検討を行った。

ジャトロファ油から製造されるバイオディーゼル（**FAME**）を高品質化するために開発した部分水素化技術（製品を **H-FAME** と呼称）をパーム油 **FAME** に適用するため、水素化条件の最適化及び水素化触媒の寿命評価等を行った。パーム **H-FAME** の製造では、昨年度までに実施したジャトロファ **H-FAME** に比べ、触媒活性・寿命ともに低下したが、要因と考えられる含有不純物（ステリルグリコシド等）による吸着被毒は、アルミナ等のガードカラムで抑制できた。一方、**FAME** 製造用固体触媒では、四配位のチタニアを有した炭素含有 **3Ti-SBA-15**触媒が、高品質な **FAME** の製造に有効であることを見出した。

ジャトロファ残渣から得られるバイオオイルの輸送用燃料化技術では、バイオオイルの GC/GC-MS による精密分析技術、触媒存在下のジャトロファ分解技術、バイオオイルの水素化処理によるアップグレード処理技術等の検討を行った。ゼオライト担体 (ZSM、USY、Beta) に担持した触媒を用いた急速熱分解では、無触媒条件下に比べ、得られるバイオオイルの炭化水素選択率が高い、酸価も低下することがわかった。ドロマイト系触媒は、低酸素、低窒素のバイオオイル製造に有効であった。

バイオオイルのアップグレーディング (改質) では、軽油脱硫用の CoMo 系や NiMo 系触媒をより高温条件下で用い、しかも水素化活性のより高い触媒の利用が有効であること、また、ジャトロファ残渣バイオオイルでは、軽油製品を指向した脱硫や脱窒素活性の高い触媒が有効であることが分かった。TISTR のバイオオイルを改質して得られる炭化水素系燃料については、その自動車燃料規格適合性やエンジン適合性 (シャーシダイナモ試験) 等を検証予定であったが、TISTR でのバイオオイル大量製造が遅延したため、実施できなかった。

ジャトロファ残渣から得られるバイオオイル、その後の改質で得られる炭化水素系燃料のライフサイクルでの環境負荷について詳細な検討を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】非食糧系バイオマス、ジャトロファ、第二世代バイオ燃料、接触熱分解、バイオオイル、改質触媒、コプロセッシング、エンジン適合性、環境適合性、LCA、人材育成

【研究題目】車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発

【研究代表者】加藤 宙光 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】加藤 宙光、山崎 聡、竹内 大輔、牧野 俊晴、小倉 政彦 (常勤職員5名)

【研究内容】

ダイヤモンド半導体の負性電子親和力に着目し、その表面から放出される熱電子を活用した熱電子発電素子の開発し、自動車の排気熱を回収することによる燃費改善を実現することが最終目的である。高効率な熱電子発電素子の実現にはダイヤモンド薄膜の内部抵抗および実効的な仕事関数の低減が求められる。物理メカニズムを明らかにしつつ、更なる低減に向けた成膜条件・積層構造・表面終端構造の最適化を進めている。

本年度は、内部抵抗低減を目指し、合成条件、中間層の導入、基板材料の変更などを行い、熱電子発電に適した高濃度リンドープ膜の最適化を進めた。Si 基板上で緻密かつ平坦な膜の成長条件を見出し、リン濃度  $3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  の高濃度ドーピングを実現した。600℃での

比抵抗は  $0.02 \sim 0.06 \text{ } \Omega \text{ cm}^2$  まで低減できた。また、高濃度リンドープダイヤモンド膜および高濃度窒素/リンドープ積層ダイヤモンド膜の全光電子放出率分光 (TPYS) 測定を行い、表面の電子占有状態の計測を行った。窒素膜を積層することで、実効的な仕事関数低減につながることを確認できた。今後は、積層膜の最適条件および最表面の終端構造の最適化を進め、さらなる熱電子放出の向上を目指す。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】熱電子発電、負性電子親和力、排熱利用、仕事関数、ダイヤモンド

【研究題目】半導体ダイヤモンドの開発

【研究代表者】加藤 宙光 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】加藤 宙光、小倉 政彦、牧野 俊晴、竹内 大輔、山崎 聡、梅澤 仁 (常勤職員6名)

【研究内容】

そのグリーンイノベーションの一つとして、幅広い分野において使用されているパワーエレクトロニクスが期待されている。各半導体材料の物性値と電力素子としての性能を示す Baliga 指数、そして10年間の省エネ効果として原油換算効果量に関して、ダイヤモンドの物性は他の半導体材料よりも圧倒的に優れており、最も省エネ効果が期待できる究極のパワーデバイス半導体材料と言える。本研究では、イノベーションの核となる半導体ダイヤモンドの製造技術の確立および装置開発を目的とする。

より高速かつ高品質なダイヤ成長を実現するためにはプラズマ密度の増大、それと同時に温度環境に表面温度を維持するための冷却機構及びガスフローの大幅な改善が求められる。今年度はこれらに着目し、装置改良を進め (第4世代アリオス製マイクロ波プラズマ化学気相堆積 (MPCVD) 装置)、成長速度  $150 \text{ } \mu\text{m/h}$  を実現した。

ダイヤモンド基板の評価に適しているマイクロキャピラリーを用いた集光 x 線源を有する XRD 装置 (Bede社製) を用い結晶性の評価を行った。(004) ロッキングカーブ半値幅は、 $7.5 \text{ arcsec}$  と高温高圧法により得られる結晶と劣らないことを確認した。今後は、ホウ素ドーピング条件の最適化を進め、 $0.1 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$  以下の抵抗率を持つ高濃度ホウ素ドーピングダイヤモンド膜の高速成長 ( $5 \text{ } \mu\text{m/h}$  以上) を目指したい。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】半導体、ダイヤモンド、ウェハ、パワーデバイス、省エネルギー

【研究題目】次世代型無煙薪ストーブのための除煙ユニットの開発

【研究代表者】鈴木 善三 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】鈴木 善三、中山 勝洋

(常勤職員1名、他1名)

#### 〔研究内容〕

近年、薪ストーブの購入者・利用者が増加傾向にあるが、起動時や薪追加時の煙が近隣トラブルを引き起こすことから、都市部での普及が進まない状況にある。そこで本研究では、既存設備の煙突部分に据え付ける「急速加熱機構を備えた触媒燃焼器」(以下除煙ユニットと称する)を開発してこれらの問題を解決し、薪ストーブによりバイオマス利用を促進することを目的とする。

除煙ユニットとして当初は電磁誘導加熱方式を模索したが、コスト的に難があることが判明し、小型ガスバーナによる加熱方式の除煙ユニットを試作し、共同研究先の薪ストーブメーカーの製品に取付け、性能試験した。この結果、除煙ユニットはCOの除去には効果的であるが、目標の1/10～1/100の濃度にまで低減するためには、大きな触媒層を必要とすることが判った。発煙の原因と推定されるタール状の未燃物に対しては効果が認められた。特に薪着火時には、後述するドラフト圧低下のための通風量減少の効果もあり、燃焼速度が低下するため未燃タール発生速度が低下し、触媒層だけで無煙化は可能であった。しかし、薪追加時には急激なタール発生があり、このタールを触媒だけで低減することには限界があり、触媒層の他にタール状未燃物を一旦捕集する機構が必要であることが判った。総合的な判断では、除煙ユニットは無煙化に一定の効果は認められるものの、これを当初目標の完全無煙化まで性能を向上させるためには、煙突のドラフト圧による自然通風の制約内では、煙道に除煙ユニットを設置する本方式では、通風抵抗の増加分で発生ドラフト圧を消費してしまうため、原理的に不可能と判断した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 バイオマス、薪ストーブ、触媒燃焼

〔研究題目〕 次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション

〔研究代表者〕 淵野 修一郎

(エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 淵野 修一郎、古瀬 充徳

(常勤職員2名)

#### 〔研究内容〕

平成25年度に超伝導ケーブルの現状調査を行い、超伝導ケーブルの課題、特に長距離冷却システム構築のための検討課題としては下記の4項目を挙げた。

##### ・対向流冷却方式

電気絶縁層の熱伝導率を正確に測定し温度上昇を正確に算定するとともに、冷凍機の構成や端末の熱負荷も考慮した検討を行う。

##### ・冷却安定性

レジネグの不安定性判別により不安定領域を同定し、不安定現象が生じない運転条件を算出する。

##### ・送液ポンプ

現状の送液ポンプでは効率、信頼性に課題があるため、これらの課題解決のために、新たな送液ポンプを開発する。

##### ・侵入熱

導体の損失が基本的に無い直流ケーブルでは熱負荷のほとんどが断熱管への侵入熱であり、その低減が不可欠である。また、コルゲート管による圧力損失低減も長距離化には不可欠な技術となる。端末における侵入熱も大きな熱負荷となっており、端末の最適設計も必要である。

平成26年度はその内、上位3課題について対応策を検討したので、その検討結果および今後の研究開発について述べる。

##### ・対向流冷却方式

電気絶縁層の熱伝導率を正確に測定することは温度上昇を正確に算定するために必要であるが、測定手法が確立できなかったのが残念であるが、概ねその原因が把握できたことは意義がある。今後は測定装置内の対流や温度層の影響も考慮した測定手法を確立し、最適な絶縁層の構成を提言したい。

##### ・冷却安定性

レジネグの不安定性判別により不安定領域を同定し、不安定現象が生じない運転条件を提言できたことは意義がある。今後はより実規模レベルに近い各種パラメータを用いて長距離超電導送電ケーブルにおける不安定性領域の同定を行う。

##### ・送液ポンプ

現状の送液ポンプでは効率、信頼性に課題があるため、これらの課題解決のために、新たな送液ポンプの検討を開始したことは意義がある。今後は実規模の超電導送電ケーブルに必要な送液ポンプの要求仕様合ったポンプの設計を行う。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 超電導送電ケーブル、対向流冷却、電気絶縁材料、冷却不安定性、送液ポンプ

〔研究題目〕 アンモニア合成とプロセス解析

〔研究代表者〕 高木 英行 (エネルギー技術研究部門)

〔研究担当者〕 高木 英行、難波 哲哉 (再生可能エネルギー研究センター)、金 賢夏 (環境管理研究部門) (常勤職員3名)

#### 〔研究内容〕

エネルギーキャリアとして利用が期待されているアンモニアを、再生可能エネルギーを利用して製造するためには、従来法であるハーバー・ボッシュ法のような大型プロセスとは異なる小型かつ分散型に対応したアンモニア製造技術の開発が必要である。本事業では、このうち、低温・低圧でのアンモニア合成が可能なプロセスの開発に向けて、既存触媒の改良および新規触媒の探索に取り組む。さらに、プラズマと触媒技術を相補的に組み合わせ

せることによって、出力が変動する再生可能なエネルギー源から高効率でアンモニアを合成する革新的なアンモニア合成の確立を目指す。また、開発した触媒反応システムと、共同で研究開発を実施している大学で開発されたアンモニア吸蔵材を利用した新しいアンモニア分離貯蔵システムとを組み合わせたトータルシステムについて検討を行い、実証に向けた指針を得る。

本年度は、新たな触媒開発に向けた指針の整理を行うとともに、低温・低圧においてより高い活性が発現する触媒の開発に向けて、担体検討を中心に研究開発を進めた。酸化マグネシウムと種々の金属酸化物の混合担体に活性金属であるルテニウムを担持した触媒の活性を評価した。また、3MPa 以下、500°C以下の条件において、温度、圧力、空間速度等のパラメータを変化させて最適条件の探索を行い、その結果、活性向上に向けて有益な知見を得た。また、革新的なアンモニア合成プロセス開発に向けて、プラズマと触媒とを組み合わせた新たな反応システムについて検討を実施した。その結果、活性金属種の混合比や担体、さらに反応条件との組み合わせについてより高い活性が発現する条件を見出し、目標値である0.1kg・NH<sub>3</sub>/日を凌駕する結果を得ることができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア、再生可能エネルギー、触媒開発、活性評価、新規反応システム

【研究題目】機能性バイオ化学品の用途拡大を自指した大量製造技術の開発

【研究代表者】森田 友岳（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】森田 友岳、羽部 浩、小池 英明（常勤職員3名）

【研究内容】

バイオマスから微生物が生産する一部の糖脂質は、優れた物性と機能を発揮するため、新たな機能性バイオ化学品としての実用化が期待されている。一方、化学品としての市場競争力を高めるためには、大量製造技術の開発による大幅なコスト削減が技術課題となっている。本研究では、化粧品素材としての実用特性に優れ、既に部分的に実用されている担子菌酵母 *Pseudozyma tsukubaensis* のマンノシルエリスリトールリピッド（MEL-B）に着目し、遺伝子組換え技術による *P. tsukubaensis* の育種・改良と、MEL-B 生産効率の大幅向上および機能性バイオ化学品としての普及・拡大の可能性を検証することを目的とする。

本年度は、次世代シーケンサーを活用して *P. tsukubaensis* のドラフトゲノム配列を取得し、さらにデータベースの遺伝子情報との比較解析から MEL-B 生合成遺伝子クラスターの推定に成功した。また、MEL-B 生合成に関連する遺伝子を網羅的にリストアップするため、MEL-B 生産量の異なる培養条件を設定するなど、トランスクリプトーム解析に着手した。また、遺伝子組

換えの宿主株を選定し、蛍光タンパク質を導入した遺伝子導入株を作製するなど、*P. tsukubaensis* の遺伝子組換えによる育種・改良の基盤構築に着手した。今後、トランスクリプトーム解析によって MEL-B 生合成に関連する遺伝子群を取得し、遺伝子破壊あるいは発現による MEL-B 生産効率への効果を検証していく予定である。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】酵母、糖脂質、界面活性剤、遺伝子組換え、ゲノム科学

【研究題目】希薄な希土類元素の選択的吸着分離剤の開発

【研究代表者】尾形 剛志（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】尾形 剛志、成田 弘一、田中 幹也（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

希土類元素は先端産業に必須の素材であるが、国際政治情勢の影響を受け供給体制は不安定であり、安定供給体制が望まれる。この一方法として、未利用資源からの回収が考えられる。未利用資源の多くは含有している希土類元素が希薄である一方、ベースメタルが高い濃度で共存している。希薄な対象物を回収する技術としては吸着法が適しているが、高濃度のベースメタル含有液から希薄な希土類元素を選択的に吸着分離できる吸着剤は無いのが現状である。

本研究では未利用資源からの希薄な希土類元素の回収を目指し、希土類元素に対して選択性に優れ、吸着量および吸着速度が大きく、繰り返しの使用で劣化の少ない実用的な吸着剤の開発することを目的とし、粒径が0.5 mm 程度の球状高分子粒子を担体とした吸着剤の作製を行なった。

粒子の骨格となるスチレン、ジビニルベンゼンと反応性官能基となるメタクリル酸グリシジルを懸濁重合法で共重合することにより粒径0.5 mm 程度の球状高分子粒子を合成した。この粒子にエチレンジアミンを反応させ、その後ジグリコール酸無水物を反応させることで、希土類元素に対して選択性が期待できるジグリコールアミド酸基を高分子担体に導入することができた。作製した吸着剤の希土類元素吸着挙動を試験したところ、鉄などのベースメタルが存在している水溶液中から希土類元素を選択的に吸着・分離できることが明らかとなった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】希土類、吸着剤、レアメタル

【研究題目】エレクトロスプレー繊維加工技術の開発

【研究代表者】脇坂 昭弘（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】脇坂 昭弘、小原ひとみ、金久保 光央（常勤職員3名、他16名）

【研究内容】

高機能化・高品質化と製造プロセスによる環境負荷低



減を高いレベルで両立させ、小ロット多品種生産に対応する浸漬法に代わる繊維加工技術を開発するため、A-STEP FS シーズ顕在化タイプ（平成25年1月～平成25年12月）「エレクトロスプレー反応場を利用した繊維・紙加工技術の開発」において、エレクトロスプレー法による糸に対する染色・抗菌加工技術について研究し、非電導性の糸に電解質水溶液を含浸させて電気伝導性を付与し、エレクトロスプレーノズルと加工対象糸との間で電場を形成させることにより荷電液滴を糸に集束させる技術を受験県産業技術研究所らと共同開発した。本研究では、これをシーズ技術として、糸の染色・抗菌加工へ実用化するため、50 m/min.以上の高速加工と染色加工・抗菌加工・糊付・乾燥の複数の加工プロセスの連続化による高効率加工を目指した開発リスクを伴う試作装置を受験県産業技術研究所及び参画企業と共同で製作し、糸加工の実証試験を行う。今年度は、50 m/min.で移動可能な糸送り装置を試作し、高速・連続加工に対応したエレクトロスプレーノズルの形状、材質、配置について検討した。電場をノズル先端に集中させることにより微細なスプレーが形成されるため、先端径100 $\mu$ m以下のノズルが必要なこと、約5 mmピッチで糸を平行に並べた状態のところにエレクトロスプレーを行うことにより、複数本ノズルの配置が可能になり高速加工に対応できることを明らかにした。これらに知見に基づいて、次年度にエレクトロスプレー糸加工装置を完成させる予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 エレクトロスプレー、染色、抗菌加工

【研究題目】 レーザー超音波可視化映像からの欠陥定量検出法の開発

【研究代表者】 遠山 暢之

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】 遠山 暢之、宮内 秀和

（常勤職員2名）

【研究内容】

レーザー超音波可視化探傷法を利用して、鋼橋に発生するき裂や腐食等の欠陥を、遠隔で効率的に検出できる非接触・非破壊の劣化診断技術の開発を目指している。本年度は、模擬欠陥を導入した鋼板試験片における超音波伝搬挙動の基礎的知見を得るために、種々の条件の下でレーザー超音波可視化データを取得し、可視化映像からき裂エコーを明確にする解析手法およびき裂位置の同定やサイジングを行う手法の開発に着手した。本年度は下記の成果を得た。

レーザー超音波可視化システムを用いて、長さ10mm以下の模擬き裂を導入した種々の鋼板試験片の超音波可視化データの取得を行った。各計測点で取得した超音波波形データの最大振幅画像から、き裂に対する超音波入射角度の変化にかかわらず、き裂の位置および長さを明

確に検出できることができた。溶接部を含む鋼板試験片においても、溶接部で微小な散乱エコーが発生するものの、溶接部近傍に存在するき裂のエコーを検出することができた。さらに差分法を利用した画像処理を行うことにより、欠陥エコーを鮮明化することができ、き裂位置の同定およびサイジングも可能であることを実証した。さらに高架橋撤去大型部材に対して超音波可視化試験を実施し、実機においても超音波可視化データの計測が可能であることを確認した。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 非破壊検査、超音波探傷、インフラ診断、き裂、腐食

【研究題目】 コンクリート内部を可視化する後方散乱X線装置の開発

【研究代表者】 豊川 弘之

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】 豊川 弘之、平 義隆（常勤職員2名）

【研究内容】

産総研所有のCバンド高周波電子銃を用いて、マイクロ波出力に対する、電子の電界放出特性、空洞の高周波特性等を明らかにし、次年度以降開発する高エネルギー・小型・高周波電子銃の仕様を決定した。運動量分析器を用いて電子エネルギーを計測し最大約400 keVの電子が観測され、計算結果とおおむね一致することを確認した。

シミュレーションコードを用いて高エネルギーX線発生用に0.9 MeV電子銃空洞の設計を行った。まず2次元電磁界解析シミュレーションコードを用いてモデル形状を作成し、3次元電界計算コードを用いて加速空洞を設計した。

後方散乱システム実験の全体コンセプトを検討し、ロボットシステムを用いた鉄筋コンクリート実験およびガントリーシステムを用いた道路床板実験を行うための治具を設計した。

シミュレーション及び基礎実験により、平行平板マルチスリットの幾何形状を決定した。後方散乱X線イメージングで数mmの位置分解能が得られる見通しが得られた。以上により概ね目標を達成した。

【分野名】 計測・計量標準

【キーワード】 カーボンナノ構造体、X線源、電子加速器

【研究題目】 エピゲノム標準化情報基盤の構築

【研究代表者】 光山 統泰（ゲノム配列情報チーム）

【研究担当者】 光山 統泰、齋藤 裕

（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

プロジェクトで得られた膨大なエピゲノム測定結果から、エピゲノム標準化に必要な情報を適切な方法で抽出

し、プロジェクト内および IHEC コミュニティで効率的に共有できるようにするための情報基盤を構築する。

研究計画：H24：エピゲノムデータ品質検査

H25：エピゲノム情報のカタログ化

年度進捗状況：

1) エピゲノムデータの品質検査作業

白髭グループで計測されたエピゲノムデータについて、配列データレベルの品質検査を実施する。品質検査では、FASTQ ファイルにおいて、問題のある配列が含まれているか否かを検査する。またヒトリファレンスゲノムにマッピングをおこない、ChIP-seq、FAIRE-seq については、一定の遺伝子群（マーカー遺伝子に相当する組織特異的に発現する遺伝子）において、遺伝子の発現と矛盾しないピークパターンを示しているか否かを検査する。RNA-seq については、マイクロアレイによる遺伝子レベルの発現量と矛盾しないかを検査する。

2) エピゲノム情報解析パイプラインの構築

既存の情報ツールを組み合わせた情報解析パイプラインを構築する。今年度は ChIP-seq データ用のパイプラインを構築する。ChIP-seq データ用パイプラインは、short read のマッピングからピークシグナルを検出したのち、遺伝子とシグナルとを対応付けをおこなう。その後、ヒストンマークのシグナル強度を複数のサンプル間で比較できるよう正規化された指標に変換する。

3) エピゲノムデータベースの構築

CREST プログラム内で生成されたエピゲノムデータをカタログ化し、グループ間および IHEC コミュニティでエピゲノムデータの共有を促進するため、データベースの構築を継続して実施する。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 エピゲノム、DNA、メチル化、配列解析

【研究題目】 超高真空、低温チップ増強ラマン分光イメージング装置の開発

【研究代表者】 伊藤 民武（健康工学研究部門）

【研究担当者】 伊藤 民武（常勤職員1名）

【研究内容】

概要：

分子中の振動構造情報まで測定可能な唯一のナノイメージング手法であるチップ増強ラマン散乱イメージング（TERS イメージング）を安定に測定できる装置を目標とし、そのために超高真空、低温 TERS イメージング装置、探針、標準サンプルの開発を行う。従来の大気中 TERS 装置は、TERS 信号強度の安定性に欠け、材料研究などの評価ツールとしては基礎研究レベルにとどまる。本研究では探針の最適化手法を構築し、安定性、再現性の高い TERS 測定を実現に貢献する。

目標：

本開発では、電磁解析計算として FDTD 法を用いた TERS 探針先端のプラズモン増強場の強度とスペクトルを明らかにすることを目標としている。FDTD 法ではマクスウェルの方程式を直接、空間・時間領域での差分方程式に展開して逐次計算をすることで任意の探針先端周囲の電場を決定できる。本実施期間では 0.5nm 程度の空間刻み条件で探針先端のプラズモン増強電場を現実的な計算時間で定量的に評価する。

電磁解析計算で取得された探針先端のプラズモン増強電場を評価するためには実験的にプラズモン増強電場を計測しなければならない。本実施期間では、新しい手法として弾性散乱スペクトルを利用する。探針先端からの弾性散乱スペクトルを選択的に取得し探針先端のプラズモン共鳴の情報を簡便に得る。

進捗状況：

FDTD 法を用いた TERS 探針先端のプラズモン増強電場の計算解析を行った。電場振幅増強度の最大値は約5倍程度だということが分った。この結果は TERS 探針先端にナノ構造を作り強い局在型プラズモンを発生させる必要があることを示している。

探針先端のプラズモン共鳴について、既存の暗視野顕微鏡を用いた企業から供給された探針先端からの弾性散乱スペクトルを測定した。実験結果は計算結果と定性的に一致していた。最終年度は、実験結果を計算で定量評価し実現可能な効率的な TERS 探針先端形状を実験と計算の両面から明らかにする。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 チップ増強ラマン散乱（チップ先端のラマン散乱増強で計測する手法）、プラズモン（伝導電子の集団振動）、グラフェン

【研究題目】 新規バイオマーカー群を用いた糖尿病リスクの早期研修の実用化

【研究代表者】 吉田 康一（健康工学研究部門）

【研究担当者】 吉田 康一、堀江 祐範、梅野 彩（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

産業技術総合研究所において、世界で初めて体内の多重項酸素障害を検出した。10,12-(Z,E)-ヒドロキシリノール酸（HODE）を LC-MS/MS で測定する方法である。意外にも糖尿病の早期診断に有用であるヒト試験結果が得られ、知財出願および論文投稿を達成した。そこで、本マーカーの臨床現場での実用化を進めるべく、NTT 西日本高松診療所での人間ドック糖負荷試験を実施する。平成26年度は101例の被験者に対して糖負荷試験を実施し、目標を達成した。平成27年度は101例の血液サンプルの分析を行い、マーカーの有効性検証を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

[キーワード] 糖尿病、早期診断、バイオマーカー

[研究題目] 反応性イオン液体のCO<sub>2</sub>吸収機構解明

[研究代表者] 金久保 光央 (コンパクト化学システム研究センター)

[研究担当者] 金久保 光央、牧野 貴至、  
新妻 依利子 (常勤職員2名、他1名)

[研究内容]

膜分離法は、体積効率の高い省エネルギー技術であり、種々の条件のCO<sub>2</sub>発生源を対象として、脱炭酸を実現可能な技術である。本研究開発では、室温から高温、常圧から高圧(～3 MPa)、低湿度から高湿度までの全ての性状ガスに対応できる、イオン液体を利用したCO<sub>2</sub>選択透過膜を創製する。そのためには、分離膜の設計にあたり、イオン液体のCO<sub>2</sub>吸収量や輸送特性、及び水蒸気の影響等を明らかとし、熱力学的な見地からCO<sub>2</sub>吸収メカニズムを考察することが不可欠である。

平成26年度は、各種アミノ酸イオン液体の高圧CO<sub>2</sub>吸収量を測定し、分子構造がCO<sub>2</sub>吸収量の圧力依存性に及ぼす影響を調べた。アミノ酸の炭素骨格に依存して圧力依存性が変化することを明らかにし、高圧領域のCO<sub>2</sub>吸収に適したアミノ酸イオン液体の設計指針を得た。また、いずれのアミノ酸イオン液体も～5 MPaまでの圧力領域で、既報の物理吸収イオン液体と比較して、高いCO<sub>2</sub>吸収量を示すことを見出した。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 分離膜、二酸化炭素、イオン液体、省エネルギー

[研究題目] エネルギー集中型マイクロ波照射装置による微粒子表面の局所加熱効果を用いた高効率顔料表面改質プロセスと機能性顔料の実用化開発

[研究代表者] 西岡 将輝 (コンパクト化学システム研究センター)

[研究担当者] 宮沢 哲、西岡 将輝、宮川正人、  
千葉 怜美衣 (常勤職員2名、他2名)

[研究内容]

インクジェットやカラーフィルターに用いられる顔料は、顔料そのものが持つ発色性に加え、微粒子である顔料の粒子径分布や分散性も顔料性能に大きな影響を与える。本研究では、エネルギー集中型マイクロ波照射技術を用い、顔料原料を含む溶液の短時間熱処理を行うことで発色性の高い顔料改質プロセスを開発することを目的とした。

平成26年度は高速かつ高精度に電力および周波数を制御できる半導体マイクロ波源を用いた、シングルモードマイクロ波リアクターを複数台(2～10台)連結する技術を確認した。これに、顔料を含むスラリー溶液を加圧条件下で供給できる送液システムと組み合わせ、

100℃以上の加熱処理を1秒以下で実現することができるようになった。本システムを用いることで、白色顔料、黒色顔料、赤色顔料について短時間マイクロ波熱処理の効果を調査した。顔料表面への官能基導入や、結晶多形の変換が可能であることを実証した、顔料の発色性を向上に繋がる条件を見つけることができた。

本システムを実現するにあたり、複数台のマイクロ波リアクターをシンプルな操作で統合して制御できるソフトウェアを開発した。これは、各リアクターの並列・直列の組み合わせ運転や、それぞれのリアクターの反射波解析による反応器状態監視が可能である。

[分野名] 環境エネルギー

[キーワード] 顔料、表面処理、マイクロ波

[研究題目] 希釈溶剤代替として高圧CO<sub>2</sub>を用いた低環境負荷型建設機械塗装技術の実証研究

[研究代表者] 川崎 慎一郎 (コンパクト化学システム研究センター)

[研究担当者] 川崎 慎一郎、弦巻 武久  
(常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

本研究は、建設機械向けにCO<sub>2</sub>塗装技術を適用することを目標として、産総研は操作条件の検討、微粒化及び成膜メカニズムの解明を研究課題とし、日立建機は大流量噴霧が可能な実証試験装置を製作し、その装置を用いた噴霧試験を研究課題としている。建設機械塗装は、2液硬化型塗料を用いた10～15MPaの条件から噴霧する圧力噴霧塗装(エアレス塗装)である。希釈溶剤を高圧CO<sub>2</sub>に代替することでVOCを削減し、塗膜乾燥のエネルギーを低減できる。また、被塗装物が大きく、ロボット塗装が適用できないため、塗装ブースに作業員が入って塗装を行っている。よって、希釈溶剤をCO<sub>2</sub>に代替ができれば作業環境も大幅に改善できる。

JSTのハイリスク挑戦タイプ(復興促進型)にて両社で2年間、検討を行ってきた結果、建設機械向けトップコート塗装では年間の3/4の期間は、従来の希釈溶剤を半減してもCO<sub>2</sub>塗装技術により良質な塗膜を得ることができることが分かった。一方、真夏に限っては塗装雰囲気温度が高いため、噴霧スプレーの液滴からレベリングに寄与する溶剤成分の蒸発が促進され、塗膜性能が低下することが判明した。従って、今後塗料会社の協力を得て、内部溶剤の構成成分を変更することで、年間を通して溶剤削減と良質塗膜を両立することを目指す。

さらに、トップコート塗装と並行して検討していた下塗り、中塗り塗装に関して、希釈溶剤を半減以上に削減した状態で、年間を通してCO<sub>2</sub>塗装技術により良質な塗膜を得られることが判明した。これは、トップコートに比べて塗料中の溶剤成分が揮発しにくいことに起因していると考えられる。従って、日立建機としては本年度

中に下塗り、中塗りのライン実装を目指す。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 低環境負荷、製造技術、VOC 削減、省エネ

【研究 題目】 木質バイオマスの全炭素成分有効利用を目指した触媒化学変換技術の開拓

【研究代表者】 山口 有朋（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】 山口 有朋、村上 由香  
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

二酸化炭素排出量削減や、化石燃料資源の枯渇・価格の高騰に対応する脱化石燃料社会の実現のために、再生可能資源から有用物質の製造が世界的に求められている。特にバイオマスは炭素資源であり、現在石油から作られているプラスチックの代替化学品を製造可能なことからバイオマスの利活用技術の開拓が求められている。本研究では、木質系バイオマスを反応物として利用し、セルロース・ヘミセルロース・リグニンのすべての炭素成分からそれぞれプラスチックや医薬品の原料を製造する触媒化学変換技術を確立する。

木質バイオマスは、主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンで構成されている。本研究ではそれらの成分を分離する前処理過程を省き、木質バイオマスを反応物として反応条件を変えて化学変換を行い、すべての炭素成分を有用物質に変換する。本研究により開発される技術により、木質バイオマスの全炭素成分をプラスチック原料へと変換可能になり、二酸化炭素資源化に貢献可能である。

木質バイオマスの全炭素成分有効利用を実現するために、木質バイオマスに含まれるセルロース・ヘミセルロースを有用化学物質に変換する反応を行った。木粉を反応物として、水素分解反応によるソルビトールやキシリトール等の糖アルコールへの効率的な変換反応に成功した。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 木質バイオマス利用、担持金属触媒、高温水反応場

【研究 題目】 ギ酸脱水素化触媒による高圧水素供給プロセスの構築

【研究代表者】 川波 肇（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】 川波 肇、井口 昌幸、砂金 正芳  
（常勤職員1名、他2名）

【研究 内容】

本研究では、再生可能エネルギーを安定的・効率的に利用する水素エネルギー社会の実現に向け、安価・大規模な化学系水素貯蔵材料としてギ酸を用いて、優れた特

性を持つ水素供給システムの基礎的・基盤的な技術開発を行った。即ち、遷移金属錯体による均一系触媒を用いて、水中で高効率・高選択的なギ酸の脱水素化反応による水素供給システムの開発を行った。具体的には、水中100℃以下の温和な条件下、高性能・高エネルギー効率で、ギ酸から一酸化炭素を含まない“高圧・高品質水素”の連続供給を可能とする技術開発を目標として検討を行った。特に、この技術を実現すべく、“独自開発の触媒技術”と“世界屈指の高圧技術”をもつ産総研内のグループ同士とでタッグを組み研究を行った。

平成26年度は、まず高圧水素発生装置の設計・開発を行い、高圧ガス保安法に基づいて設置許可を受けた後、最終的に装置を完成させた。次に、装置の完成を受けて、つくばで開発された高効率・高耐久性均一系錯体触媒を用いて、高圧水素発生時の検討を行った。その結果、ギ酸脱水素化反応により高圧ガスが発生可能であることを確認した。また、気液分離による発生した二酸化炭素と水素を分離することが可能であることも確認した。更に高圧ガス発生時では、常圧時とは異なるガス組成となることから、触媒の反応機構の変化があることも見出し、次年度にはこれらの詳細を調べることとなった。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 二酸化炭素、水素、ギ酸、触媒

【研究 題目】 無機有機ナノコンポジット高耐久表面処理技術の開発と宮城伝統工芸「玉虫塗」への展開

【研究代表者】 蛭名 武雄（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】 蛭名 武雄、石井 亮、林 拓道、和久井 喜人、中村 考志、外門 恵美子（常勤職員5名、他1名）

【研究 内容】

本研究は、玉虫塗として知られる漆器塗工面上に粘土などの無機ナノ粒子を含む保護層を付与し、耐擦過性・耐洗浄機性・耐紫外線性・耐久性に優れた漆器およびその製造方法を開発するものである。

紫外線硬化樹脂と粘土を混合したペーストを塗布乾燥後、紫外線照射を行うことにより、室温で透明度に優れた保護層が得られることを見出した。この保護層の密着性を確認したところ、玉虫塗に用いられるカシュー樹脂、ウレタン樹脂に対して強く密着することを確認した。また、表面硬度を評価したところ、ハードコートの一般的な基準である3Hよりも硬い4H~5Hの鉛筆硬度が得られることが分かった。また、耐紫外線試験では、保護層の付与により、赤、青、緑の何れの玉虫塗においても、退色の軽減効果が確認された。さらに、耐食洗機試験によって、食洗機にかけても保護層が劣化しないことを確認した。

以上のように、従来の漆器塗工面上に粘土などの無機ナノ粒子を含む保護層をコーティングすることで、耐擦過性・耐紫外線性・耐久性を付与することができた。原料のペーストについては、立体形状へのスプレーコーティングを実施し、製品表面にも均一に付与できることを確認した。今後はさらに確立した保護膜付与の技術を基に、製品化に向けた検討を継続する。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】粘土、コンポジット、ハードコート、膜

【研究題目】低温成形成銅ナノ粒子を用いる導電性インクの開発とプリンテッドエレクトロニクスデバイスへの展開

【研究代表者】中村 考志（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】中村 考志、蛭名 武雄、林 拓道（常勤職員3名）

【研究内容】

本研究は印刷エレクトロニクスデバイス分野で用いられる銅系配線インクの化学的不安定性や高温加熱処理の必要性といった問題を克服すべく、耐酸化性があり400℃程度で銅と窒素に分解する窒化銅を主成分とする新規配線インクの開発に関する研究である。

課題解決に向けて必要な技術は1) 窒化銅ナノ粒子の合成法の開発、2) 粒子の量産化、3) 粒子の特徴を生かせるインク調製、4) 窒化銅に最適な印刷および処理技術開発である。

本研究課題では、窒化銅ナノ粒子の合成法の開発に着目。これまで高温（250度以上）又は高圧条件下（5Mpa以上）といった量産化に不適な合成方法しか報告されていなかったが、研究開発を進めることにより長鎖アルコール中で銅イオンとアンモニアを加熱し200℃以下で窒化銅ナノ粒子（1次粒径20nm程度、2次粒径200nm程度）を合成できることを見出した。この合成方法は圧力容器を不要とし、従来の方法よりも50℃以上の反応温度の低下を達成した。

また、原料に脂肪酸銅を用いることで5×20nm程度の板状窒化銅ナノ結晶が得られ、粒子の形状とサイズを操作できることを見出した。

開発した方法で合成した窒化銅ナノ粒子と市販の窒化銅粉末の分解温度を重量減少が起こる温度で比較した結果、合成した粒子が220℃、市販の粒子430℃と200℃以上の分解温度の低下を確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】導電インク、配線、インク、窒化銅、銅、印刷エレクトロニクス

【研究題目】生物発光を利用した高感度遺伝子検出システムの開発研究

【研究代表者】小島 直（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】小島 直（常勤職員1名）

【研究内容】

ゲノム解読技術の飛躍的な発展により、現在ではがんなどのリスク評価等、様々な病気の予知や診断、更には遺伝情報に基づいた治療法の選択（テーラーメイド医療）が可能になりつつある。一方で、遺伝情報の解読が進むにつれ、細胞内に微量にしか発現していない遺伝子を高感度且つ簡便に検出する技術の開発が望まれるようになった。従来の遺伝子検出技術では、蛍光分子が導入された核酸プローブが汎用されている。しかしながら細胞には様々な夾雑物質由来の自然蛍光が存在するため、高感度な検出には限界があった。そこで本課題では、遺伝子検出技術としては未開拓であった生物発光を利用した新しい検出法の開発を行う。生物発光はバックグラウンドの影響を受けないため、高感度な遺伝子検出が可能になると期待される。

研究初年度である本年度は、遺伝子配列に応答して生物発光分子を放出する核酸プローブの開発を目指し、核酸プローブの構築に必要な発光基質放出分子の化学合成を行った。本化合物の構築にはベンジルアルコール誘導体と発光分子との化学的な連結が必要となるが、反応部位周辺の立体的な嵩高さが反応の障害となった。種々検討した結果、ベンジルアルコール2分子を直鎖状に連結し、さらに発光分子の保護体を用いることで目的分子の合成を達成した。一方、標的遺伝子には HIV-1 の gag 配列を選択し、我々が以前に開発した高反応性アミノリンカーを導入したプローブ用核酸を合成した。現在、核酸プローブの調製を進めている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】核酸化学、生物発光、分子プローブ、生体分子計測、

【研究題目】テスト技法 FOT の支援ツール開発、技法の拡充、及び実証実験による実用化研究

【研究代表者】北村 崇師

（セキュアシステム研究部門）

【研究担当者】北村 崇師、崔 銀恵、Cyrille Artho、大岩 寛、山田 晃久（常勤職員4名）

【研究内容】

#### ■実施項目1：FOT支援ツールの開発

FOT 支援ツールの GUI とテスト生成エンジンを連携させ、エラーなく動作していることを確かめた。そのために、GUI とテスト生成エンジンがデータの受け渡しをするための、XML 形式を策定した。これにより、GUI を通してユーザにより入力されたテスト設計データは一旦ツール内部に XML 形式で保管され、かつ、この設計データよりテストケースを生成する際はこの XML 形式が FOT 形式に変換され、さらに FOT はこの FOT 形式を受け取り、テストケー

スを生成する。最終的に、GUI は生成されたテストケースを GUI 上に表示させることでユーザに生成されたテストケースを表示する仕組みとなる。産総研ではこの仕組みを実現するために、GUI との境界仕様となる、XML および FOT の言語設計を行った。

#### ■実施項目2：FOT 技法・ツールの実証実験

実証実験の対象となるシステム選定のオムロンソーシャルソリューションズ株式会社（OSS）と協議を行った。協議では FOT の適用可能性についての情報提供をおこない、OSS（株）が対象システムの選定を支援した。

#### ■実施項目3：A. 表現力の高いロジックツリーの平坦化アルゴリズム設計・実装

表現力の高いロジックツリーの平坦化アルゴリズム設計・実装をおこなった。FOT ではテスト設計はロジックツリー+命題論理式で表現される「制約」によって表現される。本プロジェクト開始時点では、Tmr と呼ぶ、制約部分は命題論理式の一部に限定したテスト設計言語（ロジックツリー）しか扱うことはできなかった。今回の実施項目の実施により、その限定が解消され、命題論理式のフルセットが扱えるようになった。つまり、より表現力の高いテスト設計言語（ロジックツリー）Tprop から、テストケースを生成できるようになった。この成果を学術論文にまとめ、国際学術会議 QRS2015 に投稿を行った。一方で、この研究により、さらに文法的に表現力の高い言語 Tprop+att+rem を考慮する必要が発生し、これは今後の取り組むべき課題となっている。

■実施項目4：B. 優先度概念を考慮したテスト設計・テストケース生成アルゴリズムの設計優先度概念を扱うテスト設計やテスト生成技術の調査を行った。その結果、既存技術では、優先度を順序の概念（優先度の高い項目を先にテストする）としてとらえるアプローチと頻度の概念（優先度の高い項目をより多くテストする）としてとらえるアプローチの二つがあることを調査結果として得た。産総研ではこれらの調査を基に、この二つのアプローチを融合するアプローチを考案した。その成果を国際会議 ICTSS2014 で発表を行った。さらに、このアプローチによる優先度概念付きのテスト生成アルゴリズムについて、特許出願をおこなった。これらの調査研究に基づき、FOT での優先度概念の扱いを定義し、その機能の設計・実装を FOT に組み込んだ。

#### ■実施項目5：FOT 支援ツールの安全規格取得のための基盤構築

FOT 支援ツールの安全規格取得のための基盤構築として、実施項目3-A で開発したテスト生成アルゴリズム（平坦化アルゴリズム）の正しさの証明をおこなった。FOT ツールの安全規格取得の対応には、開発手法の正しさの保証が重要な要件の一つである。正しさ

の保証の方法には、数学的な証明による方法とテストによる方法などいくつかの方法が可能である。今回は、安全規格の取得に最も高レベルな（5個の補題と5個の定理からなる計5ページ程度（二段組み））数学的な証明をおこない、その正しさの保証を行った。この正しさの証明は、FOT ツールの安全規格取得のための基盤構築の重要な構成要素となる。

#### ■実施項目6：FOT・ツール・適用事例の解説書・セミナー開発

FOT 技法・ツールのセミナー開発の一環として、セミナー資料の拡充を行った。特に、「IC カードチャージ」というより現実的でなじみ深いシステムを例にして、FOT 技法の適用例の説明を行った。これにより、より現実的な例で FOT の適用可能性を訴求できるようになった。また、制約についてもより詳しい解説を行えるようにセミナー資料を拡充し、「ロジックツリー+制約」でテスト設計を行うことの意義をより良く解説できるようになった。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] ソフトウェアテスト

[研究題目] サイドチャネル攻撃への安全性評価手法の確立および PUF デバイスの実装・評価とセキュリティシステムへの応用

[研究代表者] 堀 洋平（セキュアシステム研究部門）

[研究担当者] 堀 洋平、片下 敏宏、坂根 広史、藤原 充、伊藤 剛  
（常勤職員3名、他2名）

#### [研究内容]

本研究課題では、サイドチャネル攻撃の安全性評価環境の構築や攻撃手法の研究、および半導体の物理特性を利用した偽造防止技術 PUF（Physically Unclonable Function）の研究開発を行った。

サイドチャネル攻撃は、IC カード等に搭載されている暗号回路の消費電力や漏えい電磁波を解析して内部データを盗み出す攻撃であり、産業界における大きな脅威の1つとなっている。サイドチャネル攻撃に対する安全性評価ガイドライン策定が急がれているが、各研究機関が独自の環境で実験を進めていたため、実験結果の追試や検証が難しく標準化の妨げとなっていた。そこで我々は、セキュリティ LSI の耐タンパ性能を評価する指針を提示するとともに、上記の様々な物理解析攻撃実験用の LSI ボードを開発し、評価試験環境を構築してきた。

本年度は、IC カード型の安全性評価 FPGA ボード MiMICC（Mineature Measurement Integrated Circuit Card）を改良した MiMICC-X および MiMICC-Z の開発を行った。従来の MiMICC は、市販の IC カードリーダーに挿入しても、FPGA の構築が間に合わずにカードリーダーからの給電がカットされてしまう現象が生じた。そのため、MiMICC-X ではリチウムイ

オン電池を搭載して FPGA を構築した状態で IC カードリーダーに挿入できるようにした。また、IC カードの標準のプロトコル ISO/IEC 7816や様々なアプリケーションをソフトウェア実装できるよう、ARM コアを内蔵した Xilinx Zynq を搭載した MiMICC-Z を開発した。これにより、IC カード上の暗号モジュールの安全性評価環境の整備をさらに進めることができた。

PUF は、LSI の製造過程において偶然に生じるデバイスの物理的なばらつきを固有の ID や認証データとして利用するものである。LSI チップのばらつきを複製することはできないため、PUF は複製が極めて困難な ID を生成することができる。PUF は半導体製品の偽造防止のみならず、RFID 化して製品に添付することで、医薬品やブランド品等の様々な模倣品を検出・防止することができる。本年度は、PUF の誤り率を製造後に制御するためのソフトウェア的な方式を開発し、知財化を行った。また、PUF を用いた鍵生成デモソフトウェアの改良作業を行い、より直感的に PUF を用いた鍵生成の仕組みが理解できるよう改善した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】サイドチャネル攻撃、標準評価プラットフォーム、PUF、偽造防止

【研究題目】新規固体酸化物形共電解反応セルを用いた革新的エネルギーキャリア合成技術（キャリアファーム共電解技術）の開発

【研究代表者】藤代 芳伸

（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】藤代 芳伸、山口 十志明、申 ウソク、赤松 貴文、島田 寛之、嘉藤 徹、門馬 昭彦、田中 洋平、山地 克彦、岸本 治夫、

Katherine Develos Bagarinao、

竹村 文男（常勤職員12名、他4名）

【研究内容】

二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）および水蒸気の高効率共電解セルの作製技術および電解性能評価技術の要素技術開発を目的とし、高精度分析手法の開発および電解性能の向上について研究を進めた。その結果、今年度は、構成材料の改良、数値解析結果の利用等により、電流密度を大きく向上させ、750℃のサーモニュートラル条件の1.33V で0.55A/cm<sup>2</sup>を達成した。また、質量基準で一点検量することにより、広範囲な負極生成ガス組成を精度±0.36mol%で分析できる手法を開発した。中低温作動向け共電解セルを開発し、空間速度5,000 1/h、400℃、1.4V 作動条件にてCO<sub>2</sub>からCH<sub>4</sub>への転化率約80%を達成した。電解質材料にYSZ、負極材料にNi-GDCを選択することで、電解電流以上のCH<sub>4</sub>生成が得られる非ファラデー電気化学的触媒活性（NEMCA）効果が見られた。プロトン導電系電解質を用いた電解セルについて

は、Ba（CeZr）O<sub>3</sub>系の材料のプロトン輸率が400℃以下でほぼ1となり、プロトン導電体として使用するには400℃以下が望ましいことを明らかにした。また、プロトン導電性セラミックス中の溶解プロトンの挙動と電気伝導度の相関について、in-situ FT-IR および電気化学測定により明らかにした。さらに、Ba（CeZr）O<sub>3</sub>系電解セルにて共電解実験を行った結果、O<sub>2</sub>-導電系電解セルと異なり、400℃付近でC-CカップリングによるC<sub>2</sub>H<sub>6</sub>が新たに検出された。

パルスガス吸着脱離法により、負極材料Niサーメットの表面活性分析を行った結果、水素の生成は金属Niと水によりNiOと水素が生成する素反応によることから、水素の生成ピークの最大値が素反応速度に、水素ピークの積分値が反応に関与するNiサイト数に相当すること、また、COの生成は金属NiとCO<sub>2</sub>によりNiOとCOが生成する素反応により、CH<sub>4</sub>の生成は表面Ni-HとCOによりNiOとCH<sub>4</sub>が生成する素反応によることを明らかにした。また、反応ガス中の水分量に応じてDMEの生成速度が変化し、さらにDME生成に最適な水分量があり、具体的には、水分量が0.66mol.%で反応温度220℃の時、9.8μmol g-cat/hとDME生成速度が最速となった。DME生成の際、水性ガスシフト反応（CO + H<sub>2</sub>O → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>）によるCO<sub>2</sub>生成も見られた。一方、反応温度が低い時（160、180℃）は水性ガスシフト反応（WGS）が主に起き、大量のCO<sub>2</sub>が生成されDMEの生成はわずかであった。また、常圧の場合、0.6mol.%の水の添加はDME生成増加に寄与しているが、加圧系の場合は寄与していないことがわかった。

さらに、4電解槽の温度が一定になるネットサーモニュートラル電圧を仮定し、反応熱を原料予熱と水蒸気生成器の熱源に利用する高効率なCH<sub>4</sub>合成システムのグランドデザインを提案した。本システムのエネルギー効率は87%となった。また、発生する水素とメタンの割合はそれぞれ44%と56%であり、未反応物のCO<sub>2</sub>は1%の計算結果となった。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】電気化学、物質変換デバイス、機能性セラミック電極、エネルギー部材製造技術

【研究題目】単結晶ナノキューブのボトムアップによる高性能小型デバイス開発

【研究代表者】加藤 一実

（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】加藤 一実、安井 久一、木村 辰雄、増田 佳丈、三村 憲一、馬 強、瀧川 玲子（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

本研究の目的は、誘電体セラミックスナノ粒子を低温で結晶形態制御して単結晶ナノキューブ化する技術、誘電体単結晶ナノキューブを様々な基板上において配置・

配列・接合・界面制御する技術を確認し、単結晶ナノキューブが大面積に密に詰まり結合することによって形成される極薄の誘電体単結晶超薄膜や、多種類の誘電体ナノキューブが任意に配列した超格子構造の薄膜を形成する技術を開発にすることにより、スーパーキャパシタを実現することにある。また、開発技術はセラミックス部材の製造に関する分野横断的な基礎・基盤技術の確立に繋がり、蓄電デバイスなどのエネルギー関連未来型デバイスの開発を加速することが可能になる。

平成26年度は、チタン酸バリウム単結晶ナノキューブ秩序配列構造の大面積化、ナノキューブのサイズ制御を検討した。具体的には、ナノキューブ成形体におけるマイクロクラックを抑制するために、基板表面の微細構造を利用した。予め基板表面に形成した微細凹凸パターンの向きを適切に調節することにより、凹部にナノキューブを密に充填でき、マイクロクラックをある程度抑制できた。また、水熱反応における核形成・成長過程の精密制御により、30nm まで任意のサイズへ拡大することができた。この拡大ナノキューブも内部欠陥を含まず、良質の単結晶であることを確かめた。これらの結果は、単結晶ナノキューブを構成単位とした新たなナノ構造セラミックスの部材化のための先行的な基礎的知見である。また、外部共同研究者との連携により、単結晶ナノキューブの単一特性の解明、誘電体以外のエネルギー関連材料への適用可能性、他材料との複合化に関する知見を蓄積した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 単結晶ナノキューブ、ナノクリスタル、ボトムアップ製造技術、誘電体、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、誘電デバイス、スーパーキャパシタ、蓄電デバイス

【研究題目】 リチウム空気二次電池の基盤技術開発／セラミックスセパレータ技術の開発

【研究代表者】 藤代 芳伸  
(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 藤代 芳伸、濱本 孝一、山口 十志明、鈴木 俊男 (常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

次世代電池として期待されているリチウム空気二次電池実用化のための基盤技術確立を目的とし、水系リチウム空気二次電池に不可欠な高性能セラミックセパレータの材料・製造技術の開発を計画として進めた。固体電解質として機能するセラミックセパレータは、高いリチウムイオン伝導性と耐水性だけでなく、体積エネルギー密度を向上させるために、薄膜化・高強度化に加えて、金属リチウム負極に対する耐性の向上が求められている。今年度は、既に開発している高いリチウムイオン伝導性を有する LTAP ( $\text{Li}_{1+x}\text{Ti}_{2-x}\text{Al}_x\text{Si}_y\text{P}_{3-y}\text{O}_{12}$ ) 固体電解質

セラミックシート表面へ、金属リチウム還元耐性を有する LZP ( $\text{LiZr}_2(\text{PO}_4)_3$ ) 固体電解質を被覆する新たな技術を検討し、面積 $36\text{cm}^2$ 以上、厚さ $80\mu\text{m}$ 、常温付近での表面抵抗率 $90\Omega\text{cm}^2$ を示す複合電解質シートを実現した。この複合電解質シートは、金属リチウムと直接接触させても1ヶ月以上劣化することなく、従来と比較して高い安定性を示した。また、複合電解質シートを用いて試作したりチウム-空気二次電池テストセルを評価し、電解質における欠陥制御と強度が十分に高いことを明確にした。このため、より高密度で強度の高い複合電解質セラミックシート製造技術検討を行い、セラミック電解質シートの焼結制御を目的とした添加剤等の最適化に成功し、従来と比較して曲げ強度を2倍に向上させることが可能となった。さらに、塩化物イオン透過量測定によるセラミックセパレータの気密性評価において、従来の1/1,000程度に塩化物イオン透過量を抑制し、気密性の大幅な向上を確認した。以上により、従来困難であった $50\mu\text{m}$ 程度の厚さでもハンドリングが可能な大面積のリチウム空気電池用セラミックセパレータを作成することが可能となった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 次世代蓄電池、セラミックス電解質、電気化学、エネルギー部材製造技術

【研究題目】 低酸素濃度を計測する半導体式酸素センサシステムの開発

【研究代表者】 伊藤 敏雄  
(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 伊藤 敏雄、伊豆 典哉、赤松 貴文、申 ウソク、中野 寛之  
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

本研究開発課題の目的は、低濃度酸素域において、高分解能・高速応答での計測が可能で、かつ安価な、半導体式酸素センサシステムの提供が目的である。半導体式酸素センサシステムを実現させるため、ガスセンサ技術課題である干渉ガスによる影響の低減により分解能の精度を向上させると共に、センサ素子の低抵抗化とモジュール化を行う。産業製造への課題である酸素センサシステムの設計と実環境下における試作システム評価及び環境試験を行う。これらの開発により、純窒素、純アルゴン、純ヘリウム等の含有酸素濃度が不純物レベルである工業ガス雰囲気下で、変動域が酸素濃度 $\pm 5\%$ 以内の半導体式酸素センサシステムを提供し、実用化を図る。低酸素濃度の正確な計測及びセンサ駆動回路の設計には、干渉ガスである可燃性ガスの影響を回避したセンサの作製が必須である。干渉ガスの影響を回避出来れば、実用化への目処がつくため、最重要課題として取り組んだ。貴金属を添加した触媒層塗布構造を持つセリウムジルコニウム酸化物センサ素子により、一定濃度の干渉ガスで



あれば影響を抑制することができ、本研究の実施項目の目標に掲げていた可燃性干渉ガス下10ppm 中での計測値が酸素濃度±5%以内を達成した。工業ガス製造プラントにおける常時モニタリング用途での使用を可能とし、実施項目の目標に掲げていた実環境下における試作システム評価及び環境試験まで到達することが出来た。半導体式酸素センサの干渉ガスの影響を抑制する触媒層のシーズ顕在化を達成した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 酸素センサ、酸化セリウム、触媒層

【研究題目】 乳製品中のアレルゲンを選択的に除去する特定タンパク質吸着剤の開発

【研究代表者】 永田 夫久江

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 永田 夫久江 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、乳製品に含まれる複数のタンパク質の中からアレルゲンとなるタンパク質のみを選択的に吸着除去する材料を開発する。日本の食物アレルギー人口が増加する中で、アレルゲン除去対策食品の必要性が高まっている。本研究では、食品の風味を損なうことなくアレルゲンタンパク質のみを吸着できる材料の開発を行うことを目標とする。

平成26年度は本研究の導入として、アレルゲン吸着剤として用いるアパタイト粒子合成法の確立とタンパク質吸着挙動の評価を行った。アパタイト粒子は、特定のタンパク質を選択的に吸着させることを目的とするため湿式法で合成した。合成温度を20～80℃の範囲で変化させて得られたアパタイト粒子の特性解析とタンパク質吸着量評価を行い、アパタイトの表面状態は合成条件によって大きく変化し、タンパク質吸着量に影響を及ぼすことを明らかにした。さらに、吸着したタンパク質をアルカリ溶液で除去した後のアパタイト粒子を分析し、繰り返し吸着に適するアパタイトの合成条件を検討した。これらの結果をもとに、平成27年度は、アレルゲンタンパクを特異的に吸着するアパタイトの開発を進めていく予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 アパタイト、タンパク質、アレルゲン

【研究題目】 良好な熱伝導性・熱的信頼性を有するアルミナーアルミニウム接合体の開発

【研究代表者】 北 憲一郎

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 北 憲一郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、パワーデバイス用の低コスト・高耐久性・高熱伝導性・絶縁性を特徴とする高熱伝導性セラミック基板製造技術開発を目指し、「シロキサン系ポリマーを

利用したアルミナーアルミニウム接合技術」を用いて、良好な熱伝導性・熱的信頼性を有する「アルミナーアルミニウム接合体」を開発する。

本接合技術では、アルミナーアルミニウムの接合界面に厚さ10数 μm のアモルファスなアルミノシリケート(ガラス)層が形成される。この①ガラス層の熱伝導性を向上させる接合法の開発と、ガラス層の②熱サイクル試験による耐久性と熱伝導率の変化を調査し、本技術が熱的信頼性を有しセラミック放熱基板作製法として適用可能であることを明らかにする。

これまでに、熱伝導性測定時のリファレンスとして最適である、窒化アルミニウムと金属アルミニウムの接合体作製とその熱伝導率測定を行った。このリファレンス用接合体作製において、接合界面に生成する気孔が熱伝導率低下の主因である事が判明しており、主にシロキサンの熱分解により生成するガスが原因であることが判明している。今後はガスが生成し難いシロキサン系ポリマーの選定や塗布方法の改善等による、気孔生成を低減する方法が必要であり、それらを実現するための研究を行っている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 アルミナ、アルミニウム、接合

【研究題目】 再生医療のための細胞システム制御遺伝子発現リソースの構築

【研究代表者】 五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】 五島 直樹、鍵和田 晴美、  
福田 枝里子、高坂 美恵子、  
久保 葉子、東 久美子  
(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

再生医療における iPS 細胞の誘導、分化誘導、体細胞のダイレクトリプログラミング等では、遺伝子導入による細胞システム制御技術が極めて重要である。

我々は、再生医療研究の加速を進めるために、細胞の初期化や分化等に関わる時空間特異的な cDNA (スプライシングバリエーションも含む) を重点的に取得する。そして、再生医療実現拠点との連携を密に取り、細胞システム制御遺伝子発現クローンを整備し、供給体制を整える。

また、再生医療技術の知識基盤として重要な、細胞初期化メカニズムや分化誘導メカニズムの解明のために、注目すべき細胞システム制御遺伝子の機能的プロテオミクス解析を独自のプロテインアレイを駆使して実施する。

① 初期化、分化誘導遺伝子の情報収集

再生医療実施拠点との情報交換を行う目的で、下記3件の研究課題との共同研究契約を締結し、連携内容に関する打合せを開始した。

i) iPS 細胞研究中核拠点：京大 CiRA：山中伸弥教

授/升井伸治講師

(常勤職員2名、他2名)

ii) 疾患・組織別実用化研究拠点 A：慶応大：岡野栄之教授

iii) 技術開発個別課題：京大 CiRA：長船健二教授

iV) 技術開発個別課題：京都府立医大：佐藤貴彦助教

V) 技術開発個別課題：京大 CiRA：堀田秋津助教

② 細胞システム制御遺伝子発現クローンの作製

4つの連携先から合わせて158クローンの供給を行った。未取得のクローンについては引き続き作製を進める。

京大 CiRA と京都府立医大との共同研究では、iPS細胞から角膜上皮細胞に分化誘導する OVOL2遺伝子を新しく発見した。

③ 細胞システム制御遺伝子発現クローンのデータベース作成

既取得のヒト遺伝子クローンと本プロジェクトで取得した細胞システム制御遺伝子クローンの種々の情報を格納し、検索、表示が可能なデータベースとして HGPD-RM (Human Gene and Protein Database for Regenerative Medicine) の基本構造を構築した。データベースは随時連携先に公開し、利用可能クローンのアップデートな情報を提供することを可能とする。HGPD-RM を元にして各再生医療実現拠点との連携を密に行い、必要なクローンの取得状況、クローン作製のリクエスト、取得予定等、情報交換可能な仕組み作りが基本的に可能となった。

④ プロテインアレイによる機能的プロテオミクス解析

高密度なプロテイン・アクティブアレイの作製を可能にするため、ピンツール自動分注機 (H24年度補正予算) の購入・立ち上げ作業を行った。アレイ作製に適したピンの検討を行った結果、先端部直径0.457 mm でスロットタイプ (溝の容量10nL) のピンが最適であった。このピンを用いて、13824スポット/基板の密度でアレイ作製を行うことに成功した。ピン方式であるため現時点ではランダムにスポットの抜けが生じやすく (30-40スポット/6144スポット)、スポット抜け無くアレイ作製する技術開発も行った。今後、細胞移植の際の移植免疫のプロファイリング、タンパク質相互作用を利用した細胞キャラクタライズに利用することを考えている。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 再生医療、細胞システム制御遺伝子、初期化、分化誘導、iPS細胞、免疫モニタリング

[研究題目] 生体防御系を利用した疾患診断の基盤技術開発

[研究代表者] 五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

[研究担当者] 福田 枝里子、小野 智央、塩谷 美夏

[研究内容]

本開発では生体防御系である血液中の抗体をプロファイリングし、疾患診断に結び付けることを目的とし、その基盤技術開発を行う。これまでに開発してきた未変性タンパク質のプロテインアレイは血清中の自己抗体の検出は技術的に可能であったが、アレイ基板1枚に対して384種類の抗原タンパク質しか搭載することしかできず、網羅的な自己抗体検出は極めて困難であった。また、多検体の血清サンプルを解析して疾患との関連性を調べるためには労力とコストが大幅にかかっていた。本プロジェクトでは、これまでに開発したプロテインアレイ技術をベースとし、多検体を低コストで網羅的に自己抗体測定を可能とする実践的プロテインアレイシステムの作製技術の開発を行い、網羅的自己抗体検出システムを利用した総合的疾患診断システムの構築を行う。また、多数の血清を基板にスポットし、抗原をプローブとして横断的に自己抗体を検出するシステムの開発を目指す。これらの自己抗体解析システムを使用して、今後の自己抗体による診断システムの基礎となる健康人 (各年齢別、男女別) および各種疾患患者の自己抗体プロファイリングデータを取得する。さらに自己抗体形成に大きく関与する HLA データを取得し、疾患と自己抗体の関連解析を行うための基盤データを構築する。本システムと基盤データをもとに総合的診断、早期診断、免疫治療の評価を可能にする。

本開発では、ヒトタンパク質16000種類以上を抗原タンパク質としてアレイに搭載することを目指し、1536ピンヘッドを既存の分注機に装着し、タンパク質合成時の未変性状態で基板に結合させるオリジナル技術を開発する。未変性タンパク質をアレイ化することで立体構想認識抗体の検出も可能になる。本アレイを使用して、自己免疫疾患として知られている炎症性腸疾患 (クローン病、潰瘍性大腸炎など) の患者血清70名分の自己抗体プロファイリングデータを取得した。その結果、以下の成果を上げた。

1) 高密度プロテインアレイの開発

1536ピンを使用してオイルータンパク質溶液からなる W/O 液滴の形成によってタンパク質を未変性状態で高密度にアレイ化する技術開発のため、ピンの仕様の検討を行った。SBS 規格プレートの GSH 修飾-aC 基板に13824タンパク質/SBS 規格プレートの密度でスポットが可能なピン仕様を決定し、アレイのタンパク質スポット法も改良を行った。

2) 高密度プロテインアレイの作製

新規アレイ作製プロトコルを作成し、75セットのプロテアアレイを作製し、北里大学で採集した炎症性腸疾患患者の血清中の自己抗体プロファイリングに使用した。

3) 健康人および疾患の血清サンプルおよび LA タイピ

ング用 DNA の採集のための医師との連携

千葉大学医学部の羽田明教授に、10代以下の男女20名、10代前半の男女10名、10代後半の男女10名、20代前半の男女10名、川崎病患者70名の血清および DNA サンプルの収集を依頼し、採集を完了した（合計120人分のサンプル）。自己抗体のプロファイリングにおいて健常人の自己抗体データは、様々な疾患での特異的な自己抗体を探索する上での基礎データとして使用する。

#### 4) 血清サンプルの HLA タイピングのための連携

上記の3) で取得した DNA サンプル（120人分）を用いて HLA タイピングを DNA シーケンスレベルで測定業務を国立遺伝研・井ノ上逸朗逸朗教授に依頼し、解析を完了した。

#### 5) 炎症性腸疾患（潰瘍性大腸炎、クローン病患者等）血清の自己抗体プロファイリング

従来のプロテインアレイで絞り込んだ抗原タンパク質および DNA チップで絞り込んだタンパク質を中密度プロテインアレイ（384スポット）に搭載し、71例の炎症性腸疾患血清および10名の健常者血清（ミクスチャー）のサンプルに対して自己抗体プロファイリングを実施した。測定データは参画機関のダイナコムによって統計解析を行った。

以下の多変量解析（Logistic LASSO）を行った。

- ・クローン病（active）、潰瘍性大腸炎（active）とそれら以外の腸炎の判別
- ・クローン病（active）と潰瘍性大腸炎（active）の判別
- ・クローン病（active）とクローン病（remission）の判別
- ・潰瘍性大腸炎（active）と潰瘍性大腸炎（remission）の判別

解析の結果、上記1)～4) 全てで70～90%程度の確度で判別可能であるという結果を得た。上記の結果に、カルテ情報を加味することにより、更に精度の高い解析が可能になった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 自己抗体、プロテインアレイ、免疫モニタリング、抗体プロファイリング、炎症性腸疾患、クローン病、潰瘍性大腸炎

【研究題目】 汎特異的相互作用を基盤とする多剤耐性機構の動的立体構造解析

【研究代表者】 竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 竹内 恒（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、多剤耐性転写因子が薬剤との汎特異的相互作用を介して転写を制御する分子機構の解明と基盤技術としての動的立体構造解析の確立を目的とする。この研

究目標を実現するために、以下のような3テーマの実験項目に取り組む。①「汎特異的」相互作用に基づく多剤・高親和結合の横断的理解②「汎特異的」多剤結合による転写制御機構の解明③転写制御機構の *in vivo* 解析による検証まず①「汎特異的」相互作用に基づく多剤・高親和結合の横断的理解により、様々な薬剤との「汎特異的」相互作用がどのような分子機構により成立するのかわかるようにする。次に②「汎特異的」多剤結合による転写制御機構を、定常状態および薬剤存在下における DNA 複合体の立体構造および動的平衡を明らかにすることで解明する。さらに提案する転写制御機構に基づく合理的変異体を設計し、ゲノム編集とルシフェラーゼアッセイを組み合わせた実験系を構築することで、③転写制御機構を *in vivo* 解析により検証し、多剤耐性転写因子が薬剤との汎特異的相互作用を介して転写を制御する分子機構の解明と、動的立体構造解析の基盤技術の確立を行う。

#### 1. 「汎特異的」相互作用に基づく多剤・高親和結合の横断的理解

##### 1-1. 各種多剤耐性転写因子の発現精製、NMR シグナルの帰属に成功した。

既に解析に成功している PadR-like family 多剤耐性転写因子 LmrR に加えて、その他のファミリー2種の代表として QacR (TetR Family, 44 kDa)、BmrR (MerR Family, 66 kDa) の発現・精製に成功した。発現は大腸菌にて行い、分子量を考慮し重水素化条件とした。確立した発現系に基づき、①感度が高く、②立体構造決定にも有効で、かつ③緩和解析などにより運動性情報を取得可能なメチル基シグナルの帰属を優先して進めた。その結果、QacR、BmrR とともに Ile メチル基シグナルの帰属を、変異導入などによって確立することができた。BmrR に関しては、可溶性が向上した変異体および活性型変異体でもシグナルの帰属に成功した。NMR の帰属は、非結合状態に加え、各種薬剤結合状態、DNA 結合状態でも行った。また薬剤結合に伴う化学シフト変化を共分散解析 (PNAS, (2011), 108, 6133) に供することで、薬剤結合・DNA 結合ドメイン間のアロステリックな立体構造変化が存在することを確認した。

##### 1-2. LmrR の先天的構造平衡による多剤結合を証明した。

NMR を用いた動機構造解析から、LmrR が非結合状態において C ヘリックスが開閉構造の間の幅広い先天的な動的構造平衡下にあること、また各種薬剤添加に伴って、構造平衡は閉構造の方に傾くことを見出していた。また、LmrR は結合時にも運動性を保っており、結合する薬剤に応じて異なる構造平衡が選択されることで多剤結合が達成されていた。そこで次に C ヘリックスの接触面を中心に変異体を65種作成し、開閉の構造平衡に摂動を与えることで、先天的な動的構造平衡の多剤結合における重要性を検証した。その

結果、開閉両方向に平衡が傾いた変異体を得ることに成功し、化学シフト解析から変異体間で少なくとも30%構造平衡がシフトしていることを見出した。また変異体の温度依存性を解析したところ、平衡が傾いた変異体は、温度依存性が小さく、多剤結合を行う柔軟性を欠いていると考えられた。そこで、これらの中から閉状態にバイアスされた変異体 G85A, 開状態にバイアスされた変異体 Q12A を選択し、これらに対する薬剤結合を WT と比較した。その結果、両変異体ともに WT に比べて結合定数が低下していることが確認された。また WT と比較すると、薬剤が好む閉構造に傾いた G85A よりも、薬剤が好まない開構造に傾いた Q12A 変異体の方が、薬剤結合をより大きく低下させた。低下の度合いは、Rho6G に対してよりも、Ethidium, Daunomycin に対して顕著であり、構造平衡にバイアスがかかると多剤結合に支障をきたすことが分かった。また LmrR に結合した薬剤の NMR スペクトルを解析したところ、顕著な広幅化が観測された。よってタンパク質のみならず LmrR に結合した薬剤もまた結合時に運動性を保持していることが考えられた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 汎特異的相互作用、NMR、動的立体構造解析、多剤耐性

〔研究題目〕 大規模ライブラリーの高速スクリーニングによる新規ペプチド抗がん剤の開発

〔研究代表者〕 川上 隆史（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 川上 隆史（常勤職員1名）

〔研究内容〕

がんをはじめとするさまざまな疾患が悪化していく過程には血管新生が深くかかわっている。がんの場合であれば新生した血管から多くの酸素や栄養源を取り込み、異常増殖のエネルギー源とする。また、新生した血管はがん細胞転移の経路ともなる。よって、血管新生を阻害することで、がんなどの疾患に対処できるのではないかと考えられてきた。血管新生において特に重要な役割を果たしている因子が、血管内皮細胞増殖因子（VEGF）とその受容体（VEGFR）である。VEGFR ファミリーの中の一つである VEGFR2は VEGF の結合によって自己リン酸化を引き起こし、血管となる管腔形成に必要な細胞運動のための細胞内シグナル伝達や、血管内皮細胞の増殖のための細胞内シグナル伝達などを活性化させる。そのため VEGFR2は血管新生阻害をメカニズムとした抗がん剤の標的として注目されており、これまでに VEGFR2に対して多くの阻害剤が開発されている。

本研究では抗がん活性リード化合物の創製を目指し、再構築型無細胞翻訳系（PURE システム）と mRNA ディスプレイ法を用いて、VEGFR2を標的とする環状 N

アルキルペプチドを数十兆種類の大規模コンビナトリアルライブラリーから同定し、また得られた環状ペプチドシードの構造最適化を行なった。また本環状ペプチドが、VEGFR2と VEGF のタンパク質・タンパク質間相互作用を阻害しているという解析結果を得ることができた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 PURE システム、mRNA ディスプレイ、VEGFR2、N アルキルペプチド、分子進化、タンパク質・タンパク質間相互作用阻害剤

〔研究題目〕 新規廃棄物処分場の適地選定手法の構築

〔研究代表者〕 張 銘（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 張 銘、原 淳子、坂本 靖英（常勤職員3名）

〔研究内容〕

スリランカ国における廃棄物処分場の適正な管理および対策技術の開発に資するため、相手国特有の技術的・社会的・経済的条件を見出し、見出した条件に関するデータを収集・整理する。それらのデータを総合的に分析し、新規廃棄物処分場の適地選定のための総合的評価手法を構築する。また、選定手順書を作成することによって、相手国での利活用と普及を図る。

これまでに実施したスリランカ国中央州に対する調査と解析に引続き、本年度は、同国南部州を中心に、昨年度収集・入手した各種基本的情報（表層地質、地形、河川、気象、土地利用、交通及び住居等）の整理を行うとともに、GIS 解析と環境リスク評価を組み合わせ、特定地域を対象とした廃棄物処分場立地に関するリスクマップの作成を実施した。また、スリランカ国における新規廃棄物処分場を選定するためのガイドラインを作成し、相手国規制当局を含む関連機関へ情報提供した。今後相手国関連機関と連携し、同国における廃棄物処分場の計画・管理・汚染防止ガイドを完成させるとともに、技術の普及および行政施策への反映を図っていく。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 土壌汚染、リスク評価、廃棄物処分、スリランカ、地理情報

〔研究題目〕 戦略的創造研究推進事業（CREST）予防安全分野の多機関分散データの統合的利活用技術のテストヘッド開発

〔研究代表者〕 西田 佳史（デジタルヒューマン工学研究センター）

〔研究担当者〕 西田 佳史、北村 光司、山中 龍宏（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

ビッグデータの解析結果は新製品開発など様々な活用が期待され、データ収集・解析・利用を促進するビッグデータ流通システムの構築は必須だが、その促進・定着

には、データ所有者、解析機関、利用機関の各エンティティが win-win の関係を築けることが重要である。既存研究では解析機関に着目した研究が多いが、本研究課題では、データ所有者に着目し、データ解析結果の適切な対価の還元・フィードバックを実現し、データ所有者、解析機関、利用機関を信頼の環で連結し、ビッグデータの収集・解析・利活用・所有者還元をセキュアかつフェアに実現し、サイバー攻撃など各種攻撃に対して頑健なビッグデータの流通プラットフォームを実現する。さらに、予防安全及び医療でビッグデータ利活用の実証実験を行い、運用時の課題も解決する。産総研は、この中で、予防安全分野（事故予防分野）におけるセキュリティ基盤技術による多機関分散データの利活用技術を現場と連携し実証的に開発する部分を担当する。

平成26年度は、平成27年度以降のアルゴリズム開発やテストベッドを用いた実証実験に不可欠なデータベースとして、9万件からなるデータベースを作成した。これらの複数のデータベースから統計モデルを作成する際に、ターミノロジーの標準化を行う技術として、発達行動に関する統計データである Denver II、製品を扱う JICFS/IFDB を利用したオントロジー技術を作成した。誤飲事故データを例題に、統計モデル作成を行い、統計モデルに基づく傷害シミュレーションへ応用することで、統計モデルの妥当性を確認した。予防安全分野へのアウトカムインパクトの検討を目的に掲げており、その準備として、統計モデルや事故データの予防安全技術開発への活用法を検討する研究会（医師、工業デザイナー、研究者などから構成）を開催した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】多機関分散データ、データ融合、ビッグデータ、データマイニング

【研究題目】戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）外傷記録評価システムおよび ISS 版総合安全学習プログラムの実装

【研究代表者】西田 佳史（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】山中 龍宏、西田 佳史、本村 陽一、北村 光司、大野 美喜子  
（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

本課題の目的は、地域安全の世界基準であるセーフコミュニティ、学校安全の世界基準であるセーフスクールの認証に必要な「根拠に基づいたプログラム」、「事故・暴力等による外傷の発生頻度とその原因を記録するプログラム」および「プログラム、そのプロセス、変化による影響を評価する基準または方法」「SC 版総合安全学習プログラム」「安全意識評価システム」「傷害記録評価システム」「総合安全学習プログラム」の社会実装技術を進めることにある。この中で、産総研は、「傷害記録

評価システム」「総合安全学習プログラム」の開発と社会実装を担当する。具体的には、以下を実施した。

平成26年度は、小学校2校に電子版のサーベイランスシステムを導入し、合わせて安全学習も行った。また、中学校では部活動におけるスポーツ外傷が多発しているという実態があるため、スポーツ外傷事故709事例の死亡重傷事故を分析した。その結果、スポーツの種類に依らず、事故の状況によって同じ外傷が起こること、特にぶつかる行為は脊椎損傷や頭部外傷を非常に多発することが明らかとなった。この結果をもとに重傷事故に繋がりがやすい状況を示したイラスト約30点を教材として作成した。また、事故予防啓発動画の作成も行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、傷害データベース、統計数理、データマイニング、虐待対策、傷害予防、傷害サーベイランス技術、意識変容、行動変容

【研究題目】戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）データ利用技術の開発と普及

【研究代表者】西田 佳史（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】西田 佳史、北村 光司、山中 龍宏  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本課題は、政策当局、メーカー、消費者等の関与者が必要とする情報を、政府統計、各種ビッグデータ等を基礎として抽出し、リスクマネジメントに応用する具体的方策論を開発・提案する。リスク情報に関するデータモデルを構築するとともに、関与者の具体的なリスクマネジメント事例を通じてアプローチの有用性を実証し、当事者のインセティブを顕在化させる。また、研究成果の社会実装を進め、オープンデータコミュニティ形成を図る。この中で、産総研は、生活空間における事故発生プロセスのモデル化、人間行動データや事故行動シミュレーション技術に基づく、傷害発生確率や危険回避の可能性に関する評価技術、生活安全上の支援機器等の開発を支援する生活空間リスクの可視化技術等の開発を担当する。

平成26年度は、生活空間のリスク分析に活用可能な事故データとして、傷害サーベイランスデータに加え、リスクが発生する場所を詳しく分析可能にするための詳細なデータに関しても調査を行った。産総研が東京消防庁と連携して進めている研究会において、新たに高齢者に関連した事故のデータ（移動支援機器関連のデータ）を入手し分析した。また、20以上の施設から収集した大浴場、浴室におけるインシデントデータを入手し、典型的な傷害の場所や状況が詳しく把握可能であることを確認した。事故発生メカニズムやリスク評価技術として、衝撃試験器やシミュレーション技術を調査した。生活空

間でのリスク評価のニーズが高い、転落や転倒した際に、頭部が床面に接触した際に受ける衝撃を、頭部インパクトによる計測と物理シミュレーションで見積もる技術を検証した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 リスクアセスメント、子どもの傷害予防、オープンデータ

〔研究題目〕 光および化学エネルギー利用のためのポルフィリンナノ構造体制御の分子技術：ポルフィリン集合体の作製と構造評価

〔研究代表者〕 吉川 佳広（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 吉川 佳広（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、ポルフィリンを基本骨格とする化合物のナノ集積構造体を構築し、クリーンエネルギー利用に資する分子システムを開発することを目的としている。その中で我々は、炭素材料表面にポルフィリン化合物を集積化する分子技術の開発を担当している。そこで、本年度は、炭素材料の一つである高配向グラファイト（HOPG）表面にポルフィリン分子を配置する手法と測定系の構築についての検討を開始した。溶媒の種類と基板との相互作用時間を変化させることにより、多様な集合構造が形成されることを原子間力顕微鏡（AFM）で確認した。また、ポルフィリン化合物の自己組織化膜を走査型トンネル顕微鏡（STM）を用いて観察することで、化合物の形態や配列構造の基礎的知見を得ることができた。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ポルフィリン、走査型プローブ顕微鏡、自己組織化

〔研究題目〕 極薄強誘電体膜の形成と機能デバイスの開発

〔研究代表者〕 右田 真司

（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 右田 真司、太田 裕之、黒澤 悦男（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

次世代ナノエレクトロニクスには0.4 V 以下の極低電圧動作、新機能の付加、そして従来以上の集積性と信頼性の確保が必要とされています。我々は“表面の2次元性に立脚して形成された薄膜材料によるナノエレクトロニクスの新機能化”を目指しています。VLSI に適用可能な数 nm という非常に薄い膜の中で強誘電性や非線形誘電特性を発現する材料を開発し、これを導入したトランジスタにおいて超低消費電力なデバイス動作を実証することを目指しています。シミュレーションによるデバイス設計と、材料およびプロセスの実験研究を両輪として

推進し、これらをトランジスタとして統合しデバイス特性を評価することを計画しています。

シミュレーションでは、材料開発指針の構築とトランジスタ構造の設計に重点を置きます。ソース電極とドレイン電極間のポテンシャル差がもたらす電界分布の影響予測、そしてこれを克服できるデバイス構造の設計も重要な検討課題に位置付けています。

材料の研究開発では、最近注目されている HfO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>系の強誘電性の性能向上、超格子構造の製造や異層挿入による機能強化や特性変調を目指します。非平衡熱プロセスを採用した準安定構造の製作にも関心を寄せています。

本年度の実験研究では HfO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub>系の強誘電性を再現することに成功しました。シミュレーションでは非線形応答誘電体をゲートスタックに導入することでトランジスタの電流変調率を熱的限界よりも小さくできる可能性を確認しました。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ナノエレクトロニクス、トランジスタ、界面、機能材料、強誘電体

〔研究題目〕 カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製

〔研究代表者〕 富永 淳二

（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 富永 淳二、中野 隆志、コロボフ アレキサンダー、フォンス ポール、齊藤 雄太、浅井 美博、宮崎 剛英、中村 恒夫、川畑 史郎、柏谷 聡、宮田 典幸、森田 行則、多田 哲也、内藤 裕一、飯田 仁志、木下 基、島田 洋蔵（常勤職員17名、他3名）

〔研究内容〕

研究項目：カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製

1. トポロジカル相転移材料及びデバイスの理論・シミュレーション
2. ナノ構造創製と機能発現
3. 革新的マルチフェロイック機能電子デバイスの創製
4. ヘリカルスピン制御型光デバイスの創製

研究初年度として、研究の基本となる異なる二つのカルコゲン化合物結晶膜、中でも GeTe と Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>薄膜の積層によって構成される超格子構造について、電極薄膜も含めた条件で第一原理計算を行った。その結果、W電極が存在しても RESET 状態には Dirac cone が確認され、また、SET と RESET 間の電気抵抗差にはスピン起動相互作用が大きな役割を果たしていることが確認された。また、この超格子系で室温から200℃付近まで

の電気特性および磁気特性を簡単なデバイス構造を作製して、マルチフェロイックな機能についての基礎的なデータを取得した。さらに超格子構造等によるテラヘルツ波の透過特性や、面内の電気抵抗との関係についての評価を進めるとともに、本材料の集積デバイスにおける光インターコネクションへの展開を検討するため、プラズモン導入のための素子デザインを行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】カルコゲン化合物、超格子、トポロジカル絶縁体、マルチフェロイック素子

【研究題目】テラヘルツ検知用半導体ナノ素材・素子の研究

【研究代表者】前田 辰郎

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】前田 辰郎、高木 秀樹、倉島 優一、石井 裕之、久米 英司、服部 浩之、Wen-Hsin Chang

(常勤職員3名、他4名)

【研究内容】

テラヘルツ付近の周波数をもつ電磁波は、紙やプラスチック、煙等を透過する一方で金属や水に吸収される、薬剤等の中の特定の物質に吸収される、生体に損傷を与え難いなどの特徴をもつため、セキュリティ、医療、創薬、災害救助、天文など多くの分野で新しいサービスを提供でき、新産業を創出できる潜在性をもつ。特に、1THz 付近の電磁波を用いたイメージングは、革新的な応用を提供できるものとして大きな期待が寄せられている。

しかし、1THz 付近に感度をもち、実時間で映像表示が可能なイメージセンサーの開発は困難を極めている。これは、この周波数域の電磁波が、技術的にちょうど光と電波の狭間にあるためと言える。本研究は、従来よりも感度を2桁以上向上させ、実用的な1THz 帯イメージングデバイスを開発することを目標とする。具体的には、絶縁体上の高移動度チャネル微細 MOS トランジスタ、高利得アンテナ、常温接合電極、低雑音 CMOS 読み出し回路など、個々には最高水準にある技術を摺り合わせ設計してテラヘルツカメラ用として発展させ、雑音等価電力 (NEP) をピクセルとして従来よりも50倍、カメラシステムとしてさらに一桁向上できる積層型撮像素子を開発する。最終的には、レンズ等も搭載したカメラモジュールを試作してその有用性を実証する。

THz 帯の検波には、高速動作が可能で、高利得特性を有する InGaAs MOSFET による2乗検波法を採用する。本年度は、基本的な InGaAs MOSFET の試作プロセスの検討を行った。InP 基板上の InGaAs チャネル層に TaN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の high-k/metal gate MOS 構造を作製し、ソース/ドレインには自己整合型の Ni 合金金属を採用している。InGaAs MOSFET は、良好な出力特性

を示すとともに、シリコンよりも高移動度特性を有することを立証した。また、高周波特性の改善には絶縁性の高いガラス基板での MOSFET 動作が期待されるが、我々はガラス基板への直接貼り合わせ法により InGaAs 構造 (InGaAs-OG) を作製する方法を提案し、実際に InGaAs 層の膜厚がデバイス動作に必要な50nm 程度の InGaAs-OG の作製に成功した。次年度は、この InGaAs-OG 基板を用いて MOSFET を作製し、高周波検波特性を解析する予定である。

高感度のテラヘルツ検波素子と読み出し回路との協調設計には、検波デバイスの作製と同時に、その電子回路モデルの構築が必須である。そこで、今年度は高移動度 MOSFET のデバイスパラメーターの抽出と検波シミュレーションを行う設計環境を整備した。高周波特性解析用プローブシステムを用いて上記で作成された InGaAs MOSFET 実デバイスのモデリングから検波性能予測の試みを開始している。今後は、得られた回路モデルをもとに、検波の高感度化に向けてアンテナ、および読み出し回路をコデザインしていく予定である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】テラヘルツ検知、化合物半導体、トランジスタ

【研究題目】遷移金属内包シリコンクラスターを用いた低消費電力トランジスタ材料・プロセスの創出

【研究代表者】多田 哲也

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】岡田 直也 (常勤職員2名)

【研究内容】

遷移金属 ( $M$ ) を内包した Si クラスターを単位構造とする新しい半導体薄膜 ( $MSi_n$  膜、 $M= Mo, W, Nb, Zr$  など、 $n=7-20$ ) は Si と金属の中間的な原子構造と物性を有し、 $M$  や  $n$  値を変えることで、キャリア濃度・タイプやバンドギャップを変化させることができる。さらに、原子組成がほとんど Si で構成されていることから、半導体基板と接合形成した際に界面準位を発生させないことが期待できる。本研究では、このような  $MSi_n$  膜の特徴ある物性を利用して、CMOS を構成するトランジスタの低消費電力化を実証する。このために、LSI 作製などの半導体プロセスに対応できる成膜法として、 $M$  と Si のガスソースを用いた化学気相反応成膜 (CVD) 法を開発する。さらに、 $MSi_n$  膜の構造や組成を原子レベルで制御することで、 $MSi_n$  膜のバンドエンジニアリングや原子層厚の急峻ドーピングプロファイルといった既存の Si 材料科学では成し得ない物性を追究する。平成26年度は、WF<sub>6</sub>と SiH<sub>4</sub>を用いた CVD 法による WSi<sub>n</sub> 膜の形成の検討を行い、気相中で WSi<sub>n</sub> クラスターを合成し基板上に堆積できることを示した。この手法では、ガス圧力とガス温度により WSi<sub>n</sub> クラスターの組成を制

御でき、 $WSi_n$  膜を  $n \leq 12$  の組成範囲で形成できる。さらに、 $WSi_n$  膜の  $n$  値を高精度に制御することで膜組成と膜物性との関係性を系統的に調べ、 $n$  値と光学ギャップ、及び膜中の Si-Si 結合角分布に一定の関係があること、CVD 条件により膜中の  $WSi_n$  クラスタ組成のばらつきを制御できることを明らかにした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】トランジスタ、シリサイド半導体、低消費電力、CMOS、CVD、ソース/ドレイン、トンネル接合、オーミック接合、トンネル FET

【研究題目】ナノ Si 熱電材料の実現のための材料設計指針の探索

【研究代表者】多田 哲也

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】多田 哲也、内田 紀行、森田 行則、前田 辰郎、Vladimir POBORCHII、(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

現在、一次エネルギーの約七割が廃熱として捨てられている中、ゼーベック効果を利用した熱電発電技術が注目を集めている。熱と電気の直接エネルギー変換を実現する熱電材料の高性能化のためには、電気伝導率が高いが熱伝導率は低いという、相反する状況を材料中に創り出す必要がある。この状況を創出する手法の一つが、材料のナノ組織化である。加えて、既存熱電材料は、ビスマスやテルル等から構成されていることから、熱電発電技術の民生分野での実用化のためには、有害元素を含まない材料を開発していかなければならない。

本研究では、代表的な環境調和型元素であるシリコン (Si) に着目し、多様なナノ組織構築技術と高度な Si ナノデバイス技術を元に、ナノスケールで構造を制御した Si を創製し、熱電特性の高機能化を図る。

26年度は、シリコン・オン・クォーツ (SOQ) 基板による配向制御と併せて、高速熱処理装置 (RTA: Rapid Thermal Annealing) によりフォノン散乱体となる欠陥を導入することで、さらなる熱伝導率の低減を行った。SOQ 基板上に  $NiSi_{20-2\%B}$  のアモルファス膜を堆積し、 $1200^\circ\text{C}$  以上の高温での RTA により作製した試料は、X 線回折の解析から強く選択配向した組織となっていることが確認され、透過電子顕微鏡による断面観察の結果、多数のナノスケールの空隙 (ナノポイド) を含むことが分かった。室温における熱伝導率の測定結果は、B を2%ドーピングした p 型の試料で  $2.3 \text{ W/mK}$  となり、通常の Si ナノクリスタルの  $4 \text{ W/mK}$  程度に対して大幅な低減に成功した。また、室温での出力因子の測定結果は  $2.0 \text{ mW/mK}^2$  となり、これにより、Si ナノクリスタルよりも大幅に高い室温での性能指数  $ZT=0.26$  を実現した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】熱電材料、ナノ構造、シリサイドナノ結晶コンポジット

【研究題目】微小ジョセフソン接合の開発と超伝導集積回路の高度化

【研究代表者】日高 睦夫

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一、佐藤 哲朗、北川 佳廣、原島 栄喜 (常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

急速に進展が続いている情報化の恩恵を低エネルギー社会の構築に向けて、低炭素社会の構築が見込まれる。そこで、本研究開発では、情報機器の中でエネルギー消費がもっとも大きいデータセンタに焦点を当て、そこに使われる情報機器の低エネルギー化を新しい超伝導エレクトロニクス技術を導入することで達成する。具体的には、主構成要素であるマイクロプロセッサ、メモリ、光入力回路 (光-電気変換器、O/E 変換器) のそれぞれを、これまでの超伝導もしくは低温エレクトロニクス技術より、1桁から2桁低エネルギー化、もしくは高性能化する。マイクロプロセッサに関しては、低電圧動作単一磁束量子回路 (低電圧 RSFQ 回路) を導入する。また、O/E 変換器には、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器の技術を応用し低エネルギー化を図る。超伝導集積回路プロセスの高度化 (微細化、高電流密度化) も合わせて進め、最終的には高速性と低エネルギー性を兼ね備えた光・磁気・超伝導融合計算システムの実証を目指す。本年度は、臨界電流密度  $20 \text{ kA/cm}^2$ 、最小接合面積  $0.5 \mu\text{m}^2$  の超伝導集積回路を繰り返し作製し、 $20 \text{ kA/cm}^2$  の臨界電流密度が制御可能であるとの見通しを得た。また、微小接合の均一性を測定し、大規模集積回路に適応可能な  $1\% < 2\%$  の値が可能であることを確認した。このプロセスを用いて作製した RSFQ ビットシリアル加算器の  $140 \text{ GHz}$  動作が実証された。さらに、従来使用していた Mo より高いシート抵抗が期待できる Pd 抵抗体の開発を行い、 $20 \text{ kA/cm}^2$  に対応したシート抵抗  $3.4 \Omega/\square$  の可能性を示した。これらの成果により、ステージゲートの目標である臨界電流密度  $10 \text{ kA/cm}^2$  以上、最小接合面積  $0.5 \mu\text{m}^2$  を基本とする信頼性の高い集積回路作製プロセス構築への見通しを得ることができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超伝導システム、単一磁束量子素子、低消費電力、超高速情報処理、微小ジョセフソン接合

【研究題目】超高速 CPU 開発に向けた高品質シリコンゲルマニウム結晶基板製造の研究

【研究代表者】前田 辰郎

(ナノエレクトロニクス研究部門)



【研究担当者】前田 辰郎（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究は、現在製造が困難である CMOS（相補型電界効果トランジスタ）基板用のシリコンゲルマニウム（SiGe）結晶について、革新的な結晶成長方法を利用して実用レベルの高品質バルク結晶製造することを目的としている。高品質な SiGe 結晶基板を利用して、CMOS で従来利用されてきた Si チャネルより数倍移動度が高いことが予測されている、歪 Si（ひずみシリコン）チャネル、新材料である歪 Ge（ひずみゲルマニウム）チャネルを理想的に動作させ、現状のトランジスタの微細化による CPU 性能向上の限界（図参照）を打ち破ることを目指している。結晶成長は宇宙航空研究開発機構（JAXA）が担当し、その電気的評価を産業技術総合研究所が担当している。高品質 SiGe 基板に必要な特性は次の3つである。1）SiGe 基板結晶のモザイク構造の抑制、2）結晶組成均一化。モザイク構造が存在すると、歪 Si、歪 Ge に不均質な歪を与え、移動度の不均質性を生じさせる。また、SiGe 基板結晶の組成不均一性も歪率の変動要因となる。更に、SiGe 結晶の伝導特性は不純物濃度に強く影響されるため、移動度特性評価には、3）基板結晶の高純度化が必須である。TLZ 法では、原理的に SiGe 結晶の自発成長速度とヒーター移動速度を一致させれば結晶成長軸方向の均一組成化は実現できる。実験的には、育成結晶組成（相図から融点を計算）と理想組成との差をヒーター温度プログラムへ反映させる。径方向組成は、坩堝の熱伝導率で調整される。これまでは、熱伝導率の大きい BN 坩堝を利用したため SiGe 結晶の坩堝壁側で温度が低下し、結晶の周辺部では組成が変動した。本研究では、BN より熱伝導率の低い石英坩堝を利用して坩堝側への抜熱を抑え、均一組成1%以内を目指した。また、種結晶を従来の Si から SiGe 結晶へ変更して、種と育成結晶間の熱・機械特性差を緩和させ、組成均一領域全体について、モザイク構造のない良質結晶を製造した。単結晶の良質部について、5mm 角、100 $\mu$ m 程度厚さに加工・研磨したものを、産総研にて室温におけるホール移動度の評価を行った。TLZ 法で育成した Si<sub>0.6</sub>Ge<sub>0.4</sub>単結晶（低不純物濃度）のホール測定では、現在基準とされている1960年代のデータを超える値が得られており、基準値の見直しを促す重大な結果が得られた。今後は、歪 Ge、歪 Si-CMOS に最適な SiGe 基板組成は生産技術にも依存するため、高品質 SiGe 合金を育成しホール移動度の組成依存性を明らかにする予定である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】半導体、シリコンゲルマニウム、混晶、移動度

【研究題目】高機能部品内蔵インターポーザの実現に向けた超高密度部品実装技術の開発

【研究代表者】菊地 克弥

（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】青柳 昌宏、菊地 克弥、渡辺 直也、馮 ウエイ、橋野 勝

（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

受動部品、能動デバイスを高密度に集積して、超小型モジュールとすることにより、部品、デバイス間の配線を短くして、省エネルギー化、高集積化、高機能化を達成することができる超高密度部品実装技術を応用した高機能狭間隔部品内蔵インターポーザ（部品内蔵 LSI パッケージ基板）を株式会社アリーナとともに開発する。

平成26年度は、高機能部品内蔵インターポーザの実現に向けた超高密度部品実装技術の開発において、0402型微小チップ部品の0.1mm 以下の実装技術を開発し、10GHz まで0.1 $\Omega$ 以下の低電源インピーダンス特性を達成可能な高密度部品内蔵インターポーザの実現に向けた工学的知見を得た。さらに、0402型微小チップ部品の0.1mm 未満の実装技術の基礎検討においてもパターンやチップの接続条件を詳細に検討した結果、良好な電気特性が得られ、温度サイクル試験等の信頼性試験の通過及び電源インピーダンス評価等により当該高機能狭間隔部品内蔵インターポーザの実用化へ向けた指針が得られた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】三次元 LSI 積層技術、超高密度部品実装技術、部品内蔵インターポーザ

【研究題目】集光加熱法によるアスベストその場溶融無害化装置開発

【研究代表者】池田 伸一

（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】池田 伸一（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

1500 $^{\circ}$ C以上に加熱溶融することでアスベストが無害化できることに着目し、集光加熱技術を用いたその場溶融無害化装置を開発することを目標とした。安全かつ低コストなシステム・工法を実現することが必要であった。具体的には、処理速度向上、機構制御を2軸から3軸化、制御プログラムの高度化による処理可能面積拡大、熱処理時の排ガス処理装置の開発を実施した。

これまでに開発した、線状集光加熱方式による溶融処理面積120mm<sup>2</sup>/秒の能力をより実用的なものに発展させる為、本研究開発においては、複数の反射鏡を組み合わせることで用いることによる処理面積拡大を目指した。また、従来のアルミニウム金属の切削加工、鏡面処理品による赤外線反射鏡を用いたが、本研究開発では、アルミニウム鋳型成形技術を用いて、低コスト化、低重量化を図った。

その結果、実用度を向上させた実証システムを構築することができた。また当該システムを用いて熔融処理速度の向上、機構制御の高度化、排ガス処理ユニットの性能が実用レベルであることを確認することができた。鋳型成形による反射鏡作製については初の試みであり、切削加工による反射鏡と同等の加熱性能を実現することができた。アスベストの処理現場での実証試験はできなかったが、模擬壁を対象に装置の実証実験を繰り返し行い、実用化のための具体的な課題を確認することができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】集光加熱技術、高温処理、熔融処理、位置制御

【研究題目】微細加工施設及び陽電子施設を中心とした先端計測技術開発と拠点形成

【研究代表者】大久保 雅隆  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】大久保 雅隆、フォンス ポール、浮辺 雅宏、神代 暁、志岐 成友、津田 浩、李 志遠、王 慶華、小池 正記、大島 永康、鈴木 良一、石橋 章司、鈴木 隆之、原田 祥久、姜 麗仙(常勤職員14名、他1名)

【研究内容】

戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】「革新的構造材料」における「構造材料の未活用情報を取得する先端計測技術開発」の中核機関として、共通テーマ：「多面的総合計測体制の構築」を推進した。先端計測手法の性能実証で使用モデル構造材料(樹脂、セラミックス、金属材料)の抽出を目標とし、CFRP用マトリクス樹脂(分子間空隙)、耐熱鋼(微量添加元素ボロン、窒素の分布や原子スケール局所構造)といった計測ニーズを顕在化させ、産総研及び共同研究先に提供した。

個別テーマ：「残留応力と亀裂の計測手法の確立」では、nm-mmのマルチスケール精度を有するモアレ変位(応力)計測のために、複数周期を有するパターン(1µm-20µm)をサンプル上に作製する技術の確立を目標として、まずシリコンウェーハ上にパターンを作製してその後サンプル上に転写するナノインプリント技術により目標を達成した。

個別テーマ：「軽元素と微量添加元素の計測手法の確立」では、耐熱鋼のクリープ寿命を支配している添加元素である微量ボロンと窒素の局所構造-化学状態解析を蛍光収量X線吸収微細構造(XAFS)分光で行うための予備段階として、放射光ビームラインにてボロン、窒素、その他の多数の添加元素からの特性X線の分離分析を可能にすることを目標とし、超伝導トンネル接合アレイ検出器により、例えば、耐熱鋼中の300ppmの窒素を炭素から分離して検出することに成功した。

個別テーマ：「空孔欠陥計測手法の確立」では、複雑な構造や組成を有するSUSなど鉄鋼、合金モデル材料について陽電子原子空孔欠陥測定法を適用するために、試料調整法(研磨、エッチングなど表面処理)の開発を推進した。表面処理法の違いによる原子スケール欠陥の深さ分布を陽電子測定から明らかにした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】先端計測、モアレ変位計測、超伝導、陽電子、構造材料

【研究題目】Si貫通電極ウェーハの超平坦・超洗浄・薄化技術の開発と装置化

【研究代表者】渡辺 直也  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】渡辺 直也(常勤職員1名)

【研究内容】

Si貫通電極(Through Silicon Via: TSV)の露出工程は、3次元集積回路の歩留まり・性能・コストに大きく影響を与えるため、非常に重要である。従来のTSV露出工程は、SiとTSV(主材料はCu)の同時加工を行うのが困難であるため、非常に複雑で高コストであった。この問題を解決するため、我々は、Si/Cu同時研削と残留金属低減処理を用いた新しいTSV露出工程を提案・開発している。この工程では、まず、通常のレジソボンド系の砥石でなく、新砥石(砥石目詰まりが起こりにくい多孔質ガラス系=ビトリファイドボンド系の砥石)を用い、しかもその砥石を高圧水洗浄しながら研削を行うことで、SiとTSVの同時加工(Si/Cu同時研削)を行え、TSVの長さの均一化を図ることができる。その後、無電解めっきでCu面上に選択的にNi-Bを堆積し、TMAH溶液などのアルカリ溶液を用いたSiウエットエッチングを行うことで、TSV部分からのCuの溶け出しを防止しつつ、Si上にわずかに残存する金属(Cu)をリフトオフの原理で除去できる。

平成26年度は、Si貫通電極の長さばらつき0.2µm以下、Si上の残留金属量を $5 \times 10^{10}$  atoms/cm<sup>2</sup>以下を目標に、共同研究先とともに、ウェーハ自動厚み補正つきSi/Cu同時研削ヘッドの設計と作製を進めるとともに、無電解Ni-Bめっき条件の最適化を行った。その結果、ウェーハ自動厚み補正つきSi/Cu同時研削ヘッドの設計と一部作製が完了した。また、無電解Ni-Bめっき条件の最適化を行い、TSV間のSi領域における残留金属量を $5 \times 10^{10}$  atoms/cm<sup>2</sup>以下まで低減した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】Si貫通電極(Through Silicon Via: TSV)、3次元集積回路、Si/Cu同時研削、残留金属低減処理、ウェーハ薄化

【研究題目】光脱着型CNT分散剤を用いた微細加工可能なフレキシブル塗布型透明導電膜作

## 製技術の開発

【研究代表者】松澤 洋子（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】松澤 洋子、高田 裕子  
（常勤職員1名、他1名）

## 【研究内容】

透明導電膜は、各種表示装置、タッチパネルなどの入出力装置、さらに薄膜太陽電池など、今後ますます市場拡大が期待される分野における主要な材料である。近年では、透明性と導電性の両立に加えて、「使いやすさ」も指標に加わり、透明導電膜のフレキシブル性が重要な特性に挙げられるようになってきた。透明電極市場は2020年には51億ドル規模（2012年は19億ドル）になるとみられ、その殆どをディスプレイとタッチセンサが占めている。また、ディスプレイ市場では2019年にはフレキシブルディスプレイが市場全体の11%まで増加すると予測されている。透明導電膜材料としてはITO（酸化インジウム錫）がシェアの殆どを占めているが、主原料であるInの資源としての国際的偏在性による代替材料の開発や、透明導電膜を用いるデバイスの多様化に伴い、様々な透明導電膜が要求されるようになってきた。本課題では、これまでに見出したシーズ「光反応によりカーボンナノチューブ（CNT）の分散性を制御可能な分散剤」を、パートナー企業が有する卓越したナノ材料製膜技術を協働して、ウェットプロセス用CNT塗料の創製、および微細加工可能なCNT透明導電膜作製技術の確立を目指す。本年度は塗布に適した溶液の作成条件ならびに塗布条件について検討を行った。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】ナノチューブ、有機電解質化合物、有機光化学、コロイド界面化学

## 【研究題目】グラファイト複合構造体の基礎物性解明

【研究代表者】大谷 実（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】大谷 実、Nguyen Thanh Cuong  
（常勤職員1名、他1名）

## 【研究内容】

量子力学に立脚した計算機科学の手法を用いて、次世代半導体材料における新探究材料として注目を集めている、グラフェンを中心とするナノスケール炭素物質の基ぞぶっせいかいめいを行い、そこで得られた知見を基に現状におけるグラフェン、ナノスケール炭素材料のデバイス応用における問題点の指摘と、デバイス設計指針の提示を行う。同時に、次元性、形状、階層構造制御による新たな機能性ナノ炭素構造体の理論物質設計を行い、次世代半導体材料において、新に目指すべき炭素ナノ材料設計、応用の指針を示す。本年度は特にグラフェン同様の層状物質であるMoS<sub>2</sub>に関して、外部電界が電子状態に及ぼす影響を研究した。外部電界を印加すると非占有状態である自由電子状態が下降し、最終的にフェルミエネルギーを下回る位置に出現することが明らかになっ

た。更に、この状態がMoS<sub>2</sub>薄膜の電気伝導性を大きく変調することを明らかにした。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】グラファイト薄膜、グラフェン、密度汎関数法

## 【研究題目】スライド型ナノアクチュエータの開発に向けた基盤技術の確立

【研究代表者】武仲 能子（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】武仲 能子、関口 ちか子  
（常勤職員1名、他1名）

## 【研究内容】

近年、ロボットの小型化が進むにつれ、その動力機関であるアクチュエータの小型化が求められている。これまでのアクチュエータの主流である電動モーターでは、設計の複雑さや放熱の問題などから更なる小型化が困難になっており、全く異なるメカニズムで駆動する小型アクチュエータの開発が期待されている。このような流れの中で、最近、生物に学ぶ視点が重要視されてきている。注目されているアクチュエータの一つに、生物の筋肉組織に見られるサルコメア構造から着想を得たスライド型ナノアクチュエータがある。サルコメア構造は筋肉の最小単位であり、一對のピストン like な構造からできている。この構造内では、アクチンフィラメントとミオシンバンドルと呼ばれるたんぱく質集合体がお互いにスライド運動し、ピストンを伸び縮みさせることで外部に変位と力を生じる。生物の筋肉のエネルギー効率は50～70%と言われており、これは一般的なマイクロモーター（1%）や車のエネルギー効率（15%）に比べると十分に高い。そこで本研究では分子の設計・合成・配列技術といった分子技術を駆使することで、スライド運動する両者間の分子間相互作用を制御し、人工物を用いて生物の筋肉 like な構造を作製するための基盤技術を開発する。本年度はピストンの軸となる運動物体に機能性分子を表面修飾し、機能性分子の有無や機能発現の有無による、運動物体の溶液内挙動の変化を観察した。またピストンの壁側となる基板表面に機能性分子を修飾した場合の、基板上での物体の動きについても検討した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】人工筋肉、ラチェット機構、スライド運動

## 【研究題目】特異的溶解性・電荷輸送を示すリチウムイオン液体の計算化学的解析

【研究代表者】都築 誠二（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】都築 誠二、森下 徹也  
（常勤職員2名）

## 【研究内容】

本プロジェクトでは、次世代の二次電池として期待されているものの、放電生成物の電解質への溶出などの問

題から実現できていなかった硫黄 (S) を正極とするリチウム系二次電池を開発する。すなわち、リチウムイオン液体を電解質に用いた高エネルギー密度 (> 500 Wh/kg) ・低環境負荷・低価格・資源制約のない Li 系負極 | Ionic Liquid | S 型電池 (LILS 電池) の創出を目指す。この目標を達成するためには放電生成物の解明、放電生成物の溶解が少なく、リチウムイオンの拡散の速い電解質の開発が必要となる。放電生成物の詳細やイオンの拡散と密接に関連するリチウムイオンが溶解したイオン液体の液体構造は未解明であるが、実験的な手法だけで解明することは容易ではない。そこで産業技術総合研究所では分子軌道法、分子動力学法などの計算化学手法を用いて放電生成物やイオン液体の構造、イオン液体中のイオンの運動を解析する。また、イオン液体を構成するイオンの分子構造とイオン液体のバルク物性の相関を解明する。本年度は古典分子動力学法による液体構造の解析、第一原理分子動力学法で計算されるエネルギーの内訳の解析を行い、溶媒と錯体が安定に存在する原因を検討した。その結果、リチウムイオンとグライムの間には誘電分極が原因で近距離でのみ強い引力が働き、この引力が溶媒と錯体の安定化の原因になっていることを明らかにした。また、多硫化リチウムのイオン液体への低溶解性の原因についても検討を行った。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 イオン液体、リチウム電池電解質、分子間相互作用、計算化学

【研究 題目】 高機能神経内視鏡用リトラクターの開発

【研究代表者】 堀内 伸 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 堀内 伸、島田 悟、中尾 幸道  
(常勤職員2名、他1名)

【研究 内容】

安全かつ容易に内視鏡下血腫除去手術を可能にするための神経外科手術用低侵襲リトラクターの開発を目的とし、術者とリトラクターの位置関係、内視鏡及び手術操作器具の位置関係が容易に把握でき、手術中での脳損傷を起こさないため、人体に安全な貴金属膜による目盛、マーカーをフッ素系樹脂による透明円筒体に無電解めっきにより加工することを検討する。さらに、透明円筒体の形状を設計し、複数の医療器具を干渉することなく挿入することが可能であり、外科手術の安全性、適用範囲を広げる新規リトラクターの開発を検討する。

難めっき素材であるフッ素樹脂性リトラクターへの無電解金めっきが可能となった。さらに、白色パルス光を用いたパターンニングにより目盛りのパターンが可能となり、治験においても剥がれ等の問題が無いことを確認した。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 無電解めっき、コロイド、密着性、パターンニング

【研究 題目】 金属/機能性酸化物複合デバイスの開発

【研究代表者】 湯浅 新治

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 野崎 隆行、松本 利映、甲野藤 真、  
薬師寺 啓、久保田 均、福島 章雄  
(常勤職員7名)

【研究 内容】

本プロジェクトでは、産学官の連携により高品質の酸化物薄膜を低い基板温度で大面積基板上に高効率に作製できる革新的成膜プロセスを開発し、それを用いて酸化物層と強磁性金属層を複合化した新機能デバイスの創生を目指している。具体的には、(1) スパッタ成膜プロセスの開発、(2) 電圧印加磁化反転技術の開発、(3) 不揮発性スイッチング素子の開発、の3項目について研究開発を行う。平成26年度は、電圧による磁気異方性制御を利用した新規磁化反転技術の開発に取り組み、電圧誘起共鳴ダイナミクスを利用して磁化反転磁界を80%低減することに成功した。従来技術のように大きな電流を流す必要が無いため、スピントロニクスデバイスの低駆動電力化に有効であると期待される。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 金属酸化物、スイッチング素子、電圧効果

【研究 題目】 単原子層デザインによる希少金属フリー超高磁気異方性薄膜の開発

【研究代表者】 薬師寺 啓

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 薬師寺 啓 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

既存の実用垂直磁化薄膜は、通常、Pt, Pd, Tb, Ru, Gd といった希少金属を含むが、本研究では、これら高性能垂直磁化薄膜を、レアアースフリー・貴金属フリーで実現することを目指す。なおかつ、同時に、現行の実用薄膜 (6-8Merg/cc 程度) の10倍以上、既存の最高値と比べても2倍以上の、垂直磁気異方性エネルギー密度 (Ku) ~100M (=1×10<sup>8</sup>) erg/cc を目指す。これは薄膜としては未踏の大きさである。現行の10倍以上の Ku となれば、同じ磁化保持のために要する体積は10分の1となり、その省スペースと省エネルギーによるグリーンイノベーションが大きく推進される。

今年度は、Co 系の垂直磁化薄膜形成を試みた。特に、下地層と Co 系垂直磁化薄膜の一体化した開発を進め、多層構造としての材料探索を行った。その中で、特定の材料組合せにおいては、これまで界面異方性として知られている Fe/MgO の異方性エネルギーを凌駕する値を得ることに成功した。さらに量産向けの大型スパッタ装置を使用して実際の磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) の薄膜構造を作製することにも成功し、20nm 世代以降の超微小化が可能であることを示した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス  
 [キーワード] スピントロニクス、磁性材料、材料戦略、  
 レアアースフリー、垂直磁気異方性

[研究題目] 電気磁気効果を有する反強磁性連続媒体  
 を用いた電界操作磁気記録原理の理論精  
 査とシミュレーション技術の開発

[研究代表者] 今村 裕志  
 (ナノスピントロニクス研究センター)

[研究担当者] 今村 裕志 (常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

モバイルコンピューティングやクラウドコンピューティングの進展により、ネットワークを介した情報の流通量は劇的に増加している。その膨大な情報を記録するためのストレージ技術はもはや記録密度の限界に到達しつつあり、従来型の微粒子磁石の磁化反転を利用する方式とは異なる新しい磁気記録方式の開発が求められている。この磁気記録の大きな壁を克服するために、エネルギーアシスト磁気記録などの新たな磁気記録方式が検討されているが、これらは従来原理の域を出るものではなく、かつエネルギーアシストは省エネルギー化の流れに逆行するものである。本研究では、低消費電力な磁気記録技術の実現を目指し、電気磁気効果を有する反強磁性連続媒体を用いた電界操作磁気記録原理の理論精査とシミュレーション技術の開発を行う。

今年度は、第一原理計算による反響磁性絶縁体の交換相互作用定数の評価を行った。また、計算した交換結合定数の値を用いてモンテカルロシミュレーションを行うことで、反響磁性転移温度の評価も行った。研究開発代表者の東北大学佐橋教授が ImPACT プログラムに採択されたことにより、平成26年9月30日に研究中止手続きを行った。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス  
 [キーワード] 電気磁気効果、反強磁性、磁気記録

[研究題目] 無充電で長期間使用できる究極のエコ  
 IT 機器の実現

[研究代表者] 湯浅 新治 (ナノスピントロニクス研究  
 センター)

[研究担当者] 湯浅 新治、ロナルド・ヤンセン、  
 野崎 隆行、今村 裕志、福島 章雄、  
 久保田 均、薬師寺 啓、齋藤 秀和、  
 オレリー・スピーザー、甲野藤 真、  
 塩田 陽一、高木 秀樹、倉島 優一、  
 青柳 昌宏、菊地 克弥、渡辺 直也、  
 馮 ウェイ、鈴木 義茂、臼田 悦子  
 (常勤職員1名)

[研究内容]

本プログラムでは、電圧によるスピン操作技術を活用し、SRAM 並みの動作速度・電力と DRAM や STT-

MRAM を超える集積度を兼ね備えた不揮発性メモリ「電圧トルク MRAM」および不揮発性を有するトランジスタ技術を開発する。さらに、大径 Si ウェーハ上への磁気抵抗素子のエピタキシャル成長とウェーハ接合・3次元積層技術を用いて、実用磁気抵抗素子の単結晶化による不揮発性メモリ MRAM の微細化限界の突破を目指す。これらの基盤技術の中核とした新コンピュータアーキテクチャおよび電圧駆動3次元コールド・ストレージ技術により、IT 機器の消費電力を1/100にすることを旨とする。これにより、将来的にほとんど充電を必要としないモバイル機器や大規模災害時に電源なしで長期間使用可能な IT 機器を実現し、エコで快適なライフスタイルの変革、安全・安心なユビキタス IT 社会の実現、日本のエレクトロニクス産業の再興に結びつけることを目指す。

本プログラムは、平成26年度後半から開始され、初年度は、(i) 電圧による磁気異方性変化率の増大、(ii) 8インチ Si ウェーハと多結晶 MTJ 薄膜を用いたウェーハ接合・Si 除去プロセスの開発、トンネル障壁を介した IV 属半導体中へのスピン注入の基盤技術開発などの成果を得た。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス  
 [キーワード] 電圧トルク MRAM、単結晶化、3次元積層、ウェーハ接合、スピン FET、交差物性

[研究題目] 3次元磁気記録新ストレージアーキテク  
 チャのための技術開発

[研究代表者] 久保田 均  
 (ナノスピントロニクス研究センター)

[研究担当者] 久保田 均、福島 章雄、薬師寺 啓、  
 甲野藤 真、谷口 知大、今村 裕志  
 (常勤職員6名、他2名)

[研究内容]

本研究では、共鳴アシスト磁化反転書き込みと共鳴読み出しを組み合わせた超高密度ストレージの開発に取り組んでいる。共鳴アシスト書き込みでは、局所的なパルス磁界に加えてスピントルク発振器から発生するマイクロ波磁界を用いる。共鳴読み出しは、スピントルク発振器の発振状態の変化により媒体の磁気情報を読み出す。共鳴周波数の異なる磁性層を多層化することで記録密度の向上を目指す。26年度は、強磁性共鳴高感度検出技術の開発、および、スピンホールトルクの発振に与える影響の理論的検討を行った。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス  
 [キーワード] スピン注入

[研究題目] 低加速高性能電子顕微鏡を用いた単  
 分子・単原子計測技術の開発と、物  
 質現象・生命現象の観察実験への応

## 用

〔研究代表者〕末永 和知

(ナノチューブ応用研究センター)

〔研究担当者〕末永 和知、佐藤 雄太、劉 崢、  
越野 雅至、千賀 亮典、OviduCRETU、  
YungChan Lin、新見 佳子、  
佐藤 香代子、齋藤 昌子

(常勤職員5名、他5名)

## 〔研究内容〕

物質や生命の現象を分子・原子レベルで理解するために必要となる世界最先端の電子顕微鏡開発を行っている。高性能低加速電子顕微鏡の開発および応用研究において重要な技術開発を担い、低加速電子顕微鏡を用いて各種材料・各種分子の革新的な分析・評価法を開発、国際的にも注目される成果を挙げてきた。

主な成果としては、色収差と高次幾何収差の同時補正に世界で初めて成功し、原子分解能を実現した。色収差10ミクロン以下を達成した。

ダブルウィーンフィルターを搭載したモノクロメータを搭載、エネルギー分解能24meVを達成した。高次収差補正と組み合わせ、二次元材料の光学特性をナノメートル分解能で検証することができた。

電子線吸収端微細構造の解析により、個々の分子の対称性を評価でき、個々の官能基やペプチドの特定への応用が期待できる。

試料ダメージを抑えかつ高分解能・高感度で原子の動きを捉えることのできる低加速電子顕微鏡の開発で、欠陥導入、相転移、合金化、膜成長などが原子レベルで直接明らかにできるようになり、新規一次元・二次元物質の構造と特性の関連を明らかにするのに有用であることが示された。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕電子顕微鏡、収差補正技術、単分子イメージング

## 〔研究題目〕セルラーゼとリジン脱炭酸酵素の高機能化・低コスト化技術開発（I）—解析と改良

〔研究代表者〕渡邊 真宏（バイオマスリファイナリー研究センター）

〔研究担当者〕渡邊 真宏、片岡 未有  
(常勤職員1名、他1名)

## 〔研究内容〕

本研究は、低炭素社会実現に貢献するバイオポリマー原料であるモノマー（ジアミン）を非可食性バイオマスから低コストかつ省エネルギーで製造するための革新的製造プロセス開発を目的とした酵素の研究開発である。産総研では、これまでに本工程に必須の耐熱性セルラーゼ（5種類）の開発に成功した。5種類のうち2種類は好熱菌ゲノムより見出し、残り3種類はタンパク質工学的

手法で改変した後、大腸菌により大量発現生産することに成功した。さらに、糸状菌においても特殊な形態で発現生産可能であることが分かった。

本年度、新たに2種類のエステラーゼ遺伝子を糸状菌からクローニングし、それらの結晶構造解析から酵素の触媒メカニズムの解明に成功し、両酵素ともセルラーゼの補助酵素として有望であることを見出した。また、ポリマー原料であるジアミン生産に関わるアミノ酸関連酵素の耐熱化と実用化を目指した酵素開発研究を行った。これまでに好熱菌ゲノム解析から耐熱性を有する本酵素を見出すことに成功したが、実用化において比活性が低いことが明らかになったため、比活性が高く且つ酵素発現量の多い大腸菌由来本酵素へターゲットを切り替え、耐熱化に必要な基礎的データの収集を行った。その後、タンパク質工学的的手法による酵素改良実験に必須である酵素の結晶構造解析を行った。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕糖化酵素、耐熱性酵素、結晶構造解析

## 〔研究題目〕ボルネオ生物多様性保全のためのパームバイオマスを活用した革新的グリーン産業の創出

〔研究代表者〕平田 悟史（バイオマスリファイナリー研究センター）

## 〔研究内容〕

ボルネオ島にはパームオイル工場が多数存在するが、いずれもエネルギー効率は悪く、大量の廃棄物が環境中に排出され、生物多様性の保全に悪影響を及ぼしている。そこで九州工業大学が代表となり、九州大学、産総研と、マレーシアプトラ大学、サバ大学が連携して、パーム産業から発生する廃棄物を有効利用する技術を開発するとともに、パームオイル工場のエネルギー効率を改善することによって、グリーン産業の創出と環境保全を目指した研究を進めている。

BRRC では共同研究先であるマレーシアプトラ大学と共同で、パームオイル残渣として産業利用の可能性のある Empty Fruit Bunch (EFB)、メソカーブファイバーについて、少ない投入エネルギーで高い糖化効率を得るための前処理方法・前処理条件の検討を行い、結果を公表した。その成果は、パームオイル残渣からの糖製造プロセスの検討に反映している。

一方で、さらに付加価値の高い用途として、セルロースナノファイバーの製造の可能性についても検討し、EFB、メソカーブファイバーからセルロースナノファイバーが製造できることを確認した。ただ原料に含まれている油分の除去が課題であることが明らかとなった。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕パームバイオマス、分解、糖化、ナノファイバー

〔研究題目〕 シグナル攪乱複合体の電子顕微鏡解析

〔研究代表者〕 佐藤 主税

(バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 佐藤 主税、川田 正晃、三尾 和弘

(常勤職員3名、他1名)

〔研究内容〕

目標：

胃がんは日本人の発症する最多のがんの一つであり、大きな医療・社会的な問題となっている。胃がん発生において、重要な要因の一つがピロリ菌であり、その分泌するタンパク質 CagA は、胃粘膜細胞でシグナル攪乱を行うため、本プロジェクトではその構造解析と粘膜細胞内への移行経路の解析を行う。

研究計画：

極低温電子顕微鏡を用いた解析では、電顕像の解析と生化学解析を組み合わせ、多量体構造の詳細を調べ得る。また、CagA の理解が進まない原因としては、細胞内に移行していく過程を捉えた高分解能画像が得られていないことが一番に挙げられる。ASEM を用いることで、光学顕微鏡より高分解能での観察が可能となるため、水溶液中で抗原性を損なわずに画像を取得することで、細胞内に移行して行く過程の CagA の像を得る。

極低温電子顕微鏡を用いた解析では、CagA 単体とシグナル攪乱複合体を対象とする。これまでに得られている CagA の電子顕微鏡像は、単分子で構造の柔軟性を示す分子種と、数個の CagA が集合して多量体を形成しているものに分けられている。電子顕微鏡による単粒子解析と X 線結晶構造解析により得られたシグナル攪乱複合体の部分構造を組み合わせることで、シグナル攪乱複合体の全体像を得るべく解析を行う。

年度進捗状況：

CagA の細胞内移行の解析に必要な水中電顕観察の基盤技術開発を ASEM を用いて進めた。さらに、CagA 単体での透過電顕解析を中心にプロジェクトを進めた。ここでは、金蛍光免疫電顕により CagA が *Helicobacter pylori* 菌で生産され、ヒト細胞へと注入される様子の可視化を行った。宿主細胞に入ったシグナルが観察された。今後、CagA および4型分泌機構に関して、免疫電顕法の開発を進める。

透過電顕による CagA 単体の構造情報の取得を目指し、解析ツールの開発を進めた。CagA 単量体は分子量 130kDa であり、その粒子はコントラストが小さく、微かにしか見えない。その画像拾い上げを実現するために、新たに自動拾い上げアルゴリズムの開発行なった。

単粒子解析では、粒子像ライブラリーを構築した後で初期3次元構造を構築する。構造と画像ライブラリーとを照らし合わせながら、繰り返し計算によって構造を改善してゆく。CagA の構造決定を最短時間で進めるために、ワークフローの最適化を大幅に自動化する画像平均化プログラムを構築した。さらに CagA の130kDa でも

クライオ撮影が可能な透過型電子顕微鏡の開発を進めた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 電子顕微鏡、単粒子解析、*Helicobacter pylori*、CagA

〔研究題目〕 戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発：ALCA）多糖類利用バイオプラスチック用の藻類由来原料、および、藻類由来原料を利用した多糖類系バイオプラスチックの研究

〔研究代表者〕 芝上 基成

(バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 芝上 基成（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

ユーグレナ（ミドリムシ）は藻類の一種であり、その細胞内に多糖（グルコースポリマー、通称パラミロン）を大量に蓄積することが知られている。ミドリムシは光合成を行う植物的性質に加えて、グルコースを栄養源として増殖する動物的性質を兼ね備えている。つまりミドリムシは、廃液に代表されるような安価な栄養源、あるいは太陽光や二酸化炭素などの無尽蔵かつコストがほぼゼロであるエネルギーを使ってパラミロン等を生産する「素材生産工場」といえる。さらにバイオエタノール等の原料となるトウモロコシなどと異なり藻類は食糧と競合しないことが通常であることから、材料創製のための新たなバイオマスとして有望である。本課題ではパラミロンを原料とした熱可塑性樹脂を創製することを目的とし、前年度までに良好な熱的性質と機械的性質を併せ持つ熱可塑性樹脂に調製できるパラミロン誘導体の合成に成功した。平成26年度は主として、従来の2段階合成よりもさらに簡易な、すなわち1段階によるパラミロン誘導体合成法の確立を試みた。具体的にはトリフルオロ酢酸無水物を溶媒として用いるワンポット合成法の利用可能性を検討した。この合成で得られたパラミロン誘導体は、収率、純度、熱物性、化学構造のいずれにおいても従来の2段階合成で得られるパラミロン誘導体と同等であることを明らかとした。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 微細藻類、バイオプラスチック

〔研究題目〕 高機能化細胞増殖因子を用いたヒト iPS 細胞用の無血清培養液の開発

〔研究代表者〕 鈴木 理（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 鈴木 理、浅田 眞弘

(常勤職員2名、他4名)

〔研究内容〕

iPS 細胞を用いた再生医療が本格化している。iPS 細胞を増殖させ加工するためには、動物由来成分を含まない無血清培養液と高い活性を有する細胞増殖因子が必要である。改変型細胞増殖因子 FGFC は、ヒト ES/iPS

細胞の培養に必須な FGF2 の特徴を有し、高い安定性と生理活性を有する。本研究では、被災地仙台の培養液製造会社が確立した無血清培養液作成技術を基盤として、この新規増殖因子の性能を活かしてヒト iPS 細胞用の無血清培養液を開発することにより、震災からの復興を支援することを目指した。

本年度は、複数のヒト iPS 細胞株を用いて FGFC の作用機構解析を行った。その結果、未分化性維持における FGF シグナルの重要性を再認識する結果を得、FGFC が iPS 細胞用の培養液に有用であると考えられた。FGF シグナルを遮断することにより種々の特定の組織特異的遺伝子の発現が起こることから、数種の条件で三胚葉（内胚葉、中胚葉、外胚葉）の各マーカーが陽性の細胞を取得できた。これにより、FGFC 含有培地により継代培養した iPS 細胞は、多様な細胞への分化能を保持していることが確認できた。また細胞培養温度における FGFC の安定性等を評価し、さらなる安定化を図るために、添加剤の効果を検討した。選択した添加剤を含有した製品が試作され、近々の市販が予定されていることから、震災からの復興を側面から支援できたものと考えている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 再生医療、iPS 細胞、細胞培養液、震災復興

【研究題目】 多世代視覚障害者移動支援システムにおけるクラウド・ナビ・訓練システムの社会実装

【研究代表者】 関 喜一（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 関 喜一、井上 拓晃（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
蔵田 武志、興梠 正克、奥野 敬丞（以上、サービス工学研究センター）  
（常勤職員4名、他2名）

【研究内容】

本プロジェクトでは、多世代の視覚障害者が協働で相互に移動支援を行う新しいタイプの移動支援社会システムの実現を目指す。具体的には、視覚障害者が携帯する汎用携帯型端末が、歩行時における移動アクセシビリティ情報を自動で収集し、クラウドを介して情報共有できるナビゲーションシステムを開発する。これにより、従来は地域のボランティアによって収集されていたバリアフリー情報がビッグデータとして構築され、リアルタイムで配信されるようになる。また、地域での実証を通じて、多世代の視覚障害者の移動支援を核とした地域コミュニティ・デザイン手法を確立し、法制化・標準化等の社会制度化に取り組む。

平成26年度は、本研究開発の最初の年度であるため、必要な研究システムの構築、及び研究協力者や地域との

研究体勢造りに重点を置いた。また、視覚障害者支援の地域コミュニティを通して、視覚障害者の携帯情報端末を使ったナビゲーションシステムに関するニーズのヒアリング調査を行い、本研究課題における協力者・理解者を拡大した。

移動アクセシビリティ情報の自動収集技術開発に先立ち、手動での収集・蓄積・共有・活用のための枠組みのプロトタイプを立ち上げた。まず、移動アクセシビリティ情報の手動収集については、スマートフォンやタブレット（Android）を用いたフィールドワーク用の報告アプリを流用することとした。報告された移動アクセシビリティ情報の蓄積のために、クラウドサーバの運用を開始した。蓄積された情報はクラウドサーバへのアクセス権を持つユーザ間での共有が可能である。

共有情報の具体的な活用手段のひとつとして、“しゃべる触地図”を開発した。まず、カラー地図データと新潟大 Tmacs により自動生成される触地図データとを用いて UV オフセット印刷によって晴眼者と視覚障害者で共用できるユニバーサル触地図を、つくば、新潟、静岡、神戸の4地域において作成した。本触地図と蓄積された移動アクセシビリティ情報を用いたスマートフォン用の AR（拡張現実）アプリを開発し、弱視用の視覚 AR と全盲用の音声 AR により、スマートフォンで撮影している触地図の特定の場所に関する移動アクセシビリティ情報を提供する機能を実現した。ただし、現在は、スマートフォンのカメラからの入力画像の中心付近に写されている触地図上の場所に関して情報提供するようになっている。より直感的なインターフェースとするためには、触地図を触っている指の位置に対応する情報提供機能を実現する必要がある。

これらの準備により、平成27年度以降に移動アクセシビリティ情報自動収集ができるようになり次第、本枠組みの手動収集と自動収集とを組み合わせた移動アクセシビリティ情報サービスの提供が可能となる。

QZSS（準天頂衛星測位システム）信号を受信可能なスマートフォンでは、ジャイロや磁気センサが未搭載であったため、統合技術を市販のスマートフォンに搭載し開発・試験することができなかった。本プロジェクトでは、地域や多世代での活用を考慮して、入手のしやすいデバイスを用いることを重視しているため、統合技術の決定には至らず、平成27年度に継続することとした。また、平成27年度以降、RGB-D センサ搭載のモバイルデバイスの市販が複数企業から計画されているため、その検討も進めることとする。

また、本プロジェクト開始以前から継続して行っている、3次元音響を利用した視覚障害者の広範囲聴覚空間認知訓練システムの改良を実施し、3次元音響における視覚障害者の空間把握の獲得の有効性を実証する活動を実施した。具体的には、研究協力者である公的リハビリテーション施設（団体名非公開）における視覚障害者生



活訓練指導員養成過程において、3次元音響を活用した訓練システムを導入し、指導員候補生への教育を実施した。その結果、音による空間把握の理解が促進され、3次元音響による誘導の有効性を確認した。

さらに、ユーザインタフェースの国際標準化委員会である ISO/IEC JTC 1/SC 35 におけるジェスチャコマンドの国際標準 ISO/IEC 30113 シリーズの動向調査を行った。概してこれらの国際標準は、本プロジェクトの視覚障害者支援システムで採用する可能性のあるジェスチャコマンドに悪影響のある制限を与えるものではないことを現時点では確認しており、今後とも国際標準化の動向を追跡調査する。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 視覚障害、ナビゲーション、クラウド、情報アクセシビリティ、多世代共創、地域コミュニティ

〔研究題目〕 可搬型血液濾過システムの開発

〔研究代表者〕 山根 隆志 (神戸大学)

〔研究担当者〕 丸山 修 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門) (常勤職員1名)

〔研究内容〕

心不全あるいは腎不全のために緊急に除水を必要とする患者から、簡便かつ安全に除水する可搬型除水システムを開発し、救急医療のほか在宅医療、ひいては被災地医療にも使える除水システムを提供することを目的とする。このため、透析液が不要な濾過方式を採用し、血液循環回路には小型遠心ポンプを開発する。最初の3ヶ月で、羽根直径30mm の新設計の遠心ポンプを試作した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 可搬型、透析、血液濾過、遠心ポンプ、除水

〔研究題目〕 バイオメディカル光イメージングにおける数理モデルと画像再構成

〔研究代表者〕 星 詳子 (東京都医学総合研究所)

〔研究担当者〕 谷川 ゆかり (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、  
星 詳子 (東京都医学総合研究所)、  
岡田 英史 (慶應義塾大学)、  
吉永 哲哉 (徳島大学)、  
大川 晋平 (防衛医科大学)  
(常勤職員1名、他4名)

〔研究内容〕

ふく射輸送方程式の解析から導かれる生体内光伝播数理モデルの妥当性の検証を目的として、光学ファントム、小動物、ヒトを対象に、フェムト秒パルス光源と高速の光検出器から構成される高精度時間分解計測システムを用いた生体計測を行い、数理モデルとの比較を行う。また、多チャンネル時間分解計測システムを用いて、ファ

ントムとヒトの計測を行い、画像再構成アルゴリズムの検証を行う。

平成26年度は、高精度時間分解計測システムを利用し、ラット頭部およびサル頭部を対象に計測を行い、平成25年度までに開発・改良を行ったモンテカルロシミュレーションを応用した光学特性推定アルゴリズムを適用し、光学特性値を求めた。また、従来の多チャンネル時間分解計測システムを用いた計測と画像再構成アルゴリズムの妥当性の検討から、新たな多チャンネル時間分解計測システムの計測精度、計測方法について検討を行った。光源から近い領域についてはふく射輸送方程式を用い、ある程度遠い領域では光拡散方程式を用いるハイブリッド方式を用いたアルゴリズム開発では、3次元領域において吸収係数の不均質な領域での画像再構成を行い、現画像と非常に良く似た再構成画像を得ることができた。さらに、ふく射輸送方程式を用いた3次元の画像再構成アルゴリズムを高吸収領域および低吸収領域を持つ32mm×32mm×32mm の頸部を模擬した領域に適用し、数値ファントムにおける高・低吸収領域検出の可能性と精度について検討を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 近赤外光を利用した生体計測装置、画像再構成、光学ファントム

〔研究題目〕 有機強誘電体の新材料開発、薄膜プロセス技術の開発、及び電子状態計算

〔研究代表者〕 堀内 佐智雄 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 堀内 佐智雄、長谷川 達生、  
山田 寿一、野田 祐樹 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)、  
石橋 章司 (ナノシステム研究部門)  
(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

「元素戦略を基軸とする物質・材料の革新的機能の創出」領域で採択された課題「有機材料を用いた次世代強誘電体物質科学の創成」(JST CREST、課題代表: 産業技術総合研究所)を、標記のテーマで主導している。本研究では、(1)優れた分極性能と十分な耐久性をもつ新規有機強誘電体の材料開発、(2)多結晶性薄膜/単結晶性薄膜の作製によるデバイス化に適した薄膜・印刷プロセス技術の確立、(3)自発分極などの物性パラメータ予測、スペクトルシミュレーション、及び分子軌道解析など微視的電子状態の解明に向けた理論計算、の3点に取り組んでいる。平成26年度は、有機強誘電体の新材料開発では、プロトン互変異性分子について探索を行い、プロトンと $\pi$ 電子の協働により高分極動作が実現できることを明らかにした。また有機強誘電体の薄膜・印刷化技術として、ブレードコート製膜技術を適用することで、プロトン互変異性分子である2-メチルベンゾイミダゾール(MBI)を親撥

パターン形状に沿って結晶性薄膜を形成することに成功した。1  $\mu\text{m}$  前後の膜厚試料の P-E 特性を測定したところ、強誘電体に特有な分極履歴を数ボルト程度の低電圧下で明瞭に観測することに成功した。なお得られた薄膜の抗電場、自発分極値はバルク結晶と同程度と見積もられた。理論計算研究では、最局在ワニエ軌道を用いた電子構造解析手法を深化させた。電子型強誘電体である TTF-CA (TTF: tetrathiafulvalene, CA: *p*-chloranil) における特異な自発分極発現機構を、ペロフスカイト型遷移金属酸化物強誘電体 ( $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{PbTiO}_3$ ) の解析結果と比較しながら明らかにした。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 有機強誘電体、有機エレクトロニクス、相転移現象、電子状態、第一原理計算

[研究題目] 新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFT を基盤とするフレキシブルディスプレイの開発 (JST)

[研究代表者] 長谷川 達生 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

[研究担当者] 長谷川 達生、山田 寿一、堀内 佐智雄、堤 潤也、福原 克郎、松岡 悟志 (常勤職員4名、他2名)

[研究内容]

本研究は、印刷により製造されたフレキシブルなアクティブ・マトリックス・トランジスタアレイ (AM-TFT) の開発を目標として、広島大学・住友化学・大阪大学・産総研が共同して、高性能ポリマー半導体の開発とデバイス高性能化のための研究開発を行う。平成26年度において産総研が取り組んだ研究は以下の通りである。①ポリマーTFTの素子特性最適化・安定性向上においては、前年度までの成果を統合し、電界誘起電子スピン共鳴、電荷変調吸収分光、微小角入射 X 線回折の各測定を DA 型ポリマー半導体・PNTz4T 薄膜に対して組織的にを行い、その結果、ゲート絶縁体界面近傍の分子配列と、半導体層内の分子配列が大きく異なっており、これが移動度のゲート電圧依存性の原因であることを見出した。②高精細電極配線の印刷製造とポリマー半導体へのキャリア注入高効率化においては、前年度に引き続き、表面光反応ナノメタル印刷法を用いた高精細電極配線パターン製造プロセスの集中的な検討に取り組み、その結果、微細かつ高い導電性を示す電極配線を再現性良く印刷するための技術を確認するとともに、アクティブ・バックプレーンの製作に必要なゲート電極パターンとソース/ドレイン電極パターンの精密な位置合わせ技術の開発に成功した。③印刷による高性能ポリマーTFTアレイの作製の最適化においては、今年度新たに、電荷変調分光法を発展させたゲート変調イメージング (GMI) 法による、ポリマーTFTアレイの欠陥・分布

検査技術の開発に取り組み、その結果、TFTの駆動状態でチャンネルの微小な吸光度変化を CCD カメラにより高感度に捉えることで、多数の OTFT 素子の性能分布を光学的に一括評価する技術の開発に成功した。

[分野名] 情報通信・エレクトロニクス

[キーワード] 有機半導体、プリントエレクトロニクス、プリントエレクトロニクス、アクティブ・バックプレーン、薄膜トランジスタ、ポリマー半導体、有機エレクトロニクス

[研究題目] 液晶科学に基づく革新的塗布型有機太陽電池の開発 (液晶性有機半導体の分子設計および合成と構造形成)

[研究代表者] 清水 洋

(ユビキタスエネルギー研究部門)

[研究担当者] 清水 洋、米谷 慎 (ナノシステム研究部門)、ソーサーヴァルガス リディア、宮元 彩乃 (ナノシステム研究部門)、樋口 由美、夫 恒範、川野 倅暉 (常勤職員2名、他5名)

[研究内容]

本研究では、低製造コスト、低設置コストによる発電単価の劇的な低下を目的として、特別な前後処理を一切必要としないワンステッププロセスにより、非真空ロールトゥロールで大面積が高速生産可能な変換効率20%超の低発電コスト有機太陽電池の実現を目指す。大阪大学と共同で研究を進める。そのために、(a) 溶媒に可溶で塗布するだけで安定して素子作製が可能であること、(b) 高効率化に適した素子構造が特殊な微細加工等を必要とせずに実現可能であること、(c) 単一材料・単一層で広範囲な波長領域に感度を持つこと、(d) 光化学的、熱的に安定な材料であることを満たす材料の研究開発を、新たな概念として自己組織化性の強い液晶をベースとした有機半導体を利用することを基軸とした研究を行う。現在の大量・高精細液晶ディスプレイを実現させた液晶の卓越した性質を活用する。

今年度は、高い光電変換効率を示す低分子系塗布型活性層創製のために独自にその特性を見出した p 型の液晶性有機半導体を用いて、他の p 型液晶性有機半導体との混合系についてこれを活性層とする薄膜太陽電池を試作しその性能とフィルファクタ等関連パラメータとの相関を検討した結果、性能向上が見られる組成等の条件を見出した。また、n 型有機半導体の p 型液晶性有機半導体への混和性について分子間の特異的相互作用の導入が半導体特性を落とさずに混和性を増強させる手法を見出した。

[分野名] 環境・エネルギー

[キーワード] 太陽電池、有機エレクトロニクス、液晶

〔研究題目〕イオン液体中でのリチウム dendroライト成長の抑制と保護層への適用

〔研究代表者〕佐野 光

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕佐野 光、栄部 比夏里、山下 奈美子  
(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

水系電解液を用いたリチウム空気二次電池においては固体電解質を金属リチウムの保護層として用いる。金属リチウムと保護層の間には直接接触による副反応を避けるために異種電解質を充填する。本研究ではその異種電解質にイオン液体を適用し、金属リチウムの充電時の dendroライト状析出を抑制する手法を見出す。また、この成果を進展させ、水溶液系空気電池の負極保護層の設計に取り組む。

本年度は、グライム系電解液を含む種々のイオン液体電解液について、液物性と電気化学パラメータとの関連を明らかにするため、電流密度および温度を変化させつつ、析出挙動を核発生と粒成長の2つの段階に分けて調査した。その結果、核発生の段階では電荷移動抵抗が、粒成長の段階では拡散係数が、析出挙動に強く影響していることを定量的に明らかにした。これらの成果を踏まえ、リチウム対称セルにて、dendroライト生成による短絡時間を検証し、種々検討した電解液のうち最も有望な電解液において、電流密度  $0.1 \text{ mA cm}^{-2}$  で目標とする短絡時間の70%程度まで短絡時間を延長できることが分かった。さらに、電解質-電極界面および電解質の設計に関して、界面に関しては電荷移動反応に、電解質に関してはイオンの拡散に注目し、別々に設計・構築する必要が明らかとなった。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕金属リチウム、空気電池、水系電解質、固体電解質、保護層、dendroライト抑制

〔研究題目〕通電焼結法を用いた酸化物バルク型全固体電池の創成

〔研究代表者〕奥村 豊旗 (ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕奥村 豊旗、小林 弘典、小池 伸二、鹿野 昌弘、竹内 友成、山本 貴憲  
(常勤職員5名、他1名)

〔研究内容〕

先端的低炭素化技術開発次世代蓄電池プロジェクトに参画し、通電焼結法を用いた酸化物バルク型全固体電池の創成を目指している。最終目標では、酸化物バルク型全固体電池において、 $150 \text{ Wh/kg}$  ないし  $\text{Wh/L}$  のエネルギー密度を達成する作製プロセスの確立を見据えている。

今年度は、前年度より取り組んでいる正極側半電池の試作方法に改善を加え、正極活物質あたり  $100 \text{ mAh/g}$

以上の放電容量 (正極層の厚みを  $50 \text{ }\mu\text{m}$  以上) を実現する酸化物型バルク全固体電池用の正極側半電池の作製方法を確立した。具体的な改善点としては、高温での焼結プロセスを必要とするペロブスカイト型酸化物に代わり、低融点固体電解質  $\text{Li}_{2+x}\text{C}_{1-x}\text{B}_x\text{O}_3$  もしくは低温にて可塑性を有する固体電解質  $\text{Li}_2\text{BO}_3\text{-Li}_2\text{SO}_4$  ガラスセラミックスを半電池試作時に活用することで、これまで問題とされてきた高温での焼結時における副反応を低減させ、緻密な正極/酸化物固体電解質界面形成が可能とした。そして、厚い電極層を用いた酸化物型バルク全固体電池において  $\text{LiCoO}_2$  モデル正極材料の可逆的な  $\text{Li}$  イオン挿入・脱離反応を実現するに至った。今年度に達成した正極側半電池での放電容量は、上記の全固体電池における最終目標を満たすのに適当な値である。そのことから、次年度からは負極側半電池の開発を行い、最終目標のエネルギー密度を達成する全固体電池の作製プロセス開発に繋げる。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕二次電池、リチウムイオン電池、酸化物バルク全固体電池、通電焼結法

〔研究題目〕①電極シートを主軸とした全固体電池の構築プロセスの設計、②全固体電池用電極シートの作製プロセス開発と高性能化

〔研究代表者〕作田 敦

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕作田 敦、竹内 友成、小林 弘典、中島 潤二、河村 雄司、畠中 省伍、笹田 誠一 (常勤職員3名、他4名)

〔研究内容〕

従来検討されてきた全固体電池は、正極複合体と固体電解質と負極複合体の3層を錠剤成型することで作製されてきた。全固体電池の工業生産を実現するためには、シート型の全固体電池を試作し、本質的な課題抽出を行い、実生産に必要な新技術の開拓を行う必要がある。本プロジェクトにおいて当グループでは、電池作製プロセスの設計、電極のシート化技術開発、シート型全固体電池の試作を担当している。

今年度は  $70 \text{ Wh kg}^{-1}$  の全固体電池の実証を目標として、①固体電解質独立膜の開発、②固体電解質塗工膜の開発、③正極シート及び負極シートの高性能化、④シート型の全固体電池の試作を実施した。①固体電解質独立膜及び②固体電解質塗工膜においては、いずれも、厚さ  $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 、室温導電率  $4 \sim 7 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$  の固体電解質膜の形成が可能になった。③正極シート及び負極シートにおいては、電極層に混合する固体電解質の粒子径制御を行った上で固体電解質粒子を常温加圧成型させることで均質で緻密な正極層を形成する技術の蓄積や、電極層の低抵抗化のために適切なバインダー及び溶媒を探索することで高性能化を行った。④においては、①～③で開発

した正負極シート、固体電解質シートを積層化などのデバイス化技術の蓄積を重ね、拘束条件下での充放電で、集電体及び外装を除くセル重量当たりのエネルギー密度  $72 \text{ Wh kg}^{-1}$  を達成した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二次電池、リチウム電池、革新電池、硫黄、正極、炭素、通電焼結

【研究題目】ゼロソルベントによる新規電解質の開発

【研究代表者】松本 一

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】松本 一、窪田 啓吾、大藪 理恵、寺本 健一 (ユビキタスエネルギー研究部門) 水門 準治、王 鵬程 (環境化学技術研究部門)、韓 立彪 (触媒化学融合研究センター) (常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

本提案課題では、最終的には  $300 \text{ Whkg}^{-1} \sim 500 \text{ Whkg}^{-1}$  のエネルギー密度を実現できる電池系として金属負極を用いた二次電池系に焦点をあて、これに適用可能な電解質として、溶媒を含まないイオンのみからなる電解質系であるゼロソルベントに集中して研究を推進する。研究開始当初はリチウム金属系に焦点をあて、その後より挑戦的なマグネシウム等の多価金属イオン電池に展開可能な Mg 金属の円滑なレドックスが可能な電解液の開発およびその固体化を検討する。

今年度は Li 金属負極に適したゼロソルベントに用いる新規パーフルオロアニオンの開発、オニウム塩からなるイオン液体を用いた Li 金属負極二次電池の中高温安定作動、および Mg 金属負極に適したゼロソルベントの探索について検討した。これまでの検討から、Li 二次電池系に適したイオン液体を構成するアニオン種にはフルオロスルホニル基が含まれていることを明らかにしてきたが、これまで全く報告例がないトリス (フルオロスルホニル) メサイドの合成に成功した。本アニオンは、種々のオニウムカチオンとの組み合わせによりイオン液体やユニークな固体電解質として注目されている柔粘性結晶を形成するだけでなく、Li 金属 | イオン液体界面が長期間安定に維持される特徴を有することが明らかとなった。一方、マグネシウム二次電池系に適用可能なゼロソルベントの設計指針を得るべく、耐酸化性、耐熱性に優れているパーフルオロアニオン (パーフルオロスルホニルアミド、パーフルオロスルホネート、パーフルオロアルキルトリフルオボレート) からなるマグネシウム塩の合成を行い、その熱安定性について詳細に検討した。その結果スルホニルアミド系アニオンの耐熱性が優れていることからこれらアニオンに焦点を当て、マグネシウムの挿入脱離が起こることが知られている五酸化バナジウムからなるモデル合剤正極とマグネシウム金属負極からなる試験電池を作製し、先に合成したマグネシウム塩

と同じアニオンからなるイオン液体に溶解させたものを電解液として適用し、その充放電特性を検討した。室温での作動は困難であったが、 $150^\circ\text{C}$  以上で理論容量での充放電が可能であることを見出した。さらにイオン液体を構成するカチオン種を様々に変化させサイクル安定性に及ぼす影響を検討した結果、テトラエチルアンモニウムビストリフルオロメチルスルホニルアミド塩中においてこれまで困難であった理論容量での複数回サイクルでの充放電が可能であることを明らかとした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】金属負極二次電池、イオン液体、アルカリ金属中低温溶融塩

【研究題目】Si 系負極および S 系正極の両電極に適合する電解液の探索、選定

【研究代表者】妹尾 博

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】妹尾 博、小島 敏勝、森本 辰美、八木 三鈴 (常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

本プロジェクトにおいて、その他電池 (中長期型) チームとして、負極にシリコン、電解質にイオン液体、正極に硫黄を用いた次世代高性能リチウム硫黄電池を開発する。弊所は電池総合技術・システム最適化グループの一員として、特に電解液の探索とセル構成の選定を担当する。平成28年12月迄の電池性能数値目標は、エネルギー密度  $200 \text{ Wh/kg}$ 、出力密度  $600 \text{ W/kg}$ 、充放電サイクル寿命200回が見越せていること、となっている。

今年度は、弊所の技術であるシリコン系負極ならびに炭素に硫黄を浸させた硫黄系正極をそれぞれ作製し、これとイオン液体と組み合わせたコインセルを構築して実証試験を行った。その結果、エネルギー密度に対しては各部材の重量低減および電極活物質の増大が、出力密度に対しては電極の反応性の改善および電解液のイオン伝導性の向上が、充放電サイクル寿命に対しては電極の膨張の抑制および電極の表面保護がそれぞれ課題となることを見出した。この課題に対して電解液およびセル構成それぞれに検討を加え、さらに種々の改善を図った結果、エネルギー密度、出力密度、さらに充放電サイクル寿命の各目標値に対し、達成できる見通しが得られた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】リチウム二次電池、硫黄系正極、シリコン系負極、溶媒和イオン液体

【研究題目】マイクロカプセル化機能性文具の開発

【研究代表者】藤原 正浩 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】藤原 正浩 (常勤職員1名、他5名)

【研究内容】

豊かな生活環境は、日常生活においてストレスが少な

く、穏やかで幸せ感や安心感のある快適で暮らしやすいものでなくてはならない。日常的に使用する筆記用具に代表されるステーショナリー類、文具類は、コンピュータ化が進んだ今日においても、日常生活において身近でかつ重要な製品分野である。さらに、ステーショナリー類・文具類は、用いる言語や伝統文化・生活文化に関わらず必要とされるグローバルな製品でもあるため、生活環境に及ぼす価値は高い。したがって、これら製品の「使いやすさ」は、身近な生活環境における“快適さ”や“暮らしやすさ”を、人間の直の感覚に基づいて提供できる重要な要素である。

弊所では、これまでシリカ等の無機材料でできた中空粒子・マイクロカプセルを用いて、様々な高機能性材料を創出してきている。そこで本研究では、生活環境に快適さをもたらす高度な機能を持ったステーショナリー類・文具類を、この産業技術総合研究所が培ってきたマイクロカプセルを用いて創出することを目指した。マイクロカプセルは種々の文具薬剤類を取り込むことができ、それにより当該薬剤に新規な機能を寄与することができる。そして、マイクロカプセルと文具薬剤の機能を統合することで、これまでに無い快適性の新しい文具類を創出の基礎を構築することができた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 豊かな生活環境、機能性文具、マイクロカプセル、文具薬剤

【研究題目】 製品ライフサイクルに立脚した環境影響評価基盤の構築と社会実装によるグリーン購入の推進—上流インベントリデータベースの開発—

【研究代表者】 田原 聖隆（安全科学研究部門）

【研究担当者】 田原 聖隆、高田 亜佐子、藤井 千陽、横田 真輝（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

研究の全体目標は、最新のインベントリデータベースと環境影響評価手法に基づく環境ホットスポット分析手法の開発を行うことである。具体的には、科学的な方法を駆使した100品目を対象とした分析を実施し、その結果は専門家による「グリーンイノベーションのための羅針盤」として国、自治体、企業、消費者に広く報告され、国には政府特定調達品目の評価基準を、企業にはエコイノベーションの効果的な推進を、消費者には真のエコプロダクツを購入するための判断基準を提供する。ホットスポット分析手法と結果は環境ラベル（タイプ1と3）の信頼性を高めるべく社会実装されるとともに、合理的な審査基準の下で調達品目の選択を促進する改正グリーン購入法施行の基盤として活用されることを目指す。

上記の目標に対して我々は、上流側（製品製造側）のインベントリデータベースの構築を担当している。本年度の主な研究内容は、欧州で開発されているecoinvent

のデータの地球温暖化、オゾン層破壊、水資源消費、土地利用に関わるデータの作成方法を確認し、データベースの作成方針について検討した。そして、単位プロセスのデータ内容を検証し、データを開発する優先度の高い項目を抽出した。次いで、環境ホットスポット分析に利用が可能になるように、地球温暖化物質、オゾン層破壊物質の排出に関しては、IPCC 報告書、日本国温室効果ガスインベントリ報告書、PRTR、工業統計等を参考に、今までのIDEAには考慮されていなかった排出物の拡充を実施した。温暖化ではHFCs、PFCs、SF6等の排出が追加され、オゾン層破壊では、HCFC-141b、CFC-11、CFC-12、HCFC-22等の排出が追加された。また、水資源と土地利用に関しては、工業統計の用地用水編を参考にして、IDEAの対象プロセスすべてに追加した。これにより、従来のインベントリデータベースよりも上記4領域において詳細で、かつ、広範な分析が可能になった。さらに、更新されたデータを用いてホットスポット分析を試行し、評価結果の妥当性について確認した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 インベントリデータ、データベース、ホットスポット分析、環境ラベル

【研究題目】 震源域で採取した岩石試料の物性および破壊特性の研究

【研究代表者】 佐藤 隆司（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 佐藤 隆司、雷 興林（地圏資源環境研究部門）（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究はJST-JICA地球規模課題対応国際科学技術協力事業「鉱山での地震被害低減のための観測研究」の一部を分担する。本事業は、南アフリカ金鉱山で発生する地震を地震計、歪計等を用いて震源極近傍で観測することにより、地震発生過程解明および鉱山での地震被害低減に寄与することを目的とする。本分担課題では、震源域で採取した岩石試料の物性および破壊特性を室内実験で計測し、震源極近傍での観測結果を解釈する際の基礎データとする。

今年度は、昨年度行った実験データの解析を継続し、SATREPSセミナーで報告した。今年度が最終年度に当たるため、最終報告書を作成・提出した。

【分野名】 地質

【キーワード】 南アフリカ金鉱山、地震被害低減、震源近傍観測、室内岩石破壊試験、アコースティック・エミッション（AE）

【研究題目】 ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化

【研究代表者】 遠藤 明（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】 遠藤 明、片岡 祥、上村 佳大、下村 真理江（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

ナノ細孔に閉じ込められた物質の相状態や吸着・移動特性の基礎メカニズムを検討・解明し、得られた知見を応用技術へ展開することを目的とする。ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化、およびナノ細孔における物質の吸着・移動現象の解析と制御に取り組む。主に高機能湿度制御材料・システムの創成を目指す。

昨年度合成した複数メソポーラスシリカについての吸着・脱着速度のメカニズム検討結果を踏まえ、従来型でない新しいタイプのデシカント構造の考案を開始した。

実際の除湿課程においては細孔内の物質移動（水蒸気の移動）が律速となることが示唆されている。また、吸着速度と脱着速度がことなることもわかっており、これらの速度課程を定量的に検討した結果、従来のハニカム型でない構造のデシカントモジュールの提案に至った。

ナノ細孔表面物性の評価手法としての、細孔内部の水の吸着および窒素有着等温線を極低相対圧（水蒸気で  $p/p_0=10^{-5}$ 、窒素で  $p/p_0=10^{-8}$ 程度）からの測定法の検討を継続した。極低圧における吸着等温線は、平衡判断の基準に左右されるほか、ガスの導入方法にも依存し、いずれの場合でもリークの影響を補正しなければ正しい等温線が測定できないことが判明した。現在は手動での補正を行っているが、データ量が膨大になるため、自動化を行う必要があるため、自動化のソフトウェア開発を開始した。また、測定に必要な時間、最適な条件はゼオライトの種類は Si/Al 比のみならず、粒子のサイズにも依存することが判明した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナノ多孔質材料、吸着、相変化

【研究題目】触媒の表面化学、構造解析と設計

【研究代表者】藤谷 忠博（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】藤谷 忠博、中村 功（常勤職員2名）

【研究内容】

エステル加水分解は、石油化学などの基礎化学品製造で重要な反応であるが、従来の触媒的加水分解は、大過剰の水を必要とし、反応終了後にこの水を蒸留で分離するのに大きなエネルギーコストがかかっている。そこで、このプロセスにおける省エネルギー化、環境負荷低減、コスト削減を目指す。本研究では、アリルエステルの加水分解に続くアリルアルコールのアルデヒドへの異性化という方法で達成することを目指し異性化触媒、加水分解触媒、さらにこれを連続的に行い不可逆型にすることを試みる。そのためには、ブタジエンの反応特性が非常に重要である。種々の構造を持つ Pd 触媒上でのブタジエンの反応特性を解明した。赤外反射吸収分光法を用いて、Pd (111) 上に吸着したブタジエンの幾何学構造を調べた。120K の吸着温度において、分子面を表面に平行にして2つの  $\pi$  結合を介して吸着していることが明らかとなった。また、酸素を前吸着させた表面でも、同様な吸収ピークが観察されたことから、幾何学的吸着構造

に対する共吸着酸素の影響はないことがわかった。Pd 表面上でのブタジエンの酸化反応は、 $C_xH_y$  種が表面酸素原子と反応して進行するものと考えられた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】Pd 触媒、エステル加水分解、活性水素種

【研究題目】高性能アンモニア分解触媒の開発

【研究代表者】藤谷 忠博（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】藤谷 忠博、中村 功、高橋 厚（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、アンモニアをエネルギーキャリアとする社会の構築や実現に向けた、その利用に関しての物質・エネルギー変換の基盤技術開発を目標とするもので、具体的には、アンモニアから効果的に水素を取り出すための触媒や化合物の開発を行う。熱平衡状態においては、高温かつ低圧条件でアンモニアの分解が促進されるが、常圧では、400℃以上であれば、熱平衡的には大部分のアンモニアの分解が可能である。しかし、Ru を用いた従来の触媒反応では、100%のアンモニア分解活性を得るためには600℃程度の高温が必要となるため、反応温度の低温化が重要な課題となる。本研究では、Ru 表面で進行する触媒反応の反応素過程を in-situ 解析手法を活用して、詳細に解析し、反応の律速過程や Ru 触媒における活性種について解明する。独自に開発した共沈法 Ru/MgO 触媒のさらなる高性能化について検討した。その結果、担体と Ru の結合力を制御することで、窒素脱離が促進され、低温で高活性を示すことを解明した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア、触媒、水素製造

【研究題目】炭素膜の研究開発とプロセス検討

【研究代表者】吉宗 美紀（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】吉宗 美紀、原谷 賢治（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、アンモニアや有機ヒドライド（メチルシクロヘキサントルエン）などの水素エネルギーキャリアからの高効率水素精製プロセスの実現のため、その要素技術である水素分離用高性能炭素膜の開発、及びそれらを構成するための膜分離プロセスの最適化検討を実施した。

メチルシクロヘキサン系水素分離用高性能炭素膜の開発においては、性能向上手法の検討として、前駆体高分子への造孔剤の導入を検討した。前駆体高分子に熱分解ポリマーとして PEG600を導入してから製膜を行い、炭素膜を得た。同じ条件で焼成した膜と比較すると、PEG600を導入した膜は、水素選択性は少し低下するものの、水素パーミアンスが向上することが分かった。

膜分離プロセスの開発では、基準ガスから水素の回収率90%以上、残留トルエン0.3ppm以下の目標を達成する2段プロセスとして、理想2段カスケード・直列2段・連続膜塔の3形態を検討し優劣を比較した。その結果、残留トルエン0.3ppm以下を達成出来る理想分離係数は理想2段で1000、直列2段で80000、連続膜塔で130000以上が必要であることが明らかになった。この時の所要動力は固定条件としていることから、理想2段プロセスが最も小さい膜分離係数で要求条件を達成できる高効率プロセスであることが明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素、膜分離、炭素膜

【研究題目】デシカントモジュール用波形水蒸気吸脱着厚膜の開発

【研究代表者】根岸 秀之（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】根岸 秀之（常勤職員1名）

【研究内容】

高い水蒸気吸脱着特性を保持しつつ、波形に形状した水蒸気吸脱着厚膜を開発するため、波形のアルミ基板上に作製されたメソポーラスシリカ膜において、水蒸気吸脱着サイクル運転での膜欠損と水蒸気吸脱着量の低下を低く抑えることを目的とした研究を行った。膜作製方法は、高分子バインダーを添加したアセトンにメソポーラスシリカ粉末を分散させ、アルミ基板と対極を挿入し、直流電圧を印加することで、アルミ基板上にメソポーラスシリカ粒子を堆積させた。得られた膜について自作の水蒸気吸脱着サイクル試験装置を用いて150サイクルまで行い、吸脱着量を評価したところ、膜の欠損と水蒸気吸脱着量の変化は観察されなかった。さらに、その膜を自作の簡易コルゲート装置により波形加工したところ、一部の膜作製条件で作製した膜において、膜の欠損がほとんど生じないことが分かった。また、テフロン製の連続製膜用セルを設計・作製した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】デシカント、膜、モジュール

【研究題目】高性能アンモニア分解触媒の開発

【研究代表者】藤谷 忠博（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】藤谷 忠博、中村 功、高橋 厚  
（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、アンモニアをエネルギーキャリアとする社会の構築や実現に向けた、その利用に関する物質・エネルギー変換の基盤技術開発を目標とするもので、具体的には、アンモニアから効果的に水素を取り出すための触媒や触媒反応プロセスの開発を行う。移動式および定置式の水素ステーションを開発するための要素技術を検討し、最適のシステムを提案する。本研究では、1000 ppm以下までアンモニアを分解できる高性能触媒

の開発を主に行う。これまで、共沈法で調製したRu/MgO触媒が本システムの候補触媒とされたが、触媒寿命を含めた詳細な触媒性能の解明が必要である。特に、触媒寿命に関しては、1000時間以上の耐久性を求められており、この耐久性向上のための検討を行い、触媒の調製過程を改良することにより、安定な触媒の開発に成功した。さらに、触媒の大量合成技術の開発や反応器のスケールアップ手法についても検討を開始し、20倍スケールまで大型化することに成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア、触媒、水素製造

【研究題目】炭素膜の研究開発とプロセス検討

【研究代表者】吉宗 美紀（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】吉宗 美紀、原谷 賢治  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、膜分離法によるメチルシクロヘキサン系水素キャリアからの脱水素反応工程の省エネ化と分散型水素供給装置のコンパクト化を目指し、高性能炭素膜の適用を検討した。また、各種分離膜を用いた膜分離プロセスの設計計算を実施した。

メチルシクロヘキサン系水素分離用高性能炭素膜の開発においては、製造条件の異なる炭素膜を作製し、本研究の適用温度での単ガス透過性能の評価と水素/トルエン混合ガス試験を実施した。その結果、水素選択性の低い場合は、時間とともに水素パーミアンスの低下が観測され、微量のトルエンが透過することが分かった。一方、高い水素選択性を有する炭素膜を用いると、初期水素パーミアンスは小さいものの、安定な性能を維持し、透過側にトルエンは検出されず、今年度の目標である回収水素純度と水素パーミアンスを達成することができた。水素分離膜プロセスの開発では、基準ガスから水素の回収率90%以上、残留トルエン0.3ppm以下の目標を達成できる種々のプロセス形態について設計計算を行った。所要動力が最も小さく省エネルギー性に優れたプロセスは単純1段分離であるが、必要分離係数は29万と非常に高い分離性能が要求される。開発中の炭素膜は30万以上の分離係数を有していることから、単純1段分離でのプロセス設計が可能であることが明らかになった。一方、分離係数が29万以下の膜では理想2段のプロセス形態が優れており、従来技術であるPSA法の所要動力以下のプロセス設計が可能であることも明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素、エネルギーキャリア、炭素膜

【研究題目】有機ハイドライド向け実用型炭素膜の開発と膜分離システム設計

【研究代表者】吉宗 美紀（環境化学技術研究部門）

【研究担当者】吉宗 美紀、原 伸生、榊 啓二、

原谷 賢治（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、メチルシクロヘキサントルエン系有機ハイドライドを用いた水素ステーション用脱水素システム技術の実用化を目的とする。脱水素システムを構成する低コスト水素精製技術の開発に関連して、新規水素分離膜としての実用型炭素膜の開発と要求仕様を達成する効率的な水素精製が可能となる膜分離システムの設計を担当した。

実用型炭素膜の開発では、量産において最もネックとなっていた炭化処理工程について、多本数の中空糸膜を同時に炭化する手法の検討を行った結果、多本数の膜焼成時に非常に高い水素選択性が得られる手法を見出した。この膜を用いた水素とトルエンの混合ガス分離試験において、今年度の目標である精製水素中炭化水素濃度2 ppm 以下（C1換算）を達成し、かつ安定した水素透過速度を得ることができた。さらに、焼成条件を最適化することで、焼成時間が短縮化できることを見出した。

膜分離システム設計では、メチルシクロヘキサンの脱水素反応後の気液分離工程を経た水素／トルエン混合ガスから水素を精製するシステムについて、炭素膜を用いて分離し、水素ホルダーに貯蔵するまでのシステムについて設計計算を行い、必要膜分離性能・所要動力等の概算を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素、有機ハイドライド、炭素膜

【研究題目】時間分解スペクトル法を用いた CO<sub>2</sub>還元光触媒反応の機構解明

【研究代表者】小池 和英（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】小池 和英（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、太陽光をエネルギー源、水を選元剤とした CO<sub>2</sub>の資源化技術の中核となる光触媒の開発を目指す。具体的には、(1) Z スキーム型金属錯体 - 半導体複合系光触媒、(2) メタノール生成可能な CO<sub>2</sub>多電子還元光触媒、(3) 稀少性の少ない金属を中核とする CO<sub>2</sub>光還元触媒の開発である。

(1)の犠牲還元剤を用いず、水を電子源とした光触媒反応系の構築には、還元側の反応についても水中で効率よく進行させることが不可欠である。しかしながら、有機溶媒中で高効率に働く金属錯体触媒でも、水中では活性が低く、その原因の解明が求められていた。

CO<sub>2</sub>光還元反応の初期過程である、光吸収とそれに続く犠牲還元剤から錯体触媒への電子移動過程について、時間分解スペクトル法を用いて定量的測定を行い、有機溶媒中と水溶液中での1電子還元状態生成効率の違いの原因を調べた。

可視・紫外過渡吸収分光法により、有機溶媒中と水中において、光吸収と、それに続く還元的消光過程で生成

する中間状態 (<sup>3</sup>MLCT 励起状態、1電子還元状態) の濃度変化を測定した。水中では、1電子還元状態の初期生成量は有機溶媒中と同程度であるのに対して、溶媒ケージ内の逆電子移動により失活する割合が大きいことが明らかになった。この結果、水中で効率良く反応を進行する反応系構築のためには、アスコルビン酸にかわる錯体への逆電子移動の起こりにくい還元剤の開発が重要であることが示された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】人工光合成、CO<sub>2</sub>、金属錯体、触媒

【研究題目】アンモニア合成とプロセス解析

【研究代表者】金 賢夏（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】金 賢夏、高木 英行、難波 哲哉（常勤職員3名）

【研究内容】

再生可能なエネルギーを利用した中小規模の分散型に適した革新的アンモニア製造技術の開発し、10トン／日規模の基盤技術の確立を目標とする。アンモニアは水素の貯蔵・長距離輸送に適したエネルギーキャリアとして注目されており、従来のハーバーボッシュ法より穏やかな条件下で運転可能な新しいアンモニア合成技術の開発を目指す。

平成26年度では、アンモニア合成反応にアルミナにルテニウムとマグネシウムを担持した触媒 (Ru-Mg/g-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) が有効であることを見出した。この触媒では250℃付近からアンモニア合成が見られ温度上昇につれて生成量も増加した。水素と窒素の比は従来のハーバーボッシュ法の化学両論比とは異なり、窒素が多い条件 (H<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> = 20%:80%) が有利である。ルテニウム担持アルミナ触媒のライトオフ温度付近でプラズマによる触媒活性が大幅に向上することを見出した。熱の寄与分を含めるとプラズマアンモニア合成の世界最高値である30g-NH<sub>3</sub>/kWh の収率を達成した。

(平成26年度7月に JST-ALCA プログラムから内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) に移行された。)

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】アンモニア合成、プラズマ、ハーバーボッシュ法、触媒

【研究題目】繊維導電性加工に用いる金属ナノ粒子分散液の量産化技術開発

【研究代表者】脇坂 昭弘（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】脇坂 昭弘、小原ひとみ（常勤職員2名、他6名）

【研究内容】

導電性繊維は、医療・フィットネス・ファッションなどのウェアラブル使用や工業用電線として大きな市場性が期待されている。これらの用途には伸縮性と導電性が



高いレベルで必要となるが、実用レベルの機能を有する製品は完成していない。本研究では、金属ナノ粒子分散液を糸に塗布して焼結することによって伸縮性を失わずに導電性を付与し、この糸を製織して導電性繊維を製造する技術を開発することを目的とする。このため、(i)金属ナノ粒子分散液を繊維加工に使用することを可能にする金属ナノ粒子分散液の量産化技術、(ii)得られた金属ナノ粒子分散液を糸に塗布・焼結する導電性糸加工技術、(iii)導電性糸に損傷を与えない製織技術について研究した。

正・負エレクトロスプレーをヘキサンの低誘電率液体中で対向させることにより、正・負に帯電した微小液滴を各ノズルからスプレーし、静電力によって正・負液滴間で衝突・混合させ、微小液滴内で化学反応を起こさせるシーズ技術の反応効率を5倍以上に高めた改良技術を開発し、金属ナノ粒子分散液の量産化に適用できることを実証した。金属ナノ粒子分散液の分散剤を最適化することにより、金属ナノ粒子分散液の濃縮化に成功し、繊維加工への使用を可能にした。得られた銀ナノ粒子分散液の濃縮液をアラミド糸に塗布し、電気炉で加熱処理して銀ナノ粒子を融解させた後、ジャカード織機によって製織し、1cm 当たり0.5Ωの抵抗値を示す高導電性繊維を製造することに成功した。

本研究開発において、金属ナノ粒子量産化技術の開発は産総研が担当し、当該技術による銀ナノ粒子の量産化試験とアラミド糸の導電性加工は日華化学株式会社が担当し、アラミド糸の製織は福井県工業技術センターが担当した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 エレクトロスプレー、銀ナノ粒子分散液、導電性繊維

【研究題目】 活性酸素表面処理装置の開発と医療用滅菌器への応用

【研究代表者】 野田 和俊（環境管理技術研究部門）  
（研究代表機関：岩崎電気（株））

【研究担当者】 野田 和俊、古川 聡子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

従来困難であった短時間での手術器具滅菌を可能とするフラッシュ滅菌器、ならびに医療用内視鏡の滅菌処理を可能とする滅菌器にターゲットを絞り、比較的小規模クラスの医療機関でも利用しやすい汎用性の高い滅菌器の開発を目的とし、現場の真のニーズを十分に把握しながら、医療認証の取得、事業化を前提とした基礎システムの確立を目指す。今までの基本技術を活用し、医療器具の滅菌処理に関して、処理時間の短縮・最適化と処理状況を可視化するシステムの開発を行うことで、従来の滅菌器が抱えていた課題である環境への負荷、人体への悪影響等を大幅に低減することが可能となる。

継続してインジケータの開発検討を行い、「複数検知」素子を利用した平均化処理としての4電極を施したQCM素子を新たに検討して基本動作試験と有効性を確認した。

小型かつ安価なカートリッジタイプの検知素子の検討の中で、「常時通電」方式と「光通信」方式の有効性を確認した。また、滅菌装置内の使用環境測定用小型ロガーについて、小型の滅菌バックにも対応できる専用のロガーを試作して、その有効性を確認した。

QCM法をベースに、特定の活性酸素種を選択的に検知可能なインジケータを引き続き検討し、検知層としてメチレンブルーとプルランとを含む多糖類の有効性が示された。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 センサ、活性酸素、水晶振動子、ケミカルセンサ、プラズマ

【研究題目】 生体分子のセンシングデバイスへ応用可能なマイクロ流路用金型の作製技術開発

【研究代表者】 鳥村 政基（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】 鳥村 政基、愛澤 秀信、谷 英典、黒澤 茂、丹羽 修、栗田 僚二、加藤 大（常勤職員7名、他2名）

【研究内容】

環境やライフサイエンスの分野での計測を迅速簡便に行うことが望まれている一方で、こうした計測情報は実験室や試験所などに持ち帰って大型の機器分析装置を使って取得することが常識であった。近年、環境や医療の現場で特殊な技能を必要とせず測定できるような技術開発が課題となっており、これらの課題を解決する方法として片手に載る程度の大きさのマイクロ流路デバイス上で一連の計測が達成できないか、多くの研究開発が進められ、これまでにいろいろな項目を分析できるマイクロ流体デバイスが提案されてきた。しかし、こうしたマイクロ流路デバイスの量産化を考慮した場合、その高い製造コストに課題が残されていた。

本研究では、分離や反応・検出といった計測機能を持つ流路を刻んだ樹脂製のマイクロデバイスを量産するための新たな金型作成技術を開発することを目標にしてきた。民間企業と福島県ハイテクプラザとの共同研究を通して、現在の汎用金型作成技術より迅速かつ安価に作成できる技術の開発を重点的に進めてきた。今年度は、環境中の化学物質の毒性を迅速に評価するための薬物濃度勾配形成の細胞チップのデザイン設計と試作を行い、その性能を確認することができた。また、ライフサイエンス分野でのアプリケーションとして、薬物代謝のセンシング機能を有するマイクロデバイスのデザイン最適化を図り一定の高い性能を持つデバイス構築を達成した。

【分野名】 環境・エネルギー、ライフサイエンス

〔キーワード〕 計測、診断、マイクロデバイス、金型

〔研究題目〕 微量元素の挙動解析のための熱分解／誘導結合プラズマ質量分析装置 (Py/ICP-MS) の開発

〔研究代表者〕 田尾 博明 (四国センター)

〔研究担当者〕 田尾 博明、中里 哲也、佐藤 浩昭、  
重田 香織、黄 昱  
(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、迅速に温度制御できる「小型熱分解炉 (Py)」と超微量検出が可能な「ICP-MS」とをオンラインで結合した、新たな Py/ICP-MS 分析装置を開発することである。また、本装置を用いることにより、従来、分析化学分野では殆ど考慮されてこなかった高温域での化学反応を利用した新たな分析法の可能性を切り開くことも目的の一つである。上記目的の達成には、Pyで発生した微量元素を損失なく ICP-MS に導くためのインターフェースの開発と、多様な高温化学反応を迅速に行うための Py の改良が鍵となる。インターフェースでの元素損失は低温部での凝縮であることから、これを防止するための加熱インターフェースを開発した。また、多様な試料を分析するため、反応炉の増設と形状変更、液体試料注入口の設置、炉冷却方式の改良などを行った。その結果、二次試作機の分析性能を実試料を用いて評価することが可能となった。また、高温反応を利用して初めて可能となるハロゲン化物発生法を開発し、環境基準レベルのヒ素分析が可能となることを示すなど、当初の目標を達成することができた。今後の展開としては、本装置の実用化のため、産業分野や環境分野での実効性の高い分析応用例を開発し、その標準化を推進していく。また、その基盤となる高温域での化学反応に関するデータベースを整備する。さらに、本研究の過程で新たに見出された課題である、高温での長期耐久性に関する実験を行い、部材の材質や形状の改良を進め、製品化を進めていく。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 微量元素分析、挙動解析、質量分析、熱分解炉

〔研究題目〕 産業用 X 線照射装置の大線量冷陰極 X 線管の開発

〔研究代表者〕 鈴木 良一

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕 鈴木 良一、加藤 英俊  
(常勤職員2名)

〔研究内容〕

ライフサイエンスやバイオテクノロジーの分野では動物や植物に放射線を照射して放射線照射の効果を調べ、医療や産業に役立てる研究がなされている。これらの実

験では、放射性同位元素は特別な管理が必要なため、電源を切れば放射線が出ない X 線照射装置が様々な研究機関で使われている。従来の X 線照射装置の X 線管は、医療用の X 線管を転用したもので、熱陰極から出る電子をターゲットの1点に照射して X 線を発生する X 線管を用いているが、出力を大きくしようとすると回転ターゲットなど複雑な機構が必要になる。本課題では、電子放出特性に優れたカーボンナノ構造体を用いて大面積大線量照射が可能で、寿命も従来の X 線管を超える性能の照射装置用 X 線管を開発することを目指して開発を行ってきた。

本年度は、リング状カーボンナノ構造体をグリッド電極付きのセラミック製の真空管内に封入した X 線管を 160kV までの管電圧に対応させるための改良と動作試験を行った。その結果、1セルあたり 4mA 以上の電流を長時間安定に放出して X 線照射に利用できることを確認した。この開発した X 線管は、従来の照射用 X 線管と異なって X 線の出射方向が回転対称の軸方向であり、多数を並べることが容易である。これによって大線量の X 線照射も可能になる。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 カーボンナノ構造体、X 線源、X 線照射装置

〔研究題目〕 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト

〔研究代表者〕 稲場 肇 (計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 稲場 肇、洪 鋒雷、大苗 敦、  
保坂 一元、大久保 章、  
Malte Schramm (常勤職員5名、他1名)

〔研究内容〕

光コム天文応用、具体的には天体を分光して観察する高分散分光器の分解能をフルに活かすための波長校正に用いるための光コムを開発を行っている。平成26年度は、電通大、および10月に横浜国立大学に転出した洪教授と連携し、当該テーマに用いるための光コムシステムの設計を行った。具体的にはシステムを設計し、これに基づいて物品の選定・調達を行った。システム考案にあたっては、我々の保有技術である「光コムの高速制御技術」「周波数安定化レーザ技術」「光共振器技術」を駆使し、信頼性が高く、これまでにない広帯域な天文用光コムを実現することを目指した。また、詳細な仕様を詰めるため、コムの使用場所となる国立天文台・岡山天体物理観測所と緊密な情報交換を行った。デュアルコム分光においては、徳島大学と連携し、テラヘルツ・広帯域スペクトル操作グループのアイデアであり高分解能化が可能な「離散フーリエ変換分光法」「補間デュアルコム分光法」と、当グループが保有する「超広帯域デュアルコム分光技術」「光共振器技術」を組み合わせ、デュアルコム分光においてこれまで不可能であった2

MHz の分解能を実現した。測定対象として、一つの縦モードのスペクトル線幅が2 MHz 程度の光共振器を用い、その反射スペクトルを取得した。下の図に示すように、2 MHz 程度の線幅が1400 nm～1600 nm という広い波長域において一度に取得できた。さらに、共振器のフィネスが波長域によって変化していることも直接観察できた。今回、新たに「光制御型光コム」の開発に取り組んだ。共振器中に電気光学変調器や電歪素子を用いないため、モード同期の自己スタート性能、信頼性、そして高速制御性に優れ、かつシステムの対価性能比を上げることが期待できる。平成26年度は、下記のようなオシレータを製作し、モード同期特性の評価、光アンプ系の製作およびキャリア・エンベロープ・オフセットビートの検出を行い、その上で繰り返し周波数およびキャリア・エンベロープ・オフセット周波数の制御性評価を行い、結果として光強度による制御で、それら二つの周波数を同時に位同期することにはじめて成功した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】光周波数コム、光シンセサイザ、天文、狭線幅レーザ

【研究題目】効果的な除染計画・評価のための放射線・放射能測定装置の実用化開発

【研究代表者】黒澤 忠弘（計測標準研究部門）

【研究担当者】黒澤 忠弘、齋藤 則生、加藤 昌弘（常勤職員3名）

【研究内容】

福島県内では、除染が行われている地域もあるが、まだこれからとなっている市町村も多い。（飯館村など）住民が帰還するためには、除染空間である敷地の空間線量低減が重要となるが、低減させるために効果の高い除染作業、領域をあらかじめ推定することが必要である。また、地中のセシウムの深度分布が容易に測定できれば、過剰な除染による廃棄物を出さずに減容することができる。これにより、限られた予算の中で、効率的、効果的に除染を行うことが可能となる。また現在行われている除染作業についても、一部手抜き工事などが発覚しており、除染が広範囲に行われるようになれば、これらの問題が多発することになる。

本研究では、光子エネルギースペクトル測定器を用いて、新しく開発した信号処理技術を付加することによって、地中における放射能の深度分布、また空間における被ばく線量寄与の要因と汚染域の推定が行える放射線・放射能測定装置の実用化開発を目的としている。本年度は検出部についていくつかの候補を用いてテストを行い、最終的に CsI シンチレータとフォトダイオードの組み合わせを選定した。プロトタイプ機を使って、汚染域の距離依存性、また放射性物質の深さ分布についてフィールドを使った実験を行い、それぞれ推定手法で必要なパラメータの取得を行うことができた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】 $\gamma$ 線、除染、スペクトル解析

【研究題目】国家標準にトレーサブルなコヒーレント周波数リンクの創生とそれに基づいたテラヘルツ周波数標準技術の系統的構築

【研究代表者】稲場 肇（計測標準研究部門）

【研究担当者】稲場 肇（常勤職員1名）

【研究内容】

光波と電波の周波数境界に位置するテラヘルツ (THz) 帯 ( $10^{11}$  Hz (100 GHz) ～  $10^{13}$  Hz (10 THz)) は、これまで良質なレーザ光源や高感度検出器が無かったため、唯一残された未開拓電磁波領域とされてきた。近年のレーザ励起 THz 波や THz 量子カスケードレーザを始めとした各種 THz 要素技術の進展により研究開発が加速しているが、超高速・大容量無線通信や非破壊検査といった産業分野での利用が具体化し始め、THz 帯電磁波の計量標準（周波数、パワーほか）の整備が世界的に急がれている。特に周波数については、電磁波の最も基本的な物理量の一つであると同時に最も高精度に発生・計測可能な物理量であり、THz 技術の根幹をなす標準として強く望まれている。本研究では、電波領域 (DC～10 GHz) や光波領域 (200～600 THz) と同等な周波数の不確かさを THz 周波数でも実現するため、電波・光波・THz 波という3つの異なる周波数帯を、光周波数コム（光コム）を利用して精密にリンクする。この周波数リンクによって、電波や光波領域における充実した周波数標準群の不確かさを THz 領域に分配し、SI 基本単位の1つである時間（秒）の国家標準にトレーサブルな三種の THz 周波数標準技術（THz コム走査型分光計、THz シンセサイザ、THz スペクトラム・アナライザ）を確立する。

本年度は THz・QCL チップ（CW 発振、中心周波数 2.140 THz）を用い、徳島大グループと連携してその基本特性評価を行った。まず、DC 電圧/DC 電流特性の評価を行った。4 V を越えると電流が流れ始め、6 V 以上では電圧/電流特性がリニアに増大することを確認した。次に、DC 電圧/CW パワー特性の評価を行った。8.8 V 付近から信号が計測され始め、最大 0.65 mW の CW-THz 出力が得られた。また、フーリエ変換遠赤外分光計でスペクトルを計測した。最後に、THz・QCL の出力を、THz レンズ ( $f = 100$  mm) で集光した場合の焦点における空間プロファイルを、THz イメージャーで計測した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】光周波数コム、モード同期レーザ、モード同期ファイバレーザ、テラヘルツ

【研究題目】高速・高精度テラヘルツ時間領域ポーラリメータの開発と産業応用展開

〔研究代表者〕 稲場 肇（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 稲場 肇（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究提案では、高速・高精度な「テラヘルツ波偏光計測技術（ポーラリメトリ）」について、産業界への普及を加速すべく以下の3つの課題を設定し、その解決に取り組む。①テラヘルツ時間領域偏光スペクトル計測を用いることで初めて見える「材料物性」を提示すること。②ロバスタな計測系実現のため、可動部分の存在しない完全リジッドな計測装置を開発すること。③ファイバレーザベースの装置を開発し、可搬式装置実現への道を拓くこと。

産総研はこのテーマの中で、光学遅延ステージ不要の波形計測システムの開発を支援する。具体的には、「THz 波発生用の光源」と「THz 波検出用の光源」について、それぞれのファイバレーザの繰り返し周波数を精密に位相同期すること、および二つのレーザのタイミングを少しずつずらすために、片方のファイバレーザの繰り返し周波数を共振器内 EOM により高速変調する技術の開発を支援する。これによって、機械的な遅延ステージを用いて光学遅延を与えるものと同様な効果を、電気的に与えることができる。すなわち光学遅延ステージ不要な遅延装置が達成できる。

本年度は、研究代表者が開発するファイバレーザ製作に関する技術支援を慶應義塾大学と共同で行った。また、慶應義塾大学の発案による繰り返し周波数制御方法に関わる予備実験を行った。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 光周波数コム、モード同期ファイバレーザ、ポーラリメータ

〔研究題目〕 がんモデルメダカの開発及び該メダカを用いた創薬スクリーニングシステムの開発

〔研究代表者〕 出口 友則（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 出口 友則、静間 和子  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は CREST「先端光源を駆使した光科学・光技術の融合展開」の研究課題「新規超短パルスレーザーを駆使した *in vivo* 光イメージング・光操作のがん研究・がん医療への応用」の研究分担者として行っているものである。「新規超短パルスレーザーを駆使した *in vivo* 光イメージング・光操作のがん研究・がん医療への応用」では、新規長波長パルス光源および補償光学を駆使した新規2光子励起顕微鏡システムを開発し、さらに、さまざまな「がんモデル動物」を利用して、波長、パルス幅、ビーム径、波面収差など光学的なパラメーターの最適化を行うことで Whole body におけるがん動態の解明および、がんに対する革新的創薬スクリーニング技術

の開発を目指している。本研究では、これらの目標のために、高解像度 *in vivo* イメージングに適したメダカを用い新しいがんモデルを開発している。具体的には、モデルとして蛍光タンパク質を発現するがん細胞をもつメダカ遺伝子導入システムを新規に開発し、脈管系を可視化できるメダカシステムと組み合わせることでメダカを用いた *in vivo* がん転移モデルを作製する。これによりがん転移と脈管系の関係を詳細に観察できるシステムを構築することができる。さらに、メダカには1) ヒトと同様の組織がある。2) ヒトと同様の遺伝子が保存されている。3) 多産であり、多数の化合物評価に必要な検体数を準備することが容易である。4) 体が小さいため、飼育コストが低く、薬効評価に必要な化合物の使用量も少ない。5) 透明であるため、蛍光蛋白質や蛍光色素を用いた組織のライブイメージングに適しており、病態や薬効を簡単に定量評価できる。といった利点があるため、本がんモデルメダカを用いた創薬への応用展開も目指している。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 がん、疾患モデル、メダカ、ライブイメージング、創薬スクリーニング

〔研究題目〕 生物由来材料を用いたセキュリティ印刷手法の開発

〔研究代表者〕 星野 英人（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 星野 英人（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、H27年1月1日開始の受託研究であり、年度を跨いで H27年12月31日までの研究である。本研究では hCBD-BAF 融合タンパク質を、蛍光・化学発光インクとして利用するため、増粘性添加剤の候補として市販のセルロースナノファイバー（以下、CNF）を検討し、マイクロピペットでの操作において添加剤として有効である結果を得た。更に、CNF は当該融合タンパク質とのハイブリッドの状態、紙中のセルロース繊維と強固に結合するようで、水洗後にも紙面上に残存し、増粘性の外に紙への接着機能を与えることも確認できた。CNF の繊維長の最適化が今後の課題である。実施した“スーパーインクジェット（SIJ）技術”による吐出試験では、未だ良好な結果には到っていないが、吐出可能性については確認できた。当該融合タンパク質が与える BAF への効果について特許出願を行った。また、hCBD-BAF のインク利用技術についても特許出願を予定し、準備を進めている。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 BAF、セルロース、セキュリティ印刷

〔研究題目〕 ゲノム編集による遺伝子ノックインニワトリの樹立

〔研究代表者〕 大石 勲（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 大石 勲（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

ニワトリ卵は安価で蛋白質を豊富に含むことから、遺伝子組換え技術により卵白中にバイオ医薬品等の有用蛋白質を低コストで大量生産する革新技術（鶏卵バイオリアクター技術）が期待されている。しかし、これまで作成された鶏卵バイオリアクターは、遺伝子導入法やニワトリゲノムに外来遺伝子がランダムに挿入されたこと等に起因して、有用蛋白質の発現量や安定性が低く、実用化困難であった。これまで研究代表者は、精子や卵子の元となる始原生殖細胞を用いたニワトリ遺伝子組換え技術の開発を行ってきた。これまでに始原生殖細胞の長期培養や遺伝子導入技術を開発するとともに、遺伝子改変始原生殖細胞を用いた生殖巣キメラニワトリの作製やキメラ効率の改善等を達成した。更に最近、培養技術の改良により、始原生殖細胞由来の遺伝子組換えニワトリの樹立にも成功した。加えて、鶏卵バイオリアクターを目指した新技術として始原生殖細胞を用いたゲノム編集技術の開発にも取り組んでおり、細胞レベルでノックアウトや外来遺伝子のノックインに成功している。

これら研究成果を踏まえ本研究課題では、ゲノム編集により遺伝子をノックインした始原生殖細胞から遺伝子改変ニワトリ後代を樹立可能なことを実証する。特に、鶏卵にモデル有用蛋白質を大量生産する組換えニワトリ樹立を試みる。平成26年度は横斑ブリマスロック種の3日胚血液より、新たに3系統（2系統 雄、1系統雌）始原生殖細胞株を樹立した。ノックイン技術によりヒトサイトカイン遺伝子を、オボアルブミン遺伝子座の翻訳開始点に遺伝子のノックインを行い、PCRにより確認後、白色系のニワトリレシピエント胚に移植し、遺伝子ノックインキメラニワトリを構築した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ゲノム編集、ニワトリ、蛋白質生産、鶏卵バイオリアクター

〔研究題目〕 アンモニア内燃機関の技術開発

〔研究代表者〕 壹岐 典彦（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 壹岐 典彦、倉田 修、松沼 孝幸、井上 貴博、鈴木 雅人、辻村 拓、小島 宏一、古谷 博秀、生田目 紀子（常勤職員8名、他1名）

〔研究内容〕

クリーンで、かつ量的なポテンシャルも備えている再生可能エネルギーを大規模に利用するためには、一旦エネルギーキャリアに変換し、これを消費地まで運搬して最適の形でエネルギーに戻すようなシステムの構築が必要となる。アンモニアは、肥料原料や汎用化学品原料として大量に使用されている。沸点が $-33^{\circ}\text{C}$ であり、水素と比較して容易に液化され、その体積当たりの水素貯

蔵量は約18wt%と水素吸蔵合金（ $<5\text{wt}\%$ ）や高圧水素に比してはるかに高密度である特徴がある。さらに液体水素、有機ハイドライドに比しても水素貯蔵量は大きい。また製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が十分に整備されており、次世代の低炭素社会を担うエネルギーキャリアとしての可能性を十分に秘めている。エネルギー消費地における水素への変換、燃料電池デバイス、燃焼などアンモニアの利用技術が確立されることにより、アンモニアをエネルギーキャリアとする社会が構築される。その中でアンモニアを燃料とした内燃機関の燃焼技術の開発を担当している。これらにおいて、克服すべき技術課題の詳細は以下のとおりである。

(1) 排出ガス低 NOx 化技術の開発

(2) 燃焼強化技術の開発

ガスタービンやレシプロエンジンなどの実用燃焼器においてこれらの技術課題を解決するために、燃焼器の改良を進め、新燃焼コンセプトの実現可能性を検証する。平成26年度は先行の研究開発を引き継いで8月に開始した。50kW 級ガスタービンを用いたモデル燃焼試験として、灯油を燃料として起動した後、アンモニアガスを供給して、灯油-アンモニア混焼でガスタービン発電を行った。約21kW 発電時に30%の灯油を削減して、アンモニアガスに置き換えることができた。その際に高い濃度の窒素酸化物を含む排気ガスが発生したが、排出された窒素酸化物は、通常の脱硝装置に適量のアンモニアを供給することで10 ppm 未満までに抑制でき、環境基準に十分適合することを確認した。更にアンモニア専焼での発電を行うために、1トンボンベに対応したアンモニアガス供給設備を整備するとともに、メタン-アンモニア混焼試験を行うためにメタン供給設備の整備を進めた。また内燃機関でのアンモニア燃焼の解析のため、数値計算コードの導入を進めた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 エネルギーキャリア、アンモニア直接燃焼、内燃機関、ガスタービン、実証試験、燃焼モデル

〔研究題目〕 音楽を中心とした類似度可視化情報環境の実現と全体統括

〔研究代表者〕 後藤 真孝（情報技術研究部門）

〔研究担当者〕 後藤 真孝、濱崎 雅弘、中野 倫靖、深山 覚、加藤 淳（常勤職員5名、他7名）

〔研究内容〕

本研究は、創作支援技術と鑑賞支援技術を研究開発することで、音楽や動画のようなメディアコンテンツの創作や鑑賞を誰もが能動的に楽しめる社会や、過去のコンテンツに敬意を払う文化、感動体験重視型のコンテンツ文化の実現を目指している。そのために、コンテンツを豊かで健全に創作・利用する「コンテンツ共生社会」の

確立に向けた研究開発に取り組み、コンテンツ間の類似度を人々が知ることができる（可視化する）情報環境を実現する技術基盤を構築する。

5年半計画の中間評価の年にあたる平成26年度は、前年度までに取り組んできた関係性理解支援機能・鑑賞支援技術を発展させ、Web上の音楽コンテンツの関係性を可視化する音楽視聴支援サービス「Songrium（ソングリウム）」（<http://songrium.jp>）を拡張した。動画共有サービスの全カテゴリの動画の投稿歴史をブラウジングできる新機能を開発して3件の招待出展依頼を受けて展示した。さらに、音楽解析結果に基づく3D可視化の新機能「Songrium3D」も開発した。一方、音楽理解技術に基づく能動的音楽鑑賞サービス「Songle」（<http://songle.jp>）に関しては、外部連携機能を強化し、関連するプレス発表をした。

創作支援機能に関しては、コンテンツ間の類似度を活用することで、既存のコンテンツ群の力を借りて新たな創作を可能にするシステムを実現した。技術や経験が乏しい人々でも、類似度の高い楽曲断片を好みに応じて重ね合わせるだけで、コンテンツ創作を能動的に楽しむことができる。元となる楽曲を選ぶと、その断片毎に調和する他の楽曲の断片が選択され、自動的に時間伸縮と音高シフトがなされて混合される。

さらに、公開シンポジウムを開催して研究成果を対外的に見える形でアピールした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】音楽情報処理、音響信号理解、音楽コンテンツ類似度、音楽インタフェース

【研究題目】メガソーラーの最適運用システムの開発

【研究代表者】村川 正宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】村川 正宏、河西 勇二、岩田 昌也、高橋 栄一、鈴木 綾子  
（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

メガソーラーでは一部のパネルの不具合（故障や汚れ等）が、他の多数の正常なパネルの発電低下を引き起こす可能性がある。しかし、メガソーラー向けに太陽電池パネルの不具合を安価に検出する手段や、コストを考えた最適なパネルクリーニング方式はまだ確立されていない。そこで本研究では、これまで研究開発を行ってきた家庭用太陽光発電のための電力線通信を用いた安価なモニタリング技術を、メガソーラー向けに改良する。加えてモニタリング結果に基づき不具合要因を自動診断し、経済性まで加味する最適クリーニング方式の開発を行う。

2年計画の最終年度となる平成26年度は、商用メガソーラーでのモニタリング試験を1年間以上継続し、ハードウェア、ソフトウェアのそれぞれで、実環境で安定して発電状況をモニタリングできるようになった。具体的には、本プロジェクトで開発した2種類の通信子機をメ

ガソーラーのストリング毎に計148台設置し、発電状況をクラウドサーバ上に収集・蓄積した。

また、蓄積した発電情報に対して、これまでに開発した不具合検知アルゴリズムを適用し、パネル上の積雪による発電量の大幅低下等を正しく検出することができた。さらにクリーニング効果の実験でコスト対効果の試算を行い、最適なクリーニング期間の算出方式を考案した。不具合検出と適切なクリーニングとを組み合わせることで発電ロスを解消し、経済性を考慮した上で太陽光発電システムの発電効率を向上可能なことを確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】メガソーラー、メンテナンス、不具合自動診断、PLC、クリーニング

【研究題目】病理画像のがん検出ソフトウェアの開発

【研究代表者】坂無 英徳（情報技術研究部門）

【研究担当者】坂無 英徳、村川 正宏、高橋 栄一、野里 博和、曲 佳、胡 尔重、山崎 優大（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

昨今の医師不足やがん患者の増大により、検査や診断において医師や医療従事者に対する負担が急速に増大しており、「検診の最適化・高度化・定量化」や「確定診断の精密化・効率化」に資する検査装置の実現が喫緊の課題となっている。そこで、本研究では、高度な画像認識技術を活用し、医師の診断を強力に支援するために病変候補部位の高精度検出ソフトウェアを開発し、病理診断分野における実用化を目指す。

2年計画の最終年である平成26年度は、前年度に開発した病理画像からの異常検出プログラムに対して、仕様がオープンで汎用性の高い超高解像度画像向けフォーマット Zoomify への対応、標本間および標本内での染色ムラによる影響を低減するための画像前処理手法の改良、背景・細胞質・核の3グループに自動分類してそれぞれに異常検出を行う機構の導入の導入などにより、検出性能向上を図った。胃および甲状腺のバーチャルスライド画像を用いた性能評価実験を行い、44箇所が存在するがん領域のうち43箇所の検出に成功し、最終目標である検出率95%以上を達成した。また、特徴抽出処理部と前処理部に並列処理技術を適用し、約20億画素のバーチャルスライド画像に対する異常検出処理について複数のCPUを搭載したPCを用いる事により最終目標である30分以内に処理可能であることを確認し、最終目標を達成した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】画像認識、病理診断

【研究題目】ITO電極表面修飾方法の確立と光電気化学バイオセンサーチップの開発

【研究代表者】松田 直樹

(生産計測技術研究センター)

〔研究担当者〕 松田 直樹 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

石英薄板製のスラブ光導波路上に形成させた数十 nm 程度の ITO 電極上をホスホン酸等で表面修飾することでタンパク質の機能を保ったまま長時間安定に固定化させ、光と電気を検出に用いる光電気化学バイオセンサーチップを開発する。

その上に固定化させるタンパク質の直接電子移動反応等に伴う吸収スペクトルや電流電位曲線の変化を利用し溶液中に存在する物質やガスの濃度を選択的に計測する事が可能であり、新規なバイオセンサーの研究開発時におけるプラットフォームとして利用する。

そのため本研究では、①ITO 電極形成条件の最適化と光透過性の向上、②ITO 電極表面の表面修飾技術の確立、③バイオセンサーチップの機能確認、の3つの研究課題に取り組む。

H26年度は ITO 電極上に10-carboxydecylphosphonic acid (10-CDPA) の自己組織化単分子膜を形成し、そこに吸着させたチトクローム *c* の直接電子移動反応 (DET) をスラブ光導波路分光法及び電気化学測定法によるその場観察から評価した。またオートサンプラーと SOWG 分光装置を組み合わせた脱離のその場観察装置を開発した。その結果、10-CDPA を表面修飾した ITO 電極ではチトクローム *c* の脱離を大きく抑制可能なことがわかった。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 ITO 電極、表面修飾、タンパク質、バイオセンサーチップ

〔研究題目〕 国産データベースの開発 (セラミックス系の汎用データベースおよび物性データベースの開発) / 国産ソフトウェアの開発

〔研究代表者〕 菖蒲 一久

(生産計測技術研究センター)

〔研究担当者〕 菖蒲 一久、山田 浩志

(常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究は計算熱力学に関する国産の技術基盤構築を目的とする。計算熱力学は実用性が高いことに特徴があり、本来の熱力学解析や状態図解析での利用の他、非平衡現象の数値モデリングのベースとして、また、実材料の物性パラメータの高精度推算法として、マルチスケールシミュレーションにおけるキーテクノロジーの1つとなっている。しかし、既存の関連技術はほとんどが外国製で、主要部分は秘匿・暗号化されている。そのため、実利用で必須の修正や拡張は勿論、独自の改良も不可能であるなど問題が多く、国産の技術開発が喫緊の課題となっている。そこで本研究では国産のデータベースとソフトウ

ェアの開発を行い、計算熱力学に関する独自の技術基盤を構築する。具体的には、データベース開発として熱力学データベースと物性データベースを開発し、また、ソフトウェアの開発として既開発の平衡計算ソフトを元に、物性推算機能、他のシミュレータとのインターフェース機能、および熱化学反応シミュレータの開発を行う。

本年度はセラミックス系汎用データベースにおいては、液相に擬化学モデルを採用した Al-Si-Ca-Mg-O 系の擬二元系データベースを構築した。また、物性データベースの関しては、主に金属系の密度・体積データの収集を行った。さらに、データベース開発機能を装備し、擬化学モデルをサポートした平衡計算ソフト CaTCalc の第一版を完成させた。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 計算熱力学、データベース、ソフトウェア

〔研究題目〕 構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発

〔研究代表者〕 徐 超男 (生産計測技術研究センター)

〔研究担当者〕 徐 超男 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

応力発光体は無機結晶微粒子の一つ一つがセンサとして機能するため、構造体表面にこの微粒子を分散塗布すると、構造体の動的なひずみ分布が可視化され、マルチスケールに亘って包括的な応力集中、構造欠陥、劣化部位、亀裂、破壊の現状と予兆診断まで広範囲に適用できることを実証している。本研究では、自己発光によって様々な構造物の破壊予兆と劣化進展を、オンサイト・オンタイムに可視化する機能 (セルフ・レポート機能) を実現可能なハイブリッド応力発光材料を開発し、構造物の高度安全安心化を目指す。具体的には、(1) 結晶制御による高感度化、(2) 波長制御による多色化・定量標準化・視認性向上、(3) ハイブリッド化による高効率性・多機能性の発現、さらに (4) 他分野との連携によるインフラ構造物の劣化検出・診断の実証を目指す。

本年度は、「1. 無機結晶制御による高感度化」および「2. 発光波長制御による多色化・定量化」の2つの課題に取り組んだ。(1)に関して、高度に結晶制御した応力発光性異方結晶の合成に成功した。この結晶体の小ひずみ領域における応力感度は、従来の多結晶粒子のものに比べ数倍高いことを見出しており、高感度・高強度材料を実現する上で有力な候補となっている。また、結晶構造を精査したところ、特定の方に優先的に成長していることを明らかにした。これは、結晶構造の制御により、ひずみに対する感度を増強させ得ることを示唆している。(2)に関して、光の三原色である赤 (R)、緑 (G)、青色 (B) それぞれに応力発光する素材の候補を選定し、かつ、その合成に成功した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 応力発光、インフラ、高度可視化

[研究題目] 高分子基材料内部における応力ひずみ同時計測による動的弾性率分布マイクロ断層可視化システム（多機能 OCT）の開発

[研究代表者] 坂田 義太朗  
(生産計測技術研究センター)

[研究担当者] 坂田 義太朗（常勤職員1名、他1名）

[研究内容]

樹脂などの高分子基材料は、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）やガラス繊維強化プラスチック（GFRP）などの母材として多数利用されている。しかしながら、ポイド（空隙）や硬化ムラなどの材料不均一性などの問題を有している。そこで、高分子基材料内部の弾性率分布をマイクロ断層可視化するシステムを構築する。材料内部のマイクロ断層情報を得るため光コヒーレンストモグラフィ（OCT）を用いるが、OCT断層像の変形解析からひずみ分布を断層検出するだけでなく、偏光波の位相断層情報から応力分布も同時にマイクロ断層検出する。更に、動的（振動）試験との同期により、材料内部の応力・ひずみの断層情報から動的弾性率をマイクロ断層可視化するシステムを構築する。これにより、高分子基材料内部の応力（残留応力）・ひずみを断層可視化するだけでなく、力学的材料物性値の分布を *in situ* にマイクロ断層検出することができる。応力分布計測とひずみ分布計測の同時断層検出の達成により、技術移転の可能性を見出し、動的（振動）荷重負荷による応力・ひずみ分布の同時計測された時空間データから動的弾性率をマイクロ断層可視化することを目標とする。本年度は、光学システムの問題点の精査を行い、次年度および改良に向けた実験を行った。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 光コヒーレンストモグラフィ、断層画像計測、力学計測

[研究題目] ゼロから創製する新しい木質の開発

[研究代表者] 光田 展隆（生物プロセス研究部門）

[研究担当者] 光田 展隆、坂本 真吾、戸部 文絵、桑澤 明子（常勤職員1名、他3名）

[研究内容]

本研究では合成生物学的観点から新しい、有用形質を備えた木質を植物に合成させ、バイオ燃料やバイオリファイナリー原料に適した植物を開発する。具体的には木質を形成しない変異体（*nst1 nst3*二重変異体）をベースに糖化しやすい形質を備えた木質を人工的に構築する技術をまずはモデル植物（シロイヌナズナ）で開発し、それを木本モデル植物（ポプラ）に調整、適用して糖化しやすい木質を持つ植物を開発する。これまでの実験結果などから、*nst1 nst3*二重変異体の表現型を回復させ

るのに有望と考えられる転写因子を、すでに77種類個別に導入した。また、全転写因子からすべてのサブファミリー、サブグループを網羅するように代表遺伝子300種類を選抜し、30遺伝子ずつまとめて導入した。個別導入系統のうち21遺伝子について、細胞壁含量や酵素糖化性を中心に評価し、細胞壁含量では野生株比で35%増加する系統を得た。そこで、これをさらに改変したコンストラクトを（独）森林総合研究所と協力してポプラに導入した結果、野生株比で約25~50%の細胞壁含量の向上を達成することができた。今年度はそれらのポプラを鉢上げして約60cmの高さまで生育させ、成長阻害なしに細胞壁含量の向上が持続することを確認した。これらポプラの茎について物理的強度を測定したところ、野生株に比べて約60%向上していることがわかった。また、この系統のほかに、シロイヌナズナにおいて、茎が大幅に太くなった系統や、細胞壁中の特定の成分のみが合成される系統があることを見出し、それらの形質を引き起こす転写因子を同定し、再現性を確認した。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 植物、ゲノム、木質、バイオエタノール、発現制御、遺伝子、バイオマス

[研究題目] 水生根圏微生物の培養技術開発と根圏微生物ライブラリーの構築

[研究代表者] 玉木 秀幸（生物プロセス研究部門）

[研究担当者] 玉木 秀幸、鎌形 洋一  
(常勤職員2名、他2名)

[研究内容]

水生植物はその根圏に多様な未知微生物を内包しており、そこには互いの成長を支え合う『水生植物-根圏微生物共生系』が成り立っている。本研究では、この水生植物とその根圏微生物との共生系を開拓するとともに、それらを巧みに活用することにより、革新的な高次植生バイオプロセス技術の創成を目指している。特に、本研究では、有効な未知微生物探索技術を駆使して、多様な水生植物種の根圏環境から未知微生物を可培養化し、新しい根圏微生物ライブラリーを構築するとともに、水生植物の成長を促進する新たな微生物（PGPB: Plant Growth Promoting Bacteria）の取得を目指している。今年度も継続して、ウキクサ類やミソハギ等の複数の水生植物の根圏環境から、新規性の高い微生物の分離培養を試みた。また、ウキクサ類の場合には、葉状体もまた水質浄化に関わる微生物の住処となりえることから、根と葉の両方から新規微生物の分離培養を実施してきた。その結果、今年度だけで少なくとも35属、50株以上の新規細菌の取得に成功しており、昨年度までの成果とあわせて、現在200株以上（少なくとも7門、16綱、80属以上）からなる水生植物根圏微生物ライブラリーを構築してきている。特筆すべき点としては、3種のウキクサの葉状体からも、数多くの新規細菌が分離されたことで



ある。特に、葉状体から新たに、新門 *Armatimonadetes* 門に属する新規細菌が分離されており、またそれ以外の難培養性の門として知られる系統群 (*Acidobacteria* 門や *Verrucomicrobia* 門等) に属する新規細菌を複数分離収集保存することに成功するなど、成果を挙げている。

次に、水生植物の成長を促進する微生物 (PGPB) の探索については、昨年度特許出願を完了した MRB1、MRB2、MRB3、MRB4株に加えて、新たに、成長促進効果の非常に高い3株 (MRB5、MRB6、MRB7株) の PGPB を見出すことに成功した。これら3株は、コウキクサの生育に対して、(i) 既存の PGPB である P23株よりも高い成長促進効果を示したこと、(ii) さらに既知細菌種との16S rRNA 遺伝子の相同性が89-93%程度と非常に低く系統学的新規性が高いこと、(iii) また MRB1-4株とは門のレベルで異なる新規 PGPB (*Bacteroidetes* 門) が含まれていることから、これら3株についても特許微生物登録を行い、国内優先特許出願を完了している (特願2014-148493)。以上のように、水生植物の根圏微生物の培養化ならびに新規 PGPB 探索に関する研究において着実に成果を挙げている。

【分野名】 ライフサイエンス・環境・エネルギー

【キーワード】 水生植物、水質浄化、植生浄化、未知微生物、根圏微生物、16S rRNA 遺伝子、分子系統解析、未知微生物

【研究題目】 アポミクシス関連候補因子の検証とイネへの展開

【研究代表者】 高木 優

(埼玉大学環境科学研究センター)

【研究担当者】 光田 展隆 (生物プロセス研究部門)

(常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は「人為的アポミクシス誘導技術の開発による植物育種革命」の分担課題である。植物育種は、耕作可能地の拡大や作物の収量増加を通して、二酸化炭素の排出削減と二酸化炭素の効率的な固定を可能にしてきた。現在広く実用化されている F1雑種の有用形質は一代限りであり、次世代に形質を固定出来ない欠点がある。アポミクシスは受粉を介さずクローン種子形成を行う現象であり、穀物や有用作物で人為的にアポミクシス現象を誘導できる技術があれば、F1雑種やエリート系統のクローン種子形成が可能になり、より効率的に二酸化炭素を固定できる品種の育種を加速する効果がある。本研究では、独自性の高い転写因子リソース、不定胚誘導研究の経験を活かして、人為的にアポミクシスを誘導する技術確立し、最終的には多様な植物に適用することを目指している。本年度はフィージビリティスタディとして、これまでの実験から受粉せずに種子形成を行っているよ

うに見えている植物系統について、再現性を確認する実験を進めた。その結果、ある特定の転写因子サブファミリーが共通して受粉無しに種子形成を引き起こしているようなことを再確認することができた。また、胚乳と胚を2つの転写因子によって受粉無しに同時に形成させることで種子形成を引き起こす戦略について実験を開始した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、アポミクシス、F1雑種、転写因子、遺伝子

【研究題目】 ガーネット型酸化物電解質材料の創出

【研究代表者】 秋本 順二

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 秋本 順二、木嶋 倫人、片岡 邦光

(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

本研究では、酸化物系材料を固体電解質として使用する全固体酸化物型リチウムイオン電池の実現のため、ガーネット型リチウムイオン伝導他の特性改善のための新規材料探索を行うとともに、粒界抵抗低減のための粉体の粒径制御技術、緻密成型体の作製技術の開発を実施する。具体的には、室温で $10^{-4}$ S/cm 程度のイオン伝導性が報告され、また広い電位窓が可能であることから有望な材料候補とされている立方晶  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  (LLZ) を凌駕するような Zr 系、Ta 系材料について、新規材料探索、粒径制御技術の確立、低温合成技術の確立を目指す。

本年度は、ガーネット型酸化物材料の新規材料探索のため、LLZ 以上のイオン伝導性を有することが報告されている Al フリーの  $\text{Li}_{7-x}\text{La}_3\text{Zr}_{2-x}\text{Ta}_x\text{O}_{12}$  (LLZT 系) において、固相反応法を適用した粉体試料の合成を行い、化学組成の最適化を行い、作製した  $\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$  焼結体を用いた電気化学測定の結果、 $25^\circ\text{C}$  の温度条件で  $8.4 \times 10^{-4}$  S/cm の導電率を確認することに成功した。さらに、得られた焼結体表面に、エッチング技術によってパターンニングを行い、表面積増大による界面抵抗低減策を明らかにすることに成功した。また、粒界抵抗を低減する目的で、緻密成型体の製造方法について検討を行い、 $\text{Li}_{6.5}\text{La}_3\text{Zr}_{1.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{12}$  組成の緻密成型体を試作し、良好な導電率であることを確認した。さらに、固相法、ゾルゲル法、水熱合成法等を適用した製造方法により、各種ガーネット系酸化物固体電解質材料の低温合成を検討し、ほぼ単一相の粉体試料の合成が可能であることを見出した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 固体電解質、ガーネット、リチウムイオン伝導体、ジルコニウム、タンタル、リチウムイオン電池、全固体二次電池、蓄電デバイス

【研究題目】 住環境向け色素増感型アンビエント太陽

## 電池の研究開発

〔研究代表者〕 廣瀬 伸吾

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 廣瀬 伸吾、明渡 純、江塚 幸敏、  
荒川 さと子 (常勤職員2名、他2名)

## 〔研究内容〕

ITO 膜-TiO<sub>2</sub>光電極界面の初期形成状態を明らかにするために、SEM 観察により、AD 成膜初期の段階をガラス基板上とフィルム基板上の状態を調べた。ガラス基板上では、第一層において、小径粒子とともに大径粒子も解砕されて微細化を行うが、成膜が進行するにつれて大径粒子がそのままの形状で膜表面に付着滞在し膜中へ混入しているが、フィルム基板上ではフィルム基板が柔らかいため、大径粒子の微細化は起こらずに第一層目から付着混入していることが明らかとなった。

フィルム基板上では、大きな粒子の衝撃エネルギーが基板に吸収されて微細化を起こさず、そのまま基板上に残ることが考えられる。微小スクラッチ試験の結果からもガラス基板上、フィルム基板上でのチタニア膜の臨界荷重に差異がみられないため、構造的、機械的強度的には、ガラスとフィルムの差異はないことが確認できた。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 色素増感型太陽電池、エアロゾルデポジション、多孔質膜、ITO

## 〔研究題目〕 金属3D プリンターによる製品製造実現にむけた集合組織形成の抑制技術

〔研究代表者〕 中野 禪 (先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 中野 禪、佐藤 直子 (常勤職員2名)

## 〔研究内容〕

粉末床熔融型を始めとした金属積層造形技術(金属3D プリンタ)は、逐次レーザー等によって金属原料粉を溶解・凝固させることにより構造を得ている。この溶解・凝固は逐次過程であり、一方向に凝固が進むため、通常の部材とは異なる集合組織を持つ異方性材料となる。このような異方性組織、集合組織は構造物製品化への展開に対し一つの阻害要因となり得る。そこで、この溶解・凝固の過程を検討し、集合組織の抑制が可能か検討する。集合組織、異方性の制御によって高強度製品の造形技術を開発する。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 積層造形、金属、粉、チタン合金、結晶組織

## 〔研究題目〕 アルミナ膜コーティングによる耐摩耗性を強化した産業用ロール製造技術の開発

〔研究代表者〕 瀬渡 直樹

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 瀬渡 直樹、明渡 純、坂本 伸雄

(常勤職員2名、他1名)

## 〔研究内容〕

アルミナは非常に硬くて安定な物質であり、これを産業用ロール等に成膜できる事でそれら部品の耐摩耗性等を大幅に向上できる事が期待される。一方、エアロゾル・デポジション法(AD 法)はアルミナ膜を容易に成膜できる方法である。そこで、AD 法を用いて産業用ロールへの成膜を試みた。しかし、成膜中に膜の一部が剥げるピーリングが発生することが多く、量産するにはこの問題を解決する必要がある、それを本研究で行った。本研究では、ピーリングの原因である圧粉体の発生メカニズムと性質を分析することで、圧粉体の発生を抑制する技術と、発生してしまった圧粉体を効果的に除去する技術を確立することで、アルミナ膜品質の安定化に成功した。また、これらの技術を応用して実用型産業用ロール生産機プロトタイプ的设计を行った。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 AD 法、アルミナ膜、ピーリング抑制技術、産業用ロール、量産技術

## 〔研究題目〕 裁断の技術開発と製造条件確立ならびに量産実証パイロットプラント設計

〔研究代表者〕 松崎 邦男

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 松崎 邦男、加藤 正仁

(常勤職員2名)

## 〔研究内容〕

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)革新的構造材料の研究開発課題「航空機実装を目指した超急冷マグネシウム合金の製造基盤技術開発」において、KUMADAI 超急冷マグネシウム合金薄帯の裁断技術の開発を行った。KUMADAI 超急冷マグネシウム合金はマグネシウム合金中で最も高い強度を示すことから、特にその軽量高強度を活かして、航空機の部材として期待が高まっている。超急冷マグネシウム合金を部材に応用するために、素材化技術およびその量産化技術を確立する必要がある。KUMADAI 素材化は、これまで液体急冷法により連続した薄帯を不活性ガス雰囲気中で作製後、薄帯を裁断し、それをコンテナにつめて、熱間押し出しにより棒材に成形しているが、本研究開発ではこの一連のプロセスを統合して、ひとつの装置内で行うプロセスの確立し生産性の向上と素材の高品質化を行う。そのため要素技術として、高速で製造される超急冷マグネシウム合金薄帯の裁断化技術の開発を行った。真空あるいは不活性ガス雰囲気中で裁断用の刃を高速で回転させる機構の開発と刃の材質や形状の検討を行った。液体急冷装置に取り付けが可能な機構とし、裁断用の刃複数枚高速回転するロータにとりつけることで、薄帯の裁断を可能とした。高速での回転では特に裁断刃のバランスが重要であることが分かった。また刃はステンレスや超硬で

の製造を行い、裁断を確認した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 超急冷、高強度 Mg 合金、金属薄帯、裁断、軽量化、航空機

【研究題目】 励起子サイエンス（有機太陽電池のためのバンドギャップサイエンス）

【研究代表者】 吉田 郵司  
（太陽光発電工学研究センター）

【研究担当者】 吉田 郵司、原 浩二郎、甲村 長利  
（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、有機薄膜太陽電池の高性能化に向けて、原理検証から高変換効率の達成まで行うものである。特に、半導体のバンドギャップ理論からの理解を有機半導体に適用し、バンドギャップサイエンスとして確立する。研究項目として、励起子サイエンスの確立を分担している。

本年度は、双極子層挿入による電荷分離の高効率化に着目した。分極層として、真空蒸着により大きな分極を示す極性有機分子を導入した。真空蒸着による成膜で分極を示すので、積層型素子構造のあらゆる層間に挿入することが可能であるため、素子構造設計が自由に構築できる利点がある。

亜鉛フタロシアニン (ZnPc) / フラーレン (C<sub>60</sub>) 積層型デバイスに対して、分極層であるアルミニウムノール錯体 (Alq<sub>3</sub>) の挿入場所によって発電特性が大きく変化することを見出した。各積層膜の電子状態に関して、仕事関数をケルビンプローブにより評価した。ITO と ZnPc 界面への Alq<sub>3</sub> 層の挿入に関係なく、ZnPc と C<sub>60</sub> の各層の仕事関数はほぼ同じ値となった。このことは、ZnPc と C<sub>60</sub> 界面の電子構造は Alq<sub>3</sub> 挿入によって変化せず、V<sub>oc</sub> の向上は Alq<sub>3</sub> 界面での現象に由来することを示唆している。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 有機薄膜太陽電池、有機半導体、分子設計、双極子層、バンドギャップ

【研究題目】 CZTS 系薄膜太陽電池の欠陥・界面・粒界の評価および高性能化技術の開発

【研究代表者】 仁木 栄  
（太陽光発電工学研究センター）

【研究担当者】 仁木 栄、柴田 肇、反保 衆志  
（常勤職員3名）

【研究内容】

次世代の化合物薄膜太陽電池用材料として、希少金属を含まないために安価に製造でき、かつ高い変換効率が期待できる CZTS (Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4-x</sub>Se<sub>x</sub>) が注目されている。本研究の目的は、CZTS 薄膜および CZTS 太陽電池の評価を行い、高品質な CZTS 薄膜や高性能な

CZTS 太陽電池を実現するための技術的な指針を明らかにすることである。

CZTSe の作製法の一つとして (1) メタルプリカーサ製膜、(2) セレン化 (硫化) による2段階製膜がある。現在までいくつかのグループによりメタルプリカーサの特定の積層を利用した作製が試みられているが、系統的な研究は数少ない。

そこで2014年度は、メタルプリカーサの積層が与える影響に関して系統的に調査を行った。具体的には3種の金属 (Cu, Zn, Sn) を順次積層する、6種類すべての構造 (①Sn/Cu/Zn、②Cu/Zn/Sn、③Zn/Sn/Cu、④Sn/Zn/Cu、⑤Cu/Sn/Zn、⑥Zn/Cu/Sn) について系統的に調査を行い、積層の順序が与える影響を調べた。プリカーサは蒸着法により堆積し、その後 Se および SnSe<sub>2</sub> 雰囲気中で熱処理を行った。なお、組成は熱処理後にストイキオメトリー付近になるように調整した。

実験結果として、プリカーサの積層の順序により太陽電池特性が大きく変化することが分かった。具体的には、構造③、④においては、メタルプリカーサ、および CZTSe 膜が非常にはがれやすいという問題が発生した。同構造では Cu が最下面にあり Mo 裏面電極とダイレクトに接する構造である。Zn や Sn は Mo と反応し幾つかの化合物を形成するが、Cu と Mo はほぼ反応せず、これらは離れを発生させる主因として考えられる。また、すべての構造においてメタルプリカーサ堆積時には CuSn、Cu<sub>3</sub>Zn<sub>8</sub> の金属間化合物が形成された。それらの化合物は CZTSe 形成の中間化合物との報告がある。したがって、同金属間化合物の形成促進は CZTSe の形成にも大きな影響を与えると考えられる。2種類の金属間化合物形成には、Cu が3層の中間に挿入された、構造①、⑥が有利であると考えられ、特に構造⑥は Sn などの単体の金属が極めて少なく化合物を形成することが分かった。今回、構造⑥において、最高の変換効率6.1%が達成された。なお、構造①では均質な表面モフォロジーが得られず、積層の順番による反応性以外にモフォロジー変化も考慮する必要があることが分かった。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 太陽電池、化合物半導体、CZTS

【研究題目】 PV 発電予測の不確実性評価および電力系統シミュレーションによる評価

【研究代表者】 大関 崇  
（太陽光発電工学研究センター）

【研究担当者】 大関 崇、Joao Fonseca、大竹 秀明、宇野 史睦 (以上、太陽光発電工学研究センター)、村田 晃伸 (以上、エネルギー技術研究部門)  
（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本研究では、超大規模電力システムに対して、階層型

のモデル予測制御の枠組みの中で、系統側から需要家側までの各層ごとの電力予測精度と最適性の関係に着目し、予測値と配分値の時空間分解能に基づく電力最適配分制御系の基礎理論を構築することを目的とする。これにより、太陽光発電を最大限利用し、調整用電源の燃料費およびCO<sub>2</sub>排出量を削減することで電力システムの経済性、環境性を高めるとともに、需要家間での電力最適配分によるコスト負担の公平性と過度な需要抑制を回避することによる快適性を実現することを目指す。

#### (1) PV 発電予測の不確実さによる系統運用シミュレーションへの評価

異なる時点における予測誤差の同時分布のモデル化手法を検討し、予測誤差モデルを試作した。試作したモデルを用いて、想定される予測誤差を織り込んだ予測日射量カーブを1年分作成した。この予測日射量カーブを使って、太陽光発電予測誤差が電力系統の需給バランスに与える影響を系統運用シミュレーションによって評価し、予測太陽光発電出力カーブのばらつきと充放電電力量には一定の相関が確認され、予測誤差モデルを需給運用手法に適用することで、効果的な需給運用を行うことができる可能性を示した。

#### (2) 日射予測値の信頼区間の推定や、気象庁局地モデル(LFM)の日射量予測値の評価

MSM (GPV) で利用してきた機械学習を応用し、LFM を入力とした機械学習予測モデルに関して検討を行った。ベースは、MSM (GPV) の短時間予測モデルを利用して行った。検討期間は、2012/11～2013/08の広域予測の結果、前日の予測誤差と比較すると、MSM1～3時間先で約0.062、3～5時間で0.065kWh/m<sup>2</sup>であった。これに対して、LFM はそれぞれ0.058、0.060kWh/m<sup>2</sup>であり、予測誤差低減を実現できた。また、区間予測に関して、過去の予測誤差傾向から推定するノンパラメトリック手法として晴天指数ごとのデータベース化、分布推定によるパラメトリック手法としてラプラス分布推定の手法を開発した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽光発電、エネルギー、環境、需給バランス、エネルギーネットワーク、発電予測

#### 【研究題目】ヘテロエピタキシーを基盤とした高効率単結晶有機太陽電池

【研究代表者】宮寺 哲彦  
(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当】宮寺 哲彦 (常勤職員1名)

#### 【研究内容】

高効率有機太陽電池の実現のために高度に制御された素子作製手法である「有機ヘテロエピタキシー」の開拓により素子作製の基盤技術を構築する。新規結晶成長技術を確認し、理想的な構造の太陽電池を作製することで、

有機半導体の基礎メカニズムを解明し、高効率化を実現させることを目標とする。これまでに自己組織化単分子膜をテンプレート層上に亜鉛フタロシアニオンを成長させることで構造制御された結晶性薄膜が得られ、太陽電池特性が向上することを示してきている。

本年度はレーザー蒸着法を開発し、精密な蒸着制御の検討を行った。CW 赤外レーザーを用いて有機材料を蒸発させることで蒸着レートを制御して製膜可能であることを見出した。本手法を用いることで、これまでの加熱蒸着では分解してしまうような有機材料でも製膜することができることが分かった。さらに、レーザー蒸着法を用いて有機鉛ペロブスカイトの製膜を試みた。ハロゲン化鉛とハロゲン化アミンを共蒸着させたところ、これまで問題となっていたハロゲン化アミンのガス化を抑制して、精密にレート制御して製膜することに成功した(特許出願)。高品質のペロブスカイト薄膜を構築することが可能であることを実証したため、本手法を用いて太陽電池を作製し、10%を超える太陽電池特性を得ることに成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】有機デバイス、太陽電池、結晶成長

#### 【研究題目】新材料の探索と太陽電池技術の開発

【研究代表者】仁木 栄  
(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当】仁木 栄、柴田 肇、反保 衆志  
(常勤職員3名)

#### 【研究内容】

本研究では、地球上に豊富に存在する元素(銅、鉄、等)を用いたカルコゲナイド新材料に注目し、その太陽電池作製技術とデバイス高性能化技術を開発する。希少金属の使用量削減と、安価な製膜・デバイス化手法の開発によって製造コストの大幅な低減を図り、コスト競争力が強く資源戦略性に優れた“ロバスト”な薄膜太陽電池技術を確認する。具体的には、黄銅鉱(CuFeS<sub>2</sub>)および黄鉄鉱(FeS<sub>2</sub>)に注目し、天然鉱物として由来より知られたこれらの半導体が、薄膜太陽電池の光吸収層用材料として高い潜在能力を持つことを実証することを最終目標とする。

2014年度には、2012年度までに構築した鉄系カルコゲナイド材料製膜装置を駆使して、(1)鉄系カルコゲナイド材料の製膜技術の開発と混晶化による禁制帯幅の制御、および(2)太陽電池作製技術の開発、の2種類の研究開発を遂行した。具体的には、鉄系カルコゲナイド材料としてCuFeS<sub>2</sub>-CuGaS<sub>2</sub>系およびCu<sub>2</sub>SnS<sub>3</sub>-Cu<sub>2</sub>FeSnS<sub>4</sub>系という2種類の混晶系に注目し、製膜技術の開発から着手して、実際に混晶材料を作製し禁制帯幅を含む各種基礎物性の評価を行うと共に、それらの材料を光吸収層に利用して太陽電池を作製し、太陽電池用材料としての有効性を評価・検討した。

実験結果として、まず(1)については、 $\text{CuFeS}_2$ - $\text{CuGaS}_2$ 系においては  $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Cu})$  の全濃度領域において混晶化に成功し、禁制帯幅の制御 ( $0.65 \text{ eV} \leq E_g \leq 2.25 \text{ eV}$ ) にも成功した。また、 $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 系においては、 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Sn}) = 0.11 \sim 0.22$  という組成領域においては  $\text{CTS}$  と  $\text{CFTS}$  の混合物であり、 $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Sn}) = 0.27 \sim 0.47$  ではスタンナイト型の結晶構造へ移行している可能性があることを明らかにした。そして、禁制帯幅の制御 ( $0.7 \text{ eV} \leq E_g \leq 1.15 \text{ eV}$ ) にも成功した。

次に(2)については、 $\text{CuFeS}_2$ - $\text{CuGaS}_2$ 系および  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 系を光吸収層に利用して太陽電池を作製した結果、暗状態における整流特性と光照射下における光起電力効果が確認され、本研究で作製した鉄系カルコゲナイド材料が高品質であることが確認された。

また、 $\text{CuFeS}_2$ - $\text{CuGaS}_2$ 系および  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 系太陽電池の J-V 特性の結果から判断すると、本研究において高い光電変換効率が得られなかった主な理由は、 $\text{CuFeS}_2$ - $\text{CuGaS}_2$ 系と  $\text{Cu}_2\text{SnS}_3$ - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ 系の両方において短絡抵抗の値が著しく低いためであり、その理由は、薄膜の表面に10 nm 程度の厚さで  $\text{FeSe}$  や  $\text{FeSe}_2$ を含む金属的な Fe-Se 系合金が析出しているためであると考えられる。従って、両方の系において、その金属的な表面析出物を取り除くことが、今後のデバイス性能の大幅な改善に直結することが強く予想される。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽電池、化合物半導体

#### 【研究題目】サイバニックシステムに対する安全検証手法の開発

【研究代表者】比留川 博久 (知能システム研究部門)

【研究担当者】比留川 博久、松本 治、中坊 嘉宏、原 功、本間 敬子、角 保志、梶谷 勇、藤原 清司、大川 弥生 (常勤職員8名、他1名)

#### 【研究内容】

目標：

サイバニックシステムに対して、安全性検証手法の開発を行い、実環境レベルで運用可能な安全性の実現を目指す。安全検証手法は、開発コンセプトの確認のためのチェックシート、リスクアセスメントのための雛形シート、ISO13482等国際規格に基づいた安全試験・評価の方法および安全試験装置から構成される。

研究計画：

平成26年度は ISO13482等の国際規格を精査し、サイバニックシステムにおいて適合が必要とされる規格や法令、要求事項を検討する。また、典型的なサイバニックシステムについてコンセプトの検討を実施する。

年度進捗状況：

要介護者の移動を支援するシステムを中心に、介護機器としてのサイバニックシステムの安全試験方法の構築に資する国内外の規格の調査を行った。要介護者の移動支援においては、移動動作そのものの支援と、移動に伴い必要となる情報の提示という二つの要素が必要である。そこで、この二つに関連する規格を中心に調査を行った。また、要介護者の活動を拡大し、介助者の負担を軽減するシステムとして、屋内移動支援機器をコンセプトとして提案した。要介助者の移動支援においては、移動動作とその前後段階としての立ち上がり・排泄時などの着座動作のそれぞれにおいて負担が少なく、またそれに伴う作業工数や時間が大きくないことが求められる。加えて、筋骨格シミュレーションをもとに要介助者の身体能力レベルを推定し、支持力を適度に抑制することで身体能力の改善に資するサイバニックシステムとして提案した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボット、生活支援、介護機器、安全検証、サイバニクス

#### 【研究題目】高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発

【研究代表者】児島 宏明 (知能システム研究部門)

【研究担当者】児島 宏明、佐土原 健 (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

記憶や認知機能の低下した高齢者の自立・自律した生活を維持・促進するために、生活に必要な情報把握を支援し日常生活行動を見守るロボットシステムの開発を目指し、国立障害者リハビリテーションセンターを代表とする6機関で共同研究を行っている。そのうち産総研は主として、高齢者の発話に対する音声認識精度の向上のための研究を担当する。全体で3ステージから成る最長10年間のプロジェクトの中で、本年度は第2ステージの2年目であり、第1ステージで開発した手法の改良と、第3ステージでの大規模なフィールドテストに向けたシステムの実装を進めた。

具体的には、認知機能に応じた意図抽出モジュールの開発において、現場実験でのフィードバックとして要望が強かった発話途中での音声入力 (バージン機能) を実装し、4か所の高齢者施設で評価実験を行った。また、意図抽出手法を改良して計算コストを削減し、従来は長時間動作のために40コアの CPU を同時並列に動かしていたのを、精度を落とさずに1コアで処理可能にした。また、行動判定モジュールの開発において、約1ヶ月の長期にわたり2名の対象者で焦電センサを用いて得られた生活行動データに対して、データ可視化ツールを開発し生活行動の分析を行った。その分析の一環として、LDA などの機械学習技術を適用することにより、行動の分節例や定義例となる教師信号を与えることなく、日常生活行動の分節・可視化が可能な手法を開発した。ま

た、認知機能低下を検出する手法に関して、認知症検査を含めたロボットとの対話シナリオの初期版を設計して、現場での初期実験を実施し、実現可能性と課題を検討した。

今後は、雑音抑圧や音声強調処理など、現場でのシステムの頑健性の向上、韻律等の非言語情報や対話による確認を利用した意図抽出手法の改良を進めるとともに、日常行動のモデル化手法の改良と、異常検出や行動の検索や活動量の計測などの技術の開発を行う。さらに、ロボットとの対話から認知機能低下の兆しを早期に検出する手法を検討し、そこに人の判断を統合する方式を設計するとともに、人による認知症検査とロボットを通じた検査との比較を行う計画である。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 音声対話、ロボット、高齢者、認知症

【研究題目】 感性に基づく個別化循環型社会の創造

【研究代表者】 江渡 浩一郎（知能システム研究部門）

【研究担当者】 江渡 浩一郎（常勤職員1名）

【研究内容】

人それぞれが受動的消費者ではなく創造的生活者となる循環型の未来社会に向けて、人と社会における感性価値の指標化、個人に変革をもたらす創造活動支援技術、デジタルアプリケーション技術を、密に連携して研究開発する。これを制度設計も含めて社会に実装するための仕組みを構築する。その中で、産総研は研究開発課題「共創プラットフォームの社会実装に向けた調査研究」を推進している。明治大学研究グループによる共創プラットフォームに関する調査・研究と協調し、共創プラットフォームを社会的に位置付けるための社会実装の手法について調査・研究する。さまざまなものづくりの拠点やオンラインでの共創プラットフォームが成長しつつあるが、それぞれの制度設計の違いを調査し、まとめる。利用者の創造性を促し、創造性の連鎖を発揮させるため手法、たとえばワークショップ、アンカンファレンス、ワールドカフェ、ビブリオバトルなどの仕組みについて調査を行なう。実際のものづくりの現場で異なる立場の人を集めアイデアを出し合う手法について基礎的調査を行なう。

共創プラットフォーム研究の舞台として、プロ研究者と市井の研究者を結びつける「ニコニコ学会β」という活動におけるサービス設計について調査した。市井の研究者に来てもらい、発表してもらうには、モチベーション設計が重要となる。自分の研究を世に公開して学問に貢献する、研究者間の横のつながりが得られるなどの他に、プロ研究者とのつながりが得られるなどのメリットがある。その他、一般の人が主体として運営する組織のあり方における工夫について検討した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 共創プラットフォーム、共創型イノベーション

ション、オープンイノベーション、ユーザーイノベーション、ニコニコ学会β

【研究題目】 強誘電体と機能性酸化物の融合による不揮発ナノエレクトロニクス

【研究代表者】 山田 浩之（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 山田 浩之（常勤職員1名）

【研究内容】

強誘電トンネル接合、すなわち強誘電超薄膜をバリア層にもちいたトンネル接合においては、室温において不揮発抵抗スイッチングが観測されており、低消費電力・高密度をキーとする次世代不揮発メモリのデバイス原理として注目を集めている。しかしその動作特性のメカニズム解明・制御法は未だ明らかにはなっておらず、デバイス開発の壁になっている。H25年度研究においては、最も典型的な強誘電体である BaTiO<sub>3</sub>をバリア層とする強誘電トンネル接合を、さまざまな電極材料、とくに下部電極として酸化物伝導体、上部電極として単体金属を用いて系統的に作製した。その結果、単体金属（上部電極）との接合界面である BaTiO<sub>3</sub>の最表面が BaO もしくは TiO<sub>2</sub>であるかによって、抵抗スイッチング特性、とくに強誘電分極の方向と、高・低抵抗状態の対応関係が異なることを見出した。これを踏まえ H26年度研究においては、BaTiO<sub>3</sub>の表面終端構造を制御し、これにより抵抗スイッチング機能を増強する方法を開拓した。その結果、BaTiO<sub>3</sub>の上に酸化バリウムを蒸着し、水で超音波洗浄することにより、表面がほぼ完全に BaO 終端化できることを見出した。この表面終端エンジニアリングをおこなった BaTiO<sub>3</sub>をもちいたトンネル接合では、抵抗の ON/OFF 比が100,000%以上に達した。以上の結果から、電極・バリア層の界面に存在する常誘電層（dead layer）が抵抗スイッチング発現に寄与しており、その形成が表面終端構造に依存していると考えられる。また従来、強誘電トンネル接合の研究開発は、平坦・結晶性に優れた強誘電薄膜を必要とすることからペロブスカイト単結晶基板を用いて行われており、これもデバイス開発の壁であった。H26年度研究においてはバッファ層の開発によりシリコン基板上に超平坦・高結晶性の強誘電トンネル接合を作製することにも成功した。今後詳細な特性評価・電極の最適化などを実施する予定である。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 不揮発性メモリ、強誘電体、遷移金属酸化物、抵抗スイッチング

【研究題目】 鉄系超伝導体の高 T<sub>c</sub> 化指針の確立と純良単結晶、多結晶試料を用いた超伝導特性評価

【研究代表者】 永崎 洋（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 永崎 洋、伊豫 彰、鬼頭 聖、

竹下 直、吉田 良行、石田 茂之、土屋 佳則、Sala Alberto（電子光技術研究部門）石橋 章司、三宅 隆（ナノシステム研究部門）、後藤 義人、藤久 裕司（計測フロンティア研究部門）、李 哲虎（エネルギー技術研究部門）、（常勤職員11名、他2名）

#### 〔研究内容〕

本研究は、実用材料化の観点から鉄系超伝導体のポテンシャルを明らかにするとともに、同物質を用いた応用プロトタイプを試作することをその目的として行った。H26年度は、高品質の（Ba, K）Fe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>単結晶を作製し、その臨界電流密度の組成依存性を評価することにより、線材作製に最適な化学組成を決定した。得られた結果を基に、Powder-in-tube 法で線材試料を作製し、その臨界電流密度を評価した。これらの研究で得られた成果を学会発表・論文発表によって報告した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 超伝導、高温超伝導、鉄系超伝導体、単結晶、輸送特性、臨界電流密度

#### 〔研究題目〕 救急および災害現場で用いるポータブル血液検査装置の開発

〔研究代表者〕 栗津 浩一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 栗津 浩一、藤巻 真、芦葉 裕樹（常勤職員3名）

#### 〔研究内容〕

災害時や事故現場で負傷した患者に対して、病院において輸血をする、胃カメラや内視鏡を用いて診断する、あるいは手術をする必要がある。この場合まず ABO と Rh (D) 血液型検査を行い、また血液由来の感染症を防ぐため、血液検査（HBs、HCV、HIV、梅毒）が不可欠である。従って病院に到着してから手術を開始できるまで1時間程度が必要となり、初動がその分遅れることになる。現状では、患者の感染症の有無の判定をその場で瞬時にできないために、医療従事者は自身の身の安全を考え感染症陽性患者を扱うように全ての患者を扱わなければならない。これも初動の遅れにもつながっている。災害や事故現場あるいは救急搬送中に ABO と Rh (D) 血液型検査、感染症検査を行うことができれば、病院到着後ただちに内視鏡検査や手術を行うことが可能となり、生存率を劇的に増大させることが可能となる。そこで屋外も含む事故現場で多数のけが人の ABO と Rh (D) 血液型検査を行え、かつ血液由来の感染症を数滴の血液を用いて20分以内で完了できる可搬型の装置を作製する。

血球の凝集を導波モードセンサで測定した反射率スペクトルの変化によって検出し、高精度な ABO 血液型オモテ検査が実施できることを確認した。またマイクロ流路を結合した導波モードセンサにより、濃度100nM の

HCV core タンパクを検出した。さらに血液型ウラ検査および感染症検査のために全血から血漿を分離するマイクロ流路デバイスを開発し、約10分で血球の混入のない血漿を取り出すことに成功した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ウイルス、血液、光学

#### 〔研究題目〕 テラバイト時代に向けたポリマーによる三次元ベクトル波メモリ技術の実用化研究

〔研究代表者〕 福田 隆史（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 福田 隆史、有本 英伸、古川 祐光（常勤職員3名）

#### 〔研究内容〕

超大容量の情報を長期間、低コスト、低消費エネルギーで保存するためにホログラフィック情報記録技術の開発を進めている。

平成26年度においては、「位相多値記録用光学系の構築、及び、記録材料の開発と評価」にかかり、以下3つの成果を得た。1) 昨年までに構築した定量複屈折イメージング光学系の偏光分離回折格子部分を改良し、2倍以上（約10 $\mu$ m）の空間解像度向上を達成した。今後、当該観察系はフィルム製造ラインでの品質管理（in situ 測定）や複屈折性の粒径制御が重要視される製薬・食品製造分野への応用も検討する。2) 本プロジェクトの第3フェーズで採用する予定の、位相多値ホログラフィック記録技術に関して、基礎的な見通しを与えるための予備検討として、マイケルソン干渉計を用いた位相多値検出系の試作と位相シフト法に基づく位相情報検出実験を行った。0と $\pi$  [rad] の位相を持つ2行 $\times$ 2列のパターンを信号光として生成し、他の1ブランチにはピエゾステージを配置し、参照光の位相をステージの変位量によって調整し、それらの干渉パターンをカメラで撮像した。その結果、4つのセグメントの相対位相は-1~8%の誤差範囲で計測が可能であることが示され、次年度実施予定のプリンジスキャン法による位相検出精度について基礎的な見通しを得た。3) 位相多値記録用材料の開発と評価に関して、従来型の強度（振幅）記録用材料との比較を分担し、要求特性の差異について検討を行い、共同研究先企業が開発した新規高屈折率モノマーを構成要素とする記録媒体が  $M_w/M_n=20$ 以上の優れた特性を示しうることを確認し、モノマーの分子量・屈折率・収縮率・相溶性などに留意した材料設計が優れた記録媒体を得ることに有効であることを明らかにするとともに、今後の更なる材料革新に対して明確な指針を得た。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 三次元ベクトル波メモリ、ホログラフィック情報記録、位相多値記録、記録媒体

**〔研究題目〕糖鎖科学統合 DB のオントロジー開発と RDF 化及び糖鎖発現プロファイル統合データベースの新規開発**

〔研究代表者〕成松 久（糖鎖創薬技術研究センター）

〔研究担当者〕成松 久、梶 裕之、久野 敦、鹿内 俊秀、鈴木 芳典、藤田 典昭、ソロビヨワ イェレナ、祖山 円（常勤職員2名、他6名）

**〔研究内容〕**

糖鎖科学統合データベース（JCGGDB）の構築

JST/NBDC の統合化推進プログラムに参加し、国内外の糖鎖に関するデータの統合化を推進している。JCGGDB では、各データベースに高機能な Application Program Interface（API）や Resource Description Framework（RDF）を出力するプログラムを設置し、XML や RDF の形式で詳細な情報を提供している。この API や RDF を利用し国内外の連携・統合化を進めている。当該年度はセマンティックウェブ化に対応できるように感染症を含む糖鎖関連疾患のオントロジーを整備しデータや糖タンパク質に関連するデータを RDF 化した。また、プロジェクトの共同研究機関と一緒に糖鎖構造の表記方法（WURCS）を開発し、国際的なグループと連携しながら糖鎖構造のリポジトリシステム（<http://Glytoucan.org>）の試運用を開始した。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕糖鎖、統合データベース、糖鎖遺伝子データベース、糖タンパク質データベース

**〔研究題目〕糖タンパク質の糖鎖品質を全自動で定量評価できる省エネ・省スペース型装置の開発**

〔研究代表者〕久野 敦（糖鎖創薬技術研究センター）

〔研究担当者〕久野 敦、齋藤 こずえ（常勤職員1名、他1名）

**〔研究内容〕**

抗体やエリスロポエチンなど、糖タンパク質医薬品の生産プロセス開発や品質管理に役に立つシステムを開発することを目的とした。具体的には、糖タンパク質生産細胞培養液から対象物を効率よくエンリッチし、その機能に関わる糖鎖の品質を調べるまでの工程を全自動で行う装置を開発する。2年間の研究開発により、A. 糖鎖変化を精密に定量するためのマルチレクチンアッセイ同時検出（以降「糖タンパク質糖鎖変化検出系」とする）の実現。 B. 生体試料中微量糖タンパク質の高効率、高再現性回収機能および糖タンパク質糖鎖変化検出機能の集積化、省スペース化。 C. 前処理から検出までの全工程を4時間（エンリッチ2時間、アッセイ2時間）で完了。を目指した。最終年である本年度は、昨年度末に完成した省スペース型試作機と既存技術（レクチンマイクロアレイやレクチン—抗体サンドイッチ ELISA）と

の比較試験を行いつつ、高度なスペックを保持した状態でのマルチレクチン—抗体サンドイッチアッセイ系の実現を目指した。その結果、1種の糖タンパク質薬品については、感度や精度の目標値を超えた状態でタンパク質上の糖鎖品質を比較検討するのに必要な10種レクチンを同時に検出する系が確立できた。さらに、測定時間の短縮にも取り組み、最終的にはアッセイ時間を当初の目標の2時間から、40分程度にまで時間短縮することができた。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕糖タンパク質、バイオ医薬品、糖鎖解析、レクチン、自動測定

**〔研究題目〕高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化**

〔研究代表者〕飯島 高志（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕飯島 高志、安 白、孫 正明、阿部 孝行（常勤職員3名、他1名）

**〔研究内容〕**

水素の影響を多少受ける材料を水素ステーション設備に利用した場合、従来の高圧ガス設備と等しい機能維持を図るためには、従来の材料評価に加えて  $K_{IH}$ （水素助長割れの限界応力拡大係数）を設計に利用する方法が有効であることが期待できる。そこで、汎用金属材料（SUS304、SUS316、Cr-Mo 鋼、Ni-Cr-Mo 鋼など）などを対象として、高圧水素ガス中で破壊靱性試験を実施し、データベースを構築することで、高圧水素ガス関連機器において使用可能な鋼種を拡大し低コスト化を目指す。具体的には、115MPa の水素ガス中で、荷重が漸増あるいは漸減する際のき裂進展メカニズムを明らかにし、水素ステーション用蓄圧器を設計する際に  $K_{IH}$  を用いることの有用性を評価する。

平成26年度は、Cr-Mo 系低合金鋼である SCM435 に関して  $K_{IH}$  を求める方法として、ASTM E1820 準拠の除荷コンプライアンス法に加え、ISO 11114-4 準拠のステップワイズ（荷重漸増）法を用いた材料試験を実施した。ステップワイズ法では、115MPa および45MPa の高圧水素ガス中で、荷重を段階的に引き上げながら所定の時間保持することで試験片を破壊させ、その際の荷重とき裂開口変位から  $K_{IH}$  を求めた。様々な材料強度を有する SCM435 について試験を実施し、ステップワイズ法による試験条件の検討を行った。また、除荷コンプライアンス法により求めた破壊靱性値と比較し、測定の妥当性について検討を行った。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕水素脆化、応力拡大係数、水素ステーション

**〔研究題目〕新規前駆体化合物 A の開発、炭素化過程における構造・物性変化の解明、マイ**



**クワ波等による炭素化技術の確立、単繊維材料の力学的特性評価手法並びに熱膨張率計測法の開発**

〔研究代表者〕 羽鳥 浩章（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 羽鳥 浩章、児玉 昌也、曾根田 靖、吉澤 徳子、杉山 順一、岩下 哲雄、藤田 和宏、永井 英幹、山田 修史、渡辺 博道、富田 奈緒子、諸星 圭祐、樋口 健介、丸山 勝久、橋内 稔、常名 美穂子、有馬 住子、塩田 真澄、谷口 幸子、森住 真紀、山田 裕之、小島 実希子  
（常勤職員10名、他12名）

〔研究内容〕

炭素繊維（CF）は我が国が世界市場の約7割を占める国際競争力の非常に強い高付加価値素材であり、省エネルギーや環境保全などの社会的ニーズに応えることが大きく期待されている。CFを用いた複合材料は、航空機等で燃費向上のためにすでに実用化されており、今後自動車を始めとする新たな分野への使用拡大が確実に実用化されている。現行のCF製造方法は、消費エネルギーとCO<sub>2</sub>排出量がいずれも鉄の約10倍に達し、生産性も高まらないことが大きな課題である。これを解決し、我が国のCFの国際競争力を維持・強化するために、本研究においては、酸化工程を必要としない全く新しいCF原料（前駆体高分子化合物）の探索・設計および合成を行うとともに、マイクロ波等による新規な炭素化技術の開発、ならびに炭素繊維の力学特性等評価手法の開発を実施する。

本年度は、縮合多環芳香族系ポリマーの改良により、炭素繊維として引張弾性率、破断伸度を向上させる新規炭素繊維前駆体の開発を行った。その結果、引張弾性率については、最終目標値である235GPaを上回る炭素繊維を製造することに成功した。また、マイクロ波加熱での炭化挙動について、マイクロ波照射時の発熱機構をシミュレーションや実機において検証し、マイクロ波照射によって効果的な発熱を実現できる条件を明らかにした。単繊維材料の力学的特性評価手法に関しては、ねじり試験、横方向圧壊試験、三点曲げ試験等の試験結果データを蓄積するとともに試験手法のさらなる改良を行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 炭素繊維、耐炎化、炭素化、ポリアクリロニトリル（PAN）、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）

〔研究題目〕 CO<sub>2</sub>分離型化学燃焼石炭利用技術に関する検討／「酸素キャリアの反応流動試験を行い、キャリアの反応速度や耐損耗性の高い流動化条件の検討」

〔研究代表者〕 鷹觜 利公（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 鷹觜 利公、シャーマ アトゥル、畑中 健志、松田 聡、丸山 一江  
（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

ケミカルループを利用した化学燃焼技術とは、媒体の化学変化を介して、燃料をO<sub>2</sub>ガス（空気）と直接接触させることなく、熱や燃料ガスに転換し、CO<sub>2</sub>を分離する方法である。石炭を燃料とした場合、空気分離の必要がなく、CO<sub>2</sub>を回収してもプラント効率の低下が抑制され、高効率の石炭火力発電が期待される。一方、ケミカルループを用いた石炭利用技術は、酸素を運ぶ媒体（酸素キャリア、以下キャリアと記す）を用いることが前提となることから、キャリアの反応性と不純物の影響を明らかにする。

イルメナイト、アルミナ担持酸化鉄、アルミナ担持酸化銅の3種の酸素キャリアを用いて、CO、酸素ガスとの還元、酸化実験を行った。実験は5～6回の還元／酸化を繰り返して評価した。イルメナイトが繰り返して試験において最も安定で最短の還元時間であることが明らかとなった。

ループシールを用いて粒子の逆流を抑えながら高い循環量を実現している実験装置を対象として、DEMシミュレーションを行い実験結果との比較を行った。ループシールでのコントロールガス流量がセンシティブで今回は粒子間摩擦係数を下げることで対処した。少しの流量変化で粒子が流れなくなったり、逆流することが計算により明らかになった。

キャリア粒子の機械的な摩耗性を評価する装置を開発するため、設計に必要な基礎的な流動特性の調査を常温で実施し、これに基づいて流動層モデル装置を試作してキャリア粒子の摩耗性を評価する手法を検討した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ケミカルループ、石炭、燃焼、酸素キャリア、二酸化炭素

〔研究題目〕 非食糧系バイオマスの輸送用燃料化基盤技術

〔研究代表者〕 葭村 雄二（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 葭村 雄二、後藤 新一、鳥羽 誠、小熊 光晴、村田 和久、杉本 義一、匂坂 正幸、望月 剛久、陳 仕元、阿部 容子、西嶋 昭生、佐村 秀夫  
（常勤職員5名、他7名）

〔研究内容〕

本研究では、タイとの国際共同研究の中で、非食糧系バイオマスとして注目されているジャトロファ（*Jatropha*）果実の総合利用効率を高めるため、オイル留分からの高品質バイオディーゼル製造技術、並びにオイル抽出残渣の熱分解から得られるバイオオイルの輸

送用燃料化技術の開発を行うと共に、各種バイオ燃料の燃焼特性、エンジン特性、排ガス特性等から新燃料の社会実装に向けた基盤を構築する。更に、タイ国研究者への技術指導等を通し、タイ国研究者の自立に向けた能力開発も併せて推進する。本年度は、以下の事業をタイ現地で実施した。

ジャトロファ油から製造されるバイオディーゼル (FAME) を高品質用するために開発した部分水素化技術 (製品を H-FAME と呼称) をパーム油 FAME に適用し、タイ科学技術研究院 (TISTR) 内に設置されたパイロット規模の部分水素化装置を用いてパーム H-FAME を製造した。ジャトロファ H-FAME の製造に用いた貴金属触媒と同一触媒を用い、多価不飽和 FAME 量を所定の量に制御することにより、約2,500L のパーム H-FAME を製造した。当該パーム H-FAME (B100) の酸化安定性は極めて高かった (Rancimat 測定で、30h 以上)。当該パーム H-FAME の自動車適合性を実証するために、同パーム H-FAME を石油系軽油に20vol%混合した混合燃料 (B20) を用い、タイ国内で路上走行試験を実施した (試験車輛=いすゞ製ピックアップトラック、走行距離=50,000km)。この結果、従来は7vol% (B7) の混合が限界とされていたパーム FAME をパーム H-FAME 化することにより、B20というバイオディーゼルの高濃度利用でも問題がないことが実証された。

ジャトロファ残渣からのバイオオイル製造では、TISTR に設置されたパイロットプラント規模の循環流動層型急速熱分解炉 (残渣処理量=20kg/h) の安定運転のために、①スクリュウフィーダー内のコーキング防止のための水冷ジャケットの設置、②バイオオイル蒸気回収のためのパラフィンスクラバーの設置、③凝結性の低いバイオオイル蒸気の回収のための電気集塵機の設置等の改造を行った。この改造により、木酢液主体のバイオオイルとリグニン由来のバイオオイルを分離回収が可能になり、バイオオイルの大量製造が TISTR で実施中である。

タイ研究者の人材育成では、日本側からの、12人回の産総研職員を派遣し、カウンターパートの現場での技術指導を行った。また、カウンターパートから9名の研修生を受け入れ、本邦研修を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】非食糧系バイオマス、ジャトロファ、第二代バイオ燃料、接触熱分解、バイオオイル、改質触媒、コプロセッシング、エンジン適合性、環境適合性、LCA、人材育成

【研究題目】「エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究」の「水素貯蔵材料の劣化機構解明と新規

#### 軽量材料の探索」

【研究代表者】榊 浩司 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】榊 浩司、中村優美子、Hyunjeong Kim、榎 浩利、浅野 耕太、斉田 愛子 (常勤職員6名)

#### 【研究内容】

目標：

定置型の水素によるエネルギー貯蔵システムにとって、体積あたりの水素貯蔵密度に優れた水素吸蔵合金は魅力的である。ここで水素吸蔵合金に求められる性能・課題として、繰り返し耐久性を向上させることである。そこで、放射光 X 線全散乱、放射光 X 線吸収分光及び中性子全散乱を用いて、特性劣化の因子を局所構造変化の観点から明らかにし、劣化メカニズムの解明に取り組む。

研究計画：

V<sub>10</sub>Ti<sub>35</sub>Cr<sub>55</sub>および V<sub>16</sub>Ti<sub>33</sub>Cr<sub>51</sub>についてサイクル数の異なる水素化物を作製し、その局所構造を観察・比較し、劣化メカニズムの解明を行う。また、水素雰囲気下での時間分割での in-situ 測定のセルの改良・開発および予備実験を行う。

年度進捗状況：

V<sub>10</sub>Ti<sub>35</sub>Cr<sub>55</sub>および V<sub>16</sub>Ti<sub>33</sub>Cr<sub>51</sub>のどちらの場合でも繰り返し数の増加とともに有効水素移動量は減少した。また、両材料の一水素化物および二水素化物のどちらでも放射光 X 線全散乱実験から得られた2体分布関数には、距離相関に依存したピーク幅の広がりが見られ、このピーク幅の広がり劣化に良い相関がみられた。すなわち、転位密度は一水素化物から二水素化物への変態およびその逆変態において回復することなく維持され、サイクル数の増加とともに増加することが明らかとなった。

昨年度は我々が開発した放射光 X 線全散乱実験用ガス導入セルで LaNi<sub>5</sub>系の in-situ 測定に成功したが、V<sub>10</sub>Ti<sub>35</sub>Cr<sub>55</sub>では水素化ができなかった。そこで、今年度はセルの改良を行い、時間分割での in-situ 測定に成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素貯蔵、放射光、中性子、構造解析

#### 【研究題目】超音波を用いた自動車用マフラー等気密容器漏れ検査装置の開発

【研究代表者】辻内 亨 (計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】辻内 亨、兼松 渉 (計測フロンティア研究部門) (常勤職員2名)

#### 【研究内容】

自動車業界では、マフラー・燃料タンクなどの気密性を要する部品については、欠陥に基づく漏れの確認検査が必須である。例えばマフラーは全品目視による検査を実施し、漏れの有無を確認しているが検査にバラツキが生じるなどの課題がある。そこで、水没させたマフラー

から漏れた0.2mm以上の気泡について、水平方向のジグザグ運動と鉛直方向の上昇運動に伴う超音波の周波数偏移を検出原理とした超音波を用いた自動検査装置を開発し、自動車部品だけでなくガスボンベ等気密性が求められる製品全般への応用を目指す。超音波による気泡検出のための自動検査装置に装備する基板の、気泡の有無の判定および気泡径と周波数偏移に関するアルゴリズム確立のため、今年度は、水中の気泡の上昇速度の理論式について以下の検討を行った。レイノルズ数の範囲を選択し、レイノルズ数と液体の動粘性係数、気泡半径、気泡上昇速度との間の関係式を代入した抵抗係数の式を液体中の気泡の運動方程式に代入することで、気泡半径と気泡上昇速度の関係式を得ることができた。次に、ある気泡半径における気泡の位置、上昇速度ならびに終端速度を、初期位置、初期速度を与えて、オイラー法により微分方程式の数値解から求めた。計算結果として得られた清浄気泡および汚染気泡における終端速度の気泡径依存性から、ある気泡径において観測される終端速度は、清浄および汚染気泡の終端速度計算値の間に位置すると考えられた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】超音波、自動車、マフラー、気泡

【研究題目】製造コストの大幅削減を可能にするエイズ治療薬中間体の革新的合成

【研究代表者】深谷 治彦

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】深谷 治彦 (常勤職員1名)

【研究内容】

年間200億円の売り上げを誇るエイズ治療薬。しかし、その供給量には問題があり、途上国では十分に利用できない状況が続いている。この理由は、この医薬品が不斉炭素を持つため製造段階で非効率的な光学分割法を伴うことが不可欠であり、必然的に製造コストが膨らみ、治療薬の高価格化につながっているためである。本研究では、製造コストの大幅削減を可能にするエイズ治療薬中間体の革新的合成法の確立を行う。

本年度は、従来の光学分割法によらない触媒コントロール法によるエイズ治療薬中間体の触媒的不斉合成法を開発することが全体の目標であり、当所では、トリフルオロメチル化反応における高不斉収率実現へのアプローチとして、計算化学から触媒反応の最適化を行った。具体的には、基質とトリフルオロメチル化試薬が直接反応する過程は、非常に高い活性化エネルギーを必要とするが、テトラメチルアンモニウムフルオリドを入れると、活性化エネルギーが低下することが分かった。しかし、トリフルオロメチル化試薬とテトラメチルアンモニウムフルオリドのみでも、10.2 kcal/mol という活性化エネルギーでトリフルオロメチル化反応が起こることが分かったが、この反応は立体選択的ではなく、高い光学収率

を得るためには、できるだけこのプロセスを抑える必要がある。そのためには、テトラメチルアンモニウムフルオリドの使用量を抑え、できるだけ低温で反応を行う必要があることがわかった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】計算化学、密度汎関数法、反応機構、含フッ素医薬品、不斉合成

【研究題目】ファインバブル基盤技術研究開発事業

【研究代表者】兼松 渉 (計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】辻内 亨、兼松 渉 (計測フロンティア研究部門)、安井 久一、平澤 誠一 (先進製造プロセス研究部門)、綾 信博 (ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室)、高橋 かより、加藤 晴久 (計測標準研究部門)、川崎 一則、川崎 隆史、苑田 晃成、垣田 浩孝、小比賀 秀樹、田部井 陽介、堀江 祐範 (健康工学研究部門) (常勤職員14名)

【研究内容】

我が国が世界に先駆けて開発したファインバブル (ミクロンからナノオーダーにわたる特殊な機能を有する気泡) 技術は、洗浄、殺菌、水質浄化、更には、植物の生育促進など、広範囲の産業応用が期待されているが、測定技術開発の遅れ等により、ファインバブルの生成・制御メカニズムや作用メカニズムも解明されてこなかった。このような背景により、本格的な産業応用には至っていないというのが実情である。

本研究ではファインバブル技術の実用化を様々な分野で効率的に図っていくための共通基盤として、ファインバブルの生成や制御に係る諸要因、ならびに、ファインバブルの基本特性と基本的作用との定量的相関を明らかにする。また、ファインバブル活用における安全性確保に向けたリスク評価技術の開発を行う。

今年度は、固体表面上に付着するファインバブルの安定化機構に関する数値シミュレーションを行い、疎水性表面だけでなく、親水性表面でもバブル内への気体の流入量とバブル内からの流出量が釣り合う動的平衡モデルが成立することが分かった。これらの成果は、固体表面上でない液体のバルク中のファインバブルが疎水性粒子に付着することで安定化する可能性を示唆しているものと考えられた。また、外部からの静的加圧による気泡数・気泡径への影響を実験的に調べた結果、500気圧の加圧によって気泡径分布が小径側 (ピーク位置が100~200nm から50nm) にシフトしたことから、観測対象が固体粒子ではなく気泡であることが確認できた。さらにリスク評価に関しては、ナノ粒子のリスク評価に用いられる HaCat 細胞の暴露試験を行ったところ、有意な影響は見られなかったが、試験中のバブル消失・バブル

数密度等の影響について評価する必要があることが分かった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】超音波、自動車、マフラー、気泡

【研究題目】HPCI 戦略プログラムにおける人材養成プログラムの実施

【研究代表者】浅井 潔（招聘研究員）

【研究担当者】浅井 潔、藤 博幸、広川 貴次、後藤 修、光山 統泰、富井 健太郎、ポール ホートン、津田 宏治、長野 希美、清水 佳奈、今井 賢一郎、マーティン フリス、亀田 倫史、富永 大介、油谷 幸代、瀬々 潤、縫田 光司、後藤 真孝、水谷 健太郎、杉原 稔、寺田 朋子、坂井 寛子（常勤職員15名、他7名）

【研究内容】

研究目的：

バイオインフォマティクスの研究拠点としてより確立された地位を築くことと併せ、産業技術の発展、産総研の利益につながる形での人材養成を目指している。

研究手段：

(1) HPCI 人材養成プログラム

「京」コンピュータを中核とする「HPCI 戦略プログラム分野1 予測する生命科学・医療および創薬基盤」における教育プログラムを（独）理化学研究所より委託され、H23年度より5ヵ年計画で HPCI 人材養成プログラムを実施する。プログラムは、初学者から中級者を対象とした1人1台の PC を用いた実習「HPCI 講習会」、一般向け公開講演会「HPCI ワークショップ」、「HPCI e-ラーニング」、第一線の研究者による最先端セミナー「HPCI セミナー」の4本柱で構成。とくに HPCI セミナーは東京大学柏・本郷・白金台の3キャンパスに TV 会議システムを通じて配信し、東京大学大学院新領域創成科学研究科情報生命科学専攻との連携により「情報生命科学特別講義 I」（2014年度冬学期）という単位取得科目となった。また HPCI セミナーの一部はビデオ撮影し、e-ラーニング教材化した。3本制作。

参加者数は、HPCI セミナー（H26年10月から毎週金曜日全12回）のべ413名（うち東大学生109名、産総研他地域センターの受講者9名）、HPCI ワークショップ（平成26年10月4日（土）於 仙台、生命医薬情報学連合大会2014 スポンサーセッションとして HPCI 戦略プログラム 分野1（SCLS）との共催）約120名、HPCI チュートリアル3コース13講座受講者のべ344名、HPCI e-ラーニング受講者合計346名であった。

(2) 技術研修等による社会人の受け入れ

OJT による高度専門人材養成により、異分野からの転向者を即戦力化する。

(3) 連携大学院

4つの大学（東大、お茶の水女子大、早大、奈良先端科学技術大学院大）と連携を進めている。当センターに所属する正職員のうち4名が連携大学院の教員を兼務しており、連携先での出張講義や、連携先大学院生を実習生として当センターに常駐させて修士論文や博士論文の指導を行っている。

(4) 生命情報科学研究セミナー

平成13年～17年度の「産総研 生命情報科学人材養成コース」（文科省科振費）の枠組で行っていた毎週2回程度の研究セミナーを年間予算で継続している。セミナーの内容と発表者は研究チーム長1名と数名のセミナー係の研究員が調整、弾力的に運営。所内発表にとどまらず、内外から最先端の話題提供を受けている。平成26年度回数実績41回（一部セミナーは、外部資金と共催）。

(5) ゲノム情報研究センター（CBRC）年次研究報告シンポジウムの実施

当センターのバイオインフォマティクス拠点化を目指した活動であり、研究拠点形成に必要な優秀な人材を養成する。実習生や若手研究員の積極的な発表を促すことで、スキルアップを目指す。学会へ参加する機会が少ない企業研究者や学生等にもバイオインフォマティクスを普及させることも目的とする。発表言語は英語、海外の第一線の研究者による招待講演を必ず実施し、世界レベルのディスカッションができる場としている。平成17年度に CBRC2005を初開催。生命情報工学研究センターが発足した平成19年度以降は、他の学会等とも連携して BioInformatics Week in Odaiba (BiWO) 200X (X は年数を表す) という名称で、お台場でバイオインフォマティクス関連イベントを集中開催、運営委員長は当センターの研究チーム長クラスの研究員が持ち回りで務めている。外部からもポスター発表を募集し、多数の発表者が集まっている。平成26年度外部参加者約150名（開催期間2日間）。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】人材育成、バイオインフォマティクス、創薬インフォマティクス、技術指導、セミナー、講習会、e-ラーニング、HPCI

【研究題目】石油精製物質等の新たな化学物質規制に必要な国際先導の有害性試験法の開発

【研究代表者】中島 芳浩（健康工学研究部門）

【研究担当者】中島 芳浩、安部 博子、室富 和俊、安永 茉由、丹羽 一樹、岩城 知子、大西 尚子、藤田 康子（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

本研究開発では、ラットを用いる28日反復投与毒性試験において、化学物質により毒性が発現する可能性が高い肝毒性、腎毒性、神経毒性のそれぞれの毒性に関し、簡便で高精度な *in vitro* 試験系の開発を目的とする。その開発手段として、肝毒性および腎毒性では、人工染色体ベクターや多色発光技術といった我が国で開発された先端技術を導入、毒性の主要バイオマーカーを用いたレポータージーンアッセイを開発する。

本年度は、臓器特異的毒性評価細胞群の開発、およびハイスループットスクリーニング試験システム構築に向け、3種の発光レポーターを人工染色体ベクターに導入したモデル株化細胞を樹立し、人工染色体ベクターのレポーターベクターとしての基本性能を検証した。その結果、緑色、橙色および赤色発光ルシフェラーゼの人工染色体ベクターへの挿入により、クローン間のバラツキの小さい均一な細胞集団が、従来の樹立方法と比較し簡便且つ短期間で樹立できることを明らかにした。さらに長期継代培養による経時的な発光および細胞応答性について検討した結果、パッセージ約80回まで発光および細胞応答性は安定に維持されることも明らかにした。さらに、緑色発光ルシフェラーゼが発現する人工染色体ベクター導入マウスの肝細胞を用い、二次元および三次元培養における発光測定法の最適化および発光強度等の発光諸特性を明らかにし、これらの結果を *in vitro* 肝毒性試験法の設計案に反映させた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ルシフェラーゼ、発光細胞、レポーターアッセイ、人工染色体ベクター、化学物質毒性評価

【研究題目】 地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新

【研究代表者】 蛭名 武雄（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】 蛭名 武雄、石井 亮、林 拓道、和久井 喜人、中村 考志、鈴木 麻実、岩田 伸一、志村 瑞己（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

本研究は、林地残材の収集から改質リグニン製造、加工、機能性、最終製品化、副産物利用を含め、農山村のバイオマスを原料とした一連の技術を総合的に開発することで、地域に高収益をもたらす「リグニン産業」という新たなビジネス基盤を確立すると共に、その社会実装を目的とする。本研究の中で、当グループは改質リグニンを原料として、粘土とのハイブリッド化等でエレクトロニクス素材等の高付加価値マテリアル（ハイブリッド膜材と繊維強化リグニン材）を製造する技術の開発を担当する。

本年度は、粘土とのハイブリッドにより得られるハイ

ブリッド膜の調製条件を見出すため、ハイブリッド膜を作製するリグニン及び粘土鉱物、溶媒の選定を行った。水分散性及び有機分散性のリグニンを用いて粘土鉱物とのハイブリッド化の検討を行った結果、水と N-メチル-2-ピロリドン溶媒として用いることにより粘土粒子が高度に配向したハイブリッド膜を作製する条件を見出した。また、得られたハイブリッド膜について熱分析を行い、膜中の出ガス物質やリグニンの耐熱温度について知見を得ることが出来、ハイブリッド膜の水蒸気バリア性向上のための指針を得ることができた。また、改質リグニンを用いた繊維強化複合材の調製条件を見出すため、複合化に必要なリグニンと溶剤との好適な混合条件の検討を行った。具体的には、改質リグニン及び市販リグニンを分散可能な溶媒について複数の溶媒を用いてその分散具合を調査し、最適な溶媒を見出した。また、繊維との複合化を促進するため、粘土鉱物の添加したリグニン溶液の調製条件を検討し、熱安定性の高い塗膜を得るための前駆体溶液を得ることができた。これらの知見から、各種繊維とリグニンの複合化を行うことが出来た。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 リグニン、粘土、クレースト

【研究題目】 航空機中空複雑形状鋳物用、砂型差圧鋳造技術の開発

【研究代表者】 多田 周二

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 多田 周二、尾村 直紀、李 明軍、村上 雄一朗、松井 功（常勤職員5名）

【研究内容】

少量の水を添加した砂を造型し、これを凍結させることによって強度を付与した凍結鋳型は、鋳造時に受ける溶湯の熱で氷が溶けるため、鋳造後の崩壊性に優れるという利点をもつ。本研究では、この特長を生かすべく、製品鋳造後の中子の除去作業にかかる作業負荷の軽減を目的として、複雑な中空形状を有する航空機用アルミニウム合金鋳物を対象とした差圧鋳造プロセスに凍結鋳型および凍結中子を適用するための技術開発を行った。

平成26年度は、まず15mmの直径を有する150×300mmのL字型凍結中子の作製方法改善に取り組んだ。これまで、強度不足と思われる要因により抜型時の破損が頻発していたが、若干量のコロイダルシリカを添加して凍結中子を造型したところ抜型時の破損を回避できるようになった。この成果を受け、得られた凍結中子を凍結主型に組み込み、アルミニウム合金による鋳造試験を行った。その結果、湯まわりについては問題のないことが確認できたが、凍結中子に起因すると思われる鋳造不良が発生し、品質面では課題が残った。そこで、鋳造方案を凍結中子用にモディファイし改めて鋳造試験を行ったところ、製品品質が大幅に改善され、ほぼ目的形状の

鋳物を作製することに成功した。これらの結果より、凍結鋳型および凍結中子が、航空機用中空複雑形状鋳物の作製に向けた差圧鋳造技術への適用可能性を有していることが示された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 鋳造、アルミニウム合金、凍結鋳型、中子

【研究題目】 非常用電源としてのマグネシウム空気電池を実現する難燃性マグネシウム合金鋳造薄板による革新的電極素材の開発

【研究代表者】 千野 靖正

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 千野 靖正、湯浅 元仁

(常勤職員2名)

【研究内容】

難燃性マグネシウム合金を一次空気電池の電極素材に用いることで、電池の自己放電特性や発火リスクが大幅に改善されることが知られている。なお、これらは試作や実験的な評価に基づくものであり、合金組成におけるCaを中心とする主要添加元素や不純物元素が及ぼす影響は解明されていない。同様に、組織、析出物、集合組織が自己放電特性に及ぼす影響は解明されていない。以上を受けて、本研究では、合金組成と組織が難燃性マグネシウム合金の自己放電特性に与える影響を評価し、同時に、難燃性マグネシウム合金を負極として利用した際の電極表面での反応状態を観察・分析することにより、難燃性マグネシウム合金の自己放電特性に及ぼす合金組成と組織の影響を解明することを目指す。

平成26年度は、主要元素(Al, Ca)量の異なる難燃性マグネシウム合金鋳造材および展伸材を空気電池の負極として利用した際の表面反応状態を調査した。そこでは、開発合金(3元系合金:Mg-Al-Ca合金)および比較合金(2元系合金:Mg-Al合金、Mg-Ca合金)の組織や表面状態の評価に加えて、放電特性を測定し、合金の組織や表面状態と放電特性の関係を抽出した。なお、上記の研究成果は、平成26年度サポイン事業「非常用電源としてのマグネシウム空気電池を実現する難燃性マグネシウム合金鋳造薄板による革新的電極素材の開発」の成果(実施中)である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 難燃性マグネシウム合金、電池、合金設計、組織

【研究題目】 植物素材の機能性評価に関する研究

【研究代表者】 森田 直樹(生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 森田 直樹、坂下 真実

(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

機能性が期待される植物素材について、細胞評価系を

用いた機能性評価を行った。

医薬品開発でも使用される評価手法(核内受容体活性評価)を用いた各種植物抽出液の機能性のスクリーニングにより、植物素材の抽出液に高いリガンド活性がみられ、機能性素材の開発につながった例がある。本研究では、2種類の植物素材について、同評価手法(核内受容体活性評価)を用いて機能性のスクリーニングを行い、新たな機能性植物素材の開発(機能性食品等)の可能性を検証した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核内受容体、核内受容体アッセイ、機能性評価

【研究題目】 植物素材の新規機能性に関する可能性調査研究

【研究代表者】 森田 直樹(生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 森田 直樹、坂下 真実

(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

新たな機能性食品素材候補を探索するため、複数の植物素材について細胞評価系を用いた機能性スクリーニング試験を行い、活性の高い植物素材の新たな機能性を見出すことを目的とした。

医薬品開発等に使用される機能性の評価手法(核内受容体活性評価試験)を用いて、複数の植物素材の機能性スクリーニング試験を行った。植物素材の抽出液に核内受容体リガンド活性が高く観られたものがあり、新たな機能性成分を含んでいる可能性が示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核内受容体、核内受容体アッセイ、機能性評価

【研究題目】 数理的・統計的解析(モデル構築、シミュレーション解析など)のための基礎的検討並びに解析手法の研究・開発

【研究代表者】 井上 雅世(創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】 井上 雅世(常勤職員1名)

【研究内容】

本研究課題は、がん特性の数論的理解および数理的・統計的解析手法の開発を目指すものである。特に、がんオミックスデータの新規データ解析手法の開発に取り組んでいる。

26年度は、タンパク質量制御メカニズム視点からがんの特性理解を目指した研究開発に取り組んだ。タンパク質の量バランス維持は生命機能を維持する上で不可欠であり、その破綻つまり異常蓄積はがん等の疾患を引き起こすことが知られている。そこで、転写因子と被制御遺伝子の発現量変化の依存関係に基づき、タンパク質量バランス制御メカニズムの違いに応じて遺伝子を分類す

る手法の開発に取り組んだ。さらに、マイクロアレイ計測データを用いて遺伝子を分類し分類遺伝子群毎にパスウェイ解析をおこなったところ、がんとの関連が知られている遺伝子の特徴として、合成過程よりも分解過程がそのタンパク質量制御に重要であることを示す結果が得られた。今後は時間的変遷に注目し、がんの進行度合いに応じた量制御メカニズムの変化などについて考察をおこなう予定である。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】数理システム解析、がんオミックスデータ解析

【研究題目】5) バイオマーカー開発

【研究代表者】夏目 徹（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】夏目 徹（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

家族性および非遺伝性大腸がんにおいて APC (adenomatous polyposis coli) 遺伝子の変異が知られており、βカテニンタンパク質の異常蓄積により TCF (T-cell factor) /LEF (lymphoid enhancer factor) ファミリーの転写因子の活性化が発症の主なメカニズム考えられている。これまでに国立がん研究センターによりβカテニン/TCF 経路の活性を制御するキナーゼが同定されており、大腸がん治療薬開発を目的としてこのキナーゼを阻害する化合物スクリーニングが実施されリード化合物が導出されている。本研究ではこの化合物のプロファイリングを目的とし、質量分析計を用い大腸がん細胞の化合物処理によるリン酸化タンパク質変動解析、パスウェイ解析、ネットワーク変動解析およびβカテニン経路のタンパク質の絶対定量解析を実施した。リン酸化タンパク質変動解析およびパスウェイ解析の結果、化合物処理後24時間ではかなり多くのパスウェイが変動しており、フィードバック等の制御によりかなり広範囲のパスウェイに影響が及んでいる可能性が考えられた。化合物処理後30分の初期の反応において細胞増殖に関わるパスウェイの抑制が認められ化合物の抗腫瘍活性発現メカニズムの一端が明かとなったと考えられた。化合物処理による TCF のネットワーク変動解析においてはいくつかの転写に関わる因子の変動が認められた。また、βカテニン経路のタンパク質の絶対定量解析により TCF による転写制御を受けている因子の減少が認められ、転写阻害活性がタンパク質レベルで確認できた。また、その他のタンパク質の発現量の低下が認められ未知の転写制御やシグナルパスウェイの関与の可能性が示唆された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】化合物プロファイリング、大腸がん、βカテニン

【研究題目】数理情報解析技術を活用した創薬標的候補探索

【研究代表者】堀本 勝久（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】堀本 勝久、福井 一彦  
（常勤職員 2名、他2名）

【研究内容】

「表現型相違指向型解析法」を含めた高度なバイオインフォマティクス技術を駆使し、多層オミックス解析データより、創薬標的候補分子や薬剤候補、診断用バイオマーカーの探索を行った。

拡張型心筋症では、connectivity map を用いて見出した22個の薬剤候補から、標的分子や作用機構を考慮し、薬効を示す可能性のある既承認薬剤を7個選出した。これらについて心筋細胞培養系を用いた検証を実施し、いくつかの薬剤の添加で、ANP、BNP、SERCA などの心不全マーカー、心機能マーカーの発現量変動を確認した。病型分類用マーカーについては、エピゲノムデータを用いることで、特発性拡張型心筋症と拡張相肥大大型心筋症を明確に区分できることを明らかとし、さらに特発性拡張型心筋症を2つのサブクラスに分類できる可能性が示された。回復度判定マーカーについては、心エコーなどの臨床情報に、プロテオーム、トランスクリプトーム、エピゲノムの解析データを加えることで、心機能の回復度を高精度に予測可能であることが分かり、各オミックスより選出したマーカー候補の発現量を血液や組織評価することで、回復/重篤化をはじめとする予測に利用できることを示した。

乳がんでは、臨床及び公開細胞株の遺伝子発現データと利用して、パクリタキセル抵抗性を感受性に变化させる18既承認薬候補を connectivity map を用いて見出した。

肺がんでは、臨床及び公開細胞株の遺伝子発現データと利用して、シスプラチン抵抗性を感受性に变化させる7既承認薬候補を connectivity map を用いて見出した。

腎がんでは、臨床検体のメチル化データと利用して、陰性における良性と悪性間の分子刻印を推定し、その分子刻印に対してネットワーク解析することによって良性と悪性間の分類を行った。

脊柱管狭窄症では、臨床検体のメチル化データと利用して、骨性および靭帯性間分子刻印を推定し、その分子刻印に対してネットワーク解析することによって骨性および靭帯性間の分類を行った。

てんかんおよび肥満症では、臨床データの解析スキームの準備を行った。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】多層オミックス解析、システム薬理学、創薬ターゲット、病型分類、患者層別化マーカー

〔研究題目〕「臨床現場での使用に向けた検査システムの開発」に係る中の「エクソソームを補足するための抗体及び抗原に関する調査」

〔研究代表者〕五島 直樹（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕五島 直樹（常勤職員1名）

〔研究内容〕

血液中のマイクロ RNA（以下、miRNA）を疾患マーカーとして探索、検証することにより、疾患の早期発見、早期治療のスキームを実現化することを目指す。

NCC のバイオバンクが保存する血清検体から、日本人に多いがん種ごとに5,000検体以上の検体等について miRNA 発現プロファイルを取得し、検体に対応する患者臨床情報と紐付けすることで統合的な解析を実施する。また、NCGG のバイオバンクが保存する認知症患者の血清約4,000検体についても同様の解析を行う。血中 miRNA 解析を行う疾患候補として、胃がん、大腸がん、食道がん、膵臓がん、肝がん、胆道がん、肺がん、乳がん、卵巣がん、前立腺がん、膀胱がん、神経膠腫、肉腫、およびアルツハイマー病等の認知症等の重篤な疾患を対象とする。

日本人に多いがん種ごとに5,000検体以上、アルツハイマー病等の認知症等について約4,000検体の検体について miRNA の発現プロファイルを効率的に取得するため、1日100検体以上の多検体を解析可能な自動化装置の開発も合わせて行う。

miRNA プロファイル測定に際し、結果の相互比較、測定系の精度、再現性の評価のため、共同研究体制内での内部標準の選定も行う。

H26年度は、がん組織特異的なエクソソームを選択的に補足するため、がん組織特異的に発現する膜タンパク質をターゲットとして、抗原-抗体反応等を利用する方法が考えられる。がん特異抗原（CTA）を対象とし、CTA データベースに登録されているタンパク質の中でも、膜貫通領域を有するタンパク質を計算から導き出し、候補として提示することが可能である。

上記の CTA のデータベースである CTDatabase（がん細胞で特異的に発現するタンパク質のリスト）に登録されている300種近いタンパク質に対して、2種類の膜貫通領域計算プログラム（SOSUI 及び TMHMM）によって解析を行い、膜貫通領域を有するタンパク質を30程度選出した。（別紙の計算解析結果のリストで右側の枠で赤帯のもの）。2種類のプログラムで共に赤帯のものが、膜貫通タンパク質である確度が高い。

ただし、上記で選出された抗原で特定のがん種を選別することは難しい。様々な細胞由来のエクソソームからがん細胞由来のエクソソームを濃縮する用途に使用出来ると考えている（がん種はマイクロ RNA の解析で特定することができる）。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕エクソソーム、単離、精製、自動化、表面マーカー、がんマーカー、癌特異的抗原

〔研究題目〕「トレーニングに使用される競技種別（クラス）に共通又は特化した機器、装置、情報コミュニケーション技術、ソフトウェア等の研究開発」及び「コンディショニング（リカバリーを含む）に使用される競技種別（クラス）に共通又は特化した機器、装置、システム等の研究開発」

〔研究代表者〕保原 浩明（デジタルヒューマン工学研究センター）

〔研究担当者〕保原 浩明（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、カーボン繊維製のエネルギー蓄積型疾走用足部を装着した義足ランナーにとって最適な板バネ足部選定を行うガイドライン作成を目指す。H26年度は同一デザインの板バネ足部のうち、剛性レベルを5段階に変化させ、ランニング時における生体力学的指標を観察することで最適な板バネ選定に関する視座を得ることを目的とした。被験者として、日本代表クラスの女子トライアスロン選手（PT2クラス：大腿切断者）1名を動員し、3次元動作解析装置によってランニング動作（2.9 m/s）を計測した。使用した板バネ足部はオズール社のフレックス・ランとし、剛性カテゴリをレベル1からレベル5まで段階的に変化させて、その影響を調べた。その結果、鉛直地面反力最大値、ステップ頻度に変化は見られなかった。これは走速度に貢献する変数は剛性カテゴリに影響されないことを示唆している。一方、接地初期の Loading rate（鉛直地面反力の時間変化率：負荷の指標）に関してはレベル3で最も小さい値となった。これは長距離走のような長時間のランニング動作に関しては、下肢の障害予防するために最適な板バネ剛性がある可能性を示唆している。今後は得られた座標データから上述した結果を生み出す生体の補償動作に関する解析を行い、各義足アスリートに最適な板バネ足部のデザイン及び剛性カテゴリについて検証を進めていく必要がある。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕デジタルヒューマン、パラリンピック、エネルギー蓄積型疾走用足部、動作解析

〔研究題目〕革靴の製造品質管理ガイドライン作成

〔研究代表者〕持丸 正明（デジタルヒューマン工学研究センター）

〔研究担当者〕持丸 正明、小林 吉之、森田 孝男、河内 まき子、元田 真吾、河合 祐子



(常勤職員3名、他3名)

【研究内容】

【目標】

高付加価値の日本製革靴について「Made in Japan 革靴」ブランドを確立し、新興アジア圏で「履き心地がよく、歩きやすく、美しく、靴に起因する足のトラブルがない革靴」としての認知を得るために、科学的根拠に立脚し、パフォーマンスの高い革靴の基盤となる靴型から、一定品質の革靴を製造するための品質管理方法について研究する。

【研究計画】

平成23年度からの事業で、婦人革靴（6cm ヒール）、紳士革靴について、日本人の足形状を考慮して履き心地を向上させる靴型の開発と検証を3年間実施した。この靴型に基づいて複数の革靴製造元で製造される革靴の製造ばらつきの程度、そのばらつきが履き心地にどの程度影響するか、製造工程のどの部分によるばらつきが履き心地に影響するかを明らかにする。

【年度進捗状況】

平成26年度事業では、平成25年度までに開発した婦人革靴（6cm ヒール）用の靴型を用い、革パーツなどを一定の品質で準備した上で、複数の革靴製造元で4足以上の同一革靴を製造させた。その革靴を3次元計測するとともに、試履試験を行った。この結果、同一製造元の革靴間でも部分的に大きな形状の差があり、それら履き心地に大きく影響することが明らかになった。特に、婦人革靴のトップラインの形状のばらつきが履き心地に大きく影響する。製造元の製造工程を調査した結果、革を靴型に沿うように引く工程や、その後、革をなじませる工程などに製造元間の違いがあった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、人間工学、生体力学

【研究題目】微小真空冷陰極アレイを用いた高い放射線耐性を持つ小型軽量撮像素子の開発

【研究代表者】長尾 昌善

(エレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】長尾 昌善、吉澤 俊一、政岡 文平

(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

高い放射線環境下においても動作することのできる小型軽量撮像素子の基本技術を開発することを目指し、マトリクス駆動フィールドエミッタアレイ (FEA) の微細化とビーム集束技術を開発することを目的として研究を行った。集束電極を、画素内のエミッタチップ一つ一つに一体集積した集束電極一体型マトリクス駆動 FEA を開発することで画素サイズを昨年度の150 $\mu\text{m}$  から100 $\mu\text{m}$  に微細化することを目指し、デバイス作製プロセスの開発に取り組んだ。微細化するために必要

となる集束電極一体化技術として、基本となるエッチバック法を採用し、さらに従来のエッチバック法ではできなかった集束電極とゲート電極の距離の制御を可能にした新たな集束電極一体化技術を開発した。また、昨年度はエミッタのアスペクト比はモリブデンエミッタにおいて1.0程度しかなかったが、ニッケルをベース材料としその上にモリブデンを蒸着することで、エミッタチップ全体のアスペクト比が1.8にまで向上させることに成功した。これらの技術を取り入れた集束電極一体型マトリクス駆動 FEA を試作し、そこから放出される電子ビーム径を評価した結果、1 $\mu\text{A}$  以上の電流を維持したまま、100ミクロン以下に集束できていることを確認し、画素ピッチ100ミクロンに対応した電子ビームが得られることを示せた。これにより、画素ピッチを昨年度の150ミクロンから100ミクロンに微細化した、集束電極一体型マトリクス駆動 FEA の開発に成功した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】撮像素子、放射線、電界放出電子源

【研究題目】超伝導検出器を用いた分析電子顕微鏡の開発

【研究代表者】日高 睦夫

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一、神代 暁、

平山 文紀、伊坂 美千代

(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

先端材料の開発において、電子顕微鏡での組織および組成の評価はますます重要性を増している。しかし、電子顕微鏡での現状の組成分析技術は、材料開発側から要求される感度・精度から見ると十分なものではない。走査透過型電子顕微鏡 (STEM) による組成分析の飛躍的な高度化 (高精度・高感度化、元素分布可視化) を目指して、高いエネルギー分解能を持つ超伝導遷移端センサ (Transition Edge Sensor; TES) 型 X 線検出器を分析装置として応用した新しい分析電子顕微鏡システムを構築する。検出素子の多素子化と、検出器と STEM との一体化した最適化によって検出効率の向上を図り、極微量元素の微小組成ゆらぎでも高感度に検出し得る超高精度元素分布マップ取得の実現を目指す。この中で TES 多素子化に必須の SQUID 読み出し回路アレイの作製および室温処理回路の開発を行う。本年度は、TES 型 X 線検出器素子と同温の極低温で動作する SQUID アンプを構成する Pd 抵抗体の抵抗率の制御性、再現性およびウエハ内均一性を調べた。また、抵抗率の経時変化も調べた。これらの結果から、産総研で成膜した Pd 膜が極低温 SQUID アンプに適用できる見通しを得た。SQUID を構成する Nb/AlOx/Nb ジョセフソン接合 (JJ) の臨界電流密度3インチウエハ内、5mm 角チップ内均一性を調べたところ、ウエハ内で5%以内、チップ内で1%以

内であることがわかった。SQUID アンプとして新たに設計された STEM02の試作を行い、ジョセフソン接合の臨界電流密度や Pd 抵抗の抵抗値がほぼ設計値通りの値を有する SQUID を作製することができた。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 超伝導検出器、STEM、組成分析 TES、SQUID

【研究 題目】 時間分解 X 線回折分光による相変化記録膜材料のフェムト秒格子ダイナミクス

【研究代表者】 フォンス ポール

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 フォンス ポール、  
コロボフ アレクサンダー、  
ミトロファノフ キリル  
(常勤職員2名、他1名)

【研究 内容】

次世代の超高速光スイッチや、省エネルギー型相変化メモリ (Phase change random access memory; PCRAM) の開発が可能になると期待されている、GeTe や GST225などの相変化記録膜材料は、原子レベルでの超高速の相変化過程のメカニズム解明がその鍵となる一方で、現行のレーザー分光技術 (近赤外域で発振するフェムト秒パルスレーザー光源を用いた通常の光ポンプ&プローブ分光法) では構造変化に伴う原子変位の直接動的観測が困難となっており、技術的ボトルネックとなっていた。さらにグラフェンやカーボンナノチューブなどの様々な先端材料における原子レベルでの構造変化の時間分解イメージングが可能になると、今まで未解明の先端材料における相変化過程の起源に迫ることが可能となり、新しい構造変化過程を利用した超高速かつ省エネルギー型のスイッチやメモリの材料開発に大きな知見を与えることとなる。本研究では、XFEL の超短パルスを用いた究極の光パルス励起-X 線プローブ時間分解分光法による固体における相変化のシングルショットイメージング分光に関する先導的研究を行い、先に述べた高速相変化メカニズムの解明を達成し、超高速光スイッチや、省エネルギー型相変化メモリの実現を目指すことを目的としている。本年度 (H26年度) は、GST225層における共鳴的なダブル・パンプ励起による格子ダイナミクスのサブピコ秒分解能での測定に本技術を使用し、励起状態の影響について観察 (測定) を行った。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 フェムト秒、相変化記録膜材料、  
コヒーレントフォノン、  
時間分解 X 線回折法

【研究 題目】 角形チップ用フォトレジスト塗布装置・  
現像装置の開発

【研究代表者】 原 史朗

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 クンプアン ソマワン (常勤職員2名)

【研究 内容】

近年、集積回路の3次元積層化の技術開発、実用化が加速している。3次元化においては、歩留まりや技術の難易度の点で、小型ウェハが有利であり、産総研で提唱、開発を進めている、超小型ウェハを用いるミニマルファブシステムは、3次元積層にとっては大変高い適合性を持つ。ここで必要な技術開発の中でも重要な技術は、大型ウェハをダイシングで角型の個片に切断した後のレジスト塗布工程でレジストを角型ウェハに均一に塗布することである。通常は、四角の端が表面張力や風向の関係で、レジスト塗布量が分厚くなり、3次元積層プロセス全体にとって障害となる。本研究においては、ウェハ端でのレジストの厚みを制御する要因を解析し、それを解決する方法と、その方法を搭載した塗布装置を開発する。同時に塗布装置と組になる現像装置も開発する。本年度は、産総研分担任テーマとしては、昨年度開発した角型ウェハ向けウェハ密閉容器を実際にその容器対応装置を用いて評価し、実用になることを確認した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス、  
ナノテクノロジー・材料・製造、  
計測・計量標準

【キーワード】 ミニマルファブ、局所クリーン化、  
搬送システム、マイクロファクトリ、  
デスクトップファクトリ、  
アジャイルファブ、生産技術、  
多品種少量、変種変量、  
1個流しオンデマンド、  
ミニマルマニユファクチャリング、  
低コスト化、小型化、CMOS、MEMS、  
洗浄、エッチング、スパッタ、塗布・現像、  
リソグラフィ、イオン注入、実装、  
ウェハ、シリコン、ハーフィンチ

【研究 題目】 超伝導転移端センサが切り拓く革新的原子力基盤計測技術

【研究代表者】 神代 暁

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 神代 暁、平山 文紀 (常勤職員2名)

【研究 内容】

核燃料物質の精密検査において飛躍的な精度向上、測定作業の効率化の実現を目指し、核物質から発生する硬 X 線やγ線を優れた分光特性を有する超伝導転移端センサ (TES) により計測する革新的な核種同定分析技術の開発を目的とし、東大、原子力研究開発機構、産総研が参画する。産総研が研究代表機関東大からの再委託を受けた2014年度の実施計画は、(1) TES アレイの低雑音読出しを実現するための、マイクロ波帯周波数多重読出

回路チップの基本設計・評価を実施する、(2) 広いダイナミックレンジを持つ室温信号処理系回路の設計に着手するの二課題である。進捗状況を述べる。(1) 読出回路チップを TES と同じ0.1 K の温度ステージに置き動作した場合の雑音評価実験に必要な極低温冷凍機を立ち上げ、まず、チップ内の共振器の Q 値を測定し、4 K での値と比較した。その結果、Q 値の1桁向上を得た。これにより、チップ後段に配置された極低温半導体増幅器の雑音の寄与度を1/3以下に低減できる見通しを得た。(2) TES 信号読出素子特有の非線形かつ周期的な入出力特性を線形化し、ダイナミックレンジ拡大を図るため、信号磁束よりも充分高い周波数の鋸歯状波磁束の印加による変調法を採用した。そして、変調動作に必要な室温エレクトロニクス回路を設計し、製作・納品後の動作試験を行った。その結果、10 kHz 程度の信号磁束を変調可能な繰返周波数60 kHz の鋸歯状波の発生に成功した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超伝導転移端検出器 (TES)、マイクロ波、周波数多重読出回路

【研究題目】微細加工プラットフォーム

【研究代表者】秋永 広幸

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】秋永 広幸、島 久、三沢 源人、和田 恭雄、松野 堅吉、増田 賢一、佐藤 平道、飯竹 昌則、羽山 和美、山崎 将嗣、中島 忠行、唐澤 しのぶ、廣沢 友二、大塚 照久、郭 哲維  
(常勤職員3名、他12名)  
秦 信宏、落合 幸徳、島本 直伸、有本 宏、安宅 龍明

(つくばイノベーションアリーナ推進本部) (常勤職員1名、他4名)

【研究内容】

目的:

有料民間ファウンドリとは一線を画した、真のイノベーション・ハブ機能を備えた共用施設となることを目指す。最先端の研究環境を提供できる場であると同時に、プレコンペティティブ段階にある研究内容に関しては、それら研究分野の融合、産学官の広範囲な研究者・研究機関のネットワークキング、そして人材育成を推進する場となることを目的とする。

年度進捗状況:

① 共用施設の運用

産総研ナノプロセッシング施設において、155件の研究支援を行った。また、トレーニング件数は274件、要素技術スクール育成人数は年間184名であり目標値を上回った。登録装置の平均外部共用率は約50%を達成した。

② システム高度化と安全管理

産総研外部研究者の利便性を高め、装置予約、利用時間管理、利用者による支援進捗状況の確認などを、インターネットを介して実現するネットワーク環境の改良を行った。

③ 外部連携活動と人材育成事業

高等専門学校学生研修、微細加工実践セミナー、ナノ光応用分析実践セミナー、成膜プロセス技術実践セミナー等を開催した。また、外部連携のための情報発信を進めるため、当委託事業の成果をデータベース化するとともに、11報のニュース配信を行った。

④ 微細加工プラットフォームの連携促進

ナノテクノロジープラットフォーム事業の目的に鑑みて、センター機関、代表機関が実施する各種事業への積極的な貢献を行った。さらに、技術支援者研修に主体的に参加し、技術支援者の技術力向上を図った。

⑤ ナノテクノロジープラットフォームの総合的推進

コーディネータが各機関の状況把握と課題抽出及びその解決を図った。より具体的には、ナノフォトリクス&EB 実践セミナーや三次元造形&薄膜実践セミナー、トレーサブルな校正結果付の試料を用いたラウンドロビンテストを基に技術支援者研修による支援技術の高度準化の試みを主体的に行った。この他、コーディネータが現地に赴いて、各機関の状況の把握と微細加工技術の共有化を推進するとともに、中間評価への対応などを行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】極微細加工、ナノ造形、リソグラフィ、ナノ計測

【研究題目】超小型電子光学系と異形小型高真空ポンプを内蔵した小型・低価格な測長用電子顕微鏡 (CD-SEM) の開発

【研究代表者】青柳 昌宏

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】青柳 昌宏、渡辺 直也、馮 ウェイ  
(常勤職員3名)

【研究内容】

本研究では、半導体デバイスの多品種少量生産へ対応するためのミニマルファブコンセプトに基づく半導体製造装置として、デバイス製造プロセスラインにおいて品質確保に不可欠な測長用電子顕微鏡 (CD-SEM) の開発を TCK 株式会社と共同で行っている。具体的には、高機能な超小型 CD-SEM の実現を目指して、大幅な小型化と低価格化を達成するため、超小型電子光学系、異形小型真空ポンプ、線幅判定技術などの技術開発を進めている。

平成26年度は、平成25年度に設計試作した熱電界放出型 (TFE) の電子線源を搭載した超小型電子光学系

と SIP 機能、真空ゲッター材による異形小型真空ポンプについて、精密真空ステージを組み合わせて、超小型 CD-SEM 装置を組み上げ、高解像 SEM 画像の取得に成功した。また、線幅判定アルゴリズムの基本検討を進め、線幅測長機能を実画像で確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ミニマルファブ、電子顕微鏡、測長、高真空、電子光学

【研究題目】ため池等汚染拡散防止対策実証事業（汚染拡散防止対策工）

【研究代表者】川本 徹（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】川本 徹、南 公隆、田中 寿、高橋 顕、小川 浩、桜井 孝二（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、福島県を中心に広範囲のため池等農業水利施設等に放射性物質が含まれている。そこで現在、営農再開・農業復興の観点から対策が必要となるため池の調査が行われている。そのようなため池に対して、具体的な対策方法を提案し、さらに回収する底質を極力押さえ、効率よく r-Cs を低減することが重要である。そこで本研究では、汚染されたため池から、放射性セシウム (r-Cs) 濃度が比較的高く拡散性が高い底質と水中の r-Cs を回収する工法を提案し、福島県のため池にて実証試験を行った。福島県天栄村の2,800m<sup>2</sup>のため池の処理を実際に行い、浚渫をした場合と本工法で底質を除去した場合の比較を行った。このたびの区画の底質においては、70～80%の r-Cs 低減までは本工法が精密浚渫に比べ約1/2の底質の回収量で低減できることがわかった。これは、微小粒子と粗粒子が混在している底質の場合、本工法により比較的高 r-Cs 濃度の微小粒子径の底質が選択的に回収されたためと考える。

さらに底質と水とを分離後、水中の溶存態 r-Cs は吸着システムにより98%以上低減できることが確認でき、少なくとも7日間の作業中低減率に変化がなかった。これらのことより、本工法が十分にため池の底質除去に利用できることが示された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】放射性セシウム、ため池、汚染拡散防止、吸着剤

【研究題目】平面波基底法 (QMAS) などを基軸にした磁気物性量の高精度計算手法の開発

【研究代表者】三宅 隆（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】三宅 隆（常勤職員1名）

【研究内容】

ハイブリッド車、電気自動車、風力発電機などのモータに用いる高性能永久磁石の消費量が近年急増している。

最強磁石であるネオジム磁石は温度特性が悪く、自動車の動作温度（200℃程度まで）の保磁力を増強するために希少元素であるジスプロシウムが添加されている。本課題では、希少元素の使用量の少ない高性能磁石の開発を目的とし、第一原理計算に基づいた計算科学的手法でネオジム磁石等の既存の希土類磁石の高性能化と新規磁石化合物の探索を行う。昨年度は NdFe<sub>11</sub>TiN と周辺物質の磁性の第一原理計算を行った。本年度は、NdFe<sub>11</sub>TiX の典型元素 X を B, C, N, O, F と変化させて、磁化と結晶場係数を計算した。磁化は B, C に比べて N, O, F で大きくなり、結晶場係数  $A_2^0 \langle r^2 \rangle$  は N で最大であった。この結果から、典型元素として N が一番すぐれていることがわかった。また希土類磁石の温度特性を調べるために、第一原理計算から磁気モーメント、交換結合、結晶場係数を算出して古典スピンモデルを導出し、モンテカルロシミュレーションで磁化と異方性磁場の温度依存性を解析する計算手法を開発した。GdCo<sub>5</sub>へのテスト計算を行い、室温付近の磁気特性が、希土類と遷移金属の交換結合に大きく影響されることがわかった。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】磁石材料、第一原理計算

【研究題目】CNT 複合めっきによる次世代ソーワイヤの実用化

【研究代表者】木原 秀元（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】木原 秀元、松澤 洋子、高田 裕子（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

現在、単結晶シリコン・多結晶シリコンなどの材料を薄板形状に加工する工具には、遊離砥粒式ソーワイヤを用いることが主流である。しかし、近年では加工効率が高く、ワイヤの使用量が少なく、砥粒を含んだ廃液が発生しない固定砥粒式ソーワイヤに移行しつつある。これまでに市販されている電着ダイヤモンドワイヤは、製造効率や基礎となる Ni めっきとの親和性を上げるために、ダイヤモンド砥粒の表面に種々の導電性炭素化合物を被覆したものが用いられている。これら固定砥粒式ソーワイヤは遊離砥粒式に比べて加工効率は優れているものの、表面のダイヤモンド砥粒が切削加工中に脱落することにより、ウエハの仕上がり面粗度が悪いことやコストが悪いことが問題になっている。本研究課題では、これらの問題点を解決すべく、カーボンナノチューブを基礎となるめっき被膜中に分散・複合化させてダイヤモンド表面に被覆し、砥粒の保持力を向上させることで、ウエハ加工中におけるダイヤモンド砥粒の脱落を抑制する技術を開発することを目標としている。カーボンナノチューブをめっき被膜中に複合化するためには、カーボンナノチューブをめっき液中に分散させる必要がある。カーボンナノチューブは難溶性であり、溶液中には適宜分散剤を用いて分散させるが、めっき液中には金属塩が多量に存

在するため、イオン強度や pH の影響を十分に考慮した分散剤を選定することが求められる。本年度は、これまでに選定した数種類のナノチューブ及び分散剤を用いて、特に保存安定性に優れた組成の検討を行った。そして、条件を満たす組成について精査し特許出願を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノチューブ、複合めっき、コロイド界面化学

【研究題目】 超高速・低温フレイムを特徴とする衝撃焼結被覆技術を用いた、熔融相を持たない昇華性材料、窒化アルミニウム (AlN) 溶射皮膜形成技術の開発

【研究代表者】 川口 建二 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 川口 建二、清水 禎樹  
(常勤職員2名)

【研究内容】

半導体製造分野で、セラミックス製ウェハチャック部材として求められる耐プラズマ性が高く放熱特性の良い機能を満たすが、昇華性であるために通常の溶射技術が適用困難な窒化アルミニウムについて、リバストン社が独自開発した低温溶射技術 (CASP) を用いて皮膜形成技術の開発を行う。産総研としては、その開発の中で成膜の構造解析と物理特性評価を分担する。

3年計画の最終年度である H26年度においては、リバストン社が複合粒子原料による成膜の検討、CASP 装置の溶射条件の最適化、品質管理技術の開発を進め、窒化アルミニウム被膜の耐プラズマ性においては目標の50%達成にとどまったが、熱伝導率、密着特性、不良率、品質管理技術の確立に関して目標を100%達成した。

また、群馬産業技術センターが、X 線回折、蛍光 X 線分析、耐電圧試験、Spring-8での X 線 CT による気孔率評価などを行い、産総研は共用施設電子顕微鏡チームの協力を得て TEM 分析、XPS と断面 SEM-EDS 分析による窒素組成評価、フラッシュ法による熱伝導率測定などを行った。

その結果、耐プラズマ性における未達性能については、今後リバストン社が複合粒子原料を用いて継続開発を進めることとし、窒化アルミニウム焼結体の代替材料としては十分に商品化が有望なことを示した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 溶射、窒化アルミニウム、構造評価、組成分析

【研究題目】 平成26年度～平成27年度「技術ソリューション事業 (フェーズ1案件)」に関する技術開発課題「自己組織化ナノ材料を用いた随伴水処理技術の開発」

【研究代表者】 小木曾 真樹 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 小木曾 真樹、青柳 将、牛袋 麻弥

(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

油ガス開発に伴い排出される排水には様々なものがあるが、一般的に随伴水と呼ばれる。近年、様々な要因から排出量が増大すると共に、世界的な環境基準の厳格化により、環境中にそのまま廃棄することが困難となっており、大きな問題となっている。随伴水には油成分が微小の油滴等として混在すると共に、塩濃度が非常に高いケースも多く、また腐食性の硫化水素ガス等を含む場合もあり、通常の水処理方法で浄化することが非常に難しい排水として知られている。また随伴水には、重金属、多種類の有機物が含まれていることから、廃棄するためにはそれらを同時に除去する必要がある。

ペプチド脂質が自己集合により形成する自己組織化ナノ材料は、表面にカルボン酸などの有機官能基が高度に集積していること、二分子膜構造からなり疎水性のポケットを内部にもつことから、重金属や蛍光色素などを吸着する。また、両親媒性化合物であるため水油両方に親和性をもつこと、安定な低分子化合物であり硫化水素に侵されないことから、随伴水中で使用できる吸着剤として有望である。自己組織化ナノ材料の随伴水処理技術への応用を検討した。

随伴水を模したモデル溶液中での評価により、自己組織化ナノ材料がカドミウムなどの重金属やフェノールなどの有機化合物を吸着できることを明らかにした。また、分離機能を高めるため、強磁性金属と複合化することにも成功し、有害物を吸着後に磁石により容易に分離することが可能となった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 自己組織化、ナノ材料、随伴水、排水処理、吸着剤

【研究題目】 1) 重点課題「エネルギー変換の界面科学」の研究推進 2) 計算科学技術推進体制構築の「産学官連携」の推進

【研究代表者】 浅井 美博 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 浅井 美博、石橋 章司、宮本 良之、土田 英二、三宅 隆、Fedorov Dmitri、中村 恒夫、小西 優祐、森田 裕史、大谷 実、安藤 康伸 (常勤職員9名、他2名)

【研究内容】

1) 重点課題「エネルギー変換の界面科学」の研究推進  
【目標・計画】 京コンピュータを利用した大規模固液界面シミュレーションを行い、界面におけるエネルギー変換の微視的機構解明を目指す。

【進捗】 ①京コンピュータ上で利用予定の第一原理電子状態計算プログラム PWscf において、有効遮蔽媒質 (ESM)法の新しい境界条件を導入し、OpenMP 及びMPI のハイブリッド並列に対応するようにプログラム

の高速化を行った。②電気化学反応の反応自由エネルギーを計算するために、Nudged Elastic Band (NEB) 法と ESM 法を組み合わせる計算手法を開発し、電圧一定の条件下で反応自由エネルギーを計算することを可能にした。③Li イオン電池負極の界面における Li イオンの脱溶媒和のダイナミクスを追うことに成功し、電圧に依存した脱溶媒和の反応自由エネルギーを明らかにした。

2) 計算科学技術推進体制構築の「産官学連携」の推進

【目標・計画】CMSI での分野振興の一環として、物質・材料計算シミュレーションの産業分野への普及活動を行う。

【進捗】①(1)「炭素繊維複合材料と分子シミュレーション」、(2)「構造用金属(鉄鋼)材料における計算材料科学」、(3)「ソフトマテリアル開発における大規模計算」の3件の産官学連続研究会を開催した。企業内研究者を中心に大学・研究機関からも多くの参加を得て盛会であった。産業振興を目指した国プロで取り上げられている研究テーマを取り上げ、これらの課題の研究進捗状況に関して俯瞰した。②広報誌 Torrent No.10 (2014年10月発行)の記事を執筆した。現在120以上のアプリケーションを紹介しているポータルサイト MateriApps のアプリケーションの追加作業などを行った。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】計算シミュレーション、次世代スパコン「京」、産業応用

【研究題目】再生医療等に用いるヒト軟骨デバイスの実用化のための3次元細胞培養システムの開発

【研究代表者】植村 寿公(ナノシステム研究部門)

【研究担当者】植村 寿公、兵藤 行志、三澤 雅樹、新田 尚隆、白崎 芳夫  
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

本プロジェクトは、PL 株式会社ジェイテックの津村尚史のもと、ジェイテック、横浜市立大学、産総研、大阪大学の連携により研究を行った。

目標:

耳介軟骨膜由来幹細胞を用いて軟骨を再生する技術を確立し、臨床に寄与する。

研究計画:

本年度は耳介軟骨膜由来幹細胞を用いた軟骨再生のための3次元培養法の最適化を行い、力学評価などマルチモーダル測定などを駆使し、構築した組織の評価を行う。今年度進捗状況:

3次元培養法の最適化により、5mm 角程度の軟骨組織を患者由来耳介軟骨膜細胞から構築し力学測定等からヒト耳介軟骨と同程度の力学特性をもった組織を得ることに成功した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】3次元培養、軟骨再生

【研究題目】水熱処理とゼオライト触媒反応による高品質バイオ燃料製造プロセスの研究開発—省エネルギー・高効率水熱反応技術の開発

【研究代表者】井上 誠一(バイオマスリファイナリー研究センター)

【研究担当者】井上 誠一、福田 和義、新 優子  
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究開発は、エネルギー源の多様化と化石燃料への依存度の低減に向けて、再生可能な資源としてのバイオマスから、水熱処理および触媒反応を利用し、バイオ燃料を製造するための技術開発を目的としている。プロジェクトは新エネルギー・産業技術総合開発機構から鹿児島大学・千代田化工建設に委託されている。BRRC では鹿児島大学からの再委託で研究を実施しており、製糖工場から排出されるバガス・廃糖蜜に水熱処理を施し、含酸素化合物を製造する過程における、水熱処理技術の省エネルギー・高効率化を目指している。

今年度は、バガスを原料として後段の触媒反応で用いる含酸素化合物を得るための水熱処理の固液比(バイオマス/水比)の低減化を検討した。前年度までの研究で、固:液=1:7の条件で水熱処理が可能であることを明らかにしたが、今年度は、湿式粉碎処理を施したバガスを用いてバイオマス/水比の低減を目指した。湿式粉碎処理物を用いて水熱処理を行ったところ、固:液=1:5でも従来とほぼ同等量の含酸素化合物が得られることが明らかになった。特に硫酸を添加した水熱処理では、含酸素化合物収量も増加した。この結果から、湿式粉碎処理物を用いることにより、水熱処理の省エネルギー化が可能であることが明らかになった。

また、流通反応装置の基礎設計ツールを得ることを目指し、各反応温度における経時変化などの基礎データおよび反応特性を取得した。得られたデータを千代田化工建設と共有し、反応モデル構築および設計ツールとしての簡易シミュレーターを開発に寄与した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バガス、廃糖蜜、水熱処理、含酸素化合物、バイオ燃料

【研究題目】植物CO<sub>2</sub>資源化研究拠点ネットワーク 文部科学省 グリーン・ネットワーク・オブ・エクセレンス事業(GRENE)

【研究代表者】平田 悟史(バイオマスリファイナリー研究センター)

【研究担当者】遠藤 貴士、匂坂 正幸、熊谷 明夫、足立 真希、大田 民、孫 孝政

(常勤職員2名、他4名)

**【研究内容】**

本テーマは、バイオマスの化学品やマテリアルへの高効率変換基盤技術の開発を通じて、高生産性があり、かつ工業材料としての利用可能性が高いスーパーバイオマスの育種を産学官での研究拠点ネットワーク構築により達成することを目標としている。植物系バイオマスから得られ、軽量高強度材料への応用が進められているナノセルロースをターゲットとして、マテリアルとしての利用性評価および利用技術のトータルプロセスの経済性、環境性、社会環境への影響評価(LCA)を実施した。

本年度は、バイオマス種によるナノセルロース製造効率を材料利用性の観点から明らかにするため、種々の木質系バイオマスを原料として、ボールミルを用いた湿式粉碎によりナノセルロースを調製し、光透過沈降法と比表面積測定、電子顕微鏡観察による形状評価を行った。その結果、比表面積が2倍以上異なるが沈降性が同一であるナノセルロースが存在することが分かった。そこで、ナノセルロースとポリビニルアルコールとの複合材シートを調製し、強度物性を比較した結果、光透過沈降法で得られる値と強度物性には相関があることが示され、複合材料としての利用性評価として、光透過沈降法の有効性を示すことができた。

また、バイオマス利活用一貫プロセスにおいて、ライフサイクルでの環境影響、経済効果の解析を行った結果、土地利用については、改変に伴う環境影響への関与は大きいものの、収量改善によりそれが回避されることが確認された。また、残渣からのエネルギー回収の程度により温室効果ガス排出量、経済効果への影響、が大きいことが確認できた。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** バイオマス、ナノセルロース、LCA

**【研究題目】** 農林系廃棄物を用いたハイブリッドバイオマスフィラー製造および複合材料開発

**【研究代表者】** 遠藤 貴士 (バイオマスリファイナリー研究センター)

**【研究担当者】** 遠藤 貴士、岩本 伸一郎  
(常勤職員2名)

**【研究内容】**

本テーマは、農林系廃棄物を高付加価値化する技術開発として、もみ殻が含有しているシリカ成分を林地残材等の森林バイオマス系廃棄物から製造したバイオマスフィラーとハイブリット化させることにより、樹脂補強用素材として利用できるハイブリッドバイオマスフィラー製造技術の開発を目標としている。研究開発では、林地残材等の森林バイオマス系廃棄物から、微細繊維状のバイオマスフィラーを効率的かつ経済的に製造する技術およびもみ殻由来シリカを用いて、バイオマスフィラー表

面を改質し、ハイブリッド化する技術を開発する。さらに、得られたハイブリッドバイオマスフィラーを用いて、プラスチック製品に応用しやすいマスターバッチ製造を進める。

本年度は、枝葉幹等の林地残材構成成分をそれぞれ湿式粉碎処理し、バイオマスフィラー製造効率への影響を評価した。その結果、枝が最も製造効率が高いことが示された。また、林地残材の予備粉碎のバイオマスフィラー製造への影響を評価した結果、効率的に製造するためには、0.25mm程度以下へ粗粉碎することが効果的であることが示された。また、もみ殻を原料にして、湿式微粉碎処理により、幅500nm以下でもみ殻由来シリカが表面に分散・固着したバイオマスフィラーが製造できることを明らかにした。モデル試験により、水熱処理によりケイ酸カルシウム結晶で被覆されたハイブリッドバイオマスフィラーが製造できる条件を構築した。また、マスターバッチ製造に適した酸変性樹脂種、混練温度・脱気条件、および装置運転条件を明らかにすることができ、ハイブリッドバイオマスフィラーを用いたマスターバッチの実際の生産条件を構築することができた。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 農林系廃棄物、バイオマスフィラー、もみ殻

**【研究題目】** インビボ評価(病理学的解析)「がん超早期診断・治療機器の総合研究開発/超早期高精度診断システムの研究開発:画像診断システムの研究開発/がんの性状をとらえる分子プローブ

**【研究代表者】** 池原 譲 (バイオメディカル研究部門)

**【研究担当者】** 池原 譲、山口 高志、池原 早苗、橋本 美香 (常勤職員1名、他4名)

**【研究内容】**

本研究課題は、NEDOの実施する「がん超早期診断・治療機器の総合研究開発、超早期高精度診断システムの開発」から、「がんの性状をとらえる分子プローブ等の研究開発」について京都大学からの委託として実施している。研究開発において産総研は、インビボ解析を担当し、がんの発生や病態、進展のメカニズムに基づいて開発された分子プローブの評価を実施している。

開発目標は、標的とするがん種に応じて効率的な確定診断を下しうる分子プローブカクテルを完成し、マルチモダリティイメージングを可能とする画像診断機器と組み合わせ、診断と治療が一体化され、効果的・促進的な診療を実現する事である。そして開発では、がんの発生と進展のメカニズムにおける理解に即し、治療効果の向上や治療法の絞込みを実現する。一連の活動により、医療経済的にも最適な状況を実現することを目標としている。

産総研は、膵臓がんを主たる対象疾患に開発の進めら

れているプローブの有効性評価を担当してきた。プローブの開発・改良に使用するために確立を進めてきたモデル動物等評価系の確立を達成した。ターゲット PET 検査で利用可能になる新たな標的候補分子の探索を進め、有望な候補プローブの開発を進めた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 疾患モデル動物、膵臓がん、PET 検査

【研究題目】 生理活性物質特定と作用メカニズム解析による生産プロセスの最適化と発酵産物高機能化に寄与する技術開発

【研究代表者】 浅田 真弘

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 浅田 真弘 (常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

現在市販されている動物用リゾープス菌発酵産物をヒト用健康補助食品 (サプリメント) に転換することを目指している。オミックス解析による生理活性物質特定や機能解明を行い、その成果をもとに生産プロセスを改良し、高機能化と安全性・有効性を担保できる製造技術を確立することを目標としている。

産総研においては、当該発酵産物が含有する生理活性脂肪酸等を特定し、評価方法を確立するための解析と検討を進め、その定量法、活性評価法を提案することができた。これをもとに、安全性評価及び品質管理の方法の確立が期待される。また、マウス個体や培養細胞を用いた評価試験系の整備を行い、タンパク質レベル、遺伝子発現レベルで細胞内シグナルの惹起を検出する基盤技術開発を行った。これにより、分子レベルでの機能評価を行うことが可能となり、当該発酵産物の効能に科学的根拠を付与することが期待される。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 生理活性物質、発酵、高機能化

【研究題目】 食シグナルの認知科学の新展開と脳を活性化する次世代機能性食品開発へのブランドデザイン

【研究代表者】 辻 典子 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 辻 典子、佐藤 亜実  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

「乳酸菌による消化管免疫と脳神経の活性化」を解明する研究の初年度であり、腸管細胞 (免疫、内分泌細胞など) の調製、解析方法を確立することを目的とした。また、乳酸菌は小腸の主要な常在細菌であり、かつ発酵食品にも多く含まれているため、乳酸菌が小腸を介して免疫と脳神経の活性増進機能に及ぼす影響を明らかにすることをプロジェクト期間を通じての目標とする。

腸管の EDTA およびコラゲナーゼ処理による単細胞分散液を得、さらにフローサイトメトリーを用いて樹状

細胞、T 細胞分画を分離する方法を確立した。また、小腸上皮中の抗菌ペプチド分泌細胞、ホルモン分泌細胞などの観察に必須である小腸上皮エンテロイド培養方法を導入した。また、神経細胞特異的な活性化を観察するツール開発の準備段階として、免疫細胞 (B 細胞) の活性化を評価可能なバイオセンサーマウスを確立した (東京医科歯科大学 安達貴弘博士との共同研究)。

小腸の主要な腸内細菌である乳酸菌からの免疫シグナルにより、抗炎症機能が高まることを以前の研究で示している。T 細胞におけるその詳細な変化をモニターするため、Foxp3-GFP を遺伝子導入したマウスに乳酸菌を経口投与した群と生理食塩水を経口投与した対照群を設定した。それぞれの群の脾臓および小腸パイエル板細胞より調製した CD4陽性細胞をさらに制御性 T 細胞 (Foxp3陽性) とそれ以外のエフェクター細胞に分画し、抗炎症機能に関連する分子群の発現解析を行った。興味深いことに、乳酸菌を経口投与した小腸パイエル板の制御性 T 細胞群のみに、CTLA-4、Blimp-1など抗炎症機能に重要な分子の発現が増強していることが認められた。これらのパイロット試験から、乳酸菌の経口投与により変動する免疫細胞の分画とそれぞれの機能をモニターする方法が確立された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 乳酸菌、腸管免疫、食シグナル

【研究題目】 研究成果展開事業「先端計測分析技術・機器開発プログラム」微弱発光標準光源開発による発光蛍光計測定量化

【研究代表者】 近江谷 克裕

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 近江谷 克裕、三谷 恭雄、石堂 智美  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

微弱発光標準光源によって実現する定量病理学を確立するため、昨年度作製した発光タンパク質をベースとした各種病理診断用抗体と融合させた3つの医療診断プローブを用いて匿名化されたヒト由来肺がんや乳がんなどの病理標本の可視化、定量化を試みる。作成されたプローブの発光特性を定量計測し、成績証明書用に評価結果の文書化を行うことを目標とする。これまでに、ウミホタルルシフェラーゼを、植物タバコ細胞を利用して生産することで、従来のカイコを利用した系に対して10倍以上、高活性の単一なタンパク質を得ることに成功した。本年度は、作製した病理診断用プローブを用いて病理標本の病態部位を可視化、定量化を試みた。より具体的には病理診断プローブとしてウミホタルルシフェラーゼをビオチン化、病理診断用の抗体と融合させる条件の最適化を実施した。また開発中の微弱発光標準光源で校正したイメージング装置を用い、作成した医療診断プローブを実際の病理組織切片を用いて評価した。これまで、ウ



ミホタルシフェラーゼをビオチン化後、活性の低下がみられたが、一部、不均一なウミホタルシフェラーゼが混在するためであることが判明、均一なシフェラーゼを再精製することでビオチン化条件を最適化した。続いて、抗体と融合させた病理診断プローブを作成し、実際の病理組織切片で評価を行った。その結果、病理切片上で抗原・抗体反応により病態部位を可視化できるが、バックグラウンドが高かったり、シグナルが弱かったりと成績証明書用の評価結果を文書化できるレベルのプローブでないことが判明した。現在、抗体とビオチン化シフェラーゼの融合条件の最適化を検討中である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ルシフェラーゼ、ルシフェリン、病理診断

【研究題目】 平成25年度課題解決型医療機器の開発・改良に向けた病院・企業間の連携支援事業（ふじのくに先端医療総合特区）  
—高生体適合性(カスタムメイド)インプラントの上市を目指した研究開発—

【研究代表者】 岡崎 義光（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 岡崎 義光、有田 千成子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

整形外科分野のインプラントについては、医療現場において、「欧米の骨格構造に基づいて設計された海外製品が主に使われ、日本人の骨格構造には必ずしも合わないため患者にとって身体的負担（骨を削る等）が大きいこと」及び「生体毒性を含んだ工業用材料が転用されるなど長期間の生体適合性が必ずしも十分ではない」といった課題が生じている。この課題を解決するために、チタン合金を用いた生体適合性が良好で患者の体型に最適化したカスタムメイドインプラントの研究開発を実施した。既承認品と同程度の価格でカスタムメイド製品の上市を目指し、Ta量を少なくした高生体適合性Ti-15Zr-4Nb合金を製造するための低コスト溶製技術を検討した。カスタムメイドインプラントの上市のためには、設計・製造技術に加えて品質保証と量産体制の確立が必要となるため、量産体制に必要な技術を検討した。高生体適合性Ti-15Zr-4Nb-4Ta合金を低コストで上市するため、Ta量を最小量にし、組織解析、室温引張り試験、疲労試験等の力学特性解析を実施し、既承認材料に比べて優れた特性を示すことがわかった。大腿骨システムに関しては、型鍛造による製造条件を検討し鍛造することに成功した。骨組織再生を促進するための表面処理としては、簡単でしかも使用実績が増加傾向にあるため、中心線平均粗さRa=5μmのブラスト処理技術を開発した。ブラスト処理された人工関節用ステムの耐久限は、平均体重使用の3倍以上であった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 整形インプラント、カスタム化、耐久性

【研究題目】 「神経・血管温存下に最大限の病変摘出を行う手術用治療器（パルスウォータージェットメス）の開発」における物性値データ解析

【研究代表者】 富永 悌二（東北大学）

【研究担当者】 鷺尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
富永 悌二、中川 敦寛、園田 順彦、  
藤村 幹、岩崎 真樹、遠藤 俊毅、  
齋藤 竜太、川口 奉洋、大谷 清伸、  
遠藤 英徳（以上、東北大学）、  
清水 宏明（秋田大学）  
（常勤職員1名、他11名）

【研究内容】

既に行われている力学試験結果を再解析し、機器性能（ジェット強度）と臨床における有用性（手術目的である患部の完全摘出またはQOLを向上させるための部分摘出を医師が容易に行える）を、非臨床データで可能な限り裏付けることに取り組んだ。解析対象である実験データは、生体組織から採取したものであり定型な加工工具で採取しても試験前に変形を生じている。また、本来工業材料に適用される試験法を転用しているため、実測データを補正する必要がある（標点のズレ）。ここでは、固体差を加味した補正を行うため、各試料に対し有限要素解析モデルを作成し、

- 1) 実測データについて、生体組織の数式モデルにogdenモデルを使用し、データフィットした。この際、荷重及び伸びについて、データを実数倍に補正した25パターンのデータを作成して夫々に対して係数を求めた。
- 2) 作成した個々の試料形状を用いた有限要素モデルに対し、夫々の補正データから得た係数を入力し、実験と同じ条件で引張の解析を行った。
- 3) 有限要素解析から得られた荷重変位曲線と、補正したデータを夫々比較し、最も一致している補正データから得た係数を、試料の物性とした。

の手順で解析を行った。上記の手法を破断強度についても行った。

実際の臨床使用における術者のアンケートから、組織物性に関するコメントをテキストマイニングし、上記の情報に有用か検証した。テキストマイニングした結果は、物性の違いは単純な2極（硬いか軟らかいか）に分類されるか、特定構造の場合（膜組織）にのみ物性を絡めたコメントがなされているか、のいずれかであった。また、医師のコメントと実際の手術結果である摘出率の関係については、個々の手術で目的が異なり（完全摘出か、QOL改善の部分摘出か）、他の手術機器との併用である

ことから、明瞭な相関（機器に対する好意的なコメントが多ければ、摘出率が向上する）は見いだせなかった。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 生体組織、力学特性、数値計算モデル

【研究 題目】 平成26年度高機能 JIS 等整備事業：安全・安心な社会形成に資する JIS 開発「アクセシブルデザイン（AD）に関する JIS 開発」

【研究代表者】 赤松 幹之（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 赤松 幹之、倉片 憲治、伊藤 納奈、大山 潤爾、佐川 賢（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、横井 孝志（日本女子大学）  
（常勤職員4名、他2名）

【研究 内容】

本事業では、ISO/IEC Guide 71改訂版をさらに発展させ、アクセシブルデザイン（AD）技術の体系化及び認証に必要な JIS 群の開発を目的とする。

平成26年度の実績は以下のとおりである。（1）ISO/IEC Guide 71改訂版の発行を受けて、対応 JIS である JIS Z 8071「高齢者及び障害者に対応した規格作成配慮指針」の改正原案の作成に協力した。（2）「高齢者・障害者配慮設計指針－視覚障害者にも使いやすい取扱説明書の作成指針」の JIS 原案作成に必要な資料を得るために、消費生活用製品等の現在の取扱説明書について、視覚障害者を対象とした調査を行った。具体的には、現在の取扱説明書の利用上の問題点、改善に向けた要望等を探るためのインタビュー調査を全盲又はロービジョンの障害者を対象に行い、今後標準化すべき技術的要求事項の分析・検討を行った。（3）JIS S 0012「高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活製品の操作性」の改正原案作成に必要な既存 JIS の調査等を行った。（4）「高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活用製品のアクセシブルデザイン使用性評価」に関する JIS 原案作成のために、アクセシビリティの観点を導入することで AD 認証の対象となりうる既存 JIS の調査等に協力した。

平成27年度以降は、これらの成果をもとに、個々の JIS 原案の作成作業を進めていく予定である。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 高齢者・障害者配慮、JIS、認証

【研究 題目】 超音波画像装置の試作開発

【研究代表者】 永田 可彦（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 永田 可彦（常勤職員1名）

【研究 内容】

超音波画像測定法は非侵襲で身体内部を観察できる有

用な技術であるが、「大型で可搬性に劣り、コスト的にも高価であること」及び「装置の操作性や患部、症状の画像判別に特別な教育や経験、習熟が必要であること」を改良する必要がある。特に「リンパ浮腫については皮下組織硬度の判定」が課題となっている。

そこで本開発では、軽量小型かつ簡易に測定可能な皮下組織硬度計測機能をもつ超音波画像装置を試作し、リンパ浮腫組織をモデル化したシミュレーションと超音波ファントム実験を行うことで、皮下組織超音波画像装置における画像解析技術及び硬度推定技術の改良に資するデータを提供する。

平成26年度は、リンパ浮腫4症例について、試作装置と市販されている超音波画像診断装置を用いて荷重付加による脂肪厚の変化の測定を行った。まず試作装置について、荷重を付加する前の脂肪厚  $t_0$  に対する荷重付加時の脂肪厚  $t_L$  の変化をひずみ率  $(t_0 - t_L)/t_0$  として、関係について検討した。その結果、全ての測定について荷重の付加によってひずみ率は大きくなるが、ひずみ率の変化は徐々に小さくなることが分かった。また測定データに対する近似曲線  $y=a(1-bx)$  を計算し、正規化した残差平方和に対する補正  $R^2$  の関係を求めた。補正  $R^2$  の値が大きいほど近似曲線と測定データの相関が高く、近似式が妥当であることが分かった。試作装置の1例を除いて補正  $R^2$  が0.7を上回り高い相関を示した。試作装置の1例では補正  $R^2$  が0.6に近く、他の測定の傾向と異なっている。同時に残差平方和も大きく、測定データのバラツキがあることが分かる。この1例のひずみ率データを確認したところ、100gf 未満の低い荷重領域で荷重が増えているにもかかわらず脂肪厚が増えるなど測定誤差が大きく、この影響が表れたものと思われる。試作装置では、この1例を除いて概ね市販装置と同等の結果が得られた。確認のため近似曲線  $y=a(1-bx)$  の傾きが一定値を超える位置を求めた。試作装置で測定した1例を除き、ひずみ率に違いはあるものの、ほぼ一定の荷重で曲線が立ち上がる、つまり曲線の傾きが一定値を超えることが分かった。これらのことから、脂肪厚を測定するという点においては、試作装置と市販装置との間に大きな違いはないことが分かった。しかしながら、異なる傾向を持った例があり、低い荷重における精度の確保を検討する必要があると思われる。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 リンパ浮腫、生体組織、厚、ヤング率、超音波

【研究 題目】 「金属系構造材料の高性能化のためのマルチスケール組織設計・評価手法の開発」の研究推進

【研究代表者】 香山 正憲（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】 香山 正憲、田中 真悟、

Vikas Sharma (常勤職員2名、他1名)

**【研究内容】**

実用材料の特性を支配する微細構造(析出相、粒界、転位などの集合体)の構造や性質、力学挙動を、大規模第一原理計算により、原子・電子の挙動から解明し、乱れた原子配列や合金成分、各種添加物の効果を探るとともに、Phase Field法などメゾスケールの計算技術と繋ぐことで、マルチスケールの組織設計・特性評価技術を構築する。また、計算材料科学分野における高性能汎用計算機の活用のための各種計算技術の構築・融合・普及を推進し、計算材料科学技術推進体制の構築を支援し、プロジェクト全体の戦略目標の達成に貢献する。

今年度は、第一に、前年度までに求めた鉄鋼材料中のFe/析出相界面の部分整合構造について、界面の水素捕獲の大規模第一原理計算をOpenMXコードで進めた。析出相との界面が水素を捕獲することで粒界の水素脆化を防ぐ効果を検証する目的である。格子不整合による界面の各種サイトで安定性が異なることが判明した。Fe/析出相界面について、併せてQMASコードを用いて界面近傍の応力やエネルギー分布の精密解析を進めた。第二に、前年度に引き続き、鉄鋼材料中の転位芯構造のOpenMXによる大規模第一原理計算を進めた。合金成分や添加元素として鉄鋼に用いられるSiなどのsp元素や一連の遷移金属について、それらの原子とらせん転位芯との相互作用を高精度に求めた。その結果、転位芯と強い相互作用がある元素は、実験的にも転位をトラップして強度増加の効果が大きいこと、sp元素は遷移金属と異なり、転位芯移動のエネルギー障壁を変化させる効果があること等が判明した。第三に、第一原理計算とPhase Field法の連携について、理論的・計算技術的な検討をさらに進めた。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 大規模第一原理計算、次世代スパコン、異相界面、転位

**【研究題目】** 「京都大学 構造材料元素戦略研究拠点」構造材料の粒界・欠陥の基礎物性の第一原理計算

**【研究代表者】** 香山 正憲 (ユビキタスエネルギー研究部門)

**【研究担当者】** 香山 正憲、田中 真悟 (常勤職員2名)

**【研究内容】**

耐熱材料や構造材料の特性は、結晶粒界や界面、欠陥の構造とエネルギー、諸性質に大きく支配される。特に、粒界・界面・欠陥の応力下での挙動の理解が重要である。本研究課題では、まず、こうした粒界・界面・欠陥の構造や安定性、諸性質、応力下での挙動を、第一原理計算を用いて高精度に解明するための方法論、手法を検討する。とりわけ、威力を発揮すると期待される「局所エネ

ルギー・局所応力の解析法」の整備とその適用方法の検討を進める。

今年度は、前年度までに開発した同手法を用いて、Fe粒界へのSi偏析とそれによる界面弾性定数変化の解析、Fe-Si合金系の局所弾性定数変化の解析を進めた。Fe粒界のSi偏析では、Fe粒界の原子サイトの環境(圧縮的か引張的か)により偏析利得の機構が異なること、圧縮的なサイトへの偏析の場合、強固なFe-Si結合により界面の弾性的性質の低下が抑えられること等が判明した。また、Fe-Si合金系の局所弾性定数計算は、局所応力変化から局所体積弾性率を計算するもので、局所的な結合の強さの情報が得られる。Fe-Si合金モデルの平均の体積弾性率計算では、Si濃度を増やすと実験と同様に10%程度までは弾性率が下がり軟化するが、それを超えると逆に上昇し硬化する。局所体積弾性率の計算から、Si濃度に依存したFe-Siクラスター間の接続や連結の仕方が弾性定数変化を支配することが判明した。以上のように「局所エネルギー・局所応力の解析法」を用いることで、粒界偏析や合金の弾性的性質変化の機構についての新規の物理描像が得られた。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 第一原理計算、粒界・界面、局所エネルギー、局所応力

**【研究題目】** ダイヤモンド金属-半導体電界効果トランジスタ(MESFET)の開発

**【研究代表者】** 鹿田 真一 (ユビキタスエネルギー研究部門)

**【研究担当者】** 鹿田 真一、梅澤 仁、坪内 信輝、渡邊 幸志 (常勤職員4名、他2名)

**【研究内容】**

過酷事故環境へ適用可能な基盤技術として革新的原子炉システムの安全性・信頼性強化に資するため、耐熱・耐放射線性(X線、γ線、中性子線)にすぐれた前置増幅器用ダイヤモンド電界効果トランジスタを開発することを目標とした研究を分担している。

研究計画全体は、①バルク結晶、電気特性評価用基本的電子デバイスに対するX線、γ線、中性子照射による放射線照射実験、②エリアモニターならびにCAMS用γ線検出器の開発、③前置増幅器用金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタ(MISFET)及び金属-半導体電界効果トランジスタ(MESFET)の開発、④ダイヤモンドFETをもちいた前置増幅器の検討からなり、当機関では③のMESFETを研究主体として遂行し、①の支援研究を実施している。

今年度は、ダイヤモンド薄膜の耐放射線性を評価するため、p型ダイヤモンド薄膜試料を合成し、X線照射前後における試料の結晶性および電気伝導特性について評価を行い3MGyまでの照射におけるホール効果測定で、優位差が見られないことを確認実証した。擬似縦型構造

および縦型構造ショットキーダイオードを基本素子として、同様に X 線照射前後における特性の変動を評価して放射線耐性を確認した。3MGy 照射後一部の素子でもれ電流が1~3桁程度上昇していることがわかった。表面リークパスの形成などが原因として考えられる。ただし、絶縁破壊電圧には優位差が獲られていない。過酷事故環境下の高温状態にあって、動作する放射線モニタ用信号増幅回路を試作するため、コルビノ型 MESFET を試作した。試作した MESFET は500°Cの高温でも安定に動作することが分かった。

【分野名】環境エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、耐放射線、トランジスタ

#### 【研究題目】車載蓄電池の性能評価手法の技術開発

【研究代表者】小林 弘典（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】小林 弘典、鹿野 昌弘、小池 伸二、奥村 豊旗、廣瀬 道夫、松本 勝、木坂 和正、和合 由美子、森 里織、山口 洋一、山野 由美子、鈴木 友美、古谷 恭代、平井 順、名倉 規代、中島 美幸（常勤職員4名、他12名）

#### 【研究内容】

管理下走行試験および走行を模擬した電池単体の加速劣化試験によって劣化した車載蓄電池について内部分析を行い、電池構成材料を直接調べることで劣化要因を解明することを目的とする。

今年度は、「走行試験および電池単体の加速劣化試験により作製した劣化電池の内部分析を行い、電池の種類・使用条件の違いによる劣化モードや劣化要因の違いを明らかにする。また、JARI が車載蓄電池単体の走行模擬試験により取得した電気化学データを用いて、電池単体での将来の残存性能評価手法を開発する。」こと等を研究開発目標として実施した。残存性能評価手法の妥当性を材料面から検証するため、車載蓄電池単セル及び18650型円筒電池を用いた電池試験及び解体試験の実施に加え、電極材料の劣化状態評価指標としての放射光等を利用した定量分析手法の精度向上について検討した。車載蓄電池単セルの寿命試験結果から、特性低下の主要因は温度であることを明らかにし、ルート則に基づく単セルの余寿命推定式を導出した。また、18650型円筒電池を用いた電池試験をすることで、電池特性の劣化メカニズムを検証した。JARI での管理下走行車両に搭載の車載蓄電池単セルの走行試験終了後の電池特性について解体試験も含めた比較検討をした結果、車載蓄電池単セルで導出された残存性能評価手法が妥当であることが確認できた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】車載蓄電池、残存性能評価、解体試験、量子ビーム

#### 【研究題目】定置用リチウムイオン二次電池の安全性評価技術等の開発

【研究代表者】小林 弘典（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】小林 弘典、小池 伸二、鹿野 昌弘、永井 功、松島 壽一（常勤職員4名、他1名）

#### 【研究内容】

本研究開発では、定置用リチウムイオン電池に係る国際標準の検討に対応した安全性試験等の試験方法の開発及び第三者認証の構築を視野に入れた試験方法の開発に資するために、耐熱焼試験に適用可能な単電池熱暴走方法の開発および製造直後の電池を評価する事で電池のライフサイクルにおける安全性評価を代表することが可能であるかを検証することを目的とする。

今年度は、「耐熱焼試験用単電池熱暴走方法の開発」と共に、「長期的な電池性能・安全性の評価と検証」を合わせて実施した。「耐熱焼試験用単電池熱暴走方法の開発」では加熱により今回検討した10種類全ての定置用リチウムイオン単電池で熱暴走を発生させる事が可能であり、一部熱暴走に至らない電池系があるものの、簡便な手法である釘刺しも合わせて2つの手法を耐熱焼試験用単電池熱暴走方法として案出した。「長期的な電池性能・安全性の評価と検証」では高温、充放電により電池容量の低下、内部抵抗の上昇（出力低下）が促進される事を検証したが、加速度合いは電池系ごとに異なるため個別に確認する必要があることが確認された。また、劣化電池の安全性については未使用電池と同様に、標準で規定される熱濫用試験に合格する事がわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】定置用リチウムイオン電池、第三者認証、安全性試験

#### 【研究題目】微燃性冷媒の燃焼爆発影響評価

【研究代表者】緒方 雄二（安全科学研究部門）

【研究担当者】緒方 雄二、匂坂 正幸、和田 有司、佐分利 禎、久保田 士郎、椎名 拓海、牧野 良次、高橋 明文、松木 亮、中山 良男、松村 知治、若林 邦彦、杉山 勇太、金山 正明、橋本 進吾（常勤職員13名、他2名）

#### 【研究内容】

地球温暖化対策として従来の空調機器用に用いられてきた冷媒の規制が進む一方、地球温暖化係数にすぐれた新規代替冷媒への転換を促進させることが重要課題となっている。ジフルオロメタン（R32、 $\text{CH}_2\text{F}_2$ ）や2,3,3,3-テトラフルオロプロパン（R1234yf、 $\text{CH}_2=\text{CF}_2\text{CF}_3$ ）、1,3,3,3-テトラフルオロプロパン（R1234ze（E）、 $\text{CHF}=\text{CHCF}_3$ ）は地球温暖化係数が低く、オゾン破壊係数もゼロであることから次世代の冷

媒として期待されている。しかし、これらの冷媒はわずかな燃焼性（微燃性）を有しているため、実用的に利用促進をはかるには事故等で漏洩した場合のリスクを評価し、適切に利用するための基準を定めることが重要課題となっている。本研究では、微燃性冷媒の基本的な燃焼特性を評価し、事故シナリオに基づいた被害の影響度を評価可能にすることで微燃性冷媒のリスク評価に資することを目的としている。

本年度は R32と R1234yf の他、R1234ze (E) を評価対象に加え、遅い燃焼速度による浮力の影響を検討可能な大容量の球形燃焼容器を用いた燃焼実験により爆発影響評価を行った。R1234ze は標準状態では不燃であるが、昇温・加湿条件下では燃焼性を示すようになるため、高温・多湿となる日本の気候を考慮し、昇温・湿潤条件下での火炎速度、燃焼速度、爆発強度指数 ( $K_G$  値) 等の燃焼特性を評価した。爆発強度影響評価として、一般的な部屋で隙間の存在による圧力低減効果を爆発放散口設計の考えに基づいて検討し、放散口面積と緩和圧力の関係について実験的に評価した。立方体燃焼容器内で一定量の冷媒を漏洩させ、放散口形状を変えながら着火燃焼時の容器内圧力や温度変化計測、燃焼挙動観察等を行い、爆発強度の低減効果を評価するためのデータを取得した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】地球温暖化、新規代替冷媒、オゾン破壊、微燃性冷媒、一般高圧ガス保安、冷凍保安、リスク評価、火炎伝播速度、燃焼速度、爆発強度指数、爆発威力評価

【研究題目】プラットフォーム化を目指した日常行動に関わる LCA データの整備と教材開発—家事行動に関する算定ツールの開発—

【研究代表者】田原 聖隆（安全科学研究部門）

【研究担当者】田原 聖隆、藤井 千陽、高田 亜佐子、横田 真輝（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

家庭部門における環境負荷削減のために、市民の環境意識の向上、環境負荷の少ない行動への転換が求められている。家庭部門に由来する環境負荷削減のために、政府が「チャレンジ25キャンペーン」を掲げ環境負荷の少ないライフスタイルを提案したり、行政や企業等が環境家計簿を配布し各人の生活から排出される環境負荷の見える化を実施しているものの、いまだ国民的な広がりは見られない。より多くの市民が環境負荷削減に取り組めるような施策が必要である。このような背景の中でプロジェクト全体では、環境教育に利する魅力的な教材やツールを社会に効率的に提供していくために、専門家に限らず幅広い開発主体が容易に使用できるインターフェース (API) を装備した、日常行動に関わる、きめ細やかかつ科学的信頼性の高い LCA データベースの整備を研究目的に掲げている。本サブテーマでは、LCA デー

タベースの整備を担当し、家事行動に関する環境負荷算定ツールの開発を目指している。本年度は、以下を実施した。

①行動分類の見直しと拡充

行動の分類表を精査し、社会生活基本調査を参考にしている大分類と中分類及び小分類に加え、汎用性を高めるために細分類、細々分類及び詳細分類を拡充した。行動は多種多様でありすべての行動について環境負荷情報を提供することは難しいことから、小分類までは網羅的に分類化されているが、代表的な行動を抽出した。さらに「食事を食べる」と「食事を用意する」のように連続する行動に関しては、たとえば、「洋朝食を食べる」「目玉焼きを食べる」を分類に入れた場合は「洋朝食を用意する」「目玉焼きを用意する」という行動分類を準備し、円滑に環境負荷が算出出来るようにした。

②対象行動の環境負荷算定方法の検討

対象行動の評価に必要な算定方法を、ケーススタディを実施して見直しを行った。対象行動に特有であると思われる使用製品の配分が可能で、さらに行動に伴う製品・サービスの使用関連がある負荷を考慮可能な算定方法とした。洋朝食を食べるという行動を例とした算定方法の概略を示した。ポイントを次に示した。①バックグラウンドデータとして網羅性がある IDEA を使用している。②複数回使用する製品、食器等は1回当たりの環境負荷を計上する必要があるため、寿命等を考慮して計上できるように使用 DB を作成した。③食器等は洗う行動との関連性が高いので、食器に洗う行動をセットで計上できるように使用 DB を作成した。④食事はパターンが多いためレシピ DB として管理した。⑤対象とする行動に入力する行動等は必ずしも1単位入力されるわけではないので、行動に対応した値を入力できるように行動 DB を作成した。

③算定に必要な LCA データの整備

②での環境負荷算定方法に基づいて計算が可能なデータベースを、効率的な構成を考慮しながら作成した。使用製品 DB と調理 DB 及び行動 DB を作成し、3者の連動による行動用 LCA データベースを構築した。使用製品 DB には、製品の寿命やユーティリティ使用量及び使用する製品と関連が強い行動（洗濯や食器洗い等）の情報を格納している。調理 DB には食材の種類と量や、使用する調理器具及びエネルギー消費量等の情報を格納している。行動 DB は使用製品 DB と調理 DB と IDEA (Inventory Database for Environmental Analysis) と連結していて、行動に必要な項目と入力量の情報を格納している。各データは月々の光熱費等のマクロデータと確認を行うことで妥当性を確認しながら作成した。

④算定

行動に関係する各要素の環境負荷を提示することによって、対象となる行動の環境負荷に何が影響しているのか確認ができた。また、使用財を他に代替した場合の影

響を数値的に確認することができた。これにより、LCTが養えることが期待される。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 消費行動、環境教育、環境負荷削減、LCAデータベース

〔研究題目〕 事故リスク評価検討調査－平成26年度現場保安力維持向上基盤強化事業（現場保安力維持・向上に向けた調査・分析）－

〔研究代表者〕 和田 有司（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 和田 有司、牧野 良次、若倉 正英、中島 農夫男、松倉 邦夫、伊藤 貴子、河辺 圭美、鈴木 真紀（常勤職員2名、他6名）

〔研究内容〕

海外において過去に発生した重大事故として、米国CSB（U.S. Chemical Safety Board：米国化学品安全性委員会）から詳細な事故調査報告書が公開されている事例、国内事例についても過去発生した重大事故事例を選択し、これらの事例に対して、産総研が開発した「事故分析手法 PFA<sup>®</sup>」を用いて、事故の進展過程とそこから抽出される原因の分析を行い、事故進展フロー図の様式にまとめた。さらに、個々に抽出された原因と評価項目との関連性を分析し、事故に大きく関わる評価項目を明らかにした。

抽出されたそれぞれの事故の個々の原因と安全文化評価項目を中心とする保安力評価項目との関連性を分析した結果、保安力評価項目のいくつかの項目が共通的な事故の発生要因と関連性があることが示された。これらの保安力評価項目に関しては、事故の発生に対して影響が大きな評価項目として、保安力評価の際に一定の重み付けをして評価を行うことを検討する必要がある。さらに、これらの保安力評価項目について、現場保安力の要素マトリクスとの関連性を分析し、事故の共通的な発生要因の改善の提案のための知見を得ることができた。

また、イベントスタディと呼ばれる統計的手法を用いて、1995年から2005年までに発生した主に化学産業での事故43件を対象として事故が企業価値に及ぼす影響を定量化した。事故後3日目までの株価上昇率は、もし事故が発生しなかったら実現していたであろうと予測される株価上昇率と比較して平均でおよそ1.3%下回っていた。さらに、1990年以降の設備への被害が比較的大きかった事故を対象に、売上総利益、売上高、売上原価の事故前後の動きを調べた結果、事故の財務パフォーマンスへの影響は売上総利益によって測るのがよいと思われた。化学産業に属する上場131社について、2002年から2012年までの財務データおよび事故データを用いて統計分析を行った。平均して、事故は、当年の売上総利益を13億円程度減少させる効果があったことが分かっ

た。上記のような分析により、事故が企業経営にもたらす損害を定量化するひとつの方法を提案した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 現場保安力、保安力評価、安全文化、安全基盤、リレーショナル化学災害データベース（RISCAD）、事故分析手法PFA、事故進展フロー図、良好事例、経済性分析、イベントスタディ、企業価値、株価上昇率、売上総利益、売上高、売上原価、費用便益分析、直接被害、間接被害

〔研究題目〕 平成26年度グリーン貢献量認証制度等基盤整備事業（持続可能なLCAデータベース運営に向けた調査・検討事業）におけるデータ整備試行検討等業務

〔研究代表者〕 田原 聖隆（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 田原 聖隆、村松 良二、松林 芳輝、横田 真輝（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

LCAデータベースは、単位プロセス（個々の工程における物質・エネルギー等の入出力情報）の連結により構成されている。しかし、単位プロセスの連結方法の違いにより同じ単位プロセスのデータであっても異なった結果が得られるので、連結には最善の注意を払って実施していかなければならない。データの連結は、個々の単位プロセスで実際に投入している材料を製造する単位プロセスデータに連結できることが理想である。しかしながら、すべての投入材料のデータの整備は難しく、実務においては既存のデータベースと連結を行う。

既存のデータベースは大きく、産業連関表を用いた産業連関表分析型データベース（I-O型データベース）と個々のデータを積み上げた、積み上げ型データベースがある。I-O型はすべての産業活動を網羅しているので連結できないということはないが、我が国の産業を400程度に分類しており、今回の目的である積み上げ型で構築された工業会等のデータとの連結には不向きである。そこで本事業は、積み上げ型データベースであり農工業製品が網羅されているIDEAを連結する主なデータベースとして作業を進め、我が国のLCAデータベースとして適切な各単位プロセスの連結方法を検討した。具体的には、LCA日本フォーラムデータ（JLCAデータ）とIDEAデータを連結し、妥当性のある算定結果を得るために、JLCAデータの入出力情報をCFPのデータ検証基準等を参考に評価し、入出力情報が適正であるかを確認した。次にJLCAデータまたはIDEAデータを上流連結するために問題となる事柄を抽出して連結方法の試行を実施した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 インベントリデータ、データベース、

工業プロセス

**【研究題目】事業者の自主的リスク評価・管理を支援する環境リスク評価ツールの開発**

**【研究代表者】** 林 彬勲（安全科学研究部門）

**【研究担当者】** 林 彬勲、内藤 航、加茂 将史、荻上 礼子（常勤職員3名、他1名）

**【研究内容】**

化学物質の生態リスク評価には、高度な専門知識と、情報の収集・解析に要する膨大な時間と労力が要求される。さらに、リスク評価手法は近年急速に発展しており、既存の個体レベルでの影響から、より生態学的に関連の深い、種の感受性分布（SSD）や個体群影響を評価するよう変わりつつあるため、非専門家にはますます敷居の高いものとなっている。このような現状を打破するには、専門家による簡易リスク評価管理ツールの開発・提供が望まれるが、国内外においてこうしたツールはまだ開発されていない。

本研究では、すべての科学的なリスク評価手法と評価に必要とされる化学物質の有害性データを搭載したユーザーフレンドリーな「汎用生態リスク評価管理ツール AIST-MeRAM」を開発し、特に事業者の自主的リスク評価管理を支援することを目標としている。2013年度までに、すべての評価手法とデータを搭載し、化審法スクリーニング評価&1次リスク評価に対応可能、かつユーザーレベルや評価目的に応じた使い分け可能な「一括評価」「初期評価」「詳細評価」機能を搭載したスタンドアロン版 AIST-MeRAM 0.9.12を作成し公開した。また、AIST-MeRAM の活用促進のため、AIST-MeRAM の専用 WEB ページ (<http://meram.aist-riss.jp/>) を作成し公開した。2014年度では、日本語版 AIST-MeRAM 0.9.12の機能改善と完成度向上、搭載データ補充等、ツールの実用化・機能充実化を中心とした開発作業を行い、日本語版のバージョンアップグレード版（1.0.1）を公開した。同時に、化学工業界の国際事業展開や化審法のアジア展開を支援するため、「英語版 AIST-MeRAM1.0.0」を作成し、英語の専用 WEB ページ (<http://en-meram.aist-riss.jp/>) も合わせて公開した。2015年度には、ツールのさらなる完成度向上を目指し、リスク評価の結果に基づいたリスク管理提示機能を実装するほか、農薬データベースを収集・作成して搭載する。また、英語版の利用促進の一環として、アセアン諸国での普及活動を行う。

**【分野名】** エネルギー・環境

**【キーワード】** 生態リスク、リスク評価、ユーザーフレンドリー、種の感受性分布、個体群存続、リスク管理、化審法

**【研究題目】EAS 諸国における再生可能エネルギーの持続的な活用**

**【研究代表者】** 工藤 祐揮（安全科学研究部門）

**【研究担当者】** 工藤 祐揮、匂坂 正幸、Baek Chunyoul、村山 麻衣（常勤職員2名、他2名）

**【研究内容】**

エネルギーは経済の推進力であるが、東アジアサミット（EAS）諸国は再生可能エネルギー（再エネ）の資源利用ポテンシャルが高いにもかかわらず、現状ではエネルギーのほとんどを輸入化石燃料に依存している。再エネは輸入化石燃料依存度の低下だけでなく、農村部での生活水準の向上の手段の一つに利用することにより、環境や社会経済的状況の改善にも期待が寄せられている。しかし再エネ資源には地域偏在性があり、農村での資源や技術の利用可能性やエネルギーに対するニーズを踏まえた利用を図らないと、持続可能な形態で将来にわたって利用されない可能性が懸念される。本研究では EAS 加盟7カ国の研究者グループを構成し、EAS 諸国における小規模再エネ事業の持続的可能性をトリプルボトムラインの観点（環境・経済・社会の3側面）から検討した。

平成26・27年は、再エネの持続可能性に関する動向および、平成25・26年に実施した EAS 諸国に調査した小規模再エネ事業（小水力、太陽光、風力、バイオマス、バイオガス）から、再エネの持続可能な利用のためには事業実施前に、導入対象地域におけるエネルギー需要と利用可能な資源および技術、ライフサイクル GHG 排出量・全エネルギー投入に対する再エネ比率・土地利用効率（以上、環境面）、均等化コスト・内部収益率・資本投資（以上、経済面）、ソーシャルキャピタル・近代的エネルギーアクセスの向上・雇用創出効果（以上、社会面）を把握する必要があること、また再エネ事業実施後に持続可能な形態で継続的に実施するためには、事業の制度設計および対象地域におけるキャパシティービルディングが必須であることを導出した。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 再生可能エネルギー、小規模事業、東アジア、持続可能性、トリプルボトムライン、制度設計、キャパシティービルディング

**【研究題目】平成26年度化学物質安全対策（スクリーニング・リスク評価における調査）「リスク評価単位の検討」**

**【研究代表者】** 蒲生 昌志（安全科学研究部門）

**【研究担当者】** 蒲生 昌志、林 彬勲、内藤 航、加茂 将史、竹下 潤一、荻上 礼子、上坂 元紀、山田 千恵（常勤職員5名、他3名）

**【研究内容】**

化学物質審査規制法のスクリーニング評価・リスク評価で課題となっている混合物等の評価単位に関する検討

の事例として、「石油留分」および「ポリオキシアルキレン類」の適切なリスク管理に資する合理的なリスク評価単位の設定方法およびその評価技術について検討を行うことを目的とした。

検討に先立ち、有識者へのヒアリングを行い、論点の確認やアプローチに関する意見を収集した。5種（CAS、按分、物性、用途、毒性）の評価単位設定方法を想定して、それぞれの物質群のヒト暴露クラス4以上の物質を対象としたスクリーニング評価を試行した。その過程と結果に基づいて、それぞれの評価単位設定方法の得失と、評価に付随する問題点を整理した。ただし、毒性によるグループ化の評価単位アプローチはデータが乏しく実施できなかった。また、ポリオキシアルキレン類については、データの充足度が低く、毒性や物性によるグループ化のアプローチは実施困難であった。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 化学物質審査規制法、リスク評価、評価単位、石油留分、ポリオキシアルキレン類

【研究 題目】 火山噴火ハザード評価手法の開発

【研究代表者】 石塚 吉浩（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 山元 孝広、石塚 吉浩、古川 竜太、下司 信夫、七山 太（地質情報研究部門）（常勤職員5名）

【研究 内容】

火山噴火に関する外部ハザード評価手法を開発するため、平成25年度に構築した概念を踏まえて、火山噴火ハザード評価手法として、地質情報からの火山灰降下履歴調査に基づく頻度推定、最大降灰事例と給源火山の特定、降灰シミュレーションによる噴煙パラメータの決定、様々な風条件での降灰シミュレーションによる降灰確率を推定するという手順に基づく手法を開発した。また、平成25年度に検討した大山倉吉テフラを対象として、大山火山周辺の様々な風条件9488ケースについて降灰シミュレーションを実施するとともに、サイト近辺の超過確率を求めた。また、フィルタ種類と火山灰濃度等をパラメータとしたフィルタ目詰まり試験を実施した。桜島火山では噴火により大気中に浮遊する火山灰粒子を採取し、粒子濃度を求めた。また浮遊火山灰と降下した堆積火山灰の粒度分析を実施して、堆積火山灰粒子に比較して浮遊火山灰粒子は有意に細粒粒子が卓越するという粒度組成の違いを明らかにした。

【分 野 名】 地質

【キーワード】 火山、噴火、火山灰、ハザード評価

【研究 題目】 「別府-万年山断層帯（大分平野-由布院断層帯東部）における重点的な調査観測」地震動予測の高度化

【研究代表者】 阿部 信太郎（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 吉見 雅行、林田 拓己（建築研究所）、阿部 信太郎、今西 和俊、川瀬 博（京都大学）、松島 信一（京都大学）、竹中 博士（岡山大学）、山田 伸之（福岡教育大学）、三宅 弘恵（東京大学）、安藤 亮輔（常勤職員4名、他6名）

【研究 内容】

別府-万年山断層帯における地震動予測の高度化のため、別府湾周辺域を中心とした地下構造のモデル化と震源モデルの作成を行う。2014年度は、1) 大分平野、別府扇状地および由布院盆地の18地点において最大半径1km程度の微動アレイ探査を行い、地震基盤に至る堆積層の速度構造を検討した。2) 別府湾周辺域に12点の広帯域地震計による微動連続観測網を構築し、地震波干渉法を適用した。3) 大分平野および別府湾周辺域にて単点微動観測を実施し、既存地下構造モデルを検討した。4) 大分県内の自治体震度計データを収集し、震度観測点の地盤増幅特性を検討した。5) 正断層および短い断層の震源のモデル化に向けたデータ収集を行った。

【分 野 名】 地質

【キーワード】 地下速度構造、別府堆積盆地、微動アレイ、地震動、地震波干渉法、震源モデル

【研究 題目】 Exp.348掘削試料解析に基づく南海トラフ付加体内部の応力と変形機構

【研究代表者】 大坪 誠（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 大坪 誠、淵田 茂司（大阪市立大学）、Emilie Even（大阪市立大学）、福地 里菜（東京大学）（常勤職員1名、他3名）

【研究 内容】

本研究では、IODP Exp. 348において南海地震発生帯を目指した超深度掘削孔 C0002で得られたコア試料およびカッティングス試料に対して、付加体内部試料の力学特性測定、被熱分析、化学分析、物理特性測定、変形・透水実験および孔内物理探査結果に基づいて、南海地震の駆動力となる応力が蓄積されている付加体内部の応力状態、変形機構および流体移動特性の検討を行った。具体的には、掘削地点 C0002の掘削試料（特に掘削区間の浅部領域 Hole C0002N）の力学特性測定および物理特性測定から、付加体内部における応力・歪の検討を行った。掘削地点 C0002の掘削試料（特に掘削区間の浅部領域 Hole C0002N）の被熱分析から、付加体内部における最高被熱温度の検討を行った。掘削地点 C0002の掘削試料（特に掘削区間の浅部領域 Hole C0002N）の物理特性測定および変形実験から、付加体内部の力学的・水理学的性質の検討を行った。掘削地点 C0002の掘削試料（特に掘削区間の浅部領域 Hole C0002N）の化学分析から、付加体内部における流体の



起源・移動や堆積物との相互作用の検討を行った。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕海溝型地震、掘削、応力、温度、物性、付加体、南海トラフ、IODP

〔研究題目〕Exp.351掘削試料による伊豆小笠原マリアナ弧島弧形成開始時のマグマプロセスの解明

〔研究代表者〕石塚 治（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕石塚 治、金山 恭子（金沢大学）、  
草野 有紀（金沢大学）  
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本委託研究においては、掘削試料について、a) 火山噴出物及び基盤の海洋地殻の年代測定、b) 火山灰試料のガラス、鉱物およびメルト包有物の化学分析、c) 火山砕屑物の化学組成分析、を実施することにより、(1) 島弧基盤の形成時期とその由来、(2) 沈み込み開始直後から約2500万年間の島弧マグマの時間的変遷を明らかにする。

今年度は、1) 奄美三角海盆の海洋地殻玄武岩について、試料粉末の作成と全岩主要組成分析、岩石薄片観察を行った。海洋地殻玄武岩の化学的特徴が明らかになってきた。その結果に基づき、Ar/Ar 年代測定用試料の調整と原子炉での照射準備を行った。

2) タービダイト試料の薄片を作成し、砕屑粒子の構成物、淘汰度、および変質の度合いを評価した。タービダイト層の組成を代表すると考えられる試料について全岩化学組成分析を実施した。本年度は分析用の粉末試料を作成し、主成分組成を分析した。さらに、タービダイト試料から単斜輝石、斜長石、角閃石、スピネルなどの鉱物を分離し、樹脂で固定し研磨して、鉱物およびメルト包有物の主要・微量元素 (Rb, Ba, Th, U, Zr, Nb, Ni, Cr, V, 希土類元素など) 組成を EPMA および Laser-ICP-MS で測定するための準備を行うとともに、一部分析を開始した。

3) シート溶岩の周縁部（急冷縁もしくはローブの基底部）と内部の試料の顕微鏡観察と全岩化学組成分析を行い、厚さ150 m の Unit 1内部におけるフローユニットの解析を開始した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕掘削試料、奄美三角海盆、島弧マグマ、島弧基盤、タービダイト

〔研究題目〕南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

〔研究代表者〕宍倉 正展（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕谷川 晃一朗、宍倉 正展、藤原 治、  
澤井 祐紀、行谷 佑一、松本 弾、  
安藤 亮輔（常勤職員7名）

〔研究内容〕

本プロジェクトは、近い将来の発生が危惧される南海トラフ沿いの巨大地震・津波による災害の軽減に貢献するため、大学や研究機関が自治体と連携し、地域連携減災研究、巨大地震発生域調査観測研究、地震発生シミュレーション研究の3つの分野で調査研究を実施している。活断層・火山研究部門では、これらのうち、巨大地震発生域調査観測研究の一環として陸域津波履歴調査を、地震発生シミュレーション研究の一環としてモデル構築・シナリオ研究の一部をそれぞれ担当している。平成26年度は、陸域津波履歴調査として、高知県東洋町、四万十町、黒潮町において津波堆積物の検出を目的とした掘削調査を実施した。合計13地点でボーリング、合計5地点でジオスライサーを用いて地質柱状試料を採取した。このほか隆起痕跡の調査も実施している。また平成25年度に高知県南国市における掘削調査で採取した試料について、<sup>14</sup>C 年代測定および珪藻化石分析を実施し、堆積物の年代や古環境について検討した。モデル構築・シナリオ研究では、歴史地震の断層モデルとサイクルに関する計算手法の検討を行い、富士川河口周辺地域での安政東海地震時の地殻変動および深部断層形状を、史料および構造探査結果に基づいて検討した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕南海トラフ、巨大地震、津波、履歴、津波堆積物、地震サイクルモデル

〔研究題目〕大規模山体崩壊を伴う海域火山の火砕流の流動定置機構とマグマ供給系の解明

〔研究代表者〕石塚 治（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕石塚 治、前野 深（東京大学）、  
片岡 香子（新潟大学）  
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本研究では、海域に接する活動的火山の成長と崩壊のプロセス、すなわち陸上での火山噴火から海洋底への大量の物質供給、運搬・堆積過程までを包括的に理解することを最大の目的としている。このために、海底掘削試料及び陸上の火山噴出物を用いてマルチニーク島、ドミニカ島の活火山について、フランス研究機関と共同で、(a)海域に流入した火砕流の流動、定置機構、(b)火砕流、山体崩壊を引き起こす噴火活動とマグマ供給系の時間変化とその原因、の解明をめざす。

本年度は (1) 統合深海掘削計画 IODP-Exp.340で掘削・採取された堆積物試料の噴火堆積物の解析、(2) マルチニーク島及びドミニカ島における大規模火砕流堆積物、山体崩壊の痕跡の地質調査及び火山灰等の火山噴出物の系統的採取を実施した。(1)については、火山性タービダイトについてその噴出、流走、そして定置機構を解明するために、a) 実体顕微鏡および電子顕微鏡による構成鉱物の量比、組成の決定、b) 篩い分けおよ

び沈降管による粒度分布解析（実粒径および沈降粒径）及びレーザー回折式装置による粒度分析、c) 密度計および3D 形状解析計による粒子形状、密度分析を実施した。結果について、米国地球物理学連合秋季大会やポストクルーズミーティングにおいて講演を実施した。

(2) については、2015年1月にマルチニーク島、及びドミニカ島においてフランス側研究者と共同で6日間の野外調査を実施した。現地では、(a) 火砕流堆積物構成物質、粒度、形状の記載、(b) 火山灰層序の記載、(c) 同位体分析、Ar/Ar 年代測定用の火山噴出物試料の採取を主に実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕掘削試料、マルチニーク、ドミニカ、山体崩壊、火砕流

〔研究題目〕三軸圧縮応力下における破断面近傍のベレア砂岩の空隙情報解析に関する研究

〔研究代表者〕高橋 学（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕高橋 学（常勤職員1名）

〔研究内容〕

目標：

ベレア砂岩の透水異方性は前年度実験的にかつ定量的に解明しており、空隙の3次元幾何学情報に基づく空間的なごとの解析と考察を主な研究内容とする。破断面出現に至る空隙の3次元幾何学情報を断層面に対して上盤・下盤各3か所を解析し、透水異方性との関連に関して考察することを目標とする。

研究計画：

三軸圧縮応力下におけるベレア砂岩の変形・力学・透水特性を実験的に解明し、破断面出現時における空隙の3次元幾何学特性の場所ごとの差異を明らかにし、断層発生との関連について整理する。

年度進捗状況：

直径10 mm 高さ20 mm の供試体の三軸試験ではあるが、構造解析としては3 mm ボクセルが現実的なサイズであり、破断面を上下盤に分け各3か所、合計6か所の解析領域を設定し、解析結果の差異を検証する。したがって、最終破断面と解析領域との相対的な位置関係に着目しながら、空隙の3次元幾何学情報の取り扱いを実施した。画像解析において最も重要な空隙率の値を説得力のあるあるいは物理的に取得できるような客観性に耐えうるデータの提示を実施した。断層に対する相対的に同じ位置関係にある上下盤の比較から空隙の幾何学情報に上下盤の差異があることが判明した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕マイクロフォーカス X 線 CT、破断面、空隙率、岩石内部構造、3次元空隙構造

〔研究題目〕ベレア砂岩および Otway 砂岩の透水係数拘束圧依存性およびマイクロフォーカ

ス X 線 CT による空隙3次元幾何学情報の抽出

〔研究代表者〕高橋 学（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕高橋 学（常勤職員1名）

〔研究内容〕

目標：

ベレア砂岩および Otway 砂岩の透水係数の拘束圧依存性を実験的に明らかにし、両者の違いをマイクロフォーカス X 線 CT データを用いた空隙構造との関連から議論する。

研究計画：

三軸圧縮応力下におけるベレア砂岩・Otway 砂岩の変形・力学・透水特性を実験的に解明し、両者の透水係数の違いを岩石内空隙の幾何学情報からの推定を試みる。

年度進捗状況：

Berea 砂岩は空隙率が18 %、Otway 砂岩は空隙率が25 %もあり空隙サイズ分布からも両者の違いは鮮明である。一方、透水係数は Berea 砂岩が Otway 砂岩よりも1桁以上も大きな値を示した。拘束圧依存性には大きな差異は生じなかったものの、透水係数そのものは値が大きく異なる原因を推定した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕透水係数、砂岩、マイクロフォーカス X 線 CT、空隙率、岩石内部構造、3次元空隙構造

〔研究題目〕動力学シミュレーションにおける傾斜逆断層の解析的検討（その2）

〔研究代表者〕加瀬 祐子（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕加瀬 祐子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

長大逆断層タイプの断層モデルを対象として、動力学的なアプローチから、円形クラック式に代わる応力降下量算定式を求め、長大逆断層による内陸地震を対象としたアスペリティモデルの設定方法の構築を試みるため、成層構造中にある断層上の動力学的破壊を安定的に計算できるように、プログラムを改良した。修正したプログラムでは、層境界の深さによらず、発散せずに計算できること、および、並列化によって計算結果が異なることを確認した。

地震波速度の違い表層がある場合に、計算領域をどのくらい広くとれば、断層面上のすべりが完全に止まり、地震モーメントが一定値になるかを調べた。また、その地震モーメントの値は、計算領域をより広くとった場合の値と、有効数字3桁で一致することも確認した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕動力学的断層破壊シミュレーション、逆断層、断層パラメータ

**〔研究題目〕** ノンフロン型冷媒の実用条件の燃焼性評価と着火エネルギー評価法の開発

**〔研究代表者〕** 滝澤 賢二（環境化学技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 滝澤 賢二、水門 潤治、須田 洋幸、徳橋 和明、近藤 重雄、高木 静枝、五十嵐 直治、野口 一夫  
（常勤職員3名、他5名）

**〔研究内容〕**

本課題は、微燃性物質を冷凍空調機器用冷媒として実際に使用するときの安全性評価に必要な、燃焼性の温度・湿度影響や着火エネルギー等の基礎的知見の蓄積を目的とし、微燃性を有する冷媒の安全性の評価と適切な使用法の検討に資する。

微燃性冷媒と既存の不燃性冷媒の燃焼性を比較可能にするため、可燃性から不燃性まで連続的・統一的に評価する方法の確立を目指し、新たに70%CO+30%R32（CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>）、及び70%CO+30%CH<sub>2</sub>=CF<sub>2</sub>のブレンドガスを基準ガスに採用し、これらと不燃性物質との二元混合系の燃焼限界を広範な混合比率で測定した。6種類の不燃性物質を対象に不燃度指標の検討を行った結果、70%CO+30%R32を基準ガスとした場合に不燃性物質の混合比率と燃焼性の間で優れた直線性が得られることが分かった。

微燃性冷媒の使用環境での熱分解の理解を目的に、インコネル製の流通式反応管を用いて、R32の熱分解及び生成物分析を行った。既存の不燃性冷媒と同等の約500℃以上の温度で分解が開始し、主生成物としてCOF<sub>2</sub>の生成が認められた。

微燃性冷媒の着火エネルギー評価法の開発のため、消炎距離と燃焼速度から最小着火エネルギーを推算する方法を提案した。この結果をふまえ、微燃性冷媒の評価に適した最小着火エネルギー測定装置を製作した。また、実用条件での着火・消炎現象の解明のため、電磁開閉器の電極接点を着火源とし、電磁開閉器の構造及び放電持続時間及びエネルギー密度とR32の着火確率の関係を明らかにした。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 冷凍空調、冷媒、代替フロン、地球温暖化、実用化、燃焼性、着火エネルギー

**〔研究題目〕** 自動車部品等の軽量化を促進するためのメタルと炭素繊維強化プラスチック（CFRP）のレーザを用いる異材接合技術のシステム開発

**〔研究代表者〕** 新納 弘之（環境化学技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 新納 弘之、佐藤 正健、卜部 啓、鈴木 隆之、原田 祥久  
（常勤職員5名）

**〔研究内容〕**

CO<sub>2</sub>排出量削減等の社会的ニーズに対応するために、

自動車の製造において画期的な軽量化が求められている。炭素繊維強化プラスチック（Carbon Fiber Reinforced Plastic：CFRP）は重量当たりの比強度・比剛性が高く、自動車の軽量化に最も適した革新的材料である。しかし、CFRPを自動車に適用するための重要な課題として、金属など異種材料との接合が挙げられる。しかし、現段階で実用化されている接合技術はリベットやボルトによる機械締結や構造用接着剤を用いた接着であり、いずれの場合も接合にかかる費用、時間、信頼性の点で量産方法としては十分ではない。本研究開発では、前田工業株式会社、岡山県工業技術センター、大阪大学と連携し、CFRPの自動車への量産採用を可能とするレーザ溶着技術を開発し、レーザ溶着システムとして具現化する。

今年度は、CFRPの損傷しきい値の詳細評価、レーザ溶着接合部の接合強度評価技術の開発・実証、および、レーザ溶着接合部の超音波映像化技術適用性評価の詳細検討を産総研において分担実施し、レーザ照射部位のCFRP表面状態に関しては、剥離後のエラストマー層表面の全反射型赤外吸収測定を行うことで、エラストマー層へのCFRP層成分の混入状況を詳細に化学分析し、接合メカニズムを解明できた。また、空中超音波プローブによる非接触映像分析による評価を行い、溶着不良検出手法としての有効性を明らかにした。さらに、JIS K6850、JIS K6864規格に準拠した引張試験および疲労試験を行い、応力、ひずみ、引張せん断強度および疲労特性を評価することで、最適な加工速度で作成した接合材では12MPaを超えるせん断強度が得られ、良好な疲労強度も得られることを明らかにした。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー、計測・計量標準、ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** 接合技術、炭素繊維強化プラスチック、自動車部品軽量化、レーザ加工

**〔研究題目〕** ナノ空間を利用した高リサイクル鋳物砂による無機系砂型鋳造技術の高度化

**〔研究代表者〕** 加茂 徹（環境管理技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 加茂 徹、王 正明、小菅 勝典  
（常勤職員2名、他1名）

**〔研究内容〕**

本研究開発では、砂型鋳造法において鋳物砂として最も使用割合の高いけい砂の砂粒子と水ガラスに、微量の多孔性物質を複合化し、ナノ空間の吸着・吸蔵及び脱離特性を活用することで、水ガラス-CO<sub>2</sub>ガス硬化法における最大の課題である崩壊性に優れた機能性鋳物砂を開発することを基本として、製造した鋳物砂を用いてアルミ合金を対象に砂型鋳造による実証試験を実施し、無機粘結剤水ガラスを用いた環境負荷低減プロセスを実現し、省エネ、高生産性特殊鋳造型技術の高度化を目指す。

H26年度は、多孔質シリカの添加効果を現場鑄造試験で検証するため、まず製造元指定の天然鑄物砂に多孔質シリカを添加して肌砂に用い、通常は崩壊し難いスリット部分の砂抜けによって崩壊性を明らかにすると共に、良質の大型市販アルミ量産品が得られることを確認した。また、多孔性シリカ添加量を減じた複雑形状中子ではガス欠陥が発生することから、フラタリーベース複合化鑄物砂において最適配合比が良質の鑄物品製造のためのキーポイントであることを確認した。ワンサンド化試験では繰返し再生利用回数等に関してはさらに検討を要するものの、中子の崩壊性並びに鑄肌不良は認められず、生型混練時のペントナイトにも結晶構造へのダメージは無いことが分かった。

さらに、人工砂ベース複合化鑄物砂の自硬性プロセスによる圧縮強度データを集積し、複雑形状中子による鑄造及び主型との一体鑄造試験を行った。手籠めによる充填密度の不均一性等人工砂特有の問題点を明らかにする一方で、アルミ鑄造品の鑄肌に僅かな不良は認められたが、中子の崩壊性は極めて高く鑄造品を傾げるだけで中子は落下し、ほとんどを振り落とすことができた。さらに、架橋体の加熱に伴う伸張と薄層化と元素分布状態の変化挙動の解析によって硬化・崩壊機構を考察した。しかし、架橋体の加熱に伴う結晶相の同定を行うことは困難で多孔性シリカの役割については今後の検討課題である。

本サポイン研究で実施した技術開発の成果は、無機砂型鑄造プロセスにおける作業環境面及び砂リサイクルの課題解決に新たな展開を齎し、我が国のものづくりの革新的鑄造技術確立への橋渡しとなる基礎データ及び基礎技術と考えている。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナノマテリアル、鑄物砂、鑄造技術

【研究題目】大風量低濃度排ガス用直接加熱式吸着回収装置の研究開発

【研究代表者】竹内 浩士（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】竹内 浩士、加茂 徹、竹森 信、  
菊川 伸行（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

揮発性有機化合物（VOC）の更なる排出低減が求められている。最も多量のVOCを排出する塗装工程は排ガス風量が大きく濃度が低いので除去処理の前に濃縮する必要があるが、ハニカムローター式濃縮装置は温風で脱離させるため濃縮率が上がらない。本研究開発では、ハニカムローター自身を内部から発熱させることによって最小限のキャリアガスで脱離させ、これによって濃縮率を飛躍的に高め、VOCを直接液化回収する省エネで省スペースなシステムを構築することをめざす。これを実現するための主な開発項目は、【1】温風加熱に替わる効果的な直接加熱を達成するための磁気発熱ハニカムの開発、【2】大風量低濃度排ガス用吸着回収システ

ムの開発、【3】模擬VOC排ガスでの実証試験などであり、産業技術総合研究所はこのうちの基礎的な検討を担当している。

平成26年度においては、吸着回収装置脱着部の磁界分布、ジュール発熱分布を推測するため、有限要素法による三次元電磁界シミュレーションを行い、平行平板型のハニカム構造はジュール発熱分布がほぼ一樣になることなどを見出した。また、吸着脱離特性の評価に関しては、それまでに開発したレシピでゼオライトを担持した平行平板型ハニカムを用いて、ラボスケールで模擬VOCの吸着脱離試験を行い、高周波加熱脱離のパワー依存性や吸着量依存性などの基礎的な種々の特性を明らかにするとともに、実際の運転時の課題について指摘した。さらに、30 m<sup>3</sup>/min規模のローター式吸着回収試験装置の運転研究において生じた問題点の原因究明と対策立案に寄与した他、開発した装置・方法に関する特許を共同して出願した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】吸着回収、塗装、リサイクル、揮発性有機化合物、高周波誘導加熱

【研究題目】フィードバックパラメタリゼーションを用いた詳細なダウンスケールモデルの開発と都市暑熱環境・集中豪雨適応策への応用

【研究代表者】近藤 裕昭（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】近藤 裕昭、高根 雄也、亀卦川 幸浩、  
井原 智彦（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

既存の領域気候モデルWRFに、都市気候・建物エネルギーモデル（CM-BEM）を組み込んだ連成モデル（WRF-CM-BEM）を使用し、名古屋市における2010年8月の熱環境および風環境を対象とした力学的ダウンスケーリングを実施した。

WRF-CM-BEMによる地上気温および風の再現精度を確認した後、2030年代及び2070年代の8月を対象とした地上気象要素および空調に伴う電力需要と人工排熱の将来予測実験を実施した。その結果、空調電力需要と同様の特徴が、空調排熱の結果にも見られた。温熱快適性（SET\*）の計算結果については、街区区分を問わず現状と2030年代の結果には大きな差はなかったが、2070年代との差には大きな違いが見られた。

平成25年度に実施した被験者実験の結果を受けて、本年度は、温熱センサーの改良に加え、疲労計測の改良も実施した。改良した温熱センサー、脳波・心電波センサー、および日記式調査票を用いて、夏季に被験者実験を実施した。また日記式質問票を用いて、毎日、着衣量、滞在場所、睡眠状態、疲労状態、暑熱障害に関する自覚症状の有無を質問した。しかし、脳波・心電波センサーによる疲労・ストレス状態の判定は、必ずしも、日記式

質問票による調査結果と一致しなかった。

「低炭素都市2050なごや戦略」を参考とし、2050年代8月を対象に特別・格子別の人工排熱量（将来値）を推計した。また名古屋都市圏の将来土地利用として、南海トラフ巨大地震に対する減災・防災を勘案した津波対策、強震対策、液状化対策の各土地利用シナリオに加え、その複合シナリオ（津波＋強震＋液状化対策）の計4ケースの土地利用想定下で排熱量を推計した。また、将来の排熱マップデータを作成した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】気候変動適応評価、都市温熱環境モデル、健康影響評価

【研究題目】大気環境物質のためのシームレス同化システム構築とその応用

【研究代表者】近藤 裕昭（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】近藤 裕昭（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究ではシンセシス・インバージョンを用いた逆問題解析による二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の発生源解析のため、その先験情報を与えるモデルとして局所 CO<sub>2</sub>輸送モデルである AIST-MM の改良を引き続き行った。生態系起源 CO<sub>2</sub>収支の気象や季節変化による時間変動を再現できるように NCAR-LSM の炭素モジュールを参考に、CO<sub>2</sub>収支計算モジュールの組み込みを行った。また土壌水分量の予報（降水は気象庁数値予報 GPV データより与える）、キャノピー光合成有効放射量の計算についてさらにモデル化を進めた。

計算領域をいくつかのフラックス観測サイトが入るようやや広めにとり、東経133°-142°、北緯32°40'-39°40'の範囲を72×85格子（約10km 格子）にとった。計算の期間として2010年8月および2012年3月～5月を対象とした。気象条件の境界条件は気象庁 GPV/MSM の3時間毎の初期値を用いた。岐阜県高山市にある産総研・岐阜大の観測サイト（TKY）およびつくばでの観測点に対応する格子点での計算結果と実測を比較した。また、得られた CO<sub>2</sub>濃度分布情報を元に、ヒートアイランド等に対する施策の必要な地域の見直しや、関東地域における稲作収量などの評価に対して計算結果を提供した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二酸化炭素吸・発生源解析、AIST-MM、NCAR-LSM

【研究題目】小型加速器を用いた逆コンプトン散乱光源による最適なイメージング手法の開発

【研究代表者】黒田 隆之助

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】平 義隆、安本 正人（常勤職員3名）

【研究内容】

小型加速器を用いたレーザーコンプトン散乱 X 線源は、X 線領域において、微小光源で、かつ準単色性のある小型光源という特長を持っている。これらの特長を生かしたイメージング手法として、回折格子を用いたタルボ干渉イメージングについて研究を行っている。タルボ干渉法は、回折格子による強度パターンと回折格子とのモアレ縞を検出することによる高感度位相コントラスト法の一つである。

今年度は、産業技術総合研究所の S バンド小型リニアックにおいて、東北大学と株式会社リガクと共にタルボ干渉計を用いた位相イメージング実験を行い、位相イメージング取得に重要なモアレ縞を観測することができた。レーザーコンプトン散乱 X 線の圧倒的な強度の低さが明瞭な画像を取得する妨げになっていることが分かった。汎用の X 線管球を用いて位相イメージング装置が実用化されているため、それに対してレーザーコンプトン散乱 X 線の優位性を示すためには、現状に比べて光子数を5桁以上向上し、10<sup>11</sup> photons/s 以上の X 線源を発生する必要があることが分かった。

また、X 線検出器に関しては、S バンド小型リニアックで実験する上ではイメージングプレートが最適であることも分かった。シリコン半導体検出器とイメージングプレートの定量的な比較は行っていないが、シリコン半導体検出器の検出可能エネルギー範囲が低いために、電子ビームのエネルギーを下げなければならない。電子ビームエネルギーの低下に伴って X 線の発散角が大きくなり、結果として検出器に入射する光子数が低下するため、S バンド小型リニアックで位相イメージングの実験を行う際には、高エネルギー X 線とイメージングプレートを用いる方法が最善である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】レーザーコンプトン散乱、単色 X 線源、位相イメージング、タルボ干渉計

【研究題目】次世代構造部材創製・加工技術開発（軽金属構造）

【研究代表者】津田 浩（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】津田 浩、遠山 暢之（常勤職員2名）

【研究内容】

Ti-6Al-4V 合金接合部における微小欠陥を迅速に検出できる航空機実機へ適用可能な非破壊検査技術の確立を目指し、レーザー超音波可視化探傷法による接合欠陥検出技術の開発を行っている。本年度は超音波計測システム的大幅な改良および計測条件の最適化を行うことで欠陥検出能の向上を図り、種々のサイズの表面欠陥を有するレーザー溶接試験片を用いて検証試験を行った。本年度は下記の成果を得た。

超音波計測システムの改良として、まずパルス幅が 1.6ns と極めて短く、レーザービーム径が1mm と約半分のパルスレーザーシステムに組み替え、さらに焦点可

変レンズを導入し、ビーム径の細径化を行った。これによって、サブミリサイズの欠陥検出に必要な5MHz以上で高 S/N 比の超音波の検出が可能になり、空間分解能の飛躍的な向上が確認できた。さらに計測・解析ソフトウェアを32ビットから64ビットに更新し、メモリを大幅に増加させることで、より高精細で広範囲の探傷が可能になった。改良した計測システムを用いて最適計測条件の下で溶接部の微小表面欠陥の検出試験を行った結果、2kHz の高速レーザー走査でφ0.2mm の微小欠陥の形状およびサイズが明確に検出でき、欠陥検出能の大幅な向上を実証することができた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕非破壊検査、超音波探傷、チタン合金、レーザー溶接、摩擦撹拌接合

〔研究題目〕微細構造解析プラットフォーム

〔研究代表者〕齋藤 直昭

(計測フロンティア研究部門)

〔研究担当者〕齋藤 直昭、浮辺 雅宏、鈴木 良一、大島 永康、木野村 淳、大平 俊行、小池 正記、志岐 成友、松林 信行、古部 昭広、松崎 弘幸、中村 健、井藤 浩志、後藤 義人、全 伸幸、高橋 勝利(常勤職員16名)

〔研究内容〕

本委託事業は、ナノテクノロジーに関わる最先端の研究設備とその活用のノウハウを有する機関が、緊密に連携して全国的なナノテクノロジーの研究基盤(プラットフォーム)を構築することにより、産学官の多様な利用者による共同利用を促進し、個々の利用者に対して問題解決への最短アプローチを提供するとともに、産学官連携や異分野融合を推進することを目的としている。

以下の7つの装置(群)を公開して研究支援を実施した:①陽電子プローブマイクロアナライザー装置(周辺設備含)(PPMA)②超伝導蛍光収量 X 線吸収微細構造分析装置(周辺設備含)(S-XAFS)③可視-近赤外過渡吸収分光装置(4台、周辺設備含)(VITA)④リアル表面プローブ顕微鏡装置(3台、周辺設備含)(RSPM)⑤固体 NMR 装置(3台、周辺設備含)(SNMR)⑥イオン価数弁別質量分析装置(周辺設備含)(CDMS)⑦極端紫外光電子分光装置(EUPS)。これらの装置を用いた支援実績は、①課題件数:64件(目標64件以上)②外部共用率:平均39%(目標35%以上)(装置毎に異なる)③外部共用のうち民間企業の占める割合:平均47%(目標:平均15%以上)(装置毎に異なる)であり、いずれも目標の値を達成した。

利用講習会(スクール)として、「陽電子ビーム~ナノテクプラットフォーム微細構造解析プラットフォーム設備利用講習会~」を、2014年10月につくば産総研にて開催した。また、これにより、事業の宣伝とユーザ拡

大、および人材育成を図った。

地域公開セミナーを3回開催した。「先端計測分析機器の公開とフロンティア計測分析技術(JASIS2014コンファレンス)」(幕張、2014年9月)、産総研新技術セミナー「産総研で開発した先端計測分析機器の公開」(2014年12、仙台)、「グリーンエレクトロニクス材料・デバイスの SPM 解析技術」(つくば、2015年3月)である。さらに、産総研テクノブリッジ、JASIS2014展示会、次世代ものづくり基盤技術産業展 TECH Biz EXPO 2014、JST 新技術説明会や Nanotech2015など、各種の展示会に出展し、事業の宣伝によるユーザ拡大とユーザニーズの把握を実施した。

固体 NMR 装置用の液体窒素再凝縮装置の整備、陽電子プローブマイクロアナライザー(PPMA)と極端紫外光電子分光装置(EUPS)の真空排気用備品の更新、リアル表面プローブ顕微鏡(RSPM)のチラー装置等の整備を実施した、さらに標準的な支援に加え、利用者の計測要望に応じて、装置や分析手法に改良を加えて特殊な計測に対応できるようにした。これらの設備整備と高度化で、円滑な支援とユーザの利便性向上を図った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕ナノテクノロジー、機器公開、研究支援、先端計測機器、産学官連携、イノベーション

〔研究題目〕医薬品関連標準物質における純度試験の妥当性確認

〔研究代表者〕井原 俊英(計測標準研究部門)

〔研究担当者〕井原 俊英、齋藤 剛、加藤 尚志、齋藤 直樹(常勤職員4名)

〔研究内容〕

日本薬局方標準品等の製造における試験方法は、医薬品の品質試験に用いるものとして適切な方法により設定されており、薬局方での使用を前提に品質を保証したものである。したがって、化学純度を厳密に保証したのではないことから、当該標準品の特性値(純度)に関しては、計量計測トレーサビリティを表明していないのが現状である。一方、標準物質の規格に関しては国際標準化が急速に進んでいるが、医薬品に関しても例外ではなく、USP(米国薬局方)では国際規格に適合した認証標準物質としての供給が始まっている。

そこで本研究では、当該標準品の計量計測トレーサビリティを確保し、認証標準物質としての要件を備えた標準物質とすることで、国際調和を進めることを目標とし、医薬品関連標準物質からアセトアミノフェン、アムロジピンベシル酸塩及びトコフェロールについて、国際単位系(SI)へのトレーサビリティの確保を前提に、その標準品の純度評価方法を技術的に検討してきた。

本年度は、エルゴカルシフェロール及びトコフェロール酢酸エステル(2物質)を選定し、SI へのトレーサビ

ティの確保を前提に、その標準品の純度評価方法を技術的に検討した。その結果、エルゴカルシフェロールに関しては、核磁気共鳴法の適用が困難であり、高速液体クロマトグラフ法での評価結果しか得られなかったが、トコフェロール酢酸エステルに関しては、核磁気共鳴法及び高速液体クロマトグラフ法の適用が可能であり、SIトレーサブルな純度評価が可能と判断された。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕標準物質、計量計測トレーサビリティ

〔研究題目〕放射能環境標準物質の開発

〔研究代表者〕三浦 勉（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕三浦 勉（常勤職員1名）

〔研究内容〕

土壌などの環境試料や食品中の放射性物質の量を正確に、かつ、迅速に測定する技術の開発は、放射線計測分野に求められている火急の使命である。分析値の正確さやばらつきを評価するには、目的成分の量または濃度が確定された試料について分析を実施し、得られた分析値と既知の値とを比較することが必要である。このような分析法の検定などに使用できる試料は標準物質とされ、試験研究機関で用いられている分析手法の標準化や報告される分析値のトレーサビリティの確保のために使用されている。標準物質はニーズに対応する形で順次開発が進められてきた。現在の我が国の国家的な分析ニーズとして、福島県を中心とした放射能汚染が著しい地域の環境試料分析、また、これらの地域から生産される食品原料としての農作物の分析が挙げられる。特に食品分析については基準値がこれまでの暫定基準値から大幅に引き下げになり、より微弱な放射能を定量することが社会的なニーズとなっている。

本研究開発では、環境放射能測定用の放射能標準物質としては十分に供給されていない玄米や茶葉などの日本の食文化に根ざした農作物を主な対象として、分析ニーズに合致した大量の標準物質を供給する生産技術、共同実験法による値付け技術の確立を目的とした。

本年度においては、前年度に引き続き効率的なβ線放出核種及びα線放出核種分析法について検討した。β線放出核種として重要な<sup>90</sup>Srを対象核種とし、文科省マニュアル法と比較してより簡易な<sup>90</sup>Sr分離法を検討した。Sr分離用樹脂として、市販されているIBC Advanced Technology社製Sr01樹脂とEichrom社製Sr-Spec resinについて、塩酸酸性溶液及び硝酸酸性溶液中での複数元素の吸着特性の酸濃度依存性を詳細に調べた。双方ともクラウンエーテル等の環状化合物が担持もしくは化学結合により固定化されている樹脂である。吸着特性を調べた結果、双方の樹脂ともSrに対する高い親和性があることがわかった。しかしながら、硝酸酸性溶液中でEichrom社製Sr-Spec resinのSrに対する選択性が高く妨害元素との分離により適していることが

わかった。また、福島第一原子力発電所事故に関連した試料を想定すると放射性セシウムとの分離も必要である。そこで、セシウムとの分離にりん酸塩沈殿分離を行った後、Sr-Spec resinでSrを精製する分析法を設計した。<sup>90</sup>Srの測定は分離した<sup>90</sup>Srから成長する<sup>90</sup>Yを液体シンチレーションカウンターで測定する。本法を既存の標準物質NIST SRM 1400 bone ashに応用したところ、良好な結果を得ることができた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕標準物質、環境組成、共同実験法

〔研究題目〕TMB/REMCO対応

〔研究代表者〕齋藤 剛（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕齋藤 剛、藤本 俊幸、朝海 敏昭、宮下 振一（常勤職員4名）

〔研究内容〕

国際標準化機構の標準物質委員会（REMCO）国内審議委員会を2回開催、REMCO本会議等への専門家派遣等を行った。国内審議委員会はREMCO本会議前後にそれぞれ1回ずつ開催した。本会議前の国内審議委員会においては、REMCO本会議の対処方針案の策定等を行った。米国で開催されたREMCO本会議には、WGコンビーナを派遣しISO Guide 31改正作業に貢献する一方で、国内審議委員会で議論した方針案の反映活動並びに、その他ガイド改正方針等の調査を行った。審議中の標準物質に関わるガイド改正及び新規作成状況、並びに諸外国の対応状況の調査を行うことで、日本に優位なガイド作成の方針を反映できるように活動した。本会議後の国内審議委員会においては、本会議の報告等を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕ISO、標準物質、標準物質生産、ガイド30シリーズ

〔研究題目〕パルス通電加熱法を利用した熔融核燃料の熱物性測定システムの開発 (II)

〔研究代表者〕山下 雄一郎（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕山下 雄一郎、渡辺 博道、阿子島 めぐみ、山田 修史（常勤職員4名）

〔研究内容〕

核燃料の熔融挙動解析において、融点以上での比熱、全放射率、熔融のエンタルピーは重要な物性値である。本研究では、パルス通電加熱法を利用して、熔融状態における核燃料の上記熱物性値を熱量法の原理により測定する方法の開発の一環として、非導電性の酸化物である核燃料を融点以上に急速加熱するシステムの設計・試作を行うことを目的とする。

上記の目的を達成するため、(1)パルス通電加熱電源の開発、(2)タングステン製試料セルの黒化法の開発・

評価を行い、下記の結果を得た。

パルス通電加熱電源の開発において、バッテリーユニットと試料チャンバの間の電流線の長さを可能な限り短くすることで加熱電流回路の内部抵抗を可能な限り低減し、目標とする電流容量の増加を実現した。

タングステン製試料セルの黒化法の開発では、ドライプロセスとウェットプロセスによる触媒担持層の製膜も組み合わせ、2種類の手段で触媒担持層の製膜を行った結果、昨年度開発した方法と比較してカーボンナノチューブ製膜面の均一性の向上に成功した。なお、カーボンナノチューブは多層チューブであることをラマン分光分析と高倍率TEM観察により確認した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】熱物性、タングステン、酸化物、カーボンナノチューブ

【研究題目】未利用藻類の高度利用を基盤とする培養型次世代水産業の創出に向けた研究開発

【研究代表者】高津 章子（計測標準研究部門）

【研究担当者】高津 章子、鎗田 孝、川口 研、山崎 太一（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究課題では、有毒微細藻類の摂取による毒化により出荷自粛が生じ年間数十億円の収益阻害が発生している二枚貝養殖業に対し、現状のマウスアッセイ法による貝毒検査に代わり、CODEX等国際基準に沿った機器分析法を導入して規制緩和を行うために必要な貝毒の国際認証標準物質を製造する事を目的とする。

オカダ酸（OA）およびジノフィシストキシン-1（DTX1）標準液の認証標準物質開発については、オカダ酸群標準液のSIトレーサブルな濃度評価法について検討した。すなわち、水産総合研究センターにおいて予備的に値付けしたオカダ酸を用いて溶液を調製し、内標準法を用いる定量NMRによる測定条件について検討を行った。また、高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を用いたオカダ酸群の分析条件についても検討し、最適条件を見出した。調製したオカダ酸溶液について、NMRでの定量結果と既存国際認証標準物質（カナダNRC標準物質）を校正用標準としたHPLCによる値との比較を行ったところ、一致する結果が得られた。さらに、水産総合研究センターにおいて精製したOAとDTX1を用いて調製した溶液をアンプル小分けした試作品を作成し、HPLCを用いてカナダNRC認証標準物質による値付けを行って、国内検査機関等84機関へ配布した。二枚貝ホモジネートを用いた組成標準物質開発については、毒化ホタテ貝中腸腺を原料とすることとし、標準物質として適切な均質性や安定性が得られるホモジネート調製法について検討を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】貝毒、標準液、組成標準物質、

定量NMR

【研究題目】グリーンプラスチックの超臨界二酸化炭素による連続発泡成形技術の開発

【研究代表者】中山 敦好（健康工学研究部門）

【研究担当者】中山 敦好、川崎 典起、大嶋 真紀、伊田 小百合（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

超臨界二酸化炭素を利用した押し出し発泡成形により、セル径のそろった微細発泡ポリ乳酸を作成する技術の開発を行う。実用化のためには、a)発泡時の表面形状の制御とb)100℃以上の耐熱性の付与が必要であり、そのための添加剤配合系について検討した。a)に関しては、発泡時に結晶化を進行させ、冷却過程での結晶化による収縮を抑える作用がある、もしくは結晶化前後で熱収縮の少ない成分を混合させることで材料全体の熱収縮を抑えるという観点で添加する第二成分を検討し、一部の核剤系添加剤やコポリマーで効果を確認した。また、カルボジイミドの添加は、発泡成形時の分子量低下の抑制効果が確認されるとともに、高倍率発泡時の表面安定化に効果があった。DCPなどの過酸化化合物との併用によっても平滑性を確保できた。b)に関してはリアクティブプロセッシング技術を活用した発泡グレード化との組み合わせの中で、発泡成形法での最適化を行った。低分子量ポリL乳酸と他の添加剤とを組合せた配合系として、一般的な核剤であるタルクを併用した場合、タルクを大幅に減らすことができた。また、金属塩系核剤を併用すると1%の添加で10℃/分の冷却条件でも十分な結晶化を起こすことができた。ポリD乳酸は本来、核剤ではないがポリL乳酸と混合されるとステレオコンプレックス構造を生成し、結晶核となることから、10%以上の混合で発泡ポリ乳酸の核剤として機能することを明らかにした。一定温度のオープン内にて赤外分光用セルホルダーを活用した荷重装置を作成し、耐熱温度を評価する手法を考案した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ポリ乳酸、発泡材料、超臨界二酸化炭素、核剤、アロイ、生体材料

【研究題目】世界市場を開拓するSake・大吟醸生産システムの革新

【研究代表者】上垣 浩一（健康工学研究部門）

【研究担当者】上垣 浩一、中村 努（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本研究開発の目的は従来、杜氏の勘と経験に依存する小規模製造のため供給が追い付かない「高品質大吟醸酒」の製造規模の拡大と山廃仕込みを利用した「高級熟成ワインに対抗できる新規酒飲料」の新規醸造プロセスを開発する事にある。そのためには酒飲料の品質管理の



決め手となる有機酸を迅速に定量する事の出来る分析技術の開発が求められている。そこで本年度は酵素法を用いた有機酸検出に関する研究開発を行った。単一酵素を用いたリンゴ酸の定量法を開発を目的として大腸菌のゲノムからリンゴ酸脱水素酵素をコードする MaeB 遺伝子を PCR で増幅して大腸菌を用いた大量発現系の構築を行い、精製法の確立を行った。精製した本酵素のリンゴ酸に対する反応初速度から濃度の算出を行った。本方法の利点は測定時間が短くて済む（2分程度）、単一酵素なので低コストが期待できる点にある。本法を用いることでリンゴ酸0.5～5 mM の範囲で定量性があり。市販のアップルジュースに含まれるリンゴ酸を定量する事も可能であることが判った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 大吟醸、山廃、酵素、有機酸

【研究題目】 農林水産系のファインバブル技術開発

【研究代表者】 川崎 一則（健康工学研究部門）

【研究担当者】 川崎 一則、平澤 誠一、川崎 隆史、加藤 晴久、綾 信博、辻内 亨、安井 久一、丸山 豊、兼松 涉、苑田 晃成、垣田 浩孝、小比賀 秀樹、堀江 祐範、田部井 陽介、大内 尚子、白井 薫（常勤職員14名、他2名）

【研究内容】

植物工場におけるファインバブルの生育促進効果の実証を目的とする研究開発において、産総研の分担では、植物工場の栽培液におけるファインバブルの計測評価技術の確立を目指して、以下の課題に取り組んでいる。バブルとコンタミの分離技術として、超遠心分離によってウルトラファインバブルを完全消滅させる条件を見いだした。一方、ポリスチレンラテックス粒子の併存条件下では、バブル消滅により長時間を要することと、pHを調整するとそのバブル安定化が解消されることから、バブルと粒子の相互作用が表面電位に起因することが示唆された。バブルとコンタミを凍結・溶解で分離する技術も検討している。ファインバブル水の急速凍結レプリカ電子顕微鏡観察でバブルの形状を把握することにより、氷晶凍結と非氷晶凍結でのバブルの保存状態を確認し、バブル消失の凍結条件を絞り込んだ。バブルのサイズ及び濃度の測定には PTA (Particle Tracking Analysis) 法が注目される。そこで、散乱効率の類似した超純水粒子分散液をモデルとして、PTA 法による平均粒子径・粒子径分布計測値における測定不確かさ要素抽出と、それに基づく信頼性評価を行い、計測法としての適用可能範囲の指針を見出した。

現場サンプリング・輸送プロトコル開発のために、バブル水の輸送中の振動を模擬した振とう実験系を構築し、振とう速度の変化が気泡サイズ及び濃度に与える影響を解析している。また、ファインバブルの環境影響評価と

して、企業の植物工場に水質計を設置し、レタス栽培試験中の連続水質測定を試行し、同植物工場で使用した養液の水質分析を行った。

【分野名】 環境・エネルギー、ライフサイエンス、ナノテクノロジー・材料・製造、計測・計量標準

【キーワード】 微細気泡、ファインバブル、マイクロバブル、ウルトラファインバブル、国際標準化

【研究題目】 環境中病原性微生物の迅速定量装置の実用化開発

【研究代表者】 永井 秀典（健康工学研究部門）

【研究担当者】 永井 秀典（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

ノロウイルスは食中毒の第1の原因であり、感染者の回復後もウイルスの排出が長期間持続するため、ウイルス対策が難しく、実際に患者数が1,000人規模の大規模食中毒事件も度々発生していることから、食品加工業者や給食センターなど大規模調理施設での迅速検査のニーズがあるものの、現状では簡便かつ迅速高感度な検査法が確立していない。そのため本開発テーマでは、携帯性に優れた小型可搬システム中に遺伝子増幅から検出までオールインワンの機能を有する超高速遺伝子定量装置を開発する。目標としては、現場ニーズに則し、ノロウイルスを測定対象とした検出プロトコルの検討として、One-step 逆転写リアルタイム PCR を15min以内で可能とする高速化を実現する。

研究計画：

産業技術総合研究所にて既に開発したプロトタイプ装置により、逆転写リアルタイム PCR の迅速化として、One-step 逆転写リアルタイムの迅速化に適した反応条件の最適化を実施する。具体的には、合成プラスミドの転写産物を標準試料として、アニーリング温度、酵素の種類および濃度、プライマー濃度、プローブ濃度、変性および伸長反応時間について検討し、One-step 逆転写リアルタイム PCR を15min（ノロウイルス検出用イムノクロマト法と同程度の時間）で可能とする高速化を実現する。また、ノロウイルスの実試料を入手し、検出感度について検証を開始する。特に、ノロウイルスは変異の発生頻度が高いため、大阪府立公衆衛生研究所などの助言を仰ぎ、現場で有効なプライマー及びプローブの配列情報を決定する。

進捗状況：

プロトタイプ装置を用いてノロウイルスに対するOne-step 逆転写リアルタイム PCR の迅速化のための反応条件の最適化を行った。後述する研究項目の実試料を用いた検証において確定したノロウイルス G1及びノロウイルス G2に対するプライマー及びプローブセット

を、2セットについて、One-step 逆転写リアルタイム PCR の条件を検討した。

まず、ノロウイルス検査キットに付属の合成プラスミドの転写産物を標準試料として、既存のリアルタイム PCR 装置を使用し、酵素の種類およびバッファーについて比較検討した。One-step 逆転写リアルタイム PCR の蛍光増幅特性が良かった代表的な酵素とバッファーの組合せについて、ノロウイルス G1及び G2遺伝子のそれぞれの結果を比較すると、蛍光増幅特定に使用するプローブにおいて相違が見られ、特にノロウイルス G1では酵素とバッファーの組合せによりベースラインの大きなドリフトが確認された。厚生労働省のノロウイルスの検出法において、ノロウイルス G1に対しては、2つのプローブを使用する特殊な組成となっており、個別にプローブを使用した場合には特定のプローブのみ生じたことから、これが要因の1つである可能性が示唆された。

次に、高速な One-step 逆転写リアルタイム PCR 条件を検討するため、プロトタイプ装置を用いて、酵素濃度、プライマー濃度、プローブ濃度、逆転写反応、DNA 変性反応および伸長反応の各時間について最適化を実施した。ノロウイルス G1及び G2遺伝子に対する最も高速化できた条件における結果より、ノロウイルス G1及び G2遺伝子の各々に対して One-step 逆転写リアルタイム PCR を当初の目標である15 min 以内に達成した。今後は前処理を含む高感度化の検討を継続して行う。

さらに、ノロウイルスの実試料を入手するため、実際に、牡蠣14個から、1000 copies 以上の高濃度のウイルスを有すると推定される G1陽性の牡蠣抽出試料を2検体、G 陽性の牡蠣抽出試料を1検体確保した。

また、ノロウイルス検査については、厚生労働省よりノロウイルスの検出法としてプロトコルが準備されているが、ノロウイルスは変異の発生頻度が高いため、ORF1 および ORF2 をターゲットとして多数のプライマー及びプローブの配列が記載されている。そこで、大阪府立公衆衛生研究所の指導を受け、最近の現場検査の流行状況から有効なプライマー及びプローブの配列情報として、ノロウイルス G1 およびノロウイルス G2 をターゲットとする2セットについて決定した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ウイルス、PCR、マイクロ流路、POCT、食中毒

【研究題目】平成26年度電カスマートメーター・システムのセキュリティガイドライン構築に係る調査研究

【研究代表者】大崎 人士（情報技術研究部門）

【研究担当者】大崎 人士、半田 剣一（情報技術研究部門）、寶木 和夫、坂根 広史、Artho Cyrille（セキュアシステム研究

部門）、中坊 嘉宏（知能システム研究部門）（常勤職員6名）

【研究内容】

我が国で今後導入が進むスマートメーター・システム及び想定されるリスクを踏まえると、スマートメーター・システムの導入で先行する諸外国の取組状況を調査した上で、我が国のスマートメーター・システムを取り巻く環境・リスクを考慮して、参照すべきセキュリティ評価手順等を検討する必要がある。また、どのような機関が、どのようにして評価手順を策定しているのかについても併せて調査することが、同様の仕組みを我が国に導入する上で大きな参考となる。本研究では、「海外調査」、「スマートメーター・システムのリファレンスモデルの構築」、「我が国の状況に適したセキュリティ評価手順等の検討」、「スマートメーター・システムのセキュリティ検証を支援するツール環境のデータベース化」の4つの課題について個別の調査を実施し、行政および業界への報告書としてまとめた。今後、電力スマートメーター・システムのセキュリティガイドラインづくりの基礎的なデータとして活用される。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スマートメーター、セキュリティガイドライン

【研究題目】新世代ネットワークの実現に向けた欧州との連携による共同研究開発  
FEDerated Test-beds for Large-scale Infrastructure eXperiments (FELIX)

【研究代表者】工藤 知宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】工藤 知宏、竹房 あつ子、中田 秀基、高野 了成、広瀬 崇宏、谷村 勇輔（常勤職員6名）

【研究内容】

将来のインターネット基盤として、欧州の OFELIA (The European OpenFlow Experimental Facility) や日本の RISE (広域 SDN/OpenFlow テストベッド) など高性能新世代ネットワークファシリティが現在世界中で運用されている。しかしながら、それらをスケラブルかつ効率的に組み合わせた連携フレームワークは定義されていない。そこで本研究では、利用者が日欧にまたがる新世代ネットワーク実験環境上のスライスを要求し、モニタリングし、管理することができるフレームワーク開発を目的とする。そのために、SDN (Software Defined Networking) のコントロールフレームワークや Open Grid Forum (OGF) の Network Services Interface (NSI) など新しいネットワーク技術を用いて、新しい連携フレームワーク基盤 FELIX を構築する。分散する異種の高性能新世代ネットワークファシリティを、NSI で制御された JGN-X、GEANT などの高速ネ

ットワークを介して連携可能にすることで、新しい SDN 型のサービスアーキテクチャを提供し、日欧の研究コミュニティが必要とする動的でシームレスな実験環境の構築を実現する。

3年計画の2年目にあたる平成26年度は、1)平成25年度に行った全体のアーキテクチャおよび機能ブロックの基本設計をもとに、統合制御フレームワークの実装を行った。機能ブロックのうち、産総研は単一データセンタを表す SDN アイランド内の計算資源を管理する計算資源管理システム、および NSI に準拠した SDN アイランド間を繋ぐトランジットネットワーク資源管理システムの実装を行った。また、2)アーキテクチャと実験の検証のため、最終年度に行うユースケースの実証に向けた実験環境の構築と、日欧各者が実装した FELIX 機能ブロックのデプロイメントを開始するとともに、3)提案技術の広報普及活動をクラウドコミュニティに対して行うとともに、提案技術の標準化活動を OGF NSI-WG で実施した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 クラウド、半導体ストレージ、並列分散計算、マップリデュース

【研究題目】 国際標準に基づいた環境モニタリングデータ連携とその効果的な可視化に関する研究

【研究代表者】 小島 功 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 小島 功、小川 宏高、金 京淑、的野 晃整、中村 章人、Steven Lynden、田中 良夫 (常勤職員7名)

【研究内容】

本研究題目は、日本原子力研究開発機構からの委託であり、昨年度の原子力規制庁からのデータベース事業の発展として国際標準に基づく環境モニタリングデータの効果的な連携手法と可視化手法の開発を目的としたものである。本研究は26年度単年度の計画で遂行した。

まず、昨年度研究開発した OGC (Open Geospatial Consortium) 標準に基づくセンサーデータの基盤、特に SOS (Sensor Observation Service) について、その検索性能の向上のため、サーバの改良を含めた高速化と、検索の高度化のためのユーザインタフェースの改良を行った。具体的には、同じ OGC 規格でありながらより簡便・計量で高速化が期待できる Opensearch GEO/Time extension にサーバの実装とインタフェースを変更し、かつ、GUI 上で発生する多様な検索パターンに対して大量の検索結果を戻して性能低下が起らないように平均値などの集約データを効果的に利用し、答えの個数を一定に維持することで実現した。

次に、可視化としてユーザインタフェースの改良を行った。具体的には、線量の時系列的な変化だけでなく、

複数のデータベースの相互比較や時期を離れた同じデータの相互比較なども表示できるようにし、線量の減少傾向にかかる専門家の要求にこたえられるようにした。これも、日次、週次、月次といったデータの集約表示を可能にすることで、膨大なデータをグラフ表示して性能が低下することを避けられるようになった。また、地図上での線量パターンの時系列変化を高速で表示できるよう、GUI の改良を行い、OGC 標準の時系列データ表示である WMS-T より高速のインタフェースを実現した。

サーバ側の機能改良として、システム間連携を想定したデータ転送のサブシステムを Git をベースに試験実装し、データ転送が可能であることを実証した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 データベース、国際連携、環境モニタリング、地理空間情報

【研究題目】 同時複数組成蒸着膜製造技術による安全・小型・低コスト水素検知センサおよびシステムの製品化

【研究代表者】 吉村 和記

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 吉村 和記、山田 保誠

(常勤職員2名)

【研究内容】

本プロジェクトでは、調光ミラー薄膜を用いた低コスト水素センサの実用化を目指した研究を行った。本年度はプロジェクトの最終年度として、当初予定していた目標の達成を目指した研究開発を行った。産総研では、同時複数組成蒸着膜製造装置で作製された薄膜の評価を担当し、成膜されたサンプルの組成や検知特性に関する解析を行った。本プロジェクトでこれまで得られた成果を総合的に用いることで、Mg-Y 系調光ミラー薄膜を用いた低コスト水素センサの実用化に関する用途をたてることができた。今後、この成果を基に、実際の商品化を目指していく。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 水素センサ、調光ミラー、ガスクロミックス

【研究題目】 同時複数組成蒸着膜製造技術による安全・小型・低コスト水素検知センサおよびシステムの製品化

【研究代表者】 松田 直樹

(生産計測技術研究センター)

【研究担当者】 松田 直樹、吉村 和記

(常勤職員2名)

【研究内容】

2015年に全国で100カ所の水素ステーション設置計画が推進されている。ところが、現在の水素ステーション等での水素検知器は、サイズやコスト等の問題から多点

に配置して水素漏れ箇所を特定するのは困難である。本開発では同時に複数組成の蒸着膜を作製できる新しい蒸着装置を試作し、高度な蒸着技術により水素検知薄膜の性能・信頼性・生産性の向上を図り、安全・小型・低コストの水素検知センサ及びシステムの開発を行う。従来の水素検知器（接触燃焼式センサ）は電気を使用する検知原理のため、一般高圧ガス保安規則により、防爆構造とすることが不可欠である。このため大型でコストも高く、水素ステーションやプラント等で多点に配置することは困難であり、漏れを感知すると水素・電源の供給が全て遮断され、漏れ箇所の特定やシステムの復旧に多大な時間を要する。

開発する新技術は、光での検知のため火種になることはなく（防爆構造不要）、配管等に近接して設置し水素の漏れ箇所を特定する事が可能である。また、制御システムにより更に効率的な管理が可能となり、安全・小型・低コストな水素検知システムが実現する。

平成26年度は、九州計測器㈱と協力し、光導波路チップ、光源、受光素子、光ファイバとセンサ材料を組み合わせ、基本特性の測定を行い、導波路チップの材質、形状、光導入方法（光ファイバ/光学素子）を、装置や成膜方法と併せて確定した

【分 野 名】 計測・計量標準

【キーワード】 水素ガス検知、スラブ光導波路分光法、Mg-Ni 合金ナノ薄膜

【研究 題目】 電子回路基板の多品種変量生産を実現する常圧過熱水蒸気を用いた高熱効率・均一リフロー装置の開発

【研究代表者】 菖蒲 一久

（生産計測技術研究センター）

【研究担当者】 菖蒲 一久、田原 竜夫

（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

携帯電話に代表される多品種・変量生産の電子機器の回路基板製造では、はんだ印刷・部品実装・リフローの各装置などで構成された製造ラインが稼働しているが、特にリフロー装置に対して、①歩留まりの向上、②生産品切り替えによる加熱条件設定変更時間の短縮、③省エネ・省スペース、④低コスト化、⑤環境対応（フラックス処理）の5つの要望が強い。これに対し、本研究では、高温の過熱水蒸気を加熱媒体とする高熱効率均一加熱リフロー装置を開発・実用化することで、これらの要望に応えることを目指している。

従来の窒素ガス等と異なり、過熱水蒸気はそれ自身が赤外線を輻射するため、対流伝熱とあわせて高い伝熱効率が期待されるが、定量的には未だ不明な点が多く、装置設計のために必要な基礎データも不足している。また、水蒸気は非酸化雰囲気であるが、はんだ付け雰囲気として深く検討されたことは無いため、その特性はほとんど

不明と言って良い。このような点を明らかにすることが本研究の目的である。

本年度は過熱水蒸気による実際の加熱実験によって、はんだ付け断面の詳細な調査を行い、最適なフラックスの開発は必要であるものの、欠陥の少ない優れたはんだ付け性をもたらす可能性が高いことを確認した。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 半導体製造、リフロー装置、過熱水蒸気、熱工学、はんだ付け

【研究 題目】 分散剤を含まない金ナノ粒子分散溶液を用いる金薄膜形成と表面増強ラマン散乱分光分析チップへの応用

【研究代表者】 松田 直樹

（生産計測技術研究センター）

【研究担当者】 松田 直樹（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究の目的はソリューションプラズマ（SP）法を用い過酸化水素水溶液中で金（Au）電極から構造を制御した Au ナノ粒子（AuNP）を合成し、適度に濃縮し濃度調整した AuNP 分散水溶液を用い金属、ガラス、高分子等の表面に AuNP ナノ薄膜を形成し、分光分析用チップ、電気接点材料等への応用を目指し物性、機能評価を行うことである。

AuNP 分散水溶液の濃度は0.01[w/w%]を目標に調製した。数十回同様の調製を繰り返し、典型的には例えば3L程度のAuNP分散水溶液を1[w/w%]程度のAuNP分散水溶液を調整し、100nm程度のAu薄膜を作成した。その上に *p*-アミノチオフェノール等の有機分子を吸着固定化し、強い表面増強ラマン散乱スペクトルを観察できることを確認した。

【分 野 名】 計測・計量標準

【キーワード】 Au ナノ粒子、ソリューションプラズマ、Au 薄膜、表面増強ラマン散乱

【研究 題目】 拡散接合法による SiC 素子用高信頼性冷却（放熱）基板の開発

【研究代表者】 山口 浩（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 山口 浩、佐藤 弘、仲川 博

（常勤職員3名、他1名）

【研究 内容】

SiC パワー半導体素子が持つ優れた耐熱性能の活用は、ハイブリッドカー等への適用が期待されている。しかし、SiC パワー素子の耐熱性能の活用には、素子周辺で用いられる部品類も高温実装に対応する必要があり、耐高温性能の向上が求められている。その中でも、高温実装に対応したセラミック基板は、配線金属とセラミックの複合体であるため、耐高温性と信頼性を両立させる技術開発の重要性が増している。本検討では、窒化ケイ素

(SiN) セラミックと銅回路の接合体である Direct Bonded Copper 基板 (DBC 基板) を高温実装に適用した際におけるセラミックと銅回路の接合信頼性について、温度サイクル試験 (-40℃~+250℃の耐久性試験) や変形観測等による評価を行い、開発技術の高信頼化や接合形成プロセスの改良などに反映させた。その結果、最終年度成果として SiN 材の強度を上回る接合強度が得られることを確認するに至り、当該接合技術が極めて高い強度と信頼性を有する有望技術であることを示した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 SiC、パワー半導体、高温実装、セラミック基板

〔研究題目〕 高品質マグネシウム合金板のコスト削減を実現する高速双ロール鋳造・圧延技術の開発

〔研究代表者〕 松崎 邦男

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 松崎 邦男、花田 幸太郎

(常勤職員2名)

〔研究内容〕

プレス用の Mg 合金板材は AZ31がほとんどであるが、強度的に不十分であり、燃えやすいなどの問題がある。Al の増加や Ca の添加により解決できるが、それにともない、加工性が低下し板材の圧延加工時に割れが生じる。そこで本研究では強度と難燃性を有するマグネシウム合金に対して双ロールを用いた溶融圧延による板材製造技術を開発するために、溶融圧延した AZ61および AZX611合金について、熱的特性と機械的特性を調べた。

双ロール鋳造材の X 線回折図形では101のピーク強度が最も強く、ほぼランダムな鋳造組織を示している。一方で、双ロール鋳造材を圧延した試料で、002面にピーク強度が増大し、板のロール面に底面が強く配向した組織となっていることがわかる。EBSD よりもとめた各試料の極点図からは、双ロール鋳造材は X 線回折図形と同様にランダムな配向組織を示していた。圧延した試料では、001面の強度は中央で高く、001面の強い配向化が観察された。また、熱処理した試料においても001の強い配向性は維持されていた。双ロール鋳造材の平均粒径は60 $\mu\text{m}$  であるが、圧延により微細化し、10 $\mu\text{m}$  の粒径を示した。熱処理後はわずかに粒成長が生じ、20 $\mu\text{m}$  になった。

成形性の評価として張出し試験を行った。圧延した試料の張出し高さは1.4mm であるが、熱処理により1.8 mm に達しており、成形性はわずかに改善される。これは熱処理により延性が改善されることに起因している。

圧延材を225℃で張出し試験を行った結果、張出し高さは8mm まで達しており、室温での成形性は乏しいが、225℃では十分な成形性があることが分かった。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 マグネシウム、溶湯圧延、難燃性

〔研究題目〕 船舶用エンジンの高出力化とクリーン化の革新をもたらす高疲労強度すべり軸受製造技術の確立

〔研究代表者〕 松崎 邦男

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 松崎 邦男 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

船舶エンジンの大型化と高速化を受けて、エンジンのすべり軸受けは耐圧、疲労強度、耐摩耗性の改善が要求されている。本研究では高機能かつ低コストの軸受を開発するために、Al-Sn 合金に対して半凝固技術による製造法を開発することを目的としている。そこで、種々の条件で作製した試料に対して組織、偏析、鑄巣の発生、クラッド材の接合界面状態などを調査するために、組織等の観察を行った。また、密度の評価を行った。

双ロール鋳造により得られた試料は、幅200mm の板材であった。その中央部分と中央から幅方向に100mm の部分および端の部分について、上のロールに接した部分、中心部分、下ロールに接した部分についてそれぞれ横断面の組織と密度の評価を行った。

双ロール鋳造した試料の先端から790mm での板材の SEM 組織には Al と Sn の2相組織がみられ、Sn は Al をとり囲むように、粒界に存在しているのが見られた。中央の部分はロールに接している部分よりも Sn は少なく、Al の粒径も大きくなっている。

双ロール鋳造した試料の各部分での密度をアルキメデス法により測定した結果、密度はほぼ6.3g/cm<sup>3</sup>程度であり、いずれも中高から100mm の部分でもっとも高い密度が得られる傾向がみられる。中央と端はほぼ同じ値であった。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 溶湯圧延、軸受、耐摩耗、Al 合金

〔研究題目〕 超音波プレス加工を用いた医療機器の実用化

〔研究代表者〕 芦田 極 (先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 芦田 極、栗田 恒雄、増井 慶次郎、澤田 有弘、梶野 智史、作本 里香 (常勤職員5名、他1名)

〔研究内容〕

産総研では、実施テーマ①「音叉型金型における超音波共振の最適化に関する開発」において、高島産業及び長野県工業技術総合センターで行った金型ホルダおよび共振器の試作評価について、解析および解析結果に対して計算力学的な知見からアドバイスをを行った。実施テーマ②「金型の設計手法の確立」において、単純化要素モデルをベースに理想的な楕円振動を実現する金型形状の設計指針を示し、解析結果の評価とアドバイスをを行った。

また、実際の加工では対象が小さく、かつ現象が高速なために観察が困難であることから、設計評価のための大型モデルを用いた基礎的な塑性加工実験を行った。実験では各種潤滑剤の効果を評価、並びにレーザ加工で形成した微細マーカによる塑性流動の観察を行い、実施テーマ④「金型の摩耗対策に関する開発」および⑤「加工条件の最適化」で実施された潤滑の適正化、凝着の対策および加工形状の安定に寄与するデータを得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 マイクロ鍛造、極細パイプ、塑性加工

【研究題目】 SUS304超塑性発現材を利用したナノ精度マイクロ部品の加工技術開発

【研究代表者】 加藤 正仁

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 加藤 正仁、中野 禪、佐藤 直子

(常勤職員3名)

【研究内容】

金属 MEMS 部品であるステンレス製メタルマイクロポンプは、耐薬品性に優れ、強度が高く破損事故の可能性が低いことから医療機器等でのニーズが高く、安価な量産化を実現するため一層の生産性向上が求められている。従来メタルマイクロポンプは、通常のステンレス鋼箔をエッチング加工した後高温で拡散接合することで製造していたために生産性が低く、高価となっていた。そこでメタルマイクロポンプの量産化に寄与するために、ステンレス鋼箔のエッチングを高精度プレス打抜き工法に、また1,000℃以上で行う高温での拡散接合を、超塑性接合などを利用した、約700℃での拡散接合に転換する技術を開発することを全体計画として研究開発を行っている。

当年度においては、高精度打抜きプレス技術の基礎技術として、ナノメートル精度で位置制御できる金型の開発を行い、ステンレス薄板の打抜き実験を行って、金型とパンチの位置合わせが、工具損傷や打抜き製品の形状精度に与える影響を明らかにした。また、超塑性や組織制御のための加工熱処理を応用した低温拡散接合技術を開発し、それに適した材料調整技術の開発および接合条件の最適化実験を行うとともに、メタルマイクロポンプの試作を行い、ポンプとして動作させることに成功した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 金属 MEMS、プレス打抜き、拡散接合、超塑性、ステンレス鋼

【研究題目】 低コスト・小規模投資で薄肉高強度を実現する革新的ダイカスト技術の開発

【研究代表者】 梶野 智史

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 梶野 智史 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

自動車等の電装部品に用いられるアルミダイカスト製品は、ユーザー企業から小型軽量、高機能の薄肉、高強度化が強く求められているが、現状の技術ではコスト面や品質面の課題があり、未だニーズに応えられていない。

具体的には、ハイブリッド車、電気自動車、更には環境性能に優れる従来車においても、地球環境保護の観点から燃費向上が謳われている。自動車部材においては、現在、アクチュエータとコントローラを一体化する機電一体化技術、アクセルバイワイヤ、シフトバイワイヤに続き、ステアリングバイワイヤ技術による燃費向上が進められており、ギヤボックス、ワイパーフレーム、オイルポンプボディ等のダイカスト部材に対して、ユーザー企業からは更なる薄肉化と同時に、強度、信頼性の向上が強く求められている。

本研究開発では、溶湯を流した際のダイへの熱移動を定量的に測定し、表面処理の違いによる溶湯流動時の熱伝達係数を計測し、金型に対する表面処理を評価する。測定した熱伝達係数を用いて、溶湯温度低下抑制技術、製品の高密度化技術の開発に取り組み、特に従来の普通ダイカスト法では難しい薄肉と高強度の両立を実現する予定である。これにより、川下分野横断的(自動車、電機機器、産業機器等)なニーズへの対応を図る。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 アルミダイカスト、薄肉化、高強度化、高密度化

【研究題目】 高速双ロール式縦型鋳造法による難加工性高機能薄板の革新的製造技術の確立

【研究代表者】 松崎 邦男

(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 松崎 邦男、花田 幸太郎、村上 敬、

永井 秀明 (常勤職員4名)

【研究内容】

Al-SiCp 複合材は低熱膨張性や高熱伝導率のため電子部品の基板等には有効な材料である。しかし、高コストのため使用の範囲が限定されている。Al-SiCp 複合材の高コストの原因は、Al-SiCp 複合材は著しく変形し難くなるためである。特に、低熱膨張率と高熱伝導率を向上させるためには、SiC の分散量を高くする必要があり、それに伴い成形性は著しく低下する。本研究は、高速双ロール式縦型鋳造法により熔融状態から直接作製したSiC 分散 Al 合金とさらに圧延して作製した板材の組織、熱的性質および機械的性質を評価することを目的としており、また、そのリサイクル材についても特性の評価を行い、リサイクル材の可能性を検討した。

リサイクル材の組織は、もとの材料とおなじく Al、Si および SiC から構成され、SiCp は凝集することなく、組織の大きな違いはなかった。また、溶解は557℃で、元の材料とほぼ同じであった。機械的特性において

も300MPa以上の強度と1Gのヤング率を示し、元の材料とほぼ同等の特性を示した。電気抵抗や熱伝導度、熱膨張係数についても調べた結果、元の材料とほぼ同じ特性であり、リサイクル材の使用も可能であることを明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 Al 複合材、双ロール圧延、低熱膨張、高熱伝導材

【研究題目】 チタンアルミ合金切削加工技術の確立による環境対応型先進 UAV 用ターボジェットジェネレーターの開発

【研究代表者】 岩田 拓也（知能システム研究部門）

【研究担当者】 岩田 拓也（常勤職員1名）

【研究内容】

輸送産業において、構成部品の軽量化は燃費の向上及び航続距離に直結する大きな課題である。産業用 UAV（Unmanned Air Vehicle：無人航空機）分野でも、騒音対策と並んで燃費向上、航続距離の延長が課題となっている。そのため、エンジン部品の一部に軽量・高強度な新材料を採用して軽量化するとともに、エンジンパーツの高精度化により振動や摩擦損失を低減させる等の対応が求められている。本研究開発では、従来の金属材料に比べ高硬度・脆性材料であり、耐力が小さいことから機械加工が極めて困難であるが、「高耐熱」・「高硬度」・「軽量素材」という優れた素材特性をもつチタンアルミ合金の切削技術の確立を目指す。本研究開発では、基礎技術であるチタンアルミ切削技術の開発から設計したチタンアルミ部品の加工、組立、システム動作確認までの開発ループの形成に重点を置いている。目標とする最大のシステムは研究題目の通り環境対応型先進 UAV であるが、これに開発したジェットジェネレーターを搭載し評価する計画である。産総研は主にこの環境対応型先進 UAV の開発を担当している。平成26年度は、環境対応型先進 UAV システムの設計、強度解析シミュレーション、部品製作、アSEMBルなどを実施。初めて民間製造による Cargo UAV とする3号機をアSEMBルし、2014年9月に公開。2015年3月には、その進化版の4号機による飛行試験に成功した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 物流無人機、Cargo-UAV、無人航空機、飛行ロボット

【研究題目】 ワイヤ投擲型プローブシステムの研究

【研究代表者】 有隅 仁（知能システム研究部門）

【研究担当者】 有隅 仁、大槻 真嗣（JAXA）、星野 健（JAXA）  
（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究では、月面に存在する縦孔の内部を探索するた

めにランダーに搭載されたランチャーを用いてペネトレータとカプセルを同時に投擲し、縦孔の奥側の縁にペネトレータを着地させて、ペネトレータとランチャーにそれぞれワイヤで繋がるカプセルを縦孔の中心に宙づりになるように配置することを目標としている。当該研究者は、基礎的な検討として姿勢を保持したペネトレータの飛行軌道生成ならびにカプセルの軟着地を実現した。まず、ペネトレータの重心を通る軸周りに回転するバーにワイヤを結合し、弾性体を用いてワイヤを引くことにより飛行中のペネトレータの姿勢を保持しながら所望の飛行軌道を生成する方法を提案した。実機を用いた投擲試験によりペネトレータの姿勢変化が6度以下に抑制できることを確認した。次に、ランチャーを用いてカプセルならびに補助錘の投擲を行い、飛行中のカプセルと補助錘に対してワイヤを介した引っ張りを繰り返すことにより、カプセルと補助錘とが干渉することなく、カプセルのソフトランディングを生成する方法を検討した。具体的には、カプセルならびに補助錘の着地時の運動に関する目標状態を設定し、最適化手法により投擲パラメータを決定する手法を提案した。さらに、実験により提案手法の有効性を検証した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 マニピュレーション、動力学、ワイヤ張力制御、最適化法、衝撃緩和

【研究題目】 平成26年度戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：全天候型白線識別技術の開発及び実証「車線維持制御における白線識別性能評価」

【研究代表者】 加藤 晋（知能システム研究部門）

【研究担当者】 加藤 晋、橋本 尚久  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

ドライバーの漫然運転や居眠り運転等による車線逸脱が原因と思われる交通死亡事故は、平成25年の全交通死亡事故（4,278件）のうち、847件と大きな割合（約20%）を占めている。市場では既に、車載カメラを用いて路上の白線を認識し、車線維持を支援するシステムが開発されている。しかし、既存の車載カメラを用いた車線維持支援システムでは、降雨時等の悪天候時やトンネルの出入り口付近等、照度が急激に変化する環境下において、白線識別性能が大幅に低下し、車線維持支援が困難となる。そこで本事業では車載センサと白線の工夫により、どこまで白線認識の性能向上が期待でき、自動運転に活用できるのかを見極めることを目的として、H26年度から通常時の自然環境に加えて様々な自然環境や道路環境においても有効な白線識別技術の研究開発を進めている。

本事業において産総研は、開発される白線識別センシングシステムを実験車に搭載し、開発した白線材料にて

高輝度白線を実験線に敷設し認識性能の評価を担当する。また、白線認識性能は車線維持制御に大きく影響するため、白線認識性能と車線維持制御性能の関係を明らかにするとともに白線識別技術に関する標準化案の策定を担当する。平成26年度は、白線識別技術の性能評価のための車線維持制御実験車両を制作し、従来のビジョン技術の調査に基づき従来のカメラ等のシステムを実験車両用に搭載し、基礎的な機能検証を行った。また、試験的にリブ式白線をテストコースに塗布し、視認性や騒音に関する評価の予備試験を行った。さらに、白線識別技術を用いた車線逸脱防止装等に関して、国際基準や国際動向、試験法の調査を実施した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】自動運転、白線認識、車線維持、性能評価、試験方法

【研究題目】土地利用型大規模経営に向けた農作業機械の自動化・知能化による省力・高品質生産技術の開発

【研究代表者】谷川 民生（知能システム研究部門）

【研究担当者】谷川 民生、中坊 嘉宏、角 保志、金 奉根、鍛冶 良作、堀部 雅弘（計測標準研究部門）、岸川 諒子（計測標準研究部門）、加藤 悠人（計測標準研究部門）、佐藤 雄隆、岩田 健司（常勤職員10名）

【研究内容】

本研究では、IT等の先端技術による農業のスマート化により高品質・省力化を同時に達成する生産システムの実現に向けた研究開発を行っている。このためのキーとなる技術は人に代わる労働力としてのロボット技術である。特に自動運転機能を有するトラクターを1台だけでなく、複数同時に、しかも人の監視なしに安全性を確保しながら運用する技術が重要になる。

具体的には、圃場とりわけ稲等が密集した立毛状態において、電磁波技術あるいは画像処理技術を活用して圃場内の人の検知を行う。電磁波技術については、実際の圃場あるいはそれに類する模擬的な環境下で、利用する電磁波の周波数や信号送受信方法を決定するための評価を実施し、感度・効率のよい周波数や方式を決定する。映像技術については、視差合成を行うことで半遮蔽状態であっても特定の距離にある物体にフォーカスすることが可能な映像処理系を適用することで、人体が稲などの微細な構造物に隠れている状況を把握するためのアルゴリズムを開発し、人検知信号を出力するシステムを開発する。加えて、今後機械自動化における安全性の基準が求められることから、開発されるセンサの機能に即した機械自動化における安全規定の策定を進める。

本年度は、圃場の環境や実際の圃場において麦の作物の中に人がいる場合の電磁波信号の変化を計測し、画像

処理技術を中心に視差統合型カメラ装置の仕様および、電磁波技術による人検出用電磁波送受信装置の仕様を決定した。さらに農業機械自動化におけるリスクアセスメントを共同機関の既存農業機械を対象として作成し、農業機械向けのリスクアセスメントシートの初期バージョンを作成した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】農業ロボット、センシング、電磁波、画像処理、人体検出、安全性

【研究題目】低結晶質粘土鉱物・非晶質物質におけるCs吸着特性脱着挙動の検討

【研究代表者】鈴木 正哉（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】鈴木 正哉、森本 和也（常勤職員2名）

【研究内容】

福島原発事故による除染作業が進められているが、今後の課題として剥ぎ取った土壌等の減容化が大きな問題となっている。本研究では、表層土壌におけるアモルファス系吸着剤（アロフェン・イモゴライトなど）のCs（セシウム）吸脱着機構についての検討を行い、その吸脱着機構を基に減容化の開発に向けた検討を行うことを目的としている。本研究の実施に当たっては、原子力開発研究機構と物質材料研究機構を中心とし、複数の研究機関による連携体制をとっている。

今年度は、非晶質および低結晶性アルミニウムケイ酸塩におけるCs吸着特性脱着挙動の検討を行うため、天然アロフェン、合成アロフェン、合成イモゴライト、合成非晶質アルミニウムケイ酸塩における、塩化セシウムを用いた吸着試験および、吸着後に純水を用いた脱離試験を行った。

Cs吸着量としては、合成非晶質アルミニウムケイ酸塩>合成アロフェン>合成イモゴライト>天然アロフェンの順であり、合成品においてはSi/Alモル比が高いほど吸着量が多いことが示された。

次にCsを吸着させた後に、純水を加えて脱離試験を行ったところ、1,000ppmの濃度でのCsを吸着させた試料では、天然アロフェンおよび合成イモゴライトそれぞれ61%、22%の割合のCsを脱離していたが、合成アロフェンおよび合成非晶質アルミニウムケイ酸塩では、ほとんどCsを脱離していなかった。この結果より、非晶質物質においてもCsを相当量吸着し、純水では溶け出さないほどの吸着力を有していることが明らかとなった。

【分野名】地質

【キーワード】非晶質物質、吸脱着、放射性セシウム

【研究題目】新規取得試料の微生物学的分析

【研究代表者】坂田 将（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】吉岡 秀佳、片山 泰樹、坂田 将



(常勤職員3名)

## 【研究内容】

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム(MH21)の研究の一部として、東部南海トラフ海底堆積物中の微生物のメタン生成・酸化活性と群集構造を調べることにより、微生物のメタン生成能力を評価し、メタンハイドレートの集積メカニズムの解明に貢献する。

本年度は、東部南海トラフにおける地盤調査及び海洋産出試験事前掘削において採取されたコア堆積物試料から低温性のメタン生成菌の集積培養・分離を行い、単離されたメタン生成菌を用いて、メタン生成活性の温度依存性を評価した。また、間隙水中のメタノール濃度の測定と<sup>14</sup>C-トレーサーを用いた培養実験を行い、コア堆積物にメタノールを利用したメタン生成活性が有ることが分かった。

【分野名】地質

【キーワード】海洋ガスハイドレート、微生物、メタン生成菌、メタン生成活性、遺伝子解析

【研究題目】鉱物・地球化学的解析に基づく付加体堆積岩からのレアアース分離・回収技術開発

【研究代表者】高木 哲一(地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】高木 哲一、大野 哲二、昆 慶明、荒岡 大輔、江島 輝美、須藤 定久、月村 勝宏(常勤職員4名、他3名)

## 【研究内容】

日本列島に広く分布する付加体堆積岩類のレアアース資源ポテンシャルを評価するために、関東地方北部に分布する層状チャートを代表例として、露頭での試料採取、鉱物学的解析、化学分析、化学リーチング試験等を実施した。露頭では、携帯型蛍光 X 線装置を用いてイットリウム含有量を測定し、レアアース濃集部を特定した。その結果、総レアアース資源量は大きいものの、中国等の稼行レアアース鉱山と比較して濃度が低く、レアアースが極めて細粒なリン酸塩鉱物および粘土鉱物に含有されていることが明らかになった。また、化学リーチング試験の結果からイオン吸着鉱物である可能性は否定された。したがって、現状の技術では安価にレアアース精鉱を作成することは困難であり、付加体堆積岩類のレアアース資源ポテンシャルは高くないと判断された。

【分野名】地質

【キーワード】レアアース、日本列島、付加体、資源ポテンシャル

【研究題目】平成26年度希少金属資源開発推進基盤整備事業(探査基盤技術高度化支援事業)

【研究代表者】光畑 裕司(地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】光畑 裕司、高倉 伸一、大野 哲二、

高木 哲一、上田 匠、児玉 信介、坂野 靖行、古宇田 亮一

(常勤職員7名、他2名)

## 【研究内容】

資源エネルギー庁では平成26年度より WebGIS を利用した資源探査支援システム“GRIAS”を運用している。GRIAS は、資源探査用センサ ASTER・PALSAR の衛星画像解析結果を表示するものであるが、その有用性を高めるために地質・鉱物関連情報を整備し、統合的に閲覧可能としている。本プロジェクトでは衛星データによる解析データを補完するために、鉱物資源データベースおよび鉱物スペクトルデータを掲載、統合することを目的とする。加えて、鉱物資源探査において、リモートセンシングや空中物理探査による概査に引き続いて、最終的な試掘位置の決定には地表での電気探査強制分極(Induced Polarization; IP)法が欠かせない。JOGMEC による過去の10年間のジョイントベンチャー調査・探査では IP 探査法の適用実績は30件以上となっている。しかし、国内では多くの鉱山の閉山に伴い資源探査の機会が激減し、資源・物理探査系教育機関の減少により IP 探査法に関する技術継承が困難になりつつある。一方、海外では鉱物資源探査に加え、最近では土壌・地下水環境調査にも適用され、計測システム、解析技術、IP 現象概念モデルの構築等の技術向上が図られつつある。このような状況を踏まえ、本プロジェクトでは IP 探査法に関する新規技術を積極的に受け入れ、かつ有効性を検証し、その結果やデータベースを GRIAS 上で他のデータと一緒に公表することで探査基盤技術の継承と向上を支援することを目的とする。

本プロジェクトの実施課題は、1)アジア地域の地質・鉱物資源データの統合化、2)分光反射スペクトルライブラリ整備、3)岩石の電気物性データベースの整備、4)IP法電気探査技術の検証の4つで、本年度の実施内容は以下の通りである。

アジア地域の地質・鉱物資源データの統合化に関しては、“Mineral Resources Map of Central Asia”(GSJ, 2012)の鉱物資源データ再編集に関して、鉱物資源情報の更新と位置情報の詳細化を行ない、GRIAS で利用可能な形で提供した。また、日本において最も網羅的な鉱物資源情報ソースである日本鉱産誌(地質調査所)について、その一部を電子化した。

分光反射スペクトルライブラリ整備に関しては、産総研でこれまで実施した国内外の資源調査の試料について系統的に調査し、特に Cuprite 鉱山周辺の岩石の所蔵試料を対象として鉱物の利用優先順位を定め、それら鉱物について短波長赤外域 FT-NIR (ArcOptix 社製 FT-NIR Rocket (計測波長範囲900-2,600nm))によるスペクトル計測を行なった。また、チリ共和国カセロネス鉱山周辺岩石の代表的な試料についても FT-NIR による計測を行なった。さらに関連技術動向調査として、ベト

ナム、ハノイで行なわれた第13回鉱物資源探査のための国際会議へ参加し、ASTER 短波長赤外帯の統計解析の事例等について情報収集を行なった。

岩石の電気物性データベースの整備に関しては、0.1mHz～1MHz の広帯域の周波数範囲を対象に計測が可能で、比抵抗と位相差のリアル表示可能なシステムを構築した。そして、JOGMEC と連携して11地域の鉱石・胚胎母岩等からなる54サンプル（正マグマ性鉱床：6試料、VMS 鉱床：11試料、スカルン型鉱床：23試料、斑岩銅鉱床：12試料、浅熱水性鉱床：2試料）について周波数領域のIP 特性を計測した。さらに、IP 電気物性データベースの整備のために、既存論文の収集とその電子ファイル化を実施した。そして、試料の電気物性データ記録のフォーマットを検討し、データベース作成を進めた。

IP 法電気探査技術の検証に関しては、海外技術動向調査として、米国物理探査学会2014年定例会議および第24回豪州物理探査学会国際講演会・展示会に出席して、情報収集を行った。また、IP 法の技術動向レビューをIP 現象の物理・数理モデル、計測システム、解析手法やソフトウェアについて実施した。そして解析システム整備の一環として、2次元比抵抗・IP 法データ解析ソフトウェア：RES2DINV（Geotomo Software 社製）を導入し、平成6年度広域地質構造調査の3地域（4地区）の既存IP 法データに適用し、解析結果の評価を行った。また秋田県小坂鉱山周辺域で、最新システムを用いて周波数領域IP（SIP）法検証試験を行い、電極やケーブル配置による影響評価の試験を実施した。取得データの解析によって推定された地下の比抵抗・充電率分布は、ボーリング調査等で確認されている地質構造や鉱床分布と調和的であり、IP 法が鉱物資源探査の有効な支援技術であることを確認した。

〔分野名〕地質、環境・エネルギー

〔キーワード〕鉱物資源情報、リモートセンシング、分光反射スペクトル、物理探査、IP 法、電気物性

〔研究題目〕海洋生物が受ける温暖化と海洋酸性化の複合影響の実験的研究（（2）我が国周辺のサンゴ種の成長への水温と海洋酸性化の影響）による研究委託業務

〔研究代表者〕鈴木 淳（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕鈴木 淳、中島 礼  
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

人為的なCO<sub>2</sub>排出量増加は、地球温暖化と海洋酸性化を同時進行させている。海洋生物は、温暖化のみならず海洋酸性化の影響をも受け得るため、複合影響評価が必要である。水温上昇の影響により、九州から本州沿岸で分布域が北上しているサンゴ種（北上種）が知られて

いるが、海洋酸性化による炭酸カルシウム飽和度低下は石灰化を抑制しうるので、分布域移動に今後制約がかかる可能性がある。しかし、温帯性サンゴのCO<sub>2</sub>に対する応答特性が未知で予測は難しい。温帯性サンゴでは、高水温・低水温ともその生息域を決める要因となり、水温とCO<sub>2</sub>の複合影響を飼育実験から評価することが求められる。

本年度は、実験対象種を拡大して長期飼育実験を行い、水温上昇と高二酸化炭素分圧の複合効果による石灰化と成長への影響を評価した。本州沿岸のサンゴ類には、北上が見られない安定種、急速に北上している種（分布北上種）、北限域に分布するが北上していない種（北限種）が知られ、これらにCO<sub>2</sub>増加および水温上昇に対する応答の違いがあるかどうかを検討し、今後起こり得る影響を総合的に考察した。主たる飼育実験は、公益財団法人海洋生物環境研究所実証試験場において同研究所と共同で実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕サンゴ、海洋酸性化、骨格、pH、ストレス

〔研究題目〕「Exp. 339 地中海流出に支配されたカデイス湾ドリフト堆積体の成立と時空変化の解明」のうち、泥質コンターライトの識別基準の確立と堆積相モデルの構築

〔研究代表者〕西田 尚央（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕西田 尚央（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の主な目的は、ポルトガルスペイン沖大西洋で実施された統合国際深海掘削計画（IODP）第339次航海で掘削・回収したコアの解析から、主に地中海流出水起源の底層流に支配されたコンターライト堆積システムの実態について明らかにすることである。特に、泥質コンターライトの粘土ファブリックに注目し、新たな堆積相モデルの構築を目指すものである。

平成26年度は、前年度に行った走査型電子顕微鏡を用いた微細組織の検討結果をサポートするために、対象とする試料全てについてより詳細な観察を行った。すなわち、泥質コンターライト45試料、比較のための半遠洋性泥15試料について、微細組織の特徴やそのパターンについて検討した。その結果、泥質コンターライトでは、主に平板状のシルトが層理面に対して平行に近い配列を示すことが確認された。一方、半遠洋性泥は、石灰質ナノプランクトンが卓越するか、あるいは、シルト粒子とランダム配列する粘土粒子で特徴づけられることが認められた。したがって、泥質コンターライトと半遠洋性泥の微細組織に違いがあることがあらためて確認された。しかし、このような違いは堆積プロセスのみでなく、粒度や組成の条件も要因である可能性が考えられる。したがって、泥質コンターライトと半遠洋性泥を識別する

ためには、微細組織だけでなく、粒度や帯磁率異方性などの特徴も合わせて総合的に検討することが重要と考えられる。

【分野名】地質

【キーワード】コンターライト、粘土ファブリック、統合国際深海掘削計画（IODP）

【研究題目】平成25年度延伸大陸棚等資源権益保全調査事業に係るサンプリング調査及び情報収集

【研究代表者】下田 玄（地質情報研究部門）

【研究担当者】下田 玄、井上 卓彦、針金 由美子、片山 肇、石塚 治（活断層・火山研究部門）、佐藤 太一、佐藤 智之、後藤 孝介、山崎 徹、池原 研、田中 弓（常勤職員10名、他1名）

【研究内容】

本受託研究の目的は我が国の排他的経済水域及び延伸大陸棚海域において、海底鉱物資源の賦存が期待できる有望海域を抽出することである。我が国周辺海域で海底鉱床の存在が期待できる海域は、プレートテクトニクスの観点から3海域に限定できる。すなわち、陸弧に分類される琉球弧（沖縄海域）、海洋島弧に分類される伊豆-小笠原弧（伊豆海域）及び活動を停止した島弧である九州-パラオ海嶺（延伸大陸棚海域）である。本研究では、これらの海域の中で調査に好適なエリアを選定し、それらについて海洋地質調査・物理探査を行った。沖縄海域では熱水活動域の地球物理学的指標開発を目的として行った。その結果、これまでに報告されていない火山と思われる地形を発見した。伊豆海域の調査では新たな熱水活動域の発見を目指した調査を実施した。その結果、八丈島西方海域で低温の熱水域を複数発見した。さらに、延伸大陸棚海域では、今後の調査に不可欠な地球科学の基礎データ取得を目標に調査を行った。その結果、調査海域において島弧基盤岩深部の露出が確認された。特に花崗岩質岩石や安山岩質斑岩の露出が確認できたのは、海底鉱物資源の有望域抽出という観点で意義深い。

【分野名】地質

【キーワード】海底鉱物資源、テクトニクス、沖縄トラフ、フィリピン海プレート、地球化学、岩石学

【研究題目】南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、荒井 晃作、板木 拓也、宇佐見 和子、岩井 雅夫、金田 義行（海洋研究開発機構）（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

本研究では、南海トラフ沿いを中心に関東から琉球諸島の海域において、海底堆積物中に残された地震発生の記録から過去の巨大地震・津波の発生履歴を解明することを目標とする。本年度は、海洋研究開発機構の「かいよう」による YK15-01航海を実施し、沖縄八重山周辺海域で海底地形調査と海底堆積物採取を実施した。結果として、明和津波の波源とされる海底地すべり発生推定域に明瞭な地すべり地形がないことを確認し、明和津波への海底地すべりの寄与は小さい可能性を示した。また、海底堆積物中に複数のタービダイト層を認定し、この海域の堆積物が過去の地震発生履歴の解明に使える可能性を示した。

【分野名】地質

【キーワード】海底堆積物、地震、津波、タービダイト、海底地すべり、八重山前弧域

【研究題目】平成25年度国際共同研究事業 多国間国際研究協力事業（DELTA : Catalyzing action towards sustainability of deltaic systems with an integrated modeling framework for risk assessment）

【研究代表者】齋藤 文紀（地質情報研究部門）

【研究担当者】齋藤 文紀、田中 明子（活断層・火山研究部門）、田村 亨、金井 豊、Kan-Hsi Hsiung、上原 克人（九州大学）、堀 和明（名古屋大学）（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

河川から運ばれた土砂によって河口域に形成されるデルタ（三角州）は、地形的に低平であること、生物生産が高く、豊かな生物多様性を示し、多くの水路網やダイナミックに変化する海岸線によって特徴付けられる。デルタは、居住としての場に加えて多くの国々において農業や工業の中心となっており、国内総生産の多くを占めることから戦略的にも重要な地帯となっている。しかしながら現在世界の多くのデルタで地球環境の変化や人間活動の影響に回答して、デルタは自然機能が劣化し、脆弱性が增大する傾向にあり、今後更に状況が悪化することが懸念されている。本来デルタは、自然の機能によって自然災害などに対して復元力を持ち応答してきたが、近年急速に増大する人間活動によって、脆弱な環境へと変化してきている。将来に向けて持続的なデルタの利活用、デルタとの共生を行うためにはどうすれば良いか。世界のデルタの脆弱性を評価し、デルタの復元力を活用したデルタの管理と意思決定を支援するツールの開発が緊急に必要とされている。本研究の目的は、以上のようなデルタにおける沿岸環境変化を背景に、個々のデルタに関して特徴的な機能や決定的な要因の更なる理解と、脆弱性を定量的に評価するための地域レベルで活用できる多様なモデリング構成を構築することにある。国際プ

プロジェクトである本研究の中で日本チームは、メコンデルタを主対象に地球科学的・自然地理学的な手法によりデルタの特性や自然機能を明らかにすること、モデル構築に必要な基礎データの確定や取得方法の確立を目的とする。平成26年度は、メコンデルタのベトナムにおける河道の堆積物を対象に、乾季において河床堆積物の調査を実施した。この結果、河川が卓越する地域と潮汐が卓越する地域が、堆積物の粒度組成や堆積構造などの堆積相から識別でき、これらは河川の地形とも密接に関連していることが判明した。12月にサンフランシスコで開催された米国地球物理学連合大会に合わせて実施されたプロジェクトの全体会合に参加するとともに、同大会においてメコンデルタや他のアジアのデルタで行ってきた研究成果を発表した。

【分野名】地質

【キーワード】持続的成長、メコンデルタ、人間活動、デルタ

【研究題目】海洋資源の成因に関する科学研究

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、山崎 徹、下田 玄、針金 由美子、山岡 香子、後藤 孝介、石塚 治（活断層・火山研究部門）、佐藤 太一、井上 卓彦、片山 肇、板木 拓也、佐藤 智之、天野 敦子、西田 尚央、小森 省吾（活断層・火山研究部門）（常勤職員14名、他1名）

【研究内容】

本研究では、海底熱水鉱床とコバルトリッチクラストの海底鉱物資源の成因に関して地質学的観点からテクトニック・セッティング及び成因に由来する地形的・地球物理学的情報や岩石学的・地球化学的情報を取得・解析し、新たな有望海域の抽出に資する各種地球科学的指標の特定と有用元素濃集域形成を伴う造構モデルの構築を行うことを最終目標とする。本年度はこのため、海洋研究開発機構の地球深部探査船「ちきゅう」による沖縄トラフ伊平屋北海丘の掘削航海と深海調査研究船「かいれい」による南鳥島沖拓洋第5海山の調査航海に参加した。「ちきゅう」による掘削では、掘削同時検層で海底下の状況を調査するとともに、その近傍でのコア採取から硫化鉱物濃集層の試料を得た。また、火成岩類の分析からは層状の流紋岩質軽石や熱水変質を受けた火成岩類と中部沖縄トラフの流紋岩との類似性が明らかとなった。「かいれい」の調査では海山を覆うコバルトリッチクラストの産状観察を行い、クラスト等の試料を採取した。さらに、プログラムに参画する民間組合との情報交換を進め、民間との連携の構築を目指した。

【分野名】地質

【キーワード】海洋資源、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、調査手法、民間連携

【研究題目】Exp.346中新世以降のアジアモンスーンに対する日本海の応答

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、板木 拓也（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究では、IODP Expedition346で日本海及び北部東シナ海から採取された掘削試料の層序対比を完成させ、年代モデルを構築するとともに、各種指標の変動の相互関係及び日本海の表層・深層環境の変動との関係を調べて、中新世以降の東アジアの偏西風軸位置と夏季モンスーンや冬季モンスーンの強度、空間分布、アジアモンスーンに対する日本海の応答の変遷を明らかにすることを目標とする。本年度は層序対比の完成と年代モデル作成のため、約4Ma 以降の火山灰について化学分析を行い、テフラ層序を構築してサイト間の対比を行うとともに、既知の広域テフラに関しては年代モデルの構築に適用した。また、微化石群集を用いた東シナ海北部及び日本海古海洋環境復元の放散虫化石群集では、航海で得られたコアキャッチャー試料のデータ解析と追加試料のスライド作成を行った。これによって、日本海全体での群集変化を低解像度で把握した。

【分野名】地質

【キーワード】海底堆積物、アジアモンスーン、IODP、日本海、古環境

【研究題目】中海浚渫窪地の埋め戻し時の高精度音響モニタリングに関する研究

【研究代表者】齋藤 文紀（地質情報研究部門）

【研究担当者】齋藤 文紀、西村 清和（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、NPO 法人自然再生センターが中海（島根県、鳥取県）で実施している干拓などの開発事業でできた浚渫窪地の石炭灰造粒物の覆砂による環境修復実証事業において、湖底及び湖底下の状況を把握するため、高分解能海底音響プロファイリング装置（SBP）及び海底表層音響画像探査装置（SSS）をベースにした音響モニタリングシステムを構築し、窪地の埋め戻し時の音響モニタリングの手法の確立を図ることを目的とする。当初は平成24～25年度の2年間であったが、モニタリングを継続するため26年度まで延長された。本研究は、以下の項目から構成される。

- (1) SBP により、湖底のヘドロの分布および覆砂の状況の事前把握と埋め戻し後の変化を精査する。
- (2) SSS により、湖底面の底質および覆砂の状況の事前把握と埋め戻し後の変化について精査する。
- (3) SBP、SSS、高精度測位装置、音響データ処理ソフト等を組み合わせ、高精度な窪地の音響モニタリングシステムを構築する。

平成26年度は、中海の細井沖窪地及び錦海沖窪地に

において取得した探査データの処理・表示を行った。また、高精度・高能率ナビゲーションシステムを構築し、探査データ取得に役立てた。本研究をまとめると、以下のとおりである。

- (1) デジタル化された SBP により、湖底のヘドロ分布および覆砂の状況の事前把握と埋戻し後の変化を捉えることができた。
- (2) SSS により、海底面の底質および覆砂の状況の事前把握と埋戻し後の変化を捉えることができた。
- (3) SBP、SSS、高精度 GPS 受信機、音響データ処理ソフト等を組み合わせ高精度な音響モニタリングシステムが構築できた。

【分野名】地質

【キーワード】音響モニタリング、浚渫窪地、埋め戻し、中海

【研究題目】めっき液中添加剤の劣化に起因するめっき液性能劣化診断用計測器の開発

【研究代表者】藤巻 真（電子光技術研究部門）

【研究担当者】藤巻 真、島 隆之、桑原 正史、  
芦葉 裕樹、栗津 浩一  
（常勤職員5名）

【研究内容】

めっき液は、液の基本組成に添加剤を加え、要求性能に合わせて使用される。基本組成と添加剤の濃度バランスは、めっき処理過程にて徐々に崩れていくため、品質管理が欠かせない。しかしながら、添加剤に関しては、効果的な管理方法は確立されておらず、現在でも仕上り外観の目視比較などが行われている。

本開発では、計測器に用いる検出用センサチップ表面に透明電極を形成し、めっき液から金属析出を行い、その析出金属の形状を判定することによってめっき液の状態を判定するセンサ技術の開発を行う。透明電極としてITOを用い、さらにめっき液に対する耐性を持たせるための透明電極層を導入することによって、長期使用が可能で液判定の再現性の高いセンサチップの開発に成功した。最適印加電流も決定した。1回の電流印加時間を180秒とした場合、1つのチップで100回の繰り返し測定が可能である。添加剤の状態の良/不良判定技術の開発では、ポリマー濃度と導波モードセンサの信号との関係において、反射率および波長変化量いずれにおいても相関性があることが分かった。この結果から、ポリマー濃度の検量線を作成することに成功した。めっき老廃物が導波モードセンサの信号を低減させる効果があることが示唆されるデータも得られた。老廃物の定量評価もめっき液管理においては重要であり、この結果から、ポリマー濃度を一定に調整しておけば、老廃物の量が推定可能であることが示唆された。ハンディ型の計測器の試作と評価では、制御部を外付けとすることにより大幅な小型軽量化を達成することができた。電圧印加系には、ガル

バノスタットを採用した。インライン型計測器の開発では、ハンディ型をベースに、送液系のポンプやめっき液を保持するテフロン製の液セルを実装し、予定通り試作を完了することができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】センサ、金属析出、導波モード、銅めっき、TSV

【研究題目】子宮内膜症に対するペプチド治療薬の探索

【研究代表者】杉原 一廣（浜松医科大学）

【研究担当者】福田 道子、野中 元裕（糖鎖創薬技術  
研究センター）（常勤職員2名）

【研究内容】

【目標】

我々は子宮内膜症組織（病変部）に特異的に結合し細胞内に取り込まれてアポトーシスを誘導する特別なペプチドを開発した。本研究では、そのペプチドを最適化するとともに生体内での安定性に関するデータを得る事を目的とする。

【研究計画】

1. Z13 ペプチド VRREDNRPG の D5を E に変換した変異体の子宮内膜症標的活性を測定する。
2. アポトーシス誘導ペプチド[KLAKLAK]2, エンドソーム破壊ペプチド[HLAHLAH]2, 子宮内膜症標的ペプチド Z13をまとめたハイブリッドペプチドの活性を確認し最適化する。
3. 腹腔に投与した最適化ペプチドが各臓器や血液中に移行する量を測る。

【年度進捗状況】

Z13 D5E 変異体の活性は WT よりも弱かったので変異体に変える必要は無い事が判明した。[KLAKLAK]2部分と [HLAHLAH]2部分を其々、一残基ずつ短くした結果、必要最低限の長さを決めた。

腹腔内投与による血液への移行は、30分間では経時的に上昇したが、移行率はわずかであった。眼球（網膜を含む）へのペプチドの集積は他の臓器（心臓、肝臓、肺、脾臓）に比べて低かった。腎臓への集積はわずかであり、排泄経路は腎臓以外の肝代謝や消化管代謝の可能性が示唆された。質量分析器による測定の結果、腹腔内投与されたペプチドは30分で殆ど分解されること、腹腔内投与により血中に移行する量は極わずか（測定範囲以下）であること、さらに、臓器へ移行するペプチドおよび分解産物は極微量であることが示唆された。LC/MS 分析でペプチドがどの部位で分解されたかが解析できることが判明した。CNGB3-Myc 発現 A431細胞を腹腔内に移植した免疫不全マウスにペプチドを投与後 A431細胞からなる腫瘍の組織切片にアポトーシスの検出を施行したが、アポトーシスは検出されなかった。腹腔内ではマトリックスなどが腫瘍表面を覆っているため

最適化したペプチドが CNGB3 を発現する細胞に浸潤しない事が示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 エンドサイトーシス、エンドソーム、Apopt-tag アッセイ

【研究題目】 保存血清のメタボローム解析による疾患診断の有用性の検証と応用

【研究代表者】 成松 久（糖鎖創薬技術研究センター）

【研究担当者】 成松 久、久野 敦  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

慢性疾患における糖鎖の異常は保存血清においても試料採取後の経年変化を大きく受けない可能性がある。レクチンアレイはそのような多様な糖鎖構造の異常を系統的に検出する技術である。本事業では、慢性疾患における検体の評価に必要なレクチンアレイの反応最適化条件の検討を行うとともに、BBJ の保存血清に豊富に存在する炎症性タンパク質などを標的として、分子内糖鎖修飾異常を検出しようか検討し、保存血清への当該技術の使用が可能か検証する。

昨年度に引き続き、慢性関節リウマチ患者の保存血清中に含まれる標的分子 M の分析レクチンアレイ解析手法を最適化した。この手法を用い、患者30症例の保存血清中に含まれる標的分子 M の比較糖鎖解析を行った。その結果、標的分子 M の存在量は関節リウマチの活動性と相関がないのに対し、その糖鎖の修飾の違いを見分ける特定レクチンのシグナルの強さは、活動性と相関があることを見出した。この糖鎖修飾の変化を有するタンパク質 M が関節リウマチの病変部に由来するものかを検討するために、患部付近に存在する滑液を用いて同様の実験を行った。その結果、リウマチ患者の滑液中に存在するタンパク質 M の糖鎖は先述の活動性の高いリウマチ患者血清中のそれとプロファイルが酷似していた。それに対し、変形性関節炎患者の滑液中のタンパク質 M の糖鎖はむしろ健康者血清中のタンパク質 M のそれと類似していた。以上により、保存血中に含まれるタンパク質 M の関節リウマチの活動性に相関のある糖鎖変化を発見するに至った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 バイオマーカー、慢性疾患、糖鎖、レクチン

【研究題目】 微生物由来の新規抗生物質の生産菌株の生産性向上試験

【研究代表者】 田村 具博（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 田村 具博、坂本 憲俊、大津 礼子  
（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究は微生物由来の新規抗生物質の生産に関して、

低生産かつ不安定な生産レベルを改善し、医薬品としての実用化を目指す。そのため、前臨床段階で実施する各種評価試験に必要な量の化合物を生産できる生産菌株を取得する。また、得られた生産菌株に対して生産能力を最大に引き出す培養条件を設定することを目標とする。

これまでに取得されている抗生物質生産菌株を評価するため、請負先での培養方法をトレースし、同様の生産性を確認した。この試験結果に基づき、高生産性を示す株を選別するためのマーカーを設定するとともに、同マーカーを指標にして育種による菌株改良法を構築した。得られた改良株について生産培養条件の適正化を行い、大幅に生産性を向上させた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 創薬、微生物、育種、培養、生産性向上

【研究題目】 がんワクチン治療患者の血中の自己抗体測定（対象サンプル1：膵癌）

【研究代表者】 五島 直樹（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 五島 直樹（常勤職員1名）

【研究内容】

慶應大学からの依頼測定に関する請負研究である。

慶應大学で採取されたがんワクチン治療を受けたすい臓がん患者の12種の血清中に含まれている自己抗体の検出を行った。自己抗体の検出は、産総研で開発したアモルファスカーボン基板を使用したプロテインアレイを使用し、抗原タンパク質としては約300種のがん抗原およびがん関連タンパク質をコムギ胚芽無細胞系で合成し、基板表面に構造を維持した状態でアレイ化を行った。

測定結果は、数値データ化し、電子ファイルとして慶應大学に送付した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 がんワクチン、自己抗体、揭示変化、層別化、癌特異的抗原

【研究題目】 がんワクチン治療患者の血中の自己抗体測定（対象サンプル1：大腸癌）

【研究代表者】 五島 直樹（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 五島 直樹（常勤職員1名）

【研究内容】

慶應大学からの依頼測定に関する請負研究である。

慶應大学で採取されたがんワクチン治療を受けた大腸がん患者の12種の血清中に含まれている自己抗体の検出を行った。自己抗体の検出は、産総研で開発したアモルファスカーボン基板を使用したプロテインアレイを使用し、抗原タンパク質としては約300種のがん抗原およびがん関連タンパク質をコムギ胚芽無細胞系で合成し、基板表面に構造を維持した状態でアレイ化を行った。

測定結果は、数値データ化し、電子ファイルとして慶

應大学に送付した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 がんワクチン、自己抗体、揭示変化、層別化、癌特異的抗原

〔研究題目〕 「省エネルギー等国際標準開発（ゴム及びゴム製品のバイオベース度の測定方法に関する国際標準化）」に関する提案規格の汎用性の調査

〔研究代表者〕 国岡 正雄（環境化学技術研究部門）

〔研究担当者〕 国岡 正雄（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

ゴム製品は、天然ゴムやバイオマス由来の成分を含んでいる製品が多い。どの程度、バイオマス由来成分を含んでいるかを評価することは、バイオマス成分の利用促進、環境影響指標の計算に重要な評価となっている。ISO 国際標準提案中のゴム及びゴム製品に関するバイオベース度の分析方法、分析条件の確実性、妥当性を確認した。規格案記載の具体的な実験方法、最適実験条件の記述に反映させた。ゴム複合体のアセトン抽出、熱重量分析は、提案記載の方法で再現性が確認できた。アセトン抽出とエタノール・トルエン混合溶媒は、同等の結果が得られたことから、アセトン抽出のみの方法で充分であり、混合溶媒抽出法は提案規格に追記しないこととした。オルトジクロロベンゼンのゴム成分の熱分解実験においては、一部のゴム複合体の分解・抽出に時間がかかることが確認でき、熱分解時間を長くした。オルトジクロロベンゼンの溶媒の確実性の確認で、結果は問題無いものの、より安全な溶媒としてシクロヘキサノンへの代替を検討したが、長時間の熱分解時間が必要なことがわかり、現状では、オルトジクロロベンゼン溶媒以外の溶媒を熱分解にもちいる溶媒として規格に追記するには、さらなる実験、最適条件の探索が必須であることがわかった。単一ゴムの熱分解において、空熱分解後のクロロホルム溶媒による抽出は、シクロヘキサノンで代替可能であることがわかった。今後、溶媒候補の規格への追記を検討していく。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ゴム製品、天然ゴム、バイオマス、バイオベース度

〔研究題目〕 水中アルキル水銀測定法の標準化のための水銀化合物の誘導体化法の評価試験

〔研究代表者〕 中里 哲也（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕 中里 哲也、重田 香織  
（常勤職員2名）

〔研究内容〕

水中アルキル水銀測定法の国際標準規格（ISO）の規格提案に資するアルキル水銀分析法を確立すべく、水銀化合物の誘導体化処理とガスクロマトグラフ/質量分析

法（GC/MS）を組み合わせたアルキル水銀分析法の性能評価を行った。最初に純水中のアルキル水銀化合物の誘導体化条件について評価した。フェニル処理条件では純水中のメチル水銀およびエチル水銀を高効率に誘導体化することが可能であった。次にこの誘導体化法の水試料の適用性を評価するため、純水と人工海水試料への添加回収試験を行ったところ、共存物質を多量・高濃度含む人工海水試料条件であっても純水試料と同様に高い誘導体化率を示した。つまり、この誘導体化処理法は耐久性が高い方法であることを明らかとなった。また、この処理法と GC/MS を組み合わせたアルキル水銀分析法におけるアルキル水銀の適用濃度範囲を評価した。その結果、適用濃度下限は環境基準をやや上回る濃度域であった。以上の結果から、本法は水中アルキル水銀の定量法として有効であり、共存物質を多く含む水試料への適用性もあると考えられた。一方、環境基準以下の低濃度のアルキル水銀を測定するにはさらなる検出下限の低減化を図る必要があると考えられた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 水銀、アルキル水銀、微量元素分析、水質分析、標準化

〔研究題目〕 移動ロボットの運動検知技術に関する実証試験等

〔研究代表者〕 角 保志（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕 角 保志、中坊 嘉宏（常勤職員2名）

〔研究内容〕

人と共存する移動ロボット（生活支援ロボット）が安全に運用されるためには、様々な環境要件の下で、周辺の移動体の運動情報を取得・分析し、安全に減速または停止するための運動検知技術を確立する必要がある。そこで本研究は、移動ロボットの周囲の移動体を想定した実験で移動体の運動情報データを収集し、そのデータをもとに移動ロボットを安全に制御するための条件について分析を行う。

平成26年度は、産総研の資産である「障害物接近再現装置」の基本走行制御ソフトウェア及びインタフェースソフトウェアを改修し、本業務の目的を実施するための実証試験プラットフォームを整備した。「障害物接近再現装置」は、生活支援ロボットの障害物回避性能を評価するための試験装置であり、生活支援ロボット安全検証センターに設置されている「3次元動作解析装置」と併用することで、試験対象となる移動ロボット本体と試験片の3次元的位置を誤差数ミリの高精度で測定することが可能となる。3次元動作解析装置と比べて小規模ではあるが、同じシステムを採用している産総研知能システム研究部門のモーションキャプチャ装置を利用し、障害物接近再現装置の動作試験を実施した。

また、産総研で開発しているモデリング言語 SafeML を利用し、開発した実験プラットフォームおよび同実験

プラットフォームを用いた生活支援ロボットの運動検知技術に関する試験の安全に関する記述と分析を行う。今年度は、SafeMLによるモデリングを実施するためのソフトウェア環境の整備を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】移動ロボット、運動検知、安全センシング

【研究題目】爆発影響低減化の技術基準の作成に関する研究

【研究代表者】中山 良男（安全科学研究部門）

【研究担当者】中山 良男、杉山 勇太、若林 邦彦、松村 知治、和田 有司、久保田 士郎、椎名 拓海、緒方 雄二、牧野 良次、松永 猛裕、岡田 賢、秋吉 美也子、薄葉 州（常勤職員13名）

【研究内容】

目標：

火薬庫の周囲に設置される土堤の防護性能を評価するために、野外での実証実験を行い、技術資料を収集する。

研究計画：

1/7.9スケール（含水爆薬80kg）の地上式一級火薬庫モデルの爆発実験を全7ショット行う。土堤の高さは504mm（現行基準）に統一し、新材料（ソイルセメント）を用いた片側垂直土堤、厚さ50mmの鉄筋コンクリート製擁壁（以下、RC）を使用した片側垂直土堤、RCの高さを土堤高さの1/2あるいは3/4に抑え、残りの部分を補強土で構築した片側垂直土堤、の防護性能を検討する。また、片側垂直土堤の頂部厚さを増した場合の飛散物低減効果についても検討する。

研究進捗状況：

爆風や地盤振動に対する片側垂直土堤の防護性能は、片側垂直土堤の構造に依らず基準土堤とほぼ変わらないことが確認された。新材料（ソイルセメント）を用いた場合、飛散物の最大飛散距離はRCを使用した片側垂直土堤と同程度であったが、個々の飛散物の重量は小さくなった。RCの高さを1/2や3/4にした場合、飛散物の最大飛散距離の低減が確認された。また、片側垂直土堤の頂部厚さを増すことで、RCから発生する飛散物を低減できることが確認された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高エネルギー物質等、爆発影響、土堤、爆風圧、地盤振動

3) その他の収入

【研究題目】能動流体制御技術を用いたバーチャルブレード構築による風力発電システムの飛躍的な始動性及び設備利用率向上に向けた研究開発

【研究代表者】瀬川 武彦（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】瀬川 武彦、松沼 孝幸、前田 哲彦、湯木 泰親、小方 聡、藤野 貴康（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

風車を始めとする流体機械のエネルギー効率を飛躍的に向上できる革新的な流体制御デバイスの実用化を目指し、プラズマアクチュエータとファイバ Bragg グレーティング（FBG）センサを組み合わせた剥離流れフィードバック制御システムを開発する。能動流体制御素子としては従来のシート型プラズマアクチュエータに加え、本研究で開発したひも型を高度化し、3次元形状のタービンプレードに対して柔軟かつ安全に設置できる手法を開発した。FBG センサにより得られたタービンプレード上の光信号は、本研究で開発した3種類の光ファイバロータリジョイント（FORJ）を介して静止部に導出される。実証試験に適した FORJ の選定にあたり、FORJ 内部で対向する光ファイバの端面処理の違いによる剥離流れの判定精度や回転によるバックグラウンドノイズの影響を定量的に評価した。また、プラズマアクチュエータを駆動するための電源として、ロータ先端のノズル部に設置するバッテリー駆動式電源に加え、1kW 風車のロータ部に対して静止場から電力供給できる非接触電力伝送式電源の高度化を行い、任意のモジュレーション周波数でプラズマアクチュエータを作動させることが可能となった。プラズマアクチュエータ及び FBG センサはロータ直径1.8m のタービンプレード3枚に固定され、非接触電力伝送システムと組み合わせた1kW 級水平軸型風車への剥離流れフィードバックシステムの実装が完了した。また、1kW 級風車に加え、電力計や風向風速計等を2t トラック荷台に設置し、産総研つくば北サイトの周回試走路において、自動車走行による性能評価試験を開始した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】空力、アクチュエータ、剥離制御、プラズマ技術、ファイバグレーティング、光ファイバロータリジョイント、非接触電力伝送

【研究題目】化学反応を駆動源とする超省エネ型・新規自励振動ゲルアクチュエータを用いた外部装置フリーのマイクロ流体素子の開発

【研究代表者】原 雄介（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】原 雄介（常勤職員1名）



## 〔研究内容〕

本提案では、化学反応を直接力学的なエネルギーに変換して駆動する超省エネ型・新規自励振動型ゲルアクチュエータをマイクロポンプ等の動力源として応用することで、外部制御装置フリーのマイクロ流体素子を開発する挑戦的な研究課題である。マイクロポンプ等を駆動させるゲルアクチュエータは、化学反応を駆動源とするため外部制御装置・外部電源を不要とすることを特徴とする。マイクロポンプの動力源として自励駆動可能なゲルアクチュエータをマイクロチップ内に埋め込み、マイクロチップ内部で駆動させた。その結果、ゲルアクチュエータの振動に合わせて、マイクロチップ内部の水溶液を輸送することができた。今後は、ゲルアクチュエータの高性能化を図ることで、実用に耐えうるマイクロポンプへと発展をさせていきたい。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 高分子ゲル、ソフトアクチュエータ、マイクロチップ

〔研究題目〕 ヒト型糖鎖を均一に有する組換え糖タンパク質を高効率に生産する代替宿主としての酵母株の開発

〔研究代表者〕 安部 博子 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 安部 博子 (常勤職員1名)

## 〔研究内容〕

高価なバイオ医薬の原料となる糖タンパク質を安全かつ安価に提供するだけでなく、低抗原化と薬効の向上を目指して、生体内と同じ糖鎖もしくは高機能化できる糖鎖構造を均一に持った糖タンパク質を高効率に生産する出芽酵母株を開発する。

これまでに開発してきた  $\text{GlcNAcMan}_5\text{GlcNAc}_2$  ( $\text{M}_5\text{GlcNAc}$ ) 糖鎖を合成することができる酵母ゲノム中に、植物由来の  $\alpha$ マンノシダーゼ II をコードする  $\text{ManII}$  遺伝子の膜結合ドメインを削除し、酵母  $\text{MNN1}$  遺伝子由来の膜貫通領域を連結した融合遺伝子を導入した。得られた株の細胞壁マンノタンパクを抽出し、PAラベル化した後 HPLC にて解析を行った。その結果、 $\text{ManII}$  遺伝子導入株のクローン 5 において  $\text{GlcNAcMan}_3\text{GlcNAc}_2$  ( $\text{M}_3\text{GlcNAc}$ ) を示すピークを確認することができた。このことは、 $\text{ManII}$  遺伝子導入株において、 $\text{M}_3\text{GlcNAc}$  糖鎖が合成できたことを示している。さらに、 $\text{GlcNAc}_2\text{Man}_3\text{GlcNAc}_2$  ( $\text{M}_3\text{GlcNAc}_2$ ) を合成することができる酵母株へと改変するために、上記開発  $\text{M}_3\text{GlcNAc}$  糖鎖合成酵母のゲノム中へほ乳動物由来  $\text{GnT-II}$  と酵母  $\text{MNN2}$  の膜貫通領域を融合させた融合遺伝子を導入し、その遺伝子導入株の取得に成功している。本株が  $\text{M}_3\text{GlcNAc}_2$  糖鎖を酵母細胞内で合成できるかどうかの検証は現在行っているところである。

開発された糖鎖改変酵母がタンパク生産のための宿主だけでなく、標準糖鎖あるいは標準タンパク生産のため

の宿主としても活用されるようにさらなるチューニングを行いたい。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 糖鎖、酵母、バイオ医薬品

〔研究題目〕 製造プロセスの高度化に向けた多様環境対応型 静電気計測技術の開発

〔研究代表者〕 菊永 和也 (生産計測技術研究センター)

〔研究担当者〕 菊永 和也 (常勤職員1名、他3名)

## 〔研究内容〕

本研究の最終目標は、様々な分野において深刻化している製造プロセスの静電気問題において、音波を用いた静電気計測技術を確立することで、これまで計測不可能な環境・プロセス中で静電気計測を可能にすることである。平成26年度は、集束超音波の走査が可能なデバイスと独自に開発した電界センサを融合させることで、平面の静電気分布を計測するシステムを開発することを目標とした。

これまで開発してきた集束超音波発生デバイスにおいて、それぞれの集束位置における集束超音波の音圧空間分布を評価したところ、音圧の強度分布はアレイの中心位置が最大で、中心から離れるほど音圧強度は低くなっていることが明らかになった。これは集束超音波の照射方向のベクトルに関係していることが予想され、これらをデバイスにフィードバックし、ソフトウェアとハードウェアを最適化することで、それぞれ位置における音圧強度を一定にすることに成功した。

次にこれまで開発してきた集束超音波デバイスと電界センサを組み合わせた二次元分布評価システムを試作した。そこでは集束超音波を下向きに照射、サンプルを超音波デバイスと向き合うようにクッション上に設置、その下に電界検出センサ設置した。このシステムにおいて帯電させたゴムシートを対象として集束超音波を72Hzで照射したとき、帯電電圧の絶対値は電界強度に直線比例しており、位相は帯電電圧の絶対値20V以上でほぼ一定の値を示していたことから、このシステムを用いることで静電気の表面電位と極性を評価できることを明らかにした。さらにこのシステムを用いて100Vに帯電させたゴムシートに集束超音波を照射した位置で電界を測定し、それを平面で走査させることで得られた励振の位置情報と電界情報を組み合わせて分布を評価することで、サンプルの静電気分布を計測できることを実証し、平面の静電気分布を計測するシステムの開発に成功した。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 静電気、振動、集束超音波、誘起電界、非近接、製造現場

〔研究題目〕 再生医療の産業化に向けた細胞製造・加工システムの開発

〔研究代表者〕 廣瀬 志弘 (ヒューマンライフテクノロ

ジー研究部門)

〔研究担当者〕 廣瀬 志弘 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

国際標準化機構 (ISO) の再生医療関連の専門委員会 (TC) である TC 150 (Implants for surgery)、TC 194 (Biological evaluation of medical devices)、TC 198 (Sterilization of health care products) および TC 276 (Biotechnology) において、細胞・組織培養加工プロセスや再生医療周辺技術の標準化作業がおこなわれつつある。平成27年3月現在、TC 198/WG 9 (Aseptic processing) で討議されているヘルスケア製品の製造環境に関する規格案が FDIS のステージまでできているものの、ISO 規格は存在せず、これら装置や製造プロセスの国際規格の策定は、日本の再生医療産業の国際市場での優位性を確保し、産業競争力を強化するために必須であると考えられる。本開発項目では、細胞製造・加工システムの産業化に向けた技術構築戦略と国際標準化に対する調査および提案を実施した。

平成26年12月、ISO/TC 276ワーキング会議にエキスパートとして出席した。WG 1 (Terminology) 会議では、細胞製造・加工システムに関する重要用語について、日本が標準文書案を作成することの WG での合意を取り付けることができた。また、WG 4 (Bioprocessing) では、日本がコンビナーと事務局を執っており、日本提案である細胞培養プロセスに関する標準文書案について、細胞製造システムに対するニーズとギャップを常に把握しながら、関係各国と共同で作成していくことの WG での合意を取り付けた。

平成27年2月、ISO/TC 198/WG 9会議にエキスパートとして出席した。ISO/FDIS 18362 (Manufacturing of cell-based healthcare products) については、安全キャビネットとアイソレータを使用した場合の細胞培養加工施設レイアウトに関する日本提案の WG での合意を取り付けることができた、また、ISO 13408-6 (Isolator systems) の定期改訂版の作成に関して、日本がプロジェクトリーダーとなって進めることについて WG の合意を得た。今後、細胞培養加工装置間の無菌接続技術に関する提案文書を盛り込むための関係各国エキスパート集めと、提案文書の作成を進めていくことの WG での合意を取り付けることができた。

平成17年度から設置されている経済産業省・開発ガイドライン策定事業・再生医療分野開発ワーキンググループ (WG) の事務局ならびに WG 委員として参画することにより、ヒト細胞培養加工装置設計ガイドラインの作成において、本事業の技術成果を提供・活用できる体制を構築した。本 WG では、平成19年度に「ヒト細胞培養加工装置設計ガイドライン2009」を策定し、最終の滅菌処理ができない細胞培養加工物について、主に、無菌的操作環境の構築について、基本的な考え方と留意点を提示してきたが、再生医療新法等が成立した経緯を

踏まえ、本年度は、細胞培養加工装置の設計管理の考え方を考慮した本ガイドラインの改訂作業の実施に寄与した。今後本 WG には、新規法規制に準拠したヒト細胞自動培養加工装置を利用して製造される再生医療等製品の品質確保に資するガイドライン群、例えば、細胞培養加工に最適化された周辺器具や培養加工工程での細胞・組織の品質評価に資するデバイスに関する開発ガイドラインの策定が益々求められるため、引き続き本事業と密接に連携して進めていく。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 再生医療、細胞培養加工装置、無菌操作、国際標準化、ガイドライン

〔研究題目〕 ハロモナス菌による木材から3-ヒドロキシ酪酸等の生産技術開発に関する研究

〔研究代表者〕 河田 悦和 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 野尻 昌信 (森林総合研究所)、川崎 一則、河田 悦和 (常勤職員2名、他3名)

〔研究内容〕

木材等を原料としたバイオエタノール生産の研究においては、副生する C5糖の利活用が課題である。一方、日本の石油消費の21%を占める化成品も、再生可能資源への原料転換が求められている。我々は、木材利用に好適な独自のハロモナス菌 KM-1株を発見した。本菌は、高アルカリ高塩濃度環境で生育するため、培養液を殺菌する必要がなく、C6糖のみならず、利用が難しい C5糖も利用し、菌体内にバイオプラスチックを蓄積した後、そのモノマーの3-ヒドロキシ酪酸 (3-HB) を分泌する。そこで我々は、C5糖を含む木材糖化液などを利用して、ストレス抑制に関連する生理機能を持ち、化成品原料として有望な D 体の3-ヒドロキシ酪酸等を分泌生産する基礎技術の確立を目的に研究を実施する。

本年度は、森林総合研究所が、北秋田市のバイオエタノール生産プラント及び小スケールプラントで製造したスギ木材糖化液を用いて、主にバッチ培養により、3-HB の生産性、メカニズム等について検討した。プラント製造のスギ木材糖化液(糖濃度11%)を用い、総培養時間60時間で21.1g/L の生産量を確認した。グルコース20%を用いた3-HB の生産性は、総培養時間72時間で45g/L であることから、対糖あたりの収率はほぼ等しく、糖の利用効率からは、スギ木材糖化液が有効に3-HB に転換可能であることが証明された。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 バイオプラスチック、ヒドロキシ酪酸、バイオマス、微生物、ハロモナス

〔研究題目〕 沿岸域の堆積物を用いた日本海溝南部における古地震研究

〔研究代表者〕 澤井 祐紀 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 澤井 祐紀、Jessica Pilarczyk (ラッガース大学) (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

2011年以降、東北地方太平洋沖地震の破壊領域の北側と南側において、中長期的な時間規模での巨大地震の発生履歴の解明が求められてきた。こうした背景の中、本研究では、過去の巨大津波の直接的な痕跡である「津波堆積物」に注目し、千葉県九十九里浜の地下堆積物に保存されている津波堆積物を検出することを目的として調査を行った。平成26年度は、九十九里浜全体の地形判読を行い、堤間湿地に相当する場所でハンドコアラーおよびハンディジオスライサーを用いて掘削調査を行った。具体的には、匝瑳市において43地点の掘削を行った。また、山武市や一宮町で得られていた既存の堆積物試料について、粒度分析や微化石分析を実行した。この結果、過去1500年間に堆積した湿地の堆積物中に、2層の明瞭なイベント堆積物が認められた。このイベント堆積物は、海棲生物の化石を含むことや、堆積当時の海岸線から広く分布していることから、洪水や高波の作用ではなく、津波によって運搬されたものと考えられた。また、放射性炭素年代測定を行ったところ、これらの津波堆積物は、歴史記録にある津波に相当しない可能性が示された。今後は、津波堆積物の分布や年代をより詳細に明らかにするとともに、その波源についても考察していく予定である。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 津波堆積物、掘削調査、歴史地震、九十九里浜、日本海溝

〔研究題目〕 人間動作を模擬するヒューマノイドロボット制御手法の研究

〔研究代表者〕 吉田 英一 (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 吉田 英一、David Galdeano (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

ヒューマノイドロボットの今後の新たな応用として、装着型支援機器等の評価が考えられており、本研究では、従来の人間動作軌道の再現だけでなく、ヒューマノイドに外部からの力の入力へのフィードバック制御機能を付加することにより、動力を発生する装着型支援機器等の評価を行うことを目指している。平成26年度はまず、ヒューマノイドに対する外乱オブザーバ、全身動作制御に関する文献調査を、基礎理論面を中心に行った。その後、これらの研究を参考に、重力を補償し、関節の出力トルク目標値と、実際に出力された値との差を取ることで各関節に付加される外力トルクを検出するオブザーバのアルゴリズムを構築した。また、各関節が外力を受けつつも、目標とする人間動作を規範とする軌道に追従するために、仮想的なバネ・ダンパ系を導入してインピーダンス制御を行う手法も構築した。これらの手法のプロトタ

イプを、知能システム研究部門で開発しているロボット用ミドルウェアとである RT ミドルウェアのコンポーネントとして実装し、産総研開発のロボットシミュレーション環境 Choreonoid 上で、ヒューマノイドロボット HRP-4を対象にシミュレーションを行った。その結果、基本的な機能を確認することができた。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ヒューマノイド、人間動作模擬

〔研究題目〕 ペプチド性疾患治療薬の開発と問題点の洗い出し

〔研究代表者〕 茂里 康 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 茂里 康 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

外国人招へい研究者の Sylviane Muller 教授は、フランス国立科学研究センターの研究ユニットの所長 (UPR 3572, Immunopathology and therapeutic chemistry CNRS, Institut de Biologie Moléculaire et Cellulaire, Strasbourg University) である。日本に14日間滞在し、産総研、京都大学、大阪工業大学、大阪薬科大学、大阪大学、大阪府立大学を訪問し、自己免疫疾患に対するペプチド創薬の可能性とその展望について、セミナー及び研究討議を実施した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ペプチド、フランス、自己免疫疾患

〔研究題目〕 都市型ブルーカーボン：新たな沿岸海域炭素循環像の構築

〔研究代表者〕 鈴木 昌弘 (環境管理技術研究部門)

〔研究担当者〕 鈴木 昌弘、鶴島 修夫、山田 奈海葉 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

従来、沿岸海域は陸から流入してきた有機物をはじめとする炭素が二酸化炭素として放出される場と考えられてきた。一方で、UNEP は沿岸生態系が熱帯雨林を上回る二酸化炭素の吸収源、「ブルーカーボン」としての評価を提唱している。本研究では、人間活動の影響を受けている内湾として東京湾を例に取り、流入河川から湾外までを対象として炭素のストック・フローの観測・実測データをもとに解析と数理モデルによる検証を行い、都市に隣接する沿岸海域のブルーカーボンとしての役割と、富栄養化・有機汚濁・貧酸素化などの環境悪化との関係の評価した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 沿岸海域、海洋生態系、二酸化炭素、物質循環、生態系物質循環モデル

〔研究題目〕 現場環境下で容易に測定できる水銀検知手法の開発

〔代表研究者〕 野田 和俊 (環境管理技術研究部門)

【研究担当者】野田 和俊、愛澤 秀信（常勤職員2名）

【研究内容】

廃棄物の焼却や製鉄所・火力発電所等での石炭の燃焼に伴う排出物中の微量水銀問題が顕在化しているため、気相、液相の両方で利用可能な現場環境化下で容易に測定できる水銀検知手法の開発を目的として実施した。

本検知手法は、水銀と金との反応（アマルガム）を利用し、ng レベルの測定が可能な水晶振動子の微量天秤（QCM）技術（質量変化→周波数変化）を活用し、大気の指針値と土壌・地下水など液相中の環境基準レベルの微量の水銀濃度をほとんど前処理無しで直接測定する検知手法について検討を進めた。

検知特性として、同じ濃度であっても流量が少ない方が周波数変化は小さい傾向が示された。測定温度については、室温域から40℃程度までは極端な温度依存性は示されなかったが、40℃～60℃の範囲では高い温度依存性が示された。測定時間に対する変化量を測定した結果、測定時間が長いほど周波数変化が大きいが示された。

これらの結果を踏まえ、金属水銀と金電極の反応は比例関係（一次式）が示された。これから、一定条件下で低濃度レベルの水銀濃度測定が可能なことを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水銀、センサ、水晶振動子、環境計測、ケミカルセンサ

【研究題目】東日本大震災スเปシメンバンクを用いた有害物質挙動解析と将来予測

【研究代表者】山下 信義（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

東日本大震災直後（2011年4月-8月）より被災地及び沿岸域より収集している多様な環境試料（津波たまり水、陸水、沿岸海水、土壌、深層海水、（日本海溝8000mを含めた）海底泥、大規模火災後の灰、震災廃棄物等）について、水溶性化学物質のトレーサーとして PFOS 関連物質など、大規模災害による環境破壊イベントの指標となる化学トレーサーを測定し、どのような経緯で陸上建造物・環境が破壊され、どのような化学物質が開放環境へ放出されたのか、また今後どのように推移していくのかを定量的に予測する。得に、モニタリングデータの羅列にとどまるのではなく、実測した有害物質濃度を JAMSTEC におけるスーパーコンピュータシミュレーションを用いてタイムマシン解析を行う事で、歴史的な大規模イベントによって地球環境に放出された有害化学物質の生涯予測も試みる。同様な試みはダイオキシン等従来の有害物質でも試みられているが、トレーサーとして不適当なため未だに明瞭な結果が得られていない。過去

15年間、PFOS 類を化学トレーサーとして地球規模環境研究を行ってきた経験から、水溶性と大気・水分配係数（Kaw）が重要なパラメーターであることを発見しており、この知見をもとに、環境化学・シミュレーション科学を融合させた学際的研究を行う。現在までの研究成果を Environ Science and Technology に投稿した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】東日本大震災、人工有機汚染物質、PFOS、外洋汚染

【研究題目】リボソームタンパク質をバイオマーカーとした質量分析法による *Aspergillus* 属真菌の新しい系統分類法の開発

【研究代表者】佐藤 浩昭（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 浩昭（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

真菌は、これまで形態学および有性生殖能に基づいて分類されてきたが、最近、分子進化系統に基づいた新しい系統分類手法の開発が望まれている。本研究では、ハウスキーピングタンパク質であるリボソームタンパク質群の分子量変異パターンを質量分析により解析して真菌の種を同定・識別する新しい分類手法の開発を目的とした。アスペルギルス症などの病原真菌である *Aspergillus* 属真菌をモデルとし、ゲノム解読されている7種8株を試料菌株として用いた。培養した各菌株から得たリボソームタンパク質について、マトリックス支援レーザー脱離イオン化質量分析法によりマスペクトルを観測した。マスペクトルのピーク質量とゲノム配列から予測されるタンパク質の計算質量を比較しながら、リボソームタンパク質を帰属し、同定用のバイオマーカーリストを作成した。その結果、*Aspergillus* 属真菌では、リボソームタンパク質の質量は菌種に固有であり、リボソームタンパク質のピークに着目すれば、培養条件が大きく異なる菌株についても正確に同定することができた。すなわち、本法により分子進化に基づく真菌の種の迅速同定が可能であることが示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】真菌、微生物分析、質量分析

【研究題目】化学物質の健康影響を簡易・迅速に評価する RNA センサチップの開発

【研究代表者】青木 寛（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】青木 寛、助川 剛（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

従来の化学物質評価法は、動物試験や細胞の生死およびタンパク質発現解析など、化学物質暴露と得られる結果との因果関係の解析が難しく、迅速性も欠けていた。本研究では、RNA が細胞内生体反応をより迅速かつ直接的に制御することに着目し、生体影響と関連性の高い

RNA を解析する RNA センサアレイチップを開発する。直径300 $\mu\text{m}$  のマイクロ電極を1mm の間隔で多数有する電気アレイチップを作製した。マイクロ電極表面にプローブ PNA 溶液を塗布・静置することで、電極表面にプローブを固定化したセンサアレイを作製した。この際、電極表面をプラズマ照射や機能性溶液中への浸漬など各種処理の組み合わせにより、電極作製後に長期間保管下にあった場合でも、作製時の活性を取り戻せることを見出した。プローブは分析対象となるターゲット RNA 配列と相補的な配列を有している。ターゲット配列として、環境ホルモン暴露の指標となる女性ホルモン様物質に対して発現亢進する遺伝子配列、および肺がん罹患患者で特異的に発現するマイクロ RNA 配列を用いた。プローブ固定化したセンサアレイ上に、これらのターゲット溶液を滴下し、二重らせんを形成させた。陰イオン酸化還元マーカを含む電解質溶液を滴下し電気化学測定を行ったところ、マーカースの酸化還元電流が大きく減少した。これは、プローブとターゲットとの二重らせん形成が電極表面上に負電荷を誘起し、マーカースの酸化還元反応を大きく阻害したためと考察した。一方で、異なる配列のターゲットは、ほとんど検出されなかった。以上のことから、環境やヘルスケア管理に重要な RNA 配列を配列特異的に検出することに成功したと結論づけた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】核酸検出、電気化学センサ、センサアレイチップ

【研究題目】脳神経情報に基づく視覚体験の可視化技術の開発

【研究代表者】林 隆介（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】林 隆介（常勤職員1名）

【研究内容】

ALS 発症などにより重度の運動麻痺となった患者の生活支援技術として、残存する脳機能を各種デバイスの制御に利用するブレイン・マシン・インタフェース（BMI）技術が注目されている。我々の意思や要求の多くは視覚的に表象できることから、これを BMI 技術によって直接可視化することができれば、再び他者とのコミュニケーション手段を取り戻すことができ、生活の質が大幅に向上すると期待される。

こうした革新的技術の実証実験として、本研究では、ヒトと同等の視覚機能を有するモデル動物の視覚野から、完全埋め込み型マイクロ電極アレイを用いて、神経活動電位を広範囲かつ高密度に同時記録することを目指した。そして、神経信号から視覚情報への変換を機械学習的手法によってモデル化することにより、神経活動データだけから動物の現在の視覚体験を推定し、可視化する情報処理技術の開発を目標とした。

視覚物体認識に関わる情報は、下側頭葉の各視覚領野

を經由して階層的に処理され、TE 野に至ることが知られている。そこで、TE 野に400 $\mu\text{m}$  の間隔で配列された約100本の電極からなるアレイ型電極を計3個（電極総数224本）埋め込み、120種類の物体画像を観察中に誘発される神経細胞群の活動電位を同時記録した。

神経活動データから観察画像を可視化するアルゴリズムとして、ディープ・ニューラルネットを用いた復号化手法を開発した。最先端の物体認識性能をもつ、多層の畳み込みニューラルネットを使って、観察画像を特徴量表現に変換することにより、神経活動のパターンベクトルと入力画像の特徴量表現ベクトルとの間の写像関係が、リッジ回帰によってモデル化できることを明らかにした。この回帰モデルを利用すれば、新規の神経活動データであっても、そのときに観察していた画像の特徴量表現が推定でき、大規模画像データベースの中から類似特徴量をもつ画像の抽出により、可視化することに成功した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】神経科学、ブレイン・マシン・インタフェース、物体認識

【研究題目】人体温熱環境評価に関するフィージビリティ研究

【研究代表者】都築 和代（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】都築 和代（常勤職員1名）

【研究内容】

建物の電力消費量を低減するため、空調負荷のピークが生じる発生時間帯を建材の工夫により他の時間帯にシフトする建築的対策（熱負荷シフト技術）の検討が開始された。熱負荷シフト技術は、日中の居室内の自然室温上昇を抑制できるが、一方で夕方以降に蓄熱した躯体から居室内に放熱されることで自然室温が高くなると考えられる。近年、夏季居室内での熱中症の発生は増加傾向にあり、特に高齢者が夜間に熱中症により死亡するケースが増加していることや、ヒートアイランド現象により夏季の夜間気温の高止まりによる寝苦しさや中途覚醒が増加していることを考えると、熱負荷シフト技術によりもたらされる従来とは異なる自然室温の挙動が、ヒトの健康に悪影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、建物の熱負荷シフト時等の環境条件における人体の温熱リスクを把握するため、人体の生理量の計測、分析結果に基づく人体温熱環境の評価方法を構築することを目的とした。

平成25年度は、温熱生理の面から体温、血圧などの客観的なデータに基づいてリスク評価を行うための人体の生理量の計測、分析方法について検討し、被験者実験の手順書案をとりまとめた。今年度は、平成25年度に作成した被験者実験の手順書案に従い、男性被験者2名による2泊3日の予備的な実験を行い、環境測定や生理反応等の計測及びデータ解析を行った。その結果を踏ま

え、環境測定や生理反応等の計測方法の妥当性の検証を行い、手順書案の改良等の検討を行った。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】睡眠、室内環境

【研究題目】体外循環における非採血式血液凝固・生化学検査を実現する血液内近赤外光散乱モデルの開発

【研究代表者】迫田 大輔（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】迫田 大輔、丸山 修（常勤職員2名）

【研究内容】

人工心肺などの体外循環治療において、血液成分や血液凝固能を非侵襲かつ連続的にモニタリングする技術の確立を目指している。

平成26年度の主な成果として、赤血球凝集能と血液凝固反応の相関関係について調査した。in vitroにおいてBPX-80、リザーバー、塩化ビニルチューブで模擬循環路を構成し、ブタ血液を使用した。赤血球凝集能を観測するため、血液ポンプを1周期40sec（1周期ポンプ停止時間15sec）で周期的に駆動し、流量0～9 L/minの低周波拍動流を発生させ循環した。実験開始後、血液の活性凝固時間ACT=150sec以下とした。血液ポンプ出口の1/4インチ塩化ビニルチューブに波長785nmの近赤外レーザーを照射し、透過光強度の増加率から赤血球凝集能を指標した結果、赤血球凝集能は模擬循環回路内血栓形成に伴って減少した。これは赤血球凝集に必要なフィブリノゲンが消費されるためであることがわかった。加えて、更に赤血球凝集能はCaイオン濃度によって著しく変動することがわかった。Caイオンはフィブリンの相互結合に必須であることから、血液凝固が起こるより前に、周囲赤血球凝集能は複雑に変化する可能性が示唆され、これを検知することで血栓形成を未然に防げる可能性が今後期待される。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】体外補助循環、血液凝固反応、赤血球凝集反応、光計測

【研究題目】神経伝達物質のリアルタイム計測技術の開発と実践—神経科学とナノテクノロジーの融合—

【研究代表者】山本 慎也（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】山本 慎也、加藤 一実（先進製造プロセス研究部門）、鈴木 祥夫（バイオメディカル研究部門）（常勤職員3名）

【研究内容】

脳は、無数の神経細胞が互いの信号を伝達しあうことによって、複雑な情報処理を実現している。各々の神経

細胞が電気的に発火すると、信号は軸索を伝わり、次の神経細胞に向けて電気的に伝達される。こうして伝えられた信号は、今度はシナプスを介して、次の神経細胞に化学的に伝達されることになる。脳の情報処理は、この電気的プロセスと化学的プロセスの組み合わせによって実現しているといえる。これまで、脳の情報処理における電気的プロセスの解明はすすめられてきたが、化学的プロセスに関しては、その適切な計測方法も不十分な状態である。本研究課題では、ナノテクノロジー・工業化学と神経科学を組み合わせ、これまでにない新しい計測法を提案し、開発を行う。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】神経科学、認知科学

【研究題目】触覚における情報統合機構の解明

【研究代表者】山本 慎也（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】山本 慎也（常勤職員1名）

【研究内容】

脳内の各領域は、機能的に特化し、それぞれの領域がそれぞれの機能を担っていると考えられている。しかし、ばらばらに処理された情報が、どのようなメカニズムで統合されているのかは、未知の問題である。例えば、視覚において、物体の情報（すなわち what の情報）は、腹側経路（ventral pathway）と呼ばれる側頭葉を中心とした経路で処理されていると考えられている。一方で、位置の情報（すなわち where の情報）は、背側経路（dorsal pathway）と呼ばれる頭頂葉を中心とした経路で処理されていると考えられている。このように、脳内の別経路で処理された2つの情報が、「どこに何がある」という統合された情報へどのように変換されるのかという問題は、「バインディング（情報統合）問題」と呼ばれ、これを解決することは神経科学の最重要課題のひとつであった。このようなバインディング問題は、実は視覚特有の問題ではない。本研究計画では、「触覚において what と where の情報がどのような脳内メカニズムで情報統合されるのか」を、時間情報処理という新しい観点から解明することを目標とする。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】神経科学、認知科学

【研究題目】アバターロボットを制御する脳波コミュニケーション技術の開発

【研究代表者】長谷川 良平（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】長谷川 良平（常勤職員1名）

【研究内容】

近年、脳と機械を直結するBMI（ブレイン・マシン・インターフェース）、特に脳波（事象関連電位）による意思伝達技術が注目されている。しかし、先行研究の多

くは装置の性能向上に関心があり、ユーザビリティに対する配慮が少なかった。そこで、本研究では「人が快適に使える脳波コミュニケーション技術」の開発を目的として、「ユーザーに身体的・精神的負担の少ないような脳波計測装置」と「楽しくかつ臨場感のあるコミュニケーション場面を演出するアバターロボット制御」という2つの要素技術の開発に取り組んだ。

平成26年度には、前年度までに構築したシステムを新規のロボットに適用するための開発を行った。その開発において、既存のロボット同様、新規のロボット自体は市販のヒト型小型二足方向ロボットを用いたが、可動関節数が24軸となっており、より複雑多彩な感情表現等が可能になる。当該年度では、既存のデータベース（8択2階層=64種類）に含まれていない、新規の8動作を新規に作成するとともに、その8動作を脳波で選択できるシステムを構築した。現在、この新システムを用いて動作データベースを増やすとともに、ロボットをアバターとして用いる表出方法についてのユーザー評価を進めている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アバター、二足歩行ロボット、脳波、象関連電位

【研究題目】 可搬型受動的嚙下速度無侵襲計測システムの開発

【研究代表者】 関 喜一（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 関 喜一、井野 秀一、稗田 一郎、小早川 達（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、梅村 浩之（健康工学研究部門）（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

本研究では、嚙下障害者の機能評価のため、嚙下時の食塊通過音を小型体導音マイクロホンで受動的に経皮計測し、音のスペクトル等を分析することにより食塊移動速度を推定する原理を用いて、嚙下速度を受動的に無侵襲で計測する可搬型の計測システムを開発する。

研究の方法として、食塊の移動状態を従来の精密計測法（VF（嚙下造影）法や VE（嚙下内視鏡）法）で計測し、その結果と、食塊の通過音の物理特性（周波数、振幅、位相、スペクトル構造など）の関係を比較検討して、嚙下音の発生メカニズムを明らかにする。これに基づき、嚙下音から嚙下状態を推定するアルゴリズムを開発し、タブレット等の汎用情報端末に実装して計測システムとする。

H26年度は、実際に嚙下音を測定して、信号処理のアルゴリズムを検討した。

計測は東京医科歯科大学の嚙下外来で行った。被験者は、受診のため来院した嚙下障害患者3名、および医局

スタッフや研究者からなる健常者7名であった。

その結果、Q-Q プロットのような先行研究にはない処理手法を導入することにより、嚙下音の信号分析結果から嚙下状態を推定できる可能性を導いた。

今後の課題は、両者の関係をより明確にして、アルゴリズムを確定し、汎用情報端末に実装できるソフトウェアを開発することである。また更に、他の新たな音響分析手法の導入可能性も引き続き検討する。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 食事、嚙下、リハビリテーション

【研究題目】 注意・意識を担う神経ネットワークとその病態解明

【研究代表者】 小村 豊（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 小村 豊（常勤職員1名）

【研究内容】

日常生活において、我々は、注意の恩恵を多大に享受しているにも関わらず、その機能についての理解は、非常に限られている。その理由の一つとして、注意の機能を構成論的に検証してこなかったためである。「注意」とは、絶え間なく入り込んでくる莫大な情報から、必要なものだけを選択し、その時、その場の目的に合わせて情報を統合し、その操作を柔軟に変えられる高次脳機能である。本研究では、ヒトに近い高次脳機能を有する霊長類をモデル動物に見立て、これらの注意特性を行動学的に押さえられるように、工夫した。

また、これまでの注意に関する脳研究は、前頭葉や頭頂葉といった大脳皮質に偏重していた。本研究では、注意の神経回路の一つとしてあげられながら、理解の進んでいない視床枕領域の神経活動を記録した。その結果、知覚の確からしさを担うニューロン群を発見した。過去の知見も合わせると、この情報は、外界探索、すなわち、複数の物体から、ターゲットとなる物体に注意を向けることに利用されていることが示唆される。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 注意、外界探索、視床枕

【研究題目】 血液内ラマン散乱シミュレーションに基づく血液分析装置の開発

【研究代表者】 迫田 大輔（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 迫田 大輔、丸山 修（常勤職員2名）

【研究内容】

人工心肺などの体外循環治療において、血液成分や血液凝固能を、近赤外ラマン分光法を用いて非侵襲かつ連続的にモニタリングする技術の確立を目指している。本研究では、血液内ラマン散乱シミュレーションの開発を行い、応用として血中グルコース由来のラマン散乱強度のシミュレーション予測を行い、実験結果との比較を行

った。

赤血球の形状、体積、分布、流れによる配向を表現できる血液内光伝播シミュレーション「**photon-cell interactive Monte Carlo (pciMC) シミュレーション**」を開発した。pciMC を用いて、ラマン散乱励起レーザーの波長785nm における血液内光伝播をシミュレーションし、更に血液中の励起光密度に基づいてラマン光子を射出する **pciMC\_Raman** を開発した。グルコース分子由来の $1140\text{cm}^{-1} = 862\text{nm}$  のラマン光子の射出シミュレーションを行った。一方で、ウシ血液の血糖値を0~2700 mg/dL の範囲で変動させてラマン分光を行い、シミュレーションとの比較を行った。結果として、シミュレーションから得られたラマン光強度と実験値との相関を得ることができた。また、血液ヘマトクリット **Hct=5~40 %** の範囲で変動させ、**Hct** に伴うラマン散乱光強度の変動について、実験値とシミュレーションの対応を得ることができた。開発したシミュレーションによって、近赤外レーザーを血液に照射して、赤血球により励起光が散乱するロス、及び発生したラマン散乱が受光領域に到達するまでに、ラマン光子が赤血球によって散乱するロスを計算できることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 体外補助循環、ラマン分光法、モンテカルロ・シミュレーション、非侵襲血糖計測

【研究題目】 下肢血流制限を伴う動的運動が中心循環動態に与える影響

【研究代表者】 菅原 順 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

【研究担当者】 菅原 順、田中 弘文 (テキサス大学) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

体肢の血流を制限して筋力トレーニングを行うと、比較的負荷量が低くとも、高強度負荷でのトレーニングと同等のトレーニング効果 (筋肥大) を得られることが報告されている。いわゆる「加圧トレーニング」として脚光を浴びているこのトレーニング手法について、これまでメリットの方に焦点が当てられてきたが、実施に伴う危険性などのデメリットについては、積極的な検討が進められていない。近年、近位大動脈における血圧 (中心動脈圧) が左室肥大と密接に関連し、心血管疾患発症リスクや予後の有用な予測指標になることが報告された。中心動脈圧は、心臓からの血液駆出によって生じる駆出波とそれが末梢で反射して中心に戻ってくる反射波の合成波である。通常、運動中は血管拡張が起こるため、末梢からの反射波は減弱されて中心へ戻るが、下肢の動脈を圧迫する運動様式では、末梢からの反射波は増強されているかもしれない。

そこで本研究では、下肢血流制限を伴う動的運動が大

動脈圧などの中心循環動態に与える影響を明らかにすることを目的とした。若年成人14名を対象に、両脚大腿部に駆血帯を巻き、160mmHg の圧を加え、血流制限を加えた状態で歩行運動 (分速3.2km、2分間、5セット) を実施した。通常、運動中の中心動脈圧の昇圧応答は末梢動脈圧の昇圧応答よりも有意に小さいが、下肢への血流制限を行った場合には、中心動脈圧の昇圧応答は末梢動脈圧の昇圧応答と同等であった。すなわち、下肢血流制限を行った場合には、運動中の中心動脈圧の昇圧応答が増強されるため、循環器系に対しては、通常の運動よりも過大な負荷が加わる可能性があることが示唆された。

この成果について、国際学会で発表を行った (2015年5月、アメリカスポーツ医学会)。また、*Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 誌に掲載予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 中心血圧、歩行運動、加圧トレーニング

【研究題目】 Compressed sensing は超短時間 MR Elastography を可能にするか

【研究代表者】 鷺尾 利克 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

【研究担当者】 鷺尾 利克、水原 和行 (東京電機大学) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

核磁気共鳴装置 (以下、MR 装置) を用いて、有意義だが長時間撮像を伴う MR Elastography (撮像対象の生体組織の形態画像に重畳する力学特性が計測出来る。以下、MRE) の撮像時間短縮をソフトウェア的に達成する。そのため、1) Compressed sensing (以下、CS) を組み込んだ MRE の再構成法を提案し、2) 提案した手法を用いた情報収集率の差異による、推定する力学特性値についての影響を検証することを目的とする。CS は、粗な信号を対象に行われた不完全計測結果から、L1ノルム最小化により信号を再構成する手法であり近年多くの研究がなされているが、MRE の撮像時間短縮への適用は検証されていない。本研究でいう MR 装置の完全計測とは、再構成画像の解像度と同じサイズを有する  $k$  空間すべての点を計測値で満たすことを言い、不完全計測とは  $k$  空間すべてを計測値で満たさない (未計測点がある) ことを言う。

ここでは1回のリードアウトで収集した情報は全て使用し、不完全計測とするため phase encoding に使用する磁場強度をランダムに選択する。その際、完全計測に対し、約90%~10%の10%刻みの phase encoding を行い、それぞれから得た力学情報の差異を明らかにする。

結果は、80%のサンプリング (20%短縮) が完全  $k$  空間と同等とみなせる限界であった。この結果から、次に、ソフトウェア的に撮像時間を短縮させる手法すべてにおいて、MRE と併用可能か、検証、比較した。比較対象



はハーフフーリエ法とゼロフィリング法とした。また、CS では、ピクセル単位のランダムサンプリング（既に計測した完全 k 空間を対象）を行った。その結果、完全 k 空間と同等なのは、CS であることが判明した。従って、2次元撮像におけるリードアウトのラインを単位とする CS は、時間短縮効果が得られないが、ピクセル単位であれば、MRE との相性は良く、そのためには3次元撮像を対象にする必要が示唆された。また、解析方法で用いている Wavelet 変換が有するシフト不変性の欠如が MRE に影響するか確認したところ、シフト不変性の欠如は認められなかった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 MR elastography、Compressed Sensing、力学特性、数値モデル

【研究題目】 高齢者およびロービジョン者の情報受容歩行の解明

【研究代表者】 伊藤 納奈（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 伊藤 納奈（常勤職員1名）

【研究内容】

ロービジョンおよび高齢者がどのような情報を得て、どのように歩行するのかについて、視覚機能からみたタイプ分類や照度による視環境への配慮事項を知る手がかりを掴むことを目的としている。

2年目（最終年度）は、初年度で実施したロービジョン6名を対象とした実験と同じ内容について、障害や異常のない高齢者17名で実施した。そして歩行中の印象、歩行行動、歩行中に手掛かりとしている情報などと、1, 5, 50, 500ルクスの範囲の照度の関係について、高齢者とロービジョンで比較した。

高齢者の歩行中の印象は、明るくなるにつれ（一部に眩しいという報告があったが）全体的に好評価となった。また、1ルクスの低照度時を除きそれより明るい状態では歩行行動に大きな変化がなかった。一方、ロービジョンは夜盲または羞明がある場合、好ましい照度や歩きやすさの印象はそれぞれのタイプで異なった。特に、明るい条件での空間の好ましさを照明に対する要望について、高齢者との違いが見られた。また、ロービジョンは、歩行動作や歩行中の手がかりとなるものが50ルクス以上とそれ未満で異なり、500ルクスになると眩しく、歩きにくい人もいることなどから、50ルクス近辺が比較的幅広い層に受け入れやすい照度であることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 高齢者、ロービジョン、視覚、歩行

【研究題目】 脳内化学プロセスのリアルタイム計測技術の開発

【研究代表者】 山本 慎也（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

ジー研究部門）

【研究担当者】 山本 慎也、加藤 一実（先進製造プロセス研究部門）、鈴木 祥夫（バイオメディカル研究部門）（常勤職員3名）

【研究内容】

神経の情報伝達に関する化学物質は多数知られており、それぞれが異なる役割を果たしていると考えられている。近年、様々な脳研究の分野において、ドーパミンと呼ばれる化学伝達物質の重要性が強調されてきている。ドーパミンはモチベーションと深い関わりがあることが知られており、それに基づく学習に大きな貢献をしていると考えられ、神経科学の中で最もホットな研究トピックといえる。にもかかわらず、ドーパミンがリアルタイムにどのような時系列パターンで情報伝達しているのか、直接的な証拠が乏しいのが現状である。本研究課題では、神経科学・ナノテクノロジー・工業化学の技術を集結して、この問題に立ち向かうことを目標とする。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経科学、認知科学

【研究題目】 ナノ粒子コーティングによる電子セラミックスの構造制御と高機能化

【研究代表者】 鈴木 一行（グリーン磁性材料研究センター）

【研究担当者】 鈴木 一行（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

次世代の電子セラミックスには化学組成制御による材料設計だけでなく微構造や界面物性を活用した構造・組織の設計による高性能・高機能化が求められる。高温や高負荷で使用される圧電体・誘電体・熱電変換半導体などではコアシェルやコンポジット構造のような不均一な構造が重要な鍵となる。本研究では母材粒子にナノ粒子をコーティングすることで構造制御を試み、電子セラミックスの高機能化を目指した検討を行った。誘電体セラミックスの粉末を母材粒子として、この粉末にコーティングするための前駆体溶液を調製した。母材粒子の分散及び、前駆体溶液の反応性を制御することによりコーティングを行った。作製した複合粒子について、粒子特性の評価を行いコーティング条件の最適化を行うとともに、この複合粒子を用いたバルクセラミックスの作製を検討し、その特性評価を行った。

高温用誘電体セラミックスとしての応用を目的に開発されたニオブ酸ナトリウム-チタン酸バリウム固溶体や元素置換により特性を制御したチタン酸バリウム系誘電体を母材粒子として用いて、期待する特性を発現させるためのコーティング層のコーティング量、組成を考慮した前駆体溶液を設計した。チタン酸バリウム系、酸化ニオブ、酸化マグネシウムなどの各種コーティング溶液について、反応条件を調製することにより母材粒子へのコ

ーティングを行うことに成功し、組成並びに微構造を制御した複合粒子を作製できた。この粒子を用いてバルク化並びに特性評価を進めた。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 複合材料、ナノ粒子、コーティング、誘電体、微構造制御

【研究 題目】 クラウド型児童虐待データベース蓄積・虐待診断支援システムの開発とその導入におけるバリア分析に基づいた活用促進プログラムの作成

【研究代表者】 山中 龍宏（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】 山中 龍宏、西田 佳史、北村 光司（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

近年、乳幼児の虐待が社会問題になっている。虐待問題では、早期発見できなかったことが問題となるが、現場では虐待かを判断するための指標や判断を支援するツールがなく、難しい問題を押し付けられているのが現状である。本研究では、虐待早期発見の支援を目的として、事故による傷害と虐待による傷害のデータを活用して、虐待と事故とを科学的に見分ける鑑別支援サービスを、現場で特別な計算機を準備することなく簡単に利用できるように、クラウド型サービスとして提供する仕組みを構築することを目的としている。また、開発システムを児童相談所や病院といった現場での試用を行い、導入・活用方法の検討も行う。

平成26年度は、開発したクラウド型のシステムについては、レンタルサーバー上で動作可能であることを検証し、複数の異なる情報端末から利用可能であることを確認した。開発したシステムでは、現場でインターネットに接続した一般的なパソコンから、Internet Explorer、Chrome、Firefox、Safari などのブラウザで、情報入力ウェブページにアクセスし、傷害の種類や受傷部位といった、虐待が疑われる子どもに関する情報を入力し、サーバーに情報を送信する。その情報を元にサーバーでは、傷害データベースを検索して、該当するデータを使って、その傷害が事故による傷害である可能性を算出し、その結果を現場に返すことが可能である。また、啓発プログラムの開発のために現場での聞き取りを行い、A3サイズ用紙の表裏程度で説明・啓発が可能な資料を作成した。啓発プログラムに関しては、既に連携している医療機関や児童相談所に見てもらい、現場でも理解しやすく、導入の不安を解消できそうであることを確認した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 小児虐待、早期発見支援システム、傷害データ

【研究 題目】 半熔融射出成形による高機能部材成形の開発

【研究代表者】 村上 雄一朗

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 村上 雄一朗（常勤職員1名）

【研究 内容】

アルミニウム合金の複雑形状品を大量生産するために用いられているダイカスト法では、熔融状態の金属を金型中に高速・高圧で射出する。このため、ガスの巻き込みが生じ、製品の熱処理や溶接が困難であるという欠点がある、これに対し、金属の半熔融状態を利用した射出成形では材料の見掛け粘性が高くなるため、ガス巻き込み等の欠陥低減が可能となるが、凝固までの温度域が狭く材料の流動性が低いため成形性が低下するという欠点がある。また、半熔融状態の金属に流動性を持たせるため、特殊な材料を用いる必要がありコストが高いという問題もある。

本研究では展伸材用アルミニウム合金をターゲットとし、半熔融射出成形法の検討を行った。今回開発した装置では、1)汎用のビレットを用いることによりコストの低減を図る、2)金型入り口部分で半熔融ビレットに対しせん断応力を加えることによりビレット中の固相粒子を破壊・微細球状化させ流動性を向上させる、という手法をとった。最終目標としてはアルミニウム合金を用いて実験を行う予定であるが、固液共存状態のアルミニウムと装置との溶着が懸念されることから、予備試験として難燃性マグネシウム合金 AZ91Ca を用いて試験を行った。成形前の半熔融ビレットでは固相が網目状に広がった組織になっていた。これに対し、せん断応力を付与した部分の試料断面を研磨、組織の観察を行ったところ、せん断応力付与部を通過することにより半熔融状態のビレット中の固相が変形、微細球状化する様子が観察された。これにより、固液共存状態の金属の流動性・成形性が向上することが期待される。今後、アルミニウム合金へ適用を進めていく予定である。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 アルミニウム合金、マグネシウム合金、鑄造技術、セミソリッド成形

【研究 題目】 Microstructure and Mechanical Properties of WC-FeAl Composites Fabricated by Pulse Current Sintering

【研究代表者】 古嶋 亮一

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 古嶋 亮一（常勤職員1名）

【研究 内容】

イタリア、モンティカティーニ・テルメで開催された CIMTEC 2014 - 13th International Ceramics Congress において、“Microstructure and Mechanical

Properties of WC-FeAl Composites Fabricated by Pulse Current Sintering” というタイトルで、招待講演を行った。本講演において、人体に悪影響とされるコバルトを含まない硬質材料としての WC-FeAl に関する研究について紹介した。焼結プロセス（真空焼結、通電焼結）の違いによる、液相焼結による WC の粒成長、FeAl バインダープールの形成の有無に始まり、それらが機械的特性に及ぼす影響についても述べた。また酸素量が、WC 粒成長に影響を与え、酸素量の制御により機械的特性の向上が可能である点についても言及した。本講演により WC-FeAl が環境融合型の硬質材料として有望であり、学術的にも研究の価値のあることを国際的に宣伝した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 コバルトフリー硬質材料、通電パルス焼結法、粒成長、抗折力、硬さ、破壊靱性

【研究題目】 Ti (C, N) -Ni 系サーメットの高靱性化に関する研究開発

【研究代表者】 細川 裕之

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 細川 裕之 (常勤職員1名)

【研究内容】

Ti (C, N) - Ni 系サーメット (以下、サーメットと称す) は、金型材料として必要な高い耐摩耗性、高い化学安定性を有しており、レアメタル問題を有する超硬合金 (WC-Co) に代わる金型材料として期待されている。しかしながら、サーメットは靱性が十分でないため、金型材料として使用されていない。機械的特性に優れたサーメットを作製することができれば、金型材料を超硬合金から代替することが可能となり、レアメタル問題解決の一助となりうる。そこで本課題では、高靱性を有するサーメットの研究開発を行っている。前年度、サーメットの代表的な組成である Ti (C, N) -Mo<sub>2</sub>C-Ni サーメットにさまざまな量の NbC 添加を行い、組織、機械的特性 (硬度、破壊靱性値) を調査した結果、組織がコアリム構造を維持していれば、NbC を添加することにより、機械的特性が向上することがわかった。そこで平成26年度は、NbC を添加した Ti (C, N) -Mo<sub>2</sub>C-NbC-Ni サーメットにおいて、Ni の一部 (5~20mass%) を Cu に置換した Ti (C, N) -Mo<sub>2</sub>C-NbC-Ni-Cu を作製し、その効果を検討した。適量の Cu 置換により、組織の均質化が達成でき、サーメットの機械的特性を向上させることに成功した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 硬質材料、破壊靱性、組織

【研究題目】 ナノ複合化による高効率シリコン系熱電変換材料の開発

【研究代表者】 三上 祐史

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 三上 祐史 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

固体内部での電気と熱の相互作用を利用した熱電変換技術は、未利用の排熱を利用した発電によるエネルギー回収や急速で安定性の高い冷却 (温調) など、高度な熱マネジメント技術として積極的な活用が期待されている。熱電変換技術の実用化には高いエネルギー変換効率が求められるが、熱電デバイスの性能は熱電材料の特性に大きく依存する。これまでに、Bi-Te 系や Pb-Te 系などの高い熱電性能を示す材料が開発されているが、原料の希少性や毒性などの理由から実用化が進んでいない。そこで本研究では、豊富で安価な材料であり、電子デバイスなどと相性の良いシリコン系材料について、粉末冶金技術を用いた熱電性能の向上に関する検討を行った。

シリコン系熱電材料として、遷移金属との化合物が高い熱電性能を示すことが期待できる。なかでも、CrSi<sub>2</sub> 系はバンドギャップが比較的狭く、室温付近の低温域から良好な導電性が期待できる。この CrSi<sub>2</sub> 系について、Cr と同族の W で置換した材料を粉末冶金技術により合成した。熱電特性を評価したところ、重元素 W 置換による効果や WSi<sub>2</sub> 系との複合化効果などにより、電気的な特性を保ったまま熱伝導率を半減できることが分かった。その結果、熱電性能が向上し、比較的低温の 300℃ から ZT が 0.2 を超える性能が得られた。今回は p 型材料において高い性能が得られたが、CrSi<sub>2</sub> 系の電子構造は n 型材料としても高い熱電性能を示す可能性があることを示唆しており、同材料系のみで熱電デバイスの構築が期待できる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 熱電変換材料、シリサイド、粉末冶金

【研究題目】 複合酸化物を経由する白金族金属の低環境負荷回収プロセスの基盤研究

【研究代表者】 粕谷 亮

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 粕谷 亮 (常勤職員1名)

【研究内容】

白金族回収における溶解工程では、王水等の酸化剤を含む酸を用いて白金族を酸化、溶解させる。しかし、白金族に対して有効な酸化剤は腐食性、有害性が高いという問題がある。そのため、より有害性の低い酸、例えば塩酸だけで白金族を溶解することが望まれている。我々の研究グループでは、金属状態の白金族を複合酸化物へと変化させることにより、塩酸だけで白金族を溶解できることを見出した。本研究では、白金族の工業需要のうち最も多くを占める『自動車排ガス浄化触媒』から白金族を溶解・回収することを最終的な目標とし、アルミナ担持白金触媒のような白金族を含む触媒を用いて白金族含有複合酸化物を形成させ、担体等の成分が白金族の溶

解特性に与える影響について検討した。

実際の自動車触媒では、高温での動作時間が長くなると白金族微粒子が徐々に凝集、粗大化し、触媒性能が低下する。触媒中の白金族微粒子を粗大化させるため、市販の白金担持アルミナ（白金担持量：5wt%）を空气中で750℃、50時間焼成するエージング処理を行った。エージング後の白金担持アルミナと炭酸リチウムを混合、焼成したところ、焼成温度を700、800℃とした場合は白金含有複合酸化物（ $\text{Li}_2\text{PtO}_3$ ）の生成が確認できた。塩酸による溶解試験の結果から、適切な溶解条件のもとでは、複合酸化物中の白金をほぼ完全に溶解できたことがわかった。以上の結果から、複合酸化物を経由する溶解プロセスは触媒材料に対しても有効であると考えられる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 白金族金属、アルカリ金属、複合酸化物、リサイクル

【研究題目】 中性子散乱による鉄系超伝導体のスピン揺動の研究

【研究代表者】 李 哲虎（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 李 哲虎、木方 邦宏

（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

2008年に発見された鉄系超伝導体は転移温度が  $T_c = 56\text{K}$  と銅酸化物高温超伝導体に次いで高い。この高い  $T_c$  を従来の理論で説明することは難しく、超伝導の発現機構解明に向けた研究が現在盛んに行われている。

本研究では主に中性子散乱を用いて鉄系超伝導体の磁気励起を調べ、超伝導の発現機構を解明することを目指している。中性子散乱実験には大型単結晶が必須なため、高品質な大型単結晶の作製も行っている。例えば、作製が難しいとされるアルカリ金属元素を含有した単結晶の作製及びその大型化に我々は成功した。これらの単結晶を用いて中性子非弾性散乱実験を行うことにより、広い組成範囲において鉄系超伝導体の磁気励起を観測することに成功した。例えば、磁気励起の分散関係や超伝導相で観測される磁気励起のギャップエネルギーなどの濃度依存性が明らかとなった。母相から超伝導相及び常磁性相に及ぶ磁気励起の全体像が明らかとなりつつある。また、レゾナンスモードと呼ばれる超伝導相で出現する強い磁気励起がスピンエキシトンモードによるものであることが明らかとなった。これは、磁性と超伝導に強い相関関係があることを意味する。一方、特定の濃度領域ではレゾナンスモードは出現せず、磁性以外の相互作用が超伝導に寄与していることが示唆された。このように我々の研究により、鉄系超伝導では多様な相互作用が超伝導に寄与している可能性があることが明らかとなった。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 超伝導、中性子散乱

【研究題目】 非平衡プラズマによる高圧可燃予混合気の着火機構に関する研究

【研究代表者】 高橋 栄一（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】 高橋 栄一、小野 拓磨

（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

内燃機関の高効率化、低エミッション化のために希薄燃焼、あるいは排気ガス再循環（EGR）といった方法が有効と考えられているが、それらの状況下における確実な着火技術の開発が課題となっている。そこで、本研究では従来のスパークプラグ等の熱平衡プラズマに対して、非平衡プラズマを用いた可燃性予混合気の着火技術の研究開発を行っている。前年度までに得られている燃焼促進効果に基づき、本年度は燃焼の促進をもたらしている化学種の特定の為に、イオン付着質量分析を用いてプラズマが照射された予混合気中の成分分析を実施した。メタンの予混合気ではプラズマの照射によって、オゾンだけではなく、ホルムアルデヒドが形成していることがわかった。さおらに、そのプラズマが照射された予混合気の圧縮着火の温度依存性からメタン予混合気の着火を促進しているのは他の様々な可能性のある化学種のなかでホルムアルデヒドである可能性が高いことを明らかとした。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 ストリーマ放電、誘電体バリア放電、希薄燃焼、EGR

【研究題目】 中性子線補足療法のための革新的ナノ粒子剤に関する研究

【研究代表者】 榊田 創（エネルギー技術研究部門）

【研究代表者】 榊田 創、池原 譲（バイオメディカル研究部門）、金載 浩、小口 治久、平野 洋一（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

本研究では、中性子線捕捉療法で使用する安全な粒子捕捉剤を生成することを目的とする。透過性の良い中性子線と反応断面積の大きいボロンの反応の結果生成される高エネルギーのヘリウム粒子を使用することで、放射線治療に伴う正常細胞への障害を減らすことができる。現在のボロン製剤は、化学的安定性、ボロンの毒性、腫瘍部への蓄積性の制御の観点において課題が存在する。そこで、プラズマ技術等を駆使し、ボロンをフラーレン内に包含させることで毒性を封じ込める技術、更には当該粒子の糖鎖被覆リポソームへの効率の良い封入法を開発し、新規ナノ粒子製剤の難治性がんへの治療へと展開する。

26年度は、開発した固体ボロンをイオン化・プラズマ化する装置において、Nd-YAG レーザー（1064 nm, 1.0 J）を用いたアブレーションによるボロンプラズマ生成実験を実施し、分光計測によりボロンイオン種の線

スペクトル発光強度観測を行いながら効率的なイオン生成条件の最適化を図った。更に、2.45 GHz マイクロ波印加中に連続パルスアブレーションを行い、ポロンプラズマの定常維持を試みた。内包化を行う際に必要とされる低エネルギーイオンの集束化に関して、静電プローブを用いた計測によりイオンの制御法に関して新たな知見を得た。また、水液層にフラーレンを分散する条件と方法を検討した結果、水溶液に分散したフラーレンに Dipalmitoylphosphatidylcholine などが膜を構成することが可能となった。

【分野名】環境・エネルギー、ライフサイエンス

【キーワード】プラズマ、中性子線補足療法、ポロン、フラーレン、糖鎖リポソーム

【研究題目】超高性能鉛カルコゲナイド系バルク体熱電材料の創製

【研究代表者】太田 道広（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】太田 道広（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、鉛カルコゲナイド（ $PbX$ （ $X: S, Se, Te$ ）系バルク体において、原子配置（結晶）、ナノ、マイクロ、ミリ構造の各階層の形態を制御（パナスコピック形態制御）することで、熱電特性の大幅改善と熱電発電モジュールの開発を目指している。昨年度は、 $PbX$ 層とビスマス・カルコゲナイド（ $Bi_2X_3$ ）層を基本構造とした自然積層構造を持つ層状カルコゲナイドにおいて、結晶構造の制御を実施して、熱電変換材料に相応しい低い熱伝導率を実現した。本年度は、 $PbSe$ 層と $Bi_2Se_3$ 層が結晶軸 $c$ 方向に積層したカニツァライト $Pb_5Bi_6Se_{14}$ （ $[PbSe]_5[Bi_2Se_3]_3$ ）において、マイクロ構造の制御を実施した。

合成した $Pb_5Bi_6Se_{14}$ の粉末を、真空中で一軸方向から加圧しながら焼結することで $Pb_5Bi_6Se_{14}$ の焼結体を作製した。X線回折法と走査型電子顕微鏡法により、加圧方向に対して平行方向に結晶軸 $c$ が配向していることを確認した。すなわち、加圧焼結法を用いることでマイクロオーダーの配向制御に成功した。この配向焼結体において、結晶軸 $c$ に垂直な面内方向に、結晶軸 $c$ に平行な面外方向と比較して、3.5倍程度も高い電荷キャリアの移動度を達成した。面外方向では、 $PbSe$ 層と $Bi_2Se_3$ 層の界面にてキャリア散乱が引き起こされ、キャリアの移動度が低くなる。高い移動度の結果として、面内方向に優れた電気特性を実現した。昨年度に結晶構造の制御により達成した低い熱伝導率と、本年度にマイクロ構造の制御により達成した優れた電気特性により、 $Pb_5Bi_6Se_{14}$ 焼結体の面内方向に優れた熱電性能指数を実現した。ナノ・ミリ構造制御としては、マグネシウム・テルライド（ $MgTe$ ）のナノ構造を埋め込んだ $PbTe$ バルク体熱電変換材料を用いて、ミリオーダーの熱電発電モジュールを試作して、高効率動作を確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】熱電変換材料、熱電発電、未利用熱エネルギー活用、鉛カルコゲナイド、階層構造制御、パナスコピック形態制御、金属物性・材料

【研究題目】水蒸気を水素・酸素源として利用する重質炭化水素の軽質化技術の開発

【研究代表者】麓 恵里（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】麓 恵里（常勤職員1名）

【研究内容】

在来型原油を石油精製する過程で副生する残油や、カナダのオイルサンドピチュメン等の重質油は、有用な軽質油へ転換する際、水素の添加が有効である。しかし水素は高価であるため、本研究では水蒸気を水素・酸素源として利用する重質油の軽質化技術開発のため、ジルコニアとアルミナを含む酸化鉄触媒を用いて中東系常圧残油の接触分解を水蒸気雰囲気下で行った。本反応では、酸化鉄触媒の格子酸素を介して水蒸気由来の酸素種と重質炭化水素が反応する酸化分解反応によって、軽質油や二酸化炭素、少量の残渣が生成する。水蒸気から酸素種が生成するとき、同時に水素種が生成し、この水蒸気由来水素種は軽質炭化水素や残渣等の生成物へ組み込まれると考えられる。ジルコニアは水蒸気からの酸素種と水素種の生成を促進する働きを示し、触媒のジルコニア含有量が増加すると軽質油の生成量が増加するが、同時に触媒上の残渣堆積量がやや増加する傾向がみられた。残渣増加の一つの要因として、ジルコニア添加により表面積が増加し、ジルコニア上に残渣が堆積したことが考えられる。また、ジルコニアにより重質炭化水素の分解が促進され、分解された分子の再結合により残渣が増加した可能性がある。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】重質油、酸化鉄触媒、水蒸気

【研究題目】レーザー航跡場とビーム航跡場のハイブリッド多段加速による超高エネルギー電子加速

【研究代表者】三浦 永祐（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】三浦 永祐、丸山 昂貴（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

プラズマを利用した電子加速であるレーザー航跡場加速やビーム航跡場加速は、プラズマ波の作り出す高周波加速器の1000倍にも達する高い加速電場を利用し、超高エネルギー電子加速を実現する手法として期待されている。本研究では、より小さな装置規模で超高エネルギー電子加速を実現するため、各々の方式の持つ利点を融合し、レーザー航跡場加速で得られる電子バンチをビーム航跡場加速で加速するハイブリッド型のプラズマを利

用した電子加速の新概念を提案し、その原理実証を行うことを目的としている。

本手法の実証には、レーザー航跡場加速によってエネルギーの揃った準単色電子バンチを発生し、電子密度の高い電子バンチを安定して得る必要がある。安定して準単色電子バンチを得るため、プラズマ中に急峻な空間勾配を持つ密度の不連続点を形成し、そこでのプラズマ波の破碎による電子入射を利用する電子加速を試みた。超音速ガスジェット中にブレードを挿入して衝撃波を発生し、ガス密度の不連続点を形成した。干渉計測により、最大2倍程度の密度比を持つ密度ジャンプが形成されていることがわかった。また、密度勾配の空間スケール長は20  $\mu\text{m}$  程度と見積もられた。

この密度の不連続点を持つガスジェットに、波長800 nm、エネルギー700 mJ、パルス幅40 fs のチタンサファイアレーザーパルス照射し電子加速を行った。電荷量が2 pC の65 MeV にエネルギーのピークを持つ準単色電子バンチ発生に成功した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高出力レーザー、プラズマ、量子ビーム、レーザー航跡場加速、ビーム航跡場加速、超高エネルギー電子加速

【研究題目】レーザーブレイクダウンしきい値近傍のパーコレーションモデルによる統一的理解

【研究代表者】加藤 進 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】加藤 進、佐々木 明 (日本原子力研究開発機構) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究の目的は、レーザーブレイクダウン (LBD) に伴う複雑な現象を理解し、制御することである。LBD は、レーザーが強く集光された媒質が絶縁破壊される現象であり、透明な媒質が急激に不透明になることで光を吸収するようになる。このとき、光学または電気的特性が急激に変化し、強い発光や音を伴いプラズマを生成する。様々なレーザーエネルギー、レーザー波長、パルス幅のレーザー光に対して見られ、かつ気体、液体、固体など、様々な密度の媒質で起こっている普遍的な現象である。LBD における共通点の一つは、しきい値近傍におけるゆらぎが非常に大きいことである。

LBD を引き起こす透明な媒質の線形吸収係数は非常に小さいが、レーザー強度の増加にともなって吸収が増加する多光子吸収などの非線形吸収によって生成されたある励起状態は大きな吸収断面積を持つことに着目し、連続光レーザー照射下での励起状態を含むキネティックモデルを開発している。本年度は、このモデルを高繰り返しレーザー照射条件に拡張し、励起状態の累積効果が高繰り返しレーザーにおいても連続光レーザーと同様に光の吸収に重要であることを示した。また、LBD にパー

コレーションモデルを適用するための最適なマクロモデルについての検討を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】レーザー、絶縁破壊、光学特性、励起状態、パーコレーション

【研究題目】無消光で校正不要な定量可視化用感温中空マイクロカプセルの開発

【研究代表者】染矢 聡 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】染矢 聡 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、水・油・アルコール等で利用可能な、感温性中空マイクロカプセルを開発する。粒径0.5~1.0 $\mu\text{m}$  の中空マイクロカプセルを作成するとともに、作成条件を最適化して感温性中空カプセル作成法を確立する。

これらの研究目的達成に向けて、平成26年度は、1)感温性蛍光物質を重合した中空カプセルの開発と最適化、2)光学特性評価、3)温度分布の定量可視化計測を行った。

1)では、一種類の蛍光物質を含むカプセルに加え、複数の蛍光燐光物質を重合した二波長強度法用のカプセル作成を行った。センサ物質の溶媒種を3種まで、カプセル形成用ポリマーを3種、影響励起波長を8種まで拡張して作成した。分散媒の添加についても8種の分散媒を評価した。蛍光物質の組合せについては50種超の評価を行った。

2)では、感温性、発光強度、スペクトル、粒子径分布、光劣化特性、カプセルの凝集性や経時劣化について評価を行った。3%/ $^{\circ}\text{C}$ 以上の非常に高い感温性を示すものを複数発見した。極微量の添加によって数カ月以上の長期に渡り分散性浮遊性を維持できる分散媒を見出した。

3)では、顕微鏡を用いた評価試験において、低波長側の蛍光分子の発光強度が小さく、S/N 比の改善が必要であることが分かった。また、PIV に多用される532nm の励起波長で約2%/ $^{\circ}\text{C}$ の応答性を持つカプセルを用いて、マクロスケールでの温度速度同時計測を行った。複雑形状をした熱交換器内において微小なよどみ部で温度が上昇し、高温部が周期的に剥がれることによる主流の脈動を定量的に捉えるなど熱交換器の評価を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】可視化、マイクロカプセル、蛍光

【研究題目】希土類系高温超伝導多芯細線作製技術の開発

【研究代表者】山崎 裕文 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】山崎 裕文、山口 巖 (常勤職員2名)

【研究内容】

市販の高温超伝導長尺線材を用いた各種応用の研究開発が進められているが、市販線材は幅数ミリのテープ形状であるため、テープ面に垂直な方向の磁界による交流

損失が大きく、変圧器などの交流応用が阻まれている。また、遮蔽電流による誘起磁界の問題で、NMR, MRI など高い磁界精度が要求される機器への応用が困難である。本研究では希土類系超電導 ((RE)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>、略称 (RE)BCO) 多芯細線を作製するための技術開発を行い、交流損失と遮蔽電流効果を大幅に低減させることを目的とする。

ニッケルなどの FCC 金属に圧延加工を施してテープ形状とし、十分な加工率を確保した上で再結晶熱処理を行えば立方体集合組織が得られることはよく知られており、その上にバッファ層・(RE)BCO 層を蒸着することによって高温超電導線材が作製されている。本研究では、平成25年度に、ニッケルの圧延・引き抜き加工とその後の熱処理で、部分的に立方体集合組織が得られたニッケル平角線 (幅 0.5 mm、厚さ 0.2 mm) を作製できた。平成26年度は、加工度をさらに上げることによって立方体集合組織の分率を向上させることを試みたがうまく行かなかった。EBSD 測定によって配向組織の状況を調べたところ、圧延方向に (100) 面が良く配向しているものの、平角面では (110) 配向した結晶粒が (100) 配向粒と同程度存在していることがわかった。このような表面へのバッファ層の作製を試みたところ、YSZ 単結晶基板上に CeO<sub>2</sub>(100) 配向膜が得られる条件でも CeO<sub>2</sub>(111) 配向膜しか得られず、その上への超電導膜の作製を断念した。なお、四角細線への成膜が容易なディップコート MOD 法については、SrTiO<sub>3</sub>単結晶の角線 (1×1×30mm<sup>3</sup>) 上に約200 nm 厚の YBCO 薄膜をエピタキシャル成長させることに成功した。

[分野名] 環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 高温超電導、多芯細線化、立方体集合組織

[研究題目] グラフェン膜の革新的大気圧低温生成法の開発

[研究代表者] 金 載浩 (エネルギー技術研究部門)

[研究担当者] 金 載浩 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究では、大気圧低温プラズマ技術を用いることにより、革新的グラフェン生成用 CVD (Chemical Vapor Deposition) 法に関する基盤技術を確立することを目的としている。平成26年度は、前年度に開発した大気圧マイクロ波プラズマ源における放電特性の解明、及びグラフェン合成に最適な CVD 条件の探索を行った。

前年度に開発した大気圧マイクロ波プラズマ源は、基板とノズルとの距離に依存して放電モードが変化して、CVD 中にプラズマが不安定になる問題があった。マイクロストリップ線路とガス流路の構造を変えて、マイクロ波電界によりプラズマが強く励起される領域を制御することにより、この問題が解決できることを確認した。

カーボン系反応ガス (例えば、Ar/H<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>混合ガス) に対しても、自己着火し、安定に維持できるプラズマの生成が可能になった。次に、分光測定法を用いて、プラズマ内におけるガス温度の評価を行い、大気圧においても非熱平衡プラズマが生成できることを確認した。また、高密度のカーボン系ラジカルを安定に生成することが確認された。マイクロストリップ線路技術を元に製作したマイクロ波プラズマ源が、カーボン材料合成の低温 CVD 用プラズマ源として、最適な放電特性を有していることを示すことができた。銅箔を基板とし、プラズマ源を簡易容器内に設けて、雰囲気ガスを制御した準大気圧下で CVD 実験を行い、グラフェン膜の合成に成功した。今後、グラフェン膜の革新的量産技術へ発展が期待できる。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] グラフェン、ナノカーボン材料、プラズマ CVD、マイクロ波プラズマ、大気圧プラズマ

[研究題目] エレクトロスピンニング法による Na イオン電池用正極材料のナノ構造制御

[研究代表者] 細野 英司 (エネルギー技術研究部門)

[研究担当者] 細野 英司 (常勤職員1名)

[研究内容]

環境・エネルギー問題を解決し、持続的発展可能な社会を実現するために様々な研究が活発に行われている。その中で、自動車等運輸部門からの二酸化炭素排出量を抑制するために、ガソリン等の燃料ではなく、電気エネルギーを用いた電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の開発も重要な位置づけである。高いエネルギー密度を有する二次電池として Li イオン電池が注目されているが、車載用として用いるためには、更なる高エネルギー密度化と高出力化が必要とされる。これまで、Li イオン電池の高出力化のために、ナノ材料を用いた開発を行ってきた。これは、ナノ材料を用いることで、界面反応場の増大に加えて Li イオンの拡散距離を低減できることから、高出力化に適しているためである。Li イオン電池の開発が進められる一方で、Li 資源の枯渇やコストの高騰も問題となっており、ユビキタス元素である Na を用いた二次電池の開発も注目を集めている。

本研究ではナノ構造制御の手法としては、エレクトロスピンニング法による一次元ナノ構造体の作製を行い、材料としては、NASICON 型の Na<sub>3</sub>V<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>を中心にポリアニオン系材料等にて研究を行った。XRD によって目的材料の合成を確認し、走査型電子顕微鏡もしくは透過型電子顕微鏡を用いて形態観察や電子線回折等のナノワイヤー材料についての評価を行い、ナノ構造化のメカニズム等を検討した。また、得られた材料を用いて Na イオン電池特性を評価し、ナノ構造化による特性の向上を行うと共に放射光軟 X 線吸収分光等も行い解析

を試みた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 Na イオン電池、正極材料、ナノ構造制御、エレクトロスピンング

〔研究題目〕 水素吸蔵合金の耐久性向上を目指した水素吸蔵放出に伴う空孔形成回復メカニズムの解明

〔研究代表者〕 榊 浩司（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 榊 浩司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

水素吸蔵合金は体積当たりの水素密度が高いことから、水素によるエネルギー貯蔵システムへの利用が期待されている。このようなシステムで水素吸蔵合金に求められる特性は、良好な繰り返し耐久性である。これまでの研究によって、水素吸蔵に伴って導入される格子欠陥の蓄積挙動と耐久性の悪化に相関がみられた。そこで、本研究の目的は耐久性を悪化させる格子欠陥の導入メカニズムを解明し、その知見を基に耐久性向上の方策を見出すことである。

今年度は昨年度に引き続き様々な組成の  $a(\text{Ni,Cu})_{5+x}$  合金(昨年度に比べて  $x$  を小さくしたもの)を作製し、水素吸蔵特性の評価を行った。また、放射光 X 線全散乱測定や中性子全散乱測定で得られていた測定データの解析を進めた。

現時点ではすべての温度域において平坦なプラトーが現れる合金かすべての温度域でプラトーの現れない合金しか作成できなかった。引き続き合金作成を行い、温度変化により水素吸蔵特性が変化する合金系の探索を行う予定である。水素吸蔵前から放射光 X 線全散乱測定から得られた2体分布関数で現れた  $10\text{\AA}$  以下の領域での平均構造モデルでは説明できないピークについては引き続き検討を行っている。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 水素貯蔵、陽電子消滅、空孔、構造解析

〔研究題目〕 オペランド軟 X 線吸収/発光分光を用いた二次電池電極材料の電子状態解析

〔研究代表者〕 朝倉 大輔（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 朝倉 大輔（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高性能リチウムイオン二次電池電極材料の開発には、既存電極材料の詳細な電子状態解析が重要である。特に、遷移金属元素の3d 軌道や配位子軽元素の2p 軌道の情報を元素選択的に直接得ることが出来る放射光軟 X 線分光による解析が求められている。本研究では、これまで不可能であった、電解液を有する電池セルを用いた充放電動作下（オペランド）軟 X 線吸収/発光分光技術を確認し、電子論的な観点から新材料開発の知見を得ることを目的とする。平成26年度は、燃料電池触媒用の In

situ セルをベースに開発したリチウムイオン二次電池電極材料を用いて、複数の電極材料に対するオペランド軟 X 線分光測定を行った。本研究は、SPring-8の東京大学ビームライン BL07LSU を利用して実施した。

インターカレーション系の正極材料に対して、充放電前後で発光スペクトルが可逆的に変化すること、即ち、電極材料中の遷移金属元素の可逆的な酸化還元反応を見出した。オペランド測定によって得られた発光スペクトルに対して、配置換相互作用を用いた多重項計算による詳細な解析を実施し、遷移金属-配位子間の電荷移動効果が、サイクル特性向上の鍵となる原子間の結合に関わる情報に直結していることを解明できた。また、多重項計算を用いた解析によって、遷移金属 L 吸収端の発光分光測定から、遷移金属元素のみならず、配位子元素の情報を抽出することができた。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 二次電池電極材料、放射光分光、電子状態解析

〔研究題目〕 液膜内流れの3次元4成分温度速度同時計測法開発による濃度温度差表面張力対流の解明

〔研究代表者〕 染矢 聡（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 染矢 聡（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では機能性中空マイクロカプセルを利用し、濃度変化を伴う作動流体に適用可能な、微小スケール流れの温度と速度を同時計測する手法を開発する。低入熱高輝度で出力の安定した高出力パルス光源を開発する。強度法、二色法や寿命法による温度計測と断面スキュン法及びデフォーカス法等による3次元速度計測を組合せて温度速度計測を実現し、手法の適用可能範囲を明らかにする。

平成26年度までにピエゾアクチュエータで対物レンズ位置を視線方向に移動させながら、二次元的な温度速度同時計測を行った。また、ピンホールを用いたデフォーカス法や寿命法、二色法についても簡易試験を実施した。その結果、寿命法、二色法、デフォーカス法はいずれも検出可能な光量が非常に小さくなり、画像中のノイズや大きく、信号強度の変動幅が大きな画像しか取得できなかった。一方、単波長の強度法を用いて S/N 比の高い測定をした場合の測定分解能が高いことがわかった。

局所的な温度分布を持つ液膜流れを最終的なターゲットとするため、計測手法の研究開発に加えて、T 字型の合流部を持つサブミリスケールチャンネル内の温度速度計測を通じて、このスケールにおいて粘性や密度の差、流速の影響が流れに与える影響を詳細に調査する。

26年度はサブミリチャンネルを試作し、ペルチェ素子を用いて温度勾配をもつ流れ場を作成して、その基礎的な特徴を調べるための予備実験を開始した。その結果、



一定の流入流量条件において、高温流体が鉛直上側を、低温流体が下方を流れる流れが形成されることなどがわかった。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 可視化、マイクロカプセル、蛍光

〔研究題目〕 リング型プラズマアクチュエータを用いたタービン翼列先端漏れ流れの能動制御

〔研究代表者〕 瀬川 武彦（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 瀬川 武彦、松沼 孝幸（常勤職員2名）

〔研究内容〕

ガスタービンや遠心圧縮機などに適用できる新たなシール技術の創出を目指し、タービン翼列先端隙間2次元モデル及び3次元モデルに設置可能なリング型プラズマアクチュエータによる漏れ流れ抑制効果の検証を行う。2次元モデルのケーシング部内壁に設置可能なリング型プラズマアクチュエータを構築するため、絶縁被覆電線を用いた多線電極プラズマアクチュエータを試作し、粒子画像流速測定法（PIV）を用いてタービン翼先端2次元モデル近傍の空間速度を解析した結果、漏れ流れを効率的に行うための印加電圧条件を見出した。また、サファイアガラス基板上にITO薄膜をクシバ状にパターンニングすることで隙間を可視化できる電極構造を構築した結果、印加電圧の変化に伴って誘電体バリア放電の空間分布や発光強度が変化し、漏れ流れ制御効果と相関があることが明らかになった。また、耐久性向上に向けて、セラミック基板にクシバ状電極構造が埋め込まれたリング型プラズマアクチュエータを試作し、性能評価を行った。タービン翼先端3次元モデルの構築に向けては、環状翼列タービンとケーシングの間に誘電体バリア放電を誘起するための構造を検討し、絶縁被覆電線の全周配置を行うための治具開発を行った。一方、全周配置では絶縁被覆電線が回転軸と同軸で固定されるが、環状翼列タービンに対する配置角度が一定になるため、配置角度の最適化が困難である。そこで、リング型プラズマアクチュエータの配置角度を柔軟に設定できるセクター化を検討し、ケーシングヘフラッシュマウントするための治具開発に着手した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ターボマシン、省エネルギー、チップクリアランス、漏れ流れ、誘電体バリア放電

〔研究題目〕 氷核不活性化による疎水性固体表面の創出

〔研究代表者〕 稲田 孝明（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 稲田 孝明、小山 寿恵  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

氷の核生成を抑制する効果を持つ合成高分子を利用し

て、過冷却水滴からの氷の核生成抑制を可能とする疎水性固体表面の創出を試みることを目的としている。今年度は、氷核活性抑制効果が確認されている合成高分子を作用させたガラス表面を作成し、その疎水性の評価を行った。ガラス表面には化学的に安定なホウケイ酸ガラスを、合成高分子にはポリビニルアルコール（PVA）、ポリビニルピロリドン（PVP）、ポリエチレングリコール（PEG）の三種類を用いた。合成高分子の水溶液にガラスを所定の時間浸漬したのち、ガラスを取り出して液相を完全に除去し、測定用ガラス表面として用いた。このガラス表面に直径数 mm の水滴を置き、一定速度で冷却しながら顕微鏡観察を行い、氷の核生成温度を測定することによって、ガラス表面の疎水性を評価した。測定は高分子水溶液濃度、浸漬時間をパラメータとして行ったが、いずれの条件においても疎水性は確認できなかった。PVP、PEG の場合には、むしろ氷の核生成を促進する効果が確認された。今回の測定で疎水性は確認できなかったものの、高分子を作用させたガラス表面の接触角は大きく変化することから、高分子はガラス表面に何らかの形で作用していることは間違いない。今回用いた高分子は、氷核活性の高いヨウ化銀表面に対しては、同様の手法で疎水性を実現できることをすでに確認している。ガラス表面で疎水性が得られなかったことは、高分子の効果が氷核活性の種類によって変化することを示唆している。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 氷、核生成、着霜

〔研究題目〕 最適化手法に基づく複数住宅での温水需要予測技術とマネジメント技術の開発

〔研究代表者〕 安芸 裕久（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕 安芸 裕久（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究課題の研究項目は、予測モデルと最適化モデル、逐次運用モデルおよび検証実験から構成される。これらについて、平成26年度の実施状況は次の通りである。

〔予測モデル〕 複数住戸（2-6戸）単位の温水消費を、前日に予測する手法開発のための影響因子を抽出するために、温水消費データの解析を行った。外気温、居住者の在宅／不在宅状況、平日／休日、湯張りの有無および過去のエネルギー消費実績と実際のエネルギー消費実績との相関を調べた。その結果からは、特定の一つの因子が支配的であるとの確証は得られなかった。そこで、複数の因子による予測手法の検討を行った。サポートベクターマシンを用いた統計的手法による予測と、湯張り、追い焚きおよびシャワーといった用途別消費データに基づくボトムアップアプローチによる予測の両方について検討を行った。戸別の需要および複数住戸の一括需要の両方の予測について検討を行った。いずれも予測モデルのプロトタイプを構築し、パラメータ調整等を行いなが

ら、モデルのブラッシュアップを行っている。

〔最適化モデル〕予測手法の開発と並行して、予測需要をもとに翌日の機器最適運用計画を立案するモデルの開発を行った。数理計画法により温水融通・共有を行う複数住戸を一括して最適化するモデルを構築した。目的関数は複数住戸のエネルギー費用（電気代+ガス代）合計値の最小化（経済性）とした。制約条件としては、給湯器の運転制約（起動停止頻度、運転時間）や部分負荷効率、温水融通時や貯湯槽における放熱特性を考慮した。以上を混合整数問題として定式化したモデルを構築した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕エネルギーシステム、エネルギーマネジメント、省エネルギー、住宅、給湯、最適化、需要予測

〔研究題目〕高効率な水酸化反応実現のための光触媒表面制御

〔研究代表者〕三石 雄悟（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕三石 雄悟（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、光触媒粉末の表面構造制御の重要性を明確化するために、露出結晶面の異なる酸化タングステン（ $\text{WO}_3$ ）粉末を調製し、 $\text{Fe}^{3+}$ を還元しながら水を酸化するエネルギー蓄積型（ $\Delta G > 0$ ）の光触媒性能を評価する。特に望まれない副反応である、生成した  $\text{Fe}^{2+}$ の再酸化過程による性能低下が露出結晶面の制御により抑制できるか評価する。さらに、可視光の大部分を利用可能な光触媒材料の開発および性能向上を目的としている。

本年度は、酸化と還元の前反応場を空間的に分離できる  $\text{WO}_3$ 粒子を調製し、市販品の無定形粒子との逆反応速度を比較した。その結果、同じ結晶構造を有する  $\text{WO}_3$ 粒子であっても、 $\text{Fe}^{2+}$ 蓄積に伴う性能低下率に、劇的な差があることを明らかにした。

一方、可視光の大部分を利用可能な新規光触媒として 540nm までの可視光を利用できる  $\text{PbCrO}_4$ が、水の水酸化反応を進行できる新材料であることを見出した。バンド構造の詳細な解析を行った結果、伝導帯位置が +0eV vs. RHE と非常に高い位置に形成されており、幅広い可視光を利用できる材料としては魅力的なバンド構造を有していることを明らかにした。

安価で安定な材料であり、600nm までの光を吸収できる  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 光触媒に少量の  $\text{CoO}_x$ を修飾することで、その性能を2倍に向上できることを見出した。興味深いことに、 $\text{CoO}_x$ はレドックスの再酸化を抑制する機能があることがわかった。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ を利用した Z スキーム型光触媒で初めて水を完全分解することに成功した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕光触媒、太陽光エネルギー変換、水の分解反応、レドックス媒体

〔研究題目〕太陽エネルギーの効率的利用を目指した金属ナノ粒子複合型光電極による水分解水素製造

〔研究代表者〕福 康二郎（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕福 康二郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

太陽光エネルギーを利用した水分解水素製造は、通常よりも低い電解電圧で駆動できることから、水素社会実現に向けてのキーテクノロジーである。従来のシステムでは、光電極上で発生した励起電子をスムーズに対極へ送り込むために、低い伝導帯準位を持つ半導体を經由する必要がある、エネルギーロスが避けられない。一方、特定の金属ナノ粒子は、光によるプラズモン共鳴によって、高い伝導帯準位を持つ様々な半導体への電子遷移を発現する。本研究では、プラズモン共鳴を利用することで、“太陽光の有効利用”と“電解電圧の低下”の両立が実現できる光電極システムの設計を目的としている。

今年度は Au ナノ粒子の LSPR に着目し、①“LSPR 誘起効果の電子伝達剤としての機能が期待できる酸化物半導体の種類”と②“電解液の種類”の2点について、その影響を調査した。① 導電性基板（FTO）上に各種酸化物半導体を導入後、Au ナノ粒子を担持し、疑似太陽光照射下での電流-電圧特性を調査した。検討した酸化物半導体の中では、酸化チタン（ $\text{TiO}_2$ ）を導入した FTO/ $\text{TiO}_2$ /Au 光電極が、低電圧域において比較的高い光電流特性を示した。今後は、LSPR 誘起反応をサポートするための酸化物半導体または助触媒の導入も同時に行う。② LSPR 誘起反応をサポートするための酸化物半導体としては、高い水分解能を示すことが知られている  $\text{WO}_3$ または  $\text{BiVO}_4$ に注目し、これら単独の光電極上で、各種電解液が光電極反応に与える影響について調査した。適切な電解液中で、水素のみならず過硫酸や過酸化水素といった高付加価値な酸化生成物も高効率に製造・回収できることを見出した。

〔分野名〕環境・エネルギー

〔キーワード〕太陽光エネルギー、水分解水素製造、光電極、金属ナノ粒子

〔研究題目〕Co レドックスを用いた高効率色素増感太陽電池のための多核錯体の精密設計と特性制御

〔研究代表者〕船木 敬（エネルギー技術研究部門）

〔研究担当者〕船木 敬（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、次世代型太陽電池の実現を目指し、高い開放電圧が得られるコバルト（Co）レドックスと可視光だけでなく近赤外光も利用できるルテニウム（Ru）錯体色素を用いた高性能色素増感太陽電池を開発している。この電池システムでは、Co レドックス→Ru 錯体色素の再生過程が遅い、また Co レドックスへの逆電子

移動が速いことなどが原因で十分な性能が得られていない。そこで、色素の再生過程の改善と逆電子移動の抑制を図るべく、Ru 錯体色素にドナー錯体を連結した多核錯体を設計・合成し、新概念の色素増感太陽電池の創製を行っている。

目的の多核錯体は、Ru 錯体色素・スペーサー・ドナー錯体から構成されているので、まずは剛直でπ共役系を拡張されるスペーサーを合成し、これらのスペーサーを持つ多核錯体の合成を試みた。また、色素の再生過程に生ずる電子移動では電子の移動距離や錯体同士の結合様式が大きな影響を与えるため、効率の良い電子移動を起こすためのスペーサーの探索が必要である。そこで、上述の多核錯体の合成と並行して構造の大きく異なるスペーサーを持つ多核錯体の合成も試みた。さらに、多核錯体と Co レドックスに適した電池作成条件を見出すために、多核錯体の Ru 錯体部分と類似の構造を持つ Ru 錯体を合成し、これらの Ru 錯体と Co レドックスを組み込んだ太陽電池を作製して性能を評価した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】色素増感太陽電池、ルテニウム錯体色素、コバルトレドックス、多核錯体

【研究題目】高齢・単身世帯化する地域の移動需要変化とモビリティに関する研究

【研究代表者】堀尾 容康（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】堀尾 容康（外来研究員1名）

【研究内容】

急速な高齢化と過疎化・単身世帯化が進む地域社会において、「買物弱者」「医療難民」等の移動問題が顕在化している。一方、ドライバーの高齢化により自動車運転に日常の移動手段を依存することは困難化しつつあり、これに代わる新たな生活移動手段の確保が重要課題となっている。一方、ロボットカーなど移動手段の技術開発は進むものの、実際は社会実装が進んでおらず、その要因として、i) 加齢によって多様に変化する高齢者・世帯ライフスタイルと移動手段の機能的マッチング、ii) 高齢者世帯・新しい移動手段と既存交通システム・都市計画との社会的マッチングが挙げられる。

本研究は、平成26-28年度において、急速に高齢化が進む都市郊外部コミュニティの移動問題に焦点を置き、福岡・佐賀県にまたがる筑後川流域生活圈等を対象に、多様化し時間とともに変化する高齢者・世帯の移動需要を克明に把握するとともに、新しい自動運転システムとのマッチング、及び制度的課題について、地域の行政と都市計画、交通工学、エネルギーを担当する研究者が協力して分析を行う。これにより、個と地域の「古い」の観点からこれまで乗合バス等の大量輸送機関が担ってきた生活移動を新しいモビリティ手段で再構築する方向性を明らかにすることとしている。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】人口減少、高齢化、モビリティ、エネルギー

【研究題目】ナノワイヤー熱電変換素子の高効率化と物性解明

【研究代表者】村田 正行（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】村田 正行（常勤職員1名）

【研究内容】

申請者は、未利用廃熱の有効利用を目指した高効率熱電変換材料の開発を進めている。熱電変換材料をナノワイヤー形状にすることで、量子サイズ効果の導入に伴ってエネルギー変換効率が大幅に向上すると理論的に見込まれている。これまでに、石英ガラス製のテンプレートを利用して直径数百ナノメートル級のビスマスナノワイヤーを開発し、その熱電物性の測定を行ってきた。その結果、直径160nm 級のビスマスナノワイヤーにおいて熱起電力の向上が示唆される結果が得られた。しかし、量子サイズ効果が導入されると予想される直径50nm に比べて大きいことから、その原因の解明が求められる。

そこで、本研究では極低温・強磁場での物性測定によるフェルミ面や散乱因子の評価を進めている。当該年度には、熱起電力や電気抵抗率などの熱電物性測定に必要な、適切なオーミック電極を直径160nm 級ビスマスナノワイヤーへ作製するプロセスの確立を進めた。研磨プロセスを改良することで以前から問題になっていた残留研磨剤を除去しナノワイヤー端部を平滑に研磨する手法を確立した。しかしながら、ナノワイヤー端部に電極用の金属薄膜を成膜すると、極低温領域で良好な電気的接触を維持することはできなかった。研磨プロセスだけではなく、電極接合プロセスにも改良が必要であることがわかった。

また、当該年度から所属が変わったことから、ビスマスナノワイヤーの熱電物性を試験的に測定する為の装置を新たに立ち上げる必要があった。そこで、スターリング式冷凍機を利用したクライオスタットを作製し、マイナス120度までの温度範囲で熱起電力とゼーベック係数等の熱電物性を評価する熱電物性測定装置を開発した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナノワイヤー、熱電変換

【研究題目】自己組織化分子膜に配置した DNA 分子の放射線損傷の物理化学過程の研究

【研究代表者】成田 あゆみ（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】成田 あゆみ（他1名）

【研究内容】

DNA 放射線損傷のメカニズムは生物学における大きな未解決課題である。現在までにこの研究課題に関して多くの研究が行われており、近年では DNA を構成する元素の内殻電子が励起・イオン化する領域のエネルギーを持つ X 線を照射すると、特定の損傷の誘発量が顕著

に変化することが明らかにされている。しかしながらこれは無機基板上に直接 DNA 薄膜を作製した場合の結果であり、多くのたんぱく質や体液と相互作用し存在している生体内の DNA の状態を再現しているとは言い難い。そこで本研究では無機基板上において DNA を生体内の状態に近づけるために、自己組織化単分子膜を利用することを提案し、実験を遂行している。自己組織化単分子膜とは、表面と分子の相互作用により分子が自発的に形成するある規則性（配向）を持った機能性分子膜の一種である。自己組織化単分子膜を無機表面と DNA をつなぐアンカー材料として用いることで、無機表面に生体内の電気化学的環境を模擬することができると考えている。本研究では、無機表面に作製した疑似生体内環境の DNA の放射線影響を定量解析することを目標としている。

この研究目標達成に向け、平成26年度は、無機表面に作製した疑似生体内環境の DNA に対する照射実験に関する条件検討に注力した。無機表面上に自己組織化単分子膜を介して固定化した一本鎖 DNA であるオリゴヌクレオチドに対して、大強度放射光施設 SPring-8において照射実験を行った。その結果、照射後の固定化したオリゴヌクレオチドには照射前と比較して差異が現れた。これは照射によってオリゴヌクレオチドが損傷を受け、分子構造が変化したことを示唆している。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】DNA、放射線影響、自己組織化単分子膜、新規実験法

【研究題目】MHz 級デトネーションエンジンの物理機構解明：バルブ共振型と回転爆轟波型エンジン

【研究代表者】榊田 創（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】榊田 創（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、デトネーションエンジンの MHz 作動での理論上限モデルを構築すること、プラズマ理工学、可視化技術を駆使したナノ秒オーダーでのデトネーション開始に関する研究を行い、MHz 作動に適した開始方法を解析すること、自律作動バルブと同軸管回転バルブを組み合わせた10～100kHz 作動用の自律回転バルブの機構を構築すること、回転爆轟型 MHz デトネーションエンジン及びバルブ共振型 MHz デトネーションエンジンの物理機構を実験、数値解析によって確認・解明することを研究目的とし、これらエンジンの実証試験機を製作・テストし、デトネーションエンジンとしての実現性を確認することを目標としている。本分担研究では、誘電体バリヤ放電（DBD）プラズマ技術によるデトネーション現象の高度化を図るため、プラズマ生成時のガスの可視化を行っている。

26年度は、プラズマと中性流体との相互作用の結果と

しての乱流化現象に関して、その原因を明らかにするため、プラズマジェットに電界を印加する実験を行ってきた。モデル計算と比較することにより、プラズマ中の周期的に変動するイオンが中性粒子と衝突することで乱流化を促進している可能性が高いことを見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】デトネーション、ロケット、燃焼、大気圧プラズマ、可視化

【研究題目】急速合体加熱と定常中性粒子ビーム加熱を駆使した球状トーラスの限界ベータ検証実験

【研究代表者】榊田 創（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】榊田 創（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、プラズマ合体を用いた超高ベータ球状トカマク（ST）と磁場反転配位（FRC）の生成に、産業技術総合研究所と東京大学の中性粒子ビーム入射（NBI）装置0.75MWと0.3MWを組み合わせて、40%を超える超高ベータ状態を100アルヴェン時間維持して第2安定状態のSTの限界ベータとST-FRC境界領域の安定性を解明することを目的としている。そこで、不安定の成長時間より Sweet-Parker 時間の1/10以下で急速合体形成する超高ベータの圧力・電流分布をNBIで維持して、その安定性を検証する実験を行う。ベータ限界を決めるバルーニング（キンク）、電流駆動型キンク等の不安定と磁気井戸とプラズマ流、壁による安定化効果との釣り合いを検証する。リコネクションによる圧力・電流分布の幅広い制御に加え、複数のNBIでプラズマ流の制御を試み、限界ベータを人為制御できるかを実験的に明らかにする。

本分担研究において26年度は、NBI加熱・流速駆動実験として、NBI装置導入により流速分布を制御することにより40%を超える超高ベータ状態を数十マイクロ秒維持することを目標として、NBI装置のオペレーションモードの探索を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】プラズマ、中性粒子ビーム（NBI）、実験室天文学、磁気再結合、太陽フレアー

【研究題目】地域分散型のエネルギーシステムへの移行戦略に関する研究

【研究代表者】歌川 学（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】歌川 学、小杉 昌幸

（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、現在の大規模システムと大量エネルギー消費の組み合わせから、エネルギー消費を効率化し削減した上で地域分散型システムへ移行する手段を検討し、その際の技術的社会的到達点を求めるとともに、移行の

プロセスについても解明することを目的としている。産総研では、このうち省エネ技術の普及について分担して研究を実施する。

2014年度は、地域の CO<sub>2</sub>排出実態とエネルギー消費実態について調査を行い、概要とりわけ業種別原単位等を調べるとともに、地域の産業や業務部門事業者・事業所のエネルギー消費実態と対策典型事例調査を実施した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】温暖化対策、省エネ対策

【研究題目】省エネ用半導体の実現に向けたマクロ・ナノ統合結晶成長法の構築

【研究代表者】西澤 伸一（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】西澤 伸一（常勤職員1名）

【研究内容】

エネルギー問題の解決策の一つである炭化珪素（SiC）高機能半導体結晶は、化学量論的組成や結晶多型の問題解決が喫緊の課題である。本提案は、過去40年にわたって解決できなかった化学量論的組成および結晶多型が制御可能な新規結晶成長法の提案と実証を行う。具体的には、結晶成長炉内の動的圧力制御による過飽和度の制御法の開発や、従来全く議論されていなかった電気的特性を決定する化学量論的組成を高精度数値解法によりこれを可能にすることが目的である。これにより、SiCの結晶多型の精密制御と結晶中の化学量論的組成の精密制御が可能になり、従来使用されてきたシリコンに代わるパワーデバイス用半導体用結晶となりえる SiC 結晶育成を実現する。平成26年度は、結晶多形制御を決定するキーパラメータである表面エネルギー、および表面化飽和度を定量的に評価できるようにし、結晶成長炉全体の総合解析条件において結晶成長表面の境界条件として考慮することで、実際の結晶成長における圧力制御による多形制御操作条件を定量的に検討した。また、結晶成長中の転位挙動を正確に予測するための応力解析技術を確立した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】SiC、単結晶、結晶成長

【研究題目】ドレスト光子フォノンによる高効率人工光合成材料の開発

【研究代表者】竹内 大輔（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】八井 崇（科研費代表者：東京大学大学院工学研究科）、竹内 大輔（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）を削減することは、持続可能な発展を維持するための最も重要な課題の一つである。しかしながら、CO<sub>2</sub>を光によって分解するためには、高い光子エネルギーが必要となる。本研究で開発する光アシスト形状制御技術によって ZnO ナノロッドの表面形状が

制御可能となり、その結果高効率に発生するドレスト光子フォノン（DPP）によってエネルギー上方変換が発生するため大幅な CO<sub>2</sub>分解効率の向上が期待される。この高効率なエネルギー上方変換という「機能」を、自己組織的に創発する光プロセスを構築する。さらに、DPPにより加工された ZnO ナノロッド表面を水素終端化する手法を開発することで、分解された CO<sub>2</sub>がエタノールに変換させることで、高効率人工光合成を実現する手法の確立を目指す。

本年度は、東京大学で作成された ZnO ナノロッドを有する試料に対する水素終端化の検証の為、産総研で開発した水素化処理装置の動作確認と、実際の試料の処理を行った。水素化用の水素ラジカル発生については、単結晶真性形ダイヤモンド表面の水素化実験を行い、同表面での負性電子親和力発現を我々の全光電子放出率分光測定装置により確認することで検証できた。同条件を参考に、ZnO 用に調整した条件で照射した。本条件によって試料の大きな損傷等は確認されず、今後の実験を進める上での足掛かりを得た。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二酸化炭素削減（CO<sub>2</sub>）、ZnO、ナノロッド、ドレスト光子フォノン（DPP）

【研究題目】プリカーサー溶液プラズマ溶射法（SPPS）による遮熱コーティング形成技術の研究

【研究代表者】鈴木 雅人（エネルギー技術研究部門）

【研究担当者】鈴木 雅人、ムハマド・シャヒエン（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

当グループでは、ガスタービン等の遮熱コーティング形成技術として注目を集める新しい溶射技術「サスペンションプラズマ溶射法（SPS法）」の開発を進めており、大きな成果を上げている。従来のプラズマ溶射法とは異なりセラミック微粉末の懸濁液（サスペンション）などの液体材料を出発材料に用いてセラミックコーティングを製膜する方法である。本課題ではこれまでの当研究グループにおける成果を踏まえ、金属錯体などの前駆体（プリカーサー）のアルコール溶液を出発材料に用いる「プリカーサー溶液プラズマ溶射法（SPPS法）」の開発に着手する。

溶射材料として通常とは異なり液相材料を用い、さらに本テーマで溶射材料として取り扱う金属錯体溶液からセラミックコーティングを得るには溶射プロセス中の化学反応の適切な制御が不可欠であるなど、従来のプラズマ溶射法とは異なる点が多い。そこでまずは液体材料の噴霧供給における微粒化挙動について詳細に検討し、積層粒子のサイズの制御技術についての基礎的データを得た。これと並行して初年度である今年度はまず本研究で使用するプラズマ溶射システムの運転および液相材料に

よる溶射プロセスの習熟に注力し、既に当研究室で研究を進めているサスペンションプラズマ溶射法による実験を行った。これまでの成果をもとに、サスペンションや製膜パラメータとコーティング構造の相関について調査を行い、製膜過程の解明を進めた。

更に、国内外の関連学会に複数回出席し、同様にSPS/SPPS プロセスの研究開発を行っている他の研究者との情報および人的な交流を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】プリカーサー溶液プラズマ溶射, ガスタービン、遮熱コーティング (TBC)

【研究題目】錯体水素化物における原子・イオン輸送機構の解明—中性子散乱と陽電子消滅の相補利用

【研究代表者】榊 浩司 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】榊 浩司、中村 優美子 (常勤職員2名)

【研究内容】

NaAlH<sub>4</sub>に代表される錯体型水素化物は質量あたりの水素密度が高いことで知られている。しかしながら、錯イオン ([AlH<sub>4</sub>]<sup>-</sup>) 中で水素と Al が強く結合しているため、水素放出反応温度が高く、速度も遅い。これらは NaAlH<sub>4</sub>に Ti をドーピングすることで解決されているが、そのメカニズムは不明である。本研究では中性子全散乱、X 線異常散乱、XAFS、陽電子消滅実験を実施し、空孔を含めた構造の乱れを評価し、空孔や欠陥の制御方法を検討し、反応特性改善を目指している。科研費研究代表者 (高エネルギー加速器研究機構・大友教授) との分担により研究を実施する。

これまでの成果として、中性子回折のリートベルト解析から Ti が Al サイトの一部を置換している可能性が、Al K-edge XAFS から TiCl<sub>3</sub>を添加することで、電子状態に優位な変化が現れたことが明らかとなった。今年度は、Ti の XAFS、X 線異常散乱および陽電子消滅実験を行った。Ti の XAFS スペクトルは Ti 添加量に依存せず、Ti の化学状態で Ti 添加量依存性は見られなかった。X 線異常散乱では Al サイトに Ti が置換されることが示唆される結果が得られた。Ti 添加の有無の NaAlH<sub>4</sub>の陽電子消滅実験を行ったが、詳細な解析は現在進行中である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素貯蔵、中性子、陽電子消滅、構造解析

【研究題目】超高密度パワーSOC (Supply on Chip) 用集積回路基板の研究

【研究代表者】西澤 伸一 (エネルギー技術研究部門)

【研究担当者】西澤 伸一 (常勤職員1名)

【研究内容】

低炭素社会実現に向けて、化石燃料を燃焼するエネル

ギーから電力エネルギーへの転換が推進されている。このような状況下、パワーエレクトロニクス技術はエネルギーの有効利用にかかわるキー技術である。パワーエレクトロニクス技術でキーとなる装置は電力変換装置であり、この電力変換装置は15年で1桁程度小型化してきており、小型化された高効率な電力変換機器を多数用いてより効果的に電力を有効利用することが重要となる。しかしながら、電源の小型化は排熱の問題で限界に達することが予想されており、本研究では、電源の究極の小型化であるパワーSOC (Supply on Chip) を実現する一環として、電源において重要な絶縁性を確保しつつ排熱特性 (良好な熱伝導性) を有するパワーSOC 用の基板を開発することを目的とする。平成26年度においては、相関ダイヤモンド膜を用いた試作を行い、実験的に高電気絶縁・高熱伝導 (排熱) 効果を確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】パワーエレクトロニクス、集積化、ダイヤモンド、電力変換器

【研究題目】インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安全性に関する研究

【研究代表者】園田 勉

(グリーン磁性材料研究センター)

【研究担当者】園田 勉、渡津 章、寺岡 啓

(常勤職員3名)

【研究内容】

チタン、及びチタン合金は歯根、関節等の加重部位を補綴するインプラントの材料として利用されているが、その表面における骨形成過程 (オッセオインテグレーション) は詳細に観察されていない。これはチタンが不透明であること、及び埋入したままの薄切標本化が困難であることに由来する。そこで本課題においては、切りやすい透明材料、例えばプラスチック上に形成した透明チタン薄膜を評価用チタンインプラント表面として作製し、当該表面を各種評価に運用するための指針を作成することを目的とする。平成26年度は各種膜厚のチタン薄膜の細胞増殖・接着に係る特徴を検討するために、各種厚さのチタン薄膜を内側底面に形成した細胞培養ディッシュを作製した。上記検討のための評価方法として、骨芽細胞用細胞の倍加時間を測定して評価することとし、これに必要な設備を準備した。また、チタンコート of 歯科治療応用先として、Guided Bone Regeneration (GBR) への適用を提案した。GBR はメンブレンを用いて抜歯窩等の骨形成場を軟組織から隔離してインプラント治療等に必要骨量を造成する方法であるが、本研究の提案するチタンコートによってメンブレンの骨および歯肉との接触部分の親和性を向上できることが期待される。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】透明チタン、インプラント、生化学実験

〔研究題目〕 regulatory DNA conserved between phyla

〔研究代表者〕 Martin Frith (ゲノム情報研究センター)

〔研究担当者〕 Martin Frith (常勤職員1名)

〔研究内容〕

The objective of this project is to develop methodologies that fundamentally improve our ability to interpret genome sequences. The focus is on functional non-protein-coding (i.e. regulatory) DNA in animals. The approach is to compare different genome sequences to each other, to see how they have changed, and how they have stayed the same.

Schedule

FY2014: Finalize and publish a method to accurately find and align orthologous regions of two genomes.

FY2015: Use this method to detect what kinds of rearrangements occur in genome evolution.

FY2016: Optimize the method for increasingly divergent genomes (e.g. human-fish, human-insect).

Progress in 2014: The method was published in Genome Biology (MC Frith & R Kawaguchi 2015). We showed that it significantly improves genome comparison.

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 DNA、ゲノム、配列解析、アルゴリズム

〔研究題目〕 ソルボサーマル合成による新規アルミノシリケートの創出・制御と触媒応用に関する研究

〔研究代表者〕 池田 拓史 (コンパクト化学システム研究センター)

〔研究担当者〕 池田 拓史、日吉 範人、長瀬 多加子、阿部 千枝 (常勤職員3名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、ゼオライトおよび類縁化合物を前駆体に用いるソルボサーマル反応により、新規ナノポーラスアルミノシリケートを創製し、構造・物性評価及び触媒応用研究を行う。平成26年度は、ソルボサーマル反応で得た合成-LIT型アルミノシリケートゼオライトについて、高温ATR-FT-IRを用いてその結晶化機構の解明を試みた。出発原料であるFAU型ゼオライトにエタノールとKOHが共存する環境では、 $1400\text{ cm}^{-1}$ 付近に $\text{CH}_2$ 種に由来するピークが観測され、エタノールが分解して出来たものと判断した。また $200^\circ\text{C}$ 一定におけるスペクトルの時間変化を調べたところ、3時間経過においてこのピークが現れた。また骨格のT-O-T (T=Si,Al)結合の非対称伸縮振動に由来する2つのピークが $1000\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$ に観測され、また加熱によりピーク幅が広がった。これは高温で構造の不規則性が増加したことを示

唆している。これらの変化はKOHやEtOHだけでは起こらず、2つの共存下でのみFAU型ゼオライトの構造が溶解し、 $\text{CH}_2$ 種が形成中の新たな骨格に取り込まれたと推察した。以上から、反応中の中間体では、-LIT型骨格構造に固有の相対するシラノール基を反映して、 $\text{Si-O-CH}_2\text{-O-Si}$ の様な準安定構造が形成され、最終的に $\text{CH}_2$ が脱離しプロトン化したと考えられる。

また、-LIT型ゼオライトの耐水性の評価を目的に、 $170^\circ\text{C}$ 以上-24h以上の条件で水蒸気処理を行ったところ、MON型ゼオライト構造に相変化する事が分かった。MON型は天然鉱物として見いだされた構造種だが、これまでアルミノシリケート組成での合成は報告されていない。様々な実験から、この構造変化の最も大きな要因が、-LIT型ゼオライトに含まれるKイオンの含有量であることが示唆された。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ゼオライト合成、ソルボサーマル反応、精密構造物性、水蒸気処理、相変化

〔研究題目〕 木材資源(セルロース)から高分子原料を製造するための触媒反応技術の開発

〔研究代表者〕 三村 直樹 (コンパクト化学システム研究センター)

〔研究担当者〕 三村 直樹 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

バイオマス原料に特有の元素組成、分子構造などを生かすことにより、石油化学では合成が困難な機能性化合物を効率的に製造する手法の開発を行う。具体的には、セルロースを高分子の原料に変換して使用するために必要な触媒反応技術を研究する。開拓する反応経路は木材資源中のセルロースを原料として、グルコース、ヒドロキシメチルフルフラール(HMF)を経由してフランジカルボン酸(FDCA)に至るルートであり、この反応を、「水だけを溶媒にする」「有害な金属成分を触媒に使用しない」という2つの条件を満たしたグリーンなワンポットまたはワンパス反応として実現する。

25年度は、「グルコースからHMFの製造」では、ハイドロキシアパタイト(HAP)をベースとした触媒を開発し、水だけを溶媒に用いた反応を実現させるために必要な高温・高圧などの条件検討を行った。26年度以降、難易度の高いセルロース原料を用い、加水分解、異性化、脱水と異なる触媒反応をワンポットで行うための触媒反応技術を開発し、反応条件の最適化を行う。また、「HMFの酸化によるフランジカルボン酸の製造」に必要な、貴金属ナノ粒子触媒を開発する。そして、各反応を組み合わせることで、「木粉などの実際のバイオマス原料の使用」による高分子原料の合成を実現する。

2年目である26年度は、25年に成功しているグルコース原料から発展させて、原料を遡ってセルロースを原料に用いた。グルコース原料に効果的であったリン酸カル

シウム触媒はセルロース原料にも有効で、原料の前処理としてボールミルによる粉碎処理が効果的であった。温度、反応時間、触媒量の最適化を行うことで、セルロースからの HMF 収率は35%に達した。試薬の高純度セルロースだけではなく、天然木材や、古紙、古布などのセルロース含有資源も原料として使用可能であることも明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】バイオマス、セルロース変換、触媒反応

【研究題目】セルロースから化学品への直接合成を実現する環境調和型触媒反応システムの構築

【研究代表者】山口 有朋（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】山口 有朋、村松 なつみ  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

循環型社会構築のために化石資源などの枯渇性資源ではなく、再生可能な資源を化成品原料として利用する研究が求められている。特に、食糧と競合しない非可食性のセルロースから有用物質に変換する技術が重要である。

本研究では、非可食性バイオマス資源であるセルロースを直接イソソルビド（高機能化成品原料）に変換する担持金属触媒および反応システムの開発に取り組んでいる。この研究により硫酸などの強酸を使用せず、水素化分解反応・脱水反応を水溶媒中にてワンポットで進行させる新しい環境調和型化学を開拓できる。現行の技術でセルロースから複数の反応ステップを経ることでイソソルビドへ変換可能であるが、最終ステップとなるソルビトールの脱水反応によるイソソルビドの生成は、強酸である硫酸を用いる必要がある。従って、反応後に中和・中和により生成する塩の分離・生成物の精製と煩雑な過程が必要である。本反応プロセスでは、反応後の中和操作が不要であり、非可食性バイオマスのセルロースから有用化学物質であるイソソルビドへと一段階で変換可能とする。

セルロースの水素化分解反応・ソルビトールの脱水反応を水溶媒中にてワンポットで進行させる高活性な担持金属触媒と固体酸（イオン交換樹脂）の開発および反応条件の最適化を行った。担持金属触媒としてルテニウム／カーボンブラック、イオン交換樹脂として Amberlyst 70 を使い、反応条件を最適化することによりセルロースからイソソルビド（収率55.8%）への変換が可能であることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】セルロース利用、担持金属触媒、高温水反応場

【研究題目】超臨界水還元法による銅ナノ粒子の合成

及び配線用銅ナノインクの調製

【研究代表者】林 拓道（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】林 拓道、中村 考志、和久井 喜人、  
蛭名 武雄（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究は、分散安定性及び耐酸化性が高く、低温焼成可能な銅ナノインクの作製を目的に、超臨界水還元法による金属銅ナノ粒子の合成について、表面修飾剤の探索、水熱合成条件の検討を行い、表面修飾銅ナノ粒子の連続合成技術の確立を目標とする。

本年度は、1) 既存設備に高圧ポンプを増設し、金属ナノ粒子専用の流通式超臨界水熱合成システムを試作した。2) 有機表面修飾剤として数種の高分子系分散剤を選択し、熱水安定性を評価し、ポリアクリル酸とポリイミンが熱水処理後も安定であることを確認した。3) ポリアクリル酸を表面修飾剤に用い、流通式超臨界水還元法による銅ナノ粒子の合成条件を検討し、アルカリを添加することにより原料溶液として送液可能で、銅ナノ粒子分散液として回収できることを確認した。従来のポリビニルピロリドン表面修飾剤として用いた場合に比べ、多量の貧溶媒（アセトン）を添加することなく遠心分離により回収可能であることを見出した。4) X線回折及び表面プラズモン吸収から金属銅の生成を確認するとともに、電子顕微鏡観察より、粒子径が数10nm程度であることを確認した。5) 耐酸化性については、銅ナノ粒子分散液を遠心分離後にメタノールに再分散させることにより、長期間安定に保存できることを確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】銅ナノ粒子、超臨界水還元法、流通式水熱合成、耐酸化性

【研究題目】東南極の湖沼におけるコケ坊主生物圏のゲノム解析

【研究代表者】松浦 俊一（コンパクト化学システム研究センター）

【研究担当者】松浦 俊一（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、南極湖沼中の未知微生物のゲノム解析を通じて、生物の南極環境への適応や進化、多様性の獲得に関する知見を得ることを目的としている。また、探索された南極由来の未知遺伝子情報を基に新規の有用酵素（低温酵素）の作製を試み、機能性化学品合成への適用可能性を検証する。

酵素を利用する機能性食品や医薬化合物の製造では、対象化合物の熱安定性が低いため、低温（10℃以下）での反応が理想とされるが、工業的に利用される中温酵素（至適温度が30℃以上）の反応性に課題があった。低温環境微生物起源の酵素の活用は、低温域での高効率の機能性化学品の製造に有効であることが期待できる。



南極の湖沼生物圏から分離された新規の好冷性細菌のゲノム解析を行った結果、大半のタンパク質遺伝子において低温酵素に特徴的なアミノ酸組成が示された。そこで、本年度は、極限環境微生物由来の低温酵素として、機能性ペプチド合成への利用が期待されている $\gamma$ -グルタミルトランスフェラーゼ (GGT) の候補遺伝子の選択および酵素作製を進めた。具体的には、南極由来 (2種類) および北極由来 (3種類) の候補遺伝子を大腸菌内に導入し、大腸菌タンパク発現系を利用した GGT の発現を試みた。その結果、上記5種類の GGT の誘導発現を示唆する実験データを得た。しかし、大腸菌内で発現した GGT は不活性な不溶性画分として回収された。そこで次に、無細胞タンパク合成系を適用し、GGT の最適な合成条件を検討したところ、グルタミンの加水分解活性を有する活性型の GGT を作製することに成功した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 極限環境、微生物、低温酵素、タンパク発現、機能性化学品合成

【研究題目】 ppb レベルのナノ薄膜試験紙、実用化のための基盤技術の深化と環境試料による評価

【研究代表者】 和久井 喜人 (コンパクト化学システム研究センター)

【研究担当者】 和久井 喜人 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、長岡技術科学大学が代表となって実施している科研費研究を、分担して実施した。本研究では、量産、高精度、汎用性に優れた1) 有機ナノ粒子作製技術の確立、2) 比色試薬ナノ粒子の反応性におけるサイズ効果の検証、3) ナノ薄膜への浸透および反応性制御を基盤技術として深化させ、さらに分離の難しいイオンに対する4) 妨害除去技術の確立および5) ppb レベルの化学状態分析を行い、環境試料の実測を通して、ポテンシャルを評価することを目標とする。

平成26年度は、昨年度開発した (2-エチルヘキシル) ジチオカルバメート銀錯体を担持したグラスファイバーフィルターを用い、水中の微量ヒ素を水素化物として揮発・接触させることによる目視検出法の改良を行なった。

本技術では従来の強酸と亜鉛粉末を使用する水素化ヒ素発生法を、より安全なマグネシウムとクエン酸により実現した。マグネシウムとクエン酸はモル比1:1で反応し、クエン酸の2段目の酸解離までが反応に使用された。発色は試薬量の増加と共に増加するが、一方で過剰な試薬は水素流束の増加を招き、水素化ヒ素と試薬の接触時間の不足から発色が低下する傾向が示された。100ppb 以下の検出感度を有することを確認し、また共存元素の影響に関して調査を行なった。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 ヒ素、(2-エチルヘキシル) ジチオカル

バメート銀錯体、目視分析、簡易計測、水素化物

【研究題目】 イオン液体を利用した環境調和型 CO<sub>2</sub> 吸収分離再生プロセスの開発

【研究代表者】 牧野 貴至 (コンパクト化学システム研究センター)

【研究担当者】 牧野 貴至 (常勤職員1名)

【研究内容】

イオン液体は、イオンのみから構成され、室温近傍に融点を持つ液体の塩である。不揮発性、難燃性、低い比熱、高い CO<sub>2</sub> 吸収特性等の特徴を有するため、従来の CO<sub>2</sub> 吸収液の課題を解決できる溶媒として注目されている。本研究では、高分圧 CO<sub>2</sub> 発生源における省エネルギー脱炭酸プロセスの実用化を目指し、高 CO<sub>2</sub> 吸収量、低粘度、低コストなイオン液体吸収液の開発に取り組む。そのためには、CO<sub>2</sub> 吸収特性や物性の変化、共存ガスに対する選択性等を明らかにし、イオン液体の設計指針を得る必要がある。

平成26年度は、CO<sub>2</sub> 吸収時のエンタルピーを測定するため、流通式熱量計の立ち上げを行った。これにより、従来、CO<sub>2</sub> 吸収量から間接的に求めていたエンタルピーを、直接測定することが可能になった。種々のカチオンを有するイオン液体についてエンタルピーを測定し、エンタルピーのカチオンに対する依存性は小さいことを明らかにした。また、ホスホニウム系イオン液体について、CO<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> 混合ガスからの CO<sub>2</sub> 除去試験を行い、CO<sub>2</sub> が選択的に除去されることを示した。また、CO<sub>2</sub> 除去効率は圧力に依存せず、出口濃度はほぼ一定であった。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 二酸化炭素、イオン液体、省エネルギー

【研究題目】 メソ細孔内過冷却水を反応分析場とする低温生化学実験系の構築

【研究代表者】 伊藤 徹二 (コンパクト化学システム研究センター)

【研究担当者】 伊藤 徹二 (常勤職員1名)

【研究内容】

1990年代のメソポーラスシリカ誕生以来、メソサイズ (2~50 nm) の規制空間に閉じ込められたタンパク質の構造・機能が、過酷条件においても保存されることが分かり、タンパク質を閉じ込めた無機多孔性材料 (ナノバイオハイブリッド材料) の開発がバイオセンサーや有機合成、エネルギー変換など様々な分野で進められている。しかし、タンパク質の native 構造がメソ細孔内で安定化される現象が実証されている反面、安定化要因については「立体的閉じ込め効果」や「表面効果」という漠然とした概念で捉えられているのが現状である。一方、近年では細孔内タンパク質の部分的な構造変性が報告されるようになり、安定化要因の分子論的な理解はナ

ノバイオハイブリッド材料の高機能化、さらには未踏課題であるメソ細孔内リフォールディングへと発展している。

我々は、メソポーラスシリカや多孔性アルミナ等メソ多孔材料の合成とそのバイオ分析への応用を進め、シリカメソ細孔（2～10 nm）内に閉じ込められたタンパク質が、過酷条件（高温、有機溶媒や変性剤の存在）においても機能することを見いだすと共に、極めて長期間安定な実用的バイオセンサーへの応用を実現した（NEDO、JST 先端計測）。また、過冷却水（-60℃までメソ細孔内水は凍らない）を内包する無機メソ細孔空間を『低温メソスコピック空間』と位置づけ、希薄水溶液中では熱力学的に不可能（ $\Delta G > 0$ の反応）である「3塩基 DNA 二本鎖の形成」を『低温メソスコピック空間』で実現し、二本鎖形成エンタルピーの特異性を見いだした（*Nature Commun.*に掲載済み）。

この結果により、水素結合が本質的に関与するタンパク質リフォールディングの初期過程を達成する場として『低温メソスコピック空間』が有効であることが示された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナノ多孔材料、DNA、酵素、過冷却水

【研究題目】（基金 E26）異周速圧延法によるチタン板材の集合組織制御と高性能化

【研究代表者】黄 新ショウ

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】黄 新ショウ（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

異なる純度の純Ti（JIS 1種、2種、3種）の等速圧延材と異周速圧延材の機械的特性および引張変形中の組織変化を調査した。圧延方向に対して0°、45°、90°の方向に引張試験を行った結果の平均値に注目すると、等速圧延材と異周速圧延材は両方とも、純度の低下に伴って（JIS 1種、2種と3種の順に）、引張強度は260MPa程度から540MPa程度まで、耐力は140MPa程度から430MPa程度まで向上した。一方、破断伸びは70%程度から30%程度に、均一伸びは40%程度から10%程度に低下した。また、純度の低下に伴い、 $r$ 値は約9から約5に、 $n$ 値は約0.2から約0.1に低下した。異周速圧延材と等速圧延材の特性（強度、伸び、 $r$ 値と $n$ 値）の平均値を比較した結果、双方に顕著な差は見られなかった。一方、異周速圧延材は、比較的等方的な集合組織を示すため、面内異方性に関しては等速圧延材よりも小さい値を示した。JIS 2種異周速圧延材はJIS 1種等速圧延材に比較して同等の張出し成形性を示した。一方、引張強度と耐力は、JIS 2種異周速圧延材の方が高い値を示した。異周速圧延材は比較的等方的な集合組織を示し、耐力と $r$ 値の面内異方性が相対的に小さいため、純度が低い材料においても優れた張出し成形性が発現したと考えられる。また、

9%の引張歪みを加えた純Ti圧延材を対象として、EBSDを用いた組織解析を行った。引張変形に伴う顕著な集合組織変化は確認できず、面内異方性は引張変形前後で大きく変化しないことが示唆された。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】純チタン、圧延、集合組織、成形性

【研究題目】VO<sub>2</sub>マイクロフレーク創製と熱応答型表面熱伝達制御素子の開発

【研究代表者】垣内田 洋

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】垣内田 洋（常勤職員1名）

【研究内容】

表面熱伝達制御部材への応用を見据え、酸化バナジウムメゾフレーク膜の成膜面積拡大を進めた。また、従来型の酸化バナジウム相転移で見られない、温度変化に応じた光学挙動の機構解明に取り組んだ。

前年度までの技術を基に、平成26年度、100mm 四方サイズの成膜を実現した。これは表面熱伝達率の測定評価ができるサイズで、表面熱伝達制御部材への応用展開に繋がる。表面熱伝達は、放射と対流成分に分けられ、放射成分については、赤外分光測定により知見を得た。本研究で見出した酸化バナジウムメゾフレーク膜の特異な光学挙動は、従来型の酸化バナジウムの相転移機構だけでは説明ができない特性である。本年度、この挙動が酸化バナジウムの相転移を起源とした光散乱特性の変化、すなわち、温度変化によって生じるメゾフレークの屈折率変化が主要因であることを、エリプソメータなどによる解析で導き出した。これは、従来の緻密な二酸化バナジウム膜の光吸収変化と異なる、新しい熱応答型の熱・光制御素子実現に繋がると期待される。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】酸化バナジウム、相転移、サーモクロミック、自己組織化、液相成膜法、メゾフレーク

【研究題目】ナノ空隙の吸着サイト改質とミクロ界面すべり制御による木材の超塑性加工法の開発

【研究代表者】三木 恒久

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】三木 恒久、関 雅子、重松 一典、金山 公三（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究では、木材の超塑性挙動に着目し、ナノ～マイクロレベルでの微細構造変化の観点から変形メカニズムを解明するとともに、木材の超塑性現象を利用した変形加工技術の開発を目指す。具体的には、木材の非結晶領域に多く分布するナノ空隙と吸着サイトを把握・制御して、種々の界面状態を変化させ、木材に超塑性的変形を

生じさせる。また、吸着サイトや吸着剤のナノ表面処理によって、変形と同時に寸法安定性や強度、難燃性能を付与することを目的とする。以下に平成26年度得られた成果を示す。

- ① 超塑性的変形挙動の核となる細胞間でのすべり現象のメカニズムを解明することを目的に、走査型プローブ顕微鏡による局所物性変化を検討した。その結果、細胞界面に存在する一次壁や細胞間層が湿潤の加温状態で膨潤し、軟化することを明らかにした。この局所的な物性の差異によって、外力を受けたときにより軟化された細胞間領域を起点にすべり現象が発生することが示唆された。
- ② 熱可塑性樹脂の木材細胞壁への導入によって、押し出し特性が向上し、より低荷重での成形が可能になった。また、成形時に重要な因子である摩擦挙動についても、添加剤の種類によって大きく変化することがわかった。
- ③ 細胞壁を始めとする木質細胞へ低分子量の添加剤が浸入し吸着することで、外部寸法の膨潤と同時に線膨張係数に変化が現れることを見出すとともに、樹種によってその変形挙動に差があることを明らかにした。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 木材、超塑性、複合高分子、界面処理、吸着、塑性加工

[研究題目] 貴金属と低次元酸化物のナノ界面制御による低温酸化触媒の構築

[研究代表者] 富田 衷子 (サステナブルマテリアル研究部門)

[研究担当者] 富田 衷子、多井 豊 (常勤職員2名)

[研究内容]

本研究は、水賦活処理を利用した界面制御方法を発展させて、低温酸化活性の高い貴金属触媒を構築することを目的とする。そのために、平成26年度には、これまでの研究において低温酸化活性を発現した、白金-酸化鉄-アルミナ系における界面構造解析を行うとともに、触媒処理方法が構造や触媒活性に与える影響を調査した。

#### 1. 白金-酸化鉄-アルミナ系触媒の界面構造解析

これまで、酸化鉄成分の構造が不明確であったので、 $\gamma$ -アルミナ上に担持した酸化鉄の構造を X 線吸収分光法 (XAS)、X 線回折 (XRD) 等を用いて解析した。Fe K 吸収端の EXAFS 解析には、単散乱パスによるフィッティングの他に、構造モデルを仮定した EXAFS 振動のシミュレーションを導入し、アルミナ担体の影響を詳しく検討した。その結果、低担持量 (鉄量9wt%まで) の酸化鉄は、モノマー状で $\gamma$ -アルミナ表面に存在していると考えられた。これ以上の鉄量の場合には $\alpha$ -酸化鉄が三次元に形成していた。低温酸化活性の発現には、白金粒子とモノマー状に分散した酸化鉄種の相互作用が重要であることが分かった。

#### 2. 酸化反応活性試験

白金-酸化鉄-アルミナ系触媒を用いて、白金と酸化鉄の比率や調製条件を変え、触媒構造や CO 酸化活性への影響を調べた。その結果、120°C以上の高温域での CO 酸化活性には、白金と鉄との合金形成が、また、室温域での CO 酸化活性には、白金ナノ粒子と酸化鉄種の界面形成が重要であることが分かった。助触媒成分の種類を検討したところ、遷移金属の中では鉄、コバルト、ニッケルが低温酸化活性向上に効果があった。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 貴金属・ナノ界面制御・低温酸化触媒

[研究題目] 変形機構解明に向けた高延性バルクナノ結晶 Fe-Ni 合金のメゾスケール組織の観察

[研究代表者] 松井 功

(サステナブルマテリアル研究部門)

[研究担当者] 松井 功 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究では、高強度・高延性電析バルクナノ結晶 Fe-Ni 合金における、引張変形にともなう組織変化を観察し、電析ナノ結晶材料の引張変形メカニズム解明を目指す。具体的には、10%を超える伸びを有する高延性バルクナノ結晶 Fe-Ni 合金を作製する。得られた試料に対して、種々の引張変形を与える。その後、これらの試料において組織観察・解析を行い、メカニズムの解明を行うことを目的とする。以下に平成26年度に得られた成果を示す。

平成26年度は、10%を超える伸びを示す高延性バルクナノ結晶 Fe-Ni 合金を対象として、引張試験後の配向性の変化を評価した。具体的には、micro-XRD を用いて、破断部付近の組織変化について解析を行った。破断部に近づくにつれ、(111)面の配向度が減少し、(200)面の配向度が増加する傾向が確認された。これらの傾向は、従来の転移を変形の起点とする粗粒材料とは異なる結果であることから、電析バルクナノ結晶 Fe-Ni 合金においては、粒界を起点とする変形メカニズムが働いていると推測された。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 電析、バルクナノ結晶メタル、引張特性

[研究題目] 生物規範階層ダイナミクス

[研究代表者] 穂積 篤

(サステナブルマテリアル研究部門)

[研究担当者] 穂積 篤 (常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

本研究は、生物のサブセラー・サイズ構造の階層性に起因する動的特性 (表面特性・界面特性・内部構造特性) を材料科学・分子科学の視点から解明し、生物の多

様な機能（昆虫の足の可逆的接着性、カタツムリや蓮の葉のセルフクリーニング現象、自己増幅・自己複製修復機能、等）を規範として、新しいエレクトロニクス実装技術（可逆的接合、セルフアライメント技術、防汚／防錆性付与による長寿命化、微細結線）等を開発することを目指している。研究担当者は、特に、表面（動的なぬれ性）制御による防汚／防錆性付与と、それによる材料の長寿命化を担当する。

平成26年度までの進捗状況は以下の通りである。当初の研究計画に従い、防汚／防錆性に優れた有機／無機ハイブリッド皮膜の作製手法の確立を目指し研究を実施した。

無機酸化物の原料として、テトラメトキシシラン、アルキルトリメトキシシラン（炭素数10）を用いて透明な前駆溶液を調製した。前駆体液に防錆剤であるトリルトリアゾールを添加した後、当該溶液を銅基板上にスパインコートし、風乾することで透明性に優れた有機／無機ハイブリッド皮膜を作製することに成功した。このハイブリッド皮膜を被覆した銅基板は塩水噴霧試験2000時間後も金属光沢を維持していた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 刺激応答、汎用元素、はっ水／はっ油処理、防汚／防錆性

【研究題目】 生物規範階層ダイナミクス

【研究代表者】 浦田 千尋

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 浦田 千尋（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

最近、低表面張力の液体を湿潤／含浸された表面が優れた難付着性を示すとして、基礎応用の観点で注目を集めている。例えば、ハーバード大学の研究者らはスポンジ状フッ素樹脂やシリコーン樹脂内部に潤滑液（フッ素系液体やシリコーンオイル）を含浸させ、水や油のみならず、マヨネーズや血液等の高粘性エマルジョンに対しても、優れた難付着性を示す塗膜を開発した。しかしながら、これらの手法は、湿潤液の蒸発や流失により、長期間、表面機能を持続させることが困難であることが指摘されている。この解決策として、樹脂膜内／外部にリザーバーや血管状空洞を導入し、潤滑液を補給するシステムが考案されているものの、加工に特殊な条件・装置を必要とするため、より簡易な手法やこれらを必要としない材料の開発が求められている。本年度は、ナメクジの粘液分泌挙動から着想を得た表面処理技術を開発した。具体的には、湿潤ゲルの離しょう現象に着目し、離しょうにより浸み出た液を潤滑液として用いることで、外部補給システムに依存することなく、難付着性が長期間持続するこれまでにない新しい透明塗膜を開発した。本塗膜表面では、エマルジョンのみならず、氷の付着が大幅に抑制されることが明らかとなった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 防汚技術、バイオミメティクス、湿潤ゲル、着氷防止

【研究題目】 生物多様性を規範とする革新的材料技術

【研究代表者】 穂積 篤

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 穂積 篤（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、「生物多様性」すなわち「高炭素世界の完全リサイクル型技術」に学んで新しい技術規範（パラダイム）を体系化した「生物規範工学」を創生することにある。細胞内部や表面に形成される数百 nm～数ミクロンの「サブセラー・サイズ構造」が持つ機能の解明によって「生物の技術体系」を明らかにし、生物多様性と生物プロセスに学ぶ材料・デバイスの戦略的設計・製造を達成する。人類の自然認識体系として本来一体のものであるべき、自然史学、生物学、農学、材料科学、機械工学、情報学、環境政策学、社会学を再架橋して、オープン・イノベーションのプラットフォームたる「バイオミメティクス・データベース」を構築するとともに、生物学と工学に通じた人材を育成する。環境政策に基づくソシエタル・インプリケーション（社会的関与）の観点から、新たな「科学・技術体系」としての「生物規範工学」を確立し、「持続可能性社会」の実現を目指す。特に総括班では、成果発信のため、年に3回ニュースレターを発刊、全体会議企画／運営、各種国際／国内会議を主催し、バイオミメティクスの普及に務めている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 バイオミメティクス

【研究題目】 双晶～転位間相互作用の体系化に基づく高加工性マグネシウム合金の創出

【研究代表者】 千野 靖正

（サステナブルマテリアル研究部門）

【研究担当者】 千野 靖正（常勤職員1名）

【研究内容】

マグネシウム合金は軽量・高比強度・易リサイクル金属素材として国内外で注目を集めている。一方、室温成形性に乏しいことが大型部材化・量産化を阻んでいる。低成形性の原因としてマグネシウム合金の多くが室温でのすべり系の少ない六方最密充てん構造を有すること、また変形中に生じる双晶が破壊の起点となることが指摘されている。前者のすべり系については、集合組織のランダム化による延性改善の研究が隆盛である。後者の双晶については、双晶と転位が同時かつ互いに作用するために現象が複雑であり、双晶と転位の両者が本質的・体系的に理解されているとはいえない。そこで、本研究では、マグネシウムの変形を担う「双晶」と「転位」の

相互作用を、微量添加元素によりマイクロ～ナノ～原子スケールで制御することを目指し、双晶も含めたマグネシウムの変形機構を体系化することを目指すとともに、マグネシウム合金の室温成形の可能性を探る。

平成26年度は、高い成形性を示す Mg-Zn-Ca 合金板材を対象として、その室温成形性や機械的特性を室温エリクセン試験や室温引張り試験により評価した。また、室温で成形した際の変形双晶の巨視的および微視的な傾向を光学顕微鏡組織観察や電子線後方散乱回折により把握した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 マグネシウム合金、室温成形性、双晶、集合組織

【研究題目】 液晶高分子複合体への液晶分子配向形成による自律分光制御型デバイス開発

【研究代表者】 垣内田 洋

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 垣内田 洋、吉村 和記

(常勤職員2名)

【研究内容】

透明セル間のギャップに注入した液晶とモノマーの混合原料にホログラフィック露光して、液晶／高分子の空間周期的な光重合誘起相分離を生じ、従来にない Bragg 回折特性を持つ回折型の光制御素子を開発した。

本素子は、液晶／高分子の周期相分離にともない、メゾスケールで高分子中に滴状に凝集した液晶分子の配向秩序が複雑に分布し、ユニークな偏光選択性および温度選択性を有する。入射光の偏光方向を変えることで、複数の異なる波長の回折光を選択的に切り換えられ、さらに温度変化により、回折光強度を制御できる。複数波長での Bragg 回折の偏光方向にともなう切り換えのパターンは、原料組成・露光温度などの条件を適切に選ぶことで、ホログラフィック露光で自己組織的に形成・制御することができ、複雑な作製技術が不要なことから、市場への展開が有利と見込まれる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 高分子分散液晶、PDLC、光重合誘起相分離、ホログラフィック構造、配向秩序転移、ネマティック等方相転移

【研究題目】 フナムシの微細毛流路を模倣した水-油分離プロセスの構築

【研究代表者】 浦田 千尋

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 浦田 千尋 (常勤職員1名)

【研究内容】

チューブなどのクローズド流路を利用して粘性液体を輸送するためには、高い圧力が必要となる。微細構造は流路抵抗となると考えられており、流路内に形成させる

事は不適と考えられていた。一方、フナムシの脚に観察される微細構造は、流水速度を促進させる役割を示すことがわかっている。本研究では、フナムシの脚を模倣した、表面微細構造と化学組成が精密に制御されたオープン流路を作製し、微細構造と表面組成由来の長距離粘性液体輸送プロセスや液体の選択輸送プロセスの構築を目標としている。

平成26年度は、名古屋工業大学石井大佑助教がリソグラフィーにより、作製したフナムシの脚を模倣したオープン流路へ、液滴輸送に適した表面処理を行った。表面処理の種類(親水、疎水、疎媒)に依存して、水/油の両方、もしくは、そのいずれかのみを選択的に移送可能なオープン流路の開発に成功した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 液体の輸送、バイオミメティクス、オープンチャンネル、リソグラフィー

【研究題目】 インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安全性に関する研究

【研究代表者】 渡津 章

(サステナブルマテリアル研究部門)

【研究担当者】 渡津 章、園田 勉、寺岡 啓

(常勤職員3名)

【研究内容】

チタン、及びチタン合金は歯根、関節等の加重部位を補綴するインプラントの材料として利用されているが、その表面における骨形成過程(オッセオインテグレーション)は詳細に観察されていない。これはチタンが不透明であること、及び埋入したままの簿切標本が困難であることに由来する。そこで本課題においては、切りやすい透明材料、例えばプラスチック上に形成した透明チタン薄膜を評価用チタンインプラント表面として作成し、該表面を各種評価に運用するための指針を作成することを目的とする。平成26年度はチタン膜の細胞増殖・接着にかかる特徴を検討するために、各種厚さのチタン薄膜を内側底面に形成した細胞培養ディッシュを作製した。上記検討のための評価方法は、骨芽細胞用細胞の倍加時間として必要な設備を準備した。また、チタンコートの歯科治療運用先として、Guided Bone Regeneration (GBR) を提案した。GBR はメンブレンを用いて抜歯窩等の骨形成場を軟組織から隔離してインプラント治療等に必要な骨量を造成する方法であるが、本研究の提案するチタンコートでメンブレンの骨および歯肉との接触部分の親和性をあげる目論見である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 透明チタン、インプラント、生化学試験

【研究題目】 組込みソフトウェアの安全な構築のための C 言語のモデルとその形式検証

【研究代表者】 Affeldt Reynald (セキュアシステム研

究部門)

【研究担当者】 Affeldt Reynald、大岩 寛  
(常勤職員2名)

【研究内容】

ソフトウェアに対して信頼性の高い保証を与える技術として、形式検証が注目されている。しかし、多くのソフトウェアは低レベルな言語で書かれており、検証には技術的な詳細が多く必要で、現状では完全な形式検証による安全性の保証はまだ困難である。本研究では組込み応用向けプログラムを検証するために、動作環境の差異と移植性を考慮した C 言語のモデルとその論理を形式化することを目的とする。本研究では既存の C 言語の形式モデルと比較して、プラットフォームにより異なる意味論を一旦抽象化し、その後プラットフォームごとに個別化することで、C 言語とアセンブリ言語を組み合わせたプログラム全体の形式検証を可能とする。

平成24年度にアセンブリ言語の形式検証基盤を整備し、平成25年度に C 言語の形式検証を整備した。本年度、上記の C 言語の形式検証基盤に関する論文が国際学術雑誌に掲載された<sup>[1]</sup>。上記の論文の形式検証実験の改良に向けて、関数呼出で C 言語の形式検証基盤を拡張し、移植性のある C 言語とプラットフォームに依存するアセンブリを混合するプログラムの形式検証基盤の整備を開始した。具体的には、関数呼び出しを定式化し、ローカル変数を導入し、健全性と完全性を形式的に証明した。更に、グローバル変数を用いて拡張し、低レベルな言語に欠かせない分離論理のフレームルールを形式化した。しかし、ツールとして用いている定理証明支援系の形式検証検査の効率(速度)が、予想外に低下していることが分かった。上記の効率の問題に加えて、研究の分担者の一時的な所内移動によって、C 言語とアセンブリ言語を統合した形式検証基盤の構築が遅れた。そのため、平成26年度の計画を調整し、本研究の成果普及となる講演等の活動を増やした<sup>[2]</sup>。

[1] Reynald Affeldt, Kazuhiko Sakaguchi. An Intrinsic Encoding of a Subset of C and its Application to TLS Network Packet Processing. *Journal of Formalized Reasoning* 7(1):63-104, 2014.

[2] アフェルト レナルド. チュートリアル: 定理証明支援系 Coq 入門. 日本ソフトウェア科学会 第31回大会. 名古屋大学東山キャンパス, 2014/09/07.

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 形式検証、定理証明支援系、C 言語

【研究題目】 複製困難な物理特性を用いたセキュアな動的再構成システムの実現

【研究代表者】 堀 洋平 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】 堀 洋平 (常勤職員1名)

【研究内容】

FPGA の動的再構成技術は、高速・省電力な専用回

路を用途に合わせて変更できる極めて有用な技術である。一方、FPGA の回路構成情報は常に盗聴や改ざんの危険にさらされているが、安全に回路を構築する技術は確立されていない。従来の暗号技術を用いる方法では、サイドチャネル攻撃等の先進的な攻撃によって既に危険性が指摘されているためである。『LSI の指紋』とも呼ばれる Physically Unclonable Function (PUF) は、物理的に複製不可能な LSI のばらつきを用いてデバイス固有の出力を得る回路である。本研究は、FPGA 上のシステムに組み込まれた PUF の挙動を明らかにし、PUF を用いた安全な動的再構成システムの構築を実現する。

本年度は、不安定な PUF の出力から秘密鍵を取り出す Fuzzy Extractor (FE) をハードウェア化し、PUF, FE および AES 回路を含む鍵システムを FPGA に実装した。本システムは、64段の Arbiter PUF、(255,239) Reed-Solomono 符号、AES 暗号化・復号回路を実装している。SASEBO-G3ボード3枚を用いた実機評価により、3個の PUF 回路からすべて異なる鍵回路を取り出すことに成功した。PUF を用いた鍵生成システムにおける誤り訂正能力に関する知見や、使用する誤り訂正符号そのものに関する重要な知見が得られた。本研究の成果は、電子情報通信学会リコンフィギャラブルシステム研究会で発表された。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 動的再構成システム、FPGA、複製困難関数 (PUF)、Arbiter PUF

【研究題目】 複数主体のバイOMETRICSデータベース管理と評価技術の研究

【研究代表者】 寶木 和夫 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】 寶木 和夫、大塚 玲

(常勤職員2名、他6名)

【研究内容】

バイOMETRICSは、入国管理、銀行 ATM、ビル入退出管理などで広く使われている。今後、組織間連携においても応用が進むと、市場規模がさらに大きくなることが予想される。しかし、従来のデータベース管理技術そのままの適用では、プライバシー保護や生体情報取得時の精度のばらつき等バイOMETRICS特有の問題が隘路になり得る。この問題を解決するため、キー技術として、信頼できるバイOMETRICS性能評価技術および関連するデータベース構築手法の研究を行うことを目的とする。

研究計画としては、(1) Ground Truth による評価理論・評価技術を確認し、高度な安全性を有する認証技術の研究開発によって解明をはかる。(2) 複数組織が連携して運用するバイOMETRICS認証システムのプライバシー保護データ管理技術の研究開発によりプライバシー保護をした上で管理する基盤技術を構築することとした。

平成26年度は、OCT (Optical Coherence Tomography) 装置による指紋形状の高精度測定サンプルの採取を行った他、高精度指紋画像を Ground Truth データとして用いた場合の認証性能を、同指紋画像から作成した人工物による認証性能で推定できることを理論で示し、実証実験を試みた。また、最強力判定として知られる尤度比判定方式における確率分布の不完全なモデル化が Wolf を存在させることを理論で示し、ある話者識別アルゴリズムに対して強力な Wolf が存在することを実証した。バイオメトリクス情報を扱う場合を含むプライバシー概念について様々なインセンティブを実証分析するための理論モデルをセキュリティエコノミクスのアプローチで構築した。バイオメトリクスのユーザビリティについて行動的特徴による生体認証における連続する認証エラーの観点から評価を行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 バイオメトリクス、プライバシー、Ground Truth、セキュリティエコノミクス

【研究題目】 第三者による安全性検証が容易な暗号技術の包括的設計手法に関する研究

【研究代表者】 花岡 悟一郎 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】 花岡 悟一郎、Nuttapong Attrapadung、縫田 光司、松田 隆宏、松尾 真一郎、吉田 真紀、江村 恵太 (常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

ネットワーク社会の著しい高度化に伴い、それに適した様々な新暗号技術の提案が行われている。また、それらの暗号技術については、設計者により数学的安全性証明がなされていると主張されている。しかし、ほとんどの場合、その証明は膨大な分量の非常に難解な数式の羅列により構成されており、もはや専門的な研究者であっても、正当性の検証が困難となっている。また、実際に証明の誤りもしばしば発見されている。そこで、本研究では、安全性の検証が容易で、誰もが安全性を確信できる暗号技術の設計のための包括的方法論を構築し、それに基づく具体的な暗号方式を設計する。安全性証明の正当性のみならず、理解の容易さをも全面的に考慮した方法論はこれまで無く、本研究は当該分野全体に対して重要な問題提起を行うものとなっている。

H26年度においては、安全性証明の理解の容易さを追求する研究の一環として、選択暗号文攻撃に対して安全な公開鍵暗号の新たな方式設計と安全性証明について研究を行ったほか、それらの知見を用いて、鍵依存平文安全性と呼ばれる高度で複雑な安全性の概念について、それに比べ比較的簡潔な安全性のみをもつ方式のみに基づき達成する手法の提案を行っている。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 公開鍵暗号、証明可能安全性

【研究題目】 クラウドサービスに適した階層型計算委託に関する研究

【研究代表者】 松田 隆宏 (セキュアシステム研究部門)

【研究代表者】 松田 隆宏 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、クラウドサービスに適した柔軟かつ安全に「計算の委託」を行うことができる検証可能委託プロトコルについて、その安全性定義、構成可能性 (及び不可能性) についての検討、及び (構成が可能ならば) 効率的な構成を行うことを目標としている。

本年度は、検証可能計算委託プロトコルについての文献調査及び、汎用的な階層型検証可能計算委託プロトコルについての安全性定義について検討を行った他、検証可能な委託をする計算の特殊なケースとして「代理人再暗号化方式」について着目して研究に取り組んだ。代理人再暗号化方式とは、あるユーザ A 宛の暗号文を、A が委託を許した「代理人」が、別のユーザ B が復号できる暗号文へと変換 (再暗号化) できる技術である。しかも再暗号化のプロセスにおいて、代理人に平文の情報は洩れない、という性質を持つ、計算の委託の具体的な例と言える。この暗号要素技術は、クラウドストレージにおいて、暗号化したままでの他のユーザとのファイル共有などに利用できる。代理人再暗号化方式では通常、代理人が再暗号化の手続きを正しく行ったかどうかを、再暗号化された暗号文の受信者が検証できることは保証されていない。本研究では、受信者が再暗号化前後の暗号文を基に、代理人によって再暗号化手続きが正しく行われたかどうかを検証することができる方式を、その定義も含め、初めて示した。この成果は、査読付き国際会議 CT-RSA 2015 において発表した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 検証可能計算委託、代理人再暗号化、証明可能安全性

【研究題目】 非理想的実装をも想定した暗号システムの設計と安全性評価

【研究代表者】 花岡 悟一郎 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】 花岡 悟一郎、Zongyang Zhang (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

We followed the plan in the original application. Overall, we published several papers on international cryptographic conferences and journals, including the flag-ship cryptographic conference ASIACRYPT 2014, and famous security conference SCN 2014. We also attend several conferences and presented our paper.

Our main research achievements can be categorized in the following two aspects.

1. We analyzed the security of public key encryption under the side-channel attacks and proposed a stronger security model, i.e., chosen-ciphertext security under post-challenge attacks. We then gave a generic construction to satisfy the security.
2. We analyzed the security of very basic cryptographic problems, called one-more cryptographic problems. We compared their hardness with existing well-known cryptographic problem, and presented black-box separations.

Through the above research, we explore factors affecting perfect implementations, including bad randomness usage and new attacks, find possible approaches to overcome them, and design more secure and efficient cryptographic protocols that are very useful in the design of advanced security systems and are easy to be implemented in practice.

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】公開鍵暗号、証明可能安全性

【研究題目】ビッグデータ利活用を促す高機能暗号・ゼロ知識証明の自動設計手法に関する研究

【研究代表者】坂井 祐介 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】坂井 祐介 (他1名)

【研究内容】

本研究で目指す暗号技術は、通常の暗号技術で達成される高い安全性に加えて、利用者が独自の要求に応じて自在にカスタマイズした暗号方式を設計できるような技術である。

本年度は、そのための重要な要素技術となるゼロ知識証明について、否定の条件式を取り扱えるゼロ知識証明方式について研究を行った。具体的には、公開鍵暗号において、ある暗号文が特定の平文を暗号化していないことを第三者に証明できる暗号方式の設計を行った。同内容は、国際会議 AsiaCCS 2015へ採録となっている。通常の公開鍵暗号では、ある暗号文が特定の平文を暗号化していないことを確認するためには、実際に復号してみるほかなく、復号鍵を持たない第三者にはその事実を確認することは不可能であった。本成果を用いることで、復号鍵を持たずとも、その事実のみを第三者に検証可能な形で開示することができるようになる。

また、上で述べた成果に関連して、グループ署名という暗号技術に対して上記と同様に否定の証明の適用を検討し、否認可能グループ署名という暗号方式の設計を行った。グループ署名とは、署名者が匿名で署名を発行でき、管理者のみがその匿名性を剥奪して署名者を特定できる署名方式の一種である。このグループ署名において

も、ある署名が特定の署名者によって生成されていないことを確認するには、署名生成者を特定してみる他なく、状況によってはプライバシーの侵害となり得る場合がある。そうした問題を解消するため、本研究では、ある署名が特定の署名者によって生成されていないことを証明可能なグループ署名方式を設計した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】暗号理論、ゼロ知識証明、公開鍵暗号、匿名認証

【研究題目】復号者及び復号結果の動的再設定が可能な暗号技術に関する研究

【研究代表者】山田 翔太

(セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】山田 翔太 (学術振興会特別研究員)

【研究内容】

クラウド技術の進展により、情報利活用の機会は大幅に増えている。生活の利便性が向上し、今までにないサービスが利用可能になっている一方で、重要な情報の漏洩する危険性も増大している。従来の暗号技術によってデータを暗号化することにより、望ましくない情報漏洩の防止が可能だが、一方でこれは情報の利活用を阻害する要因となる。本研究では、安全性を損なうことなく、柔軟な情報の利活用を可能とする技術の創出が最終目標であり、特にアクセス制御を柔軟に行うことが可能な暗号技術の設計を目指す。三年間の初年度である平成26年度は、暗号文の復号権限の設定をきめ細やかに行うことが可能な暗号技術である関数型暗号に着目し、当部門の研究員、技術研修生等と共同で研究を行い、以下の成果を得た。まず、関数型暗号の特殊例であり、それ自体も興味深い研究対象である ID ベース暗号に着目し、IEEE.1363.3として標準化されている Boneh-Boyen 方式に対して、一般化された新しい安全性証明を与えた。これは、当該方式の安全性に関して、より強い根拠を与えるものである。また、関数型暗号の特殊例である、暗号文ポリシー属性ベース暗号に関して、鍵サイズが非常に小さい方式の設計に成功した。また、関数型暗号の設計において有用な、新たな代数的構造を発見し、その応用法を示した。これらの成果は査読付国際会議に採録されている。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】公開鍵暗号、証明可能安全性、関数型暗号

【研究題目】ビッグデータに向けた匿名生体認証の研究

【研究代表者】村上 隆夫 (セキュアシステム研究部門)

【研究担当者】村上 隆夫 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、ビッグデータの普及促進に向けたプライ



バシ保護の研究を推進している。プライバシーに対する攻撃と対策は表裏一体の関係にあるため、対策を十分に施す上で、攻撃の議論を十分に行っておくことは重要である。このことを考慮し、平成26年度では、実用面で特に重要な分野の一つである位置情報プライバシーに着眼し、その攻撃と対策に関する研究で成果を上げた。

まず、位置情報プライバシーに対する攻撃として、最も盛んに研究されているマルコフモデルに基づく攻撃法に着眼した。この攻撃法は、ユーザの行動にマルコフ性を仮定し、遷移行列を学習するものであるが、多くのユーザは普段からそれほど多くの位置情報を公開している訳ではないため、攻撃者が利用できる学習データは現実的には不足する。この問題を解決するため、個人毎の遷移行列を3次元テンソルと見做し、テンソル分解を用いて少量の学習データから効率的に学習する学習法を新たに提案して、実験的に有効性を示した。この成果は、ユーザ ID を秘匿したまま認証を行う匿名認証において、例えば暗号的にその匿名性が保証されていたとしても、位置情報を補助情報として用いる攻撃が現実的に脅威となり得る、ということも示唆している。

次に、公開された位置情報を基に、その後の時刻におけるセンシティブな位置情報（自宅、病院など）を予測する攻撃を考え、その対策として、プライバシーと有用性のトレード・オフを最適化する位置情報の曖昧化手法を提案した。具体的には、攻撃者の攻撃成功確率を一定値以下に抑えつつ、曖昧領域サイズを最小化する位置情報の曖昧化手法を提案し、実験的に有効性を示した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 プライバシ、位置情報、マルコフモデル、テンソル分解

【研究題目】 クラウドコンピューティングミドルウェアのソフトウェアモデル検査手法

【研究代表者】 萩谷 昌己（東京大学大学院）

【研究担当者】 萩谷 昌己、Artho Cyrille（セキュアシステム研究部門）、田辺 良則（国立情報学研究所）、山本 光晴（千葉大学）（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

クラウドコンピューティング環境が安定して動作するためには、ミドルウェアの品質を高めることが重要である。しかし現実には分散処理に起因するバグが多発しており、再現の低さから簡単に修正できないことが多い。モデル検査の導入によって、状況が大きく改善されると期待される。

先行研究において、ネットワーク上のプログラムを対象とするソフトウェアモデル検査手法を開発してきた。本研究ではこの手法をクラウドコンピューティング環境に適用できるように拡張する技術を開拓し、検証ツールを作成することで、Hadoop など実際に広く使われている

ミドルウェアの検証を実施する。

本年度は、主として、各技術要素の理論的解明を行った。先行研究課題で構築したツールを微調整して適用できる範囲のミドルウェア検証を、本年度より開始した。具体的には、(1)マスタースレーブモデル検査の理論を整備し、(2)これに基づいたツールの第1次プロトタイプを作成した。(3)native peer クラスを、Hadoop core に対して作成した。そして、(4)既存ツールをそのままクラウドに適用する際の効果と限界について実験を行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 仕様記述、ソフトウェアモデル検査

【研究題目】 実行時検証とモデル検査の融合によるネットワークソフトウェアの統合実行監視

【研究代表者】 山本 光晴（千葉大学）

【研究担当者】 山本 光晴、萩谷 昌己（東京大学）、田辺 良則（鶴見大学）、Lei Ma（千葉大学）、Cyrille Artho、山形 頼之（セキュアシステム研究部門）（常勤職員2名、他4名）

【研究内容】

本研究課題の目的は、実行時検証とモデル検査とを融合させることにより、ネットワークシステムが全体としての仕様を満たすことを検証しつつ、それが検査対象プログラムのスケジューリングによらないことを検査するような枠組とその実装を提供することである。初年度である26年度においては、(1) net-iocache へのアクション・スコープの導入、(2) net-monitor の設計、(3) 論理/形式体系の評価と、実行監視フレームワークの定義の3課題が研究計画において設定されていた。

この内(2)について、他の分担者と協力して net-monitor の構造を設計し、プロトタイプの開発に着手した。

また(3)について、論理/形式的体系として並行プロセス言語である CSP を選定した。さらに CSP に基づいた記法をプログラミング言語 Scala に実現し、実行時検証を行うフレームワーク CSP\_E を開発した。CSP\_E の実用性を検証するため、Mac OSX 上でアプリケーションのシステムコールを監視するツール dtruss の出力を、CSP\_E による記述に合致するか検証する stracematch ツールを開発し、ベンチマークを行った。これらの成果について、Scala 上のドメイン特化言語の開発という観点からまとめた論文「Domain-Specific Languages with Scala」（Cyrille Artho, Klaus Havelund, Rahul Kumar, Yoriyuki Yamagata）を執筆し、国際会議 ICFEM で発表予定である。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 ネットワークアプリケーション、ソフトウェア検証

## 〔研究題目〕モダン符号の形式化

〔研究代表者〕萩原 学 (千葉大学)

〔研究担当者〕萩原 学、Affeldt Reynald (セキュアシステム研究部門)、Garrigue Jacques (名古屋大学)、葛岡 成晃 (和歌山大学)、笠井 健太 (東京工業大学) (常勤職員1名、他4名)

## 〔研究内容〕

本研究の主な目的は、情報学の基礎理論の不変性・正当性を確固たるものにするることである。その手段として、LDPC 符号の研究に代表されるモダン符号と呼ばれる2000年代に大きく発展した理論を、定理証明支援系を用いて形式化する。この形式化により、モダン符号における論理的な曖昧さを排除でき、諸概念と命題をライブラリ化し、それらを公開することで、符号理論の検証が容易になるといった効果が期待できる。さらに、これらの形式化により得られた知見を活かし、新たな誤り訂正符号や応用の発見・発明へ繋げる。

本研究は紙上の証明と形式証明という2つのチームで遂行している。産業技術総合研究所では定理証明支援系 Coq・SSReflect を用いて符号理論の形式化を行っている。本年度、LDPC 符号の  $\text{sum-product}$  復号法の一時的推定と行列処理の正当化の形式化を完成した。その際、周辺事後確率とタナーグラフを形式化し、モダン符号の形式化に欠かせない  $\text{summary operator}$  という特別な総和の形式化方法を提案した<sup>[1]</sup>。上記の定理の応用として、 $\text{sum-product}$  復号の具体的な実装の形式検証を行った。昨年度に行ったハミング符号の形式化に加えて以上の成果を国際学会に投稿した。また、千葉大学と共同で、昨年度の情報理論の形式化を拡張し、可変長の情報源符号化定理を形式化し<sup>[2]</sup>、東京工業大学と共同で、2元消失通信路の場合の  $\text{sum-product}$  復号法の性質の形式化を行った。

[1] Reynald Affeldt and Jacques Garrigue. Formalization of Error-correcting Codes with SSReflect. In Theorem proving and provers for reliable theory and implementations (TPP2014), MI Lecture Note 61 : 76-78. Kyushu University, 2015/03.

[2] Ryosuke Obi, Manabu Hagiwara, and Reynald Affeldt. Formalization of the Variable-Length Source Coding Theorem: Direct Part. In International Symposium on Information Theory and Its Applications, Melbourne, Australia, 26-29 October 2014.

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕形式検証、定理証明支援系、符号理論

〔研究題目〕低容量回線でも高画質画像を活用できる「超舞台」遠隔交流学习支援システムの

## 開発

〔研究代表者〕森川 治 (東京工業大学)

〔研究担当者〕戸田 賢二 (セキュアシステム研究部門)、森川 治 (常勤職員1名、他1名)

## 〔研究内容〕

一般にテレビ電話では、伝わる画質に限界があるため、普段どおりに書いた黒板の文字はそのままでは伝わらない。そのため教師たちは、色、線の太さ、字の大きさ等を工夫して、遠隔授業を進める必要がある。一方、静止画であれば普段どおりに書いた黒板の文字であっても、通信時間をかけさえすれば、鮮明な画像を送受信でき、授業に利用可能である。線がぼやけて文字が読めない、色がにじんで色分けした図が読めないといったトラブルが回避できる。本研究では、黒板など背景写真を静止画として別途送り、その上に教師や児童の映像を重畳表示することにより、低容量回線でも高画質画像を活用できる遠隔交流学习の実現を目指す。

平成23年度には Windows で動く、画像合成システム (動画部の解像度が320x240画素) を試作し動作確認した。解像度不足等のため、残念ながら試作版の仕様では、教育現場で利用できないとの評価が出た。これを受け平成24年度は、高解像度化およびハードウェア化を検討した。平成25年度は、画像合成機材のレンタルによるシミュレーションを検討した。シミュレーションを行うのに必要な仕様を満たす機材は存在せず、複数の放送機材を組み合わせることで対処可能なところまでは至ったが、レンタル料が予算内に納まらず中止した。代わって、画像合成を想定した、高解像度の人物撮影用カメラ部の制作を行うことにした。最終的には、撮影した人物形状のマスクパターンによるビデオ出力が必要となるが、固定マスク画像版のビデオカメラ部を作成し、学会発表した。

平成26年度は、グラフィック処理能力の高い PC の Windows7-64bit と、普及し安価になりつつあるスマートフォンのカメラを利用したシステムを設計した。スマートフォンでは、人物部分を切り出して、映像合成に必要な情報を算出し、提案したビデオ信号により動画送信する。PC では、複数のスマートフォンカメラからのこれらビデオ信号を受信して合成映像を表示する。この方式により、画像合成位置と画像縮尺の自動化に必要なモデルを構築し、「映像フェデレーションによる整合性の自動保持」として計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会で発表した。また、出願していた映像表示装置の発明が認められ、特許 5548898を取得した。

〔分野名〕情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕遠隔授業、一体感、テレビ電話、静止画追加、合成映像、ハイパステージ、ハイパミラー

**〔研究題目〕 嚙下メカニズムの解明による喉ごしの定量評価法の開発**

**〔研究代表者〕** 三輪 洋靖 (デジタルヒューマン工学研究センター)

**〔研究担当者〕** 三輪 洋靖 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

「食」は日常生活における楽しみの一つでもあり、喉ごし、すなわち、食品や水分を飲み込むときの感覚は「食」を楽しむ要素の1つと考えられている。しかし、喉ごしは主観的要素が強く、多くの研究、調査は官能検査が中心で、工学的研究は限られていた。そこで、嚙下モデルと主観的評価である喉ごしの関係の解明と嚙下音による嚙下計測システムの開発を目指し、平成26年度は、以下の2点に重点を置いて研究を進めた。

(1) 喉ごし推定方法の構築：12名の被験者に対し、嚙下における筋電、嚙下音の同時計測実験を実施した。実験試料として、炭酸水(強弱の2種類)、水、とろみ付き水の4種類の試料を用い、舌骨上筋群、舌骨下筋群および咬筋の筋電と甲状軟骨の側部の嚙下音を同時計測した。計測結果に対し、Wavelet 変換を用いた分析手法を適用し、嚙下音発生時間、ハイパワー部面積、筋電活動時間と、そのタイミングの位相差を求めた。その結果、一部の被験者において、不快と感じる強炭酸水、とろみ付き水の2種類で特徴量に類似した傾向が確認された。また、強い刺激が筋活動を惹起していることが示唆された。

(2) 嚙下音計測システムの開発：嚙下音を含む音データから嚙下音を自動的に抽出するシステムを開発した。本システムでは、被験者が飲料品を単独嚙下で摂取したときの嚙下音を研究代表者らが開発した体内音センサを用いて計測すると、自動的に嚙下音の抽出と、嚙下音発生時間の算出を実行する。従来の目視による計測と比較しても、一致率は87.5%と高く、開発したシステムの有効性を確認できた。

以上より、飲料品の嚙下による快・不快の推定に向けた基礎的知見の獲得と計測システムの構築が達成された。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** 嚙下、嚙下音、筋電、感性計測

**〔研究題目〕 運動性を考慮した可動領域表現による人の手の運動機能の解明**

**〔研究代表者〕** 宮田 なつき (デジタルヒューマン工学研究センター)

**〔研究担当者〕** 宮田 なつき、広野 孝祐、萩原 智 (常勤職員1名、他2名)

**〔研究内容〕**

本研究では、人の手指の関節の運動性を考慮した可動領域表現上で人の運動を捉えることで、運動機能の特徴を解明することを目指す。H26年度は、被験者4名について計測・モデル化を行った可動領域を比較し、個人差

の現れやすい関節や、逆に被験者間で違いが少ない関節があるかなどの確認を行った。この結果、親指関節の過伸展度合いや、遠位指節間関節を独立に屈曲させられるといった個人差が、領域形状として顕著に表現されることがわかった。また、関節可動領域の計測・モデル化を行った被験者から、可動領域のモデル化とは別途取得した、約800の様々な物体把持姿勢を合わせて分析したところ、中手指節間関節などで受動的な力を受けて伸展し、能動的に動かす場合よりも可動領域が拡大している様子が観察された。

アルゴリズムに関しては、以前提案していたアルファハルでは、領域境界の内側に、実際の関節同士の運動性によってうける制約以上にえぐれた状態がしばしば発生することから、アルファシェイプを採用することとした。また、多数の計測データを活用した姿勢データの表現方法の一つである主成分分析による低次元圧縮表現方法との比較を試みた。可動領域を表現するために取得したデータの主成分分析を行ったところ、多数の主成分を用いても、元の領域をほとんど表現することができず、領域境界の表現方法としては主成分分析を用いることが難しいことが分かった。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** デジタルヒューマンモデル、手、姿勢データベース、関節可動域

**〔研究題目〕 コード化環境光を用いた完全鏡面物体の3次元形状計測**

**〔研究代表者〕** 山崎 俊太郎 (デジタルヒューマン工学研究センター)

**〔研究担当者〕** 山崎 俊太郎 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

鏡面反射性物体の3次元形状を計測する手法を研究・開発した。平面ディスプレイで全周が囲われた計測空間を構築して環境光をコード化し、内部に設置した物体表面の反射光の経路を同定することによって形状を復元する、新しい形状計測手法を提案している。ガラスやプラスチックなどの透明物体や、宝石や金属などの光沢物体の計測を目指している。

平成26年度は6台の液晶ディスプレイを用いて、環境光を制御する動的照明装置を構築した。当初の計画では正方形の狭いベゼルディスプレイ6式を用いて立方体形状の計測空間を構成する予定だったが、正方形ディスプレイの入手が困難であるためアスペクト比16:9のディスプレイ4台とアスペクト比3:4のディスプレイ2台を用いて直方体形状の計測空間を構築した。各ディスプレイに独立した映像を表示し、任意の環境光下において、2台のUSB3.0カメラで画像撮影するシステム構築した。撮影画像から環境光源の座標を取得するために、2進コードを用いて環境光をコード化する手法を開発した。本研究で用いる投影像の座標は、各液晶ディスプレイの解像

度を  $N \times N$  とするとき、 $\log_2(6 \times N \times N)$  回の2進コードで表現できる。当初は球面座標系を利用して相互反射などの影響を最小化するコードを検討したが、6つの矩形投影像を横方向に並べた仮想平面座標をグレイコード表現する方法で十分な頑健性を実現できた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】3D計測、鏡面反射物体

【研究題目】情報集約による日常生活の構造的な理解のための情報処理システムの開発

【研究代表者】北村 光司（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】北村 光司（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、社会に薄く広く存在しているために統計的な分析による問題把握が困難であった対象に対して、それぞれの環境における重要な特徴を保持しつつデータを集約して分析可能なシステムを開発することで、認識されていない問題、稀な現象と誤認されている問題、潜在的な問題の発見支援を目指している。2年目は、初年度開発したソフトウェアに具体的な現場のデータを入力して分析することで、問題点の把握が可能であるかを検証した。具体的には、複数の介護施設の浴室での事故やヒヤリハットのデータをソフトウェアに入力し、各浴室の特徴を保持したまま集約して分析を行った。その結果、例えば、「シャワーで体を流した後に立ち上がらせようとしたときに、シャワーホースを掴んで立ち上がろうとし、シャワーが破損したり、転倒する」という状況の事故が複数の施設で共通して起きていることが分かった。また、「浴槽内から立ち上がる際に、蛇口を掴んでしまい、蛇口の破損や熱いお湯の配管を触ってしまう」という類似事故が起きており、立ち上がり時に適切な位置に手すりなどがないと事故が起きることが分かる。また、「石けんなどの泡や水が排水溝に流れていく部分が、移動経路上にあり転倒する」という事故も複数施設で共通して起きていることも分かった。また、現場で事故データを活用可能なように、施設の地図や特徴を登録することで、同様の特徴を持つ他施設での事故をマッピングするシステムの開発も起こった。それにより、潜在的なリスクを現場で具体的な場所や状況を把握することが可能となった。このように研究者と分析者が使えるシステムだけでなく、現場にフィードバックを返せるシステムにすることで、データ入力の意味が現場で感じられるようになる、という社会実装する上で重要なシステムを開発することができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】準化記述、日常生活データ活用技術、情報処理技術

【研究題目】デジタルハンドによる製品の操作性評価

に基づくエルゴノミック設計支援システムの開発

【研究代表者】遠藤 維（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】遠藤 維（常勤職員1名）

【研究内容】

人間の手の形状と運動を精密に模擬できるデジタルハンドモデルを用いて、製品モデルに対し、仮想的なエルゴノミック評価による設計支援システムを開発することを目的とする。本研究では、研究期間内において、製品の筐体や機構、UI に対する「操作しやすさ」を、操作タスクに対する手指の力・トルク発揮効率の観点から、定量的かつ仮想的に評価するシステムを実現するための研究を行うものとする。また、実現したシステムのエルゴノミック評価システムとしての妥当性を、実被験者・実製品を用いた実験により確認する。

平成26年度は、以下の研究を行った。(1) 前年度において、本シミュレーションにおける、物体・ハンド間に仮想的に配置されたバネ・ダンパ制御モデルを見直し、より安定したハンドモデルの制御および物体・ハンド間の干渉判定を実現した。(2) 「操作しやすさ」の定量評価指標について、手指操作における筋発揮に関する手指の負担感を評価するため、ハンドモデルに筋骨格構造モデルを付加する研究に取り組んだ。また、個別人体モデル生成機能、把持姿勢の生成機能および本評価機能を一元的に実行可能とするための人体プラットフォームソフトウェアの開発をおこない、この中で、従来の筋骨格シミュレーションソフトウェアと比較して、より詳細な筋骨格モデルを処理可能とした。また、これらのモデルに対する筋発揮評価手法の開発にも取り組んだ（継続中）。(3) より高速に個別ハンドモデルを生成するため、いくつかの手寸法値を入力として個別のハンドモデルを自動生成する手法を実現した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、把持姿勢、筋腱モデル、操作容易性

【研究題目】自動運転のための組込み情報通信技術の研究開発

【研究代表者】加賀美 聡（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】加賀美 聡、Simon Thompson、畑尾 直孝（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

自動車の自動運転は近年活発に研究されており、次世代の産業として、また社会インフラ基盤としての期待も高い。これまで自律移動に必要な各種の機能について焦点が当てられ、さまざまな研究がされてきているが、本研究ではそれに加えて、各種機能を実装し、実際に自動運転を実現するために必要な ICT のプラットフォーム

技術について、名古屋大学の加藤先生（実時間処理、ソフトウェアプラットフォームを担当）、および長崎大学の濱田先生（GPGPUを用いたクラウド上のハイパフォーマンスコンピューティングを担当）と共同で研究を行うことを計画した。研究代表者を含む産総研では自律移動の機能について研究することに焦点をあてた。

研究開始時までに多層型レーザー距離センサを用いた地図作成、自己位置認識、走行可能領域検出と障害物検出、歩行者や他の車両などの移動障害物の検出と進路推定、短期的な経路計画、計画した経路への車両制御などの基盤技術については確立してきた。そこでお台場にある臨時駐車場（約150×200m）の中に走路を作成し、その走路を自律走行しながら、歩行者や移動してくる他車を避けるシステムを ROS 上に実装し、実時間的な観点およびデータ容量とクラウド上での計算資源に関わるシステムへの要件出しのためのデータ収集を行った。

しかし研究開始から2か月で、研究代表者が退職したために、本研究は制度上中止となり、これ以上の成果を出すことができなかった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】組み込みシステム、実時間、OS、ミドルウェア、運転知能

【研究題目】歩行中の転倒リスク評価・警告装置の開発—日常の歩容を見守ることによる転倒数減少策

【研究代表者】小林 吉之（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】小林 吉之（常勤職員1名）

【研究内容】

これまでの成果を踏まえ平成26年度は、センサ内蔵型端末による転倒リスク評価装置の開発を行ったので以下に報告する。

1) センサ内蔵型端末による転倒リスク評価装置の開発：

平成26年度は、研究計画に基づいて、前年度開発したセンサ内蔵型端末による転倒リスク評価装置の性能向上を目指し、8割以上の精度で転倒リスクを評価できるようなモデルを構築した。また、当該技術をスマートフォンで利用できるようにするためのソフトウェアを開発した。

2) ロコモティブシンドロームシンドロームに関連する歩行特徴の評価：更に平成26年度は、転倒リスクだけでなくロコモティブシンドロームのリスクについても歩行特徴を評価した。研究の結果、ロコモリスクの高い者は転倒リスクも高い事や、歩行動作の再現性が低いことが明らかになった。

なお、これらの成果については現在国際誌に論文を投稿中である。また、本研究で開発した技術については、国内の複数の企業から問い合わせが来ており、近い将来

製品に実装されて社会に還元されるものと期待している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】人体形状、人間計測、デジタルヒューマン

【研究題目】屍体標本を用いたシミュレーションに基づく母指関節運動における主動筋相互作用の解明

【研究代表者】多田 充徳（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】多田 充徳（常勤職員1名）

【研究内容】

屍体手の固定方法と駆動方法を検討した。母指の関節運動を阻害しないように、第二中手骨と尺骨にピンを打ち、これらを独自に開発した治具でクランプすることで屍体手を計測装置の基盤に固定する方法を採用した。運動計測装置を用いて関節運動を計測するには、各骨に最低3点の運動計測用マーカを固定する必要がある。CM関節は鞍形状を持つ複雑な関節である。また、手関節の運動は手節間関節のそれに比べて小さい。手関節を構成する大菱形骨と舟状骨についても十分な計測精度が保証できるように、掌側からピンを打つなどの工夫を施した。

固定方法を決定した後に、筋の駆動方法を検討した。外在筋については手関節周辺の腱組織に絹糸を縫合することで、駆動装置を用いて外部から引張できるようにした。内在筋については、元々の作用方向を保持できるように、筋の付着部に方向した絹糸を、人工的なプーリー（ピン）を経由して手関節付近へと導出するようにした。以上の方法で全ての外在筋と内在筋に絹糸が縫合できたことになる。

外在筋と外在化した内在筋を駆動するための筋駆動装置については、暫定的に示指を対象とした前研究で使用していた装置を流用することとした。この装置は、位置・力制御が可能なサーボモータと、筋の張力を計測するためのテンションゲージから構成される。予備実験として、内在筋に一定荷重をかけつつ外在筋を独立に一定速度で駆動する実験を行った。また、関節固定の影響を明らかにするために、同様の実験を関節固定後の屍体手に対しても実施した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、母指、内在筋、外在筋、筋骨格運動計測

【研究題目】高フレームレート全身形状計測を用いた人間の運動機能解析

【研究代表者】山崎 俊太郎（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】山崎 俊太郎（常勤職員1名）

【研究内容】

運動中の全身形状を、正確に、隠れなく、高フレーム

レートで取得する計測システムを構築する研究を実施した。大規模な被験者実験を実施して人体変形データベースを構築し、統計モデルを用いた個人差の抽出、生体力学パラメタの推定、モデルベース復元を利用した簡易計測を目指している。スポーツ競技者の運動を計測し、変形計測結果を利用した運動性能の高いスポーツウェアの設計と、エビデンスに基づいた効果的なトレーニングメニューの提案を実現するための技術基盤を構築する計画である。

平成26年度は空間コード化光を用いた構造化光投影を利用して距離画像を取得するプロジェクトカメラネットワーク構築の準備を行った。新規計測システムの設計準備として、microsoft 社製 kinect2 センサを用いた人体計測システムを構築した。研究代表者のこれまでの研究成果を元に、人体形状スキャナで取得したデータから人体形状の主成分モデルを構築し、それを用いて精度の低い3D 計測データから高精度の人体形状を取得する方法を明らかにした。英エディンバラ大学から学生(1名)を研究補助員として雇用し、大量の被験者実験を実施して手法の検証を行ったところ、計測誤差が1cm 程度の場合にも、人体形状と姿勢を実用的な精度で復元できるという示唆が得られた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】運動解析、人体計測

【研究題目】スポーツ用義足における生体力学的特性の解明とデータベースの構築

【研究代表者】保原 浩明 (デジタルヒューマン工学研究センター)

【研究担当者】保原 浩明 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究ではスポーツ用義足の形状、剛性、アライメント(装着方法)の違いがランニング中の生体力学的特性と短距離走パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。H26年度は、まず義足スプリンターのレース分析データベースの作成に従事した。ウェブ上にある義足スプリンターの公式動画(100m 走及び200m 走)内において、各選手の公式タイムと総歩数を計測することで、短距離走における時空間変数(平均速度・平均ステップ頻度・平均ステップ長)を算出し、個人データ(レース開催年、レース名、予選/決勝、障害クラス、氏名、性別、国籍、使用している義足、公式タイムなど)を紐付けてデータベースに組み込んだ。このデータベース(DBAS)は年度末の段階で健常者142名を含む合計568名のデータとなっており、今後も継続してデータを増やしている予定である。本データベースから得られた結果として、特定メーカーの義足を装着した際に、100m 走のタイムが飛躍的に向上している例が複数見つかった。これは義足スプリンターの短距離走パフォーマンスが一部、義足の特性によって決定しう

ことを示唆している。動作解析実験に関しては、日本代表の大腿切断者1名(使用義足:膝継手3S80、板バネ1E90:ともに Ottobock 社製)を三次元動作解析装置によって解析し、ランニング時の機械的特性をキネマティクスおよびキネティクスの観点から解析した。その結果、この選手は主にステップ頻度と接地中の重心移動を増大させることで走速度を上昇させており、最大走速度の獲得に必要な不可欠な鉛直地面反力が変化していないという特徴が明らかとなった。この結果は、既存の義足パーツの組み合わせを変えることによって、さらに高いパフォーマンスを実現する可能性があることを示唆している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】義足、ステップ頻度、ステップ長、データベース

【研究題目】キッズデザインに対応するためのデータベースの設計及び応用

【研究代表者】西田 佳史 (デジタルヒューマン工学研究センター)

【研究担当者】西田 佳史、張 坤  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究の目的は、社会的要請の高い乳幼児の傷害予防に応じるため、人類の共通財産ともいえる傷害ビッグデータを最大利用することによって子ども傷害予防対策の基盤となるキッズデザインデータベースの構築と傷害データマイニング技術に関する理論的基盤を確立することである。

平成26年度は、キッズデザインデータベースに基づいて、傷害情報記述を支援するツールとして、「傷害情報記述枠組みコーディングマニュアル」(IIDF コード試用版)を作成した。本マニュアルは、このうち既知の傷害情報の記述に関する枠組みについて解説するとともに、既存の各種傷害情報データバンクに収録されている傷害情報データを統一的な基準のもとで再構成するためのコーディングの基準を与えるものである。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】傷害データベース、傷害サーベイランス、事故統計

【研究題目】ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開

【研究代表者】佐々木 洋子 (デジタルヒューマン工学研究センター)

【研究担当者】佐々木 洋子 (常勤職員1名)

【研究内容】

ロボット自身に装備された耳(マイクロホン)で聞く「ロボット聴覚」では、混合音から音響事象を認識し理解するという音環境理解の立場から、(1)混合音からの音源定位、(2)音源分離、(3)分離音認識、の3つの要素技

術に取り組んできた。音環境理解では、さらに「どこでどんな音がするか」という時空間的な音理解機能を備えることが重要である。本研究では、我々がこれまでに提唱してきたモバイルオーディション機能を発展させ、ロボットが動きながら3次元空間中で音を捉える技術の開発とこれを用いた環境の音地図作成・人間の発見・生活行動のモデル化の研究を行う。

平成26年度は、(1)手持ちセンサによるセンサの位置姿勢変化に強い3次元環境地図作成、(2)走行中のロボットによるオンライン物体モデル生成、(3)観測した人の流れを考慮した人混み環境での自律移動、を実現し、多様な実環境で任意の動きをするロボットから、同期のとれた視聴覚センサデータの収集が可能となった。これにより、様々な環境で動き回るロボット上で動作する、音源定位、人発見、物体検出といった環境認識機能を実現した。

これらの技術を前年度までに開発した音の定位・分離・認識技術と統合し、3次元 AV-SLAM、3次元音地図作成機能へ発展させていく。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボット、時空間聴覚理解機能、マイクロホンアレイ、サービスロボット

【研究題目】サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値に関する基礎的研究

【研究代表者】持丸 正明（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】持丸 正明、戸谷 圭子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

【目標】

本研究の目的は、サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値を解明し、体系的に整理をし、サービスの生産性と質の向上の為の科学的・工学的手法の効果的利用を促進することにある。

【研究計画】

平成26年度から30年度までの5年計画で、(1)サービスを業種ではなくサービス特性により分類・整理することを通じてサービスの本質を理解し、(2)この方法で分類・整理されたサービスプロダクトおよびサービスプロセスに対して有効に働く科学的・工学的手法はどのように分類・整理されるのかを研究し、(3)結果を体系化する。

【年度進捗状況】

初年度となる平成26年度では、サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の調査・研究として、研究担当者である持丸自身が関わる産業技術総合研究所サービス工学研究センターを調査対象として工学的手法の整理を行うとともに、フィンランド VTT を訪問し、

科学的・工学的手法の調査を行った。サービス工学研究センターは、民間の B2C サービス（飲食、小売、宿泊）、公的な B2C サービス（交通、介護）などを対象に研究を進めている。対人・接客における顧客・従業員の行動計測、顧客・従業員データのモデル化技術が中心である。一方、VTT の研究開発は、民間の B2B サービス（知識集約型サービス）と、公共の B2C サービス（介護、交通など）を対象としている。バリューチェーンネットワークとビジネスモデルを中心としたサービスマネジメントの研究、B2B を中心とした顧客理解・顧客参加手法と効果の研究、B2C を中心としたユーザエクスペリエンスの研究が進められている。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン、サービス工学

【研究題目】アパレルの質と国際競争力向上の基盤となる日本人の人体計測データの構築と多角的分析

【研究代表者】持丸 正明（デジタルヒューマン工学研究センター）

【研究担当者】持丸 正明、河内 まき子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

【目標】

本研究の目的は、全国規模の人体計測を実施し、最新の日本人の体型を分析するとともに、三次元計測と伝統的手計測との互換性を明らかにし、グローバルな視点から国際比較を可能とするデータベースの基盤を作り、あわせて世界初の衣料サイズに対応する三次元人体標準サイズモデルの基盤を構築することである。また、これらに基づいて JIS、ISO 衣料サイズの規格化を目指す。

【研究計画】

平成25年からの5年計画の研究で、日本の10地域を対象に各年代男女100名、計4000名のデータを採取する。このうち2000名については、三次元計測を実施し、アパレル設計に向けて体型の分析、類型化を行うとともに、地域差、年齢差の比較を行う。平成25年度では計測条件・項目の決定、首都圏・関西での計測を行う。平成26年度以降は、全国各地域での計測とデータ分析を進めるとともに、国内外のデータや各国標準を調査し、JIS、ISO 規格化に向けた検討を行う。

【年度進捗状況】

研究担当者は、本研究における計測項目選定に関する助言、計測の品質管理に関する助言、三次元体型データの分析技術の提供、ならびに、ISO 規格化を目標とした海外の人体計測データや各国標準の動向調査を担当する。平成26年度は、平成25年度に収集した三次元体型データの分析方法について技術提供をした。また、海外の動向調査として、世界的な人体計測データベースをビジネス運用するドイツ・Human Solutions 社を訪問し

た。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
【キーワード】デジタルヒューマン、人間工学

【研究題目】こどもの事故の発生要因の解析と予防—  
地域、年齢、疾患特性の解析—

【研究代表者】西田 佳史（デジタルヒューマン工学研  
究センター）

【研究担当者】西田 佳史、北村 光司  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

0歳児を除いた、子どもの死因の第1～2位は、「不慮の事故」である。死亡事故に繋がる前には、更に多くの事故が存在している。本課題全体の目標は、子どもの事故発生防止のため、以下の研究を実施することにある。

1. 保育園・幼稚園の事故（ヒヤリハット経験を含め）を一定の様式で集積する。
2. 保育園・幼稚園の事故の内容・背景を関東首都圏と地方都市（長崎県大村市）で比較する。
3. 発達障害児外来・施設・教育現場を通し、発達障害児の事故を、正常児の事故と比較検討する。
4. 救命救急センターに搬送される事故症例を集積し、保育園・幼稚園の事故と比較検討する。

個々の事故に対し、人間工学的視点から事故背景を解析し、一方、事故を起こした児に対して、発達心理学の視点から、子どもの背景を分析する。最終的に事故防止の方策・指針を作成する。この中で、産総研は、人間工学的視点から事故背景を解析することを担当する。

平成26年度は、保育所、医療機関に傷害サーベイランスの協力依頼を行い、保育所向け、医療機関向け傷害サーベイランス用紙を配布し、データの収集を行った。これまでに、104件のデータが得られた。このデータをもとに、身体空間統計分析、施設種別間の比較、事故に関係した製品の分析などを行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
【キーワード】傷害サーベイランス、子どもの傷害予防、事故統計、施設安全、安全教育プログラム

【研究題目】イナーシャマッチングに基づく階段歩行  
スキルの解明と大腿義足制御への応用

【研究代表者】保原 浩明（デジタルヒューマン工学研  
究センター）

【研究担当者】保原 浩明（常勤職員1名）

【研究内容】

大腿義足で階段を昇段することはほぼ不可能とされてきた。この理由の一つに、歩容制御手法の難しさが挙げられる。そこで本プロジェクトでは義足慣性特性の適合性の評価手法として注目されている慣性誘発度メジャーを階段昇段歩行に発展させ、階段昇段における慣性適合

性評価手法を確立する。こうした知見を集約・展開し、慣性運動を有効活用した義足膝制御手法を導出し、階段昇段に適した義足制御を実現することを最終目標とする。そこで H26年度は、大腿義足ユーザにおける階段昇動作（一足一段法）に必要なスキルを同定するため、運動習慣のある大腿切断者2名の平地歩行・走行および階段歩行計測を行った。その結果、非常にスムーズな歩行・走行動作が可能な切断歴の長いユーザであっても、階段昇動作時には膝継手の膝折れおよび足部クリアランス確保が難しいため、交互昇段ができないことが確認された。これは階段昇動作に必要な身体制御機構が歩行や走行といった平地運動とは全く異なるものであることを示唆している。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
【キーワード】階段歩行、バイオメカニクス、義足

【研究題目】被災後の子どものこころの支援に関する  
研究

【研究代表者】西田 佳史（デジタルヒューマン工学研  
究センター）

【研究担当者】西田 佳史、本村 陽一、北村 光司  
（常勤職員3名）

【研究内容】

本研究の目的は、被災後に閉じこもり、セルフコントロールの困難などの問題を抱える子どもの心のケアの新たな試みとして、センサ遊具（対話的遊具）を通じて、個々の子どもにあった様々なチャレンジを提供することで、それを乗り越える楽しさ、身体をコントロールするスキルを身につける楽しさ、他の子どもとコミュニケーションを取り知識伝承の楽しさなどを育める環境を開発し、その効果検証を行うことにある。

平成25年度までは気仙沼市の NPO 団体等と協力しポータブルなセンサ遊具へと改良し、簡便に持ち運びが可能で、遊びを通じた心身の変化をモニタリングする機能を実現や、さらに、富山市と協力して、SNS や遠隔システムなど情報システムを活用して被災地の活動を他の地域から支える仕組みの検討を行ってきた。

平成26年度は、平成25年度までに開発してきた SNS や遠隔システムなど情報システムを様々な地域に導入可能な他地域展開の仕組みとして、利用者像に合わせた遊び方の選択（ゲームの変更）・支援サービスの実現（遊ばせ方マニュアル）、遠隔サポート機能を追加し、人員が不足している場所での使用可能性を検討した。また、富山市総曲輪グランドプラザにおいて開催される子ども向けのイベント期間において、センサ遊具を使用した子どもの遊びイベントを活用した継続的な活動を実施し、その問題点や改良方法を調査し、遊具とソーシャルメディアを組み合わせ、利用者像にあわせた適切なサービスを実現する方法を開発した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス



〔キーワード〕 遊具、コミュニティデザイン、ソーシャルネット、こころのケア

〔研究題目〕 微小カイラル超伝導体のエッジ電流による磁化の SQUID 測定

〔研究代表者〕 柏谷 聡（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 柏谷 聡、柏谷 裕美（計測フロンティア研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、対称性の破れた量子凝縮系でしばしば発現する、トポロジカルに特徴付けられる量子現象を分野横断的に研究することで、「トポロジカル量子現象」としての普遍概念を創出し、新たな学術領域を形成することである。具体的にはスピン3重項伝導体である  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  や金属/強磁性体界面で起こる、トポロジーを起源とするエッジ状態の形成、奇周波数超伝導ペアの形成、自発電流の観測などの観測を行い、これらの現象に共通に見いだされる物理の解明を行う。

本年度はカイラル p 波超伝導体であることが強く示唆されている  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  と s 波超伝導体である Nb の SQUID 上においた素子を作成した場合に、 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のエッジ電流による自発磁場が SQUID に鎖交する絶対量をシミュレーションにより評価した。エッジ電流の標準的なモデルである Matsumoto-Sigrist モデルを用い、3ミクロ程度の SQUID の場合の計算では  $0.5\Phi_0$  程度の磁束の検出が可能と評価され、実験により十分測定可能な大きさであることがわかった。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 トンネル分光、トポロジカル量子現象、トポロジカル超伝導、エッジ状態

〔研究題目〕 微小ジョセフソン接合における量子同期の理論

〔研究代表者〕 川畑 史郎（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 川畑 史郎、浅井 栄大（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究においては微小超伝導体ジョセフソン接合において創発する協力的同期現象に関して理論的に研究を行う。昨年度までに開発した数値計算手法を利用して、本年度は高温超伝導体固有ジョセフソン接合集団における大規模 THz 発振数値シミュレーションを行った。そして、局所加熱によって、固有ジョセフソン接合から放出される電磁波の偏光が制御可能であることを明らかにした。また、超伝導量子ビット集団から構成される量子メタマテリアルの電磁波応答についても理論的研究を行った。そして、ジョセフソン接合の非線形製によってカオス的なレーザー発振などが生じうることを示した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ジョセフソン接合、高温超伝導体、同期

現象、メタマテリアル、テラヘルツ波、量子ビット

〔研究題目〕 超格子相変化薄膜の基礎的研究と電子デバイスへの応用

〔研究代表者〕 齊藤 雄太

（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 齊藤 雄太（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目標は、新奇電子デバイスとしての可能性を秘めた超格子型相変化材料の特異な電子構造を第一原理に基づきシミュレーションし、それをもとに実際に試料を作製、評価し新たなデバイスへの応用を検討することである。本年度は第一原理計算により様々な異種化合物により構成される超格子構造モデルを構築し、その電子構造を網羅的に調査した。超格子のモデルは  $\text{IVTe}/\text{V}_2\text{VI}_3$  と表記され、それぞれ IV: C, Si, Ge, Sn, Pb; V: As, Sb, Bi; VI: S, Se, Te と計45通りの組み合わせを採用した。電子のスピンと軌道の相互作用を考慮した計算を行った結果、電子構造は材料の組み合わせ方に非常に敏感であり、金属的な振る舞いをする超格子や絶縁体的な振る舞いをするものがあることが明らかになった。その中で特に  $\text{GeTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  や  $\text{SiTe}/\text{Sb}_2\text{Te}_3$  といった組み合わせにおいて、ディラックセミメタルと呼ばれる特異な電子状態を有することを明らかにした。これらの超格子は興味深い電気特性を示す可能性が高いと考えられたので、実際にこれらの構造を有する超格子をスパッタリング法により成膜した。X 線や電子線によって構造を解析したところ、得られた薄膜は高い結晶配向性をもち、計算のモデル構造を実現することができた。今後は実際に作製した超格子薄膜の基礎的な物性値を測定し、電子デバイスへの応用の可能性を検討していく計画である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 相変化材料、トポロジカル絶縁体、第一原理計算、電子デバイス

〔研究題目〕 次世代高移動度チャネル材料向け全窒化膜ゲートスタック技術の研究

〔研究代表者〕 前田 辰郎

（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 前田 辰郎、安田 哲二（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

近年 Si の物理限界を超える次世代チャネル材料として、Si よりも高い移動度を示す Ge の研究が精力的に進められている。しかしながら、Ge では、Si のゲートスタックと同等の特性を得るのは非常に困難である。この原因の一つに、酸化雰囲気中での絶縁膜堆積時に形成される Ge 酸化膜があげられる。Ge 酸化膜は、 $\text{SiO}_2$  とは異なり熱的に不安定で、ゲートスタック形成後の熱工程

中に、チャネルに対して様々な散乱要因を生み、最終的にトランジスタの動作特性を劣化させる。そこで我々は Ge-MIS 構造において、酸化膜を形成しない絶縁膜技術の探索を行ってきた。本研究の目的は、次世代チャネル材料として有望視されている Ge の MOS 構造作成技術において、金属性と絶縁性を兼ね備えた HfNx という窒化膜に着目し、“金属性 HfN/絶縁性 HfNx/Ge-MIS 構造”というシンプルなゲートスタック構造の可能性とその電気的なポテンシャルを検証した。

単一金属 Hf ターゲットを用いた反応性 DC マグネトロンスパッタリング法にて、Ar/N<sub>2</sub>流量比のみの変化で、金属性 HfN (抵抗率 349μΩ・cm) / 絶縁性 HfNx (E<sub>g</sub>=2.9eV) / Ge-MIS 構造を作製した。さらに、絶縁性 HfNx は、比誘電率が20以上の High-k 材料であり、Ge と良好な界面 (界面準位密度 Dit= 4x10<sup>12</sup>cm<sup>-2</sup>eV<sup>-1</sup>) を形成することを明らかにした。また、製作した Ge-MIS 構造は、酸素の混入が無く、500℃まで熱的に安定であることがわかった。その結果、窒素組成比の制御のみで、シンプルに、耐熱性の高い全窒化膜 Ge-MIS 構造を製作できることがわかった。得られた成果は、速やかに外部発表を行い、高移動度チャネル材料向けの新しいコンセプトのゲート構造ということで注目を浴びた。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 半導体、ゲート絶縁膜、ゲート金属、窒化薄膜、スパッタリング

【研究 題目】 原子層シリサイド半導体を用いたドーピング制御

【研究代表者】 内田 紀行  
 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 内田 紀行、岡田 直也  
 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

目標：

本研究課題では、Si 表面上で遷移金属内包 Si クラスタ (MSi<sub>n</sub>) を単位構造とする原子層シリサイド半導体を形成し、MSi<sub>n</sub> の性質を利用することで、原子レベルの急峻性で10<sup>21</sup>-10<sup>22</sup> cm<sup>-3</sup>の超高キャリア密度を実現し、フェルミレベルコントロール可能な原子層シリサイドと Si との界面準位を持たない接合形成、電界や電荷注入による原子層シリサイドのバンドギャップ制御を実証することで、Si ナノエレクトロニクスの革新的な要素技術の開発を目指す。

研究計画・年度進捗状況：

今年度は、タングステン内包 Si クラスタ (WSi<sub>n</sub>) を単位構造とする原子層シリサイド半導体 (WSi<sub>n</sub>) 膜の産業展開を目指し、熱 CVD (chemical vacuum deposition) 法による WSi<sub>n</sub> 膜の合成を実証した。また、これまでに評価してきた2次元的なキャリア輸送特性について解析し、WSi<sub>n</sub> 層が、わずか1nm の厚みで、

6.5×10<sup>19</sup> cm<sup>-3</sup>の電子密度と8.8cm<sup>2</sup>/Vs の移動度を持つ新しい原子層シリサイド半導体材料であることを中心に論文成果を得た (N. Okada, N. Uchida, and T. Kanayama, J. Appl. Phys. 117 095302 (2015).)。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 遷移金属内包 Si クラスタ、原子層シリサイド半導体、ヘテロエピタキシャル成長

【研究 題目】 ジョンソン雑音温度計のための集積型量子電圧雑音源

【研究代表者】 山田 隆宏  
 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 山田 隆宏、浦野 千春、日高 睦夫、前澤 正明、山澤 一彰、金子 晋久  
 (常勤職員6名)

【研究 内容】

ジョンソン雑音温度測定法 (JNT) による熱力学温度測定の不確かさを低減し、科学・産業基盤である温度精密計測技術向上に寄与することを目的とする。測定の高精度化、低コスト化、利便性向上のため、JNT 装置の主構成要素である量子電圧雑音源 (QVNS) を制御機能とともに超伝導集積回路技術により1チップに集積することを提案する。本研究では、この集積型 QVNS をベースにしたプロトタイプ JNT 装置を開発し、2つの温度定点 (水の三重点、ガリウムの融点) における熱力学温度を不確かさ10 ppm 以下で測定することを目指す。

平成26年度は、集積型 QVNS の3要素回路である、擬似乱数発生器、可変長パルス数増倍器、電圧増倍器の改良・最適化から行い、これらの要素回路を1チップに統合し集積型 QVNS 全体回路を設計した。回路作製は、産総研のニオブ超伝導集積回路作製設備を使用して行った。回路を液体ヘリウムに浸して冷却し動作評価を行った結果、集積型 QVNS の論理動作・定電圧ステップ特性を一通り確認することに成功し、温度測定に必要な特性を得た。また、精密測定用にプリント基板と極低温プローブを開発し集積型 QVNS チップを実装し、測温抵抗体と相互相関測定器とともに統合し JNT 装置を構築し、温度測定を開始した。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス、計測・計量標準

【キーワード】 ジョンソン雑音温度計、熱力学温度、量子電圧雑音源、ジョセフソン効果、超伝導集積回路

【研究 題目】 III - V 族 p チャネル MOSFET のための価電子帯エンジニアリングと界面双極子制御

【研究代表者】 安田 哲二  
 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 安田 哲二、宮田 典幸、前田 辰郎、  
小倉 睦郎、後藤 高寛  
(常勤職員2名、他2名)

〔研究内容〕

微細化が物理限界を迎える CMOS 回路の更なる高性能化のために、III-V族半導体等の高移動度チャネル材料の導入が近年真剣に検討されている。プロセスの複雑化を避けるためには、CMOS を構成する pMOS と nMOS に同じ材料を用いることが望ましいが、III-V族半導体を用いた MOSFET の研究は従来 nMOS に集中している。本研究は、III-V族 pMOSFET の高性能化を目指して、GaSb に着目しての MOS 界面制御やヘテロエピタキシャル成長高品質化の研究を、(独)物質・材料研究機構と協力しつつ進めた。

MBE により GaSb 表面上へ HfO<sub>2</sub> を成長した複数の試料につき、界面双極子と界面準位の変化に着目した可変温度電気測定を行い、界面 Sb-O 結合が熱分解すると双極子が消失し、同時に生成する Sb 原子が GaSb ギャップの伝導帯側に界面準位を形成することを示唆する結果を得た。GaSb の MOS 界面特性改善のための表面処理に関して、量産に適した低温水素プラズマ処理により、表面荒れを起こすことなく酸化物やコンタミネーションのない清浄な GaSb 表面を得られることを実証した。この清浄表面に対して窒化処理を行うことにより、界面双極子制御や低界面準位化が期待される高純度窒化層の形成が可能であることが分かった。

応用上重要な Si (100) 基板上への GaSb のヘテロエピタキシャル成長について、ナノコンタクトヘテロエピ法により、表面テラス幅が 100 nm に達する良質な GaSb 結晶層の形成に成功した。この GaSb/Si 基板を用いた pMOSFET についてのデバイス特性を取得するために、ソース・ドレイン形成等の要素プロセス開発を完了した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 III-V族化合物半導体、MOSFET、界面制御、結晶成長

〔研究題目〕 テラヘルツ対応 CMOS-FinFET を用いた低コストセキュリティ技術の確立

〔研究代表者〕 松川 貴  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 松川 貴、柳 永勲、昌原 明植  
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

電磁波の透過性と光の直進性を合わせ持つテラヘルツ波は、食品中の異物や違法化学物質の検出等安全・安心の実現に極めて有益であるが、高額な機器が普及に向けての障害になっている。本研究では CMOS-FinFET ベースの発振器とオンチップアンテナと一体となった、低コストなテラヘルツ波放射器の開発を行う。さらに、イ

メージングのデモンストレーションにつなげ、既存技術より圧倒的に低コスト・コンパクトな安全・安心用途向け CMOS テラヘルツ波放射器の実用性・有効性を実証する。

平成26年度は、CMOS-FinFET によるテラヘルツ波放射の確認のため、既に作成工程が確立した FinFET ベースのリング発振器の試作を行う。平成27年度は、上記試作結果の評価解析を進め、合わせて FinFET の特性改善と、さらなる高周波発生の為の試作を行う。平成28年度は、試作発振器チップを用いたテラヘルツ波イメージングのデモンストレーションを行う。

本年度はまず、テラヘルツ波放射器の試作に先立ち、FinFET の低周波ノイズの低減技術の開発を行った。低周波ノイズは発振器の発振周波数安定性を劣化させるが、FinFET に非晶質金属ゲートを導入することで、ノイズレベルを劇的に低減できることを発見した。上記を受け FinFET コンパクトモデルによる発振回路のシミュレーションを行い、ゲート長50nm の FinFET で、3倍高調波で180GHz の達成が見込まれ、この回路条件を満たすマスク設計を完了した。マスク設計完了を受け、試作工程に着手した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 CMOS、FinFET、テラヘルツ波、高周波、イメージング

〔研究題目〕 低温走査トンネル顕微鏡による単ドーパント原子の電界誘起イオン化ダイナミクス観察

〔研究代表者〕 内藤 裕一  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 内藤 裕一 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

現在の情報化社会においてコンピュータをはじめとする情報通信機器の超高性能・極低省電力化は欠かせない。すでにその物理的限界が近いと言われながらも、未だこうした情報通信機器の超高性能・極低省電力化を担うのは半導体超高集積回路の基本要素デバイスであるシリコンベースの電界効果トランジスタ (Field Effect transistor: FET) である。FET の物理寸法は、そのゲート長がいまや十数 nm まで縮小されており、商用 FET のチャネル電流ですら、少数ドーパント原子の離散的な分布がその輸送特性に影響を及ぼしている。例えば、離散的なドーパント原子の並び方が、FET のチャネル電流特性のゆらぎの主な原因になっているという報告もある。

いっぽう、半導体表面近傍に離散的に存在する少数、あるいは単一のドーパント原子が持つ特有の電子機能を積極的に見出して活用しようとする試みは、“Solitary Dopant Electronics” と呼ばれ、現在世界的に研究が活性化しつつある分野である。本研究の提案者は、単一の

ドーパント原子とその近傍の電子状態を精密に測定するためにまずは H26年度は低温走査型トンネル顕微鏡の立ち上げをおこなうべく、その改造作業および不足部品の購入をおこなった。グラファイト表面を対象にテスト走査をおこなってみたところ、最初は原子分解能像が得られたが、次第に画像に周期的ノイズが重畳するようになった。スキャナーに異常があると思われるので、H27年度のなるべく早い段階で修理を行う予定である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 半導体表面、ドーパント、走査型トンネル顕微鏡

〔研究題目〕 トポロジカル絶縁体によるアレイ型テラヘルツイメージングデバイスの開発

〔研究代表者〕 牧野 孝太郎

(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 牧野 孝太郎 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では、Ge-Sb-Te (GST) 超格子相変化メモリ材料が持つトポロジカル絶縁体と呼ばれる性質を利用した赤外線やテラヘルツ波の検出器開発を行う。トポロジカル絶縁体は表面においてバンドギャップが閉じた特殊な電子構造を持っており、赤外線やテラヘルツ波など、エネルギーが低く検出が難しい光のセンサとして応用が可能であると考えられている。従来の検出器と比較しても作製が容易であり、2次元アレイセンサとしての需要が見込まれる。本研究では2次元アレイ型イメージングセンサの開発を目指し、まずはテラヘルツ波の検出器の原理を確かめ、センサとしての評価を行う計画である。本年度はまずシングルセルデバイスの動作を確認した。

まず光照射に伴うセルの電気抵抗変化を電圧値の変化として検出できるフォトコンダクタ装置を作製した。サンプルには GST 超格子薄膜を用い、プローブ探針間に光を照射して即手を行った。まず可視域の白色光や  $1.55\mu\text{m}$  の近赤外光を使用した測定を行ない、動作の確認を行った。次に THz パルスを用いた測定を行ない、光照射に伴う抵抗の低下と、その緩和の過程が観測された。また、より定量的な評価を行うためシングルセルデバイスを作製し、今後はより定量的な評価を行ない、センサとしての特性を明らかにする計画である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 テラヘルツ、トポロジカル絶縁体

〔研究題目〕 2次元層状薄膜を用いた励起子レーザの開発

〔研究代表者〕 森 貴洋

(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 森 貴洋、二之宮 成樹

(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

2次元層状遷移金属ダイカルコゲナイドは、結晶欠陥に局在した励起子による強い発光が観測され、新しい発光材料として注目されている。本研究の目的は、遷移金属ダイカルコゲナイド内に局所的なポテンシャル変化を起こすことで欠陥フリーの局在励起子系を実現し、励起子レーザ実現の端緒を開くことにある。局在的なポテンシャル変化の導入には絶縁膜と当該材料との界面を利用、絶縁膜形成にはトランジスタ作製技術を利用する。本年度は、遷移金属ダイカルコゲナイドを代表する材料である二硫化モリブデンを用いたトランジスタを作製、その界面特性を評価する基盤を確立するとともに、光学特性評価を実施した。トランジスタ構造としてはトップゲート型を採用、二硫化モリブデンに接する絶縁膜としては原子層堆積法によって形成した2種の高誘電率材料を検討した。電気的測定評価においては、界面評価に必要な微小容量測定の手法を確立することに成功し、その評価が可能となった。また、光学特性評価としては、マイクロ PL 法による評価を実施した。室温での micro-PL 測定において強い励起子発光が観測された。得られた発光は試料によって強度差が見られており、現在その起因について検討を進めている。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 トランジスタ、発光素子、原子層状薄膜材料

〔研究題目〕 3次元 LSI デバイス積層システムにおける放熱を考慮した LSI デバイス設計技術の研究

〔研究代表者〕 青柳 昌宏

(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 青柳 昌宏、菊地 克弥、加藤 史樹、メラムド サムソン、

(常勤職員3名、他2名)

〔研究内容〕

本研究では、現有の LSI 設計環境を3次元 LSI 積層実装に対応させるとともに、熱解析設計ツールと統合して、熱電気協調の LSI デバイス設計環境を構築して、新規の高熱伝導放熱層を含む3次元 LSI 積層実装プロセスに対応した放熱性能を最適化できる設計技術の開発を進める。

平成26年度は、デバイス積層に対応した熱電気協調 LSI デバイス設計フローの検証について、積層ロジック LSI デバイスを対象として、進めた。具体的には、電力消費の大きい積層インターフェース回路からの動作時の発熱に伴う、積層構造における放熱性能の評価を行い、薄型加工する積層デバイスの厚さと放熱性能の関係について、明確にした。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 3次元 LSI 積層、放熱、インターポーザ

**〔研究題目〕 熱力学的極限に挑む断熱モード磁束量子プロセッサの研究**

**〔研究代表者〕** 日高 睦夫

(ナノエレクトロニクス研究部門)

**〔研究担当者〕** 日高 睦夫、永沢 秀一、佐藤 哲朗、岩田 比呂志 (常勤職員3名、他1名)

**〔研究内容〕**

本研究は、Josephson 接合での超伝導位相を断熱的に変化させることで、高速性が特徴の磁束量子回路において、熱力学的極限に迫る究極的な低消費エネルギー化を図る。半導体回路に対して6桁以上の低減化を目指し、冷却を考慮しても十分な優位性を生み出す。本研究では、この断熱モード磁束量子回路 (AQFP) を中核とし、それを情報処理システムとして実用化するために不可欠なメモリと3次元集積回路プロセスを開発する。メモリは、超伝導位相の0/π遷移を情報蓄積に利用する新物理現象に基づく。プロジェクトの最終目標として、3次元集積化された16b AQFP プロセッサの5GHzでの高速動作実証を目指す。今年度は、多層化 AQFP 回路を実現するための3次元超伝導集積回路プロセスの主要要素となる2層の Nb/AlO<sub>x</sub>/Nb 接合作製プロセスの開発を行った。コンタクト以外の部分で下層のレイアウトと独立に上層のレイアウトを行うためには下層の高度な平坦化が必須となるが、この平坦化工程による下層接合特性の劣化が懸念されていた。今年度は平坦化工程を最適化した接合層を含む4層 Nb 構造を作製し、良好な表面平坦性と接合特性を確認することができた。平坦化した Nb 配線層の上に良好な特性の Nb/AlO<sub>x</sub>/Nb 接合を作製できることは Nb9層プロセスで既の実証されているため、今年度に下層の平坦化が接合特性に影響を与えることなく行えることを確認できたことにより、目標とする3次元超伝導集積回路プロセス構築に向けて着実に進捗しているものと考えられる。また、横国大、名大が設計した超伝導回路を作製した。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** 超伝導材料・素子、先端機能デバイス、低消費電力、超高速情報処理、デバイス設計・製造プロセス

**〔研究題目〕 百万画素サブミクロン分解能中性子ラジオグラフィのための固体超伝導検出器システム**

**〔研究代表者〕** 日高 睦夫

(ナノエレクトロニクス研究部門)

**〔研究担当者〕** 日高 睦夫、前澤 正明、永沢 秀一、北川 佳廣 (常勤職員4名)

**〔研究内容〕**

本研究では、サブミクロン分解能を持つ大画素中性子ラジオグラフィにおいて、学術・産業の基幹技術として大きな期待に答えるため、サブミクロン分解能・100万

画素・高フレームレート・全固体素子の実現を目指し基礎研究を推進する。ニオブ (Nb) による超伝導ナノワイヤのリニアアレイ・システムを形成することで、ワイヤ中の同位体<sup>10</sup>B と中性子の核反応熱を運動インダクタンスの変化ΔLK として検出する一次元1000画素検出系の実現を目指す。この一次元1000画素検出系を2式、X 方向と Y 方向に直交させてイベントを同時計測する。小さな運動インダクタンスの変化ΔLK を感度良く測定するために単一磁束量子 SFQ 尤度判定回路によるΔLK 検出と高速超低消費電力大容量読出しにより高フレームレートを実現し、中性子による実証実験を行う。今年度はプロセスの問題点を探るために、22mm 角チップ上に XY 両方向の CB-KID を作製したデバイスと X 方向の CB-KID と SFQ 回路を融合したデバイスを作製した。CB-KID と融合しても設計値通りのパラメータを有するジョセフソン接合が作製できることを確認でき、また中性子実験に使用可能な CB-KID を作製することができた。一方、B 膜上の SiO<sub>2</sub>膜の剥がれなど解決すべきいくつかの問題点が明らかとなった。22mm 角チップ上に CB-KID と SFQ 信号処理回路をモノリシック化するプロセス開発を行い、10B 成膜等の CB-KID 関連プロセスによりジョセフソン接合などの SFQ 回路構成要素が悪影響を受けないことが確認できた。また、10B の上下に CB-KID を作製することにも成功した。これらの結果から、目標とする CB-KID/SFQ モノリシックデバイスを来年度に作製できる見通しを得ることができた。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** 超伝導検出器、単一磁束量子素子、中性子、ラジオグラフィ、イメージング

**〔研究題目〕 超伝導光検出器を用いた液体ヘリウム TPC の開発と軽い暗黒物質の探索**

**〔研究代表者〕** 石野 和宏 (岡山大学)

**〔研究担当者〕** 石野 和宏、山森 弘毅 (ナノエレクトロニクス研究部門) (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

超伝導検出器の一種である光検出器 KID (Kinetic Inductance Detectors) を用いた液体ヘリウムの TPC (Time Projection Chamber) を開発し、軽い暗黒物質の探索実験を遂行する。ヘリウム原子核を標的とし、反跳ヘリウムからのシンチレーション光 (平均エネルギー16eV の紫外線光子) を80%の高効率で直接検出することができる超伝導検出器 KID を用いることにより、これまであまり探索されることがなかった10GeV 以下の軽い暗黒物質の探索が世界に先駆けて可能になる。検出器の原理検証やエネルギー較正を行い、最終的に液体ヘリウム36g 程度の TPC を作製し、軽い暗黒物質の実験を開始する。今年度は Nb、NbN、Al の抵抗率や Tc など膜質の評価を行い、さらに KID の共振器を試作し最

適な薄膜材料を検討したところ、Nb の共振器において最も高い共振値  $Q$  が得られた。その Nb 薄膜を用いて56個のアレイからなる KID を複数の異なる作製方法で試作し、歩留まりや素子特性を評価した。試作した Nb の KID において、660nm について9光子まで検出することに成功した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 超伝導光検出器、ダークマター、シンチレーション光

【研究題目】 変調ドーブと結晶粒径極微制御による高移動度・低熱伝導率ナノシリコン熱電材料の創成

【研究代表者】 黒崎 健 (大阪大学大学院工学研究科)  
 【研究担当者】 黒崎 健、内田 紀行 (ナノエレクトロニクス研究部門) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

目標:

シリコン (Si) は、毒性が低い、 $p$  型・ $n$  型の制御が容易、低価格で高品質な材料が入手可能といった多くの利点を有する一方で、バルク Si の熱電変換性能指数 ( $ZT$ ) は最大でも0.2 度しかなく、実用化の目安である  $ZT=1$ には遠く及ばない。本研究では、高ドーブした SiGe 合金から超高純度 Si に対して変調ドーブを施すとともに、両者の結晶粒径をナノスケールで精密に制御する。これにより、イオン化不純物散乱に起因する低キャリア移動度と、軽元素・単純結晶構造・共有結合に起因する高格子熱伝導率といった Si が本来有する熱電材料としての致命的な二つの欠点を一挙に解決する。最終的には、室温から300°Cまでの温度域において  $ZT>1$ を示すナノ Si 系バルク熱電材料の創成を目指す。

研究計画・年度進捗状況:

SiGe/Si ヘテロエピタキシャル接合を作製し、変調ドーブによる熱電性能向上の原理実証を行うために、今年度は SOI (silicon on insulator) 基板上での、SiGe 層作製のためのスパッタ装置、及び、MBE (molecular beam epitaxy) 装置の改造・整備を、熱プローブ法を用いた SiGe 材料の熱電変換特性の評価手法の開発を行った。変調ドーブによる熱電特性を評価するには、SiGe 層と Si 層の熱伝導率をそれぞれ評価する必要がある。まずは、SiGe 層の評価手法の確立を目指した。熱プローブ法での熱伝導率評価には SiGe 材料の比熱と密度がパラメータとして必須である。データベース上のパラメータを用いて熱伝導率の評価をしたところ、これまでに報告されてきた熱伝導率 (7-8 W/mK) よりも高くなる (12 W/mK) ことが判明した。熱伝導率が増大した理由は、SiGe の結晶性にあり、エピタキシャル成長による欠陥の導入などの影響を考え、直接測定し評価しないと熱電特性を見誤る可能性がある。本研究で開発した SiGe 層の熱伝導率評価手法を用いることで回避可

能である。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 熱電変換、変調ドーピング、ヘテロエピタキシャル構造

【研究題目】 MEMS 技術を用いた300GHz 帯 FW-TWT の開発

【研究代表者】 長尾 昌善  
 (ナノエレクトロニクス研究部門)  
 【研究担当者】 長尾 昌善、政岡 文平  
 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

高出力の必要な高周波デバイスは、現在でも進行波管 (Traveling Wave Tube: TWT) と呼ばれる電子管が用いられている。従来、進行波管の電子源には、熱電子源が用いられてきた。しかし熱電子源は電源を入れてもすぐには温度が上がらず、インスタントオンできないため、常にヒーターに電源を入れておくが必要であり比較的大きな待機電力が必要となる。本研究では、進行波管の電子源を熱電子源に代わってフィールドエミッタを利用することでインスタントオンが可能となり、低消費電力化することをめざしている。本年度は、金属を電子源とし、なおかつ、電子ビームを集束することができる集束電極を備えた、ダブルゲートスピント型微小電子源の試作を行った。ダブルゲートスピント型電子源には、電子を放出するエミッタと、エミッタから電子を引き出すためのゲート電極と、さらに、放出された電子ビームを集束するための集束電極を一つの基板上に一体集積したものである。また、エミッタ・ゲート・集束電極の構造を工夫し、電子ビームを集束させても放出電流が減衰しにくいような工夫を施している。今回は、約100ミクロン四方の領域に1000チップの微小電子源を集積したデバイスを試作した。その電子放出特性を測定した結果、54V の印加電圧で最大160 $\mu$ A の放出電流が得られることを確認した。しかしながら、これ以上の電流を放出させようとすると微小電子源が破壊される問題も明らかとなった。また、破壊が起きない数 $\mu$ A 程度の比較的少ない電流量においては電子ビームの集束特性も評価した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 進行波管、フィールドエミッタアレイ、ダブルゲート、スピント型電子源

【研究題目】 固体ゲート絶縁体を利用した電界効果による強相関酸化物の電子相制御

【研究代表者】 浅沼 周太郎  
 (ナノエレクトロニクス研究部門)  
 【研究担当者】 浅沼 周太郎 (常勤職員1名)  
 【研究内容】

近年、強相関酸化物の一種であるモット絶縁体が示す金属-絶縁体 (MI) 転移を電界により制御することで

素子を通る電流を制御するモットトランジスタの研究が進んでいる。モットトランジスタは、金属に匹敵する大量の電子が関与する電子相転移を利用することから、素子サイズを半導体素子の微細化限界以下に微細化しても動作することが予想されている。

本研究では、強相関酸化物である Ni 系ペロブスカイト酸化物 (Nd,Sm) NiO<sub>3</sub> をチャンネルに、high-k 材料である La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> や HfO<sub>2</sub> をゲート絶縁体に用いた電界効果トランジスタ (FET) を作成し、室温近傍で電子相制御を実現することを目的とした実験を行っている。

これまでの実験結果は、HfO<sub>2</sub> ゲートに電圧を印加してもチャンネルが金属絶縁体相転移を起こしていないことを示していた。この原因として、素子の形状や成膜条件が最適化されておらず電荷のドーピング量が不十分であるか、またはゲート絶縁膜として用いた HfO<sub>2</sub> 中の酸素イオンがゲート電圧によりチャンネルゲート間で移動してしまっていることが考えられる。そこで、本年度は、HfO<sub>2</sub> を酸化膜層とした ReRAM を作成し、その特性を強相関酸化物 FET の HfO<sub>2</sub> ゲートの特性と比較することで、酸素イオンの移動による素子の特性への影響を調査した。

その結果、固体ゲート強相関酸化物 FET の実験で観測された素子の特性は ReRAM の特性とは異なっていることが分かった。この結果は、固体ゲート強相関酸化物 FET が動作しなかった原因は酸素イオンが移動してしまっているからではなく、ゲート絶縁膜の成膜条件が最適化されていないことを示している。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 強相関酸化物、電界効果トランジスタ、モットトランジスタ、金属絶縁体相転移

【研究題目】 大規模 SSPD アレイによるシングルフォトンイメージング技術の創出

【研究代表者】 日高 睦夫  
(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 日高 睦夫、永沢 秀一、佐藤 哲朗、北川 佳廣 (常勤職員4名)

【研究内容】

超伝導ナノワイヤ単一光子検出器 (SSPD) は、高検出感度、低暗計数率、高計数率、低ジッタ、広波長帯域という優れた特長を有し、現在世界中で熾烈な研究開発競争が展開されている。すでに、数多くの量子鍵配送実験で採用されてきた実績があるが、単ピクセル素子の高性能化に焦点を当ててこれまでは研究開発が行われてきた。今後、多ピクセル化によりイメージングまで可能になれば、その応用範囲は格段に広がるものと考えられる。本研究は、大規模 SSPD アレイの新たな実現手法を提案し、これまで培った超伝導単一磁束量子回路による極低温信号処理技術を十分に活用しつつ、大規模 SSPD アレイ、周辺の信号処理・制御回路のモノリシック集積

化技術を確立することにより、シングルフォトンイメージング技術を創出することを目的とする。今年度は、SSPD アレイ出力多重化を行うための SFQ 多重化回路の研究を行った。その作製プロセスの最適化を行い、Nb<sub>4</sub>層、臨界電流密度 2.5kA/cm<sup>2</sup> のプロセスを用いて所望の回路が作製可能であるとの見通しを得た。実際に SFQ 多重化回路を作製し、情報通信機構と協力してその動作試験を行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 超伝導検出器、SFQ 回路、多ピクセル化、出力多重化、製造プロセス

【研究題目】 錯体分子超構造膜の構築と量子効果発現

【研究代表者】 石田 敬雄 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 石田 敬雄、大山 真紀子  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

26年度は昨年度に引き続いてルテニウム錯体分子膜に関して、1種類のルテニウム錯体を用いて錯体間に挿入する錯イオンの種類を変えた多層膜の量子効果発現を狙った研究を行った。多層膜について、ジルコニウム以外に鉄やスズ、さらにイリジウムなどの金属イオンで良質な多層膜が形成され、鉄イオン、イリジウムイオンの場合に量子効果に基づく長距離電子移動能の向上が観察された。電気化学測定から長距離電子移動能を得た鉄イオン、イリジウムイオンの場合にはルテニウム錯体分子とこれらのイオンの結合による新しい電子状態が形成されたことが判明した。この電子状態の生成が電子移動能にも良い影響を与えたと考えられる。また本年度はルテニウム錯体分子膜の絶縁性分子との混合膜を活用した液晶動作への展開についても研究を行い、混合膜の組成が液晶層に現れる影響を取りまとめた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 表面コーティング、分子素子、超分子、自己組織化

【研究題目】 in situ XAFS と XRD 同時測定による無機発光材料の活性点構造の解明

【研究代表者】 阪東 恭子 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 阪東 恭子 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、ガス流通下室温より 1000°C までの加熱処理条件下で、X 線吸収端微細構造解析 (XAFS) と X 線回折 (XRD) を同時にその場測定することを可能にする新規 XAFS および XRD 同時測定法の開発し、それを用いて新規無機エレクトロルミネッセンス (EL) 材料である希土類イオンドーパアルミナ自立膜を焼成条件下でその場観察し、EL 発光活性構造および活性構造発現の機構、活性構造発現条件の解明を行うことを目的とする。H26は、H25に設計したセルを用いて、実際に九州

シンクロトロン光研究センター BL11で、Tb ドープアルミナ自立膜の雰囲気制御 (He 流通条件下)、加熱処理条件下の XAFS および XRD 同時測定を実施した。その結果、室温から加熱処理を進めていくと、まず150°C付近で、Tb の配位構造変化が開始する。この Tb の配位構造の変化は350°C付近で安定化するが、続いてアルミナ母材の結晶構造変化が開始し、400°C付近で安定化する。このように、Tb の配位構造の変化と、アルミナの結晶構造の変化が逐次的に進行することから、Tb はアルミナの骨格に取り込まれているのではなく、母材のアルミナの粒子の表面に分散しており、おそらく、母材の表面の欠陥等に結合していることが推定された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 無機発光材料、X線吸収端微細構造解析、その場測定

【研究題目】 グラフェン・ナノ構造の電気伝導

【研究代表者】 中西 毅 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 中西 毅、宮本 良之、安藤 恒也 (東工大) (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

この研究では層欠陥、周期構造などナノ構造があるグラフェンの電気伝導、電子状態などを理論的に研究し、トポロジカルに特異な2次元系でのメソスコピック現象を解明し予言することを目的とする。

今年度は、グラフェン・ナノ構造の一例として扁平したカーボンナノチューブを調べた。扁平したカーボンナノチューブは層間相互作用があり2層グラフェンとみなせる中央部分と、単層グラフェンとみなせる端部分から構成される。有効質量近似の方法により、電子状態のカイラル角依存性を解明した。カイラルナノチューブが扁平したとき、炭素原子間距離が大きいため、面間の相互作用は小さい。その結果、半導体的ナノチューブが扁平したときはエネルギーギャップが残る。一方、肘掛椅子型、ジグザグ型のナノチューブでは、面間の相互作用が大きく、重なり構造によってエネルギーバンドが大きく変化する。面間の相互作用の有効ポテンシャルは、谷間成分がジグザグ型のナノチューブで非常に大きくカイラル角と共にすぐに減衰する。一方谷内成分は肘掛椅子型付近で大きく比較的ゆっくり減衰することを示した。

さらに、第一原理シミュレーションでは光学励起による層間距離の変調を示した。本研究では原子核周りの電子雲の振動を誘起し層状構造の解離を引き起こすため、フォノン励起を用いた。極性を持つ層状材料 (ヘキサゴナル窒化ホウ素) に光学フォノンを誘起することで、各層に動的な双極子を発生し、層間引力増強にいたる可能性を見出した。この研究は2次元新物質における層状距離制御の新たな方法として赤外レーザー照射を提唱し、実験的研究の新たなテーマを提供するものである。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 グラフェン、電気伝導、量子効果

【研究題目】 第一原理計算によるスピン軌道相互作用系の電界効果の研究

【研究代表者】 三宅 隆 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 三宅 隆 (常勤職員1名)

【研究内容】

磁気異方性、交差相関、トポロジカル絶縁体など、スピン軌道相互作用に起因した物理現象と物性制御に近年注目が集まっている。本課題では、第一原理計算による計算科学的手法を用いてスピン軌道相互作用系の物性を解明することを目的とする。昨年度は、テルル、セレン結晶の電子構造の研究に着手した。これらの物質は、3回螺旋軸をもつ次元鎖が配列した特異な結晶構造を有する。セレンに比べてテルルは原子番号が大きいため相対論的なスピン軌道相互作用効果が強いと予想される。今年度は、QMAS コードを用いて圧力下の電子構造を調べた。圧力下でテルル、およびセレンは絶縁体から金属に相転移するが、その途中にワイル半金属相があらわれることがわかった。ワイル半金属の発現する条件として、時間反転対称性、もしくは空間反転対称性が破れることが必要であるが、後者に対するはじめての現実物質の提案である。この相転移近傍のトポロジカルな性質を、モノポール電荷により解析した。またスピン軌道相互作用が弱くなるにつれて、転移圧が高くなることもわかった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 第一原理計算、スピン軌道相互作用

【研究題目】 有機ナノチューブの基礎特性評価と高機能化

【研究代表者】 小木曾 真樹 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 小木曾 真樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

平成26年度は、平成24、25年度に挙げた成果を中心に、基礎研究の深化と応用研究の発展を目指して研究を進めた。

基礎研究面では、前年度までに合成した脂質に加えて数種類の新規有機ナノチューブを開発することに成功し、特許出願を行った。また、ナノチューブ構造以外の自己組織化体として、球状ベシクルを初めて合成することに成功し、論文投稿の準備中である。研究期間全体としては主に下記3点の成果を得た。①精密な分光分析手法を組み合わせることで、自己組織化ナノ材料の精密な構造解析を行った。②自己組織化ナノ材料の表面粘性を初めて明らかにし、水素結合や金属配位結合のナノ材料中での寄与を定量化した。③ピリジン、アニリン系官能基を表面にもつ計6種類の新規有機ナノチューブを合成した。

応用研究面では、前年に開発したニッケルメッキ技術の大容量化に成功し、10gの技術紹介用サンプルを作成



した。マグネタイトナノ粒子と容易に複合化する技術を新たに開発し、特許出願を行った。また、有機ナノチューブが重金属や有機化合物を吸着する効果を確認することで、随伴水処理技術として実用化を目指す他の外部研究資金を獲得するに至った。成果をまとめて解説記事を投稿した。研究期間全体としては主に下記4点の成果を得た。①金属錯体を表面にもつ有機ナノチューブを酸化反应用触媒へ応用した。②抗がん剤を吸着させることにより、DDS のナノキャリアとして応用した。③ニッケルメッキおよび磁性ナノ粒子複合化により強磁性ナノチューブを得ることに成功し、更に大量製造法を開発した。④吸着剤としての性能を示し、随伴水処理技術として実用化を目指すに至った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 有機ナノチューブ、自己組織化、複合材料

【研究題目】 潰瘍性大腸炎治療を指向したカーボンナノチューブによる経口投与薬物送達

【研究代表者】 中村 真紀 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 中村 真紀、湯田坂 雅子、黒岩 輝代子 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、潰瘍性大腸炎の治療を目指して、カーボンナノホーン (CNH) による治療薬の経口投与薬物送達を行うことを目標とする。これまでの検討により、薬剤キャリアとして、従来法で開孔した CNH キャリアではなく、新たに構造修飾などを施した CNH キャリアの開発が必要であることが判明している。そこで、今年度は、ポリエチレングリコール (PEG) やキトサンによる CNH の修飾について以下の検討を行った。

PEG 修飾を施した CNH の細胞毒性評価：CNH の分散剤として報告されている phospholipid-PEG (PL-PEG) を用いて、PEG 修飾を施した CNH を作製した。その際、様々な重量比で PLPEG と CNH を混合した。これを、マウスマクロファージ様細胞である RAW264.7 に添加し、細胞毒性を評価した。その結果、PLPEG / CNH = 0.5 の際に最も毒性が低く、PLPEG がそれより少なくても、多くても毒性が高まることが明らかとなった。現在、細胞内取り込み量などの解析により、その理由を解明中である。

キトサン修飾を施した CNH の作製：キトサンは、甲殻類の外骨格に含まれるキチンを原料として得られる多糖類であり、生体適合性を備えた高分子生体材料である。また、大腸の腸内細菌により特異的に分解する。このキトサンを CNH に修飾することで、大腸における薬物送達効率の向上が期待される。CNH へのキトサン修飾法を検討した結果、キトサンの溶解液に CNH を混合し、物理的に吸着させることで、効率良く CNH にキトサン修飾を施すことができることを明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノ材料、ナノホーン、経口投与、潰瘍性大腸炎、薬物送達

【研究題目】 第一原理計算に基づくシリコンナノシートの有機分子修飾による機能化

【研究代表者】 森下 徹也 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 森下 徹也 (常勤職員1名)

【研究内容】

ナノシートは体積に対する表面積の割合が高いため、2次電池電極や太陽電池、分子センサーなどへの応用が期待されている。特に Si ナノシートは分子修飾しやすいため、修飾分子に応じて多様な性質の発現が期待される。本研究では、有機分子修飾された Si ナノシートの電子物性を第一原理計算により明らかにし、電池電極などへのデバイス応用に適した分子修飾を提案する。

平成26年度はフェノール基修飾された多層シリセンを計算対象とし、層数が構造や電子状態に与える影響を調べた。フェノール基の安定配置構造はシリセンの層数に依存しており、特に1層の場合とそれ以外の場合の差が大きい。これは、1層の場合はシリセン骨格の柔軟性が高いため、隣接するフェノール基間の相互作用の影響が大きく出る為と考えられる。バンドギャップも異なっており、フェノール基シリセンでは、1.92 eV (1層) → 1.36 eV (2層) → 1.10 eV (3層) と層数が増えるにつれギャップが減少することが確認された。一方で、実際にバンド分散構造を計算すると、バンド分散の振る舞いは層数にあまり依存しないことがわかった。エネルギーギャップ近傍のバンドは Si 由来のものがメインであり、バンドギャップがシリセンの層数に依存するのはそのためであると考えられる。フェニル基シリセンでも同様に、1.92 eV (1層) → 1.29 eV (2層) → 1.03 eV (3層) と層数が増えるにつれバンドギャップが減少することが確認された。層数が増えると分子種によるバンドギャップの差も大きくなることがわかる。これはシリセン層間の距離が分子種の影響を受けて若干変化するためと考えられる。今回計算対象とした有機分子修飾シリセンにおいては、分子種の違いが電子状態に与える影響はしたがって間接的と思われる。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 シリコン、ナノシート、2次電池、電極

【研究題目】 新規炭化ホウ素ナノワイヤの熱電物性計測及び伝導機構解明による廃熱発電素子の開発

【研究代表者】 桐原 和太 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 桐原 和太、向田 雅一、清水 禎樹 (常勤職員3名)

【研究内容】

身の回りの未利用熱を電力に変換する熱電材料として、

有望な炭化ホウ素に焦点を当て、そのナノ構造化による高性能化を目指す。新規の炭化ホウ素ナノワイヤを製作し、ナノワイヤ1本の高精度な熱起電力及び電気伝導率の計測を行う。ホウ素クラスターや構造欠陥を通じたホッピング伝導による電氣的性能向上、ナノ構造におけるフォノン散乱による低熱伝導率化、等を手がかりに、画期的な高性能化を実現するナノワイヤを探索することを目的とする。

26年度は、前年度に合成条件を見出したセルローズアニール法によって炭化ホウ素ナノワイヤを合成し、多数のナノワイヤの熱電物性（熱起電力及び導電率）を、交流加熱法により1本ずつ計測する実験を前年度に引き続き行った。熱電物性計測のための微細電極加工の条件を確立し、高精度な交流加熱法による計測装置を用いてナノワイヤの Seebeck 係数及びその温度依存性を計測した。その結果、炭化ホウ素ナノワイヤの Seebeck 係数は、個体差が大きいものの、サンプルによっては従来のバルク焼結体の値を上回る結果が得られた。そこで計測装置改良により Seebeck 係数の測定温度範囲をさらに広げて再計測を行った結果、Seebeck 係数の絶対値だけでなく温度係数もバルク体と大きく異なる結果が再現された。これは、ナノ構造での高い熱電特性の可能性を示唆する重要な結果である。この特異な熱電特性の起源を探るべく、ナノワイヤの構造を連携研究者の協力のもと透過電子顕微鏡で観察したところ、積層欠陥や双晶を多量に含む構造であることが明らかになった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造・環境・エネルギー

【キーワード】 ナノ材料、熱電変換、ナノ物性計測

【研究題目】 空間的拘束下でフラストレートした液晶の秩序形成とダイナミクス

【研究代表者】 福田 順一（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 福田 順一（常勤職員1名）

【研究内容】

バルクにおいてコレステリックブルー相を示すキラル液晶を平行平板間の薄い空間（セル）に閉じ込めた際にできる特異な秩序構造について、光学顕微鏡によって観測される実空間像の再現を目的に、平面波展開に基づく光学計算を行なった。周期境界条件をセルに平行な方向に課すことのできる十分小さい系について、計算によって得られた複数の秩序構造に対する光学計算を行ない、実空間像における反射光の強弱の分布などについて、実験結果をほぼ完璧に再現する計算結果が得られた。引き続いて光学計算のスキームの改良を行い、これまで開発してきたスキームよりも大きな系に対して適用が可能となるようにした。この改良したスキームに基づいて、熱的揺らぎによって生じる、必ずしも周期性を仮定できない局所的な構造について、実空間像の数値的構築を現在行なっている。またこのような計算スキームの改良によ

って、バルクのコレステリックブルー相の共焦点顕微鏡像の数値的解明も可能になると考えており、予備的な計算を行ない始めたところである。これらの問題で現れる秩序構造の周期は、数百 nm と可視光の波長に近いものであり、数値計算による実空間像の構築は非常にチャレンジングな問題である。そのような問題に対する解決の端緒を与えたことは今年度の大きな成果であり、今回開発した光学計算のスキームは、液晶の問題に限らず様々な問題に対して適用可能であると考えている。

その他の問題として、欠陥を含むパターンをインプリントした表面からなるネマチック液晶セルの秩序構造を検討し、バルクの液晶中に生じる線欠陥の構造に関する実験結果を数値的に再現することに成功した。空間的拘束によってフラストレートした液晶が形成する新規な秩序構造の理論的実証として、意義のあるものと考えている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 液晶、キラリティ、コレステリックブルー相、連続体シミュレーション、光学計算、欠陥

【研究題目】 高強度・高じん性を有する微粒子／液晶複合ゲルの創製

【研究代表者】 山本 貴広（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 山本 貴広、川田 友紀  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、微粒子／液晶複合ゲルのレオロジー特性に与える、液晶相構造及び高分子等のフィラー添加の影響を解明して、高強度、高じん性を有するゲルを創製することを目的としている。微粒子／液晶複合ゲルの物性に与えるフィラー添加の影響として、微粒子表面に高分子鎖を化学的に修飾したシリカ微粒子（高分子修飾シリカ微粒子）を用いて、動的粘弾性に与える高分子鎖導入の影響を検討した。高分子修飾シリカ微粒子を用いて調製した微粒子／液晶複合ゲルは、低温側において貯蔵弾性率が10000～1000000程度の硬いゲル状態と、高温側において貯蔵弾性率が100～1000程度の軟らかいゲル状態という、2つのゲル状態を発現した。これは、微粒子表面に修飾した高分子鎖が、液晶相構造の熱転移により、ガラス状態からゴム状態へと変化したことに基づいていると推察している。硬さの異なる2つのゲル状態は、アゾベンゼン化合物のトランス-シス光異性化反応に基づく液晶の光相転移を用いることにより、光で制御することが可能であり、細胞培養基材や防汚塗料等への応用が期待できる。また、フィラー添加の影響として、棒状の金ナノ粒子である金ナノロッドを微粒子／液晶複合ゲルに導入した際の物性評価も行った。金ナノロッドの添加により、僅かに貯蔵弾性率が高くなることを確認した。金ナノロッドには、近赤外光を吸収して、熱を発生するとい

うフォトサーマル効果がある。本研究においても、金ナノロッドは良好なフォトサーマル効果を発現し、近赤外光照射による光誘起ゲルゾル転移を達成した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 液晶、ゲル、自己修復

【研究題目】 完全制御カーボンナノチューブの物性と応用

【研究代表者】 片浦 弘道（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 片浦 弘道、田中 丈士、藤井 俊治郎、平野 篤、蓬田 陽平、魏 小均、都築 真由美、平川 琢也（常勤職員4名、他4名）

【研究内容】

単層カーボンナノチューブ（SWCNT）は、層状結晶の黒鉛（グラファイト）から取り出した単原子厚のシート（グラフェン）を、継ぎ目無く丸めて直径1ナノメートル程度の筒状にした構造のナノ材料である。この丸め方は何通りもあるため、実際に合成した SWCNT は様々な構造の混合物になっている。本研究課題では、独自開発のゲルクロマトグラフィー法を用いて、SWCNT の大量構造分離装置を作製し、SWCNT の原子配列のわずかな違いも選り分ける、精密構造分離の大規模化を目指す。炭素原子の配列が同一の SWCNT を大量に分離精製し、さらに規則正しく並べる事により、これまで不可能だった SWCNT 単結晶を作製し、まだ誰も成功していない、SWCNT の精密構造パラメータおよび物性を明らかにする事を目的としている。

本年度は、昨年度開発した新たな大量分離技術を用いて2種類の単一構造 SWCNT の大量分離を行い、1mg/day の高スループットを実現した。1mg は、精密 X 線構造解析が可能となる分量である。また、血液の透過性の高い近赤外波長で効率良く発光する SWCNT を分離し、マウスの血管造影剤として極めて優れている事を示した。さらに、2種類の分離手法を組み合わせる事により、らせん型 SWCNT に対し、右巻きと左巻きを超高純度で分離する手法を開発した。円二色性スペクトルを測定したところ、過去最高の信号強度を達成し、右巻き・左巻き分離の世界最高純度を達成した。これにより、SWCNT の電子状態の精密解析が可能となる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノチューブ、構造分離、カイラリティ

【研究題目】 微小錐台におけるエバネッセント光の結合効果による自然放射光の指向性制御

【研究代表者】 王 学論（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 王 学論、戸田 直也（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

高い空間指向性を持つ発光ダイオード（LED）は様々な応用分野において強く求められているが、指向性を安定的に実現する技術は未だに確立されていない。我々は微小リッジ構造におけるエバネッセント光の結合効果の研究において、発光領域をリッジ構造の中心に局在させることによって、光はリッジ軸に直交する面内において高い指向性を持って放出される現象を見出した。本研究は上記現象を利用したもので、その目的は上部平坦面の寸法より小さい発光領域を構造の中心に有する微小リッジまたは円錐台型デバイスを作製し、電流注入の条件において指向性の発現を実証することである。平成26年度では、幅100nm程度のストライプ状のInGaAs/GaAs量子井戸発光領域を中心に配置させたGaAsリッジ型LEDを微細加工技術および埋め込み再成長技術により作製した。作製したデバイスの発光強度の空間分布を直流駆動の条件で測定したところ、リッジ軸に直交する面内において指向角43度程度の強い指向性が観測された。これにより、本研究で提案した指向性制御の原理の実証に世界で初めて成功した。また、得られた指向性は動作温度や注入電流などデバイス動作条件の変化に対して極めて安定であることも明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 発光ダイオード、指向性、エバネッセント光、結合、錐台構造、リッジ構造

【研究題目】 高品質酸化ナノ粒子製造のための核発生と成長過程の厳密評価用マイクロデバイス開発

【研究代表者】 陶 究（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 陶 究、伯田 幸也、大塚 邦美子、椎名 孝明（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

実用化が期待される連続式水熱法による氧化物微粒子製造において、課題となっている「粒径分布が狭く平均粒径を制御した高品質な酸化ナノ粒子の製造」には、原料金属塩水溶液の急速昇温とともに、流路内壁面での不均質核発生／成長による粒径分布の拡大・多峰化、副生成物の生成等の回避が不可欠である。本研究ではこの課題を解決可能な構造のマイクロデバイス（特にマイクロミキサ）を開発し、所望の粒子特性を有するナノ粒子の設計指針を明らかにすることを目的としている。これまでに、酸化物種によらず均質なナノ粒子を得るためには、数百ミリ秒以内の滞在時間での原料水溶液と昇温用加熱水の混合の完結に加え、『高過飽和比の付与、つまり瞬時に原料の全てを核発生させ結晶成長過程を経ない粒子生成条件の設定（加水分解反応の高度制御）』が不可欠であることが明らかとなった。核発生のみを優先的に進行させることができれば、核発生と成長過程を明確に分離・制御することが可能となる。そのため、原料水溶液、加熱水に加えて、加水分解反応の高度制御に必要

なアルカリ水溶液を含んだ3液の急速混合のために、2段階の旋回流混合部を組み込むとともに、不均質核発生／成長を回避可能な新たな構造のマイクロミキサを開発し、優位性の確認を進めてきた。今年度は、当該マイクロミキサの高度化を実施するとともに、硝酸亜鉛と水酸化ナトリウムを用いて流量やアルカリ濃度などを操作因子として酸化亜鉛ナノ粒子の製造を実施するとともに、既存の T 字型、十字型、中心衝突型などのマイクロミキサを用いた場合との比較を通して、定量的に優位性を実証した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 金属酸化物、ナノ粒子、高温高圧水、連続製造、マイクロミキサー、マイクロリアクター

【研究題目】 生物規範界面デザイン

【研究代表者】 大園 拓哉 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 大園 拓哉、黒川 孝幸、平井 悠司、小林 元康、野方 靖行、鈴木 航祐 (常勤職員1名、他5名)

【研究内容】

生物の「動き」とその「制御」は、生物表面一環境の界面が持つ作用である。様々な環境に適応した多様な生物群を考えると、その環境下での生物の運動、物質交換、情報獲得のために進化した個性豊かな界面構造、その動き、制御機構が存在する。最近になってバイオメテイクスの観点からその一部の原理が調べられ、抽出された概念が工学へ応用されるようになってきた。そのなかで本研究では、変形能を有する界面凹凸形状と液体に濡れた(ウェット)界面に特に着目し、そのトライボロジー機能と構造・変形の関連を人工的な材料系を構成することで調査し、生物の事例にも学びながら、より一般的な学理を導き出す。さらにその結果を、社会ニーズの実現の観点から応用し、特にスイッチング可能なトライボロジー特性(吸脱着能、摩擦力の増減能)を有する界面を開発することを目的とする。そのため生物の体表面などに見出されるウェットかつ可逆的に変形可能な微細構造を模倣した材料を創製し、それらの構造が摩擦や潤滑、接着など表面特性に与える影響を明らかにすることで、表面・界面の機能を自在に制御(スイッチング)可能な新しい技術や原理の創出を目指している。生物特有のウェットかつ柔軟な材料(ソフトマテリアル)のトライボロジー特性を明らかにすることは学術的にも極めて重要であるが、そのためには高分子科学、無機化学、トライボロジー、付着・接着学、海生生物学、界面メカニクス、非線形科学、機械工学など当班員がカバーする幅広い異分野連携・異分野融合によって研究を進めている。最近では、凹凸形状の変化で摩擦力を変化できることを確認する成果を得ている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 バイオメテイクス、トライボロジー、生物規範工学、自己組織化

【研究題目】 高分子粗視化シミュレーションによるソフトアクチュエータ材料の物性とダイナミクス

【研究代表者】 森田 裕史 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 森田 裕史 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、高分子粗視化モデルを用いて自励振動ゲルをモデル化し、ゲルロボットとしての自励振動ゲルのダイナミクスについて、シミュレーションの立場から研究を進めた。シミュレーションについては、自励振動ゲルを用いたゲルロボットモデルのシミュレーションを実施し、また現実に起こっている反応拡散プロセスをより現実的に取り入れるために、反応の波形を取り入れてシミュレーションする手法などを導入したシミュレーションを実施した。まず、散逸粒子動力学法を用いて、ゲルロボットのモデル化を行い、膨潤・収縮のダイナミクスを記述した。そしてゲルロボットのモデル計算では、進行波と同じ方向にゲルが進む様子が示された。計算モデルをさらに一段進んだモデルにするために、反応の波形を取り入れてシミュレーション手法を開発した。具体的には、自励振動ゲルの実験における BZ 反応過程で見られる色の変化によって反応状態が変わると仮定し、それに伴い、膨潤性がかわるようにしてシミュレーションが行えるようにした。その結果、自励振動ゲルの材料と対応がとれ、近年のゲル材料の最適化が進んでいることがシミュレーションによって解明できた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ソフトアクチュエータ、ゲル、シミュレーション、分子ロボット

【研究題目】 ナノ接合での熱電変換と局所加熱、熱散逸の第一原理シミュレーション

【研究代表者】 中村 恒夫 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 中村 恒夫 (常勤職員1名)

【研究内容】

第一原理電気伝導計算方法を用い、ナノ分子ワイヤーや有機薄膜-電極接合から、酸化物半導体材料までナノ接合系の電気伝導シミュレーションを行うとともに、量子伝導理論に基づいたフォノン熱輸送計算についても第一原理計算プログラムに実装を行った。精密計測との比較を行いながら実在系分子・分子膜-電極接合複合構造体の非平衡電気伝導を解明した。また、電子-フォノン相互作用による非弾性電流計算を2次元薄膜デバイス系の計算にも拡張し、分子や酸化物半導体の抵抗変化性メモリ機能について議論した。前者では合成、計測、理論計算との共同による、絶縁被覆型チオフェン単分子接合による抵抗スイッチ作用の提案、後者では、 hafnium

酸化物の薄膜と金属原子層挿入による多層化抵抗変化メモリの動作などについてシミュレーションを行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 第一原理シミュレーション、非平衡伝導理論、ナノエレクトロニクス

【研究題目】 高度歯科医療のための液相レーザープラズマ技術の開発

【研究代表者】 大矢根 綾子 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 大矢根 綾子、坂巻 育子  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

ある種のリン酸カルシウムを歯科や整形外科用インプラントの表面に形成させると、骨伝導性を付与できる。液体類似のリン酸カルシウム過飽和溶液中で基材上にリン酸カルシウムを形成させる技術は、薬効成分との複合化にも有効な温和な表面改質技術として注目されているが、長時間を要する多段階の処理工程を必要とした。本研究は、過飽和溶液中に設置された材料基材の表面にパルスレーザー光を非集光照射することで、固・液・光の界面におけるプラズマ表面処理とリン酸カルシウム形成反応を単一工程内で迅速に進める技術(過飽和液相レーザープラズマ技術)を開発することを目的とした。

本年度は、昨年度検討したチタン金属、ポリエチレンテレフタレート、コバルト・クロム合金、焼結水酸アパタイトに加え、インプラント材料であるジルコニア、アルミナ、ポリエーテルエーテルケトンについても検討を行った。その結果、レーザー光吸収性を有する高分子および金属材料については、レーザープラズマによる表面処理効果(表面ぬれ性の向上、表面粗さ増大、表面酸化)、ならびに局所加熱効果(物質移動速度の増加、過飽和度の上昇)が、リン酸カルシウム形成に寄与していることを明らかにした。また、骨形成促進効果の期待される成分として、生体微量元素である亜鉛、ならびに生理活性タンパク質であるフィブロネクチンを過飽和溶液中に添加することで、これらの成分をリン酸カルシウムと共に基材上に固定化できることも明らかにした(国際会議 IUMRS-ICA 2014にて Award for Encouragement of Research 受賞)。一方、レーザー光吸収性に乏しいジルコニアやアルミナ基材には、本過飽和液相レーザープラズマ技術を適用できないことが判明し、技術改良のための予備検討を行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 リン酸カルシウム、アパタイト、骨伝導、過飽和溶液、表面処理、パルスレーザー、核形成

【研究題目】 単一分子と組織化分子ネットワークの非線型伝導理論

【研究代表者】 浅井 美博 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 浅井 美博、中村 恒夫、宮崎 剛英、Marius Bürkle (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

文部科学省・科研費・新学術領域研究「分子アーキテクトニクス：単一分子の組織化と新機能創成」の計画研究課題である。分子エレクトロニクスに限らず、チャネルサイズが小さいナノエレクトロニクス材料共通の問題としてノイズの問題が深刻である。低電圧でデバイスを駆動する際にはその影響は顕著である。外部からノイズを与えて、本来意味のある信号を明瞭にする「確率共鳴」が注目を集めているが、外部ノイズの投入にパワーを要し、低電圧駆動のメリット(省電力)を相殺する事が懸念される。電流に伴う自然ノイズを用いた確率共鳴を指向する意義がここにある。電流に伴う根源的なショットノイズと熱揺らぎの生成機構とその物質依存性、電圧・温度依存性を理論的に解明する事により自然ノイズを利用した確率共鳴を実現する為の基礎学理を構築する。分子は柔らかいので、その電子は分子振動の影響を受けやすい。分子素子中の電流揺らぎに対する電極フォノンと練成した分子振動(以下、フォノンと略称する)の影響を調べた。特に低温における電流に対するショットノイズが電子・フォノン散乱の影響でどのように振る舞うかに関してフォノンの非平衡性を含めて精密に調べ、フォノンによるショットノイズに対する補正が電子の伝導ダイナミクスに強く依存する事と、その詳細を明らかにした。確率共鳴を有効に引き起こす為に必要な、電気特性の非線形性、特にメモリ特性に関連してメモリスト機能に注目し、ハフニウム酸化物系を題材にフィラメントの密度では無く相対位置がメモリ相互作用に重要である事を見出した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 分子エレクトロニクス、ナノエレクトロニクス、ショットノイズ、電子・フォノン散乱効果、温度特性、熱輸送・熱散逸、抵抗変化型メモリ、ネットワーク記憶

【研究題目】 グラフェン原子層境界における谷分極伝導

【研究代表者】 中西 毅 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 中西 毅、宮本 良之 (常勤職員2名)

【研究内容】

本研究では、グラフェン原子層境界の問題を中心にグラフェンの電気伝導、電子状態など量子物性を理論的に研究し、エッジレスグラフェンリボンの電子状態の解明などを、新学術領域内の実験、理論グループと連携しながら推進した。

今年度は特に扁平したカーボンナノチューブの電子状態を有効質量近似の方法により計算した。肘掛け椅子とジグザグ型ナノチューブが扁平すると電子状態が大きく変化するが、カイラルナノチューブが扁平した場合、電

子状態がほとんど変わらないことを示した。有効質量近似で面間の相互作用は有効ポテンシャルとして表されるが、そのフーリエ変換の最大項だけ考えても、良い近似となっている事を示した。有効ポテンシャルの谷間成分はジグザグ型のナノチューブで非常に大きくカイラル角と共にすぐに減衰する。一方谷内成分は肘掛椅子型付近で大きく比較的ゆっくり減衰するが、カイラルナノチューブでは両者とも無視できるほど小さい。

また、層状物質層間引力の光増強を第一原理計算によりシミュレーションした。グラフェンに代表される層状物質において光学励起による層間距離の変調を探索した。従来、高強度レーザー照射により凝集系の結合破壊や層状構造の解離が起こることはよく知られている。一方、電子励起を引き起こす周波数に近い周波数の光を定常的に照射し、原子核周りの電子雲の振動を誘起することにより、希ガス原子間の動的双極子引力を増強できることを示した。さらに、光学フォノンモードを励起する共鳴波数のレーザーを照射した場合の2層ヘキサゴナル窒化ホウ素層間距離が縮む様子をシミュレーションし、元の層間距離より10%以上もの収縮を予測した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 グラフェン、電気伝導、量子効果

【研究題目】 Studies on the thermoelectric properties of PEDOT:PSS

【研究代表者】 衛 慶碩 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 衛 慶碩 (常勤職員1名)

【研究内容】

For most organic semiconductors, it is difficult to make a dense block with millimeter scales, and therefore a common approach to characterize organic thermoelectric materials is making a thin film and studying the in-plane electrical conductivity, the in-plane Seebeck coefficient and the through-plane thermal conductivity. It is important to note that one feature of the organic semiconductors is the preferred molecular orientations during film formation, which could make an anisotropic film. In this year, we developed the general approaches to study the thermoelectric properties of a polymer film at both in-plane and through-plane directions. We have shown that the bench-mark PEDOT/PSS films have an anisotropic carrier transport properties and thermal conductivity. The anisotropy can be explained by the lamellar structure of the PEDOT:PSS films where the PEDOT nanocrystals could be isolated by the insulating PSS at the through-plane direction.

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 導電性高分子、異方性、熱電

【研究題目】 孤立カーボンナノチューブのナノ配列制御と電子デバイス応用

【研究代表者】 田中 丈士 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 田中 丈士、永元 加奈美  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

平成26年度は、カーボンナノチューブをナノメートルオーダーの精度で配置するための基盤技術開発に向けた検討と孤立カーボンナノチューブの調製方法の検討をおこなった。当初、デオキシリボ核酸 (DNA) の自己組織化能に遺伝子工学的手法を応用することにより、高温に加熱しても安定な耐熱性を DNA に付与し多段階の DNA 自己組織化反応を可能とする手法の開発を目指していたが、本手法に問題点が判明したため、代わりとなる手法を探索した。その結果、耐熱性を付与しなくても既存の手法を適用することで多段階の DNA の自己組織化反応が可能となることが分かった。一方、孤立分散カーボンナノチューブの調製についての検討もおこなった。分離調製した半導体型カーボンナノチューブは分散安定性があまり高くなく、凝集体を形成し、孤立状態を安定に維持できないことが明らかとなった。そこで、凝集したカーボンナノチューブを再分散し、孤立分散液として得る条件の検討をおこなった。評価法は再分散をおこなった半導体型カーボンナノチューブの分散液を用いて金属型・半導体型分離をおこない、分離の改善度を指標とする間接的な方法と、再分散液を基板に滴下した後の原子間力顕微鏡像による観察という直接的な方法という異なる手法でおこなった。再分散の際の溶液組成や超音波処理の強度や処理時間、分散剤となる界面活性剤の種類や濃度を検討し、適切な条件での超音波処理がもっとも効果的であることが判明した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 カーボンナノチューブ、分離、孤立

【研究題目】 実験と理論の連携による可逆的固液光相転移の機構解明

【研究代表者】 木原 秀元 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 木原 秀元、下位 幸弘、秋山 陽久、  
則包 恭央、松澤 洋子、奥山 陽子、  
松本 祐樹 (常勤職員5名、他2名)

【研究内容】

我々は、有機色素であるアゾベンゼンを鍵官能基として用いることにより、温度を変化させることなく光照射のみによって液化・固化を自在に繰り返す (可逆的固液光相転移) 新奇化合物群を開発し報告してきた。本研究では、未だ十分に明らかになっていないこの可逆的固液光相転移のメカニズムを実験計測的および計算科学的手法の両方のアプローチにより解明すること、さらに解明されたメカニズムを基に高速な光相転移を示す化合物を開発することを目的とする。

本年度は、実験的手法では、糖アルコール骨格をもつ多官能アゾベンゼン誘導体について、光相転移メカニズムを明らかにすることを目的として研究を進めた。これまではすべての側鎖にアゾベンゼンを導入していたが、一部を光反応性のない側鎖を導入してその影響を調べた。その結果直鎖状の側鎖を導入すると光照射にかかわらず、固体のままであり、屈曲した側鎖を導入した場合は液体のままであった。このことは折れ曲がり構造と直鎖構造の変形によって、相転移することがメインのメカニズムであるという仮説が正しいことを示唆している。

計算科学的手法として、アゾベンゼン系分子に対して、会合状態が光学吸収スペクトルに及ぼす影響を理論的に明らかにすることを目的に、無置換アゾベンゼン2分子をさまざまな位置関係で配置し、その励起状態を時間依存密度汎関数 (TD-DFT) 法より計算した。その結果、それぞれの分子配置から予想される H 会合体または J 会合体的な励起エネルギー構造が得られた。その際の光学吸収ピーク位置のシフトは比較的小さく、実験的に観測される光学吸収スペクトルを説明するにはさらなる検討が必要と判断された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 光化学、相転移、有機材料、計算科学、分子動力学、DFT 計算

【研究題目】 カーボンナノチューブを用いた蛋白質の光クロマトグラフィ

【研究代表者】 平野 篤 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 平野 篤 (常勤職員1名)

【研究内容】

抗体を始めとする蛋白質を利用したバイオ医薬品は、ターゲットに対する高い特異性を持ち、かつ副作用が少ないため、従来の低分子の医薬品では困難な病気の治療やその高い効能が期待されている。その一方で、バイオ医薬品は従来の低分子医薬品とは異なり、溶液中で不安定であり、凝集や変性を引き起こしやすい性質をもつため、抗原性などの問題が常に懸念されている。これは市場投入後のバイオ医薬品の利用に対する是非をも問われかねない重大な問題であり、現在、バイオ医薬品をいかに安定に精製するかが産業応用上の大きな課題となっている。

本研究ではカーボンナノチューブをリガンドとするカラムを作製し、光を使って蛋白質を精製するクロマトグラフィシステムを開発する。本精製法では、溶媒を変えることなく、光照射により蛋白質のカラムへの吸着・溶出を制御するため、溶離液を用いる従来法では不可能であった凝集・変性しやすい不安定な蛋白質の精製が可能になる。

当該年度ではアミノ酸や蛋白質のカーボンナノチューブへの吸着特性を分析し、これらの分子の吸着制御を試みた。このような手法はクロマトグラフィにおいて蛋白

質を分離するための基礎知見として有用である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノチューブ、蛋白質、クロマトグラフィ

【研究題目】 糖鎖結合性タンパク質の分子認識／反応機構に関する分子基盤の構築

【研究代表者】 石田 豊和 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 石田 豊和 (常勤職員1名)

【研究内容】

タンパク質と糖鎖の相互作用は生体内の分子認識過程で重要であるが、複雑な糖鎖とそれを認識する糖鎖結合性タンパク質 (レクチン) との相互作用に関しては、分子レベルの相互作用の詳細は不明な点が多く、更なる研究が期待されている。ウィルス感染の初期過程において、糖鎖認識を介した相互作用の重要性が指摘されているが、本研究では、近年初めて複合体の結晶構造解析がなされたノロウィルスキャプシドタンパク質を対象に選び、分子モデリングと複合シミュレーション技術による詳細な解析を実施し、キャプシドタンパク質における各種糖鎖との親和性の差異を決定する分子論的要因を解明するための研究を実施した。

対象となる血液型糖鎖抗原との糖鎖認識パターンを系統的に解析するため、モデリング構造の出発構造として、天然型キャプシドタンパク質とルイス b 複合体との結合構造を基準にとり、この構造を基準として、各複合体の分子モデリング、相互作用エネルギー解析、結合自由エネルギーの評価を行った。複合体の結晶構造を最適化する事で、糖鎖結合サイト周辺の構造を詳細に解析したが、天然型キャプシドタンパク質と変異型タンパク質の間では明確な構造論的差異が確認できず、実験から示唆される親和性変化の要因が特定出来なかった。そこで次に、自由エネルギー計算により糖鎖の結合エネルギー変化を求め、アミノ酸変異が糖鎖親和性に与える影響を直接に評価した。この結果、糖鎖結合サイト周辺での水和構造の影響が大きいことが明らかになり、タンパク質との相互作用だけからは、糖鎖抗原との親和性を正しく評価することが困難であることが判明した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 QM/MM 計算、自由エネルギー計算、分子シミュレーション、糖鎖認識機構、ノロウィルスキャプシドタンパク質、レクチン、血液型糖鎖抗原

【研究題目】 光駆動型有機・無機ハイブリッドナノ空間を用いたバイオリクターの創製

【研究代表者】 亀田 直弘 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 亀田 直弘 (常勤職員1名)

【研究内容】

生体内の化学反応を高収率・高選択に進行させる酵素

が、省エネルギー・環境低負荷型の触媒として注目されている。酵素を種々の担体へ固定化したバイオリクターが開発されているが、固定化プロセスにおける酵素の変性、また反応時には担体内への基質拡散抑制に伴う反応速度減少などの問題がある。一方研究代表者は、両親媒性分子の自己組織化により形成するナノチューブが、そのナノチャンネルへ包接化した酵素の熱・化学安定性を増大させることを見出しており、酵素固定化用担体として有用ではないかと考えた。本研究では、上記の基質拡散抑制の問題を解決するため、ナノチューブに光刺激形態可変機能を付与すると共に酵素の流出防止、反応終了後のナノチューブの磁気分離回収を目的とし、磁性ナノ粒子でキャップ処理を施した有機・無機ハイブリッドナノチューブ型バイオリクターの創製を試みる。

設計・合成したアゾベンゼンを有する両親媒性分子を水中で自己組織化させることで、結晶固体状の二分子膜構造から成るナノチューブを得た。ナノチューブに紫外光を照射したところ、アゾベンゼン部位のトランス→シス構造異性化に伴い、サイズが不均一なドーナツ状ナノ構造体へと形態変化した。そこに可視光を照射するとアゾベンゼン部位は完全にトランス体に戻り、ドーナツ状ナノ構造体はサイズが均一化した後、一軸方向に積層することでナノチューブへと形態変化した。トロイド状ナノ構造体にカプセル化した酵素は、化学的安定性が増加するだけでなく、酵素反応速度もバルク系と同程度であった。ドーナツ状ナノ構造体が、酵素反応の「場」として好適な形態であるとの指標を得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 自己組織化、有機無機複合化、ナノ空間、酵素、ナノリアクター

【研究題目】 窒化ガリウム系共鳴トンネルダイオード作製とテラヘルツ波発振に関する研究

【研究代表者】 永瀬 成範 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 永瀬 成範 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、窒化ガリウム系半導体を用いた新材料系の共鳴トンネルダイオード(GaN系RTD)を実現することで、高性能なテラヘルツ波発振器の実現、ならびに、その設計手法を確立することを目指している。GaN系RTDは、ワイドバンドギャップ、高いバンド不連続性、高速トンネル時間等の広帯域・高出力テラヘルツ波発振に有利な物性を持つが、結晶欠陥や分極が存在する為に、良好な微分負性抵抗を得ることが難しい。これまで、MOVPE法に基づく高品質なGaN系RTDの作製により、良好な微分負性抵抗を持つ電流電圧特性を得ることに成功していた。しかし、順方向電圧の印加方向によって電流電圧特性が異なるヒステリシス現象(双安定性)や、繰り返し測定とともに電流電圧特性が劣化する現象が観測された。これらは、テラヘルツ波発振には不

利な現象である為に、メカニズムの解明が必要であった。平成26年度は、GaN系RTDの更なる高品質化と数値計算の高精度化に取り組み、GaN系RTDで生じる双安定性が、窒化物半導体特有の分極に基づく歪量子井戸でのサブバンド間遷移と電子蓄積効果に起因すること、さらには、電流電圧特性の劣化が、半導体中の深い準位に起因していることを明らかにした。これらの解明により、テラヘルツ波発振を可能にするGaN系RTDの設計指針を得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 窒化ガリウム、共鳴トンネルダイオード、双安定性、テラヘルツ波

【研究題目】 気相中熱酸化プロセスによるハイブリッドナノ粒子の創生と形態制御

【研究代表者】 古賀 健司 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 古賀 健司、平澤 誠一 (常勤職員2名)

【研究内容】

異種材料のナノ粒子の合体によって、個々の粒子特性の共発現だけでなく、接合界面を通じた電子移動等による特性の増強や、界面部分に起因した触媒活性等のシナジー効果が期待できる。そのようなハイブリッドナノ粒子の生成法として、気相生成技術の確立を目指し研究を行っている。気相中に生成したNi<sub>0.8</sub>Au<sub>0.2</sub>合金ナノ粒子の急激な熱酸化によって、NiOナノロッドの端部にAuナノ粒子が接合したマッチ棒形態のAu-NiOナノロッドが生成する。卑金属と貴金属の合金ナノ粒子の酸化では、卑金属のみが酸化され酸化物となり、貴金属との相分離が起こるからである。しかし、マッチ棒形態がなぜ生成したかについては説明できない。今年度は、主に、その生成機構解明のために実験を行った。気相粒子の高温での酸化反応をその場観察することは困難である。そのため、酸素分圧を減少させ、合金粒子を不完全に酸化させ、その形態を高分解能電子顕微鏡によって観察し、形態の酸素分圧依存性を調べることによって、酸化プロセスの解明を行った。その結果、酸化最初期にNi<sub>0.8</sub>Au<sub>0.2</sub>粒子表面の一部に出現したNiOの島が隆起することによって、NiOナノロッドの形態が出来上がり、その端部にAuが濃縮、残存する酸化プロセスが明らかとなった。Ni<sub>0.8</sub>Pt<sub>0.2</sub>合金ナノ粒子についても、気相中での急激酸化を行った結果、マッチ棒形態を持つPt-NiOナノロッドが同様に生成した。Au-NiOナノロッドでは、半球状のAuナノ粒子がNiOナノロッドに接合したのに対し、Pt-NiOナノロッドでは、球状のPtナノ粒子がNiOナノロッドに半分潜り込んでいたこともわかった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノ粒子、合金、酸化、接合、貴金属、酸化物、結晶成長



**〔研究題目〕** カーボンナノチューブ電極を用いた半透明有機薄膜太陽電池の開発

**〔研究代表者〕** 藤井 俊治郎 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 藤井 俊治郎 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

本研究では、単層カーボンナノチューブ (CNT) を有機薄膜太陽電池 (OPV) の透明電極として用いることにより、半透明な OPV を実現することを目標とする。単層 CNT 導電膜を採用して半透明化することにより、2個以上の太陽電池を積み重ねて使うことが容易になると期待でき、それを実現して積層化による発電効率の向上を狙う。

本年度は、単層 CNT を電極に用いる予備実験として、金属極薄膜/酸化物膜を半透明電極として採用し、デバイス構造および作製条件の検討を行った。活性層材料には、p 型半導体として峽ギャップ高分子ポリマーの PTB7 を n 型半導体として C70 フラーレン誘導体 (PC<sub>71</sub>BM) を用いた。その混合溶液を ITO 電極付ガラス基板に塗布することにより、バルクヘテロ構造型の OPV を作製した。デバイス構造は、ガラス/ITO/バッファー層/活性層 (PTB7:PC<sub>71</sub>BM) /酸化モリブデン/金極薄膜/酸化モリブデンである。金極薄膜上に酸化モリブデンをキャッピング層として覆うことにより、透過率が増加することが分かった。入射光550 nm におけるデバイス全体の透過率は40%以上を示した。大気中で電流密度-電圧特性の測定を行ったところ、金/酸化モリブデン電極側および ITO 電極側から光照射した場合の発電効率がそれぞれ2.3%、2.8%であり、両面からの発電を確認することができた。以上のように半透明な OPV の作製に成功した。次年度は、金属極薄膜/酸化物膜の代わりに単層 CNT 電極を用いた半透明な OPV 作製を試みる。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** ナノチューブ、透明電極、有機薄膜太陽電池

**〔研究題目〕** 局所加熱による熔融液相を用いたチタン酸化合物球状粒子の合成

**〔研究代表者〕** 石川 善恵 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 石川 善恵 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

平成26年度は、酸化チタン (アナターズ) と炭酸バリウムや酸化バリウム、または炭酸マグネシウム粉体の混合分散液中でのレーザー照射によって粒子間で起こる反応の解明に取り組んだ。酸化チタンの単独分散液の場合、レーザー照射によってルチル構造を有するサブミクロン球状粒子が得られるのに対し、炭酸バリウム混合分散液中では同様なサブミクロン球状粒子が得られるが、レーザー照射フルエンスや分散液濃度、酸化チタンと炭酸バリウム混合比といった条件を検討したところ、ど

のような条件においてもそれらの粒子は、アモルファスであった。さらに、生成粒子の元素分析のために、照射後の回収粒子中の未反応炭酸バリウムの除去を目的とし、回収粒子を希塩酸にて処理したところ、炭酸バリウムに加え、生成した球状粒子も溶解することが観察された。このような溶解は、炭酸バリウムの混合比率が高い程、その傾向が顕著であることが明らかとなった。このような結果より、炭酸バリウムの場合、生成物の化学組成が混合比によって依存する可能性が示唆された。

一方、以前からの予備的検討より、酸化チタンと炭酸マグネシウムの1:1の混合比分散液中で得られる球状粒子が、MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>であることがあきらかとなっていた。そこで種々の混合比率に対して検討したところ、いずれの混合比においても MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>の複合化合物のみが得られた。これは、TiO<sub>2</sub>の光学吸収端が410 nm であるのに対し、MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>の吸収端は365 nm、MgTiO<sub>3</sub>は297 nm と、Mg 組成比の増加に従い吸収端が短波長にシフトする。今回使用したレーザーの波長は355 nm であったことから、MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>より Mg の組成比が増加すると、光学吸収しないことで温度上昇が起こらないと考えられることから低 Mg 組成比である MgTi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>が生成物として得られたと考えられる。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** サブマイクロメートル粒子、球状粒子、液中レーザー溶融法

**〔研究題目〕** Gene-activating scaffold による in vivo 組織再生

**〔研究代表者〕** 大矢根 綾子 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 大矢根 綾子、荒木 裕子 (常勤職員1名、他1名)

**〔研究内容〕**

細胞足場機能と遺伝子導入機能を併せ示す材料は、in vivo 組織再生のための gene-activating scaffold として有用と期待される。近年研究代表者らは、リン酸カルシウム (CaP) 過飽和溶液中での共沈反応を利用して、DNA-CaP 複合体を基材上に固定する手法を開発してきた。本研究は、この複合体を gene-activating scaffold に応用するため、複合体の形成条件を改良・最適化するとともに、遺伝子導入機能の向上を図ることを目的とする。

本年度はまず、gene-activating scaffold としての基礎的要件である、DNA-CaP 複合体上の細胞への遺伝子導入機能と細胞分化誘導効果について確認した。次に、医療用輸液製剤を用いて CaP 過飽和溶液を調製し、共沈反応時間を変化させ、DNA-CaP 複合体の形成過程を追求するとともに、遺伝子導入効率に与える影響を調べた。DNA-CaP 複合体の形成過程を調べた結果、溶液中で生成した非晶質の CaP 核が結晶化を抑制されたままサブミクロン球状粒子に成長し、基材表面に析出した

CaP 層の上に沈降・結合していくと考えられた。また、共沈反応時間を変化させると、DNA-CaP 複合体を構成するサブミクロン球状粒子の数密度と集合状態を制御することができ、これを制御することで、遺伝子導入効率を向上できることが分かった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】リン酸カルシウム、スキャホールド、DNA、遺伝子導入、ナノコンポジット、サブミクロン、トランスフェクション、粒子

【研究題目】半導体型カーボンナノチューブの高精度純度評価と「超」高純度化

【研究代表者】田中 丈士 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】田中 丈士 (常勤職員1名)

【研究内容】

平成 26年度は、半導体型カーボンナノチューブ中に不純物として存在する金属型カーボンナノチューブを濃縮し、検出することを目的に研究を進めた。まず、既存のゲルカラムを用いた金属型と半導体型のカーボンナノチューブの分離法により、半導体型カーボンナノチューブを調製した。本試料を用いて、金属カーボンナノチューブの濃縮と検出を試みた。評価は光吸収スペクトル測定とラマン分光測定によりおこなった。ここでは、ゲルビーズとカーボンナノチューブ試料を混合し、一定時間経過後にゲルに吸着したものとゲルに吸着せず上澄みに残存するものを分離する「バッチ分離法」を用いて、上述の分離時とは異なる条件 (試薬組成) を用いて金属型カーボンナノチューブの濃縮を試みた。ゲルとカーボンナノチューブ試料の混合比率や、吸着時間のほか、試薬組成などについて検討をおこなった結果、金属型カーボンナノチューブを濃縮することに成功した。特に、ラマン分光測定では、濃縮前試料では金属型カーボンナノチューブが検出できない量であったのが、濃縮後において、金属型カーボンナノチューブに由来するピークを検出することが出来た。次に、金属型カーボンナノチューブ除去の効率についての情報を得るために、金属型カーボンナノチューブ除去後の半導体型カーボンナノチューブ試料に対して、同様の実験操作を繰り返しおこなった。その結果、二回目の操作後も一回目と同程度の金属型カーボンナノチューブの濃縮を確認することができた。このことは、半導体型カーボンナノチューブ中に存在する金属型カーボンナノチューブの抽出が完全ではなく、半導体型カーボンナノチューブの純度評価に用いるためには改善する必要があることを示している。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】カーボンナノチューブ、濃縮、分離

【研究題目】水中におけるカーボンナノチューブと糖の新規吸着反応メカニズム

【研究代表者】平野 篤 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】平野 篤、石井 梨恵子

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

カーボンナノチューブは、チューブの巻き方によって、電子エネルギーのバンドギャップが異なるという、ユニークな物性を有する。現在、このバンドギャップを利用した新しい分子認識法など、カーボンナノチューブへの分子吸着の応用研究が盛んに行われている。2011年以降、糖分子がバンドギャップの大きなカーボンナノチューブに強固に吸着することが報告され、CNT の新物性として注目されているが、その原理は解明されていない。本研究では、この吸着反応の主たるメカニズムがカーボンナノチューブの酸化還元反応に起因することを実証する。実証できれば、糖分子だけでなく、糖蛋白質や DNA などの糖構造をターゲットとするカーボンナノチューブの基礎物性研究が飛躍的に進展し、その原理を利用した高次の応用研究の創発にも貢献できる。

当該年度では、酸化剤・還元剤を添加することでカーボンナノチューブと糖分子との相互作用が変化することを明らかにした。酸化還元反応はバンドギャップに依存するため、当該結果はバンドギャップ依存的なカーボンナノチューブへの糖分子の吸着反応が酸化還元反応に起因することを示している。現在、蛋白質などの生体分子を用いた吸着反応の観測を行っている。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】ナノチューブ、糖、吸着

【研究題目】有機材料とナノ構造体材料における熱電効果の理論研究

【研究代表者】浅井 美博 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】浅井 美博、Marius Bürkle

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

フォノン熱伝導度  $\kappa_{ph}$  を計算する為に以前開発したフォノン輸送 NEGF 理論を第一原理計算ベースに実装し、これを用いてパラシクロファン誘導体のフォノン熱伝導度  $\kappa_{ph}$ 、熱電変換効率 (figure of merit) ZT やその他の熱電物性値の計算を行った。結果を取りまとめて論文発表を行った。上記のフォノン輸送 NEGF 理論においては断熱ポテンシャルの非調和性や振動モード間結合に由来するフォノン・フォノン散乱効果は考慮されておらず、高温における  $\kappa_{ph}$  の定量性に疑問が残る。この問題を解決する為に、フォノン・フォノン散乱効果を取り入れたフォノン輸 NEGF 理論を開発し、第一原理計算で実装した。これを用いた試行的な計算を金原子ワイヤーに対して行った結果、フォノン・フォノン散乱効果により室温付近のフォノン熱伝導度  $\kappa_{ph}$  が約20%程度減じる事が明らかになった。その他、幾つかの国内外の大学の実験グループと共同研究を行った。阪大・基礎

工実験グループとは、内包フラーレンのゼーバック係数  $S$  に関する共同研究を行い DFT+ $\Sigma$  法という補正法を用いる事により、ゼーバック係数  $S$ 、電気伝導度  $\sigma$  に関して、実験と理論の間に非常に良好な定量的な一致が得られる事を実証した。アリゾナ大・実験グループとは或る芳香環族分子のゼーバック係数  $S$ 、電気伝導度  $\sigma$  に関する共同研究を行い、特に置換配位位置の変化に伴う量子干渉効果がこれらの熱電物性値に及ぼす影響に関する研究を、実験及び理論の双方から行った。これらの結果をまとめて、幾つかの論文を学術国際誌に投稿予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 理論シミュレーション、熱電特性、フォノン熱伝導度、ゼーバック係数

【研究題目】 ヘキサシアノ鉄酸金属錯体を用いた電気化学的 Cs 回収における高効率吸着電極の開発

【研究代表者】 田中 寿 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 田中 寿、陳 栄志  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究の目的は、電気化学的に Cs イオンを吸着脱離するヘキサシアノ鉄酸金属錯体 (MHCF) 薄膜の高効率化である。その対応策のひとつとしては膜の厚膜化があげられるが、本来伝導性の低い MHCF を単に厚膜化しても電気化学的には不活性となってしまうため、厚膜化と同時に導電性の向上が必要となる。そこで複合ナノ MHCF 膜の作製に重点を置き、その物理化学特性の分析と Cs 電気化学吸着脱離について検証実験をおこなった。

まず MHCF ナノ粒子電極にカーボンナノチューブ (CNT) 等を添加した MHCF 複合膜の作製の条件の検討、電極基材への様々な成膜法の検討をおこなった。詳細は省くがスピコート法を用いて有る手順で成膜することにより、CNT と CuHCF (ヘキサシアノ鉄酸銅錯体) の複合膜を作製した。作製した膜について、成膜条件、成膜厚みと反応速度、電荷量などの電気化学的応答性を検討したところ、同じ程度の膜厚の CuHCF 膜と比べて1.5倍以上の電荷量が流れ、また応答速度などに明らかな改善が見られた。

次に SEM や短波長レーザー顕微鏡、触針段差計を用いた膜厚測定、表面観察をおこなった。短波長レーザー顕微鏡と触針段差計の結果から、CuHCF-CNT 複合膜の厚さは300 nm と見積もられ、これは CuHCF のみの膜とほぼ近いことがわかった。さらにこの複合膜で Cs の吸脱着をおこなったところ、電気化学の結果を反映した吸着量の増加が見られた。また225サイクルおこなった繰り返し耐久実験についても、実験前後で明らかな劣化は見られず、導電性の向上が電気化学的耐久性にも良好な影響を与えていることが示唆された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 Cs 吸着、プルシアンブルー型錯体、電気化学的吸着脱離、

【研究題目】 社会的インプリケーションによる生物規範工学体系化

【研究代表者】 阿多 誠文 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 阿多 誠文 (常勤職員1名)

【研究内容】

2012年10月に始まったバイオミメティクスの国際標準化は、ちょうど2年後の2014年10月にはバイオミメティクスに関わる定義や用語、さらには生物の順応的成長に学ぶ工業製品の構造最適化アルゴリズムといった産業分野と密接に関わる課題の国際標準発行に至った。我々が対応した ISO/TC229 Biomimetics の WG3、Biomimetic structural optimization では生物に学ぶトポロジカルな構造最適化のアルゴリズムが国際標準となったが、この国際標準が今後の工業製品の最適化に及ぼす影響は大きい。さらにグリーン調達といった側面から、このトポロジー最適化のアルゴリズムがビジネスにどのような影響を与えるようになるのか、目が離せない状況となってきている。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 バイオミメティクス、国際標準化、構造最適化

【研究題目】 第一原理有効模型と関連科学のフロンティア

【研究代表者】 三宅 隆 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 三宅 隆、石橋 章司、平山 元昭  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

密度汎関数法と強相関模型解法を融合した手法を進展させ、強相関物性解明に必要な方法論の確立と応用を目指す。強相関物質の金属絶縁体転移や競合するゆらぎを第一原理的な手法で非経験的に理解した上で光電子分光、光学スペクトルなどの励起構造に現れる強相関効果を解明し、実験結果との比較検証を進める。とりわけ誘電応答、交差相関に関する第一原理からの知見を得て、スピン軌道相互作用と電子相関効果の競合と絡み合いが生む物理を解明する。本年度は、GW+DMFT の開発と応用を行った。GW+DMFT 法は長距離の相互作用、自己エネルギー効果に有効な GW 近似と短距離の相関効果に有効な動的平均場理論 (DMFT) を組み合わせた手法である。両者の自己エネルギー効果の2重勘定を取り除くために、周波数に依存した相互作用に対する動的平均場理論を解く必要があり、これまで適用例が少なかった。この問題をボーズ因子仮説により解決し、典型的な遷移金属酸化物である SrVO<sub>3</sub> に適用した。励起スペクトルの2.7e 付近のピークは、t<sub>2g</sub> 軌道の上部ハバードバ

ンドが主な起源ではなく、 $e_g$  軌道の成分が大きいことがわかった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 第一原理計算、電子相関

【研究題目】 ナノ構造形成・新機能発現における電子論ダイナミクス

【研究代表者】 土田 英二 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 土田 英二 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は新学術領域研究「コンピューティクスによる物質デザイン」の一環として行っているもので、物性科学とハイパフォーマンスコンピューティング分野の密な協力を進め、京コンピュータやその後継機のような大規模な計算機環境を活用することで前例のない規模の第一原理シミュレーションを行うことを目標としている。平成26年度は以下の様な内容について研究を進めた。

第一原理分子動力学法の計算コストはスーパーコンピュータを使用したとしても未だ深刻な問題である。しかしながら、計算の目的が系の平衡化である場合、若しくはアニーリングによる安定構造のグローバル最適化等であるような場合には、多少計算精度を犠牲にしても大きな問題にはならないため、時間積分の刻み幅を最大にすることで計算コストを最小限にすることが可能である。標準的なベルレ法を用いて運動方程式の時間積分を行う場合には、時間刻みの最大値は  $h_{\max} = T/\pi$  で与えられる。ただし、 $T$  は系の中で最も速い運動の周期を表す。残念ながら、第一原理計算のポテンシャル面は非線形性が強いいため、実際には上記の最大値の半分程度の値で計算が破綻してしまうことが多い。この点を改善するため、各粒子の運動エネルギーに閾値を設定し、その値を超えないように調整を加えることで、ベルレ法の限界値をかなり引き上げることが可能であることを発見した。高温の溶融塩 (LiF) 系において検証を行い、大きく精度を損うことなく50%程度大きな時間刻みを使用できることを確認した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 シミュレーション、京コンピュータ、第一原理計算

【研究題目】 知能分子ロボット実現に向けた化学反応回路の設計と構築

【研究代表者】 小林 聡 (電気通信大学)

【研究担当者】 原 雄介 (ナノシステム研究部門)

(常勤職員1名)

【研究内容】

本研究課題では、分子デバイス群を統合して動作させる分子ロボットの知能中枢を担う、核酸をベースとした化学反応回路の構築を通じて、知的な動作が可能な分子ロボットを設計・構築する方法論の確立に取り組んでい

る。本研究では、核酸をベースとした化学反応回路を内包した高分子ゲルの開発を目指して、ゲルカプセルの合成検討を行った。また、分子ロボットの駆動制御を目指して、高分子鎖駆動に関する理論的なシミュレーションを行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 高分子ゲル、アクチュエータ、核酸、分子ロボット

【研究題目】 生物多様性を規範とする革新的材料技術

【研究代表者】 下村 政嗣 (東北大学)

【研究担当者】 大園 拓哉 (ナノシステム研究部門)

(常勤職員1名、他10名)

【研究内容】

本新学術領域研究の目標は、生物学・工学・環境科学の異分野連携によって、「生物多様性」に学び「人間の叡智」を組み合わせた新しい学術領域としての「生物規範工学」を体系化し、技術革新と新産業育成のプラットフォームとなる「バイオミメティクス・データベース」を構築するとともに、生物学と工学に通じた人材を育成することを目的としている。本領域は、7つの計画班と総括班から構成され、総括班には、計画班メンバーからなる実施グループ、評価グループ、産学連携グループ、ならびに事務局を置き、以下の課題を中心に実施している。

- (1) 各計画班内ならびに班間における異分野融合を効果的に推進するために、主として若手の連携研究者・大学院生を対象にした連携研究課題の募集と支援を行う。
- (2) 「バイオミメティクス・データベース」作成の進捗を勘案しつつ、ポータルサイトの運用計画を立てる。
- (3) 「生物と工学の融合」を主題とする講習会を開催する。
- (4) バイオミメティクス国際標準化の国内審議・認証機関である高分子学会や関連の学協会との密な連携のもと、海外における実用化、産業化など研究開発動向を収集分析する。
- (5) 領域国際会議、分科会および全体会議を開催する。
- (6) 本領域の研究成果や国内外の研究動向を発信するホームページを設置する。
- (7) 博物館が有する生物資源を効率的にデータベース化するため、博物館ネットワーク形成の検討を始める。
- (8) 博物館機能を利用して、市民講座や定期刊行物等による市民向け情報発信を図り、我が国の科学・技術を文化として育むことに資するとともに、次世代人材育成に寄与する。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 バイオミメティクス、データベース、生物規範工学、自己組織化

【研究題目】 第一原理分子動力学法による構造サンプリングと非平衡ダイナミクス

【研究代表者】 大谷 実 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 大谷 実 (常勤職員1名)

## 〔研究内容〕

密度汎関数理論に基づく第一原理分子動力学法を用いて、原子間相互作用の非調和性が本質的に重要となる大きな原子変位を伴う物理現象の予測と、非平衡ダイナミクスの解明を目指す。具体的には、分子/電極界面での電子移動による再配置エネルギーと電子移動度、固液相変化とナノスケールでの相関や揺らぎ、固液界面の電気化学反応をターゲットとする。本年度は有効遮蔽媒質 (effective screening medium: ESM) 法の拡張を行った。本手法を用いることにより溶液領域と ESM 領域の間の真空層を排除することが可能になり、より電気化学界面のモデリングが向上する。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 第一原理分子動力学シミュレーション、有効遮蔽媒質法、固液界面シミュレーション手法開発

## 〔研究題目〕 乱流摩擦抵抗低減のためのポリマー溶出界面の研究開発

〔研究代表者〕 安藤 裕友 (海上技術安全研究所)

〔研究担当者〕 増田 光俊、和田 百代 (ナノチューブ応用研究センター)  
(常勤職員1名、他1名)

## 〔研究内容〕

船舶運航における乱流摩擦抵抗の低減は、その省エネルギー化に貢献する。ポリマー等の添加による流体抵抗低減はトムズ効果として知られているが、船舶等の外部流れ場では実用化されていない。一方、船底塗料技術を応用してソフトマター層を固液界面近傍に形成させることで、摩擦抵抗低減の可能性が示されている。しかし実用化にはポリマー・塗料系の新規界面の構築やポリマー自体の性能向上が必要である。本研究では異分野連携により、界面の流れ場とポリマー分子状態を計測し、ポリマーの溶出、拡散、流体への作用を明らかにする。これらの結果を基に、ポリマーと乱流の相互作用としてのトムズ効果のメカニズムを解明し、適切な特性をもつポリマーとソフトマター界面構築の基礎を確立することを目的とする。

ポリマーの溶解過程における会合特性の制御、およびその分光学的な評価を目的として、まず超高分子量ポリマーの試作を行った。その結果、分子量1000万以上のポリマーを合成することが可能となり、それらのポリマーを用いて種々の塩の存在下でのポリマーの抵抗低減効果の変化を確認した。そして流体中のある種の塩によって溶解速度が加速することを確認した。また水系の速度場計測のために必要なポリマー材料合成技術を確立した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 乱流、流体摩擦、抵抗低減、トムズ効果、ポリマー、溶出

## 〔研究題目〕 生物毒素に対する分子認識素子の創製と効果的な除染法の開発

〔研究代表者〕 鶴沢 浩隆 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 鶴沢 浩隆 (常勤職員1名)

## 〔研究内容〕

生物毒素吸着材の開発においては、毒素認識素子である合成糖誘導体をシリカモノリス担体に固定化する必要がある。今回検討したシリカモノリス担体表面にはカルボン酸が存在するので、①還元末端側にアミノ基を有する糖誘導体を用い、従来から知られている NHS ケミストリー法による糖固定化を検討した。また、②1,3-Dipolar cycloaddition による糖固定化について検討するため、カルボン酸修飾モノリスを、いったん、アルキン修飾したモノリスに変換し、アジド糖誘導体の導入を計画した。吸着剤固定相には、カルボン酸修飾小型シリカモノリス担体 ( $\phi 2.8 \text{ mm} \times t 1 \text{ mm}$ ) を用いた。①による固定化では、縮合剤の存在下、ガラクトース、ラクトース誘導体をマイクロ波照射して固定化し、糖修飾モノリスを作製した。②では、カルボン酸修飾モノリスに対してアルキン基の導入を検討した。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 テロ対策、分子認識、認識素子、機器分析、生物毒素

〔研究題目〕 単分子素子の機構解明を先導する機能性  $\pi$  電子系の創製

〔研究代表者〕 中村 恒夫 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 中村 恒夫 (常勤職員1名)

## 〔研究内容〕

単分子による、p 型あるいは n 型特性をもつと推定される多様な分子材料を合成し、その金属電極架橋構造を実測により確認するとともに、その伝導特性をシミュレーションで調べることで、用途に応じた、機能性  $\pi$  電子系の設計を行うことが目的である。我々は、シミュレーション及び理論解析を担当し、合成された分子物性と接合系の伝導特性を評価する。本研究では、我々が開発した電気伝導計算プログラムを用い、チオフェン系の多脚アンカーを持つ  $\pi$  共役分子のゼーベック係数計算を行い、その符号からキャリアを特定し、また、多脚化による力学的安定性、伝導物性変化を議論した。一連の結果は合成担当の研究グループにフィードバックされ議論しているところであるが、ゼーベック係数についてはその温度依存性においてホッピング伝導的な機構との共存も予測されるため、引き続き計測実験との議論を行っている。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 第一原理シミュレーション、有機エレクトロニクス材料

## 〔研究題目〕 高移動度を示す有機トランジスター中のキャリアの電子状態とダイナミクス

【研究代表者】 下位 幸弘 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 黒田 新一、田中 久暁 (名古屋大学)、  
下位 幸弘 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

有機電界効果トランジスタ (FET) のデバイス界面に注入された電荷キャリアを電子スピン共鳴 (ESR) 法によりその場観測することで、キャリアの電子状態やダイナミクスをミクロに解明する。高移動度を示すチエノチオフェン系など多様な低分子系および高分子系有機半導体を用いた FET を系統的に測定することにより、分子構造に依存したキャリアの波動関数やダイナミクスとその温度依存性、界面近傍の分子配向を決定し、有機 FET 界面における伝導機構の解明を行う。さらに、イオン液体などによる高濃度のキャリア注入を実現し、キャリア相互作用によるスピン転移や金属転移などを探索する。実験と理論の協力により研究を進めることで、高性能有機 FET の設計指針を得るとともに、有機 FET 界面における新規な物性の開拓を目指す。

本課題の産総研担当部分の研究として、平成26年度に以下の研究をおこなった。(1)密度汎関数法を用いて有機半導体の  $g$  値を理論計算を継続し、本課題の実験グループで得られた ESR 実験との比較を行った。低分子 C10-DNTT について、アルキル側鎖を含めた計算も行い、実験との共著紙上发表を行った。(2)有機結晶構造の理論的予測法を用い、有機半導体等の結晶構造予測を継続して行った。フェナセンについて化学構造式から実測の結晶構造を予測することに比較的良好な結果が得られた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 有機半導体、電子スピン共鳴、有機電界効果トランジスタ、結晶構造予測、密度汎関数法

【研究題目】 階層的分子モデリングによる生体膜融合過程の研究

【研究代表者】 都築 誠二 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 都築 誠二 (常勤職員1名)

【研究内容】

生体膜は生体と外界の境界として生体物質の拡散を防ぐだけでなく、生存に不可欠な種々の生化学反応の場となっている。生体膜が融合し、内部の生体物質が混じり合う現象は、細胞核、ミトコンドリアなどの細胞小器官の動態、ホルモン分泌、シナプス伝達などの生命現象に不可欠の過程となっている。生体膜はランダムに起こるものではなく、選択的に起こることで細胞内や外界との物質輸送に寄与している。生体膜の融合機構の解明は生命現象の理解にとって極めて重要であるが、その動作原理の詳細は十分に解明されていない。本研究では名古屋大学と協力し、分子動力学シミュレーションを用いて脂質二重膜リポソームの融合過程を解析することにより生

体膜融合過程の動作機構の解明をめざしている。生体膜融合機構の解明では脂質二重膜リポソームの動態の解明だけでなく、リポソームを形成する脂質分子の分子構造や分子間相互作用が生体膜融合に与える影響についても検討する必要がある。このため、*ab initio* 分子軌道法による脂質分子の相互作用の解析、全原子分子力学法を用いた脂質二重膜のシミュレーション、粗視化分子動力学を用いた脂質二重膜リポソームのシミュレーションからなる階層的モデリングを用いて動作原理の解明を行う。産業技術総合研究所では全原子分子動力学シミュレーションに用いる力場の精密化に必要な分子間ポテンシャルの解析を行った。高精度の *ab initio* 分子軌道法を用いて脂質のモデル分子の分子間相互作用エネルギーを計算し、相互作用の強さ、方向性、引力の原因を解析し、分子構造の変化が相互作用に与える影響を検討した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 生体膜融合、分子間相互作用、計算化学

【研究題目】 局所的短パルス加熱による材料プロセスでの現象解明とその応用

【研究代表者】 石川 善恵 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 石川 善恵 (常勤職員1名)

【研究内容】

ナノ粒子にパルスレーザーを照射することによって、サブマイクロメートルサイズで真球に近い形状をした粒子を生成することが確認されてきた。これまでの研究により、この球状粒子生成プロセスは、粒子がレーザー光を吸収して融点以上まで加熱されることで生成する熔融液滴が表面張力のため球形を維持しながら急冷され、球状粒子が生成すると考えられている。したがって、球状粒子の生成はレーザーフルエンス、波長、パルス幅、等多くのレーザーパラメーターが関係していると考えられる。そこで平成26年度では、これらのパラメーターが生成粒子に及ぼす影響を詳細に調査した。産総研が本研究で分担した内容としては、生成物の結晶構造やサイズ分布評価を行った。平成26年度の結果としては、レーザーのパルス幅が、サブマイクロメートルサイズの球状粒子生成閾値に影響を及ぼす可能性を見出した。さらに、パルス幅の長いレーザーを用いた場合、生成粒子サイズが大きくなる傾向が観察された。このような結果が得られた詳細な理由を明らかにするためには更なる検討が必要だが、適当なパルス幅を選択することによりサイズ制御が可能であることが明らかとなった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 サブマイクロメートル粒子、球状粒子、液中レーザー溶融法

【研究題目】 Molecular level studies of advanced phosphide catalysts with high activity in hydrodeoxygenation

【研究代表者】 阪東 恭子（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 阪東 恭子（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、バイオオイルを脱酸素により改質するプロセスに使用する担持金属触媒を対象とし、その担持金属触媒の脱酸素反応における活性サイト構造や脱酸素反応の反応機構を解明するため、反応条件下で X 線吸収端微細構造解析（XAFS）による観察を行い検討することを計画し実施した。特に、触媒の金属活性サイトとその上で反応しているバイオオイルのモデル化合物を同時に観察することにより、触媒の金属サイトの電子状態、配位構造とモデル化合物の反応性の相関を調べることを目標とした。H26は、 $\gamma$ -Valerolactone（GLV）を水素流通下、350℃、0.5 MPa の条件で担持 Ni 触媒を用いて反応を行ったときの in situ XAFS 測定を高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設（PF）BL9C にて実施した。測定には、通常の気相反応の in situ XAFS 実験に用いられるセルを使用し、窓材には125 マイクロメートルの厚みのポリイミドフィルムを使用し、反応系をすべて保温し、GLV をガス化することで、上記反応条件下での観察を実施することに成功した。今後は、加圧した状態での、前処理ガスから反応ガスへの切り替えが可能のように反応ラインに変更を加え、反応ガス導入直後、定常状態に推移する間の、過渡的な状態での時分割測定の実施を目指し検討を進める計画である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 バイオオイル改質、Ni 触媒、X 線吸収端微細構造解析、その場測定

【研究題目】 マイクロ非平衡場の制御による細胞サイズ分子ロボットの動的自己組織化と自律運動

【研究代表者】 瀧ノ上 正浩（東京工業大学）

【研究担当者】 原 雄介（ナノシステム研究部門）  
（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究ではマイクロメートルスケールの非平衡場を構築・制御し、分子を時空間的・動的に自己組織化させ、非平衡場のエネルギーを利用して自律的に駆動する「動的な細胞サイズ分子ロボットの創製と制御」を行うことを目的としている。本年度は、自律的に駆動する細胞サイズ分子ロボットの創製を目指して、化学振動反応である BZ（Belousov-Zhabotinsky）反応を力学的なエネルギーに自励変換して駆動する自励振動高分子の合成を行った。様々な主鎖構造を有する自励振動高分子を合成した結果、高分子鎖の自励振動挙動を主鎖構造によっても制御可能な知見を得た。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 非平衡場、分子ロボット、高分子ゲル、アクチュエータ、自己組織化

【研究題目】 生物はなぜ振動・同期するのか—酵母細胞における解糖系振動現象の生命機能の解明—

【研究代表者】 山口 智彦（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 山口 智彦（常勤職員1名）

【研究内容】

生命現象には振動・同期などの非線形現象が普遍的にみられる。生物にとって最も基本的なエネルギー獲得プロセスである酵母などの解糖系においても、代謝産物の細胞内濃度が振動的に変化することが知られている。しかし、酵母細胞が1個体として振動すること、および、集団として同期することの生物的機能や意義（生命機能）は不明である。本研究課題は、酵母細胞の解糖系振動・同期現象等におけるエネルギー獲得効率などを評価指標として、これらの生命機能と生物の生存戦略の関係を明らかにしようとするものである。産総研は研究分担者として、非線形ダイナミクスの視点から、エネルギー獲得効率の解明および生存戦略の解明に取り組む。

初年度の平成26年度は、研究課題代表者である横国大・雨宮らが、個々の酵母細胞の解糖系の振動を顕微鏡下で計測する実験系の開発に成功したので、その実験結果について考察した。酵母の個体数（密度）が大きくなると個々の酵母細胞の解糖系の振動位相の引き込みが早く、振動振幅も大きくなる傾向が顕著に認められた。これは非線形ダイナミクスの引き込み理論の予想とよく一致する。これらの実験結果と実験条件を参照しつつ、解糖系が振動することの酵素的意義について現在検討中である。

【分野名】 ライフサイエンス、情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 細胞、解糖系、振動、生命機能、非線形ダイナミクス

【研究題目】 生体膜における不均一構造のダイナミクス

【研究代表者】 関 和彦（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 関 和彦（常勤職員1名）

【研究内容】

フィラメントと分子モーターから成る細胞骨格では、ATP 加水分解による力が生成している。この様な、細胞内部の構造を人工的に再構成したゲル中における、マイクロレオロジーの実験結果によると、アクチン、ミオシンの力生成により平衡系とは異なった非平衡ゆらぎが観測されている。特に、受動的レオロジーと能動的レオロジーの比較により、散逸揺動定理の破れが示唆されている。散逸揺動定理の破れが、非平衡状態の非定常性などの様に関係しているのかを明らかにするために、ランジュバンシミュレーションを行った。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 自己組織化、不均一構造

**〔研究題目〕 水素結合型有機誘電物質における強誘電性光制御の理論**

**〔研究代表者〕** 下位 幸弘 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 岩野 薫 (高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所)、下位 幸弘 (常勤職員1名、他1名)

**〔研究内容〕**

いわゆる水素結合型強誘電体はその強誘電分極の大きさから圧電素子・光学素子として注目されているが、これまでの理論では水素の自由度に加え、せいぜいその他の構成原子の変位を考慮して強誘電性を議論するのみであった。本研究では、クロコン酸結晶などの有機分子結晶を具体的に想定して $\pi$ 電子分極と水素自由度の密接な関わりを初めて理論的に明らかにすることを中心的なテーマとする。特に、実験的に報告されている光励起後の高速な強誘電消失を、2次元水素結合ネットワークの上の光励起を契機とする集団的プロトン移動、あるいは、異種ドメイン成長と捉えた新概念を提案する。さらに、1次元およびその他の2次元水素結合型有機誘電物質において予想されるダイナミクスと比較することで、この概念の普遍性を検証するとともに幾何学的ネットワーク構造の違いから生じる差異について検討し、ひいては新たな光制御の可能性について考察する。

本研究課題の平成26年度の進捗は以下のとおりである。

- (1) 光励起後の強誘電消失現象を理解するために基底・励起状態の断熱的ポテンシャル面の解析を行った。主としてプロトンを結合軸方向の変位を主要な自由度として扱ったクラスター計算から、1次元的なドメイン形成が容易であることがわかった。一方、2次元的ドメイン形成は生成エネルギーがかなり高いことが示唆された。
- (2) バンド計算を用いてクロコン酸結晶の強誘電分極の値のベリ一位相による評価を行い、我々が考案した手法で分極の運動空間分布を求めたところ特に目立った異常性のないことを確認した。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** 強誘電体、クロコン酸、水素結合

**〔研究題目〕 水素結合型強誘電体における同位元素効果の分子論的起源**

**〔研究代表者〕** 立川 仁典 (横浜市立大学)

**〔研究担当者〕** 立川 仁典、長嶋 雲兵 (ナノシステム研究部門)、宇田川 太郎 (岐阜大学)、志賀 基之 (日本原子力研究所) (常勤職員1名、他3名)

**〔研究内容〕**

水素結合型強誘電体の多くは、軽水素 (H) を重水素 (D) に置換することにより、構造相転移温度が100K近くも上昇するが、その分子論的な機構は未だ解明

されていない。一方これまで申請者は、水素原子核の量子揺らぎにも適用可能な量子多成分系分子理論を構築し、数多くのシミュレーションを実現してきた。

そこで本研究課題では、1.量子多成分系分子理論を大規模系に拡張することにより、重水素置換に伴う、水素の量子揺らぎ、有効ポテンシャル変化、構造変化、電子状態変化、を解析し、分子論的起源の解明に挑戦する。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** 水素結合型強誘電体、多成分系分子理論、H/D 同位体効果

**〔研究題目〕 分子アーキテクニクス：単一分子の組織化と新機能創成**

**〔研究代表者〕** 浅井 美博 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 浅井 美博 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

文部科学省・科研費・新学術領域研究「分子アーキテクニクス：単一分子の組織化と新機能創成」の総括班課題である。総括班活動を行った。新学術領域「分子アーキテクニクス」では整流特性等を示す単一分子素子のネットワークを構築し、ナノエレクトロニクスに特徴的な電気特性のノイズやばらつき現象を理解し、それらに対してロバストなエレクトロニクスを実現する為の基礎学理を構築する事を目標として掲げている。その為に、自然ノイズを利用した (パワー投入が不要な) 確率共鳴や、シナプス模倣素子を実現する為の材料学理の構築などを行う。この目標に向かって、化学、物性物理、情報科学、電子工学等の異分野の専門家が結集しているのが本領域であり、異分野間の研究協力をはかる為の企画や異なる分野の専門家間の調整を行った。特に、これらの問題における材料側の問題と回路側の問題に関して、電子工学・情報工学分野の領域内研究者との議論を行い、問題の所在とその連関を抽出し、今後の研究方針・方向性を定めた。また本領域の関わる研究分野において研究会の主宰・運営などを通してその振興活動を行った。

**〔分野名〕** ナノテクノロジー・材料・製造

**〔キーワード〕** 分子エレクトロニクス、ナノエレクトロニクス、ノイズ、ばらつき、シナプス模倣、脳型計算、確率共鳴

**〔研究題目〕 構造化ゲルと化学反応場の協働による運動創発**

**〔研究代表者〕** 有村 隆志 (ナノシステム研究部門)

**〔研究担当者〕** 有村 隆志、向井 理 (常勤職員1名、他1名)

**〔研究内容〕**

計画班として参画し、発足から3年目となる新学術領域研究「分子ロボティクス」は、個別の材料やデバイスを「いかにシステムとして組み上げるか」に重点を置いて、人工的な分子システムを構築する方法論の創成を目



指す新しい学術領域である。サーカディアンリズムを有する生体は、外部から受け取るエネルギーと生体内で散逸するエネルギーが一定の均衡を保つことで、細胞レベルから一個体に至るすべての階層において、自律神経、膜電位、心臓拍動等の自律的機能を有するアクティブゲルである。今年度は、信号分子の複雑反応系を封入可能なマイクロスケールのアクティブゲルの分子システム設計・構築を行った。静電相互作用を付与したアクティブゲルを、気液界面上での自己集合させることで、2次元平面上に組織化することに成功した。組織化されたアクティブゲルの表面部位が、ナノスケールの特定ピグメントに対して選択性を示すことを見出した。アクティブゲル上のセルシステムについてもミリサイズの実装系を構築し、論理演算とアクティブゲル同士のコミュニケーションを試みた。安価なフェロインを触媒とするペロウソフジャボチンスキ反応型ポリマーゲルを一次元反応場でクリープ移動させる反応条件を見出した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 分子ロボティクス、フェロイン、アクティブゲル、レオロジー制御、ペロウソフジャボチンスキ反応、概日リズム

【研究題目】 キラルプレステッド酸触媒による制御システムの理論的検討

【研究代表者】 内丸 忠文 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】 内丸 忠文、都築 誠二 (常勤職員2名)

【研究内容】

プロリンの誘導体である有機分子触媒ジアリールプロリノールシリルエーテルは、多くの有用な有機反応に対して優れた不斉触媒となることが報告されている。また、同触媒を用いる不斉触媒反応は、医薬品や医薬品候補化合物の合成においても鍵反応として巧みに利用されている。しかしながら、同触媒の反応における位置選択性や立体選択性、あるいは不斉識別のメカニズムに対する理解は必ずしも充分ではない。そこで、実験的手法による解析と並行して、計算化学的手法による解析を行うことによって不斉触媒反応における制御機構を明らかにすることを試みる。すなわち、ジアリールプロリノールシリルエーテルの不斉触媒反応システムの制御因子を分子レベルで理解し、触媒の性能向上や目的に即した触媒の創製に向けた設計指針を導き出すことを目指している。

26年度には、ジアリールプロリノールシリルエーテルの不斉触媒反応の反応中間体について、計算化学的手法による詳細な構造解析を行った。さらに、同触媒を用いる不斉3員環合成反応や不斉付加反応のメカニズムの解析を行い、これらの不斉反応の機構に関する新たな知見を得た。また、触媒反応の選択性には弱い分子間相互作用も影響あたえることがあるが、その詳細はよく分かっていない。そこで、硫黄やテルルなどのカルコゲン原子を含む分子の分子間相互作用の解析を行うとともに、

$\pi/\pi$ ,  $\text{CH}/\pi$  などの分散力を主な原因とする弱い分子間相互作用を密度汎関数法で解析する手法について検討した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 有機分子触媒、計算化学、不斉触媒、不斉反応

【研究題目】 スピントルク発振を用いた、高時間・高空間分解能をもつ電子スピン共鳴法の理論開発

【研究代表者】 荒井 礼子

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 荒井 礼子 (他1名)

【研究内容】

デバイスの微細化に伴い、欠陥や不純物原子に起因する不対電子の同定・定量・ダイナミクスの解明に関する重要度が増してきている。不対電子の検出には電子スピン共鳴法が有用であるが、デバイス動作中の局所的な分析方法は未だ確立されていない。本研究ではスピントルク発振を用いることで時間・空間分解能を向上させ、デバイス動作中の特性評価を可能にする新規電子スピン共鳴法の理論開発を行う。本年度はスピントルク発振器の発振層の磁化分布を調べるマイクロマグネティクスシミュレーションを行うにあたり、垂直磁気異方性を有する円形磁性薄膜中の磁化が取りうる安定な磁化状態を調べた。垂直磁気異方性は有効的には膜厚の増加と等しく、より薄い膜厚でもボルテックス型の磁化配置が生じることが分かった。また異方性が大きい場合には特殊なボルテックス型の磁化配置が現れることが分かった。本研究は研究代表者が JST「さきがけ」に採択されたことにより科研費応募資格を喪失したため H26.9に廃止手続きを行った。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 スピントルク発振素子

【研究題目】 熱活性領域におけるスピントルク磁化ダイナミクスの理論的研究

【研究代表者】 谷口 知大

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 谷口 知大 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究ではナノ強磁性多層膜における磁化ダイナミクスを記述する理論の構築に取り組んでいる。強磁性体内の磁化ダイナミクスは本質的に非線形であるうえに、熱活性によってランダムさが加わるため、発振や確率的反転といった多様な物理現象が発現する。このような物理現象を統一的に記述する理論を構築することは非線形科学という学術面とナノデバイス実現を目指した応用面の両方から重要である。26年度は主に発振現象に焦点を当てた理論を創り、発振素子のクオリティ値や発振線幅

の理論予測・評価を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントルク、熱活性、理論、ナノ構造

【研究題目】電流により誘起される磁界作用トルクを用いた磁気高周波検波素子の高感度化

【研究代表者】松本 利映

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】松本 利映 (常勤職員1名)

【研究内容】

高周波電流に対して検波作用を示す磁気トンネル接合素子はスピントルク・ダイオード素子と呼ばれる。本研究では、スピントルク・ダイオード素子を高感度化させることを目指している。平成26年度は MgO-磁気トンネル素子のスピントルク・ダイオード (STD) 効果測定とマイクロマグネティック・シミュレーションを行い、自由層と参照層の磁化の逆位相振動を利用することで高周波数・ゼロ dc バイアスでの検波感度向上が可能であることを示した。さらに逆位相振動に必要な条件を調べるために、参照層の磁化ダイナミクスによる STD 特性を表す解析式を導出した。解析式から、自由層とのスピントルクを介した相互作用よりも固定層とのそれが大きい方が、逆位相振動に有利であるという知見が得られた。同時に解析式を用いて、実験で得られるダイオード・スペクトルを解析することにより参照層に働くスピントルクを介した相互作用の大きさの定量的な評価が可能であることを示した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントロニクス、スピントルク・ダイオード、磁気共鳴研究番号：M207

【研究題目】電子スピンを利用する円偏光レーザの開発

【研究代表者】揖場 聡

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】揖場 聡 (常勤職員1名)

【研究内容】

電子のスピン自由度を利用した半導体レーザ“スピンレーザ”は円偏光のコヒーレント光を出力できるため、次世代の偏光多重通信や量子暗号、更にはキラル分子認識などに応用できる可能性を秘めており、その技術発展が期待されている。本研究では、半導体量子構造中のキャリア・スピンドイナミクスを明らかにすることで、スピンレーザの基幹構造であるスピン LED の高性能化を目指している。本年度は一般的な半導体材料である GaAs (100) 量子井戸中のキャリア・スピンドイナミクスを詳細に評価し、その成長条件依存性を明らかにした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピン、円偏光、レーザ、スピン緩和

【研究題目】電界による磁気光学効果制御技術の開発

【研究代表者】野崎 隆行

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】野崎 隆行 (常勤職員1名)

【研究内容】

本プロジェクトでは、強磁性超薄膜の磁気光学特性を電圧によって変化させる新しい制御法を開発し、電界駆動型磁気光学空間光変調器等への適用を目指す。

平成26年度は電界効果を大幅に改善することを目的とした高い比誘電率を有する絶縁層と超薄膜磁石の多層構造作製に取り組んだ。特に室温で数百におよぶ比誘電率が期待されるチタン酸ストロンチウム (SrTiO<sub>3</sub>) に注目し、鉄ボロン (FeB) 磁性層との接合において、成長条件と磁気特性の関係を系統的に調査した。その結果、チタン酸ストロンチウムの酸化状態と FeB に誘起される界面磁気異方性が密接に関係していることを明らかにし、条件の最適化により垂直磁化 FeB 膜の形成が可能であることを見出した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントロニクス、磁気光学効果、電圧制御

【研究題目】磁性金属における電圧誘起磁化反転の低電圧化に向けた研究

【研究代表者】塩田 陽一

(ナノスピントロニクス研究センター)

【研究担当者】塩田 陽一 (常勤職員1名)

【研究内容】

スピントロニクス分野では現在、次世代不揮発メモリデバイスとして MRAM の開発が進んでいる。本研究では、現在主流の電流駆動型の書込み手法に比べて、格段に低消費電力化が期待できる電圧駆動型の書込みの電圧誘起磁化反転の低電圧化に向けて研究を行っている。

平成26年度は垂直磁化型のトンネル磁気接合素子において、自由磁化層の材料を FeB に固定し、キャップ層の材料として Ta,W,Ir にして電圧効果を評価し、W が一番熱耐性が良く、電圧誘起磁化反転の観測も行うことに成功した。今年度はシミュレーション計算とも組み合わせ低電圧化に最適な条件の探索を行う。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントロニクス、磁化反転、電圧誘起異方性制御

【研究題目】スピエレクトロニクス材料の探索

【研究代表者】佐藤 和則 (大阪大学)

【研究担当者】野崎 隆行 (ナノスピントロニクス研究センター) (常勤職員1名)

【研究内容】

本プロジェクトでは、理論研究者と密に連携することにより、電界による磁気異方性制御の物理起源解明と異

方性変化効率の増大を目指している。産総研グループは理論予測の実証を目的とした実験を担当している。電界磁気異方性制御では界面制御が重要となるが、これまでの素子ではバッファ層などに用いる非磁性材料が超薄膜強磁性層／絶縁層界面に偏析し、効果を弱めている可能性が指摘されている。平成26年度は、界面清浄性を高めることを目的としたクロム（Cr）バッファ層／超薄膜鉄（Fe）／酸化マグネシウム構造における電圧磁気異方性変化を調査し、室温で大きな異方性エネルギー変化が誘起されることを見出した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 スピントロニクス、電界効果、垂直磁気異方性

【研究題目】 電氣的スピン変換

【研究代表者】 白石 誠司（京都大学）

【研究担当者】 齋藤 秀和、揖場 聡（ナノスピントロニクス研究センター）（常勤職員2名）

【研究内容】

半導体中の電子スピンを使用した新規スピンドバイスとして、スピンと光の相互作用を活用する新たな半導体レーザ“スピンレーザ”の開発を行っている。

通常の半導体レーザは直線偏光と呼ばれる光でレーザ発振するが、スピンレーザは強磁性体電極からスピン偏極した電子を利用することにより円偏光と呼ばれる職種な光でレーザ発振する。即ち、スピンレーザでは半導体中のスピン偏極状態を光の偏光としてコヒーレントな光信号に変換できる。特長としては、片側のスピン状態の電子のみがレーザ発振に寄与するため、省エネルギー（発振閾値の低減）が期待できる。また、次世代の偏光多重通信や量子暗号技術、更には、キラル分子認識技術やディスプレイなど広範囲に応用できる可能性を秘めており、その技術発展が期待されている。

今年度はスピンレーザの発光層として用いられるGaAs/AlGaAs量子井戸の結晶成長条件の最適化を筑波大学大野裕三教授と共同で行った。具体的には、結晶成長温度と材料供給量を系統的に変化させた試料を作製し、表面観察、発光特性（フォトルミネセンス）、電子寿命および電子スピン寿命の測定より量子井戸特性を評価した。その結果、従来レーザ応用に最適と考えられていた作製条件が、必ずしもスピンレーザには適さないことが明らかとなった。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 スピンレーザ、スピン注入、スピン・光相互作用

【研究題目】 高周波スピントロニクスの研究

【研究代表者】 鈴木 義茂（大阪大学）

【研究担当者】 今村 裕志、山路 俊樹、谷口 知大（ナノスピントロニクス研究センター）

（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

強磁性体を含むナノ構造にスピン流を注入することで生じる高周波（GHz から THz）領域におけるスピンの歳差運動を利用する「高周波スピントロニクス」の基礎理論を確立する。このことにより、高性能トンネル磁気抵抗素子をベースとした高出力・狭幅高周波発振器、半導体を凌駕する感度をもつ検波器、単一の超常磁性微粒子が作るダイポール磁場を検出できるような高感度磁気センサーの実現を目指す。

今年度は、高周波電圧印加による磁化反転アシスト効果について理論的に精査し、大きなアシスト効果を得るための条件を明らかにする。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 高周波、スピントロニクス、スピントルックダイオード

【研究題目】 高周波スピントロニクスの研究

【研究代表者】 鈴木 義茂（大阪大学）

【研究担当者】 久保田 均、福島 章雄、薬師寺 啓、野崎 隆行、甲野藤 真、松本 利映、谷口 知大、今村 裕志（ナノスピントロニクス研究センター）（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

本研究では、MgO トンネルバリアを有する強磁性トンネル接合をベースとする、マイクロ波発振器および検波器の基礎的なメカニズムの解明に関する研究を行っている。素子を応用する場合には、発振出力の増大、発振周波数の揺らぎの低減が必須であるが、その手法はまだ確立されていない。本研究では、複数素子間の位相ロック現象に着目し検討を行っている。H26年度は、渦巻き状磁化の複数の発振素子間における相互位相同期について実験を行い、基礎的なデータを得た。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 スピンダイナミクス

【研究題目】 スピントランジスタのための Ge/Si ヘテロ構造への高効率スピン注入・検出

【研究代表者】 齋藤 秀和

（ナノスピントロニクス研究センター）

【研究担当者】 齋藤 秀和、クンロク・チョン、ロナルド・ヤンセン（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

将来に亘る継続的なエレクトロニクス技術の発展のために、より一層の素子の微細化を可能とする新たなテクノロジーが求められている。これを可能とする技術として、スピントランジスタに代表される半導体をベースとしたスピントロニクス素子・技術が注目されている。半

導体中におけるスピン偏極電子の注入、制御および検出は半導体スピンドバイスの基盤技術であるため、近年、最重要半導体である Si および Ge 基デバイスにおいて多くの研究が報告されている。しかしながら、スピン注入・検出効率およびスピン制御に関しては、まだデバイス化レベルには達していない。本研究では、Si および Ge においてスピン注入・検出効率の改善および新奇スピン制御技術の確立を目的とする。

従来、強磁性体から半導体へのスピン入力には、専らスピンを電荷（電流）と共に直接流す手法が用いられてきた。ここで、もし電流を用いることなくスピン情報を半導体に注入することができれば、スピントランジスタの更なる省電力化に繋がるはずである。これまでの研究により、電流フリーのスピン注入技術として、強磁性電極と Si 間に熱勾配を設けるだけで Si へのスピン注入が実現される「スピントネル・ゼーベック効果」を見出すと共に、その詳細を調べてきた。本年度は、スピン注入効率に関して、従来手法である電流を用いた場合と、新方式である熱を用いる場合の比較検討を行った。その結果、熱によるスピン注入効率の方が非常に高くなっている可能性を明らかにした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントランジスタ、スピン注入

【研究題目】励起子自由度を制限できる分子配列構造に基づいた光学的機能の創出

【研究代表者】丹下 将克

(ナノチューブ応用研究センター)

【研究担当者】丹下 将克 (常勤職員1名)

【研究内容】

カーボンナノチューブ (CNT) は、その多様なチューブ構造によって、特性が劇的に変化する。したがって、CNT 単体を材料として利用する場合だけでなく、CNT に異種物質を内包させて、それを複合材料として利用する場合にも、チューブ構造を制御する方法が重要な基盤技術となる。本研究では、物質内包には適しているものの、構造選別が困難であった直径の大きな CNT において、CNT の構造識別を可能にするポリマーラッピング技術の向上を目指すと共に、内包分子の特定の配列構造に基づいた新機能の発現に向けて、研究を進めてきた。

フルオレン・ピリジン交互コポリマー (PFOPy) によるポリマーラッピング技術において、異なる有機溶媒を利用した場合に生じるポリマーの構造選別能力と CNT のモルフォロジー、さらに、その CNT の発光特性の違いを原子間力顕微鏡や分光学的手法を用いて評価した。結果として、CNT のモルフォロジーと発光特性との関係性を示し、PFOPy ラッピングにおける溶媒効果を明らかにした。また、発光有機物質であるペリレンを内包した CNT においては、規則的なペリレン2量体構造が形成されたときに、室温で特異な発光が生じるこ

とを明らかにしてきたが、その発光寿命が、2量体構造のペリレン結晶やペリレンダイマーにおいて低温で観測される自己束縛状態からの発光である Y (Yellow) 発光と同程度であることも明らかにした。本研究成果は、発光材料分野で重要課題である凝集による励起エネルギー失活や自己吸収による消光を克服できる可能性を示唆しており、今後、この2量体構造の選択的形成に向けた研究展開が期待される。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】カーボンナノチューブ、構造制御技術、低次元分子集合体、発光材料

【研究題目】高効率光電変換素子に向けたナノアンテナ構造の開発

【研究代表者】岡崎 俊也

(ナノチューブ応用研究センター)

【研究担当者】岡崎 俊也、生田 美植

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究ではグラフェンのナノアンテナとしての基本特性を、主に分光法によって探索し、アンテナ効果をもちいた新規光電変換素子に最適な条件を明らかにすることを目的としている。平成25年度において、グラフェンナノリボンについて、遠赤外吸収スペクトルの形状依存性が存在することを見出している。しかしながら、グラフェンの遠赤外吸収はキャリア密度に大きく依存しており、キャリア密度を制御して分光測定する必要があることがわかった。そこで、平成26年度は主にグラフェン試料にゲート電圧を印加しながら、遠赤外スペクトル測定することができるように、測定装置の改良をおこなった。具体的には、ゲート電圧を印加しながら遠赤外吸収測定と電流-電圧特性を同時に測定できるように試料ホルダを改良した。そして、完成した試料ホルダをもちい、単層グラフェンの遠赤外吸収スペクトルのキャリア密度依存性を測定した。これまでの報告と一致するかどうか確認実験を行ったところ、グラフェンリボンへのキャリア注入のための手段を講じる必要があることが判明した。そこで、試料と同じグラフェンをもちい、電子線リソグラフィで電子のパス（電極）を作製し、測定をおこなった。しかしながら、作製した試料に対し、印加可能なバイアス電圧の領域ではディラック点を見出すことが難しかった。作製過程を見直した結果、電子線リソグラフィによる成形加工後の洗浄を十分におこなう必要があることが判明した。現在は、さらに真空中で不純物を十分に取り除くことによって、安定してディラック点を検出することに成功している。そこで、最終年度ではグラフェンナノリボンの遠赤外吸収ピーク位置のキャリア密度依存性を測定するとともに、グラフェンナノリボン形状の依存性を詳細に明らかにし、グラフェンナノリボンのアンテナ特性を明らかにする。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 カーボンナノチューブ、遠赤外、THz、アンテナ

【研究題目】 透過電子顕微鏡法による金属有機構造体およびその分子内包複合構造の構造解析

【研究代表者】 劉 崢

(ナノチューブ応用研究センター)

【研究担当者】 劉 崢 (常勤職員1名)

【研究内容】

金属有機構造体 (MOF) は金属と有機化合物のハイブリッド材料であり、金属錯体または酸化物を頂点に、剛直な有機配位子 (linker) を辺とする三次元のフレームワーク構造を持つ、周期性の高い錯体結晶である。規則的配位結合により空隙が構築され、これにより活性炭やゼオライトを遥かに超える高い比表面積を持つ多孔体材料として機能する。金属イオン及び有機配位子を選択することで、空隙の孔径や内表面の性質が自在に調整可能であり、目的に合わせた高表面積および機能が得られることから、ガス貯蔵材料・吸着分離材料・導電性材料・磁性材料・不均一系触媒など多くの応用が期待されている。また、単なる MOF の多孔体構造の応用のみならず、MOF の制限された空間内に分子を内包させて作る特異的凝集構造の形成と、それに伴う新規物性の発現は基礎科学・応用の両面において興味深いテーマである。MOF およびその内包分子の構造制御や応用のためには、その空隙形状や結晶欠陥および内包分子の配列などの構造の理解が必須である。

電子顕微鏡法による (MOF) の構造解析を行うためには、電子線ダメージに対する対処法の確立が必要である。昨年度では、いくつかの MOF 試料を用い、電子線ダメージを低減し、かつ必要な空間分解能を得るための最適な TEM 観察条件を明らかにした。本年度では、昨年度で得られた最適条件を基にして、更に多様な MOF の構造解析、特に新規に合成された MOF 材料の構造を決定した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 電子顕微鏡、MOF 材料、構造解析

【研究題目】 生体内分解可能なナノカーボンを用いた標的癌治療薬剤の創製

【研究代表者】 張 民芳

(ナノチューブ応用研究センター)

【研究担当者】 張 民芳 (常勤職員1名)

【研究内容】

カーボンナノチューブ (CNT) やナノホーン (CNH) などのナノカーボンを使用した医療応用研究が盛んになっている。しかし、ナノカーボンは毒性が低いものの、肝臓や脾臓などの組織に集積され易いことが分かっている。実用化するには、長期にわたって人体の健康を守る

ことが大前提になるため、ナノカーボンは組織内で分解、あるいは、体外へ排出されなければならない。本研究では、CNH を用いて、ナノカーボンの分解を促進する酵素などを化学修飾し、生体内で分解され体外へ排出されやすい、CNH のドラッグデリバリーシステム (DDS) を構築するのが目的である。

これまでは、ヒト好中球酵素 (MPO) や、植物由来の酵素 (HRP) 及びヘモグロビンなどを用いて、CNH の生分解可能性を調べ、最適な生分解促進酵素を見出した。昨年度において CNH の細胞内の分解可能性を調べるため、以前開発したナノカーボンの細胞への取り込み量の近赤外光吸収測定法を検討し、最適な測定プロセスを確定した。そして、マウスの RAW264.7 とヒト由来の THP-1 マクロファージ細胞を用いて、細胞内 CNH 量の経時的な変化から、CNH の細胞内の分解可能性を調べた。その結果、Raw 264.7 と THP-1 マクロファージ両方とも、10日 で取り込まれた CNH の約30% が分解されたことが分かった。今後は、分解促進に最適な酵素などで CNH を修飾し、動物の初代免疫細胞を用いて、CNH の細胞内での分解可能性を調べる。

さらに、合成したナノカーボン複合体の毒性や、分解可能性及び標的癌治療効果を評価する。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノカーボン、生体内分解、ドラッグデリバリーシステム (DDS)

【研究題目】 不規則構造内のリチウム単原子の電子分光によるその場検出

【研究代表者】 佐藤 雄太 (ナノチューブ応用研究センター)

【研究担当者】 佐藤 雄太 (常勤職員1名)

【研究内容】

物質中に存在するリチウム等の軽元素の原子・イオンを直接検出し、空間的分布と化学状態をその場で明らかにする分析手法の確立を目的として、透過電子顕微鏡 (TEM、STEM) 観察および高感度の電子エネルギー損失分光 (EELS) 測定を実施している。とくに低次元構造や非晶質、結晶中の構造欠陥や粒界にランダムに存在する、個々の原子の EELS スペクトル像による可視化の実現を目標としている。具体的には、一次元構造体であるカーボンナノチューブ (CNT) や、二次元物質であるグラフェンなどを対象として、その内部や層間に挿入した異種元素の EELS イメージングを行い、周辺構造とくに欠陥との相互作用を明らかにする。同時に、検出条件の最適化や定量性の検討を行い、幅広い分野に応用可能な分析手法としての確立を目指している。

本年度は、ニッケルや銅など原子番号の比較的小さい遷移金属を挿入・担持した CNT やグラフェンの TEM・STEM 観察を行い、ナノカーボン材料中の異種元素の単原子検出のためのデータ収集と解析を進めた。

観察された金属原子の存在部位をもとに、ナノカーボン構造とこれらの異種原子の相互作用について考察を進めた。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 電子顕微鏡、ナノカーボン

〔研究題目〕 化学修飾ナノカーボンを活用した新規細胞機能制御技術の開発

〔研究代表者〕 都 英次郎 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 都 英次郎 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

近年の細胞研究の発展はめざましく、特にオプトジェネティクスを代表とする光を活用した細胞機能制御技術に注目が集まっている。オプトジェネティクスを用いると、光のスイッチを切り換えるだけで細胞同士の接続や特定の細胞集団の機能を操作できるため、未知の細胞ネットワークを解き明かし、病気の治療にも役立つと期待されている。しかし、基本的に、紫外光や可視光などの生体透過性の低い光を用いるため、生体深部にある細胞の機能を制御できない。また、ウイルスを用いて遺伝子改変を行う必要があるため、医療への応用は難しいという課題がある。本研究では、生体透過性の高い近赤外レーザーにより熱と活性酸素種を発生する有機色素とカーボンナノホーン (CNH) からなる分子複合体 (ナノモジュレーター) を作製し、この分子複合体を用いて生きた細胞の機能を操作できる新たな光制御技術を開発した。今回開発したナノモジュレーターは CNH 表面に近赤外蛍光色素を結合させたもので、水溶液中に分散させ、生体透過性の高い近赤外レーザー光を照射すると、熱と活性酸素種を効果的に発生する。この熱・活性酸素種発生システムにより、細胞へのカルシウムイオン流入や細胞膜に流れる電流を遠隔制御でき、生体深部における一つの細胞の機能制御技術が実現できる。また、脳疾患の分子・細胞レベルでの病態メカニズムの解明や新たな治療法を開発するためのツールとして期待される。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 カーボンナノチューブ、光発熱特性、近赤外光、細胞

〔研究題目〕 低温合成した窒素ドーピンググラフェンの局所領域における伝導機構の解明

〔研究代表者〕 沖川 侑揮

(ナノチューブ応用研究センター)

〔研究担当者〕 沖川 侑揮 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

グラフェンは原子層の極限の薄さとたいへん大きなキャリア移動度を特徴とする炭素材料である。この特徴を生かして電子デバイスや触媒として利用するためには、ドーピングによる導電性やバンドギャップの制御法の開発が必須である。本研究では、プラズマ CVD で合成す

るグラフェンへの窒素ドーピングの制御法確立と、ドーパント周辺の局所領域における伝導機構の解明を行い、グラフェンの電子デバイスや触媒としての工業利用の可能性を開拓することを目標としている。

H26年度は、プラズマ CVD 合成装置に差動排気システムおよび質量分析装置を組み合わせることで、グラフェン合成中のガス分析を実現した。この技術により、グラフェン合成における窒素ドーピング量を正確に把握かつ制御する指針が得られると考えられる。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 グラフェン、窒素、ドーピング、差動排気システム

〔研究題目〕 高速測定によるナノ構造および電子状態解析

〔研究代表者〕 越野 雅至

(ナノチューブ応用研究センター)

〔研究担当者〕 越野 雅至 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

現代社会は、様々な化学物質、天然由来物質により支えられている。環境・資源・エネルギー・エレクトロニクス・医療といった様々な分野で多くの物質が作り出され利用されている。このように適材適所で利用される数々の物質は、その化学結合状態、集合状態の違いにより様々な機能を発現する。これらの物質がどのように機能するか、さらに目的に合った機能を持たせるにはどのように改良すればよいかを知るためには、まずは物質の構造を正しく理解するとともに、その物質が形成される際のメカニズムを解明し、外的要因による構造変化の特性などを把握し見極めることが重要になってくる。本研究提案では、原子や分子一つ一つを可視化する技術の一つである高分解能走査透過型電子顕微鏡 (STEM) と、元素の識別、固有の結合状態などの情報を得ることのできる電子線エネルギー損失分光法 (EELS) を組み合わせて、ナノ材料、ナノ構造体のダメージレス構造解析および電子状態解析を行う。特に電子線に敏感な有機分子集合体、生体分子などの構造評価・電子状態評価を可能にするために暗視野 (ADF) 像と EELS の高速同時測定を実現する技術を開発する。また、高感度・高速測定をリアルタイムで連続して行い、液相あるいは固相—液相からミセル、ベシクルといった自己集積型分子集合体が形成される過程などを詳細に解明する。このような分子集合体脂質膜は、内部に液体および各種の薬剤となる分子を取り込むことが特徴であるが、その機能発現には膜が一定条件で壊れていく必要がある。この膜が破壊されるメカニズムについても分子・原子レベルでの解釈が重要であり、高感度・高速リアルタイム測定により、時間軸およびエネルギー軸を合わせた多次元解析法の開発を目指す。

本年度は、高速 ADF-EELS 情報取得技術の確立、原

子ラベリングの検討、温度やエネルギーなどの外部環境変化に対する分子の動きの解析、超薄膜、真空への試料固定による超高感度測定を行った。そのうちグラフェン、h-BNなどの低次元物質において、高温観察により1原子イメージングと分光が可能となるとともに、種々のフラーレン分子を区別する1分子イメージングと分光も達成し、これらの実験データを理論計算による検証し、4本の共著論文を報告した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 電子顕微鏡、単原子、単分子、グラフェン、h-BN、フラーレン、ナノチューブ

【研究題目】 ナノスペースを利用した低次元材料の原子スケール評価と応用に向けた要素技術開発

【研究代表者】 千賀 亮典（ナノシステム研究部門）

【研究担当者】 千賀 亮典（常勤職員1名）

【研究内容】

物質を小さくして、平らな二次元や細長い一次元へと構造を変化させると、様々なおもしろい性質が現れます。こうした物質は低次元材料と呼ばれ幅広い分野で応用が期待されています。ところが実際にはどうしてそのような性質が得られるのかわかっていない部分も多くあります。これを理解するためには原子レベルで見た材料の構造と性質をしっかりと結びつけて考える必要があります。この研究では特にこれまで評価が難しかった一次元の材料に焦点を当て、応用に向けた要素技術を開発していきます。

H26年度はカーボンナノチューブという材料が持つナノスケールの空間に、異なる原子が交互に並んだイオン結晶性の原子鎖を作ることに成功しました。異種の原子が規則正しく一列に並んだ構造を実験的に報告したのはこれが初めてになります。また低加速電子顕微鏡を使って元素ごとの動きや性質の違いを明らかにすることに成功しました。これらの成果はこのイオン結晶性原子鎖を光量子デバイスという新しい技術に応用できる可能性を示すものでした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 低次元材料、カーボンナノチューブ、ナノスペース

【研究題目】 ナノカーボンによるリソソーム膜障害と毒性発現メカニズム

【研究代表者】 湯田坂 雅子

（ナノチューブ応用研究センター）

【研究担当者】 湯田坂 雅子、横山敦郎（北海道大学）

（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

ナノカーボンの応用研究あるいは実用化が進んでいるが、ナノカーボン（NC）の毒性に関しては依然として

はっきりしていない。NCは投与経路によらず、最終的にはマクロファージに取り込まれるので、本研究では、それと毒性発現の関係、あるいはNCがマクロファージに取り込まれないようにする手法を検討している。

カーボンナノホーン（CNH）を対象にして研究を進めており、CNHが大量にマクロファージに取り込まれ、リソソームに蓄積されると、リソソーム膜が壊れカテプシンが漏出し、漏出カテプシンはミトコンドリア障害を惹起し、活性酸素産生を促進することを見出した。また、ミトコンドリアの異常により、細胞アポトーシスが引き起こされることも見出した。

細胞死に至る可能性が高いので、細胞死を避けることが必要となり、それを可能とするためにはNCの表面被覆材が重要となる。これまでのNC表面被覆材ではこの要請を満足することが不可能であるため新規被覆材を探索し、現在試験中である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノホーン、毒性、マクロファージ

【研究題目】 酸化カーボンナノチューブ近赤外蛍光プローブ

【研究代表者】 岡崎 俊也

（ナノチューブ応用研究センター）

【研究担当者】 岡崎 俊也、飯泉 陽子、永好 けい子

（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究では、高発光効率という特長を有する酸化CNTを利用した近赤外プローブ開発を目的とした。具体的には、臨床検査（イムノアッセイ）時に蛍光プローブとして使用することを想定し、抗体と結合させたのちに、免疫沈降反応をおこない、実用上の目標値である1pMのタンパク質検出の可能性を短期間で明らかにすることを目指した。

まず、酸化CNT合成法について、大気中でCNTの薄膜に紫外光を照射することにより、従来得られているものとは別種の酸化CNTを合成できることを発見した。この酸化CNTは従来法で得られる酸化CNTよりも長波長で発光した。カイラル指数(6, 5)のCNTに対して適用した場合、1300nm付近で発光し、生体中の蛍光プローブとしては最適であることが分かった。

そして、合成した酸化CNTをポリエチレングリコール（PEG）をもちいて水溶化し、抗体分子であるイムノグロブリンG（IgG）を化学結合させた。さらに、Gタンパクとの免疫沈降反応をおこなったところ、未酸化CNTと同様に非常に効率よく反応することが確認できた。さらに観測された蛍光強度から、本酸化CNTプローブは1pMの検出が可能であることがわかった。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 カーボンナノチューブ、近赤外、臨床検査、蛍光イメージングプローブ

〔研究題目〕有機半導体分子の合成とナノ組織化による高効率光電変換

〔研究代表者〕中村 栄一（東京大学）

〔研究担当者〕松尾 豊（東京大学）、佐藤 佳晴  
（株）三菱化学科学技術研究センター）、  
越野 雅至（ナノチューブ応用研究センター）（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

本研究は研究代表者が JST の ERATO プロジェクトで開発した有機薄膜太陽電池（ERATO 太陽電池）を基盤とし、最先端学術研究を通じた社会貢献をめざし、研究指針「発想を新反応に求めて機能分子を探索する」という考えに基づいて行うものである。（1）有機半導体の設計・合成および（2）分子組織体のナノレベル構造制御法を開発し、（3）高効率有機太陽電池実現に結実させることを目的としている。なお、本研究では平成22年度中に7%、研究終了時には10-12%の光電変換効率を持つ有機太陽電池を実験室レベルで実現するという数値目標を掲げて開始したが、ERATO 太陽電池の技術移転先であり本研究の共同研究者である三菱化学が2012年に効率11%を達成した。

産総研では、有機薄膜太陽電池の半導体有機物の相分離の初期過程の解明に取り組んだ。有機分子の結晶化と相分離はデバイス設計でもっと重要な課題だが、その機構についての知見は全く知られていない。そこで、固体表面の狙いの場所に有機分子一分子を結合させ、その一分子を結晶化のタネとして用い、原子解像度の TEM 観察を産総研で行った。主に東大側で実験の組み立て、解釈などが行われ、結晶核生成の直前の無秩序性分子クラスターの観察と数とサイズの定量化を行った結果、タネ分子が大きな結晶へと成長する途中の構造および結晶核の生成確率が数千万から数十億分の1であることが示され2012年に論文報告された。またフッ素アルキル鎖のコンフォーメーション変化を実時間で観察し、水素アルキル鎖に比べてその剛直性が保たれることなど明らかになり、この結果は2013年に論文報告された。2014年には電子顕微鏡を用いた分子集合体構造研究手法の開発、分子集合体の光及び電子物性の解明に向けた研究を行った。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕有機薄膜太陽電池、有機分子、単分子観察、電子顕微鏡、電子状態

〔研究題目〕原子層の量子物性測定と新規物性探索

〔研究代表者〕長田 俊人（東京大学）

〔研究担当者〕劉 崢（常勤職員1名）

〔研究内容〕

グラフェンはカーボン原子1個分の厚みしかないため、格子欠陥やエッジ構造はグラフェンの物性に極めて大きな影響を与える。グラフェンデバイスの実現のために極

めて重要な格子欠陥やエッジ構造を特定・検出する手法は、グラフェンのマクロ物性と原子レベルでの構造の関連付けに必要不可欠である。また欠陥やエッジ構造を制御したグラフェン素材の開発のためには、それらの熱的安定性・電子状態などの解析を行うことも極めて重要である。グラフェンの成長方向を制御することは容易ではなく、より制御されたグラフェンナノデバイスを実現するためには、種結晶と成長層の方位関係の同定や、成長における触媒原子の影響を明らかにする必要がある。このような成長メカニズムを原子レベルで理解するためには、グラフェンネットワークの成長の可視化が極めて有用である。

本年度では、グラフェンの成長メカニズムを原子レベルで解析した。電子顕微鏡の中の残留炭化水素分子を利用し、第一層グラフェンのテラス上で第二層グラフェンのステップエッジから新たに生じるグラフェンの面内成長と、その成長中に見られる単一 Si 原子の挙動を収差補正走査透過型電子顕微鏡により観察し、グラフェンネットワークの成長の可視化に成功した。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕電子顕微鏡、グラフェン、原子層材料、構造解析

〔研究題目〕複合原子層の界面特性理解と原子層デバイスへの応用

〔研究代表者〕長谷川 雅考

（ナノチューブ応用研究センター）

〔研究担当者〕長谷川 雅考、石原 正統、山田 貴壽、  
沖川 侑揮、水谷 亘（ナノシステム研究部門）（常勤職員5名）

〔研究内容〕

物性と応用をつなぐ“応用物性”として原子層を複合化した場合の界面特性の理解と制御が最重要課題という認識の下、グラフェン/金属電極のコンタクト抵抗の低減の研究を進めている。

低濃度炭素源によるプラズマ CVD 法を用いて合成した低抵抗グラフェン膜を用いたデバイス開発を行った。透明かつフレキシブル性が高いグラフェン膜の特徴を活かした応用例の一つとして、有機エレクトロルミネッセンス（EL）素子に使われる透明電極がある。特に ITO と比較して原子層の薄さが特長であるグラフェンは様々な光学的優位性が期待される。本研究では将来大面積化が期待されるグラフェン膜を用いた高分子有機 EL 素子の作製と評価を実施した。大面積 CVD グラフェンの低抵抗化の他、仕事関数のチューニング、濡れ性の向上、リーク電流の低減、基材の選択などの界面特性の制御技術開発により、高輝度発光を得ることができた。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕グラフェン、有機 EL、界面制御、コンタクト抵抗



〔研究題目〕 Be カルコゲナイドを用いた高信頼性緑色～黄色半導体レーザーの実現

〔研究代表者〕 秋本 良一（ネットワークフォトニクス研究センター）

〔研究担当者〕 秋本 良一（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本年度は、ZnSe/BeTe 組成傾斜 p コンタクト層（p-GSL: Grading SuperLattice）に注目して研究を行った。P-GSL 層は、デバイス最上部にあるオーミック層となる p-BeTe とクラッド層や活性層などのレーザー本体を構成する各種組成の（ZnCdMgBe）Se 層の間に挿入され、Se 系と Te 系材料間の価電子帯ポテンシャル障壁を緩和し、活性層へのホール注入をできるだけスムーズに行うために用いられる。P-GSL 層の層構造に応じて、ポテンシャル形状が変化し、その結果レーザー発振のしきい値電圧が大きく変化することが予想される。発振しきい電圧は素子の発熱量と関係するため、p-GSL の特性は素子の信頼性の観点から重要である。従来構造の p-GSL 層においては、ある ZnSe/BeTe ペアとそれに隣接したペアでは各層の厚みを1原子層だけ増減させたものを10数ペア成長していた。今回ペア間の層厚の厚み変化を0.5原子層にすることにより、p-GSL での電圧降下が逡減されることを見出した。新型および従来構造の p-GSL 層を取り入れたレーザー素子を作製し、発振特性を比較した。新型の p-GSL 構造を有するレーザー素子において、低いしきい値電圧が実現された。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 半導体レーザー、II-VI 族半導体

〔研究題目〕 通信波長帯動作するサブバンド間遷移フォトダイオードの開発

〔研究代表者〕 牛頭 信一郎（ネットワークフォトニクス研究センター）

〔研究担当者〕 牛頭 信一郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

光ファイバによる光通信では、光の3自由度：波長・位相・偏波を有効活用し、それらの多重化によって伝送容量を増大してきた。情報通信量の増大により、今後は更に多重化が必要な状況で、集積デバイスの研究が盛んである。しかし、偏波を集積デバイスで扱うのは難しい。そこで本研究では、集積可能な受光器で偏光を見分けることが可能なデバイスの開発を目指している。集積デバイスを念頭に置き、材料系は光アクティブデバイス作製に適した InP（インジウム隣）系の III-V 族化合物半導体を採用した。偏光依存性はサブバンド間遷移の利用によって達成する。初年度の本年は動作実証を目標に研究を行った。まず、通信波長帯でサブバンド間遷移に起因した光吸収を得るために、今までに実績のある InAlAs/AlAs/InGaAs 系の結合量子井戸を InP 基板の上に分子線エピタキシ法によって結晶成長し、光吸収測定

によってサブバンド間遷移に起因した明瞭な光吸収を確認した。そこで、同一構造の結合量子井戸を n 型導電性 InP 基板上に成長し、基板と成長表面に電極を形成して電流-電圧（I-V）測定を行った。本結合量子井戸は井戸層にドーピングがされているが、バリア層はドーピングしておらず、絶縁(i)-導電(n)-絶縁(i)構造が予想され、電気的には高抵抗である事を予想していた。しかし残留不純物濃度が高く、n-n-n 構造になっていて、低抵抗であった。サブバンド間遷移による光受光器は励起された電子をバイアスによって引き出すため、低抵抗は漏れ電流が多いことを意味し、受光特性を劣化させる。そこで、結晶成長条件を再検討し、さらに新たなバリア構造を追加して I-V 測定を行った。その結果、数桁の高抵抗化と量子準位に共鳴することで発生する負性抵抗が確認できた。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 サブバンド間遷移、光受光器、偏光依存性

〔研究題目〕 光電流によるスピン注入磁化反転に関する研究

〔研究代表者〕 池田 和浩（ネットワークフォトニクス研究センター）

〔研究担当者〕 池田 和浩（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、ネットワークの全光化に必要な全光型パケットルータの基幹装置となる光バッファメモリとして、スピントロニクスの不揮発性を導入した、低消費電力かつ集積化が容易な全く新しいスピン光デバイスの実現を最終的な目標としている。これに向けて本研究課題では、独自に提案している不揮発光メモリ（特許第5688739号）における書込み機能を担う、光電流によるスピン注入磁化反転について検討を行う。半導体と強磁性金属の界面を介したスピン注入、光電流によるスピン注入磁化反転の知見を得ることは、上記不揮発光メモリに向けてだけでなく、学術的にも重要である。本研究期間内に、垂直磁化強磁性電極を半導体上への形成する技術を検討する。また、光電流によるスピン注入磁化反転に関しては、pin 構造を用いて、まず逆過程であるスピン注入の検討を行い、強磁性体-半導体間のスピン伝導についての知見を得る。

FeTb アモルファス合金を GaAs（110）基板上に成長し、そのフェリ磁性の特徴である補償組成および補償温度を確認し、成長方法を確立した。その上で主に成長レートを上昇させることで垂直方向の残留磁化109 emu/cm<sup>3</sup>を持つ FeTb 薄膜の作製に成功した。また、室温で電子スピン緩和時間が長く活性層として有望な GaAs（110）基板上量子井戸に対して、Fe/AlOx 電極を用いた高電流密度スピン注入を検討した。特に、室温での動作を実現するために、エレクトロルミネッセンス

(EL)強度を確保できる LED 素子を作製し、室温において1.5 kA/cm<sup>2</sup>の高電流密度でスピン注入を確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スピントロニクス、光デバイス

【研究題目】ランダムショートカットと光通信技術による超低遅延グリーンインターコネクト

【研究代表者】鯉渕 道紘（国立情報学研究所）

【研究担当者】鯉渕 道紘、天野 英晴（慶応義塾大学）、石井 紀代、並木 周、工藤 知宏（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

本研究は、エクサスケール規模以上の構成の計算機システムのインターコネクトにおいて、ランダムショートカットリンク接続と波長多重スイッチ技術を適用することで、低遅延・低消費電力でかつ通信パターンにアダプティブなインターコネクトを探索することである。本目標達成に向け、研究分担者・研究連携者により2か月に1度定期ミーティングを行い、進捗管理及び課題共有を行い、研究機関間の連携を行っている。2014年度は、光スイッチを用いた高性能計算機システムのインターコネクトのトポロジについて、光スイッチ技術、ネットワーク構成、要求パフォーマンス、将来の技術動向等の観点から検討を行った。また、将来ハイパフォーマンスコンピュータと同等の計算機能が必要となると見込まれるデータセンターについて、最新技術動向の調査を行うと同時に、本研究で取り組んでいる技術課題との親和性・適用性を検討した。CPU やメモリをディスクアグリゲートし、その間をネットワークで相互接続することで、柔軟かつ高性能な計算機システムを実現しようとする最新の技術動向について検討を行い、非常に大容量で大規模なネットワークが必要であるとの見解を得、これを満たすための要素技術の検討を行った。来年度以降も研究計画書に沿った現状の枠組みを維持し、構成の計算機システムのインターコネクトの構成デバイス、性能、電力、コスト最適化を進めていく。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】光スイッチ、インターコネクト、コンピュータ

【研究題目】サブバンド間遷移の超高速光非線形性を集積化した全光信号処理デバイスに関する研究

【研究代表者】秋本 良一（ネットワークフォトンクス研究センター）

【研究担当者】秋本 良一、Feng Jijun（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究では、InGaAs/AlAsSb 量子井戸におけるサブバンド間遷移（ISBT）に起因する超高速位相変調効果

を用いた全光ゲートスイッチの研究開発を行っている。特に、超高速光位相変調効果が発現する光非線形光導波路と干渉計光回路などのパッシブな光回路を高光結合効率をもたせて集積化して、従来型と比較して小型かつ低エネルギー動作が可能な光ゲートスイッチデバイスを実現することを計画している。さらに集積型光スイッチを用いた超高速光信号処理動作の実証を計画している。このような小型光スイッチデバイス実現に向けて各種の集積化の要素技術を開発する必要がある。平成26年度は、昨年度に引き続き、窒化シリコン（SiN）を用いたパッシブ導波路と ISBT 光非線形導波路を垂直方向に積層して集積化した光スイッチ構造を実現するための要素技術として、SiN 積層型マイクロディスク共振器の設計と試作を行った。バス導波路とマイクロディスクを積層方向に光結合した新規の構造を作製することに成功した。共振器の特性として、Q 値が10000以上、消光比20dB以上の性能を実現した。さらに二つのディスク共振器を縦方向にカスケード結合した構造を作製し、波長フィルタとしての特性（バスバンドのフラット性、フィルタエッジの急峻性、消光比）を改善することが可能であることを実証した。一方、超高速全光論理演算回路の実現に向けて、これまで開発したマイケルソン干渉計型光スイッチを全光論理ゲート素子として動作することを実証した。10Gb/s の RZ 信号光 A と B を素子の干渉計各アームに入力すると、各アームに BPSK 信号が発生する。この BPSK 信号の干渉条件を調整することにより、入力した2つの信号に対して排他的 OR (XOR)、論理和 (AND) の出力光動作が可能であることを実証した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】サブバンド間遷移、超高速全光デバイス、集積光回路、光信号処理

【研究題目】糸状菌アクレモニウム・セルロリティカスの糖化酵素遺伝子の発現制御機構の解析

【研究代表者】藤井 達也（バイオマスリファイナリー研究センター）

【研究担当者】藤井 達也（常勤職員1名）

【研究内容】

セルロース系バイオマスを原料とした有用物質の生産過程において、糸状菌が生産する糖化酵素は単糖の生成に用いることができる。糸状菌タラロマイセス・セルロリティカス（旧称アクレモニウム・セルロリティカス）が生産する糖化酵素は既に実用化され、他の糸状菌のそれよりも優れている点があることから注目されている。さらに、最近、本菌の全ゲノム情報が取得され、宿主ベクター系も開発されたことから、本菌の解析の幅が飛躍的に広がった。本研究では、未解明な部分の多い本菌の糖化酵素遺伝子の発現機構を明らかにし、得られた知見を酵素生産性の向上へ役立てることを目的とする。

本年度、本菌の糖化酵素遺伝子のプロモーター領域を用いたレポーター解析を行い、エンドグルカナゼ遺伝子の転写に重要な領域を見出した。現在、当該領域に結合する核タンパク質を探索しており、新規な転写因子の取得および発現機構の解明が期待される。また、他の糸状菌で糖化酵素遺伝子の発現に寄与することが知られる転写因子に対し、高い相同性を示す7遺伝子を選抜・解析した。その結果、*tacA* および *tctA* 遺伝子が本菌の糖化酵素遺伝子の発現を正に制御することが明らかとなり、これら遺伝子が本菌の糖化酵素生産に重要な役割を担うと考えられた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】酵素、遺伝子発現、糸状菌、バイオマス

【研究題目】極限環境下の生物多様性—モデルサイトとし

【研究代表者】星野 保（バイオマスリファイナリー研究センター）

【研究担当者】星野 保（常勤職員1名）

【研究内容】

南極大陸は、様々な人為起源の環境攪乱が未だおよんでいない地域であるが、同時に環境変動の影響を受け易い敏感で脆弱な生態系をもつ。温暖化による氷床の融解が危惧されている中、攪乱を受ける瀬戸際にある南極陸上生態系の現状を総合的に把握し、その変動を監視する体制を整えることが急務となっている。本研究では、南極大陸沿岸露岩域に点在する湖沼を、環境攪乱による影響を評価するモデル生態系と設定し、その生物多様性の全体像の解明と変動監視体制の確立を目的とする。

本年度、南極湖沼の優占菌類である担子菌酵母 *Mrakia* 属の環境適応能に関して検討を行なった。湖沼堆積物および湖岸土壌からの分離菌株の総分離株の40%以上が *Mrakia* 属であった。本属分離株は多様な有機物分解能をもち、特に低温下での難分解性物質である乳脂肪に対する高い分解能を示した。特に *M. blollopis* は4°Cでの分解能が、多種 (*M. gelida*、*M. robertii*) に比較して高かった。また、*M. gelida* は10°Cでの入試某分解能が高かった。*M. blollopis* および *M. gelida* を低温にて馴養した活性汚泥を含むモデル排水に添加した。両菌の添加によって、それぞれ約2割の有機物分解能の向上が確認されたことから、*M. blollopis* および *M. gelida* は高い環境適応能を有することが確認された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】南極、気候変動、生物多様性

【研究題目】生きる化石「接合菌類」の多様性から読み解く菌類の陸上進出と繁栄

【研究代表者】星野 保（バイオマスリファイナリー研究センター）

【研究担当者】星野 保（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、菌界の進化過程を探る上で重要な鍵を握る“生きた化石”接合菌類について、徹底した一点（温帯）および広域（熱帯）でのインベントリー調査を実施し、得られた新規分類群の菌株・標本に関して、網羅的に塩基配列情報を蓄積し高精度の系統樹構築を行う。また、その系統樹上に肉付けをする進化的イベントとして菌類の陸上化に関わる鞭毛の欠失（細胞分裂装置構造の比較）、菌根の起源（菌根形成能の検討）を解析し、進化過程を反映した旧接合菌門の分類体系の改訂を行うことを目的とする。

本年度、温帯積雪地域の *Pythium* 属雪腐病菌に類縁の *P. barbulae* の菌糸体および遊走子嚢は1回の凍結融解処理によりすべて死滅した。一方、宿主である植物（ネジクチゴケ）に上記3株を感染させ、宿主の凍結融解を3回繰り返した後、培養を行うと供試菌株のすべてが100%再分離できた。しかし、滅菌した宿主では、その効果は認められず、孔径0.2, 1, 5, 10μm のフィルター上で培養した菌糸体においても同様であった。このため、菌糸体の宿主中での凍結耐性の上昇には、宿主の有する凍結耐性機構が重要であることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】接合菌類、環境適応、生物多様性

【研究題目】エストロゲン様化学物質影響評価のための細胞内新規シグナル伝達経路の解明

【研究代表者】木山 亮一（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】木山 亮一（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

エストロゲンは、女性ホルモンとも呼ばれ、生殖器官や骨などにおける生理現象や脳の性分化や性行動などの神経内分泌機能に大きく関与している。その作用メカニズムとして、エストロゲンが細胞核内の受容体に結合して様々な遺伝子の発現を制御するいわゆるゲノミック経路について研究が進んできたが、近年、膜受容体を介して数十分程度で進むノンゲノミック経路が明らかになってきた。本研究では、ノンゲノミック経路によるシグナル伝達について、低分子量 G タンパク質などのシグナル伝達に関わるエストロゲン応答遺伝子の関与を明らかにするとともに、それらが関与する細胞増殖や細胞運動などが関わる生理機能や性分化などを指標にして新規カスケードを明らかにすることを目標に研究を行ってきた。本年度は、昨年度明らかにした、エストロゲン様活性を有するが細胞増殖能は持たない「サイレントエストロゲン」化合物について学会発表と論文投稿を行い、エストロゲン製剤や機能性食品などへの応用のための成果の発信を進めた。また、ラット脳の性分化におけるエストロゲンシグナルカスケードに関する新たな経路を明らかにし、さらに、新規天然物由来化合物について、本事業で得られた情報と DNA チップ解析、細胞増殖試験、及び、

シグナル伝達系タンパク質の機能解析によりカスケードの解析を行い、新しいカスケードの探索を進めた。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 エストロゲン、シグナル伝達、脳神経系、遺伝子発現プロファイリング、遺伝子機能

【研究 題目】 張力によるアクチンの構造変化と、それに依存したミオシンの結合増加及び局在制御

【研究代表者】 上田 太郎 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 上田 太郎、山田 正文  
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

本研究は、張力負荷によりアクチンフィラメントが構造変化し、それによってミオシンモーターとの結合が促進されるという仮説を、以下の3つの手法で検証することを目的とする。

伸縮性シリコン基板上にアクチンフィラメントを固定し、基板を引っ張ったときに GFP 標識した S1 (ミオシンモーター領域) の結合が増加するか? シリコン基板上で GFP-S1 の蛍光像が観察できるようになったが、引張方向と直交方向のアクチンフィラメントで GFP 蛍光強度に明確な差は見いだせなかった。この結果は上記仮説を支持しないが、アクチンフィラメントとシリコン基板の接着に問題があった等の可能性が残されており、引き続き検討を進める。

細い細胞間糸を引っ張りながら分裂中の細胞において、細胞間糸に掛かる力と、糸中のアクチンフィラメントの本数を見積もり、アクチンフィラメント一本に掛かる力を見積もった。その結果、一本あたりに負荷される力は 30-100 pN 程度と筋肉中と同程度の値を得た。これは、非筋細胞における初めての見積もり値である。

力に依存したアクチンの構造変化を分子内 FRET により検出する。昨年度までに分子動力学的なシミュレーションにより力負荷にともなって距離が変化すると推測されるアミノ酸残基ペアが複数組リストアップされている。そこでまず、41番と233番の残基間の距離変化を検出するため、それぞれのアミノ酸残基に蛍光色素を結合させたアクチンを調製したが、この二重標識アクチンは重合能が低く、かつ凝集する傾向があり、本実験には使えないことが判明した。今後他のペアについて検討を行う。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アクチン、ミオシン、メカノセンシティブティ

【研究 題目】 高分解能3次元組成分析システムの開発と生物試料の解析

【研究代表者】 小椋 俊彦 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 小椋 俊彦 (常勤職員1名)

【研究 内容】

目標:

本研究では、大気圧下や水溶液中の生物サンプル及び有機材料を高分解能で観察するための、電界放射型走査電子顕微鏡を用いた新規の顕微鏡システムの開発を行う。このシステムでは、従来の装置では困難であった、電子線ダメージが無く、高コントラストでの撮像を可能とすると共に、1回の撮像によるサンプルの3次元構造と組成情報を同時に解析することを目標とする。

研究計画:

本研究提案による装置では、電子線検出素子とリニアアレイ状の検出素子をサンプル下面に設置する。電子線及び電位検出素子は、水溶液中の生物試料を透過した電子線や電位信号を検出する。これにより、水溶液中の生物試料を非染色・非固定で高コントラストでの撮像を可能とする。また、本年度は、昨年度立ち上げた高分解能走査電子顕微鏡を用いた変動電位透過観察システムを用いて、水溶液中の生物試料の高分解能の観察を行う。これと同時に生物試料のダメージの検討と、3次元解析アルゴリズムの改良を行う。

年度進捗状況:

水溶液中の非染色・非固定の高分解能変動電位透過観察システムを用いて溶液中の非染色・非固定のウイルスや IgM 抗体を高解像度で観察することが出来た。この分解能は、8nm と極めて高く、今後様々な生物試料に応用することが可能である。さらに、電顕画像からの3次元構造を解析する Simulated Annealing を応用した新規アルゴリズムを開発し、細胞骨格の一種である微小管の構造変化を捉えることに成功した。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電子顕微鏡、画像情報処理、非染色生物試料、電子線ダメージ、3次元構造解析

【研究 題目】 酸化ストレスマーカータンパク質検出用蛍光分子プローブの創製と医療診断への展開

【研究代表者】 鈴木 祥夫 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 鈴木 祥夫 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究では、アルデヒド修飾タンパク質を特異的に検出するための蛍光分子プローブ設計・合成および性能評価および開発した試薬の医療診断の適応の可能性について検討した。蛍光分子プローブの蛍光発色団は、標的物質との疎水性相互作用による複合体形成および分子内の ICT 状態の変化によって強い蛍光発光を誘起する部位として4-(ジシアノメチレン)-2-メチル-4H-ピランを有する化学物質および誘導体とした。さらに、アルデヒド修飾タンパク質との結合部位として、チアゾリノン基とヒドラゾン基を導入した。合成した化合物の確認は、

$^1\text{H-NMR}$ 、質量分析を用いて行った。これらの蛍光分子プローブが、それぞれ目的とするタンパク質を特異的に認識するかどうかを、蛍光光度法を用いて確認した。その結果、アルデヒド修飾タンパク質添加前は、蛍光分子プローブからは微弱な蛍光が観察されたが、室温下、アルデヒド修飾タンパク質を添加すると、目的のタンパク質と相互作用した時のみ、瞬時に蛍光強度の増加が確認され、蛍光分子プローブと目的とするタンパク質の解離定数を算出したところ、 $10^9$  M オーダーの値が算出された。また、本法の優位性を確認するために ELISA 法との比較検討を行ったところ、測定感度は同等でありながら測定に要する時間を約6分の1に短縮することが出来た。さらに、アルデヒド修飾タンパク質の有無をゲル電気泳動によって分離されたタンパク質の蛍光画像から確認することが出来た。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質、蛍光分析、分子プローブ

【研究題目】 転写因子 SATB1に対する複合標的核酸創薬基盤の開発

【研究代表者】 山崎 和彦 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 山崎 和彦、岡田 知子、宮岸 真、  
山崎 智子、坪 ゆき枝  
(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

乳がん治療に役立つ創薬基盤構築を目的とし、乳がん細胞の悪性化に関わる転写因子 SATB1の多様な部位を標的とした核酸創薬開発研究を行う。転写因子 SATB1と他タンパク質との結合ドメインや複数の DNA 結合ドメインを対象とし、結合して機能を阻害するアプタマー型あるいはデコイ型の核酸医薬を取得する。塩基配列をランダム化した一本鎖および二重鎖の DNA あるいは RNA のライブラリーから、次世代シーケンサーを用いた手法によって網羅的かつ効率的に、結合する配列の選別を行う。得られた核酸について、乳がん由来の培養細胞を用いたバイオアッセイおよび物理科学的手法による相互作用解析を行って効果を評価する。さらに、タンパク質・核酸複合体の立体構造解析を行って結合機構を精査することにより、ライブラリーデザインの改変や修飾導入による活性強化の可能性を検討する。

本年度は、チオリン酸修飾の導入により、特に生理的環境に近い塩濃度条件で結合が強化された核酸種について、SATB1ドメインとの複合体結晶を作成し、立体構造を得た。解析の結果、導入したチオリン酸基とタンパク質アミノ酸の間に疎水性相互作用が生じており、結合強化の要因と成っていると考えられる。また、乳がん由来培養細胞を用い、細胞増殖に対する核酸導入による影響を調べた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 転写因子、核酸創薬、がん、タンパク質

核酸相互作用

【研究題目】 転移 RNA の硫黄修飾塩基の生合成とその制御機構

【研究代表者】 鳴 直樹 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 鳴 直樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

RNA は転写後にスプライシングや修飾などのプロセッシングを経て成熟し機能を発揮する。転移 RNA (tRNA) はタンパク質合成においてコドンとアミノ酸を結び付ける分子である。本研究では立体構造の安定化やコドン認識に関わる tRNA の硫黄修飾塩基の生合成機構の解明を目的とした。生合成系の異常は、疾病の発症にも関連している。生合成系は生物間での保存性が高く、本研究では好熱性細菌 (真正細菌) をモデル系とした。

迅速試験管内反応解析法を改良し、硫黄修飾反応について定量的に解析した。特に修飾酵素 TtuA には補酵素が結合し、それが酵素活性に重要であることをこれまでに明らかにしている。そこで共同研究により補酵素の種類と状態を分光法により決定し機能を推定した。また変異 TtuA タンパク質を用いて、補酵素や ATP の結合と硫黄転移反応に必要な残基を特定した。さらに放射性同位体標識 ATP 等を用いた実験により新規 tRNA 活性化中間体の性状を解析した。以上の結果と立体構造情報から新規な反応機構を提案した。反応に重要な残基が生物間で保存されており、共通のメカニズムであると考えられる。

さらに硫黄原子の転移に関与する一群の生合成因子の機能についても定量的に解析し、RNA 硫黄修飾の一つの代表的な系の詳細をあきらかにした。他の硫黄化系との比較から、生体内の硫黄化合物の生合成機構に共通する原理を考察し、日本語解説1報を発表した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質合成系、転移 RNA、RNA 修飾、硫黄転移反応

【研究題目】 低分子量 G タンパク質間クロストーク制御による細胞移動と軸索伸長メカニズムの解析

【研究代表者】 戸井 基道 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 戸井 基道 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

低分子量 G タンパク質は細胞内の様々な現象に関与するシグナル制御分子である。細胞内には多数の G タンパク質が存在し、固有のエフェクターや活性化因子との結合することで活性や局在を制御している。これまでに、Rac1/Rab5/hRas の3つの低分子量 G タンパク質と相互作用し、神経細胞の移動や軸索伸長を制御する新規エフェクター分子として RIN-1タンパク質を同定した。

RIN-1と3つの G タンパク質との相互作用は重なっているために、この RIN-1タンパク質がどのような分子メカニズムにより3種類の G タンパク質とリガンド刺激特異的に相互作用するのかわかりません。そこで、RIN-1が細胞内でどのような構造変化を起こして、各分子の機能制御を選り分けているのかを明らかにすることを目指した。

まず各 G タンパク質と RIN-1タンパク質の特異的結合時の分子構造を明らかにするため、結晶構造解析に向けた大量培養系の構築を行った。G タンパク質と相互作用する C 末端側を様々な長さで発現ベクターに組み込み、大腸菌を用いてタンパク質を精製した。発現条件を検討するとともに並行して、無細胞タンパク質発現系も用いて、相互作用状態の複合体の精製と結晶化構造解析を試みている。

また、HEK293T 細胞を用いて、RIN-1とそれぞれの G タンパク質を発現させ、Pull-down 法により相互作用の詳細な解析も行った。これまで線虫神経細胞で得られている結果と同様に、RIN-1は活性化型 Rac と、Rab5 とは不活性化型と、Ras とは野生型も含む全てのタイプと相互作用した。現在相互作用ドメインのより詳細な区分けとキーとなるアミノ酸の同定を目指した解析を行っている。これらの解析により、特に RIN-1が高発現している移動中の神経細胞や侵襲性の高いがん細胞において、細胞骨格系の制御メカニズムの一端を明らかに出来ることが期待される。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞移動、神経軸索伸長、低分子量 G タンパク質

【研究 題目】 分化能の異なるがん幹細胞の同定とがん免疫療法による治療可能性の検討

【研究代表者】 池原 譲 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 池原 譲、山口 高志、池原 早苗 (常勤職員1名、他4名)

【研究 内容】

科研費・基盤研究 (C) にて実施している本研究の目的は、すい臓がんの幹細胞についての理解を深め、すい臓がんの幹細胞の存在を検出評価するのに有用なバイオマーカーを開発することにある。そしてその利用展開として、がん免疫療法など「がん幹細胞を治療標的とした治療法」の可能性を評価することである。池原研究室では、膵臓特異的に Cre/loxP 遺伝子組み換えを誘導することで、短期間のうちに膵臓がんを生じるマウス発がんモデルを作成しているため、本研究ではこれを活用した研究を実施している。

我々はこれまでに、作製したマウス発がんモデルに生じた腫瘍に、ヒト膵臓がんが発現亢進の知られている *tasctd2*、*Maspin*、*Cyclin A* などの発現上昇、ヒトすい臓がん細胞に特徴的なタンパク質シアル化の亢進を

確認するとともに、幹細胞マーカーとなる候補分子を得ることができた。発がん利用したタンパク質に対する免疫応答が原因となり、同系の野生型マウス C57Black6 (B6) には生着しないが、免疫寛容を成立させた同系マウスや、ヌードマウス、SCID マウスには生着することを見出している。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 がん、疾患モデルマウス、がん幹細胞、ワクチン療法

【研究 題目】 廃用性筋萎縮の新たなメカニズムの解明：体内時計の乱れは筋肉をも壊してしまうのか？

【研究代表者】 中尾 玲子 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 中尾 玲子、宮崎 歴、大石 勝隆 (常勤職員3名)

【研究 内容】

体内時計と筋萎縮の関連を調べるために、廃用性筋萎縮モデル (坐骨神経切除マウス) における体内時計遺伝子の変動について解析した。

マウスの左肢の坐骨神経を切除肢、右肢には偽手術を行ったマウスを用いた。対照として、処置を行わないマウスを用いた。坐骨神経切除から0、3、7、9、11、14日後の2時刻、7、28日後の6時刻にマウスを解剖し、摘出した腓腹筋における時計遺伝子の発現量を測定した。坐骨神経を切除しても深部体温、血中コルチコステロン、肝臓における時計遺伝子発現の概日リズムには変化がなく、個体の概日リズムは維持されていた。坐骨神経切除肢において、*Bmal1*、*Per1*、*Rora*、*Nr1d1*、*Dbp* といった時計遺伝子発現の発現量は筋萎縮の進行に伴って減少し、*Per2*発現量は増大した。*Bmal1*、*Dbp* 遺伝子発現リズムの位相は、坐骨神経切除肢において前進した。*Clock* 遺伝子の発現は坐骨神経切除直後から有意に増大し、切除28日後も発現誘導されていた。これらの体内時計遺伝子発現の変動は、偽手術肢 (右肢) では見られなかったことから、液性因子の作用によるものではないと推測された。除神経、及び筋萎縮は、各時計遺伝子に特異的な機構を介して骨格筋時計遺伝子発現の概日リズムを攪乱することがわかった。筋萎縮の進行に伴い発現リズムが乱れた時計遺伝子が多かったことから、骨格筋機能の維持が「筋時計」の概日リズムの維持に重要であると推測された。本研究成果は *Chronobiology International* 誌に発表した。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 概日リズム、筋萎縮、運動、末梢時計

【研究 題目】 ナノカーボン電極を用いたリムルス試薬非依存型 LPS 定量デバイスの開発

【研究代表者】 加藤 大 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 加藤 大、鈴木祥夫、吉岡 恭子、

田中 睦生、丹羽 修  
(常勤職員5名、他2名)

#### 【研究内容】

従来、高価なリムルス試薬を必要とする lipopolysaccharide (LPS) の計測を、LPS を認識し、なおかつ電気化学活性を有する合成プローブにより、電極表面上でシグナル増幅させることで、高感度に検出する方法の実現を目的とする。このような新規計測法の性能向上を図るために、①表面が原子レベルで平坦で極めてノイズ電流の小さいスパッタナノカーボン薄膜電極の表面構造の最適化、②電気化学活性基を有する LPS 認識プローブ分子の開発、③測定系の微小流路デバイス化の3項目を中心に検討し、リムルス試薬不要な高感度 LPS 検出システムの実現をめざす。

平成26年度は、下記の成果を得た。

1. 高感度 LPS 計測法の構築に向けて、亜鉛錯体と LPS 認識分子であるセチルピリジニウムから構成される LPS プローブを設計・開発した。新規測定法として、LPS 認識微粒子に LPS を吸着させた後、ここへ LPS プローブを添加した。さらにここへ酸性溶液を添加することで亜鉛イオンを溶出した。スパッタナノカーボン薄膜電極を用いて亜鉛イオン抽出溶液の電気化学測定を行ったところ、亜鉛イオンの応答電流と LPS 濃度には相関性があり、本法での LPS の検出下限濃度は200 pg/mL を達成した。
2. これまでに開発した電気化学 LPS 測定をより高感度で行うためにマイクロ空間を反応場としたマイクロ流路デバイスの開発を行った。具体的には、①スライドガラス上へパタン化した絶縁シールを貼付し、パタニングされたナノカーボン膜を成膜した。②パタン化電極上に着脱可能な直線型の微小流路を PDMS で形成し、これを貼り合わせることで LPS 計測用マイクロ流路デバイスを構築した。作製された流路デバイスにおいても十分な電気化学性能を示すことが確認された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ナノカーボン、LPS、合成プローブ、マイクロ流路

【研究題目】 アミノレブリン酸の X-線増感放射線療法の検証と遺伝子発現解析による作用機序の解明

【研究代表者】 高橋 淳子 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 高橋 淳子 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

プロトポルフィリン IX (PpIX) の前駆体の5-アミノレブリン酸 (ALA) は生体に取り込まれ、特に腫瘍細胞に高濃度に PpIX が蓄積されることが知られている。ポルフィリン類化合物は光励起により、活性酸素を生じる。この性質を利用して、ALA は腫瘍等の治療を目的

とした光線力学的療法 (photodynamic therapy ; PDT) や光線力学診断 (photodynamic diagnosis ; PDD) の光増感剤として用いられている。

我々は、PpIX に対して X 線照射すると、物理化学的な反応により活性酸素を生じ、光増感剤と同様のブリーチングの現象が起きるのを見いだした。X 線を利用した放射線療法において ALA の増感効果が得られれば、同じ放射線量で増強された治療効果、または少ない放射線量による治療等、副作用の少ない、より安全な放射線治療が可能となる。そこで、担がん動物モデルを用いて、ALA の X 線増感放射線療法に対する効果の検証し、遺伝子発現解析による作用機序の解明を行うこととした。

平成26年度は HT29 ヒト結腸腺がん等に関する評価を行った。ヌードマウスを用いて固形がん担持マウスモデルを作成し、ALA の投与濃度、投与経路、投与時間による腫瘍内 PpIX 濃度のデータを取得した。また、複数の ALA 投与条件に対して X 線量を変えた分割照射と一括照射を行い、腫瘍抑制効果に関するデータを取得した。昨年度に引き続き、マイクロアレイによる腫瘍組織の網羅的遺伝子発現解析を行い、ALA の X 線増感に関する作用機序を検討した。今後も、異なる種類のがんに対する ALA の X 線増感剤としての有用性の検証を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 放射線療法、X 線増感剤、5-アミノレブリン酸、ポルフィリン、遺伝子発現解析

【研究題目】 睡眠障害性代謝異常のメカニズムの解明とその時間栄養学的改善方法の開発

【研究代表者】 大石 勝隆 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 大石 勝隆 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

我々が独自に開発したストレス性睡眠障害モデルマウスにおいては、行動リズムが顕著に乱れているものの、末梢組織における時計遺伝子の発現にはほとんど影響しないことが判明した。一方、血中遊離アミノ酸濃度が大きく影響を受けており、睡眠時間帯である明期には多くのアミノ酸が減少し、活動時間帯である暗期には、分岐鎖アミノ酸濃度が有意に増加していることが判明し、血中アミノ酸プロファイルが、睡眠障害などのリズム異常のバイオマーカーとなる可能性が示された。

生体リズムの積極的な制御を目指し、体内時計に作用する天然化合物を探索する目的で、PER2::LUC マウスの胎児脳から分化させた神経細胞を用いた in vitro リアルタイムレポーターシステムを開発した。本システムを用いて、約100種類の生薬由来化合物のスクリーニングを行い、体内時計の周期や振幅、位相等に作用する可能性のある化合物を見出した。

長期的な運動習慣が生体リズムに与える影響を検討する目的で、回転かごケージを用いて4週間の自発運動を

させたマウスと通常ケージにて飼育を行ったマウスで様々な生理機能のサーカディアンリズムを比較した。その結果、深部体温や摂餌行動、副腎皮質ホルモンの血中濃度、末梢組織における時計遺伝子発現など、調べたほとんどすべてのサーカディアンリズムにおいて、数十分から数時間の位相の前進が認められた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 体内時計、サーカディアンリズム、睡眠障害、代謝異常、肥満、糖尿病、時計遺伝子

【研究題目】 イムノセンシング界面構築に関する研究

【研究代表者】 田中 睦生 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 田中 睦生 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、イムノセンシング法における抗体の安定性や測定値の再現性に欠けるという問題の解決を目的に、ガラス基板に分子レベルで構造制御したイムノセンシング界面を構築し、界面構造と抗体機能の相関を検討する。

抗体は二つの Fab 領域と一つの Fc 領域で構成され、抗原-抗体反応は Fab 領域で起こることが知られている。プロテイン A やプロテイン G は抗体の Fc 領域と選択的に結合するタンパク質であり、その性質を利用して抗体をセンシング表面に方向を制御して固定化することにより、より高感度なイムノセンシングが実現できることが報告されている。そこで本課題では、この原理の導波モードセンサーへの応用を検討した。昨年開発した非特異吸着抑制表面修飾材料と抗体固定化表面修飾材料を用いた修飾表面上に、プロテイン A、あるいはプロテイン G を固定化し、さらに抗レプチン抗体を導入してセンシング界面を構築した。レプチンの検出を実施した結果、プロテイン A、G 共に検出限界は100ng/mL 程度であり、導波モードセンサーでは感度の向上は見られないことが明らかになかった。次に、二次抗体を用いて感度増強を検討した。その結果レプチンを PBS 中では、約10倍の感度に相当する数 ng/mL まで検出できることを見いだした。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 イムノセンシング、界面、表面修飾材料、導波モードセンサー

【研究題目】 CpG オリゴヌクレオチド刺激による抗原特異的抗体産生活性化機構の解明

【研究代表者】 羽生 義郎 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 羽生 義郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、CpG オリゴヌクレオチドによる抗原特異的抗体産生細胞の活性化のメカニズム解明することにより、効率的なモノクローナル抗体作製技術の確立を目的とする。より良いモノクローナル抗体、すなわち抗原

特異性が高く、かつ抗原親和性が高い抗体を樹立するには、広く抗体産生細胞を活性化するのでなく、抗原特異的な抗体産生細胞を選択的に活性化することが重要である。平成26年度は、この抗体産生細胞の活性化のメカニズム解明を行った。*Mycobacterium tuberculosis* 中のタンパク質である Ag85B の中から、25残基のペプチドを選抜し、合成した。免疫時にこのペプチドを抗原と共に与えることによる抗体産生細胞の変化について調べた結果、抗原特異的抗体産生細胞が活性化されることを見出した。活性化が確認された抗体のサブクラスは、主に IgG1であった。この活性化時の免疫細胞の遺伝子発現をリアルタイム PCR 法を用いて調べる事により、ヘルパーT細胞が Th2へと分化誘導され、抗体産生細胞が活性化されていることがわかった。本ペプチドと CpG オリゴヌクレオチドを同時に抗原と共に投与することにより、インビボ免疫法のみならず、インビトロ免疫法においても、抗原特異的な抗体産生細胞の活性化が確認された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 抗体、B細胞、ヌクレオチド

【研究題目】 中空糸配列体を用いた細胞マイクロアレイチップの開発

【研究代表者】 藤田 聡史 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 藤田 聡史、原 雄介、長崎 玲子 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、コスト性・簡便性・迅速性・量産性に優れ、生体に近い環境で、様々な化合物に対する細胞の応答を直接且つ網羅的に検出する新たな技術「中空糸配列体を用いた細胞マイクロアレイチップ」の開発を行う。研究計画：

本チップ技術の確立のため、中空糸細胞マイクロアレイチップのプロトタイプを試作し、昨年度まで (I) 中空糸の素材の決定と配列体の構築、(II) 中空糸内部への充填剤及び充填方法の検討、(III) 中空糸内部に充填された薬剤の徐放性能の解析、(IV) アレイ上で生育する細胞に対する毒性と細胞運動の解析を行ってきた。H26年度は (V) 最密中空糸配列体を用いた細胞マイクロアレイチップを作製し、実際のチップを用いた細胞機能評価・薬剤評価を行い、その技術基盤を確立する。年度進捗状況：

中空糸配列体の作製するため、緑色蛍光を示し細胞に取り込まれる小分子を生分解性ポリマーと共に高温で溶解し、ポリマーに充填した。これを整列させ、シリコン樹脂 (PDMS) で固定化し、角柱を作製した。この角柱を金太郎飴のように切断することで数十枚のマイクロチップを作製する事に成功した。

次に小分子の徐放性能の検討するため、中央のみ緑色蛍光を示し細胞に取り込まれる小分子を導入した細胞



マイクロチップを作製し、その徐放性能を確かめた。上面に細胞を播種し、適切な時間の培養を行った後にその取り込みを検出した。その結果、中央の中空糸上の細胞は緑色の蛍光を示し、それ以外の細胞は蛍光を示さなかった。この結果は、中央の中空糸内に乳酸ポリマーと混合された緑色蛍光小分子が徐々に徐放され、その上部の細胞にのみ取り込まれた事を意味する。それ以外の中空糸上の細胞に拡散し取り込まれることが無いことが示された。ただし、中空糸に充填された乳酸ポリマーが分解していくため、細胞が接着する表面が凸凹になってくるため、顕微鏡を使った観察や定量が困難になることがわかった。そこでディッシュなどに細胞をまず播種し、その上部にチップを設置する事で細胞に適切に小分子が取り込まれるかを検討した。その結果、中央の細胞にのみ蛍光小分子が取り込まれる事が観察された。また、チップが上面に配置されることによる細胞毒性も少なかった。

最後に赤色蛍光を示す小分子と緑色蛍光を示す小分子をモザイク状に配置した中空糸配列型マイクロアレイを作製し、細胞への取り込みを確認した。細胞を播種し、適切な時間の培養を行った後、細胞に小分子が取り込まれる事を確認した。緑色と赤色の小分子は接触した細胞にのみとりこまれている事を確認した。両者はお互いに交じり合うことが無かった。この結果は、理論上、中空糸配列型細胞マイクロアレイを用いて多数の小分子の細胞応答アッセイをすることが可能である事を意味する。今後、本技術を応用し、チップを用いた細胞機能評価・薬剤評価を行い、その技術基盤の確立を目指す予定である。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】細胞マイクロアレイ、セルアレイ、マイクロチップ、薬剤徐放

【研究題目】抗体産生キャリアとして機能する金ナノ微粒子の抗原提示機構の解明

【研究代表者】石井 則行（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】石井 則行、秋山 晴久  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

単独では抗原性をもたない比較的低分子量の物質（ハプテン）を、金ナノ微粒子（粒径：～数 nm）表層に稠密に結合させて皮下注射すると、生体内（ウサギ）で免疫応答が増進され、金ナノ微粒子が抗ハプテン抗体産生キャリアとして機能することを見出している。ナノ微粒子であることが生体内で適当な滞留時間を可能とし、適度にハプテンの局所濃度を高め、*in vivo* の免疫システムを刺激して本現象の発現に繋がったと考察している。ナノ微粒子が抗体産生キャリアとして作用する、細胞・分子レベルでのメカニズムの解明を目指している。

平成26年度の研究成果の概要は以下の通りである。1) ハプテンとして用いたアゾベンゼン誘導体は比較的水

性が強い為、培養液中で単分散状態を保ち、培養B細胞と相互作用するためには、最外殻が親水性のアゾベンゼンモチーフで被覆された金ナノ微粒子を調製する必要があった。同僚研究者の協力を得て、最外殻が親水性となるアゾベンゼン誘導体を合成し、精製することができた。この親水性アゾベンゼンで被覆された金ナノ微粒子の調製を進めている。2) 新たに細胞培養実験室を整備し、ニワトリ由来の培養 B 細胞 DT-40を使って、培養条件、生化学実験条件の検討、最適化を進めた。培地上清に放出される分泌物の回収手法について検討した。今後、哺乳類由来の免疫細胞で実施できるように準備を進めている。3) ナノ微粒子表面に高密度に固定化されたハプテン様低分子化合物と免疫系培養細胞との直接の相互作用の観察・免疫測定が主題であるので、免疫原性をもつ他の低分子化合物ならびに粒径の異なるナノ微粒子担体の調製、滅菌操作等の改良を進めている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】培養細胞株、ナノ粒子、細胞応答、抗体、B細胞、抗原、電子顕微鏡

【研究題目】レクチンアレイ型微細構造観察ホルダの開発

【研究代表者】小椋 俊彦（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】小椋 俊彦（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

本研究では、生物試料の微細構造とその糖鎖状況を高分解能で同時に観察・解析する、新たなレクチンアレイ型観察ホルダを開発する。この目的のために、50nm と非常に薄い窒化シリコン薄膜上に様々なレクチンを溶解させた液を滴下し、乾燥・固定化する必要がある。同時に SEM の電子線制御システムを開発し、レクチンアレイ観察の高速化と電子線ダメージの一層の低減を行う。さらに、数十種類のレクチンを固定化した窒化シリコン薄膜を用いて、環境中のバクテリアや細胞内の糖タンパク質の種類と微細構造の直接観察、及び糖鎖の構造解析を同時に行う予定である。

研究計画：

窒化シリコン薄膜上にレクチン溶液をスポット状に滴下し乾燥させた後に、溶液中の生物試料を封入し観察を行った。レクチン溶液としては、前年度に購入した8種類を使用し、生物試料には光合成細菌を用いた。液中の生物試料は、2枚の窒化シリコン薄膜の間に封入し、ホルダ内に密閉した後に走査電子顕微鏡内部に設置した。観察方法としては、低加速の走査電子線を上部の窒化シリコン薄膜に積層したタングステン層に入射させ、入射電子をタングステン層で吸収し電位変化を生じさせる。この電位変化を液中の試料を透過させ、下部の検出端子で検出し画像化する。これにより、液中の生物試料を染色処理や固定化なしに高いコントラストで観察すること

が可能となり、さらに電子線ダメージも完全に防ぐことが出来る。

年度進捗状況：

本年度は、タングステン層にバイアス電圧を加えることで以前よりも100倍の感度向上を達成し、より高コントラストの画像を得ることが可能となった。実験の結果、非染色・非固定の水溶液中のバクテリアを電子線ダメージ無く観察を行い、さらに表面構造も詳細に観察することが出来た。また、レクチンとバクテリア糖鎖とのインターアクションに関しても解析を進めており、より高分解能化のための検出システムと窒化シリコン薄膜の構成についても検討を進めている。これにより当初の目標である、バクテリアと糖鎖構造、さらにはレクチンとの相互作用の解析に極めて近づいたものと考えている。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電子顕微鏡、画像情報処理、非染色生物試料、レクチンアレイ、バクテリア

【研究 題目】 遺伝子発現プロファイル手法による血液 RNA 診断に向けた基礎的研究

【研究代表者】 高橋 淳子 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 高橋 淳子 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

血液中には、臓器や組織と同様にメッセンジャー RNA やノンコーディング RNA 等の膨大な遺伝子発現情報が存在する。第4世代シーケンサー等の遺伝子解析手法の飛躍的な進歩により、次世代の臨床検査は、タンパク質等による診断では行えない、疾病の初期の兆候を捉える高感度な血液 RNA 診断が可能となる。我々はマイクロアレイを用いた疾病モデル動物の全血 RNA 解析を行う過程で、疾病の進展に伴い白血球と全血に遺伝子発現プロファイルの相関が低くなることを見いだした。またこれに、公的 EST (expressed sequence tag) データベースの臓器別解析を加えると、臓器由来 RNA の影響が示唆された。そこで本研究では、血液 RNA 診断の可能性を探索するために、正常状態と疾病等を含むストレス状態の全血、白血球、血漿、臓器 (肝臓、筋肉等) の RNA プロファイリングを系統的に行い、生理状態の変化に伴う血液 RNA 挙動を理解し、臓器由来 RNA 等との関係を把握することを目的とした。

平成26年度は、ストレス負荷モデルとして、放射線ストレスについて検討した。放射線は白血球数の減少を引き起こす顕著なストレス応答モデルである。血液 RNA の遺伝子プロファイリング時に、白血球数も同時に測定し、放射線ストレスの血液 RNA に対する影響を、RNA の質、量、発現状態の観点から評価した。遺伝子発現解析では、試料の前処理や RNA 抽出方法が実験結果に影響を及ぼすことが多々ある。そこで RNA 抽出効率を確認し、実験の妥当性評価を行うために、前年度と同様に自然界に存在しない配列を有し、かつ高精度に濃

度が規定された標準 RNA を用いた。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 血液診断、RNA 診断、マイクロアレイ、遺伝子発現解析

【研究 題目】 自己倍数化抑制に基づく酵母育種法の開発

【研究代表者】 福田 展雄 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 福田 展雄 (常勤職員1名)

【研究 内容】

酵母の交雑育種法では、接合型が異なる2種類の酵母 (a 型および  $\alpha$  型) を掛け合わせることで、新たな特性を有する優良菌株を創製する。一般的に、産業用酵母は接合能を有さない a/ $\alpha$  型の接合型をもつため、まずこれらの酵母を親株として、接合能を有する酵母 (a 型および  $\alpha$  型酵母) を製造する必要がある。ところが同一の親株から派生した酵母どうしが接合する自己倍数化現象が、酵母の交雑効率を必然的に低下させてしまう。そこで本研究では、自己倍数化を回避するための接合抑制技術を基盤として、a/ $\alpha$  型酵母から a 型および  $\alpha$  型酵母を製造する技術を確立することを目的とする。平成26年度は、前年度に確立した「接合能を有する酵母のスクリーニング方法」を用いて、a/ $\alpha$  型の産業用酵母から a 型および  $\alpha$  型酵母を製造することとした。実験室酵母と比較して、産業用酵母に利用できる選択マーカー遺伝子は限定されており、薬剤耐性遺伝子を用いるのが一般的である。そこで、前年度に構築したプラスミド上に存在する2種類のマーカー遺伝子を、KanMX (ジェネティシン耐性) および HygMX (ハイグロマイシン B 耐性) 遺伝子と置換した新たなプラスミドを作製した。作製したプラスミドを、清酒酵母協会7号に導入したのち、染色体の複製異常により出現した a 型および  $\alpha$  型酵母を単離した。得られた酵母株の接合能を評価したところ、既知の  $\alpha$  型または a 型酵母と接合可能であることが確認された。以上のように、接合能を有さない産業用酵母から、接合能を有する酵母を製造することに成功した。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 酵母、交雑育種、接合

【研究 題目】 前駆体マイクロ RNA へのポリウリジル化反応の構造基盤

【研究代表者】 竹下 大二郎

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 竹下 大二郎 (常勤職員1名)

【研究 内容】

マイクロ RNA は、特定の mRNA と相補的に結合し、mRNA の分解と翻訳抑制を誘導することによって、発生、分化、疾病などの生体内現象に関連する多くの遺伝子の発現制御を担っている。RNA 結合タンパク質 Lin28は、末端ウリジル化酵素 TUT をプレマイクロ

RNA に誘導し、RNA をポリウリジル化することで分解経路に導き生合成を調節する。本研究は、Lin28・TUT・プレマイクロ RNA 複合体の立体構造を解明し、Lin28と TUT による共同的な RNA ポリウリジル化の反応機構を明らかにすることを目標としている。

RNA 結合タンパク質 Lin28と末端ウリジル化酵素 TUT、およびプレマイクロ RNA 三者複合体の立体構造の決定と分子メカニズムの解明を目指して研究を進めている。タンパク質全長、および N 末端と C 末端を欠損させた Lin28、TUT のコンストラクトを複数作製し、タンパク質の発現、精製を行った。プレマイクロ RNA についても複数種類を合成した。これらのタンパク質と RNA の精製産物を混合し、ゲルろ過クロマトグラフィーによって複合体を精製し、結晶化スクリーニングを行っている。複数のコンストラクトの結晶化スクリーニングの結果、TUT の活性部位を含む領域について結晶を得ることができた。今後、結晶の改良を進め、構造決定に至る予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 RNA、タンパク質、X線結晶構造解析

【研究題目】 ナノニードルを用いた核輸送による高効率ゲノム編集

【研究代表者】 中村 史 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 中村 史、加藤 義雄  
(常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

本研究では、人工ヌクレアーゼを用いて目的遺伝子以外の部分に損傷を与えない安全で確実、高効率なゲノム編集技術を開発することを目的としている。平成26年度の研究では、細胞内に豊富に存在する ATP を結合する ATP アプタマーを用いた核酸分子スイッチを設計し、人工ヌクレアーゼであるジンクフィンガーヌクレアーゼ (ZFN) を細胞内で特異的に放出する手法の開発を試みた。in vitro の試験では、ATP 濃度の上昇に伴う ZFN 放出が確認された。そこで ATP アプタマー修飾ナノニードルアレイを用いて細胞への ZFN 導入を行った結果、60分間挿入を維持しても全修飾量の2割程度しか放出されないことが判明した。細胞内の分子クラウディング環境を模擬するため、クラウディング剤を添加した in vitro 試験を行った結果、ZFN 放出がほとんど起こらないことが判明し、分子クラウディング環境では ATP が結合しない、あるいは ATP アプタマーの構造転換が起こらないことが示唆された。

そこで、ナノニードルアレイ表面上に物質を吸着させ、挿入後にアレイ動作装置に具備されたピエゾバンタグラフを用いて高周波振動による加振を行うことにより、細胞内で吸着物質を放出する方法を検討した。プラスミド DNA あるいは Cre リコンビナーゼを吸着したナノニードルアレイを細胞に導入した結果、プラスミド DNA の

導入効率及び Cre リコンビナーゼによる染色体組換え効率は、加振を行うことにより2倍以上に向上した。特にプラスミド DNA においては、これまで報告されてきたナノ針状材料を利用したプラスミド DNA 導入効率が約3%であったのに対し、本方法では平均で34%と約10倍の導入効率を達成した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ゲノム編集、オフターゲット効果、ナノニードルアレイ

【研究題目】 新規発光・蛍光技術ソースの探索を目指した発光生物調査

【研究代表者】 近江谷 克裕

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 近江谷 克裕、三谷 恭雄、二橋 亮  
(常勤職員3名)

【研究内容】

新規発光・蛍光技術の確立、新規の生物発光・蛍光技術を創出するソース探索のため、世界各地の発光生物及びその共生微生物群を現地調査する。採取されたサンプルは、現地協力者の実験室にて遺伝子を抽出、或いは低分子化合物も抽出し、協力者の許諾のもと一部は現地の研究者に、一部は申請代表者の産総研に持ち帰り、知財確保、論文作成を目指す。本年度は、気候変動や現地協力者の状況に応じて3カ国（ロシア、中国、ニュージーランド）及び海外との比較を行うことを目的に国内富山県魚津市を中心に現地調査、研究打合せを行った。具体的には、①平成26年7月9 - 25日まで研究代表者近江谷と共同研究者三谷はロシア・クラスノヤルスク市ロシア科学アカデミーシベリア支所の Eugene Vysotski 博士のもとシベリアに生息する発光生物の採取を行った。この結果、ホタルは採取できなかったが、発光ミミズ1種の採取に成功した。②平成26年10月27 - 30日、研究代表者近江谷は中国での研究協力者の中国科学院昆明動物研究所の Andy Liang 教授と、来年度夏期に計画する発光生物の現地調査について意見交換を行った。平成27年7或は8月に雲南省シングリラ地方で高地の発光生物を採取する方向で意見をまとめた。③平成27年3月14 - 20日まで研究代表者近江谷、共同研究者三谷、二橋でニュージーランドに国立水環境研究所の協力を得て、発光貝ラチアの採集を行った。研究所の許可のもとサンプルを日本に持ち込み、現在、遺伝子等の解析中である。④平成26年10月5日 - 7日まで研究代表者近江谷、共同研究者三谷、二橋及び研究協力者の安野と共に富山県魚津市にて魚津水族館の協力を得て発光ゴカイの採取を行った。発光ゴカイの遺伝子の抽出作業を行い、次世代シーケンサーにより網羅的に遺伝子配列を解析した。現在、ルシフェラーゼ遺伝子のクローニングを行っている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 発光生物、ルシフェリン、ルシフェラー

ぜ、遺伝子資源

**〔研究題目〕** ミトコンドリアにおける tRNA プロセッシング機構の解明

**〔研究代表者〕** 沼田 倫征 (バイオメディカル研究部門)

**〔研究担当者〕** 沼田 倫征 (常勤職員1名、他2名)

**〔研究内容〕**

本研究では、ミトコンドリア tRNA のプロセッシング機構の解明を目指している。本年度は、pre-tRNA のプロセッシングに関わるミトコンドリア RNase P の機能構造解析を行った。高等真核生物のミトコンドリアには、RNA サブユニットを欠いたタンパク質性の RNase P が存在し、動物では3種のタンパク質サブユニット (MRPP1、MRPP2、MRPP3) から、植物ではMRPP3とアミノ酸配列が類似した PRORP1と呼ばれる1種類のタンパク質から成る。これら RNase P による反応機構を解明するために、pre-tRNA との複合体の結晶構造解析を目指した。野生型酵素を使用した場合、pre-tRNA が切断されてしまうため、まず、MRPP3やPRORP1で保存されている触媒 Asp 残基を Ala に置換した変異体を作製した。調製した変異体を用いて pre-tRNA の切断活性を検討し、酵素活性が消失していることを確認した。PRORP1変異体と pre-tRNA との複合体の結晶化条件をスクリーニングしたが結晶は得られなかった。また、変異体 MRPP3を含む RNase P を再構成して pre-tRNA とともに結晶化条件をスクリーニングしたが、結晶は得られなかった。結晶が得られない原因として、タンパク質の構造が揺らぎ柔軟性に富むため結晶化に至っていないことが推定された。そこで、MRPP3に関して限定分解を行った。その結果、N 末端部分が柔軟な構造をとっていることが分かった。N 末端領域を欠損させた MRPP3 (MRPP3-PN) を調製して RNase P を再構成し、pre-tRNA の切断活性を検討した結果、野生型と同じ活性を確認した。次に、MRPP3-PN を含んだ RNase P と pre-tRNA との複合体の結晶化条件をスクリーニングしたが、現在のところ結晶は得られていない。今後、PRORP1についてもコア領域を同定し、pre-tRNA との複合体の結晶化を目指す。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** タンパク質、酵素、核酸、tRNA、結晶構造解析

**〔研究題目〕** シグナル制御複合体の構造と細胞内局在の電子顕微鏡解析

**〔研究代表者〕** 佐藤 主税 (バイオメディカル研究部門)

**〔研究担当者〕** 佐藤 主税、川田 正晃

(常勤職員2名、他2名)

**〔研究内容〕**

目標：

タンパク質複合体は、細胞におけるシグナル伝達と制御の主役を担う。本研究ではシグナル伝達複合体構造を、膜タンパク質も含め精製複合体の透過電子顕微鏡 (TEM) 画像から情報学的再構成により立体構造を導き出す単粒子解析法と、細胞を水溶液中で固定・ラベルするだけで複合体の局在を高分解能で決定する大気圧走査電子顕微鏡 (ASEM) を組み合わせて解析し、その機能を明らかにする。

研究計画：

単粒子解析の画像解析プログラムの自動化と精度を向上させる。不安定な複合体で完全会合体の割合がある程度低くとも、柔軟な情報処理を用いたプログラムを開発し、その構造決定を可能にする。

タンパク質複合体の機能を理解するためには、細胞内での局在と離合集散とを高分解能で観察することが必要である。大気圧電子顕微鏡 ASEM によって、細胞・組織レベルで観察を行う。さらに、タンパク質3次元微小結晶を ASEM を用いて高分解能で観察することで、微小3次元結晶染色法を開発し、シグナル制御複合体のより良い3次元結晶化条件を見つける。

年度進捗状況：

本項目によって、領域内での連携をさらに深め、共同研究の進展を図った。単粒子解析の画像解析プログラムの精度を向上させ、完全会合体の割合が低い不安定なチャンネル複合体でも、解析できる方法を開発した。この方法を用いて、実際に動的な複合体である microtubule とその上を走るモータータンパクであるキネシンの結合構造の解析に成功した。シグナル制御複合体の局在を観察するために、新たに開発した大気圧走査電子顕微鏡 (ASEM) を用いた水中免疫電顕法の開発に成功した。離合集散を繰り返す複合体である細胞骨格の microtubule・F-actin が初代培養神経細胞がシナプス形成するとき起こす変化を水中免疫電顕撮影に成功した。また、組織レベルでの観察にも、大脳皮質や脊髄、肝臓、腎臓などの直接観察に ASEM を用いて成功した。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** シグナル伝達、分子複合体、電子顕微鏡、タンパク質構造、イオンチャンネル

**〔研究題目〕** 医療用マイルドプラズマによる創傷治癒の確立とプラズマ-組織細胞相互作用の解明

**〔研究代表者〕** 池原 譲 (バイオメディカル研究部門)

**〔研究担当者〕** 池原 譲、池原 早苗、榊田 創、

金 載浩 (常勤職員3名、他1名)

**〔研究内容〕**

文科省・科研費・新学術領域「プラズマ医療科学の創成」にて実施している本研究の目的は、プラズマ止血デバイスで使用で生じる血液凝固とそれに続く良好な創傷治癒の分子メカニズムを明らかにし、見出した原理に照

らして、その利用展開を図ることにある。このため高周波凝固を比較対象として、1) プラズマが作用する生体分子ネットワークの探索と2) プラズマによるタンパク凝集・分散を解析の課題として実施している。

これまで止血効果の検討を重ねてきた医療用プラズマ装置を使用し、観察される「止血に始まる創傷治癒」のプロセスで発現する遺伝子・糖鎖について、網羅的解析を完了するとともに、プラズマによる止血が、従来から使用されてきた高周波電気凝固装置による止血原理と大きく異なることを明らかにした。高周波電気凝固装置は、血管の存在する間質を焼きつぶすことで止血するのに対し、プラズマ止血デバイスは出血した血液を凝固せしめて止血を達成するのである。この現象をモデル化するとともに、生体分子の量・体積に適した照射を可能とするプラズマ発生システムを完成させて、分子・細胞レベルでの実験への最適化を行った。このことを達成するためには、当該プラズマの質を計測評価が必要であったので、近赤外分光法、可視分光法、及びリアルタイム電流計測法等を駆使した計測系を確立し、その評価を進めた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 プラズマ医療科学、止血・創傷治癒、低侵襲性医療、病理学、プラズマ工学

【研究題目】 アメーバ運動を統御するアクチン構造多型マシナリー

【研究代表者】 上田 太郎 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 上田 太郎、長崎 晃、  
ンゴー・スアン・キエン、柴田 桂太朗  
(常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

昨年度に、高速 AFM 観察により、コフィリンがアクチンフィラメントに結合してコフィリンクラスターを形成しらせんピッチが短くなると、短くなったらせんピッチがフィラメントの P 端方向に一方向的に伝播すること (一方向的な協同的構造変化)、さらに溶液中のコフィリンは、このらせんピッチが短くなった領域に優先的に結合することを見出した。今年度は、S1 (ミオシン II のモーター領域) とコフィリンが共存する際、両者がアクチンフィラメントとどのように結合するかを高速 AFM で観察したところ、ATP 存在下で S1 アクチンフィラメントと相互作用している状況では、コフィリンのアクチンフィラメント結合が強く阻害されることを見出した。ATP 存在下では S1 とアクチンフィラメントの結合は非常に短寿命であり、任意の時点において大半のアクチンプロトマーは S1 と結合していないにもかかわらずコフィリン結合が強く阻害されたということは、S1 によるアクチンフィラメントの構造変化に関して、強い距離的な協同性があるか、時間的なメモリー効果があることを示している。

細胞内のアクチン結合ドメイン (ABD) の局在に関

して、フィラミンの ABD が前後極性をもったアメーバ細胞の後部に集積することが知られており、われわれはそのメカニズム解明を進めてきた。紫色の刺激光で蛍光が緑から赤に変化する mKikGR とフィラミン ABD の融合タンパク質を細胞性粘菌で発現し、前後極性をもった細胞の中央部の mKikGR-フィラミン ABD を赤色に変換したところ、6秒以内に細胞後部が赤色蛍光を発するようになった。この結果は、細胞前後のアクチンフィラメントの構造が異なっているためにフィラミンが細胞後部に集積するという仮説を強く支持した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アクチン、協同的構造変化、高速原子間力顕微鏡

【研究題目】 SecDF のタンパク質膜透過促進機構に関する電子顕微鏡構造解析

【研究代表者】 三尾 和弘 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 三尾 和弘 (常勤職員1名)

【研究内容】

膜を介したタンパク質輸送は最も重要な生命維持システムのひとつであり、その目的のためにトランスロコンと呼ばれるペプチドチャネルが種の違いを超えて存在する。バクテリアのトランスロコン複合体において、そのシャペロンタンパク質である12回膜貫通 SecDF タンパク質は膜を通過したペプチドをつかんでペリプラズム側に引き上げることで淀みないペプチド輸送を可能にする。結晶解析から SecDF にはペプチド引き上げの初期状態 (F 型) と、後期状態 (I 型) の少なくとも2つの構造があることが示唆されたが、現在のところ解析に成功しているのは F 型のみで、I 型についてはペプチド結合領域 P1の部分結晶しか得られていなかった。輸送機構の全容を理解するためには、ペプチド輸送に伴う SecDF の動的構造変化の理解が重要である。

研究では精製した SecDF タンパク質を用いて顕微鏡撮像し、単粒子解析法を用いて構造解析を行った。解析の結果、ヘッド部分の配置が大きく異なる少なくとも2つのコンフォメーションを取りうることを確認した。本結果は STEM トモグラフィーで得られた結果とも一致した。また可動性のある P1ヘッドドメインを固定することを目的に、片方のコンフォメーションを取った場合にのみ分子内架橋がかかる位置にシステインを2箇所導入した変異体を作成し、その精製タンパクから構造解析を試みた。その結果システイン導入変異体では片方の構造体みの構造が示された。これらの結果から、P1ヘッドドメインは溶液中では比較的自由に構造変化を行いその動的変化が膜を透過した変性状態のペプチドを膜外に放出するために重要な役割を果たしていることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質構造解析、膜タンパク質、電

子顕微鏡、画像情報処理

**〔研究題目〕 CRISPR システムにおけるエフェクター複合体の構造機能解析**

〔研究代表者〕 沼田 倫征 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 沼田 倫征 (常勤職員1名、他2名)

**〔研究内容〕**

原核生物は獲得免疫機構 CRISPR-Cas システムを利用してウイルスの感染から身を守っている。Cmr 複合体は6種類のタンパク質 (Cmr1~Cmr6) と crRNA からなるエフェクター複合体で、ガイド配列と相補的なウイルス RNA を分解する。今年度は、Cmr 複合体の作動原理を解明するために、その機能構造解析を行った。まず、Cmr 複合体を再構成し、標的類似体との複合体の結晶構造を決定した。その結果、Cmr 複合体にらせん状の溝が形成され、そこに crRNA が配置されていることが分かった。標的類似体は、この溝に沿って crRNA のガイド配列に相補的に捕捉されていた。crRNA のガイド領域と標的類似体は2本鎖を形成していたが、核酸の一般的な2重らせん構造とは異なり、ほどけたリボン状であった。これは、Cmr4が持つ特徴的なループ領域が、6塩基対ごとに2本鎖の間に割って入り、塩基対の形成を周期的に阻害しているためである。Cmr 複合体は3分子の Cmr4を含むため、ガイド領域と標的の2本鎖は3カ所で塩基対の形成が阻害され、標的 RNA の構造が大きく歪んで不安定化していた。生化学的な実験から、Cmr 複合体は6 nt 周期でこれら3カ所を切断することが分かった。crRNA の5' 側に存在するタグ配列は Cmr3に認識され、複合体中で固定化されていた。このため、Cmr 複合体は crRNA の5' 側から数えて一定距離にある14番目、20番目、26番目の塩基対の形成を阻害し、標的 RNA を6 nt 周期で切断する。crRNA のタグ配列はヌクレオチドの配列に依存して Cmr3によって認識されていたが、ガイド配列と Cmr タンパク質との間の結合は、ガイド部分の配列に依存しないことが分かった。したがって、Cmr 複合体は、任意のガイド配列をもった crRNA と結合でき、さまざまな標的 RNA を捕捉し分解することが明らかとなった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 タンパク質、酵素、核酸、crRNA、結晶構造解析

**〔研究題目〕 TRP チャネルをターゲットとする天然物リガンドのマルチモーダル活性化機構**

〔研究代表者〕 三尾 和弘 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 三尾 和弘 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

TRP チャネルは28種からなるスーパーファミリーを形成し、多様な刺激に対するセンサーとして働いている。電子顕微鏡と計算に基づく単粒子解析法を主な解析技術

として TRP チャネルと天然物リガンドの複合体構造の解析を推進している。これら結合動態の詳細な可視化を通じて多彩な天然物リガンドに応答する TRP チャネルのマルチモーダル活性化機構の解明を目指している。

Transient Receptor Potential Ankyrin 1に特異的に結合するリガンドに対し、電子顕微鏡による結合可視化を行った。電子顕微鏡解析から得られた結合ドメインは生化学実験の結果とも良く一致しており、両データをあわせる事で結果の信憑性を高める事ができた。さらに Transient receptor potential melastatin 2の解析に関しては複合体全体の分子量定量やクライオ撮影画像からの構造解析を進めた。これらチャネルの発現検討からは浮遊系動物細胞が適している事が判り、また発現したチャネルが生理機能を持っている事は、リガンドによって細胞内へのカルシウム流入を測定する事で確認している。電子顕微鏡でのラベリングには金粒子ラベルが一般に用いられるが、特異抗体 Fab や小分子化されたアビジン分子を用いて、画像処理上で結合した小分子を提示する方法も検討し、他の複合体解析にも広く活用しうるラベリング技術の検討も行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 タンパク質構造解析、膜タンパク質、電子顕微鏡、画像情報処理

**〔研究題目〕 金属ナノアロイ分散カーボン薄膜電極の開発と腸疾患糖マーカーの一括測定への応用**

〔研究代表者〕 丹羽 修 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 丹羽 修、加藤 大、吉岡恭子 (常勤職員3名、他3名)

**〔研究内容〕**

本研究では、腸疾患を検査するための糖マーカーの非標識での高感度・簡便な検出を目的とし、カーボン薄膜中に高い電気化学触媒活性を有する合金ナノ微粒子 (ナノアロイ) が分散したカーボン薄膜電極を開発することを目的とする。

今年度は、アンバランストマグネトロン (UBM) スパッタ法を用いて、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、カーボンを同時にスパッタ (3元スパッタ) し、Ni/Cu ナノアロイが分散したカーボン膜を作製した。本方法では、ニッケル (Ni) と銅 (Cu) の比や金属の濃度が大きく制御できた。また、ナノアロイ中で Ni と Cu は、良く分散し、ナノアロイは3-4nm であることが TEM により確認された。また、Ni/Cu 比を変えて作製した電極を用いて、アルカリ溶液中で、腸疾患マーカーとして知られるラクツロースの測定をボルタメトリ法で行った。その結果、Cu/Ni=37/64の時最大の感度が得られることが分かった。また、マトリクスであるカーボン薄膜の形成条件についても検討を行って、S/N 比の向上をはかった。カーボン中の sp<sup>3</sup>結合の割合が多くなるとノイズレ

ベルは小さくなる結果が得られた。以上の様に腸疾患マーカーを高感度、低い検出限界で検出できる電極材料の開発に良好な指針が得られた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ナノカーボン、ナノアロイ、腸疾患疾病マーカー、電気化学分析

〔研究題目〕 分子グラフティングによるアルブミン結合性ヒト型アダプタータンパク質の分子設計

〔研究代表者〕 本田 真也（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 本田 真也（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は、低分子化タンパク質の薬物動態改善に寄与する汎用技術の提供を目指して、ヒト血清アルブミン（HSA）に特異的に結合するヒト型アダプタータンパク質を開発し、その機能と構造に関する *in vitro* 分子特性を解析することを目的とする。平成26年度は、以下の3項目を実施した。「複合体結晶構造データの解析とヒトタンパク質スキャホールドの選定」では、ヒトタンパク質のみからなる構造データセットをつくり、GA モジュールの HSA 結合界面の主鎖構造座標をクエリーとして類似の部分構造を有するヒトタンパク質を検索し、構造類似度を指標に複数のヒトタンパク質をスキャホールドとして選定した。「移植残基の選別とアダプタータンパク質の設計」では、複合体結晶構造データと PISA システムを利用して、GA モジュールの HSA 接触残基を特定し、さらに接触面積や水素結合数などを指標に各接触残基の機能重要度を順位付けした。GA モジュールと上記で選定したスキャホールドを重ねあわせ、HSA 接触残基の位置に対応するヒトタンパク質の残基の情報を収集した。変異に伴うヒトタンパク質の立体構造の不安定化を回避するため、上記の情報を総合した置換適切度を順位付けした。以上の機能重要度、置換適切度、衝突危険度を総合的に判定し、ヒト型アダプタータンパク質のアミノ酸配列を決定した。「アダプタータンパク質および比較対象タンパク質の合成と精製」では、設計した複数のアダプタータンパク質、および比較対象となる天然型ヒトタンパク質（ネガコン）、GA モジュール（ポジコン）を遺伝子組換え技術で合成した。遺伝子を市販の高発現ベクターに挿入し、大腸菌を形質転換した。培養溶菌後の可溶性画分から目的物を回収し、イオン交換クロマトグラフィーおよびゲルろ過クロマトグラフィーで高純度に精製した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 バイオ医薬品、タンパク質工学、薬物動態、血清アルブミン

〔研究題目〕 ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用したシーケンス選択的なメチル化解析

〔研究代表者〕 栗田 僚二（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 栗田 僚二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用して、測定対象 DNA 中に含まれるシトシンのメチル化状態を迅速検知する新手法の提案、基礎特性評価及びマイクロデバイス化を行うことである。H26年度は、先ず、ミスマッチ塩基の外向き回転を利用したシーケンス選択的メチル化/非メチル化シトシン識別が、どの程度の感度・選択性を有するのか、様々なシーケンスにより既存 SPR 装置（BIACORE）による相互作用解析を行った。具体的には、測定したいメチルシトシンが不对になるような様々な2本鎖 DNA を形成させ、この2本鎖 DNA と抗メチルシトシン抗体との相互作用解析を行った。ミスマッチの形成には、測定対象のシトシンと対になる塩基箇所をアデニンやシトシン、チミン といった不对塩基（単純ミスマッチ）のみでなく、測定対象が飛び出すような膨らみを有する2本鎖 DNA（DNA バルジ）や、対塩基が欠損した2本鎖 DNA（AP site）を作製した。これらへの抗体の相互作用解析により、測定対象となるメチルシトシンを高効率に計測可能なコンフォメーションを導き出したところ、バルジ内のメチルシトシンへの結合が最も強いことが分かった。同一の抗原抗体反応であっても、2本鎖 DNA の立体障害、および、隣接する塩基との  $\pi-\pi$  相互作用により、メチルシトシンの運動性が変化するためである。さらに、ゲノム DNA へ応用するために、制限酵素による断片化と回収を検討した。非メチル化感受性制限酵素を用いることで目的配列を含む遺伝子を規則的に断片化し、その断片化配列とほぼ相補的なビオチン化 DNA による回収実験を行った。その結果、測定対象シトシンのメチル化率と抗体の結合量にはきれいな直線関係があることが新たにわかった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 エピゲノム、表面プラズモン共鳴、電気化学分析

〔研究題目〕 ニューロンにおけるゲノム DNA 化学修飾酵素の機能解析

〔研究代表者〕 波平 昌一（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 波平 昌一（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ヒトやマウスなどの哺乳類において、エピジェネティクス制御の一つである DNA メチル化の神経細胞（ニューロン）における異常が、精神疾患発症や幼児期のストレス暴露による成体の行動異常などに関与することが指摘された。また、ヒドロキシメチル化という新たな DNA 化学修飾の存在が明らかとなり、それが脱メチル化の際に生じる中間産物であることが示唆されている。特に、ヒドロキシメチル化された DNA がニューロンのゲノムに豊富に存在していることが報告されたことから、

ニューロンにおけるそれらの DNA 化学修飾を担う酵素群の役割解明が世界的に注目されている。しかし、実用性の高い研究材料の不足や解析技術の未開発などから、ニューロンの発達や機能維持におけるそれらの酵素群の役割解明や、その機能異常と精神疾患との関連の直接的証明は未だ行われていない。そこで本研究では、ニューロン特異的に DNA 化学修飾酵素を欠損又は過剰発現する新規遺伝子改変マウスを実験材料として、ニューロンの発達と機能発現における DNA 化学修飾酵素の機能解析を行う。具体的には、1) 脳発達における DNA 化学修飾酵素の役割解明、2) DNA 化学修飾酵素の機能破綻と神経精神疾患との関連解析、3) ニューロンにおける DNA 化学修飾酵素の標的同定を行う。これらにより、DNA 化学修飾制御機構の破綻と精神疾患との関連を明示し、その発症の分子メカニズム解明することが本研究の目的である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経精神疾患、エピジェネティクス、DNA メチル化

【研究題目】 唾液を用いた生体時刻測定法の確立

【研究代表者】 大西 芳秋 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 大西 芳秋 (常勤職員1名)

【研究内容】

生体時刻測定に用いる唾液試料に関して、全唾液と純唾液が想定される。全唾液は、採取が容易で、確実に採取できるが、口腔内微生物や白血球、食品由来のタンパク等が含まれており、夾雑物を除くために遠心分離やフィルターによるろ過等の前処理が必要となる。再現性良く生体時刻を測定するためには、採取時間が長いものは不適であることより、全唾液を用いることとして種々の条件について検討を行った。

全唾液には多くのプロテアーゼが含まれており、特に口腔内炎症疾患を持つ患者はペプチダーゼの活性が上昇している。このため唾液採取後、低温保存するプロトコールや唾液タンパクの分解を防ぐ RNAProtect Saliva reagent (Qiagen) の添加が有効であるとの報告がある。そこで RNAProtect Saliva reagent 添加し保存、その後同唾液試料を用いてウェスタンブロット解析を試みたところ、保存試料そのままでは塩の析出が観察され使用できないことが判明した。そこでタンパク変性材として 4M 尿素を含む緩衝液を用いて唾液試料を保存し、ウェスタンブロット解析したところ、37°Cで24時間放置しても生体時刻マーカータンパク、 $\beta$ -アクトチン共に継時的な分解は見られず、4M 尿素を含む緩衝液が唾液試料の保存に適していることが判明した。

これらの実験より、生体時刻測定のために採取された唾液試料の保存条件が確定され、今後多様な唾液試料を解析する際にも、試料間での試料取り扱いに起因する誤差を最小限にすることができるようになった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 唾液、マーカー、転写、クロマチン、生物時計

【研究題目】 ポリ ADP リボシル化による癌抑制型マイクロ RNA プロセシングの制御機構

【研究代表者】 杉本 崇 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 杉本 崇 (常勤職員1名)

【研究内容】

let-7は細胞の発生分化やがん抑制だけでなく、糖代謝やアポトーシスなど様々な高次生命現象を制御するマイクロ RNA である。近年の研究から特定のがん細胞において let-7の前駆体 RNA (pre-let-7) の3'末端がポリウリジル化され、成熟型 let-7の生成が抑制される現象が発見された。このことから pre-let-7のポリウリジル化は細胞のがん化を引き起こす新たな分子機構として注目されているが、その反応制御機構の詳細は未解明である。そこで、本研究では pre-let-7のポリウリジル化反応を制御する新規因子の同定を試みた。

そのために、ポリウリジル化酵素の一つである TUT7の複合体を精製・解析し、TUT7に結合する新規因子としてポリ ADP リボシル化因子 PARP13を同定した。更に、ポリ ADP リボース (pADPr) が TUT7に特異的に結合することも見出した。これらの結果は、pADPr が pre-let-7のポリウリジル化を制御する可能性を示唆していた。実際に、pADPr が結合した TUT7では試験管内 pre-let-7のポリウリジル化の反応効率が顕著に低下することが分かった。また、PARG (pADPr 分解酵素) 遺伝子を siRNA によりノックダウンすると、pre-let-7のポリウリジル化の効率が顕著に低下することも明らかにした。pADPr は細胞がストレスに晒された時に蓄積するため、TUT7の pADPr による制御はストレスに応じて遺伝子発現を調節し、生体恒常性を維持するための機構の一つなのではないかと考えられる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 がん、マイクロ RNA、酵素、翻訳後修飾

【研究題目】 アミロイド $\beta$ タンパク質のモノマーとオリゴマー動態がシナプス機能を調節する

【研究代表者】 落石 知世 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 落石 知世、戸井 基道、海老原 達彦 (常勤職員3名)

【研究内容】

アルツハイマー病 (AD) の病因因子でアミロイド $\beta$ タンパク質(A $\beta$ )は容易に重合することから、これまで生きた細胞内でのモノマーやオリゴマーの解析が困難であった。そこで研究代表者らは、神経細胞内でのみ A $\beta$ を発現し、かつその A $\beta$ はオリゴマーしか形成せず、更にその分子の動態を GFP との融合タンパク質として生



きた細胞内で観察可能な新規 AD モデル動物を開発している (A $\beta$ -GFP マウス)。AD は老人斑の形成に先行して記憶障害が生じることから、AD 発症の極初期に起こるシナプスの微細な変化をとらえることは、病気の真の発症機序を解明することに繋がる。そこで本研究では、開発したモデルマウスを用いてシナプス内部でのオリゴマーの生理学的機能を調べるとともに、その動態を生き残ったシナプスで観察し、更にモデルマウスの行動解析を行うことにより、シナプス内部での A $\beta$  の機能や重合と毒性との関連を解明することを目的としている。平成26年度は本研究で用いた A $\beta$  と GFP の融合タンパク質分子そのものの特性の解析および、モデルマウスの行動学的解析を行った。A $\beta$ -GFP 分子を電子顕微鏡で観察した結果、4量体程度の重合体を形成していることが明らかとなった。また、茨城県立医療大学の角正美嘱託助手の協力のもと、物体再認テストおよびモリス水迷路を用いて A $\beta$ -GFP マウスの行動解析を行った結果、生後2-3ヶ月齢の若い個体で既に、参照記憶や空間認知能力が同腹の野生型より劣っていることが明らかとなった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アルツハイマー病、アミロイド $\beta$ タンパク質、シナプス

【研究題目】 がん細胞由来エクソソームを特異的に識別する核酸アプタマーの単離とその診断への応用

【研究代表者】 宮岸 真 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 宮岸 真、チャオ ジン  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究の目的は、カウンターセレクト法により、肺がん細胞、大腸がん細胞、乳がん細胞由来のエクソソームを識別する核酸アプタマーを取得することである。さらに、得られたそれぞれのエクソソームを認識する複数の核酸アプタマーを用いて、様々ながん細胞に対しても、識別能の解析を行い、核酸を用いた新しいがん診断法として基礎技術を開発する。

本年度においては、エクソソームを大量に調整し、カウンターセレクト法の条件設定についての検討を行った。

エクソソームの精製法は、最近複数のキットが市販されており、どの方法がより精製度が高く、セレクト法への適用が適切であるかについて最初に検討を行った。

これまで用いてきた限外ろ過 (100kDa) による精製法に加えて、Invitrogen 社のエクソソーム精製キット、SBI 社のキット等により、大腸がん細胞由来のエクソソームを精製し、その精製度をエクソソームマーカーである CD68に対する抗体を用いて評価した。また、NanoSight による粒子径の観察も行った。その結果、これまで行ってきた限外ろ過法と Invitrogen 社のエキ

ソソーム精製キットを組み合わせる方法が、精製度が高く、収率も高いという結果が得られた。並行して、カウンターセレクト法で重要となるネガティブセレクトの条件検討を既に同定されているアプタマーを用いて試行実験を行った。

これらの実験条件を用いて、平成27年度では、各エクソソームに特異的なアプタマーの取得を進めていく予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アプタマー、がん、エクソソーム、診断

【研究題目】 大腸菌のサブポピュレーションの可視化に基づいたトランスクリプトームの解析

【研究代表者】 陶山 哲志 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 陶山 哲志、水野 敬文  
(常勤職員2名)

【研究内容】

大腸菌では分裂によって生じた細胞極が娘細胞に受け継がれるさい、細胞極の新旧がそれを保持する娘細胞の増殖速度や VBNC 状態への移行のし易さに相関するという知見がある。即ち分裂を繰り返すことで大腸菌の細胞極には分裂の回数と同じだけのバリエーションが生じ、細胞は異なったフェノタイプを伴うサブポピュレーションに分化してゆくことになる。この前提に基づき、本研究では細胞極の新旧を可視化して単一の細胞がいずれのサブポピュレーションに属するかを容易に見分けること、見分けた細胞を分取して生理・生化学および遺伝子発現レベルの違いを比較検討すること、そして増殖速度や VBNC 状態への移行のメカニズムを探ることを目標としている。

平成26年度には研究に必要な組換え体を取得し、光変換および観察の条件を確立した。アスパラギン酸の走化性レセプターである Tar の遺伝子に光変換型蛍光型タンパク質である kaede の遺伝子をイン・フレームで連結し、大腸菌に形質転換、細胞極に蛍光シグナルが局在し、培養の期間全体にわたって細胞極の蛍光が良好に観察出来る株を選別した。得られた株について細胞極を光変換ラベルし、培養の経時変化に対して追跡できること、即ち研究のアイデアそのものが有効であることを確認することが出来た。ただし、変換光照射による大腸菌の生育に対するダメージも否定できず、さらなる条件の最適化が望まれる。サブポピュレーション分取の方法に関しては、当初予定していたセルソーターによる分別では十分な質・量を得ることができないことが分かり、現在のところ良好な分取条件は得られていない。そこで現在はより正確で自動化した細胞分取方法の確立を目指している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 光変換蛍光タンパク質、可視化、イメージング、大腸菌、分裂、老化

**〔研究題目〕 幹細胞の品質モニタリングを目指した酵素／高分子電解質複合体センサーアレイの開発**

〔研究代表者〕 富田 峻介（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 富田 峻介（常勤職員1名）

**〔研究内容〕**

本研究課題では、細胞治療や再生医療の実現を強く支援する、幹細胞品質評価用センサーアレイの開発を行う。従来使用されてきた、マーカー分子を検出する評価法は、有効なマーカー分子の同定が困難なうえに、評価に一定量の細胞を消費してしまうという問題を抱えている。そこで、こうした欠点を持たない、新たな方法を開発することを研究目的とした。本研究では、申請者が確立した「多変量解析法を利用する酵素／高分子電解質のポリオン複合体（PIC）センサーアレイ」を高性能化し、細胞を培養した培養液（馴らし培地）の判別に応用する。そして、幹細胞からの分化誘導などを想定した品質評価法の開発を試みる。

本年度はまず、ポリエチレングリコール／カチオン性高分子電解質のブロック共重合体に対し疎水性の異なる様々な官能基を修飾することで、タンパク質に対して多様な交差反応性を有した新規高分子化合物を合成した。これらの高分子化合物を様々な性質のアニオン性酵素と混合して、新たな PIC ライブラリーを作製し、細胞の培養に用いた培養液（馴らし培地）の判別を試みた。その結果、作製したセンサーアレイにより、がん細胞の種類（肺がん、骨肉腫、肝臓がん）の識別や肺由来の正常／がん細胞の識別などが可能なことが明らかになった。この結果は、PIC ライブラリーで構成されるセンサーアレイを用いることで、馴らし培地に含まれる細胞分泌物の固有の組成を反映した応答パターンを抽出できることを意味する。したがって、本システムを用いることで、マーカー分子に関する情報を必要としない非侵襲的な幹細胞の品質評価が可能になることが強く期待できる。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 幹細胞、酵素、高分子電解質、多変量解析、バイオセンサ

**〔研究題目〕 プロテオミクス、バイオインフォマティクス、イメージングによる表皮ガン治療法の研究**

〔研究代表者〕 ワダワ レヌー（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 ワダワ レヌー（常勤職員1名、他1名）

**〔研究内容〕**

上皮膜抗原（EMA）は、がん細胞において異常な翻訳後修飾を受け、より少ない O-グリカン鎖を持つ。そのような低グリコシル化 EMA 抗原は、露出していないタンパク質領域の露出を引き起こし、正常および腺がん表面上皮を区別する抗体生成などの免疫反応を導く。が

ん細胞における EMA の増強発現は悪性細胞の生存を促進させるため、EMA はがん治療の標的として役立つことが予想される。そこで本研究では、分子学的、バイオインフォマティクス、イメージング解析によりがんの標的としての EMA を評価する。そして、がん細胞におけるシアリル-Lea、シアリル-Lex、シアリル-Tn などの腫瘍関連ネオマーカーの翻訳後のグリコシル化特性を解析し、モーターリン、CARF、p53などの腫瘍促進や抑制に関与するタンパク質との相互作用を調べる。

本年度、EMA のグリコシル化経路のバイオインフォマティクス解析、共発現マッピングを行った。シアリル-Lea、-Tn ネオマーカーを含むグリコシル化経路の分析は多種類の方法で取り組んだ。また、遺伝子オンロジー解析では、ゴルジ管腔、タンパク質結合、細胞外小胞、細胞質機能におけるタンパク質プロセッシング、細胞膜でのグリコシル化等の複数の重要な細胞機能において、EMA が関与することが予測された。さらに、がん細胞の細胞増殖及び DNA 損傷反応における CARF と EMA の役割についても調べた。EMA のモチーフ検索は、腫瘍関連ネオマーカーを標的とするための、免疫反応性抗原認識エピトープの同定に繋がると考えられる。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 がん、糖尿病、高血圧、トランスレーショナルリサーチ

**〔研究題目〕 基質親和性の高い微生物を利用した低濃度温室効果ガス処理技術の開発**

〔研究代表者〕 松浦 哲久（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 松浦 哲久、関口 勇地（常勤職員1名、他1名）

**〔研究内容〕**

排水処理プロセスから低濃度温室効果ガス（メタン・亜酸化窒素）を除去する為に、基質親和性の高い微生物を利用し大気程度にまで温室効果ガスを分解する技術を確立させ、その除去に関与する微生物の機能解明を本研究の目標とした。平成26年度は、基質親和性の高いメタン酸化細菌の機能解明に向けて、培養微生物群を含む様々な環境のメタン酸化細菌の16S rRNA 遺伝子に基づく系統分類と *pmoA* 遺伝子（メタン酸化酵素遺伝子）に基づく機能推定を実施した。各サンプルから DNA 抽出後に16S rRNA 遺伝子と *pmoA* 遺伝子を次世代シーケンサー（MiSeq）にてのアンプリコンシーケンスを行った。MiSeq にて得られた各サンプルの塩基配列を Qiime 等のソフトウェアにて *pmoA* 遺伝子のライブラリーを作成した所、基質親和性が高いと推定されているメタン酸化酵素を有したメタン酸化細菌の存在が確認された。さらに、16S rRNA 遺伝子のアンプリコンシーケンスの結果を用いて、そのメタン酸化酵素遺伝子を有する微生物の系統位置を推測したところ、新属の未培養微生物群であると推定された。しかし、その直接的な

証拠は得られておらず、分離培養・ゲノム解析など何らかの技術において検証を行う必要がある。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 温室効果ガス、未培養微生物、次世代シーケンサー

〔研究題目〕 外来遺伝子防御の定量的可視化に基づく  
遺伝子導入メカニズムの解明と高効率化

〔研究代表者〕 佐々木 章（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 佐々木 章（常勤職員1名）

〔研究内容〕

外来遺伝子を体内に導入し、タンパク質を発現させたり目的遺伝子をノックダウンしたりする遺伝子治療を実現するには、細胞外から導入された外来遺伝子が効率的に核に至り、発現することが必要である。このような外来遺伝子発現システムの全体像を理解するには細胞内に導入された外来 DNA の運命を知ることが不可欠である。しかし、生きた細胞内で動的に変化する外来遺伝子の局在や分解を時空間的に解析し定量的に表現することは実現されていなかった。本研究の目的は、生細胞内における外来遺伝子の拡散・分解などの運命を定量的に可視化すると同時に単一細胞内の発現タンパク質の量を定量的に測定し、分解に関与する酵素の同定と制御によって外来遺伝子発現を高効率化することである。

2014年度は、前年度までに構築したラスタ画像相互相関分光法（ccRICS）の測定系を利用し、HEK293細胞ならびに MEF 細胞における外来遺伝子の細胞内分解を可視化した。その結果、DNA 分解酵素活性が細胞種によって異なることを直接観測し動画として表現することに成功した。単一細胞内の遺伝子発現効率の解析に関し、環状プラスミドと直鎖状 DNA をそれぞれ細胞導入した際の EGFP 遺伝子発現効率をフローサイトメトリーによって単一細胞レベルで解析した。これらの結果は、細胞が持つ外来遺伝子の侵入に対する防御機構とその強さを新たに定義付けする画期的な成果である。本年度は以上の研究データを蓄積し再現性を確認するとともに定量解析を進め、論文をまとめた。本研究は北海道大学金城政孝教授との共同研究として行われた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 蛍光イメージング、遺伝子デリバリー、核酸分解酵素、生物物理

〔研究題目〕 RNA 合成酵素複合体の分子構造進化基盤

〔研究代表者〕 富田 耕造（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 富田 耕造、竹下 大二郎、山下 征輔（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

Q $\beta$  ウイルス RNA 複製酵素と宿主由来の翻訳伸長因子 EF-Tu、EF-Ts およびリボソームタンパク質 S1の N

末端領域（OB フォールドを3つ含む）の4者複合体の結晶化、構造決定に成功した。この4者複合体は、Q $\beta$  ウイルスのゲノム RNA 複製（プラス鎖 RNA からマイナス鎖 RNA）を行うことができるとともに、ウイルス RNA（プラス鎖）の3'末端からおよそ1000ヌクレオチド上流に位置する特定の領域（M-サイト）配列に依存して忠実に RNA 複製を開始できることも、申請者が構築した試験管内ゲノム RNA 複製システムを用いて確認した。一連の構造解析、生化学的な解析から、リボソームタンパク質 S1は N 末端に位置する2つの OB フォールドを介して複合体中の B サブユニットへのみ結合し、3番目の OB フォールドは複合体とは相互作用せず、複合体表面から溶媒中につきでていることが明らかになった。さらに、この3番目の OB フォールドの M-サイト RNA への結合能力と Q $\beta$  ウイルスのゲノム複製に相関があることも明らかになった。これらのことからリボソームタンパク質 S1の可動性をもつ N 末端から3番目に位置する OB フォールドが Q $\beta$  ウイルスゲノム RNA を特異的に認識することによって、ゲノム RNA を Q $\beta$  ウイルス RNA 複製酵素複合体へリクルートし、その結果、Q $\beta$  ウイルスのゲノム複製開始が効率よく進行することが示唆された。このことは、タンパク質合成開始に関わるリボソームタンパク質が、RNA 合成開始因子として機能することを示唆する。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 RNA 合成、ウイルス、RNA、反応制御、機能、構造

〔研究題目〕 近赤外デジタルホログラフィー法による動物プランクトン計測技術の開発

〔研究代表者〕 秋葉 龍郎（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 秋葉 龍郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

動物プランクトン現存量測定を高度化するための海中で使用できる撮像・計数装置の開発を目的とする。動物プランクトンの現存量調査のためには動物プランクトン遊泳行動についての知識が必要である。水槽内で動物プランクトンの行動を餌密度や流体力学的環境を変化させて遊泳高度を観察し遊泳速度や餌探索体積などを定量的に測定した。

深度100 m までで使用可能な水中ホログラフィー撮像装置を開発した。機械設計、電気設計、光学設計、制御系に至るまですべて独自のアイディアで開発した。その結果空中重量20 kg、長さ1100 mm、直径140 mm という小型の装置でありながら、一回の撮像体積25cc、分解能10  $\mu$ m の撮影が可能で、1ヶ月以上の間での間歇動作が可能な装置を開発した。近赤外領域の光を用いることで、走光性による凝集などの問題を回避しているため、自然状態の個体数密度の測定が可能である。

今回の研究開発を行う上で、鉛直水柱に対する測定、

調査が重要であることに想到した。そのため、鉛直水柱の内の環境や動物プランクトンを採水、採集により調査できる技術を開発し、特許を2件出願した。成果の一部は論文で発表した。これは鉛直水柱にたいして、連続的に採水できる世界初の技術である。

以上のように、ホログラフィー撮像装置と採水装置により動物プランクトンの現存量の分布と変動を今までより格段に細かいスケールで測定することが可能となった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ホログラフィー、プランクトン、海洋計測、画像処理

〔研究題目〕 認知行動を取捨選択制御する前頭前野神経回路機構の研究

〔研究代表者〕 瀧田 正寿 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 瀧田 正寿 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

「何かに気持ちを奪われ、意図することが十分できない／不適切なことをしてしまう」ような不具合な認知行動が生じる仕組みを、脳神経回路機能レベルから明らかにし、対処法を提唱することが本研究の目的である。臨床では作業記憶が負の感情で阻害される報告が増え、ラットではそれぞれに海馬－前頭前野路と前頭前野－扁桃体路に関わり、共にドーパミン調節を受ける。この直列関係を電気生理・神経化学的に解析し、ラット早期母仔分離モデルが示す不安行動と前頭前野－扁桃体路の伝達機能不全を改善することを最終目的として、認知行動療法的な作業記憶トレーニングや臨床様に向精神薬投与を行い、不具合な認知行動の生じる仕組みを検証する。

当年度、これまでに開発した遅延交代課題と高架式十字迷路を連携して用い、作業記憶と不安行動の関係を解析した。更に、扁桃体のドーパミンが前頭前野－扁桃体路を発達段階で双方向性 (bidirectional) に調節することを突き止めた。また、共同研究先と、脳3部位の自発神経活動を同時計測し、神経回路機能を解析した結果、解剖学的回路が存在する場合でも、神経伝達がある場合と無い場合が存在することを麻酔下で観察したが、自由行動下で計測する技術を用いてテスト実験を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 認知行動、作業記憶、不安、前頭前野、扁桃体、海馬

〔研究題目〕 社会的公正性に配慮したデータマイニング技術

〔研究代表者〕 神嶋 敏弘 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 神嶋 敏弘、赤穂 昭太郎 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、公正性・中立性に配慮したデータマイニング技術を開発することにある。データマイニング技術は、与信や採用といった重要な決定にも関与している。このとき、性別・人種・出生などの社会的公正性の観点から利用すべきでない情報の関与を排除すべきである。これには、単純にこれらの情報をモデルから除外するだけでは不十分であることが知られている。例えば、特定の人種が、特定の区域に住んでいる場合、これらの情報には高い相関が生じ、人種という情報を除外しても、居住区域の情報から間接的に差別的な判断がなされることがあり、これを red-lining 効果という。

このような判断を回避するために、本研究では、与信や採用などの決定事項と、性別・人種など配慮を要する情報との間の統計的独立性を保証することで、こうした公正性を確保する分析モデルを研究している。

前年度は、統計的独立性を組み込むことで公正性を強化する手法について、モデルバイアスや決定則の影響により、単純なモデル上での独立性では十分に公正性を保てないことを理論的に示し、単純ベイズ法についてこの問題を解消した。本年度は、この補正手法を、SVM やロジスティック回帰など生成モデルによらない手法にも適用できるよう拡張した。さらに、公正化したあとのクラスが元の特徴量とは独立であるとの仮定を緩和する手法を開発した。

今年度は、利用者に提供する情報の中立性を強化する推薦独立性を考慮した推薦アルゴリズムの高速化をおこなった。しかし、この手法は分布の平均だけを考慮するという、非常に大まかな近似を行っていた。そこで、分布の二次以上の統計量も考慮でき、かつ計算複雑度を増やさせない手法を開発した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 データマイニング、公正性

〔研究題目〕 加齢変化を考慮した騒音評価方法の開発に向けた聴覚モデルの構築

〔研究代表者〕 倉片 憲治 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

〔研究担当者〕 倉片 憲治、水浪 田鶴 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

これまで騒音の測定は、もっぱら若齢者の聴覚特性に基づいて行われてきた。そのため、現行の方法では、高齢者が知覚する騒音の大きさを適切に評価することができない。そこで本研究では、加齢に伴う聴覚特性の変化を表現する聴覚モデルの構築を行い、これを基礎とした新しい騒音評価方法の開発を目的とする。これにより、若齢者だけでなく、高齢者の音の聞こえも的確に反映した騒音の測定及び評価が可能であることを示す。

この目的のために、本研究では、聴覚特性の変化を表現する聴覚モデルの構築に必要なラウドネス (音の大き

さ) 知覚特性データの収集及び分析を行う。このモデルに基づいて実環境のさまざまな騒音に対するラウドネスを予測し、実際に高齢者が知覚するラウドネスとの対応を検討する。

平成26年度は、前年度までに分析した実験結果の見直しを行い、不足が確認された実験データの追加収集を行った。これによって、本研究における騒音評価方法の開発に必要なデータを揃えることができた。

続いて、平成25年度までに収集済みの実験データの分析をさらに進め、若齢及び高齢の被験者がそれぞれ評価した音の大きさを、実験的に求めた等ラウドネス曲線に基づく本研究独自の指標によって予測することを試みた。その結果、実環境に存在するさまざまな騒音について、その種類にかかわらず、従来の騒音評価指標よりも高い精度で、高齢者の知覚する音の大きさを予測できることが示された。その成果は、国内及び国際学会にてそれぞれ公表した。

以上の研究によって、加齢変化を考慮した新しい騒音評価方法の基本的原理を確立し、その有効性を確認することができた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 聴覚モデル、騒音評価、加齢効果

【研究題目】 血液自身を潤滑液として非接触回転駆動する長期体外循環血液ポンプに関する研究開発

【研究代表者】 小阪 亮 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

【研究担当者】 小阪 亮 (常勤職員1名)

【研究内容】

開胸手術なしに生命維持を可能にする経皮的心肺補助装置(PCPS)や体外式膜型人工肺(ECMO)などの緊急医療で使用されている補助循環ポンプは、短期使用が前提である接触式の軸受を採用している。そのため、危機的状況を脱した後の固体接触で生じる軸受の磨耗による耐久性や、溶血や血栓形成などの血液適合性に課題が残っている。本研究では、長期耐久性と低溶血性、耐血栓性を有する体外設置型補助循環血液ポンプを開発するため、血液自身を潤滑液として浮上回転する遠心血液ポンプを研究開発する。

平成26年度の主な成果として、溶血と羽根車の安定性に優れたラジアル動圧軸受の軸受隙間について検討した。ラジアル動圧軸受の軸受隙間を評価するため、円弧数が4、溝深さが100 $\mu\text{m}$ で、半径隙間が20, 30, 40, 80, 90, 100, 180, 250 $\mu\text{m}$ と異なる8種類の多円弧軸受を有する評価モデルを製作した。評価モデルのインペラの安定性を評価するため、ラジアル安定性評価試験を実施した。試験では、2つのレーザ変位計の計測値から、インペラ中心座標と公転半径を算出し、公転半径が半径隙間の10%以下となるとき、インペラの振れ回りは十分小

さく、インペラは安定駆動しているものとした。作動流体には、37 $^{\circ}\text{C}$ の血液と同粘度のグリセリン水溶液を使用した。ラジアル安定性評価試験を実施した結果、ラジアル半径隙間が100 $\mu\text{m}$ 以下となるとき、インペラは安定駆動することがわかった。血液適合性試験として、溶血試験(n=3)を実施した。本試験では、作動流体として購入牛血を使用し、体外循環の駆動状態を模擬した揚程200 mmHg、流量4 L/minで2時間実施した。試験後、試験中に採血した血液の血漿中の遊離ヘモグロビン濃度より、溶血量を算出した。溶血試験を実施した結果、ラジアル動圧軸受の半径隙間を100 $\mu\text{m}$ 以下にすると、インペラは安定駆動するため、溶血特性は改善することがわかった。しかし、ラジアル動圧軸受の半径隙間を30 $\mu\text{m}$ から20 $\mu\text{m}$ に減少させると、最大せん断応力が、過度の溶血の閾値である300 Paを超えるため、溶血量は大幅に増加することがわかった。

本研究結果から、優れた溶血特性とインペラの安定性の両方を満たすラジアル動圧軸受の軸受隙間は、30 $\mu\text{m}$ から100 $\mu\text{m}$ であることがわかった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 人工心臓、動圧軸受、血液適合性

【研究題目】 前頭前野における神経調節物質の影響に関する研究

【研究代表者】 渡辺 由美子 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

【研究担当者】 渡辺 由美子 (常勤職員1名)

【研究内容】

学習や記憶、思考や推論など様々な高次脳機能に欠かさない前頭前野は、ドーパミンやアセチルコリンなど様々な神経調節物質の影響を受けている。本研究では、前頭前野が、ドーパミンやアセチルコリンなどの神経調節物質の影響をどのように受けているのかをミリ秒オーダーの時間解像度で明らかにすること、これらが前頭前野および関連する神経回路における情報処理にどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。

平成26年度は、主に、大脳皮質にアセチルコリンを分泌する前脳基底部マイネルト基底核に着目した。アセチルコリンは、記憶や学習、覚醒や注意など様々な機能を修飾することが知られている。また、アルツハイマー型認知症ではマイネルト基底核のアセチルコリン神経が脱落していることから、この部位は特に痴呆や記憶障害と密接に関わることが知られており、前脳基底部と前頭前野の神経連絡の特徴を明らかにすることは、これらの疾患の原因解明や治療法の開発にもつながる。

実験では、ラットの前脳基底部マイネルト基底核を電気刺激し、大脳皮質前頭葉での応答を、時間・空間的な解像度が優れた膜電位イメージング法を用いて計測した。その結果、マイネルト基底核の電気刺激により、前頭葉の広範囲で興奮性応答が認められることが明らかになっ

た。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 神経科学、前頭前野

〔研究題目〕 高齢者の健康で安全な生活のための居住環境と住まい方に関する基礎的・実践的研究

〔研究代表者〕 都築 和代（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 都築 和代（常勤職員1名）

〔研究内容〕

日本は四季の変化に富み、その結果が室内に反映され、室内温熱環境や光環境は季節によって異なる。これまでの高齢者の居住環境と睡眠についての調査結果から、夏季に高齢者は冷房器具の使用率が低く、そのため寝室が高温になって、中途覚醒や体動が増加し、睡眠効率が他の季節に比べ劣化していた。この季節の影響が高齢者のみに特有であるかどうかを調べるために、2ヶ月毎に1週間ずつ1年間に渡り、青年男女を調査対象としてデータを収集した。具体的には、アクチグラフによる睡眠の測定、寝室の温度・湿度の測定、温冷感や睡眠感についての質問紙調査を実施した。その結果、青年被験者の睡眠には季節による差は認められず、高齢者のように夏季が他の季節に比べ、睡眠が悪化する現象は確認できなかった。

次に、四季の居住環境における温熱環境の実態と高齢者の睡眠、生活行動、ならびに血圧との関係を検討した。その結果、睡眠中の高齢者の血圧には季節による違いは認められず、寝具を適切に用いて寝床内気候が適温に保たれたために、血圧に大きな変動が観察されなかったと考えられた。また、血圧と室温との関係について検討を行ったが、有意な相関関係は認められなかった。

以上を踏まえ、健康な住まい方についてまとめる方策を検討した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 睡眠、季節、室内環境、血圧、高齢者

〔研究題目〕 運用現場における音案内の誘導性能をリアルタイムに評価するツールの開発

〔研究代表者〕 佐藤 洋（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 佐藤 洋、関 喜一、伊藤 納奈、倉片 憲治（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、森本 政之、佐藤 逸人（以上、神戸大学）（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

音案内による視覚障害者等の円滑な移動を支援し、かつ騒音にならない誘導給の音デザインおよび公共空間の音環境整備を促進するために、本研究では現場における

音案内の評価を可能にする画期的なツールの開発を行い、現場における音案内の性能評価を実現することを目的とする。性能評価とは、運用現場の特性に応じた適切な音案内の設置および音量の設定を行うための設置場所周辺における、音案内の方向誘導性能を定量的に示すことである。その際、高齢者およびロービジョン者を考慮できる方法とし、音案内の多くのユーザ層に適用できるようにする。ツールの特徴は、視覚的な注意特性の計測と両耳に入力される音響信号分析とを用いて、動的な音案内信号および歩行時の音案内の性能評価が運用現場においてリアルタイムに可能になる点にある。

音案内の時間特性と残響音の関係については、残響音が音案内内として有効であり、その有効性の評価時に短い時間窓をかけて算出した長時間時間差の時間変動が利用できることが明らかになった。また、視覚的な注意特性計測を取り入れた新しい音像定位実験については、音源の位置が明確である場合と明確でない場合に定位精度が異なることから、視線の動きを制御するための指示方法を定めることが必要であることが示唆され、その問題点の解決のため開発ツールの有効性検証は実施できなかった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 視覚障害者、音案内、音環境

〔研究題目〕 不均一な弾性構造の知覚特性の研究

〔研究代表者〕 遠藤 博史（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 遠藤 博史（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究課題の目的は、不均一な構造を有する弾性物体に対する知覚メカニズムを明らかにすることである。人の弾性知覚では、対象となる物体に力や変位を加えて、その入出力関係から物体の構造に関する情報や弾性係数を推定している。しかし、均一な構造の弾性体でさえも、対象に加えた力や変位の情報をどのように利用して弾性係数を知覚しているかについて、完全に明らかにされているとは言い難い。

昨年度、ゴム状の均一な弾性体を用いた弾性知覚の心理物理実験を行った結果、知覚の結果に押し方が影響している可能性が見いだされた。本研究課題の最終目標は、不均一な構造に対する弾性知覚メカニズムを明らかにすることであるが、押し方が知覚に影響するのであれば、まずはその影響を明らかにしておく必要がある。

そこで本年度は、押し方が知覚に及ぼす影響について検討を行った。強制2択法による硬さの弁別課題を行い、感じた差の知覚に関する検討を行った結果、弾性体を押ししている時間の長さの違いにより、力や変位の差が知覚される傾向が異なった。さらにこの傾向の違いは、押す力や回数による違いよりも顕著であった。以上の結果から、押し方の中で、弾性体を押ししている時間の長さが知

覚に影響している可能性が示唆され、今後の実験を進める上で非常に重要な知見が得られた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 弾性知覚、触覚、運動感覚

【研究題目】 特徴空間の幾何構造を利用した学習アルゴリズムの構築

【研究代表者】 赤穂 昭太郎（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 赤穂 昭太郎、藤木 淳（福岡大学）  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究の目的は、特徴空間の幾何学的構造の解明およびそれに基づく学習アルゴリズムの構築を行い、パターン認識やコンピュータビジョンに応用することであり、その研究の流れに沿って下記のような成果を得た。

これまで、複数の情報源に共通して含まれる情報を非線形抽出する手法として用いられるカーネル正準相関分析の改良を行った。カーネル正準相関分析では、変換の自由度が高すぎるため、元の入力空間の情報とはほとんど無関係な成分が得られることがある。これを解決するために入力空間と特徴空間の間の相互情報量を最大化することにより、入力空間の情報を保持した特徴量を抽出するアルゴリズムを開発した。非線形かつ非ガウスの確率変数の相互情報量を扱うために、最近傍識別器に基づく推定法を採用したが、非常に多数の局所最適解があることがわかったため、マルコフ連鎖モンテカルロ法の一つであるパラレルテンパリング法によってより大域的な探索を行って解の改良を行った。その結果、人工データについてはあるが、カーネル正準相関分析ではうまく抽出できない内部構造を抽出することに成功した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アルゴリズム、機械学習、幾何学、関数解析学、パターン認識

【研究題目】 運動に伴う血圧変化メカニズムの解明

【研究代表者】 小峰 秀彦（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 小峰 秀彦、菅原 順  
（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本研究の目的は、運動中に生じる血圧上昇ならびに運動終了後に生じる血圧低下について、動脈血圧反射調節の観点から、そのメカニズムの解明を目指すことである。

頸動脈に存在する血圧反射受容器と、大動脈弓に存在する血圧反射受容器が血管・血圧調節に果たす役割の違いを検討した。特に、それぞれの血圧反射受容器が、大動脈から先の全身の血管調節と、脳血管調節に対してどのような影響があるかについて検討した。

動脈血圧を低下させた時、頸動脈圧受容器には刺激を

加えず、大動脈弓圧受容器のみを刺激すると、動脈血圧反射応答としての心拍数の上昇がみられた。心拍数変化に対する血圧変化を算出して動脈血圧反射感受性を評価すると、大動脈圧受容器のみが機能する場合の動脈血圧反射感受性は、頸動脈圧受容器と大動脈圧受容器の両方が機能する場合と比較して、約5割程度に低下した。この結果は、頸動脈圧受容器と大動脈弓圧受容器は心拍数制御に対して同程度の寄与度を持つ可能性を示唆する。

また、動脈血圧を低下させた時、頸動脈圧受容器には刺激を加えず、大動脈弓圧受容器のみを刺激した時の脳血流（中大動脈血流速度）を計測した。頸動脈圧受容器と大動脈圧受容器の両方を刺激した時に見られた脳血管応答は、頸動脈圧受容器を刺激しない場合には消失した。この結果は、頸動脈圧受容器が脳血管制御に対して重要な働きを持つことを示唆する。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 血圧、運動、動脈血圧反射

【研究題目】 脳損傷後の運動機能回復の基盤となる分子・解剖レベル変化

【研究代表者】 肥後 範行（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 肥後 範行（常勤職員1名）

【研究内容】

モデル動物としてマカサルをもちいて、運動出力にかかわる大脳皮質領野である第一次運動野の手の運動機能を担う脳領域に、イボテン酸と呼ばれる神経毒注入による損傷を作成した。損傷直後は重篤な運動麻痺が生じたものの、把握動作を用いた運動リハビリ訓練を1から2か月間行わせると、手を用いた巧緻動作に回復が見られた。これまでの研究で、手の巧緻動作の回復過程で、運動前野腹側部と呼ばれる損傷した第一次運動野とは別の脳領域が代償的に活動を変化させることによって、手の巧緻動作の回復が生じることを明らかにした。機能代償領域である運動前野腹側部からの運動出力を同定するために、解剖学的トレーサーであるビオチンデキストラミン（BDA）を運動前野腹側部に注入し、1か月後に解剖して染色した。脳損傷を受けていない健常個体でも同様に BDA を注入したところ、運動前野腹側部から発し、皮質下、あるいは反対半球に向かっている線維が同定された。健常個体と損傷個体の間で BDA 陽性の神経線維終末を比較したところ、大脳皮質下に存在し運動情報処理や運動出力に関わる被殻や赤核では、損傷個体で、健常個体より出力線維が多く見られた。運動前野腹側部から発する神経線維終末の増加は、同側半球のみならず、BDA を注入した運動前野腹側部と対側半球の被殻や赤核においても見られた。健常個体では運動前野腹側部から対側半球の被殻や赤核への投射がほとんど見られないことから、対側半球への投射が、第一次運動野損傷後に新規に形成されたと考えられる。このような皮質

下構造への投射変化が第一次運動野損傷後の巧緻動作の回復に必須である可能性がある。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 リハビリテーション、霊長類、病態モデル、機能回復、神経可塑性

〔研究題目〕 多点電気刺激による顔情報制御の研究

〔研究代表者〕 林 隆介（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 林 隆介（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ヒトをはじめとする霊長類は、顔の向きが変わっても、それが誰の顔か正確に判断することができる。こうした顔認識能力の神経基盤として、下側頭葉の「顔エリア」とよばれる脳領域群からなるネットワークが重要な役割を担うと考えられているが、その詳細は明らかでない。研究計画の2年度目にあたる本年度は、方位不変的な顔認識能力の神経基盤が、他の物体カテゴリー情報処理とどのように関わるかを明らかにするため、実験パラダイムの拡張を行った。

前年度までに、下側頭葉の終端部である TE 野の後部、中央部、前部に埋め込んだマイクロ電極アレイから神経活動記録を行い、顔の方位と顔の個人識別情報の表現様式が、TE 野の部位によって異なることを明らかにしていた。そこで、本年度は、ヒトの顔とサル顔ならびに顔以外の物体カテゴリーの間で、方位の情報がどのように表現されるのか、比較研究するための実験準備を行った。具体的には、多視点画像撮影による3D スキャンシステムを使って、ヒトとサル、果物、靴、車、電車などさまざまなオブジェクトの3DCG モデルのデータベースを作成した。同データベースを使うことで、顔と顔以外の情報処理の比較ができるようになるとともに、電気刺激実験における刺激効果が高められることが期待される。この他、顔以外のカテゴリーとして、身体部位（特に手の形）に注目し、どんな手の画像を見ているか神経データから復号化する技術を開発し、積極的に学会発表を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 神経科学、顔認知、視覚情報処理

〔研究題目〕 異なる感覚モダリティ・属性に共通した「時間」と「内容」の情報統合メカニズムの解明

〔研究代表者〕 藤崎 和香（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 藤崎 和香（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、「時間」と「内容」の情報を適切に統合してダイナミックな知覚世界を成立させている人間の脳の論理を、心理物理学の実験手法を用いて解明する

ことである。研究成果から、物理的には時間がずれていても人間にはずれを感じさせないような、人に優しいマルチモーダルインターフェースの設計指針が得られることが期待される。

我々は近年、感覚モダリティ間・属性間のバインディング課題の時間周波数限界が、感覚モダリティや属性の組み合わせによらず、約2.5Hzと共通になることを発見した。本研究では、この感覚や属性の組み合わせによらない共通の時間限界が、「時間（いつ）」と「内容（何）」の情報を並列的に処理したのちに統合するという脳の戦略を反映したものではないかという仮説を、「運動」という感覚・属性に共通した新たな指標を用いて検証するものである。

平成26年度は、主に聴覚に焦点をあてて属性間バインディングの研究を進め、2つの交替刺激内の周波数距離を固定したまま、交替刺激間の周波数距離をシステムティックに操作して、周波数距離の違いによって、また、呈示耳の違いによって、時間位相弁別課題の成績に影響が生じるかを調べた。その成果は Perception 誌に掲載された。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 マルチモダリティ、同時性判断、時間情報処理、時間バインディング

〔研究題目〕 業務引き継ぎカイゼンシステムを用いたOJT教育プログラムのフレームワーク

〔研究代表者〕 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 鷲尾 利克、工藤 大介、中川 敦寛（以上、東北大学）、鈴木 孝志（東京女子医科大学）、荒船 龍彦（東京電機大学）（常勤職員1名、他4名）

〔研究内容〕

救命救急の臨床における看護業務の無理・無駄をなくし、更には、on-the-job training（以下、OJT）に対応する教育プログラムの提案が可能なシステムの構築を行う。具体的には、1) 携帯型端末機器による看護業務カイゼンシステムの確立、2) システムを用いた新人・先輩看護師の業務記録から先輩看護師の暗黙知、新人看護師のピットフォールの抽出、3) 新人教育のプログラムの作成・施行、を行う。最終的には、本研究の事例から、救命救急看護師の高度画一化を実現するために、日常業務の情報を用いた教育プログラム作成・施行のフレームワークを提案する。

本年度は、臨床現場に開発した看護業務カイゼンシステムを予備実験的に導入し、従来業務を妨げることなく使用可能か検証した。検証した結果、システムの不具合を確認し、改修を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス



〔キーワード〕 情報共有、携帯端末、非言語情報

〔研究題目〕 神経活動依存的に変動する脳内乳酸濃度の全脳計測

〔研究代表者〕 高島 一郎（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 高島 一郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、脳賦活化の指標という観点から、脳内乳酸の経時計測を行い、脳神経活動と脳が産生する乳酸の関係を明らかにする。

脳灌流液中のグルコース濃度を低下させると乳酸産生が増える現象が観測されたが、グルコース濃度を元に戻した際に、乳酸産生もベースラインに戻る場合と戻らない場合があった。そこで本年度は、血糖値操作の乳酸産生への影響が一過性であるか、履歴効果を持つものであるかについて検証を行った。その結果、グルコース濃度15mMの状況から短期間(<10min) 10mMに低下という条件では、一過性に上昇した乳酸濃度がベースラインに戻るが、さらに5mMまでグルコース濃度を落とすと、乳酸産生量のベースが上がりその乳酸レベルが維持されることが明らかになった。この場合でも、5mMグルコース濃度で消失した神経活動は15mMグルコース濃度に戻すと復活した。また、脳神経活動と乳酸変動の時間応答解析に関しては、実験チェンバのバッファ容積が乳酸計測の時間分解能を律速しているという課題が判明した。そこで本年度、“脳頭蓋形状”を模擬するシリコンモールドを多種試作・評価し、バッファ容積を極限まで小さくすることで、ウォッシュアウト時定数を1min以下にまで短縮することに成功した（従来は9min）。脳活動をトリガーとする乳酸応答の時間応答特性を解析した結果、外側嗅索へのシータバースト電気刺激の後、乳酸応答は刺激後1min以内に始まり、減少から増加に転じるという複雑な応答変化を示すことが明らかになった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 膜電位イメージング、乳酸、グルコース

〔研究題目〕 動脈硬化の加齢変化の個人差が生むメカニズムの解明－10年間の追跡に基づく検討－

〔研究代表者〕 菅原 順（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 菅原 順、東本 翼、渡辺 光穂（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、下條 信威、前田 清司（以上、筑波大学）、野田 尚宏、松倉 智子、吉池 里和（以上、バイオメディカル研究部門）（常勤職員3名、他5名）

〔研究内容〕

加齢に伴う動脈硬化の進行は循環器疾患発症の危険因子となる。一方、習慣的な身体活動の実施によって中高齢者の動脈硬化を改善し得るが、一方で、動脈硬化の進行度や身体活動による改善効果には個人差が存在することも明らかになっている。これらの機構の解明は、個別対応型（テーラーメイド）の効果的な循環器疾患発症予防策の構築につながる。

本研究では10年間の長期観察に基づき、動脈硬化度の加齢変化の個人差における遺伝的要因（遺伝子多型）と後天的要因（身体活動水準）の関与、および両者の相互関連を探る。これにより、加齢に伴う動脈硬化の進行を効果的に抑制し、循環器疾患発症を予防するテーラーメイドのライフスタイル処方構築を目的とした。具体的には、本研究室において約10年前に血圧や動脈硬化度の測定を行った被験者を対象に、約10年後の追跡測定を行い、循環器指標の経年変化に対する遺伝的要因（一塩基遺伝子多型）および身体活動習慣を主体とする生活習慣要因の影響を検証する。ヒト由来試料実験委員会および人間工学実験委員会からの実験実施許諾を得た上で、36名分のデータ取得を行った。追跡データについては、死亡、当時の被験者との連絡がつかない、などの理由で、当初の目標数を確保できないことが想定された。そのため、縦断的検討と合わせて、横断的検討として新規の被験者リクルートを開始した。横断的検討では、同年代の集団をライフスタイルおよび遺伝子多型の違いで群分けし、比較することとした。遺伝子多型については、文献研究の元、候補遺伝子の探索を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 循環器疾患リスク、遺伝子多型、ライフスタイル

〔研究題目〕 レム睡眠が感情記憶に及ぼす効果検証

〔研究代表者〕 甲斐田幸佐（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 甲斐田 幸佐、仁木 和久（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

睡眠は、記憶するために必要な生理現象である。睡眠不足になると、物事を認知・判断する能力が低下し、記憶能力が低下することが知られている。本研究では、レム睡眠の選択的抑制によって、感情認知や記憶の偏向が長期的な影響として残るのかどうかを検討する。

本研究では、通常睡眠のあと（統制条件）、またはレム睡眠の選択的抑制のあと（レム断眠条件）に被験者に感情写真を記憶させ、その後に記憶テストを行い、記憶の忘却率を算出し、条件間で比較する。記憶テストは、記憶の直後（10分後）と8日後に行う。本研究で検討した仮説は下記である。① 断眠後の記憶能力は、中性刺激に対しては低下するが、快・不快刺激に対しては低下しない、② 断眠の影響は、断眠8日後にも残る。被験

者は健常男性大学生16名程度である。

本年度（3年計画の3年目）は、前年度までに取得したデータを解析し、学会発表および論文執筆を行った。平成28年度は、学会発表および論文執筆の過程を通じて、次期研究課題を模索する。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 睡眠不足、感情、記憶

【研究題目】 機械学習を利用した反応材料分布と環境エネルギー条件の推定法構築

【研究代表者】 城 真範（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 城 真範（常勤職員1名）

【研究内容】

機械学習を利用した新しい低分子専用の反応シミュレーション手法を構築するため、二年目となる本年度は、主に逆問題を解くためのプログラム開発に注力した。特に順問題よりも逆問題を解くことに力点を置いて、仮定された問題についてのいくつかのサブルーチン開発を行った。また、研究会等で積極的に発表し、広く興味を持ってくれた研究者との議論を行い、設計システムの問題点と改良方法、利用可能な既存技術、ライブラリなどを横断的に調べた。昨年度見つかった類似の先行研究を実装し、その問題点を実際に洗い出した。研究の進展に伴い、申請時のアイデアからは変容しているが反応の素過程に踏み込む方法は新しく、一つの有望な提案手法として改良することに取り組んでいる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 化学反応、機械学習

【研究題目】 ホームケアをサポートする人間生活調和型コンパクトアクチュエータの総合的研究

【研究代表者】 井野 秀一（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 井野 秀一、榊 浩司（エネルギー技術研究部門）、土井 幸輝（国立特別支援教育総合研究所）、山下 和彦（東京医療保健大学）、和田 親宗（九州工業大学）（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本格的な高齢社会を迎え、多様なライフスタイルをサポートする福祉機器の開発とその充実が真に求められている。また、世界各地で頻発する甚大な自然災害や都市災害の現場では、電源インフラに依存せず、高出力で機動性に優れた防災救助ツールの登場が期待されている。そこで、本課題では、電源フリーでハイパワーかつコンパクトな人間生活調和型のソフトアクチュエータの新技術を、高齢者や障害をもつ人たちのホームケアおよび防災救助向けの応用に軸足を置き、機能性材料開発や人間

行動計測などを織り交ぜて、学際的な視座から研究開発することを目的としている。

本年度は、昨年度に引き続き、コンパクトな圧力発生ユニットとしての水素吸蔵合金やその周辺技術等に係わる人間生活調和型アクチュエータシステムの基盤研究を主軸に展開した。合金開発では、従来の水素吸蔵合金アクチュエータに利用されてきた高価なレアアースを含まない新組成の合金を設計した。試作した合金の圧力-組成-温度（P-C-T）特性を調べたところ、その特性にはアクチュエータに適した平坦なプラトー圧の領域を有することがわかった。周辺技術開発については、アクチュエータ設計の自由度向上と内部構造のソフト化を目標とした合金シート化技術の開発に取り組んだ。水素吸蔵合金をシート状に成形するには抄紙製法の技術適用が有効であり、合金単一の場合と比べて遜色のない水素吸蔵特性を保持可能であることを評価実験により確認した。また、ホームケアおよび家庭用防災のサポート技術のための人間工学的研究については、高齢者やトイレ等での立ち上がりに関する動作計測のための実験環境等の整備を行い、併せて予備実験を実施した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アクチュエータ、水素吸蔵合金、ホームケア、介護、防災、生体計測

【研究題目】 動的脳活動の非侵襲計測データ統合解析に基づく高次視覚認知のデコーディング技術

【研究代表者】 岩木 直（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 岩木 直、中井 敏晴（国立長寿医療研究センター）、熊田 孝恒（京都大学）（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究では、脳内の様々な領域の協調的活動によって実現されている高次かつ主観的な視覚体験の神経機序を解明するためのツールとして、脳活動の時空間ダイナミクスと領域間相互作用データから高次視覚体験の神経情報を復号化（デコード）する技術の開発を目標とする。具体的には、MEG/EEG と fMRI データの統合解析手法を基盤に、脳活動の時空間的特徴（部位、潜時・活動時間）を高精度に抽出する手法を開発し、統合解析アルゴリズムにより得られる高精度な脳活動データから、因果モデリング技術を用いて、各活動領域間の相互作用を定量的に評価する手法を考案し、これと主観的な視覚知覚との関連を調べる。

平成26年度は、昨年度までに開発したデータ解析手法に、脳活動の時空間特徴（活動部位、活動潜時、活動時間など）を抽出する技術を加えて、三次元オブジェクト知覚やその心的（mental）な操作の脳活動ダイナミクスを計測し、得られたデータと各被験者の三次元オブ

ジェクト心的操作課題の行動学的パフォーマンスとの間の相関関係をモデル化した。この結果、三次元オブジェクトを心的に操作する際の行動学的パフォーマンスの個人差と、脳活動指標との間に有意な相関関係があること、具体的には、三次元オブジェクト心的操作課題呈示に同期した後頭・頭頂部ガンマ帯域自発脳活動強度の変化と、難易度の高い条件における課題正答率との間に有意な正の相関があることを明らかにした。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 非侵襲脳機能計測、マルチモーダル・ニューロイメージング、三次元物体知覚、高次視覚処理、因果モデリング

【研究題目】 多感覚情報の脳内統合機構の解明

【研究代表者】 山本 慎也（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 山本 慎也（常勤職員1名）

【研究内容】

脳は複数の感覚信号を統合して、統一した知覚を構築することが出来る。例えば、単一のイベントとして同時に生じた視聴覚の感覚信号は、実際には脳内の多感覚領域には同時に到着しない。これは、イベントから目や耳（受容器）まで光や音が伝達される際に生じる物理時間差と、受容器から多感覚領域まで神経信号が伝達される際に生じる神経時間差という、2つの時間差に起因すると考えられる。これら2つの独立に生じる時間差をどのように脳が補正しているのか、これまで未知の問題であった。イベントが最も近くにある際には、物理時間差が生じないため、多感覚領域に到達した信号の時間差は、ほぼ神経時間差のみになり、この場合に聴覚信号の到達時間が視覚信号のそれに対して相対的に最も早くなる。これらの事から、我々は、「多感覚領域における到着時刻のうち、聴覚信号が相対的に最も早い場合の時間差が神経伝導時間差と一致するように、補正を行う」という理論を構築した。さらに、視聴覚の時間順序判断の実験系によって、上記の理論をサポートする新しい知覚変化を発見し、この新しいタイプの知覚補正を「ゼロ点補正」と命名した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経科学、認知科学

【研究題目】 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

【研究代表者】 赤穂 昭太郎（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 赤穂 昭太郎、麻生 英樹（知能システム研究部門）（常勤職員2名）

【研究内容】

近年発展してきた計測技術によって大量の高次元データが得られるようになってきている。そのようなデータのモ

デリングには従来単純な線形モデルが広く用いられてきたが、現実の観測データは複雑で非線形な構造を内包しており、従来手法では本質を捉えきれないことが多い。

本研究課題では、カーネル法によるスパースモデリングを拡張することにより、マルチモーダルデータや時系列データ、さらに階層的・論理的な構造が内在するデータなどから複雑な構造を抽出することのできる新たなスパースモデリング手法の確立を目的とする。

この目的のために[課題1]マルチモーダルスパースモデリング、[課題2]ダイナミカルスパースモデリング、[課題3]構造的スパースモデリングの3つの課題を遂行している。

平成25年度は、課題1については、相互情報量に基づく最適化規準を採用したカーネル正準相関分析の拡張手法について定式化を行った。課題2は、互いに作用を及ぼし合う変数間の観測時系列からその作用のスパースな依存関係を抽出するアルゴリズムを開発した。課題3については、Kempらによって提案された確率的潜在構造抽出の手法を連想記憶モデルに適用し、想起過程の構造を適切に抽出できることを確認した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アルゴリズム、機械学習、モデル化

【研究題目】 物体視覚情報の時間的統合を支える神経メカニズムの解明

【研究代表者】 林 隆介（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 林 隆介、山崎 俊太郎（デジタルヒューマン研究センター）（常勤職員2名）

【研究内容】

我々の脳は、視覚刺激の出現や変化を時間軸に沿って処理しているが、時間的に後から生じた事象からも修飾を受けて知覚内容を変化させる。こうした時間軸を逆行する遡及効果により、神経伝達に伴う情報処理の時間遅れを補償し、絶えず変化する外界に知覚内容を適応させていると考えられるが、その神経基盤は明らかではない。

本研究では、動物モデルをもちいて、物体視覚処理に関わる腹側視覚経路の脳表面から神経細胞群の電気的活動を多点同時記録し、物体情報が変化する画像を観察中に視覚表象がどのように時間発展しながら領野間を伝搬するのかを明らかにすることを目標としている。

これまでに、下側頭葉の終端部であるTE野の後部、中央部、前部に埋め込んだマイクロ電極アレイから、さまざまな物体画像に対する神経活動記録を行い、物体カテゴリーに関する情報量の時間変化を、情報復号化精度を基準に評価した。その結果、物体情報が変化しない静止画の場合、刺激後100-300msをピークに情報量は漸次低下していくことが明らかになった。さらに、物体カテゴリーの変化が、神経応答の時間特性にどのように影響するのか調べるためのデータベース構築を行った。具

体的には、独自開発したソフトウェアを使って、ヒトとサルのほか、果物、靴、車、電車などさまざまな物体の3DCGモデルをモーフィング操作し、物体カテゴリが変化する画像群を作成した。また、同画像データベースを使い、人間を被験者とする心理物理実験を行う環境を構築した。この他、多数の電極埋め込みを可能にするため、新たな動物実験装置の開発を行い、特許を取得した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経科学、時間変化、視覚情報処理

【研究題目】 主観的同時性と時間順序を実現する神経基盤の解明

【研究代表者】 山本 慎也（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 山本 慎也（常勤職員1名）

【研究内容】

脳は複数の感覚信号の時間情報をどのように処理しているのだろうか？100ms程度の小さな時間差を有する2つの信号における時間的関係を考えるとき、「どちらが先でどちらが後か？」という時間順序の問題と、「同時か非同時か？」という同時性の問題が存在する。これまで、「時間順序と同時性は、同じ神経基盤で行われているのかどうか？」という議論が続いてきたが、未知の問題のままであった。一方、最近の研究で、時間知覚は過去の経験に依存して変化することがわかってきた（時間知覚適応）。我々は、この時間知覚適応のパターンを比較するという方法によって、「時間順序と同時性は、同じ神経基盤で行われているのか？」という問題の解決に挑み、両者が別のプロセスである可能性を示唆する結果を得た。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経科学、認知科学

【研究題目】 スパースモデリングを用いた顔の個体認知の神経機構の解明

【研究代表者】 菅生 康子（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 菅生 康子、松本 有央（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究では、スパースモデリングを用いて認知機能を知覚と記憶の相互作用の観点から取り扱う枠組みを、電気生理学データに基づくデータ駆動アプローチで構築することを目指す。我々の社会生活を支える脳の重要な機能の1つ、顔の個体や表情の認知は、入力された視覚情報から、髪、眉、眼、鼻、口などの要素を取り出し、その組み合わせとしての顔を知覚するプロセスと、過去に見た経験により形成された記憶から想起された顔と今見ている顔とを照合するというプロセスの統合によって可

能になると考えられる。これまでの研究から、知覚のプロセスには側頭皮質の顔細胞からの情報が、記憶のプロセスには内側側頭葉の概念細胞の情報が関与していると考えられる。しかしながら、情報の統合を可能にする神経機構は明らかでない。

そこで、個体認知に関わるニューロンを推定する手法を構築するため、顔の倒立提示により個体認知の成績が低下するという心理学的現象に基づき、顔の倒立提示が側頭皮質の情報処理に与える影響を調べた。ヒトとサルの複数の個体と表情からなる顔画像のセットを用い、注視課題において顔画像を正立あるいは倒立の状態で400ミリ秒間提示した。課題遂行中のアカゲザル2頭の側頭皮質から119個のニューロン活動を記録した。その119個のニューロン活動をニューロン集団の活動としてクラスター解析を行った。その結果、視覚刺激提示後[115, 165]ミリ秒において、正立でも倒立提示でもヒトとサルと図形とは分かれ、大まかな分類は影響をうけないことが分かった。しかし、その後[140, 190]ミリ秒において、顔の正立提示では出現するヒト個体やサル表情のクラスターが、顔の倒立提示では観察されなかった。これらの結果から、側頭葉視覚連合野の神経細胞は、顔を倒立で見た時、顔であるという情報は獲得できるが、個体や表情についての情報を獲得することは困難なることを示している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 顔認知、側頭葉、ニューロン、スパースモデリング

【研究題目】 ヒトの認知の基盤となる神経計算学的圏論

【研究代表者】 Phillips Steven（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 Phillips Steven、武田 裕司（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究の目的は、圏論に基づくヒトの認知メカニズムの理解を、行動的・神経認知的に検証することである。この目的のため2つの実験を行い、直積の引数（圏論における計算のレベル）と、行動的および神経生理学的な変数の関係を検討した。

実験1では、実験参加者（大学生16名）は複数の非標的アイテムと1つの標的アイテムが呈示された画面の中から標的アイテムを検出する視覚探索課題を行った。標的アイテムを特定する視覚特性の次元数（圏論における直積の引数の数に相当）を操作し、1次元、2次元、3次元の条件を設けた。実験の結果、引数の増加に伴って低ガンマ帯域脳波の前頭一頭頂間同期性が増加した。この結果は我々の先行研究の結果を再現するものである。

実験2では、実験参加者は見本合わせ課題を行った。実験1と同様に、標的を特定する視覚特性の次元数を操

作した。しかしこの実験では、引数の増加に伴う脳波同期性の増加は確認されなかった。その理由として、見本見合わせ課題は1個のアイテムと標的アイテムを比較するだけの単純な課題であったことが挙げられる。このため、実験参加者は標的アイテムを複数の視覚特性の結合としてではなく1つの（合成された）特徴と捉えており、その結果、引数の効果が得られなかった可能性がある。今後の実験でこの可能性を検討する。

また本研究は、脳波同期性の分析に、普遍的構造の評価に用いられる経験ベイズ法を適用した。そして、圏論（普遍的構造）に基づく学習のシステム特性の説明を行った（Phillips & Wilson, 2015）。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 圏論、システム特性、脳波、同期性、視覚探索、経験ベイズ

〔研究題目〕 メタ認知を支える神経基盤と多重モデルの解明

〔研究代表者〕 小村 豊（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 小村 豊（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

メタ認知（metacognition）は、cognition about cognition と呼ばれ、より上位のメタな視点から、自己の内部の状況をモニターする能力を指す。自己の判断の確からしさ（自信の程度）を報告する能力は、メタ認知の典型例である。これまで、メタ認知の内容は、本人にしかアクセスできないもので、ヒトの言語報告に頼っていたが、近年、非言語的テストを用いて、その能力の一端を評価することができるようになってきている。そこで本研究では、動物を対象に、非言語的なメタ認知課題を習得させた。具体的には、サルに、ドットモーションの刺激を提示して、その動きの向きの判断をさせた後に、その判断に対する自信の高低を、2種類のバーの選択行動によって推定した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 メタ認知、動物、非言語

〔研究題目〕 動画像による形状予測に基づく変形物体の追跡手法の研究

〔研究代表者〕 西田 健次（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 西田 健次（常勤職員1名）

〔研究内容〕

対象追跡は、コンピュータビジョンの主要な適用例であり、特に自動車などの大きくは変形しない物体に対する追跡手法は、ほぼ確立されていると言って良い。一方、人間のように変形を伴う物体の追跡に関しては、変形に対して不変な特徴を用いて追跡を行う例が多く、サッカーのようなチームスポーツ、あるいは、群衆などの、類

似の特徴量を持つ複数の対象が近接して存在するような状況においては、追跡を行う対象とそれ以外の対象を弁別することが難しく、有効な追跡手法は確立されていない。近接する類似の特徴量を持った対象と目的の対象を弁別するために、対象の移動軌跡を利用する手法が考えられるが、前述のチームスポーツのような状況では、対象（選手）同士の隠れなどの影響により、移動軌跡の推定自体が困難となる。そこで、追跡対象が変形物体であることを利用し、対象固有の変形の時系列を検出し、それを特徴量として目的の対象の位置を同定する手掛かりとする。これにより、従来、追跡が困難であった類似の特徴を持つ変形物体が複数存在する状況での対象追跡が可能となる。そのためには、対象の形状変化の予測と形状変化に基づいた追跡の二つの手法の確立が必須となる。本研究では、変形物体の形状変化をより正確に予測し、その変形予測をもとに似たような特徴量を持つ集団の中から、目標とする対象を識別し追跡する手法を確立することを目的とする。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 パターン認識、コンピュータビジョン、トラッキング

〔研究題目〕 自己選択による意思決定情報の可視化と解読

〔研究代表者〕 松本 有央（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 松本 有央、設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

報酬獲得のための行動決定を調べるために、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を2匹のサルにトレーニングした。この課題では、最初に、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を行う。課題内容は以下の通りである。まず、3段階の報酬量と3段階の仕事量を示唆する9種類の選択肢から2つをサルに提示する。選択肢の明るさもらえる報酬量を表し、長さが報酬をもらえるまでに必要な試行数を表す。モンキーチェアには、3本のバーが中央と左右に付着されている。サルが中央のバーを握れば課題が始まり、初めに一つの選択肢が画面の中央に表示される。その後、もう一つの選択肢が画面の中央に表示される。さらにその後、表示された2つの選択肢が画面の左右どちらかの場所にランダムに同時に表示される。サルが左右のバーのいずれかを握れば、対応する選択肢が選ばれ、選ばれた選択肢のみが表示される。行動決定課題終了後に、実際にサルが選んだ選択肢が示す視覚弁別課題を行う。

本年度は、行動決定課題遂行時のニューロン活動を調べるために、眼窩前頭皮質から記録された単一ニューロン活動を解析した。記録されたニューロンは、初めに提

示された選択肢と次に提示された選択肢に対する応答の組み合わせによって主に3種類に分類された。これは、提示された選択肢の労働負荷と報酬量に応答するニューロン、初めに提示された選択肢と次に提示された選択肢の差分に応答するニューロン、2つの選択肢の組み合わせに応答するニューロンである。それゆえ、これらのニューロンは、労働負荷と報酬量を処理している可能性がある。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 意思決定、行動選択、報酬量、負荷量

【研究題目】 脳梗塞片麻痺ラットを用いた感覚運動連合学習における動作アシストの効果の解明

【研究代表者】 金子 秀和（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 金子 秀和（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

我々は、脳梗塞後のリハビリ訓練中に動作を補助し、動作関連筋肉及び関節に深部感覚を誘発することによって、学習過程及びリハビリ過程の促進効果が現れると考えている。これまでに選択反応時間タスクの逆転学習を片側前肢感覚運動野脳梗塞ラットに行わせたと、脳損傷部位対側前肢に関する学習機能が低下していることが分かっている。本研究では、同様の条件下で、強制的に応答動作を誘発することによって本タスクの学習過程が促進されることを実証する。その際、強制的に応答動作を誘発させる前肢の側及びタイミングの影響を統計解析し、学習やリハビリ過程を効果的に促進しうる動作補助条件を明らかにする。

平成26年度は、健常ラットに選択反応時間タスクの逆転学習を行わせ、空圧刺激に同期して正反応側あるいは誤反応側レバーを駆動した場合のエラー率の改善速度を比較した。その結果、レバー駆動側の違いによって学習速度に違いが生じていた。このことから、レバー駆動に伴う運動感覚呈示によってタスク学習過程に介入可能であるのではないかと知見を得た。また、応答動作のタイミングを予測する技術を確立するため、神経や筋肉などの生体信号あるいはレバー押力の変化を利用するなどの方策について検討した。その結果、現在使用している動物実験装置では応答動作寸前のレバー押力の変化から応答動作タイミングを検出するのが容易であると考えられた。これまでに、数十グラム重程度のラットのレバー押力を試作機で計測可能であることを確認した。これによって、レバー駆動によって生じるであろう運動感覚を随意的な運動指令に合わせて誘発することが可能になると考えている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 リハビリテーション、脳神経疾患、脳・神経、神経科学、動物

【研究題目】 直感的・潜在的な選好判断に関わる脳内情報処理メカニズムの解明

【研究代表者】 武田 裕司（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 武田 裕司（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、脳波の低ガンマ帯域におけるチャンネル間位相同期値が直感的な選好の情報処理を反映している可能性について検討することを目的としている。

平成26年度は、まず、タイムプレッシャを与えた状況において写真画像に対する直感的な選好判断を求めた（実験1）。その結果、「嫌い」と答えた写真画像と比べて、「好き」と答えた写真画像に対して低ガンマにおける位相同期値が高くなることが示された。この結果は過去の予備的実験の研究結果と一致しており、その再現性が確認された。次に、同じ写真画像をブロック間で繰り返して提示することによる影響を検討した（実験2）。その結果、繰り返しに伴う位相同期値の系統的な変化は認められず、単純接触効果様の反応バイアスも確認されなかった。

そこで、単純接触効果が生じやすいと考えられている無意味図形を用いた実験を行った（実験3）。その結果、写真画像を用いた実験の結果とは逆に「嫌い」と答えた無意味図形に対して位相同期値が高くなることが示された。さらに、同一の実験参加者に対して写真画像と無意味図形に対する選好判断実験を行った（実験4）。その結果、実験1と3の結果が再現され、選好と位相同期値の関係が写真画像と無意味図形で逆転することが明らかになった。この結果は、実験開始当初に予想していなかったものであるが、我々の選好メカニズムを明らかにする上で、極めて重要な知見であると考えられる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 選好、脳波、位相同期

【研究題目】 Multi-functional Hollow Mesoporous Silica Adjuvant for Cancer Immunotherapy

【研究代表者】 王 秀鵬（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 王 秀鵬（常勤職員1名）

【研究内容】

今や癌は日本では第一位、世界でも主要な死亡原因となり、癌治療研究は社会的にも重要性が増している。癌の臨床症状が現れた時には、体の他の部分に転移している。この段階では、従来の治療法（手術療法、化学療法、放射線療法など）は、転移癌についての有効性が限られている。癌免疫療法は、従来の癌治療への重要なサプリメントであり、ヒトが元来持つ免疫系を利用し、正常な細胞を傷つけずに腫瘍細胞のみを認識・破壊するよう免疫細胞を活性化する新規の癌治療法として注目されている。

る。

本研究では、腫瘍抗原による効率的な免疫系の活性化のため、メソポーラスシリカアジュバントの開発に成功し、強力な全身性抗癌免疫を誘発することを明らかにしてきた。ところが、本研究において開発したメソポーラスシリカアジュバントが高い抗癌免疫を示した作用機序は明らかではない。そこで、昨年度に引き続き、癌免疫療法用メソポーラスシリカアジュバントの免疫活性化メカニズムの解明に挑んだ。更に、アジュバントの免疫活性に影響するパラメータとして、メソポーラスシリカの種類や構造を最適化し、癌免疫療法のための多機能免疫増強、可視化アジュバントの開発を目指した。

具体的には、癌免疫療法用メソポーラスシリカアジュバントの免疫活性化メカニズム解明の足掛かりとして、当該アジュバントを使用し免疫したマウスのリンパ球が産生する特徴的な分子を分析した。その結果、アジュバントとして一般的なアラムは体液性免疫を介して免疫応答を誘発するのに対して、メソポーラスシリカアジュバントは免疫グロブリンの産生だけでなく、リンパ球増殖、インターフェロン- $\gamma$ 産生、インターロイキン-2産生を向上させることから、細胞性免疫と体液性免疫の両方を介して免疫応答を誘発することを再確認した。また、アジュバントの免疫活性に影響するパラメータとして、メソポーラスシリカの種類、中空構造、免疫増強元素修飾、磁気修飾、蛍光標識、表面電荷、超音波や蛍光等による可視化の制御を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 癌ワクチン、免疫補助療法、アジュバント、メソポーラスシリカ

【研究題目】 予測の脳内メカニズム解明：刺激文脈ベースの予測と行為ベースの予測の協調機序の検討

【研究代表者】 木村 元洋（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 木村 元洋（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究は、視覚事象の予測を実行している二つの予測機構（刺激文脈ベースの予測・行為ベースの予測）の協調メカニズムを、脳波の一種である事象関連脳電位（ERP）を用いて解明することを目的とする。刺激文脈ベースの予測機構は、視覚オブジェクトの現時点までの文脈からルールを抽出し、それを基に瞬時に予測モデルを形成することで、そのオブジェクトが次にどう変化するかを事前に、観察者の意図に関わらず自動的に予測する。一方、行為ベースの予測機構は、我々が自らの行為によって環境に働きかける際、その行為によって環境にどのような変化が生じるかを事前に予測することを可能にする。この二つの予測機構の協調メカニズムを調べるため、二つの予測機構それぞれの働きを特異的に反

映する ERP 効果の特定を行った。その結果、刺激文脈ベースの予測を反映する ERP 効果として、(1) 予測された事象と実際の事象が不一致の際に、事象オンセット後200-300 ms 付近で後側頭部優位の陰性電位（visual mismatch negativity）が出現すること、(2) 予測された事象と実際の事象が一致した際には、事象オンセット後180-220 ms 付近で中心部優位の視覚誘発電位（P2）の減衰が生じることがわかった（Kimura & Takeda, 2015, Brain Research）。一方、行為ベースの予測を反映する ERP 効果として、(1) 予測された事象と実際の事象が不一致の際に、事象オンセット後150-300 ms 付近で後側頭部優位の二峰性の陰性電位が出現すること、(2) 予測された事象と実際の事象が一致した際には、事象オンセット後120-180 ms 付近で後部優位の視覚誘発電位（P1）の減衰が生じることがわかった（論文準備中）。さらに、行為ベースの予測により、刺激文脈ベースの予測を反映する visual mismatch negativity の惹起パターンが変化するという、二つの予測機構の協調メカニズムの階層的関係性を示す重要な現象も新たに発見した（Kimura & Takeda, 2014, Neuropsychologia）。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 予測、行為、視覚、脳波、事象関連脳電位

【研究題目】 インテリジェント人工臓器創成を目指した人工臓器内血流の分光イメージング

【研究代表者】 迫田 大輔（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 迫田 大輔（常勤職員1名）

【研究内容】

体外補助循環用血液ポンプや人工肺等において、血栓形成が問題となっている。血栓を非侵襲に検出およびイメージングを達成することで、デバイスの抗血栓性評価法の確立や、臨床における抗凝固管理の最適化に貢献することを目的としている。

平成26年度の主な成果として、血液ポンプ内血栓形成のリアルタイム近赤外光イメージング法を開発した。血液ポンプのインペラ回転数と同周波数の白色パルス光源を照射しながらポンプ内の血液による散乱光をハイパースペクトラルカメラで撮影することで、ストロボ効果により高速で回転する血液ポンプ内血栓形成をリアルタイムに検出することに成功した。ブタを用いた体外補助循環大型動物実験にて実施し、両実験における血液ポンプ内血栓形成をイメージングすることに成功した。大型動物実験の実施により、血栓形成は手術侵襲度に大きく影響を受けることが示唆された。体外補助循環デバイス内に血栓が「いつ・どの様に」形成されたのかをリアルタイムに検出することができる、世界唯一の評価実験系を確立することができた。心臓血管外科手術と体外補助

循環デバイス内血栓形成の関連を解明に大きく寄与できることが期待できる。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 体外補助循環、血液、血栓、近赤外分光、ハイパースペクトラルイメージング

〔研究題目〕 個人間の脳活動相関性に着目した協調作業効率の評価技術

〔研究代表者〕 岩木 直（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 岩木 直（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、協調作業における作業者の動的な相互作用の神経基盤、とくに互いに対面した被験者間の脳活動の相互作用と行動指標との相関関係をモデル化する技術を開発することを目的とする。具体的には、対面して協調作業を行う2名の被験者の両者から、脳神経活動（脳波、筋電図）信号および協調動作記録を計測し、両者の神経活動の時間的推移から、両者間の神経活動の因果関係（個人間神経連関）を解析することにより、協調作業のパフォーマンスを評価・予測可能な手法を提案することを目標とする。

平成26年度は、対面する2名の被験者両者から脳活動と眼球運動を同時計測する技術の開発を行った。さらに、それを用いて相手の視線を知覚している際の、自発脳活動のダイナミックな変化（相手の視線の動きに同期した、さまざまな周波数帯の自発脳活動パワーの変化）を評価するとともに、両被験者間の脳波のコヒーレンス解析を行った。この結果、(a) 相手の視線知覚に同期して、一時的にガンマ帯域脳活動パワーが増加すること、また、(b) 視線の送り手の前頭部と、視線の受け手の頭頂・側頭部で、視線合わせに同期してガンマ帯域脳活動のコヒーレンスが上昇する現象を発見した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 非侵襲脳機能計測、マルチモーダル・ニューロイメージング、三次元物体知覚、高次視覚処理、因果モデリング

〔研究題目〕 ロービジョン者の紙面書字活動を支援する新奇な拡大読書器の提案と開発

〔研究代表者〕 坂本 隆（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 坂本 隆（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、拡大読書器の仕組みや機能を根本から見直すことによって、ロービジョン者（高齢者含む）向け視覚補助装置に、革新的な進歩をもたらす新技術の研究である。本研究が着目したのは、拡大された書字画面を見ながら、利用者が紙に文字を書くことが困難であるという、拡大読書器の機能や利用法に関する課題であ

る。また据え置き型の拡大読書器は、利用場所が限定されるなどの問題もあり、拡大読書器の形態や構造の見直しも視野に入れている。こうした諸問題を解決する方法を模索し、拡大読書器の構造・形態・機能・利用法などについて、研究成果に基づく新たな提言を目指している。

平成26年度の進捗状況：

連携研究者との討議等を通じて明らかにされた問題点や今後の展望について、国際会議で報告すると共に、関連の情報収集に尽力した。当初の研究計画では、初年度に拡大読書器の光学系を設計する予定であったが、拡大読書器メーカーおよび拡大読書器ユーザーからの要望、連携研究者との討議などから、幾つかの重要課題が明らかになり、研究計画を軌道修正すると共に、撮像方式、提示する色の選択・変換手法、画像処理手法などについても、調査をすることにした。具体的には、1) 撮像にスキャナーを採用できないか、2) ロービジョンの色覚特性を反映した画像提示ができないか、3) 画像をそのまま提示するのではなく OCR などを用いて鮮明化できないか、などの課題が明らかになった。これらの課題については、次年度以降の研究対象とする予定である。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 福祉情報工学、光学系、視覚補助装置、ロービジョン、色覚特性、視認性

〔研究題目〕 脳血管疾患発症予測のための中心動脈循環特性プロファイリング

〔研究代表者〕 菅原 順（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

〔研究担当者〕 菅原 順、東本 翼（以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
小河 繁彦（東洋大学）、  
今井 智子（筑波大学）  
（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

大動脈や頸動脈などの中心動脈は優れた伸展性を有し、心臓から断続的に駆出される血流と、それによって生じる血圧の拍動性成分を緩衝する。この作用は、脳のような血管抵抗が低く脆弱な末梢臓器を、血流および脈波の拍動性刺激から保護していると考えられている。しかし、このような機能は加齢や高血圧などの疾患により低下し、末梢臓器疾患のリスクの増大につながると考えられる。実際に、中心動脈伸展性の低下は脳卒中発症の独立した危険因子となることや、脳ラクナ梗塞発症者の中心動脈伸展性は同じ年代の健常者よりも低値であることなどが報告されている。これに対して、申請者らは、習慣的な身体活動の実施で中高年者の中心動脈伸展性を改善できることを報告している。中心動脈伸展性が向上し、拍動性成分を緩衝する作用が改善されれば、末梢臓器疾患の発症リスクの軽減につながると考えられる。

そこで本研究では、脳血管疾患の発症予測を目的とし



た、中心動脈伸展性を介した拍動性成分緩衝能力の評価指標として、心臓→大動脈→頸動脈→中大脳動脈へと続く動脈系の血圧および血流伝達特性（中心動脈-脳循環の動的連関）を提案する。本年度は、「中心動脈-脳循環の動的連関」に対する加齢の影響を検討することを目的とし、100名超のサンプル収集を行った（実験1）。また、習慣的運動に伴う機能的適応を明らかにするため、若年健康者を対象に6か月間の高強度運動トレーニングを実施し、「中心動脈-脳循環の動的連関」がどのように変化するかを検証した（実験2）。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 生活習慣病、脳循環、循環調節、運動適応

【研究題目】 色覚障害者に配慮した均等色空間および色差式の確立にむけた基礎研究

【研究代表者】 坂本 隆（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 坂本 隆（常勤職員1名）

【研究内容】

色覚障害者向け技術開発や、色覚障害者向け視覚標作物作成のためには、色覚障害者が知覚する色の差異（色差）を予測し、これを定量的に評価する方法が必要である。しかし、当該の方法は未だ確立されていない。これを解決するためには、色覚障害者の知覚の色差に等歩度となる均等色空間および色差式が必要である。本研究は、先天性の色覚異常、特に1型2色覚と2型2色覚に着目し、当該2色覚を対象とする視覚実験と色覚モデルに基づく研究を通じて、均等色空間を構築し、色差式を導出することを目標とする。

平成26年度の進捗状況：

提案する LMS 錐体色空間を均等化する手法と、従来手法である2色覚の見えのシミュレーション画像に対し、3色覚の色差を用いて2色覚の色差を近似する方法を比較した。その結果、従来手法ではシミュレーションの方式が異なると、CIELAB 均等色空間におけるシミュレーション画像の色分布も大きく異なることが分かった。CIELAB 均等色空間から2色覚の色差を近似する方法には、シミュレーション方式の相違に関する問題があるだけでなく、シミュレーション画像そのものが RGB 色空間を用いて近似的に2色覚の見えを表現するため、幾つかの簡単な仮定条件の下で算出されたものであり、必然的に多く誤差を含んでいることがその原因と考えられる。この問題を解決する一つの方法として、研究代表者が提案する LMS 錐体色空間を均等化する手法が有効であることを示した。

また提案手法によって、幾つかのバリアフリーカラーパレットとバリアフリー照明を分析し、D65光源下におけるカラーパレットの見え、バリアフリー照明下における色票の見えを、色差の大小という観点から分析し、識

別性の良さを提案手法によって判別できることを示した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 色覚異常、知覚特性、色差、色空間

【研究題目】 スパース辞書学習による信号の構造を利用した柔軟な多次元信号処理

【研究代表者】 兼村 厚範（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 兼村 厚範（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、辞書学習の枠組みにスパース構造正則化を導入することにより、脳機能信号解析における新規な手法を提案することである。辞書学習は、基底に直交性ではなくスパース性を仮定することで、信号を効率よくかつ柔軟に表現できる。辞書学習による脳活動信号の処理は、ますます実世界応用に近づきつつある当該分野を進展させ、周辺分野に影響を及ぼす可能性を持つ。

本年度は、信号の有する構造に対応した辞書学習法を提案した。具体的には、主に多人数・複数セッションに共通する脳活動辞書と、人・セッション特有の変換とに脳信号を分離し、いずれもデータから学習した。共通辞書は使い回しが可能、変換は個別に学習するという枠組みを利用し、タスクを行っていない5分間の安静時脳活動のみによる較正を可能とした。これには、次のような背景と目的がある。脳活動を外部機器の操作、訓練、リハビリなどに利用するブレイン・コンピュータ・インタフェース（BCI）が計測機器・解析技術の発展により現実のものとなりつつある。しかし、脳波信号は、同じタスクを遂行していても、人が変わったり、同じ人でも計測セッションが異なったりすると変動するため、多人数・複数セッションにわたる脳波解析は容易ではなかった。従来、このような変動は、典型的には次の2手法のいずれかで解決されていた。すなわち、1) BCI 利用の直前に数十分程度の較正用計測を行う、2) 変動にロバストなユニバーサル解析器を構築する。しかし、前者は時間を要し、後者はどの利用者に対しても最適でないという欠点があった。提案法はこれらの欠点を解決するものでもある。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 統計的信号処理、スパース性、脳波、ブレイン・コンピュータ・インタフェース（BCI）

【研究題目】 あがりや巧みな運動に与える影響—情動と運動学習の接点—

【研究代表者】 吉江 路子（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 吉江 路子（常勤職員1名）

【研究内容】

スポーツの試合や音楽の公演など、他者から評価され

ながら巧みな運動制御をすることが求められる場面では、緊張・あがりやが喚起されることでパフォーマンスが低下し、練習の成果を十分に発揮できないことがある。本研究では、こうした緊張・あがりによるパフォーマンス低下を防ぐための対処法を提案することを目指し、他者の感情的反応が運動に及ぼす影響を調べることを目的とする。

初年度である本年度は、まず、緊張・あがりやを喚起するための視覚刺激及び聴覚刺激を作成するため、感情的顔表情や音声の収録を行った。感情的音声刺激を編集後、予備実験によって判別率の良いサンプルを絞り込み、最終的な刺激セットを作成した。これらの音声刺激セットを用いて、行動実験を実施した。日常的に、運動行為をしている際に緊張・あがりやが喚起されると、自分の行為やその結果として生じる外的刺激を自分がコントロールしていないような錯覚に陥る（「行為主体感」が減弱する）ことがある。これを踏まえ、自発的な運動（ボタン押し）とその結果として生じる聴覚刺激（感情的音声）の主観的時間間隔が狭まるという時間知覚のイリュージョン（intentional binding）を利用して行為主体感を測定する心理物理学的実験を行った。その結果、他者の感情的反応の種類やその予測によって行為主体感が変化することを明らかにでき、現在本成果の論文化に向けて準備を進めている。

また、本研究に関連して、国内外の学会・研究会で研究発表・招待講演を行った他、音楽家向けに緊張・あがりに関する連載記事を執筆するなど、アウトリーチ活動も年度中積極的に行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 実験心理学、感情、運動

【研究題目】 集団行動における行為の主体感と行動モニタリングの変容メカニズムの解明

【研究代表者】 木村 健太（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 木村 健太（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、他者と集団を形成したときの個人の行動モニタリングの変容に焦点を当てた。一般に、他者と集団を形成して共通の目標に向かうときには、責任の分散が生じることが知られている。しかし、これまでの研究では、責任の分散がどのように行動モニタリングに影響するかは明らかではない。本研究では、行動結果の評価を反映する事象関連脳電位であるフィードバック関連電位（FRN）及び脳波の $\theta$ 帯域の活動を計測することでこれを検討した。

実験では、3名の小集団がギャンブル課題を同時に行う状況において、3名から同時に脳波を計測した。3名の集団は、集団の金銭の最大化を目指す協力群、個別の金銭の最大化を目指す個別群に分けられた。3名の選択

のパタンから、3名が同じ選択をしたとき（全会一致）、2名が同じ選択をしたとき（多数派）、選択が1名のみするとき（少数派）、を分類して、各条件における脳波を解析した。実験の結果、個別群においては選択のパタンはFRN振幅に影響を与えなかったが、協力群では多数派時、全会一致時のFRN振幅が少数派時よりも小さかった。さらに、このときの $\theta$ 帯域活動を解析した結果、FRNと同様に少数派時に最大値を示した。これらの結果から、集団で協力する状況では、他者との選択の共有が責任の分散を引き起こすことで失敗結果の重要性を低減すること、このような評価過程は前部帯状回を中心とする行動モニタリング機構を調節することが分かった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 行動モニタリング、社会性、責任

【研究題目】 感情コミュニケーションにおける表情模倣の機能

【研究代表者】 藤村 友美（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 藤村 友美（常勤職員1名）

【研究内容】

他者の笑顔を見ると自分も思わず笑ってしまう。このように他者の表情と一致した表情が無意識的に生じる現象は表情模倣として知られている。本研究は、快と不快表情に対する表情模倣の心的機能を心理生理学的に明らかにすることを目的としている。

表情模倣は単に他者の表情を「まね」しているのではなく、他者と自己の関係性や他者がおかれた状況といった社会的要因の影響を大きく受ける。そこで、観察者が表出者をどれくらい信頼しているかといった信頼性を社会的要因として操作し、快表情に代表される笑顔と、不快表情に代表される怒りと悲しみ表情に対する表情模倣の心的機能の違いを調べることを目的として実験を行った。まず、実験参加者は、画面上に顔のみが呈示された他者と経済ゲームの一種である信頼ゲームを行う。信頼ゲームでは、ポイントのやり取りを行うが、公平にふるまう他者と不公平にふるまう他者を設定し、実験参加者にとって、信頼できる他者と信頼できない他者を作り出した。その後、他者の笑顔、怒り、悲しみ表情観察時の表情筋活動を表情筋電図法（facial electromyography: EMG）を用いて計測した。

本年度はこれらのデータについて解析を行った。その結果、信頼できない他者の悲しみ顔に対しては、眉しかめの指標である皺眉筋活動が低下することが明らかになった。悲しみに共感を示すことは大きな社会的コストを伴うことから、信頼できない他者の悲しみ顔に対する表情模倣が抑制されたためと考えられる。一方、笑顔は他者が信頼できるかどうかに関わらず、表情模倣が生じていた。以上の結果から、表情模倣は感情種と社会的要因の組み合わせにより、異なるパターンを見せるといえる。

この知見は、他者の表情に対する模倣の程度を調べることにより、他者との関係性を定量化するといったコミュニケーション支援技術に応用できると考えられる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 感情、表情、コミュニケーション

【研究題目】 意思決定における「迷い」の検知・制御メカニズム

【研究代表者】 小村 豊（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 小村 豊（常勤職員1名）

【研究内容】

意思決定とは、複数の可能性のある選択肢から、ベストの行動を決定するという脳機能である。不確定要素の多い現代では、意思決定に迷うケースにしばしば出くわす。その迷いに合わせて、私たちは様々な適応行動をとる。

例えば、もっと正確な情報を得るために、注意を高めたり、異なるソースを探したり、煮詰まるほどの迷いであれば決断を遅らせたり、逃避することだってあろう。しかし、これまで、脳がどのように意思決定における「迷い」を検知し、それをもとに様々な適応行動につなげているのかというメカニズムについては、ほとんど分かっていない。

本研究では、tree-search型プランニングが必要なdeliberative課題と、同一行動を反復すればよいstereotyped課題を、複数のサルにおいて習得させた。すると、deliberative課題は、stereotyped課題に比して、反応時間が長く、提示する視覚刺激が曖昧になればなるほど、反応時間が延長していた。以上のことから、意思決定の迷いを評価する系を確立した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 意思決定、迷い

【研究題目】 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

【研究代表者】 赤穂 昭太郎（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

【研究担当者】 赤穂 昭太郎、麻生 英樹（知能システム研究部門）、末谷 大道（鹿児島大学）（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

近年発展してきた計測技術によって大量の高次元データが得られるようになってきている。そのようなデータのモデリングには従来単純な線形モデルが広く用いられてきたが、現実の観測データは複雑で非線形な構造を内包しており、従来手法では本質を捉えきれないことが多い。

本研究課題では、カーネル法によるスパースモデリングを拡張することにより、マルチモーダルデータや時系列データ、さらに階層的・論理的な構造が内在するデー

タなどから複雑な構造を抽出することのできる新たなスパースモデリング手法の確立を目的とする。

この目的のために[課題1]マルチモーダルスパースモデリング、[課題2]ダイナミカルスパースモデリング、[課題3]構造的スパースモデリングの3つの課題を遂行している。

平成26年度は、課題1については、相互情報量に基づく最適化規準を採用したカーネル正準相関分析の拡張手法についてパラレルテンピング法を使った最適化法を行い、有効性を確認した。課題2は、互いに作用を及ぼし合う変数間の観測時系列からその作用のスパースな依存関係を抽出するアルゴリズムを株価データや神経活動データに適用した。課題3については、自然言語の構造を言語データなしで構成するzero-shot学習の手法を提案し有効性を確認した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 アルゴリズム、機械学習、モデル化

【研究題目】 スパースモデリングと高次元データ駆動科学創成への支援と広報

【研究代表者】 岡田 真人（東京大学）

【研究担当者】 赤穂 昭太郎（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、

岡田 真人、宮本 英昭、福島 孝治（以上、東京大学）、

富樫 かおり、田中 利幸（以上、京都大学）、

木川 隆則、谷藤 学（以上、理化学研究所）、

駒井 武（東北大学）、

本間 希樹（国立天文台）、

福水 健次（統計数理研究所）、

樺島 祥介（東京工業大学）、

藤代 一成（慶應義塾大学）

（常勤職員1名、他12名）

【研究内容】

計測技術の向上が大量の高次元観測データを日々生み続けている。また、生命情報科学のように、各論的なデータ科学が推進される中、天文学における高次元データ解析手法が、全く対象とスケールの異なる生命科学でも有効に働くような状況に遭遇する。本計画研究では、こうした多様な視点の導入による革新的展開を引き起こす方法論として、スパースモデリング（SM）に着目する。理科第2分野に属する生物学・地学の幅広い分野の実験・計測研究者と情報科学研究者の有機的連携により、高次元データから隠れた規則性を発見する高次元データ駆動科学ともいべき新学術領域を創成することを目的とする。

平成26年度は、このような支援活動および広報活動に関連し、まず領域会議など複数の会合を開催し、研究計

画の実験グループとモデルグループの間でいくつかの共同研究テーマの立ち上げを行った。また、非線形性や階層性、セミパラメトリックな状況の取り扱い、高次元化による計算困難の打破、及び、実験者にフィードバックを促す可視化に関する情報数理基盤の形成のためのモデルグループと情報グループの間の連携をスタートさせた。さらに、公募班の募集に際し、全国各地で公募説明会を開催し、本新学術研究領域の目的や研究活動について幅広い広報活動を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 スパースモデリング、データ駆動科学の実践、情報数理の基盤形成、若手人材育成

【研究題目】 質感認知に関わる視聴触情報の心理物理的分析

【研究代表者】 西田 真也 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

【研究担当者】 藤崎 和香 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

物体の材質についての情報は、視覚だけでなく聴覚など多くの感覚から得られる。例えば、視覚的には物体の見た目から、それが硝子なのか、金属なのか、陶器なのか、それとも木なのか、といったことを判断できる。同様に、聴覚的にも、例えばその物体が叩かれたときの衝撃音を聴くことで、叩かれた物体が金属なのか、あるいは木なのか、といったことを判断できる。このように、物体の材質についての情報はそれぞれの感覚モダリティから得られるが、では、それらの情報を統合して感覚間で一体感のある材質知覚を成立させているクロスモーダルな質感知覚メカニズムとはどのようなものだろうか。

平成26年度は、木をターゲットオブジェクトとして、全く同じ被験者、全く同じ質問、全く同じ試験片を用いて取得した、視覚、聴覚、触覚および視聴覚についての、大規模なデータセット(視、聴、触覚については50名、視聴覚については22名)を用いて、さまざまな観点からの分析を行った。まず、同じ対象物についての高次質感認知は、どの感覚で訊いても同じになるのかという問題については、高次質感認知の評価バタン自体は、視、聴、触のどのモダリティでもほぼ共通になるということが明らかになった。低次質感知覚と高次質感認知の紐付ができるか、という問題については、重回帰分析等の多変量解析によって、対象を絞ればある程度できそうだということが明らかになった。これらの成果については、論文が Vision Research 誌に採択された他、視覚学会、基礎心理学会、多感覚研究会等で成果発表を行った。この他に、朝倉書店から出版される質感に関する本において、多感覚質感知覚に関する章を分担で執筆した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 マルチモダリティ、質感知覚、多感覚情報統合、材質判断

【研究題目】 嗅覚による味覚変化の時間特性の解明：実験心理学・脳機能計測・動物行動学の統合研究

【研究代表者】 和田 有史 (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構)

【研究担当者】 小早川 達、後藤 なおみ (ヒューマンライフテクノロジー研究部門) 和田 有史 (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構) (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

昨今、生活習慣病予防の観点から、味代替物質を利用した食品の開発が勧められているが、本来の美味しさが損なわれてしまい、普及には至っていない。一般的に使用される「味」という言葉は、味覚と同義ではない。「味」は、様々な感覚や食品に関する先行情報に基づいて構築される複合感覚である。嗅覚が味覚を促進したり抑制したりする現象は、味嗅覚修飾と呼ばれ、古くから知られている。このような知見は、味代替物質に起因する物足りなさを嗅覚によって補完することで、美味しい機能性食品を開発できる可能性を提示する。

味嗅覚修飾に関する脳内処理の時間特性について解明することが、本研究の目的である。平成26年度は、味覚刺激と嗅覚刺激を分離して知覚することが不可能になる条件について確認した。味覚刺激は液体、嗅覚刺激は気体であるため、厳密な制御が技術的に極めて難しい。そこで、各刺激が受容器に到達した時刻を正確に算出するためのシステムを構築し、味覚と嗅覚の同時性判断課題の予備実験を実施した。味覚刺激として食塩、嗅覚刺激としてクマリン(桜の葉の香り)を用い、各刺激を400ミリ秒のパルス状に提示した。味覚刺激と嗅覚刺激の提示タイミングの差は、±800ミリ秒の間で変化させた。実験協力者に対し、一試行ごとに、二つの刺激が同時に提示されたと感じたか否かの判断を求めた。実験協力者数が少なかったため、明確な結果を得るには至らなかったが、構築したシステムの精度に関しては妥当性が検証された。平成27年度は、実験協力者数を増やし、予備実験と同じ条件下で計測を行う予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 味覚、嗅覚、味嗅覚修飾、時間特性、同時性判断課題

【研究題目】 運動機能可塑性における赤核機能・構造関連の解明

【研究代表者】 林 拓也 (独立行政法人理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター)

【研究担当者】 肥後 範行 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、

林 拓也、尾上 浩隆（以上、独立行政  
法人理化学研究所 ライフサイエンス技  
術基盤研究センター）

（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

ヒトに近い脳構造と身体機能、とくに手の巧緻性がヒトに類縁であることが知られているマカクサル（アカゲザル）を用いて、大脳皮質第一次運動野を損傷した後の脳活動の変化を計測した。サルが随意的に把握動作を行っているときの脳活動を測定した後、相関解析の一つである Psychophysiological Interaction (PPI) 解析を用いた結果、損傷部位の活動変化に対する活動の変化率が損傷周囲の第一次運動野で高まっていることが明らかになった。この変化は、第一次運動野損傷後のリハビリ訓練による運動機能回復直後よりも、機能回復後数ヶ月経過した回復の安定期のほうが大きかった。さらに核磁気共鳴画像法 (MRI) を用いた拡散テンソル撮像を行うことで、第一次運動野損傷後の神経線維の走行の変化を画像化することを試みた。把握動作の回復に伴って、複数の灰白質および白質において神経突起と神経線維の強化を示す値の上昇が見られた。第一次運動野の損傷周囲領域およびその下にある白質においても、優位な値の上昇がみられた。すなわち、損傷周囲領域から発する神経線維の変化が運動皮質損傷後の把握機能回復の背景にある可能性が考えられる。これまでも損傷周囲領域の機能的な変化が脳機能回復に寄与しているという報告があったが、新世界ザルの一種であるリスザルを用いて、麻酔下の刺激実験で得られた成果であった。本研究ではより人に近縁な旧世界ザルに属するマカクサルをモデル動物として、随意動作を行わせる時の脳活動と解剖学的変化を明らかにした点で大きな進歩であるといえる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 霊長類、病態モデル、脳活動、機能回復、神経可塑性

【研究題目】 強化学習モデルによるヒトの潜在的な心理状態の予測に基づく共通 BMI

【研究代表者】 川鍋 一晃（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）

【研究担当者】 兼村 厚範（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
川鍋 一晃（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）、  
植野 剛（大阪大学）  
（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究の目的は、BMI（ブレイン・マシン・インタフェース）を使用中に、学習や疲労などによりヒトの脳活動状態が非定常的に変化することを数理的にモデル化することによって、ヒトの潜在的な心理状態に応じた柔

軟なフィードバック・スキームを提供するリアルタイム共通 BMI アルゴリズムを確立することである。ここで「共通 BMI」とは機械もヒトも共に適応的に学習することを指す。従来のパラダイムでは訓練を重ねても BMI を使用できない被験者も、機械が解読可能な脳活動パターンの発生のさせ方を学習できるようになれば、将来的には様々な BMI の汎用性を高めるために役立つ。

第3年度となる本年度は、これまでの BMI を発展させるため、他の被験者のデータを用いて新規の被験者の内部状態を推定する新しい転移学習法を構築すると共に、実問題に必要な拡張性に富んだモデルの下でも良好な学習性能を持つ、Kullback-Leibler (KL) ダイバージェンスに基づく強化学習の一般的な枠組みを提案した。前者は、基底学習に基づき、多人数の被験者の EEG データを共通パターンと被験者・セッションの固有の変換に分解することで、個人および時間という変動要因に依存しないヒストグラム型の情報表現を抽出する手法であり、共通 BMI においてよりよい内部状態モデリングが可能となる。後者は、強化学習をグラフィカルモデルの推論問題へ変換することで、確率推論法から様々な強化学習法を導出できることを示すとともに、方策学習の大域解への収束条件を議論し、実用的なモデルにおいても最適な方策のよい近似を与える新しい強化学習法を構築した。この学習法のツールボックスを作成するとともに、共通 BMI に適応するためのモデルと報酬を検討・定式化した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 強化学習、ブレイン・マシン・インタフェース (BMI)

【研究題目】 運動習慣が脳循環動態・脳循環調節機能に及ぼす影響：脳疾患予防の基礎的研究

【研究代表者】 小河 繁彦（東洋大学理工学部）

【研究担当者】 菅原 順（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
小河 繁彦（東洋大学理工学部）、  
宮本 忠吉（森ノ宮医療大学）、  
片山 敬章（名古屋大学）  
（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

我が国では65歳以上の高齢者の約1割が認知症と言われており、高齢化社会において運動推進が健康づくり・生活習慣病の予防において重要な課題である。近年、運動習慣（トレーニング）が脳疾患発症リスクを軽減することが示唆されており、「脳疾患と運動習慣」の関連性が注目されている。しかしながら、脳循環調節は複雑な生理機能を有するため、運動習慣やトレーニングの脳血流量・脳循環調節機能への効果について十分な生理学的知見は得られていない。本研究では、「運動習慣の脳循環への影響」という未解決問題の解明を目指す。生理シ

システムを統合的に捉え、トレーニングの直接的な脳循環調節への影響（研究①）に加え、運動習慣に適応変化する呼吸系（研究②）・心臓循環系調節機能の脳循環への影響（研究③）を明らかにする。

産総研では、研究③を分担した。運動習慣の異なる若年健康者（運動習慣なし、陸上での持久性運動実施者、水泳トレーニング実施者など）を対象に、下半身陰圧負荷刺激を加え、模擬起立姿勢負荷を段階的に印加した際の循環応答を計測・評価した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 生活習慣病、脳循環、呼吸調節、循環調節、運動適応

〔研究題目〕 病態生理に基づく革新的な意思伝達手段の開発と長期経過追跡による適応評価研究

〔研究代表者〕 中山 優季（東京都医学総合研究所）

〔研究担当者〕 長谷川 良平、中村 美子（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）中山 優季（東京都医学総合研究所）  
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本研究では、重度運動機能障がい者を対象とした意思伝達支援装置「ニューロコミュニケーター」の製品化を加速させるために、基盤技術の高度化および実証実験を行うことを目的とする。

平成26年度も前年度に引き続き、本装置の高度化開発を行った。家電製品や医療機器からの電氣的ノイズの影響を最小限に留めて良好な脳波計測を行うために、脳波計測に使用される電極周辺の電磁シールド化を行った。すでに前年度から臨床応用も進めてはいるが、その効果を定量的に検証するために、実験室内において患者宅と同様のノイズ源を人為的に設置できる環境を構築し、ノイズ源の有無やシールドの有無によって実験条件を設定した。その結果、被験者から離れて設置したノイズ源については、シールドの導入によって脳波データへのノイズ混入が減少するとともに、脳波解読精度がかなりの程度、回復することが明らかとなった。ただし、電動ベッドなど被験者と密着しているノイズ源に関しては、ノイズ低減効果が低いこともわかり、そのようなノイズ源に対しても有効性の高いソフトウェアフィルタの開発を開始した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 意思伝達、実証実験、脳波、福祉機器

〔研究題目〕 数値流体力学解析に基づく脳動脈静脈奇形の血流解析と集学的治療への応用

〔研究代表者〕 清水 宏明（秋田大学）

〔研究担当者〕 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、

清水 宏明（秋田大学）、  
富永 悌二、新妻 邦泰、杉山 慎一郎、  
太田 英輝、船本 健一（以上、東北大学）、  
荒船 龍彦（東京電機大学）  
（常勤職員1名、他7名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、最新の手法である4次元 MR で得られたパラメータを併用した数値流体力学的解析結果から脳動脈奇形（AVM）のデータベースを構築し、これにデータマイニング手法を適用し、個々の AVM の破裂リスクや、破裂しやすい部位を同定することである。AVM は若年の脳出血の大きな原因であり、出血による死亡率も高い。しかしながら、手術の危険性も高く、治療適応を決定することが困難である。特にサイズが大きい、もしくは機能的に重要な部位に生じた AVM は治療自体が不可能で、経過観察しか行えないこともある。本研究により破裂の危機に瀕した部位を同定し、その部位に局限した治療を行うことにより、従来治療不可能であった難治性 AVM を低侵襲かつ最小限のリスクで治療できる可能性がある。また、破裂リスクの低い AVM は経過観察することにより、無用な手術を回避し、医療費削減も期待できる。

データマイニングを行うため、ベイジアンネットワークを用いた統計スクリプトを、フリーウェアおよび商用ソフトウェアを用いて作成した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ベイジアンネットワーク、統計解析

〔研究題目〕 行動決定における価値判断の脳内情報コーディング機構

〔研究代表者〕 設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）

〔研究担当者〕 松本 有央（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

報酬獲得のための行動決定を調べるために、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題をトレーニングしたサルに実行させ、課題の誤答率を調べた。この課題では、3段階の報酬量と3段階の仕事量を組み合わせた9通りから、その内の2つを選択肢として呈示し、選択を行わせる。選択は、チェア内に装備した左右のバーの内いずれかを握ることで行う。課題としては、画面に表示される視覚刺激の色が赤から緑に変わったら、モンキーチェア内の中央バーから1秒以内に手を離すという試行を複数回行わせる。この回数が労働負荷量となる。労働負荷と報酬量の組み合わせは全部で9通りあり、労働負荷はパターン刺激の長さによって、報酬量はパターン刺激の明るさによって表す。

本年度は、行動決定課題遂行時のニューロン活動を調べるために、眼窩前頭皮質から記録された単一ニューロ

ン活動を解析した。記録されたニューロンは、初めに提示された選択肢と次に提示された選択肢に対する応答の組み合わせによって主に3種類に分類された。これは、提示された選択肢の労働負荷と報酬量に応答するニューロン、初めに提示された選択肢と次に提示された選択肢の差分に応答するニューロン、2つの選択肢の組み合わせに応答するニューロンである。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 意思決定、行動選択、報酬量、負荷量

【研究題目】 行動決定における価値判断の脳内情報コーディング機構

【研究代表者】 設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）

【研究担当者】 肥後 範行（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

脳幹にある神経核の一つである背側縫線核は、神経伝達物質であるセロトニン作動性細胞を多く含む。セロトニンは感情や食欲などの生理的な反応に関わるだけでなく、様々な精神疾患にも重要な役割を果たしていると考えられている。また、生物は報酬を得るために必要な労働に関わる負荷および時間と、予測される報酬量とのバランスを考えた結果から、どのような行動選択を行うかを決定しており、そのバランスが精神機能に重要な働きをしている。報酬の情報によって行動を調節するために、セロトニンをを用いた情報伝達が重要な役割を果たしている可能性がある。

ヒトに近い脳構造と高次な認知機能を持つマカクサルをモデル動物として、単一ニューロン活動記録を行い、セロトニン作動性細胞を多く含む背側縫線核のニューロンが、将来の報酬を予測できるスケジュール課題を行った場合と、予測できないスケジュール課題を行った場合で、どのような反応の違いを生じるのかを調べた。将来の報酬を予測できるスケジュール課題では、課題スケジュールの各段階に応じて異なったニューロン活動が生じたことから、背側縫線核は将来の報酬を予測する情報処理に関わっていることが示唆された。またこれまでの研究で、前部帯状皮質や腹側線条体等、報酬予測に関わる脳内構造が複数知られているが、それらの脳内構造間の神経投射関係は十分に明らかになっていない。神経投射の連絡を明らかにするため、ピオチンデキストラミン（BDA）およびコレラトキシンサブユニット B（CTB）などの解剖学的トレーサーを用いた組織学解析を進める検討を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 霊長類、モチベーション、セロトニン、行動決定、神経投射

【研究題目】 生理反応の複数人同時測定による、集団内・間相互作用における潜在的な心理過程の解明

【研究代表者】 片山 順一（関西学院大学）

【研究担当者】 木村 健太（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）片山 順一（関西学院大学）（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

3名以上の個人が集団として一つの行動を選択する過程を集団意思決定と呼ぶ。本研究では、集団意思決定への影響力の大きさが行動結果の重要性の評価を反映する事象関連脳電位であるフィードバック関連電位（FRN）に与える影響を検討することを目的とした。

実験では、同性3名を一組とする小集団がギャンブル課題に参加した。課題では、1名の参加者が集団意思決定の最終決定権をもつリーダーとしてブロック毎にランダムに選定された。リーダー以外の2名は最終決定権をもたないフォロワーとして課題に参加した。他のメンバーとの選択の一致に基づき、リーダー・フォロワー時の試行を3名の選択が同じとき（全会一致）、選択が多数派のとき（多数派）、選択が1名のみするとき（少数派）の3条件に分類した。実験の結果、金銭結果提示時の各条件において FRN が観察された。リーダー時の FRN 振幅値は、全会一致試行よりも多数派試行で大きかった。加えて、フォロワー時では、多数派試行において全会一致試行、少数派試行よりも FRN 振幅が大きかった。本研究の結果から、集団意思決定への影響が大きい場合でも、他の集団メンバーとの選択の共有は行動結果の重要性を低減させることが分かった。また、最終選択権をもたない場合でも、自らの選択が集団意思決定に寄与したと感じるときには行動結果の重要性を高く評価することが分かった。本研究の結果は、FRN に反映される行動モニタリング機構が行動結果の客観的な責任ではなく、社会的相互作用に基づく責任の評価により調節されることを示す。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 行動モニタリング、社会性、リーダー

【研究題目】 認知症高齢者を対象としたメンタルコミットロボット・パロを活用したケア効果

【研究代表者】 井上 薫（首都大学東京）

【研究担当者】 柴田 崇徳（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、井上 薫、和田 一義（以上、首都大学東京）（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

動物のように人と共存し、特に身体的な相互作用を通して、楽しみや安らぎの精神的効果を与え、人の心を豊かにすることを目的に、メンタルコミットロボット「パ

ロ」の開発を行っている。動物の場合には、アレルギー、人畜感染症、噛み付き、引っかき事故、管理、衛生などの問題で、動物を飼うことができない人々や一般家庭・医療福祉施設などがある。メンタルコミットロボットは、動物と同様に、人々に様々な効用を与えようとしている。

これまでに、アンケート調査や医療福祉施設での長期実験などから、パロの効用に関して様々な評価を行い、定量的、定性的研究により実証してきた。一般家庭ではペットの代替として家族の一員に、医療福祉施設ではアニマルセラピーの代替として高齢者向け施設での生活の質を向上させ、認知症高齢者の脳機能や行動を改善している。

本研究では、デンマークでのユーザ会議や日本でのパロによるロボット・セラピー研究会等のユーザからのコメントや臨床データ等に基づき、認知症高齢者のセラピーに適切なパロの行動生成動作アルゴリズム等の認知症用パロの研究開発を行っている。また、地方自治体と連携しながら、在宅介護や施設介護でのパロのロボット・セラピーの効果について検証を行っている。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ロボット・セラピー、認知症、認知症周辺症状（BPSD）の軽減、介護負担軽減

【研究 題目】 潜在的な認知機能低下を可視化する認知ストレス画像法 DSCSI の開発

【研究代表者】 中井 敏晴（国立長寿医療研究センター長寿医療工学研究部）

【研究担当者】 岩木 直（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、國見 充展、田中 あゆ子、木山 幸子（以上、国立長寿医療研究センター）、中根 俊樹（名古屋大学）中井 敏晴（国立長寿医療研究センター 長寿医療工学研究部）（常勤職員1名、他5名）

【研究 内容】

本研究では、加齢による認知機能の潜在的な低下を検出し、軽度認知機能障害（MCI）に転換しやすいリスクを推定する脳機能可視化技術として「DSCSI（dynamic and spatial cognitive stress imaging）」を開発して、その有用性を検証する臨床前評価を行うことを目標としている。DSCSI は、これまでに研究代表者らが抽出に成功している加齢による脳機能信号上の特徴変化が認知機能低下のリスク因子として着目できることを応用し、潜在的な認知機能低下を引き出す負荷テストを脳機能イメージングの手法として実装するためのフレームワークである。脳機能イメージングで常に問題となる測定の再現性を向上させるために、認知的ストレスの生理学的指標として自律神経反射を同時に計測し回帰係数として取り入れる方法の有効性の検証も行う。

平成26年度は、昨年度までに開発した、空間的に高

い解像度を持つ fMRI データを用いて、時間的に高い解像度をもつ脳波（EEG）や脳磁図（MEG）データの可視化を精緻化するマルチモーダル・ニューロイメージング技術をもとに、様々な脳部位間における神経信号の相互作用を定量的に評価可能な技術を開発した。これらの技術を、高次視覚処理遂行中に計測した脳活動データに適用することにより、後頭部高次視覚野と空間処理を担う上頭頂部との間の神経信号の流れを定量的に評価することが可能であることを、実データを用いて示すことに成功した。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 画像診断システム、認知症、加齢、対面コミュニケーション、ガンマ帯域脳活動

【研究 題目】 人体に対して頑健かつ高精度に追従する非侵襲超音波医療診断・治療統合システムの構築

【研究代表者】 小泉 憲裕（東京大学）

【研究担当者】 葭仲 潔（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、小泉 憲裕、月原 弘之、東 隆（以上、東京大学）、牛田 享弘（愛知医科大学）、川崎 元敬（高知大学）（常勤職員1名、他5名）

【研究 内容】

本研究の目的は、医療技能の技術化・デジタル化（医デジ化）である。具体的には、申請者らが独自に提案する医療支援システム構築の方法論およびこのためのコア基盤技術にもとづいた、非侵襲超音波診断治療統合システムの構築法の確立を目指す。本研究で提案する非侵襲診断治療システムとは、呼吸や心拍等により能動的に運動する患部を抽出・追従・モニタリングしながら超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、がん組織や結石の治療を患者の皮膚表面を切開することなく、非侵襲かつ低負担で行おうとするものである。

このうち、研究期間内に、生体に対しても精度を落とすことなく頑健に動作するシステムを実現するとともに、非臨床でのシステムの有効性および安全性を実証する。

本年度は、実際の臨床画像を用いた特徴領域の抽出、並びに追従性の評価を行った。また、各要素技術に関しては、仕様の検討ならびに試作機の設計開発を行った。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 超音波診断・治療、集束超音波、体動補償・追従

【研究 題目】 パルスジェットメスによる末梢神経機能温存下拡大経蝶形骨洞腫瘍摘出法の開発

【研究代表者】 小川 欣一（東北大学）

【研究担当者】 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、小川 欣一、富永 梯



二、中川 敦寛、大谷 清伸（以上、東北大学）、荒船 龍彦（東京電機大学）  
（常勤職員1名、他5名）

**〔研究内容〕**

本研究の目的は、末梢神経機能温存下において腫瘍を摘出する手術デバイス（パルスジェットメス）の開発である。本研究では、更に難易度の高い末梢神経の機能温存下の腫瘍摘出を目的とし、組織選択性を高めるための流体力学的基礎実験を行い、得られた結果を動物実験で検証し、研究期間終了時に倫理委員会の承認を得て臨床応用に移行可能な知見を得る事を達成目標とする。

従来送液に用いている加圧バッグによる流量は、調整が困難で過不足なく送液されているか検証する必要がある。そこで、定量を送液出来るポンプを用いた実験を行い、従来の流量は不十分であったことを明らかにした。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** パルスジェットメス、送液、流量

**〔研究題目〕** 内頸動脈閉塞におけるリアルタイム脳血流量評価法の開発

**〔研究代表者〕** 佐藤 健一（東北大学）

**〔研究担当者〕** 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
佐藤 健一、中川 敦寛（以上、東北大学）、荒船 龍彦（東京電機大学）  
（常勤職員1名、他3名）

**〔研究内容〕**

本研究では、客観的・定量的評価の手法が確立していないバルーンカテーテルを用いた内頸動脈遮断試験による治療方針決定に関する基礎的知見を確立するため、リアルタイム脳血流評価システムの構築を提案する。

この目的のために、まず脳血管撮影所見における脳血流動態の予測的価値に着目し、片側脳低灌流動物モデルを作成する。作成した動物モデルを用いて、片側内頸動脈閉塞による脳循環動態を血管撮影、スペックルフォトグラフィー、および赤外線画像で評価し、脳実質の組織学的・分子生物学的検討により、急性期および慢性期脳実質侵襲を予測するための解析プログラムを開発する。最終的に、治療的内頸動脈閉塞を施行した症例群の臨床データベースを構築して前方視的に調査を行い、構築した脳血流評価システムの有用性を検証する。

工業的に用いられている水路の流量計算方法を適用し、必要とされるパラメータを、医学的に検査されて得られる画像及び指標で置き換えられるか検討した。検討した結果、構造的な画像および指標のみでは、得られる流量（予測量）は医学的には不十分であることが判明した。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** 脳血流、流量推定、流路モデル

**〔研究題目〕** 高齢者の熱中症予防に向けた住環境整備と住まい方に関する研究

**〔研究代表者〕** 都築 和代（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）

**〔研究担当者〕** 都築 和代（常勤職員1名）

**〔研究内容〕**

近年、夏季居室内での熱中症の発生は増加傾向にあり、特に高齢者が夜間に熱中症により死亡するケースが増加していることや、ヒートアイランド現象により夏季の夜間気温の高止まりによる寝苦しさと中途覚醒も増加していることをこれまでデータで指摘してきた。そこで、高齢者の夏季における睡眠を改善するための方策として、適切に冷房機器を使用させることを目的として、シルバー人材センターにおいて、冬の実測調査後に、これまで実施した調査・実験結果からの資料を用いて、快適な睡眠環境と健康に関する講義を実施した。また、高齢者自らの睡眠環境の重要性を喚起する介入として、温度計の配布等を行った。その後、春、夏、秋について携帯型小型温湿度計を寝室や居間等に留め置き、温熱環境の実測、ならびに、高齢者の非利き手の手首にアクチグラフ（活動量計）を常時携帯させ、活動量から睡眠時間、睡眠効率等を計測した。また、就寝前後でアンケート調査を実施した。その結果、前回の調査に比べて、夏季における有意な睡眠効率の低下や睡眠時間の減少などが観察されなかった。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** 高齢者、室内環境、夏季、睡眠

**〔研究題目〕** パルスジェットメスによる深部頭蓋底腫瘍摘出法の開発

**〔研究代表者〕** 川口 奉洋（東北大学）

**〔研究担当者〕** 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
川口 奉洋、中川 敦寛、小川 欣一、  
大谷 清伸（以上、東北大学）、  
荒船 龍彦（東京電機大学）  
（常勤職員1名、他5名）

**〔研究内容〕**

本研究では、抹消神経機能および細血管温存下に深部頭蓋底腫瘍の摘出を実現するための手術法の開発を行う。使用するデバイスは、拡大蝶形骨洞の到達法で、摘出難度が高い症例でも、病変摘出率増加、出血量減少、手術時間短縮を有意に認めるパルスジェットメスである。より難度が高い深部頭蓋底腫瘍摘出に適用するために、パルスジェットメスの使用条件について流体力学的基礎実験を行い、得られた結果を動物実験で検証し、臨床応用に移行可能な知見を得ることを目指す。

使用条件について流体力学的基礎実験を行った結果、従来問題視されていた視野確保が困難になる問題を改善しつつ、これまでと比較して1回の切除量を増大させることが可能な高出力で使用できる条件を、見出した。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

〔キーワード〕 パルスジェットメス、高出力化、視野確保

〔研究題目〕 パルスジェットメスによる脊髄神経機能温存下脊髄腫瘍摘出法の開発

〔研究代表者〕 遠藤 俊毅（東北大学）

〔研究担当者〕 鷲尾 利克（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
遠藤 俊毅、岩崎 真樹、中川 敦寛、  
大谷 清伸（以上、東北大学）  
（常勤職員1名、他4名）

〔研究内容〕

本研究では、脊髄神経機能温存下に脊髄腫瘍を摘出する手術デバイスの開発を行う。元となるデバイスは熱損傷がなく、細血管の温存が可能なパルスジェットメスであり、これまで脳腫瘍摘出術における出血量の有意な減少と病変摘出率の増加が報告されている。脊髄ではすべての白質繊維が頭尾側方向に走行するなど脳と構造が異なり、構造上機能代替を行う余地はなく、脊髄腫瘍の摘出動作は神経機能の悪化を引き起こしやすい。脊髄神経繊維に並行にパルスジェットを使用することで、脊髄神経機能の温存を図りながらの脊髄剥離操作を目的とするデバイス開発のため、脊髄に対する組織選択性を高める工学的基礎実験を行い、得られた結果を動物実験で検証して、臨床応用に移行可能な知見を得ることを目指す。

脊髄に対する組織選択性を高める工学的基礎実験を行った結果、従来行われている送液の方法、流量を見直し、効率良く使用出来る可能性を示唆する結果を得た。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 パルスジェットメス、送液、流量、効率化

〔研究題目〕 認知的負荷が多属性意思決定に及ぼす影響の解明：生体信号・生理指標に基づく分析

〔研究代表者〕 都築 誉史（立教大学・現代心理学部）

〔研究担当者〕 武田 裕司（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、  
都築 誉史（立教大学・現代心理学部）、  
本間 元康（独立行政法人国立精神・神経医療研究センター）  
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本研究は、非合理的な選択現象である多属性意思決定における3種類の文脈効果（類似性効果、魅力効果、妥協効果）について、眼球運動および脳波の事象関連電位成分を指標として検討することを目的としている。

平成26年度は、調査によって本研究課題用に選定された2属性3選択肢の項目群を用いて、多属性意思決定課題遂行中の脳波計測実験を行った（産総研において実

験および解析を実施）。実験では、課題非関連聴覚プローブ法を用いて、各選択項目を観察している時の注意状態の評価を行った。

魅力効果を検討した実験では、魅力効果が生じた試行（ターゲットが選択された試行）と生じなかった試行（コンペティタが選択された試行）に分類し、聴覚プローブに対するN1振幅を比較した。その結果、魅力効果が生じた試行と比べて、生じなかった試行においてデコイ観察時のN1振幅の減衰（デコイ項目に注意が強く向けられていたこと）が示された。この結果は、デコイの情報を深く処理すると魅力効果が生じにくくなることを示しており、魅力効果が認知資源を必要としない直感的な意思決定過程に基づいているという説と一致している。一方、妥協効果を検討した実験では、その効果の生起と選択項目に対する注意状態との間に有意な関係性は認められなかった。この結果は、妥協効果が認知資源を必要とする意思決定過程に基づいているという説と矛盾しない。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 意思決定、脳波、眼球運動

〔研究題目〕 機械学習における自己情報コントロール機構の構築

〔研究代表者〕 佐久間 淳（筑波大学）

〔研究担当者〕 神嶌 敏弘（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）佐久間 淳（筑波大学）  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本課題では、機械学習による予測の問題において、予測情報の利用者が、自身の情報との関連性をコントロールするための手法について取り組んだ。具体的には、機械学習によって行われる分類や予測は、自身の情報との関連において、差別、不公平、偏見などが生まれる可能性があり、これを中立化と呼ばれる操作によってコントロールすることをめざす。研究期間全体を通しては、(1) 分類問題 と (2) 推薦問題に取り組んだ。

(1) では経験損失最小化の目的関数に対して、視点と分類器の出力が相関していることに対する罰則項である中立性リスクを加えることによって中立化を行う **neutralized empirical risk minimization (NERM)** という枠組みにおいて、未知の事例に対する汎化的な中立性について理論的な解析を行った。

(2) では、推薦による提供上の個別化によって、知らないうちに、自身が関心あるとされる限定された話題の情報にのみにしか接しないようになるフィルターバブルの問題において、利用者が視点を制御できるようにした情報中立推薦システム (**information-neutral recommender system**) を提案し、その効果を実験的に考察した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

【キーワード】 データマイニング、公正性

【研究題目】 人工臓器内の高せん断場血栓検出と赤血球膜破断シミュレーションとの融合

【研究代表者】 武居 昌宏 (千葉大学)

【研究担当者】 丸山 修 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門) (常勤職員1名)

【研究内容】

現在、人工臓器が実用化されつつあるが血栓が生じやすく、微小血栓検出と、血栓シミュレーションとの融合技術が求められている。本研究では、誘電緩和法において、微小血栓形成時の緩和周波数を求め、その周波数を用いて微弱な交流電圧を血流に印加し、血栓形成時の電気特性から、微小血栓検出が可能なオンライン検出法を確立する。さらに、粘性流体-赤血球構造連成計算法を導入し、高せん断場で血球膜が破壊することにより、微小血栓を形成する要因を推定できる手法を確立する。これらの二つの方法を融合させ、血栓形成原因の力学的な検討を行い、実験とシミュレーション結果を精査し、人工臓器設計の指針をまとめる。そして、人工臓器の微小血栓を早期に検出し原因探索できる融合システムの実用化の可能性を見出す。

本年度は、新鮮動物血を用いた血栓検出実験、赤血球膜破断シミュレーションの条件検討を実施し、その実用化の可能性を見出した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 人工臓器、高せん断、血栓検出、誘電緩和

【研究題目】 放射線と免疫療法を融合したロコ・システミックがん治療法の開発

【研究代表者】 坪井 康次 (筑波大学・医学医療系)

【研究担当者】 伊藤 敦夫 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、坪井 康次、善光 純子 (以上、筑波大学・医学医療系) (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、がん病巣に対するエックス線照射が「がん微小環境における免疫抑制」を是正して、腫瘍細胞の「免疫応答細胞死」を誘導することを明らかにするとともに、局所的エックス線照射直後にアジュバントを投与することで抗原提示細胞を活性化し、全身的な「がん特異的免疫反応」を誘導する「ロコ・システミック融合がん治療法」のコンセプトを実証する。産総研は主に上記アジュバントの開発を担当する。

平成26年度は、マウス扁平上皮がん細胞 (SCC7) を移植した同系 C3H マウス大腿皮下腫瘍モデルにおいて、局所的エックス線照射と併用して、免疫抑制因子と抑制性免疫担当細胞を打破するためのリン酸カルシウム系アジュバント候補材に関し、臨床使用実績のある同系アジ

ュバントと比較するために結晶性、化学組成、抗原提示細胞刺激性を評価した。その結果、当該候補材は臨床使用実績のある同系アジュバントと同等の結晶性、類似した化学組成、同等の抗原提示細胞刺激性を示すことがわかった。これらの結果は、当該候補材料が臨床でも安全性が高いこと示唆する。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 がん、放射線、免疫療法、アジュバント

【研究題目】 情報論的自己組織化マップとその応用

【研究代表者】 上村 龍太郎 (東海大学)

【研究担当者】 竹内 晴彦 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、上村 龍太郎 (東海大学) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究は、データが持つ構造や分布に忠実な表現を行うことができ、さまざまな目的に適用可能な情報論的競合学習を用いた自己組織化マップ (SOM) を構築することを目的とし、そのアルゴリズム開発が研究代表者によって進められた。

前年度に、新規な SOM を視覚心理学分野へ応用するための準備として、視線計測装置を用いたさまざまな視線データの計測と収集を行った。特に、書籍を購入するというタスクを与えて、書籍の選定プロセスに係わる視線データを収集しており、視線データから人間の判断を推定することが一つの課題となっていた。

今年度は、上記の視線データから、人間の判断を推定するためのデータ処理方法について検討した。まず、既存の手法のみを用いて、どの程度の精度で人間の判断を推定できるかを調べた。次に、SOM などの機械学習法を適用するために、計測データを均質なデータに加工する手法を検討し、オーバーサンプリング手法の考え方が有用であることを確認した。視線データに対して、意味に基づく視線系列を保持し、位置に基づく視線系列を新たに生成するという従来の手法を拡張した方法を開発した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ニューラルネットワーク、データ解析、情報理論、自己組織化

【研究題目】 携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究

【研究代表者】 岡田 みずほ (長崎大学病院)

【研究担当者】 佐藤 洋、大山 潤爾 (以上、ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、本村 陽一 (サービス工学研究センター)、岡田 みずほ、松本 武浩 (以上、長崎大学病院)、岡田 純也 (帝京大学) (常勤職員3名、他3名)

### 〔研究内容〕

医療・看護現場は、年々高度な医療機器や新たな医療方法の開発が行われており、安全かつ適切に運用するための手順を細かく取決め、チェックリストを用いた確認を繰り返し実施している。しかし、看護師が日々看護業務を行う中で、多くの場合複数の看護業務を同時に実施しているのが現状であり、チェックや手順の重複が起きるなどの看護業務の「ムダやムラ」が発生していると考えられるが、その詳細は明らかではない。本研究では、これまで明らかにされてこなかったあらゆる看護業務の実態を正確に把握することを目的とし、日々の看護業務の実施状況を手軽に入力できる携帯端末を開発する。さらに、入力データに基づく看護業務評価並びにそれを用いた看護業務改善サイクルの構築を目指す。

今年度は、平成22年度に長崎大学病院において実施した事前調査手法を用いて再調査を実施し、調査結果を当時と比較するとともに、サービス工学研究センターにおいて開発した携帯端末によるツールを用いて同様のタイムスタディを実施し、データ収集の精度および看護師の負担感を評価した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 看護業務、携帯端末、ワークフロー

### 〔研究題目〕 非侵襲超音波痛み評価・治療統合システム

〔研究代表者〕 小泉 憲裕（東京大学）

〔研究担当者〕 葭仲 潔（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、小泉 憲裕（東京大学）、川崎 元敬（高知大学）  
（常勤職員1名、他2名）

### 〔研究内容〕

強力集束超音波（High Intensity Focused Ultrasound：HIFU）による非侵襲治療技術は、球面型の超音波振動子を用いて超音波を集束させることにより、周りの体組織に損傷を与えずに、体内の狭い領域にエネルギーを集中させるというものであり、正常な組織を損傷させることなく患部のみを治療することができる。しかしながら、HIFUを利用した既存のシステムに共通する主要な問題点の一つとして、呼吸をはじめとする臓器の運動に対する補償が行われていないことがあげられる。そのため、呼吸を制御した状態で治療を行なう必要があり、患者や医師への負担が大きくなる。

本研究で提案する非侵襲超音波痛み評価・治療統合システムとは、痛みが発生する患部に追従・モニタリングしながら、超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、痛み緩和を非侵襲かつ低負担で行なおうとするものである。本研究課題は、骨転移がんの医療診断・治療技能を取り上げ、HIFUを利用した非侵襲超音波診断・治療統合システムの構築法を確立することを目的とする。

本年度は、臨床評価に向けた基礎実験を行い、超音波照射系および照射プロトコルに関する検討を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 超音波診断・治療、集束超音波、超音波振動子

### 〔研究題目〕 笑いを誘発する音声メディアの特徴分析に基づいた笑い誘発音声フィルタの試作

〔研究代表者〕 坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

〔研究担当者〕 佐藤 洋（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）、坂本 修一、大谷 智子（以上、東北大学電気通信研究所）  
（常勤職員1名、他2名）

### 〔研究内容〕

本研究は、笑いを引き起こす音声メディアの特徴を工学的に明らかにし、その特徴を積極的に利用することで、笑いを引き起こす音声の合成技術の構築可能性を明らかにするものである。笑いを引き起こす音声メディアの特徴を反映するフィルタを構築し、通常の音声に適用することで、聴取者に笑いを誘発する音声を合成することを目指す。

今年度は、本研究で最終的に実現すべき目標となる音声に関して、落語や漫才など笑いを誘発する音声メディアを対象に適しているか否かについてを研究メンバーで議論した。その結果、今回の研究では文脈を対象としないこと、メインの音声のみが対象となることを考慮し、落語の音声に適しているという考えに至った。また、外国語で収録された様々なコメディ番組等のメディアも、文脈を対象としない本研究において適しているという結論も得た。

これらの検討と並行して音声聴取者の基礎特性を明らかにすることを念頭に、東北大学電気通信研究所において視聴覚メディアにより提示される音声情報の聴き取りについて実験的に検討した。その結果、本研究のような感性に着目した音声の聴取の場合における映像の影響について考察し、映像がターゲット音の聴き取りを容易にすることがわかった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 音声分析、笑い、感性

### 〔研究題目〕 実世界環境下での輻輳眼球運動計測による視空間情報処理の研究

〔研究代表者〕 河野 憲二（京都大学医学研究科）

〔研究担当者〕 松田 圭司（ヒューマンライフテクノロジー研究部門）（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

本研究は、ヒトが豊富な視環境の中から処理すべき対象物を抽出し、視線を向けるときに起こる輻輳眼球運動とサッケード運動を調べることにより、実世界環境下で対象物の存在を感じ、眼を向けるための視空間情報処理

を明らかにしようとするものである。そのため、輻輳眼球運動とサッケード運動を計測するための高精度の眼球運動計測システムを新たに開発する。この高精度の眼球運動計測システムを用いて、実世界環境下で被験者の眼から様々な距離に付置された対象物に視線を移す時の輻輳眼球運動をサッケード運動と同時に計測する。この結果を解析することにより、実世界環境下での視覚情報処理についての新たな知見を得る。

本年度は、輻輳眼球運動とサッケード運動を計測するための高精度の両眼球運動計測システムを開発した。赤外線で見えを照射し、高速ビデオカメラで撮像した瞳孔を楕円近似し、回転角を計測する手法を用いる。また、サルを実験動物としてサーチコイルを使ったシステムを用いて単眼球運動を同時計測し、その精度を確認した。

今後は、十分な精度が得られるまでシステムの改良を重ね、ヒトの眼球運動計測に適用する。その後、周辺機器の簡素化を図り、視対象物が豊富にある環境に持ち出し、実世界環境下でヒトの眼球運動を計測する。これにより、眼球運動のダイナミクスが実験室内のコンピュータディスプレイ上の刺激を見ている時とどのように異なるか、定性的な観察を行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 眼球運動計測、赤外線、輻輳運動

【研究題目】 孤立した大地震被災地の初動救命活動を支援する可搬動力システムの開発

【研究代表者】 佐藤 満 (昭和大学)

【研究担当者】 井野 秀一 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、佐藤 満 (昭和大学) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

大地震等で交通が寸断された被災地での初期救命活動は人力で行わざるを得ない。その際に小型・軽量で容易に携帯搬送でき、電源を用いずに瓦礫下からの救助作業を支援する自動ジャッキ等の携帯動力システムの開発が本研究の目的である。その動力源には、加熱によって大量の水素を放出することで熱エネルギーを運動エネルギーに変換できる水素吸蔵合金を採用している。

本年度は、瓦礫昇揚排除用ジャッキの本体試作を行った。本試作機は、外径35cmの円筒形で、非作動時の高さは90mm、昇揚ストロークは50mmに設定した。ゲージ圧で0.2MPaと比較的低い水素内圧で1t超の昇揚出力が得られ、昇揚作業中に水素気密性が保たれることを実験的に確認した。さらに、本動力システムは電源確保が困難な被災地での使用を想定し、酸化カルシウムと水の混合で生じる発熱を利用したところ、1分前後で期待される水素圧に到達することを確認した。以上より、当初の目的である孤立した被災地に徒歩で携帯搬送でき、瓦礫に閉じ込められた被災者の初期救命活動に利用可能な動力システムを水素吸蔵合金の利用により実現可能で

あることを示すことができた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 防災、救助資材、アクチュエータ、水素吸蔵合金、熱駆動

【研究題目】 生体内超音波ビーム計測及び制御法を用いた低侵襲超音波診断治療統合システム

【研究代表者】 松本 洋一郎 (東京大学)

【研究担当者】 葭仲 潔 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門)、松本 洋一郎、高木 周、光石 衛、東 隆 (以上、東京大学)、沖田 浩平 (日本大学)、梅村 晋一郎 (東北大学)、村垣 善浩 (東京女子医科大学) (常勤職員1名、他7名)

【研究内容】

超音波治療は侵襲性の低い治療法として期待されており、一部実用化されているが、安全で確実な治療の実現には治療ビームの位置精度の向上が必要である。この課題を解決するべく、以下の要素技術を開発し、これを備えたシステムを構築する。要素技術として、(1) 生体内超音波ビームの計測技術、(2) アレイ素子の位相最適化によるビーム制御技術、(3) ロボティック技術を応用した、標的追従のビーム制御技術、(4) 生体内超音波伝搬シミュレーション技術を開発する。これらの要素技術を統合して、機能評価と改良を行う。また、本技術によって初めて実現可能となる定量的ビーム制御に基づいた非線形作用を活用した新たな超音波治療技術の実現性を検討し、超音波治療を低侵襲治療技術として確立する。更に、対象部位を全方位から取り囲む形状の新規なトランスデューサー形状の採用により、安全性と治療効率を両立した超音波治療技術を確立する。

本年度は、実際の臨床画像等を用いたシミュレーションの評価等を行った。また、位相制御系に関しては、試作機的设计開発等を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 超音波診断・治療、集束超音波、超音波トランスデューサー

【研究題目】 多施設ヒト幹細胞臨床研究による3次元再生皮下軟骨の有効性確認

【研究代表者】 高戸 毅 (東京大学 医学部)

【研究担当者】 新田 尚隆、三澤 雅樹、兵藤 行志、林 和彦、小阪 亮、白崎 芳夫、沼野 智一 (ヒューマンライフテクノロジー研究部門) (常勤職員5名、他2名)

【研究内容】

本研究は、東京大学医学部附属病院で自主臨床研究を行っている3次元再生軟骨を産業化することを最終目標

として、治験実施に資する臨床データを作成し、速やかに治験に移行させることを目的としている。

本年度は、臨床試験におけるインプラント型再生軟骨の有効性評価法を確立するため、ヌードラットに移植したヒト再生軟骨の T2 値 (0.1 s) 及び ADC 値 ( $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ) を再現するファントムを試作し、2施設3機種 (東大: GE 社 Signa HDxt 3T、GE 社 Signa HDxt 1.5T、産総研: Bruker 社 2T) の MRI で T2 値及び ADC 値を測定して値の比較を行い、機種ごとの違いを評価した。その結果、作成したファントムの T2 値は 0.11s、ADC 値は  $1.57 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  となり、ヒト再生軟骨と同等の値が再現された。また、機種による測定値に有意な差は見られなかった。安定性に関しては、冷蔵保存後6か月において、T2 値は 0.10 s、ADC 値は  $1.41 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  であり、いずれもほぼ同じ値が再現できた。安全性に関しては、ファントムに含まれるアクリルアミド濃度を測定したところ、WHO における飲料水の規制値を大きく下回っており、害なしと考えられた。

機種間の測定値の違いがある場合でも、患者に移植した再生軟骨と今回作成したファントムを同時に撮影することによって、移植後の定量的な成熟度評価が可能になると考えられる。なお、当該ファントムにおける T2 値の温度依存性は小さいが、ADC 値は温度の影響を強く受けたことから、ファントムを使用する際は、温度管理が重要である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 再生軟骨、有効性、MRI

【研究題目】 低侵襲フレキシブルバイオセンサ

【研究代表者】 栗原 一徳 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 栗原 一徳、吉田 学 (常勤職員2名)

【研究内容】

本研究は将来、医療・介護デバイスや生活支援デバイスの基礎的な技術となる生体電気信号の高精度なセンシング技術の確立を目的としている。皮膚を始め、脳や心臓などの特にセンシングが重要な器官は非常に柔らかく、既存のデバイスが持つ硬さによって炎症などのダメージを与えてしまう。そこで、本研究では柔らかい有機半導体を利用した回路でのセンシング用信号増幅回路の実現を目指した。本年度は有機信号増幅回路の高利得化を行った。具体的には回路の高速化により、増幅利得のピーク周波数を生体信号帯域の中央に移動させることで実効的な増幅特性の向上を実現し、さらに回路の多段化による利得の改善も行った。チャンネルの微細化による高速動作検証では電極幅、チャンネル長ともに前年度の  $50 \mu\text{m}$  から  $10 \mu\text{m}$  に微細化することで電極面積を 80% 低減し寄生容量を減らした信号反転回路を作成した。その結果、信号反転回路を3段につないだ発振回路では平均発振周波数  $1.4 \text{ kHz}$  の発振を得ることができた。これは1段あた

りの信号反転回路では  $8.5 \text{ kHz}$  の駆動周波数に相当し、目的となる生体信号の  $10 \sim 1 \text{ kHz}$  を十分カバーできるものであった。さらにこの多段化した信号反転回路を基幹構造とした増幅回路を作成し、増幅利得を測定したところ、 $50 \text{ Hz}$  で最大利得  $56.9 \text{ dB}$  の良好な増幅特性を得ることができた。特に心電の主成分である  $10 \sim 100 \text{ Hz}$  帯に対しては利得の最低値が前年度よりも  $20 \text{ dB}$  以上向上させることができた。また、これらのデバイスは  $2 \text{ V}$  での低電圧駆動を確認している。これは絶縁膜に自己組織化単分子膜と呼ばれる  $6 \text{ nm}$  ほどの極薄構造を導入したためであり、応用上重要な低電圧化にも成功したといえる。以上のとおり、本研究では微細化と多段化により生体センシング用有機増幅回路の高性能化が実現できることを示すことができた。今後は多段インバータのさらなる集積化や生産性の向上のための印刷法との組み合わせが期待される。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 フレキシブルデバイス、有機エレクトロニクス、低消費電力化、生体センシング

【研究題目】 シリコーンゴムを利用した微細パターンニング技術における転写メカニズムの解明

【研究代表者】 日下 靖之 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 日下 靖之、藤田 真理子 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究課題では、シリコーンゴムを活用した印刷法における、インクの転写性やインク乾燥特性を評価することによって、エレクトロニクス製造に適用可能な微細印刷技術の基盤的知見を整備することを目的としている。本年度は、まず各種溶媒に対する PDMS (シリコーンゴムの一種) の溶媒吸収特性を評価し、乾燥状態を緻密に制御可能なマイクロコンタクト印刷用耐エッチングレジストインクの開発を進めた。具体的には PDMS への溶媒吸収速度が早い低沸点溶媒と、吸収速度が遅い高沸点溶媒の配合量を最適化することによって、印刷転写時におけるインク膜の乾燥性制御をすることに成功した。さらに、コロイドプローブ AFM によって評価された、半乾燥化インク膜の変形特性および付着力と、実際のマイクロコンタクト印刷における転写特性を良好に対応づけることに成功した。

また PDMS とインク膜間付着力を評価したところ、同一の PDMS 材料であっても、PDMS インク塗布界面と PDMS インク受理界面の付着力には差異がみられ、PDMS 表面へのインク溶媒の侵入によって付着力が変化することが示唆された。すなわち印刷における PDMS からのインク膜の転写性を評価する場合、表面自由エネルギー等の平衡物性値だけでは十分でないことが明らかになった。以上の知見をもちいて、コンタクト

インキング式マイクロコンタクト印刷を開発し、最小線幅500nmの微細配線の印刷に成功した。本方式によれば、パターンサイズによらず膜厚が均一で、かつ高矩形断面を有する微細配線を形成することができる。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】印刷エレクトロニクス、コロイド界面化学、レオロジー

【研究題目】印刷技術を用いた両親媒性分子による独立二分子膜の構築と選択的イオン透過膜の創成(科研費)

【研究代表者】長谷川 達生(フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】長谷川 達生、山田 寿一、峯廻 洋美、野田 祐樹、井上 悟  
(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

本研究は、近年新しい製膜パターンニング法として注目される印刷技術を活用し、非対称な両親媒性有機分子による独立二分子膜を、望みの位置に望みの数だけ構築・配列する技術の開発、及びそれらの応用展開を行う。本年度は、様々な非対称有機分子を対象とし、印刷法による独立二分子膜の構築について検討を行った。その結果、特に両親媒性分子として、 $\pi$ 電子骨格からなるフェニル-ベンゾチエノベンゾチオフェン(Ph-BTBT)にアルキル鎖を付与した非対称 Ph-BTBT-C<sub>n</sub>系分子が、印刷による製膜性にきわめて優れた二分子膜構造を構築することを見いだすと同時に、そのアルキル鎖長依存性から、二分子膜構造の形成には、一定以上の長さのアルキル鎖が必要なことを見いだした。まず Ph-BTBT-C10系において、溶液からの再結晶法により得た単結晶を用いたX線結晶構造解析をもとに、棒状の Ph-BTBT-C10分子が全て同一方向に配向・整列した分子層の形成と、これら分子層が、分子配向を互い違いに向き合うように積み重なった二分子膜構造を形成していることを明らかにした。続いて付与するアルキル鎖長を系統的に変化させた Ph-BTBT-C<sub>n</sub>系分子(n=0~14)を合成し、その結晶構造のアルキル鎖長に対する依存性から、二分子膜構造がn=5以上で初めて発現することを明らかにすると同時に、印刷法に用いる上で重要な溶解度や熱安定性がこれら結晶構造と密接な相関を持つことを明らかにした。さらにこれら材料を対象とし、印刷技術を用いた製膜プロセスの検討を行い、その結果、ブレードコート印刷法を用いることにより、2~6分子層程度の厚みが1mm×1mmの面積にわたって保たれる、きわめて高品質な二分子膜構造が構築できることを明らかにした。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】プリントエレクトロニクス、有機エレクトロニクス、両親媒性分子、有機半導体、イオン透過膜

【研究題目】薬物送達システムに資する無機中空蛍光体の蛍光特性に関する基礎的研究

【研究代表者】神 哲郎

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】神 哲郎、落石 知世(バイオメディカル研究部門)(常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

本研究では、中空構造かつ多機能を有する高輝度希土類系蛍光体のドラッグデリバリーシステム(DDS)の創成について検討し、1)100nm以下の粒径でガドリニウムを含有する蛍光体について希土類ホウ酸塩系で創成する。2)さらに分散性を増大させるため、加熱処理を行わない飼料の合成ルートを探索する、の2つを目標とした。

今年度は水以外の溶媒を用いるソルボサーマル法を本研究に導入して分散性が高い希土類蛍光体中空粒子の合成を試みた。得られた試料のXRDの結果から、主にGdが固溶したYBO<sub>3</sub>相のピークが観察された。続いて、SEM観察から、粒径約100nm程度であり粒径は均一であることがわかった。以前、水熱処理して得られた試料は同様の粒径の中空粒子の合成に成功したが、分散性は非常に低く、激しく凝集していたことがわかっており、さらに良好な発光特性を付与するためには加熱処理が必要であり、この処理によってさらに凝集が進行した。一方、本研究で得られた試料は、水への分散性は非常に高く、数時間後もほとんど沈殿は生じず、紫外線で励起すると591nm, 610nmおよび624nmの3価Euイオンに基づく蛍光ピークが観察され、水中においても良好な蛍光特性を示すことが明らかとなった。結果、凝集が少ない中空微粒子の合成が成功裏に進行したことがわかった。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】希土類蛍光体、ドラッグデリバリーシステム、ナノ材料、分相ガラス、蛍光特性

【研究題目】高品質半導体ダイヤモンドを用いた高温動作パワースイッチングデバイスの研究

【研究代表者】梅澤 仁

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】梅澤 仁(常勤職員1名)

【研究内容】

ダイヤモンドは、高い絶縁破壊電界や電子・正孔移動度、また低い誘電率や物質中最大の熱伝導率などにより、現在次世代半導体として期待されている炭化珪素や窒化ガリウムなどと比較しても高い省エネルギー性能が得られると期待されている。本事業では、ダイヤモンドのパワーデバイス、特にスイッチングデバイスへの適用を目指し、ダイヤモンドの合成技術開発、半導体素子の試作と評価までを一貫して行っている。

平成26年度はチタンをオーミック電極としてソースおよびドレイン電極に、白金もしくはルテニウムをショ

ットキー電極としてゲート電極に用いたデバイス試作プロセス用いて、金属-半導体電界効果型トランジスタ (MESFET) を試作、評価した。試作した MESFET はゲートドレイン間隔 (LGD) に応じて絶縁破壊電圧の増加が得られており、LGD=30 $\mu\text{m}$  において材料トップクラスの1.5kVの絶縁破壊電圧を得ている。酸化やグラファイト除去洗浄工程は関西センター内のクリーンルームにて行い、その他のプロセスはつくば産総研、京都大学、大阪大学などに設置されている先端機器共用イノベーションプラットフォーム事業を利用して行った。なお電極はすべてフォトリソグラフィおよびリフトオフ法を用いており、素子の完成後にドレイン電流・電圧静特性、閾値評価、ブレイクダウン測定などの基本素子特性の評価を行っている。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 ダイヤモンド、パワーデバイス

【研究 題目】 プラズモン増強効果を示す量子ドット分散微小球のゾルーゲル法を駆使した作製と評価

【研究代表者】 村瀬 至生 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】 村瀬 至生、鎌田 賢司、川崎 一則、伊藤 民武、細川 千絵 (常勤職員5名)

【研究 内容】

今までの高発光効率量子ドット分散ガラス微粒子作製技術を生かして、金属ナノ粒子を一定の厚みのガラス層で覆い、その周りに量子ドットを配置することで、プラズモン共鳴により蛍光増強効果を得ようとしている。

目的の球形試料 (直径数十ナノメートル) の分散液が作製できたので、スペクトル測定、三次元像を含む電顕観察、数値解析、FDTD (Finite-Difference Time-Domain、時間領域差分) 法によるプラズモンによる電場増強度計算および文献調査を進めた。

相互作用を説明するためのエネルギー状態図 (ヤブロンスキーダイアグラム) で、金ナノ粒子がないときの量子ドットのパラメータ (電場強度、吸収断面積、輻射遷移速度、無輻射遷移速度) および金ナノ粒子が加わったときのこれらパラメータの増分 (合計8個) を用いて実験結果を解析した。蛍光増強が最大になる条件を得るために、金ナノ粒子の粒径、励起波長などの実験の条件を用いてさらに FDTD 計算を行って電場強度の増分をガラス層の厚みの関数として求めた。しかし、今回用いた金ナノ粒子直径 (20 nm 程度) では光吸収のみとなって電場強度の増分がないことになった。

一方で文献調査から、今回のような球形ではなく平面状試料 (金ナノ粒子と量子ドットを一定間隔をおいて敷き詰めた構造) で、今回の実験と類似の条件 (金ナノ粒子サイズ、励起波長等) において同等の間隔 (10nm 強) で最高の蛍光増強 (2倍程度) が確認されている。この

ため、計算方法についてさらに検討を進めている。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 金、ナノ粒子、量子ドット、ガラス、プラズモン共鳴、蛍光、増強

【研究 題目】 ビスマスナノプレートの磁気的および電気的特性に関する研究

【研究代表者】 北村 直之 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】 北村 直之、福味 幸平 (常勤職員2名)

【研究 内容】

金属ナノ粒子を分散させた複合材料は、光散乱・導光・偏光などの高度な光波制御をできる特徴があり、指向性散乱体や導光フィルムとして期待される。粒子の配向・配列を制御することはこれらの光機能の効率向上や必要な粒子量の低減に有効であるのみならず、新機能の発現する上で重要な技術である。粒子の磁場や電場に対する特性は配向・配列に欠かせない特性であり、複合体の機能を左右する。ビスマス金属ナノ粒子は光学的また磁気的に異方性を有し、配向・配列を利用した光学部材の対象として興味深いのが、その特性は良く知られていない。本研究は、ポリオール法により球・板・ロッド状のビスマスナノ粒子を合成し、その形成機構を明らかにする。粒子の形状およびサイズの磁気的・電気的特性へのサイズや形状の影響を明らかにすることを目的とし、光散乱、導光や偏光などの光を高効率で利用するデバイスへの展開をはかるものである。

本年度は、粒子合成の生成効率を上げるために合成時の不純物の影響を調べた。水分の混入がプレート状粒子の成長を阻害することがわかり、これを改善することにより80%以上の収率でプレートを合成することが出来るようになった。一方、昨年度に試作した磁気異方性粒子の異方性磁化率を測定する装置の検証を行った。高粘性シリコンオイル中のナノ粒子の運動を偏光透過率変化より観察し、得られる磁気トルクの大きさから異方性磁化率を算出した。解析方法の精度を高めるため初期回転角を多くすることで、粒子径400nmの球状粒子の場合、異方性磁化率は $3.9 \times 10^5$ と磁場中 X 線回折での文献値 $3.6 \times 10^5$ とより近い値が得ることができた。粒子形状には関係が少なく、粒子のc軸方向の長さに相関があり、異方性磁化率はc軸方向の長さの減少とともに小さくなることを明らかにした。さらに、ナノ粒子の分散したPMMA複合体を作製して光学異方性の評価を行った。複屈折性素子として利用が期待できる $1/4\lambda$ 以上の位相差を発生できるほどの透明性複合体を得ることができた。

【分 野 名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノ粒子、散乱・導光、省エネ家電技術

【研究 題目】 レドックスフロー電池を応用した間接型燃料電池



〔研究代表者〕 城間 純

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 城間 純、山崎 眞一、村井 嘉子

(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

本研究は、2種の酸化還元対溶液を循環させて発電するレドックスフロー電池と、それら2種の溶液をそれぞれ燃料と空気との化学反応により再生する再生反応槽とを組み合わせることにより、間接型燃料電池と呼ぶべきシステムを完成させるとともに、そのシステムの優位性を示すためのキーとなるいくつかの課題を解決するためのものである。

本年度は、昨年度の成果である「3重構造セル」を用い、レドックスフロー電池としての安定した繰り返し充放電運転を確立した。3重構造セルの特徴である中央の水素室の運用に関し、常時水素を供給しない運転方法においても、連続供給するこれまでの運転方法と同等の充放電特性が持続することを確認した。また、メディアエーターとして新たにヘテロポリ酸類を用いたところ、従来使用していた活物質に比べ、同等の濃度であっても著しく反応過電圧の小さいものを見いだした。また、レドックスフロー電池の電極はエネルギーデバイスの電極としては厚さが大きく、反応解析のためにインピーダンス測定を用いる場合には伝送線モデルに基づく解釈が必要となるが、本研究において伝送線モデルの理論を進展させ、界面の接触抵抗が無視できない場合など境界条件が単純でない系であっても適用できる一般解を得た。燃料酸化反応に関し、導電性のない粉体に担持した触媒でもメディアエーター還元反応に用いることができることを示した。また、高濃度のCO存在下でも水素酸化反応を触媒する新規な水溶性の錯体を開発した。酸素還元反応に関し、触媒反応槽および電気化学セルの温度を個別に変化させ、定常的な間接型酸素還元反応電流へのそれぞれの寄与を明らかにした。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 レドックスフロー電池、燃料電池

〔研究題目〕 電子受容性単層カーボンナノチューブの有機系太陽電池への応用と最適化

〔研究代表者〕 塩山 洋

(ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 塩山 洋 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では、フラーレンと同様の電子受容性のある単層カーボンナノチューブ (以下 SWCNT と略記) を、各種アンテナ分子の励起状態の電子移動消光過程を通じて評価する技術の開発を目的としている。これまでの研究より、SWCNT は有機系太陽電池でアンテナ分子として利用されているルテニウムビピリジンの発光を電子移動消光することを見出している。

本年度は、SWCNT と励起されたルテニウムビピリジンが電子移動相互作用している水溶液系に、メチルピオローゲンイオンや銅イオン、ナトリウムイオンをそれぞれ添加した。ルテニウムビピリジンの消光挙動を解析することにより、SWCNT と各イオンの親和性は、ルテニウムビピリジンイオン>メチルピオローゲンイオン>銅イオン>ナトリウムイオンの順であることが分かった。いわゆるソフトなイオンの方がハードなイオンよりも SWCNT との親和性が高く、相互作用しやすいと説明付けられる。これらは有機太陽電池の設計に利用できる指針である。また金属型 SWCNT と半導体型 SWCNT を用いて励起ルテニウムビピリジンの発光を消光することにより、カイラル指数が電子移動相互作用に及ぼす影響を調べた。その結果、金属型 SWCNT においてのみ電子移動が起こることが明らかとなった。その理論的な解釈は、現在検討中である。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 カーボンナノチューブ、有機系太陽電池、電子移動

〔研究題目〕 高効率パワーデバイスの動作に影響を及ぼす CVD ダイヤモンドの転位の解明

〔研究代表者〕 加藤 有香子 (ダイヤモンドデバイス化研究グループ)

〔研究担当者〕 加藤 有香子 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

ワイドギャップ半導体としてのダイヤモンドは、高出力系統での省エネパワーデバイス応用が期待されているが、現在学術界にて報告されているデバイス特性は1.6 kV 程度で、理想には遠く及ばない。この、デバイス特性を改善するために、研究代表者は高効率パワーデバイスの動作に影響を及ぼす CVD ダイヤモンドの転位の解明に着手している。結晶欠陥のひとつである転位は、デバイス特性に影響を及ぼすと考えられているが、どの種類の転位がどれだけデバイス特性に影響を及ぼしているのかを解明した例はない。

今年度は、最大耐圧1 kV の擬似縦型ショットキーバリアダイオードを複数作成し、X線トポグラフィ法でショットキー電極中の転位種分布を観察した。デバイス作製は産総研内設備、X線トポグラフィ測定は高エネルギー加速器研究機構内のフォトンファクトリーにて実施した。転位種分布と素子の耐圧測定の相関を調べた結果、いわゆるキラ欠陥の存在は確認できなかったものの、刃状転位・混合転位・未同定欠陥 A、B のうち、刃状転位、未同定欠陥 B の2つが素子特性を劣化させる傾向にあることを解明した。解析結果はリーク電流の大小 (1 ことを $\sim 2$  mA) には依存せず、ダイオード動作の初期段階からブレイクダウンまで、転位が素子に影響を及ぼすメカニズムは変わらないことを示唆するものである。本結果は国際学会にて発表するとともに、学術誌

Diamond Related Materials への論文掲載が予定されている (In Press)

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、パワーデバイス

【研究題目】超省エネ型パワーデバイス作製の大型ダイヤモンド単結晶ウェハ合成フロントイア開拓

【研究代表者】山田 英明 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】山田 英明 (常勤職員1名)

【研究内容】

パワー半導体材料として期待されるダイヤモンドは、合成の困難さが実用化のボトルネックの一つであり、特に、大面積結晶を合成した例が殆ど無いため、合成条件が必ずしも最適化されていない。

本年度は、合成のメカニズムを解明し、一様性などの合成品質を向上する方針を明確化することを目標とした。合成の品質を左右するパラメータとして、基板温度と窒素濃度に着目し、大面積に渡る単結晶ダイヤモンドの厚膜化を可能とする条件の最適化を試みた。継続的に成長できる最適な基板温度は、気相中に導入した窒素濃度に対する依存性を持つことを見出した。アンドープ成長とNドープ成長とは、低温側でモフォロジーの違いが明確に現れ、Nが表面を活性化して合成速度向上に寄与する一方で、過度な取り込みは成長核の供給過多を齎し、ナノダイヤ化することを明らかにした。また、合成中に基板表面と熱浴との間の熱抵抗が変化することで、基板温度の低下による、成長方向の窒素濃度変化が起ることを見出した。昨年度の結果から、合成速度の一様性も基板温度によって左右されることが判っていたので、基板温度の一様化を可能とする放電条件を探索し、合成速度と品質の一様性を向上する条件を見出した。これまで合成速度の非一様性が40%程度以上であったが、15%程度以下に抑制できた。一方、原料ガス種同士の化学反応を考慮して、電磁流体近似したプラズマモデルに基づく2次元のシミュレーションを実施することで、合成速度の2次元分布を数値的に見積もったところ、基板中央部での合成速度の絶対値は実験と比較的矛盾の無い値が得られるのに対して、その分布は実験結果と相反していることが明らかとなった。これまでの成長モデルでは、プリカーサとして主に  $\text{CH}_3$  の寄与が着目されてきたが、原子分子シミュレーションの結果からは、C や  $\text{C}_2\text{H}$  など、不対電子を多く持つラジカルの吸着確率が高いことが示唆された。これらの反応性の高いラジカルの寄与を考慮した、合成速度を予測するモデルを新たに提案し、実験的に得られる合成速度の絶対値のみならず、基板面内分布、基板温度依存性をよく説明できることを見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンドウェハ、マイクロ波プラズ

マ、シミュレーション

【研究題目】低融点アルカリ金属溶融塩のリチウム二次電池用電解液特性の解明

【研究代表者】窪田 啓吾 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】窪田 啓吾 (常勤職員1名)

【研究内容】

アルカリ金属溶融塩は難燃性、難揮発性と電解液に適した性質を持つが、一般に融点が高く (200℃以上) 室温域では使用できない。その中で非対称アミドアニオンのリチウム塩は融点が100℃と特異的に低く、新規な室温域のリチウム溶融塩となる可能性を持つ。本研究では溶融塩を電解液とするリチウム二次電池の構築を目的としてこの低融点リチウム塩をベースにした溶融塩のリチウム二次電池用電解液特性を検討する。昨年度は低融点リチウム塩に他のアルカリ金属塩を添加したカチオン混合塩について、溶融塩の物理化学的性質の測定とリチウム金属および遷移金属酸化物正極の溶融塩中における界面抵抗の測定を行ったところ、溶融塩が有機溶媒にリチウム塩を添加する有機電解液に比べて粘性が1000倍、イオン伝導率が30分の1である一方、有機電解液よりも電極・電解液間の界面抵抗が低いことが分かっている。

本年度は、一般的なリチウムイオン電池で用いられている炭素負極についてこの溶融塩の電解質特性を調べた。炭素負極とリチウム金属と組み合わせたハーフセルを製作し充放電試験を行ったところ、有機電解液と同様に炭素負極の理論容量を示した。一般に炭素負極の安定な充放電にはエチレンカーボネートなどの安定な固体電解質被膜を形成する物質が必要であるが、アルカリ金属溶融塩ではアニオンがその役割を担うと考えられる。このように、アルカリ金属溶融塩は既存の合剤正極・負極と組み合わせることが可能であり、また有機溶媒・有機カチオンを含まないために電極に対して既存の電解液とは異なる被膜を形成すると考えられる。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】リチウム二次電池、電解質、アルカリ金属溶融塩、イオン液体

【研究題目】低欠陥ダイヤモンドウェハ

【研究代表者】鹿田 真一 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】鹿田 真一、杵野 由明、梅澤 仁、茶谷原 昭義、加藤 有香子 (常勤職員5名、他1名)

【研究内容】

ダイヤモンドは  $\text{SiC}$  を凌駕する省エネパワーデバイス材料として、全ての電力機器での利用が期待されている。究極の低損失デバイスである他、自己発熱による高温状態で動作させる新コンセプト「冷却フリー」で画期

的変革をもたらす。これまでの先導的研究で、超高温動作や高耐圧・高電流・低損失動作のアドバンテージが見えてきている。ウェハに関して105cm<sup>2</sup>台の欠陥密度を2~3桁低減することが最重要課題であり、本研究では実用化に向け、①結晶評価手法確立 ②低欠陥種結晶 ③低損傷表面 ④低欠陥研磨 ⑤低欠陥結晶成長 の基盤技術確立を3年で目指すものである。当機関が研究代表で、③以外を担当。

今年度は、①に関して、X線トポグラフィ、ラマン分光などこれまでに確立した各種手法を用いて②~④に関する試料の結晶性評価を行った。また欠陥定量評価において、通常の半導体で用いるウェット処理によるエッチピット評価に代わり、O<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>によるドライエッチングの適応検討を行い、貫通転移欠陥とよく合致することを見出した。②に関して、①③と併せて得られた種結晶の表面状態をよくすることも含めて行い、欠陥数として105cm<sup>2</sup>以上あった種結晶欠陥を、概ね2,000cm<sup>2</sup>以下の結晶が得られるようになった。

③に関して石英棒や小径石英板をウェハ上で高速ラスタースキャンさせる UV アシスト高速局部研磨技術につき、多くの研磨条件のもとで、到達仕上げ面粗さ及び平面度、研磨後のウェハの反り、モザイクウェハ接合面の段差などについて詳細に調べた。その結果20mm 角のダイヤモンドウェハを0.2nmRa レベルの優れた粗さで全面研磨に成功し、モザイクウェハ接合面の段差も200nm から10nm まで低減できることを確認した。研磨時間は69hr と長時間を要したが、UV アシスト研磨によるウェハへの新たな転位の導入は認められないことを X 線トポ像から確認できた。UV アシスト研磨メカニズムの解明にも取り組み、ダイヤモンドウェハは大気中の窒素に起因するトライボマイクロプラズマによる微小放電と UV による光化学反応であることを明らかにした。④に関して、平滑かつ無損傷表面を形成することを目指したドライエッチング③の結果に伴う表面荒れの抑制やファイン研磨の適応などの検討を行い、平行して、ダイレクトウェハ化法により低欠陥種基板の子基板を試作し、X 線トポグラフィや複屈折イメージングなどにより結晶性や歪を評価した。その結果、CVD による子基板でも、2.4mm 角の限定領域ではあるが欠陥数400cm<sup>2</sup>という驚異的な低欠陥を実現できた。但、その該当部分の種結晶は100cm<sup>2</sup>の欠陥数であり、CVD により新たに300cm<sup>2</sup>欠陥が発生していることもわかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、低欠陥、ウェハ、パワーデバイス

【研究題目】ダークステートを含めた感応性化学種の励起エネルギー準位構造の解明

【研究代表者】鎌田 賢司 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】鎌田 賢司 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は安定で単離可能で新奇な結合様式を持つ感応性化学種について、光機能物性や光誘起反応で重要となる最低励起状態近傍の電子励起状態のエネルギー構造を禁制遷移状態 (いわゆるダークステート) も含めて明らかにすることを目的とする。

今年度は、揺らぎ易い結合を持つ一重項中間ジラジカル性化合物や、高周期典型元素を含んだ新しい結合様式を持つ種々の化合物について、二光子吸収スペクトル測定を行ってダークステートのエネルギー準位構造を調べると共に、二光子吸収の強度との関係を明らかにすることに取り組んだ。

この中で、昨年度近赤外領域で強い二光子吸収を示すことが見出された高周期典型元素を含むドナー置換リン-テトラアザポルフィリンについて、その測定波長域を拡大するとともに、異なる中心金属および置換基を持つ類縁化合物についての測定を行い、それらとの比較検討を行った。その結果、中心金属がリンの場合では一光子と二光子スペクトルの形状はほぼ一致するのに対し、他の場合では、一光子と二光子スペクトルの形状は互いに異なり、また同波長域での二光子吸収断面積はリンに比べて1桁程度小さかった。これらの違いから中心金属にリンを持つテトラアザポルフィリンはその電子状態に基づく特徴的な遷移特性を有することが明らかになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】感応性化学種、高周期典型元素、二光子吸収

【研究題目】金微粒子触媒における電気伝導特性と触媒反応機構の研究

【研究代表者】秋田 知樹 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】秋田 知樹、前田 泰、田中 真悟 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

金微粒子触媒の CO 酸化反応を研究対象とし、酸化物担体の電気伝導性によって酸素欠陥の評価を行い、微細構造解析の結果と合わせることで、酸素欠陥の構造と機能とを解明し、金微粒子触媒の触媒活性発現メカニズムを明らかにすることを目的とする。

今年度は、触媒電気伝導測定に先行し、還元され易さの異なる11種類の金属酸化物を担体として金微粒子触媒を作製し、触媒活性との相関を調べた。その結果、担体の酸素1モル当たりの標準生成エネルギーが触媒活性とよく相関することが明らかになった。また、固相混合法を適用したことで、高活性な Au/SnO<sub>2</sub>触媒を作製することができた。また、酸化物担体として、 $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いた場合にも低温で高い触媒活性を示すことを見出した。粒子周辺部の長さあたりの反応速度を評価し、その

反応速度が一定であることを見出し、粒子の周縁部が活性点であることを明らかにした。また電子顕微鏡を用いて界面構造を詳細に調べ、走査型透過電子顕微鏡（STEM）観察から界面の原子レベルの構造について明らかにした。計算では、金-酸化スズ界面での雰囲気触媒活性に関する表面ストイキオメトリ・方位依存性や金のサイズ・形状効果との関連性を解明する為、表面ストイキオメトリを考慮した表面構造から、表面上に金を積層することで積層界面モデルやナノロッド界面モデルを作成した。作成したモデルに対する第一原理計算の結果、表面オフトイキオメトリの条件において強い界面形成利得エネルギーを持つこと、界面での電荷再分布の傾向が変化すること等が判明した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】金微粒子、金属酸化物、触媒、電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、第一原理計算

【研究題目】高機能性ポラス炭素の創成とエネルギー貯蔵への応用に関する研究

【研究代表者】徐 強（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】徐 強（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

エネルギー貯蔵においては、イオン等の貯蔵と輸送（移動）にはそれぞれ最適な空間（サイズ、構造、機能）を必要とするが、それぞれに適した空間を兼ね備えた材料の合成は困難であった。本研究では、この問題を解決するため、マイクロ孔とメソ孔の階層的機能空間を有するポラス炭素材料の創出と高効率エネルギー貯蔵への応用を目的とする。

今年度は、マイクロ孔とメソ孔を併せ持つポラス配位高分子（MOF）に、当グループで開発した「配位高分子からポラス炭素への空間転写技術」を応用することにより、マイクロ・メソポラス炭素材料を合成した。配位高分子 ZIF-8 ナノ粒子を合成し、アルゴン雰囲気下で炭化処理を行うことにより、マイクロ孔とメソ孔を併せ持つポラス炭素材料を合成した。このマイクロ・メソポラス炭素材料を電極材料として用いるスーパーキャパシターは、高い電流密度において極めて高い容量を示す。また、このマイクロ・メソポラス炭素材料を担体として用いて、パラジウムナノ粒子触媒を合成し、メタノール燃料電池の電極触媒として用いることにより、高い触媒活性と電気化学安定性を実現し、一般的に用いられている市販の炭素材料 XC-72R を担体としてもつパラジウムナノ粒子触媒と比べ、メタノール電気酸化反応において5倍も高い触媒活性を示すことを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エネルギー貯蔵

【研究題目】面発光レーザの表面実装に関する研究

【研究代表者】金高 健二（ユビキタスエネルギー研究

部門）

【研究担当者】金高 健二（常勤職員1名）

【研究内容】

情報処理システムの高性能化・省電力化のため、光電子融合回路の実用化が急務である。高密度光配線の集積実装技術を構築することは、実用化に向けた重要課題の一つである。本研究では、面発光レーザから高密度光配線へ信号導波光を結合する実装手法として新規な光集積素子を提案・検討し、理論的・実験的に実証することを目的とする。

これまでに、光導波路と表面周期構造から構成される導波モード共鳴フィルタの開口サイズの微小化を目指し、分布ブラッグ反射器ペアで構成する光導波路共振器内に導波モード共鳴フィルタを集積した、共振器集積導波モード共鳴フィルタを提案し、基本動作を実証している。

本年度は、この素子構造において、さらに開口サイズを微小化した素子を試作し評価を行った。これまでは、本素子では10ミクロン角が最小の開口サイズであったが、4ミクロン角の素子を試作し、基本動作を実証することができた。次に、新規素子として、共振器集積導波モード共鳴フィルタと金属ミラーとを集積した、共振器集積導波モード共鳴ミラーを試作し評価を行った。面発光レーザ用の外部ミラーとして望ましい、高反射率を維持したまま反射位相が共鳴波長付近で急峻に変化する、という動作予測であったが、作製した素子は反射位相と反射率が共に急峻に変化する、ノッチフィルタリング特性を持つ事が明らかになった。今後より詳細に動作検証を行うと共に、目的とする素子実現に向けてさらに検討を行う。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】光集積回路、光導波路、周期構造、導波モード共鳴、波長フィルタ

【研究題目】原子レベル構造解析に基づいたリチウムイオン電池電極材料の表面・界面理論の構築

【研究代表者】橋田 晃宜（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】橋田 晃宜（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は Li イオン電池電極材料と電解液との界面における Li や酸素等の物質移動の現象を明らかにし、電池性能の改善の鍵となる反応メカニズムを物理化学的に解明することを目標としている。具体的な目標として電池材料のモデル基板の作製とそれを用いた高度な解析および評価を行い、得られた知見を第一原理計算などに生かすことによってナノレベルで電池反応を理解していくことを目指している。これまで漠然と行われてきた電池材料の表面解析を、より高度に、原子・分子レベルで行っていく上で、規定された表面を有するモデル基板の作

成は必須である。

本年度では Li イオン電池正極材料のモデル基板の作製条件の検討を行い、従来に増して再現性良く規定表面を作製することが可能になった。今後は走査プローブ顕微鏡などを駆使し、大気中や電解液中において規定表面の解析を行い、電池反応や劣化反応の起源を表面科学的に明らかにしていくことを目指す。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】リチウムイオン電池、電極材料、表面・界面、走査プローブ顕微鏡、透過電子顕微鏡

【研究題目】組織化された液晶性色素半導体を内部に持つ酸化チタンナノ粒子の開発

【研究代表者】清水 洋

(ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】清水 洋、高橋 己之一

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

液晶状態は分子の並進や回転揺動を伴う長距離の配向秩序を持つ動的状態であるがナノ空間に閉じ込めるとその配向が維持され、その相転移温度は大きく変化する場合は報告されている。一方、酸化チタンは光半導体や触媒性を持つ材料として注目され、その多孔質系材料は色素増感太陽電池など有機化合物との組み合わせによる多様な機能性材料の研究が盛んに行われて来た。本研究では、酸化チタンの高機能化を図るため分担研究者らが開発した中空 TiO<sub>2</sub> ナノ粒子のワンポット合成法を応用した中空内部に機能性有機化合物として液晶性色素半導体を内包する新たな材料の創製を行う。

今年度は、そのワンポット合成法に直接液晶性フタロシアニン化合物を加えての反応を試みたところ体積分率で70%程度の液晶性フタロシアニンが充填された酸化チタンナノ粒子の調製に成功した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】ナノ粒子、酸化チタン、液晶性半導体、有機色素材料

【研究題目】シリカガラス中の特異な酸素配置を有する光活性イオンによる新規機能の創製

【研究代表者】赤井 智子 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】赤井 智子 (常勤職員1名)

【研究内容】

メソポーラス構造を有するシリカガラスの内部に遷移金属等の光活性イオンをドーピングして焼成すると、そのイオンの周囲に配位数の低い歪んだ特異な構造が発生し、その結果、この化学組成では通常得られない紫外励起による高効率発光が観察される。本研究では、この焼成過程で生じる特異な酸素の配位構造を制御することで、新

規な発光材料を創出することを目的として研究を行う。

そのためまず、この特異な構造の構造精密決定手法、電子状態との理論的な相関解明、構造制御方法の三点について、実験、量子化学計算の両者を用いてその基盤を確立する。その手法を用いて、金属—シリカガラスという単純かつ安易な組成系で、LED、太陽光コンバーターに使用される近紫外または赤外で高効率に可視～近赤外で発光する可能性のある構造を提案し、それを実際に合成して実証することを目的とする。

本年度は、Cu-SiO<sub>2</sub>系をモデル物質としてとりあげ、濃度を上昇させる方法について検証を行った。また、従来の Cu-SiO<sub>2</sub>系の XANES スペクトルを量子化学計算で検討するための手法を検討した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】メソポーラスシリカ、XANES、量子化学計算

【研究題目】高励起状態への遷移による有機分子の短波長励起二光子吸収特性の解明とその機能化

【研究代表者】鎌田 賢司 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】鎌田 賢司 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は光の電場によって揺らぎやすい電子を持つ有機分子系について、600nm 以下の可視光短波長領域で高い励起状態が関与した強い二光子吸収特性を持つ可能性を実験的に検証しその応用の可能性を探ることが目的である。

このため、可視光短波長領域の二光子吸収特性を評価するための測定光学系を構築して、スペクトル測定を行うとともに、高精度の量子化学計算も併用して観測された二光子遷移の帰属を行い、強い二光子吸収遷移が生じる理由を明らかにする。さらに機能材料への応用展開を図るため、二光子吸収誘起による微細パターンの高効率な形成を目指す。昨年度までに3回回転対象以上の対称性の高い分子構造を持つ化合物が、高励起状態への遷移により可視光短波長流域で数百 GM を超える強い二光子吸収を示し、中には二光子吸収有機の光反応が生じているものがあることを明らかにしてきた。

本年度はその二光子吸収誘起の三次元微細光造形への応用に取り組んだ。研究の効果的な進展を図るため、光造形について造詣の深い海外の専門家を短期招聘し、実験指導と現場での議論を行った。その結果、本研究によって見出された化合物を光架橋反応開始剤として用いて可視光により高励起状態への二光子吸収を誘起することで幅1μm 程度の三次元微細造形物を形成することに成功した。この際、用いた開始剤濃度は従来のものよりも1桁薄い濃度であり、見出した化合物が効率的な開始剤として利用可能であることを実証した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 二光子吸収、有機材料、 $\pi$ 電子共役系、高励起状態

〔研究題目〕 二種の鎖状分子の同時配向制御と有機薄膜太陽電池の異方的な電子物性に関する研究

〔研究代表者〕 溝黒 登志子（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 溝黒 登志子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では p 型と n 型の鎖状  $\pi$  共役分子の配向制御技術を確認し、配向制御した有機薄膜太陽電池特性と偏光応答性を評価することで、異方的な電子物性と分子配向との相関を調べる。オリゴチオフェンを始めとする鎖状  $\pi$  共役分子は、分子鎖が基板に対して平行に配向すると、電荷の移動が促進され、膜厚方向の導電性が向上する。同時に偏光応答性も生じる。しかし鎖状  $\pi$  共役分子を基板に平行方向に配向させることは困難であるうえ、2種類以上の鎖状分子を同時配向させた太陽電池の報告例はほとんどない。

当方が有する摩擦転写法を用いて基板に平行に配列した p 型導電性高分子膜を形成し、この上に p 型鎖状  $\pi$  共役分子を真空蒸着すると、下層の高分子配向膜をテンプレートとし、高分子の配列方向に平行に配列した p 型鎖状  $\pi$  共役分子膜を容易に得られることが分かっている。前年度では p-n 接合型素子において、p 層、n 層共に基板平行に一軸配向させ、その結果有機薄膜太陽電池特性が向上することを見出した。

今年度は、逆型素子である n-p 接合型素子の形成を試みた。まず摩擦転写膜上に n 型鎖状分子を蒸着すると基板面内の一軸配向することを見出した。n 型分子の配向構造を微小角入射 X 線回折法で詳細に解析し、複数の n 型分子において非常に配向度が高い n 層を形成出来ていることが分かった。その上に p 型半導体層をまずスピコート法で形成して太陽電池素子とし、電流-電圧測定を行ったところ、摩擦転写膜上で面内の一軸配向した n 型分子層を有する素子の方が基板に対してランダムに配向した n 型分子層を有する素子よりも変換効率が高くなり、偏光応答を示した。また、摩擦転写膜上に面内一軸配向させた n 型鎖状低分子膜上に p 型鎖状低分子膜を真空蒸着したところ、p 型鎖状低分子も面内一軸配向することを見出した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 分子配向制御、構造解析、有機薄膜太陽電池、摩擦転写、導電性高分子、導電性オリゴマー、鎖状分子

〔研究題目〕 高性能水素貯蔵材料としてのホウ素-炭素-窒素系多孔質高分子の研究

〔研究代表者〕 徐 強（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 徐 強、Arshad Aijaz  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

来る水素エネルギー社会を支えるキーテクノロジーとして、高効率水素貯蔵技術の確立が求められている。水素との相互作用が強く、高密度水素を可逆的に吸蔵・放出できる水素貯蔵材料の開発が期待されている。

今年度は、カーボンフレームワークへの窒素 (N) ドープが水素貯蔵能に与える効果をより明らかにするために、窒素成分を多く含む金属配位高分子 ZIF-8 をテンプレートと前駆体として、フルフリルアルコールと  $\text{NH}_4\text{OH}$  をそれぞれ第2の炭素源と窒素源として用いて、600、800と1000°Cでアルゴン雰囲気下で熱処理させることにより、高い表面積を有し、N-ドープされた多孔性炭素試料 NC600、NC800と NC1000を合成した。処理温度の上昇につれて、ドープした N-成分の量が減少することが分かった。試料 NC1000は低い N 含有量 (0.7 wt%) と高い比表面積 (3268  $\text{m}^2/\text{g}$ ) を有し、最も高い水素吸蔵量 (254  $\text{cm}^3/\text{g}$  (STP)、77 K、1 atm) を示す。試料 NC600は最も低い比表面積 (455  $\text{m}^2/\text{g}$ ) と最も高い N 含有量 (25.9 wt%) を有し、中程度の水素吸蔵量 (106  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) を示す。試料 NC800は中程度の比表面積 (1546  $\text{m}^2/\text{g}$ ) と N 含有量 (14.7 wt% N) を有し、高い水素吸蔵量 (199  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) を示す。これらの結果から、比表面積と窒素含有量はともに吸着能に大きく影響することが明らかになった。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 水素、燃料電池

〔研究題目〕 次世代高エネルギー密度型リチウムイオン電池およびナトリウムイオン電池用正極材料

〔研究代表者〕 鹿野 昌弘（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 鹿野 昌弘、BEN YAHIA Hamdi  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

次世代の高エネルギー密度型リチウムイオン電池およびナトリウムイオン電池用正極材料開発を目指し、各種酸化物の合成と電気化学的特性評価を行っている。本研究の特徴は、結晶学的見地による材料の設計を行い材料合成プロセスの最適化を検討するものである。

本年度においては、ポリアニオン系化合物の検討を継続した。オキシフッ化リン酸塩については、高圧を印加することで従来知られていなかった高圧相の  $\text{Na}_2\text{CoPO}_4\text{F}$  を創生し、その結晶構造と磁気特性について報告を行った。さらに、関連化合物として、 $\text{Co}_2\text{PO}_4\text{F}$  の結晶構造について明らかにした。これらの Co 含有化合物は、高容量型の正極材料として期待され

る  $A_2MPO_4F$  ( $A = Li, Na; M = Mn, Fe, Co, Ni$ ) を含む一連のオキシフッ化リン酸塩の合成と結晶構造について研究を拡張した成果であり、新規な正極材料群開発の端緒になると期待している。さらに、Li 過剰型の材料を検討して行く中で、銅系のバナジン酸化合物が  $250 \text{ mAh/g}$  以上という秀でた高容量特性を示すことを明らかにした。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 二次電池、リチウムイオン電池、ナトリウムイオン電池、正極、結晶構造

〔研究題目〕 高性能窒素系液体化学水素貯蔵媒体の研究

〔研究代表者〕 徐 強 (ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 徐 強, Jianke Sun

(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

水素エネルギー社会を実現するためには、高効率水素貯蔵技術の確立が必要不可欠である。本研究では、広い温度領域において液体であり、水素と窒素への選択的分解が可能であり、充填容易且つ生成物(窒素)回収・再生不要であることから水素貯蔵媒体として高い可能性を持つヒドラジン水和物の優れた性質に着目し、高性能化学的水素貯蔵技術の確立を目的としている。

今年度は、金属配位高分子 ZIF-8 のナノ粒子を合成し、アルゴン雰囲気下で、 $500^\circ\text{C}$  で炭化させることにより、カーボンナノ粒子を合成した。合成したカーボンナノ粒子を担体として用いて、水酸化ナトリウム共存下で白金とニッケル前駆体金属塩の還元によりカーボンナノ粒子担持白金・ニッケル合金ナノ粒子を合成した。 $30^\circ\text{C}$  でヒドラジン水和物の分解反応を行ったところ、触媒活性・水素生成選択性は、ニッケルと白金との比に依存することが分かった。ニッケルと白金との比が4:6の場合は最も高い触媒活性を示し、速い速度で水素を放出した。放出ガスの体積測定から、ヒドラジンの完全分解反応  $\text{H}_2\text{NNH}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2$  が選択的に進行し、水素生成選択率が100%に達することが確認された。電子顕微鏡観察により、カーボンナノ粒子に担持された白金・ニッケル合金ナノ粒子の平均粒径は  $2.2 \text{ nm}$  であり、高分散状態にあることが明らかになった。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 水素、燃料電池

〔研究題目〕 高性能ホウ素-窒素系水素貯蔵材料の研究

〔研究代表者〕 徐 強 (ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 徐 強, Qi-Long Zhu

(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

来る水素エネルギー社会を支えるキーテクノロジーと

して、高効率水素貯蔵技術の確立が求められている。最近化学的水素貯蔵が盛んに研究され、水素吸蔵合金と比べ格段に重量密度の高い水素貯蔵が可能になるとされている。しかし、これまで報告されている化学的水素貯蔵材料は水素放出温度が高い上、燃料電池電極触媒の被毒成分となるアンモニア等の発生が問題となっている。そのために、水素含有量が高く、温和な条件下で水素放出が可能で且つ燃料電池電極触媒の被毒成分を副生しない化学的水素貯蔵材料の開発が強く求められている。本研究では、ホウ素-窒素系化学水素化物を有望な水素貯蔵材料として取り上げ、ホウ素-窒素系化学水素化物の選択的脱水素化・水素発生触媒を開発し、高性能水素貯蔵材料・技術の確立を目的としている。

今年度は、多孔質炭素 MSC-30 を担体として用いて、水酸化ナトリウム共存条件下で  $\text{NaBH}_4$  を用いて、前駆体金属塩を還元することにより、多孔質炭素に高分散担持した白金とニッケル(PtNi)の合金ナノ粒子触媒  $\text{PtNi@MSC-30}$  を合成した。本  $\text{PtNi@MSC-30}$  触媒は、ホウ素-窒素系水素貯蔵材料であるヒドラジンボランの選択的脱水素化・水素発生反応に高い触媒活性を示すことを明らかにした。触媒活性及び水素生成選択性は白金とニッケルとの比に大きく依存することを明らかにした。 $\text{Ni}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}\text{@MSC-30}$  は室温において、 $\text{BH}_3$  基の加水分解、 $\text{N}_2\text{H}_4$  基の完全分解反応に高い触媒活性を示し、100%の水素選択率で水素放出させた。TEM 観察により、 $\text{NaOH}$  共存下で合成した  $\text{Ni}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$  ナノ粒子の平均粒径は約  $2.1 \text{ nm}$  であるのに対し、 $\text{NaOH}$  が共存しない条件下で合成した  $\text{Ni}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$  ナノ粒子の平均粒径は約  $4.2 \text{ nm}$  であることがわかり、合成条件がナノ粒子の粒径及び触媒活性に影響を与えることが明らかになった。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 水素、燃料電池

〔研究題目〕 微細組織制御による発電用熱電変換材料の開発

〔研究代表者〕 舟橋 良次 (ユビキタスエネルギー研究部門)

〔研究担当者〕 舟橋 良次, Emmanuel Combe

(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

高温、空気中で高い熱電性能を発現する  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_9$  は分解熔融系であり、熔融することで Bi-rich な融液相と Sr-Co-O 相で構成される固体酸化物相に分解することを X 線回折、走査型電子顕微鏡観察より明らかにした。この部分熔融状態から試料を徐冷すると、融液相と固体酸化物相の界面で  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_9$  相が包晶反応により再結晶化する。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_9$  結晶粒は溶解温度が高いほど大きくなった。また溶解温度が高いと分解熔融で生じる Sr-Co-O の粒径も大きくなった。徐冷により融液相と Sr-Co-O 相が反応し、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_9$  相へと変化するが、

熔融時に生じた Sr-Co-O 相は徐冷後も残留することが分かった。また部分熔融法で作製した試料の焼結密度は、熔融状態を介さない固相焼結法で作製した試料よりも低く、多孔質となった。このように不純物の残留と低密度化にも関わらず、適切な部分熔融温度で作製した試料の電気抵抗率は固相焼結法で作製した試料と比べ1/3程度の値であった。これは部分熔融法により、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_9$  相の結晶粒径が大きくなったことが原因である。ゼーベック係数は焼成条件によらずほぼ同じであった。さらに熱伝導度も部分熔融試料と固相焼結試料とほぼ同じであったが、電気抵抗率が前者試料の方が高いことから、部分熔融によりフォノン散乱点が新たに形成されたことが分かった。これは残留した Sr-Co-O 相に起因すると考えられる。700°Cにおける無次元性能指数は部分熔融法により固相焼結法よりも約4倍高い数値となり、この酸化物焼結体で報告された最高値となった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】熱電発電、廃熱利用

【研究題目】人工層状構造を有する多機能材料の開発

【研究代表者】舟橋 良次 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】舟橋 良次、Tristan Barbier  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

新たな熱電材料の設計指針構築を目的に、数種のホモロガス層状酸化物を合成し、結晶構造解析と熱電特性評価を行った。

今年度は、酸化物は Ba-Co-O で構成されるホモロガス物質について、元素置換による物性値の変化と結晶構造の関係を明らかにした。このホモロガス相は  $[\text{BaCoO}_3]_n[\text{BaCo}_8\text{O}_{11}]$  で表され、Ba の一部をアルカリ土類及び希土類で置換することができる。また Co の一部も3d 遷移金属で置換できた。特に、Ni、Cu で置換した場合、高い置換量でも単相が得られることが分かった。n の値はホモロガス比と呼ばれ、本研究では  $n = 0, 1, 2$  及び  $\infty$  の試料を合成した。n の値により異なる電気伝導性及びゼーベック係数が得られた。さらに新しいホモロガス材料として Ba-Co-Cl-O 及び Ba-Co-Br-O 層状物質にも注目し、 $\text{BaCoO}_3$  鎖の異なる試料を合成し、それらの結晶構造の詳細な解析と熱電特性の評価を行った。その結果、いずれの物質も  $\text{BaCoO}_3$  鎖を有するホモロガス物質であるものの、 $[\text{BaCoO}_3]_n[\text{BaCo}_8\text{O}_{11}]$  と Ba-Co-Cl-O 及び Ba-Co-Br-O は全く異なる電気伝導特性を示すことが分かった。つまり前者は高い電気抵抗率とゼーベック係数を有するが、Ba-Co-Cl-O 及び Ba-Co-Br-O は金属的な電気特性を示しながらも、 $[\text{BaCoO}_3]_n[\text{BaCo}_8\text{O}_{11}]$  よりも低い熱伝導度を有する。今後、 $\text{BaCoO}_3$  鎖間にある挿入層の特性、構造解析を行うと同時に、 $\text{BaCoO}_3$  鎖長と熱電特性の相関を詳細に調

べることで、熱電特性の向上に必要な結晶構造、電子構造、層間結合力及び界面構造を明らかにする。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】熱電発電、廃熱利用

【研究題目】リチウム資源問題を解決する常温作動型ナトリウム二次電池の開発

【研究代表者】片岡 理樹 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】片岡 理樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

リチウム二次電池の電荷担体を資源豊富なナトリウムに置き換えることができると、資源偏在性のあるリチウムを用いず、かつ比較的高エネルギー密度な二次電池を実現可能である。本研究では、高容量かつ長寿命なナトリウム二次電池用正極材料の探索・合成し、電極材料の高性能化を目指すとともに、充放電メカニズムの解明を目的としている。

今年度は、高容量リチウム二次電池材料として知られる層状構造を有する  $\text{Li}_{2-x}\text{MnO}_3$  に着目し、この材料から Li を脱離した  $\text{Li}_{2-x}\text{MnO}_3$  のナトリウム正極材料としての特性を評価した。初期 Na 挿入過程において、1電子反応に相当する 237 mAh/g の容量を確認し、その後の40サイクルで2サイクル目の放電容量の80%の容量を維持することを確認し、高容量正極としての可能性を見出した。

また、Na の挿入脱離過程における結晶構造の変化も調査した。X 線回折測定及び透過電子顕微鏡観察の結果から、Na を挿入すると結晶性が著しく低下し、脱離すると結晶性が回復することがわかった。これまで知られている層状型酸化物正極の多くは、充放電過程において結晶構造を維持することが電極特性の長寿命化において重要と考えられていたのに対し、本研究で得られた材料は充放電過程で結晶構造が大きく崩れながらも安定な寿命特性を示した。今後、充放電過程における詳細な構造の変化の過程を検討し、大きな構造変化にかかわらず安定に充放電可能である要因を解明していく予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ナトリウム二次電池、省レアメタル、正極材料、高容量材料

【研究題目】第一原理計算によるバルクナノメタルの基礎物性設計

【研究代表者】香山 正憲 (ユビキタスエネルギー研究部門)

【研究担当者】香山 正憲、田中 真悟、王 昊  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

密度汎関数理論に基づく第一原理計算は、物質の結晶構造から欠陥、表面、粒界・界面等の安定構造や各種応



力下での原子・電子挙動を高精度に解明する強力な手段である。効率的で高精度な平面波基底法を Car-Parrinello に始まる高速計算技法と組み合わせることで広範な応用展開が可能となった。しかし、平面波基底法では、全エネルギーや応力といった基本的な物理量が、スーパーセル内の積分値あるいは平均としてしか求まらない。欠陥や粒界・界面の安定性や各種応力下での機械的挙動を扱う見地からは、エネルギーや応力の局所分布の情報が重要である。我々は、平面波基底の第一原理計算法において、「局所エネルギー、局所応力の計算法」の開発に取り組み、金属の表面や欠陥、粒界、異相界面への適用を進めている。

今年度は、Al と Cu の粒界の第一原理引張試験に「局所エネルギー、局所応力の計算法」を適用し、引張変形過程での各原子のエネルギー・応力の変化を分析した。Al 粒界については、二段階の引張変形過程が見られた。Al の共有結合性から界面ボンドが強化され、そのため最初は界面ボンドの後ろのボンドが伸びる。しかし、界面ボンドに応力集中が生じるため、次の段階で界面ボンドが専ら伸びるようになる。各原子のエネルギー変化、応力変化は、こうした二段階の変形と対応している。一方、Cu 粒界では、比較的小さな歪の段階で、粒界から結晶の (111) 面のせん断方向に積層欠陥が入ることが観察された。これは、占有された d バンドによる Cu 結晶の性質（高い引張強度、低いせん断強度）によるもので、各種の実験や古典分子動力学法計算の結果とも合致する。各原子のエネルギー・応力を見ると、積層欠陥導入により、バルク結晶部分のエネルギーは上昇するが、粒界原子のエネルギーが大きく低下しており、これが原因であると言える。以上のように、粒界の変形過程の原子・電子挙動の分析のために、「局所エネルギー、局所応力の計算法」は極めて有効であることが示された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】第一原理計算、粒界・界面、局所エネルギー、局所応力

【研究題目】理論と実験の協奏的アプローチによる複合スピン励起子変換制御

【研究代表者】鎌田 賢司（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】鎌田 賢司（常勤職員1名）

【研究内容】

励起状態を含む複数の分子が協同的にスピン状態変化する複合励起過程（複合スピン励起子変換）は、三重項-三重項消滅、もしくはその逆過程である一重項分裂として知られており、近年、前者は低エネルギー光子から高エネルギー光子へのアップコンバージョン、後者は長寿命三重項励起子生成による太陽電池の変換効率向上と言った観点から特に関心が持たれている。本研究は、そ

の複合スピン励起子変換の支配因子の抽出と機構の解明を通して、有用な新規物質を提案することを全体目標とする。特に三重項対から一重項対への変換である TTA 過程に軸足を置き、理論面では量子化学に基づく高精度励起状態計算によって、実験面では時間分解および定常分光測定によって、その変換過程の支配因子を解明する。

弊所では TTA 機構によるアップコンバージョンのメカニズムを実験的に解明し、固体系を含めて高い発光収率の TTA-UC 系への展開を図る。

本年度は発光体分子へのアルキル鎖修飾がアップコンバージョン特性に及ぼす影響について分子間距離の観点から検討し、距離が離れても効率が低下せずむしろ増加していることを見出した。この結果は今後の分子設計に重要な指針を与えるものである。さらにこれまでアップコンバージョンの報告がほとんどない固体系について、種々の手法により固体化を検討した結果、室温・大気下での発光を確認した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】スピン変換、三重項、光アップコンバージョン

【研究題目】ダイヤモンド量子センシング

【研究代表者】鹿田 真一（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】鹿田 真一（常勤職員1名）

【研究内容】

ダイヤモンド中の個々の量子ビットをセンサーとして、単一の分子や細胞の核磁気共鳴 (NMR) イメージング測定や電位分布測定を室温で実現する実験手法を確立することを目指したプロジェクト。同位体ダイヤモンド表面近傍に100 $\mu$ 秒以上の量子コヒーレンス時間を有する窒素-空孔ペアを配置し、個々のペアに束縛された電子スピンを制御する手法を開発し、単一 NV 電子スピンをセンサーとしてダイヤモンド外部に置かれた単一原子の核磁気共鳴検知を成功させ、さらには2次元 NV アレイを用いて空間分解能50nm での磁場・電位・温度分布イメージングも実現する。並行してニューロン等の単一細胞への刺激に対する電位分布の時間発展バイオセンシングを NV アレイを用いて実現する。量子センサーとしての最大の利点（古典限界を破る高感度）を保ちながら、空間分解能を10nm 以下の単一分子・細胞の磁場・電場・温度イメージングを目指す。慶応大学が代表となり京都大学と産総研が分担参加する。

今年度は、<sup>12</sup>C 同位体ダイヤモンドのフォトルミネッセンスマッピングによる評価 (NV ペア濃度の決定)、スペクトル拡散評価、光検知磁気共鳴 (ODMR) による位相緩和時間測定を行い、また NV 発光が核スピンとの超微細相互作用により分裂する様子を分光的に観測する計画であり、ダイヤモンドサンプル合成のため、N 濃

度の極めて低い単結晶のオフ角・方向制御した研磨加工及び結晶評価を実施し、成長に供した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、量子センサー、核磁気共鳴イメージング

〔研究題目〕 高エネルギーイオン大気取出し窓兼位置敏感型検出器としてのダイヤモンド薄膜の研究

〔研究代表者〕 鹿田 真一（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 鹿田 真一（常勤職員1名）

〔研究内容〕

宇宙、原子力、医療等分野で求められる半導体素子や生物細胞等への局所的イオン照射効果の研究に用いる MeV 以上の高エネルギーイオンの大気中照射において、大気取出し窓兼イオン位置検出器の材料として、単結晶ダイヤモンドを検討するプロジェクトであり、薄膜によるイオン照射に対する高空間分解能・高感度な新奇透過型位置敏感型検出器の実現を目指している。日本原子力研究開発機構が代表となり、群馬大、産総研が参画し、クロアチアの RBI 研究所と連携している研究である。

今年度は、マイクロビーム装置に IBIC 及び TIBIC の測定系を構築し、照射実験を開始し、照射損傷あるいはポーラリゼーションによる電荷収集信号の劣化するビーム条件が見いだされた場合は、その劣化特性について、ダイヤモンドへの照射によって形成される欠陥との相関を調べる予定である。分担者として照射実験に用いるダイヤモンド単結晶の薄厚の結晶を CVD 成長と「ダイレクトウェハ化法」を用いて作製した。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド単結晶、耐放射線

〔研究題目〕 マルチラジカル性を有する開殻超分子系の光磁気機能物質の創成

〔研究代表者〕 鎌田 賢司（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 鎌田 賢司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

開殻性を有するナノサイズ分子性物質は磁性に加え、従来の閉殻系を凌駕する導電性や光学特性等を示す可能性があるために注目されている。本研究では複数の開殻部位を有する開殻超分子系について、開殻性を表す化学的指標である「開殻因子」に基づいて光磁気機能発現機構を解明して、開殻分子の化学的修飾、電場印加等の物理的摂動、溶媒や結晶場等の環境効果が開殻因子に与える影響を明らかにする。その結果、開殻因子の制御に基づく光磁気機能の発現およびその制御理論の構築を全体目的とする。そのために新規開殻性化合物の溶液ならびに固体薄膜における二光子吸収等の開殻因子との関連が

期待できる光学物性を実験的手法により解明する。

本年度は、固体系、特に分子配列の状態が明確な結晶状態での二光子吸収測定に向けた光学系の構築を行った。試料化合物の結晶は数十 $\mu\text{m}$ 程度の微結晶であるため、単一の微結晶を選択して、観察しながら結晶の特定部位・角度で、近赤外フェムト秒レーザー光の透過率測定ができる光学系を設計・構築するとともに、用いるレーザー光の安定化を図った。今後、構築した光学系を用いて、光透過率測定に基づく単一微結晶の二光子吸収特性の評価を行って行く。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 開殻電子構造、ラジカル、二光子吸収、結晶性固体

〔研究題目〕 分子レベルでのグラフェンの電子構造の理解と新規物性の探索

〔研究代表者〕 鎌田 賢司（ユビキタスエネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 鎌田 賢司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

グラフェンが持つジグザグ端に現れる特殊な磁気状態である「エッジ状態」とゼロギャップの線形バンド構造である「ディラック点」という2つの大きな電子的特徴を、化学合成したモデル分子を用いて分子レベルで理解し、その特徴的電子構造に由来する特異な電子物性を解明することが本研究の全体目的である。エッジ状態を有する化合物は、化学的にはラジカル状の開殻電子構造を持つことと理解され、磁気特性や非線形光学特性といった特有の電子物性が期待される。これまで、開殻一重項状態を持つ分子系は中間程度の開殻性の場合に非線形光学特性が増大することが知られ、特に非線形光学特性の一種である二光子吸収の増大の形で実験的に検証されて来た。本研究では、研究推進の主体となるモデル分子の合成を行う合成化学者と連携して、それら新規モデル分子の二光子吸収特性の探索を分担し、「エッジ状態」、「ディラック点」を持つ物質の二光子吸収特性を明らかにする。

今年度は、これらグラフェンモデル化合物に関連する理論的な検討を進めると共に、二光子吸収スペクトルを行う上でのシグナル/ノイズ比の改善を図るため、同測定システムにおける検出系の分解能の向上を信号処理系の再検討・改良により行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 グラフェン、開殻電子構造、二光子吸収

〔研究題目〕 Zr 系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則-不規則配列と酸化物イオン伝導

〔研究代表者〕 野村 勝裕（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】野村 勝裕（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は Zr 系パイロクロア組成化合物を系統的に作製し結晶構造解析を行い、得られた結晶構造パラメータを基に酸素空孔の規則-不規則配列の程度を定量化することにより酸化物イオン伝導度との相関を明らかにし、酸化物イオン伝導メカニズムを解明することを目的としている。Zr 系パイロクロア組成化合物中の酸化物イオン伝導メカニズムを解明するためには、結晶構造の評価と併せて、酸化物イオン伝導度の精密な評価が必要である。本研究では、全伝導度（＝酸化物イオン伝導度、プロトン伝導度、ホール伝導度、電子伝導度の総和）の温度依存性、酸素分圧依存性、及び水蒸気分圧依存性を調べることにより、酸化物イオン伝導度を評価した。分圧依存性を調べることにより、酸化物イオン伝導度を評価した。市販の ZrO<sub>2</sub>試薬には多くの場合 Hf が含まれており、従来の研究で使用した ZrO<sub>2</sub>試薬にも2%ほどの Hf が含まれている。

今年度は、Hf 含有量75ppm 未満の ZrO<sub>2</sub>試薬を用いて2種類のパイロクロア組成化合物 - Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>、La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の緻密焼結体（相対密度95%以上）を調製し、種々の酸素分圧、水蒸気分圧の下、300～1000℃の温度範囲で全伝導度の測定を行った。Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>は、水蒸気分圧0.042atm、600～1000℃の温度において、10<sup>-27</sup>～1atm の酸素分圧範囲で全伝導度の酸素分圧依存性が無く、酸化物イオン伝導性を示すことが示唆された。Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の800℃での酸化物イオン伝導度は8.0×10<sup>-3</sup>S/cm であった。La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>は、①酸素分圧が10<sup>-5</sup>atm より高い乾燥雰囲気中では、主としてホール伝導性を、②酸素分圧が10<sup>-5</sup>atm より高い、800℃以下の加湿雰囲気中では、主としてプロトン伝導性を、③酸素分圧が10<sup>-5</sup>atm より低い乾燥雰囲気中では、主として酸化物イオン伝導性を示すことが分かった。La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の800℃での酸化物イオン伝導度は5.0×10<sup>-6</sup>S/cm であった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】酸化物イオン伝導、プロトン伝導、ホール伝導

【研究題目】Zr 系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則-不規則配列と酸化物イオン伝導

【研究代表者】蔭山 博之（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】蔭山 博之（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は Zr 系パイロクロア組成化合物を系統的に作製し結晶構造解析を行い、得られた結晶構造パラメータを基に酸素空孔の規則-不規則配列の程度を定量化することにより酸化物イオン伝導度との相関を明らかにし、酸化物イオン伝導メカニズムを解明することを目的とし

ている。酸化物イオンの伝導メカニズムを詳細に検討するためには、Zr などの金属イオン周りの原子レベルの局所的な構造評価が重要である。本研究では、XAFS により Zr などの金属イオン周りの局所構造パラメータを得ることを目標とする。

市販の ZrO<sub>2</sub>試薬には多くの場合 Hf が含まれており、従来の研究で使用した ZrO<sub>2</sub>にも2%ほどの Hf が含まれている。今年度は、2種類のパイロクロア組成化合物 - Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>および La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>を Hf 含有量が少ない ZrO<sub>2</sub>を用いて合成し、実験室型 XAFS 装置により、室温で Zr-K 吸収端の XAFS 測定を行った。得られた XANES 領域の比較から、Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の Zr 周りは8mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ドープ安定化ジルコニア（8YSZ、酸素8配位）により近く、La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の Zr 周りは SrZr<sub>0.9</sub>Y<sub>0.1</sub>O<sub>3</sub>（酸素6配位）により近い局所構造であると考えられ、Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>と La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の Zr 周りの局所構造には、差があることが示唆された。また、EXAFS 領域およびフーリエ変換して得られた動径構造関数からも、同様に La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の Zr 周りに比べて Eu<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>の Zr 周りは、8YSZ に類似した局所構造を持つことが示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】結晶構造、酸化物イオン伝導、プロトン伝導

【研究題目】無機・有機複合体におけるランタニド錯体の多機能性発光特性の研究

【研究代表者】赤井 智子（ユビキタスエネルギー研究部門）

【研究担当者】赤井 智子（常勤職員1名）

【研究内容】

繊維状粘土とランタニドイオン及び光増感配位子からなる無機・有機複合体における錯体では、通常のランタニド錯体とは異なり、可視光励起視認性発光、励起波長依存マルチカラー発光及び温度逆依存高温発光・湿度変化発光の多機能性発光特性が見られる。この発光特性は粘土の半導体欠損準位が関与していると考えられる。

本研究では、粘土の種類・分散性・粒度の違いが、Eu<sup>3+</sup>や Tb<sup>3+</sup>イオン及びポリピリジルやベンゾフェノン系配位子などの光増感配位子の組合せ及び反応条件（量・温度・溶媒）によって、発光性（寿命・輝度・励起波長・色・温度依存性）にどのように影響するかを詳細に検討して、発光機構の解明にあたっている。

今年度は発光機構の解明に用いる試料として粘土鉱物繊維状粘土セピオライト（SP）として TOLSA 社の PangelAD を用いて Eu と配位子を導入して試料を作成し、励起・発光特性を検討した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】粘土鉱物、無機・有機複合体、ランタニドイオン、発光特性

**〔研究題目〕** イオンビーム誘起 CVD 技術の高度化と SiC ヘテロエピ成長への応用

**〔研究代表者〕** 木内 正人 (ユビキタスエネルギー研究部門)

**〔研究担当者〕** 木内 正人 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

炭化ケイ素は次世代の省エネルギーワイドギャップ半導体として注目されている。一般的には高価な素子であるが廉価なシリコン基板上へ炭化ケイ素結晶をヘテロエピ成長させる技術を確立することが望まれている。本研究はヘテロエピタキシャル成長により安価な炭化ケイ素を提供する技術を確立することが目的である。これまでナノレベルの立体構造形成や磁気媒体の開発などに使われてきたイオンビーム誘起 CVD 法の技術を、炭化ケイ素結晶のヘテロエピ成長に応用を試みた。これまではアモルファス膜の SiC しか得られていなかった。

本年度は有機金属蒸気を前駆体として結晶成長させる場合のイオンビームの質の向上、基板温度制御の向上などによる技術の確立に成功した。その結果、再現性に優れた結晶成長技術を提案することができた。特に基板温度が600°Cの場合はイオンビームの効果が大きく現れることを見出した。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 炭化ケイ素、イオンビーム、結晶成長

**〔研究題目〕** 科学研究費補助金 (研究成果公開促進費) データベース (研究成果データベース) リレーショナル化学災害データベース

**〔研究代表者〕** 和田 有司 (安全科学研究部門)

**〔研究担当者〕** 和田 有司、若倉 正英、中島 農夫男、松倉 邦夫、伊藤 貴子、河辺 圭美、阿部 祥子、伊藤 俊介 (常勤職員1名、他7名)

**〔研究内容〕**

「リレーショナル化学災害データベース」は、継続的に化学関連災害を収集し、公開することを目的としているデータベースで、化学災害に関連した物質の危険性データへのリンクや文字情報以外のプロセスフロー図、装置図、化学反応式等の付帯情報 (画像情報) へのリンクを持ち、利用者が利用しやすいように最終事象、装置、工程、推定原因、被害事象を専門家によって階層化されたキーワードで分類し、教訓を持つことを特徴としている。また、一部の事例には産総研で開発した事故分析手法 PFA によって事故を分析した結果である事故進展フロー図がリンクされ、利用者がより簡便に深く事故を理解できるように工夫されている。

本研究では、日々化学災害事例の収集、分析を行い、事故の概要文を作成した約200件の事例について、関連化学物質の抽出作業および各キーワードによる分類作業を行いながらデータベースへの登録、公開を行った。ま

た、事故分析手法 PFA の結果である事故進展フロー図約10件を Web で公開するフォーマットに整える作業を行い、データベースに登録、公開を行った。

公開 URL : <http://riscad.db.aist.go.jp>

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** リレーショナル化学災害データベース (RISCAD)、事故分析手法 PFA、事故進展フロー図、教訓

**〔研究題目〕** 住宅の Dampness による健康損失の評価と建築的防除に向けた因果構造の解明

**〔研究代表者〕** 篠原 直秀 (安全科学研究部門)

**〔研究担当者〕** 篠原 直秀 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

日本や欧米先進国では、幼児や児童のアレルギー性疾患が増加傾向にあり、居室等のダンプネスがアレルギー性症状や呼吸器疾患の発症を誘発している可能性が高いことが指摘されている。本研究ではアンケート調査と実測調査を通して、ダンプネスとアレルギー性症状等との因果関係を解明することを目的とした。

回答者の目視による結露・カビの発生や、カビ臭を評価項目として、5,000軒程度のインターネット調査を実施した。ダンプネスの程度については、結露の発生箇所や結露の程度・頻度に応じて、8種類の評価項目に対して3点満点 (計24点) での数値化を行った上で、37.5%ile、62.5%ile で4段階に区切って評価を行った。

ダンプネスの分類間で、各種症状のオッズ比は有意に1を超えており、ダンプネスが深刻である程、オッズ比が有意に大きくなる傾向が認められた ( $P < 0.01$ )。最もダンプネスが深刻な住宅群では、喘息でオッズ比が1.81 ( $P < 0.01$ )、アレルギー性鼻炎でオッズ比が2.39 ( $P < 0.01$ ) であった。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 室内環境、ダンプネス、カビ、真菌、湿度、断熱仕様、アレルギー

**〔研究題目〕** 水による爆風圧低減化のメカニズム解明と応用

**〔研究代表者〕** 杉山 勇太 (安全科学研究部門)

**〔研究担当者〕** 杉山 勇太、中山 良男 (常勤職員2名)

**〔研究内容〕**

爆薬の近傍に水を配置した状態で爆発が起こると周辺の爆風圧が低減化することが知られているが、そのメカニズムは明らかにされていない。そこで本研究では縮小モデルを用いた爆発実験において、高速度カメラ撮影と爆風圧計測により爆風低減メカニズムを解明することを目的とした研究を2つの系により実施した。

1つ目は過去の研究において水による爆風低減効果が大きかった地下式火薬庫モデルを対象とし、本年度は透明の樹脂円管でモデルを作成しアジ化鉛100 mg を爆発

させた。モデル内部の状況について高速度カメラで記録した。水が管内にあることによって地表面における爆風圧が減衰されることが確認され、爆発生成物の広がる速度が遅くなることを見出した。

2つ目は軸対称系で爆薬直下に水を配置した状況で起爆することで、水による爆風の低減効果を評価する実験を行った。本年度は火薬庫の天井を模擬するために爆薬の直上に金属製の円盤を配置した二次元軸対称室内モデルを作製し、爆薬と水、地表面の位置と低減効果の関係を調査するためにモデル周囲の爆風圧を計測する実験を行った。その結果、水の配置および地表面と天井までの距離の短縮により爆風圧の低減が観測された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高エネルギー物質、爆発、爆風圧、水、低減化

【研究題目】持続可能な資本主義に関する実験経済学的研究

【研究代表者】本田 智則（安全科学研究部門）

【研究担当者】本田 智則（常勤職員1名）

【研究内容】

社会的責任投資（SRI）は急速に発展しており、欧米においては投資市場の10%以上を占めるまでになっている。SRI を中心的な存在として据える経済は「持続可能な資本主義」とも呼ばれるが、こうした投資行動を支える行動原理は、いまだ十分に解明されていない。本研究では、経済実験の手法を用いて、SRI 投資家の意思決定メカニズムを明らかにし、これまで不十分であった新たな投資市場メカニズムの理解を深め、長期的な市場の安定性を追求する役割の一端を担うことを目的とするものである。

昨年度に引き続き、追加的に約70名の被験者を対象とした経済実験を東京大学にて共同研究者と実施した。H25年度までと同様、一般的な株と CSR 株（CSR 活動を実施している企業の株式）の二種類の株式を、36名ずつ異なる環境で売買させた。売買にあたっては、意思決定に影響を与え得る社会的プレッシャーとして、被験者の顔写真、他の被験者が保有する CSR 株を被験者に開示することによって、社会的プレッシャーの代替とした。さらに、被験者に独裁者ゲームを実施させることにより、被験者の利他性を測定し、個々の価値観として有する利他性が CSR 株の取引に与える影響を分析した。

結果として、社会的プレッシャーとしての顔写真、他の CSR 株保有数を開示したグループでは、CSR 株の取引数、及び買い注文の量は有意に上昇した。また、取引価格についても統計的には有意ではなかったものの、CSR 株の取引価格の上昇が見られた。

これらの結果から、CSR に配慮した企業の企業価値を上昇させるためには、一定の社会的プレッシャーを与えることが有効に寄与する可能性が示唆された。本研究

の結果は企業の CSR 取り組みを経済的に後押しするための制度設計等に向けた基礎的知見として意義のあるものである。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】社会的責任投資、実験経済学、被験者実験、企業の社会的責任、CSR、SRI

【研究題目】リスクに対する頑健性と柔軟性を備えた環境調和型サプライチェーン設計手法の開発

【研究代表者】田原 聖隆（安全科学研究部門）

【研究担当者】田原 聖隆、工藤 祐揮、村松 良二、松林 芳輝、Chun-youl BAEK（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本研究課題は、リサイクルを含む国内のサプライチェーン全体を対象として、リスクに対する頑健性・柔軟性と、低炭素や循環型といった環境調和性を併せ持ったサプライチェーンの構築に向けた分析・設計手法を開発することを目的とする。そのために、2000品目分類以上の製品・サービス間の地理的分布を含めた物質連関を可視化し、それに地理的偏在性等のリスク要因を付加した「サプライチェーンマトリクス」を整備する。また、サプライチェーンの「頑健性・柔軟性」を指標化し、それらと環境調和性の分析手法を確立する。実装した分析手法によって、リスク回避と環境調和性の観点から産業プロセスの立地の検討や原料供給源としてのリサイクルの再評価を行い、国家レベルでのサプライチェーン再構築に向けた戦略的な提言につなげる。

我々の担当している研究課題では次のような研究結果が得られた。我々が作成したインベントリデータベース IDEA から、IDEA マトリクスを作成した。IDEA は主に統計データをベースにしたハイブリッド型積み上げ法を採用して作成され、約3800のデータを格納しており、対象年を2010年と設定している。また、IDEA 分類は階層構造を有しており、そのうち生産量の情報が入手可能でかつ網羅性を確保できる約2000のデータを IDEA マトリクスに用いた。IDEA マトリクスは、プロセスデータの集まりである投入係数表に生産量の対角行列を乗じることによって作成した。IDEA マトリクス各製品・サービスのプロセスデータに生産量を乗じると、製品・サービスを供給するために必要な製品の使用量を把握することができる。また、最終需要量（サービス業等）、輸出入量を計上することによって対象製品・サービスがどこに供給されているかを把握が可能となる。この IDEA マトリクスを用いることで直接的な需要と供給を定量化ができ、かつ投入係数の逆数を用いることで直接と間接を含めた波及的な需要量の定量化が可能となり、サプライチェーンのリスク分析が出来るようになった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】サプライチェーン、リスク管理、サプライチェーンマトリクス、物質連鎖

【研究題目】QAAR（定量的活性活性相関）手法による化学物質等の有害性推論手法の開発

【研究代表者】竹下 潤一（安全科学研究部門）

【研究担当者】竹下 潤一（常勤職員1名）

【研究内容】

化学物質の有害性推論手法の開発は、化学物質のリスク評価を実施する際の国際的な動物試験数削減の要請に応えるべく重要な課題である。平成26年度は、影響臓器ごとに暴露期間の外挿を可能とする有害性換算係数（アセスメントファクタ）を統計的データ解析に基づき定量化した。まず、昨年度に構築した既存動物試験データを、暴露期間ごとに細分化し再整理した。そして、有害性の主要標的臓器として、肝臓、腎臓、体重、血液を取り上げ、標的臓器ごとに亜急性毒性試験（28日程度）のNOEL（無毒性量）を亜慢性毒性試験（90日程度）のNOELに換算するための係数を算出した。また、有害性換算係数は、a)同様の影響がより低い用量で発現する、b)異なる影響が発現しそれがより低い用量である、の2つの寄与であることは知られている。平成26年度の研究において臓器ごとというくくりで見ればa)が支配的であることも明らかにした。さらに近年、化学物質の複合影響評価についての議論が国際的に活発化していることを踏まえ、単物質の有害性推論手法の開発に加え、複合影響評価手法に資する数理的課題の検討も行った。複合影響評価でスタンダードとなっている濃度加算法（CAモデル）による予測値と、同時暴露試験による観測値の定量的な比較を可能にするため、既存の統計解析手法を1次元から2次元以上に拡張することにより、CAモデルを点推定から区間推定に拡張した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】化学物質、有害性推論、NOEL（無毒性量）、有害性換算係数（アセスメントファクタ）、複合影響評価、濃度加算法（CAモデル）

【研究題目】金属特異性を考慮した包括的な生態リスク評価手法の開発

【研究代表者】加茂 将史（安全科学研究部門）

【研究担当者】加茂 将史、小野 恭子、内藤 航、保高 徹生（常勤職員4名）

【研究内容】

金属は水質や土壌の性質により毒性が異なり、リスクレベルもそれら性質により異なることが示唆されている。金属は環境媒体中で様々な存在形態をとることが知られている。中でも遊離イオン状態にある金属が生物にとって利用可能な状態で毒性への寄与が最も高いと考えられ

ており、欧米においては利用可能量に基づいた新たなリスク評価手法が発展しつつある。我が国の水質や土壌は欧米とは著しく異なり、生息する生物種も異なる。本研究の目的は、欧米で発展した手法を我が国に適したものにカスタマイズすることである。

水生生物については、メダカ、カブトミジンコを用いて、銅の毒性試験を行った。半数致死濃度をいくつかの調節したカルシウム、マグネシウム濃度で推定し、各生物種での毒性予測モデル（Biotic Ligand Model）のモデルパラメータを推定した。推定したモデルを用いて、影響濃度を推定したところ、予測値のほとんどが実測値の2倍～1/2倍に含まれ、予測精度は高いことが示された。一方、野外から採水した河川や湧水で毒性試験を行った結果とモデルの予測を比較すると、感受性の高い生物では、大きく異なることが明らかとなった。これは、モデルパラメータの不備ではなく、利用可能量の推定精度が悪いことが原因であることが明らかとなった。本モデルを実環境に適用するには、利用可能量推定モデルの精緻化が必要である。土壌の生物では、ミミズおよびトビムシを用いた毒性試験も実施しており、半数致死濃度の推定やカドミウム応答遺伝子の発現量等基礎的なデータの収集している。結果を用いて毒性予測モデルを構築する予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】金属、利用可能量、生物リガンドモデル、生態リスク評価

【研究題目】分散型エネルギー取引市場制度設計に関する理論構築、経済実験及び社会実装

【研究代表者】本田 智則（安全科学研究部門）

【研究担当者】本田 智則、田原 聖隆、柴 義則、若松 弘子（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

本研究は、分散型電源及び既存電源を協調させつつ、長期安定的に稼働可能な電力システムの構築を目指し、市場の効率性に着目し、環境性・経済性を両立する新たな電力取引市場の制度設計を行うための基礎的知見を得ることを最終的な目的としている。

電力の市場取引が株式市場取引と異なる点として、その取引において、同時同量制約、連系線制約といった様々な物理的制約が存在すること、また、電力が社会経済において重要な基盤であることから、1つの最も低価格となる電源のみを選択することは社会経済の安定性を担保する上で避けるべき選択であること、さらに、温室効果ガス低減を果たすという外部不経済の内部化を考慮に入れたものであること、等が挙げられる。初年度はこれらの問題を踏まえて、電力取引市場制度設計を行うため、電力取引を行う上での課題抽出、及び電力の市場取引を実現するための基礎的知見を得るためのデータの蓄積、理論的裏付けとなる諸外国の制度に関する取りまと

め、及び被験者実験を実施した本研究では、一般住戸に設置された太陽光発電装置や蓄電池、家庭用燃料電池コージェネレーションシステム等を連携することで、市場で取引しやすい形に平準化し、これら小型分散電源を束ねて取引する手法を検討している。

現状の大きな課題として、時間毎、住宅毎といったミクロな電力の消費実態データは公開された情報としては存在しないことが挙げられる。そこで、独自に家庭に取り付けられた HEMS (Home Energy Management System) のデータを収集し、分散電源が設置された住宅の電力消費実態データの収集を行った。さらに、電力市場取引における連系線制約の考慮、外部不経済性を考慮に入れた財の市場取引、諸外国の再生可能エネルギー関連技術動向の把握といった、今後の研究の基礎となる研究を実施した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 社会的責任投資、実験経済学、被験者実験、企業の社会的責任、CSR、SRI

【研究題目】 ナノ秒衝撃圧縮によるペンスリット単結晶爆薬の衝撃起爆機構の解明

【研究代表者】 若林 邦彦 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 若林 邦彦 (常勤職員1名)

【研究内容】

爆薬の衝撃起爆機構を分子反応のレベルで明らかにすることを目的とした研究を実施している。H26年度は衝撃起爆過程における分子振動や格子振動の変化を測定するための時間分解型ラマン分光装置の改良を行い、70  $\text{cm}^{-1}$ 程度までの低波数領域のストークスラマン散乱光を測定することを可能とした。常温常圧下でペンスリット単結晶爆薬のラマンスペクトルを測定した結果、パルス幅6ナノ秒、波長532 nm の単発励起光照射によって、格子振動に由来するピークを測定できることを実証した。レーザー衝撃圧縮法によってペンスリット単結晶を[110]方向に2.9 GPa で衝撃圧縮したところ、ニトロ基由来の分子振動ピークが高波数シフトする様子と格子振動ピークの強度変化が観測され、実験手法の有効性が確認された。また、レーザー速度干渉計を点結像型から線結像型へ改良し、試料の粒子速度の一次元空間分布を測定することが可能となった。結晶成長条件を最適化することで厚さ100マイクロメートル以下の薄板状のペンスリット単結晶を作製することが可能となったため、薄板状試料と線結像型レーザー速度干渉計を用いてペンスリット単結晶の状態方程式を精密に測定できる見通しが得られた。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 ペンスリット単結晶爆薬、衝撃起爆機構、ナノ秒衝撃圧縮、レーザー衝撃圧縮法、ラマン分光法、

【研究題目】 中小規模事業場向けのリスクアセスメント手法の開発

【研究代表者】 和田 有司 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 和田 有司、牧野 良次、松倉 邦夫 (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

近年の労働災害による休業4日以上之死傷者数はおよそ11万人で推移している。平成22年では死傷者数の50%、死亡者の65%が従業員30人未満の事業場に所属していた。このことは労災被災者数の削減を促進するには中小規模事業場に注目する必要があることを示している。一方で、労災削減においてはリスクアセスメントの実施が望まれているにも関わらず、リスクアセスメントが行われるべき中小規模事業場でむしろ普及が進んでいない現実がある。そこで本研究は中小規模事業場で導入容易なリスクアセスメント手法の開発を目的とする。

全国の中小規模事業場5,000社を対象にリスクアセスメントの普及状況を調べるためのアンケート調査を実施した。有効な回収数は440 (8.8%) であった。そのうちリスクアセスメントを実施しているのは72社 (16.4%) であった。データからは、リスクアセスメントを実施していない企業は実施している企業 (のリスクアセスメント実施前) と比較して1年あたり1社あたりの労働災害数が少ないことが示される。このことから、自社で労働災害がそれほど発生していないことがリスクアセスメントを実施しないひとつの理由だと推察される。ただし、労働時間1時間あたりの労働災害発生数では両者の間に大きな違いはない。

平成25年度に作成したチェック形式の簡易リスク評価項目を中小規模事業場の現場で試行した。安全に関する注意点が網羅されているとの評価を受けた。回答に要した時間は各企業おおむね1時間程度であり、短時間で実施可能という目標はクリアした。ただ、現状の評価項目はもともと大手企業向けの評価項目がベースになっているため、中小企業にそぐわない項目もあるとの指摘を受けた。今後、こられの指摘を参考に評価項目の改善を進める。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 中小規模事業場、労働災害、リスクアセスメント

【研究題目】 家庭用品から放散される揮発性有機化合物/準揮発性有機化合物の健康リスク評価モデルの確立に関する研究 (サブテーマ: 非定常型曝露シミュレーション手法の開発)

【研究代表者】 東野 晴行 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 東野 晴行 (常勤職員1名)

【研究内容】

室内環境の化学物質濃度は、居住者のライフスタイル

によって大きく異なる可能性がある。したがって試料採取時間が限定される実態調査のみで暴露評価を実施することに限界がある。

そこで本研究では、非定常型暴露シミュレーション手法の開発を目的として、スプレー型消費者製品の暴露評価に必要なスプレー噴霧量およびスプレー噴霧の粒子径分布等の暴露係数の調査を実施したところ、国内流通スプレー製品31種類の平均噴霧量は0.85g/回または g/秒であり、そのうち12試料の粒子径の中央値は73.18  $\mu\text{m}$  であった。

スプレー噴霧を対象としたシミュレーション手法の開発として、測定値と検証されている粒子径分布を考慮した既存モデルを簡略化し、粒子径分布が不明な場合でも適用可能なモデルを作成した。開発したモデルの計算結果は参考とした既存モデルの計算結果とほぼ一致した。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 室内環境、消費者製品、吸入暴露、シミュレーション

#### 【研究題目】 爆発的噴火をもたらす浅部火道システムの構造発達過程

【研究代表者】 下司 信夫（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 下司 信夫（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

三宅島山頂カルデラ内の火道断面に構造について、火道断面の構造から、それらを1) 非爆発噴火火道、2) 弱爆発噴火火道、および3) 強爆発噴火火道の3種類に区分した。これらの区分は連続的である。非爆発的噴火の火道は溶岩流に直結していることから、溶岩流出噴火の火道と考えられる。弱爆発的噴火の火道は、スコリアコーンに直結していることからストロンボリ式噴火をもたらした火道の断面と推測される。強爆発噴火の火道は、扁平なタフコーンと厚い降下火砕物堆積物層に直結している。降下火砕物層の厚さ分布から、この噴火様式は準プリニー式噴火に相当すると考えられる。爆発強度の違いにより、火道上部の侵食による火道拡大程度が異なることを見出した（Geshi and Oikawa 2014）。非爆発噴火火道では、火道の厚さは露出範囲でほぼ一定であり、火道の侵食は顕著ではない。弱爆発噴火の火道は、旧地表から数10m の範囲で火口に向かって拡大する。それ以下の深度では非爆発噴火の火道と同様に、ほぼ一定の規模であることから、侵食は火道の最上部に限定されていたと考えられる。強爆発的噴火の火道は旧地表から100 m 以上の深さに渡って拡大しており、火道の侵食と拡大は火道上部の広い範囲に渡っていたと考えられる。火道拡大深度は、火道内部の充填物が緻密な溶岩からなる岩脈から、火砕物に変わる深度にほぼ一致していることから、噴火中のマグマの破碎深度よりも浅いところで火道の拡大が進行したと考えられる（Geshi and Oikawa 2014）。すなわち、火道の拡大を促す要因は火

道内部におけるマグマの破碎であることを見出した。下方への火道の侵食により、地表面における火口の水平規模が拡大する。侵食開始深度と火道の水平規模について、正相関関係があることを見出した。

三宅島における火道断面の区別やその発達モデルを検証するため、イタリア・エトナ火山における1809年火道断面の露頭の解析を行った（Geshi and Neri, 2014）。本火道はその噴火の歴史記録から、実際の噴火推移と火道構造の比較が可能である。その結果、マグマの上昇過程ではマグマの破碎は進行しておらず、火道の開口によって爆発的噴火が発生し、火道内部のマグマの破碎が進行したことを見出した。また、噴火直前にはマグマは山頂からほぼ水平に貫入したことを明らかにした。また、平成26年度は富士山宝永噴火の火口構造についての予察的な調査を実施した。そのほか、桜島などの爆発的噴火の噴出物の野外調査を実施した。

爆発的噴火の火道形成過程は、大規模噴火についても重要なプロセスである。平成26年度にはカルデラ形成噴火における初期爆発的噴火の規模とマグマ溜り、カルデラのサイズ分布をコンパイルし、さらにマグマ溜りの減圧と天井岩の破壊プロセスを組み合わせたモデルを適用することにより、爆発的噴火による火道の形成とそれに伴うマグマ溜りの減圧、さらにはマグマ溜りの崩壊プロセスについてモデルを提示した（Geshi et al., 2012、2014）。

【分野名】 地質

【キーワード】 火山、噴火、マグマ、火道

#### 【研究題目】 活動的火山の脱ガスに伴う自然電位異常の発生に関する研究

【研究代表者】 松島 喜雄（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】 松島 喜雄、高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）（常勤職員2名）

#### 【研究内容】

薩摩硫黄島火山、雌阿寒岳火山において自然電位（SP）観測と AMT 法電磁探査による比抵抗構造調査を行った。薩摩硫黄島火山では、SP が山頂部を中心に幅広い正異常を示す。比抵抗構造は、内部に極めて低い比抵抗の領域を示し、その上面は山頂部へ向けて盛り上がる。雌阿寒岳では、SP が平坦な分布を示している。比抵抗構造は、山体内に低比抵抗の領域を示し、その上面はほぼ地形と並行している。薩摩硫黄島火山を対象として、熱水系の数値シミュレーションを行った。マグマから脱ガスした高温の火山ガスは、透水性の高い火道を中心に上昇するが、その一部は測報へ流れる。そして冷却凝縮水となって山体を流れ下る。実際の観測により得られた比抵抗断面とシミュレーションの結果を比較すると、高温の火山ガスが上昇する領域と高比抵抗域が、酸性熱水が流動する領域と極めて低い比抵抗の領域がよく一致しており、得られた比抵抗構造は、シミュレーシ



ョンの結果を裏付けている。そして、比抵抗構造を考慮すれば計算された SP は観測値と良い一致を示す。モデル計算を行ったところ、地形の傾斜と低比抵抗域上面の傾斜によって SP の分布が異なってくる。すなわち、地形の傾斜に比べて比抵抗領域の上面の傾斜が緩やかな場合には SP は山頂部で負異常となり（地形効果）、比抵抗領域の上面の傾斜が急な場合には山頂部で正異常を示さない（雌阿寒岳火山）。低比抵抗領域は、熱水の流動に伴う変質、あるいは熱水そのものを示すと考えられるので、このようなタイプ分けは熱水流動をもたらす脱ガス活動の活発さを反映しているとみなすことができる。

【分野名】地質

【キーワード】自然電位、AMT 法、電磁探査、熱水系、数値シミュレーション

【研究題目】非火山性深部低周波微動の波動特性を利用したメカニズム解決と微動発生機構の解明

【研究代表者】今西 和俊（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】今西 和俊（常勤職員1名）

【研究内容】

世界各地のプレート境界域で発見された非火山性深部低周波微動（以後、単に微動と呼ぶ）は、巨大地震の発生機構を解明するための重要な手掛かりとして注目されている。本研究は科学研究費補助金（基盤研究 C）の補助を受け、微動の波動特性を最大限に利用したメカニズム解推定法を開発し、微動の発生機構を明らかにすることを目的にしている。昨年度までの研究により、微動のメカニズム解を推定するのに S 波の振動方向を活用することが有効であること、震源放射に関係した S 波の振動方向を推定するには S 波スプリッティングの補正が不可欠であること、が明らかとなった。S 波スプリッティングの補正を行う手法を確立させ、補正後の振動方向を使って紀伊半島北東部の微動活動のメカニズム解を推定した。昨年度は予察的な結果として、(1) 北西側に低角な面を持つ微動が多く発生しており、基本的に微動はプレート境界面で発生している、(2) 横ずれ成分を多く持つ微動が特定の場所で起こっている、ということを示した。H26年度は最終年度ということで、解析プログラムの整備や結果の最終チェックに時間を割くとともに、推定精度の評価を新たに実施した。以上の成果報告として、日本地球惑星科学連合と AGU Fall meeting において発表を行った。また論文文化も並行して進め、欧文誌への投稿の目途を立てることができた。本研究で開発した手法と解析プログラムにより、プレート境界の詳細な応力状態やプレート形状を推定する重要なツールを確立させることができたと言える。

【分野名】地質

【キーワード】プレート境界、非火山性深部低周波微動、

メカニズム解、波動特性、紀伊半島、臨時観測

【研究題目】火山噴火の物質収支

【研究代表者】篠原 宏志（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】篠原 宏志、下司 信夫、風早 竜之介（常勤職員3名）

【研究内容】

活発に噴煙・噴火活動を継続している桜島火山において火山ガス組成観測を実施するために、火山ガス感応起動型連続観測装置を開発し、桜島における試験観測を開始した。Multi-GAS による火山ガス観測は、通常山頂部等濃厚な火山噴煙が到達する場所を選定して実施するが、桜島では噴火活動が活発であるため、観測装置を設置できる場所は遠方の山麓部に限られる。山麓において火山噴煙組成観測を実施するために、H25年度に火山ガス感応起動型連続観測装置を開発し、試験観測を開始した。H<sub>2</sub>S センサーは SO<sub>2</sub>にも感度を持っているため、連続観測装置では H<sub>2</sub>S センサーの SO<sub>2</sub>に対する感度をあらかじめ測定し補正して、真の H<sub>2</sub>S 濃度を算出している。しかし、桜島においては測定される濃度が低いため、補正誤差が大きく正確な SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比の算出が困難であった。そのため、H26年度には H<sub>2</sub>S センサーに SO<sub>2</sub>を除去するためのフィルタを設置することにより、SO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S 比の精度を向上させた。桜島では連続観測装置は火口から離れた山麓に設置してあるため、H<sub>2</sub>O/SO<sub>2</sub>などの測定は困難である。また、自動測定のため噴火発生等活動状況に合わせた観測もできない。そのため、Multi-GAS を搭載したセサナ機で噴煙を横断することにより噴煙組成の観測を行い、H<sub>2</sub>O を含む主要成分組成の定量化に成功した。また、火山灰を含まない定常噴煙活動中と少量の火山灰を含む連続噴煙活動中にそれぞれセサナ機観測を実施した結果、主成分組成は顕著な差はないが、計算される見かけの平衡温度が連続噴煙活動中の方がやや高いことが推定された。

浅間山において、2004-2014年間の火山ガス組成観測結果の再評価を行い、噴火の発生や火山ガス放出量の大きな変動等の火山活動の変化にも関わらず、火山ガス組成には変化がなかった事を明らかにした。これに基づき浅間山でのマグマ・火山ガス供給過程のモデル化を行った。

【分野名】地質

【キーワード】火山、噴火、火山ガス、噴煙、活動推移

【研究題目】高精度年代測定による海洋プレート沈み込み開始過程のタイムスケールとその要因の解明

【研究代表者】石塚 治（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】石塚 治、針金 由美子（地質情報研究部門）、谷 健一郎（国立科学博物館）、

森下 知晃（金沢大学）、海野 進（金沢大学）（常勤職員2名、他3名）

#### 【研究内容】

本研究では、高精度年代測定技術を駆使し、沈み込み開始時から島弧成長期の連続的な地質記録が保存されている地殻層序（オフィオライト）に精密な時間軸を入れることにより、この期間の火成活動（マグマ）の特徴と地質環境の時間変化を詳細に明らかにする。さらに、沈み込み開始と他の地質学的イベントとの時間的關係から、何がプレート沈み込み開始のきっかけとなる主要な要因であるのかを解明する。

本年度は、9月中～下旬にかけてイラン北西部に分布するオフィオライトについて地質調査と岩石試料採取を4名で実施した。本調査では、マントルかんらん岩、ガブロ、火山岩類と、本研究に必要な上部マントル、下部～上部地殻構成岩石について複数のセクションで観察、採取することができた。調査後、岩石研磨薄片による記載、EPMAによる鉱物化学組成分析、走査型蛍光 X 線顕微鏡による組成マッピング、XRF、ICP-MS、TIMSによる全岩化学組成分析、同位体組成分析を行っている。11月には、伊豆マリアナ前弧海域で、初期島弧地殻～マントルセクションでの試料採取、地球物理観測を実施、島弧最初期のマグマ活動の特徴を把握するために必要な火成岩試料採取及びマントルかんらん岩の回収に成功した。6・7月には研究代表者が沈み込み開始プロセスと島弧基盤の解明を目指した IODP Exp.351航海に乗船、掘削データの解析、試料分析を実施した。

【分野名】地質

【キーワード】プレートの沈み込み、オフィオライト、高精度年代測定、初期島弧地殻、マントル

#### 【研究題目】岩石の不安定挙動の分岐とその準備過程

【研究代表者】高橋 美紀（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】高橋 美紀（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

本研究では、大地震へと発展するシステムの不安定挙動への準備は、まずシステムの中での剪断面の選択と集中から始まると仮定し、歪軟化準備過程において観測可能な現象を板状の岩塩を模擬岩体とし、平面歪試験の結果から提言することである。初年度（平成26年度）は①平面歪試験機を作成し、また②試料である岩塩の性質を調べた。今年度は①の平面歪試験機を用いて岩塩平板の変形実験を実施し、観察に適した変形条件を割り出すことができた。②については昨年度ユトレヒト大学で実施した岩塩の変形速度に対する強度・摩擦特性・変形組織について引き続き解析を行った。

①平面歪試験機を用いて岩塩平板の変形実験をおこなった。最初は観察適した実験条件を探ることから始まった。また、変形の様子を撮影し、剪断面の発達と集中の過程

を対応させた。11kN 程度の荷重により5時間ほどで1次クリープから定常クリープ、3次クリープへと変形の加速が観察された。変形組織もポリゴン状の剪断網が発達したのちに縦方向の破断面が最終的に形成される様子を変形の加速と対応させて観察することができた。

②岩塩の変形速度に対する強度や摩擦特性、変形組織などの変遷について、安定した変形から、変形集中をへて、高速剪断すべりへとシステムのスイッチングが起こるとき、変形組織はどう変遷するのかについて考察することができる解析結果を得た。十分にマチュアなマイクロナイト組織の発達がなされた変形条件（低速度・長時間変形）を経た後、高速剪断を強制的に加えても、マイクロナイト組織はほとんど破壊されず、試料境界面での変形集中が観察された。

【分野名】地質

【キーワード】分岐現象、平面歪試験、回転式剪断試験、歪集中

#### 【研究題目】自然地震データと物理モデルを用いた広い速度レンジでの摩擦特性の推定

【研究代表者】安藤 亮輔（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】安藤 亮輔（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

天然断層における摩擦特性の多様性とその破壊過程に与える効果については様々な定性的モデルが提案されているが、本研究では、東北地方太平洋沖地震の観測結果にもとづいて直接的な検証を行っている。本年度は、本震の破壊・滑り過程を詳細に解析し、そのような高速破壊に伴う動的応力変化を定量的に評価した。手法は、運動学的な地震波逆解析で得られた断層滑りの時空間分布から応力変化の時空間分布を計算するものであり、Uchide (2013) で得られた初期20秒程度の破壊過程をデータとした。その結果、破壊開始点近傍での応力変化は非一様であり、場所により10MPa を超える値を持つことが分かった。

【分野名】地質

【キーワード】地震破壊、超巨大地震、摩擦、レオロジー、スロー地震

#### 【研究題目】延岡衝上断層下盤メランジュの変形機構の解明

【研究代表者】北島 弘子（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】北島 弘子（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

沈み込み帯での海溝型地震の発生機構を理解するうえで、プレート境界断層の摩擦挙動だけではなく、沈み込み帯システム全体での変形、さらには歪の蓄積・開放過程を解明することが必要不可欠である。深部付加体の力学特性・変形機構を解明するため、九州四万十帯延岡衝上断層上盤千枚岩および下盤メランジュ（間隙率1-2%）

の高圧三軸変形実験を高温250℃で行った。上盤千枚岩および下盤メランジュはともに(1)間隙水圧が静水圧(有効圧=120 MPa、封圧=200 MPa、間隙水圧=80 MPa)の圧力条件では延性的もしくは脆性-延性遷移領域の変形を示すのに対し、(2)間隙水圧が静水圧に近い条件(有効圧=20 MPa、封圧=200 MPa、間隙水圧=180 MPa)では脆性的に変形することが明らかになった。また有効圧=20 MPaの脆性変形時には上盤千枚岩が降伏応力=75 MPa、最大ピーク応力=100 MPa、残留強度=70 MPaを示すのに対し、下盤メランジュは降伏応力=50 MPa、最大ピーク応力=70 MPa、残留強度=65 MPaを示し、延岡衝上断層をはさんで強度に差があることが明らかになった。また四万十帯の深部付加体岩体の強度は間隙率が数%の砂岩や石灰岩などの堆積岩に比べると大幅に小さいことが明らかになった。

【分野名】地質

【キーワード】延岡衝上断層、メランジュ、変形実験、高温高圧、付加体

【研究題目】東京地域における都市地下温暖化の形成過程解明と将来予測に関する研究

【研究代表者】宮越 昭暢(活断層・火山研究部門)

【研究担当者】宮越 昭暢(常勤職員1名)

【研究内容】

東京地域における地下温度上昇の実態を解明するため、平成26年度においては、前年度に選定した地下温度モニタリングポイント10地点について観測を継続し、地下温度モニタリングデータを取得した。取得した地下温度モニタリングデータには継続的な上昇傾向が確認され、東京地域の広範囲に地下温暖化が生じていることが確認された。地下温度の上昇傾向は都心中心部に位置する地点で大きく、郊外に位置する地点で小さい傾向が認められた。また、同一地点においては深部よりも浅部で温度上昇が大きい傾向が認められたが、都心中心部の地点においては、特定の深度で温度上昇が大きいケースも確認された。さらに地下温度モニタリング結果においては、前述した地下温度の上昇傾向だけでなく、地下温度の微細な変動が観測され、上昇傾向が一様ではないことが確認された。この変動は、都市中心部に位置する地点だけでなく、郊外に位置する地点においても認められた。データ解析の結果、このような変動は、東京地域の地下温暖化が、従来から要因とされてきた地表面温度上昇の影響だけでなく、地下構造物からの排熱や地下水開発の影響を受けていることを示唆していると考えられた。本研究は JSPS 科研費25871190の助成を受けたものである。

【分野名】地質

【キーワード】地下水流動、地下温度、首都圏、都市化、地下環境

【研究題目】P波振動極性の統計的性質とそれを考慮した高感度地震検出手法の開発

【研究代表者】内出 崇彦(活断層・火山研究部門)

【研究担当者】内出 崇彦(常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は科学研究費補助金(研究活動スタート支援)で実施した。従来より高い感度で多数の地震を自動的に検出することを目指して、P波の振動方向が伝播方向に一致することを利用した震源推定法を開発する。複数の観測点での直線的振動の方角を延長することで震央の位置を推定する方法である。

本年度はまず、P波振動方位角と観測点から震央への方位角との間の関係について詳細に検討した。地下の地震波速度構造が水平方向に均質であれば両者は一致するはずであるが、それが不均質であった場合、または地震計設置方位がずれている場合は、ずれが生じる。気象庁一元化震源カタログに掲載されている地震を使って、両者の比較を行った。その際、方向統計学の手法により振動方位角ごとに震央方位角の中央値をとった。両者のずれは30度に達する場合もあり、強い水平速度不均質構造の存在が示唆される。複数の観測点で直達P波が避けるようにして伝播している地域が認められたが、そこは低速度の領域であることが考えられる。

また、地震によらない直線的な振動を検出対象から外すような工夫を行った。特定の周波数帯が卓越するノイズが直線的振動として検出されてしまう問題は、異なる帯域でバンドパスフィルタをかけたデータをそれぞれに極性解析を施して、多くの周波数帯で直線的な信号を検出した場合のみを抽出することで解決した。

【分野名】地質

【キーワード】地震学、時系列解析、振動極性解析、イベント検出、自動震源決定、方向統計学

【研究題目】水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-Wプロジェクト

【研究代表者】高橋 浩(活断層・火山研究部門)

【研究担当者】高橋 浩、南 雅代(名古屋大学)、  
荒巻 能史(国立環境研究所)  
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、放射性炭素( $^{14}\text{C}$ )分析値のコンセンサスを得るために、各手法の特徴を抽出することを目的として、複数の機関が参加する相互比較プロジェクトのRICE-W(Radiocarbon Intercomparison on Chemical Experiments, Water series)を実施する。平成26年度は、相互比較のために必要な基礎検証を実施し、水試料の放射性炭素濃度分析に係る相互比較試料を配付するために必要な、保管容器の材質や生物活動の影響について検討を行った。さらに、前処理手法による分析値の違いについて、予察的な検討を実施した。

容器材質の検討は、ガラス、PAN 樹脂と PP 樹脂製の容器の<sup>14</sup>C 濃度の変化を比較することで実施した。その結果、PP 樹脂で保管期間中の<sup>14</sup>C 濃度変化が大きく、ガラスと PAN 樹脂ではほとんど変化しなかった。本プロジェクトでは、相互比較試料の保管に PAN 樹脂製の容器を用いることとした。

生物活動の影響を検討した結果、試料採取から数日以内に無視できない変化となることが確認された。ただし、この影響がほとんど現れない試料もあり、試料によって生物活動の影響の程度が異なることが明らかになった。その影響を低減するために、試薬を添加したり、濾過を実施したりすると有効であることがわかった。

3つの異なる前処理手法によって得た<sup>14</sup>C 濃度について、経時変化がほぼ同じ傾向を示していることから、処理手法による分析値の違いは無いことが強く期待される結果となった。

【分野名】地質

【キーワード】放射性炭素、水試料、相互比較、沈殿法、バブリング法、ヘッドスペース法

【研究題目】ブルカノ式噴火前の火山ガス蓄積プロセスの解明

【研究代表者】風早 竜之介（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】風早 竜之介（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究課題の目的は、活動的火山におけるブルカノ式噴火前の火山ガス蓄積プロセスの解明である。「噴火前に火道に蓋が形成されることによって増圧し、噴火に至る」という仮説の評価・検証を具体的な作業目標として、桜島火山にて火山ガス放出量測定を行い、噴火前の火山ガス放出活動の変動を捉えた。

桜島火山にて集中的に火山ガス放出量観測を行った。観測・天候状況に応じて、従来法である紫外分光計を用いたトラバース法と、近年開発された紫外線カメラを用いた噴煙イメージング法の二種類の観測手法を使い分けた。また、2月に桜島火山にてアラスカ大学の研究グループと合同で火山ガス放出量・空振・火山灰の多項目火山観測を行った。

野外観測中に発生したブルカノ式噴火のうち、三つのケースで前兆的な地殻変動（山体膨張）と火山ガス放出量の減少が確認された。この結果は、噴火準備過程において火道が狭窄し、火山ガスが火道内に蓄積し、火口下にガス溜まりが形成されるという先行研究のモデルと整合的である。また、噴火後は平常時よりも火山ガス放出量が若干上昇するという傾向が見られた。これは噴火によって火道中から物質が放出され、火道の浸透率が増加した事を示唆している。火道の状態（浸透率・圧力変化）は噴火活動が爆発的になるか否かに強く関連していると考えられるため、噴火活動推移予測技術高度化のために、今後も観測を続け、データを蓄積し、火道状態のモデリ

ングを進めることが重要である。

【分野名】地質

【キーワード】火山、マグマ、火山ガス、噴火予知

【研究題目】フィールドサーバによるリアルタイム降灰観測手法の開発

【研究代表者】古川 竜太（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】古川 竜太、及川 輝樹（常勤職員2名）

【研究内容】

自動降灰観測装置の高度化を進め、新型機的设计開発と実地テストを行った。火山灰検出用センサとしてレーザ回折型粒子カウンタの検証を行った。2014年9月27日から発生した御嶽山の噴火で周辺地域において取得されたレーザ回折型粒子カウンタのデータを解析し、降灰と判断される花粉センサ値の変化は2 g/m<sup>2</sup>以上の降灰量のあった範囲で認められた。レーザ回折型粒子カウンタで捉えられた火山灰粒子は電圧値と偏光度から概ね35μm以下で、偏光度は0~0.2程度であり、円形とはかけ離れた形をなすものが主体であった。新たに火山灰観測装置を設計・開発した。火山灰検出センサとして超音波センサと重量計、および状況を確認するためのネットワークカメラ、バッテリーと太陽光発電パネルからなる給電部、およびロガーを含む制御部からなり、半年以上メンテナンスフリーで自立観測を行うことが可能な電力消費仕様とした。今回新たに採用した超音波センサは地表面とセンサの距離を測定して火山灰の堆積厚を測定することを企図した。2015年1月末から3月まで桜島火山で装置の実地テストを行い、長期稼働および噴火による降灰の検出試験を検証した。その結果、ブルカノ式噴火による降灰の重量および画像の取得、ネットワーク送信は問題なく稼働し、実用可能なレベルと判断できる。新たに導入した超音波センサによる堆積厚は検証期間中の2ヶ月間で約3cm 変化し、実際に現地でも観測された降灰堆積厚とほぼ同じであった。機器全体を小型軽量化したことにより、火山の火口近傍などでの観測が可能になった。

【分野名】地質

【キーワード】火山、フィールドサーバ、火山灰、観測、リモートセンシング、花粉、噴火

【研究題目】堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読

【研究代表者】高橋 学（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】高橋 学（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

西アジアにおける代表的な堆積岩としてカッパドキアの凝灰岩を用いて力学特性や透水係数の拘束圧依存性を実験的に明らかにし、遺跡保存の観点から提言する内容に具体的な数値を提供する。

研究計画：

カッパドキア周辺の凝灰岩類を対象に三軸圧縮応力下における変形・力学・透水特性を実験的に解明し、風化による影響の判断と対策に必要な透水係数や力学特性に関する数値を提供する。

**年度進捗状況：**

ブロックで入手したカッパドキア周辺の凝灰岩類を目視にて地表近くで風化の影響を強く受けたサンプルとそれ以外に分類し、透水係数や力学特性を把握した。さらに岩石内空隙の幾何学情報の定量的評価を実施するため、 $\mu$ フォーカス X 線 CT 画像を取得し解析を実施した。地表付近のサンプルからは風化の影響と考えられる空隙情報の差異を検出することができた。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 透水係数、凝灰岩、マイクロフォーカス X 線 CT、空隙率、岩石内部構造、3次元空隙構造

**【研究題目】** 観察・観測による断層帯の発達過程とミクロからマクロまでの地殻構造の解明

**【研究代表者】** 重松 紀生 (活断層・火山研究部門)

**【研究担当者】** 重松 紀生 (常勤職員1名)

**【研究内容】**

本研究では、断層帯のマクロ (数10 km スケール) からミクロ (顕微鏡スケール) までの観測・観察に基づき、異なる物理条件における断層の構造、岩石の変形、化学反応過程・物質移動等を解析する。平成26年度は三重県松阪市飯高町の栗野・田引中央構造線露頭の幅15 m、標高差15 m の範囲の記載し、構造解析・X 線回折による鉱物解析を行った。物質境界としての中央構造線の下盤側が著しく断層運動を被っていることから、三波川帯を母岩とする脆性断層岩を中心に解析した。

露頭において中央構造線は東西走向で30に程度北に傾斜し、異なる運動方向を示す構造同士の切断関係が認められる。最も古い構造 (D) は、上盤東移動の右横ずれを示す非対称構造で特徴づけられ、露頭全体に分布する。物質境界の下盤側約1 m に構造 D を切断し幅30 cm ほどの変形集中域が分布し、E1、E2、F、G、H の構造要素から構成される。E1、E2は西方向にブランチした条線が見られ、E1は右横ずれ正断層、E2は左横ずれ正断層を示す。F は北方向に上盤が移動する正断層を示す。G、H は構造が明瞭ではないが、一部に西方向にブランチした条線が見られ、右横ずれ正断層の非対称構造が見られる。切断関係から D→E1造 E2造 F の順に新しい構造となる。各構造要素の変質鉱物を見ると、F の全て、E1、E2の一部の試料にスメクタイトが含まれ、D、G、H には含まれない。

以上のことから中央構造線は、構造発達の過程でより低温での変形を被ったものと考えられる。さらにこの過程で、幅広い範囲の変形から狭い範囲での局所的な変形に変化したことが示唆される。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 脆性断層、中央構造線、構造解析、X 線回折、運動方向、スメクタイト

**【研究題目】** 異なる時空間スケールにおける日本列島の変形場の解明

**【研究代表者】** 大坪 誠 (活断層・火山研究部門)

**【研究担当者】** 大坪 誠、宮川 歩夢 (地質情報研究部門) (常勤職員2名)

**【研究内容】**

日本海東縁地域を含む歪み集中帯 (秋田、新潟地域) に関して、褶曲地形における隆起速度と浸食速度の関係に注目し、地形発達の度合いの空間分布を求めた。具体的には個々の褶曲地形での褶曲軸と稜線の距離を既往の地質図と DEM データを用いて測定した。この空間分布結果から、本研究地域での千年~1万年スケールにおける西から東への地殻短縮場 (褶曲発達場) の移動の可能性を明らかにした。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 歪み集中帯、東北地方太平洋沖地震、内陸地震、変形、東北日本、褶曲

**【研究題目】** 地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明

**【研究代表者】** 松本 則夫 (活断層・火山研究部門)、風早 康平 (深部流体研究グループ)

**【研究担当者】** 松本 則夫、風早 康平、佐藤 努 (常勤職員3名)

**【研究内容】**

本研究は、地殻流体の地震・火山活動、地殻変動の理解に重要と考えられる「地殻流体の分布や流量」を明らかにすることを目的とする文科省科研費新学術領域研究「地殻ダイナミクス」の B3班「地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明」を分担するものである。

平成26年度には、既存の水質・ガス分析値および現地調査によって、和歌山県田辺市本宮町付近を西南日本における深部流体計測サイトとして選定した。2014年11月22日長野県北部の地震 (M6.7) 直後に湧出した温泉・ガスの緊急調査を繰り返し行い、湧出量が減少傾向であることやガスの主成分がメタンであることを明らかにした。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 地殻流体、地下水、地下ガス、地殻変動、長野県北部の地震

**【研究題目】** 地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー

**【研究代表者】** 重松 紀生 (活断層・火山研究部門)

**【研究担当者】** 重松 紀生、松本 則夫 (常勤職員2名)

**〔研究内容〕**

本研究の目的は日本列島の内陸地殻において、これまで不明だった応力と歪の関係や媒質特性の時空分布を明らかにすることにより、東北沖地震後に生起している諸現象を統一的に理解することである。本課題はこの中で、当新学術領域研究の各研究の進捗状態を把握、成果を評価し、期間内に当初の目的を達成できるよう、各研究間の連絡調整、適切な助言やサポート等を行う。

今年度は、各研究間での連絡をとるための情報共有体制の立ち上げを行った。また得られた成果を広く内外に発信するため広報用のホームページの立ち上げるとともにニュースレター Vol. 1の編集作業を行った。以上のほか、10月19日から10月21日にかけて京都大学防災研究所にて新学術領域キックオフ会議、3月4日と11日に融合研究集会などの会議を主催した。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 地殻ダイナミクス、東北沖地震後、内陸変動、総括、情報共有体制

**〔研究題目〕** 深部マグマ供給系と火山活動

**〔研究代表者〕** 東宮 昭彦 (活断層・火山研究部門)

**〔研究担当者〕** 東宮 昭彦 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

噴火の始まり、特に休止期間を経て噴火活動を再開するメカニズムを解明するため、主に岩石学的情報を用いた分析を進めている。

平成26年度は、マグマ溜まりにおける噴火準備過程を調べるため、有珠火山の最初期噴出物 (Us-Ka) の岩石学的分析を行った。その結果、結晶度の高い低温マグマ溜まりに、高温マグマが様々な時間スケール (おそらく数百年～数日前) で繰り返し注入することで噴火がまったことが明らかになった。

また、噴火におけるマグマ噴出率や噴火様式の多様性を理解するため、マグマ溜まり粘性 (マグマ溜まりにおける噴火直前のマグマ粘性; 噴火能力の重要な指標) をキー・パラメータとしたデータの収集・解析を引き続き行った。その結果、同一のマグマが爆発的プリニー式噴火と溢流的溶岩噴火を引き続いて行った場合の両者のマグマ噴出率の比は、マグマ溜まり粘性に比例することを発見した。

なお「深部マグマ供給系と火山活動」は、東京工業大学の高橋栄一教授を中心とし、複数の機関・研究者が分担して進めているプロジェクトである。東宮は主に岩石学的情報を用いた分析を担当してきたが、長期海外派遣に伴い、2014年11月に予算を返還し研究を中断している。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 火山、噴火誘発過程、マグマ溜まり、斑晶、累帯構造、噴出率、粘性

**〔研究題目〕** 南海トラフにおける未知の巨大津波に関する地形・地質学的研究

**〔研究代表者〕** 穴倉 正展 (活断層・火山研究部門)

**〔研究担当者〕** 穴倉 正展、行谷 佑一、前杵 英明 (法政大学)、越後 智雄 (地域地盤環境研究所) (常勤職員2名、他2名)

**〔研究内容〕**

南海トラフ沿いでは、将来の巨大地震の発生と津波襲来が危惧され、最近では国による最大クラスの地震・津波想定も示されている。しかしより具体的に地震や津波の規模を評価するには、過去に発生した巨大地震・津波の規模とその履歴を解明する必要がある。このため、本研究では平成24年度より3年計画で紀伊半島南部沿岸の津波および隆起の痕跡に関する調査を行っている。最終年に当たる平成26年度は、まず和歌山県串本町古座川河口の沖合に位置する九龍島において、隆起海食洞とその壁面に固着する生物遺骸群集を調査し、高度の測定と年代測定用試料の採取を行った。また和歌山県串本町の橋杭岩では、津波で運ばれたと考えられる漂礫群が波食棚上に散らばっており、それらの調査を継続した。平成26年度は橋杭岩本体といくつかの大きい漂礫について、宇宙線核種生成年代測定のための岩石試料の採取を5地点で実施した。さらに従来行われていた精密測定の補完の測量を実施して DEM を作成し、漂礫の位置、形状を明らかにした。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 南海トラフ、巨大地震、津波、隆起、履歴、津波石

**〔研究題目〕** 高圧下における地盤材料の圧縮、せん断と固化のマイクロメカニクス

**〔研究代表者〕** 北島 弘子 (活断層・火山研究部門)

**〔研究担当者〕** 北島 弘子、松島 亘志 (筑波大学)、波多野 恭弘 (東京大学)、渡辺 圭子 (立命館大学)、別府 万寿博 (防衛大学校) (常勤職員1名、他4名)

**〔研究内容〕**

高圧下の粒状体の複雑な巨視的物性 (圧縮・せん断・固化特性) について、粒子スケールの力学 (粒子破碎による粒度や粒子形状の変化、それに伴う粒子骨格構造変化、細粒分粒子の付着力による固着力など) から導く理論を構築するために、地盤工学、衝撃工学、地球科学、材料科学、粉体物理学の観点から、粒状体の高圧載荷実験を系統的に実施し、マクロな力学応答と粒子物性変化情報を取得する。さらに、粒子スケールの数値シミュレーションと比較することにより、幅広い条件下で成立する統一的なマイクロメカニクス構成モデルの枠組みを構築する。今年度は高圧下での粒子破碎挙動を明らかにするために、岐阜硅砂の高圧剪断試験を活断層・火山研

究部門の回転式低速-高速摩擦試験機を使用して、垂直応力1 MPaの条件下で行った。すべり速度を1  $\mu\text{m/s}$ から1 mm/sにあげるとサンプルの軸短縮量が大きくなり、すべり速度の増加により粒子の粉碎および圧密が進行することが明らかになった。

【分野名】地質

【キーワード】粒状体、せん断、固化、摩擦

【研究題目】岩石変形実験による地殻の力学物性の解明：流体の影響

【研究代表者】高橋 美紀（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】高橋 美紀、重松 紀生、東郷 徹宏、清水 以知子（東京大学）、中谷 正生（東京大学）、武藤 潤（東北大学）、大橋 聖和（山口大学）、星野 健一（広島大学）（常勤職員2名、他6名）

【研究内容】

本課題は新学術領域研究「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」のサブテーマの一つである。同じくサブテーマの一つである「観察・観測による断層帯の発達過程とマイクロからマクロまでの地殻構造の解明」の課題とは連携して研究を進めている。この中で産総研が実施するのは主に下記の2テーマである。①「天然の断層岩の摩擦強度を測定し地殻の強度の議論を行う。」ことと、②「深部塑性変形領域の変形特性を明らかにする。そのために必要な高温炉の開発も含む。」である。

今年度は中央構造線の露頭記載に基づく断層構成物質の摩擦実験、および今後の高温実験のための高温炉の改良を行った。

中央構造線の栗野露頭のより採取した断層構成物質（断層ガウジ）を使って、高温下で摩擦実験を実施した。断層構成物質は、著しく変形が局所化した最新滑り面と、変形が分散しているより古い構造の比較を行った。最新滑り面は摩擦係数に換算すると0.1未満と低いが、その速度依存性、変位量依存性を考慮すると、その挙動は摩擦では説明できないこと、より古い構造では摩擦係数は0.6~0.7程度であり速度強化を示すことが明らかになった。

高温炉の改良については、高温化のため温調回路、下部ヘッド等の変更を行った。またヒーターについては熱計算を行い現状装置による1000  $^{\circ}\text{C}$ 達成の可否を検討し、これに基づきヒーターの部材、断熱材等の調達を行った。

【分野名】地質

【キーワード】地殻強度、中央構造線、断層ガウジ、摩擦特性、高温炉

【研究題目】津波痕跡高を用いた地震規模推定法の高度化研究

【研究代表者】行谷 佑一（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】行谷 佑一、今井 健太郎（東北大学）  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

江戸時代やそれ以前における津波の高さを知るには、歴史記録から判明する津波の到達点等と思われる場所の高さを測ることが基本的である。一方、歴史記録の中には流失した家屋の数といった被害の状況のみが記されている場合がある。この場合、津波による被害が大きいことは確実であるが、津波の高さを具体的に知ることは難しい。本研究では歴史記録に記された被害の記録から津波の高さを推定するための一種の指標を構築することを目的としている。南海トラフ沿いで発生した1854年安政南海地震津波による徳島県内での被害記録に注目し、各集落における被害率と津波高さとの関係を得た。具体的には、『大地震実録記』に記された11カ所の集落における被害記録に着目し、そこでの被害率（{ [流失家屋数] + [全潰家屋数] + [半潰・大破家屋数] \* 0.5 } / [総家数]）を算出した。さらに現地調査を行いその11カ所における同津波の高さについて既存研究結果を参考に検討した。この結果、津波高さ（海面上の高さ）が2-3 m 程度では被害率が0.3程度であるのに対し、6 m 程度を越えると被害率がおおむね0.8以上になることがわかった。今後、他の地域についてもこのような検討を行い、江戸時代における被害と津波高さとの関係を構築していく予定である。

【分野名】地質

【キーワード】南海トラフ、歴史記録、津波高さ、被害率、1854年安政南海地震

【研究題目】化学発光法を用いた化学材料評価手法の開発

【研究代表者】佐合 智弘（木更津工業高等専門学校）

【研究担当者】高田 徳幸、内丸 忠文（環境化学技術研究部門）（常勤職員2名）

【研究内容】

最近、飛躍的に発展を続ける有機エレクトロニクスデバイスではあるが、最も基本的な電荷移動機構ですら十分に理解されているとは言い難い。そこで基本パラメータである電荷トラップやキャリア移動度等に関する情報を得ることは重要である。当グループでは、極微弱光を高感度に分光検出可能なフーリエ変換型分光光度計を導入した熱ルミネッセンス（TL）計測技術を開発した。従来技術では困難であったグロー曲線（トラップ深さ評価）と発光スペクトル（トラップ部位評価）の同時高感度計測が実現でき、これまでグロー曲線のみでは判別できなかった複数の発光種からの発光を、スペクトル情報を基に分離検出することに成功した。本研究では、TL技術のさらなる高度化を通して、物質中に微量に存在する構造欠陥・不純物の高感度分析や電荷トラップ情報の高信頼評価技術を開発することを目的としている。

本年度は、有機エレクトロニクス物質である結晶性イリジウム錯体の熱ルミネッセンス性能について評価した。結晶性イリジウム錯体のグロー曲線には、2つのピーク温度（電荷トラップ状態）が認められ、それぞれのトラップ状態における発光スペクトルを比較してみると、ピーク波長にシフトが観測された。この変化はサーモクロミズムに由来する吸収スペクトルシフトによって解釈できた。従来技術のようにグロー曲線のみを観測からは、2つの電荷トラップ状態の起源の違いを言及することはできなかったため、本技術の有効性が再認識できた。

【分 野 名】 情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】 熱ルミネッセンス、電荷トラップ、評価技術

【研究 題目】 プラスチックの嫌気生分解の解析

【研究代表者】 八木 久彰（環境化学技術研究部門）  
 【研究担当者】 八木 久彰、国岡 正雄  
 （常勤職員2名）

【研究 内容】

現在、商業用の嫌気発酵槽として運転されている発酵槽の温度は、55度と37度の2つに分けられる。生分解性プラスチックをこれら商業用の大型嫌気発酵槽で処理するには、生分解性プラスチックが、発酵槽内の汚泥で生分解されるかどうかを、あらかじめ試験しておかなければならない。そこで、私たちが新しく確立した、プラスチックの嫌気での分解性を評価できる試験方法（ISO13975の改良法）を用いて、代表的な生分解プラスチック（ポリ乳酸（PLA）、ポリカプロラクトン（PCL）、ポリヒドロキシ酪酸（PHB）、ポリブチレンサクシネート（PBS））の嫌気分解試験を実施する。

26年度は、上記4種のプラスチックサンプルの37度での嫌気生分解度の測定と、これらの嫌気生分解に関与する微生物の解析を行った。PHBは9日で90%嫌気分解された。PCLは、277日で3および22%嫌気分解された。PLAは277日で29および49%嫌気分解された。PBSは277日経過後も全く嫌気分解されなかった。PLA、PCL、PHBのメタン発酵に関与している微生物を解析した結果、これらの嫌気分解にかかわる微生物には、それぞれ違う種類のものが存在することが示唆され、その中のいくつかは今までに単離されていない未知のものである可能性が示唆された。

【分 野 名】 環境・エネルギー  
 【キーワード】 生分解プラスチック、嫌気生分解、RT-PCR-DGGE

【研究 題目】 金属・有機構造体を用いた機能性分離膜の開発

【研究代表者】 原 伸生（環境化学技術研究部門）  
 【研究担当者】 原 伸生（常勤職員1名）  
 【研究 内容】

本研究課題では、新規な多孔性物質として注目される金属有機構造体を用いた機能性分離膜の開発を行った。特に金属有機構造体の一種であるゼオライト用イミダゾレート構造体（ZIF-8）を用いた分離膜の開発と、プロピレンとプロパンの分離用途への適用を検討した。ZIF-8膜の作製では、液相対向拡散法において作製条件が膜構造と透過特性に与える影響を解明した。硝酸亜鉛水溶液と2-メチルイミダゾールの1-オクタノール溶液を用いて ZIF-8膜の作製を行ったところ、二液の界面において形成される ZIF-8の結晶層には結晶間の欠陥が多く残存し、十分な選択性は得られなかった。二液の界面の相溶性の影響を比較するために、1-オクタノール溶液による反応に引き続いて、水溶液とメタノール溶液による反応を行ったところ、選択性が向上した。この結果から、二液の界面の相溶性が気体分離特性に影響を与えることを明らかにした。また、プロピレンとプロパンについて、単成分の気体透過特性に加えて混合成分による測定を行い、プロピレンとプロパンの混合気体についても本研究で作製した ZIF-8膜が高い分離特性を有することを明らかにした。

【分 野 名】 環境・エネルギー  
 【キーワード】 膜分離技術、気体分離膜、金属有機構造体

【研究 題目】 副生グリセリン利用を指向したキラル酸化バイオプロセスの高度化と応用

【研究代表者】 佐藤 俊（環境化学技術研究部門）  
 【研究担当者】 佐藤 俊（常勤職員1名）  
 【研究 内容】

再生可能エネルギーであるバイオ燃料の普及にとともに、その製造過程で産出する副生成物の有効利用技術が求められている。中でも、バイオディーゼル燃料の製造過程で副生するグリセリン（副生グリセリン）は、グリセリン以外の不純物（メタノール）を多く含むことから、化学品製造等におけるグリセリン原料としての利用が難しい。また、これまでに開発されたグリセリンを原料とする光学活性 D-グリセリン酸のバイオ生産技術において、メタノールはグリセリン酸生産を阻害することが示唆されていた。本研究では、メタノールを含む副生グリセリンの有効利用を目指し、メタノール資化性菌の利用によるグリセリン酸生産技術の高度化、およびグリセリン酸の誘導体化による高機能材料の創出を目的とした。

平成26年度は、メタノール資化性菌であるアシドモナス菌によるグリセリン酸生産条件を検討した。本菌は、グリセリンとメタノールの共存下でグリセリン酸を生産し、これらの濃度の最適化により、発酵液中にグリセリン酸を蓄積させることに成功した。一方、グリセリン酸の誘導体化では、2種類の官能基を異なる手法で修飾し、糖骨格を導入した両親媒性化合物の合成および物性解析を行った。本誘導体は、新しい構造の糖型界面活性剤と



なる機能性化学品であることを明らかにした。

〔分野名〕環境・エネルギー、ライフサイエンス

〔キーワード〕グリセリン酸、酢酸菌、微生物発酵、グリセリン、メタノール資化菌、両親媒性化合物

〔研究題目〕メタロミセルの化学環境の理解と高効率水中触媒反応への応用

〔研究代表者〕平 敏彰（環境化学技術研究部門）

〔研究担当者〕平 敏彰（常勤職員1名）

〔研究内容〕

省資源・低環境負荷の観点から、電子材料や医薬品中間体などの機能性化学品の製造において、高効率かつ廃棄物量の少ない化学プロセスの活用が望まれている。水を媒体とする触媒反応は、従来の有機溶媒中の反応とは異なる反応性や優れた反応選択性の発現が期待でき、有機系廃液の排出量を削減できることから低環境負荷で安全性などの点で優れる。近年では、界面活性剤が形成する擬似的な有機溶媒環境（ミセル反応場）を利用した水中触媒反応が開発されているが、触媒と界面活性剤が一体化されていないために反応効率は低い。そこで本研究では、触媒と界面活性剤が一体化した界面活性剤型触媒を新たに設計し、界面化学的アプローチによるミセル反応場の理解とこれを活用した水中クロスカップリング反応の開発を行った。

本年度はイミダゾールを原料に、親水基と疎水基を段階的に導入することにより4種類の新規界面活性剤を合成した。また、界面活性剤とパラジウムとの錯形成により界面活性剤型触媒を得た。各種界面物性評価により、合成した界面活性剤型触媒は、水の表面張力を低下させ、水中で自発的にミセル反応場を形成することを明らかにした。

続いて、界面活性剤型触媒を水中クロスカップリング反応に適用した。その結果、界面に触媒活性点が高密度に集積化した特異なミセル反応場を活用することにより、ハロゲン化アリールとオレフィン類から各種共役 $\pi$ 電子系化合物を効率的に得た。本法は有機溶媒を使用しない完全水系での触媒反応プロセスであり、これを用いることによりクロスカップリング反応の高効率化を達成した。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕触媒、界面活性剤、反応場、プロセス

〔研究題目〕有機テンプレートをを用いない高シリカケージ型大空間ゼオライトの革新的合成手法の開拓

〔研究代表者〕上村 佳大（環境化学技術研究部門）

〔研究担当者〕上村 佳大（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高シリカケージ型大空間ゼオライトの一つであるCHA型ゼオライトを種結晶添加法により有機テンプレ

ートフリーで簡便に合成することを目標とする。これを達成するため、平成26年度は、種結晶および種結晶を添加するためのNa型反応混合物の調製と条件探索を実施した。CHA型ゼオライトの種結晶は、有機テンプレートを反応混合物に添加し、水熱処理を施すことによって合成を行った。キャラクターゼーションの結果、生成物はCHA型骨格構造に由来するX線回折パターンを示し、生成物の骨格内Si/Al比は約10-12の範囲であることがわかった。今後は、得られたCHA型ゼオライトを種結晶として利用する。一方で、CHA型種結晶を添加する反応混合物が必要であるため、反応混合物の組成条件探索とそこから得られるゼオライトの合成を並行して行った。本研究では、種結晶ゼオライトと様々な組成で調製した反応混合物から結晶化するゼオライトの構造類似性に着目した新しい設計指針に基づいて、種結晶添加法を実施する予定である。このことから、CHA型ゼオライト（種結晶）とアルミノシリケート前駆体レベルでの類似構造を有するゼオライトは、第一候補としてはOFF型ゼオライトであり、このOFF型ゼオライトを合成するための組成および反応条件探索を行った。OFF型ゼオライトはNa型ではなく、有機テンプレートを含まないNa、K型またはK型アルミノシリケート反応混合物を水熱処理することで合成できることがわかった。そして、OFF型ゼオライトが結晶化する反応混合物の組成条件の最適化に成功した。

〔分野名〕ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕ゼオライト、有機テンプレートフリー、合成、多孔体

〔研究題目〕短寿命代替フロン物質の地球温暖化ポテンシャル新指標の開発

〔研究代表者〕陳 亮（環境化学技術研究部門）

田村 正則（触媒化学融合研究センター）

〔研究担当者〕陳 亮、田村 正則（常勤職員2名）

〔研究内容〕

オゾン層破壊や地球温暖化の原因物質であるフロン及びフロン代替物の全廃や排出削減が国際条約で定められ、大気寿命の短い代替物質が次々に開発されている。これらの物質の地球温暖化ポテンシャル（GWP）の評価は国内外の機関で行われ、IPCCの第4次報告書等で報告されているが、現在のGWPの評価法は長寿命物質に適した方法であり、現在開発が行われている短寿命物質にそのまま適用するのは問題があるとの指摘もある。そこで、本研究では、大気寿命の短い物質にも適用可能な、新しいGWP評価指標を開発することを目的としている。

産総研では、本研究の一環として、GWP評価に必要な大気寿命と赤外域での吸収強度の評価を行っている。大気中に放出された揮発性の物質は、主としてOHラジカルとの反応で大気中から除去されることから、大気寿命はOHラジカルとの反応速度で決定される。そのため、

GWPの評価を行うためにはOHラジカルとの反応速度を得ることが不可欠である。本年度は引き続き、含フッ素オレフィンとOHラジカルとの反応速度データから大気寿命を評価した。また、短寿命物質に適応可能な新しいGWP評価指標の開発に資するべく、赤外分光データ及びOHラジカルとの反応速度データの整備を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】地球温暖化ポテンシャル (GWP)、フロン代替物質、大気寿命、OH ラジカル、赤外吸収

【研究題目】色素増感太陽電池における電子移動機構の完全解明

【研究代表者】森 正悟 (信州大学・繊維学部)

【研究担当者】甲村 長利 (環境化学技術研究部門)  
(常勤職員1名)

【研究内容】

色素増感太陽電池は製造プロセスが容易なため、製造コストの大幅な低減が期待されている太陽電池の一つである。本研究では、色素増感太陽電池において重要な電子移動過程である色素から酸化半導体への電子注入機構とそれによって生成した色素カチオンの還元機構の解明を含めた、動作機構の完全解明を目的として、高い光電変換効率を実現するための色素-酸化半導体-電解質間での電子移動過程のモデル化を目指している。

一般に色素分子は、酸化半導体表面との強固な吸着を可能とするためのカルボン酸などの結合基を分子内に有しており、酸化半導体へ速やかな電子注入を行うことができる。この酸化半導体への電子注入過程では、色素の吸着状態が電子注入に大きな影響を与える要因の一つと考えられている。そこで、色素吸着における結合基の位置依存性や吸着角度などが電池特性に与える影響を明らかにするために、分子構造はほとんど同じであるが、色素分子の $\pi$ 電子鎖長に対して結合基としてのカルボン酸の位置を系統的に変えた有機色素を設計し、合成を試みた。結果、3種類の新規色素を得ることに成功した。また、色素の吸着量や酸化半導体に吸着する色素分子の角度など、半導体表面での色素の状態を詳細に調べ、それらが電子注入や電池特性などに与える影響を評価するためには、ある程度の量を合成する必要がある。合成方法等の情報を研究代表者と共有することで、評価に必要な量の有機色素を得ることができたので、今後詳細な検討を行う予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】色素増感太陽電池、電子移動機構、有機色素、吸着状態

【研究題目】酸素安定同位体連続観測と群落多層モデルを用いた森林生態系の呼吸・光合成の分離評価

【研究代表者】村山 昌平 (環境管理技術研究部門)

【研究担当者】近藤 裕昭、村山 昌平、石戸谷 重之  
(常勤職員3名)

【研究内容】

本研究では、酸素安定同位体 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) の同位体分別が光合成と呼吸、呼吸の各素過程で異なることを利用して、フラックス観測で得られる正味の大气-森林生態系間二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ ) 交換量を光合成と生態系呼吸、生態系呼吸 (全呼吸) を土壌呼吸・葉呼吸に分離評価する手法を確立することを目的とする。この目的のために、同位体連続観測システムの開発、森林サイト (飛騨高山サイト) における現場観測を進めた。

同位体連続観測システムについては、光源を耐久性が改良された分布帰還型 (DFB) 中赤外レーザに交換したことに伴う、光学系の改造を行った。改造した装置を用いて、同位体組成が異なる  $\text{CO}_2$  標準ガスを装置に導入して、レーザ光源の波長を変更することにより、 $\text{CO}_2$  の各同位体の吸収スペクトルのデータを取得することができた。これらにより、同位体測定に適した装置の基本構成を構築することができたが、高精度の同位体連続観測のためには、中赤外 DFB レーザのさらなる改良が必要であることが分かった。

飛騨高山サイトにおいて、森林上におけるフラックス、森林内外の  $\text{CO}_2$  濃度、気象要素の連続観測データを取得し、現地訪問時に試料を採取し、質量分析計により  $\delta^{18}\text{O}$  分析を行った。これまでに得られたデータより、夜間の土壌呼吸、葉呼吸、生態系呼吸で放出される  $\text{CO}_2$  の  $\delta^{18}\text{O}$  を求め、葉呼吸の  $\delta^{18}\text{O}$  の推定の改良を進めた。生態系呼吸に占める、土壌呼吸、葉呼吸の割合を算出し、着葉期におけるその季節変化を明らかにし、フラックス観測や当観測サイトにおけるモデルによる推定結果との比較解析を行った。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】炭素循環、安定同位体、森林生態系、レーザ分光

【研究題目】降水試料濾過フィルターを用いた元素状炭素粒子の現在・過去の地表面性沈着量評価

【研究代表者】兼保 直樹 (環境管理技術研究部門)

【研究担当者】兼保 直樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

地方自治体で酸性雨測定の際に前処理に使用されていた濾過メンブラン・フィルターに保持された元素状炭素を測定する手法を確定し、バックグラウンド地点 (北海道利尻島) および都市域 (札幌市) における過去のバルク (湿性+乾性) 沈着量レコードを復元した。利尻島での1997~2001年、2008~2012年の期間、および札幌での19~2012年までの分析が終了した。大都市である札幌と、きわめて人口密度の低い利尻での元素状炭素沈着

量の差は予想外に小さく、多い年でも札幌は利尻の2倍程度である。また、年々変動の幅が大きい、そのパターンは両地点できわめてよく類似している。2000年、2001年の年間沈着量が突出して大きく、特に2001年の利尻における月間沈着量に4～5月に顕著なピークが見られ、シベリア森林火災の影響を大きく受けたものと考えられる。2007年前後までの中国でのSO<sub>2</sub>排出量の増加に対応するような元素状炭素粒子沈着量の増加は利尻島・札幌では明確には認められず、輸送経路の違いによる発生源の差を反映しているものと考えられた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】大気エアロゾル、長距離輸送、元素状炭素、沈着フラックス、雪氷面アルベド、化石燃料燃焼、バイオマス燃焼

【研究題目】スマートパーティクルセンシングデバイスの開発（基盤C）

【代表研究者】野田 和俊（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】野田 和俊（常勤職員1名）

【研究内容】

大気中の浮遊粒子状物質（SPM）について水晶振動子を利用した微量天秤測定手法（QCM）を応用して、特別な付加装置を使用することなくSPMを電極表面へ附着させるリアルタイム計測手法の検討を行った。

SPMが附着しやすい高分子膜の作成とその評価を行い、従来の重合膜と平行してSiO<sub>2</sub>や酸化鉄、炭素などの無機系物質についても検討を進めた。無機系物質は、プラズマ重合膜等と比較して、VOCに対する検知感度は比較的小さいものの、湿度に対しては同等程度であることが分かった。

QCMを利用したSPM測定の場合、測定流量と測定時間の関係は重要であり、表面吸着質量を増加させる必要から流量を増やすことによって、吸着量を増やす手法を利用した。

これらの結果をもとに、実験室以外のSPMが多い作業環境に一定期間放置し、その吸着特性等の調査を行い、自然通気方式でも一定上のSPM吸着を確認し、本手法の有効性を明らかにした。また、吸着したSPMをSEMでの表面観察とEDXによる組成分析を行い明らかにした。

これらの基本的なデータを元に、個人曝露測定用システムについて検討を行った。人体やマスク内に装着可能なQCM測定器を試作し、温度や湿度、圧力（気圧）も同時に記録できるため、環境の影響評価も可能である。この試作器を個人曝露測定目的に人体やマスク内に装着し、一定時間経過後のQCM測定結果を求めたところ、微量ながらSPM吸着を確認し、本測定システムの有効性を明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】センサ、スパッタリング、水晶振動子、

パーティクル、プラズマ

【研究題目】垂直細孔配列メソ多孔体膜付着グラフェンナノ複合体／複合膜の創製

【研究代表者】王 正明（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】王 正明、久保 史織、吉澤 徳子（常勤職員3名）

【研究内容】

高い電気伝導性を持つグラフェン層の両側面に規則構造性メソ細孔シリカのメソチャンネルが垂直に配向成長した高電導・不導体ナノ接合体の創製に成功したが、その生成機構が未解明である。このナノ接合体の生成機構を解明し、多様なナノ構造性付与できれば分子ふるい性高性能センサー、分子選択的電気化学的反応媒体、薬物所包材など、多岐の分野における応用が見込まれる。本研究では、グラフェン酸化物、界面活性剤、無機酸化物源の三元分散系における自己組織化メカニズムを、合成条件による複合構造変化や界面ミセル構造の直接観察から解明し、グラフェン層の厚みとポアサイズを制御した垂直細孔配列メソ多孔体・グラフェン複合体の合成法を確立する。H26年度において、前年度で得た結果を鑑みてポアサイズ制御の最適条件を精査する上で、研究項目「膜形成手法の確立」を試みた。C8～C18の鎖長である界面活性剤をそれぞれ合成に用いると、いずれの場合でも最適条件下において比表面積1000m<sup>2</sup>/g前後のサンドイッチ型複合構造体が得られ、ポアサイズが2.2-4.8nmの間で調節可能であることが分かった。また、短い鎖長の界面活性剤が用いられる場合、メソポーラスシリカのナノ粒子がグラフェン表面に附着した構造が次第に増え、この構造上の違いがグラフェン酸化物表面上における界面活性剤集合体のできやすさより説明した。種々の有機種との混合スラリーを用いてスピコート法やドクターブレード法で複合体を成膜することが可能になった。グラフェン成分との混ざり合いから有意な電気伝導性を示す複合膜を作成し、センシングテストを試みた。

【分野名】環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】グラフェン、規則性メソポーラスシリカ、垂直配列、複合体

【研究題目】希酸溶液による廃棄物含有貴金属の溶解に関する研究

【研究代表者】古屋仲 茂樹（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】古屋仲 茂樹、菅原 淑子、藤木 由美子（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究では毒・劇物を使用しない穏やかな条件下で貴金属を溶解させることで、リサイクル現場で活用可能な安全かつ高効率な貴金属溶解技術の開発を目指している。

今年度は貴金属溶解の基礎的溶解特性の解明を目的として、塩素ガスの発生量と貴金属浸出量の関係を調べるとともに、廃電子基板や排ガス浄化触媒を対象として溶解実験を試みた。得られた主な結果は以下の通りである。

反応容器（セパラブルフラスコ）、吸収瓶（KI 水溶液）、真空ポンプを直列に接続した実験装置を用意し、 $0.5\text{mol/dm}^3$ の希塩酸 $50\text{cm}^3$ 、二酸化マンガン $0.54\text{g}$ 、貴金属（Au、Pd）粉末 $0.01\text{g}$ を反応させ、発生する塩素ガスを吸収した KI 水溶液についてイオンクロマトグラフによって Cl<sup>-</sup>濃度を測定することで、塩素ガスの発生量を評価した。その結果、二酸化マンガンの溶解に伴い、貴金属の浸出率と塩素ガス発生量が増加するが、発生した塩素ガスのほとんどが希塩酸に吸収されていることが明らかになった。

前年度開発した破碎と静電選別による一次濃縮粉末に対して、希硝酸処理によって銅などの非鉄金属成分を99%以上除去した後、希塩酸と二酸化マンガンによる貴金属の浸出実験を試みた結果、 $1.0\text{mol/dm}^3$ の希塩酸では Au 浸出率は約90%に達したが、 $0.5\text{mol/dm}^3$ の希塩酸では Au 浸出率は50%程度に留まった。

使用済み自動車から取り外した排ガス浄化触媒を入手し、ハニカム単体のアルミナコート層からサンプリングした粉末に含まれる白金族元素を ICP で分析したところ、検出限界値以下であった。比重選別等により一次濃縮を試みたが効果を確認できず溶解実験を開始するには至らなかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】リサイクル、貴金属、粉碎、溶解、希酸

【研究題目】電気化学的手法を用いた廃棄物系有機物からの高純度水素の製造技術の開発

【研究代表者】加茂 徹（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】加茂 徹（常勤職員1名）

【研究内容】

混合炭酸塩にニッケル微粒子を添加した場合、水蒸気ガス化反応は促進されて $600\sim 700^\circ\text{C}$ の比較的低温下でもタールを殆ど副生せずにフェノール基板から効率的に水素を製造できることを明らかにした。ニッケル微粒子を用いた水蒸気ガス化反応は、混合炭酸塩を用いた反応に比較して活性化エネルギーや A 因子が小さく、ニッケル粒子は触媒として有効であるが固体試料とガス状の水蒸気との物理的接触を促進させることが重要であることが示唆された。また本実験条件下では、ニッケル微粒子は酸化されず金属状態であることが XRD 分析から確認できた。実際の使用済みタンタルコンデンサーを混合炭酸塩共存下で水蒸気ガス化すると水素が発生したが、コンデンサーに含まれるプラスチック量が少ないため、発生した水素がプラスチックのガス化で発生したものか、共存する他の金属の酸化で発生したかを定量的に解析することはできなかった。また、直径 $30\text{mm}$ の円盤状の

セラミックに同じ径のセラミックパイプを上下に接着し、円盤上部に溶融炭酸を入れ、上下から水蒸気を吹き込んで電位を測定する装置を設計・試作した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】水素製造、ガス化、燃料電池

【研究題目】金属との相互作用を活用したグラファイト状窒化炭素の特性制御

【研究代表者】佐野 泰三（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】佐野 泰三、堀 智子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

可視光に応答する新しい光触媒として期待されるグラファイト状窒化炭素（ $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ）を高機能化するために金属複合化手法を検討した。効率の良い複合化手法の開発、半導体特性の制御、新たな機能の付与を目標とした。

$\text{g-C}_3\text{N}_4$ を濃硫酸に加えると  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ の誘導体溶液が得られ、これを元にした金属添加法を検討した。誘導体溶液に金属塩を添加した後に硫酸イオンを分離する手法を検討したが、非プロトン性溶媒では硫酸を分離できず、プロトン性溶媒では金属イオンも分離されるため、金属イオンが  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ に残らなかった。また、硫酸処理により光触媒活性が半減した。活性に寄与する官能基が硫酸処理により減少したためだった。このため、強酸などで表面が改質されることのない金属複合化手法の開発に方針を変更した。

グラフェンの合成法としてグラファイトを高せん断混合する方法が知られており、 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ に適用してみたが、グラファイトに用いられる界面活性剤と溶媒の組み合わせでは、 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ に変化は見られなかった。 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ のアミノ基やピリジン様窒素はイオン性の物質と相互作用があると考え、各種金属塩水溶液を加えて高せん断混合したところ、 $\text{g-C}_3\text{N}_4$ の X 線回折ピークが減少し、積層方向の周期性が低下したことを示した。また、わずかに光吸収端が長波長側にシフトした。これらの効果は金属イオン種に依存することが確認された。ある種の金属塩で処理した  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ は悪臭物質の吸着と光触媒分解に高い効果を示した。以上の様に、高せん断法という簡便な方法で  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ に金属種を複合化し、悪臭物質の除去性能と半導体特性の制御ができた。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】グラファイト状窒化炭素、可視光応答型光触媒、空気浄化、有機半導体

【研究題目】リボソームタンパク質を指標とするアスペルギルス症原因菌の新規系統分類

【研究代表者】佐藤 浩昭（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 浩昭（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

アスペルギルス症原因菌の一種である *Aspergillus*

*fumigatus* 及びその関連菌種は、抗真菌剤に対する感受性が異なるため、特に医真菌学の分野でこれらの迅速かつ正確な種レベルでの分類が求められている。そこで本研究では、質量分析法を用いて約80種類のリボソームタンパク質（RP）をバイオマーカーとした、*A. fumigatus* 関連菌種の新しい分析法を開発する。

平成26年度は、分類の基準となる基準株の解析を行った。基準株のゲノムは解読されていないが、前年度に作成した *A. fumigatus* ゲノム解読株の RP の基準質量リストを参照して、基準株の RP の同定及び質量の検証を進め、*A. fumigatus* 同定用の基準質量リストを作成した。*A. fumigatus* には2種類のゲノム解読株（Af293と A1163）が存在するが、基準株はそれらのうち A1163 とほぼ同じ RP パターンを示した。次に、*A. fumigatus* 関連菌種である、*A. lentulus*、*A. udagawae*、*A. viridinutans* の各基準株の RP の分析を行った。各菌株から抽出した RP のマススペクトルを比較したところ、一部の RP は共通するが、多くの RP はそれぞれの種に特有の質量を有していることを明らかにし、質量分析法により、これらの識別が可能であることを実証した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】真菌、微生物分析、質量分析

【研究題目】硫酸イオン活性化機能をもつ環境浄化用触媒の開発

【研究代表者】忽那 周三（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】忽那 周三（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、硫酸イオン活性化機能（環境条件下で硫酸イオンを硫酸イオンラジカルに変換し、硫酸イオンラジカルにより直接または間接的に汚染物質を除去する機能）をもつ環境浄化用触媒の開発を目的とする。26年度は、天然に存在する、鉄水酸化物（構造内に交換可能な硫酸イオンを含有する水酸化物）を合成し、その光触媒活性等を調べた。

対象とする鉄水酸化物を文献に従い合成した。合成操作は、溶液反応、透析および凍結乾燥の3つの操作からなり、一連の操作に約1ヶ月を要した。光触媒活性は、閉鎖循環式反応装置を用いてトルエンの分解活性により評価した。閉鎖循環式反応実験では、はじめ鉄水酸化物と接触させずにトルエンを含む試料ガスを反応装置内で一定時間循環させた後、流路を切り替えて鉄水酸化物に試料ガスを接触させた。さらに、一定時間後、地上に到達する太陽光の波長領域（>300 nm）の光照射を開始した。湿度等の反応条件を変えて実験を行い、トルエン等の気相成分の経時変化をフーリエ変換赤外分光光度計で観察した。いずれの実験でも鉄水酸化物との接触によりトルエン濃度が数時間にわたりゆっくり減少した。一方、光照射開始によりトルエン減少速度は変化せず、光触媒活性を確認できなかった。また、77K において、

>300nm の波長領域の光照射を行いながら、合成した鉄水酸化物の電子スピン共鳴スペクトル測定を行った。光照射により電子スピン共鳴スペクトルは変化せず、硫酸イオンラジカル等は検出されなかった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】環境浄化、硫酸イオンラジカル、光触媒、拡散反射

【研究題目】地下圏炭素・エネルギー動態に関する中核微生物群の同定と新機能解明

【研究代表者】堀 知行（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】堀 知行（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究は、未だ実体の明らかでない「地下圏炭素・エネルギーフラックスの根幹反応を担う未知微生物群」の生理生態を、分離培養技術に加え、Stable Isotope Probing (SIP) と次世代シーケンサー解析との融合法によって明らかにし、これら中核微生物群の新機能解明を通して、今なお進行しつつあると予想されるメタンハイドレート形成やナノパイライト生成などの地下物質ダイナミクスの根本的理解を目指すものである。ここで標的とする炭素化合物「メタン、酢酸」と地球第4位の構成元素「鉄」は地球の根源物質であるため、その代謝に関わる未知微生物群の実体解明は、地下圏の生命活動全体を紐解くことに直結する。なお本研究には、2012年統合国際深海掘削計画（IODP）第337次研究航海「下北八戸沖石炭層生命圏掘削」で取得した海底地下コア試料および海底堆積物試料を主に用いる。海底地下コアから得られる微生物菌体量の乏しさを打開するためにコア試料をそのまま解析するのではなく、研究の第一ステップとして中核微生物群の高度集積系（約700種）を構築した。得られた集積系のいくつかからメタン生成や鉄還元、還元的酢酸生成などの重要な生物地球化学的反応が観察されている。本年度は、次世代シーケンサーを用いた大規模塩基配列解読により各集積系の微生物構成種を数万種レベルで同定した。その結果、上記の生物地球化学的反応を担う中核微生物群を特定することに成功した。さらにこれら中核微生物の分離培養および安定な複数種培養系の取得を試みている。これに並行して、高度集積系内における未培養微生物機能を分離培養に依らず超高感度に同定する方法として、SIP と次世代シーケンスの融合法「Ultra-high-sensitivity SIP（超高感度 SIP）」を確立した。今後、本手法を用いて海底地下圏の未知微生物機能を直接的に解明していく予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】地下生命圏、炭素・エネルギー動態、微生物培養、Stable Isotope Probing、次世代シーケンサー

**〔研究題目〕北極海海水・周辺氷河融解による有害化学物質再放出現象の定量的評価研究**

**〔研究代表者〕** 谷保 佐知（環境管理技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 谷保 佐知、山下 信義、山崎 絵理子（常勤職員2名、他1名）

**〔研究内容〕**

海洋地球研究船みらいによる MR14-04航海、MR14-05航海に参加し、北極海、ベーリング海および北部北太平洋で、表層海水、深層海水の採取を行った。深層海水試料は、CTD ロゼッタ採水（ニスキン）を用い、表層から深層まで15層前後を各1リットル採集した。同時に「大気試料低温捕集装置」をコンパスデッキからの大気捕集用配管と接続し、航路中の非汚染大気の採集を行い、スペシメンバンクの充実化を図った。水試料分析は、国際標準分析法 ISO25101をベースとして昨年度開発した固相抽出カートリッジを用いた、固相抽出・液体クロマトグラフタンデム質量分析法で行った。

長期的な PFASs の時系列変化を調査するため、チャクチ海およびベーリング海峡における2005年および2013年の表層海水中 PFASs の濃度や組成を比較した。その結果、Armitage ら（2009）のモデル研究では、2005年から2013年にかけて極域圏の PFOS 濃度は上昇する予測であったが、本調査では大きな時系列変化は確認されなかった。

また、短期的な PFASs の時系列変化も調査するため、北極海において2週間の定点観測を行った。その結果、海水融解水濃度が高い表層海水において、PFASs 濃度が安定して高い傾向が見られた。ただし、この表層で観測された高濃度の PFASs が海水融解水由来なのか、または大気輸送や海水輸送による影響なのかは更なる解析が必要である。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** 北極海、氷河融解、PFOS

**〔研究題目〕大気圧プラズマ由来ラジカル種の触媒等固体表面における反応機構解明**

**〔研究代表者〕** 寺本 慶之（環境管理技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 寺本 慶之（常勤職員1名）

**〔研究内容〕**

プラズマ・触媒複合技術による揮発性有機物質（VOC）ではオゾンと VOC の触媒表面反応が重要な役割を果たしている。またこのオゾン生成は主にプラズマ中の O 原子と酸素分子との反応により生成されることが知られている。しかし、空気プラズマ（ストリーマ放電）中の O 原子の詳細な挙動観測はこれまでにない。本研究では二次元二光子吸収レーザー誘起蛍光法（2D-TALIF）を用いることで、ストリーマ進展中における O 原子の二次元の挙動観測を試みた。大気プラズマ中における O 原子の二次元計測に世界で初めての試みとなる。計測の結果から、放電進展直後（0-20 ns：一次ス

トリーマ）において O 原子はほとんど生成されていないことが分かった。一方、放電後20 ns（二次ストリーマ）から急激に O 原子密度が増加し、160 ns にかけて上昇していくことが分かった。また O 原子密度の上昇速度は高電圧印加電極から離れるにしたがい徐々に低下していった。二次元密度分布の計測結果から、O 原子は高電圧印加電極近傍で多く生成され、電極から離れるにつれ急激に減少していった。

次に電圧波形が O 原子生成量に与える影響を調査した。パルス幅100 ns と400 ns の電圧波形を用い、O 原子生成量を比較した。結果からパルス幅が短いほど、O 原子が急速に生成されることが分かり、この結果短パルスの方が O 原子生成エネルギー効率が高いことが分かった。

これらの知見を基に、プラズマ・触媒複合技術への投入エネルギー波形の最適化を行えば複合技術のエネルギー効率の向上を行えることが分かった。

**〔分野名〕** 環境・エネルギー

**〔キーワード〕** プラズマ、活性種、VOC、触媒、複合技術

**〔研究題目〕温室効果ガス観測衛星「いぶき」による発生源解析のための局所 CO<sub>2</sub>輸送モデルの開発**

**〔研究代表者〕** 近藤 裕昭（環境管理技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 近藤 裕昭、村山 昌平、石戸谷 重之、高根 雄也（常勤職員4名）

**〔研究内容〕**

温室効果ガス観測技術衛星（GOSAT）などによる宇宙からの二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の監視を実効的に行うためには各発生源からの発生量を正確に求めること必要である。このためには衛星モニタリングに加えて空間分解能の高い局所 CO<sub>2</sub>輸送モデルの開発が不可欠である。このため、モデルに組み込む地表面情報の空間分解能、生態系起源の CO<sub>2</sub>濃度予測、都市域における CO<sub>2</sub>フラックスとその発生源に同定手法に着目した研究を実施してきた。

つくばにおいて観測を行った O<sub>2</sub>:CO<sub>2</sub>交換比は、夏に値が低く冬から春にかけて高くなる明瞭な季節変動を示し、CO<sub>2</sub>の燃料を識別できる可能性が示唆された。東京代々木の塔で計測した CO<sub>2</sub>フラックスについて既存のインベントリと実測とを比較した結果、人為排出量の季節変化や、自動車と都市ガスの消費の日変化による影響が示唆された。モデルの高精度化に必要な都市キャンピのゼロ面変位を推定したところ、LES を用いた先行研究とおおむね一致し超高層ビル群が存在するエリアで最も高く、代々木公園の存在するエリアで低い値となった。

これらの結果をふまえ局所 CO<sub>2</sub>輸送モデルに、生態系起源の CO<sub>2</sub>の発生・吸収源を計算できる NCAR-LSM

を組み込み、これを用いて2010年8月の1ヶ月を対象とした中部日本のCO<sub>2</sub>の濃度と輸送の計算を行った。結果を岐阜県高山市にある落葉広葉樹林サイト(TKY)等と比較した。CO<sub>2</sub>の発生・吸収量については観測結果とおおむね一致したが、CO<sub>2</sub>濃度そのものについては山岳地においては実測値よりも大きくなり複雑地形地の影響が示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二酸化炭素、局所輸送モデル、酸素同位体比、都市の二酸化炭素フラックス、GEO

【研究題目】分子制御による融合マテリアル形成の計算科学シミュレーション

【研究代表者】灘 浩樹（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】灘 浩樹（常勤職員1名）

【研究内容】

タンパク質やペプチド、ポリマーなどの有機分子は無機結晶の成長を巧みに制御する機能を有しており、その機能は歯や骨、貝殻真珠層などに代表されるような、材料としても極めて優れた有機/無機複合体（バイオミネラル）を生み出す源となっている。本研究では、このような生物による材料合成の方法に倣い、それを超越する省エネルギー・省資源・低環境負荷材料「融合マテリアル」の構築に向け、その基盤的知見を得るため、生物による無機結晶形成（バイオミネラル化）における基本過程“有機分子による無機結晶の成長制御”の機構解明を目的とした計算科学シミュレーション研究を実施する。

本年度は、炭酸カルシウム結晶表面におけるペプチド吸着挙動や酸化チタン結晶表面におけるヒドロキシル酸吸着挙動が水に強く支配されていることを分子動力学シミュレーションにより明らかにし、それらの結果より結晶成長制御における水の役割の普遍性を考察した。また、炭酸カルシウムアモルファスからの結晶成長シミュレーションを実施し、マグネシウムによる結晶成長制御効果の多形依存性を明らかにした。さらに、炭酸カルシウムの結晶形成を制御するためのテンプレート構造を調べるシミュレーション研究を実施し、その特徴を明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】結晶成長、バイオミネラル化、炭酸カルシウム、計算科学、機能性分子

【研究題目】固体プラズマを利用した光応答性高分子の創生に関する研究

【研究代表者】黒澤 茂（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】黒澤 茂（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、DDS 分野における高分子ミセル材料の

将来性およびプラズマを用いた反応であるメカノケミカル固相重合法の特異性に鑑み、本学術領域への発展に寄与できる、光応答性、pH 応答性、生体適合性を有する高分子ミセルドラッグキャリアーの開発を目指す。メカノケミカル重合法で得られた高分子のドラッグキャリアーとしての機能を検討し、メカノケミカル重合法の有用性を明らかにする。

種々の原料を用いてメカノケミカル重合法による高分子合成を実施した。ガラクトピラノースポリマーとフラビリウムモノマーを反応させて得られたブロック共重合体は、高分子ミセルを形成して照射によって収縮し、内包した抗腫瘍剤である5-フルオロウラシルを放出することから、ドラッグデリバリーシステムに用いるドラッグキャリアーとして有望であることが明らかになった。同様に合成したビニルピリジンポリマーと MPC からなるブロック共重合体は、高分子ミセルを形成して pH によって会合状態が変化することから、pH に応答して薬剤の放出が可能である高分子ミセルであることが明らかになった。その一方で、照射によって一重項酸素を放出し、光線力学療法に用いられるポルフィリンを導入した高分子ミセルの合成も試みたが、溶解度の問題からドラッグキャリアーとしての機能評価までには至らなかった。

これら合成した高分子ミセル材料は、メカノケミカル重合法の特徴である高分子とモノマーの反応を用いて得られたものであることから、メカノケミカル重合法の有用性を示すことができた。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】固体プラズマ、高分子、光応答性、pH 応答性、ミセル

【研究題目】発光性細胞株アレイを用いた高速 PM2.5 評価系の構築

【研究代表者】金 誠培（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】金 誠培、長縄 竜一、和泉 博、志村 隆二（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究は、浮遊微粒子状物質（PM2.5）の生物毒性・炎症効果を評価する手法の開発を目的とする研究である。この目的を達成するために今年度、(1)多チャンネル光検出装置の超高感度化、(2)免疫毒性可視化プローブの開発、(3)新規人工生物発光酵素の開発に重点をおいて研究を進めた。

(1) 多チャンネル光検出装置の超高感度化：PM2.5に付着している化学物質が微量であることから、微量化合物でも発光するように可視化プローブの高輝度化と共に、多チャンネル光検出装置の超高感度化が必須である。そこで、既開発の多チャンネル光検出装置の光検出方式をアナログ式からデジタル方式（フォトンカウンティング）に修正することで光検

出感度を飛躍的に向上させた。また、発光信号の消光損失を最小限に抑えるために発光信号が8つの導光路を介してそれぞれホトマルの受光部に繋がるように設計した。

- (2) 免疫毒性可視化プローブの開発：PM2.5による多様な生理活性（毒性、ホルモン様活性、炎症効果など）に対応するためには、それに対応した可視化プローブの開発が課題である。この研究期間中、化学物質による免疫毒性によって発光する新規発光可視化プローブの開発に成功しその成果を論文に纏め、国際ジャーナルに投稿中である。
- (3) 新規人工生物発光酵素の開発：微量のPM2.5による生理活性評価には、可視化プローブを構成する発光酵素の性能改善が効果的である。この研究期間中、既存のALuc30番台に加え40番台と50番台の新規人工発光酵素を開発しその輝度と発光安定性、金属イオン感受性などに関する基礎研究を行った。また、新規人工発光酵素に最適な基質に関する検討も行った。この成果を纏め、国際ジャーナルに投稿中である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】生物発光、PM2.5、毒性評価、可視化

【研究題目】協同効果を利用した新規ロジウム抽出系開発及びそのメカニズム解析

【研究代表者】成田 弘一（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】成田 弘一、新山 洋子、元川 竜平（日本原子力研究開発機構）（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

目標：

酸溶液中のイオンが極めて抽出不活性であるために実用的な分離試薬が存在しないロジウムに対し、2種類の抽出剤を混合した溶媒による協同効果を利用した新規抽出分離系の開発及び抽出メカニズム解析を目標とする。

研究計画：

本研究では、抽出剤にアミン系及びスルフィド系化合物を用い、金属イオンの二相間分配挙動解析に加え、ロジウム抽出錯体の内圏及び外圏における構造特性の解明を行う。得られたメカニズム情報を基に協同抽出系を最適化し、さらに高濃度金属溶液などを用いた応用研究を行うことで、新規ロジウム抽出分離プロセスを構築する。年度進捗状況：

ジ-n-ヘキシルスルフィド（DHS）-トリ-n-オクチルアミン（TOA）系及びN,N'-ジメチル-N,N'-ジ-n-オクチル-チオジグリコールアミド（TDGA）-TOA系において、2 mol/L 塩酸からの抽出では、1:1:2 Rh-(TDGA or DHS)-TOA・H 錯体が優勢であることが示された。また、ジ-n-オクチルスルホキシド及びジ-n-オクチルスルホンそれぞれ TOA と混合した溶媒を用

いて塩酸溶液からのロジウム抽出を行ったところ、前者では DHS、TDGA と同様に協同効果現象がみられたが、後者では全くロジウムは抽出されなかった。

DHS-TOA 混合系及び TDGA-TOA 混合系における Rh K 吸収端 XAFS スペクトル解析の結果、DHS 及び TDGA 分子がそれぞれロジウムに配位していることが示唆された。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ロジウム、協同効果、抽出錯体、溶媒抽出、抽出剤

【研究題目】都市域の猛暑の発生に及ぼす風上地面状態の影響評価

【研究代表者】高根 雄也（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】高根 雄也（常勤職員1名）

【研究内容】

近年行われてきた猛暑の数値実験の結果、都市域における猛暑の発生には風上側を含む数十 km スケールでの地面状態が重要であることが示されてきた。しかしながら、国内にはこれを裏付ける地面状態の観測データが乏しいため、この結果は検証されていない。そこで本課題では、猛暑が発生しやすく、かつ地面を吹走する気流が卓越しやすい名古屋都市圏を対象に、風下側の猛暑に及ぼす風上側を含む数十 km スケールでの地面状態の影響を、地面状態の観測結果に基づいて検証する。本課題を気候・気象研究のための地面状態観測促進の契機にすることにより、猛暑の実態把握・予測・再現精度向上、さらには、猛暑の影響評価研究に貢献することを目的とする。

一年目であった昨年度は、土壌水分量と気温、日射量の観測地点を無駄なく選定するための工夫として、あらかじめ過去に名古屋都市圏内陸域で西～北西の山越え気流が卓越し猛暑が発生した事例を抽出して、西～北西の山越え気流のコースを、領域気象モデル WRF を用いた再現実験の結果から推定した。具体的には、後方流跡線解析を行い、コースを推定した。また、昨年度の8月に、多治見市役所と協力し、ドップラー・ライダーを用いて多治見市役所の屋上で上空の風を、多治見市内の複数地点で地上気象要素の予備観測を行った。その結果、来年度の本観測に向けた反省点等の事前情報を把握することができた。

二年目である今年度には、昨年度の情報を生かし、濃尾平野の複数地点で地上気象観測と鉛直方向の風の本観測を実施する予定である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高温、局地風、都市、現地観測

【研究題目】低温プラズマと触媒複合プロセスの活性化メカニズムの解明と高度利用技術の確立



【研究代表者】金 賢夏（環境管理研究部門）

【研究担当者】金 賢夏、寺本 慶之、尾形 敦  
（常勤職員3名）

【研究内容】

本研究では、触媒、吸着、大気圧低温プラズマの相補的融合における相互作用のメカニズムを解明し、革新的化学反応分野の開拓とプラズマ化学の高度利用技術の確立を目指している。具体的には、プラズマによる触媒の低温活性化メカニズムを解明することで、常温・大気圧の条件下において反応活性と選択性に優れた革新的化学反応の基盤技術を確立し、「水素の長距離輸送に適した低温燃料改質」、「大気及び水中の汚染物質除去の高度化と省エネルギー化」、「脱貴金属の低温触媒技術の体系化」等の多様な応用分野へ波及効果をもたらす高度利用へ展開する。

平成26年度の研究では、触媒活性に大きい影響を与えるサフェースストリーマの進展特性が変化する原因を触媒の電気伝導度測定及び X 線回折分析により調べ、担持した銀の酸化-還元状態により表面抵抗の変化が重要であることを明らかにした。

ESR 分析では触媒活性の高い Si/Al 比の低いゼオライト触媒でプラズマにより酸化された2価の銀や3価の鉄イオンが多く形成されることから、表面近傍で形成されるフェースストリーマが触媒との総合作用を促進し、高い触媒活性を引き出している重要なパラメータであることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】プラズマ、触媒、複合技術

【研究題目】環境浄化と微生物代謝学の再考：シンブルな代謝設計で CO<sub>2</sub>からの有価物生産に挑む

【研究代表者】佐藤 由也（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 由也（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究課題では、CO<sub>2</sub>固定能を有する微生物を利用し、温室効果ガスとして注視される CO<sub>2</sub>を有価物へ変換することを目標としている。微生物を用いた物質生産研究における共通の課題は、微生物に物質生産をさせることで微生物自身の生育を阻害してしまうことである。そこで本研究では、微生物の増殖が収束しつつある「定常期」という増殖フェーズに物質生産を開始させられるような系の設計を目指している。そのため本年度は、トランスクリプトーム解析（大規模遺伝子発現解析）を行い、対象微生物の全遺伝子発現パターンを把握し、有用な発現調節領域を見出すことを計画していた。

本解析には次世代シーケンサーと、得られた配列データの情報解析技術が必要であるが、Linux システムを使った情報解析手法の確立に予想以上の時間を費やしてしまった。本年度はモデル微生物を使った本解析の立ち

上げを終えたが、対象細菌を使った解析は完了していない。そこで、本来トランスクリプトーム解析後に予定していた、有用遺伝子導入系および遺伝子発現調節系の構築を進めた。これまでのところ、CO<sub>2</sub>固定条件で発現することが知られている遺伝子の発現調節領域と有用遺伝子を融合し、対象微生物に導入することに成功している。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】微生物利用、低炭素化技術、温室効果ガス

【研究題目】配位高分子のネットワーク構造がもたらす特徴的なカチオン交換特性

【研究代表者】半田 友衣子（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】半田 友衣子（常勤職員1名）

【研究内容】

有機イオン交換体と無機イオン交換体の特徴を合わせ持つ可能性がある配位高分子に着目し、従来の有機イオン交換体とも無機イオン交換体とも異なる新たなイオン交換材料の開発を目指して、配位高分子におけるイオン交換反応に関する研究を進めた。26年度は、アルキル鎖の構造が異なるいくつかのリン酸エステル配位子で配位高分子を合成し、ランタノイドイオン (Ln<sup>3+</sup>) 同士の交換反応の解明に取り組んだ。高濃度の Ln<sup>3+</sup>塩溶液中でのイオン交換選択性は、イオンサイズの順番ではなく、ランタノイド系列で極大を持つ特徴が認められた。構造が類似するジ- (2-エチルヘキシル) リン酸 (Hdehp) と (2-エチルヘキシル) ホスホン酸2-エチルヘキシル (Hmehp) が形成する配位高分子での結果を比較すると、Hdehp では、中心金属よりもおよそ7% 小さいサイズのイオンに極大の選択性を示すのに対し、Hmehp は中心金属イオンに最も近いサイズの Ln<sup>3+</sup>に高い選択性を持つ。Hmehp 配位高分子においては、配位子-イオンの錯形成定数の影響は小さく、配位高分子の骨格に対するイオンサイズ適合性、つまり無機イオン交換体的な性質が支配的であると考えられる。一方で、低濃度の Ln<sup>3+</sup>溶液中でのイオン交換の分配係数 (K<sub>a</sub>) を測定した結果、イオン半径が小さいほど K<sub>a</sub> が大きくなることを明らかにした。これは、イオン交換率が小さい場合には構造的な要因の影響が小さく、イオン交換選択性は錯形成定数に従うことを示唆している。つまり、無機イオン交換体的な特徴よりも有機イオン交換体的な性質が優勢となる。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】配位高分子、分離、イオン交換

【研究題目】細胞選択的な微量元素分析のためのマイクロ流体デバイス/ICP 質量分析装置の開発

【研究代表者】重田 香織（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】重田 香織（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

細胞の微量金属元素の役割の解明を目指すため、ドロップレット導入/誘導結合プラズマ質量分析計を用いた高感度元素分析法の開発を行った。元素分析において、高感度、多元素測定が可能ことから ICP 質量分析計は広く用いられているが、従来法では、試料溶液をネブライザで噴霧するため、試料に用いる細胞を破砕し、均一化した溶液を用いる必要があり、個々の細胞の元素濃度を分析することは難しかった。これまでの研究で、インクジェット技術を応用し、微小液滴を1滴ずつ ICP 質量分析計のプラズマに導入するドロップレット試料導入法を開発し、この微小液滴に細胞を内包させプラズマ中に噴出することで単一細胞分析を可能としている。本研究では、ドロップレット試料導入による極短の検出信号を検出する方法も確立し、検出の時間分解能を従来 (10ms) の1000分の1に低下させて、細胞の元素の検出性能を改善した。さらに、単一細胞を再現性良くかつ選択的にドロップレット導入/誘導結合プラズマ質量分析計に導入する単一細胞の分離導入法についても検討開始した。今後はこの細胞導入方法の開発を進め、ドロップレット導入/誘導結合プラズマ質量分析計と組み合わせ、細胞の高感度元素分析法を確立し、細胞の微量元素分析を行うことを目指す。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 単一細胞分析、元素分析、インクジェット、マイクロ流体デバイス

### 〔研究題目〕 ヒト iPS 細胞を用いた次世代環境センシングシステムの開発

〔研究代表者〕 谷 英典 (環境管理技術研究部門)

〔研究担当者〕 谷 英典、鳥村 政基 (常勤職員2名)

#### 〔研究内容〕

我々の身の回りでは数万種を超える化学物質が産業利用されており、我々の生活向上に役立つ一方で、ヒト健康に有害な影響を及ぼすものも多く存在する。従って、迅速かつ安価な化学物質の生体影響評価手法が求められている。従来、化学物質の有害性評価にはマウスなどの動物試験が用いられているが、コスト・スピード・倫理面で問題がある。そのため、動物の代わりに細胞を利用した手法が開発されてきているが、未だ発展途上の段階にある。そこで本研究では、ヒト人工多能性幹細胞 (ヒト iPS 細胞) とノンコーディング RNA (ncRNA ; タンパク質に翻訳されない RNA) に着目することで、次世代環境センシングシステムの開発を目標として研究を進めた。ヒト iPS 細胞は、種々の細胞に分化できる分化万能性を持ち、かつ、元々の細胞の性質・機能を維持しているという利点を有する。また、ncRNA は細胞内をダイナミックに制御する分子であることが、近年報告され始めており、そのポテンシャルは非常に高い。我々は、ヒト iPS 細胞にモデル化学物質として、過酸化水素、

カドミウム、ヒ素等を1日暴露した後、RNA 発現量が著しく増加する ncRNA として、6つの新規 RNA を同定した。本結果より、ncRNA には、化学物質全般にตอบสนองするものと、特異的にตอบสนองするものが存在することを見出した。また、従来のバイオマーカーであるメッセージャーRNA と比較した結果、ncRNA の方が高感度かつ迅速に環境ストレスにตอบสนองすることがわかった。以上より、ヒト iPS 細胞において、ncRNA が化学物質の有害性に対するサロゲート分子として有用であることが示された。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 細胞、化学物質、有害性試験

### 〔研究題目〕 海洋有機物における糖ペプチドの構造解明および炭素循環に果たす役割の評価

〔研究代表者〕 塚崎 あゆみ (環境管理技術研究部門)

〔研究担当者〕 塚崎 あゆみ (常勤職員1名)

#### 〔研究内容〕

海洋には大気中 CO<sub>2</sub>の炭素量に匹敵する規模の有機物プールが存在する。しかし構成有機物の分子に関する情報は乏しく有機物が海洋に蓄積するメカニズムはよく分かっていない。研究代表者は、海洋有機物の生成・初期分解の場に位置する海洋表層粒子状有機物 (POM : デトリタス+プランクトン) 中に糖ペプチドが残存・蓄積していることを発見した。本研究では、糖ペプチドの糖鎖の働きにより海洋有機物が分解酵素から保護され海水中に蓄積するという仮説を立て、糖ペプチドの化学的性質を明らかにすることによって、糖ペプチドが海洋有機物の蓄積に果たす役割の解明をめざす。

POM に含まれる糖ペプチドの構造解明を行うため、本年度は POM を大量の海水から集め、濃縮・均質化を行った。まず、サンプリングが容易で POM 濃度が高いと予想された産総研阿賀臨海実験場の海水くみ上げ施設を利用した POM の収集を試みた。採取した海水には粗い粒子が多く含まれ濁りがみられたが、採水後数分で粒子は沈殿したことや色から、粒子は POM ではなく、潮汐などによる攪乱により巻き上げられた海底の砂粒と考えられた。また、海水の栄養塩が無機窒素・リンともに沿岸域にしては低濃度であった (2 μM N、0.2 μM P) ことから、POM 量はさほど多くないことが予想された。そのためこの海水からの糖ペプチド画分の濃縮は困難と判断し、伊勢湾および赤道域航海で採取した名古屋大学所有の POM 試料を提供いただき、今後の研究を進めることとした。本年度は提供いただいた試料の凍結乾燥、POM の剥離および粉碎・均質化等を行い、次年度以降糖ペプチドの精製、ペプチド鎖の定量に使用する POM の粉末ストックを作製した。また元素分析の前処理を行った。

〔分野名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 海洋有機物、物質循環、糖鎖、ペプチド

鎖、炭素固定

**【研究題目】アップコンバージョン効果促進太陽光型光触媒ナノ複合構造及び環境リスク削減への応用**

**【研究代表者】** 王 正明（環境管理技術研究部門）

**【研究担当者】** 王 正明、呉 浩怡  
（常勤職員1名、他1名）

**【研究内容】**

本研究は、アップコンバージョン効果など特異な発光性を示す発光材料を光触媒ナノ粒子と組み合わせることにより、省エネで高い太陽光利用効率複合型光触媒を創製し、環境リスク削減への応用を目指す。この研究目的を達成するためにはアップコンバージョン材料の発光性質（波長、光子収率など）が非常に重要な役割を果たしている。本年度において主に新しいタイプのランタノイド発光体や炭素系量子ドットを合成し、それらの性質について研究した。そこから  $Tm^{3+}$  をドープした  $NaYF_4:Yb^{3+}$  系材料を合成し、これらの材料がランタニド結晶構造を形成していることや900nmの近赤外線励起で青色を発光することを確認できた。また、発光材料の持つもう一つの興味深い特性として遅延発光性があり、これを光触媒に応用する目的でセリウム添着ケイ酸塩系発光材料を調製した。この発光体を、更に可視光領域で光触媒活性を示す銀・塩化銀ナノ粒子と複合化することを試み、得られた複合型光触媒の活性を調べた。その結果、複合型光触媒が優れた可視光触媒能を持つと同時に遅延発光による持続光触媒能も有することが明らかとなった。

**【分野名】** 環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料・製造

**【キーワード】** 発光体、光触媒、遅延発光、アップコンバージョン効果、複合型

**【研究題目】放射性降下物大気輸送モデリングと移行過程の理解**

**【研究代表者】** 近藤 裕昭（環境管理技術研究部門）

**【研究担当者】** 近藤 裕昭（常勤職員1名）

**【研究内容】**

今年度は2014年3月に福島県原子力センターより公開された高時間分解能データも使用して事故初期である2011年3月12日に福島原子力発電所とその周辺で記録されている空間線量率のデータと気象データならびに各種シミュレーションを用いて、放射性物質の拡散がどのように起きたか推定を行った。

浜通り地区では地震後多くの AMeDAS 局が停止したが、福島県原子力センターが設置したモニタリングポストでは、気象データが3月15-16日頃まで記録されていた。これらより大野局、郡山局、福島第一原子力発電所および第二発電所における風向風速の変化はおおむね12日日中に海風の進入があったことを示している。し

かし、海風の進入時刻や細かい風の変化はこれらの局が水平距離にして約20 km の範囲にありながらかなり異なっていた。発電所外の福島県のモニタリングでは、15時36分の1号機爆発前に上羽鳥局で1 mSv<sup>h</sup>を上回る高空間線量率が記録されていた。

12日夜から13日未明にかけて、福島第一原子力発電所から約120km 北北東に存在する女川原子力発電所においても異常な空間線量率が計測された。福島第一原子力発電所周辺では12日早朝より放射性物質の環境中への漏洩が記録されており、また午後にはベントや1号機の水素爆発による大量の放射性物質の放出があった。これらの放出と女川原子力発電所における測定値との関係を調べるため、AIST-MM による解析を行った。この結果ベントや爆発によって14時頃から放出された放射性物質は19時頃陸上から仙台湾上に進みさらに女川に達した。一方、福島第一原子力発電所周辺では18時以降陸風に変化し、この風により最短距離を飛んできた放射性物質もほぼ13日未明に女川に到達したと考えられる。また、20時40分および22時40分ころの女川原子力発電所におけるピークは、午前中に福島第一原子力発電所周辺で放出された放射性物質によるものと考えられる。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 放射性物質の拡散・沈着、空間線量率

**【研究題目】森林生態系の炭素代謝プロセス動態の時空間的変動機構の統合的解明と温暖化影響予測**

**【研究代表者】** 村山 昌平（環境管理技術研究部門）

**【研究担当者】** 村山 昌平（常勤職員1名）

**【研究内容】**

本研究の目的は、森林生態系の炭素循環ならびに炭素固定機能を決める生態系呼吸の動態メカニズムと林冠光合成生産力の関係を、生態系生理学的手法と大気化学的手法を結合したアプローチにより解明し、森林生態系機能の機構解明と変動予測研究の精緻化を進めることである。落葉広葉樹林と常緑針葉樹林を対象として、森林葉群の生理生態（光合成、呼吸）、土壌呼吸、森林 CO<sub>2</sub>フラックス、近接リモートセンシング等の複合的観測と安定同位体分析を組み合わせることにより、(1) 生態系呼吸プロセス（枝、幹、土壌呼吸）の時間的変動と環境応答特性と、(2) 林冠光合成生産力のフェノロジーの関係に基づいて、(3) 光合成から呼吸に至る炭素分配・代謝フラックスの動態機構を解明し、(4) 森林炭素動態の詳細・広域評価を展開する。これらのうち、産総研では大気化学的手法によるアプローチを担当する。

H26年度は、高山落葉広葉樹林サイトにおける、各呼吸プロセスの寄与を評価するために、CO<sub>2</sub>フラックス、大気中 CO<sub>2</sub>濃度、気象の連続観測および大気、土壌空気、降水、土壌水、大気中水蒸気の同位体観測を行った。これまでに得られた炭素同位体データに基づき、夜間の

生態系に対する土壌呼吸、葉呼吸の寄与の季節変動の解析を行い、春～秋にかけて土壌呼吸の寄与の割合が増大することを明らかにした。また、推定の高精度化のためには、大気-葉内間の  $\text{CO}_2$  濃度差が小さい期間の葉呼吸起源の  $\text{CO}_2$  酸素同位体比の推定法の改良が必要であることが分かった。水試料の同位体分析を効率的に行うためにレーザ分光法による同位体分析装置を導入し、性能試験を開始した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】炭素循環、安定同位体、森林生態系、生態系呼吸

【研究題目】インドにおける医薬品及び薬剤耐性菌環境汚染調査

【研究代表者】山下 信義（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

今年度は高濃度の化学汚染が予想されるチェンナイにおいて、河川水・底質試料を採取した。これらの一部について分析した結果、内分泌かく乱物質のビスフェノール濃度が依然として高く、インド特有の化学汚染の存在が確認された。

さらに世界で最も汚染された河川の一つとして有名なクム川について上流から下流まで調査を行い、河川水、表層底質と特に柱状底質試料を採集し、医薬品と内分泌かく乱物質の分析を行った。その結果、表層泥で高濃度であったオフロキサシンの歴史的汚染に関する情報を得ることに成功し、これとあわせ40種余りの医薬品・抗生物質と薬剤耐性菌の関連性について解析した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】薬剤耐性菌、医薬品汚染、インド

【研究題目】氷で制限されたナノマイクロ空間の分析化学

【研究代表者】半田 友衣子（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】半田 友衣子、山本 佳孝（常勤職員2名）

【研究内容】

究極の環境調和物質である水が形成する氷が創り出す特徴的な構造と性質を利用して、他の物質ではなし得ない計測と低環境負荷な物質分離、センシング、好感度計測を行うことを目的とする。その1つとして、ハイドレートを形成するガス分離に着目した。テトラブチルアンモニウムブロミドが形成するセミクラスレートハイドレート (TBAB-CH) は12面体の空ケージを有し、ガス分子を選択的に包接することが知られている。しかし、ガス分子認識反応に関わる詳細は明らかになっていない。本研究では、TBAB-CH におけるガス包接選択性と分離現象の解明を目指して、TBAB-CH を固定相とするガス

クロマトグラフィーの実験系を設計した。26年度は、カラム恒温槽と FID 検出器の導入により、これまで問題であった温度制御と検出感度の問題を解決した。ハイドレートを形成することが知られている  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CH}_2\text{F}_2$  をサンプルガスとして保持時間を測定すると、保持の強さは  $\text{CH}_4 < \text{CHF}_3 < \text{CH}_2\text{F}_2$  であり、TBAB-CH を固定相とするガスクロマトグラフィーが方法論的に可能であることを示した。また、ガス選択性は、ハイドレート生成のしやすさを反映した結果であると考えられ、本手法を通じて TBAB-CH のガス包接選択性に関わる情報を得られることが示唆された。現時点ではカラムの性能が低いことが問題点であり、さらに詳細な議論を可能にするために、今後カラム性能の向上が必要である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】ハイドレート、クロマトグラフィー、ガス分離

【研究題目】英国における海洋漏出  $\text{CO}_2$  の環境影響評価のための実海域実験

【研究代表者】鈴木 昌弘（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】鈴木 昌弘、塚崎 あゆみ（常勤職員2名）

【研究内容】

海底下地層を対象とした二酸化炭素回収貯留 (CCS) 技術は、温室効果ガス排出削減オプションとして期待されている。当該技術の実用化に向けては、国際条約 (ロンドン条約1996年議定書) や国内法 (海防法) により、地中の貯留層から海洋環境への万が一の二酸化炭素の漏洩を想定した環境影響評価と監視 (モニタリング) の実施が定められている。2012年、英国アドマッキニッシュ湾において日英共同による二酸化炭素漏洩実験 (QICS) が行なわれ、漏洩二酸化炭素の影響やその検出手法の評価が世界で始めて実施された。当該研究課題では、計画が進められてきた第2次 QICS のために、その事前ベースライン調査と第1次 QICS の事後調査を兼ねた現地観測を実施するものである。平成26年度は第1次 QICS の試料およびデータの解析を進め、漏洩二酸化炭素の挙動、生物影響、堆積物中栄養塩の動態などを解析した。また QICS の国際ワークショップを開催し、成果の発信を進めるとともに、平成27年度以降の実験計画について国内外の関係者と議論した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】二酸化炭素、CCS、環境モニタリング、環境影響評価、栄養塩

【研究題目】選鉱・製錬技術を用いた2次電池からのレアメタルの分離と回収

【研究代表者】古屋仲茂樹（環境管理技術研究部門）

【研究担当者】古屋仲茂樹、藤木由美子

(常勤職員1名、他1名)

**【研究内容】**

リチウムイオン電池やニッケル水素電池はEVやHEVのような自動車に用いられる2次電池である。金属資源はエネルギー資源とは異なり、使用後も製品の形として残っている。レアメタル資源の偏在性や資源ナショナリズムのために日本ではレアメタルの確保を強く求められている。本研究では選鉱技術を駆使して2次電池からレアメタルをリサイクルするプロセスを開発することを目的とする。本研究は関西大学環境都市工学部芝田隼次教授(研究代表者)との共同研究であり、当所が粉砕・物理選別工程を、関西大学が湿式処理によるレアメタル回収工程をそれぞれ担当している。

本年度は、前年度までに得られたリチウムイオン電池とニッケル水素電池の焼成条件、粉砕条件、ならびに物理選別に関する操作条件を再度見直すとともに、その再現性に関する検討を実施した。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** リサイクル、二次電池、レアメタル、粉砕、分離、回収

**【研究題目】** 海洋化学トレーサの組み合わせによる南大洋における人為起源二酸化炭素吸収量の見積り

**【研究代表者】** 山下 信義(環境管理技術研究部門)

**【研究担当者】** 山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子(常勤職員2名、他1名)

**【研究内容】**

本研究課題の目的は、南極大陸をとりまく南大洋における、人為(化石燃料)起源二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の吸収能力をより正確に評価することである。海洋における人為起源CO<sub>2</sub>吸収量は大気中CO<sub>2</sub>濃度の上昇にともなう地球温暖化予測に必要な不可欠な情報であるが、限られた観測データによるその見積りには大きな不確かさが含まれる。特に広範な南大洋における吸収能力はその重要性が指摘されつつも、これまでに得られている解析結果間の差異は大きい。本課題では、溶存無機CO<sub>2</sub>濃度増加から直接人為起源CO<sub>2</sub>増加量を求めるだけでなく、海洋化学トレーサと呼ばれる炭素14、セシウム137、フロンガス、人工フッ素化合物を同時に測定することで、南大洋における人為起源CO<sub>2</sub>増加量の見積りの確度を上げ、同海域におけるその吸収能を評価することを目的とする。

(独)海洋研究開発機構の「みらい」航海MR14航海に参画し、本研究に用いる海水試料採取、船上でのデータ取得をほぼ予定通りに実行することができた。特にPFASsの外洋海水分析法の信頼性を向上させるために従来使用されているWAXカートリッジの最適化実験を行う事でPFASsの外洋海水分析に特化した分析法を開発する事に成功し、この成果を投稿論文として公表した。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 気候変動、海洋科学、地球化学、地球変動予測、環境分析

**【研究題目】** 都市気象・建物エネルギー連成数値モデルの熱環境・電力需給予測への実証的適用

**【研究代表者】** 高根 雄也(環境管理技術研究部門)

**【研究担当者】** 高根 雄也、亀卦川 幸浩、井原 智彦(常勤職員1名、他2名)

**【研究内容】**

本研究では、研究代表者らが開発を進めてきた「都市気象・建物エネルギー連成数値モデル」を改良・適用し、大都市の電力需給と地上気象・熱環境を時間分解能1時間・空間分解能500mの通年・高解像度で予測する都市エネルギー・気象予測モデルとしての性能の実証を目的とする。電力会社の協力により街区スケール解像度の電力実需要をモニタリング可能な大阪都市圏を対象とし、あわせて都市熱環境と電力需給の支配因子の一つである日射量について従来にない高空間解像度の通年測定を実施する。これらの実測資料との比較を通じ、連成数値モデルによる気象・熱環境と電力需要の通年再現性を検証する。加えて、都市域にける日射量の空間非均一性が太陽光発電普及時の街区スケールの電力需給ギャップに与える影響の定量化等を試みる。

昨年度は、前年までに大阪都市圏において高密度で観測した全天日射量と地上気象要素、さらには街区単位の高解像度電力需要データを用いて、日射量・気象要素への依存性を表現する電力需要の重回帰予測モデルを構築した。また、連成数値モデルによる数値実験を行い、地上気象・日射量、街区電力需要とその各気象要素への感応度および広域総電力需要について、実測値との比較により予測精度を検証した。

今年度は、上記の精度検証をさらに進め、必要があれば連成数値モデルの改良を進めていく予定である。そして最終的に都市域にける日射量の空間非均一性が太陽光発電普及時の街区スケールの電力需給ギャップに与える影響の定量化等を試みる。

**【分野名】** 環境・エネルギー

**【キーワード】** 都市温熱環境モデル、数値シミュレーション、電力需給、太陽光発電

**【研究題目】** イオン・陽電子同時照射系を用いるトランジェント陽電子計測法の開発

**【研究代表者】** 木野村 淳(計測フロンティア研究部門)

**【研究担当者】** 木野村 淳、大島 永康、オローク・ブライアン、鈴木 良一、小川 博嗣、西島 俊二(常勤職員5名、他1名)

**【研究内容】**

電子直線加速器を用いた低速陽電子ビーム源では、加速器の電子パルスに依存して瞬間的に非常に強いパルス陽電子ビームが得られる。本研究では、このような電子加速器による陽電子源の特徴を生かし、パルスイオンビームとパルス陽電子ビームを同期して材料に照射し、イオン照射誘起欠陥の過渡状態を評価できる新しい測定法（複合ビーム分析法）を開発する。平成26年度は装置の改良を進めるとともに、開発した装置を用いて照射実験を進めた。試料台周辺の電極構造と制御プログラムの見直しを行いビームの照射精度の向上を図った。さらに、試料や照射条件に応じて、短周期と長周期の二つのモードが使えるようにした。短周期モードでは、イオンビームのパルス1回に対し、陽電子ビームのパルスが1回来るのに対し、長周期モードでは、イオンビームパルスが1回来た後に、複数回の陽電子ビームパルスで測定を続ける。また照射実験として、純 Ni、純 Fe および熔融石英試料に対して、温度を変えて複合ビーム分析を行い、陽電子寿命スペクトルの変化を調べた。純 Ni 試料に対しては、試料温度400℃以上で、表面からの陽電子の再放出強度がイオン照射で表面に欠陥が導入されることにより縮小するが、ビーム照射後、数100 s のオーダーで時間とともに回復する現象が見られた。この事を利用して、照射中の過渡的な欠陥が評価でき、その時定数の測定も可能である事が示された。また、純 Fe 試料についても、表面からの陽電子再放出が確認され、純 Ni 試料と同様に実験が可能であることが示唆された。一方、石英試料に対しては、様々な温度で照射を行いポジトロニウム強度の低下速度（損傷導入速度）を調べることによって、損傷に関わる活性化エネルギーの測定が可能であった。これらの実験結果から、本研究で開発した複合ビーム分析装置を用いることにより、試料へのイオンビーム照射中または照射直後に起こる照射誘起欠陥の動的挙動の観測が可能であることが示された。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】陽電子消滅分光、照射損傷、その場分析

【研究題目】分子トンネルイオン化の量子制御を利用したレーザー場フーリエ合成

【研究代表者】大村 英樹（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】大村 英樹、齋藤 直昭  
（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究課題の目的は、2色の位相制御レーザーパルスによる気体分子の異方性トンネルイオン化の量子制御技術を多色の位相制御レーザーに発展させ、従来技術では困難であった課題に対して原子分子制御の質的転換を目指した新しい方法論を提示することである。具体的な課題は、1. 多色位相制御レーザーパルスにおいて各周波数成分の相対位相の計測と制御が可能、レーザー場フーリエ合成装置の作製、2. フーリエ合成された多色位

相制御レーザーパルスによって駆動された光電子の運動を追跡するイオン-光電子同時検出装置の高性能化、3. 強いレーザー場による分子トンネルイオン化の精密な理論の構築と実験との詳細な比較検討である。

各課題に関する今年度の成果は以下の通りである。

1. ナノ秒 Q スイッチ YAG レーザーの高調波の相対位相を制御する多色位相制御レーザーパルス発生装置を作製した。昨年度に引き続き4色位相制御レーザーパルスを3原子分子（OCS）に照射する実験を行い、位相に強く依存する配向選択分子イオン化の詳細なデータの取得を行った。得られた実験結果は理論的な予測と定性的に一致することがわかった。
2. 昨年度に引き続き、電解イオン顕微鏡を基本構造とした原子分子溜め込み型真空チェンバーによるイオン-光電子追跡装置の改良を行った。従来の10Hz から1KHz の繰り返し周波数のレーザー照射による実験が可能となったとともに、窒素トラップの改良により、長時間の実験が可能となった。
3. シーガート漸近理論をもとに、弱電場漸近理論を開発し、その高次補正項、分子内の角運動量の効果、多電子系の理論を構築し、計算コードの開発を行った。さらに、強いレーザー場による分子トンネルイオン化の際の垂直な運動量分布に関する理論的研究を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】量子制御、コヒーレント制御、位相制御レーザーパルス

【研究題目】イオン価数弁別可能な超高速超伝導ナノストリップライン分子検出器の開発

【研究代表者】全 伸幸

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】全 伸幸（常勤職員1名）

【研究内容】

質量分析装置は、原子やタンパク質などの生体分子をイオン化した後、高電圧パルスを印加して飛行させ、検出器に到達するまでの飛行時間を測定することにより原子・分子イオンの質量電荷比 ( $m/z$ ) を得ることができる分析装置である。しかしながら、原子・分子をイオン化する際にイオンの価数 ( $z$ ) を制御することは不可能であり、質量 ( $m$ ) を一意に決定することはできない。

超伝導ストリップ検出器は、超伝導ストリップ線から構成される検出器であり、超伝導ストリップ線に印加するバイアス電流の大きさを調整することによってイオン価数の識別が可能である。一方、質量分析装置では、イオンビーム径同等のサイズ、かつナノ秒の高速応答を示す検出器が必要とされており、原理的には超伝導ストリップ線を並列に接続した並列型超伝導ストリップ検出器によって所望の検出器が実現される。しかしながら並列型超伝導ストリップ検出器では、イオンを検出する度に、各超伝導ストリップ線を流れるバイアス電流の大きさが

変化してしまい、イオン価数の識別が不可能になってしまう。

本年度は、並列型超伝導ストリップ検出器において、イオンを検出してもバイアス電流の値が変化しない仕組みを発明し〔特願2014-218137〕、実際に検出器の出力波高値分布を計測することによってバイアス電流が一定であることを確認した〔招待講演 2<sup>nd</sup> International Workshop on Superconducting Sensors and Detectors (IWSSD), Shanghai (China)〕。並列型超伝導ストリップ検出器においてイオン価数識別が可能になり、本研究の目的を達成した。ミリメートルの検出器サイズ、ナノ秒の高速応答、および従来の検出器を凌駕する検出感度を併せ持ち、かつ価数識別が可能な本検出器は質量分析のみならず、アトムプローブなど様々な分析装置への応用が期待できる。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕質量分析、検出器、超伝導、価数弁別、価数分離

〔研究題目〕レーザーコンプトン散乱 X 線による可視不能生体材料のリアルタイム可視化装置の開発

〔研究代表者〕豊川 弘之（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕黒田 隆之助、平 義隆、田中 真人、三浦 永祐、鶴島 英夫（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は、小型電子リニアックと高出力レーザーとを駆使したレーザーコンプトン散乱 X 線発生技術の高度化によって、可視不能ステントのような体内に注入した超微細構造材料をリアルタイムに可視化する技術を開発することを目的としている。

本年度はエネルギー数10 MeV の電子ビームと800 nm チタンサファイアレーザー光子によるレーザーコンプトン散乱によって約30 keV の準単色 X 線を発生し、これを用いて模擬血管内部に封入した塞栓コイルの可視化実験を行った。具体的には35 MeV の電子ビームを用いて約28 keV の X 線を生成した。光源から約1.8 m 地点にステント及び塞栓材であるコイルを、約4.0 m の地点に検出器（イメージングプレート）を設置し、拡大系（2倍程度）によるイメージングを行った結果コイルの可視化に成功した。また可視化実験での画像の比較のため、臨床で使用されている複数のコイルを収集した。衝突用チタンサファイアレーザーのプリアンプの結晶が焼損したため、再研磨加工による修復作業を行った。その結果出力は従来の7割程度まで回復した。今後は結晶のアライメントと電子ビームとの衝突位置を再調整し、レーザーコンプトン散乱 X 線の発生を目指す。電子加速器の冷却水システムの制御回路に一部不具合が発生したが早期の点検で発見できたため実験前に修理することが

できた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕レーザーコンプトン散乱、単色 X 線源

〔研究題目〕近接場過渡吸収イメージング分光装置の開発と次世代有機太陽電池への応用

〔研究代表者〕松崎 弘幸（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕松崎 弘幸（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、近接場顕微鏡技術を始めとする光学顕微分光技術とフェムト秒時間分解分光技術を組み合わせ、数百ナノメートルオーダーの高い時間分解能を実現する過渡吸収イメージング分光装置の開発を行う。さらに実際に開発した過渡吸収イメージング分光装置を有機ナノ構造体の一つであるバルクヘテロ接合型有機薄膜太陽電池材料等に適用し、それら太陽電池において、光生成した励起子や電荷の振る舞いを高時間分解能・高空間分解能で精密に追跡し、時間軸・空間軸の両面でアプローチし実証的に把握することで、電池性能の向上を阻む要因を明らかにすることを主な目的とする。

平成26年度は、昨年度から引き続いて、励起光と検出光を独立に位置制御し、励起子やキャリアといった光励起種の時空間ダイナミクスを、高感度・高空間分解能・広実感領域で時間分解して追跡可能なフェムト秒過渡吸収イメージング分光装置の構築のために、その要素技術、システムの高度化、ならびに実材料・デバイスへの応用を進めた。空間分解測定を行うために導入している検出器側の対物レンズのピエゾ可動ステージ制御と従来の過渡吸収信号取得システムとを統合した測定ソフトウェアシステムについて、一部不具合に対する原因究明と書き換え、また測定スキームの簡略化などの改良を実施した。また、検出感度については、昨年度から引き続き、高感度性を活用して、ドナー・アクセプタ分子結合型ポリマーを構成成分とする有機薄膜太陽電池の光電変換過程の解析への適用を進めた。具体的には、ポリマーニート膜と、異なる有機溶媒から作製し、混合状態及び電池性能が異なる2種類のポリマー・フラーレン誘導体ブレンド膜について、フェムト秒過渡吸収分光測定を行い、3試料に対する詳細な励起強度依存性及び弱励起下での計測結果の比較から、電荷発生に寄与しない励起子由来の成分と電荷に由来する成分を定量的に切り分けて測定することに成功した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕有機薄膜太陽電池、フェムト秒過渡吸収分光、顕微分光、光電変換

〔研究題目〕生体光計測のための強度相関イメージング技術の研究

〔研究代表者〕白井 智宏（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕白井 智宏（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

予防医学分野において重要視されている生体光イメージング技術の性能を飛躍的に向上させるブレークスルーとして、光の強度相関に基づく量子イメージングの原理が有望であることを見出してきた。本研究では、この技術の実用化に向けた新しい展開として、量子イメージングの特徴を活かしつつ、量子光源を使用せずに生体イメージングへの応用に適した強度相関イメージングを実現する方法の確立を目指す。具体的には、検出光学系を大幅に単純化するために、半導体光検出器における二光子吸収を利用した古典的強度相関検出法の適用可能性を検証する。また、高感度かつ機械的な走査が不要な古典的強度相関に基づく断層イメージング（OCT: Optical Coherence Tomography）技術を新たに構築する。

昨年度の研究では、量子 OCT と周波数領域の従来型 OCT を融合することにより、量子 OCT に匹敵する性能をもつ OCT を、従来型 OCT と同じタイプの光源を利用して実現する理論基盤を構築した。その際に示された基本光学系は、量子 OCT と同様に2台の検出器を必要とするなど、従来型の OCT に比べてやや複雑な構成となっていた。そこで平成26年度は、基本光学系の再検討を行い、従来型 OCT とほぼ等価な光学系に基づき当該技術が実現できることを理論と実験により明らかにした。具体的には、検出器が1台設置されたマイケルソン型の干渉計を考え、その参照ミラーをピエゾ駆動のステージ上に固定する。その参照ミラーの移動前と、半波長の距離を移動した後のスペクトルを取得し、これらのスペクトルを利用して強度相関を評価する。干渉計として光ファイバカプラを利用した光学系を構築し動作の検証実験を行ったところ、理論に一致して、分解能の向上と分散に不感な性質を示すことが確認された。これらの結果から、昨年度に構築された新しい OCT 理論の正当性と実現可能性が明らかとなった。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕生体医用光計測、強度相関、断層イメージング

### 〔研究題目〕基板吸収型超伝導トンネル接合 X 線検出器の開発

〔研究代表者〕志岐 成友（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕志岐 成友（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

本研究は、微細加工された Si 単結晶を吸収体とする超伝導トンネル接合（STJ）検出器を開発し、高感度かつ高分解能の X 線分光検出を実現することにより、X 線吸収分光法に革新をもたらすことを目的としている。この目的の実現のため、STJ 検出器を形成した Si 基板に微細加工を施す技術の研究、および Si 基板に施す加工が STJ 検出器に与える影響の評価を行っている。平成25年度の研究により二つの課題(1) Si 基板に加工を行

う際に線幅が設計値20ミクロンに対して35ミクロン程度になること(2) 入射方位により波高スペクトルの形状が異なること、が明らかになった。平成26年度はそれらを解決するための取り組み、検出器の試作、試作した検出器の評価を行った。

フォトレジストよりエッチング耐性が高い材料としてメタルマスクを利用したところ、線幅の設計値からのずれは従来の1/4以下となった。今年度作製した検出器では、昨年度作成したものに比べて応答が半分程度であり、読出しノイズおよびエネルギー分解能は昨年度製作したものより悪かった。応答が小さい原因を探るため赤外線顕微鏡を用いて透過像観察を行ったところ、吸収体と STJ 検出器の位置が最大で50ミクロンずれていることが明らかになった。この値は吸収体サイズの半分に相当するため、波高を低下させる原因の一つと考えられる。また光源と検出器の間に直線導入機およびスリットを導入し波高スペクトルの入射位置依存性を測定可能とした。入射位置依存性は、高エネルギー加速器研究機構放射光施設 BL-11B に於いて実施した。吸収体の中心に X 線が入射した際には波高が高く、周囲では波高値が低いこと、特定の照射部位では異常に波高が高い成分があることがわかった。異常に波高が高い成分が生じる原因は不明だが、吸収体と検出器の位置がずれていることと関係あるかもしれない。

来年度は STJ と吸収体の位置のずれへの対策を行い、エネルギー分解能100eV 以下を目指す。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕蛍光 X 線分析、X 線吸収分光、超伝導トンネル接合、エネルギー分解能

### 〔研究題目〕イオン液体を用いた高集束性液滴ビーム源の開発：有機系試料の高精度 SIMS への展開

〔研究代表者〕藤原 幸雄（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕藤原 幸雄（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

二次イオン質量分析法（Secondary Ion Mass Spectrometry：SIMS）は、一次イオンビームを試料表面に照射することで生じた二次イオンを質量分析する手法である。分析対象が無機材料の場合には、酸素やセシウム等のイオンビームが用いられ、高い面分解能の SIMS 分析が可能となっている。一方、有機材料の場合には、イオンビーム照射に起因する有機分子の解離（＝フラグメンテーション）が避けられず、分子量の大きな二次イオンはほとんど検出できないという問題があった。

ところが、近年、炭素や金等のクラスターイオンを一次イオンビームとして用いることで、比較的大きな有機分子も検出できるようになり、半導体産業のみならず、化学分野等においても、SIMS の応用範囲が広がっている。



本研究は、有機系試料に対する SIMS 分析の更なる高度精度化を目的として、イオン液体を高真空中でエレクトロスプレーする方式の帯電液滴ビーム源を開発し、SIMS 分析に応用するものである。イオン液体は、室温においても液体状態である塩（えん）の総称である。蒸気圧がほとんど無いため、真空中でも蒸発せずに液体として存在し、またそれ自体がイオン性の液体であるため、高真空中においてもエレクトロスプレーが可能であることが大きな特徴である。

本年度は、昨年度に製作した帯電液滴ビーム源のエレクトロスプレー部を改造し、13kV 以上の高電圧においてもイオン液体ビームを安定に生成することが可能となった。また、改造した帯電ビーム源を SIMS 装置に設置し、イミダゾリウム系のイオン液体を用いて、アミノ酸の一種であるアルギニンなどの SIMS 分析が可能であることも確かめた。しかし、得られた二次イオン強度が小さく、二次イオン強度の向上が今後の課題であることが明らかとなった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】表面分析、イメージング質量分析、イオン化

【研究題目】構造体健全性診断のための超音波伝搬可視化法による定量的非破壊評価

【研究代表者】山本 哲也（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】山本 哲也（常勤職員1名）

【研究内容】

パルスレーザー走査を適用した欠陥検出装置において、センサ（探触子）を複数か所に配置することにより、レーザー励起された超音波の伝搬挙動を異なる場所での多系統の信号として同時にモニタリング・映像化を行うことを検討した。センサを1か所だけに配置して各地点からの散乱波を個別に取り扱う従来の測定法と比較し、計測・映像化（診断）に係る時間を大幅に削減することが可能であるという利点に加え、き裂等の線状欠陥においては散乱現象の面内方向性によりセンサの位置によってはこれまで捉えにくかった現象でも、複数か所からの信号の受信・映像化により、より簡易かつ確実に把握することが可能であることを示した。

次に、より高い信頼性を有する欠陥検出法の確立に向けて、マイクロ波を用いた欠陥検出に関して検討を行った。具体的には、金属円形パイプの内部にマイクロ波を給電するための同軸構造の最適設計を行った。様々なパイプ径に対して反射特性が最適となる内導体（センターピン）の長さを導出した。さらに、同軸構造において外導体内径の形状を変化させたステップ構造を新たに提案し、本構造を適用することで、さらなる広帯域化が図れることを示した。レーザー励起超音波を用いた欠陥検出手法と併せて適用することで、より信頼性の高い欠陥検出が行えることが大いに期待できる。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】非破壊計測、波動伝搬、劣化予測・診断、可視化

【研究題目】ファイバ・リング・レーザを用いた FBG 振動検出システムの開発

【研究代表者】津田 浩（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】津田 浩（常勤職員1名）

【研究内容】

ファイバ・リング・レーザの共振ミラーを FBG とする振動システムの基礎的特性を明らかにすることを目的に、今年度はシステム構成や偏光状態などが振動検出能に及ぼす影響を評価し、下記の結果を得た。

1. レーザ発振波長の安定性を評価することを目的に、1GHz の FSR を有する超狭帯域ファブリ・ペロー干渉計を用いて、ファイバ・リング・レーザの多モード発振の有無を調べた。反射帯域の広い短いグレーティング長の FBG を用いた振動検出時においても、安定した単一モード発振していることが確認された。
2. ファイバ・リング・レーザシステムによる超音波検出感度に及ぼす共振器長の影響を評価するため、1)FBG とファイバ・リング・レーザとの光路長を伸ばす、2)ファイバ・リング・レーザのリング長を伸ばす、の二種類のシステムを形成して、超音波検出実験を行った。その結果、1)の FBG とリング・レーザの距離を伸ばしたときに超音波検出感度が大きく低下することが明らかになった。
3. 偏光状態がリング・レーザの発振強度に及ぼす影響を評価することを目的に、偏波保持ファイバ、偏波無依存ファイバから構成される二種類のシステムを構成した。偏波保持ファイバから構成されるシステムはレーザ発振強度が不十分で、偏波無依存ファイバを利用した方が振動検出システムに適していることを明らかにした。
4. 複数の FBG を設けて多重レーザ発振を試みたが、現状技術の半導体光アンプ、EDFA を利用して安定した多重レーザ発振を実現することはできなかった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】非破壊検査、光ファイバセンサ、衝撃検知、振動検出

【研究題目】超短パルス制動ガンマ線を用いた欠陥分布3次元イメージングに関する研究

【研究代表者】平 義隆（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】平 義隆（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、材料劣化の原因となる空孔型格子欠陥の分布を3次元イメージングする手法を世界に先駆けて開発し、さらに実環境下測定及び短時間測定、空間分解能向上を目指した小型検出器の技術開発を行う。3次元イ

イメージングの測定手法は、材料内部へ深く浸透するガンマ線を用いて局所的に陽電子を発生させ、その陽電子の消滅位置と寿命を観測することで達成する。

今年度は、前年度開発した Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>シンチレータを用いた小型検出器を用いて理論的な寿命値の異なる単結晶金属（銅、鉛、タンタル）の寿命測定を行った。1対の検出器を用いて3次元イメージングを行うためには、コリメータを用いて入射ガンマ線のビーム径を絞り、消滅ガンマ線の消滅位置を特定するためにアパーチャーを設置しサンプルを移動しながら寿命値を測定する必要がある。コリメータの直径を2 mm、アパーチャーの直径を5 mmとして測定した場合、陽電子寿命の評価に最低限必要な5000カウントを測定するのに要した時間は鉛の場合で48分であった。材料による寿命の測定値は変化することが測定されたが、誤差の範囲を超えて寿命値が異なることを測定することはできなかった。これは、測定システムの時間分解能が大きく、統計誤差が大きいたことが原因と考えられる。また、3次元イメージングを行うためには高い電流量をもつ電子ビームが必要であることが分かった。例えば、5 mm 立法の物体を1 mm<sup>3</sup>の分解能で1時間以内に測定するためには、現在の6200倍の電流量である78マイクロアンペアの線形加速器が必要であることが分かった。現在は検出器を1対使用しているが検出器の数を増やすことも測定時間短縮の有用な方法である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】超短パルスガンマ線、陽電子消滅寿命測定、PET、Yb:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>シンチレータ

【研究題目】引張りによる高分子部材の構造変化を検出するレオ・オプティカル近赤外分光器の開発

【研究代表者】新澤 英之（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】新澤 英之（常勤職員1名）

【研究内容】

高分子材料の機械強度を評価する一般的な方法としては引張試験が挙げられる。引張試験は、対象となる試料を徐々に引き伸ばし、それに伴う流動的な変形を計測することで、材料の耐変形特性を調べることができる。しかしながら、高分子材料の機械強度は本質的に高分子鎖の分子レベルでの流動変形に起因しており、試料に機械強度をもたらすメカニズムを解明するためには、引張試験時の構造変化を分子レベルで捉える必要がある。本研究ではこのような材料の機械変形を分子レベルで評価する技術として、レオ・オプティカル近赤外分光器の開発を行った。

前年度までに作成した分光システムを用いて、種々のポリマー材料のレオ・オプティカル解析を行い、引張による高分子鎖の流動変形機構の解明を試みた。ナノクレイを分散させたポリプロピレン複合材料のレオ・オプテ

ィカル解析では、引張によりポリプロピレンのアモルファス鎖が配向することで弾性変形を示し、さらに引張が進むことで隣接する結晶部分の流動変形が生じることが明らかになった。さらに、ポリプロピレン中にナノクレイが存在する場合は、クレイの層間に高分子鎖が挟み込まれるために、アモルファスと結晶の流動変形が同時に進行し、そしてこのために高い引張強度を示すことが明らかになった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】近赤外分光法、引張試験、高分子、ケモメトリックス、二次元相関分光法

【研究題目】質量顕微鏡による高空間分解能分子動態解析

【研究代表者】高橋 勝利

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】高橋 勝利（常勤職員1名）

【研究内容】

シロイヌナズナの芽生え・根をはじめとして様々な植物の様々な組織をテスト試料として、質量顕微鏡観察のための試料調製法を確立した。植物組織には細胞壁があり、細胞壁を取り除かないと細胞内部の物質にアクセスが出来ない。しかし常温下で細胞壁を取り除くと膨圧によって細胞が破裂してしまう。このため植物組織を急速凍結固定して極低温下で薄切し、細胞壁を取り除き細胞内部を露出させた状態で乾燥試料を作成する必要がある。しかし、シロイヌナズナの芽生えなどの柔らかい組織は凍結切片を作成せずとも、直接導電性ガラスの上に糊付けして測定するだけで、直接質量顕微鏡測定を行えることを見出した。

本年度は測定のスループットを大幅に向上させる目的で、サンプル交換時に必要であったイオン源の大気開放と真空の立ち上げを行わずに、複数サンプルをイオン源中に装着し、真空中でコンピュータ制御によってサンプルを切り替えて測定を行う、サンプルチェンジャーの設計と実装を行った。これにより8枚のサンプルを一度にイオン源内に装着し、真空を破ることなくイメージング測定を行う事を可能とした。これにより、イメージング測定のスループットの大幅向上に成功した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】質量顕微鏡、フーリエ変換型質量分析計、MALDI、イメージング、植物組織

【研究題目】真空紫外マイクロビームを用いた円二色性計測による隕石中のキラリティ分析手法の検証

【研究代表者】田中 真人

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】田中 真人（常勤職員1名）

【研究内容】

円二色性スペクトル計測はアミノ酸やタンパク質などのキラリティをもつ物質の構造解析に広く用いられている手法の一つである。本研究ではこのキラリティに敏感であるという円二色性の特徴を活かして、隕石試料などに含まれる有機分子のキラリティを円二色性により直接分析する手法を提案し、その有効性を検証することを最終目標としている。円二色性の波長領域としては紫外～真空紫外線領域を考えている。そのために円二色性スペクトル計測装置の高度化、特に高感度化や二次元分布計測システムの開発や理論計算との比較によるキラリティ・分子構造予測手法の開発を行うとともに、テスト試料を用いて、本装置ならびに手法を評価する。

本年度はまずシュバルツシルトミラーを用いて紫外～真空紫外線領域での40 μm×70 μm程度のマイクロビーム光を作製し、それを用いた円二色性および光吸収の二次元分布および円二色性スペクトル計測に成功した。この時試料としてアミノ酸の一種であるチロシンの薄膜をメッシュパターン状にフッ化カルシウム基板に真空蒸着法により製膜したものを用いた。この試料の円二色性・光吸収イメージング結果はメッシュパターンとはほぼ同等のものが得られた。また得られた実験結果から観測分子のキラリティや分子構造を予測するために、凝縮系での光吸収・円二色性スペクトルの計算が実用的に可能な性能の理論計算システムを構築した。次年度は更なる装置の高度化を進めていき、本分析手法の有用性の評価を行っていく。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】円二色性、宇宙科学、アミノ酸、真空紫外線、キラリティ、構造解析、分子構造

【研究題目】タンパク質機能発現の解明を目指した高強度テラヘルツ時間分解分光システムの開発

【研究代表者】黒田 隆之助  
(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】黒田 隆之助、田中 真人、平 義隆  
(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

本研究はキロアンペア級ピーク電流値を持つ超短パルス電子ビームから高強度テラヘルツコヒーレント放射光を発生するとともに、シングルショットテラヘルツ分光法、およびバンドパスフィルタを用いた簡易分光によって、タンパク質のテラヘルツ吸収分光計測を実施する。双方の分光手法を比較検討し、実用的なシステム的设计を行う。最終的に、溶媒測定および時間分解測定可能なレーザーポンプ・THzプローブ分光計測システムを構築して、タンパク質(アルブミン、ロドプシン等)の水和状態における時間分解計測を実現する。本研究によって従来型の低出力THz光源では不可能である水和タンパク質のダイナミクスをフェムト秒時間分解能で計測する

ことでタンパク質の機能発現に関する知見を得る。

今年度はYbファイバーレーザーシステムを構築して極短パルスの発生およびテラヘルツパルスとの同期技術の開発に成功した。また、加速器のTHz光とバンドパスフィルタを用いてタンパク質を分散した水溶液の分光計測を行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】テラヘルツ、シングルショット時間領域分光、コヒーレント遷移放射

【研究題目】水分子によって構成されるかご型ナノ空隙を有する物質の構造相転移

【研究代表者】竹谷 敏(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】竹谷 敏、藤久 裕司(常勤職員2名)

【研究内容】

包接化合物の構造と物性の相関を調べるうえで包接分子(ゲスト分子)の占有率の解析は重要であるが、従来の分光学的手法では、その精密評価は困難であった。新たなホスト-ゲスト化合物の設計へとつなげることを目指し、本研究では、位相差X線イメージング法を用いた密度解析によりこの問題を克服し、粉末X線回折によるゲスト分子の平均分布位置の解析と組み合わせ、骨格構造とゲスト分子の分子間相互作用の解析手法として確立させることを目指している。この方法論に基づき、かご型包接化合物であるガスハイドレートの、ゲスト分子種と温度の影響による骨格構造(ケージ)の変化とそれに伴う結晶構造相転移の関係を明らかにし、ガスハイドレートの物性への影響の理解と物性コントロールを目的としている。

従来のハイドレートの非破壊イメージング方法として、MRI(核磁気共鳴画像法)が活用されてきたが、この方法では、ガスハイドレートと水との識別は行えたが、ガスハイドレートと氷との識別はできなかった。そこで、低温型位相コントラストX線CT測定で、常圧下においても+4℃まで安定に存在可能なテトラヒドロフラン(THF)ハイドレートを用い、同一の試料の温度変化過程のX線イメージングを実施した。具体的には、-20℃(氷と共存状態)と+3℃(水と共存状態)でのその場観察を行い、造影剤なしでのガスハイドレートと氷および水との共存状態での可視化を実現した。

また、アルコールとメタンを含むガスハイドレートに関し、大気圧でも結晶が安定な低温(~-180℃)での粉末X線回折測定を行うことにより、結晶構造解析を行った。初期構造モデルの無い状態から、直接空間法とリートベルト法を用いた解析により、水分子で構成されるケージ構造中におけるゲスト分子の占有率、平均分布位置の解析に成功した。

今回の一連の研究においては、二つの異なる計測手法を用いてのハイドレート結晶の測定、解析手法を個別に最適化することができた。今後は、これらをあわせ総合

的な解釈が可能になるような実験の実施を予定している。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】X線構造解析、位相コントラスト X線イメージング、包接化合物、ガス貯蔵

【研究 題目】陽電子発生用超伝導加速器の電子銃開発

【研究代表者】オローク・ブライアン

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】オローク・ブライアン(常勤職員1名)

【研究 内容】

陽電子は物質中で電子と消滅して $\gamma$ 線(光子)を放出する。陽電子消滅分光は、試料中の欠陥等を非破壊的に評価する最も有効な手法である。産総研では、電子線形加速器を利用して発生した高強度低速陽電子ビームにより世界最先端測定技術を開発してきた。近年陽電子ビームをマイクロビーム化することにより欠陥イメージングや実環境測定を成功した。その技術を公開し、産業ニーズに十分対応可能な施設を構築することを目標とし、陽電子ビーム強度を増強するための超伝導加速器の開発している。

超伝導加速器の場合、入射電子パルスの特徴は長短パルス幅と高い繰り返しが必要となり、今まで通常のサーマル電子銃(とバンチャー)かレーザーフォトカソード電子銃がよく使われてきた。本研究はカーボンナノ構造ベースの電界放出型電子銃を利用して超伝導加速器用電子銃の開発である。26年度超伝導加速器と同期を取れる500MHzの同軸型空洞を設計して制作した。今後はカーボンナノ構造カソードを利用して、超伝導加速器用電子銃のテスト実験を行う。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】超伝導加速器、電子銃、電界放出型、カーボンナノ構造、陽電子発生

【研究 題目】針葉樹型カーボンナノ構造体電子源を用いた高輝度白色 X線源の開発

【研究代表者】加藤 英俊(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】加藤 英俊(常勤職員1名)

【研究 内容】

入射電子エネルギー100~150 keVにおいて、従来の金属ターゲットに対して輝度の向上が予想される透過型カーボンターゲットにより高輝度な X線が発生できることを実証するとともに、当研究グループにおいてこれまで使用してきた針葉樹型カーボンナノ構造体陰極電子源と組み合わせることにより X線スペクトルにコンタミネーション(不要な特性 X線ピーク)がない高輝度な白色 X線源の開発を行う。

本年度は、針葉樹型カーボンナノ構造体電子源の製作を行い、電子源とターゲットが両方カーボンで構成される X線発生装置の製作を行った。ターゲットに入力する電力増加に伴う、透過型カーボンターゲット上におけ

る局所的な加熱を軽減するため、ターゲットを回転可能とした。また、ターゲットの冷却が追いつかない場合は短時間のパルス高電圧印加を行うことを考慮し、高電圧回路の製作を行った。高電圧発生回路及び駆動回路は、短時間(1ミリ秒から1秒程度)の高電圧(~150 kV)発生が行える。これら X線発生装置と高電圧発生回路を使用し、加速電圧100 kV時における針葉樹型カーボンナノ構造体電子源からの電子出射及びカーボンターゲットからの X線発生を確認した。今後、100~150 kVの加速電圧における白色 X線の出射、及び、X線のエネルギースペクトル測定を行う。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】カーボンナノ構造体、カーボン、X線源、白色、高輝度

【研究 題目】超短電子ビームによる高強度ラジアル偏光テラヘルツを用いた巨視的光ピンセットの開発

【研究代表者】黒田 隆之助

(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】黒田 隆之助、平 義隆、豊川 弘之(常勤職員3名)

【研究 内容】

本研究は産総研の Sバンド小型リニアックから出力されるキロアンペア級ピーク電流値の高輝度・超短パルス電子ビームを用いて、誘電体チューブからのコヒーレントチェレンコフ放射、および金属薄膜を用いてテラヘルツ領域の高ピーク強度コヒーレント遷移放射を発生させ、これをラジアル偏光にして観測する。そしてこれを用いて光ピンセットの原理実証を行うことを目指す。

今年度はラジアル偏光したテラヘルツ光の発生に成功した。また検波器をスキャンすることによってビームプロファイルを測定した。検波器には電場方向依存性があるため、レンズで集光した場合には、焦点付近においてドーナツ状の電場強度プロファイルとなることが確認された。これは中心軸近傍では電場がビーム進行方向を向いていることに起因すると考えられ、光ピンセットの実現に向けた知見が得られた。

【分 野 名】計測・計量標準

【キーワード】電子加速器、光ピンセット、コヒーレント放射、ラジアル偏光

【研究 題目】テラヘルツ領域における世界初の円二色性スペクトル計測への挑戦

【研究代表者】田中 真人(計測フロンティア研究部門)

【研究担当者】田中 真人、黒田 隆之助、平 義隆(常勤職員3名)

【研究 内容】

本研究課題はテラヘルツ領域における円二色性や光学活性といった円偏光を用いた分析手法の開発を目指すも

のであり、特に医療・バイオテクノロジー・セキュリティなどの広い範囲に応用する技術の確立を最終的な目標としている。そのために本研究グループが今までに開発を進めてきた電子加速器などによる高強度テラヘルツ光源や、真空紫外域などで確立してきた高感度円二色性計測手法などの技術を駆使して、テラヘルツ領域における円二色性や光学活性スペクトル計測手法の構築や、そのための重要な要素技術である偏光度計測手法、偏光素子開発や評価などを併せて進めていく。

本年度は超短パルス電子ビームからのコヒーレント遷移放射を用いて円偏光の発生と偏光度計測手法の確立を行った。当所の S バンド電子加速器からの超短パルス電子ビームを金属ターゲットに衝突させることで、テラヘルツ領域のコヒーレント遷移放射を発生させ、周波数 2 THz に対応したバンドパスフィルタ、位相子、偏光子とテラヘルツカメラを用いて、発生するラジアル偏光の偏光度の二次元分布を明らかにした。また光路に1/4波長板や1/2波長板を挿入した時の偏光度の二次元分布の変化を観測し、特に1/4波長板挿入により左、右円偏光成分の発生とその位置の変化が生じることなどを観測した。

今後は本年度得られた成果を更に発展させた高精度偏光度解析システムの構築やそれを基にした円二色性・光学活性スペクトルシステム開発と検出を目指していく。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】テラヘルツ、円二色性、光学活性、キラリティ、偏光分光、禁止薬物

【研究題目】パイ共役分子／金属界面に現れる界面準位の起源および形成機構の解明

【研究代表者】細貝 拓也（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】細貝 拓也（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、フレキシブルデバイスとして期待されている有機 EL や有機太陽電池などの各種有機デバイスの高効率化の鍵となっている有機／金属界面のオーミック接触を実現するため、界面電荷移動（ICT）準位の形成機構を実験的に明らかにし、その形成条件を見出すことで、有機／金属界面電子物性の制御指針を確立することにある。

本年度には有機試料にジインデノペリレンを取り上げ、金属の種類や界面の接触構造（分子配向、結晶面、結晶性）による ICT 準位の形成の有無を分子科学研究所 UVSOR における角度分解紫外光電子分光法を用いて検討した。その結果、ICT 準位の形成に重要なのは、吸着分子の構造に Kekule 共鳴構造が潜在的に存在していること、金属原子の種類であり、その他の因子として分子配向や金属側の結晶性、結晶面には依存しないことを明らかにした。つまり、ICT を起こす直接的な原因として、分子側の分子軌道と金属原子側の原子軌道との原

子レベルでの局所的な相互作用が主要因であることを示唆する結果が得られた。また、下部電極との吸着だけでなく、実デバイスで形成される上部電極とにおいても ICT 準位は形成されることを見出した。したがって、実デバイスにおいても適切な分子と金属電極を組み合わせることでオーミック接触が実現可能であることが示される。今後は、ICT 準位から放出される光電子の波数空間における光電子放出マッピングを測定することにより、ICT 準位を形成している分子軌道の直接的描像を得ることでより詳細な ICT 準位形成のメカニズムが明らかになると考えられる。これによってひいては、分子の設計段階からの有機／金属界面電子物性の制御指針が確立されることが期待される。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】有機デバイス、有機半導体、有機／金属界面、電子構造、電荷移動

【研究題目】フェムト秒電子パンチの6D 位相空間分布計測可能な単一ショット非破壊モニターの開発

【研究代表者】黒田 隆之助

（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】黒田 隆之助、平 義隆

（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、理化学研究所が実施している極短電子パンチを10 fs の時間分解能で計測する電子ビームモニター開発に産総研が参画している。

今年度は、産総研 S バンド小型リニアックで発生可能なコヒーレント遷移放射及びコヒーレント回折放射のプロファイルと偏光分布をワイヤグリッド偏光子とテラヘルツカメラを用いて測定した。

コヒーレント遷移放射を測定した場合は、理論式で予測される通りに、その強度分布が円環状になることが観測され、放射状の偏光分布をもつラジアル偏光であることが分かった。

コヒーレント回折放射は、幅1 mm の金属スリットに電子ビームを通すことによって発生した。スリットの方角に対して直角方向に偏光分布をもつ放射が観測された。また、電子ビームがスリットの中心に対してわずかにずれた位置を通過すると、コヒーレント回折放射の強度分布が非対称になることも観測された。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】電子ビーム診断、コヒーレント放射、回折放射、EO サンプリング

【研究題目】サハリン島西方沖タートルトラフの天然ガスハイドレート生成環境の解明

【研究代表者】竹谷 敏（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】竹谷 敏（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

新たな天然ガス資源として期待され、地球上の海底下や永久凍土地帯等に天然ガスハイドレートの存在が確認されている。音波・音響探索により海底表層のガスチムニーや海底から立ち上がるガスブルームを指標とした海底堆積物の採取により、オホーツク海や日本海北部海域に海底表層型の天然ガスハイドレートの存在が確認されている。本研究では、粉末 X 線回折法と位相コントラスト X 線イメージング法を用いた天然ガスハイドレートの測定手法、結晶解析手法を確立する。天然に含まれるメタン以外の炭化水素にも焦点をあて、これらの成分が天然ガスハイドレートの結晶構造安定性に及ぼす影響を理解することを目的としている。

今年度は、天然ガスハイドレートを模したガスハイドレートを単純化した系で人工的に生成し、結晶構造解析を行うことにより、天然に存在するガスハイドレートの生成・分解メカニズムや特性の理解を目指した。主成分であるメタン、エタン、プロパン以外の、微量に含まれる天然ガス成分であるブタンやペンタンなど、大きい炭化水素分子が天然ガスハイドレートの結晶構造・物性に及ぼす影響、天然環境を模した条件でのガスハイドレートの生成・分解挙動を、粉末 X 線回折法による結晶構造解析により調べた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕X 線構造解析、包接化合物、ガス貯蔵

### 〔研究題目〕FT-ICRMS 分析を用いた森林の溶存有機物の構成種とその変動メカニズムの解明

〔研究代表者〕高橋 勝利（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕高橋 勝利（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

FTICR-MS を用いて、兵庫県宍粟市の森林中の地表及び地中から採取した水試料中の溶存有機物の測定を実施した。採取した水試料中の溶存有機物濃度は非常に低く、そのままでは FTICR-MS を使っても溶存有機物を高感度で検出することは難しい。従来は C18ディスクに溶存有機物を吸着させたのち、それを溶出・濃縮したうえで測定していたが、C18ディスク由来の物質が測定の邪魔になることが多かった。本研究では、C18ディスクを使った濃縮を行わず、水試料を凍結乾燥したのちに、測定溶媒に再溶解・濃縮を行う事により、より簡便に感度良く溶存有機物の FTICR-MS 分析を行うためのプロトコルを開発するとともに、兵庫県宍粟市の森林中から採取した水試料の分析を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕FTICR-MS、溶存有機物、質量分析

### 〔研究題目〕多結晶効果の高効率・高精度解明を実現するコンビナトリアル型照射損傷研究の新提案

〔研究代表者〕大島 永康（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕大島 永康（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

本研究は、原発機器構造物の照射環境下での経年劣化現象の機構解明を効率的に行うための“コンビナトリアル法”を取り入れた非破壊評価技術を開発するものである。コンビナトリアル法とは試料作製と特性評価を高効率・高精度に行う強力な実験手法で、元素濃度・損傷度等を多条件含む試料を1度に作製し、走査型プローブによる非破壊特性評価を行うことで、極めて効率良くデータを取得できる。さらに同時作製・評価により実験値のばらつきが低減される。この概念に基づき、本研究ではモデル金属試料の重イオン照射と陽電子マイクロビームによる物性評価を実施する。このうち、産総研では、陽電子マイクロビームを用いた非破壊評価技術の開発を行う。

今年度は、試料温度およびイオンビーム照射時間を調整することで損傷度を変化させた純鉄薄膜の陽電子マイクロビームによる非破壊評価試験を行いデータ解析を行った。この結果、試料中の陽電子寿命が試料温度・照射時間に依存することが確認され、陽電子マイクロビームのコンビナトリアル分析法が、薄膜金属試料の非破壊評価に有効であることが実証した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕陽電子マイクロビーム、照射損傷、コンビナトリアル法

### 〔研究題目〕立木用ポータブル X 線検査装置の開発と材質研究およびマツ材線虫病研究への適用

〔研究代表者〕鈴木 良一（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕鈴木 良一（常勤職員1名）

### 〔研究内容〕

木材の材質研究をはじめ野外の林木・樹木を対象にした立木用 X 線検査では、軽量、小型、バッテリー駆動可能な X 線源が必要とされている。本研究では、フィールド実証試験に用いることをめざして、年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等を二次元的に表示することが可能な立木用のポータブル非破壊材質検査装置開発を行う。

今年度は、小型軽量なカーボンナノ構造体電子源を用いたパルス X 線源と X 線ラインセンサーを搭載した立木用 X 線 CT 装置の開発を行った。この装置は、X 線源と検出器を比測定物の周囲を最小1度毎に回転させて X 線の透過分布を計測し、角度毎の X 線の減衰曲線を測定してこのデータから X 線 CT データの再構成手法によって断面の画像を得るものである。この画像再構成の画質を上げるため、アクリル製で水や油を入れることができる模擬体を製作し、画像再構成プロセスのプログラムやパラメータ調整を行った。さらに、この装置を用

いて切り出した丸太の断層撮影を行い、年輪等の内部の状況を非破壊で計測できることを確認した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕カーボンナノ構造体、X線源、立木、材質評価、非破壊検査

〔研究題目〕立木用ポータブル X 線検査装置の開発と材質研究およびマツ材線虫病研究への適用

〔研究代表者〕加藤 英俊（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕加藤 英俊（常勤職員1名）

〔研究内容〕

木材の材質研究をはじめ野外の林木・樹木を対象にした立木用 X 線検査では、軽量、小型、バッテリー駆動可能な X 線源が必要とされている。本研究では、フィールド実証試験に用いることを目的として、年輪配置、材密度分布、節・腐朽等の欠点分布、辺心材や年輪内の水分分布等を二次元的に表示することが可能な立木用のポータブル非破壊材質検査装置開発を行う。

本年度は、小型軽量の X 線源を搭載した立木用 X 線 CT 装置の製作・調整・画像化処理を行った。調整及び画像化処理では、水や油及び空洞部を含んだ各種サンプルの撮影を行い、画像処理方法の検討及び撮影条件だし、得られた CT 画像の評価を行った。それら調整後に、九州大学が用意した直径15cm 程度の松と杉のサンプルを撮影し、年輪等の断面情報が得られることを確認した。今後は、さらなる X 線 CT 装置の小型軽量化、及び、画像の鮮明化を行い、フィールド実証試験で使用可能な装置開発を進める。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕カーボンナノ構造体、X線源、立木、材質評価、非破壊検査

〔研究題目〕新奇な圧力誘起水素-炭素間相互作用の制御とその機構解明

〔研究代表者〕藤久 裕司（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕藤久 裕司、中山 敦子  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

グラファイト類似物質である六方晶窒化ホウ素 (hBN) の水素雰囲気下での高圧 X 線回折実験によると、1 GPa 付近の圧力下で水素分子のインターカレーションを示す格子定数の変化があると報告されていた。水素分子が hBN の層間に侵入しているかどうかは実験的に判断することは難しい。そこで DFT 計算により格子定数、状態方程式を推定し、実験によるそれらと比較することで水素が入っているかどうかを検証した。

結晶モデルの作成、X 線回折パターンシミュレーション、DFT 計算には Accelrys 社の Materials Studio を使用した。分散力補正には Tkatchenko-Scheffler

scheme を用いた。まずこの計算条件でどのくらい正確に hBN ならびに高圧で転移したウルツ型窒化ホウ素 (wBN) の構造を再現できるかテストした。計算された hBN の格子定数は実験値と *a* 軸長で0.2%、*c* 軸長で1.9%の範囲で一致した。wBN については常圧において *a*, *c* 軸長とも0.4%の範囲で一致した。また30 GPa, 400 K における DFT 計算による分子動力学計算 (MD) を行ったところ、hBN から wBN への構造相転移を再現することができた。

次に hBN の層間に水素分子が入ったと仮定した構造モデルを作成した。これが wBN へ相転移する際水素がどのように入るのか探るため、50 GPa, 400 K における MD を行い、水素分子が解離して BH, NH ボンドが形成されたモデルを得た。このようにして得られた水素入り hBN, wBN の構造モデルそれぞれの格子定数の圧力変化、状態方程式を計算した。その結果水素入り hBN, wBN のモデルの格子体積は、入っていない場合のそれよりも大きく膨張していなければならないことが分かった。DFT 計算からは BN には水素吸蔵されていないか、入ったとしても極少量でなければならないことが示唆された。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕グラファイト、窒化ホウ素、結晶構造、相転移、高圧、水素吸蔵、DFT 計算、分子動力学計算

〔研究題目〕加水分解産物からサリドマイドへの逆反応過程の検証と代謝経路の新規構築

〔研究代表者〕田中 真人

（計測フロンティア研究部門）

〔研究担当者〕田中 真人（常勤職員1名）

〔研究内容〕

サリドマイドはそのキラリティなどによってその薬効が著しく異なることが報告されており、過去にはその催奇形性による悲劇により一旦は禁止薬物となった歴史を持つ。現在はその薬効が見直され、多発性骨髄腫などの治療薬として再び利用され始めている。

しかしながらサリドマイドは水溶液中で容易に加水分解やキラル反転を起こすなど、複雑な代謝経路を示す。本研究グループは一旦加水分解されたサリドマイドが脱水反応で元に戻るという興味深い現象を発見した。本研究ではその詳細なメカニズムを明らかにすることを目指している。

サリドマイドには3種類の第一段階の加水分解産物が存在する。その一つである  $\alpha$ -(2-carboxybenzamido) glutamine に関しては、擬脱水反応がエタノール中で起こり、サリドマイドが形成されていることを液体クロマトグラフィー分析で明らかにした。Phthaloylisoglutamine などの他の加水分解産物ではこのような反応は見られなかった。また量子力学計算を用いて上記の脱水反応の詳

細な解析を行うために、各加水分解産物の溶液中での分子構造の最適化を行った。次年度以降は上記結果を基にした詳細な解析を行う予定である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】サリドマイド、加水分解産物、液体クロマトグラフィー、量子化学計算、脱水反応

【研究題目】CO<sub>2</sub>ハイドレートの内部生成および分解制御による革新的な青果物貯蔵技術の開発

【研究代表者】竹谷 敏（計測フロンティア研究部門）

【研究担当者】竹谷 敏（常勤職員1名）

【研究内容】

高圧 CO<sub>2</sub>環境下に青果物を暴露してその内部に CO<sub>2</sub>ハイドレートを生成させ、細胞内水の流動性を低下させることを基本原理とする品質保持技術の開発を目標としている。本研究では、青果物内部に生成される CO<sub>2</sub>ハイドレートの量や分布の定量評価、可視化により、品質保持評価に資する細胞内水の結晶構造評価技術の確立を目指している。

青果物を2℃、3MPaのCO<sub>2</sub>ガスで3~24時間加圧処理し、氷点下温度で凍結させたのちに大気圧に開放、分析用試料とした。-100℃以下の低温条件下での粉末 X線回折測定を実施、今年度は、細胞内水の一部が CO<sub>2</sub>ハイドレートへと構造変化し、組織内で通常の氷と共存することを確認した。青果物中における CO<sub>2</sub>ハイドレートの生成率は加圧処理の時間に比例し増加するが、ある一定時間以上では CO<sub>2</sub>ハイドレート化の反応が進行しないことが明らかとなった。さらに、各種の青果物において、その内部組織の構造や含水率に依存し、CO<sub>2</sub>ハイドレートの生成率が異なることも確認された。また、高圧 CO<sub>2</sub>ガス処理した青果物の数週間にわたる長期保存により、高圧 CO<sub>2</sub>ガス処理による青果物の他の物性への影響評価も実施した。

今後、青果物内における CO<sub>2</sub>ハイドレートの生成率を制御することにより、青果物の品質保持に有効な方法の検証が必要である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】X線構造解析、位相コントラスト X線イメージング

【研究題目】二次元ダークフリンジ法による球体直径測定原理開発とアボガドロ定数精密決定への応用

【研究代表者】倉本 直樹（計測標準研究部門）

【研究担当者】倉本 直樹、藤井 賢一、藤本 弘之、早稲田 篤、水島 茂喜、東 康史（常勤職員6名）

【研究内容】

アボガドロ定数は重要な基礎物理定数であり、シリコン単結晶の密度、モル質量、格子定数の測定から求められる。近年、質量の単位であるキログラムの基礎物理定数による再定義のために、非常に高精度なアボガドロ定数測定が求められている。アボガドロ定数測定高精度化においては、密度測定のためのシリコン単結晶球体体積測定高精度化が支配的な役割を果たす。そこで本研究では、1. 新たな球体直径測定原理（二次元ダークフリンジ法）に基づく、シリコン単結晶球体体積高精度測定用レーザー干渉計の開発、2. アボガドロ定数の世界最高精度（ $2 \times 10^{-8}$ ）での決定、を目的とする。

本年度はアボガドロ定数決定のために、<sup>28</sup>Si単結晶球体の体積測定、質量測定、表面分析および格子定数均一性評価を実施した。球体体積測定には本研究で開発した球体直径測定用レーザー干渉計を用いた。約1000方位から直径測定を実施し、世界最高精度（ $2 \times 10^{-8}$ ）での球体体積の決定に成功した。これは直径測定精度に換算すると0.6 nmであり、約一原子間距離の精度での球体直径測定が可能となった。質量測定には真空天びんを用い、 $8 \times 10^{-9}$ の世界最高レベルの精度での測定を実現した。表面分析には球体回転機構を備えた分光エリプソメーターを用いた。X線反射率法でSiO<sub>2</sub>膜の厚さを値付けしたシリコンウェハーで分光エリプソメーターを校正し、球体表面全面にわたる正確な酸化膜厚測定を実施した。格子定数均一性評価には自己参照型格子比較器を用いた。X線源に放射光を用い、9桁の分解能での均一性評価を実施した。

上記の結果を国際研究協力「新アボガドロ国際プロジェクト」参加機関で得られたデータと組み合わせ、 $2 \times 10^{-8}$ の精度でアボガドロ定数を決定した。これはアボガドロ定数を直接実験的に決定したものとしては世界最高精度である。現在、キログラムは世界に一つしかない白金イリジウム製の分銅「国際キログラム原器」によって定義されているが、本研究でのアボガドロ定数超精密測定は、基礎物理定数による定義への改定実施を確実なものとした。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】基礎物理定数、アボガドロ定数、光周波数制御

【研究題目】ナノ粒子の細胞内取り込み挙動解析を可能とする単一ナノ粒子計測システムの開発

【研究代表者】稲垣 和三（計測標準研究部門）

【研究担当者】稲垣 和三、藤井 紳一郎、宮下 振一、高津 章子（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究では、我が国の産業及び医療分野における機能性ナノ粒子の開発競争力強化に資することを目的として、金属含有ナノ粒子の細胞内取り込み及び溶解性評価を可



能とする単一ナノ粒子計測システムを新規開発している。研究最終年度である平成26年度は、①前年度までに構築した分析システムの性能評価（プラズマへの粒子導入効率の評価）、②微生物細胞への金属含有ナノ粒子暴露実験による各粒子の細胞内取り込み挙動解析および溶解性評価を実施した。

①に関しては、プラズマへの粒子導入効率に関して、本研究で開発した高効率試料導入システムと汎用 ICP-MS 装置の試料導入システムを比較し、開発したシステムの優位性を実証した。

②に関しては、低酸性条件で生育する微生物である紅藻をモデル細胞に暴露実験を実施し、紅藻への各粒子の取り込み挙動を評価した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕細胞、ナノ粒子、多元素計測

#### 〔研究題目〕キャビテーション発生量の定量計測技術の開発

〔研究代表者〕内田 武吉（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕内田 武吉（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高出力水中超音波に付随して発生するキャビテーションは、半導体や液晶パネルなどの洗浄等に多く利用されている。一方、キャビテーションは超音波照射対象を破壊する作用も有するため、超音波洗浄における歩留まり問題などの観点からキャビテーション発生量を計測・制御する技術が求められている。本研究では、キャビテーションセンサを用いた broadband integrated voltage (BIV) によるキャビテーション発生量の計測技術の開発を検討している。BIV はキャビテーションバブル由来の信号と言われている broadband noise を積分したものである。

今年度は、さらなるキャビテーションセンサの高空間分解能化の検討を行った。従来のキャビテーションセンサ内のポリフッ化ビニル（PVDF）フィルムのサイズは2 mm と小型化に成功したが、PVDF を接着するための本体であるアクリル樹脂が10 mm と大きかったため、超音波音場への影響が懸念された。そこで、アクリル樹脂を5 mm にしたキャビテーションセンサを開発した。その結果、従来のセンサよりも鉛直方向の空間分解能が向上していることが確認できた。また、新型センサにより定在波音場中の BIV を測定した結果、BIV が駆動周波数の半波長ごとにピーク値を示すことが確認できた。定在波音場の腹と節は、駆動周波数の半波長ごとに現れ、キャビテーションバブルは腹に集まるため、新型センサは定在波音場内のキャビテーションバブルの位置を正確に測定できる可能性があることがわかった。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕キャビテーション、水中超音波、キャビテーションセンサ、超音波洗浄、ソノケ

ミストリ

#### 〔研究題目〕超電導放射線検出器を用いた新しいバイオマス測定装置の開発

〔研究代表者〕佐藤 泰（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕佐藤 泰、福田 大治（常勤職員2名）

〔研究内容〕

地球温暖化防止に向けて、温室効果ガスの削減が推進されているところであるが、この一環として、バイオマス燃料やバイオマスプラスチック等の利用促進が行われている。これらのバイオマス製品を人々が安心して利用し、不正品の流通を抑制して、温室効果ガス削減を達成するには、製品のバイオマス成分の混合比（バイオマス度）を検証することが必要である。本研究開発では、従来法と異なる新しい測定手法により、製品のバイオマス度を、比較的安価な装置で高精度に測定できるようにすることを目的としている。これにより、人々が安心してバイオマス製品を利用できる基盤を確立できる。

本年度においては、試験用超伝導放射線検出器を冷凍機に装荷して、動作試験を行った。動作温度、動作抵抗点を変化させ、特性値であるエネルギー分解能、電流ノイズスペクトル密度、電流ノイズスペクトル密度によるエネルギー分解能について測定した。これに加え、スズ吸収体にプラスチックを封入する手法について開発し、C-14プラスチックをスズ吸収体に封入した。本手法について特許出願することが出来た。さらに、複数の吸収体付超電導放射線検出器を同時に動作させ、同時に測定できる試料の質量を増加させて、測定時間を短縮する事を着想し、これを可能にするマイクロ波読み出しを行うための構造体を冷凍機内に整備した。C-14の放射能について、基準となる値を決定するため、光学フィルタを用いた TDCR 法による液体シンチレーション計数を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕バイオマス、超電導放射線検出器、β線、シミュレーション工学、EGS5MPI

#### 〔研究題目〕生体マトリックス中タンパク質の高精度、高感度定量法の開発

〔研究代表者〕絹見 朋也（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕絹見 朋也、中島 芳浩（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究課題は、血清など生体マトリックス中の特定のタンパク質を、高い選択性をもって高精度かつ高感度に定量する手法の開発を目的とする。このため、アミノ酸分析に同位体希釈質量分析法を利用し、液相および気相による塩酸加水分解条件を精査することで精度を高め、1%程度の測定不確かさによる高純度タンパク質の定量方法を確立した。これにより C-ペプチド、C 反応性タンパク質（CRP）の定量を行った。

さらに、血清中の低濃度 C-ペプチドの測定法を開発した。この方法は、抗 C-ペプチド抗体を固定化した磁気ビーズにより C-ペプチドを血清より回収し、さらにスクシンイミド試薬により N 末端の化学修飾を行うことで、LC-MS/MS による検出感度を約20倍高めることに成功した。これにより基準濃度範囲をカバーする0.19 ng/mL-8.49 ng/mL の範囲での測定が可能となった。

つづいて、血清中のペプチドからタンパク質量へと拡張を試みた。血清中の低濃度 CRP は高感度 CRP として心疾患のマーカーとして利用されているが、正確な測定法や標準物質は確立されていない。そこで、内標準タンパク質としてアミノ酸点変異を導入した CRP を血清試料に添加したのち、固定化抗体により CRP を回収、トリプシン分解を行い、得られたペプチドについて LC-MS/MS 測定により CRP 量を定量する方法を開発した。定量限界は約5 ng/mL と見積られ、高感度 CRP の測定に十分な感度が得られた。一方、測定のばらつきや再現性は10%程度となることが多く、今後の改善が必要と考えられた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕タンパク質、質量分析、定量分析、臨床化学

〔研究題目〕デュアル光格子時計を用いた、黒体放射の影響を受けない合成時計周波数の実証

〔研究代表者〕赤松 大輔（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕赤松 大輔（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、二つの光格子時計に周波数安定化されたレーザーを用い光周波数コムを周波数安定化することで黒体放射の影響を受けない合成時計周波数の存在を実証することを目的とした。Sr 光格子時計と Yb 光格子時計を同一真空槽中で実現するために、Sr および Yb が同時磁気光学トラップされている状態で、それぞれの魔法波長による光トラップを導入することを行った。具体的には、ねじれの関係になるように二つの光格子時計レーザー（Sr:813nm、Yb:759nm）を用意し、同時磁気光学トラップされている冷却原子集団に照射した。二つの光格子時計レーザーが重ならないようにすることで、二種類の原子が、それぞれの魔法波長による光格子にトラップされることを確認した。さらに、このような状態で Sr 光格子時計の絶対周波数評価を行う事にも成功した。Yb 光格子時計に関しても、20Hz の時計遷移の観測に成功した。

本年度中に二つの時計レーザーを二つの時計遷移に同時に安定化するまでには至らなかったが、本研究遂行においてもっとも困難だと思われていた、二つの光格子へそれぞれの原子を同時に導入する段階は突破することができ、当初の目的をおおよそ達成する結果が得られた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕光格子時計、黒体放射、光周波数コム

〔研究題目〕配列特異的な核酸分子の高精度定量技術の開発

〔研究代表者〕藤井 紳一郎（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕藤井 紳一郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

DNA や RNA といった生体分子として重要な位置づけにある核酸分子を対象として、臨床検査や食品検査などでの定量分析が行われている。しかし、高精度な定量技術は少なく、定量値の信頼性を確保するために適用可能な範囲の拡大も含めて開発が急務である。従来方法としては、酵素的な増幅を利用した PCR 法が高感度な核酸分析手法として用いられてきたが、酵素による増幅効率や非特異的増幅などの問題から、直接的に高分子の核酸を定量することのできる手法が求められている。そこで本研究では、塩基配列情報を維持した高分子の核酸分子を直接定量する絶対的な定量手法を開発することを目的とする。

本年度は、昨年度までに構築した質量分析法を用いた核酸の定量評価技術について、対象範囲の拡張と認証標準物質を用いたバリデーションを実施した。測定における分離分析技術としては、高速液体クロマトグラフィ（HPLC）の中で、特にサイズ排除クロマトグラフィ（SEC）カラムを用いた分離系を検討した。対象物質としては、実用性を踏まえて、RNA を対象とし、鎖長は500塩基から1000塩基程度と比較的高分子量のものとした。RNA 分子のカラム担体への吸着が懸念されたが、溶離液 pH を調整することによって繰り返し再現性の良い分離条件を見出し、質量分析による核酸の測定を可能とする分離条件とした。SEC による RNA 分離条件を誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS）に適用し、SEC-ICP-MS による RNA 分子の直接的な定量評価を行った。定量結果の妥当性確認を行うため、RNA 認証標準物質（NMIJ CRM 6204-a）を用いた評価を行った。その結果、高分子性を保持した核酸を ICP-MS に直接導入して検出した場合においても低分子あるいはリン元素から得た核酸濃度と一致する結果が示され、本手法が有効で実用性の高い手法であることを示した。本研究課題の遂行によって、DNA と RNA の両分子を対象として、低分子から高分子まで幅広い分子量範囲において直接的な定量評価を可能とした。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕核酸定量、配列特異的、質量分析

〔研究題目〕陽電子寿命測定法を用いた構造物の疲労検査装置の開発

〔研究代表者〕山脇 正人（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕山脇 正人（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年、インフラの老朽化が問題視され、構造物の安全性評価手段が求められている。陽電子寿命測定法を適用すれば、金属疲労を早期に探知出来る可能性があることから、その適用が望まれるが、従来の陽電子寿命測定ではサンプルの切出し加工が必要であるため、実現が困難であった。そこで本研究では、当研究室で開発した、サンプルの切出し不要の陽電子寿命測定技術を適用し、オンサイトで構造物の測定を実現するための要素技術の開発を行った。

通常、陽電子寿命測定では100万カウント程度積算（数時間測定）し、統計精度を高めて解析を行うが、本測定装置をオンサイトで利用する上では、数分程度の短時間測定が求められる。その場合、解析において線源成分をどう扱うかが重要となる。そこで陽電子寿命測定の解析条件についての検討を行った。単結晶 Si の陽電子寿命測定を2万カウントで10回測定し、線源成分（カプトン寿命380 ps）を固定した場合と固定していない場合で解析の比較を行った。

その結果、線源成分（カプトン寿命380 ps）を固定せず解析した場合のサンプル寿命の標準偏差は28 ps であったのに対し、固定することにより6.3 ps となり、積算の少ない場合には線源成分（カプトン寿命380 ps）を固定して解析することにより、良好な解析結果を得られることがわかった。これらの結果を基に、製品化を想定した陽電子寿命測定装置の仕様を決定し、プロトタイプを作製した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】陽電子寿命測定、非破壊検査、その場測定、金属疲労、金属材料

【研究題目】多層型マンガンバスによる中性子放出率の絶対測定法の開発

【研究代表者】松本 哲郎（計測標準研究部門）

【研究担当者】松本 哲郎（常勤職員1名）

【研究内容】

放射性同位元素による $^{252}\text{Cf}$ や $^{241}\text{Am}\text{-Be}$ 中性子線源は、水分計や非破壊検査などさまざまな産業、工業分野で利用されている。中性子線源は、現場の安全やコンプライアンスの観点からも管理が求められている。その一つの指標が中性子放出率（単位時間当たりの中性子放出数）であるが、従来中性子放出率の絶対測定には、大規模な装置を必要としていた。本研究では、マンガン含有合金と水素を含有したポリエチレン板を多層状に配置した構造の多層型マンガンバス検出器を提案した。検出器の中心に中性子線源をセットする。線源からの中性子は、検出器中水素により減速され、金属中のマンガンが $^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$ 反応で放射化して得られるガンマ線を測定することにより、中性子放出率を求めるものである。産総研が所有する $^{252}\text{Cf}$ 中性子線源（3.7 MBq）を使用し、多層型マンガンバス検出器による中性子放出率測定実験

を行った。 $^{252}\text{Cf}$ 線源による放射化の後、線源と入れ替えに、NaI(Tl)検出器（5.08 cm 直径×5.08 cm 厚）を多層型マンガス中心にセットし、 $^{56}\text{Mn}$ からの847 keVガンマ線の測定を行った。一方、多層型マンガンバスの検出器特性をより詳細に評価するために、各層のマンガン合金板がどの程度放射化されているかを、高純度 Ge 検出器（相対検出効率60 %）を使用した測定も行い、調べた。NaI(Tl)検出器及び Ge 検出器の検出効率は、本研究内においてはモンテカルロシミュレーションによって求められた。得られた中性子放出率の結果は、現状では少なくとも5%程度の不確かさを持っており、その不確かさ内では、標準によって校正された結果と一致する。今後の課題として、不確かさを1 %程度まで向上させるために、 $4\pi\beta\gamma$ 同時計数装置を利用したガンマ線検出器の検出効率決定やマンガン合金板内部の放射化分布の評価など研究を継続させていく。また、Ge 検出器による測定も、実験と計算とで不確かさ内で概ね一致した結果が得られたが、今後も精度について改善の追求を行っていく予定である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】中性子放出率、絶対測定、マンガン、中性子線源

【研究題目】MEMS 式熱量計によるナノ粒子の比熱測定と低次元系比熱理論への実験的アプローチ

【研究代表者】阿部 陽香（計測標準研究部門）

【研究担当者】阿部 陽香（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いた断熱型熱量計を開発し、ナノ粒子等の直接的な微小熱容量測定を実現することにより、低次元系における物質の熱的性質を明らかにすることである。本年度は主に、①比較測定法による微粒子の比熱容量測定、②MEMS 式断熱型熱量計の製作と改良を実施した。①については、金、シリコン、二酸化ケイ素、モリブデン、アルミナ、窒化チタンの6種類の微粒子について、示差走査熱量法により比熱容量値を求め、各物質のバルク形状の比熱容量値との比較を行った。②については、2種類の熱量計を作製し、測定の検討を行った。はじめに作製した熱量計は、10 mm 角の大きさで、シリコン基板に厚さ20  $\mu\text{m}$  の熱酸化膜をつけ、チタン膜を下地として白金膜によりヒーターと温度センサを装備している。中心から放射状に試料加熱用ヒーター、試料温度測定用白金センサ、熱補償用ヒーター、基板温度測定用白金センサを作製し、基板上で断熱法による比熱容量測定を可能とする構造とした。試料のセット部分は、試料加熱用ヒーターと試料温度測定用白金センサの上部で、直径0.8 mm の大きさである。試料温度測定用白金センサについては、0°Cにおいて抵抗値100  $\Omega$  の「Pt 100」

規格に対応することを目指したが、白金膜にはチタン膜が接触しており、抵抗値100 Ωを得ることは困難であった。次に製作した改良型は、中心から放射状に形成する構造体のデザインを変え、試料のセット部分を直径0.6 mm とし、より微小な試料に対応可能なものとした。試料温度測定用白金センサに関しては、室温において「Pt 100」規格に対応できるよう、精密に設計を行った。さらに、試料加熱用ヒーターを2線式から4線式に変更し、発熱量計測精度の向上に努めた。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕比熱容量、微粒子、MEMS、熱量計

#### 〔研究題目〕治療用高エネルギー電子線の絶対線量計の開発

〔研究代表者〕田中 隆宏（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕田中 隆宏（常勤職員1名）

〔研究内容〕

放射線治療の効果は、照射された領域の吸収線量と線質に依存する。特に、吸収線量（単位質量の標的物質に放射線により付与されるエネルギー）の精度は、放射線治療の成否を決める重要な要因となる。本研究の目的は、治療用放射線の中でも飛程の短い電子線の吸収線量を絶対測定できる線量計（薄入射面グラフアイトカロリメータ）を開発することである。

この線量計は、検出器（薄入射面グラフアイトカロリメータ）と制御測定系に大別され、過去二年間かけて両者の開発を進めてきた。今年度は、検出器と制御測定系を統合し、線量計として機能するようにし、薄入射窓グラフアイトカロリメータの性能評価を行った。先ず、動作確認用ヒーターへの印加電力測定（オフラインテスト）を行い、その次に、実際に放射線治療用の荷電粒子線の測定を行った。

オフラインテストでは、温度コントロール用とは別に受光部に内蔵したヒーター）に既知の電力（約70 μW）を印加し、薄入射窓グラフアイトカロリメータによるその電力の測定精度から性能を評価した。その結果、この約70 μW の外部パワーの測定を約5 μW の標準偏差で行うことができることを確認した。

荷電粒子線の測定においては、加速器室内というノイズの多い環境下においても薄入射窓グラフアイトカロリメータ正常に動作することを確認した。今後、SN 比を改善させ、高精度な絶対線量計となるように改良を行い、治療用電子線の吸収線量の絶対測定を進めていく。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕カロリメータ、治療用電子線、水吸収線量

#### 〔研究題目〕高精度テラヘルツ絶対電力センサー素子の開発

〔研究代表者〕飯田 仁志（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕飯田 仁志、木下 基（常勤職員2名）

〔研究内容〕

近年、テラヘルツ技術の発展により様々な応用研究が進められている。これらの技術革新においては、要素技術としてテラヘルツ絶対電力の定量的精密計測が不可欠であり、計量標準や校正技術の確立が切望されている。本研究はその基本となる絶対電力測定用高精度センサー素子の開発を目的としている。本年度はこれまでに基本性能を確認したセンサー素子について、検出感度の改善及び測定精度の定量的解析に不可欠な吸収体における熱電変換過程の解析を行った。

検出感度の改善のため、まず吸収体の吸収率を向上させることを検討した。具体的には吸収体の物理的形狀を工夫することで改善可能であるが、不確かさ評価が煩雑になることが判明した。そこで、センサーの雑音特性を改善することを考え、その主要因を調査した。その結果、環境温度の変動による外乱及びプリアンプの安定性と雑音であることがわかった。そこで、測定装置を熱的・電磁的に遮蔽する断熱シールドを施し、さらに超低雑音プリアンプを導入することによって当該センサーの雑音等価電力を改善することに成功した。これにより、センサーのダイナミックレンジを拡大することが可能となった。広いダイナミックレンジを利用した電力測定では、直線性の不確かさを検証することが重要となるため、その定量的評価法を開発・実証した。

熱電変換過程については、センサーの熱解析モデルを構築し有限要素法による熱伝導シミュレーションを用いることで詳細に解析した。これによって、吸収体におけるテラヘルツ波の熱変換メカニズムが明らかとなり、主要な不確かさ要因となり得る熱電変換過程を定量的に解析することに成功した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕テラヘルツ、絶対電力測定、熱電変換、雑音等価電力、不確かさ

#### 〔研究題目〕受光素子における応答非直線性とその波長依存性の抑制手法確率に向けた研究

〔研究代表者〕田辺 稔（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕田辺 稔（常勤職員1名）

〔研究内容〕

シリコンフォトダイオード等の受光素子は、入射光の波長やビーム径によって、応答度が数%から数十%の非直線性を示すことがある。本研究は、その様な受光素子の応答非直線性とその各種依存性（特に波長依存性）の発生機構を実測と理論モデルを用いて明らかにする手法を確立することを目的とする。さらに、得られる研究成果を用いて、素子の有感波長領域に対して高い光吸収率や収集効率を有し、かつ応答非直線性が現れない受光素子の開発にむけた設計仕様を提案することを目指し、レーザパワー計測や測光・放射計測などの分野に貢献する。

あるシリコンフォトダイオードの有感領域に対して、応答非直線性の波長依存性データを取得した。次に、そのフォトダイオードのドープ量、各層の厚さを実測した。以上の結果から、理論モデルとの比較を行った結果、850 nm までの近赤外光に対しては理論と傾向が一致したが、波長980 nm を超えると理論と一致しない結果となった。考察の結果、空乏層の厚さや、それより奥の層での光吸収の差が応答非直線性の値に大きく影響することがわかった。さらに、青色の可視光に対しても応答非直線性が数%程度発生する現象を観測した。以上の研究成果は、国内学会3件、国際学会1件（口頭発表に選出）にて報告した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】シリコンフォトダイオード、応答非直線性、レーザーパワー

【研究題目】極低温温度測定のための音叉型水晶振動子を用いたヘリウム3融解圧温度計の開発

【研究代表者】中川 久司（計測標準研究部門）

【研究担当者】中川 久司（常勤職員1名）

【研究内容】

PLTS-2000はヘリウム3融解圧曲線及びその曲線上の4つの定点により温度範囲900  $\mu$ K から1 K までを定義する国際温度目盛である。その実現とそれに基づく温度測定には定義計器である容量歪み圧力計のヘリウム3融解圧温度計（MCT）を用いる。しかし、このタイプのMCTの製作・操作は簡単ではないため、超低温物理や標準分野での利用に留まっている。そこで、本研究ではより簡単に PLTS-2000を実現し、利用するためのツールとして、容量歪み圧力計方式のMCTに代わる、工業的汎用部品であり、製作・操作が簡単な音叉型水晶振動子（QTF）を用いたMCTを開発することを目指している。

今年度は、QTFの基本性能の把握実験に必要な1 Kまでの温度が生成可能な1 Kインサート型冷却装置と予備実験用サンプルセルを試作した。数 mK 以下ヘリウム3超流動相での実験に必要な自作希釈冷凍機（最低温度4 mK）を予冷段とする核断熱消磁クライオスタットの開発を進め、冷却試験を行った。核断熱消磁冷却法により冷却温度は、1 mK 以下に到達し、ヘリウム3超流動相での実験が出来る環境を整えることができた。しかしながら、実験空間への大きな熱流入量のため1 mK 以下の低温には冷却できなかつた。この熱流入量の原因については実験的に明らかにしており、現在、この点を改良し次の冷却試験の準備を進めている。また容量歪み型圧力計方式のMCTについて単体性能試験を行い、温度測定における不確かさを評価した。その結果、MCTの部品構成材料の特性およびそれらの特性差に起因する不確かさが支配的であることを明らかにした。

これを踏まえ、融解圧曲線上でのQTFの基準となる、より高精度なMCTの設計・製作を行うとともに、ヘリウム3中での超低温実験用サンプルセルの設計にも着手した。現在、1 Kインサート型冷却装置を用いたヘリウム4におけるQTFの予備実験の準備を進めている。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ヘリウム3融解圧温度計、国際温度目盛 PLTS-2000、音叉型水晶振動子、極低温温度測定、ヘリウム3、粘性、準粒子

【研究題目】in-situ 温度測定によるイッテルビウム光格子時計の高精度化

【研究代表者】田邊 健彦（計測標準研究部門）

【研究担当者】田邊 健彦（常勤職員1名）

【研究内容】

産総研で世界に先駆けて開発に成功したイッテルビウム（Yb）光格子時計は、次世代の時間標準の有力な候補の一つである。現在、Yb 光格子時計における主な不確かさの一つが、原子を囲む環境からの輻射による、Yb 原子の時計遷移の上・下準位のシフト（黒体輻射シフト）に起因する不確かさである。本研究では、このYb 光格子時計の黒体輻射シフトによる不確かさを軽減するため、原子を取り囲む環境温度の in-situ（その場）測定を目的としている。具体的には、Yb 原子の時計遷移の上準位から  $n$ （主量子数）の値が15~40の「リュードベリ状態」への遷移周波数を測定し、そこから環境温度を決定する。これは、近年他の研究グループにより理論的に提案された環境温度の測定手法である。

高精度の環境温度の測定においては、磁気光学トラップ（MOT）中のYb 原子の数を増大させることが極めて重要である。そこで、昨年度までに大強度の399 nm のレーザー光源を開発した。具体的には、波長798 nm の外部共振器半導体レーザー（ECLD）からの光を非線形光学結晶に入射し、第二次高調波発生により波長399 nm の光を得た。そして本年度は、まず開発した399 nm 光源を周波数安定化した。Yb 放電セルを用いてYb 原子の飽和吸収分光を行い、その一次微分信号によりECLD（798 nm）を周波数安定化した。Modulation transfer 法を採用することで、非常に堅牢な周波数安定化に成功した。この光源を用いて、Yb 原子 MOT、リュードベリ原子生成に進む予定であったが、要のYb 光格子時計が不調で予定通り進まなかつた。そこでこの光源を生かすため、Yb 原子の許容遷移（399 nm）の絶対周波数測定を行った。この遷移の周波数値は、過去に他の2つのグループにより報告されていたが、その間には大きな不一致があり、議論の余地が残っていた。今回、光周波数を測定するための強力なツールである「光周波数コム」を用いてこの遷移の周波数を初めて測定し、信頼出来る測定結果を得ることが出来た。得られた成果は、国内の学会にて2件口頭発表した。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 光格子時計、黒体輻射、光周波数コム

[研究題目] 土壌菌核が高濃度に含有するキノンの役割解明

[研究代表者] 伊藤 信靖 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 伊藤 信靖 (常勤職員1名)

[研究内容]

平成26年度は、4,9-dihydroxyperylene-3,10-quinone (DHPQ) の物理化学的な性質を中心に検証した。具体的には、水溶液および有機溶媒中における DHPQ とアルミニウムイオン ( $Al^{3+}$ ) との錯形成能の検討、FT-IR を用いた菌核粒子中の DHPQ の状態推定、およびサイクリックボルタメトリーによる DHPQ の電子伝達能の評価を行った。

水溶液中では、DHPQ の3倍量程度の  $Al^{3+}$  を添加しても、錯形成は確認できなかった。このため、有機溶媒 (1,4-ジオキサン) 中の DHPQ に、500倍量程度まで  $Al^{3+}$  を共存させて錯形成を確認した。その結果、2倍量程度でも若干のスペクトル変化は認められたものの、100倍量の  $Al^{3+}$  が存在する時とはスペクトルが明らかに異なっていた。同様の化学構造を持つ 5,8-dihydroxy-1,4-naphthoquinone (DHNQ) , 1,4-dihydroxyanthraquinone (DHAQ) , テトラサイクリンについても検討してみたものの、水溶液中および有機溶媒中での結果はほぼ同様であった。これらのことから、DHPQ および類似化合物は  $Al^{3+}$  と積極的に錯形成をしないものと結論した。

また、粉碎した菌核粒子を FT-IR により測定し、DHPQ、および  $Al^{3+}$  と錯形成した DHPQ (DHPQ- $Al$ ) のスペクトルとを比較した。その結果、DHPQ- $Al$  に特徴的なピーク ( $1510\text{ cm}^{-1}$ ) は観察されなかった。このことから、菌核粒子に含まれている DHPQ は錯形成をしておらず、DHPQ そのものとして存在しているものと考えられた。

DHPQ の電子伝達能については、ジメチルスルホキシド中でのサイクリックボルタモグラムの測定した。その結果、DHNQ や DHAQ とは異なる挙動が観察されたものの、これについては改めて検証する必要があると考えている。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] キノン、菌核粒子、錯形成、*Cenococcum geophilum*

[研究題目] 完全に基礎物理定数に基づく電圧標準体系の確立に向けた量子化ホール抵抗分圧器の開発

[研究代表者] 堂前 篤志 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 堂前 篤志 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究は、量子化ホール抵抗 (QHR) 素子を集積化して10:1比の分圧器を製作し、その分圧比を  $0.1 \times 10^{-6}$  オーダーの精度 (不確かさ) で評価することを最終目的としている。この最終目的の達成のため、「10:1比 QHR 分圧器の製作」と「分圧比評価システムの構築」の2本立てで研究開発を進めている。

「10:1比 QHR 分圧器の製作」において今年度は、昨年度に着想した“QHR 分圧器製作の歩留まり向上が期待できる新たな配線パターン”について、検証を行った。具体的には、その配線パターンを採用した場合の分圧比のエラー成分の大きさを回路解析および数値計算により試算した。その結果、新たな配線パターンは歩留まり向上が期待できる上に、公称比からのズレの大きさが従来型の配線パターンと遜色ないことが明らかとなった。また、「分圧比評価システムの構築」において今年度は、昨年度に製作した基準抵抗分圧器の分圧比の“時間経過に対する変化 (経時変化)”および“温度に対する変化”を評価した。これらの結果から、製作した基準抵抗分圧器が本研究で使用するために十分な性能を有することが確認できた。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 量子化ホール抵抗、抵抗分圧器

[研究題目] 精密低周波交流電圧発生器を用いたゼーベック係数の絶対測定技術の開発

[研究代表者] 天谷 康孝 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 天谷 康孝 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究では、直流信号と交流信号を組み合わせること、従来法とは異なり、熱伝導率によらず、材料単体のゼーベック係数を導く新たな測定技術を開発することを目的としている。ケルビンの式に基づきトムソン係数の温度積分を行う必要があるため、トムソン係数の評価技術を確立することが重要な技術課題である。

年度計画に従い、今年度は昨年度に製作した装置でトムソン係数の評価を行った。10 Hz から10 kHz の周波数依存性の評価を行った結果、周波数に依存性ほぼ一定の値を得た。新規手法によって得られたトムソン係数は  $-8.3 \pm 0.3\ \mu\text{V/K}$  であった。一方、従来法によって得られたトムソン係数は  $-8.2 \pm 0.4\ \mu\text{V/K}$  であり、両者は標準偏差の範囲内でよく一致した。年度後半は、排熱利用の重要な温度領域である  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  までのトムソン係数の温度依存性を評価し、ゼーベック係数を算出した。輻射シールドを製作し、銅ブロックとステージにセラミック材を挿入し熱リンクを弱めることで安定な温度勾配を得た。ケルビンの関係式を用いて、トムソン係数の温度依存性の測定結果から絶対熱電能を導出したところ、白金の熱電能の絶対値は温度上昇とともに直線的に増加する金属に特徴的な温度依存性を示した。ゼーベック係数の値は  $-7.58 \pm 0.04\ \mu\text{V/K}$  であり、過去の文献値と比較

して0.1  $\mu\text{V/K}$  以内でよく一致する結果を得た。

以上の結果から、新規測定法により熱伝導率や素子寸法情報を必要とせず、トムソン係数からゼーベック係数の評価可能である見込みを得た。本手法は不確かさ要因の熱伝導率や試料寸法を要せずゼーベック係数が導出可能であり、高純度試料の精密評価に利用可能な手法として期待される。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】熱電変換、熱電効果、ゼーベック係数、トムソン係数、交流信号

【研究題目】複合的実験手法による $^7\text{Li}$  (p,n) 反応単色中性子スペクトル構造の解明

【研究代表者】増田 明彦 (計測標準研究部門)

【研究担当者】増田 明彦 (常勤職員1名)

【研究内容】

数十 MeV 領域の高エネルギー中性子は、サイクロトロンで加速された陽子ビームをリチウムターゲットに入射する $^7\text{Li}$  (p,n) 反応でパルス状に生成される。生成される中性子は校正で用いたい高エネルギー単色ピーク成分に加えて低エネルギーの連続成分が存在する準単色場であり、その中性子スペクトラルフルエンスの評価に取り組んでいる。

keV 領域を測定下限とする中性子飛行時間 (TOF) 法による中性子スペクトラルフルエンスの測定に成功し、その解析の結果、時間情報を保持した中性子が有意に測定されたのは約100 keV 以上であり、それより低いエネルギー領域では実験室内で散乱して時間情報を失った中性子が支配的であると推察される。

時間情報を持たない keV 領域以下の中性子スペクトラルフルエンスも測定するために、高エネルギーかつパルス状の中性子の測定に適した金の放射化法を利用するボナー球スペクトロメーター (放射化 BSS) を開発した。実際の高エネルギー中性子場で実験を行い、アンフォールディング法により中性子スペクトラルフルエンスを導出した。アンフォールディングに用いる初期推定スペクトルとして、約100 keV までの TOF 法の結果に減速成分と Maxwell 分布の熱中性子を外挿したスペクトルを用いることで、アンフォールディング法の信頼性を向上させることができた。

本年度までの研究成果は、高エネルギー中性子フルエンス率標準の開発にも活用された。次年度は、放射化 BSS の応答評価を改善しアンフォールディング法の精度をさらに向上させつつ、中性子スペクトル構造の入射陽子エネルギー依存性を評価する。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】中性子、高エネルギー中性子、中性子飛行時間法、アンフォールディング法、中性子標準、計測標準

【研究題目】超伝導ナノ構造を用いた量子電流標準の研究

【研究代表者】中村 秀司 (計測標準研究部門)

【研究担当者】中村 秀司 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究の目的は、微細加工技術で作製されたナノスケールの超伝導デバイスを用いて直流電流標準を実現することである。電流値を正確に測定することは、構造の微細化が進み微小な電流を測定することが求められる現在のエレクトロニクスにおいては必須な技術である。これまでの電流標準は、ジョセフソン電圧標準および量子ホール抵抗標準を用いて間接的に実現されてきたが、本研究では、SINIS 接合構造を持つ単電子トランジスタ、および位相すべりを発現する超伝導細線を用いることにより直接的に電流の標準を実現し、ナノテクノロジー、バイオセンサーなどにおいて重要性が増している数 pA ~ 数 nA の電流標準の確立を目指している。

本年度は、単一電子ポンプにおける定電流発生の不確かさ向上と電流量の増幅を目標として研究を行った。具体的には超伝導、常伝導を用いた SINIS ターンスタイルの不確かさの向上と電流量の増幅をめざし、トンネル接合の抵抗の最適化を行った。これによりマイクロ波領域においても単電子ポンプを行うことが可能となった。また素子の抵抗減少と伴に発生する余剰電流を磁場印加と伴に減少できることを示した。また同時に半導体二次元電子系を用いた単電子ポンプ素子の電流を大きくするため、素子の並列化を行った。電流測定系を新たに構築し、フィルタ作製や極低温電流比較器の準備などを行った。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】電流標準、単電子トランジスタ、微小超伝導接合

【研究題目】ジョセフソン効果と量子ホール効果を基準とした熱力学温度測定技術の開発

【研究代表者】浦野 千春 (計測標準研究部門)

【研究担当者】浦野 千春、丸山 道隆、金子 晋久、大江 武彦、堂前 篤志、福山 康弘、山澤 一彰、丹波 純、山田 隆宏 (常勤職員9名)

【研究内容】

2011年10月に行われた第24回国際度量衡総会の決議で、国際単位系 SI の熱力学温度の単位ケルビンの定義は、基礎物理定数であるボルツマン定数を基にした定義となる方向性となった。現行の定義と改訂後の定義との不一致が最小限となるよう、現在多くの研究機関で各種の熱力学温度計を使用し、現在の熱力学温度の定義からボルツマン定数を精密に測定するための研究が進められている。我々のグループでは抵抗器の熱雑音から熱力学温度を求める、所謂ジョンソンノイズサーモメトリー

(JNT)によってボルツマン定数の精密測定を行う技術の開発に取り組んでいる。

昨年度までの熱雑音の測定において、測定から求めたボルツマン定数に100 ppm オーダーのオフセットが常に観測されていた。平成26年度は測定システムの全構成要素に対してオフセットの要因を調査した。信号間のクロストーク、インピーダンスマッチング、抵抗温度プローブの熱流入など、いくつかのオフセット要因が判明した。これらの問題箇所については、信号線間のシールド強化、ジョセフソン接合素子の改良、熱流入の低減、など、オフセットの低減につながるよう改造を施した。その結果、現時点におけるオフセット値は60 ppm 程度まで低減している。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】SI 単位、ボルツマン定数、熱雑音、ナイキストの定理、ジョセフソン効果、量子ホール効果

【研究題目】極限環境の熱伝導率計測技術による地球コア内部の熱移動の解明

【研究代表者】八木 貴志 (計測標準研究部門)

【研究担当者】八木 貴志 (常勤職員1名)

【研究内容】

産総研が開発したレーザ光を温度プローブとする最先端の薄膜用熱伝導率測定技術を活用することで、ダイヤモンドアンビルセル (DAC) によって発生した地球中心部に相当する極限環境 (圧力360 GPa、温度5000 K) における金属の熱伝導率を測定し、最終的に地球コア内部の熱移動の解明に挑む。今年度は、熱伝導率の測定技術を300 GPa 超に対応することを目的に開発を進めた。想定圧力において DAC の先端径は従来の1/3程度 (40  $\mu\text{m}$ ) が要求されることから、高倍率対物レンズにより熱伝導率測定用のレーザスポットを微小化するとともにスポット走査用のサブミクロンフィードバックステージを導入した。また DAC 内部の熱伝導モデルの精密解を求め実験データをシミュレートするプログラムを開発した。代表的な成果として、純 Fe の熱伝導率の圧力依存性を測定し、約15 GPa において  $\alpha$  相から  $\epsilon$  相の相変態による熱伝導率の急激な減少を観察した。本成果は国際学会の招待講演 (AGU 2014 Fall meeting) において発表した。また、140 GPa までの MgO の熱伝導率の圧力依存性について Geophysical Research Letters 誌に論文発表した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】熱拡散率、高圧、高温、地球コア

【研究題目】マイクロレオロジーセンサーで切り拓くオンライン粘弾性モニタリングの新展開

【研究代表者】山本 泰之 (工学計測標準研究部門)

【研究担当者】山本 泰之、松本 壮平 (集積マイクロ

システム研究センター) (常勤職員2名)  
山本 智子 (集積マイクロシステム研究センター、テクニカルスタッフ、1名)

【研究内容】

初年度は、MEMS 技術で作成したマイクロレオロジーセンサーの実現に向けて、これまで開発を進めてきた渦巻状振動子を有する粘度センサーの改良を進めた。特にうずまき構造を改良し、ずり速度が一定になる溝の幅を設計するため、構造解析と、計算機シミュレーションを進めた。現状のうずまき構造では、ずり速度が一定でないばかりでなく、理論で想定している垂直方向以外への運動が発生しており、測定の誤差要因となっていた。数値シミュレーションによって、うずまきの構造をある構造にすることで、非垂直方向への変位を無視できるほどに小さくできることを見出した。さらに構造解析の結果を反映したセンサーを設計し、実際にプロセスを行った。現在は新しいチップの検証を進めている。上記の成果に加えて、微量サンプル用の粘度センサーの開発も行った。これは将来的なレオロジーセンサーの需要形態を考慮して、レオロジー分野のような高付加価値な液体を測定する分野ではサンプルが貴重で微量しか得られない場合が多いと考えられるためである。サンプル量を微量化すると、センサー周りの液体空間が減少し、振動現象に影響を及ぼす可能性がある。そこで、実際に微量サンプル用のホルダーを製作し、実験的に振動現象に変化が生じる液体量の検証を行った。その結果、センサーチップとホルダー底面との距離を2.0mm 以上取れば、振動現象にほとんど影響を与えないことを明らかにした。想定されるサンプル量の許容下限は、250マイクロリットル程度であり、革新的に少ないサンプル量での測定を実現した。そのほかに、レオロジーセンサーのための検証実験装置として、永久磁石とムービングコイル、エアベアリングを用いたシステムを構築し、ずり速度が規定できる共軸二重円筒型の検証システムを製作した。現在はこれを用いたレオロジー測定の新理論の検証を進めている。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】粘度、粘性率、センサー、MEMS、マイクロマシン、プロセス粘度計

【研究題目】粒子線治療における線量評価技術の開発

【研究代表者】齋藤 則生 (計測標準研究部門)

【研究担当者】齋藤 則生、田中 隆宏、清水 森人 (常勤職員3名)

【研究内容】

平成26年度は、放射線医学総合研究所の HIMAC の共同利用実験を行い、炭素線の線質測定を行うとともに、グラフィトカロリメータを完成させ、水カロリメータの設計製作を行った。

粒子線の線質測定については、炭素線のエネルギー



135 MeV/n と290 MeV/n の2種類について、深度線量分布の測定を、水ファントム中とグラファイトファントム中の両方で行った。深度線量分布の測定には、自作のグラファイト電離箱を用い、電離箱の性能評価も同時に行った。水ファントムとグラファイトファントムで、ブラッグピークの位置が異なった。これは、水とグラファイトの阻止能比の違いを反映しているものと考えられる。また、グラファイトカロリメータの受光部は直径20 mm と比較的大きいため、照射野内の不均一性の評価が必要となる。そこで、水ファントム中で容積の小さい指頭型電離箱を二次元スキャンし、不均一性の評価を行った。その結果、無視できない程度の不均一性があり、補正が必要であることが分かった。

グラファイトカロリメータを完成させ、炭素線を用いて、その動作確認を行った。その結果、炭素線の照射によりグラファイトカロリメータの受光部の温度が上昇することを確認した。しかし、SN 比の改善が必要であることなどの問題点も確認した。水カロリメータについては、水カロリメータを設計し、断熱水槽と冷却システムを製作した。断熱水槽は高性能ウレタンフォームによって囲い、温度の安定性は0.01 K 程度であることを確認し、温度の安定性と断熱効果は十分であることが分かった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】粒子線、水吸収線量標準、グラファイトカロリメータ、水カロリメータ

【研究題目】気体定数への新たなアプローチ-6桁の精度で気体密度を測る

【研究代表者】 粥川 洋平（計測標準研究部門）

【研究担当者】 粥川 洋平（常勤職員1名）

【研究内容】

基礎物理定数のひとつである気体定数は現在、気体の音速測定結果から決定した値が採用されているが、他の独立な方法による測定結果との比較検証は未だに出来ない。一方、計測標準研究部門における近年の研究で密度の計測技術は信頼性が格段に向上しており、気体の密度計測から6桁レベルの相対不確かさで気体定数を決定する可能性が見えてきた。本研究では8桁の水準を実現しているシリコン固体密度標準を気体の密度計測に応用し、6桁レベルで気体定数の正確さを検証することを目的とする。初年度である平成26年度は、気体定数測定装置の基本設計に着手し、パラメータの検討や圧力基準器の導入などを行った。まず装置パラメータの検討を行い、気体定数決定の不確かさを推定した。対象ガス種は、密度は小さいもののピリアル係数の理論値が第一原理から計算可能なヘリウムに決定した。これにより、目標とする不確かさを達成可能な測定圧力範囲を割り出し、後述する圧力基準器の仕様を決定した。気体密度測定用のシリコン球体および金属製シンカーの寸法、圧力範囲

をもとに、気体密度測定システムの圧力容器概略寸法を決定したほか、荷重交換システムの基本設計を行った。上に述べた、システムの要求仕様から、1.75 MPa までの絶対圧が測定可能な重水型圧力天秤を選定・調達した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】計量標準、超精密計測、熱工学、基礎物理定数、一般気体定数

【研究題目】純ベータ核種の高感度オンサイト絶対測定器の開発

【研究代表者】 海野 泰裕（計測標準研究部門）

【研究担当者】 海野 泰裕（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、オンサイトでの混在試料中の純ベータ核種の迅速な放射能測定装置の実現を目指している。現段階で、適用できる試料量が課題となっている。そこで、本研究では、数グラム以上の水溶液試料を測定できるβ線検出器と、それに対応したγ線検出器を開発する。平成26年度は、β線検出器を実験とシミュレーションにより検討し、スルーホール型γ線検出器を試作した。

スルーホール型γ線検出器は、φ3" x 3"のNaI (Tl) シンチレーション検出器の側面に貫通孔を開けて作製した。貫通孔の直径が大きいほど、試料量を増やすことができるが、NaI (Tl) シンチレータを破損や劣化が懸念される。過去の例では、直径10 mm だったが、今回は直径20 mm に挑戦した。試作後の測定で、想定したとおりの計数効率と安定した測定が実現されたが、波高分解能の低下が確認された。その原因の一つが、シンチレータ内での発光箇所による集光効率の違いであることを突き止めた。

β線検出にプラスチックシンチレーション検出器の適用を検討している。上記スルーホール型γ線検出器の貫通孔と一致したサイズの光電子増倍管（浜松ホトニクス製 R9880U-210型）による測定では、高い計数効率が確認された。ただし、一度に滴下できる試料量は100 mg 程度であることが分かった。また、電流量の限界による波高線形性の乱れを確認した。これに対して、R11265U-200型では波高線形性が保たれ、かつ、1 g 程度の試料滴下量を実現できる見込みを得た。また、光半導体素子での測定では、十分な計数効率が得られなかった。また、シンチレーションファイバー検出器の適用については、流路内へ直接設置することを検討しており、流路直径に対する感度の変化をシミュレーションで評価した。

また、β線だけに感度を持つ GM 計数管を用いて、Y-90のβ線エネルギーが他よりも大きいことを利用した簡易迅速測定法を検討し、高い濃度の混在試料に適用できることを明らかにした

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】放射能測定、純ベータ核種、絶対測定、

ガンマ線検出器、ベータ線検出器、シミュレーション

【研究題目】超安定セラミック光共振器の開発

【研究代表者】保坂 一元（計測標準研究部門）

【研究担当者】保坂 一元、稲場 肇、大久保 章  
（常勤職員3名）

【研究内容】

光共振器スペーサーの形状最適化のための計算を行った。基本的形状は、共振器長が50 cm以上の横置き光共振器とし、支持点の位置や数により、光共振器が加速度を受けた場合、どのように変形するかを有限要素法によるシミュレーションにより見積もった。ここでは、共振器が加速度を受けて変形したとしても、①それぞれのミラー鏡の中心位置間隔が変化しない、②鏡面が平行に保たれる、といった2つの条件が求められる。またこれらの条件が、支持点の位置等にてできるだけ不敏感であることが望ましい。有限要素法を用いたシミュレーションから、スペーサーの一部を非対称に加工することで、このような条件を達成できることが明らかになった。

また、現有の ULE ガラス製光共振器に安定化された狭線幅レーザーの短期周波数安定度が光共振器の熱雑音により制限されていることを確認する実験を行った。ここでは、578 nm、1064 nm、1535 nmの3色のレーザーをそれぞれの ULE ガラス製光共振器に安定化し、これらの周波数安定度を高速に制御可能な光周波数コムによる線幅転送技術を用いて、評価した。この結果、1064 nm、1535 nm レーザーの短期周波数安定度は、約 $2 \times 10^{-15}$ であり、計算から見積もられる光共振器の熱雑音によりほぼ制限されていることが明らかになった。また、この線幅転送による方法を用いて、Yb および Sr 光格子時計の時計遷移励起用レーザーを安定化し、それぞれの時計遷移の分光に成功した。これらの実験結果は、熱雑音を低減した光共振器を手に入れることができれば、レーザーの周波数安定度は改善され、実際の時計遷移の分光にも威力を発揮するという事を証明したという事が出来る。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】狭線幅レーザー、光格子時計、光周波数コム

【研究題目】高い時間分解能を持つ PM2.5中の無機元素分析技術の開発

【研究代表者】朱 彦北（計測標準研究部門）

【研究担当者】朱 彦北（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は大気中の微小粒子状物質（PM2.5）の多元素同時測定において、高い分析感度を有する分析技術を確立し、短時間の試料採取（従来24時間、目標1時間）で分析が実現できる高い時間分解能（従来経日変化、目標

経時変化）を持つ分析法の開発とその JIS 化を目指している。また、高い分析感度（大気中の金属検出能力：従来約50 ng/m<sup>3</sup>、目標1 ng/m<sup>3</sup>以下）を有する分析技術の新規開発とその有効性検証を目的とする。本技術では、従来法の一環である酸分解を必要せず、無機元素をオンライン溶出し分析することによって、分析時間を短縮し（従来4時間以上、目標10分以内）、高い時間分解能を確保する。

本年度は、主に下記について検討した。(1)チューブ状フィルター設計の最適化：チューブ状フィルターの形状（長さなど）、充填剤の性質（材質、充填密度）などについて検討し、PM2.5の捕集効率（95 %以上）を確認した。(2)オンライン溶出/ICP-MS法の溶出条件の最適化：溶出液の種類（硝酸溶液、硝酸・塩酸の混酸溶液など）および溶出液の流速と補助手段（振動や超音波など）について検討し、PM2.5試料中の無機元素の定量的溶出条件を確立した。(3)オンライン溶出/ICP-MSによる定量法の確立：検量線の作成法について検討した。内部標準補正法や標準添加法による検量線作成の有効性を確認し、定量法を確立した。次年度には、従来法との比較によって、本年度で確立した分析条件および定量法の有効性確認を行う予定である。また、分析の再現性を確認するため、複数並列処理システムの構築も検討する。さらに、本研究で得られた結果に基づき学会発表および研究論文の発表に取り組む予定である。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】PM2.5、多元素同時測定、高い分析感度、オンライン溶出

【研究題目】常温常圧でピコワット分解能の MEMS 方式高速大面積光カロリメータの開発と応用

【研究代表者】雨宮 邦招（計測標準研究部門）

【研究担当者】雨宮 邦招（常勤職員1名）

【研究内容】

光の強さに関するあらゆる単位の基本量である放射束（光パワー）の標準器、電力置換方式熱型放射計は SI 単位にトレーサブルな高精度計測が可能だが、従来の熱電変換型温度検出方式ではノイズレベルが数ナノワット程度に限られ、しかも応答時定数も数十秒と長く、高スループットな絶対精密光パワー計測には不向きだった。これを克服すべく、熱型光パワー測定器の温度センサ部に高速応答と高感度を両立できるバイメタル MEMS センサを採用した光パワー標準器の開発を目指した。

本年度はまず、バイメタル MEMS センサの微小変位検出系の構築、及び環境起因ノイズ相殺のための双子型センサ系、について検討した。数 mm 角の有感領域を持つ、Si/Al で構成されたバイメタル MEMS センサを試作し、センサの加熱によって生じる微小変位を検出するためのフィゾー干渉計を構築して、応答およびノイズ

特性の評価を行った。センサの応答度は、設計値と比べて最大でも2分の1程度ではあったが、1 mW 程度の光加熱によるセンサの熱変位検出に成功した。MEMS センサの支持ビーム幅によって、設計値とのかい離の程度が異なるほか、スパッタリング膜の膜質も関係していると考えられる。干渉計信号のノイズから等価ノイズパワー (NEP) を換算すると数100 nW 程度と見積もられた。これは目標値に4桁近く及ばないが、主にフィゾー干渉計の分解能や、加熱光パワーの安定性が支配的と考えられるので、変位検出系として、より高分解能な干渉計の採用するなどすることで1 nW 未満の NEP 達成が期待できると考えている。

双子型センサ系の検討においては、二つのセンサが同じ応答度を示す必要があるが、実験では同じ構造・サイズのセンサでも特性にバラつきが見られた。Al スパッタリング膜の膜質など、歩留りには改善の余地があると考えられる。今後は干渉計方式変位計の感度向上、低ノイズ化のための風防や防振など対策を施したうえで、双子型動作を実行していく予定である。本センサは分散型分光分析など、微弱光の精密計測が必要とされる分野において有用であると考えられる。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 光カロリメータ、MEMS、レーザパワー、計測標準

[研究題目] 走査電子顕微鏡法における低エネルギー損失反射電子像の高度化～電子分光的アプローチ

[研究代表者] 熊谷 和博 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 熊谷 和博 (常勤職員1名)

[研究内容]

現在、走査電子顕微鏡法 (SEM) では信号電子のエネルギー弁別検出が注目されており、後方散乱電子のエネルギー領域においても、低エネルギー損失電子を選択的に検出することで、ナノ材料評価に有効な表面・組成敏感な顕微鏡像が得られることがわかってきた。しかし、低エネルギー損失電子像のコントラスト形成メカニズムの解明や検出エネルギーの最適化といった多くの課題が残されている。本研究では、電子分光的アプローチを導入することで、放出電子スペクトルから像形成の解明を進めている。

本年度はシリコン基板上に LB 法により配置したチタニアナノ薄膜を典型試料とし、その低エネルギー損失電子像の像形成を調査した。SEM による像観察では後方散乱電子検出器のエネルギーフィルターにより検出エネルギー条件を変化させながら SEM 画像を取得した。この SEM 像と電子分光装置より得られた放出電子スペクトルを比較することで、薄膜試料低エネルギー損失電子像における基板に対する薄膜のコントラスト形成を議論した。本試料においては、低エネルギー損失電子うち、

とくにプラズモンロスピーク付近のエネルギーをもつ電子で薄膜と基板とで放出電子強度に大きな差異が見られた。このエネルギー領域の電子を選択的に捕集することで広報散乱電子像にナノ薄膜の情報を強調したコントラストを与えられることが明らかとなった。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 走査電子顕微鏡法、SEM、電子分光、低エネルギー損失電子、像コントラスト形成

[研究題目] 可視から中赤外領域にスペクトルを持つ狭線幅光周波数コムの開発

[研究代表者] 大久保 章 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 大久保 章 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究では、高速制御型光周波数コムと非線形光学結晶による波長変換を用いて、可視～中赤外領域にスペクトルを持つ狭線幅光周波数コムを開発する。そのために偏波保持・高速制御型コムを新たに開発し、これを導波路型 PPLN 結晶に直接入射するシンプルな方法で可視・中赤外コムを発生させる。コムを基準となる狭線幅レーザーに位相同期することで、全ての波長領域で狭線幅化したコムを得ることができる。これが達成できた場合、可視～中赤外領域で狭線幅光源を得ることができるようになり、様々な光周波数標準の同時比較や、原子・分子の超精密分光測定が可能になる。

今年度は、偏波保持型・高速制御型光コムオシレーターの開発を行った。当初の計画では、モード同期機構に非線形偏波回転を用い、出力光だけ偏波保持となるオシレーターを製作する予定であった。加えて、オシレーターを較正する光ファイバーに加わる擾乱が加わった場合にもモード同期が堅牢になることを狙い、非線形ループミラー型のオシレーターの開発も行うことにした。現段階では、非線形ループミラー型オシレーターの共振器を構築しレーザー発振は確認できたがモード同期には至っていない。原因としては、共振器内の分散調整が十分でないと考えられる。今後は非線形偏波回転型オシレーターを製作し、光アンプの最適化およびコムスペクトルの広帯域化を行う。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 光周波数コム、周波数標準、周波数計測、分光、分析

[研究題目] 細胞内元素量情報に基づく血中循環腫瘍細胞 (CTC) 検出システムの開発

[研究代表者] 宮下 振一 (計測標準研究部門)

[研究担当者] 宮下 振一 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究は、細胞内元素量情報に基づく新たな血中循環腫瘍細胞 (CTC) 検出システムの開発を目標とし、①

マイクロ流体デバイスを用いたハイスループットな細胞分離技術の構築、②一細胞質量分析技術による各種細胞中元素マーカーの高感度分布計測法の確立、③上記①、②で得られた技術・手法を融合した血中 CTC 検出システムの実証試験に取り組むものである。3年計画の1年目である本年度は、①細胞分離用マイクロ流体デバイスの作製と、②元素マーカーの高感度分布計測法の確立に取り組んだ。

#### ① 細胞分離用マイクロ流体デバイスの作製

マイクロ流体デバイスを用いた計測技術開発で実績のある産総研 生産計測技術研究センター生化学分析ソリューションチーム（研究チーム長：宮崎真佐也）の協力の下、細胞分離への応用が期待できる、微粒子の密度差による分離デバイスの開発技術を習得し、実際に分離デバイスを試作した。

#### ② 元素マーカーの高感度分布計測法の確立

研究分担者として参画中の科研費 基盤研究 (C) (代表：稲垣和三) で開発した、プラズマイオン源への細胞直接導入による一細胞質量分析技術（平均細胞直径 $3.0\ \mu\text{m}$ 以下の細胞については導入効率100%を実証済み）を用いて、より細胞直径の大きい血球や CTC を想定した微細藻類ユグレナ（平均細胞直径 $17.7\ \mu\text{m}$ ）の一細胞質量分析を試行した。その結果、プラズマへの細胞導入効率が著しく低かったほか、安定した一細胞分析が困難であったことから、血球や CTC の一細胞分析には、試料調製方法の最適化、ならびに既存の細胞直接導入インターフェースの改良が必要であることが示唆された。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] マイクロ流路分析、がん診断、血球、循環腫瘍細胞、質量分析

#### [研究題目] 「測定の不確かさ」の情報がある場合の試験所間比較における統計的方法

[研究代表者] 城野 克広（計測標準研究部門）

[研究担当者] 城野 克広（常勤職員1名）

#### [研究内容]

試験所（測定者）の測定能力を確かめるのに、複数の試験所で、同一の測定対象物を測定した結果を比較することで行われる「技能試験」は有用である。不確かさの妥当な見積りを含めたパフォーマンスの評価を、参照となる試験所との比較により実施することはよく行われているが、参照試験所がない場合、そのような評価は困難であった。本研究では、このような参照試験所がない場合に、参加者のパフォーマンスを評価するための理論的な基礎を確立する。

その統計学的な課題は外れ値に影響を受けにくい頑健な手法を確立することにある。この課題に対して、報告された測定の不確かさに加えて、付加的な不確かさを考慮し、その大きさの推定をベイズ統計の推定対象とみな

した。事前分布を周辺尤度の最大化に基づいて定める経験ベイズの手法を適用することにより、ほとんどのケースで外れ値に頑健な推定ができた。さらに、推定された値を用いて、簡単に試験所の測定能力を評価する統計的方法を開発した。これにより、いつかの適用条件の下、頑健な解析が可能となった。その内容は査読付き論文として採択された。これにより広範な条件で適用できる、簡単な手法の開発のための基礎を築いた。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 技能試験、測定の不確かさ、ベイズ統計

#### [研究題目] コンパクトカロリメータを用いた外部放射線治療現場における絶対線量計測技術の開発

[研究代表者] 清水 森人（計測標準研究部門）

[研究担当者] 清水 森人（常勤職員1名）

#### [研究内容]

医療用リニアック装置からでる高エネルギー光子線などを用いる外部放射線治療においては、腫瘍に投与した線量の不確かさが治療結果を大きく左右する。現在、治療用の線源として様々な方式の線源が臨床で用いられており、これら全ての線源について一次標準場となる線源を用意するのは時間やコストから判断するに現実的ではない。そこで、実際の治療現場において現場校正を行うこととし、そのための現場標準となるコンパクトグラフファイトカロリメータを開発することとした。

現場標準器には標準器に求められる精度に加え、計測システム全体の可搬性や計測時間の短さが求められる。そこで、コンパクトグラフファイトカロリメータは線量計測に用いられる水ファントムに取り付ける方式とし、グラフファイトカロリメータ用のファントム類は使用しない設計とした。グラフファイトカロリメータの補正係数導出についても、各施設の線質に基づいたモンテカルロ計算による補正係数導出は難しいことから、空洞理論とモンテカルロ計算を組み合わせた手法で、補正係数を導出する方法に変更した。

以上の観点からコンパクトグラフファイトカロリメータの製作を行った。翌年度の2015年度は実際に製作したカロリメータを用いて、医療現場における試験測定を行う予定である。

[分野名] 計測・計量標準

[キーワード] 水吸収線量、高エネルギー光子線、グラフファイトカロリメータ

#### [研究題目] 二次元ダークフリンジ法による球体直径測定原理開発とアボガドロ定数精密決定への応用

[研究代表者] 倉本 直樹（計測標準研究部門）

[研究担当者] 倉本 直樹、藤井 賢一、藤本 弘之、早稲田 篤、水島 茂喜、東 康史

(常勤職員6名)

## 【研究内容】

アボガドロ定数は重要な基礎物理定数であり、シリコン単結晶の密度、モル質量、格子定数の測定から求められる。近年、質量の単位であるキログラムの基礎物理定数による再定義のために、非常に高精度なアボガドロ定数測定が求められている。アボガドロ定数測定高精度化においては、密度測定のためのシリコン単結晶球体体積測定高精度化が支配的な役割を果たす。そこで本研究では、1. 新たな球体直径測定原理（二次元ダークフリンジ法）に基づく、シリコン単結晶球体体積高精度測定用レーザー干渉計の開発、2. アボガドロ定数の世界最高精度（ $2 \times 10^{-8}$ ）での決定、を目的とする。

本年度はアボガドロ定数決定のために、 $^{28}\text{Si}$  単結晶球体の体積測定、質量測定、表面分析および格子定数均一性評価を実施した。球体体積測定には本研究で開発した球体直径測定用レーザー干渉計を用いた。約1000方位から直径測定を実施し、世界最高精度（ $2 \times 10^{-8}$ ）での球体体積の決定に成功した。これは直径測定精度に換算すると0.6 nm であり、約一原子間距離の精度での球体直径測定が可能となった。質量測定には真空天びんを用い、 $8 \times 10^{-9}$ の世界最高レベルの精度での測定を実現した。表面分析には球体回転機構を備えた分光エリプソメーターを用いた。X線反射率法で  $\text{SiO}_2$  膜の厚さを値付けしたシリコンウェハーで分光エリプソメーターを校正し、球体表面全面にわたる正確な酸化膜厚さ測定を実施した。格子定数均一性評価には自己参照型格子比較器を用いた。X線源に放射光を用い、9桁の分解能での均一性評価を実施した。

上記の結果を国際研究協力「新アボガドロ国際プロジェクト」参加機関で得られたデータと組み合わせ、 $2 \times 10^{-8}$ の精度でアボガドロ定数を決定した。これはアボガドロ定数を直接実験的に決定したものとしては世界最高精度である。現在、キログラムは世界に一つしかない白金イリジウム製の分銅「国際キログラム原器」によって定義されているが、本研究でのアボガドロ定数超精密測定は、基礎物理定数による定義への改定実施を確実なものとした。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】基礎物理定数、アボガドロ定数、光周波数制御

【研究題目】量子力学に基づいた高周波磁界測定

【研究代表者】石居 正典（計測標準研究部門）

【研究担当者】石居 正典、木下 基（常勤職員2名）

【研究内容】

従来、高周波の電磁波を測定または観測する際には、アンテナを利用した電磁界センサが用いられてきた。通常、電磁界センサのアンテナ部分は金属体で構成され、その目的や用途によって形状や特性は様々であるが、そ

れらの動作原理は最終的にはマクスウェルの方程式に帰着される。本研究では、従来のように幾何寸法と古典電磁気学による物ではなく、量子現象を利用し、原子の構造と基礎物理定数に基づいた高周波電磁界センサの実現を目指す。なお、一般的に電磁界センサには電界用と磁界用の両者が考えられるが、本研究では初期検討として、磁界を観測する磁界センサを対象としている。

これまでも産総研が先行して実施してきた、伝送線路である導波管内の電磁波の高周波電力の測定システムがある。しかし、このシステムは閉ざされた空間内の電磁波を対象にした物であった。一方、本研究では、これをさらに導波路外である空間中へ放射・伝搬する電磁波の測定システムに応用するため、空間中の電磁波に対する実現可能性の検証を行い成功した。

具体的にはセシウム気体が封入されたガラスセルを空間中に配置し、それにホーンアンテナによりマイクロ波帯の電磁波を照射する。この時、この電磁波とは別にレーザーを照射することで二重共鳴スペクトルを観測し、それと同時にこの二重共鳴スペクトルの挙動を解析することで電磁波とセシウムとの相互作用が得られる。ここでは、二重共鳴スペクトルを観測の際に電磁波に位相変調を加え、パラメトリック励振を起こすことで、系の固有振動数であるラビ周波数を測定する、アトミックキャンドルと呼ばれる手法で測定した。さらには、観測するラビ周波数のセシウム入りガラスセルの位置依存性を調べることで、ホーンアンテナによって照射された電磁波の磁界強度の空間分布の測定にも成功した。これは金属体を不要とする低侵襲性磁界センサの実現可能性を示す重要な結果となっている。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】電磁界測定、磁界センサ、ラビ周波数、セシウム

【研究題目】高出力レーザー用イメージングパワーメータの実現に向けたイメージセンサ校正技術の開発

【研究代表者】沼田 孝之（計測標準研究部門）

【研究担当者】沼田 孝之（常勤職員1名）

【研究内容】

加工用高出力レーザーの分野では、半導体レーザーやマルチモードファイバによるパワー伝送など、高次の横モードを持つビームの応用が進んでおり、パワー密度の信頼性の高い評価技術が求められている。そこで、CCD イメージセンサをレーザービーム測定に適用するための応答度評価技術と入射ビーム精密減衰技術の開発に取り組んだ。今年度は、高耐力レーザー減衰器の実機を開発しイメージセンサ前段に設置して10 W レベルの高出力レーザー測定への適用を目指した。試作機は、対向させたプリズム底面間に Al 製スペーサを設置し両脚面側から固定する方式としホルダにはビーム透過用窓を開けつつ C マ

ウントによりカメラへの固定を容易とした。スペーサの厚さを単位とし底面間距離を調整することで減衰量を任意に設定可能であることを示し、実機では、距離0.8  $\mu\text{m}$ 、1.6  $\mu\text{m}$  に対しそれぞれ30 dB、50 dBの減衰量を得た。また偏光依存性についてエバネセント場の広がりに関する理論との整合性を評価した。従来、ガラス基板のフレネル反射や多段の ND フィルタで得ていた減衰量を、本提案手法ではインラインの25 mm 程度のコンパクトな系で達成可能である。これを CCD カメラ前面に設置し、10 W、 $\phi$ 3 mm のビームを直接照射してレーザーパワーの減衰とその安定性、および減衰過程におけるビームプロファイルの保存を評価した。昨年度までに開発したイメージセンサ応答度評価技術と組み合わせ、高パワー領域にも適用可能なイメージセンサベースのレーザーパワーメータの基盤技術を構築した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】レーザーパワー、パワー密度、CCD、CMOS、イメージセンサ、ビームプロファイラ、均一性、減衰器

【研究題目】全冷却方式超高安定マイクロ波発振器の開発

【研究代表者】池上 健（計測標準研究部門）

【研究担当者】池上 健、高見澤 昭文、柳町 真也、渡部 謙一（常勤職員4名）

【研究内容】

低温サファイア発振器は最も短期安定度の優れた発振器であるが、定期的な液体ヘリウムの補充が必要なため一次周波数標準器の運用には使い勝手が悪い。冷凍機を用いることで液体ヘリウムを使用することなく長期に渡る運転が可能となるため、水素メーザーを超える次世代の実用周波数標準器としても期待される。本研究では発振ループ内に入る素子の温度安定化や低雑音化を図り従来の低温サファイア発振器の周波数安定度を $10^{-17}$ 台にまで改善するとともに、数年にわたって連続的に動作する超高安定なマイクロ波発振器を開発することを目的とする。

今年度は振動の少ないパルス管冷凍機と冷凍機の冷却ステージを除去するクライオスタットを製作した。短期周波数安定度を評価するために従来から維持している液体ヘリウム冷却方式低温サファイア発振器を用い、また中長期の周波数安定度を評価するためには水素メーザーを参照発振器として用いて、冷凍機冷却方式低温サファイア発振器の周波数安定度を評価した。その結果、短期および中期の周波数安定度については従来の液体ヘリウム冷却方式と同等の周波数安定度まで到達し、また1000秒以上の平均時間においてはそれより優れた周波数安定度を実現した。周波数安定度は平均時間3秒から6000秒の間の範囲にわたって $10^{-15}$ より優れた値が得られた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】低温サファイア発振器、極低位相雑音、周波数安定度

【研究題目】X線ホログラフィ映像法を用いた媒質内屈折率分布の3次元測定

【研究代表者】日比野 謙一（計測標準研究部門）

【研究担当者】日比野 謙一、Ilpo O. Niskanen（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

生体におけるタンパク質分子や、より単純な生体物質分子の空間分布を高い空間分解能で同定、検出する方法として、X線ホログラフィを利用することを将来目標とする。そのために必要なホログラフィの画像再生とノイズの低減技術を今回研究する。具体的には、加速器放射光から発生したX線で微小球粒子を撮影したホログラムから位相情報を抽出し、円錐波X線を照射した場合の再生像を計算機内で計算して実像と虚像を分離し、その一方を可視光波長のレーザーで再生する実験を行う。従来のX線ホログラムは、平面波X線で物体を照射するガボール型ホログラムであったが、この場合実像と虚像のふたつの情報が重なって再生されるため、低雑音の鮮明な粒子画像を得ることが困難であった。今回、円錐状発散光で粒子を照明・記録することで、再生時に二つの像の一方が発散光、他方が収束光となるために、適当な距離に絞りを置くことで両者を分離できることが、理論研究で明らかとなってきた。この手法を用いて、例えば実像成分を分離してその雑音強度を大幅に小さくすることが可能であると予想される。今回は、既に撮影された円錐状X線発散光で照明したミクロン径粒子のX線ホログラムから、虚像成分ないし実像成分を可視波長レーザー光を用いて抽出、再生像を作り出す実験を行い、ノイズ低減技術の有効性を実証する。

今年度は、研究担当者の出身である OULU 大学でナノ粒子試料を作成し、X線用の二次元検出器のノイズレベルその他の情報交換のために、光検出器メーカーである浜松フォトニクスやその方面の研究を行う光産業創成大学院大学の研究グループと情報交換を行う。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】屈折率、ナノ粒子、長さ計測、X線ホログラフィ、デジタルホログラフィ

【研究題目】Molecular-Net Sieving の提案と超薄膜分離膜の創製

【研究代表者】伊藤 賢志（計測標準研究部門）

【研究担当者】伊藤 賢志（常勤職員1名）

【研究内容】

分離困難な各種気体および液体分離プロセスの省エネルギーの可能性を探るため、ナノメートルスケール構造を制御したアモルファスシリカネットワークを成長させるこ

とでシリカ分離膜を形成し、その構造を評価する。そのために、シリカ系薄膜中のサブナノ～ナノスケール細孔の信頼性の高い構造解析及び分離機構の分子レベルでの解明に資するフロー型蒸気吸着分光解析（フローEP）法及び陽電子消滅法による高感度細孔評価技術を開発し、開発分離膜の細孔構造解析に適用して分子選択性との関係を調べた。

フローEPによりマイクロ多孔質シリカ系薄膜の表面積と細孔分布解析を行うとともに、大気低速陽電子寿命測定システム（大気低速 PALS）を活用して、気体吸着時の平均細孔サイズの解析を試み、閉鎖細孔と開放細孔の各構造状態を評価するための手法を開発した。プラズマ化学気相堆積法で作製したマイクロ多孔質シリカ膜の細孔解析に応用することによりフローEPと大気低速 PALSの結果が相補的であることを明らかにした。マイクロ多孔質薄膜の細孔構造評価では、水蒸気やメタノールなど低分子プローブを用いることにより精度よく解析できることを示すと共に、PALSと補完的な解析を行うことで詳細な描像を得ることに成功した。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】陽電子消滅、空孔、分離膜

【研究題目】放射光軟 X 線を用いて誘発した ATP の分子変異の誘発による生物効果の制御

【研究代表者】藤井 紳一郎（計測標準研究部門）

【研究担当者】藤井 紳一郎、加藤 大（バイオメディカル研究部門）（常勤職員2名）

【研究内容】

リボ核酸（Ribonucleic acid, RNA）の一種であるアデノシン三リン酸（ATP）は生体内で最も一般的かつ重要な分子の一つであるが、この ATP に量子ビームを用いて特異的な分子変異を導入し、様々な生物効果を制御することが本研究の目標である。量子ビーム科学において化学反応を制御することは、最重要課題の一つであるが、中でも生体における生物効果について、生体分子を介した制御が可能であれば、生物学的な生体機能の解明だけではなく、医薬、創薬分野における分子を用いた薬剤的应用にも繋がる重要なテーマである。本研究では、ATP の物理化学的特性について分析化学的見地から解析を進め、特異的な分子変異について定量的な評価を行う。得られた化学的特性と、生物学的活性評価を行う研究担当者らが得た知見とを研究グループ内で比較検証することによって、ATP の分子変異による生物効果の制御性を検証する。本研究では、核酸生体分子である ATP 分子が、放射線によって損傷した場合の生体影響を多角的に解析し、どのような生物学的効果を示すかを *in vitro* および *in vivo* 実験で検証することが目的である。

本年度は水溶液中 ATP (pH 2.8) と Tris 緩衝液中 ATP (pH 7.0) について X 線照射による分子変異を解

析した。HPLC による分析結果では、Tris 緩衝液中の方が塩基脱離が抑制され、かつ、水溶液中において未知ピークが観測された。未知ピークは電気化学検出と紫外吸収測定における溶出時間からイノシン三リン酸（ITP）と同定され、プリン塩基の不飽和二重結合への水酸基の付加反応やアミノ基の酸化反応が進行しているものと推察される。また、放射線によって ATP が変化すると、細胞応答に対してどのような変化が生じるかについて検討を行った。神経膠芽腫細胞（A172）を用いたアッセイでは、γ線による DNA 損傷修復過程に ATP をリガンドとする P2X7受容体、P2Y13受容体、UDP をリガンドとする P2Y6受容体の関与が示唆された。また、悪性黒色腫細胞（B16）においても P2Y 受容体への関与が示唆されるなど、ATP の構造変化が細胞の感受性に変化を生じさせている可能性を示唆するものであった。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】ATP、軟 X 線、分子変異

【研究題目】スペクトラム拡散法を用いた曲流路探傷式高精度超音波流量計測システムの開発

【研究代表者】古市 紀之（計測標準研究部門）

【研究担当者】古市 紀之（常勤職員1名）

【研究内容】

スペクトラム拡散を用いた際の超音波の金属壁透過では、壁厚さに対する超音波入射条件の選択が必要であり、最適入射条件は配管壁の材質、厚さおよびセンサの設置角度、発振周波数などが透過率に依存するため、前年度に引き続き、音場予備解析にもとづく透過実験を行った。複数の超音波センサを取り付けた複測定線積分法を確立するため、現有のアクリル製水平流路において予備実験を行った。複測定線測定はまず現有のフェイズドアレイ流速分布計測システム（UVPf）を用いて計測し、UVPf の計測精度を調べると共に、UVPf の瞬時流速分布の計測データからオンラインで流量を求めるソフトなど流量計測システムとして必要なソフトを整備した。予備実験には現有のリニアアレイセンサを利用するが、本実験には実験装置に適合したセンサを新たに設計した。現有の UVPf のドップラ法による信号処理アルゴリズムでは、測定分解能に限界があるため、超低速から超高速まで広範囲に測定可能な位相差アルゴリズムを構築するとともに、現有のフェイズドアレイ装置内の超音波パルスレシーバと高速デジタル信号処理装置を用いて、超音波時間領域相関法と位相差法を用いた計測システムを構築した。本研究では高速信号処理方法と SN 向上技術の確立が必要であり、UVPf の基本プログラムは完成しているが、本研究課題に適應した仕様に改良を行った。実機適用条件の高温条件に適用するための、超音波センサの基本設計を検討し、高温計測には、センサに使用する音圧素子の高温対応と、遅延材を冷却して測定する冷却方法を検討した。また、音圧素子の高温対応に関して

は、キューリ温度の高いニオブ酸鉛等を用い、センサ冷却方法を検討した後、試作品を検討した。実機に近い条件で実験を行うためには、産業技術総合研究所の小型実験流路での予備調査を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕探傷式高精度流量計測システム、流量、スペクトラム拡散法

〔研究題目〕光コムによる環境自己補正型の精密長さ計測エコ技術の開発

〔研究代表者〕稲場 肇（計測標準研究部門）

〔研究担当者〕稲場 肇（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、精密産業の基盤である高精度長さ計測において、主要な誤差要因である空気屈折率の環境変動を、多波長光における空気屈折率の波長分散関係を用いることで、高精度かつリアルタイムに補正するための基礎技術を開発する。これにより、特に従来補正不可能だった湿度を含むトータルな環境要件を大幅に緩和し、科学・産業の省エネルギー化に寄与することを目指す。

本年度は、エルビウム添加光ファイバを用いたモード同期レーザおよびファイバ光増幅器を構築し、非線形光学結晶を用いて出力200 mW、パルス幅100 fsを実現した。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕光周波数コム、空気屈折率、干渉計測

〔研究題目〕微細射出機構による高粘度マイクロカプセル生成システムの開発

〔研究代表者〕青山 尚之（電気通信大学）

〔研究担当者〕大田 明博（計測標準研究部門）  
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、同軸の多層ガラスピペット内にさまざまな高粘度液体または微小固体を充填し、それらを極細ノズルで精密に押し出しながら、直径が100 μm以下のマイクロカプセルを生成させる方法を提案し、その特性や性能および応用を実験的に検証することを目的としている。

平成26年度は、産総研における研究分担として、高粘度液体用微小量精密射出式カプセル生成機構の高速化を実現するために、新たに提案された偏心カム機構と平行ばね保持機構を組み合わせた高速揺動機構について、その応答速度の評価を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕マイクロカプセル、高粘度液体、極微小射出、直動機構、振動

〔研究題目〕新粒子成長過程における大気エアロゾル粒径別化学組成の追跡分級計測システム

の開発

〔研究代表者〕竹川 暢之（東京大学 先端科学技術研究センター）

〔研究担当者〕桜井 博（計測標準研究部門）  
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

エアロゾルは直接・間接効果によって気候変動に大きな影響を与える。新粒子生成は、雲凝結核（CCN）濃度を変化させる要因として重要である。そのメカニズム解明のためには、新粒子からCCNへの成長過程で鍵となるエイトケンモードのエアロゾル粒子（粒径10-100 nm）に着目し、従来行われてきた数濃度粒径分布の計測に加え、化学組成や混合状態を同時に実時間計測することが必要である。本研究では、エアロゾル数濃度粒径分布計測装置や粒子質量分析計等を駆使することにより、新粒子成長過程における粒径・混合状態別の化学組成（硫酸塩、硝酸塩、有機炭素）を計測するシステムの開発に取り組む。H26年度は、粒子質量分析計の前段に取り付ける粒子分級部の試作を完了し、産総研において大気エアロゾルに対する分級試験を行った。また、ナノ粒子発生装置を導入し、機器校正に必要な長時間の粒子安定発生が可能となるよう、発生装置の改良を行った。

〔分野名〕計測・計量標準

〔キーワード〕エアロゾル、新粒子生成、粒径分布、化学組成、粒径別分析

〔研究題目〕マンガ窒化物の電気抵抗極大：特異な伝導機構解明と抵抗標準材料への展開

〔研究代表者〕竹中 康司（名古屋大学・工学（系）研究科（研究院））

〔研究担当者〕金子 晋久、大江 武彦（計測標準研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

逆ペロブスカイト型マンガ窒化物  $Mn_3AgCuN$  は、室温付近の常磁性領域にて抵抗率の極大を示すという特長を持ち、標準抵抗器・精密抵抗器への応用が期待されている。本研究は本材料を用いた抵抗体の、温度係数及び経年変化率の低減を目的とした。

このマンガ窒化物  $Mn_3AgCuN$  において、In や Fe 元素により元素置換を行うことで、ピーク温度を室温付近に保ったまま抵抗-温度曲線の曲率を低減可能であることを精密測定により明らかにした。また、Mn および In を添加した  $Mn_{3.12}Ag_{0.61}Cu_{0.18}In_{0.09}N$  が約  $-0.2 (\mu\Omega/\Omega)/K^2$  の小さい温度係数を示すことを明らかにした。

また、これまで問題であった大きな経年変化率（数百  $(\mu\Omega/\Omega)/year$ ）が、コンタクトに起因するものであることを明らかにし、アニールにより良質なコンタクトを形成することで、経年変化率を2桁程度向上させることに成功した。また、マンガ窒化物焼結体を四端子形状に加工して端子付けすることにより、経年変化の歩留



まりを向上可能であることを明らかにし、数 ( $\mu\Omega/\Omega$ ) /year の経年変化を得た。

試作したサンプルの抵抗は数十  $m\Omega$  であり、同定格の市販品の標準抵抗器とほぼ同程度の特性を得た。より組成や実装を工夫することにより、従来製品に勝る性能を得られると期待できる。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 標準抵抗器、逆ペロブスカイト型マンガン窒化物、温度依存性

〔研究題目〕 R32を基本成分とする低 GWP 混合冷媒の新たな熱力学モデル

〔研究代表者〕 赤坂 亮 (九州産業大学)

〔研究担当者〕 粥川 洋平 (計測標準研究部門)  
(常勤職員1名)

〔研究内容〕

冷凍空調分野においては、地球温暖化への寄与と、可燃性や毒性、化学的な安定性、サイクルに対する熱力学的な適性といった諸条件を満たす代替冷媒の実用化が近年の課題となっている。そこで本研究では炭化水素よりも可燃性が低く、他のハイドロフルオロカーボン (HFC) よりも地球温暖化係数 (GWP) が低い R32に着眼し、この冷媒を含む混合冷媒の冷凍空調機器への適性を目的とし、プロパン・イソブタン等の炭化水素、R1234yf・R1234ze (E) 等のオレフィン系冷媒等と R32との2成分系混合冷媒に関する熱力学性質を実験的に求め、ヘルムホルツ自由エネルギーの混合測に用いるパラメータを決定することにより、それぞれの混合系の熱力学性質を計算可能な数値モデルを開発することが目標である。

平成26年度は、等容法による露点計測装置を用いた R134a+R600a 系の測定を昨年度に引き続き実施し、組成範囲25.0、50.0、75.0 mol% (R134a) における PVT 性質および露点実測値を得ることができた。測定結果を冷媒物性推算ソフトウェア REFPROP の計算結果と比較し、同ソフトウェアに搭載される混合則が一定の信頼性を有していることを確認した。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 混合冷媒、R32、状態方程式、気液平衡性質

〔研究題目〕 非接触電力伝送の高効率化に向けた電力計測技術の確立

〔研究代表者〕 桐生 昭吾 (東京都市大学)

〔研究担当者〕 堂前 篤志 (計測標準研究部門)  
(常勤職員1名)

〔研究内容〕

共鳴型非接触電力伝送技術が実用化されつつあり、電気自動車の充電、携帯電話の充電、体内埋め込み型医用機器への電力伝送などに応用が期待されている。それら

の機器開発には高精度な電力測定器が必要となる。現在、低周波領域では高精度な電力計が存在し、高周波領域ではインピーダンス整合を前提とした電力計が存在する。しかしながら、上記の中周波領域では、整合を前提としない場合、浮遊インダクタンスや浮遊容量により高精度な電力計測が困難であった。本研究では、高精度小型チップ抵抗など最新の部品技術を用い整合を前提としない中周波領域での高精度電力計測技術の確立を目的とした研究を行う。

産総研における研究分担として今年度は、高精度小型チップ抵抗で構成した抵抗分圧器の特性を評価するため、測定装置の整備を進めた。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 非接触電力伝送、電力計測

〔研究題目〕 ホタルルシフェリン生合成経路の解明とキラルフリー発光システムへの応用

〔研究代表者〕 丹羽 一樹 (計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 丹羽 一樹 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

蛍の光は生物発光反応と言われる酵素化学反応の結果放出され、発光する基質分子はルシフェリンと呼ばれている。このルシフェリンがホタル体内で生合成される化学メカニズムに関して産総研では、光学反転反応が最終段階の反応として働いていることを世界に先駆けて解明してきた。本研究では、この光学反転反応の生化学的解析を行い、さらにこれを応用した発光反応系の構築を目的としている。

ルシフェリンの光学反転反応では、何らかの CoA-チオエステラーゼ (CTE) と呼ばれる加水分解酵素が機能していることがこれまでの研究で明らかにされている。そこで、ヒトあるいは微生物で既に報告されている CTE をクローニングし、リコンビナント発現系とアフィニティーカラムクロマトグラフィーにより調製し、酵素活性として各種 CoA チオエステル分子に対する加水分解の立体選択性を解析した。

その結果、大腸菌の TESB 酵素、ヒトの ACOT 酵素などに、ルシフェリル CoA チオエステルに対する加水分解活性があることを確認した。今後は、ルシフェリン反転反応の効率について、酵素反応速度論的に解析する。

更に以上の成果を基盤に、ホタルの CTE 単離を目指し、トランスクリプトーム解析を実施した。

また、上記生物発光反応に関連して、リン酸無水物である T3P という物質が、ホタルルシフェリンを始めとするカルボン酸類を、非酵素的に化学発光させらる機能があることを発見し、論文発表を行った。(Kato D et al., Photochem. Photobiol. Sci., 13, 1640-1645, 2014)

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 生物発光、ルシフェリン、生合成、光学異性体、ホタル

**〔研究題目〕** 海水からサンゴ各部位へのメタロミクスとその環境応答

**〔研究代表者〕** 伊藤 彰英 (麻布大学)

**〔研究担当者〕** 朱 彦北 (計測標準研究部門)  
(常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

サンゴとその生育環境である海水について多元素プロファイリングアナリシスを行うことにより、生育環境の違いによって、サンゴの各部位の微量元素の摂取・代謝・蓄積に与える影響をメタロミクスの観点から考察し、モデル化する。このため、天然のサンゴを採取し、生育環境を制御した海水槽を用いた飼育実験により海水及びサンゴ各部位(軟組織、褐虫藻、骨格、粘液)における微量元素の含有量と各元素間の関連性の特徴を明らかにする。同時に、微量元素の総量だけでなく、サンゴの石灰化との関与が考えられている Zn 酵素・炭酸脱水酵素、および栄養塩であるリン酸塩の代謝に関与するアルカリフォスファターゼなど生体内の重要な金属酵素に着目し、活性中心元素である Zn を指標として前記の酵素の含有量と活性量の変化を分析し、他の生体必須微量元素の増減とともに検討する。

本年度は、担当内容である海水とサンゴの分析手法開発の一環として、ハイマトリクスインターフェースを併用した誘導結合プラズマタンデム四重極質量分析計(ICP-QMS/QMS)による海水中の Cd の直接分析法を検討した。海水成分である Mo の酸化物イオンによるスペクトル干渉を効率的に除去するために、酸素・水素・ヘリウム・アンモニアなど複数種類のリアクションガスを検討した。さらに、海水中の塩分によるマトリクス効果を解消するために内部標準補正を併用した標準添加法を用い、海水中の Cd の直接定量分析法を確立した。また、海水からサンゴ骨格への微量元素の蓄積のメカニズムを解明するため、レーザーアブレーション(LA)ーICP-QMS/QMS法を用いて、微量元素添加の海水で飼育されたサンゴ骨格中の微量元素の空間分布を分析・解析した。LA-ICP-QMS/QMS法において、サンゴ骨格成分である Sr を内標準として使用し規格化する手法は微量元素の空間分布解析に有効であることが分かった。次年度にはサンゴの飼育条件を最適化し、サンゴ骨格中微量元素の蓄積のメカニズムの解明に取り組む予定である。

**〔分野名〕** 計測・計量標準

**〔キーワード〕** 海水、サンゴ、微量元素、多元素プロファイリングアナリシス

**〔研究題目〕** 新粒子成長過程における大気エアロゾル粒径別化学組成の追跡分級計測システムの開発

**〔研究代表者〕** 竹川 暢之 (東京大学 先端科学技術研究センター)

**〔研究担当者〕** 桜井 博 (計測標準研究部門)  
(常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

エアロゾルは直接・間接効果によって気候変動に大きな影響を与える。新粒子生成は、雲凝結核(CCN)数濃度を変化させる要因として重要である。そのメカニズム解明のためには、新粒子からCCNへの成長過程で鍵となるエイトケンモードのエアロゾル粒子(粒径10-100 nm)に着目し、従来行われてきた数濃度粒径分布の計測に加え、化学組成や混合状態を同時に実時間計測することが必要である。本研究では、エアロゾル数濃度粒径分布計測装置や粒子質量分析計等を駆使することにより、新粒子成長過程における粒径・混合状態別の化学組成(硫酸塩、硝酸塩、有機炭素)を計測するシステムの開発に取り組む。H26年度は、粒子質量分析計の前段に取り付ける粒子分級部の試作を完了し、産総研において大気エアロゾルに対する分級試験を行った。また、ナノ粒子発生装置を導入し、機器校正に必要な長時間の粒子安定発生が可能となるよう、発生装置の改良を行った。

**〔分野名〕** 計測・計量標準

**〔キーワード〕** エアロゾル、新粒子生成、粒径分布、化学組成、粒径別分析

**〔研究題目〕** 因果推論が多感覚統合プロセスに及ぼす影響の検討

**〔研究代表者〕** 梅村 浩之 (健康工学研究部門)

**〔研究担当者〕** 梅村 浩之、広瀬 遥香  
(常勤職員1名、他1名)

**〔研究内容〕**

本研究では二つの事象の生起における因果関係を推測する過程(因果推論)が外界の知覚に与える影響について、実験的に検討を行い、知覚内容がこのような因果推論によって変容するか、及び知覚システムが複数の事象を関連づける、またはそれぞれを独立とするプロセスがどのような要因によって影響を受けるかを明らかにすることを目的としている。平成26年度は因果推論が知覚に影響を及ぼす事象として、触覚情報と視覚情報の統合についての実験的検討を行った。これまでに3次元力覚生成装置を用いて仮想的に面を押し込む場面を構築し、能動的に面を押し引きする動作と出っ張ったり凹んだりする視覚情報との統合について検討し、両眼立体視で視覚情報が与えられる場合には、触覚情報は統合されないという結果が得られている。一方、その以前の研究において受動的に力が与えられる場合には、触覚情報に視覚情報が引っ張られることも示してきている。これらは能動的に押し込む場合には予測が働き、両眼視差情報に含まれる定量的な奥行き量とのずれを検出しやすいためではないという仮説のもと、単眼の場合にはこの定量的な奥行き量が得られないため、受動的な条件と同様に統合が促進されるのではないかと考え、これを実験的に検証

した。その結果、能動的な行為においても視覚的な奥行き方向の促進を示す結果が得られた。これは、因果関係を基にした多感覚情報の統合が、お互いが持つ情報の質により変化することを示す結果であった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 認知科学、バーチャルリアリティ、脳科学

【研究題目】 神経活動履歴に伴う受容体輸送制御における Rab エフェクター分子の役割

【研究代表者】 清末 和之（健康工学研究部門）

【研究担当者】 清末 和之（常勤職員1名）

【研究内容】

ストレスの多い社会環境が脳・神経機能へ与える影響は多大なものであると推定されているが、その分子基盤の多くは謎である。脳における情報処理や記憶などの高度な機能はシナプスによって担われるが、その特性は神経伝達受容体の種類・数量によって決定される。本研究は、神経活動の履歴がその特性に与える影響を明らかにする取り組みである。我々は、これまでの研究で、神経活動履歴に依存した膜輸送関連蛋白質の変化を見いだしている。この分子はシナプス後部で特定のグルタミン酸受容体の発現を増強し、神経活動が低下した場合におこるシナプス増強機構に関与していることを、また、神経活動が高い状態では、その特性を低下させることを明らかにした。このことは、シナプスでの機能制御には膜輸送システムの制御も重要であることを示唆している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 脳神経、経験に依存した神経機能修飾、シナプス、受容体

【研究題目】 血中循環がん細胞の検出を目指した細胞チップデバイスの開発

【研究代表者】 山村 昌平（健康工学研究部門）

【研究担当者】 山村 昌平、橋本 芳子、八代 聖基、芝田 いずみ、片岡 正俊（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

目標：

血液中の循環がん細胞（Circulating Tumor Cell, CTC）の解析は、新たながん検査として期待されているが、CTC が存在する割合は、血液10ml（白血球：約5千万個）中に数個から数百個程度といわれており、既存の FACS 等では極めて検出は難しい。本研究では、独自の集積型の細胞マイクロアレイチップを作製し、CTC の検出系の構築を目指す。本細胞チップ上で、多数の白血球を均一に配置し、そこに混在する極少数のがん細胞を高感度に検出し、単一がん細胞の解析まで行えるがん診断システムの開発を目標とする。

研究計画：

昨年度までに、多数の白血球を単一層に配置し、抗体多重染色により標的がん細胞を検出する細胞チップを構築した。本年度は、作製した細胞チップ上で、白血球中に混在する極少数のがん細胞に対して、詳細な機能解析を行うことを目指す。チップ上で検出された標的単一がん細胞の PCR 等を行うことによって、単一細胞の遺伝子解析手法の開発を進める。また、本細胞チップシステムを用いて、患者試料を用いた CTC 検出の実証実験も行う。

進捗状況：

今年度は、開発した細胞チップによって検出された単一がん細胞の機能解析技術の開発を進めた。開発した細胞チップ上で、全血中に混在する極少数のがん細胞を検出した後、独自に開発したマイクロマニピュレーターを用いて、標的の単一がん細胞の回収に成功した。さらに、回収した単一がん細胞におけるサイトケラチンの mRNA 発現をリアルタイム PCR で確認することができた。チップ上での PCR では遺伝子増幅することができなかったが、独自の回収システムによって標的単一がん細胞の遺伝子解析が可能であることが示された。また、本細胞チップを用いて、臨床研究を行った結果、肺がん患者試料から CTC を検出することにも成功した。本細胞チップは、CTC の分離、検出、解析までが可能な新規がん診断システムになり得ることが期待される。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 細胞チップ、マイクロアレイ、循環がん細胞（CTC）、転移性がん、がん診断、単一細胞解析、ハイスループットスクリーニング

【研究題目】 多孔質電極の熱力学

【研究代表者】 清原 健司（健康工学研究部門）

【研究担当者】 清原 健司（常勤職員1名）

【研究内容】

多孔質電極は、その細孔径が電解質イオンの径と同程度まで小さくなると、蓄電量や発生圧力などの熱力学的物理量が古典的な電気二重層の理論では説明できないような振る舞いを示すことが、近年明らかになってきた。この小さい細孔を持つ多孔質電極に特異的な性質は、電池や電気化学キャパシタの特性を大きく改良すると期待されるのみならず、全く新しいデバイスの発明へとつながる可能性もある。我々は、モンテカルロ・シミュレーションを用いてこの小さい細孔を持つ多孔質電極の熱力学的振る舞いを分子間相互作用のレベルで解析し、多孔質電極の熱力学を構築して、その産業利用のための理論的枠組みを与えることを目指している。

本年度は、電解質がファンデアワールス相互作用を含む一成分および二成分のイオンで構成される場合について、多孔質電極の蓄電量と電圧の関係を中心に、モンテカルロ・シミュレーションを用いて調べた。その結果、

蓄電量と電圧の関係においては電圧の昇降に伴うヒステレシスが見られる場合があり、これはちょうど磁化と磁場の関係におけるヒステレシスとよい対照を成すことがわかった。また、異なるイオン径を持つ二成分のイオンで構成される電解質の場合は、電気二重層を構成するカウンターイオンの主たるイオン種は、電圧が小さいときはイオン径が大きい方のイオンだが、電圧が大きくなるとイオン径が小さい方のイオンの割合が増え、またそれとともに蓄電量が上昇することがわかった。この二成分電解質に特徴的な性質は、イオン間およびイオンと電極との間の分子間相互作用の観点から説明することができる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電気化学、分子シミュレーション、熱力学、多孔質電極、イオン

【研究題目】 空中駆動可能なナノカーボン・高分子アクチュエータの開発と応答メカニズム解明

【研究代表者】 寺澤 直弘（健康工学研究部門）

【研究担当者】 寺澤 直弘（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究課題では、これまでの単層カーボンナノチューブ（SWCNT）アクチュエータ素子より、価格、汎用性の観点から有利であるが、性能面ではるかに劣っている多層カーボンナノチューブ（MWCNT）またはカーボンブラック（CB）/イオン液体（IL）/ベースポリマー（BP）ゲルアクチュエータの高機能化のために、電池の特長を電気化学デバイスである、アクチュエータに適用し、IL、BP、キャパシター機能や応答性能を向上させる金属酸化物に注目し、応答速度に優れ、大きな曲げや発生力を示す等の、SWCNTをはるかに凌ぐ、優れたアクチュエータ素子を開発する。また電気化学的手法等を用いて、素子の応答メカニズムを解明し、タッチパネルや人工筋肉材料等に適用可能な、これまでの常識を覆す、画期的なアクチュエータの設計指針を示す。

具体的には、これまでに開発した、VGCF or CB/IL/BP ゲルアクチュエータの高機能化のために、キャパシター機能や応答性能を向上させる手法（金属酸化物）に注目し、大きな曲げや発生力を示す等の、優れた素子を開発した。また、BP（PVdF ポリアクリル酸、ポリエチレンオキシド等）に注目して、大きな曲げや発生力を示す等の、優れた素子を開発した。最後に我々のグループで開発した等価回路解析を用いて、BP-ILゲル、アクチュエータ素子のキャパシタンス測定結果を併せて考慮することにより、電解質層及び電極層中におけるイオン移動の速さを評価し、応答メカニズムについて解明して、アクチュエータ素子の高機能化の方針を示した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 高分子アクチュエータ、ナノカーボン、ポリエチレンオキシド、電気化学シミュレーション、人工筋肉

【研究題目】 光トラップ場の時空間構造の動的制御による3次元マイクロ操作の研究

【研究代表者】 田中 芳夫（健康工学研究部門）

【研究担当者】 田中 芳夫（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、光ピンセットを拡張した概念である光トラップ場の制御による非接触3次元マイクロ操作技術の確立のために、光トラップ場の時空間構造をパソコンで精密に実時間制御できる光学系を開発し、高度自動化技術と統合・融合化することで、多様な物質を3次元マイクロ操作できる基盤技術を開発することを目的としている。今年度得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 微粒子操作に適した時空間構造の探索と制御：昨年度までに試作・最適化したハイブリッド光ピンセット系の時分割走査側を用いて、円ハフ変換による微粒子認識と孤立点型トラップ場の3次元構造の制御で、カバーガラス上に滴下した溶液中にランダムに分散した8個の微小ガラス球から、6面体の各頂点位置に微粒子を配置した3次元構造の動的アレイが全自動で作成できることを示した。また、この3次元アレイは、3次元空間内において回転、並進、拡大・収縮などの幾何学変換を行えることも示した。

(2) 非球状物操作に適した時空間構造の探索と制御：我々が2008年に *Optics Express* 誌などで提案している光多点クランプ法による非球状物の操作法を、電気式焦点可変レンズを用いた3次元時分割走査法を用いることにより、レーザ光源1台の光学システムで3次元へ拡張できることを示した。そして、珪藻とその破片を2~4点で捕捉し、これら捕捉点を3次元位置制御することで、捕捉した珪藻を3次元空間内のXYZの3軸回りに回転できることなどを示し、拡張した本方法の有効性を実証した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 光学顕微鏡、マイクロ・ナノデバイス、マイクロマニピュレーション、細胞操作、微粒子アレイ

【研究題目】 ダウン症モデル Ts65Dn マウス中枢神経障害発症機序に関わる酸化修飾蛋白質の探索

【研究代表者】 七里 元督（健康工学研究部門）

【研究担当者】 七里 元督（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究ではダウン症モデルマウスを用いて、ダウン症やアルツハイマー病の脳内で蓄積される酸化修飾蛋白を探索することを目的としている。現在までにダウン症モ

デル Ts65Dn マウスに対し胎児期からの抗酸化物質ビタミン E を投与し、10週令の時点でモリス水迷路試験での顕著な記憶学習障害および高架式十字迷路での開放脚滞在率の延長（不安の減少、危険な環境に対する認識の障害）が改善されることを報告していた。2014年度、本マウスにおける行動障害が離乳期から老年期までのどの時期に生じるのか、ビタミン E の長期投与による改善効果が得られるのかを確認することを目的に実験を実施した。受精時から対照食もしくはビタミン E 過剰食を投与開始し、5週齢、10週齢、30週齢、12ヶ月齢、24ヶ月齢の時点で高架式十字迷路による行動評価を行った。Ts65Dn マウスでは5週齢の時点から24ヶ月齢まですべての期間で顕著な開放脚滞在率の延長、不安行動の減少が確認された。また、今回の研究では胎児期から30週齢までビタミン E の投与を行ったが、5週齢～30週齢のいずれの時点でも行動障害を改善することを確認することができた。

一方、本 Ts65Dn マウスでは対照マウスに比較して、脳内の脂肪酸結合蛋白の過剰発現および不溶性異物（リポフスチンなど）の細胞内過剰形成を認め、さらに各臓器中でキマーゼ（キモトリプシン様セリンプロテアーゼ）遺伝子および酵素活性が著増していることを見出した。本知見から酸化ストレスだけではなくキマーゼの過剰発現・活性亢進がダウン症脳内に不溶性異物の沈着を生じ、この結果として神経細胞死が誘導されることが明らかとなった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ダウン症、酸化修飾蛋白質、酸化ストレス

【研究題目】行動生理計測に基づく抑うつ状態評価改善技術の開発

【研究代表者】吉野 公三（健康工学研究部門）

【研究担当者】吉野 公三、大原 一幸、足立 祥、二谷 博美（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

平成26年度は、さらに2家族を対象とした被験者実験を行い、生活中的行動・生理・心理データを蓄積した。実験内容は各々の家族が3ヶ月間、産総研関西センターの実験住宅に居住し、その間の被験者の身体加速度、心拍変動、心理状態、および住宅内センサ信号を計測した。精神科医による評価の結果、今年度もうつ病を発症した者はいなかった。本研究課題中に計測した計5名の健常成人（ただし、健常群の中では抑うつ傾向が比較的高い）の身体活動時系列データから、休息時間の継続時間の累積確率密度分布から算出される「べき乗指数 $\gamma$ 」（中村亨先生らが鬱病との関連性を報告した指標）を算出した。 $\gamma$ の計算に使用するデータ長を1日間とした。 $\gamma$ と SDS のスコアとの間に、統計的有意な相関が認められた被験者は5名中2名（被験者 A、B）であった。残り3名のう

ち1名（被験者 C）は、疲労感が3ヶ月間の中で最も高かった日に $\gamma$ が3ヶ月間の中で2番目に低い値を示した。さらに、これと別の1名（被験者 D）は、ホームズの社会最適評価尺度の中で（悪い意味で）点数の高いライフイベントの一つに関する日に、 $\gamma$ が3ヶ月間の中で最も高い値を示した。残る被験者 E については、SDS のスコアと睡眠開始3時間の平均心拍数との間に、SDS の回答基準が不安定な最初の5日間を除いた残りの85日間において統計的有意な相関が観測された。以上から、健常成人（健常者の中では抑うつ傾向が比較的高い群）の日常生活の身体加速度情報もしくは睡眠時心拍情報には、抑うつ状態を反映した成分が含まれる可能性が示唆された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】行動、心拍、自律神経、抑うつ、住宅、気分、人間、日常生活

【研究題目】二量化、クラスタ構成、および膜受容体細胞内輸送に関する単一分子蛍光の研究

【研究代表者】Biju Vasudevan Pillai

（健康工学研究部門）

【研究担当者】Biju Vasudevan Pillai（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、がん生細胞内の上皮増殖因子受容体（EGFR）の二量体化、クラスタ構成、および細胞内輸送のメカニズムを明らかにし、評価することである。EGF ホルモンと EGFR のシグナル伝達二量体形成による EGFR 活性化によって、EGFR 細胞シグナル伝達が引き起こされる。多くのがん増殖は、過剰発現した EGFR による制御不能なシグナル伝達と密接に関連しており、EGFR 二量体化が起こる分子レベルのメカニズムの解明は、がん増殖制御への有益な情報をもたらす。

本プロジェクトは、始めに CdSe/ZnS 量子ドット（QDs）あるいは量子ドット（QD）蛍光磁気ナノ粒子（NPs）によってコンジュゲートした EGF ホルモンを用いて、過剰発現した EGFR でのヒト肺上皮腫瘍細胞株（H1650）を蛍光ラベル化した。その後 EGFR 二量体化、クラスタ構成および細胞内輸送の動態を、単一分子蛍光顕微鏡を用いて調査した。初期段階では、約0°Cでラベリングした細胞内において EGF-EGFR-EGFR（ヘテロダイマー）およびシグナル伝達二量体は同程度存在し、特に糸状および葉状仮足部分に選択的に局在した。一方、前述した温度が室温近くまで上昇しラベリング後の時間が経過するにつれて、ますますシグナル伝達二量体が増加し、細胞背部および腹部表面に移動した。2EGF 分子によりコンジュゲートされた EGFR シグナル伝達二量体は、ヘテロダイマーを基にして形成されたことがこの観測から明らかになった。さらに、単一分子研究は、協同的相互作用により細胞表面に沿って輸送された EGF によって二量体が活性化したことを示し、そ

してその相互作用はプレダイマー、ヘテロダイマー、およびシグナル伝達二量体間で不均一であることが分かる。また、EGFR 小クラスターが約15分で発現し、細胞内取り込み前約30分で数、量ともに増加した。

実験の結果、EGFR の不均一化と輸送は、EGFR によるシグナル伝達とシグナル増幅における中心的な役割を果たすことが明らかになった。このようにして、EGFR 二量体のロッキングによるヘテロダイマーのムラ防止および EGF ホルモン抑制によって、EGFR を用いた無制御シグナル伝達の抑制が可能であることが分かった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】上皮増殖因子受容体 (EGFR)、受容体の二量体化、受容体のクラスター形成、量子ドット (QD)、蛍光共鳴エネルギー移動 (FRET)

【研究題目】酸化亜鉛コーティングプラズモニクチップを用いた高感度イムノセンサーの研究

【研究代表者】田和 圭子 (健康工学研究部門)

【研究担当者】田和 圭子、笹川 知里  
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

蛍光を増強させることができる酸化亜鉛コーティングプラズモニクチップ (産総研) と抗酸化亜鉛抗体断片をもつ二重特異性抗体 (東北大) を利用したイムノセンサーの開発が異分野融合により行っている。これまでに一般的なガラス基板上に構築したアッセイと比べて、300倍の蛍光増強と検出限界の4桁向上 (1nM→100fM) を実現した。本研究ではプラズモニクチップと二重特異性抗体を利用したサンドイッチイムノアッセイでの高感度検出を目指している。マーカータンパク質として、高感度検出が必要な炎症性サイトカインの一つインターロイキン6 (IL-6) を選び、抗体のチップへの結合を促進するために溶液攪拌を行い、蛍光顕微鏡で蛍光検出を行った。しかし、非特異吸着量が多く、高感度検出が難しいことがわかった。今後、非特異吸着を抑える改善を行い、高感度検出を目指す。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】バイオセンシング、プラズモン共鳴、周期構造、プラズモニクチップ、サンドイッチアッセイ、高感度検出、酸化亜鉛

【研究題目】共存微生物由来物質の摂取による海藻代謝変動の解明とその水圏環境浄化への利用の研究

【研究代表者】垣田 浩孝 (健康工学研究部門)

【研究担当者】垣田 浩孝 (常勤職員1名)

【研究内容】

目標：

生物の栄養塩吸収機能等を活用した水圏環境浄化 (水圏健康リスク因子削減) 技術の確立を目指し、海藻バイオフィルターへの導入海藻の供給技術開発として本研究を実施する。海藻付着共存微生物由来物質等が海藻の成長速度や栄養塩吸収機能に及ぼす影響を検討する。

研究計画：

H26年度は海藻バイオフィルターへ導入可能な海藻の単藻培養株の作成、非成熟株の継続培養、単藻培養株の付着共存微生物の数と菌相の調査等を実施する。

研究進捗状況：

オゴノリ科海藻の付着共存微生物の優勢種は天然海藻では *Vibrio* sp. および *Moraxella* sp. であり、滅菌海水中で短期間培養すると *Flavobacterium* / *Cytophaga* sp. に変化し、その後培養を長く継続しても付着共存微生物の優勢種は *Flavobacterium* / *Cytophaga* sp. のままであった。天然海藻由来の培養海藻では天然海域から付着微生物を持ち込んでいる可能性がある。天然海域からの微生物の持ち込みの可能性を低減するには、付着微生物を検索する材料として単藻培養株を用いる必要がある。そこで単離孢子由来の単藻培養株 (天然成熟海藻から孢子を滅菌条件下で単離し、滅菌海水で培養して得た単藻培養株) の付着共存微生物について、形態・生理学的分類と遺伝子学的分類 (16SrRNA) の両面から同定を試みた。形態・生理学的分類及び遺伝子学的分類 (16SrRNA) の両結果とも、単藻培養株付着微生物の優勢種は *Flavobacteriaceae* 科であることを支持していた。日本産オゴノリ科海藻の付着共存微生物の遺伝子学的分類として初めての報告となった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】健康リスク削減、水圏、海藻

【研究題目】表面吸着因子の解析による生分解性材料の生分解性制御に関する研究

【研究代表者】山野 尚子 (健康工学研究部門)

【研究担当者】山野 尚子、川崎 典起、中山 敦好、大嶋 真紀 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

生分解性ポリマーの生分解性は利点である反面、用途を制限する短所にもなり、生分解性を制御可能な材料が求められている。我々が見出した長鎖脂肪酸末端付加による生分解性制御技術を基に、種々のポリマーの生分解速度を任意に制御する技術を確認することを目的としている。今年度はポリアミド4 (PA4) およびポリプロラクトン (PCL) に関する実験を行った。

PA4：末端にステアロイル基を持つ PA4 (C18PA4) を合成し、この C18PA4 とパラホルムアルデヒドを反応させ、種々のメチロール化度を持つポリマーを合成した。PA4の末端にステアロイル基を導入すると生分解が抑制されたが、生分解抑制効果があるメチロール基を導入す

ると、その導入率に応じて親水性が増し、逆に生分解が促進されるという結果が得られた。しかしメチロール基の導入率がさらに上がると、生分解は抑制された。

PCL：ステアロイルクロリドを用い、導入率10-60%程度の C18PCL を合成した。ポリマーの酵素加水分解は導入率に応じて抑制された。物性試験を行った結果、引張強度は元の PCL と変わらず、強度への影響は無かった。親水性である PEG を付加した PCL を作成しその影響を検討した結果、PEG を付加するとリパーゼによる酵素分解が抑制された。接触角を測定した結果、PEG 付加により疎水性はほぼ変わらないかやや親水性になり、疎水性の性質に関わらずに生分解性が抑制されたポリマーを作成することが出来た。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 生分解性ポリマー、ポリアミド、生分解性制御

【研究題目】 生物発光共鳴エネルギー移動機構を利用した低分子化合物の光イメージング法の開発

【研究代表者】 呉 純 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 呉 純 (常勤職員1名)

【研究内容】

従来、細胞や組織をすり潰して生体分子を定量する分析手法は、生体分子の機能を十分に知ることができなかったが、近年蛍光タンパク質やルシフェラーゼが登場によって生きた細胞や個体においてタンパク質を中心に生体分子の可視化が可能となった。一方、ルシフェラーゼや蛍光タンパク質を用いた分子量500以下いわゆる低分子代謝産物の光プローブの開発が遅れている。本研究では、ファージディスプレイなどの技術を利用した低分子化合物の *in vitro* のアッセイ法を開発するとともに、生物発光共鳴エネルギー移動機構を利用した細胞用の光イメージングプローブの創製を目指す。

これまで、細胞内重要な低分子代謝産物である S-アデノシル-L-ホモシステイン (SAH) の2級アミノ基や ATP のリン酸基を介してそれぞれ固相相化し、ファージディスプレイ技術を用いてアデノシン基に結合するファージクローンの探索を行った。その結果、アデノシン基に結合するペプチド配列を同定した。それから、同じ手法で SAH のホモシステイン部分や ATP の三リン酸部分に結合するファージクローンの探索を行った。現在、得られたペプチド配列を最適化し、生物発光共鳴エネルギー移動機構を利用した細胞用の光イメージングプローブの構築を進めている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ルシフェラーゼ、蛍光タンパク質、ペプチド、ファージライブラリー

【研究題目】 “光励起” と “化学励起” を併用した生

## 細胞蛍光観察技術の構築と実証

【研究代表者】 星野 英人 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 星野 英人 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、「自己励起蛍光蛋白質・BAF」を用いた生細胞の真の連続観察を可能とする手法を確立することを目標としている。昨年度、採用した閉鎖系細胞培養恒温チャンバーにおいて、当初想定しなかった培地輸液ラインでの気泡発生の問題が生じ、メーカー等への情報収集の結果、閉鎖系細胞培養恒温チャンバー特有の構造的問題であり、当該装置の重大懸念であることが判明した。この問題解決のため考案した、効率的かつ自動的に気泡を除去する“弁デバイス”に関し、既製プラスチック製品の加工や、熱溶融積層型3D プリンタを用いた部品試作による当該装置の実現の可能性を探った。当該装置は、シンプルな構造だが、試作部品の精度が低く、使用に耐えるデバイスの作製には至らなかった。但し、特許調査の結果から、実現すれば十分な特許性が見込まれること確認した。イメージング自体は、観察時間の短縮化を図ることを前提とした観察条件の検討を進めた。また、昨年度予期せず見出した、BAF 分子内で起こる共鳴エネルギー転移をより効率化させ、かつ、細胞に内在しないドメインと BAF との融合体に着目し、BAF の化学発光プローブとしての高輝度化と細胞内局在を示す発光タグとしての可能性を検討した。当該融合蛋白質単体での細胞内分布は、BAF 単体と遜色なく、細胞全体に分布すること、H2AX との融合体も核局在を示すことを新たに確認し、特許を出願した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 蛍光、化学発光、細胞

【研究題目】 バイオマス資源利用を目指した耐熱性キチン分解酵素の反応メカニズム解明

【研究代表者】 峯 昇平 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 峯 昇平 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、バイオマス資源の一つである「キチン」を医薬・健康食品として有用な「グルコサミン」に効率よく分解する産業用酵素反応系の構築を目指し、該当する酵素群の反応メカニズムを解明することを目標とする。本年度はキチナーゼにより2糖にまで分解された反応生成物を目的物質であるグルコサミンに分解するキチン2糖分解酵素の機能解析を行った。その結果、本酵素は2つの分子が集めた形で機能することが明らかとなり、さらにはその活性部位が2量体形成により形成されることが明らかとなった。このような構造的特徴は他の類似機能を有する酵素では見られないことから学術的にも重要な知見となった。また基質分解に必要な触媒残基を特定し、構造解析より一部の触媒残基を含む領域が基質の分解反応に伴い、大きく構造変化を引き起こすことが示

唆された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】キチン、グルコサミン、耐熱性

【研究題目】外来遺伝子の安定発現を可能にするニワトリ遺伝子組み換え技術の開発

【研究代表者】大石 勲（健康工学研究部門）

【研究担当者】大石 勲（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

体内受精し卵発生するという独特の発生形態に起因し、ニワトリをはじめとする鳥類の遺伝子操作は他の生物種に比べて大きく遅れている。一方でニワトリの遺伝子改変技術が今後発展することにより、バイオ医薬品等の高品位蛋白質を鶏卵内に安価に大量生産することが可能になると期待されている。本研究で申請者は外来遺伝子産物を安定的にニワトリに発現させる技術開発を行っている。昨年度微小核融合法により樹立した人工染色体を導入したニワトリ始原生殖細胞を用いて、本年度はこれを移植したキメラニワトリの樹立と解析を行った。ニワトリ初期胚（2.5日胚）血液中に約2000個の人工染色体導入始原生殖細胞を移植し、18-20日胚の生殖巣を解析した。移植細胞の生殖巣寄与率は5-20%以下と低いものの精細管内に定着し、生殖細胞分化が期待された。一方、人工染色体を導入した生殖巣キメラニワトリを樹立し、後代検定を行ったが現在までのところ組み換え後代は得られていない。また、外来遺伝子安定発現の別の試みとして、従来行われていないニワトリ染色体の複数箇所に外来遺伝子を導入する技術の開発を行った。トランスポゾンシステムを用いて外来遺伝子複数コピーを始原生殖細胞へ導入した。この細胞を上述と同様にニワトリ初期胚に移植し、生殖巣キメラニワトリを樹立後、後代検定を行った。103羽の後代のうち移植細胞由来後代が32羽、うち外来遺伝子を有する組換え後代が21羽得られた。組換え後代の有する外来遺伝子コピー数を複数羽の個体において検定したところ1-8コピーの外来遺伝子が染色体上の複数部位に存在することが明らかとなった。本技術を活用することにより、組換えニワトリにおける外来遺伝子の安定発現技術に繋がると大いに期待される。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ゲノム編集、ニワトリ、蛋白質生産、鶏卵バイオリクター

【研究題目】表面プラズモン増強効果を利用した細胞内分子マニピュレーション手法の開発

【研究代表者】細川 千絵（健康工学研究部門）

【研究担当者】細川 千絵（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、表面プラズモン増強効果を利用した新規光マニピュレーションにより、細胞表面の分子のみを局所的に操作し、細胞内の高次操作技術を開発する。本年

度は、表面プラズモン増強効果を利用した細胞内分子マニピュレーションの実現のため、プラズモニックチップ上で培養した神経細胞表面に局在する神経細胞接着分子（NCAM）を量子ドット（Q-dot）により可視化し、分子動態の集合操作について検証した。プラズモニックチップとして、カバーガラス上にピッチ500nmの二次元周期構造を作製し、金属層（銀）と消光抑制層（シリカ層）を成膜したものをを用いた。プラズモニックチップ、またはカバーガラス上で培養したラット胎児由来海馬神経細胞の細胞表面に局在しているNCAM分子に対して免疫蛍光染色によりQ-dotを標識し、細胞表面においてNCAM分子の局在を確認した。波長1064nmの光ピンセット用レーザーを細胞表面に集光すると、Q-dotからの二光子励起蛍光が観測された。蛍光相関分光測定により集光領域におけるQ-dot標識NCAMの分子運動特性を検証したところ、プラズモニックチップ上で培養した神経細胞ではカバーガラスで培養した細胞の結果と比較して、蛍光強度の自己相関関数の減衰時間が遅くなり、分子運動がより強く束縛されたと考えられる。これらの結果から、表面プラズモン共鳴効果に基づく光捕捉力の増大が示唆された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】光ピンセット、表面プラズモン、神経細胞

【研究題目】集光レーザー摂動による神経細胞ネットワークダイナミクスの解明

【研究代表者】細川 千絵（健康工学研究部門）

【研究担当者】細川 千絵、前澤 安代（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究では、集光レーザービームの光摂動技術を神経細胞内分子動態の能動操作に応用し、摂動に伴い変化する神経細胞ネットワークの時空間ダイナミクスを明らかにすることを目的としている。レーザー光摂動を用いて神経細胞のシナプス結合部位に局在する機能分子集合体を操作し、神経活動を可逆的に操作可能な技術を開発することにより、レーザー摂動による神経細胞ネットワークの時空間制御を実証する。本年度は、光ピンセットによる細胞内分子集合機構の解明に取り組んだ。ラット海馬培養神経細胞の細胞表面に局在する神経細胞接着分子（NCAM）を量子ドットにより可視化した。細胞表面に光ピンセット用近赤外レーザーを集光すると、レーザー光強度が高くなる程、集光領域において量子ドット標識NCAMからの蛍光の増加が顕著にみられ、光捕捉力の増大に伴い集光領域内の分子数の増加が示唆された。蛍光相関分光測定により、レーザー光強度の増大に伴い自己相関関数の減衰時間が遅くなる傾向がみられ、集光領域において複数の分子が捕捉され、分子集合体の運動が束縛されたと考察した。さらに、神経シナプスに局在



する受容体タンパク質分子の光捕捉を目的として、受容体分子のライブセル蛍光イメージングに成功した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 神経細胞、光ピンセット、フェムト秒レーザー、ナノバイオ、蛍光解析

〔研究題目〕 ナノチップによる巨大環状 DNA1分子の実時間ダイナミクス解析

〔研究代表者〕 平野 研（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 平野 研（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、環状 DNA1分子をリアルタイムに直接イメージングを行うためにナノ流体チップ（以下、ナノチップ）を用いることで、核酸結合酵素の反応や周囲環境、熱力学的要因によって、環状 DNA1分子の構造・形態変化のダイナミクスを新規に解析するもので、最終的には当該知見を応用し環状 DNA1分子を用いた放射線等による DNA 損傷の高感度検出技術などへの展開等を目指している。

環状 DNA1分子をリアルタイムかつ直接にダイナミクスを観察するための2次元観察法と1次元観察法を構築するために、ナノチップを作成し、当該チップ構造によるリアルタイム・ダイナミクス観察の有用性とチップ構造の最適化について実験的な確認を行った。1次元観察については、マイクロ流体チップにより環状 DNA の伸張手法の確立と形態変化ダイナミクスの解析を達成した。当該手法をより天然な DNA 分子（DNA の化学修飾や物理的な接触がない状態）に適用することを目的としてナノチップに展開するため nm オーダーの流路幅および深さを有するナノチップの検討も併せて行った。ナノチップの鋳型作製の検討がほぼ終了することができ、来年度にナノチップ作製の見通しを得て、ナノチップによる1次元解析を実施する見込みである。また、2次元観察においては、昨年度よりもさらに小さい深さを持つナノチップの作製を行い、より完全な輪の状態に近づけるための検討を実施し、より完全な輪の状態に近づけた巨大環状 DNA のリアルタイム・イメージングを達成し、それによる解析とリアルタイム・イメージング手法の確立を進展させることができた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 1分子 DNA、1分子計測、ダイナミクス、ナノチップ、環状 DNA、環状高分子鎖

〔研究題目〕 時計遺伝子発現変動と糖尿病性血管障害との相互関係の解明

〔研究代表者〕 室富 和俊（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 室富 和俊（常勤職員1名）

〔研究内容〕

体内時計を制御する時計遺伝子発現を低下させると、血管内皮細胞は脆弱になることが明らかにされている。

本研究では、血管内皮細胞の時計遺伝子発現を維持することで、糖尿病時の血管障害に対して内皮細胞が抵抗性を獲得できるか検証する。昨年度は、肥満型2型糖尿病モデル TSOD マウスの糖尿病発症がおよそ11週齢であること、さらに TSOD マウスは正常マウス（TSNO マウス）と比較して活動量が低下、活動位相が前進する傾向であることを示した。本年度は糖尿病発症後の時計遺伝子発現解析を行なった。

時計遺伝子は24時間周期で発現変動するため、明期開始時刻を zeitgeber time (ZT) 0とし、ZT2およびZT14の時点における時計遺伝子 Per2および Bmal1発現量を real-time PCR にて解析した。TSNO マウスと比較した結果、TSOD マウスの肝臓における Per2発現量は両時刻とも3倍以上増加し、Bmal1発現量はZT14において約半分に減少した。一方、大動脈では Per2および Bmal1ともに各々のピーク時間にあたる ZT14及びZT2で減少傾向であり、糖尿病モデルマウスの血管では時計遺伝子発現が低下することを明らかにした。以上の結果、糖尿病モデルマウスの血管における時計遺伝子発現は低下し、糖尿病発症に関わる血中成分がその原因である可能性が示唆された。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 糖尿病、体内時計、時計遺伝子、糖尿病モデルマウス

〔研究題目〕 細胞チップを用いた血中循環がん幹細胞の検出法の開発

〔研究代表者〕 阿部 佳織（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 阿部 佳織、片岡 正俊  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

がんの再発・転移の原因として化学療法や放射線療法に抵抗性を示すがん幹細胞の存在が注目されている。近年、がん幹細胞は腫瘍組織中だけでなく、血中にも循環していることが報告されている。しかし、血中に存在する割合は非常に少ないため、高感度な検出が必要であり、これまでに簡易に正確に検出できるシステムは報告されていない。

我々はスライドガラスサイズのプラスチック基板（チップ）に直径100 μm の穴を2万個配置し、1穴に100個の白血球を一層に並べることにより、1枚のチップで200万個の白血球を解析できる細胞チップを開発してきた。そこで本研究では、細胞チップを用いることにより、高感度に、簡易に、正確に血中を循環するがん幹細胞を検出できるシステムの開発を試みた。昨年度までに、がん幹細胞マーカーの1つである CD133と血中循環がん細胞のマーカーであるサイトケラチン、白血球のマーカーである CD45、核マーカーである DAPI を用いて細胞チップ上での4重染色の条件を見出し、細胞チップの穴から細胞を回収するシステムの構築を行っている。

しかし、昨年度は正立顕微鏡にマイクロマニピレータを組み合わせて、細胞チップの穴に対して斜めからアプローチしていたため、穴の端に目的とする細胞が存在する場合には回収が困難であった。そこで、今年度は細胞チップの穴の真上からアプローチできるように改良を加え、より簡易に確実に細胞を回収することが可能になった。さらに、回収した1細胞でリアルタイム PCR を行うことにより、遺伝子発現レベルでの解析が可能になった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】血中循環がん細胞、マイクロチップ、がん幹細胞

【研究題目】分子間相互作用アニメーション構築支援ソフトウェアの開発

【研究代表者】上野 豊（健康工学研究部門）

【研究担当者】上野 豊（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は科学研究費新学術領域「分子ロボティクス」公募課題である。タンパク質の機能を構造に立脚して理解しようとする構造生物学では、構造揺らぎの重要性が指摘されているものの、実験的な直接観察は困難である。分子構造のシミュレーションによるアニメーションが有用であるが、表示ソフトウェアの機能も十分でないという問題があった。そこで、基準振動解析の結果を利用して、骨格を用いた分子アニメーション表示法を開発した。原子座標の変位と座標を用いて原子をクラスタリングした部分構造を骨格として用いた。主要な振動モードを合成することにより、自然なアニメーションを表示することができた。また、昨年度より開発を進めたソフトウェアは、プロトタイプとして動作を改良してホームページにおいて公開した。反応座標作成プログラム、およびタイムラインエディタであり、疎視化した分子モデルによる分子動力学、グラフィカルユーザインターフェイス機能について利用した物理演算ライブラリを利用して分子の衝突判定の実装を解説した論文は、国際会議 Genome Informatics にて採択された。そして、アクチン・ミオシンの分子間相互作用、微小管・キネシンの運動系のアニメーション例題については汎用ソフトウェア Blender で作成したモデルの改良を進め、スクリプトを公開した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スクリプト言語・タンパク質立体構造・分子間相互作用

【研究題目】メダカの発生過程におけるリンパ管と神経の相互作用の解明

【研究代表者】出口 友則（健康工学研究部門）

【研究担当者】出口 友則、田中 みどり  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

リンパ管は体液の恒常性の維持・脂肪の吸収・免疫に必須であり、病理面では癌や浮腫あるいは様々な炎症性疾患で重要な役割を果たす事が知られる。このことから、リンパ管形成に関する理解は、リンパ管が関与する様々な生命現象の真実に迫るとともに、新たな治療戦略の開発につながることを意味する。しかし、リンパ管内皮細胞が増殖・進展しながら個体内の隅々まで、そのネットワーク構造を形成していく機構については不明なことが多い。血管の形成過程においては、血管内皮細胞は体節由来や神経由来の遺伝子によりガイダンスを受けており、リンパ管でも同様の機構の存在が考えられた。

そこで、本研究では、モデル動物であるメダカを用いた *in vivo* イメージングと末梢神経の走行操作、神経由来ガイダンス遺伝子の発現操作等により、末梢神経がリンパ管形成に与える影響とその機構を明らかにすることを目指した。これまでの研究により、リンパ管の走行と末梢神経束の走行の類似性を解剖学的に明らかにすることができた。しかし、メダカでは血管とは逆に、神経束より先にリンパ管形成が進むことが示唆された。そこで、哺乳類でリンパ管形成マスター遺伝子と言われる *Prox1* のメダカホモログである *prox1a* の機能欠損実験（Knock Out, KO）を行い、神経束の形成に影響が見られるか検証した。ところが、*prox1a* KO ホモ個体の観察では、リンパ管の形態に何ら異常が見受けられなかった。この結果は、魚類では *prox1* は、リンパ管の形態形成には関わらないという、哺乳類と異なる機構の存在を示唆するものである。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】リンパ管、発生、メダカ、ライブイメージング、ゲノム編集

【研究題目】プラズモン共鳴と強結合した単一色素分子をプローブとする光学応答増強場の定量的検証

【研究代表者】伊藤 民武（健康工学研究部門）

【研究担当者】伊藤 民武（常勤職員1名）

【研究内容】

概要：

表面増強ラマン散乱（SERS）技術を用いれば一分子の構造の詳細な測定が可能なデバイスを開発できる。プラズモン共鳴によって銀ナノ粒子近傍の分子と粒子との電磁相互作用の強さは向上する。SERSはこの電磁相互作用強度の向上によって引き起こされるラマン増強現象である。電磁相互作用が弱い場合は量子電磁気学的摂動論で SERS は記述できる。電磁相互作用が強い場合はプラズモン共鳴と分子が強結合系を構成し SERS を単に分子と粒子との電磁相互作用として扱えなくなる。つまり強結合が分子の電子振動状態を変化させる。このような弱結合と強結合の検証という観点で SERS を理解

することは SERS を分子の超高感度分光として応用するために不可欠である。

目標：

前年度検証した SERS 強結合系の定量を行う。目標は、強結合に伴うプラズモンスペクトル分裂（ラビ分裂）を評価する物理モデルの開発と物理モデルを用いたプラズモンスペクトル分裂の再現と定量である。

進捗状況：

SERS 活性を有する単一銀ナノ粒子2量体を用いたプラズモンと分子エキシトンとの強結合効果の証拠としてプラズモン共鳴スペクトルに現れるラビ分裂の再現性を確認した。そしてラビ分裂を定量する物理モデルとして結合振動子理論を応用した評価手法を開発した。この手法でラビ分裂を評価することで単一色素分子が1 nm<sup>3</sup>の体積に局在したプラズモンモードと結合することで実験結果が再現できることが明らかになった。また、この結果は金属の表面電子の染み出し長を考慮した場合のプラズモンモード体積の限界値に近いこと、即ち理論限界値に近いことも明らかになった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 表面増強ラマン散乱（ラマン散乱が増強され単分子計測が可能となる方法）、銀ナノ粒子、プラズモン（伝導電子の集団振動）、蛍光増強、蛍光消光増強

【研究題目】 色覚バリアフリー照明の高性能化と試作に関する研究

【研究代表者】 田村 繁治（健康工学研究部門）

【研究担当者】 田村 繁治、伊藤 納奈、岡本 洋輔、茂里 康（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本事業は、日本人の320万人（男性が95%）が色覚に障がいを持つことを鑑み、正しい色情報を認識することを可能とするための、色覚バリアフリー照明のスペクトルをシミュレータによる模擬実験、P 型（1型）および D 型（2型）の協力者による被験者実験によって求めることを目的とする。

本試験においては、日常用の環境光源として D65標準光源を用い、8種類の LED をバリアフリー用の光源として選び、D65プラス1波長（1種類）の LED の組み合わせにより、D65と LED の照度の比を何通りか選び、どの組み合わせがバリアフリー照明として有効かを被験者実験を中心に、理論的解析を含めて実施した。理論的解析、すなわち、使用した2型 D 型色覚障がい者の見えの推定値（CIELAB 値）は、具体的には、Brettel らが提案した2つの折れの射影平面に基づく手法を用いた。なお、XYZ 三刺激値と LMS 錐体空間の相互変換については、D65光源下で L、M、S の値が全て1になる Estevez-Hunt-Pointer の錐体応答に基づく変換式を用いた。その結果、長波長 LED（赤色）が有効であるこ

とを見出した。また、理論的解析により、その理由を見出した。被験者は I 型（P 型）、II 型（D 型）各2名であった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 色覚障害、色覚バリアフリー、照明スペクトル、バリアフリー照明

【研究題目】 散乱光の偏光解析を用いた生体組織の構造および形態の解析についての研究

【研究代表者】 大槻 荘一（健康工学研究部門）

【研究担当者】 大槻 荘一（常勤職員1名）

【研究内容】

生体組織からの散乱光の偏光解析を行い、生体組織の構造や形態を解析することにより、病理検査に代替する手法を開発することを目標とする。

本年度は、①微粒子のサイズおよび屈折率、ならびに試料の形態などの異なる試料を対象とし、試料表面に対し任意の角度で照射光を入射し、試料の内部および表面における散乱光の強度および偏光状態をシミュレーションできるプログラムを開発する。②試料に偏光状態を制御した光を照射し、散乱光の偏光状態を測定する散乱光ミューラー行列測定装置を製作する。③微粒子懸濁液を用いた測定を行い、微粒子の性質および濃度とミューラー行列の関係を調べる。

開発したプログラムは、モンテカルロ法に基づいており、多数の光子について計算を繰り返し、結果を積算することにより、散乱光の偏光状態をシミュレートする。計算を高速化するため、並列計算を行う多数のコアを有し、汎用計算に特化した画像処理装置（GPU）を使用した。GPU では、それぞれのコアにおいて、数10個のスレッド群（ワーブ）が共通した命令を逐次的に実行する。そのため、条件分岐を含む計算では、ワーブ内のあるスレッドが分岐命令を実行している間、他のスレッドが休止するため、プログラム実行の効率が低下する。

物体に入射した光子は、①内表面に到達したと判断されるまで、物体内で散乱を繰り返し、その後、②内表面を透過または反射する。そこで、①の計算を GPU に行わせ、②の計算および内表面で反射した光子によるそれ以降の計算を CPU に行わせることにより、計算の高速化を図った。その結果、全計算を CPU で行う場合に比べ、5倍程度の高速化を達成した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 偏光計測、光散乱、シミュレーション、モンテカルロ法

【研究題目】 光ナノ複合材料による健康阻害ガスセンサに関する研究

【研究代表者】 安藤 昌儀（健康工学研究部門）

【研究担当者】 安藤 昌儀、茂里 康（常勤職員2名）

【研究内容】

健康障害ガスは、事故や災害時の他、気密性が増した省エネ型建物内等で高濃度化の危険がある。オゾンは、強力な酸化力と、分解すれば無毒になる点が注目され、半導体産業で有機物除去に用いられ、病院や医薬品製造施設、食品・畜産業、一般の建物において空間や水の殺菌・脱臭に利用されている。また成層圏のオゾン層は太陽からの紫外線を吸収し、地上の生物を守っている。

しかし、オゾンは有用な反面、大気中約1ppm 以上では、目や呼吸器、神経等の中毒症状を引き起こし、約50ppm を超えると生命の危険が生じる。光化学オキシダントの主成分ともなる。脱臭用小型オゾン発生装置を狭い室内で使用すると、作業環境許容濃度0.1ppm を超過する危険がある。オゾンはコピー機や電気モーターからも発生する。そのためオゾンセンサの必要性が増している。従来のオゾンセンサは電気式と紫外線吸収式が主であった。光学式は電気火花発生の危険がなく、遠隔非接触操作ができる。しかし、オゾンの紫外吸収を直接測定する従来法は、長いガスセル等を要し、装置は大型・高価であった。本研究では蛍光や光吸収がオゾンに感応する光ナノ複合材料を研究し、小型で安価な光学式健康障害ガスセンサの開発を目指す。

本年度は、0.1~500ppm の範囲で濃度制御したオゾンを含む空気を、試料を格納したガス流通光学セルに流通するシステム、ならびに、オゾン濃度を変化させた時に、試料の蛍光スペクトルの変化をリアルタイムで測定できるシステムを構築した。ガラス基板上に光ナノ複合材料を試作し、上記実験システムを用いてオゾン濃度を変化させ、同時に光ナノ複合材料の蛍光スペクトルを測定できることを確認した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 健康障害ガス、光学式ガスセンサ、オゾン、光ナノ複合材料、蛍光

【研究題目】 セシウムイオン選択性捕捉剤の開発

【研究代表者】 榎田 洋二 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 榎田 洋二 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、イオン鑄型反応法を利用して、セシウムイオンに対して極めて高い選択性を示す新規な無機イオン交換体を開発するとともに、各種陽イオンに対する交換特性や、イオン交換サイトの結晶構造とイオン選択性の関連性を明らかにする。また、開発した無機イオン交換体の成形技術を確認し、放射能汚染土壌の除染廃液中に含まれる放射性セシウムの捕捉技術への応用について検討する。

今年度は、新規なセシウムイオン鑄型無機イオン交換体の合成条件について検討した。無機イオン交換体の基本構造として、耐酸性に優れた既知のニオブ酸化物系無機イオン交換体を選定した。セシウムイオン鑄型無機イオン交換体を合成するために、炭酸セシウムと酸化ニオ

ブを原料に用いて合成し、その酸処理物のセシウムイオンに対する分配係数を調べた結果、400 mL/g となり、比較的高い値ではあるが極めて高い値ではなかった。そこで、原料に炭酸ルビジウム、酸化ニオブを原料に用いるとともに、ニオブの一部を他の元素に換えて合成し、その酸処理物のセシウムイオンに対する分配係数を調べた。その結果、セシウムイオンに対する分配係数は4,000 mL/g となり、セシウムイオンの選択性が大幅に向上した。この結果から、ニオブ酸化物系無機イオン交換体のニオブを特定の元素に置き換えることが、セシウム選択性の向上に有効であることがわかった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 セシウム、無機イオン交換体、ニオブ酸化物、イオン鑄型

【研究題目】 神経栄養因子 BDNF のノンコーディング RNA の分子機能に関する研究

【研究代表者】 小島 正己 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 小島 正己 (常勤職員1名)

【研究内容】

BDNF アンチセンス RNA の過剰細胞における BDNF mRNA および BDNF タンパク質の内在的発現量の変化を最初に解析した。同定したスプライシングバリエーション全てが BDNF タンパク質のコーディング領域との相補配列を有している。つまり、強制発現させた際、AS2c 以外のアンチセンス RNA も BDNF mRNA・タンパク質の発現量に影響することが予想される。そこで、培養神経細胞へ遺伝子導入後、0.5,1,2,4日後にライゼートおよび total RNA を回収し、ELISA・ウェスタンブロット法、定量 RT-PCR 法によって、内在性の BDNF mRNA・アンチセンス RNA、BDNF タンパク質の定量解析系を作製した。

アンチセンス RNA の細胞内局在、細胞内局在を決定する責任配列の決定も重要な課題である。初代培養神経細胞の in situ hybridization を行い、内在性分子の局在を明らかにする。また、遺伝子導入したアンチセンス RNA の細胞内局在と局在を決定する責任配列の同定を進めた。

神経細胞における内在性 BDNF アンチセンス RNA 量低下による影響を明らかにする研究を行った。各アンチセンス RNA に対する siRNA 発現ベクターは構築しており、現在株細胞を用いた条件検討を行った。神経細胞に導入し内在性 BDNF アンチセンス RNA の発現が抑制されることを定量 RT-PCR 法で確認した。その後神経細胞の形態解析や BDNF mRNA・タンパク質発現量変動の解析を行った。

さらには proBDNF 高発現マウスにおいて BDNF アンチセンス RNA が高発現になっている (投稿論文リバイス中) ことから、proBDNF は直接 BDNF アンチセンス RNA の発現調節を行っている可能性も考えられた。

そこで BDNF あるいは proBDNF を投与した培養海馬神経細胞後の BDNF アンチセンス・センス RNA の発現変動を解析した。

さらに BDNF タンパク質は脳の多くの領域で発現しており、BDNF アンチセンス RNA の発現を海馬で確認していたため、他領域の解析も行い、さらには、マウス脳の連続切片を準備し、各 BDNF アンチセンス RNA の発現領域を解析した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】RNA、神経細胞、成長因子、発現制御、マウス

【研究題目】細胞チップを用いた細胞機能解析を可能とするマラリア迅速・高感度検出システムの構築

【研究代表者】八代 聖基（健康工学研究部門）

【研究担当者】八代 聖基、片岡 正敏、山村 昌平、橋本 芳子、尾華 絵里子、芝田 いずみ、Sandy Junedi（常勤職員3名、他4名）

【研究内容】

マラリア原虫は人類史上最も重篤な寄生虫感染症である。感染症マラリアの深刻な問題として薬剤耐性マラリア原虫の出現や、地球規模の温暖化・交通手段の発達による感染者数の増加・感染地域の拡大が上げられる。このような背景のなか WHO などの国際機関ではマラリア撲滅指針の一つに「早期発見および適切な早期治療」を掲げている。近年、予防・治療分野では薬剤を塗布した蚊帳による感染予防、生薬をベースとした抗マラリア薬の開発は実を結びつつある。しかし診断法に関しては、検出感度や検出時間などの面から今だ100年以上前に確立されたギムザ染色による顕微鏡下での観察診断が主流とされている。そのため特に感染初期段階での診断に多大な時間と労力を必要とし、早期発見とその先に続く治療の大きな妨げとなっている。感染初期に感染の有無を見極める事のできる迅速な診断手法の開発が急務と考えられる。これまでに申請者は大量の血球細胞を一定数ずつ正確に並べる事ができる細胞チップと名付けた微細加工プラスチック基盤を用いることで、大量の血球細胞の中からたった一個のマラリア感染赤血球を15分で見つけ出すことを可能とする簡便かつ迅速なマラリア診断手法を確立した。申請者はこの各チャンパーを反応場とし、各チャンパーで生化学的、分子生物学的解析を行うことができれば、治療方針を決定する原虫種同定法の確立およびハイスループットな抗マラリア薬スクリーニング法構築が可能になりうると考えた。今年度は特に反応場となるチャンパーの形状の最適化を行った。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】マラリア原虫、細胞チップ、薬剤スクリーニング

【研究題目】栄養不足に起因する胎児の膵臓β細胞の発生障害の分子メカニズムの解明

【研究代表者】安永 茉由（健康工学研究部門）

【研究担当者】安永 茉由（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、栄養不足により胎児の膵臓で発現が変動する miRNA に着目し、その標的遺伝子の同定および miRNA 発現におけるエピジェネティックな発現制御の関与を検証し、「妊娠期での母親の栄養不足に起因する胎児の膵臓β細胞の発生障害の分子メカニズム」の一端を解明することを目的とする。

当該年度は栄養不足により胎児の膵臓で発現変動する miRNA を定量的に測定するための系を構築、具体的には内在性コントロールとなる miRNA の選択を行った。結果、選択した snoRNA202は汎用的な内在性コントロールであるβ-Actin と同様に、定量的 PCR において希釈系列依存的にシグナルが検出されることを明らかにした。またサンプル間における発現量の傾向の一致も確認した。そこで実際に3種類の異なる miRNA (miR-290-5p、miR-20a、let7a-5p) について定量的に検出できるかどうか、再現性も含め解析した結果、各 miRNA の発現について、snoRNA202を内在性コントロールとして使用することで、定量的かつ高い再現性で検出できることを明らかにした。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】miRNA、栄養不足、胎児期、膵臓β細胞

【研究題目】組織特異的生着能を有する間葉系幹細胞の探索

【研究代表者】弓場 俊輔（健康工学研究部門）

【研究担当者】弓場 俊輔（常勤職員1名）

【研究内容】

我々は、臨床研究で他家骨髄間葉系幹細胞 (MSC) の経静脈的全身移植を行い、顕著な臨床効果を得たが、有効性を確かなものにするためには MSC の頻回移植が必要であった。ここで、骨髄細胞のうち接着細胞を単に拡大培養した移植用 MSC は、細胞の性質が均一なものであるか否か不明であり、頻回移植が必要だったことは組織への効率的な生着に有効な MSC の濃度をさらに高める工夫が必要である。その基礎的研究として、全身移植を行ったときに特定組織に生着しやすい MSC の細胞集団が存在するか否かを動物への移植実験で明らかにすることを目指している。こうした組織特異的生着能を有した細胞集団が存在すれば、その純化法開発が視野に入り、全身疾患に対する MSC 移植の効果をより高める点で臨床応用への展開が期待される。今年度は、実験に用いるラットの各組織から標識された MSC を、生存率を維持しつつ単離するための予備実験を行った。ラットの各組織について単一細胞分散の諸条件（使用する組織分

解酵素や処理温度・時間等)を検討し、至適条件を確定した。

他、新規に導入したセルソータによって組織分散懸濁液から単一細胞をソートしうるか、懸濁液の調整条件についても検討を加えた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 再生医療、間葉系幹細胞

#### 【研究題目】 色覚バリアフリー照明の設計に関するシミュレーションの研究

【研究代表者】 田村 繁治 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 田村 繁治 (常勤職員1名)

【研究内容】

本事業は、人間は外部情報の8割を視覚で得ており、日本人の300万人が色覚障害者であることを鑑み、安全・安心な社会生活を営む上で必要な正しい色情報を認識することを可能とするための(健常者と同じ配色パターンを認識・共有)ツールとして色覚バリアフリー照明のスペクトルの開発を行うことを目的とする。

本試験においては、小型の携帯型の光源システムの開発を行った。光源は150(W)×100(D)×60(H)mm で10種類の波長の LED をユーザーが100個を任意に設置できる。

均一性の良い照射面を実現するために、LED から10mm 離れた箇所に取り付ける拡散板について調べた。使用したのは、硫酸紙、乳白色アクリル板(5mm t)、レンズ拡散板(発散角1度)、レンズ拡散板(発散角10度)の4種類である。赤色 LED(波長630nm)、緑色 LED(波長532nm)および青色 LED(波長470nm)の3種類の光源について4種類の拡散板の効果を確認した結果、レンズ拡散板(発散角10度)を使用した場合に「色むら」が目視により、最も少なく均一性の良い照射面が得られることが確認できた。次に、石原式検査表(第1版)の数字「8」について、被験者実験で2型D型の色覚障がい者にはD65標準光源下では読めないが(正答率は0%)、開発したバリアフリー照明下では正答率が80%になったので、CIELAB(L\*a\*b\*)色空間を利用して、その理由を考察した。石原式検査表は、基準となる測色値が公開されていないので、代替手段としてsRGBモードを有するフラットヘッドスキャナで検査表をスキャンし、文字色と背景色のD65光源下でのCIELAB値をsRGB値から算出した。バリアフリー照明下での色は、産総研が開発した環境照明変換プログラムを利用した。

その結果、一般色覚者は3次元空間情報を利用して色の差を認識するのに対し、2型D型の色覚障がい者はL\*b\*色平面の情報のみで色の差を認識していることが判った。使用した2型D型色覚障がい者の見えの推定値(CIELAB値)は、具体的には、Brettelらが提案した2つの折れの射影平面に基づく手法を用いた。L\*a\*平面

ではa\*方向にCIELAB色空間の色縮退が観察された。L\*b\*色平面では、D65光源下では文字色と背景色が重なってプロットされたが、バリアフリー照明下では両者のプロットが分離されているのが確認され、バリアフリー照明が2型D型色覚障がい者の色識別の改善に有用であることがわかった。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 色覚障害、色覚バリアフリー、拡散板、バリアフリー照明

#### 【研究題目】 マウス及びヒト iPS 細胞を用いた神経分化誘導での神経栄養因子 BDNF の機能解析

【研究代表者】 北島 真子 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 北島 真子 (常勤職員1名)

【研究内容】

iPS細胞技術の開発によって、遺伝病の患者の神経分化にどのような異常がでるかを観察したり、特定の薬剤の効果や副作用を安全に検証したりできる可能性が現実のものとなりつつある。これらの目的を達成するためにiPS細胞からの各種細胞への分化誘導は現在大いに研究が進められている分野である。ただiPS細胞の分化は大変不安定なため神経細胞への分化誘導効率は現在一般的に行われている方法では30%程度と振るわず、効率的な分化誘導方法が模索されている。分化の指標としては神経細胞単体としてのシグナル伝達機能のみならず神経回路としてもしっかり機能するかどうかをみる評価系を用いる。本研究ではこの評価系をマウスiPS細胞から分化誘導した神経細胞に用いてin vitroで構築されたiPS細胞由来の神経回路に応用し、これらの細胞が確かに神経回路として機能していることを確かめることを目標として、神経栄養因子BDNFの神経分化誘導に対する役割、影響について研究を進めた。BDNFについては多数のデータを得たが細胞内でBDNFを大量に発現させると神経分化が促進されること、またBDNFの成熟化が阻害される変異型BDNFを用いた実験では細胞ない局在の変化が観察され未だ全容が解明されていないBDNFの成熟化、細胞内輸送を解明するための足掛かりが得られた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 神経細胞、BDNF、分化

#### 【研究題目】 オンサイト遺伝子迅速検知用集積化マイクロチップの開発

【研究代表者】 瀧脇 雄介 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 瀧脇 雄介 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、特定の遺伝子をフィールドで迅速かつ自動的に検知するための装置開発を目指している。前年度までに開発したポンプの吐出だけで簡便かつ実用的なセ

ンシング（混合、ポリメラーゼ連鎖反応（PCR）、秤量、測定）を行う機構をベースに、多項目の遺伝子を同時に PCR 検出する手法の開発に取り組んだ。簡便にオンサイトでの多項目検出を実現するため、タブレット端末と小型の機能電子制御ボードで動作確認することを進めながら検討してきた結果、少なくとも4項目の試料を超高速・同時に PCR 増幅できることが確認された。また、研究期間全体をとおして得た成果としては、PCR から検知までをフィールドオンチップに完了するマイクロチップの構築のため、1. 流路表面への吸着抑制技術の確立、2. 蒸気圧差と固液界面の粘性の力を駆使した全く新規な核酸増幅法、2. 入口からの吐出と出口からの吸引の両方に対応可能、3. 多量の試料液も核酸増幅可能、4. サイクル毎分の単位で同じ距離を維持する事で複数の試料プラグ液の PCR が可能なことを示した。一般的に、こうした技術を集積化させて遺伝子を迅速、自動検知するためのフィールドオンチップの研究開発は、複雑な外部制御や煩雑な表面処理などを組み合わせられていた事例が殆どであり、装置が大型で高価なものが多い。これに対して本法は、ポンプの吐出だけでこれらの機構がすべて完了することから、センサシステムの小型化・ネットワーク化・情報通信化を可能にしていくうえで有用な知見を得た。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】PCR、遺伝子、オンチップ

【研究題目】カーボンナノチューブの有効利用のためのアレルギー増悪評価系の開発

【研究代表者】堀江 祐範（健康工学研究部門）

【研究担当者】堀江 祐範（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、カーボンナノチューブ（CNT）によるアレルギー増悪作用の確認とその評価系の開発を目的とする。はじめに、有害性が知られている金属酸化物ナノ粒子により、マウスを用いて、ナノ粒子とそれに続く抗原の吸入による呼吸器でのアレルギー増悪効果を検討した。その結果、一部の金属酸化物において吸入された卵白アルブミン（OVA）に対するアレルギー増悪効果が認められた。続いて、金属酸化物での検討により確立した評価系により、CNT によるアレルギー増悪効果の検討を行った。触媒として鉄またはニッケルを含む CNT とそれらから金属を除去した精製品を用い、分散液を調製し、咽頭吸引によってマウスの肺内に投与した。次に抗原として OVA を途中1週間のインターバルを挟み、合計2週間吸入曝露した。曝露後の血中の OVA 特異的 IgE 濃度は、鉄触媒精製 CNT で有意に上昇した。肺組織中では、酸化ストレス応答タンパク質 HO-1および炎症性サイトカイン TNF- $\alpha$ 、Cxcl2の遺伝子発現が上昇した。今回、CNT でのアレルギー増悪効果が確認された。また、触媒金属を除去した精製品でその効果は高かった。この結

果から、CNT では金属よりも構造的な性状がアレルギー増悪に関与している可能性が示唆された。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ナノオブジェクト、カーボンナノチューブ、アレルギー

【研究題目】生体酵素系に生成する感応性化学種の同定と機能解明

【研究代表者】中村 努（健康工学研究部門）

【研究担当者】中村 努（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

感応性化学種とは、外部からの物理的・化学的刺激に鋭敏に応答し高エネルギー化学種（物質機能の要となる化学種）に変化する化学種をいう。筆者らは以前、超好熱性古細菌由来ペルオキシレドキシン（Prx）の酸化反応中に、反応中心のシステインの酸化型（Cys-SOH）が近傍のヒスチジン側鎖と共有結合し、超原子価化合物を形成することを発見した。本研究は、Prx の超原子価中間体感応性化学種ととらえ、その詳細構造と機能を解明することを目的としている。

Prx の超原子価中間体は今のところ X 線結晶解析でのみ確認されているが、詳細な解析のためには水素原子の位置を決定しなければならず、そのためには中性子線結晶解析が必要である。中性子解析のためには結晶の格子定数を小さくし、分子の対称性を上げることが必要である。そのために、二量体が5個集まった十量体の Prx にアミノ酸変異を施すことにより、十量体を二量体化することを試みた。

Prx の二量体間の相互作用に着目して変異をデザインし、6か所のアミノ酸を置換した。その結果、デザイン通り二量体化した Prx を得ることができた。ところが変異 Prx は結晶中では二量体が6個集まった十二量体構造をとっていた。現在、結晶中でも二量体として存在できるように Prx の変異をデザインしているところである。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】感応性化学種、超原子価化合物、タンパク質複合体、ペルオキシレドキシン

【研究題目】スマート材料のシステム論的モデル化による高効率エネルギーハーベスティング

【研究代表者】安積 欣志（健康工学研究部門）

【研究担当者】安積 欣志（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、様々な環境の変化から電力を取り出しセンサーネットワークや故障診断装置などのあまり電力のいらない電源として用いられるいわゆる環境発電について、産総研で開発を進めてきたイオン導電性高分子アクチュエータの材料を用いて、様々な環境における振動を利用して電力を取り出す研究である。イオン導電性高分子に

金属接合した接合体は、変形させると微小な電圧が発生することが知られており、それはイオン交換樹脂内のイオン流が原理である。その原理の詳細についてはまだ解明されておらず、材料特性も詳細に調べられていない。本研究では、様々なイオン導電性高分子について、振動発電の特性を調べ、定量的モデルを検討することを目的とする。本年度は、イオン導電性高分子を、湿度を様々なにコントロールした環境下、振動させて生じる電圧、電流を測定するシステムの構築を行った。次年度以降、本システムを用いて各種イオン導電性高分子の振動発電特性を調べ、モデルを構築する。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】スマート材料、エネルギーハーベスティング、環境発電、イオン導電性高分子、センサーネットワーク、イオン交換樹脂、モデル、イオン流

【研究題目】細菌膜蛋白質複合体の分子配列メカニズムに関する光学・電子顕微鏡複合解析

【研究代表者】川崎 一則（健康工学研究部門）

【研究担当者】川崎 一則（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、光学顕微鏡と電子顕微鏡を相関的に用いるアプローチにより、細菌の膜内粒子を同定し、その局在、分子配置、および環境変化に応じたそれらの制御を明らかにすることを目指した。主要な対象として、大腸菌の内膜と外膜を貫く異物排出トランスポーター複合体を選定した。まず、外膜チャネル TolC 欠損株と高発現株を用いて、超薄切片電子顕微鏡法による外膜と内膜の微細形態の観察を行なった。しかし、両株の間で微細形態の相違は認められなかった。次に、急速凍結レプリカ法によって TolC 欠損株と高発現株の比較を行なった。細菌の濃厚試料は高い粘性のために、従来法では凍結サンプルの形状に湾曲が発生していた。これが原因で大きな凍結活断レプリカの作製は困難で、十分な視野面積を得ることができないため観察の効率も悪かった。この問題の解決のために、本研究では、細菌の濃厚試料を湾曲なく急速凍結するための新たな凍結試料器具を開発した。この手法改良の結果、細菌のレプリカ試料を安定的に作製し観察することが可能となり、複数の菌株についての観察結果を比較する目的のために大きな技術的な進歩があった。しかしながら、TolC 欠損株と高発現株において行なった急速凍結レプリカ法による内膜と外膜の観察結果では、今のところ膜内粒子等の構造に顕著な差は見出されず、異物排出トランスポーター複合体の検出には至っていない。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】細菌、膜蛋白質、顕微鏡

【研究題目】側枝血管の確実な血流維持を可能とする

脳動脈治療用カバーステント開発における孔設計

【研究代表者】中山 敦好（健康工学研究部門）

【研究担当者】中山 敦好、大嶋 真紀  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

脳動脈瘤塞栓を目的とするカバーステントの開発において、新規高分子カバー材料の研究を行う。柔軟で強度を持つ生分解性材料として、ポリ乳酸をベースとした血管内圧に負けない強度を持つエラストマー様の材料を開発する。カプロラクトンベースのものでは、応力 0.1MPa で1500%以上伸びるような材料が実現できるが、ポリ乳酸では繰り返し単位が短く、立体規則性が高いため、基本的に剛直である。そこでソフトセグメントを工夫し、ポリテトラメチレングリコールやオリゴカプロラクトン成分をポリ乳酸のソルボリス反応時に組み込み、柔軟性を付与した。グリセリンなどの分岐点を導入しなくても300%以上の伸びを示すウレタンウレアが合成できた。分岐点の導入により更なる伸びが期待できる。ソルボリス条件も検討し、分子量の最適化も行なった。生分解性は単純加水分解加速試験で評価し、乳酸系で確認した。カプロラクトン成分を含むものはリパーゼ加水分解も受けた。イソシアネートは脂肪族系が望ましく、とくにアミノ酸由来のリジンジイソシアネートが良好な生分解を示した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】生分解性ウレタン、ウレタンウレア、生分解性ナイロン、ポリ乳酸、ステント

【研究題目】Linked Data 検索のための結合効率化に基づくメタデータクラウドの研究開発

【研究代表者】的野 晃整（情報技術研究部門）

【研究担当者】的野 晃整（常勤職員1名）

【研究内容】

誰でも制限なしに自由に利用できるオープンデータは、G8サミットでのオープンデータ憲章採択や世界最先端 IT 国家創造宣言の閣議決定など政府レベルでも、また自治体での積極的な導入や各種コンテストの開催などコミュニティレベルでも推進され、世界的な潮流となっている。このオープンデータの要として期待されているのが Linked Data である。Linked Data はデータ間の関係を記述してデータ同士を相互にリンクするものであり、統一した形式で記述することによって、あらゆる分野の多様な情報を同じ枠組みで利用できる。Linked Data は近年爆発的に増加しているが、巨大で複雑な Linked Data を扱う方法は確立できていない。我々はこの問題を解決するために Linked Data を効率的に検索するための研究を進めている。本研究の目的は、Linked Data に対し、A)中間データの再利用による演算省略や B)ダイジェストデータを用いた代理演算による結合演算の効



率化などの手法を提案し、複雑な検索でも高速に処理できるプラットフォームを実現することである。

3年計画の最終年度である平成26年度は、大規模データ処理フレームワークである MapReduce を用いて、Linked Data で頻出する低選択な結合（入力は大いが、出力となる共通要素は非常に小さい）演算の並列アルゴリズムについて研究開発を行った。昨年度実施した実験結果を元に、さらなる改良を実施し、Amazon Web Services 上で大規模実験を行い、従来の最先端手法と比較することで、提案手法の有用性を評価・確認した。提案した手法は従来の最先端手法の問題点を解決するよう拡張した手法である。従来手法ではデータをそのまま転送するためにネットワーク I/O の増加が懸念される問題についてハッシュを用いることでこれを解決した。また、従来は巨大な入力データを2回スキャンする必要があったが、1度目のスキャン時に位置情報に基づく索引を同時構築することで2度目の読み込み時に必要データのみアクセスできるようにし、ディスク I/O を減少するよう拡張した。さらに、従来手法では MapReduce のフェーズ数が3回であったが、提案手法では2回に減らすことに成功した。加えて、一度の結合演算で処理する入力データ数は多いほど、結合選択率が低下するため、低選択のための手法は性能向上が期待できるが、従来手法は2つの入力前提で3つ以上の入力を処理できなかったが、提案手法では任意数の入力データへ対応するよう拡張した。実験を通じた性能評価では、提案手法は従来手法に比べ、今回の実験で行ったすべての条件下で、優れた性能であることを確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】データベース、Linked Data、メタデータ、クラウド

【研究題目】性能可搬性を提供する仮想計算機マイグレーション技術の研究

【研究代表者】高野 了成（情報技術研究部門）

【研究担当者】高野 了成（常勤職員1名）

【研究内容】

高性能計算など様々な用途でクラウドの利用が拡大しているが、クラウドで広く用いられる仮想化された計算機環境は、従来の物理クラスタと同等の性能を得ることが難しいという課題を抱えている。本研究は、Ethernet や InfiniBand といった異なる通信インタフェースをもつクラスタ計算機を接続し、その上でクラスタ計算機を跨ぐ仮想計算機マイグレーションを実現し、アプリケーションプログラムからすべてのクラスタ計算機が透過的に扱えるようにし、かつ計算機環境の変化に適応して最大の通信性能を達成する性能可搬性を実現することを目的とする。

3年計画の最終年度となる平成26年度は、これまで研究開発した仮想計算機マイグレーション技術の実用化お

よび普及を図った。まず、昨年度開発した異なる通信インタフェースをもつクラスタ計算機をまたぐマイグレーション機構 Ninja Migration の完成度を高め、オープンソースソフトウェアとして公開した。また、本機能の一部をクラウドミドルウェアとして普及が進む Apache CloudStack へ実装し、産総研内のプライベートクラウド AIST Super Green Cloud (ASGC) 上での運用を開始した。さらに、ASGC で動作する仮想クラスタを必要に応じて Amazon EC2 デモ再構築できるようにした。以上の成果により、ユーザは InfiniBand の高い入出力性能を損なうことなくクラウド環境の利便性を享受できるようになった。本成果について、2014年12月にシンガポールで開催された国際会議 IEEE CloudCom 2014、および2015年3月に台湾で開催された国際会議 ISGC 2015で発表した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】HPC クラウド、仮想計算機、VM マイグレーション

【研究題目】ストリーム処理とデータ分析処理を統合した戦略的データ活用基盤の開発

【研究代表者】油井 誠（情報技術研究部門）

【研究担当者】油井 誠（常勤職員1名）

【研究内容】

大規模な機械学習を実現するための代表的なアプローチとして、関係データベース内で高度なデータ解析処理を行う In-Database Analytics と、MapReduce を用いた機械学習の並列処理の2つがある。大規模なデータ解析では、システム間のデータ移動に非常に時間を要することが課題であり、In-Database Analytics はビジネスデータが存在するデータベース内でデータ解析を行うという点でデータ移動のコストを省けるため有効である。一方で、関係データベースは、時間を要する解析処理をバッチ処理する上で重要な耐障害性や性能劣化ノードの扱いに課題を残している。

そこで本研究では、バッチ学習を MapReduce/Hadoop を用いて行い、インクリメンタルな学習を関係データベース上で行う、ハイブリッドな機械学習手法を開発した。

本年度は最終年度として、Hivemall と呼ばれる機械学習ツールについて機能拡張、評価等を行い完成させた。これは Hadoop 上に構築したバッチ学習ツールであるが、Hive と呼ばれる関係データベースに基づいて構築することでインクリメンタルなオンライン学習との連携も容易なものである。

最終的なソフトウェアの評価として、KDDCup と呼ばれる性能比較コンテストの2012年の課題を用いて、Vowpal Wabbit, Spark MLlib, Bismarck 等の最新類似システムと比較した。結果として、AUC (Area Under the Curve) と呼ばれる精度指標について同等あ

るいはそれ以上の性能を提供しつつ、1.5–12倍の性能(処理時間の短さ)を達成した。また、スケーラビリティに関しても、少なくとも32ノード程度まではリニアに性能が向上することを示した。

公開したソフトウェアは、企業や商用提供のクラウドサービスの一部で利用されるなど高い評価を得ており、Hadoop Summitでの発表や、米国業界紙であるInfoWorld誌より2014年のBossie Awardsのうち、The best open source big data tools賞を受賞するなど優れた成果をあげることができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】機械学習、データベース管理システム、MapReduce, Hadoop, Hive

【研究題目】画像認識技術を用いた大腸内視鏡画像の客観的評価手法の研究

【研究代表者】野里 博和(情報技術研究部門)

【研究担当者】野里 博和(常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、難病指定されている潰瘍性大腸炎の大腸内視鏡検査において、大腸粘膜の炎症の重症度を画像認識技術により客観的に評価する手法の確立を目的としている。潰瘍性大腸炎は、特定疾患として30年間以上厚生労働省研究班による調査研究が行われているが、その病変の様態の複雑性から、詳細な診断基準はいまだ確定しておらず、医師の知識や経験の差によりその診断精度にばらつきが生じている。そこで本研究では、大腸内視鏡画像から大腸粘膜の特徴を抽出し、その特徴から統計的な手法により評価値を算出する評価手法を提案し、医師の診断を支援する客観的な評価指標の提供を目指す。

3年計画の3年目となる平成26年度は、潰瘍性大腸炎の内視鏡画像における血管網パターンと粘膜表面の凹凸の違いを同時に強調する画像処理手法と、その画像処理結果から抽出した高次局所自己相関特徴とヒストグラム特徴をベースとした客観的な評価に基づく類似症例画像の検索技術と検索結果を提示するシステムを開発した。本技術は、画像から抽出可能な複数の特徴量を組み合わせることで、大腸粘膜の炎症を客観的に評価し、その特徴量の比較により内視鏡画像の類似度を計算し、過去の症例データベースにある類似症例を提示する技術である。この技術を、昨年度までの研究において開発した重症度分類技術と組み合わせることにより、検査において撮影された内視鏡画像に対して、あらかじめ診断された症例データベースに基づいた重症度分類および類似症例画像を診断支援情報として医師に提示することが可能になった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】画像認識、大腸内視鏡、診断支援技術

【研究題目】合成開口レーダ画像および海洋観測に基

づく海上風シミュレーションの精度向上

【研究代表者】竹山 優子(情報技術研究部門)

【研究担当者】竹山 優子(常勤職員1名)

【研究内容】

沿岸海域における洋上風力エネルギー資源調査の有効な手段として、数値気象モデルによる海上風シミュレーションや、衛星に搭載した合成開口レーダ(Synthetic Aperture Radar, SAR)観測データを使った海上風推定手法が注目されている。欧州では既に何千シーンという膨大なSAR画像を使用して洋上風況マップを整備している。風力エネルギー密度は風速の3乗に比例するため、その資源調査には高精度な風速の推定が必要とされる。しかし、研究が進むにつれて日本沿岸域における数値気象モデルおよびSAR海上風推定にはいくつかの問題があることが分かってきた。そこで本研究では、沿岸海上風シミュレーション精度の向上を目的として、SAR海上風推定精度の向上と、その成果と気象モデルの組み合わせによる高精度海上風推定手法の開発を行った。

3年計画の2年目までは、最新のモデル関数CMOD5.Nと大気安定度補正を用いた手法を欧州の地球観測衛星ENVISATの高性能合成開口レーダ(ASAR)画像に適用し、これに数値気象モデルWRFから得られた風向情報を入力値として、和歌山県白浜沖の海域における10mおよびハブ高度80mの年平均風速分布図と平均エネルギー密度分布図といった洋上風力発電の適地選定に必要な風況マップの作成を実施した。3年目である26年度はさらに海上風推定精度の高度化を目指して、沿岸地形が風速推定に与える影響について調査した。対象海域は、神奈川県平塚、デンマーク沖のHorns Rev洋上風力発電所、和歌山県白浜の3か所とした。平塚は相模湾の海岸線がほぼ西から東に延びており、一方、Horns Revでは北から南に延びている。また、白浜では紀伊半島に沿って北西から南東に海岸線がある。陸域の影響を調べるため、このように海岸線が延び方向が多様な海域を選定している。それぞれの海域で風向を陸から沖に吹くOffshoreと沖から陸に向かって吹くOnshoreに分類し、海岸付近におけるSAR風速推定精度算出したところ、Offshore時ではSAR推定風速が過小評価傾向であることが分かった。また、2次元のSAR風速分布図よりOffshore時には海岸線に沿うように風速が陸から沖に向けて増加している傾向が認められた。これにより、Offshore時のSAR風速は海岸線から沖に向かって急激に変化しており、海岸線近くでは陸の影響によって風速が過小に見積もられる可能性が示唆できた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】洋上風力発電、合成開口レーダ(SAR)、数値気象モデル、開錠風推定

【研究題目】ディザスタリカバリを可能にする高速回避型遠隔ライブマイグレーションの研究

【研究代表者】 広渕 崇宏 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 広渕 崇宏 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、遠隔拠点間のライブマイグレーション時間を大幅に短縮し、地震発生直後の猶予時間を利用したサーバ待避技術の実現を目指すものである。従来のライブマイグレーション技術では仮想計算機の実行状態を一度に全て転送する実装となっている。一方、本研究が提案するライブマイグレーション手法では、平時から実行状態を待避先にできるかぎり転送し、災害時には未転送の実行状態のみを転送することで、いざという時のサーバ待避時間を短縮する。提案手法のプロトタイプ実装を開発し、各種評価実験を通してその有効性を検証する。

3年計画の2年目となる平成26年度は以下の研究を行った。第一に、仮想計算機のメモリデータとストレージデータ間に存在する重複を排除する機構について引き続き研究を行った。昨年度開発したプロトタイプを元に詳細な評価実験を行った結果、部分的に重複排除を行った場合に最も仮想マシンの移動時間を短縮できることがわかった。そこで時間短縮効果が最大となるように自動的に重複排除率を調整する機構を新たに開発した。時間短縮効果に関する理論的な分析も行った。

第二に、仮想計算機の移動技術に関するシミュレーション手法について研究を進めた。昨年度プロトタイプを実装した提案手法について評価実験を行ったほか、評価実験に用いるシミュレーション技術の開発を行った。フランスの研究機関 INRIA の研究者らと共同で、過去に開発したシミュレーションフレームワークを強化し、より正確に移動時間を見積もることを可能にした。上記の重複排除手法の効果についてシミュレーションを用いて評価実験を行った。

第三に、多くの仮想計算機を遠隔拠点に一度に移動する際に、仮想計算機群全体の移動時間を最小化する機構について研究を行った。過去に開発したプロトタイプに対して詳細な実験および理論的な考察を行い、その効率性を詳しく評価した。

今後はさらなる効率改善に向けて発展的な手法を検討する。またこれまでの研究成果を取りまとめ論文誌等に投稿する予定である。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 災害対策、データセンタ、仮想化

【研究題目】 ポストペタスケール計算機環境に向けた高可用分散協調スケジューリングの研究

【研究代表者】 竹房 あつ子 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 竹房 あつ子 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、2020年までに完成すると言われているポストペタスケール計算機環境でアプリケーションの実効性能を維持しつつプログラムの継続実行を支援する高可

用分散協調スケジューラを実証することを目的としている。ポストペタスケール計算機環境では、各タスクが並列処理を行う階層型タスク並列が計算効率を高めるための有望なプログラミングモデルの1つと考えられているが、アプリケーションプログラムに障害が発生しても継続実行できる耐障害性が求められ、プログラム作成の障壁となりうる。よって、階層型タスク並列アプリケーションプログラムの耐障害性を支援する高可用分散協調スケジューラのプロトタイプシステムを開発し、ポストペタスケール計算機環境における性能特性を調査する。

開発する高可用分散協調スケジューラは、計算に必要なデータ障害から保全するデータストア機構と、計算ノードの健全性を監視しつつ適切に計算を実行する資源管理機構からなる。これらを、ポストペタスケール計算機環境においてスケラブルでかつ、それら自体が耐障害性を持つように設計・実装する必要がある。

2年計画の2年目となる平成26年度は、Java で実装したプロトタイプシステムに加え、User Level Fault Mitigation (ULFM) MPI をもちいて C で実装している Falanx ミドルウェアに、提案する高可用分散協調スケジューラを実装した。評価実験から、資源管理情報を適切に管理することにより、分散協調スケジューラのオーバヘッドを低減できることを確認した。また、実アプリケーションである OpenFMO を用いた評価では、分散協調スケジューラの有無による顕著な性能差は確認されず、大規模環境での実現可能性を示した。

本研究の成果は、ACM HPDC'14および IEEE/ACM SC14のポスターセッション、および査読付き国際会議 ACM IMCOM 2015において発表した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 ポストペタ、スケジューリング、並列分散計算、耐障害性

【研究題目】 大規模・異種の時空間データ統合で生じる矛盾を許容するサイエンスクラウド基盤

【研究代表者】 小島 功 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 小島 功、中村 章人、的野 晃整、岩田 健司、油井 誠、Steven Lynden、金 京淑 (常勤職員7名、他1名)

【研究内容】

本研究は複数の衛星情報アーカイブなどのペタバイト級の異種時空間データに対し、柔軟なデータ統合を提供することで科学研究を促進するクラウド基盤 (サイエンスクラウド) を研究開発するものである。産総研を代表として筑波大、静岡大、首都大学東京と共同で研究開発を行っている。

平成26年度は最終年度として、要素研究の完成と技術の連携による統合を研究開発した。

要素研究については、産総研と静岡大、首都大学東京

において地理空間データと Twitter 等の SNS データを連携・解析する研究を進め、結果は国際会議で受賞 (SIGSPATIAL LBSN ワークショップ最優秀論文賞、EGC 2015 最優秀応用論文賞) するなど高い評価を受けた。具体的には、SNS データの時空間的な解析手法を開発し、話題の拡散や遷移といったイベントの時空間的な把握が可能となった。また SNS データのみから地理空間オブジェクトを抽出する手法も開発し、海岸線を高精度で再現することで有効性を実証した。データ統合時に問題となる外れ値について、筑波大において GPGPU を用いて高速に検出する手法を開発した。

要素技術の連携については、写真を用いた土地被覆の判定の研究について、SVN に基づくクラスタリングと、Flickr などの写真を併用する方法を行い、Kappa と呼ばれる指標において約9割と、衛星画像解析よりも高い精度での判定を可能にした。これらの成果を標準化団体 OGC (Open Geospatial Consortium) でアピールし、特に12月の技術委員会においてフォーラムを主宰すると同時に発表を行った。GeoSpatial World Forum での2件の招待講演も含め4件の国際招待講演を行い、本テーマ関連の国際的なプレゼンスを高めることができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】データベース、データ統合、時空間データ、クラウドスケジューリング、並列分散計算、耐障害性

【研究題目】非線形固有値解法の先端アルゴリズム開発と実アプリケーションへの応用

【研究代表者】池上 努 (情報技術研究部門)

【研究担当者】池上 努 (常勤職員1名)

【研究内容】

計算機シミュレーションは、物理現象を微視的なレベルで計算機上に再現し、そこから得られる膨大な数値情報から大局的な特徴量を抜き出す手法である。計算機シミュレーションでは物理モデルの数値表現として行列が普遍的に用いられており、様々な物理的特徴量はしばしば行列の固有値として現れる。計算機性能の飛躍的な向上を背景に、物理モデルの精緻化が進み、それに伴って行列次元は増大してきた。このような大次元行列の固有値を最新の並列計算機上で効率良く計算する手法として、我々はブロック櫻井杉浦法の開発を進めており、特に最近はその非線形固有値問題への拡張に取り組んでいる。

本研究では、まず非線形固有値問題に対するブロック櫻井杉浦法の理論的基盤を整備し、その適用限界を明らかにした上で、汎用ライブラリの構築を目指す。次いで従来非線形反復法で対処してきた問題の中から非線形固有値問題に再構成可能なものを発掘し、本手法を適用することで、計算機シミュレーションのアルゴリズムレベルでの高効率化を実現する。

3年計画の2年目となる平成26年度は、多項式行列型

の非線形固有値問題について、従来のコンパニオン行列を用いる手法と独立な新たな線形化手法を開発し、その理論的背景の解析に着手した。新手法は行列の対称性を線形化後も維持可能で、また多項式行列を越えたより一般の非線形行列にも拡張可能な点で特徴的である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】非線形固有値問題、高性能計算

【研究題目】空気酸化によるエポキシ化合物の効率的合成法の開発

【研究代表者】田中 真司 (触媒化学融合研究センター)

【研究担当者】田中 真司 (常勤職員1名)

【研究内容】

エポキシ化合物は機能性樹脂の原料や医薬中間体として重要な化学品であるが、有機過酸化化合物や塩素化合物など、環境負荷の大きい酸化剤でオレフィンを酸化する合成法が一般的である。クリーンな酸化剤である過酸化水素水を用いる方法もあるが、加水分解しやすいエポキシ化合物には適用しにくいのが現状である。そこで本研究課題では、空気中の酸素を酸化剤とするオレフィンのエポキシ化の開発を目指し研究を行った。

平成26年度は既存の報告例に基づき、鉄およびモリブデン化合物を触媒候補として選定し、触媒開発を行った。新規モリブデン錯体を合成し、これを触媒としてシクロオクテンの酸素によるエポキシ化を行ったところ、およそ50%の選択率でエポキシ化体が得られることを見出した。今後は触媒をさらに改良し、より選択性の高いエポキシ化反応開発を継続する計画である。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】エポキシ化合物、触媒、酸化、酸素

【研究題目】疎水性場の付与に基づく磁性ナノ粒子固定化遷移金属触媒の高機能化

【研究代表者】藤田 賢一 (触媒化学融合研究センター)

【研究担当者】藤田 賢一、佐藤 潤一 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

含窒素複素環カルベンは遷移金属錯体触媒合成における有用な配位子であるが、空気中での単離および保存は容易でないため、その固相固定化体であるマグネタイト固定化含窒素複素環カルベンの簡便な合成法が求められている。そこでマグネタイト固定化含窒素複素環カルベンの合成において、前駆体となるマグネタイト固定化イミダゾリウム塩を合成した。

マグネタイト固定化ヨウ化イミダゾリウムは、ヨウ化t-ブチルイミダゾリウムとマグネタイトを、エタノール中で20時間加熱還流しながら攪拌した後、磁石に引き寄せて反応溶液をデカンテーションすることにより得ることができた。

次に、収率よく含窒素複素環カルベンを得る合成法を

見出すべく、ポリマーに固定化したヨウ化イミダゾリウムを用い反応性を検証した。ポリマー固定化ヨウ化イミダゾリウムとカリウム化合物を水中室温で攪拌することにより一段階で、ハロゲンを含むしない固定化イミダゾリウムを調製し、このものを有機溶媒中で加熱したところ収率よく含窒素複素環カルベンへと変換された。本検討により、固定化含窒素複素環カルベンを簡便に調製できることが明らかとなり、マグネタイト固定化体についても、同様に合成できることを確認している。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】マグネタイト、磁性、ナノ粒子

【研究題目】高スピン型金属触媒：新しい触媒領域の展開

【研究代表者】中島 裕美子

(触媒化学融合研究センター)

【研究担当者】中島 裕美子 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究は、「高スピン型金属触媒の開発」という、これまで全くの未開拓分野を切り開くことで、従来の有機金属化学には類を見ない、新しい触媒反応開発に挑戦するものである。高スピン錯体は、その特異な電子状態を反映して、独自の反応性を示すことが知られているものの、取り扱いの困難さからその詳細はあまり明らかでない。そこで本取り組みでは、マンガン(II)錯体に着目した。マンガン(II)錯体は、半閉殻構造を取ることで高スピン状態が安定となる。したがって、マンガン(II)錯体を用いれば、高スピン金属種取り扱い困難の最大の理由となるスピン反転の可能性が排除され、比較的容易に高スピン型金属種の化学を展開可能と期待した。

初年度である H26年度は、新しくマンガン(II)ジアルキル錯体およびアルコキシ錯体の合成単離に成功した。さらに、触媒反応開発にさきがけ、合成した種々の錯体の基礎的反応性の解明に取り組み、マンガン(II)ジアルキル錯体は、分極した結合のヘテロリシスに活性であることを見出した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】高スピン型錯体、触媒

【研究題目】高空間分解能静電気分布モニタリング計測システムの開発

【研究代表者】菊永 和也 (生産計測技術研究センター)

【研究担当者】菊永 和也 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究では、振動励起法により誘起された低周波電界の多点計測技術を基盤とした、高空間分解能な静電気分布を計測するために、低周波電界を検出するためのセンサを小型化すること、その小型センサをアレイ化することが必要である。本年度は、多点で電界を同時計測するための小型センサアレイの開発を行った。

センサを小型化すると電界の検出感度が低くなり、センサ間隔が近いと電界が干渉することから、センサのアレイ構造化によって隣接したセンサ同士が電界に関して干渉しない構造と、低周波電界の検出感度について検証を行った。センサアレイとしては、「電界センサ：パッチ構造型、センササイズ：0.7mm×0.7mm、30個を1mm 間隔で並べた構造」を用い、各センサはそれぞれロックインアンプに接続することで電界の検出感度を評価した。そこでは平板電極に直流電圧100V を印加したサンプルを用いて振幅0.25mm、200Hz で振動させ、センサアレイを0.5mm 離して設置して各センサのバラツキを比較したところ、各センサ間の最大誤差が1.4%であることが明らかになった。さらに、この開発したセンサアレイを用いて各センサ位置と各センサで検出された電界強度とを組み合わせた分布像を得るためのシステムを構築することで、空間分解能が1mm の静電気分布を計測することに成功した。これにより、高空間分解能な静電気分布計測に向けたセンサの開発に成功し、その技術的基盤を確立した。これにより、高分解能で静電気の二次元分布を計測するためのシステム開発の目途をつけることができた。

【分野名】計測・計量標準

【キーワード】静電気、可視化、振動、低周波電界、センサアレイ

【研究題目】有機応力発光センサの創出

【研究代表者】寺崎 正 (生産計測技術研究センター)

【研究担当者】寺崎 正、野上 有美

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究の狙いは、世界初の有機応力発光センサを創出することにある。現在、応力発光体は【弾性変形程度の力学刺激に応じて繰り返し発光するセラミック無機粒子】と定義されている。有機応力発光体実現の方法は、高輝度無機応力発光体の発光原理を抽出し、有機材料に転写することである。すなわち、①“準安定状態にトラップされたキャリアの力学刺激による解放と再結合による発光”、②“圧電性を介して発生する局所電場による電界発光”を有機材料を用いて実現することである。実現に向けて、有機分子を使った構成する機能要素・コンポーネント・空間の設計 (課題【1】、【2】)、繰り返し性・視認性・定量性 (ひずみ-発光強度・色) の観点からの応力発光評価 (課題【3】) が全体の基本計画である。平成26年度では、その計画に従い下記の成果を挙げ、本来の計画を達成した。

【1】金属誘起フレームワーク (MOF) 構造による ML 空間の創出

発光中心 (Eu<sup>3+</sup>) を賦活した MOF (DMBDC:ML 空間) に関して、蛍光分光計測を行った。その結果、導入した発光中心由来の発光 (633nm) を確認し、発光中

心の賦活に成功した。

**【2】分子圧電場での電界発光による応力発光の創出**

スクリーニングを行った基本構造、PVDF（ポリフッ化ビニリデン）-疎水性粘土ナノシートに関して、高輝度 EL 生発光色素（Ir(ppy)<sub>3</sub>）を初めとする各種賦活処理に対する性能評価を行った。各種ドーパント賦活にも関わらず、X 線構造解析の結果として圧電性を示す β 体の分子配向を保つこと、さらに印加応力に応じた圧電能の発現に成功した。また発光特性の評価の結果、ナノクレイにより制御された空間においても、色素の発光状態が保持されることを確認した。本知見は、分子圧電場での電界発光による応力発光を発現させる場として有用なものである。

**【分野名】**計測・計量標準

**【キーワード】**応力発光材料、圧電材料、有機

**【研究題目】格子・電荷・光結合系の設計と制御によるフォトニクス機能の進化**

**【研究代表者】**徐 超男（生産計測技術研究センター）

**【研究担当者】**徐 超男（常勤職員3名、他6名）

**【研究内容】**

応力発光（力学刺激による発光）は構造物の健全性診断など安全安心な社会を支える基幹技術への利用が強く期待されている。本研究では、応力発光等フォトニクス機能に及ぼす結晶構造、電荷移動、欠陥の影響とその機構を調べ、増感効果の発現機構を明らかにすることにより、それをもとに画期的なフォトニクス新材料の設計・創出を目指す。

本年度は、(1) 物性解明について、理論と実験の両方から、結晶構造や電子構造等の解明で得られたマイクロ・メゾ構造の知見と、マクロ物性解明で得た光物性・応力発光特性やフォトクロミズム等との相関を統合的な考察を進めた。第一原理計算、分子動力学計算からの理論解析も着手した。応力発光体のバンド構造、状態密度および化学結合状態について検討し、SAO、SSO 材料の電子構造の解析を進展した。(2) 新材料の設計開発について、応力発光体 SAO から設計指針・増強方法を抽出し、新規材料 SSO や CZOS にこれらの増強方法を転写した。(3) 物性解明のため、結晶高度化制御を模索した。偶然に、特異の合成条件では従来できなかった単結晶の規則成長が可能であることを発見した。これまでの成果は特許出願、学術論文・国内外学会発表などを多数行っており、そのうち規則成長の結晶はセラミックス学術写真優秀賞等の表彰を受けた。すなわち、計画以上に進展できた点として、単結晶 SAO ファイバの成長制御をはじめ、多様なドーピング元素が可能な規則配列できる結晶体を見出し、今後の展開は期待される。

**【分野名】**ナノテクノロジー・材料・製造

**【キーワード】**応力発光、近赤外発光、非破壊検査技術

**【研究題目】透過電顕を用いたナノ蛍光体単一の光学特性評価と粒子構造との関係解明**

**【研究代表者】**上原 雅人（生産計測技術研究センター）

**【研究担当者】**上原 雅人（常勤職員1名）

**【研究内容】**

本研究の目的は、多層構造蛍光ナノ粒子について、球面収差補正電子顕微鏡によるオングストロームオーダーでの構造評価に加え、エネルギー分解能の高い電子エネルギー損失分光法によるナノ粒子単一の光学特性評価を行う。両者の比較からこれまでの研究で不明な点が多い蛍光ナノ粒子の構造と光学特性の関係を明らかにし、発光効率の高い蛍光ナノ粒子の開発指針を提案する。

本年度は、有機溶媒中でのナノ粒子の合成について、種々の配位子や温度条件等を検討することで、粒子径の揃ったコアシェルナノ粒子の合成方法をおおよそ確立することができた。シェル層を平均約1.5nm から5nm と変えた試料について評価を行った。高いエネルギー分解能を有する電子線エネルギー損失分光（EELS）システムを用いて、ナノ粒子1個ずつの Low-Loss スペクトル測定を行った。測定条件について様々に検討し、誘電特性解析手法を確立した。粒子径の揃ったナノ粒子を溶液に分散して測定（マクロ測定）した吸収端と、EELS で測定した1個ずつの吸収端はほぼ一致することが確認でき、本測定が有効であることが分かった。多層ナノ構造に起因した誘電応答から各コア・シェル部分の誘電特性の解明を行った。また、それら解析結果と発光機能性との関連性について検証を行った。コア粒子や、シェル層の異なる種々のコアシェル粒子について EELS 測定を行った。その結果、シェル層の厚さの差異による EELS スペクトルの変化を捉えることができた。さらに EELS シミュレーションと比較することで、多層ナノ構造の解析が可能であることを示した。

**【分野名】**ナノテクノロジー・材料・製造、計測・計量標準

**【キーワード】**ナノ粒子、電子顕微鏡、EELS、コアシェル

**【研究題目】高密度イオン軌道ベクトル制御プラズマによる高速・高アスペクト比エッチングの創成**

**【研究代表者】**本村 大成（生産計測技術研究センター）

**【研究担当者】**本村 大成（常勤職員1名）

**【研究内容】**

3次元に半導体デバイスを集積化させるためには、シリコン貫通電極の貫通孔形成による垂直配線技術が必要とされている。そのためには、シリコン基板の早掘り・深掘りプラズマエッチング技術の創成およびその装置開発が重要となる。研究計画として、エッチング速度の向上のために、1) プラズマの高密度化に伴うエッチング反応生成物の生成効率を増大させ、ならびに2) 外部磁

場およびウエハ近傍磁場配位の最適化による高密度プラズマの効率的輸送の技術を融合させる。さらに、深掘りエッチングのために、3) イオンの運動量輸送方向を磁力線に平行にするために真空排気システムの最適化による低ガス圧力環境の実現も1)、2)に加えて同時に実現することが重要となる。

本年度の目標として、高速エッチングに資する高密度プラズマ源の開発を掲げ、具体的目標としてプラズマ密度を1立方cmあたり10の12乗を得ることと定めた。

本年度の研究結果として、被処理材情報1cmにおいて、静電プローブを用いてプラズマ密度を計測した結果、500W程度の電力投入かつ外部磁場コイルで最大磁場強度0.02T以上を印加することで、10の12乗のプラズマ密度を達成することができた。これにより、本年度の研究結果を十分に達成できたと考えられる。ヘリコン派の磁場成分の包絡線を測定することで、物理的境界条件（真空容器）内においてヘリコン派の共振現象を測定することが可能になるが、本年度はプラズマ密度の磁場強度依存性ならびに入力電力依存性を測定することにより、プラズマ密度の急増現象を調べ、ヘリコン共振現象が生じた可能性について議論した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 プラズマエッチング、シリコン貫通電極、半導体製造

【研究題目】 高分子樹脂を用いた圧電発電の高効率化

【研究代表者】 岩崎 渉（生産計測技術研究センター）

【研究担当者】 岩崎 渉（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では一般的な圧電体材料の一つである AlN にスカンジウムを転換することで発電性能を向上させた新規の圧電体である ScAlN の加工方法について検討した。表面に SiO<sub>2</sub>膜が形成されたシリコンウェハ上に ScAlN をスパッタリングにより堆積した。その上にフォトリソグラフィにより所定のパターンに加工したレジストをマスクとしてウェットエッチングにより ScAlN を加工した。ウェットエッチングにはレジストをマスクとして用いるためアルカリ性の混酸を用いた。混酸にはリン酸を50~67%、硝酸を7~12%、酢酸を5~7%の濃度で変更しエッチングの条件を検討した。その結果、これらの濃度範囲内ではレジストにダメージを与えることなく、ScAlN を加工することに成功した。また、磷酸、硝酸の濃度を高くすることでより早いエッチング速度を達成することができた。

また、低周波で振動可能な振動発電デバイスの構造を考慮し、表面に SiO<sub>2</sub>膜が形成された SOI 基板のデバイス層に Cr/Au/Cr の下部電極をその上に ScAlN を、更にその上に Cr/Au/Cr の上部電極をそれぞれスパッタリングにより堆積し、それぞれの電極層と圧電体をフォトリソグラフィとウェットエッチングによりそれぞれ最

適な構造にパターニングすることに成功した。今後は SOI 基板のハンドル層を深堀加工することで、デバイス層を片持ち梁構造にし、ScAlN の特性評価を行う予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 MEMS、圧電体、振動発電

【研究題目】 プラズマエッチング中の剥離パーティクル発生メカニズムの解明

【研究代表者】 笠嶋 悠司（生産計測技術研究センター）

【研究担当者】 笠嶋 悠司（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、プラズマエッチング中に発生する剥離パーティクル（微粒子）の発生機構を明らかにするために、電場応力の作用メカニズムについて解明を目指すものである。半導体の生産現場で歩留り低下を引き起こす最大要因である剥離パーティクルについて知見を得ると共に、半導体生産現場における歩留り改善への大きな貢献が可能となる。

平成26年度は主に、電場応力の作用機構解明を目的とした検証実験を実施した。実験では、プラズマエッチング装置のプロセスチャンバー内に基板を設置し、その表面上に標準粒子を散布した。ここで用いた標準粒子は剥離パーティクルを模擬したサイズとした。電場応力によって基板上から浮遊した標準粒子をレーザー光散乱法を原理としたパーティクル計測システムで計測した。その結果、急峻に変化する電場を印加した際に、より多数の浮遊粒子を観測した。本実験を通してこの現象は古典力学で知られる撃力現象とアナロジーがある現象であることを見出した。すなわち、ある力が作用する際、作用時間が短いほど瞬間的に大きな力となって作用するという撃力現象が、電場応力でも発生することを明らかにした。半導体量産現場では、突発的に多量のパーティクルが発生する異常が大きな問題となっているが、この現象が電場応力の撃力作用に起因している可能性が考えられるため、次年度にその解明に取り組む。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 半導体製造、プラズマエッチング、歩留り、堆積膜、パーティクル

【研究題目】 格子・電荷・光結合系の設計と制御によるフォトニクス機能の進化

【研究代表者】 徐 超男（生産計測技術研究センター）

【研究担当者】 徐 超男（常勤職員3名、他6名）

【研究内容】

応力発光は構造物の健全性診断など安全安心な社会を支える基幹技術への利用が強く期待されている。本研究は、発現機構や増強法を多角的な視点から究明し、得られた知見をもとに画期的な応力発光材料を新たに創出することを目的としている。具体的には、特異な積層化合

物について、応力発光等フォトニクス機能に及ぼす結晶構造、電荷移動、欠陥の影響とその機構を調べ、増感効果の発現機構を明らかにすることにより、それをもとに画期的なフォトニクス新材料の設計・創出を目指している。

本年度は、(1) 前年度で開発した新材料の結合状態の物性解明だけでなく、ミクロ、メゾ、マクロのそれぞれ異なる階層での物性を詳細に検討した。(2) これまでに得られた物性解明を基にした応力発光材料の設計開発を行い、Cu+添加する CZOS の新規な青色発光材料の設計・創出に成功し、この材料は斬新な応力消光機能を発現することを明らかにした。(3) 新規な低次元 SAO 結晶物質については、結晶成長の制御手法を見出し、多機能を有する新ナノファイバ等の低次元結晶体の合成法を確立した。(4) 得られた合成法と材料設計指針の有効性を検証し、特異構造のファイバ状新規材料は、高感度応力発光機能を有すること、光電応答性を有するなどの斬新なフォトニクス機能を有することを突き止めた。

得られた成果は特許出願、論文誌、学会等で多数に発表し、そのうちの新規発光結晶の成果写真はセラミックス学会誌の2015年間表紙に選ばれた。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 応力発光、近赤外発光、非破壊検査技術

【研究題目】 植物細胞壁の酵素分解におけるキシログルカン分解酵素の作用機構の解明と利用

【研究代表者】 矢追 克郎 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 矢追 克郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

キシログルカンは、グルコースが $\beta$ 1,4結合でつながった $\beta$ 1,4グルカンを主鎖として、この主鎖に $\alpha$ 1,6結合でキシロース側鎖を高頻度に結合する構造を有している。また、キシロース側鎖にはさらにガラクトースなどが結合している。そのため、キシログルカンを分解する酵素は、主鎖の $\beta$ グルカンを分解する $\beta$ グルカナナーゼ(キシログルカナナーゼ)と、側鎖を分解する $\alpha$ キシロシダーゼや $\beta$ ガラクトシダーゼなどの酵素に大別される。両者についてそれぞれ大腸菌による組換え酵素を獲得と解析を行い、キシログルカン分解の作用を解析した。

主鎖を分解する酵素であるキシログルカナナーゼについては、分解様式がエンド型やエンドプロセシブ型など多様なメカニズムが存在するが、*Paenibacillus* 由来の GH74キシログルカナナーゼ (XEG74) について、様々な変異導入を行い、作用機序の異なる様々な変異型酵素の作成に成功し、詳細な機能解析を行った。

キシログルカンの側鎖に作用する酵素については、キシロース側鎖を効率的に切断する $\alpha$ キシロシダーゼの獲得を行った。また、ガラクトース側鎖を切断する $\beta$ ガラクトシダーゼも含めて、側鎖を分解する酵素についてキ

シログルカン分解作用を解析した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 キシログルカン、ヘミセルロース、ヘミセルラーゼ、植物細胞壁、バイオマス

【研究題目】 糖尿病の改善効果を評価するための新規指標物質の開発

【研究代表者】 奥田 徹哉 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 奥田 徹哉 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、糖尿病発症に関わる複合糖質分子の発現量と、高血糖が惹起する脂肪肝などの組織病変とがどのように相関するのかを明らかにすることで、新たな診断指標の開発を試みている。本年度は、糖質制限食(ケトン食)による脂肪肝改善効果の解析と、本効果を評価できる指標候補物質の探索について検討した。

我々は過食により肥満化し、高血糖や肝腫大を伴う脂肪肝を発症するミュータントマウス (*ob/ob* マウス) に、低炭水化物食かつ高脂肪食であるケトン食を持続的に摂取させると、肥満は進行するが脂肪肝が著しく改善することを見出している。一方、過去の報告では野生型マウスにケトン食を持続的に摂取させると、脂肪肝の形成が進行すると報告がなされていた。このケトン食の相反する効果について、我々の実験条件下における再現性を確認したところ、確かに野生型マウスでは脂肪肝形成が進行し、逆に *ob/ob* マウスでは改善することを確認した。詳細な解析により、高脂肪食であるケトン食は健常マウスに摂取させた場合、ある程度の脂肪肝形成を誘発するが、*ob/ob* マウスに見られるような過食による糖質からの脂質合成を伴う脂肪肝形成については、効果的に抑制する作用を有することを明らかにした。

このような脂肪肝改善効果を評価できる新規指標物質の候補として、我々は昨年度までに N-アセチルグルコサミン化された細胞内タンパク質 (Akt キナーゼ) を同定した。しかし、細胞内タンパク質では指標物質として実用化の際に問題もあるため、更なる指標候補を探索したところ、糖タンパク質や糖脂質として存在するシアリル化糖鎖の一種が、新たな指標候補分子となることを見出した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 糖質制限食、糖尿病、高血糖、栄養指標、バイオマーカー、糖タンパク質、糖脂質

【研究題目】 持続型アンチ miRNA 創薬の開発と心疾患治療薬への展開

【研究代表者】 小松 康雄 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 小松 康雄、平野 悠 (常勤職員2名)

【研究内容】

2本鎖 DNA の相補的な部位に脱塩基部位を生成させ、それらを架橋化試薬によって連結する反応を以前に開発



した。H26年度はまず、同架橋化反応が RNA および 2'-O-methyl RNA (MeRNA) の2本鎖に対しても可能であることを明らかにした。また、1本鎖 DNA の末端部位に配列内部が架橋化された2本鎖 DNA を接続させた場合、1本鎖領域の RNA との結合が受ける影響に関して調べた。その結果、通常の2本鎖構造が導入された DNA は、ほぼ影響を受けず1本鎖 DNA と同じ融解温度 (Tm) を示した。一方で、架橋化2本鎖構造を隣接部に有する DNA では、標的 RNA との結合が高度に安定化されることを明らかにした。またこの安定化効果は、MeRNA においても同様に保持されることを見出した。

続いて、がん化した細胞において多く発現していることが知られている miR21 に相補的な配列を有する MeRNA の両末端に、架橋化2本鎖 MeRNA を結合させ、細胞に添加して miR21 の抑制活性を調べた。実験の結果、架橋化2本鎖構造を有する miR21 に相補的な配列の MeRNA では、従来型の MeRNA よりも高い抑制活性を有することを明らかにした。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核酸化学、DNA、核酸医薬、miRNA、RNA

【研究題目】 C型肝炎ウイルス糖ペプチドを用いた中和抗体作製と、新規診断技術への応用

【研究代表者】 清水 弘樹 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 清水 弘樹、奥田 徹哉 (常勤職員2名)

【研究内容】

C型肝炎ウイルス (HCV) の表層糖タンパク E2 のアミノ酸配列は HCV 株間で保存性が小さく多様性に富んでいるため、汎用的な E2 検出抗体は得られていない。本研究では E2 の中でもアミノ酸配列の保存性が高い糖鎖付加領域に着目し、当該領域の糖ペプチド抗原をデザインすることで HCV 特異性が高くかつ株間依存性が低いモノクローナル抗体の作製を目指している。そして、有用な HCV 中和抗体の創出や HCV 迅速検出系の開発を指向した基盤研究展開を計る。

今年度は、昨年度に引き続き糖ペプチド抗原の合成研究を進めた。抗原の作製では、1) 単糖含有糖ペプチドの合成、2) 糖鎖の伸長、3) 抗原キャリアの導入の3段階を要するが、各々の方法についての基本知見を得た後目的の糖ペプチド抗原の合成を行ったところ、非常に困難を極めた。これは糖ペプチド抗原の各官能基の物性差に起因するもので、問題解決のためには「2)糖鎖の伸長」反応をどの段階で行うかが重要な鍵となることが分かった。現在、合成条件の最適化を進め、糖ペプチド抗原の作製を進めている。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 C型肝炎、糖ペプチド、抗体、糖鎖合成

【研究題目】 電気化学顕微鏡を用いた心筋細胞解析技

術の開発

【研究代表者】 平野 悠 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 平野 悠 (常勤職員1名)

【研究内容】

薬剤の心臓への副作用は重篤な場合死に至る。そのため、創薬において心臓へ与える影響の評価は必須となっており、心筋細胞を対象として拍動パターンを解析するアッセイ系が利用されている。しかしながら、測定対象となる生体から取り出した細胞は目的以外の細胞含んでいることから定量性に課題があり、また、測定可能な細胞動態も限定されていた。本研究では、細胞を対象に、非接触かつ多機能な観察が可能である走査型電気化学顕微鏡 (SECM) を利用して、心筋細胞の動き、グルコース消費などを一細胞レベルで解析するシステムの開発を目指している。昨年度までに、心筋細胞の動きと酸素消費を同一細胞で評価可能なシステムを開発し、薬剤を添加した時の細胞動態を測定し、強心剤の薬理作用評価への応用が可能であることを示した。心筋細胞では低酸素状態や薬剤の作用により TCA 回路が阻害されると嫌気性解糖により乳酸が生成して代謝性アシドーシスが誘導される。しかしながら、細胞レベルで拍動強度と酸素消費、乳酸産生、グルコース消費などを測定することは極めて困難であった。一方、電極表面に酵素を固定化することで、グルコースや乳酸濃度を測定可能なセンサーが構築されているが、マイクロ電極は電極表面積が極めて小さいことから酵素の選択的な固定化が難しく、酵素固定化マイクロ電極はほとんど開発されてこなかった。そこで、機能性核酸を足場として利用することでマイクロ電極先端に酵素を選択的に固定化した電極を開発し、局所におけるグルコース濃度を測定可能であることを示した。今後、細胞のグルコース消費測定へ応用する予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 電気化学、走査型電気化学顕微鏡、心筋細胞、一細胞分析

【研究題目】 次世代シーケンシング技術を利用したアブラムシ社会の分子基盤および進化に関する研究

【研究代表者】 杓掛 磨也子 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 杓掛 磨也子 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究課題では、階級分化、社会行動、齢差分業といった興味深い現象を示すさまざまな社会性アブラムシを対象に、次世代シーケンサーを用いた RNAseq 解析をおこない、アブラムシ類における社会機構の至近メカニズムを網羅的かつ包括的に探るとともに、進化起源の異なる兵隊間でのトランスクリプトームの比較から、兵隊がいくつもの系統で独立に複数回進化してきたアブラムシ社会性の進化を遺伝子レベルで解明することを目的と

する。

今年度は、昨年度ライブラリー調整が間に合わなかったウラジロエゴノキアブラムシとジャムリツエゴアブラムシの反復実験をおこない、昨年度の結果と合わせて、社会性アブラムシ4種（上記2種のほかに、ハクウンボクハナフシアブラムシ、ササコナフキツノアブラムシ）についてのデータ解析をおこなった。それぞれの種において兵隊での遺伝子発現量が有意に変化している遺伝子を抽出したところ、リパーゼを含む脂質代謝関連遺伝子やシトクロム P450といった遺伝子が4種に共通して発現亢進していることが明らかになった。また、ハクウンボクハナフシアブラムシの攻撃毒物質として既に報告があるカテプシン B 遺伝子については、他3種の兵隊ではほとんど発現しておらず、これらの種では攻撃毒として機能していない可能性が示唆された。その一方で、ササコナフキツノアブラムシにおいてはカルパインという別のプロテアーゼが、またウラジロエゴノキアブラムシとジャムリツエゴアブラムシにおいてはグリコシダーゼの一種が、いずれも兵隊でのみ大量発現していたことから、新規の攻撃毒タンパク質として機能している可能性が考えられた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 社会性昆虫、兵隊アブラムシ、遺伝子発現、進化

【研究題目】 高効率・高感度な薬物代謝マルチアッセイシステムの開発

【研究代表者】 三重 安弘（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 三重 安弘（常勤職員1名）

【研究内容】

目的：

シトクロム P450 (CYP) 等の薬物代謝酵素を含有するミクロソームを用いて、薬物の代謝率を計測することは、医薬品開発や薬物投与設計において極めて重要である。しかしながら、現在のアッセイ法は低感度かつ高コストで時間を要するといった問題を有している。本研究では、高感度かつ低コストで迅速な計測が可能な電気化学法を利用する新しいアッセイ法の開発を目指す。申請者は、最近 CYP 発現ミクロソームの薬物代謝反応が電極上で安定に進行する現象を見出した。本研究では、この現象の詳細な解明と同手法を活用した薬物代謝マルチアッセイシステムを開発する。これにより薬物研究の推進に大きく寄与できると考えられる。

研究計画：

これまでに見出している電極上での薬物代謝反応の安定化現象の詳細な解明を行い、得られる知見を基により好ましい系の探索を行い、電気化学薬物代謝アッセイに最適な電極系を見出す。更にその電極系を流路システムに展開することで、高効率・高感度な薬物代謝アッセイ法を開発する。

年度進捗状況：

本年度（二年目）は、昨年度得られた具体的な成果（CYP の電気化学薬物代謝反応には、アミノ基と芳香環を有する分子で電極界面をコーティングすることが有用）を基に、より有効なコーティング分子の探索を最初に行った。アミノ基を有する種々の芳香族化合物について検討したところ、分子内のアミノ基とベンゼン環の比が1:1~1:2程度の時に良好な電気化学酵素活性が得られ、両者の配合が重要であることを明らかにした。親水的なアミノ基と疎水的な芳香環による修飾界面の性質が酵素の該界面上での配向を好適にしていると推察された。また、電気化学薬物代謝反応解析の検討を開始したところ、反応条件や電極界面の作製条件により、該酵素反応の持続性が大きく異なることが新たに明らかとなった。印加電圧等が要因であることを見出し、上記目的達成に重要な知見を得ることができた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ミクロソーム、薬物代謝、高感度アッセイ、電気化学酵素反応

【研究題目】 DNA による効率的な多酵素反応場の構築と一細胞測定用電極への展開

【研究代表者】 小松 康雄（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 小松 康雄（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究では、細胞によるグルコースの消費量を電気化学的に測定することを目的に、グルコースを分解するグルコースオキシダーゼ (GOx) とそれと共役する西洋わさび由来ペルオキシダーゼ (HRP) を最適な酵素配置で電極上に固定化する技術開発を行っている。

昨年度までに、2本鎖 DNA 上に酵素を固定化することで、グルコースの電気化学的検出が可能になることを示した。また、2本鎖 DNA 間を架橋化して安定化させた場合、検出感度が向上することを明らかにした。H26年度においては、細胞近傍におけるグルコース濃度を定量し、細胞のグルコース消費の定量につなげるため、2種類の酵素と DNA の複合体を、走査型電気化学顕微鏡に用いる微小電極上に作製し、その性能を評価した。その結果、微小電極上に構築された酵素・DNA 複合体は、極微小空間における局所のグルコース濃度を検出可能であることを確認した。今後、同電極によって細胞のグルコース消費量の測定を行う予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 核酸化学、DNA、酵素、電気化学、グルコースセンサー

【研究題目】 高機能型新規バイオミネラル結合タンパク質の開発に関する研究

【研究代表者】 近藤 英昌（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 近藤 英昌（常勤職員1名、他2名）

### 【研究内容】

本研究は、生体がつくり出す結晶性物質であるバイオミネラルに特異的に結合するタンパク質の機能を解析し高機能化することを目的とする。そのために、バイオミネラル結合機構を明らかにするとともに、結合能が向上したタンパク質を創出することを目標とする。本年度は、膵臓結石の主成分である炭酸カルシウム結晶に結合し成長を阻害するリソスタシンの機能部位に存在する残基の役割を解析した。また、この部位を他のタンパク質に導入することによって、炭酸カルシウム結晶結合機能が付加されたタンパク質の創出を試みた。リソスタシンの炭酸カルシウム結晶結合部位には、酸性アミノ酸残基が偏在している。これらの残基が結合に関与していると仮定し変異体を作成した。酸性アミノ酸をアラニンに置換した変異体では、炭酸カルシウム結晶への結合能が著しく減少した。一方、酸性アミノ酸をアスパラギンおよびグルタミンに置換した変異体では、結合能は野生型とほぼ同じであった。このことから、リソスタシンの炭酸カルシウム結晶との結合には分子表面の電荷とともに分子表面の形状が関与していると考えられた。次に、結合部位に存在する残基を不凍タンパク質に導入した。この不凍タンパク質はリソスタシンと類似した構造を有しているが、機能部位はリソスタシンとは異なる領域に存在する。得られたタンパク質は、炭酸カルシウム結晶に対する結合能を示したが、不凍機能が大きく低下していた。これは、変異導入による立体構造の変化が顕著であったためであると考えられる。今後は、立体構造に対する影響を考慮し、リソスタシンの機能と不凍機能の両方を有したタンパク質の創出を目指す。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】バイオミネラルイゼーション、機能性タンパク質

【研究題目】放線菌における系統分類と生産物質のデータベース化と新規生産株の簡易検出法の開発

【研究代表者】北川 航（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】北川 航（常勤職員1名）

【研究内容】

ロドコッカス属細菌における抗生物質生産の多様性と進化系統関係についてその遺伝的背景の詳細を知るため、*Rhodococcus erythropolis* の6株についてゲノム解析を行った。その結果平均して6.6 Mb の染色体、100–550 kb の線状 plasmid を0–2本、5–100 kb の環状 plasmid を1–3個保持しており、染色体の相同性は極めて高いものの（99%以上）、plasmid はその多様性や組み合わせのバリエーションに富んでいることが明らかとなった。系統分類の指標となる16S rRNA 遺伝子はそのコピー数は5つで共通していたが、それぞれゲノム内ヘテロ性を持つ事が明らかとなった。これらの配列は

99%以上一致していたが、わずかな塩基の差と上記ヘテロ性の組み合わせの差を比較することでそれぞれの株を個別に識別できることが分かった。しかし通常行われる、ゲノム鋳型、16S rRNA を共通して増幅する Primer を用いて PCR およびシーケンシングする方法では、これらを個別に認識することは出来無いが改めて明らかとなった。また DNA ジャイレース遺伝子 (*gyrB*) についてはそれぞれ1コピーであり、やはり塩基配列の相同性は高いものの各株で個別の置換塩基があり、*gyrB* 遺伝子配列解析のみで株レベルの識別が出来ることが確認された。配列中で塩基置換の部位にホットスポットの様なものはなく、またそのほとんどがアミノ酸置換に関わらないサイレントな変異であることがわかった。*gyrB* の PCR-シーケンシング解析においては出来るだけ長い遺伝子配列を対象にすることが有効であると思われるため、*Rhodococcus erythropolis* 様に改めて有効な PCR Primer を設計した。それぞれの株の抗生物質生産に関わる遺伝子との関連について詳細な解析を進めている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ロドコッカス、抗生物質、系統分類

【研究題目】植物発現組換えタンパク質の安定的蓄積に関する研究

【研究代表者】松尾 幸毅（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】松尾 幸毅（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、植物を利用した組換えタンパク質の生産において、植物細胞内での組換えタンパク質の分解を防ぐことによって、その生産量を向上させるための技術開発を行うことを目的とする。具体的には、各種生物由来のプロテアーゼインヒビターを、遺伝子組換え技術により植物体内で一過性もしくは恒常的に発現させることで、植物細胞内におけるタンパク質分解酵素の機能を不全もしくは弱め、植物体内での組換えタンパク質の分解を抑制する技術の確立を目的とする。このことにより、植物体内における組換えタンパク質の安定性が向上し、その蓄積量を大幅に増加させることが可能であると考えられる。また、植物細胞内における不安定さから生産困難であると考えられる組換えタンパク質の生産が可能になることも期待される。

2014年度は、プロテアーゼインヒビター発現用アグロバクテリウム及び有用タンパク質発現用アグロバクテリウムを用いて一過性発現試験を実施した。モデル植物である *Nicotiana benthamiana* において、プロテアーゼインヒビターと有用タンパク質をバキュームインフィルトレーション法により一過性同時発現させた。植物体よりタンパク質を抽出し、ウエスタンブロット法により解析した結果、一部の有用タンパク質において植物体での発現が認められるようになった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 物質生産、遺伝子組換え植物

〔研究題目〕 人工キメラリプレッサーによる汎用的な新規植物ジーンサイレンシング技術の開発

〔研究代表者〕 光田 展隆（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 光田 展隆、加藤 義雄、大島 良美  
（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本研究は、昨今急速に普及しつつある人工転写因子（TALE）技術を利用し、遺伝子の（プロモーター領域ではなく）コード領域等を標的とした人工転写因子をデザインし、それに転写抑制ドメイン SRDX を付加した TALE-SRDX キメラリプレッサーによって標的遺伝子の発現を抑制するシステムを構築しようとするものである。植物の転写抑制メカニズムがヒストンの脱アセチル化によるものであれば、TALE-SRDX が標的遺伝子の（プロモーター領域ではなく）コード領域に結合したとしても転写抑制を引き起こす可能性があり、そうであるならば、コード領域はより保存されているので、複数の相同遺伝子を同時に抑制しやすいと考えられ、より汎用的な遺伝子サイレンシングシステムを構築できると考えられる。昨年度は標的遺伝子のどの部位にキメラリプレッサーが結合すればもっとも効果的に転写抑制を引き起こせるかを検証するため、ルシフェラーゼ遺伝子をレポーター遺伝子として用い、コード領域の途中に読み枠がずれないように配慮しつつ酵母転写因子である GAL4 の結合領域を挿入したレポーターコンストラクトを作成したが、GAL4 結合領域をルシフェラーゼ遺伝子の途中に挿入すると、実験系自体の成立が困難な程にルシフェラーゼの活性が大幅に低下することがわかった。そこで、今年度は最新のトレンドを鑑み、TALE ではなく CRISPER-Cas9 システムを利用し、DNA を切断しないように2箇所に変異を入れた Cas9 に SRDX を融合した CAS9mm-SRDX を発現させつつ、標的レポーターコンストラクトの様々な領域をターゲットとするガイド RNA を発現させて発現抑制の効果を調べる実験を企画し、ベクター開発とテスト実験を行った。しかしこれまでのところ、有意なレポーター活性の低下は確認できていない。引き続き組換え植物を作成するなどして検証していきたい。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 植物、発現制御、遺伝子、シロイヌナズナ、ゲノム編集

〔研究題目〕 多様な温室効果ガスの大気圏からの消費に植物圏微生物が果たす新規生態系機能の発見

〔研究代表者〕 菅野 学（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 菅野 学、玉木 秀幸、鎌形 洋一  
（常勤職員3名）

〔研究内容〕

地球温暖化の対策を的確に講ずるためには、温室効果ガスの地球化学的循環に果たす微生物の働きを漏れなく理解することが重要である。我々は、間接的温室効果ガスとして知られ、水素エネルギー社会の到来により大気濃度の上昇が懸念される水素ガスに着目して、高親和性水素酸化細菌の研究に取り組んでいる。昨年度までの我々の研究により、高親和性ヒドロゲナーゼを持つ *Streptomyces* 属放線菌は、土壌だけでなく植物表面や体内にも広く存在し、大気中の水素の取り込みに主要な役割を担うと推測された。本研究は、高親和性水素酸化細菌の水素酸化活性に植物が与える影響の検証を目的とする。

高親和性水素酸化能を有する *Streptomyces* 属放線菌を、イネを無菌土耕栽培した系と土壌のみの系の各々に接種したところ、根圏土壌では非根圏土壌と比較して、菌糸体の細胞が多く見られ、水素酸化活性は低いことが確認された。無菌水耕栽培したイネの水耕液を孢子に添加した結果、根滲出液によって菌糸体成長への誘導が見られた。さらに、栄養濃度の異なる人工培地上での水素酸化活性を比較したところ、栄養条件の限られた培地で生育した細胞ほど高い活性を示した。以上の結果より *Streptomyces* 属放線菌は栄養制限下では水素酸化によりエネルギーを獲得すると推察された。このため、根滲出物により有機物に富む根圏域では非根圏域と比較して水素の取り込みが抑制されたと考えられた。これら知見は、微生物の生理生態学的観点から植物圏における水素フラックスを理解する手がかりを提供するものであり、水素ガスの生態制御技術を開発する際の基盤情報として重要である。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 微生物、植物共生細菌、放線菌、水素、生物地球化学、物質循環、地球温暖化

〔研究題目〕 昆虫-大腸菌人工共生系による共生進化および分子機構の解明

〔研究代表者〕 深津 武馬（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 深津 武馬、古賀 隆一、細川 貴弘、谷藤 直子、上野 翔子  
（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

生物界において微生物との高度な共生関係が具体的にどのように始まり、成立したのかは進化生物学における重要な問題である。最近私たちは、チャバネアオカメムシという昆虫において、生存に必須な腸内共生細菌が自然集団で顕著な多型を示すことを発見した。さらに、もとの共生細菌と大腸菌の置換により、正常な感染局在を示し、垂直伝達され、継代維持が可能であり、さまざま

な操作実験や分子遺伝学の適用が可能な人工共生系の創出に成功した。本研究課題では、この画期的なモデル共生系について、実験進化学的アプローチ、ゲノム科学的アプローチおよび分子遺伝学的アプローチを駆使し、共生進化の過程および機構の本質に関する理解を従来なし得なかったレベルにまで深めることをめざす。

- 6種の共生細菌ゲノム解析：チャバネアオカメムシの腸内共生細菌 C, D, E, F について完全長ゲノム配列の決定に成功した。共生細菌 A, B についても高精度の概要ゲノム配列を取得した。
- 共生細菌フォスミドライブラリー導入大腸菌のスクリーニングによる共生関連遺伝子候補の網羅的取得：共生細菌 C の全ゲノムの9割以上をカバーする385クローンをスクリーニングし、約30の有望なクローンを得た。これらのうち4つのクローンのオーバーラップ領域上に存在する7つの遺伝子を有力な共生関連遺伝子候補と同一し、遺伝子導入大腸菌を作成するなど詳細な解析を進めた。
- その他のカメムシ類における共生細菌の多様性や生物機能の探索：チャバネアオカメムシおよび近縁種における共生細菌の垂直伝播のための雌特異的中腸器官の発見 (Hayashi et al. 2015)；クヌギカメムシ類における共生細菌入り卵塊ゼリーの生物機能の解明 (Kaiwa et al. 2014)、17科77属108種310集団のカメムシ類における *Sodalis* 属共生細菌の検出 (Hosokawa et al. 2015)。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 共生細菌、昆虫、共生進化

【研究題目】 共生細菌による宿主昆虫の体色変化：  
隠蔽色に関わる共生の分子基盤の解明

【研究代表者】 深津 武馬 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 深津 武馬、棚橋 薫彦、牧野 純子、  
菊地 わか奈 (常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

アブラムシ体色を変化させる共生細菌のゲノム解析、アブラムシ体色を構成する色素の解析、共生細菌の感染にともなう宿主アブラムシの遺伝子発現解析、関連候補遺伝子の機能解析、共生細菌感染及び体色変化がアブラムシの生理や生態に与える影響の解析などを通じて、共生細菌による体色変化という生物現象を徹底的に解明し、理解することをめざす。今年度は以下のような成果を挙げた：

- 体色を変化させる共生細菌の解析：アブラムシ体色を変化させる共生細菌 *Rickettsiella* の全ゲノム塩基配列1,576,143 bp を決定し、アノテーションや代謝系解析をおこなった (Nikoh et al. in prep.)。
- 体色変化に関わる宿主遺伝子の解析：RNA-seq 法により *Rickettsiella* 感染で変動する多数の宿主アブラムシ遺伝子を検出し、うち2つのポリケチド/脂肪酸

合成酵素遺伝子を色素関連候補と同一し、RNAi 法による機能解析をおこなった。

- その他の共生細菌のゲノムおよび機能の解析：大豆等の害虫のホソヘリカメムシの適応度上昇や殺虫剤耐性に関与する腸内共生細菌 *Burkholderia* sp. strain RPE67 の 8.69 Mb のゲノム配列を決定した (Takeshita et al. 2014)。トコジラミの菌細胞塊に局在する栄養相利共生 *Wolbachia* の 1.25 Mb の完全ゲノム配列を決定し、宿主に主にビオチン (ビタミン B7) を供給していることを示し、このビタミン合成系遺伝子群が他の共生細菌からの遺伝子水平転移で獲得されたものであることを明らかにした (Nikoh et al. 2014)。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 昆虫共生細菌、ゲノム解析、新規生物機能

【研究題目】 生合成マシナリー構築に向けたロドコッカス属細菌の宿主最適化と遺伝子ツールの拡充

【研究代表者】 北川 航 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 北川 航、安武 義晃  
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

1. 宿主候補株と近縁株のゲノム解析：ロドコッカス属細菌の最適化宿主株の構築のため、前年度までに取得した外来遺伝子を安定的に保持できる候補株について、それ以外の株と共にゲノム比較を行った。遺伝子の99%はそれぞれ共通していることを明らかにし、各株共通して保持しているものをロドコッカスの基本構成遺伝子構造、それ以外の部分は株に個性を与える要因となる遺伝子であると考えられた。
2. ゲノムの大規模領域削除法の開発：ロドコッカスの基本構造のみに単純化した (大規模に DNA 領域を削除した) ゲノムの宿主株の作製を試みた。cre/loxP のシステムをロドコッカスで初めて実行し、2つのプラスミドに loxLE 配列とカウンターセクション遺伝子、または loxRE 配列と cre recombinase 遺伝子を分けて搭載し、それぞれのプラスミドには更に削除する領域の末端と相同な配列を片方ずつ導入した。この2つのプラスミドの二重シングルクロスオーバー変異株を作製し、その後に cre recombinase を発現することで、2ステップの非常に簡便な方法によるゲノム削除の手法を開発することに成功した。
3. プラスミド脱落法の開発：ロドコッカスには多数の線状、環状プラスミドが存在するが、これらも不必要なものであるため、脱落手法について sacB 遺伝子を用いた新たな手法を構築した。プラスミドを3種保持する株については3回脱落の作業が必要となるが、こちらも高効率で達成する手法を開発する事に成功した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ロドコッカス、微生物生産、生合成マシナリー

〔研究題目〕 ホソヘリカメムシー *Burkholderia* 共生系における共生成立機構の解明

〔研究代表者〕 菊池 義智 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 菊池 義智、二橋 亮 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究ではホソヘリカメムシー *Burkholderia* モデル共生系を対象に、共生器官の大規模トランスクリプトーム解析および RNAi スクリーニング、発現遺伝子の機能解析を行い、共生成立に関わる宿主昆虫側の分子基盤を網羅的に明らかにすることを目的とする。本年は、(1) 共生器官のトランスクリプトームデータの精査による共生関連遺伝子の発現パターン解明、(2) *in vivo* および *in vitro* における共生細菌の形態変化と遺伝子発現変化の調査、(3) 共生関連タンパク質の RNAi を行った。(1) については共生細菌が感染する過程で発現変動する遺伝子について RNAseq を用いて網羅的に明らかにし、90種類以上のシステインリッチタンパク質が共生細菌の定着に伴って大きく発現亢進することが明らかとなった。これらシステインリッチタンパク質はディフェンシン様の構造をしていることから、抗菌ペプチドとして細菌細胞に直接作用する可能性が示唆された。そこで、それらタンパク質の機能を解析する前提として、(2) 共生細菌が共生時にどのような変化を起こすのか調査を行った。その結果、共生細菌は宿主への感染に伴って細胞形態が小型化し、DNA 量が減少し、細胞分裂関連の遺伝子が活性化されることが明らかとなった。これら形態変化や分裂活性化の意義についてはいまだ不明ではあるが、システインリッチタンパク質遺伝子の *in vivo* における機能を検証する上で重要な情報といえる。共生器官内で高発現する幾つかの遺伝子について RNAi を行ったが、共生細菌の増殖や形態等への明確な影響は確認されなかった。この点については RNAi の効果をより詳細に分析する必要があり、今後の課題と考えられる。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 昆虫、共生、微生物、進化

〔研究題目〕 大腸菌リボソームの可塑性と表現型進化の機構解明

〔研究代表者〕 宮崎 健太郎 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 宮崎 健太郎 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

目標：

大腸菌リボソームを様々に改変することで、表現型の変化した大腸菌宿主ライブラリーを創成する。本方法を様々な用途に応じた宿主の創成に活用する。

研究計画：

大腸菌リボソームの中核因子の一つを変異させることで様々な翻訳特性を有する大腸菌を創成する。とくにリボソーマル RNA (rRNA) に着目し、多様な rRNA を環境 DNA からクローニングし、大腸菌に組み込む方法をとる。

研究進捗状況：

ユニバーサルプライマーを用いて環境 DNA より 16S rRNA を PCR 増幅し、大腸菌の *rrn* オペロン完全欠失株に組み込んだ。生育相補クローンの 16S rRNA 遺伝子配列解析から、大腸菌とは門レベルで異なる系統群の遺伝子で相補可能なことを見出した。また、増殖速度の観点から変異株ライブラリーを競合培養法によりスクリーニングしたところ、野生株よりも高速増殖する変異株などを見出した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 リボソーム、大腸菌、宿主

〔研究題目〕 陸域地下圏の未知アーキア系統群：環境ゲノム情報と培養技術で切り拓くその新生物機能

〔研究代表者〕 玉木 秀幸 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 玉木 秀幸 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、陸域地下圏環境に棲息する未知アーキア群とその周辺微生物の実体を明らかにし、重要な生物地球化学プロセスにおいて地下圏の未知微生物群が果たす役割の解明を目指している。今年度は、国内外でこれまでに採取した地下圏環境試料(地下湧熱水系、油田環境、ガス田環境、氷河堆積物環境等)を対象として、16S rRNA 遺伝子の次世代シーケンス解析、シングルセルゲノム解析、メタゲノム解析を、微生物学的解析、地球化学的解析を実施した。その結果、いくつかの地下環境には門や綱レベルの未培養アーキア系統群やバクテリア系統群が存在しており、地下環境の根源有機物の分解とメタン生成等の重要なプロセスに関与している可能性が示唆された。また地下湧熱水系や油ガス田環境の未知アーキア系統群と未知バクテリア系統群を対象にシングルセル解析を行ったところ、地下湧熱水環境から門や綱レベルの未知アーキアのシングルセルを獲得し、そのゲノムを増幅し、ドラフトゲノムを解読することに成功した。さらに、未知・未培養微生物系統群を豊富に内包する陸域地下圏試料を対象として、集積培養化を試みており、一部の未知アーキアと未知バクテリアの集積培養に至っていることから、今後は、これらの未知アーキア、バクテリアの安定維持培養化、純粋分離を試みるとともに、環境ゲノム解析技術を駆使しながらそれらの機能解明を進めてゆく予定である。

〔分野名〕 ライフサイエンス、地質、環境・エネルギー

〔キーワード〕 陸域地下生命圏、未知アーキア、新生物機能、生物地球化学プロセス、環境ゲノム解析、培養技術、地下微生物

〔研究題目〕 全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学

〔研究代表者〕 柿澤 茂行（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 柿澤 茂行、沼崎 るみ  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

難培養細菌（難培養性細菌）と呼ばれる細菌は、培養が不可能もしくは非常に困難な細菌である。難培養細菌は決して珍しいものではなく、近年のメタゲノム解析などの台頭により、環境中の微生物の99%以上は培養できないことが明らかとなり、これにより新たな微生物像が浮き彫りとなった。これらの難培養細菌は、その全ゲノム配列を決めることで多くの知見が得られる一方で、遺伝子のノックアウトや過剰発現ができないという技術的な欠陥のため、その遺伝子の機能についての確実な証明はほとんどされていないのが現状である。この難問は、今後の微生物学の発展において乗り越えねばならない大きな障壁（難培養の壁）である。本研究は、近年開発された「全ゲノム操作技術」を応用することで、難培養細菌の培養および遺伝子操作系の開発を目指し、難培養細菌の持つ多様な機能を解明することを目的とする。

まず全ゲノムクローニング用ベクターの精査および検討を行った。酵母において大きなゲノム断片をクローニングするための YAC（酵母人工染色体）ベクターはいくつか開発されているため、これらを改変し、クローニング用ベクターとして検討した。ベクターは、酵母および大腸菌において複製するように設計し、かつ、酵母においては環状のゲノムとして保持されるように設計した。加えて、マイコプラズマ内において複製するための OriC 領域を保持させる必要性が生じたため、これをベクターに導入した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ゲノム、細菌

〔研究題目〕 アカトンボの体色と色覚の進化

〔研究代表者〕 二橋 亮（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 二橋 亮（常勤職員1名）

〔研究内容〕

アカトンボ（トンボ科アカネ属）は、日本のトンボの中では桁違いに種数が多く、体色や斑紋に著しい多様性が見られる。一方で、トンボの体色や色覚の進化に関わる分子機構は、現時点では全く解明されていない。平成26年度は、アキアカネを中心としたトンボの色覚の分子基盤に関して、電気生理学的手法、組織学的手法、および次世代シーケンサーを用いたオプシン遺伝子の網羅的探索を用いて解析を進めた。その結果、アキアカネ

では20種ものオプシン遺伝子が存在すること、各オプシン遺伝子は、幼虫と成虫および成虫複眼の背側と腹側で全く異なる発現パターンを示すこと、オプシン遺伝子の発現と対応するように複眼背側では紫外線から短波長領域を主に認識するのに対して、複眼腹側では紫外線から長波長までの幅広い領域を認識できることが明らかになった。さらに、様々なトンボ11科12種で解析を進めた結果、15～33種のオプシン遺伝子が同定され、種ごとに遺伝子レパートリーが多様化していることが確認された。このような極端なオプシン遺伝子の多様性は、動物の色覚進化を考えるうえでの新知見であり、2015年に *PNAS* 誌で発表した。次年度以降は、雌雄や成熟過程における色覚遺伝子の変化の実態を解明するとともに、体色形成にかかわる遺伝子についても解析を進めたい。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 昆虫、トンボ、色覚、遺伝子進化、体色変化

〔研究題目〕 クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性の包括的理解とその応用技術の創成

〔研究代表者〕 宮崎 亮（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 宮崎 亮、松尾 瞳  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

同一ゲノムを持った細菌細胞集団（クローン細胞集団）を均一な条件下で培養しても、個々の一細胞レベルの生理状態は完全に均一ではなく、mRNA やタンパク質等の細胞内分子の量的・質的ばらつきに依存して、特異的な機能や個性的な挙動が生まれる。本研究は、従来の微生物学において見過ごされてきたこのような「クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性」を網羅的に解析する独自の手法を構築するとともに、その生物学的意義を明らかにし、応用研究に繋げようというものである。

今年度は、*Pseudomonas* 属細菌の遺伝子水平伝播に関与する不均一な遺伝子発現に着目し、当該遺伝子を発現している一部（3～5%）のサブ細胞集団と、発現していないその他の母集団を蛍光顕微鏡およびセルソーターで正確に分離する条件を検討した。その結果、分離後の少数の細菌細胞からトランスクリプトーム解析に必要な RNA を回収することに成功した。抽出した RNA を次世代シーケンサーを用いた RNA-seq 解析に供したところ、各サンプルとも十分量のリードが得られた。現在はサブ細胞集団と母集団に特異的な遺伝子発現変動を明らかにするために情報科学的な解析を進めている。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 一細胞解析、遺伝子発現、ゲノム解析

**〔研究題目〕メタン湧水帯に棲息する進化系統学的に極めてユニークな培養困難細菌のメタゲノム解析**

〔研究代表者〕末永 光 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕末永 光 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

*Planctomycetes* 門細菌群は、系統分類学上においても細胞構造上においても、極めてユニークな微生物グループであるが、培養が非常に困難なため、今だにその機能や生態の多くが未知である。本研究は、申請者らが、メタンを含む湧水発生地帯 (メタン湧水帯) で偶然発見した、「芳香環代謝」に寄与する新規な *Planctomycetes* 門細菌に着目し、謎に満ちている本細菌の生理的特徴と環境中での役割および適応進化の謎を解明するものである。本年度はまず、メタン湧水帯バイオマットより環境 DNA (メタゲノム DNA) を抽出し、メタゲノムライブラリの構築を行った。次に、DNA インサートの両末端の塩基配列 (約500bp) をキャピラリー型 DNA シーケンサー (ABI 3730xl) により決定した。これにより、各メタゲノムフォスミドクローンの識別が可能である。さらに、この塩基配列を利用して、各フォスミドクローンの生物種の起源を推定した。このために、研究協力者 (Dr. Teeling : マックスプランク海洋微生物学研究所) が近年開発した、バイオインフォマティクス手法に基づく系統分類法 (Science, 336:608-611, 2012) を利用した。この結果、*Planctomycetes* 門細菌に由来すると推定される約100種のフォスミドクローンを選別し、Roche454シーケンサーを用いて全塩基配列の決定を行った。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕微生物、ゲノム、メタゲノム、進化、海洋生態

**〔研究題目〕*O. minuta* 酵母の基礎生物学を進めるための遺伝学的基盤解析系の確立**

〔研究代表者〕横尾 岳彦 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕横尾 岳彦 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

メタノール資化性酵母 *Ogataea minuta* において自在な遺伝学的解析を可能とすべく、有性生殖が可能な株を確立し、また、染色体に組み込まれることなしに自律的に複製可能なプラスミドの構築を行うことを目的として、以下のような研究を行った。

*O. minuta* NBRC 10746 株が a 型もしくは  $\alpha$  型のどちらの接合型であるかを、RT-PCR 法により調べた。その結果、本株では MATa1 遺伝子が発現しており、a 型であることがわかった。いっぽう、NBRC 10746 株を改変して作製した YRI1 株では、MATa1、MAT $\alpha$ 1、MAT $\alpha$ 2 のすべてが発現しているという結果が得られた。これらの株の MAT 遺伝子座付近の塩基配列を詳細

に検討したところ、この酵母種では MAT 遺伝子座を挟むように逆向き反復配列が存在し、この箇所にて逆位を生じることにより接合型の相互変換が起こることが明らかになった。また、この逆位による接合型変換は、栄養培地での培養中に生じることが明らかになった。

*O. minuta* ゲノム上の自律複製配列 (ARS) をプラスミドに挿入することにより、染色体上に組み込まれることなしに酵母細胞内で複製可能なプラスミドを構築することができる。これを実現するため、*O. minuta* のゲノム DNA を染色体組み込み型プラスミドに挿入したライブラリを作製した。このライブラリを *O. minuta* 株に導入し、プラスミドを染色体に組み込むことなしに保持している株をスクリーニングすることにより、ARS の候補となる DNA 断片を得ることができた。

〔分野名〕ライフサイエンス

〔キーワード〕メタノール資化性酵母、接合、胞子形成、自律複製配列

**〔研究題目〕糸状菌におけるリボソームペプチド生合成経路の合理的探索**

〔研究代表者〕梅村 舞子 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕梅村 舞子 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

目的：

LC-MS 測定とゲノム配列解析から、糸状菌の新規リボソームペプチド生合成経路および対応するペプチド化合物を同定する。

内容：

糸状菌は生理活性を有する多くの低分子天然化合物を二次代謝物質として産生する。我々はゲノム情報と発現情報を組み合わせた手法によって、糸状菌で初めて、二次代謝経路の一種であるリボソームペプチド生合成 (RiPS) 経路を見出した (Umamura et al., Fungal Genetics and Biology, 68, 23-30, 2014)。本経路では化合物の骨格構造がそのまま前駆体遺伝子に書き込まれているため、ゲノム情報からの新規生合成遺伝子探索および化合物のデザインがより容易であると考えられる。この知見に基づき、本研究ではより広範に同種の経路を糸状菌に見出し化合物と生合成遺伝子のペアを同定することを目的としている。

初年度である本年度は、上記新規経路を見出した *Aspergillus flavus* を中心に、遺伝子情報および代謝物の探索を行った。上記 RiPS 経路の特徴を元に可能性のある遺伝子を複数種類破壊し、代謝物を LC-MS 測定にかけた。その結果、新規な RiPS 経路である可能性のある遺伝子群を1つ見出した。すなわち、他の糸状菌二次代謝経路と同様 RiPS 経路もゲノム上でクラスターをなして協同的に発現すると考えられるが、そのクラスター中の3種類の異なる遺伝子を破壊することで共通して消失する1つの MS ピークを見出した。アミノ酸成分解析



の結果、このピーク画分は破壊した前駆体遺伝子に対応したリボソームペプチドである可能性が高い。来年度以降、本経路一化合物の同定を進めるとともに、株や遺伝子の範囲を広げてさらに新規ペプチド化合物—生合成経路探索を行う。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】真菌類、環状ペプチド化合物、リボソームペプチド生合成経路、質量分析

【研究題目】スベリン合成制御因子を利用したカスパリー線機能強化植物の作出

【研究代表者】大島 良美（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】大島 良美（常勤職員1名）

【研究内容】

根の内皮を囲むカスパリー線とスベリン層は、植物が根から水と栄養素を選択的に吸収し、乾燥や外敵から身を守るために必要不可欠な構造であることが知られている。しかし、その形成の分子機構の研究は緒に就いたばかりであり、これらの解明が進めば乾燥や低酸素耐性付与のための新規な育種技術の開発につながる。これまでにスベリン様のポリエステル・クチンの合成制御因子を解析する中でスベリン形成制御因子の候補を得ている。本研究では候補因子の機能解析及び新規制御因子の同定を行い、スベリン及びカスパリー線形成制御機構を明らかにする。最終的には制御因子を用いてスベリン及びカスパリー線を機能強化した乾燥・低酸素耐性植物の作出を目指す。本年度はスベリン層形成制御因子候補の欠損変異体においてスベリンを含むポリエステルモノマーのGC-MSによる定性・定量分析を行った。破碎した組織の脱脂などを行い抽出したポリエステルを脱エステル化することによりスベリンモノマーを得ることができる。抽出法を検討し、安定して結果が得られる方法を用いてポリエステルモノマーを定量した。変異体のポリエステルモノマーの量や組成が変化していることが明らかになった。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】植物、遺伝子、発現制御、ポリエステル、脂質

【研究題目】メタゲノム由来高機能 $\beta$ -グルコシダーゼの解析と応用

【研究代表者】松沢 智彦（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】松沢 智彦（常勤職員1名）

【研究内容】

$\beta$ -グルコシダーゼはセルロース系バイオマスの酵素糖化に極めて重要な酵素である。本酵素はセロビオースなどのセロオリゴ糖を分解し、グルコースを生産する。しかし、 $\beta$ -グルコシダーゼは反応生成物であるグルコースによって阻害（生成物阻害）されることが知られており、また、高濃度の基質によっても阻害（基質阻害）

されることが知られている。バイオマスの酵素糖化に用いる $\beta$ -グルコシダーゼはグルコースやセロビオースに対して耐性を有することが効率的な酵素糖化のために重要である。また、本酵素の産業利用のためには耐熱性なども重要である。この問題を解決するために、環境中微生物由来のメタゲノムから高機能（生成物阻害耐性、基質阻害耐性、耐熱性） $\beta$ -グルコシダーゼのスクリーニングを行った。大腸菌を用いたファンクショナルスクリーニングによって環境中微生物由来メタゲノムから、多数の $\beta$ -グルコシダーゼを取得した。これらメタゲノム由来 $\beta$ -グルコシダーゼの中には、生成物阻害耐性や基質阻害耐性を示すものが含まれており、現在、これらの高機能 $\beta$ -グルコシダーゼの解析を行っている。

上記研究に加え、 $\beta$ -グルコシダーゼの生成物阻害耐性メカニズムを解明するために、当研究室においてこれまでに取得されている生成物阻害耐性 $\beta$ -グルコシダーゼにランダム変異を導入し、生成物阻害耐性の低下した変異酵素の取得を試みた。変異酵素のスクリーニングの結果、生成物阻害耐性の低下した変異酵素の取得に成功した。現在、この変異酵素の詳細な解析を行っており、生成物阻害耐性メカニズムの解明と酵素エンジニアリング技術に資する知見の構築を目指している。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】バイオマス、 $\beta$ -グルコシダーゼ、メタゲノム、酵素エンジニアリング、酵素糖化

【研究題目】ナノクラスター化による天然物由来高活性新規抗菌剤の開発研究

【研究代表者】榎本 賢（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】榎本 賢（常勤職員1名）

【研究内容】

分子の多量化とそれに伴う多点結合の形成により結合力が強化される効果を「クラスター効果」と呼ぶ。この効果を生物は巧みに利用しており、例えば、細胞表面の脂質ラフトと呼ばれる構造において、糖鎖が集合化によりクラスター効果を引き起こし、タンパク質との相互作用を増強している。本効果の利用については、これまでには生体内と同じように糖鎖やペプチドが利用されてきたが、意外なことに二次代謝天然物が利用された例は数少ない。天然物の中には有用な活性を持つにも関わらず、強度が弱いために実用化に至らないものが多くあり、それらの強度をクラスター効果により強化できれば抗菌物質開発に向けた手法が広がると考えられる。そこで本年は抗真菌物質プラジマイシンを題材としてクラスター効果を利用した新規抗菌剤の開発研究を行った。

研究協力者の知見をもとに抗菌活性を損なわないようにプラジマイシンを修飾し、金ナノ粒子上に担持した。このプラジマイシンの結合力を算出すると天然物そのものと比較して結合力を10倍向上させることに成功した。

さらに、天然物そのものでは認識できない置換様式を持つマンノース残基もプラズマイシン担持金ナノ粒子は認識可能であった。また、プラズマイシンの活性発現機構と金ナノ粒子の分光学的特徴に着目することでマンノース認識ケモセンサーの創成にも成功した。今後は詳細な抗菌活性試験を実施する予定である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 天然物、クラスター効果、抗菌活性、凝集作用、ケモセンサー

【研究題目】 海棲発光動物の発光における分子機構の解明

【研究代表者】 三谷 恭雄（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 三谷 恭雄（常勤職員1名）

【研究内容】

新規生物遺伝子資源の獲得及びそのライブラリー化を目的として、特に海棲発光生物のルシフェラーゼ遺伝子をターゲットとして研究を進めている。発光生物の光は科学者のみならず多くの人を魅了してきた。また近年では、生きたままの動物で特定の組織などを検出するためのプローブとしてルシフェラーゼの有用性が指摘され、その利用が進められている。発光生物はおよそ700属に及ぶ多様な生物種からなり、特に甲虫等陸棲の発光生物を中心に発光の分子機構が解明されてきた。しかしながら、その700属のうちおよそ8割が海棲生物と言われ、極めて多様性が高いと考えられる一方で、多くの海棲発光生物が手つかずのままとなっている。そこで、本研究では未解明海棲発光生物のルシフェラーゼ遺伝子を獲得することを目指している。また、こうした新たな遺伝子は発光という機能では共通しているが、基質が異なることから遺伝子もこれまでにないユニークな特徴を示すものであることが考えられるため、ルシフェラーゼを含む発光の分子機構の解明も目指している。本研究では、環形動物や棘皮動物など複数の発光海棲生物をターゲットとしており、今年度は試料の採集を実施し、ルシフェラーゼを含む粗タンパク質抽出液の精製、ルシフェラーゼ活性を示す画分の回収を行った。ルシフェラーゼを含むと予想される回収液は電気泳動の結果、ほぼ唯一のタンパク質を含むことがわかったため、アミノ酸配列解析を実施し、部分的にその配列を決定した。今後この配列情報をもとに遺伝子クローニングを進めていくことを予定している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 発光生物、ルシフェラーゼ

【研究題目】 ムチンにおける周波数依存性マイクロ波効果の探索と応用

【研究代表者】 亀山 昭彦（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 亀山 昭彦（常勤職員1名）

【研究内容】

多量の糖鎖に覆われた巨大タンパク質であるムチンは、がんや感染等との関連が古くから示唆されてきた。しかし、ムチンの解析は難しく、近年のプロテオミクスによる進歩からも取り残された未開拓領域である。本研究では、ムチン分子近傍の「束縛された水分子」を介してムチン分子を選択的に活性化できるマイクロ波の周波数を見出す。さらにその周波数のマイクロ波を活用したムチンの選択的分解反応を探索し、その分解パターンを指標とする新規ムチン同定法を開発する。平成26年度は、市販のブタ胃ムチン（PGM）、ウシ顎下腺ムチン（BSM）を用いてマイクロ波非照射下におけるムチンの各種分解反応について検討した。また、マイクロ波照射については、微量の試料を対象としてサーモグラフィにより温度を計測しながら出力をコントロールしてマイクロ波を照射できるように設備を整えた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ムチン、糖鎖、マイクロ波

【研究題目】 水-二酸化炭素によるバイオマス新規糖化法の開発

【研究代表者】 佐々木 正秀（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 佐々木 正秀、加我 晴生、清水 弘樹（常勤職員3名）

【研究内容】

現在の石油依存型社会から持続可能社会実現のためには、石油資源代替としてバイオマス資源の活用が必須である。そこで本研究では木質系バイオマスの化学原料化を目指して、水と二酸化炭素のみで木質系バイオマスの糖化反応を行い、種々の化学原料となるグルコース、キシロースを効率的に生成することを目的とする。本手法では1段目の水熱反応でセルロース、ヘミセルロース成分よりオリゴ糖成分を選択的に抽出し、2段目の二酸化炭素による酸触媒反応により得られたオリゴ糖成分から単糖を得る。本手法は酵素を用いない熱化学反応であり、かつ有機溶媒および固体触媒を必要としないので、大幅なコストダウンおよび環境負荷低減が可能である。また、上記2段の反応を連続的に行うので、ハイスループット化が実現できる。

今年度は既存パーコレーター型反応装置を用いて得られた水熱反応生成物を反応物として、二酸化炭素添加によるオリゴ糖成分分解挙動について検討した。反応条件は40°C/min, 200°C, 6minで行った。その結果、単糖収率は、それぞれ51wt%（酢酸/窒素系）、15wt%（水/二酸化炭素、窒素系）、10wt%（水/窒素系）であった。二酸化炭素添加系では無添加（水/窒素系）に比べ加水分解は進行しているが、酢酸に比べると低い値を示した。このことは、超臨界二酸化炭素はオリゴ糖の加水分解に効果はあるが、本実験条件では反応が十分に進行していないことを示唆している。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 サスティナブルケミストリー、バイオマス、化学原料化、水、二酸化炭素

【研究題目】 シントロフィーを促進するサポーター微生物の存在とその新規微生物間相互作用の解明

【研究代表者】 成廣 隆（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 成廣 隆（常勤職員1名）

【研究内容】

メタン生成アーキアと嫌気性共生細菌による有機物分解のための微生物間相互作用である「シントロフィー」を支えるサポーター微生物の存在を解明するため、消化プロセスから採取した汚泥および豚糞試料を、6種類の基質（プロピオン酸、酪酸、安息香酸、酢酸、ギ酸、水素）で11世代にわたり継代した集積培養物の微生物群集構造解析を実施した。その結果、プロピオン酸、酪酸、安息香酸を基質とした集積培養物では、それぞれの基質を分解する共生細菌（*Syntrophobacter*, *Syntrophomonas*, *Syntrophus*）が優占していた。これらの3種類の集積培養物における水素利用メタン生成アーキアの種別は、ギ酸や水素で集積されたものと異なっており、シントロフィーにおいて優占的に生育するメタン生成アーキアが存在することが示唆された。また、これらの集積培養物では、共生細菌やメタン生成アーキア以外の微生物群、例えば *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Spirochaetes* 門に属する未知微生物群が多数存在しており、プロピオン酸、酪酸、安息香酸を分解するシントロフィーをサポートする役割担っていることが示唆された。さらに、このようなサポーター微生物の恩恵を受けると考えられる共生細菌の代謝機能に関する基盤情報を蓄積する目的で、*Syntrophomonas* 属の比較ゲノム解析を実施し、脂肪酸分解経路や電子伝達関連酵素群の特定を実施した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 微生物、廃水処理プロセス、微生物ゲノム、未知微生物

【研究題目】 ゲノム分子進化を用いた弱毒ウイルス作出法の開発

【研究代表者】 柿澤 茂行（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 柿澤 茂行（常勤職員1名）

【研究内容】

近年考案されたレアコドンウイルスは、従来の弱毒ウイルス（生ワクチンウイルス）の問題点の多くを克服した次世代の弱毒ウイルスとして期待されているが、ウイルスゲノムを人工合成して作製するため遺伝子組換えウイルスとなってしまう点が問題である。本研究は、遺伝子組換えを用いることなくレアコドンウイルスを作出する新たな手法を植物ウイルスに対して応用することで、遺伝子組換えでないレアコドン弱毒ウイルスの作出を行

うことを目的とする。

レアコドンは、細胞内における tRNA の存在量が少ないことに起因すると言われている。あるコドンに対する tRNA 量が少ない場合、そのコドンを持つ遺伝子の翻訳速度が低下し、タンパク質の発現量が制限される現象が起こる。また多くのウイルスでは、宿主内におけるウイルスの複製量を最大にするため、ウイルスゲノムのコドン頻度が宿主のコドン頻度に対して最適化されていることが知られている。

本年度は、シロイヌナズナやそれ以外の植物種においてレアコドンの調査を行った。その結果、多くの植物ではコドン頻度やレアコドンの種類が比較的似ていることが分かった。加えて、いくつかの植物ウイルスにおけるコドン頻度を調べたところ、宿主である植物ゲノムのコドン頻度とある程度の相関関係にあることがわかった。これは宿主内におけるウイルス遺伝子の効率的な転写翻訳を考えると、妥当な結果だと思われる。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 コドン、ウイルス

【研究題目】 暗所に生きる細菌に体内時計は必要か？

【研究代表者】 加藤 創一郎（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 加藤 創一郎（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では（1）シアノバクテリアの時計遺伝子（KaiC）ホモログを持つモデル微生物における概日リズムの実証実験、（2）日周変動環境で良好に生育する微生物の集積と分離、の2種類の実験を通して、非光合成微生物の持つ未知の概日リズムを実証することを目的としている。（1）に関しては KaiC 遺伝子ホモログを持つ根粒菌 *Mesorhizobium opportunistum* WSM2075 を対象にダブルクロスオーバー法により KaiC 遺伝子破壊株の作製を試みた。その結果、目的とする二度の相同組み換えが起こった株は取得できていないものの、一度の相同組み換えが起こった変異株は得られた。（2）に関しては、異なる明暗サイクル条件で生育させたウキクサ根圏に生育する微生物群集の集積、および異なる温度（10℃、20℃）条件サイクルでの土壌微生物群集の集積、の2種類の実験をおこなった。両実験ともに、日周サイクル条件（12h/12h）、非日周サイクル条件（7h/7h、17h/17h）、恒常条件で集積培養を行い、培養後の微生物群集を解析した。ウキクサ根圏微生物群集に関しては、明暗サイクル条件が根圏で優占化する微生物の種類に大きな影響を与えることを DGGE 解析により明らかにした。現在さらにパイロシーケンス法による詳細な解析を行っている。土壌微生物群についても、温度サイクル条件が微生物群集構造に大きく影響を及ぼすことをクローンライブラリー法により明らかにした。また日周サイクル条件で特に優占化が見られた微生物として、*Flavobacterium* 属、*Pseudomonas* 属、*Bordetella* 属

の微生物を同定した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】微生物、概日リズム、日周変動、植物根圏、時計遺伝子

【研究題目】遺伝子水平伝播に同調する新規プログラム細胞死の解明

【研究代表者】宮崎 亮 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】宮崎 亮 (常勤職員1名)

【研究内容】

これまでの研究で、細菌が自身の染色体に潜む ICE と呼ばれる外来遺伝子領域の水平伝播と引き換えに、特殊なプログラム細胞死を起動し、死に至ることを発見した。本研究では、このプログラム細胞死を担う ParA-Shi という二つの新規因子の解析を進め、細胞死の分子メカニズムとその生物学的意義の解明を目的とした。

今年度の当初の計画では、ParA-Shi の細胞内挙動の一細胞ライブイメージングとタンパク質立体構造解析に向けて、ParA-Shi を適切に誘導発現するベクター系を確立する予定であった。しかし、両遺伝子をクローニングする過程で、shi 遺伝子がタンパク質をコードするのではなく、small RNA や何らかの cis エlementを担う可能性も示唆されたため、まずは shi 遺伝子の転写・翻訳解析を行うことにした。shi 遺伝子の転写開始点を決定したところ、parA-shi 遺伝子はポリシストロニックに転写されることが証明されたが、同時に shi 遺伝子内部に2つの転写開始点が見つかったことから、shi 遺伝子領域内部から何らかのべつの RNA が転写されていることが明らかとなった。現在はこの shi 遺伝子内部の転写開始点から始まる新しい RNA が上記の細胞死とどのように機能的にリンクしているのかを明らかにするため、in vivo 解析を進めている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】細胞死、微生物、遺伝子水平伝播

【研究題目】シオカラトンボの UV 反射 Wax の解明

【研究代表者】二橋 亮 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】二橋 亮 (常勤職員1名)

【研究内容】

日本人に馴染みの深いシオカラトンボは、成熟過程でオスが麦わら色から白っぽい水色へと変化する。申請者は、シオカラトンボのオスは、体色変化の際に Wax を分泌して体表の微細構造を変化させ、同時に強力な UV 反射能を獲得することを発見した。本研究では、真夏の日差しに強いシオカラトンボの体表 Wax 構造の合成・輸送経路の分子基盤を解明し、生物素材としての応用の可能性を探ることを目的とする。平成26年度は、GC-MS 解析により、成熟オスで多く産生される物質の候補を特定することができた。また、体表 Wax による撥水性の評価についても、概ねまとめることができた。一方

で、候補物質の合成に関しては難航したため、次年度以降は抽出物を用いたアッセイも含め検討する予定である。また、平成26年度は、主に成熟個体の腹部背側に着目した解析を進めたので、次年度以降は未成熟個体の解析や、腹部腹側での解析を進めるとともに、Wax 産生や輸送に関わる候補遺伝子の解析を進めたいと考えている。以上のように、本研究のメインの目的である体表 Wax 成分の同定に関しては、順調に研究が進捗しており、Wax 類似物質を人工的に再現できれば、紫外線反射に関わる新たな生物素材としての応用面への展開も期待できる。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】昆虫、シオカラトンボ、構造色、表面微細構造、紫外線反射

【研究題目】一年生植物シロイヌナズナを多年生にする

【研究代表者】藤原 すみれ (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】藤原 すみれ (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、一年生植物であるシロイヌナズナにおいてある転写因子を強く発現させた際に見られる多年生植物様の形質に主に着目し、解析することで、一年生植物と多年生植物の違いを生み出す未同定の要因を見つけるとともに、分子育種等に役立つ知見を得ることを目的としている。

当該形質転換体を各種条件下で栽培し、形質の解析を実施した。その結果、長日条件22°Cで栽培した際に見られていた特徴的な形質が、短日条件22°Cではほとんど見られなくなることを確認した。また、短日条件22°Cで観察されたそのような形質は、短日条件低温環境下で栽培した植物の形質と比較して大きな変化が見られなかった。一方で、野生型や当該形質転換体を長日条件下で栽培した際にはほとんど見られない形質が、短日条件下では当該形質転換体のほとんどの個体で観察された。これらの結果から、この形質転換体でみられる各種の形質は、日長条件依存的であることが示された。当該転写因子の機能欠損株や VP16付加過剰発現体が示す形質に関しては、日長条件の違いによる影響が見られなかった。

また、当該転写因子はその機能に必要と考えられるドメインを二つ持っており、スプライシングバリエーションにおいてはそのドメインを一つしか持たない。そこでスプライシングによる機能調節の可能性を検討するための形質転換体の作成を実施した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】植物、シロイヌナズナ、転写因子、多年生

【研究題目】リボソーム RNA の抗生物質耐性変異

## の網羅的解析

【研究代表者】宮崎 健太郎（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】宮崎 健太郎（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

大腸菌リボソーム中の rRNA を異種由来の遺伝子と置換し、さらにリボソーム攻撃性の抗生物質耐性スクリーニングを行い、新規薬剤耐性変異を体系化する。

研究計画：

大腸菌リボソームの中核因子の一つ16S rRNA や23S rRNA を異種生物由来のものと同置換し、生育相補可能な遺伝子を同定する。さらにリボソーム攻撃性の抗生物質耐性スクリーニングを行い、新規変異を発見する。

研究進捗状況：

ユニバーサルプライマーを用いて環境 DNA より16S rRNA を PCR 増幅し、大腸菌の *rrn* オペロン完全欠失株に組み込んだ。さらに、スペクチノマイシン、テトラサイクリン、アブラマイシン、G418などに対し耐性を示す遺伝子を多数同定した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】リボソーム、大腸菌、抗生物質耐性

【研究題目】インジゴ還元槽中の微生物槽の機能解明

【研究代表者】湯本 勳（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】湯本 勳（常勤職員1名）

【研究内容】

目標、および研究計画：

インジゴ還元槽中の機能性微生物の分離と機能解析を行い、微生物叢形成原理を明らかにする。

年度進捗状況：

本研究の目的はインジゴ還元槽が雑菌汚染の可能性がある状況で運用しているながら、数ヶ月以上の長期間にわたってインジゴ還元の状態を維持出来る要因を菌叢ベースで突き止めることである。そのためにはインジゴ還元槽の安定期に、どの様なインジゴ還元菌が存在するかを知ることが重要である。前年度は発酵液に生菌として含まれるインジゴ還元菌を網羅的に分離するために、インジゴ還元菌を分離培地のコロニーベースで判別できる選択培地を考案した。今年度は本培地を伊達の工房から得られたサンプルのみならず、他の場所由来の試料にも応用した。その結果、これまで知られていた *Amphibacillus* 属や *Alkalibacterium* 属をはじめ *Bacillus* 属や *Oceanbacillus* 属のインジゴ還元菌以外の多種類のインジゴ還元菌が多数分離された。これらの結果は、高アルカリ性でかつ嫌気である一見して限られた微生物しか生息出来ない環境と考えられる環境に、多様なインジゴ還元能を持った微生物が存在し得ることを意味しているものと考えられた。今後は、発酵の原料、仕込みの仕方、発酵期間によって微生物叢や存在するインジゴ還元菌がどの様に変化するかを検討し、堅牢性の高

い染色機能の維持に機能しうる微生物群と環境維持の方法論を検討する必要がある。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】遺伝子解析、微生物叢、インジゴ還元

【研究題目】海洋性油糧微生物由来のドコサペンタエン酸合成系を導入した出芽酵母の創製

【研究代表者】森田 直樹（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】森田 直樹、佐原 健彦  
（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究は、ドコサペンタエン酸（DPA）生産海洋性ラビリンチュラ微生物の DPA 合成機構の解明を目指し、1) DPA 合成に関与する遺伝子（群）の単離と発現、及び2) 出芽酵母における DPA 合成酵素遺伝子群のポリシストロニックな発現を実現することを目標としている。

DPA 合成に関与する遺伝子（群）の単離について、まず DPA 生産海洋性ラビリンチュラ微生物 L59株よりゲノム DNA を抽出し、次世代シーケンサーを用いてドラフトゲノム DNA が配列を決定し、その配列を解析することによって、DPA 合成酵素遺伝子群を構成すると予想される各構成酵素をコードする遺伝子領域を確認することとした。

L59株は、細菌（特にサイクロバクター属 LB004株）との混合培養によって増殖が活性化される。L59株用寒天培地に LB004株を塗布して25℃で培養し、そこにL59株を含む寒天片を移植し更に25℃で培養した。しかし、混合培養した菌体の脂肪酸組成をガスクロマトグラフィーで分析したところ、DPA が検出できなくなった。寒天培地上での培養や液体培地での培養等、様々な培養条件を検討しているが、改善には至っていない。

菌株保存機関に L59株の再分譲を依頼したが、再分譲は不可能であるとの回答を得た。

一方、研究協力者が寒天片として保存していた L59株菌体を手に入れた。しかし、東日本大震災で一時的にフリーザーが停止してしまっただけで、この寒天片から L59株の復元は難しい状況であった。そこで、その寒天片から直接ゲノム DNA を調製し、ドラフトゲノム DNA 配列の解析を行うことを試みている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ドコサペンタエン酸、ラビリンチュラ微生物、ポリシストロニック発現、出芽酵母、高度不飽和脂肪酸

【研究題目】昆虫共生細菌による宿主性比操作メカニズムの解明

【研究代表者】春本 敏之（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】春本 敏之（他1名）

【研究内容】

キイロシヨウジョウバエ *Drosophila melanogaster*

の共生細菌スピロプラズマ *Spiroplasma* は、次世代オスのみを殺す「オス殺し」と呼ばれる生殖操作を引き起こす。これまでの研究から、感染オス胚では異常なアポトーシスに加え、神経発生異常が起きることが示されている。分子機構の解明を目指し、RNA-seq による遺伝子発現解析を行った結果、感染オス胚特異的に遺伝毒性ストレスが起きていることが明らかになった。抗体染色により DNA 損傷を可視化した所、DNA 損傷は感染オス胚の性染色体 (X 染色体) 上に高頻度に誘導されていた。また、感染オス胚の細胞では性染色体のみが架橋を形成しており、分裂に伴って断裂を起こしていた。分裂を停止させても DNA 損傷は X 染色体上に誘導されたことから、スピロプラズマによるオス殺しの最初のステップはオス性染色体への損傷誘導であると考えられる。ではなぜオスの性染色体のみに DNA 損傷が誘導されるのだろうか？ショウジョウバエでは、メス (XX) とオス (XY) 間の X 染色体数の違いを補正するため、オス X 染色体に MSL 複合体と呼ばれる分子群が誘導され、X 染色体上遺伝子の発現量が2倍に調節される (これを遺伝子量補償と呼ぶ)。MSL 複合体を欠いた感染オス胚では DNA 損傷および異常なアポトーシスが顕著に抑制された。逆に、メスに MSL 複合体を強制発現させると、染色体架橋と異常なアポトーシスが見られた。以上の結果は、MSL 複合体自体、あるいは、それによるクロマチン修飾がスピロプラズマによる損傷誘導の鍵であることを示している。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】昆虫内部共生、共生細菌、オス殺し、DNA 損傷、RNA-seq

【研究題目】植物ウイルス感染応答制御に関する転写因子の研究

【研究代表者】高木 優 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】高木 優、Saqib Muhammand (他2名)

【研究内容】

植物に感染するウイルスは、植物の生育を著しく阻害することから農業に深刻な影響を与え、穀物などの生産量に大きな影響を与えることが知られている。これまでに、ウイルスの影響を軽減するために、連作を避けたり、抵抗性を持つ品種を選択する他に、レプリカーゼやウイルスコートタンパク質遺伝子を植物で発現させる試みがなされている。しかし、これらの技術は費用がかかるものも多く、効果が長続きしないという欠点がある。本課題では、植物に持続的なウイルス抵抗性を付与させるための試みとして、植物転写因子を操作して、抵抗性を高める開発研究を行う。ウイルス感染で発現が変化する転写因子を発現解析から明らかにするため、産総研・生物プロセス研究部門で開発されたキメラリプレッサーによる新規遺伝子サイレンシングシステムである CRES-T 法で作成された、シロイヌナズナ全転写因子を網羅する

キメラリプレッサー発現種子ライブラリーを用いて、ウイルスに対して感受性の異なるライン (耐性および過敏性株) のスクリーニングを行った。その結果、抵抗性を示す CRES-T ラインが数種単離することができた。これらの抵抗性ラインの詳細な解析を行うため、ノックアウト体および過剰発現体の作成を進めている。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】ウイルス、遺伝子改変、抵抗性、植物病理

【研究題目】共生系の季節適応：昆虫-微生物における共進化機構の解明

【研究代表者】森山 実 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】森山 実 (他1名)

【研究内容】

本研究では、昆虫-微生物共生系に見られる協調的な季節適応の生理機構を解明し、両種間の相互作用が進化した道筋を理解することを目的とする。本年度は、カメムシ類を対象として、下記に示す課題を進めた。1) 温帯に生息する昆虫の多くは休眠という特殊な生理状態にはいることで越冬に備える。そこで、チャバネアオカメムシ中腸共生器官において、休眠にともなって発現変動する遺伝子の網羅的解析を RNAseq によりおこなった。その結果、共生細菌の生理状態の変化や、宿主による制御機構が明らかとなった。2) 近年、共生細菌のゲノム解析や宿主昆虫の共生器官のトランスクリプトーム解析から、共生の栄養相互作用の存在について推測されているが、その詳細な機構を実証した例は少ない。そこで、クロカタゾウムシやトコジラミを用いて、共生器官の具体的なアミノ酸供給機能やビタミン B 群供給機能を栄養生理学的に実証した。3) クヌギカメムシは晩秋に産卵し、厳冬期に幼虫が孵化するという特殊な生活史をもつ。卵塊には多量のゼリー状物質が塗られており、孵化した幼虫がそのゼリーを摂食して春の芽吹き時期までに3齢幼虫へと成長する。また、このゼリー状物質は共生細菌を含んでおり、次世代へ共生微生物を伝播する役割も担う。そこで、この共生細菌伝達物質の化学構造および栄養的側面に着目し、構成成分の解析をおこなった。あわせて、この物質を産生する器官の RNAseq をおこない、その栄養学的・化学的・生理学的機能を明らかにした。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】昆虫、共生、季節適応、腸内細菌、温度耐性

【研究題目】適応放散における進化-生態フィードバックの寄与：微生物モデル系による実験的解析

【研究代表者】山本 京祐 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】山本 京祐 (他1名)

### 〔研究内容〕

本研究は、微生物の素早く進化する性質を利用して、他種との競合関係が進化に及ぼす影響さらには進化が種間の関係に及ぼす影響を実験的に明らかにするものである。2種の細菌、緑膿菌と黄色ブドウ球菌（以下 PA および SA）を実験室内で繰り返し混合培養し、どのような進化が起こるか、またその結果として種間関係がどのように変化するかを解析することで、生物の進化過程における進化-生態フィードバック（進化現象と生態現象とが互いの動態に影響を及ぼしあう現象）の重要性を解明することを目的とする。実験で得られた進化株について、ゲノム上の突然変異の検出や、各種生理学的性質変化の解析をおこない、群集・進化動態に寄与する種間相互作用を同定するとともに、その分子基盤を解明する。本年度は進化実験系の繰り返しと、PA 進化株の特徴付けをおこなった。

PA 単独培養系と PA-SA 混合培養系の継代培養をおこない、各菌株の菌数変化をモニタリングするとともに、コロニー形態の変化した株すなわち進化株の割合を測定することで個体群・群集動態と進化動態の両者を評価した。PA 単独系と混合培養系とを比較したところ、混合培養に特異的な PA 進化株は見られなかったが、PA 進化株の出現および増加パターンが異なっており、共存する SA によって PA の進化動態が変化することが示された。各種 PA 進化株の性質を詳細に解析すると、多細胞構造の形成能や運動性に変化がみられ、これらが PA 進化株の優占に寄与することが示唆された。特に、混合培養系で特徴的な進化パターンを示した PA 進化株は運動性を失っており、今後この株の進化に対する SA の寄与を解析する予定である。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 細菌、種間相互作用、競争、共進化

### 〔研究題目〕 同一ゲノムから生じる2種類の生物社会の進化機構

〔研究代表者〕 植松 圭吾（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 植松 圭吾（他1名）

#### 〔研究内容〕

社会性アブラムシの一部の種では、その生活環において宿主植物を変更し、それぞれの世代（1次宿主世代・2次宿主世代）で異なる2種類の社会を形成する。本研究では、それぞれの社会を構成する個体の表現型および遺伝子発現の類似性を複数種で詳細に解析することで、同一ゲノム上で異なる社会性が進化・維持されるメカニズムの理解を目指す。本年度は日本・台湾に分布するワタムシ族の *Colophina* 属についての調査・採集をおこなった。4月に台湾で行った調査で、これまで記載されていなかったオパケワタムシのゴール世代を発見し、捕食者導入実験の結果、攻撃行動を示すことが明らかになった。さらに、ミトコンドリア DNA の塩基配列を解読

した結果、台湾には日本のボタンヅルワタムシと形態は酷似しているものの、遺伝的に分化した別種が存在することが示唆された。採集したサンプルについてはプレパラート標本を作製し、脚・口吻などの形態形質について測定後、系統関係を考慮した種間比較を行った。その結果、1次宿主世代の1齢幼虫と2次宿主世代の不妊兵隊の間に相関進化パターンを検出した。また、採集した *Colophina* 属の3種については、RNA-seq 解析を行った。1次宿主世代は1齢幼虫・2齢幼虫・3齢または4齢の翅芽幼虫・無翅成虫から、2次宿主世代は兵隊1齢幼虫・普通1齢幼虫・3齢または4齢の翅芽幼虫・無翅成虫から RNA を抽出し、cDNA ライブラリーを調製後、基礎生物学研究所の次世代シーケンサー（illumina HiSeq 2000）によって配列解析をおこなった。今後、モルフ間・宿主世代間・種間での遺伝子発現の類似性を解析する予定である。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 社会性アブラムシ、社会性昆虫、表現型多型、RNA-seq

### 〔研究題目〕 クワガタムシ・コガネムシ類における昆虫-菌類の共生関係の解明と保全生物学的応用

〔研究代表者〕 棚橋 薫彦（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 棚橋 薫彦（他1名）

#### 〔研究内容〕

クワガタムシ類は、その巨大な体や魅力的な姿形によって世界中で広く親しまれている昆虫であると同時に、森林生態系を象徴する昆虫として、特にヨーロッパ諸国では生物保全の重要な対象となっている。クワガタムシ類の多くの幼虫は木材（枯木）食である。木材は消化困難であり、食性昆虫のほとんどは微生物の助けを借りて木材を消化することが知られている。クワガタムシにおいては、メス成虫が腹部末端に菌嚢と呼ばれる器官を持ち、その中に酵母類を保持していることがわかっていった。本研究では、日本産および外国産クワガタムシの計100種以上において、菌嚢の酵母を培養によって分離し、分子系統学的に同定した。その結果、クワガタムシ類の共生酵母の多くは、キシロース発酵性で知られる *Scheffersomyces* 属酵母であった。コクワガタ *Dorcus rectus* においては、共生酵母は菌嚢からの分泌物と共に卵の傍に産み付けられ、孵化した幼虫がこれを摂取することで次世代に伝達されていた。本種幼虫の腸内には多量の共生酵母が存在しており、木材の消化に寄与すると考えられた。また、幼虫は蛹化時に腸内容物を体外に排出し、羽化したメス成虫は蛹室から共生酵母を菌嚢に取り込むことがわかった。このようにして、クワガタムシの共生酵母が巧みに世代間を受け渡されていることを明らかにした。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 昆虫、共生、酵母、木質バイオマス、資化

〔研究題目〕 冥王代生命学の創成：冥王代類似環境微生物

〔研究代表者〕 鎌形 洋一（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 鎌形 洋一、玉木 秀幸、柿澤 茂行  
（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

本計画研究班では、冥王代類似環境やその周辺熱水環境に棲息する微生物のゲノム解読、培養化、生理生態機能の解明を通じて、最終的に原始的な生命体のゲノムや生物機能の痕跡に迫ることを目的とするものである。本年度は1) 冥王代類似環境の一つである、白馬八方温泉の蛇紋岩熱水系においてサンプリングを行い、冥王代類似環境に棲息する微生物の多様性を明らかにする研究を開始した 2) 本蛇紋岩熱水系において優占的に存在している微生物のゲノム構造をおおよそ明らかにした 3) 当該環境に生存する微生物は古典的手法による培養が極めて困難であることが予想されることから、ゲノムに刻まれている情報を明らかにするために蛇紋岩熱水系微生物群から得られたゲノムを培養可能な微生物に移植する大規模ゲノム操作系の基礎技術開発を試みた 4) 鉄を初めとする金属・鉱物を直接エネルギー源とする微生物を単離することによって、生命初期進化における生命装置を明らかにする研究を開始した 5) 初期生命が持っていたゲノム情報を推定するための1つのアプローチとして、現生生物のゲノム情報に基づいた祖先型遺伝子配列の推定を行った。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 生命の起源、熱水系地下環境、微生物生態系、系統進化

〔研究題目〕 酵母でのリシノール酸の生産に関する研究

〔研究代表者〕 植村 浩（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 植村 浩（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

我々は石油資源に依存しないウレタン原料として注目されているリシノール酸（RA）の酵母での発酵生産を実施している。RA は水酸基を含む特殊な脂肪酸なので通常の生物は合成できず、我々も当初異種生物の RA 合成遺伝子を導入したが酵母が死滅した。しかしこの酵素活性が温度依存性あることを発見し、培養温度を途中でシフトする方法の考案、また RA に耐性を示す遺伝子をスクリーニングし、耐性遺伝子 *plg7* を発見して全脂肪酸の50%超の高い RA 生産を達成した。また *plg7* の高発現により RA の細胞外への分泌生産に成功した。

酵母は本来脂肪酸や脂質を分泌できないため、従来は脂肪を細胞より抽出後、脂肪酸を更に精製していたが、

我々の系では脂肪では無く既に遊離した脂肪酸を培養と同時に培地内に分泌できるため、従来の方法に比べて菌株の培養と脂肪酸精製の両面で大幅なコスト削減が期待出来ると考える。しかし、酵母は本来脂肪酸や脂質を分泌できないため、その分泌機構や関連遺伝子に関する知見は皆無であるため、本研究では、RA 分泌に関与する新たな遺伝子を同定することにより RA の効率的な分泌生産系の開発を目指す。

平成26年度は、遺伝子ライブラリーをゲノムワイドにスクリーニングすることにより、RA 分泌に関与する候補遺伝子を分離した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 酵母、発酵生産、リシノール酸

〔研究題目〕 複合適応形質進化の遺伝子基盤解明

〔研究代表者〕 長谷部 光泰（基礎生物学研究所）

〔研究担当者〕 深津 武馬（生物プロセス研究部門）  
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

生物進化の一般法則として、自然選択理論、中立進化理論が構築された。これらの理論は複数の生物材料の研究結果から、それらを総合することによって初めて考案できたものである。しかし、これらの理論でも未だうまく説明できていないのが複合適応形質の進化である。本研究領域では、複合適応形質がどのように進化するのかを研究し、従来の進化理論で複合適応形質の進化を説明できるのか、あるいは、新しい共通理論が必要なのかを明らかにすることを目指している。総括班は計画・公募研究の支援をするとともに、各研究結果の一般性を探り出すことを目的として設置する。

本年度は以下を行った。

(1) 領域ホームページの作成管理

<http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJHome.html>

(2) COMPLEX ADAPTIVE TRAITS Newsletter Vol. 5 No. 1-8の発行

[http://staff.aist.go.jp/t-](http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJNewsletters.html)

[fukatsu/SGJNewsletters.html](http://staff.aist.go.jp/t-fukatsu/SGJNewsletters.html)

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 昆虫共生細菌、ゲノム解析、新規生物機能

〔研究題目〕 二次代謝産物生産に適した糸状菌遺伝子発現システムの開発

〔研究代表者〕 五味 勝（東北大学）

〔研究担当者〕 町田 雅之、小池 英明、梅村 舞子  
（生物プロセス研究部門）  
（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

糸状菌は多種多様な二次代謝化合物を生産する能力を有する。近年の糸状菌ゲノム情報の整備により多様な生合成経路の存在が明らかとなり、未知・未利用の遺伝子



が従来の予想をはるかに超えて存在することが明らかになった。これらの生合成や分泌に関わる遺伝子は多くの場合クラスターを形成し、やはりクラスター内に存在する転写制御因子によって、クラスター内の遺伝子群が協調的に発現することにより、複雑な構造をもつ化合物が生産される。本研究では東北大学との連携のもと、これらのクラスター全長あるいは一部を麹菌に導入・高発現させることにより生合成マシーナリーの解析を進めている。本年度は、麹菌のもつ二次代謝（コウジ酸）のプロモーターを利用した、他の二次代謝生産を試みた。麹菌に内在する色素の生合成に関わる遺伝子のプロモーターを、コウジ酸の生産に関わる遺伝子のプロモーターに置き換えた。この色素生産遺伝子はポリケタイド合成酵素であったが、改変の結果、色素をコウジ酸の生産条件下に菌糸で生産し、さらに培地中に分泌することを明らかにした。コウジ酸のプロモーターは、コウジ酸以外でもポリケタイドの生産に利用できることが分かり、二次代謝一般に応用性が高いことを示唆していた。また、コウジ酸の生産期は生育も終わっているため、生産物の細胞への生育阻害効果などを心配することなく、コウジ酸のプロモーターを利用できる。今後、多様な炭化水素化合物の生産に利用可能であることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 二次代謝、糸状菌、遺伝子クラスター、有用物質生産

【研究題目】 冥王代生命学の創成

【研究代表者】 鎌形 洋一（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 鎌形 洋一（他2名）

【研究内容】

新学術領域「冥王代生命学の創成」では、原始的な生命が誕生したと考えられる、地球誕生から約6億年間（46-40億年前）の「冥王代」に焦点をあて、生命がいつ、どこで、どのように誕生したかを、最先端の地球惑星科学、生命科学および有機化学などを結集し明らかにする新たな学術領域である。冥王代の地球では、大陸、海洋、大気の三要素が循環的に相互作用し、生命誕生場となる極めて多様で動的な環境「Habitable Trinity」が作り出された。この生命誕生場のモデル「Habitable Trinity モデル」を中核的な作業仮説とし、地球惑星科学、生命科学および有機化学を基盤とする相互依存的研究からのフィードバックにより、原始生命誕生において必須となる環境条件を特定し、生命誕生場は冥王代地球のどこで実現したのか？そして、それに必要な普遍的条件とは何か？これらの問いに答える「冥王代生命学」を確立する事を目指す。さらに、最新の惑星形成の理論研究と実験研究を進め、宇宙における生命誕生の普遍的条件を明らかにし、冥王代生命学を拡張した「惑星生命学」の基礎の構築を目指す。こうした研究推進のためのシンポジウム開催、冥王代類似環境として知られる白馬八方

地区住民への研究協力要請等を行った。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 冥王代生命学、Habitable Trinity

【研究題目】 担持型酸化触媒による臭素系難燃剤の分解に及ぼす腐植物質の影響

【研究代表者】 福嶋 正巳（北海道大学工学研究科）

【研究担当者】 佐々木 正秀（生物プロセス研究部門）  
（常勤職員1名）

【研究内容】

廃棄物処分場の浸出水中には家電ゴミを起源とする臭素系難燃剤（BFRs）が含まれており、これらは環境ホルモン作用も示すことから分解・無害化する必要がある。浸出水には腐植物質と呼ばれる褐色の高分子有機物が10から200mg/L程度含まれている。これまでの研究から、鉄ポルフィリン触媒によるBFRsの酸化分解に及ぼす腐植物質の影響を検討した結果、腐植物質はBFRsの酸化分解を妨害することがわかった。腐植物質は巨大な負電荷を有し、BFRsと比べ親水性を示す。本研究では、触媒の負電荷と疎水性を高め触媒活性サイト付近から腐植物質を排除しBFRsを集約する目的で、負電荷を持つシリカゲルなど様々な担体に鉄ポルフィリン触媒を導入した担持型触媒を合成し、それによる腐植物質共存下でのBFRsの分解・無害化の促進を試みることを目的とする。

産業技術総合研究所研究担当者は、電子スピン共鳴（ESR）装置による反応活性種の検出を分担している。今期はESR装置を用いたFe<sup>3+</sup>低スピン（S=1/2）スピンの検出の実験プロトコルの検討を進めた。具体的には、液体窒素温度測定法、試料及び試薬濃度の最適化、さらには基準となる装置測定条件の設定を行った。

【分野名】 環境・エネルギー

【キーワード】 臭素系難燃剤、担持型酸化触媒、腐植物質、電子スピン共鳴（ESR）

【研究題目】 植物における転写因子複合体を形成する因子の網羅的な解析

【研究代表者】 高木 優

（埼玉大学環境科学研究センター）

【研究担当者】 光田 展隆（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、有意に高頻度に核に局在すると予測もしくは実証されているWD40タンパク質について、転写因子と相互作用する可能性が高いと考えて、網羅的にCRES-T法を適用したり、転写因子を対象にした酵母ツーハイブリッド（Y2H）法などを駆使したりし、WD40タンパク質が全体として転写因子の機能発揮にどう関わるかを明らかにしようとするものである。具体的には、発現様式などを参考に優先順位を付け、SRDXリプレッションドメインを融合したキメラ遺伝子を発現

する形質転換シロイヌナズナを作成する。一方でこれらWD40タンパク質遺伝子を単純過剰発現する植物の作成も同時に行い、T1世代の表現型を比較解析することにより、両者が異なる表現型を示すラインを探索する。そのようなラインが同定できた場合、これまでに観察したキメラリプレッサー発現植物の表現型データベースから類似する表現型を示すものを探索したり、転写因子遺伝子のみからなるライブラリーを用いた Y2H 法により相互作用する転写因子を探索したり、発現パターンが類似する転写因子のキメラリプレッサー発現植物の表現型を観察するなどして、相互作用する転写因子を同定する。さらに複合体を形成する因子が転写制御にどのように影響を及ぼしているのか、その分子機構について詳細な解析を行う。今年度は公開されているマイクロアレイデータや細胞内局在の予測データなどから選定した、優先順位の高い十数個についてキメラリプレッサー発現植物および単純過剰発現植物の作成を行い、それらの表現型について観察をはじめた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、発現制御、遺伝子、シロイヌナズナ、化合物

【研究題目】 非天然分岐型糖鎖含有デタージェントライブラリーの構築と膜蛋白質の可溶性化

【研究代表者】 松尾 一郎 (群馬大学理工学研究院)

【研究担当者】 清水 弘樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、分岐構造や化学修飾した糖など、天然からは入手することができない特殊な構造を有する糖分子を利用して、糖結合デタージェントを系統的に合成し、糖の種類(水酸基の配向)、糖鎖の分岐度および重合度、糖分子内の疎水性度を基準に、糖の結合水や水クラスター構造を考慮したライブラリーの構築研究を行う。そして膜蛋白質可溶性に従来利用されているデタージェントの性質を凌ぐ糖結合デタージェントの開発を目指すものである。

今年度はまず、昨年度で課題となった長鎖アルキルマンノシド体の合成を進めた。さらに、中性糖であるガラクトースの他、アミノ糖であるグルコサミンに対しても長鎖アルキルグルコシド体の合成を進めた。これら化合物の基本的な物理データについては、現在取得研究中である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 糖鎖、デタージェント、有機合成、マイクロ波

【研究題目】 花卉におけるクロロフィル代謝制御機構の解明

【研究代表者】 大宮 あけみ (独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 花き研究所)

【研究担当者】 光田 展隆 (常勤職員1名)

【研究内容】

植物の花や葉の色は主に「アントシアニン」、「カロテノイド」、「ベタレイン」、「クロロフィル」の4種類の色素により構成される。花が鮮やかな青色や黄色を発現するためにアントシアニンやカロテノイドが蓄積し、クロロフィルが蓄積しないことが重要である。また、白色を発現するためにもクロロフィルが蓄積しないようにする必要がある。そのため、植物は葉において多量に蓄積しているクロロフィルが花卉では蓄積しないように、器官特異的な制御機構を備えている。ところが、どのようなメカニズムで葉と花卉においてクロロフィルの蓄積量の違いが生じているのかという点に関して科学的な知見は皆無である。本課題は、カーネーションおよびトルコギキョウの緑花品種と白花品種を活用し、「白色花卉ではなぜクロロフィルを蓄積しないのか」「緑色花卉ではなぜクロロフィルを蓄積しているのか」という2つの疑問に迫ろうとするものである。本年度はシロイヌナズナの転写因子だけからなる96穴プレートライブラリーを用いたイーストワンハイブリッドスクリーニングにより、シロイヌナズナのクロロフィル代謝やカロテノイド代謝の鍵酵素遺伝子計30遺伝子のプロモーター領域に結合する転写因子を網羅的に調べた。その結果、クロロフィル分解に関与する4つの遺伝子のプロモーター領域にある転写因子が共通して結合することを見出した。この結合はシロイヌナズナ葉肉細胞プロトプラストを用いた一過的レポーターエフェクター実験においても再現性を確認できた。この転写因子について過剰発現株、キメラリプレッサー発現株、遺伝子破壊株を作成し、それらの表現型を観察したところ、整合性の取れる結果を得ることができた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、クロロフィル、カーネーション、発現制御、遺伝子、シロイヌナズナ、花卉

【研究題目】 「利他行動」を制御する新規化合物の探索とその作用機構の解明

【研究代表者】 齊藤 玉緒 (上智大学)

【研究担当者】 森田 直樹 (生物プロセス研究部門) (常勤職員1名)

【研究内容】

細胞性粘菌 *Dictyostelium discoideum* の新規ハイブリッド型ポリケチド合成酵素 SteelyA の *in vivo* 産物が4-methyl-5-pentylbenzene-1,3-diol (MPBD) であることを明らかにしている。MPBD は孢子細胞の形成等に関与しているが、この MPBD 産生及び生合成遺伝子と細胞性粘菌の進化的繋がりを明らかにすることを目的としている。細胞性粘菌において利他行動をとる変異体は柄細胞に分化しやすい傾向がある。生合成遺伝子は進

化的に異なるタイプの各種細胞性粘菌のゲノム DNA 解析から種にかかわらず良く保存されていることがわかった。一方、産物については培養液に分泌された化合物を解析し、その結果から始原的な種では MPBD がいない、ないしは非常に微量であることが示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ポリケタイド合成酵素、ハイブリッド型酵素、分化誘導、細胞性粘菌、土壤微生物

【研究題目】 青年期アスペルガー症候群の社会的認知と社会不適応状況のテキストマイニング分析

【研究代表者】 池田 望 (札幌医科大学 保健医療学部)

【研究担当者】 大山 恭史 (生物プロセス研究部門)

【研究内容】

年度進捗状況：

青年期以降に社会への不適応が顕在化し、アスペルガー症候群 (AS) と診断される事例では、就労や修学の場合において定型発達者を基本とする環境の中で孤立、自信喪失などに苦しみ、うつ病などの二次障害を抱える人が多い。

本研究では、上記 AS 当事者の協力を得て、不適応状況の体験の口述を文字化したトランスクリプト (課題に關係する部分を抽出したテキストデータ) を分析し、不適応に至る要因や対応方略 (回避するための方法論) を明らかにする。分析手法として各形態素間の相互関係を統計分析するテキストマイニング分析を主として用いる。これによりコミュニケーションや社会状況等の質的現象から成る不適応状況を、客観的な構造で表出し、AS 当事者に有益な知見を提出することを目指している。

平成26年度は、前年度のテキストマイニング分析に加え、形態素群の透過パターン解析など多角的な分析を行い、試行課題として「トランスクリプト中に表れる内的原因帰属傾向の有無」を、完全機械分析により抽出することに成功した。従来法である研究者の読解による質的分析法による抽出箇所と抽出数と比較し、ほぼ同等の結果が得られた。これにより質的研究が主体であるこの分野に定量的分析技術を導入できる展望を示すことが出来た。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 テキストマイニング、言語情報科学、社会不適応、認知科学、発達障害

【研究題目】 遺伝子組換えと同等の形質を植物に付与する化合物開発システムの構築

【研究代表者】 近藤 陽一 (関東学院大学理工学部)

【研究担当者】 光田 展隆 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、DNA 配列を任意に選択して結合できる

Py-Im ポリアミドを利用し、遺伝子組換えと同等かつ遺伝しない有用な形質を植物にもたらす化合物の合成システムの構築を目指す。本システムの基盤は、機能を抑制すると植物に有用な形質が付与される転写因子を選び出し、その転写因子が制御している調節配列に結合する Py-Im ポリアミドを合成することである。合成した Py-Im ポリアミドを野生型の植物に添加することで、選出した転写因子の機能を抑制し、有用な形質を付与する。このシステムの構築のために、シロイヌナズナを利用して合成した Py-Im ポリアミドの標的遺伝子に対する転写抑制化能の評価系を開発し、評価系が機能することを明らかにする。また、Py-Im ポリアミドが調節配列に結合した時に、期待通りの表現型が現れるか検証するためのシステムを開発する。具体的には転写因子の機能を抑制する CRES-T 技術で作成された植物と同じ表現型を引き起こす Py-Im ポリアミド開発系を構築する。そのためには目的とする転写因子の標的遺伝子、結合配列を ChIP-seq 実験などにより把握する必要がある。本年度はモデルとして選定した CRES-T 系統について GFP 融合型キメラリプレッサー発現植物や GFP 融合型転写因子の過剰発現植物を作成し、ライン決めやホモ化など ChIP 実験のためのサンプリングを行うのに必要な作業を進めた。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、発現制御、遺伝子、シロイヌナズナ、化合物

【研究題目】 細胞外シグナルと細胞内調節の相互作用による器官形成ロジックの多元的理解

【研究代表者】 柿本 辰男 (大阪大学理学部)

【研究担当者】 大島 良美、光田 展隆 (常勤職員2名)

【研究内容】

細胞のアイデンティティ決定の仕組みは発生生物学の重要課題の一つである。細胞アイデンティティは、周辺細胞からの情報に応じて特定の転写ネットワークが形成されることにより完成する。そこで細胞系譜の前駆細胞や、分化細胞のアイデンティティを決定する鍵転写因子を同定する。また、多細胞生物の形態形成には細胞間協調作用が必須である。自己組織化の原動力としての細胞間シグナル分子候補として、オーキシンやペプチド性シグナル分子が考えられる。そこでこれら因子の同定、受容、シグナル伝達の仕組みを解明する。本年度はある発生分化現象に関与するシロイヌナズナの転写制御因子について、シロイヌナズナの転写制御因子だけから成る酵母ツーハイブリッドライブラリーを用いて相互作用因子を探索したところ、同じファミリーに属しはするものの、相同性は高くない一群同士が相互作用してヘテロダイマーを形成していることが明らかになった。現在この生物学的意義を明らかにすべくキメラリプレッサー発現植物などを用いて解析を進めている。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、発生、遺伝子、発現制御、タンパク質間相互作用

【研究 題目】 植物発生ロジックの多元的開拓

【研究代表者】 塚谷 裕一

(東京大学大学院理学系研究科)

【研究担当者】 大島 良美 (常勤職員1名)

【研究 内容】

植物の幹細胞や分化細胞のアイデンティティを決定し、発生・成長プログラムを動かすためには転写制御ネットワークや、調節因子、低分子 RNA などの細胞・器官間を移動するシグナル、代謝物による制御が重要であることがわかってきた。しかし、植物の発生・成長の本質的な発生ロジックは未だに明らかになっていない。本研究領域では、複数のモデル植物を扱う9つの計画研究班と4つの支援体制を組織し、多元的な解析研究を行うことにより「植物の発生ロジック」を理解することを目的とする。植物の発生・分化の過程では多くの転写因子が重要な鍵をにぎっている。発生ロジックを理解する上で重要な転写因子の発見とその制御メカニズム解明の為、転写ネットワークや転写因子の相互作用の研究を加速させることは重要だと考えられる。支援班ではシロイヌナズナ全転写因子を対象とした転写因子ライブラリーを整備することにより、各転写因子の機能欠損表現型を示す CRES-T ラインの提供や、転写因子と DNA (酵母1ハイブリッド) またはタンパク質 (酵母2ハイブリッド) の相互作用解析用ライブラリーの提供を可能にする。本年度は、これまでに理化学研究所と産業技術総合研究所で整備した転写因子ライブラリーを拡充するため、理化学研究所で新しくクローン化した転写因子の酵母1/2ハイブリッド用への変換を開始した。また、従来型ライブラリーによるハイスループット酵母1/2ハイブリッドシステムを利用して、領域内で複数の共同研究を行った。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、遺伝子、発現制御、発生、タンパク質間相互作用

【研究 題目】 トランスクリプトームとエネルギー代謝から紐解くマングローブの生態ニッチ決定機構

【研究代表者】 渡辺 信 (琉球大学 熱帯生物圏研究センター)

【研究担当者】 光田 展隆 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究は、マングローブ林の構成樹種が、獲得したエネルギーをどのような用途に消費しているのかを、トランスクリプトームとエネルギー代謝を探索することにより、マングローブ生態系成立の仕組みを解明しようとするものである。具体的には次世代 DNA シークエンサー

を用いて樹種毎の遺伝子発現プロファイルを作成し、データベースを構築するほか、異なる光強度と湛水ストレス及び高塩類濃度ストレス条件下での樹種毎のエネルギー代謝の違いをトランスクリプトーム解析と各種生理実験により明らかにする。特に、エネルギー供給の根幹であるカルビン回路から解糖系に至る代謝経路、エネルギー充填効率、湛水ストレスに関連する生理的反応について着目し、イオン輸送体や植物ホルモン受容体などの挙動を中心に明らかにする。今年度は昨年度から引き続きマングローブ林構成樹種の一つであるオヒルギを人工環境下で定期的に湛水ストレスに曝し、時間を追って RNA を取得して次世代 DNA シークエンサーを用いた RNA シークエンシングを行った結果についてバイオフィオマティクス解析を進めた。

【分 野 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 植物、ゲノム、マングローブ、発現制御、遺伝子、生態系

【研究 題目】 新規界面原子導入による高移動度 SiC MOSFET 作製技術の確立

【研究代表者】 岡本 大 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 岡本 大、原田 信介、米澤 喜幸 (常勤職員4名、他2名)

【研究 内容】

本テーマは、SiC パワーMOSFET の特性を制限することで問題となっている  $\text{SiO}_2/4\text{H-SiC}$  界面に存在する高密度の界面準位を低減するために、新規パッシベーション元素を探索することを目的とした基礎検討である。界面準位を低減する手法としては、 $\text{SiO}_2/4\text{H-SiC}$  界面に水素、窒素、リンなどを添加する方法がこれまでに知られていた。本研究においては、高密度の界面準位を低減する新たな方法として、 $\text{SiO}_2/4\text{H-SiC}$  界面にボロン (B) を導入する手法を検討した。その結果、伝導帯付近の界面準位密度が低減し、電界効果移動度が  $102 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度まで向上することが明らかとなった。3族の B で界面準位が低減できることはこれまでに知られておらず、従来の手法とはメカニズムが異なっている可能性がある。現時点では、B 導入法をデバイス製造に用いるには課題があるが、今後本手法で形成した酸化膜を詳細に調査することにより、界面準位の起源や低減メカニズムの解明につながると考えられる。

【分 野 名】 環境・エネルギー

【キーワード】 SiC (シリコンカーバイド)、MOS 界面欠陥、新規ゲート酸化膜

【研究 題目】 炭化ケイ素 (SiC) MOS 界面欠陥の起源と移動度劣化メカニズムの分光学的解明

【研究代表者】 原田 信介 (先進パワーエレクトロニク

ス研究センター)

【研究担当者】原田 信介、岡本 光央、小杉 亮治  
(常勤職員3名、他3名)

【研究内容】

本テーマでは筑波大学と協力して、シリコンカーバイド (SiC) の MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) 界面の、①界面準位 (Dit)、②界面欠陥 (界面 ESR センター)、③チャンネル欠陥、④界面に導入した窒素または水素、の4因子を電子スピン共鳴分光 (ESR) 法や光電子分光 (XPS) を用いた独自の実験によって計測し、チャンネル移動度 ( $\mu_{FE}$ ) や閾値電圧 ( $V_{th}$ ) との関連性を明らかにすることで SiC-MOS 界面の移動度劣化の原因解明と SiC-MOS 界面準位の起源解明を目指している。

平成26年度の研究は、4H-SiC の Si 面窒化処理と C 面水素処理の評価にフォーカスし、以下のような結果を得た。

- (1) Si 面窒化処理：窒化処理による“窒素ドーピング濃度”の定量を ESR 法で行った。さらに、観測されている  $\mu_{FE}$  と  $V_{th}$  の値が窒素ドーピングによりどのように説明できるのかを示した。
- (2) C 面水素処理：水素終端に反応する“C 面固有欠陥”の電流検出 ESR (EDMR) 分光観察に成功し、欠陥量と水素終端、そして電気特性 ( $\mu_{FE}$ 、 $V_{th}$ ) との関係調べた。さらに、新種の界面欠陥の検出にも成功した。
- (3) 新たに開発した容量検出 ESR (CDMR) 分光法を上記2つの MOSFET に適用し、Si 面において EDMR 法では見つからなかった新たな界面欠陥を発見した。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】SiC (シリコンカーバイド)、MOS 界面欠陥、ESR、EDM

【研究題目】表面化学修飾法による核磁気共鳴画像用ガドリニウム担持ナノダイヤモンド粒子の作製

【研究代表者】中村 挙子 (先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】中村 挙子、大花 継頼  
(常勤職員2名)

【研究内容】

表面化学修飾法を利用することにより、生体親和性・化学安定性等の高機能を有するナノダイヤモンド (ND) 粒子の特性を利用した、核磁気共鳴画像法 (MRI) 新規造影剤適用を目指したガドリニウム (Gd) 担持ナノダイヤモンド粒子作製法の開発を目的とする。

当該年度においては、前年度までに作製手法を確立した Gd 担持 ND 粒子について、各種粒径における MRI 造影能発現について検討するとともに、新規造影剤としての将来的な体内動態について検討するため、正常肝細胞による細胞毒性試験を行った。

前年度までに作製手法を確立した Gd 担持 ND 粒子 (粒径5nm) について、当該年度においてはさらに粒径10nmND 粒子を用いて Gd 担持 ND 粒子作製を検討したところ、粒径5nm 品と同様の手法により10nm 品においても作製が可能であることが明らかとなった。粒径2種類 (5,10nm) の Gd 担持 ND 粒子を用いて前年度と同様に1.5T MRI 装置による Gd-DTPA-ND 分散液 (0.1w/v%リン酸バッファー溶液および注射用水) の T1強調画像を撮影したところ、未処理 ND 分散液と比較して Gd-DTPA-ND 分散液は同様の高い信号強度を示し、Gd-DTPA-ND 粒子は粒径5,10nm とともに高い造影剤能を有することを明らかとした。特に、粒径5nm 品については既存造影剤との信号強度比較を行ったところ、Gd 濃度1/10においても同等の造影増強効果が観察され、低使用量を可能とする新規造影剤となることが期待される。

さらに、Gd 担持 ND 粒子 (粒径5nm) を用いた肝細胞による細胞毒性試験を行ったところ、既存造影剤と比較して同様の結果を示し、*in vitro* においては問題のないことが明らかとなった。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】ダイヤモンド粒子、表面化学修飾、ガドリニウム、核磁気共鳴画像

【研究題目】熱音響システムの高効率化のためのハニカムセラミックスの検討

【研究代表者】小塚 晃透 (先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】小塚 晃透、安井 久一  
(常勤職員2名)

【研究内容】

熱音響システムは、熱 (温度差) と音響 (気体媒質の振動) のエネルギー変換システムである。多数の微細孔を有する熱音響変換素子に音波を放射すると、微細孔中の媒体が膨張 (冷却)・収縮 (加熱) することで、微細孔の中で熱の移動を行うことが可能である。本研究では、熱音響変換素子に着目して研究を進めてきた。ハニカムセラミックスは、薄い壁と均一な微細貫通孔を有する点が優れているが、既製品から選択することしかできない。また、金網の積層体や微細ガラス管を束ねた素子、そして3D プリンタを用いた樹脂による素子についても、これまでに検討してきた。

形状によるエネルギー変換効率への影響を評価するため、スリット形状の微細孔にひねり (スパイラル形状) を加えた素子について検討し、3D プリンタを用いて製作を試みた。定在波音場中にひねり角度の異なる3種類の素子を配置して、両端に発生する温度差を評価した。その結果、ひねり角度が大きい方が、より高い温度差を得られることが確認された。ひねることにより表面積が増加し、熱交換が効率的に行われたためと考えられる。

3D プリンタを用いると、自由な形状の造形が可能で

ある。しかし、薄壁などの微細な加工は難しく、また材料の耐熱性が低いなどの問題がある。熱音響システムは高効率化のために大型化することが予想され、その際には細かい造形は必要ではないと考えられる。また、3Dプリンタは多様な材料を用いるものが開発され、石膏を材料とするものも実用化されている。このような耐熱性を持つ材料を用いれば、熱音響エンジンにも使用することが可能と考えられる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 熱音響、超音波、熱エネルギー、ハニカムセラミックス、3Dプリンタ

【研究題目】 事例とシナリオモデリングに基づく持続可能ビジネス設計・立案支援手法

【研究代表者】 近藤 伸亮（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】 近藤 伸亮、高本 仁志、松本 光崇（常勤職員3名）

【研究内容】

本研究の目的は、持続可能な社会に向けた動きを企業のビジネスモデルや、生活者のライフスタイルとして協調的に設計するための方法論及び支援システムを構築することである。その方法として、様々な事業分野において共通して生起するエコビジネス構築の障害や、それらに共通する問題構造、解決方法を「パターン」として整理し、パターンおよびパターンの使い方を様々な関係者間で「言語」のように共有することで、エコビジネスを協調して設計できるようにする「パターン言語」という考え方を採用する。

本年度は、昨年度までに開発したパターン言語および、ビジネスの「外部性」を表現するための3種類のアスペクトモデル（ステークホルダネットワークモデル、因果ループモデル、ロジックツリーモデル）を用いて、小型家電リサイクルを対象に設計ワークショップを実施し、各モデルの有効性と適用範囲を明らかにするとともに、これらを統合して活用する上で問題点の抽出を行った。各モデルはエコビジネスのルールとして表現される特定のパターンを適切に表現可能であること、これらを組み合わせることで23個のエコビジネスルールを網羅できることから、パターン言語を用いて（23個のルールの組み合わせとして）生成されるビジネスアイデアはこれら3種類のモデルを適宜活用することで評価、検証することが可能であることを確認した。また、ルール間の関係、即ちパターン言語の文法構造を用いることで、アイデアの発散を抑制しつつ有望なビジネスアイデアを生成しうることを確認した。今後は、複数モデル間の整合性管理を、計算機を用いて行う手法を開発し、本設計手法の高度化を行う予定である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 エコビジネス、設計支援、事例ベース推論、パターン言語

【研究題目】 配向酸化物薄膜／構造体の高オンデマンド作製手法の開発

【研究代表者】 中島 智彦（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】 中島 智彦（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

化学溶液法と光照射を用いた高オンデマンドプロセス（光MOD法）で様々な基板上に種々の酸化物材料を配向成長させる新規手法の開発に取り組む。配向成長による酸化物薄膜/構造体材料の電気伝導性・誘電特性の大幅な向上を目指し、配向成長させた半導体光電極の特性向上など、配向シード層の新たな用途探索も含めた研究展開を行う。

研究計画：

1. ペロブスカイト型酸化物シード層の高機能化のため a)表面平滑化、b)面内粒子サイズ増大を目指した製膜条件最適化を行い、伝導体・誘電体膜を上部に形成してその効果を評価する。2. 多様な配向シード層の開発：2次元性固体中心にシード層候補物質を探索する。3. 配向光電極の形成について、単結晶基板及び得られる配向シード層を用いて配向特性と光電極特性の相関を検討し光電極特性の向上を図る。

研究進捗状況：

ペロブスカイト型酸化物以外の酸化物の配向成長についての検討を行い、ヘキサゴナルアルカリ金属タングステン酸化物の  $m$  面がペロブスカイト配向膜上に一軸配向成長することを見出した。さらにペロブスカイト配向グレイン上にヘテロエピタキシャル成長したアルカリ金属タングステン酸化物薄膜で形成されたヘテロ界面形成によって疑似太陽光照射下における光電極水分解反応の反応効率が無配向状態と比して9.4倍向上することを見出し、本研究によって作製した無配向基板の配向膜／配向ヘテロ界面によって光電極特性を大幅に向上させられることを明らかにした。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 薄膜成長、配向制御、セラミックス、ペロブスカイト型酸化物、導電体、光電極

【研究題目】 リン酸塩ガラス電解質燃料電池の高性能化開発

【研究代表者】 鷺見 裕史（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】 鷺見 裕史（常勤職員1名）

【研究内容】

Pt 触媒使用量低減や加湿システム簡略化等の観点から、従来の固体高分子形燃料電池（PEFC）よりも高い150℃以上の中温で作動する燃料電池の開発が望まれている。本研究では、プロトン伝導性を示す無機リン酸塩ガラスに着目し、燃料電池電解質として用いた時の高性能化に向けた基礎的検討を行った。

リン酸塩ガラスの構造は添加元素によって変化する。30mol%BaO-70mol%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラス構造を固体 NMR で評価したところ、ガラスの基本骨格を形成する架橋酸素数2のメタリン酸構造 (Q<sup>2</sup>) の他、オルトリン酸構造 (Q<sup>0</sup>) やピロリン酸構造 (Q<sup>1</sup>) に起因するピークも観測されたが、ポリリン酸構造 (Q<sup>3</sup>) の割合も大きかった。30mol% ZnO-70mol%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラスでは Q<sup>3</sup>の割合が減少、Q<sup>0</sup>および Q<sup>1</sup>の割合が増加し、カールフィッシャー水分計にて評価した含水率は24.4mol%と、BaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラスの11.3mol%より大きかった。250℃での ZnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラスの導電率は1×10<sup>-3</sup>S/cm であり、BaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラスよりも2桁大きくなった。また、電極上に ZnO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ガラス電解質を形成する電解質膜・電極接合体(MEA)作製技術を確立し、200℃での出力密度が従来の0.2mW/cm<sup>2</sup>から1.2mW/cm<sup>2</sup>に向上した。今後は、更なる性能向上に向けたガラス合成条件の最適化や、MEA作製技術の改良等を行う。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 燃料電池、エネルギー効率化、電気化学、プロトン伝導、ガラス

[研究題目] 分子構造デザインによる非シリカ系ハイブリッドメソ多孔体の精密合成技術の開発

[研究代表者] 木村 辰雄 (先進製造プロセス研究部門)

[研究担当者] 木村 辰雄 (常勤職員1名)

[研究内容]

目標:

界面活性剤に Pluronic F127を使用し、メソポーラスホスホン酸アルミニウムの薄膜化を行った。触媒機能等を発現する有機官能基を導入するため、芳香族化合物を含む当該メソ多孔体薄膜の合成を中心に検討した。

ベンゼン架橋ホスホン酸を使用した合成では、透明前駆溶液の調製は可能であったが、高規則性メソ多孔体薄膜を得るには至らなかった。有機基をキシレンに変えると、ホスホン酸がエタノール/水混合溶媒に溶解しなくなり、前駆溶液の調製すら困難になった。以上から、出発原料及びその反応物(ホスホン酸アルミニウム種)の溶解性や AlCl<sub>3</sub>(アルミニウム源)との反応性の同時制御に向けて、ホスホン酸とそのエステルの中間状態を利用すれば最適前駆溶液が調製できるとの発想に至った。実際に、ベンゼン或いはキシレンを含むメソ多孔体薄膜の合成が可能であることを見出した。

各ホスホン酸エステルの酸処理条件を連続的に変化させて合成条件の最適化を行った。ベンゼンを含む場合には、ケージ状メソ孔の規則配列がメソ多孔体薄膜全体に観察(TEM)された。キシレンを含む場合は、均一メソ孔の規則配列までは観察できなかったが、薄膜化は可能であった。ただし、キシレン部位は耐熱性が高くなく、例えば、400℃焼成で分解されメソポーラス構造が崩壊

するので、触媒反応等に利用できる基本骨格として、今後は、ベンゼン架橋の化合物を中心に検討すると結論に至った。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 多孔体、メソポーラス、無機固体化学、ナノ機能材料

[研究題目] 切削力フィードバックによる能動切込制御型マイクロ・ナノ切削加工システムの実証研究

[研究代表者] 芦田 極 (先進製造プロセス研究部門)

[研究担当者] 芦田 極、小倉 一朗、エレラ・ヘルマン (常勤職員2名、他1名)

[研究内容]

柔軟カンチレバー工具による V 溝切削加工を行い、ガラスやシリコンなどの硬ぜい材料に対する基礎特性を評価した。工具と被削材の間をつなぐ機構に存在する弾性要素によって、硬ぜい材料の切削加工における延性モード切削の臨界切込み深さが大きくなり、破壊を伴わない V 溝切削が3ミクロン以上の切込み深さで可能である現象を見出した。その現象を合理的に説明するための基礎データを収集することを軸に、柔軟カンチレバー工具特有の変形挙動や加工力の分析法について検討を行った。カンチレバー形状および剛性の最適化を図るため、並行板ばねと静電容量型変位センサを用いたシステムに加えて、単一板ばねと光てこを用いたカンチレバーを試作し、切削方向および工具すくい角の変化に伴う切削分力の変化について検討した。また、剛体支持と柔軟カンチレバー工具との切削特性を比較し、工具剛性および装置を構成する要素に潜む弾性的挙動と臨界切込み深さの関係を実験的に調査した。これらの違いを視覚的に検証するために、材料の内部応力を可視化できるカメラを用いて切削加工実験を行った。工具ホルダ以外の部分の弾性要素も被削材内部に発生する最大切削力を左右する因子であり、機構設計においては弾性成分の配置を総合的に考慮した要素選定が重要であることが明らかになった。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] 切削加工、硬ぜい材料、延性モード加工

[研究題目] パイプを伝搬するガイド波のモード解析

[研究代表者] 佐藤 治道 (先進製造プロセス研究部門)

[研究担当者] 佐藤 治道、小木曾 久人 (常勤職員2名)

[研究内容]

パイプは生活インフラの中で広く使われている。それら安全性の確保や半導体や医薬品の性能や信頼性の向上と低価格化のためには非破壊検査や高精度な超音波流量計の開発が必要である。パイプの検査効率向上や超音波流量計の高精度化にはパイプを伝搬するガイド波の解析が必要である。本研究は、パイプを伝搬するガイド波の

モード解析を行うことを目的としている。これまでに、著者等は内部に流体を満たした固体パイプを伝搬するガイド波の解析解、実験、軸対称 FEM による解析および、それらを応用した超音波流量計の開発等を行ってきた。中性子源の非破壊検査のモデル化として、媒質に有限の減衰値が存在するときの解析解も得ている。一方、ガイド波の一種である表面波は媒質面に液体（水）が存在すると、漏えい弾性波として伝搬することが知られている。漏えい弾性波の速度分散は漏えいしない弾性波の速度分散から変化する。そのため非破壊検査には重要な情報となる。そこで、本年度はそれに取り組んだ。その結果、減衰が無いガイド波と減衰があるガイド波のモードは完全に分離し、減衰が無いガイド波は従来の解析結果と一致することと、減衰があるガイド波は実験では検出できないぐらいに減衰が大きいことが示された。解析結果の検証は実験で行った。超音波探触子を用いて超音波を送受信した結果にウェーブレット解析を用いて周波数と群速度を得て、解析結果と比較したところ、減衰が無いガイド波の結果と一致し、漏えいガイド波の存在は確認されなかった。よって、来年度以降のこの研究の遂行において、漏えいガイド波の解析は不要であるとの結論を得た。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 超音波、ガイド波、非破壊検査、流量

〔研究題目〕 マイクロ・マグネティックキャラクターゼーションによる高温劣化損傷機構の解明

〔研究代表者〕 鈴木 隆之（先進製造プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 鈴木 隆之（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高温機器の長期信頼性確保は重要な課題であり、その劣化損傷機構の解明が求められている。本研究では、マイクロ・マグネティックキャラクターゼーションを行い、高温劣化損傷の解明に取り組んだ。用いた材料は高クロム鋼であり、600°C大気中において種々の条件にて高温疲労試験を行った。マイクロ・マグネティックキャラクターゼーションには、交流式 B-H アナライザと単板磁気特性評価装置を組み合わせた微小領域 B-H 特性評価装置及び磁気力顕微鏡を用いた。高温疲労試験において、劣化損傷が進捗する高応力振幅の場合は、B-H 特性は劣化損傷とともに変化し、振幅比透磁率、残留磁化が低下した。また、微小き裂の発生、進展により最大磁束密度も低下した。一方、劣化損傷が進捗しない低応力振幅の場合は、B-H 特性はほとんど変化せず、振幅比透磁率、残留磁化、最大磁束密度もほぼ一定であった。また、磁気力顕微鏡を用いて磁区観察を行った結果、高応力振幅にて劣化損傷、微小き裂が生じた場合には、き裂近傍で磁区寸法が減少している個所もあることが確認された。今後さらにデータを蓄積していく必要はあるものの、高

温劣化損傷の B-H 特性評価、磁区形状評価等のマイクロ・マグネティックキャラクターゼーションを行うことにより、その劣化損傷機構を解明することが可能であることがわかった。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 高温疲労、磁気特性、マイクロ・マグネティックキャラクターゼーション

〔研究題目〕 正20面体クラスター構造を持つ水潤滑用低摩擦・低摩耗ホウ化物セラミックスの開発

〔研究代表者〕 村上 敬（先進製造プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 村上 敬、廣瀬 伸吾（常勤職員2名）

〔研究内容〕

油を使わないクリーンな水潤滑システムは最近水圧ポンプや食品機械などの分野で注目され、既に河川・ダム用水門扉用水圧ポンプや水圧制御弁、あるいは潜水調査船用海水ポンプのピストンシリンダなどに応用され始めている。現在水潤滑用しゅう動材料としては、主に  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、樹脂などが使用されている。しかし  $\text{Si}_3\text{N}_4$ （摩擦開始直後など）や  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は摩擦・摩耗が大きく、樹脂は硬度、耐摩耗性が劣る欠点がある。本研究では研究代表者らが以前水中で低摩擦・低摩耗であることを明らかにしていた  $\text{AlB}_{12}$ 、 $\text{SiB}_6$  セラミックスについて、さらに低摩擦・低摩耗化の検討を行い、各セラミックス中の酸化物などの不純物濃度を下げることにより、摩擦係数を従来の半分以下の0.1未満に抑えられることを明らかにした。また不純物濃度を下げた  $\text{AlB}_{12}$ 、 $\text{SiB}_6$  セラミックスは大気中無潤滑条件下でも0.1~0.2程度の低摩擦を示すことを明らかにした。摩耗痕の表面分析（XPS など）については、高真空中で行うと、確認しようとしている  $\text{H}_3\text{BO}_3$  が蒸発するなどして検出しにくいことが判明し、大気中で評価する方法を検討中である。コーティングについては RF イオンプレーティング法で検討し、 $\text{AlB}_{12}$  のコーティングまでには至らなかったが、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  では成功し、アルミニウム系セラミックス被膜作成への技術的指針を得ることができた。

〔分野名〕 ナノテクノロジー・材料・製造

〔キーワード〕 ホウ化物、水潤滑、粉末冶金、コーティング、摩擦、摩耗、トライボロジー

〔研究題目〕 燐光現象を利用した低温場の高速測定技術の構築とその光アニールプロセスへの応用

〔研究代表者〕 篠田 健太郎

（先進製造プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 篠田 健太郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

機能性酸化物の大気圧下での低温製膜の実現に向けて期待されている塗布照射法では、紫外パルスレーザー



照射時の光結晶成長機構の解明が重要であり、高速温度測定による光-熱反応の定量化が求められてきた。初年度である本年度は、従来の高速温度測定に実績のある熱放射光を利用した温度計測法を精緻化することにより、放射測温における温度計測下限値を見積もるとともに、温度校正がその成否の鍵となることから、温度校正方法の確立に向けて取り組んだ。具体的には、現有の放射光測定システムが直流信号に対応していないため、時定数を再検討し、測定が可能なように測定システムを改良した。さらに、簡易に温度校正が可能なよう、管状炉とラックを組み合わせた可動式の校正炉を構築し、頻度高く温度校正が行える体制を整えた。この校正炉を市販の放射温度計と開発した放射光測定システムによって計測することによってその互換性をとった。その結果、計測下限として1,100K程度まで測れていることが明らかになり、これは過去のITOの冷却曲線から推定した計測下限と良い一致を示していた。また、これまでは単色の放射温度計であったが、二色に分光することによって、二色温度計の原理により、温度計測を行い、これまでの測定条件においては、単色の温度計測の結果が妥当であることを確かめた。一方で、スズ酸化物を用いて計測した例において、単色放射温度計では説明のつかない現象が観察された。蛍光現象が影響していると考えられるが、より精査が必要である。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 塗布光照射法、ELAMOD、その場計測、エキシマレーザー、酸化物薄膜、プロセスモニタリング、透明導電膜、ペロブスカイト酸化物

【研究題目】 数値計算と定性推論を融合したモデルベース設計検証理論の研究

【研究代表者】 高本 仁志 (先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 高本 仁志 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、数値解析と定性推論両手法を融合したモデルベース設計検証理論を構築し、既存の数式処理・数値計算ソフトウェアにはない独創的なモデルベース開発支援システムの開発を目的とするものである。平成26年度(プロジェクト1年目)は、本研究の為の実験環境の構築を行い、設計工学におけるモデリング論と数式処理・数値解析技術を融合した設計支援技術を提案した。この技術の要素を説明する最新の成果を取りまとめ、設計工学分野の査読付き国際論文誌にて2報(CIRP Ann-Manuf Techn 63(1) pp.193-196.および Procedia CIRP, 12-(1) pp.40-45.) 発表した。また、設計工学分野の国際会議(第24回 CIRP Design Conference、第64回 CIRP General Assembly、Design Engineering Work Shop 2014)にて、本研究に関連する口頭発表を行った。

2年計画の1年目は、本研究の実験環境と実験モデル

の構築を行い、1年目終了時の目標は申請書での予定通りに十分に達成した。提案者が研究開始時に保持していた計算機環境(ハードウェア・プログラム共に)を効果的に用いること、また、欧米の大学・研究機関が行う最先端の非因果モデリング技術を取り入れることにより、製品モデリング技術と数式処理・数値解析技術を統合して使用できる実験環境を速やかに開発できた。実験モデルは自動車全体設計用のドライブラインモデルを標準ライブラリに準拠する要素群を組み合わせ、独自開発することで、モデルの構築に係る時間・費用を低減することができた。また、研究実績の概要(別項記載)の通り、設計工学分野の国際論文誌や国際会議を通じて、本研究の目的が1年目として十分に達成できたことを示した。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 システムシミュレーション、定性推論

【研究題目】 ナノストライプパターンニングによる薄膜流体潤滑技術の高度化に関する研究

【研究代表者】 三宅 晃司 (先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 三宅 晃司、中野 美紀

(常勤職員2名)

【研究内容】

ナノ領域での摩擦では、表面の化学組成・表面エネルギー、原子・分子の配列などが摩擦に影響することが知られている。これらナノ領域での摩擦特性を生かす表面としては、ナノレベルの凹凸構造を持ち、さらに異種材料が交互に存在する表面が理想的であるといえる。ナノストライプ構造は表面エネルギーの異なる領域がナノサイズで交互に配列した凹凸パターンを有しており、ナノ領域での摩擦特性を生かす表面として活用できると期待される。本研究では、ナノストライプ構造特有の摩擦制御因子の洗い出しを行い、要求される摩擦特性に応じた表面修飾ナノパターン構造の設計指針を提案することを目的とする。

本年度は、金と鉄からなるナノストライプ構造を対象として、表面ナノ構造と材料特性が凝着力、摩擦特性に与える影響について検討を行った。相対湿度10%から80%まで、10%刻みの湿度制御を行い、凝着力、摩擦力の湿度依存性を求めた。比較のため金および鉄の平滑基板を対象に同様の実験を行った。その結果、金平滑表面の場合には湿度変化により表面に水の吸着層が形成され、凝着力および摩擦力に影響を及ぼしていると考えられる結果が得られた。鉄の場合には、湿度を変化させても、凝着力、摩擦力はほとんど変化しなかった。ナノストライプの場合には、湿度変化によって金の凝着力は変化しない等、平滑表面で得られたマクロな表面エネルギーでは議論しきれないナノストライプ構造特有の摩擦特性を示す可能性が示された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ナノストライプ、凝着力、摩擦力、表面

エネルギー

【研究題目】多面体幾何学にもとづく球面駆動システムの研究

【研究代表者】笠島 永吉（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】笠島 永吉、矢野 智昭、徳野 木綿子（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

試作した多面体にもとづく球面駆動システムにおいて、駆動用のコイルに鉄心入りの電磁石を用いた場合において発生するコギングトルクおよびトルクの非線形性を解消する方法を考案した。この方法に基づいて6-8球面モータにおいてロータのフィードバック位置決め制御を行う実験に成功した。また、磁極および電磁石配置の全く異なる14-12球面モータを用いた場合においても、コギングトルクによる影響を廃しながら設定通りの軸周りに回転できることを実験により確認した。

ロータの姿勢検出においては、ホール素子を多数配置したセンサについて、これまでは磁極までの距離と電磁場の強さの関係を用いて、平面近似により磁極位置を検出していたが、球面モデルを用いて厳密に位置検出する手法を考案し、予備実験において正常に機能することが確認できた。

また、ロータ表面に識別マーク添付し CCD カメラで撮像して、画像上の識別マークの位置と傾きからロータの絶対姿勢を求めるシステムにおいて、マークの画像認識の時間とロータの回転速度を考慮することにより、有効なデータのみを利用するアルゴリズムを考案した。このアルゴリズムに基づいたシステムによる制御実験において、正確にフィードバック位置決めを行えることを確認した。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】多自由度アクチュエータ、球面エンコーダ、電磁モータ

【研究題目】傷形状の復元アルゴリズム統合による磁気計測探傷法の新展開

【研究代表者】笹本 明（先進製造プロセス研究部門）

【研究担当者】笹本 明（常勤職員1名）

【研究内容】

終了年度につき、全期間の研究内容を記す。空間2次元のラプラス方程式の解の解析的表現を得られる、解のポテンシャル濃度の境界積分での表現とその濃度を古典的な特異積分方程式論によって陽的に表現できる解法を海外研究者と探求した。具体的な問題として電位差法のポテンシャル問題を取り上げて、2次元の半無限空間表面に有限長さの垂直亀裂を有する場合と領域内部に亀裂を有する場合、それぞれの解の陽的表現を得た。これら解析解が得られる事によって、一部の問題に対しては逆解析が極めて単純簡明となることを示した。また亀裂先

端の両側にディリクレ値とノイマン値のそれぞれが、与えられた関数で定められる差を有するという境界条件のラプラス方程式の数学解析を実施し、従来は複雑な条件の下で存在が保証された報告に代えて、大幅に簡略化できた境界積分表現を得るとともに、解の可解性を証明した。これらとは別に、標準的な境界要素法に基づく3次元解析のコンピュータプログラムを作成した。高周波電源を用いて一様磁場を印加する渦電流探傷用磁束印加機構と3軸半導体磁気センサを用いた磁気計測プローブおよび専用アンプ回路を設計し製作した。このプローブで、表面に単一傷を有する鋼材平板を磁化し、その漏洩磁束を表面近傍で計測したところ、傷に平行方向、垂直報告そして表面法鉛直方向の2次元平面場のそれぞれが異なる特徴的な結果を得られた。この結果は今後、3次元磁場計測データの逆解析における、一つの基礎的知見になると考えられる。製作したプローブシステムは前述の通り漏洩磁束法および渦電流探傷法の双方の検査に利用可能であって、これにより半導体磁気センサを用いることによるプローブの共用可能性が示された。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】非破壊検査、磁気探傷、3次元磁場センシング、境界積分方程式

【研究題目】ポストゲノム解析による感染体-宿主ネットワーク

【研究代表者】夏目 徹（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】夏目 徹（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

生体を構成する個々の細胞には十数万種類のタンパク質が存在する。それらのタンパク質は、単独で機能するのではなく、常にグループ・組織を形成し、生体システムを構成する。ウイルスの感染・侵入から、感染性ゲノムの複製、ゲノム因子の翻訳と、ウイルス粒子へのパッケージング、そして放出に至るまで、そこには、多くの宿主因子間相互作用と、ウイルス因子間の相互作用、そして、宿主因子とウイルス因子との相互作用が存在し、大きな感染体-宿主ネットワークを形成している。

本研究では、網羅的でシステムティックな方法により、このような感染体・宿主ネットワークを捉え、ウイルスの複製と病原性発現機構の理解を深化させ、予防・治療薬の新規ターゲットを同定することを目的とする。

平成26年度は、これまでのウイルス因子と宿主因子のタンパク質間相互作用ネットワーク解析から明らかとなった新規相互作用因子について siRNA によるノックダウンを行いウイルス感染に対しての影響を検討した。その結果、ウイルスの複製や増殖に関わる因子であることが明らかとなった。さらに、ウイルス因子の NS1発現時のリン酸化変動解析および新規に構築したタンパク質翻訳量変動解析を実施し、それらの変動からパスウェ

イ解析を行った。その結果多くのパスウェイが抽出されたが、リン酸化および翻訳量変動解析で共通のパスウェイが抽出され新たなネットワークの存在が示唆された。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 タンパク質相互作用、LC-MSMS、NS1、リン酸化変動解析、翻訳量変動解析

【研究題目】 X線結晶構造解析・核磁気共鳴法の融合によるキナーゼ複合体の動的立体構造解析

【研究代表者】 竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 竹内 恒（常勤職員1名）

【研究内容】

MAPK p38はドッキング配列を有する MK2などの基質をリン酸化することで、各種のストレス下における細胞応答を担う。これまでの研究でドッキング相互作用が基質リン酸化部位とは離れた位置で結合親和性を担うことは明らかであったが、ドッキング相互作用により活性中心での反応複合体の形成が自発的に誘起されるのか否かは明らかでなかった。そこで溶液 NMR 法を用いて、ドッキング配列とリン酸化部位を含む MK2由来のモデル基質とリン酸化された活性化状態の p38との結合を立体構造的に解析した。その結果、ATP なしの条件では p38のドッキング部位のシグナルが顕著な化学シフト変化を示す一方、基質リン酸化部位周辺のシグナルはペプチド添加による影響を受けないことが判明した。このことは ATP なしの条件ではドッキング相互作用は起こっているものの、基質リン酸化部位は活性中心に結合せず反応複合体が形成されていないことを示している。一方、ATP 存在下で同様の実験を行うと、ドッキング部位のみならず基質リン酸化部位も化学シフト変化を示し、基質リン酸化部位は ATP 結合状態の p38の活性中心にのみ結合することが示された。よって、ドッキング相互作用は反応複合体の形成と等価ではなく、結合部位がより深い位置にある ATP の結合を優先させることで、反応複合体の形成効率を高めていると考えた。独自の研究で明らかにしていたドッキング相互作用による ATP 親和性、反応速度のアロステリックな増大と考え合わせると、ドッキング配列を含む基質は広い ATP 濃度で優先的かつ安定的にリン酸化されることになる。ストレス条件下では ATP 濃度が低下するなど生体分子の細胞内濃度大きく変化することが知られている。ドッキング配列によるアロステリックな活性増強は、ストレス刺激に伴い ATP 濃度の低下する条件においても、p38シグナリングを維持する巧妙な機構である。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 キナーゼ、立体構造、MAPK、アロステリック相互作用

【研究題目】 多剤耐性転写制御因子の動的薬剤認識と機能発現の NMR 解析

【研究代表者】 竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 竹内 恒（常勤職員1名）

【研究内容】

細胞内に侵入した様々な薬剤を多剤耐性転写制御因子（MDR-TR）が検知し、多剤排出ポンプの発現を亢進させるシステムは、有害薬物を排除するために原核生物からヒトまで広く保存された普遍的な細胞機構である。しかしながら、多様な薬剤に対するいわば非特異的な結合を MDR-TR が多剤排出ポンプの転写亢進という高次機能につなげる分子機構は明らかでない。申請者は、MDR-TR の分子内運動に着目し、核磁気共鳴法（NMR）法を用いた動的構造解析により「MDR-TR が多様な薬剤を動的に認識し、非特異的結合を特異的な細胞機能に変換する分子機構」明らかにする。このことにより、タンパク質分子が多様な外的摂動により新たな構造平衡に移行し、特定の機能に発揮する機構を解明する。

多剤大戦因子として padR ファミリーに属し、Lactococcus lactics の主要な多剤耐性機構を担う LmrR を対象とした。溶液 NMR を用いた運動性解析の結果、LmrR が非結合状態において、閉構造から開構造まで拾う構造平衡を示す一方、薬剤の結合に伴って、異なる度合いで系方向に構造平衡が傾くことが明らかとなった。すなわち LmrR は薬剤に合わせて柔軟に構造を変化させることで、様々な薬剤に対する結合を達成する。またメチル基緩和解析により変え鳥合前後での LmrR の内部運動性変化を比較すると、薬剤結合後はむしろ遠位での構造的柔軟性が向上しておりその度合いから導き出される構造エントロピーは分子全体では増大傾向にあった。このことは LmrR が運動性の再配分を行うことで、薬剤への結合強度を、構造エントロピーを介して向上させていることを示唆する。等温滴定型熱量計を用いた熱力学的解析を行った結果、LmrR の薬剤との結合がエントロピー駆動であり、NMR からの知見と合致した。また LmrR は DNA との結合に伴い、構造平衡を薬剤とは逆に傾かせる。この構造変化は LmrR を DNA と結合しにくい構造に傾かせ、結果、DNA 親和性の低下を誘起すると考えた。以上の知見は NMR を用いた動的構造解析から初めて明らかになったものであり、多剤耐性システムの制御に必要な示唆を与えるものである。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 多剤耐性、NMR、動的構造解析、構造エントロピー

【研究題目】 ナノチューブ内マイクロ環境を利用した分子進化工学の高度化に関する研究

【研究代表者】 久保 泰（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 久保 泰（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

試験管内分子進化（IVE）技術は、標的分子を特異的に認識する“selective binder”を取得する技術として1990年代より種々の手法が考案されてきた。今までに、天然のタンパク質 fibronectin、 $\alpha$  amylase、trypsin inhibitor、あるいは $\alpha$ ヘリックスや $\beta$ 構造を組み合わせた人工骨格などが、ランダム配列を担う分子骨格（scaffold）として用いられてきた。我々は、加速進化型ペプチドを鋳型として作製したランダムペプチドライブラリが、任意に設定した標的分子に対して親和性および特異性の高いペプチドを選択する格好の出発材料となることを既に証明した。加速進化型ペプチドの多くは、disulfide 結合を形成し、 $\beta$ 構造も含めてコンパクトで堅牢な構造をしている。そのため、当該技術において、タンパク質翻訳後の正常なリフォルディング・S-S 結合形成が重要な課題である。

そこで、有機ナノチューブがモノマー設計により制御したナノ環境を設定しうることに着目し、それを利用すればシャペロン様機能を発揮できる可能性を想定し、ペプチド合成過程にこれを適用して IVE の高度化を図る。

- (1) 加速進化型の生理活性ペプチドの中で、S-S 結合が3~4個ある生理活性ペプチドをモデルケースとして、種々の両親媒性分子の自己組織化で形成した有機ナノチューブゲルについて、還元・変性したペプチドをもとの生理活性のある形に再生するための至適条件を見出す。
- (2) 試験管内分子進化（IVE）法に沿って無細胞タンパク質翻訳系で上記のペプチドを合成し、第1段階で見出した有機ナノチューブとその至適反応条件で、本来の生理活性を示すか検証。
- (3) 実際の標的分子を設定し、上記の検証に用いた生理活性ペプチドの分子骨格を鋳型とするランダムペプチドライブラリから、この標的を特異的に認識するペプチドを有機ナノチューブ利用の IVE 法により取得する。ペプチドの親和性や選択性、また有機ナノチューブゲルにより高度化した IVE 法自体の有効性や迅速性などについて評価する。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 有機ナノチューブ、マイクロ環境、試験管内進化、リフォルディング、シャペロン

〔研究題目〕 レドックス・プロファイリングによる細胞内レドックス維持機構の定量解析手法の開発

〔研究代表者〕 新木 和孝（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 新木 和孝（常勤職員1名）

〔研究内容〕

酸化ストレスとも総称される、細胞内の酸化還元状態の変化が、肥満、糖尿病、がん、動脈硬化、神経変性疾患など数多くの疾患に関与していることが指摘されている。細胞内の酸化還元状態の情報を網羅性高く把握することが、細胞内の恒常性制御・維持機構の解明に大いに役立つものと考えられる。そのため本研究では、細胞内の酸化還元状態を定量化するための、汎用技術の構築を行うことを目標にした。酸化ストレス時、最も影響を受ける細胞の構成要素として、タンパク質のシステイン残基が考えられる。そこで本研究ではシステイン残基を具体的ターゲットとして、還元状態と酸化状態にあるシステイン残基を見分け、それらの存在量比を定量化する技術の開発を目指した。システイン残基の同定には、質量分析計を用いた解析手法を採用した。システイン残基の酸化状態と還元状態を見分けるため、まず、還元状態にあるフリーのシステインをチオール特異的な修飾剤でラベル化する。その上で、酸化型のシステインを還元し、フリーになったシステイン残基を、質量の異なるチオール特異的修飾剤でラベル化する。そして、これらのシステイン含有ペプチドを精製濃縮し、質量分析計測を行う。修飾試薬の質量差を見分けることで、それぞれのシステイン残基の酸化還元状態を追跡する。それぞれのペプチドのイオン強度等を比較することで、酸化・還元状態の量比を定量化することが可能になる。本研究期間中に、以上の技術をほぼ確立した。現在この系を用いて、培養細胞系において、細胞ストレスやノックダウン等により、どのような細胞内酸化還元状態の変化が見出されるのかを検証している。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 タンパク質、質量分析測定、相互作用解析、酸化還元、小胞体品質管理

〔研究題目〕 天然物を模したペプチドの大規模ライブラリーからのリガンド探索法の開発

〔研究代表者〕 川上 隆史（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 川上 隆史（常勤職員1名）

〔研究内容〕

Wnt シグナル伝達経路は、ヒトから線虫にいたる広く保存をされたシグナル伝達経路であり、形態形成や発生において重要な役割を果たしていることが知られている。更に、種々のヒト腫瘍において Wnt シグナル伝達経路の構成タンパク質である $\beta$ カテニンや Wnt シグナル伝達経路の負の制御因子 APC において、その変異が見い出され、Wnt シグナル伝達経路の異常が細胞のがん化に関与していることが明らかになってきている。変異の生じた $\beta$ カテニンは安定化して細胞内に蓄積し、核内に移行して TCF と複合体を形成し転写を活性化する。このような $\beta$ カテニン/TCF を介した転写の異常な活性化ががん化の一因になると考えられている。

本研究ではβカテニンが関わる Wnt シグナル伝達経路の生物学的な解析を目指し、再構築型無細胞翻訳系 (PURE システム) と mRNA ディスプレイ法を用いて、cDNA クローンと無細胞翻訳系により調製されたβカテニンを標的とする、天然物のような新規環状ペプチド化合物を数十兆種類の大規模コンビナトリアルライブラリーから同定することに成功した。またクリーンルーム内設置型・超高感度質量分析システムを用いたヒトプロテオミクス解析により、本環状ペプチドの標的βカテニンへの作用メカニズムに関する解析についても成功した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】PURE システム、mRNA ディスプレイ、ペプチド、質量分析システム、プロテオミクス

【研究題目】細胞内生体分子を標的とする大環状 N アルキルペプチドの高速試験管内分子進化

【研究代表者】川上 隆史 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】川上 隆史 (常勤職員1名)

【研究内容】

N アルキルアミノ酸はペプチドの分解酵素耐性だけでなく、細胞膜透過性も向上させる非常に有用な非天然アミノ酸である。これまでに大腸菌由来の再構築型無細胞翻訳系 (PURE システム) を用いて、様々な N アルキルアミノ酸 (N メチルアミノ酸や N アルキルグリシン) の翻訳伸長におけるペプチド鎖への導入を報告してきた。

環状 N アルキルアミノ酸は、ペプチドの構造剛直性、ペプチド分解酵素耐性、細胞膜透過性の全てを向上させる、薬剤ペプチドのビルディングブロックとして極めて有用な非天然アミノ酸である。

そこで本研究では、まず、PURE システムを用いて、22種類の環状 N アルキルアミノ酸の翻訳ペプチドへの導入について、同定と効率の評価を行い、リボソーム翻訳基質として有効な環状 N アルキルアミノ酸を見いだした。また、新規の翻訳伸長因子 elongation factor P (EF-P) を PURE システムに添加することにより N アルキルペプチドライブラリーの翻訳合成量を増加させることができると見いだした。更に、リボソーム翻訳反応後に生体直交性化学反応や酵素反応を用いることによって、直接的にはリボソーム翻訳ペプチドに導入することができない様々な荷電 N アルキルアミノ酸を、効率的に翻訳ペプチド内に構築することに成功した。

更に、40種類以上の大腸菌由来の tRNA を調製して N アルキルアミノ酸を連結し、PURE システムに加えてモデルペプチドの翻訳合成を行なった。その結果、大腸菌由来の tRNA<sup>Glu</sup> あるいは tRNA<sup>Asp</sup> を用いることによって、様々な N アルキルアミノ酸 (N メチルバリ

ン、N メチルロイシン、N メチルイソロイシン、N メチルトリプトファン、N メチルシクロヘキシルアラニン、N メチルフェニルグリシンなど) の翻訳ペプチドへの導入効率を向上させることができること、N アルキルアミノ酸の重合効率 (連続導入効率) を向上させることができること、N アルキルペプチドの mRNA ディスプレイ効率を向上させることも見いだした。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】PURE システム、elongation factor P (EF-P)、環状 N アルキルアミノ酸、荷電 N アルキルアミノ酸、N アルキルペプチド

【研究題目】シリア・中心体系による生体情報フローの制御

【研究代表者】五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】五島 直樹、鍵和田 晴美、福田 枝里子 (常勤職員3名)

【研究内容】

計画班としてシリア・中心体系による生体情報フローの制御の解明に参加している。シリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題であるが、現時点ではその詳細は不明である。多細胞生物において、細胞は、内部環境 (中心体など) から発生する情報と一次シリアや細胞間接着装置などを介して得た外部環境からの情報を統合して、その細胞周期チェックポイントを制御し、秩序だった増殖と分化を行い、巧みに組織や器官を形成・維持していると考えられる。特に、組織幹細胞において、このシリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題であるが、現時点ではその詳細は不明である。我々の網羅的なヒト蛋白質発現リソース、発現蛋白質、細胞内局在情報を本領域の各チームと協力して活用し、プロテオミクスサポートセンターとして有機的連携を図り、研究を円滑に進める。

シリア・中心体系の制御に重要なトリコプレインの分解制御を明らかにするため、E3リガーゼを約1000種類搭載した E3リガーゼプロテインマイクロアレイを作製し、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群に対する E3リガーゼを結合特異性を基に探索した。また、約1000種類の E3リガーゼを蛋白質合成し、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群に対する結合特異性をビアコア A100を用いた SPR 法によって測定した。探索した E3リガーゼを細胞内で過剰発現および siRNA でのノックアウト実験を行い、トリコプレイン等の細胞内蓄積を調

べ、インビボにおける分解系としての検証を行い、KCTD17がユビキチンリガーゼとして働き、トリコプレインをユビキチン-プロテアソーム系で制御していることを明らかにした。

(1) 中心体・一次シリアからのシグナルによる細胞周期制御機構の解明：

我々が同定した一次シリア制御因子であるトリコプレイン及びその類縁蛋白質群の網羅的解析を通して、中心体・一次シリアによる細胞周期チェックポイント制御機構の解析している。これまでに、一次シリア形成が誘発される際に、トリコプレインがポリユビキチン化依存的に分解され、中心小体より消失することを見出した。ユビキチン化されないトリコプレイン変異体 (K50/57R) を発現する細胞や、プロテアソーム阻害剤を処理した細胞では、一次シリアが形成されないことから、ユビキチン・プロテアソーム系によるトリコプレインの分解が一次シリア形成に必要不可欠であることを証明した。さらに、研究分担者の五島と共同で、プロテインアレイと siRNA 法を組み合わせた網羅的な E3リガーゼスクリーニングを行い、トリコプレインをポリユビキチン化する E3リガーゼとして KCTD17を同定した。さらに、KCTD17を介したトリコプレインのポリユビキチン化は、プロテアソーム依存的な分解を引き起こすこと、さらに、この一連のシグナルが一次シリアの形成に必要不可欠であることも明らかにした。一方、トリコプレインのもつ TPHD ドメインを有する81分子について hTERT-RPE-1細胞において siRNA スクリーニングを行い、4分子が一次シリア形成を抑制することを見出し、それらの1つである Ndel1について詳細な検討を行っている。また、Aurora-A キナーゼと相互作用する分子の探索を行い、これらの中で Aurora-A の高い活性化能が認められた CCDC78に着目し、その機能解析を行っている。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] シリア・中心体系、トリコプレイン、E3リガーゼ、ユビキチン化、タンパク質分解

[研究題目] 中心体・一次シリアと細胞周期

[研究代表者] 五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

[研究担当者] 五島 直樹 (常勤職員1名)

[研究内容]

総括班として中心体・一次シリアと細胞周期について研究を推進している。中心体は、細胞分裂期において染色体の分離・分配を制御し、静止期にある細胞では一次シリアの基底小体として働くことが知られている。多細胞生物において、細胞は、内部環境 (中心体など) から発生する情報と一次シリアや細胞間接着装置などを介し

て得た外部環境からの情報を統合して、その細胞周期チェックポイントを制御し、秩序だった増殖と分化を行い、巧みに組織や器官を形成・維持していると考えられる。特に、組織幹細胞において、このシリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題であるが、現時点ではその詳細は不明である。本研究では、網羅的なヒト蛋白質発現リソースを構築し、インビボ及びインビトロでの蛋白質の発現および複合体形成の解析、網羅的な蛋白質の細胞内局在情報の解析を行い、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群と中心体構成蛋白質群のプロテオミクス研究を行う。

我々の構築した世界最大のヒト蛋白質発現リソース、ハイスループット蛋白質合成技術、プロテインアクティブアレイの特徴を生かし、プロテオームワイドなシリア-中心体系の解析研究を行った。シリア形成の制御に重要な機能を持つトリコプレインは、Trichohyalin/Plectin Homology Domain (TPHD) ドメインをもつことから、TPHD 様の構造を有する97個の蛋白質群を同定した。これら97個の TPHD 蛋白質を培養細胞で強制発現してそれらの局在を確認した。次に、これら候補蛋白質の siRNAi によるノックダウン実験を行い、シリア形成に関連する因子の特定を行った。これらの結果をまとめて論文発表を行った (Kasahara, K., et al., *Nature communications*, 2014) .

トリコプレイン類縁蛋白質の網羅的機能解析

(a) TPHD ドメインをもつ中心体局在蛋白質群の解析

今回、トリコプレインのもつ TPHD ドメインを有する81分子について hTERT-RPE-1細胞における siRNA スクリーニングを行った。その結果、4分子が一次シリア形成を抑制することが示唆された。それらの1つである Ndel1は中心体蛋白質で、神経発生や細胞分裂など様々な現象への関与が知られおり、Ndel1のノックアウトマウスは初期胚致死であることが報告されている。増殖中の RPE-1細胞において Ndel1を siRNA によりノックダウンしたところ、48時間後に約40%の細胞が一次シリアを形成し、G0期での細胞周期停止がみられた。IFT20とのダブルノックダウン実験により、この細胞増殖の停止は一次シリア依存的であることが示唆された。また、血清飢餓により一次シリアを形成し細胞増殖が停止した細胞に血清を加えたところ、Ndel1をノックダウンした細胞では細胞周期への再進入が見られなかった。Ndel1は中心体の sub-distal appendage に局在し、その局在は Odf2依存的であった。また、血清飢餓による一次シリア形成時には局在の変化は見られなかった。さらに共同研究者の A03計画班の広常 (阪市大) らにより、Ndel1の hypomorphic mutant マウスの腎臓では、生後0日齢

において尿管の一次シリアが野生型と比べ長く、若干の細胞増殖の低下がみられることが明らかとなった。以上より、Ndel1の欠損は一次シリアの形成を引き起こし、細胞増殖を阻害することが示唆された。Ndel1の中心体での機能をさらに明らかにするために、中心体構成タンパク質を搭載した中心体タンパク質アレイを作製し、解析を開始した。

(b) coiled-coil domain (CCD) をもつ中心体局在蛋白質群の解析

Aurora-A キナーゼは中心体に局在し、分裂期で多数の役割を果たす蛋白質である。また Aurora-A は種々のがんで過剰発現が報告されており、それを標的とした阻害剤の臨床研究 (Phase I, II) が進んでいる。Aurora-A の阻害は、がん細胞を細胞死に導くことは知られていたが、我々は正常細胞においては細胞周期の G0/G1での停止を誘導することを報告した (*J. Cell Biol.*, 2012)。このような背景から、我々は、Aurora-A キナーゼと相互作用する分子の探索を行った。そのために、coiled-coil domain (CCD) をもつ蛋白質に着目した。CCD は、蛋白質全体の3-5%を占められていると言われているが、中心体蛋白質に限るとそのうち60%が CCD を持つと言われている。CCD をもつ中心体局在蛋白質のうち Aurora-A キナーゼと相互作用する蛋白質をスクリーニングし、さらに Aurora-A の活性化を調べたところ、5つの候補蛋白質に絞ることができた。その中から、最も Aurora-A の活性化能が強い CCDC78に着目し機能解析を行った。正常に近い細胞である RPE1細胞を用いて CCDC78をノックダウンしたところ、Aurora-A ノックダウンでみられるような、細胞周期の停止はみられなかった。しかし、がん細胞である HeLa 細胞では、分裂期において Multi-polar を示すものが多く見られた。また、二重チミジン同調からのリリース後の CCDC78の経時的変化をみると、細胞周期を通じて存在はするものの、分裂期進入後の量の増加が認められた。また局在を観察したところ、紡錘体極上に染色像が得られ、中心体付近に存在し、分裂期に作用している可能性が示された。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 中心体、1次シリア、細胞周期、組織形成、器官形成、細胞間ネットワーク

[研究題目] バイオロジーにおける3D 活性サイト科学

[研究代表者] 久保 泰 (創薬分子プロファイリング研究センター)

[研究担当者] 久保 泰 (常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

近年、イオンチャネルや受容体などの膜タンパク質の結晶構造解析が急速に進み、標的分子の分子構造に基づ

く低分子化合物のドラッグデザインに有用な情報を提供している。これにより、「static (静的)」な情報は得られるが、リアルタイムで「動的 (dynamic)」な情報については得られていない。本研究では、膜系受容体に Diffracted X-ray Tracking (DXT) 法を適用してその分子動態を探り、動態制御による創薬という新しい創薬プラットフォーム確立に資することを目標とする。

分子レベルでの構造・活性相関について多くの研究蓄積があるニコチン性アセチルコリン受容体 (nAChR) を、受容体とリガンドの相互作用時における分子動態計測のモデルシステムとする。次の2種類のタンパク質を調製し比較解析する。(1) nAChR の細胞外領域と相同性の高いアセチルコリン結合タンパク質 (AChBP) について、基板への結合・配向条件や金ナノ結晶の結合場所の最適条件を決めるため、遺伝子工学的に種々の変異やタグを導入した AChBP を調製。(2) シビレエイの発電器官から完全な受容体チャネル構造を有する nAChR を含むリポソームを調製。それぞれを基板に固定し、また金ナノ結晶を付加し、リガンドとの相互作用を高輝度 X 線照射下でのラウエ斑点の動きを通して解析する。

両者はともにリガンド非存在下においても一定の揺らぎがあることが認められた。その動きはアセチルコリン投与により垂直対称軸 ( $\theta$ ) 方向および軸回転 ( $\chi$ ) 方向において促進される。さらにそれらの動きを詳細に調べると、 $\theta \rightarrow \chi \rightarrow \theta$  の少なくとも3段階の動きを伴っていることが判明した。また、 $\alpha$ -bungarotoxin 存在下では、 $\theta$  方向に比べて  $\chi$  方向の動きが顕著に阻止されることが明らかになった。

[分野名] ライフサイエンス

[キーワード] 1分子動態解析、ニコチン性アセチルコリン受容体、リガンド受容体チャネル、高輝度 X 線

[研究題目] ウイルス感染現象における宿主細胞コンピテンシーの分子基盤

[研究代表者] 夏目 徹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

[研究担当者] 夏目 徹 (常勤職員1名)

[研究内容]

本研究の目的は、病原性発現に帰結する宿主特異的なウイルス複製と細胞内防御メカニズムとの拮抗の分子基盤を理解することである。ウイルスは自然宿主の中では、感染現象と細胞内防御系を含む生命プロセスが折り合った状態であると考えられ、高い病原性は示さず感染サイクルを繰り返しながら存続する。一方、疾患に繋がる感染を起こす宿主では、この均衡がウイルス側に偏ることによって高い病原性が発現すると考えられる。本研究領域では、これらの結果に繋がる細胞の特性を「宿主細胞コンピテンシー」と言う概念で捉え、その特性の分子基盤を明らかにし、ウイルスが宿主を選択し、また宿主に適合した

メカニズムを明らかにする。

本研究組織は、7つの計画研究班と計画研究のすべての代表者および分担者で構成される総括班から成り、総括班は有機的な研究連携を促進するという重要な役割を持つ。

平成26年度は、得られた研究成果を共有するために定期的な領域会議を開催すると同時に、若手研究者の共同研究を推進するために感染研 GSC x 新学術領域感染コンピ 研究交流会および第11回ウイルス学キャンプを開催した。また、国際シンポジウム“Molecular basis of host cell competency in virus infection” 2014を開催した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 ウィルス、宿主、宿主細胞コンピテンシー、分子基盤

【研究題目】 エピジェネティックな遺伝子調節タンパク質に基づく発達障害疾患の創薬基盤の構築

【研究代表者】 福西 快文（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 福西 快文（常勤職員1名）

【研究内容】

自閉症などを中心とする発達障害は、これまで生きた状態での患者の脳を研究する手段が限られていたため、なかなか知見が得られなかった。しかし、近年の iPS 細胞技術により神経疾患であっても、患者の細胞から神経を iPS 細胞から作りだし、研究することが可能となり、いくつかの疾患関連タンパク質が見つかってきている。自閉症、レット症候群などでは、脳神経細胞におけるエピジェネティックな遺伝子調節タンパク質が疾患関連タンパク質だと言われている。これら疾患には、いくつかの DNA に結合する、ないし複合体を形成して DNA に結合するタンパク質が知られている。エピジェネティックな遺伝子調節タンパク質に関する、これまでの研究は、癌を中心に研究されてきており、これらのタンパク質への阻害剤は多くが強い副作用を持っており、そのままでは発達障害に用いることは難しい。また、経口投与可能であって脳・中枢神経へ医薬分子を到達させるには、血液・脳関門を通さないといけない、など多くの問題がある。

これらタンパク質の種類、患者より採取した細胞からの iPS 細胞誘導を山梨大学・久保田教授らのチームで行い、我々は、標的タンパク質の立体構造が既知であって Protein data bank に登録されているものを中心に、薬物候補の計算による探索、および、既存薬であって強い副作用から当該神経疾患に用いられない薬物分子の分子設計による改変を計算機上で行う。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 リード化合物、シミュレーション

【研究題目】 C型慢性肝炎治療成績の向上と肝発癌阻止を目指した分子基盤の確立

【研究代表者】 堀本 勝久（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 堀本 勝久（常勤職員1名）

【研究内容】

グラフィカルモデルに基づく統計的なネットワーク解析手法を肝硬変及び肝がん細胞において計測されたデータについて適用し、肝がん進展の要因となるネットワーク候補群を同定することで、疾患機序の解明のための実験支援を行うことを目的とした。そのために、グラフィカルモデルに基づくネットワーク推定法を肝がんについて計測されたデータに適用し、遺伝子間の関連性をグラフ表現する。既開発のグラフィカルモデルに基づくネットワーク推定法により、肝硬変及び肝がん細胞において計測されたデータに適用し進展要因遺伝子ネットワーク候補群を同定した。具体的な要因遺伝子ネットワーク候補の推定により、推定結果の実験的検証が可能となり、より具体的な実験支援が実現できた。

さらに、グラフィカル連鎖モデルに基づく統計的なネットワーク解析手法を、ネットワーク表現に部分について改良し、肝がん進展の要因となるネットワーク候補群を可視化することで、疾患機序の解明のための実験支援を実施した。

【分野名】 ライフサイエンス

【キーワード】 疾患ネットワーク、遺伝子発現制御、細胞状態変化

【研究題目】 ヒト由来膜タンパク質の NMR 構造解析に向けた基盤研究

【研究代表者】 竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】 竹内 恒（常勤職員1名）

【研究内容】

ミトコンドリアは、生体機能の維持に不可欠なエネルギー生産、代謝物の生合成を司る真核生物の細胞小器官である。この機能発現の中核を担うミトコンドリアトランスポーター (MTP) はミトコンドリア内膜に存在する膜蛋白質群で、様々な低分子代謝原料をミトコンドリアに供給するとともに、代謝産物を細胞質に輸送する。またヒト遺伝子中にある約50種の MTP のうち少なくとも13種が病態関連遺伝子であり、MTP の重要性は明らかである。本研究は MTP の発現精製系を確立し、立体構造を解析することにより、その輸送メカニズムを解明することを目的とする。これまでに、ヒトの疾患との関連が明らかな13種の MTP について発現系を構築し、発現、可溶化、精製の検討を行った。大腸菌における発現試みたところ、UCP1、ORC1、CAC、ODC (36K) と GC1 (38K) で良好な発現量が観察されたものの、発現した MTP はすべて不要性画分に移行し、様々な界面活



性剤をもちいた可溶化を検討したが、十分な効率での可溶化には成功していなかった。そこでメタノール資化酵母における発現を行った結果、UCP1, UCP3, CIC, AAC1, GC1, SLC25A38などが、予想された分子量かつ可溶画分に発現することが確認された。さらに WB にて特異的な検出を行った結果、これらが目的のタンパク質であることが確認された。次に1%の CAPS, Sarkosyl, ZW3-14, CTAB, Epigene BB,  $\beta$ NG, DDAO, CHAPS,  $\beta$ DM, Cholate, Sucrose monolaurate,  $\beta$ OG 等による可溶化の検討を行った。その結果、例えば UCP1では CATB,  $\beta$ NG 等が良好な結果を与えることが分かった。これらの結果を受けて本年度は、C 末端に位置する His\*6-tag を用いた精製を進めたが、どの可溶化条件においてもゲルの中にトラップされ、溶出ができないことが判明した。また膜画分を超速遠心で分離後、可溶化を行うなど、プロトコールの工夫を行ったが現在のところ良好な可溶化・精製条件を確立するに至っていない。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】膜タンパク質、タンパク質大量発現、ミトコンドリア、酵母

【研究題目】薄膜シリコン成長時の半導体特性評価法の開発と欠陥形成機構の解明

【研究代表者】布村 正太

(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当者】布村 正太 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、プラズマプロセス下における半導体薄膜の電気特性をその場で実時間評価する手法を開発し、薄膜成長時のキャリア輸送特性と欠陥形成のメカニズムを解明する研究を実施した。以下に得られた成果を記述する。

- 1) プラズマプロセス下において、半導体薄膜の光電流をその場で実時間測定する手法を開発した。本手法を、太陽電池用途の薄膜シリコンの成長プロセスに適用し、成長表面に欠陥の多い表面欠陥層 (20nm 以下) が存在することを見いだした。キャリアの輸送特性はこの表面欠陥層によって律速され、特に、成長初期の極薄膜で輸送特性が極めて低く、膜成長 (厚膜化) と共に輸送特性が改善することを明らかにした。また、成長直後の熱アニールにより、表面欠陥層は自己修復し、これに伴い輸送特性が大幅に向上することを見いだした。上述の実験を異なるアニール温度で行い、欠陥層の修復に要する活性化エネルギーが0.53eV 程度になることを示した。
- 2) 光学的ポンプ・プローブ法を用いて、プラズマプロセス下の半導体薄膜のトラップキャリア (トラップ電荷) を定量的に評価することに成功した。太陽電池用途の高品質な水素化アモルファスシリコンのトラップ電荷密度は、成長時に $10^{18}\text{cm}^{-3}$ 程度であり、成長後に

減少することを見いだした。また、薄膜の成長条件を変化させ、成膜温度が200°Cでトラップ密度が最小になること示した。

- 3) 薄膜シリコン太陽電池 (単接合、pin 構造) のデバイス特性とトラップ電荷密度との相関を詳細に調べた。トラップ電荷の増加に伴い発電効率が著しく低下することを検証した。発電効率の更なる向上には、トラップ密度を約 $10^{17}\text{cm}^{-3}$ 以下に低減し、キャリアの輸送特性を向上させる必要があることを明らかにした。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】太陽電池、半導体、診断技術、プラズマ

【研究題目】有機・無機半導体ヘテロ界面を利用した高密度メモリの実現

【研究代表者】西永 慈郎

(太陽光発電工学研究センター)

【研究担当者】西永 慈郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究の目的は、有機・無機半導体ヘテロ界面の結晶成長と新規物性探索、および、そのデバイス応用の提案である。構造対称性に優れ、炭素のみで形成されたフラーレン  $\text{C}_{60}$ 分子と、III-V 族化合物半導体である GaAs 結晶は、イオン半径が大きく異なるにも関わらず、GaAs 結晶成長中に  $\text{C}_{60}$ 分子を添加することで、結晶欠陥を発生させることなく、 $\text{C}_{60}$ 分子が添加される。 $\text{C}_{60}$ 分子の分子軌道は GaAs 結晶格子中であっても活性であることが電子エネルギー損失分光法により確認されており、 $\text{C}_{60}/\text{GaAs}$  ヘテロ界面は、有機・無機半導体ヘテロ界面の新規物性を評価するのに、優れた系である。

昨年度までの研究によって、 $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$  ヘテロ界面に形成される高移動度の2次元電子を、 $\text{C}_{60}$ 分子による電子トラップによって変調できることが明らかとなった。 $\text{C}_{60}$ 添加量および  $\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$  ヘテロ界面からの距離によって、電子濃度および移動度を変化させ、赤外光による励起によって、2次元電子の発生および消失に成功した。本年度はより基礎的な GaAs pin 接合を作製し、その i 層に  $\text{C}_{60}$ 分子を添加することで、どのような pn 接合が形成されるか、Capacitance-Voltage (CV) 測定および光電流スペクトルを計測することで評価を行った。分子線エピタキシー法により、GaAs pin 接合を作製し、i 層のみに  $\text{C}_{60}$ を添加した。CV 測定により空乏層が i 層と n 層の間に形成されることがわかった。これは  $\text{C}_{60}$ 電子トラップが負の空間電荷として機能し、正の空間電荷 (ドナーイオン) と共に、空乏層を形成することを示す。この空乏層は一般的な pn 接合と異なり、正孔を生成しない  $\text{C}_{60}$ 分子 (深いアクセプタ) によって形成されている。今後、CV 測定の周波数特性、および太陽電池特性によって、 $\text{C}_{60}$ 電子トラップの基礎的特性解明を図る。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] フラーレン、GaAs、結晶成長

[研究題目] ナノ炭素物質と無機半導体からなる複合構造におけるナノ界面物性の解明

[研究代表者] 岡田 晋 (筑波大学)

[研究担当者] 西永 慈郎 (太陽光発電工学研究センター) (常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

フルーレンと無機半導体複合構造中に形成される、ナノスケールかつ低次元界面の物性解明と、それに根ざした新奇機能ナノデバイスの物質設計を行うために、1) フラーレン添加 GaAs の合成、2) フラーレン添加 GaAs、Si の安定な界面構造探索、3) 有機・無機界面熱物性探索の予備知見の蓄積、4) 有機-無機ハイブリッド系の光物性の予備実験を行った。

1) フラーレン添加 GaAs の合成：フルーレン添加 GaAs 結晶成長とその物性評価を行った。AlGaAs/GaAs ヘテロ界面に形成される2次元電子ガス近傍に C<sub>60</sub>分子を添加したところ、C<sub>60</sub>分子によって電子がトラップされ、高抵抗となった。その後、赤外光を入射させると電子トラップから電子が励起され、高移動度の電子チャンネルが形成されることを見出した。この現象は on/off 比の高い光スイッチとして応用できる。

2) フラーレン添加 GaAs、Si の安定な界面構造探索：第一原理電子状態計算の手法を用いて、C<sub>60</sub>が添加されたバルク GaAs、バルクシリコンの構造と電子物性の探索を行った。その結果、界面において両者の電子状態が強く混成し非常に複雑な界面状態を形成することが明らかになった。

3) 有機・無機界面熱物性探索の予備知見の蓄積：有機・無機ハイブリッド系の熱物性の基礎データの収集のために、様々な無機材料の電気伝導、熱伝導、熱電変換のシミュレーションを実施し、ナノカーボン材料が熱電変換材料として有望であることを見出した。

4) 有機-無機ハイブリッド系の光物性の予備実験：有機-無機ハイブリッド系の光物性の開拓に向けて、様々な無機物質の顕微分光測定・時間分解測定を行った。その結果、ナノカーボン物質などにおいて、発光効率の大幅な向上などの知見を得た。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] ナノ炭素材料、ナノ界面物性

[研究題目] シリコン系ナノ結晶表面での多重励起子の生成

[研究代表者] ブラジミール シュブルチェック (太陽光発電工学研究センター)

[研究担当者] ブラジミール シュブルチェック、Lozach Mickael (常勤職員1名、他1名)

[研究内容]

量子閉じ込め効果を有するシリコン-スズ合金ナノ結晶 (SiSn-ncs) は次世代の太陽電池材料の候補の一つとして期待でき、その作製手法や物性評価、太陽電池特性について研究を行ってきた。今回は、太陽光スペクトルの吸収を大幅に増加させることを目的にシリコンよりも低いバンドギャップと直接遷移型光学吸収の性質を併せ持つ材料の開発を目指して SiSn-ncs の合成を行った。

SiSn-ncs は、液体媒質中に設置したアモルファス SiSn ターゲット (Sn 濃度：10%) に高密度プラズマを照射することで合成した。その結果、量子閉じ込め効果が期待できる粒径約4 nm のナノ結晶の合成に成功し、透過電子顕微鏡観察により結晶 SiSn の明瞭な原子配列を確認した。また、シンクロトロン放射施設を利用した X 線回折測定により、材料の光学吸収が直接遷移型となることが予測されている組成比 (Si<sub>0.88</sub>Sn<sub>0.12</sub>-ncs) が得られていることも確認した。光吸収スペクトルの評価からは、この材料の光学的なバンドギャップは0.81 eV であり、結晶シリコンよりも十分に低い値を得ることができた。また、ナノ結晶の表面の酸素濃度は十分低いことが赤外分光法により確認でき、これはデバイスの長期安定性を実現する上で重要である。

PTB7共役高分子材料と SiSn-ncs を組み合わせた有機-無機ハイブリッド層を光吸収層とした太陽電池を作製した結果、短絡電流密度を改善することができた。この電流の改善は太陽光スペクトルの長波長感度の増加に起因するもので、材料の低バンドギャップ化と直接遷移型化の効果によるものと考えている。また、バルクヘテロ接合構造の高品質化も行い、開放電圧の改善効果も得られている。これらの結果は SiSn-ncs の発電効果を初めて実証したものである。

[分野名] ナノテクノロジー・材料・製造

[キーワード] SiSn-ncs、ナノ結晶

[研究題目] スマートモビリティと環境固定センサ群の相互支援による走行時リスク検出法の開発

[研究代表者] 佐藤 雄隆 (知能システム研究部門)

[研究担当者] 佐藤 雄隆 (常勤職員1名)

[研究内容]

歩行者とも共存しながら移動する一人乗り移動機器において、車載センサと環境側に設置された固定センサ群の情報を自動的に協調・統合し用いることで、走行時のリスク検出を行う技術について研究を行う。これにより、精度良く、しかも移動機器から死角となる領域についてもリスク評価が可能になることを明らかにする。具体的には、1) 車載センサと環境固定センサ群が相互協調して移動機器の位置を精度良く推定し、その情報に基づき全センサの座標系を自動的に統合する技術に関する研究を行う、2) 統合されたセンサ群の情報からリスクを検出し、移動機器に対する自動減速・停止などの介入制御

や、ユーザへのリスク情報の提示を行う技術に関する研究を行う。

本年度は、我々の従来研究である車載センサによるリスク検出法をベースとし、統合された車載センサと環境固定センサの情報をを用いることにより、より高い精度で、しかも移動機器から死角となる領域についてもリスク評価が可能になることを確かめた。具体的には、見通しの悪い交差点を模擬した実験環境での歩行者の急な飛び出しに対して、移動体からの死角をカバーする環境固定センサの情報と車載センサの情報を統合してリスク評価することにより、衝突を未然に防ぐアルゴリズムを開発・実装し、評価実験を行った。また、更なる性能の向上を狙った（1）環境変動に対するロバスト性の更なる向上、（2）RGB-D センサの導入、に関する研究を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】スマートモビリティ、移動安全、アクティブセーフティ

【研究題目】モノアイの研究

【研究代表者】角 保志（知能システム研究部門）

【研究担当者】角 保志、金 奉根、田中 秀幸  
（常勤職員3名）

【研究内容】

本研究は、自律移動ロボットの画像情報に基づくナビゲーションに関する新しい方法論の提案を目標とする。これまで様々な形で蓄積されてきた画像処理プログラム資産を利用して、走行経路に最適なビジョンベーストナビゲーションシステムを自動構築する手法の確立を目指す。

本研究計画においては、自律移動ロボットが利用できる様々なランドマーク検出プログラムのソフトウェア構造を分析し、その共通 API を明らかにする。画像入力には、上下左右とズーム制御が可能なカメラ（モノアイ）を採用し、ランドマーク検出に基づく屋外・屋外環境で自律移動できる移動ロボットプラットフォームを開発する。また、環境構造化技術を積極的に利用し、マーカや標識などを利用する技術を追求する。さらに、ランドマークをシミュレートするための環境モデリングの研究と移動ロボットの経路計画に関する研究を実施する。

本研究では、環境構造化技術に基づくランドマーク検出、具体的には、高精度マーカの実現に関して想定以上に大きな成果が得られた。平成26年度は、これを利用して、屋内外ランドマーク検出プログラム共通 API を整備した。さらに、ランドマーク検出に基づくナビゲーションシステムを開発し、これを利用して移動ロボットプラットフォームによる自律移動実証実験を実施した。これにより、本手法の有効性を検証することができた。特に、高精度マーカをパンチルトカメラ（モノアイ）によって観測することで、移動ロボットの自律移動を非常に高い精度で制御することを実証することができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】移動ロボット、ランドマーク検出、ナビゲーション

【研究題目】作業プログラムの機能的構造を用いた自動チューニングに関する研究

【研究代表者】音田 弘（知能システム研究部門）

【研究担当者】音田 弘（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、知能ロボットの作業プログラムの自動チューニングについて、作業プログラムの意味的構造を元に自動チューニングを行う手法の基礎を確立することを目的としている。モジュール化された作業プログラムの個々の性能を考慮し全体の最適化を行うには、異なる条件下で作成されたモジュールを接続・比較可能とした上での評価法が必要となる。具体的には、認識・行動系の構造に基づく感度解析を元に、作業プログラムの仕様の実現度をシミュレーションで評価し自動チューニングを行う新しいチューニング手法を提案・開発し、その有効性を実験により実証する。本年度は、仕様レベルでの解析として、インタフェースの接続関係をコンポーネント間の接続を変更しながら上記のシミュレーションを元に解析を行った。ここでは伝播する成分の有無（接続関係）と型を考慮して、定量的な値については実装レベルでの解析で行った。実証実験における作業の実装レベルでの不確かさと性能の計測と解析は、実証実験環境において、作業の不確かさとパフォーマンスの理論値と実環境下での実測値を解析した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】知能ロボット、スキルトランスファー、自動チューニング、作業プログラミング

【研究題目】グラフオートマトン上の自己組織的な振動生成と構造遷移

【研究代表者】富田 康治（知能システム研究部門）

【研究担当者】富田 康治、黒河 治久、神村 明哉  
（常勤職員3名）

【研究内容】

グラフオートマトンは、構造を変化させるルールと、ルールの適用を制約する構造との間の相互作用を記述する数理モデルである。これは静的な格子構造の上での格子点における状態変化を扱うセルオートマトンを、動的なグラフ構造に拡張したものといえ、より豊かな表現力をもつ。この枠組み上の構造の生成とその解析に関する研究を進展させ、局所的に周期的動作する構造がグラフ上に分散し相互作用する系の自己組織過程を考え、動的な構造の自己組織化の研究に資することが本研究の目的である。

本年度は、各ノードに位相を導入して振動子として取扱い、各々が蔵本モデルに基づく相互作用を行う場合の

振る舞いについての検討を進めた。特に、周囲のノードが局所的に同期した時に限りグラフオートマトンのルールが実行されるというモデルを導入した。この時、各ノードの振動数がノードのグラフオートマトンの状態によって決定されると、状態とグラフ構造の間の自己組織化に加えて、位相と状態の間にも自己組織的關係が導入される。ただし、一部のグラフ領域に繰り返しルール適用が集中するのを避けるために、ルール実行後は、関与したノードにはランダムな位相を与えるものとした。以上のようなモデルに関して、梯子構造を結合した種々のグラフを初期構造とし、これを変形するルールの設計を行い、様々な位相パラメータに対してシミュレーションを行い、上記のような自己組織的振る舞いが現れるのを確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】自己組織化、振動子、グラフオートマトン、動的ネットワーク、複雑系

【研究題目】ベッド上空間スイッチによるロボットの作業指示

【研究代表者】脇田 優仁（知能システム研究部門）

【研究担当者】脇田 優仁、田中 秀幸（常勤職員2名）

【研究内容】

日常生活環境内での移動に障害のある患者等が、ベッド上においてユーザが望む対象物を簡単な指示で把持するロボットアームシステムの実現を目指し、電動車いす上のロボットアームと、ベッドのシーツを投影面とするプロジェクタ及び、ベッド上の手の位置のモニタリングのための3D スキャナの統合システムの構築を行った。シーツ上に投影されるロボットの作業環境のモニタリング画像及び様々なキャラクタ画像の上にユーザが手をかざすことで、作業指示のためのジェスチャとみなして、その指示に従って電動車いすの移動とロボットアームの操作を行う。ジェスチャとして、かざされた手の位置を3D スキャナで計測し、ユーザの意図を解釈するシステムを構成した。また、指示の手間を減らすため、把持対象物をコンテナに収納し、コンテナには2次元マーカを添付して作業対象の認識と把持の制御を本システムで自動化することとした。ロボットアームとして KINOVA 社製の JACO アームと3D スキャナとしてマイクロソフト社製の KINECT for Windows を用いてシステムを構成した。昨年度までに構成したシステムを統合し、介護ベッド上のシーツにロボットの作業環境のモニタリング画像を投影して操作画面として利用した。作業環境のモニタリングのためにロボットアームの手首部分と電動車いすの背もたれ上方に CCD カメラを装備した。ユーザが作業開始の合図としてシーツの上で手を振ると、KINECT がそれを検知してシステムの制御を開始し、ユーザは投影されている作業環境のシーツに投影されたモニタリング画像上で上下左右に手を動かすことで、当

該システムはロボットアームの作業環境中での上下左右の平行移動指令として解釈する。その際のロボットによる解釈のユーザ側の判断の手掛かりとして、手の形のキャラクタを投影画像内に表示した。手首カメラの画像内から2次元マーカを検出し、把持対象物の検出と把持の自動化を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】介護ロボット、マンマシンインタフェース、プロジェクション機能

【研究題目】ユーザビリティと高性能を両立するクラウド型リアルタイム画像解析処理ミドルウェア

【研究代表者】岩田 健司（知能システム研究部門）

【研究担当者】岩田 健司（常勤職員1名）

【研究内容】

Lavatube は、さまざまなアルゴリズムやパラメータを駆使した画像解析システムを容易に構築するためのミドルウェアである。Lavatube では様々な画像処理機能をアイコンで表示し、それらのアイコンを接続することで、画像処理のフローを記述する。作成したフローをその場で実行し、結果を表示し、パラメータ等処理の微調整が可能であることから、効率的な開発を支援する。リッチなユーザーインターフェースを提供しつつ、オーバヘッドが少なく、高速実行できることも特徴である。

さらにクラウドコンピューティングを活用した Lavatube 2では、ユーザーインターフェースは Web ブラウザで動作する Skylight、実行処理はクラウド側のサーバーで動作する Deepcave に分離し、豊富なコンピュータリソースによる高速処理とユーザビリティを両立確保している。

今年度は、クラウドで動作可能な Lavatube 2の改良と機能拡張を行い、実証実験を行った。リモートセンシングや一般物体認識への応用のため、各種機能の整備を行い、30以上の新たなワークパッチを開発した。開発した Laatube 2と、連携先の外部企業の GIS サービスと接続し、運用実験を行った。リモートセンシングにおける大規模な画像データを解析するシステムが、一連のサービスを連携して動作することを確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】画像処理、ミドルウェア

【研究題目】テンソル表現に基づくパターン識別法に関する研究

【研究代表者】小林 匠（知能システム研究部門）

【研究担当者】小林 匠（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、テンソルによって表現される特徴パターンの新たな識別方法に関するものである。

本年度はまず、これまでに開発した特徴行列マッピン

グ手法において、扱う特徴の形式を行列から高階テンソルへと拡張した。一般的に、画像や動画像から局所特徴ベクトルを抽出することで、得られる特徴形式は「特徴次元」×「物理座標次元」となる。つまり、画像では3次元、動画像では4次元の特徴テンソルが得られる。このような高階テンソル特徴を扱うために、提案マッチング手法で本質的役割を果たす物理的（滑らかさや局在性に関する）正則化項を高階テンソル形式に沿って定義し、これにより特徴テンソルに対するマッチング手法を定式化した。

次に、平成24年度に開発した特徴行列識別器の適用範囲を拡張した。ここでは、直接的に得られる特徴行列を扱うのではなく、特徴ベクトルやカーネル関数として得られるその他の一般的な特徴を行列形式に変形する。これにより、様々なタスクにおける識別器の学習を行列識別器最適化法の枠組みへと帰着させた。具体的には、複数種類のカーネル関数を統合するマルチカーネル学習や、多クラスかつ複数モダリティで得られる特徴ベクトル間の関係性を抽出するクロスモーダル学習の新たな定式化を得ることができた。これらは異なる目的・タスクにおける問題であるが、開発した特徴行列識別器の高速学習法を適用することで、統一的かつ効率的に最適化を行うことができる。さらにこれらの手法を、実データを用いた様々な認識課題に適用することで、その有効性を定量的に確かめた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】パターン識別、高階テンソル、特徴行列、行列識別器、部分マッチング

【研究題目】Beyond multi-contact planning

【研究代表者】Kheddar Abderrahmane  
(知能システム研究部門)

【研究担当者】Kheddar Abderrahmane、金広 文男、金子 健二、吉田 英一、Adrien Escande、Joris Vaillant、Stanislas Brossette、Tu-Hoa Pham  
(常勤職員3名、他5名)

【研究内容】

本研究では、仮想アバターやヒューマノイドロボットなど、多自由度を持つ動作主体の制御のための多点接触計画・制御 (Multi-Contact Planning) 手法の飛躍的な前進を目指す。複雑な環境下での動作生成を自動化する新機能を開発し、そのデモンストレーションを行う。当研究グループが世界をリードする当該分野での知見に基づき、新しい機能を構築するための基礎研究を推進する。具体的には、動的運動プリミティブ (Dynamic Motion Primitives) と機械学習を使用した接触探索手法の機能向上を目指すとともに、多点接触運動における人間動作の特徴量抽出により、複雑な人間動作の理解と多点接点計画における探索を効率化にも取り組む。平成

26年度は、まず多点接触状態間を遷移するための全身動作計画を半無限問題最適化として定式化し、一定時間区間における等式制約を満たすための手法を構築して、汎用目的画像処理装置 (GPGPU) 上で並列計算として実装した。また、接触力をパラメータとして多点接触動作の制約を記述する手法についても研究を進め、これらの力が付加されている時間にこれを定常的に満たす最適化問題として定式化する手法を導出した。さらに、変形する環境において移動する際の接触点位置の計画手法について研究を実施し、次年度以降の人間動作計測の準備を進めた。最後に、人間による監視下での多点接触動作にも取り組み、垂直梯子の昇降や多目的車両からの乗降車などの動作を実現した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマンモデル、多点接触動作、機械学習、ダイナミクス、最適化

【研究題目】情動の最適制御に向けて：緊張が運動に与える影響の計算モデルと神経機構

【研究代表者】Gowrishankar Ganesh  
(知能システム研究部門)

【研究担当者】Gowrishankar Ganesh、吉田 英一、春野 雅彦 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、緊張が、意識的な意思決定プロセス (行動選択) と無意識的な行動制御プロセス (行動実行) の干渉の結果として運動のパフォーマンスを変えるという仮説を検証する。具体的には、複数の被験者に対して、ボタン押しなどのタスクを実行する実験を阪大等との協力のもとに行い、脳活動イメージング (fMRI) や筋電 (EMG) を測定し、どのような脳内メカニズムで緊張が運動制御のパフォーマンスに影響するかを調べる。平成26年度は、外的な刺激が人動作の優劣に与える影響について検証するため、ボタン押しとダーツの2種類の実験を実施した。ボタン押しの実験は、10名の被験者に対して先導的な実験を実施した。解析の結果、信頼性の高い結果を得るためにはさらに多数の被験者実験の必要性が認識され、今後の MRI の実験計画についても検討を行った。ダーツの実験では、初心者の動作を観察すると、モデルによる身体動作の予測機能により上級者の動作も劣化という結果が得られた。この結果を IF のある論文誌 Scientific Reports 等で報告するとともに、このような現象を説明する理論の構築と、野球などその他のスポーツで緊張が身体動作制御に与える影響に関する実験の準備を開始した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】人間運動制御、情動、モータイメージ、意思決定

【研究題目】遠隔操作型ロボットの人間らしさの調節

### による発達障害児への対話支援法の探索

【研究代表者】松本 吉央（知能システム研究部門）

【研究担当者】松本 吉央、脇田 優仁、吉川 雄一郎  
（大阪大学）、熊崎 博一（福井大学）  
（常勤職員2名、他2名）

#### 【研究内容】

自閉症患者は、他人との対話を怖がったり、避けようとしたりする傾向が知られている。一方で、自閉症患者はロボットのような存在に対してはある程度の向社会的態度を示すことが分かってきた。そこで本研究では、研究代表者・分担者が開発してきた子ども型ロボットや人の外観に酷似したアンドロイド、すなわち異なる人間らしさを持つ複数の人型ロボットを用いて、シームレスに人間らしさを調節することのできるロボットの遠隔操作システムを開発し、自閉症患者の支援法を確立する。すなわち、自閉症患者が心地よくコミュニケーションできるロボットの「人間らしさ」を探索し、そこから徐々にその人間らしさを向上させていくことで、健常者とのコミュニケーションにつなげていくことを目的とする。

本年度は、自閉症児が心地よくコミュニケーションできるロボットがどのようなタイプであるか、およびロボットとのアイコンタクトや視線誘導が成立するかどうかを実験的に確かめた。その結果、自閉症児にとってアンドロイドは人よりもアイコンタクトを取りやすく、また視線誘導が起きやすいことが示唆された。また、このようにアンドロイドの視線誘導には反応し易いという傾向が、実験を繰り返し行うことによって汎化されるかについても実験を試みた。しかし、2日連続して行った実験においては初日と2日目ではほぼ同じ傾向が見られており、汎化を示すデータは得られなかった。今後は被験者数を増やしながら中長期の実験を行い、ロボットを用いることによる対話（特にアイコンタクト等の視線の振る舞い）に対する影響をより詳細に調べていく予定である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボット、遠隔操作、アンドロイド、ヒューマノイド、自閉症、コミュニケーション、対話

### 【研究題目】動作中の身体と装着物のインタラクションを再現するデジタルヒューマンモデル

【研究代表者】吉安 祐介（知能システム研究部門）

【研究担当者】吉安 祐介（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

動作に伴う衣服やアクセサリなどの装着物の運動を再現し、装着物と身体との接触状態および両者の変形挙動を把握することは、映画などの映像表現（VFX）の制作、スポーツウェアの設計、装着型福祉機器の開発やオンライン試着システムの開発等に非常に有用である。本研究では、動作中の身体と装着物のインタラクションを再現するデジタルヒューマンモデルを開発した。装着

物-身体表面間の接触解析の基礎をなす、3次元形状データベースを活用した体表変形モデルを構築した。変形モデルには、Pose Space Deformation (PSD) という事例に基づく変形モデルを用いた。この方法では、スキニングと呼ばれるCGキャラクターの変形手法で求めた変形結果を、あらかじめ構築した姿勢データベースの情報をを用いて修正することで、より現実に近い表面形状を出力できる。装着物は、バネマスモデルでモデリングした。接触判定にはKD木を用い、接触力の推定にはペナルティー法を用いた。開発したデジタルヒューマンモデルを用いて、装着物が身体表面に接触した際に生じる圧力分布を推定した結果、圧力分布推定値は実計測値と大まかにパターンが一致し、定性的に妥当性が確認できた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】デジタルヒューマン

### 【研究題目】検索をベースとした大規模ソフトウェアの変更解析に関する研究

【研究代表者】森 彰（知能システム研究部門）

【研究担当者】森 彰、泉田 大宗

（常勤職員1名、他1名）

#### 【研究内容】

本研究では、従来から研究を行ってきた木構造比較アルゴリズムを、構文解析木に適用して計算されるソースコードの変更情報を、漏らさずデータベースに格納することで、開発過程で行われたリファクタリングやバグ修正などの変更パターンを、簡単な検索問い合わせにより列挙可能にする技術を開発する。また、過去の変更パターンから将来必要になる変更を予測して提示する応用システムの開発を行い、Linuxカーネルを含む大規模プロジェクトを対象にした実証実験を通じて、開発技術の有効性を実証することになっている。本年度は、Linux 2.6カーネルのリリースバージョン22個とApache Antと呼ばれるオープンソースソフトウェアのリリースバージョン224個について、隣接バージョン間の差分計算を行い、解析結果をデータベース化した。Linuxカーネルについては、制御フローや関数ポインターを考慮した関数コールグラフの情報も格納し、全体で40億件を超えるデータを生成することに成功した。得られたデータベースに対するリファクタリングの変更パターン検索の実験を行ったところ、数百件にも昇るインスタンスを数秒で列挙するなど高い処理性能を達成することができた。目視により測定した検索の正解率は90パーセントを超え、高い精度も達成することができた。また、CとJavaという異なるプログラミング言語であっても、ほぼ同様の検索問い合わせ文を用いることができるなど、これまでにない高い有用性を示すことができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ソフトウェア変更解析、木差分計算、変更パターン検索

**〔研究題目〕 駆動源 HMM のトポロジ—自動生成を用いた病的音声の疾患検知**

〔研究代表者〕 佐宗 晃 (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 佐宗 晃 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

音声は最も重要なコミュニケーション手段であり、高齢者のみならず人が充実した社会生活を送るために欠かせない要素である。しかし、喉頭がんの進行により喉頭全摘手術を余儀なくされ、自分の声を失う高齢者は少なくない。高齢化が急速に進行している日本社会で、喉頭がんの初期症状の1つである嗄声を生じる声帯疾患を、早期発見する診断技術の研究開発が喫緊の課題となっている。本課題では、直接観測できない声帯音源を高精度に推定し声帯疾患を検知する音声分析法を確立する。そして、得られる音響的な特徴と各疾患や声質との対応関係を明らかにすることで、嗄声の特徴抽出や声質の客観評価、また喉頭疾患の検出や喉頭癌の識別・診断支援などの臨床場面に適用可能な音声分析手法の基盤技術を確立することを目標とする。本年度は、声帯に疾患のある病的音声と健常者音声を ARHMM で分析し、声帯音源モデルである HMM の出力分布の中で最大分散の出力分布を選び、残りの出力分布の分散をその最大分散で正規化することで得る正規化分散の分布を比較した。その結果、健常者音声から得た正規化分散は0に近い領域に分布するのに対し、病的音声のそれらは0から1の間で広範囲に分布する傾向がみられた。そして、この知見を利用して病的音声と健常者音声を識別する簡易アルゴリズムを構築し、予備実験を行った結果、80%以上の識別率が得られることを確認した。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 音声分析、AR-HMM、声帯疾患

**〔研究題目〕 サーバ通信を利用したカメラの自己位置配信と特徴点ベース地図の開発**

〔研究代表者〕 阪野 貴彦 (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 阪野 貴彦 (常勤職員1名)

**〔研究内容〕**

当該年度は、初期地図として対象市街地の基幹ルート の全方位画像を取得し、Structure from Motion の技法を用いて画像のみから3次元情報を取得する手法を開発した。

まず、つくばモビリティロボット特区において、長さ5km 程度の遊歩道を基幹ルートとして、高精細全方位カメラで動画像を取得した。全方位画像を2次元の従来型画像として扱うのではなく、球面画像として立体的な画素配列のグリッドを設定し、その球面上から直接抽出できる特徴点、特徴点記述子を考案した。本提案手法により、従来のように2次元に展開した画像から特徴点を抽出するよりも、視線移動に頑強な手法を開発することができた。

次に、この記述子を用いて、画像間のマッチングをとり、特徴点の3次元復元、カメラパスの復元を行った。画像枚数が増えたため計算時間の増大が予想されることから、高速処理手法を開発した。巨大行列の逆行列計算を高速化するため、小行列に分解し、それぞれに共役勾配法で求めた解を近似解として代用することで、精度低下を抑えたまま計算時間を90%以上削減することができた。

また、5km という大規模な範囲の3次元情報を復元するため、ところどころで取得した GPS 情報を利用し、カメラパスや3次元形状を修正する手法を開発した。解がローカルミニマムに陥るのを避けながら、カメラパスの湾曲や復元した3次元環境のスケール変動を解消できる手法を確立した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 全方位画像、3次元環境復元、特徴点記述子

**〔研究題目〕 車椅子型ロボットにおけるジェスチャーによる HMI の開発と評価**

〔研究代表者〕 橋本 尚久 (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 橋本 尚久、Boyalı Ali  
(常勤職員1名、他1名)

**〔研究内容〕**

超高齢社会においても、自由で快適な移動は欠かせないため、移動支援技術が注目されている。本研究は、自律移動可能な車椅子型ロボットにおけるヒューマンマシンインタフェース (HMI) において、ジェスチャーモーションを利用した HMI の開発を目的とし、一般環境下でもロバストな HMI の構築を目指す。

ジェスチャーモーションは、手の動きから意図を推定するものであり、様々な研究が行われている。しかし、ロボット乗車中のような対象者やセンサが揺れていて不安定な状況や、周囲の環境変化の激しい一般環境下での移動中においてロバストに推定できる手法は提案されていない。そこで本研究では、ロボットの運動モデル・制御情報を利用し、移動中においてもロバストな推定手法に必要なデータや最適な統合手法を明らかにする。実験では、一般環境下での実験が可能であるつくばロボット特区を活用した被験者実験により、提案手法の有効性を評価する。

平成26年度は、計画通り、つくばロボット特区内の実験環境において、複数人の被験者実験を行い、開発したモーション情報を利用した推定アルゴリズムの評価を行い、手法の有効性を確認した。これらの成果を国際学会で2件発表し、更なる追加実験結果を国際誌に投稿することができた。今後は、別センサでの本アルゴリズムの適用とさなる成果発表を行っていく予定である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 移動ロボット、ヒューマンマシンインタ

フェース

**【研究題目】ヒューマノイドの複雑動作生成のための効率的な数値解法の研究**

**【研究代表者】** 吉田 英一（知能システム研究部門）

**【研究担当者】** 吉田 英一、Adrien Escande  
（常勤職員1名、他1名）

**【研究内容】**

本研究では、ロボット、特に複雑な機構を持つヒューマノイドの動作生成を効率的に行うための数値最適化手法を明らかにすることを目的とする。平成26年度はまず、主要なテーマである非線形階層化2次計画法（HQP）において、非線形制約とそのためのソルバーについての研究を進めた。特に、制約間の干渉がある場合には最適化の収束が遅くなる問題があり、制約の2次微分に注目してソルバーを改良した。その結果、収束速度は劇的に改善された。また、制約間の干渉がある場合の計算停止条件についても、従来の手法が必ずしも正しい結果を返さないことがあるため、その考察を行った。非線形階層化最適化においては、優先度付きの制御手法と関係づけることができるが、その関係が崩れる理由について解析を行った。また、研究成果を発展させ、多様体上の最適化についても研究を開始し、非ユークリッド空間上の変数で動作する逐次2次計画法（SQP）を構築した。これを用いることで、パラメータ設定における特異点の問題を解決できるという基本的な知見を得た。さらに、実装面では多数の接触を伴うロボット動作軌道生成におけるパラメータ設定手法と、制御における力の利用方法を実装した。

**【分野名】** 情報通信・エレクトロニクス

**【キーワード】** 動作最適化、ヒューマノイド、2次計画法

**【研究題目】ヒューマノイドによる動作模擬に基づく人間動作解析と理解**

**【研究代表者】** 吉田 英一（知能システム研究部門）

**【研究担当者】** 吉田 英一、Jovana Jovic、  
Franck Philipp（常勤職員1名、他2名）

**【研究内容】**

本研究では、上記の課題を解決するため、大きく次の2つの課題(1) 人間やロボットの動力学特性を理解するためのより正確なパラメータ同定を階層的最適化手法により行う手法の構築、(2) ヒューマノイドに動作を移植するためのダイナミックな人間動作をより特徴的に記述するため、重心を特徴量として解析する手法の研究、を設定し、バイオメカニクス、ロボット工学、最適化などの理論を援用してその解決に取り組み、実際にロボットの実験なども行って検証した。平成26年度は、課題(1)では、力学パラメータ同定を制約付きの最適化問題としての定式化、逐次2次計画法により解を求める手法を導

出し、その有効性を、実際に人間とヒューマノイドロボットに適用して検証した。これまでのパラメータ同定の研究では、実際のロボット制御で使用する各リンクの質量や重心、慣性モーメントの形では出力されていなかった。そこで、これらの物理量が正であることや、ロボットの CAD モデルから計算される値を制約として組み込んだ階層化二次計画法を適用する手法を新たに構築した。これを実際の人間やロボットの力学パラメータの同定に適用して検証した。課題(2)においては、人間動作の重心の挙動に注目し、主成分分析（PCA）を用いて人間動作をより低次元の動作で表現する手法の構築を目指して研究を行った。ロボットや人間の関節角と重心との関係に注目し、全身運動を、（重心運動）＝（関節角の組み合わせによる運動記述部分）×（身体パラメータ記述部分）の形で記述できることを示した。この「関節角の組み合わせによる運動記述部分」に PCA を適用することで、原則的に少数の主成分の組み合わせで様々な運動を表現できることを示した。

**【分野名】** 情報通信・エレクトロニクス

**【キーワード】** 人間動作理解、ヒューマノイド、システム同定

**【研究題目】時空間最適化による人の身体力学系のバイオメカニカルコンピューティング**

**【研究代表者】** 鮎澤 光（知能システム研究部門）

**【研究担当者】** 鮎澤 光（常勤職員1名）

**【研究内容】**

本研究では、人体モデルのパラメータ同定・運動解析を同時に扱う時空間最適化問題を解き、物理的な整合性を確実に満たす人の身体力学系の解析手法を開発する。特に自由度の大きな人体モデルに適用させるため、人型ロボットの分野における動力学計算・運動計画法の計算技術を基盤とし、人・ロボット双方に適用できる高速な計算手法を開発する。

平成26年度は、人型ロボットのパラメータ同定問題を時空間最適化問題として拡張した。脚システム特有の運動方程式の特徴を用いた力学パラメータの同定法を基盤とし、モータ電流から求まる関節トルクの時系列データも参照しつつ、慣性パラメータに加えてアクチュエータや関節摩擦などの機械定数も同定した。また従来のロボットの運動計画問題を人の運動解析問題と融合させる時空間最適化問題の一般的な定式化を行った。本年度では、人の動作をロボットに再現させるリターゲッティング問題を例題として、人の観測された時系列データを最も再現し、かつロボットの幾何学的・力学的整合性を満たし、被験者の幾何パラメータおよび被験者・ロボットの双方の未知運動時系を同時に求める問題として定式化し、それを高速に解く手法を開発した。応用例として開発されたリターゲッティング技術は、バイオメカニクスにおける人動作特徴の復元評価も同時に行うため、人の



動作を忠実に再現させる用途において実用性が高く、本課題で開発してきた人型システムの時空間最適化の基礎理論の有用性を示すものである。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】人運動解析、ヒューマノイド、システム同定、最適化計算

【研究題目】超高速微細操作技術を用いた3次元細胞システム構築

【研究代表者】谷川 民生（知能システム研究部門）

【研究担当者】谷川 民生（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、マイクロ・ナノロボティクスを基盤として、*in vitro* 環境で機能する3次元細胞システムを構築する「バイオアセンブラ」の超高速計測操作手法と組織機能発現の原理を解明することを目標としている。その中で、複雑な形状の3次元細胞システムを成型し組み立てる「3次元細胞システム構築」として、超高速マイクロ・ナノロボット技術を用いて細胞を線・面・立体形状に形成し、積層・ロール・折りたたみなどの手法を適用して多様な3次元細胞システムを組み立て構築するための方法論を確立し、体系化することを目的としている。特に、高速操作においては、操作するマニピュレータの剛性が高い必要があり、高剛性を実現するために、従来利用していた低剛性のワイヤ型のジョイントでは実現が難しいことから、円弧ヒンジのみのパラレル型マニピュレータの機構設計を行ってきた。

本年度においては、昨年度、円弧ヒンジ等の剛性と作業領域拡大の最適化された機構の制御系を試作し、実際の高速操作を行うことで、有効性を確認した。また開発された高剛性のマイクロハンドについて、IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS (IF 6.5) の論文に採択され、対外的にも成果を認められている。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】マイクロマニピュレーション、再生医療、細胞操作、システム化

【研究題目】胎児・新生児シミュレーションに基づく初期発達原理とその障害の解明

【研究代表者】國吉 康夫（東京大学）

【研究担当者】長久保 晶彦（知能システム研究部門）  
（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、胎児期から乳児期までの連続的発達シミュレーションを構築し、環境条件を変化させつつ実験することで、発達の基本原理と発達障害のメカニズムを構成論的に解明し、これに基づく発達障害の包括的診断方法、支援法・支援技術の構築などに取り組むとともに、実験結果の定量比較や診断用定量指標のために、胎

児・新生児用の認知運動計測・解析の新技术を開発することで、胎児期から乳児期までの範囲を対象に、各種の知見を統合するモデルと定量化手法の提供を行うものである。26年度は、胎児発達のシミュレーション実験や各種の胎児・新生児の認知運動計測・解析などから構築されたモデルに基づいた環境や対人相互作用発達の実験精緻化を進めるための乳児型ロボットの運動系・感覚系の構築のため、従来のロボット機構で再現が難しい人体の微妙なネジレや柔軟性を有する運動機構を実現するフレキシブルな素材と硬質な素材を混載的に一体成形した構造物の3D プリンタによるプロトタイプ作成などを行った。また、皮膚感覚センサについても圧力感度を高めたり任意の特性マッピングを得ることを目的としたマトリクス状の突起からなるフレキシブルカバーシートの開発などを行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】認知発達、ロボティクス、皮膚感覚センサ

【研究題目】医療・介護・福祉の融合—現場発ヘルスサービスリサーチによる地域包括ケアの実現

【研究代表者】田宮 菜奈子（筑波大学）

【研究担当者】松本 吉央、麻生 英樹（知能システム研究部門）（常勤職員2名）

【研究内容】

当研究課題では、多角的な介護保険サービス評価の研究実績や学術的ネットワークを統合した現場発ヘルスサービスリサーチによって、医療・介護等の多職種連携機能を強化し円滑な地域包括ケアシステムを構築するという課題を解決することを目的とした研究を実施している。

平成26年度は、研究課題の参加機関である筑波大学、早稲田大学、国立社会保障・人口問題研究所等と連携して、厚生労働省より利用許可を得た全国の介護保険給付実績のデータ（匿名化された6年間の給付実績データ）を利用し、データを分析しやすい形に整形するとともに、必要なデータを抽出しやすいようにデータベース化した。

また、これにより介護保険サービス利用量の差異と関連する要因や、介護保険利用の効果の分析を実施するための情報処理基盤の整備を行った。また、データベースを用いて、全国データ（提供のない市町村約8%分を除く）について、サービス利用全体の平均利用点数に占める各サービス利用点数の割合を要介護度別、年齢階級別に求めたり、軽度要介護者の実態を性別・年齢別に分析し、それぞれの介護給付費実態調査データとの関連を分析した。また、平成18年度および21年度の介護報酬改定が介護報酬通所介護利用者数および他の在宅介護サービスの利用状況に与えた影響を分析した。

以上の分析を通して、全国規模の大量のデータを処理して、サービス種類別のサービス利用量の分析を効率的

に行えることを確認した。

〔分 野 名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 介護、介護レセプト、分析、ヘルスサー  
 ビスリサーチ、ビッグデータ

〔研究 題目〕 知能化センサネットワークによる障害・  
 高齢者の健康リスク管理技術の開発

〔研究代表者〕 井上 剛伸（国立障害者リハビリテーシ  
 ョンセンター）

〔研究担当者〕 児島 宏明（知能システム研究部門）  
 （常勤職員1名）

〔研究 内容〕

在宅の障害者・高齢者の健康リスクを管理するための  
 高度センシング技術とセンサネットワークシステムの構  
 築を目的として、国立障害者リハビリテーションセンタ  
 ーを代表に研究を行なっている。全体目標としては、障  
 害者・高齢者が直面する主要な健康リスクとして、褥瘡  
 リスク、温熱リスク、運動機能低下リスク（ロコモティ  
 ブシンドローム）を取り上げ、関連する物理量を継続的  
 に監視するセンサの要素技術を開発するとともに、セン  
 サ群からのマルチモーダル情報を収集・解釈して、検知  
 した健康リスクを可視化・周知・軽減する知能化センサ  
 ネットワークの構築を目指す。そのうち産総研では、マ  
 イクを用いた音響的センサ技術の開発を担当している。

本年度は、3年間のプロジェクトの最終年度として、  
 前年度に開発した足音から歩行状態を推定する手法を用  
 いて、精度の評価とシステムの実装を中心に実施した。  
 歩行イベントの判定に関して、モデル住宅で高齢者の模  
 擬生活行動を収録した際の足音を含む生活音を用いて評  
 価し、歩行の有無を85.9%の精度で識別できた。また、  
 歩行バランス（対称性）の判定に関して、歩行器系の障  
 害を模擬するために若年健常者の片足にアンクルウェイト  
 を装着して歩行した足音を収録して評価し、ウェイト  
 の有無を81.8%の精度で識別できた。このシステムの実  
 用性を高めるために、処理の効率化と小型化を進め、低  
 価格で低消費電力の組込用 CPU を使い、表示装置も含  
 めて名刺サイズの小型装置として実装した。さらにこれ  
 を、他の研究分担者が開発した各種センサとともに、共  
 通の知能化センサネットワークに接続し、それを通じて  
 センササーバにデータを集約して、計測結果や健康リス  
 クを利用者にわかりやすく提示できるようにした。この  
 システムをモデル住宅で実演するデモを行ない、それを  
 まとめた研究紹介ビデオを作成してプロジェクトを完了  
 した。

〔分 野 名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 音響センサ、ロコモティブシンドローム、  
 健康リスク、センサネットワーク

〔研究 題目〕 プログラム可能な紐結びシステムに関す  
 る研究

〔研究代表者〕 末廣 尚士（電気通信大学）  
 〔研究担当者〕 音田 弘（知能システム研究部門）  
 （常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究の目的は、種々の紐結びをプログラムで記述し  
 実行できるシステムを実現するための手法を開発し、そ  
 れを通して作業を実現するための動作制御を視覚などの  
 外界情報を利用して体系的に行うための方法論を確立す  
 ることにある。

このため本研究では、

- ・視覚と力覚による紐の形状・状態特徴量の抽出、
- ・形状・状態特徴量とロボット動作との関係の抽出およ  
 びそれに基づく動作制御、
- ・上記に基づく紐結びの各ステップに対応した動作プリ  
 ミティブ（スキル動作）の実装、
- ・スキル動作の組み合わせによる紐結び作業の実現を行  
 い、種々の紐結びをプログラムで記述し実行できるシ  
 ステムを構築する。

本研究において、研究分担者として下記を担当した。  
 紐結び作業では結び目のようなトポロジーのみを考慮し  
 た操作だけでなく紐の長さを調整したり、結び目の位置  
 を調整したりすることが必要となる。種々の実作業に現  
 れる紐結びには、結び目のトポロジーや交差のみを考慮  
 した操作だけでなく、紐の長さを調整して、結び目の位  
 置や大きさや形を調整したりすることが必要となる場面  
 が多々現れる。交差間のセグメントに関する計量に着目  
 したセグメントベースな紐の状態表現記述、それを用  
 いた紐の結び目の位置・長さ等の計量を考慮した紐結び  
 作業を実現した。計量を考慮した操作、すなわち、紐の  
 結び目の位置・紐の形状の一部をなすセグメントの長さ  
 の調整を可能とする基本動作（主動作、大局的調整動作、  
 局所的調整動作）と動作摂動法によるその実現を行い、  
 その有効性と限界を確認した。

〔分 野 名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 知能ロボット、スキルトランスファー、  
 作業教示、柔軟物操作

〔研究 題目〕 全身感覚運動情報の多相計測と能動再構  
 成に基づく身体性変化即応認知行動機能  
 の研究

〔研究代表者〕 國吉 康夫（東京大学）  
 〔研究担当者〕 長久保 晶彦（知能システム研究部門）  
 （常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究は、身体・環境の障害や道具使用等の際に即応  
 変化し、認知行動能力の適応・再利用を可能とする身体  
 図式の解明と構成を行うことで、状況変化に対する即応  
 能力の構成方法の基盤の構築を目的とし、従来の限定的  
 な感覚運動情報の解析ではなく、これまで進めてきた  
 全身感覚運動の計測技術とロボット技術を統合し、即時

適応する人間の多様な入出力計測とその能動的再構成に関する実験に基づく新たな身体図式モデルの構築を試みるものである。そのため、全身の多様な感覚運動を計測する全身多相感覚運動の計測装置の開発に向け、これまでに開発した全身触覚運動計測スーツや触覚グローブに基づき、触覚センサの薄型化や高度化、その他の各種センサとの情報統合に向けた技術開発を行う。26年度は、マトリクス状の電極群からなるベースシートと接触抵抗による圧力検知シートからなる薄型の触覚センサの開発について、素子間の電流混入による干渉問題などに関する性能向上を行うなど、身体表面に装着した際の触覚運動情報の高品質な計測ができるようにした。また、触覚センサや姿勢センサなど様々なセンサの混載が想定されるため、汎用的かつ容易にこれらのデータを集約するOS依存性が低いWeb技術に基づく手法の開発を進めた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】人間計測、触覚センサ、適応行動

【研究題目】視聴覚を利用した見まね学習によるアクティブな動的動作生成に関する研究

【研究代表者】池内 克史（東京大学）

【研究担当者】中岡 慎一郎（知能システム研究部門）、  
（常勤職員1名）

【研究内容】

本提案研究課題では、視覚・聴覚を利用した、アクティブかつ動的なロボットのための見まね学習の枠組みを構築することを目的とし、日本の伝統的な舞踊動作を対象として、視覚情報に基づく舞踊動作の本質的な構造の理解と、聴覚情報に基づく実行時に演奏される音楽リズムのリアルタイムな把握による、その場その場のリズム合った舞踊動作生成が可能な二足歩行ヒューマノイドロボットの実現を目指している。

本年度は、音楽テンポに合わせたロボット動作軌道の生成手法を東京大学と共同で開発し、この手法を用いて生成した動作のHRP-4Cロボット実機による実行を実現した。この手法では、予め舞踊の動作を解析し、上半身、下半身についてそれぞれ動作プリミティブの認識・パラメータ化（タスクモデル認識）をしておく。実行時に部分的にテンポが変わった場合、プリミティブのパラメータをテンポに合わせて動的に変化させ、これに合わせて動的バランスも調整する。この手法の検証のため、「どんぱん踊り」という舞踊の動作軌道を人の踊り手からキャプチャし、この動作軌道をHRP-4Cロボットに対して適用する実験を行った。この実験を通してロボット実機適用時の安定性に関わる改良を行い、実際に15%のテンポ変化を適用した舞踊のHRP-4C実機による実行を実現した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】二足歩行ヒューマノイドロボット、見ま

ね学習、動作軌道生成

【研究題目】潜在意味空間において感覚情報を言語化し言語的思考を行うロボットの実現

【研究代表者】小林 一郎（お茶の水女子大学）

【研究担当者】麻生 英樹（知能システム研究部門）、  
（常勤職員1名）

【研究内容】

社会が高齢化へと向かう中、日常生活を支援するロボットの必要性が高まっている。しかし、ユーザとロボットの間でのコミュニケーションが円滑ではないことが利用の妨げになっている。この課題を解決するため、本研究では、ロボットが人間の日常生活を観測して取得する高次元のマルチモーダルな時系列データを、潜在意味空間における処理を通じて統計的に言語化する手法を開発することに挑戦する。さらに、言語表現間の含意関係を認識する新たな手法を開発することにより、ロボットの認識と人の発話を柔軟に結びつけ、円滑なコミュニケーションを実現するための基盤技術を確認することを目指す。初年度である平成26年度には、1) 日常生活の高次元のマルチモーダル時系列データの収集と整理を行った。さらに、2) 過去に見たことのある動作の説明文を学習用データとして、初めて見る人間の動作を説明する文章を生成するための確率的言語モデルをzero-shot学習する手法の提案を行い、簡単な人の動作のデータに適用して提案した手法の有効性を検証した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】人間・ロボットコミュニケーション、自然言語理解、文章生成

【研究題目】人側／装置側の両者の力触覚機能向上による新しい医用力覚呈示システム

【研究代表者】栗田 雄一（広島大学）

【研究担当者】栗田 雄一、辻 敏夫、恵木 浩之（広島大学）、永田 和之（知能システム研究部門）（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

本研究の目的は、ハプティックレコーダの要素技術の一つである「力覚の拡張現実感提示」を腹腔鏡手術トレーニングなどの医療トレーニングに応用し、より現実感のあるトレーニング評価が行えるようにすることである。ハプティックレコーダとは記録・再生型の力覚提示デバイスのことで、力覚の拡張現実感提示とは、臓器を模した補助物体に力覚提示デバイスで実操作を加え、補助物体からの反力に力覚提示デバイスにより作られた仮想反力を重畳することで、模擬臓器上に仮想的な病変や複雑な脈管を作りユーザに提示するもので、世界に先駆けて産総研で提案され特許が成立している。今年度は、心電を元に仮想力を生成し心臓の模擬臓器に重ね合わせることで拍動の呈示を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】力覚の拡張現実感提示、腹腔鏡手術、医療トレーニング

【研究題目】直感的理解の容易さと合理的根拠を兼ね備えた医療の質評価内容の表現法および計算法

【研究代表者】高木 理（群馬大学）  
 【研究担当者】和泉 憲明（知能システム研究部門）  
 （常勤職員1名）

【研究内容】  
 一般に、医療・教育・行政などの公共サービスは、属人的要素も大きいサービスであり、サービスの質に関する記述を正確に表現・測定・計算することが難しいため、利用者が適切なサービスの選択に困難を有している。

本研究の目標は、医療サービスに関する質指標の定義と、その値の計算プロセスを対象として、医療者の言葉の問題、システム視点と医療視点のズレの問題、および、指標化の不統一性の3つの観点から、課題分析と問題解決を行うことである。そこで、一般の利用者による可読性を高めつつ、計算可能な表現法を確立させるために、従来の文章による分け方や1階述語論理に基づく集合による分け方によって質指標を構成するのではなく、サービス評価のための指標独特の構造と、医療指標に用いられる用語の定義部分との再帰的な組み合わせにより構成する。

ここでは、医療サービスの質指標定義を分かりやすく、かつ、医療データベースの検索クエリに直接変換できる程度に正確な記述が可能となる質指標表現システムを開発するとともに、このシステムにより、医療に関する専門知識の有無を問わない人でも質指標が設計可能になるように、支援方法論を検討した。そして、医療現場でのサービスのアセスメントに関する記述パターンを収集・分類し、医療サービスの質評価に関する概念階層（医療サービスアセスメントオントロジー）を構築した。さらに、構築した概念階層に基づいて、具体的な質指標評価のモデル構築を支援するプロセスを定義するとともに、支援プロセスをツール化し、質指標の開発フレームワークとしてとりまとめ、ツールなどの有用性から評価を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】公共サービス評価、サービス質指標、統合データベース

【研究題目】柔軟物連続操作のための視覚認識とアクションの双方向連動に関する研究

【研究代表者】喜多 泰代（知能システム研究部門）  
 【研究担当者】喜多 泰代、喜多 伸之、植芝 俊夫、金広 文男、森澤 光晴（常勤職員5名）

【研究内容】

本研究は、ロボットが衣類のように操作中に形が大きく変化する柔軟物を視覚的に認識しながら自然に扱うことを可能とし、将来的に、高齢者や要介護者の日常生活支援に役立てることを目指す。本研究期間内では、アクションと視覚認識の相互連動に着目し、柔軟物を確実に連続操作できる基盤技術の確立を目指す。

平成26年度は、前年度に構築した「任意の形状で置かれたトレーナを取り上げ、定められた形にたたむ」タスクを遂行する試行システムに、個別に開発した要素技術をすべて組み込み、複数衣類を用いてその性能を評価した。一例として、昨年度開発した、横軸を観測表面の測地距離（geodesic distance）とする奥行情報画像、EZ バッファ画像を用いた衣類状態推定法を組み入れることにより、これまで難しかった柔らかいトレーナの処理の安定性が増した。システム全体の性能としては、既存手法より少ない持ち替え動作数で目標状態を達成できることを示し、その成果を国際会議で報告した。また、並行して、将来的にロボット頭部に設置した広視野ステレオを用いることを目指し、近領域を観察する際に問題となる、左右カメラ投影画像間の大きな見えの違いに対処するため、探索する面パッチの方向性を考慮する手法を開発した。この手法を高性能広視野レンズの利用と組み合わせることにより、ステレオ計測手法が視野の全体において良好に機能し、その結果近接の大きな作業場が確保できることが実験により確認できた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】コンピュータビジョン、ロボット

【研究題目】対象物の柔軟性を考慮した組み立て作業計画

【研究代表者】原田 研介（知能システム研究部門）  
 【研究担当者】原田 研介、音田 弘、山野辺 夏樹、吉田 英一、永田 和之（常勤職員5名）

【研究内容】  
 柔軟性を有する部品の組み立て作業において、力・トルクセンサの値より、ロボットのエラー状態を推定するアルゴリズムを構築した。また、このアルゴリズムにおいて確率的に判定する手法を構築し、シミュレーションにより有効性を確認した。さらに、手法を計算速度や成功率の観点から評価した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス  
 【キーワード】組立作業、ロボット、柔軟性

【研究題目】生物的原油分解メタン生成ポテンシャルとメカニズムに着目した油層特性評価技術の開発

【研究代表者】坂田 将（地圏資源環境研究部門）  
 【研究担当者】坂田 将、玉木 秀幸、眞弓 大介（常勤職員3名）

【研究内容】

国内の異なる油層の原油分解メタン生成ポテンシャルに関連する現場情報を多角的な視点から収集した。具体的には、秋田県と山形県の油田の坑井から採取した油層試料（ガスと油層水と原油）の地球化学的分析を進め、原油分解活性の有無との関係を調査した。油層環境を模擬する高温高压培養実験によって原油分解メタン生成活性が検出された山形県の油田坑井の特徴として、ガス試料中の二酸化炭素、プロパン、ノルマルブタンが炭素-13に富んでいること、原油中のノルマルアルカン（ヘプタデカン、オクタデカン）の濃度がイソプレノイドアルカン（プリスタン、フィタン）の濃度に比べて低い傾向があることを見出した。これらは、生物的原油分解・メタン生成反応の進行を反映する化学的・同位体的特徴と考えることが可能であり、そのような原油生分解の地球化学的痕跡が、現在の油層中に生息する微生物の原油分解ポテンシャルの指標となり得ることが明らかとなった。

【分野名】地質

【キーワード】油田、微生物、原油分解メタン生成ポテンシャル、地球化学的痕跡、高温高压培養実験

【研究題目】環境微生物集団における未知微生物群の探索

【研究代表者】片山 泰樹（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】片山 泰樹（常勤職員1名）

【研究内容】

近年、大量塩基配列解読技術の普及によって、微生物の群集構造をより俯瞰的に把握することが可能となった。しかし、当該技術でさえ環境微生物群集構造の全体像、特に、相対量の少ない菌群を把握するには不十分であることが最新の研究動向から示唆された。本研究では、微生物集団に相対量の少ない、未だ見ぬ多様かつ新規な微生物群が存在するかどうかを明らかにする。活性汚泥を対象とし、優占微生物種を物理的に排除する試みを行った結果、優占種を40%程度排除することができた。残りの遺伝子配列は種多様性指数において、顕著な差が見られず、既知配列と大きく異なる微生物群は少なかった。活性汚泥以外の環境試料についても、稀少微生物群の系統的多様性が本件と同様な傾向を示すかどうかを調査する必要がある。

【分野名】地質

【キーワード】微生物群集構造、稀少微生物群、活性汚泥

【研究題目】重希土類資源として最適な難溶性鉱物の資源評価法の開発

【研究代表者】星野 美保子（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】星野 美保子（常勤職員1名）

【研究内容】

アルカリ火成岩に含まれるジルコンやユージアル石な

どの鉱物が、資源として重要な重希土類元素を多量に含有することは古くから知られていたが、風化や変質に強く分解しにくい鉱物であるため、これまで資源開発の対象になっていなかった。しかし、研究代表者らの最近の研究により、アルカリ火成作用に伴う熱水活動の過程で形成された HREE（重希土類元素）含有ジルコンは、結晶性が著しく低下しており、簡単な酸処理で HREE を抽出できることが判明した。そこで、本研究課題では、ジルコン以外の鉱物にもこの手法を適用し、HREE 資源として利用可能な難溶性鉱物の資源評価法を提案することを研究の目的とする。平成25年度は、Mendel 大学の Kynicky 准教授と共同で、モンゴル Khan Bogd アルカリ岩鉱床の共同研究を実施し、エルピダイト、ジルコンなどの難溶性鉱物の詳細な分布調査を行った。平成26年度は、Khan Bogd やほかの地域から採取されたエルピダイト、ジルコン、モサンドライト、ユージアル石、フェルグソン石に対して、EMPA と LA-ICPMS を用いた希土類の含有量の決定と塩酸を用いた HREE の抽出実験を行ったところ、ジルコンとフェルグソン石は、高濃度の HREE を含有しており、結晶性の低いこれらの鉱物からは、薄い酸を用いて、簡単に HREE を抽出できることが判明した。ジルコンとフェルグソン石以外の難溶性鉱物中の HREE 含有量は、かなり低いため、HREE 資源として有望な鉱物は、ジルコンとフェルグソン石であることが判明した。

【分野名】地質

【キーワード】重希土類資源、難溶性鉱物、資源評価

【研究題目】除染・帰還を見据えた地域別の放射性 Cs 流出特性評価とリスク管理戦略の構築

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、研究代表者らが開発した低濃度の水中の放射性セシウム（Cs）の迅速モニタリング方法を活用発展させ、土地利用・地域別の放射性 Cs の流出特性・長期挙動評価を行い、地域と連携して除染・帰還後の残存する放射性 Cs へのリスク管理戦略の構築を目指す融合研究である。本年度は以下の研究を行った。

1) 広域モニタリングと GIS 解析

5月、6月、7月、9月、12月に流域の土地利用割合および沈着量が異なる阿武隈川水系および浜通り河川の最大12地点において水中の放射性 Cs 濃度の測定を行った。更に得られた水中の溶存態／懸濁態放射性 Cs 濃度に対して、懸濁物質の放射性セシウム濃度、土地利用・放射性 Cs 沈着量の関係性について GIS を用いた解析を実施した。

2) 水田からの流出量の詳細評価と解析

水田からの代かき・中干し時期の放射性 Cs 流出量

の定量評価を行うため、6つの圃（ほ）場において代かき・中干し時期の排水の詳細サンプリングおよび流出量解析を行い、排水イベント時の水田からの放射性Csの流出負荷量をより詳細に調査した。さらに、水田からの排水イベント時の放射性Csの流出率を推定するモデルについての基礎的な検討を実施した。

### 3) 除染に伴う影響評価

除染が進行中の避難指示解除準備区域内において水中の放射性Csの定期採水および出水時期の集中サンプリングを行い、除染が水中の放射性Csの流出挙動に与える影響について基礎的なデータを取得した。

### 4) 除染等のリスク・コスト評価

除染に伴うコスト評価を目的として、複数の除染オプション（現状ケース、森林地域を全て除染するケース）のコスト評価を実施した。

【分野名】地質

【キーワード】放射性セシウム、水、モニタリング、流出特性、土地利用

【研究題目】地殻から上部マントル環境下におけるかんらん石の3価鉄の存在状態と存在領域の解明

【研究代表者】江島 輝美（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】江島 輝美（産総研特別研究員1名）

【研究内容】

近年、マントル構成鉱物におけるFeの酸化状態が注目されている（McCammion, 2006）。かんらん石構造中の3価の陽イオンの存在は欠陥構造を生じさせ、かんらん石の欠陥構造は、マントルにおける物質循環の要因ともなっているかんらん石の流動性に関係するため、マントル条件下でのかんらん石中の $Fe^{3+}$ の有無とその量は注目される。しかしながら、マントルにおけるかんらん石の $Fe^{3+}$ に関する研究は極めて少なく、高压条件下でのかんらん石における $Fe^{3+}$ の普遍性の解明は十分ではない。従って、本研究ではマントルにおける圧力条件が異なるゼノリス試料（レールズライト、スピネルレールズライト、沈積岩各種）中のかんらん石の $Fe^{3+}$ の存在の有無および存在状態を調べることによって、マントル条件下におけるかんらん石中の $Fe^{3+}$ の存在状態を解明し、かんらん石中の $Fe^{3+}$ の存在領域を推定することを目的とした。

本研究の結果、大陸側のマントルゼノリス中のかんらん石の全Feの3%が $Fe^{3+}$ であり、島弧側のマントルゼノリスのかんらん石は全Feの6%が $Fe^{3+}$ であることが明らかになった。この結果は、島弧側の上部マントルは大陸側よりも酸化的な環境にある可能性を示唆する。しかし、島弧側で採取されたレールズライトゼノリス試料は、交代変成作用の影響を受けており、さらに高温酸化の影響がみられるため、 $Fe^{3+}$ の量がマントルの値を示していない可能性も高い。一方、同じ地域より採取さ

れた他の沈積岩では、少量の $Fe^{3+}$ が検出されたものとされなかったものの2種類が確認された。これらの岩石には、顕著な酸化の影響は観察されなかった。従って、島弧側の酸化還元状態は不均質性があると考えられる。

【分野名】地質

【キーワード】マントルゼノリス、かんらん石、Feの酸化数、メスバウアー分光分析、高分解能透過型電子顕微鏡、モンゴル

【研究題目】CO<sub>2</sub>地中貯留と生物的原油分解メタン生成反応を両立する資源創成型 CCS 技術の開発

【研究代表者】眞弓 大介（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】眞弓 大介（常勤職員1名）

【研究内容】

枯渇油田を対象としたCO<sub>2</sub>地中貯留の影響を評価するため、国内油田の3カ所の生産井から油層水と原油を採取し、現場油層環境を模擬する高温高压培養実験とCCS後の高濃度CO<sub>2</sub>環境を模擬する高温高压培養実験を行った。その結果、ある1カ所の油田の現場油層環境の培養条件において生物的原油分解反応が観察された。一方、CCS環境を模擬する培養条件ではいずれの油田においても、培養15ヶ月で未だ原油分解反応は観察されていない。

一方で、原油分解のポテンシャルが存在しない油田に原油分解微生物コミュニティを添加するバイオオーグメンテーションに対して、CO<sub>2</sub>地中貯留の影響を評価するため、現在、上記の原油分解微生物コミュニティを用いた高CO<sub>2</sub>濃度の高压培養実験を実施している。

【分野名】地質

【キーワード】油田、油層内微生物、高压培養、原油分解メタン生成経路、遺伝子解析

【研究題目】CO<sub>2</sub>地中貯留におけるキャップロックの長期シール性能評価

【研究代表者】徂徠 正夫（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】徂徠 正夫（常勤職員1名）

【研究内容】

地球温暖化対策としてのCO<sub>2</sub>地中貯留技術では、CO<sub>2</sub>が地表に漏洩することなく安定に隔離され続けることが前提となる。このような地下のシール性能を決める要素の一つが、貯留層を覆う低浸透性岩石の浸透率と毛管圧（スレッシュホールド圧）である。これまで貯留サイトの岩石に対する浸透実験からこれらのパラメータの計測が行われてきたが、CO<sub>2</sub>が溶解した間隙水中で長期にわたる化学プロセスを経た後も、同様のシール性能が保証されるかどうかは確認されていなかった。そこで本研究では、岩石が反応する際のシール性能変化を定量的に評価することを目的とする。

本年度は、国内各地の露頭から採取された岩石のうち、

硬さおよび反応性の観点から、各2種類の泥岩（一志層群泥岩および五日町層群泥灰岩）と砂岩（灰爪層石灰質貝屑砂岩および大泊有孔虫砂岩）を選定した。これらの岩石を直径14 mm、高さ10 mm の円筒状に成形し、個々の岩石に対して複数の試料を作製した。次に、超臨界 CO<sub>2</sub>シール圧測定システムを用いて、それぞれの岩石のスレッシュホールド圧および浸透率の測定を行った。

反応前の初期状態としての浸透率は、最も低い泥灰岩で5 nD、最も高い石灰質貝屑砂岩で1 D と広範囲にわたり変化した。これに対応して、スレッシュホールド圧も10.8 MPa から7.5 kPa まで変化した。これらの結果から、浸透率とスレッシュホールド圧の間に相関性が認められる一方で、両パラメータは炭酸塩鉱物の含有量には依存しないことが明らかとなった。反応後のシール性能評価に関しては、最も炭酸塩含有量の多い砂岩および泥岩の各試料についての反応実験を実施中であり、反応が終了次第、両パラメータの測定を再度行う予定である。

【分野名】地質

【キーワード】CO<sub>2</sub> 地中貯留、キャップロック、シール性能、スレッシュホールド圧、地化学反応

【研究題目】粘土鉱物に吸着したセシウムイオンの構造解明と脱離法の探索

【研究代表者】森本 和也（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】森本 和也（常勤職員1名）

【研究内容】

福島第一原子力発電所事故により飛散した放射性物質による汚染土壌の処理が大きな課題となっている。汚染土壌からの放射性セシウムの脱離技術の探索を目的として、溶液化学的手法を用いたセシウムイオンの脱離・溶出挙動について検討を行った。

平成26年度は、福島県内の汚染土壌のサンプリングを実施し、放射能濃度の測定および含まれる放射性セシウムのイオン交換法による脱離・溶出試験を試行した。調査とサンプリングは福島県相馬郡飯舘村の農業用ため池において実施した。ため池底質のコア試料の採取を行い、ゲルマニウム半導体検出器による  $\gamma$  線スペクトロメトリ法による放射能濃度測定を行った。採取したため池底質試料を用いて、室内実験レベルでの放射性セシウムイオンの脱離試験を試みた。溶液化学的手法によるセシウムの脱離を試行し、脱離試薬には昨年度までの模擬実験において脱離効率の最も高かった硝酸マグネシウム水溶液を用いた。放射性セシウムを含有する底質試料に対して3.0 mol/L の硝酸マグネシウム水溶液を添加して振とうした後、固液分離して固相の放射能濃度測定を行った。その結果、脱離試験の前後における放射能濃度にはほとんど差は認められず、高濃度のマグネシウム水溶液を用いた場合でも、ため池底質に含まれる放射性セシウムの脱離反応はほとんど生じないことが明らかとなった。その要因としては、昨年度までに明らかにした粘土

鉱物に対するセシウムイオンの吸脱着反応が非平衡であるということに加え、汚染土壌に含まれる放射性セシウムが極低濃度であること、また原発事故後の時間経過によって放射性セシウムが土壌の粘土鉱物中のより安定な吸着サイトへ移行している可能性などが考えられた。

【分野名】地質

【キーワード】イオン交換反応、セシウムイオン、マグネシウムイオン、汚染土壌、粘土鉱物、除染

【研究題目】堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読

【研究代表者】安間 了（筑波大学）

【研究担当者】昆 慶明、高橋 学（地圏資源環境研究部門）、申 基澈（総合地球環境学研究所）、折橋 裕二（東京大学）（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

第四紀は人類紀ともよばれ、東アフリカで人類の祖先が誕生し拡散していく過程を考える上で、その時代を通しての環境変動を解き明かすことは最重要課題である。本研究では、新学術領域のフォーカスである古代西アジア文明の成立と変遷を考えるうえで、特に重要である第四紀完新世の環境変動を遺跡ごとに解き明かしていくことで、文明の変遷と地域環境変動のリンクを明らかにしていくことを目標とする。本研究では、遺跡近傍のため池や湖沼などから、第四紀堆積物の分布状況と積み重なり方を調べ、柱状試料を採取し、これに含まれる珪藻・花粉等の微化石、磁性、堆積物を充填する膠着物質の性質や年代などを調べることによって、第四紀環境変動をそれぞれのサイトから明らかにしている。

上記研究活動の一環として、平成26年2月20日から3月1日にかけてイラク国現地調査により採取された、メソポタミアの粘土板16試料に対し粒度分析を行った。測定に際しては、粘土板試料に水を加え攪拌、超音波分散を行った後、産総研設置のレーザー回折式粒度分析装置（Mastersizer 3000, Malvern 社製）を用い各試料の粒度分布を得た。

【分野名】地質

【キーワード】メソポタミア、粘土板、粒度分布

【研究題目】孔内用精密制御振源とトモグラフィ解析による表層地盤の S 波速度構造の高精度決定

【研究代表者】渡辺 俊樹（名古屋大学）

【研究担当者】国松 直（地圏資源環境研究部門）（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、表層地盤の S 波速度構造を高精度かつ高分解能に決定するために、従来の孔内用 S 波振源で

達成し得ない高品質な S 波波形記録を取得することが可能な新たな振源装置の開発と、その精密制御によるデータ取得および解析の方法を確立することを目的としている。すなわち、モーター制御の偏心錘による振源に、精密制御定常信号システム（ACROSS）によって確立された高度な信号設計とデータ処理手法を組み合わせ、取得されたデータから S 波速度トモグラフィーによる高精度・高分解能な S 波速度構造を決定する。

最終年度に当たり、モーター制御の偏心錘によって振動を発生させる原理に基づいた孔内用の振源装置を開発した。装置の外形80mm、本体長1.8m 程度であり、土木建築分野の一般的な調査孔で使用できる。野外での性能試験により、周波数50Hz まで安定して信号を発生でき、50～200m 程度まで信号が到達していることがわかった。また、2個のモーターを逆回転させることにより直線加振が可能であり、P 波、S 波それぞれ効率よく発振できることが確認できた。一方で技術的課題や今後の改良点も明らかになった。連続発振された振動を観測装置で取得した連続データから S 波トモグラフィーによって速度構造を求めるまでの一連の解析が可能となった。

【分 野 名】地質

【キーワード】地盤構造、S 波速度、振源装置、トモグラフィー、機器開発

【研究 題 目】シビアな環境汚染除染以降のブラウンフィールド問題とリスクコミュニケーションの課題

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、東京電力福島第一原子力発電所の事故以降に発生したブラウンフィールド（未利用地）問題とリスクコミュニケーションに関する研究課題である。

環境中に放出され、地表面に沈着した放射性セシウムに起因する空間線量率について、評価範囲を福島県全域に広げ、GIS 等を用いて土地利用・空間線量率等の算定を行った。

さらに、長期的な避難に伴う帰還後の課題として、現在も避難を余儀なくされている区域である福島県伊達郡川俣町山木屋地区の住民と、都市計画・農村計画等を専門とする有識者を招き、定期的な意見交換会および情報交換を行い、現状および今後対応をするべき課題について整理を行った。

【分 野 名】地質

【キーワード】放射性セシウム、ブラウンフィールド、住民、リスクコミュニケーション

【研究 題 目】丘陵地森林の放射性物質の流出・循環の景観生態学的分析と里山の生態的再生の検討

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、環境中に放出され、地表面に沈着した放射性セシウムの丘陵地森林からの流出特性を評価することを目的としており、分担研究者として参加している。

平成26年度は、平成25年度から継続して実施している福島県伊達郡川俣町山木屋地区内の丘陵地森林を対象として、降雨時の溪流からの放射性セシウムの流出特性について、水位計連動型自動採水器を用いた評価を実施するとともに、流出する懸濁物質の性状についての調査を継続した。また、林内雨モニタリング装置については、亜鉛置換体プルシアンブルー担持不織布を用いた改良の検討を行い、現地にて実証試験を実施した。

【分 野 名】地質

【キーワード】放射性セシウム、丘陵地森林、流出特性、林内雨

【研究 題 目】市場経済移行国における資源開発に関するガバナンス

【研究代表者】中野 亜里（大東文化大学）

【研究担当者】村尾 智（地圏資源環境研究部門）  
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

アジアを主な対象として鉱物資源開発に関するガバナンスの研究を継続した。国が持続的に発展するためには、政策の公正な実施と富の公平な分配が保障されなければならないが、資源開発においては、移転や環境汚染など地元住民の負担が大きくなる傾向がある。本研究では、(1)国家と市民が支配 - 被支配という関係から脱し、相互補完的な役割を果たすようなガバナンスが必要である、また、(2)国際社会においても、援助する側とされる側という関係ではなく、各国家、組織が自らの役割を果たすという認識が重要である、との結論を得た。しかしながら、アジアでは、公民社会と実社会に乖離があり、西欧発の概念であるガバナンスがなじまない。地域的なモデルを形成するためには、政府側と市民側の双方から情報を取り、さらにケーススタディを積み重ねる必要がある。なお、本研究では、新技術がガバナンス構築に影響を与える可能性が示唆されているので、この点についても、研究を進める予定である。研究成果は学会誌「アジア研究」に特集号として印刷した。

【分 野 名】環境・エネルギー

【キーワード】アジア、ガバナンス、資源開発、市場経済移行国

【研究 題 目】日本産古生代腕足類化石模式標本データベース

【研究代表者】兼子 尚知（地質標本館）

【研究担当者】兼子 尚知、田澤 純一



(常勤職員1名、他1名)

**【研究内容】**

本研究は、日本産古生代腕足類化石の新種記載において指定された、模式標本のデータベースを構築することを目的とする。古生代腕足類化石は、古生物地理学的研究において重要な情報をもたらすもので、日本列島の構造発達史を解明する上でなくてはならない資料である。それらの種名の基準となる模式標本のデータベースを構築することは、上述のような研究課題の高効率化を将来にわたって提供するものと期待されるほか、分類学や古生物学研究史の分野においても重要な情報をもたらすと考えられる。

上記の目的を達成するため、新種記載論文の調査、模式標本情報の抽出と入力、実標本調査とそれに基づくデータ修正を行い、インターネットでデータベースを公開する。

今年度は、昨年度に引き続き、日本における古生代腕足類化石の新種記載論文を調査し、そこから模式標本に係る情報を抽出し、データ入力・修正を行った。これらの作業を進めるにあたり、研究担当者は、複数回にわたり作業方法の打合せを実施し、経過情報を交換しながらデータの最適化と修正を随時行い、データベース原稿を完成した。また、本データベースを作製・検討するために比較データとなる標本記載研究を実施し、論文を作成した。

**【分野名】** 地質**【キーワード】** 古生代、腕足類化石、模式標本、データベース**【研究題目】 砂丘堆積物を用いた中世以降の東アジア冬季モンスーン変動の検出****【研究代表者】** 田村 亨 (地質情報研究部門)**【研究担当者】** 田村 亨 (常勤職員1名)**【研究内容】**

本研究の目的は、過去の風成作用を高時間分解能で記録する砂丘堆積物から、東・東南アジアの冬季モンスーンにおける中世以降の数十～数百年スケールの変動を明らかにすることである。地中探査レーダにより砂丘堆積物の内部構造を連続的に明らかにし、地中レーダ断面に基づいて採取したオーガーボーリングによる地下試料に対して光ルミネッセンス年代測定を適用することで、砂丘の発達過程を復元する。研究対象とする砂丘は、日本海の海岸砂丘のほか、ベトナム南東部のMui Ne砂丘である。

本年度は、青森県屏風山砂丘の考古遺跡や海岸沿いの露頭における砂丘から採取した試料の年代測定、鳥取県弓ヶ浜半島の海岸砂丘の地中レーダ探査と年代測定試料の採取および年代測定を行った。屏風山、弓ヶ浜ともに、石英試料はルミネッセンス特性が年代測定に適さないことが明らかとなり、カリ長石のIRSL法で年代測定を行

った。屏風山では、鳥取砂丘で明らかになっている10～12世紀の砂丘活動期が検出された。弓ヶ浜半島は中世以降の鉄穴流しと呼ばれる砂鉄採取のために切り崩された花崗岩の土砂が急増した影響を受けた海岸砂丘が分布することが知られる。土砂急増により海浜の勾配は大きく変化しないものの、急速な海側への海岸の前進に伴い、海岸砂丘の比高が低くなることが明らかになった。

**【分野名】** 地質**【キーワード】** 海岸、砂丘、アジア、環境変動、小氷期、山陰、日本海**【研究題目】 世界最大級の海洋コアコンプレックスにおける流体浸透過程の解明****【研究代表者】** 針金 由美子 (地質情報研究部門)**【研究担当者】** 針金 由美子 (常勤職員1名)**【研究内容】**

中央海嶺近傍に発達する海洋コアコンプレックスを形成したデタッチメント断層(大規模正断層)は、流体を海洋プレート内部へ浸透させる役割を果たすと考えられている。海洋プレート内部への流体の流入によって、海洋コアコンプレックスを発達させている中央海嶺では、その火成活動、熱水活動やレオロジーに大きな影響を与えると推測されている。そこで、本研究は世界最大級の海洋コアコンプレックスであるゴジラメガマリオンから採取された岩石を用いて、①デタッチメント断層に浸透する流体の特徴を把握し、②岩石-流体反応における物質移動過程を明らかにすることを目的として行っている。平成26年度では、「デタッチメント断層の発達過程を明らかにし、岩石-流体反応時における流体の特徴とその際の反応式を決定し、物質移動量を定量的に見積もる」ことと「デタッチメント断層周辺の流体の影響とその範囲について考察する」ことを行うために、ゴジラメガマリオンの発達過程において、初期・中期・後期のそれぞれに対応する3つのドレッジ地点から採取されたはんれい岩(主に変形したはんれい岩)の地球化学データと微細構造観察の結果を合わせて、地点ごとに得られた流体の特徴を比較してきた。そして、これらの結果について国内外の共同研究者と議論し、国際学術誌へ向けた論文執筆を行っている。

**【分野名】** 地質**【キーワード】** 海洋コアコンプレックス、ゴジラメガマリオン、デタッチメント断層、はんれい岩、かんらん岩、断層岩、熱水変成作用、フィリピン海、背弧海盆**【研究題目】 前期ペルム紀巨大オニコイドの形成とパンサラッサスーパープルームの影響に関する研究****【研究代表者】** 中澤 努 (地質情報研究部門)**【研究担当者】** 中澤 努 (常勤職員1名)

### 〔研究内容〕

当該年度は、前年度に秋吉台帰り水ドリーネ南方で掘削採取したコア試料（80m 長）の解析をすすめた。全深度にわたり半割・エッチング処理したコア試料をルーペを用いて観察し、2分の1スケールでスケッチしながら岩相の1次記載を行った。また、深度約1m ごとに代表する岩相のサンプルを分取し、大型薄片を作成した。薄片は鏡下観察をするとともに、全試料をスキャンし、電子画像としてデータ保存した。含有するフズリナ類の概査から、コアはアルティンスキアン期の石灰岩を主体とすることが明らかとなった。また、既存の同時代の石灰岩コアには巨大なオンコイドが認められるが、本コアにはオンコイドは僅かしか認められないことから、オンコイドの産出は側方に大きく変化することが明らかになった。しかし、本コア試料の上半部に多産する微生物岩は、薄片観察により、オンコイドのコーテックス部分と同様の、分類群不明のチューブ状生物とシアノバクテリアと思われる微少なフィラメントを含むミクライト質の微生物岩であった。つまり巨大オンコイドを形成する微生物類は同時代の秋吉石灰岩から広く産出することが確認された。コア下半部には lime-mudstone も挟むようになるが、テクスチャーの詳細観察により、これらは干潟堆積物であることが確認され、この時代に礁の堆積システムも変化している可能性が示された。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕ペルム紀、微生物岩、オンコイド、礁環境、石灰岩

〔研究題目〕世界規模の気候変動と地域的な構造運動に関連した日本海の海洋循環の成立と進化

〔研究代表者〕板木 拓也（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕板木 拓也、木元 克典（JAMSTEC）、長谷川 四郎（東北大学）、池原 研（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

日本海の海洋循環は、固有で僅かな気候変動に対しても影響を受けやすく、更新世における気候変動や氷河性海水準変動に応答して著しく変化している。本研究は、過去500万年間の日本海の海洋循環システムを復元し、それが気候・氷河性海水準変動に応答したものなのか、あるいは地域的な構造運動を反映したものなのかを明らかにすることを目的としている。平成25年8月に国際深海掘削計画 IODP 第346次航海で日本海および東シナ海北部から採取された掘削コアについて堆積構造や化石の分析を進め、堆積物の年代を明らかにすると共に、過去の海洋環境の概観を議論した。また、日本海の海洋環境に大きな影響を及ぼしたと考えられる津軽海峡付近の地質及び古環境を明らかにするため、津軽半島の地質調査を実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕海洋循環、古環境、鮮新世、更新世

〔研究題目〕第三紀泥岩の分類：分光測色による「色層序学」の構築

〔研究代表者〕辻野 匠（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕辻野 匠（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、これまで主観的に記載されてきた第三紀泥岩の色調を定量的に再評価し色で層序を構築することである（色層序学）。まず、泥岩の色を分光測色計で正確に測定する方法を確立した上で、実際の泥岩層序に適用する。更に泥岩の色と構成物との関係を明らかにし、色から古環境・埋没史を読みとることを目指す。ようやく再現性のよい野外での分光測色法が確立できたので、新潟堆積盆で再度の測定を実施した。新潟県加茂地域では昨年度までの分光結果ではクラスターが一部重なりあっていたが、今回の再測定の結果、ほとんど重ならないクラスタリングとなった。一方で、胎内地域は傾向が異なり、同一の新潟堆積盆でも subbasin の規模で古環境・埋没史が異なる可能性が示唆される。加茂地域の泥岩について XRD、XRF、スメア検鏡分析を実施したところ、空色泥岩とフィールドで呼称される七谷層泥岩はカルサイト、Ca、石灰質な生物遺骸を特徴的に含んでおり、それと色とが関係しているらしい。また、中期中新世のハイエタスより下位の地層は下位ほど暗く赤みをもっているのに対して、上位の地層は3累層全てひとつのクラスターに収まり、また、陸源砕屑物が多い。七谷層も含めて下位の地層は生物源堆積物の寄与が大きく、それと埋没続成の影響で色調が規制されているのに対し、上位の地層は全体として陸源砕屑物の色調が反映されている可能性がある。また、房総地域の中新統・鮮新-更新統でも測定を実施したところ、CIE-L\*a\*b\*色空間上で同じトレンドに乗っており、泥岩の堆積環境・埋没史的には差異がないことが示唆される。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕第三紀泥岩、分光測色、色層序学

〔研究題目〕造礁サンゴ骨格による気候変動解析の新展開

〔研究代表者〕鈴木 淳（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕鈴木 淳、中島 礼、岡井 貴司（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

造礁サンゴ骨格に記録された気候変動情報は、精度や時間分解能の点で他の間接指標と比較して抜群の性能を持つ。サンゴ骨格の元素・同位体比組成が、無機合成された炭酸塩中での平衡論的挙動と異なる「生物学的効果（vital effect）」の解明も近年大きく進んだ。本課題では、「間接指標（酸素同位体比・Sr/Ca 比）の成長速度

依存特性」、「炭素同位体比の制御因子」、「種内変異（群体間差異）が抑制／拡大されるメカニズム」の3つの問題に集中し、サンゴ骨格による気候変動研究の確度・精度向上を推進する。

今年度は、サンゴ骨格の酸素同位体比および Sr/Ca 比等の間接指標について、化石サンゴを対象とした検討を実施した。豪州沖グレートバリアリーフで実施された IODP Exp. 325 では、最終氷期最盛期を含むサンゴ礁堆積物が採取された。しかし、ハマサンゴ化石は少なく、ニオウミドリイシ属が多く含まれていた。ハマサンゴ属は年輪が明瞭で月単位の時系列記録が得られるが、ニオウミドリイシ属は複雑な骨格成長様式を持ち、数年分の骨格を混合したバルク試料を採取して年平均値を議論する方法を採用した。薄片による二次生成物の有無、粉末 X 線解析による方解石含有量などにより試料の続成変質を評価して、良質の試料のみ選択した。その結果、グレートバリアリーフ北部では最終氷期最盛期から融氷期に掛けての過去2万年間の水温上昇は約5℃と推定された。ニオウミドリイシ属骨格組成を用いた水温復元能力を確認するため、沖縄産のニオウミドリイシを用いて水温21～30℃の5段階で約1ヶ月間の恒温飼育実験を行った。期間中に形成された骨格の酸素同位体比は水温と直線関係を示し、水温依存性はおよそ-0.15‰/℃で、ハマサンゴ属と類似している。この結果は、ニオウミドリイシ属を用いた古気候変動解析の有効性を示すものである。

【分野名】地質

【キーワード】酸素同位体比、ストロンチウム／カルシウム比、炭素同位体比

【研究題目】SQUID 顕微鏡による惑星古磁場の先端的研究の開拓

【研究代表者】小田 啓邦（地質情報研究部門）

【研究担当者】小田 啓邦、宮城 磯治（常勤職員2名）

【研究内容】

本研究は、SQUID（超伝導量子干渉素子）顕微鏡を用いて惑星古磁場の基礎的研究を開拓することを目的とし、金沢工業大学・高知大学・東北大学・海洋研究開発機構の研究分担者の協力のもとに推進している。本年度は研究の核となる SQUID 顕微鏡の安定動作、XYZ ステージと磁気シールドの製作とコントロールハードウェア・ソフトウェアを含めたシステム全体の完成、ならびに XYZ ステージでの走査による SQUID 顕微鏡実データ取得を目指した。SQUID 顕微鏡本体については昨年度に引き続き SQUID センサの安定動作を目指し、サファイアロッド先端へのシリコンチップ装着、SQUID 顕微鏡のクールダウン・セットアップ・液体ヘリウムトランスファ・ウォームアップなどに関するノウハウを蓄積した。また、非磁性 XYZ ステージのソフトウェア開発とシステム全体動作を行い、X 軸・Y 軸それぞれの方向にストローク100 mm、分解能1 μm、位置決定精度～

10 μm 以下を実現した。磁気シールドは PC パーマロイの2重構造とし、試料を出し入れする扉、液体ヘリウムトランスファのための天井扉、SQUID 顕微鏡を出し入れするための大型扉の3つの扉を配した。交流消磁界（0.1 Hz、振幅500 nT）に対する磁気シールド性能は X 軸、Y 軸、Z 軸方向のシールド係数がそれぞれ257、288、91であった。磁気シールドを交流消磁後の試料測定位置での Z 軸方向の直流残留磁場成分は～5 nT 以下であった。SQUID センサは Flux Locked Loop (FLL) に接続されて Z 軸方向の磁場が電圧出力され、XYZ ステージとともにコントロールボックスに接続される。コントロールボックスは USB 接続された PC によって制御され、本プロジェクトで開発された専用測定ソフトウェアによって走査による磁場データが収録される。25 μm の直線電流を用いた試験測定結果を理論値と比較した結果、SQUID センサがサファイアウィンドウに最も近づいた状態で約150 μm の距離が達成されたことが確認できた。完成したシステムによって北西太平洋から得られた鉄マンガンクラスト薄片試料を用いた測定を暫定的に行ったが、Oda *et al.* (2011)と同様に78万年前のブルネー松山地球磁場逆転を含む地磁気逆転パターンを確認することができた。

【分野名】地質

【キーワード】SQUID 素子、岩石薄片試料、古地磁気学、磁気マッピング、惑星古磁場、鉄マンガンクラスト、残留磁化、磁気シールド、XYZ ステージ

【研究題目】重力・地震波の同時観測によるスロースリップ発生域の浅層地下水モニタリング

【研究代表者】名和 一成（地質情報研究部門）

【研究担当者】名和 一成、伊藤 忍、宮川 歩夢、山谷 祐介、奥田 隆、田村 良明、池田 博（常勤職員3名、他4名）

【研究内容】

超伝導重力計連続観測による重力データと地震計連続観測による地震波データを組み合わせて、3次元的な地下水分布の変化を推定する手法を提案する。観測データの検証とモデリングに必要な地下構造を得るため、重力と地震波を用いた構造探査も実施する。それによって地下水挙動を高時空間分解能で把握するとともに、地殻活動域の重力観測の高精度化に資することを目的とする。計画初年度の平成26年度は、国立天文台 VERA 石垣島観測局において、従来よりも深い位置での土壌水分データを得るためにプロファイル水分計を設置してデータ取得を開始した。本課題研究期間中に継続的に重力データを得るため、VERA 石垣島局の超伝導重力計用コンプレッサーを交換し、定期的な保守作業として液体ヘリウムの再充填と冷凍機の交換作業を実施した。重力変化デ

ータと比較可能な地震波形データを得るために、地震計連続観測用機器を導入した。名古屋大学犬山観測所でのテスト観測を経て、VERA 局内と防災科研石垣地震観測施設における連続観測を開始した。また、産総研が所有する絶対重力計との並行観測を実施して超伝導重力計の感度の検定を行った。VERA 局周辺の地下構造を得るために、小型バイブレーターを使用した反射法地震探査を実施した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕超伝導重力計、地震計、土壤水分、地下水、反射法地震探査

〔研究題目〕地質アナログ模型の開発と地学教育における活用と検証

〔研究代表者〕高橋 雅紀（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕高橋 雅紀（常勤職員1名）

〔研究内容〕

我が国における子供たちの理科離れや高校・大学教育における地学履修生の減少を食い止めるため、さらに一般市民の地学に対する理解と評価の向上を目的に、二次元の図面として公表されてきた地質学的知見の中から、地学普及活動に効果的な成果を選定して三次元のアナログ模型に再現し、一般市民向けの地学普及活動において活用して地質学の理解度と関心の効果を探る。

今年度は、地質調査の様子や地質図の基本を室内において疑似体験できる架空の地形と地質を再現したリアリティーの高い地質アナログ模型を用いて、一般市民向けの地学普及イベントで活用した。また、巨大地震の際に堆積平野が長周期で揺れやすい原因を理解してもらうために、関東平野の基盤震度アナログ模型を製作した。これらのアナログ模型を一般市民向けのイベントや地質系大学生向けの授業において活用し、地質学の普及と研究成果のアウトリーチ活動に役立てた。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕地学教育、アウトリーチ、普及活動、アナログ模型

〔研究題目〕砕屑岩岩石学から復元する黒瀬川帯ペルム紀島弧の進化過程

〔研究代表者〕原 英俊（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕原 英俊（常勤職員1名）

〔研究内容〕

アジア大陸東縁におけるパンサラッサ海の海洋プレート沈み込みによるペルム紀島弧発達過程を解明するため、ペルム系砕屑岩に着目する。このペルム紀島弧は、日本列島の原型をもたらした初期に当たると考えられるが、現在の日本列島には島弧の主部をなした火山岩や花崗岩の多くは、すでに剝削され失われている。そこで黒瀬川帯に分布するペルム系砕屑岩に着目し、砕屑岩に砕屑粒子として保存されている後背地の情報から、島弧の発達

及び変遷過程を復元する。本年度は、先行調査を行っていた四国東部北川地域及び中央部伊野地域周辺にて、ペルム系付加体及び浅海性堆積物の地質調査及び砕屑岩の試料採取を行った。特に、北川地域の再調査にて、ペルム系付加体から、新たに中期～後期ペルム紀におけるチャートから珪質泥岩及び泥岩にいたる海洋プレート層序の復元を行った。また前期及び後期ペルム紀の浅海性堆積物の層序を構築した。これらを融合し、ペルム紀における前弧域の付加体及び堆積盆の発達過程とそれらの呼応関係を見出した。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕黒瀬川帯、ペルム紀、沈み込み帯、島弧、砂岩組成

〔研究題目〕「弥生の小海退」の確証による沖積低地における河川地形の発達過程の解明

〔研究代表者〕田邊 晋（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕田邊 晋（常勤職員1名）

〔研究内容〕

平成26年度は、茨城県利根町と千葉県野田市において、それぞれ12 m 長と13 m 長のボーリングコア堆積物を採取した。コア堆積物は、半裁ののち、岩相と生物化石相の記載を行い、放射性炭素年代値を測定した。これまでに採取した5本のボーリングコア堆積物の解析結果とあわせて、利根川低地最奥部の完新世における古環境を復元したところ、内湾から湖沼、河川環境へと変化したことが明らかになった。植物遺体にもとづいて、湖沼堆積物の古水深を2 m と仮定すると、4千年前に縄文海進が終焉し、3千年前に海水準が-2mまで低下、2千年前までには現在の水準まで上昇したことが明らかになった。

〔分野名〕地質

〔キーワード〕弥生の小海退、縄文海進、完新世、沖積層、利根川低地

〔研究題目〕ルミネッセンス法を用いたイベント堆積物の運搬過程の解明と高精度年代測定

〔研究代表者〕伊藤 一充（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 一充

（日本学術振興会特別研究員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、堆積物が堆積前に十分に太陽光に露光されることを前提としたルミネッセンス年代測定法において、イベント堆積物（津波堆積物等）などのような不完全な露光により堆積した可能性がある堆積物の露光環境を定量的に評価することである。室内実験により堆積前の履歴のリセットの仕方を解明し、その上で年代既知のイベント堆積物を用いて露光環境を推定する。

本年度は、室内実験において3種類（大気のみ、透明な水、黒色の水）の異なる条件下での露光による履歴の

リセットの違いを合計11種類の IRSL、post-IR IRSL (pIRIR) 法によって比較した。分析試料としては、実験前に十分に露光して年代値は実質ゼロとなっているカリ長石に対して既知線量を与えたものを利用した。その結果、ルミネッセンスシグナルの減衰には透視度が高い水は空気と同じようにほぼ影響を与えず、一方、透視度が低い水はそれより深い深度にある試料に対しては大きく影響を与えることが示唆された。しかし、今回の条件では透視度が低い水でも完全に光を遮ることはできなかったため、天然環境を考えると、たとえ非常に懸濁した水によって運ばれた粒子であったとしても蓄積線量を完全に保持したまま堆積することはあまりなく、中途半端な露光条件下で堆積することが示唆された。次年度以降は条件をより細かく設定し、詳細な露光環境の推定を目指しつつ、年代既知のイベント堆積物の測定を行っている。

【分野名】地質

【キーワード】ルミネッセンス年代、post-IR IRSL、露光環境

【研究題目】高時空間分解能での地殻歪場の推定によるゆっくり地震の発生過程と条件の解明

【研究代表者】大谷 竜 (地質情報研究部門)

【研究担当者】大谷 竜、名和 一成 (常勤職員2名)

【研究内容】

過去多数のゆっくり地震が観測されている、国土地理院のGEONETによる沖縄県先島諸島のGNSSデータを用いて、ゆっくり地震に伴う歪場の変動の時空間構造を調査した。各観測点の変位データから面積歪を計算した後、ウェーブレット変換を行ってウェーブレット係数の時間変化を求めた。事前にゆっくり地震に似せた合成信号を用いてウェーブレット変換を行い、各スケールの係数の時間変化の構造と元の時系列との比較からゆっくり地震の検出動態を確認したところ、推定された係数のピークは必ずしもゆっくり地震の開始時期には対応していないが、ゆっくり地震が発生している期間の中間周辺に対応していることから、同一スケールの係数の時間変化における極値の間隔が、ゆっくり地震の繰り返し間隔に対応するものとし、ゆっくり地震の発生の周期を同定した。また、先島諸島全体を覆うGNSS観測点から計算された面積歪と、この領域を分割するような区画について面積歪を求め、そのウェーブレット係数の相互の時間変動、及び領域全体の歪のウェーブレット係数の時間変動の比較も行った。

【分野名】地質

【キーワード】ゆっくり地震、GNSS、GEONET、地殻変動、先島諸島、面積歪、ウェーブレット変換

【研究題目】SQUID グラジオメータによる氷床コア中の火山灰の非破壊検出

【研究代表者】小田 啓邦 (地質情報研究部門)

【研究担当者】小田 啓邦、宮城 磯治 (常勤職員2名)

【研究内容】

本研究は金沢工業大学および国立極地研究所と協力することにより、氷床コア試料に含まれる微量火山灰の検出を目指すものである。氷床コアに含まれる火山灰層は異なる地点の氷床コア間に同時期面を提供すること、短期間の気候変化につながる大規模噴火によるものもあるので重要である。SQUID グラジオメータによる火山灰検出に成功すれば、大陸から運ばれる風成塵、宇宙起源のコスミックダストなども検出可能となり、地球環境復元も期待できる。金沢工業大学では医療用脳磁計システムで SQUID グラジオメータによる微弱な磁場検出を行ってきた。グラジオメータは試料直上と離れたところに2つのピックアップコイルを配置することによって磁気ノイズの影響を受けにくいというメリットがある。本年度は阿蘇火山の2014年11月以降の火山灰噴出にあわせて、2015年2月にその南方約50 km に位置する五ヶ瀬ハイランドスキー場周辺に分布する雪から直径7cm、長さ50cm のコアを3本採取して測定を行った。雪試料断面の目視確認で着色した層準が確認された。これら雪試料について超伝導岩石磁力計および SQUID グラジオメータで測定を行ったが、雪が融けないように液体窒素で-100°C程度まで冷却の後に10分以内に測定を行った。岩石磁力計による自然残留磁化強度は $2\text{-}7 \times 10^{-6}$  emu 程度であり、伏角は50度程度であった。3本のコアのうち1本について SQUID グラジオメータによる測定を行ったが、自然残留磁化の測定で、表面から深さ5.5 cm、28 cm、および39 cm において-6 pT、+5 pT、+24 pT のシグナルが Z 軸ピックアップコイル (試料からの距離が最も近い) で得られた。同じ試料に25 mT で等温残留磁化を着磁したところ、上記3カ所の深さにおいて-0.1 nT、-0.6 nT、-1.9 nT の信号が得られた。これらが実際に阿蘇火山の噴火に伴う火山灰を多く含むか検討が必要である。

【分野名】地質

【キーワード】SQUID グラジオメータ、氷床コア、火山灰、非破壊測定、南極、残留磁化、人工磁化、岩石磁気、磁性鉱物、阿蘇火山、雪

【研究題目】ユーラシア東部湖沼堆積物の精密年代決定と環境変動解析

【研究代表者】伊藤 一充 (地質情報研究部門)

【研究担当者】伊藤 一充

(日本学術振興会特別研究員1名)

【研究内容】

本研究の目的は、湖底堆積物コア試料における精密年

代決定と古環境復元を行うことである。ルミネッセンス年代測定と<sup>14</sup>C年代測定により年代決定を、各種物理量測定、粒度分析により環境変動解析を行う。また、数種類のルミネッセンス法を用いることで、それらの違いから堆積環境を推定する。

本年度は、ルミネッセンス年代測定による年代決定の高度化のため、前年度行った手法（post-IR IRSL法）が他の手法に比べてどの程度年代がゼロリセットされているかを調べた。今回の測定条件では、プレヒート温度、測定前測定温度、測定温度共に、高温になるほど残存線量が大きくなる傾向が見られた。これは高温の安定したシグナルは、安定しているがゆえに年代のリセットが鈍くなるためであると考えられる。この年代のゼロリセットに関する結果を前年度の余呉湖YG11-3に適用させると、それほど結果に影響を与えないことがわかった。これは、YG11-3の年代が全体として古く、また測定条件もそれほど高温ではなかったことが原因である。したがって、YG11-3でOSL、IRSL、post-IR IRSLの3つの年代値が異なる原因は、測定法間の潜在的な残存年代の違いではなく、Murray *et al.* (2012) の室内実験に示された露光不足による測定法間の年代のゼロリセットの程度の違いに依存していることが明らかとなった。本研究により、より広範囲の環境変動を調べる際は、現地性の環境変動・測定法間の潜在的な特徴の違いなど様々な要因を除去していくことが重要であることが示された。

【分野名】地質

【キーワード】ルミネッセンス年代測定、post-IR IRSL、残存線量

【研究題目】地球表層システムにおける海洋酸性化と生物大量絶滅

【研究代表者】川幡 穂高（東京大学）

【研究担当者】川幡 穂高（東京大学）、鈴木 淳、山岡 香子（地質情報研究部門）  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

二酸化炭素は酸性気体なので、人為起源の二酸化炭素の放出は、地球温暖化の他に海洋酸性化をもたらし、新たな環境問題として注目されている。これは、海洋の石灰化生物群に悪影響を与えると危惧され、類似の現象とその結果としての深海底の生物の大量絶滅が、地質時代の地球でも発生していたと考えられている。本課題では、  
（1）水環境の酸性化に伴う生物の応答の飼育実験による検討、（2）海洋酸性化の生物起源炭酸塩の微小領域への影響解析、（3）「大量絶滅海洋酸性化説」の検証、（4）中和機能がある陸の風化過程の解明、について研究を進め、最終的に、地球表層システム（大気圏、水圏、生態圏、岩石圏）全体の中で、海洋酸性化の位置付けと海洋の pH を支配する地球システムの解明を目的とする。計画最終年度にあたる今年度は、ヒマラヤ水系の大河川

であるガンジス川、ブラマプトラ川、メグナ川、イラワディ川、メコン川やタイのチャオプラヤ川について実施してきた炭酸系に関する分析結果の取り纏めを行い、これらの河川から海洋にもたらされる炭素関連物質に注目して解析し、大気二酸化炭素に対して中和機能をもつ陸の風化過程の解明を試みた。先行研究の結果と併せて検討すると、ガンジス川、ブラマプトラ川の上流部の二酸化炭素分圧は低く、下流部では二酸化炭素分圧が上昇する傾向が顕著であり、これは上流部が岩石風化の場であること、一方下流部は、土壌呼吸起源の二酸化炭素が河川に付与される場であることが明らかになった。また、従来、ケイ酸塩の風化により大気二酸化炭素の大きな吸収源と考えられていたイラワディ川の推定が過大であることが明らかになり、風化による炭素吸収量について再評価を行った。

【分野名】地質

【キーワード】海洋酸性化、生物大量絶滅、風化、炭素循環

【研究題目】海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験

【研究代表者】野尻 幸宏（国立環境研究所）

【研究担当者】野尻 幸宏（国立環境研究所）、鈴木 淳（地質情報研究部門）  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

人為起源二酸化炭素がもたらす海洋酸性化の沿岸海洋生物への影響を主レベルと生態系レベルで明らかにする研究を、我が国の沿岸生物を主たる対象として実施する。計画初年度にあたる今年度は、精密海水二酸化炭素分圧調整装置を用いて、サンゴの海洋酸性化実験の基本的な実験手法の検討を進めた。また、サンゴについての海洋酸性化実験と並行して貝類についても実験を行う水槽システムを作成した。この水槽システムにより、アワビ類については、クロアワビおよびメガイアワビを対象として海洋酸性化飼育実験を実施した。先行研究では、卵や幼生など生活史の初期の段階を対象としたものが多いが、成長段階で海洋酸性化への耐性や生理的影響が異なることが予想されるため、これまで検討されてこなかった稚貝を用いて影響を評価した。二酸化炭素分圧をおよそ 400  $\mu\text{atm}$ 、750  $\mu\text{atm}$ 、1,200  $\mu\text{atm}$  に設定し、水温 23  $^{\circ}\text{C}$ 一定で、約1ヶ月間の飼育の結果、殻成長量や結晶形成については、両種とも実験区間での大きな差は見られなかった。また、屋外式の海水二酸化炭素分圧制御装置を用いたハマサンゴの長期飼育実験および付着生物加入実験の手法的な検討を進めた。

【分野名】地質

【キーワード】サンゴ、海洋酸性化、石灰化、ストレス

【研究題目】北極海の海水激減—海洋生態系へのイ

## ンパクター

〔研究代表者〕 原田 尚美 (海洋研究開発機構)  
 〔研究担当者〕 原田 尚美 (海洋研究開発機構)、  
 田中 裕一郎 (地質情報研究部門)  
 (常勤職員1名、他1名)

## 〔研究内容〕

本研究では、北極海の地球温暖化による海氷減少に伴う環境変化を捉え、それに伴って海洋生態系がどのような影響を被るのかを解明するために、動・植物プランクトンの経年変化(季節変化)の解析を行う。海洋調査船「みらい」およびカナダ調査船による北極海航海において、海洋表層での生物起源粒子の季節変化及び鉛直・水平方向のフラックス変化を解明するために、北極海シベリア沖の NAP 観測地点(75.00°N、162.00°W、水深1975m)において、セジメントトラップ係留系を深度300 m と1,300 m の2層に、CAP 観測点(75.21°N、172.55°W、水深447 m)で、深度270 m層にそれぞれ設置した。回収されたトラップ試料の沈降粒子全フラックスは、NAP 観測地点では2012年は、2010年及び2011年より減少傾向にあった。また、2013年冬季に高いフラックスが観測され、夏季は7月末から8月前半と、9月に2回増加が観測された。一方、CAP 観測点では、2013年3月に沈降粒子フラックスの極大が観測され、夏季は、NAP 観測点とは異なり低いフラックスが観測された。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 地球温暖化、北極海、海洋生態系、海洋観測、沈降粒子

## 〔研究題目〕 完新世における東アジア水循環変動とグローバルモンスーン

〔研究代表者〕 多田 隆治 (東京大学)  
 〔研究担当者〕 多田 隆二 (東京大学)、長島 佳菜 (JAMSTEC)、内田 昌男 (国立環境研)、木元 克典 (JAMSTEC)、入野 智久 (北海道大学)、板木 拓也 (地質情報研究部門)  
 (常勤職員1名、他5名)

## 〔研究内容〕

本研究は、東アジア夏季モンスーンに伴う降水の強度および空間分布が、幾つかの特徴的時間スケールで、どの様に、どの程度変動したか、その究極的支配要因は何かを、海水準や二酸化炭素濃度等の境界条件が現在とほぼ同じになった完新世中期以降に的を絞って解明することを目的としている。平成26年度は、モンスーン変動とも関連が予想される対馬海流の脈動をより詳細に明らかにするため微化石を用いた古水温指標を開発し、多数のコア試料についてこの指標を適用し完新世の水温変化を明らかにした。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 アジアモンスーン、水循環、古環境

## 〔研究題目〕 複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開

〔研究代表者〕 堀内 一穂 (弘前大学)  
 〔研究担当者〕 堀内 一穂 (弘前大学)、小田 啓邦 (地質情報研究部門)  
 (常勤職員1名、他1名)

## 〔研究内容〕

パススルー超伝導岩石磁力計による堆積物コア試料の測定とデータの蓄積は、国際深海科学掘削計画 (IODP) のジョイデスレゾリューション号・「ちきゅう」ならびに掘削コア試料リポジトリ付属の研究施設をはじめとして弊所を含む世界中の古地磁気実験室で10年以上にわたって行われている。しかしながら、パススルー磁力計による測定はセンサー感度曲線によって平滑化され、なおかつ歪められている。これまでパススルー磁力計のデータについてデコンボリューション処理が試みられてきたが、正確なセンサー感度曲線の取得ができなかったために、その実用化が遅れていた。本研究では、精密成型した小型立方体プラスチックに埋め込んだ磁気点源を用いてパススルー超伝導岩石磁力計の正確なセンサー感度曲線を求めることに成功した。さらに、平滑度をパラメータ化した赤池情報量規準に基づくデコンボリューションに、試料の位置補正、試料の長さ補正の2つのパラメータを加えたアルゴリズムを開発した。開発したアルゴリズムに基づくプログラムを用いて、短い地磁気エクスカージョンを含む人工データを用いたテストを行った。テストはモンテカルロシミュレーションによったが、測定データには200回の繰り返し測定で実際に得られたデータから抽出した現実的な分布をもつノイズを加えた。結果として、生の測定データでは全く認識できない地磁気エクスカージョンがデコンボリューションによって明確に確認された。また、試料の位置、試料の長さを実際からずらしたデータについてもモンテカルロシミュレーションを行ったが、正しい補正值によるデコンボリューション結果が得られた。これらの結果から、新しいアルゴリズムによるデコンボリューションは極めて実用的であり、今後の古地磁気学の発展に寄与すること、特に地磁気逆転・地磁気エクスカージョンによる古地磁気層序学の発展と年代決定の精度向上に役立つと期待される。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 地磁気逆転、地磁気エクスカージョン、デコンボリューション、国際深海科学掘削計画 (IODP)、パススルー超伝導岩石磁力計、センサー感度曲線、赤池情報量規準、ノイズ、モンテカルロシミュレーション

〔研究題目〕 地球史海洋底断面復元プロジェクト:

### 太古代から原生代への環境大変動解明

〔研究代表者〕 清川 昌一 (九州大学)

〔研究担当者〕 清川 昌一 (九州大学)、鈴木 勝彦  
(海洋研究開発機構)、後藤 孝介 (地質情報研究部門)  
(常勤職員1名、他2名)

#### 〔研究内容〕

地球史を通じた表層環境の酸化還元環境の変動は、生命の進化・活動と密接に関係している。そのため、太古代や原生代のような、生物化石から直接生態系を復元することが困難な時代では、当時の物質循環および酸化還元環境を復元することで、間接的に生命進化を理解することが一般的に行われている。過去の物質循環や酸化還元環境を復元する有効な方法の1つとして、堆積岩中に含まれる酸化還元環境敏感元素 (例えば、モリブデン、レニウム、オスミウム、ウラン) に着目することが挙げられる。本研究では、特に太古代中期における大気・海洋の酸化還元環境を復元することを目的に、約32億年前に堆積した西オーストラリア・ピルバラ地塊のディクソンアイランド層に見られる黒色頁岩のコア試料 (DXコア) を対象に、レニウム・オスミウム分析を行った。その結果、分析した黒色頁岩には、レニウムとオスミウムが、(1) 上部地殻の平均的な値よりも有意に濃集していること、(2) 他の太古代の黒色頁岩試料と同様の濃度を示すこと、(3) 顕生代の黒色頁岩試料よりは、有意に低い値を示すことを明らかにした。このことは、レニウムやオスミウムに関して、顕生代とは大きく異なるが、太古代の後期とは同様の物質循環が、約32億年前に存在していたことを示唆する。得られた結果が、どのような大気・海洋の酸化還元環境を反映しているかについて、次年度以降検証する。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 太古代、レニウム・オスミウム、黒色頁岩

#### 〔研究題目〕 マルチビーム測深技術を用いた浅海底地形学の開拓と防災・環境科学への応用

〔研究代表者〕 菅 浩伸 (九州大学)

〔研究担当者〕 菅 浩伸 (九州大学)、長尾 正之、鈴木 淳 (地質情報研究部門)  
(常勤職員2名、他1名)

#### 〔研究内容〕

最先端マルチビーム測深を用いて作成する精密海底地形図を基に、知見がきわめて少なかった浅海底地形とその形成について議論を行い、従来の地形学にない「浅海底地形学」を開拓する端緒となる研究へ発展させることを目指す。さらに、可視化した沿岸域の地形を「防災基盤」として評価し、津波および温暖化に伴う台風・高潮災害の増大のリスクに対して、効果的な地形分布を明らかにすることが、本研究課題の目標である。

本年度は、生物群集を精密海底地形図上にプロットすることなどを目的として、本部半島周辺沿岸域でマルチビーム測深調査を実施した。このほか、測深データ補正に必要な水中音速度の鉛直分布、ならびにその検証用の水中音速度鉛直分布を計算するための水温・塩分・深度の測定を同時に行った。また、本プロジェクトにより石垣島名蔵湾で発見された日本最大の沈水カルスト円錐丘などのカルスト地形、河川跡などについて、地形学的解釈に基づいてとりまとめた論文が、国際誌に掲載された。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 海洋探査、地形、サンゴ礁、可視化、防災

#### 〔研究題目〕 パレオテチス収束域における島弧-縁海系の発達・崩壊過程に関する地質学的検証

〔研究代表者〕 上野 勝美 (福岡大学)

〔研究担当者〕 上野 勝美 (福岡大学)、原 英俊 (地質情報研究部門)  
(常勤職員1名、他1名)

#### 〔研究内容〕

東南アジアのパレオテチス沈み込み帯において、ペルム系～三畳系前弧海盆堆積物及び背弧海盆堆積物の後背地解析により、発達した島弧-縁海系の地史を復元する。後背地解析では、砂岩組成、全岩化学組成、及び碎屑性ジルコン U-Pb 年代を融合することで、後背地における島弧火成活動の復元及びその時間変遷を構築することを目的とする。本年度は、タイ北部のランパン・ナン地域及び東部のサケオ・チャンタブリー地域にて、碎屑岩及び超塩基性岩の調査及び試料採取、また代表的試料の U-Pb 年代測定を行った。岩石記載及び化学分析済み試料から、代表的試料を選択し、それらからジルコン抽出を行い U-Pb 年代測定を行った。その結果、ペルム紀～前期三畳紀では島弧の発達が未成熟で大陸からの物質供給が盛んであったのに対し、中期三畳紀に島弧火成活動が非常に活発になったことが明らかになった。また後期三畳紀には、パレオテチスの閉鎖により島弧火成活動が一次停止することで、再度大陸からの物質寄与が認められた。

〔分野名〕 地質

〔キーワード〕 パレオテチス、沈み込み帯、碎屑性ジルコン U-Pb 年代、タイ

#### 〔研究題目〕 中央海嶺下マントルの再考：マントルの均質／不均質化と海洋プレートの物質科学的実体

〔研究代表者〕 森下 知晃 (金沢大学)

〔研究担当者〕 森下 知晃 (金沢大学)、鈴木 勝彦 (JAMSTEC)、仙田 量子 (JAMSTEC)、



濱田 盛久 (JAMSTEC)、  
針金 由美子、田村 明弘 (金沢大学)  
(常勤職員1名、他5名)

**〔研究内容〕**

海洋プレートの形成過程として、中央海嶺におけるかんらん岩（海洋マントル最上部物質）の部分熔融によるメルトの発生-抽出-固化がある。そのため、溶け残る側のかんらん岩を対象とした「メルト成分に肥沃な始原的かんらん岩」から「メルト成分に枯渇したかんらん岩」への変化を詳細に研究することが主流であった。しかし、近年の研究から、中央海嶺起源のメルト成分に枯渇した肥沃なかんらん岩は①太古溶融物質の残存とその②再肥沃化という2つの新たな仮説が提案された。このことから、従来提案されてきた海洋プレート形成過程モデルを再考する必要がでてきた。そこで、本研究は中央海嶺起源の「メルト成分に枯渇したかんらん岩」の成因を新しい指標を含めて総合的に検討し、海洋マントル最上部物質の不均質性とその形成メカニズムを解明することを目的として、拡大速度の異なる海域から得られた中央海嶺かんらん岩（さらに島弧から採取されたかんらん岩も比較として用いる）を用いて岩石学・地球化学・構造地質学的研究を行っている。研究担当者は平成26年度において、超低速拡大海域の1つである北極海、ガッセル海嶺と島弧である伊豆・小笠原海域から採取されたかんらん岩（主にハルツバージャイトとダナイト）について、岩石研磨薄片を作成し、微細構造観察を行った。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 海洋プレート、かんらん岩、中央海嶺、島弧

**〔研究題目〕** ドミニカ共和国における近過去から現在のバッテリー工場起源沿岸域鉛汚染の調査・解明

**〔研究代表者〕** 中井 智司 (広島大学)

**〔研究担当者〕** 中井 智司 (広島大学)、鈴木 淳、  
長尾 正之 (地質情報研究部門)  
(常勤職員2名、他1名)

**〔研究内容〕**

ドミニカ共和国サンクリストバル市では1980年代に操業を開始したバッテリー工場による健康被害が発生し、工場は2000年に操業停止、2007年～2010年に土壌修復が行われた。このバッテリー工場は高台にあり、直近にハイナ川が流れているため、降雨に伴って汚染土壌中の鉛が河川に流出し、さらに1.5km先でカリブ海に接続しているため、周辺海域は河川を通じた鉛の流入と大気を経由した鉛の流入により、鉛汚染が進んでいると考えられる。本研究では、一連の汚染履歴に対して、周辺海域環境での汚染が過去どう推移していったかをサンゴ骨格に刻まれた年輪中の鉛を分析し再現することを目的とした。ドミニカ共和国ハイナ川河口周辺海域において採

取されたマルキクメイシ属の一種の塊状群体の骨格について、水温指標となる Sr/Ca 比分析による年齢査定によると約15年間の成長の記録を保持している群体が見いだされた。これらの試料について、成長軸に沿った重金属類の時系列解析を実施した。試料は超純水による超音波洗浄の後、骨格粉末試料10mg を2%硝酸溶液10mLに溶解し、誘導結合プラズマ質量分析計を用いて V、Cr、n、Co、Ni、Cu、Zn、Cd、Ba、Pb、U の11元素の計測を行った。鉛の濃度はバッテリー工場の操業停止やその後の土壌流出対策の時期との明瞭な対応関係は見られなかったが、骨格表面から約2cmの部位に鉛の高濃度異常が見出された。また、これまでに土壌流出の指標として報告されているマンガンやバリウムなどにもこの期間を通じて変化が見られることから、今後は年代軸を正確に決めていくと同時にこれら重金属類の濃度変化についてさらなる詳細な検討の必要性が指摘された。

**〔分野名〕** 地質

**〔キーワード〕** 鉛汚染、汚染履歴、生物モニタリング、サンゴ

**〔研究題目〕** 南鳥島 EEZ に眠るマンガンノジュールとレアアース泥の成因と資源ポテンシャル

**〔研究代表者〕** 中村 謙太郎 (海洋研究開発機構)

**〔研究担当者〕** 中村 謙太郎 (海洋研究開発機構、現在は東京大学)、加藤 泰浩 (東京大学)、藤永 公一郎 (東京大学)、沖野 郷子 (東京大学)、町田 嗣樹 (早稲田大学)、佐藤 太一 (地質情報研究部門)  
(常勤職員1名、他5名)

**〔研究内容〕**

最先端の電子技術や環境エネルギー技術に不可欠な希土類元素 (レアアース) や有価金属元素 (レアメタル) の安定確保は日本の経済・産業の未来を左右する重要課題となっている。共同研究者らは南鳥島の排他的経済水域 (EEZ) に、これまで日本の EEZ 内には存在しないと考えられていた「マンガンノジュール」と「レアアース泥」が存在していることを発見した。EEZ 内に新たに見つかったこれら資源の実態 (分布、規模、成因) が明らかとなれば、海底鉱物資源の開発に大きな弾みがつくだけでなく、将来的に資源小国という宿命をも変える可能性がある。本課題では南鳥島 EEZ 内のこれら資源について、「どこに」「どのくらい」「どうして」存在するのかを明らかにすることを目的に研究を行っている。

本年度は、南鳥島 EEZ 内において調査船「みらい」による2航海を実施し、搭載されているマルチビーム音響測深装置 (MBES) およびサブボトムプロファイラーを用いた広域航走音響観測と、ピストンコアラーを用いた海底堆積物のサンプリングを実施した。その結果以下の結果が得られた。

- (1) 前年度分も含めたサブボトムプロファイラーデータの解析から、南鳥島 EEZ 全域のレアアース泥およびレアアース泥を覆う表層泥の分布が明らかとなった。
- (2) MBES から予想されるマンガンノジュール存在域において、海底面上にマンガンノジュールが存在していることを、水中カメラによって確認できた。この海域は、レアアース泥が表層泥に覆われることなく海底面に露出していることから、レアアース泥の露出とマンガンノジュールの存在に何らかの可能性があることが予想される。
- (3) 上記マンガンノジュール存在域を含む南鳥島南方海域において採取されたコア試料の予察的な分析によって、総レアアース濃度が4,000~8,000ppm におよぶ超高濃度のレアアースが広範囲に分布していることが明らかとなった。

[分 野 名] 地質

[キーワード] レアアース泥、マンガンノジュール、南鳥島

[研究 題目] タイ国産腕足動物化石の炭素・酸素同位体組成を用いた石炭紀~ペルム紀の古環境復元

[研究代表者] 井龍 康文 (東北大学)

[研究担当者] 井龍 康文 (東北大学)、原 英俊 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他1名)

[研究 内容]

タイには保存の良い石炭系~ペルム系の腕足動物化石が産出することが知られている。この腕足動物化石殻にて炭素・酸素同位体組成分析を行い、石炭紀~ペルム紀にかけて熱帯赤道域の海洋環境変動を明らかにすることを目的とする。本年度は、タイ北中部のベッチャブン地域及びロエイ地域、タイ中西部のカンチャナブリー地域にて、腕足類化石の採集を行った。採取の際には、腕足類化石同位体組成の固体内変異、個体差、地域差、種間差の違いに留意するため、地質柱状図を作成しながら産出層準の記載を行った。採取した試料について、東北大学にて、腕足類化石の記載・同定を行い、さらに代表的試料の切断面観察を行った。そして不要な続成作用を被っている化石の除去、炭素・酸素同位体組成が当時の海洋環境を反映している種と部位の選定を行った。

[分 野 名] 地質

[キーワード] 腕足類、石炭紀、ペルム紀、炭素・酸素同位体組成、タイ

[研究 題目] 沈降域の沖積層を用いた最終氷期最盛期以降の海水準変動復元

[研究代表者] 堀 和明 (名古屋大学)

[研究担当者] 堀 和明 (名古屋大学)、田邊 晋、納谷 友規 (地質情報研究部門) (常勤職員2名、他1名)

[研究 内容]

平成26年度は、台湾の中央地質調査所に保管されている250m 長のボーリングコア堆積物を3本記載し、粒度分析と貝化石の同定を行った。ボーリングコア堆積物は、基本的には下位より、河成層、上方細粒化する海成層、上方粗粒化する海成層が累重しており、それぞれ海進期の蛇行河川堆積物とエスチュアリー堆積物、海退期のデルタ堆積物と解釈することができる。これらの堆積物の累重様式は、他の沖積平野と類似するが、その層厚が全体に間延びしていることが分かった。また、平成26年度末には台南市を訪れ、平成27年度に掘削する予定のコア地点を下見した。

[分 野 名] 地質

[キーワード] 台湾、嘉南平野、沖積層、沈降、層厚

[研究 題目] 全国地質 Sr 同位体比マッピングー古代における“もの”の移動の解明に向けて

[研究代表者] 南 雅代 (名古屋大学)

[研究担当者] 南 雅代 (名古屋大学)、浅原 良浩 (名古屋大学)、宮田 佳樹 (名古屋大学)、太田 充恒 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他3名)

[研究 内容]

全国 Sr 同位対比図作成は、産業技術総合研究所の全国地球化学図計画で採取された河川堆積物試料を流用して行っている。同位対比はその背景となる地質の分布に大きく左右される。本年度は、北海道地域 Sr 同位対比地球化学図解析に必要な、枝幸コンプレックスが分布する地域において、母岩採取および河川堆積物追加資料採取を行った。

[分 野 名] 地質

[キーワード] 地球化学図、バックグラウンド、Sr 同位対比、同位体分布

[研究 題目] 生物源マグネタイトの役割の解明による古地磁気・岩石磁気研究の刷新

[研究代表者] 山崎 俊嗣 (東京大学)

[研究担当者] 山崎 俊嗣 (東京大学)、七山 太 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他1名)

[研究 内容]

西部赤道太平洋ニューギニア北沖 (カロリン海盆) の堆積物コアを用いて生物源マグネタイト量変動の相対古地磁気強度推定への影響評価研究を実施する。この海域ではニューギニアから砕屑物が大量に供給されるため、陸に近い海盆部では強磁性鉱物も陸源が主であるが、陸からの距離が増すにつれ生物源マグネタイトの割合が増えると考えられている。特に、陸源物質が供給されにくい地形的高まりにおいてはそうであると考えられる。従って、地磁気変動が永年変化を含め同一と見なせる空間

スケールにおいて、陸源／生物源マグネタイトの割合が大きく異なる堆積物で比較可能であり、研究に適した海域であると考えられ、実際にニューギニアに比較的近い場所では、良質な相対古地磁気強度データが得られることが知られている。3ヶ年計画の中間年度は、産総研の保有する最新鋭のレーザー回析式粒子径測定装置 Horiba LA-960を用いた泥質堆積物の粒子径測定を実施した。生物起源のナンノウーズや有孔虫化石を希塩酸で処理して測定を行った結果、これらはドリフト堆積物として底層流によってもたらされたシルト粒子が卓越し、低層流の流速変化によって生じたと思われる粒径の増減が認められることが明らかとなった。今後の検討により、生物源マグネタイト量変動や相対古地磁気強度と粒子径との相関関連が明確にできる可能性がある。

【分野名】地質

【キーワード】生物源マグネタイト、古地磁気、岩石磁気研究

【研究題目】アラスカ湾堆積物から探る北米氷床の消長と海洋環境動態

【研究代表者】須藤 斎 (名古屋大学)

【研究担当者】須藤 斎 (名古屋大学)、松崎 賢史 (地質情報研究部門)  
(契約職員1名、他1名)

【研究内容】

平成26年度は、アラスカ沖で採取された IODP Expeditions 341 Site U1417のコア試料の処理と顕微鏡観察を行った。研究海域であるアラスカ湾はプレートの沈み込み帯である。そこは活動的な造山の運動と氷床の存在で知られている。そこで私は放散虫 microfossil の生層序と水塊構造の変動の復元を行うことを目的にしている。具体的には採取されたコア試料の年代論を明らかにする事から古海洋環境の変動を復元することを目的にしている。昨年度では Site U1417のホール A の堆積物の放散虫の群集変化を分析して放散虫の生層序を2m の間隔で組み立てた。その為、平成26年度ではおよそ80サンプルの処理を行い、処理した試料の放散虫群集を顕微鏡で分析した。主な結果としては、いくつかの放散虫の最後出現イベント (Last occurrence: LO) を記録することが出来た。例としては *Sphaeropyle robusta* の LO (150万年前)、*Eucyrtidium matuyamaii* の LO (125万年前)、*Stylatractus universus* の LO (45万年前) などを記録することが出来た。その結果は2015年1月の古生物学会で発表した。平成27年度では解像度を高めるために IODP Expeditions 341 Site U1417ホール C から80サンプルを新たに処理して放散虫の群集変化を顕微鏡で観察することを予定している。最終的には、IODP Expeditions 341 Site U1417の放散虫の生層序と年代論を明らかにして、その成果を国内学会 (2016年1月の古生物学会など)、そして論文で発表することを考

えている。

【分野名】地質

【キーワード】IODP、生層序学、放散虫

【研究題目】信頼度を含む高分解能地質情報を発信するための WebGIS3次元地質モデラーの開発

【研究代表者】升本 眞二 (大阪市立大学)

【研究担当者】升本 眞二 (大阪市立大学)、根本 達也 (大阪市立大学)、Venkatesh Raghavan (大阪市立大学)、野々垣 進 (地質情報研究部門)  
(常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

本研究の目的は、3次元地質情報を発信するために開発した「Web-GISによる3次元地質モデリングシステムのプロトタイプシステム」を実用的なものに進化させ、信頼度を含めた高分解能3次元地質モデルの構築・発信を可能にすることである。本年度は、理論的な基礎の確立とシステムの改良を行った。

理論的基礎の確立では、地質境界面とモデル空間全体という2種類の地質情報について、信頼度の評価手法を検討した。地質境界面については、カーネル密度推定法を拡張した信頼度の評価理論を確立した。また、理論を基に、信頼度の具体的な算出方法を開発した。本手法では、データの種類の合わせてカーネル関数の高さを、予想される面の形状の変化量に合わせてカーネル関数の幅を変えることにより、データ密度分布を求める。データ密度の値が高く、傾きの小さい領域が地質境界面の信頼度が高い領域となる。モデル空間全体についても、カーネル密度推定法を拡張し、露頭のような点情報とボーリングデータのような線情報とを取り扱う理論・手法を検討した。

システム改良では、ベトナム・ハノイの3次元地質モデルを構築するなど、実用化に向けた研究を実施した。また、地形面・地質境界面推定法の改良に関する検討を進めた。推定領域を等間隔に分割してスプライン関数を設定する従来の手法を改良し、データ密度に応じて推定領域の分割幅を変化させ、スプライン関数を設定する原理を考案した。

【分野名】地質

【キーワード】地質情報、信頼度、Web-GIS、3次元地質モデル

【研究題目】低圧変成帯の温度圧力構造と島弧地殻のダイナミクスの解明

【研究代表者】池田 剛 (九州大学)

【研究担当者】宮崎 一博 (地質情報研究部門)、池田 剛 (九州大学)、外田 智千 (国立極地研究所)

(常勤職員1名、他2名)

**【研究内容】**

島弧及び大陸縁辺部での対の変成帯形成過程を解明するために、未解明の部分の多い低圧型変成帯の温度圧力構造、年代を明らかにし、数値シミュレーションによって地殻内部の物質循環を明らかにする。本年度は、九州西部天草における野外調査により採取した泥質ミグマタイトに含まれるジルコンの U-Pb 年代測定を行った。本試料は、岩石学的研究により下部地殻の深度で部分熔融を起こす条件で形成された変成岩であることが明らかになっている。年代測定の結果、1) 泥質ミグマタイトにはプロテロゾイックから前期白亜紀 (~150 Ma) までの碎屑性ジルコンが含まれること、2) 碎屑性ジルコンの周囲には約120 Ma の U-Pb 年代を示す変成リムが成長していることが明らかとなった。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 変成帯、島弧地殻、温度圧力構造

**【研究題目】 河川砂礫堆の3次元形成ダイナミクス：水路実験と現世堆積物の GPR による融合**

**【研究代表者】** 熊代 浩子 (千葉県立中央博物館)

**【研究担当者】** 熊代 浩子 (千葉県立中央博物館)、  
田村 亨 (地質情報研究部門)  
(常勤職員1名、他1名)

**【研究内容】**

GPR (ground penetrating radar 地中レーダ) は、地下に電磁波を放ちその反射信号から地下の内部構造を探索するもので、深さ10m未満の浅層探索に有効である。GPR の探索深度と分解能は、アンテナの中心周波数と媒質によって変わり、より高周波では探索深度は小さくなるが分解能が上がる。本研究はこの特性を生かして異なる周波数のGPRのアンテナを用いて、水路実験と現世河川における砂礫堆 (bar) の3次元内部構造を探索し、比較する。どちらの場合にも時間面を挿入し、3次元の移動・堆積様式を明らかにする。

前年度までに、静岡県静岡市の安倍川の砂礫堆の3箇所において、3次元的な地中レーダ探索を行い、地点間の礫質河川地形の多様性に伴う河川堆積物の多様性について明らかにした。これに対して本年度は、より細粒の砂質河川を対象とし、愛知県岡崎市の砂堆1ヶ所において、3次元的な地中レーダ探索を行った。矢作川では安倍川に比べて地中レーダの透過がよく、より大深度まで内部構造を可視化でき、また、大型の斜交層理等の構造がよく認識できることが明らかになった。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 河川、物理探査、堆積物、水路実験

**【研究題目】 有孔虫安定同位体組成のバラツキを活かす：海洋底層環境指標の時空間評価へ**

**に向けた試み**

**【研究代表者】** 石村 豊穂 (茨城工業高等専門学校)

**【研究担当者】** 石村 豊穂 (茨城工業高等専門学校)、  
池原 研 (地質情報研究部門)、  
長谷川四郎 (東北大学)  
(常勤職員1名、他2名)

**【研究内容】**

本研究では、海底堆積物中の底生有孔虫遺骸の安定同位体組成のバラツキから海洋底層環境を評価する手法の確立を目指している。本年度は、北海道沖から採取された表層堆積物中の底生有孔虫の種毎に1個体毎の同位体測定を行い、そのバラツキの度合いを確認した。その結果、十勝沖では同位体組成のバラツキが大きいものに対して、日高沖ではバラツキが小さいことが判明した。これらは古い有孔虫遺骸の混入を示している可能性があり、表層堆積物の堆積過程の場所による違いが反映している可能性が示唆された。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 海底堆積物、底生有孔虫、海底環境、酸素同位体比、炭素同位体比、堆積過程

**【研究題目】 東海地震に関する防災政策の経済的インパクトの研究**

**【研究代表者】** 宮崎 毅 (九州大学)

**【研究担当者】** 宮崎 毅 (九州大学)、大谷 竜 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他1名)

**【研究内容】**

東海地震の防災政策による経済的インパクトの評価を行った。まず地震財特法による効果を見るために、住宅土地基本調査に記載されている、市町村建物のデータをコンパイルして、建築年、建物種類、耐震化の有無別に建物再調達価額のデータ整備を行った。これらのデータから応用アール・エム・エス株式会社の地震被害算出システムを使って、予測される被害額と東海地震対策を行っていなかった場合の被害額を計算し、その差から政策効果を分析した。その結果、分析対象の静岡県と山梨県のうち、静岡県で被害軽減効果が大きいことが分かった。

また、大震法による効果を見るために、不確実性下での意志決定に用いられるベイズ推定の手法を地震保険に適用し、地震予知情報の経済的価値の算出も行った。上記の東海地域における被害額データを用いて地震保険の費用便益分析を行ったところ、建物年や建物の構造に依存して計算結果が大きく変動することが分かった。

**【分野名】** 地質

**【キーワード】** 地震財特法、大規模地震対策特別措置法、地震被害軽減効果、地震予知情報、ベイズ推定、条件付き確率

**【研究題目】 強磁性体効果を用いたトンネル接合型冷凍機の実現**

〔研究代表者〕 柏谷 聡 (電子光技術研究部門)  
 〔研究担当者〕 柏谷 聡 (電子光技術研究部門)、  
 小柳 正男 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

トンネル接合型固体冷凍機は、超伝導センシングの冷却コストを劇的に改善する技術として期待されているが、現状では期待される冷凍能力の1%程度しか達成されていない。本研究では、従来型冷凍機の常伝導電極を強磁性体に置き換えた、強磁性体/絶縁体/超伝導体 (F/I/S) 接合型冷凍素子を開発し、強磁性体によるアンドレーエフ反射の抑制と、高いスピン偏極率に起因する準粒子緩和長の増大による排熱の効率化を実現する技術を確認する。これに基づき、冷凍能力を飛躍的に向上させた固体冷凍機を開発するとともに、エネルギー、電荷、スピンに関する多重非平衡超伝導の物理を開拓する。

本年度は正常金属として Al 酸化膜で作成しているトンネルバリアの品質向上を進め、残留抵抗の少ない素子の作成に成功し、さらに素子構造の改良を進め、ブリッジタイプの冷凍機の試作を進めた。これらの素子作成プロセスは大きく改良されたが、固体冷凍機の冷却効果の向上を観測するにはいたっておらず、評価回路の改造を含めた検討を進めている。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 固体冷凍機、超伝導トンネル接合

〔研究題目〕 電流注入型有機半導体マイクロレーザーの開発

〔研究代表者〕 佐々木 史雄 (電子光技術研究部門)  
 〔研究担当者〕 佐々木 史雄 (常勤職員1名)  
 〔研究内容〕

本研究テーマでは室温での光学・伝導特性共に優れた性能を持つ有機半導体材料 (チオフェン/フェニレン) コオリゴマー (TPCO) に微細加工を施し、少ないキャリア注入でレーザー発振が得られるような微小共振器と電流注入デバイス構造とを両立させる有機結晶薄膜作製技術と加工プロセスの開発を進めている。本年度は昨年度整備したスライディングポート装置を用いて結晶性薄膜での三層積層構造 (ダブルヘテロ構造) を作製した。その際、原料がスムーズに流れ出るように、かつ必要以上に漏れ出すことが無く、制御された成膜レートを実現するため、るつぼスリットを狭くする必要があり、特注のるつぼを作製した。その結果、3層積層で1ミクロン以下の成膜が可能になった。また、今まで蒸着膜などで積層化した場合には光励起発振する膜を作ることが困難であったが、今回、3層積層膜でも光励起発振を実現できた点で、大きな進展があった。現在その結果について投稿論文作成中である。残念ながら電流注入型素子としては、現状使えないことが明らかになった。原因は結晶膜中のピンホールやマイクロクラックなどの影響で電流リークが生じ、LED 動作できないことであった。今後、

リークの無い結晶性ダブルヘテロ有機膜を形成し、その LED 動作を目指す。他にも、TPCO 系のみならず、新規有機発光性材料での微小共振器作製や時間分解分光などの各種共同研究が進んでいる点など順調に成果が出ている。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 有機半導体レーザー、微小共振器、ダブルヘテロ構造、(チオフェン/フェニレン) コオリゴマー、pn 接合

〔研究題目〕 異種ファイバレーザーのコヒーレント合成による高繰返し極短パルス光源の開発

〔研究代表者〕 吉富 大 (電子光技術研究部門)  
 〔研究担当者〕 吉富 大、鳥塚 健二 (常勤職員2名)  
 〔研究内容〕

超短パルス光源は、光と物質の相互作用における超高速なダイナミクスを探るツールとして必要不可欠なものである。高繰返し・高平均出力性を有し、省エネ・低コストで、取扱も容易なファイバレーザーをベースにして、このような極短パルス光源を構築することには実用的意義がある。しかし、ファイバレーザーは一般に帯域が狭く、単一のレーザーによって極短パルスを得ることは難しい。本研究では、異なる波長のファイバレーザーの同期合成による帯域の拡張を利用した極短パルス光源の構築をめざしている。

本年度は、より高安定な2波長同期光源の実現のために、共通シード光の波長変換により、エルビウムファイバの利得波長1500~1600 nm とイッテルビウムファイバの利得波長1000~1100 nm の2波長光を得る方式を用いた。共通シード光として、全ファイバ型構成によるエルビウムファイバモード同期レーザーを開発した。高安定で高出力な正常分散領域で動作を行い、1 nJ/pulse, 164 fs を得ている。さらに、自己相似増幅法を用いた全ファイバ型エルビウムファイバ増幅器を開発し、帯域を広げながら増幅を行った。シングルモードファイバによる圧縮によって、全ファイバ構成で2.5 nJ/pulse, 41 fs のパルスを得ることに成功した。さらに、2波長同期光の実現のために、増幅器を平行化し、片方の増幅器からの光を高非線形ファイバに通して波長変換し、イッテルビウムファイバのシード光を得た。今後、2波長光の増幅及び合成により極短パルス発生をめざす。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス  
 〔キーワード〕 レーザー、超短パルス、フェムト秒、超高速現象

〔研究題目〕 多値多層記録と超解像再生を同時に達成する InSb 不定比酸化物薄膜の作製と機構評価

〔研究代表者〕 島 隆之 (電子光技術研究部門)  
 〔研究担当者〕 島 隆之 (常勤職員1名)

### 【研究内容】

光ディスクを利用した情報アーカイブに関して、記録の多値多層化や超解像再生が共に可能な機能性材料 ( $\text{InSbO}_x$ ,  $x < 4$ ) を用いた高密度大容量化を検討している。これまでに、多層化と超解像再生を両立させるため、波長405nmにおける光透過性が高くなるよう  $\text{InSb}/\text{O}$  比を調整した結果、ラザフォード後方散乱分光法及び蛍光 X 線分析法で評価した組成比が  $\text{In}:\text{Sb}:\text{O} = 21:17:62$  (at%) のとき、屈折率が約2.6、消衰係数が約0.5の薄膜が得られた。また、 $\text{InSbO}_x$  薄膜 (膜厚: 20nm) を  $\text{ZnS-SiO}_2$  薄膜で挟んだ3層構造 (総膜厚: 145nm) では、600°C加熱時に総膜厚が5%ほど増加する結果が得られており、光ディスク試料において凸の変形記録が成されている可能性が示されている。

超解像再生機構として機能性薄膜の昇温に伴うバンドギャップシフトに由来する可能性を指摘していたが、波長405nmにおける特性評価を行ったところ、薄膜を900°Cで2時間加熱後は、室温と600°Cの間で可逆的な光学特性変化があることを実験的に明らかにした。併せて、成膜直後は電氣的に絶縁性を示していたが、同条件で加熱処理後は、材料系本来の特長である電気伝導性が現れることを確認した。最終年度は記録多値化の可能性を中心に検討を進め、記録大容量化へのコンセプト構築に向けた取り組みをまとめる。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 光ディスク、アーカイブ、大容量、高密度、酸化物

### 【研究題目】 レーザー誘起ブレイクダウンを用いた密度分布測定

【研究代表者】 屋代 英彦 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 屋代 英彦、欠端 雅之 (常勤職員2名)

### 【研究内容】

レーザー誘起ブレイクダウンを用いた液滴粒子数密度測定は高時間分解で絶対値が測定できることから、ディーゼルエンジン等の間欠噴霧エアロゾルの測定が可能で燃費効率改善の診断手法として期待されている。一方で、空間分布測定に対し飛躍的に増加する測定点に比例して測定時間の増加が問題となる。この解決手段としての高繰返しレーザーの使用、ビーム分岐した多ビーム同時照射が挙げられる。エアロゾルの流速にも依存するが、2kHz 以下の繰返し周波数のレーザー照射では測定点間隔に依存せず同時照射が可能である事がわかった。さらにフライアイレンズを用いた複数点でのブレイクダウン発生光学系を CCD を用いた画像計測での観測可能なシステムを構築したが、各集光点の不均一性から分布を評価するまでには至っていない。ビームを均一に分散可能な回折光学素子を導入しフライアイレンズの代わりに4mm 以上の間隔で  $6 \times 6 = 36$  点の集光点を確認した。各点での数密度計測を可能とし散乱計測との比較を行うこ

とで密度分布測定を行う。するプログラムを作成し次年度の密度分布測定の実験につなげる。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 レーザー誘起ブレイクダウン、エアロゾル、液滴、粒子数計測

### 【研究題目】 TDGL 方程式のシミュレーションによる超伝導ストリップライン検出器の高性能化

【研究代表者】 馬渡 康德 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 馬渡 康德 (常勤職員1名)

### 【研究内容】

超伝導ストリップ検出器は、分子イオン等が衝突したときの局所的な常伝導転移により発生する電圧パルスを計数する検出器であり、高検出効率、高速応答、および低暗計数といった優れた特長を活かして、ライフサイエンス等幅広い分野への実用化が期待されている。本研究では、超伝導ストリップ検出器を飛躍的に高性能化して質量分析への実用化に資することを目的とし、時間依存 Ginzburg-Landau (TDGL) 方程式に基づくシミュレーションを行っている。

H26年度は、超伝導  $\text{MgB}_2$  ストリップを用いた分子イオン検出器を対象として、TDGL 方程式、熱拡散方程式、および回路方程式に基づく数値シミュレーションを行った結果、実際に  $\text{MgB}_2$  ストリップ検出器によって観測された電圧パルス波形の実験データと定量的に一致することを確認した。さらに、 $\text{MgB}_2$  は Nb 等に比べて超伝導転移温度が高いために検出器における冷凍機の小型化が可能であるのみならず、 $\text{MgB}_2$  は熱的に極めて安定でバイアス電流を大きくすることで検出効率を高くすることができることを明らかにし、 $\text{MgB}_2$  ストリップ検出器の実用化への道筋を示した。さらに、検出器以外のデバイスについても検討し、穴を空けた超伝導ストリップに直流電流を流した場合に量子化磁束がコヒーレント振動する自励発振現象を数値シミュレーションにより見出し、新原理に基づくテラヘルツ帯電磁波発振器としての可能性を理論的に明らかにした。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 超伝導、検出器、分子イオン、質量分析、時間依存 Ginzburg-Landau 方程式、シミュレーション

### 【研究題目】 一次相転移系遷移金属酸化物の電界相制御

【研究代表者】 渋谷 圭介 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 渋谷 圭介 (常勤職員1名)

### 【研究内容】

多彩な物性を示す遷移金属酸化物の応用に向けて、電場・磁場・光・圧力などの外的刺激による電子相制御が重要となってきた。しかしながら、不揮発性と可逆

動作を伴う相制御の研究は初期段階にあり、その理解は未だ不十分である。本研究では、遷移金属酸化物の不揮発かつ可逆的な電子相制御の手法を確立する。この目標達成のために一次相転移物質を使用する。これは、構造変化を伴うことで基底状態と遷移状態の双安定化が達成されるためである。

本年度は、フッ化マグネシウム基板上に成長させたエピタキシャル二酸化バナジウム ( $\text{VO}_2$ ) 薄膜を用いた電気二重層電界効果トランジスタを作製した。1V 程度のゲート電圧によって  $\text{VO}_2$  の抵抗率を大幅に変調させることに成功し、その動作が不揮発かつ可逆的であることを確認した。ラマン散乱分光によって、電界効果による相転移前後で  $\text{VO}_2$  の結晶構造が変化していることを明らかにした。さらに、組成分析により相転移の原因が  $\text{VO}_2$  中へのプロトンの移動であることを解明した。これにより、電界による  $\text{VO}_2$  の電子相制御技術は、電気的なスイッチとしてだけでなく、光学スイッチにも応用できることを示した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 電界効果トランジスタ、遷移金属酸化物、エピタキシャル薄膜

【研究題目】 静電キャリア濃度制御で切り開く新物性探索とモットロニクス

【研究代表者】 井上 公 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 井上 公 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は「有機無機ハイブリッドゲート絶縁膜 (特許 5522688 2014年6月6日)」をゲート絶縁膜に用い、遷移金属酸化物単結晶がチャンネルの電界効果トランジスタ、つまり世界初のモットトランジスタのプロトタイプを動作させることを目標としている。最終年度はパリレン 3nm または 6nm、 $\text{HfO}_2$  が 20 nm のハイブリッドゲート絶縁膜を  $\text{SrTiO}_3$  単結晶表面につけ、フォトリソグラフィでチャンネル長 2  $\mu\text{m}$  の FET を作製したところ、室温でサブスレシヨルド・スイングが 170mV/dec 以下、易動度が 10  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  という遷移金属酸化物のトランジスタとしては特筆すべき結果を得た。さらにホール効果の測定により室温で  $10^{14}/\text{cm}^2$  ものキャリアが誘起されていることも判明した。これは絶縁膜の静電容量から予想される値の10倍である。絶縁膜の静電容量は電圧印加を繰り返しても変化しておらず、 $\text{SrTiO}_3$  表面で「負のキャリア圧縮度」つまり「負の静電容量」が生じていることが明らかになった。負のキャリア圧縮度は電子相関などの相互作用でキャリアドーピングに伴って状態密度の形状が変化する場合に起こり、それが顕著なモット絶縁体で多くの報告がある。準安定状態なのでキャリア濃度が不均質になることが予想されるが、実際にパーコレーション的な伝導も観測できた。ただし  $\text{SrTiO}_3$  はモット絶縁体ではないので、界面での強いスピン軌道相互作用(ラ

シュバ効果)の結果、負のキャリア圧縮度が観測されたのではないかと考えられる。「真のモット FET はこのように振る舞うであろう」と予想していた結果を、予想だにしていなかった  $\text{SrTiO}_3$  上の FET で観測することができた。今後のモット FET の研究を大きく変える大変重要な結果になるかもしれない。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】  $\text{SrTiO}_3$ 、パリレン、負の静電容量、ラシュバ効果、パーコレーション

【研究題目】 ナノフォトニクス、画像認識技術、金属錯体の融合による菌類同定システム研究

【研究代表者】 栗津 浩一 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 栗津 浩一、金里 雅敏、園田 与理子、藤巻 真、島 隆之 (電子光技術研究部門)、高橋 栄一、村川 正宏、坂無 英徳、野里 博和 (情報技術研究部門) (常勤職員9名)

【研究内容】

光ディスク技術では、その使い方により、通常の情報ビット (~ミクロンオーダー) と少なくとも同程度の微小構造物を計測することが可能となる。そのため、例えば菌類等の人々にとって有害な微小対象物を、高速・安価・ポータブルに検出できるセンサが、一般的な DVD プレーヤと同様に、実現することが期待される。本研究では、光ディスクを使った菌類の計測技術を開発することに加え、得られた計測情報から菌類を同定するための研究を行う。

まず計測について、光ディスク試料を高速回転させながら、計測ピッチを 740nm から 400nm にして画像を高精細化させること開発を開始した。今後は観察した菌類の形状情報からその種類を同定するため、画像認識技術の適用を進めるとともに、より詳細な形状観察のため、計測ピッチ条件を狭める検討を行う。

次に菌類からの蛍光観察も同時に行えるよう測定系を改修して、蛍光観察を行った。発光した菌類の観察に成功したが、一部の菌類で捕捉がうまくできなくなると言う問題点も顕在化した。これらに関しては今後、光検出系を高感度化するなどの改良を行う。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 光ディスク、光検出、センサ、画像認識技術、金属錯体

【研究題目】 時間分解プラズモン励起発光イメージングを用いたノロウイルス検出システム研究

【研究代表者】 藤巻 真 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 藤巻 真、芦葉 裕樹 (電子光技術研究部門)、久保田 智巳 (糖鎖医工学研究センター) (常勤職員3名)

### 〔研究内容〕

ノロウイルスは非常に感染力が強く、感染予防用センサには、100～1000 copies/ml 程度の高いウイルス検出感度が要求される。この検出感度レベルを満たす手法は幾つか存在し、実際に利用されているが、従来法は、操作が煩雑であったり、検出に時間を要したり、特殊技能が必要であったりと、現地でのその場検査には適用が難しく、これらの手法と同程度の感度で、かつ簡易、高速なウイルスセンサが求められている。また、ノロウイルスには33以上もの遺伝子型が存在し、各遺伝子型はそれぞれ異なった抗原型に対応している為、遺伝子型特異的なポリクローナル抗体を用いている現状の臨床検査用ノロウイルス検出キットでは、これら全ての型を網羅的に検出することは出来ないという問題点もあった。我々は、我々が開発した表面プラズモン共鳴励起蛍光増強を利用した V 溝バイオセンサをベースに、これらの問題点をクリアし、高感度、簡易操作かつポータブルで、全ての遺伝子型のノロウイルスを一度に検出できる手法を確立する。

ウイルスの検出システム開発においては、蛍光標識の選定、光源の選定、表面プラズモン共鳴励起層の材料選定を予定通りに進めることができた。蛍光標識には量子ドットを用い、励起光源には波長390nm のパルス光源を用いることとし、表面プラズモン共鳴励起層の材料にはアルミニウムを用いることにした。さらには、これらの条件を元に、V 溝形状の設計も終え、予定を前倒しして、本開発システム用のセンサチップの1次試作も完了した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 センサ、ウイルス、表面プラズモン共鳴、遺伝子型、抗体

### 〔研究題目〕 ナノ NMR センシングを可能とする高機能ダイヤモンド合成

〔研究代表者〕 渡邊 幸志（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 渡邊 幸志（常勤職員1名）

#### 〔研究内容〕

本研究の目標は、単一プロトン検出に要求される磁場検出感度と空間分解能となる、ダイヤモンド NV ペアの表面近傍配置（5nm 以下）とその電子スピン位相保持時間（ $T_2=45\mu\text{s}$  以上）を両立させるダイヤモンドの窒素ドーピングと表面近傍の極浅 NV ペア形成技術を開発することである。

初年度となる H26年度は、新規マイクロ波プラズマ発生装置に必要な要件を検討・設計し、それに伴う基礎データを取得するため、既存マイクロ波のスペクトル評価およびプラズマ分析装置を完備し、新規マイクロ波合成に向けた予備実験を行った。加えて、ダイヤモンドの成長速度と不純物の取り込みに相関があることに着目し、成長速度制御因子となる以下2つの取り組みを実

施した。

#### (1) ダイヤモンド（001）基板表面の微細溝加工

ダイヤモンド表面にデバイス作製技術を利用し、微細な矩形状の溝構造を作りこむことによりプラズマ条件を変化させることなく局所的な成長速度と NV ペア濃度を増大させることができることがわかった。この微細構造の断面 SIMS イメージ分析と CL マッピングを実施したところ、（溝無成長/溝構造成長）の速度比は4であり、溝構造周辺に Band A に相当する特徴的な分布を示す発光があることが明らかになった。この結果を受け最適条件模索のため様々な溝パターンとの設計とダイヤモンド基板への加工を実施した。

#### (2) ダイヤモンド(111)基板への成長

(111)面のホモエピタキシャル成長で、(001)面成長に匹敵する約60nm/h の成長速度の制御に成功した。これまで高い成長速度のため品質とナノメートルオーダーの膜厚制御に問題があったが、この技術により膜厚、品質だけでなく(111)基板特有の NV 配向性を兼ね備えた NV ペア形成に有効であると期待される。今後系統的な窒素ドーピングおよびスピン寿命評価を試みる。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 量子センシング、ダイヤモンド、マイクロ波プラズマ CVD

### 〔研究題目〕 強誘電性と導電性の共存を利用した強誘電抵抗スイッチングの物理的機構に関する研究

〔研究代表者〕 澤 彰仁（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 澤 彰仁（常勤職員1名）

#### 〔研究内容〕

強誘電体の分極反転を起源とする新しいタイプの抵抗変化不揮発性メモリが、次世代不揮発性メモリの候補として注目されている。しかし、その動作機構の詳細は未解明であり、今後、素子開発を進める上で、動作機構の全容解明が課題となっている。本研究では、導電性強誘電薄膜・接合の導電パスと導電機構、抵抗スイッチングの発現に不可欠な素子内部の非対称なバンド構造の起源を明らかにし、強誘電抵抗スイッチング現象の動作機構の全容を解明する。また、動作機構を基づく素子特性の制御手法を開発し、強誘電抵抗スイッチングの特長を活かした低消費電力メモリ応用の基盤確立を目指す。

H26年度は  $\text{Bi}^{3+}$  を  $\text{Ca}^{2+}$  で置換することによりホール・キャリアをドーピングした  $\text{Bi}_{1-x}\text{Ca}_x\text{FeO}_3$ (BCFO)薄膜を作製し、導電性および強誘電性と抵抗スイッチング特性の関係を評価した。Ca 置換量  $x$  を0～0.23の間で変化させた BCFO 薄膜の強誘電性を、分極-電圧特性測定、走査型圧電応答顕微鏡測定により評価した結果、 $x < 0.09$ では強誘電性を示し、 $0.09 < x < 0.15$ では強誘電性が不安定化し、 $x > 0.15$ では強誘電性が消失することが分かった。強誘電性を示す  $x < 0.09$ について、導電性と



抵抗スイッチング特性を調べた結果、 $x < 0.03$ の薄膜は絶縁性が高く、抵抗スイッチングが発現しないが、 $0.06 < x < 0.09$ の薄膜は導電性を有しており、電流 - 電圧特性に抵抗スイッチングの発現を示すヒステリシスと、整流性が観測された。一方、強誘電性が消失する  $x > 0.15$  では、抵抗スイッチングは発現しなかった。この結果から、抵抗スイッチングの発現には強誘電層が強誘電性と導電性を有している必要があり、抵抗スイッチングが Pt 電極と BCFO 薄膜の界面に形成したショットキー的な障壁で発現していることが分かった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】不揮発性メモリ、抵抗スイッチング、強誘電体、遷移金属酸化物

【研究題目】サイクロイド様サブ波長断面構造での高効率局在プラズモン発生と超高感度センサー応用

【研究代表者】福田 隆史（電子光技術研究部門）

【研究担当者】福田 隆史、古川 祐光、石田 尚之、茨田 大輔、江本 顕雄  
（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

本研究では、サブ波長スケールの周期を持つ曲面で構成される表面（サイクロイド様サブ波長断面構造）の最適化を通じて、局在プラズモン共鳴スペクトルの狭帯化と屈折率応答性の極大化を図り、そのことを通じて、分光器によるスペクトル計測を不要化する局在プラズモン型長高感度バイオセンサーの実現を目的としている。

H26年度は、サイクロイド様サブ波長断面構造の最適化の端緒として、半球構造を鋳型とする異方的曲面構造の解析と機能の相関について考察した。当該構造の空間周波数パワースペクトル解析を通じて、構造最適化の指針を整理し、それに基づくモデル構造について時間領域差分法電磁界シミュレーションを実施し、電場増幅硬化の効率的な発現について確認を進めている。また、半球構造を鋳型とするサイクロイド様サブ波長断面構造の作成と構造転写、および、微粒子テンプレートとシラン気相吸着技術の組合せによる構造形成プロセスの条件検討を行い、再現性の高い条件を見出すに至った。その他、3種の自家蛍光色素（半値全幅100nm程度）を用いて、その混合比を変化させたサンプルを調製し、少数の波長フィルタによって来合否の定量評価を行うことを試み、誤差5%以下の精度で混合比を定量解析できることを示し、今後の色度解析に関する見通しを得た。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】バイオセンシング、局在プラズモン、サブ波長構造、機能表面制御、色度解析

【研究題目】価数スキップ揺らぎによる新超伝導体の

理論設計

【研究代表者】長谷 泉（電子光技術研究部門）

【研究担当者】長谷 泉、柳澤 孝（電子光技術研究部門）、小田切宏  
輔（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

自然界には特定の価数を安定的にとらない「価数スキップ元素」が存在する。その元素を取ってスキップ価数にすると大きな電荷揺らぎが発生し、電荷密度波や超伝導などの秩序状態が生じる。我々はこの機構による超伝導候補物質を提案し、実際に (Sr,Na)Bi<sub>3</sub>において新超伝導体が発現した。この物質に対する第一原理計算を行い、この系でマチアス則が成り立つことを明らかにした。また第一原理計算ソフト WIEN2k を導入し、講習会を行うことで実験家にも簡単な第一原理計算を行っていただけの環境を整えた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】価数スキップ、電荷揺らぎ、超伝導、第一原理計算

【研究題目】電子相関機構に基づく高温超伝導機構の解明と新規超伝導体のデザイン

【研究代表者】柳澤 孝（電子光技術研究部門）

【研究担当者】柳澤 孝、長谷 泉、伊豫 彰、竹下 直（電子光技術研究部門）、  
（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究においては、電子相関機構に基づいて高温超伝導機構の解明をめざした研究を行い、それを基に新規超伝導体のデザインを行う。本年度は強相関領域を中心として大規模数値計算を行った。ホールがドープされていないキャリア数ゼロの場合、相互作用を強くしていくと金属・絶縁体転移が起こる。我々は絶縁体の波動関数を新たに提案した。二次元ハバードモデルにおいては  $U/t \sim 7$  において絶縁体への相転移がおこり、 $d-p$  モデルにおいては  $d, p$  軌道のレベル差がおおよそ  $3t_{dp}$  の時に起こることを示した。これらの値が弱相関領域から強相関領域へのクロスオーバーを与える相互作用のスケールである。キャリアがドープされると超伝導状態への相転移が起こる。超伝導凝縮エネルギーは、強相関領域において急激に増大することを明らかにした。ハバードモデルでは  $U > 7t$  の領域に対応する。また、新規超伝導体のデザインについて考察を行い、いくつかの新規超伝導体の提案を行った。元素置換により状態密度の増大が予想され、それに伴って超伝導臨界温度の上昇が期待されたが、実際にその通りになった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】高温超伝導、電子相関機構、モット転移、ハバードモデル、 $d-p$  モデル、強相関領域

【研究題目】固有接合量子メタマテリアルを用いた光制御技術に関する理論研究

【研究代表者】浅井 栄大（電子光技術研究部門）

【研究担当者】浅井 栄大（他1名）

【研究内容】

本研究課題の目的である固有ジョセフソンフォトリックデバイスの提案に向けて、超伝導量子ビットを人工原子として次元超伝導量子メタマテリアルの電磁場応答理論を構築した。まずは量子ビット間に直接的な相互作用のない量子メタマテリアルを想定し、その電磁場応答特性を数値シミュレーションより調べた。その結果、直接相互作用のない量子メタマテリアルにおいても、人工原子である量子ビットが電磁場を介して結合し、量子メタマテリアル全体として特異な電磁場応答を示す事が明らかになった。

まず量子メタマテリアル内を伝搬する電磁場パルスに対しては集団的な誘導放出を起こし、パルス強度を大きく増強する事が明らかになった。また、超伝導量子ビットの示す非線形性に由来する量子ビットのカオスのダイナミクスや高調波発生、パラメトリック増幅現象等も現れる事がわかった。以上の成果は Phys. Rev. B 誌にて発表を行った。

更に、外部磁場下において量子ビットが静磁場を介して結合し、超伝導量子メタマテリアルが全体として一つの超伝導体のように振る舞う事が明らかになった。その際、量子メタマテリアル内部には特殊な量子渦糸が発生し、従来の超伝導体とは大きく異なる磁場応答を示す事が明らかになった。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超伝導量子ビット、高温超伝導体、固有ジョセフソン接合、メタマテリアル

【研究題目】非平衡光プロセスを用いたナノカーボン系薄膜作製とデバイス応用

【研究代表者】阿澄 玲子（電子光技術研究部門）

【研究担当者】阿澄 玲子、橘 浩昭、島田 悟、横田美子、梶原 晃平（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

本研究課題では、プラスチックを含む任意の基板上に塗布製膜・後処理によりナノカーボン系薄膜を作製する技術を開発し、これを半導体素子や透明導電膜などのデバイスに応用することを目指している。方法として、前駆体となる種々の有機材料の薄膜を基板上に塗布法によって作製し、これに短パルス光を照射して、基板を傷めることなく照射部分の急速加熱焼成を行い、ナノカーボン系薄膜に転換する。光を用いるため、焼成と同時にパターンニングを行うことも可能である。この技術を用いてプラスチック基板を含む様々な基板に塗布製膜でのデバイス作製のプロセスを開発する。

H26年度は、ポリチオフェンなどの有機高分子の溶液や水酸化グラフェンの分散液などを石英基板上に塗布製膜した。光源として白色光であるキセノンフラッシュランプを用いて、これらの薄膜の光焼成を試みた。作製した薄膜のスペクトル測定により、薄膜が加熱により変化し、グラフェン様の薄膜に変化していることが明らかになった。

同時に、塗布製膜の前駆体として種々の材料の探索を行った。有機前駆体としては、種々のオリゴチオフェン化合物の合成に取り組んだ。また、グラフェンの類縁体として、塗布製膜可能なケイ素系材料など探索を行った。さらに H27年度の研究予定項目の予備検討として、摩擦転写法によりポリ(3-ヘキシルチオフェン)の面内配向膜の作製を行った。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ナノカーボン、光焼成、電子デバイス

【研究題目】光で寿命制御可能な生分解性材料の創製

【研究代表者】則包 恭央（電子光技術研究部門）

【研究担当者】則包 恭央、吉川 佳広（常勤職員2名）

【研究内容】

生分解性高分子は、バイオマスを原料として生産され、使用後には微生物が体外に分泌する加水分解酵素の作用で二酸化炭素と水にまで分解される環境低負荷材料として実用化が期待されている。実用化に向けての課題の一つに、材料の寿命制御がある。従来は、結晶化度や分子量の制御、あるいはブレンドといった古典的方法で酵素分解の速度制御を目指した研究が進められてきた。しかし、いずれも全体的な分解速度を変化させているに過ぎず、酵素分解の ON/OFF 制御ではない。そこで、本研究では生分解性材料の寿命を光によって制御できるこれまでにない画期的な材料創製に挑戦する。そのために、光照射によって酵素分解の ON/OFF 制御機能を付与した寿命制御型生分解性高分子材料を創製し、酵素分解の起点である酵素吸着とその後の加水分解作用を制御する。これによってグリーンイノベーション研究を牽引する。

本研究課題では、上記目的を達成するために適した化合物の設計・合成を実施し、また合成した化合物と生分解性高分子との複合方法を検討した。また、光応答性を付与した生分解性高分子の薄膜を作成し、光照射による薄膜表面の変化を各種分析手法を用いて評価した。その結果、光応答性を付与した生分解性高分子薄膜において、光照射によって高分子薄膜の表面状態が変化していることを示す結果が得られた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】高分子、固体、酵素、光応答性材料、生分解性

【研究題目】固有ジョセフソンフォトリックデバイス

### の数値的研究：新奇テラヘルツ帯デバイスの提案

【研究代表者】 浅井 栄大（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 浅井 栄大（他1名）

#### 【研究内容】

本年度はテラヘルツ円偏光への応答を可能にする固有接合フォトニックデバイスの提案に向けて、高温超伝導体固有接合から放射されるテラヘルツ (THz) 円偏光の特性を調べた。また、新たな固有接合フォトニックデバイスの提案を念頭に、鉄系超伝導体からなるジョセフソン接合の量子トンネル特性について調べた。

昨年度はメサ型の固有接合デバイスにおける温度の不均一性に着目し、レーザー照射を用いた局所加熱によって THz 波放射強度を自在に制御できる事を明らかにした。本年度はその成果を踏まえて、局所加熱による THz 円偏光の発生と偏光特性の変化について調べた。その結果、正方形に近い長方形型固有接合メサに局所加熱を行う事で THz 円偏光が放射される事が明らかになった。また、局所加熱の位置を変化させる事で直線偏光から円偏光へ自在に制御可能である事を明らかにした。

更に、本年度は近年新しい固有接合系として注目を集めている鉄系超伝導体に着目し、鉄系超伝導体からなるジョセフソン接合の巨視的量子トンネル現象を調べた。鉄系超伝導体は複数の超伝導ギャップが開く多ギャップ超伝導体であり、その多ギャップ性に由来する新奇な量子電磁場応答の発現が期待されている。数値シミュレーションの結果、異なるギャップ間に生じる位相差揺らぎ（レグットモード）の存在により、トンネル率が著しく上昇する事が明らかになった。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 THz 発振、高温超伝導体、固有ジョセフソン接合、熱伝導、円偏光、鉄系超伝導体、巨視的量子トンネル

### 【研究題目】 ハイブリッド固体ゲート絶縁膜を用いた新奇なモットランジスタの開発

【研究代表者】 井上 公（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 井上 公、KUMAR Neeraj

（常勤職員1名、他1名）

#### 【研究内容】

本年度の研究ではハイブリッド固体ゲート絶縁膜中のパリレン1層の厚さを3 nm にまで薄くすることに成功した。パリレン成膜中の真空度の制御と、これまで報告されていたアニーリングの方法を変えたことが成功に繋がったと考えられる。さらにこのパリレン薄膜上に、高誘電率酸化物である HfO<sub>2</sub>を、原子層堆積装置を用いて20nm の厚さで均質に積層させた。この2層膜を収束イオンビーム加工装置 (FIB) を用いて切断し、断面を透過型電子顕微鏡 (TEM) や、走査型透過電子顕微鏡 (STEM) と X 線発光分光 (XES) の複合装置により

詳細に検討したところ、基板に用いたチタン酸ストロンチウム (SrTiO<sub>3</sub>)、下部電極の Ti および Al、パリレン、HfO<sub>2</sub>、さらに上部電極の Ti と Au がいずれも互いに元素を混成することなく、きれいな積層構造を保っていることが確認できた。本研究の最初の計画では全く想定していなかったほどの極薄で良質のハイブリッド絶縁膜が得られたというのは非常に意義のある結果である。またこの絶縁膜の誘電特性を詳しく解析し、パリレンの誘電率が2.7、HfO<sub>2</sub>の誘電率が21.5であることがわかった。ともにバルクでの値である3.2と20にほぼ一致しており、確かに良質な膜であることがわかる。HfO<sub>2</sub>が20 nm でパリレンが3 nm の絶縁膜に絶縁破壊に近い8 V の直流電圧を印加したまま、0.1V、1kHz の交流電圧で1時間、静電容量の変化をトレースしたが、その変化は1%以下であった。この高い品質により SrTiO<sub>3</sub> の FET でサブスレシヨルド・スイングが170 mV/dec 以下、易動度が10cm<sup>2</sup>/Vs という驚くべき結果を得ることに繋がった。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 HfO<sub>2</sub>、パリレン、SrTiO<sub>3</sub>、サブスレシヨルド・スイング

### 【研究題目】 構造最適化による高温超伝導体の転移温度向上

【研究代表者】 永崎 洋（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 永崎 洋、Dongjoon Song（電子光技術研究部門）、（常勤職員1名、他1名）

#### 【研究内容】

銅酸化物高温超伝導体 (Pr,La,Ce)<sub>2</sub>CuO<sub>4+x</sub> を対象として、その超伝導転移温度 ( $T_c$ ) が化学組成およびアニール処理条件によってどのように変化するかを詳細に調べた。試料は帯域溶融法 (Floating Zone 法、FZ 法) によって作製された単結晶を用い、それらを様々な酸素分圧下でアニールすることで準備した。それぞれの試料に対して角度分解型光電子分光 (Angle-resolved photoemission spectroscopy、ARPES) 実験を行うことによって電荷キャリア密度を正確に見積もった。得られた結果を基に、本物質の電子相図を確立し、 $T_c$  がキャリア密度と不均一性という2つのパラメータによって支配されることを明らかにした。これらの研究で得られた成果を学会発表によって報告した。

【分野名】 情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】 超伝導、高温超伝導、鉄系超伝導体、単結晶、輸送特性、臨界電流密度

### 【研究題目】 クロム化合物をターゲットとした新超伝導体探索

【研究代表者】 石田 茂之（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 石田 茂之（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

新しい超伝導体の発見は、超伝導応用の可能性を広げ

るとともに、新たな学術分野の開拓にもつながる。物質開発において元素の選択は鍵となる要素であるが、本研究ではクロム化合物を対象とした新超伝導体探索を行っている。クロムは、それ自身が反強磁性を示し、またその化合物も磁性を持つことが多く、磁性との親和性が高い。この磁性をうまく利用することができれば、高温超伝導の発現が期待できる。新物質開発における強力なツールである高压合成法を活用して、新たな元素の組合せや、既存物質に対する部分的な置換などに取り組んでいる。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】新物質探索、クロム化合物、層状結晶構造、超伝導、高压合成

【研究題目】カーボンナノチューブ透明導電膜を用いた有機薄膜太陽電池の開発

【研究代表者】周 英（電子光技術研究部門）

【研究分担者】周 英、横田 美子  
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

有機薄膜太陽電池は低コスト、柔軟性に富んだ次世代太陽電池として注目されている。本研究では、カーボンナノチューブ膜（CNT 膜）を透明電極材料として開発を推進することで、“配向・結晶性を制御したフレキシブル有機薄膜太陽電池の開発”を目的とする。

CNT 透明導電膜の導電性を高めるために、よく用いられている硝酸ドーピング法は、耐久性が課題になっていた。本年度は、CNT 透明導電膜の実用化にあたり障害となっていた導電性の長期安定性を飛躍的に向上させることができた。CNT に硝酸をドーピングするかわりに、ヨウ化銅などの金属ハロゲン化物を真空蒸着法で CNT 薄膜の上、またはしたに製膜した。これに数100 マイクロ秒のパルス幅の光を照射して、薄膜の温度を急激に上昇・降下させることにより、金属ハロゲン化物を薄膜内で移動させ、導電性薄膜を作製した。eDIPS 法を用いて作製した CNT を用いることで、透過率85%に対してシート抵抗60Ω/□という、CNT 透明導電膜として世界最高レベルの透明性と導電性を示した。さらに、室温・大気中で放置した際に導電性の経時変化を測定すると、今回開発した透明導電膜では作製直後のシート抵抗の値を長期間保持することがわかった。金属ハロゲン化物のナノ粒子は大気にさらしても揮発しないため、長期間安定に性能を維持することができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス、エネルギー・環境

【キーワード】カーボンナノチューブ、透明導電膜、有機薄膜太陽電池

【研究題目】オンチップ三次元光集積回路に向けた a-Si:H 多層光伝送デバイスの開発

【研究代表者】渥美 裕樹（電子光技術研究部門）

【研究担当】渥美 裕樹（常勤職員1名）

【研究内容】

LSI 性能においては、スケーリング則に従い CMOS 動作単体の高速化が達成される一方で、グローバル電気配線での伝送遅延がボトルネックとなっている。その解決策としてシリコンフォトニクスによる光配線化が注目されている。これまで本研究グループにおいても、300°C程度での低温成膜が可能なアモルファスシリコンをベースとした多層光配線技術に取り組んでいる。

本研究では、さらなるオンチップ高密度信号伝送を実現すべく、上述した多層光集積回路と偏波多重システムを融合した三次元偏波多重光集積回路を見据え、層間偏波ビームスプリッタを設計した。断面寸法の異なる2種類の Si 細線導波路を垂直方向に配置した構造をとっており、両導波路の TM-like モード実効屈折率を一致させ、TE-like モードを大きく離すことにより、前者の方向性結合動作による層間伝送、後者の層内透過が得られる。今回、より小型、広帯域なデバイスの実現を目指し、1層目、2層目の導波路寸法設計を行った。その結果、1層目膜厚220 nm、幅260 nm、2層目膜厚200 nm、幅340 nm の断面構造において、TE モードの実効屈折率差0.3、TM モードの実効屈折率の一致を得た。上記断面構造を用いた偏波分離デバイスについて、1.55 μm 帯での周波数特性を計算した結果、C バンドを十分にカバーする60 nm 以上の波長範囲で、偏波クロストーク<math>20\text{ dB}</math>以下となった。本デバイスは数十 μm 四方の寸法で実現可能である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】シリコンフォトニクス、偏波分離素子、多層光配線

【研究題目】時間反転対称性を破る超伝導体の新奇界面現象

【研究代表者】柏谷 聡（電子光技術研究部門）

【研究担当】柏谷 聡（電子光技術研究部門）、  
柏谷 裕美（計測フロンティア研究部門）、  
齋藤 広大（電子光研究部門）、  
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本研究の目的は、対称性の破れた量子凝縮系でしばしば発現する、トポロジカルに特徴付けられる量子現象を分野横断的に研究することで、「トポロジカル量子現象」としての普遍概念を創出し、新たな学術領域を形成することである。具体的にはスピン3重項伝導体である  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  や金属/強磁性体界面で起こる、トポロジエを起源とするエッジ状態の形成、奇周波数超伝導ペアの形成、自発電流の観測などの観測を行い、これらの現象に共通に見いだされる物理の解明を行う。

本年度はカイラル p 波超伝導体であることが強く示

唆されている  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  と s 波超伝導体である Nb とのジョセフソン接合を作成し、その磁場応答より時間反転対象性の破れに関して検証を進めた。単一エッジに作成したジョセフソン接合の場合には、磁場応答から求めたフランフォーファーパターンは反転対称点がほぼ磁場ゼロである、時間反転対象性の破れが観測できていないことを示唆する結果となっている。一方2つのエッジにまたがって作成したコーナージョセフソン接合では、弱い時間反転対象性の破れが観測されている。この結果と  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  のペア対象性との関連の解析を進めている。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】トンネル分光、トポロジカル量子現象、トポロジカル超伝導、エッジ状態

#### 【研究題目】ダイヤモンド量子センシング

【研究代表者】渡邊 幸志（電子光技術研究部門）

【研究担当者】渡邊 幸志（常勤職員1名）

#### 【研究内容】

本研究は、ダイヤモンド中の個々の量子ビットをセンサーとして、単一の分子や細胞の核磁気共鳴 (NMR) イメージング測定や電位分布測定を室温で実現する実験手法を確立する。同位体ダイヤモンド表面近傍（数 nm）に  $100\mu\text{s}$  以上の量子コヒーレンス時間を有する窒素・空孔 (NV) ペアを配置し、個々の NV ペアに束縛された電子スピンを制御する手法を開発し、2年目には単一 NV 電子スピンをセンサーとしてダイヤモンド外部に置かれた単一分子電子スピンまたは単一原子核スピンの核磁気共鳴検知を成功させ、さらに2次元 NV アレイを用いて空間分解能  $50\text{nm}$  での磁場・電位・温度分布イメージングも実現する。並行してニューロン等の単一細胞への刺激に対する電位分布の時間発展バイオセンシングを NV アレイを用いて実現する。4年目以降には、量子センサーとしての利点を保ちながら、空間分解能  $10\text{nm}$  以下の実現を目標とし、単一分子・細胞の磁場・電場・温度イメージングを目指す。本年度は、NV ペア作製にあたり、新規のドーピングガス  $15\text{N}_2$  ガスの導入を行い成長および評価実験を開始した。また、NV ペアの高活性化のために低圧高速高温アニールの効果の評価したところ、NV ペア形成に劇的な改善が確認された。現在、センサー性能の評価を継続中である。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】量子センシング、ダイヤモンド、電子スピン、イメージング

#### 【研究題目】可視域位相制御ファイバー光源を用いた実時間動的分子構造制御

【研究代表者】高田 英行（電子光技術研究部門）

【研究担当者】高田 英行、鳥塚 健二（常勤職員2名）

#### 【研究内容】

本研究では、可視域のコヒーレント制御光源を開発し、

同帯域に反応性を持つ有機分子の量子状態を制御することを目的とする。

分子の高速な内部運動を制御するために MHz 繰り返しの可視域 Yb ファイバーレーザーを新規に開発し、所望の可視域超短パルスを得る。また、これまでに独自の着想で開発された「高速掃引量子波束分光計」を可視域用に改良し、これら2つの開発結果を総合し、分子の構造、特に、光応答性 DNA などにも応用されているアジベンゼン系分子の構造を任意にスイッチングする励起パルス条件を調べることに最終的な目標とする。

本年度は主として、利得狭窄補正を行った2段の Yb ファイバーレーザー増幅器の出力を、透過型回折格子対を用いた圧縮器でパルス圧縮を行った。そして、新たに開発した2DSI 装置で行った出力パルスのスペクトル位相評価の結果を元に空間液晶変調器を用いた分散補償器でシステムの残留分散補償を行ったところ、パルス幅  $65\text{ fs}$ 、エネルギー  $100\text{ nJ}$  の出力を得た。

従来、ファイバーレーザーにおける超短パルス化には非線形周波数変調と補償を組合せるパルス圧縮法があったが、これには動作条件に敏感で実用上問題があった。今回開発した利得狭窄補正技術により、圧縮を用いずにこの種のレーザーから得られる短パルス限界（ $\sim 130\text{ fs}$ ）を大きく超えた超短パルスを得る事ができた。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】超短パルスレーザー、レーザー制御、レーザー光反応、超高速分光、フェムト秒レーザー、ファイバーレーザー

#### 【研究題目】軌道純化に基づく高温超伝導体の圧力・非平衡制御と転移温度増強の理論・実験的研究

【研究代表者】永崎 洋（電子光技術研究部門）

【研究担当者】永崎 洋、伊豫 彰、竹下 直（電子光技術研究部門）、（常勤職員3名）

#### 【研究内容】

高温超伝導銅酸化物は未だに最高の  $T_c$  をもつが、その記録は 1994 年以来上昇を見せていない。これを、鉄系超伝導などで培われた現在の視点から再攻略し、銅酸化物の  $T_c$  増強、及び、非銅系類似物質における超伝導誘起を目指すことが本研究の目的である。方針として、単一軌道系と見られることが多い銅酸化物も実は多軌道性を有しており、単一軌道性を高める、すなわち「軌道純化」すれば  $T_c$  上昇が期待されるという観点から、理論的な指針に基づいた元素置換（化学圧）と物理圧印可を行い、銅酸化物超伝導体およびニッケル酸化物を対象として  $T_c$  増強の可能性を検討した。また、強い外場（レーザー光）により、多軌道混成や軌道純化の度合いをヒッグス・モードによりプローブするとともに、系を非平衡にして超伝導臨界温度の増強を図った。計画初年度となる H26 年度は、理論家（超伝導設計）と実験家

(物質合成・加圧・非平衡) からなる連携体制を構築した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 超伝導、高温超伝導、鉄系超伝導体、単結晶、輸送特性、臨界電流密度

〔研究題目〕 高圧力磁気測定の新技術開発がもたらす磁性・超伝導材料研究のブレイクスルー

〔研究代表者〕 竹下 直 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 竹下 直 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

1111系と呼ばれる鉄系超伝導体の  $T_c$  の圧力効果を QuantumDesign 社製の MPMS 中で測定することが課題であった。これに対して  $TbFeAsO_{1-y}$  多結晶試料の圧力下マイスナー効果の測定を行い、キュービックアンビル装置の圧力発生範囲と同等の圧力下にてマイスナー効果の観測に成功した。このようにして、鉄系超伝導体の1111系の各化合物に関して、電気抵抗率とマイスナー効果の両方から  $T_c$  の圧力効果を検証し、これを  $T_c$  の圧力下相図としてまとめたものを学会発表ののち、出版した。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 高圧力、超伝導、鉄系超伝導体、圧力効果、圧力下磁化測定

〔研究題目〕 相変化材料のナノ秒領域における高速結晶化温度特性の解明と多値記録への応用

〔研究代表者〕 桑原 正史 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 桑原 正史、齊藤 央  
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

相変化メモリーの記録材料であるカルコゲナイドの温度特性、更にそれを応用した多値記録の可能性を探る研究であり、群馬大の保坂教授の科研費の分担研究となっている。こちらの分担内容は、カルコゲナイドの熱物性評価、ナノ構造作製と評価である。今年度は、ナノ構造作製と評価について注力した。カルコゲナイドの代表である  $Sb_2Te_3$  もしくは  $GeSbTe$  をグラファイトやシリコン基板上に薄くスパッタで堆積し、アニール処理によりナノ構造を得た。アニール温度が  $200^\circ C$  では、ナノ微粒子、 $250^\circ C$  ではナノニードルが形成された。SEM や AFM による観察から、ナノ微粒子の直径と高さは、それぞれ  $20\text{ nm}$ 、 $10\text{ nm}$ 、ナノニードルでは、太さ  $20\text{--}30\text{ nm}$ 、長さ  $1\text{ }\mu\text{m}$  であることがわかった。また、ナノニードルは、四角柱の形状を取ることも明らかにした。EDS による組成分析から、 $SbTe$  から作製したナノニードルは、 $Sb$  と  $Te$  の原子数比が  $1:3$  となり、元々の組成比 ( $2:3$ ) からずれることがわかった。GST のナノニードルでは、 $Sb$  が検出されず、 $Te$  で構成されていることがわかった。今後、ナノ構造の光物性や電気特性を

測定し、光通信、電気メモリー、熱電変換素子への展開を探っていく所存である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 カルコゲナイド、ナノ構造、相変化メモリー

〔研究題目〕 近赤外温度・濃度同時イメージング法によるマイクロ反応拡散場の直接定量評価

〔研究代表者〕 有本 英伸 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 有本 英伸 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

熱物質輸送現象の定量的解明は、輸送現象の学理から化学分析や燃料電池などの実用分野に至るまで極めて重要である。このためには温度と物質濃度の時空間分布測定が不可欠であるが、熱化学反応や熱物質相互作用の主題性を鑑みれば、温度と濃度は同時に測定されなければならない。そこで本研究ではマイクロ領域の温度と物質濃度の同時イメージング法を確立し、熱物質輸送現象を画像化し定量的に明らかにすることを目的とする。

これまでは、吸光度の温度依存波長  $1412\text{ nm}$  と温度等吸収点  $1442\text{ nm}$  の2波長を利用して、中和反応過程の吸光度観察を行ったが、現象の定量的な把握は困難であった。そこで、中和反応で生成する塩化ナトリウム ( $NaCl$ ) 濃度の定量化のため、各イオンや酸・アルカリ・生成塩との吸収スペクトルの違いを明らかにすることにした。得られた吸収スペクトルの解釈に基づき、中和反応過程における塩濃度変化を可視化するとともに、各溶液間の拡散特性を調査するため、 $NaCl-HCl$  と  $NaCl-NaOH$  の拡散過程について可視化を行い、あわせて考察を行った。

$HCl$  と  $NaOH$  の中和反応過程を、近赤外吸収イメージング法を利用して観察を行った。中和によって生成する  $NaCl$  に着目し、 $NaCl$  の濃度変化にのみ吸光変化を示す波長  $1520\text{ nm}$  の光を利用することで  $NaCl$  濃度の定量に成功した。さらに、 $NaCl$  と  $HCl$  の拡散と  $NaCl$  と  $NaOH$  の拡散とで、拡散速度が明らかに異なることがわかった。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 センサ、近赤外分光、温度計測、溶液濃度、熱伝導

〔研究題目〕 表面層深さ方向の迅速評価が可能な回転楕円面鏡全反射ラマン散乱光学系の開発

〔研究代表者〕 山口 誠 (秋田大学)

〔研究担当者〕 川手 悦男 (電子光技術研究部門)  
(常勤職員1名)

〔研究内容〕

様々な機能性を付与するための製膜技術の発展に伴い、極表面層の評価が課題としてあげられる。ラマン分光法

は非破壊・非接触・大気中で測定可能という利点を有することから注目されているが、吸収係数の小さな試料ではラマン励起光が試料内部まで侵入することから、表面層のみからの信号を得ることが困難であることが課題である。ラマン分光法による深さ方向の情報を選択できる評価法の確立を目的とする。このために、エバネッセント波の浸み出しを利用した極表面部のラマンスペクトルを測定する全反射法に着目する。具体的な目標としては、複数の回転楕円体面鏡からなる入射・集光光学系により入射角度連続可変で全散乱角度同時計測可能な光学システムを作り、集光された散乱光をマルチチャンネル検出器で分光するラマン分光システムを構築する。

一般に、ラマン分光の信号は微弱であり、エバネッセント波を利用することで、さらに信号強度は弱くなる。平成26年度は全反射ラマン測定装置の明るさと結像性能の評価をおこなった。集光側に四分の一形状回転楕円体面鏡を用いることで、非常に明るい光学系を実現できた。さらに2台の四分の一形状回転楕円体面鏡を互いの一つの焦点を共通焦点として点対称になるように結合させたことで、試料からの散乱光を残りの焦点に正立等倍率像として結像できた。これらの成果を、国内優先権制度を利用して昨年度の出願に追加することより、出願内容を充実させた。さらにこの装置を展示会で発表し、論文の準備も進めた。この複数の楕円面鏡で構成された光学系に関する平成23年度出願の主知財は、本年度米国で特許登録された。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 ラマン分光、楕円面鏡を用いた光学系、装置開発、等倍率結像系、

〔研究題目〕 ナノ空間電場増強を利用した自己組織化単層膜の電子・格子結合ダイナミクスの光制御

〔研究代表者〕 渡邊 幸志（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 渡邊 幸志（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、半導体・ガラス基板・マイカ・ダイヤモンド薄膜上に金ナノ構造体を作製し、その上にベンゼンチオール単層膜を自己組織化配列させる。金ナノ構造体による表面電場増強効果を利用したサブ10フェムト秒コヒーレントラマン分光法を駆使することにより、ベンゼンチオール単層膜などの高周波コヒーレント振動を高感度に検出し、特定振動モード間の非調和カップリングダイナミクスを明らかにする。また、空間位相変調器によりサブ10フェムト秒の時間幅を持つ波形形成したパルス列を発生させ、非調和カップリングのコヒーレント制御を試みる。そして、これらを通して、表面増強ラマン散乱（SERS: surface-enhanced Raman scattering）を層状物質や同位体ダイヤモンド超格子などの表面・界面拡散ダイナミクスの解明に利用することを模索すると

ともに、単層膜・単分子の振動ダイナミクスの高感度検出および振動モード間の結合ダイナミクスの光制御技術を提案することを目的とする。ここでは、自己組織化単層膜として、同位体ダイヤモンド超格子構造の結果の一例を示す。同位体ダイヤモンド超格子は、12Cダイヤモンドと13Cダイヤモンドの繰り返し積層構造を積層幅  $L_w = 10\text{nm}, 30\text{nm}, 600\text{nm}$  でマイクロ波プラズマCVD法によりホモエピタキシャル成長した。本研究では、これらの異なる積層幅の試料において、発光スペクトルおよび発光寿命の温度測定を行い、膜厚が薄くなると閉じ込め効果により、12Cダイヤモンド層からの発光が生じることを見出した。現在、追試実験および解析を継続している。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 フェムト秒分光、コヒーレント制御、単層膜、電子・光結合ダイナミクス

〔研究題目〕 テラヘルツ STM 発光分光へのピコ秒時間分解能の付与

〔研究代表者〕 桑原 正史（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 桑原 正史、斉藤 央  
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

東北大上原教授の科研費の分担研究となっている。STMからの電子注入によって試料から可視—赤外の発光が起こることは以前から知られているが、本研究ではテラヘルツ領域の発光が起きるかどうかが、またその発光を時間分解することにより、STM発光の利点であるナノレベルの位置分解能で試料内の電子やフォノンの振る舞いを調べようという研究内容である。試料は、カルコゲナイドを用いた。これは、狭ギャップ半導体として知られており、テラヘルツ帯の発光が期待できるからである。実際、わずかながらテラヘルツの発光を確認することに成功した。現状では、発光が微弱であること、テラヘルツ分光装置がないことから、発光機構の特定まで至っていないが、今後、検出装置の最適化、ポンププローブ光法による発光強度の増大を行い、スペクトル取得を目指す。この研究から派生したトンネル素子によるテラヘルツ発光素子開発にも着手した。金属—絶縁体—金属といった構造を持つ素子に対し、テラヘルツ発光が起こるかどうかの研究である。表面プラズモンやフォノン、表面粗さの影響を考慮した計算の結果、最適な構造のもとで、STMの場合に比べ何桁もの発光が起こることがわかった。現在、実験に向けて素子の作製を行っている最中である。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 カルコゲナイド、ナノ構造、テラヘルツ発光、トンネル電子、プラズモン、多重散乱理論

**〔研究題目〕** 超臨界金属における金属絶縁体転移のミューエスアール法による研究

**〔研究代表者〕** 竹下 直（電子光技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 竹下 直（常勤職員1名）

**〔研究内容〕**

MgO 半焼結体によるガスケット材料の吟味を引き続き行い、適切な焼結度と厚みを導出することができた。結果的に、これまでよりもより高い焼結度の MgO の薄板を平面研削によって作成することで、高温高圧用実験のガスケットとして使用可能であることが確認することができた。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** 超臨界、ミューエスアール、金属絶縁体転移、圧力、高温

**〔研究題目〕** 多様な三層型 Bi 系高温超伝導体を得るための改良型（温度勾配付与）TSFZ 法の研究

**〔研究代表者〕** 伊藤 利充（電子光技術研究部門）

**〔研究担当者〕** 伊藤 利充（常勤職員1名）

**〔研究内容〕**

「レーザ加熱結晶育成技術」（LDFZ 法）は分解溶解する材料の結晶育成を容易にする優れた手法であり、多くの材料に適用して有効性が実証されている。本研究は、分解溶解する材料の中でも特に結晶育成が困難である三層型 Bi 系高温超伝導体に LDFZ 法を適用して結晶育成を行ない、有効性を検証するのが目的である。当該物質に LDFZ 法を適用し、安定的に結晶育成を行なうことができる条件を明らかにした。その結果、超伝導転移温度が100K を超える部分が半分以上となる結晶を育成することに成功し、大部分において当該物質の結晶が生成されていることを確認した。

**〔分野名〕** 情報通信・エレクトロニクス

**〔キーワード〕** レーザ加熱結晶育成技術、LDFZ 法、難育成高温超伝導体、三層型 Bi 系高温超伝導

**〔研究題目〕** 構造生物学的解析による R 型レクチンのシアル酸含有糖鎖結合能獲得メカニズムの解明

**〔研究代表者〕** 逸見 光（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所）

**〔研究担当者〕** 久野 敦（糖鎖医学研究センター）、平林 淳（幹細胞工学研究センター）（常勤職員2名）

**〔研究内容〕**

これまで実施者らは、ガラクトースに特異的な糖結合活性を持つ R 型レクチン（EW29Ch）の糖結合部位において遅い分子内運動による構造の揺らぎが糖結合活性に関係することを明らかにした。また、このレクチンを

分子進化工学的に改変させてシアル酸結合性レクチン（SRC: Sia-Recognition EW29Ch）を創製し、X 線結晶構造解析を行った。しかしながら、その特異的な糖鎖結合能獲得メカニズムについては十分な情報を得ることができていないことから、本研究では、NMR を用いて、そのメカニズムを解明することを目的とする。昨年度までに確立した手法に則り、遊離状態でも安定な<sup>13</sup>C,<sup>15</sup>N ラベル体を調製し、測定者である逸見氏へ供給した。また、溶液中での6'-シアリルラクトースの SRC との相互作用部位を解析するため、非ラベル体 SRC も供給した。6'-シアリルラクトースの SRC との相互作用部位を、非ラベル体 SRC に過剰量の6'-シアリルラクトースを添加し STD-HSQC 法により解析した結果、シアル酸部分については、SRC との水素結合を形成する部位以外でも相互作用することが示唆された。ラクトース添加ラベル体 SRC を用い、残余双極子カップリング値を測定し、SRC-ラクトース複合体結晶構造との主鎖構造を比較した結果、おもにγサブドメインの分子内運動の高いループ領域に違いが観測された。この結果から、溶液状態と結晶状態では、おもにγサブドメインのループ領域の主鎖構造が異なることが判った。今回の研究成果より、R 型レクチンのシアル酸含有糖鎖結合能獲得メカニズムを原子レベルで解明する上で、X 線結晶構造解析だけでなく、NMR による動的構造解析が不可欠であることを改めて認識することができた。

**〔分野名〕** ライフサイエンス

**〔キーワード〕** タンパク質、糖鎖、NMR、レクチン、糖認識ドメイン

**〔研究題目〕** 糖鎖による細胞表面生体分子の機能の調節・制御機構の解明

**〔研究代表者〕** 榎谷内 晶（糖鎖医学研究センター）

**〔研究担当者〕** 榎谷内 晶、梶 裕之（常勤職員2名）

**〔研究内容〕**

目的：

糖転移酵素遺伝子を欠損したモデル動物（マウス）は、多様な生物機能（表現型）の異常を認める。その生体メカニズムを解析する上で、対象糖転移酵素が標的とする（合成に関与する）糖タンパク質を同定することは非常に重要な情報である。本研究では、基幹的糖鎖構造の一つであるポリラクトサミン糖鎖合成に関与する糖転移酵素（ポリラクトサミン合成酵素）遺伝子ノックアウトマウス（KO マウス）の細胞・組織を用いて、各種解析をすることによって、生合成されるポリラクトサミン糖鎖の標的分子と機能の解明を試みるものである。

研究内容：

基幹的糖鎖構造の一つであるポリラクトサミン糖鎖合成に関与する糖転移酵素、β 1,3- N-アセチルグルコサミン転移酵素2遺伝子ノックアウトマウス（B3gnt2 KO マウス）と野生型マウスから、それぞれ糖鎖キャリア分



子（糖ペプチド）をポリラクトサミン糖鎖に特異的に結合するレクチンを用いて捕集し、これらの比較グライコプロテオーム解析を行うことにより、 $\beta$ 3GnT2に特異的な標的タンパク質の大規模同定を進める。ポリラクトサミン糖鎖を持つキャリア分子を捕集するために、レクチンを用いてアフィニティカラムを作製し、これを用いて野生型マウス B 細胞や脾臓細胞の細胞抽出物を濃縮・解析した結果、270以上のポリラクトサミン糖鎖キャリアタンパク質候補分子を同定した。また、同定されたこれらの分子がポリラクトサミン糖鎖欠損を含むかどうかについて、幾つかの分子について生化学的に確認した。得られたキャリア分子群の情報（リスト）から、KeyMolnet および DAVID 等による Gene Ontology 解析（分子の局在・性状解析、ネットワーク解析）によって傾向性を見たところ、約7割の分子は膜タンパク質であり、受容体分子・細胞接着に関与する分子が多く含まれていた。また、野生型マウスと B3gnt2 KO マウスの脾臓細胞由来膜タンパク質画分を用いて、2次元電気泳動による比較解析での検討を行った結果、多くのタンパク質のバンド位置の差が認められた。このことからポリラクトサミン糖鎖はその多くが細胞膜表面の糖タンパク質上に結合している可能性が高いことが考えられた。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 糖鎖、糖タンパク質、糖鎖機能、グライコプロテオミクス、ポリラクトサミン合成酵素、遺伝子ノックアウトマウス

〔研究題目〕 分子進化工学的手法によるカルシウムチャネルサブファミリーを識別するペプチドの創製

〔研究代表者〕 木村 忠史（糖鎖創薬技術研究センター）

〔研究担当者〕 木村 忠史、久保 泰、亀山 仁彦、菊池 鏡子、岡田 水香、西沢 千津子（常勤職員2名、他4名）

〔研究内容〕

〔目標〕

電位依存性カルシウムチャネル、特に低閾値活性化型は鎮痛を始めとする創薬ターゲットとして期待されている。標的タンパク質を認識するペプチドを創製する分子進化工学技術である PERISS 法を用いて、低閾値活性化型電位依存性カルシウムチャネルのサブファミリーを識別するペプチドの創製を試みる。

〔研究計画〕

本研究の基盤となる大腸菌内膜内でのイオンチャネルの活性を測定する技術を安定した技術とすることを試みる。

〔年度進捗状況〕

ヒト Kv2.1を内膜に強制発現させた大腸菌を抗生物質処理することによりスネーク状にした後、外膜を酵素処理で剥がすことによって直径約5-10 $\mu$ m の大腸菌巨大ス

フェロプラストを安定的に得る技術を開発した。しかしこれらは数 $\mu$ m のデブリな様々な大きさのスフェロプラストの混合物であり、この中に20%程度しか存在しない目的の大きさの巨大スフェロプラストを効率良く得る方法が必要であった。そこで粒子の大きさでソーティングできるマイクロ流路の一種であるスパイラルソーターを用い、目的とする巨大スフェロプラストを約80%以上の濃度まで濃縮することができた。この大腸菌巨大スフェロプラストを自動パッチクランプ装置に適用することにより安定にパッチクランプによる電流測定が可能となった。

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 ペプチドディスプレイ、PERISS 法、大腸菌、パッチクランプ、電気生理

〔研究題目〕 糖鎖機能の統合的理解を目指した糖鎖改変マウスの N-統合グライコプロテオーム解析

〔研究代表者〕 成松 久（糖鎖創薬技術研究センター）

〔研究担当者〕 成松 久、梶 裕之、佐藤 隆、梅谷内 晶、安形 清彦、鈴木 奈美、野呂 絵里花（常勤職員3名、他3名）

〔研究内容〕

目的：

糖転移酵素遺伝子に欠失や突然変異を生じたモデル生物は、多様な生理機能の異常を呈す。種々の糖転移酵素が標的とする糖タンパク質を同定することは、生体内における糖鎖の機能を理解する上で重要な鍵となる。本研究では、各糖転移酵素に特異的な標的タンパク質の大規模同定を行うために、これまでに作製した糖転移酵素の遺伝子ノックアウトマウス群を用い、糖鎖キャリア分子（糖ペプチド）をレクチン捕集し、N-結合型糖ペプチドを糖鎖付加位置特異的な安定同位体標識法（IGOT 法）で標識し、LC/MS ショットガン法で同定することにより、野生型マウスとノックアウトマウスとの比較解析を行う。

研究内容：

各糖転移酵素に特異的な標的タンパク質の大規模同定を行うために、糖転移酵素の遺伝子ノックアウト（KO）マウス群を用い、糖鎖キャリア分子（糖ペプチド）をレクチン捕集して、野生型マウスと KO マウスとの比較グライコプロテオーム解析を行っている。グライコプロテオーム解析により、糖鎖キャリア分子を網羅的・ハイスループットに同定するための系の構築のモデルとして、今年度は Lewis x 構造（Gal  $\beta$  1-4（Fuc  $\alpha$  1-3）GlcNAc-R）を合成する、 $\alpha$  1,3-フコース転移酵素9（Fut9）に着目し、KO マウスを用いた解析を行った。Fut9<sup>-/-</sup>マウス腎臓のグライコームを質量分析法により解析した結果、Lewis 型フコースの消失だけでなく、様々な構造変化が検出された。ついで、Lewis 型フコー

スをもつ糖鎖を結合している糖鎖キャリア分子を同定するため、AAL レクチンによってフコシル化糖鎖ペプチドを捕集し、IGOT-LC/MS 法 (Kaji et al (2003) Nat Biotechnol.) で候補タンパク質および糖鎖付加位置を同定した。また、野生型マウスにおける AAL 結合糖ペプチドには、Lewis 型フコースをもたず、コアフコースのみをもつ糖ペプチドも共存するため、糖鎖付加部位ごとのグライコーム情報を取得する新規グライコプロテオミクス技術を用いて、Lewis x キャリアを選別、同定した。以上の様に、グライコプロテオミクスの手法・技術を用いることで、糖転移酵素それぞれの糖鎖のキャリア糖タンパク質群を効率良く同定することが出来ると考えられた。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】糖鎖、糖タンパク質、糖鎖機能、グライコプロテオミクス、N-結合型糖鎖、糖転移酵素、遺伝子ノックアウトマウス

【研究題目】ヒト体液を用いた精子無力症原因因子の簡易検査法の開発

【研究代表者】高崎 延佳 (糖鎖創薬技術研究センター)

【研究担当者】高崎 延佳、成松 久 (契約職員2名)

【研究内容】

日本国内で不妊に悩むカップルの割合が6組に1組の割合に上昇しており、男性側が原因となる男性不妊症のおよそ80%が、精子の運動能障害 (精子無力症) に起因することが明らかになってきた。しかし、医療現場では精子無力症の原因を解明することなく、安易に体外受精などの生殖補助医療が遂行されている。本計画研究は、的確な男性不妊症治療法の開発を目指し、精子無力症患者精子を用いた精子構成タンパク質異常の検出から精子無力症原因因子を同定する手法の確立を目的としている。

【年度進捗状況】

精巣精子細胞特異的に発現する *Galnt15* 遺伝子ヘテロ欠損マウスで観察された精子運動能低下による雄性不妊の表現型は、ヒト男性不妊症の一つである精子無力症に酷似している。そこで、ヒトゲノムにも存在する *GALNTL5* 遺伝子上の変異によって精子無力症を発症した患者を効率良く同定する手法の開発を試みてきた。*Galnt15* 遺伝子欠損マウス精子で観察される複数の精子タンパク質の変化を指標に、精子無力症患者精子を対象としたスクリーニング方法を我々は開発した。実際に200例の精子無力症患者の中から *GALNTL5* 遺伝子上に母親由来と推測されるヘテロの1塩基欠失を持つ精子無力症患者を同定することに成功している。

本年度は *GALNTL5* 遺伝子変異に起因する精子無力症患者をより効率良く同定するために、指標とするマーカー精子タンパク質の分子数を増やすことを目標に研究に取り組んできた。その中で、これまでの論文報告を基にヒトの精子のみに存在するアミノペプチダーゼ分子が

マーカー分子に成り得るか検証を試み、購入した抗体でアミノペプチダーゼタンパク質分子を検出する系を確立した。*GALNTL5* 遺伝子変異を起因とする精子無力症患者同定に対して有用なマーカーに成り得る可能性も示されたが、より詳細な検証が必要であると考えられる。更に *Galnt15* 遺伝子欠損マウスの精巣を用いて新たなマーカー精子タンパク質の検索、同定に取り組んでいる途中である。一方、ヒト *GALNTL5* 遺伝子上の変異を高感度に検出する系として次世代シーケンシング法による遺伝子変異検出法の確立を現在目指している。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】糖転移酵素遺伝子、精子形成、男性不妊症、精子無力症、次世代シーケンシング

【研究題目】B型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機能解析と医用応用技術の実用化へ

【研究代表者】成松 久 (糖鎖創薬技術研究センター)

【研究担当者】成松 久、千葉 靖典、梶 裕之、久野 敦、榎谷内 晶、佐藤 隆、安形 清彦、助川 昌子、我妻 孝則、平野 朋子、辻川 紫華子、黒須 克恵、高野 慶子、高野 等寛 (常勤職員5名、他9名)

【研究内容】

日本には約140万人の B 型肝炎ウイルス (HBV) 保有者がいると考えられ、新規治療法が期待されている。本研究は、平成26年度厚生労働科学研究費補助金 (B型肝炎創薬実用化等研究事業) として採択され実施した。本研究では、B型肝炎など肝疾患の専門家との協力体制 (医工連携体制) により、HBV の感染過程における糖鎖の役割の解明と B 型肝炎の新規治療薬の開発を目指している。

- 1) HBs 抗原サンプルから、糖鎖付加部位や糖鎖構造の同定および化学的修飾も同定し、HBV 感染とワクチン開発の基礎情報を取得した。ナノグラムオーダーのウイルス粒子を破壊せず糖鎖構造情報を取得する方法の確立に成功し、HBV 感染患者の血清 HBV の糖鎖プロファイリングを行った。
- 2) 感染可能な肝細胞と感染出来ない肝癌細胞について糖鎖遺伝子定量システムや次世代シーケンサー、質量分析器によるグライコーム解析を行い、肝細胞特異的に発現する糖鎖関連遺伝子 (糖転移酵素と内在性レクチン) の発現と糖鎖構造の差を解析した。
- 3) HBV 感染実験においてグリコシダーゼやレクチンの影響が明らかになり、HBV 感染に関与する内在性レクチンの候補分子をリストアップした。また、NTCP 発現 HuH7細胞を複数株作製し、感染モデルを構築した。
- 4) 糖鎖遺伝子 siRNA スクリーニング系を構築し HBV 粒子の形成・分泌能を解析した結果、HBV 作

成実験でも HBV DNA を減少させる幾つかのターゲット遺伝子を選出した。

- 5) 出芽酵母菌体内から超遠心法による糖鎖付き HBs 抗原の精製法を確立した。糖鎖付き HBs 抗原を各種免疫し反応性を現行ワクチンと比較解析した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】B型肝炎ウイルス、糖鎖、グライコプロテオミクス、レクチンアレイ、ワクチン

【研究題目】可搬型生物剤・化学剤検知用バイオセンサの開発

【研究代表者】永井 秀典（健康工学研究部門）

【研究担当者】永井 秀典、古谷 俊介、鳴石 奈穂子（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

目標：

生物剤を用いたテロ事案発生時に、ファーストレスポnderが迅速に現場へ駆けつけ適確な判断が出来る様、炭疽菌等の生物剤を検知するバイオセンサを搭載した小型軽量で携帯可能なシステムを開発する。超高速なセグメントフローPCR や熱安定性に優れ抗体に匹敵する特性を有する人工糖鎖を用いた局在表面プラズモン共鳴（LSPR）バイオセンサ等を搭載し、測定開始から結果表示まで15分以内に大気中致死濃度の検知を実現する。そのため、①炭疽菌検出用バイオセンサの開発に関する研究ならびに、統合システムの開発に関する研究と実証試験を実施する。

研究計画：

2001年アメリカ炭疽菌郵便テロ事件において無差別殺人を引き起こした炭疽菌を、迅速に検知可能な小型バイオセンサの開発を行う。セグメントフローPCR 用微小流体デバイスを射出成形により大量生産し、ロット間誤差や試薬の長期保存性の検証など、測定系や開発装置のバリデーションを実施する。また、ユーザーの要望に対応して、炭疽菌以外の微生物種の遺伝子に関する測定系の開発に着手する。

進捗状況：

炭疽菌検出用バイオセンサの開発に関する研究として、統合システムに最適化したセグメントフローPCR 用微小流体デバイスを射出成形により大量生産し、ロット間誤差や試薬の長期保存性の検証など、測定系や開発装置のバリデーションを実施したところ、炭疽菌擬剤に対して5.3%のロット間誤差を確認し、長期保存性についても室温保存では4ヶ月まで、一方、冷蔵保存では5ヶ月以上の試薬コーティングチップの保存性が確認された。また、CDCによるカテゴリーAの生物剤6種のうち、炭疽菌以外の生物剤への対応についての可能性を検討するため、論文から最新の遺伝子情報を収集し、対応可能なプライマー/プローブと標準用合成プラスミドの配列について無償のプライマー設計ツールを用いて予備的な検

討を行った。

また、統合システムの開発に関する研究と実証試験において、炭疽菌擬剤の噴霧試料を用いて大気捕集から検出まで15分以内で、ミッションステートメントの目標感度である10 cells/ $\mu$ L以下の8 cells/ $\mu$ Lの検知を達成した。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】PCR、POCT、遺伝子、炭疽菌

【研究題目】光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点

【研究代表者】中鉢 良治（理事長）

【研究担当者】中鉢 良治、並木 周、工藤 知宏、河島 整、鉄塚 治彦（常勤職員33名、他19名）

【研究内容】

映像情報を中心としてネットワークトラフィックが増大しており、対応してネットワーク機器の消費電力が急激に増大している。ネットワークを活用した効率的な社会インフラを構築するには、低消費エネルギーで大量の情報を処理することのできる新しいネットワーク技術が必要となる。この新しいネットワーク技術として、光スイッチを用いた回線交換型の光パスネットワーク技術を開発する拠点を協働企業10社とともに形成している。映像情報のような大きな情報を、光スイッチによる光パスネットワークで扱うことで従来のIPネットワークに比べて大幅な消費電力の低減が可能となる。この拠点では、デバイス、システム化技術からアプリケーションとのインターフェースまでをカバーする垂直融合の技術開発を進めている。具体的には企業と連携して、大規模光パスネットワークテストベッドを構築し、公開実証デモ実験を行った。テストベッド構築に当たっては、以下の四つの技術開発を行った。第一はネットワークアプリケーションインターフェース技術で、ネットワーク資源とストレージ資源を統合管理するソフトウェアを開発し、ビデオ会議やビデオオンデマンドのアプリケーションとともにテストベッドに実装した。第二はダイナミックノード技術で、多粒度情報に対応できる光ノードとして、ODUスイッチ、ダイナミックROADM、ならびに波長可変レーザのプロトタイプを開発しテストベッドに実装し、上記資源管理ソフトウェアとの連携動作を行った。第三はパソコンディショニング技術で、パラメトリック分散補償装置・波長変換器のネットワーク環境下での動作実証を行った。第四は光パソプロセスすなわち光パスを切り替える光スイッチで、シリコン細線導波路型の干渉計構造による光スイッチの多ポート化に関する技術開発を進めるとともに、プロトタイプをテストベッドに実装し動作実証を行った。また、波長選択性スイッチについてもプロトタイプ試作を進めテストベッドに実装のうえ連携動作の実証を行った。以上に加えて、将来のネ

ットワークのアーキテクチャについて詳細な検討を行い、さまざまなシナリオに対する消費エネルギーのより正確な解析を行うことが可能なモデルを構築した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】光パス、省エネルギー、ネットワーク、シリコンフォトリソグラフィ、光スイッチ、可変分散補償

【研究題目】人の能力を超える緊急事態対応ロボットに関する国際共同研究

【研究代表者】比留川 博久（知能システム研究部門）

【研究担当者】比留川 博久、横井 一仁、原田 研介、吉田 英一、阪野 貴彦、山野辺 夏樹、佐川 立昌、吉安 祐介、Ramirez-Alpizar Ixchel（常勤職員8名、他1名）

【研究内容】

本研究では、極限環境において人を超越する踏破性能や運動性能、作業精度を発揮する緊急事態対応人間型ロボット基盤技術の研究開発を、若手研究者の海外派遣による共同研究を通して推進することを目標とする。平成26年度は、スイスチューリヒ工科大学（ETH）、英国サリー大学、米国カーネギーメロン大学（CMU）、ドイツカールスルーエ工科大学（KIT）、フランス LAAS-CNRS、の複数の研究機関への若手研究員の長期派遣を開始し、人の能力を超える緊急事態対応ロボットによる上記のタスクのシナリオに基づくタスク実現のための国際共同研究を推進した。ETH では、災害現場等で迅速に広範囲の情報を集めることができる広角レンズやパノラマ画像において、カメラが移動した際の画像間の対応を、高精度で行う手法を開発した。サリー大学では、動物体検出法を適用し、静止物体と動物体の同時モデリング手法を構築した。CMU では、形状計測技術を運動および力学の分析に応用する研究を開始した。物体操作に関しては、LAAS-CNRS で、ヒューマノイドロボットが消火用ホースを床から拾って、ホースを引きながら持ち歩くための運動計画や制御システムの開発を実施し、KIT では、災害現場のような環境において、視覚、力・触覚等の多様だが部分的に欠けているセンサ情報を利用することで、対象物を適切に操作し、目標作業を実現するための方法論の研究を実施した。さらに、平成27年3月に KIT にて中間ワークショップを開催して、各研究機関での若手研究者の派遣を通じた成果を共有するとともに、今後の共同研究の方針を確認した。

【分野名】情報通信・エレクトロニクス

【キーワード】ロボット、緊急事態対応、環境認識、物体操作

【研究題目】森と人が共生する SMART 工場モデル実証（気候変動に対応した新たな社会の創

出に向けた社会システムの改革プログラム）

【研究代表者】遠藤 貴士（バイオマスリファイナリー研究センター）

【研究担当者】遠藤 貴士、匂坂 正幸、岩本 伸一朗、文 多美、谷岡 拓弥、齋藤 有紀、大田 民（常勤職員3名、他4名）

【研究内容】

本テーマは、ヒノキ等の間伐材からのナノセルロースの効率的かつ経済的製造技術および樹脂複合材料化技術の確立を目標としている。また、ナノセルロースおよび複合材料製造に関する経済性・環境性評価についても実施している。

本年度は、ヒノキ由来木粉を原料に、湿式粉碎処理によるナノセルロース製造効率の向上条件の構築を行った。その結果、十分に処理することで、木粉原料のサイズによらず同等のナノセルロースが得られることが分かった。また、十分な水浸漬工程を経ることで、ナノセルロースの微細化と幅の均一性が向上し、樹脂複合材料の強度物性も向上することがわかった。樹脂複合材料製造技術では、粉末化ポリプロピレンに高含水ナノセルロースを非溶融温度条件で固相混練した後に溶融混練することでナノセルロースを均一分散でき、物性に優れた複合材料が製造できること明らかにした。これら成果を活用し、参画機関と連携してヒノキを原料としてナノセルロース製造・複合化・汎用射出成形機による製品試作を達成することができた。

経済性・環境性評価については、本事業で開発・実証を行った個別事業を組み合わせた SMART 工場モデルを設定し、原料となる木質バイオマスのフロー、各事業コスト、事業実施に基づく GHG 削減効果の分析を行い、各事業の経済性を確保しつつ GHG を削減可能な事業の条件を明らかにした。また、これらを基にビジネスモデルを作成した。その結果、本事業の実証拠点である真庭バイオマス集積基地への未利用間伐材の搬入量は倍増し、地域由来資源の木質バイオマスを用いたビジネスモデルを実施することで、新たな経済循環および新規雇用を生み出せることが分かった。

【分野名】環境・エネルギー

【キーワード】間伐材、ナノセルロース、経済性

【研究題目】射出成形の超微細構造プリズムレス SPF バイオセンサーチップ及び装置の開発

【研究代表者】田和 圭子（健康工学研究部門）

【研究担当者】田和 圭子、笹川 知里、市野 恵子、平松 久美子（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

これまで、プラズマモニタリングチップのレプリカは光硬化性樹脂を用いた光ナノインプリント法によって作製してきたが、本研究では共同研究機関が大量生産可能な射出

成型加工によるレプリカ作製に取り組み、それを用いた高感度イムノセンサーの開発を目標としている。今年度はまず、プラズモニクチップの構造と光学特性の関連について調べた。特に金属薄膜の成膜条件によるプラズモン増強電場について検討し、表面粗さの小さな平滑な金属表面をもつプラズモニクチップでの蛍光増強度を評価した。表面粗さが小さくても、金属薄膜の成膜方法によって、入射光とプラズモンポラリトンとが十分に結合できないことがあることがわかった。これらの知見をもとに、最適な条件下で射出成型により調製したプラズモニクチップで今後高感度イムノセンシングを目指す。

【分野名】ライフサイエンス

【キーワード】プラズモニクチップ、周期構造、蛍光、イムノセンサー、射出成型加工

【研究題目】ホスト分子による希少金属オンサイト分離のためのマイクロリアクターシステムの構築

【研究代表者】宮崎 真佐也

(生産計測技術研究センター)

【研究担当者】宮崎 真佐也 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

レアメタル資源の確保は極めて重要であり小型家電などの廃棄物からのリサイクルによる資源確保が望まれるが、含まれる元素は多種にわたりその含有量は微量である。効率的にレアメタルを分離する技術の確立が望まれているが、微量含まれる多種元素の個別分離は容易ではない。テーラーメイド型抽出試薬は分離機能には優れるが、経済性が悪く大量に扱えない、抽出速度が遅い、などの欠点がある。本研究では欠点を改善し、テーラーメイド型抽出試薬であるカリックスアレーン誘導体を有効利用するために、微量処理可能であり迅速な抽出が利点となるマイクロリアクターを用いたシステムを構築し、廃棄物回収地オンサイトでのレアメタルの個別分離を目的とする。

本年度は、これまでのマイクロ流路内での抽出試験結果を踏まえ、さらに抽出効率を向上させた改良マイクロリアクターのマイクロリアクターを用いた銀の抽出試験を行った。まず、銀の抽出では、抽出挙動がこれまでの結果よりかなり悪かった。これはロットの違うカリックスアレーンを用いたためと考えられた。また、パラジウムの抽出挙動についても、取り切れなかった銀イオンの影響で抽出率が悪かったと考えられた。このことから、ロットを変えた抽出剤を用いて再度試験する必要があると考えられた。次に、抽出後の有機相から水相への逆抽出による回収試験を試みた。逆抽出剤として、チオ尿素を用いた。滞留時間は4秒に合わせて行った。いずれの元素も、逆抽出できたが、満足のいく回収率ではなかった。このことは、チオ尿素での逆抽出が今ひとつ良くない可能性が考えられた。今後、イソチオシアン酸アンモ

ニウム等、他の抽出剤の仕様も検討するべきと考えられた。以上、試薬のロットによる抽出能の差は見られたものの、連続操作による銀・パラジウム2元素混合系の分離がマイクロリアクターで可能である事が示された。

次に、連続液滴型マイクロリアクターを組み合わせ、多元素混合系混合系における相互分離・回収の可能性を評価した。モデルとして、銀・パラジウム・白金の混合した実検体を用いた。抽出・逆抽出それぞれについて最適化を進めたところ、銀の抽出を三回繰り返すことで、高い分離効率で、三つの元素の分離が可能であった。このことから、マイクロリアクターを用いた多元素混合系における相互分離・回収が可能である事が示された。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】希少金属、オンサイト分離、マイクロ化学プロセス

【研究題目】コンタクトプローブ耐久性向上表面処理及び微小部品多品種少量生産めっきシステムの開発

【研究代表者】木原 秀元 (ナノシステム研究部門)

【研究担当者】木原 秀元、松澤 洋子 (常勤職員2名)

【研究内容】

半導体 IC やパッケージ部品 (以下、半導体デバイス) の検査工程では、半導体ソケットに装着したコンタクトプローブの先端を半導体デバイスの電極に接触させ、デバイスの電気特性を測定している。そこでは、電極に使用されている錫ベースのハンダ (以下、錫) がコンタクトプローブの接点部に転写し、めっき金属と錫との金属間化合物の生成等が原因となり通電性の劣化を引き起こす。その結果、プローブの寿命を著しく低下させる。このため、検査装置のメンテナンス費用がかさみ、検査費用をコスト高にしている。本研究では、従来の金、光沢銀、下地ニッケル-PTFE 微粒子複合めっき加熱法に替わる、異種金属トップコート、光沢銀複合めっき、金-PTFE 微粒子複合めっきの3つのめっき新技術を確立し、従来技術の問題点の解決を図ることを目的としている。我々はこの3つのめっき新技術のうち、特に金-PTFE 微粒子複合めっきによる錫転写防止技術の開発に取り組む。本年度は、市販の金めっき液用の PTFE 微粒子分散技術を開発するために、複数の PTFE 微粒子及び分散剤を選定し、PTFE 微粒子の表面特性改質および分散性の評価を行った。また、当該複合めっき液を得るための分散法についても各手法を比較した。その結果、良好な分散状態を得られる条件をいくつか見出すことができた。

【分野名】ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】高分子微粒子、複合めっき、コロイド界面化学

【研究題目】iPS細胞等の3次元大量培養技術の開発

【研究代表者】植村 寿公 (ナノシステム研究部門)

〔研究担当者〕 植村 寿公、小野村 由衣、田山 瑞季  
(常勤職員1名、他2名)

〔研究内容〕

本プロジェクトで構築予定の創薬スクリーニング装置と手培養の評価のための準備として本培養装置を用いず手培養にて、50cc 容量のベッセルを用いて、30-40個程度の肝臓組織塊をつくることを目標に、培養条件の最適化を進めた。

さらに iPS 細胞の培養では、 $10^{10}$ 個の大量培養を新たに目標設定し、培養手法の開発を行っているが、今年度は、自動培養装置を用いず手培養にて10cc、50cc ベッセルを用いて iPS 細胞 (253G1細胞、理研) の増殖培養の最適化を進めた。

その結果50cc ベッセルで3日間の回転培養で3.8~4.5倍の増殖率で未分化性を維持した iPS 細胞を得た。これをフィルターによりスフェロイドを小スフェロイドに砕き、更に次の50cc ベッセルに播種、回転培養を3日間続けると3~5倍の増殖率を得た。この操作を繰り返し、継代6回で計算上は $10^{10}$ 個の iPS 細胞が得られることになる。この連続継代培養を連続8回まで行い、iPS 細胞の未分化マーカーの発現を見たところ安定に発現し、少なくとも8回までの iPS 細胞の継代培養が可能であることが分かった

〔分野名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 iPS 細胞、肝臓細胞、がん細胞、3次元培養、創薬スクリーニング

〔研究題目〕 高度 IT 融合社会の安全・安心を支える次世代自動車用セキュリティ・ゲートウェイ・ECU の開発

〔研究代表者〕 古原 和邦 (セキュアシステム研究部門)

〔研究担当者〕 古原 和邦、堀 洋平、坂根 広史、高橋 孝一 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

次世代自動車システムの乗っ取りを狙うサイバ攻撃が危惧され始めている。本研究では防衛策として、我が国が先行する対攻撃性の高いハードウェア暗号技術とソフトウェアによる保護技術を効果的に組合せた「セキュリティ・ゲートウェイ・ECU」を設計・開発・試作することを目標とする。今年度の計画は、セキュリティ・ゲートウェイ・ECU に組み込まれる Physically Unclonable Function (PUF) の仕様について検討を行い、PUF の特性 (生成する識別情報や暗号鍵ソースとしての信頼性目標など) を評価するための環境を整備することにある。プロジェクト参加組織間で共通に利用する試作環境を整備し、その環境において産総研方式の PUF である Pseudo Linear Feedback Shift Register PUF (PL-PUF) を動作させるための修正を行った。また、PUF の特性を評価するための環境 (PUF の入出力データや補助データを格納する DB と、DB のネットワーク

経由での遠隔操作を可能とする Application Programming Interface (API) を含む接続プログラムの改良と整備を行った。

〔分野名〕 情報通信・エレクトロニクス

〔キーワード〕 セキュリティリスクアセスメント、物理複製困難関数、PUF、車

〔研究題目〕 液体を検査媒体とすることで高圧工程を安全・低コストに実現する量産対応高圧漏れ検査装置の開発

〔研究代表者〕 吉田 肇 (計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 吉田 肇、新井 健太、梶川 宏明、飯泉 英昭 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

エネルギー、航空・宇宙、自動車等の産業では、エネルギー高効率化のため超高圧機器が使用されはじめている。これらの機器では製造時の品質管理で高圧 (70 MPa 以上) を加えての漏れ検査が必須であるが、従来のヘリウムガスによる漏れ検査は、安全性・コスト等の点から、量産ラインに適用することができない。本研究では検査媒体にヘリウムガスに替えて液体を使用することで、安全・低コストで量産に適用できる世界初の高圧部品用の定量漏れ検査装置を開発する。

本年度は、産総研が開発した従来よりも安定性・信頼性に優れる、ステンレス製多孔質焼結体からなる気体導入素子「標準コンダクタンスエレメント」を用いて、液体蒸気校正リークを設計し、試作を行った。また、液体蒸気校正リークを試験するための校正リーク評価装置を立ち上げた。

〔分野名〕 計測・計量標準

〔キーワード〕 漏れ検査、リーク検査、真空、高圧、水素、エネルギー、航空・宇宙、自動車

〔研究題目〕 超高分子量ポリエチレン繊維を用いた海洋構造物係留ロープの耐久性向上技術の開発

〔研究代表者〕 中村 挙子

(先進製造プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 中村 挙子、土屋 哲男、松本 悠 (常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

船舶、洋上標識、海洋エネルギー機器、構造物の係留で使用される鋼製チェーンの代替技術として、スチールと同等の強度を持ち、軽量で耐食性、メンテナンス性に優れる超高分子量ポリエチレン繊維ロープの耐摩耗性と繊維の集束性を向上させるため、密着性に優れた樹脂被覆を行うことにより、軽量・高強度・耐摩耗性・屈曲性を持つロープを開発する。

当該年度は、被覆候補として選定された複数樹脂について樹脂被覆試験を行うとともに、樹脂被覆試料を用い

た疑似海水試験にてスクリーニング試験を行った。また、市販繊維には油剤が塗付されており、そのままではポリエチレン繊維に樹脂を接着させることが困難であるため、油剤除去、表面改質処理技術を確立するとともに、樹脂加工、表面分析について検討した。

樹脂選定については、候補中の樹脂3種において疑似海水試験後の樹脂保持率が高く、被覆樹脂として妥当であるとの結果を得た。

ポリエチレン繊維の油剤除去および表面改質処理技術について、紫外光クリーニングおよび表面改質法を用い、処理後の試料について表面濡れ性評価、X線光電子分光法(XPS)による最表面分析、赤外分光法(FT-IR)による表面官能基改質評価を行ったところ、油剤成分の除去が確認されるとともに、親水性に表面改質されたことが明らかとなった。

上記の油剤除去および表面改質繊維について樹脂被覆を行い、さらに疑似海水試験を行ったところ、未処理繊維と比較して表面改質処理によっていずれの樹脂においても樹脂被覆量が向上するとともに、樹脂保持率が向上し、加熱処理により保持率がさらに向上することが確認された。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 超高分子量ポリエチレン繊維、表面改質、海洋構造物係留ロープ、樹脂被覆

【研究題目】 電解式不動態皮膜改質技術によるステンレス鋼の耐塩素食・耐応力腐食割れ性の革新的向上

【研究代表者】 松崎 邦男、佐藤 直子  
(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 松崎 邦男、佐藤 直子  
(常勤職員2名)

【研究内容】

SUS304の未処理材および不動態化処理した試料について、X線光電子分光分析(XPS)および飛行時間型二次イオン質量分析(TOF-SIMS)により、不動態皮膜中のフッ素(F)の分布や結合状態を調べた。

XPSでは、SUS304の未処理材および電解研磨(EP)後に不動態化処理した試料の不動態皮膜の分析を実施した。いずれの試料においても、鉄(Fe)、クロム(Cr)、ニッケル(Ni)のほかに、酸素(O)、リン(P)、炭素(C)が見られ、またFも検出された。Fの結合エネルギーからは、Fが化合物として存在していることが示唆された。しかしながら、Feとの化合物としては、FeとOの化合物等との結合エネルギーとほぼ同じであることから、Fの存在形態を明らかにするためには他の手法を検討する必要がある。また、深さ方向分析の結果では、P、Fは表面近傍にのみ存在していることがわかった。酸素濃度の変化から算出した皮膜の厚さは未処理材で5nm、不動態化処理材で4nmであった。

TOF-SIMSでは、SUS304のEP未処理材とEP不動態化処理材の深さ方向分析とスペクトル分析を実施した。深さ方向分析結果より、酸化皮膜の厚さは、未処理材は10.5nm、不動態化処理材は4.7nmであり、未処理材のほうが厚かった。最表面のスペクトル分析結果より、皮膜を構成する元素やフラグメントイオンは、未処理材ではNa、K、PO<sub>3</sub>、CN、CNOの強度が高かった。一方で、不動態化処理材ではCr、O、Fの強度が未処理材よりも高い様相を呈した。この際、Fはフラグメントイオンではなく、単体でのみ検出された。XPSの結果からは、Fが化合物として存在していることが示唆されたため、Fは金属と弱い結合を有しており、スパッタにより結合が切れ、単体として検出された可能性が高いと考えられる。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 ステンレス鋼、不動態皮膜、フッ素、XPS、TOF-SIMS

【研究題目】 次世代型放熱部品の開発

【研究代表者】 花田 幸太郎  
(先進製造プロセス研究部門)

【研究担当者】 花田 幸太郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

自動車に搭載されるLED用放熱部品(放熱板+アルミヒートシンク)にはコスト低減と小型化が、またIGBT用放熱基板には、一層の熱伝導率の向上が求められている。しかしながら、従来の材料技術で対応するには限界が見えており、革新的なコスト低減の技術や熱伝導率向上を実現させるには高熱伝導材料との複合化が必要となってきている。当研究グループでは、金属材料と高熱伝導フィラーとの複合化技術について、材料の選定や複合化プロセス等の検討を行ってきており、複合化によって熱伝導率を向上できることを明らかにしてきた。本研究では、銅に鱗片状黒鉛を分散させた複合材について、-40℃⇄250℃での200サイクルまでの熱サイクル試験を行った際に、熱伝導率が当初600W/mKであったものが、480W/mK前後(初期値の約80%に相当)にまで低下することを明らかにした。熱伝導率は、各熱サイクル試験後のサンプルについてレーザーフラッシュ法により計測した。電子顕微鏡観察から試験後の銅-黒鉛フィラー間には界面剥離が生じていることが観察されており、この剥離によって生じた界面亀裂部分で熱伝導が妨げられていることが判明している。この問題解決には、界面剥離発現現象のその場観察を行い、発生メカニズムを究明する必要がある。

【分野名】 ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 複合材料、高熱伝導、放熱基板

## 2. 事業組織・本部組織業務

産総研発足時に、旧工業技術院傘下の各研究所等に分散していた研究関連業務、管理業務等を可能な限り集中し、研究開発を支援する業務を担う「研究関連・管理部門等」を設置した。電子化・ネットワークを活用した事務処理により各業務の効率化・迅速化を図り、無駄のない業務運営を行っている。また、各業務の実績と運営状況を常に把握し、評価結果、社会状況を踏まえた経営判断により、コンプライアンス対応体制や産学官連携体制の強化、個人情報保護のための体制整備等最適な体制に向けて不断の見直しを行っている。

平成22年10月に組織及び業務体制の見直しを行い、研究開発の支援業務に携わる従前の「研究関連・管理部門等」から、より効率的かつ質の高い研究支援体制（「事業組織」及び「本部組織」）へ変更した。

### (1) 事業組織

「研究関連・管理部門等」に集中処理していた業務の一部を、現場で判断し、迅速に執行すべく、一体的かつ自律した業務執行体制を確立した。具体的には、「事業組織」のトップ（「管理監」、「地域センター所長」）の下に、「研究業務推進部」又は「研究業務推進室」を配置するとともに、地域センターにおいては、所長の下に、「産学官連携センター」を配置した。

#### 【事業組織】

- ・東京本部
- ・北海道センター
- ・東北センター
- ・つくばセンター（つくば中央第一事業所、つくば中央第二事業所、つくば中央第三事業所、つくば中央第四事業所、つくば中央第五事業所、つくば中央第六事業所、つくば中央第七事業所、つくば西事業所、つくば東事業所）
- ・臨海副都心センター
- ・中部センター
- ・関西センター
- ・中国センター
- ・四国センター
- ・九州センター
- ・福島再生可能エネルギー研究所

<凡 例>

地域拠点名（English Name）

所在地：住所

代表窓口：TEL：、FAX：

人 員：常勤職員数（研究職員数）

概 要：部門概要

機構図

（3/31現在の役職者名）



## 1) 東京本部 (AIST Tokyo Headquarters)

所在地：〒100-8921 東京都千代田区霞が関1-3-1  
 代表窓口：TEL：03-5501-0900  
 人員：53名 (32名)

### 概要：

産業技術総合研究所は、それぞれの地理的な特長を生かした活動を行い効率的な運営を行っている。東京本部を行政との接点、情報収集、広報活動の拠点として産総研の機動的な活動に有効に活用するとともに、研究現場と隣接して配置され、産学官連携、国際、研究業務推進等の効率的な組織運営を行っているつくばセンターをはじめとする他の事業組織等とテレビ会議システムの活用等により、有機的・効率的連携を図っている。

### 機構図 (2015/3/31現在)

```

    [東京本部] 管理監 中村 吉明
    |
    |--- [総務室] 室長 亀卦川 広之
    |
    |--- [企画本部]
    
```

### 総務室 (General Affairs Office)

(東京本部)

### 概要：

東京本部における職員等の勤務・サービス管理、文書管理、安全衛生管理、施設管理等定常的な庶務業務を行うとともに、役員の秘書業務及び官庁との事務連絡等の業務を行っている。

## 2) 北海道センター (AIST Hokkaido)

所在地：〒062-8517 札幌市豊平区月寒東2条17丁目2-1  
 代表窓口：TEL：011-857-8400、FAX：011-857-8900  
 サイト：札幌大通りサイト  
 (住所：〒060-0042 札幌市中央区大通西5丁目8  
 TEL：011-219-3359、FAX：011-219-3351)

人員：60名 (45名)

### 概要：

北海道センターは北海道の中核研究機関として、「バイオものづくり」をテーマにした戦略的研究拠点の構築とともに、北海道経済産業局が推進する「北海道バイオイノベーション戦略」と連携してバイオ産業の活性化や、新産業創出に資するための地域連携拠点の構築を目指している。また、メタンハイドレート研究センターは、メタンハイドレート資源の実用化を目指すナショナルプロジェクトの中心的な役割を担っている。

研究拠点の強化として、生物プロセス研究部門では、植物工場を活用した農商工連携、微生物による物質生産プラットフォームの開発などバイオテクノロジーを応用した研究を推進している。植物工場の研究では、民間企業との共同研究により動物用医薬原料製造の商業応用へ向けた展開を進め、平成26年3月に実用化したイヌインターフェロン $\alpha$ を産生する遺伝子組換えイチゴ果実を原薬とした動物用医薬品に続き、ヒト・動物用の医薬品を植物で生産させる研究を展開している。これらの研究においては、平成24年度に敷地内に建設された公益財団法人北海道科学技術総合振興センターが運営する「グリーンケミカル研究所」が連携して世界的な植物バイオ研究拠点としての役割を果たしている。また組換え微生物の遺伝子設計技術が経産省プロジェクト「革新的バイオマテリアルを実現するための高機能ゲノムデザイン技術開発」(H24～H28年度)「次世代治療・診断実現のための創薬基盤技術開発」(H26～H29)に採択され、この技術研究組合の集中研を北海道センターに置いて研究開発事業を進めている。この研究において、微生物が生産する生理活性物質の遺伝子を迅速に同定する新しい手法「MIDDAS-M」の開発に成功した。

地域連携拠点の強化として、道内3国立大学法人、4高専、市立大、公設・独法研究機関、北海道経済産業局、自治体、経済団体等21機関と協力してR&Bパーク札幌大通サテライトの運営を支援し、企業の技術開発、新事業創出のための各種相談に対するワンストップサービス、セミナー・交流会等の人的交流を促進する場の提供など、産業界・行政と産総研との連携強化を図ってきた。平成26年度のサテライトの利用者数は3,210人、技術相談の件数は146件であった。

北海道センター独自の活動として平成15年度より「バイオテクニシャン育成事業」を実施し、専門学校生を受け入れ、バイオ技術者としての人材育成支援を推進してきた。平成26年度は17名を受け入れ、これまでに総数46名のバイオテクニシャンを輩出している。

広報活動として、産総研本格研究ワークショップ、産総研北海道センター講演会(全4回)等の開催、ビジネス交流会等のイベント出展(他4件)、近隣住民を対象にした一般公開、中高生の職場体験、見学者(439名)の受入などを行った。

### 機構図 (2015/3/31現在)

```

    [北海道センター]
    |
    |--- 所長 鎌形 洋一
    |--- 所長代理 扇谷 悟
    |
    |--- [北海道産学官連携センター]
    |--- センター長 (兼) 鎌形 洋一
    
```

産学官連携イノベーションコーディネータ  
 (兼)扇谷 悟、太田 英順、永石 博志  
 総括主幹 鈴木 正昭、中川 充

[北海道研究業務推進室]

室長 加瀬 治

[生物プロセス研究部門]

[メタンハイドレート研究センター]

### 3) 東北センター (AIST Tohoku)

所在地：〒983-8551 仙台市宮城野区苦竹4-2-1

代表窓口：TEL:022-237-5211、FAX：022-236-6839

(サイト) 仙台青葉サイト

〒980-0811 仙台市青葉区一番町4-7-17

TEL：022-726-6030、FAX：022-224-3425

人員：43名 (32名)

概要：

東北センターは、東北地域における研究拠点および連携拠点として、先端的な低環境負荷型化学プロセス分野の COE 化を目指すとともに、東北6県の公設試験研究機関との連携を基軸にした広域連携のハブ機能としての役割を果たしている。

当センターには、環境負荷の小さい機能性材料の開発と低環境負荷かつ省エネルギー型の化学プロセス技術の研究開発を集中的に実施し、これらの新素材・化学プロセスのシステム化を目指す「コンパクト化学システム研究センター」が置かれている。当センターの研究成果をもとに化学産業分野におけるエネルギー多消費型化学プロセスから省エネルギー・省資源・低環境負荷型化学プロセスへの革新的転換を目指した技術開発と、実用化及び新しい産業創出を目的として企業会員51社が参加する「グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム (GIC)」では、研修セミナーを開催するなど研究情報の交流促進に努めており、その結果、平成26年度は会員企業との共同研究を14件実施し、研究ユニットのシーズを核とした連携強化が図られている。また、特に当センターが開発した粘土膜系新素材「クレスト®」の実用化に向けた取り組みを促進するコンソーシアム「Clayteam」では、企業会員48社の参画により具体的な製品づくりを積極的に進めている。

高温高圧実験室、防塵室、除振室を備えた東北産学官連携研究棟 (とうほく OSL) では、平成26年度末で、33実験・研究室が使用され、東北地域における新たな産業技術創生のための研究開発が行われている。

主な成果普及活動として、東北センター一般公開の代替として7月に学都「仙台・宮城」サイエンスデイに共催・出展し1,320名、また、産総研が大学、研究

機関とともに開催した材料フェスタでは2640名の来場者があった。平成26年12月には産学官連携フェア2014Dec.みやぎを経済団体等と共催し、研究成果の紹介や技術相談を通して成果普及に努めた。

市内に連携オフィスとして設置している仙台青葉サイトでは、産技連東北地域部会事務局、東北航空宇宙産業研究会事務局、東北再生可能エネルギー研究会事務局として、公設試験研究機関・大学・企業との連携業務の中核として活動するとともに、産総研全体の新しい研究成果を東北地域産業界に発信する「新技術セミナー」をほぼ毎月開催し、また、連携担当が工業会に多数のキー技術を簡潔に伝える「広域コラボ47」セミナーを開始した。さらに積極的な企業訪問を行う「東北コラボ100」を東北6県の公設試験研究機関の協力のもとに行うなど、連携活動を強化した。

業務報告データ：

○刊行物

名称 (Vol. No.)	刊行区分	発行部数
産総研東北 Newsletter No.41	不定期	900部/回

○主な行事 (主催・共催・協賛)

開催年月日	名称
26.4.15	産技連 東北航空宇宙産業研究会総会および第1回東北航空宇宙産業広域連携フォーラム2014
26.4.23	GIC 平成26年度総会及び第37回研修セミナー
26.5.16	第36回産総研・新技術セミナー
26.5.28	平成26年度 産業技術連携推進会議 東北地域部会 総会・幹事会
26.5.30	H26総会および第17回 Clayteam セミナー
26.6.05	第37回産総研・新技術セミナー
26.6.06	GIC 第1回研究開発相談会
26.7.02	GIC 第38回研修セミナー
26.7.03	第38回産総研・新技術セミナー
26.7.20	東北センター一般公開および学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2014
26.7.28~7.29	材料フェスタ in 仙台
26.8.22	第18回 Clayteam セミナー
26.9.12	第39回産総研・新技術セミナー
26.9.29	GIC 第39回研修セミナー
26.10.08~10.09	産技連 東北地域部会 秋季合同分科会
26.10.24~10.25	おおさき産業フェア2014
26.11.05	第1回広域コラボ47
26.11.07	産技連 プラスチック成形加工技

	術研究会総会・講演会
26.11.10	GIC 第2回研究開発相談会
26.11.14	第40回産総研・新技術セミナー
26.11.18	第19回 Clayteam セミナー
26.12.03	第41回産総研・新技術セミナー
26.12.04	産学官連携フェア2014Dec.みやぎ
26.12.08	産技連 東北航空宇宙産業研究会 総会および第2回東北航空宇宙産 業広域連携フォーラム2014
26.12.15	GIC 第40回研修セミナー
27.1.16	第42回産総研・新技術セミナー
27.1.21	産技連 東北再生可能エネルギー 研究会 第1回講演会
27.2.10	第20回 Clayteam セミナー
27.2.20	第43回産総研・新技術セミナー
27.2.25	GIC 平成26年度報告総会／第41回 研修セミナー
27.3.06	平成26年度 東北大学・産総研 連絡協議会
27.3.11	第44回産総研・新技術セミナー
27.3.16	第2回広域コラボ47

機構図 (2015/3/31現在)

所 長：三石 安  
所長代理：南條 弘

- [東北産学官連携センター]  
センター長：(兼) 三石 安  
イノベーションコーディネータ：  
(兼) 南條 弘 橋本 等 松永 英之
- [東北研究業務推進室]  
室 長：佐藤 学
- [コンパクト化学システム研究センター]

4) つくばセンター (AIST Tsukuba)

所在地：〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1  
人 員：2,240名 (1,730名)  
概 要：

産総研つくばセンターは、産総研全体の研究機能の中核としておよそ70パーセントの研究者や施設が集積した大規模研究拠点である。つくばセンターでは、グリーン・イノベーションやライフ・イノベーションにかかわる幅広い研究分野をカバーするとともに、分野を融合したこれまでにない新しい研究成果を目指している。

さらに、基礎的・基盤的研究から実用に供されるよ

うな製品化の研究までを一貫して行い、我が国の産業技術を革新する「オープンイノベーションハブ」の役割を果たすことを目指している。

つくばセンターは、立地するつくば市や茨城県、さらには全国の大学・研究機関・民間企業とも密接な連携を進め、研究人材の供給や研究成果の移転を促進する役割を果たしている。地域の各種の取り組みにも積極的に参画し、共同研究の推進、技術相談や科学技術の普及活動を進めている。

また、つくばセンターは、つくば地域に展開する最大規模の研究所の一つとして、地域の環境と安全への取り組みも行っている。

機構図 (2015/3/31現在)

- [つくばセンター] 所長 金山 敏彦
- [つくば中央第一] 管理監 久保田 喜嗣
  - └── [第一研究業務推進室]
    - 室長 草間 常夫
    - └── [図書業務チーム]
- [つくば中央第二] 管理監 関口 智嗣
  - └── [第二研究業務推進部]
    - 部長 渡邊 修治
- [つくば中央第三] 管理監 八瀬 清志
  - └── [第三研究業務推進室]
    - 室長 掛札 泰司
- [つくば中央第四] 管理監 大森 隆夫
  - └── [第四研究業務推進室]
    - 室長 吉岡 有三
- [つくば中央第五] 管理監 大森 隆夫
  - └── [第五研究業務推進部]
    - 部長 黒羽 義雄
- [つくば中央第六] 管理監 織田 雅直
  - └── [第六研究業務推進室]
    - 室長 井佐 好雄
- [つくば中央第七] 管理監 矢野 雄策
  - └── [第七研究業務推進室]
    - 室長 長山 信一
- [つくば西] 管理監 角口 勝彦
  - └── [西研究業務推進部]
    - 部長 関 芳明

—[つくば東] 管理監 村山 宣光  
 └─── [東研究業務推進室]  
 室長 浦井 聡子

- [環境・エネルギー分野研究企画室]
- [環境管理技術研究部門]
- [環境化学技術研究部門]
- [エネルギー技術研究部門]
- [安全科学研究部門]
- [メタンハイドレート研究センター]
- [先進パワーエレクトロニクス研究センター]
- [太陽光発電工学研究センター]
- [触媒化学融合研究センター]
- [再生可能エネルギー研究センター]
- [ライフサイエンス分野研究企画室]
- [生物プロセス研究部門]
- [バイオメディカル研究部門]
- [ヒューマンライフテクノロジー研究部門]
- [幹細胞工学研究センター]
- [糖鎖創薬技術研究センター]
- [情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室]
- [知能システム研究部門]
- [情報技術研究部門]
- [ナノエレクトロニクス研究部門]
- [電子光技術研究部門]
- [セキュアシステム研究部門]
- [ネットワークフォトニクス研究センター]
- [ナノスピントロニクス研究センター]
- [サービス工学研究センター]
- [フレキシブルエレクトロニクス研究センター]
- [ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室]
- [先進製造プロセス研究部門]
- [ナノシステム研究部門]
- [ナノチューブ応用研究センター]
- [集積マイクロシステム研究センター]
- [計測・計量標準分野研究企画室]
- [計測標準研究部門]
- [計測フロンティア研究部門]
- [計量標準管理センター]
- [地質分野研究企画室]
- [地圏資源環境研究部門]
- [地質情報研究部門]
- [活断層・火山研究部門]
- [地質調査情報センター]
- [地質標本館]
- [企画本部]
- [コンプライアンス推進本部]
- [イノベーション推進本部]  
 [イノベーション推進企画部]  
 [知的財産部]

- [産学官連携推進部]
- [国際部]
- [ベンチャー開発部]
- [国際標準推進部]
- [イノベーションスクール]
- [つくばイノベーションアリーナ推進本部]  
 [つくばイノベーションアリーナ企画室]  
 [つくばイノベーションアリーナ連携推進室]  
 [共用施設調整室]  
 [スーパークリーンルーム運営室]  
 [パワーエレクトロニクス拠点運営室]
- [環境安全本部]  
 [環境安全企画部]  
 [安全管理部]  
 [施設整備部]  
 [情報基盤部]
- [総務本部]  
 [業務推進支援部]  
 [人事部]  
 [財務部]  
 [ダイバーシティ推進室]  
 [法務室]
- [評価部]
- [広報部]
- [監査室]

研究業務推進部室 (General Affairs Division/Office)

(つくば中央第一、つくば中央第二、つくば中央第三、つくば中央第四、つくば中央第五、つくば中央第六、つくば中央第七、つくば西、つくば東)

概要:

つくばセンターの各事業所研究業務推進部室は、研究支援業務、職員等の勤務及び服務管理、物件の調達業務、施設及び設備等の管理等の業務、環境及び安全衛生の業務等を行っている。

これらの業務を迅速に行うことにより、効率的な組織運営を図っている。

図書業務チーム (Library Office)

つくば中央つくば第七、(図書室: つくば中央第二、つくば中央第三、つくば中央第五、つくば中央第六、つくば中央第七、つくば西、つくば東)

概要:

研究活動を行うために不可欠な情報源である学術雑誌の収集・管理、文献情報の提供、各図書室の運営、各図書室からの図書情報の一元管理を行っている。

オンラインジャーナルによるサービスの提供、文献データベースの利用促進並びに所蔵データの整理・統一を推進している。

## 5) 臨海副都心センター (AIST Tokyo Waterfront)

所在地：〒135-0064東京都江東区青海二丁目3番地26号

人員：75名（55名）

概要：

産業技術総合研究所臨海副都心センターは、文部科学省及び経済産業省の連携協力によって整備された国際研究交流大学村に、産学官連携の役割を担う研究拠点として、平成13年4月1日に設置された。当センターは国内外産学官各分野の一線級研究者による多様な研究に対応できるフレキシビリティの高い空間を設けている。

平成17年4月からは、産学官連携の研究拠点を拡張し、新たにバイオテクノロジーと情報工学の融合研究のための施設として、バイオ・IT 融合研究施設の運用を開始し、技術者等の人材育成から最先端の研究開発まで積極的な事業活動を展開している。

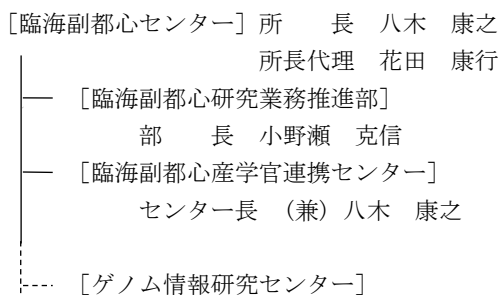
そして7つの研究ユニット（ゲノム情報研究センター、創薬分子プロファイリング研究センター、デジタルヒューマン工学研究センター、サービス工学研究センター、バイオメディカル研究部門、ユビキタスエネルギー研究部門、セキュアシステム研究部門）が、新産業の創出や市場拡大につながる独創的かつ先端的技術シーズの研究開発とともに国内外の研究者との交流や研究成果の情報交換を行っている。

当センターへは、平成26年度に内外の大学・企業・政府関係者等約350名が視察に訪れており、国際的な産学官による研究交流拠点としての役割を果たしている。

平成26年度における外部機関と行った連携研究は、共同研究188件、受託研究40件である。

また、展示コーナー（サイエンス・スクエア臨海（平成27年2月、ライフ・テクノロジー・スタジオ臨海副都心にリニューアル））を平日に公開するとともに、国際研究交流大学村を中心に開催された、サイエンス・アゴラ2014の開催に合わせて臨海副都心センターの一般公開を実施するなどの広報活動を行っている。

機構図（2015/3/31現在）



- [創薬分子プロファイリング研究センター]
- [デジタルヒューマン工学研究センター]
- [サービス工学研究センター]
- [バイオメディカル研究部門]
- [ユビキタスエネルギー研究部門]
- [セキュアシステム研究部門]

## 6) 中部センター（AIST Chubu）

所在地：〒463-8560

名古屋市守山区大字下志段味字穴ヶ洞2266-98

代表窓口：TEL:052-736-7000、FAX:052-736-7400

サイト：名古屋駅前サイト：

〒450-0002名古屋市中村区名駅4丁目4-38

TEL：052-583-6454

人員：137名（113名）

概要：

産業技術総合研究所中部センターは、ものづくり産業が高度に集積した中部地域における研究開発ゾーンの一つである「なごやサイエンスパーク」に立地し、その中核的研究機関となっている。当センターは、地域における伝統的なものづくりである窯業や機械・金属に関わる技術の開発を出発点として発展し、ファインセラミックスや金属などの工業材料の創製・部材化とそのプロセス技術を軸として研究開発を行い、新産業の創生と産業競争力強化に寄与してきている。当センターは、現在、先進製造プロセス研究部門、サステナブルマテリアル研究部門、計測フロンティア研究部門及びグリーン磁性材料研究センターを擁し、持続的発展可能な社会の構築に貢献できる産業技術を確立するため、材料・プロセス・計測評価技術に関わる高度な研究を展開している。また、中部における産業政策の展開に貢献するため、中小企業の戦略的基盤技術高度化支援事業等に協力・支援するとともに、地域の企業・大学・公設研と連携し、各種研究開発事業への提案を行っている。

連携・協力提携協定を締結した名古屋大学および名古屋工業大学それぞれと連携協議会を開催すると共に、連携強化のため技術交流会や共同研究構築のためのFS 調査研究を実施した。地域の公設試験研究機関とは産業技術連携推進会議の活動を通じ、産総研を中核とした連携を構築するための活動を展開した。中部地域における産学官連携に携わる機関が活動拠点を共同で運営することにより、当地域のイノベーションの創出基盤の強化に資することを目的として、平成20年度に関係の7機関（平成22年度より8機関）により設置した「名古屋駅前イノベーションハブ」を活用し、ワンストップサービスが可能な企業向けの技術相談事業を実施するとともに、各種イベントを開催した。平成26年度の代表的な活動状況を以下に示す。

中部センター所属の4研究ユニットと合同で中部センター研究発表会・オープンラボを開催し、研究発表会では25件の研究発表、オープンラボでは12件の研究現場紹介を行った。研究発表会には331名の、オープンラボには152名の参加者があり、中部センターの研究活動と成果をアピールした。また「TECH Biz EXPO 2014」（来場者20,995名）において、産総研中部センターならびに中部地域の公設試験研究機関（9機関）が各機関の紹介などの展示を合同で行った。北陸地域でのシーズ発信活動として富山市で技術普及講演会（参加者43名）を開催した。産総研の技術シーズを定期的に発信する技術シーズ発表会を昨年度に引き続き行った。科学技術の啓蒙活動として8月に一般公開を開催した（参加者2,727名）。本年度の延べ見学者数は374名に達している。

知的財産権の取得を積極的に推進し、国内特許50件、外国特許8件を出願した。技術相談件数は792件あった。

産業界をはじめとする外部機関との連携も積極的に展開し、共同研究179件、受託研究23件を行った。大学とは、連携大学院の拡充強化に努め、9大学（名古屋工業大学、岐阜大学、大同大学、名城大学、中部大学、愛知工業大学、長岡技術科学大学、上智大学、北海道大学）に14名が就任している。平成22年度から愛知県が開始した「知の拠点あいち」重点研究プロジェクトに、中部センターからも18名の研究者が加わり、「低環境負荷型次世代ナノ・マイクロ加工技術の開発」と「超早期診断技術開発プロジェクト」に取り組んだ。また、戦略的基盤技術高度化支援事業3テーマ、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）3テーマ、エネルギー使用合理化国際標準化推進事業1テーマなどに参加した。

#### 機構図（2015/3/31現在）

[中部センター]	所長 立石 裕
	所長代理 田澤 真人
	(兼) 淡野 正信
	(兼) 中村 守
[中部産学官連携センター]	センター長 (兼) 立石 裕
	副センター長 佐藤 憲司
	イノベーションコーディネータ
	渡村 信治、飯田 康夫、都築 明博、
	山田 豊章、(兼) 田澤 真人
	産業技術総括調査官 (兼) 都築 明博
	総括主幹
	阪口 修司
[中部研究業務推進部]	部長 中島 義昭
	[業務推進チーム] チーム長 中田 正人他

[会計チーム]	チーム長 寺島 広之 他
[研究環境安全チーム]	
	チーム長 河口 和浩 他
---	先進製造プロセス研究部門
---	サステナブルマテリアル研究部門
---	計測フロンティア研究部門
---	グリーン磁性材料研究センター

#### 7) 関西センター（AIST Kansai）

所在地：〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31  
 代表窓口：TEL：072-751-9601、FAX：072-754-1939  
 サイト：  
 尼崎支所：〒661-0974 兵庫県尼崎市若王寺3-11-46  
 TEL：06-6494-7854

人員：159名（131名）

概要：

産業技術総合研究所関西センターは、旧大阪工業技術研究所、旧電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センター、旧計量研究所大阪計測システムセンター、旧地質調査所大阪地域地質センターの4所を母体としている。

現在、当センターには、3研究部門（ユビキタスエネルギー研究部門、健康工学研究部門、セキュアシステム研究部門）が置かれている。

関西センターは、持続的発展可能な社会の実現、産業競争力の強化、地域産業の発展への貢献を目指し、健康な暮らしを支える技術、豊かな暮らしを創る技術、安心・安全な暮らしを守る技術の生活に密着する研究開発を推進している。

関西地域は、産業界とアカデミアが集積し産学官連携が組みやすい構造にある。この特徴を活かし、産総研の研究ポテンシャルを地域産業の振興に役立たせる連携活動も積極的に展開している。

近畿経済産業局をはじめ、企業、大学、公的研究機関、自治体、企業団体や研究開発支援団体などとの交流・連携を深めている。

産総研の研究活動を紹介するため、「AIST 関西懇話会」、「ダイヤモンド・イノベーション・クラブ」（池田市）、「産総研-フラウンホーファー共同研究ラボ開所記念：Electro-Active Polymer（EAP）研究シンポジウム」（大阪市）、「第10回 UBIQEN フォーラム：蓄電池・燃料電池新材料開発のための分析解析手法」（豊中市）、「関西センター本格研究ワークショップ：再生医療の新たな理解と工学的取り組みによって目指す産業」（大阪市）、「次世代ナノテクフォーラム」（豊中市）、「分子複合医薬研究会」（池田市・大阪市）、「ファインバブル（微細気泡）技術シンポジウム」（大阪市）等を開催した。

連携業務の平成26年度実績（共同研究222件、技術

研修98件、受託研究37件、国内特許出願（単願43件、共願44件）、外国特許出願（単願23件、共願40件）は活発な産学官連携の実態が表われている。

また、科学技術の啓蒙普及を主眼に開催した研究所一般公開（尼崎8月1日：710名）、サイエンスカフェサイエンスカフェ（2回：76名）、全国の科学館や地方自治体等の要請による科学教室を実施した（17回：1171名）。毎回多数の参加者を得ており関西センターに寄せられている期待は大きい。

セキュアシステム研究部門と協力して組込みシステム産業との連携活動を進めている。人材高度化プログラムである「組込み適塾」（関西、東北から延べ95名の技術者が受講）、国内各地域の組込み関連団体との連携強化を図る「全国組込み産業フォーラム」、製品開発の現場で技術展示を行う「出張展示会」などを組込みシステム産業振興機構と開催した。

#### 機構図（2015/3/31現在）

[関西センター]	所 長 長谷川 裕夫
	所長代理 松原 一郎
	尼崎支所管理監（兼）坪田 年
— [関西産学官連携センター]	
	センター長（兼）長谷川 裕夫
	副センター長 松原 一郎
	イノベーションコーディネータ
	（上席）上原 斎、坪田 年、
	堀野 裕治、松原 一郎、
	若林 昇、宮崎 義憲、境 哲男
	総括主幹 田中 隆裕、石川 一彦、
	齋藤 俊幸 他
— [関西センター研究業務推進部]	部長 芝原 徹
— [業務推進チーム]	チーム長 稲田 正利
— [会計チーム]	チーム長 青木 一彦
— [研究環境安全チーム]	チーム長 石塚 徹
— [尼崎業務推進チーム]	チーム長 中島 秀記
--- [健康工学研究部門]	
--- [ユビキタスエネルギー研究部門]	
--- [セキュアシステム研究部門]	

## 8) 中国センター（AIST Chugoku）

所在地：〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-11-32

TEL：082-420-8230、FAX：082-423-7820

人 員：28名（19名）

概 要：

産業技術総合研究所中国センターは、中国地域における中核的な研究拠点として活動を展開しており、バイオマスリファイナリー研究センターでは木質系バイ

オマスからの化学品原料（ケミカル）、高性能複合材料（マテリアル）、液体燃料を製造するための基盤技術の研究開発を進めている。また産総研の中国地域におけるイノベーションハブとして、企業の技術相談・支援に注力するとともに、大学、公設研との連携を推進している。

バイオマスリファイナリー研究センターでは、木質系バイオマスから糖、セルロースナノファイバー、リグニンなどを効率よく取り出す技術の開発、糖を出発物質としてバイオ変換により液体燃料や化学品原料を製造する技術の開発、セルロースナノファイバーとプラスチックを混ぜることで高性能複合材料を製造する技術の開発を進めている。またバイオマスの糖化に欠かせない糖化酵素について、生産性の向上、バランスの最適化、高機能化を目指した研究を行っている。さらに木質系バイオマスを分解して得られる合成ガスから、触媒合成によってジェット燃料を製造するプロセスの開発や、微生物により有用物質やエタノールに変換するための基盤技術の研究開発にも取り組んでいる。

中国産学官連携センターは、地域企業の技術課題と産総研の研究成果のマッチングの強化等を目的に創設した産総研中国センター友の会（産友会）の活動として、会員企業訪問、メルマガ発信等を行っている。さらに産業技術連携推進会議中国地域部会、中国地域産総研技術セミナー、中四国地域公設試験研究機関研究者合同研修会等を開催した。平成26年度には、地域の中小企業、公設研究機関、知能システム研究部門との連携による産総研戦略予算「中小企業支援のためのランダムピッキングロボットシステムの開発」を継続してコーディネートしている。

#### 機構図（2015/3/31現在）

[中国センター]	所 長 柳下 宏
	所長代理(兼) 平田 悟史
— [中国産学官連携センター]	
	センター長（兼）柳下 宏
	副センター長 井上 正人
— [中国研究業務推進室]	
	室 長 関河 敏行
--- [バイオマスリファイナリー研究センター]	
	成分分離チーム
	バイオ変換チーム
	セルロース利用チーム
	バイオ燃料チーム

## 9) 四国センター（AIST Shikoku）

所在地：〒761-0395 香川県高松市林町2217番地14号

代表窓口：TEL(087)869-3511、FAX(087)869-3553

人 員：35名（25名）

概 要：

産業技術総合研究所四国センターは、'94.7月に香川県が技術・情報・文化の複合拠点として旧高松空港跡地に整備した「香川インテリジェントパーク」内に立地し、「研究拠点」として健康工学研究部門の研究成果や技術を活用した「健康関連産業の創生」に取り組むとともに、「連携拠点」として全産総研のポテンシャルを活用したものづくり基盤技術力の向上および先端技術の導入による「ものづくり産業の競争力強化」に取り組んでいる。

健康工学研究部門（平成22年4月1日設立 研究拠点：四国センター、関西センター）は「人間の健康状態を計測・評価し、その活動を支援するため、先端的なバイオ技術と材料システム開発技術を融合し、健康な生活の実現に寄与する技術を確立する」ことをミッションとし、四国センターでは特に、1)バイオマーカーの機能解析・同定とその検知デバイス技術開発、2)健康リスク計測・評価とリスクモニタリング技術の開発を戦略課題として、境界型糖尿病マーカー、酸化ストレスマーカー、炎症性糖脂質マーカーなどの探索と疾患予知診断のためのバイオデバイス開発、および感染症の超早期診断機器の開発などに取り組んでいる。

四国地域の企業を中心に組織化した「四国工業研究会」をもとに、下部組織である“次世代バイオナノ研究会”での研究成果の発信や普及、イノベーションコーディネータを中心とした個別企業との対話や技術相談等、四国地域における工業技術の振興、産業の発展を目指した活動を実施した。

「四国地域イノベーション創出協議会」の副事務局として、産総研と経済局・自治体との情報共有を主とした連絡会議の開催に加え、産業支援機関などの支援ツールを活用することで企業の多様なニーズに応える活動を実施、特に四国内企業からの要望が強かった、人の無意識の行動を分析し、潜在的なニーズなどを導く“行動観察”に着目した「行動観察能力育成セミナー」を開催した。また“四国産業技術大賞・革新技術賞”として、技術開発成果が特に優秀であった四国内企業3社の表彰を実施した。

「産業技術連携推進会議四国地域部会食品分析フォーラム分科会」は、今年度時点で20の公設研究機関会員で構成されている。本分科会は、地域特産食品の機能性成分の分析法を標準化し、食品商品への機能性成分表示を図り、我が国の地域食品関連産業の振興を期することを目的としている。今年度は、フォーラム標準化1件を達成し、さらに室間共同分析2件を実施した。

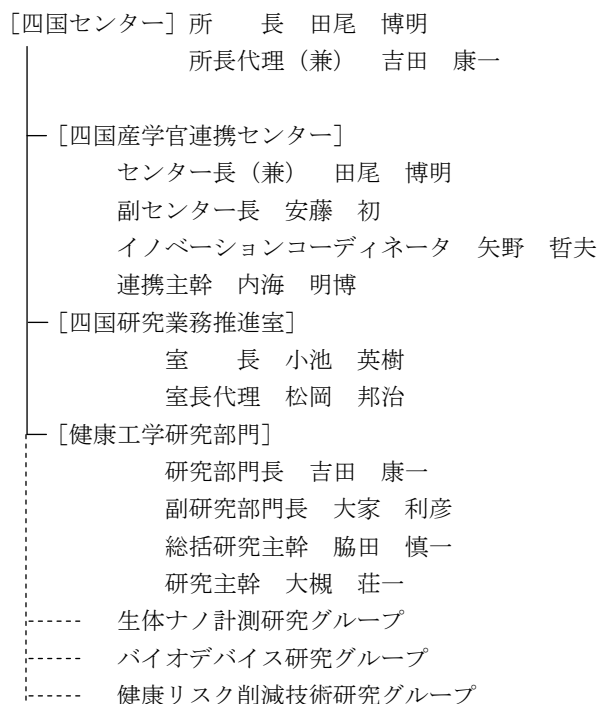
四国内の6大学（連携協定締結大学：徳島大、鳴門教育大、香川大、愛媛大、高知大、高知工科大）と産総研との四国研究プラットフォームでは、遍路中の健

康に対する効果を科学的に実証することを目的として“お遍路が心と体に与える影響調査”を引き続き実施した。これまでに行った調査で得られた心と体の状態に関する各種生理データを解析した結果、心拍数については、遍路中は体に心地よさを感じる値であったこと、緊張・不安を表す数値は徐々に減り、遍路最終日は出発前のほぼ半分の値となったこと、体の免疫力を高める機能を持つ細胞の動きが遍路中はより活発になったことなどがわかり、国際誌「JOURNAL OF BIOLOGICAL REGULATORS & HOMEOSTATIC AGENTS」や NHK「クローズアップ現代」等で取り上げられた。

11月には“新たな健康サービス・健康ものづくり産業創出をめざして”をテーマに香川県高松市において「本格研究ワークショップ in 四国」を開催した。診断分野のリーディング企業によるグローバルな成長予測、技術開発動向、食産物の健康増進機能に着目した各機関の取組みを紹介し、農業・観光等の地域産業との連携（医・農商工連携）について考える場を提供することを目的とし、講演・ポスター展示等を行った結果、約180名の参加があった。

その他、産業界向けの講演会として、四国4県の公設試や産業支援機関の協力のもと「新技術セミナー」を計4回開催した。また、青少年に科学技術のおもしろさを体験する機会を提供し、理解増進を図ることを目的に一般公開を開催、阿南工業高等専門学校、香川高等専門学校、高知工業高等専門学校、観音寺第一高等学校の協力もあり、約250名の参加があった。

機構図（2015/3/31現在）





- 生体機能制御研究グループ
- バイオマーカー解析研究グループ
- 分子機能評価研究班
  
- (以下、関西センター)
- ストレスシグナル研究グループ
- 人工細胞研究グループ
- 生体分子創製研究グループ
- 生体分光解析研究グループ
- バイオインターフェース研究グループ
- 暮らし情報工学研究グループ
- 組織・再生工学研究グループ
- 細胞分子機能研究グループ
- EAP デバイス研究班

## 10) 九州センター (AIST Kyushu)

所在地：〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1  
 代表窓口：TEL：0942-81-3600、FAX：0942-81-3690  
 福岡サト：〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東  
 2-13-24 (財)九州産業技術センター内 2F  
 TEL：092-292-5051、FAX：092-292-5998

人員：41名 (29名)

### 概要：

産業技術総合研究所九州センターは、九州地域におけるオール産総研の窓口として、「研究拠点」と「連携拠点」の二つの機能を活かすための研究開発に取り組んでいる。

「研究拠点」としては、「生産計測技術研究センター」を設置し、九州は半導体、自動車関連分野における製造業の集積地であることから、「マイスター型連携制度」を導入し、半導体産業などの生産現場における品質・生産性の向上、安全確保などに資する新たな計測ソリューションをオンタイムで提供している。

「連携拠点」としては、「九州産学官連携センター」を設置し、関係機関と連携して行う事業では、産技連九州・沖縄地域部会等が一体となって地域企業等へ技術情報提供、情報交換等を行う交流の場として「平成26年度九州・沖縄 産業技術オープンデー」を鳥栖市にて12月に開催し、企業から多数の参加者を得た(来場者：416名)。また、九州経済産業局、中小機構九州本部、九州産業技術センターおよび九州ニュービジネス協議会との5者共同主催による「産学官交流研究会 博多セミナー」を中小機構九州本部において毎月第一金曜日に開催し、産学官の出会いと交流・相談の場を提供した(参加者：延べ876名)。

産総研の研究開発力を活用につなげることを目的として、「産総研本格ワークショップ in 沖縄」を1月に開催し、講演会、地元企業との意見交換会、技術相談の他、産総研の成果展示も行い、産総研の技術活用を地

域企業に広報した(参加者：110名)。

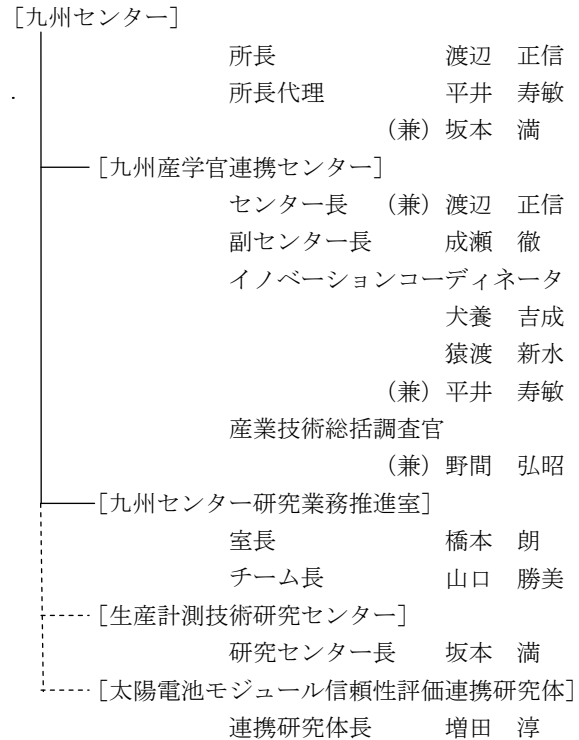
自治体、大学との連携では、佐賀県と平成24年5月に締結した連携・協力に関する協定に基づき、県内中小企業を中心に「御用聞き型企業訪問」を実施した。九州工業大学および北九州市とは、平成24年2月に締結した連携・協力に関する協定に基づく連携事業として、10月の「北九州学術研究都市第14回産学連携フェア」において合同セミナー「ここまでのひびきにおける環境エレクトロニクス研究」を開催(参加者：90名)するとともに、研究成果を展示した。

地域において産総研に対する理解を深めてもらうことを目的とした「産総研九州センター 一般公開」を九州シンクロトロ光研究センターと10月に共同開催した(来場者：560名)。

また、産総研コンソーシアムである「計測・診断システム研究協議会(5研究会、会員数108)」を運営しており、開発会議や講演会(14回、参加者：延べ593名)を開催した。(注：他の研究会、学会等との共催開催を含む)

さらに、「太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体」を設置し、民間企業等とともに太陽電池モジュールの長期信頼性評価のための産学官連携拠点形成を進めている。

### 機構図 (2015/3/31現在)



11) 福島再生可能エネルギー研究所  
(Fukushima Renewable Energy Institute,  
AIST)

機関（会津大学、いわき明星大学、日本大学工学部、福島高専）との連携・協力に関する協定を締結した。

所在地：〒963-0298 郡山市待池台2-2-9

代表窓口：TEL：024-963-1805、FAX：024-963-0824

人員：39名（29名）

概要：

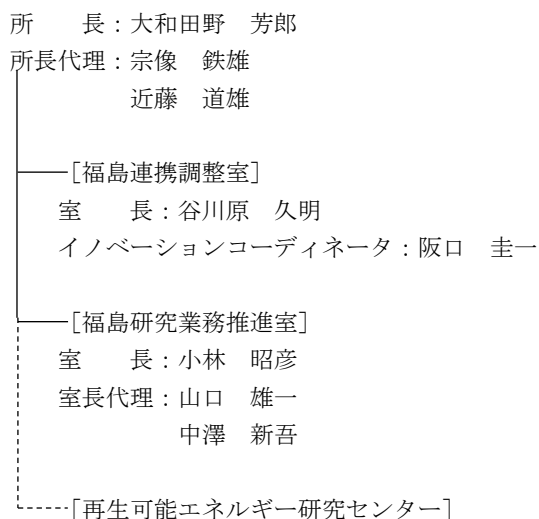
福島再生可能エネルギー研究所は、東日本大震災復興基本法第3条に基づき制定された「東日本大震災からの復興の基本方針」および「福島復興再生基本方針」などを受けて、産総研が「再生可能エネルギー先駆けの地、福島」に設立することを決定した新たな研究拠点であり、福島県郡山市において平成26年4月1日に開所を迎えた。

福島再生可能エネルギー研究所は「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」をミッションとする、再生可能エネルギーに関する研究開発に特化した事業組織である。研究実施ユニットとして再生可能エネルギー研究センターを擁し、再生可能エネルギーの大量導入を支えるための、導入制約解消のためのシステム開発、一層のコスト低減、環境負荷低減や社会受容のための適切なデータ提供の研究を実施する。また、当所の施設の一部を使用して文部科学省の「革新的エネルギー研究開発拠点形成事業」が実施されている。

連携活動として、当所の掲げるミッションの一つである「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」の実現に向けて、平成25年度より「被災地企業のシーズ支援プログラム」を実施している。この事業は、東日本大震災により甚大な被害を受けた被災地（福島県、宮城県、岩手県）に所在する企業が開発した再生可能エネルギーに関連した技術やノウハウに対する技術支援を産総研が経費を負担して実施し、その成果の当該企業への移転を通じて、地域における新産業の創出を支援する事業である。平成26年度末までに累計38件の支援を実施した。平成27年度事業は平成27年1月に募集を行った（4月に採択課題決定予定）。

その他の連携・広報活動として、福島再生可能エネルギー研究所一般公開（8月）の開催、第9回再生可能エネルギー世界展示会（7月）、ふくしま復興・再生可能エネルギー産業フェア2014（11月）、エコプロダクツ2014（12月）、いわきものづくりビジネスフェア（平成27年1月）、ふくしまものづくり企業交流会（1月）への出展、等を実施した。地域の自治体、大学との連携においては、産総研として、平成24年2月に福島大学、平成26年2月に東北大学、同年3月に福島県と東日本大震災からの復興再生を目的とした包括連携協定を締結した。平成26年度は、福島再生可能エネルギー研究所として、福島県内の4つの高等教育

機構図（2015/3/31現在）



## ◆図書蔵書数

蔵書

平成26年度末

センター・事業所	区分	単行本					雑誌					
		26年度受入数(冊)				蔵書数 (冊)	26年度受入数(冊)				製本冊数 (冊)	蔵書数 (冊)
		購入	寄贈	除籍・移動	計		購入	寄贈	除籍・移動	計		
北海道センター	外国	0	0	△ 816	△ 816	588	0	6	△ 15,528	△ 15,522	6	330
	国内	0	16	△ 3,005	△ 2,989	1,536	0	49	△ 5,223	△ 5,174	49	2,952
	計	0	16	△ 3,821	△ 3,805	2,124	0	55	△ 20,751	△ 20,696	55	3,282
東北センター	外国	0	0	0	0	316	1	2	0	3	3	189
	国内	0	0	0	0	1,144	3	0	0	3	3	26
	計	0	0	0	0	1,460	4	2	0	6	6	215
つくばセンター	外国	0	0	△ 4	△ 4	71	0	0	0	0	0	0
	国内	3	11	0	14	424	0	0	0	0	0	0
	計	3	11	△ 4	10	495	0	0	0	0	0	0
第3事業所	外国	0	335	0	335	541	0	365	0	365	44	365
	国内	0	11	0	11	187	0	0	△ 50	△ 50	0	74
	計	0	346	0	346	728	0	365	△ 50	315	44	439
第5事業所	外国	0	1	0	1	168	0	0	0	0	0	0
	国内	1	3	0	4	805	0	0	0	0	0	0
	計	1	4	0	5	973	0	0	0	0	0	0
第6事業所	外国	0	0	0	0	149	0	467	△ 65	402	403	15,570
	国内	1	0	0	1	574	0	343	△ 22	321	61	2,119
	計	1	0	0	1	723	0	810	△ 87	723	464	17,689
第7事業所	外国	105	863	△ 1	967	81,716	829	861	△ 447	1,243	1,549	144,802
	国内	2	990	△ 78	914	69,104	377	486	△ 110	753	788	41,513
	計	107	1,853	△ 79	1,881	150,820	1,206	1,347	△ 557	1,996	2,337	186,315
東事業所	外国	235	93	△ 19	309	17,424	48	177	△ 154	71	151	37,604
	国内	0	190	0	190	14,306	110	91	△ 37	164	144	10,003
	計	235	283	△ 19	499	31,730	158	268	△ 191	235	295	47,607
西事業所	外国	2	101	0	103	8,589	77	86	0	163	77	23,194
	国内	11	237	0	248	10,535	92	99	0	191	95	11,134
	計	13	338	0	351	19,124	169	185	0	354	172	34,328
中部センター	外国	8	26	0	34	7,283	15	0	0	15	15	44,507
	国内	0	119	0	119	9,773	38	10	0	48	48	12,072
	計	8	145	0	153	17,056	53	10	0	63	63	56,579
関西センター	外国	22	101	△ 155	△ 32	11,135	157	0	△ 10,170	△ 10,013	157	26,057
	国内	16	135	△ 442	△ 291	8,701	66	156	△ 3,600	△ 3,378	222	6,738
	計	38	236	△ 597	△ 323	19,836	223	156	△ 13,770	△ 13,391	379	32,795
中国センター	外国	0	13	0	13	1,499	12	0	0	12	12	5,824
	国内	0	141	0	141	3,735	27	0	0	27	27	3,032
	計	0	154	0	154	5,234	39	0	0	39	39	8,856
四国センター	外国	0	1	△ 7	△ 6	1,562	0	0	△ 68	△ 68	0	6,604
	国内	0	13	△ 91	△ 78	3,729	0	0	△ 85	△ 85	0	2,663
	計	0	14	△ 98	△ 84	5,291	0	0	△ 153	△ 153	0	9,267
九州センター	外国	0	3	△ 33	△ 30	2,188	0	0	0	0	0	15,043
	国内	0	34	△ 112	△ 78	5,260	0	0	△ 5	△ 5	0	7,324
	計	0	37	△ 145	△ 108	7,448	0	0	△ 5	△ 5	0	22,367
産総研 合計	外国	372	1,537	△ 1,035	874	133,229	1,139	1,964	△ 26,432	△ 23,329	2,417	320,089
	国内	34	1,900	△ 3,728	△ 1,794	129,813	713	1,234	△ 9,132	△ 7,185	1,437	99,650
	計	406	3,437	△ 4,763	△ 920	263,042	1,852	3,198	△ 35,564	△ 30,514	3,854	419,739

※平成24年度よりつくばセンター内の第2、第3、第5、第6の単行本は第7、製本雑誌は第7及び第6書庫に集約

※関西センターには尼崎事業所の蔵書の一部も含む

## (2) 本部組織

研究の円滑な実施と社会への還元を、より効率的・効果的に支援すべく、平成22年10月の組織改編に際し「研究関連・管理部門等」のうち15部署を3本部に統合・スリム化等を行った。具体的には、産学官連携に関連する業務を総合的かつ横断的に実施する「イノベーション推進本部」、施設の維持・管理に関連する業務を一体的に実施する「研究環境安全本部」、事業所等の研究支援業務を統括する「総務本部」を設置した。

平成25年4月につくばイノベーションアリーナ推進関連の業務に係る意思決定の効率化等のため、「つくばイノベーションアリーナ推進本部」を設置し、平成25年10月には内部監査体制の見直しを行い、「監査室」を「コンプライアンス推進本部」から理事長直下の本部組織として再配置し、平成26年4月に業務運営管理上の必要性から、「研究環境安全本部」を「環境安全本部」に再編した。

## 【本部組織】

- ・企画本部
- ・コンプライアンス推進本部
- ・イノベーション推進本部
- ・つくばイノベーションアリーナ推進本部
- ・環境安全本部
- ・総務本部
- ・評価部
- ・広報部
- ・監査室

<凡 例>

本部・事業組織名（英語名）

所在地：つくば中央第×、△△センター

人 員：常勤職員数（研究職員数）

概 要：部門概要

機構図（2015/3/31現在の役職者名）

××室（英語名）

（つくば中央第○）

概要：業務内容

△△室（英語名）

（△△センター）

概要：業務内容

業務報告データ

## 1) 企画本部 (Planning Headquarters)

所在地：東京本部、つくば中央第2

人員：64名 (43名)

概要：

企画本部は、理事長を補佐し、研究所の総合的な経営方針の企画及び立案、研究所の業務の実施に係る総合調整並びに業務合理化の推進等に係る業務を行っている。

具体的には、理事長の執務補佐を行うとともに、研究所の経営企画業務として、経済産業省と密接なコミュニケーションをとりつつ、法人運営全体に係わる企画調整、経営方針の企画立案、中期計画及び年度計画の取りまとめ、研究資源の配分、研究センター・研究部門・研究ラボの新設及び改廃案の策定等を行っている。研究企画業務として、研究方針の企画立案、研究戦略の策定、分野融合による重点研究テーマの設定、研究スペースの調整、研究計画の取りまとめ等を行っている。

また、国会、経済産業省、総合科学技術会議や独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構等の外部機関への総合的な対応を担っている。

機構図 (2015/3/31現在)

### 【企画本部】

企画本部長	川上 景一
企画副本部長	中村 吉明
審議役	宇都 浩三
	野口 哲男
	田村 厚雄
	松井 俊浩
【総合企画室】	
室長	石井 順太郎
総括企画主幹	中村 浩之
	原 重樹
【組織企画室】	
室長	屋代 久雄
【研究戦略室】	
室長	加納 誠介
総括企画主幹	一木 正聡
【産業技術調査室】	
室長	関根 重幸

総合企画室

(General Planning Office)

概要：

企画本部4室を総括し、研究所の総合的な経営方針及び研究方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行っている。

組織企画室

(Organization Planning Office)

概要：

組織企画室は、研究所の組織及び人員配置にかかる基本方針の企画及び立案並びに総合調整、研究所の運営諮問会議、及び理事長が参加する外部委員会等への対応に関する業務を行っている。

研究戦略室

(Research Strategy Office)

概要：

研究戦略室は、研究所の研究戦略及び研究所の人事に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整を行っている。

産業技術調査室

(Industrial Technology Research Office)

概要：

産業技術調査室は、研究所の経営方針の企画立案に資する調査並びに産業技術や国等の政策動向に関する情報の収集、分析を行っている。

## 2) コンプライアンス推進本部

(Compliance Headquarters)

所在地：つくば中央第2

人員：8名 (3名)

概要：

コンプライアンス推進本部は、研究所のコンプライアンスに関する体制の構築、コンプライアンス推進に関する取組みの実施、研究不正への対応等を行っている。

平成26年度の主な活動は以下のとおりである。

1. コンプライアンス推進体制の強化
  - ・コンプライアンス推進本部の体制の強化のため、平成26年7月に理事長を本部長とし、副理事長及び理事2名がリスクの区分に応じて補佐する体制を導入した。
  - ・平成26年7月に、顕在化したリスク情報を現場から収集し、理事長が決定した対応方針を現場に実施させる体制を整備し、理事長に対するリスク事案の報告を毎週実施した。
2. コンプライアンスの推進活動
  - ・新規採用職員や契約職員に対してコンプライアンスに関する基礎知識の理解を目的とした研修を実施し、また、グループ長等を対象にコンプライアンスに関する知識の再確認・管理意識の徹底を目的とした研修を実施した。
  - ・コンプライアンス推進活動の一環として、身近

な事例をもとに、コンプライアンスに関する理解をより深めるため、啓発資料「コンプラ便り」を作成し、所内に5通発信した。

### 3. 研究不正への対応

- ・文科省ガイドライン、経産省指針に適合させるため、「研究ミスコンダクトへの対応に関する規程」を改訂した。
- ・研究ノートを使用することを義務付けるとともに、管理体制を整備した（「研究記録の管理等に関する規程」）。
- ・研究活動の不正の未然防止に資するため、文書類類似度判定ツールを導入した。

### コンプライアンス推進室 (Compliance Office)

#### 概要：

コンプライアンス推進室は、(1)研究所全体のリスク管理のとりまとめ及び組織横断的なリスクの管理・対策に係る企画立案・総合調整、(2)研究所におけるリスクの定量的な評価の実施、重大リスク（優先的に取り組むべきリスク）と共通する原因・背景の掌握、(3)過去の失敗事例やリスク評価の結果に立脚した重大リスクの低減策の策定、(4)事故・事件等の危機に対応し、被害を最小限に留める対策、(5)適切なコミュニケーション（情報提供・公表等）による信頼の維持・確保に向けた各部門等との調整、(6)コンプライアンス推進委員会の事務局に係る業務、(7)内部通報制度に係る業務を行っている。

### 3) イノベーション推進本部 (Research and Innovation Promotion Headquarters)

所在地：つくば中央第2

人員：17名（17名）

#### 概要：

イノベーション推進本部は、産学官連携、知的財産の活用、国際標準の推進、ベンチャー創出・支援、国際連携、イノベーション人材の育成などの業務を一体化かつ密接に連携して実施する体制を敷き、これらのイノベーション推進業務を一元的なマネジメントの下、総合的かつ横断的に執行する。また、産学官が結集する研究拠点（ハブ）を構築し、研究開発に加えて評価や標準化を見据えた産総研の「人」と「場」を活用する連携を推進している。

さらに、企業や大学などの外部機関とのインターフェースとなって連携コーディネーションを担う「上席イノベーションコーディネータ」、「イノベーションコ

ーディネータ」、それらを補佐する「連携主幹」を配置し、本部、研究分野、研究ユニットが一体となって外部との連携を推進する体制をとっている。

当本部はこの体制の下、産業技術に関する産業界や社会からの多様なニーズを迅速かつ的確に捉え、有望な技術シーズの発掘と育成、研究開発プロジェクトの企画立案と推進・支援、さらには中小企業支援や新産業の創出を行う。

### 機構図（2015/3/31現在）

#### [イノベーション推進本部]

— 本部長	瀬戸 政宏
— 研究参与	田中 芳夫 景山 晃 石川 正俊
— 上席イノベーションコーディネータ	渡利 広司 近藤 道雄 米田 晴幸 宮崎 芳徳 Granrath Lorenz 三留 秀人 上原 斎 中村 修
— イノベーションコーディネータ	綾 信博 横地 俊弘 元吉 文男 古沢 清孝 高井 一也 黒澤 茂 佐脇 政孝 山中 忠衛 山田 豊章 小高 正人 菅原 孝一 清水 聖幸 石川 純 池田 喜一 渡辺 一寿 内田 利弘 二タ村 森 樋口 哲也 尾崎 浩一

連携主幹	名川 吉信
	伊達 正和
	花井 修次
	吉田 晴男
	金里 雅敏
	児玉 泰治
	小林 秀輝
	泉 和雄
イノベーション推進企画部	
知的財産部	
産学官連携推進部	
国際部	
ベンチャー開発部	
国際標準推進部	
イノベーションスクール	

①【イノベーション推進企画部】  
(Planning Division)

所在地：つくば中央第2

人員：23名（14名）

概要：

イノベーション推進本部6部1スクールを総括し、イノベーションの創出及び推進のための戦略策定、企画の立案、及びプロジェクト等の推進を行う。イノベーション推進企画部の平成26年度における主な活動は、次のとおりである。

- 1) ・平成25年度に創設した「産総研 STAR 事業」の2課題（約6億円）を継続実施した。併せて、課題解決型研究開発とオープンイノベーションハブ機能の強化を目的とした「戦略予算事業」を実施し、新規・継続分併せて47課題（約22億円）を採択した。さらに、技術シーズの育成を目的とした「戦略予算事業（シーズ育成・知財確保）」を実施し、35課題（約2億円）が採択された。
- 2) ・本格研究ワークショップを全国6ヶ所で開催し、オール産総研の技術シーズとそれらを活用した研究開発事例の紹介を通じて、理事長をはじめとする経営層・研究者と、地域の産業・行政との間で本格研究の理念・方法論について共有化を進めた。
- 3) ・産総研が参画する25の技術研究組合により、26の大型外部資金プロジェクトを推進するとともに、技術研究組合に関する運用方針の取り決め、事務手続きフロー整備等の総合調整を行った。
- 4) ・産総研の研究成果を活用して事業を行う民間企業に、引き続き産総研の研究施設等の使用を認め、3事業が実施された。

- 5) ・連携拡大を目的として、経営層を対象とした「テクノブリッジ事業」の一環であるテクノブリッジフェアを開催した。
- 6) ・日本経済新聞社とタイアップして産業界と議論を行う「日本を元気にする産業技術会議」では、産総研の技術シーズや国際標準化戦略、ベンチャー支援等をテーマとしたシンポジウムを開催した（9回）。
- 7) ・産学官連携功労者表彰（内閣府主催）においては、産総研内の事務局を担当した。推薦案件1件が、日本経済団体連合会会長賞を受賞した。  
・論文数の向上を目的とし、新たに産総研論文賞を創設した。6分野より計11件の推薦があり、その中から受賞案件5件が採択された。

機構図（2015/3/31現在）

【イノベーション推進企画部】

部長	濱川 聡
審議役	菊地 正寛
総括企画主幹	児玉 昌也
	美濃輪 智朗
	河井 良浩
	大田 明博
	中村 優美子
	倉片 憲治
	神徳 徹雄
[戦略事業推進室]	室長(兼) 児玉 昌也
	室長代理 木原 和彦
	総括主幹 濱崎 陽一
	総括主幹 北川 由紀子
[地域戦略室]	室長(兼) 濱川 聡
	室長代理 小林 京子
	総括主幹 小川 博文
	総括主幹 李 哲虎

戦略事業推進室

(Strategic Research Promotion Office)

(つくば中央第2)

概要：

イノベーションの創出及び推進に係る企画・立案及び総合調整、並びにイノベーションの創出のための戦略策定及びプロジェクトの推進に関する業務を行っている。

地域戦略室

(Regional Research Promotion Office)

(つくば中央第2)

概要：

地域の産学官連携戦略の策定及び地域センターの産学官連携活動の支援等を行っている。

②【知的財産部】

(Intellectual Property Division)

所在地：つくば中央第2

人員：24名（6名）

概要：

産総研の研究成果を社会に普及させることにより、経済及び産業の発展に貢献していくことは、産総研の大きな使命である。このため、知的財産部においては、研究成果が技術移転につながるよう知的財産権を戦略的に取得し、適切に維持・管理すると共に、産総研所有の知的財産を広く一般に紹介し、技術移転マネージャーが中心となり、イノベーションコーディネータ等とも協力し、技術移転を強力に推進している。

また、職員に対して研修や説明会を開催することにより、研究開発等において創製される発明等について、知的財産権を強く意識するよう促すとともに、内部弁理士（パテントリエゾン）、技術移転マネージャー並びにイノベーションコーディネータと連携し、産総研内外の知的財産に関する各種ニーズに対応している。さらに、ベンチャー開発部と連携し、産総研発ベンチャーへの知的財産に関する支援も行っている。

機構図（2015/3/31現在）

[知的財産部]

部長	神山 茂樹
次長	高井 一也
審議役	菅生 繁男
— [知的財産企画室] 室長	加藤 幹
— [技術移転室] 室長（兼）	高井 一也
— [知的財産管理室] 室長	吉原 公一

知的財産企画室

(Planning Office)

(つくば中央第2)

概要：

産総研の知的財産に関する企画及び立案並びに総合調整を行うとともに、知的財産に係る各種業務を行うことで、産総研職員の知財マインドの向上及び産総研研究成果の技術移転を推進している。

具体的には、発明者補償金に関する業務、知的財産に関する研修企画業務、共同研究契約や技術研究組合の知財関連規程等に関する支援業務等、知的財産に関する業務を幅広く行っている。

技術移転室 (Technology Licensing Office)

(つくば中央第2)

概要：

産総研の研究成果を社会に普及するため、保有する知的財産のライセンス等の技術移転を推進している。

具体的には、研究成果の産業化に向けた技術移転戦略の構築、産業界における技術ニーズおよび事業化戦略の動向等に関する情報の収集、秘密保持契約等の交渉及び締結事務、マーケティング活動、ライセンス交渉および契約締結、ライセンス収入の徴収・管理、産総研技術移転ベンチャーへの知的財産に関する支援等に関する業務を行っている。

知的財産管理室

(Intellectual Property Administration Office)

(つくば中央第2)

概要：

産総研の研究成果を戦略的かつ効率的に知的財産権化するため、パテントリエゾンや連携企業等と協力し、研究ユニットで創製した発明等を速やかに国内外特許庁に対し出願するとともに、適切な知的財産の保護と権利満了までの管理業務を行っている。

出願時には、研究者、イノベーションコーディネータ、パテントリエゾン並びに技術移転マネージャーと連携し、速やかな特許相談対応、明細書等の作成及び出願等手続を行っている。

また、特許権等の維持管理にあたっては、「産総研知的財産ポリシー」を踏まえ、権利維持の可否を判断するための特許出願プレビューや特許審査委員会の事務局業務を行っている。

産総研平成26年度特許関連統計

国内特許	出願件数	643件
	登録件数	623件
国外特許	出願件数	185件
	登録件数	203件
実施 (国内+国外)	実施契約件数	940件
	技術移転収入	321百万円



## 産業技術総合研究所

## 平成26年度ユニット別出願件数（届出時のユニット名）

(2015/3/31 現在)

研究ユニット	26年度国内出願件数			26年度外国出願件数			26年度外国基礎出願件数		
	単	共	計	単	共	計	単	共	計
触媒化学融合研究センター	15	10	25	2	6	8	2	8	10
再生可能エネルギー研究センター	0	2	2	0	0	0	0	0	0
メタンハイドレート研究センター	1	0	1	1	0	1	1	0	1
コンパクト化学システム研究センター	5	14	19	0	2	2	0	1	1
先進パワーエレクトロニクス研究センター	21	23	44	0	9	9	0	9	9
太陽光発電工学研究センター	4	2	6	0	2	2	0	1	1
バイオマテリアルファイナリー研究センター	2	8	10	1	1	2	1	1	2
ユビキタスエネルギー研究部門	23	25	48	3	11	14	3	9	12
環境管理技術研究部門	11	12	23	3	4	7	3	4	7
環境化学技術研究部門	12	10	22	1	14	15	1	5	6
エネルギー技術研究部門	29	11	40	8	11	19	8	7	15
安全科学研究部門	2	4	6	0	1	1	0	1	1
幹細胞工学研究センター	3	5	8	1	0	1	1	0	1
バイオメディカル研究部門	11	14	25	3	5	8	3	5	8
健康工学研究部門	18	14	32	6	3	9	6	2	8
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	13	2	15	1	0	1	1	0	1
生物プロセス研究部門	6	3	9	4	1	5	4	1	5
サービス工学研究センター	3	0	3	2	0	2	2	0	2
ネットワークフォトンクス研究センター	1	1	2	2	1	3	2	1	3
ナノスピントロニクス研究センター	2	0	2	0	0	0	0	0	0
デジタルヒューマン工学研究センター	0	1	1	0	0	0	0	0	0
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	22	9	31	3	0	3	2	0	2
知能システム研究部門	14	2	16	3	0	3	3	0	3
情報技術研究部門	4	1	5	1	0	1	1	0	1
電子光技術研究部門	10	4	14	1	3	4	1	3	4
ナノエレクトロニクス研究部門	12	9	21	10	8	18	7	7	14
セキュアシステム研究部門	4	1	5	1	0	1	1	0	1
ナノチューブ応用研究センター	22	1	23	2	0	2	2	0	2
集積マイクロシステム研究センター	5	2	7	3	3	6	2	2	4
先進製造プロセス研究部門	29	16	45	0	13	13	0	11	11
サステナブルマテリアル研究部門	7	9	16	0	0	0	0	0	0
ナノシステム研究部門	18	31	49	2	3	5	2	3	5
生産計測技術研究センター	6	7	13	2	3	5	2	3	5
計測標準研究部門	13	8	21	1	7	8	1	5	6
計測フロンティア研究部門	7	2	9	0	1	1	0	1	1
地圏資源環境研究部門	1	1	2	0	0	0	0	0	0
地質情報研究部門	0	2	2	0	0	0	0	0	0
グリーン磁性材料研究センター	7	1	8	0	0	0	0	0	0
創薬分子プロファイリング研究センター	6	3	9	1	3	4	1	3	4
糖鎖創薬技術研究センター	2	2	4	0	0	0	0	0	0
ゲノム情報研究センター	0	0	0	0	1	1	0	1	1
福島再生可能エネルギー研究所	0	0	0	0	1	1	0	1	1
合計	371	272	643	68	117	185	63	95	158

※外国基礎出願件数：外国出願を行う基礎となった国内出願の件数。

## 平成 26 年度研究分野別登録件数（届出時の研究分野）

(2015/3/31 現在)

研究分野	登録件数	国内			外国		
		単願	共願	合計	単願	共願	合計
環境・エネルギー分野		83	140	223	18	44	62
ライフサイエンス分野		58	36	94	10	24	34
情報通信・エレクトロニクス分野		59	33	92	18	11	29
ナノテクノロジー・材料・製造分野		103	72	175	36	30	66
標準・計測分野		20	16	36	3	8	11
地質分野		1	2	3	1	0	1
合計		324	299	623	86	117	203

## ③【産学官連携推進部】

(Collaboration Promotion Division)

所在地：つくば中央第2

人 員：42名（5名）

概 要：

産業界、大学、公的研究機関、自治体等との連携の構築を通して、第三期中期計画における取組の大きな柱と位置付けている「21世紀型課題の解決」と「オープンイノベーションハブ機能の強化」に貢献することを目的とした活動を行っている。具体的には、産学官が一体となって研究開発や実用化等を推進するために、共同研究や受託研究の受入等を含めた各種産学官連携制度の企画・立案及びそれらの制度の効率的かつ着実な運用、地域技術施策の立案・調整、技術相談窓口、関東甲信越地域における産業支援機関・団体等との連携ネットワークの構築、中堅・中小企業等への技術移転の推進等に関する業務を行っている。

機構図（2015/3/31現在）

[産学官連携推進部]

部 長	清水 聖幸
次 長	鈴木 光男
[連携企画室]	(兼) 室長 清水 聖幸
[産学・地域連携室]	室長 新聞 陽一 総括主幹 三島 康史
[関東産学官連携推進室]	室長 黒澤 茂
[プロジェクト支援室]	室長 柳堀 昭
[共同研究支援室]	室長 三田 芳弘
[検査管理室]	室長 小林 富夫

連携企画室

(Collaboration Promotion Division Planning Office)

(つくば中央第2)

概 要：

産学官連携活動全般について企画・立案を行うとともに、産学官連携推進部全体の業務を円滑に推進させるための総合調整を行っている。さらに、外部機関との連携協定の締結に関する事、連携大学院協定の締結と運用に関する事、産総研コンソーシアムの設立手続に関する事等の業務を行っている。

産学・地域連携室

(Collaboration Promotion Division Corporate,  
Academic and Regional Collaboration Office)

(つくば中央第2)

概 要：

①産業技術連携推進会議事務局として産総研と公設試験研究機関とのネットワークの構築・強化に係る業務、②中小企業との共同研究の推進、③技術相談窓口業務等を実施している。

①産業技術連携推進会議事務局業務では、産総研と公設試験研究機関によるプロジェクト共同提案へ向けた取組として「研究連携支援事業」や、研究会として持ち回り計測や依頼試験等の計測値に関する公設試間連携のための「技術向上支援事業」を行っている。

また、産総研技術を公設試を通じて地域企業に普及するため新技術活用促進事業を実施している。産総研の実施する国プロ等に地域企業ニーズを反映させるとともに研究成果を地域企業に普及するための「プロジェクト支援型」、産総研発の新技術を地域企業に普及するために装置等を貸し出す「トライアル支援型」、産総研の新技術を活用できる公設試の人材を育成する「活用サポーター育成型」がある。

さらに、地域・中小企業ニーズを取り込み、産総研の技術を活用し製品化を目指して、公設試験研究機関・中小企業と共同で研究開発を実施する「地域産業活性化支援事業」を行っている。

②中小企業との連携推進事業として、研究開発規模が数千万円から億円レベルの競争的研究資金の応募を支援する「中小企業共同研究スタートアップ事業」を実施している。

また、産総研の技術シーズを基に高性能な製品を開発し海外展開を図る中小企業に対し、その製品性能評価研究の成果を海外に向けて発信することにより、中小企業のグローバル展開を支援する「中小企業グローバルトップ性能製品の評価手法の開発」事業を実施している。

③技術相談の窓口業務及び取り纏めを行っている。

#### 関東産学官連携推進室

(Collaboration Promotion Division Kanto  
Collaboration Office)

(つくば中央第2)

#### 概要：

関東甲信越静地域における、産業支援機関・団体等との連携ネットワークの構築・強化を行うとともに、域内の技術開発力を持つ中堅・中小企業等を発掘・育成し、技術開発支援を行うことにより、共同研究等の技術移転を促進している。また、産学官連携共同研究施設（つくば）の運営に関する業務を行っている。

#### プロジェクト支援室

(Collaboration Promotion Division National Project  
Support Office)

(つくば中央第2)

#### 概要：

産総研における研究成果の普及、技術移転等を図るための受託研究及び請負研究並びに産総研から他機関への委託研究に係る契約事務等の業務を行うとともに、受託研究及び研究助成金等外部からの研究資金受入のための支援業務を行っている。

#### 共同研究支援室

(Collaboration Promotion Division Collaborative  
Research Support Office)

(つくば中央第2)

#### 概要：

産総研における外部機関との連携、技術移転等を図るための共同研究に係る業務を行っている。

また、産総研の「人」と「場」を活用した産学官連携活動を推進するため、技術研究組合からの研究員等の受入に関する覚書締結及び技術研究組合事業に参加する職員に関する覚書締結等の支援業務を行っている。

#### 検査管理室

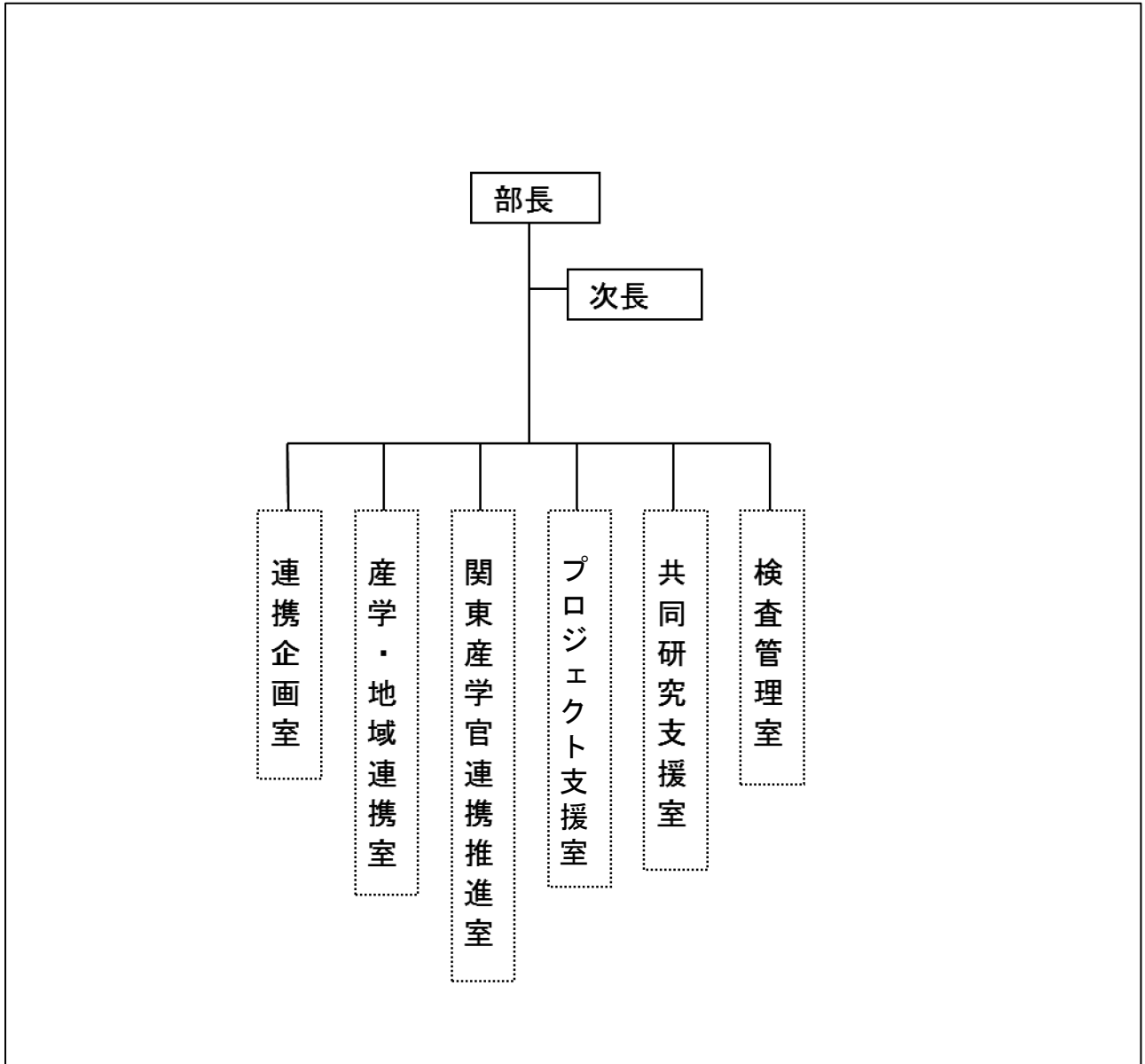
(Collaboration Promotion Division Inspection and  
Administration Office)

(つくば中央第2)

#### 概要：

受託研究、個人助成金等外部研究資金について、その適正な執行を確保するため、職員説明会の開催、自主点検等の実施を通じ、産総研における外部研究資金のコンプライアンス向上に努めている。また、外部研究資金に係るルールを整備、相談窓口の設置及びマニュアルの整備等により研究者による円滑な事務手続きを支援している。

1. 産学官連携推進部の組織



産業技術総合研究所

1) 共同研究

企業、大学や公設研究所などと産総研が、共通のテーマについて対等な立場で共同して研究を行う制度である。

共同研究ユニット別件数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	25	7	16	18	5	71
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31	15	3	4	2		24
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31	2	1	7	2		12
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31	1	1	2			4
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	29	3	12	8		52
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	5	3	15		2	25
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	3		3			6
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	3	4	15	12	2	36
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	15	5	30	16	1	67
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	16	7	86	11		120
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	14	4	23	11	1	53
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	22	2	47	13	4	88
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	8	2	16	7	1	34
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	4	1	8	2	4	19
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	26	25	25	13		89
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31	4	1	9	1		15
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	19	1	42	37	1	100
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	21	5	15	8		49
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	8	6	1	2	1	18
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31	13	2	5	4	1	25
小計			253	83	381	167	23	907
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	46	32	61	50	24	213
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	9	5	23	8	4	49
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	30	9	28	25	4	96
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	35	17	28	11	2	93
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	44	8	50	20	1	123
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	37	12	60	33	5	147
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	22	4	26	34	5	91
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	4	4	1		2	11
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	30	13	39	32	9	123
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	9	1	15		1	26
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	59	13	52	21	1	146
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	7	3	12	9		31
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	9	5	20	6		40
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	75	13	29	22	9	148
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	53	26	22	26	4	131
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	64	11	40	29	2	146
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	38	8	39	19	2	106
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	33	7	46	28	1	115
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	42	14	44	28	3	131
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	38	3	22	15	1	79
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	5		17	9	1	32
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	13	5		1	4	23
小計			702	213	674	426	85	2,100
フェロー、関連・管理部門等	その他				1	1		2
計			955	296	1,056	594	108	3,009

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

2) 委託研究

産総研で研究するより、産総研以外の者（大学、企業等）に委託した方が、研究の効率性や経済性が期待出来る場合に、産総研以外の者に委託する制度である。

委託研究ユニット別件数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計	
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31				1		1	
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31							
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31							
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31	10	2	4	2		18	
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31							
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31							
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31							
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31							
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31							
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	8					8	
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31							
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	1					1	
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31							
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31							
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	2	1		2		5	
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31							
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31		1	3	1		5	
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31							
グロム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31							
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31							
	小計		21	4	7	6		38	
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	2		1			3	
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	3	1		1	2	7	
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	1	1		2		4	
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	1			2		3	
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	1					1	
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31							
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31							
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	5	1				6	
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	4					4	
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31							
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	2					2	
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	1					1	
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	5				2	7	
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31							
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	4					4	
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31					1	1	
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	4					4	
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31			1	1		2	
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31							
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	1		1			2	
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	1	1	2			4	
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	10	1			1	13	
	小計		45	5	5	9	4	68	
フェロー、関連・管理部門等	その他		1					1	
			計	67	9	12	15	4	107

※国内案件のみ

産業技術総合研究所

3) 受託研究

企業、法人など他機関から産総研に研究を委託する制度である。その成果は委託元で活用できる。委託元の研究者を外来研究員として受け入れることも可能である。

受託研究ユニット別件数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計	
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31		8	2	4	1	15	
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31		1	1			2	
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31							
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31					2	2	
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	1	2		1		4	
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	1	5			1	7	
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31		6	1			7	
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31		6		1		7	
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31		8	2	2	1	13	
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31		3				3	
サービスイ工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	2	10		1	2	15	
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31		9	7		1	17	
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31		4	2			6	
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	2	4	1		3	10	
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31		10	1	2	1	14	
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31		3	1			4	
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31		11	3	2	5	21	
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	2	2			1	5	
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31		5		1		6	
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31							
	小計		8	97	21	14	18	158	
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	1	10	15	11	6	43	
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31		7		2	5	14	
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31		15	1	5	1	22	
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31		11	3	2	2	18	
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	3	13	2	2	1	21	
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31		23	1	1	1	26	
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31		5	2	1		8	
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	2	5			2	9	
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	2	15	1	3	5	26	
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	1	11	1		1	14	
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	2	32	11	2	14	61	
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31		7	1	2	1	11	
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	2	4	1	1	7	15	
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31		9	3		1	13	
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31		8	1	2	3	14	
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	2	6	2	4	5	19	
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	1	6	3	3	2	15	
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造～	2010/4/1～2015/3/31	1	11		2	5	19	
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	4	18	1	4	1	28	
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31		8		6		14	
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31		3	1	2	1	7	
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	1	5		1	4	11	
	小計		22	232	50	56	68	428	
フェロー、関連・管理部門等	その他						5	5	
			計	30	329	71	70	91	591

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

4) 請負研究

受託研究によることができない研究を他機関からの依頼に応じて産総研が行うものであり、その経費は依頼者に負担していただく。

請負研究ユニット別件数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計	
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31				1		1	
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31							
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31							
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31							
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31							
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31			3	1		4	
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31							
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31							
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31							
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31							
サービスイ工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31			1	1		2	
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	1		1			2	
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31							
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31							
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	2		1			3	
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31							
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31			1			1	
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31							
グロム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31							
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31							
	小計		3		7	3		13	
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31		1	5	1		7	
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31							
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31		1				1	
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31							
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31			5			5	
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31			2			2	
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31							
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31							
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31		1		1		2	
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31		1				1	
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31			1		1	2	
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31			1			1	
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31					3	3	
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31							
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31		1		2		3	
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31							
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31				1		1	
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31							
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31							
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31							
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31							
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31					1	1	
	小計			5	14	5	5	29	
フェロー、関連・管理部門等	その他								
			計	3	5	21	8	5	42

※国内案件のみ



産業技術総合研究所

5) 技術研修/産総研リサーチアシスタント制度

技術研修は外部機関等の研究者、技術者を産総研が受け入れ、産総研の技術ポテンシャルを基に研修を行う制度である。技術研修のうち、リサーチアシスタント制度は、優れた研究開発能力を持ち、年間を通して自立的に産総研の研究開発プロジェクトの業務に従事できる大学院生を雇用する制度であり、平成26年度に開始した。

技術研修ユニット別人数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	RA	法人	大企業	中小企業	その他	計
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	20	1					21
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31							
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31	3						3
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31	20			1	2		23
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	26						26
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	39						39
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	4	1					5
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	20				3		23
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	14	1			1		16
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	3						3
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	26	5					31
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	14			2	1		17
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	14			1	2		17
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	4	1					5
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	6			9			15
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31	10						10
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	27	12					39
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	7						7
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	20			4	1		25
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31	5						5
小計			282			17	10		309
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	25		7	8	10		50
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	5						5
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	23	4				1	28
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	27	2	3	8	5	1	46
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	53		3	6	5		67
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	44			1	3	1	49
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	5						5
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	15	6					21
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	45	3		4			52
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	11			1			12
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	89	3		6	3	1	102
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	21						21
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	12	2	1	8	3		26
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	53			2	1	2	58
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	55			2	1	19	77
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	78	2	3	4		1	88
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	49		2				51
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	30		2	9	1	1	43
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	48	2	15	63	29	2	159
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	48		5	1	3		57
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	7						7
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	6	1				14	21
小計			749	46	41	123	64	43	1,066
フェロー、関連・管理部門等	その他		32				1	1	34
計			1,063	46	41	140	75	44	1,409

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

6) 外来研究員

外部機関等の研究者等が産総研において研究を行う際に研究員として受け入れる制度である。

外来研究員ユニット別人数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計	
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	4		6	2	9	21	
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31			1			1	
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31	2			2	1	5	
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31	7		9			16	
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	4			1	5	10	
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	11	2	1		4	18	
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	4	4	4		1	13	
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	9	2	2	5	4	22	
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	9					9	
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	5			1	6	12	
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	14			2	1	17	
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	4	4	3		3	14	
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	8	3	3	1	6	21	
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	1	2				3	
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	2		3	1		6	
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31		2	2		1	5	
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	8	4	1	1	4	18	
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	5				1	6	
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	16	1	1	1	2	21	
	小計		113	24	36	17	48	238	
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	7	1		1	10	19	
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	11		5		8	24	
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	13	2	1		9	25	
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	3	1		2	3	9	
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	6				1	7	
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	15	1		1	9	26	
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	3	1			4	8	
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	37	9	2	1	17	66	
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	12	3		2	14	31	
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	5	2	1		1	9	
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	42	18	4	7	18	89	
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	6					6	
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	10	5			11	26	
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	37	5	2	3	22	69	
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	9	1		2	9	21	
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	14	7	2	6	9	38	
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	46	10		3	14	73	
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	8	6		5	2	21	
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	7	2	9	5	26	49	
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	10	4	1	2	8	25	
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	3		1	2	2	8	
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	51	9	3		9	72	
	小計		355	87	31	42	206	721	
フェロー、関連・管理部門等	その他			4	2		28	36	
			計	472	113	67	61	282	995

※国内案件のみ

産業技術総合研究所

7) 連携大学院

大学と産総研が協定を結び、産総研研究者が大学から連携大学院教官の発令を受け、大学院生を技術研修生として受け入れ、研究指導等を行う。この制度による大学院生には被指導者であると同時に研究協力者としての側面があり、産総研にとっても研究促進を図ることができる。

(参考：大学院設置基準「第13条第2項 大学院は、教育上有益と認めるときは、学生が他の大学院又は研究所等において必要な研究指導を受ける事を認めることができる。(後略)」)

連携大学院派遣教員ユニット別人数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止年月日	派遣教員数				計
			国公立大学		私立大学		
			教授	准教授	教授	准教授	
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	7	3			10
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31	1	1			2
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31			1		1
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31			2		2
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	1	1			2
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	1	2	2		5
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	1		1	1	3
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	1				1
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	2	1	6		9
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	3	1	2		6
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	3	3			6
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	5	2	1	1	9
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	1		1		2
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	2		1		3
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	5	1	2	1	9
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31	3	1	1		5
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	6	2	1		9
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	1	1			2
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	1	8	2	2	13
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31					
小計			44	27	23	5	99
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	2	1	2	3	8
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31		1			1
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	6	6	3		15
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	1	1	3		5
エビクタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	3	3	6	2	14
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	9	1	12	1	23
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	1	1	2		4
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	3	1			4
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	3	2	5		10
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	2	2	1		5
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	9	3	6		18
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	3	4	2	2	11
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	1	1	1		3
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	6	3	3	2	14
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	12	5	1		18
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	10	10	4	2	26
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	8	2	2	1	13
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	6		2	1	9
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	2		7		9
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31			8	1	9
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	2	2			4
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	2	2			4
小計			91	51	70	15	227
フェロー、関連・管理部門等	その他		13		3	1	17
計			148	78	96	21	343

(注) 教授、准教授以外の役職で登録されている場合は准教授とする

事業組織・本部組織業務

連携大学院派遣教員一覧

平成27年3月31日現在

No.	地域	国公立 の別	大学名	学科名	派遣教員数		
					教授	准教授	計
1	北海道	国立	北海道大学	情報科学研究科	1	2	3
				生命科学院	3	3	6
				総合化学院	2		2
				農学院	3	2	5
2	東北	国立	東北大学	環境科学研究科	1		1
				理学研究科	2	4	6
3	東北	国立	福島大学	共生システム理工学研究科	13	4	17
4	関東	国立	茨城大学	理工学研究科	2		2
5	関東	国立	筑波大学	システム情報工学研究科	14	7	21
				人間総合科学研究科	5	4	9
				数理解物質科学研究科	11	5	16
				生命環境科学研究科	4	5	9
6	関東	国立	宇都宮大学	工学研究科	2		2
7	関東	国立	群馬大学	理工学府	1	1	2
8	関東	国立	埼玉大学	理工学研究科	8	2	10
9	関東	国立	千葉大学	工学研究科	2	1	3
				理学研究科	4		4
10	関東	国立	東京大学	新領域創成科学研究科	3	9	12
				総合理工学研究科	9	1	10
11	関東	国立	東京工業大学	理工学研究科	2		2
				工学研究科	3		3
12	関東	国立	東京農工大学	工学府	1		1
				人間文化創成科学研究科	1	1	2
13	関東	国立	お茶の水女子大学	環境情報研究院		1	1
14	関東	国立	横浜国立大学	工学研究科	2	2	4
15	関東	国立	長岡技術科学大学	工学研究科	6		6
16	関東	公立	首都大学東京	生命医科学研究科	1	1	2
17	関東	公立	横浜国立大学	自然科学研究科	1	1	2
18	中部	国立	金沢大学	マテリアルサイエンス研究科	4	2	6
				情報科学研究科		1	1
				知識科学研究科		4	4
				工学研究科	2	1	3
19	中部	国立	北陸先端科学技術大学院大学	連合創薬医療情報研究科	1	1	2
				連合農学研究科	2		2
				工学研究科	2		2
				工学府	1		1
20	中部	国立	岐阜大学	工学研究科	2	1	3
21	中部	国立	名古屋工業大学	工学研究科	2		2
				工学研究科	1		1
22	関西	国立	福井大学	工芸科学研究科		1	1
23	関西	国立	京都工芸繊維大学	理学研究科	4		4
24	関西	国立	大阪大学	工学研究科	2	3	5
25	関西	国立	神戸大学	人間発達環境学研究科	1	1	2
				情報科学研究科	3	1	4
26	関西	国立	奈良先端科学技術大学院大学	システム工学研究科	2		2
27	関西	国立	和歌山大学	工学研究科	1	2	3
28	中国	国立	広島大学	生物圏科学研究科	1	1	2
				先端物質科学研究科	2		2
29	四国	国立	香川大学	農学研究科	2	1	3
30	九州	国立	九州大学	総合理工学研究院	2	1	3
31	九州	公立	九州工業大学	生命体工学研究科	1		1
32	九州	国立	佐賀大学	工学系研究科	4	2	6
33	九州	国立	熊本大学	自然科学研究科	1		1
34	九州	国立	鹿児島大学	理工学研究科	3		3
国公立大学小計					148	78	226
35	東北	私立	東北学院大学	工学研究科	5		5
36	関東	私立	東邦大学	理学研究科	5	3	8
37	関東	私立	千葉工業大学	工学研究科	2		2
38	関東	私立	東京理科大学	基礎工学研究科	4	2	6
				理学研究科	4	1	5
39	関東	私立	東京電機大学	理工学研究科	19	1	20
				先端科学技術研究科・工学研究科	3		3
40	関東	私立	芝浦工業大学	理工学研究科	3	1	4
41	関東	私立	日本大学	工学研究科	1		1
42	関東	私立	上智大学	理工学研究科	1		1
43	関東	私立	立教大学	理学研究科	3		3
44	関東	私立	青山学院大学	理工学研究科	2	2	4
45	関東	私立	早稲田大学	理工学術院	2	6	8
46	関東	私立	東京都立大学	工学研究科	2	1	3
47	関東	私立	明治大学	理工学研究科	4		4
48	関東	私立	神奈川工科大学	工学研究科	9		9
49	中部	私立	金沢工業大学	工学研究科	8		8

産業技術総合研究所

50	中部	私立	大同大学	工学研究科	1		1
51	中部	私立	名城大学	理工学研究科	1		1
52	中部	私立	中部大学	工学研究科	2		2
53	中部	私立	愛知工業大学	工学研究科	2		2
54	関西	私立	関西大学	理工学研究科	9	2	11
55	関西	私立	関西学院大学	理工学研究科	3	2	5
56	関西	私立	近畿大学	システム工学研究科	1		1
				私立大学小計	96	21	117
				合計	244	99	343

(注) 教授、准教授以外の役職で登録されている場合は准教授とする

## 8) 技術相談

産業技術総合研究所が蓄積してきた技術ポテンシャルを基に、民間企業、公設試験研究機関等からの技術相談を受ける。

1) 平成26年度「技術相談届け出システム」に入力された件数： 4,738件 (内 GSJ 672件)

## 2) 拠点件数

拠点名	相談件数
北海道センター	137
東北センター	100
つくばセンター	2,745
東京本部	7
臨海副都心センター	191
中部センター	792
関西センター	353
中国センター	159
四国センター	300
九州センター	152
福島再生可能エネルギー研究所	16
上記の合計	4,952
相談件数	4,738

一相談で複数拠点にまたがる案件は、複数カウントされるため正味の相談件数より大きくなっている。

## 3) 相談者の分類

相談者の分類	全体件数	全体%	GSJ 以外	GSJ 以外	GSJ	GSJ
大企業	1,508	31.8%	1,466	36.1%	42	6.3%
中小企業	1,983	41.9%	1,853	45.6%	130	19.3%
教育機関	269	5.7%	214	5.3%	55	8.2%
公的機関	421	8.9%	328	8.1%	93	13.8%
放送出版マスコミ	92	1.9%	11	0.3%	81	12.1%
個人	362	7.6%	91	2.2%	271	40.3%
その他	103	2.2%	103	2.5%	0	0.0%
合計	4,738	100.0%	4,066	100.0%	672	100.0%

## 4) 分野別問い合わせ件数

環境・エネルギー	848
ライフサイエンス	433
情報通信・エレクトロニクス	394
ナノテクノロジー・材料・製造	1,596
計測・計量標準	549
地質	671
その他	247
合計	4,738

産業技術総合研究所

9) 依頼出張・受託出張

外部機関からの要請により、研究打ち合わせ、調査、講演等のために、職員が出張する制度である。

依頼・受託出張ユニット別人数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	4	2			1	7
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31	3	1				4
ネットワークフォトンクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31	2					2
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31		1				1
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	9	3	1	1	1	15
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31		1				1
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	3					3
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	8					8
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	1	1				2
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31		1	1		1	3
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	1	1				2
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	4	5		1	4	14
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	1				1	2
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31	3	3			1	7
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	27		7			34
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31	1				2	3
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	2	3			2	7
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31		1				1
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	1					1
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31	1	3				4
小計			71	26	9	2	13	121
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	6	14	1		14	35
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	2	5			5	12
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	9	6			51	66
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	6	2				8
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	4	3			4	11
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	9	5			6	20
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31		1			4	5
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	23	4	1		11	39
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	14	18		1	2	35
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31						
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	10	8			5	23
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	2	1				3
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	5	4				9
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	9	4	2		1	16
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	4	2			29	35
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	1	6		1	3	11
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	29	4	2		3	38
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	20	11		2		33
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	1	5				6
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	11	3			1	15
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	2	2		1	2	7
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	30	7		4	22	63
小計			197	115	6	9	163	490
フェロー、関連・管理部門等	その他		8	8			19	35
計			276	149	15	11	195	646

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

10) 委員の委嘱

産総研の職員が外部の委員等に就任し、必要とされる情報、アドバイス等の提供を行う。

委員の委嘱ユニット別人数一覧

平成27年3月31日現在

研究ユニット	分野	設立・廃止日時	大学	法人	大企業	中小企業	その他	計
生産計測技術研究センター	計測・計量標準	2007/8/1～2015/3/31	1	15			4	20
ナノチューブ応用研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2008/4/1～2015/3/31	1	8			2	11
ネットワークフォトニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/10/1～2015/3/31	2	5			1	8
メタンハイドレート研究センター	環境・エネルギー	2009/4/1～2015/3/31	1	1				2
幹細胞工学研究センター	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	1	7			3	11
デジタルヒューマン工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	4	31			16	51
ナノスピントロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2010/4/1～2015/3/31	2	3				5
集積マイクロシステム研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	7	25			5	37
コンパクト化学システム研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31		12			1	13
先進パワーエレクトロニクス研究センター	環境・エネルギー	2010/4/1～2015/3/31	1	10	1		2	14
サービス工学研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2008/4/1～2015/3/31	1	6			1	8
太陽光発電工学研究センター	環境・エネルギー	2011/4/1～2015/3/31	3	25	3		21	52
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	1	13	1		2	17
バイオマスリファイナリー研究センター	環境・エネルギー	2012/4/1～2015/3/31		2			1	3
創薬分子プロファイリング研究センター	ライフサイエンス	2013/4/1～2015/3/31	10	3			1	14
触媒化学融合研究センター	環境・エネルギー	2013/4/1～2015/3/31	5	19			6	30
再生可能エネルギー研究センター	環境・エネルギー	2013/10/1～2015/3/31	1	20		1	20	42
糖鎖創薬技術研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	1					1
ゲノム情報研究センター	ライフサイエンス	2014/4/1～2015/3/31	2	3			4	9
グリーン磁性材料研究センター	ナノテクノロジー・材料・製造	2014/4/1～2015/3/31		8				8
小計			44	216	5	1	90	356
計測標準研究部門	計測・計量標準	2001/4/1～2015/3/31	9	478	1	1	89	578
地圏資源環境研究部門	地質	2001/4/1～2015/3/31	1	69	2	2	92	166
知能システム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2001/4/1～2015/3/31	9	77	2		43	131
計測フロンティア研究部門	計測・計量標準	2004/4/1～2015/3/31	4	44	4		21	73
ユビキタスエネルギー研究部門	環境・エネルギー	2004/4/1～2015/3/31	11	108			22	141
先進製造プロセス研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	4	128			1	159
サステナブルマテリアル研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2004/4/1～2015/3/31	3	60		3	10	76
地質情報研究部門	地質	2004/5/1～2015/3/31	6	57	1		82	146
環境管理技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	7	52	1	2	32	94
環境化学技術研究部門	環境・エネルギー	2004/5/1～2015/3/31	2	32			17	51
エネルギー技術研究部門	環境・エネルギー	2004/7/1～2015/3/31	17	153	2	4	29	205
情報技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2004/7/15～2015/3/31	3	68	2		10	83
安全科学研究部門	環境・エネルギー	2008/4/1～2015/3/31	6	39	2	2	56	105
健康工学研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	19	28	2	1	14	64
生物プロセス研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	5	8			15	28
バイオメディカル研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	13	29	1		11	54
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	ライフサイエンス	2010/4/1～2015/3/31	17	121	4	3	30	175
ナノシステム研究部門	ナノテクノロジー・材料・製造	2010/4/1～2015/3/31	18	58		1	16	93
ナノエレクトロニクス研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	4	66		5	12	87
電子光技術研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2011/4/1～2015/3/31	9	38			2	49
セキュアシステム研究部門	情報通信・エレクトロニクス	2012/4/1～2015/3/31	3	67	2		14	86
活断層・火山研究部門	地質	2014/4/1～2015/3/31	11	59			53	123
小計			181	1,839	26	25	696	2767
フェロー、関連・管理部門等	その他		18	250	9	2	248	527
計			243	2,305	40	28	1,034	3,650

※国内案件のみ



11) 産業技術連携推進会議

92の公設試験研究機関（支所を含む）並びに産総研との協力体制を強化し、これらの機関が持つ技術開発力及び技術指導力をできる限り有効に発現させることにより、機関相互の試験研究を効果的に推進して、産業技術の向上を図り、我が国の産業の発展に貢献するために、産業技術連携推進会議を設置し運営している。

6技術部会と8地域部会（事務局：地域産学官連携センター）及び、8地域産業技術連携推進会議（事務局：地域経済産業局）を設置し、産業技術関連情報の相互提供、戦略の検討、活動状況及び活動成果の情報発信等を行っている。

産業技術連携推進会議開催実績

平成27年度3月31日現在

部会等名称		開催回数
総 会		1
企画調整委員会		1
技 術 部 会	ライフサイエンス部会	7
	情報通信・エレクトロニクス部会	6
	ナノテクノロジー・材料部会	32
	製造プロセス部会	22
	環境・エネルギー部会	21
	知的基盤部会	7
	地 域 部 会	北海道地域部会
東北地域部会		14
関東甲信越静地域部会		10
東海・北陸地域部会		37
近畿地域部会		19
中国地域部会		22
四国地域部会		12
九州・沖縄地域部会		24
地 域 産 技 連	北海道地域産業技術連携推進会議	0
	東北地域産業技術連携推進会議	2
	関東甲信越静地域産業技術連携推進会議	1
	東海北陸地域産業技術連携推進会議	4
	近畿地域産業技術連携推進会議	7
	中国地域産業技術連携推進会議	3
	四国地域産業技術連携推進会議	2
	九州・沖縄地域産業技術連携推進会議	11
合 計		275

※技術部会・地域部会の開催回数には傘下の分科会・研究会の開催回数を含む。

④【国際部】

(International Affairs Division)

所在地：つくば中央第2

人員：16名（6名）

概要：

- 1) 世界的課題の解決を目指す最先端技術の創出に関わる研究連携や、新興国の資源とソーシャルニーズに基づく研究協力の推進を支援。
- 2) 海外の主要研究機関等と連携の強化に向けた研究協力覚書等を締結。研究者の派遣・招へいなど、海外機関との人材交流を推進。世界研究機関長会議の開催、海外要人の視察対応などにより、産総研の国際プレゼンス向上に寄与。
- 3) 産総研の海外ネットワークを活用し、日本企業の海外展開を支援。
- 4) 政策的要請に基づく国際協力を推進。ブラジルや南アフリカ等における資源探査支援や、経済産業省委託事業として、米国・欧州等の研究機関との環境・エネルギー分野での研究協力を展開。
- 5) 海外への技術の提供ならびに貨物の輸出に関し、法令遵守の徹底を図るための取り組みを継続。海外での危機管理については、危機管理マニュアルの作成・周知、渡航情報のイントラ掲載、出張者の安否確認を実施。

機構図（2015/3/31現在）

[国際部]

部 長	酒井 夏子
審 議 役	坂西 欣也
審 議 役	鹿野 郁夫
総括主幹	橋本 佳三
総括主幹	Oleg Ryabov
総括主幹	林 彬勸

[国際連携企画室]

室 長	中村 優美子
総括主幹	村井 保夫
総括主幹	森本 慎一郎

[安全保障貿易管理室]

室 長	(兼) 鹿野 郁夫
-----	-----------

国際連携企画室

(Global Collaboration Office)

(つくば中央第2)

概要：

海外の主要研究機関等との研究ネットワークを構築・強化し、国際研究協力や人材交流を推進。

- 1) 研究協力覚書等の締結により、組織的連携を推進。
- 2) 産総研フェロウシップ事業や、研究者の派遣・招へい制度、事務職員短期人材交流等により、国際的な人材交流を推進。
- 3) 産総研に来訪する海外要人の視察対応や、産総研幹部の海外研究機関への往訪支援、世界研究機関長会議の開催などを通して、産総研の国際プレゼンス向上に寄与。
- 4) 主要海外研究機関とのワークショップを企画・運営し、研究連携の推進・拡大を支援。

安全保障貿易管理室

(Security Export Control Office)

(つくば中央第2)

概要：

外国為替及び外国貿易法及び関係法令等を確実に遵守するため、産総研の安全保障輸出管理体制の整備・輸出管理・監査・教育を実施。

- 1) 研究ユニット等に対し輸出管理に関する研修を実施。
- 2) 研究ユニット等の具体的案件に対して、輸出管理相談、輸出管理指導、審査等を実施。
- 3) 産総研内のユニットに対し、輸出管理に関する監査を実施。
- 4) 輸出管理に関する教育として、e-ラーニングを実施。

## 1) 海外出張

研究の推進を目的とした職員の海外出張について、平成26年度の出張者総数（国・地域別）は、3523名。実出張者数（組織別）は、3248名。分類のカテゴリーは以下のとおり。

産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）…運営費交付金等により行う出張

外部予算による出張…文部科学省科学研究費補助金等、外部予算により行う出張

依頼出張…外部機関からの依頼による出張。依頼元は、公益法人、民間企業、海外の大学・研究機関等。

表1 平成26年度外国出張者数（国・地域別）

人数 国・地域名	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
<b>アジア・太平洋地域</b>				
インド	64	45	16	3
インドネシア	61	45	6	10
オーストラリア	60	25	32	3
カンボジア	8	1		7
シンガポール	68	46	19	3
スリランカ	1	0		1
タイ	128	92	30	6
ニュージーランド	24	13	10	1
ネパール	1	1		
パプア・ニューギニア	9	9		
フィリピン	12	5	2	5
ブルネイ	3		3	
ベトナム	41	20	14	7
マーシャル諸島共和国	1	1		
マレーシア	31	16	8	7
ミャンマー	10	3		7
ラオス	8			8
韓国	265	186	59	20
台湾	120	83	33	4
中国	291	191	64	36
<b>米州地域</b>				
米国	905	462	403	40
カナダ	82	41	37	4
アルゼンチン	6	3	3	
コスタリカ	1	1		
チリ	6	2	3	1
ドミニカ国	1		1	
ブラジル	23	14	9	
メキシコ	39	19	17	3
<b>ヨーロッパ地域</b>				
英国	92	50	35	7
アイスランド	1		1	
アイルランド	14	9	5	
イタリア	97	55	36	6
オーストリア	46	25	16	5
オランダ	47	26	17	4

事業組織・本部組織業務

人数 国・地域名	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
カザフスタン	1			1
ギリシア	16	9	7	
キルギス	1	1		
クロアチア	3	3		
スイス	80	40	35	5
スウェーデン	31	18	11	2
スペイン	75	35	38	2
スロバキア	3	2	1	
スロベニア	7	6	1	
セルビア・モンテネグロ	4	3	1	
チェコ	32	15	12	5
デンマーク	13	11	2	
ドイツ	258	146	97	15
ノルウェー	12	6	5	1
ハンガリー	2	1	1	
フィンランド	42	23	17	2
フランス	227	148	74	5
ベルギー	29	16	11	2
ポーランド	17	9	8	
ポルトガル	28	12	16	
リトアニア	2	2		
ルーマニア	1		1	
ルクセンブルク	1	1		
ロシア	13	8	5	
<b>その他</b>				
アラブ首長国連邦	12	9	1	2
イスラエル	5	5		
イラン	3	1	2	
ウガンダ	6	3	3	
オマーン	1	1		
ケニア	3	3		
サウジアラビア	4	2		2
タンザニア	1	1		
チュニジア	1	1		
トルコ	13	8	4	1
モーリシャス	1	1		
モロッコ	1		1	
南アフリカ	8		5	3
合 計	3523	2039	1238	246

※1つの出張で数ヶ国にまたがる場合には、それぞれの国にカウントしております。

表2 平成26年度外国出張者数（組織別）

組織別	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
理事長、理事、フェロー、顧問		46	44	1	1
研究ユニット					
研究センター		630	390	219	21
研究部門		2266	1229	871	166
本部組織		163	124	17	22
事業組織		28	18	3	7
その他		115	84	14	17
合計		3248	1889	1125	234

表3 平成26年度外国出張者数（目的別）

目的	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
国際会議		1593	943	503	147
学会等		820	483	328	9
動向調査		179	119	51	9
実地調査		139	78	54	7
在外研究		31	25	6	0
共同研究		274	116	143	15
技術協力		40	22	5	13
交渉折衝		46	35	11	0
在外研修		7	4	3	0
その他		119	64	21	34
合計		3248	1889	1125	234

## 【各区分の定義】

- 国際会議・学会等：国際会議や学会への参加
- 動向調査：海外の大学・研究所・企業等を訪問し、動向を調査
- 実地調査：地質調査等の野外における調査
- 在外研究：海外の大学・研究所等における研究
- 共同研究：海外の大学・研究所等との共同研究の実施
- 技術協力：JICA 専門家等として、海外機関における技術協力
- 交渉折衝：海外の大学・研究所等における交渉、折衝
- 在外研修：海外の大学・研究所等における研修
- その他：上記に属しないもの

## 2) 外国人研究者受入

研究の推進を目的として、海外の研究機関、大学等から外国人研究者の受け入れを実施している。平成26年度は、133名を受け入れた。

表4 平成26年度外国人研究者受入実績

受入制度	受入人数
外国人外来研究員 (内 JSPS フェロー20人)	133
合 計	133

※新規受入分、滞在6日以上

## 【各区分の定義】

- ・外来研究員：産総研以外の者であって、自己の知見、経験等を活かし研究の推進に協力するために行う研究、調査、指導、助言等を行う者で原則として5年以上研究に従事した者をいう。
- ・JSPS フェロー：JSPS フェローシップにより来日している外国人外来研究員

表5 平成26年度外国人研究者受入実績（国・地域別）

国・地域別	人数	外来研究員
<b>アジア・大洋州地域</b>		
インド		9
インドネシア		4
韓国		6
タイ		24
台湾		5
中国		20
ベトナム		3
マレーシア		2
ミャンマー		10
モンゴル		2
オーストラリア		2
<b>米州地域</b>		
米国		12
カナダ		2
アルゼンチン		2
ブラジル		1
<b>ヨーロッパ地域</b>		
オーストリア		1
オランダ		4
スイス		1
スペイン		1
スロバキア		1
ドイツ		3
フランス		14
フィンランド		1
ベルギー		1
<b>その他の地域</b>		
イスラエル		1
エジプト		1
合 計		133

表6 平成26年度外国人研究者受入実績（組織別）

組 織 別	人数	外来研究員
ユビキタスエネルギー研究部門		3
環境管理技術研究部門		8
環境化学技術研究部門		
エネルギー技術研究部門		10
安全科学研究部門		3
メタンハイドレート研究センター		
コンパクト化学システム研究センター		
先進パワーエレクトロニクス研究センター		
太陽光発電工学研究センター		2
バイオマスリファイナリー研究センター		11
触媒化学融合研究センター		1
再生可能エネルギー研究センター		
健康工学研究部門		3
生物プロセス研究部門		5
バイオメディカル研究部門		8
ヒューマンライフテクノロジー研究部門		2
糖鎖創薬技術研究センター		
ゲノム情報研究センター		
幹細胞工学研究センター		1
創薬分子プロファイリング研究センター		
知能システム研究部門		11
情報技術研究部門		4
ナノエレクトロニクス研究部門		1
電子光技術研究部門		3
セキュアシステム研究部門		
ネットワークフォトンクス研究センター		1
デジタルヒューマン工学研究センター		1
ナノスピントロニクス研究センター		
サービス工学研究センター		
フレキシブルエレクトロニクス研究センター		1
先進製造プロセス研究部門		1
サステナブルマテリアル研究部門		
ナノシステム研究部門		7
ナノチューブ応用研究センター		
集積マイクロシステム研究センター		2
計測標準研究部門		16
計測フロンティア研究部門		1
生産計測技術研究センター		
計量標準管理センター		10
地圏資源環境研究部門		8
地質情報研究部門		6
活断層・火山研究部門		3
地質調査情報センター		
合 計		133

## 3) 技術研修

「独立行政法人産業技術総合研究所技術研修規程」(13規程第23号)に則り、外国の大学及び研究機関等から派遣された者に対して研究所が蓄積してきた技術ポテンシャルを基に、産業科学技術の発展及び継承を図るために技術研修を実施している。

また、(独)国際協力機構(JICA)や(独)日本学術振興会(JSPS)、(公社)科学技術国際交流センター(JISTEC)からの依頼により、JICA 集団研修、個別研修、JSPS サマープログラム研修、ウインターインスティテュートプログラム研修を実施している。

平成26年度は、6日以上滞在の技術研修員受入数は81名、5日以下1名の総数82名を受け入れた。

(平成25年度から継続滞在[6日以上滞在5名]を含むと、87名となる。)

表7 平成26年度 国際技術研修受入実績(制度別)

制 度	6日以上	5日以下	計
技術研修(JICA/サマー/ウインター 研修以外)	67	1	68
JSPS サマープログラム研修	1		1
ウインターインスティテュート研修	1		1
JICA 個別研修	12		12
小 計	81	1	82

## 平成25年度からの継続

技術研修	5		5
小 計	5		5
合 計	86	1	87

表8 平成26年度 国際技術研修受入実績(組織別) (6日以上滞在)

組織別	人数	計	JICA	ウインター インスティテュート	サマープログラム	技術研修
太陽光発電工学研究センター		7		1		6
バイオマスリファイナリー研究センター		1				1
ユビキタスエネルギー研究部門		5				5
環境管理技術研究部門		5				5
エネルギー技術研究部門		11			1	10
糖鎖創薬技術研究センター		1				1
ゲノム情報研究センター		2				2
健康工学研究部門		1				1
生物プロセス研究部門		2				2
バイオメディカル研究部門		2				2
デジタルヒューマン工学研究センター		2				2
知能システム研究部門		4				4
情報技術研究部門		4				4
ナノエレクトロニクス研究部門		3				3
電子光技術研究部門		9				9
セキュアシステム研究部門		2				2
ナノチューブ応用研究センター		1				1
先進製造プロセス研究部門		2				2
計測標準研究部門		2				2
計測フロンティア研究部門		1				1
計量標準管理センター		12	12			
地圏資源環境研究部門		1				1
活断層・火山研究部門		1				1
合計		81	12	1	1	67



表9 平成26年度 国際技術研修 国・地域別受入一覧表 (6日以上滞在)

国・地域別	人数	受入人数	JICA	ウインター インスティテュート	サマープログラム	技術研修
<b>アジア・大洋州地域</b>						
インド		15	12			3
インドネシア		1				1
韓国		12		1		11
タイ		6				6
中国		12				12
マレーシア		1				1
台湾		3				3
香港		4				4
オーストラリア		1				1
<b>米州地域</b>						
米国		4				4
カナダ		1				1
<b>ヨーロッパ地域</b>						
英国		2				2
スペイン		1				1
ドイツ		4			1	3
フランス		9				9
ベルギー		1				1
ロシア		1				1
<b>その他の地域</b>						
アルジェリア		2				2
南アフリカ		1				1
<b>合計</b>		<b>81</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>67</b>

表10-1 平成26年度 国際技術研修受入実績 (組織別；平成25年度からの継続；6日以上滞在)

組織別	人数	計	JICA	技術研修
太陽光発電工学研究センター		1		1
ユビキタスエネルギー研究部門		1		1
健康工学研究部門		1		1
知能システム研究部門		1		1
ナノシステム研究部門		1		1
<b>合計</b>		<b>5</b>		<b>5</b>

表10-2 平成26年度 国際技術研修国・地域別受入一覧表 (平成25年度からの継続；6日以上滞在)

国・地域別	人数	受入人数	JICA	技術研修
<b>アジア・大洋州地域</b>				
中国		1		1
台湾		1		1
<b>ヨーロッパ地域</b>				
ドイツ		2		2
フランス		1		1
<b>合計</b>		<b>5</b>		<b>5</b>

## 4) 外国機関等との覚書・契約等

外国機関等との組織的な研究協力を推進するにあたり、研究協力覚書を締結している。研究協力覚書は、産総研全体として諸外国の主要研究機関との連携強化を目指して戦略的に締結する包括研究協力覚書、個別研究分野での研究協力促進を目的とする個別研究協力覚書の2種類がある。平成26年度に有効な包括研究協力覚書、個別研究協力覚書の実績は表11、12のとおりである。

平成26年度は、組織的な研究協力や人材交流の促進、国際共同研究の提案等のための基盤整備を継続して行うために、タイ国家科学技術開発庁（NSTDA）、タイ科学技術研究所（TISTR）、ベトナム科学技術院（VAST）、米国ロスアラモス国立研究所（LANL）、米国ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）、米国ローレンス・リバモア国立研究所（LLNL）、米国立標準技術研究所（NIST）、米国立再生可能エネルギー研究所（NREL）との間で8件の包括研究協力覚書の更新を行った。また研究協力覚書に基づいて、研究機関との間でワークショップ等を実施し、連携成果の確認や新たな研究連携課題の探索等、情報交換の場を設けた。これにより各外国機関等との科学技術分野での連携を実施し、研究協力活動、研究者交流の促進を図っている。

表11 外国機関等との包括研究協力覚書

国・地域名	機関名
<b>アジア・大洋州地域</b>	
インド	科学技術省バイオテクノロジー庁（DBT: Department of Biotechnology）
	科学技術省科学産業研究機構（CSIR: Council of Scientific and Industrial Research）
中国	中国科学院（CAS: Chinese Academy of Sciences）
	上海交通大学（SJTU: Shanghai Jiao Tong University）
台湾	工業技術研究院（ITRI: Industrial Technology Research Institute）
インドネシア	インドネシア技術評価応用庁（BPPT: Agency for the Assessment and Application of Technology）
マレーシア	マレーシア標準・工業研究所（SIRIM Berhad）
ベトナム	ベトナム科学技術院（VAST: Vietnam Academy of Science and Technology）
タイ	国家科学技術開発庁（NSTDA: National Science and Technology Development Agency）
	タイ科学技術研究所（TISTR: Thailand Institute of Scientific and Technological Research）
シンガポール	科学技術研究局（A*STAR: Agency for Science, Technology and Research）
オーストラリア	連邦科学産業研究機構（CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation）
モンゴル・日本	モンゴル鉱物資源・エネルギー省（MMRE: Ministry of Mineral Resources and Energy）、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC: Japan Oil, Gas and Metals National Corporation）
<b>米州地域</b>	
米国	国立標準技術研究所（NIST: National Institute of Standards and Technology）
	ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory）
	国立再生可能エネルギー研究所（NREL: National Renewable Energy Laboratory）
	ロスアラモス国立研究所（LANL: Los Alamos National Laboratory）
	ローレンス・リバモア国立研究所（LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory）
	サンディア国立研究所（SNL: Sandia National Laboratories）
	ニューヨーク州立大学ナノスケール理工学部（CNSE: College of Nanoscale Science and Engineering of the University at Albany - State University of New York）
	オークリッジ国立研究所（ORNL: Oak Ridge National Laboratory）

国・地域名	機関名
	サバンナリバー国立研究所 (SRNL: Savannah River National Laboratory)
<b>ヨーロッパ地域</b>	
ノルウェー	ノルウェー科学技術大学 (NTNU: Norwegian University of Science and Technology)
	エネルギー技術研究所 (IFE: Institute for Energy Technology)
	産業科学技術研究所 (SINTEF: The Foundation for Scientific and Industrial Research)
フィンランド	フィンランド技術研究センター (VTT: Technical Research Centre of Finland)
フランス	国立科学研究センター (CNRS: Centre national de la recherche scientifique)
	原子力代替エネルギー庁技術研究部門 (CEA-DRT: Direction de la recherche technologique, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives)
ドイツ	ヘルムホルツ協会 (Helmholtz Association of German Research Centres)
	カールスルーエ技術研究所 (Karlsruhe Institute of Technology)
	ユーリッヒ研究センター (Forschungszentrum Jülich GmbH)
	フラウンホーファー研究機構 (FhG: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.)
ベルギー	IMEC インターナショナル (IMEC: Interuniversity Microelectronics Center International)

注) 平成26年度に有効な包括研究協力覚書。

表12 外国機関等との個別研究協力覚書

国・地域名	機関名	研究ユニット名
<b>アジア・大洋州地域</b>		
タイ	国立計量研究所 (NIMT: National Institute of Metrology, Thailand)	計量標準総合センター
	タイ鉱物資源局 (DMR: Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environment)	地質調査総合センター
	アジア工科大学 (AIT: Asian Institute of Technology)	情報技術研究部門
インドネシア	インドネシア・エネルギー鉱物資源省地質総局 (GA : Geological Agency of the Ministry of Energy and Mineral Resources) *	地質調査総合センター
ニュージーランド	ニュージーランド地質・核科学研究所 (GNS Science)	地質調査総合センター
モンゴル	モンゴル鉱物資源石油管理庁 (MRPAM: Mineral Resources and Petroleum Authority of Mongolia)	地質調査総合センター
韓国	韓国標準科学研究院 (KRISS: Korea Research Institute of Standards and Science)	計量標準総合センター
	韓国技術標準院 (KATS: Korean Agency for Technology and Standards)	計量標準総合センター
	韓国地質資源研究院 (KIGAM: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)	地質調査総合センター
	韓国窯業技術院 (KICET: Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology)	先進製造プロセス研究部門
台湾	国立成功大学防災研究センター (Disaster Prevention Research Center, National Cheng Kung University)	活断層・火山研究部門
中国	中国計量科学研究院 (NIM: National Institute of Metrology)	計量標準総合センター
	上海交通大学 (SJTU: Shanghai Jiao Tong University)	集積マイクロシステム研究センター
	華東理工大学 (ECUST: East China University of Science and Technology)	ナノシステム研究部門
中国・韓国	中国計量科学研究院 (NIM: National Institute of Metrology)、 韓国標準科学研究院 (KRISS: Korea Research Institute of Standards and Science)	計量標準総合センター

国・地域名	機関名	研究ユニット名
<b>米州地域</b>		
カナダ	国立ナノテクノロジー研究所 (NINT: National Institute for Nanotechnology, National Research Council of Canada)	ナノシステム研究部門
	カナダ天然資源省 (NRCan : Department of Natural Resources Canada) *	地質調査総合センター
米国	米国地質調査所 (USGS: United States Geological Survey)	地質調査総合センター
メキシコ	メキシコ計量センター (CENAM: Centro Nacional de Metrología)	計量標準総合センター
	メキシコ国立自治大学 (UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México)	健康工学研究部門
ブラジル	国立工業度量衡・品質規格院 (INMETRO: National Institute of Metrology, Quality and Technology)	計量標準総合センター
	ブラジル鉱産局 (DNPM: National Department of Mineral Production)	地質調査総合センター
<b>ヨーロッパ地域</b>		
オーストリア	オーストリア地質調査所 (GBA: Geological Survey of Austria)	地質調査総合センター
ドイツ	ドイツ連邦物理工学研究所 (PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt)	計量標準総合センター
	パウル・ドルーテ固体電子工学研究所 (PDI: Paul Drude Institute for Solid State Electronics)	ナノエレクトロニクス研究部門
オランダ	オランダ計量研究所 (NMI: Van Swinden Laboratorium B.V.)	計量標準総合センター
スロバキア	スロバキア科学アカデミー (IMS SAS: Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences)	電子光技術研究部門
ロシア	ロシア計量試験科学研究所 (VNIIMS : Russian Scientific-Research Institute for Metrological Service of Gosstandart of Russia)	計量標準総合センター
英国	シェフィールド大学 (University of Sheffield)	エネルギー技術研究部門
フランス	国際度量衡局 (BIPM : International Bureau of Weights and Measures) *	計量標準総合センター
	フランス地質鉱山研究所 (BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières) *	地質調査総合センター
イタリア	イタリア火山学・地球物理学研究所 (INGV : Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) *	地質調査総合センター
<b>その他の地域</b>		
トルコ	トルコ鉱物資源調査開発総局 (MTA: Mineral Research & Exploration General Directorate)	地質調査総合センター
南アフリカ	南アフリカ地質調査所 (CGS : Council for Geosciences) *	地質調査総合センター
米国・ドイツ	国立再生可能エネルギー研究所 (NREL: National Renewable Energy Laboratory) 、 フラウンホーファー研究機構太陽エネルギーシステム研究所 (Fraunhofer ISE: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.)	太陽光発電工学研究センター
APMP 加盟国	アジア太平洋計量計画 (APMP: Asia Pacific Metrology Program)	計量標準総合センター
アボガドロ定数協定加盟国	国際度量衡局 (BIPM: Bureau International des Poids et Mesures) 、イタリア計量研究所 (INRIM: Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica) 、オーストラリア国立標準研究所 (NMI: National Measurement Institute, Australia) 、ドイツ連邦物理工学研究所 (PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt)	計量標準総合センター

注) 平成26年度に有効な個別研究協力覚書。 \*印は26年度新規締結分。

## 5) その他の連携活動

表13 平成26年度 主な国際シンポジウム等（国際部扱い）

国際シンポジウム等名称	開催場所	開催期間	備考
Luncheon Meeting for Global Collaboration (米国、ノルウェー、タイ、インドネシア、台湾の研究機関が参加)	郡山（日本）	2014年4月20日	主催
産総研福島再生可能エネルギー研究所開所記念国際シンポジウム	郡山（日本）	2014年4月20日	主催
台湾工業技術研究院（ITRI）との事務職員ワークショップ	新竹（台湾）	2014年7月1日～4日	共催
ベトナム科学技術院（VAST）とのワークショップ	つくば（日本）	2014年9月8日～12日	共催
第3回世界研究機関長会議	京都（日本）	2014年10月4日	共催
フランス国立科学研究センター（CNRS）との人材交流ワークショップ	パリ（フランス）	2015年1月26日,27日	共催
Asia Renewable Energy Workshop 2015	クアラルンプール（マレーシア）	2015年2月3日,4日	共催
日米クリーンエネルギー研究協力ワークショップ	郡山（日本）	2015年2月26日	主催

表14 平成26年度 主な外国要人来訪（時系列順）

国地域名・機関名・役職	来訪者
米国ローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）所長	ポール・アリビサトス
米国国立再生可能エネルギー研究所（NREL）所長	ダン・アルビズ
ノルウェー産業科学技術研究所（SINTEF）所長	ウンニ・ステインスモ
タイ国家科学技術開発庁（NSTDA）長官	タウィザック・コナンタクル
タイ科学技術院（TISTR）院長	ヨンブット・サオバブルック
台湾工業技術研究院（ITRI）所長	ジュオミン・シュー
インドネシア技術評価応用庁（BPPT）長官	マルザン・イスカンダール
カタール財団総裁	モーザ・ビント・ナーセル前首長妃
クウェート国立科学研究センター（KISR）総裁	ナジ・アルムタイリ
駐日アイルランド大使	ジョン・ニアリー
シンガポール運輸大臣	ルイ・タックユー
リトアニア経済大臣	エバルダス・グスタス
チリ大学学長	エニオ・ビバルディ
駐日ネパール大使	マダン・クマール・バッターライ
駐日フランス大使	ティエリー・ダナ
駐日ブルネイ大使	ハジ・マハムード・ビン・ハジ・アハマド
ノーベル財団理事長	カール・ヘンリック・ヘルディン
タイ科学技術大臣	ピチュート・ドゥロンカウエロート

※ 公式訪問 全111件

⑤【ベンチャー開発部】

(Division for Start-ups)

所在地：つくば中央第2

人員：7名（2名）

概要：

「スタートアップ開発戦略タスクフォース」（以下、タスクフォース）によるベンチャー企業を創出する取組みとベンチャー技術移転促進措置実施規程に基づくベンチャー創出後の支援を柱に、より成功確率を高めるべくベンチャーの創出・支援に注力した。

2014年度の取組みは以下の通り。

○ベンチャー企業創出の取組み

1) 新規タスクフォース4件と継続タスクフォース4件を実施し、ベンチャー創業に向けたビジネスモデルの策定や技術開発等の集中的な取組みを行った。2014年度はタスクフォース発としてベンチャー企業3社を創業し、2社に称号を付与した（タスクフォース発ベンチャーは累計48社）。2) タスクフォースの候補案件について、先行技術調査、市場性調査等を実施し、事業性の把握に努め、次年度の新規タスクフォース候補を絞り込んだ。3) 人材育成の一環として、創業に関心を有する研究者を対象としたビジネスモデル策定のための研修や各種セミナーを企画・開催した。

○ベンチャー創業後の支援

1) 法務・経営・財務等各種専門家と8件の請負契約のもと、起業者及び既存ベンチャーに専門家相談の場を提供した。2) 6社については審査のうえ、産総研技術移転ベンチャーの称号を付与するとともに、知的財産権及び施設等の使用に関する技術移転促進措置を実施した。これにより産総研技術移転ベンチャーは累計123社となった。3) 創出したベンチャー間の交流促進及びベンチャー支援機関等関係者とのネットワーク構築・連携のための組織であるスタートアップスクラブの活動の一環として（株）ケイエスピー、（株）横浜銀行と「協創マッチングフォーラム」を、（株）つくば研究支援センター、三井物産（株）と「つくばビジネスマッチング会」を開催した。4) 研究成果を実用化、事業化しているベンチャー10社を当部のウェブサイト「TECH Meets BUSINESS」で紹介し、部の活動の広報に努めた。5) 研究開発力強化法の改正に伴う出資業務のための規程等実施体制を整備し、出資を希望する案件の審査を行った。

○AIST ハンズオン支援チーム（HOST）の活動

2013年度に公表した検証結果を踏まえ、有望な産総研技術移転ベンチャー及びタスクフォースを部署横断的に支援する「AIST ハンズオン支援チーム（HOST）」を立ち上げた。出資業務においては審査

委員会に掛けるか否かの判断のため、HOST が中心となり、企業デューデリジェンス及び対象資産の鑑定評価等を行った。また、有望なベンチャー及び2014年度実施のタスクフォースについて重点的に支援を行った。

機構図（2015/3/31現在）

[ベンチャー開発部]

— 部長	米田 晴幸
— 次長	岩崎 孝志
— スタートアップ・アドバイザー	
	岡本 裕重
	工藤 泰彦
	北川 全
	名倉 義幸
	松本 珠恵
— [ベンチャー開発企画室]	室長 北川 良一
— [ベンチャー支援室]	室長 大曾根 均

スタートアップ・アドバイザー（Start-up Advisor）

（つくば中央第2）

概要：

産総研内のベンチャー化に適した技術シーズの発掘とともに、タスクフォースを統括し、ベンチャー創業に向けて必要な追加的研究開発やビジネスモデルの策定等を行う。必要に応じて、産総研の職を離れ、創業後の企業経営に参画する。

ベンチャー開発企画室（Planning Office）

（つくば中央第2）

概要：

ベンチャー開発部の活動計画の企画・立案、活動に伴う総合調整、部予算の管理及びタスクフォースの運営管理に関する業務を行う。また、ハイテクベンチャーの創出を担うイノベーションプラットフォーム化に向けて組織改革や制度改革を推進するとともに、産総研内部の人材育成や意識改革を図るために、ベンチャー創出に関する職員向け研修やセミナーの企画・運営、さらに、成果の発信のための広報活動を行う。

ベンチャー支援室（Office of Business Development）

（つくば中央第2）

概要：

ベンチャー支援のための業務を企画及び立案、並びにベンチャー支援業務を実施する。

具体的には、産総研の知財を用いて起業を希望する者からの事業プラン、資金調達及び販路開拓等、創業前後に関する相談等に室員もしくは専門家により対応する。

また、「産総研ベンチャー技術移転促進措置実施規程」に基づく称号付与及び技術移転促進措置の実施に関する事務を行う。併せて、産総研内外と連携し新たな支援策の創出を図る。

2014年度実績

○スタートアップ開発戦略タスクフォース

- ・ベンチャー創出・支援研究事業 8件
  - 新規案件 4件
  - 継続案件 4件

○ベンチャー支援室が受けた創業関連相談件数

101件

○会社設立等支援業務の実施数

6件

○産総研技術移転ベンチャー

- ・産総研技術移転ベンチャー企業数  
新規 6社（累計123社）
- ・支援期間中ベンチャー企業数  
18社（2015年3月31日現在）

- ・産総研技術移転ベンチャーのうち、スタートアップ開発戦略タスクフォース発ベンチャー企業数  
新規 2社（累計48社）

○研修

- ・成果活用人材育成研修  
「ベンチャー創業に関心を有する職員向けアラカルトセミナー」  
実施回数：2回（2回合計で119名が参加）

表1 2014年度に称号付与した産総研技術移転ベンチャー一覧

	企業名	称号付与年月日	創出元研究ユニット	備考
1	大菜技研（株）	2014/04/01	計測標準研究部門	
2	（株）ミライセンス	2014/04/03	ヒューマンライフテクノロジー研究部門	TF 案件
3	Hmcomm（株）	2014/08/15	情報技術研究部門	
4	ライフロボティクス R.E.D（株）	2014/12/19	知能システム研究部門	
5	（株）ジェイタス	2015/01/23	健康工学研究部門	TF 案件
6	ときわバイオ（株）	2015/03/20	幹細胞工学研究センター	

○ベンチャー開発部の主催のイベント

- ・「第10回ベンチャー開発成果報告会  
ーベンチャー支援の新展開ー」

開催期間：2014年9月26日

開催場所：日経ビル6階日経カンファレンスルーム、  
セミナールーム

参加者数：229名

開催期間：2014年4月25日

開催場所：KOIL（柏の葉ホップソノバーションホ®）

2. BioJapan2014

開催期間：2014年10月15日～10月17日

開催場所：パシフィコ横浜

3. 産総研テクノブリッジフェア

開催期間：2014年10月22日～10月24日

開催場所：産総研

4. 産業交流展2014

開催期間：2014年11月19日～11月21日

開催場所：東京ビッグサイト

5. nano tech2015

開催期間：2015年1月28日～1月30日

開催場所：東京ビッグサイト

6. SAT テクノロジー・ショーケース2015

開催期間：2015年2月17日

開催場所：つくば国際会議場

○ベンチャー開発部の共催のイベント

- ・協創マッチングフォーラム

開催期間：2014年12月3日

開催場所：神奈川サイエンスパーク

参加者数：189名

- ・つくばビジネスマッチング会

開催期間：2015年2月17日

開催場所：産総研 臨海副都心センター  
別館11階会議室

参加者数：245名

○展示会・見本市への出展

1. TEP INNOVATION WEEK 産総研 DAY

⑥【国際標準推進部】

(International Standards Promotion Division)

所在地：つくば中央第2

人員：8名（4名）

概要：

産総研の研究ポテンシャルを活用した標準化研究開発を実施することにより、標準化に貢献し、もって我が国の産業競争力強化や安心・安全な社会の実現に貢献する各種活動を行っている。

標準化を目的とした研究開発は、社会ニーズや行政からの要請を受けて運営費交付金によって行う「標準基盤研究」、経済産業省からの委託を受けて行う「工業標準化推進事業」などの事業として行っている。これら研究開発の成果は、国内標準（JIS）、国際標準（ISO、IEC）などの公共財として世の中に出され、社会に貢献する。

機構図（2015/3/31現在）

[国際標準推進部]

	部長	松田 宏雄
	審議役	奈良 広一
— [標準企画室]	室長	倉片 憲治
— [標準化推進室]	室長	中田 功一
— [試験システム開発支援室]	室長	川原崎 守

標準企画室 (Standards Planning Office)

(つくば中央第2)

概要：

標準に係る企画及び立案並びに総合調整、標準に関する調査、研究ユニット等における標準化計画の策定の支援を行っている。

標準化推進室 (Standardization Promotion Office)

(つくば中央第2)

概要：

研究成果の規格化の推進、標準化に関する活動の支援、ナノテク標準化活動等の国際標準化活動に関する支援・事務局業務、標準化普及のための広報活動、研究情報公開データベースの整備を行っている。

試験システム開発支援室

(Testing System Cooperation Office)

(つくば中央第2)

概要：

標準への適合性評価に関する活動の調査・支援、認証及び認定に関する活動の調査・支援、鉱工業の科学技術に係る依頼試験等の受付、管理及び立ち上げ支援を行っている。

1) 標準提案

標準化を通じた研究開発成果の普及や社会からの要請への対応のため、標準基盤研究や工業標準化推進事業等の外部制度の活用を通じて、標準化のために必要な研究を実施している。

平成26年度 標準提案数	計24件
国際標準 (ISO、IEC 等)	20件
国内標準 (JIS、TS)	4件

2) 国際会議の役職者等

産総研の研究者は、ISO 等の国際会議の議長、幹事、コンビーナといった役職者や、技術専門家（エキスパート）として審議に貢献している。役職者および将来の役職者候補への渡航旅費補助などを行い、国際標準化活動を支援している。

議長、幹事、コンビーナ	のべ 48人
エキスパート	のべ258人

3) 鉱工業の科学技術に係る依頼試験

産総研の研究成果に基づく試験、分析、校正を有料で実施している。

平成26年度 依頼試験実施件数	計7件	
材料及び製品の試験	火薬類の試験 (自動車用緊急保安炎筒試験)	1件
基準太陽電池セル校正	一次基準太陽電池セルの校正	6件



## ⑦【イノベーションスクール】

(Innovation School)

所在地：つくば中央第2

人員：1名（1名）

概要：

「産総研イノベーションスクール制度」は、産総研特別研究員および産総研にて技術研修を行う博士課程の学生を対象として、特定の専門分野について科学的・技術的な知見を有しつつ、より広い視野を持ち、異なる分野の専門家と協力するコミュニケーション能力や協調性を有する人材の輩出を目指す事業である。

気づきをもとに必要な知識や技能を習得するための講義・演習、ホスト研究者の指導のもと産総研の研究室にて実施する本格研究の実践、キャリアカウンセリング、人材育成に協力いただける企業にて実施する実践的な On-the-Job Training (OJT) などの産総研独自のカリキュラムを通じて、即戦力として活躍できる人材を輩出し、社会的なニーズと有用な人材とのミスマッチの解消に寄与することを目的としている。

平成26年度の活動の概要

- ・イノベーションスクールの運営の基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること：

平成26年度は、ポスドクコースの博士研究員20名、博士課程コースの博士課程学生9名、講義専門コースの博士研究員3名の計32名に対して第8期生として開講した。具体的には、標準化と研究、知的財産と研究、技術経営とイノベーション、リスク評価、地域研究拠点の役割、公的研究機関の研究戦略・研究経営、経済産業省の人材育成政策、企業の研究経営・研究開発、研究開発とベンチャー起業、キャリア開発などについて講義し、インクルーシブデザイン、構成学輪講、研究発表会などの演習や、マナー・コミュニケーション研修などを行った。そして、ロールモデルとして就業している先輩スクール生を招聘した「先輩との交流会」を6月と11月に企画した。また、企業 OJT をポスドクコースの全てのスクール生20名に対して実施した。

産総研内部に対するスクールの効果の検証のため、過去のスクール生の指導研究者に対するアンケート調査を行った。

- ・その他イノベーションスクールの運営等に関すること：

講義・演習に関し受講者の提出した受講レポートや構成学輪講・研究発表レポート、企業 OJT 参加報告書を取りまとめた。また、研究の意義を異分野の方々の説明する実践の場として、SAT テクノロジーショーケース（2015.1.21）にてスクール生の研究紹介を行った。

より大きな効果を得るために、企業・大学等との連携を推進し、筑波大学と「企業と博士人材との交流会」（2014.9.24）（25名参加）、早稲田大学アーリーバードとの交流会（2014.12.24）（18名参加）を共催するとともに、関連イベントに講師を派遣することで、スクールのノウハウ普及につとめた。

機構図（2015/3/31現在）

[イノベーションスクール]

イノベーションスクール長	富樫 茂子
事務局長	神徳 徹雄

出版物・プレス発表等業務報告データ

【広報誌「産総研 TODAY」】（かっこ内は掲載年・月）

- ・AIST Network：「平成25年度「産総研イノベーションスクール」7期生修了式」、Vol.14、No.4（2014.4）
- ・座談会：「産総研イノベーションスクールを体験して～7期生からのメッセージ」Vol.14、No.7（2014.7）
- ・AIST Network：「2014年度「産総研イノベーションスクール」第8期開校式」、Vol.14、No.7（2014.7）
- ・AIST Network：「企業と博士人材との交流会」、Vol.14、No.4（2014.4）

【取材対応等】（かっこ内は発表日）

- ・JREC-IN Portal「将来のイノベーションを牽引する産業技術人材を育成」（2014.12）

【シンポジウム開催】

- ・「企業と博士人材との交流会」、共催：産総研／筑波大学、筑波大学、9企業、参加者25名（2014.9.24）

【活動紹介等】

- ・「産総研の産業技術人材の取り組み」、若手研究者成果報告会 基調講演、早稲田大学（2014.3.12）
- ・「産総研イノベーションスクールの概要」、ベトナム VAST マネジメント研修、産総研（2014.9.9）

4) つくばイノベーションアリーナ推進本部  
(Tsukuba Innovation Arena Headquarters)

所在地：つくば中央第2、つくば西

人員：32名（14名）

概要：

つくばイノベーションアリーナ推進本部は、つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点（TIA-nano）の形成を通じて、産総研のミッションである「21世紀型課題の解決」、「オープンイノベーションのハブ機能の強化」を業務としている。

TIA-nano は、つくば市の公的4機関（産総研、物質・材料研究機構、筑波大学及び高エネルギー加速器研究機構）が内閣府、文部科学省及び経済産業省の支

援と産業界との連携によって構築するナノテクノロジー研究・教育拠点である。

1. パワーエレクトロニクス拠点運営

パワーエレクトロニクス研究拠点の効率的運用のためにインフラ、管理体制および所内の制度の整備を行い、平成26年5月より24時間体制の施設運営を可能とした。民活型研究体 TPEC には企業30社が参画し、SiC 素材やデバイスからアプリケーションに渡るオープンイノベーションを推進した。

2. 人材育成

TIA 連携棟を中心として開催した「TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル2014」(7/22～9/26、参加者：935名、うち当所関連192名)や、TIA 連携棟内のパワエレ寄付講座の実験室開設によって人材育成に努めた。

平成26年度科学技術人材育成費補助事業に基づいて設立された人材育成コンソーシアム Nanotech CUPAL が始動し、NRP 育成対象者を3名選定し、4つの NIP コース(育成対象者21名)を実施した。

3. 共用施設の運営

平成25年度に運用開始した「共用施設等利用制度」を、SCR から先端ナノ計測施設と超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設(以上平成26年4月より)、ナノプロセッシング施設と機能性酸化物グリーンナノテクノロジー研究拠点(同7月)、蓄電池基盤プラットフォームと N-MEMS 研究開発拠点(同10月)へと運用拡大した。また、平成25年公開の「つくば共用研究施設データベース」を改修し、各種イベントにおいて利用促進の PR に努めた。

4. 所外連携と広報

平成26年度に締結された「TIA-nano に係る共同研究に関する協定」に基づき、TIA-nano 中核機関との共同研究を3件開始した。また、つくば国際戦略総合特区の推進機関、茨城県、つくば市との連携を深めた。各種展示会への出展、公開シンポジウムの開催、学術誌への TIA-nano 関連記事の投稿、パンフレット・ホームページの更新等、幅広い広報活動を行った。

機構図 (2015/3/31現在)

[つくばイノベーションアリーナ推進本部]

本部長	金山 敏彦
審議役	岩田 普
審議役	岡谷 重雄
審議役	岡田 道哉
審議役	鈴木 浩一
上席イノベーションコーディネータ	大久保 雅隆
イノベーションコーディネータ	発 正浩
総括企画主幹	榊原 陽一

[つくばイノベーションアリーナ企画室]	室長(兼) 榊原 陽一
[つくばイノベーションアリーナ連携推進室]	室長 國府田 真奈美
[共用施設調整室]	室長 秋山 守人
[スーパークリーンルーム運営室]	室長 井上 靖朗
[パワーエレクトロニクス拠点運営室]	室長 奥井 富士雄

つくばイノベーションアリーナ企画室

(Tsukuba Innovation Arena Planning Office)

(つくば中央第2)

概要:

担当業務は次のとおりである。

1. つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の施策の推進(以下「つくばイノベーションアリーナ推進」という。)に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること。
2. つくばイノベーションアリーナ推進におけるプロジェクトの企画、立案及び総合調整に関すること。
3. つくばイノベーションアリーナ推進に関する情報の収集、分析及び調査に関すること。
4. つくばイノベーションアリーナ推進に関する業務であって、他の所掌に属しないものに関すること。

つくばイノベーションアリーナ連携推進室

(Tsukuba Innovation Arena Collaboration Promotion Office)

(つくば西)

概要:

担当業務は次のとおりである。

1. つくばイノベーションアリーナ推進に関する外部機関との調整等の総括に関すること。
2. つくばイノベーションアリーナ推進に関する研究所の関係部署との調整に関すること。

共用施設調整室

(Open Research Facility Coordination Office)

(つくば中央第2他)

概要:

担当業務は次のとおりである。

1. 共用施設調整室に登録された施設、機器及び装置の利用(技術指導を含む。)に係る制度の整備及び運用並びに総合調整に関すること。
2. 共用施設調整室に登録された施設、機器及び装置を利用した依頼分析並びに研究用品の依頼試作及び工作に関すること。

スーパークリーンルーム運営室

(Super Clean Room Management Office)

(つくば西)

## 概要:

担当業務は次のとおりである。

1. スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等の設計、試作、評価及び実証に係る研究開発支援に関すること（産学官連携推進部の所掌に属するものを除く）。
2. スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等の設計、試作、評価及び実証に係る技術基盤の整備及び高度化に関すること。
3. スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等に係る技術指導又は成果の普及に関すること（広報部の所掌に属するものを除く）。
4. スーパークリーンルームの運営に関すること。

## パワーエレクトロニクス拠点運営室

(Power Electronics Innovation Management Office)

(つくば西、つくば中央第2)

## 概要:

担当業務は次のとおりである。

1. つくばイノベーションアリーナ推進のうち、パワーエレクトロニクス拠点の運営に関すること。
2. つくばイノベーションアリーナ推進のうち、パワーエレクトロニクスに係るイノベーションの推進の支援に関すること。
3. パワーエレクトロニクスに係る人材の育成に関すること。

## 5) 環境安全本部

(Environment and Safety Headquarters)

## ①【環境安全企画部】

(Environment and Safety Planning Division)

所在地：つくば中央第1

人員：22名（3名）

## 概要:

環境安全企画部は、安心・安全で良好な研究環境を持続的に提供することを目的として、環境安全本部傘下各部との有機的連携の下に、研究環境安全に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整等を通じて、産総研としてふさわしい研究環境の創出及び環境負荷低減に向けたエネルギーの有効活用の促進に関する業務を行っている。

機構図 (2015/3/31現在)

[環境安全企画部]

部長 中村 安宏

[環境安全総括室]

室長 金田 孝雄 他

[ファシリティマネジメント室]

室長 菊地 義男 他

-----  
平成26年度の主な活動

1. 省エネルギー及び地球温暖化対策
  - ・夏季のピークカットに貢献するため、下記施策の実施により、平成22年度比、つくばセンター12%、地域センター4～18%のピーク電力削減を達成した。
    - i) つくばセンター及び臨海副都心センターにおいて1週間の夏季輪番・一斉休暇の実施
    - ii) 研究廃水処理施設やヘリウム液化施設などの輪番運転、休日・夜間シフト運転、空調負荷の低減
    - iii) 技術研究組合に対して、夏季のピークカットへの協力を依頼
    - iv) 使用電力を可視化したページにより節電意識の向上を図った
2. 施設整備計画の策定と実行
  - ・基本インフラの更新時期や建物の閉鎖時期を示した産総研施設整備計画（平成26年度版）を策定した。計画に基づき、利用率の低い建物について、28棟15,061m<sup>2</sup>を閉鎖し、閉鎖決定された建物について、30棟8,999m<sup>2</sup>の解体撤去を完了した。
3. 産総研レポートの作成
  - ・環境配慮の取組及び実績について、SR 報告書「産総研レポート2014社会・環境報告」として公表した。特に、環境トピックスとして、2014年4月に開所した福島再生可能エネルギー研究所における省エネルギー対策について紹介した。
4. スペースの有効活用の推進
  - ・スペースを有効活用するため、管理監・地域センター所長による年2回の巡視を実施した。また、スペース有効活用審査委員会を毎月開催することにより、スペース配分及びスペースに関する方針決定に迅速に対応し、効率的な研究スペースの確保及びスペースの有効活用を推進した。
5. 工事及び工事関連役務の提供等の契約業務
  - 契約業務の実績として、工事及び工事関連役務の提供等の総契約件数は313件、うち入札によるものは159件。

施設の整備（平成26年度に産総研資産になった主なもの）

## 1) 新営棟建設

### ①研究拠点の再構築

#### (1) 目的

戦略産業分野の研究拠点等を再構築するため、老朽化した研究施設等の解体撤去、新設を行う

#### (2) 整備費用 104.7億円（平成24年度施設整備費補助金）

工事件名	施 工	工 期
北海道センター研究拠点（仮称）整備事業	伊藤組土建株式会社	平成25年6月17日 ～平成26年11月28日
北海道センター研究拠点別館（仮称）整備事業	伊藤組土建株式会社	平成26年3月3日 ～平成27年3月27日
東北センター研究拠点（仮称）整備事業	大和ハウス工業株式会社仙台支社	平成25年6月17日 ～平成26年10月31日
つくばセンター・ナノテク材料研究拠点（仮称）建築工事	大和ハウス工業株式会社茨城支店	平成26年1月17日 ～平成27年2月27日
つくばセンター・ナノテク材料研究拠点（仮称）電気設備工事	株式会社弘電社	平成26年1月24日 ～平成27年2月27日
つくばセンター・ナノテク材料研究拠点（仮称）機械設備工事	新菱冷熱工業株式会社	平成26年1月24日 ～平成27年2月27日
関西センター次世代蓄電池・健康医療研究拠点（仮称）建築工事	株式会社浅沼組大阪本店	平成26年2月19日 ～平成27年3月27日
関西センター次世代蓄電池・健康医療研究拠点（仮称）電気設備工事	西部電気建設株式会社	平成26年2月25日 ～平成27年3月27日
関西センター次世代蓄電池・健康医療研究拠点（仮称）機械設備工事	三建設工業株式会社大阪支店	平成26年2月25日 ～平成27年3月27日
九州センター研究拠点（仮称）整備事業	前田建設工業株式会社九州支店	平成25年6月17日 ～平成26年8月29日

## 2) 老朽化対策

### ①建物構造部改修<つくばセンター>

#### (1) 目的

耐震性が低い建物の構造部を補強するとともに、老朽化対策を行う。

#### (2) 整備費用 8.95億円（平成24年度施設整備費補助金（国庫債務負担行為分））

工事件名	施 工	工 期
つくば中央7-1棟耐震改修事業	清水建設株式会社関東支店	平成24年11月29日 ～平成26年8月20日
つくば中央7-1棟内装改修その他工事	松本建設株式会社	平成25年7月18日 ～平成26年3月28日

### ②老朽化施設・設備の緊急改修

#### (1) 目的

安全な研究環境の整備のため、特に老朽化が進んでいる施設・設備について、外壁建具改修、電力関連設備改修、給排水関連設備改修、排ガス処理設備改修、空調設備改修、廃水処理設備改修、エレベーター設備改修などの緊急改修を行う。

#### (2) 整備費用 223.3億円（平成24年度施設整備費補助金）

工事件名	施 工	工 期
つくば中央・東地区特高受変電設備他改修その他工事	株式会社日立製作所	平成25年5月27日 ～平成27年3月16日
つくば中央地区北・東地区研究廃水処理施設改修他工事	水ing株式会社東関東支店	平成25年6月25日 ～平成27年2月20日
つくば中央第1中央本館他電気設備改修その他工事	木村電設工業株式会社	平成26年3月31日 ～平成26年10月31日
つくば中央第2事業所電気設備改修その他工事	日本リーテック株式会社	平成26年2月26日 ～平成27年2月27日

## 産業技術総合研究所

工事件名	施 工	工 期
つくば中央4-1棟電気設備改修その他工事	向陽電気工業株式会社	平成26年3月5日 ～平成26年11月28日
つくば中央7-1棟他電気設備改修工事	東進電気株式会社取手支店	平成26年3月20日 ～平成27年1月30日
つくば中央7-1棟機械設備（衛生）改修工事	熱研プラント工業株式会社	平成26年3月13日 ～平成27年3月13日
つくば中央7-1棟内装改修工事	株式会社小川建設東関東支店	平成26年3月10日 ～平成27年1月28日
つくば中央3-1棟電気設備改修その他工事	向陽電気工業株式会社	平成26年2月20日 ～平成26年12月26日
つくば中央3-1棟機械設備（空調）改修その他工事	大成温調株式会社	平成26年2月20日 ～平成27年1月30日
つくば中央3-8棟機械設備（空調）改修その他工事	株式会社大西熱学	平成26年2月26日 ～平成26年11月28日
つくば中央5-1棟他電気設備改修その他工事	住友電設株式会社	平成26年2月13日 ～平成27年1月16日
つくば中央5-3棟機械設備（空調）改修その他工事	熱研プラント工業株式会社	平成26年2月24日 ～平成26年12月26日
つくば中央6-1棟内装改修工事	松本建設株式会社	平成26年2月14日 ～平成26年9月12日
つくば中央6-1棟電気設備改修工事	東芝 IT サービス株式会社	平成26年1月23日 ～平成26年9月12日
つくば中央6-1棟機械設備改修工事	株式会社柿本商会東京支店	平成26年1月27日 ～平成26年9月12日
つくば中央6-10棟機械設備（空調）改修その他工事	株式会社柿本商会東京支店	平成26年2月3日 ～平成26年9月30日
つくば西-1棟他電気設備改修工事	浅海電気株式会社東京本店	平成26年1月23日 ～平成26年10月30日
つくば西-1棟機械設備（衛生）改修工事	日本装芸株式会社	平成26年1月17日 ～平成26年6月30日
つくば東-1棟他内装改修工事	日本メックス株式会社	平成26年3月17日 ～平成27年2月13日
つくば東-1棟他電気設備改修工事	日本メックス株式会社	平成26年2月17日 ～平成27年2月13日
つくば東-1棟他機械設備改修工事	新日本空調株式会社関東支店	平成26年2月19日 ～平成27年2月13日
つくば中央第5事業所エリア機械設備（消火）改修その他工事	東芝 IT サービス株式会社	平成26年1月21日 ～平成26年10月15日
つくば中央5-1A棟他電気設備改修その他工事	住友電設株式会社	平成26年3月31日 ～平成27年1月16日
つくば中央第2事業所他スクラパー廃液貯留槽防液堤設置工事	日本設備工業株式会社東京事業部	平成26年5月9日 ～平成27年2月27日
臨海副都心センター別館他機械設備（空調他）改修その他工事	富士古河 E&C 株式会社	平成25年12月20日 ～平成26年7月31日
つくば中央第1事業所屋上防水改修工事	株式会社小川建設東関東支店	平成26年4月18日 ～平成26年12月26日
つくば中央第2事業所屋上防水改修工事	株式会社小川建設東関東支店	平成26年3月31日 ～平成27年1月15日
つくば中央第3事業所屋上防水改修工事	株式会社小川建設東関東支店	平成26年3月25日 ～平成26年12月15日
つくば中央第4事業所屋上防水改修工事	株式会社イズミ・コンストラクション	平成26年3月24日 ～平成26年9月30日
つくば中央第5事業所屋上防水改修工事	松本建設株式会社	平成26年4月16日 ～平成27年2月10日
つくば中央第6事業所屋上防水改修工事	アルプス建設株式会社	平成26年3月31日 ～平成26年10月17日

## 事業組織・本部組織業務

工事件名	施 工	工 期
つくば中央第7事業所屋上防水改修工事	日高見建設工業株式会社	平成26年5月15日 ～平成27年2月16日
つくば東事業所屋上防水改修工事	松本建設株式会社	平成26年3月13日 ～平成26年11月28日
つくば西事業所屋上防水改修工事	株式会社イズミ・コンストラクション	平成26年5月9日 ～平成26年11月28日
つくば中央5-1棟他外壁改修その他工事	松本建設株式会社	平成25年10月3日 ～平成26年8月29日
つくば東-4A棟他外壁改修工事	株式会社イズミ・コンストラクション	平成26年3月31日 ～平成27年1月30日
つくば西-5A棟他外壁改修工事	松本建設株式会社	平成26年3月31日 ～平成27年1月28日
北海道センターD1棟他電気設備改修工事	日本メックス株式会社北海道支店	平成26年3月6日 ～平成26年8月29日
東北センター屋外受変電設備その他改修工事	浅海電気株式会社東北営業所	平成26年2月19日 ～平成26年9月30日
東北センター機械設備（空調）改修その他工事	太洋テクニカ株式会社仙台支店	平成26年2月28日 ～平成26年9月30日
つくば西Aエネルギーセンター他石綿含有吹き付け材除去その他改修工事	松本建設株式会社	平成26年3月31日 ～平成26年12月26日
つくば中央第1事業所エレベーター監視設備改修その他工事	東芝エレベーター株式会社東関東支社	平成26年3月31日 ～平成26年9月30日
中部センター大型機器実験棟I屋上防水他改修工事	大有建設株式会社	平成26年3月10日 ～平成26年9月30日
中部センター研究本館I棟他屋上スクラバー防液堤設置工事	浦安工業株式会社名古屋支店	平成26年3月26日 ～平成26年9月12日
関西センター研究廃水処理施設改修工事	株式会社日立プラントサービス関西事業所	平成25年9月12日 ～平成26年5月31日
関西センター基礎融合材料実験棟他空調改修その他工事	サンエス工業株式会社	平成26年3月7日 ～平成26年11月28日
関西センター高圧配電線路改修工事	浅海電気株式会社	平成26年2月13日 ～平成26年7月31日
関西センター無機化学実験棟他内外装改修（建築）工事	株式会社金山工務店	平成26年4月30日 ～平成27年1月30日
関西センター無機化学実験棟内外装改修（機械設備）工事	三建設備工業株式会社大阪支店	平成26年4月30日 ～平成27年1月30日
関西センター無機化学実験棟内外装改修（電気設備）工事	朝陽電気株式会社	平成26年4月30日 ～平成27年1月30日
関西センター西守衛室改築その他工事	株式会社天馬工務店	平成26年5月9日 ～平成27年1月23日
四国センター機械設備（空調他）改修その他工事	徳寿工業株式会社	平成26年1月27日 ～平成26年9月19日
九州センター研究廃水処理設備改修工事	大橋エアシステム株式会社	平成26年2月21日 ～平成27年2月23日
九州センター第1棟建築改修工事	日本メックス株式会社九州支店	平成26年3月31日 ～平成27年2月6日
九州センター第1棟他電気設備改修工事	株式会社佐電工	平成26年3月10日 ～平成27年2月23日
九州センター第1棟機械設備改修工事	大橋エアシステム株式会社	平成26年3月7日 ～平成27年2月6日
九州センター第4棟空調改修その他工事	栄城設備工業株式会社	平成26年2月27日 ～平成26年10月17日
つくば中央・東地区機械設備（衛生）改修その他工事	高砂熱学工業株式会社茨城営業所	平成26年3月10日 ～平成27年1月9日
つくば西エネルギーセンター機械設備（衛生）改修その他工事	日本設備工業株式会社東京事業部	平成26年3月31日 ～平成26年12月10日

工事件名	施 工	工 期
つくばセンター防災監視システム非接触カードリーダー他改修工事	三菱電機株式会社	平成26年2月26日 ～平成27年3月13日
臨海副都心センター本館セキュリティシステム更新工事	株式会社クマヒラ	平成26年3月3日 ～平成27年1月30日
中部センター入退室管理システム更新工事	扶桑電通株式会社中部支店	平成26年3月3日 ～平成26年9月30日
関西センター入退室管理システム更新工事	株式会社クマヒラ関西支社	平成26年9月19日 ～平成27年1月31日
四国センター入退室管理システム更新工事	株式会社クマヒラ	平成26年2月28日 ～平成27年1月31日
九州センター入退室管理システム更新工事	株式会社クマヒラ九州支社	平成26年10月24日 ～平成27年2月6日

## ③老朽化施設・設備の緊急改修

## (1) 目的

老朽化した電力関連設備、空調設備、外壁建具、給排水関連設備、排ガス処理設備等の基盤インフラの緊急改修を行う。

## (2) 整備費用 37.9億円（平成25年度施設整備費補助金）

工事件名	施 工	工 期
つくば中央4-9棟空調改修その他工事	第一工業株式会社	平成26年3月31日 ～平成26年12月26日
つくば中央2-2A・B・C棟熱源機器改修その他工事	高砂熱学工業株式会社茨城営業所	平成26年5月19日 ～平成27年3月20日
つくば中央第一事業所外壁・中庭改修工事	株式会社シミズ・ビルライフケア	平成26年6月26日 ～平成27年3月20日
つくば中央5-2棟04601室他空調改修工事	山田空調設備株式会社	平成26年5月29日 ～平成26年9月30日
つくば中央第1事業所他屋上スクラバー防液堤設置工事	高砂熱学工業株式会社茨城営業所	平成26年5月28日 ～平成27年3月27日
つくば中央第2事業所他排水設備改修その他工事	高砂熱学工業株式会社茨城営業所	平成26年6月20日 ～平成27年3月20日
つくば中央6-9棟他機械設備（空調）改修その他工事	千葉東京冷機株式会社	平成26年6月19日 ～平成27年2月27日
つくば中央第5事業所電気設備改修工事	住友電設株式会社	平成26年7月24日 ～平成27年3月18日
つくば東事業所電気設備改修工事	株式会社日本メックス	平成26年7月25日 ～平成27年2月27日
つくば中央2-2棟他電気設備改修その他工事	イガラシ綜業株式会社	平成26年5月29日 ～平成27年3月20日
つくば中央3-1棟6階内装改修その他工事	株式会社田崎技術	平成26年8月20日 ～平成27年3月9日
つくば中央2-1棟内装改修その他工事	株式会社サンセツ	平成26年10月21日 ～平成27年3月27日
つくば中央5-2棟内装改修その他工事	新菱テクニカルサービス株式会社	平成26年7月10日 ～平成27年2月27日
つくばセンター直流電源設備改修工事	株式会社新電気	平成26年9月30日 ～平成27年3月11日
つくば中央地区南系統生活排水管（管更生）改修工事	株式会社大阪防水建設社	平成26年9月30日 ～平成27年2月27日
つくば中央地区北系統生活排水管（管更生）改修工事	管清工業株式会社	平成26年9月30日 ～平成27年2月27日
つくば中央3-1A棟排水設備改修その他工事	新生ビルテクノ株式会社	平成26年10月17日 ～平成27年3月27日

## ②【安全管理部】

(Safety Management Division)

所在地：つくば中央第1

人員：23名（8名）

概要：

安全管理部は、研究所の安全衛生の管理並びに環境保全、防災対策等に関する業務を行っている。安全管理及び環境保全は、産総研で働く職員のみならず周辺住民の安全及び環境にも関わる重要な事項である。また、産総研の組織にとっても生命線であり、あらゆる種類の事業を実施するにあたって最優先事項であると位置付けている。

安全管理部は、産総研環境安全憲章に記載する基本的活動理念を実現、遂行するために、他の関連部署との密接な連携と協力のもと、安全で快適な研究環境を創出し、これを確保することを最上の活動目的としている。この目的を実現するため、安全ガイドラインやマニュアル等の整備と普及、環境安全関連の施設及び設備整備と改善等のハード及びソフト両面での積極的活動を行うとともに、環境影響低減化に向けた活動及び事故発生数抑制のため全職員の環境安全に対する意識の向上を図る活動を重点的に行っている。

機構図（2015/3/31現在）

## [安全管理部]

部長 丸山 明彦  
次長 上岡 晃  
次長 望月 経博  
審議役 飯田 光明  
部総括 安富 正

## [安全企画室]

室長 古田 清史  
室長代理 國府田 勝実  
総括主幹 森本 研吾  
総括主幹 白波瀬 雅明 他

## [施設管理室]

室長 安富 正 他

## [ライフサイエンス実験管理室]

室長 石村 美雪 他

## [放射線管理室]

室長 上岡 晃  
室長代理 吉成 幸一  
総括主幹 松本 哲一 他

平成26年度の主な活動

## 1. 安全衛生管理体制の水準向上及び維持

## 1) 安全衛生管理の徹底、強化等

- ・安全衛生委員会（各事業所月1回）及びユニット長巡視（年2回）の立会い、指導を行った。
- ・グループ／チーム安全衛生会議（最低月1回）の実施状況の把握及び実施の徹底、指導を行った。
- ・事故、ヒヤリハット報告の原因分析等を行い、再発防止策等の周知及び安全意識の醸成等による事故低減の対策を行った。
- ・安全ガイドラインについて、適宜法改正の反映や実状にあわせた新たな対策の追加等の改定を行った。また、安全教育の充実化を図るため安全ガイドラインの日本語及び英語のビデオ化を行った。
- ・高圧ガス及び薬品管理に関し、高圧ガス製造保安責任者及び危険物取扱者等の資格取得の促進措置を講じるとともに、新規安全講習会を企画立案し9月以降4回の講習会を開催した。また、各事業所において高圧ガス及び薬品の取扱に関する安全講習会を開催した。
- ・上記の他、資格取得講習会や安全教育の企画及び開催を行った。

## 2) 環境安全マネジメントシステム（ESMS）

- ・各事業所の内部監査に立会い、運用に関するアドバイスを行った。また、全国安全衛生管理担当者会議において、各事業所における改善点や参考となる取組み事例などの情報共有を図った。

## 3) 事故防止活動

- ・全国総括安全衛生管理者補佐会議（月1回）を開催し、事故ヒヤリハット報告及び環境安全に関する各種情報等の共有及び周知を行った。
- ・全国の地域センター所長及び管理監とTV会議による安全管理報告会（毎朝）を実施した。また、報告事項を毎月取りまとめ、各事業所の事業所会議等を経由して職員等全員へ周知した。
- ・全国安全衛生管理担当者会議（年2回）を開催し、安全衛生に関する意見交換及び情報共有を行い、実務担当者の意識醸成を図った。

## 2. 環境影響低減化活動

- ・水質汚濁防止法、下水道法、労働安全衛生法等の法令に基づく特定施設等の届出を適切に行った。
- ・廃棄物処理の委託先の中間処理場及び最終処分場の現地調査を実施し、処理が適正に行われていることを確認した。
- ・水質汚濁防止法にかかる特定施設の点検並びに下水道法及び騒音規制法等にかかる環境測定を、地域センター及びつくばセンターにおいて実施した。
- ・有害物質の漏えい・流出を想定した緊急事態対応訓練を10事業所で実施した。

## 3. 個別事項の法令遵守並びに施設、設備及びシステム



## の整備、運用

環境や化学物質等の関連法規を遵守するため、危険物、高圧ガス、ライフサイエンス実験、放射線管理等の個別事項の管理監督、薬品・ボンベのデータベースによる管理を実施した。

## 1) 化学物質管理

- ・薬品ボンベ管理システムを用いて、消防法、建築基準法、高圧ガス保安法等の法令遵守状況を監視し、管理状況について各事業所の総括安全衛生管理者あてに報告を行った。
- ・ユニットに配置されている薬品取扱責任者を通して、法改正情報の周知、危険薬品等の減量化等の薬品管理の徹底を推進した。また、研究成果物等の外部提供に際しては、法令遵守の確認を行うため、安全管理部長等の承認手続きを実施した。
- ・平成26年度より、一定数量以上の危険薬品等を管理等する研究者については、法令の定めによらず、危険物取扱者、高圧ガス製造保安責任者等の資格の取得を義務付けるとともに、危険薬品等の取扱者等については、所内で実施する「安全講習会」への参加を義務付けることにより、危険薬品等に関連する事故等の未然防止に取り組んだ。

## 2) ライフサイエンス実験管理

- ・ライフサイエンス実験の倫理面及び安全面から、実験計画を審議する7つの委員会の運営を行うとともに、ヒト由来試料実験、組換え DNA 実験、動物実験及び生物剤毒素使用実験現場の実地調査を実施した。
- ・人を対象とする医学系研究に関する倫理指針の施行を見据え、委員会体制及び規程要領類の見直しに向けた準備を行った。
- ・動物実験の実施に関わる自己点検評価を公開した。
- ・組換え DNA 実験、動物実験及び微生物実験並びにヒト由来試料実験、人間工学実験、医工学応用実験の従事者向けの教育訓練を実施した。

## 3) 放射線管理

- ・放射線業務従事者等の一元管理を継続して実施し、一層の効率化を推進するために管理システムの改修を行った。
- ・放射線業務従事者、エックス線装置の使用者等に対する教育訓練を実施した。
- ・各事業所における放射線管理体制を強化するため、放射性物質の使用及び管理に関する現地調査を行い、法令遵守状況に問題が無いことを確認した。  
つくばセンターに集約化した核燃料物質の法的管理を継続して行った。
- ・放射線管理業務の効率化について、北海道センターの放射線関連施設の廃止を完了させるとともにつくばの放射線施設廃止の検討を進め、また、防護対象核燃料物質の一部の外部移管を完了させ、残りにつ

いても国外移管に向けた検討を開始した。さらに、平成24年度に実施した核燃料物質の集約化に伴い、4事業所（つくば中央第3及び西、関西センター、四国センター）の核燃料施設廃止手続きを完了させた。

- ・福島第一原子力発電所内での廃炉関連技術に関する研究について、法令に基づく個人の被ばく管理、及び研究現場での安全管理体制の確認を実施することにより、研究実施を支援した。
  - ・平成27年度の法人名称変更等に伴う各事業所等の放射線・核燃料関連規程類の変更作業を行い、必要な法定手続き等を行った。また、管理の合理化等のためにエックス線障害予防要領の変更を行った。
- 4) 施設の維持保全
- ・つくばセンターにおける施設、設備及び植栽に係る維持管理及び定期点検の実施並びにエネルギー供給施設及び廃水処理施設の運営管理を行った。
  - ・都市ガス設備の縮小方針に基づき、つくばセンターにおいて約30%、また九州センターにおいてすべての都市ガス設備の使用を廃止した。
  - ・施設設備の維持管理・修繕に関しては、安全確保と設備機能確保の観点、また、品質とコストの調和を考慮して優先順位を判定し、維持管理及び修繕を実施した。
  - ・特別高圧受変電設備、エネルギー・動力監視システム、及び研究廃水処理施設等の設備改修事業に参画し、仕様調整にあたり維持運営、法令対応及び環境保全の観点から指導を行うとともに、施工にあたり管理監督を行った。
- 5) セキュリティ対策
- ・セキュリティ設備の維持保全に努めるとともに、老朽化設備の改修方針に従って、設備改修を実施した。
4. 防災及び地震対策
- ・緊急地震速報の全国訓練への参加とともに地域センター及びつくばセンターにおいて防災訓練を実施した。また、訓練結果等を踏まえ、つくばセンター防災業務マニュアルの見直しを行った。
  - ・防災対応マニュアル及び産総研業務継続計画（BCP）で定める安否確認の訓練を各地域センター及び事業所ごとに実施した。
  - ・防災用品の備蓄マニュアルに基づく食糧等の一括調達の実施により地域センター及びつくばセンターの備蓄品の標準化を推進した。
5. その他
- ・つくばセンターにおいて、近隣住民から、研究所の敷地内から飛散する松の枯葉による被害の改善要望を受けて、住民との協議を行い支障木を伐採する等の対応を行った。

## ③【施設整備部】

(Facilities Division)

所在地：つくば中央第1

人員：20名

概要：

施設整備部は、世界的にも高い競争力を維持し多様な産業技術の研究開発を推進する産総研での、安全で良好な研究環境を継続的に提供するため、施設整備計画に基づく施設・設備の効率的かつ効果的な整備と、工事の品質向上及び工事に起因する事故・ヒヤリハットの低減に向けた取り組みを実施している。また、施設整備業務の体制強化を図るため、施設専門人材の育成にも取り組んでいる。

機構図（2015/3/31現在）

[施設整備部]

部長 五十嵐 直幸

部総括 小林 良三

[技術管理室]

室長 箕輪 克美 他

[施設整備室]

室長 須貝 正秋

総括主幹 小野 一洋 他

平成26年度の主な活動

新たな研究開発新拠点の円滑な整備や老朽化対策を含む施設整備計画を迅速かつ適切に実施するとともに、主に以下の業務を実施した。

- 研究拠点の再構築及び老朽化対策にかかる施設整備業務
  - 研究拠点の再構築として、北海道、東北、つくば、関西、九州の各センターにおいて、経済性を考慮しつつ、エネルギー効率が高く、かつ汎用性の高い研究施設の建設工事を行い、計画通り完成させた。（平成26年度中に全国で計7棟の新棟が完成）
  - 前例のない規模での老朽化対策において、施設維持管理コストの低減、安全確保、環境保全に配慮した設計を行うとともに、研究活動への影響の最小化を図りつつ、つくば中央・東地区特高受変電設備（平成27年3月完成）、つくば中央地区北・東地区研究廃水処理施設（平成27年2月完成）、各事業所電源盤等の大規模研究インフラ施設の改修工事を完成させた。
- 「グローバル認証基盤整備事業（大型パワーコンディショナ）」施設整備業務

- 福島再生可能エネルギー研究所における、大型パワーコンディショナ等を対象とした試験施設の建設に着手した。高品質な施工の確保及び安全で環境に配慮しつつ、当初の計画どおり工事を実施中。（平成28年1月完成予定）

## ④【情報基盤部】

(Information and Communication Infrastructure Division)

所在地：つくば中央第1

人員：14名（1名）

概要：

情報基盤部は、我が国有数の情報技術に関する研究を行っている産総研の特長を最大限に活かし、最先端の技術の知見を用いて、全所的な情報ネットワークの構築・管理、情報セキュリティポリシーの運用、及び基幹業務システムの構築・管理・支援を実施している。また、産総研の情報基盤の高度化を図り、より生産的な研究活動と円滑で効率的な業務推進を支援する役割を担っている。

機構図（2015/3/31現在）

[情報基盤部]

部長（兼）中村 安宏

次長 正木 篤

審議役 坂上 勝彦

部総括 関根 英二

情報企画グループ長 藤原 智晴

情報基盤グループ長（兼）正木 篤 他

平成26年度の主な活動

情報企画グループ、情報基盤グループの2グループ体制で、下記の業務を実施した。

- 情報セキュリティの向上
  - 情報セキュリティ意識の啓発、確認のためのセルフチェックとともに、個人情報保護セルフチェックを実施した。
  - 産総研の情報セキュリティ対策のPDCAサイクルを確立するため、研究推進組織等に対する情報セキュリティ監査及び全ての外部公開サーバに対する脆弱性診断を実施した。また、前年度の監査対象についてフォローアップ監査（改善確認）を実施した。
  - 情報セキュリティ研修（e-ラーニング）のコンテンツを見直すとともに、イントラシステムの利用者の全員が受講する仕組みを取り入れて実施した。
  - 「政府機関の情報セキュリティ対策のための統一規範」（平成26年度版）に準拠した情報セキュリティポリシー（基本方針、規程、要領、実施ガイド）の

改定を行うための調査分析を実施した。

2. 基幹業務システムの運用、保守、管理

- ・基幹業務システムのハードウェアの更新について、スムーズな移行を実施した。新しい技術を積極的に採用し、大幅にライセンスコストを抑制しつつも性能とセキュリティ面は十分に確保することを達成した。
- ・関西センターに災害対策システムを構築し、事業継続計画に沿った稼働を行った。

3. 情報ネットワークの運用、保守、管理

- ・地域センターを含めた基幹ネットワーク機器の一斉更新を実施した。
- ・つくばセンターと地域センターを結ぶ拠点間ネットワークを更新し、安定したネットワークを確保した。
- ・つくばセンターからのインターネット接続をつくばWAN から SINET へスムーズに切り替えを実施した。

⑤【情報化統括責任者】

(Chief Information Officer)

所在地：つくば中央第1

概要：

情報化統括責任者（CIO）は、産総研の情報化戦略の企画及び立案並びに研究所の情報化に関する業務の統括をミッションとしている。そのため、(1) 電子行政推進国・独立行政法人等協議会を通じて、情報化に関して政府との調整を行うこと、(2) 産総研の情報化戦略委員会を主宰して、情報化戦略及び情報化に関する重要事項を審議し、情報化関連予算の調整、情報システムによる業務効率化・高度化を行うこと等を実施している。

機構図（2015/3/31現在）

情報化統括責任者 (兼) 島田 広道  
 情報化統括責任者補佐 (兼) 中村 安宏  
 (兼) 正木 篤

平成26年度の主な活動

情報化戦略委員会の役割を研究所の業務システムを活用した効率的な業務運営を審議することを柱とするとともに、分科会を情報化推進タスクフォースとして再編するため、「情報化戦略委員会要領」を一部改正した。

6) 総務本部 (General Affairs Headquarters)

①【業務推進支援部】

(General Affairs Support Division)

所在地：つくば中央第2

人員：9名

概要：

業務推進支援部は、産総研の研究支援事務、庶務業務等の企画、立案及び総合調整並びに業務効率化の推進等の業務を行っている。

機構図（2015/3/31現在）

[業務推進支援部]	部長	向坪 均
	部総括	宮本 晃之
[支援企画室]	室長	池田 勉 他
[支援業務室]	室長(兼)	宮本 晃之 他
[情報公開・個人情報保護推進室]	室長(兼)	宮本 晃之 他

支援企画室 (Support Planning Office)

(つくば中央第2)

概要：

1. 研究支援事務及び庶務等の業務の企画及び立案並びに総合調整に関すること。
2. 研究業務推進部等における業務の総合調整に関すること。
3. 外部機関による検査及び監査への対応に関すること。
4. 研究所の業務効率化の推進に関すること。
5. 研究所の業務であって、他の所掌に属しないものに関すること。

支援業務室 (General Affairs Support Office)

(つくば中央第2)

概要：

1. つくば本部の役員の秘書業務に関すること。
2. つくば本部において開催される理事長が主宰する会議の庶務に関すること。
3. 文書及び公印に関すること（他の所掌に属するものを除く）。
4. 職員等の勤務及び服務管理に関すること（他の所掌に属するものを除く）。
5. 役職員等及び研究所の業務を行う者であって役職員等以外の者の外国派遣の渡航手続に関すること（他の所掌に属するものを除く）。

情報公開・個人情報保護推進室

(Disclosure and Personal Information Protection Promotion Office)

(つくば中央第2)

概要:

1. 研究所の情報公開に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること。
2. 研究所の情報公開の実施等に関すること。
3. 研究所の保有する情報の公開及び提供の推進に関すること。
4. 研究所の個人情報保護に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること。
5. 研究所の個人情報の本人開示の実施等に関すること。
6. 研究所の保有する個人情報の保護の推進に関すること。

②【人事部】

(Human Resources Division)

所在地: つくば中央第1、つくば中央第2、  
つくば中央第3

人員: 56名 (5名)

概要:

人事部は、研究所の人事、労務、福利厚生に係る業務を実施している。

機構図 (2015/3/31現在)

[人事部]

部 長	岸本 道弘
審 議 役	小滝 義昭 菊池 恒男
部 総 括	田崎 英弘
— [人事室]	室長 榊原 修 他
— [勤労室]	室長 狩野 篤 他
— [人材開発企画室]	室長 玄地 裕 他
— [バリアフリー推進室]	室長 (兼) 田崎 英弘 他
— [厚生室]	室長 戸田 昭彦 他
— [健康管理室]	室長 松本 卓 他

人事室 (Personnel Office)

(つくば中央第2)

概要:

- ① 役職員の任用に関すること。
- ② 個人評価制度の構築、実施に関すること。
- ③ 給与の支給に関すること。
- ④ 人件費の把握、見直しに関すること。
- ⑤ 兼業の許可に関すること。
- ⑥ 栄典及び表彰に関すること。

勤労室 (Staff Office)

(つくば中央第2)

概要:

- ① 職員等の労働条件の基準に関すること。
- ② 労使関係に係る総合調整に関すること。
- ③ 服務規律に関すること。
- ④ 役職員等の懲戒等に関すること。
- ⑤ コンプライアンス推進委員会に関すること (ハラスメントに関するものに限る)。

人材開発企画室

(Human Resources Development Planning Office)

(つくば中央第2)

概要:

- ① キャリアパス開発及び研修企画に関すること。
- ② 職員等の研修 (計量研修センター及びイノベーションスクールの所掌に属するものを除く) の実施に関すること。
- ③ その他人材開発に関すること。

バリアフリー推進室 (Barrier-free Promotion Office)

(つくば中央第2)

概要:

- ① 障害者の雇用促進に関すること

厚生室 (Welfare Office)

(つくば中央第1、つくば中央第2)

概要:

- ① 役職員等の福利厚生に関すること。
- ② 役職員等の災害補償に関すること。
- ③ 宿舎に関すること。
- ④ 職員等の退職の相談に関すること。
- ⑤ 経済産業省共済組合に関すること。
- ⑥ 職員等の社会保険事務に関すること。

健康管理室 (Healthcare Office)

(つくば中央第1)

概要:

- ① 役職員等の健康診断、健康管理及び保健指導に関すること。
- ② 職員等のメンタルヘルスに関すること。
- ③ 産業医に係る業務に関すること。

業務報告データ

年度特記事項

1. 平成26年度採用実績

① 事務職員	20名
② 研究職員 (パーマネント)	12名
③ " (招聘型任期付)	0名
④ " (博士型任期付)	65名

- ⑤ " (研究テーマ型任期付) 4名  
計 101名

2. 平成26年度研修実績

	コース	実施回数	受講者数
①職員等基礎研修 (e-ラーニング)	4	16回	11,279名
②階層別研修	16	17回	622名
③プロフェッショナル研修	11	94回	1,263名
合計	31	127回	13,164名

③【財務部】

(Financial Affairs Division)

所在地：つくば中央第2

人員：42名

概要：

財務部は、独立行政法人制度の趣旨に則り、研究支援の高度化及び組織運営の高度化を、財務及び会計に係る諸施策を通じて実現することにより、産総研ミッションの遂行に寄与することとしている。

なお、財務及び会計に係るコンプライアンスとリスク管理を適切に行いつつ支援業務を遂行するため「財務室、経理室、出納室及び調達室」を配置している。

<平成26年度活動トピックス>

○有形固定資産等の適正な管理

有形固定資産等管理要領の見直しや資産管理業務の適正な手続き等について研修を実施し、周知徹底を図ることによって有形固定資産等を適切に管理し有効に活用できるようにした。また、効率的な棚卸し作業が行えるよう電子タグを用いた資産管理を実施しているところ。

○業務運営システムの見直し

文部科学省より「研究機関における公的研究費の管理・監査のガイドライン（実施基準）」（平成26年2月18日改正）を受け、業務運営ルールの見直しを行った。「調達請求その他の調達事務の詳細手続に関する要領」の制定、仕様書作成マニュアルの新たな作成などの調達業務の新たなルールの制定、外国出張時に職員が利用できる航空機クラスや立替払い業務などの見直しを行った。

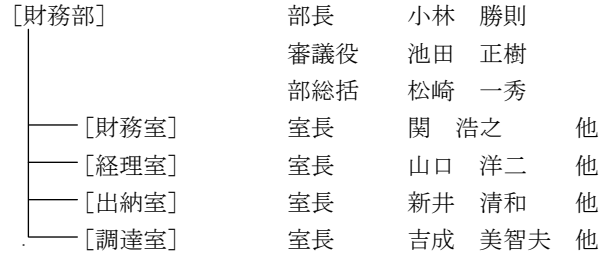
○独立行政法人通則法の改正及び独立行政法人会計基準の改訂への対応

独立行政法人通則法（平成26年6月13日改正・平成27年4月1日施行）の改正に伴い、PDCA サイクルが機能する目標・評価の仕組みの構築、監事の機能強化（監事の監査報告書の作成）が導入された。

また、「独立行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」（平成27年1月27日改訂）と、「独立

行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」に関する Q&A（平成27年3月改訂）の改訂に伴い、中長期目標、中長期計画の評価単位ごとのセグメント情報の開示や、運営費交付金の収益化基準として業務達成基準の導入が定められた。平成28年4月からの実施に向けて、平成27年度中に対応の検討を行う。

機構図（2015/3/31現在）



財務室 (Finance Office)

(つくば中央第2)

概要：

財務及び会計に係る業務の企画及び立案並びに総合調整、予算のとりまとめ、予算の分野別情報の管理、余裕金の運用、資金の借入及び償還、年度計画に基づく実行予算の配賦の計画及び示達、予算の執行管理、財務及び会計に係る制度の整備、運用及び推進、財務及び会計に係る業務の審査、財務分析、財務及び会計に係る業務であって、他の所掌に属しないものに関する業務を行っている。

○収入件数 約7,400件、収入金額 約1,212億円。

経理室 (Accounting Office)

(つくば中央第2)

概要：

決算、消費税の確定申告、計算証明、財務会計システムの管理、有形固定資産の管理（他の所掌に属するものを除く。）に関する業務を行っている。

出納室 (Treasury Operations Office)

(つくば中央第2)

概要：

資金計画、金銭の支払、出納及び保管、有価証券の管理、税務、旅費の支給に関する業務を行っている。

○支払件数 約14万件、支払金額 約1,263億円。

○旅費件数 約7万9千件、支払金額 約24億円。

調達室 (Procurement Office)

(つくば中央第2)

概要：

物件の調達、物件の売払及び賃貸借等の契約、役務の提供等の契約、調達物品等の市場調査、競争参加者の資格審査、調達業務の調整、政府調達に係る協定に

基づく調達公告等の官報掲載、物件の調達等に係る監督及び検査に関する業務を行っている。

○全契約件数 約84,000件

○政府調達協定の対象案件数 127件、約176.4億円

○インターネット調達

単価契約を締結している電子購買業者の電子購買サイト上で、商品検索・注文を行い、翌日又は翌々日には指定場所まで納品され、支払は毎月一括というスキームのインターネット調達を運用している。オフィス用品（約34,000品目）、理化学用品（全般）、電子部品（約72,000品目）、試薬類（全メーカー）、書籍（全般）、雑貨（約141,000品目）の物品が調達可能。利用件数約4.6万件、利用金額約9.3億円。

○グリーン購入法の適用

「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」に基づき、産総研として、平成26年度における「環境物品等の調達の推進を図るための方針」を定め、取り組んでいる。

#### ④【ダイバーシティ推進室】

(AIST Diversity and Equal Opportunity Office)

所在地：つくば中央第2

人員：6名（3名）

概要：

ダイバーシティ推進室は、性別、国籍、年齢等にかかわらず個人の能力を存分に発揮できる環境の実現を目指し、所内システムの改善や職場環境の整備を進めるため、多様性活用（以下ダイバーシティ）の推進に係る業務を行う。

##### 【平成26年度の主な活動】

「産業技術総合研究所第3期中期目標期間（平成22～26年度）におけるダイバーシティの推進策」のアクションプランにより、職員の多様な属性がもたらす価値・発想を活かす職場環境の整備を目指して、関係部署等と連携して以下の活動を実施した。

##### ●ダイバーシティ意識の啓発・浸透

所内研修においてダイバーシティについての講義を実施した。産総研におけるダイバーシティ推進の各種取り組みを、記者懇談会や広報誌「産総研 TODAY」において発信した。また、文部科学省「女性研究者研究活動支援事業合同シンポジウム」に参加し、産総研の女性研究者支援に関する取組を報告した。

##### ●女性研究者及び外国人研究者の積極的な採用・活用

女性候補者の募集を促進するため、各分野採用担当者に対し採用状況のデータを提示した。理系女子限定合同説明会の参加等の広報活動を行い、第3期の累積採用者に占める女性比率は16.7%になった。

また、日本語の業務支援が必要な外国人グループ長

およびチーム長へ事務職員を平成26年度から試行配置した。AIST インターナショナルセンターをアクセスの便利なつくば中央地区中心部へ移転し、支援を拡大した。更に産総研規程類等の英訳改訂を行った。

##### ●キャリア形成支援における共同参画のための方策

若手研究者のキャリア形成に向けたセミナーを開催した。また、女性ユニット長を囲むロールモデル懇談会を開催した。

##### ●仕事と生活の調和のための支援

標準時間制勤務者の育児支援として、育児時差出勤制度を新設した。

「子育てサポート企業」として、厚生労働大臣による基準適合一般事業主の認定を受け、次世代認定マーク「くるみん」を取得した。厚生労働省が普及促進する、仕事と介護を両立できる職場環境の整備促進のためのシンボルマーク「トモニ」の活用を開始した。また、第3回次世代育成支援行動計画を策定した。

更に、外部専門家および産総研研究者による介護関連セミナーを開催した。

##### ●国、自治体及び他の研究教育機関等との連携

つくば市の男女共同参画審議会委員を務める等連携協力を行った。ダイバーシティ・サポート・オフィス（DSO）の事務局として、懇話会開催等、男女共同参画推進及び参加する研究教育機関間の連携を深めた。

##### ●ダイバーシティの総合推進

ダイバーシティ推進委員会を1回開催した。

機構図（2015/3/31現在）

室長 山田 理

総括主幹 フェドロフ ドミトリ

主幹 加藤 進

#### ⑤【法務室】

(Legal Office)

所在地：つくば中央第2

人員：5名

概要：

法務室は、(1)規程類及び契約書等の形式審査、(2)利益相反マネジメント、(3)訴訟事務、(4)法律相談等に係る業務を行っている。

##### 【平成26年度の主な活動】

##### ●利益相反マネジメントの実施

・役職員等を対象として、年2回（上期:8月、下

期:3月)の「利益相反に係る定期自己申告」を実施し、対象者全員(上期3,057名、下期3,080名)からの申告を受けた。また、今年度は利益相反が懸念される職員8名に対し、外部の利益相反カウンセラーによるヒアリング等を実施した。

-----  
機構図(2015/3/31現在)

室長(兼務) 岡村 雄治

## 7) 評価部 (Evaluation Department)

-----

所在地:つくば中央第1

人員:18名(15名)

概要:

評価部のミッションは、①研究ユニット及び研究関連等業務の活動の活性化・向上を促すこと、②評価結果を経営判断に活用し自己改革に適切に反映すること、③評価結果を公開して透明性の確保と国民の理解を促し説明責任を果たすことである。

評価結果は理事長に報告するとともに、社会や国民への説明責任と併せて、産総研の活動についてより広い理解が得られるよう、評価報告書として刊行する。

### 1. 研究ユニット評価

第2期中期目標期間から導入したイノベーションの創出に資することを重視した「アウトカムの視点からの評価」を引き続き継続し、外部委員による評価のさらなる充実、評価内容の見直し等の改善を行い、研究ユニット評価を実施した。

研究ユニット毎に研究ユニット評価委員会(外部委員と内部委員で構成)を設置して、研究ユニット評価及び研究ユニット評価フォローアップを行った。外部委員は延べ227名、内部委員は延べ80名であった。

#### 1) 研究ユニット評価

「研究ユニット全体のシナリオ・ロードマップ」、「ユニット戦略課題毎のロードマップ・アウトプット」、「イノベーション推進への取り組み」、「研究ユニット運営の取り組み」について評価を行い、評点とコメントによる評価を実施した。本評価は隔年度実施であり、平成26年度は30研究ユニットを対象とした。

#### 2) 研究ユニット評価フォローアップ

研究ユニット評価を実施しない年度には評価委員との「意見交換」あるいは「開始時意見交換会」を実施し、研究ユニット評価の信頼性の向上を図るとともに、評価委員の評価対象の把握と理解の機会の拡大を図った。平成26年度は10研究ユニットを対象とした。

### 2. 研究ユニット活動総括・提言

研究ユニット評価の結果等に基づき今後の研究、組織のあり方を提言する「研究ユニット活動総括・提言委員会」を開催した。平成26年度は4研究ユニットを対象とした。

### 3. 研究関連等業務活動評価

研究関連等業務活動の評価について、第3期中期目標期間では、①イノベーション推進、産業人材育成等に係わる業務、②地域活性化に係わる業務を対象に評価を行った。

平成26年度は、イノベーション推進本部と地域センターにおける地域活性化業務活動の評価を実施した。

-----  
機構図(2015/3/31現在)

評価部 部長	(兼) 島田 広道
首席評価役	阿部 修治、永壽 伴章、栗本 史雄、竹内 浩士、挟間 壽文、本間 一弘、三戸 章裕
次長	遠藤 秀典
審議役	中村 徳幸、秋道 斉
室長	中山 一彦、田村 収

-----

評価企画室 (Evaluation Planning Office)

(つくば中央第1)

概要:

評価に係る業務の企画及び立案並びに総合調整、研究推進に係る活動以外の評価、評価に係る業務であって、他の所掌に属しないものに関する業務を行う。

研究評価推進室 (Research Evaluation Office)

(つくば中央第1)

概要:

研究推進に係る活動の評価に関する業務を行う。

業務報告データ

平成26年度 研究ユニット評価報告書(平成27年5月)

平成26年度 研究関連等業務活動評価報告書(平成27年5月)

第3期中期目標期間 研究開発評価報告書(平成27年5月)

\*産総研公式ホームページから閲覧可能

(<http://unit.aist.go.jp/eval/ci/report.html>)

8) 広報部 (Public Relations Department)

(つくば中央第2、つくば中央第1)

所在地：つくば中央第2、つくば中央第1

人員：21名 (4名)

概要：

広報部は、産業技術や国民生活の向上に貢献することを目的として、報道発表、ホームページ、広報誌、パンフレット、所内公開、イベント出展等の広報活動を通じ、広く国民に対して研究所の研究成果を分かりやすい情報として提供している。

機構図 (2015/3/31現在)

[広報部] 部長 (兼) 四元 弘毅

次長 助川 友之

審議役 高橋 正春

審議役 石井 武政

総括主幹 下村 正樹

総括主幹 梶原 茂

主幹 小笠原 啓一

[広報企画室] 室長 長山 隆久 他

[報道室] 室長 川村 栄浩 他

[広報制作室] 室長 河合 健二 他

[科学・技術コミュニケーション室]

室長 田沼 弘次 他

広報企画室 (Public Relations Planning Office)

(つくば中央第2)

概要：

広報企画室は、広報の基本方針の企画・立案、並びに広報部の業務を総括している。

報道室 (Media Relations Office)

(つくば中央第2)

概要：

報道室は、報道発表を中心にマスメディア対象の広報活動に関する業務を行っている。

広報制作室 (Website and Publication Office)

(つくば中央第2)

概要：

広報制作室は、コーポレートアイデンティティの活用とコーポレートコミュニケーションの企画及び推進、情報ネットワークを用いた研究成果の発信、データベースを用いた研究成果の提供、広報誌・刊行物その他印刷物の編集や発行及び頒布、映像及び広報のための画像の制作に関する業務を行っている。

科学・技術コミュニケーション室

(Science Communication Office)

概要：

科学・技術コミュニケーション室は、つくばセンターに設置された常設展示施設「サイエンス・スクエアつくば」の運営、所内公開等の企画・運営、外部イベントへの出展、見学対応などの業務を行っている。

1) 報道関係

平成25年度プレス発表件数 (ユニット別)

所属名	発表件数
企画本部	1
ナノチューブ応用研究センター	3
ネットワークフォトンクス研究センター	1
創薬分子プロファイリング研究センター	1
触媒化学融合研究センター	3
再生可能エネルギー研究センター	1
グリーン磁性材料研究センター	1
ナノスピントロニクス研究センター	1
集積マイクロシステム研究センター	1
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	1
太陽光発電工学研究センター	3
計測標準研究部門	6
地圏資源環境研究部門	1
計測フロンティア研究部門	1
先進製造プロセス研究部門	3
サステナブルマテリアル研究部門	3
環境化学技術研究部門	1
エネルギー技術研究部	3
情報技術研究部門	3
健康工学研究部門	2
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	1
ナノシステム研究部門	9
生物プロセス研究部門	3
電子光技術研究部門	3
ナノエレクトロニクス研究部門	8
活断層・火山研究部門	2
地質調査情報センター	1
計量標準管理センター	2
知的財産部	1
産学官連携推進部	2
国際部	1
関西センター	1
福島再生可能エネルギー研究所	1
総計	75

(\*発表件数は 69 件。)



産業技術総合研究所

平成26年度取材対応件数（所属別）

所属名	発表
理事	8
顧問	1
企画本部	3
評価部	1
広報部	1
国際標準推進部	3
ナノチューブ応用研究センター	4
ネットワークフォトンクス研究センター	8
メタンハイドレート研究センター	6
バイオマスリファイナリー研究センター	5
創薬分子プロファイリング研究センター	9
触媒化学融合研究センター	5
再生可能エネルギー研究センター	4
糖鎖創薬技術研究センター	2
コンパクト化学システム研究センター	2
ナノスピントロニクス研究センター	2
幹細胞工学研究センター	7
デジタルヒューマン工学研究センター	18
集積マイクロシステム研究センター	1
先進パワーエレクトロニクス研究センター	2
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	8
太陽光発電工学研究センター	11
計測標準研究部門	20
地圏資源環境研究部門	16
知能システム研究部門	70
計測フロンティア研究部門	1
ユビキタスエネルギー研究部門	8
先進製造プロセス研究部門	6
サステナブルマテリアル研究部門	4
地質情報研究部門	38
環境管理技術研究部門	25
環境化学技術研究部門	7
エネルギー技術研究部門	18
情報技術研究部門	11
安全科学研究部門	18
バイオメディカル研究部門	16
健康工学研究部門	14
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	57
ナノシステム研究部門	6
生物プロセス研究部門	9
電子光技術研究部門	9
ナノエレクトロニクス研究部門	7
セキュアシステム研究部門	21
活断層・火山研究部門	259
フェロー	9
ライフサイエンス分野研究企画室	2
情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室	1
ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室	2
環境・エネルギー分野研究企画室	6
地質分野研究企画室	2
地質標本館	39
計測・計量標準分野研究企画室	1
地質調査情報センター	8
計量標準管理センター	4

所属名	発表
サービス工学研究センター	15
イノベーション推進本部	2
イノベーション推進企画部	3
知的財産部	3
産学官連携推進部	4
ベンチャー開発部	1
つくばイノベーションアリーナ推進本部	3
安全管理部	1
施設整備部	1
人事部	1
つくばセンター	2
東北センター	1
臨海副都心センター	3
中部センター	3
関西センター	1
中国センター	5
四国センター	2
九州センター	7
福島再生可能エネルギー研究所	29
総計	912

平成26年度マスコミ等報道数

媒体名		件数
新聞	朝日新聞	70
	読売新聞	88
	毎日新聞	70
	産経新聞	46
	日本経済新聞	122
	日刊工業新聞	407
	フジサンケイ ビジネスアイ	25
	日経産業新聞	175
	化学工業日報	196
	科学新聞	37
他	1,037	
計		2,273
雑誌等		229
TV/ ラジオ	NHK	87
	民放 他	154
計		241
WEB その他		1,330
合計		4,073

事業組織・本部組織業務

2) 主催行事等

平成26年度講演会等実施一覧

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	2014.4.4	第143産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
2	2014.4.20	産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所 開所記念国際シンポジウム 福島の地に新しい産業集積を	（独）産総研	主催	福島県	郡山ビューホテル アネックス
3	2014.4.23	GIC 平成26年度総会および第37回研修セミナー	GIC 事務局（産総研 コンパクト化学システム研究センター）	主催	宮城県	TKP 仙台カンファレンスセンター
4	2014.4.24	計測・診断システム研究協議会 平成26年度 総会・講演会	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」	主催	福岡県	九経交流プラザ 大会議室
5	2014.5.16	第144回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
6	2014.5.28	第22回精密加工プロセス研究会講演会	日本機械学会、産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」 精密加工プロセス研究会	主催	大阪府	パナソニック企業年金基金 松心会館
7	2014.5.30	平成26年度総会／第17回 Clayteam セミナー	産総研コンソーシアム Clayteam	主催	東京都	産総研 臨海副都心センター
8	2014.5.30	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」平成26年度 第1回出前シンポジウム～再生可能エネルギー産業に貢献するものづくり技術を探る～	（独）産総研九州産学官連携センター、計測・診断システム研究協議会	主催	長崎県	長崎商工会議所
9	2014.6.13	第145回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
10	2014.6.27	第23回精密加工プロセス研究会講演会（第2回ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究分科会講演会）	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」、精密加工プロセス研究会	主催	福岡県	リファレンス 駅東ビル
11	2014.7.2	GIC 第38回研修セミナー	GIC 事務局	主催	宮城県	産総研 東北センター
12	2014.7.4	第146回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
13	2014.7.8	産総研・新技術セミナーin 高松、かがわ次世代ものづくり研究会	（独）産総研 四国センター	主催	香川県	香川県産業技術センター
14	2014.7.31	第9回再生可能エネルギー世界展示会併催フォーラム AIST（産総研）セッション 「熱」と「水素」	（独）産総研 環境・エネルギー分野研究企画室	主催	東京都	東京ビッグサイト
15	2014.8.28～ 2014.8.29	平成26年度（第10回）九州・沖縄公設試及び産総研九州センター研究者合同研修会	（独）産総研九州産学官連携センター、九州経済産業局 地域経済部 技術企画課	主催	熊本県	くまもと県民交流館パレア
16	2014.9.1	第147回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
17	2014.9.3	第5回 TIA-nano 公開シンポジウムー我が国のイノベーションシステム構築に TIA-nano の果たすべき役割ー	つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点運営最高会議（TIA-nano）	主催	東京都	イイノホール&カンファレンスセンター
18	2014.9.5	第148回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
19	2014.9.10	第24回精密加工プロセス研究会講演会（第3回ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究会講演会）	日本機械学会、産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」精密加工プロセス研究会	主催	東京都	東京電機大学
20	2014.9.16	産業化に向けた NGS 解析	（独）産総研 ゲノム情報研究センター	主催	東京都	コラボレーションコーナー

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
21	2014.9.17	第14回メタンハイドレート研究アライアンス講演会（第12回ガスハイドレート産業創出イノベーション講演会）	（独）産総研 メタンハイドレート研究センター	主催	東京都	産総研 臨海副都心センター別館バイオ・IT 融合研究棟
22	2014.9.18	INTERMEASURE 2014併催事業 計測標準フォーラム第12回講演会 NMIJ 計量標準セミナー～自動車産業を支える計測技術と計量標準～	（一社）日本計量機器工業連合会、（独）産総研 計量標準総合センター	主催	東京都	東京ビッグサイト
23	2014.9.19	NMIJ 法定計量セミナー2014～安全と安心のモノサシ～	（独）産総研 計量標準総合センター、（一社）日本計量機器工業連合会	主催	東京都	東京国際展示場
24	2014.10.2	第16回医療福祉技術シンポジウム	産業技術連携推進会議 医療福祉技術分科会、（地独）東京都立産業技術研究センター、（独）産総研	共同主催	東京都	東京都立産業技術研究センター
25	2014.10.2	フラウンホーファー・産総研共同ラボ「フラウンホーファー・プロジェクトセンター」開設記念 Electroactive Polymer (EAP) 研究シンポジウム	（独）産総研 健康工学研究部門	主催	大阪府	グランフロント大阪
26	2014.10.3	第149回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研 九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構 九州本部
27	2014.10.6	第9回産総研レアメタルシンポジウム	産総研レアメタルスクフォース	主催	東京都	石垣記念ホール
28	2014.10.8 ~ 2014.10.9	The 7th International Symposium on VICTORIES Project 第7回「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」国際シンポジウム	光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点、（独）産総研	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
29	2014.10.9	第25回精密加工プロセス研究会講演会（第4回ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究会講演会）	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」、精密加工プロセス研究会	主催	福岡県	リファレンス駅東ビル
30	2014.10.14	平成26年度産総研関西センター本格研究ワークショップ	（独）産総研 関西センター	主催	大阪府	大阪科学技術センター
31	2014.10.15	CSJ 化学フェスタ・コラボレーション企画（産総研&日本化学会 合同企画）～新たな先端化学産業を産み出す材料・評価技術～	（独）産総研、日本化学会	主催	東京都	タワーホール船堀
32	2014.10.17	「産総研技術セミナーin 米子」兼「第2回環境発電研究会」～太陽光発電の普及に向けた課題～	（独）産総研 中国センター、（地独）鳥取県産業技術センター	共同主催	鳥取県	国際ファミリープラザ
33	2014.10.27	第6回産総研マグネシウムシンポジウム	（独）産総研 サステナブルマテリアル研究部門	主催	東京都	石垣記念ホール
34	2014.10.28	第9回産総研北海道センター講演会	（独）産総研 北海道センター	主催	北海道	札幌市立大学サテライトキャンパス
35	2014.10.30	次世代プリンテッドエレクトロニクス技術セミナー	（独）産総研 フレキシブルエレクトロニクス研究センター	主催	神奈川県	パシフィコ横浜
36	2014.11.7	第150回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研 九州センター、（独）中小気候九州支部、（一財）九州産業技術センター	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
37	2014.11.11	IEC 東京大会併催 平成26年度 国際標準推進戦略シンポジウム「イノベーションで市場を拓くための国際標準化」	（独）産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	東京国際フォーラム
38	2014.12.3 ~ 2014.12.4	産総研環境・エネルギーシンポジウムシリーズ第6回メタンハイドレート総合シンポジウム（CSMH-6）	（独）産総研 メタンハイドレート研究センター	主催	東京都	産業技術総合研究所 臨海副都心センター別館バイオ・IT 融合研究棟
39	2014.12.3	平成26年度九州・沖縄産業技術オープンデー	（独）産総研 九州センター、九州経済産業局	主催	佐賀県	サンメッセ鳥栖
40	2014.12.5	シンポジウム「新材料で構成する快適建築空間」～環境共生建築のための材料～	（独）産総研 サステナブルマテリアル研究部門、環境ハーモニック建築部材研究会、産総研コンソーシアム「建築物低炭素化材料評価システム技術コンソーシアム」	主催	東京都	石垣記念ホール
41	2014.12.8	産総研・新技術セミナー（高知）	（独）産総研 四国センター	主催	高知県	高知県工業技術センター
42	2014.12.9	平成26年度（第13回）地圏資源環境研究部門研究成果報告会	（独）産総研 地圏資源環境研究部門	主催	東京都	秋葉原ダイビルコンベンションホール
43	2014.12.10	「行動観察能力」育成セミナー	四国地域イノベーション創出協議会、（独）産総研 四国センター	主催	香川県	産総研 四国センター
44	2014.12.11	産総研・新技術セミナー（愛媛）	（独）産総研 四国センター	主催	愛媛県	愛媛県庁
45	2014.12.12	第151回産学官交流研究会 博多セミナー（一金会）	九州経済産業局、（独）産総研 九州センター、（独）中小機構九州支部、（一財）九州産業技術センター、（一社）九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
46	2014.12.15	平成26年度第15回インスペクション技術研究会講演会「新しいものづくりと計測・評価技術、事業戦略としての国際標準化」～地域から今後のものづくりのあり方を考える～	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」インスペクション技術研究会	主催	長崎県	出島交流会館
47	2014.12.15	産総研本格研究ワークショップ in 中部	(独)産総研 中部センター	主催	愛知県	メルパルク名古屋
48	2014.12.19	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」平成26年度 第2回出前シンポジウム「スマート社会に貢献するヘルスケア技術」	(独)産総研 九州産学官連携センター	主催	熊本県	くまもと県民交流館パレア
49	2014.12.22	第6回プラズマ医療・健康産業シンポジウム 文部科学省・新学術領域研究「プラズマ医療科学の創成」東京拠点会議 合同開催	プラズマ医療健康産業フォーラム、(独)産総研	主催	東京都	(独)産総研 臨海副都心センター
50	2015.1.9	第7回産総研ナノシステム連携促進フォーラム～部材開発をめざすバイオメテイクスと自己組織化～	(独)産総研 ナノシステム研究部門	主催	東京都	秋葉原コンベンションホール
51	2015.1.16	平成26年度 食品・バイオテクノロジー技術研究会講演会	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」食品・バイオテクノロジー技術研究会	主催	福岡県	リファレンス駅東ビル
52	2015.1.19	産総研本格研究ワークショップ in 沖縄ー沖縄発健康イノベーションに貢献するライフテクノロジーー	(独)産総研 九州センター	主催	沖縄県	沖縄かりゆしアーバンリゾート・ナハ
53	2015.1.22 ～ 2015.1.23	2014年度計量標準成果発表会	(独)産総研 計測標準研究部門	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
54	2015.1.28	産総研シンポジウム 機能性ソフトマテリアルの世界	(独)産総研 ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室	主催	東京都	東京ビッグサイト
55	2015.1.30	1985年ノーベル物理学賞受賞者 Klaus von Klitzing 教授 講演会	(独)産総研 計測標準研究部門 電磁気計測科・直流低周波電気標準クラブ	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
56	2015.1.30	第152回産学官交流研究会 博多セミナー (一金会)	九州経済産業局、(独)産総研 九州センター、(独)中小機構九州支部、(一財)九州産業技術センター、(一社)九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
57	2015.1.30	第26回精密加工プロセス研究会講演会 (第5回窒化物半導体デバイスにかかわる超精密加工プロセス研究分科会講演会)	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」精密加工プロセス研究会	主催	福岡県	リファレンス駅東ビル
58	2015.1.31	ナノテクノロジー国際標準化ワークショップナノテクノロジーの利用と標準化	(独)産総研 ナノテクノロジー標準化国内審議委員会	主催	東京都	東京ビッグサイト
59	2015.2.6	第153回産学官交流研究会 博多セミナー (一金会)	九州経済産業局、(独)産総研 九州センター、(独)中小機構九州支部、(一財)九州産業技術センター、(一社)九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
60	2015.2.13	第11回 CMSI 産官学連続研究会 「ソフトマテリアル開発における大規模計算」	計算物質科学イニシアティブ (CMSI)、(独)産総研	主催	東京都	秋葉原ダイビル
61	2015.2.18	第4回電子光技術シンポジウム「超短パルスレーザーの応用とポータブルセンサの未来」	産総研 電子光技術研究部門	主催	東京都	秋葉原 UDX カンファレンス
62	2015.2.20	ファイナパブル (微細気泡) 技術シンポジウム新しい産業の創出を目指してー基礎から応用利用までー	(独)産総研、日刊工業新聞社、モノづくり日本会議	主催	大阪府	大阪科学技術センター
63	2015.2.24	産総研北海道センター・釧路水産加工振興協議会講演会「釧路地域における水産物の鮮度保持と高付加価値化への取り組み」	釧路水産加工振興協議会、(一社)釧路水産協会釧路信用金庫、(公財)釧路根室圏産業技術振興センター、釧路市、(独)産総研 北海道センター	主催	北海道	釧路水産センター
64	2015.2.24	産総研本格研究ワークショップ in おかやま	(独)産総研 中国センター	主催	岡山県	ホテルグランヴィア岡山
65	2015.3.6	山口県産業術センター技術発表会中国地域産総研技術セミナーin 山口	(独)産総研 中国センター、(地独)山口県産業技術センター	共同主催	山口県	山口県産業技術センター
66	2015.3.6	第154回産学官交流研究会 博多セミナー (一金会)	九州経済産業局、(独)産総研 九州センター、(独)中小機構九州支部、(一財)九州産業技術センター、(一社)九州ニュービジネス協議会	主催	福岡県	中小企業基盤整備機構九州本部
67	2015.3.9	産総研北海道センター講演会/長崎大学経済学部地域連携ワークショップ合同シンポジウム「観光と水産:長崎と北海道の広域連携を目指して」	(独)産総研 (北海道センター・九州センター)、長崎大学経済学部	主催	長崎県	長崎大学経済学部
68	2015.3.13	第4回産総研プレゼンツ サイエンスカフェ in 鳥栖	(独)産総研 九州センター	主催	佐賀県	鳥栖市立図書館
69	2015.3.13	産業技術総合研究所技術普及講演会	(独)産総研 中部センター、(一社)北陸産業活性化センター	主催	富山県	アーバンプレイス

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
70	2015.3.16	次世代ナノテクフォーラム2015	(独)産総研 関西センター、産業技術連携推進会議近畿地域部会ナノテクノロジー分科会	主催	大阪府	千里ライフサイエンスセンター
71	2015.3.16	Nanoparticles meet nano scaled hybrid polymer	AIST for AIST Advanced Manufacturing Research Institute	主催	東京都	産総研 臨海副都心センター
72	2015.3.18	第12回産業技術総合研究所北海道センター講演会兼 HiNT セミナー	(独)産総研 北海道センター	主催	北海道	R&B パーク札幌大通りサテライト
73	2015.3.19	第13回ガスハイドレート産業創出イノベーション講演会 (第15回メタンハイドレート研究アライアンス講演会)	(独)産総研 メタンハイドレート研究センター	主催	東京都	産総研 臨海副都心センター別館
74	2015.3.26	幹細胞工学研究センター研究成果報告会	(独)産総研 幹細胞工学研究センター	主催	茨城県	産総研 つくばセンター

## 主催行事（共同主催を含む）

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	2014.4.18	日本を元気にする産業技術会議シンポジウム「福島から世界へ」～産総研 福島再生可能エネルギー研究所 開所記念～	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議、福島県、郡山市	主催	東京都	日経ホール
2	2014.4.19	地質標本館特別講演会	(独)産総研 地質標本館	主催	茨城県	地質標本館
3	2014.5.10	地質の日 関連イベント “ポップアップカードを作ろう!”	(独)産総研 地質標本館	主催	茨城県	地質標本館
4	2014.5.16	第36回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
5	2014.5.19	日本を元気にする産業技術会議シンポジウム「ナノカーボン材料が創る新しい社会」	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	イイノホール
6	2014.6.5	第37回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
7	2014.6.12	つくば発イノベーション第27回講演会	(独)産総研	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
8	2014.6.24～ 2014.6.25	AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2014	(独)産総研 太陽光発電工学研究センター	主催	茨城県	つくば国際会議場
9	2014.6.24～ 2014.6.25	2014 産業技術総合研究所 中部センター オープンラボ	(独)産総研 中部センター	主催	愛知県	産総研 中部センター
10	2014.7.1	産総研 新技術説明会～健康と生活を守る産総研のライフサイエンス技術～	(独)産総研、(独)科学技術振興機構	主催	東京都	JST 東京本部
11	2014.7.3	第38回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
12	2014.7.12	第1回産総研サイエンスカフェ in 関西「細胞を扱う近未来ものづくりー細胞を並べる3D プリントと細胞をつかむレーザーピンセットー」	応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会、(独)産総研 関西センター	主催	大阪府	池田泉州銀行 池田営業部
13	2014.7.13	第45回産総研サイエンスカフェ「変取捜査官の事件簿ー食品と微生物の良くない関係ー」	(独)産総研 広報部	主催	茨城県	イーアスつくば
14	2014.7.14～ 2014.7.17	平成26年度地震・津波・火山に関する自治体職員研修プログラム	(独)産総研 活断層・火山研究部門	主催	茨城県	(独)産総研 つくばセンター
15	2014.7.19	平成26年度 産総研つくばセンター 一般公開	(独)産総研 つくばセンター	主催	茨城県	(独)産総研 つくばセンター
16	2014.7.22～ 2014.9.26	TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル2014ー世界的ナノテクノロジー拠点 TIA-nano で もっと広く、もっと深く、ナノの世界を究めるー	TIA-nano 運営最高会議、筑波大学、(独)物質材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、(独)産総研	主催	茨城県	筑波大学、物質材料研究機構、高エネルギー加速器研究機構、産総研
17	2014.7.23	第4回先進製造シンポジウムー積層造形法の課題と可能性ー	(独)産総研 先進製造プロセス研究部門	主催	東京都	(独)産総研 臨海副都心センター
18	2014.7.23	日本を元気にする産業技術会議シンポジウム「社会インフラのスマートメンテナンス」	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	日経カンファレンスルーム
19	2014.7.25	産総研プレゼンツ サイエンスカフェ in 鳥栖 (第3回)「ロボットはどこまで人に近づくか?ーヒューマノイドロボット研究の現在とこれからー」	(独)産総研 九州センター、鳥栖市、佐賀県	主催	佐賀県	鳥栖市立図書館
20	2014.7.26	地質標本館夏休みイベント 石に光を通してみようー万華鏡で知る花こう岩の色彩ー	(独)産総研 地質標本館	主催	茨城県	地質標本館
21	2014.7.28～ 2014.7.29	日本が誇るマテリアルの世界 材料フェスタ in 仙台	(独)産総研、東北大学	主催	宮城県	仙台国際センター
22	2014.8.2	産総研 中部センター 一般公開	(独)産総研 中部センター	主催	愛知県	なごやサイエンスパーク
23	2014.8.4～ 2014.8.8	RT ミドルウェアサマーキャンプ2014	(独)産総研 知能システム研究部門	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
24	2014.8.7	インテリジェント・カフェ広島&産総研中国センター技術交流サロン コラボセミナー	中国地域産学官コラボレーション会議、(独)産総研 中国センター	共同主催	広島県	中国経済産業局
25	2014.8.20～ 2014.8.22	Computational Science Workshop 2014	(独)産総研 ナノシステム研究部門	主催	茨城県	つくば国際会議場
26	2014.8.26	産総研 中国センター 一般公開	(独)産総研 中国センター	共同主催	広島県	広島中央サイエンスパーク
27	2014.8.29	産総研 四国センター 一般公開	(独)産総研 四国センター	主催	香川県	産総研 四国センター
28	2014.9.2～ 2014.9.4	水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての第13回日台国際ワークショップ	(独)産総研 活断層・火山研究部門	主催	茨城県	(独)産総研 つくばセンター
29	2014.9.3	AIST 放射線計測セミナー～放射線計測技術開発による復興支援～	(独)産総研 計量標準総合センター	主催	千葉県	幕張メッセ 国際会議場
30	2014.9.4	NMIJ 標準物質セミナー2014～きつと使える分析ノウハウと標準物質～	(独)産総研 計量標準総合センター	主催	千葉県	幕張メッセ 国際会議場
31	2014.9.4	生産計測セミナーー生産現場の“見えない”を診る!	(独)産総研 生産計測技術研究センター	主催	千葉県	幕張メッセ 国際会議場

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
32	2014.9.5	計測フロンティア研究部門第11回シンポジウムー先端計測分析機器の公開とフロンティア計測分析技術ー	(独)産総研 計測フロンティア研究部門	主催	千葉県	幕張メッセ 国際会議場
33	2014.9.6	第46回産総研サイエンスカフェ「赤とんぼはどうして赤くなるの？ー身近な昆虫に秘められた驚きのメカニズムー」	(独)産総研 広報部	主催	茨城県	カフェ ベルガ
34	2014.9.8	産総研本格研究ワークショップ	(独)産総研	主催	北海道	札幌ガーデンパレス
35	2014.9.8	つくば発先端技術発表会/つくば発イノベーション第28回講演会	つくば市、(独)産総研	主催	茨城県	つくば市役所
36	2014.9.10～2014.9.11	2nd BPPT-AIST Joint Symposium On Health, Food and Agricultural Technology	(独)産総研	主催	北海道	ゆうばりホテル シューパロ
37	2014.9.12	第39回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
38	2014.9.20	第3回産総研サイエンスカフェ in 北海道「夢のあるロボット、役立つロボット、未来のロボットー産総研ロボット技術の紹介ー」	(独)産総研 北海道センター	主催	北海道	R&B パーク札幌 大通サテライト
39	2014.9.26	第10回ベンチャー開発成果報告会	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	日経ビル
40	2014.9.26	産総研 技術交流サロン in 東広島	(独)産総研 中国センター	主催	広島県	サンスクエア 東広島
41	2014.9.26	第3回充実生活を実現する技術のための脳と心と身体のメカニズムワークショップー脳の回復メカニズムとリハビリテーションーの	(独)産総研 ヒューマンライフテクノロジー研究部門	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
42	2014.10.8～2014.10.10	第7回 VICTORIES 国際シンポジウム	(独)産総研	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
43	2014.10.8	変わりゆく科学コミュニケーションと研究者・オープンアクセス、SNS、オルトメトリクスとどうつきあうか	(独)産総研 電子光技術部門	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
44	2014.10.9	新技術セミナーin 徳島 (ロボット分野)	四国地域イノベーション創出協議会、(独)産総研 四国センター	主催	徳島県	徳島県立工業技術センター
45	2014.10.10	化学と科学のためのマイクロ波利用セミナーー研究利用と産業利用の Hintー	(独)産総研 ナノシステム研究部門・生物プロセス研究部門	主催	北海道	札幌市民ホール
46	2014.10.11	産総研 九州センター 一般公開 夢の光と技術で未来を体験しよう	(独)産総研 九州センター、佐賀県地域産業支援センター、九州シンクロtron光研究センター	主催	佐賀県	九州シンクロtron光研究センター
47	2014.10.30	第14回北九州学術研究都市 産学連携フェア内セミナー 「ここまで来た ひびきのにおける環境エレクトロニクス研究」	(独)産総研 九州センター、九州工業大学、北九州市、国際東アジア研究センター	主催	福岡県	北九州学術研究都市 学術情報センター
48	2014.11.6～2014.11.7	The Irago Conference 2014	(独)産総研、豊橋技術科学大学エレクトロニクス先端融合研究所	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
49	2014.11.14	第40回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト、福島県ハイテクプラザ	主催	福島県	福島県ハイテクプラザ
50	2014.11.16	第47回産総研サイエンスカフェ「カーボンナノチューブー“新しい炭”で拓く未来材料ー」	(独)産総研 広報部	主催	茨城県	カフェ ベルガ
51	2014.11.17	平成26年度 本格研究ワークショップ in 四国ー新たな健康サービス・健康ものづくり産業の創出をめざしてー	(独)産総研 四国センター	主催	香川県	サンポートホール高松
52	2014.11.21	第2回産総研サイエンスカフェ in 東広島「分子を並べるー七色に輝くセルロース液晶を作るー」	(独)産総研 中国センター	主催	広島県	サンスクエア 東広島
53	2014.11.25	エネルギー技術シンポジウム 2014技術未利用熱の有効利用技術と省エネルギー技術の新たな展開 利用熱	(独)産総研 エネルギー技術研究部門	主催	東京都	東京国際交流館
54	2014.11.27	産総研 技術交流サロン	(独)産総研 中国センター	主催	広島県	ひろしまハイビル21
55	2014.11.27～2014.11.28	第10回新エネルギー技術シンポジウム	(独)産総研 エネルギー技術研究部門・福島再生可能エネルギー研究所、筑波大学	主催	福島県	産総研 福島再生可能エネルギー研究所
56	2014.12.3	第41回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
57	2014.12.3	協創マッチングフォーラム	(株)ケイエスピー、(株)横浜銀行、(独)産総研	主催	神奈川県	かながわサイエンスパーク
58	2014.12.5	ジェロンテクノロジー研究フォーラム 2014	(独)産総研	主催	宮城県	仙台情報産業プラザ
59	2014.12.9	中国地域産総研技術セミナーin 福山	(独)産総研 中国センター	主催	広島県	福山市ものづくり交流館
60	2014.12.12	SURE コンソーシアム設立記念シンポジウムー戦略的都市鉱山が拓く日本の資源循環の未来ー	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	イイノホール
61	2014.12.15	つくば発先端技術発表会/つくば発イノベーション第29回講演会	つくば市、(独)産総研、つくばグローバル・イノベーション推進機構	主催	茨城県	つくば市役所

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都 道府県	会場名
62	2014.12.16	第4回次世代プリントエレクトロニクスシンポジウム	(独)産総研 フレキシブルエレクトロニクス研究センター	主催	東京都	秋葉原コンベンションホール
63	2015.1.16	第23回地質調査総合センターシンポジウム	(独)産総研 地質調査総合センター	主催	東京都	秋葉原コンベンションホール
64	2015.1.16	第42回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
65	2015.1.24	第2回産総研サイエンスカフェ in 関西「あなたの知らないダイヤモンド-究極の半導体-」	(独)産総研 関西センター	主催	大阪府	池田商工会議所
66	2015.1.26	産総研 STAR シンポジウム「大規模データ処理を実現する超省電力ハードウェアの将来像」	(独)産総研、日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	ココヨホール
67	2015.1.27	中国地域産総研技術セミナーin 島根	(独)産総研 中国センター	主催	島根県	テクノアークしまね
68	2015.1.28	次世代プリントエレクトロニクス技術セミナー	(独)産総研 フレキシブルエレクトロニクス研究センター、次世代プリントエレクトロニクスコンソーシアム、次世代プリントエレクトロニクス技術研究組合	主催	東京都	東京国際展示場
69	2015.2.3～ 2015.2.4	第14回産総研・産技連 LS・BT 合同研究発表会	(独)産総研、産業技術連携推進会議 ライフサイエンス部会バイオテクノロジー分科会	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
70	2015.2.5	産総研 技術交流サロン in 岡山	(独)産総研 中国センター	主催	岡山県	ホテルメルパルク岡山
71	2015.2.5～ 2015.2.6	産業技術連携推進会議 ナノテクノロジー・材料部会、製造プロセス部会 合同総会	(独)産総研	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
72	2015.2.7	第48回産総研サイエンスカフェ「第4の灯り LED -新しい灯りに新しい明るさの基準を-」	(独)産総研 広報部	主催	茨城県	カフェ ベルガ
73	2015.2.10	つくば発イノベーション第30回講演会	(独)産総研	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
74	2015.2.12	平成26年度 産総研 環境・エネルギーシンポジウムシリーズ「21世紀の化学反応とプロセス-原料転換から材料評価技術まで-」	(独)産総研	主催	茨城県	つくば国際会議場
75	2015.2.12～ 2015.2.13	第1回プリントエレクトロニクス技術懇談会	(独)産総研 フレキシブルエレクトロニクス研究センター	主催	茨城県	産総研 つくばセンター
76	2015.2.20	第43回産総研・新技術セミナー	(独)産総研 東北センター 東北サテライト	主催	宮城県	産総研 東北サテライト
77	2015.2.24	産総研本格研究ワークショップ in おかやま	(独)産総研 中国センター	主催	岡山県	ホテルグランヴィア岡山
78	2015.3.3	糖鎖産業技術フォーラム (GLIT) 最終講演会	糖鎖産業技術フォーラム最終講演会実行委員会、(独)産総研	主催	東京都	産総研 臨海副都心センター



産業技術総合研究所

その他参加行事

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	2014.4.9～2014.4.11	CPhI Japan 2014 (国際医薬品原料・中間体展)	UBM ジャパン、化学工業日報社	出展	東京都	東京ビッグサイト
2	2014.4.16～2014.4.18	光通信技術展 FOE2014	リードエグゼクティブジャパン	出展	東京都	東京ビッグサイト
3	2014.4.18	四国マイクロ波プロセス研究会第13回フォーラム	四国マイクロ波プロセス研究会	後援	香川県	e-とびあ・かがわBBスクエア
4	2014.4.22～2014.4.25	OPTICS PHOTONICS International Congress 2014	OPTICS & PHOTONICS International 協議会	協賛	神奈川県	パシフィコ横浜会議センター
5	2014.4.24	つくばものづくりオーケストラ 技術展示会 in AIST	つくばものづくりオーケストラ	協力	茨城県	産総研 つくばセンター
6	2014.4.26	ベイエリアロボティクスフォーラム キックオフ・シンポジウム	芝浦工業大学 複合領域産学官民連携推進本部	共催	東京都	芝浦工業大学豊洲キャンパス
7	2014.4.28～2014.5.2	日本地球惑星科学連合2014大会	(公社) 日本地球惑星科学連合	後援	神奈川県	パシフィコ横浜
8	2014.5.12～2014.5.16	2014年度春季地質調査研修	(一社) 日本地質学会	共催	指定なし	千葉県君津市及びその周辺
9	2014.5.22～2014.5.23	第3回 JACI/GSC シンポジウム	(公社) 新化学技術推進協会	後援	東京都	東京国際フォーラム
10	2014.5.25～2014.5.29	ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014ROBOMECH2014 in Toyama	(一社) 日本機械学会	協賛	富山県	富山市総合体育館、国際会議場、とやま自遊館
11	2014.5.29～2014.5.30	日本ジオパーク意見交換及び総会	(特非) 日本ジオパークネットワーク	後援	茨城県	産総研 つくばセンター
12	2014.5.30	JAPER A 交流会	次世代プリントエレクトロニクス技術研究組合	出展	東京都	霞山会館
13	2014.6.1～2015.3.31	板橋製品技術大賞	(公財) 板橋区産業振興公社	後援	東京都	板橋区立企業活性化センター
14	2014.6.3	出前講義：地下水観測による東海地震の予測	静岡市環境局	協力	静岡県	静岡グランドホテル中島屋
15	2014.6.6	日本ゾルゲル学会第11回セミナー【新規な有機-無機ハイブリッド材料の設計と機能発現】	日本ゾルゲル学会	協賛	愛知県	東京理科大学
16	2014.6.16～2015.1.31	地盤材料試験に関する『技能試験』	(公社) 地盤工学会	後援		
17	2014.6.18～2014.6.20	スマートコミュニティ Japan 2014	日刊工業新聞社	協賛	千葉県	東京ビッグサイト
18	2014.6.20～2014.6.22	第3回国際技術学カンファレンス in 長岡	国際技術学カンファレンス in 長岡組織委員会	後援	新潟県	長岡技術科学大学
19	2014.7.1～2014.7.31	「蓄熱月間」	(一財) ヒートポンプ・蓄熱センター	後援		
20	2014.7.4	第5回 KFC「セラミックス研究交流セミナー」	九州ファインセラミックス・テクノフォーラム (KFC)	後援	福岡県	福岡朝日ビル
21	2014.7.7～2014.7.15	機能安全セミナー	(一財) 日本規格協会	後援	東京都	日本規格協会
22	2014.7.11	第27回講演会「音声・言語による心理状態の評価とヒューマンインタフェース」	ヒューマンストレス産業技術研究会	共催	大阪府	千里ライフサイエンスセンター
23	2014.7.12～2014.10.13	第53回企画展「富士山の下に灰を雨らす～富士の噴火と古墳時代後期の暮開け～」	富士市立博物館	協力	静岡県	富士市立博物館
24	2014.7.13～2014.7.15	「アジア・アントレプレナーシップ・アワード 2014」	(一社) フューチャーデザインセンター	後援	千葉県	柏の葉グートスクエア
25	2014.7.17	天然記念物「オンネトウ湯の滝」で地球の歴史を体験	(公財) 日本科学技術振興財団	協力	北海道	北海道帯広市
26	2014.7.17～2014.7.18	日本プロテオーム学会2014年会 (JHUP012 回大会)	日本プロテオーム学会	協力	茨城県	つくば国際会議場
27	2014.7.19～2014.7.21	iCAN'14 (第5回国際ナノ・マイクロアプリケーションコンテスト世界大会)	MEMS パークコンソーシアム	後援	宮城県	東北大学 川内萩ホール
28	2014.7.20	学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2014	(特非) natural science	共催	宮城県	東北大学 川内北キャンパス
29	2014.7.22～2014.7.23	文部科学省「革新的エネルギー研究開発拠点形成事業」第2回国際シンポジウム	(独) 科学技術振興機構	後援	福島県	市民交流プラザ
30	2014.7.22～2014.7.26	地震・自然災害のための測地学国際シンポジウム (GENAH2014)	GENAH2014実行委員会国際測地学会 (IAG) 第3委員会 (地球回転・地球動力学)	後援	宮城県	ホテル松島大観荘
31	2014.7.23～2014.7.24	第8回 ビジネス マッチング フェア in Hamamatsu 2014	浜松商工会議所	後援	静岡県	アクトシティ浜松
32	2014.7.24	北洋銀行ものづくりテクノフェア2014	(株) 北洋銀行	後援	北海道	アクセスサッポロ
33	2014.7.27～2014.8.1	グランド「再生可能エネルギー2014 国際会議」 (Grand RE2014 国際会議)	グランド「再生可能エネルギー2014 国際会議」組織委員会	共催	東京都	東京ビッグサイト

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
34	2014.7.30～ 2014.8.1	第9回再生可能エネルギー世界展示会	再生可能エネルギー協議会	出展	東京都	東京ビッグサイト
35	2014.8.1～ 2014.10.31	2014キャンパスベンチャーグランプリ 四国 (CVG 四国)	キャンパスベンチャーグランプリ 四国 実行委員会 (日刊工業新聞社)	後援	徳島県 香川県 愛媛県 高知県	
36	2014.8.7～ 2014.8.8	日本ゾルゲル学会第12回討論会	日本ゾルゲル学会	協賛	茨城県	つくば国際会議場
37	2014.8.12～ 2014.12.9	「(レベルアップ講習) サービスマネージメントの理論と技術」	(公社) 日本技術士会	後援	東京都	日本技術士会 茸手第2ビル
38	2014.8.20	「6次産業化と明日へのものづくり新技術説明会」	(独) 国立専門学校機構	共催	北海道	北海道大学 創成科学研究棟
39	2014.8.21	第12回全国高専テクノフォーラム	(独) 国立高等専門学校機構	後援	北海道	札幌コンベンションセンター
40	2014.9.2	第2回「組込み産業地域交流プラザ」2014 in 名古屋	組込みシステム産業振興機構	後援	愛知県	グローバルあいち
41	2014.9.2～ 2014.9.6	「第12回 全日本 学生フォーミュラ大会—ものづくり・デザインコンペティション—」	(公社) 自動車技術会	協賛	静岡県	エコパ (小笠山総合運動公園)
42	2014.9.6～ 2014.9.11	IGCP 608 第2回国際シンポジウム「白亜紀のアジア-西太平洋地域の生態系システムと環境変動」 The 2nd International Symposium of IGCP 608 "Cretaceous Ecosystems and Their Responses to Paleoenvironmental Changes in Asia and the Western Pacific"	地質科学国際研究計画 (IGCP) 608 第2回国際研究集会実行委員会	共催	東京都	早稲田大学 大隈講堂
43	2014.9.6～ 2014.9.11	The XVIII International Sol-Gel Conference	Sol-Gel 2015	協賛	京都府	メルバルク京都 およびホテルグランヴィア京都
44	2014.9.12～ 2014.10.19	国際陶磁器フェスティバル美濃' 際陶磁	国際陶磁器フェスティバル美濃実行委員会	協賛	岐阜県	セラミックパーク MINO
45	2014.9.16	講習会 (No.01-04) 「自動車開発における人間工学の理論と実践」	(公社) 自動車技術会	協賛	東京都	産総研 臨海副都心センター
46	2014.9.17～ 2014.9.19	INTERMEASURE 2014 (第26回国際計量計測展)	(一社) 日本計量機器工業連合会	後援	東京都	東京国際会議場
47	2014.9.19	「新産業支援インターマテリアル講演会」	新産業支援インターマテリアルの会	後援	大阪府	大阪大学 中之島センター
48	2014.9.24	企業と博士人材との交流会	筑波大学グローバルリーダーキャリア開発ネットワーク, 産総研イノベーションスクール	共催	茨城県	筑波大学
49	2014.9.27～ 2014.9.30	日本ジオパーク南アルプス大会	日本ジオパーク南アルプス大会実行委員会	後援	長野県	長野県伊那文化会館
50	2014.9.29～ 2014.9.30	「第十一回日本熱電学会学術講演会」	(一社) 日本熱電学会	共催	茨城県	(独) 物質・材料研究機構
51	2014.9.30	第51回 AST・筑波大学・TCI ベンチャー技術発表会	筑波大学、(独) 産総研 イノベーション推進本部 ベンチャー開発部、(株) つくば研究支援センター	共催	茨城県	つくば研究支援センター
52	2014.10.2～ 2014.10.4	「Techno-Ocean 2014」	テクノオセアン・ネットワーク	後援	兵庫県	神戸国際展示場
53	2014.10.3～ 2014.10.4	さかき ものづくり展	(公財) さかきテクノセンター	後援	長野県	坂城テクノセンター
54	2014.10.4～ 2014.10.5	第42回環境システム研究論文発表会	(公社) 土木学会 環境システム委員会	後援	茨城県	産総研 つくばセンター
55	2014.10.4～ 2014.10.5	マンモグラフィ X線トレーサビリティ講習会	NPO 法人 日本乳がん検診精度管理中央機構	協賛	茨城県	産総研 つくばセンター
56	2014.10.4～ 2014.11.24	「大地を知って明日を生かす」地質情報展	磐梯山噴火記念館	後援	福島県	磐梯山記念館
57	2014.10.5～ 2014.10.7	「科学技術と人類の未来に関する国際フォーラム」	(特非) STS フォーラム	後援	京都府	国立京都国際会館
58	2014.10.6～ 2014.11.7	「ビジネス EXPO『第28回 北海道 技術・ビジネス交流会』」	北海道 技術・ビジネス交流会実行委員会	後援	北海道	アクセスサッポロ
59	2014.10.7	産業技術連携推進会議近畿地域部会 ナノテクノロジー分科会環境調和型ナノコンポジット連携 WG 講演会 (第18回技術交流キャラバン)	産業技術連携推進会議近畿地域部会ナノテクノロジー分科会	共催	大阪府	産総研 関西センター
60	2014.10.7～ 2014.10.11	最先端 IT・エレクトロニクス総合展 CEATEC JAPAN (シーテック ジャパン) 2014	(一社) 電子情報技術産業協会	後援	千葉県	幕張メッセ
61	2014.10.14	第15回 KFC 特別講演会	九州ファインセラミックス・テクノフォーラム	後援	福岡県	八重洲博多ビル
62	2014.10.14	国際地熱コンファレンス	(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構	後援	東京都	京王プラザホテル
63	2014.10.15	NEDO フォーラム2014 in 北海道	(独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構	協賛	北海道	札幌全日空ホテル

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
64	2014.10.15～ 2014.10.17	BioJapan2014 World Business Forum (バイオジャパン2014)	BioJapan 組織委員会	出展・後援	神奈川県	パシフィコ横浜
65	2014.10.15～ 2014.10.17	VACUUM2014－真空展	日本真空工業会、(一社)日本真空学会	出展	東京都	東京ビッグサイト
66	2014.10.16～ 2014.10.17	「北陸技術交流テクノフェア2014」	技術交流テクノフェア実行委員会	後援	福井県	福井県産業会館
67	2014.10.17～ 2014.10.19	いきいき福祉・健康フェア2014	いきいき福祉・健康フェア2014実行委員会	後援	北海道	アクセス札幌
68	2014.10.18	2014埼玉県立総合教育センター一般公開「集まれ！“センター探検隊”」	埼玉県立総合教育センター	協力	埼玉県	埼玉県立総合教育センター
69	2014.10.18	学研労協サイエンスカフェ第8回つくろう！科学の輪『身近な地球の話～地質を知って豊かに暮らそう～』	筑波研究学園都市研究機関労働組合協議会	後援	茨城県	中央労働金庫つくば支店5階 つくば市民大学
70	2014.10.22～ 2014.10.24	びわ湖環境ビジネスメッセ2014	びわ湖環境ビジネスメッセ実行委員会	後援	滋賀県	滋賀県立長浜ドーム
71	2014.10.22	ものづくり産業パートナーフォーラム in あおもり	イノベーション・ネットワークあおもり	出展	青森県	ホテル青森
72	2014.10.22	第7回健康食品・化粧品ビジネスマッチング in 札幌2014	経済産業省北海道経済産業局、札幌市、北海道バイオ産業クラスター・フォーラム、(公財)北海道科学技術総合振興センター、(一社)北海道バイオ工業会	協力	北海道	京王プラザホテル札幌
73	2014.10.24～ 2014.10.25	「セキュアに“つながる”製品設計講座」	中部経済産業局	後援	福井県 石川県	ふくい産業支援センター、石川県地場産業振興センター
74	2014.10.24～ 2014.10.25	おおさき産業フェア2014	NPO 法人未来産業創造おおさき	後援	宮城県	大崎市古川総合体育館
75	2014.10.25～ 2014.10.26	サッポロヘルス&ビューティーフェア2014	サッポロヘルス&ビューティーフェア2014実行委員会	後援	北海道	アクセスサッポロ
76	2014.10.25～ 2014.10.26	つくば産業フェア&農産物フェア 2014	つくば市商工会、つくば市	協力	茨城県	つくばカピオ、大清水公園
77	2014.10.28～ 2014.10.30	第14回北九州学術研究都市 産学連携フェア	北九州学術研究都市産学連携フェア実行委員会	出展	福岡県	北九州学術研究都市
78	2014.10.29～ 2014.11.1	日本地熱学会平成26年学術講演会	日本地熱学会	協賛	青森県	弘前大学創立50周年記念会館
79	2014.10.29	エンジニアリングシンポジウム2014「世界の持続的成長に向けて ～未来を拓く日本のエンジニアリング～」	(一財)エンジニアリング協会	協賛	東京都	日本都市センター
80	2014.10.29	「茨城県研究開発支援企業技術展示会 in 産総研」	茨城県、いばらき成長産業振興協議会	協力	茨城県	産総研 つくばセンター
81	2014.10.30	埼玉県最先端技術展示商談会	(公財)埼玉県産業振興公社	協力	茨城県	産総研 つくばセンター
82	2014.10.31	地質リスクマネジメント事例研究発表会	(一社)全国地質調査業協会連合会	協賛	東京都	飯田橋レインボービル
83	2014.11.1～ 2014.11.2	「あいち少年少女創意くふう展2014」	愛知県、名古屋、名古屋商工会議所、中日新聞、(一社)愛知県発明協会	後援	愛知県	トヨタテクノロジーミュージアム 産業技術記念館
84	2014.11.5	第23回日本 NCSLI 技術フォーラム	(特非)日本 NCSLI	後援	千葉県	東京都大田区産業プラザ PiO
85	2014.11.5	「臨海副都心・産官学連携シンポジウム」2020年、そして未来へー 社会を変革する数理工学	武蔵野大学	協力	東京都	武蔵野大学有明キャンパス
86	2014.11.5	「新しい常温成膜技術の普及をめざした取り組み」～エアロゾルデポジション (AD) 法の原理とその実用化事例のご紹介～	滋賀県工業技術総合センター、滋賀県東北部工業技術センター、龍谷大学龍谷エクステンションセンター	共催	滋賀県	龍谷大学 瀬田キャンパス
87	2014.11.6～ 2014.11.7	第28回北海道技術ビジネス交流会	北海道技術・ビジネス交流会実行委員会 (ビジネス EXPO)	出展	北海道	アクセスサッポロ
88	2014.11.7	ゲノムビッグデータによるゲームチェンジャー 創薬・ヘルスケアへの息吹	(公財)かざさ DNA 研究所	共催	東京都	産総研 臨海副都心センター
89	2014.11.7～ 2014.11.17	ワークショップ「歴史地震 (貞観地震) に学ぶ津波の実態」	神戸大学人文学研究科・文学部・地理教室	協力	兵庫県	神戸大学人文学研究科 C 棟多目的室
90	2014.11.7～ 2014.11.9	「セーフティグッズ フェア with サイエンスアゴラ 2014」	(特非)キッズデザイン協議会	協力	東京都	東京都立産業技術研究センター
91	2014.11.7～ 2014.11.19	サイエンスアゴラ 2014	(独)科学技術振興機構	出展	東京都	日本科学未来館、産総研 臨海副都心センター、東京都立産業技術研究センター

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
92	2014.11.8～ 2014.11.9	平成26年度全国高等専門学校デザインコンペティション	熊本高等専門学校	後援	熊本県	八代市総合体育館
93	2014.11.9～ 2014.11.13	「第5回国際ユニヴァーサルデザイン会議2014 in 福島&東京」	一般財団法人国際ユニヴァーサルデザイン協議会	後援	福島県	ビッグパレットふくしま
94	2014.11.11	平成26年度イノベーションコーディネータ表彰	(独) 科学技術振興機構	後援	茨城県	つくば国際会議場
95	2014.11.11～ 2014.11.12	全国イノベーションコーディネータフォーラム2014	(独) 科学技術振興機構	後援	茨城県	つくば国際会議場
96	2014.11.11～ 2014.11.13	第10回日独産業フォーラム2014	ドイツ貿易・投資振興機関	後援	東京都	ウェスティンホテル東京
97	2014.11.11～ 2014.11.12	2014年 IEC 東京大会併催技術展示会	2014年 IEC 東京大会実行委員会	出展	東京都	東京国際フォーラム
98	2014.11.12～ 2014.11.14	グリーン・イノベーション EXPO 2014	(公社) 化学工学会、(一社) 日本能率協会	協賛	東京都	東京ビッグサイト
99	2014.11.13～ 2014.11.14	第18回いたばし産業見本市	(公財) 板橋区産業振興公社	出展	東京都	板橋区立東板橋体育館
100	2014.11.14	第139回温度計測部会講演会「極み(きわみ)の温度計測」	(公社) 計測自動制御学会	後援	東京都	大田区産業プラザ
101	2014.11.15	第3回みやぎサイエンスフェスタ～コア SSH 事業～	宮城県仙台第三高等学校	出展	宮城県	宮城県仙台第三高等学校
102	2014.11.17～ 2014.11.19	第8回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム	(特非) 日本電磁波エネルギー応用学会	協賛	高知県	高知会館、高知県工業技術センター
103	2014.11.18	第12回環境研究シンポジウム気候変動と科学技術～考えよう地球の未来!～	環境研究機関連絡会	共催	東京都	一橋大学
104	2014.11.18～ 2014.11.19	「革新的先進複合材料活用国際フォーラム2014」～高機能素材を活用した事業化を目指して～	四国経済産業局、四国地域イノベーション創出協議会	後援	香川県	サンポートホール高松
105	2014.11.19	「平成26年度ベンチャープラザ ファンド in Tokyo」	(独) 中小企業基盤整備機構	後援	東京都	東京ビッグサイト
106	2014.11.19	郡山市産業クラスターセミナー	郡山市	後援	東京都	ホテル椿山荘東京
107	2014.11.19～ 2014.11.21	計測展 2014 OSAKA	(一社) 日本電気計測器工業会	協賛	大阪府	大阪国際会議場
108	2014.11.20	第9回 CMSI 産官学連続研究会「炭素繊維複合材料における分子シミュレーション」	計算物質科学イニシアティブ、(独) 産総研	共催	東京都	秋葉原ダイビル
109	2014.11.21	四国食品健康フォーラム2014～新たな機能性表示制度を活用した食産業の振興に向けて～	(一財) 四国産業・技術振興センター	後援	愛媛県	愛媛県美術館
110	2014.11.22～ 2014.11.23	第27回日本トレーニング科学会大会～トレーニング科学の Diversity～2020年に向けて～	日本トレーニング科学会	共催	東京都	産総研 臨海副都心センター
111	2014.11.23～ 2014.11.27	第6回太陽光発電世界会議 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	第6回太陽光発電世界会議 (WCPEC-6) 組織委員会	後援・出展	京都府	京都国際会館
112	2014.11.25～ 2014.11.27	第27回国際超電導シンポジウム (ISS2014)	(公財) 国際超電導産業技術研究センター	後援	東京都	タワーホール船堀
113	2014.11.25～ 2014.11.29	2014年度秋季地質調査研修	(一社) 日本地質学会	共催	千葉県	千葉県君津市及びその周辺地域
114	2014.11.26	第15回計測自動制御システムインテグレーション部門講演会	(公社) 計測自動制御システムインテグレーション部門	協賛	東京都	東京ビッグサイト
115	2014.11.26～ 2014.11.27	JOGMEC Techno Forum 2014	(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構	出展	東京都	パレスホテル東京
116	2014.11.26～ 2014.11.28	「国際粉体工業展東京2014」	(一社) 日本粉体工業技術協会	後援	東京都	東京ビッグサイト
117	2014.11.26～ 2014.11.28	「No.14-24 第25回内燃機関シンポジウムーエンジンシステムを支える基礎技術ー」	(一社) 日本機械学会	後援	茨城県	産総研 つくばセンター
118	2014.11.27～ 2014.11.28	セキュアに“つながる”製品設計講座 in 名古屋・in 浜松	中部経済産業局	後援	愛知県	ウイंकあいち、アクトシティ浜松
119	2014.11.27～ 2014.11.28	「型技術ワークショップ 2014 in 愛知」	(一社) 型技術協会	協賛	愛知県	ウイंकあいち
120	2014.11.27～ 2014.11.28	第36回風力エネルギー利用シンポジウム	(公財) 日本科学技術振興財団、(一社) 日本風力エネルギー学会	後援	東京都	化学技術館
121	2014.11.28	中四国環境ビジネスネット (B-net) フォーラム2014	岡山県、(公財) 岡山県産業振興財団	後援	岡山県	メルパルク OKAYAMA
122	2014.11.28～ 2014.11.29	2014アグリビジネス創出フェア in Hokkaidoー北海道の食と農の明日へー	NPO 法人グリーンテクノバンク、農林水産省	後援	北海道	サッポロファクトリー
123	2014.11.29～ 2014.11.30	第5回横幹連合総合シンポジウム	(特非) 横断型基幹科学技術研究団体連合	協賛	東京都	東京大学 本郷キャンパス
124	2014.11.29～ 2014.12.2	第5回世界工学会議 World Engineering Conference and Convention	(公社) 日本工学会	後援	京都府	国立京都国際会館
125	2014.12.3～ 2014.12.4	第3回ふくしま復興再生可能エネルギー産業フェア2014	福島県、(公財) 福島県産業振興センター	後援	福島県	ビッグパレットふくしま

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
126	2014.12.4	「東北大学イノベーションフェア 2014 Dec」	東北大学	後援	宮城県	仙台国際センター
127	2014.12.4	産学官連携フェア 2014Dec. みやぎ	(公財) みやぎ産業振興機構	共催	宮城県	仙台国際センター
128	2014.12.4～2014.12.5	「第47回安全工学研究発表会」	(特非) 安全工学会	共催	茨城県	産総研 つくばセンター
129	2014.12.7	親子 de わくわくサイエンス「地球の歴史を語る化石たち」	(公財) 日本科学技術振興財団	協力	東京都	科学技術館
130	2014.12.8	第7回 大阪大学共同研究講座シンポジウム	大阪大学	後援	大阪府	大阪大学 中之島センター
131	2014.12.8	ベイエリアロボティクスフォーラムロボットシンポジウム 2014 Fall	芝浦工業大学 複合領域産学官連携推進本部	後援	東京都	芝浦工業大学 豊洲キャンパス
132	2014.12.9～2014.12.10	ビジネス・エンカレッジ・フェア2014	池田泉州銀行	後援	大阪府	大阪国際会議場
133	2014.12.11	CIRP シンポジウム 国家レベルの産業競争力協会の取り組み-欧米における生産技術研究開発プロジェクトの動向-	国際生産工学アカデミー (CIRP) 国内委員会、東京大学	協賛	東京都	東京大学 伊藤国際学術研究センター
134	2014.12.11	触媒学会つくば地区講演会	(一社) 触媒学会	後援	茨城県	産総研 つくばセンター
135	2014.12.12	第3回 ネイチャー・インダストリー・アワード	(一財) 大阪科学技術センター	後援	大阪府	大阪科学技術センター
136	2014.12.14	きのくにロボットフェスティバル2014	きのくにロボットフェスティバル2014 実行委員会	協賛	和歌山県	御坊市立体育館
137	2014.12.19	第10回 CMSI 産官学連続研究会「構造用金属(鉄鋼)材料における計算材料科学」	計算物質科学イニシアティブ(CMSI)、(独)産総研	共催	東京都	秋葉原ダイビル
138	2015.1.9	第2回 JMAC シンポジウム「バイオ産業基盤としての国際標準化」	(特非) バイオチップコンソーシアム	後援	東京都	東京ウィメンズプラザ
139	2015.1.12～2015.1.17	北淡国際活断層シンポジウム2015	淡路市、北淡国際活断層シンポジウム実行委員会	共催	兵庫県	淡路夢舞台国際会議場
140	2015.1.13	シンポジウム：細胞アッセイ技術の現状と将来	細胞アッセイ研究会	共催	東京都	東京大学生産技術研究所コンベンションホール
141	2015.1.13～2015.1.14	第82回レーザ加工学会講演会	(一社) レーザ加工学会	共催	東京都	産総研 臨海副都心センター
142	2015.1.13～2015.1.16	第10回バイオマス科学会議(第2回アジアバイオマス科学会議を付帯)	(一社) 日本エネルギー学会	共催	茨城県	産総研 つくばセンター
143	2015.1.14	つくば医工連携フォーラム2015	(独) 農業生物資源研究所、つくばバイオマテリアル医工学研究会、いばらき成長産業振興協議会、筑波大学 次世代医療研究開発・教育統合(CREIL)センター	共催	茨城県	農林水産技術会議事務局筑波事務所
144	2015.1.16	先進テクノフェア(ATF2015)	(公社) 砥粒加工学会	後援	東京都	産総研 臨海副都心センター
145	2015.1.19	かがわ糖質バイオフィォーラム第7回シンポジウム	かがわ糖質バイオフィォーラム、(公財) かがわ産業支援財団	後援	香川県	かがわ国際会議場
146	2015.1.19	平成26年度先導技術交流会シンポジウム(第6回先導技術研究会)	(一社) 研究産業・産業技術振興協会	後援	東京都	(独) 科学技術振興機構 東京本部
147	2015.1.19～2015.1.20	第7回革新的太陽光発電国際シンポジウム	東京大学 先端科学技術研究センター	共催	東京都	東京大学 先端科学技術研究センター
148	2015.1.20	福岡大学新春産学官技術交流会2015	福岡大学	後援	福岡県	福岡大学
149	2015.1.20	「第371回講習会『ウェアラブル技術の最先端-「着る」機械の現在・過去・未来』」	(公社) 精密工学会	協賛	東京都	ICTCO (中野区産業振興推進機構)
150	2015.1.21	ライフィノベーション学位プログラム 第2回シンポジウム タンパク質構造解析による創薬の最前線	筑波大学ライフィノベーション学位プログラム、(独)産総研、つくばライフサイエンス推進協議会	共催	茨城県	産総研 つくばセンター
151	2015.1.21	「SAT テクノロジー・ショーケース 2015」	(一財) 茨城県科学技術振興財団 つくばサイエンス・アカデミー	共催	茨城県	つくば国際会議場
152	2015.1.22	第8回組込み開発企業展示会	組込みシステム産業推進機構	後援	神奈川県	日本電気株式会社 玉川事業場
153	2015.1.22～2015.1.26	環境報告書展	札幌市	出展	北海道	札幌市地下歩行空間
154	2015.1.23	戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)次世代海洋資源調査技術(海のジバング計画)シンポジウム「海のジバングを目指して～海洋資源調査産業の創出に向けた新たな展開～」	(独) 海洋研究開発機構	後援	東京都	ヤクルトホール
155	2015.1.25	「第8回つくば3Eフォーラム会議」	つくば3Eフォーラム委員会(筑波研究学園都市交流協議会)、筑波大学	後援	茨城県	つくば市役所

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
156	2015.1.27	第6回次世代ユビキタス・パワーエレクトロニクスのための信頼性科学ワークショップ～ユビキタス化する車載用パワーモジュールの信頼性～	北九州市、(公財)アジア成長研究所	共催	東京都	発明会館ホール
157	2015.1.27	J-DESC コアスクール・岩石コア記載技術コース	日本地球掘削科学コンソーシアム	共催	茨城県	産総研 つくばセンター
158	2015.1.28	国際色彩学会中間大会 AIC2015 TOKYO	AIC (国際色彩学会) 日本色彩学会	後援	東京都	ソラシティカンファレンスセンター
159	2015.1.28～ 2015.1.30	nano tech 2015第14回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議	nano tech 実行委員会	後援	東京都	東京ビッグサイト
160	2015.1.28～ 2015.1.30	Printable Electronics 2015	プリンタブルエレクトロニクス実行委員会	出展	東京都	東京国際展示場
161	2015.1.31	CCSEA-JPN ワークショップ CCS 実適用への道筋を考える: CCS の環境影響評価と社会的受容性	海域を利用した二酸化炭素貯留の環境影響評価に係る研究ネットワーク (CCSEA-JPN)	共催	東京都	電力中央研究所 大手町地区
162	2015.2.3～ 2015.2.4	「水素先端世界フォーラム 2015」	福岡水素エネルギー戦略会議、福岡県、九州大学	後援	福岡県	九州大学
163	2015.2.3	『第8回 つくば産産学連携促進市 in アキバ』	つくば市	共催	東京都	秋葉原ダイビル
164	2015.2.4	SAGA テクノ2015～産学官連携技術交流会	佐賀県	共催	佐賀県	マリトピア
165	2015.2.6	化学物質の安全管理に関するシンポジウム-化学物質規制における新たな課題と背景-	化学物質の安全管理に関するシンポジウム実行委員会	共催	東京都	中央合同庁舎8号館講堂
166	2015.2.9	平成26年度埼玉地震対策セミナー	埼玉県地震対策セミナー実行委員会	協力	埼玉県	埼玉会館大ホール
167	2015.2.11	つくばロボットフェスティバル	つくば市、ロボット特区実証実験推進協議会	出展	茨城県	つくば国際会議場
168	2015.2.13	日本マグネシウム協会九州支部第2回マグネシウムシンポジウム	日本マグネシウム協会九州支部、(公財)くまもと産業支援財団、熊本マグネシウム推進委員会	後援	熊本県	グランメッセ熊本
169	2015.2.13	ものこと双発学会2014年年次研究発表大会	ものこと双発学会	後援	東京都	東京理科大学 PORTA 神楽坂
170	2015.2.13	第4回全国組込み産業フォーラムおよび地域連携セミナー	組込みシステム産業推進機構、(公社)沖縄県情報産業協会	共催	沖縄県	那覇第2地方合同庁舎
171	2015.2.17	第10回つくばビジネスマッチング会『つくば発最先端ロボット・マンマシンインタフェース』～人間と機械をつなぐ技術で、安心・安全な社会と楽しく便利な知能化空間を実現～	つくば研究支援センター、三井物産、(独)産総研	共催	東京都	産総研 臨海副都心センター
172	2015.2.17	Japan Venture Awards 2015	(独)中小企業基盤整備機構	後援	東京都	六本木アカデミーヒルズ
173	2015.2.17～ 2015.2.19	「京都産学公連携フォーラム2015」	(公社)京都工業会	後援	京都府	京都パルスプラザ
174	2015.2.20	元素戦略/希少金属代替材料開発 第9回合同シンポジウム	元素戦略/希少金属代替材料開発 合同戦略会議、(独)科学技術振興機構	後援	東京都	東京国際フォーラム
175	2015.2.20	先端加工技術講演会「金属積層造形技術の最前線-3D プリンターの実用性を探る-」	(一財)先端加工機械技術振興協会	後援	東京都	日本工業大学 神田キャンパス
176	2015.2.24	海洋メタンハイドレートの資源開発と環境保全に関する新潟フォーラム	海洋メタンハイドレートの資源開発と環境保全に関する新潟フォーラム実行委員会	共催	新潟県	新潟コンベンションセンター 朱鷺メッセ
177	2015.2.26	県内5金融機関との連携による“茨城ものづくり企業交流会2015づく	(一社)茨城県経営者協会	後援	茨城県	水戸プラザホテル
178	2015.3.2～ 2015.3.3	「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」平成26年度成果報告シンポジウム	災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画成果報告シンポジウム実行委員会	後援	東京都	東京大学武田ホール
179	2015.3.5～ 2015.3.7	第8回としまものづくりメッセ	としまものづくりメッセ実行委員会	後援	東京都	サンシャインシティ展示場
180	2015.3.6	超低電圧デバイス技術研究組合 第4回成果報告会	超低電圧デバイス技術研究組合	協賛	東京都	東京大学 伊藤国際学術研究センター
181	2015.3.6	シンポジウム「つくばにおけるイノベーション・エコシステム構築のあり方を考える」	筑波大学、文部科学省	後援	茨城県	筑波大学、つくばグローバル・イノベーション推進機構
182	2015.3.9	第13回高分子ナノテクノロジー研究会講座	(公社)高分子学会	協賛	東京都	産総研 臨海副都心センター
183	2015.3.9～ 2015.3.12	J-DESC コアスクール・コア解析基礎コース	日本地球掘削科学コンソーシアム	共催	高知県	高知コアセンター
184	2015.3.15～ 2015.3.17	第7回日本地学オリンピック	(特非)地学オリンピック日本委員会	共催	茨城県	筑波大学、産総研 つくばセンター
185	2015.3.16	マネジメントのための計量計測トレーサビリティ講演会	(一財)日本品質保証機構	後援	東京都	牛込筆筒区民ホール

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都道 府県	会場名
186	2015.3.17	札幌市経済界フォーラム	(一財) さっぽろ産業振興財団、札幌市	後援	北海道	京王プラザホテル札幌
187	2015.3.20	平成26年度福島大学研究・地域連携成果報告会	福島大学	後援	福島県	コラッセふくしま
188	2015.3.25～ 2015.3.26	未来展2015	(一社) 中部産業連盟、中日新聞社	出展	愛知県	名古屋市中小企業振興会館
189	2015.3.30	地盤材料試験の技能評価と精度・ばらつきの実態講習会	(公社) 地盤工学会	後援	東京都	地盤工学会

## 3) 見 学

平成26年度見学視察対応数（ユニット別）

部署	計
ユビキタスエネルギー研究部門	92
環境管理技術研究部門	132
環境化学技術研究部門	39
エネルギー技術研究部門	166
安全科学研究部門	74
グリーン磁性材料研究センター	23
メタンハイドレート研究センター	42
コンパクト化学システム研究センター	50
先進パワーエレクトロニクス研究センター	39
太陽光発電工学研究センター	39
バイオマスリファイナリー研究センター	2
触媒化学融合研究センター	7
再生可能エネルギー研究センター	280
健康工学研究部門	119
生物プロセス研究部門	33
バイオメディカル研究部門	48
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	165
糖鎖創薬技術研究センター	26
ゲノム情報研究センター	7
幹細胞工学研究センター	27
創薬分子プロファイリング研究センター	31
知能システム研究部門	346
情報技術研究部門	39
ナノエレクトロニクス研究部門	157
電子光技術研究部門	60
セキュアシステム研究部門	14
ネットワークフォトンクス研究センター	7
デジタルヒューマン工学研究センター	0
ナノスピントロニクス研究センター	23
サービス工学研究センター	46
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	123
先進製造プロセス研究部門	202
サステナブルマテリアル研究部門	111
ナノシステム研究部門	128
ナノチューブ応用研究センター	70
集積マイクロシステム研究センター	42
計測標準研究部門	451
計測フロンティア研究部門	72
生産計測技術研究センター	48
計量標準管理センター	81
地圏資源環境研究部門	39
地質情報研究部門	30
地質調査情報センター	13
地質標本館	343
環境・エネルギー分野研究企画室	106

部署	計
ライフサイエンス分野研究企画室	67
情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室	80
ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室	67
計測・計量標準分野研究企画室	28
地質分野研究企画室	28
企画本部	507
イノベーション推進本部	587
つくばイノベーションアリーナ推進本部	233
環境安全本部	0
総務本部	11
コンプライアンス推進本部	2
評価部	1
広報部	44
北海道センター	33
東北センター	17
つくばセンター	24
東京本部	0
臨海副都心センター	82
中部センター	119
関西センター	106
中国センター	10
四国センター	6
九州センター	31
福島再生可能エネルギー研究所	1054
活断層・火山研究部門	28
総計	7157



9) 監査室  
(Audit Office)

所在地：つくば中央第2

人員：5名

概要：

監査室は、(1) ①業務の有効性及び効率性、②事業活動に係る法令等の遵守、③資産の保全、④財務報告書等の信頼性の実現のため、各業務が適正かつ効率的に機能しているかモニタリングすることを目的とした内部監査業務、(2) 研究所の財務内容等の監査を含む業務の適正かつ能率的な運営を確保することを目的とした通則法第19条第4項に基づく監事の監査業務の支援に関する業務を行っている。

機構図 (2015/3/31現在)

[監査室]

室長	五十嵐 光教
総括主幹	加藤 信隆

平成26年度の主な活動

内部監査については、監査の必要性の高い特定のテーマに加え、研究ユニット単位で業務全般について包括的な監査を実施し、監査を通じて把握・取得した業務の実態及び客観的データを分析・評価することにより、当該業務の合规性、有効性、効率性の把握と課題等を抽出し、監査対象部門等に対する改善提言等を行い、併せて、過年度の内部監査における改善提言に対する改善状況のフォローアップ監査を行った。

また、監事の監査業務の支援として、監事監査が適切かつ効率的に行えるよう監事との打合せを十分に行うとともに、監査対象部門の事前情報収集、データ作成、日程調整及び監査記録作成等を行った。

### Ⅲ. 資 料



### Ⅲ. 資 料

従来の工業技術院年報で大部分を占めていた研究発表、特許登録などのデータは、産業技術総合研究所年報からは、研究ユニット別の成果等にて記載している。これらのデータは、産業技術総合研究所公式ホームページ (<http://www.aist.go.jp/>) データベースにて提供されている。

## 資料

## 1. 研究発表

ユニット名	誌上发表	口頭発表	著書・刊行物・調査報告	地球科学情報	計量技術情報・工業標準化	ソフトウェア	データベース	イベント出展	プレス発表	合計
フェロー	2	3								5
顧問	1									1
理事	1	1	1							3
環境・エネルギー分野		1								1
環境・エネルギー分野研究企画室	1	1								2
メタンハイドレート研究センター	33	64	1					6		104
コンパクト化学システム研究センター	55	175	11					7		248
先進パワーエレクトロニクス研究センター	31	78								109
太陽光発電工学研究センター	154	246	7		2			1	3	413
バイオマスリファイナリー研究センター	54	34	2							90
触媒化学融合研究センター	38	92	5					4	3	142
再生可能エネルギー研究センター	65	145	3					5	1	219
ユビキタスエネルギー研究部門	163	443	20					16		642
環境管理技術研究部門	108	341	23					1	11	484
環境化学技術研究部門	77	124	15		1			2	1	220
エネルギー技術研究部門	285	552	20		3			7	3	870
安全科学研究部門	103	217	61			1		3		385
幹細胞工学研究センター	38	94	7					3		142
創薬分子プロファイリング研究センター	33	36	3					1		73
糖鎖創薬技術研究センター	9	45								54
ゲノム情報研究センター	22	89								111
健康工学研究部門	165	311	22					25		523
生物プロセス研究部門	140	302	8					7	4	461
バイオメディカル研究部門	179	304	16					9		508
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	260	453	29		4			16	1	763
情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室		1								1
ネットワークフォトンクス研究センター	56	53	1					1	1	112
デジタルヒューマン工学研究センター	51	74						6		131
ナノスピントロニクス研究センター	32	120						2	1	155
サービス工学研究センター	93	113	1		1			7	1	216
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	67	119	8		1			8	1	204
知能システム研究部門	143	282	8		1			9		443
情報技術研究部門	87	137	3		1			6	3	237
ナノエレクトロニクス研究部門	210	275	4					6	7	502
電子光技術研究部門	155	304	21					23	3	506
セキュアシステム研究部門	103	135	5					2		245
ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室		1								1
ナノチューブ応用研究センター	68	112	5					4	2	191
集積マイクロシステム研究センター	97	106	2					7	1	213
グリーン磁性材料研究センター	14	53	3					3	1	74
先進製造プロセス研究部門	215	399	10		1			20	2	647
サステナブルマテリアル研究部門	122	198	12					14	3	349
ナノシステム研究部門	220	640	30					19	8	917
計測・計量標準分野	3	5								8
計測・計量標準分野研究企画室		2						7		9
生産計測技術研究センター	48	112	8					9	1	178
計測標準研究部門	412	624	30		258			23	5	1,352
計測フロンティア研究部門	138	253	13		1			8	1	414
計量標準管理センター	4	3	1		4			1	1	14
地質分野研究企画室	1	6	2							9
地圏資源環境研究部門	158	259	24			4		13	1	459
地質情報研究部門	123	333	19	2			39	12		528
活断層・火山研究部門	74	262	48	1			1	24	2	412
地質調査情報センター		4	2							6
地質標本館	3	18						32		53
企画本部	4	1								5
イノベーション推進本部	5	5	2							12
つくばイノベーションアリーナ推進本部	3	4						7		14

産業技術総合研究所

ユニット名	誌上 発表	口頭 発表	著書・ 刊行 物・調 査報告	地球科 学情報	計量技 術情 報・工 業標準 化	ソフト ウェア	データ ベース	イベン ト出展	プレス 発表	合計
知的財産部		1	1							2
産学官連携推進部	3									3
国際部	1									1
安全管理部	1		2							3
評価部	2	4						1		7
広報部	1							5		6
つくばセンター		1	6							7
つくば中央第六事業所	1									1
中部センター		5	2							7
関西センター	4	12								16
四国センター	1	2	1							4
福島再生可能エネルギー研究所	2	4								6
合 計	4,742	9,193	528	3	278	5	41	402	61	15,253

資 料

2. 兼 業

平成26年度兼業一覧

所属\依頼元	高等教育機関	公的機関	公益法人	民間企業等	総計
コンパクト化学システム研究センター	1	1	4	1	7
先進パワーエレクトロニクス研究センター			1		1
太陽光発電工学研究センター	7	1	4		12
バイオマスリファイナリー研究センター	2		2		4
触媒化学融合研究センター	3		5		8
再生可能エネルギー研究センター	2		1	1	4
ユビキタスエネルギー研究部門	12	4	12	1	29
環境管理技術研究部門	9	11	43	2	65
環境化学技術研究部門	4	1	3	1	9
エネルギー技術研究部門	20	3	33	10	66
安全科学研究部門	10	11	20	11(1)	52(1)
幹細胞工学研究センター	4	2	1	3(1)	10(1)
創薬分子プロファイリング研究センター	1		2		3
糖鎖創薬技術研究センター	1		1	(1)	3(1)
ゲノム情報研究センター	9		5	1	15
健康工学研究部門	16	5	14	2(1)	37(1)
生物プロセス研究部門	8	3	6	3	20
バイオメディカル研究部門	24	6	26	8(1)	64(1)
ヒューマンライフテクノロジー研究部門	27	4	31	12(4)	74(4)
ネットワークフォトニクス研究センター	1				1
デジタルヒューマン工学研究センター	6	2	5	1	14
ナノスピントロニクス研究センター			2		2
サービス工学研究センター	4		5	5(2)	14(2)
フレキシブルエレクトロニクス研究センター			2	2(1)	4(1)
知能システム研究部門	42	3	17	11(5)	73(5)
情報技術研究部門	1	1	8	6	16
ナノエレクトロニクス研究部門	2	3	8	6(1)	19(1)
電子光技術研究部門	7	3	9	4(3)	23(3)
セキュアシステム研究部門	9	3	10	11(1)	33(1)
ナノチューブ応用研究センター	2		1		3
集積マイクロシステム研究センター	2				2
先進製造プロセス研究部門	20	10	13	5(1)	48(1)
サステナブルマテリアル研究部門	1		1	1	3
ナノシステム研究部門	15	3	12	(1)	31(1)
生産計測技術研究センター	3		1		4
計測標準研究部門	17	7	13	5	42
計測フロンティア研究部門	5		9	1	15
地圏資源環境研究部門	4	6	7	2	19
地質情報研究部門	6	4	9	(1)	20(1)
活断層・火山研究部門	4	4	10		18
地域センター	9	7	27	7	50
本部組織・事業組織・その他	27	34	47	6	114
総計	347	142	430	132(25)	1051(25)

( ) 内は役員兼業の数を示している

### 3. 中期目標

独立行政法人産業技術総合研究所（以下、「産総研」という。）は、平成13年4月に旧工業技術院の研究所等16の機関を統合し、一つの独立行政法人として発足した。その後、平成17年4月に非公務員型独立行政法人に移行した。

上記の措置の実施により、多岐にわたる分野の研究者集団の融合が進められるとともに、柔軟で機動的な組織運営や予算執行、産業界、大学との人材交流等が可能となった。

現下の産業技術を巡る状況を見れば、地球温暖化、少子高齢化といった地球規模の課題が顕在化する中で、こうした課題の解決の鍵として、戦略的なイノベーションを推進し、それにより新たな需要を創造することが重要となっている。政府は、今後10年間を見据えて新たな成長戦略を策定・実行し、我が国の強みを活かした「課題解決型国家」を実現することとしている。そのため世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」などを迅速に推進し、課題の解決とともに、アジアと連携した成長を実現していくこととしている。また、産総研はこれまで以上に機動的かつ効率的な業務運営を実現し、民間では困難な研究開発活動を一層効果的に実施することが求められている。

このような状況の下、イノベーションによる課題解決と新たな成長の実現に向けて、産総研の業務である鉱工業の科学技術に関する研究開発等の重要性は高まっており、なかでも、基礎的な研究と開発的な研究との間をつなぐ橋渡し研究の意義は一層増している。第1期中期目標期間（平成13～16年度）及び第2期中期目標期間（平成17～21年度）における実績を踏まえつつ、第3期中期目標期間においては、こうした観点から産総研が業務や組織のさらなる見直しと重点化を進め、経済と環境の両立、国民生活向上等への研究開発による貢献、新たなイノベーションシステムの構築、イノベティブな人材養成の推進、新時代の産業基盤の整備等、国際的な展開も含めた新たなイノベーションを創出していくための活動を戦略的かつ効率的に実施すること等を通じ、世界トップに立つ研究機関を目指していくことが期待される。

#### I. 中期目標の期間

産総研の平成22年度から始まる第3期における中期目標の期間は、5年（平成22年4月～平成27年3月）とする。

#### II. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上

##### 1. 「課題解決型国家」の実現に向けた研究開発の重点分野

- (1) 世界をリードする「グリーン・イノベーション」、「ライフ・イノベーション」の推進
- ・グリーン・イノベーションについて、太陽光発電、蓄

電池、次世代自動車、ナノ材料、情報通信システムの低消費電力化等の技術開発を加速化する。また、第3期中期目標期間中に実用化の可能性が高い技術について、重点的に取り組む。太陽光発電等の新規技術の性能や信頼性に係る評価技術の開発を推進する。

- ・ライフ・イノベーションについて、産総研の有する高度なものづくり技術を最大限に活用し、創薬、再生医療、遠隔医療システム、介護・福祉ロボット等の技術開発を推進する。また、ロボットの性能・安全性評価技術を重点的に開発する。
  - ・上記の技術開発においては、要素技術の開発にとどまらず、技術のシステム化及びその社会への導入のために必要な研究開発もあわせて推進する。
- (2) 他国の追従を許さない先端技術開発の推進
- ・産業競争力の維持、強化のために必要な情報通信技術、材料・部材技術、製造プロセス技術等に関する革新的な技術開発を行う。

#### 2. 地域活性化の中核としての機能強化

##### (1) 地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発の推進

- ・地域センターは、バイオものづくり、蓄電池等地域の産業集積等を踏まえて研究分野を重点化し、国内最高水準の研究開発を推進する。
- ・地域センターは、各地域で重点化した分野において、企業の研究人材を積極的に受け入れ、共同研究を効率的に推進する。

##### (2) 中小企業への技術支援・人材育成の強化

- ・中小企業が行う研究開発から生まれた製品の実証試験・性能評価等を支援し、その事業化を促進する。そのため、産総研の設備等の供用、公設試験研究機関等との連携等を積極的に行う。
- ・中小企業との共同研究、技術相談等の件数を増大させる。
- ・共同研究を通じて、中小企業の研究者を積極的に受け入れる。また、技術研修等を通じ、先端的な技術開発等に対応できる中小企業の人材の育成を推進する。

#### 3. 産業や社会の「安全・安心」を支える基盤の整備

##### (1) 国家計量標準の高度化及び地質情報の戦略的整備

- ・ナノスケール等の高度な計測ニーズや新素材の安全性評価等に応えるため、計量標準の高度化、新規標準物質の提供等を行う。
- ・資源エネルギーの安定供給の確保、防災等のため、地質調査を行うとともに、従来に比してより詳細な地質図の作成等を行う。

##### (2) 新規技術の性能及び安全性の評価機能の充実

- ・研究開発によって得られた新規技術の社会への普及に不可欠な性能及び安全性の評価について、民間企業とのコンソーシアム等を活用しつつ、評価技術の開発、



基準の作成を推進する。そのため、産総研内に性能及び安全性評価の推進を主務とする組織を設置する。

- ・開発した性能及び安全性評価技術の標準化を進めるとともに、蓄積した技術や知見等について民間認証機関への移転を推進する。
- ・環境配慮素材の物性等の性能・安全性のデータベースの整備を推進する。

### (3) 研究開発成果の戦略的な国際標準化、アジアへの展開

- ・研究開発プロジェクトの企画の段階から、標準化を見据えたものとし、国際標準化の提案を拡大する。我が国の提案の実現に向け、国際標準化を検討する国際会議等への専門家の派遣数を拡大する。
- ・環境技術やその性能、信頼性に係る評価技術等の分野について、アジア諸国等の評価機関等との技術協力を行うとともに、可能な分野において国際標準化に向けた共同作業を行う。

## 4. 「知恵」と「人材」を結集した研究開発体制の構築

### (1) 産学官が結集して行う研究開発の推進

- ・ナノテクノロジー、太陽光発電、蓄電池、ロボット等の分野において、つくばセンターや地域センターの研究環境を整備すること等を通じて産業界、大学及び公的研究機関の多様な人材を結集し、世界をリードする研究開発を推進する。あわせて、施設や設備の外部利用、共同研究時の知的財産の保有に関するルール作り等を行う。
- ・世界トップに立つ研究機関を目指し、論文数の拡大を推進するとともに、その論文の被引用数に基づく世界ランキングの向上を実現する。

### (2) 戦略的分野における国際協力の推進

- ・燃料電池、バイオ燃料の技術等のクリーン・エネルギー技術分野における米国の国立研究所との間の共同研究等を推進し、国際的な人材交流、研究テーマの拡大を実施する。
- ・バイオマス等において、アジア諸国等の研究機関との間で、現地における実証、性能評価に関する研究協力等を拡大する。

### (3) 若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進

- ・産総研を通じてポストドク等の研究人材を共同研究の相手先企業に派遣すること等により、若手研究者の能力向上や就職の機会を拡大する。
- ・企業の研究人材の受入れや産総研研究者の企業への派遣等、人材交流を拡大する。

## 5. 研究開発成果の社会への普及

### (1) 知的財産の重点的な取得と企業への移転

- ・産総研として取得し管理すべき知的財産の対象を重点化するため、知的財産の取得や管理に係る方針を策定

する。

- ・円滑な技術移転を実現するため、知的財産権の対価の柔軟化など、管理体制等を見直す。

### (2) 研究開発成果を活用したベンチャー創出支援

- ・産総研の研究成果だけでなく、大学、他の研究機関等の成果を組み合わせた事業創出を支援する。事業の円滑な発展のため、産総研職員の企業における兼業等を促進する。

### (3) 研究開発成果を活用しようとする者への出資による実用化支援

- ・研究開発の成果の実用化及びこれによるイノベーションの創出を図るため、産総研の研究開発の成果を事業活動において活用しようとする者に対し、出資（金銭出資を除く。）並びに人的及び技術的援助の業務を行う。

### (4) 企業や一般国民との直接対話を通じた広報の強化

- ・オープンラボ等を通じた積極的な広報により、研究者や国民に対し産総研の成果を直接アピールする機会を拡大し、認知度を高める。

## 6. その他

- ・平成24年3月31日限りで特許庁からの委託による特許生物株の寄託や分譲等の業務等の全部を廃止する。なお、当該業務については、同年4月1日から独立行政法人製品評価技術基盤機構が承継する。
- ・上記1～5を踏まえ、下記分野について、それぞれ別表に示した具体的な技術開発を進める。

鉱工業の科学技術 【別表1】

地質の調査 【別表2】

計量の標準 【別表3】

## III. 業務運営の効率化

### 1. 業務運営の抜本的効率化

#### (1) 管理費、総人件費等の削減・見直し

- ・運営費交付金を充当して行う事業は、新規に追加されるもの、拡充分等は除外した上で、一般管理費は毎年度3%以上を削減し、業務費は毎年度1%以上を削減する。
- ・総人件費は、「簡素で効率的な政府を実現するための行政改革の推進に関する法律」（平成18年法律第47号）等に基づき、平成18年度から5年間で5%以上を基本とする削減等の取組を引き続き実施するとともに、「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2006」（平成18年7月7日閣議決定）に基づき、人件費改革の取組を平成23年度まで継続する。
- ・一般管理費、諸手当及び法定外福利費について、適正な水準であるか等を含め、不断の確認を行い改善する。
- ・施設管理業務等について、アウトソーシングを推進し、包括契約や複数年度契約の導入等により一層効率化を進める。

- ・独立行政法人を対象とした横断的な見直しについては、随時適切に対応する。

(2) 契約状況の点検・見直し

- ・「独立行政法人の契約状況の点検・見直しについて」（平成21年11月17日閣議決定）に基づき、契約を徹底的に見直す。
- ・一者応札及び100%落札率の削減等について有識者の意見を踏まえた改善を実施する。

2. 研究活動の高度化のための取組

(1) 研究組織及び事業の機動的な見直し、外部からの研究評価の充実

- ・外部からの研究評価の結果等を踏まえ、研究組織の改廃等を機動的に実施する。また、研究評価の充実に向け、評価者が研究内容を適切に把握できるように、研究者との意見交換等の機会を拡大する。
- ・「産総研研究戦略」を策定し、研究の重点分野、政策との関係、他の機関との連携強化のための取組等を明らかにし、研究成果の目標等を具体的かつ定量的に示す。
- ・地域センター、産総研イノベーションスクール、専門技術者育成事業、ベンチャー開発センターについては、その成果について確認を行い、最大限の効果が得られるよう改善する。

(2) 研究機器や設備の効率的な整備と活用

- ・新たな事業所等の設置等については、その必要性や経費の節減に十分配慮する。
- ・研究機器や設備の配置の機動的見直し、外部の者への利用機会の拡大を進める。

3. 職員が能力を最大限発揮するための取組

(1) 女性や外国人を含む優秀かつ多様な人材の確保及び育成

- ・中長期的な人材の確保及び育成に関する人事戦略を新たに策定する。橋渡し研究等を効果的に実施するため、技術マネージャーの育成など多様なキャリアパスを確立する。
- ・女性研究者の比率を高めるとともに、外国人研究者の受入れを進める。また、定年により産総研を退職する人材の活用を図る。

(2) 職員の能力、職責及び実績の適切な評価

- ・職員の評価について、研究活動のみならず、産総研のその他の業務への貢献等を適切に考慮する。

4. 国民からの信頼の確保・向上

(1) コンプライアンスの推進

- ・法令遵守を更に徹底するとともに、役職員のコンプライアンスに関する意識向上のための活動を通じ、産総研の社会的信頼性の維持及び向上を図る。
- ・国民の信頼確保の観点から、情報の公開及び個人情報

保護に適正に対応する。

(2) 安全衛生及び周辺環境への配慮

- ・事故及び災害の未然防止等の安全確保策を推進するとともに、職員の健康に配慮することにより、職員が安心して職務に専念できる職場環境づくりを進める。
- ・研究活動に伴い周辺環境に影響が生じないように、適切な対応を進めるとともに、エネルギーの有効利用の促進に取り組む。

IV. 財務内容の改善に関する事項

(1) 運営費交付金及び外部資金の効果的な使用

- ・運営費交付金を充当して行う事業については、「Ⅲ. 業務運営の効率化に関する事項」で定めた事項に配慮した中期計画の予算を作成し、効率的に運営する。
- ・外部資金の獲得に際して、産総研業務との関係性の審査を行う。また、外部資金を用いた研究活動について、他の研究活動とのバランスが確保できるよう適切に実施する。

(2) 共同研究等を通じた自己収入の増加

- ・共同研究を通じた民間の研究資金の受入れ、特許使用料、施設利用料等の拡大を進める。

別表1 鉱工業の科学技術

I. グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進

二酸化炭素等の温室効果ガス排出量を削減しつつ、資源・エネルギーの安定供給及び確保を図るグリーン・イノベーションを推進するため、再生可能エネルギーの導入拡大技術、エネルギー供給システムの高度化、運輸、民生、産業部門等における省エネルギーに資する革新的技術開発を行う。また、資源の確保と有効利用とともに、グリーン・イノベーションを支える材料及びデバイスの開発、産業の環境負荷低減や安全性の評価及び管理技術、廃棄物等の発生抑制技術と適正処理技術の開発を行う。

1. 再生可能エネルギーの導入拡大技術の開発

低炭素社会の実現に向け、再生可能エネルギー（太陽光発電、バイオマス、風力、地熱等）の有効利用のための技術開発を行う。また、変動を伴う自然エネルギーを利用するための高効率なエネルギーマネジメントシステムの開発を行う。

1-(1) 太陽光発電の効率、信頼性の向上技術

我が国の再生可能エネルギー拡大の大宗を担う太陽光発電の利用拡大のために、発電効率と信頼性の向上のための技術の開発を行う。

1-(2) 多様な再生可能エネルギーの有効利用技術

多様な再生可能エネルギーの利用を拡大するため、バイオマス、風力、地熱資源等を有効に利用する技術の開発を行う。

- 1-(3) 高効率なエネルギーマネジメントシステム  
出力変動の大きな自然エネルギーの大量かつ高効率な利用を可能とするエネルギーマネジメントシステム技術及びそのために必要な要素技術の開発を行う。
2. 省エネルギーによる低炭素化技術の開発  
省エネルギー推進による低炭素社会の実現のため、運輸システムの高度化、住宅、ビル、工場の省エネルギー技術及び情報通信の省エネルギー技術の開発を行う。
- 2-(1) 運輸システムの省エネルギー技術  
輸送機械の二酸化炭素排出量の低減に貢献するため、安全かつ低コストで高エネルギー密度化を実現する電池材料、燃料電池自動車用水素貯蔵技術、輸送機器の軽量化技術、自動車エンジンシステムの高度化技術、市街地移動システム技術の開発を行う。
- 2-(2) 住宅、ビル、工場の省エネルギー技術  
戸建て住宅等の電力設備を効率的に運用し、省エネルギーを実現する電力マネジメント技術の開発を行うとともに、分散型蓄電デバイスの高エネルギー密度化、定置用燃料電池の高効率化技術の開発を行う。また、未利用熱エネルギーの高度利用技術、省エネルギー性能に優れた建築部材及び家電部材の開発を行う。
- 2-(3) 情報通信の省エネルギー技術  
情報通信機器の省エネルギーに貢献するため、電子デバイス、入出力機器の省エネルギー化技術の開発を行う。また、大容量情報伝送技術、情報処理システムの高効率化技術の開発を行う。
3. 資源の確保と高度利用技術の開発  
物質循環型の社会を実現するため、バイオマスからの化学品等の製造技術の開発を行う。また、枯渇性資源の最大活用のために未利用化石資源であるメタンハイドレートの利用技術、石炭の高度利用技術、鉱物資源（レアメタル等）の省使用化、再生及び代替に関する技術の開発を行う。
- 3-(1) バイオマスの利用拡大  
バイオマスから、化学品等を製造するプロセス技術の開発を行う。
- 3-(2) 化石資源の開発技術と高度利用技術  
メタンハイドレートから天然ガスを生産するための技術開発及び石炭ガス化プロセス等にかかわる基盤技術の開発を行う。
- 3-(3) 資源の有効利用技術及び代替技術  
レアメタル等の資源確保に資するため、ライフサイクルを考慮した物質循環評価技術の開発を行うとともに、廃棄物及び未利用資源からレアメタル等を効率的に分別及び回収する技術、レアメタル等の有効利用技術及び代替技術の開発を行う。また、レアメタル等の陸域鉱床探査と資源ポテンシャル評価、海底鉱物資源調査、大陸棚画定に係る国連審査のフォローアップを行う。
4. グリーン・イノベーションの核となる材料、デバイスの開発  
革新的材料、デバイス創成のため、ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材、ナノチューブ、炭素系材料の量産化と産業化技術の開発を行う。また、グリーン・イノベーションの実現に必要な電子デバイスの高機能化技術及び高付加価値化技術の開発を行う。材料、デバイスの効果的かつ効率的な開発のためのプラットフォームを整備してオープンイノベーションを推進する。
- 4-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材  
ナノスケールの特異な物性を利用して機能を発現する新しい材料、多機能部材や革新的光、電子デバイス、高予測性シミュレーション技術の開発を行う。
- 4-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用  
従来材料より優れた様々な特性を有し産業化が期待されるカーボンナノチューブの大量生産技術の開発を行うとともに、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタへの応用技術の開発を行う。また、有機ナノチューブ、ダイヤモンド等の合成技術及び利用技術の開発を行う。
- 4-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進  
高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のため、ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションのためのプラットフォームを整備し、オープンイノベーションを推進する。また、高性能かつ高機能なナノスケールの光、電子デバイスの開発を行う。
5. 産業の環境負荷低減技術の開発  
産業の環境への負荷を最小限にするため、機械加工、化学、バイオ等の各種製造プロセスの効率化技術の開発を行うとともに、環境保全技術の開発を行う。
- 5-(1) 製造技術の低コスト化、高効率化、低環境負荷の推進  
製造技術の低コスト化、高効率化及び低環境負荷を実現するための、革新的製造技術であるミニマルマニュファクチャリングの開発を行う。また、レーザー加工技術による高効率なオンデマンド技術の開発を行う。
- 5-(2) グリーンサステナブルケミストリーの推進  
酸化技術、触媒技術、膜分離技術、ナノ空孔技術、マイクロリアクター技術、特異的反応場利用技術等を用いた環境負荷の少ない製造プロセス技術の開発を行う。
- 5-(3) バイオプロセス活用による高効率な高品質物質の生産技術  
微生物や酵素を利用したバイオプロセス技術の開発

を行う。特に、微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明、生体高分子や生体システムの高度化、遺伝子組換え植物産出技術と植物工場システムの開発を行う。

5-(4) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術

センサ、光通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用が期待される小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システムの低コストな大面積製造技術の開発を行う。

5-(5) 環境負荷低減技術、修復技術

産業活動に伴って発生した環境負荷物質について、選択的吸着技術、触媒技術等を活用した浄化技術及び自然浄化機能を利用した環境修復技術の開発を行う。

6. 持続発展可能な社会に向けたエネルギー評価技術、安全性評価及び管理技術並びに環境計測及び評価技術の開発

二酸化炭素削減のための技術と取組の評価手法を開発するとともに、その開発及び技術の導入シナリオ並びに二酸化炭素削減ポテンシャルを明らかにし、技術開発、施策等の分析と評価を行う。また、産業活動における安全性を向上させるため、先端科学技術、生産活動、化学物質の安全性と環境の評価技術の開発を行う。

6-(1) 革新的なエネルギーシステムの分析、評価

二酸化炭素の回収貯留、水素を媒体としたエネルギーシステム等、革新的なエネルギーシステムの関連技術について、開発や導入シナリオの分析と評価を行う。

6-(2) 持続発展可能な社会と産業システムの分析

様々な二酸化炭素削減のための技術と試みについて、原単位や消費者の行動等を解析して二酸化炭素削減率の定量化を行い、それら方策の削減ポテンシャルを明らかにし、技術開発、技術のシステム化、市場システムの分析と評価を行う。

6-(3) 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

先端科学技術の実用化と製品化のために必要となる安全性評価手法を開発する。特に、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価、ばく露評価及びリスク評価手法を開発する。

6-(4) 産業保安のための安全性評価技術、安全管理技術  
 事故事例情報をデータベース化するとともに、産業保安のための安全性評価、安全管理技術の開発を行う。

6-(5) 化学物質の最適管理手法の確立

化学物質のリスク評価と安全管理技術、発火と爆発危険性の評価技術の開発を行う。

6-(6) 環境の計測技術、生体及び環境の評価技術

産業活動に伴って発生した環境負荷物質等の計測技術、生体影響評価技術、環境影響評価技術の開発を行う。

II. ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進

国民が安心して暮らすことができる社会を実現し、ライフ・イノベーションを推進するために必要な安全・安心、健康に貢献する研究開発を推進する。具体的には創薬技術や医療診断技術の開発、人の健康状態を評価する計測技術、情報通信（IT、センサ）やロボット技術による身体の負担軽減や介護支援技術等の開発を行う。

1. 先進的、総合的な創薬技術、医療技術の開発

健康長寿社会のニーズに応えるため、創薬技術及び医療診断技術を含む先進的な医療支援技術の開発を行う。

1-(1) 細胞操作及び生体材料に関する技術の応用による医療支援技術

再生医療等の先進医療支援技術を確立するための基盤となる細胞操作技術及び生体材料技術や診断機器の開発を行う。

1-(2) 生体分子の機能分析及び解析に関する技術

医療支援技術として、生体分子の機能分析及び解析技術と、それらの技術に基づく創薬技術の開発を行う。

1-(3) 情報処理と生物解析の連携による創薬支援技術や診断技術

ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等のバイオデータベースを整備するとともに、医薬品開発のため、それら情報の利用技術の開発を行う。

2. 健康な生き方を実現する技術の開発

心身共に健康な社会生活を実現するための基盤となる人の生理、心理及び行動の測定技術、生体情報の計測技術及び評価技術並びにそれぞれの人の健康状態に合わせた社会生活を実現するための支援技術の開発を行う。

2-(1) 人の機能と活動の高度計測技術

人の健康状態を把握するための基盤となる生理、心理及び行動の測定技術並びに測定装置の開発を行うとともに、標準化に取り組む。

2-(2) 生体情報に基づく健康状態の評価技術

人の健康状態を評価するための生体情報の計測及び評価技術の開発を行うとともに、標準化に向けてデータベースを構築する。

2-(3) 健康の回復と健康生活を実現する技術

人の健康状態に合わせた社会生活を実現するため、介護、医療等の負担の軽減、心身機能の回復、心身活動能力の補助のための技術の開発を行う。

3. 生活安全のための技術開発

高齢化社会の到来に対応した事故防止、生活支援のため、情報通信及びロボット技術を活用した安全な社

会生活支援技術の開発を行う。

### 3-(1) ITによる生活安全技術

安全な社会生活の実現をIT技術で支援するため、センサを用いた人や生活環境のモニタリングシステム、消費者情報保護のための情報セキュリティ技術の開発を行う。

### 3-(2) 生活支援ロボットの安全の確立

生活支援ロボットを実環境で安全に動作させるため必要となる安全性の評価技術の開発を行う。

## Ⅲ. 他国の追従を許さない先端技術開発の推進

我が国の産業競争力を維持していくため、先端的な情報通信産業や製造業の創出につながる材料、デバイス、システム技術の開発を行う。また、サービス生産性の向上と新サービスの創出を目指して、情報技術、機械技術の開発を行う。

### 1. 高度な情報通信社会を支えるデバイス、システム技術の開発

情報通信の高度化のための、光、電子デバイスの高機能化及び高付加価値化技術の開発を行う。また、IT活用による製造技術及びシステム技術の高効率化及び高機能化に取り組む。

#### 1-(1) デバイスの高機能化と高付加価値化技術

更なる微細化を実現する革新的電子デバイス、大容量光送受信を可能とする超小型全光スイッチ、情報入出力機器のフレキシブル化と小型軽量化を実現する高性能光入出力素子の技術開発を行う。また、電子デバイスの構造、物性及び新機能予測を行うシミュレーションシステムの開発を行う。

#### 1-(2) IT活用によるシステムの高効率化及び高機能化

ITを利用したシステムの高機能化に取り組む。特に、産業用ロボット知能化技術、人間機能シミュレーション技術等の開発を行う。

#### 1-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進（I-4-(3)を再掲）

高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のため、ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションのためのプラットフォームを整備し、オープンイノベーションを推進する。また、高性能かつ高機能なナノスケールの光、電子デバイスの開発を行う。

### 2. イノベーションの核となる材料とシステムの開発

革新的な材料、システムを創成するため、ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材ナノカーボン材料の量産化技術、マイクロ電子機械システムの開発を行う。

#### 2-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材（I-4-(1)を再掲）

ナノスケールの特異な物性を利用して機能を発現す

る新しい材料、多機能部材や革新的光、電子デバイス、高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

#### 2-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用（I-4-(2)を再掲）

従来材料より優れた様々な特性を有し産業化が期待されるカーボンナノチューブの大量生産技術の開発を行うとともに、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタへの応用技術の開発を行う。また、有機ナノチューブ、ダイヤモンド等の合成技術及び利用技術の開発を行う。

#### 2-(3) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術（I-5-(4)を再掲）

センサ、光通信、医療・バイオ、自動車など多様な分野に適用が期待される小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システムの低コストな大面積製造技術の開発を行う。

### 3. 情報通信基盤を利用したサービス生産性の向上と新サービスの創出への貢献

我が国のサービス産業の生産性向上と新サービスの創出を目指してサービスプロセスを変革する情報技術、機械技術の開発を行う。

#### 3-(1) 科学的手法に基づくサービス生産性の向上

サービスの生産性を向上させるため、現場の情報から利用者行動をシミュレーションし、サービス設計を支援するサービス工学基盤技術の開発を行う。

#### 3-(2) 高度情報サービスプラットフォームの構築

サービスの生産性を向上させるためのクラウド型等の情報プラットフォーム技術の開発を行う。

#### 3-(3) サービスの省力化のためのロボット化（機械化）技術

サービス産業へのロボット導入に当たって必要となるロボットの自律移動技術や、ロボットによる物体の把持技術、ロボットと人とのインタラクション技術の開発を行う。

#### 3-(4) 技術融合による新サービスの創出

既存の技術を融合することによる新サービス創出に取り組む。メディア処理とウェブでのインタラクションを融合したコンテンツサービスの創出、情報技術と災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査などの技術を融合した地理空間情報サービスの創出、メディア技術とロボット技術を融合した人間動作の模擬技術の創出に取り組む。

#### 3-(5) 情報基盤における安全性や信頼性の確立

ICカード等のハードウェアや基幹ソフトウェア等の情報システムのセキュリティ対策技術、信頼性検証技術など情報基盤の安全性評価技術の開発を行う。

## Ⅳ. イノベーションの実現を支える計測技術の開発、評価基盤の整備

広範囲にわたる産業活動を横断的及び共通的に支援するため、基盤的、先端的計測技術の開発を行うとともに、得られた知見を戦略的にデータベース化し、また、試験評価方法の標準化により評価基盤を構築する。

1. 技術革新、生産性向上及び産業の安全基盤の確立のための計測基盤技術

産業活動を支援するためのツールとなる計測評価技術、先端計測及び分析機器の開発を行うとともに、それらの標準化を推進する。また、計測技術を発展、統合させて、生産性向上をもたらす課題解決策（ソリューション）として生産現場に提供する。

1-1(1) 産業や社会に発展をもたらす先端計測技術、解析技術及び評価基盤技術

材料、部材及び構造物における損傷、劣化現象等の安全性及び信頼性の評価にかかわる計測技術の研究開発を行うとともに、産業界に提供する。特に、有機、生体関連ナノ物質の状態計測技術、ナノ材料プロセスにおける構造と機能計測及び総合解析技術の開発を行う。

1-1(2) 先端計測技術及び分析機器の開発

新たな産業技術の創出と発展を促進するため、材料評価、デバイス、システム評価のための先端的計測技術及び分析機器に関する研究開発を行うとともに、それらの標準化を推進する。

1-1(3) 生産性向上をもたらす計測ソリューションの開発と提供

産業界における製品の品質と生産性の向上の基盤となる生産計測技術の開発を行い、計測にかかわる総合的な課題解決策を提供する。

2. 知的基盤としてのデータベースの構築と活用

先端産業技術の開発と社会の安全・安心のための基盤となる重要な計測評価データを蓄積し、データベースとして産業界と社会に提供する。

2-1(1) 標準化を支援するデータベース

標準化を支援し、産業技術の基盤となる物質のスペクトル、熱物性等のデータベースを構築し、提供する。

2-1(2) 資源等の有効利用を支援するデータベース

資源等の有効利用を支援するために必要な地質、環境、地図情報などをデータベース化し、利用しやすい形で提供する。

2-1(3) 社会の持続的な発展を支援するデータベース

環境・エネルギー技術、社会の安全・安心及びものづくりの基盤となる重要なデータを集積し、データベースとして提供する。

3. 基準認証技術の開発と標準化

材料、製品、サービスの商取引に必要となる適合性評価技術の開発を行うとともに、民間における適合性

評価事業の育成を推進する。

3-1(1) 適合性評価技術

新技術の事業化を促進するため、民間では困難な性能や安全性に関する実証に取り組む。また、新規の素材、製品、サービス等の社会普及を促進するため、商取引、規制において求められる性能、安全性等に関する適合性評価技術を開発し、そのような評価技術の民間移転に積極的に取り組み、民間による適合性評価機能の強化を図る。

**別表2 地質の調査（地質情報の整備による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）**

地殻変動が活発な地域に位置する我が国において、安全かつ安心な産業活動や社会生活を実現し、持続的発展が可能な社会の実現に貢献するために、国土及び周辺地域の地質に関する状況を適切に把握し、これに応じ必要な対応を行うことが求められている。このため、国土及び周辺地域の地質情報の整備と供給、地質情報による産業技術基盤、社会安全基盤の確保に関する研究開発を行う。また、地質の調査に関する国際活動において協力を行う。

1. 国土及び周辺地域の地質基盤情報の整備と利用拡大

国土と周辺地域において地質の調査、研究を実施し、地質情報の整備を行うとともに、衛星情報の高度化及び高精度化に関する研究を行う。また、地質の調査、研究の成果を社会に普及するための体制を整備する。

1-1(1) 陸域・海域の地質調査及び地球科学基本図の高精度化

地質の調査に関する研究手法と技術の高度化を進め、これらの知見も活用し、長期的な計画に基づき、国土の地質情報基盤である地質図、海洋地質図、重力図及び空中磁気図の作成及び改訂を行う。また、国土の地球科学基本図等データベースを整備し、それら情報の信頼性と精度を向上させるとともに、利便性の向上を図り、地質情報の標準化を行う。

1-1(2) 都市域及び沿岸域の地質調査研究と地質情報及び環境情報の整備

地質図が整備されていない都市平野部及び沿岸域の地質について、調査、研究を行うとともに、地質情報及び環境情報を整備する。

1-1(3) 衛星画像情報及び地質情報の統合化と利用拡大

自然災害、資源探査、地球温暖化、水循環等に関する地球観測の一環として、地質に関する衛星情報を整備するとともに、それら情報の利用拡大のための研究を行う。

2. 地圏の環境と資源に係る評価技術の開発

国土利用の促進、資源開発及び高レベル放射性廃棄物の地層処分等の安全性の確保を目的とした地質の調査、

研究を行う。

2-(1) 地圏の環境の保全と利用のための評価技術の開発  
 土壤汚染、二酸化炭素地中貯留及び地層処分について、地圏の環境の保全と適切な利用にかかわる評価技術の開発を行うとともに、その普及に努める。

2-(2) 地圏の資源のポテンシャル評価  
 陸海域の、鉱物資源、燃料資源、地下水資源及び地熱資源に関するポテンシャル評価を行う。

2-(3) 放射性廃棄物処分の安全規制のための地質環境評価技術の開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業の安全規制に係る国の施策に資するため、地質現象の長期変動及び地質環境の隔離性能に関する地質学的、水文地質学的知見を技術情報としてとりまとめるとともに、長期的視点から地層処分の安全規制への技術的支援を行う。

3. 地質災害の将来予測と評価技術の開発

地震、火山等の自然災害による被害の軽減のため、活断層、地震発生や火山噴火のメカニズム及び地下水位の変動などに関する調査、研究を行う。

3-(1) 活断層調査、地震観測等による地震予測の高精度化

活断層について活動履歴の調査を行い、活断層の活動性評価を実施するとともに、地震災害の予測手法を開発する。また、海溝型地震と巨大津波の予測手法を高度化するための調査、研究を行う。

3-(2) 火山噴火推移予測の高精度化

火山噴火予知及び火山防災のための火山情報を提供するため、火山の噴火活動履歴及び噴火メカニズムについて調査、研究を行う。

4. 地質情報の提供、普及

社会のニーズに的確に応じ、地質情報を活用しやすい情報、媒体で提供、普及する。

4-(1) 地質情報の提供、普及

地質の調査に係る研究成果を社会に普及するため、地質図類、報告書等を出版するとともに、電子媒体やウェブによる地質情報の普及体制を整備し、地質標本館の有効活用を図る。また、地方公共団体及び民間における地質情報を活用する取組に対し支援を行う。

4-(2) 緊急地質調査、研究の実施

地震、火山噴火をはじめとする自然災害発生に際して、社会的な要請等に機動的に対応して緊急の調査、研究を行うとともに、必要な関連情報の発信を行う。

5. 国際研究協力の強化、推進

地質に関する各種の国際組織及び国際研究計画に参画するとともに、産総研が有する知見を活かし、国際的な研究協力を積極的に行う。

5-(1) 国際研究協力の強化、推進

アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。

### 別表3 計量の標準（計量標準の設定・供給による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）

産業、通商、社会で必要とされる試験、検査や分析の結果に国際同等性を証明する技術的根拠を与え、先端技術開発や産業化の基盤となる計量の標準を整備するとともに、計量法で規定されている法定計量業務を的確に行うことにより、我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化と新規産業の創出の支援、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献する。

#### 1. 新たな国家計量標準の整備

我が国経済及び産業の発展、あらゆる計測の信頼性を産業と社会が共有するために信頼性の源となる国家計量標準を引き続き開発、整備するとともに、新たな計量標準については迅速に供給する。特に、環境への負荷低減（低炭素社会の実現、物質循環型社会の実現）、国民生活の安心・安全社会の実現、健康長寿社会の実現、技術革新による次世代産業の推進、及び国際通商の円滑な実施を支える国家計量標準については、産業界や社会の要請に即応して整備し、多様な供給の要請に対して柔軟に対応する。

1-(1) グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

グリーン・イノベーションの推進に必要な計量標準を早急に開発、整備し、供給する。

1-(2) ライフ・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

ライフ・イノベーションの実現に向け、先進医療機器の開発に必要な計量標準を開発・整備、供給する。また、食品の安全性や生活環境の健全性確保に資するため、食品分析に係る計量標準、有害化学物質の計量標準を開発、整備、供給する。

1-(3) 産業の国際展開を支える計量標準の整備

我が国産業の国際通商を円滑に行うために必要な計量標準を開発、整備、供給する。また、代表的な技術革新分野において、基盤的計量標準を開発、整備、供給する。

#### 2. 国家計量標準の高度化

我が国のイノベーション基盤を強化するため、国家計量標準を確実に維持、供給するとともにその高度化、合理化、校正事業者の認定審査の支援、計量トレーサビリティ体系の高度化と合理化を行う。

2-(1) 国家計量標準の維持、供給

国家計量標準を維持管理し、校正サービス、標準物質等の供給、品質システムの運用を行う。

2-(2) 国家計量標準の高度化、合理化

より高度な技術ニーズ及び社会ニーズに対応するため、特に省エネ技術の推進、産業現場計測器の信頼性確保及び中小企業の技術開発力の向上を支援する計量標準について、その高度化、合理化を行う。

2-(3) 計量標準政策に関する調査と技術支援

計量トレーサビリティ体系の設計、維持運用について調査を行い、政府の知的基盤の整備に関する技術支援を行う。

2-(4) 計量標準供給制度への技術支援

JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）を主体とする計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行う。

2-(5) 計量トレーサビリティ体系の高度化、合理化

利用者が信頼性、コスト、迅速性及び効率性の観点から最適な手段により計量トレーサビリティを確保できるように、技術開発の実施と運用方法の拡充を行い、計量トレーサビリティ体系の高度化と合理化を図る。

3. 法定計量業務の実施と関連する工業標準化の推進

法定計量業務を適正に実施し、計量行政を支援するとともに、経済のグローバル化に対応した計量器の適合性評価システムの整備、普及を促進する。

3-(1) 法定計量業務の実施と法定計量政策の支援

特定計量器に関する試験検査業務を国際標準の品質管理の下、適正に実施し、特定計量器の製造技術及び利用技術の調査などを通じ計量行政への支援を行う。

3-(2) 適合性評価技術の開発と工業標準化への取組

特定計量器についての新たな適合性評価技術を開発、整備する。また、一般計測及び分析器についても評価技術を開発し、測定手続の基準、試験規格の確立と普及を図る。

4. 国際計量標準への貢献

計量標準、法定計量に関連する国際活動に主導的に参画し、我が国の技術を反映した計量システムを諸外国に積極的に普及させるとともに、メートル条約と法定計量機関を設立する条約のメンバー国と協調して国際計量標準への寄与に努める。また、先進的な計量トレーサビリティ体系の構築に努める。

4-(1) 次世代計量標準の開発

次世代の計量標準を世界に先駆けて開発し、国際計量標準の構築において優位性を確保するとともに、我が国の優れた標準技術を国際標準に反映させ、また、先端技術開発を支援する。

4-(2) 計量標準におけるグローバルな競争と協調

国際的計量組織の一員として、国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制（MRA）及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め（MAA）を発展するよう促していく。また、開発途

上国が、通商の基盤となる自国の計量標準を確立できるよう支援をしていく。

4-(3) 計量標準分野における校正、法定計量分野における適合性評価の国際協力の展開

二国間の MOU（技術協力覚書）の締結、維持により、製品の認証に必要な計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための国際協力を行う。

5. 計量の教習と人材の育成

法定計量業務に対応できるように、国内の法定計量技術者の技術力向上を図るとともに、公的機関、産業界及び開発途上諸国の計量技術者を育成する。

5-(1) 計量の教習

法定計量の技術を教習して、国内の法定計量技術者の計量技術レベルの向上を図る。

5-(2) 計量の研修と計量技術者の育成

公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、人材育成プログラムや資料を作成するとともに、研修を行い、計量技術者を育成する。



#### 4. 中期計画、年度計画、年度実績

##### I. 国民に対して提供するサービスその他の業務の質の向上に関する事項

##### 1. 「課題解決型国家」の実現に向けた研究開発の重点分野

- (1) 世界をリードする「グリーン・イノベーション」、  
「ライフ・イノベーション」の推進  
(戦略的な研究企画及び研究資源配分の重点化)

##### 【第3期中期計画】

- グリーン・イノベーションの推進のため、太陽光発電、次世代自動車、ナノ材料、情報通信の省エネルギー化等の技術開発を加速化する。太陽光発電技術については、大幅な性能向上と低コスト化を目指し、薄膜シリコン等の太陽電池デバイス材料の効率を相対値で10%向上させるとともに、太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、性能・信頼性評価技術等を開発し、それらを産業界に供給する。

##### 【平成26年度計画】

- 基準セル校正技術の不確かさをさらに低減する。新型太陽電池の高精度性能評価技術開発と標準化、国際比較測定、発電量評価技術の実用化を推進、実施するとともに、システム故障診断技術については不具合探索方法を考案する。また、化合物薄膜太陽電池、薄膜シリコン太陽電池、有機薄膜太陽電池、結晶シリコン太陽電池の相対値10%以上の効率向上を目指した研究を推進する。さらに、スマートスタック技術を用いて変換効率30%を目指し、信頼性の検討も行う。

##### 【平成26年度実績】

- 超高温黒体炉等を用いたスペクトル精度向上等により基準セル校正技術の不確かさを低減した。新型太陽電池の高精度性能評価技術開発と標準化、発電量評価技術の開発、国際比較測定を引き続き実施した。低圧システムの電流-電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索方法を考案した。三種類の薄膜シリコン太陽電池で世界最高効率を達成した。化合物薄膜太陽電池、有機薄膜太陽電池、結晶シリコン太陽電池でも効率の向上に成功した。スマートスタック太陽電池で30.4%を達成し、20年以上の耐久性を確認した。

##### 【第3期中期計画】

- 次世代自動車普及の鍵となる蓄電池について、安全・低コストを兼ね備えた高エネルギー密度（単電池で250Wh/kg以上）を設計可能な電池機能材料（正極材料、負極材料等）を開発する。また、燃料電池自動車用酸素貯蔵技術として、高い貯蔵量（5重量%）と優れた繰り返し特性を有する材料の設計技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- 酸化物正極は、実用性向上の観点で20サイクル後の容量維持率を90%以上に高め、また、シリコン系負極については、従来電池の1.5倍以上の容量と300サイクル以上の寿命を実現し、250Wh/kg以上の単電池が設計可能であることを示す。

##### 【平成26年度実績】

- 酸化物正極については、Li 過剰系において20サイクル後の容量維持率は87%を達成するとともに、90%以上を達成する見通しを得た。また、正極材料のさらなる省資源化、低コスト化につながる初期放電容量が約230mAh/gのCo及びNiフリーの材料を開発した。シリコン系負極については、従来電池の1.5倍以上の容量と300サイクル以上の寿命を実現しつつ、-30℃～80℃の広い温度範囲で充放電できることを実証した。開発した正極材料・負極材料により、250Wh/kgを超えるエネルギー密度の単電池が設計可能であることを示した。

##### 【平成26年度計画】

- これまでに300℃以上の高温で高い水素貯蔵密度（5重量%、50g/リットル）を達成したMg系材料において、ナノメートルスケールでMg基組織を制御することにより、より低い温度で作動する材料の創成を目指す。V系材料では、より多くの用途への展開を目指して、材料組織・機械的特性による欠陥導入の抑制効果を検討し、繰り返し特性向上のための方策を見出す。

##### 【平成26年度実績】

- これまでに300℃以上の高温で高い水素貯蔵密度（重量比5%、50g/リットル）を達成したMg系材料については、反応温度の低温化を目指し、ナノメートルスケールの特殊な金属組織の薄膜試料の作製を試みた。その結果、水素化物の不安定化に成功し、200℃程度まで反応温度を低下できる見込みを得た。V系材料では、格子間原子の添加により機械的特性を変化させることで、水素吸蔵に伴う欠陥の導入を抑制することを試みた。その結果、繰り返しに伴う吸蔵量の劣化を半減することに成功し、繰り返し特性向上のための方策を見出した。

##### 【第3期中期計画】

- 部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なカーボンナノチューブについて、キログラム単位で単層カーボンナノチューブのサンプル提供が可能な600g/日の生産規模の量産技術を開発し、キャパシタ、炭素繊維、太陽電池等へ応用する。

##### 【平成26年度計画】

- CNTを用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業等にCNT試料ならび

に分散液、CNT 複合材料等を提供する。また、低コストなスーパーグロス CNT 大量合成技術を開発する。特に銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、直径15mm以上のCNT銅複合材料を開発し、延伸技術の開発を開始する。薄膜トランジスタの性能向上とばらつきの低減を目指して、eDIPS法単層CNTから(7,5)や(8,6)等のバンドギャップ1eV以上の特定のカイラリティを分取してインク化する技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- CNTを用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業にCNT試料ならびに分散液、CNT複合材料等を20件提供した。微粒子を基材に用いるスーパーグロスCNT量産技術の低コスト化技術を開発した。銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、4センチ角のCNT銅複合材料を開発した。イオン交換クロマトによる分離技術を利用してeDIPS法単層CNTから(7,5)等のバンドギャップ1eV以上の半導体性カイラリティの分離・インク化に成功した。

#### 【第3期中期計画】

- 情報通信機器の省エネルギー（記憶素子の置き換えによりパソコンの待機電力を約1/5に削減）を可能とする不揮発性メモリ（電源オフでのメモリ保存）技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- DRAMやSRAMを置き換えることによって情報機器の大幅な省電力化を可能とする不揮発性メモリ・スピンRAMについて、26年度は動作電圧と消費電力のさらなる低減を目指す。垂直型磁気抵抗素子を構成するMgOトンネル障壁やキャップ層などの材料・プロセスなどを最適化することにより垂直型磁気抵抗素子の低抵抗化を行い、0.2V以下の書き込み電圧で0.5nJを大幅に下回る書き込みエネルギーを実現する。これによりパソコンの待機電力を約1/5に削減する。

#### 【平成26年度実績】

- 垂直磁化トンネル磁気抵抗素子のMgOトンネル障壁の作製プロセスおよび組み合わせる強磁性電極層・キャップ層の材料・プロセスの最適化により、 $5 \Omega \mu\text{m}^2$ 以下の低抵抗化と150%という大きな磁気抵抗比を同時に実現し、0.2V以下の低電圧動作と0.5nJを大幅に下回る書き込みエネルギーを実現した。これによりパソコンの待機電力を1/5以下に削減する基盤技術を確認した。

#### 【第3期中期計画】

- ライフ・イノベーションの推進のため、先進的、総合的な創薬支援、医療支援、遠隔医療支援、介護・福祉ロボット等の技術開発を推進する。創薬、再生医療技

術については、創薬過程の高速化や再生医療基盤整備のために、iPS細胞の作製効率を10倍程度（現行1%から10%程度に）に引き上げる技術を開発する。

遠隔医療システムについては、遠隔地から指導可能な手術手技研修システムを開発し、低侵襲治療機器に即したトレーニングシステムに適用する。

介護及び福祉のための生活支援ロボットについては、製品化に不可欠な実環境下での安全の確立を目指して、ロボットの新しい安全基準を構築し、ロボットを安全に動作させる際に必要な基盤技術として15種類以上の日常生活用品を対象とした物体把持技術等を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度に開発した次世代RNAベクターに、iPS細胞から能動的に消去する機能を搭載し、遺伝子を導入して20日間培養を続けるだけで、高品質のiPS細胞を自動的に樹立できるシステムを確立する。
- AiLec-S1の高機能化により開発した「ES/iPS細胞のみ殺傷する技術」、「培養液でES/iPS細胞を検出する技術」について臨床研究を行う機関と有用性を検証する。さらに、磁気ビーズ化AiLec-S1によるES/iPS細胞分離除去技術を開発し、移植用細胞に混入したES/iPS細胞の量を1/10000以下にすることを旨とする。平成25年度に同定した間葉系幹細胞新規マーカー（15種類の遺伝子マーカー及び、レクチンマーカーであるAiLec-S2）に関して、臨床応用を見越して選択した3種類以上の間葉系幹細胞で実用性を検証する。

#### 【平成26年度実績】

- 次世代RNAベクターは細胞内で非常に安定であるため消去は従来型ベクターより難しかったが、2つの遺伝子を不安定化してベクターの除去を効率化することで目標を達成した。
- 「培養液を用いて非侵襲的にES/iPS細胞を検出する技術」を完成させ、論文発表、国際特許出願、企業へのライセンスを行った。本技術の実用化を目指して企業と共同研究を進めている。また、薬剤融合型AiLecS1を用いて「ES/iPS細胞を選択的に殺傷除去する技術」を開発、特許出願するとともに、企業へのライセンスを行い、来年度中に上市予定である。また、NEDOプロジェクトや企業との共同研究を通して臨床機関への橋渡しを図った。AiLecS1固定化磁気ビーズを用いて分化細胞に混入するES/iPS細胞を1/10000以下にできることを確認した。また、骨髄由来、臍帯由来、多指症由来計3種の間葉系幹細胞の骨・軟骨分化能を判別するための新たなレクチンとしてAiLecS2を開発し、特許出願するとともに、企業からの実用化に成功した。更に同様に3種の間葉系幹細胞の骨・軟骨分化能を判別する複数の遺伝子マーカー候補の抽出にも成功し、現在キット化に向けて検討

を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- 平成24年度までに開発した「遠隔地から指導可能な手術手技研修システム」をもとに平成25年度に試作した「手術自習システム」を改良する。具体的には異なるレベルの学習者を想定した自習用ビデオカリキュラム例と共に医療機関に提供し、医療現場での利用経験を通じてシステムの改良と教材・指導要領を整備し、手術自習システムの実用化と SCCToolKit の普及につなげる。

#### 【平成26年度実績】

- 「手術自習システム」を産総研が無償公開している医療機器用のソフトウェア開発キット (SCCToolKit) を用いて再設計した。また、医薬品医療機器等法の改正への対応として、SCCToolKit を同法の定める医療機器プログラムへの規制に適合するように改良した。さらに、Macintosh コンピュータ用の一部の OS でしか動作しなかった SCCToolKit を Windows にも対応させることで、より普及し易くした。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度にロボットの新しい安全基準として構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法と、それぞれの評価基準を介護ロボットを含む生活支援ロボットの開発に適用し、実用的かつニーズに適合したロボットの開発を支援する。同時に高信頼開発手法について、モデルベースの開発プロセスを確立し、実用化を加速する。

#### 【平成26年度実績】

- 平成25年度に構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法を、製品だけではなく、人を含むサービスの上流側に拡張した V 字モデルでつなぎ、モデルベースで安全性と有用性の双方の設計と妥当性評価を行うスキームを開発した。この成果を、実際の介護機器や人共存型の双腕型セル生産ロボットなど実用的かつニーズに適合したロボットに適用し、その有効性を確認した。また、安全分析のためのモデル言語を開発し、高信頼のモデルベース開発プロセスを確立した。その成果はモデル設計ツール製品に組み込まれ、実用化された。

#### 【第3期中期計画】

- 技術のシステム化としては、電力エネルギーの高効率利用のための低損失高耐圧なパワーデバイス技術等と再生可能エネルギー利用機器とを組み合わせて安定した電力を供給するためのネットワークの設計及び評価、マネジメントの技術等の開発を行う。また、早期の社会導入を目指して、数十戸規模の住宅を対象とした実証研究を行う。

#### 【平成26年度計画】

- 柱上変圧器下流の複数住宅を対象とする、太陽光発電、太陽熱温水器、ヒートポンプ、蓄電デバイス等から構成される住宅エネルギーネットワークの統合マネジメント実験を引き続き実施する。複数住戸に分散設置された蓄電デバイスの制御アルゴリズムの提案とシミュレーションによる検討および実験による検証を行う。各種エネルギー機器の有効利用により、一般住宅において二酸化炭素を20%削減し得るようなマネジメント技術の提示を図る。

#### 【平成26年度実績】

- 住宅エネルギーネットワークの統合マネジメント実験を引き続き実施した。住宅に太陽光発電、燃料電池およびヒートポンプ給湯機などの分散エネルギー源を設置して有効利用することで、従来の住宅と比較して20%以上の二酸化炭素削減を達成可能なマネジメント技術を提示した。開発技術の応用として新たに中小企業と共同で対象を小規模な集合住宅や雑居ビルといった小規模民生需要家にまで拡大した分散エネルギー源の統合運用が可能なマネジメント技術の開発に着手した。

#### (2) 他国の追従を許さない先端技術開発の推進

#### 【第3期中期計画】

- デバイス材料のナノ構造の最適化により、省エネルギー型ランプの光源となる光取出し効率80%以上の超高効率な赤色及び黄色発光ダイオードを開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 高効率リッジ構造 LED については、これまでの共晶ボンディング薄膜構造作製技術を基盤として、電流拡散層の厚さの最適化、反射ミラーの最適化（反射率を97%から99%に改善）、およびリッジ配置の最適化を行う。これにより、赤色及び黄色発光ダイオードにおいて中期目標である光取出し効率80%以上を達成する。

#### 【平成26年度実績】

- リッジ構造と比較して微小円錐台構造はさらに強いエバネッセント光の結合効果が期待できることから、AlGaInP 微小円錐台の作製技術の開発に取り組み、素子の作製に成功した。また、結晶成長条件の最適化により LED 素子内の結晶品位を内部量子効率として20%から40%へと向上することに成功した。上記技術を取り入れた LED の外部量子効率および光取出し効率はいずれも薄膜高出力型赤色 LED として世界最高となる51%および60~70%（低温において）に、それぞれ達した。

#### 【第3期中期計画】

- マイクロ電子機械システム (MEMS) 製造技術によ

り超小型の通信機能付き電力エネルギーセンサチップを試作し、電力エネルギー制御の最適化によりクリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを10%削減するシステム技術の開発を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・マイクロ電子機械システム（MEMS）製造技術により試作した超小型通信機能付きの温湿度センサチップ搭載型フレキシブル電力センサと、環境情報と消費電力量を統合した電力プロファイリングシステムとの併用により、クリーンルーム等の消費エネルギーを10%削減するシステムを実現する。

#### 【平成26年度実績】

- ・パーマロイフィルムに50 μm 以下幅のコイル構造を形成する製造技術を開発し、電池の無い状態で連続動作する無線通信機能付きフレキシブル電力センサ端末を実現した。温湿度センサ端末等から得られる環境情報と、電力センサによる消費電力量とを統合した電力プロファイリングシステムを、小規模店舗網やクリーンルームに適用し、消費エネルギーを2,000店舗平均で2年間で10%削減できることを示した。

## 2. 地域活性化の中核としての機能強化

### (1) 地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発の推進

#### 【第3期中期計画】

- ・各地域センターは、北海道センターの完全密閉型遺伝子組換え工場等を利用したバイオものづくり技術や関西センターの蓄電池関連材料の評価技術等に基づくユビキタス社会のための材料技術、エネルギー技術などのように、地域の産業集積、技術的特性に基づいた地域ニーズ等を踏まえて、研究分野を重点化し、地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発を推進する。

#### 【平成26年度計画】

- ・地域経済に貢献する最高水準の研究開発を実施する。また、地域事業計画について、必要に応じて見直しを行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発を推進した。主な成果は次のとおり。
- 1) 北海道センター：産総研植物工場を用いて生産されたイヌインターフェロン含有イチゴ製剤（インターベリー®）が平成26年3月24日に発売となり、本年度からホクサン製造、DS アニマルファーマ販売の体制でユーザーの手に渡るようになった。同製剤は薬効成分を精製していない組換え植物（イチゴ）そのものであり、組換え植物が医薬品として認可されたのは世界初である。また、ヒト核内受容体アッセイによる食品の

機能性解析では、植物育種研究所が開発したタマネギについてその機能性を評価し、その後北海道情報大学での人介入試験を経て、大手商社から機能性食品として販売される予定。

- 2) 東北センター：CO<sub>2</sub>塗装技術を高度化させ、従来の自動車用小型部品だけでなく、企業と共同で自動車車体への大面積塗装に着手した。従来よりも小型のマイクロ波リアクターモジュールを開発しコンパクトな化学プロセスを可能にした。爆発性ガスの組み合わせを安全に反応させるマイクロリアクター技術を開発し、有用化学物質を合成した。天然ゼオライト含有物質から糸紡する技術を開発し、化学物質のフィルタリングに応用した。伝統工芸品に粘土膜をコートし、鉛筆硬度による耐久性を数段向上させた。開発した不燃透明複合材を鉄道会社にサンプル提供した。
- 3) 臨海副都心センター：「バイオテクノロジー作業ロボット開発」において、企業との共同研究により、7自由度で高精度の動きができる双腕ロボット「まほろシステム」の開発に成功し、大学、国内大手製薬会社及び公的研究機関に合計7台導入された。この成果により内閣府の平成26年度産学官連携功労者賞を受賞した。また、「創薬促進イノベーションハブ形成」においては、連携相手の数を増やし産学官連携を促進した。国内大手・中堅製薬会社9社、東京大学医学部、京都大学 iPS 細胞研究所、慶応大学医学部・病院、横浜国立大学等14大学や、国立がんセンター、理研等6研究所と個別に連携を進め、創薬に資するイノベーションハブ形成が進捗した。これにより、治験に至る薬効を高める手法を共同開発するなどの成果をあげた。
- 4) 中部センター：EV 化に不可欠なパワー半導体実装に関わる材料の研究開発に向けて、SiC に関する拠点共通基盤技術開発のうち、高耐熱部品技術開発を開始した。透明時の可視光透過率が70%以上の調光ミラーを開発し、これまでの実績に加え、共同研究を新規に1件開始追加した。また、溶解炉内でアルミニウムの熔融状態を保持するための高効率浸漬ヒーターを開発し、共同研究先企業とともにプレス発表を行った。触媒の性能を維持しつつ、白金族使用量を50%低減することに成功し、試料提供につなげた。圧力を使って磁性材料の吸熱・放熱を室温で制御することに成功し、プレス発表に対する問い合わせが数件あった。油分の付着を防止する表面処理技術を開発し、企業連携に繋がった。地域企業と共同で開発した新しい「常圧焼結セラミックス製法」を用い、高性能スピーカー振動板を民間企業が製品化した。また、高効率モーター用磁性材料の開発を目的とした高効率モーター用磁性材料技術研究組合、軽量化部材の研究拠点である革新的新構造材料技術研究組合、さらに熱の制御に関する研究拠点である未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合

において企業との共同研究を実施した。

- 5) 関西センター：蓄電池関連では、リチウムイオン蓄電池の正極材料として有望な硫黄系正極材料で、硫黄含有比率の高い結晶性硫化チタンに比べ約3倍の高容量を示す非晶質硫化チタンを開発した。バイオ医薬関連では、企業や大学と共同で臨床応用に向けた日本発の製造基盤技術開発を大学や企業と共同で実施した（経産省地域イノベーション創出実証研究補助事業）。分子複合医薬研究会を2回（第18回～第19回）実施（延べ136名）し、核酸や抗体医薬品開発に関わる企業、大学、公的研究機関との情報共有と連携促進に貢献した。さらに分子複合医薬研究会活動の波及効果として、大阪の医薬品製造メーカー内にCMC(Chemistry Manufacturing and Controls)研究センターが設置されるに至った。信号保安システム設計に関して独自の先端的な研究開発を進め、大手企業との共同研究に結びついた。また、これまでに開発した高耐久性ナノカーボン高分子アクチュエーター技術を実用化するため、フラウンホーファーとの共同研究ラボを開設し、デバイス化の研究を加速した。
- 6) 中国センター：ナノファイバー製造技術開発では、プロジェクトの最終数値目標（径が500nm以下のナノファイバー含有率が80%、ナノファイバー生産速度が1時間あたり10kg以上）を達成する微粉碎システムの開発に貢献した。プラスチックとの複合化技術開発では、上記の一貫製造プロセスで製造されたCNFを用いて、直接複合化によるマスターバッチ化工程により、ナノファイバーポリプロピレン複合材料を作製し、それを用いて自動車用部品としてのラジエーター枠や、日用品としてうちわ、くし、クリップを試作し、実用化に向けたコスト低減と成形性の向上を図る技術の見通しをつけた。
- 7) 四国センター：糖尿病の耐糖能およびインスリン抵抗性を経口糖負荷試験（OGTT）に頼らずに判定するためのバイオマーカーの有用性を大学病院、市中病院との共同実験によって検証し、感度、特異度とも十分な精度で判定できる結果を得た。バイオマーカーの一種であるアディポネクチンを十分な感度（ng/mL）で定量が可能なペーパーマイクロ流体デバイスを開発した。地元企業との連携では、生物発光酵素の遺伝子を導入した細胞を用いた食品の機能性評価方法を開発し、技術を公設試に移転して評価結果を地元企業に通知し、食品の高付加価値化に貢献した。
- 8) 九州センター：半導体関連マイスター型連携課題では、企業との共同研究により、LSI生産過程で生じる潜傷を検出する装置を開発し、企業の量産現場に導入してインライン全数検査を実現した。太陽電池モジュール開発・評価の研究では、長期屋外曝露モジュールと屋内加速試験後のモジュールの対比により、高温高湿（温度85℃湿度85%）試験4000時間が屋外曝露30

年に相当することを明らかにした。これにより得られたモジュールの設計指針に基づき、現行の認証試験の15倍も厳しい試験後でも劣化しないモジュールの開発にも成功した。地域企業との共同研究により、肥育牛脂肪交雑の自動判定を行う実用モデルを完成させ、当該企業が国内大手企業へOEM供給を開始した。

#### 【第3期中期計画】

- ・各地域センターは、各地域の特徴を活かした分野において、大学、公設試験研究機関等と連携して、企業の研究人材を積極的に受け入れ、最先端設備の供用やノウハウを活かした共同研究等を実施し、国際水準の研究開発成果を地域産業へ橋渡しすることにより、地域の活性化に貢献する。

#### 【平成26年度計画】

- ・各地域の産学官連携センターは、経済産業局や地方自治体、商工会議所等との協力のもと、地域中小企業等への総合的な支援体制として公設試験研究機関、大学、産業支援機関等と形成した産学官連携ネットワークの維持と展開を図るとともに、そのネットワークでの活動を積極的に推進する。

#### 【平成26年度実績】

- ・産学官連携ネットワークについて、これまで構築したネットワークをさらに拡充した。各地域センターにおける主な成果は次のとおり。

- 1) 北海道センター：北海道の科学技術政策を推進している中核機関（北海道経済産業局、北海道、北海道大学、北海道立総合研究機構、北海道経済連合会、北海道科学技術総合振興センター、(株)アミノアップ化学）をメンバーとする北海道センター運営懇話会を本格研究ワークショップの意見交換会として拡大して開催した。産技連北海道地域部会にシャーベット氷制御技術WGを設立し、公設試との連携を強化した。また、平成27年度より北海道立工業試験場との間で研究支援アドバイザーの委嘱を行うことで合意した。
- 2) 東北センター：グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム（GIC）60社とセミナーを5回、Clayteamコンソーシアム48社とセミナーを4回開催し、情報交換や産総研との共同研究、産・産連携の場を提供した。東北イノベーションネットワーク協議会の運営に協力し、東北サテライトホームページを介した技術情報、機器データベースの公開を継続した。公設試験研究機関の協力を得て、有力企業100社あまりとの連携をシステム化する「東北コラボ100」を引き続き実施し、25社（通算189社）を新規に訪問した。以上の連携活動により、東北の企業10社と共同研究を実施し、その内6社から研究資金の提供を受けるなど東北地域産業の復興・振興に貢献した。
- 3) 臨海副都心センター及び関東産学官連携推進室：

「子どもの傷害予防システム」事業において、80の医療機関から3万件の事故データが蓄積され、中小企業を含む52社、6自治体、3NPOで構成される製品・環境改良に関わる連携体制を構築した。また、「足入れの良い革靴研究」を皮革産業関連の中小企業と連携して継続実施し、店舗での実証販売を行い、売り上げの増加に貢献した。

- 4) 中部センター：名古屋大学や名古屋工業大学との包括協定に基づき、新たにFS共同研究を5テーマ実施するとともに、5名の客員教授を派遣して次世代産業の育成を推進した。また、産総研コンソーシアム「名古屋工業技術協会」により研究会・講演会を4回、見学会を1回開催し、産学官ネットワークの活動を積極的に推進した。さらに、産総研シーズの北陸地域での展開を目指して、北陸産業活性化センターとの共催で技術普及講演会を富山で開催し、ネットワークの強化を図った。また、二つの産総研コンソーシアム（センサに関する材料、デバイスなどの情報収集を図る「センシング技術コンソーシアム」及び省エネ建材への新材料の適用を図る「建築物低炭素化材料評価システム技術コンソーシアム」）において、関連業界のニーズの吸い上げと産総研が持つシーズとのマッチングを推進した。さらに、名古屋大、名古屋工業大学との包括連携協定により育成してきた研究シーズを地域主要企業で構成される産総研コンソーシアム「名古屋工業技術協会」の支援事業とするスキームを創設し、1テーマが支援課題に選定された。
- 5) 関西センター：AIST 関西懇話会活動として講演会と見学会（福島再生可能エネルギー研究所）を開催し、会員企業や研究機関との連携を促進した。大阪府立大学との包括連携協定を延長することで大学連携を促進した。奈良県立医科大学との連携協定を新たに締結し、医工連携の体制を強化した。分子複合医薬研究会を2回実施し（延べ136名）、核酸や抗体医薬品開発に関わる企業、大学、公的研究機関との情報共有と連携促進に貢献した。平成25年度に引き続き、公設試に配置している研究支援アドバイザーを通じた地域の中小企業支援の一環として、蓄電池に関する講習会等を実施した。池田泉州銀行の技術フェアへ大規模な出展を行い、地域企業との連携を促進した。関西センター内にフラウンホーファー研究機構との共同研究ラボを設置し、高分子アクチュエーターデバイス開発体制を強化した。
- 6) 中国センター：産総研と中国地域に拠点をもつ企業とのネットワークを強化するために立ち上げた「産総研中国センター友の会（産友会）」の会員企業(175社/H27.1.19現在)に対し、メルマガ（月刊）を発行して産総研の技術シーズや公募情報等を提供するとともに、企業の技術課題解決や中小企業スタートアップ支援事業の立ち上げ等への展開を図った。特に、産総研戦略

予算に採択された「中小企業のためのランダムピッキングロボットシステムの開発」において、「ひろしま生産技術の会」の中核企業4社と資金提供型のFS連携契約を結んで、対象物計測・検出技術、把持・動作計画技術等の開発を進めつつ、広島県立総合技術研究所の研究者や企業の技術者の人材育成に貢献した。

- 7) 四国センター：食品分析フォーラム（全国20公設試を含む29機関が参画）において、食品中の機能成分分析法の標準化のために4件の共同分析を実施し、1件の標準を作成した（審査中1件、分析中2件）。6大学との研究プラットフォームでは、四国産官学連携イノベーション共同推進機構（SICO）との連携について協議を開始したほか、『食と健康』に係る研究シーズ情報を継続して提供した。相互協力協定に基づいて、伊予銀行と情報交換を4回実施し、共同研究先の候補企業を1社選定した。四国地域イノベーション創出協議会等と連携し四国の企業を支援、サポイン事業1件の採択につなげた。
- 8) 九州センター：連携・協力に関する協定を締結している佐賀県との共同研究により、市販の太陽電池モジュールに対してIEC規格に定める認証試験よりも厳しい試験を実施することにより、認証試験に合格した太陽電池モジュールにおいても信頼性に差異があることを明らかにした。半導体試験装置メーカーとの共同研究により、既存のプラズマエッチング装置にも後付けで取り付けが容易な高精度プラズマインピーダンス計測装置の開発・販売を実現した。マイスター型連携の取り組みにより開発した金めっき外観検査方法を、JEITA（電子情報技術産業協会）、JIEP（エレクトロニクス実装学会）等と連携して、IEC TC91/WG10会議においてTS（技術仕様書）として提案した。北九州市および九州工業大学との連携・協力に関する協定に基づき、第14回産学連携フェア（10月30～31日；北九州市）に共同出展するとともに、合同セミナー「ここまできたひびきのにおける環境エレクトロニクス研究」を開催し、約80名の参加を得た。

#### 【平成26年度計画】

- ・地域センターの有する技術分野については地域企業や公設試験研究機関の人材を積極的に受け入れ、最先端設備や最先端設備に関するノウハウを活用した共同研究等を実施し、実用化を目指した研究開発や実践的な人材育成等に貢献する。

#### 【平成26年度実績】

- ・各地域センターでは共同研究等により639名の外部人材を受け入れ、人材育成等に貢献した。主な成果については次のとおり。
- 1) 北海道センター：大学、専門学校、高専、企業から68名の技術研修生を受け入れ、組換え植物や微生物による物資生産技術、メタンハイドレート開発研究等

についての技術研修を実施し、人材育成を行った。北海道大学を中心として連携大学院により学生を指導し、これまで連携強化を図ってきた旭川高専から連携大学院に1人合格するなど、高専機構と産総研のシームレスな人材育成ができるようになった。また、共同研究により企業等から延べ36名を受け入れ、技術移転に必要な人材育成を進めた。

- 2) 東北センター：岩手大学6名、東北大学2名、東北学院大学2名など計13名の技術研修生を受け入れ、ゼオライト利用技術、超臨界流体技術、マイクロ波応用技術など、東北センターのコア技術に関する技術人材育成に貢献した。また、民間企業との共同研究に基づき延べ39名の人材を受け入れた。関西センター主催の「組み込み適塾」について TV 会議システムを介して東北地域企業へ講義を行い、延べ89名の参加があった。
- 3) 臨海副都心センター：ゲノム情報研究センターでは、生命情報科学人材養成講座を継続実施した。平成23年度から実施している革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ人材養成プログラムを継続実施し、企業、大学教官・学生等、約760名の受講者を育成した。また、臨海副都心センター全体として、約120名の技術研修生を受け入れ、人材育成に貢献した。
- 4) 中部センター：名古屋大学、名古屋工業大学等の大学等から24名の学生を受け入れるとともに、企業から共同研究等で176名を受け入れ、人材育成に貢献した。産技連東海北陸地域部会傘下で立ち上げた研究会において、炭素繊維複合材料機械加工技術研究会では、7公設試とのラウンドロビン試験、共同加工評価を実施した。シンクロトロン光利用研究会では、新たに「めっき技術の高度化」準備 WG（産技連研究連携支援事業）を立ち上げ、めっきプロセスの検討に明確な指針を与え、めっき処理技術の高度化を図る取り組みを始めた。産総研と公設試の若手研究者向け合同研修を実施し、8県1市から18名の参加を得て、人材育成に貢献した。
- 5) 関西センター：大学、企業から120名の技術研修生を受け入れた。組込システム産業振興機構や大阪大学と連携して高度な組込みシステム技術者を養成する「組込み適塾」を実施し、産総研の TV 会議システムにより講義を配信した東北地域も含め、企業から延べ96名の参加があった。科学教室、サイエンスキャンプ活動に加え、新たにサイエンスカフェ in 関西を開始(2回開催)、啓蒙活動を拡充した。
- 6) 中国センター：森と人が共生する SMART 工場モデル実証事業で共同研究を実施している真庭市との包括協定に基づいて「バイオマス人材育成事業」を展開した。また、地域産技連事業として、四国部会と連携し「公設試の研究者を対象とした研修」を開催した。

さらに、バイオマスの人材育成については、東南アジアから海外研修生を12名、産総研リサーチアシスタント制度で2名、国内大学からの技術研修生を3名（東京大学、近畿大学、愛媛大学から各1名）受け入れた。

- 7) 四国センター：香川大学等から技術研修生を13名、共同研究先の企業から13名を受け入れるなど、人材育成に貢献した。また、公設試との連携強化のため、四国四県の産学官又は企画相当の職員各1名を研究支援アドバイザー（外来研究員）に招聘した。一般公開では阿南工業高等専門学校、香川高等専門学校、高知工業高等専門学校によるポスター発表を実施したほか、スーパーサイエンスハイスクール指定校の観音寺高校（生徒約20人）による科学体験コーナーの特別出展を実施したほか、研究者から助言するなどの意見交換を行った。
- 8) 九州センター：工業高等専門学校から受け入れたインターン学生に、CIGS 太陽電池の劣化現象解明ならびに信頼性向上に結びつく研究成果を挙げさせるとともに、評価の高い国際会議で発表させるなど、若手人材の育成に貢献した。産技連地域部会の活動として、各県公設試および産総研の若手・中堅研究者向けの「研究者合同研修会」を開催（12名が受講）し、産業界に貢献する公的研究機関の意義や在り方に関する理解を深めるとともに人的ネットワークの構築に貢献した。地域企業への支援として METI「戦略的基盤技術高度化支援事業」に1件新規採択されたほか5件を実施した。

## (2) 中小企業への技術支援・人材育成の強化

### 【第3期中期計画】

- ・各地域センターは、公設試験研究機関等と連携し、中小企業との共同研究等に加えて、最先端設備の供用やノウハウ等を活かした実証試験・性能評価等による中小企業の製品への信頼性の付与等の技術支援、技術開発情報の提供等を行い、中小企業の技術シーズの実用化を推進する。

### 【平成26年度計画】

- ・地域産業活性化支援事業を積極的に実施する。さらに、本事業による成果を活用して、公設試験研究機関や中小企業と連携して、外部研究資金等を活用した本格的な研究開発に結び付けるための活動等を行うことで、中小企業の技術シーズの実用化を推進する。

### 【平成26年度実績】

- ・地域産業活性化支援事業により、9公設試から11名の研究者を産総研に受け入れ、地元企業等の技術的課題の解決を積極的に支援するとともに、保有する先端技術を用いて技術移転と中小企業による技術シーズの実

用化を支援した。

【平成26年度計画】

- ・技術開発情報については、行政や産業界と連携した技術セミナー等を開催により、地域企業等に提供する。

【平成26年度実績】

- ・外部に開かれた議論の場として本格研究ワークショップを引き続き実施し、地域における行政や産業界に対して技術開発情報等を発信した。本ワークショップにおいて企業の基調講演を含む技術セミナー、企業や自治体が出展したパネル展示、さらに展示会場に窓口を併設して技術相談を行い、地域企業等の活性化のための取組を促進した。また、各地域センターにおいても技術セミナー等を開催し、産業界との交流の場を実現した。主な成果は次のとおり。
- 1) 北海道センター：北海道において最も関心が深い食の機能性に関する本格研究ワークショップを開催し、193名の参加者を得た。また、地域に関心の高い課題について専門家が解説する北海道センター講演会を4回開催し、延べおよそ200名の参加を得た（平成26年10月28日、平成27年2月24日、3月9日、3月18日）。また、「六次産業化と明日へのものづくり新技術説明会 in HOKKAIDO」を高専機構と共催で開催し（平成26年8月20日）、産総研つくばセンターの研究者を札幌に呼び、北海道地域において興味を引くと期待される研究を紹介した。
  - 2) 東北センター：東北サテライトを拠点に「産総研・新技術セミナー」をほぼ毎月開催し、延べ136名の参加があり、技術相談を多数受けた。産技連東北航空宇宙産業研究会、プラスチック加工技術研究会、東北再生可能エネルギー研究会の活動を通して、各分野の技術情報をセミナー等で提供した。東北大学、物材機構、産総研イノ推、ナノテク企画室、中部センターとの共同開催事業「日本が誇るマテリアルの世界 材料フェスタ in 仙台」では産総研初の試みとして高校生を中心とした若い学生向けに材料の重要性・将来性をアピールし、478名の高校生を含む学生968名の参加を得た。
  - 3) 臨海副都心センター：臨海地区で産学官連携を通じたイノベーション創出による貢献を目指して、臨海地域産学官連携フォーラムを都立産技研との共催で立ち上げ、臨海地域産学官連携フォーラムを3回実施し（平成26年6月5日、平成26年10月10日、平成27年1月29日開催）、中小企業を含むのべ107名の参加者を得て、「高性能義足開発」、「ビッグデータ解析」等具体的な課題で連携が促進された。特に高機能義足については、東京都立産業技術研究センターとの共同研究及び国際フォーラムの開催に発展した（平成27年2月25日開催、83人参加）。また、「創薬」と「ヘルスケア」に関する産総研の成果のマーケティングと新ビジネスモデル創出のために、テクノブリッジフェアを開催した。「創薬」では4社（3月18-19日）、「ヘルスケア」では9社（11月7日）を厳選して開催し、今後の連携につなげた。JST・日本科学未来館や、国際交流館等との共催でサイエンスアゴラ2014を開催（平成26年11月7日-9日、10142人参加）、また、その中の2日を産総研臨海副都心センター一般公開として開催した（ヘルスケア特別展示、2146人参加）。さらに同時開催のセーフティ・グッズ・フェア2014の開催に協力した（平成26年11月7日-9日、講演1件、展示1件。4540人）。都産技研との包括連携協定に基づき、INNOVESTA!（都産技研、平成26年9月5日-6日、展示、1917名）を実施した。国際研究交流大学村の協定に基づき、事務局会合を毎月開催して情報交換を行うとともに、平成26年度連絡協議会（産総研、平成27年3月4日）を開催した。また、市民との交流イベント事業として、2014年国際交流フェスティバル（平成26年8月16日、展示1件、3567人）で展示を行った。
  - 4) 中部センター：「医療・住宅関連技術」「材料・プロセス基盤技術」「次世代自動車・航空関連技術」に関する研究発表会に173名、センター主催のオープンラボに142名の参加があった（ともに平成26年6月24-25日）。また、名古屋駅前イノベーションハブにおいて「高分子材料技術」、「情報処理技術」、「環境関連技術」、「レアメタル関連技術」、「太陽光発電関連技術」をテーマに技術シーズ発表会を隔月で開催した。
  - 5) 関西センター：産総研の研究支援アドバイザー制度を利用して、公設試に集まる中小企業ニーズの把握、公設試支援を通じた中小企業の間接的支援を図り、地域中小企業支援において公設試との連携強化を推進した。滋賀県からの依頼により、昨年度に引き続き滋賀県技術研修「二次電池評価技術基礎講座」へ講師を派遣した。また、公設試からの要望により、つくばでの技術研修をコーディネートした。池田泉州銀行主催のビジネス・エンカレッジ・フェア2014等の展示会に出展し、地域企業と情報交換した。2回開催した分子複合医薬研究会（第18回～第19回）には延べ136名の参加があり、核酸医薬品開発に関わる企業、大学、公的研究機関との情報共有と連携促進に貢献した。「ファインバブル技術シンポジウム」を日刊工業新聞社と開催した。関西センター行事として、第10回UBIQENフォーラム「蓄電池・燃料電池新材料開発のための分析解析手法」を開催し（平成27年1月21日）、69名の参加を得た。
  - 6) 中国センター：公設試と連携し産総研の研究シーズと地域企業のニーズとのマッチングの場として「産総研技術セミナー」を開催した（平成26年度4回／参加者；鳥取（10/17：米子市）30名、広島（12/9：福山市）82名、島根（1/27：松江市）48名、山口（3/6：山



口市)。また、オール産総研の研究シーズと中国地域の企業とのマッチングを目指す「産総研技術交流サロン」を開催した（平成26年度4回／第1回(8/7：広島市)79名、第2回(9/26：東広島市)63名、第3回(11/27：広島市)41名、第4回(2/5：岡山市)）。さらに、「地域を元気にする産総研との連携」をテーマに、木質系バイオマスの自動車部品やエネルギー材料などのマテリアル利用、水素キャリアの研究開発など連携事例を紹介し、企業の課題解決に対して産総研がオープンイノベーションハブとしていかに貢献できるかを企業、大学、支援機関、自治体、金融機関等と共有することを目的として「産総研本格研究ワークショップ in おかやま」を2月24日に岡山市で開催した。

7) 四国センター：公設試と連携し、地域企業のニーズに応じたマッチングイベントとして「新技術セミナー（全産総研の新技術の紹介）」を4回開催し、延べ149名の参加を得た。また、四国工業研究会内の次世代バイオナノ研究会において、『健康長寿社会を目指したMEMS ものづくり』をテーマにシンポジウムを1回開催し、43名の参加を得た（平成27年2月10日）。四国経済産業局等と連携してヘルスケア・イノベーション・フォーラムを運営し、四国内外の企業に向けて3回の研究発表会を開催し、毎回100～150名の参加を得た。地域医療の高度化や個人の健康状態の管理・増進に関する技術を紹介し、新たな成長分野としての健康サービス産業への企業参入を促進した。一般公開では阿南工業高等専門学校、香川高等専門学校、高知工業高等専門学校によるポスター発表を実施したほか、スーパーサイエンスハイスクール指定校の観音寺第一高校（生徒約20人）による科学体験コーナーの特別出展、研究者からの助言などの意見交換を行った。更に、四国地域内の産業支援機関に所属する産学官連携担当者（コーディネータ9名）を対象に研究者との意見交換、研究室視察を実施し、他機関のコーディネータを介して地域企業に技術シーズを提供する方法を講じた。

8) 九州センター：九州経済産業局、九州・沖縄各県公設試他共催計17機関、後援5機関で開催した第4回九州・沖縄産業技術オープンデー（平成26年12月3日）に376名が参加し、産総研および公設試の最新の技術情報（産総研講演会、各機関のポスター展示、九州センターのラボツアー等）提供や連携事例紹介（合同成果発表会）を行った。講演会およびポスター展示は約7割、ラボツアーは約9割が「大変良かった」または「良かった」として継続を希望するアンケート回答を得るとともに、共催・後援機関からも情報交換・人的交流を深める良い機会として評価された。産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」では傘下の5研究会の講演会合計11回のほか、総会講演会、出前シンポジウム（2回）を開催し、企業等から延べ

593名が参加した。

#### 【第3期中期計画】

- ・産総研と公設試験研究機関等で構成する産業技術連携推進会議等を活用して、地域企業ニーズに基づく中小企業、公設試験研究機関及び産総研の新たな共同研究の形成や、研究成果移転や機器の相互利用促進のための研究会の設置等により中小企業技術支援体制の充実にを図る。

#### 【平成26年度計画】

- ・産業技術連携推進会議地域部会において、地域経済の現状を踏まえたプロジェクトの共同提案等の取組みを引き続き強化し、地域経済の活性化と再生に向け一層寄与することを目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・プロジェクトの共同提案へ向けた取組として、産業技術連携推進会議において「研究連携支援事業」を3課題（2地域部会）実施し、地域経済の活性化に貢献した。

#### 【平成26年度計画】

- ・産業技術連携推進会議技術部会において公設試験研究機関の技術レベルの向上を図るため研究会や研修会活動を積極的に実施すると共に、地域部会の活動を支援し、地域中小企業の活性化やイノベーションの創出に寄与する（新技術の地域への導入のための支援事業を実施等）。

#### 【平成26年度実績】

- ・公設試験研究機関の技術レベルの向上に向けた研究会・講演会等(技術部会において95回開催)を引き続き実施した。また、「技術向上支援事業」を3課題採択し、持ち回り計測や依頼試験等の計測値に関する公設試間の連携（知的基盤部会、ナノテクノロジー・材料部会）を推進する事で、イノベーションの創出に貢献した。

#### 【第3期中期計画】

- ・共同研究や技術研修等の活動を通じて、地域の産業界の研究人材を受け入れ、基盤的な研究活動等を共同で実施し、産業化への橋渡し研究に活躍できる人材育成を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・各種プロジェクトの立ち上げ支援や技術相談、セミナー開催などを通じて地域の産業界の人材育成を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・各地域センターにおいて経済産業局、公設試験研究機関、商工会議所等とも連携して、技術シーズ発表会や講演会、地域の技術センターにおける出前シンポジウ

ム等を開催し、人材育成を行った。また、中小企業との共同研究等で地域センター総計639名の研究人材を受け入れ、人材育成を行った。

【第3期中期計画】

- ・産総研が地域におけるハブとなり、地域を巻き込んだ産学官連携の中核となって研究開発を推進することにより、第3期中期目標期間中に3,000件以上の中小企業との共同研究等を実施するとともに、10,000件以上の技術相談を実施する。

【平成26年度計画】

- ・第3期期間中の中期目標である中小企業との共同研究数3,000件以上、中小企業からの技術相談10,000件以上の実施を達成する。  
また、中小企業との共同研究については、中小企業の技術シーズと産総研のシーズをマッチングさせ、外部研究資金等を活用した本格的な研究開発に結び付けるためのFS的な共同研究を行う中小企業共同研究スタートアップ事業を引き続き実施する。

【平成26年度実績】

- ・中小企業との共同研究を600件、技術相談を1,983件実施した。
- ・中小企業との本格的な共同研究を推進するために、産総研とともに公的研究資金等への提案を支援する「中小企業共同研究スタートアップ事業（18課題）」等を実施した。これまでのこの事業の実施テーマから平成26年度にサポイン等公的資金8件の採択に至った。

【平成26年度計画】

- ・被災地復興について、被災地対象の研究開発事業（A-STEP ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）等）への共同提案を支援する。
- ・福島再生可能エネルギー研究所の機能強化の一環として、被災三県（福島県、宮城県、岩手県）に所在する企業のシーズの事業化を技術的に支援する「被災地企業のシーズ支援プログラム」を実施する。

【平成26年度実績】

- ・JST の A-STEP ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）に、産総研が参画した提案2件について支援を行った。
- ・太陽光発電の対象範囲の拡充や蓄電池・熱利用技術にかかわる評価設備の拡充などにより支援を推進した。第1次公募12件、第2次公募8件、第3次公募7件の合計27件の課題を採択し事業を推進させた。

【平成26年度計画】

- ・「中小企業グローバルトップ性能製品の評価手法の開発」事業の6課題を継続するとともに、新たな課題を3件程度スタートさせ、中小企業のグローバル展開を

支援する活動の継続を図る。

【平成26年度実績】

- ・「中小企業グローバルトップ性能製品の評価手法の開発」事業について、新規公募と継続審査を行い、新規2件と継続6件の課題を採択した。また、継続案件については進捗状況報告会を開催した。報告会で現況を分析し、本事業を活用した産総研シーズ事業化のさらなる促進を図った。

3. 産業・社会の「安全・安心」を支える基盤の整備

(1) 国家計量標準の高度化及び地質情報の戦略的整備

【第3期中期計画】

- ・我が国の技術革新や先端産業の国際競争力を支え、また新素材、新製品の安全性や信頼性を評価する基盤として必要な計量標準62種類を新たに開発し、供給を開始する。また、第1期、第2期を通じて開発した計量標準約530種類を維持、供給するとともに、産業現場のニーズに応える高度化、合理化を進め、トレーサビリティの普及を促進する。

【平成26年度計画】

- ・グリーン・イノベーション、ライフ・イノベーション等の推進に資する計量標準については、新たに15種類以上の標準を整備し、第3期中期計画で予定されていた全62種類の整備を完了させる。また、第2期までに開発した約530種類の既存の計量標準においても、24種類以上の標準に関して供給範囲の拡大や不確かさ低減等の高度化を行う。

【平成26年度実績】

- ・燃料電池及び電力貯蔵キャパシタの利用に必要な気体流量標準や電気標準、電磁波干渉性及び耐性（EMC）規制等の国際規格、法規制に対応する計量標準、半導体産業に資するナノスケールの計量標準等、新たに20種類の標準を整備し、第3期中期計画で予定されていた全62種類を超える65種類の整備を完了させた。また、第2期までに開発した既存の計量標準においても、レーザーやLEDの利用促進に資する計量標準など産業現場等のニーズに対応して24種類の標準に関して供給範囲の拡大等を行った。

【第3期中期計画】

- ・国土と周辺域において地質の調査を実施し、国土の基本情報として社会の要請に応えた地球科学基本図の作成及び関連情報の整備を行う。具体的には資源エネルギーの安定確保、防災等に資するため、従来に比して電子化などにより利便性を高めた各種地質図や活断層及び活火山などのデータベース等を整備、供給する。また、第3期中期目標期間中に5万分の1地質図幅を計20図幅作成する。

## 【平成26年度計画】

- ・第3期中期計画の最終年度にあたり、計画に沿った地質図等の整備や地質標本登録、地質関連データベースの充実・更新に注力する。具体的には、5万分の1地質図幅について2区画を整備し、第3期中期計画における目標（計20区画）を達成する。また、平野地域の地下地質情報整備にあたっては、ボーリング資料や物理探査データ等の収集を継続すると共に、沖積層等の三次元分布を解明し、地質モデルとしての整備を目指す。また、地質情報の共有・流通の促進のため出版済み地質図のベクトル化を推進する。

## 【平成26年度実績】

- ・計画に沿った地質図等の地球科学基本図を整備するとともに、地質標本登録を行った。地質関連データベースとして第四紀噴火・貫入活動データベース及び津波堆積物データベースの公開を開始した。5万分の1地質図幅について2区画を整備し、第3期中期計画における目標（計20区画）を達成した。また、平野地域の地下地質情報整備にあたっては、ボーリング資料や物理探査データ等の収集を継続すると共に、沖積層等の三次元分布を解明し、地質モデルとして整備をした。また、地質情報の共有・流通の促進のため出版済み地質図のベクトル化を推進した。

## (2) 新規技術の性能及び安全性の評価機能の充実

## 【第3期中期計画】

- ・新たに生み出された製品やサービスに対して、その性能や安全性を客観的に評価する計測、評価及び分析技術を開発し、試験方法、試験装置及び規格等の作成を通じて普及させる。その際、企業及び業界団体や、基準認証関係機関とコンソーシアムを形成し、開発、作成、普及を加速する。また、国際標準化活動をコンソーシアム活動に反映するために、それぞれのプロジェクトを横断的に管理する組織を平成22年度中に産総研に設置して、基準認証関係機関との連携を促進し、効果的な標準化活動を推進する。

## 【平成26年度計画】

- ・標準化をテーマとした会議開催等を活用し所内外の関係者に向けて情報発信を行うことで、産総研および企業、業界団体等と標準化の意識共有を図る。その一環として、IEC 総会の東京開催に合わせてシンポジウムを主催する。

## 【平成26年度実績】

- ・第4回「国際標準推進戦略シンポジウム」を、11月11日に IEC 東京大会の併催イベントとして同会場にて開催した。主題は「イノベーションで市場を拓くための国際標準化」とし、IEC に関連する新しい技術分野である「プリンテッド・エレクトロニクス」の技術

開発及び国際標準化の最新動向について議論した。当日は、企業・業界団体等、大会関係者を含む333名の来場者があった。

## 【平成26年度計画】

- ・国際標準化の推進を通じて、新規技術の性能や安全性を客観的に評価する技術の開発、市場拡大・産業競争力強化に資する組織・体制作りを支援する。

## 【平成26年度実績】

- ・「標準化戦略会議」や「産総研アカデメイア」での議論を踏まえ、標準化課題の調査を行い、「医療機器レギュラトリーサイエンス研究会」等を通じた標準化・適合性評価活動への貢献を積極的に支援するとともに、「ナノセルロースフォーラム」を設立する等、国際標準化活動に資する組織・体制作りを行った。

## 【第3期中期計画】

- ・我が国の認証体制を強化するために、新たな技術に対する試験法及び評価方法の標準化を推進し、人材育成などにより技術の民間移転を推進する。

## 【平成26年度計画】

- ・認証のための技術開発とその技術移転を促進するため、依頼試験を行うとともに試験所間比較を実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・認証のための技術開発とその技術移転を促進するため、7件の依頼試験と3件の試験所間比較を行った。さらに、経済産業省の「IEC 次世代標準化人材養成プログラム」及び「ISO 国際標準化人材育成講座」に協力するとともに、認証に関する国際標準化セミナーの開催等を通して認証に携わる人材の育成を推進した。

## 【第3期中期計画】

- ・性能・安全性評価のために必要な知的基盤として、信頼性が明示された材料特性等のデータベースの整備、供給を推進する。

## 【平成26年度計画】

- ・性能・安全性評価のために必要な知的基盤として、信頼性の高いデータベースを公開し地理空間・地図系、物質・材料系、人体系、情報系のデータバンク構想を推進する。

## 【平成26年度実績】

- ・産総研で公開している複数のデータベースについて、利便性向上のためポータルサイトの整備・統合を行った。具体的には、物質・材料系ではデータベースのポータルサイトを作成・公開、人体系ではデータ項目の追加などの整備、また情報系では検索機能等の高度化に取り組み、データバンク構想を推進した。
- ・地理空間・地図系では、170万件、物質・材料系の有

機化合物のスペクトルデータベースでは4,800万件のアクセス件数を得る等、社会に活用される知的基盤整備を推進した。

(3) 研究開発成果の戦略的な国際標準化、アジアへの展開

【第3期中期計画】

- ・我が国の産業競争力の向上のため、標準化が求められる技術については、その研究開発の開始に際して、あらかじめ標準化することを前提として計画的に実施するなど、国際及び国内標準化を重視した取組を行う。

【平成26年度計画】

- ・産業界や社会的ニーズ、行政からの要請に対応する「標準基盤研究」を推進する。

【平成26年度実績】

- ・産業界や社会ニーズ、行政からの要請に対応した環境評価や測定技術に関する「標準基盤研究」23件を実施し、国際標準、国内標準の作成に貢献した。

【平成26年度計画】

- ・ナノテクノロジー分野の国際標準化活動を主導するため、ISO/TC229ナノテクノロジー国内審議団体として国内審議委員会の運営、ISO/TC229総会へ代表団派遣等を実施する。

【平成26年度実績】

- ・ISO/TC 229ナノテクノロジー国内審議団体として、2回の本委員会と用語・命名法、計量・計測、環境・安全、材料規格の分科会を計9回開催するとともに、5月英国、フランスでのTC 229の中間会合、及び11月インドでのTC 229の会合・総会に日本代表団を派遣し、業務項目の審議を行った。国内審議委員会の事務局として産業界、関係省庁等との調整も含め、委員会を運営した。

【平成26年度計画】

- ・標準物質の国際標準化活動を主導するため、ISO/REMCO 国内審議団体として国内審議委員会の運営、ISO/REMCO 総会（2014年7月米国開催予定）へ代表団派遣等を実施する。

【平成26年度実績】

- ・ISO/REMCO（標準物質委員会）の国内審議団体として、2回の委員会を開催するとともに、7月米国で開催されたREMCO 総会に日本代表団を派遣し議論を行った。国内審議委員会事務局として産業界、関係省庁等との調整も含め、円滑に委員会を運営した。

【平成26年度計画】

- ・産総研公式ホームページにおいて、研究成果に基づい

て制定された規格情報や国際標準化推進戦略シンポジウムの情報等を発信する。

【平成26年度実績】

- ・産総研公式ホームページ内の国際標準推進部ページにおいて、研究成果に基づいて制定された規格情報（ISO、IEC、JIS、TS/TR等）や「国際標準推進戦略シンポジウム」、「標準化研究開発進捗総覧」、「国際標準関連機関役職者一覧」の情報等を発信した。また、広報誌「産総研 TODAY」を活用し、産総研の標準化活動の成果をアピールした。

【平成26年度計画】

- ・所内研究者の国際標準化活動への意識向上のために国際標準化セミナー等を行う。

【平成26年度実績】

- ・所内研修の一環として、国際標準化セミナーを2回（7月及び2月）実施した。また、経済産業省の「IEC次世代標準化人材養成プログラム」及び「ISO国際標準化人材育成講座」に協力し、それぞれ実地研修（10月及び2月）を行った。

【平成26年度計画】

- ・標準化活動に携わった者が所内外で適切に評価されるよう、所内の評価者への啓発活動や社会に向けた産総研の標準化活動実績のPR等を行う。

【平成26年度実績】

- ・標準化研究課題の進捗を平成26年度「標準化研究開発進捗総覧」として、また所内標準化関係者の活動を平成26年度「国際標準関連機関役職者一覧」としてそれぞれ発行（12月及び3月）し、国際標準化活動実績を所内外にアピールすることで、標準化活動に携わった者のインセンティブを高める活動を行った。また、工業標準化事業のため国際標準や日本工業規格の作成、啓蒙・普及等に寄与した活動に努めた結果、平成26年度工業標準化事業表彰で経済産業大臣賞を1名、産業技術環境局長賞を2名が受賞した。

【第3期中期計画】

- ・国際標準化を検討する国際会議への派遣等を前提とした、国際標準化活動における第3期中期目標期間終了時までのエキスパート登録数は、100名以上を目標とする。

【平成26年度計画】

- ・国際会議における議長、幹事、コンビーナ及びエキスパート（プロジェクトリーダーを含む）を積極的に引き受ける。また、産総研職員が国際標準化のリーダーシップを発揮する環境を強化するべく、国際会議参加への支援を実施する。

【平成26年度実績】

- ・国際会議において総勢48名が議長、幹事、コンビーナ等の国際役職者に就任し、延べ258名のエキスパートを登録した(平成26年度末時点)。国際標準化の環境を強化すべく、国際会議参加旅費の補助等の40件の支援を行った。

【第3期中期計画】

- ・バイオマス燃料の品質評価等の標準及び適合性評価技術のアジア諸国での円滑な定着等、アジア諸国との研究協力、標準化に向けた共同作業を推進する。

【平成26年度計画】

- ・東アジア・ASEAN 経済研究センター (ERIA) の、東アジアにおいて構築されている人的ネットワークを活用し、新規に採択された再生可能エネルギーに関する3件のワーキングプロジェクトを支援する。

【平成26年度実績】

- ・「再生可能エネルギーベストミックス」、「地熱」、「モビリティエネルギー」の、各ワーキングプロジェクトミーティングを支援し、研究成果データの整理と、最終報告書の取り纏め方法について、ワーキングプロジェクトメンバーとの調整を行った。来年度に向けた提案に資するため、ERIA、ブルネイ国立エネルギー研究所との意見交換を実施した。

【第3期中期計画】

- ・国際標準化を計画的に推進することにより産総研の成果を基とした国内提案も含めた標準化の第3期中期目標期間中の素案作成数は、100件以上、うちアジア諸国との共同で15件以上を目標とする。

【平成26年度計画】

- ・日本工業標準調査会 (JISC)、国際標準化機構 (ISO)、国際電気標準会議 (IEC) 及び国際フォーラムなどに積極的に参画し、産総研の研究成果を活用した標準化に取組み、国内及び国際標準策定を支援する。

【平成26年度実績】

- ・標準基盤研究を推進することなどにより産総研の成果を基にした ISO、JIS 等の規格案をとりまとめ、国内外の標準機関へ積極的に参画し、24件 (国際標準20件、国内標準4件) の規格提案等を行った。

【平成26年度計画】

- ・規格素案作成のため、経済産業省「国際標準共同研究開発事業」など標準化推進事業の受託拡大を図る。また、日米エネルギー環境技術研究・標準化協力事業に基づく国際標準化事業を実施する。

【平成26年度実績】

- ・関連する業界団体等と連携して、新規に標準化関連委

託事業を11件受託し、継続を含め計15件実施した。また、日米政府エネルギー・環境協力合意に基づく米国立標準技術研究所 (NIST) との標準化協力受託事業について、2月に日米エネルギー環境技術研究・標準化協力事業 ミーティングを開催した。

【平成26年度計画】

- ・我が国の標準化活動を促進するため、アジア諸国との関係構築のための諸協力を実施する。

【平成26年度実績】

- ・アジア諸国との共同規格提案を目指して、その準備に必要な旅費の支援等を行った。

【平成26年度計画】

- ・基準認証イノベーション技術研究組合アジア基準認証推進事業を技術的にリードすると共に、組合事業の拡大にあわせて産総研の技術力を活かした国際標準化に向けた技術的サポートを実施する。

【平成26年度実績】

- ・基準認証イノベーション技術研究組合に参画し、組合関連委員会への委員を対象とした認証事業研修に講師を派遣する等、産総研の技術的蓄積を活用してアジア基準認証推進事業へのサポートを行った。これにより、同組合が実施する各種国際標準化事業の推進を図った。

4. 「知恵」と「人材」を結集した研究開発体制の構築  
(1) 産学官が結集して行う研究開発の推進

【第3期中期計画】

- ・産総研のインフラをコアにして、産業界、大学及び公的研究機関の多様な人材や研究施設等を集約した最先端のナノテク拠点を構築し、既存電子デバイスの基本的限界を打破し、微細化や低消費電力化をもたらす高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行う。

【平成26年度計画】

- ・前年度までに整備した実証評価ラインの試作品質維持に努めるとともに、TIA 内の諸ライン間のウェアの相互流通を可能とする設備を整備する。TIA 施設・設備に係る24時間運用をパワーエレクトロニクス拠点に拡大する等、拠点ユーザの要請に柔軟に応じるとともに、共同研究の拡大を図る。

【平成26年度実績】

- ・昨年度から継続している老朽化設備の更新により、実証評価ラインの試作品質維持に努めるとともに、小口径ウェアに対応したウェア端面処理装置の導入と枚葉式自動洗浄装置を改造し、TIA 内の諸ライン間のウェアの相互流通を可能とした。また、TIA パワエレ拠点運営室の活動を開始し、パワエレ拠点運営のため

の組織を構成して、実証評価ライン運用管理、関連予算の執行管理、等の体制を構築した。実証評価ラインについては、24時間7日間稼働の体制を整備し、安定的な稼働を実現した。

#### 【第3期中期計画】

- ・太陽光発電では我が国唯一の一次基準太陽電池セルの校正機関としての知見を生かし、大規模フィールドテストや屋外評価技術等の拠点化を行い、実用化に必要な研究開発を加速する。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、電圧誘起劣化の機構ならびに解決策を屋内加速試験により明確化するとともに、屋外曝露試験でも実証し、信頼性の高いシステム運用技術を開発する。太陽電池モジュール劣化の指標となり得る酢酸の発生を加速試験中に実時間で評価可能な手法を開発するとともに、酢酸量を指標とした寿命算出法を確立し、予測寿命30年のモジュールを実現する。これらの実績をもとに、大規模フィールドテストや屋外評価技術等の拠点事業を推進し、実用化に必要な研究開発を加速する。

#### 【平成26年度実績】

- ・n型とp型の結晶シリコン、CIGSの各太陽電池において、電圧誘起劣化の機構がそれぞれ異なることを明確化し、抑止策の有効性も実証した。電圧誘起劣化を再現可能な屋外システムを構築し、多湿環境で発生頻度が高いことを証明した。高温高湿試験中の酢酸の発生を実時間観測した。寿命30年の達成には高温高湿試験4000時間が必要なことを、酢酸量を指標に示すとともに、当該試験後も劣化せず、寿命30年以上と予測される結晶シリコンモジュールを実現した。17種類の太陽電池アレイによる屋外大規模フィールドテストも実施した。

#### 【第3期中期計画】

- ・革新的な電池材料や評価技術の開発を行うための拠点を、材料分野において世界的なシェアを有する国内複数企業を結集し、構築する。

#### 【平成26年度計画】

- ・既に構築することができた、世界的シェアを有する国内複数企業を中心とした拠点における活動の集大成として、電池材料の評価基準書最終版を作成するとともに拠点の機能強化を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・5種類の電池構成モデルに加えて、4.35V高電圧電池、Niリッチ高容量電池の2種を基本型の派生評価法として評価法に加え、これらの精査を行った。また、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の

試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。これにより、革新的な電池材料の開発に資する評価機能を強化できた。

#### 【第3期中期計画】

- ・生活支援ロボットでは世界初となるロボットの新しい安全基準を構築し、実証試験を行うための拠点を構築する。

#### 【平成26年度計画】

- ・シミュレータを用いたリスクアセスメントを、平成25年度に既に構築した拠点を使用して介護ロボット等、実用化に向けた開発に適用する。試験方法、および必要に応じて性能基準の国際標準の発行に向けてISO会議を推進する。高度な機能安全にも対応可能な高信頼開発・認証の研究に取り組む。

#### 【平成26年度実績】

- ・シミュレーションに基づき、実生活での安全性を考慮した介護ロボットのリスクアセスメントを行って、安全性の実証拠点と模擬介護施設を使用した試験、評価など介護ロボットの実用化に向けた開発を行った。介護ロボットの性能基準の国際標準の発行に向けて、まずは国内で標準化検討を行った。機能安全に対応可能な高信頼開発技術としてSysMLからRTCテンプレートを自動生成する技術、認証を支援する技術としてSafeMLから安全レポートを自動生成する技術を開発した。

#### 【第3期中期計画】

- ・施設や設備の外部利用を促進することで効率的に成果を生み出す制度を構築する。共同研究時の知的財産の保有に関して、技術移転、製品化等を促進するためのルール作り等を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研の研究施設・設備を有効活用することにより、産業界との研究開発を推進するとともに、産総研の研究成果を円滑に事業化するための取り組みを行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・産総研の研究成果物等を円滑に事業化するため、産総研の研究施設等を民間企業等の要望に応じて貸与し、「遺伝子組換えイヌインターフェロン $\alpha$ 発現イチゴの生産・調整及びそれを原料とする動物用医薬品の製造（平成23年4月～）」、「単結晶ダイヤモンドの供給（平成24年4月～）」及び「スーパーグロス法による単層CNT試験サンプルの配布（平成24年11月～）」の3事業を継続実施した。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針（産総研知的財産ポリシー）の周知・徹底を図り、その具体的施策として知財行動指針の提示・展開を行う。

【平成26年度実績】

- ・知的財産に関する所内研修などを通じて「産総研知的財産ポリシー」の所内への周知を行った。
- ・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向けた取り組みを見直した。具体的には、研究テーマ単位で知財戦略を検討することを旨とした情報集約ツール（統合シート）を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン（知的財産行動指針）を作成し所内に周知した。
- ・成果の一層の普及を目指して、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手続簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行った。

【第3期中期計画】

- ・省庁間の壁を超えて、我が国の研究開発能力を結集した研究成果の実用化・製品化の取組における中核的な結節点としての機能の発揮について積極的に検討する。その際、国費により研究開発を行っている研究開発独立行政法人などとの連携を図ることにより、国費による研究開発のより効果的な研究開発体制構築や成果の実用化や製品化に向けた取組の強化をも目指す。

【平成26年度計画】

- ・産総研、筑波大学、物質・材料研究機構（NIMS）、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と経団連の5者による TIA-nano 拠点運営体制を強化し、組織を越えた研究、教育両面に亘る統合的な研究拠点の更なる充実を目指す。
- ・次期の TIA-nano 中期計画策定の起点として現計画期間中の取り組み状況の点検を行い、併せて関係機関や産業界等の意見を踏まえ、TIA-nano の次期戦略目標と計画に反映すべき具体的な取組について検討を行う。
- ・TIA 共用施設 WG を中心に、TIA-nano のオープンプラットフォームの更なる機能強化に向けて、研究コア全般に係る共用施設の利用促進と利便性向上を図る。
- ・TIA 連携大学院による若手人材育成と、高度技術人材の育成とそのキャリアパスの開拓に資する活動を展開する。

【平成26年度実績】

- ・TIA-nano 拠点運営においては、中核機関の担当役員等による定期的な運営最高会議の実施等、新たに就任した議長のリーダーシップが発揮できる体制を強化した。また、中核4機関の連携による企画機能により、内閣

府 SIP 課題を中核4機関等で受託するなど拠点の充実を図った。

- ・さらに、これまでの（第一期：5年間）の取組みの総括を行うとともに、産業界を含む TIA-nano 関係者の意見を踏まえつつ、次期中期ビジョンの策定を行った。
- ・TIA 共用施設 WG を中心に、TIA-nano のオープンプラットフォームの更なる機能強化および研究コアによる利用を促進するために、つくば共用研究施設データベースの充実を図り、ナノテクノロジー総合シンポジウムやナノ・マイクロビジネス展などに出席し積極的な広報活動を行った。
- ・人材育成においては、文部科学省における「科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業」に採択され、産総研を中核機関とした TIA-nano 含めた15機関で Nanotech Career-up Alliance を形成し、新たな知の創成を牽引するプロフェッショナル及びイノベーション創出に資するものづくりを担うプロフェッショナルの人材育成を開始した。

【第3期中期計画】

- ・これにより、産総研の「人」又は産総研という「場」を活用する形で実施される外部資金による研究規模が、第3期中期目標期間終了時までには産総研運営費交付金の50%以上となることを目指す。

【平成26年度計画】

- ・引き続き、「人」や「場」等の産総研のリソースを活用した共同研究、受託研究、技術研究組合参画研究及び技術研修等を推進し、外部資金による研究規模の拡大に努める。また、産総研のリソースを利用した研究がより容易に且つ柔軟に行われるよう、共同研究、受託研究並びに技術研修制度等の連携制度を効果的に運用する。

【平成26年度実績】

- ・「人」や「場」等の産総研のリソースを活用して25の技術研究組合に参画し、16の技術研究組合の主たる研究拠点を産総研内に設置して集中研究を実施した。
- ・この結果、産総研の「人」や「場」等を活用した外部資金による研究規模は、運営費交付金の59.6%となった。

【平成26年度計画】

- ・「資金提供型共同研究獲得支援事業（カタパルト事業）」については、平成25年度の本格実施結果を踏まえ、大型共同研究契約の拡充を図る。

【平成26年度実績】

- ・「資金提供型共同研究獲得支援事業（カタパルト事業）」においては、大型共同研究の創出を図ると共に、当該事業による研究成果の発展性に鑑み19のテーマ

を選定した。

【第3期中期計画】

- ・世界トップに立つ研究機関を目指すべく、年間論文総数で5,000報以上を目指すとともに、論文の被引用数における世界ランキングにおける順位維持向上を図る。

【平成26年度計画】

- ・産総研の研究成果を社会へ還元するため、また国際的な研究機関としての成果発信水準を確保するために、アクションプランを活用して、産総研全体の年間論文総数5,000報以上を目指す。論文発表への意識向上、優秀な大学院生・若手研究者の獲得などのアクションプランにより、論文数と共に被引用数を増加させ、被引用数によるランキングの維持向上を目指す。

【平成26年度実績】

- ・産総研全体の年間論文総数は3544報であった。論文の被引用数に基づく世界ランキングは192位で、前年の184位と同程度のランキングを維持した。論文数向上に向けたアクションプランの一環として、優秀な論文を表彰する産総研論文賞を創設し、5件の論文を表彰した。

(2) 戦略的分野における国際協力の推進

【第3期中期計画】

- ・世界各国の研究情勢の把握と有力研究機関との有機的連携に基づき、効率的かつ効果的に研究開発を実施するとともに、国際的研究競争力強化のための研究者海外派遣、研究者招へいによる人材交流を促進する。

【平成26年度計画】

- ・包括研究協力覚書及び個別研究協力覚書の締結、更新を行い、連携の構築、維持を図ることにより、海外の研究機関との人材交流や共同研究等を組織的に推進する。

【平成26年度実績】

- ・海外研究機関と、包括研究協力覚書の更新契約8件、個別研究協力覚書の新規契約6件、更新契約3件、合計17件を締結した。これにより、締結先機関の研究ポテンシャル、研究ニーズ等についての情報が網羅的に入手可能となり、人材交流や共同研究のマッチング等に組織的に取り組むことが可能となった。

【平成26年度計画】

- ・オープンイノベーションハブ機能を強化し、産総研を中心とした国際研究ネットワークの構築を目指すため、海外研究機関との人材交流を推進する。運営費交付金による産総研フェローシップ制度を中核に、外部資金

も活用しつつ、積極的に研究者を海外研究機関に派遣する。また、優秀な研究人材確保のため、海外の連携研究機関からの研究者招へいを実施する。

【平成26年度実績】

- ・運営費交付金や外部資金の活用により、海外研究機関への派遣及び、海外研究機関からの研究者招へいを実施し、国際連携の強化に努めた。以下に具体的な実績を示す。

1) 運営費交付金  
(派遣)

産総研フェローシップ派遣(長期海外派遣事業)により7名、研究者海外派遣(短中期)により14名を採択し、欧米の先進的な研究機関、大学に派遣し、在外研究を実施した。

(招へい)

STARプログラムを支援するため、海外から優秀な若手研究員4名を招へいした。

2) 外部予算等  
(派遣)

日本学術振興会(JSPS)が実施している海外特別研究員に1名が採択された。

(招へい)

JSPSが実施している外国人特別研究員(一般)に7名、外国人特別研究員(欧米短期)に3名、外国人特別研究員(戦略的プログラム)に1名、外国人特別研究員(定着促進)に4名、外国人招へい研究者(長期)に2名、外国人招へい研究者(短期)に5名採択された。また、科学技術振興機構(JST)が実施している日本・アジア青少年サイエンス交流事業(JST さくらサイエンスプラン)に12名が採択された。

(技術研修)

JSPS サマー・プログラムにより1名、ウィンターインスティテュートにより1名を受入れるなど、合計で86名を受入れた。

【平成26年度計画】

- ・在外研究経験者から収集した現地での研究・生活環境や必要な事務手続きに関する情報を適宜更新・見直しを行い、参照しやすく有益な資料集として完成させる。将来派遣を希望する研究者等に提供することにより、海外研究機関との人材交流を支援する。

【平成26年度実績】

- ・派遣者支援のため、イントラネットに掲載している海外出張の所内手続きマニュアルを、より充実した内容となるよう随時見直しを行った。また、長期在外研究経験者より収集した現地での生活・研究環境や事務手続きに関する情報を取りまとめて、今後同じ国に派遣される研究者が有効活用できるよう、体系だった資料として整理し派遣者に情報提供を行った。



## 【平成26年度計画】

- 産総研が日米間のエネルギー・環境に関する科学技術外交に貢献するため、経済産業省委託の日米等エネルギー環境技術研究協力事業の成果を積極的に発信する。

## 【平成26年度実績】

- 経済産業省委託の日米等エネルギー環境技術研究協力事業の成果を、日米科学技術協力協定下の合同委員会に関連するセミナーや、米国エネルギー省本部訪問の際に積極的に発信し、エネルギー・環境に関する研究協力の推進に貢献した。

## 【平成26年度計画】

- 第3回世界機関長会議を理化学研究所と共同で運営し、各国を代表する研究機関の長が地球規模、人類共通等の課題に共同して取り組めるような議論を行う場を設定する。世界的課題の解決に向けた研究機関の役割について等のテーマ設定を行い、有意義な議論を行う。

## 【平成26年度実績】

- 第3回世界機関長会議を理化学研究所と共同で企画、開催した。12カ国15機関の長が参加し、優秀な研究系人材の育成と機関間連携をテーマに活発な議論が行われた。本会議では理事長が上記テーマに関する講演を行い、産総研のプレゼンスを示すとともに、研究系人材の育成や公的研究機関の運営に関する様々な知見・情報を入手することができた。本会議の結果は共同宣言としてまとめられ、各参加機関が今後、地球的課題解決に向けて前向きに連携することとなった。

## 【第3期中期計画】

- 特に、低炭素社会実現のため、クリーン・エネルギー技術分野で再生可能エネルギー研究所をはじめとする米国国立研究所と密接に連携し、燃料電池、バイオマス燃料等再生可能エネルギー関連技術、省エネルギー材料、デバイス技術等に関する共同研究、研究者の派遣及び受入れ、ワークショップの開催等による新たな研究テーマの発掘などの協力を拡大、加速する。

## 【平成26年度計画】

- 米国エネルギー省傘下の7研究所および商務省傘下の1研究所との連携を引き続き強化する。また、締結から5年を経過する包括研究協力覚書（6研究所）を更新する。さらに米国との日米等エネルギー環境技術研究協力事業を推進する。

## 【平成26年度実績】

- 米国研究所との包括研究協力覚書について、6件の更新を進め（5件を更新完了、1件は契約交渉中）、新たに1件の締結に向け交渉を進展させた。各研究所とは、現在の日米等エネルギー環境技術研究協力事業における研究推進とともに、平成27年度以降の協力継続を見据え、協力分野等について意見交換を行った。

## 【平成26年度計画】

- 平成26年度は日米等エネルギー環境技術研究協力事業の最終年度となるため、その成果を取り纏め、報告会を開催する。

## 【平成26年度実績】

- 成果の取り纏めに向けて、9月に中間報告会を開催した。平成26年度末までの成果を含めた最終報告書の取り纏めに向けて、平成27年度中に経済産業省で事後評価が行われることになった。

## 【平成26年度計画】

- 平成22年度に開始し、平成25年度より拡充された日米等エネルギー環境技術研究協力事業についての成果取り纏めを行い、日米等の国際研究協力を継続・推進する。

## 【平成26年度実績】

- 2月に米国との合同ワークショップを開催し、日米を中心とした国際研究協力推進のための成果発表および今後の協力の進め方等に関して意見交換を行った。

## 【第3期中期計画】

- また、マレーシア標準工業研究所、タイ国家科学技術開発庁、南アフリカ地質調査所、ブラジルリオデジャネイロ連邦大学などのアジア・BRICs 諸国等の代表的研究機関との相互互惠的パートナーシップにより、バイオマス活用、クリーンコール技術、医工学技術、環境浄化技術、レアメタル資源評価等を中心に現地における実証、性能評価を含む研究協力を推進し、アジア・BRICs 諸国等における課題解決に貢献する。

## 【平成26年度計画】

- 世界の成長センターとなっているアジア諸国の公的研究機関との互惠的パートナーシップを継続的に強化する。

## 【平成26年度実績】

- タイ、インド、インドネシア、マレーシア等の公的研究機関と、包括研究協力覚書に基づく研究協力、特に、エネルギー分野、ライフサイエンス分野における現地資源を活用した共同研究等を推進し、連携を強化した。

## 【平成26年度計画】

- 産総研の海外機関との連携状況及び国際戦略を基に、更なる連携強化が必要な国においてワークショップを企画・主催する。

## 【平成26年度実績】

- 台湾工業技術研究院（ITRI）、フランス国立科学研究センター（CNRS）等とは、研究マネジメントに関する交流を実施し、世界機関長会議、日米エネルギー環境技術協力に関するワークショップを開催した。また、平成27年度の開催に向けて、タイ科学技術研究所（TISTR）、国家科学技術開発庁（NSTDA）との

定例ワークショップおよび台湾 ITRI とのワークショップを企画し、関係者との調整を開始した。

【平成26年度計画】

- ベトナムにおいては、経済産業省の資源政策、インフラ輸出政策の観点から、連携を強化、発展させていく。環境技術、情報技術、エネルギー技術などの観点からベトナム科学技術院（VAST）を中心として連携を強化する。

【平成26年度実績】

- ベトナム科学技術院（VAST）との研究連携については、戦略予算事業（アジア戦略「水プロジェクト」）による連携推進を図った。また包括研究協力覚書に基づく連携のもとで、VAST 研究管理スタッフの研究マネジメント研修を産総研で実施するなど人材交流を実施し、連携強化を図った。

【平成26年度計画】

- 東アジア・ASEAN 経済研究センター（ERIA）の活動、タイ国家科学技術開発庁（NSTDA）、タイ科学技術研究院（TISTR）との個別連携関係等を結びつけて、バイオマス領域での連携を拡大強化する。また、他領域での連携強化については、第8回 AIST-TISTR-NSTDA ワークショップのフォローアップを行うとともに、次回のワークショップを企画する。

【平成26年度実績】

- ERIA の新規研究テーマとして、リスク評価研究の可能性を探り、ERIA との調整を行った。タイとの連携では、第9回-AIST-TISTR-NSTDA ワークショップの4月開催を視野に、バイオマス領域のみならず、先進材料研究、リスク評価研究分野等において、連携するための企画調整を行った。

【平成26年度計画】

- 韓国においては、連携相手機関の動向を踏まえつつ、産総研との連携状況を把握し、研究者交流を推進する。

【平成26年度実績】

- 韓国産業技術研究会（IstK）について、傘下の研究機関との連携状況や今後の可能性について調査した。その結果、有効期限を迎えた包括研究協力覚書は更新せず、今後は地質、計測等の分野で、傘下研究機関との個別研究協力覚書に基づき連携を進めていくこととした。また、大学からの技術研修の受入等を通じて、研究者交流を推進した。

【平成26年度計画】

- マレーシアにおいては、同国国立研究機関等との連携、バイオマスアジアワークショップを通じた連携により、バイオマスの利活用の持続性評価、標準化研究などの研究協力を引き続き推進する。

【平成26年度実績】

- マレーシアとは、プトラ大学、新エネルギー財団と連携して、「アジア再生可能エネルギーワークショップ2015」を開催し、バイオマス、太陽エネルギー、風力分野での連携を促進した。

【平成26年度計画】

- 上海交通大学との合同ワークショップのフォローアップを行い、連携を拡充させる。

【平成26年度実績】

- 平成26年2月に開催されたワークショップの成果に基づき、バイオマーカー等ライフサイエンス分野での連携を進めるとともに、ナノテクノロジー、エネルギー分野での連携可能性を模索した。

【平成26年度計画】

- 南アフリカにおいては、資源探査の重要性から、引き続き地質調査所（CGS）との連携を推進する。科学産業技術研究所（CSIR）とは、連携可能な研究領域のマッピング、研究者のマッチングを行い、具体的な共同事業に向けた合同ワークショップの開催を検討する。

【平成26年度実績】

- 地質調査所（CGS）とは、地質分野において個別研究協力覚書を締結して、資源探査の分野における継続的な連携を行った。科学産業技術研究所（CSIR）は機構改革により、研究チームの組み替えが行われたため、ワークショップの開催は延期された。

【平成26年度計画】

- ブラジル鉱産局（DNPM）との研究協力として、アマゾナス州の残渣型レアアース鉱床の現地調査、バイア州の金属シリコン用珪石資源の調査などを、2回程度実施する。

【平成26年度実績】

- ブラジル鉱産局（DNPM）との個別研究協力覚書に基づき、10月にブラジルゴイアス州のレアアース鉱床およびNi 鉱床の研究試料を受け取り、粉末 X 線解析や全岩化学組成などの分析を行った。なお、計画していた現地調査は、ブラジル国内政権の交代など、ブラジル側の国内情勢により、今年度は実施されなかった。

【第3期中期計画】

- さらに、仏国立科学研究センター、ノルウェー産業科学技術研究所など欧州の先進研究機関とロボティクス、環境・エネルギー技術、製造技術等での連携、その他新興国等も含む協力を推進する。

【平成26年度計画】

- ・包括研究協力覚書を締結している機関との共同研究及び人材交流に努める。平成26年度から開始される Horizon2020に向けた連携強化を図る。

【平成26年度実績】

- ・包括研究協力覚書を締結している研究機関を中心として、研究連携スキームの構築、人材交流を促進した。Horizon2020公募前に欧州連合（EU）、JST、総務省、(独)情報通信研究機構から情報を収集し、産総研イントラに掲示するとともに、関連する研究者への周知を行った。
- ・ライフサイエンス研究分野企画室との協力により、ヒューマン・フロンティア・サイエンスプログラムのマネージャを招へいして、ヨーロッパ研究機関との連携促進と、研究資金獲得のための説明会を開催した。

【平成26年度計画】

- ・フランスにおいては、国立科学研究センター（CNRS）との、ロボティクスジョイントラボの研究連携を、研究者の長期派遣などにより強化する。また、原子力代替エネルギー庁（CEA）とは、TIA-nano と連携しながら、ナノエレクトロニクス分野について研究協力を進める。

【平成26年度実績】

- ・フランス大使館主催のエネルギーワークショップ、ロボットワークショップ等について、企画段階から産総研の研究テーマを組み込むべく、セッション構成についての意見提案を行い、産総研研究者を講演者として参加させることにより、研究成果の発信に努めた。CNRS とは、本部・事業組織での人材交流促進を目的として、短期人材交流事業を実施した。

【平成26年度計画】

- ・ノルウェーとの連携では、再生可能エネルギー関連分野が中心となることから、福島再生可能エネルギー研究所と協力して、産業科学技術研究所（SINTEF）、ノルウェー科学技術大学（NTNU）との研究連携を具体的に進める。

【平成26年度実績】

- ・EU が所管している国際協力活動プロジェクトである、Concert/Japan を実施しているノルウェーエネルギー技術研究所（IFE）との意見交換を行い、進捗状況管理、後継テーマの実施可能性について検討した。SINTEF、NTNU とは、再生可能エネルギーの分野で、福島再生可能エネルギー研究所を中心として、人材交流から研究連携へと発展させるための調整を行った。

【平成26年度計画】

- ・ドイツのフラウンホーファー研究機関との連携においては、電場応答性高分子、風力、ロボティクス、バイ

オマス分野での連携を行う。海外研究機関との連携モデルの一つとなる Fraunhofer Project Center（産総研研究班）を介し、国際連携を支援する。

【平成26年度実績】

- ・フラウンホーファー研究機関との研究連携を、オール産総研で促進するためのタスクフォースを、産学官連携推進部、知的財産部と連携して立ち上げ、関西センター健康工学研究部門におけるフラウンホーファープロジェクトセンターの設立（7月1日付）に貢献した。さらに、セキュアシステム研究部門とフラウンホーファー安全情報技術研究所（SIT）、コンピューターグラフィック研究所（IGD）との連携を促進させた。

【平成26年度計画】

- ・ベルギーIMEC とは、ナノエレクトロニクスの具体的な連携テーマを探索する。また、オランダ応用科学研究機構（TNO）など、欧州の代表的機関とエレクトロニクス関連の連携を強化するため、情報交換や人材交流を推進し、具体的な連携テーマを検討する。

【平成26年度実績】

- ・欧州の代表的機関とエレクトロニクス関連での連携可能性を模索し、ベルギーIMEC、オランダ TNO とは情報交換、意見交換を続けていくこととした。フランスの MINATEC とは人材交流を含め、半導体関連技術で連携を推進することとなった。

【第3期中期計画】

- ・以上の実現のため、第3期中期目標期間中において包括研究協力覚書機関との研究ワークショップ等を計50回以上開催する。

【平成26年度計画】

- ・包括研究協力覚書締結機関との間において、包括的なワークショップにとどまらず、特定分野でのワークショップ等を積極的に開催し、各国研究機関との研究協力の拡大を図る。10回程度の国際ワークショップ等の開催を目指す。

【平成26年度実績】

- ・海外の研究機関等との連携強化と相互交流を目的として、福島再生可能エネルギー研究所の開所に合わせて「再生可能エネルギー研究所開所記念国際シンポジウム」を郡山市で開催し、米国再生可能エネルギー研究所（NREL）、米国ローレンスバークレー国立研究所（LBNL）、豪州連邦科学産業研究機構（CSIRO）、台湾工業技術研究院（ITRI）の所長等を招へいして、再生可能エネルギーに関する研究協力について具体的な事例紹介やディスカッションを行った。また、マレーシアアトラ大学との協力のもと、「アジア再生可能エネルギーワークショップ」をマレーシアで開催した。これらのワークショップをはじめとして、海外におい

て3回、日本国内において5回の国際ワークショップを開催し、関係各国との国際連携をさらに進展させた。

(3) 若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進

【第3期中期計画】

- 産総研イノベーションスクールにおいて、本格研究に関する講義、研究実践のためのツールを用いた研修、産総研と関連のある企業での OJT 等を通じて、基礎的研究を製品化まで橋渡しできるイノベティブな博士研究者等を育成し、社会に輩出する。また、専門技術者育成事業、連携大学院制度等により、我が国の産業技術の向上に資することができる人材を輩出する。

【平成26年度計画】

- 産総研イノベーションスクールにおいては、第8期生を受け入れて育成を行うとともに、講義専門コース（LC 生）の募集対象を所内で活動するポスドクと博士課程学生に拡大するとともに広報活動に力を入れて育成対象の拡大を図る。また第3期中期計画の総括として産総研イノベーションスクールの今までの育成効果の検証を行う。

【平成26年度実績】

- 産総研イノベーションスクール第8期生のポスドクとして、ポスドクコース（PD 生）20名と講義専門コース（LC 生）3名とを産総研独自のカリキュラムにより育成した。具体的には、延べ10日間の集中講義及び演習（PD 生、LC 生）、産総研の研究現場での一年間の本格研究実践（PD 生）、企業等21機関での平均約2.3ヶ月間のインターンシップ実施（PD 生、内1名は2カ所に派遣）を行った。また、来年度の第9期ポスドクコース（PD 生）の募集に向けて、スクール制度を広く宣伝し、カリキュラム紹介を行う公募説明会を2回実施した。第1期から第7期生までのポスドクコース（PD 生）235名の育成効果として、修了生の約75%が、民間企業、大学や公的研究機関等に正規就業しており、特に、修了生の約40%が民間企業に就業しているなど、成果を挙げている。

【第3期中期計画】

- イノベーションスクールについては、ノウハウを社会に広く普及するため、大学等のポスドクや博士課程の学生を受け入れるなど、他機関とも連携して博士研究者の育成を行っていく。

【平成26年度計画】

- 産総研イノベーションスクールにおいては、継続して第8期生の博士課程大学院生の育成を行う。またイノベーションスクールのノウハウ普及のため、他機関との連携強化を図るとともに、成果発表に努める。

【平成26年度実績】

- 産総研イノベーションスクール第8期生として、博士課程コース（DC 生）9名を産総研独自のカリキュラムにより育成した。具体的には、延べ10日間の集中講義及び演習（DC 生）、産総研の研究現場での一年間の本格研究実践（DC 生）を行った。また、筑波大学グローバルリーダーキャリア開発ネットワークと連携して企業と博士人材の交流会を9月に共同開催し、企業9社と25名の参加者を集めた。さらに、同様な取り組みをしている早稲田大学理工学術院総合研究所アーリーバードと連携して交流会を行うなど連携強化に努めた。

【第3期中期計画】

- 外部研究員の受け入れ及び産総研研究員の外部派遣などにより、研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転等を推進する。

【平成26年度計画】

- 共同研究、外来研究員、技術研究組合及び技術研修等の制度を活用した外部人材の受入を推進し、研究水準の向上をさせるとともに産業界及び学生等に対する研究成果の効率的な移転に努める。また、連携大学院制度、委員委嘱、産総研コンソーシアム制度及び兼業制度を活用した民間企業、大学との交流の実施に加え、包括協定を締結した相手方等との相互交流を促進し、協力関係の強化と成果移転に繋げる。

【平成26年度実績】

- 共同研究の派遣研究員（2,018名）、外来研究員（1,202名）、技術研修員（1,449名）、技術研究組合のパートナー研究員（635名）等の外部人材を積極的に受入れ、研究水準を向上させるとともに、産業界及び学生等に対する研究成果の移転を推進した。また、委員委嘱（3,650名）、役員兼業（25名）等の制度の活用に加え、連携大学院制度に基づく教員委嘱（343名）などにより、大学等への人材供給を推進した。さらに、産総研コンソーシアムによるシンポジウムの開催や包括協定を締結した相手方との技術交流会等の開催により、人材交流の促進、協力関係の強化を行った。
- 産総研リサーチアシスタント（RA）制度を創設し、全国の大学院生（博士課程、修士課程）46名を産総研の契約職員として雇用し、人材交流をさらに拡大した。

【第3期中期計画】

- 第3期中期目標期間終了時まで、民間企業、大学等への人材供給や外部からの受け入れ5,000名以上を目指す。

【平成26年度計画】

- ・技術研修制度、外来研究員制度、人材移籍型共同研究制度等による人材受入や、技術研究組合との連携による人材供給、人材受入等、民間企業、大学等外部との人材交流を推進する。また、委員の委嘱制度、依頼・受託出張制度による外部機関への協力及び兼業制度を活用した民間企業、大学との人材交流の推進を図る。

【平成26年度実績】

- ・共同研究の派遣研究員（2,018名）、外来研究員（1,202名）、技術研修員（1,449名）、技術研究組合のパートナー研究員（635名）等の外部人材を積極的に受入れ、研究水準を向上させるとともに、産業界及び学生等に対する研究成果の移転を推進した。また、委員委嘱（3,650名）、役員兼業（25名）等の制度の活用に加え、連携大学院制度に基づく教員委嘱（343名）などにより、大学等への人材供給を推進した。これらの制度の活用により、外部との人材交流は9,322名となった。

5. 研究開発成果の社会への普及

(1) 知的財産の重点的な取得と企業への移転

【第3期中期計画】

- ・産総研の技術を有効に社会普及させるために、産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針を平成22年度中に策定し、コアとなる技術に加え、その周辺技術や応用技術についても戦略的に特許を取得することで効果的に技術移転を行う。また、成果の民間等への移転のために外部の技術移転機関（TLO）を活用していたが、第3期中期計画開始に合わせて産総研内部に技術移転機能を取り込むことで関連部署との連携を強化し、より効果的に技術移転を行うことのできる体制を構築する。

【平成26年度計画】

- ・産総研技術の社会普及を促進するため、産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針（産総研知的財産ポリシー）の周知・徹底を図り、その具体的施策として知財行動指針の提示・展開を行うとともに、成果普及に向け効果的に技術移転を進める。

【平成26年度実績】

- ・知的財産に関する所内研修などを通じて「産総研知的財産ポリシー」の所内への周知を行った。
- ・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向けた取り組みを見直した。具体的には、研究テーマ単位で知財戦略を検討することを旨とした情報集約ツール（統合シート）を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン（知的財産行動指針）を作成し所内に周知した。
- ・成果の一層の普及を目指して、共有知財にかかる不実

施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行った。

- ・平成26年度末の実施契約（技術移転契約）は940件であった。

【第3期中期計画】

- ・研究成果の社会還元を積極的に推進するため、成果移転対価の受領方法を柔軟化することで、技術移転の一層の推進を目指す。また、金銭以外の財産での受領の際には、審査委員会等を設置し妥当性等を事前に審査することで適切な運営に努める。

【第3期中期計画】

- ・第3期中期目標期間終了時までには800件以上の実施契約件数を目指す。

【平成26年度計画】

- ・効果的な技術移転を進め、実施契約（技術移転契約）を平成26年度末に800件を達成することを目指す。

【平成26年度実績】

- ・成果の一層の普及を目指して、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行った。
- ・平成26年度末の実施契約（技術移転契約）は940件であった。

(2) 研究開発成果を活用したベンチャー創出支援

【第3期中期計画】

- ・競争力あるベンチャー創出のため、大学等他機関の研究成果も積極的に活用し、加えて産総研のポテンシャルをもって事業化を支援する取り組みを行う。また、職員のベンチャー企業への兼業の促進及び共同研究の推進等産総研との連携強化並びに外部のベンチャー支援機関との緊密な連携を通じて、内外の研究成果を産総研のベンチャー創出、育成及び支援を経て事業化する独自のモデルを構築し発展させる。

【平成26年度計画】

- ・イノベーションの創出に寄与することを目指し、研究成果のベンチャー事業化へむけた活動を強力に推進する。外部の技術シーズ・人材を受け入れて事業化する取り組みも積極的に推進する。また、NEDO や JST 等の外部機関によるベンチャー創出プロジェクトへの応募についても積極的に支援を行う。

【平成26年度実績】

- ・スタートアップ開発戦略タスクフォース4件を新たに開始した。また、平成25年度からの継続課題4件につ

いても着実な実施に努め、ベンチャー2社創業に至った。これらの取り組みにあたってはイノベーションコーディネータ、技術移転マネージャーらも参画させるなどイノベーション推進本部の総合力を生かして対応した。また、ベンチャー創出プロジェクトである、文部科学省「大学発新産業創出拠点プロジェクト」、JST「研究成果最適展開支援プログラム（起業挑戦タイプ）」、NEDO「研究開発型ベンチャー支援事業」への応募（各1件）を支援した。

【平成26年度計画】

- ・「ベンチャー開発成果報告会」を引き続き開催し、ベンチャー開発部の活動および産総研技術移転ベンチャーを広く一般に宣伝することで、ベンチャー開発の施策普及や投資家への検討機会提供等を行う。

【平成26年度実績】

- ・「第10回ベンチャー開発成果報告会-ベンチャー支援の新展開-」（9/26）を開催し、ベンチャー創出および支援活動を紹介するとともに、産総研技術移転ベンチャーの活動を紹介した。投資・金融機関および事業会社等から229名の参加を得た。当日、産総研技術移転ベンチャー等へコンタクトがあった企業の数は延べ169社あり、効果的な宣伝の場を提供した。

【平成26年度計画】

- ・有望な産総研技術移転ベンチャー及びタスクフォース案件を対象に、ベンチャー企業の更なる拡大・成長に向けた支援制度を検討、実施する。

【平成26年度実績】

- ・有望な産総研技術移転ベンチャーについて、ウェブサイトの構築、リーフレットの作成等を行い、広報活動の支援を実施した（10社）。
- ・有望な産総研技術移転ベンチャー及びTFを部署横断的に支援する「AIST ハンズオン支援チーム（AIST-HOST）」を定期的に開催した。産総研技術移転ベンチャーへの現物出資に関し、企業デューデリジェンスの結果等を踏まえ審議・検討し、出資審査委員会への諮問を決定するとともに、現在活動中のベンチャーおよび平成27年度TF候補課題の支援方針・内容を検討した。

【平成26年度計画】

- ・引き続き、事業化に向けた先行技術調査、市場調査、見本市・展示会出展等によるマーケティング調査活動や積極的なPR活動を行う。製品・サービス開発の促進およびビジネスモデルの策定・検証の高度化を進め、イノベーションに寄与するベンチャーを創出することを目指す。また、このような創出活動ができる人材の育成や、創業に必要な知識の涵養に資するための研修を企画、遂行する。

【平成26年度実績】

- ・事業化に向けた先行技術調査3件を実施し、ビジネスモデルの策定・検証の高度化に資した。また、広報活動やマーケティング調査の一環として2展示会等への出展に協力し、産総研技術移転ベンチャーが想定顧客から得た反応を製品・サービス開発に反映するための支援を行った。人材育成の面では、成果活用人材育成研修の中において「研究成果の商業化」（科目名・新事業創造）および「職員・組織としてやっていいことと悪いこと」（科目名・外部連携とコンプライアンス）を企画・実施した。

【平成26年度計画】

- ・相談窓口対応を充実させることにより、産総研研究者によるベンチャーの迅速かつ円滑な創業を支援する。会社設立のために必要な情報の提供や手続きのバックアップを行うとともに、創業したベンチャーに対し、ベンチャー技術移転促進措置実施規程に基づき適切な審査を行い、技術移転促進措置並びに称号付与を行う。

【平成26年度実績】

- ・ベンチャー創業前・創業後における各種課題等に対応するため、相談窓口を設置し、起業の際、事前に準備しておくべき事業計画、資本政策等に関して101件の相談対応を実施した。
- ・平成26年度は6社に対し、産総研技術移転ベンチャーの称号を付与するとともに、知的財産権の独占的な実施権の許諾、研究施設等の使用許可及びその使用料の減額等の技術移転促進措置を実施した。第1期中期目標期間から通算し、産総研技術移転ベンチャーは123社となり、平成26年度にはうち1社がM&Aに至った。既存の産総研技術移転ベンチャー14社に対し、技術移転促進措置の追加・解除を実施した。平成26年度に産総研に新たに入居したベンチャー企業2社、及び継続入居するベンチャー企業10社について、研究施設等の賃貸借契約、外部人材受入等手続きのサポートを実施した。製品化の面では、産総研技術移転ベンチャー、大企業及び産総研の三者連携から複数の賞を受賞するような新製品の発売に至った。

【平成26年度計画】

- ・産総研技術移転ベンチャーの経営状況や事業化の状況等の把握、及び課題の解決を図るため、事業実施状況ヒアリングと企業情報調査を行う。また、課題解決等の支援の一環として法務、経営、税務、知的財産等の専門家と顧問契約を行うことにより、外部知見の活用を図る。

【平成26年度実績】

- ・産総研技術移転ベンチャー15社に事業実施状況ヒアリングを実施し、技術移転の状況、経営状況等の状況を把握するとともにベンチャー支援への要望等を聴取

した。

- ・財務諸表等企業情報の調査を行い、51社から回答を得た。これら調査結果から現実的なベンチャー支援策の検討を行った。
- ・産総研技術移転ベンチャーからの相談案件に対応するため、法務・経営・財務・金融・販路開拓・特許等の専門家8件の請負契約を行い、96件の相談対応を実施した。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研技術移転ベンチャーの相互の交流の促進、企業間の協業、連携を図るためスタートアップスクラブを開催する。

#### 【平成26年度実績】

- ・スタートアップスクラブの一環として、「協創マッチングフォーラム」(12/3)を神奈川サイエンスパークにて、神奈川サイエンスパーク(KSP)と横浜銀行との共催で開催し、189名の参加を得た。また、「つくばビジネスマッチング会」(2/17)を臨海副都心センターにて、つくば研究支援センター(TCI)及び三井物産と共催で開催し、245名の参加を得た。

#### 【平成26年度計画】

- ・産業革新機構、中小企業基盤整備機構等のベンチャー支援機関、ベンチャーキャピタル等との連携を一層強化しベンチャー企業の支援に繋げる。

#### 【平成26年度実績】

- ・中小企業基盤整備機構、ベンチャーキャピタル、産業革新機構等外部機関との連携を強化し、産総研技術移転ベンチャーに対し、インキュベーション施設等の紹介、投資や融資制度の紹介及び公的研究資金のための情報提供並びにそれらに付随する各種支援等を実施した。

#### 【第3期中期計画】

- ・また、ベンチャー企業からの収入を増加させるため、成果移転の対価として金銭以外の財産での受領の可能性を検討する。なお、その対価の受領にあたっては審査委員会等を設置し妥当性等を事前に審査することで適切な運営に努める。

### (3) 研究開発成果を活用しようとする者への出資による実用化支援

#### 【第3期中期計画】

- ・研究開発の成果の実用化及びこれによるイノベーションの創出を図るため、産総研の研究開発の成果を事業活動において活用しようとする者に対し、出資(金銭の出資を除く。)並びに人的及び技術的援助の業務を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・研究開発の成果の実用化及びこれによるイノベーションの創出を図るため、産総研の研究開発の成果を事業活動において活用しようとする者に対し、出資(金銭の出資を除く。)並びに人的及び技術的援助の業務を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・研究開発力強化法(平成25年12月改正)の成立に基づき、現物出資を可能とする規程及び関連委員会等を整備した。産総研技術移転ベンチャーからの出資希望を受け、AISTハンズオン支援チーム(AIST-HOST)が中心となり、資産(装置)出資に向けての企業デューデリジェンス及び対象資産の鑑定評価等を行い、出資審査委員会にて出資の可否について審査を行った。

### (4) 企業や一般国民との直接対話を通じた広報の強化

#### 【第3期中期計画】

- ・報道機関等を通じた情報発信を積極的に実施するとともに、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室等の国民との対話型活動も充実させる。一般国民が手軽に産総研を知ることができる有効な手段の一つであるホームページの抜本的な改善を始め、広報誌、メールマガジン等の様々な広報手段を活用し、効率的かつ効果的な広報活動を推進する。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研全体の発表素材の掘り起こしを行うため、関係部署との連携を強化し、プレス発表件数の増加を目指す。また、わかりやすく平易な文章での資料発表や社会的に関心の高い話題の発信に努める。

#### 【平成26年度実績】

- ・各分野研究企画室と連携して研究内容の把握に努め、産総研全体の発表素材の掘り起こしと調整を行った。プレス発表件数は69件(前年度94件)となった。発表資料については、発表者や所内査読担当者、各分野研究企画室と連携して、わかりやすさという観点から発表文を作成した。

#### 【平成26年度計画】

- ・マスメディアの関心を集める情報素材を幅広く収集し、つくばセンター及び地域センターにおいて記者との定期的な意見交換会などを通して情報を提供する。また、取材対応は、取材の目的を適確に把握したうえで、迅速かつ丁寧に対応する。これらにより、産総研の活動が報道される機会を増やすことに努める。また、再生可能エネルギー利用技術など環境・エネルギー関連分野が注目されている状況から、引き続きその分野の技術開発に関して積極的な情報発信に努める。

【平成26年度実績】

- ・話題性の高い研究成果や重要でありながら露出度の低い研究成果について、記者へわかりやすく丁寧に説明する定期的な意見交換会を、つくばセンターでは筑波研究学園都市記者会を対象に2回、関西センターでは大阪科学・大学記者クラブを対象に2回、新たに東北センターで東北地域記者を対象に1回開催した。また、理事長と記者との意見交換会を1回開催した。理事長への取材および報道（記事、TV）は20回（掲載17回、放映1回、寄稿2回）あった。研究成果に関する連載記事では日刊工業新聞で49回掲載された。取材対応については、合計902件であった。なお、福島県郡山市に開所した福島再生可能エネルギー研究所で行われている再生可能エネルギーに関する研究開発が注目を集め、32件の取材があった。

【平成26年度計画】

- ・産総研の研究内容・成果を分かりやすく情報提供することを目的に、一般市民を対象とした「サイエンスカフェ」を引き続き実施する。また産業界向け及び地域センターにおける「サイエンスカフェ」も引き続き実施する。「出前講座」「実験教室」も引き続き実施することで、国民との対話型活動をより一層充実させる。

【平成26年度実績】

- ・「サイエンスカフェ」は社会的話題性や季節を意識したテーマ設定を行い、つくばで4回、地域拠点で6回開催した。「出前講座」「実験教室」は、全国各地からの依頼を受け、73回（前年度は115回）実施した。学校や地方自治体を中心に、国民との対話型広報活動をとおして、産総研への理解や科学・技術への興味の増進に貢献した。

【平成26年度計画】

- ・一般公開は、つくばセンターや地域センターにおいて、研究成果をわかりやすく伝え、科学・技術の楽しさを体験できるように実施する。また、外部機関と連携したイベントへの出展等を対話型広報活動により実施し、多くの来場者の産総研への理解促進を図る。

【平成26年度実績】

- ・つくばセンターの他、全ての各地域センターで一般公開を開催し、全センターの来場者数は15,062人（前年度15,679人）となった。平成26年4月に開所した福島再生可能エネルギー研究所では初めての一般公開となり、近隣住民をはじめとした一般の方々に施設を公開し、研究活動に対する理解を深めた。また、「つくば科学フェスティバル」や「サイエンスフェスタ in 秋葉原」など、外部機関と連携したイベントへの出展を8回実施した。これらの対話型広報活動により産総研の研究成果への理解促進を図った。

【平成26年度計画】

- ・産総研の研究成果や研究リソースを産業界や大学、公的機関に広く知ってもらい、イノベーションを推進するための広報活動として、研究ユニットや関係部署が一体となってオープンラボを開催する。運営の企画については、引き続き来場者の満足度を更に高められるよう工夫する。

【平成26年度実績】

- ・オープンラボを見直し、産業界の特に経営層を対象とした「テクノブリッジ事業」を開始し、その一環としてテクノブリッジフェアを開催した。

【平成26年度計画】

- ・研究成果や経営情報などの速報性を重視した発信と、不断のコンテンツの見直しを行い、動画配信やソーシャルメディアネットワークを通じた情報発信により、引き続き産総研の理解を促進する基盤を整備し、産総研のプレゼンスを高める。また、産総研紹介ビデオの内容を見直し、最新の研究成果も含んだものを新たに制作する。

【平成26年度実績】

- ・Web においては速やかな情報発信と共に情報の分かりやすさやアクセシビリティの向上に寄与した。地域拠点 HP のデザインを公式 HP と同調させ、一般向けの読み物兼解説ページを充実させた。動画は新たに72件配信し、産総研の理解やプレゼンスを高める一助とした。また、産総研の橋渡し機能や産学官連携、最新の研究成果に焦点をあてた産総研紹介ビデオを制作し、新たな広報ツールとした。毎月2回のメールマガジン配信（配信先6,341件とあわせて、特に学生や若年層への産総研のプレゼンス向上のため、産総研公式 Twitter での情報発信を進めた（発信数303件（日本語）、135件（英語））。

【平成26年度計画】

- ・広報誌（産総研 TODAY）はよりアピール性のある内容や様式に改訂し、毎月定期的に発行して、研究成果や経営情報などをわかりやすく伝える。産総研レポートについては、産総研が取組んでいる社会的責任に関する活動などをより分かりやすく紹介するように工夫し、平成26年9月末までに発行する。また、パンフレットなどの印刷物については、最新の研究成果の紹介や読者層を意識した編集、発行により、産総研への更なる理解促進に向け機動的な改訂に努める。

【平成26年度実績】

- ・広報誌（産総研 TODAY）は、前年度に引き続き日本語版は毎月（年12回）、英語版は季刊（年4回）発行した。今年度は特に、時間のない読者にも読んでもらえるよう、各コーナーの冒頭に概要欄を設け、また特集記事には背景に色をつける等、レイアウトやデザイ



ンのわかりやすさ、見やすさを工夫した。

「産総研レポート2014社会・環境報告」は、産総研における社会的責任に関する取組と環境活動について、記事の内容を見直し充実させながら「ISO26000社会的責任の手引き」および「環境報告ガイドライン」に基づいて編集し9月末に発行した。また、その英語版も作成し、3月にホームページで公開した。

さらに今年度は、昨年度作成した企業等の経営層向けの総合パンフレットに沿って、学生や一般の方々を対象とした「簡易版パンフレット」の日本語版及び英語版を新たに作成した。

なお、平成26年度に制作した全ての印刷物を電子ブック化しホームページで公開することで、情報へのアクセシビリティを確保した。

#### 【平成26年度計画】

- ・学術誌「Synthesiology」は、所外へのPR活動を重視し、所外からの投稿論文を増加させる。

#### 【平成26年度実績】

- ・所外へのPR活動として、「Synthesiology」を他の広報誌（産総研 TODAY）で紹介するとともに、所外からの投稿論文を増加させるため、サービス学会や機械学会との連携を協議した。

#### 【平成26年度計画】

- ・常設展示施設「サイエンス・スクエアつくば」では、引き続き展示物の一部見直しやそれに伴う展示施設のレイアウト等の改善により、産総研の理解促進に努める。また、パネル内容や案内表示の見直しにより質の向上を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・第4期に向け、産総研の橋渡し機能の強化の一つとして、企業からの経営層や研究者・技術者の視察・見学にも対応できる内容にするため、「サイエンス・スクエアつくば」の大改修を行った（27年3月完成）。改修に伴う休館のため、年間来場者数は、32,721人（前年度44,488人）に留まった。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質災害や最新の研究成果に対応すべく展示の更新を図るとともに、海外を含む来場者の興味を引く企画展や体験学習イベントの開催を通して、地質の調査に係る研究成果の社会への理解促進および普及拡大を図る。博物館や産総研地域センター等と協力する移動地質標本館や、学校と連携した補助授業や研修により、若年層の自然観育成や地球科学への理解増進に努める。地質相談所を窓口として外部機関や市民からの問合せに積極的に応えるとともに、日本ジオパークに対する支援やGSJ地質ニュースの発行等を通じて地質情報の普及促進を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・御嶽火山噴火災害に関する緊急調査の速報的展示を行った。最新の海洋地質に関連する展示改修を行った。社会への地質の調査の普及のため企画展や体験学習イベントの開催を行った。地球科学の理解促進のため、産総研地域センター等と協力する移動地質標本館や博物館へのパネル等貸し出しによる展示協力、学校と連携した補助授業や研修を行った。地質情報の普及のため、地質相談所を窓口として外部機関や市民からの問合せに積極的に応えるとともに、日本ジオパークに対する支援やGSJ地質ニュースの発行等を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・職員の産総研への帰属意識向上と産総研の知名度を高めるため、「産総研 CI」を多方面で活用するとともに、各種印刷物、情報発信等における視覚的質の向上を図るため、所内の他部門にデザインの提供、助言等を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・職員等からのCI関係の依頼や法人表記変更にもなるCIシステム設計、マニュアル再構築等に対応し、助言およびデザイン提供（全284件）を行った。また、所内他部門からのホームページや各種印刷物等の制作作業要請（427件）に対して、趣旨を十分に伝達できる、質の高い印刷物等になるよう積極的に支援した。産総研公式ホームページについては、様々なイベントごとにデザイン性に優れたバナーを作成し、ホームページを通じた広報の効果増進を図った。

#### 【第3期中期計画】

- ・一般公開やオープンラボ、産総研キャラバン、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室などは第3期中期目標期間中に200回以上開催する。

#### 【平成26年度計画】

- ・一般公開やオープンラボ、サイエンスカフェ、出前講座、実験教室、外部出展などの対話型広報活動を積極的に行い、年40回以上開催するとともに、更なる質の向上を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・対話型広報活動について、一般公開を10回、他機関が主催するイベントへの出展を8回、サイエンスカフェを10回、出前講座・実験教室を73回実施し、平成26年度は合計101回となった。広く国民との対話型広報活動をとおして、産総研への理解や科学・技術への興味の増進に貢献した。

#### 6. その他

#### 【第3期中期計画】

- ・特許生物の寄託に関する業務及びブダペスト条約に基づき世界知的所有権機関（WIPO）により認定された国際寄託業務等については、「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針（平成22年12月7日閣議決定）」における「本法人（産業技術総合研究所）の特許生物寄託センターと、製品評価技術基盤機構の特許微生物寄託センターを統合することとし、平成23年度以降、順次、必要な措置を講ずる。」との決定を踏まえ、平成24年3月31日限りで当該業務の全部を廃止する。なお、当該業務については、同年4月1日から独立行政法人製品評価技術基盤機構が承継する。

【第3期中期計画】

- ・平成23年度補正予算（第3号）により追加的に措置された交付金については、東日本大震災からの復興のために措置されたことを認識し、革新的再生可能エネルギー研究開発事業、研究設備・機器の復旧及び巨大地震・津波災害に伴うリスク評価のための複合的な地質調査の取組のために活用する。

【第3期中期計画】

- ・上記、1～5を踏まえ、下記の分野について、それぞれ別表に示した具体的な技術開発を進める。  
 鉱工業の科学技術【別表1】  
 地質の調査【別表2】  
 計量の標準【別表3】

II. 業務運営の効率化に関する事項

1. 業務運営の抜本的効率化

(1) 管理費、総人件費等の削減・見直し

【第3期中期計画】

- ・運営費交付金事業のうち一般管理費については、新規に追加されるもの、拡充分等は除き、毎年度、平均で3%以上の削減を行う。また、一般管理費を除く業務経費について、毎年度、平均で1%以上の効率化を達成する。

【平成26年度計画】

- ・運営費交付金事業のうち一般管理費については、新規に追加されるもの、拡充分等は除き、毎年度、平均で3%以上の削減を行う。また、一般管理費を除く業務経費について、毎年度、平均で1%以上の効率化を達成する。

【平成26年度実績】

- ・以下のような取り組みにより、削減値については現在平成26年度決算を精査中であるが、一般管理費については前年度比3%、業務経費については前年度比1%の効率化を達成する見込みである。
- ・施設管理業務等についての包括契約により65百万円

削減した。

- ・消耗品リユース、リサイクルシステムの活用による資産の有効活用により727百万円削減した。

【第3期中期計画】

- ・総人件費については、「簡素で効率的な政府を実現するための行政改革の推進に関する法律（平成18年法律第47号）」及び「経済財政運営と構造改革に関する基本方針2006（平成18年7月7日閣議決定）」に基づき、運営費交付金に係る人件費（A分類）を平成22年度までに平成17年度比5%以上削減し、平成23年度においても引き続き削減等の取組を行う。

【第3期中期計画】

- ・給与水準については、目標水準及び目標期限を設定してその適正化に計画的に取り組んでいるところであるが、引き続き着実にその取組を進めるとともに、その検証結果や取組状況を公表するものとする。

【平成26年度計画】

- ・平成26年度も給与水準の適正化に取組み、その検証結果や取組状況を公表する。

【平成26年度実績】

- ・平成26年人事院勧告（平成26年8月7日）に基づき、平成26年4月1日より、民間給与との較差是正のため、職員及び任期付職員の給与水準や通勤手当、業績手当等の見直し等を行った（2月施行）。また、平成27年4月1日より、給与制度の総合的な見直しの一環として年功的な給与構造をフラット化するため、職員の俸給表等を改定する準備を行った。
- ・平成24年人事院勧告（平成24年8月8日）に基づき、平成26年4月1日より、55歳を超える職員の普通昇給の停止を実施した。
- ・給与水準については、政府方針に基づき平成27年6月30日までに公表すべく、公表資料等の準備を行った。

【第3期中期計画】

- ・研究支援業務のコスト構造を見直し、管理費の削減に取り組む。また、諸手当及び法定外福利費については、国及び他の独法等との比較において適正な水準であるかの検証等を行う。

【平成26年度計画】

- ・研究支援業務の平成25年度決算や平成26年度予算執行状況を確認し、さらなる管理費削減に取り組む。

【平成26年度実績】

- ・夏季輪番・一斉休暇（つくば及び臨海のみ実施）により、ピーク電力を週平均1,489kw削減した。
- ・複写機・複合機の賃貸借及び保守の一括契約を継続するとともに、効率的な設置を進め6台の削減を行い、

経費を削減した。

- ・事業車両について、稼働実績を精査し4台を廃車するとともに、更新が必要な車両については購入からリース契約に切り替えを行い維持管理経費を削減した。

#### 【平成26年度計画】

- ・諸手当及び法定外福利費は、引き続き、国及び他の独法等と比較するなど適正化を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・諸手当及び法定外福利費については、引き続き、国及び他の独法等に照らし、適正な水準であることを検証した。
- ・諸手当については、一般職の職員の給与に関する法律、人事院規則等に照らし、国家公務員と同等の水準であることを確認した。また公表されている他独法の諸手当とも比較検証を行い適正水準であることを確認した。法定外福利費についても同様に、経済産業省及び他独法と情報交換を行い、適正な水準であることを確認した。

#### 【第3期中期計画】

- ・研修、施設管理業務などの外部に委託した方がより効率的な業務については引き続きアウトソーシングを進める一方、既にアウトソーシングを行っている業務については、内部で実施した方がより効率的な場合は内部化し、また、包括契約や複数年度契約の導入等、より効率的かつ最適な方法を検討し、業務の一層の効率化を進める。なお、これらの検討に当たっては、市場化テストの導入可能性についても検討を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・「つくばセンターにおける施設・管理等業務」は、平成24年4月から民間競争入札実施要項に基づき、関連する8業務を「つくばセンター施設管理等業務共同企業体」が包括して事業を継続中（実施期間は、平成24年4月1日から平成27年3月31日まで。）。
- ・平成27年度以降の事業継続に際し、より効率的な契約内容を検討する。

#### 【平成26年度実績】

つくばセンターにおける施設管理等業務

- ・「公共サービス改革等基本方針」に係る閣議決定(平成23年7月15日)に基づき、つくばセンターにおける施設・管理等業務について、関連する8業務を「つくばセンターの施設管理等業務共同企業体」が包括し、平成25年度に引き続いて事業を実施した。
- ・同事業については、産総研の「つくばセンターの施設管理等業務評価委員会（平成26年5月23日開催）」並びに、内閣府の「官民競争入札等監理委員会（平成26年6月18日開催）」において、「達成されるべき管理・運営業務の質は達成されている、確保すべき水準

は水準以上にある、実施事業者からの創意工夫を活用できている」との評価を受けた。

また、平成26事業年度における経費削減効果は、約65百万円であった。

- ・平成27年度以降の事業については、競争性を確保する観点から、これまで1案件としていた事業から複数案件への変更を行い、内閣府の入札等監理委員会（平成26年10月20日開催）への附議を経て、平成27年4月から平成30年3月までの3カ年度の期間で事業を実施することとした。

#### 【第3期中期計画】

- ・研究支援業務については、より効率的かつ質の高い支援が可能となるような体制の見直しを行うとともに、効率的な時間活用の徹底及びマネジメント体制の強化による効率化を進める。

#### 【平成26年度計画】

- ・研究現場に提供するサービスの質の向上を効率的に実現するため、業務実施体制の見直しを行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・産総研の組織及び業務体制の更なる改善を図るため、以下の業務実施体制の見直し及び検討を行った。
  - 1) 研究所の業務運営システム及びコンプライアンス推進体制の見直しとして、当該業務に関するルールを整備すると共に、理事長をコンプライアンス推進本部長とするコンプライアンス推進体制の強化を図り、これに合わせて法務室をコンプライアンス推進本部から総務本部の組織として再配置した。
  - 2) 研究戦略・イノベーション連携、人事については、経営重要事項であることから、担当理事等による審議を経て理事長が決定する体制へと改め、その審議機能として研究戦略・イノベーション連携委員会及び人事委員会を設置した。
  - 3) 第4期中長期計画期間に産総研が目指す『社会ニーズ、産業ニーズを踏まえた世界最高水準の研究とその成果の「橋渡し」』を実現するため、以下の組織体制とする検討を行った。
    - ・広報活動を組織経営の一環として戦略的に展開するため、広報機能を「企画本部」の下に集約する。
    - ・技術マーケティングに基づく産総研全体の総合的な研究戦略の企画立案、ベンチャーハンズオン支援機能の強化、戦略予算や企業資金を含めた外部資金等を活用した研究戦略、創出された研究成果に係る知財・標準化戦略、産学連携戦略、地域・中小企業戦略等を一体的に推進し、「橋渡し」をより一層機動的、効果的に実現するため、「イノベーション推進本部」にこれらの機能を集約する。
- ・研究職人事と事務職人事を一元的に管理・調整し、より一層の人材の適材適所な配置、クロスアポイントメ

ント制度等の新たな人事制度への機動的な対応を可能とする。

- ・様々な職種・年代で人材が活きる人事制度の提供、「橋渡し」機能の強化に必要な所内人材の育成・拡充、企業等の即戦力として活躍できる人材の養成を一体的に推進する体制とする。
- ・TIAの存在感と訴求力をより強固なものとするため、「TIA推進本部」を新たな組織（特別の組織）として位置付ける。

【平成26年度計画】

- ・ノー残業デーの徹底により職員に効率的な業務遂行意識を醸成するとともに、時間外労働時間の縮減に努める。
- ・リフレッシュのための年次有給休暇取得促進キャンペーンにより有給休暇の取得を促進するとともに、時間外労働時間の縮減、効率的な時間活用について徹底し、職員のワークライフバランスの実現を図る。
- ・引き続き、職員研修等の機会を活用し、広い職層を対象に業務の効率化、業務品質の向上のためのカリキュラムを実施し、日常的に業務を見直し効率的に時間を活用する意識及びスキルの向上に努める。

【平成26年度実績】

- ・毎週水曜日の「ノー残業デー」については、定時退庁を促す館内放送や、管理監等による所内巡視等を実施し、時間外労働時間の縮減の意識向上を図った。
- ・リフレッシュのための年次有給休暇取得促進キャンペーンについてポスターによる周知、取得実績の所内公表を実施し、職員に効率的な時間活用の意識醸成を図った。
- ・階層別研修のうち、グループ長等研修、室長・室長代理研修、新規主査研修等において、「業務効率化」や「労働時間管理」に関するカリキュラムを実施し、業務効率を上げるためのスキル等の向上、また、日常業務にかかせないタイムマネジメントスキルの向上を図った。

【第3期中期計画】

- ・所内リサイクル物品情報システムを活用した研究機器等の所内リユースの取り組みにおいて、第3期中期目標期間終了時までには年間600件以上の再利用を目指す。

【平成26年度計画】

- ・職員研修及び説明会において所内リユースの周知、啓発を図るとともに、研究業務推進部室会計チームとの連携により、リサイクル物品情報システムを活用した所内リユースを推進する。

【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、全体704件の所内リユースが成立した（経費削減効果額は約7.27億円）。うち、リサイクル

物品情報システムを活用したリユース件数は575件（経費削減効果額は約3.49億円）。

- ・下記の財務会計制度説明会等を実施し所内リユースの周知・啓発を行った。  
4/2 新規採用職員研修  
7/23,8/4,8/8資産管理研修  
10/10全国財産担当者会議を開催し、啓発を実施した。

【第3期中期計画】

- ・独立行政法人を対象とした横断的な見直しについては、随時適切に対応する。

【平成26年度計画】

- ・独立行政法人を対象とした横断的な見直しについては、随時適切に対応する。

【平成26年度実績】

- ・「独立行政法人の事務・事業の見直しの基本方針（平成22年12月7日閣議決定）」を踏まえて、鉱工業に関する科学技術の研究開発等について研究テーマの重点化による事業規模の見直し等に取り組んだ。

(2) 契約状況の点検・見直し

【第3期中期計画】

- ・「独立行政法人の契約状況の点検・見直しについて」（平成21年11月17日閣議決定）に基づき、競争性のない随意契約の見直しを更に徹底して行うとともに、一般競争入札等（競争入札及び企画競争・公募をいい、競争性のない随意契約は含まない。以下同じ。）についても、真に競争性が確保されているか、点検・検証を行い、契約の適正化を推進し、業務運営の効率化を図る。

【平成26年度計画】

- ・産総研の「行政支出見直し計画」、「1者応札・1者応募に係る改善策」、及び契約監視委員会での点検・見直しによる指摘事項等を踏まえ、契約の適正化を推進するため、以下の取り組みを行う。

【平成26年度実績】

- ・産総研の「行政支出見直し計画」、「1者応札・1者応募に係る改善策」、及び契約監視委員会での点検・見直しによる指摘事項等を踏まえ、契約の適正化を推進するための取り組みを行った。
- ・平成26年度における随意契約の割合 <件数ベース> 2.3% <金額ベース> 3.6%
- ・平成26年度における一者応札割合 <件数ベース> 76.6% <金額ベース> 79.5%

【第3期中期計画】

- ・一者応札及び100%落札率の割合を少なくするため、

適切な公告期間の設定等により競争性を確保し、競争性が働くような入札方法の見直しを図る。

#### 【平成26年度計画】

##### ①適切な公告期間の設定

- ・事業者が余裕をもって計画的に提案を行えるよう、事業内容に応じて適切な公告期間を設けるとともに、可能な限り説明会を実施し、説明会から提案締め切りまでの期間を十分に確保する。

##### ②適切な調達情報の提供

- ・入札ないし公募公告に、仕様概要、関係資料の提出期限等、事業者が参加するために必要な情報を提供する。
- ・調達情報をより多くの事業者に行き渡らせるため、産総研入札公告掲載ページへのリンクの設置を依頼する等、他機関との連携を推進する。
- ・その他、調達計画の公表等、事業者への事前の情報提供を行う。

##### ③適切な仕様書の作成

- ・仕様書の作成にあたっては、業務遂行上必要最低限の機能や条件を提示する。
- ・事業の実施方法等、事業者の提案を受けることでより良い事業の実施が可能となる事項については抽象的な記載とし、可能な限り、関連情報を提供する公募説明会を開催する。

##### ④適切な事業期間の設定

- ・開札日から役務等の履行開始日までの期間を契約対象の業務内容に応じて確保する等、人員の配置が困難であったり、キャッシュフローの余力のない、比較的規模の小さい事業者も競争に参加できるよう取り組む。

##### ⑤その他

- ・他機関における「契約監視委員会に関する公表事項」等の情報を収集に努め、有効策があれば積極的に取り入れる。
- ・以上のほか、入札辞退理由等を活用し、引き続き、実質的な競争性を阻害している要因を把握し、改善に取り組む。

#### 【平成26年度実績】

##### ①適切な公告期間の設定

- ・前年度に引き続き、事業者が余裕を持って計画的に提案を行えるよう、事業内容に応じて適切な入札公告期間を設けるとともに、可能な限り説明会を実施し、説明会から提案締め切りまでの期間を十分に確保すべく取り組んだ。具体的には、10日としていた従前の入札公告期間を、事業内容に応じて21日～30日（政府調達案件は50日以上）とする取り組みを継続して実施した。

##### ②適切な調達情報の提供

- ・前年度に引き続き、以下の取り組みを実施。
- ・入札又は公募公告の案件について、要求する仕様内容をイメージしやすい件名設定に努めるとともに「仕様

概要」を記載することとした。また、必要資料の提出期限等を公告情報として明記することとした。

- ・産総研の調達情報をより多くの事業者に提供するため、3機関（つくば市商工会、つくば研究支援センター、筑波研究学園都市交流協議会）のホームページからのリンクを引き続き設定するとともに、RSS方式による情報配信を引き続き行った。

※RSS方式とは：新たな入札案件の公告等のホームページの更新情報を、希望するユーザーのブラウザ等を用いて自動配信する仕組み。

RSS 経由による情報発信件数（平成26年4月～平成27年3月 実績）

総アクセス数 約2,403,000件 【約9,800件／日】

うち、RSS 経由でのアクセス件数 約42,000件

【約 172件／日】

※各公告案件に対する延べアクセス件数（落札公告も含む）

※1日あたりの件数は土日等を除く

- ・調達予定のある機器等に関して、産総研公式ホームページ上の「参考資料募集」ページに必要とするスペック等の情報を公表し、仕様書の作成の基となる参考資料（パンフレット等）を広く業者から募集する取組を継続して実施した。

- ・入札参加事業者の新規参入を促すために、平成27年度分の年間契約について予定一覧を作成し、当該入札公告がされるより前の平成27年1月30日に産総研公式ホームページにて公表すると共に、産総研メールマガジン及び RSS 方式による情報配信により、事業者への事前の情報提供を実施した。

- ・調達担当者は、入札公告後において、電話を活用するなどして競争に参加できる可能性がある事業者に対する入札公告情報の提供に努めた。

##### ③適切な仕様書の作成

- ・仕様書の作成にあたっては、業務遂行上必要最低限の機能や数値的条件等を提示することのほか、仕様書の記載不備・齟齬等が生じないように記載すべき項目・内容等についても例を用いる等、これまでの仕様書作成マニュアルを全面的に見直し、平成26年9月に職員への周知を行った。

- ・事業の実施方法等、事業者の提案を受けることでより良い事業の実施が可能となる「企画競争案件」については、可能な限り公募説明会を実施して関連情報を提供することに努め、事業者が事業規模等を把握するための現場説明会等も併せて実施した。

- ・適切な仕様書作成に資するため、調達請求者において、購入予定品の参考資料・参考見積等を徴取する業者の目安として利用されることを目的に、販売代理店とメーカーの販売委託関係を一覧整理した「納入実績リスト」を作成し、内部職員向けに所内イントラ上で前年度に引き続き公開した。

④適切な事業期間の設定

- ・前年度に引き続き、役務等の契約において、落札日から履行開始までの間に必要な準備期間を落札した業者が確保できるよう、研究計画等に支障のない範囲で余裕を持った事業期間の設定に心がけた。具体的には、4月当初に履行開始となるような年間契約等で、人員や材料等の確保が事前に必要となる案件に関しては、3月初旬に契約を締結し、十分な準備期間を確保できるよう配慮した。

⑤その他

- ・契約監視委員会による点検結果については、全国会計担当者会議等で情報を共有し改善に努めた。また、前年度に引き続き、平成25年度契約分の点検内容を早期に反映させるべく、本年度は5月から開催するとともに、平成26年度上期契約案件の審査を12月に実施した。
- ・前年度に引き続き、一般競争に係る入札書の提出期限を開札日の前日までとし、開札時まで応札参加者数が分からない手法を講じ、競争性の更なる確保に努めた。
- ・事業者の利便性向上を図るため、入札等参加に必要な書式（委任状、入札書、価格証明書、見積原価計算書等）を公式HPからダウンロードが出来るよう前年度に引き続き取り組んだ。
- ・競争参加の拡大の可能性があると認められる場合は、競争参加資格の拡大協議を行うこととし、前年度に引き続き、全国会計担当者会議で周知して複数者応札による競争性の確保に努めるよう取り組んだ。

【第3期中期計画】

- ・産総研内「契約審査委員会」において、政府調達の実用を受けることとなる物品等又は特定役務の仕様書、契約方式、技術審査等に関する審査を行っているが、第3期中期計画期間においては、審査対象範囲の拡大や審査内容の拡充に関する新たな取り組みを行う。

【平成26年度計画】

⑥契約審査委員会における審査内容等の拡充

- ・所内「契約審査委員会」における審査対象範囲を見直すとともに、技術的な見地から要求仕様の審査を拡充する。

【平成26年度実績】

⑥契約審査委員会における審査内容等の拡充

- ・つくばセンター各事業所の契約担当職毎に契約審査委員会を設置し、政府調達協定の対象となる契約案件を適切に把握し、調達スケジュール・契約方式の法令への適合性、仕様内容の技術審査を厳正に審査した。
- ・さらに、地域センターの契約案件については、前年度の契約件数の上位一割の案件が対象となる金額まで対象の基準額を引き下げることにより、審査対象範囲を拡大し、契約審査役による審査を前年度に引き続き実

施した。（審査件数43件）

【第3期中期計画】

- ・また、契約審査体制のより一層の厳格化を図るため、法人外部から採用する技術の専門家を契約審査に関与させ、調達請求者が要求する仕様内容・調達手段についての技術的妥当性の検討を充実強化する。

【平成26年度計画】

⑦契約審査体制のより一層の厳格化

- ・法人外部から採用する技術の専門家を日々の契約審査に関与させ、調達請求者が要求する仕様内容・調達手段についての技術的妥当性の検討を充実強化する。

【平成26年度実績】

⑦契約審査体制のより一層の厳格化

- ・民間企業での技術的な専門知識を有する契約審査役を新たに2名採用し、請求者が要求する仕様内容・調達手段について、必要最低限の仕様や条件となっているか等を厳正に審査した。
- ・また、契約審査役による指導・助言等を通して、仕様書の質の向上を図ると共に、事業所及び地域センター間で仕様書の標準化を図る取り組みを行った。（審査件数156件）
- ・契約審査委員会のうち、地域センターで開催される案件については、前年度に引き続き、TV会議システムを通じて出席すると共に、本年度は北海道センター、関西センター及び中国センターで開催された一部の契約案件について、現地で委員会に出席し、契約審査に係る着眼点等の指導・助言を行った。

2. 研究活動の高度化のための取組

(1) 研究組織及び事業の機動的な見直し、外部からの研究評価の充実

【第3期中期計画】

- ・外部からの評価結果や社会的ニーズ等を踏まえ、研究領域ごとに戦略的、効果的に研究を遂行するため、機動的に組織体制の見直し、組織の改廃や新設を行う。

【平成26年度計画】

- ・組織体制の見直しを機動的に実施するため、平成25年度と同様に、「研究ユニット活動総括・提言委員会」を半期ごとに開催し、活動の総括及び今後の研究及び組織のあり方等のとりまとめを行う。

【平成26年度実績】

- ・「研究ユニット活動総括・提言委員会」を上期に3研究ユニット、下期に1研究ユニットを対象として開催し、活動の総括及び今後の研究と組織のあり方等を取りまとめた。

## 【平成26年度計画】

- ・研究ユニット評価結果や社会的ニーズ等を踏まえ、機動的な組織体制の見直しを図るとともに、研究推進組織の改廃及び新設等を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・平成25年度の研究ユニット評価結果等を踏まえ、平成25年度をもって糖鎖医工学研究センター、新燃料自動車技術研究センター、生命情報工学研究センター及び活断層・地震研究センターを廃止し、平成26年4月に糖鎖創薬技術研究センター、ゲノム情報研究センター、グリーン磁性材料研究センター及び活断層・火山研究部門を新設した。
- ・第4期中長計画期間では、「日本再興戦略」改訂2014及び「科学技術イノベーション総合戦略2014」において革新的な技術シーズを実用化に結びつける「橋渡し」機能の抜本的な強化の必要性和重要性が明記されたことから、産総研の技術的強みを伸ばし、これまで以上に産業や社会に役立つ技術の創出とその実用化を推進するため、研究推進体制を強化する必要がある。これに対応するため第4期は、研究戦略・イノベーション連携委員会の検討結果に基づき第3期における研究推進体制を一新し、研究ユニットを束ねる組織として新たに7領域（2総合センターを含む）を設置し、その下に27研究部門、12研究センターを配置する体制とすることを決定した。
- ・国内外の有識者からなる運営諮問会議を平成26年9月5日に開催し、産総研の研究活動、運営全般に関して、戦略的かつ効果的な助言を得た。

## 【第3期中期計画】

- ・実用化や製品化までの研究開発期間の短縮を図るためにも、自前主義にとらわれることなく、共同研究等により、海外を含め大学、他の研究機関や民間企業等の人材、知見、ノウハウ等をより積極的に活用する。

## 【平成26年度計画】

- ・新たな技術開発による新産業の創出を図るために、「産総研オープンラボ」の他、産総研内外で開催されるイベントや研究者によるアウトリーチ活動を活用し、産総研の技術シーズを国内外へ発信する。また産業界のニーズも踏まえ民間企業、他の研究機関との共同研究等を機動的かつ集中的に推進する。

## 【平成26年度実績】

- ・産業界からの声を聴くイベントとして、「産総研オープンラボ」を見直して特に経営層を対象とした「テクノブリッジ事業」を開始した。また、マスメディアとタイアップして、産業界と議論を行う「日本を元気にする産業技術会議」では産総研の技術シーズ等をテーマとしたシンポジウムを開催した（9回）。産学官連携推進会議や科学・技術フェスタ等の外部イベントへ

の出展等も行い、産総研の技術シーズを国内外に発信した。

## 【第3期中期計画】

- ・産総研が取り組む必要がある研究開発について、政策との関係や他との連携強化に実効的な措置や取組を明らかにしつつ、経済産業省の関係課室と意見交換を行いながら具体的な技術目標を明示した「産総研研究戦略」を策定し実行する。その際、更なる選択と集中を図り、実用化や製品化という目標を明確に設定した研究開発への重点化を図る。

## 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に策定した「産総研研究戦略」について、研究の進捗、産業ニーズの変化、産業界の意見等を踏まえて内容を見直し、平成26年度版を作成する。さらに、次期中期における研究戦略を策定する。

## 【平成26年度実績】

- ・平成25年度に策定した「産総研研究戦略」について、研究の進捗、産業ニーズの変化、産業界の意見等をふまえ、今後に向けた研究の方向性を示す内容となる平成26年度版を策定した。次期中長期に向けては、産総研の研究成果を民間企業に「橋渡し」する機能を強化すべく、新たな研究戦略の策定を行った。

## 【平成26年度計画】

- ・イノベーション推進本部においては、平成26年度「産総研研究戦略」における研究支援の在り方、連携の方策、研究成果の社会への還元の在り方、人材の育成等についてのアクションプランを、PDCAを通じて推進する。

## 【平成26年度実績】

- ・イノベーション推進本部においては、技術コンサルティング制度の創設、成果活用人材育成研修（11回実施）、知財ポリシーの見直し（平成26年11月より不実施補償の廃止）等、研究支援の在り方、連携の方策、研究成果の社会への還元の在り方、人材の育成等についてPDCAを通じて推進した。

## 【第3期中期計画】

- ・萌芽的な基礎的研究についても一定の関与をしつつ、産業変革を促すような革新的、独創的な研究課題を実施する形で重点化を図り「産総研研究戦略」に位置づける。

## 【平成26年度計画】

- ・社会・政策ニーズを踏まえながら、産業変革を誘導する革新的、独創的な研究課題を構築して、「産総研研究戦略」に位置づける。また、イノベーションコーディネータ等のさらなる活用や、産業界とのインターフ

ェイス機能及びオープンイノベーションハブ機能の強化を図る。また、STAR 事業については、スムーズな事業遂行のために必要とされるサポートを行い、所内外におけるショウアップを積極的に行うことで、産総研看板研究としての成果創出とプレゼンス向上に努めていく。

#### 【平成26年度実績】

- ・産業変革を誘導する革新的、独創的な研究課題の実施を目的として、戦略予算事業により47件（新規10件、継続37件）の課題を採択した。うち4件についてはイノベーションコーディネータが中心となり課題に取り組むなど、さらなる人材の活用がなされた。また、産業界とのインターフェイス機能強化に向けて、経営層を対象とした「テクノブリッジ事業」を新たに開始した。
- ・昨年度創設した産総研戦略的融合研究事業（STAR）の2テーマについて平成26年度「産総研研究戦略」に明確に提示するとともに、テクノブリッジフェアでの特別展示や産総研 STAR シンポジウムにより成果の発信とプレゼンスの向上を行った。

#### 【第3期中期計画】

- ・「I.2.（1）地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発」において掲げた地域センターの取り組みの成果に関しては検証を行い、第3期計画期間中にその検証結果を公開するとともに、検証の結果を踏まえて各地域センターが一様に同一の機能を担うことを前提とせず、各地域センターの所在する地域の特性に応じて各地域センターが果たす機能の大胆な見直しを行い、産総研の研究開発戦略における地域センターの役割を検討する。具体的には、地域センターが有している、地域特性を活かした技術開発や地域における科学技術拠点群形成のための先端研究開発等の活動により発揮される研究機能と地域産業政策や地域産学官をつなぐ活動により発揮される地域連携機能を活かした取り組みについて、地域産業への技術移転、成果普及を通じて地域産業の振興や新産業の創出に寄与、貢献しているか、あるいはそれらが確実に見込まれる状況になっているか、地域の大学及び企業等を巻き込んで産学官の緊密な連携やオープンイノベーションの推進を実現できているか、大学と企業をつなぐ役割や地域の中小企業等の技術開発や製品化の取り組みに寄与、貢献しているか、といった視点から総合的に検証し、その検証結果を踏まえて各地域センターが有する研究機能と連携機能を発揮する活動とリソース配分の見直しを行い、地域活性化の中核としての機能強化を図る。また、地域センターに所属する事業所及びサイトについては、研究機能と連携機能の観点から、共同研究等の設立目的終了時又は利活用状況が低下した時点において、その事業の必要性を検証し、不要と判断された

場合は速やかに閉鎖する。

#### 【平成26年度計画】

- ・地域事業計画について、地域センターの取り組みの成果についての検証結果を踏まえ、必要に応じて見直しを行い、これに従って地域経済に貢献する最高水準の研究開発を実施する。

#### 【平成26年度実績】

- ・地域経済の競争力を支える最高水準の研究開発を推進した。主な成果は次のとおり。
- 1) 北海道センター：産総研植物工場を用いて生産されたイヌインターフェロン含有イチゴ製剤（インターベリー®）が平成26年3月24日に発売となり、本年度からホクサン製造、DS アニマルファーマ販売の体制でユーザーの手に渡るようになった。同製剤は薬効成分を精製していない組換え植物（イチゴ）そのものであり、組換え植物が医薬品として認可されたのは世界初である。また、ヒト核内受容体アッセイによる食品の機能性解析では、植物育種研究所が開発したタマネギについてその機能性を評価し、その後北海道情報大学での人介入試験を経て、大手商社から機能性食品として販売される予定。
  - 2) 東北センター：CO<sub>2</sub>塗装技術を高度化させ、従来の自動車用小型部品だけでなく、企業と共同で自動車車体への大面積塗装に着手した。従来よりも小型のマイクロリアクターモジュールを開発しコンパクトな化学プロセスを可能にした。爆発性ガスの組み合わせを安全に反応させるマイクロリアクター技術を開発し、有用化学物質を合成した。天然ゼオライト含有物質から紡糸する技術を開発し、化学物質のフィルタリングに応用した。伝統工芸品に粘土膜をコートし、鉛筆硬度による耐久性を数段向上させた。開発した不燃透明複合材を鉄道会社にサンプル提供した。
  - 3) 臨海副都心センター：「バイオテクノロジー作業ロボット開発」において、企業との共同研究により、7自由度で高精度の動きができる双腕ロボット「まほろシステム」の開発に成功し、大学、国内大手製薬会社及び公的研究機関に合計7台導入した。この成果により内閣府の平成26年度産学官連携功労者賞を受賞した。また、「創薬促進イノベーションハブ形成」においては、連携相手の数を増やし産学官連携が促進した。国内大手・中堅製薬会社9社、東京大学医学部、京都大学 iPS 細胞研究所、慶応大学医学部・病院、横浜市立大学等14大学や、国立がんセンター、理研等6研究所と個別に連携を進め、創薬に資するイノベーションハブ形成が進捗した。これにより、治験に至る薬効を高める手法を共同開発するなどの成果をあげた。
  - 4) 中部センター：EV 化に不可欠なパワー半導体実装に関わる材料の研究開発に向けて、SiC に関する拠点



共通基盤技術開発のうち、高耐熱部品技術開発を開始した。透明時の可視光透過率が70%以上の調光ミラーを開発し、これまでの実績に加え、共同研究を新規に1件開始追加した。また、溶解炉内でアルミニウムの熔融状態を保持するための高効率浸漬ヒーターを開発し、共同研究先企業とともにプレス発表を行った。触媒の性能を維持しつつ、白金族使用量を50%低減することに成功し、試料提供につなげた。圧力を使って磁性材料の吸熱・放熱を室温で制御することに成功し、プレス発表に対する問い合わせが数件あった。油分の付着を防止する表面処理技術を開発し、企業連携に繋がった。地域企業と共同で開発した新しい「常圧焼結セラミックス製法」を用い、高性能スピーカー振動板を民間企業が製品化した。また、高効率モーター用磁性材料の開発を目的とした高効率モーター用磁性材料技術研究組合、軽量化部材の研究拠点である革新的新構造材料技術研究組合、さらに熱の制御に関する研究拠点である未利用熱エネルギー革新的活用技術研究組合において企業との共同研究を実施した。

- 5) 関西センター：蓄電池関連では、リチウムイオン蓄電池の正極材料として有望な硫黄系正極材料で、硫黄含有比率の高い結晶性硫化チタンに比べ約3倍の高容量を示す非晶質硫化チタンを開発した。バイオ医薬関連では、企業や大学と共同で臨床応用に向けた日本発の製造基盤技術開発を大学や企業と共同で実施した（経産省地域イノベーション創出実証研究補助事業）。分子複合医薬研究会を2回（第18回～第19回）実施（延べ136名）し、核酸や抗体医薬品開発に関わる企業、大学、公的研究機関との情報共有と連携促進に貢献した。さらに分子複合医薬研究会活動の波及効果として、大阪の医薬品製造メーカー内に CMC（Chemistry Manufacturing and Controls）研究センターが設置されるに至った。信号保安システム設計に関して独自の先端的な研究開発を進め、大手企業との共同研究に結びついた。また、これまでに開発した高耐久性ナノカーボン高分子アクチュエーター技術を実用化するため、フラウンホーファーとの共同研究ラボを開発し、デバイス化の研究を加速した。
- 6) 中国センター：ナノファイバー製造技術開発では、プロジェクトの最終数値目標（径が500nm以下のナノファイバー含有率が80%、ナノファイバー生産速度が1時間あたり壺拾kg以上）を達成する微粉碎システムの開発に貢献した。プラスチックとの複合化技術開発では、上記の一貫製造プロセスで製造された CNF を用いて、直接複合化によるマスターバッチ化工程により、ナノファイバーポリプロピレン複合材料を作製し、それを用いて自動車部品としてのラジエーター枠や、日用品としてうちわ、くし、クリップを試作し、実用化に向けたコスト低減と成形性の向上を図る技術の見通しをつけた。

- 7) 四国センター：糖尿病の耐糖能およびインスリン抵抗性を経口糖負荷試験（OGTT）に頼らずに判定するためのバイオマーカーの有用性を大学病院、市中病院との共同実験によって検証し、感度、特異度とも十分な精度で判定できる結果を得た。バイオマーカーの一種であるアディポネクチンを十分な感度（ng/mL）で定量可能なペーパーマイクロ流体デバイスを開発した。地元企業との連携では、生物発光酵素の遺伝子を導入した細胞を用いた食品の機能性評価方法を開発し、技術を公設試に移転して評価結果を地元企業に通知し、食品の高付加価値化に貢献した。
- 8) 九州センター：半導体関連マイスター型連携課題では、企業との共同研究により、LSI 生産過程で生じる潜傷を検出する装置を開発し、企業の量産現場に導入してインライン全数検査を実現した。太陽電池モジュール開発・評価の研究では、長期屋外曝露モジュールと屋内加速試験後のモジュールの対比により、高温高湿（温度85℃湿度85%）試験4000時間が屋外曝露30年に相当することを明らかにした。これにより得られたモジュールの設計指針に基づき、現行の認証試験の15倍も厳しい試験後でも劣化しないモジュールの開発にも成功した。地域企業との共同研究により、肥育牛脂肪交雑の自動判定を行う実用モデルを完成させ、当該企業が国内大手企業へ OEM 供給を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・昨年度実施した検証結果を踏まえた各地域センターの機能強化策を講ずる。

#### 【平成26年度実績】

- ・地域活性化活動評価委員会での検証結果を踏まえて、各地域の特徴に応じた、研究機能、連携機能、内部マネジメントに関する強化策を策定した。

#### 【第3期中期計画】

- ・産総研イノベーションスクール（平成20年度開始）及び専門技術者育成事業（平成17年度開始）については、第3期中期目標期間中において、育成期間終了後の進路等、育成人材の追跡調査等によって成果を把握して、現行の事業の有効性を検証し、その継続の要否も含めた見直しを行うものとする。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研イノベーションスクールにおいては、引き続き育成修了者の進路の追跡調査を行うとともに、産学官連携の促進ツールとしての効果の検証を行う。また、外部有識者との意見交換を実施して第3期の事業総括を行い、第4期に向けて人材育成事業の制度改善を図るとともに、引き続き修了生を含めた人的ネットワーク形成促進を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・産総研イノベーションスクール制度の効果検証のために、過去の育成修了者の進路の追跡調査を引き続き実施して、パンフレット等に掲載する修了生の就業状況データを更新した。3月には外部委員による運営諮問委員会を開催して意見交換を行い、第4期中長期計画に向けた制度改善等のスクール運営に関するアドバイスをいただいた。さらに、修了生を含めた人的ネットワーク形成を促進するために、先輩との交流会を6月と11月に開催するとともに、昨年に続いて同窓生としての絆意識の醸成のために第1期生から第7期生までの79名の近況紹介資料を集めて、人的ネットワーク形成促進を図った。

【第3期中期計画】

- ・ベンチャー開発センターについては、第3期中期目標期間中において、創出ベンチャー企業の業績や動向を把握し、それまでの取組における成果及び問題点並びに制度上のあい路等を厳格に検証し、その結果を公表するとともに、当該検証結果を踏まえ、事業の存続の要否も含めた見直しを行う。具体的には、産総研発ベンチャーの創出、育成及び支援に関する施策について、創出企業が成功に至った例、失敗した例の両方について、技術シーズ発掘からビジネスプラン策定や検証を経て創業に至るまでの過程における各施策の有効性について検証し、検証結果を踏まえた見直しを行うとともに、有効性の高いものと認められ引き続き実施する施策については外部の研究開発機関等へ知見やノウハウを広く公開、共有する。

【平成26年度計画】

- ・検証結果を踏まえた「ベンチャー創出・支援事業」の改革をさらに進める。

【平成26年度実績】

- ・検証結果を踏まえて立ち上げた「AIST ハンズオン支援チーム (AIST-HOST)」の会合を11回開催し、有望な産総研技術移転ベンチャー及びTFを部署横断的に支援する取組みを開始した。有望な創業案件であると認められたTFには、追加的に予算を投入する等の支援を行った。有望な産総研技術移転ベンチャーに対しては、ヒアリングにより要望を把握し、人的及び技術的援助に向けた検討を行った。また産総研技術移転ベンチャー1社に対して出資案件の検討を行い、出資審査委員会(6/24)を開催した。

【第3期中期計画】

- ・研究評価の質を向上するため、現場見学会の開催や事前説明等の充実により、評価者が評価対象を把握、理解する機会を拡大する。

【平成26年度計画】

- ・外部委員が評価対象を把握、理解する機会を拡大するために、外部委員と研究ユニットとの多様な方式による意見交換及び外部委員への成果の情報提供等を引き続き実施するとともに、外部委員への事前説明の充実を図る。

【平成26年度実績】

- ・外部委員が評価対象を把握、理解する機会を拡大するために、委員会形式単独の意見交換会、研究ユニット主催シンポジウムに併設した委員会形式の意見交換会、または研究ユニット主催研究現場見学会を伴った委員会形式の意見交換会を開催し、意見交換、成果の情報提供を実施した。また、新たな外部委員、評価委員長に対して産総研の評価システム、第3期中期目標達成状況評価等の事前説明を実施した。

【平成26年度計画】

- ・評価委員会での評価資料の説明とその質疑以外に、ポスターセッション等を行うとともに、それらにおける多様な研究内容の紹介や研究者との質疑等により、評価委員が評価対象の把握や理解を深めるための機会の充実を図る。

【平成26年度実績】

- ・評価委員会での評価資料の説明とその質疑以外に、現場見学会及びポスターセッションの場で、担当研究者が研究内容を直接説明し、質疑応答を行う機会を設けることにより、評価委員がより深く評価対象の把握や理解ができるようにした。

【平成26年度計画】

- ・前回の研究ユニット評価結果や評価委員との意見交換における指摘事項への対応状況を研究ユニット評価資料に記載するとともに、必要に応じて評価委員会での説明を行う。

【平成26年度実績】

- ・前回の研究ユニット評価結果や評価委員との意見交換における評価委員からの研究計画などへの指摘事項について、計画の見直しなど指摘に対する対応状況を研究ユニット評価資料に記述するとともに、必要に応じて評価委員会で説明を行った。

【平成26年度計画】

- ・引き続き、評価委員が研究ユニットのアウトプットの内容をより詳細に把握できる情報提供の充実を図る。

【平成26年度実績】

- ・意見交換を実施する研究ユニットの評価委員に対して、外部公開版研究成果発表データベースを用いた研究ユニットの論文リストの情報を提供することにより、研究ユニットのアウトプットをより詳細に把握できるようにした。

## 【第3期中期計画】

- ・産総研ミッションに即した、より客観的かつ適切な評価軸へ見直しを行い、アウトカムの視点からの評価を充実させる。また、研究成果創出の最大化ならびに成果の社会還元に繋げるため、PDCA サイクルによる継続的な自己改革へ評価結果を適切に反映させる。

## 【平成26年度計画】

- ・研究ユニット評価では、研究成果の国内外における優位性を示すこと等により、達成水準について、より適切な評価を受けられるようにする。

## 【平成26年度実績】

- ・評価委員に対して、研究ユニット評価において、ベンチマーク等について、関連機関を具体的に明示することにより、より適切な評価を可能にした。
- ・第3期中期目標達成状況について、研究ユニットによる自己点検結果を参考として外部評価委員による評価を実施した。
- ・評価におけるセキュリティ向上及び業務の効率化のため、評価コメント及び評点を Web に入力する「評価委員評価情報システム」の運用を開始した。

## 【平成26年度計画】

- ・第3期中期目標期間における評価の基本方針に基づき「地域活性化に係わる業務」に対する活動について、前回の評価委員会等での指摘事項を踏まえたその後の業務活動について、国民に対して提供するサービスの質の向上等の観点から評価を実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・地域活性化活動評価委員会を開催し、研究成果を活用した地域活性化、中小企業への技術支援等について、前回の評価委員会等での指摘事項を踏まえた業務計画の見直しやその後の業務活動について、国民に対して提供するサービスの質の向上等の観点から評価を実施した。

## 【平成26年度計画】

- ・PDCA サイクルによる自己改革を継続的なものとするために、研究ユニットと評価部との意見交換を年度の早期に実施する。
- ・研究ユニット評価委員会に、当該研究ユニットに関連する研究ユニット長が出席することを引き続き実施し、研究ユニット評価の効果的な活用を図る。

## 【平成26年度実績】

- ・PDCA サイクルによる自己改革を継続的なものとするために、平成25年度に評価を実施した研究ユニットと評価部とで、評価結果の重要な指摘事項等についての意見交換を8月までに実施した。また、研究ユニット評価委員会に、関連する他の研究ユニット長等が出席して評価委員と研究ユニットの質疑応答を傍聴す

ることを促し、評価の効果的な活用を図った。

## 【平成26年度計画】

- ・研究評価を実施している外部機関との意見交換、及び国内外の評価関連学会やセミナーに参加し、次期中期目標期間における当所の研究ユニット評価を実施するために必要な事項について、情報収集を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・外部機関と研究評価に関して意見交換を行うとともに、米国評価学会や研究・技術計画学会等国内外の評価関連学会やセミナーに参加した。また、国の審議会等に参加して次期中長期目標期間における評価について情報収集を行った。

## 【第3期中期計画】

- ・平成22年度末までに秋葉原事業所を廃止し、職員の配置を見直すとともに、業務の効率化を図る。

## (2) 研究機器や設備の効率的な整備と活用

## 【第3期中期計画】

- ・新たな事業所やサイト等の研究拠点を設置する場合は、現状の基幹設備状況や拠点設備等の汎用性を踏まえるとともに、省エネルギーの推進、類似の研究領域に係る施設を極力近接して配置するなど経済性、効率性を考慮した施設整備に努める。研究開発の進捗状況に応じて、無駄なく必要な研究スペース等を確保するものとする。また、研究開発の終了時には、施設の有効活用のための検討を行い、その上で施設の廃止又は不用資産の処分が適切と判断された場合は速やかに実施する。

## 【平成26年度計画】

- ・「福島再生可能エネルギー研究所」において実施する「グローバル認証基盤整備事業（大型パワーコンディショナ）」について、適切な工事監理・監督を行い、事業計画を達成しうる施設の整備に着手する。

## 【平成26年度実績】

- ・「グローバル認証基盤整備事業（大型パワーコンディショナ）」について、計画通り土地の取得（平成26年9月）、設計を完了（平成26年11月）し、工事に着手した。

## 【平成26年度計画】

- ・研究拠点の再構築及び老朽化対策として実施する改修工事においては、経済性を考慮しつつ、エネルギー効率の高い、環境負荷と施設運用コストを低減できる、汎用性の高い施設・設備を設計し、工事に着手する。

## 【平成26年度実績】

- ・研究拠点の再構築として、北海道、東北、つくば、関

西、九州の各センターにおいて、経済性を考慮しつつ、エネルギー効率の高い、環境負荷と施設運用コストを低減できる、汎用性の高い施設・設備を設計し、工事を完了した。(北海道：平成27年3月、東北：平成26年10月、つくば：平成27年2月、関西：平成27年3月、九州：平成26年8月)

【平成26年度計画】

- ・効率的な配置及び研究スペースの集約化を進めるとともに、利用率の低い建物を計画的に閉鎖する。また、閉鎖が決定された建物について、予算状況を勘案しながら解体・撤去を進める。

【平成26年度実績】

- ・効率的な配置及び研究スペースの集約化を進めるとともに、利用率の低い建物について、30棟17,508m<sup>2</sup>を閉鎖し、閉鎖決定された建物について、30棟8,999m<sup>2</sup>の解体撤去を完了した。

【平成26年度計画】

- ・省エネルギー性が高く、安全性が確保された施設の整備を推進する。

【平成26年度実績】

- ・施設整備に際しては審査を実施し、省エネルギー性、安全性が確保された施設を整備した。

【平成26年度計画】

- ・状況に即した効果的な施設整備が可能となるよう、新たな産総研施設整備計画を策定する。

【平成26年度実績】

- ・状況に即した効果的な施設整備を実現するため、施設設備毎に耐用年数や設置年順に取りまとめた「施設整備計画 平成26年度版」を策定した。

【平成26年度計画】

- ・スペースデータベースに部屋仕様情報を追加し、部屋仕様に応じた適正なスペース利用を推進する。また、スペース有効活用審査委員会を毎月開催し、スペース配分及びスペースに関する方針決定に迅速に対応し、引き続きスペースの有効活用を推進する。

【平成26年度実績】

- ・スペースを有効活用するため、管理監・地域センター所長による年2回の巡視を実施した。また、スペース有効活用審査委員会を毎月開催し、スペース配分及びスペースに関する方針決定に迅速に対応し、効率的な研究スペースの確保及びスペースの有効活用を推進した。

【第3期中期計画】

- ・産総研が保有する研究人材及び研究開発で活用する最先端の研究機器、設備等を社会と共有するための拠点

(先端機器共用イノベーションプラットフォーム)の体制整備を行うとともに公開設備の範囲の拡大を行う。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度12月から SCR を皮切りにスタートした約款に基づく共用施設利用制度を IBEC の施設群に拡張するためのシステム構築を行い、装置・施設の外部公開を統一的に行う体制を確立する。さらに装置の所内共用についても共用施設調整室が担当する体制を整え、研究機器・施設の外部・内部利用を明確に区別しつつ促進する。

【平成26年度実績】

- ・約款に基づく共用施設利用制度を IBEC の施設群に拡張するため、共用施設管理システムを高性能のサーバーに移転させ、約款 共用施設等利用制度手続き進捗状況管理システムおよび共用施設等利用制度利用申込書作成支援システムを新たに構築し、装置・施設の外部公開を統一的に行う体制を確立した。また、約款制度に関して他の部署と詳細な打ち合わせを行い、共用施設調整室が担当する領域を明確にし、研究機器・施設の外部・内部利用を区別し運営を行った。

3. 職員が能力を最大限発揮するための取組

- (1) 女性や外国人を含む優秀かつ多様な人材の確保及び育成

【第3期中期計画】

- ・研究職については、研究活動に活力を与える任期付研究職員制度を持続的に発展させるために、多様な人材の確保に配慮しつつ、若手研究員の採用を促進する新たな制度を導入するなど、採用制度の見直しを行う。

【平成26年度計画】

- ・研究職員については、第3期中の施策を検証しつつ、採用方法から入所後のキャリアパス等についてのより柔軟な制度設計をはじめ、次期中期計画期間向けて優秀かつ多様な人材を積極的に確保するための方策の検討を行う。

【平成26年度実績】

- ・第3期の実績と評価を検証し、第4期研究職員採用計画を決定した。第4期では、パーマメント化を前提とする採用(テニュアトラック型とパーマメント型)と、前提としない採用(プロジェクト型任期付)に分けて実施することとした。前者ではテニュアトラック型を主体とするが、応募者の実績・能力に応じて、適宜パーマメント型での採用を可能とするフレキシブルな制度設計を行うとともに、後者では任期付年俸制を導入することとした。

【第3期中期計画】

- ・事務職については、産総研で求める人物像及び専門性を明確にした上で採用活動を実施し、優秀な人材確保に努める。また、特別な専門知識を必要とする特定の業務については、民間経験等を有する者の中途採用を積極的に推進する。

【平成26年度計画】

- ・全国の主要大学等の就職説明会や企業合同説明会へ積極的に参加し、産総研の存在と魅力を効果的に広く伝え、志望度向上に繋げるための採用活動を行い、優れた資質や能力を有する多様な人材の確保に努める。

【平成26年度実績】

- ・全国の主要大学の就職説明会（計19回）及び企業合同説明会（計10回）に参加した。特に主要大学での説明会においては文系の学生に焦点を当て研究所で働く事務職員の役割とその魅力について積極的にアピールを行った。
- ・多様な人材の確保のため、平成26年度新卒採用者試験を、従来の筆記試験と面接試験からなる選考方法から、面接試験に重点を置く選考方法に変更した。

【平成26年度計画】

- ・特別な専門知識が必要な特定の業務を行う部署については、引き続き即戦力が必要な業務を調査し、中途採用制度も活用する等により適切な人材の確保に努める。
- ・事務系契約職員等の職員登用制度（地域型任期付職員）については、引き続き適切な実施に努める。

【平成26年度実績】

- ・施設管理業務（電気主任技術者）1名、ファシリティマネジメント（研究施設管理）業務1名、情報システム基盤業務1名、つくばイノベーションアリーナ拠点の施設維持・運営業務について3名を特定業務任期付職員として採用した。
- ・地域型任期付職員（事務系契約職員等の職員登用制度）については、7名採用内定した。
- ・平成27年4月以降に採用する者について、地域型任期付職員の採用予定数の増加及び応募可能な契約職員の区分の拡大を行った。

【第3期中期計画】

- ・定年により産総研を退職する人材については、関係法令を踏まえて、第2期に引き続き再雇用を行っていく。

【平成26年度計画】

- ・定年退職者について、経験豊かな職員を適切な部署で登用するとともに、シニアスタッフ制度を活用した再雇用を行う。

【平成26年度実績】

- ・組織への貢献度が高い職員又は研究業績の極めて著しい職員は引き続き研究ユニットでの再雇用を行うこと

とした。また、本部・事業組織において高い専門性・経験を生かして特定業務を担える者については引き続き再雇用、その他についてはシニアスタッフ制度を活用して求人を募り再雇用を希望する者との面談等によりマッチングを行い再雇用を行った。

【第3期中期計画】

- ・人材の競争性、流動性、及び多様性をより一層高めるとともに、最適な研究者の構成、知財戦略の推進やベンチャー創出あるいは研究マネジメント等の分野における専門的な人材の活用を図るため、第3期中期目標期間において、第2期中期目標期間にまとめた人材開発戦略会議の報告の内容を具体化しつつ、新たな中長期的な人事戦略としてまとめる。また、それに応じた人事システム、研究者の評価システムやキャリアパスの見直しを行うものとする。

【平成26年度計画】

- ・平成24年6月21日付で理事会決定した「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について（中間とりまとめ）」について、実施された各措置について、適切な運用を継続するとともに、第4期中期計画の策定に向けて、研究開発力強化法の改正等に伴う内外の動向を踏まえながら、人材の競争性、流動性、及び多様性を高めるための人事制度のあり方について、引き続き検討を行う。

【平成26年度実績】

- ・平成24年6月21日付理事会決定「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について（中間とりまとめ）」に基づき、下記措置を続行した。

1) 上級主任研究員の発令

研究職員の役職等の見直しに基づき、研究職5級で役職が主任研究員の者（審査対象者77名(辞退者52名含))について、業績審査及び研究統括、副研究統括による面談を実施し、平成24年度に新設した上級主任研究員への推薦候補者を決定し、10月1日付で発令を行った(11名)。

2) 専門的な業務を担う人材の確保

施設管理業務（電気主任技術者）について1名、ファシリティマネジメント（研究施設管理）業務について1名、情報システム基盤業務について1名、つくばイノベーションアリーナ拠点の施設維持・運営業務について3名を特定業務任期付職員として採用した。

3) 管理職員の明確化

事務職員について平成24年度に明確化した管理職員と非管理職員の区分に従い、役職異動時に管理監督者等の指定と解除を通知した。

4) 事務職員に係る役職定年制の実施

事務職員に係る役職定年制により、10月1日付で25名の対象者に対してキャリア主幹の発令を行った。

## 5) 事務系契約職員等に対する職員登用

地域型任期付職員として、平成26年4月1日付で5名を採用した。また、7名の平成27年度採用予定者を内定した。

- 平成26年4月から産総研が行う研究開発プロジェクトに優秀な学生の参画を促進するため、技術研修員のうちの大学院生をリサーチアシスタントとし雇用する制度を創設した。
- 優れた技術シーズと人材を取り込むため、平成26年11月1日より、複数の機関で同時に研究等に従事することを可能とするクロスアポイントメント制度を導入し、平成26年11月1日付で1名を外部機関から受け入れ、平成26年12月1日付で1名を産総研から派遣した。
- 第4期中長期計画より、研究業績、成果により給与を弾力的に設定することができる任期付職員における年俸制を導入すべく、制度設計などの準備を行った。

## 【第3期中期計画】

- 男女や国籍などの別にかかわらず個人の能力を存分に発揮できる環境の実現を目指し、共同参画を推進する。研究系の全採用者に占める女性の比率について第3期中期目標期間終了時まで第2期実績を上回る15%以上を確保し、更なる向上を目指す。また、外国人研究者の採用については、研究セキュリティをはじめコンプライアンスの観点に留意しつつ、積極的な採用に努める。

## 【平成26年度計画】

- ワーク・ライフ・バランス支援及びキャリア形成支援を進めるとともに、介護支援に関して平成25年度までの調査分析にもとづき、制度の周知等の方策を行う。ダイバーシティ意識の啓発及び浸透のための取り組みを継続する。

## 【平成26年度実績】

- ワーク・ライフ・バランス支援として、仕事と介護の両立のためのノウハウや介護予備軍の不安軽減に資する知識を提供するため、外部専門家及び産総研研究者による介護支援に関するセミナーを開催した（計2回）。介護関連セミナー時のアンケート調査により、さらなる介護支援への要望が多いことを明らかにし、新たに産総研「第3回次世代育成支援行動計画」の目標として介護に関する項目を設けた。また、産総研の育児介護支援に関し、次世代育成支援認定マーク「くるみん」と、仕事と介護を両立できる職場環境の整備促進のためのシンボルマーク「トモニ」を取得した。
- キャリア形成支援として、女性ユニット長を囲むロールモデル懇談会を開催し、女性の研究職および事務職によるキャリア形成討議の場を設けた。また、若手研究者のキャリア形成に向けたセミナーを開催した。外部の専門カウンセラー2名を配置し、キャリアカウ

セリングを実施した。イノベーションスクールのスクール受講生に向け、キャリアカウンセリングの紹介と希望者への体験カウンセリングを行った。

- 多様性活用（ダイバーシティ）意識の啓発及び浸透のために、グループ長等研修、中堅研究職員研修、新人研修において、ダイバーシティに関する講義を実施した（計4回）。また、7月に産総研初の女性理事を迎え、記者懇談会や広報誌「産総研 TODAY（3月号）」への情報提供を通じて、ダイバーシティの広報に努めた。

## 【平成26年度計画】

- 女性研究者の比率を高めるよう、採用に努める。
- 研究職を希望する女性向けに特化したリクルート活動として、就職情報誌等への掲載及び合同説明会へ参加し、採用応募に繋がるための活動を行う。また高い資質を有する外国人研究者の採用に引き続き努める。平成25年度の調査分析を踏まえ、引き続き外国人研究者採用・活用支援の方策を検討する。

## 【平成26年度実績】

- 理工系女子を対象とした合同説明会に参加し積極的に採用活動を行った。女性研究者の採用を促進するため、前年度と同様に各研究分野の採用担当者に対して採用プロセスにおける女性比率のデータを提示し、採用目標比率の再確認・意識喚起を行った。
- 優秀な外国人研究者の採用を推進するため、海外へ向けての広報活動や受け入れに際しての仕組み作り等について各研究分野担当者間で議論を重ねた。
- マネージメント業務における言語面の負担軽減のため、支援を希望する外国系の研究グループ長・研究チーム長へ、事務職員を補強してサポート体制の強化を図った。また、外国人研究者のニーズに効果的に対応するため、AIST インターナショナルセンター（AIC）をダイバーシティ推進室に移管するとともに、事務室をアクセスの便利な地区へ移転し、情報交換や交流のためのスペースを設置するなど、支援の拡大を図った。

## 【平成26年度計画】

- ダイバーシティ推進のため、国、自治体、学協会及び他の研究教育機関等との協力関係を引き続き発展させていく。そのための連携体として、より開かれたダイバーシティ・サポート・オフィスを目指す。

## 【平成26年度実績】

- 文部科学省主催のシンポジウムにおいて、産総研における女性研究者支援に関する取組を報告した。つくば市の男女共同参画審議会に委員として参加し、市の男女共同参画推進基本計画の推進に協力した。研究・技術計画学会年次学術大会におけるパネルディスカッションのパネリストとして、産総研におけるワーク・ライフ・バランス支援の取組を発表した。男女共同参画推進のための外部機関との連携体であるダイバーシテ

イ・サポート・オフィス（DSO）においては、会長機関として事務局を運営し、懇話会、メーリングリスト、ニュースレター等による情報共有を行った。

#### 【第3期中期計画】

- ・高度に専門化された研究職の能力向上に重要な要素は、意識啓発と優秀な研究マネージャによる指導であり、意識啓発や自己開発スキルに重点をおいた研修を契機として自己研鑽や OJT を通じた研究能力の一層の向上を図る。研究開発マネジメント能力を高めるためには、研修での意識啓発やスキル蓄積に加えて新たなキャリアを積極的に経験させるなどの取組を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・研究職員の能力向上およびキャリアデザインを意識し、新入職員から若手、中堅、管理職層までの年齢層・各職層に対応した、階層別研修の一層の充実を図る。特に中堅以降の研究職員に対する研修について、さらなる効率化と高度化を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・研究職員の能力向上及びキャリアデザインを意識し、平成26年度には、9の階層別研修を実施した。特に中堅以降の研究職員については、従来45歳と40歳の中堅研究職員を対象に実施してきたリーダーシップ研修を、40歳の中堅研究職員のみを実施することとし、その上で、リーダーシップ研修にコーチングの内容を加えることで、カリキュラムの効率化と高度化を図った。また、45歳を対象とした中堅研究職員研修については、リーダーシップ研修の内容をさらに充実させたモチベーション向上を目的とするキャリアマネジメント研修を実施した。

#### 【第3期中期計画】

- ・研究支援業務における業務の専門性の深化に対応して、職員の専門性の蓄積を図るための研修（知財、ベンチャー、産学官、財務、能力開発など）やスキルアップのための研修（簿記、民法など）などを実施する。また、実際の産学官連携活動等の場での若手職員の OJT など、産業界との連携を牽引できる人材育成の仕組みを構築し、産学官連携、国際標準化、知財管理等をマネージすることができる人材の育成に努める。

#### 【平成26年度計画】

- ・産業界との連携を牽引できる能力の養成や業務の効率化を図るために OJT による若手職員の育成を行うとともに、指導者層への研修等で、育成支援の一層の充実に努める。

#### 【平成26年度実績】

- ・新規採用職員の育成目標と育成計画に基づく指導の実施に加えて、年4回の面談レポート提出実施により

OJT リーダーによる新規採用職員の能力養成の徹底を図った。さらに、新規主査研修における OJT の紹介のほかに、指導者層である室長・室長代理への研修にリーダーシップ・コーチングの講義・演習を組み込み、実践的な指導方法を学ぶ機会を設けることで、若手職員の育成支援の充実を図った。

#### 【平成26年度計画】

- ・職員の専門性の蓄積及び自己のスキルアップのため引き続きプロフェッショナル研修を実施するとともに、事務職員に対する研修の一層の高度化、効率化を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・専門性やスキル習得のため、引き続き「成果活用人材育成研修」や若手研究員を対象とした英語論文執筆、英語学会発表、研究資金獲得、などのプロフェッショナル研修を実施した。また、事務職員の専門性と研究業務への理解を深めるため、学会発表等の英語研修については、研究職員と事務職員の合同実施を開始し、高度化と効率化を図った。さらに経営やマーケティングを学ぶ「マネジメント研修」、言語スキルを学ぶ「言語技術研修」を開始し、研修内容を充実（10講座、延べ1,263名受講）させた。

#### 【第3期中期計画】

- ・複数の研究成果を統合して「製品化」につなげる人材の育成においては、職種の別なく広範な育成研修を実施し、意識啓発とスキルアップを図る。

#### 【平成26年度計画】

- ・「製品化」につながる研究開発スキルの向上を図るべく、企業における製品化の事例や企業連携に関わる内容を盛り込んだ階層別研修を実施する。

#### 【平成26年度実績】

- ・階層別研修において、次の研修を実施した。
  - 1) 中堅研究職員研修Ⅰ及びⅡにおいて、企業での研究開発経験者および産総研内の企業連携を行っている研究者からの講義を取り入れた。
  - 2) 若手研究員初期研修及びフォローアップ研修において、「製品化」に向けた意識啓発として、本格研究についての講義と演習を実施した。
  - 3) 若手研究員・若手事務職員地域センター研修においては、職種の別なく地域センターにおける産学官連携活動についての見学、講義、討論をおこない意識啓蒙を行った。

#### 【第3期中期計画】

- ・職員の専門性向上のため、内部での研修、外部への出向研修を積極的に実施し、毎年度300名以上の職員が研修を受講するよう努める。

【平成26年度計画】

- ・平成26年度も引き続き、成果活用人材育成研修やスキルアップ自己研鑽研修等、プロフェッショナル研修を実施するとともに、職員のニーズや社会情勢等を踏まえ、必要に応じてカリキュラムを見直し、効率的で高い効果が得られる研修を実施する。また、省庁等が行う外部研修への積極的な参加を促す。

【平成26年度実績】

- ・論文数増加という所内ニーズやニーズに合致した研究という社会情勢を踏まえ、プロフェッショナル研修の見直しを行い、論文や議論の基本となるスキルを学ぶ言語技術研修と経営やマーケティングを学ぶマネジメント研修を開始した。平成26年度には前述の言語技術、マネジメント研修に加え、成果活用人材育成研修等、合計10講座のプロフェッショナル研修を実施し、同研修には合計で延べ1,263名が参加した。内外の研修を合わせると1,302名の職員が研修を受講した。

【第3期中期計画】

- ・共同研究や技術研修の実施に伴う外部研究員の受け入れ及び産総研研究員の外部派遣などにより、外部人材との交流を通じた研究水準の向上及び研究成果の産業界への円滑な移転を推進するとともに、産業界や学会との人事交流並びに兼業も含む産総研からの人材の派遣等も実施する。

【平成26年度計画】

- ・共同研究、外来研究員、技術研究組合及び技術研修等の制度を活用した外部人材の受入を推進し、研究成果の効率的な移転に努める。また、共同研究制度や連携大学院制度、委員の委嘱、依頼・受託出張、産総研コンソーシアム、兼業等の制度を活用した人材の相互交流を積極的に実施する。

【平成26年度実績】

- ・共同研究の派遣研究員（2,018人）、外来研究員（1,202人）、技術研修員（1,449人）、技術研究組合のパートナー研究員（635人）等の外部人材を積極的に受入れた。また、委員委嘱（3,650人）、依頼・受託出張（646件）、役員兼業（25人）等の制度の活用に加え、新規の連携大学院協定の締結を行い、連携大学院制度に基づく教員委嘱（343人）などにより、大学等への人材供給を推進し、効率的な成果移転に努めた。
- ・さらに、産総研コンソーシアムを6件新設し、シンポジウムの開催等により、人材交流の促進、協力関係の強化を行った。

【平成26年度計画】

- ・兼業については、兼業先での活動及び所内での活動が適正に行われるよう、引き続き注意喚起を行うとともに、所内規程等に照らし合わせ厳正な審査を行う。

【平成26年度実績】

- ・兼業申請を滞滞なく行うよう、所内のイントラ掲示板において、注意喚起文を掲示するとともに、所内規程に照らした適時・適切な審査を行った。

(2) 職員の能力、職責及び実績の適切な評価

【第3期中期計画】

- ・個人評価制度については、産総研のパフォーマンス向上に向けた職員の意欲を更に高めることを目的として、評価者と被評価者間のコミュニケーションを一層促進し、産総研ミッションを反映した中長期的視点を含んだ職員個々人の目標設定とその達成へのきめ細かな助言などを通じた効果的な活用を図る。研究活動のみならず成果普及活動を含めた産総研のミッション実現への貢献度や、職務遂行能力等を発揮した研究や業務運営の円滑化への貢献度等をより適切に評価できるよう見直しを行う。

【平成26年度計画】

- ・昇格審査対象者の内、特に若手研究者については、積極的な申請を促すよう運用を図る。また評価制度の更なる改善に向けた検討、所要の修正を行う。

【平成26年度実績】

- ・長期評価対象の若手研究者に対し、所属ユニット長から積極的な申請の指導を実施した。
- ・第4期に向けた個人評価制度の見直しを次のとおり実施した。
  - 1) 「橋渡し」実現のための組織の取り組みに対する貢献を、重要な個人業績に位置付け。
  - 2) 研究管理・支援業務に従事する職員の個人評価の枠組みの整理。
  - 3) 研究センターに所属する研究職員が全て研究部門にも所属することにより、研究部門長が、研究センターに所属する研究職員の長期評価を行い、キャリアパスについて指導する責任を有することとする。
  - 4) 業績手当（短期評価）の査定財源を拡大し、領域長によるユニット評価査定を新設。
- ・事務職員（1級）の長期評価の在級年数を見直した。

【第3期中期計画】

- ・職員の職種や業務の性格等を勘案した上で、個人評価結果を業績手当や昇格等に、より適切に反映させるよう適宜見直しを行うとともに、職責手当の見直しを含め、職員の能力、職責及び実績をこれまで以上に給与に適切に反映するように検討する。

【平成26年度計画】

- ・平成24年6月21日付で理事会決定した「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善に



ついて（中間とりまとめ）」に基づき運用を開始した制度について、適切な運用を継続するとともに、必要に応じて適宜見直しを実施する。

【平成26年度実績】

- ・研究職員の役職等の見直しに基づき、研究職5級で役職が主任研究員の者（審査対象者77名(辞退者52名含))について、業績審査及び研究統括、副研究統括による面談を実施し、平成24年度に新設した上級主任研究員への推薦候補者を決定し、10月1日付で発令を行った(11名)。
- ・事務職員に係る役職定年制により、10月1日付で25名の対象者に対してキャリア主幹の発令を行った。

【再掲】

4. 国民からの信頼の確保・向上

(1) コンプライアンスの推進

【第3期中期計画】

- ・定期的な研修及びセルフチェック等の実施を通して、参加型コンプライアンスを推進し、役職員等の意識向上を図るとともに、リスク管理活動などの取組において、PDCA サイクルを有効に機能させることにより、全所的なコンプライアンスの徹底を図る。

【平成26年度計画】

- ・全職員等のコンプライアンスに対する意識向上に向け、新規採用職員研修をはじめとする各種職員向け研修、セルフチェックの実施等によって、参加型コンプライアンスの推進を図る。

【平成26年度実績】

- ・参加型コンプライアンスの推進を図るため、新規採用職員、グループ長等を対象にコンプライアンスに関する研修を実施した。また、役職員等を対象としたコンプライアンスセルフチェックについては、e-ラーニング研修の実施と重なることから、平成27年度に実施することとした。
- ・研究不正の防止のため、「研究ミスコンダクトへの対応に関する規程」を見直すとともに、研究ノートの使用、管理体制を整備するための検討を行った。また「盗用」を防ぐ仕組みとして、文書類類似度判定ツールを導入し、運用を開始した。

【平成26年度計画】

- ・所内におけるコンプライアンス推進活動の一環として、身近な事例をもとに「コンプラ便り」を作成・発信し、職員等のコンプライアンスに関する理解向上に努める。

【平成26年度実績】

- ・所内におけるコンプライアンス推進活動の一環として、「コンプラ便り」を年度内に5回作成し、イントラへ掲載して周知を図った。

【平成26年度計画】

- ・役職員が安心して産学官連携活動に取組めるよう、利益相反マネジメントを実施する。

【平成26年度実績】

- ・役職員等を対象として、年2回（上期8月、下期3月）の利益相反に係る定期自己申告を実施した。いずれも対象者全員から申告を受け、利益相反上ヒアリングが必要と認められた者に対して外部カウンセラーによるヒアリングを実施し、利益相反マネジメント委員会において全員について「現時点では利益相反上の懸念がない。」と決定した。

【平成26年度計画】

- ・これまでに蓄積された利益相反マネジメントの知見や外部有識者の意見をマネジメント手法に反映することで、効率的かつ効果的で、時宜にあったマネジメントに努める。

【平成26年度実績】

- ・産総研における利益相反マネジメントを効率的かつ効果的で時宜にあったものとするため、外部有識者からなる利益相反マネジメント・アドバイザーボードを開催して意見を聴取するとともに、利益相反に関する相談事例集をイントラに掲載することにより利益相反マネジメントに関する役職員等の理解向上に努めた。

【平成26年度計画】

- ・各部署等におけるリスク管理活動プランの策定及び自己評価等を通じ、リスク管理のPDCA サイクルを着実に遂行するとともに、リスク管理の具体的な取り組みとその自己評価をもとに、組織的なリスク管理の向上を図る。

【平成26年度実績】

- ・コンプライアンス推進本部の体制の強化のため、平成26年7月に理事長を本部長とし、副理事長及び理事2名がリスクの区分に応じて補佐する体制を導入した。
- ・平成26年7月に、顕在化したリスク情報を現場から収集し、理事長にリスク事案の報告を行い、理事長が決定した対応方針を現場に実施させるという体制を整備した。また、役員間で連絡会を月1回程度開催し、リスク事案の情報共有を図った。

【平成26年度計画】

- ・研究ユニット等との意見交換等を活用してリスク管理活動のモニタリングを行い、その結果を関係部署等にフィードバックすることにより、引き続きリスク管理活動の向上に努める。

【平成26年度実績】

- ・設立から3年目と終了予定年度（あるいはその前年度）に該当する3研究センターのリスク管理責任者等

とリスク管理活動等に関する意見交換を行い、リスク管理に対する意識や取り組み状況の把握に努めた。意見交換によって得られた知見は、今後の組織のあり方を検討するための参考資料として、研究ユニット活動総括・提言委員会等に提供した。

【平成26年度計画】

- ・産総研の業務継続計画（BCP）について、関係部署による情報共有及び課題の検討を行い、必要に応じた見直しを行う。

【平成26年度実績】

- ・BCPの実効性を確保し継続的改善を図るため、関係部署の連絡会合を開催するとともに、改善・検討の状況について取りまとめを行った。

【平成26年度計画】

- ・内部監査を行い、各組織が実施する業務の合规性、有効性及び効率性等が担保されているかの把握を行う。なお、内部監査の実施にあたっては、業務上の問題点の発見・指摘だけを目的としたものではなく、監査対象部門との相互理解のもとに業務上の課題等についての改善提案等を行う。

【平成26年度実績】

- ・内部監査の実施については、監査の必要性の高い特定のテーマ（研究環境最適化のための監査）に加え、研究ユニット単位で業務全般（調達・資産管理、労務管理、安全管理等）について書面及び実地による監査を実施し、監査を通じて把握・取得した業務の実態及び客観的データを分析・評価することにより、当該業務の合规性、有効性及び効率性を把握するとともに課題等の抽出を行った。
- ・抽出した課題等について、監査対象部門が課題等を的確に把握し、改善に向けて主体的に取り組めるよう、監査対象部門との十分な意見交換を実施し、相互理解のもとに当該部門及び制度所管部署に対して改善提案等を行った。
- ・監事及び会計監査人と連携し、各監査業務の重複を避けるとともに、内部監査の品質向上を図るために、監事及び会計監査人と十分な意見交換等を行った。

【平成26年度計画】

- ・監事監査が効率的に行えるよう監事への情報の提供等必要な支援を行う。

【平成26年度実績】

- ・監事監査が適切かつ効率的に行えるよう監事との打合せを十分に行うとともに、監査対象部門の事前情報収集、データ作成、日程調整及び監査記録作成等を行った。
- ・監事と連携し、監事監査と内部監査の実施業務の重複を避けるとともに、内部監査の品質向上を図るために、

監事と十分な意見交換等を行った。

【平成26年度計画】

- ・中東や北朝鮮等での世界情勢の変化を踏まえて、安全保障輸出管理の徹底はこれまで以上に重要との視点に立ち、所内における研修会の実施、情報提供を積極的に行うとともに、経済産業省等との連携による厳格な安全保障輸出管理を図る。

【平成26年度実績】

- ・安全保障輸出管理に関する研修として、部門等別研修、新規採用職員研修、部門等輸出管理者会議、成果活用人材育成研修を含め、14回の研修を実施した。
- ・安全保障輸出管理に関し、①技術の提供又は貨物の輸出の実績②決定事項、法令改正等の部門等内への連絡③教育④輸出管理体制⑤輸出管理手続き（該非判定）⑥輸出管理手続き（相手先の確認）⑦輸出管理手続き（用途の確認）⑧貨物の出荷管理⑨文書の保存について監査を実施した。
- ・経済産業省からの依頼による JICA 研修により、ASEAN 各国の輸出規制当局の担当者を受入れ、安全保障輸出管理についての講義等を行った。

【第3期中期計画】

- ・産総研の諸活動の社会への説明責任を的確に果たすため、保有する情報の提供の施策に関する充実を図るとともに、開示請求への適切かつ迅速な対応を行う。また、個人の権利、利益を保護するため、産総研における個人情報の適正な取扱いをより一層推進するとともに、個人情報の開示請求等に適切かつ迅速に対応する。情報セキュリティポリシーの適正な運用を継続維持し、セキュリティや利便性の高いシステムの構築を目指す。

【平成26年度計画】

- ・情報公開窓口の円滑な運用を行い、開示請求及び問い合わせ等に適切に対応するとともに、法令等により公表を義務付けられている事項について、ホームページを活用し遅滞なく公表する。

【平成26年度実績】

- ・開示請求及び問い合わせ等に対し、請求対象となった法人文書を管理する部署等との十分な調整により適切に対応した。（法人文書開示請求9件、開示等決定9件、他機関からの意見照会1件（平成27年3月末現在））
- ・公式ホームページを活用した法令に基づく情報掲載については、遅滞なく、財務諸表等の最新情報を更新した。

【平成26年度計画】

- ・個人情報保護窓口及び苦情相談窓口の円滑な運用を行い、開示請求等に適切に対応するとともに、個人情報の管理に関して、部署等が個人情報の管理をより容易

に行うことができるよう、必要となる書類の様式の見直しを行う。

【平成26年度実績】

- ・開示請求及び問い合わせ等に対し、請求対象となった保有個人情報を管理する部署等との十分な調整により適切に対応した。(保有個人情報開示請求2件、開示等決定2件(平成27年3月末現在))
- ・平成26年度新規採用職員研修において、引き続き文書管理、情報公開・個人情報保護及び情報セキュリティの観点も加えた資料で研修を実施し、部署等における個人情報の管理が容易となるよう、個人情報監査時に使用する様式の改訂を行った。

【平成26年度計画】

- ・情報セキュリティポリシーを改訂し、職員への周知活動を行うとともに、情報セキュリティポリシーを確実に運用する。

【平成26年度実績】

- ・産総研情報セキュリティ規程類について政府機関の情報セキュリティ対策のための統一基準群(平成26年度版)に準拠するための調査分析を行い、報告書を取りまとめた。
- ・産総研の役職員が漏れなく情報セキュリティ研修の受講するよう、同システムへのログイン認証と連動した「情報セキュリティ研修システム」の運用を開始した。

【平成26年度計画】

- ・基幹業務システムを更新し、関西センターに災害対策システムを導入する。

【平成26年度実績】

- ・基幹業務システムを更新し、より安定した基幹業務システムサービスを提供した。また、関西センターに災害対策システムを導入し事業継続性の確保及び重要な業務データの保護対策を実現した。

【平成26年度計画】

- ・ネットワーク機器が未更新の地域センターにおいて、機器の入替えを実施する。
- ・TV会議システムを更新し、安定的かつ効率的な運用を行う。
- ・次期電話システムについて、平成27年4月切り替えに向けた導入作業を行う。
- ・次期ネットワークシステム導入作業を行い、平成27年度からの本運用につなげる。

【平成26年度実績】

- ・ネットワーク機器が未更新の地域センターにおいて、老朽化した機器の入替えを実施し、安定したネットワークの提供が可能となった。
- ・TV会議システムを更新し、多地点接続装置の機能向上とTV会議端末機種を統一を行った。これにより

TV会議の高画質化(ハイビジョン)及び音声感度が向上し、多地点TV会議の安定かつ効率的な運用が可能となった。

- ・次期電話システムについて、平成27年度4月切り替えに向けた導入作業を行った。これにより、大地震時等に使用できる優先電話番号の設定、監視機器を増やしたことによる故障機器への早期対応が可能になるなど、緊急時の対応が強化される予定。
- ・次期拠点間ネットワークシステムについて、平成27年度からの本運用に向けた導入作業を実施し、引き続き産総研における安定した拠点間ネットワークの運用が可能となった。

(2) 安全衛生及び周辺環境への配慮

【第3期中期計画】

- ・事故及び災害等の発生を未然に防止するため、PDCAサイクルによる継続的な安全管理活動を推進するとともに、安全衛生管理体制の維持強化を図り、業務を安全かつ円滑に遂行できる快適な職場環境づくりを進める。

【平成26年度計画】

- ・事故及び災害等の発生を未然に防止するため、「環境安全マネジメントシステム」の運用を推進する。より実効的なシステムの運用を図るとともに、各事業所及び地域センター間の運用レベルの均一化及びレベルアップを図る。また、事故報告やヒヤリハット報告から得られる情報を分析し、再発防止策を充実させ、事故件数の低減及び人的被害の最小化を図る。

【平成26年度実績】

- ・今年度より、危険薬品及び高圧ガス(危険薬品等)を取り扱う全職員に対して所内安全研修の受講を義務化するとともに、法令の定めによらず、一定量以上の危険薬品等を管理又は取り扱う全職員に対して、危険物取扱者、高圧ガス製造保安責任者などの免状の取得を義務化した。
- ・毎朝、管理監、地域センター所長等による安全報告会を開催し、所内で発生した事故及びヒヤリハット情報の共有を図った。報告内容のとりまとめと、それらの分析結果及び再発防止策を所内イントラネットへ掲載するとともに、毎月開催する全国総括安全衛生管理者補佐会議を通じて所内に周知した。職員等事故は平成25年度より12件減少し(合計40件)、うち、人的被害事故件数は平成25年度を6件下回る23件であった。
- ・全事業所及び地域センターにおいて運用している「環境安全マネジメントシステム」について、安全管理担当者が事務局等として参加し、内部監査を実施した。また、全国安全衛生管理担当者会議において実効的な運用について意見交換を行った。

【平成26年度計画】

- ・ライフサイエンス実験管理業務においては、倫理・安全に関する7つの既存委員会の運営及びヒト由来試料実験、組換え DNA 実験、動物実験、生物剤毒素使用実験の实地調査を継続して実施する。また、外部有識者による講演会等を開催し、倫理・安全面の確保を図るとともに、最新の法・技術等情報を収集し、その対策、周知等を図る。

【平成26年度実績】

- ・研究所におけるライフサイエンス実験に関して、倫理面及び安全面から実験計画内容を審議する委員会を15回開催（持ち回り審査を除く）するとともに、ヒト由来試料実験、組換え DNA 実験、動物実験及び生物剤毒素使用実験の实地調査を実施した。
- ・ライフサイエンス実験に係る実験責任者及び実験従事者に対し、e-ラーニングによる教育訓練を行うとともに、外部有識者によるヒト倫理に関する教育訓練講習会を開催した。

【平成26年度計画】

- ・放射線関連行政の動向に関する情報収集及び法令遵守状況の現地調査等を実施するとともに、各事業所及び地域センターとの連携により、適切かつ一元的な放射線管理体制を維持・推進する。

【平成26年度実績】

- ・各事業所について放射線関連の法令順守状況の現地調査を本年度初めに実施（対象施設11事業所）し、不適切な事項が無いことを確認した。軽微な課題点についてはフォローアップ調査を実施し、適切に改善されたことを確認した。また、各事業所の放射線業務従事者、エックス線装置使用者等の一元管理を引き続き行うとともに、登録申請をさらに効率化するため、システム改修及びエックス線障害予防要領改訂に向けた作業を行った。

【平成26年度計画】

- ・放射線管理業務の更なる効率化を目指し、不要になった核燃料施設の廃止及び防護対象核燃料物質の外部移管の完了を目指すとともに、不要となった放射線関連施設の廃止を引き続き推進する。

【平成26年度実績】

- ・核燃料物質の集約化に伴って不要となった4事業所（第3事業所、西事業所、関西センター、四国センター）の核燃料施設を廃止した。また、防護対象核燃料物質の外部移管を完了した。さらに、つくば中央第6事業所及び北海道センターの放射線関連施設を廃止した。

【平成26年度計画】

- ・原発事故由来放射性物質に関連する研究について、引

き続き法令遵守や放射線安全管理面から支援する。

【平成26年度実績】

- ・東京電力福島第一原子力発電所内での廃炉関連技術に関する研究について、法令に基づく個人の被ばく管理、及び研究現場での安全管理体制の確認を実施した。

【第3期中期計画】

- ・研究活動に伴い周辺環境に影響が生じないように、PDCA サイクルによる環境配慮活動を推進するとともに、活動の成果等を環境報告書として取りまとめ毎年公表する。

【平成26年度計画】

- ・環境配慮活動を推進するため「環境安全マネジメントシステム」を効率的に運用し、特に、環境への影響が大きい環境事故防止対策の強化を図る。

【平成26年度実績】

- ・「環境安全マネジメントシステム」の運用を推進し、特に、有害物質の漏えい・流出を想定した緊急事態時対応訓練をつくばセンターの7事業所及び3地域センターで実施し、環境事故防止対策の強化を図った。
- ・環境事故を防止するため、スクラバー数の削減を図るとともにスクラバー貯留槽に防液堤を設置した。

【平成26年度計画】

- ・引き続き、環境配慮活動の取組及び実績について、「産総研レポート」として公表する。

【平成26年度実績】

- ・環境配慮の取組及び実績について、環境報告に社会性報告を合わせ、「産総研レポート 社会・環境報告 AIST Report 2014」として公表した。特に、環境トピックスとして新設された福島再生可能エネルギー研究所の施設面からの省エネルギーへの取組みや、地球温暖化対策として温室効果ガス排出量削減の取り組みについて紹介した。

【第3期中期計画】

- ・産総研全体としてのエネルギー消費、温室効果ガス排出についての実情分析を行い、現状を定量的に把握する。当該分析結果を活用し、エネルギー多消費型施設及び設備の省エネルギー化を推進するとともに、高効率の機器を積極的に導入することにより、エネルギーの削減を図る。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、夏季の電力ピークカットに貢献する。

【平成26年度実績】

- ・夏季の電力ピークカットに貢献するため、輪番休暇の実施、負荷分散運転等の対策を講じることで、節電目

標を達成した。(平成22年度比、つくばセンター：12%減、地域センター：4-18%減)

### Ⅲ. 財務内容の改善に関する事項

#### 1. 予算（人件費の見積もりを含む）

平成26年度決算報告書によって明示する。

#### 【第3期中期計画】

(参考)

[運営費交付金の算定ルール]

毎年度の運営費交付金（ $G(y)$ ）については、以下の数式により決定する。

$$G(y) \text{ (運営費交付金)} \\ = [ \{ (Aa(y-1) - \delta a(y-1)) \times \beta + (Ab(y-1) \times \varepsilon) \} \times \alpha a + \delta a(y) ] + [ \{ (Ba(y-1) - \delta b(y-1)) \times \beta + (Bb(y-1) \times \varepsilon) \} \times \alpha b \times \gamma + \delta b(y) ] - C$$

- ・  $G(y)$  は当該年度における運営費交付金額。
- ・  $Aa(y-1)$  は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち一般管理費相当分のA分類人件費相当分以外の分。
- ・  $Ab(y-1)$  は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち一般管理費相当分のA分類人件費相当分。
- ・  $Ba(y-1)$  は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち業務経費相当分のA分類人件費相当分以外の分。
- ・  $Bb(y-1)$  は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費※のうち業務経費相当分のA分類人件費相当分。
- ・  $C$  は、当該年度における自己収入（受取利息等）見込額。

※ 運営費交付金対象事業に係る経費とは、運営費交付金及び自己収入（受取利息等）によりまかなわれる事業である。

- ・  $\alpha a$ 、 $\alpha b$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\varepsilon$ については、以下の諸点を勘案した上で、各年度の予算編成過程において、当該年度における具体的な係数値を決定する。

$\alpha a$ （一般管理費の効率化係数）：毎年度、平均で前年度比3%以上の削減を達成する。

$\alpha b$ （業務経費の効率化係数）：毎年度、平均で前年度比1%以上の効率化を達成する。

$\beta$ （消費者物価指数）：前年度における実績値を使用する。

$\gamma$ （政策係数）：法人の研究進捗状況や財務状況、新たな政策ニーズや技術シーズへの対応の必要性、独立行政法人評価委員会による評価等を総合的に勘案し、具体的な伸び率を決定する。

- ・  $\delta a(y)$ 、 $\delta b(y)$  については、新規施設の竣工に伴

う移転、法令改正に伴い必要となる措置、事故の発生等の事由により、特定の年度に一時的に発生する資金需要について必要に応じ計上する。 $\delta a(y-1)$ 、 $\delta b(y-1)$  は、直前の年度における  $\delta a(y)$ 、 $\delta b(y)$ 。

- ・  $\varepsilon$ （人件費調整係数）

#### 2. 収支計画

平成26年度貸借対照表及び損益計算書によって明示する。

#### (1) 運営費交付金及び外部資金の効果的な使用

#### 【第3期中期計画】

- ・ 産総研の限られたリソースを有効に活用し、相対的に優先度が低い研究プロジェクトにリソースを割くことがないよう、外部資金の獲得に際しての審査に当たっては、以下の点に留意するものとする。
- ① 外部資金の獲得に当たっては、それによる研究開発と実施中の研究開発プロジェクト等との関係・位置付けを明確にするとともに、産総研のミッションに照らして、産総研として真に優先的、重点的に取り組むべき研究開発とする。
- ② 特定の研究者に過剰に資金が集中することや他の研究開発課題の進捗よくに悪影響を与えることがないよう研究者の時間配分を的確に把握、管理する。

#### 【平成26年度計画】

- ・ 研究テーマデータベースシステムを活用して、研究開発に対する研究者の取組状況を把握し、外部資金を獲得して優先的に実施する研究テーマと、運営費交付金で重点化して実施する研究テーマを見極めた効率的な運営費交付金事業を実施する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ 研究テーマデータベースシステムを活用して、研究職員の研究開発への取組状況を把握、管理すると共に、外部資金で行う研究開発が産総研のミッションに照らして、優先的、重点的に取り組むべきものになるよう、外部資金獲得に際しての審査を継続して行った。また、運営費交付金事業としてグリーンイノベーション、ライフイノベーション等の社会ニーズを見据え、産総研のコア技術に連携、知財、標準化の戦略的な取り組みを絡め、将来の外部資金獲得が見込めるテーマを募集し、所内審査を経て戦略予算事業として必要な予算を配賦した。

#### 【第3期中期計画】

- ・ 外部資金による研究開発が産総研の研究開発活動にどのように寄与、貢献しているのか、個々の外部資金の性格に応じて、その有効性を定期的に検証し、その結果を踏まえ、外部資金の獲得による研究開発の在り方

について、一層の効率化、重点化の観点から、所要の見直しを行うものとする。

【平成26年度計画】

- ・研究テーマデータベースシステム等を活用して、外部資金による研究開発が産総研の研究開発活動にどのように寄与、貢献しているのか、外部資金の種類ごとの検証を行う。加えて、産総研の活動や研究成果生成への寄与が明らかでない研究開発については所要の見直しを行う。

【平成26年度実績】

- ・研究テーマデータベースシステムを活用して、外部資金による研究開発が産総研の研究開発活動にどのように寄与、貢献しているのか、論文数と外部資金による研究の関連を検証した。
- ・資金提供を伴う共同研究は、資金提供を伴わない場合に比べ、より多くの研究成果が発表されていることを見出した。今後は、より企業ニーズに即した研究課題の提案や担当研究者のコスト意識の醸成等を通じて、資金提供を伴わない共同研究を減少させていく方向性を打ち出すこととした。

【第3期中期計画】

- ・産総研の事業について、個々の目的や性格に照らして、運営費交付金で行う研究と外部資金で行う研究との研究戦略上の位置づけを一層明確化するとともに、民間企業における自社内研究テーマと産総研に期待する共同研究ニーズの的確な把握のための体制整備等を行う。

【平成26年度計画】

- ・個々の研究の目的や分野に照らして、運営費交付金で行う研究と外部資金で行う研究との研究戦略上の位置づけの一層の明確化を目指し、研究テーマデータベースシステムを活用して研究戦略と各研究テーマの関連と年度推移の分析を行う。

【平成26年度実績】

- ・研究テーマデータベースシステムを活用して、運営費交付金で行う研究と外部資金で行う研究それぞれの研究テーマについて、研究戦略との関連付けを行い、成果発表や予算額の年度推移分析を行った。
- ・民間企業の自社内研究テーマを FS や試作品作成などの支援により産総研との大型共同研究に結びつける資金提供型共同研究獲得支援事業（カタバルト事業）については、本格的に実施し、大型共同研究の創出を図った。加えて、イノベーションコーディネータらが収集・把握した企業ニーズを集約・解析し、ニーズに合ったソリューションの提案を行った。

【第3期中期計画】

- ・大型の外部資金の獲得に当たっては内部の人材を広く

集積させる組織体制を構築し、所内のプロジェクト責任者を中心として体制を組む。また、外部資金の獲得の際には、特に民間資金の場合は産総研のこれまでの投入資源を踏まえてユニット内で決定する。

【平成26年度計画】

- ・平成26年度においても、プロジェクト責任者を中心とした体制により大型の外部資金の獲得に努めるとともに、民間資金については、これまでの投入資源を踏まえつつ、研究ユニットの連携研究及び技術移転推進テーマを発展させて獲得を図る。

【平成26年度実績】

- ・25の技術研究組合に参画し、26の大型外部資金プロジェクトを推進した。うち10の大型外部資金プロジェクトについては、産総研研究員がプロジェクトリーダーを務める研究開発を実施した。また、民間企業等との連携においては、これを継続的かつ密接にするために、イノベーションコーディネータ等で企業別専属チームを編成し、企業ニーズの収集を行い、ニーズに合ったソリューションの提案を行った。

(2) 共同研究等を通じた自己収入の増加

【第3期中期計画】

- ・企業との共同研究などの促進のための外部資金の獲得に対するインセンティブ、国益に沿った形での海外からの資金獲得、研究施設の外部利用等の際の受益者負担の一層の適正化等の検討を行う。

【平成26年度計画】

- ・「人」や「場」等の産総研のリソースを活用する形で実施される外部資金による研究規模の拡大を図るため、共同研究が促進されるよう企業等との連携において加速が必要な研究課題に対し、重点的な支援を行うとともにインセンティブ制度の改善を図る。また、国益に沿った海外からの資金の受入及び研究施設の外部利用等の際の受益者負担に係る制度改善等の一層の適正化に向けた検討を引き続き実施する。

【平成26年度実績】

- ・海外を含む外部機関からの研究資金受入や研究施設の外部利用に関する制度等の外部との連携推進の検討とあわせて、共同研究・受託研究、人材の受入、技術研究組合参画研究に関する所内インセンティブ制度の拡充を図り、外部資金獲得および技術研究組合参画研究に対するインセンティブの配賦を80%の配分率で引き続き実施した。

【第3期中期計画】

- ・産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針を策定し、コアとなる技術に加え、その周辺技術や

応用技術についても戦略的に特許を取得することで効果的に技術移転を行う。また、成果移転対価の受領方法を柔軟化する。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研技術の社会普及を促進するため、産総研として取得し管理すべき知的財産権に関する方針（産総研知的財産ポリシー）の周知・徹底を図り、その具体的施策として知財行動指針の提示・展開を行うとともに、成果普及に向け効果的に技術移転を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・知的財産に関する所内研修などを通じて「産総研知的財産ポリシー」の所内への周知を行った。
- ・知的財産権の戦略的・効率的な取得、管理、活用に向けた取り組みを見直した。具体的には、研究テーマ単位で知財戦略を検討することを旨とした情報集約ツール（統合シート）を導入するとともに、研究者が自ら知財戦略を策定できるようになることを目指したガイドライン（知的財産行動指針）を作成し所内に周知した。
- ・成果の一層の加速を目指して、共有知財にかかる不実施補償の廃止、共有知財の第三者実施許諾の際の手續簡素化を主旨とする共有知財の取扱いの見直しを行った。
- ・平成26年度末の実施契約（技術移転契約）は940件であった。

#### 【第3期中期計画】

- ・オープンイノベーションの促進、共同研究等連携による地域発イノベーション創出を目指したコーディネーション活動の全国規模での展開、強化を通じた取組も行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・つくばと地域センターに配置したイノベーションコーディネータの全国的なネットワーク機能の活用と、産総研研究者と企業、大学、公設試験研究機関等との有機的な結合を図り、産学官連携共同研究施設（オープンスペースラボ）等と共同研究制度等の産学官連携制度の活用により、オープンイノベーションを促進する。

#### 【平成26年度実績】

- ・つくばと地域センターのコーディネータを一同に会した「全国イノベーションコーディネータ等会議」（9月）、「企業との連携状況報告・検討会」（12月）を開催する等、コーディネータ間のネットワークを強化することで全国規模での連携の推進を行った。
- ・オープンスペースラボとして、臨海副都心センターおよび四国センターでは装置等を備えた公開スペースを設置して、地域の中小企業や研究機関との共同研究を行い、オープンイノベーションハブ機能の強化を推進

した。

#### 【平成26年度計画】

- ・地域発イノベーションの創出を目指し、産業技術連携推進会議を活用した各地域の技術的共通課題の抽出と、地域企業とオール産総研での連携を推進する。
- ・イノベーションコーディネータ（IC）、産業技術指導員等による企業訪問、ニーズのヒアリング、産総研研究者とのマッチング等による連携構築のスキームを活用し、特に産総研技術シーズによる地域の中核的企業の支援を強化する。

#### 【平成26年度実績】

- ・産業技術連携推進会議を活用した事業として、地域産業界及び公設試と連携し、「研究連携支援事業」として新規・継続課題2件を実施した。
- ・経済産業省発表のグローバルニッチトップ（GNT）100選企業等から、地域の中核企業との新たな連携構築に向けて、28社を選定した。イノベーションコーディネータと各地域センターが協力して企業訪問を実施し、現在6社と公的研究資金への提案又は資金提供型共同研究締結に向けた調整を行った。

#### 【第3期中期計画】

- ・技術相談、技術研修にあたっては、受益者負担の観点から制度の見直しを行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・技術相談及び技術研修の実施にあたり、受益者負担および制度利用促進の両面から、検討チームにより適切な課金制度について検討を行い、制度を見直す。

#### 【平成26年度実績】

- ・新技術の導入支援など産総研の技術的なポテンシャルを活かした有償の指導助言等を行うための新制度（技術コンサルティング）の創設に向けて検討を行った。また、本年度より開始したRA制度については、問題点の抽出、改善策の提示等のフォローアップを行い、各部署との調整を行った。

#### 【第3期中期計画】

- ・このように従来以上の外部資金獲得可能性を検討し、外部資金の一層の獲得を進める。

#### 【平成26年度計画】

- ・「人」や「場」等の産総研のリソースを提供することで、引き続き、外部資金による研究規模の拡大を目指す。特に資金提供型共同研究、受託研究、技術研究組合参画研究、技術研修等の制度について、柔軟性を向上させ、一層の外部資金を獲得するための運用を行う。
- ・「資金提供型共同研究獲得支援事業（カタパルト事業）」については、平成25年度の本格実施結果を踏ま

え、引き続き大型共同研究契約の拡充を図る。

【平成26年度実績】

- ・「人」や「場」等の産総研のリソースを活用して25の技術研究組合に参画し、16の技術研究組合の主たる研究拠点を産総研内に設置して集中研究を実施した。
  - ・技術研究組合参画研究については、手続き用様式の追加、マニュアルの更新等を行った。
  - ・この結果、産総研の「人」や「場」等を活用した外部資金による研究規模は、運営費交付金の59.6%となった。
- おいては、大型共同研究の創出を図ると共に、当該事業による研究成果の発展性を鑑み19の研究課題を実施した。契約に至った課題は5件となった。

3. 資金計画

平成26年度キャッシュ・フロー計算書によって明示する。

IV. 短期借入金の限度額

【第3期中期計画】

(第3期：19,220,000,000円)

想定される理由：年度当初における国からの運営費交付金の受け入れが最大3ヶ月遅延した場合における産総研職員への人件費の遅配及び産総研の事業費支払い遅延を回避する。

【平成26年度計画】

・なし

【平成26年度実績】

・短期借入金の実績なし

V. 重要な財産の譲渡・担保計画

【第3期中期計画】

次の不要資産を処分する。

- ・九州センター直方サイトの土地（福岡県直方市、22,90m<sup>2</sup>）及び建物

【平成26年度計画】

・なし

【平成26年度実績】

・なし。

VI. 剰余金の使途

【第3期中期計画】

剰余金が発生した時の使途は以下の通りとする。

- ・用地の取得
- ・施設の新営、増改築及び改修

- ・任期付職員の新規雇用 等

【平成26年度計画】

剰余金が発生した時の使途は以下の通りとする。

- ・用地の取得
- ・施設の新営、増改築及び改修
- ・任期付職員の新規雇用 等

【平成26年度実績】

- ・独立行政法人通則法第44条3項により主務大臣の承認を申請した積立金の実績なし。（剰余金は発生していない）

VII. その他業務運営に関する重要事項

1. 施設及び設備に関する計画

【第3期中期計画】

- ・施設整備に際しては、長期的な展望に基づき、安全で良好な研究環境の構築、ライフサイクルコストの低減、投資効果と資産の活用最適性に配慮した整備を計画的に実施する。

【平成26年度計画】

- 1) 【平成24年度施設整備費補助金（当初）繰り越し分、平成25年度施設整備費補助金（当初）】
    - ・老朽化対策の、耐震化改修を引き続き実施する。  
つくばセンター 第7事業所（平成24、25年度の2ヵ年国庫債務負担行為：平成24年度分として2.6億円、平成25年度分として6.3億円）総額8.9億円
  - 2) 【平成24年度施設整備費補助金（1次補正）】
    - ・研究開発拠点の再構築として、つくばセンター、関西センター、北海道センター、東北センター、九州センターにおいて新研究棟の整備事業を引き続き実施する。総額110億円
    - ・老朽化対策として、建築関連改修、電力関連設備改修、給排水関連設備改修、排ガス処理設備改修、空調設備改修、廃水処理設備改修、エレベーター設備改修を引き続き実施する。総額218億円
  - 3) 【平成25年度施設整備費補助金（1次補正）】
    - ・新営棟建設費として、グローバル認証基盤整備事業を引き続き実施する。総額89.9億円
    - ・老朽化対策として、電力関連設備改修、空調設備改修、外壁建具改修、給排水関連設備改修、排ガス処理設備改修等を引き続き実施する。総額38.1億円
- 【平成26年度実績】
- 1) 【平成24年度施設整備費補助金（当初）繰り越し分、平成25年度施設整備費補助金（当初）】
    - ・老朽化対策の、耐震化改修を実施し、完了した。  
つくばセンター 第7事業所（平成24、25年度の2ヵ年国庫債務負担行為：平成24年度分として2.6億円、平成25年度分として6.3億円）総額8.9億円



## 2) 【平成24年度施設整備費補助金（1次補正）】

・研究開発拠点の再構築として、つくばセンター、関西センター、北海道センター、東北センター、九州センターにおいて新研究棟の整備を実施し、完了した。

総額104.7億円

・老朽化対策として、建築関連改修、電力関連設備改修、給排水関連設備改修、排ガス処理設備改修、空調設備改修、廃水処理設備改修、エレベーター設備改修を実施し、完了した。 総額223.3億円

## 3) 【平成25年度施設整備費補助金（1次補正）】

・新宮棟建設費として、グローバル認証基盤整備事業を実施した。（平成27年度へ繰越） 総額89.9億円

・老朽化対策として、電力関連設備改修、空調設備改修、外壁建具改修、給排水関連設備改修、排ガス処理設備改修等を実施し、完了した。 総額37.9億円

## 2. 人事に関する計画

## 【第3期中期計画】

・第3期中期目標期間において、第2期中期目標期間にまとめた人材開発戦略会議の報告の内容を具体化しつつ、新たな中長期的な人事戦略とし、人材の競争性、流動性及び多様性をより一層高めるとともに、研究マネジメント等様々な分野における専門的な人材の確保、育成に取り組む。

（参考1）期初の常勤職員数 3,190人

期末の常勤職員数の見積もり：期初と同程度の範囲で人件費5%削減計画を踏まえ弾力的に対応する。

※任期付職員については、受託業務等の規模や研究開発力強化法の趣旨に則って必要人員の追加が有り得る。

（参考2）第3期中期目標期間中の人件費総額

中期目標期間中の総人件費改革対象の常勤役職員の人件費総額見込み：133,793百万円

なお、総人件費改革対象の常勤役職員の人件費総額見込みと総人件費改革の取組の削減対象外となる受託研究費等により雇用される任期付研究員の人件費との合計額は137,602百万円である。（受託業務等の獲得状況により増減があり得る。）

ただし、上記の額は、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当、超過勤務手当、退職者給与及び国際機関派遣職員給与に相当する範囲の費用である。

## 【平成26年度計画】

・平成24年6月21日付で理事会決定した「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について（中間とりまとめ）」について、実施された各措置について、適切な運用を継続するとともに、第4期中期計画の策定に向けて、研究開発力強化法の改正

等に伴う内外の動向を踏まえながら、人材の競争性、流動性、及び多様性を高めるための人事制度のあり方について、引き続き検討を行う。【再掲】

## 【平成26年度実績】

・平成24年6月21日付理事会決定「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について（中間とりまとめ）」に基づき、下記措置を続行した。

## 1) 上級主任研究員の発令

研究職員の役職等の見直しに基づき、研究職5級で役職が主任研究員の者（審査対象者77名(辞退者52名含))について、業績審査及び研究統括、副研究統括による面談を実施し、平成24年度に新設した上級主任研究員への推薦候補者を決定し、10月1日付で発令を行った(11名)。

## 2) 専門的な業務を担う人材の確保

施設管理業務（電気主任技術者）について1名、ファシリティマネジメント（研究施設管理）業務について1名、情報システム基盤業務について1名、つくばイノベーションアリーナ拠点の施設維持・運営業務について3名を特定業務任期付職員として採用した。

## 3) 管理職員の明確化

事務職員について平成24年度に明確化した管理職員と非管理職員の区分に従い、役職異動時に管理監督者等の指定と解除を通知した。

## 4) 事務職員に係る役職定年制の実施

事務職員に係る役職定年制により、10月1日付で25名の対象者に対してキャリア主幹の発令を行った。

## 5) 事務系契約職員等に対する職員登用

地域型任期付職員として、平成26年4月1日付で5名を採用した。また、7名の平成27年度採用予定者を内定した。

・平成26年4月から産総研が行う研究開発プロジェクトに優秀な学生の参画を促進するため、技術研修員のうちの大学院生をリサーチアシスタントとし雇用する制度を創設した。

・優れた技術シーズと人材を取り込むため、平成26年11月1日より、複数の機関で同時に研究等に従事することを可能とするクロスアポイントメント制度を導入し、2名を外部機関から受け入れ、1名を産総研から派遣した。

・第4期中長期計画より、研究業績、成果により給与を弾力的に設定することができる任期付職員における年俸制を導入すべく、制度設計などの準備を行った。

## 【再掲】

## 【第3期中期計画】

・研究職はより若手の研究者、事務職は求める専門性の視点での採用を検討、推進する。また、女性研究者や外国人研究者の採用も積極的に行う。

【平成26年度計画】

- ・研究職員については、第3期中の施策を検証しつつ、採用方法から入所後のキャリアパス等についてのより柔軟な制度設計をはじめ、次期中期計画期間に向けて優秀かつ多様な人材を積極的に確保するための方策の検討を行う。

【平成26年度実績】

- ・第3期の実績と評価を検証し、第4期研究職員採用計画を決定した。第4期では、パーマネント化を前提とする採用（テニュアトラック型とパーマネント型）と、前提としない採用（プロジェクト型任期付）に分けて実施することとした。前者ではテニュアトラック型を主体とするが、応募者の実績・能力に応じて、適宜パーマネント型での採用を可能とするフレキシブルな制度設計を行うとともに、後者では任期付年俸制を導入することとした。

【平成26年度計画】

- ・女性研究者の比率を高めるよう、採用に努める。
- ・研究職を希望する女性向けに特化したリクルート活動として、就職情報誌等への掲載及び合同説明会へ参加し、採用応募に繋がるための活動を行う。また高い資質を有する外国人研究者の採用に引き続き努める。

【平成26年度実績】

- ・理工系女子を対象とした合同説明会に参加し積極的に採用活動を行った。女性研究者の採用を促進するため、前年度と同様に各研究分野の採用担当者に対して採用プロセスにおける女性比率のデータを提示し、採用目標比率の再確認・意識喚起を行った。
- ・優秀な外国人研究者の採用を推進するため、海外へ向けての広報活動や受け入れに際しての仕組み作り等について各研究分野担当者間で議論を重ねた。【再掲】

【第3期中期計画】

- ・また、研究職個々人の研究開発能力の向上とともに、研究開発マネジメントの人材を育成し、事務職においては専門性の蓄積を重視した人事ローテーションを実施することにより専門家人材を育成する。

【平成26年度計画】

- ・平成26年度も引き続き、所属長等への人事ヒアリング等を活用し、所として専門性の必要な部署及び業務に従事する人材の育成にむけた研修の検討や人事ローテーションを行う。

【平成26年度実績】

- ・平成24年6月21日付理事会決定の「産総研の研究開発業務の一層の推進のための業務運営体制の改善について（中間とりまとめ）」に基づき、事務職員のキャリアパスの類型を反映した人事調査を行い、本人が希望する今後のキャリアパス、現在の勤務状況等を調査し

た。事務職員が配置されている部署の所属長等への人事ヒアリングでは、調査結果を参考に、各部署において専門性を必要とする業務の把握を行い、その結果を踏まえた人事ローテーションを実施した。

また、専門性の必要な人材の育成に向けた検討については、今年度も産学官、知財、広報等の専門性の高い業務の研修を実施した。施設業務においては、他省庁研修を活用して育成を進めた。

3. 積立金の処分に関する事項

【第3期中期計画】

- ・なし

【平成26年度計画】

- ・なし

【平成26年度実績】

- ・なし

《別表1》 鉱工業の科学技術

I. グリーン・イノベーションを実現するための研究開発の推進

【第3期中期計画】

グリーン・イノベーションを実現するためには、二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量削減と、資源・エネルギーの安定供給の確保を同時に図る必要がある。温室効果ガスの排出量削減のため、再生可能エネルギーの導入と利用拡大を可能とする技術及び運輸、民生等各部門における省エネルギー技術の開発を行う。資源・エネルギーの安定供給のため、多様な資源の確保と有効利用技術、代替材料技術等の開発を行う。将来のグリーン・イノベーションの核となるナノ材料等の融合による新機能材料や電子デバイスの技術の開発を行う。産業部門については、省エネルギー技術に加えて環境負荷低減や安全性評価と管理、廃棄物等の発生抑制と適正処理に関する技術の開発を行う。

1. 再生可能エネルギーの導入拡大技術の開発

【第3期中期計画】

再生可能エネルギーは枯渇の心配がなく、低炭素社会の構築に向けて導入拡大が特に必要とされるエネルギーである。このため、再生可能エネルギー（太陽光、バイオマス、風力、地熱等）を最大限有効利用するための技術の開発を行う。また、再生可能エネルギーの需要と供給を調整し、末端最終ユーザへの安定供給を行うために必要なエネルギー貯蔵、パワーエレクトロニクス、エネルギーネットワークにおける統合制御技術の開発を行う。

## 1-(1) 太陽光発電の効率、信頼性の向上技術

## 【第3期中期計画】

太陽光発電技術に関して、共通基盤技術及び長寿命化や発電効率の向上等に関する技術の開発を行う。具体的には、太陽光発電普及に不可欠な基準セル校正技術、評価技術、診断技術等の基盤技術開発を行い、中立機関としてその技術を産業界に提供するとともに、標準化に向けた活動を行う。また、長寿命化、高信頼性化のために構成部材、システム技術等の開発を行うとともに寿命の検証のための評価技術の開発を行う。

## 1-(1)-① 太陽光発電の共通基盤技術の開発及び標準化 (IV-3-(1)-②へ再掲)

## 【第3期中期計画】

- 太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、高精度性能評価技術、屋外性能評価技術、信頼性評価技術、システム評価技術、システム故障診断技術等を開発し、それらを産業界に供給する。性能評価の繰り返し精度を1%以下に向上させる。

## 【平成26年度計画】

- 超高温黒体炉等を用いたスペクトル精度向上により基準セル校正技術の不確かさを低減する。新型結晶 Si 太陽電池、薄膜太陽電池、多接合太陽電池等の新型太陽電池の高精度性能評価技術開発と標準化、試験機関への技術移転を図る。米国欧州アジアの太陽電池評価機関との国際比較測定、技術交流等の連携を引き続き実施する。太陽電池発電量データベース公開を含めた発電量評価技術の実用化を推進する。システム故障診断技術に関して、低圧システムの電流-電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索方法を考案する。

## 【平成26年度実績】

- 基準セル校正技術のコンポーネント不確かさを低減した。新型太陽電池(集光型含む)の高精度性能評価技術開発と標準化、発電量評価技術の開発、試験機関への技術移転および国際比較測定、技術交流等の連携を引き続き実施した。故障診断技術に関して、低圧系結晶シリコン太陽電池アレイの屋外での電流-電圧特性測定結果から三つの判定パラメータを考案し、判定閾値との比較によって出力が低下したモジュールの有無を診断する方法を考案した。

## 1-(1)-② 太陽光発電の長寿命化及び高信頼性化

## 【第3期中期計画】

- 太陽光発電システムの寿命及び信頼性の向上のために、太陽電池モジュール構成部材、システム構成部材、システム運用技術等を開発する。新規部材を用いること等により、太陽電池モジュールの寿命を現行の20年から30年に向上させるとともに、それを検証するた

めの加速試験法等の評価技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- 平成25年度に引き続き、電圧誘起劣化の機構ならびに解決策を屋内加速試験により明確化するとともに、屋外曝露試験でも実証し、信頼性の高いシステム運用技術を開発する。太陽電池モジュール劣化の指標となり得る酢酸の発生を加速試験中に実時間で評価可能な手法を開発するとともに、酢酸量を指標とした寿命算出法を確立し、予測寿命30年のモジュールを実現する。水分浸入等に脆弱な有機系太陽電池モジュールの長寿命化に資する封止法等の基盤技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- n 型と p 型の結晶シリコン、CIGS の各太陽電池において、電圧誘起劣化の機構がそれぞれ異なることを見出し、有効な抑止策を開発した。電圧誘起劣化を再現可能な屋外システムを構築し、多湿環境で発生頻度が高いことを証明した。高温高湿試験中の酢酸の発生を実時間観測した。寿命30年の達成には高温高湿試験4000時間が必要なことを、酢酸量を指標に示すとともに、当該試験後も劣化せず、寿命30年以上と予測される結晶シリコンモジュールを実現した。有機系太陽電池モジュールの封止材からの揮発成分が劣化の一因であることを見出した。

## 1-(1)-③ 太陽光発電の高効率化

## 【第3期中期計画】

- 太陽光発電システムの低コスト化に直結する発電効率の大幅な向上を目指し、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、有機材料、それぞれの太陽電池デバイス材料の性能に関して、相対値で10%以上の効率向上のため、表面再結合の抑制と高度光閉じ込めにより、安定で高性能な新材料や、それを用いた多接合デバイスを開発する。

## 【平成26年度計画】

- 化合物薄膜太陽電池の高効率化の技術開発を加速する。
- 薄膜シリコン太陽電池の高効率化を図る。
- 新規材料導入などにより有機薄膜太陽電池の高効率化を達成する。
- スマートスタック技術の開発を進め変換効率30%を達成し、信頼性に関する検討も行う。
- 結晶シリコン太陽電池は、100um 程度の薄型セルを開発し、156mm 角で変換効率19%を達成する。

## 【平成26年度実績】

- アルカリ金属制御技術など、化合物薄膜太陽電池の高効率化の技術開発を進め、CIGS 小面積セルで20%を越える変換効率を達成した。
- 三種類の薄膜シリコン太陽電池において世界最高効

率を達成した。

- 3) 新規半導体材料の適用により有機薄膜太陽電池フレキシブルモジュールの効率を約1.5倍向上させた。
- 4) スマートスタック太陽電池で変換効率30.4%を達成し、20年以上の耐久性を確認した。
- 5) 156mm 角の実用サイズで厚さ100 $\mu$ m の薄型セルを開発するとともに、平均効率19%の量産化試作ラインを構築した。

#### 1-(2) 多様な再生可能エネルギーの有効利用技術

##### 【第3期中期計画】

温暖化防止や新たなエネルギー源の確保のため、バイオマス資源、風力、地熱及び次世代太陽光利用等、多様な再生可能エネルギーの利用に必要な要素技術、評価技術等の開発を行う。

具体的には、非食料バイオマス資源を原料とする燃料製造技術、高品質化技術等の開発を行う。また、我が国の気象条件を考慮した、安全性や信頼性に優れた風力発電のための技術の開発を行う。地熱資源開発のための評価技術、特に低温地熱資源のポテンシャル評価技術の開発を行い、地熱発電及び地中熱利用システムの開発普及に寄与する。さらに、多様な再生可能エネルギーについての情報を収集し、必要に応じて新たな技術の開発に着手する。

#### 1-(2)-① バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術の開発（I-3-(1)-④へ再掲）

##### 【第3期中期計画】

- ・バイオ燃料製造技術の早期実用化を目指して、高効率バイオ変換（酵素糖化、発酵）技術、熱化学変換（ガス化、触媒合成）技術、及びトータルバイオマス利用評価技術を開発する。特に、エネルギー収支2.0（産出エネルギー／投入エネルギー）以上の高効率バイオ燃料製造プロセスの基盤技術を開発する。
- ・油脂系バイオマスの化学変換（触媒存在下の熱分解や水素化処理及びそれらの組み合わせ処理）により、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）を製造する第2世代バイオ燃料製造技術を開発する。また、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の脂肪酸メチルエステル型バイオディーゼル燃料（BDF）品質を満たすために、第1世代 BDF の高品質化技術（酸化安定性10h 以上）等を開発する。同時に、市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・バイオエタノール製造プロセスについては、製造コストの低減を目的として、民間企業と連携し、原料と前処理・糖化プロセスの定量的な評価、エタノール発酵酵母の高機能化、同時・糖化発酵技術の開発を行う。

BTL プロセスについては実用化を踏まえ、収率が高く寿命が長い FT 合成触媒と水素化分解触媒を開発するとともに、これらを用いたバイオジェット燃料製造プロセスを構築し、エネルギー収支2.0を達成する。

##### 【平成26年度実績】

- ・バイオ燃料製造プロセスについては、製造コストの低減による早期実用化に向けて、民間企業と共同でベンチスケール実証の準備を行うとともに、要素技術として酵母の高機能化に取り組み、同時糖化発酵に適した酵母の開発に成功した。熱化学変換技術である BTL プロセスについては、高機能で長寿命の FT 合成触媒、水素化分解触媒の開発に成功した。これを基に、環境省、複数の民間企業とエネルギー収支が2.0を上回るバイオジェット燃料製造実証を行うべく計画を進めた。

##### 【平成26年度計画】

- ・JST-JICA 事業でタイに設置されたパイロットプラントによる高品質 BDF 製造実証研究の推進を支援する。特に、スケールアップに向けた指針を得るために、BDF 部分水素化触媒の耐久性向上を重点的に検討する。また、第2世代バイオ燃料製造のため、同事業でタイに設置されたジャトロファ残渣の急速熱分解パイロットプラントによるバイオオイル製造実証研究を支援する。パイロットプラントで製造したバイオオイルの水素化脱酸素を検討し、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）製造を目指す。

##### 【平成26年度実績】

- ・高耐久性触媒を開発し、BDF 部分水素化触媒の耐久性試験を行い、JST-JICA 事業でタイに設置されたパイロットプラントで反応条件改善により安定的に活性を維持できる方法を開発した。急速熱分解パイロットプラントによるバイオオイル製造試験を実施し、3段階捕集法により、ジャトロファ残渣から49%の液収率でバイオオイルが得られることを実証した。得られたバイオオイルを用い、石油系基材とともに水素化脱酸素処理することにより、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）が製造できることを実証した。

##### 【平成26年度計画】

- ・市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を推進する。平成26年度においては、平成23年度策定に貢献した JISK2190、平成25年度に改訂した EASERIA Biodiesel Fuel Standard: 2008（EESB: 2008）に関連するバイオ燃料、ジメチルエーテル（DME）燃料に関する国内外標準化のフォローアップを継続的に実施する。

##### 【平成26年度実績】

- ・各計画項目について、以下の成果を得た。JIS K2390 の改訂作業を自動車技術会規格会議傘下の分科会幹事

として進め、改訂案を作成した。また、EAS-ERIA Biodiesel Fuel Standard: 2008 (EEBS: 2008) の改訂版、EEBS: 2013のリーフレット案を作成した。DME 燃料品質及び分析方法の ISO 化について、分析方法4種は最終投票で可決され、品質は最終投票中となり、分析方法と共に平成27年内には発行される見通しである。JIS K2190については ISO とも連動し、フォローアップを継続した。

#### 1-(2)-② 風力発電の高度化と信頼性向上

##### 【第3期中期計画】

- 我が国の厳しい気象や風特性を反映した風特性モデルを開発し、安全性と信頼性に優れた普遍的な風車技術基準を IEC 国際標準として提案する。また、高度な風洞実験やシミュレーション技術を援用することにより、風速のリモートセンシング技術の精度と信頼性を向上させ、超大形風車ウィンドファームの発電量を数パーセント以下の不確かさで評価する技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- 日本の厳しい風条件の更なる評価・検証により普遍的な風車設計技術を確認し、IEC 国際規格として採用させる。ナセル搭載型 LIDAR によって得られる風車上流側風速情報を活用し、超大型風車単体並びにウィンドファーム全体の発電電力量を向上させるとともに、風車寿命を向上させるための風車制御技術の高度化に向け、実計測データをベースとして出力向上効果と荷重低減効果を定量化する。さらに、実フィールド計測値により、建設前の年間発電電力量評価における LIDAR 計測値の影響・効果を定量化し、不確かさ要因を特定する。

##### 【平成26年度実績】

- IEC 国際分科会において成果を発信する事により、台風、複雑地形高乱流といった厳しい風条件を反映するように新たに開発した風車設計のための風モデルを、IEC 国際規格 CD 文書に正式に採用させることに成功した。ナセル搭載型 LIDAR プロトタイプ機のデータ取得を開始し、9方向視線方向風速から風車上流側の3次元風速、シア一等、風車制御に有用な情報を計算した後処理アルゴリズムを開発するとともに、年間発電電力量評価における LIDAR 計測値の影響・効果を定量化することにより、不確かさ要因を特定する見通しを得た。

#### 1-(2)-③ 地熱資源のポテンシャル評価 (別表 2-2-(2)-②の一部を再掲)

##### 【第3期中期計画】

- 再生可能エネルギーとして重要な地熱資源の資源ポテンシャルを地理情報システムによって高精度で評価し、全国の開発候補地を系統的に抽出する。また、地熱開

発促進にむけて地熱利用と温泉保全の両立を図るため、温泉発電技術や貯留層探査評価技術を含む地熱技術を開発する。さらに、地中熱利用のため、平野部等の地下温度構造及び地下水流動モデルを構築する。

##### 【平成26年度計画】

- 東北地方を中心とした地熱フィールドでの微小地震、温泉モニタリングを実施するとともに、日米共同研究の枠組みを活用し、東北地方のフィールドにおいて貯留層性能向上実験を実施する。東北大との連携の下、室内実験を通して超高温環境下での亀裂生成メカニズムや岩石熱水相互作用等の解明を行う。さらに、地域の社会的特性、地下条件等を勘案した最適地熱システム設計、社会への実装法についての研究を開始する。

##### 【平成26年度実績】

- 福島県柳津西山地域で自然電磁法による貯留層評価を行うとともに、微小地震による貯留層モニタリングシステムを開発し、連続モニタリングを開始した。温泉と共生した地熱発電のための温泉モニタリングシステムの開発に着手した。日米独の共同研究として岩手県葛根田地域で加圧注水による貯留層性能向上実験を成功裏に実施した。東北大との連携の下、超高温環境下での亀裂生成メカニズムや岩石熱水相互作用等の解明のための室内実験を開始した。地域の社会的特性、地下条件等を勘案した最適地熱システム設計法の研究を開始した。

##### 【平成26年度計画】

- シーズ評価事業の一環として、「自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの性能評価」および「地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器の評価」を実施する。また、福島県内の主要地域における地中熱ポテンシャル評価に着手する。熱帯・亜熱帯地域での地中熱利用研究として、平成25年度より CCOP 地下水プロジェクト・サブプロジェクトとして位置づけられたタイ国チュラロンコン大学との研究を継続する。

##### 【平成26年度実績】

- シーズ支援事業として、計画以上の3件の共同研究を実施した。地域の水文地質環境の利活用により、いずれの地中熱システムも5以上の高い COP での稼働が確認された (通常は3.5程度)。福島県内の主要地域における地中熱ポテンシャル評価の初期段階として、水理地質情報の収集・コンパイルを行った。東・東南アジアへの地中熱研究の展開を計り、CCOP 地下水サブプロジェクトに位置づけられたタイ国チュラロンコン大学との研究において、地中熱冷房システムの実証試験を行い、バンコクにおいて COP4以上の

性能を示すことができた。

#### 1-(2)-④ 次世代型太陽光エネルギー利用技術

##### 【第3期中期計画】

- 太陽光エネルギーを直接利用した水の分解により水素を製造する、可視光応答性の光触媒や光電極による分解プロセスの効率向上を目的とした、光電気化学反応技術を開発する。また、人工光合成システムの経済性や実現可能性を検証する。

色素増感太陽電池の高性能化と耐久性向上を目的として、増感色素や半導体電極、電解質、対極、封止材、セル構造等の改良を図る。色素増感太陽電池の早期実用化への貢献を目指し、新規色素や半導体を30種類以上開発し、データベース化する。

##### 【平成26年度計画】

- 多孔質半導体光電極の高性能化のために、新規な酸化物質半導体材料を探索し、その多層成膜条件や薄膜界面状態、モルフォロジー等を変えて光電特性を向上させる。また光触媒の性能向上のために、長波長の光を用いる新規半導体開発や半導体粒子の調製法改良等により30%を超える量子収率を達成する。各種実験データを基に、太陽電池と電解装置を組み合わせた水素製造よりも低コスト化できる実現可能な人工光合成システムを提案する。

##### 【平成26年度実績】

- 多孔質半導体光電極に関して、Fe-Cs-B系等の光電流が大きくなる特殊な組成を多数見出した。BiVO<sub>4</sub>/WO<sub>3</sub>複合光電極では、WO<sub>3</sub>膜の表面形状の凹凸を大きくし、電圧ロスを考慮した太陽エネルギー変換効率として1.46%まで向上できた。さらに、光電極上で過酸化水素などが効率良く製造できることを見出した。Au担持TiO<sub>2</sub>光触媒では、量子収率を58%に向上できた。光触媒・電解による人工光合成システムに関して、太陽電池と電解装置を組み合わせた水素製造よりも低コスト水素製造が可能になる条件を明確化した。

##### 【平成26年度計画】

- 色素増感太陽電池の高性能化と早期実用化のため、可視光だけでなく近赤外光に感度を持ち、高効率でかつ耐久性のあるルテニウム錯体色素を新規に10種類以上開発する。錯体色素構造と電池特性との相関情報の集積を行い、開発した30種類以上の色素の情報を反映させたデータベースを完成させる。また、色素合成よりも先に計算をすることで色素物性を予測し、色素開発のスピードを上げる手法を確立する。

##### 【平成26年度実績】

- 色素増感太陽電池の高効率で耐久性のある色素開発を目指し、近赤外光に感度を持つ新規ルテニウム錯体色

素を14種類合成した。新規開発した色素の物性や電池特性に関するデータベースを完成させた。SCN基を持たない多座配位子のルテニウム錯体色素は大気中で光照射する劣化加速試験においても高い耐久性を示すことがわかった。水よりも酸素が劣化の主要因であることを確認した。計算化学手法を用い、高い耐久性を示した錯体色素は酸素分子との親和性が低いことを確認し、色素物性の予測手法として役立つことがわかった。

#### 1-(3) 高効率なエネルギーマネジメントシステム

##### 【第3期中期計画】

自然エネルギーの導入拡大等による出力変動を吸収して安定した電力を供給するための技術の開発を行う。具体的には、エネルギー貯蔵技術、パワーエレクトロニクス技術、情報通信技術等を活用して、地域の電力網における電力供給を安定させるためのエネルギーネットワーク技術の開発を行う。また、高効率電力ネットワークシステムに必要な電力変換器の高効率化と高密度化を実現する素子の開発を行うとともに、その量産化、集積化及び信頼性向上に必要な技術の開発を行う。

#### 1-(3)-① エネルギーネットワーク技術の開発（I-2-(2)-①へ一部再掲）

##### 【第3期中期計画】

- 太陽電池等の再生可能エネルギー機器が高密度に導入された住宅地域のエネルギーネットワークを設計、評価する技術及びネットワークを効率的に運用するためのマネジメント技術を開発する。数百戸規模の住宅における実用化を目指して、数十戸規模の住宅を対象とした研究を行う。また、電力系統の再生可能エネルギー発電受入れ可能量を大幅に拡大するための負荷制御技術等を、試作器の開発等により実証する。

電力計に内蔵される電力線通信機器（PLC）を開発し、家電や太陽光発電装置等との通信、制御を実現することにより、PLCによるエネルギーマネジメントの有効性を実証する。また、発電システム効率の5%向上を図るため、太陽光発電パネルのメンテナンス時期と故障を検知し、パネル単位での制御を可能にする直流用PLCを開発する。

##### 【平成26年度計画】

- 住宅エネルギー需給計画モデルのプロトタイプに、新たに開発したエネルギー需要予測モデルを組み込む。住宅エネルギーネットワークの統合マネジメント実験設備へ実装して実験を行い動作を検証し、ネットワークを効率的に運用するためのマネジメント技術の提示を図る。また、数十戸規模の住宅を対象とした実証研究を実施する。

##### 【平成26年度実績】

- ・エンドユース別エネルギー消費データを活用したボトムアップアプローチによるエネルギー需要予測モデルを開発し、住宅エネルギー需給計画モデルのプロトタイプへ組み込んだ。需要予測に基づいた最適運用計画の立案、それに沿った機器運用と住宅間でのエネルギー統合制御技術を開発するとともに、配電系統、太陽光発電、負荷模擬装置、蓄電池等で構成される数戸規模の実証実験を行い、統合制御技術の適用性を検証した。さらに、エネルギー消費データを改良し、数十戸規模住宅を模擬した実証実験を実施し、統合制御技術により効率的な運用ができることを確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・商用メガソーラーでの長期間モニタリング試験を継続し、ハードウェア、ソフトウェアのそれぞれで、実環境で安定して発電状況をモニタリングできるかを評価する。また、蓄積した発電情報に対して、これまでに開発した不具合検知アルゴリズムを評価する実験を行う。不具合が検出されたストリングを実際に調査し、検出結果との突合せを行う。これにより、不具合の検出の正確さを評価し、検出結果を活かした適切なパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を5%向上可能なことを確認する。

#### 【平成26年度実績】

- ・商用メガソーラーでのモニタリング試験を1年間以上継続し、ハードウェア、ソフトウェアのそれぞれで、実環境で安定して発電状況をモニタリングできるようになった。また、蓄積した発電情報に対して、これまでに開発した不具合検知アルゴリズムを適用し、パネル上の積雪による発電量の大幅低下等を正しく検出することができた。不具合検出結果を活かした適切なクリーニング等のパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を5%向上可能なことを確認した。

### 1-(3)-② 電力変換エレクトロニクス技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・電力エネルギーの高効率利用を可能とする SiC や GaN 等の新規半導体材料を用いた高性能パワー素子モジュール及びそれらを用いた電力変換エレクトロニクス技術を開発する。具体的には、SiC、GaN 素子の普及に必要な低コスト大口径高品質ウエハ製造技術、高信頼でより低損失高耐圧なパワー素子技術とその量産化技術（50A 級素子歩留まり70%）、高機能を実現する10素子規模の集積化技術、200～250℃の高温実装技術や、25～30W/cm<sup>3</sup>の高出力パワー密度化技術を統合した回路設計、製作技術を開発する。省エネルギーに効果的な次世代ダイヤモンドパワーデバイスの実用化を目指して、結晶欠陥評価技術の高度

化により低欠陥高品質エピタキシャル膜の製造技術を開発する。また、実用的な縦型構造を有し、低損失かつ冷却フリーで250℃において動作するパワーダイオードを開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・SiC、GaN 等の高性能パワー素子と、その電力変換器応用技術の開発を更に推進する。
- 1) 溶液法による2cm 厚 SiC 結晶、6インチウエハ加工の24時間以下化、2° 以下の低オフ角・低欠陥エピウエハを実現する。
- 2) 50A 級 SiC 素子の量産化(歩留まり70%)、3.3kV 耐圧12mΩ・cm<sup>2</sup>の MOSFET、2kV 級 SJ 構造を実現する。
- 3) GaN 素子の特性変動評価法と、縦型素子作製プロセスの開発を推進する。
- 4) SiC の10素子規模の集積化や受動素子混載形の高温動作パワーモジュールを実現する。

#### 【平成26年度実績】

- ・溶液法による2インチ2cm 厚の SiC 結晶、6インチウエハの10時間以内の加工、オフ角2° 以下で4° オフ基板と同等の低欠陥エピウエハを実現した。SiC では、50A 級素子の歩留まり70%超の量産化、10mΩ・cm<sup>2</sup>以下の3.3kV 耐圧 MOSFET、耐圧2kV 超の SJ 構造を実現した。GaN では、DLTS による素子抵抗変動の原因特定とその抑制、低濃度ドーピング技術による600V 耐圧の縦型素子用結晶を実現した。50素子の SiC 集積回路、受動素子混載形の225℃動作 SiC パワーモジュールを実現した。

#### 【平成26年度計画】

- ・デバイスに大きな影響をもたらす結晶の縦方向に貫通する転位や欠陥の束などの同定・解析による定量的評価を行い、パワーデバイス実用化のための指針を得る。

#### 【平成26年度実績】

- ・X線トポグラフィ法を用いた転位解析により、欠陥の束などを評価し、パワーデバイス実用化のための指針となる、エピタキシャル成長膜中を貫通する転位の数や種類とデバイス漏れ電流との相関について知見を得た。厚膜フィールドプレートの形成とエピ層ドーピング濃度の制御技術のプロセス組み込みにより、縦型ショットキーバリアダイオードにおいて小型素子では250℃での0.8～2kV の耐圧を実現し、さらに大型素子では、250℃において5A までの大電流動作を実現し、高温動作を確認した。円形小型 MESFET において1kV を超える耐電圧を世界で始めて実現した。

### 2. 省エネルギーによる低炭素化技術の開発

#### 【第3期中期計画】

省エネルギーによる温室効果ガス削減は、再生可能エネルギー導入に比べて、直接的かつ早期の効果が期待されている。運輸部門での省エネルギーのため、自動車等輸送機器の効率向上のための技術及び中心市街地での搭乗移動や物流搬送等を動的に行うための技術の開発を行う。また、民生部門での省エネルギーのため、戸建て住宅等のエネルギーを効率的に運用するマネジメントシステムの開発とともに、高性能蓄電デバイス、燃料電池、省エネルギー部材の開発を行う。さらに、将来のエネルギー消費増加の要因になることが懸念される情報通信にかかわる省エネルギーのため、電子デバイス、集積回路、ディスプレイ、入出力機器、光ネットワークの高機能化と省エネルギー技術の開発を行う。

## 2-(1) 運輸システムの省エネルギー技術

### 【第3期中期計画】

運輸部門での省エネルギーによる温室効果ガス削減に貢献するため、次世代自動車等輸送機器のエネルギー貯蔵、高効率化技術や新たな運輸システム技術の開発を行う。具体的には、次世代自動車用蓄電デバイスの高性能化、低コスト化につながる材料の開発を行う。燃料電池自動車用に、燃料電池の低コスト化、耐久性の向上に必要な先端的部材の開発と反応解析、信頼性試験等の技術開発を行うとともに、安全な高圧水素貯蔵システムの開発を行う。輸送機器の軽量化のための軽量合金の高性能部材化に向けた総合的な技術開発、低燃費と同時に排気ガス規制を満たす自動車のエンジンシステム高度化技術の開発を行う。上記の輸送機器の効率向上に加えて、運輸システム全体の省エネルギー化のため、情報通信機器を用いた市街地移動システムに関する技術の開発を行う。

### 2-(1)-① 次世代自動車用高エネルギー密度蓄電デバイスの開発 (IV-1-(1)-④へ一部再掲)

#### 【第3期中期計画】

- 電気自動車やプラグインハイブリッド自動車等の次世代自動車普及の鍵となる蓄電池について、安全と低コストを兼ね備えた高エネルギー密度電池（単電池で250Wh/kg以上）の設計可能な電池機能材料（正極材料、負極材料等）を開発する。また、革新型蓄電池系（空気電池等）の実用可能性を見極めるための性能評価を行う。さらに、未確立である蓄電池の寿命検知と診断解析技術の確立を目指し、電池の寿命に最も影響を及ぼす電池材料の劣化因子を確定する。新規の蓄電池構成材料の開発を加速するため、材料を共通的に評価、解析する技術を開発する。エネルギー密度500Wh/kg以上の革新型蓄電池の開発を目指し、ハイブリッド電解質を利用した二次電池の固体電解質の耐久性を向上させる。さらに、安全性に優れた準固体型及び全固体型のリチウム-空気電池を開発し、単セルでの動作を実証する。

#### 【平成26年度計画】

- 酸化物正極は、20サイクル後の容量維持率を90%以上に高め、また、シリコン系負極については、従来電池の1.5倍以上の容量と300サイクル以上の寿命を実現し、250 Wh/kg以上の単電池が設計可能であることを示す。硫化物正極は、充電開始が可能で2.5電子反応以上の容量をもつ電極材を開発する。金属負極の充放電条件と表面処理法の最適化により放電電流密度1mA/cm<sup>2</sup>で充放電効率90%以上を目指す。空気電池の二次電池化に必要なカーボンフリーの空気極を開発し、充放電サイクル特性向上の可能性を検証する。

#### 【平成26年度実績】

- Li 過剰系酸化物正極で20サイクル後の容量維持率を90%以上に高める見通しを得つつ、また、シリコン系負極で従来電池の1.5倍以上の容量と300サイクル以上の寿命を実現し、250Wh/kgを超えるエネルギー密度の単電池が設計可能であることを示した。また、充電開始が可能で2.5～5電子反応の容量を持つリチウム含有金属多硫化物の開発に成功した。さらに、1mA/cm<sup>2</sup>での金属 Li 負極の充放電効率を評価し、90%以上の効率を得た。Sb ドープ Sn 酸化物からなる可逆空気極を開発し、亜鉛空気電池の充放電サイクル特性向上を実証した。

#### 【平成26年度計画】

- 電気自動車用単セルについて進めている性能評価試験を継続することでデータの蓄積を図るとともに、JARI 及び東大にデータを提供することで電池の残存性能を評価するプログラムの構築に資する。また、劣化の進行した単セル及び小容量モデルセルの解体試験を実施し、取得した内部構成部材に定量的な解析手法を適用することで劣化メカニズムを解明し、電池の寿命に最も影響を及ぼす電池材料の劣化因子を確定する。これらの知見を反映させることで、有効な電池の残存性能評価手法を見出す。

#### 【平成26年度実績】

- 電気自動車用単セルの性能評価試験で蓄積したデータを、JARI 及び東大に提供することで電池の残存性能を評価するプログラムの構築及び日本電動車両規格（JEVS-TG）の作成に資した。また、劣化の進行した単セル等の解体試験を実施し、取得した内部構成部材に XPS 測定等の定量的な解析手法を適用することで劣化メカニズムを解明し、電池の寿命に最も影響を及ぼす電池材料の劣化因子を確定した。これらの知見を反映させることで、今回の性能評価試験条件下ではルート則や微分解析法が有効な電池の残存性能評価手法であることが確認できた。

#### 【平成26年度計画】

- 既に構築することができた、世界的シェアを有する国



内複数企業を中心とした拠点における活動の集大成として、電池材料の評価基準書最終版を作成するとともに拠点の機能強化を図る。

【平成26年度実績】

- 5種類の電池構成モデルに加えて、4.35V 高電圧電池、Ni リッチ高容量電池の2種を基本型の派生評価法として評価法に加え、これらの精査を行うとともに、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。

【平成26年度計画】

- 固溶体系正極活物質を中心に安定な大容量電極材料の開発を継続して行い、高エネルギー密度二次電池（単電池で250 Wh/kg 以上）実現を目指す。また、革新型蓄電池の開発においては、高いエネルギー密度（500 Wh/kg）を実現するため、リチウム-空気電池など革新型蓄電デバイスや安価な新型触媒の開発、空気極の最適構造の検討等を引き続き行う。

【平成26年度実績】

- 固溶体系正極活物質として、リチウム過剰系の正極活物質を合成し、大容量を有することを確認し、適切な負極と合わせると、単電池で250Wh/kg 以上のエネルギー密度を有することを示唆した。また、リチウム-空気電池において、正極の腐食と高過電圧の問題を解決するため、カーボンフリーな酸化物空気極を開発し、フル充・放電においても、安定なサイクル特性を持つことを確認した。更に、他の革新型電池として、安定な充・放電サイクル特性を有するナトリウムイオン電池、遷移金属フリーな有機蓄電池として全固体型リチウム空気電池の開発に着手した。

2-(1)-② 燃料電池自動車用酸素貯蔵技術の開発

【第3期中期計画】

- 酸素貯蔵材料の開発を目的として、構造解析技術、特に酸素吸蔵状態を「その場観察」できる手法（「その場」X線・中性子回折、陽電子消滅、核磁気共鳴等）を開発する。この技術を用いて、材料の酸素貯蔵特性と反応機構を解明し、得られた知見から、高い貯蔵密度（重量比5%、50g/リットル）と優れた繰り返し特性を有する材料の設計技術を開発する。

安全な高圧酸素利用システムを開発するため、酸素材料強度データベース及び酸素破面と組織データベースを構築する。また、燃料電池車や酸素ステーションの高圧酸素容器開発指針、酸素輸送技術開発指針を関連業界に提案し、評価設計手法、及び実証実験手法を開発する。さらに、酸素関連機器の開発促進と安全性向上に寄与するために、酸素と高分子材料の関係や酸素とトライボロジーの関係を解明するとともに、その利

用普及を進めるため、酸素基礎物性データベースを構築する。

【平成26年度計画】

- これまでに300℃以上の高温で高い酸素貯蔵密度（重量比5%、50g/リットル）を達成した Mg 系材料において、ナノメートルスケールで Mg 基組織を制御することにより、より低い温度で作動する材料の創成を目指す。V 系材料では、より多くの用途への展開を目指して、材料組織・機械的特性による欠陥導入の抑制効果を検討し、繰り返し特性向上のための方策を見出す。

【平成26年度実績】

- これまでに300℃以上の高温で高い酸素貯蔵密度（重量比5%、50g/リットル）を達成した Mg 系材料については、反応温度の低温化を目指し、ナノメートルスケールの特殊な金属組織を有する薄膜試料の作製を試みた。その結果、酸素化物の不安定化に成功し、200℃程度まで反応温度を低下できる見込みを得た。V 系材料では、格子間原子の添加により機械的特性を変化させることで、酸素吸蔵に伴う欠陥の導入を抑制することを試みた。その結果、繰り返しに伴う吸蔵量の劣化を半減することに成功し、繰り返し特性向上のための方策を見出した。

【平成26年度計画】

- 平成25年度に引き続き、材料物性に与える酸素の影響について解明を進める。特に、酸素ステーション用鋼種拡大のため、低コスト鉄鋼材料について高圧酸素環境下でき裂進展試験などの破壊靱性試験を実施し、酸素材料強度データベースを蓄積する。また、サンディア国立研究所と、酸素材料強度評価手法の国際標準化のためのデータを蓄積する。走査型プローブ顕微鏡等を用いた、酸素破面観察方法を確立させ、微小領域での初期き裂発生状況およびき裂進展状況を観察し、酸素破面と組織データベース化に資する。

【平成26年度実績】

- 酸素ステーション用材料として期待される SCM435 鋼の破壊靱性試験を115MPa までの高圧酸素ガス中で実施し、酸素ガス圧の増加に伴い破壊靱性値が低下することを見出し、材料試験データを酸素材料強度データベースに蓄積した。酸素材料強度評価手法の国際標準化のため、き裂進展開始試験データをサンディア国立研究所と共同で発表した。二相ステンレス鋼の酸素破面観察を走査型プローブ顕微鏡で行い、初期き裂はフェライト相で発生しオーステナイト相に伝播することを明らかにし、SCM435鋼の破面組織とともに酸素破面と組織データベースに貢献した。

2-(1)-③ 軽合金による輸送機器の軽量化技術の開発

【第3期中期計画】

- ・省エネルギーに有効な輸送機器の軽量化を可能にするため、マグネシウム等の軽量合金の特性向上を図るとともに、金属材料の耐食性試験（JISZ2371）を基に規定される塩水噴霧／高温乾燥／高温湿潤の複合サイクル試験において300時間以上耐久可能な低コスト表面処理技術を開発する。また、強度と剛性を低下させずに常温プレス加工性を改善し、高い比強度（引っ張り強さ／比重：160MPa 以上）とアルミニウム合金並みの成形性を示すマグネシウム合金圧延材を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・Al 合金の鋳造材を高強度化するため、欠陥の起点となる晶出物などの生成を抑制する技術を開発する。また、セミソリッド成形技術については、Al 合金における肉厚変動部へのスラリーの流動性確保と湯境発生の防止に必要な成形条件を確立する。Mg 合金展伸材の成形性および機能性をさらに改善するための技術を開発する。また、Mg 合金の表面処理技術により塩水噴霧／高温乾燥／高温湿潤の複合サイクル試験において300時間以上の耐久性を付与する。

#### 【平成26年度実績】

- ・Al 合金の凝固時に電磁的な攪拌を行うことで、凝固組織を制御する技術を開発した。これにより破壊の起点になりやすい晶出物の微細分散化が可能になることを見出した。さらに、Al 合金鋳造材の欠陥防止のため、セミソリッド状態での成形におけるせん断力と流動性の関係を明らかにした。軽量な各種 Mg 合金に対して、高温圧延法や結晶粒微細化処理により成形性を改善するとともに、蒸気養生法により耐食性の改善を行い、塩水噴霧／高温乾燥／高温湿潤の複合サイクル試験において310時間後でも表面に肉眼で識別できる腐食欠陥が認められなかった。

## 2-(1)-④ 自動車エンジンシステムの高度化技術

### 【第3期中期計画】

- ・新たな排出ガス規制値を満たしつつ、燃費の向上を目指し、新燃料と駆動システムの最適化、燃焼制御技術の向上、排出ガス浄化技術の高度化により、超低環境負荷ディーゼルエンジンシステム、及びこれらを評価する計測技術を開発する。また、低品質燃料から低硫黄・低芳香族燃料（硫黄分1～2ppm 未満）や高 H/C（水素／炭素原子比）の高品質燃料を製造する技術等を開発し、市場導入に必要な燃料品質等の評価を行う。

### 【平成26年度計画】

- ・超低環境負荷ディーゼルエンジンシステム及びこれらに関連する周辺技術に関して以下の研究開発を行う。
- 1) 排出ガス浄化技術に関して、DPF に使用する触媒や窒素酸化物処理触媒の実情に基づいた問題点の抽出

および性能向上を図る。

- 2) ディーゼルエンジンにおける EGR デポジットに関して、生成要因を理論的に解明し、また、デバイス開発に有用な試験手法を確立する。
- 3) X 線による燃料噴霧の詳細解析を実施し、高精度数値シミュレーションモデルの構築を推進する。

### 【平成26年度実績】

- ・各計画項目について、以下の成果を得た。
- 1) DPF や窒素酸化物処理触媒と組み合わせて使用する酸化触媒に関し、反応シミュレーションモデルの構築に向け、炭化水素の吸着および酸化に関するパラメータを取得し、性能向上の見込みを得た。
  - 2) 排ガス及びデポジットの詳細分析結果からデポジット要因物質の特定と重合物生成反応を推定し、バッチ炉試験により推定した反応を検証した。
  - 3) 世界初となる X 線噴霧計測技法を開発し、それを用いて燃料物性、ノズル形状など噴霧形成を支配する諸因子の影響を予測する新たなモデル案を提示した。

### 【平成26年度計画】

- ・高 H/C の炭化水素燃料製造のための低品質廃油脂類の脱酸素技術の確立に向けて、開発した試作触媒を用いた石油系基材との共処理による耐久性試験を実施する。試験油の燃料品質等の評価を行い、触媒改良による、市場導入に必要な耐久性の高い高脱酸素活性および高脱硫活性を有する水素消費量低減型脱酸素触媒の設計指針を提案する。

### 【平成26年度実績】

- ・高 H/C の炭化水素燃料製造のための低品質廃油脂類の脱酸素技術の確立に向けて、開発した試作触媒を用いた廃食用油や泥状トラップグリースと直留軽油の共処理による耐久性試験を行った。遊離脂肪酸含有量の多い高酸価低品質廃油脂類でも反応温度を高めることで、低酸価の廃油脂と同等の活性が維持できることを明らかにした。さらなる水素消費量低減のため担体の最適化を行い、流通式反応装置の前段に水素消費量低減型触媒を、後段に高耐久性触媒をそれぞれ用いて反応を行うことが、脱酸素活性および脱硫活性の耐久性向上に有効であるとの指針を得た。

## 2-(1)-⑤ 市街地移動システム技術の開発

### 【第3期中期計画】

- ・低炭素社会実現に貢献する都市計画の1つであるコンパクトシティ構想に貢献するための技術として、中心市街地での搭乗移動や物流搬送等を自律的に行うための研究開発を行う。具体的には、パーソナルモビリティによる市街地における長距離自律走行（3km 以上）と協調に基づく高効率化、施設等で試験運用可能なレベルの自律・協調搬送システム、高効率な搬送経路計画のための市街地等広範囲環境情報取得技術を開

発する。

【平成26年度計画】

- ・自律走行車いす等を対象に以下の研究開発を行う。
- 1) 画像情報ベースの自律走行技術を開発し、つくば市内遊歩道上の3kmの市街地自律移動を実現する。
- 2) 環境データを他の移動体と共有することにより経路情報の効率的な更新と協調走行技術を開発し、実市街路上での障害物回避等を含めた協調走行を実現する。
- 3) 3次元環境送受信システムとクラウドDBを統合したシステムを構築し、つくば市内約半径1km以内の3次元環境データをクラウド上に蓄積・利用する。

【平成26年度実績】

- ・自律走行車いす等を対象に以下の研究開発を実施した。
- 1) 画像の特徴点抽出による自己位置推定手法を開発し、つくば市内遊歩道上の3kmの市街地環境において高精度位置推定が可能であることを確認し、自律走行を実現した。
- 2) 障害物や経路等の情報を他の移動体と共有した連携制御や電波やセンサ等の追従方式を開発し、実環境における複数台の移動体による安定した追従と障害物回避の協調走行を実現した。
- 3) 複数の移動体に3次元環境送受信システムを設置、広域公衆回線を用いてつくば市内約半径1km以内の3次元環境データをクラウドDB上に蓄積・利用した。

2-(2) 住宅、ビル、工場の省エネルギー技術

【第3期中期計画】

民生部門での温室効果ガス削減に貢献するため、住宅、ビル、工場等での省エネルギー技術の開発を行う。具体的には、戸建て住宅等におけるエネルギーの負荷平準化に不可欠なエネルギーマネジメントシステム、蓄電デバイスである二次電池及びキャパシタの高エネルギー密度化技術の開発を行う。また、定置用燃料電池の耐久性と信頼性の向上に資する基盤技術と、燃料多様化、高効率・低コスト化のための新規材料、評価技術の開発を行う。未利用熱エネルギーの有効利用のため、熱電発電システムの発電効率、信頼性の向上や長寿命化のための材料技術の開発を行うとともに、材料及び発電モジュールの評価方法や寿命予測手法の開発を行う。加えて、省エネルギーと快適性の両立を目的とした調光窓材、外壁材等の建築部材及び家電部材の開発を行う。

2-(2)-① エネルギーマネジメントシステムのための技術開発（I-1-(3)-①を一部再掲）

【第3期中期計画】

- ・戸建て住宅に関して二酸化炭素削減率20%の達成を目標として、戸別・集合住宅又はビル・地域単位でのエネルギーを効率的に運用するためのエネルギーマネジメント技術を開発する。重要な要素技術として、負荷

平準化に不可欠な高エネルギー密度化を可能とする蓄電デバイス（二次電池で250Wh/kg、キャパシタで18Wh/kg）を開発する。また、電力マネジメントに必須の電力変換器について、高密度化、耐高温化のためのダイヤモンド半導体等新材料を含む電力変換デバイスを開発する。

電力計に内蔵される電力線通信機器（PLC）を開発し、家電や太陽光発電装置等との通信、制御を実現することにより、PLCによるエネルギーマネジメントの有効性を実証する。また、発電システム効率の5%向上を図るため、太陽光発電パネルのメンテナンス時期と故障を検知し、パネル単位での制御を可能にする直流用PLCを開発する。

【平成26年度計画】

- ・柱上変圧器下流の複数住宅を対象とする、太陽光発電、太陽熱温水器、ヒートポンプ、蓄電デバイス等から構成される住宅エネルギーネットワークの統合マネジメント実験を引き続き実施する。複数住戸に分散設置された蓄電デバイスの制御アルゴリズムの提案とシミュレーションによる検討および実験による検証を行う。各種エネルギー機器の有効利用により、一般住宅において二酸化炭素を20%削減し得るようなマネジメント技術の提示を図る。

【平成26年度実績】

- ・柱上変圧器下流の複数住宅を対象とする住宅エネルギーネットワークのマネジメント実験を実施した。複数住戸に分散設置された蓄電デバイスを蓄電レベルや充放電要求に応じて最適運用する手法を開発し、シミュレーションと実験を行った。住宅に太陽光発電、蓄電デバイス等の分散エネルギー源を設置して有効利用することで、従来の住宅と比較して20%以上の二酸化炭素削減を達成可能なマネジメント技術を提示した。開発技術の応用として中小企業と共同で対象を小規模民生需要家にまで拡大した分散エネルギー源の統合運用マネジメント技術の開発に着手した。

【平成26年度計画】

- ・高エネルギー密度を達成できる電極の組み合わせによるハイブリッドキャパシタにつき、実用環境に近い条件下での電極評価を実施する。この結果を元に、期末目標18Wh/kgを示す、高性能・高信頼性の電気化学キャパシタ開発技術を確認する。二次電池については、エネルギー密度向上に不可欠な正極容量密度300Ah/kgを持つ材料を開発し、既に開発済みの高エネルギー密度負極材料と組み合わせた場合のデバイスとしての理論エネルギー密度として250Wh/kgを達成する。

【平成26年度実績】

- ・MgO 鋳型メソポーラス炭素（MgO-MPC）のキャパ

シタ電極特性に関し、イオン拡散抵抗低減に MgO-MPC のメソ孔構造が極めて有利であることを明らかにした。この知見をカーボンナノチューブキャパシタの電極製造技術に活かし、期末目標18Wh/kgを上回る高性能・高信頼性の電気化学キャパシタ開発技術を開発した。二次電池に関し、エネルギー密度300Ah/kg以上を示す正極材料を開発した。炭素微小球を負極として組み合わせた際の理論エネルギー密度は260Wh/kgで、中期目標250Wh/kgを達成した。

#### 【平成26年度計画】

- ・ダイヤモンドの持つ高い絶縁耐圧を実証すると共にその優れた特性を利用した高耐圧用パワーデバイスの開発を行う。ダイヤモンドダイオードの高電圧動作を実証する。GaN系材料では、信頼性を指標に GaN パワーデバイスの開発、および周辺受動部品を統合した集積化技術の研究を進める。大電力変換器に関して、これまでの高パワー密度化を進めるとともに、大電力高周波トランスの開発に着手する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ダイヤモンドのユニークな電子物性であるホッピング伝導を活用した新構造の高耐圧用パワーデバイス及びダイヤモンド特有の負性電子親和力 (NEA) を活用した10kV級超高耐圧ダイヤモンドスイッチの動作実証を行った。電力変換器の高パワー密度化を目指し、GaN パワーデバイス集積化技術を進め、分極構造を活用することで p 型 n 型同時混載集積化したトランジスタ動作の室温から極低温までの実証を行った。また、高周波絶縁トランスの開発を進め、内鉄型従来構造の小型化、および外鉄型新構造超小型パワートランスの試作検証を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・商用メガソーラーでの長期間モニタリング試験を継続し、ハードウェア、ソフトウェアのそれぞれで、実環境で安定して発電状況をモニタリングできるかを評価する。また、蓄積した発電情報に対して、これまでに開発した不具合検知アルゴリズムを評価する実験を行う。不具合が検出されたストリングを実際に調査し、検出結果との突合せを行う。これにより、不具合の検出の正確さを評価し、検出結果を活かした適切なパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を5%向上可能なことを確認する。

#### 【平成26年度実績】

- ・商用メガソーラーでのモニタリング試験を1年間以上継続し、ハードウェア、ソフトウェアのそれぞれで、実環境で安定して発電状況をモニタリングできるようになった。また、蓄積した発電情報に対して、これまでに開発した不具合検知アルゴリズムを適用し、パネ

ル上の積雪による発電量の大幅低下等を正しく検出することができた。不具合検出結果を活かした適切なクリーニング等のパネルメンテナンスと組み合わせることで発電ロスを解消し太陽光発電システムの発電効率を5%向上可能なことを確認した。

#### 2-(2)-② 燃料電池による高効率エネルギー利用技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の高耐久性、高信頼性 (電圧劣化率10%/40,000h、250回のサイクル) に資するため、ppm レベルの不純物による劣化現象及び機構を解明し、その対策技術を開発する。また、燃料多様化、高効率・低コスト化のための新規材料、評価技術を開発する。

50%を超える発電効率を目指し、90%以上まで燃料利用率を向上させる技術、排熱有効利用技術等の要素技術を開発する。また、SOFC システムからの二酸化炭素回収システムと SOFC を組み合わせたゼロエミッションシステムの性能を評価する。

家庭用燃料電池コージェネレーションの普及のために固体高分子形燃料電池の大幅な低コスト化と高耐久化の両立を目指し、白金使用量を1/10に低減できる電極材料技術を開発する。さらに、アルコールを燃料とするダイレクト燃料電池へ展開できる材料系を開発する。

大きな熱需要が見込まれる建物を対象として、高効率な水素製造技術、貯蔵技術、供給技術、燃料電池等からなるシステムを開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・セルスタックのシミュレーションモデルを用いて実現可能な最大燃料利用率のスタック運転方法、運転条件依存性等を解析し燃料利用率を90%以上に向上させる手法を開発する。また、SOFC システムと二酸化炭素回収システムを組み合わせたシステムをモデル化し、ゼロエミッションシステムに期待できる性能を明らかにする。一酸化炭素、水素の混合ガスを発生できる SOEC のガス生成速度の向上を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・セルスタックの発電出力の温度・流量依存性等を計算できるシミュレーションモデルを開発し、燃料利用率90%以上を得るためのスタックの温度分布、流量のばらつき許容範囲を計算する手法を開発した。また、二酸化炭素回収型 SOFC システムについて燃料 LNG の冷熱を二酸化炭素回収に利用するシステムの検討を行い、冷熱利用により SOFC システムの発電効率をほとんど低下させずに二酸化炭素の回収が可能であることを明らかにした。さらに SOEC について一酸化炭素、水素の混合ガスのガス生成速度を熱中性点で

0.5 A/cm<sup>2</sup>程度まで高めることに成功した。

【平成26年度計画】

- ・SOFC 開発会社6社のセルスタックについて、劣化率10%/90,000h、250回のサイクル達成へ向け、耐久性迅速評価方法に関する基礎研究を行う。具体的には、スタック長期耐久性評価、劣化機構解明と加速要因分析、耐久性迅速評価方法の開発を推進する。SOFC燃料多様化等のための新規材料および評価技術の開発、エネルギーキャリアのための基盤技術開発にも継続して取り組む。

【平成26年度実績】

- ・劣化率10%/90,000h、250回のサイクル達成へ向け、SOFC 耐久性迅速評価方法に関する基礎研究を実施した。長期運転前後の各社のセルスタックを詳細に分析し、一体焼成形セルのホウ素（B）被毒など、劣化要因を解明した。ボタンセルを用いた要素試験による劣化機構解明と加速要因分析、耐久性迅速評価方法として、東北大と連携し電解質劣化のシミュレーション技術の開発を実施した。SOFC燃料多様化等のため、新規材料の耐久性を評価し、不純物劣化評価技術を開発した。エネルギーキャリアのため、プロトン伝導性酸化物の評価手法の開発を実施した。

【平成26年度計画】

- ・チタン酸化物による耐久性向上と白金担持量低減により、市販 Pt/C 触媒と同等の特性を白金量1/10で実現する。錯体を複合化した PtRu 系触媒について、ロジウム量を30%低減しても従来の性能が発揮できる耐COアノード触媒を開発する。可逆水素電極基準0.6Vで酸化電流が200 mA/cm<sup>2</sup>を超えるヒドラジン誘導体酸化触媒を開発する。

【平成26年度実績】

- ・Pt<sub>3</sub>Ni（Ti）等遷移金属との規則合金触媒を導電性チタン酸化物上に担持し、比活性を向上させながら白金担持量を低減した。本触媒により加速劣化試験後に市販触媒の約10倍の質量活性を実現し、白金使用量を1/10にできることを示した。ロジウム量を従来の12%以下にまで削減した錯体-PtRu 複合触媒が、従来触媒とほぼ同等の性能を持つことを見出した。また、t-Butyl 基等の置換基を導入した鉄フタロシアニン錯体触媒を開発し、0.6 V において200 mA/cm<sup>2</sup>を超えるヒドラジン誘導体酸化電流を達成した。

【平成26年度計画】

- ・水電解-燃料電池一体型セルの更なる性能向上を図るため、多層化を含めたガス拡散層の機能最適化を試みる。水素貯蔵装置に関しては、合金タンクの小型化を図るため新たな断熱材の適用を試みる。また、開発した水素吸蔵合金タンクと1kW 級の水電解-燃料電池

一体型セルを組み合わせた統合型水素エネルギー利用システムを構築し、各種試験を進め、総合効率70%以上となるシステムの概念設計を行う。

【平成26年度実績】

- ・水電解-燃料電池一体型セルについては酸素極側ガス拡散層への撥水剤の添加方法のセル性能に対する影響について調査を行い、真空乾燥させることで性能が向上することを見出した。水素貯蔵装置に関しては真空断熱材を開発し、断熱性能を損なうことなく水素吸蔵合金タンクの小型化に成功した。また、水素吸蔵合金タンクと水電解-燃料電池一体型セルを組み合わせた統合型水素エネルギー利用システムを世界で初めて構築した。現時点での総合効率は約68%であるが、各要素技術の性能向上により総合効率目標の70%を超える見込みを得た。

2-(2)-③ 未利用熱エネルギーの高度利用技術の開発

【第3期中期計画】

- ・熱発電システムの経済性の改善に資する発電効率向上や高耐久、長寿命化のための材料技術を開発する。例えば、発電効率13%以上の実現に必要な要素技術を開発するとともに、材料及び発電モジュールの評価方法や寿命予測手法を開発する。未利用熱から80~200℃の高温水や蒸気を成績係数（COP）3以上の効率で生成し、需要に適應した供給を可能とするシステムを目指し、作動媒体の圧縮作用と吸収作用を併用するヒートポンプ技術やカプセル型の潜熱蓄熱及び熱輸送技術を開発する。また、常温近傍でCOP5以上の冷暖房及び給湯を可能とする直流式の地中熱交換の基盤技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・熱発電ユニットについては、大型化のための改良を重ねるとともに、フィールド実証を実施し、実用化に向けた課題の抽出を行う。モジュールの耐久性試験においては、熱サイクル試験、温度一定試験、負荷試験の3種類をこなせる試験機を開発し、1000時間超の運用を行い、蓄積されたデータの解析を通じて寿命予測法を開発する。高性能発電モジュールの試作では、低温側モジュールおよび中温側モジュールの界面熱抵抗を減らし、低温側で6%、中高温側で7%の総合効率13%の発電実証を行い、その劣化状況についてもデータを蓄積する。

【平成26年度実績】

- ・拡張性にすぐれた熱発電ユニットを開発し、実証機を工業炉に設置して発電を行い、耐久性と発電性能に係る知見を蓄積した。熱電モジュールの耐久試験では、熱サイクル試験結果を解析し、最高到達温度と劣化率の関係を利用した寿命予測法を開発した。500℃で1000時間の温度一定試験を実施し、大気中での発電

効率、発電出力の評価手法を開発した。ナノ組織制御を用いた鉛テルル系熱電材料の高性能化に成功し、材料レベルで13.6～14.2%、8対モジュールで10.9～11.2%の発電効率を実証し劣化についても評価した。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度までに行った線図解析、サイクル実験、要素技術としての性能向上策を総合した高温ヒートポンプの検討を行い、目標のCOP3以上を実現するベンチプラントの概念設計と導入効果の検証を行う。また、開発したカプセル型潜熱蓄熱体の熱媒体との熱交換特性を明らかにし、蓄熱装置の設計指針を得る。さらに、最適な地中熱交換器長を理論的に検討するとともに、冷媒圧力損失の影響評価を行い、直膨式地中熱交換システムでCOP5を達成するための設計要件を明らかにする。

#### 【平成26年度実績】

- 共沸混合媒体の熱サイクルを参考にCOP3以上を実現する吸収圧縮ハイブリッド高温ヒートポンプの概念設計を行い、ピンチ点による熱交換の制約を解消するために当該ヒートポンプが有効なことを見出した。また、多層樹脂カプセル型潜熱蓄熱体の熱交換特性を調べ、耐熱・耐圧のための容器壁の厚肉化の熱交換速度への影響は小さいことを明らかにした。さらに、実験と理論計算による冷媒圧力損失の関連付けを行い、直膨式地中熱交換システムでCOP5を達成するために必要な地中熱交換器の長さ・本数等を定量的に検討できるようにした。

### 2-(2)-④ 省エネルギー型建築部材及び家電部材の開発

#### 【第3期中期計画】

- 省エネルギーと快適性の両立を目的とした建築部材を開発する。具体的には、調光窓材、木質材料、調湿材料、外壁材等の機能向上を図るとともに、実使用環境での省エネルギー性能評価データを蓄積する。調湿材料については、相対湿度60%前後での吸放湿挙動に優れた材料を内装建材に応用する技術、調光窓材については、透明／鏡状態のスイッチングに対する耐久性を10,000回以上（1日当たりの透明／鏡状態のスイッチングを1回とした場合、20年以上に相当）にする技術を開発する。

照明の省エネルギー化による希土類蛍光ランプの需要増に対応し、Tb（テルビウム）、Eu（ユウロピウム）の使用量を40%低減するため、ランプの光利用効率を30%向上させるガラス部材や蛍光体の使用量を10%低減できる3波長蛍光体の分離、再利用技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 調光ミラーについて実用化を図るうえで障害となる耐

久性・耐候性やプロセス等の諸問題の解決を目指す技術開発とともに新型調光材料の研究を継続する。木質材料については、産業界からの要望が強い薄肉化およびリサイクル性向上の技術開発を進める。調湿材料と保水材料といった内外装材については、環境調和型建材実験棟を利用したハスクレイを使った内装材の性能向上と実証を継続するとともに、保水セラミックスの耐久性についての研究を継続する。

#### 【平成26年度実績】

- 調光ミラーについて、スイッチング繰返し1万回以上の耐久性と透明時の可視光透過率70%以上を得た。同時に新型調光材料として偏光制御型の調光材料を試作した。木質材料については、厚さ0.2 mmの薄肉材の成形を可能にした。調湿材料については、ハスクレイを用いた相対湿度60%前後で吸放湿挙動に優れた内装材を開発し、環境調和型建材実験棟を利用した実証を継続するとともに、構成元素の見直しを行い非晶性鉄ケイ酸塩系材料の効果を確認した。保水セラミックスについてJIS A 1435の中の気中凍結気中融解法で試験した結果、凍結融解50回に耐える成果を得た。

#### 【平成26年度計画】

- ランプの光利用効率30%、三波長蛍光体の使用量10%を低減する技術を達成した上で、それぞれの技術の実用化への課題を抽出する。その結果を総合的に考慮して、Tb、Euの使用量をトータルで40%低減する場合の最も実用化しやすい形を提案する。また開発されたガラス材料について、蛍光ランプ以外にLED等の用途展開を検証し、実用化への課題を抽出する。

#### 【平成26年度実績】

- 開発したガラス部材によって合わせてTb、Euの単位量あたりランプの光利用効率が30%向上し、三波長蛍光体の分離技術によって工程内蛍光体の再利用が可能となることで10%以上の蛍光体の使用量が低減できることを示し、あわせて40%以上Tb、Euが低減可能なことを示した。また、蛍光体の分離技術が市中廃蛍光体にも適用可能であり、当初想定の3倍以上の低減が見込まれ、実用化に向けて量産安定性が課題であることを示した。また、開発された材料の他用途展開を検討し、LED以外に太陽電池用途が有望であることが明らかになった。

### 2-(3) 情報通信の省エネルギー技術

#### 【第3期中期計画】

エネルギー消費の増加要因となることが懸念される情報通信の省エネルギー技術の開発を行う。具体的には、電子デバイス及び集積回路の省エネルギー技術、ディスプレイ及び入出力機器の高機能化と省エネルギーのための複合構造光学素子等の技術開発を行う。また、大容量情報伝送の省エネルギー化のための光ネットワーク技術

の開発や、情報処理システムの省エネルギー化に資するソフトウェア制御技術の開発を行う。特に、コンピュータの待機電力を1/5に削減可能な不揮発性メモリ技術や既存のネットワークルータと比べてスループットあたり3桁消費電力の低い光パズネットワークによる伝送技術の開発を行う。

### 2-(3)-① 電子デバイス及び集積回路の省エネルギー化 【第3期中期計画】

- ・情報通信機器を構成する集積回路デバイスの低消費電力化技術を開発する。具体的には、処理待ち時間に情報を保持するために必要な電力が1/10以下となるSRAM、1V以下で動作可能なアナログ回路、データセンタのストレージ用強誘電体フラッシュメモリ、無線ネットワーク用途のモノリシック集積デバイス等を開発するとともに、3次元LSI積層実装技術を活用した超並列バス・マルチコアアーキテクチャと高熱伝導構造の採用による低消費電力LSI実装システムを開発する。

コンピュータの待機電力を1/5に削減可能にするために、スピントロニクスとナノテクノロジーを融合したナノスピントロニクス技術を用い、DRAMやSRAMの置き換えを可能とする不揮発性メモリ技術を開発する。

コンピュータの消費電力を削減するために、半導体ロジックの動作電圧を0.5V以下に、不揮発性メモリの書き込みエネルギーをビット当たり0.5nJ以下に低減させることを目指して、ナノレベルの新デバイス技術及び計測技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・低消費電力、超高信頼性集積回路実現に向け、低特性ばらつき極微MOSFET作製プロセス技術の更なる高度化を進めると同時に、その特徴を活用した新型回路の開発を進める。新提案Flex-Pass-Gate-SRAM回路により待機時消費電力1/10以下を実証すると共に、10nm世代までの極微細化可能性を探求する。0.8V動作実証済み新規アナログ演算増幅器の実用性向上を目指し、汎用性の高いプロセスを用いた回路製作を進める。極低消費電力化を可能とする新原理素子の開発と該素子集積化技術の構築も進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・26年度は、FinFETにおいてアモルファス金属ゲート組成制御により、バラツキと低周波ノイズの低減に成功し、テラHz発振回路応用への可能性を計算により確認した。また、Flex-Pass-Gate-SRAM回路を試作し待機時消費電力1/30を実証し、10nm世代まで微細化が可能であることを計算により明らかにした。さらに、バルク素子よりばらつきが低いプレーナSOI素子を用いて、新提案アナログ回路の0.8V動作

を確認し、60mV桁以下のS係数を有するCMOS型トンネルFETの作製プロセスを構築した。

#### 【平成26年度計画】

- ・ゲート導体の最適化によりゲート長50nm以下のFeFETの作製技術を開発し、データ保持測定で2日後メモリウィンドウ0.3V以上を実現する。また、FeFET量産化技術として、MOCVDでバッファ高誘電体層と強誘電体層の積層を成膜したFeFETを作製する。

#### 【平成26年度実績】

- ・新ゲート導体の開発と素子作製プロセスを最適化して積層構造を薄膜しゲート長50nm以下のFeFET作製技術を開発した。連携企業との議論の中でデータ保持特性と多数回書換特性を改善する重要性が明らかになり、年度の途中からこれに注力した結果、メモリウィンドウの目標は未達であるが、100nmのFeFETで4.6日後にドレイン電流比5桁の良好なデータ保持と1E+08回の多数回書換を実現し外部発表した。また、量産化技術としてMOCVDでバッファ高誘電体層と強誘電体層の積層を成膜し、FeFET特性を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・超並列バス・マルチコアアーキテクチャの高速化、ビット幅拡大化を検討し、高性能な3次元LSI積層応用システム的设计・TEG試作評価を進める。また、ヒートスプレッド層とマイクロ流路放熱構造を組み込んだ3次元LSI積層構造について、発熱分散設計されたLSI回路を含む実証TEGの設計・シミュレーション解析に加えて、TEG試作・評価を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・3次元LSI積層応用システムとして、電源ノイズ低減用コンデンサ内蔵インターポーザおよび電源ノイズ評価用ノイズ波形計測回路を含む、積層時の電源ノイズ評価が可能なプロトシステムの設計を進めた。ヒートスプレッド層とマイクロ流路放熱構造を含む、発熱分散を考慮したLSI回路設計について、熱電気連携シミュレーション解析を実施した。高分解（空間・時間領域）温度計測システムを想定したホットスポット放熱特性評価TEGデバイスの設計・試作を進め、試作したTEGデバイスの基本特性を評価した。

#### 【平成26年度計画】

- ・DRAMやSRAMを置き換えることによって情報機器の大幅な省電力化を可能とする不揮発性メモリ・スピンRAMについて、平成26年度は動作電圧と消費電力のさらなる低減を目指す。垂直型磁気抵抗素子を構成するMgOトンネル障壁やキャップ層などの材料・プロセスなどを最適化することにより垂直型磁気抵抗素子の低抵抗化を行い、0.2V以下の書き込み電圧で

0.5 nJ を大幅に下回る書き込みエネルギーを実現する。

【平成26年度実績】

- ・垂直磁化トンネル磁気抵抗素子の MgO トンネル障壁の作製プロセスおよび組み合わせる強磁性電極層・キャップ層の材料やプロセスの最適化により、高 MR 比を維持しながら超低抵抗化を実現した。具体的には、規格抵抗値  $5.0 \Omega \mu\text{m}^2$  において磁気抵抗比150%を得た。さらに  $2.0 \Omega \mu\text{m}^2$  でも MR 比100%以上を実現した。この超低抵抗素子を用いたスピン RAM の動作実証で、0.2 V 以下、書込エネルギー0.02 nJ 以下の超低電圧書き込みに成功した。

【平成26年度計画】

- ・超低パワー動作の超格子型相変化メモリ (iPCM) の研究開発を進め、低電力動作でのサイクル向上 (>10億回) を図る。また、新材料開発を含めた耐熱安定性の向上を進める。さらに、iPCM を用いた超高速動作デバイスの制御と応用技術開発として、ピコ秒応答の電場制御特性の評価、ピコ秒応答 ON-OFF 動作の検証を進める。超格子相変化材料が有するスピン特性等の解明を進め、iPCM のさらなる性能向上や新機能デバイスへの展開を進める。

【平成26年度実績】

- ・iPCM の構造等の最適化を共同研究先企業等と共に進め、10年以上の耐久性を確認した。0.3 V 以下の低電力動作時の繰り返しサイクルは、百万回以上の耐久性を確認したが、10億回までの計測は現時点では終わっていない。また、高速応答性評価のため、THz 波による電気特性の高感度評価システムを構築した。ホール効果測定や光磁気 Kerr 効果の測定から、超格子相変化材料のスピンによる磁気特性を確認し、この特性が (GeTe) 層内の  $\cdot\text{Te}\cdot\text{Ge}\cdot\text{Ge}\cdot\text{Te}\cdot$  の空間反転対称が壊れることで発現することを見出した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、酸素欠損分布制御技術の高度化を行う。より具体的には、金属と酸化物からなる界面のイオン伝導を制御するために酸化物側の材料開発を進め、単体素子当たりの書き込みエネルギーが 0.5 nJ 以下となる不揮発性機能を持った酸化物電子デバイスを開発する。

【平成26年度実績】

- ・酸素欠損分布制御技術の高度化を行った。より具体的には金属と酸化物からなる界面の酸素欠損分布を精密に制御することにより、単体素子当たりの書き込みエネルギーが0.5nJ 以下となる不揮発性機能を持った酸化物電子デバイスを開発した。

2-(3)-② ディスプレイ及び入出力機器の省エネルギー

化

【第3期中期計画】

- ・ディスプレイ及び入出力素子作製技術の高度化のための省資源、低消費電力製造プロセスとして、ナノプリント、ナノモールド法等のデバイスの低温形成、印刷形成技術を開発する。これを用いて、 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  以上の電荷移動度を有する塗布形成半導体、 $150^\circ\text{C}$  以下の低温焼結で  $7 \text{ MV/cm}$  以上の絶縁耐圧を示す塗布形成絶縁層及び  $10^{-6} \Omega \text{ cm}$  台の抵抗率を示す塗布形成導電材料の開発や、大面積パターンニング技術の開発により、超低消費電力 (1インチあたり1 W 以下) 薄型軽量ディスプレイの実現を可能にする技術や印刷光エレクトロニクス素子を開発するとともに、情報家電の小型、省エネルギー化に向けた複合構造光学素子を開発する。

【平成26年度計画】

- ・次世代入出力素子として以下の技術を開発する。
  - 1) 低温焼成型銅ペーストにてライン抵抗率  $\mu \Omega \text{ cm}$  台、接着力3N 以上を実現する。
  - 2)  $150^\circ\text{C}$  以下の加工温度で、 $7 \text{ MV/cm}$  以上の耐圧を示す塗布絶縁膜をフレキシブル基板上に作製する。
  - 3) パワーファクター200  $\mu\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  以上を示すフレキシブル熱電変換材料インクを開発する。
  - 4) 圧力分布分解能1 cm 以下でサイズ1 m 角以上のフレキシブル圧力センサを開発する。
  - 5) 1 W/inch 以下の消費電力を実現させる低損傷プロセスを用い、ガラス基板上素子と同等性能を示すフレキシブル有機 EL 素子を開発する。

【平成26年度実績】

- ・次世代入出力素子として以下の技術を開発した。
  - 1) 銅ペースト及び焼成技術の開発により、ライン抵抗率  $8 \mu \Omega \text{ cm}$ 、接着力4N の銅配線印刷形成を実現した。
  - 2) 低温塗布乾燥技術の開発により、フレキシブル基板上に加工温度  $90^\circ\text{C}$  で耐圧  $15 \text{ MV/cm}$  を示す塗布絶縁膜の作製に成功した。
  - 3) パワーファクター  $470 \mu\text{W}/\text{m}^2\text{K}$  を示すナノチューブ/高分子複合材料系熱電変換材料インクを開発した。
  - 4) 分布分解能1 cm で面積  $0.8 \text{ m} \times 1.6 \text{ m}$  の圧力センサシートの印刷製造に成功した。
  - 5) 低損傷プロセスにより EL 素子代替フレキシブル表示に対応可能な高効率電極を開発した。

【平成26年度計画】

- ・ディスプレイ及び入出力素子作製技術の高度化のため、省資源かつ低消費電力な製造プロセスを開発するとともに情報家電の小型、省エネルギー化を目指す。低消費電力ディスプレイ用光源として白色偏光 EL 素子を開発する。高効率化のために光取り出し効率の向上を目指し、分子配向と光取り出し効率との関係を明らか



にする。

【平成26年度実績】

- ・昨年度に引き続き、省資源かつ低消費電力な製造プロセスである摩擦転写法を用いて作製した青色発光高分子配向膜と橙色発光色素を用いた白色偏光 EL 素子について色素と高分子との二層構造型について検討した。既存のものより長波長で発光する色素の導入により、より白色度の高い素子が得られた。面内光学異方性を持つ EL 素子について電磁場解析を行い、分子配向と光取り出し効率との関係から、理論的には約20%の取り出し効率向上が期待できるという知見を得た。

【平成26年度計画】

- ・屈折率や透過特性等の光学物性とガラス構造の関係を調べることにより、省エネプロセスであるナノインプリント法で素子を低温形成する際に必要な光学ガラスを開発する。また、これまでの結果を踏まえ、実用的な波長である405nm を含めた短波長領域の二光子吸収の作業性の良い評価法を確立するとともに、二光子吸収特性の二光子吸収に基づく光記録ビット・微細構造形成を行い、照射条件依存性やその形成メカニズムを含め記録感度を高めるための研究を行う。

【平成26年度実績】

- ・屈折率や透過特性等の光学物性とガラス構造の関係を調べることにより、ガラスインプリント用の高屈折率ガラスを開発した。短波長領域の二光子吸収測定において、窒化ガリウム単結晶膜を標準物質として用いることで、簡便に波長別感度補正を行なうことができる方法を確立した。また、高感度の環状構造化合物を用いて既存物質の1/10の添加量で、2光子吸収にもとづく直接描画による微細構造形成が行なえる条件を見いだした。

2-(3)-③ 光ネットワークによる情報通信の省エネルギー化 (Ⅲ-1-(1)-③へ再掲)

【第3期中期計画】

- ・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現するために、既存のネットワークルータに比べてスループットあたり3桁低い消費電力でルーティングを行う光パスネットワーク技術を開発する。具体的には、ルートを切り替えるシリコンフォトニクス、ガラス導波路技術を用いた大規模光スイッチ、伝送路を最適化する技術、及び光パスシステム化技術を開発する。また、1 Tb/s 以上の大伝送容量化を目指して、多値位相変調や偏波多重を含む超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・これまで開発してきた、光パスネットワークの大規模実運用テストベッド用ハードウェアを統合して、複

数・異種の光スイッチを統合的に制御するダイナミックノード制御ボックスを実装する。さらに、資源管理ソフトウェアやアプリケーションを実装して、システム全体として動作確認を行った後、公開実証実験を行う。そこで、光パスネットワークの消費電力をモニタし、既存技術に比べスループット当たり3桁低くできることを実証する。シリコンフォトニクスを用いた光スイッチモジュールを開発し、同テストベッドに搭載し動作検証を行う。伝送技術では、パラメトリック分散補償装置を同テストベッドに接続して、自律的動作の実証を行う。さらに、高効率多重伝送技術では、1Tb/s 以上の大容量化を達成する。

【平成26年度実績】

- ・平成26年度はダイナミック光パスネットワーク・テストベッドの構築及び公開実験の実施など、すべての目標を達成した。光パスネットワークを利用することで既存通信技術に比べスループット当たりの通信消費電力を3桁低くできることを実証したのみならず本ネットワークの超低遅延性にも着目し、NHK 放送技術研究所と共同で超高精細映像 (8K スーパーハイビジョン) のリアルタイム伝送を基に世界で初めて音楽演奏の遠隔セッションに成功した。伝送技術では、1Tb/s 以上という目標を達成し光ネットワーク動作にも成功した。

【平成26年度計画】

- ・超高速光多重化のためのデバイスとして、光集積回路に搭載可能なマルチキャリア光源を実現する。窒化シリコン導波路の歪みと損失を低減し、厚さ1 μm 以下の光導波路において1 dB/cm 以下の損失を実現するとともに、発生効率向上のための光帯域制限構造を開発する。

【平成26年度実績】

- ・窒化シリコン導波路の成膜法を見直し、化学量論組成で膜厚800 nm 以上までクラックフリーを実現した。導波損失を4.5 dB/cm (1530 nm)、2.5 dB/cm (1600 nm) まで低減できたが、マルチキャリア光源の実現には至らなかった。光帯域制限構造に関しては、方式の比較と絞り込みを行い、回折格子型導波路による分散曲線調整方式の基礎検討を行った。

2-(3)-④ ソフトウェア制御による情報処理システムの省エネルギー化

【第3期中期計画】

- ・情報処理システムで用いられる計算機、ストレージ、ネットワーク等の資源について、ミドルウェア技術によりエネルギー指標に基づく資源の選択を実現し、物理資源の利用効率を向上させ、30%の消費電力削減を目指す。利用者の利便性を損なうことなく省エネルギーを実現するため、その時々々の需要や環境に応じてエ

エネルギー消費の小さな資源を使う等、資源の選択や利用法の最適化を行うミドルウェア技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・ミドルウェア技術による消費電力削減のため以下の研究開発を行う。1)さらなる省エネ化のためにサーバ省エネ運用のシミュレーション手法を用いて、高性能計算プラットフォーム上で運用効率の改善を行う。さらに平成26年度に運用が始まる ASGC に一部機能を提供し実証する。2)光パス網とストレージにソフトウェア制御を適用することにより30%の省エネが可能なことを確認するために、4K 映像配信システムおよび4K テレビ会議システムをダイナミック光パス網テストベッドに接続し、実証実験を行う。

【平成26年度実績】

- ・ミドルウェア技術による消費電力削減のため以下の研究開発を行った。1) シミュレーション手法の適用に必要なワークロード情報を高性能計算プラットフォームから取得、分析するために、分散モニタリングシステムから取得、蓄積した統計データを解析する技術を開発した。これを ASGC 上に実装し、管理者向け機能として提供し実証した。2) 4K 映像配信および4K テレビ会議をソフトウェア制御により実現するダイナミック光パス網の実証実験を行い、従来型ネットワークに比べて30%を超える省エネが可能なことを確認した。

### 3. 資源の確保と高度利用技術の開発

【第3期中期計画】

物質循環型社会の実現のためには、炭素資源、鉱物資源等、多様な資源の確保とその有効利用が不可欠である。そのため、バイオマス資源等、再生可能資源を原料とする化学品及び燃料製造プロセスの構築に向けて、バイオ変換、化学変換、分離精製等の技術の高度化を図る。また、化石資源（石炭、メタンハイドレート等）や鉱物資源（レアメタル、貴金属等）等、枯渇性資源を高度に利用する技術や省使用化技術、リサイクル技術、代替技術等の開発を行う。

#### 3-(1) バイオマスの利用拡大

【第3期中期計画】

化学品製造等において、石油に代表される枯渇性資源ではなく再生可能資源を効果的に活用するための技術の開発を行う。具体的には、バイオマスを原料とする機能性化学品及び燃料製造プロセスの拡大に必要な酵素や微生物等によるバイオ変換、触媒による化学変換、分離精製、熱化学変換（ガス化、触媒合成）等の基盤技術と高度化技術の開発を行う。また、全体プロセスの設計と燃料品質等の標準化の提案を行う。

#### 3-(1)-① バイオマスを利用する材料及びプロセス技術【第3期中期計画】

- ・バイオマスから、酵素や微生物等によるバイオ変換や触媒による化学変換と分離、精製、濃縮技術等を用い、基幹化学物質やグリセリン誘導体等の機能性化学品を効率よく生産するプロセス技術を開発する。特に、グリセリン利用においては、変換効率70%以上の技術を開発する。また、製品中のバイオマス由来の炭素が含まれている割合を認証するための評価方法を開発し、国際標準規格策定に向けた提案を行う。さらに、バイオエタノール等の再生可能資源由来物質を原料として低級炭化水素や芳香族等を生産するバイオリファイナリーについて、要素技術及びプロセス技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・微生物や酵素を利用した機能性バイオ素材の効率的な生産系の開発とその用途開発を継続し、特に不純物を含むグリセリン原料からグリセリン誘導体を生産するための各要素技術について最適化を行い、プロセス全体の効率化を図ることにより、変換効率70%以上を達成する。

【平成26年度実績】

- ・機能性バイオ素材の効率的な生産系の開発とその用途開発に引き続き取り組み、特にメタノール含有グリセリンからのグリセリン誘導体生産において、原料供給法や微生物反応条件の最適化を行い、プロセス全体の調整を行うことで、変換効率70%以上を達成した。また、生産したグリセリン誘導体の用途開発に向け、生体分子保護作用などの新たな機能も見出した。

【平成26年度計画】

- ・セルロース系バイオマス原料の化学変換効率を向上させるため、原料の前処理が化学変換反応に及ぼすファクターを明らかにする。セルロースの表面構造や触媒とのアクセスビリティ、触媒とリグノセルロースの相互作用や、化学反応に伴うリグノセルロース構造の変化について検証する。

【平成26年度実績】

- ・木質バイオマス原料の前処理技術として、水熱処理技術と湿式メカノケミカル処理技術を組み合わせることにより、原料中のセルロース成分の表面構造や組織構造が変化し、触媒との接触が改善され、セルロース成分の分解反応が促進されることを見出した。また、触媒の作用により木材組織表面を覆うリグニン層を低分子化し、ヘミセルロースやセルロースへの接触性が向上していることも明らかになった。

【平成26年度計画】

- ・バイオマス由来の有機酸中間化合物から有用化成品基幹物質を製造するための触媒開発を引き続き行う。特

にレブリン酸からベンゼン、トルエン、キシレンを合成する反応について、酸-塩基特性の制御及びコーク生成の抑制の観点から検討し、高活性で高耐久性を有する触媒プロセスを開発する。

#### 【平成26年度実績】

- 各種金属を修飾したゼオライト触媒を用いてレブリン酸からのキシレン等の芳香族転化反応を検討した結果、ガリウムおよび銅を添加することで触媒性能の大幅な改良に成功した。また、これらの金属の添加により、反応中における炭素析出も抑制され、触媒寿命の向上にも成功した。さらに、レブリン酸からのγバレロラクトンへの水素化触媒についても、新規な酸化系触媒を見出すことができ、レブリン酸から有用基礎化学品が生産可能となる見通しを得ることができた。

#### 【平成26年度計画】

- バイオマス原料から生産した種々のバイオマスモノマーから、バイオマスプラスチックを製造する方法を検討する。また、ゴム製品に関するバイオマス由来炭素含有率の評価方法を検討し、ISO 新規提案を検討する。ISO 国際審議中のプラスチック製品のバイオマス由来炭素含有率の評価方法を発行段階に進める。

#### 【平成26年度実績】

- トウモロコシの芯から生産されるフルフラールからエポキシ樹脂の新規モノマーを合成した。それを架橋反応させることにより、一部分がバイオマス由来の透明エポキシ樹脂を作成した。また、ゴム製品に関するバイオマス由来炭素含有率の評価方法を検討し、ISO 新規提案した。ISO 国際審議中のプラスチック製品のバイオマス由来炭素含有率の評価方法を発行段階に進めた。

#### 【平成26年度計画】

- 各種バイオマスの前処理／糖化技術を統一的手法で比較検討する。糖化酵素については、生産性向上とバランスの最適化により、糖化酵素の製造手法を確立するとともに、主要な酵素の耐熱化を進める。産総研独自技術で得られる低変性リグニンについて、用途に応じた低分子化技術の開発を行う。糖化液からの物質生産系では、ピルビン酸の生産性向上を目指して微生物の遺伝子制御を行う。合成ガスからの物質生産系では微生物の遺伝子組換え法の改良、導入遺伝子資源の確保を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 同一条件で水熱処理／酵素糖化した試料を分析し、ユーカリは糖生成量が、稲わらは糖収率がスギを含む3試料中で最も高かった。転写因子を制御した糖化酵素生産菌を作成し、酵素生産性を2倍向上させる技術を開発した。2種類の糖化酵素に70℃以上の耐熱化を行った。リグニンの水熱処理・溶媒可溶化の最適条件を

検討し、低分子化技術を開発した。ピルビン酸代謝に関わる遺伝子群を破壊・サイレンシングした菌株を構築し、糖化液から3%以上のピルビン酸生産を確認した。導入遺伝子資源の確保のため、油層水からプラスミドを持つ合成ガス資化性菌株を探索した。

#### 【平成26年度計画】

- 各種バイオマスから製造したナノファイバーの工業利用性の評価として、樹脂への複合化特性の評価を行う。また、高含水ナノファイバーを用いた樹脂複合体製造技術として、ナノファイバーの凝集を抑制した効率的脱水・乾燥手法および樹脂分散性向上手法を用いたマスターバッチ製造技術を開発するとともに、実用的な高性能複合材料の開発を行う。各種条件により製造したナノファイバーを固定化した水晶振動子センサーを製造し、化学的、生化学的手法により樹脂複合化に適したナノファイバー表面の特性解析を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 各種木質バイオマスについてナノファイバー製造効率を評価した結果、オウシュウトウヒは効率が高いこと、また製造効率と複合体強度物性に高い相関があることが示された。ナノファイバー複合化方法として、低融点樹脂を用いたマスターバッチ法、固相でのせん断印加法により、高含水でもナノファイバーの凝集抑制、脱水・乾燥および複合化を同時に進行させる実際的な複合化方法を確立した。ナノファイバー固定化水晶振動子センサーを用いて酵素をプローブとすることでナノファイバー表面の木質成分の分布状態を明らかにすることができた。

### 3-(1)-② 微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明 (I-5-(3)-①を再掲)

#### 【第3期中期計画】

- 未知微生物等の遺伝資源や環境ゲノム情報、機能の高度な解析により、バイオ変換において従来にない特徴を有する有用な酵素遺伝子を10種以上取得する等、酵素、微生物を用いた実用的な高効率変換基盤技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 従来行ってきた16S rRNA 遺伝子置換によるリボソーム改変、それに伴う宿主機能の改変を23S rRNA にも適用する。また16S rRNA、23S rRNA の組み合わせ置換なども行い、リボソームの機能可塑性を徹底的に追求するとともに、宿主機能のさらなる多様化を図る。

#### 【平成26年度実績】

- 変異16S rRNA を保持した変異大腸菌ライブラリーの規模の拡大を行い、レポーター遺伝子の発現向上をもたらす16S rRNA を数種取得した。その他、増殖速度の速い変異株や生育温度依存性の高温シフトした株な

ど、様々な表現型変化をもたらす16S rRNA を分離した。23S rRNA についても大腸菌遺伝子との交換実験を行い、16S rRNA と同程度に遠縁の遺伝子による生育相補を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・酵母での機能性脂質生産系において、活性型変異 DGAT を発現させて得た高い脂質生産性株で脂質蓄積に関わる因子を探索する。高度不飽和脂肪酸合成の律速段階の  $\Delta 6$  不飽和化の生産性向上に資する因子である、活性型 DGAT 導入や界面活性剤等の培地成分の複合的影響を解析する。また、リシノール酸等の脂肪酸の生産及びそのストレス耐性に関与する新たな因子を探索する。さらに、微生物が産生する2,3-ブタンジオールから新規ケテンアセタールである2-メチレン-4,5-ジメチル-1,3-ジオキサソランの合成を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・高い脂質生産性をもつ酵母株では、脂質蓄積にヒストンアセチル化酵素 *Esa1p* の発現低下が重要なことを見出し、ヒスチジンと Tergitol NP40の同時添加で、 $\Delta 6$  不飽和化の生産性が向上し、生産脂肪酸が培養液中に滲出することを見出した。また、酵母によるリシノール酸生産に伴うストレス耐性に関与する遺伝子として *plg7* を見だし、*plg7* の高発現によるリシノール酸の分泌生産に成功した。さらに、微生物が産生する2,3-ブタンジオールから新規環状ケテンアセタールモノマーを合成し単離した。

#### 【平成26年度計画】

- ・新たな微生物由来の有用因子探索を目的として、さらに水生植物根圏に生息する未知微生物群を探索し、新規根圏微生物ライブラリーの拡充を図る。さらに、効果の高い新しい水生植物の成長促進微生物 (PGPR) の探索を実施する。また取得に成功した新規 PGPR については、その成長促進メカニズムの解明に取り組むとともに、水生植物以外の産業上重要な植物への効果について検証を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・水生植物根圏ならびに葉圏に生息する未知微生物群を探索した結果、新たに15新属20新種以上の新規根圏微生物および葉圏微生物の分離、収集に成功し、水生植物微生物ライブラリーの拡充を達成した。さらに、既存の水生植物の成長促進微生物 (PGPB) の能力と同等かそれ以上の PGPB を新たに5種見出した。新規 PGPB による水生植物成長促進メカニズムについて調べたところ、陸生のものとは異なり、水生に特有の作用機序の存在が示唆された。

#### 【平成26年度計画】

- ・効率的バイオ燃料生産のために、トリグリセリド代謝

経路上でのキーファクターの推定を行う。具体的には、平成25年度に同定した遺伝子群から、脂肪酸合成やグリコゲン合成などにおいて、N 欠状態で各酵素の活性化に必要な因子を発現データやメタボライトデータを用いて同定する。同定した因子から脂肪酸・グリコゲン合成経路が活性化されるメカニズムの推定を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・1)トリグリセリド生産時の発現データに対し時系列解析を行い、活性化している代謝パスウェイを推定し、その結果、脂肪酸高生産株では通常とは異なるパスウェイを通してトリグリセリド合成を行っていることを明らかにした。2)他の近縁種とのゲノム比較を行うことで、脂肪酸高生産株特異的な性質のキーファクター候補となる遺伝子群を推定した。

#### 【平成26年度計画】

- ・これまで開発した微生物ゲノムの遺伝子予測技術を情報ツールとしてまとめて公開する。また、醤油麹 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベースを公開する。

#### 【平成26年度実績】

- ・麹菌の二次代謝産物の網羅的予測など、これまで開発した微生物ゲノムの遺伝子予測技術を情報ツールとしてまとめ、誰でもダウンロードして利用することができるように公開した。また、昨年度までに実施した醤油麹 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベース「sojaeDB」を作成し、公開した。

#### 【平成26年度計画】

- ・低温適応微生物の利用および共生系微生物の機能解析を行う。1)現北海道の森林等から、これまで研究してきた南極産菌類に対応する脂質分解性の真菌類のスクリーニングを行う。2)動物腸内の微生物叢の群集構造を解明するとともにその機能を解明する。カメムシ腸内共生細菌のゲノム解析およびトランスクリプトーム解析を進め、腸内共生の分子メカニズムを解明する。

#### 【平成26年度実績】

- ・1)分離目的の微生物に適した培地を検討することによって、北海道の森林およびパーラー排水処理施設より、それぞれ4株以上の脂質分解能を有する真菌を分離した。2)カメムシ類を含む難防除害虫の腸内微生物叢やメダカの野外個体群の腸内微生物叢を明らかにし、それら腸内微生物叢の核となる微生物を明らかにした。害虫カメムシ消化管のトランスクリプトーム解析や腸内共生細菌のゲノム解析を進め、共生微生物が害虫腸内に定着するための遺伝子を多数特定した。

#### 【平成26年度計画】

- ・殺虫剤分解性および非分解性の複数の *Burkholderia*

共生細菌株のゲノム解析を行うとともに、宿主ホソヘリカメシ共生器官の RNAseq 解析を行う。ゾウムシ類の共生細菌 *Nardonella* の機能解析を進め、特に高度なクチクラ硬化に関わる生物機能を解明する。

【平成26年度実績】

- 1)ホソヘリカメシ-*Burkholderia* 腸内共生系について新たに共生細菌7株 (RPE67、RPE239、RPE301、SFA1、KMA、KMG 株) の全ゲノム配列を決定し、中腸共生器官の遺伝子発現解析を推進した。また、標識した共生細菌により生体内感染動態の可視化を可能にした。2)ゾウムシの細胞内共生細菌 *Nardonella* について、日本産害虫ゾウムシ7種について新たに共生細菌を同定するとともに、クロカタゾウムシの単離菌細胞塊の培養によりクチクラ硬化に必要なチロシン合成を証明した。

3-(1)-③ 生体高分子や生体システムの高機能化によるバイオプロセスの高度化 (I-5-(3)-②を再掲)

【第3期中期計画】

- ・バイオプロセスに有用な生体高分子の高機能化を行うとともに、生物情報解析技術や培養、代謝工学を利用して、機能性タンパク質、化学原料物質としての低分子化合物等を、従来よりも高品質で効率よく生産するプロセス技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・新たに得られたメタノール資化性酵母変異株のトランスクリプトーム解析を進め、変異による各遺伝子発現の変動を確認する。また同変異株での有用タンパク質発現能に関連する遺伝子を探索し、安定的なタンパク質発現が可能な酵母株を作出する。

【平成26年度実績】

- ・新たに得られたメタノール資化性酵母変異株のトランスクリプトーム解析を行ない、変異によって発現変動が見られる遺伝子をリスト化した。その中で、物質生産に影響されると考えられる遺伝子を推定し、その遺伝子解析により、メタノール資化性酵母のメタノール代謝時の代謝経路が変化するメカニズムを推定した。これらにより、安定的にタンパク質を発現する酵母株を作出した。

【平成26年度計画】

- ・脂肪酸などの産業上有用な炭化水素系化合物について、これまでの検討で得られた高生産化に必要な前駆体および生産された物質の代謝系を含めた制御、連続培養などの培養技術上の改良により、数十 g/L 程度の生産性の獲得を目指す。脂肪酸分泌生産の基礎技術などを利用して、分離がしやすく純粋に近い生産により生産コストの低減を可能にする技術を開発する。

【平成26年度実績】

- ・これまでの検討で最も効果が高かった遺伝子の二重発現によって代謝経路をさらに強化するとともに、連続培養の導入などの検討により、約5 g/L の脂肪酸生産性を実現した。更に条件を最適化することで目標を達成できると予想された。この生産法では分泌生産が実現されており、分離がしやすく純粋に近い生産を可能にした。

【平成26年度計画】

- ・引き続き人工耐熱性セルラーゼの高機能化のために吸着ドメインを多重化させるときのリンカー長の最適化を行う。また人工酵素の開発の手掛かりとなる有用タンパク質 (D-アミノ酸デアシラーゼ等) の物性、構造、機能解析を行う。また DAC に関しては平成25年度の成果を基に阻害剤の合成を行い活性に対する影響を検証する。

【平成26年度実績】

- ・人工耐熱性セルラーゼの高機能化のために吸着ドメインをつなぐリンカー長の最適化を行った。その結果、リンカー長は10アミノ酸程度が最適でありセルロース分解活性を約2倍に増強することが判った。2種類の D-アミノ酸デアシラーゼの物性、構造、機能解析を行うため発現系の構築を行い、精製法を確立した。DAC に関しては阻害剤の合成を行い、活性測定方法の確立と阻害剤の活性に対する阻害効果を確認した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に決定した水熱反応残渣と試料に含まれる酸不溶性リグニン量がほぼ一致する反応条件において、木質系バイオマスに含まれるセルロース、ヘミセルロースが効率的に分解、抽出されているかを明らかにするために以下の項目について検討する。水熱反応残渣の化学構造解析を行い、酸不溶性リグニンと比較することにより、反応残渣の由来を明らかにする。また、本手法 (水熱反応+有機酸による加水分解) で得られた単糖量を一般的な硫酸法による加水分解法と比較し、当該手法の有効性を明らかにする

【平成26年度実績】

- ・水熱反応残渣の構造について、固体 NMR, および FT-IR により解析を行った結果、残渣構造はリグニン構造とは一致せず、むしろ反応物である竹試料と同等であることが判明した。これにより、残渣中に単糖になり得る成分が含まれていることが示唆された。また、本手法 (水熱反応+有機酸による加水分解) で得られた単糖収率は、硫酸法に比べ低い値を示すことが明らかになった。これらのことから、本手法で硫酸法と同等の単糖収率を得るためには、水熱反応過程においてより抽出率を上げる方策が必要となることが示唆された。

【平成26年度計画】

- ・国内の生物資源から見出した複数の不凍タンパク質の中から細胞保護機能を発揮する分子を特定する。また、その分子の3次元分子構造の特徴を核磁気共鳴法と X 線構造解析法を用いて明らかにする。更に、水溶性人工脂質二重層のナノディスクを作製し、不凍タンパク質との相互作用様式を解析する。それらの結果に基づいて不凍タンパク質の細胞膜結合メカニズムを調べ、同タンパク質を活用した細胞保護技術の開発を行う。

【平成26年度実績】

- ・卵細胞のみならず臍島細胞に対しても強力な細胞保護機能を発揮する新規の不凍タンパク質分子を特定した。その分子の炭素と窒素を<sup>13</sup>C と<sup>15</sup>N に置換したものを遺伝子組換え技術を用いて作成し3次元分子構造を解析した。ナノディスクのプロトタイプ作成にも成功し、不凍タンパク質との相互作用メカニズムを解析した。企業の協力を得ることで細胞保護技術の開発を進捗させた。

【平成26年度計画】

- ・これまでに開発した微小電極を細胞のグルコース消費量の測定に応用するために、グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼを電極上に固定化する。この際、電極上における酵素間の相対配置が検出感度に影響すると考えられることから、ナノサイズで構造を変えることが可能な合成 DNA を酵素反応の足場に採用する。平成26年度では、DNA を介した酵素の電極への固定化法と、高い検出感度が得られる最適な DNA 構造体を開発する。

【平成26年度実績】

- ・グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼを DNA と結合させることで、微小電極上における上記2種類の酵素の位置選択的な固定化技術を開発した。また、2本鎖の解離を抑制させた安定型 DNA を酵素の固定化に用いることによって安定な酵素の反応場が構築され、グルコースの検出感度が大きく向上することを明らかにした。さらに、酵素を用いたグルコース検出では、電極上における酵素と電極の相対配置が検出感度に大きく影響することを実証した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、微生物由来 P450と臨床診断に使用可能な酵素について、反応効率向上に向けた高機能化を目指す。また、汎用宿主では発現が困難な実用性のある酵素について、その発現系構築を目指す。

【平成26年度実績】

- ・P450vdh によるビタミン D 水酸化体生産に向け、高機能化された1アミノ酸変異体ならびに食品添加物を活用した細胞内への基質透過の改善により、単位時間あたりのビタミン D25位水酸化体生産を世界最速に

することに成功した。また、臨床診断用酵素について、無作為な変異導入により構造安定性に変化はなく酵素活性が2倍程度上昇した変異体の作成に成功するとともに、大腸菌で発現困難な酵素を放線菌の系により発現することに成功した。

【平成26年度計画】

- ・酵母発現系を用い、複数のタンパク質を発現できるシステムの利用研究を行う。具体的には、引き続き脂肪酸合成に関わる遺伝子をターゲットに、3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドを有する遺伝子組換え酵母での遺伝子発現の最適化を行う。更に、3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドに3種の脂肪酸鎖長伸長酵素遺伝子を各々連結し、4つの酵素遺伝子を連結した発現プラスミドの完成を目指す。

【平成26年度実績】

- ・3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドを有する遺伝子組換え酵母での遺伝子発現の最適化について、宿主と脂肪酸不飽和化酵素遺伝子の種類を変えてみることで、予想される不飽和脂肪酸が検出できた。また、脂肪酸鎖長伸長酵素遺伝子を各々単独で発現したところ、脂肪酸組成の変動は観られなかった。宿主として用いている出芽酵母は飽和脂肪酸とモノ不飽和脂肪酸のみを有していることから、これら脂肪酸は遺伝子を導入した脂肪酸鎖長伸長酵素の基質にならないことを明らかにし、今後の基質探索に有意な知見を得た。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に発見した抗カビ活性を有する糖鎖を利用して、カップリングによる表面修飾が利用できない対象物への新規カビ汚染防除技術の開発を進める。ナノ粒子利用研究では、定量的な調製法を開発し、その物性評価した上で、糖鎖や天然物部分構造を利用した研究へと展開する。天然物利用研究では、Aurachin 類だけでなく Pradimicin 類にも着目する。Pradimicin 類は抗 HIV、抗真菌活性を有するが、構造変換によりこれらの活性の向上を図り、加えてナノ粒子利用展開を進める。

【平成26年度実績】

- ・新規カビ汚染防除技術の開発では、表面加工技術、無毒化合物の抗カビ活性の発見、揮発性化合物の効果保持研究などにより、物質表面や閉鎖系庫内の抗カビ効果を30%程度向上させることに成功した。現在、産業利用展開に向けた検討を進めている。天然物利用研究では、Pradimicin 類をナノ粒子上に固定化することで糖認識活性を10倍以上向上させることに成功し、Pradimicin 類の結合対象ターゲット糖鎖について新しい知見を得た。本物質は諸条件に比較的安定であり、

高感度センサーへの展開についても検討した。

### 3-(1)-④ バイオマスからの液体燃料製造及び利用技術の開発（I-1-(2)-①を再掲）

#### 【第3期中期計画】

- ・バイオ燃料製造技術の早期実用化を目指して、高効率バイオ変換（酵素糖化、発酵）技術、熱化学変換（ガス化、触媒合成）技術、及びトータルバイオマス利用評価技術を開発する。特に、エネルギー収支2.0（産出エネルギー／投入エネルギー）以上の高効率バイオ燃料製造プロセスの基盤技術を開発する。  
油脂系バイオマスの化学変換（触媒存在下の熱分解や水素化処理、及びそれらの組み合わせ処理）により、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）を製造する第2世代バイオ燃料製造技術を開発する。また、東アジアサミット推奨及び世界燃料憲章提案の脂肪酸メチルエステル型バイオディーゼル燃料（BDF）品質を満たすために、第1世代 BDF の高品質化技術（酸化安定性10h 以上）等を開発する。同時に、市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・バイオエタノール製造プロセスについては、製造コストの低減を目的として、民間企業と連携し、原料と前処理・糖化プロセスの定量的な評価、エタノール発酵酵母の高機能化、同時・糖化発酵技術の開発を行う。BTL プロセスについては実用化を踏まえ、収率が高く寿命が長い FT 合成触媒と水素化分解触媒を開発するとともに、これらを用いたバイオジェット燃料製造プロセスを構築し、エネルギー収支2.0を達成する。

#### 【平成26年度実績】

- ・バイオ燃料製造プロセスについては、製造コストの低減による早期実用化に向けて、民間企業と共同でベンチスケール実証の準備を行うとともに、要素技術として酵母の高機能化に取り組み、同時糖化発酵に適した酵母の開発に成功した。熱化学変換技術である BTL プロセスについては、高機能で長寿命の FT 合成触媒、水素化分解触媒の開発に成功した。これを基に、環境省、複数の民間企業とエネルギー収支が2.0を上回るバイオジェット燃料製造実証を行うべく計画を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・JST-JICA 事業でタイに設置されたパイロットプラントによる高品質 BDF 製造実証研究の推進を支援する。特に、スケールアップに向けた指針を得るために、BDF 部分水素化触媒の耐久性向上を重点的に検討する。また、第2世代バイオ燃料製造のため、同事業でタイに設置されたジャトロファ残渣の急速熱分解パイロットプラントによるバイオオイル製造実証研究を支

援する。パイロットプラントで製造したバイオオイルの水素化脱酸素を検討し、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）製造を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・高耐久性触媒を開発し、BDF 部分水素化触媒の耐久性試験を行い、JST-JICA 事業でタイに設置されたパイロットプラントで反応条件改善により安定的に活性を維持できる方法を開発した。急速熱分解パイロットプラントによるバイオオイル製造試験を実施し、3段階捕集法により、ジャトロファ残渣から49%の液収率でバイオオイルが得られることを実証した。得られたバイオオイルを用い、石油系基材とともに水素化脱酸素処理することにより、低酸素の自動車用炭化水素系燃料（重量比酸素分0.1%未満）が製造できることを実証した。

#### 【平成26年度計画】

- ・市場導入に必要な燃料品質等の国内外の標準化を推進する。平成26年度においては、平成23年度策定に貢献した JISK2190、平成25年度に改訂した EAS-ERIA Biodiesel Fuel Standard: 2008（EEBS: 2008）に関連するバイオ燃料、ジメチルエーテル（DME）燃料に関する国内外標準化のフォローアップを継続的に実施する。

#### 【平成26年度実績】

- ・各計画項目について、以下の成果を得た。JIS K2390の改訂作業を自動車技術会規格会議傘下の分科会幹事として進め、改訂案を作成した。また、EAS-ERIA Biodiesel Fuel Standard: 2008（EEBS: 2008）の改訂版、EEBS: 2013のリーフレット案を作成した。DME 燃料品質及び分析方法の ISO 化について、分析方法4種は最終投票で可決され、品質は最終投票中となり、分析方法と共に平成27年内には発行される見通しである。JIS K2190については ISO とも連動し、フォローアップを継続した。

### 3-(2) 化石資源の開発技術と高度利用技術

#### 【第3期中期計画】

天然ガスや石炭等の化石資源の確保と高度な転換、利用に資する技術の開発を行う。具体的には、将来の天然ガス資源として期待されているメタンハイドレートから天然ガスを効率的に生産するため、分解採収手法の高度化等の技術開発を行う。また、引き続き世界の主力エネルギー源の一つである石炭の有効利用のため、次世代石炭ガス化プロセス等にかかわる基盤技術の開発を行う。

### 3-(2)-① メタンハイドレートからの天然ガス生産技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・我が国周辺海域等に賦存し、将来の天然ガス資源とし

て期待されているメタンハイドレートから安定かつ大量に天然ガスを生産する分解採取手法を開発する。このため、分解採取手法の高度化、想定される生産障害の評価、メタンハイドレート貯留層モデルの構築、生産時の地層挙動の評価及び生産挙動を予測するシミュレータ等を開発する。メタンハイドレート貯留層特性に応じた天然ガス生産手法を最適化するため、室内産出試験設備等によりフィールドへの適用性を評価する。

#### 【平成26年度計画】

- ・貯留層特性に応じて生産量を最大化させる生産手法、生産条件を引き続き評価する。
- 1) ハイドレート再生成阻害剤が流動特性に及ぼす影響について検討する。
- 2) キセノンハイドレートを胚胎した堆積物に対して、通電加熱の効果を調査するとともに、浸透率と通電加熱効率の関係を解析する。
- 3) サイクリック減圧法について、休止期間中のメタン漏洩等の潜在的リスクに影響を及ぼす長期的な貯留層応答を解析する。
- 4) 大型室内産出試験装置を用いて低浸透率層などを対象とした強減圧法の有効性を検証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・資源開発における回収率向上のため、生産量を最大化させる生産手法などを開発した。
- 1) 環境負荷の少ない尿素・水スラリーの流動特性を測定し、再生成阻害剤として有効であることを見いだした。
- 2) 通電加熱法の減圧条件での適用性について実験を行い、低電流密度においても生産性が高まることを明らかにした。
- 3) サイクリック減圧法の適用により上部層においてハイドレートが再生成し、メタン漏洩リスクが低下することを解析した。
- 4) 大型室内産出試験装置を用いて、強減圧時の回収率が通常減圧時の約2倍増進することを検証した。

#### 【平成26年度計画】

- ・生産過程における流動障害について引き続き実験的に解析し評価する。
- 1) メタンハイドレート層を再現した多孔質モデルを用いて細粒砂蓄積メカニズムを明らかにし、スキン形成予測モデルを構築する。
- 2) 坑井内でのメタンハイドレート生成速度を広範囲な流速域及びガス体積率で実験・解析し、モデル化する。
- 3) メタンハイドレート被覆気泡同士が合体して生成する被覆気泡塊の三次元挙動について実験的に検討する。
- 4) 浸透率低下モデルの生産挙動シミュレータへの最適な組み込み法を決定し、計算機能の向上を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・生産時の地層内に起こる流動障害について実験的に解析し評価した。
- 1) 砂層を含む泥塊が凝集破壊され、微細化した泥粒子が孔隙に蓄積する細粒砂蓄積メカニズムを解析し、スキン形成予測モデルに反映した。
- 2) ループ試験により、メタンハイドレート生成速度の流速およびガス体積率の関係を解析し、数値モデル化した。
- 3) メタンハイドレート被覆気泡は流動中合体し、ジグザグ型およびスパイラル型の挙動をとり、0.2～0.25m/sの速度で上昇した。
- 4) 浸透率低下モデルを生産シミュレータに組み込み、陽的結合と繰返し法の組合せにより計算機能を向上した。

#### 【平成26年度計画】

- ・海洋産出試験結果の検証を通じ、海域のメタンハイドレート貯留層モデルを構築する。
- 1) 物理探査データや堆積物コアなどの解析から、メタンハイドレート貯留層の初期状態を解析する。
- 2) 塩分濃度が NMR 測定に与える影響を評価し、高精度の浸透率解析法、孔隙径分布解析法を開発する。
- 3) キセノンハイドレートなどを使用してリングせん断実験を行い、ハイドレート層に存在する大変位の断層の浸透特性を評価する。
- 4) 4成分系メタンハイドレート堆積物試料の熱物性の高精度な評価方法の確立及び測定を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・海洋産出試験海域のメタンハイドレート貯留層モデルを構築した。
- 1) 事前掘削した天然コアの層解析結果および物理探査記録などを用いて、地層構造を復元したほか、諸物性を解析し、メタンハイドレート層の初期状態を推定した。
- 2) 塩分濃度の変化に伴う NMR 緩和時間分布の変化を実験によって精査し、孔隙率および孔隙径分布の評価法を開発した。
- 3) ハイドレートを含まず砂試料のリングせん断実験を行い、せん断層形成による浸透率低下を明らかにした。
- 4) コア試料の過冷却によって、融解潜熱の影響がない4成分系の熱物性測定技術を開発した。

#### 【平成26年度計画】

- ・海洋産出試験期間を含めた長期地層変形データを用いて、地層特性評価技術の精度向上を行う。
- 1) 海洋産出試験の再現に適した弾塑性挙動用のモデルを地層変形シミュレータに組み込み、計算機能の向上を図る。
- 2) 海洋産出試験及びその後計測された地形モニタリングの計測データを基に地層変形に関する解析を行い、地層変形シミュレータの精度向上を行う。



- 3) 海洋産出試験における坑井の設計を基に、様々な生産条件に関する感度解析を行い最適な設計条件について整理する。

【平成26年度実績】

- ・海洋産出試験期間を含めた長期地層変形データを用いて、地層特性評価技術の精度向上を行なった。
- 1) 弾塑性挙動解析用の新たなモデルを地層変形シミュレータに組み込み、シミュレータの機能向上を図った。
- 2) 地層力学挙動解析シミュレータを用いて、海洋産出試験の検証を行い、観測された数 cm の海底面沈下挙動を再現し、広域での変形挙動に関する精度向上を図った。
- 3) 海洋産出試験での出砂現象を検証すると共に、感度解析によってグラベル厚さと水平変位の関係を明らかにし、鉛直方向の拘束圧を高めるなどの設計要件を明らかにした。

【平成26年度計画】

- ・ガスハイドレートの物理特性について研究を行い、資源開発における経済性を向上させるための技術を開発する。
- 1) 天然ガスハイドレート輸送システムにおいて、より分解抑制効果の高いガスハイドレートの製造方法を開発する。
- 2) セミクラスレートハイドレートのガス分離効率を向上させるガス吸収法を検討するほか、セミクラスレート生成物質のガス包接・分離特性の向上に向けた検討を行う。
- 3) ヒートポンプ冷媒として適するセミクラスレートハイドレートの探索および信頼性の高い相平衡データの取得を行う。

【平成26年度実績】

- ・資源開発における経済性向上のため、天然ガスハイドレートによる生産ガス輸送、増進回収用 CO<sub>2</sub> のセミクラスレートハイドレートによる分離などに係る研究開発を進めた。
- 1) ガス輸送では、重水による氷点温度以上での自己保存効果の発現、氷の焼結による分解抑制効果の増大などに成功した。
- 2) CO<sub>2</sub> 分離では、粉末状セミクラスレートハイドレートによる分離効率の向上、CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub> 分離に適した包接構造の解明などを行った。
- 3) 冷媒融点の制御、分解促進効果の増大などのため、セミクラスレートハイドレートの構造と熱力学的安定性に係るデータを取得した。

【平成26年度計画】

- ・企業、大学からの研修員の受け入れなどによって、メタンハイドレート資源開発とガスハイドレート機能活用技術の移転を進め、資源開発を担う人材の確保と技

術の高度化を図るほか、実験教室、シンポジウム・講演会などを開催することによって研究情報を発信し、メタンハイドレート資源開発に対する社会の理解増進を図る。

【平成26年度実績】

- ・資源開発および機能活用技術に関する2つの産学官連携組織を運営し、年に4回の検討会議を開催したほか、第6回メタンハイドレート総合シンポジウム、2回の公開セミナー、他機関と連携した地方でのシンポジウムを企画・開催した。また、40件の技術研修・外来研究員受け入れによって人材育成を図った。さらに、6回の実験教室開催、10回の依頼講演、24件の見学対応など研究成果の発信と社会の理解増進を図った。

3-(2)-② 次世代ガス化プロセスの基盤技術の開発

【第3期中期計画】

- ・高効率な石炭低温水蒸気ガス化方式により、ガス化温度900℃以下でも、冷ガス効率80%以上を可能とする低温ガス化装置を開発する。さらに、低温ガス化プロセスを利用し、無灰炭や低灰分炭の特性を生かし、H<sub>2</sub>/CO 比を1~3の範囲で任意に調整し化学原料等にする技術を開発する。また、石炭利用プロセスにおける石炭中の有害微量元素類の挙動を調べるための分析手法を開発し、標準化手法を提案する。

【平成26年度計画】

- ・ガス化プロセスの熱効率に大きく影響する水蒸気と石炭の比率を変えて連続触媒ガス化試験を実施し、水蒸気/石炭比が生成ガスの H<sub>2</sub>/CO 比、タール発生量、微量ガス成分発生量に与える影響を調べる。また、その際合成ガス比 H<sub>2</sub>/CO が1~3に任意に調整できるガス化条件を確立する。さらに、熱自立型ガス化システムの構築に向けて、「高圧触媒ガス化・常圧生成ガス組成調整」方式と「熱媒体循環による間接熱供給」方式の2つの方法について実用化可能性の観点から評価し、最適な装置設計を行う。

【平成26年度実績】

- ・豪州産のロイヤルグ褐炭を使用して、650℃のガス化試験を行い、水蒸気/石炭比が2.0以上の条件において、タール、微量ガス成分発生量を抑制した運転が可能であり、安定的に水素が製造できることが明らかとなった。同様の条件で、ガス化剤の水蒸気/CO<sub>2</sub> 比を変化させてガス化試験を行い、生成する合成ガス比 H<sub>2</sub>/CO 比を1~3に任意に制御できることを連続運転で実証した。ガス化炉の熱供給方式について検討した結果、実用化の可能性並びにシステム設計の簡易性の観点から、「熱媒体循環による間接熱供給」方式を選定し、装置設計への見通しを立てた。

【平成26年度計画】

- ・2塔循環式連続石炭ガス化装置におけるタールの抑制を検討する。ベンゼン、トルエン等に加え、多環芳香族の発生を抑制し、ガスへ転換する操作条件を示す。最終的にタールの発生を抑制しつつ、ガス化温度900℃以下でも冷ガス効率80%以上となるガス化システムを提示する。また、マイクロ波利用前処理法と誘導結合プラズマ法を組み合わせた、フッ酸を使用しない新たな石炭中の有害微量成分の挙動を調べるための分析方法を開発し、当所保有の石炭標準サンプルを用いてラウンドロビンテスト等を行い、工業標準化手法を提案する。

【平成26年度実績】

- ・2塔循環式連続石炭ガス化装置において、石炭ガス化残渣である炭素質固体のチャーと投入石炭量の比を20倍程度とし、900℃以下で流動層内においてタールとチャーを接触させることで、タール排出を大幅に抑制できることを見出した。このタール排出抑制を可能とする反応場とチャーのガス化反応場を有するガス化装置を用いれば、900℃以下で冷ガス効率80%以上のガス化システムとなることを示した。また、石炭利用プロセスにおける石炭中の有害微量元素類の挙動を調べるための分析手法について、標準的な手順を確立し、JIS工業規格案を作成した。

3-(3) 資源の有効利用技術及び代替技術

【第3期中期計画】

偏在性による供給不安定性が懸念されているレアメタル等を有効利用するための技術及び資源の省使用、代替材料技術の開発を行う。具体的には、レアメタル等の資源確保と同時に有害金属類のリスク管理に資するため、ライフサイクルを考慮した物質循環フローモデルを構築する。また、廃棄物及び未利用資源からレアメタル等を効率的に分別、回収する技術の開発を行う。省使用化、代替材料技術として、タングステン使用量を30%低減する硬質材料製造技術の開発を行う。また、レアメタル等の鉱床探査とリモートセンシング技術を用いた資源ポテンシャル評価を行う。

3-(3)-① マテリアルフロー解析

【第3期中期計画】

- ・有害金属類のリスク管理やレアメタル等の資源確保に係る政策に資するため、国内外での生産や廃棄、リサイクルを含む、ライフサイクルを考慮した物質循環フローモデルを開発する。具体的には、有害性と資源性を持つ代表的な物質である鉛を対象に、アジア地域を対象としてフローモデルを開発する。次に、鉛において開発した手法やモデルを基礎として、他のレアメタル等へ展開する。

【平成26年度計画】

- ・有害金属類のリスク管理に資するため、鉛を例に階層的リスク評価手法を確立し、ヒトの鉛ばく露量の多い地域を対象にヒト健康リスク評価を実施する。レアメタル等の資源確保に係わる政策に資するため、国内におけるレアメタルのマテリアルフロー(物質循環フローモデル)解析を実施する。

【平成26年度実績】

- ・サブスタンスフロー手法、環境排出量の空間割り振り手法、局所での暴露推定手法および有害性評価からなる鉛の階層的リスク評価手法を確立した。ヒトの鉛ばく露量の多い地域として中国の不法リサイクル汚染地域を対象にヒト健康リスク評価を実施し、小児の健康リスク(知能指数低下)が懸念されることを明らかにした。また、コバルト等に対して国内におけるマテリアルフロー解析を実施し、最終製品別の金属消費量を初めて定量的に推計し、廃棄物リサイクル評価のための20年以上にわたるレアメタルのマテリアルフローデータを作成した。

3-(3)-② レアメタル等金属や化成品の有効利用、リサイクル、代替技術の開発

【第3期中期計画】

- ・レアメタル等の有用な材料の安定供給に資するため、使用済み電気・電子製品等の未利用資源を活用する技術を開発する。具体的には、金属や化成品の回収及びリサイクル時における抽出率、残渣率、所要段数、利用率等の効率を50%以上向上させる粒子選別技術、元素レベルでの分離精製技術及び精密反応技術を開発する。先端産業に不可欠なレアメタル等の省使用化、代替技術を開発する。具体的には、界面制御や相制御により、レアメタル国家備蓄9鉱種の1つであるタングステン使用量を30%低減する硬質材料の製造技術、ディーゼル自動車排ガス浄化用触媒の白金使用量削減技術や重希土類を含まない磁性材料の製造技術等を開発する。

【平成26年度計画】

- ・廃小型家電製品データベースの拡充を通じて対象品目・機種をさらに拡大するとともに、展示会への出展等、本システムの市場への導入・普及に向けた取り組みを強化する。複管式気流選別機を処理効率を2倍(100%向上)にした三管式へ拡張するとともに、第2号のプラントの導入を果たす。電子素子選別シミュレーションソフトでは、これを利用した検索システムを構築する。また、処理速度を50%向上させた蛍光灯の非破壊識別・選別装置(方法)について、被膜ランプ等の特殊ランプへの対応と、より安価なセンサーの応用について検討する。

【平成26年度実績】

- ・粒子分離技術では、データベースを廃小型家電製品8

品目に拡充するとともに、積極的な PR を実施、アルミ材選別が可能な実用化1号機を導入した。複管式気流選別機では四管式へ拡張し、選別精度向上を伴う100%の処理効率向上を達成した。また、管長を30%短縮した全高6.2m の装置として製品化を果たし、第2号のプラント導入を可能とした。電子素子選別シミュレーションソフトでは、検索システムを構築しソフトを完成させた。処理速度を50%向上させた蛍光灯の非破壊識別・選別装置（方法）では、特殊ランプ対応技術と安価な光学センサーを応用した技術を開発した。

#### 【平成26年度計画】

- ・湿式法による希土類磁石からの希土類回収プロセスについて、液処理時のジスプロシウム損失率を従来の10%から5%以下とする処理条件を確立する。希土類吸着剤のうち、シリカゲル系吸着剤について、過剰の鉄(III)共存時のジスプロシウム吸着率を従来法の2倍以上とする。またポリマー系吸着剤について、沈澱分離の効率向上を図る。白金族金属分離フローの検討では実工程の模擬液を用いて分離性能を調べる。溶融塩を用いた希土類回収プロセスでは、薬剤使用量を低減しつつ他元素との分離性を向上できる条件を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・希土類磁石の浸出液処理において、pH 制御によりジスプロシウム損失率を5%以下とした。シリカゲル系吸着剤について、過剰の鉄(III)共存時のジスプロシウム吸着率を市販剤の5倍以上とした。ポリマー系吸着剤の研究として、沈澱法により希土類相互分離を可能とする配位子を見出し、昇温により分離効率を向上させた。白金族分離について、新規抽出剤による試験を、実工程液および模擬液を用いて行い、最適条件を明らかにした。溶融塩を用いた希土類回収では、薬剤使用量を削減しつつ、ケイ素混入率を従来の約1/3に低減する条件を見出した。

#### 【平成26年度計画】

- ・小型連続式可溶化装置を試作し、LP ガスボンベ用 FRP を循環溶媒中で可溶化して繰り返しによる溶媒組成の変化を確認する。ニッケル等の微粒化金属共存下で廃電子機器を水蒸気ガス化し、プラスチックの利用効率を向上させる。また木質系廃棄物の処理については、エネルギー回収率を従来法より50%以上向上させる。資源回収技術の途上国移転のため、地域のエネルギー需要を考慮し、適切な技術の種類や仕様の判断基準を策定すると共に、特定技術を選択した際の経済効果や環境上の効果を定量化する。

#### 【平成26年度実績】

- ・可溶化した LP ガスボンベ用 FRP を熱分解して製造

した循環溶媒は、初期溶媒に比べ沸点で約30℃重質化したが、FRP を十分可溶化できることを確認した。溶融炭酸塩中に微粒化金属を分散させると基板の水蒸気ガス化反応は促進され、反応時間を50%以下に短縮できた。木質廃棄物を部分燃焼させると加熱エネルギーを節約でき、エネルギー回収率は50%も向上し、木質廃棄物（湿分30%）200kg/時の規模で403MJ/時、軽油換算で3万円/日、二酸化炭素発生量で648トン/日削減できることが分かった。

#### 【平成26年度計画】

- ・TiC(N)を用いた材料設計と性能向上を図り、硬質材料におけるタングステン使用量を30%低減する製造技術を確認する。さらに、調製手法の最適化によりディーゼル自動車排ガス浄化用触媒の白金使用量を削減する技術を確認する。また、重希土類を含まない磁性材料の製造技術を確認する。ビスマスを使わない熱電モジュールの性能向上を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・微量添加元素により TiC(N)を用いたサーメットの靱性を従来材の1.3倍に高めることができ、タングステン使用量を30%以上低減した工具材料を開発した。さらにレアメタルフリーの耐熱硬質材料（TiC-FeAl系）も開発した。表面ポリオール還元法の確立により白金族使用量を50%低減したディーゼル車排ガス浄化用酸化触媒を開発した。磁性材料の開発はセンターへ移行し、当部門では金属溶解技術を用いた希土類元素分離技術を開発した。ビスマスを使わない熱電モジュールでは10秒以下での素子ニアネット焼結技術を開発し、量産化に向けたモジュール化技術を開発した。

#### 3-(3)-③ レアメタル等の鉱床探査と資源ポテンシャル評価（別表2-2-(2)-①を一部再掲）

#### 【第3期中期計画】

- ・微小領域分析や同位体分析等の手法を用いた鉱物資源の成因や探査法に関する研究、リモートセンシング技術等を用いて、レアメタル等の鉱床の資源ポテンシャル評価を南アフリカ、アジア等で実施し、具体的開発に連結しうる鉱床を各地域から抽出する。海洋底資源の調査研究については、海洋基本計画に則り、探査法開発、海底鉱物資源の分布や成因に関する調査研究を実施するほか、海洋域における我が国の権益を確保するため、大陸棚画定に係る国連審査を科学的データの補充等によりフォローアップする。

#### 【平成26年度計画】

- ・レアメタル資源の安定的確保のために、1) MOU 締結国の協力を得て、レアメタルの資源ポテンシャル評価を実施する。2) 各国で採取したレアメタル鉱石を用いた分析データの収集、難処理鉱の選鉱技術開発等を

行う。3) 高精度年代・同位体測定ルーチンを確立し、調査対象レアメタル鉱床の成因的研究を実施する。4) 深海底堆積物等非在来型希土類資源の評価を実施する。5) レアメタルの資源開発動向やマテリアルフローの解析を継続し、関係機関等に情報提供する。6) 産総研レアメタルタスクフォースの活動を分担する。

#### 【平成26年度実績】

- ・レアメタル等鉱物資源安定確保のために以下の研究を行った。1) 南アフリカ、米国、ブラジル、ミャンマーにて、公的地質調査機関と共に希少金属鉱床の開発可能性評価を実施した。2) 南アの難処理希土類鉱石の選鉱技術を開発した。3) 岩石微粉末を用いた LA-ICPMS 化学分析法を確立し、対象鉱床の成因的研究を実施した。4) 国内付加体堆積岩類の希土類資源を評価した。5) 米国地質調査所と共同で、世界的希土類資源データベースを編集・解析した。6) シンポジウムの講演など、産総研レアメタルタスクフォース活動を分担した。

#### 【平成26年度計画】

- ・米国アラスカで広範囲から採取する岩石の炭酸塩鉱物の産状や炭素・酸素同位体比を検討し、新たな鉱床探査手法を提案する。熱水性鉱床のレアメタル (In、Bi、Sb、Se) 及び貴金属鉱物の成長組織解析から金属濃集プロセスを考察するとともに、雲仙火山の熱水系における各種元素分布から火山地域において浅熱水性金鉱床が形成される場およびその条件を明らかにする。熱水性マンガ氧化物における元素の起源・濃集機構解明を目的に、イオン交換樹脂を用いた Mo 同位体比分析の最適な化学分離方法について検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・米国アラスカ金鉱床地域の炭酸塩鉱物の炭素・酸素同位体比からシデライトと含鉄ドロマイトの脈中の産状解析が新たな優れた金鉱床探査手法であること、菱刈熱水性鉱床の金セレン鉱石の解析からセレンを伴う金とカリウムが熱水の沸騰現象により濃集することを解明した。雲仙火山の変質鉱物と流体包有物と付近の地熱水の温度分布から、鉱床形成の熱水系の発達は今後であると推定した。海底マンガ氧化物の Mo 同位体分析のため化学分離用陽イオン・陰イオン交換樹脂の調製と各樹脂を使用した際の Mo のブランクと回収率を確認した。

#### 4. グリーン・イノベーションの核となる材料、デバイスの開発

##### 【第3期中期計画】

部材、部品の軽量化や低消費電力化等による着実な省エネルギー化とともに次世代のグリーン・イノベーションを目的として、従来にない機能や特徴を持つ革新的材

料及びデバイスの開発を行う。具体的には、ナノレベルで機能発現する新規材料や多機能部材の開発を行う。また、部品、部材の軽量化や新機能の創出が期待される炭素系新材料の産業化を目指した量産化技術の開発と応用を行う。さらに、ナノテクノロジーを駆使して、電子デバイスの高機能化・高付加価値化技術の開発を行う。ナノエレクトロニクス等の材料及びデバイス研究開発に必要な最先端機器共有施設を整備し、効率的、効果的なオープンイノベーションプラットフォームとして活用する。

##### 4-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材

###### 【第3期中期計画】

省エネルギーやグリーン・イノベーションに貢献する材料開発を通じてナノテクノロジー産業を強化するために、ナノレベルで機能発現する新規材料及び多機能部材の開発、ソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術や自己組織化技術を基にした省エネルギー型機能性部材の開発を行う。また、新規無機材料や、有機・無機材料のハイブリッド化等によってもたらされるナノ材料の開発を行う。さらに、革新的な光、電子デバイスを実現するナノ構造を開発するとともにこれらの開発を支援する高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

##### 4-(1)-① ソフトマテリアルを基にした省エネルギー型機能性部材の開発

###### 【第3期中期計画】

- ・調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材等の省エネルギー型機能性部材への応用を目指して、光応答性分子、超分子、液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術、及びナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に開発する。

###### 【平成26年度計画】

- ・2種の p 型液晶性有機半導体の混合系における分子配列の制御を試み、有機薄膜太陽電池におけるフィルファクタ等関連パラメータとの相関を検討、組成に対する最大性能の引出しにかかわる研究を行う。一方、印刷工程に適した有機半導体材料ペーストを試作し、その半導体特性を評価するとともに、印刷工程による薄膜有機デバイス製造の更なる検討を行い、高性能なトランジスタ特性動作を実証する。

###### 【平成26年度実績】

- ・2種の p 型液晶性有機半導体の混合系において、太陽電池性能とフィルファクタ等関連パラメータとの相関を検討し、性能向上が見られる組成等の条件を見出した。n 型有機半導体の p 型液晶性有機半導体への混和性について、分子間の特異的相互作用の導入が半導体特性を落とさずに混和性を増強させる手法であることを見出した。塗布工程を綿密に制御しながら電極形成

を行った基板に液晶性半導体材料を塗布した薄膜有機トランジスタ素子を製作したところ、ドリフト移動度が $1\text{cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$ を越える高性能なトランジスタ特性動作を実証した。

#### 【平成26年度計画】

- ・ソフトマテリアルをベースにした機能性部材の開発を目的とし、これまでに蓄積された有機合成技術、及び自己組織化技術の更なる高度化を図る。特に光応答性分子に着目し、光照射による可逆的な構造変化によって誘起される機能をターゲットとする。具体的な応用例として、これまで取り組んできた可逆的な光相転移を用いた接着剤、コーティング剤、記録材料、あるいは可逆的な界面状態変化を利用したナノ炭素材料の微細加工に関して、量産技術、薄膜化技術などを確立し、実用化に道筋をつける。

#### 【平成26年度実績】

- ・光相転移を用いた接着剤に関しては、合成経路を改良することで量産が可能となり試薬メーカーから販売されることになった。コーティング剤に関しては、汎用ポリマー、液晶、光応答性分子を複合化させることで、光によりゴム-ガラス転移を示す薄膜が得られた。光記録材料として用いてきたアントラセンから可逆接着剤にも使用できる新規物質を開発した。ナノ炭素材料の微細加工に関しては、光応答性分散剤でカーボンナノチューブの高濃度分散液を作製することが可能となり、透明電極などの実用化を目指して企業と共同研究契約を締結した。

#### 【平成26年度計画】

- ・ソフトマテリアルを用いた省エネルギー型機能性部材の開発を継続する。ソフトアクチュエータ等の基礎部材となるケモメカニカルゲル開発と導電性ゲルの電気力学応答評価、バイオミネラリゼーションの手法を用いた軟骨型部材の開発、ソフト構造界面の新機能開拓とその応用、異方性媒体や異方性ナノ粒子の配列化技術の深化とデバイス応用などを進める。重水素標識発光材料によるフルカラー発光素子を作成し、特性を評価する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ソフトアクチュエータ部材はケモメカニカルゲルのマイクロポンプを実現し、金属層導入導電性ゲルの電場変形や圧縮による抵抗変化等を見出した。炭酸カルシウム系軟骨型部材を開発し、軽量化に成功した。ソフト構造界面の新機能開拓と応用では、ソフト界面の構造可変による摩擦力の制御を可能にした。異方性媒体やナノ粒子の配列化とデバイス応用では、異方的相互作用での配列が期待される異方性ナノ粒子の合成、液晶コロイド分散液の調整と電気光学効果評価に成功した。重水素標識発光材料によるフルカラー発光素子の

耐光性は、10%強向上した。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度の成果を踏まえ、太陽電池デバイス性能と相分離構造の相関をさらに詳細に検討するため、3次元元素マッピングにより有機太陽電池の有機層の3次元構造を明らかにする。また新規材料における精密層はく離技術を目指すため、プラズマ等によるエッチング機構の解明を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・太陽電池デバイスを高い変換効率で動作させるため、STEM-EDX装置により種々の条件における相分離構造と組成の定量解析を行った。特に本年度は、これらを3次的に元素マッピングすることにより、物性に影響するナノレベルの膜中状態を実空間上で実像化し、有機層の挙動解明を通して高変換効率化への知見を得た。また新規低次元材料を一原子層毎に剥離する制御技術の確立のため、産総研独自の技術である吸引型プラズマエッチングによるエッチング制御試験を行い、膜の剥離が可能な条件を見つけるに至った。

#### 【平成26年度計画】

- ・エネルギー変換部材としてのソフトマテリアル系の応用例として、有機太陽電池の設計指針に関する検討を行う。具体的には、液晶性ドナー/フラーレン系アクセプタ界面における構造形成プロセスをモデル化し、界面の自己組織化構造と光電変換機能の相関をシミュレーションの結果から明らかにする。

#### 【平成26年度実績】

- ・液晶性ドナー/フラーレン系アクセプタ溶液における構造形成プロセスを、粗視化溶媒中での溶媒蒸発に伴う構造形成プロセスとしてモデル化し、自己組織形成される液晶性ドナー/フラーレン系アクセプタ界面の構造をシミュレーションにより得た。その結果、フラーレン系アクセプタが液晶性ドナー共役面直上に配置する、光電変換に伴う分離電荷取り出し時に重要となるキャリアパスにおいてキャリアトラップが生じ得る構造が特徴として得られた。この結果から、本構造を抑制することで当該有機薄膜太陽電池の特性を向上させることができる可能性を材料設計指針として提案した。

#### 4-(1)-② 高付加価値ナノ粒子製造とその応用技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・ナノ粒子の製造技術や機能及び構造計測技術の高度化を図ることにより、省エネルギー電気化学応答性部材、高性能プリンタブルデバイスインク、低環境負荷表面コーティング部材、高性能ナノコンポジット部材等の高付加価値ナノ粒子応用部材を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・引き続き放射性セシウム除染技術を改良し、実用化を推進する。また、ナノ粒子の金属置換等の最適化に加え、他の錯体など多様な材料のナノ粒子化などを進め、各種吸着剤、光学素子等への応用が可能なプロトタイプ部材を開発する。

## 【平成26年度実績】

- ・セシウム除染技術については以下の成果を得た。1) プルシアンブルー類似体の粒状化技術として、マイクロカプセル技術とフリーズドライ法を組み合わせ、 $\mu\text{m}$ スケールでの多孔質化を実現し、従来比の約4-6倍の吸着速度を達成した。2) 農業用ため池 (2,800 $\text{m}^2$ ) からの放射性物質汚染拡散防止対策に取り組み、池内を攪拌後の濁水除去により、底質に含まれる放射性物質を回収、固液分離、排水処理後に水を放流する技術を確認した。排水処理には、溶存態セシウムを除去するために、プルシアンブルー担持不織布カラムを利用した。本技術は農林水産省の対策マニュアルに具体例として掲載された。また、マイクロミキサーによるプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の連続合成を実現するとともに、粒径及び組成の制御方法を一部材料に対し確立した。これらの制御された材料を用い、透明-青色変化素子について10万回超のサイクル耐性を実現した。

## 【平成26年度計画】

- ・レーザー、プラズマ、高温場、高圧流体等を利用したプロセスを発展させて、有機、無機、及びそれらの複合化による、多様な付加価値付与が可能なナノ~サブマイクロメートル機能性粒子および複合材の合成技術を開発し、医療利用・光機能・触媒機能・磁気機能等を有する省エネルギー・グリーン機能部材や医療用機能部材の開発を行う。
- ・これまでの高圧流体等を利用したナノ粒子の連続製造プロセスを踏まえ、エネルギー貯蔵部材、有用物質回収部材等に必要機能を持つ有機無機ナノ多孔体(MOF)ナノ粒子の連続合成技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- ・液中レーザー溶融法により、酸化チタンと炭酸マグネシウムの混合分散液から強誘電体材料であるチタン酸マグネシウム球状粒子を、気相中熱酸化法によって、触媒利用が期待される単結晶の金-酸化ニッケルヘテロ接合ナノ粒子を合成することに成功した。
- ・マイクロミキサーおよびマイクロリアクターを有する流通式の装置を用い、モデル化合物として2種のMOFナノ粒子を連続合成するプロセスを検討した。両者について市販品を大きく下回る100nm以下の粒子径でかつ狭い粒径分布を持つMOFナノ粒子を連続的に合成することができた。

## 4-(1)-③ 無機・有機ナノ材料の適材配置による多機能部材の開発

## 【第3期中期計画】

- ・セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料の接合及び融合化と適材配置により、従来比で無機粉末量1/2、熱伝導率同等以上、耐劣化性付与の無機複合プラスチック部材、ハイブリッドセンサ部材、数 ppm の検知下限で水素、メタン、一酸化炭素等をガスクロマトグラフなしで一度に計測可能なマルチセンサ部材等の多機能部材を開発する。このために必要な製造基盤技術として、ナノ構造を変えることなくナノからマクロにつながる異種材料のマルチスケール接合及び融合化技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの高速加熱条件を検討し、高速成形可能な炭素繊維強化プラスチックの開発を行う。触媒材料の最適化や高温センサデバイスの伝熱及び応力シミュレーションを融合し実用に向けた高信頼技術を開発する。有機-無機界面を利用した無機ナノクリスタルの部材化のための構造形成技術を検討し、誘電・蓄電デバイスへの実用に向けた指針を示す。

## 【平成26年度実績】

- ・熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの開発では、従来の樹脂製母材の熱伝導率よりも高い0.6W/m・Kの樹脂製母材と、従来の金属製成型の熱伝導率よりも低い2W/m・Kのセラミックス製成型型を用いることにより、2分以下での高速成形が可能であることを示した。ハイブリッドセンサ部材の開発では、触媒材料の最適化による耐久性向上の効果を確認し、高温デバイスの伝熱及び応力シミュレーションによりデバイス構造改良の設計指針が得られた。また、誘電体ナノキューブの相転移挙動と微小キャパシタの高絶縁性を確認し、ナノキューブ間の特異界面の形成が誘電・蓄電デバイスの実用化に向けての鍵になることを示した。

## 4-(1)-④ ナノ構造を利用した革新的デバイス材料の開発

## 【第3期中期計画】

- ・ナノギャップ電極間で生じる不揮発性メモリ動作を基に、ナノギャップ構造の最適化と高密度化により、既存の不揮発性メモリを凌駕する性能(速度、集積度)を実証する。また、ナノ構造に起因するエバネッセント光-伝搬光変換技術を基に、ナノ構造の最適化により、超高効率な赤色及び黄色発光ダイオード(光取出し効率80%以上)を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・ナノギャップ電極によるメモリ動作に関しては、既存

の不揮発性メモリを凌駕する素子としての特徴を追求するため、特に300℃を超える高温環境下の特性評価を行う。AlGaInP系発光ダイオードについては、反射ミラーの最適化（反射率を97%から99%に改善）、リッジ配置の最適化などにより、光取出し効率80%以上を達成する。また、GaN系LEDについては、本技術の早期実用化を念頭に、円錐台構造の高密度化、リッジ配置の最適化、量産に適した円錐台・リッジ作製技術の開発などを行う。以上により中期目標を達成する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ナノギャップ電極によるメモリ動作に関しては、既存の不揮発性メモリを遥かに凌駕する600℃でのスイッチング動作および情報保持を確認した。AlGaInP系発光ダイオードについては、リッジ構造と比較して微小円錐台構造はさらに強いエバネッセント光の結合効果が期待できることから、AlGaInP微小円錐台の作製技術の開発に取り組み、素子の作製に成功した。また、結晶成長条件の最適化によりLED素子内の結晶品位を内部量子効率として20%から40%へと向上することに成功した。上記技術を取り入れたLEDの外部量子効率および光取出し効率はいずれも薄膜高出力型赤色LEDとして世界最高となる51%および60~70%（150Kにおいて）に、それぞれ達した。

#### 4-(1)-⑤ 材料、デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・ナノスケールの現象を解明、利用することにより、新材料及び新デバイスの創製、新プロセス探索等に貢献するシミュレーション技術を開発する。このために、大規模化、高速化のみならず、電子状態、非平衡過程、自由エネルギー計算等における高精度化を達成して、シミュレーションによる予測性を高める。

##### 【平成26年度計画】

- ・引き続き、磁性材料・超伝導材料・強誘電/圧電材料などを構成する機能性物質を対象に、電子相関・スピン軌道相互作用などに着目し、手法・プログラムの開発・整備を進め、実際の適用研究を行なう。具体的には、磁石関連材料において、磁気異方性の起源、スピン・軌道磁気モーメントの評価、粒界の構造・電子状態に関わる研究を進める。さらに、最局在ワニエ軌道を用いた強誘電体の自発分極の発現機構の解析、超伝導体やスピン軌道相互作用系の物性解明等を行なう。また、実験研究者との協業で更なるシミュレーションの予測性向上を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・新規希土類磁石化合物NdFe12Nの磁化・磁気異方性

について、構造と希土類イオンの影響を明らかとした。また、最局在ワニエ軌道により有機強誘電体TTF-CAの特異な自発分極発現機構を解明した。単一成分有機超伝導体[Ni(hfdd)2]では、超伝導の発現する高圧下での電子状態を求め、三方晶テルルにおいては、特異なスピン構造と圧力下で空間反転対称性の破れたワイル半金属になる可能性を見出した。さらにGaNの格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定した。

##### 【平成26年度計画】

- ・引き続き、燃料電池の実用化及びリチウムイオン2次電池の高容量化に向けて、金属、半導体、及び酸化物/溶媒界面の電気化学反応、高分子電解質膜内のプロトン伝導、などの解析を行う。本年度はこれらの研究の内、特に有効遮蔽媒質法に電極電位一定のシミュレーション手法を導入し、実験と直接比較可能な標準電極電位における計算を行う。また、燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関するシミュレーションを行い、劣化メカニズムを詳細に調べる。

##### 【平成26年度実績】

- ・電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発し、有効遮蔽媒質法と組み合わせることにより、電極を標準電極電位にコントロールしたシミュレーションを行った。高分子電解質膜内のプロトン伝導に関し、化学構造とプロトン伝導との相関をシミュレーションから明らかにし、新しい化学構造の提案を行った。燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関しては、電解質膜のどの部分が劣化しやすいのかをシミュレーション技術を用いて特定するとともに、劣化しにくい構造の提案を行った。

##### 【平成26年度計画】

- ・電荷、熱、物質等の移動に関して非平衡状態にある材料での原子・分子過程のシミュレーション手法（基礎理論やアルゴリズム等）を開発するとともに熱マネジメント材料、エレクトロニクス材料、生体材料などへの適用研究を行う。平成26年度は熱マネジメント材料における輸送、エネルギー交換プロセスモデリング、半導体界面材料の伝導と電圧、電流ドリブン非平衡プロセスモデリング、半導体への異種材料取込モデリング、絶縁体構造モデリング、酵素反応/分子認識過程の高予測モデリング等を行う。

##### 【平成26年度実績】

- ・電荷、熱輸送、エネルギー交換プロセスのモデリングとシミュレーション適用により、熱電素子や有機、無機材料の不揮発性メモリセルの提案と実証に成功した。第一原理分子動力学計算に向けた時間積分法を開発した。第一原理分子動力学法によりアモルファスLi2O

の構造が  $\text{HfO}_2$ 等と同様の2重ランダム充填構造をとることを明らかにした。ダイヤモンド中の窒素・空孔複合体の生成モデルを構築した。天然型/変異型酵素の反応解析を行い、基底/遷移状態の安定性を巧みに制御する事で、タンパク質が酵素活性を持つ事を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・ナノ炭素材料を利用した電子デバイス等の開発を加速するシミュレーション、及び炭素材料デバイスの電極用無機材料の電子物性・構造安定性を予測するシミュレーションを実行する。熱的平衡および電子励起を伴う非平衡シミュレーション技術開発、及び溶液中巨大分子の機能予測を可能とする FMO 法を中心とした計算コードを開発する。外部資金や技術研究組合活動による実験的研究との連携を強化し、シミュレーションによりグラフェン改質技術開発等をサポートする。次世代スパコンなどのプロジェクト参画により計算技術の更なる向上を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・磁気メモリ低電圧動作のため、磁性材料と  $\text{MgO}$  との中間にグラフェンを入れる構造を提案し特許出願を行った。電子密度汎関数強束縛と FMO を組み合わせ、巨大分子の計算を分子サイズのほぼ1.2乗の計算負荷で数値計算できることを実証した。絶縁物誘電体において簡便なシェルモデルによる誘電率の計算手法を開発し  $\text{KNbO}_3$ や  $\text{BaTiO}_3$ にて誘電率を再現した。近年提案されているリチウムと酸素よりなるダイヤモンド表面被覆構造が、安定で高効率な電界放出を達成できることを第一原理計算より示した。

#### 【平成26年度計画】

- ・有機材料・界面における構造形成の動的・静的な性質および光機能・輸送機能について理論・計算による解明を目指す。具体的には、有機薄膜太陽電池や有機半導体の高効率・高性能化のために、それらの構成要素となり得る材料に関して、分子的な秩序と安定な相との関係を計算により明らかにすると共に、光機能・輸送機能の理論解析を行なう。また、分子軌道法、分子動力学法などの手法を用い溶媒和イオン液体中のイオンの相互作用の解析を行い溶媒和イオン液体の安定性の解明を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・多環芳香族分子からなる有機固体について、結晶構造予測法を適用しその有用性を検討した。有機薄膜の伝導特性について、電気伝導度と膜厚が同時に計測できることを理論的に示した。また、溶液からの有機分子の界面吸着については、界面での配向と吸着のダイナミクスを MD シミュレーションと理論により明らかにした。また、リチウムイオンとアニオンとの相互作用

の強さがリチウム溶媒和イオン液体中のリチウム-グラフェン錯体の安定性を支配していることを明らかにし、リチウムイオン電池の電解質に用いる溶媒和イオン液体の設計指針の確立に寄与した。

#### 4-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用 (Ⅲ-2-(2)へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なナノチューブや炭素系材料の開発を行うとともに、これらの材料を産業に結びつけるために必要な技術の開発を行う。具体的には、カーボンナノチューブ (CNT) の用途開発と大量合成及び精製技術の開発を行う。また、グラフェンを用いたデバイスの実現を目指して、高品質グラフェンの大量合成法の開発を行う。有機ナノチューブの合成法高度化と用途開発を行う。パワーデバイスへの応用を目指して大型かつ単結晶のダイヤモンドウェハ合成技術の開発を行う。

#### 4-(2)-① ナノチューブ系材料の創製とその実用化及び産業化技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・カーボンナノチューブ (CNT) の特性を活かした用途開発を行うとともに産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術 (600g/日) や分離精製技術 (金属型、半導体型ともに、分離純度：95%以上；収率：80%以上) 等を開発し、キャパシタ、炭素繊維、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタ等へ応用する。また、ポストシリコンとして有望なグラフェンを用いたデバイスを目指して、高品質グラフェンの大量合成技術を開発する。さらに、有機ナノチューブ等の合成法の高度化と用途開発を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・CNT を用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業等に CNT 試料ならびに分散液、CNT 複合材料等を提供する。また既に開発済みのスーパーグロース CNT 量産技術の低コスト化を図る。特に銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、直径15 mm 以上の CNT 銅複合材料を開発する。eDIPS 法単層 CNT から(7,5)や(8,6)等のバンドギャップ1 eV 以上の特定のカイラリティを分取してインク化する技術を開発し、薄膜トランジスタの性能向上とばらつきの低減を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・CNT を用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業に CNT 試料ならびに分散液、CNT 複合材料等を20件提供した。微粒子を基材に用いるスーパーグロース CNT 量産技術を開発し、低コスト化を可能にした。銅を用いた複合材料の



量産技術開発を行い、4センチ角の CNT 銅複合材料を開発した。イオン交換クロマトによる分離技術を利用して eDIPS 法単層 CNT から(7,5)等のバンドギャップ1eV 以上の半導体性カイラリティの分離・インク化に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・CNT 品質管理に資する CNT ネットワーク構造、凝集状態計測法の開発と確立を行う。また、CNT の医療産業応用を目指し、CNT 近赤外蛍光プローブをもちいた疫病検査への適用、CNT 材料の安全性試験などを行う。コンタクトレンズ等への用途開発を目指し、これまでに開発した有機ナノチューブ群を様々なポリマー材料と複合化したプロトタイプを開発し、それらの物性やゲストの放出・吸着などの性能評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・CNT ネットワーク構造、凝集状態計測法として、それぞれ発熱経路観測、遠心沈降法の有効性を確立した。高発光収率 CNT 近赤外蛍光プローブを開発し、腫瘍状態を診断する動物実験に適用した。近赤外吸収法による CNT の生体取り込み量の定量的計測法を開発した。内表面に正あるいは負電荷をもつ有機ナノチューブをアクリレート系ゲルやアガロースゲル、ゼラチンゲルと複合化し、これら複合材料が物理的強度、光透過性、薬物徐放性に優れていることを明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- ・1)マイクロ波プラズマ CVD の条件最適化、基板表面処理技術、高性能ドーピング技術、高品質転写技術などの開発により、静電容量タッチパネル等への応用を目標に、グラフェン透明導電フィルムさらなる性能向上と A4サイズを目標とした大量合成基盤技術の開発を行う。2)ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した用途開発 (SOD 基板、等)を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・1)プラズマ CVD 法の条件最適化、基板表面処理技術の高度化によりグラフェン成長初期段階の詳細観察を可能とし、これに基づいて結晶性の向上 (結晶サイズの10nm 程度から100nm 程度への拡大)、および層数制御性の向上 (3層以下の制御が可能) を達成した。さらに原子層グラフェンの転写技術およびドーピング技術の向上により、透過率95% (2層) でシート抵抗130Ω と、導電性とフレキシビリティの向上を達成した。2)ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した新規放熱型電子デバイス用基板であるシリコンオンダイヤモンド基板 (SOD) について、低温での直接の張り合わせによる作製技術を開発した。

#### 【平成26年度計画】

- ・中期計画目標達成を踏まえ、単層 CNT を金属型と半

導体型に高純度かつ大量に分離する技術の確立に向けて、さらなる基盤技術の開発を行う。特に半導体型単層 CNT の応用には、99%を超える高純度の半導体型 CNT が必要とされることから、その効率的な分離手法の確立を行う。高純度で良質な半導体型 CNT を用いて、塗布型の薄膜トランジスタを作成し、移動度100cm<sup>2</sup>/Vs 以上のデバイス実現を目指す。分離した金属型・半導体型 CNT を用いた新たな用途を探索する。

#### 【平成26年度実績】

- ・単層 CNT の金属型と半導体型の大量分離技術開発において、カラム分離条件の再検討によりフラーレンの直径よりも細い (5,4) CNT の分離に成功したほか、多くの種類の単一構造半導体型 CNT の単離を実現した。これらの単一構造 CNT で半導体純度99%を達成した。また、簡便で大量分離も可能な鏡像体 CNT (右巻き・左巻き) の分離法を開発した。長尺半導体型 CNT の分離にも成功し、本 CNT を用いた薄膜トランジスタで世界最高レベルの性能 (移動度106 cm<sup>2</sup>/Vs、on/off 比10<sup>5</sup>以上) を得た。

#### 4-(2)-② 単結晶ダイヤモンドの合成及び応用技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・次世代パワーデバイス用ウエハ等への応用を目指して、単結晶ダイヤモンドの成長技術及び結晶欠陥評価等の技術を利用した低欠陥2インチ接合ウエハ製造技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・ダイヤモンドウエハの製造技術を高度化 (均一プラズマ発生、低窒素添加、研磨損傷層の除去) し、2インチ級ウエハを種結晶とし、結晶欠陥の発生が少ないエピタキシャル成長と成長層の分離を基本技術とする製造方法を実証する。

##### 【平成26年度実績】

- ・結晶方位が品質に与える影響を明確化して最適値を見出すと共に、プラズマシミュレーションと実験結果との比較から、基板温度分布が成長速度の均一性を左右することを突き止め、2インチ大のウエハを再現よく作製できる条件を明確化した。種結晶の欠陥評価・選別技術を開発するとともに、低窒素濃度域での結晶成長条件の最適化を行った。深いエッチングにより研磨損傷層を除去した低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個/cm<sup>2</sup>を有する低欠陥コピーウエハを合成することに成功し、2インチ低欠陥ウエハ製造技術を実証した。

#### 4-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進 (Ⅲ-1-(3)へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

次世代産業の源泉であるナノエレクトロニクス技術による高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のために、つくばナノエレクトロニクス拠点を利用したオープンイノベーションを推進する。つくばナノエレクトロニクス拠点において、高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行うとともに、最先端機器共用施設として外部からの利用制度を整備することにより、産学官連携の共通プラットフォームとしての活用を行う。

#### 4-(3)-① ナノスケールロジック・メモリデバイスの研究開発

##### 【第3期中期計画】

- ・極微細 CMOS の電流駆動力向上やメモリの高速低電圧化、集積可能性検証を対象に、構造、材料、プロセス技術及び関連計測技術を体系的に開発する。これによって、産業界との連携を促進し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を5つ以上、創出する。

##### 【平成26年度計画】

- ・環境発電等の低電圧電源に適用可能なトンネルトランジスタの開発を行う。具体的には、産業界に受け入れ易い Si 系半導体において、従来 CMOS のスイッチング急峻性限界を60mV/dec を打破しつつ、低電圧電源であっても電流駆動力向上を可能にする基本技術を提示する。

##### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、極低電圧ロジック CMOS の電流駆動力向上技術として、等電荷トラップを導入した Si の疑似直接遷移化現象を世界に先駆けてトンネルトランジスタに応用し、未適用の従来トンネルトランジスタと比較して30倍以上の ON 電流の向上を実証した。また、産総研が独自開発した合成電界トンネルトランジスタにおいて、n 型、p 型トランジスタで、それぞれ60mV/dec 未満の急峻スイッチングを世界に先駆けて実証し、極低電圧 CMOS の基本プロセスの構築に成功した。

##### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、不揮発性抵抗スイッチデバイスについて、メモリ動作信頼性評価手法を開発する。より具体的には、抵抗スイッチ現象に伴う元素移動を定量的に評価し、メモリ動作との関係を明らかにする。

##### 【平成26年度実績】

- ・不揮発性抵抗スイッチデバイスについて、メモリ動作信頼性評価手法、より具体的には、抵抗スイッチ現象に伴う元素移動を評価する手法を開発した。メモリのオン・オフ動作時に、電流方向に沿って、酸素濃度のピーク位置が1~数 nm の範囲で移動していることを明らかにした。

#### 4-(3)-② ナノフォトニクスデバイスの研究開発

##### 【第3期中期計画】

- ・LSI チップ間光インターコネクションにおいて10Tbps/cm<sup>2</sup>以上の情報伝送密度を実現するために、半導体ナノ構造作成技術を用いて、微小光デバイス、光集積回路及び光、電子集積技術を開発する。また、3次元光回路を実現するために、多層光配線、電子回路との集積が可能なパッシブ及びアクティブ光デバイス、それらの実装技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・以下の大容量光インターコネクション用技術開発を行う。
  - 1) 半導体ナノ構造を用いた技術では、トンネル接合を導入した省エネ型量子ドットレーザの開発を進め、消費電力10%削減を目指す。なお、グループ再編により SiN 関連の研究は課題番号0000053-100に追記した。
  - 2) 光信号制御素子である有機アクティブデバイス開発では、低劣化共振器加工法と多層結晶性薄膜作製法、膜面積制御した乾式結晶形成法、PPV 系発光剤を導入した導波路の開発を行う。光を伝送、分岐するパッシブな光素子開発では、印刷によりコア径30 $\mu$ m の導波路を作製し、MMF との良好な結合を目指す。

##### 【平成26年度実績】

- 1) 省エネ型量子ドットレーザの開発では、トンネル接合を導入し、消費電力20%以上の低抵抗化したレーザ動作を実現した。
- 2) 有機アクティブデバイス開発ではスライドボート法による多層結晶性薄膜作製法を開発し、光励起発振するダブルヘテロ構造作製に成功した。溶液析出結晶化の開発では、ある貧溶媒を用いた場合、サブミリメートルの大きさをもつ結晶形成に成功した。また光を伝送するパッシブな光素子開発では、高接触角を有する表面処理剤を用いることで、スクリーン印刷により幅30 $\mu$ m、高さ15 $\mu$ m のコアリッジ作製に成功した。

##### 【平成26年度計画】

- ・化合物半導体光デバイスと積層集積したアモルファスシリコン光回路を開発し、光信号伝送を確認する。また、3次元光回路および低コスト実装を可能とする縦方向曲り導波路を開発し、伝送特性評価を行う。さらに、積層型光変調器の試作と評価を行う。
- ・量産化まで見据え、300mm ウェハでのアモルファスシリコン光回路の作成プロセスを開発する。

##### 【平成26年度実績】

- ・化合物半導体光デバイスと積層集積したアモルファスシリコン光回路を試作した。低コスト実装に有効な縦方向曲り導波路の開発を進め、伝送特性評価を行った結果、1dB 以下の損失を確認した。さらに、積層型光変調器を試作し、光伝送特性を評価、電流注入での

屈折率変化を観測した。

- ・量産化に必要な300mm ウェハ装置を用いた水素化アモルファスシリコンの成膜技術を開発し、成膜したアモルファスシリコンで光回路を試作・評価を行い、十分な低損失伝搬特性を確認した。

#### 4-(3)-③ オープンイノベーションプラットフォームの構築

##### 【第3期中期計画】

- ・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えると同時に、コンサルティングや人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進する。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成する。

##### 【平成26年度計画】

- ・産総研ナノプロセッシング施設（AIST-NPF）を窓口とした、先端機器共用施設からなる国内外プラットフォームとの連携拡充や、利用者が課題を解決するための技術相談、技術支援サービスの高度化により、産総研外部機関への支援実施件数が年間で100件に到達することを旨とする。また、当該施設へ導入される民間資金等外部資金が、運転経費に対する比率で10%以上に到達することを旨とする。

##### 【平成26年度実績】

- ・産総研ナノプロセッシング施設（AIST-NPF）を窓口とした、先端機器共用施設からなるプラットフォームを拡充、整備した。研究支援インフラを産総研内外、産学公の研究者に公開する拠点とネットワークを形成し、技術相談や産業科学技術人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を高度化した。より具体的には、NPF を窓口とした電子システムを整備してユーザーのアクセシビリティを高め、100件を超える産総研外部機関への支援件数を達成した。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成した。

##### 【平成26年度計画】

- ・スーパークリーンルームにおけるシリコンフォトリソプロセス技術に関しては、プロセスの安定性を高めると同時に高度化を進め、プロジェクトおよび共同研究における利用を促進する。

##### 【平成26年度実績】

- ・スーパークリーンルームにおけるシリコンフォトリソプロセス技術に関しては、プロセスの安定性を高めると同時に高度化を進め、パッシブ光回路、ヒーター作成、および光変調器プロセスを確立した。また、水素化アモルファスシリコンの成膜技術を確立した。

#### 5. 産業の環境負荷低減技術の開発

##### 【第3期中期計画】

産業分野での省エネルギー、低環境負荷を実現するためには各産業の製造プロセス革新が必要である。そのため、最小の資源かつ最小のエネルギー投入で高機能材料、部材、モジュール等を製造する革新的製造技術（ミニマルマニュファクチャリング）、化学品等の製造プロセスにおける製造効率の向上、環境負荷物質排出の極小化、分離プロセスの省エネルギー化を目指すグリーンサステナブルケミストリー技術の開発を行う。また従来の化学プロセスに比べ、高付加価値化合物の効率的な生産が可能なバイオプロセス活用技術、小型、高精度で省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム（Micro Electro Mechanical Systems : MEMS）の開発を行う。さらに、様々な産業活動に伴い発生した環境負荷物質の低減及び修復に関する技術の開発を行う。

##### 5-(1) 製造技術の低コスト化、高効率化、低環境負荷の推進

##### 【第3期中期計画】

製造プロセスの省エネルギー、低環境負荷に貢献する革新的製造技術であるミニマルマニュファクチャリングの開発を行う。具体的には、多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術、セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネルギー製造技術及び希少資源の使用量を少なくしたエネルギー部材とモジュールの製造技術の開発を行う。また、高効率オンデマンド技術の一つとして、炭素繊維等の難加工材料の加工が可能となるレーザー加工技術の開発を行う。さらに、機械やシステムの製品設計及び概念設計支援技術の開発を行うとともに、ものづくり現場の技能の可視化等による付加価値の高い製造技術の開発を行う。

##### 5-(1)-① 多品種変量生産に対応できる低環境負荷型製造技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・デバイス製造に要する資源及びエネルギー消費量を30%削減するために、必要な時に必要な量だけの生産が可能で、かつ多品種変量生産に対応できる製造基盤技術を開発する。また、ナノ材料を超微粒子化、溶液化し、それらを迅速に直接パターニングするオンデマンド製造技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・レーザー援用 IJ、光 MOD では、実用レベルの密着強度を実現する。スピニング加工では、異形部材表面のバニシング加工で後処理不要な製造工程の実現を目指し、デバイスレベルで従来工法に対する省エネ・省資源性を検証する。AD 法により要望の高い鉄/アル

ミ等の異種材料接合を実現し、リペア・アップグレード応用の可能性を検証する。オンデマンドプロトタイプング技術の開発のため、3D 積層造型の適合素材の拡大、評価、薄肉複雑形状鋳造プロセスの高度化と生産プロセス制御のためヒューマンインターフェイス等の開発を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・レーザー援用 IJ 法を用いることにより、基材表面粗面化によるアンカー効果やレーザーアニールにより、PET フィルム上に実用レベルの密着強度のある Ag 微細配線描画に成功した。光 MOD 法によって、従来の1/2の膜厚で2倍の発光強度の大面积蛍光体膜の作製に成功した。温間スピニング加工により、マグネシウム合金 AZ31の深絞り加工が可能となった。レーザー援用 IJ 法よりの配線補修や光 MOD 法による薄膜抵抗体トリミング、AD 法による異種材料接合のための接合層形成など、リペア・アップグレードへの有効性を確認した。3D 積層造型では、安価な破碎粉の金属積層造型への適用性を確認するとともに、IJ 法を利用した鋳造用鋳型製造用のプロトタイプ装置を開発した。

#### 【平成26年度計画】

- ・高精度高精細印刷デバイス、パターン形成技術として、以下の技術を開発する。

  - 1) 微粒子化したナノ材料の微細パターンングを実現するために、移動度 $0.1\sim 0.5\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を示す酸化半導体膜の印刷形成技術を開発する。
  - 2) 多品種変量生産に対応する製造技術を開発するために、有版印刷により導体配線パターンのアライメント精度 $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ を実現する。
  - 3) デバイス製造に要する資源及びエネルギー消費量の削減のため、高速な印刷法において、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 幅の細線の連続印刷時における線幅および膜厚の再現性を $\pm 10\%$ 以内に収める技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・高精度高精細印刷デバイス、パターン形成技術として、以下の技術を開発した。

  - 1) フレキソ印刷法によって $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下の精細度でのパターンングが可能な酸化半導体インクの開発に成功し、その印刷形成薄膜で移動度 $1.0\text{ cm}^2/\text{Vs}$ を達成した。
  - 2) 反転オフセット印刷法を応用した Wet-on-Wet 法によって、 $150\text{ mm}$ 角のサイズで $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ のアライメント精度を実現した。
  - 3) スクリーンオフセット印刷法によって、 $15\text{ }\mu\text{m}$ 幅の細線を連続200枚印刷成形し、線幅と膜厚の再現性を $\pm 10\%$ 以内に抑えることに成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・必要な時に必要な量だけの生産が可能で、かつ多品種変量生産が可能な製造基盤技術を開発し、デバイス製造に要する資源およびエネルギー消費量30%削減を実証する。具体的には、1)商用ミニマル装置（塗布、現像、露光、加熱炉、化学機械研磨、洗浄）の性能、特に安定性や環境制御性を改良する、2)プラズマエッチャーおよびスパッタ商用機を開発する、3)ミニマル搬送系と互換のある CVD 試作機を開発する、4)トランジスタなどの簡易デバイスの特性を安定させるプロセス開発を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・必要な時に必要な量だけの生産が可能で、かつ多品種変量生産が可能な製造基盤技術を開発し、次の成果を得た。

  - 1) 商用ミニマル装置（塗布、現像、露光、加熱炉、化学機械研磨、洗浄）の性能、特に安定性や環境制御性を改良し、これらの実用化を行い、企業が実際に市販機を売り出した。
  - 2) プラズマエッチャーおよびスパッタ商用機を開発し、企業が実際に市販機を売り出した。
  - 3) ミニマル搬送系と互換のある CVD 試作機のプロトタイプを開発した。
  - 4) 昨年度の p-MOSFET に続き、今年度は、n-MOSFET の試作に成功した。

- 5-(1)-② 高性能セラミック部材と表面加工技術を用いた省エネルギー製造技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・製造産業における生産からリサイクルに至るプロセス全体の省エネルギー化を図るために、断熱性等の機能を2倍以上とした革新的セラミック部材等の製造技術、及び機器及びシステムの摩擦損失を20%以上低減させる表面加工技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・中期目標を超える断熱性を有するセラミック部材を開発すべく、熱の有効活用に資するモデル部材の試作に取り組む。具体的には、高温工業炉の断熱材を想定し、前年度に開発した断熱構造を $1500^\circ\text{C}$ 以上の耐熱性を有する材料から試作する。また、 $700^\circ\text{C}$ での熔融塩蓄熱容器を想定し、アルミナ基材料を候補材として容器用の断熱中空ユニットの試作を行う。摩擦低減化技術開発においては、これまでの規則パターンに加え、ランダムテクスチャリングについても検討し、実機を模した摩擦試験により、20%以上の摩擦損失低減効果を実現する。

#### 【平成26年度実績】

- ・前年度に開発した断熱構造を、 $1500^\circ\text{C}$ 以上の耐熱性を有するムライトで実現した。また、天然原料により、熱伝導率 $0.25\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 以下、圧縮強度 $10\text{ MPa}$ 以上

の断熱材を製造した。溶融塩蓄熱容器用部材として、表面にニッケル層をメッキしたアルミナ基材の中空ユニットを試作し、本構造が溶融塩に対して十分な耐食性を持つことを実証した。摩擦低減化技術においては、規則パターンをすべり軸受けに適用することにより、摩擦損失を20%以上低減させる目標を達成した。またランダムパターンにおいても摩擦低減効果を確認した。

#### 5-(1)-③ 資源生産性を考慮したエネルギー部材とモジュールの製造技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・固体酸化物形燃料電池や蓄電池用の高性能材料、部材及びモジュールを創製するため、希少資源の使用量を少なくし、従来に比べて1/2以下の体積や重量で同等以上の性能を実現する高度集積化製造技術や高スループット製造技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・マイクロ燃料電池技術として、ブタン燃料での発電にて、コールドスタート100回 x100時間での使用条件での性能低下が10%以下のスタック製造技術を開発し、モジュールスケールアップ製造技術を検討する。コバルトを含まない高性能マンガ酸化物正極材料の高エネルギー密度セルでの性能実証と製造プロセス技術の確立、および、物質透過性1 mg/L/day 以下のセラミックセパレーター製造技術を検討し、高容量・低コスト電池モジュール化技術を開発する。AD法を用い、色素増感太陽電池の光電変換性能の更なる向上を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・小型電源向けのブタン等の炭化水素による急速発電が可能なマイクロ SOFC で、100回の起動停止及び1000時間での連続発電にて電圧低下が10%以下のセル製造技術を開発した。さらに、大型化へ組合せ集積可能な100cc の単位モジュール構造で、数百 W 級（600℃下において）の急速起動スタック製造プロセスを見出した。また、ガーネット型酸化物で世界最高性能の常温導電率を有する電解質材料の合成に成功し、全固体電池等の新規蓄電デバイスのセル化技術として展開を行った。さらに、AD法を用いることにより、有機フィルム上の色素増感太陽電池としては世界最高水準である変換効率9%を達成する、フレキシブル色素増感太陽電池の製造技術を開発した。

#### 5-(1)-④ レーザー加工による製造の高効率化

##### 【第3期中期計画】

- ・自動車製造工程等に適用できるタクトタイム1分以内を実現する炭素繊維強化複合材料等のレーザー加工技術の開発、及び従来のフォトリソグラフィ法等の微細加工技術に比較して30%以上の省工程・省部品化処理が可能なオンデマンド加工技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・炭素繊維強化複合材料の高品位、高速のレーザー加工技術に関して、切断プロセス制御因子の最適化作業をさらに進め、タクトタイム1分に相当するプロジェクト最終目標6m/分の加工速度を実証する。薄膜太陽電池等の高速加工について、レーザーオンデマンド加工法の高度化により30%の省工程及び省部品化処理技術を確立するとともに、液膜レーザー反応法等を駆使した先端薄膜材料表面処理に関する検討を行う。

##### 【平成26年度実績】

- ・炭素繊維強化複合材料の高速・高品位のレーザー加工技術に関して、NEDO・PJ 開発品の高出力レーザー装置を使用した切断プロセス制御因子の最適化によって3 mm厚試料に対して高品位状態を保持しつつ目標値6 m/分を超える最高10m/分の加工速度を達成し、タクトタイム1分以内の加工速度を実証できた。先端薄膜材料に対するオンデマンド加工については、高分子材料表面へのミクロン周期構造の付加的形成工程に関して液膜レーザー反応法による表面処理の検討を加え、リソグラフィ法と比較して40%省工程化できることを見いだした。

#### 5-(1)-⑤ 製造分野における製品設計・概念設計支援技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・機械やシステムの基本設計に必要とされる候補材料の加工に対する信頼性、機械寿命、リサイクル性を予測するために、実際の運用を想定した評価試験と計算工学手法を融合したトータルデザイン支援技術を開発する。企業における有効事例を3業種以上構築する。

##### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に高度化したデザイン・ブレイン・マッピングツール（DBM）と他のツールとの連携を図り、トータルデザイン支援技術としての検証を行う。多数の意思決定者が存在する開発プロセスの解析（宇宙機器開発事例）では、これまでに構造化した離散的な設計文書の解析を進め、DBM上のモデルとして表現する。分野横断的な知見の体系化（電磁鋼板加工事例）では、実験結果等をDBMに実装し加工技術や電磁鋼板製品の設計・管理技術の重要事項を抽出する。一昨年度に検証したねじ締結部材と併せ、中期目標である3業種以上の事例構築を示す。

##### 【平成26年度実績】

- ・意思決定者が多く存在する開発プロセスの例として、宇宙機器開発の開発履歴情報を設計モデルと検証モデルに分類し、設計上流段階における標準的な開発プロセスモデルの提案に成功した。電磁鋼板の加工を例題とした分野横断的な知見の体系化については、グラフ演算を用いることにより特定のキーワードに関連する

重要事項を自動的に抽出する機能を DBM に実装することが可能となった。また DBM と他のツールとの連携について、次世代自動車の普及シミュレーションにおいて、DBM を用いることによりパラメータの抽出を効率化するに成功した。平成24年度に検証したねじ締結部材と併せ、中期目標である3業種以上の事例構築を示すことが出来た。

#### 5-(1)-⑥ 現場の可視化による付加価値の高い製造技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・製造プロセスの高度化及びそれを支える技能を継承するために、ものづくり現場の技能を可視化する技術、利便性の高い製造情報の共有技術、高効率かつ低環境負荷な加工技術を開発する。成果を企業に導入し、顕著な効果がある事例を50件構築する。

##### 【平成26年度計画】

- ・MZ プラットフォームのビジネス利用を推進するため、技術移転先企業に対するソースコードの開示を行う。ツール利用者向けの新版 Web ページを正式に公開し、ツールのダウンロードによる配布を開始する。MZ プラットフォーム版加工テンプレートを作成し、付属アプリケーションとして配布する。公設研や工業会、技術移転先企業等と連携してセミナーや講習会を開催し、ものづくり支援ツール及びそれらをベースとしたツールの企業への導入を進め、中期目標である50事例の構築を達成する。

##### 【平成26年度実績】

- ・平成26年6月にリリースした Ver.3.2より、希望のあった技術移転先企業に対して MZ プラットフォームのソースコードを開示した。同時に、ツール利用者向けの新版 Web ページを正式に公開し、ツールのダウンロードによる配布を開始した。MZ プラットフォーム版加工テンプレートとして熱処理テンプレートを作成し、平成26年12月にリリースした Ver.3.3より、付属アプリケーションとして配布した。公設研との連携で講習会開催2件を実施したほか、シンポジウムでの講演によるものづくり支援ツールの紹介1件を行った。第3期中期計画期間のこれまでの事例を統合して、中期目標である50事例以上の構築を達成した。

#### 5-(2) グリーンサステナブルケミストリーの推進

##### 【第3期中期計画】

各種産業の基幹となる高付加価値化学品等の持続的な生産、供給を実現するため、製造効率の向上、環境負荷物質排出の極小化、分離プロセスの省エネルギー化等を実現するプロセス技術の開発を行う。具体的には、精密合成技術、膜分離技術、ナノ空洞技術、マイクロリアクター技術、特異的反応場利用技術等の開発を行う。

#### 5-(2)-① 環境負荷物質の排出を極小化する反応、プロセス技術

##### 【第3期中期計画】

- ・酸化技術、触媒技術、錯体・ヘテロ原子技術、ナノ空洞技術、電磁波技術等を用いることにより環境負荷物質排出を極小化し、機能的な高分子材料、電子材料、医薬中間体、フッ素材料等を合成するプロセス技術を開発する。特に、反応率80%以上、選択率90%以上で目的製品を得ることができると過酸化水素酸化プロセス技術を開発する。また、触媒開発においては、触媒の使用原単位を現行製造法の20%以下にする技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・過酸化水素酸化プロセス技術開発について、硫黄を含む化合物を反応率80%、選択率99%以上で合成する触媒系を開発する。イリジウム原料として酢酸イリジウムを用いる有機 EL 燐光材料の合成法について温度依存性を検討する。また、高機能有機ケイ素部材用触媒開発について、高選択的にケイ素-酸素結合を持つ化合物を合成する触媒技術を開発する。

##### 【平成26年度実績】

- ・過酸化水素酸化に関する新規触媒を検討することにより、硫黄を含む化合物を高選択的に酸化する触媒系を開発し、反応率90%以上、選択率99%以上を達成した。酢酸イリジウムを用いる有機 EL 燐光材料の合成法について温度依存性を検討し、従来法より20℃以上低い温度で有機 EL 燐光材料を合成することに成功した。また、高機能有機ケイ素部材用触媒開発について、ケイ素-酸素結合を持つ化合物であるアルコキシシランの合成において、高選択的に複数の異なるアルコキシ基を持つアルコキシシラン類を合成する触媒技術を見出した。

##### 【平成26年度計画】

- ・金属触媒を用いない、ヘテロ原子化合物の新規合成法を開発する。また、光学活性リン類の効率的製造法と空気や水に安定な新規配位子を用いる不斉合成反応の開発を行う。含酸素化合物の求核的反応による含ケイ素ヘテロ原子化合物の効率的合成法を開発する。ケイ素やホウ素のヘテロ原子を含有する機能的な化合物・高分子の合成方法を開発する。

##### 【平成26年度実績】

- ・放射線や電子線を用いることにより、金属触媒を使用しないヘテロ原子化合物の合成法を開発した。空気や水に安定な新規配位子の開発に成功し、これを用いて不斉水素化が効率よく進行した。またシロキサン類の新規効率的合成法を開発した。さらにボラジン類に代表されるホウ素などのヘテロ原子を含む新規機能的な化合物を合成した。

## 【平成26年度計画】

- ・複合酸化触媒の活性点のモデルとなる遷移金属錯体を合成し、それらを担体表面に分散させて固定化する手法により触媒活性や選択性の向上を図り、酸化反応等における触媒の使用原単位を従来比20%以下にする。

## 【平成26年度実績】

- ・チタニアシリカ複合酸化触媒の活性点のモデルとなるチタン錯体を合成し、アモルファスシリカやメソポーラスシリカ担体に高分散に担持させた。得られたシリカ担持チタニア触媒の性能を有機過酸化物をを用いたオレフィンの酸化反応で評価したところ、従来触媒である TS-1 に比べて高い活性を示し、触媒の使用原単位を従来比で20%以下にすることに成功した。

## 【平成26年度計画】

- ・フッ素系の高圧ヒートポンプ用新規冷媒開発について、燃焼性、環境影響等の観点から評価対象化合物を選定し、1化合物を合成、提供するとともに、企業開発品を含めた新規冷媒の環境影響評価や燃焼性評価を行う。また、種々の混合系冷媒の燃焼限界測定を行い、新たな燃焼性推算法を提案する。冷媒の熱安定性評価については、温度、濃度、流速による影響を解析する。二次電池用新規電解液として、メサイド系新規イオン液体を合成してその基礎物性を評価する。

## 【平成26年度実績】

- ・フッ素系冷媒の評価対象として選定した1化合物を合成し、企業開発品と併せて評価した結果、1化合物の地球温暖化係数が極めて小さく、2化合物が低燃焼性であることが判明した。燃焼性推算法として、CO/R1132a 混合系を基準ガスとした方法について検証し、推算精度の向上が可能となる方法を提案した。種々の条件下における冷媒の熱安定性評価を行った結果、R32の熱安定性が R22 より高いことが判明した。メサイド系新規イオン性化合物を評価した結果、2種が常温で液体状であり、高い熱安定性を有するを見出した。

## 【平成26年度計画】

- ・機能性高分子材料や電子材料等について、耐久性評価においては、新規加速劣化試験法を用いた有機薄膜太陽電池デバイスの耐久性評価を行い、その有効性を検証する。材料評価においては、有機半導体の光酸化劣化機構の解明や、バリア膜等の実用材料の性能及び劣化機構解明等を通じて、化学材料の新しい評価手法を提案する。また素材開発においては、界面構造を安定化させる新規材料を用いた有機薄膜太陽電池デバイスを試作し、材料設計指針の妥当性を検証する。

## 【平成26年度実績】

- ・特定構造を持つ有機薄膜太陽電池デバイスを用いて、暴露雰囲気制御した新規加速劣化試験法を開発し、

耐久性評価に有効であることを確認した。また、有機半導体の光酸化劣化機構を提案するとともに、バリア膜等の実用材料の構造—機能相関解明を通じて、化学材料の新しい評価手法を複数提案した。さらに、新規 n 型材料等を用いた有機薄膜太陽電池デバイスを試作し、熱耐久性評価や固体 NMR 解析を行うことにより、pn 界面を安定化する材料設計の有効性を明らかにした。

## 5-(2)-② 化学プロセスの省エネルギー化を可能とする分離技術

## 【第3期中期計画】

- ・化学プロセスの省エネルギー化の実現に資する膜分離、吸着分離等の技術を開発する。具体的には、膜性能の向上、膜モジュール技術の開発、膜分離プロセスの設計を進めることにより、蒸留等を用いた現行プロセスの消費エネルギーを50%削減できる膜分離技術を開発する。また、ナノ多孔質材料の細孔表面の修飾や有機材料等との複合化、細孔の配向性制御、吸着特性評価等の技術を開発し、従来比25%以上の省エネルギー化が可能な産業分野用吸着分離プロセスを開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・分子ふるい炭素膜による化学原料の脱水精製について、水/イソプロパノール以外の分離系について分離性能向上の検討を行う。さらに実験結果をもとに分離精製プロセスのシミュレーションを行い、従来の蒸留法による分離精製プロセスと比較して、消費エネルギーの50%削減が達成可能なことを検証する。また、金属有機構造体を用いた分離膜の作製について、特にプロピレン/プロパン分離膜の透過及び分離性能を向上するための指針を得る。

## 【平成26年度実績】

- ・分子ふるい炭素膜による化学原料の脱水精製について、難度の高い水/酢酸系の詳細検討を行った。炭素膜の細孔径を制御することにより、水/酢酸選択性が5.4から3500以上へと大幅向上に成功した。この実験結果をもとに脱水精製プロセスを設計計算した結果、従来の蒸留法と比較して、分離にかかる消費エネルギーを87%削減できることを明らかにした。また、金属有機構造体を用いた分離膜について、作製条件が分離膜構造と透過選択性に与える影響の検討を行い、分離層厚みの低減およびプロピレン/プロパン選択性100以上への向上に成功した。

## 【平成26年度計画】

- ・水蒸気吸着剤について、ゼオライトやメソポーラスシリカの親水性/疎水性評価を引き続き行い、表面特性と原子配列の関係を考察し、吸着剤の特性に及ぼす影響を検討するとともに、吸着剤の固定化法を最適化し

て従来比25%以上の省エネルギー化を達成するシステムを提案する。ほう素吸着剤については、吸着剤粒子の形状制御及び安価な還元剤での反応率向上や膨潤の抑制を検討し、従来の吸着剤よりも3倍以上の吸着性能達成とほう素吸着回収システムの低コスト化を実現する。

【平成26年度実績】

- ・水蒸気吸着剤のゼオライトやメソポーラスシリカの親水性／疎水性評価を行い、これまで不可能であった極低圧からの吸着特性の評価・表面親疎水性の評価が可能となった。吸着剤の固定化法では、泳動電着法でのモジュール形成技術を確認し、従来比25%以上の省エネルギー化が可能な除湿（デシカント）システムを開発した。ほう素吸着剤については、従来剤と比較して重量ベースで3倍以上の吸着性能をもつ吸着剤を開発した。また、膨潤が起こりにくく耐久性の高い新規吸着剤の合成にも成功し、実排水でのオンサイト性能評価を実施した。

5-(2)-③ コンパクトな化学プロセスを実現する技術

【第3期中期計画】

- ・高温高圧エンジニアリング技術、マイクロリアクター技術、膜技術、特異的反応場利用技術等を用い、有機溶媒の使用を抑制したプロセスや、適量分散型で短時間に物質を製造できるプロセス技術を開発する。特に、機能性化学品を合成する水素化反応において、有機溶媒を用いず、従来法に比べ150%以上の反応効率を達成する。

【平成26年度計画】

- ・特異的反応場利用技術による低環境負荷プロセス実現のため、香料原料や樹脂原料となるラクトン類を合成する水素化反応において、水溶媒および高性能触媒を用いる触媒反応技術を開発し、従来法に比較して150%以上の収率を達成する。

【平成26年度実績】

- ・環境負荷を低減する特異的反応場利用技術として、有機溶媒の代わりに水を利用した高性能の触媒反応系を構築した。平成26年度には、水溶媒と固体酸触媒および担持金属触媒を組み合わせ用いるレブリン酸メチルの水素化触媒反応プロセスの開発により、樹脂原料や香料原料等に利用されるラクトン類の一種 $\gamma$ -バレロラクトンを従来法に比較して300%の収率で選択的に合成することに成功した。

5-(3) バイオプロセス活用による高効率な高品質物質の生産技術

【第3期中期計画】

微生物や酵素を利用したバイオプロセスは、化学プロセスに比べて反応の選択性が極めて高く、高付加価値化

合物の効率的な生産が可能である。バイオプロセスの広範な活用とバイオものづくり研究の展開のため、微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明、生体高分子の高機能化とバイオプロセスの高度化技術、設計技術及び遺伝子組換え植物の作出技術の開発と密閉式遺伝子組み換え植物生産システムの実用化を行う。

5-(3)-① 微生物資源や有用遺伝子の探索と機能解明（I-3-(1)-②へ再掲）

【第3期中期計画】

- ・未知微生物等の遺伝資源や環境ゲノム情報、機能の高度な解析により、バイオ変換において従来にない特徴を有する有用な酵素遺伝子を10種以上取得する等、酵素、微生物を用いた実用的な高効率変換基盤技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・従来行ってきた16S rRNA 遺伝子置換によるリボソーム改変、それに伴う宿主機能の改変を23S rRNA にも適用する。また16S rRNA、23S rRNA の組み合わせ置換なども行い、リボソームの機能可塑性を徹底的に追求するとともに、宿主機能のさらなる多様化を図る。

【平成26年度実績】

- ・変異16S rRNA を保持した変異大腸菌ライブラリーの規模の拡大を行い、レポーター遺伝子の発現向上をもたらす16S rRNA を数種取得した。その他、増殖速度の速い変異株や生育温度依存性の高温シフトした株など、様々な表現型変化をもたらす16S rRNA を分離した。23S rRNA についても大腸菌遺伝子との交換実験を行い、16S rRNA と同程度に遠縁の遺伝子による生育相補を確認した。

【平成26年度計画】

- ・酵母での機能性脂質生産系において、活性型変異DGA T を発現させて得た高い脂質生産性株で脂質蓄積に関わる因子を探索する。高度不飽和脂肪酸合成の律速段階の $\Delta 6$ 不飽和化の生産性向上に資する因子である、活性型 DGA T 導入や界面活性剤等の培地成分の複合的影響を解析する。また、リシノール酸等の脂肪酸の生産及びそのストレス耐性に関与する新たな因子を探索する。さらに、微生物が産生する2,3-ブタンジオールから新規ケテンアセタールである2-メチレン-4,5-ジメチル-1,3-ジオキソランの合成を検討する。

【平成26年度実績】

- ・高い脂質生産性をもつ酵母株では、脂質蓄積にヒストンアセチル化酵素 Esa1p の発現低下が重要なことを見出し、ヒスチジンと Tergitol NP40の同時添加で、 $\Delta 6$ 不飽和化の生産性が向上し、生産脂肪酸が培養液中に滲出することを見出した。また、酵母によるリシノール酸生産に伴うストレス耐性に関与する遺伝子と



して plg7を見だし、plg7の高発現によるリシノール酸の分泌生産に成功した。さらに、微生物が産生する2,3-ブタンジオールから新規環状ケテンアセタールモノマーを合成し単離した。

#### 【平成26年度計画】

- 新たな微生物由来の有用因子探索を目的として、さらに水生植物根圏に生息する未知微生物群を探索し、新規根圏微生物ライブラリーの拡充を図る。さらに、効果の高い新しい水生植物の成長促進微生物（PGPR）の探索を実施する。また取得に成功した新規 PGPR については、その成長促進メカニズムの解明に取り組むとともに、水生植物以外の産業上重要な植物への効果について検証を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 水生植物根圏ならびに葉圏に生息する未知微生物群を探索した結果、新たに15新属20新種以上の新規根圏微生物および葉圏微生物の分離、収集に成功し、水生植物微生物ライブラリーの拡充を達成した。さらに、既存の水生植物の成長促進微生物（PGPB）の能力と同等かそれ以上の PGPB を新たに5種見出した。新規 PGPB による水生植物成長促進メカニズムについて調べたところ、陸生のもとは異なり、水生に特有の作用機序の存在が示唆された。

#### 【平成26年度計画】

- 効率的バイオ燃料生産のために、トリグリセリド代謝経路上でのキーファクターの推定を行う。具体的には、平成25年度に同定した遺伝子群から、脂肪酸生合成やグリコゲン生合成などにおいて、N 欠状態で各酵素の活性化に必要な因子を発現データやメタボライトデータを用いて同定する。同定した因子から脂肪酸・グリコゲン生合成経路が活性化されるメカニズムの推定を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 1)トリグリセリド生産時の発現データに対し時系列解析を行い、活性化している代謝パスウェイを推定し、その結果、脂肪酸高生産株では通常とは異なるパスウェイを通してトリグリセリド生合成を行っていることを明らかにした。2)他の近縁種とのゲノム比較を行うことで、脂肪酸高生産株特異的な性質のキーファクター候補となる遺伝子群を推定した。

#### 【平成26年度計画】

- これまで開発した微生物ゲノムの遺伝子予測技術を情報ツールとしてまとめて公開する。また、醤油麹 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベースを公開する。

#### 【平成26年度実績】

- 麹菌の二次代謝産物の網羅的予測など、これまで開発

した微生物ゲノムの遺伝子予測技術を情報ツールとしてまとめ、誰でもダウンロードして利用できるように公開した。また、昨年度までに実施した醤油麹 *A. sojae* のゲノム解析結果をまとめたデータベース「sojaeDB」を作成し、公開した。

#### 【平成26年度計画】

- 低温適応微生物の利用および共生系微生物の機能解析を行う。1)現北海道の森林等から、これまで研究してきた南極産菌類に対応する脂質分解性の真菌類のスクリーニングを行う。2)動物腸内の微生物叢の群集構造を解明するとともにその機能を解明する。カメムシ腸内共生細菌のゲノム解析およびトランスクリプトーム解析を進め、腸内共生の分子メカニズムを解明する。

#### 【平成26年度実績】

- 1)分離目的の微生物に適した培地を検討することによって、北海道の森林およびパーラー排水処理施設より、それぞれ4株以上の脂質分解能を有する真菌を分離した。2)カメムシ類を含む難防除害虫の腸内微生物叢やメダカの野外個体群の腸内微生物叢を明らかにし、それら腸内微生物叢の核となる微生物を明らかにした。害虫カメムシ消化管のトランスクリプトーム解析や腸内共生細菌のゲノム解析を進め、共生微生物が害虫腸内に定着するための遺伝子を多数特定した。

#### 【平成26年度計画】

- 殺虫剤分解性および非分解性の複数の *Burkholderia* 共生細菌株のゲノム解析を行うとともに、宿主ホソヘリカメムシ共生器官の RNAseq 解析を行う。ゾウムシ類の共生細菌 *Nardonella* の機能解析を進め、特に高度なクチクラ硬化に関わる生物機能を解明する。

#### 【平成26年度実績】

- 1)ホソヘリカメムシ-*Burkholderia* 腸内共生系について新たに共生細菌7株（RPE67、RPE239、RPE301、SFA1、KMA、KMG 株）の全ゲノム配列を決定し、中腸共生器官の遺伝子発現解析を推進した。また、標識した共生細菌により生体内感染動態の可視化を可能にした。2)ゾウムシの細胞内共生細菌 *Nardonella* について、日本産害虫ゾウムシ7種について新たに共生細菌を同定するとともに、クロカタゾウムシの単離菌細胞塊の培養によりクチクラ硬化に必要なチロシン合成を証明した。

5-(3)-② 生体高分子や生体システムの高機能化によるバイオプロセスの高度化（I-3-(1)-③へ再掲）

#### 【第3期中期計画】

- バイオプロセスに有用な生体高分子の高機能化を行うとともに、生物情報解析技術や培養、代謝工学を利用して、機能性タンパク質、化学原料物質としての低分子化合物等を、従来よりも高品質で効率よく生産する

プロセス技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・新たに得られたメタノール産化性酵母変異株のトランスクリプトーム解析を進め、変異による各遺伝子発現の変動を確認する。また同変異株での有用タンパク質発現能に関連する遺伝子を探索し、安定的なタンパク質発現が可能な酵母株を作出する。

【平成26年度実績】

- ・新たに得られたメタノール産化性酵母変異株のトランスクリプトーム解析を行ない、変異によって発現変動が見られる遺伝子をリスト化した。その中で、物質生産に影響されると考えられる遺伝子を推定し、その遺伝子解析により、メタノール産化性酵母のメタノール代謝時の代謝経路が変化するメカニズムを推定した。これらにより、安定的にタンパク質を発現する酵母株を作出した。

【平成26年度計画】

- ・脂肪酸などの産業上有用な炭化水素系化合物について、これまでの検討で得られた高生産化に必要な前駆体および生産された物質の代謝系を含めた制御、連続培養などの培養技術上の改良により、数十 g/L 程度の生産性の獲得を目指す。脂肪酸分泌生産の基礎技術などを利用して、分離がしやすく純粋に近い生産により生産コストの低減を可能にする技術を開発する。

【平成26年度実績】

- ・これまでの検討で最も効果が高かった遺伝子の二重発現によって代謝経路をさらに強化するとともに、連続培養の導入などの検討により、約5 g/L の脂肪酸生産性を実現した。この生産法では分泌生産が実現されており、分離がしやすく純粋に近い生産が可能である。

【平成26年度計画】

- ・引き続き人工耐熱性セルラーゼの高機能化のために吸着ドメインを多重化させるときのリンカー長の最適化を行う。また人工酵素の開発の手掛かりとなる有用タンパク質（D-アミノ酸デアシラーゼ等）の物性、構造、機能解析を行う。また DAC に関しては平成25年度の成果を基に阻害剤の合成を行い活性に対する影響を検証する。

【平成26年度実績】

- ・人工耐熱性セルラーゼの高機能化のために吸着ドメインをつなぐリンカー長の最適化を行った。その結果、リンカー長は10アミノ酸程度が最適でありセルロース分解活性を約2倍に増強することが判った。2種類の D-アミノ酸デアシラーゼの物性、構造、機能解析を行うため発現系の構築を行い、精製法を確立した。DAC に関しては阻害剤の合成を行い、活性測定方法の確立と阻害剤の活性に対する阻害効果を確認した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に決定した水熱反応残渣と試料に含まれる酸不溶性リグニン量がほぼ一致する反応条件において、木質系バイオマスに含まれるセルロース、ヘミセルロースが効率的に分解、抽出されているかを明らかにするために以下の項目について検討する。水熱反応残渣の化学構造解析を行い、酸不溶性リグニンと比較することにより、反応残渣の由来を明らかにする。また、本手法（水熱反応+有機酸による加水分解）で得られた単糖量を一般的な硫酸法による加水分解法と比較し、当該手法の有効性を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・水熱反応残渣の構造について、固体 NMR、および FT-IR により解析を行った結果、残渣構造はリグニン構造とは一致せず、むしろ反応物である竹試料と同等であることが判明した。これにより、残渣中に単糖になり得る成分が含まれていることが示唆された。また、本手法（水熱反応+有機酸による加水分解）で得られた単糖収率は、硫酸法に比べ低い値を示すことが明らかになった。これらのことから、本手法で硫酸法と同等の単糖収率を得るためには、水熱反応過程においてより抽出率を上げる方策が必要となることが示唆された。

【平成26年度計画】

- ・国内の生物資源から見出した複数の不凍タンパク質の中から細胞保護機能を発揮する分子を特定する。また、その分子の3次元分子構造の特徴を核磁気共鳴法と X 線構造解析法を用いて明らかにする。更に、水溶性人工脂質二重層のナノディスクを作製し、不凍タンパク質との相互作用様式を解析する。それらの結果に基づいて不凍タンパク質の細胞膜結合メカニズムを調べ、同タンパク質を活用した細胞保護技術の開発を行う。

【平成26年度実績】

- ・卵細胞のみならず睥島細胞に対しても強力な細胞保護機能を発揮する新規の不凍タンパク質分子を特定した。その分子の炭素と窒素を<sup>13</sup>C と<sup>15</sup>N に置換したものを遺伝子組換え技術を用いて作成し3次元分子構造を解析した。ナノディスクのプロトタイプ作成にも成功し、不凍タンパク質との相互作用メカニズムを解析した。企業の協力を得ることで細胞保護技術の開発を進捗させた。

【平成26年度計画】

- ・これまでに開発した微小電極を細胞のグルコース消費量の測定に応用するために、グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼを電極上に固定化する。この際、電極上における酵素間の相対配置が検出感度に影響すると考えられることから、ナノサイズで構造を変えることが可能な合成 DNA を酵素反応の足場に採用する。

平成26年度では、DNA を介した酵素の電極への固定化法と、高い検出感度が得られる最適な DNA 構造体を開発する。

【平成26年度実績】

- ・グルコースオキシダーゼとペルオキシダーゼを DNA と結合させることで、微小電極上における上記2種類の酵素の位置選択的な固定化技術を開発した。また、2本鎖の解離を抑制させた安定型 DNA を酵素の固定化に用いることによって安定な酵素の反応場が構築され、グルコースの検出感度が大きく向上することを明らかにした。さらに、酵素を用いたグルコース検出では、電極上における酵素と電極の相対配置が検出感度に大きく影響することを実証した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、微生物由来 P450と臨床診断に使用可能な酵素について、反応効率向上に向けた高機能化を目指す。また、汎用宿主では発現が困難な実用性のある酵素について、その発現系構築を目指す。

【平成26年度実績】

- ・P450vdh によるビタミン D 水酸化体生産に向け、高機能化された1アミノ酸変異体ならびに食品添加物を活用した細胞内への基質透過の改善により、単位時間あたりのビタミン25位水酸化体生産を世界最速にすることに成功した。また、臨床診断用酵素について、無作為な変異導入により構造安定性に変化はなく酵素活性が2倍程度上昇した変異体の作成に成功するとともに、大腸菌で発現困難な酵素を放線菌の系により発現することに成功した。

【平成26年度計画】

- ・酵母発現系を用い、複数のタンパク質を発現できるシステムの利用研究を行う。具体的には、引き続き脂肪酸合成に関わる遺伝子をターゲットに、3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドを有する遺伝子組換え酵母での遺伝子発現の至適化を行う。更に、3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドに3種の脂肪酸鎖長伸長酵素遺伝子を各々連結し、4つの酵素遺伝子を連結した発現プラスミドの完成を目指す。

【平成26年度実績】

- ・3つの脂肪酸不飽和化酵素遺伝子を連結した発現プラスミドを有する遺伝子組換え酵母での遺伝子発現の至適化については、宿主と脂肪酸不飽和化酵素遺伝子の種類を変えてみることで、予想される不飽和脂肪酸が検出できた。また、脂肪酸鎖長伸長酵素遺伝子を各々単独で発現し、脂肪酸組成の変動が観られるか否かを確認したが、変動は観られなかった。宿主として用いている出芽酵母は飽和脂肪酸とモノ不飽和脂肪酸のみを有していることから、これら脂肪酸は遺伝子を導入

した脂肪酸鎖長伸長酵素の基質にならないことが予想された。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に発見した抗カビ活性を有する糖鎖を利用して、カップリングによる表面修飾が利用できない対象物への新規カビ汚染防除技術の開発を進める。ナノ粒子利用研究では、定量的な調製法を開発し、その物性評価した上で、糖鎖や天然物部分構造を利用した研究へと展開する。天然物利用研究では、Aurachin 類だけでなく Pradimicin 類にも着目する。Pradimicin 類は抗 HIV、抗真菌活性を有するが、構造変換によりこれらの活性の向上を図り、加えてナノ粒子利用展開を進める。

【平成26年度実績】

- ・新規カビ汚染防御技術の開発では、表面加工技術、無毒化合物の抗カビ活性の発見、揮発性化合物の効果保持研究などにより、物質表面や閉鎖系庫内の抗カビ効果を30%程度向上させることに成功した。現在、産業利用展開に向けた検討を進めている。天然物利用研究では、Pradimicin 類をナノ粒子上に固定化することで糖認識活性を10倍以上向上させることに成功し、Pradimicin 類の結合対象ターゲット糖鎖について新しい知見を得た。本物質は諸条件に比較的安定であり、高感度センサーへの展開についても検討した。

5-(3)-③ 遺伝子組換え植物作出技術と生産システムの開発

【第3期中期計画】

- ・植物生産システム等のグリーンバイオ産業基盤を構築し、実用化に目処をつける。そのために、遺伝子組換え技術により植物の持つ物質生産機能を高めるとともに、転写制御因子の改変体モデル植物を全因子の90%程度（従来は25%程度）について作成して解析すること等により、新たな機能を付与する技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・有用転写因子の探索と機能解析を行う。酸性土壌、低肥料、その他のストレスに耐性を付与する転写因子の機能解析を進めるとともに実用植物において検証を進める。転写抑制機構関連因子のさらなる探索と解析を進める。ALCA では、これまでに発見した有用因子を導入したポプラなどを作成し、酵素糖化率などの測定を行う。ゴムノキ Pj では、モデル植物での形成層制御因子候補の機能解析をさらに進める。また、ゴムノキにおいて乳管形成と関連して発現する遺伝子の解析および形質転換効率向上のための条件検討を進める。

【平成26年度実績】

- ・ジャスモン酸応答、クチクラ形成、乾燥や凍結などのストレス耐性等の制御因子の新たな機能を見いだした。

有望な複数の因子について形質評価のためのイネ形質転換体作製を行った。転写の分子機構の新規因子を複数発見し、機能の一端を明らかにした。木質増強因子がポプラでも有効であることを確認し、特定成分の合成促進や茎の肥大化に有効な因子を新発見した。ゴムノキで乳管形成誘導と関連する数十個の遺伝子を、モデル植物で二次成長制御の候補遺伝子を複数見いだした。また、再現性良く複数の形質転換株が得られる条件を確立した。

#### 【平成26年度計画】

- 1) 抵抗性関連遺伝子等を用いて CMV アグロインフェクション法の発現量を2-3割増加させる。2) プロモーターの脱メチル化技術と植物工場でのタバコ水耕栽培技術を融合し、抗体発現量を栽培面積㎡あたり4 mg 以上の高発現を目標とする。3) 植物工場において、植物ホルモン等の誘因物質を利用し、生薬植物の目的物質生産量を受薄倍増化させることを目標とする。

#### 【平成26年度実績】

- 1) CMV アグロインフェクション系において、当初の予想に反して CMV の植物体内移行が阻害されることを見いだした。すなわち、インフェクション時に植物抵抗性に関与するサリチル酸の劇的増加が誘導され、導入遺伝子の発現を結果的に抑制していることを見いだした。2) 栽培面積1m<sup>2</sup>あたり5mg 以上の抗体発現を達成した。3) 生薬植物における目的物質生産量を約16倍に増加させた。以上により当初目標を達成した。

#### 5-(4) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術 (Ⅲ・2-(3)へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

産業分野の省エネルギー化や環境負荷低減に貢献するマイクロ電子機械システム (MEMS) 製造技術の開発を行う。具体的には、高機能な MEMS を安価に生産するための大面積製造技術の開発を行う。また、バイオ、化学、エネルギーといった異分野の MEMS デバイスを融合及び集積化する製造技術の開発を行う。さらに、安全・安心や省エネルギー社会実現に貢献する MEMS デバイスを利用したユビキタスシステムの開発を行う。

#### 5-(4)-① 高集積、大面積製造技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 高機能で安価かつ大面積での MEMS 製造技術を開発する。具体的には、100nm より微細な3次元構造体をメートル級の大きさにわたり、低コストかつ低環境負荷でレジストや金属メッキ構造体、多結晶シリコン材料等を用いて MEMS を量産するための基盤技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 大面積 MEMS 加工プロセスや新規 Ne ビーム利用表面活性化常温接合技術等を利用して宇宙用 MEMS への応用を図る。光硬化型ブロック共重合ポリイミドを利用する低温ナノインプリント技術を利用して光導波路等の微細光学素子への展開を図る。ナノインプリントによる大面積加工のためのロールモールド作製の基盤技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- 宇宙用 X 線望遠鏡作製のための大面積 MEMS 加工プロセスとメッキ応力によるウェハ湾曲制御技術を開発した。Ne ビームによる表面活性化および犠牲層膜リフトオフ法による超平滑表面により常温での MEMS 気密封止接合を実現した。光硬化型ブロック共重合ポリイミドに光導波路とレンズやミラー構造を一括成型する低温ナノインプリントプロセスを開発し、100 nm 幅のサブ波長構造の形成にも成功した。マスクレス露光装置にロールを搭載し直接描画する手法を検討し、直径100 mm で幅300 mm のロールモールド作製に適用できることが分かった。

#### 5-(4)-② ユビキタス電子機械システム技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 安全・安心や省エネルギー社会に資するユビキタスマイクロシステムの実現のために、バイオ、化学、エネルギー等異分野のデバイスを融合、集積化した MEMS デバイスを製造するための技術及び低消費電力かつ低コストな MEMS コンポーネント製造技術を開発する。具体的には、数ミリメートル角以内の通信機能付きセンサチップを試作し、オフィス、クリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを10%削減するためのシステム技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- フレキシブル MEMS コンポーネントの過酷条件下における信頼性を向上する加工技術を開発し、無線センサ端末製造へ適用する。3 mm 角程度の通信機能付き温湿度センサチップを搭載したフレキシブル電力センサ端末と、数シンボルでの超短電文通信が可能な受信機を開発し、超低消費電力センサネットワークシステムを実現する。環境情報と消費電力量を統合した電力プロファイリングシステムを活用して、製造現場等の省エネ10%実証実験を実施する。

#### 【平成26年度実績】

- パーマロイフィルムに50 μm 以下幅のコイル構造を形成する製造技術を開発し、電流400A、曲率半径1 mm 以下の過酷条件下に対応する、電池レス無線通信機能付きフレキシブル電力センサ端末を実現した。また、6シンボルでの超短電文通信が可能な、3 mm 角通信機能付きチップと受信機を実現した。温湿度センサ端末等から得られる環境情報と、消費電力量とを

統合した電力プロファイリングシステムを、小規模店舗網やクリーンルームに適用し、消費エネルギーを2,000店舗平均で2年間で10%削減できることを示した。

#### 5-(5) 環境負荷低減技術、修復技術

##### 【第3期中期計画】

各種産業プロセスから発生した環境負荷物質の高効率処理及び浄化と環境修復に貢献する技術の開発を行う。具体的には、水や大気等に含まれる微量重金属や残留性有機汚染物質（POPs）等、低濃度の環境負荷物質を高効率に処理可能な選択的吸着技術、触媒技術の開発を行う。また、太陽光、植物や微生物等の自然界の能力を利用、強化し、低濃度広域汚染サイトや複合汚染サイトにも適用できる高効率、低コストな浄化、修復技術の開発を行う。

#### 5-(5)-① 環境負荷低減を目指した浄化技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 水や大気に含まれる低濃度の環境負荷物質を、従来比で最大4倍の総合処理効率（処理能力／エネルギー消費）で処理可能な浄化技術を開発する。具体的には、ナノ空間材料や特殊反応場を利用した選択的吸着技術、触媒技術等を活用して、反応選択性や効率の向上を図る。また、残留性有機汚染物質（POPs）等難分解性物質を焼却によらずに完全に無機化できる反応技術、さらには有価物への変換技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- 特殊反応場を利用した VOC 分解では、レーザーと赤外分光法などを駆使し反応機構の解明を目指すとともに、プラズマ由来活性種と高い反応性を示す触媒の貴金属使用量の低減とプラズマの電力効率を向上させ、総合処理効率4倍の達成を目指す。環境中抗生物質などに対する選択吸着性や触媒分解能を強化した吸着剤や複合型触媒の開発を目指す。有機ポリマーを添加した水熱合成で得られるポーラス炭素材料ではナノ空間構造の制御範囲を拡大すると共に炭素骨格内に特殊反応場構築のための金属種又はヘテロ原子導入を図る。

##### 【平成26年度実績】

- 特殊反応場を利用した VOC 分解では、レーザー分光計測による触媒近傍の放電プラズマ中に生成した活性種の解析から、反応促進に有効な電源方式を明らかにした。これにより従来手法に比べ約10倍のエネルギー効率で処理が可能となった。環境中抗生物質などに対する選択吸着性や触媒分解能を強化した材料の開発では、グラフェン・チタニアナノ複合体の膜化に成功し、触媒量ベースで従来のピュアなチタニアより10倍以上効率を向上させた。ポーラス炭素材料については、ヘテロ原子導入法を利用した新たな吸着剤制御法を開発した。

##### 【平成26年度計画】

- 新規に合成する環状分子吸着剤を用いて、代表的な水中臭気化合物であるジオスミン及び2-メチルイソボルネオールとの吸着及び脱着試験を行い、市販の吸着剤と比較し、その回収率向上を目指す。ナノシート吸着剤については、LDH の形態制御により、被処理水との接触効率・ハンドリング性等を向上させる。オゾンマイクロバブルについては、イオンインプラント処理後の洗浄、エッチング処理後の洗浄等、各種洗浄工程への適用性を検討し、これまでの成果と合わせ、総合処理効率の向上を図る。

##### 【平成26年度実績】

- 新規環状分子吸着剤については、1ppm ジオスミン水溶液中のジオスミンをほぼ100%吸着回収できることを明らかにした。ナノシート吸着剤（LDH）については、繰返し利用では結晶性が、ゲルとの複合では乾燥方法が、ハンドリング性や吸着特性に大きな影響を与えることが分かった。オゾンのマイクロバブルについては、超難分解性のポリビニルアルコールやジオキサンを効率的に分解することに成功した。また、触媒を併用した硝酸の分解技術に H<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>マイクロバブルを応用することで、硝酸処理速度を従来型法の約20倍に向上させた。

##### 【平成26年度計画】

- 金属担持した光触媒結晶表面上の過酸化水素および吸着水分子の挙動を追跡し、その役割を調べるとともに、光触媒活性と反応機構の関係を解明する。新規光触媒材料の開発では、窒化炭素等の可視光応答型光触媒の光吸収および活性の制御手法を開発し、LED 光源との適合性を解析し、処理効率の向上を目指す。

##### 【平成26年度実績】

- 光触媒の機能解析では、金属担持した光触媒について検討を行い、酸化チタン光触媒結晶表面において過酸化水素生成が金属担持により促進することが明らかになった。吸着水分子量の増減を観測することにより、金属上で過酸化水素が還元されて水分子を生成する反応機構が活性の向上に寄与することを見出した。新規光触媒材料の開発では、高速混合法による銀イオン添加により窒化炭素光触媒の悪臭処理効率を4倍に向上させ、可視光 LED 光源（450 nm）での活性化に成功した。

##### 【平成26年度計画】

- 代替フロン HCFC 等の加水分解処理効率を高くする気液混合システム条件を明らかにする。代替フロンや POPs 等の難分解性物質を焼却によらず加水分解等により無機化または有価物等に変換できる反応技術を提案する。フッ素系冷媒の水溶性等の共存塩効果を定量評価する。多様な架橋構造をもつ超分子錯体触媒を合

成し錯体ユニット間の電子移動・電荷分離を定量評価し、高効率な触媒設計指針を提案する。

【平成26年度実績】

- 希アルカリ溶液を高速混合して気液間の物質移動を効率よく進行させることにより、HCFC-22が加水分解によりほぼ定量的にギ酸とフッ化物イオンに変換する反応技術を開発した。フッ素系冷媒の水溶性の共存塩効果は、一般の物質とは異なり、共存塩濃度とその平方根の両方に依存することを見出した。多様な架橋をもつ超分子錯体触媒の錯体ユニット間電子移動速度等を定量評価し、二酸化炭素光還元反応効率を最大にする電子移動速度に対応する架橋構造条件（短鎖、ヘテロ原子の導入）を高効率な触媒設計指針として提案した。

5-(5)-② 自然浄化能の強化による環境修復技術の開発

【第3期中期計画】

- 太陽光や植物、微生物等の自然界が有する環境浄化能力を促進、拡大強化することにより、環境負荷が少なく、オンサイトでも利用可能な土壌、水、空気的环境修復技術を開発する。例えば、これまで困難であった低濃度広域汚染サイトや複合汚染サイトの低環境負荷型浄化、修復を可能とするために、既存法に比べて除去コストを1/4に縮減する浄化技術を開発する。

【平成26年度計画】

- 土壌中 VOC の処理システムでは、自律型試作機の製作を行い太陽光照射下における長期連続処理性能評価を行うことで既存技術との比較による低コスト化の検討を行う。水中有害物質の太陽光処理では、ソーラーリアクター設計を行い、東南アジア現地において実証試験を行う。大気汚染等の原因物質であるアルデヒド類の土壌への取り込み速度を決める環境条件と土壌の特性を明らかにする。

【平成26年度実績】

- 土壌中 VOC の処理システムでは、太陽光によるトリクレン除去の長期屋外試験を行い、数ヶ月経ても性能低下が見られないという当初の想定よりも高い性能が得られ、低コスト化への道が開けた。また、途上国における飲料水の光浄化に関し、タイ・チェンライ県での現地実験の結果、実用流速（2.5 L/h）を維持したまま太陽光のみで大腸菌並びに一般細菌レベルが1/10以下になることを見出した。一方、アセトアルデヒドの土壌への取り込み速度が相対湿度または土壌含有水分の上昇により減少することがわかった。

【平成26年度計画】

- 環境微生物群による土壌汚染対策技術研究においては、特にセレンまたは六価クロムの汚染土壌に着目し、その低レベル毒性化・固定化のメカニズムを微生物生

態学的側面から明らかにする。植物による土壌汚染対策技術の実用化に当たっては、汚染された土壌であっても種子を発芽させる技術の開発、効率的な播種を可能とする手法を検討し、大幅な除去コスト削減を目指す。

【平成26年度実績】

- 環境微生物群による土壌汚染対策技術研究においては、酢酸等の炭素源をセレン汚染土壌に添加することで、微生物による還元（低レベル毒性化・固定化）が達成される事を示し、その活性指標微生物を数万種から数種にまで絞り込むことに成功した。また、植物による土壌汚染対策技術では、栄養素を含むゲル状物質で種子を被覆することにより、汚染土壌においても発芽を可能とし、被覆種子をチューブやシート状に加工することで播種の効率化を実現した。これらにより植物の作付けや管理にかかる費用を大幅に削減できることを示した。

【平成26年度計画】

- VOC 汚染環境のバイオレメディエーション（バイオオーグメンテーション）を想定し、開発した網羅的モニタリング技術や定量技術を汚染現場におけるオーグメンテーションに適用する。また、バイオオーグメンテーションに利用可能な VOC 等分解微生物の培養、同定を継続して進める。それらの結果を基に、環境生態系影響評価のための定量技術を確立し、それらの標準的プロトコルを確立する。

【平成26年度実績】

- VOC 汚染環境を対象としたバイオオーグメンテーション実証試験を企業主導の共同研究により実施した。また、バイオオーグメンテーション現場における環境生態系影響評価のための標準的プロトコルを作成した。作成したプロトコルに基づき、機関比較試験を主導的に実施し、標準的プロトコルの精度向上を図った。さらに微生物群の定量的評価技術を確立し、それらの実証を行った。VOC 等分解嫌気性微生物の培養、同定と分離を行い、新規の細菌群を複数種類獲得し、そのモニタリングのためのマーカー遺伝子の解析を実施した。

6. 持続発展可能な社会に向けたエネルギー評価技術、安全性評価及び管理技術並びに環境計測及び評価技術の開発

【第3期中期計画】

グリーン・イノベーションにより持続可能社会を構築するためには、エネルギー技術をはじめ、科学と産業にかかわる安全性、環境影響等を正しく評価することが必要である。そのため、エネルギー関連技術にかかわるシナリオ等の評価を行うとともに、二酸化炭素削減のため

の技術及び取組の評価手法の開発を行い、二酸化炭素削減ポテンシャルを定量化する。また、産業活動における安全性を向上させるために、ナノ材料に代表される新材料のリスク評価及び管理技術の開発、産業事故防止のための安全性評価及び管理技術、化学物質の最適管理手法の開発を行う。さらに、環境負荷物質のスクリーニング、計測技術の開発と物質循環過程解明を通じた総合的な環境影響評価技術の開発を行う。

#### 6-(1) 革新的なエネルギーシステムの分析、評価

##### 【第3期中期計画】

持続可能な社会の構築に必要な革新的エネルギー関連技術にかかわるシナリオの分析、評価を行う。具体的には、環境と資源の制約を考慮し、二酸化炭素の回収貯留や水素を媒体としたエネルギーシステム等の開発及び導入に関するシナリオの分析、評価を行う。さらに、国際的な連携を念頭においた国内外技術開発ロードマップや新規技術の適用性評価及び技術導入シナリオの策定を行う。

#### 6-(1)-① 革新的なエネルギーシステムの分析、評価

##### 【第3期中期計画】

- ・持続可能な社会の構築に必要な革新的エネルギー関連技術にかかわるシナリオの分析、評価を行う。具体的には、環境と資源の制約を考慮し、二酸化炭素の回収貯留や水素を媒体としたエネルギーシステム等の開発及び導入に関するシナリオの分析、評価を行う。さらに、国際的な連携を念頭においた国内外技術開発ロードマップや新規技術の適用性評価及び技術導入シナリオの策定を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・CCS等の温暖化対策技術や水素等の新エネルギー媒体の導入シナリオに関するモデル分析を実施し、温暖化防止と長期エネルギー需給への影響評価を行う。技術の有効性、横断的適用性評価に基づいて、新技術導入の中長期的シナリオ構築に向けた提言を行う。エネルギー技術対策を中心に、資源環境経済の持続性シナリオの総合的評価を行う。また、国際機関との関連では、引き続き、国際標準化機構（ISO）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）、国際CCS研究所（GCCSI）等を中心にした活動に参画しつつ連携強化を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・水素、アンモニア等の導入シナリオに関するモデル分析を実施し、CCS等も考慮した長期エネルギー需給への影響評価を行った。発電、自動車、産業、民生での技術の有効性を横断的に評価し、CO<sub>2</sub>排出削減等の制約と媒体の特性を考慮した長期的見通しについて提言を行った。エネルギー技術対策を中心に、資源環

境経済の持続性シナリオの総合的評価を行った。また、国際機関との関連では、引き続き、国際標準化機構（ISO）、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）、国際CCS研究所（GCCSI）等を中心にした活動に参画した。

#### 6-(2) 持続発展可能な社会と産業システムの分析

##### 【第3期中期計画】

二酸化炭素の削減や環境負荷低減のための様々な方策を評価する手法の開発を行う。具体的には、実態調査等に基づく、温室効果ガス排出原単位のデータ作成や消費者の行動等を解析し、削減率の定量化を行う。また、最適な社会と産業システムの設計を目指して、これら方策の削減ポテンシャルを明らかにし、持続可能な社会の構築に資する技術開発、技術のシステム化、市場システムの分析と評価を行う。

#### 6-(2)-① サステナブルシステム及び技術評価

##### 【第3期中期計画】

- ・最適な社会と産業システムの設計を目指し、持続可能な社会に向けた各種の取組に対し、資源性、経済性、社会受容性等の観点から技術評価を行い、これらの環境負荷削減量を定量化する。

##### 【平成26年度計画】

- ・省エネルギー・低炭素に資する各種新規技術に関してライフサイクル分析を行い、最適な社会と産業システムの設計に資する、資源性及び環境性能と経済的便益について評価する。またこれら新規技術が導入されたエネルギーシステムについて、需要と供給のバランスと技術に対する受容性を考慮した環境負荷の定量的分析を行う。

##### 【平成26年度実績】

- ・各種水素エネルギーキャリアのライフサイクルフローに投入されるエネルギーや物質に起因する温室効果ガス排出量を算出し、将来の水素社会実現に向けた技術開発シナリオ検討の基礎データとして提供した。離島を対象として、電力需給バランスを踏まえた最適化型電源構成モデルを用いた分析を実施し、新規技術としての再生可能エネルギー発電技術及び蓄電池の導入が、蓄電池に必要となる資源量、環境性能としての温室効果ガス排出量、経済的便益としての発電コストに与える影響を定量的に示した。

#### 6-(2)-② 持続性指標の活用による低炭素社会システムの評価

##### 【第3期中期計画】

- ・CO<sub>2</sub>見える化等の指標を、消費者や企業の低炭素行動に結びつけるための手法を開発する。具体的には、カーボンフットプリント等の施策に関して、原単位デー

タを作成するとともに、消費者の受容性や低炭素行動等を解析し、その二酸化炭素削減ポテンシャルを定量化する。

【平成26年度計画】

- ・カーボンフットプリントの対象としている地球温暖化に加え、環境影響を14カテゴリーに拡張した環境フットプリントへの原単位データ提供へ向け、インベントリデータベースの整備を進める。また、行動ベースの環境負荷データベースの拡充を行い、消費者の受容性を加味した CO<sub>2</sub>、環境負荷削減ポテンシャルを定量化する。

【平成26年度実績】

- ・地球温暖化に加え、水資源、土地資源、オゾン層破壊の環境負荷データを拡充し、4カテゴリーの環境影響の評価を可能とした。また、開発した IDEA を基に行動ベースの環境負荷データベースを新たに開発し、各行動に対する消費者の受容性を考慮した環境負荷削減ポテンシャルを明らかにした。

6-(3) 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

【第3期中期計画】

今後新規に開発される先端科学技術に応用可能な安全管理体系の構築を目指して、ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を行う。具体的には、新規技術の研究開発から製品化に至るプロセスに安全性評価を統合するための方策の開発を行う。適用事例として、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価手法やばく露の計測及び予測評価手法の開発を行う。また、物理化学的特性やリスク評価結果を総合し、研究段階に応じたリスク管理指針を確立する。

6-(3)-① 先端科学技術のイノベーションを支える安全性評価手法

【第3期中期計画】

- ・今後新規に開発される先端科学技術に応用可能な安全管理体系の構築を目指して、ナノ材料のリスク評価及び管理手法の開発を行う。具体的には、新規技術の研究開発から製品化に至るプロセスに安全性評価を統合するための方策の開発を行う。適用事例として、カーボンナノチューブ等の工業ナノ材料について、有害性評価手法やばく露の計測及び予測評価手法の開発を行う。また、物理化学的特性やリスク評価結果を総合し、研究段階に応じたリスク管理指針を確立する。

【平成26年度計画】

- ・ナノ材料の研究開発や市場化の段階に応じたリスク管理指針を構成するものとして、事業者の自主的な管理を支援する「安全性試験の手順書」「作業環境計測の

手引き」(技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構の事業として平成25年度に公開)について、更なる充実のために追加データの取得等を行う。また、同様にリスク管理指針を確立するために、物理化学的特性とリスク評価を統合して効率的な評価を可能にする「同等性判断基準」の考え方を提案し、複数のナノ材料の有害性や体内動態の比較等に基づいて素案を作成する。

【平成26年度実績】

- ・技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構の事業として、カーボンナノチューブ (CNT) の動物試験データを取得するとともに「安全性試験の手順書」の英語版を公開した。また、「作業環境計測の手引き」の改訂に向けて、CNT 複合材の破碎等で発生する粒子の計測データを取得した。また、2種の単層 CNT の「ケーススタディ報告書」を公開した。ナノ材料の「同等性判断基準」については、酸化ニッケルと二酸化ケイ素の有害性と体内動態の解析を基に考え方を提案し、代表的な物理化学的特性との関連性に基づく素案を作成した。

【平成26年度計画】

- ・工業用ナノ材料の動物試験用分散液を調製し試験実施機関へ提供するとともに、カテゴリー分けに必要な物理化学特性のキャラクタリゼーションを進め、現研究段階におけるリスク管理指針等を取りまとめる。

【平成26年度実績】

- ・市販の二酸化ケイ素や酸化セリウムナノ粒子等に関して、カテゴリー分けに必要な物理化学特性の評価を進めた、また酸化ニッケルナノワイヤーや多層カーボンナノチューブについては径分布、長さ分布、濃度等について詳細なキャラクタリゼーションを行った。これら7種類の工業用ナノ材料の分散液を試験機関へ提供した。更に、連携する研究機関での試験を通して、リスク管理のためのカテゴリー分けの指針を得た。

6-(4) 産業保安のための安全性評価技術、安全管理技術

【第3期中期計画】

産業活動における安全性を向上させるために、産業事故の原因究明に関する研究を行う。さらに、過去に起きた事故の情報収集とデータベース化を行うとともに、事故を未然に防ぐための安全文化(ヒューマンファクターや組織要因等)を醸成するための手法の開発を行う。具体的には、火薬類のフィジカルリスク低減や新型火薬庫に関する安全性評価の研究を行うとともに、爆発反応や衝撃波を衝撃圧縮に応用する研究を行う。また、実際の化学プラント等の事業所への適用を目指して、化学プラント等の産業事故データベースの作成と事故の分析を通して、事業所の持つ保安基盤技術とそれを支える安全文



化からなる保安力の評価手法の開発を行う。

#### 6-(4)-① 産業保安のための安全性評価技術、安全管理技術

##### 【第3期中期計画】

- 産業活動における安全性を向上させるために、産業事故の原因究明に関する研究を行う。さらに、過去に起きた事故の情報収集とデータベース化を行うとともに、事故を未然に防ぐための安全文化（ヒューマンファクターや組織要因等）を醸成するための手法の開発を行う。具体的には、火薬類のフィジカルリスク低減や新型火薬庫に関する安全性評価の研究を行うとともに、爆発反応や衝撃波を衝撃圧縮に応用する研究を行う。また、実際の化学プラント等の事業所への適用を目指して、化学プラント等の産業事故データベースの作成と事故の分析を通して、事業所の持つ保安基盤技術とそれを支える安全文化からなる保安力の評価手法の開発を行う。

##### 【平成26年度計画】

- 新規工法の火薬庫土堤について、地震等の外力を受けた場合の爆発影響低減効果を室内外爆発実験と数値シミュレーションにより評価して保安距離等の見直しに資する。爆発反応や衝撃波を衝撃圧縮による物性測定に応用する技術を開発する。水素ステーションのリスク評価や導管からの水素漏洩時の危険性評価を行う。微燃性冷媒の燃焼特性評価を継続し、化学反応モデルを構築する。産業保安研究では、事故情報のデータベース化を継続し、他の物質系データベースとの連携を進める。中小事業所向けの保安力評価システムを開発する。

##### 【平成26年度実績】

- 新規工法の火薬庫土堤が震度7相当の地震で破損した場合を想定した爆発実験等を実施し、土堤の性能を明らかにした。空隙とペレット状の火薬類からなる実験を提案し、衝撃波測定による誘爆感度評価へ応用した。水素インフラに関連して、数値計算と爆風圧の人的被害の情報整理、水素導管からの漏洩挙動を評価した。微燃性冷媒の燃焼特性について、環境条件への依存性評価と反応機構のモデル化を行った。産業保安研究では事故情報のデータベース化を継続し、事故の損失と安全対策の経済効果分析などを行い、中小事業所で保安力評価を試行した。

#### 6-(5) 化学物質の最適管理手法の確立

##### 【第3期中期計画】

ある化学物質によるリスクを下げることにより、別の化学物質によるリスクが増加する（リスクトレードオフ）事例に対応するため、化学物質の有害性、ばく露、対策の効果等を事前に予測するための技術の開発を行う。

具体的には、化学物質の最適管理のための意思決定に資するため、多数のリスク因子を同時に考慮することを可能とするリスクトレードオフ評価手法を確立する。また、化学物質の発火及び爆発危険性評価技術の開発を行い、基準の作成等を行う。

#### 6-(5)-① リスクトレードオフを考慮した評価及び管理手法の開発

##### 【第3期中期計画】

- 社会全体のリスクを適切に管理することを目的として、排出量推計、環境動態及びばく露モデリング、有害性推論、リスク比較等の要素技術を開発し、リスクトレードオフ評価及び管理手法を開発する。また、具体的な用途群へ適用する。

##### 【平成26年度計画】

- 室内ばく露評価ツールの処理速度の改善を行うとともに、皮膚と口を経由するばく露評価ツール試作版および時空間解像度を高めた大気と河川モデルの公開版を完成する。ヒト健康影響推定手法の構築に向け、細胞試験と動物試験の関連性を解析する。生態リスク評価ツールの改善と英語版作成を行うとともに、高い予測精度を持つ金属毒性のモデル構築を行う。地震リスク評価システムの公開版を完成する。

##### 【平成26年度実績】

- 室内空気、皮膚、口経由のばく露評価ツールを試作し、同ツールを用いて製品暴露に関する企業ニーズを調査した。高時間解像度4時間の大気モデル ADMER と高空間解像度250 m の河川モデル SHANEL の公開版を完成した。ラットの細胞試験と動物試験の関連性を解析し、統計学的ヒト健康影響推定モデルを試作した。生態リスク評価ツール英語版を公開した。予測精度を向上させた魚類・甲殻類への銅の毒性推定モデルを構築した。地震に伴う一次災害、二次被害推定およびリスク推定可能な地震リスク評価システムの公開版を完成した。

#### 6-(5)-② 爆発性化学物質の安全管理技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 化学物質の発火及び爆発危険性の現象解明、危険性評価技術の開発、安全な取り扱い技術の基準作成等を行う。

##### 【平成26年度計画】

- 化学物質の安全な取り扱い技術の基準作成においては、平成25年度に計測した熱分析結果を整理・評価して、国内での基準データとして RIO-DB に公開する。花火組成物の爆発危険性を適正に評価できる試験法を開発し、国連 TDG/GHS 委員会の場で報告する。また、花火の ISO 化に向けて国内外の情報を収集する。化

学物質の爆発危険性の現象解明については硝酸リサイクル時のプロセスの危険性評価および医薬中間体としての新規アジド化合物の危険性評価を引き続き行う。また、新規化合物である固体次亜塩素酸ナトリウムの混合危険性の評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 化学物質の安全な取扱い技術の基準作成においては、平成25年度に計測した熱分析結果を評価して、国内での基準データとして「爆発安全情報 DB」に公開すべく pdf 化を行った。花火組成物の爆発危険性を評価する試験法を開発し、国連 TDG/GHS 委員会の場で報告した。また、花火の ISO 化に向けて国内外の会議情報を収集した。硝酸リサイクル時のプロセス危険性評価を行った。また、新規アジド化合物および固体次亜塩素酸ナトリウムの評価を行った。さらに、継続的に検討してきた銀ナノマテリアルの原料物質が爆発危険性を持つことを実証した。

### 6-(6) 環境の計測技術、生体及び環境の評価技術

#### 【第3期中期計画】

産業活動に伴って発生する環境負荷物質のスクリーニング技術及び計測技術の開発を行う。また、環境修復技術に必要な物質循環過程を解明し、総合的な環境影響評価技術の開発を行う。具体的には、製品及び産業プロセスにおける有害物質の計測手法や環境修復技術に必要な環境微生物の迅速検出法等の開発を行う。産業活動によって直接又は間接的に発生する温室効果ガス等が、生物多様性や生態系内貯留等の環境へ与える影響を評価する技術の開発を行う。

#### 6-(6)-① 環境負荷物質及び環境浄化能の計測手法の開発

#### 【第3期中期計画】

- 化学物質や重金属の国際規制に対応するため、製品及び産業プロセスにおける有害物質の迅速検出法を開発し、標準化を行う。また、生物応答に基づく有害性のスクリーニング技術を開発する。さらに、環境修復技術に必要な、分析効率（スピード、コスト、労力）を現状比5倍以上に向上させた環境微生物の迅速検出法を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度開発装置を基に水管理現場利用を目指した可搬型有害試薬フリー全有機炭素連続分析装置を開発する。石炭燃焼排ガス燃料電池発電における微量元素影響の解明のため、ガス状元素の捕集前処理法を開発する。また、分析試料の加熱時における微量元素の挙動・反応性を追跡できる熱分解炉と誘導結合プラズマ質量分析計のオンライン結合装置を開発する。外洋大気捕集装置の最終試作品を外洋調査航海で使用し、分析データを得る。シロキサン化合物の水分析法の

ISO 規格化（平成28年度）のためのデータ蓄積を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 水管理現場利用を指向した可搬型有害試薬フリー全有機炭素連続分析装置を開発した。石炭燃焼排ガス燃料電池発電における微量元素影響の解明のため、ガス状ヒ素の捕集前処理法を開発した。熱分解炉と誘導結合プラズマ質量分析計のオンライン結合装置について、熱分解炉で発生した気体を安定かつ損失なくプラズマに導入するため、加熱型誘導結合プラズマトーチを開発し、環境中の金属に適用可能なオンライン装置を開発した。国際合同調査航海で南極海を含む外洋大気分析に開発した外洋大気捕集装置を適用した。有機シロキサン化合物の水分析条件データを蓄積した。

#### 【平成26年度計画】

- 水銀測定では、平成25年度開発の気相用センサを基に、液相中の水銀化合物を薬剤を用いずに測定可能なシステムを開発する。VOC ガスセンサの測定対象ガス種を4種類まで増やし、多点連続監視型のデータ集録システムを開発する。免疫センサは、シラン系薄膜上に合成した高分子鎖への立体的な抗体固定化による新概念に基づく増幅検出機構を構築し、検出限界を従来技術の2倍以上に向上する。

#### 【平成26年度実績】

- 水銀測定では、試料水中の水銀をフォトリクターで気化・分解させて測定することで、薬剤を用いずに WHO 基準（作業環境・気相）レベルの測定の可能性を見出した。VOC ガスセンサは、シラン系プラズマ重合膜被覆水晶振動子センサによる8種類のガス吸着量測定を達成し、多点連続監視型データ収録システムも構築した。免疫センサはセンサ上に成膜したシラン系薄膜上に高分子鎖を直接合成した鎖上に酵素処理した抗体を固定化することで、従来技術の2倍まで検出限界値を向上できた。

#### 【平成26年度計画】

- RNA 発現解析に基づく毒性評価技術開発のため、複数種類の核酸認識プローブを配列させたマルチセンサチップにより、実試料に基づく複数同時測定評価を行う。人工生物発光酵素（ALuc）の立体構造と基質特異性を明らかにし、抗原機能を有する ALuc 類を開発する。環境計測用マルチチャンネル式発光検出装置を試作し、オンサイト計測を実現する。マウス幹細胞において化学物質応答性の遺伝子群を10種類以上同定し、遺伝子変化と毒性との関連性を評価する。高感度細胞センサを搭載した簡易環境診断チップを作製する。

#### 【平成26年度実績】

- 核酸認識プローブを配列させたマルチセンサチップを用い、ポリメラーゼ連鎖反応により核酸増幅させた実

試料について複数核酸の同時測定を行い、マルチ評価が可能であることを確認した。人工生物発光酵素（ALuc）の立体構造予測を基に高輝度発光性能と基質特異性を併せ持つ新規 ALuc 類を樹立し、オンサイト環境計測用のマルチチャンネル式発光検出装置を開発した。マウス胚性幹細胞において毒物応答性の遺伝子群10種を新たに同定した。高感度化細胞をマイクロデバイスに搭載し、簡易環境診断チップの試作に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- 環境微生物の希薄な懸濁溶液1mL を自動で濃縮する電気泳動型マイクロデバイスの試作品を開発する。環境微生物の MALDI-MS を利用した迅速識別法では、適用範囲を藍藻類に拡張し、そのための迅速な試料前処理法を開発する。これまで進めてきた乳酸菌、真菌、植物病原菌を中心とした微生物標準株（基準株）のデータベース拡充をさらに進め、系統保存機関が保存する標準1000株以上の情報をまとめたデータベースを構築する。

#### 【平成26年度実績】

- 環境微生物の懸濁液を電場を使って効率よく濃縮するマイクロデバイスの試作に成功した。環境微生物の MALDI-MS を利用した迅速識別法では、アオコの原因となる毒性シアノバクテリアを分析するための菌体破碎法及びバイオマーカータンパク質抽出処理法を開発し、国立環境研究所が系統保存している藍藻株の分類に適用して、毒性の有無を識別できることを明らかにした。これまで取得した微生物約1000株のマスマスペクトルを集約し、データベースを構築した。

### 6-(6)-② 産業活動の環境影響評価

#### 【第3期中期計画】

- 地域、地球環境に対する産業活動の影響を適確に評価するため、温室効果ガス、エアロゾル、有害化学物質、生物多様性及び微生物活動の測定並びに吸収及び発生源推定の誤差を現状の50%以下とする技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 温室効果気体の測定誤差の削減のために必要な高精度標準ガス作成手法を計測標準研究部門とともに確立し、大気成分の高精度分析手法開発とデータ解析手法の改良により温室効果ガスの発生源推定の誤差を現状の50%以下とすることをめざす。九州北部における長距離輸送エアロゾルを判別するインデックスにガス状物質を含めるとともに中国の発生源の長期変化の分析を行う。外洋海水全球モデルの精度向上のため、海水および外洋大気中の残留性有機フッ素化合物群の輸送、寿命、変換過程等に関する環境分析データを蓄積する。

#### 【平成26年度実績】

- 温室効果ガス測定誤差の削減について、計測標準研究部門と協力し従来の1/3の誤差となる SI トレーサブルな大気観測用二酸化炭素標準ガスを作成した。大気成分の高精度観測による全球炭素収支推定法を改良し、温室効果ガス発生源推定の時間変動誤差を現状の50%以下とした。九州北部における長距離輸送エアロゾルを判別するインデックスについてガス状物質を含めるとともに輸送パターン別に発生源の変化を分析した。国際合同調査により、大気低温捕集装置等を用いて海水と外洋大気中の残留性有機フッ素化合物群の観測データを蓄積した。

### 6-(6)-③ 二酸化炭素貯留技術の環境影響評価（一部、別表2-2-(1)-②を再掲）

#### 【第3期中期計画】

- 二酸化炭素の海底地層貯留技術や海洋中深層隔離に必要な環境影響評価のため、二酸化炭素の漏洩や注入を想定した室内実験等により、微生物活性や炭素等の親生物元素の挙動等、物質循環の駆動にかかわる過程へ与える影響について評価手法を開発する。早期実用化を目指して、二酸化炭素地中貯留において、二酸化炭素の安全かつ長期間にわたる貯留を保証するための技術を開発する。大規模二酸化炭素地中貯留については、複数の物理探査手法を組み合わせた効率的なモニタリング技術の開発、二酸化炭素の長期挙動予測に不可欠である地下モデルの作成や精緻化を支援する技術及び長期間にわたる地層内での二酸化炭素の安定性を評価する技術を開発する。圧入終了後における長期間監視のための費用対効果の高いモニタリング技術や、我が国での実用化に当たって考慮すべき断層等の地質構造に対応した地下モデリング技術を開発するとともに、二酸化炭素が地中に貯留されるメカニズムの定量的解析や、各地における貯留ポテンシャル評価等の基盤技術を開発する。また、安全性評価技術の開発と中小規模排出源からの排出に対応した地中貯留の基礎研究を実施する。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度までの英国での二酸化炭素漏洩実験及び産業副生物を用いた沿岸生態系の擬似現場実験において見出された堆積物中のリンの挙動に対する堆積物等の種類、酸化還元状態、pH などの影響について、連続抽出と固体表面分析による解明を試みる。平成25年度の白鳳丸による中部太平洋観測航海での船上実験結果および得られた試料の陸上での分析結果の解析を進め、南北太平洋の広範な海域における深海への有機物輸送による二酸化炭素の海洋生態系固定能の評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 英国での二酸化炭素海域漏洩実験に関してリンの挙動

を評価した。英国、日本沿岸および太平洋での堆積物と産業副生物の擬似現場実験におけるリンや金属の詳細分析から、リンの挙動に対する種々の環境条件の影響を定量的に評価した。平成25年度に引き続き、平成26年度の白鳳丸航海により西経170度線の南極海から北極海までの南北断面の観測を達成し、沈降フラックス、粒子上の微生物活性等の計測から、海洋生態系による深海への二酸化炭素固定プロセスの評価を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・CO<sub>2</sub>地中貯留の安全性評価に係る要素研究を行う。1) 米国サイトでのCO<sub>2</sub>圧入時モニタリングや物理量変換プログラム改良を継続し、モニタリング・モデリングの改良点検討を行う。2) 室内実験等による軟岩、砂泥互層の力学的・水理学的特性データの蓄積を継続し、シール圧-浸透率モデルやジオメカニズムを考慮したシミュレーション技術の高度化を図る。3) CCS環境での微生物の影響、便益を考慮したリスク評価技術の高度化を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・1) 米国サイトでCO<sub>2</sub>圧入時モニタリングを継続するとともに、モニタリング法改良のため、超伝導重力計並行測定を試行し、苫小牧実証調査サイトにおけるデータ取得を開始した。物理量変換プログラムの適用範囲を拡げるため、地盤変位ポストプロセッサを改良した。2) 断層・軟岩・砂泥互層の力学・水理学的特性等ならびに地化学データの蓄積を継続し、ジオメカニズムを考慮したシミュレーションの拡張を実施した。3) CCS環境での微生物によるメタンガス生成メカニズムの解明とその影響まで考慮したリスク評価技術の改良を行った。

### 6-(6)-④ 生態系による二酸化炭素固定能評価

#### 【第3期中期計画】

- ・環境影響を最小限に抑えた、生態系内炭素貯留を可能とする、森林や海域内生態系の炭素固定メカニズムの解明とその強化方法、モニタリング及び環境影響評価技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・森林炭素固定能の評価のための環境情報システムについて、現地データの自動処理フローに二酸化炭素フラックス観測を組み込む。地上観測コミュニティにおける標準的システムとするため、ノウハウの共有や改良、海外観測サイト協力機関への技術移転をさらに進める。大気中酸素濃度連続観測から、空気力学的手法により大気-森林間フラックスにおける酸素：二酸化炭素交換比を直接測定し、同位体連続測定と合わせて森林の呼吸、光合成量の分離推定法を開発することにより森

林生態系の炭素固定量の環境応答を評価する手法を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・森林炭素固定能の評価のための環境情報システムについて、現地におけるデータ収録およびデータ送信方法の改良を行い、自動処理フローに二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)フラックス観測を組み込んだ。タイでは、遠隔監視や自動データ処理システムに基づいた観測運用を現地協力機関と共同で行い、データの取得率を向上させた。空気力学的手法で得られた大気-森林間フラックスの酸素：二酸化炭素交換比、呼吸および光合成の同交換比、酸素同位体比を用いた地上と土壌の呼吸の分離推定法を開発し、森林内の各炭素固定量の環境応答を評価した。

#### 【平成26年度計画】

- ・二酸化炭素の海底下地層貯留において想定される漏洩監視に有用な現場型二酸化炭素センサーを開発する。単体で海中に設置し、1ヶ月以上の連続観測ができることを目標とする。耐圧は水深50 m以上、精度・長期ドリフトは±100 ppm以内を目標とする。

#### 【平成26年度実績】

- ・現場型二酸化炭素センサーを試作し、基礎性能評価を行った。耐圧水深100 m相当で、短期的には精度±10 ppm以内で測定出来ることが確認された。1ヶ月の連続測定を実施し、データ解析により、長期ドリフトは100 ppm以内であることを確認し、目標を達成した。

## II. ライフ・イノベーションを実現するための研究開発の推進

#### 【第3期中期計画】

ライフ・イノベーションを実現するためには、疾病や事故の予防、治療や介護支援の充実に加えて、健康で安全な生活を送りやすくすることが必要である。疾病を予防し、早期診断を可能とするため、生体分子の機能分析、解析技術等の開発を行う。疾病の革新的治療技術を実現するため、効率的な創薬技術の開発、先進的な医療支援技術の開発を行う。健康を維持増進し、心身ともに健康な生き方を実現するために必要な計測、評価技術等の開発を行う。また、社会生活の安全を確保するための情報通信技術(IT、センサ)や生活支援ロボットの安全を確立するための技術開発を行う。

#### 1. 先進的、総合的な創薬技術、医療技術の開発

#### 【第3期中期計画】

国民の健康のために、疾病の予防や早期診断、早期治療、個の医療の充実が求められている。これらの課題を解決するため、細胞操作及び生体材料技術を応用した再

生医療技術や先端医療支援技術、医療機器技術等の開発を行う。また、有用な新規バイオマーカーを利用して疾病の予防や早期診断を行うため生体分子の機能分析及び解析技術等の開発を行う。さらに、情報処理と生物解析の連携、融合により、安全性を保ちつつ開発コスト低減に資する高効率創薬技術の開発を行う。

#### 1-(1) 細胞操作及び生体材料に関する技術の応用による医療支援技術

##### 【第3期中期計画】

組織や臓器等の機能を根本的に回復する医療技術である再生医療に資する細胞操作技術、人工臓器等に用いる材料技術や、治療の安全や効果の向上に資する医療機器にかかわる技術の開発を行う。また、これらの先端医療支援技術等の実用化に向けた基盤整備を行う。特に、安定かつ性質が揃った細胞の供給に資する iPS 細胞の作製効率を従来の約10倍（現状1%以下を10%程度）に向上させる技術の開発を行う。

#### 1-(1)-① 幹細胞等を利用した再生医療等に資する基盤技術及び標準化技術の開発

##### 【第3期中期計画】

・骨、軟骨、心血管、膵臓等を生体組織レベルで再生する技術や神経ネットワークの再構成を促進する技術等を開発する。iPS 細胞の作製効率の10倍程度の向上や新規な因子の探索、作製した細胞の評価技術の開発等により、創薬における医薬品の毒性評価や再生医療に必要な分化細胞や組織等を供給するための基盤技術や標準化技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

・AiLec-S1の実用化研究をさらに加速させ、残存未分化細胞定量化キットのプロトタイプを完成させる。薬剤融合 AiLec-S1による残存未分化細胞の除去効果について、臨床機関との連携を通して確認する。  
・間葉系幹細胞の増殖性と分化能を担保することが期待される AiLec-S2について、より広い細胞種を用い有効性の検証を深化させる。

##### 【平成26年度実績】

・「培養液を用いて非侵襲的に ES/iPS 細胞を検出する技術」を完成させ、企業へのライセンスを行った。実用化に向けて企業共同研究を進めた。また、薬剤融合型 AiLecS1を用いて「ES/iPS 細胞を選択的に殺傷除去する技術」を開発し、来年度中の上市の目途を付けた。一方、NEDO プロジェクトや企業共同研究を通じ技術の臨床機関への橋渡しを図った。  
・間葉系幹細胞の骨・軟骨分化能を判別するための新たなレクチン AiLecS2を開発し、企業から製品化した。

##### 【平成26年度計画】

・新規再生医療用アイソレータについては、試験運転を通して、その有効性・安全性を実証するとともに、アイソレータによる再生医療用細胞の製造について、標準作業手順書の作成にも着手する。

##### 【平成26年度実績】

・新規再生医療用アイソレータで実際に臨床研究に用いたヒト骨髄間葉系幹細胞の培養を行った。その結果、培養した細胞が、セルプロセッシングセンターで培養したものと同様の細胞増殖能・分化能、さらに無菌性を保つことが判り、機器の有効性・安全性を実証した。また、現在運用しているセルプロセッシングセンターにおける細胞製造・品質管理について作成した標準作業手順書を元に、アイソレータについての標準作業手順書もほぼ完成した。

##### 【平成26年度計画】

・平成25年度に同定した新たなサイトカインシグナル候補について、シグナル伝達系の促進、阻害による心筋再生の影響について検討を行う。特に変色性蛍光分子を用いた心筋再生定量評価を行うとともに、既知の再生制御シグナル系との関連可能性について解析を行い、心筋再生の高効率化に向けた新たな技術開発の可能性について検討を行う。

##### 【平成26年度実績】

・平成25年度に同定した新たなサイトカインシグナル候補 Wnt について、薬剤投与により Wnt シグナルの促進、阻害を行い、再生時の心筋増殖がそれぞれ促進、抑制される現象を見出した。また、Kaede 蛍光分子を心筋特異的に発現する組換えゼブラフィッシュを用いて心筋再生定量評価を行ない、過去に同定した線維芽細胞増殖因子 FGF による再生制御との関連可能性について解析を行い、Wnt ならびに FGF 両シグナルを同時に活性化することで、心筋細胞増殖の加速が認められた。

##### 【平成26年度計画】

・平成25年度に引き続き、集光レーザーを用いて神経細胞の局所機能を高精度に操作する手法の開発を進める。光ピンセットによる細胞内分子集合操作を進展させ、分子群を効率よく光捕捉するための新たな手法を検討すると共に、その機構解明に取り組む。さらに、細胞外電位多点計測および蛍光解析を行うことにより、集光フェムト秒レーザーを用いた神経回路網の切断や細胞刺激技術の有用性を検証する。

##### 【平成26年度実績】

・集光レーザーを用いて神経細胞の局所機能を操作する新たな手法として、従来の光ピンセットとプラズモン基板とを組み合わせ、神経細胞表面に局在する分子群を効率良く光捕捉できることを見出し、表面プラズモン共鳴に伴う捕捉力の増強機構を考察した。また、集

光フェムト秒レーザーを用いた神経細胞の光刺激に伴い、神経活動の伝搬が誘発されることを蛍光解析により明らかにし、神経回路網の結合特性評価への有用性を示した。

#### 【平成26年度計画】

- 平成26年度は、産総研が開発した抗うつ薬抵抗性モデルマウスのうつ様行動の発症時期、抗うつ薬抵抗性となる時期を明らかにし、うつ病の未病状態から処方できる新薬開発のモデル系の確立を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- モデル動物研究およびヒト試料研究から今後の創薬開発に向けた創薬標的候補分子の決定とその周辺分子の病態も明らかにした。すなわち、1) 抗うつ薬抵抗性モデルマウスのうつ様行動に注目しマウスが既存抗うつ薬投与でも改善されない時期を同定した。2) 質量分析法によりこのような抗うつ薬抵抗性に関する蛋白質群を網羅した。3) 上記の抗うつ薬抵抗性となる時期に発現変動する分子群をウエスタンブロット法により決定した。このような分子候補の発見はうつ病の発症前から処方できる新薬開発に有用情報を与える。

#### 【平成26年度計画】

- 天然物ライブラリーを用いて、様々な疾患モデルを用いた創薬スクリーニングを行い、多種多様な天然化合物を見出す。
- らん藻など培養困難な微生物の生合成遺伝子クラスターの取得に応用できる技術をさらに高度化し、強力な活性を示すがこれまで大量調製が不可能であった化合物に関して、放線菌宿主およびバクテリア宿主を用いて、大量かつ安定に生産する技術の開発を行う。
- BAC ライブラリー調製技術を改良し、さらに長いゲノム断片を取得する技術を開発すると共に、多様な生物の BAC ライブラリーの調製を進める。

#### 【平成26年度実績】

- 1)天然物ライブラリーを用いて、種々のスクリーニングを実施し、複数の強力な活性を示す新規物質の発見に成功した。さらに、既に癌領域以外で臨床応用されている薬剤に関して、新たに抗腫瘍剤としての可能性を見出すことに成功し、医師主導の治験開始が期待される成果を得た。2)本年度の経済産業省プロジェクトにおいて、未知遺伝子を用いて複数の新規化合物の創出に成功した。3)土壌中に存在する微生物を培養増殖させることなく、BAC ライブラリーの調製に成功し、複数の新規巨大生合成遺伝子の取得に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- 1)ヒト iPS 細胞について、未分化維持培養に必要な要素を、マイクロプロセスを駆使して明らかにする。
- 2)25年度に同定した間葉系幹細胞新規マーカーに関し

て、医療機関と連携し臨床サンプルで検証し、間葉系幹細胞標準化につながる「品質カタログ」のプロトタイプを作成する。3)次世代 SeVdp ベクターを用いて、ヒト血液細胞から動物由来成分非存在下で iPS 細胞を作製する技術を開発する。4)次世代 SeVdp ベクターに搭載する神経や軟骨特異的な遺伝子を複数検討し、1%以上の細胞が形質転換できる条件を探す。

#### 【平成26年度実績】

- 1)マイクロプロセス内でヒト iPS 細胞を灌流培養することにより、細胞塊の未分化維持培養が可能であることを示した。2)間葉系幹細胞マーカー群を同定し、増殖/骨・軟骨分化能を評価する品質カタログを整備した。臨床研究実施機関のシステムに準拠する実効性検証を行った。3)次世代 SeVdp-iPS ベクターと、動物由来成分不含の培地、組換えラミニン断片を用いて、約0.4%の効率でのヒト単球の初期化に成功した。4)4個の転写因子を搭載した次世代 SeVdp ベクターを用いてヒト線維芽細胞から神経幹細胞様の細胞を作製した。

#### 【平成26年度計画】

- 1)これまで解析してきた血球形成ロードマップ因子群に関して、マップのまとめ及び論文投稿を行う。
- 2)AiLec-S1の高機能化により開発した「ES/iPS 細胞のみ殺傷する技術」を、臨床研究を行う機関と検証する。さらに、磁気ビーズ化 AiLec-S1による ES/iPS 細胞分離除去技術を開発する。また、肺前駆細胞の作製効率を上げるための更なる技術改良を行う。
- 3)カニクイサル神経幹細胞のより詳細な分化誘導技術の確立と、培養条件の最適化を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 1)血球形成ロードマップ因子群をマップ化した。
- 2)ES/iPS 細胞のみ殺傷する AiLec-S1関連技術を、心筋治療の臨床研究を行っている大阪大学と検証した。磁気ビーズ AiLec-S1により腫瘍源細胞を1/10000以下に減らす技術を開発した。また、マウス細胞で作製可能となった肺前駆細胞をヒト細胞でも作製可能とするための検討を行い、分化促進化合物や遺伝子などを同定し作製の目途が立った。
- 3)カニクイサルの海馬および嗅球から神経幹細胞を取り出し、神経等への分化誘導を確かめた。

#### 【平成26年度計画】

- 1)本研究で取得したエピゲノム情報を公開化し汎用性の高いものとするために論文投稿と公共データベースへの登録を行う。さらに新たに取得したシーケンス情報も加えて、間葉系幹細胞情報基盤作製計画を補完する。
- 2)iPS 細胞誘導技術を応用し、有用細胞ヘリプログラムさせる応用研究を行う。
- 3)マイクロ加工技術を応用することで異種細胞間の相互作用を誘導・評価す

るための共培養技術を開発し、更には薬理操作・電気刺激により細胞機能制御を行う。

【平成26年度実績】

- 1) 間葉系幹細胞および分化細胞でのゲノム、エピゲノムおよび遺伝子発現情報を取得し公共データベースへの登録を行い、健康人での間葉系幹細胞情報基盤を完成させた。2) iPS 細胞誘導を代表とするリプログラミング技術を応用し、神経細胞等の有用細胞を人工的に誘導させる方法を考案した。3) 低分子化合物を用いた細胞加工技術により複数種の神経細胞を誘導した。この神経細胞をマイクロトンネル付チャンバー内で共培養することで、異種神経組織間の相互作用観察を可能とするモデル系構築を行った。

【平成26年度計画】

- 幹細胞や骨・軟骨細胞を対象とした操作・分離技術の高度化とリン酸カルシウムナノコンポジットによる遺伝子導入法の更なる向上を図る。さらに、細胞分離システム開発のため、iPS 細胞のバリデーションの検討方法の確立、および、細胞培養・操作のためのタンパク質、代謝産物等のバイオマーカーのセンシングを行う。

【平成26年度実績】

- 間葉系幹細胞の分離と回収方法の検討を進め、分離技術の精度の向上と操作の自動化を行った。医療用輸液を用いてリン酸カルシウムナノコンポジット層を作製する溶液濃度、反応時間等について検討し、細胞への遺伝子導入効率を向上させるコンポジット設計指針を得た。iPS 細胞に関して、未分化マーカー発現、核型解析、三胚葉への分化試験を用いたバリデーションの検討手法を確立した。未分化の間葉系幹細胞や分化した骨細胞のタンパク質をウェスタンブロッティングなどにより分離、検出し、細胞分別マーカーとしての利便性を評価した。

1-(1)-② 組織再生技術や生体材料技術を利用した喪失機能の代替デバイス技術の開発

【第3期中期計画】

- 人工心臓の補助循環ポンプにおいて現状の3倍である90日の無血栓を達成する等、長期生体適合性を有する人工臓器等による身体機能の代替技術及び材料技術を開発する。

【平成26年度計画】

- Ap-FGF 付加創外骨折固定ピンの安全性確認のための臨床研究を遂行し、症例を得る。人工心臓用ポリカーボネートに抗血栓性分子-アパタイト複合層を形成する方法を構築し抗血栓性を評価する。

【平成26年度実績】

- 1) Ap-FGF 付加創外骨折固定ピンの安全性確認の臨床

研究を遂行し、4例終了した。いずれも有害事象は無く、ピンの抜去トルク/挿入トルク比が平均0.8と、ヒトでも骨との良好な結合が得られた。

- 2) 人工心臓用ポリカーボネートをプラズマ処理後に、抗血栓性分子を含有するリン酸カルシウム過飽和溶液に浸漬し、抗血栓性分子-アパタイト複合層を形成する方法を構築した。複合層のないポリカーボネートは抗血栓性評価で全面に血栓が形成されたのに対し、本技術では血栓が形成されず、優れた抗血栓性を示した。

【平成26年度計画】

- 薬事認可に必要なカスタムメイド人工股関節の耐久性試験を実施する。ISO 17043適合性評価に準じて試験所間比較試験を行い、医療機器の評価機関がISO 17025を取得し易くするために、力学試験の不確かさ評価等に関する基礎データを取得・公表する。

【平成26年度実績】

- カスタムメイド人工股関節の耐久性試験については、平均体重 (60.0 kg) の2倍以上の耐久限を得た。この人工関節の製造に適した型鍛造技術を開発した。また産総研・試験所間比較プログラム (AIST ILC009) 「金属製骨接合用品の曲げ試験における共同試験学試験」-不確かさ評価ガイド-を作成し、医療機器評価機関と共同で同試験を実施して、同機関が国内初のISO17025の取得に成功した。

【平成26年度計画】

- ポリカーボネートから構成される動圧軸受型遠心血液ポンプの表面にアパタイト存在下でアルブミンを固定化した Type1 バイオリゾドポンプを製作し、90日の連続運転を実施するとともに、in vitro または in vivo による血液実験を実施して抗血栓性を評価し、Type1 バイオリゾドポンプの完成を確認する。

【平成26年度実績】

- Type1 バイオリゾドポンプの表面材料となるアルブミンを固定化したポリカーボネート試験片を製作した。アルブミンを固定していない試験片と比較して、抗血栓性に対して有意に優れる確証を年度末までに得られていないが、前年度までの成果等と総合して、アパタイトの存在下でアルブミンを担持したチタン製の動圧軸受遠心ポンプが、90日の無血栓を達成できることが示された。

1-(1)-③ 医療機器開発に資する先端技術の開発と実用化に向けた基盤整備

【第3期中期計画】

- 短時間で計測可能な高速診断法、細胞や組織における分子の機能を解析可能な画像診断法等、治療の安全と効果の向上を目指した技術を開発するとともに、医療機器の迅速な製品化に資する開発基盤を整備する。

## 【平成26年度計画】

- ・経済産業省に協力して医療機器開発ガイドラインの策定を進めるとともに、開発ガイドライン等の普及のためのセミナーを開催する。

## 【平成26年度実績】

- ・経済産業省「医療機器等の開発・実用化促進のためのガイドライン策定事業」を受託して、「ヒト細胞製造システム」等7つのWGを組織して「上肢人工関節の開発ガイドライン」等6通の開発ガイドライン案の策定を進め、年度末までに4通の開発ガイドラインを経済産業省より公表の予定である。また開発ガイドライン等に関する普及啓発のためのセミナーを3回開催し、のべ357名の受講者を集めた。初めて関西（大阪）で開催した。

## 【平成26年度計画】

- ・開発した ASEM の診断支援機器としての適応範囲をさらに拡大するため、病原性の種を含む2種類以上の微生物ならびにバイオフィルムを新たに検出可能にする。免疫電顕法に関しては、新たに3種類以上の生理的にも創薬にも重要なバイオマーカーに対する抗体ラベルを可能とし、その生理機構について解明する。抗原シグナルの周辺の細胞構造を探るために、免疫ラベルと組み合わせることのできるラベル法の開発を継続する。結果を論文発表する。

## 【平成26年度実績】

- ・ASEM を用いて、癌術中迅速診断と病原菌の迅速な検出・診断法の開発に成功した。メリシチン耐性黄色ブドウ球菌 MRSA は院内感染症を起こす代表的な細菌であり、サルモネラも食中毒を起こす代表的な菌である。ASEM を用い MRSA のバイオフィルム形成の観察に成功し、さらにサルモネラ菌の鞭毛観察に成功した。また、創薬マーカーのグルタミン酸受容体・血小板の P-セレクチン・発癌因子 FAS の免疫ラベルに成功し、さらに重金属で組みあわせ染色した。国際誌に4報論文発表した。

## 【平成26年度計画】

- 1) 細胞アッセイについてはさらに応用分野を広げる。肝細胞の球状組織体の灌流培養チップについては、第1相および第2相の代謝を1ヶ月間維持できることを目指す。
- 2) ヒト iPS 細胞から内胚葉系前駆細胞を効率的に分化誘導できる細胞チップを開発する。
- 3) 光による細胞マニピュレーションを三次元培養系に応用し、革新的がん細胞診断技術の実用化のための基礎実験を終える。

## 【平成26年度実績】

- ・1)細胞アッセイについては、非医薬品分野への応用を

開始した。2)ヒト iPS 細胞への灌流培養チップの応用は、当初の予想と異なり中胚葉系への誘導を効率的に行えることを確認した。3)光による細胞マニピュレーションに基づく革新的がん細胞診断技術については、実証機を試作し、データ取りを開始した。

## 1-(2) 生体分子の機能分析及び解析に関する技術

## 【第3期中期計画】

疾病の予防や早期診断、早期治療の指標の確立等を目的として、有用な新規バイオマーカーを同定し、それを評価利用する技術の開発を行う。また、新薬開発コスト低減に資する創薬プロセス高効率化のための基盤技術の開発を行う。さらに、これらの技術に資する生体分子の高感度検出技術、計測及び解析技術の開発と標準化を行う。特に、感染症の拡大の防止等、医療に役立つ新規抗体の生産に必要な期間を従来の1/3程度に短縮する技術の開発を行う。

## 1-(2)-① ナノテクノロジーと融合した生体分子の計測、解析技術の開発と標準化

## 【第3期中期計画】

- ・生体分子の計測、解析機器の高度化と標準化を目的として、バイオテクノロジーと情報技術及びナノテクノロジーを融合し、バイオマーカー検出限界を従来技術の10倍以上向上させる等、生体分子、細胞等を短時間で簡便に分離解析できる手法や素子を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・臨床検査等での核酸計測の互換性向上と標準化、ヒト由来核酸の測定プロセスの精度管理を目的に、今後必要となる核酸標準物質候補品を新たに2種類以上整備する。また、平成25年度に引き続き米国国立標準技術研究所 (NIST) などと協力し、次世代 DNA シークエンサなどを利用し塩基配列の純度を評価、認証するために必要な技術開発、および DNA シークエンシングの精度管理に向けた標準物質開発を実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・臨床検査等での核酸計測の互換性向上と標準化、ヒト由来核酸の測定プロセスの精度管理を目的として、骨髄増殖性腫瘍等に関連するマーカー遺伝子の核酸標準物質候補品を作製した。さらに作製した核酸標準物質候補品の品質について次世代シークエンサを用いて評価した。また、次世代シークエンサなどを利用した塩基配列解析の精度管理に向けた標準物質開発のための作製プロトコルを整備した。

## 【平成26年度計画】

- ・疾病の検査・診断に利用できるように糖鎖チップの開発を目指して、これまでにガレクチン類と高い結合能を示した糖脂質アナログを中心に高感度検出



(10ng/mL 以下) のための化学構造・分子膜調製プロセス・測定条件等の最適化を検討する。

【平成26年度実績】

- ・ガレクチンのさらなる高感度検出のため、また認識機能の制御を目指して、電気化学的に活性なフェロセン基を導入したラクトサミン型糖脂質を合成し、ガレクチン認識修飾膜を構築した。フェロセンの位置をさまざまに変えた糖鎖分子を用いて、膜の構築とレクチンの認識能の制御について、水晶振動子マイクロバランス法にて評価した。認識部位に近いところにフェロセン基が入った糖鎖含有分子を用いると、外部電位によるレクチン認識の制御効果がでることを確認できた。同時に数十 ng/mL (pM レベル) の高感度検出も可能となった。

【平成26年度計画】

- ・オシレーターセンサーでは感度や定量性などのセンシング機能の検討を行う。界面構築材料では、感度増強を目指した材料開発を行う。また、核酸や補体レセプターなどの機能性タンパク質の分子認識機能を、センシングプローブとして人為的環境下において発現させるための条件検討、最適化を進める。

【平成26年度実績】

- ・オシレーターセンサーでは、抗レプチン抗体やビオチン-アビジン等を用いて応答性や感度を検討し、センサーとしての実用性向上を試みた。界面構築材料では、オリゴエチレングリコール類やツビッターイオン表面修飾材料の合成を行い、その生体適合性を体系的に解析した。また、補体レセプターを基板に固定化し、補体認識能を検討した結果、従来報告された補体レセプターよりも優れた分子認識機能を有することから、本課題で実施した細胞培養手法が機能性タンパク質産生に適していることを確認できた。

【平成26年度計画】

- 1) 更に生体分子検出に適した活性の高い電極創成に向け、金属ナノ粒子を分散させたカーボン薄膜電極をアンバランストマグネトロンスパッタ法で一段階で作製する工程を確立する。
- 2) 内毒素の捕捉効率の高いプローブと微小流路デバイスを開発し、さらなる検出限界の高感度化をめざす(100p g/mL)。また一連の測定が可能なデモ機を試作する。
- 3) 平成25年度の知見に基づき、酵素固定化用の電極を2つ集積化したマイクロ流路型センサの開発を行い、電気化学応答が両方の電極で10%以下の精度で得られることを確認する。

【平成26年度実績】

- ・1) 2種類の金属が混合した金属ナノアロイ粒子を分散させたカーボン薄膜電極をアンバランストマグネトロ

ンスパッタ法で一段階で作製する工程を確立した。2) 内毒素の捕捉効率の高いプローブと微小流路デバイスを開発し、検出限界100 pg/mL 以下を達成した。また一連の測定が可能なデモ機を試作に必要な、構成要素を決定した。3) 酵素固定化用の電極を2つ集積化したマイクロ流路型センサの開発を行い、電気化学活性種を導入して電気化学応答を比較したところ、両方の電極の感度差が10%以下の精度で得られた。

【平成26年度計画】

- ・高感度かつ微量測定のために、分子認識膜を調整・再生するための手法を確立し、実際に微量実試料による複数成分分析を試みる。リポポリサッカライド検出の高感度化に向けたプローブを開発する。また、最もアフィニティが高いことが確認されたバルジを利用し、実試料計測を行う。前年度に検討したビオチン化プローブによる目的シーケンスの回収を行い、ゲノム中の5'メチルシトシン解析を行う。

【平成26年度実績】

- ・リポポリサッカライドと親和性の高いペプチドと電気化学測定法に適した官能基(重金属イオン錯体)を併せ持つ分子プローブを系統的に開発し、高感度検出を達成した。また、ハイブリダイゼーション時にバルジを形成するビオチン化プローブを用い、実試料としてラムダ DNA の計測を行った。既存法と関連の良い結果を得ることが出来、ゲノム中の5'メチルシトシン解析に有効であることがわかった。

【平成26年度計画】

- ・ $\beta$ -1,3-グルカンに化学修飾を施すことにより、本来 $\beta$ -1,3-グルカンが持っていない溶媒可溶性や曳糸性などの性質の付与を試みる。つづいて得られた $\beta$ -1,3-グルカン誘導体を原料とした繊維やフィルムなどの高分子材料の調製法に関する検討を行い、得られた材料の物性評価を行う。

【平成26年度実績】

- ・ユーグレナが産生する多糖類である $\beta$ -1,3-グルカンを出発原料として、曳糸性を有する種々の $\beta$ -1,3-グルカン誘導体を合成した。つづいて曳糸性と曳糸速度のバランスがとれた紡糸条件を見だし、手触り感に優れた繊維を調製することに成功した。機械物性等の測定により、この繊維は従来の天然繊維と比較しうる強度に加えて、より優れた吸湿性を特徴とすることを明らかにした。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、企業と共同で、光圧力を用いたマイクロチップ型マルチ細胞ソーターの実用プロトタイプ機の開発を行う。また、当該プロトタイプ機を用いて、選別可能な細胞種数、処理速度等について、

動物細胞等の実用的な試料を用いて、製品化に向けて一層実用面に重点を置いた検討と装置改良を行い、製品化プロトタイプ機の完成を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・製品化に向けて実用面に重点を置いた検討と装置改良について、製品化プロトタイプ機2号機を用いて着実に開発を進めたが、実用化に十分な処理速度や検出速度などが性能まで達しなかったため、選別可能な細胞種数、処理速度、動物細胞を用いた分離の評価は実施できなかったが、レーザー走査速度などが問題であることを明確にすることができた。問題点の解決を見越して、マイクロ流体チップや制御ソフトの改良を進め、また実用化検証に必要な動物細胞等の準備を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・ 1) SERS 検出感度の限界を明らかにするためプラズモン共鳴と分子極との相互作用の量子力学的枠組み（選択則の破綻、キャシャの法則の破綻、弱結合近似の破綻等）を電磁気学モデルを用い評価する。2) SERS を発現している分子の光化学反応効率がプラズモン共鳴によって異常増強される可能性を検証する。3) 新規 TERS 装置開発へ向けて TERS 探針先端のプラズモン共鳴を評価する実験・計算評価手法を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ 1) SERS の増強度の限界が10の10乗程度であり、この値を超えるとプラズモン共鳴によって分子の電子励起状態などが変化してしまうことを実証し電磁気学モデルで定量した。2) SERS スペクトル分析によって、この異常増強を検証し金属と分子との電荷移動錯体が原因である可能性を示した。3) TERS 探針を暗視野照明することで先端のプラズモン共鳴が評価可能となった。従来の計算評価手法では探針を孤立粒子と扱うためプラズモン共鳴を正しく評価できていないことを明らかにし現在評価可能な計算法を構築しつつある。

#### 【平成26年度計画】

- ・生体適合性を有するバイモーダルナノプローブの最適化を検討する。さらに、培養がん細胞に対する効率的な光線療法を引き続き検討する。また、がん細胞における上皮成長因子受容体の二量化およびクラスター化の機序解明を併せて行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・コンジュゲート可能状態にしたガドリニウムとテルビウムの配位化合物を用いて、新規蛍光磁性バイモーダルナノプローブを開発した。また、この化合物を用いて単純構造と磁気特性を有する生体適合性バイモーダルナノプローブの開発に成功した。同時に、光線力学的療法のための活性酸素種を効率的に生成した。これ

は量子ドットをイオン化したオージェの酸化防止現象解明に繋がった。また上皮成長因子 EGF と共にラベリングした量子ドットを用いて、内部移行前の受容体が最適数でクラスター形成へと進行する EGF 受容体の二量化の機序解明に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、実時間型の1分子 DNA シーケンシング技術の開発では、蛍光標識塩基の改良や新規の DNA ポリメラーゼを用いる等により更に検討を進め、ポリメラーゼが連続して取り込む蛍光標識した塩基の数を50個以上へ拡張することを目標とする。関連して、DNA 高次構造の解析と制御の研究も引き続き進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・1分子 DNA シーケンスの開発要素である DNA ポリメラーゼ（酵素）の探索と蛍光標識塩基（基質）に関して改良を行った。酵素の探索では、新規に魚類の酵素について単離および機能解析を行い、1分子 DNA シーケンスにより有用であることを確認した。蛍光標識塩基については、蛍光標識の代わる金属ナノ粒子による標識についても検討を行った。酵素が連続して取り込む標識塩基の数は30個までであったが、新規に得られた魚類の酵素の利用や新規金属ナノ粒子による塩基標識などで、50塩基が実現できる見通しを得た。

#### 【平成26年度計画】

- ・脂質分子から形成されるソフトナノ材料（リポソーム膜、および関連する脂質ナノ構造体など）の形状を、急速凍結レプリカ法電子顕微鏡観察によって評価する方法を開発する。同方法によって、タンパク質などの生体分子とソフトナノ材料や脂質膜との相互作用の解析を行う。また、急速凍結レプリカ法を応用して、水中の微細気泡の存在／比存在を形状観察によって評価するための基盤研究を実施する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ソフトナノ材料に特化した試料台やプロトコールを開発し、水中の形状を急速凍結レプリカ法で確度高く評価する方法を完成した。脂質リポソーム膜の構造をマイクロ～ナノメートルの分解能で画像解析し、生理活性分子によるリポソーム膜損傷でのナノ構造を明らかにした。生物資源由来のキチン・ナノファイバーのゲル構造を評価し、電子顕微鏡三次元画像の3D クリスタル彫刻作製による分かりやすい提示方法を開発した。また、ウルトラファインバブル（ナノバブル）の形状観察に成功し、微細気泡水の計測、標準化での有効性を実証した。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き高感度検出を実現するプラズ

モニクチップを作製し、サンドイッチアッセイによるマーカー検出で CV10%以内の較正曲線を得ることを目指す。バイオイメージングではプラズモニクディッシュ上で神経細胞以外の各種細胞を培養し、ガラススペースディッシュと比べて10倍明るい蛍光像や表面選択的な蛍光像の取得を目指すとともに、生細胞の蛍光像の取得に取り組む。

#### 【平成26年度実績】

- 高感度検出を実現するためにプラズモニクチップにおける銀膜厚およびシリカ膜厚の再検討を行い、高感度検出に必要なシグナル安定性と蛍光増強が実現する膜厚をそれぞれ決定することができた。これらのプラズモニクチップ上では、100pM以上のマーカー計測において、CV10%以内で計測できた。バイオイメージングにおいては、乳癌細胞を蛍光観察し、ガラス上よりも10倍以上明るく表面選択的な蛍光像の *in situ* 観察に成功した。こちらも銀膜厚を最適化することで、明るくコントラストのよい画像を得ることができた。

#### 【平成26年度計画】

- 細胞分離効率を高めるために、細胞アレイ作製で用いるマイクロコンタクトプリント法を見直し、細胞の接着力をより精密かつ均一に調整する手法を開発する。また、抗体分子を特異的かつ配向した状態で結合することが可能な、ZZ-BNCなどを用いて、ナノニードルアレイの修飾を行うことによって、抗体結合力を増大させ、細胞分離効率を改善する。マウス胚性がん細胞 P19あるいはマウス iPS 細胞の神経細胞への分化誘導を行い、分化誘導過程において細胞アレイを作製し、抗体修飾ナノニードルアレイによる未分化細胞、分化細胞の分離を試みる。

#### 【平成26年度実績】

- 細胞を機械的に分離するための抗体結合力を向上するために、ナノニードルアレイへの抗体修飾法を検討した結果、マウス胚性がん細胞 P19に対して、中間径フィラメントネスチンを結合する力はおおよそ20 nNに向上し、ネスチン陰性である NIH3T3と比較して10倍以上の S/N 比を達成した。また細胞アレイ作製の最適化により、P19、NIH3T3いずれもおおよそ10 nN に準化することが出来た。これらの条件で細胞分離試験を行った結果、P19の回収率は平均21%、NIH3T3の混入率は平均4%となった。

#### 【平成26年度計画】

- 構築したシステムにより、特別な知識経験がなくとも双腕ロボットを使用して様々な実験を行えるかを検証する。

#### 【平成26年度実績】

- 1)従来のロボットコントローラーを使用せずに、パソ

コン上からロボットを動作させるシステムを構築した。2)パソコン上で個々の動作を組み合わせ、様々な実験手法を作成しロボットに実行させるソフトウェアを開発した。3)ロボット作業未経験者により上記ソフトウェアを使用させ、実際にロボットを動作させ実験作業を行うことが可能であることを確認した。

- 1-(2)-② 身体状態の正確な把握に資する糖鎖やタンパク質等のバイオマーカーの探索、検知法開発とその実用化

#### 【第3期中期計画】

- がん及びその他の疾病の予防や診断及び治療に利用するため、動脈硬化を伴う脳や心血管障害の直接評価やがんの識別を可能にする血清バイオマーカー等、有用な新規バイオマーカーを同定し、それを評価、利用する技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 前年度の評価結果を受け、マイナーチェンジを施し、特定タンパク質濃縮（前処理）装置とレクチン-抗体マルチサンドイッチアッセイ装置を一体化した装置を完成する。前年度のサンドイッチ ELISA の結果や、製作装置での有効性を考慮して、開発装置で使えるアッセイキットを少なくとも1つの糖タンパク質について構築する。

#### 【平成26年度実績】

- 特定タンパク質濃縮（前処理）装置とレクチン-抗体マルチサンドイッチアッセイ装置を一体化した装置の試作機に改良を加え、装置を完成した。用途開発として、前年度構築したマニュアルでのサンドイッチ ELISA 系について当該装置を用いて行うために条件を検討し、最適化した。2つの糖タンパク質について、測定以降の検討を行い、要求される感度での検出が可能であることが分かった。最終的に10程度のレクチンと標的糖タンパク質との相互作用を同時検出できるアッセイの自動化が可能になった。

#### 【平成26年度計画】

- 分子マトリクス電気泳動法を用いたムチン分析の最大課題であるムチン同定を解決する手段として分解物マッピング法の検討を開始する。活用の幅を広げることを目的として唾液や胆汁以外の試料に含まれるムチン分析へ活用することを開始する。アフィニティ分子マトリクス電気泳動については抗体医薬の糖鎖不均一性評価に活用できることを示す。

#### 【平成26年度実績】

- ムチン同定の解決を目指した分解物マッピングとして、ムチンのモデルペプチドを用いた化学分解の検討を開始した。また、分子マトリクス電気泳動をマウス唾液腺、マウス唾液、およびラット糞便に含まれるムチン

分析へ応用した。アフィニティ分子マトリクス電気泳動については、抗体医薬の Fab 領域の糖鎖修飾有無が判別できる可能性を見出した。

#### 【平成26年度計画】

- 胆管がんマーカーについては実用化（製品化）に向けた第一段階である検査キット化の見通しが立ったため、海外（タイ国コンケン大学）との共同研究等により多検体解析を進める。既存（線維化）マーカーの臨床的有用性をさらに検討するほか、肝疾患・卵巣がんや肺がんのマーカー候補については、企業との連携を進めるとともに、臨床サイドから求められる新たな糖鎖バイオマーカーの探索・スクリーニングも視野に入れて解析を進める。

#### 【平成26年度実績】

- 胆管がんマーカーは検査キット化を行ない、共同研究（タイ国コンケン大学、筑波大学等）と臨床検体収集・多検体解析を進めた。肝線維化マーカーについては発がんリスクを始めとした更なる有用性の検討を進めた。新規な肝疾患マーカーについても臨床的有用性の検討と、検査系開発のための準備を進めた。卵巣がんマーカーについては、企業連携により新規検出系を用いた血清での検出が可能となった。また、肺がんのマーカー候補については、産学官共同研究により、臨床求められる新規マーカーの候補分子探索を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度の結果に基づいて、ヒトがんにおけるがんや転移が生じる直前のモータリンと CARF の分子機構について解析を行う。上皮間葉移行におけるモータリンの役割の機能について分子解析を行う。

#### 【平成26年度実績】

- CARF が用量依存的に、細胞成長を停止させたりがん化を引き起こすことで細胞増殖を制御することを発見した。このようなバイディレクショナルな制御の機序は、DNA 損傷シグナリングタンパク質への影響によることを明らかにした。これらと軌を一にするが、CARF は各種のがんで上方制御されることを見出した。ヒトのがんにおける核内モータリンの役割の分子機序を明らかにした。p53阻害剤としての役割に加え、テロメラーゼや hnRNP-K タンパク質を活性化することを示し、がん治療における標的分子になると結論した。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度の結果に基づき、日本の様々な場所に生育させたアシュワガンダの葉の抽出物の抗がん活性に関与する分子生物学的研究を行う。バイオインフォマティクスや計算生物学的アプローチを駆使し、実験結果の予測と検証を行う。がん、転移および神経変性表

現型に対するアシュワガンダの効果について、分子機構を解析する。

#### 【平成26年度実績】

- 数カ所の野外及び研究室内の様々なストレス条件下で生育したアシュワガンダ葉はいずれも同等の抗がん活性を示した。またウィザノライド類を組み合わせで優れた抗がん活性を示す混合物を作成した。この活性をバイオインフォマティクス及び分子生物学の手法で解析し、葉の抗がん活性に関わる標的タンパク質として hnRNP-K を同定した。葉からより優れた抗がん活性を持つ抽出物を得るため、シクロデキストリン（CD）を用いた新たな抽出法を開発した。さらに、葉とγCD の組み合わせにより、抗がん効果が高まることを見出した。

#### 【平成26年度計画】

- JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムにおいて中核機関として、北里大や千葉大と連携して難病の早期診断マーカーとしての自己抗体プロファイリングを実施する。また、国立がん研究センターとの共同研究を加速し、最新のがん免疫療法と自己抗体の変化を解析する。
- JST 再生医療実現拠点ネットワークプログラムにおいて、細胞システム制御遺伝子の収集と新しいプロテインアレイを使用した機能的プロテオミクス解析法を開発する。
- センター内チーム間連携で自己抗体情報のデータベースの構築を行う。

#### 【平成26年度実績】

- JST 先端計測分析技術・機器開発プログラムにおいて、プロテインアレイを用いた自己抗体解析を行い、潰瘍性大腸炎及びクローン病の活性期と寛解期の区別を各90%及び95%の精度で判定可能な自己抗体群を発見した。厚労省治験では、がんワクチン投与前後の抗体解析を行った。
- JST 再生医療実現拠点ネットワークプログラムにおいて、歯髄細胞から高効率に iPS 細胞を誘導する因子を発見した。また、京大 CiRA、京都府医大と共同研究を行い、角膜上皮や成熟肝細胞への分化誘導法を発見した。
- 細胞システム制御遺伝子を強化した HGPD-RM データベースを構築した。

#### 【平成26年度計画】

- 1) 骨髄高転移性乳がん細胞において、皮下投与時の脊椎への転移性が80%以上の高転移性細胞株を樹立する（現状は20%）。また抗がん剤耐性がん細胞において耐性に関与する FGF13とアミノ酸トランスポータータンパク質との相互作用について解析する。2) 平成25年度の成果をもとに、がん抑制遺伝子 Kank1と相

相互作用をする低分子量 G タンパク質などの機能解析をさらに進めることで細胞分裂などの細胞機能の制御メカニズムを明らかにして、がんなどに関わるシグナル伝達経路の調節を目標とする薬剤の探索を進める。

#### 【平成26年度実績】

- 1) 骨髄高転移性乳がん細胞において、*in vitro* 及び *in vivo* での細胞選別を行なう事により、皮下投与した際の脊椎への転移率が80%以上という高い転移性を有する細胞株を樹立することに成功した。また、抗がん剤耐性がん細胞において、シグナ分子である FGF13がアミノ酸トランスポータータンパク質と結合して作用する可能性の高いことを見出した。2) Kank1の機能喪失によるがん化抑制のメカニズムに関して、中心体の複製と娘細胞形成の際の収縮管の制御メカニズムについて Kank1と相互作用する低分子量 G タンパク質の関与を明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- 東大病院とのさらなる共同研究を通じて、さらなる肺がんマーカー候補の解析を進めるとともに、平成25年度に同定した LIPH の他のがんでのマーカーとしての利用の可能性を確認する。

#### 【平成26年度実績】

- LIPH の他のがんでのマーカーとしての利用の可能性を検討した結果、食道がんにおいてはマーカーとなりうる可能性を見出した。

1-(2)-③ 有用生体分子の構造、機能解析に基づく創薬基盤技術の構築、改良とその分子の高度生産技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- 生体分子の構造、機能及び作用機構を医薬品等の創成や診断手法に結びつけるための基盤技術を開発する。また、医療に役立つ新規抗体の生産に必要な期間を従来の1/3程度以下に短縮する技術等、バイオプロセスを活用した高品質、高効率な生産関連技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 構造モデリングの結果から活性に関与すると考えられる残基に変異を導入した複合型加水分解酵素の変異体を作製し、その基質特異性が変化する酵素の取得を行なう。また、タンパク質に対し、糖鎖転移反応を行なうための反応条件を最適化する。

#### 【平成26年度実績】

- 構造モデリングの結果から活性に関与すると考えられるアミノ酸残基に変異を導入し、それぞれの変異体が大腸菌で発現後、加水分解活性の測定を行った。うち、ひとつのアミノ酸置換体で基質特異性が広がることが確認され、また別のアミノ酸置換体では糖鎖転移活

性が向上した。抗体 Fc タンパク質に対し、糖鎖転移反応を行なうためドナーの活性化や至適 pH、ドナーとアクセプターの比率、界面活性剤添加の有無などを検討し、反応条件を最適化した。

#### 【平成26年度計画】

- 引き続き、種々のグライコプロテオミクス技術を活用して、糖鎖キャリア分子の網羅的探索と遺伝子改変マウスでの糖鎖機能の解析を行う。同定したキャリアタンパク質の構造・局在・機能など生物学的意味を中心に解析し、糖鎖の機能解明を目指す。また、表現型が明らかになっているマウス組織を用いて、これまでの N 結合型糖鎖に加え、O 結合型糖鎖のキャリア分子同定も検討する。

#### 【平成26年度実績】

- 野生型と糖鎖遺伝子欠損マウス由来組織を用いた特定の糖鎖を持つ糖タンパク質の網羅的同定解析を行い、マウス腎臓における発生・分化マーカーのキャリアータンパク質の同定に成功した。また、F9欠損マウスにおける特定のキャリアータンパク質上の特定の位置の糖鎖構造変化を詳細に解析した。加えて、培養細胞を用いて解析システムの更なるブラッシュアップを行った。ゲノム編集技術などを用いて、糖鎖改変細胞を作成し、よりシンプルな系でのレクチンを用いた N 結合型、O 結合型糖タンパク質の同定を行った。

#### 【平成26年度計画】

- HBV の感染機構と糖鎖の役割を解明するために、HBV 粒子の糖鎖構造および HBs 抗原の構造解析を行う。肝炎患者から取得した多数の血清サンプルについて、糖鎖構造を分析・比較する。キメラマウス由来肝細胞の経時的な培養と、宿主細胞への感染能の変動に伴う糖鎖発現プロファイルの変化について解析を行う。また、HBV 糖鎖受容体候補分子と HBV 粒子の結合の検証や培養肝細胞を用いた HBs 抗原のスクリーニング系を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- HBs 抗原の糖鎖構造及び構造解析を行った結果、新たなミリストイル化と糖鎖の関係が示され、さらなる糖鎖が HBV の感染に影響することが明らかになった。肝炎患者の多数の血清サンプルを分析・比較し、糖鎖の一つと感染性のある HBV 量との相関関係が示された。キメラマウス由来肝細胞等の感染能の変動に伴う糖鎖発現プロファイルと発現遺伝子の変化解析から感染に関与するレクチン様分子の候補とした。また、糖鎖遺伝子の siRNA スクリーニングから HBV 分泌を阻害する創薬ターゲット候補を同定した。

#### 【平成26年度計画】

- 「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」にお

いて、ウシの小型ピロプラズマ病に対するワクチンの開発研究として、(株) 共立製薬が実施する治験を支援する。産総研は、免疫学的評価における技術指導ならびに技術移転をした ELISPOT アッセイの制度管理を担当する。

【平成26年度実績】

- ・ウシのピロプラズマ感染症予防を目的に、タイレリアワクチンの開発を進めた。今年度は、ワクチンの効果や効能判定に必要となる「病態検出システムの精度管理」のプロトコール作成と、その再現性評価を実施した。一連の研究開発によって、タイレリア原虫抗原タンパクの多様性によらず測定評価を一般化できる ELISPOT アッセイへと最適化し、関連した技術やノウハウについて共立製薬への移管を完了した。

【平成26年度計画】

- ・関東圏大学との連携し、進化工学、ペプチド工学の専門家との共同研究を開始する。当チームが有する進化ポテンシャル法や糖鎖工学技術を先方の専門技術と効率連携させることで、これまでに無い新規糖鎖プローブの創生、およびその医学、創薬等に向けた実用化研究を推進する。

【平成26年度実績】

- ・a2-3シアル酸特異的レクチン (ACG) から3硫酸化ガラクトースに結合性を示す変異体の取得に成功した。また、レクチンの創薬への応用を視野に、コアフコースに特異的に結合する低抗原性の低分子レクチンの開発に成功し、NMR を用いて構造機能相関を明らかにするとともに、結合に関与する最小単位を明らかにした。

【平成26年度計画】

- ・引き続き GPI の脂質リモデリングに関する研究を進め、GPI のグリカン部分の側鎖が GPI 脂質の組成や GPI アンカー型タンパク質の最終目的地に影響を与える可能性について検討する。また、メタノール資化性酵母の GPI アンカー型タンパク質がストレス軽減に寄与する可能性について検討する。

【平成26年度実績】

- ・GPI の脂質リモデリングに関する研究を進め、GPI のグリカン部分の側鎖が GPI 脂質の組成および GPI アンカー型タンパク質の細胞壁への局在に影響を与えることを見いだした。また、メタノール資化性酵母の GPI アンカー型タンパク質を大量発現させるだけではストレス軽減には寄与しないことを見いだした。

【平成26年度計画】

- ・複数種のアミロイド性タンパク質について100種類以上の変異タンパク質の解析を行い、分子間配向様式を含む集積構造と、タンパク質の種類によらないアミロ

イド性集積における普遍的な法則性の解明を行う。また引き続き、インフルエンザウイルスヘマグルチニンを細胞表面に発現する培養細胞株に対する蛍光ラベルしたニワトリ赤血球の結合量を相対的に測定するための測定条件を検討し、インフルエンザウイルスの細胞吸着を抑制する生理活性物質探索のためのアッセイ系を開発する。

【平成26年度実績】

- ・アミロイド性タンパク質の様々な変異および部分タンパク質について同位体ラベル分光法等により調べた結果、2つのβ構造領域を基本とするシート構造が積層して分子間集積していることがわかった。インフルエンザウイルス主要膜成分コレステロールの細胞内局在を可視化するため、化学的安定性の高い両イオン性ローダミンを利用した蛍光プローブを合成し、蛍光持続時間を2倍にし、より鮮明な画像の取得に成功した。このプローブを利用することで、インフルエンザウイルスの細胞吸着抑制物質を探索するアッセイ系の高感度化が期待される。

【平成26年度計画】

- ・開発した抗体親和性小型人工タンパク質に関する成果をまとめ外部発表するとともに実用化に向けた検討を行う。バイオ医薬品の血中動態を改善するための新たな技術の開発を行う。

【平成26年度実績】

- ・抗体親和性小型人工タンパク質に関する国際特許を出願し、学術論文を発表した。実用化に向けて、経産省事業にサブプロジェクトリーダーとして参画し、開発した小型人工タンパク質を活用した新型装置の応用開発を民間企業と共同で進めた。また、バイオ医薬品の血中動態を改善するための新たな分子デザイン技術を開発し、ヒトサイトカインの生物活性を維持したまま、熱安定性、プロテアーゼ耐性、血漿安定性を向上させることに成功した。

【平成26年度計画】

- ・抗体精製用96ウェルマルチカラムプレートの改良を進める。具体的には、更に非特異吸着を低減させて、0.2 mL の培養液に含まれる0.005 mg/mL から2 mg/mL の濃度範囲の抗体を再現性良く定量できるようにする。また酸に弱い抗体にも対応できるようにするため、よりマイルドな条件 (pH=4.5以上) で精製可能なカラムプレートを開発する。また、低分子化抗体も精製できるよう低分子化抗体に高い親和性を持つリガンドタンパク質を開発するために、タンパク質の変異体ライブラリを作製する。

【平成26年度実績】

- ・リガンドタンパク質固定化用の官能基の種類、及び、導入の反応条件を検討することによって、非特異的吸

着を低減した96ウェルマルチカラムプレートを開発した。精製工程も検討した結果、96種類の0.2 mLの培養液に含まれる0.005 mg/mLから2 mg/mLの抗体を45分以内に再現性良く精製し定量することが可能になった。また、よりマイルドな条件（pH=4.5以上）で精製可能な96ウェルマルチカラムプレートも開発した。また、低分子化抗体に親和性を持つリガンドタンパク質の変異体ライブラリを作製した。

#### 【平成26年度計画】

- RNAの合成や代謝に関わる酵素の分子機能と構造に関する研究を引き続き行う。ウイルス由来のRNA合成酵素と宿主タンパク質の複合体に関する構造、機能解析を行う。また、発生、分化、がん化に関わる低分子RNAの発現を制御するヒト由来鋳型非依存的RNA合成酵素と相互作用するタンパク質の機能解析、また、それらの酵素群のX線結晶構造解析を行う。また、タンパク質合成に関わる鋳型非依存的RNA合成酵素の機能構造解析を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ウイルス由来のRNA合成酵素と宿主リボゾームタンパク質との複合体構造決定に成功し、リボゾームタンパク質の役割を明らかにした。低分子RNA発現制御に関わる鋳型非依存的RNA合成酵素と相互作用する因子を見出し、その因子の生理的役割を明らかにした。タンパク質合成に関わる鋳型非依存的RNA合成酵素のうちtRNA修復に関わる酵素単体、RNAとの複合体複数の結晶化し、構造決定に成功し、反応分子機構を解明した。また、tRNA修復酵素のRNAとの複合体、構造決定に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- 新たに始原生殖細胞株を2系統以上樹立するとともに、これを用いた遺伝子改変、生殖巣キメラニワトリの樹立と後代検定を実施する。一連の過程において生殖巣キメラ率向上に向けた新技術の開発を実施し、キメラ率を現行の10%程度から80%程度に改善させる。また、昨年度開発した遺伝子編集技術のニワトリ個体適用の可能性について検討を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 新たに始原生殖細胞株を3系統樹立するとともに、これを用いた遺伝子改変、生殖巣キメラニワトリの樹立と後代検定を行ない、組換え後代を得た。一連の過程において生殖巣キメラ率向上に向けた化学薬剤処理技術と電離放射線照射技術を開発し、生存率を50%以上としながらキメラ率を現行の10%程度から90%程度に改善させた。また、昨年度開発した遺伝子編集技術のニワトリ個体適用を試み、遺伝子編集細胞を移植した生殖巣キメラ個体を作成した。

#### 【平成26年度計画】

- キチンからグルコサミンを生産するための耐熱性酵素群の中で、結晶構造が決定されていない2種の酵素について、構造を決定する。電顕像解析については、傾斜撮影における角度補正効果を解析し、開発した手法の高度化を図る。また、好熱菌発現系開発では、ある条件下で発現誘導がかかるようなプロモーターを探索し、新規な発現ベクターを構築する。

#### 【平成26年度実績】

- キチンからグルコサミン生産に必要な2種の耐熱性酵素の新規結晶構造を決定し、高温での一連の反応モデルを提案した。透過型電顕像解析では、単粒子画像用に新たに開発した傾斜撮影による角度推定手法により角度補正が不要となり、得られた耐熱酵素デアセチラーゼの3次元再現像が結晶構造と良好な一致を示した。また、好熱菌発現系開発では、誘導物質存在下で発現誘導がかかるベクター開発に取り組み、βガラクトシダーゼアッセイ系で利用可能な発現誘導ベクター用の1種を見出し、他の候補選別を継続している。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度に引き続き、細胞毒性マーカープロモーター、炎症マーカープロモーター、時計遺伝子プロモーター等の制御下で複数種の発光レポーターが発現する人工染色体ベクター導入細胞およびマウスを樹立する。また、遺伝子導入マウスの臓器から調製したプライマリー細胞を用いた毒性リスク評価や機能性評価に資するセルベースアッセイ系を構築する。これらと並行し、細胞および個体レベルでの食品機能性成分等の生活習慣病予防効果に関する解析を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 人工染色体ベクター導入細胞を利用し、細胞毒性等により発光する細胞株及びマウスを樹立、作製済みの多検体対応発光測定装置を用いたセルベースアッセイ系を確立した。このシステムを用い、オルガネラレベルでの多色発光イメージングに成功し、また発光細胞アッセイの感度向上に資する新規蛋白不安定化配列の導出にも成功した。食品機能性成分研究においては、細胞を用いオリブ由来成分が抗炎症作用を有することを確認し、さらに同成分のマウスへの長期投与により糖尿病発症を遅延し、且つ不安様行動を改善することを明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- 繊毛・鞭毛運動や、細胞内物質輸送を駆動する分子モータータンパク質ダイニンを主な対象とし、その構造を電子顕微鏡法を用いて研究する。特に、力発生中のダイニンの構造を観察するため、DNA折り紙法で作成した構造体を利用して、ダイニン・微小管複合体の構造解析を行う系を立ち上げる。また、鞭毛運動は数

種類のダイニンの協調によって起こることから、これらの異なるダイニンの構造的な違いを研究する。

【平成26年度実績】

- 東大新領域創成科学から提供を受けた DNA 折り紙構造体を用いて条件検討した結果、ダイニン・微小管複合体を構成する2本の微小管が DNA 折り紙で架橋されることが、電子顕微鏡観察で確認できた。架橋の存在下では ATP を加えても複合体の解離が抑えられたことから、これを用いて力発生中のダイニンの構造研究が可能であることが結論できた。一方、効率的に架橋を起こすためには、DNA 折り紙のサイズや形を改良する必要があることがわかった。外腕ダイニンに加え、筑波大との協力でホヤ内腕ダイニン分子の構造観察も行った。

【平成26年度計画】

- 昨年度に引き続き、細胞運動とがん転移における細胞膜上でのホスホリパーゼ D の役割をイメージングを用いて解明するため、構築したマルチカラー全反射顕微鏡の制御機器整備を進め、2種または3種のタンパク質の同時1分子計測を行う。また、前年度に行ったパスイエイ解析により得られた情報をもとに、細胞運動制御におけるシグナル伝達経路の可視化を目指すため発現ベクターの構築及び全反射顕微鏡観察を行い、細胞運動におけるシグナル伝達経路の可視化を試みる。

【平成26年度実績】

- 昨年度までに構築した全反射顕微鏡に、マルチカラータイムラプス撮影に対応可能なレーザ光源切り替システムを追加装備した。これにより、3色の1分子蛍光画像の取得が可能になった。また、スクリーニングによって得た情報をベースに作成した細胞運動シグナル伝達マップを精査することで、シグナル伝達経路上に出現した情報伝達ハブとして機能する主要なタンパク質群を特定した。これら遺伝子をクローニングし、細胞に発現させることで細胞膜上における情報伝達ハブタンパク質群の動態・挙動をマルチカラー全反射顕微鏡で観察した。

【平成26年度計画】

- GFP-アクチン結合ドメインの詳細な細胞内局在解析を行うとともに、それらとアクチンフィラメントとの結合を TIRF 顕微鏡等を用いて *in vitro* でも観察し、アクチン結合ドメインの結合によるアクチンフィラメントの機能変化の検出を試みる。また、高速 AFM 観察を進め、アクチンフィラメントの動的な構造変化と機能変化の関連の解明、特にアクチンフィラメントの構造変化を介したコフィリンによるフィラメント切断のメカニズム解明を進める。

【平成26年度実績】

- GFP や mKikGR (光変換可能な蛍光タンパク質) を

融合したアクチン結合ドメインの細胞内局在を観察し、細胞質のアクチン結合ドメイン (フィラミン由来) が細胞後部のアクチンフィラメントと優先的に結合することを見出した。In vitro 蛍光顕微鏡観察で、ミオシンとコフィリンが相互排他的にアクチンフィラメントと結合することを見出した。高速 AFM 観察により、コフィリンはコフィリンクラスターの境界付近でアクチンフィラメントを切断することを見出した。

【平成26年度計画】

- 動植物プランクトンの鉛直分布の形成機構の解明に関する研究を行う。高精度サンプリング装置並びに撮像装置を用いて従来では不可能であった微細スケールでの測定を行う。また従来から進めてきた炭素量ベース植物プランクトン観測技術の開発、高頻度サンプラーの開発を進める。

【平成26年度実績】

- 鉛直水柱に対して採水を行う真空式採水装置を開発し、試作、商品化を行った。計算機による合焦点画像を取得できるデジタルホログラフィー撮像装置を開発した。近赤外光を利用した撮影とし、1回の撮影で25cc の撮影を分解能10  $\mu\text{m}$  で撮影でき、かつサイズ数100  $\mu\text{m}$  以上の物質の出現を検知するセンサーを装備した。この結果、非常に個体数密度が少ない微生物に対しても、効率的に検出することができる。センサーの装備により運動性のある粒子の出現を検知して撮像可能とした。

【平成26年度計画】

- 1) 高分子複合体の電子顕微鏡構造解析を継続し、高分解能解析に向けた電顕試料作成方法の高度化を行い、ウイルス-宿主認識に機能するタンパク質の構造解析に適用する。2) 核内ラミンの遺伝子変異に起因するラミン病 (ラミノパチー) の発症機構を精製タンパク質の物性・機能解析から明らかにしてゆくと共に、細胞核内の構造変化を直接可視化・解析する電子顕微鏡技術開発を推進する。

【平成26年度実績】

- 1) 感染性の無いウイルス外殻球状タンパク質を用いて、極低温電子顕微鏡と単粒子解析法による詳細構造解析を行った。複数サブタイプから試料作成を行い、1つの試料から3次元構造を取得した。またペプチド膜輸送複合体の電子顕微鏡解析を行い、新生ペプチドの膜通過に関する機構を提示した。2) ラミン病発症機構を明らかにするために、変異導入ラミンの解析から疾病ラミンが核内で重合異常を引き起こす機構を絞り込んだ。人工脂質膜と精製ラミンタンパク質を用いて、人工環境下での核ラミナ構築を電子顕微鏡下で解析した。

【平成26年度計画】



- 1) 皮膚特異的 FGF18ノックアウトマウスにおける毛包の遺伝子発現解析結果から、3つ以上の遺伝子の発現について相互の関連を推定し、毛成長周期調節機構の総合的な理解を図る。
- 2) ヒト代謝調節ホルモン FGF19及び FGF21について、それぞれの FGF と補助受容体との相互作用部位を比較評価し、創薬利用のための知見を得る。
- 3) サブタイプや進行度が異なる様々な腎がん病理検体の解析を行い、症例数を増やすことで、新しい蛍光色素を用いた多重免疫染色による病理診断法の確立を進める。

## 【平成26年度実績】

- 1) 皮膚特異的 FGF18ノックアウトマウス毛包の遺伝子発現解析結果から、FGF18による毛成長周期休止期の制御の背景にある可能性の高い3つ以上の遺伝子発現を捉え、毛成長周期調節の総合的な分子機構を考察した。
- 2) 補助受容体との相互作用部位について FGF19と FGF21を比較した結果、FGF19が FGF21より高親和性を有することが示唆され、標的特異性を担保する当該相互作用部位の重要性について更なる知見が得られた。
- 3) 新しい蛍光色素を用いた病理検体の4重染色プロトコルが完成したので、腎がん病理検体の解析を進めることで新しい病理診断法の検証を行った。

## 【平成26年度計画】

- ・ゲノム情報を利用して試験管内分子進化技術に利用可能な天然の生理活性ペプチドを探索する。また、数アミノ酸からなるランダムペプチドライブラリーを調製し、分子結合、細胞活性、生理活性を指標に新たなペプチドを探索・創出を目指す。

## 【平成26年度実績】

- ・生理活性ペプチドの基本構造を保ち標的分子認識部位の配列にランダムに変異を導入したペプチド遺伝子配列ライブラリーを作製し、標的分子に結合する分子を取得する技術を開発した。標的結合分子配列候補をより短時間で解析するための技術開発を行い、その過程で、大腸菌の内膜とペリプラズム空間を利用する PERISS 法を考案した。この方法により標的分子を大腸菌内膜に、ペプチドライブラリーをペリプラズム空間に発現させ、標的分子と相互作用するペプチドを迅速にスクリーニングする技術を開発した。

## 【平成26年度計画】

- ・1) 細胞内微細構造の観察を可能にする顕微鏡技術の開発を継続し、核内構造体や細胞内骨格、神経シナプス構造などの微細構造変化や、それに伴う分子動態変化を規定するメカニズムを明らかにする。2) 神経変性疾患モデル動物を用いて、細胞内でアミロイドβ凝

集を抑制する因子や変性抑制に関わる機能性核酸等の同定を行う。また、神経細胞分化や維持に関わるゲノム修飾機構と制御タンパク質を解析する。3) 引き続き、モデル動物を用いた神経脳情報抽出システムの確立および感覚等の刺激に応じた行動や神経活動の変化の解明を図る。

## 【平成26年度実績】

- ・1) 超解像顕微鏡解析に資する新たな蛍光色素を選定・応用し、細胞や組織切片を用いた解析から数10 nm オーダーでの微小な構造解析に成功した。2) アミロイドβ可視化細胞を用いたスクリーニングから、細胞毒性を抑制する成分の同定に成功した。3) 嗅覚受容時の単一神経活動をモニターし、その時空間応答に関する新たな現象を発見した。

## 【平成26年度計画】

- ・電子顕微鏡を用いた単粒子解析法を情報学的にさらに改良し、新たな自動解析アルゴリズムを構築する。本法を利用して、新たに創薬に重要なタンパク質複合体の精製に成功し、透過型電子顕微鏡により単分散粒子像を撮影する。これらの粒子像を基に3次元構造を計算する。これら研究・開発により、新規な構造解析アルゴリズム1件とタンパク質複合体構造を1件以上解明し、創薬の基盤とする。結果を論文発表する。

## 【平成26年度実績】

- ・電子顕微鏡を用いた蛋白質複合体構造の決定法である単粒子解析法を、最新の情報学手法 Simulated Annealing(SA)法を用いて改良した。SA 法を用いて、新たなロジックでらせん専用構造決定アルゴリズムを開発した。本法を用いて、抗がん剤開発に重要なターゲットの微小管を、8.7 Åとこれまでにない分解能で構造決定した。また、膜タンパク質や分泌タンパク質の翻訳においてペプチド鎖膜透過を促進する SecDF の構造を複数解明し、その動態を明らかにした。これら結果は国際誌に2報の形で論文発表した。

## 【平成26年度計画】

- ・新規修飾核酸を利用した核酸医薬に関する技術開発を継続して行う。神経調節機能因子の機能解析、その作用機序に基づく核酸医薬探索技術の開発を行う。表面化学的手法によりマイクロチップを多機能化すると共に薬剤や遺伝子の評価を行う。新たに2つの標的に対して抗 NTD 創薬の阻害剤設計、評価を行う。試験管内免疫・抗原特異的抗体選択システムに関する技術開発を行う。消化管免疫機構に作用する機能性因子の健康増進機序を解明する。放射線治療増感剤の有効性検証、OMICS を用いた遺伝子発現解析による生理状態評価を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・μオピオイド受容体結合 DNA アプタマーの薬理的

特性を明らかにした。低分子化合物の酵素反応阻害活性および標的結合活性を NMR により高速・大量に評価する系を確立し、抗 NTD 創薬の複数の標的分子に対して適用した。細胞マイクロチップ技術を用いて、がん細胞の遊走関連遺伝子を見出した。

試験管内免疫時において、抗体産生細胞をより多く誘導するペプチドを同定した。担がんマウスを用いて放射線治療増感剤の有効性を検証した。乳酸菌の二重鎖 RNA による、インターフェロン $\beta$ を介した抗炎症メカニズムを解明した。

#### 【平成26年度計画】

- ・次世代 SeVdp ベクターの構造を最適化し、さらにタンパク質の分泌を促進する遺伝子を搭載することにより、無血清培地を使ったヒト抗体の発現を 20 pg/cell/day に引き上げる。またベクター作製法の改良により、ベクター作製から最大発現までを5週間未満に短縮する。

#### 【平成26年度実績】

- ・構造最適化した次世代 SeVdp ベクターと無血清培地に順化した細胞を組み合わせ、40 pg/cell/day の高い効率でヒト抗体を生産することに成功した。またベクター作製過程の細部の見直しにより、ベクター作製から最大発現を達成するまでの期間を5週間未満に短縮することに成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・バイオ医薬の簡便かつ迅速な糖鎖管理を実現するために構築したキャピラリー電気泳動による、抗体糖ペプチド分離分析系の高感度化について検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・キャピラリー電気泳動による抗体糖ペプチド分離分析系の高感度化を目的として、抗体医薬のトリプシン消化物から得られた糖ペプチドの N 末端に導入する蛍光標識試薬を選定し、糖ペプチドの蛍光標識検討を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・試験管内進化技術の高度化・汎用化に向けた技術開発を進めるとともに、天然の生理活性ペプチドや合理設計した分子骨格を鋳型とするランダムペプチドライブラリから生体内分子を特異的に認識するペプチドを創製する。今年度は、シグナル伝達系の生体分子に対する認識ペプチドを複数創製し、質量分析やヒトタンパク質アレイへの適用を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・試験管内分子進化技術では、遺伝子とそれから作られるタンパク質との一対一対応付けは要となるプロセスである。今年度はそこで使う「特殊リンカー」を新たに考案した。その結果、標的認識ペプチドの生産効率

は従来のリンカーに比べて約10倍向上した。3本指型の分子骨格を持つ生理活性ペプチドを鋳型とするペプチドライブラリから、トリプシンとの結合活性を指標としてペプチドを選択した結果、複数のセリンプロテアーゼに対して天然の阻害剤と同等もしくはそれ以上の強い阻害活性を示すペプチドを同定した。

#### 1-(3) 情報処理と生物解析の連携による創薬支援技術や診断技術

##### 【第3期中期計画】

効率的な創薬や、個の医療の実現に向けて、ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等のバイオデータベースを整備し、それらの配列情報と分子構造情報を用いた創薬支援技術及び細胞内のネットワーク、パスウェイの推定やシミュレーション等のシステム生物学的解析を用いた創薬基盤技術の開発を行う。特に、医薬品候補化合物について従来の5倍程度の効率で選択することを可能とするために、遺伝子やタンパク質の機能予測技術の開発を行う。

#### 1-(3)-① 配列情報と分子構造情報を用いた創薬支援技術開発

##### 【第3期中期計画】

- ・遺伝子やタンパク質の機能予測及び特定のタンパク質や糖鎖と相互作用する化合物の探索等、膨大な化合物の中から従来の5倍程度の効率で医薬品候補を選び出すことのできる技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- ・肝細胞がんの発見あるいは診断のため、実際に臨床応用が可能な糖鎖バイオマーカーを開発することを目標に、探索や検証のための基盤技術をさらに進展させ、実際に探索、検証を進める。  
また、肺がんマーカーについて、論文化する。

##### 【平成26年度実績】

- ・肝細胞がんの発見あるいは診断に適用するための糖鎖バイオマーカー候補を探索し、リスト化するとともに結合した糖タンパク質の糖鎖を構造解析し、プローブレクチンの特異性を検証した。また、さらなる探索のための技術改善を進め、病理診断用簿切試料から100種以上の糖タンパク質を同定できるようになり。肺がんマーカーを見出した。

##### 【平成26年度計画】

- ・糖鎖とタンパク質の相互作用を立体構造解析を基にして定量評価する技術を利用し、糖鎖バイオマーカー検出のために有用なプローブ分子の評価解析を行う。糖転移酵素やレクチンなどを含む様々なタンパク質を標的とした構造基盤創薬を実施するために必要となる基本的な環境整備を行う。

## 【平成26年度実績】

- 糖鎖バイオマーカー検出のために有用なプローブ分子の評価解析を行うために、プローブレクチンの大量発現及び結晶化を行った。1つのプローブでは糖鎖との複合体の立体構造を明らかにし、相互作用の解析を行った。タンパク質を標的とした構造基盤創薬を実施するために必要となる基本的な環境整備として、自動結晶観察装置、X線発生装置及び解析用計算機の整備を行った。

## 【平成26年度計画】

- 創薬等支援基盤技術プラットフォーム事業の新規支援研究課題を5件以上、実施する。企業との資金提供型共同研究でも継続案件に加え新規案件の獲得を目指す。人材養成活動も継続して行う。高度化研究では、タンパク質立体構造に基づく、ドラッグリポジショニング予測システムの開発を行い、応用研究に活用する。「京」計算機を用いた創薬研究も継続して実施する。

## 【平成26年度実績】

- 創薬等支援基盤技術プラットフォーム事業において、5件の支援研究を実施した。民間企業5社との資金提供型共同研究、2社の技術研修指導を行った。創薬インフォマティクス技術者養成コースを4コース開催した。高度化研究では、タンパク質立体構造に基づく、ドラッグリポジショニング予測システムの開発において、創薬標的タンパク質の立体構造構築と既知化合物のドッキング評価まで達成した。「京」計算機を用いた創薬研究では、分子動力学計算による高精度相互作用予測をGPCRに拡張し手法の有用性を示した。

## 【平成26年度計画】

- ゲノム配列比較の感度を最大限にする、最適な subset sets 集合を計算実験で特定する。
- 遺伝子発現の変化と高い相関を示すメチル化変化部位をゲノムワイドに検出する。
- 細胞内小器官で働くタンパク質の進化速度を考慮した細胞内局在予測技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- ゲノム配列比較の感度を大幅に構造させる技術の開発に成功した。また、タンパク質のフレームシフト検出の新技术を開発し、従来よりも精度の高めることに成功した。
- 独自の情報ツールを用いた脂肪細胞の分化過程におけるDNAメチル化変化の情報解析から、細胞状態を制御する新しい機構を発見することができた。
- 細胞内小器官で働くタンパク質の進化速度を考慮した細胞内局在予測法を開発し、従来法を補えることを示した。

## 【平成26年度計画】

- 前年度に特定した、新規ミトソーム膜タンパク質の局在場所の解明に取り組む。また、得られた知見からミトソーム膜タンパク質予測技術を開発する。
- TOM40複合体のモデルに新たな架橋データによる制限を加え、より精度の高い膜タンパク質複合体モデリング技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- 共同研究を行い、前年度に特定したミトソーム膜タンパク質がβ型外膜タンパク質であることを特定し、誌上発表を行った。C末端に膜挿入に重要な配列を持つこともわかったので、この特徴を予測に用いる特徴量群に加えることで、ミトソームβ型膜タンパク質予測技術を開発した。
- 共同研究先から新たなTOM40複合体のサブユニット間の相互作用に関する実験データ及び架橋データを得ると共に、膜タンパク質複合体モデリング技術を開発し、得られた実験データを基にTOM40複合体の複合体モデリングの改良を行った。

## 【平成26年度計画】

- tRNAが機能する上で必須である、立体構造の安定化やコドン認識に関わる硫黄修飾塩基の生合成機構の解明を目的とする。まず継続して硫黄化酵素の反応機構の詳細を明らかにする。特に立体構造解析に基づいた生化学的解析を行う。そのうえで硫黄化酵素のユビキチン類似翻訳後修飾による反応の制御機構の分子基盤を明らかにすることを試みる。これらの解析から、tRNA硫黄修飾の生合成系の作動原理の理解と新規翻訳後修飾の機能解析を進める。

## 【平成26年度実績】

- 細胞の生育に必須なtRNAの硫黄修飾塩基の生合成機構について、高度好熱菌由来タンパク質を用いて解析を行った。硫黄転移反応の定量的な解析法を試験管内で構築し、反応機構を詳細に解析した。放射性同位元素を用いた解析、立体構造に基づいた変異体実験、補欠分子族の分光解析を行い、新規な反応機構を提案した。これにより、反応の制御機構の解析を行う基盤を構築できた。また共同研究によりtRNAメチル化酵素のtRNA認識機構について解析し、生物ドメイン間の基質認識機構の多様性を発見した。

## 【平成26年度計画】

- 質量分析用サンプルの前処理工程が自動化・ロボット化されたシステムの有用性を実証するため、製薬企業由来の化合物の薬理薬効メカニズム解明を行う。

## 【平成26年度実績】

- 製薬企業4社との実証研究を実施し、1化合物の薬理薬効メカニズムを解明するとともに、2化合物の分子標的を決定し、メカニズム解明のための検証研究を開始した。

## 【平成26年度計画】

- 1) 今までに開発してきた、簡便な活性の推算手法、薬物の副作用の予測などを基礎とした分子設計システムなどの薬物分子設計技術を改良することによって、合成容易性予測手法の開発に着手し、従来の2倍程度の効率で医薬品候補を選び出すことのできる技術を開発する。
- 2) NMRでのタンパク質-化合物相互作用解析法の高度化を目指し、高分子量タンパク質に結合した化合物の運動性を評価することによって、化合物最適化に指針を与えることのできる新たな解析手法を開発する。

## 【平成26年度実績】

- 1) 新たに設計した分子の合成容易性を、過去に合成された分子群との比較、分子構造の特徴から判定する手法を開発し、合成化学者と同等精度で判定に成功した。平成24年度に3分子を合成したが、本年度は同等予算で10分子以上を合成し、薬物活性予測法の改良も行い、2倍以上の効率を達成した。
- 2) 薬物結合時の運動変化をNMR法により定量し、構造エントロピーへと変換する手法を開発・応用することで、多剤耐性タンパク質が様々な薬剤に対して高親和性を発揮する機構を明らかにし、本手法に基づく新たな薬物設計戦略を提案した。

## 【平成26年度計画】

- ・試験管内進化技術の高度化・汎用化に向けた技術開発を進めるとともに、天然の生理活性ペプチドや合理設計した分子骨格を鋳型とするランダムペプチドライブラリから生体内分子を特異的に認識するペプチドを創製する。今年度は、シグナル伝達系の生体分子に対する認識ペプチドを複数創製し、質量分析やヒトタンパク質アレイへの適用を検討する。

## 【平成26年度実績】

- ・試験管内分子進化技術では、遺伝子とそれから作られるタンパク質との一対一対応付けは要となるプロセスである。今年度はそこで使う「特殊リンカー」を新たに考案した。その結果、標的認識ペプチドの生産効率は従来のリンカーに比べて約10倍向上し、これを用いて、セリンプロテアーゼや癌マーカーを特異的に認識するペプチドを同定した。これは従来用いていた抗体よりも優れた特性を示す。現在、質量分析前のサンプル処理やヒトタンパク質アレイにおける特定タンパク質同定に利用するためツール開発の段階に入った。

- 1-(3)-② システム生物学的解析を用いた創薬基盤技術の開発

## 【第3期中期計画】

- ・転写制御、シグナル伝達、代謝に代表される、細胞内のネットワーク、パスウェイ等の推定やシミュレーションにより、創薬に必要な化合物の設計と合成、標的

分子を推定する技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・二次代謝遺伝子の予測技術に関して、産業界が着目する化合物などを題材として評価と検証を行い、周辺ツールの拡充や生物解析を含めたパイプライン化によって予測速度と精度を向上させる。網羅的な変異解析技術に関して、複数の生物情報の組合せ解析によって、高速な獲得が可能な網羅的情報に基づいて鍵となる変異を予測する技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- ・大規模な生物解析と柔軟な情報解析のパイプライン化により、産業界が着目する重要な課題について、二次代謝遺伝子クラスタを正確に予測し、遺伝子組み換えによる生産性の向上に成功した。多数の変異株のゲノム情報、転写発現情報を中心とした網羅的解析を行い、既知の情報に基づいた遺伝子の機能分類、代謝パス解析などにより、生産性に重要な鍵となる遺伝子の予測を行った。

## 【平成26年度計画】

- ・1) 多層オミックスデータ解析のために創薬ターゲット推定システムを拡張する。2) 国立がんセンター研究所との共同研究を進め、特に臨床データの解析により複数がん種の疾患メカニズム解明を試みる。3) 刺激応答パスウェイ推定システムにおける参照データの収集を継続する。4) 「薬効プログラミング」の適用により発見した **ribavirin** の薬効メカニズム解明、および他の疾患への適用により新規併剤の発見を試みる。

## 【平成26年度実績】

- ・1) 多層オミックスデータ解析システム及び疾患オミックスデータを利用した薬剤探索システムを構築した。2) これら2つのシステムを活用し、乳がん、肺がん、腎がん、拡張型心筋症、脊柱管狭窄症の多層オミックスデータ解析による疾患メカニズム解明、病型分類を国立センターグループとの共同研究で行い、また13希少疾患の公開データ解析から、既承認薬の適用拡大を行った。3) リン酸化量及び転写量データに基づく刺激応答パスウェイ推定システムを開発した。4) **ribavirin** については慶應大学医学部で医師主導臨床試験が計画中であり、「薬効プログラミング」については、国立がんセンターにおいて乳がんと肺がんについて併用薬剤の選定を行った。

## 【平成26年度計画】

- ・細胞増殖活性を示さないがエストロゲン様の遺伝子発現プロファイルを示す一群の化学物質「サイレントエストロゲン」に関するシグナル伝達経路について、受容体の選択や受容体間のクロストーク、また、阻害剤による既知のシグナル伝達経路の関与について明らか

にすることで、細胞増殖や細胞分裂などの細胞機能の増強や減弱などを調節する薬剤の開発に必要なターゲットになるシグナルメディエーターを明らかにし、エストロゲン製剤や機能性食品への利用について可能性を探索する。

#### 【平成26年度実績】

- 唐辛子の有効成分であるカプサイシンやその他のカプサイシノイドについてエストロゲン様の遺伝子発現プロファイルを示すことを明らかにし、さらに細胞内シグナル伝達経路の解析により、エストロゲン受容体と他の受容体との間のクロストークによりシグナルが伝達されることを明らかにした。また、これらの一群の化学物質の重要性について英文総説を発表した。また、これらの成果を製品化に結び付けるために、新たな健康食品について企業と共同してその作用メカニズムについて解析を行い、機能性食品としての有用な情報を得た。

### 1-(3)-③ バイオデータベース整備と利用技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- 遺伝子や生体分子に関する情報の高度な利用を促進する情報データベースやポータルサイト等を構築する。また、ヒトの遺伝子、RNA、タンパク質、糖鎖情報等の整備及び統合を行うとともに、診断技術等の利用技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- 糖鎖不均一性解析プログラムを実行する3つのモジュールを統合して、一体化したソフトを完成させ、論文化する。また、このソフトを糖鎖バイオマーカー候補の検証や糖鎖生物学研究に適用し、解析を進め、論文化する。

#### 【平成26年度実績】

- 糖鎖不均一性を解析するプログラムモジュールを統合して、一体化したソフトを完成させ、モデル糖タンパク質や培養細胞糖タンパク質混合物に適用してその有効性を確認した。また、糖鎖バイオマーカー候補分子に適用して、構造的正当性を確認した。さらに、糖鎖遺伝子ノックアウトマウスの組織糖タンパク質の分析に応用した。

#### 【平成26年度計画】

- 論文で公開された糖タンパク質同定結果を二次利用して GlycoProtDB に格納し、情報を拡充する。また、新たな情報の追記や外部データベースとの連携を目指して、データベースの再構築を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ヒト試料を用いてマーカー探索した論文の情報を二次利用して、糖タンパク質の同定結果を GlycoProtDB に追加登録、公開するとともに日本糖鎖科学データベ

ース JCGGDB をアジア各国に拡大し、各国の糖鎖科学研究者と密接な連携を確立し、アジア糖鎖科学データベース (ACGGDB) を構築した。またこれを、欧州、米国のデータベースと連携させた。さらに糖鎖構造表記の国際標準の確立、セマンティックウェブ化、及び糖鎖構造レポジトリシステムの構築を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- 平成25年度に開発したマイクロアレイ解析ワークフローの拡張を行い、オミックス解析 (transcriptome and proteome) を可能とするワークフロー開発を行う。
- データの集約化を目指し、データ・レポジトリへの新規計測データや既存データの蓄積、解析ツールとの連携、及びデータ検索技術を連携させ、データの可視化を可能とする基盤の開発を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 拡張型心筋症、脊柱管狭窄症、乳がん、腎がん、肺がん、認知症、大動脈瘤など様々な疾患に対応したオミックス解析を可能とするワークフローを構築した。
- データの集約化のため計測データの標準化を行い、有益なオープンデータと共にデータレポジトリにデータを蓄積した。また解析ツールとの連携やデータ検索技術と併用したデータの可視化を可能とした。

#### 【平成26年度計画】

- 東北メガバンクなどとの連携を深め、ヒトゲノム多型データの秘密計算を用いたゲノム診断技術を確立する。
- NGS データの秘匿処理に必要な、秘密計算を用いた文字列マッチングアルゴリズムを開発する。

#### 【平成26年度実績】

- 遺伝多型 DB に対する秘匿検索技術を考案し、デモソフトウェアを開発した。また、理論上通信効率を大幅に高めたアルゴリズムを考案した。
- 東北メディカルメガバンクとの共同研究契約により、ヒトゲノム DB 上での秘匿検索技術の実証実験としての応用研究を行った。

#### 【平成26年度計画】

- RNA-Seq 由来のヒト転写産物情報、ヒトゲノム多様性情報、プロテオーム研究成果等をヒト遺伝子統合データベース H-InvDB に追加して更新し、疾患遺伝子候補や創薬ターゲット候補の探索空間としての利用価値を高める。また、独自のデータベース統合化技術を生かし、メタゲノム解析データベースの開発や、各種データベース資産の改良と有効活用を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ヒト遺伝子統合データベース H-InvDB にゲノム多様性やプロテオーム解析情報等を追加、公開するための

計測解析を実施し、疾患遺伝子候補や創薬ターゲット候補の探索空間としての利用価値を高めた。また、海洋微生物に関するメタゲノムデータベースの開発や、経産省ライフサイエンス統合データベースポータルサイト MEDALS の整備と運営を継続的に実施した。

## 2. 健康な生き方を実現する技術の開発

### 【第3期中期計画】

心身ともに健康な社会生活を実現するために、高齢者のケア、健康の維持増進、社会不安による心の問題の解決等の観点から健康な生き方に必要な開発課題に取り組む。具体的には、ストレス等を含む心身の健康状態を定量的に計測する技術の開発を行う。また、その計測結果に基づいて、個人に適した治療リハビリテーションによる健康の回復、維持増進を支援する技術の開発を行う。

### 2-(1) 人の機能と活動の高度計測技術

#### 【第3期中期計画】

個人の状況に応じて心身共に健康な生活を実現するために、人の心と行動を理解し、健康生活へと応用することが必要である。そのために脳神経機能及び認知行動の計測技術、人の生理、心理及び行動の予測に資する技術の開発を行う。また、高齢者や障害者の生理、心理及び行動データを基にした、安全性や快適性の確立に資する標準化活動を行う。特に、空間分解能を維持しつつ、ミリ秒オーダーの時間分解能で脳神経活動を計測する技術の開発を行う。

### 2-(1)-① 脳神経機能及び認知行動の計測技術の開発と人間の心と行動の理解、モデル化、予測技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・脳神経機能と認知活動に関して、空間分解能を維持した状態でミリ秒オーダーの時間分解能の実現による脳の領域間の相互作用の評価等を非（低）侵襲、高解像度で計測する技術を開発する。また、得られたデータから人の認知処理容量の定量化や機器操作への適応等心理状態、認知行動を評価及び予測するモデルを開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度までに解析した脳領域間の相互作用を因果関係のモデル化技術で評価する手法を用いて、視線方向の知覚による非言語的なコミュニケーションにおける他者の認識に寄与する脳部位間の神経活動の連携を定量的に解析できるかどうか検証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・対面する相手の視線方向を知覚する課題遂行中に、互いの脳波と脳磁界信号を同時に計測する実験データに対し、脳領域間の相互作用を因果関係のモデル化技術

を適用した。この結果、相手の視線方向を観測している被験者で、前頭部と頭頂部の他者の行為を認識に寄与する脳部位におけるガンマ帯域脳活動強度が上昇すること、またこれらの脳部位における神経活動時系列の間に有意な因果関係があることを明らかにし、非言語的なコミュニケーションにおける他者認識に関わる脳部位間の連携を定量的に解析できることを示した。

#### 【平成26年度計画】

- ・脳全体の酸素代謝を推定するために必要な複数の計測モダリティを相互補完的に併用する生体物理・生理特性計測技術を継続して開発する。特に、平成26年度は今期の基盤的研究を総括し、昨年度までに明らかとなった技術課題に対応して精度を向上させ、次期の実用化研究の基本となるプロトタイプを提示する。

#### 【平成26年度実績】

- ・脳全体の酸素代謝を推定するために必要な複数の計測モダリティを相互補完的に併用する、生体物理・生理特性計測技術を継続して開発した。その結果、頸部静脈血の計測による推定において、近赤外光による酸素化度計測と超音波による血流計測を一体化させた、一体型複合計測プローブのプロトタイプを設計、完成させた。単独モダリティごとの計測に比較し、超音波画像に基づいた光伝搬経路の確認や修正を可能とし、より高精度な計測を実現した。

#### 【平成26年度計画】

- ・心的モデルと外界情報がミスマッチな状態における脳機能計測実験により、ヒトの心的モデルに関わる脳機能を特定する。さらに、これまでの研究で得られた知見に基づいて、認知パフォーマンスの観点から製品のデザインやサービスの提供方法を向上するための、脳活動を用いた客観的指標を提示する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ヒトの心的モデルに関わる脳機能の特定に関しては、オドボール課題遂行中の脳波計測実験を行い、心的モデルと外界視覚情報のマッチ、ミスマッチが前頭 P2 の減衰、後頭陰性電位の出現に対応することが確認された。また、作業者が能動的に外界情報を操作している場合には、作業者の操作意図によってフレキシブルに心的モデルが更新されることを明らかにした。脳活動を用いた客観的指標に関しては、行動成績と脳活動計測につき検討し、自動車運転課題と視空間認知課題では運転タスクのダイヤモンド変化に対して発揮できる行動成績が予測可能であることを示唆する結果を得た。

#### 【平成26年度計画】

- ・適応モデル動物を用い、神経細胞活動をミリ秒の時間分解能で記録・解析する。視覚的認知メカニズム解明の研究では、脳が、状況・文脈・動機に合わせて柔軟

な制御を行う機構の知見について、これまで収集した行動学的データと神経生理のデータに基づき、さらに計算論的視点から解析し、総括する。脳の感覚・運動制御メカニズムの研究では、適切な知覚を生じ、適切な運動を生じさせるために、外界に適応して情報変換過程を変化させる学習メカニズムについて、その神経基盤を追究する。

#### 【平成26年度実績】

- ・視覚的認知メカニズム解明の研究では、顔が上下逆さに提示されると、神経細胞が処理する情報のうち、顔の個体や表情の情報量のみが減少することを発見した。また、行動学的データとの関連解析から、柔軟な認識と関連する神経活動は視覚野では少ないことも明らかにした。感覚・運動制御メカニズムの研究では、感覚の情報統合における脳内の処理過程において時間差の補正メカニズムが存在することを発見した。また、外界で生じる時間差に着目することにより、感覚情報間の統合と分離の切り替えメカニズムの解明を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・fNIRS と fMRI の同時計測を安定に実現するための実験環境を整備し、種々の MRI 撮像技法によるデータとの比較に基づく脳および皮膚における血流動態の解明を目指す。上記、安定な計測実現においても最大の課題である毛髪雑音の影響軽減に向けてプローブ先端部の試作と評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・二股プローブを用いた高密度 fNIRS 計測システムを開発し、fMRI-fNIRS 同時計測実験を行った。これにより、タッピングタスクの脳活動部位において fNIRS 信号と BOLD 信号が高い相関を持つことを示した。また、プローブ先端部に偏光フィルタを装着することにより、プローブ間光直接伝搬に由来する毛髪雑音の影響を軽減する手法を開発した。さらに、市販携帯型 fNIRS 装置上で血流動態分離法、プローブ多重配置法を実行するソフトウェアを開発し、実験によりその有効性を示した。

#### 【平成26年度計画】

- ・認知行動や環境情報を評価・予測するモデルを構築するために、大量データからの機械学習・データマイニングアルゴリズムの構築を行う。平成26年度は人間の認知モデルのカテゴリー理論に基づく構築や確率モデルの高速学習手法について実証的な実験を行うとともに総括的なまとめを行う。応用面では、社会的公正性に配慮する枠組みを完成させる。また、これまで高速化を進めてきたコンピュータビジョン技術を用いて画像から認知行動や環境情報を抽出する方法を確立する。

#### 【平成26年度実績】

- ・人間の認知モデルについては、アナロジーや類推といった認知機能をカテゴリー理論（圏論）によって統一的に説明可能であることを示すことに成功した。社会的公正性に配慮した枠組みについては、情報の中立性という観点から推薦システムで通常起きる推薦のバイアスを取り除くアルゴリズムを構築した。コンピュータビジョン技術では、形の変化する物体をトラッキングする手法を開発し、実画像を用いて有効性を確認した。

2-(1)-② 日常生活における人間の生理、心理及び行動の統合的計測と健康生活への応用技術開発とその国際標準化（IV-3-(1)-③へ再掲）

#### 【第3期中期計画】

- ・日常生活における高齢者、障害者、健常者等の人間の生理、心理及び行動情報を計測し、健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術を開発する。低視力者、聴覚障害者や高齢者を対象にデータの蓄積を行い、新たに5件程度の ISO 提案を目指した標準化活動を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・「公共空間の音声案内」「高齢者の聴覚特性」「音声アナウンス」及び「色の組合せ」の ISO 規格案各1編、並びにアクセシブルデザインに関する ISO/TR 改訂案1編について、それぞれ発行に向けた国際審議を進める。「報知光」「最小可読文字サイズ」「触知図形」及び「消費生活用製品の音声案内」について、国際提案に向けた国内審議を行う。また、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」をさらに拡充し、発行された ISO 規格及び JIS の一層の普及促進を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・「音声アナウンス」の ISO 規格が発行に至った。「公共空間の音声案内」「高齢者の聴覚特性」及び「色の組合せ」の ISO 規格案各1編について、それぞれ DIS（国際規格原案）段階に進めた。アクセシブルデザインに関する ISO/TR1編について、改訂に向けた国際審議を進めた。「報知光」「最小可読文字サイズ」「触知図形」及び「消費生活用製品の音声案内」の国内・国際審議を進め、来年度提案の見通しを立てた。「高齢者・障害者の感覚特性データベース」について、データ項目の追加等の拡充を行い、成果の普及を図った。

#### 【平成26年度計画】

- ・ISO/TC 159/SC 4/WG 12にて、光感受性発作の低減に関する国際規格案第2版（DIS 9241-391.2）を成立させ、最終国際規格原案（FDIS）登録及び国際規格発行へと進める。また、立体映像の生体影響低減に関する国際規格案（DIS 9241-392）を成立させ、最終国際規格原案（FDIS）登録へと進める。

## 【平成26年度実績】

- ・ISO/TC 159/SC 4/WG 12にて作成した光感受性発作の低減に関する国際規格案第2版（DIS 9241-391.2）の投票が行われ、その結果承認されたため、引き続き最終国際規格案（FDIS）を作成し、ISO 中央事務局に受理された。また、立体映像の生体影響低減に関する国際規格案（DIS 9241-392）の投票が行われ、その結果承認されたため、引き続き最終国際規格案（FDIS）を作成し、さらに投票により承認された。

## 【平成26年度計画】

- ・日常生活における人間の生理、心理及び行動情報の計測から健康・安全状態を時系列で定量的に評価する技術を実現する。ユーザの認知的パフォーマンスと日常的タスクのダイヤモンドそれぞれを推定して両者の関係を分析し、タスクダイヤモンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにする。この認知行動モデルに基づいて健康・安全状態を評価し、ユーザの認知的パフォーマンスに適応した情報環境を構築する技術を開発する。

## 【平成26年度実績】

- ・日常生活における人間の生理、心理及び行動情報の計測から健康・安全状態を時系列で定量的に評価する運転行動評価技術を開発した。特に自動車運転時のユーザの認知的パフォーマンスと日常的タスクのダイヤモンドそれぞれを推定して両者の関係を分析し、タスクダイヤモンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにした。また、様々な観点から健康・安全状態を評価し、デバイスやサービスのユーザーに適応した環境を構築するための評価技術を開発した。

## 2-(2) 生体情報に基づく健康状態の評価技術

## 【第3期中期計画】

個人の健康状態を評価するために、環境要因、ストレス等を含む心身の健康状態の定量的な計測が必要である。そのため、生体及び心の健康状態に関する分子レベルの指標の開発、標準化に向けたデータベース構築のための健康情報の収集、周辺環境モニタリングも含めた健康情報を管理及び評価するためのシステムの開発を行う。

## 2-(2)-① 分子計測による心身の健康状態のモニタリング、管理技術の開発

## 【第3期中期計画】

- ・身体的健康状態又は鬱、ストレス、睡眠障害等の精神的健康状態を尿、血液、唾液等の生体試料を用いて簡便かつ迅速に検知し、時系列情報として管理できるデバイスや5個程度のバイオマーカー候補を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・1) ストレス性睡眠障害モデルマウス等のモデル動物

や、神経細胞を用いた生体リズム測定系を用いて、睡眠障害に伴う精神疾患や代謝性疾患の発症メカニズムを解明するとともに、睡眠障害の早期発見を目指したバイオマーカーの開発、睡眠障害の予防や改善を目指した食品などの天然化合物の探索を行う。2) 社会の24時間化や高齢化、食生活の乱れ等に起因する体内時計の乱れと、メタボリックシンドロームやロコモティブシンドロームの発症との関連性を、時間薬理学及び時間栄養学的観点から明らかにする。

## 【平成26年度実績】

- ・1) ストレス性睡眠障害モデルマウスを用いた解析により、睡眠障害によって血中アミノ酸のプロファイルが変化することを発見した。明暗サイクルの乱れに伴う深部体温リズムの乱れ及び末梢体内時計の乱れを明らかにした。乳酸菌 SBL88の長期摂取が、睡眠覚醒リズムに影響することを発見した。長期的な運動習慣によって体内時計が朝型化することを発見した。2) ロコモティブシンドロームに関連する筋萎縮のモデルマウスにおいて、筋萎縮に伴い筋肉の体内時計が乱れることを発見した。

## 【平成26年度計画】

- ・生体リズムに関連した疾患を改善するための生理活性物質の効率的スクリーニング法を開発することを目的とし、これまでに確立したスクリーニング系をリファインしながら、植物や海藻の抽出物等から体内時計の調節に関連するサイトカイン産生促進・抑制天然物質の探索を引き続き行う。また、海藻や発酵産物から見出した血圧降下作用の可能性のある物質について、動物実験で機能を確認する。

## 【平成26年度実績】

- ・天然物由来ポリフェノール系化合物であるシコニンのサーカディアンリズム周期短縮作用が細胞内のトポイソメラーゼ2活性阻害により生ずることを見出した。また、ユリノキの葉に含まれる抗炎症作用を示す新規の天然化合物を単離、NMRによる構造分析、質量分析を行いその分子的構造と化合物の実体を明らかにした。さらに、血圧低下作用がある沖縄野菜における血圧低下ペプチド成分の単離と血圧低下効果について動物実験で検証した。

## 【平成26年度計画】

- ・レーザー照射による樹脂基板について、抗体ごとの濡れ性向上の条件を明確化する。紙と両面テープを用いた測定チップのシステム化に向けた製品プロトを開発するため、液を測定チップの入口部に自動滴下させるピペッティング部を試作する。

## 【平成26年度実績】

- ・レーザー照射による濡れ性向上についてメカニズムの検討を行った結果、レーザー照射に伴う表面積の増大の効



果が大きく、抗体ごとの差は小さいことが判明した。ピペッティング部についてはシリンジ式のものを試作し、1)環境温度、2)ピペット先端の濡れ性、3)滴下量の制御単位に関する問題の解決にあたった。また、カーボンナノチューブを用いたピペッティング部についての課題の抽出を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・ヒト血液サンプルを用いた各種アディポカインの定量検出のオンチップ化を進め、経口グルコース負荷試験時での継時的測定試験への応用を目指す。さらに各アディポネクチンの定量検出系において、流路固定抗体濃度や測定時間を検討することで、マルチ検出チップの対象項目を増やす。

#### 【平成26年度実績】

- ・経口グルコース負荷時の各種糖代謝関連バイオマーカー解析において、高感度 CRP やレプチンを対象に、プラスチック製マイクロチップ基板上のマイクロ流路へ微細化インクジェットを用いて吐出・固定する各一次抗体濃度や蛍光二次抗体濃度、反応時間などの最適化を図ることで、抗原抗体反応を利用した定量的オンチップ解析系が構築された。

#### 【平成26年度計画】

- ・遠心力送液型ラボディスクでは、遠心回転システム製品プロトへの測定部組込方法の検討を行う。またバイオマーカー測定部をラボディスク本体と統合し、バイオマーカーの測定を行う。また、電子体温計型全唾液 NO 代謝物プロトタイプチェック法を用いて緊張被験者実験データの蓄積を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・遠心力送液型ラボディスクでは、遠心回転システム製品プロトに測定のための CCD カメラの接続を行った。さらにバイオマーカー測定部を量産用に射出成形で作製したラボディスク本体に嵌合し、当該デバイスによる遠心送液と免疫アッセイが可能であることを実証した。また、電子体温計型全唾液 NO 代謝物プロトタイプチェック法を用いて、開発した唾液採取法により、数百検体の緊張被験者実験データの蓄積を達成した。

#### 【平成26年度計画】

- ・アラキドン酸由来脂質酸化物の生成機構、及びそのストレスの新規バイオマーカーとして有用性を検討する。また、生活習慣病、中枢神経疾患などの疾病における酸化ストレスバイオマーカーの変動を解析する。

#### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度にはストレス負荷時に増加するアラキドン酸由来脂質酸化物のストレスにおける生理的意義を検討したところ、本アラキドン酸由来脂質酸化物がストレス負荷後のマウスの行動に影響を及ぼすことに関

する知見を得た。酸化 DJ-1のパーキンソン病診断での有用性の検証に関しては被験者数をさらに増やして検討を行い、その再現性を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・単球による抗がん剤の薬効促進効果が共培養しているがん細胞のどの程度の範囲に及ぶのかを明らかにするとともに、拡散現象をベースに実験結果を理論的に考察する。

#### 【平成26年度実績】

- ・がん細胞と固定化した単球の共培養系を用いて、単球に起因する抗がん剤感受性が促進されるのは単球とがん細胞の距離が1 mm 以内の範囲においてのみであること、さらに薬効促進効果は単球が分泌するサイトカインの拡散距離や半減期により影響を受けることを明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成26年度は、うつ病バイオマーカー測定系を国内の臨床現場の様々な試料に適用し、実験系の最適化を行う。また、これらの試料とうつ病の発症要因との関係解明を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・解析の結果、PTSD（心的外傷後ストレス障害）とバイオマーカーの新たな関係が明らかとなった。交通事故体験者の血中バイオマーカー proBDNF と臨床変数（大うつ病重度、PTSD 重度、交通事故の外傷重症度など）との関連を分析した結果、PTSD 重度の変動と proBDNF の血中濃度の変動との関係が明らかとなった。この結果により、PTSD から回復するにつれて proBDNF 濃度が上昇、PTSD が悪化するにつれて proBDNF 濃度が減少するといった負の相関を示唆していることが分かった。

#### 【平成26年度計画】

- ・生物発光イメージングに関して、1)プロテアーゼ活性分析法の完成を目指し、核内 DNA センシングと修復の動態の可視化を試みる。2)うつ病などの脳神経疾患で異常に多い血中ホモシステインをバイオマーカーとして検出する発光アッセイ法の開発を進め、昨年度に構築したホモシステインの代謝産物測定法を最適化する。また、エピジェネティックの新規検出法の開発では、化学発光プローブの最適化やその検出手法の検証を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・生物発光イメージングに関して、1) 非特異的発光を低減できるセルローズ素材を見出し利用することで、高感度プロテアーゼ活性分析法の基盤検出系を確立し、核内 DNA センシングと修復動態可視化用の経時観察培養細胞系を再構築し可視化を試みた。また、2) 血

中ホモシステインのアッセイ系開発では、ホモシステインから酵素反応で生成される SAH (S-アデノシルホモシステイン) の発光アッセイシステムを最適プローブにより構築し、エピジェネティックの新規検出法の開発では、DNA 中の脱メチル化反応での孤立グアニンを発光定量できるビオチン化試薬を作製した。

#### 【平成26年度計画】

- Prx とともにチオールペルオキシダーゼのグループを形成するグルタチオンペルオキシダーゼ (GPx) のメカニズムを明らかにするために、細菌由来の GPx の結晶解析を進め、立体構造を明らかにする。一般に Prx は過酸化水素以外のアルキル過酸化物も基質とするので、古細菌由来 Prx とアルキル過酸化物の結晶内反応を解析する。メタン生成古細菌の Fe-SOD、Cu/Zn-SOD、SOR の発現系から精製タンパク質を得て、結晶化スクリーニングを行う。

#### 【平成26年度実績】

- *Escherichia coli* および *Geobacillus kaustophilus* 由来 GPx の立体構造を解明した。古細菌由来 Prx をアルキル過酸化物と反応させて、過酸化水素と反応させたときと同様の構造変化を観測した。しかし peroxide 以外の部分の電子密度は観測されず、反応前の結合の姿を観測することはできなかった。メタン生成古細菌の諸酵素に関しては、発現系から精製タンパク質を得て結晶化スクリーニングを行った。

#### 【平成26年度計画】

- アルパカに3種類以上の抗原を同時免疫し、ラクダ科動物由来抗体の複数同時取得の可否を検証する。またラクダ科動物由来抗体2種について、産業利用に必要とされる性能の評価とその結果にもとづくタンパク質工学的改良を行う。

#### 【平成26年度実績】

- アルパカに4種類の抗原の同時免疫を行い、うち3種類について抗体力価の上昇を確認し、抗体の複数同時取得が可能であることを明らかにした。3種類の抗体についてタンパク質工学により薬剤との特異的反応制御を可能とする改良を行い、そのうち1種類について異種の化合物との反応性評価を行い、特異的かつ効率的な化合物との結合制御を確認した。これに加えて企業連携にてラクダ科動物由来抗体5種類の性能評価を行い、3つが産業利用目的へ向けた候補物質となり得ることを明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- 嗅覚受容体を含む4遺伝子安定機能発現株で3種以上の応答を確認した受容体発現細胞をアレイ化し、高感度化のための実験条件の検討を通して、嗅覚センサとしての適性を評価する。また、背側受容体欠損による

感度変化の候補受容体を探索・検討する。さらに、バイオマーカーに代わり、尿臭で疾病発症を評価する技術の可能性を検討するため、膀胱がん患者の尿臭変化への尿潜血や手術前後の薬剤服用の影響を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- 4種遺伝子安定発現株を高感度化する培養条件および5種目の共発現遺伝子を見出し、嗅覚センサ化の見通しを得た。前述遺伝子は取扱いが困難だが大幅な性能改善が期待されるため、アレイ化に進まず改良用ベクター構築と株化細胞作製を進めた。背側受容体欠損による2組の鏡像異性体ペアに対する感度変化および識別能変化について既存の知見を刷新する結果を見出し、原因受容体を推定した。また、膀胱がん患者の抗生剤服用後の尿を希釈し潜血濃度を合わせた後、尿臭の相違を動物行動実験で評価した結果、識別可能であることが示唆された。

#### 【平成26年度計画】

- NMR・メタボリック・プロファイリング法の他の分光法・分析法への適用拡大をさらに検討するとともに、企業および生物系研究者から非常に興味を持たれているノンターゲット NMR プロファイリング解析の普及を行う。対象は加工品である食品だけではなく、農畜産物生産の効率化なども検討する。NMR 普及機を用いた汎用解析技術としてルーチン分析化と高度化を推し進める。包括的メタボローム解析でありながら試料調製が簡便で無侵襲・低侵襲・余剰試料で実施できることから健康計量を指向できる技術へと高める。

#### 【平成26年度実績】

- 唐辛子の有効成分であるカプサイシンやその他のカプサイシノイドについてエストロゲン様の遺伝子発現プロファイルを示すことを明らかにし、さらに細胞内シグナル伝達経路の解析により、エストロゲン受容体と他の受容体との間のクロストークによりシグナルが伝達されることを明らかにした。また、これらの一群の化学物質の重要性について英文総説を発表した。また、これらの成果を製品化に結び付けるために、新たな健康食品について企業と共同してその作用メカニズムについて解析を行い、機能的食品としての有用な情報を得た。

#### 2-(2)-② 健康リスクのモニタリング及び低減技術、健康維持技術と健康情報の管理及び活用技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 環境に存在する50種類以上の工業用ナノ粒子、微粒子等の健康阻害因子を高精度に計測及び評価し、因子の除去、又は健康への影響を効果的に低減するための技術を開発する。また、健康管理システムを構築するために、心と体の健康情報を長期的に収集及び評価する技術並びに健康逸脱状態を検出する技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・インジェクターの長期安定動作と試作チップの性能ばらつきの低減に向け、インジェクターヘッドのノズル内流体抵抗をより厳密に計測する手法、および自動洗浄機能の開発を行う。健康維持・増進に有効な指標の開発を目指し、OGTTをはじめとするマーカー測定と健康診断結果とのデータ連係に向けた取り組みを継続する。

## 【平成26年度実績】

- ・インジェクターヘッドの洗浄と同時にノズル状態を推定するために、ピエゾ駆動マイクロポンプおよび、圧力センサを組み合わせたノズル内流体抵抗計測システムを構築した。ノズルのつまりの発生に伴い圧力の上昇が確認でき、ポンプの送液能力向上により洗浄能力の向上や、測定における十分なダイナミックレンジが期待できる。データ連係についてはICカードによるデータひもつけに取り組んだ。

## 【平成26年度計画】

- ・マイクロ流体デバイス型PCRでは、各種微生物および遺伝子ターゲットについて、実試料を用いた性能の検証を行う。また、プロトタイプ装置の製品化を推進し、ベンチャー起業等による上市に向けたアライアンスの構築を図る。

## 【平成26年度実績】

- ・マイクロ流体デバイス型PCRでは、各種微生物および遺伝子ターゲットを含む体液由来試料での測定が可能であることを明らかとした。また製品用プロトタイプ装置の完成度を高め、産総研発ベンチャーからの上市を達成した。

## 【平成26年度計画】

- ・マラリア診断チップの実用化に向け、ウガンダなどアフリカでのリアルサンプル解析を200症例以上行い、製品化へのフィードバックを行う。マイクロチャンバーからの感染赤血球の高効率な回収系を構築して、種の同定と薬剤耐性判定のための遺伝子解析系を確立する。循環がん細胞検出用細胞チップでは、30症例以上の患者血液解析を行い既存診断法と比較検討して、細胞チップの有用性を証明する。

## 【平成26年度実績】

- ・マラリア超高感度・迅速診断デバイスの評価については、ウガンダ共和国での解析症例数は例年より雨季の時期が遅れるなどしたため48症例となった。各症例について、既存診断法とマラリア原虫感染率について比較検討したところ、疑陽性・偽陰性の問題もなくPCR法に匹敵する正確な高感度検出が認められた。今年度名古屋大学医学部でリクルートされた肺がん患者は19人に留まったが血液中の循環がん細胞(CTC)検出を行った結果、既存診断法であるセル

サーチ法と同等以上に、EpCAM発現に依存しないCTCの検出に成功した。

## 【平成26年度計画】

- ・健康阻害因子の除去、または影響を効果的に低減するため、
  - 1) 放射性セシウムなど健康リスクの除去低減に有効な吸着剤を評価する。
  - 2) 食品中の機能性成分について、平成25年度に引き続き、にんにく、梅の分析法を標準化する。

## 【平成26年度実績】

- ・1) トドロカイト型マンガン酸化物を3種類合成し、Csの交換特性を詳細に検討した。Mg体を酸処理したものが、Cs吸着剤として有望であった。これら以外に、ニオブ酸カルシウム系吸着剤も合成し、A型ゼオライトやCa-モンモリロナイトに比べ、Cs吸着容量が高いことを明らかにした。また、他の吸着剤と比べ、Mgが共存しても、Cs吸着量に影響しない特長を明らかにした。2) にんにく粉末中のアリインおよび梅肉粉末のポリフェノールの分析法をラウンドロビンテストし、良好な結果が得られたので、フォーラム標準とした。

## 【平成26年度計画】

- ・マウス嗅覚受容体発現メダカ作製を推進し、メダカ個体を用いた新規の化学物質検出系の実現に向けた実験基盤を整備し、リスク物質評価系の足がかりを得る。また、脊髄損傷モデルメダカの回復過程における損傷部付近での未分化細胞の増殖・分化をin vivoイメージングする測定系などを構築する。さらに、メダカ脳等の共焦点顕微鏡等で得られる3次元像の画像処理手法の最適化を図り、また、生物学的機能に対応する蛍光プローブの微小な信号と3次元情報に対応できるよう、データ処理系を改良する。

## 【平成26年度実績】

- ・メダカ個体を用い、嗅上皮特異的発現活性を有するメダカプロモータの機能評価を行うとともに、マウス嗅覚受容体発現メダカ作製のためのベクターの構築に応用した。また、神経細胞内Ca変動可視化メダカ系統を樹立し、in vivoイメージングにより嗅覚系のCa変動を検出した。神経未分化細胞可視化メダカを応用し、脊髄損傷部における細胞動態の解析を可能とした。共焦点顕微鏡で得られる3次元像を効率良く処理する計算機ハードウェア環境の再検討と複数の画像解析ソフトウェア活用を進め、各種データ書式変換プログラムを実装した。

## 2-(3) 健康の回復と健康生活を実現する技術

## 【第3期中期計画】

健康な社会生活を実現するために、人の生理、心理及

び行動や生体及び心の健康状態に関する指標に基づいて、失われた運動能力や認知能力を補い、個人の健康状態に適した暮らし方を支援する技術や、リハビリテーション等の健康回復、維持増進を支援するための技術の開発を行う。また、患者と医療従事者の負担を軽減するための技術開発を行う。

#### 2-(3)-① 生体情報計測に基づく軽負荷医療及び遠隔医療支援技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 患者と医療従事者の負担軽減を目的として、生体組織の物理的、生理的計測情報を高度に組み合わせ、計測時間の短縮や試料採取量を減らすことにより、低侵襲治療を支援する技術を開発する。また、先端的材料技術や電子機械技術を融合し、手術手技研修システム技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- プラズマ止血デバイスの国際標準については、NWIP提案を完了する。近赤外イメージングについては計測波長域の拡大、プラズマ止血装置については小型化、CO<sub>2</sub>環境下でも効果的なプラズマ発生・制御の技術を確認し、臨床で遭遇する膵臓がん患者の状態を再現したモデルマウスを用いた性能評価を実施する。

##### 【平成26年度実績】

- 熱損傷を伴わない止血を実現できるプラズマ発生制御デバイスと、VGA の解像度で1000-1800 nm までの波長域をカバーする近赤外撮像デバイスと画像化の技術について、その技術移転を実現した。プラズマ止血デバイスについては、国際標準案を提示して NWIP を完了し、近赤外イメージングについては蛍光物質や発光物質を必要しない次世代のバイオイメージング技術を確認した。

##### 【平成26年度計画】

- MRE に圧縮センシング技術を応用することで計測時間の短縮を図る。穿刺の手応えをフィードバックすることで安全かつ最低限の試料採集を実現する、穿刺支援装置については空気圧駆動プロトタイプ的小型化・効率化を行う。手術手技研修システムについては指導症例蓄積を継続するとともに、自習システムの医療機関での運用を通じて、普及型を改良し、自習教材・指導要領を開発する。

##### 【平成26年度実績】

- 圧縮センシングを応用した MRE については、33%の k 空間データから完全な k 空間データと遜色ない画像を再構成することに成功した。穿刺の手応えをフィードバックする穿刺支援装置については、圧縮空気消費量を減らす空気圧駆動プロトタイプを設計し、コンピネーション治療の投薬デバイスとして本装置を用い

た Proof of Concept を示した。手術手技研修システムについては、指導症例蓄積を継続するとともに、普及型の自習教材・指導要領の仕様を定めた。

#### 2-(3)-② 身体生理機能や認知機能の理解に基づき心身機能を維持増進する技術や回復（リハビリテーション）する技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- 加齢に伴う知覚能力減退に起因する歩行困難等を緩和し、安心して生活できる社会を実現するために、認知及び運動の相互作用特性の計測、評価及びデータベースに基づいた視覚障害者に対する聴覚空間認知訓練システムを開発する。また、心身活動の維持に適合した製品や環境設計技術、心身活動の回復（リハビリテーション）や増進を支援する技術を開発する。

##### 【平成26年度計画】

- 視覚障害者の歩行訓練システムに準天頂衛星「みちびき」を試験的に導入する。同システムを視覚障害リハビリテーションの現場で試験運用し、改良を行い、視覚障害者に対する聴覚空間認知訓練システムとしての実用化を検討する。

##### 【平成26年度実績】

- 視覚障害者の歩行訓練システムに準天頂衛星「みちびき」を試験的に導入して、位置の正確さを向上させることによる訓練効果を確認した。また同システムの改良を行い、訓練システムとしての実用化を検討した結果、クラウドによる複数システムの連携が効果的であるとの結論に至った。

##### 【平成26年度計画】

- 心身活動の維持に適合した製品や環境設計技術として、立体映像の生体影響に関するデータを追加して、立体映像制作支援システムの有用性を向上させるとともに、高齢者の性別・季節別の睡眠等の生活行動・周囲気温と血圧との関係について分析を進め、高齢者の住環境における温熱環境設計技術を確認する。

##### 【平成26年度実績】

- 立体映像制作支援システムの有用性を向上させるために、立体映像の生体影響に関するデータをのべ300名の実験参加者の協力を得て収集した。立体映像の解析精度を、CG 映像や実映像にて確認し、その使用上の留意点を明確にした。夏季の寝室におけるエアコンを使った室温変動により、高齢者の睡眠効率改善の可能性を見出した。低温環境からの移動後に、熱放射による暖房が裸体の若年被験者の血圧上昇を抑制したが、高齢被験者には有効ではなかった。これらに基づき、高齢者の住環境における温熱環境設計技術の確立を試みた。

## 【平成26年度計画】

- ・心身活動の回復や増進については、温熱等の物理刺激がヒトの循環調節機能に与える影響を定量的に明らかにし、安全な運動処方構築やリハビリ応用への展開を目指す。運動機能訓練と生活支援技術については、下肢（脚部）に加えて上肢系の筋力も併用した多様な動作伝達機能を備えるリハビリ自転車の駆動機構の開発、水素吸蔵合金を利用したアクチュエータのソフト化のための合金シート技術の開発、アザラシ型ロボットを用いた高齢者に対するセラピー効果の生理学的な定量的評価を心理的評価に加えて実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・心身活動の回復や増進については、中高齢者の心臓の圧負荷を下肢温熱刺激の付加により軽減できることを明らかにし、心臓リハビリへの新展開につながる成果を得た。運動機能訓練については、上肢系筋力を併用したリハビリ自転車の駆動機構を開発し、下肢負担度の軽減効果を確認した。生活支援技術のための水素吸蔵合金アクチュエータについては、柔らかな合金シートを試作し、ソフト化に伴う出力機能を評価した。アザラシ型ロボットのセラピー効果については、認知症高齢者の問題行動の改善を定量的に明らかにした。

## 【平成26年度計画】

- ・脳損傷後の機能回復の背景にある解剖および遺伝子発現レベルの変化をさらに詳細に解析する。運動機能の回復時には、一度失われた脳からの運動出力伝達経路に再編成が生じているはずであるが、詳細は明らかになっていない。そのため、回復期にどの経路でどのような変化が生じているのかを解剖学的に検討する。また、これまで用いてきた動物モデルよりも臨床の病態に近い脳内梗塞・出血モデルを用いて、脳損傷後の機能回復においてどのような解剖学的変化、遺伝子発現およびタンパク発現の変化が生じているのかを明らかにする。

## 【平成26年度実績】

- ・モデル動物を用いた解析によって、脳損傷後のリハビリ訓練によって運動機能回復が実現する背景として、新しい神経投射の形成を含む解剖学的変化や、複数の遺伝子・タンパク発現の変化が生じることを明らかにした。また、脳損傷後に残存する脳領域の活動が変化することで、損傷した領域の機能を肩代わりしていたことを解明することに成功した。さらに、回復の早期には運動前野腹側部、安定期には損傷近傍の第一次運動野がより活動するなど、回復をもたらす脳活動の経時的な変化を解明した。

## 【平成26年度計画】

- ・歩行困難の緩和と心身活動の増進を支援するための歩行評価システムについて、転倒リスクに加え歩行特徴

を評価する技術を開発し、提示するインタフェースを整備する。このシステムを2ヶ月以上運用し、50名以上のユーザに利用させることで健康維持に関する取り組みの開始、継続への効果を実証する。

## 【平成26年度実績】

- ・歩行困難の緩和と心身活動の増進を支援するための歩行評価システムについて、膝関節の負担や内股歩きなどの歩行特徴を評価する技術を開発した。スマートフォン内蔵センサで歩行を計測し、画面に歩容を提示するインタフェースを整備した。このシステムを2ヶ月、50名のユーザに試用させ、歩行評価結果の提示に関心があることをアンケート調査により検証した。

2-(3)-③ 人間の心身活動能力を補い社会参画を支援するためのインターフェース等の技術開発

## 【第3期中期計画】

- ・現状の運動能力や認知能力を補い高齢者、障害者、健常者等のより高度な社会参画を可能にする技術（従来の2倍以上の意思伝達効率のブレインマシンインターフェースや、柔軟で1V程度の低電圧駆動が可能な運動アシスト機器等）を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・柔軟で1V程度の低電圧駆動が可能な運動アシスト機器等を開発するため、導電性が優れ、かつ柔軟性のあるカーボンナノファイバーからなる電極の開発を継続し、この柔軟性電極をもちいて、高伸縮性のアクチュエータを開発する。様々な導電性微粒子の添加剤をカーボンナノチューブ電極に加えた系で、電極キャスト液の効果的な分散法を開発、及び、実用的な印刷法を適用し、アプリケーションに適用可能なプロトタイプを作製する。

## 【平成26年度実績】

- ・本年度は、カーボンナノチューブ電極への導電性微粒子添加材として、これまで検討を進めてきたポリアニリンやカーボンブラックに加え、カーボンナノホーンを新たな添加材として用いることを検討した。産総研のナノチューブであるスーパーグロースカーボンナノチューブにポリアニリン、及びカーボンナノホーンを添加した系の効果的な分散法を開発した結果、伸縮率、曲げ力、伸縮速度などで飛躍的改善が見られ、目標値を達成した。

## 【平成26年度計画】

- ・これまでの実績に基づき、電気活性のある導電性微粒子を高分子に分散させた伸縮性電極の電場伸縮機構に関する計算機実験、及び、様々な電気化学計測結果に基づくモデリングを行い、アクチュエータ電極に用いる材料の設計に関する指針を得る。アクチュエータのスタティックな力発生メカニズムに関して分子論的

モデルを確立するとともに、ダイナミックな電気化学モデリングを明らかにし、アクチュエータの駆動メカニズムについて明確にする。

【平成26年度実績】

- ・本年度は、アクチュエータの変位測定、発生力測定の精密な測定環境を整備し、その測定に基づく、ナノカーボン電極を用いたアクチュエータのダイナミックの変形モデリングの研究を進めた。その結果、ナノカーボン高分子アクチュエータの変形を駆動するのは、イオンの体積効果であること、一定電圧を加え続けた際、変形の揺れ戻しなどは、高分子の粘弾性特性に起因することが分かった。これらの成果によりアクチュエータ材料の設計指針を得た。

【平成26年度計画】

- ・高齢者、健常者のより高度な社会参画を可能にする、モバイル性の高い脳波計測システムの実証実験を行うとともに教育分野やマーケティング分野などへの応用を推進する。障害者のより高度な社会参画を可能とする意思伝達用福祉機器として、既存機器の2倍以上の意思伝達効率を有するニューロコミュニケーターのプロトタイプを開発する。

【平成26年度実績】

- ・重度運動機能障がい者を対象としたハイテク福祉機器としてニューロコミュニケーターの性能を高めるための試作改良に取り組み、高品質な脳波を長時間快適に計測するための電極やヘッドギアを開発した。また関連患者を対象に、これらの新技术を搭載した試作機の性能を初期型試作機と比較する実証実験を行ったところ基準時間当たり、初期型試作機で到達可能な解読精度に半分以下の時間で到達、つまり、2倍以上の意思伝達効率があることを確認した。

### 3. 生活安全のための技術開発

【第3期中期計画】

疾患の予防や社会生活における事故防止、高齢化社会の到来による介護負担の軽減、ネットワーク社会における消費者の保護等、日常生活にかかわる生活安全のための情報通信技術（IT）にかかわる開発を行う。具体的には、ストレスセンシングなど生活安全にかかわるセンサ技術、高齢者や被介護者等の日常生活を支援するセンサ技術等の開発を行う。また、日常生活における人とのインタラクションが必要となる生活支援ロボットの実環境での安全性を確立するための基盤技術の開発を行い、安全規格を定める。

#### 3-(1) ITによる生活安全技術

【第3期中期計画】

安全・安心な社会生活を実現するため、情報通信技術

（IT）にかかわる研究開発を行う。具体的には、バイオケミカルセンサ等センサシステム自体の開発と併せて、センサを用いた人や生活環境のセンシング技術、センシングデータの解析やモデル化技術に基づいた異常検出やリスク分析及びリスク回避の技術開発を行う。さらに、消費者の情報や権利を保護するための情報セキュリティ対策技術の開発を行う。

#### 3-(1)-① 生活安全のためのセンサシステムの開発

【第3期中期計画】

- ・生活習慣病の迅速診断、感染症対策のためのウイルスの検出、ストレスセンシングを目的として、導波モードや新蛍光材料を用いたバイオ・ケミカルセンシングシステムを開発する。また、予防医療につながる眼底の高精度診断のために、画像分光や能動的な光波制御を用いた眼底イメージング装置を開発し、5 $\mu\text{m}$ 以上の分解能を実現する計測技術を開発する。生活環境下における有毒ガス等の分光検知を目指して、複数ガスの遠隔分光に適した200~500GHz帯において、従来検出器の1/5以下の最小検出電力を持つ高感度超伝導受信器を開発する。

【平成26年度計画】

- ・多項目検出に対応できるように、8チャンネル以上の検出部位を備えた導波モードセンサを開発する。めっき液中の添加剤劣化モニター用センサの開発では、腐食性の高い銅めっき液中でも、劣化モニターが可能な導波モードセンサを開発する。表面プラズモン励起蛍光増強を用いた高感度センサを開発し、100pfu以下のインフルエンザウイルス検出を実現する。光ディスクセンサにより、菌数100個/ml以下の細菌検出を実現する。

【平成26年度実績】

- ・LEDを直接プリズムにカップリングさせる光学系を採用し、ハンディサイズのままで8つの検出チャンネルを備えた導波モードセンサを実現した。耐腐食性の高い導波モードセンサチップの開発に成功し、めっき液特性の連続測定を実現した。高屈折率ガラス上にV字溝を形成して、その内面に表面プラズモン共鳴励起層を付与した蛍光増強型センサを開発し、100pfuのインフルエンザウイルス検出を実証した。光ディスクセンサによる大腸菌の検出において、画像の高精細化や濃縮技術の導入により菌数100個/mlの検出に成功した。

【平成26年度計画】

- ・高感度近赤外分光器を用いた透過型非侵襲血液成分分析装置の開発を行い、血液成分の瞬時計測を目指して20 Hz以上で生体分光情報を取得できるよう高速化を行う。標的とする成分のうち血中に存在する量と血液

外の皮膚等に存在する量を分離するための解析技術を開発し、装置に実装する。また、中性脂肪以外の血中成分として糖尿病の指標となる糖化ヘモグロビンの光学的計測をターゲットに据え分光情報の蓄積と解析を行う。近赤外分光による皮膚水分量の定量分析技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・透過型非侵襲血液成分分析装置においてシステム最適化に伴う信号対雑音比改善により、20Hz に高速化した。血管の脈動に伴う信号分離技術を開発し、血液情報のみの成分解析手法を実装し、高速化と合わせてリアルタイム計測を実現した。開発装置をラマン分析に適用することで、非侵襲で糖化ヘモグロビンの分光情報が得られることを確認し、データ蓄積・解析に合わせて改良を行った。皮膚表面における水分の分散動態を近赤外計測により定量分析することに成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・超伝導検出器の多画素化を可能とする周波数多重読出方式の基本動作を実証し、検出器入力に換算した雑音電力が既存検出器の1/5以下を満たすことを示す。

#### 【平成26年度実績】

- ・周波数多重読出方式の基本動作を実証するとともに、読出回路の入力換算雑音電流の支配要因を同定し、その値が、動作温度4 Kにおいて $30 \text{ pA}/(\text{Hz})^{0.5}$ であることを明らかにした。これを超伝導転移端検出器(TEs)の読出に適用した場合の入力換算雑音電力(NEP)@ 4 Kは、従来型検出器のNEPの理論的境界の1/4以下であることを数値的に明らかにした。また、動作温度を典型的なTESと同じ0.1 Kに下げること、1/5以下のNEPへの到達目途を得た。

### 3-(1)-② 生活安全のためのセンサを用いた見守り及び異常検出技術

#### 【第3期中期計画】

- ・高齢者及び被介護者の健康及び身体状態の把握や、介護者の支援を目的とし、生活の安全性の検証とリスク分析の手法を開発する。具体的には、生活における危険状態の自動検出を実現するために、人の10以上の姿勢や運動状態の識別及び運動量を推定できる技術を開発する。異常状態の自動検出率95%を目指して、生活動画、日常音環境等を分析する技術を開発する。また、医療における早期診断支援を目的とし、がん細胞の自動検出率95%を実現するために、胃生検画像を自動的に診断する技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・生活安全の向上に寄与する以下の研究開発を実施する。
- 1) これまでに人の10以上の姿勢推定を加速度データの周波数解析により実現し、目標を達成した。

- 2) これまで研究開発を進めてきた要素技術およびソフトウェアを統合し、がんを自動検出するソフトウェアを完成させ、実際の胃生検画像を対象に検出率95%以上を有することを確認する。
- 3) 高齢者等の行動を把握し適切な支援を行うため、施設等での危険行動パターンを検出して介護者へ通知するセンシングシステムを開発し、介護者との危険判定一致度95%を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- ・生活安全の向上に寄与する以下の研究開発を実施した。
- 1) すでに人の10以上の姿勢推定を加速度データの周波数解析により実現し、目標を達成している。
  - 2) これまでに開発した病理画像向け色指標局所相関特徴量、識別器群統合、画像分割による最適化を組合せ、第三期の目標であるがん検出率95%以上を達成した。
  - 3) 高齢者等の行動を把握し適切な支援を行うため、転倒等の危険歩行パターンを自動検出するセンシングシステムを開発し、人による判定との危険判定一致度95%を確認した。

### 3-(1)-③ 人間機能モデルによる生活安全評価技術

#### 【第3期中期計画】

- ・乳幼児と高齢者の傷害予防を目的に、傷害情報サーベイランス技術と実時間見守りセンシング技術を開発し、12,000件以上からなる傷害データベースとWHO国際生活機能分類に準拠した生活機能構造を作成する。データベースから生体モデルと生活機能モデルを構築する技術を開発するとともに、10件以上の製品の設計、評価及びリスクアセスメントに適用し、生活支援ロボットの設計と評価に応用する。開発技術を5か所以上の外部機関や企業が利用可能な形で提供し、運用検証する。

#### 【平成26年度計画】

- ・総計20,000件以上となっている傷害データを2,000件以上拡充する。この傷害データベースに基づくリスク評価・可視化技術を開発する。高齢者の生活支援を目的にWHO国際生活機能分類に準拠した生活機能データベースに、新たに400人以上の生活データから構成される生活機能構造データを拡充する。平成25年度までに、生活支援機器やキッズデザイン製品関係機関と連携し12件の製品設計を実施した。この開発データベースにWeb経由でアクセス可能な機能を追加し、平成26年度に新たに5カ所以上の外部機関で運用検証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・医療機関と協力し、平成26年度頭で約27,000件の傷害データを3,000件拡充し、30,000件以上とした。WHO国際生活機能分類に準拠した生活機能データベースに、500人の疾病・事故等による生活機能低下者

の生活データを追加し、生活機能構造データを拡充した。キッズデザイン製品開発を支援する身体・行動特性データベース、前記傷害データベースを整備し、NPOと連携してWeb経由でアクセス可能なものとした。このデータベースの有効性を、キッズデザイン製品開発を進める50社以上の企業で運用し検証した。

### 3-(1)-④ 消費者の情報や権利を保護するための情報セキュリティ対策技術

#### 【第3期中期計画】

- ネットワーク社会において消費者の情報や権利を保護するため、バイオメトリクスやパスワード等の認証情報が漏えいした際にも、認証情報更新を容易にすることにより、被害を最小限に抑えることができる個人認証技術や、ユーザがサーバと相互に認証することで、ユーザがフィッシング詐欺を認知可能とする技術等のプライバシー情報保護及びユーザ権限管理技術を開発する。さらに、開発した技術を、ウェブブラウザのプラグイン等の形で5つ以上実装、公開し、10以上のウェブサービス等での採用を目指す。

#### 【平成26年度計画】

- 化合物検索を応用として進めてきた秘匿データベース検索技術について、より広範な実用的アプリケーションに対して適用可能とするため、類似度検索以外の機能への拡張と効率向上を図り、その具体的なシステムへの適用を進める。また、消費者の情報や権利を保護するための重要な要素技術となる高機能公開鍵暗号技術の設計や安全性評価と基盤的理論の構築を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 秘匿データベース検索技術を、ゲノム情報検索と地図情報検索に適用可能となるような拡張を行うと同時に通信サイズを効率化する手法の設計を行った。開発した方式について、それぞれ、実データを保持する外部機関と連携し、実システムへの適用を進めた。高機能公開鍵暗号技術として、関数暗号の安全性を一般的に高度化する手法の開発と、その数学的安全性証明などを行った。その他に、自己双線形写像の実現方法を示し、さらなる高機能公開鍵暗号を設計するための強力な基盤的理論を構築した。

#### 【平成26年度計画】

- 提案技術について、引き続き IETF HTTPAUTH WGでの標準化活動を行う。標準化の議論に基づいてプロトコルおよび標準文書案の改訂を行い、試験実装も同内容に追従させる。実装したウェブブラウザ、ウェブサーバソフトウェアをウェブで公開し、提案技術の利用を促進する。

#### 【平成26年度実績】

- 引き続き提案技術 HTTP Mutual プロトコルの IETF

HTTPAUTH WGでの標準化を進め、WGでの議論に基づき、プロトコル本体、プロトコル機能実現のための拡張、プロトコルで使用する暗号技術、の3つの標準化案を改訂した。これら最新の標準化案に準拠した Firefox ベースのウェブブラウザ実装、WEBrickによるウェブサーバ実装を作成し公開することで、提案技術の標準化や利用を促進した。

#### 【平成26年度計画】

- ネットワーク社会において消費者の情報や権利を保護するため、並行性・非決定性を有するプログラムの動作を解析するツールを開発・実装する。また、ネットワークプロトコルのエンコーダとデコーダのような対の動作を安全に実装するため、逆方向実行可能な言語系を開発・実装する。その他、情報や権利を保護するため、匿名や通信内容の秘匿などの通信の秘匿性を形式的に証明する体系を設計する。

#### 【平成26年度実績】

- 並行性・非決定性の解析ツールについては、協調する複数のプログラムの非決定的な並行処理を解析し、簡潔に表示するツールを開発・実装した。対動作の安全実装については、逆方向実行可能な言語系を開発・実装し、順方向と逆方向の両方の実行が可能であることを複数の事例で確認するとともに、その逆方向実行の正しさの形式検証法を検討した。通信の秘匿性を形式的に証明する体系については、投票の匿名性証明の論理体系と情報の秘匿性証明の論理体系の設計を完了した。

### 3-(2) 生活支援ロボットの安全の確立

#### 【第3期中期計画】

介護及び福祉に应用する生活支援ロボットの製品化に不可欠な実環境下での安全の確立を目指して、ロボットの新しい安全基準を構築し、ロボットを安全に動作させる際に必要な基盤技術の開発を行う。また、ロボットの制御ソフトウェアの信頼性を高め、実装するための基盤技術の開発を行う。特に、ロボットのリスクマネジメント技術の開発においては、機能安全の国際規格に適合可能な安全規格を定める。

#### 3-(2)-① ロボットの安全性評価のためのリスクマネジメント技術の開発 (IV-3-(1)-④へ再掲)

#### 【第3期中期計画】

- 機能安全の国際規格に適合可能なロボットの安全規格を定めるため、ロボットの安全性を試験、評価するための技術を開発する。ロボットの安全技術としてのセンサ技術、制御技術、インターフェース技術、ロボットの安全性を検証するためのリスクアセスメント技術を開発する。



## 【平成26年度計画】

- ・シミュレータを用いたリスクアセスメントを、平成25年度に既に構築した拠点を使用して介護ロボット等、実用化に向けた開発に適用する。試験方法、および必要に応じて性能基準の国際標準の発行に向けてISO 会議を推進する。高度な機能安全にも対応可能な高信頼開発・認証の研究に取り組む。

## 【平成26年度実績】

- ・シミュレーションに基づき、実生活での安全性を考慮した介護ロボットのリスクアセスメントを行って、安全性の実証拠点と模擬介護施設を使用した試験、評価など介護ロボットの実用化に向けた開発を行った。介護ロボットの性能基準の国際標準の発行に向けて、まずは国内で標準化検討を行った。機能安全に対応可能な高信頼開発技術として SysML から RTC テンプレートを自動生成する技術、認証を支援する技術として SafeML から安全レポートを自動生成する技術を開発した。

## 3-(2)-② 高信頼ロボットソフトウェア開発技術 (IV-3-(1)-⑤へ再掲)

## 【第3期中期計画】

- ・機能安全の国際規格に適合可能な安全なロボットを実現するため、高信頼なロボットソフトウェアを設計、実装する技術を開発する。このため、ロボットソフトウェアのリスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・平成25年度にロボットの新しい安全基準として構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法と、それぞれの評価基準を介護ロボットを含む生活支援ロボットの開発に適用し、実用的かつニーズに適合したロボットの開発を支援する。同時に高信頼開発手法について、モデルベースの開発プロセスを確立し、実用化を加速する。

## 【平成26年度実績】

- ・平成25年度に構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法を、製品だけではなく、人を含むサービスの上流側に拡張した V 字モデルでつなぎ、モデルベースで安全性と有用性の双方の設計と妥当性評価を行うスキームを開発した。この成果を、実際の介護機器や人共存型の双腕型セル生産ロボットなど実用的かつニーズに適合したロボットに適用し、その有効性を確認した。また、安全分析のためのモデル言語を開発し、高信頼のモデルベース開発プロセスを確立した。その成果はモデル設計ツール製品に組み込まれ、実用化された。

## III. 他国の追従を許さない先端的技術開発の推進

## 【第3期中期計画】

様々な資源、環境制約問題を乗り越えて我が国の国際競争力を強化するためには、技術指向の産業変革により新産業を創出する必要がある。特に、情報通信産業の上流に位置づけられるデバイスの革新とともにデバイスを製品へと組み上げていくシステム化技術の革新が重要である。そのため、競争力強化の源泉となる先端的な材料、デバイス、システム技術の開発を行う。また、情報通信技術によって生産性の向上が期待できるサービス業の発展に資するため、サービス生産性の向上と新サービスの創出に貢献する技術の開発を行う。さらに、協調や創造によるオープンイノベーションの仕組みを取り入れた研究開発を推進する。

## 1. 高度な情報通信社会を支えるデバイス、システム技術の開発

## 【第3期中期計画】

情報通信社会の継続的な発展には、低環境負荷と高性能の両立及び新機能の実現によるデバイスの革新が必要である。このため、光、電子デバイスの高機能化、高付加価値化技術の開発を行う。また、デバイスの設計を容易にするため、計算科学を用いた材料、デバイスの機能予測技術の開発を行う。さらに、IT 活用による製造及びシステム技術の高効率化や高機能化に関する技術の開発を行う。

## 1-(1) デバイスの高機能化と高付加価値化技術

## 【第3期中期計画】

情報通信社会の継続的な発展のために、微細化等によるデバイスの高機能追求やフレキシブル有機デバイスの開発、光通信の波長、空間の高密度化等、情報通信技術の革新に資する光、電子デバイス技術の開発を行う。また、シミュレーションにより特性を予測することで、デバイスの開発を容易にする技術の開発を行う。特に、極微細かつ低消費電力素子として期待されるスピントランジスタの実現を目指して、半導体中でのスピンの注入、制御及び検出技術の開発を行う。

## 1-(1)-① 情報処理の高度化のための革新的電子デバイス機能の開発

## 【第3期中期計画】

- ・ポスト CMOS 時代の極微細、低消費電力素子として期待されるスピントランジスタの実現を目指して、半導体中でのスピンの注入、制御及び検出技術を開発する。また、光ネットワーク高度化のためのスピン光機能デバイスを開発する。

CMOS 素子とは異なる原理で動作する超低消費電力

演算素子の実現を目指して、金属酸化物材料と高温超伝導材料の物性解明と物性制御技術の開発を行い、材料の磁気、電気、光学特性等を電子相状態により制御するプロトタイプ素子において低消費電力スイッチング機能等を実証する。

#### 【平成26年度計画】

- ・Si スピントロニクス研究において、素子加工プロセスの低温化によりシリサイドのない電極/Si 界面を有するスピン検出用素子を作製し、室温でのスピン検出を実証する。スピンレーザに関しては、垂直磁気異方性を有するスピン注入源を用いて、零磁場での円偏光発光を実現する。光アイソレータに関しては、Si 導波路上に作製したアイソレータ素子において光伝搬を実証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・シリサイドフリー電極の作製には成功したが室温ではスピンが検出されず、その原因を解明することによって、スピン信号の高感度検出のための Si 基板表面処理プロセスを確立した。スピンレーザに関しては、零磁界での円偏光発光には至っていないが、筑波大との共同研究により、高い円偏光発光を得るための量子井戸膜成長条件を確立した。アイソレータ研究に関して、Si 導波路上に作製したアイソレータ素子において光伝搬の実証に成功した。

#### 【平成26年度計画】

- ・前年度まで得られた成果を元に、鉄系超伝導線材の特性向上に取り組む。同時に、転移温度が20K 付近の鉄系超伝導体を用い、液体水素液面計への応用を試みる。物質開発においては、高圧ステーションを活用した先端物質合成法および理論予測の融合による新規高温超伝導体の探索を推進する。

#### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度は鉄系超伝導線材の特性向上に取り組み、圧延技術を向上させることで、その臨界電流密度が2T の磁場中で $34000[A/cm^2]$ を達成し、前年度比で5倍となった。同時に、水素液面計の応用を目指して転移温度が20K 付近の鉄系超伝導体の線材化に取り組み、その最適物質を決定し、長さが50cm の線材を得ることに成功した。物質開発においては、高圧合成法を用いて新たに一つの超伝導体 ( $T_c=7.4K$ ) を発見した。

#### 【平成26年度計画】

- ・新超伝導材料の内部位相などの新規物性を開拓し、新奇材料かつ新原理を利用した超伝導デバイスの提案および試作を行う。引き続きトポロジカル量子計算のための Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の SQUID を改良し半整数磁束量子の観測、超伝導冷凍機等の新奇な応用開拓を行う。超伝

導ストリップ検出器の高性能化のための理論的設計指針をシミュレーションにより明らかにする。新原理に基づく超伝導光デバイスの提案を行うために、超伝導 THz 電磁波発振器に対する電磁波シミュレーションを行い、電磁波出力が10倍以上増大することを示す。

#### 【平成26年度実績】

- ・トポロジカル超伝導体 Sr<sub>2</sub>RuO<sub>4</sub> の SQUID とジョセフソン接合を試作し、カイラルドメイン構造を解明し、さらに半整数磁束量子が観測するための提案を行った。超伝導冷凍機の冷却能の評価を行った。超伝導ストリップイオン検出器における各種条件の影響を明らかにし、新原理 THz 発振器をシミュレーションに基づき提案した。またマルチフィジクスシミュレーションを用いて、高温超伝導体 THz 電磁波発振器の電磁場応答を計算し、高温超伝導体の局所温度を制御することで電磁波の出力が10倍以上に増大することを明らかにした。

#### 【平成26年度計画】

- ・強誘電体超薄膜をスイッチング層に用いた抵抗スイッチング素子を開発し、0.5 V 以下の低電圧、 $10^5 A/cm^2$ 以下の低電流密度スイッチング機能を実証する。室温マルチフェロイック BiFeO<sub>3</sub>において、電気・磁気スイッチング特性を電場・磁場をパラメータとして定量的に評価し、電場による磁気スイッチ機能の可能性を検証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・強誘電体 BaTiO<sub>3</sub>超薄膜のスイッチング層と Co 電極を用いて、スイッチング電圧0.5 V、電流密度 $10^3 A/cm^2$ 以下で動作する強誘電トンネル抵抗スイッチング素子を開発した。室温マルチフェロイック BiFeO<sub>3</sub>において、20kV/cm 以上の電場により電気スイッチングを、3T 以上の磁場により磁気スイッチングを、それぞれ独立に制御することに成功するとともに、磁気スイッチングのためには電場よりも磁場が適していることを明らかにした。

1-(1)-② 情報入出力機器のフレキシブル、小型化のためのデバイスの研究開発

#### 【第3期中期計画】

- ・小型軽量の次世代情報家電に資する柔軟性、軽量性及び耐衝撃性に優れたフレキシブルなディスプレイを開発する。そのために受発光、導電、半導体、誘電体等の光電子機能を有する新規の有機材料や無機材料を開発する。これらの材料のナノ構造制御により、非晶質シリコンよりも優れた移動度 ( $5cm^2/Vs$  以上)、on/off 比 (5桁以上)、駆動電圧 (5V 以下) で動作する有機薄膜トランジスタや受発光素子を開発する。さらに赤色領域での位相差0.25波長を有する偏光素子や回折、屈折素子等の高性能光入出力素子を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・有機半導体・有機強誘電体を印刷プロセスに適用させるための材料基盤技術を開発する。
- 1) 3V 以下で動作できる強誘電体薄膜を形成し、微視的分域とその局所電場制御、不揮発性動作と保持特性を評価する。
- 2) 平成25年度開発の高解像度配線パターン印刷法により透明導電フィルムを開発する。プッシュコート法及びダブルショット・インクジェット法により、100ppi 以上、移動度 $0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  以上を達成できる全印刷プロセスを開発する。
- 3) 平成25年度開発の分子秩序度評価技術を電子スピン共鳴法と組み合わせ、高分子系半導体の高移動度化設計指針を示す。

## 【平成26年度実績】

- ・有機半導体・有機強誘電体を印刷プロセスに適用させるための材料基盤技術を開発した。
- 1) イミダゾール系強誘電体単結晶薄膜で、3V 以下で分極反転動作を実現した。圧電応答顕微鏡による微小分域形成、局所電場制御、及び不揮発性動作を確認した。
- 2) 銀ナノインク超簡易印刷法によりフレキシブルな透明タッチパネルを開発した。塗布方向を一定にするプッシュコート製膜法により6インチ・200ppi のアクティブ・マトリックスを開発した。
- 3) 電荷変調分光二次元イメージング化技術等により、高分子半導体薄膜の層界面と層内部の分子配向の違いが移動度制限要因であることを明らかにし、高移動度化設計指針を得た。

## 【平成26年度計画】

- ・摩擦転写法等により分子配向制御した高分子材料及び機能性分子について精密配向評価、新規材料の探索、及びそれを用いて、変換効率、偏光応答性の向上を目指して受光素子の作製を行う。分子配向のみならず、デバイス構造の改良や最適化を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・昨年に引き続き、摩擦転写膜を用いた配向誘起によって、新たな電子供与性分子ペンタセン、電子受容性分子ペリレン誘導体を配向させることができることをX線回折等での評価で明らかにした。これらを用いて、光電変換素子を試作した。ペンタセンでは組み合わせる電子受容性材料の膜厚最適化により0.18%から0.21%へと光電変換効率の向上が見られた。ペリレン誘導体では電子捕集層を挿入するというデバイス構造の改良によりフラーレンを用いないものとしては比較的高い0.68%の光電変換効率を得た。

## 【平成26年度計画】

- ・赤色領域において0.25の位相差を得るための材料を探

索する。また、波長依存性を有する光入出力素子の高性能化のための構造を検討するとともに、その動作を実証する。

## 【平成26年度実績】

- ・成型可能な高屈折率ガラスを開発するとともに、そのガラスにおいて赤色領域で片面の位相差0.13波長を達成し、2面用いることにより中期計画の目標値である位相差0.25波長を達成した。また、波長依存性を有する光入出力素子の高性能化のため、2種類の周期構造を集積した狭帯域高反射素子の反射効率の光導波路共振器長依存性を理論的・実験的に明らかにした。その結果、反射効率が約1.3倍向上した。さらに、従来よりも半分以下の開口径の小型素子を試作し、動作を実験的に確認した。

## 【平成26年度計画】

- ・開発した鉛フリー圧電セラミックスの電子デバイスへの組み込みのための実用化を推進していく。薄膜の圧電定数の評価に向けて、緻密化・高結晶化および組成制御技術の確立に取り組み、鉛フリー圧電薄膜センサ実用化の目安となる圧電定数100pC/N を超える薄膜材料の開発を行うとともに、鉛フリー圧電薄膜を使ったセンサの試作に取り組む。

## 【平成26年度実績】

- ・開発した鉛フリー圧電セラミックスをAEセンサへ組み込み、市販の鉛系AEセンサより高感度であることを確認した。実用化を推進するために、鉛フリーAEセンサを用いたインフラヘルスマニタリングの実証試験を行った。加えて、鉛フリー圧電セラミックスの組成制御により、積層体および振動子等の新たな電子デバイスへ有望であることを見出した。薄膜材料においては目標値の圧電定数 100pC/N 以上に至らなかったが、圧電振動する系に特徴的な共振-反共振特性を利用した圧電共振デバイスの試作に成功した。

- 1-(1)-③ 光通信の波長及び空間の高密度化 (I-2-(3)-③を一部再掲)

## 【第3期中期計画】

- ・高精細映像等の巨大コンテンツを伝送させる光ネットワークを実現するために、既存のネットワークルータに比べてスループットあたり3桁低い消費電力でルーティングを行う光パスネットワークで伝送する技術を開発する。具体的には、ルートを切り替えるシリコンフォトニクス、ガラス導波路技術を用いた大規模光スイッチ、伝送路を最適化する技術及び光パスシステム化技術を開発する。また、1Tb/s 以上の大伝送容量化を目指して、多値位相変調や偏波多重を含む超高速光多重化のためのデバイス及び光信号処理技術を開発する。情報通信の安全性に向けて、量子中継等の技術を開発

し、高密度波長多重量子暗号通信デバイス、システムを開発する。

#### 【平成26年度計画】

- これまで開発してきた、光パスネットワークの大規模実運用テストベッド用ハードウェアを統合して、複数・異種の光スイッチを統合的に制御するダイナミックノード制御ボックスを実装する。さらに、資源管理ソフトウェアやアプリケーションを実装して、システム全体として動作確認を行った後、公開実証実験を行う。そこで、光パスネットワークの消費電力をモニターし、既存技術に比べスループット当たり3桁低くできることを実証する。シリコンフォトニクスを用いた光スイッチモジュールを開発し、同テストベッドに搭載し動作検証を行う。伝送技術では、パラメトリック分散補償装置を同テストベッドに接続して、自律的動作の実証を行う。さらに、高効率多重伝送技術では、1Tb/s以上の大容量化を達成する。

#### 【平成26年度実績】

- 平成26年度はダイナミック光パスネットワーク・テストベッドの構築及び公開実験の実施など、すべての目標を達成した。光パスネットワークを利用することで既存通信技術に比べスループット当たりの通信消費電力を3桁低くできることを実証したのみならず本ネットワークの超低遅延性にも着目し、NHK放送技術研究所と共同で超高精細映像（8Kスーパーハイビジョン）のリアルタイム伝送を基に世界で初めて音楽演奏の遠隔セッションに成功した。伝送技術では、1Tb/s以上という目標を達成し光ネットワーク動作にも成功した。

#### 【平成26年度計画】

- 超高速光多重化のためのデバイスとして、光集積回路に搭載可能なマルチキャリア光源を実現する。窒化シリコン導波路の歪みと損失を低減し、厚さ1 $\mu$ m以下の光導波路において1dB/cm以下の損失を実現するとともに、発生効率向上のための光帯域制限構造を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- 窒化シリコン導波路の成膜法を見直し、化学量論組成で膜厚800nm以上までクラックフリーを実現した。導波損失を4.5dB/cm（1530nm）、2.5dB/cm（1600nm）まで低減できたが、マルチキャリア光源の実現には至らなかった。光帯域制限構造に関しては、方式の比較と絞り込みを行い、回折格子型導波路による分散曲線調整方式の基礎検討を行った。

#### 【平成26年度計画】

- 高密度波長多重量子暗号通信デバイスを構築するために、光子検出器の受光感度限界である波長1610nmま

で広帯域化し、受信器を構成する2光子光ファイバ干渉計の分散不感化を波長帯域幅120 nm（1490 nm-1610 nm）で実現する。

#### 【平成26年度実績】

- 波長帯域幅115.8 nmの量子もつれ光子対に対して、可干渉時間の予測値42.7fsと一致する測定値を得た。同程度の波長帯域幅を持つ古典光に対して、群速度分散による可干渉時間の広がり250fsを観測し、量子もつれ光子対による群速度分散不感を確認できた。帯域幅115.8 nmは周波数100GHz間隔（波長間隔0.8 nm）の信号を約150チャンネル収容可能であり、高密度波長多重量子暗号通信デバイスの構築に目途をつけることができた。

#### 1-(1)-④ ナノ電子デバイスの特性予測と設計支援技術

##### 【第3期中期計画】

- 微細CMOSの性能向上に用いられている機械的ひずみに代表される新構造及び新材料デバイスの構造や特性を実際の試作に先立って予測するために、計測技術を一体化させた設計ツールとするシミュレーションシステムを開発する。

##### 【平成26年度計画】

- TCAD及び、走査トンネル顕微鏡によるキャリア分布計測・解析シミュレーションシステムを用い、メタルゲート・トランジスタにおけるゲートメタルの仕事関数ばらつきの影響を解析する手法を開発する。ラマン応力計測解析システムをGeナノワイヤ構造に適用し、システムの有効性を実証する。また、絶縁膜上のSiやGeの極薄膜の光学的測定を行い、量子化による物性変調の体系的に解明する。これらの成果を用い、応力及びポテンシャル計測をシミュレートし、デバイス特性を予測するTCADシミュレーション技術を開発する。

##### 【平成26年度実績】

- 走査トンネル顕微鏡（STM）により、ゲートメタルの仕事関数ばらつきを測定し、その結果をTCADシミュレーションに取り入れて解析することにより、メタルゲートFin型トランジスタの閾値ばらつきの原因を明らかにすることに成功した。また、ラマン分光法によりSi、Geの極薄膜の体系的な測定・解析を行い、フォノンスペクトルに与える界面散乱の影響を明らかにした。また、ラマン・シミュレーション・システムを用いてFin型トランジスタの応力解析に成功した。

#### 1-(1)-⑤ 高効率な設計とシミュレーションのための高性能計算技術

##### 【第3期中期計画】

- 電子デバイスが発揮する新機能を高速なコンピュータ

シミュレーションにより予測することを目的として、数千万 CPU コア時間程度の大規模計算におけるシミュレーションソフトウェア開発支援環境を開発する。この並列／分散計算環境において、アプリケーションの特性に応じて適切な資源を割当て、障害が発生しても実行を継続する、高信頼／高効率計算技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・シミュレーションのための高性能計算技術の確立のため以下の研究開発を行う。1) Falanx ミドルウェアの頑健化を進め、数千万 CPU コア時間規模のソフトウェア開発支援環境として公開する。また他プラットフォームへの移植を進め、国内外への普及を図る。2) 電子デバイスシミュレーションに適した領域分割法を設計・実装し、複数素子を連携したチップレベルのシミュレーションの大規模並列処理を実現する。また新規プラットフォームを開発し、次世代半導体の設計で必要になる新規物理モデルを容易に組込み可能にする。

#### 【平成26年度実績】

- ・シミュレーションのための高性能計算技術の確立のため以下の研究開発を行った。1) Falanx を用いて量子化学シミュレーションプログラムを実装し、ミドルウェアの頑健化を進めた。また Falanx を京速計算機上で稼動可能にし、理研とワークショップを共催して普及に努めた。2) 電子デバイスシミュレーションに適した領域分割法を設計・実装し、IGBT 9 セルの電流電圧特性シミュレーションを実現した。また様々な物理モデルを容易に組込み可能なシミュレーションプラットフォームのプロトタイプを新たに開発した。

### 1-(2) IT 活用によるシステムの高効率化及び高機能化

#### 【第3期中期計画】

製品開発サイクルの短縮及び新たな付加価値製品の製造のため、組立作業や視覚認識における産業用ロボットの知能化を推進し、組込みシステムの高効率化と高機能化の両立を実現する。また、人の機能をシミュレーションし、その結果を製品開発にフィードバックすることで、人にとって使い易い製品設計を支援する技術を開発する。特に、セル生産のロボット化において、一部が変形する部品や配線材等の柔軟物を含む5種類以上のワークの組立作業を対象に開発した技術を実証する。

#### 1-(2)-① 製造の省力化、高効率化のための産業用ロボット知能化技術

#### 【第3期中期計画】

- ・セル生産のロボット化を目指し、変形を含む物理シミュレーション技術、作業スキルの解析に基づく作業計画及び動作計画ソフトウェア、センサフィードバックに基づく組立動作制御ソフトウェアを開発する。代表

とする組み立て工程の50%をカバーする、5種類以上のワークの組立作業を対象に開発した技術を実証する。また、工業部品の多くを占める黒色や光沢のあるワークに対しても位置姿勢検出精度が光沢のない中間色の場合と同程度の3次元視覚情報処理技術を実証する。

#### 【平成26年度計画】

- ・セル生産における代表的な組立工程のロボット化の実現に向けて、柔軟なリング状の対象物を、その柔軟性を考慮しながら円柱状の部品に組み付ける動作を計画する機能を開発し、ロボットにより実証する。

#### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、オイルシールなどを用いる柔軟なリング状の対象物を組み付ける動作を計画し、双腕ロボットを用いた実験により有効性を実証した。

### 1-(2)-② 組み込みシステムの最適設計技術

#### 【第3期中期計画】

- ・情報通信機器の省エネルギー化のために、再構成可能なデバイス (FPGA 等) について、しきい値可変デバイスをを用いて静的消費電力を1/10程度に削減する技術を開発する。また、シリコン貫通電極を用いた3次元積層構造の FPGA について、最適設計を行うアーキテクチャ技術と設計ツール技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・面積オーバーヘッドを削減し大規模化した SOTB 版試作チップの、より大規模な応用回路を用いた評価を行う。より実用性を向上させた最後の SOTB 版試作チップの開発を行う。開発したチップの第三者による評価利用を可能とする評価ボードの開発を行う。これらによって、より大規模で実用的な応用回路を用いた場合における静的消費電力削減性能の最終的な評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、タイルアーキテクチャ強化、ブロック RAM 搭載、クロックゲーティング実現により、実用性を向上させた最後の SOTB 版試作チップの開発を行い、製造されたチップが正しく動作することを確認できた。また、このチップを搭載した評価ボード AISTino を開発することができた。

### 1-(2)-③ 製品デザインを支援する人間機能シミュレーション技術

#### 【第3期中期計画】

- ・人間にとってより安全で使いやすい機器を設計することを目的に、筋骨格構造を含む人体形状、運動モデルを100例以上データベース化する。また、感覚が運動を引き起こすメカニズムの計算論的モデルを心理物理実験に基づいて構築する。これらを可視化するソフト

ウェアとして、数千自由度の簡易モデルについては5コマ/s以上の処理速度を実現し、数万から数十万自由度の詳細モデルについては力再現誤差10%以下の精度の生成的感覚運動シミュレーションを実現する。これを5件以上の共同研究を通して製品設計時の操作性及び安全性評価に応用する。

【平成26年度計画】

- ・20件以上の手指寸法、100件以上の製品操作、50件以上の全身運動を計測し、データベースに追加する。体感や運動を予測するモデルを、身体モデルを用いた数値シミュレーションと心理物理実験に基づき構築する。これらを統合する基盤ソフトウェア DhaibaWorks の機能拡張を行い、リジッドリンク構造による簡易モデルについては5コマ/s以上の処理速度を、筋骨格による詳細モデルについては10%以下の力推定誤差を実現する。平成25年度までの3件に加え、2件以上の共同研究を実施し製品の操作性や安全性評価に応用する。

【平成26年度実績】

- ・36件の手指寸法、365件の製品操作、359件の全身運動を計測または解析し、データベースに追加した。負担感や最大発揮力を予測するモデルを、数値シミュレーションと実験に基づき構築した。これらを統合する基盤ソフトウェア DhaibaWorks の機能拡張を行い、リジッドリンク構造による簡易モデルについては5コマ/秒以上の処理速度を、筋骨格による詳細モデルを用いた最大発揮力については10%以下の推定誤差を実現した。平成25年度までの3件に加え、2件の共同研究を実施し製品の操作性や安全性評価に応用した。

1-(3) ナノエレクトロニクスのオープンイノベーションの推進 (I-4-(3)を再掲)

【第3期中期計画】

次世代産業の源泉であるナノエレクトロニクス技術による高付加価値デバイスの効率的、効果的な技術開発のために、つくばナノエレクトロニクス拠点を利用したオープンイノベーションを推進する。つくばナノエレクトロニクス拠点において、高性能、高機能なナノスケールの電子、光デバイスの開発を行うとともに、最先端機器共用施設の外部からの利用制度を整備することにより、産学官連携の共通プラットフォームとしての活用を行う。

1-(3)-① ナノスケールロジック、メモリデバイスの研究開発

【第3期中期計画】

- ・極微細 CMOS の電流駆動力向上やメモリの高速低電圧化、集積可能性検証を対象に、構造、材料、プロセス技術及び関連計測技術を体系的に開発する。これによって、産業界との連携を促進し、既存技術の様々な基本的限界を打破できる新技術を5つ以上、創出する。

【平成26年度計画】

- ・環境発電等の低電圧電源に適用可能なトンネルトランジスタの開発を行う。具体的には、産業界に受け入れやすい Si 系半導体において、従来 CMOS のスイッチング急峻性限界を60mV/dec を打破しつつ、低電圧電源であっても電流駆動力向上を可能にする基本技術を提示する。

【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、低電圧の電流駆動力向上技術として、等電荷トラップを導入した Si の疑似直接遷移化現象を世界に先駆けてトンネルトランジスタに応用し、未適用の従来トンネルトランジスタと比較して30倍以上の ON 電流の向上を実証した。また、産総研が独自開発した合成電界トンネルトランジスタにおいて、n 型、p 型トランジスタで、それぞれ60mV/dec 未満の急峻スイッチングを世界に先駆けて実証し、極低電圧 CMOS の基本プロセスの構築に成功した。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、不揮発性抵抗スイッチデバイスについて、メモリ動作信頼性評価手法を開発する。より具体的には、抵抗スイッチ現象に伴う元素移動を定量的に評価し、メモリ動作との関係を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・不揮発性抵抗スイッチデバイスについて、メモリ動作信頼性評価手法、より具体的には、抵抗スイッチ現象に伴う元素移動を評価する手法を開発した。メモリのオン・オフ動作時に、電流方向に沿って、酸素濃度のピーク位置が1~数 nm の範囲で移動していることを明らかにした。

1-(3)-② ナノフォトニクスデバイスの研究開発

【第3期中期計画】

- ・LSI チップ間光インターコネクションにおいて10Tbps/cm<sup>2</sup>以上の情報伝送密度を実現するために、半導体ナノ構造作成技術を用いて、微小光デバイス、光集積回路及び光、電子集積技術を開発する。また、3次元光回路を実現するために、多層光配線、電子回路との集積が可能なパッシブ及びアクティブ光デバイス、それらの実装技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・以下の大容量光インターコネクション用技術開発を行う。
  - 1) 半導体ナノ構造を用いた技術では、トンネル接合を導入した省エネ型量子ドットレーザの開発を進め、消費電力10%削減を目指す。なお、グループ再編により SiN 関連の研究は課題番号0000053-100に追記した。
  - 2) 光信号制御素子である有機アクティブデバイス開発では、低劣化共振器加工法と多層結晶性薄膜作製法、

膜面積制御した乾式結晶形成法、PPV系発光剤を導入した導波路の開発を行う。光を伝送、分岐するパッシブな光素子開発では、印刷によりコア径30 $\mu\text{m}$ の導波路を作製し、MMFとの良好な結合を目指す。

【平成26年度実績】

- 1) 省エネ型量子ドットレーザの開発では、トンネル接合を導入し、消費電力20%以上の低抵抗化したレーザ動作を実現した。
- 2) 有機アクティブデバイス開発ではスライドポート法による多層結晶性薄膜作製法を開発し、光励起発振するダブルヘテロ構造作製に成功した。溶液析出結晶化の開発では、ある貧溶媒を用いた場合、サブミリメートルの大きさをもつ結晶形成に成功した。また光を伝送するパッシブな光素子開発では、高接触角を有する表面処理剤を用いることで、スクリーン印刷により幅30 $\mu\text{m}$ 、高さ15 $\mu\text{m}$ のコアリッジ作製に成功した。

【平成26年度計画】

- ・化合物半導体光デバイスと積層集積したアモルファスシリコン光回路を開発し、光信号伝送を確認する。また、3次元光回路および低コスト実装を可能とする縦方向曲り導波路を開発し、伝送特性評価を行う。さらに、積層型光変調器の試作と評価を行う。
- ・量産化まで見据え、300 mm ウェハでのアモルファスシリコン光回路の作成プロセスを開発する。

【平成26年度実績】

- ・化合物半導体光デバイスと積層集積したアモルファスシリコン光回路を試作した。低コスト実装に有効な縦方向曲り導波路の開発を進め、伝送特性評価を行った結果、1dB以下の損失を確認した。さらに、積層型光変調器を試作し、光伝送特性を評価、電流注入での屈折率変化を観測した。
- ・量産化に必要な300 mm ウェハ装置を用いた水素化アモルファスシリコンの成膜技術を開発し、成膜したアモルファスシリコンで光回路を試作・評価を行い、十分な低損失伝搬特性を確認した。

1-(3)-③ オープンイノベーションプラットフォームの構築

【第3期中期計画】

- ・産業競争力強化と新産業技術創出に貢献するため、ナノエレクトロニクス等の研究開発に必要な最先端機器共用施設を整備し、産総研外部から利用可能な仕組みを整えとともに、コンサルティングや人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を推進する。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成する。

【平成26年度計画】

- ・産総研ナノプロセッシング施設（AIST-NPF）を窓口と

した、先端機器共用施設からなる国内外プラットフォームとの連携拡充や、利用者が課題を解決するための技術相談、技術支援サービスの高度化により、産総研外部機関への支援実施件数が年間で100件に到達することを旨とする。また、当該施設へ導入される民間資金等外部資金が、運転経費に対する比率で10%以上に到達することを旨とする。

【平成26年度実績】

- ・産総研ナノプロセッシング施設（AIST-NPF）を窓口とした、先端機器共用施設からなるプラットフォームを拡充、整備した。研究支援インフラを産総研内外、産学公の研究者に公開する拠点とネットワークを形成し、技術相談や産業科学技術人材育成等も含めた横断的かつ総合的支援制度を高度化した。より具体的には、NPFを窓口とした電子システムを整備してユーザーのアクセシビリティを高め、100件を超える産総研外部機関への支援件数を達成した。当該施設の運転経費に対して10%以上の民間資金等外部資金の導入を達成した。

【平成26年度計画】

- ・スーパークリーンルームにおけるシリコンフォトリソプロセス技術に関しては、プロセスの安定性を高めると同時に高度化を進め、プロジェクトおよび共同研究における利用を促進する。

【平成26年度実績】

- ・スーパークリーンルームにおけるシリコンフォトリソプロセス技術に関しては、プロセスの安定性を高めると同時に高度化を進め、パッシブ光回路、ヒーター作成、および光変調器プロセスを確立した。また、水素化アモルファスシリコンの成膜技術を確立した。

2. イノベーションの核となる材料とシステムの開発

【第3期中期計画】

我が国のものづくり産業の中心である製造業の国際競争力を強化するためには、革新的な材料やシステムを創成する必要がある。そのため、材料を革新するためにナノレベルで機能発現する材料及び部材の開発と、我が国が強い競争力を有するナノカーボン材料の量産化と産業化の推進を行う。また、高付加価値化による高度部材産業の国際競争力強化にも必要なマイクロ電子機械システム（MEMS）の開発を行う。

2-(1) ナノレベルで機能発現する材料、多機能部材（I-4-(1)を再掲）

【第3期中期計画】

省エネルギーやグリーン・イノベーションに貢献する材料開発を通じてナノテクノロジー産業を強化するために、ナノレベルで機能発現する新規材料及び多機能部材

の開発、ソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術や自己組織化技術を基にした省エネルギー型機能性部材の開発を行う。また、新規無機材料や、有機・無機材料のハイブリッド化等によってもたらされるナノ材料の開発を行う。さらに、革新的な光、電子デバイスを実現するナノ構造を開発するとともにこれらの開発を支援する高予測性シミュレーション技術の開発を行う。

## 2-(1)-① ソフトマテリアルを基にした省エネルギー型機能性部材の開発

### 【第3期中期計画】

- ・調光部材、情報機能部材、エネルギー変換部材等の省エネルギー型機能性部材への応用を目指して、光応答性分子、超分子、液晶、高分子、ゲル、コロイド等のソフトマテリアルのナノ空間と表面の機能合成技術、及びナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた自己組織化技術を統合的に開発する。

### 【平成26年度計画】

- ・2種の p 型液晶性有機半導体の混合系における分子配列の制御を試み、有機薄膜太陽電池におけるフィルファクタ等関連パラメータとの相関を検討、組成に対する最大性能の引出しにかかわる研究を行う。一方、印刷工程に適した有機半導体材料ペーストを試作し、その半導体特性を評価するとともに、印刷工程による薄膜有機デバイス製造の更なる検討を行い、高性能なトランジスタ特性動作を実証する。

### 【平成26年度実績】

- ・2種の p 型液晶性有機半導体の混合系において、太陽電池性能とフィルファクタ等関連パラメータとの相関を検討し、性能向上が見られる組成等の条件を見出した。n 型有機半導体の p 型液晶性有機半導体への混和性について、分子間の特異的相互作用の導入が半導体特性を落とさずに混和性を増強させる手法であることを見出した。塗布工程を綿密に制御しながら電極形成を行った基板に液晶性半導体材料を塗布した薄膜有機トランジスタ素子を製作したところ、ドリフト移動度が  $1 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$  を越える高性能なトランジスタ特性動作を実証した。

### 【平成26年度計画】

- ・ソフトマテリアルをベースにした機能性部材の開発を目的とし、これまでに蓄積された有機合成技術、及び自己組織化技術の更なる高度化を図る。特に光応答性分子に着目し、光照射による可逆的な構造変化によって誘起される機能をターゲットとする。具体的な応用例として、これまで取り組んできた可逆的な光相転移を用いた接着剤、コーティング剤、記録材料、あるいは可逆的な界面状態変化を利用したナノ炭素材料の微細加工に関して、量産技術、薄膜化技術などを確立し、

実用化に道筋をつける。

### 【平成26年度実績】

- ・光相転移を用いた接着剤に関しては、合成経路を改良することで量産が可能となり試薬メーカーから販売されることになった。コーティング剤に関しては、汎用ポリマー、液晶、光応答性分子を複合化させることで、光によりゴム-ガラス転移を示す薄膜が得られた。光記録材料として用いてきたアントラセンから可逆接着剤にも使用できる新規物質を開発した。ナノ炭素材料の微細加工に関しては、光応答性分散剤でカーボンナノチューブの高濃度分散液を作製することが可能となり、透明電極などの実用化を目指して企業と共同研究契約を締結した。

### 【平成26年度計画】

- ・ソフトマテリアルを用いた省エネルギー型機能性部材の開発を継続する。ソフトアクチュエータ等の基礎部材となるケモメカニカルゲル開発と導電性ゲルの電気力学応答評価、バイオミネラリゼーションの手法を用いた軟骨型部材の開発、ソフト構造界面の新機能開拓とその応用、異方性媒体や異方性ナノ粒子の配列化技術の深化とデバイス応用などを進める。重水素標識発光材料によるフルカラー発光素子を作成し、特性を評価する。

### 【平成26年度実績】

- ・ソフトアクチュエータ部材はケモメカニカルゲルのマイクロポンプを実現し、金属層導入導電性ゲルの電場変形や圧縮による抵抗変化等を見出した。炭酸カルシウム系軟骨型部材を開発し、軽量化に成功した。ソフト構造界面の新機能開拓と応用では、ソフト界面の構造可変による摩擦力の制御を可能にした。異方性媒体やナノ粒子の配列化とデバイス応用では、異方的相互作用での配列が期待される異方性ナノ粒子の合成、液晶コロイド分散液の調整と電気光学効果評価に成功した。重水素標識発光材料によるフルカラー発光素子の耐光性は、10%強向上した。

### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度の成果を踏まえ、太陽電池デバイス性能と相分離構造の相関をさらに詳細に検討するため、3次元元素マッピングにより有機太陽電池の有機層の3次元構造を明らかにする。また新規材料における精密層はく離技術を目指すため、プラズマ等によるエッチング機構の解明を行う。

### 【平成26年度実績】

- ・太陽電池デバイスを高い変換効率で動作させるため、STEM-EDX 装置により種々の条件における相分離構造と組成の定量解析を行った。特に本年度は、これらを3次元的に元素マッピングすることにより、物性に影響するナノレベルの膜中状態を実空間上で実像化し、



有機層の挙動解明を通して高変換効率化への知見を得た。また新規低次元材料を一原子層毎に剥離する制御技術の確立のため、産総研独自の技術である吸引型プラズマエッチングによるエッチング制御試験を行い、膜の剥離が可能な条件を見つけるに至った。

#### 【平成26年度計画】

- ・エネルギー変換部材としてのソフトマテリアル系の応用例として、有機太陽電池の設計指針に関する検討を行う。具体的には、液晶性ドナー／フラーレン系アクセプタ界面における構造形成プロセスをモデル化し、界面の自己組織化構造と光電変換機能の相関をシミュレーションの結果から明らかにする。

#### 【平成26年度実績】

- ・液晶性ドナー／フラーレン系アクセプタ溶液における構造形成プロセスを、粗視化溶媒中での溶媒蒸発に伴う構造形成プロセスとしてモデル化し、自己組織形成される液晶性ドナー／フラーレン系アクセプタ界面の構造をシミュレーションにより得た。その結果、フラーレン系アクセプタが液晶性ドナー共役面直上に配置する、光電変換に伴う分離電荷取り出し時に重要となるキャリアバスにおいてキャリアトラップが生じ得る構造が特徴として得られた。この結果から、本構造を抑制することで当該有機薄膜太陽電池の特性を向上させることができる可能性を材料設計指針として提案した。

## 2-(1)-② 高付加価値ナノ粒子製造とその応用技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・ナノ粒子の製造技術や機能及び構造計測技術の高度化を図ることにより、省エネルギー電気化学応答性部材、高性能プリンタブルデバイスインク、低環境負荷表面コーティング部材、高性能ナノコンポジット部材等の高付加価値ナノ粒子応用部材を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・引き続き放射性セシウム除染技術を改良し、実用化を推進する。また、ナノ粒子の金属置換等の最適化に加え、他の錯体など多様な材料のナノ粒子化などを進め、各種吸着剤、光学素子等への応用が可能なプロトタイプ部材を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・セシウム除染技術については以下の成果を得た。1) プルシアンブルー類似体の粒状化技術として、マイクロカプセル技術とフリーズドライ法を組み合わせ、 $\mu\text{m}$ スケールでの多孔質化を実現し、従来比の約4-6倍の吸着速度を達成した。2) 農業用ため池 (2,800 $\text{m}^2$ ) からの放射性物質汚染拡散防止対策に取り組み、池内を攪拌後の濁水除去により、底質に含まれる放射性物質

を回収、固液分離、排水処理後に水を放流する技術を確立した。排水処理には、溶存態セシウムを除去するために、プルシアンブルー担持不織布カラムを利用した。本技術は農林水産省の対策マニュアルに具体例として掲載された。また、マイクロミキサーによるプルシアンブルー型錯体ナノ粒子の連続合成を実現するとともに、粒径及び組成の制御方法を一部材料に対し確立した。これらの制御された材料を用い、透明・青色変化素子について10万回超のサイクル耐性を実現した。

#### 【平成26年度計画】

- ・レーザー、プラズマ、高温場、高圧流体等を利用したプロセスを発展させて、有機、無機、及びそれらの複合化による、多様な付加価値付与が可能なナノ～サブマイクロメートル機能性粒子および複合材の合成技術を開発し、医療利用・光機能・触媒機能・磁気機能等を有する省エネルギー・グリーン機能部材や医療用機能部材の開発を行う。
- ・これまでの高圧流体等を利用したナノ粒子の連続製造プロセスを踏まえ、エネルギー貯蔵部材、有用物質回収部材等に必要な機能を持つ有機無機ナノ多孔体(MOF)ナノ粒子の連続合成技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・液中レーザー溶融法により、酸化チタンと炭酸マグネシウムの混合分散液から強誘電体材料であるチタン酸マグネシウム球状粒子を、気相中熱酸化法によって、触媒利用が期待される単結晶の金一酸化ニッケルヘテロ接合ナノ粒子を合成することに成功した。
- ・マイクロミキサーおよびマイクロリアクターを有する流通式の装置を用い、モデル化合物として2種のMOFナノ粒子を連続合成するプロセスを検討した。両者について市販品を大きく下回る100nm以下の粒子径でかつ狭い粒径分布を持つMOFナノ粒子を連続的に合成することができた。

## 2-(1)-③ 無機・有機ナノ材料の適材配置による多機能部材の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・セラミックス、金属、ポリマー、シリコン等の異種材料の接合及び融合化と適材配置により、従来比で無機粉末量1/2、熱伝導率同等以上、耐劣化性付与の無機複合プラスチック部材、ハイブリッドセンサ部材、数ppmの検知下限で水素、メタン、一酸化炭素等をガスクロマトグラフなしで一度に計測可能なマルチセンサ部材等の多機能部材を開発する。このために必要な製造基盤技術として、ナノ構造を変えることなくナノからマクロにつながる異種材料のマルチスケール接合及び融合化技術を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの高速加熱条件を検討し、高速成形可能な炭素繊維強化プラスチックの開発を行う。触媒材料の最適化や高温センサデバイスの伝熱及び応力シミュレーションを融合し実用に向けた高信頼技術を開発する。有機-無機界面を利用した無機ナノクリスタルの部材化のための構造形成技術を検討し、誘電・蓄電デバイスへの実用に向けた指針を示す。

## 【平成26年度実績】

- ・熱可塑性炭素繊維強化プラスチックの開発では、従来の樹脂製母材の熱伝導率よりも高い $0.6\text{W/m}\cdot\text{K}$ の樹脂製母材と、従来の金属製成形型の熱伝導率よりも低い $2\text{W/m}\cdot\text{K}$ のセラミックス製成形型を用いることにより、2分以下での高速成形が可能であることを示した。ハイブリッドセンサ部材の開発では、触媒材料の最適化による耐久性向上の効果を確認し、高温デバイスの伝熱及び応力シミュレーションによりデバイス構造改良の設計指針が得られた。また、誘電体ナノキューブの相転移挙動と微小キャパシタの高絶縁性を確認し、ナノキューブ間の特異界面の形成が誘電・蓄電デバイスの実用化に向けての鍵になることを示した。

## 2-(1)-④ ナノ構造を利用した革新的デバイス材料の開発

## 【第3期中期計画】

- ・ナノギャップ電極間で生じる不揮発性メモリ動作を基に、ナノギャップ構造の最適化と高密度化により、既存の不揮発性メモリを凌駕する性能（速度、集積度）を実証する。また、ナノ構造に起因するエバネッセント光-伝搬光変換技術を基に、ナノ構造の最適化により、超高効率な赤色及び黄色発光ダイオード（光取出し効率80%以上）を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・ナノギャップ電極によるメモリ動作に関しては、既存の不揮発性メモリを凌駕する素子としての特徴を追求するため、特に $300^\circ\text{C}$ を超える高温環境下の特性評価を行う。AlGaInP系発光ダイオードについては、反射ミラーの最適化（反射率を97%から99%に改善）、リッジ配置の最適化などにより、光取出し効率80%以上を達成する。また、GaN系LEDについては、本技術の早期実用化を念頭に、円錐台構造の高密度化、リッジ配置の最適化、量産に適した円錐台・リッジ作製技術の開発などを行う。以上により中期目標を達成する。

## 【平成26年度実績】

- ・ナノギャップ電極によるメモリ動作に関しては、既存の不揮発性メモリを遥かに凌駕する $600^\circ\text{C}$ でのスイッチング動作および情報保持を確認した。AlGaInP系

発光ダイオードについては、リッジ構造と比較して微小円錐台構造はさらに強いエバネッセント光の結合効果が期待できることから、AlGaInP微小円錐台の作製技術の開発に取り組み、素子の作製に成功した。また、結晶成長条件の最適化によりLED素子内の結晶品位を内部量子効率として20%から40%へと向上することに成功した。上記技術を取り入れたLEDの外部量子効率および光取出し効率はいずれも薄膜高出力型赤色LEDとして世界最高となる51%および60~70%（低温において）に、それぞれ達した。

## 2-(1)-⑤ 材料、デバイス設計のための高予測性シミュレーション技術の開発

## 【第3期中期計画】

- ・ナノスケールの現象を解明、利用することにより、新材料及び新デバイスの創製、新プロセス探索等に貢献するシミュレーション技術を開発する。このために、大規模化、高速化のみならず、電子状態、非平衡過程、自由エネルギー計算等における高精度化を達成して、シミュレーションによる予測性を高める。

## 【平成26年度計画】

- ・引き続き、磁性材料・超伝導材料・強誘電体/圧電材料などを構成する機能性物質を対象に、電子相関・スピン軌道相互作用などに着目し、手法・プログラムの開発・整備を進め、実際の適用研究を行なう。具体的には、磁石関連材料において、磁気異方性の起源、スピン・軌道磁気モーメントの評価、粒界の構造・電子状態に関わる研究を進める。さらに、最局在ワニエ軌道を用いた強誘電体の自発分極の発現機構の解析、超伝導体やスピン軌道相互作用系の物性解明等を行なう。また、実験研究者との協業で更なるシミュレーションの予測性向上を図る。

## 【平成26年度実績】

- ・新規希土類磁石化合物NdFe<sub>12</sub>Nの磁化・磁気異方性について、構造と希土類イオンの影響を明らかとした。また、最局在ワニエ軌道により有機強誘電体TTF-CAの特異な自発分極発現機構を解明した。単一成分有機超伝導体[Ni(hfdt)<sub>2</sub>]では、超伝導の発現する高圧下での電子状態を求め、三方晶テルルにおいては、特異なスピン構造と圧力下で空間反転対称性の破れたワイル半金属になる可能性を見出した。さらにGaNの格子欠陥における陽電子状態・消滅パラメータを計算し、実験との比較検討により、試料中に存在する欠陥種を同定した。

## 【平成26年度計画】

- ・引き続き、燃料電池の実用化及びリチウムイオン2次電池の高容量化に向けて、金属、半導体、及び酸化物/溶媒界面の電気化学反応、高分子電解質膜内のプロ

トン伝導、などの解析を行う。本年度はこれらの研究の内、特に有効遮蔽媒質法に電極電位一定のシミュレーション手法を導入し、実験と直接比較可能な標準電極電位における計算を行う。また、燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関するシミュレーションを行い、劣化メカニズムを詳細に調べる。

#### 【平成26年度実績】

- 電極電位一定の条件下で分子動力学シミュレーションを行う方法を開発し、有効遮蔽媒質法と組み合わせることにより、電極を標準電極電位にコントロールしたシミュレーションを行った。高分子電解質膜内のプロトン伝導に関し、化学構造とプロトン伝導との相関をシミュレーションから明らかにし、新しい化学構造の提案を行った。燃料電池用高分子電解質膜の化学的劣化に関しては、電解質膜のどの部分が劣化しやすいのかをシミュレーション技術を用いて特定するとともに、劣化しにくい構造の提案を行った。

#### 【平成26年度計画】

- 電荷、熱、物質等の移動に関して非平衡状態にある材料での原子・分子過程のシミュレーション手法（基礎理論やアルゴリズム等）を開発するとともに熱マネジメント材料、エレクトロニクス材料、生体材料などへの適用研究を行う。平成26年度は熱マネジメント材料における輸送、エネルギー交換プロセスモデリング、半導体界面材料の伝導と電圧、電流ドリブン非平衡プロセスモデリング、半導体への異種材料取込モデリング、絶縁体構造モデリング、酵素反応／分子認識過程の高予測モデリング等を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 電荷、熱輸送、エネルギー交換プロセスのモデリングとシミュレーション適用により、熱電素子や有機、無機材料の不揮発性メモリの提案と実証に成功した。第一原理分子動力学計算に向けた時間積分法を開発した。第一原理分子動力学法によりアモルファス  $\text{Li}_2\text{O}$  の構造が  $\text{HfO}_2$  等と同様の2重ランダム充填構造をとることを明らかにした。ダイヤモンド中の窒素-空孔複合体の生成モデルを構築した。天然型／変異型酵素の反応解析を行い、基底／遷移状態の安定性を巧みに制御する事で、タンパク質が酵素活性を持つ事を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ナノ炭素材料を利用した電子デバイス等の開発を加速するシミュレーション、及び炭素材料デバイスの電極用無機材料の電子物性・構造安定性を予測するシミュレーションを実行する。熱的平衡および電子励起を伴う非平衡シミュレーション技術開発、及び溶液中巨大分子の機能予測を可能とする FMO 法を中心とした計算コードを開発する。外部資金や技術研究組合活動に

よる実験的研究との連携を強化し、シミュレーションによりグラフェン改質技術開発等をサポートする。次世代パソコンなどのプロジェクト参画により計算技術の更なる向上を図る。

#### 【平成26年度実績】

- 磁気メモリ低電圧動作のため、磁性材料と  $\text{MgO}$  との中間にグラフェンを入れる構造を提案し特許出願を行った。電子密度汎関数強束縛と FMO を組み合わせ、巨大分子の計算を分子サイズのほぼ1.2乗の計算負荷で数値計算できることを実証した。絶縁物誘電体において簡便なシェルモデルによる誘電率の計算手法を開発し  $\text{KNbO}_3$  や  $\text{BaTiO}_3$  にて誘電率を再現した。近年提案されているリチウムと酸素よりなるダイヤモンド表面被覆構造が、安定で高効率な電界放出を達成できることを第一原理計算より示した。

#### 【平成26年度計画】

- 有機材料・界面における構造形成の動的・静的な性質および光機能・輸送機能について理論・計算による解明を目指す。具体的には、有機薄膜太陽電池や有機半導体の高効率・高性能化のために、それらの構成要素となり得る材料に関して、分子的な秩序と安定な相との関係を計算により明らかにすると共に、光機能・輸送機能の理論解析を行なう。また、分子軌道法、分子動力学法などの手法を用い溶媒和イオン液体中のイオンの相互作用の解析を行い溶媒和イオン液体の安定性の解明を目指す。

#### 【平成26年度実績】

- 多環芳香族分子からなる有機固体について、結晶構造予測法を適用しその有用性を検討した。有機薄膜の伝導特性について、電気伝導度と膜厚が同時に計測できることを理論的に示した。また、溶液からの有機分子の界面吸着については、界面での配向と吸着のダイナミクスを MD シミュレーションと理論により明らかにした。また、リチウムイオンとアニオンとの相互作用の強さがリチウム溶媒和イオン液体中のリチウム-グライム錯体の安定性を支配していることを明らかにし、リチウムイオン電池の電解質に用いる溶媒和イオン液体の設計指針の確立に寄与した。

### 2-(2) ナノチューブ、炭素系材料の量産化技術と応用 (1-4-(2)を再掲)

#### 【第3期中期計画】

部材、部品の軽量化や低消費電力デバイス等への応用が可能なナノチューブや炭素系材料の開発を行うとともに、これらの材料を産業に結び付けるために必要な技術の開発を行う。具体的には、カーボンナノチューブ (CNT) の用途開発と大量合成及び精製技術の開発を行う。また、ポストシリコンの有望な新素材であるグラフェンを用いたデバイスを実現するため、高品質グラフ

エンの大量合成法の開発を行う。さらに、有機ナノチューブについては、合成法の高度化と用途の開発を行う。ダイヤモンドについては、大型かつ単結晶のウェハ合成技術の開発を行う。

## 2-(2)-① ナノチューブ系材料の創製とその実用化及び産業化技術の開発

### 【第3期中期計画】

- ・カーボンナノチューブ（CNT）の特性を活かした用途開発を行うとともに産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術（600g/日）や分離精製技術（金属型、半導体型ともに、分離純度：95%以上；収率：80%以上）等を開発し、キャパシタ、炭素繊維、透明導電膜、太陽電池、薄膜トランジスタ等へ応用する。また、ポストシリコンとして有望なグラフェンを用いたデバイスを目指して、高品質グラフェンの大量合成技術を開発する。さらに、有機ナノチューブ等の合成法の高度化と用途開発を行う。

### 【平成26年度計画】

- ・CNTを用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業等にCNT試料ならびに分散液、CNT複合材料等を提供する。また既に開発済みのスーパーグロスCNT量産技術の低コスト化を図る。特に銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、直径15mm以上のCNT銅複合材料を開発する。eDIPS法単層CNTから(7,5)や(8,6)等のバンドギャップ1eV以上の特定のカイラリティを分取してインク化する技術を開発し、薄膜トランジスタの性能向上とばらつきの低減を図る。

### 【平成26年度実績】

- ・CNTを用いた複合材料や各種デバイスの産業応用を実現するために、引き続き企業にCNT試料ならびに分散液、CNT複合材料等を20件提供した。微粒子を基材に用いるスーパーグロスCNT量産技術を開発し、低コスト化を可能にした。銅を用いた複合材料の量産技術開発を行い、4センチ角のCNT銅複合材料を開発した。イオン交換クロマトによる分離技術を利用してeDIPS法単層CNTから(7,5)等のバンドギャップ1eV以上の半導体性カイラリティの分離・インク化に成功した。

### 【平成26年度計画】

- ・CNT品質管理に資するCNTネットワーク構造、凝集状態計測法の開発と確立を行う。また、CNTの医療産業応用を目指し、CNT近赤外蛍光プローブをもちいた疫病検査への適用、CNT材料の安全性試験などを行う。コンタクトレンズ等への用途開発を目指し、これまでに開発した有機ナノチューブ群を様々なポリマー材料と複合化したプロトタイプを開発し、それら

の物性やゲストの放出・吸着などの性能評価を行う。

### 【平成26年度実績】

- ・CNTネットワーク構造、凝集状態計測法として、それぞれ発熱経路観測、遠心沈降法の有効性を確立した。高発光収率CNT近赤外蛍光プローブを開発し、腫瘍状態を診断する動物実験に適用した。近赤外吸収法によるCNTの生体取り込み量の定量的計測法を開発した。内表面に正あるいは負電荷をもつ有機ナノチューブをアクリレート系ゲルやアガロースゲル、ゼラチンゲルと複合化し、これら複合材料が物理的強度、光透過性、薬物徐放性に優れていることを明らかにした。

### 【平成26年度計画】

- ・1) マイクロ波プラズマCVDの条件最適化、基板表面処理技術、高性能ドーピング技術、高品質転写技術などの開発により、静電容量タッチパネル等への応用を目標に、グラフェン透明導電フィルムのさらなる性能向上とA4サイズを目標とした大量合成基盤技術の開発を行う。2) ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した用途開発（SOD基板、等）を行う。

### 【平成26年度実績】

- ・1) プラズマCVD法の条件最適化、基板表面処理技術の高度化によりグラフェン成長初期段階の詳細観察を可能とし、これに基づいて結晶性の向上（結晶サイズの10nm程度から100nm程度への拡大）、および層数制御性の向上（3層以下の制御が可能）を達成した。さらに原子層グラフェンの転写技術およびドーピング技術の向上により、透過率95%（2層）でシート抵抗130Ωと、導電性とフレキシビリティの向上を達成した。2) ナノ結晶ダイヤモンド薄膜を利用した新規放熱型電子デバイス用基板であるシリコンオンダイヤモンド基板（SOD）について、低温での直接の張り合わせによる作製技術を開発した。

### 【平成26年度計画】

- ・中期計画目標達成を踏まえ、単層CNTを金属型と半導体型に高純度かつ大量に分離する技術の確立に向けて、さらなる基盤技術の開発を行う。特に半導体型単層CNTの応用には、99%を超える高純度の半導体型CNTが必要とされることから、その効率的な分離手法の確立を行う。高純度で良質な半導体型CNTを用いて、塗布型の薄膜トランジスタを作成し、移動度100cm<sup>2</sup>/Vs以上のデバイス実現を目指す。分離した金属型・半導体型CNTを用いた新たな用途を探索する。

### 【平成26年度実績】

- ・単層CNTの金属型と半導体型の大量分離技術開発において、カラム分離条件の再検討によりフラーレンの直径よりも細い(5,4)CNTの分離に成功したほか、多くの種類の単一構造半導体型CNTの単離を実現し

た。これらの単一構造 CNT で半導体純度99%を達成した。また、簡便で大量分離も可能な鏡像体 CNT（右巻き・左巻き）の分離法を開発した。長尺半導体型 CNT の分離にも成功し、本 CNT を用いた薄膜トランジスタで世界最高レベルの性能（移動度106 cm<sup>2</sup>/Vs、on/off 比10<sup>5</sup>以上）を得た。

## 2-(2)-② 単結晶ダイヤモンドの合成及び応用技術の開発

### 【第3期中期計画】

- ・次世代パワーデバイス用ウェハ等への応用を目指して、単結晶ダイヤモンドの成長技術及び結晶欠陥評価等の技術を利用した低欠陥2インチ接合ウェハ製造技術を開発する。

### 【平成26年度計画】

- ・ダイヤモンドウェハの製造技術を高度化(均一プラズマ発生、低窒素添加、研磨損傷層の除去)し、2インチ級ウェハを種結晶とし、結晶欠陥の発生が少ないエピタキシャル成長と成長層の分離を基本技術とする製造方法を実証する。

### 【平成26年度実績】

- ・結晶方位が品質に与える影響を明確化して最適値を見出すと共に、プラズマシミュレーションと実験結果との比較から、基板温度分布が成長速度の均一性を左右することを突き止め、2インチ大のウェハを再現よく作製できる条件を明確化した。種結晶の欠陥評価・選別技術を開発するとともに、低窒素濃度域での結晶成長条件の最適化を行った。深いエッチングにより研磨損傷層を除去した低欠陥種結晶から、部分的に世界トップレベルの転位密度400個/cm<sup>2</sup>を有する低欠陥コーウェハを合成することに成功し、2インチ低欠陥ウェハ製造技術を実証した。

## 2-(3) 省エネルギー性に優れたマイクロ電子機械システム製造技術（I-5-(4)を再掲）

### 【第3期中期計画】

産業分野の省エネルギー化や環境負荷低減に貢献するマイクロ電子機械システム（MEMS）製造技術の開発を行う。具体的には、高機能な MEMS を安価に生産するための大面積製造技術の開発を行う。また、バイオ、化学、エネルギーといった異分野の MEMS デバイスを融合及び集積化する製造技術の開発を行う。さらに、安全・安心や省エネルギー社会実現に貢献する MEMS デバイスを利用したユビキタスシステムの開発を行う。

## 2-(3)-① 高集積、大面積製造技術の開発

### 【第3期中期計画】

- ・高機能で安価かつ大面積での MEMS 製造技術を開発する。具体的には、100nm より微細な3次元構造体を

メートル級の大きさにわたり、低コストかつ低環境負荷でレジストや金属メッキ構造体、多結晶シリコン材料等を用いて MEMS を量産するための基盤技術を開発する。

### 【平成26年度計画】

- ・大面積 MEMS 加工プロセスや新規 Ne ビーム利用表面活性化常温接合技術等を利用して宇宙用 MEMS への応用を図る。光硬化型ブロック共重合ポリイミドを利用する低温ナノインプリント技術を利用して光導波路等の微細光学素子への展開を図る。ナノインプリントによる大面積加工のためのロールモールド作製の基盤技術を開発する。

### 【平成26年度実績】

- ・宇宙用 X 線望遠鏡作製のための大面積 MEMS 加工プロセスとメッキ応力によるウェハ湾曲制御技術を開発した。Ne ビームによる表面活性化および犠牲層膜リフトオフ法による超平滑表面により常温での MEMS 気密封止接合を実現した。光硬化型ブロック共重合ポリイミドに光導波路とレンズやミラー構造を一括成型する低温ナノインプリントプロセスを開発し、100nm 幅のサブ波長構造の形成にも成功した。マスクレス露光装置にロールを搭載し直接描画する手法を検討し、直径100mm で幅300mm のロールモールド作製に適用できることが分かった。

## 2-(3)-② ユビキタス電子機械システム技術の開発

### 【第3期中期計画】

- ・安全・安心や省エネルギー社会に資するユビキタスマイクロシステムの実現のために、バイオ、化学、エネルギー等異分野のデバイスを融合、集積化した MEMS デバイスを製造するための技術及び低消費電力かつ低コストな MEMS コンポーネント製造技術を開発する。具体的には、数ミリメートル角以内の通信機能付きセンサチップを試作し、オフィス、クリーンルーム等の製造現場の消費エネルギーを10%削減するためのシステム技術を開発する。

### 【平成26年度計画】

- ・フレキシブル MEMS コンポーネントの過酷条件下における信頼性を向上する加工技術を開発し、無線センサ端末製造へ適用する。3mm 角程度の通信機能付き温湿度センサチップを搭載したフレキシブル電力センサ端末と、数シンボルでの超短電文通信が可能な受信機を開発し、超低消費電力センサネットワークシステムを実現する。環境情報と消費電力量を統合した電力プロファイリングシステムを活用して、製造現場等の省エネ10%実証実験を実施する。

### 【平成26年度実績】

- ・パーマロイフィルムに50μm 以下幅のコイル構造を形

成する製造技術を開発し、電流400A、曲率半径1mm以下の過酷条件下に対応する、電池レス無線通信機能付きフレキシブル電力センサ端末を実現した。また、6シンボルでの超短電文通信が可能な、3mm角通信機能付きチップと受信機を実現した。温湿度センサ端末等から得られる環境情報と、消費電力量とを統合した電力プロファイリングシステムを、小規模店舗網やクリーンルームに適用し、消費エネルギーを2,000店舗平均で2年間で10%削減できることを示した。

### 3. 情報通信基盤を利用したサービス生産性の向上と新サービスの創出への貢献

#### 【第3期中期計画】

我が国のサービス産業を活性化させるために、既存のサービスの生産性を向上させると同時に、新サービスの創出に貢献する技術の開発を行う。サービス生産性を向上させるために、サービスプラットフォームの整備、科学的手法の導入、ロボット化の推進を行う。また、複数の既存技術を融合させ、新サービス創出を目指す。

#### 3-(1) 科学的手法に基づくサービス生産性の向上

##### 【第3期中期計画】

科学的手法によりサービス生産性を向上させるために、サービス利用者及び提供者の行動を理解した上で、必要な情報の現場におけるセンシングと、得られた大規模実データのモデリングによる利用者行動のシミュレーションを基に、サービス設計を支援する基盤技術と導入方法論の開発を行う。また、サービス工学基盤技術については、10以上の業種や業態において25件以上の組織へ導入することを目指し、サービスの幅広い選択を可能にする技術の開発を行う。

#### 3-(1)-① サービス最適設計ループ構築のためのサービス工学基盤技術

##### 【第3期中期計画】

- ・サービス生産性向上を目的とし、サービス利用者及び提供者の行動を理解した上で、必要な情報を現場でセンシングし、得られた大規模実データをモデリングして利用者行動をシミュレーションすることで、サービス設計を支援するサービス工学基盤技術と導入方法論を開発する。再現性が検証された方法を確立し、共同研究等により、10種以上の業種や業態において25件以上の組織への開発技術の導入を図り、その一般化と普及を目指す。

##### 【平成26年度計画】

- ・網羅的社会シミュレーション技術の並列実行制御性を向上させ、公共交通等の現場での実証を行う。大規模実データに基づいたサービス利用者行動計算モデル化

技術を文脈性に関して高度化し、導入方法論を含め現場において検証する。介護等のチーム連携業務品質を現場主体で向上可能とするモノ・コトづくり支援技術を開発する。サブメートル級広域屋内測位技術及び省電力型行動計測技術を開発する。遠隔でのセンサ情報解析に時系列モデルを導入し農業等での検証を進める。既達成の10業種25件の技術導入については継続して普及促進を進める。

##### 【平成26年度実績】

- ・網羅的社会シミュレーション技術の並列実行制御を実現し、公共交通システム評価等4地域で実証実験を行った。顧客ID付き大規模実データから文脈・空間・利用者関係モデルを自動生成する高度化を実現し、商業施設に適用した。業務ログ情報を収集し現場主体のモノ・コトづくりを支援するシステムを構築、介護施設に導入した。1m以下の精度で屋内測位する技術において、計算量削減とチップ化により消費電力を98%削減した。遠隔センサ情報を時系列モデル化し、農地土壌化学成分の時間変化を可視化した。開発技術を7組織へ導入した。

#### 3-(1)-② サービスの幅広い選択を可能にする技術

##### 【第3期中期計画】

- ・公共性の高いサービス等が安全かつ標準的に利用できる環境の実現を目的として、利用者が自分自身で個人情報管理でき、サービスの内容や価値に応じて複数のサービスが連携できるような標準的な技術を開発する。このサービスフレームワークの有効性を行政や医療や研究等の5種類のサービスにおいて実証する。

##### 【平成26年度計画】

- ・利用者自身が個人情報を管理する技術を、ヘルスケアサービスや住民情報を用いた行政サービスの構築や学会等の研究コミュニティ支援に応用する方法を明らかにし、これまでに実現してきたものを含めて5つ以上のサービスでその有効性を検証する。

##### 【平成26年度実績】

- ・平成26年度は、1)介護施設におけるデータ活用シナリオの同定、2)自治体における個人情報を用いた行政サービスの構築と運用、3)学会活動でのソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)の活用事例の検討、を行った。それぞれについて、企業や自治体との共同研究を通じて、対応するサービスの設計や実装を行い、昨年度までに実現した「太陽光発電における発電量を監視するサービス」と「各個人利用者が本人のコンテンツを管理するSNS」に、新たに「介護記録を介護機関と家族で共有するサービス」と「住民の個人情報を利用した行政サービス」と「ユーザー参加型の学会サービス」を加えた合計5つのサービスについて、開発した個人データ管理技術が有効であることを

確認した。

### 3-(2) 高度情報サービスプラットフォームの構築

#### 【第3期中期計画】

サービス生産性を向上させるために、利用者の利便性及び生産性とサービス提供者の資源利用効率を共に高めるクラウド型プラットフォームの開発を行う。また、スケーラブルな知識基盤を構築しうるミドルウェアの開発を行い、地球科学や生命情報科学等の E-Science 分野において10ペタバイト（10の16乗）程度のデータを対象とした実証実験を行う。

### 3-(2)-① クラウドの適用範囲を広げるミドルウェア技術

#### 【第3期中期計画】

- ・クラウド型情報インフラをより広い用途に適用可能にするために、個々の利用者に提供される仮想インフラに専有ハードウェアと同等の利便性を持たせ、さらに負荷に応じて再構成可能とする技術を開発する。具体的には、仮想インフラの性能保証方式、仮想インフラの資源利用状況モニタリング技術、管理組織にまたがる仮想インフラ動的再構成技術を開発する。開発された技術が10以上の複数管理組織から提供される10,000以上の資源にまで適用可能であることを示し、高精細映像配信等の応用で動作を確認する。

#### 【平成26年度計画】

- ・クラウド型情報インフラをより広い用途に適用可能にするために以下の研究開発を行い、平成25年度までに達成した10組織、1万資源の管理が可能な資源管理技術と合わせて中期計画を達成する。1) ネットワーク資源管理インタフェース標準化を引き続き推進し、インタフェースの枠組みを拡張して異種資源を管理する仕組みに拡張する。2) ビッグデータプラットフォームを構築し、解析ミドルウェアを実装して、ビッグデータ処理の実践を行う。3) 複数クラウド間の連携資源管理を用いて、クラウドサービス（IaaS）を遠隔地のデータセンターに移動して継続実行する技術の開発を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・クラウド型情報インフラをより広い用途に適用可能にするために以下の研究開発を行った。1) ネットワーク資源管理インタフェースの標準化を達成するとともに、インタフェースの枠組みの異種資源管理への拡張を行った。2) ビッグデータプラットフォームとしてリアルタイム解析と大規模機械学習に基づく解析機能を実装し、衛星画像、放射線データに対する有効性を示した。3) IaaS クラウドサービスの遠隔データセンターへの移動を可能にするインタークラウド資源管理システム Iris の機能拡張設計を行った。

### 3-(2)-② スケーラブルな知識基盤を構築するサービス指向ミドルウェア

#### 【第3期中期計画】

- ・サービスの高度化、大規模化を支えるスケーラブルな情報処理基盤の実現を目的として、データ所在の仮想化やメタデータの付与等により、分散したエクサバイト（10の18乗）級のデータを構造化できるデータ統合ミドルウェアを開発する。地球科学や生命情報科学等の E-Science 分野において10ペタバイト（10の16乗）程度のデータを対象とした実証を行う。成果普及のための国際標準を提案する。

#### 【平成26年度計画】

- ・中期計画最終年度として大規模な実験を行って方式と構築したソフトウェアを改良、最終的な実用性を確認する。大規模なデータ連携を実現すべく、産総研のデータを中心とした公的機関の科学データのオープンデータ化・LOD化を進め、現状の LOD（300億レコード）を含め実データ、メタデータ合わせて10ペタバイト程度のデータセットを対象とする実証実験を行って、検索の応答速度など利便性を検証する。提案済みの国際標準については実装の普及を継続する。

#### 【平成26年度実績】

- ・スケーラブルな情報処理基盤の実現を目的としたデータ統合ミドルウェアの方式・実装について改良を行った。産総研のデータを中心とした公的機関の科学データの LOD 化を進めると同時に、LOD（約300サイト・300億レコード）上で数組織（約1億レコード、データ、メタデータ合わせて約10ペタバイト）の連携を想定したデータ統合検索の実証実験を実施、検索の応答速度と結果の品質を検証して最終的な実用性を確認した。OGC の技術委員会の東京共催、日本フォーラムの設立など提案済みの国際標準の普及に努めた。

### 3-(3) サービスの省力化のためのロボット化（機械化）技術

#### 【第3期中期計画】

ロボットの導入により、サービス産業の生産性と品質向上を目指す。また、人の QOL を向上させるために、人の生活行動や操作対象のモデル化技術、ロボットの自律移動技術やロボットによる物体の把持技術、ロボットと人とのインタラクション技術の開発を行う。特に、生活支援ロボット基盤技術として1日の人の行動様式の50%以上、数十平方メートルの生活環境の80%以上、操作対象を30個以上記述可能な人間観察モデル化技術の開発を行う。

### 3-(3)-① QOL 向上のための生活支援ロボット基盤技術

#### 【第3期中期計画】

- ・自律性の高い生活支援システムの社会導入に向けて、1日の人間の生活行動の50%以上、数十平方メートルの生活環境の80%以上、操作対象を30個以上記述可能な人間観察モデル化技術を開発する。高齢化社会における QOL 向上を目指し、家庭や施設等における実用レベルの生活支援ロボットを開発する。具体的には、家庭や施設等での行動解析に基づき必要となる支援サービスを定義し、屋内のあらゆる地点で精度5cm 以内の精度を有する屋内移動技術、15種類以上の日常生活用品を対象とした物体把持技術、予備知識を必要としない高齢者とのインタラクション技術等を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・人間の追跡手法を人体モデルと時系列センサーデータのマッチングを利用した隠れに頑健な手法に改善し、現状で50%程度の観察率を80%程度まで向上させる。地図作成手法において、未知領域を積極的に観測する手法を開発し、現状で数十平方メートルの生活環境で80%程度の記述能力を90%以上に向上させる。操作対象のモデル化技術として、物体の位置姿勢認識手法の特徴量検出器を改善し、現状で50個の識別能力を100個程度に向上させる。

## 【平成26年度実績】

- ・人体モデルと時系列距離センサーデータのマッチングを利用した隠れに頑健な人間の追跡手法を開発し、観察率を80%まで向上させた。地図作成手法において、ロボットの移動により未知領域を観測、補完する手法を開発し、50平方メートルの環境の90%の地図作成を実現した。操作対象のモデル化技術として、物体を捉えた画像からの特徴検出手法を改善したことで、総計110個の操作対象の識別を実現した。

## 【平成26年度計画】

- ・施設や家庭で用いる実用的な支援ロボットの要件を5種類以上定義し、その有用性に関する評価項目を確立する。また、介護業務を分析するための記録ツールを開発し、介護施設にて支援ロボットの評価に利用する。またこれまでに開発した介護保険レセプトデータベース、および機器のデータベースを利用して、支援機器の利用の効果を分析する。

## 【平成26年度実績】

- ・屋外歩行支援、移乗支援、入浴支援など8種類の介護ロボットの有用性を評価するための評価項目（機械的要件）を策定し、企業が開発する約50種類のロボットの評価を行った。また、その効果評価に用いるためのスマートフォンを用いた介護記録ツールや被介護者の動作を模擬する人型ロボット等を開発した。さらに、介護保険レセプトに関して全国規模のデータベースを構築し、既存の福祉機器の利用状況について様々な因

子との関係の分析を行った。

## 3-(3)-② サービス産業のためのロボット自律移動技術【第3期中期計画】

- ・サービス産業を省力化するためのロボット基盤技術を開発する。具体的には、人間と協働する搬送や清掃等のサービスロボットを安全に運用するための機能安全国際規格 SIL に適合可能なビジョンセンサ技術、土木や農業等の屋外移動作業システムを精度20cm 以内で高精度移動制御する技術等を開発する。

## 【平成26年度計画】

- ・ビジョンセンサ技術については、安全センサの国際規格 IEC61496を屋外に拡張した試験方法を開発し、各種ビジョンセンサを用いた光干渉試験、視程低下試験を、ISO13482の環境認識性能試験として提案する。土木・農業・鉱山等の屋外移動作業システムについては、経路の移動制御においても精度20 cm 以内を実現し、作業計画に応じた移動制御との組み合わせにより、作業と連動した高精度な移動制御を実現する。

## 【平成26年度実績】

- ・ビジョンセンサ技術については、パターン光投影を用いた3次元計測システムを小型化し、ヒューマノイド型ロボットに搭載した状態での計測を実現した。また安全センサの国際規格 IEC61496を屋外に拡張した試験方法を開発し、各種ビジョンセンサを用いた光干渉試験、視程低下試験を、ISO13482の環境認識性能試験として提案した。屋外移動作業システムについては、建設機械の自律移動技術として最大誤差20 cm 以内で経路の移動制御を実現し、また海底熱水鉱床の掘削や災害調査システム開発のための傾斜地での移動・掘削制御、および掘削後の堆積形状の変化のシミュレーション技術を開発した。

## 3-(4) 技術融合による新サービスの創出

## 【第3期中期計画】

既存の技術を融合させることで新サービスの創出を目指す。具体的には、メディア処理とウェブでのインタラクションの融合によるコンテンツサービス、情報技術と災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査等の技術を融合した地理空間情報サービス、メディア技術とロボット技術の融合による新たなサービスの創出を目指す。特に新サービス創出のためのヒューマノイド技術として、ヒューマノイドロボットによる段差1cm、傾斜2度以上の凹凸のある床面の平均時速3km 以上の歩行を実現する。

## 3-(4)-① メディア処理技術とインタラクション技術を融合したコンテンツサービス創出、利活用技術

## 【第3期中期計画】

- ・コンテンツを一層身近で手軽に活用、創造できる新サ



ービスを創出するために、ユーザによるコンテンツ利活用を促すインタラクション技術と、コンテンツの生成、加工、認識、理解等を可能にするメディア処理技術を高度化し、融合する。具体的には、ユーザを対象とした実証実験等を通じて、コンテンツの検索、推薦、鑑賞及び制作、エンタテインメント、ユーザインターフェース等に関する融合技術を開発し、新サービスを3種以上創出する。

#### 【平成26年度計画】

- ・新サービス創出に向けてインタラクション技術とメディア処理技術を活用した以下の研究開発を行う。1) ユーザ貢献活用型ソーシャルコンテンツ技術に関して、コンテンツに関する Web 上のサービスの研究開発を継続して実証実験と機能改良を実施する。2) 音楽情報処理技術に関して、音楽に関する Web 上のサービス等の研究開発を実施し、音楽信号に加えそれ以外のモダリティも扱えるマルチモーダルな音楽技術、歌声の多様さを考慮した歌声情報処理技術等を開発する。3) コンテンツの編集等に関連したインタラクション技術を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・新サービス創出に向けてインタラクション技術とメディア処理技術を活用した以下の研究開発を行った。1) コンテンツに関する Web 上のユーザ貢献活用型サービスの研究開発を継続して、一般公開による実証実験と可視化機能の強化等の機能改良を実施した。2) Web 上の能動的音楽鑑賞サービス Songle の外部連携機能強化によって、マルチモーダルな音楽技術として音楽連動ロボット制御を可能にしてプレス発表し、歌声の多様さを考慮した類似度推定技術等を開発した。3) 歌詞に関するコンテンツの編集等を容易にするインタラクション技術を開発した。

### 3-(4)-② 地理空間情報の高度利用技術と新サービス創出

#### 【第3期中期計画】

- ・地理空間情報の新サービスを創出するため、多種多様な地理空間データへの統合的アクセスサービス等の基本サービス群を開発し、整備する。さらに応用システムの構築を容易にするための再利用可能なミドルウェアを開発し、提供する。これらにより、災害軽減、危機管理、環境保全、資源探査等に関する応用システムを4件以上構築し、実証実験を実施する。

#### 【平成26年度計画】

- ・衛星画像・現地観測統合システム (SFI) は生物多様性および放射線モニタリングへの展開を進める。放射線モニタリングについては放射線データを API で提供し、他の環境モニタリングデータとの重ね合わせが

容易に実現されることを目指す。これにより、SFI を用いた放射線モニタリングデータ解析システムを開発し、構築済みの4件に加え5件目の応用システムとする。Lavatube は機能部品を増やし、安全セキュリティやユーザ管理の機能を実現して広くサービス提供する。

#### 【平成26年度実績】

- ・SFI については、オサムシの分布に適用して生物多様性モニタリングでの有効性を確認するとともに、放射線モニタリングデータを API で提供し、積雪や土壌など他の環境情報との重ね合わせが容易に実現できることを実証した。Lavatube は機能部品を25個増やし、セキュリティやユーザ管理の機能を実現して共同研究先の企業経由で広く自治体、地図会社の利用者にサービス提供してフィードバックを得た。

### 3-(4)-③ 新サービスの創出のためのヒューマノイド基盤技術

#### 【第3期中期計画】

- ・ヒューマノイド技術を活用した新サービスの創出を目的として、メディア技術との融合によりコンテンツ産業を支援するロボットサービス、人動作解析技術等との融合による人動作模擬サービス等を創出するヒューマノイド基盤技術を開発する。具体的には、全身動作、表情及び音声を統合した振舞の生成、段差1cm、傾斜2度以上の凹凸のある床面の平均時速3km 以上の歩行、簡易な指示による未知環境の移動や簡易作業、高齢者等の人動作の模擬等を実現する技術を開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・中期計画は概ね達成しているため、より社会からの要請の高い東京電力福島第一原子力発電所廃炉に貢献する技術開発を行う。ヒューマノイド技術を活用した災害対応サービスの基盤となる、通信の速度制約や遅れ、自然光を含む現実に近い条件下において、簡易な指示により作業を実現する技術を開発する。人動作模擬サービスの一例として、表面形状の時間変化を含む正確な人動作の理解技術と、動力学制約を考慮したヒューマノイドの人動作再現技術を開発し、高齢者等の人動作模擬を実現するとともに、これに基づく支援機器の評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・廃炉作業での利用を目指し、小型で通信機能を備えた1 kGy/h まで計測できる高線量率対応線量計を開発した。自然光に強いセンサで計測された環境データを用いた認識・計画機能により、速度制約100 kbps, 遅れ1s という通信条件下でも、最小限の指示でバルブ操作等を実現できる技術を開発した。異なる体型・姿勢に対する表面形状を高精度かつ効率的に生成する手法、人の動作解析・ヒューマノイドの動作再現・両身体間

の写像を同時に行う手法を開発し、高齢者を含む人動作模擬を実現し移乗支援機器の評価に適用した。

### 3-(5) 情報基盤における安全性や信頼性の確立

#### 【第3期中期計画】

情報システム製品のセキュリティ評価技術を確立するために、情報システムにおける事故を未然に防ぐとともに事故が起きても被害の拡大を防ぐセキュリティ対策技術、情報基盤自体を高信頼なものにするための検証法や開発支援ツール及び情報基盤の安全性評価に関する技術の開発を行う。特に、情報システムの高信頼、高安全及び高可用化技術において、基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対するテストケース自動生成技術の開発を行う。

#### 3-(5)-① 情報システム製品のセキュリティ評価技術 (IV-3-(1)-⑥へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

・IC カードに代表されるハードウェアや基幹ソフトウェア等、情報システムの中核をなす製品の脆弱性分析や安全性評価に関して、現行の制度、標準や新たな評価制度を見据えた技術を開発する。また、当該技術等について、我が国の電子政府推奨暗号評価等での活用を実現する。さらに、それらの技術等を実システムに組み込み可能な暗号ライブラリに適用し、安全性検証済みライブラリとして公開する。

##### 【平成26年度計画】

・サイドチャンネル攻撃について、種々の攻撃条件に対する解析実験を進め、漏洩メカニズムの解明を行う。また、様々に提案されている攻撃方法を評価ツールに組込む。さらに、電磁波解析のツール化を進める。

・PUF の構成手法、符号生成手法の研究開発を進め、利用方法に適した構成方法の研究を行う。また、多数のデバイスを用いて PUF の実用性・安全性検証を進める。

##### 【平成26年度実績】

・市販 MPU の AES 暗号回路および暗号 LSI の RSA 暗号回路について、対応するサイドチャンネル攻撃機能を評価ツールに組み込み、予測したメカニズムによって鍵情報が漏洩することを解析実験で示した。また、携帯電話の暗号処理を対象とした電磁波解析ツールの遠方電磁界測定部を試作した。PL-PUF について構成回路実装モデルや符号生成手法の検討を行い、実チップを試作した。自動検証システムを改良し FPGA 実装 PUF デバイス120個の実用性・安全性に関する諸特性を数値化し他方式に対する得失を評価した。

##### 【平成26年度計画】

・セキュリティシステムや情報セキュリティに必要な形

式仕様・定理証明などに関係した研究を推進する。C 言語とアセンブリ言語が混在する組込みプログラムの実装を検証するため、言語間の連携と関数の形式化を行う。また、平成25年度に構築した情報理論の形式検証基盤を用いて、LDPC 符号の形式検証を開始する。具体的には、形式検証基盤を洗練して公開し、LDPC 符号の MAP 復号の健全性の形式化を行う。さらに、データベースや鉄道システムなどの実システムに形式手法を適用し、基幹システムの安全性向上のために形式手法技術を展開する研究、その他を推進する。

##### 【平成26年度実績】

・C 言語とアセンブリ言語間の連携と関数の形式化について、言語間連携の形式化に着手するとともに、暗号プロトコル TLS の解釈関数の形式検証に適用し実プログラムに適用できることを確認した。LDPC 符号の形式検証について、形式検証基盤を洗練し、知財化してプログラムとして外部公開した。また、MAP 復号の実装アルゴリズムである sum-product 復号の健全性の形式化を完成した。形式手法の適用については、JR 東日本と共同で設計中の鉄道保安装置の形式化と検証を行った。

#### 3-(5)-② 情報システムの高信頼、高安全、高可用化技術 (IV-3-(1)-⑦へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

・情報システムの形式モデルベーステストによるケース自動生成技術を開発してシミュレーション技術への統合を図り、実社会の基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対して、技術の有効性を検証する。さらにシステムの設計、開発、試用、改変、譲渡、廃棄までのライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法のガイドラインを策定し、評価技術を開発する。また、設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援するツールチェーンを開発する。

##### 【平成26年度計画】

・テスト設計・実行ツールのさらなる技術改良と普及のための活動を継続するほか、テスト・設計記述の共通化・汎用化へ向け、SysML など汎用記述言語との相互運用の検討を進める。高回復マイコンの上で動作する応用ソフトウェアの信頼性を向上させるため、プログラミング言語理論など周辺技術の応用・適用へ向けた検討を進める。引き続き保証技術の OMG 規格化へむけ、提出した規格原案の議論への対応など、安全性関係規格の標準化への貢献を引き続き進める。

##### 【平成26年度実績】

・テスト設計支援ツール FOT を機能拡充・高速化し、車載機器のテスト設計へ実適用した。テスト設計記述の汎用化については、より根本からの記述手法が必要とわかり、要求記述レベルから安全とセキュリティに

関する要件の記述を統一に扱う手法を開発した。また、高信頼マイコン向け応用ソフトの自動変換については、入出力動作に着目したプログラムスライシング等の理論の実システムへの適用へ向け、技術開発規模・手法等を共同研究先と検討した。消費者機械の安全性関係規格は、OMG規格策定の最終段階に進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」を開発するために以下を行う。1) 筑波大学大学院 PBL 演習用のプロセス展開パッケージリリース版とそれに準拠したプロセスアセスメントキットを開発する。2) 上記の展開パッケージとプロセスアセスメントキットの妥当性確認を行う。可能であれば筑波大学の協力を得る。3) Basic Profile 用展開パッケージのリリース版を開発し、PBL 用展開パッケージ・プロセスアセスメントキットと合わせて Web で公開する。

#### 【平成26年度実績】

- ・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」の開発のため、1) 筑波大学大学院 PBL 演習用のプロセス展開パッケージリリース版とそれに準拠したプロセスアセスメントキットを開発した。2) 昨年度の演習経験者に対するアンケート調査と本年度 PBL 演習中のアセスメントによって、上記の妥当性確認を行った。3) Basic Profile 用展開パッケージのリリース版を開発し、PBL 用展開パッケージ・プロセスアセスメントキットと合わせて Web で公開した。

### IV. イノベーションの実現を支える計測技術の開発、評価基盤の整備

#### 【第3期中期計画】

イノベーションの実現と社会の安全・安心を支えるために必要な、基盤的、先端的な計測及び分析技術並びに生産現場に適用可能な生産計測技術の開発を行う。また、信頼性ある計測評価結果をデータベース化し、産業活動や社会の安全・安心を支える知的基盤として提供する。さらに、製品の安全性や適正な商取引、普及促進に必要な製品やサービスの認証を支える評価技術の開発を行い、試験評価方法の形で提供するとともにその標準化を行う。

#### 1. 技術革新、生産性向上及び産業の安全基盤の確立のための計測基盤技術

#### 【第3期中期計画】

先端的な技術開発を支援するために必要となる分解能、応答性に優れた材料計測、解析、評価技術及び安全の基

盤として必要な構造物診断技術等の計測、解析、評価技術の開発を行う。また、それらの産業界への普及と標準化を行う。さらに、製品の品質と生産性を高めるうえで重要な、生産現場で発生する計測にかかわる技術の開発を行うとともに、開発した計測、解析、評価技術を統合し、現場に直接適用可能な計測ソリューションの提供を行う。

#### 1-(1) 産業や社会に発展をもたらす先端計測技術、解析技術及び評価基盤技術

#### 【第3期中期計画】

産業や社会に発展をもたらす先端的な技術開発を支援する計測、解析、評価技術の開発を行う。具体的には、有機材料、生体関連物質における分子レベルの評価に必要な計測技術の開発を行う。また、ナノレベルからマクロレベルにわたり俯瞰的に材料の構造と機能を評価できるナノ材料プロセス計測及び解析技術の開発を行う。さらに、安全性及び信頼性評価における基盤技術として必要な、構造物診断を可能にする計測、解析及び評価基盤技術の開発を行う。これらの成果を、技術移転等を通じて産業界に普及させる。

#### 1-(1)-① 有機・生体関連ナノ物質の状態計測技術の開発

#### 【第3期中期計画】

- ・社会的に関心の高い有機又は生体関連物質等ナノ物質を評価するために、飛行時間型質量分析法による分子量測定、円二色性不斉分子の分析等による分子構造解析、分子イメージング等の計測技術を開発し、8件以上の技術移転を実施する。

#### 【平成26年度計画】

- ・ライフイノベーション関連の計測分析技術開発を行う。
- 1) 1 cm 角超伝導検出器と単一磁束量子回路と接続した分子検出装置の構築、イオン液体ビーム SIMS での生体関連試料への適用 ( $m/z$  1000 以上) の実証、植物試料を対象にした質量イメージングデータ解析法の拡充を実施する。
- 2) 多試料計測自動化マイクロビーム真空紫外 CD 計測システム、溶媒計測用 THz イメージング分光装置、干渉法 LCS-X 線装置を開発・実証する。
- 3) 対照群を用いてマクロファージ TLR4 産生の免疫組織学的解析の有効性を示す。

#### 【平成26年度実績】

- ・ライフイノベーション関連の計測分析技術開発を行った。
- 1) 超伝導検出器と単一磁束量子回路の接続による生体分子の質量分析、およびイオン液体ビーム SIMS による  $m/z$  1000 以上の計測に成功した。植物の質量イメージングデータ解析ソフトウェアを開発した。

- 2) 試料の自動交換真空紫外 CD 測定装置と HSA タンパク水溶液の THz イメージング分光装置の開発、およびタルボ干渉 LCS-X 線装置の開発とモアレ縞測定に成功した。
- 3) 陽性陰性対照群のマクロファージ TLR4産生解析によるナノ粒子の有害評価を実証した。

1-(1)-② ナノ材料プロセスにおける構造及び機能計測並びにその統合的な解析技術の開発

【第3期中期計画】

- ・ナノ材料・デバイスの広範なスケールにおける構造及び機能に関する計測技術の開発及び多変量解析等の情報の統合的な解析技術を開発する。サブナノメートルからミリメートルオーダーの機器分析情報の中から、二つ以上のスケールの情報を統合し構造と機能の関係の定量化技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・グリーンイノベーション関連の計測分析技術開発を行う。
- 1) 温度湿度環境制御下での陽電子欠陥計測、LED 用半導体に含まれる微量軽元素の X 線吸収分光測定、顕微分光計測を融合した実デバイス顕微分光計測を実現する。
  - 2) フェムト秒位相制御レーザー場フーリエ合成の制御手法を確立する。また、レーザー共鳴イオン化同位体分析やフェムト秒渡過吸収分光測定を高感度化する。
  - 3) 軽元素含有単結晶構造解析評価法構築のための原子欠陥量の精密推定手法、多階層の計測値やマップ情報間の相関解析手法を確立する。

【平成26年度実績】

- ・グリーンイノベーション関連の計測分析技術開発を行った。
- 1) 高分子薄膜の温度湿度環境制御下での陽電子欠陥計測、LED 用半導体に含まれる Mg 等の X 線吸収分光測定、実デバイス顕微分光のためのレーザー励起光電子放出と検出に成功した。
  - 2) 3色のフェムト秒位相制御レーザー場フーリエ合成の制御手法の確立、レーザー蒸発共鳴イオン化質量分析での脱離イオンと中性種の同時観測に成功した。
  - 3) 単結晶構造の平均原子欠陥量の1%台の精密化に成功した。また、高純度鉄の延伸変形での多階層のマップ情報の関係の追跡手法を確立した

1-(1)-③ インフラ診断技術の開発

【第3期中期計画】

- ・構造物安全性確保に資する迅速かつ高精度、可搬性に優れた健全性評価システムを開発する。超音波探傷装置や可搬型 X 線検査装置を活用して構造物中におけるサブミリメートルサイズの欠陥情報のその場可視化

技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・安全安心のための計測技術確立のために以下の研究を行う。
- 1) 光学顕微鏡を利用したサブマイクロの精度を持つ変位分布計測、および全長1/1000以下の精度で橋の変位分布を計測する技術を確立する。超音波可視化探傷による接合部材の欠陥検出検査のための画像処理技術を開発する。
  - 2) ロボット等への X 線検査装置の搭載を可能にするため、重量2 kg 以下のバッテリー駆動カーボンナノ構造体 X 線源を開発するとともに、複数方向の X 線透過像から管状・円柱状の対象物の断層像を得る手法を確立する。

【平成26年度実績】

- ・安全安心のための計測技術確立のための研究を行なった。
- 1) 光学顕微鏡による微小変形計測で、ミクロンサイズの規則格子を被検体に描写する技術を構築した。また橋梁全長の10万分の1を超える精度で橋梁の変形分布を計測できた。超音波可視化探傷では計測システムを64ビット化し、画像データを間引がずに画像処理で接合部欠陥を検出できた。
  - 2) カーボンナノ構造体を用いた重量2kg 以下のバッテリー駆動小型 X 線源を開発し、管や円柱状の対象物の断層像を得る手法の確立により保温材付鋼管の外面の0.1ミリメートルの段差を計測できた。

1-(1)-④ 蓄電池構成材料の評価及び解析技術の開発 (I-2-(1)-①を一部再掲)

【第3期中期計画】

- ・新規の蓄電池構成材料の開発を加速するため、材料を共通的に評価、解析する技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・既に構築することができた、世界的シェアを有する国内複数企業を中心とした拠点における活動の集大成として、電池材料の評価基準書最終版を作成するとともに拠点の機能強化を図る。

【平成26年度実績】

- ・5種類の電池構成モデルに加えて、4.35V 高電圧電池、Ni リッチ高容量電池の2種を基本型の派生評価法として評価法に加え、これらの精査を行うとともに、電池の安全性試験として、圧壊、釘刺し、昇温、過充電の試験条件や観察法などを基本手順書に加えてその測定法の改訂を進め、評価基準書最終版として取りまとめた。

1-(2) 先端計測技術及び分析機器の開発

## 【第3期中期計画】

新産業創出を先導するために必要な、先端計測及び分析機器に関する技術開発を行う。具体的には量子ビーム、イオンビームの分析、診断への応用技術、電子顕微鏡の高分解能化と多機能化技術、デバイス、システム評価を可能にする複合計測技術等の開発を行う。また、開発した装置の産業界への普及を促進するとともに、標準化を行う。

1-(2)-① 材料評価のための先端計測及び分析機器開発  
【第3期中期計画】

・ポジトロンや超伝導検出器等の量子ビーム、イオンビーム等の材料及び生体の検出、分析及び診断機器への応用を実証するとともに標準化を行う。6件以上の装置公開利用、8件以上の技術移転を実施する。

## 【平成26年度計画】

- ・先端計測分析技術を公開して課題解決を行うとともに、ニーズ対応の改良を行う。
- 1) 公開機器でマシンタイムの30%以上を所内外に公開し、集約化クリーンルームで超伝導デバイスのチップ配布及び作製支援（25件以上）を実施する。
- 2) 公開装置のニーズ対応では、垂直入射型陽電子ビームでの液体試料のサブナノ～ナノメートル空隙計測化、実環境（溶液・真空）でのナノ材料測定用のAFM探針の開発と高度化、ワイドバンドギャップ材料やキャリアの評価のためのピコ秒過渡吸収測定の紫外・赤外域へ拡大等の改良を実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・先端計測分析技術を公開して課題解決とニーズ対応の改良を実施した。
- 1) 機器の実稼働時間の50%を公開に宛てて所内外の計測支援を実施、また、集約化クリーンルームで企業や大型研究プロジェクト等のために計25件の技術支援を実施した。
- 2) 垂直型陽電子ビーム装置によるイオン液体のサブナノ～ナノ空隙計測、実環境でのナノ材料測定用のAFM探針制御方法の開発とカンチレバー励起の高度化、および、ピコ秒過渡吸収測定の励起と観測の波長範囲の拡大（250-1500、400-5000 nm）等の改良に成功した。

## 1-(2)-② 超高感度、高分解能透過電子顕微鏡の研究開発

## 【第3期中期計画】

・単分子・単原子レベルでの計測及び分析技術を確立するために電子顕微鏡のさらなる高分解能化及び高感度化技術を開発する。このために、電子光学系の高度化、検出器の高効率化、装置環境の高安定化等の要素技術開発に加え、用途に応じた電子顕微鏡の多機能化を行

う。これにより、現在、電子線波長の25倍程度でしかない空間分解能を、世界最高となる電子線波長の17倍程度にまで向上することを目指す。

## 【平成26年度計画】

- ・平成26年度は、これまでに開発した低加速高分解能電子顕微鏡に新規開発するモノクロメータを搭載し、エネルギー分解能45meVを達成する。また加速電圧30kVにおいて0.12nmの空間分解能（波長比17倍）を達成する。
- ・低加速電子顕微鏡を用いた低損傷分光法を応用し、分子ひとつひとつの分光学的な識別を実現する。また、低次元物質の欠陥構造を明らかにするために単原子からの吸収端微細構造解析など単原子分光技術を確立させる。

## 【平成26年度実績】

- ・低加速高分解能電子顕微鏡に新規開発のモノクロメータを搭載し、目標をしのぐエネルギー分解能24meVを達成した。従来の顕微鏡より一桁以上の分解能向上を実現した。また加速電圧30kVにおいて、0.12nmの空間分解能を達成し、目標であった波長比17倍の分解能を実現した。
- ・低加速電子顕微鏡を用いた低損傷分光法をフラーレン分子の同定に応用し、分子ひとつひとつの電子線吸収スペクトルを撮影することに成功した。これにより各分子を分光学的に識別することが可能になった。また単原子分光技術を用いて、グラフェンなどの低次元物質に存在するエッジや不純物の吸収端微細構造解析により、欠陥周辺の電子状態を原子レベルで明らかにする技術を確立した。

## 1-(2)-③ デバイス、システム評価のための先端計測機器の開発

## 【第3期中期計画】

- ・スピントロニクスデバイスにおけるナノ領域のスピン方向を3次元解析できるナノスピン計測技術を開発する。高速トランジスタとして期待されるナノカーボンの電気的特性のナノサイズ領域の電荷分布測定を行なえるプローブ顕微鏡技術を開発する。電圧及び抵抗標準を生産現場に導入でき、校正コストの削減を可能とする小型、低コスト、低消費電力の直流電圧標準システムと集積回路チップ化された電流比較器を開発する。スーパーハイビジョン時代の大容量位相多値光通信や材料の加工、改質の実現のために、サブフェムト秒の時間分解能を有する光測定技術を100開発する。そのためにタイミングと絶対位相が100アト（10の-16乗）秒以下に同期された多波長極短パルスレーザーを開発する。

【平成26年度計画】

- ・He イオン顕微鏡による加工法を用いてグラフェン素子を作製し、電気特性評価及びナノサイズ領域の電荷分布測定を行えるプローブ顕微鏡技術を用いた特性評価技術を開発する。また、開発した技術を元に、高抵抗領域における電気抵抗2次標準の候補である金属微粒子分散ガラスの伝導機構を解明することにより本技術の有用性を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・走査容量顕微鏡技術を用いてヘリウムイオンビーム顕微鏡でグラフェン内に生成された結晶欠陥の電荷分布を測定することを目標としたが、ヘリウムイオンを照射した数十 nm の領域に電荷が局在し、その領域が絶縁体的になっていることを、走査容量顕微鏡技術を用いて示したことに加え、その効果を応用して2重量子ドットなどのデバイス構造を直描することが可能であることを示した。また前述の走査容量顕微鏡技術を用いて、金属微粒子分散ガラスを観察したところ、微粒子がパーコレーション網状組織の伝導機構を形成していることを示した。

【平成26年度計画】

- ・小型、低コスト、低消費電力の直流電圧標準の安定性を実用レベルに引き上げる。

【平成26年度実績】

- ・不安定性の原因であった室温の電圧増倍回路の雑音耐性を強化し、0.2 ppm より優れた精度を実現した。また、開発した直流電圧標準システムを企業へ貸出し、特別な電磁環境を設定せずとも安定に動作することを確認した。これにより、実用レベルの安定性を実証した。

【平成26年度計画】

- ・スーパーハイビジョン時代の大容量位相多値光通信に必要な、異なる波長の光間でタイミングと位相をサブフェムト秒精度で測定できる方式として、同期した多波長極短パルスレーザーを利用して、合成光に対する相関測定パルス評価の技術を開発する。また、大面積エレクトロニクス素子加工への適応として、超短パルス Yb ファイバーレーザーの技術を用いて、有機電子材料に対するスクライブ加工の試行実験を行い、必要照射強度と材料劣化等の条件を確認する。

【平成26年度実績】

- ・パルス評価については、Ti サファイアレーザーと Yb ファイバーレーザーの2波長光間の同期変動を0.75fs 以下に抑制し、相互相関法によるアト秒精度の長時間変動測定に成功した。また、より高速評価が可能な自己相関法についても、パルス光の帯域幅と測定精度の関係を解析した。素子加工では、有機材料の為に必要な波長517nm への変換技術を開発し、Yb ファイバー

レーザーから4μJ、200fs パルスの発生に成功した。これをスクライブに適用して、短パルス化による必要光強度の低減と熱溶解の抑制効果を確認した。

1-(3) 生産性向上をもたらす計測ソリューションの開発と提供

【第3期中期計画】

製品の品質と生産性を高める上で必要となる欠陥や異常検出技術、高圧下等の測定が困難な条件下における計測技術、微量試料での精密化学分析技術等の生産計測技術の開発を行う。開発した計測、解析及び評価技術を統合し、新たな検査方法の確立等、生産現場へ直接適用可能な計測ソリューションとして提供する。様々な生産現場の課題解決に取り組み、8件以上のソリューションを提供する。

1-(3)-① 生産現場計測技術の開発

【第3期中期計画】

- ・エレクトロニクス産業等の生産現場で求められている製品の各種欠陥や異常等の検出、発生防止、及び生産の高効率化を目指した、実用的なソリューションを開発し提供する。10件以上の生産現場の課題解決に取り組み、3件以上のソリューションを提供する。

【平成26年度計画】

- 1) シリコンウエハ検査装置については、LSI 量産メーカーと共同で、工場クリーンルームの量産設備管理機としての利用を実現する。さらに、検査装置メーカーと共同で製品プロトタイプ機を開発して産総研技術の普及を進めると共に、高機能ガラス基板やパワー半導体等への水平展開に着手する。
- 2) 自動車エンジン部材の欠陥検査技術について、検査装置メーカーと共同で、欠陥の最小検出サイズを従来の1/2とし、同時に洗浄痕（欠陥ではない）などによる過剰判定を抑制できる新規検査装置を開発する。

【平成26年度実績】

- 1) シリコンウエハ検査装置の測定再現性に取り組み、開発量産プロト機で MAP 一致率平均80%以上（最終目標90%以上）を達成すると共に、量産適用に向けた課題整理を行った。また、検査装置メーカーと共同で高機能の製品プロト機を製作し、高機能ガラス基板への適用可能性について、ガラス製造メーカーと共同検討に着手した。
- 2) 自動車エンジン部材の欠陥検査では、部材円筒状内壁面の直径100μm（従来の最小検出サイズは200μm）の鑄巣欠陥と、周囲の洗浄痕とを高精度に分離検出できる新型検査機を検査装置メーカーと共同で開発した。

【平成26年度計画】

- 1) 装置部品メーカーと共同で、量産用エッチング装置のウエハ吸着ステージヘスパッタ法で音響センサを直接形成するセンサ内臓ウエハステージを試作し、製品化の目処をつける。
- 2) 材料メーカーと共同で導電性高プラズマ耐性セラミックスの実使用の最終評価に向けた活動を支援する。
- 3) 計測機器メーカーと共同でプラズマインピーダンス計測機器の用途開発を進め、更なる市場拡大を支援する。
- 4) ミニマル3DIC ファブ開発の一翼を担い、3DIC 製造に不可欠な Si 貫通ビア形成用のプラズマエッチングを実証する。

#### 【平成26年度実績】

- 1) 装置メーカーと共同で異常放電検出の FS 共同研究を実施した。TEG ウエハで異常放電絶縁膜破壊の評価と装置メーカーとで TEG ウエハの破壊状況の確認と実証試験を継続中である。
- 2) 材料メーカーと共同で導電性高プラズマ耐性セラミックスの評価を行い、海外大手の正式採用に繋がった。
- 3) 計測機器メーカーと共同でプラズマインピーダンス計測機器の用途開発を進め、販売台数の増加に繋がった。
- 4) 3DIC 製造のための Si 貫通ビア形成用のミニマルファブプラズマエッチング技術について、磁場併用 ICP タイププラズマ源での実証を行った。

#### 1-(3)-② 測定が困難な条件に適用可能な力学計測技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・測定が困難な条件下における広帯域圧力振動計測技術、応力可視化技術を開発し、産業や社会の現場に適用可能なソリューションとして提供する。5件以上の産業や社会の課題解決に取り組み、3件以上のソリューションを提供する。

##### 【平成26年度計画】

- 1) 半導体デバイスの製造現場で実際に使用されているエッチング装置に、新たに設計したセンサシートを設置し、異常放電の検知の可能性を調べる。また、燃焼圧センサのドリフトを防ぐために、さまざまな断熱材の影響や球座の効果について調べる。
- 2) 多元同時スパッタリング法や化学溶液法、第一原理計算などを用いて、高い耐環境性を示す、新しい複合化合物圧電体薄膜の探索を行う。また、圧電性を向上させるために、ZnO 薄膜への他元素ドーブ効果も調べる。

##### 【平成26年度実績】

- 1) 半導体デバイス製造現場の現行エッチング装置に対し、新設計のセンサシートによる異常放電検知を調査し、電気的絶縁性の改善による実用可能性を実証した。燃焼圧センサについては、構成部品の材質や形状等が検出信号ドリフト量に与える影響を調べ、検出素子周

辺部品の剛性や伝熱制御の必要性を確認し、フィードバックを行った。

- 2) 多元同時スパッタリング法などにより新たに4室空酸化物圧電体薄膜について検討した結果、従来に優る良質な圧電体を得ることに成功した。また、ZnO 薄膜への他元素ドーブ効果を調べた。

##### 【平成26年度計画】

- ・有望な近赤外応力発光体の高感度化を進め、生体計測可能なセンサおよびシステム開発を行う。また、オンサイト異常検出に有用な微小ひずみ（0.01%ひずみ）の検出感度向上を目指す。また、引き続き高压容器の健全性診断を実現するために、高耐久性センサの開発とシステム化を図る。さらに、様々な構造物安全管理の課題解決に向けて、ベンチャーの立ち上げや産学官連携を行い、応力発光体を活用した検査技術移転を進化させる。

##### 【平成26年度実績】

- ・生体イメージング可能な応力発光センサの開発では、生体透過可能な近赤外センサの高感度化を進め、新規SSO系を見出した。また、高次構造制御によりオンサイト異常検出に有用な微小ひずみ（0.01%ひずみ）の検出感度向上を達成した。さらに、高压容器の健全性診断のためのセンサとシステムの製品化体制を構築し、連携プロジェクトを立ち上げた。内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）では、「構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発」が採択され、産学官連携による実証試験に着手した。

#### 1-(3)-③ 微量、迅速、精密化学計測技術の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・マイクロ空間化学技術等を用いた分析、計測及び解析技術を開発し、バイオ、化学、素材関連産業分野におけるソリューションを提供する。5件以上の産業や社会の課題解決に取り組み、2件以上のソリューションを提供する。

##### 【平成26年度計画】

- ・ナノ材料に関しては大手企業へのソリューション提供の完了を目指す。歯周病検査デバイスに関しては、歯科検診をターゲットとした技術の確立を目指す。畜産関連の診断技術開発では、（独）家畜改良センター等との連携による卵細胞分別チップ・精子のオンサイト分離技術・ホルモンセンサ等の現場での実証試験を進めるとともに、産学官で新たな協議会を立ち上げて次期中期計画に向けた研究の推進体制確立を図る。

##### 【平成26年度実績】

- ・一連のナノ材料製造技術に関しては大手企業へのソリューション提供を完了させた。歯周病検査デバイスに

関しては、歯科検診をターゲットとした技術について、医療分野との連携体制を確立し、現場での実証試験に着手した。畜産関連の診断技術開発では、産学官で食料生産と ICT を考える協議会を立ち上げ、産学官農連携での研究推進体制を確立した。卵細胞分別チップ・精子のオンサイト分離技術等の現場での実証試験を進めたが、規制等のため個体生産には至っていない。ホルモンセンサ開発に関しては、内閣府 SIP に参画して研究開発を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・焼酎醸造企業と共同でマイスター課題を行い焼酎残渣の処理や高度利用等に対して課題抽出とソリューション提供を行う。CdSe/ZnS/TiO<sub>2</sub>/PEG と抗ペロ毒素モノクローナル抗体の結合性の評価を完了させる。SOWG 上に”チトクローム c/ホスホン酸化合物/ITO 電極”の三層構造を持つ光電気化学バイオセンサーを開発し、チトクローム c の90%を直接電子移動反応機能を保ったまま吸着させる。更に高屈折率無機物質等を用いる新規でより高感度、効率的な表面修飾方法を開発する。

#### 【平成26年度実績】

- ・焼酎醸造企業と課題抽出を行い、技術開発と技術移転を進めた。CdSe/ZnS/TiO<sub>2</sub>/PEG と抗ペロ毒素モノクローナル抗体の結合性評価を完了させ、実用要素技術を確立した。SOWG 上に”チトクローム c/ホスホン酸化合物/ITO 電極”の三層構造を持つ光電気化学バイオセンサーを開発し、チトクローム c の90%を直接電子移動反応機能を保持・吸着させる事に成功し、実用化の目途をつけた。TiO<sub>2</sub>薄膜を修飾した SOWG 表面修飾方法を開発した。そのさらなる高感度、効率的を目指した新規の表面修飾方法の開発を進めた。

## 2. 知的基盤としてのデータベースの構築と活用

### 【第3期中期計画】

標準化の推進、地質情報等の有効利用、災害事例の共有、ものづくり支援等のために、信頼性（評価方法、不確かさ、出典等）を明示した各種データベースを構築、整備する。構築したデータベースは、上記に関わる知的基盤として、更新を保証しつつ継続的に社会に提供する。

### 2-(1) 標準化を支援するデータベース

#### 【第3期中期計画】

基準認証活動を進めるにあたり、関係者が共有すべき定量的情報をデータベースとして整備し提供する。具体的には国家計量標準にトレーサブルで、不確かさが評価されている等、信頼性が明示された物質のスペクトル、熱物性等のデータを拡充し継続的に提供する。

### 2-(1)-① スペクトルデータベースの整備

#### 【第3期中期計画】

- ・有機化合物等のスペクトルデータを測定するとともに解析及び評価を行い、検証されたデータ5,000件を新たに収録し公開する。

#### 【平成26年度計画】

- ・有機化合物の H-1核と C-13核の核磁気共鳴、赤外分光ならび質量スペクトルデータを測定するとともに解析・評価を行い、検証されたデータ合計1,255件以上を新たに収録し公開する。日本国内で入手可能な標準物質のデータベース（RMinfo）の適切な運用管理を行うとともに、国際標準物質データベース（COMAR）の国内事務局として、国際標準物質の情報を適切に管理する。

#### 【平成26年度実績】

- ・有機化合物のスペクトルデータは、H-1核と C-13核の核磁気共鳴、赤外分光ならび質量スペクトルデータを測定するとともに解析・評価を行い、検証されたデータとして第3期中期全体の目標数5,000件を上回る5,048件を新たに収録し、うち4,707件を新規にウェブに公開した。日本国内で入手可能な標準物質のデータベース（RMinfo）に関して、既存・更新・新規のデータを運用管理した。国際標準物質データベース（COMAR）の国内事務局として、ドイツの中央事務局と連絡を取りつつ、情報を適切に管理した。

### 2-(1)-② 熱物性を中心とした材料計量データベースの整備

#### 【第3期中期計画】

- ・材料の熱物性及び関連物性について、不確かさ評価等により信頼性の保証されたデータセット100組以上を新たに収録し継続的かつ安定的に提供する。

#### 【平成26年度計画】

- ・固体材料について、不確かさ評価等により信頼性の保証された物性データセットを分散型熱物性データベースに収録し、第3期中での計100データセット以上の公開を完了する。

#### 【平成26年度実績】

- ・チタニアガラス、合成石英ガラス、シリコンウェハー等の固体材料に関して、不確かさ評価などにより信頼性の保証された物性データセット46組を分散型熱物性データベースに収録し、公開した。これにより、第3期中に公開の完了したデータセット数は114件となった。

### 2-(2) 資源等の有効利用を支援するデータベース

#### 【第3期中期計画】

地質情報等と衛星画像情報等を統合化したデータベー



スを整備し、資源等の有効利用を支援するために利用しやすい形で社会に提供する。また、情報通信速度の向上や画像処理技術の進展に応じて、新たなデータを統合してデータベースとして提供する等の高度化対応を行う。

## 2-(2)-① 衛星画像情報及び地質情報の統合化データベースの整備（別表2-1-(3)-①を再掲）

### 【第3期中期計画】

- ・衛星データ利用システム構築に資する衛星画像情報を整備し、地質情報との統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火山、地震、津波等の災害情報等に利活用する。また、情報通信技術との融合により、シームレス化、データベース化された地質情報と衛星画像情報の統合化データベースを整備し、新たな視点の地質情報を抽出するための利活用方法の研究を実施する。

### 【平成26年度計画】

- ・品質保証された衛星画像情報の整備に向けた以下の研究開発を行う。1) ASTER に対する地上サイトを用いた校正と検証、および、その画像補正にかかる研究開発を継続する。保存されている ASTER 全データの健全性確認を行う。2) ASTER、PALSAR など既存の METI 開発センサによって取得された複数の衛星画像の統合的なデータベースシステムを開発する。3) METI 開発次期センサに対しては、その特殊性を考慮した校正手法、アルゴリズムの研究開発を継続する。また、その校正アーカイブシステム開発に着手する。

### 【平成26年度実績】

- ・品質保証された衛星画像情報の整備に向けた以下の研究開発を行った。1) ASTER データに対して、地上サイトを用いた校正と検証を継続的にを行い、打ち上げ後15年を経ても、その輝度精度が保たれていることを確認した。また200TB 以上のアーカイブデータが正しく保存され、アクセス可能であることを確認した。2) より利用しやすい形でユーザーへのデータ提供を行うため、ASTER 以外の METI 開発センサ PALSAR, JERS-1 OPS によって取得された衛星画像の統合的データベースを開発した。3) METI 開発次期センサに対しては、基本処理アルゴリズムを完成させ、校正アーカイブシステム開発を開始した。

### 【平成26年度計画】

- ・整備された衛星画像情報を利用した各種ベースマップおよびデータベース作成のための研究開発を行う。1) 天然色全球マップについては、これまで各地域ごとに作成したもののグローバル化を完成させ、これを配信するための研究開発を行う。2) 全球都市マップ作成のための研究開発を継続し、試作されたマップの精度向上を図るとともに人口マップの作成に関する検討を開始す

る。

### 【平成26年度実績】

- ・天然色全球マップについては、これまでの地域ごとに作成したものを全球約3万2千のタイルとして整備し、WMS 配信するためのシステムの構築を行った。全球都市マップ作成のための研究開発については、精度向上のためのアプリケーションを開発し、人口マップの作成に関する検討を行った。

### 【平成26年度計画】

- ・露頭情報のデジタル取得手法の確立のため、低コスト、高効率で利便性が高い野外観察情報の収集手法の開発を行う。地図と連携した野外調査情報の取得方法について開発を行う。

### 【平成26年度実績】

- ・露頭情報のデジタル取得手法確立のため、クリノメーターソフトの試験と新たな機能の追加を行った。機能の追加や内容の修正によってソフトウェアの利便性を向上させることができた。

## 2-(3) 社会の持続的な発展を支援するデータベース

### 【第3期中期計画】

持続可能で安全・安心な社会の構築に必要な、環境・エネルギー、災害事例、ものづくり支援等に関するデータを集積し、技術基盤情報としてそれらを出典やデータ選択及び評価の基準とともに公開し、社会に継続的に提供する。

## 2-(3)-① 環境・エネルギー技術を支えるデータベースの整備

### 【第3期中期計画】

- ・環境負荷低減、低炭素社会に資する超臨界流体等の環境・エネルギー技術の基盤となる情報を整備し、社会に提供する。超臨界流体データベースには3,500件（特許2,000件、文献1,500件）のデータを提供する。

### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、超臨界流体利用技術に関係した新たな特許出願および論文等の文献データをデータベースに追加するとともに、海外データの調査対象を拡張し、技術の基盤情報の充実を図る。これらを総合し、平成26年度には国内外の特許、文献等のデータ合計1000件以上の追加を図る。

### 【平成26年度実績】

- ・超臨界流体利用技術に関係した新たな特許出願データについて、本年度は調査対象範囲を海外にも拡張し、海外特許を含めて約1000件をデータベースに追加した。合わせて国内外の論文・総説・テクニカルレポート等の文献データ約700件を登録し、当該技術の基盤情報の更なる充実を図った。本年度の総登録件数は

1700件以上にのぼり、目標を達成した。

## 2-(3)-② 社会の安全・安心を支えるデータベースの整備

### 【第3期中期計画】

- ・災害事例、医療応用技術等、国民の安全・安心に係る技術上の情報を整備し、社会に提供する。災害事例データベースには約1,250件の新規事故事例、約25件の新規事故詳細分析事例、約100件の過去の重大事故詳細分析事例を登録する。

### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、国民の安全や安心に係る技術上の情報として、災害事例データベースの一つであるリレーショナル化学災害データベースに、約250件の新規事故事例、約5件の新規事故詳細分析事例、約20件の過去の重大事故詳細分析事例を登録し、インターネット上で公開し、社会に提供する。

### 【平成26年度実績】

- ・災害事例データベースの一つであるリレーショナル化学災害データベースに、新規事故事例250件、新規事故詳細分析事例5件、過去の重大事故詳細分析事例20件を登録し、インターネット上で公開した。データベース利用者である民間企業、大学などからの問合せ10件に対応し、民間企業や大学での安全教育にも活用された。経産省委託事業「高圧ガス取扱施設におけるリスクアセスメント手法及び保安教育プログラム調査研究」で関係法令横断的な事故情報データベース構築を検討する事故情報データベース分科会に対しても情報を提供した。

## 2-(3)-③ ものづくりを支えるデータベースの整備

### 【第3期中期計画】

- ・材料特性、人体特性等、産業技術開発力を支える基盤的な情報を整備し、社会に提供する。  
人体寸法、形状データベースには独自データを500以上拡充するとともに海外の企業、研究機関等からもデータを求め（欧米3ヶ国以上、新興産業国3ヶ国以上）、広範な地域の人体寸法にアクセスできる情報ハブを構築する。  
セラミックカラーデータベースには2,500件のデータを登録する。  
固体 NMR データベースには450件（スペクトルデータ300件、パラメータデータ150件）のデータを登録する。

### 【平成26年度計画】

- ・人体寸法／形状データベースに新たに100人以上の独自データを追加し、累計500人以上とする。日本企業の国際競争力を高めるための新興国の体形データベ

ス構成を目指して、平成23年度のメキシコ、平成24年度の中国、平成25年度の台湾に加え、米国等の3次元全身体形データを取得する。3次元体形データを統計処理して、代表体形を計算する。

### 【平成26年度実績】

- ・人体寸法、足部形状データベースに105人のデータを追加し、累計510人のデータを蓄積した。日本企業の国際競争力を高めるための新興国3ヶ国、先進国3ヶ国の体形データベース構成を目指し、新興国のメキシコ、中国、台湾、先進国のスペイン、オランダに加え米国 CAESER プロジェクトの3次元全身体形データ（200件）を取得した。台湾の足部2次元データ、米国の全身3次元データをモデル化し、統計処理して、代表体形を計算した。

### 【平成26年度計画】

- ・セラミックカラーデータベースを研究情報公開データベースから物質材料データバンクへ移行させる。また、重要性が高く、データ内容を精査した従来型登録データとして500件の新規データを登録して公開データ数を合計2700件以上とする。更に、従来型登録データに内容精査前の簡易型作業データを加えた蓄積データ約15000件について、データをランク分けして公開の準備を行う。

### 【平成26年度実績】

- ・セラミックカラーデータベースを物質材料データバンクへ移行し、発色からの検索機能強化、類似データの検索、検索条件設定の複雑化、検索結果表示の迅速化等の改良を行った。従来型新規データは500件を作成した。また、内部蓄積データについて内容精査、誤データの修正再確認などを集中的に行ってデータの信頼性を高めるとともに、大幅なデータ数増加を可能とするため個々のデータの重要性の判定を行ってランク分けし、約15000件のデータを外部公開可能な状態とした。

## 3. 基準認証技術の開発と標準化

### 【第3期中期計画】

新たに生み出された素材、製品、サービス等の認証に必要な技術の開発を行い、普及させる。具体的には、性能、安全性を客観的に評価し、新市場の開拓や適正な商取引に必要な試験技術の開発、実証及び標準化と、それに伴う認定技術の民間移転を、産業界、認証機関等との密接な協力のもとに実施する。

## 3-(1) 適合性評価技術

### 【第3期中期計画】

試験技術の開発、実証、標準化において、特に安全性や性能にかかわる評価技術、及び製品規格への適合性を

判定するための評価技術は、中立性及び公平性の面から民間のみで開発することが困難であることを考慮し、認証において必要となる適合性評価技術の開発を行う。同時に民間移転を推進する。

### 3-(1)-① 物質の分析・評価技術の開発と標準化

#### 【第3期中期計画】

- ・物質の分析及び特性評価を超高温環境下等、実際の測定環境に適用するため、必要となる光温度計による計測技術等を開発し、その標準化を行う。得られた技術の普及を図るために4件のJIS化を目指す。

#### 【平成26年度計画】

- ・ISO/IEC/JIS 工業標準において、以下の開発と標準化活動を実施する。
  - 1) 種々のカーボン材料の高温電気抵抗および熱膨張などの温度依存性を測定し、これら高温物性の支配因子など標準化に向けた基礎データを整備する。
  - 2) AFMプローブ評価法規格発行に向けての最終とりまとめと、電気測定AFMに関する規格の国際持ち回り試験結果をまとめ、国内審議委員会でNWIP提案の了承を得る。また、マグネシウム中酸素分析のWD承認を得る。

#### 【平成26年度実績】

- ・ISO/IEC/JIS 工業標準において、以下の開発及び標準化を行った。
  - 1) 種々のカーボン材料の高温電気抵抗および熱膨張などの温度依存性のデータを取得し、前者については結晶構造因子から推定できる可能性を示唆する知見を得た。
  - 2) AFMプローブ評価方法のISO規格(ISO13095:2014)が刊行された。電気測定AFMの国際持ち回り試験の国内分をほぼ完了し海外分の準備を進める一方、国内審議委員会でNWIP提案の了承を得た。マグネシウム中酸素分析のWD審議が開始された。

### 3-(1)-② 太陽光発電の共通基盤技術の開発及び標準化 (I-1-(1)-①を再掲)

#### 【第3期中期計画】

- ・太陽光発電システム普及のための基盤となる基準セル校正技術、高精度性能評価技術、屋外性能評価技術、信頼性評価技術、システム評価技術、システム故障診断技術等を開発し、それらを産業界に供給する。性能評価の繰り返し精度を1%以下に向上させる。国内企業の国際競争力の向上に資するため、国際的な研究機関や企業と協調、連携し、IEC等の国際規格やJIS等の国内規格、工業標準の提案、策定、審議に参画する。

#### 【平成26年度計画】

- ・超高温黒体炉等を用いたスペクトル精度向上により基準セル校正技術の不確かさを低減する。新型結晶Si太陽電池、薄膜太陽電池、多接合太陽電池等の新型太陽電池の高精度性能評価技術開発と標準化、試験機関への技術移転を図る。米国欧州アジアの太陽電池評価機関との国際比較測定、技術交流等の連携を引き続き実施する。太陽電池発電量データベース公開を含めた発電量評価技術の実用化を推進する。システム故障診断技術に関して、低圧システムの電流-電圧特性測定による結晶シリコン太陽電池モジュールの不具合探索方法を考案する。

#### 【平成26年度実績】

- ・基準セル校正技術のコンポーネント不確かさを低減した。新型太陽電池(集光型含む)の高精度性能評価技術開発と標準化、発電量評価技術の開発、試験機関への技術移転および国際比較測定、技術交流等の連携を引き続き実施した。故障診断技術に関して、低圧系結晶シリコン太陽電池アレイの屋外での電流-電圧特性測定結果から三つの判定パラメータを考案し、判定閾値との比較によって出力が低下したモジュールの有無を診断する方法を考案した。

### 3-(1)-③ 日常生活における人間の生理、心理及び行動の統合的計測と健康生活への応用技術開発とその国際標準化 (II-2-(1)-②を再掲)

#### 【第3期中期計画】

- ・日常生活における高齢者、障害者、健常者等の人間の生理、心理及び行動情報を計測し、健康及び安全状態を時系列で定量的に評価する技術を開発する。低視力者、聴覚障害者や高齢者を対象にデータの蓄積を行い、新たに5件程度のISO提案を目指した標準化活動を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・「公共空間の音案内」「高齢者の聴覚特性」「音声アナウンス」及び「色の組合せ」のISO規格案各1編、並びにアクセシブルデザインに関するISO/TR改訂案1編について、それぞれ発行に向けた国際審議を進める。「報知光」「最小可読文字サイズ」「触知図形」及び「消費生活用製品の音声案内」について、国際提案に向けた国内審議を行う。また、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」をさらに拡充し、発行されたISO規格及びJISの一層の普及促進を図る。

#### 【平成26年度実績】

- ・「音声アナウンス」のISO規格が発行に至った。また、「公共空間の音案内」「高齢者の聴覚特性」及び「色の組合せ」のISO規格案各1編について、それぞれDIS(国際規格原案)段階に進めた。アクセシブルデザインに関するISO/TR1編については、改訂に向け

た国際審議を進めた。「報知光」「最小可読文字サイズ」「触知図形」及び「消費生活用製品の音声案内」の国内・国際審議を進め、来年度提案の見通しを立てた。さらに、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」について、データ項目の追加等の拡充を行い、成果の普及を図った。

【平成26年度計画】

- ・ISO/TC 159/SC 4/WG 12にて、光感受性発作の低減に関する国際規格案第2版（DIS 9241-391.2）を成立させ、最終国際規格原案（FDIS）登録及び国際規格発行へと進める。また、立体映像の生体影響低減に関する国際規格案（DIS 9241-392）を成立させ、最終国際規格原案（FDIS）登録へと進める。

【平成26年度実績】

- ・ISO/TC 159/SC 4/WG 12にて作成した光感受性発作の低減に関する国際規格案第2版（DIS 9241-391.2）の投票が行われ、その結果承認されたため、引き続き最終国際規格案（FDIS）を作成し、ISO 中央事務局に受理された。また、立体映像の生体影響低減に関する国際規格案（DIS 9241-392）の投票が行われ、その結果承認されたため、引き続き最終国際規格案（FDIS）を作成し、さらに投票により承認された。

【平成26年度計画】

- ・日常生活における人間の生理、心理及び行動情報の計測から健康・安全状態を時系列で定量的に評価する技術を実現する。ユーザの認知的パフォーマンスと日常的タスクのディマンドそれぞれを推定して両者の関係を分析し、タスクディマンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにする。この認知行動モデルに基づいて健康・安全状態を評価し、ユーザの認知的パフォーマンスに適応した情報環境を構築する技術を開発する。

【平成26年度実績】

- ・日常生活における人間の生理、心理及び行動情報の計測から健康・安全状態を時系列で定量的に評価する運転行動評価技術を開発した。特に自動車運転時のユーザの認知的パフォーマンスと日常的タスクのディマンドそれぞれを推定して両者の関係を分析し、タスクディマンドに応じて必要となる認知資源配分や遂行能力を明らかにした。また、様々な観点から健康・安全状態を評価し、デバイスやサービスのユーザーに適応した環境を構築するための評価技術を開発した。

3-(1)-④ ロボットの安全性評価のためのリスクマネジメント技術の開発（Ⅱ-3-(2)-①を再掲）

【第3期中期計画】

- ・機能安全の国際規格に適合可能なロボットの安全規格を定めるため、ロボットの安全性を試験、評価するた

めの技術を開発する。ロボットの安全技術としてのセンサ技術、制御技術、インターフェース技術、ロボットの安全性を検証するためのリスクアセスメント技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・シミュレーターを用いたリスクアセスメントを、平成25年度に既に構築した拠点を使用して介護ロボット等、実用化に向けた開発に適用する。試験方法、および必要に応じて性能基準の国際標準の発行に向けてISO 会議を推進する。高度な機能安全にも対応可能な高信頼開発・認証の研究に取り組む。

【平成26年度実績】

- ・シミュレーションに基づき、実生活での安全性を考慮した介護ロボットのリスクアセスメントを行って、安全性の実証拠点と模擬介護施設を使用した試験、評価など介護ロボットの実用化に向けた開発を行った。介護ロボットの性能基準の国際標準の発行に向けて、まずは国内で標準化検討を行った。機能安全に対応可能な高信頼開発技術として SysML から RTC テンプレートを自動生成する技術、認証を支援する技術として SafeML から安全レポートを自動生成する技術を開発した。

3-(1)-⑤ 高信頼ロボットソフトウェア開発技術（Ⅱ-3-(2)-②を再掲）

【第3期中期計画】

- ・機能安全の国際規格に適合可能な安全なロボットを実現するため、高信頼なロボットソフトウェアを設計、実装する技術を開発する。このため、ロボットソフトウェアのリスクアセスメント、システム設計、開発、評価を一貫して行うことのできる技術を開発する。

【平成26年度計画】

- ・平成25年度にロボットの新しい安全基準として構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法と、それぞれの評価基準を介護ロボットを含む生活支援ロボットの開発に適用し、実用的かつニーズに適合したロボットの開発を支援する。同時に高信頼開発手法について、モデルベースの開発プロセスを確立し、実用化を加速する。

【平成26年度実績】

- ・平成25年度に構築した安全性評価、性能評価、倫理審査手法を、製品だけではなく、人を含むサービスの上流側に拡張した V 字モデルでつなぎ、モデルベースで安全性と有用性の双方の設計と妥当性評価を行うスキームを開発した。この成果を、実際の介護機器や人共存型の双腕型セル生産ロボットなど実用的かつニーズに適合したロボットに適用し、その有効性を確認した。また、安全分析のためのモデル言語を開発し、

高信頼のモデルベース開発プロセスを確立した。その成果はモデル設計ツール製品に組み込まれ、実用化された。

### 3-(1)-⑥ 情報システム製品のセキュリティ評価技術 (Ⅲ-3-(5)-①を再掲)

#### 【第3期中期計画】

- ・ICカードに代表されるハードウェアや基幹ソフトウェア等、情報システムの中核をなす製品の脆弱性分析や安全性評価に関して、現行の制度、標準や新たな評価制度を見据えた技術を開発する。また、当該技術等について、我が国の電子政府推奨暗号評価等での活用を実現する。さらに、それらの技術等を実システムに組み込み可能な暗号ライブラリに適用し、安全性検証済みライブラリとして公開する。

#### 【平成26年度計画】

- ・サイドチャンネル攻撃について、種々の攻撃条件に対する解析実験を進め、漏洩メカニズムの解明を行う。また、様々に提案されている攻撃方法を評価ツールに組込む。さらに、電磁波解析のツール化を進める。
- ・PUFの構成手法、符号生成手法の研究開発を進め、利用方法に適した構成方法の研究を行う。また、多数のデバイスを用いて PUF の実用性・安全性検証を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・市販 MPU の AES 暗号回路および暗号 LSI の RSA 暗号回路について、対応するサイドチャンネル攻撃機能を評価ツールに組み込み、予測したメカニズムによって鍵情報が漏洩することを解析実験で示した。また、携帯電話の暗号処理を対象とした電磁波解析ツールの遠方電磁界測定部を試作した。PL-PUF について構成回路実装モデルや符号生成手法の検討を行い、実チップを試作した。自動検証システムを改良し FPGA 実装 PUF デバイス120個の実用性・安全性に関する諸特性を数値化し他方式に対する得失を評価した。

#### 【平成26年度計画】

- ・セキュリティシステムや情報セキュリティに必要な形式仕様・定理証明などに関係した研究を推進する。C言語とアセンブリ言語が混在する組み込みプログラムの実装を検証するため、言語間の連携と関数の形式化を行う。また、平成25年度に構築した情報理論の形式検証基盤を用いて、LDPC 符号の形式検証を開始する。具体的には、形式検証基盤を洗練して公開し、LDPC 符号の MAP 復号の健全性の形式化を行う。さらに、データベースや鉄道システムなどの実システムに形式手法を適用し、基幹システムの安全性向上のために形式手法技術を展開する研究、その他を推進する。

#### 【平成26年度実績】

- ・C言語とアセンブリ言語間の連携と関数の形式化について、言語間連携の形式化に着手するとともに、暗号プロトコル TLS の解釈関数の形式検証に適用し実プログラムに適用できることを確認した。LDPC 符号の形式検証について、形式検証基盤を洗練し、知財化してプログラムとして外部公開した。また、MAP 復号の実装アルゴリズムである sum-product 復号の健全性の形式化を完成した。形式手法の適用については、JR 東日本と共同で設計中の鉄道保安装置の形式化と検証を行った。

### 3-(1)-⑦ 情報システムの高信頼、高安全、高可用化技術 (Ⅲ-3-(5)-②を再掲)

#### 【第3期中期計画】

- ・情報システムの形式モデルベーステストによるケース自動生成技術を開発してシミュレーション技術への統合を図り、実社会の基盤情報システムの大半を占める1兆状態以上のシステムに対して、技術の有効性を検証する。さらにシステムの設計、開発、試用、改変、譲渡、廃棄までのライフサイクルの各場面で適用すべきテストや検証法のガイドラインを策定し、評価技術を開発する。また、設計と開発を中心にシステムのライフサイクルを支援するツールチェーンを開発する。

#### 【平成26年度計画】

- ・テスト設計・実行ツールのさらなる技術改良と普及のための活動を継続するほか、テスト・設計記述の共通化・汎用化へ向け、SysML など汎用記述言語との相互運用の検討を進める。高回復マイコンの上で動作する応用ソフトウェアの信頼性を向上させるため、プログラミング言語理論など周辺技術の応用・適用へ向けた検討を進める。引き続き保証技術の OMG 規格化へむけ、提出した規格原案の議論への対応など、安全性関係規格の標準化への貢献を引き続き進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・テスト設計支援ツール FOT を機能拡充・高速化し、車載機器のテスト設計へ実適用した。テスト設計記述の汎用化については、より根本からの記述手法が必要とわかり、要求記述レベルから安全とセキュリティに関する要件の記述を統一に扱う手法を開発した。また、高信頼マイコン向け応用ソフトの自動変換については、入出力動作に着目したプログラムスライシング等の理論の実システムへの適用へ向け、技術開発規模・手法等を共同研究先と検討した。消費者機械の安全性関係規格は、OMG 規格策定の最終段階に進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」を開発するために以下を行う。1) 筑波大学大学院 PBL 演習用のプロセス

展開パッケージリリース版とそれに準拠したプロセスアセスメントキットを開発する。2) 上記の展開パッケージとプロセスアセスメントキットの妥当性確認を行う。可能であれば筑波大学の協力を得る。3) Basic Profile 用展開パッケージのリリース版を開発し、PBL 用展開パッケージ・プロセスアセスメントキットと合わせて Web で公開する。

【平成26年度実績】

- ・「設計と開発を中心にシステムのライフサイクルプロセスを支援するツールチェーン」の開発のため、1) 筑波大学大学院 PBL 演習用のプロセス展開パッケージリリース版とそれに準拠したプロセスアセスメントキットを開発した。2) 昨年度の演習経験者に対するアンケート調査と本年度 PBL 演習中のアセスメントによって、上記の妥当性確認を行った。3) Basic Profile 用展開パッケージのリリース版を開発し、PBL 用展開パッケージ・プロセスアセスメントキットと合わせて Web で公開した。

《別表2》地質の調査（地質情報の整備による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）

【第3期中期計画】

活動的島弧に位置する我が国において、安全かつ安心な産業活動や生活を実現し、持続可能な社会の実現に貢献するために、国土及び周辺地域の地質の調査とそれに基づいた地質情報の知的基盤整備を行う。地球をよく知り、地球と共生するという視点に立ち、地質の調査のナショナルセンターとして地質の調査研究を行い、その結果得られた地質情報を体系的に整備する。地質情報の整備と利便性向上により産業技術基盤、社会安全基盤の確保に貢献する。また、地質の調査に関する国際活動において我が国を代表し、国際協力に貢献する。

1. 国土及び周辺地域の地質基盤情報の整備と利用拡大

【第3期中期計画】

国土の基本情報である地質基盤情報を、地球科学的手法により体系的に調査、整備するとともに、利用技術の開発と普及を行う。国土と周辺域における地質の調査を実施し、社会の要請に応えた地球科学基本図（地質図幅、重力図、空中磁気図、海洋地質図、地球化学図、地球物理図等）の作成、衛星画像情報との統合化等の地質情報の整備を行う。上記地質基盤情報を電子メディアやデータベースとして社会に普及させる体制を整備する。

1-(1) 陸域・海域の地質調査及び地球科学基本図の高精度化

【第3期中期計画】

長期的な計画に基づき、国土の地質基盤情報である5

万分の1の地質図幅の作成、20万分の1の地質図幅の改訂並びに20万分の1の重力図及び空中磁気図の作成を行う。また、海域の環境変動の予測や資源評価の基礎データとして海洋地質図を整備する。さらに、これらの地球科学基本図の利用を促進するために必要なデータベースを整備し、公開する。調査結果の信頼性向上に必要な地質標本の標準試料化と保管及び地質情報の標準化等を行う。

1-(1)-① 陸域の地質調査と地質情報の整備

【第3期中期計画】

- ・国土の基本情報としての地質の実態を体系的に解明し社会に提供する。都市基盤整備や防災等の観点及び地質情報の標準化と体系化の観点から重要な地域を重点的に、5万分の1地質図幅20区画を作成する。全国完備を達成した20万分の1地質図幅については、更新の必要性の高いものについて3区画の改訂を行い、日本全域については最新の地質情報に基づき、地層及び岩体区分の構造化と階層化を行った次世代の20万分の1日本シームレス地質図を作成する。

【平成26年度計画】

- ・整備計画に従って5万分の1及び20万分の1地質図幅の調査・研究を実施し、5万分の1地質図幅2区画と20万分の1地質図幅3区画を完成させる。次世代の20万分の1日本シームレス地質図の凡例を用いて東北、北海道地方の地質図編集を行う。

【平成26年度実績】

- ・整備計画に従って5万分の1及び20万分の1地質図幅の調査・研究を実施し、5万分の1地質図幅2区画を完成・出版させた。20万分の1地質図幅「大分」、「横須賀」及び「松山」を完成させた。次世代の20万分の1日本シームレス地質図では、新たに作成した凡例を用いて東北北部、及び北海道の地質図編集を行った。

1-(1)-② 海域の地質調査と海洋地質情報の整備

【第3期中期計画】

- ・沖縄周辺海域の海洋地質調査を実施し、海洋地質図の作成に必要な海底地質、地球物理、堆積物に関する基礎情報を取得するとともに、既に調査済みの海域も含めて、海洋地質図10図を整備する。取得した地質情報を、海域の環境変動の予測や資源開発評価、海域及び海底利用の基礎データとして社会に提供する。

【平成26年度計画】

- ・奄美大島周辺海域の海洋地質調査を実施し、海洋地質図作成のための海底地質に関する基礎情報を取得する。海洋地質及び海底堆積物などの海洋地質データベースの拡充を行う。

【平成26年度実績】

- ・奄美大島周辺海域及び徳之島・沖永良部島周辺海域の海洋地質調査を実施し、海底地形、反射法音波探査、全磁力及び重力測定、岩石や堆積物の採取を行い、海洋地質図作成のための海底地質情報を取得した。また、既存資試料の解析を進め、2区画の地質図を出版するとともに、海底堆積物データベース拡充のための準備作業を行った。

### 1-(1)-③ 地球科学基本図等の高精度化

#### 【第3期中期計画】

- ・国土の地球科学基本図等に関する基盤情報のデータベースを整備、公開する。地質情報の高信頼化と高精度化を図るために、岩石・ボーリング試料等で得られた地質標本の標準化及び保管と管理を行う。また、地質凡例や地質年代等の標準化を行う。地質情報整備支援のために、地質標本の薄片・研磨片等を作成する。ISOに準拠した地球化学標準試料3個を作製する。大都市周辺の精密地球化学図として関東地方の精密地球化学図を完成する。地球物理図に関しては、20万分の1重力基本図3図、5万分の1空中磁気図2図を作成する。ボーリングコアは10件以上を新たに登録し、コアライブラリを整備し、20件以上の利用を目標とする。岩石試料は200サンプル以上を、化石試料は30試料以上をそれぞれ標本登録し、50件以上の利用件数を目標とする。

#### 【平成26年度計画】

- ・標準層序及び環境指標の確立、地質標本の標準化に資するため、関連各ユニットとも連携して国内外の地質標本の系統的な収集に努め網羅性を高めるとともに、その分類・記載を進め標本のもつ属性情報を付加していく。紀伊半島や四国地域等の火成岩類・変成岩類の岩石・鉱物の分類・記載、および中部地域等の新生代無脊椎動物の分類・記載などを行う。鉱物の反射スペクトルに関する系統的な分析についての測定結果の考察と取りまとめを行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・地質標本の標準化のため、岩石、鉱物及び化石等の地質標本の記載・分類学的研究を行った。火成岩類・変成岩類の岩石・鉱物の分類・記載として、四国西部の20万分の1「松山」地域内の火成岩類に関する岩石記載・年代のとりまとめを行なった。新生代化石の分類・記載研究として、長野県戸隠地域産の軟体動物化石を記載し取りまとめを行い出版に向けて原稿を作成した。鉱物の反射スペクトルに関する測定結果は、研究資料集として取りまとめて公開した。「地質標本データベース」のデータ修正などを行い標本属性情報の整備を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・地層名検索データベースのデータ修正と新しいデータ追加を行い、データベースを更新する。新規にデータベースを追加できるようにするためシステム枠組みの整備を行う。またデータベースシステムの改善についての検討も行う。図幅への地質図 JIS コード適用を試行する。

#### 【平成26年度実績】

- ・地層名検索データベースについて、小滝地域の地質図幅に記載された地層情報をデータベーステーブルに追加して公開した。公開済みのデータの書式修正や誤入力修正を行い、14地質図幅地域の模式地位置が地質図に表示されるように設定して公開した。またデータベースに関する CC ライセンス表記を追加した。新規データベース追加のためにシステム枠組みの整備を行い、新テーブルにデータの入力を行っている。また日本地質学会と協力の下で、標準層序の審査機構と、新地層名の提案の際に本データベースを利用する仕組みの構築を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・ISOに準拠した地球化学標準試料として、在庫状況や予察による候補試料等の検討を行い、最適な標準試料を1個作製する。またISOを維持するために必要な記録作成と内部監査を行う。大都市周辺の精密地球化学図を作成するため、関東地方から採取した試料の化学分析及び解析を行い「関東地方精密地球化学図」を作成する。

#### 【平成26年度実績】

- ・岐阜県中津川市の花崗岩試料（苗木花崗岩）約140kgを粉砕し瓶詰めを行い地球化学標準試料1個を作製した。またISOを維持するために品質マニュアルの改善及び必要な記録作成と内部監査を行った。大都市周辺の精密地球化学図を作成するため、関東地方河川堆積物試料について53元素の化学分析及び解析を行い「関東地方精密地球化学図」を作成するとともに、次の作成予定地である名古屋市を中心とした「中部地域」より264個の河川堆積物試料を採取し予察を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・20万分の1重力図（金沢地域）を作成する。中部地方（両白山地）および近畿地方（伊勢地域）での重力調査を実施し、重力データベースの更新を行う。地殻活動域の空中磁気図（富士火山地域）を作成する。

#### 【平成26年度実績】

- ・20万分の1重力図（金沢地域）を作成した。中部地方（両白山地）および近畿地方（伊勢地域）において、171点で新規重力調査を実施した。重力データベースについては、地下構造可視化システム（活断層セグメント）への対応を実装した。地殻活動域の空中磁気図

(富士火山地域)を作成した。

【平成26年度計画】

- ・平成24年度に採取した石川県珠洲地域の新第三系の試料を分析して、珪藻化石層序と渦鞭毛藻化石層序の対比を行い、両化石層序の対比が広く適用できることを確認し、渦鞭毛藻化石層序を最終的に年代スケールに統合する。また、第3期で得られた成果を総合して統合年代スケールを完成させる。地球磁場逆転時の磁場変動パターンおよびその年代推定値の信頼性を上げるために、データとモデルの再検討を行う。

【平成26年度実績】

- ・石川県 珠洲地域の新第三系の珪藻化石層序と渦鞭毛藻化石層序の対比を行い、佐渡や胎内地域など他地域でも広く適用できることを確認し、渦鞭毛藻化石層序を年代スケールに統合することができた。これまでの研究成果を総合し、最新の地磁気極性年代尺度に合わせた統合年代スケールを確立した。房総半島寺崎の鍵火山灰層を含む露頭試料を採取し、複数の消磁手法の組み合わせにより信頼できるブルナー松山地球磁場逆転の復元に成功した。さらに、SQUID 顕微鏡を開発し南鳥島近辺で採取された鉄マンガクラストから地球磁場逆転を検出した。

【平成26年度計画】

- ・地質調査総合センターの各ユニットと連携して、地質調査で得られた地質試料の地質標本館への登録を促進すると共に、収蔵標本の保管と管理、データベース化を着実に推進し、標本の登録情報を公開し、利用を支援する。地質試料調製法の開発や改良などにも取り組むとともに、Li 鉱床研究の支援のための分析に必要な高精度電子顕微鏡用試料の作製に取り組む。また、引き続き薄片技術者の人材育成をはかる。

【平成26年度実績】

- ・岩石試料763点、鉱物試料1点、化石試料2点、その他29点を標本登録した。登録鉱物標本画像のうち、利用希望の多いものを研究資料集として取りまとめて公開した。標本利用は67件(1770点)にのぼった。薄片作製数は、一般及び研磨薄片、大型薄片等の特殊試料の合計1324件だった。地質試料調製法の開発や改良などにも取り組み、Li 鉱床研究において分析に必要な電子顕微鏡用試料の高精度な薄片を作製し、研究支援を行った。人材育成として企業や大学の技術者を受け入れて研修を行った。

1-(2) 都市域及び沿岸域の地質調査研究と地質情報及び環境情報の整備

【第3期中期計画】

沿岸域に立地する多くの都市における地質災害の軽減に資するため、地質図の空白域となっている沿岸域にお

いて最新の総合的な地質調査を実施し、海域ー沿岸域ー陸域をつなぐシームレスな地質情報を整備する。

自然や人為による地質環境変化を解明するため、生態系を含む環境変遷及び物質循環、沿岸域環境評価の研究を実施する。

1-(2)-① 都市域及び沿岸域の地質調査研究と地質情報及び環境情報の整備

【第3期中期計画】

- ・沿岸域に立地する多くの都市における地質災害の軽減に資するため、地質図の空白域となっている沿岸域において最新の総合的な地質調査を実施し、海域ー沿岸域ー陸域をつなぐシームレスな地質情報を整備する。自然や人為による地質環境変化を解明するため、生態系を含む環境変遷及び物質循環、沿岸域環境評価の研究を実施する。

【平成26年度計画】

- ・相模湾北岸の平野～丘陵地域を中心にして、活断層の活動度や通過位置などに関する地質調査を実施し、5万分の1シームレス地質図の編纂を進める。足柄平野などでボーリング調査や既存地下資料の解析を行い、上部更新統や沖積層の三次元的な分布を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・相模湾北岸の国府津ー松田断層周辺の地質調査を行い、箱根火山の火砕流堆積物など基準となる地層の分布を明らかにした。またそれらの標高から断層の活動度を1.5m/千年程度と求めた。足柄平野周縁部や房総半島などの第四系の地質調査を行い、シームレス地質図の編纂を進めた。足柄平野で深度20～70mの4本のボーリング調査を行い、既存ボーリング資料とを併せて沖積層の基底深度や海成層の分布を明らかにした。また、九十九里浜平野の既存地下資料を収集して沖積層の三次元的な分布の概要を把握した。

【平成26年度計画】

- ・千葉県房総半島沿岸域の海洋地質調査を実施し、海底地質図及び表層堆積図作成のためのデータを取得するとともに、海域の地質層序、構造、堆積物分布と堆積作用を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・千葉県房総半島沿岸域の海洋地質調査(反射法音波探査、表層堆積物採取、堆積物柱状試料採取)を実施し、海域の地質層序、構造、堆積物分布と堆積作用の解明のための基礎試料を得るとともに、静岡県駿河湾沿岸域の海底地質図の作成と表層堆積物層序の確立を行った。

【平成26年度計画】

- ・東京湾西岸地域の沖積層分布地域を対象にして、ボー



リング調査や既存地下資料の収集・解析を行い、特に東京低地側の沖積層の堆積相、堆積環境および物理特性の三次元的な分布を明らかにする。

【平成26年度実績】

- ・東京都、川崎市、横浜市における既存ボーリング柱状図を約1万本収集し、その電子化とデータベース化を行った。このデータベースを用いて、沖積層の基底分布や岩相・N値分布を3次的に暫定的に明らかにした。平成26年度は、多摩川低地の川崎市川崎区において60 m、同中原区において30 mのオールコアボーリング調査を行い、その堆積相と年代、物性を明らかにした。多摩川低地では、厚層の中間砂層が分布することが特徴として挙げられるが、この砂層は海進期の河口州であることが推測された。

【平成26年度計画】

- ・相模湾・房総半島沿岸域の重力データ空白域で海底重力調査を実施し、既往の海上及び陸上データも取り込んで、陸海域を接合した重力図を作成する。

【平成26年度実績】

- ・相模湾・房総半島沿岸域の重力データ空白域で海底重力調査を実施し、70点で新たなデータを取得した。既往の海上及び陸上データ1300点も取り込んで、陸海域を接合した重力図を作成した。

【平成26年度計画】

- ・海洋酸性化が温帯性サンゴに与える影響についての飼育実験による検討を継続し、酸性化と水温上昇が複合して石灰化量に与える影響を検討する。内水域の地球温暖化に伴う環境変化を過去データによる検証を継続するとともに、霞ヶ浦など陸水の炭酸系の計測から物質循環プロセスを解析する。デルタや浜堤平野の堆積物について光ルミネッセンス（OSL）年代測定を継続し、完新世における気候と海水準の変動の復元研究を実施する。

【平成26年度実績】

- ・本州南方の温帯性サンゴ種の飼育実験により、現在の海水の酸性化条件では約3℃の水温上昇は石灰化量の増大をもたらすが、今世紀末以降に予想される海洋酸性化条件では石灰化量が減少することを示唆する結果が得られた。霞ヶ浦など陸水の炭酸系の季節変動を明らかにし、炭素同位体比分析から溶存無機炭素の供給源の推定を試みた。光ルミネッセンス年代測定をデルタや浜堤平野の堆積物について継続実施するとともに、浜堤を利用した巨大サイクロン等の履歴復元手法の問題点を明らかにし、手法の高精度化に向けての提言を行なった。

【平成26年度計画】

- ・アサリ浮遊幼生の生態系ネットワーク分断箇所特定の

ための数値モデルの作成に取りかかり、広島湾における浮遊幼生追跡モデル実験を開始するとともに、閉鎖性水域の環境再生に向けた流況制御技術を検討する。また、密度成層を再現した東京港水理実験より、底層水塊の挙動と地形改変による流況改善効果の評価を行う。

【平成26年度実績】

- ・広島湾を対象として、アサリ浮遊幼生の生態系ネットワーク分断箇所特定のための浮遊幼生追跡モデルの作成に取り組み、精度のよいモデルの作成に成功した。また、浮遊幼生追跡実験を開始した。現在、広島湾では、春季と秋季で幼生の挙動が大きく異なることが解った。なお、東京湾水理模型実験に関しては、担当者異動により実行できなかった。

【平成26年度計画】

- ・中国、ベトナム、インド、マレー半島からインドネシアのデルタを中心に、現地研究機関と共同で、完新統の層序、古地理、海水準変動に関する研究と、これらのデルタについて過去数十年間を対象に人間活動のデルタへの影響に関する調査・研究を遂行する。

【平成26年度実績】

- ・マレー半島における中期完新世の海水準変動とベトナムメコンデルタにおける前期から中期の完新世の海水準変動を明らかにし国際誌から公表した。特に前期完新世末の急激な海水準上昇が沿岸環境や氷床融解において重要であることを示した。インド東部のゴダバリデルタの完新世の地史と近年の変化を明らかにし国際誌に投稿した。中国黄河デルタから渤海における最終氷期最盛期以降の環境変遷を国際誌から公表した。黄海西部の旧黄河デルタの沿岸侵食量とその変遷、周辺域への影響を初めて定量的に示し、国際誌で発表した。

【平成26年度計画】

- ・相模湾から房総半島沿岸域の海域及び陸域での地質、活断層調査を着実に行う。陸域で取得したデータの解析、解釈を進める。さらに、平成25年度に実施した沿岸域調査研究の成果を報告書にまとめる。

【平成26年度実績】

- ・相模湾から房総半島沿岸域の海域及び陸域での地質、活断層調査を実施し、相模平野のボーリング調査及び既存ボーリング資・試料の収集・解析を行い、沖積層基底深度の分布を把握した。また、房総半島東岸で反射法音波探査により、九十九里沖に北東―南西に延びる数条の褶曲を見いだした。また、平成25年度に実施した沿岸域調査研究の成果を地質調査総合センター速報として出版した。さらに、平成23年度から平成24年度に実施した石狩低地帯南部沿岸域の調査結果を海陸シームレス地質情報集（DVD）として出版した。

### 1-(3) 衛星画像情報及び地質情報の統合化と利用拡大 【第3期中期計画】

自然災害、資源探査、地球温暖化、水循環等に関する全地球的観測戦略の一環として、衛星画像情報のアーカイブ、地質情報との統合を図る。また、シームレス化、デジタル化された地質情報と衛星情報から、新たな視点の地質情報を得ることを可能にする技術の開発を行う。また、情報通信速度の向上や画像処理技術の進展に応じて、新たなデータを統合してデータベースとして提供する等の対応を行う。

#### 1-(3)-① 衛星画像情報及び地質情報の統合化データベースの整備 (IV-2-(2)-①へ再掲)

##### 【第3期中期計画】

・衛星データ利用システム構築に資する衛星画像情報を整備し、地質情報との統合利用により、鉱物資源のポテンシャル評価や火山、地震、津波等の災害情報等に利活用する。また、情報通信技術との融合により、シームレス化、データベース化された地質情報と衛星画像情報の統合化データベースを整備し、新たな視点の地質情報を抽出するための利活用方法の研究を実施する。

##### 【平成26年度計画】

・品質保証された衛星画像情報の整備に向けた以下の研究開発を行う。1) ASTER に対する地上サイトを用いた校正と検証、および、その画像補正にかかる研究開発を継続する。保存されている ASTER 全データの健全性確認を行う。2) ASTER、PALSAR など既存の METI 開発センサによって取得された複数の衛星画像の統合的なデータベースシステムを開発する。3) METI 開発次期センサに対しては、その特殊性を考慮した校正手法、アルゴリズムの研究開発を継続する。また、その校正アーカイブシステム開発に着手する。

##### 【平成26年度実績】

・品質保証された衛星画像情報の整備に向けた以下の研究開発を行った。1) ASTER データに対して、地上サイトを用いた校正と検証を継続的に行い、打ち上げ後15年を経ても、その輝度精度が保たれていることを確認した。また200TB 以上のアーカイブデータが正しく保存され、アクセス可能であることを確認した。2) より利用しやすい形でユーザーへのデータ提供を行うため、ASTER 以外の METI 開発センサ PALSAR, JERS-1 OPS によって取得された衛星画像の統合的なデータベースを開発した。3) METI 開発次期センサに対しては、基本処理アルゴリズムを完成させ、校正アーカイブシステム開発を開始した。

##### 【平成26年度計画】

・整備された衛星画像情報を利用した各種ベースマップ

およびデータベース作成のための研究開発を行う。1) 天然色全球マップについては、これまで各地域ごとに作成したものの全球化を完成させ、これを配信するための研究開発を行う。2) 全球都市マップ作成のための研究開発を継続し、試作されたマップの精度向上を図るとともに人口マップの作成に関する検討を開始する。

##### 【平成26年度実績】

・天然色全球マップについては、これまでの地域ごとに作成したものを全球約3万2千のタイルとして整備し、WMS 配信するためのシステムの構築を行った。全球都市マップ作成のための研究開発については、精度向上のためのアプリケーションを開発し、人口マップの作成に関する検討を行った。

##### 【平成26年度計画】

・衛星画像情報やさまざまな地質情報の統合解析により、火山観測、平野部の地下地質構造解析をすすめる。また衛星情報の高品質化と平野部地下地質情報の基礎データ整備をすすめる。さらに3次元地質モデル作成を目的としたシステム開発、国際標準に対応した地質情報作成技術の開発、X 線 CT 技術の開発と岩石学への応用を行う。

##### 【平成26年度実績】

・衛星画像情報を用いて西之島海底火山の表面温度や新島の面積を監視した。露頭柱状図を基礎データとして論理的手法により3次元地質モデルを作成し、論文発表した。またボーリング調査・野外調査を実施し、基礎データ整備をすすめた。大型放射光利用施設 SPring-8 で X 線 CT 装置の改良を行ない、それを用いて小惑星探査船「はやぶさ」や月探査船「ルナ」および「アポロ」の回収試料を解析した。衛星観測データの解像度依存性に関するメカニズム解明を行った。

##### 【平成26年度計画】

・地質情報のデータベース化の一環として、新たに観測された ASTER 画像を全球 ASTER 時系列 DEM 及びオルソ画像データセットに追加する。火山衛星画像データベースについては維持、更新を実施するとともに、新バージョンを公開する。

##### 【平成26年度実績】

・地質情報のデータベース化の一環として、東アジア地域において、新たに観測された ASTER 画像を全球 ASTER 時系列 DEM 及びオルソ画像データセットに追加した。火山衛星画像データベースについてはバージョン3.0を公開し、新たに14,000シーンの衛星画像を追加した。

##### 【平成26年度計画】

- ・露頭情報のデジタル取得手法の確立のため、低コスト、高効率で利便性が高い野外観察情報の収集手法の開発を行う。地図と連携した野外調査情報の取得方法について開発を行う。

【平成26年度実績】

- ・露頭情報のデジタル取得手法確立のため、クリノメーターソフトの試験と新たな機能の追加を行った。機能の追加や内容の修正によってソフトウェアの利便性を向上させることができた。

## 2. 地圏の環境と資源に係る評価技術の開発

【第3期中期計画】

地球の基本構成要素である地圏は、天然資源を育むとともに地球の物質循環システムの一部として地球環境に大きな影響を与える。地球の環境保全と天然資源の開発との両立は近年ますます大きな問題になっている。地圏の環境保全と安全な利用、環境に負荷を与えない資源開発及び放射性廃棄物地層処分の安全規制のため、地圏システムの評価、解明に必要となる技術の開発を行う。

### 2-(1) 地圏の環境の保全と利用のための評価技術の開発

【第3期中期計画】

土壌汚染、地下水汚染問題に対し、環境リスク管理に必要な評価技術の開発を行う。また、地球環境における低負荷のエネルギーサイクル実現のため、二酸化炭素地中貯留及び地層処分等の深部地層の利用に関する調査及び評価技術の開発を行う。

#### 2-(1)-① 土壌汚染評価技術の開発

【第3期中期計画】

- ・土壌汚染等の地圏環境におけるマルチプルリスクの評価手法を構築し、産業のリスクガバナンスを可能にするため、統合化評価システム及び地圏環境情報データベースを開発する。また、物理探査技術による土壌汚染調査の有効性を検証し、原位置計測や試料物性計測技術との併用による土壌汚染調査法を構築する。さらに、地圏環境の統合化評価手法を発展させ、水圏及び地表の生活環境における様々なリスクを適切に評価するための技術体系を確立する。

土壌汚染対策については、鉱物、植物、微生物及び再生可能エネルギーを活用した環境共生型の原位置浄化、修復技術を開発し、産業用地や操業中の事業場に適用可能な低コスト化を図る。

【平成26年度計画】

- ・土壌汚染評価を目的に以下の研究を行う。1) 茨城県表層土壌基本図を出版完了する。汚染物質の毒性及び濃度を簡便かつ精度よく分析する手法を開発する。自

然由来汚染の存在形態を解明、合理的なリスク管理方針を提示する。また、環境・社会及び経済要素を統合的に考慮したリスク評価モデルを構築する。2) 汚染浄化やモニタリング及び管理技術の実用化を目指し、物理・化学的手法や生物を活用した原位置浄化技術の開発を行う。また放射性物質汚染について、原位置測定や環境・保管管理中での動態把握及び移行予測技術の開発を行う。

【平成26年度実績】

- ・土壌汚染評価技術開発で以下の成果を得た。1) 茨城県地域表層土壌評価基本図を出版した。発光バクテリアによる重金属類の毒性と濃度評価技術を開発した。自然由来汚染と堆積環境との関連性を解明し、環境・社会及び経済性を考慮した汚染対策・措置の必要性をISO 会議等で提唱した。2) 酸性硫酸塩土壌による残留性有機汚染物質の分解機構を解明し、微生物による複合汚染の浄化技術等を開発した。環境水中低濃度Csの迅速測定装置と高精度分析法を開発し、放射性Csを含む除染土壌等の管理・保管施設の安全性評価手法を確立した。

### 2-(1)-② 二酸化炭素地中貯留評価技術の開発（I-6-(6)-③へ再掲）

【第3期中期計画】

- ・早期実用化を目指して、二酸化炭素地中貯留において、二酸化炭素の安全かつ長期間にわたる貯留を保証するための技術を開発する。大規模二酸化炭素地中貯留については、複数の物理探査手法を組み合わせた効率的なモニタリング技術の開発、二酸化炭素の長期挙動予測に不可欠である地下モデルの作成や精緻化を支援する技術及び長期間にわたる地層内での二酸化炭素の安定性を評価する技術を開発する。

圧入終了後における長期間監視のための費用対効果の高いモニタリング技術や、我が国での実用化に当たって考慮すべき断層等の地質構造に対応した地下モデリング技術を開発するとともに、二酸化炭素が地中に貯留されるメカニズムの定量的解析や、各地における貯留ポテンシャル評価等の基盤技術を開発する。また、安全性評価技術の開発と中小規模排出源からの排出に対応した地中貯留の基礎研究を実施する。

【平成26年度計画】

- ・CO<sub>2</sub>地中貯留の安全性評価に係る要素研究を行う。1) 米国サイトでのCO<sub>2</sub>圧入時モニタリングや物理量変換プログラム改良を継続し、モニタリング・モデリングの改良点検討を行う。2) 室内実験等による軟岩、砂泥互層の力学的・水理学的特性データの蓄積を継続し、シール圧-浸透率モデルやジオメカニズムを考慮したシミュレーション技術の高度化を図る。3) CCS環境での微生物の影響、便益を考慮したリスク評価技

術の高度化を図る。

【平成26年度実績】

- ・ 1) 米国サイトで CO<sub>2</sub> 圧入時モニタリングを継続するとともに、モニタリング法改良のため、超伝導重力計並行測定を試行し、苫小牧実証調査サイトにおけるデータ取得を開始した。物理量変換プログラムの適用範囲を拡げるため、地盤変位ポストプロセッサを改良した。2) 断層・軟岩・砂泥互層の力学・水理学的特性等ならびに地化学データの蓄積を継続し、ジオメカニズムを考慮したシミュレーションの拡張を実施した。3) CCS 環境での微生物によるメタンガス生成メカニズムの解明とその影響まで考慮したリスク評価技術の改良を行った。

2-(1)-③ 地層処分にかかわる評価技術の開発

【第3期中期計画】

- ・ 処分計画における地下水シナリオの精度を向上させるため、原位置実証試験による水理学的研究や環境同位体を用いた地球化学的研究を実施し、沿岸部深部地下水の流動環境と組成を把握する。また、沿岸域の地質構造評価のため、浅海域電磁探査法の適用実験及び改良による実用的な探査手法を構築するとともに、海陸にわたる物理探査データ解析・解釈法を開発する。さらに、処分空洞周辺の超長期間の緩み域の広がり把握するために必要な技術基盤を開発する。

【平成26年度計画】

- ・ 海域地質環境評価のために、駿河湾の沿岸海域を対象として、3次元反射法地震探査や海域微地形調査、海底湧出地下水調査、ボーリング掘削等により深部地下水までを対象とした実証的な調査を実施する。また、海水準や気候変動に対応した広域かつ長期的な地下水流動研究を継続し、堆積平野沖合に存在する淡水地下水領域の同定を行い、数十万年規模で安定した地下水領域を判定する。さらに、これまで構築してきたデータベースや沿岸域地質調査研究の成果の取りまとめを継続し、これを体系化する。

【平成26年度実績】

- ・ 経済産業省の受託研究である海域地質環境調査確証技術開発のために、駿河湾の沿岸域を対象として、3次元反射法地震探査、浅海域電磁探査、海域微地形調査、海底湧出地下水調査、ボーリング掘削調査ならびに広域・長期地下水流動解析を実施した。これらにより、海底下の淡水地下水領域の同定を行い、長期的に安定した地下水領域を判定することができた。さらに、これまで構築してきたデータベースや沿岸域地質調査研究の成果を取りまとめ、体系化した。

2-(2) 地圏の資源のポテンシャル評価

【第3期中期計画】

地圏から得られる天然資源である鉱物、燃料、水、地熱等を安定的に確保するため、効率的な探査手法の開発を行う。また、新鉱床等の発見に貢献することを目的として、資源の成因及び特性解明の研究を行う。さらに、各種資源のポテンシャル評価を行い、資源の基盤情報として社会に提供する。このような資源に関する調査、技術開発の知見を我が国の資源政策、産業界に提供する。

2-(2)-① 鉱物及び燃料資源のポテンシャル評価（I-3-(3)-③へ一部再掲）

【第3期中期計画】

- ・ 微小領域分析や同位体分析等の手法を用いた鉱物資源の成因や探査法に関する研究、リモートセンシング技術等を用いて、レアメタル等の鉱床の資源ポテンシャル評価を南アフリカ、アジア等で実施し、具体的開発に連結しうる鉱床を各地域から抽出する。

海洋底資源の調査研究については、海洋基本計画に則り、探査法開発、海底鉱物資源の分布や成因に関する調査研究を実施するほか、海洋域における我が国の権益を確保するため、大陸棚画定に係る国連審査を科学的データの補充等によりフォローアップする。

工業用原料鉱物及び砕石、骨材資源に関し、探査法開発、鉱床形成モデル構築、資源ポテンシャル評価を行う。国内及びアジア地域の鉱物資源情報のデータベースを拡充する。

メタンハイドレート等未利用燃料資源利用のため、代表的な資源賦存域において資源地質特性解明及び資源ポテンシャル評価を行い、燃料資源地質図を整備する。国内資源として重要な南関東水溶性天然ガス資源の賦存状況を解明し、燃料資源地質図として整備する。大水深域等の海域及び陸域における地質調査と解析により、天然ガス鉱床形成システム解明及び資源ポテンシャル評価を行う。効率良い資源開発や環境保全に向け、メタンの生成、消費等の地下微生物活動を評価する。

【平成26年度計画】

- ・ レアメタル資源の安定的確保のために、1) MOU 締結国の協力を得て、レアメタルの資源ポテンシャル評価を実施する。2) 工業用原料鉱物（ベントナイト、珪石等）に関する賦存状況調査を実施すると共に、各種性能評価法の改良と標準化を実施する。3) アジア鉱物資源図の作成・出版、国内鉱物資源図の電子化、アジア鉱物資源データベースの拡充と電子化を継続する。20万分の1、5万分の1地質図のための鉱物資源情報を継続して収集する。

【平成26年度実績】

- ・ レアメタル等鉱物資源の安定的確保のために以下の研究を行った。1) 南アフリカ共和国、米国、ブラジル、ミャンマーにて、同国の公的地質調査機関と共同でレ

アース・レアメタル鉱床の開発可能性評価を実施した。2) ベントナイト性能評価法標準化の研究を推進し、特にメチレンブルー吸着量測定法のルーチンを確立した。3) 500万分の1アジア鉱物資源図を出版した。20万分の1地質図「松山」、5万分の1地質図「豊田」「播州赤穂」における鉱物資源情報を収集した。

#### 【平成26年度計画】

- ・米国アラスカで広範囲から採取する岩石の炭酸塩鉱物の産状や炭素・酸素同位体比を検討し、新たな鉱床探査手法を提案する。熱水性鉱床のレアメタル（In、Bi、Sb、Se）及び貴金属鉱物の成長組織解析から金属濃集プロセスを考察するとともに、雲仙火山の熱水系における各種元素分布から火山地域において浅熱水性金鉱床が形成される場およびその条件を明らかにする。熱水性マンガン酸化物における元素の起源・濃集機構解明を目的に、イオン交換樹脂を用いた Mo 同位体比分析の最適な化学分離方法について検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・米国アラスカ金鉱床地域の炭酸塩鉱物の炭素・酸素同位体比からシデライトと含鉄ドロマイトの脈中の産状解析が新たな優れた金鉱床探査手法であること、菱刈熱水性鉱床の金セレン鉱石の解析からセレンを伴う金とカリウムが熱水の沸騰現象により濃集することを解明した。雲仙火山の変質鉱物と流体包有物と付近の地熱水の温度分布から、鉱床形成の熱水系の発達は今後であると推定した。海底マンガン酸化物の Mo 同位体分析のため化学分離用陽イオン・陰イオン交換樹脂の調製と各樹脂を使用した際の Mo のブランクと回収率を確認した。

#### 【平成26年度計画】

- ・上越沖を中心とする日本海で、堆積物試料等の取得、解析を進め、表層型メタンハイドレート鉱床の成因解明を進める。関東平野の天然ガス、地質学的データをまとめ、燃料資源地質図として出版する。ガス田かん水での有機物分解経路に関係する微生物群を明らかにする。油層水中の未培養細菌の原油分解に関する機能を解明する。さらに非在来型、在来型燃料資源鉱床に関し地質学、堆積学や地化学等の手法での解析、室内実験などをとおこない、成因やポテンシャル評価等のための基盤的情報等の整備、発信を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・上越沖、最上トラフ、隠岐トラフ等で、AUV 等による潜水探査や掘削調査などの表層型メタンハイドレート（MH）探査を実施した。MH 胚胎の可能性の高いポックマークの成因について考察し、報告した。関東地方の水溶性天然ガスについて、その分布状況、化学分析結果、ガスの成因の解明等についての最終的などりまとめを行い、燃料資源地質図「関東地方」として

整備した。南関東ガス田のかん水より有機物分解経路に関与する微生物種を分離培養した。油層水中の未培養細菌が原油中の芳香族炭化水素の分解に関与している可能性を見出した。

#### 【平成26年度計画】

- ・非金属鉱物資源や材料、地圏流体等の地質学的、地化学的、鉱物化学的解析を通して、地殻流体、炭化水素ガス等の物理化学性状を解明するとともに、非金属鉱物資源の賦存状況把握や利用に関わる研究、非金属鉱物材料の製品化に資する研究及び現場実験等を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・非金属鉱物材料の研究開発として、小型化・低価格化を目指した新たな施設園芸用 CO<sub>2</sub>貯留・供給システム用吸着剤の選定を行った。ハスクレイの実用化研究（企業との共同研究）として、大規模蓄熱システムへの適用のための要素技術開発を行った。平成24年度から継続している多機関連携共同研究では、福島県内の実地調査で採取した粘土鉱物等について、その放射性物質の吸着状況を系統的に分析した。地圏流体にかかわる研究としては、ガスハイドレートの相平衡条件の決定、温泉発電にかかわる熱水（温泉水）の化学的性状の解明等を行った。

#### 2-(2)-② 地下水及び地熱資源のポテンシャル評価（I-1-(2)-③へ一部再掲）

#### 【第3期中期計画】

- ・我が国の地下水及び水文環境の把握のため、全国の平野部を中心に整備を進めている水文環境図を2図作成する。また、工業用水の安定的な確保のため、全国の地下水資源ポテンシャル図を整備する。再生可能エネルギーとして重要な地熱資源の資源ポテンシャルを地理情報システムによって高精度で評価し、全国の開発候補地を系統的に抽出する。また、地熱開発促進にむけて地熱利用と温泉保全の両立を図るため、温泉発電技術や貯留層探査評価技術を含む地熱技術を開発する。さらに、地中熱利用のため、平野部等の地下温度構造及び地下水流動モデルを構築する。

#### 【平成26年度計画】

- ・水文環境図の製作・管理、熊本平野・石狩平野の出版に加えて、駿河湾地域・大阪平野の調査を開始する。また、誤分析問題により、仙台平野・関東平野など出版を見合わせている地域のデータを検証・更新してその復刻を目指す。地下水データベースの拡充や工業用地下水資料の取りまとめを通してインフラ整備に貢献するデータを積極的に発信する。さらに、CCOP 東南アジア地下水研究においては、グローバルな視点で地球規模の環境問題も考慮しつつ加盟国の地下水環境を調査しこの情報を広く発信する。

## 【平成26年度実績】

- ・水文環境図「熊本平野」および「石狩地域」を出版した。また、駿河湾地域と大阪平野についても調査を順調に実施した。誤分析問題により販売が止められていた仙台平野・山形盆地・濃尾平野・筑紫平野・庄内平野については再調査を実施して新たな地下水試料を採取し、再分析を完了した。  
さらに東日本大震災の影響の残る東北地方を含めた地下水データベースの拡充や、CCOP を通じた東南アジア各国への支援などを予定どおり実施し、情報の発信を行った。

## 【平成26年度計画】

- ・東北地方を中心とした地熱フィールドでの微小地震、温泉モニタリングを実施するとともに、日米共同研究の枠組みを活用し、東北地方のフィールドにおいて貯留層性能向上実験を実施する。東北大との連携の下、室内実験を通して超高温環境下での亀裂生成メカニズムや岩石熱水相互作用等の解明を行う。さらに、地域の社会的特性、地下条件等を勘案した最適地熱システム設計、社会への実装法についての研究を開始する。

## 【平成26年度実績】

- ・福島県柳津西山地域で自然電磁法による貯留層評価を行うとともに、微小地震による貯留層モニタリングシステムを開発し、連続モニタリングを開始した。温泉と共生した地熱発電のための温泉モニタリングシステムの開発に着手した。  
日米独の共同研究として岩手県葛根田地域で加圧注水による貯留層性能向上実験を成功裏に実施した。東北大との連携の下、超高温環境下での亀裂生成メカニズムや岩石熱水相互作用等の解明のための室内実験を開始した。  
地域の社会的特性、地下条件等を勘案した最適地熱システム設計法の研究を開始した。

## 【平成26年度計画】

- ・シーズ評価事業の一環として、「自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの性能評価」および「地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器の評価」を実施する。また、福島県内の主要地域における地中熱ポテンシャル評価に着手する。熱帯・亜熱帯地域での地中熱利用研究として、25年度より CCOP 地下水プロジェクト・サブプロジェクトとして位置づけられたタイ国チュラロンコン大学との研究を継続する。

## 【平成26年度実績】

- ・シーズ支援事業として、計画以上の3件の共同研究を実施した。地域の水文地質環境の利活用により、いずれの地中熱システムも5以上の高い COP での稼働が

確認された（通常は3.5）。

福島県内の主要地域における地中熱ポテンシャル評価の初期段階として、水理地質情報の収集・コンパイルを行った。

東・東南アジアへの地中熱研究の展開を計り、CCOP 地下水サブプロジェクトに位置づけられたタイ国チュラロンコン大学との研究において、地中熱冷房システムの実証試験を行い、バンコクにおいて COP4以上の性能を示すことができた。

## 2-(3) 放射性廃棄物処分の安全規制のための地質環境評価技術の開発

## 【第3期中期計画】

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業に対し、国が行う安全規制への技術的支援として、地質現象の長期変動及び地質環境の隔離性能に関する地質学的、水文地質学的知見を整備し、技術情報としてとりまとめる。また、放射性核種移行評価に向けての技術開発を行う。

## 2-(3)-① 地質現象の長期変動に関する影響評価技術の開発

## 【第3期中期計画】

- ・高レベル放射性廃棄物地層処分における概要調査結果に対する規制庁レビューの判断指標として、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び原子力安全委員会の環境要件に照らし、隆起侵食活動、地震・断層活動、火山・火成活動等の”著しい地質変動”の活動履歴及び将来予測において必要となる各変動の発生位置、時代等の不確実性を低減するための調査及び評価手法の適用性評価と長期的な予測手法の開発に向けた検討を行う。また、処分深度の深層地下水の性状、その起源及び流動プロセスの把握手法を開発する。これらの手法の適用結果を、データベースとして取りまとめて国に提供する。さらに、各種の地質変動が深層地下水流動に及ぼす水文地質学的変動モデルの開発に向けた検討を行う。以上の成果を技術情報として取りまとめ、公表する。

## 【平成26年度計画】

- ・火山 DB 及び断層 DB を引続き更新・拡充する。長期的な気候・地質変動事象(気候変動・隆起・沈降・堆積・侵食・断層・マグマ活動)の時間空間的不均質性に関して、個々の事象やその連関作用について理解を深化させるとともに、解析・評価手法について検討し、取りまとめを行う。各種地下水 DB を更新・拡充する。地下水の混合関係や混合年代等の解析・評価手法、超長期年代測定技術の開発、海面変化による地下水流動系の変化の予測技術の一般化、地質関連事象による深部流体・熱水活動の周辺地下水系への影響に関する検討を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・火山 DB・断層 DB・各種地下水 DB の更新・拡充を継続した。長期的な気候・地質変動に関する時空分布を調査し、その変動要因について検討した。地下水の混合関係や混合年代等の解析・評価手法の適用性の検討および地質関連事象による周辺地下水系への影響を予測する評価手法・技術の検討を行った。これらの検討結果を総合し、不確実性低減のための課題を抽出し、取りまとめを行った。

## 2-(3)-② 地質環境の隔離性能に関する評価技術の開発

## 【第3期中期計画】

- ・高レベル放射性廃棄物地層処分における精密調査結果に対する規制庁レビューの判断指標として、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律及び原子力安全委員会の環境要件に照らし、岩盤の強度、地下水の化学的性質、地下水流動に関する不確実性を低減するための水理・化学環境調査、評価手法の開発、整備と、調査手法及びデータの品質管理に関する評価手法を整備する。また、自然事象等の外的要因が地下水流動、化学的環境に及ぼす影響を評価するための室内実験手法、解析手法を整備した上、シナリオに基づく長期的な変動が地下水流動、核種移行に及ぼす影響予測手法を開発、整備する。以上の成果を技術情報として取りまとめ、公表する。

## 【平成26年度計画】

- ・処分場立地調査の妥当性評価、安全評価手法の整備のために、下記の技術開発を行い、技術情報の提示を行う。1) 地下の水理、力学、化学環境の調査手法と総合的な将来予測手法を提示する。2) 建設時の影響及びより長期的な事象による処分場近傍の水理環境、水質の変動に関する将来予測モデルを提示する。3) 特に断層活動を対象とした連成モデルによる水理特性及び力学特性の変動予測モデルの開発を行う。

## 【平成26年度実績】

- ・1) 特に異常間隙水圧の発生と地下水流動系への影響に関して、実際の水質環境に近い状態での浸透圧発生の評価手法と電気化学的なモデルを提示した。2) 個別要素法による空洞周辺の水理特性変化のモデル及び不飽和帯発生を考慮した水質変動モデルを構築した。3) 10cm 程度の室内実験スケールから1m 程度のブロックスケールにおける岩石の破壊様式と水理特性変化の水理-力学連成解析モデルを構築し、数百 m のサイトスケールを対象とした連続体モデルへの拡張手法を提示した。

## 3. 地質災害の将来予測と評価技術の開発

## 【第3期中期計画】

地震、火山活動等による自然災害の軽減に必要な、科学的根拠に基づく地震と火山活動の予測が期待されている。その実現のために、調査及び観測情報に基づいて地震及び火山活動履歴を明らかにし、また地震及び火山活動のメカニズム解明を目指した調査、研究を実施する。

## 3-(1) 活断層調査、地震観測等による地震予測の高精度化

## 【第3期中期計画】

陸域及び沿岸海域の活断層や過去の巨大津波発生状況について古地震調査を行い、将来の地震発生危険度や発生しうる津波の規模を明らかにする。内陸地震の発生と地盤変形の予測に必要な物理モデルの構築とシミュレーション手法を提案する。また、東海・東南海・南海地震を対象とした海溝型地震の短期予測システムを構築する。さらに、これら調査研究結果の情報公開を行う。

## 3-(1)-① 活断層評価及び災害予測手法の高度化

## 【第3期中期計画】

- ・陸域及び沿岸海域の25以上の活断層について古地震調査を行い、過去数千年間の断層挙動を解明することにより将来の地震発生危険度を明らかにする。また、調査結果のデータベース化と情報公開を進める。地震の規模と発生時期の予測技術確立のために、糸魚川-静岡構造線を例に、過去の断層挙動、最近の地震活動、地殻変動や実験データに基づいた活断層の物理モデルの原型を提示する。地震発生時の災害予測のため、大都市圏近傍等の活断層運動による地盤変形を予測するための調査手法とシミュレーション手法を提案するとともに、地盤変形評価図を作成する。

## 【平成26年度計画】

- ・陸域及び沿岸海域の活断層のうち、将来の活動確率や地震規模等が十分に把握されていない活断層について、断層の位置形状、活動性及び活動履歴を明らかにするための調査を5断層帯程度において実施する。

## 【平成26年度実績】

- ・陸域の主要活断層として菊川断層帯、地域評価対象断層帯として、小倉東断層、福智山断層帯、西山断層帯、佐賀平野北縁断層帯、沿岸海域の活断層として、鴨川低地断層帯、三浦半島断層群の計7断層帯について、分布形状や活動履歴に関する詳細な調査を実施し、将来の活動確率や地震規模評価のためのデータを得た。

## 【平成26年度計画】

- ・構築した運動性評価手法を国内断層系にて検証するため、糸魚川-静岡構造線活断層系にて古地震調査を実施する。国外で検証可能な断層系を探すため、東アナトリア断層系の予備調査に着手する。短い活断層や地

形表現に乏しい活断層で発生する地震規模の評価手法の検討として、国内外での事例収集、および佐賀平野北縁断層帯等に高解像度地形データ解析等の調査を実施する。断層破砕物質を用いた断層活動性評価手法の一般化に向け、過去に採取した断層岩の鉱物化学分析を実施し、断層帯に適用して手法を検証・改良する。

【平成26年度実績】

- ・糸魚川－静岡構造線活断層系の1地点で古地震調査を実施し、最新活動に伴う地震時変位量を復元するとともに、神城断層との連動性を評価した。東アナトリア断層系の1地点で古地震調査を実施し、最近3回の活動履歴を明らかにした。地形表現に乏しい佐賀平野北縁断層帯において、群列ボーリングにより同断層帯の平均変位速度や傾斜角を初めて明らかにし、地震規模評価のためのデータを得た。断層破砕物質を用いた断層活動性評価手法の一般化に向け、活動性の異なる断層から採取した試料の鉱物化学分析を実施し、手法を補強・改良した。

【平成26年度計画】

- ・断層位置データの利活用を促進するため、活断層ストリップマップ等の産総研の既存出版物に示された断層位置等のデータを、活断層データベースの検索地図画面上に重ねて表示できる機能を追加する。

【平成26年度実績】

- ・活断層ストリップマップ等、産総研による活断層調査結果の情報を検索・表示させるシステムを構築し、実装した。また、最近実施された活断層調査の結果を新たに20文献入力した。

【平成26年度計画】

- ・糸静線断層帯の変動・応力場再現のためのシミュレーションモデル作成において、これまで構築したモデルにさらに各断層端に粘性領域を導入する等のプログラムの改良を行い、断層帯周辺の広域的な応力場の再現が可能なモデルパラメータ群と地震サイクルシミュレーションが可能な手法を提示する。糸静線断層帯の連動性評価のための動的破壊の数値計算手法開発として改良してきたプログラムを用いて、糸静線断層帯の連動シナリオのプロトタイプを数例提示する。

【平成26年度実績】

- ・糸静線断層帯のシミュレーションモデル作成では、これまで構築した活断層の地震サイクルモデルに、断層の両端に粘性領域を導入し、極端な断層端での応力集中の発生を回避することができた。これによって、より現実的な応力場の再現が可能なシミュレーション手法を提示した。連動性評価においては、2014年長野県北部の地震の動力学的震源モデルを構築し、これを基に糸静線断層帯北部の連動シナリオを検討した。

【平成26年度計画】

- ・脆性－塑性遷移領域直下の岩石変形過程を実験室で再現するために、粒度500nm未満の粉の使用により拡散距離を小さくする、焼結温度を融点ぎりぎり以上に上げ拡散係数を大きくする等の工夫により、長石の焼結実験を行い、岩石変形実験の出発物質となる長石の焼結体の合成技術を確認する。断層岩の解析に基づく断層内変形過程の解明のため、中央構造線の断層内部構造を活動ステージごとに分離する。

【平成26年度実績】

- ・長石の焼結技術確立については、粒度500nm未満の粉を使用し、融点ぎりぎり焼結を試みた。100時間という長い焼結時間が必要であり、また一部に溶融が起こっているという課題が残されるものの、空隙率がほとんどなく焼結体を合成できることを確認した。また中央構造線の断層露頭観察に基づき内部構造解析を行った。構造同士の切断関係から活動ステージを分離し、ステージごとに変形集中の様式が異なることを明らかにした。

【平成26年度計画】

- ・大型二軸試験装置を用いた水圧破碎実験を行い、発生する微小破壊の活動に及ぼす、応力と水圧の微小変動の影響について調べる。

【平成26年度実績】

- ・大型二軸試験装置の老朽化した制御システムの更新を行い、AE（アコースティックエミッション）の活動と水圧の微小変動の関係を調べる実験環境を整備した。砂岩試料を用いた水圧破碎実験を行ったところ、AEは多数計測されたが、水圧破碎に伴う亀裂が発生した証拠は得られなかった。試料の透水性が高く、亀裂が発生しなかった可能性があり、花崗岩など透水性の低い試料を使った実験が必要である。

【平成26年度計画】

- ・関東平野において、これまで産総研、他機関が取得した探査データについて、必要に応じて平成25年度と同様の再処理等を実施しつつデータベース化し、活断層の地下構造、基盤構造を3次元的に把握する。それに基づき、これまで構築してきた地盤変形シミュレーション手法による地盤変形予測図の作成範囲を深谷～綾瀬川断層全域に拡張する。

【平成26年度実績】

- ・関東平野についての反射法による既存の探査データに対し、統一的なデータ処理を実施し、層序対比を明確化することにより断層活動に伴う基盤の新たな変位、変形構造を見出した。また、基盤構造の3次元解釈において、重力データを参照することの重要性を示した。地形情報等、地盤変形シミュレーションへの入力条件の整備範囲を深谷～綾瀬川断層全域に拡張し、広



範囲の地盤変形予測図の作成が可能になった。また、地盤変形シミュレーション手法の開発の中で地表変位情報から断層形状を推定する数値解析手法を新たに構築した。

### 3-(1)-② 海溝型地震及び巨大津波の予測手法の高度化

#### 【第3期中期計画】

- ・東南海・南海地震を対象とした地下水等総合観測施設を整備し、既存の観測データと統合して解析を進め、駿河トラフ・南海トラフで発生する東海・東南海・南海地震の短期予測システムを構築する。

巨大津波による災害を軽減するため、日本海溝及び南海トラフに面した沿岸域の地形・地質調査に基づいて、過去数千年間の巨大津波の発生履歴を精度良く明らかにし、津波の規模を解明する。宮城県については、津波浸水履歴図を公表する。

#### 【平成26年度計画】

- ・国の東海地震予知事業の一環として前兆的地下水位変化検出システムを運用する。短期的 SSE の統合解析結果を委員会等へ報告する。短期的 SSE の自動検出手法を実装する。同 SSE 発生域の平均すべり速度分布を求め、同分布の表示システムを実装する。東海地域の水準測量データ等の解析により固着等の時空間変化を1980年代まで遡って推定する。深部低周波微動の発震機構解の解析を継続し、同震源の移動との関係を明らかにする。四国太平洋沿岸部で収集した1946年南海地震直前の異常現象に関する目撃証言をまとめる。

#### 【平成26年度実績】

- ・前兆的地下水位変化検出システムの運用を継続し、歪・傾斜等統合データによる短期的 SSE 解析結果を委員会等へ報告した。今までの解析結果から同 SSE 発生域の平均すべり速度分布を求め、同 SSE の自動検出手法をデータ解析・表示システムに組み込んだ。1980年代までの測量データ等から東海地域では規模の異なる複数の長期的 SSE が発生していたことが判明した。深部低周波微動の発震機構解の時空間分布を調べ、特定の場所で低角逆断層からずれることを示した。1946年南海地震直前の四国太平洋沿岸部での目撃証言をまとめた。

#### 【平成26年度計画】

- ・台湾成功大学との共同研究「台湾における水文学的・地球化学的手法による地震予知研究」を引き続き推進し、産総研にて第13回ワークショップを開催する。台湾の地下水位観測データと地震動との関係についての解析結果を論文として発表する。

#### 【平成26年度実績】

- ・8月に札幌で開催されたアジアオセアニア地球科学会

議（AOGS）で、地下水と地震に関する特別セッションを開き情報を交換した。第13回ワークショップを産総研で9月に開催した。台湾の地震時地下水位変化に対する地震動の寄与における周波数依存性について、不圧地下水と被圧地下水とで区別した場合の違いを明らかにし、論文として投稿した。

#### 【平成26年度計画】

- ・おもに地形、地質学的手法を用いて、過去の津波や隆起、沈降の痕跡から過去の巨大海溝型地震の履歴及び規模を明らかにするための調査研究を進める。下北半島と三陸海岸で調査を行い、内湾海底から過去の津波堆積物を検出する新手法を検証する。相模トラフ沿いの房総半島、南海トラフ沿いの静岡県・紀伊半島・四国沿岸などで津波堆積物や地殻変動の調査および採取試料の分析を継続する。震源断層モデルの検討・改良を行うため、海岸地形の情報等を用いて千島海溝、相模トラフ、南海トラフの地震による津波シミュレーションなどを行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・千島・日本海溝、相模トラフ、南海トラフ沿いでそれぞれ津波堆積物調査等を実施した。三陸海岸広田湾では、高解像度の音波探査記録に基づいた海上からの掘削により、2011年東北地方太平洋沖地震、およびそれより前の津波の痕跡を検出することに成功した。また房総半島九十九里浜では、これまで歴史上に知られていない津波の痕跡を検出した。高知県では東洋町、四万十町、黒潮町でそれぞれ過去の津波と思われる複数枚の砂層を検出した。ほか東北地方太平洋沿岸を襲った1454年享徳地震津波の断層モデルを構築するために津波シミュレーションを行った。

### 3-(2) 火山噴火推移予測の高精度化

#### 【第3期中期計画】

活動的火山の噴火活動履歴調査を実施し、噴火活動の年代、噴出量、マグマ組成や噴火様式等の変遷を明らかにするとともに、噴火の規則性や噴火様式の時間的変化を支配するマグマの発達過程のモデルを提示する。また、火山噴出物、噴煙、熱・電磁気学的変動、地殻変動等の観測研究により火山活動推移を把握するとともに、室内実験や数値実験との総合解析により、噴火準備、脱ガス及び噴火発生過程のモデルを提示する。さらに、これらの研究成果をもとに、データベースの整備及び火山地質図3図の作成を行うとともに、噴火活動の推移予測の基礎となる噴火シナリオを作成する。

### 3-(2)-① 火山噴火推移予測の高精度化

#### 【第3期中期計画】

- ・活動的火山の噴火活動履歴調査を実施し、噴火活動の年代、噴出量、マグマ組成や噴火様式等の変遷を明らかにする。

かにするとともに、噴火の規則性や噴火様式の時間的変化を支配するマグマの発達過程のモデルを提示する。また、火山噴出物、噴煙、熱・電磁気学的変動、地殻変動等の観測研究により火山活動推移を把握するとともに、室内実験や数値実験との総合解析により、噴火準備、脱ガス及び噴火発生過程のモデルを提示する。さらに、これらの研究成果をもとに、データベースの整備及び火山地質図3図の作成を行うとともに、噴火活動の推移予測の基礎となる噴火シナリオを作成する。

#### 【平成26年度計画】

- ・九重及び蔵王火山で火山地質図の原稿を完成する。富士山地域の地質図をとりまとめる。火山地質図のための噴火履歴調査を八丈島火山及び北海道の火山で行う。日本列島の火山活動時空分布把握のため、K-Ar法及びAr-Ar法を用いて年代測定を実施する。日本の火山データベースの追加更新を行う。桜島や三宅島などの活動的火山において、噴出物調査を行い、噴火特性や物質科学的特徴の時間的変化を把握する。

#### 【平成26年度実績】

- ・蔵王、九重火山で火山地質図の原稿を完成し提出した。富士山地域ではWeb公開版を修正し解説をとりまとめた。八丈島、恵山火山で火山地質図作成のための噴火履歴調査を実施した。火山活動時空分布把握のため九州、東北、伊豆半島等に産する第四紀火山岩のK-Ar年代測定を行った。沼沢、新島、開聞岳等の活火山に関する詳細データを日本の火山データベースに公開した。噴火中の火山（御嶽山、阿蘇山、口永良部島、西之島、桜島）では、関係機関と連携し噴出物調査や上空観察により活動推移把握を行い、結果を迅速に公表した。

#### 【平成26年度計画】

- ・桜島火山等において噴出物の分析および火山ガス観測によりマグマと噴煙中のガス成分の特徴を明らかにする。富士山でプリニアン噴火をした時期の境界条件を検討する。マグマの粘性の効果を加えたアナログ実験で噴火経緯のモデルを試作するとともに、噴火時のマグマ噴出率とマグマ粘性の関係を明らかにする。熱水系の変動に起因する局所的な地殻変動の検出のためにInSAR解析を実施するとともに、地殻変動を説明しうる熱水系モデルの数値シミュレーションを実施する。口永良部島において噴気温度の連続観測を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・桜島、御嶽山、阿蘇山、西之島、口永良部島では噴火に対応した火山ガス観測および噴出物解析を実施し、その特徴を把握した。富士山では岩脈が山体の高標高部に密集した時期にプリニアン噴火が発生したことを明らかにした。アナログ実験では液体の粘性と噴出率には逆相関があるが、密度変化の効果が分離困難であ

る事を明らかにした。口永良部島において噴気温度および地殻変動の連続観測を行い、噴火に至るまでの経時変化を把握し、熱水系の変動に起因する地殻変動や自然電位分布のモデリングを行った。

#### 4. 地質情報の提供、普及

##### 【第3期中期計画】

社会のニーズに的確に応じるために、知的基盤として整備された地質情報を活用しやすい方式、媒体で提供、普及させる。また、地震、火山噴火等の自然災害発生時やその予兆発生時には、緊急調査を実施するとともに、必要な地質情報を速やかに発信する。

##### 4-(1) 地質情報の提供、普及

##### 【第3期中期計画】

地質の調査に係る研究成果を社会に普及させるため、地質の調査に関する地質図類等の成果の出版及び頒布を継続するとともに、電子媒体及びウェブによる頒布普及体制を整備する。地質標本館の展示の充実及び標本利用の促進に努め、地質情報普及活動、産学官連携、地質相談等により情報発信を行う。また、インターネット、データベース等の情報技術の新たな動向を注視し、情報共有、流通の高度な展開に対応する。

##### 4-(1)-① 地質情報の提供

##### 【第3期中期計画】

- ・社会のニーズに的確に応じた地質情報提供のための地質情報共有、流通システムを構築する。地質の調査に関する地質図類等の成果の出版及びベクトル数値化等による地質情報の高度利用環境の整備を進める。20以上の地質図類等の出版を行うとともに、6つ以上の既存地質図幅のベクトル化を実施する。地質図等の研究成果を印刷物、電子媒体及びウェブによって頒布する。国内外の地球科学文献を収集、整備し、閲覧室や公開文献検索システムを通じて社会に提供する。100カ国1,000機関との文献交換と、毎年10,000件以上の文献情報入力を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・平成26年度出版計画に基づき研究ユニットから提出される地質図類、研究報告書等の原稿検査と26年度より完全準拠となる新JIS基準（平成24年度改正）を適用し、紙印刷のための仕様書作成と発注を行う。またオンラインジャーナルによる研究成果の出版も行う。

##### 【平成26年度実績】

- ・5万分の1地質図幅「川俣」「冠山」、20万分の1地質図幅「横須賀（第2版）」「大分（第2版）」、「襟裳岬沖海底地質図」「種子島付近表層堆積図」、火山地質図「九

重火山」「蔵王火山」、海陸シームレス地質図「石狩低地帯南部沿岸域」、水文環境図「石狩平野（札幌）」、「表層土壌評価基本図～茨城県地域～」、燃料資源図「関東平野」、「養老山地地域高分解能空中磁気図」、「アジア鉱物資源図」などを JIS 基準に従い印刷・発行した。地質調査研究報告 Vol.65をオンラインジャーナルとして出版した。

#### 【平成26年度計画】

- ・出版物在庫管理システムを運用し、出版物の管理、在庫と頒布・普及のため業務効率化を行う。また、在庫切れ地質図類についてはオンデマンド印刷により十分な供給を維持する。

#### 【平成26年度実績】

- ・出版物在庫管理システムを改修し、マスター表示項目及びデータのアップロード機能等を追加した。これにより、職員の所属変更や組織再編への対応が容易になった。また、在庫切れ地質図類についてオンデマンド印刷を約400部実施した。

#### 【平成26年度計画】

- ・平成26年度中に出版される地質図類のラスターデータを作成するとともに、既存ラスターデータの品質見直しを行い、低品質なものについては順次データの再作成を行い、合計で35枚以上のデータを作成する。さらに非公開研究用途のラスターデータ類の見直しと再作成・所内公開を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・新規出版地質図類のラスターデータ作成と、品質の見直しにともなう既存ラスターデータの再作成について、42枚のデータ作成を行った。また非公開研究用途のラスターデータ類の品質の見直し・所内公開を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・既存地質図幅の数値化を実施し、社会における地質情報二次利用促進に向け、5万分の1地質図ベクトルデータを最低40面分追加作成し公開する。さらに、5万分の1地質図以外の出版済み地球科学図類からベクトルデータ作成を開始し公開準備を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・社会における地質情報二次利用促進に向け、5万分の1地質図幅40面分のベクトルデータを作成するとともに、「地質図ベクトルデータダウンロードサイト」を構築し、昨年度まで作成60面分とあわせて合計100面分を公開した。出版済み地球科学図類「5万分の1地質図幅 9面」のベクトルデータ作成を行った。「200万分の1地質編集図 11 日本の火山（第3版）」「アジア地質図」のベクトルデータの公開へ向けての整備を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質図情報を閲覧する統合ポータルをはじめとする情報発信体系を整理し、ユーザがより利用しやすいウェブ配信環境を実現する。また、積極的にユーザからの意見を収集し、その改良を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・地質図情報を閲覧する統合ポータルである地質図 Navi に機能を追加し、文献等のデータへのアクセスを容易にした。地質情報データベース全体の入り口となる台帳系ポータルの改善を進めた。国際標準である WMS / WMTS 形式での情報配信用に専用のポータルページをつくり、より利用しやすいサービスを実現した。利用者へのアンケート、定常的なソーシャルメディア分析を行い、ユーザ意見を収集した。ウェブサイト上で不特定多数のユーザ意見を収集する「ご意見・ご要望」のページの開設準備を進めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質・図書の整理・管理として以下を実施する。1) GEOLIS の更なる高度化を目指すために LOD 化を含む検討を行い、利用者の利便向上のための改修、不具合修正等を行う。貴重資料データベースの統合を行うとともに、周辺メタデータ群の整理統合を行う。2) 「なかよし論文データベース」を GEOLIS に統合する。

#### 【平成26年度実績】

- 1) GEOLIS 及び貴重資料データベースの LOD 化に向けた調査・分析を行い、LOD 化のメリットやサービス内容から最適なデータモデリングを検討した。また、利用者の利便性向上のため GEOLIS 及び貴重資料データベース両者間の一括検索、検索履歴の保存可能等の改修を行った。
- 2) 「なかよし論文データベース」を GEOLIS のエリア内で構築できるようにした。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質図類の閲覧・管理の為、以下を実施する。1) 新規発行の地質図類について、標準フォーマット JMP2.0仕様のメタデータを作成し、政府クリアリングハウスに登録及び公開する。2) 機関アーカイブシステムに H26年度原稿提出の5万分の1地質図幅の調査時基礎データを蓄積しながら、機関アーカイブ業務の本格的運用のための所内公開を行う。3) 機関アーカイブシステムを利用しやすく改良する。

#### 【平成26年度実績】

- 1) 新規発行の地質図類について JMP2.0仕様のメタデータを12件作成した。
- 2) 平成26年度原稿提出の5万分の1地質図幅を中心に、それ以前の出版物の調査時基礎データを蓄積し、一部を所内公開した。

3) 産総研に導入されていたクラウド基盤システムが、年度末に契約終了となる事に備えて、機関アーカイブシステムを、別のクラウド上に導入するオープンソース文書管理システムに移植した。また、処理速度や操作性等の大幅な向上に取り組んだ。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質文献の収納・登録・管理の為、以下を実施する。
  - 1) 100ヶ国以上、1,000を超える機関との文献交換を行い、地球科学文献の収集、整備、保存及び提供を継続して行い、所蔵地質情報の充実に努める。
  - 2) GEOLIS の入力システムと連動したオンライン収集システムの運用を行うと共に、収集範囲を購入書籍以外に拡大する。
  - 3) 活断層記載文献のメタデータセットを作成して GEOLIS の追加情報とするとともに、位置図の GIS データ配信を検討する。

#### 【平成26年度実績】

- ・1) 152ヶ国、1,077機関へ出版物20点、7,102通の寄贈交換を行い、資料類2,567冊、地図類407枚を収集・整備・保存及び提供した。2) 統合版 GEOLIS の入力システムと連動したオンライン RSS 収集システムにより、外国出版社のオンラインジャーナルについて392件登録した。3) 活断層の位置図が記載されている文献について、147件のメタデータを GEOLIS 登録し、同文献の活断層位置を試験的にベクトル化し、GIS データ配信の検討を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質調査総合センターのウェブサイトを活用し、安定・効率的な情報発信を行う。新規情報の迅速な公開とともに、政府のオープンデータ推進施策の具体的進展を踏まえて、さらなる地質情報の公開窓口としての機能整備を行い、より安定で効率的なコンテンツ管理システム環境における運用を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・地質調査総合センターホームページに関するルール改正を期に、迅速かつ統制のとれた情報公開が可能となった。政府が進めるオープンデータ施策に沿って5万分の1地質図のラスター情報整備ならびにダウンロード準備を行うとともに、5万分の1地質図幅説明書の pdf をダウンロードできるように改良した。さらに産総研の地質系データベース gbank 等の利活用促進の目的でウェブサイトトップにスライダーを取り入れて利便性と宣伝効果の両面で向上させた。CMS サーバの多重化及びネットワークセキュリティ向上の対策を行った。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質情報の共有および流通を促進するため、配信する地質情報を整備し利便性を高める。また、地質関連デ

ータベースの国際標準化を推進するとともに、利活用事例を充実させる。

#### 【平成26年度実績】

- ・データベース3件を新規公開するとともに、国際標準である WMS / WMTS 形式での配信情報に1/5万地質図幅を追加し、ユーザの利便性を向上させた。公開中のデータベースのうち、データ変換が可能なものについて、WMS 形式での配信準備作業を進めた。WMS / WMTS をより容易に表示できるビューアを、オープンソースソフトウェアとして公開した。これまでにを行った利活用調査やアンケートの結果をウェブサイトから公開する準備を進めた。ユーザサポートコンテンツとして、専門用語の一般向け解説サイトを公開した。

#### 4-(1)-② 地質情報の普及

##### 【第3期中期計画】

- ・地質情報普及のため、地質標本館の展示の充実及び利用促進に努め、地質情報展、地質の日、ジオパーク等の活動を行う。また、産学官連携、地質相談業務、地質の調査に関する人材育成を実施し、展示会、野外見学会、講演会等を主催する。さらに、関係省庁、マスコミ等からの要請に応え正確な情報を普及させる。具体的には、地質標本館では、年3回以上の特別展や、化石レプリカ作りのイベント等を実施し、年30,000人以上の入場者に対応する。また、つくば科学フェスティバル出展対応を毎年実施する。ジオネットワークつくばにおいて、10回以上のサイエンスカフェと6回以上の野外観察会を実施する。地質情報展を毎年開催し、1,000名以上の入場者に対応する。地質の日については、イベントを毎年実施する。ジオパーク活動については、日本ジオパーク委員会 (JGC) を年2回以上開催し、世界ジオパークを2地域以上、日本ジオパークを5地域以上認定するための支援活動を行い、地域振興に貢献する。

##### 【平成26年度計画】

- ・地質標本館において3回以上の特別展や2回以上の講演会を開催するとともに化石レプリカ作り等のイベントも開催する。中長期的な展示の更新の方針を関係研究部門・センターとともに立て、展示内容の質的向上を図る。地熱に関する展示を更新する。団体見学者の要望に応じて地球科学に関する解説を行う。また、標本館の展示をテーマ別に解説するチラシを作成し、一般見学者の理解を助ける。地質相談所を窓口として、外部機関や市民からの問い合わせに積極的に対応する。

##### 【平成26年度実績】

- ・特別展を3回（地質災害の連鎖、地質模型、地質情報展再展示）開催し、特別展に関連したテーマの講演会を2回開催した。化石レプリカ作りや岩石薄片の万華鏡作り等の体験学習イベントを開催した。中長期的な

展示更新の方針に基づき、地熱エネルギーや海洋地質に関する展示の更新を行った。団体見学者のうち希望があれば展示解説を行い、小中高生には要望に応じて実験と講義を行った。海外からの見学者の理解を助けるため、津波堆積物コーナーに英語版チラシを設置した。地質相談所では672件の問い合わせに対応した。

#### 【平成26年度計画】

- ・地質調査総合センターの研究成果を発信するため、鹿児島市において地質情報展を実施し、成果普及活動を展開する。また、日本地球惑星科学連合2014年大会などにブース出展し、併せて研究成果の紹介、普及を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・鹿児島市において地質情報展を開催し、1051名が来場した。産総研地質分野の研究成果を紹介するとともに、子供向けのわかりやすい実験などを行った。また、日本地球惑星科学連合大会にブース出展し、地質図等の出版物や成果物とともに、産総研地質分野の研究成果についてパネル等で紹介した。

#### 【平成26年度計画】

- ・地域センターの一般公開や科学館、科学系博物館等の展示・体験プログラムに協力し、移動地質標本館を出展する。一般市民を対象として野外地質見学会を実施する。学校教育関係者と連携し、若年層の自然観育成、科学理解度増進に引き続き注力する。

#### 【平成26年度実績】

- ・産総研地域センター一般公開、サイエンスフェスタ in 秋葉原、伊勢丹など8件の外部出展を行い、「地質の調査」の普及活動を行った。一般市民向けの地質見学会として、茨城県南部の霞ヶ浦周辺の野外観察会を行った。埼玉県教育委員会や福井県教育委員会の理科教員の研修に協力するとともに、地学オリンピックや生物学オリンピック等に協力し、若年層の自然観育成、科学理解度増進に注力した。

#### 【平成26年度計画】

- ・筑波研究学園都市を中心とした研究機関、教育機関、自治体等を結ぶ地域連携として、ジオネットワークつくばで構築したネットワークを活用し、各機関のサイエンスカフェや野外観察会等のイベント情報を市民に提供する。また、ジオネットワークつくばで人材育成したジオマイスターとの共同イベントを引き続き開催する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ジオネットワークつくばで構築したネットワークを活かして参加機関等へのイベント案内を行うとともに、参加機関主催のイベントに対して後援等を行った。また、同ネットワークで養成したジオマイスターのフォ

ローアップ研修を地質標本館のイベント協力や地質標本館の展示見学を主体とした学習会等の形で行った。さらに、同ネットワークの主催イベント「ジオネットワークの日」をつくばエキスポセンターで開催し、筑波山地形模型作り体験や屋外の石材見学ツアーなどを実施した。

#### 【平成26年度計画】

- ・「地質の日」推進事業推進委員会事務局として全国の地質の日関連の活動を支援し、啓発普及に貢献する。日本ジオパーク委員会事務局として、世界ジオパークネットワーク加盟申請候補地域及び日本ジオパークの候補地域と再審査地域に対し、審査に関わる一連の委員会活動を支援するとともに、ジオパークの普及に貢献し、ジオパークがユネスコの正式プログラムとなった場合の国内推進体制を関係者とともに議論する。GSJ シンポジウム事務局として、ユニットやプロジェクトから提案されるシンポジウムを2回程度開催する。

#### 【平成26年度実績】

- ・「地質の日」事務局として全国各地の関係機関に関連イベント開催を呼びかけた結果、90件のイベントが開催され、16万人以上が参加した。日本ジオパーク委員会事務局として、3回の委員会を開催し、2件の世界ジオパーク申請候補の審査（2件ともに推薦）、6件の日本ジオパーク認定審査（うち4件が新たな日本ジオパークに認定）、4件の日本ジオパーク再認定審査（2件の条件付き再認定を含む）等の支援を行った。GSJ シンポジウム事務局として、GSJ シンポジウムを1回開催した。

#### 【平成26年度計画】

- ・産総研地質分野の広報誌「GSJ 地質ニュース」の編集を行い、月刊で発行し、そのPDFをWEB公開する。GSJ シンポジウムや産総研一般公開等に関する報告記事を「GSJ 地質ニュース」に掲載し、地質分野に関する最新情報を読者に提供する。このほかに活断層・地震研究センターニュース（月刊）やGREEN NEWS（季刊）を編集・発行する。

#### 【平成26年度実績】

- ・産総研地質分野の広報誌「GSJ 地質ニュース」の編集を行い、月刊で発行し、そのPDFをWEB公開した。同誌に産総研一般公開に関する報告記事を掲載するとともに、9月27日の御嶽火山噴火や11月22日発生長野県北部地震の緊急調査速報を掲載し、地質分野に関する最新情報を読者に提供した。活断層・火山研究部門ニュース（隔月）やGREEN NEWS（季刊）を研究部門で編集・発行した。

## 4-(2) 緊急地質調査、研究の実施

## 【第3期中期計画】

地震、火山噴火等の自然災害時には緊急の対応が求められることから、災害発生時やその予兆発生時には、社会的要請に応じて緊急の地質調査を速やかに実施する。具体的には、想定東海地震の観測情報等発令時、国内の震度6強以上を記録した地震、又は M6.8以上の内陸地震及び人的被害の想定される火山噴火のすべてに対応する。すべての緊急調査について、ホームページ上で情報公開する。

## 4-(2)-① 緊急地質調査、研究の実施

## 【第3期中期計画】

・地震、火山噴火等の自然災害時には緊急の対応が求められることから、災害発生時やその予兆発生時には、社会的要請に応じて緊急の地質調査を速やかに実施する。具体的には、想定東海地震の観測情報等発令時、国内の震度6強以上を記録した地震、又は M6.8以上の内陸地震及び人的被害の想定される火山噴火のすべてに対応する。すべての緊急調査について、ホームページ上で情報公開する。

## 【平成26年度計画】

・地震や火山噴火等の地質災害に際して、社会的要請に応じて緊急調査のための実施体制を組織し、既存の調査および研究情報を収集し、必要な地質調査及び研究を速やかに実施する。そして調査報告や関連情報をホームページ等で正確に一般向けに情報発信する。また、メディア等からの取材要請に対して、研究活動の支障の無い範囲で協力する。

## 【平成26年度実績】

・平成26年度には、広島市の土砂災害をはじめ、西之島、口之永良部島、御嶽山、阿蘇山などの火山噴火、長野県北部の地震発生などの大きな自然災害が続けて発生した。地質分野として、随時 HP などを通して情報の発信をするとともに、緊急的に現地における調査を実施し、それらの情報を火山噴火予知連絡会（気象庁）や地震調査研究推進本部（文科省）等に提供するなど、地質調査のナショナルセンターとしての機能を果たした。特に、長野県北部の地震災害においては緊急調査対応本部を設置した。

## 【平成26年度計画】

・地質調査総合センターにおいて自然災害等の緊急調査が実施された場合は、地質標本館や地質図ライブラリにおいてもその緊急研究の成果等を速報する。また、日頃より緊急調査等に備え、関係部署との情報共有の促進に努める。

## 【平成26年度実績】

・地質調査総合センターにおいて9月27日噴火の御嶽火

山の緊急調査が行われ、その調査報告を GSJ ホームページに掲載し、地質標本館ロビーでも速報展示した。11月22日発生 of 長野県北部地震の緊急調査が行われ、GSJ ホームページでその調査速報を公開した。このほかに、阿蘇中岳の等の火山噴火が相次ぎ、また広島市等で発生した土砂災害等についての調査や地質情報の提供のため GSJ ホームページで随時公開した。

## 5. 国際研究協力の強化、推進

## 【第3期中期計画】

産総研がこれまでに蓄積した知見及び経験を活かし、アジア太平洋地域及びアフリカを中心とした地質に関する各種の国際組織及び国際研究計画における研究協力を積極的に推進する。地質災害の軽減、資源探査、環境保全等に関する国際的な動向及び社会的、政策的な要請を踏まえ、プロジェクトの立案、主導を行う。

## 5-(1) 国際研究協力の強化、推進

## 【第3期中期計画】

産総研がこれまでに蓄積してきた知見及び経験を活かし、アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。地質情報の整備、地質災害の軽減、資源探査や環境保全等に関する研究プロジェクトを国際組織及び国際研究計画を通して推進する。東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）の総会・管理理事会に毎年参加するとともに、CCOP プロジェクトを実施する。統合国際深海掘削計画（IODP）や OneGeology（全地球地質図ポータル）、世界地質図委員会（CGMW）等の国際プロジェクトにおいて、アジアの地質図編集やデータ整備等について貢献する。

産総研が事務局を担当する日本ジオパーク委員会でジオパーク審査標準を構築し、アジア地域を中心にジオパーク活動を普及させる。アジア太平洋ジオパークネットワーク（APGGN）・世界ジオパークネットワーク（GGN）の活動に貢献する。

## 5-(1)-① 国際研究協力の強化、推進

## 【第3期中期計画】

・産総研がこれまでに蓄積してきた知見及び経験を活かし、アジア、アフリカ、南米地域を中心とした地質に関する各種の国際研究協力を積極的に推進する。地質情報の整備、地質災害の軽減、資源探査や環境保全等に関する研究プロジェクトを国際組織及び国際研究計画を通して推進する。東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）の総会・管理理事会に毎年参加するとともに、CCOP プロジェクトを実施する。統合国際深海掘削計画（IODP）や OneGeology（全地球地質図ポータル）、世界地質図委員会（CGMW）等の

国際プロジェクトにおいて、アジアの地質図編集やデータ整備等について貢献する。

産総研が事務局を担当する日本ジオパーク委員会でジオパーク審査標準を構築し、アジア地域を中心にジオパーク活動を普及させる。アジア太平洋ジオパークネットワーク（APGGN）・世界ジオパークネットワーク（GGN）の活動に貢献する。

#### 【平成26年度計画】

- ・東南アジアから東アジアの研究機関との連携を強化し、各国への研究の指導や研究者の受入れによる人材育成などを通じて、人的な交流や共同研究を推進する。

#### 【平成26年度実績】

- ・CCOP プロジェクトの DelSEA-III のキックオフ会合を韓国のプサンにおいて平成27年3月に実施した。また関連して平成27年2月にタイのバンコクにおいて開催された DMR との沿岸地質と海洋地質に関するワークショップに参加し発表を行った。台湾からポスドクを1名産総研に受入れ指導するとともに、中国と韓国において現地共同研究機関において講演や研究指導を行い人材育成に貢献した。

#### 【平成26年度計画】

- ・IODP の推進のために、乗船研究、国際パネル委員、日本地球掘削科学コンソーシアムにおける活動等を通じて貢献する。

#### 【平成26年度実績】

- ・日本地球掘削科学コンソーシアムに委員等を派遣し、日本地球掘削科学コンソーシアムの運営に貢献した。IODP 部会において、幹事1名及び執行部委員1名、加えて、IODP 国際パネル SEP 会議に1名が出席した。陸上掘削部会においては幹事1名並びに執行部委員3名が出席し活動した。産総研から1名の研究員が IODP 乗船研究を行った。ICDP ニューゼalandアルパイン断層掘削に2名が参加し、うち1名は構造地質学のサブチームリーダーを務めた。さらに、日本地球掘削科学コンソーシアムコアスクール講師を1名が務めた。

#### 【平成26年度計画】

- ・東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）の総会、管理理事会に出席する。デルタの地質、地下水資源に関する CCOP プロジェクトでは、それぞれ会合を行う。新たにコンソーシアムとして運営される予定の OneGeology（全地球地質図ポータル）でアジア地域のコーディネータを担う他、世界地質図委員会等の国際プロジェクトに参加し、アジアの地質図や地質データの整備に貢献する。地質災害の低減とリスク評価のための国際コンソーシアムを運営し、シンポジウムを開催する。

#### 【平成26年度実績】

- ・CCOP の活動として、総会（10月、パプアニューギニア）、管理理事会（2回）への出席、デルタ域地質および地下水資源に関するワークショップの主催等を通して、東・東南アジア地域の地質情報整備を主導した。OneGeology コンソーシアムの運営に参加し、アジア地域の地質図データの整備に貢献した。世界地質図委員会プロジェクトとして出版する東・東南アジア地域地震火山災害図の作成に着手した。第3回国連防災世界会議（3月、仙台）関連事業として、地質災害リスク低減を主題とする国際ワークショップを主催した。

《別表3》計量の標準（計量標準の設定・供給による産業技術基盤、社会安全基盤の確保）

#### 【第3期中期計画】

我が国経済活動の国際市場での円滑な発展、国内産業の競争力の維持、強化、グリーン・イノベーション及びライフ・イノベーションの実現に貢献するため、計量の標準の設定、計量器の検定、検査、研究、開発、維持、供給及びこれらに関連する業務、並びに計量に関する教習を行う。その際、メートル条約及び国際法定計量機関を設立する条約の下、計量標準と法定計量に関する国際活動において我が国を代表する職務を果たす。

具体的には、産業構造審議会産業技術分科会、日本工業標準調査会合同会議知的基盤整備特別委員会の方針、見直し等を踏まえて、計量標準に関する整備計画を年度毎に改訂し、同計画に基づき計量標準の開発、維持、供給を行う。計量標準、法定計量に関して国際基準に適合した供給体制を構築して運営し、国家計量標準と発行する校正証明書及び法定計量の試験結果の国際相互承認を進めるとともに、我が国の供給体系の合理化を進める。特に、新規の整備及び高度化対象となる計量標準に関しては、先端技術の研究開発や試験評価方法の規格化と連携して一体的に開発を進める等、迅速に整備し、供給を開始する。また、我が国の法定計量の施策と、計量標準の戦略的活用に関して、経済産業省の政策の企画、立案に対して技術的支援を行う。

#### 1. 新たな国家計量標準の整備

#### 【第3期中期計画】

新たに必要となる国家計量標準を迅速に開発、整備し、供給を開始する。具体的にはグリーン・イノベーションの実現に必要な省エネルギー技術や新燃料等の開発、評価を支える計量標準の開発を行う。また、ライフ・イノベーションの実現に必要な医療診断、食品安全性、環境評価等を支える計量標準の開発を行う。さらにナノデバイスやロボット利用技術等、我が国の技術革新や先

端産業の国際競争力を支える計量標準の開発を行う。新たな開発を行う標準の選定にあたっては、整備計画の改訂に従い、技術ニーズや社会ニーズを迅速に反映させる。また、国際規格や法規制に対応した計量標準を整備し、我が国の円滑な国際通商を支援する。

#### 1-(1) グリーン・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

##### 【第3期中期計画】

グリーン・イノベーションの推進に必要な計量標準の早急な開発、整備を行い、供給を開始する。具体的には、水素エネルギー、燃料電池等の貯蔵技術、利用技術の推進、省エネルギー・エネルギー効率化技術の開発を支援する計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。また、バイオマス系資源の品質管理や安定性評価に必要な標準物質、資源再利用システムの信頼性評価に必要な標準物質をニーズに即応した開発、整備を行い、供給を開始する。

#### 1-(1)-① 新エネルギー源の利用に資する計量標準

##### 【第3期中期計画】

- 水素エネルギー、燃料電池及び電力貯蔵キャパシタの利用に必要な気体流量標準、気体圧力標準、電気標準、燃料分析用標準液等について、新たに4種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

##### 【平成26年度計画】

- 液体潤滑型ピストン・シリンダを用いて70 MPaまでの範囲で気体圧力の依頼試験による校正サービスを開始する。

##### 【平成26年度実績】

- 液体潤滑型ピストン・シリンダによる70 MPaまでの気体圧力計測の総合的な不確かさを評価し、その相対拡張不確かさ ( $k=2$ ) が0.004 %であることを確認した。この圧力範囲における依頼試験による校正サービスを開始した。

##### 【平成26年度計画】

- 都市ガスによる実用標準器の値付け及び不確かさ評価の実施、JCSS 登録事業者との比較校正の実施及び供給ガス種範囲の拡大を行う。

##### 【平成26年度実績】

- 都市ガスによる実用標準器の値付け及び不確かさ評価、JCSS 登録事業者との比較校正を実施し、供給ガス種範囲を拡大し、水素、都市ガスの流量標準供給を行う体制を整えた。大流速標準の供給模擬校正と不確かさ解析を行い、供給体制を整えた。

##### 【平成26年度計画】

- 蓄電デバイスの評価装置の開発を進め、0.1 mΩの分

解能で、1 mΩ程度まで測定が可能な装置を構築する。また、測定の高精度化に適した治具を設計、製作するとともに、蓄電デバイスのインピーダンスを模擬する評価用模擬デバイスの開発を行う。

##### 【平成26年度実績】

- 高品質正弦波信号生成システムを利用し、低インピーダンス測定に適した交流電圧・電流評価を行なうことにより、0.1 mΩの分解能で1 mΩ程度まで定量的に測定可能な蓄電デバイス評価装置を構築した。低インピーダンス測定用治具の寄生インピーダンスや接触抵抗が、評価精度に与える影響を見積もった。蓄電デバイスのインピーダンスを模擬するデバイスを試作し、インピーダンスの値付け技術を向上させた。標準整備計画に基づき、蓄電キャパシタ10 mFの静電容量を充放電法により校正可能な標準を開発した。

#### 1-(1)-② 省エネルギー技術の開発と利用に資する計量標準

##### 【第3期中期計画】

- 運輸システム、オフィス、住宅、ビル、工場等における省エネルギー技術開発に必要な高周波電気標準、光放射標準、熱流密度標準等について、新たに7種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

##### 【平成26年度計画】

- 代替冷媒候補物質等に関する依頼試験に対応するとともに、不確かさの低減および混合物への拡張を目指した改良について検討する。さらに、蒸気圧、PVT 性質、気液平衡性質および音速について測定し、混合物を含む候補物質の熱物性評価を実施する。

##### 【平成26年度実績】

- 混合物への拡張を検討し、混合物に対応した装置構成および測定手順を決定した。シングルシンカー式磁気浮上密度計および気液平衡性質測定装置を用いて、新しい低 GWP 冷媒候補物質および高温用作用流体に関して、PVT 性質および蒸気圧測定を実施し、PVT 性質については標準供給を開始した。

##### 【平成26年度計画】

- モノスタティック散乱断面積 (RCS) 標準について、75 GHz~110 GHz 帯標準ターゲットの標準供給を開始する。

##### 【平成26年度実績】

- モノスタティックレーダ散乱断面積 (RCS) 標準について、75 GHz~110 GHz 帯標準ターゲットである三面コーナリーフレクタ校正に対する不確かさ評価および妥当性検証を完了し標準供給を開始した。

##### 【平成26年度計画】

- 紫外域での高強度 LED 全放射束標準の校正技術、不



確かさ評価技術の開発を完了させる。

【平成26年度実績】

- ・紫外域での高強度 LED 全放射束標準の被校正器物として用いる標準 LED に対して、光学測定、および、熱画像測定装置による放射温度測定を行い、点灯条件や制御温度の影響を評価し、当該標準 LED の開発・評価を完了させた。併せて、比較校正の際の分光分布角度依存性、設置ずれ依存性、波長ずれ依存性、スリット幅依存性、分光応答度不確かさの影響、アパーチャ面積不確かさの評価を行い、紫外域での高強度 LED 全放射束標準の校正技術、不確かさ評価技術を確立した。

1-(1)-③ バイオマス資源の利用技術に資する計量標準

【第3期中期計画】

- ・バイオガソリン、バイオディーゼル等、バイオマス資源の品質管理、成分分析、安定性評価等利用技術に必要な標準物質について、新たに5種類開発、整備し、供給を開始する。

【平成26年度計画】

- ・現在の石油小流量の依頼試験の下限 $0.001 \text{ m}^3/\text{h}$  を  $0.00005 \text{ m}^3/\text{h}$  へ引き下げる。

【平成26年度実績】

- ・前年度までに開発した石油小流量の依頼試験の下限  $0.001 \text{ m}^3/\text{h}$  を  $0.00002 \text{ m}^3/\text{h}$  へ引き下げた。

【平成26年度計画】

- ・燃料の品質管理などを目的とした分析において分析の精度管理に必要な標準物質を1種類1物質開発し、関連する品質システムの技術部分を構築する。また、既存認証標準物質の安定性を評価し、適切な維持、管理と供給を行う。さらに、関連する国際比較の主催を行う。

【平成26年度実績】

- ・既存認証標準物質の安定性評価と維持、管理を行い、2物質について有効期間の延長を行った。また、バイオディーゼル燃料について候補標準物質の調製、均質性と安定性の評価を行い、値付け分析法を確立し、標準物質として開発を行うとともに品質システムの技術部分を構築した。また、国際比較 CCQM-K123/P157 (バイオディーゼル燃料中の元素分析) を NIST と共同主催し、試料の送付や分析値の報告と取りまとめ、解析を行った。

1-(1)-④ 資源再利用システムの信頼性評価に資する計量標準

【第3期中期計画】

- ・電気・電子機器の廃棄及び製品のリサイクル並びにこれらに係る規制・指令 (REACH 規制、WEEE 指令

等) に対応するため、資源再利用システムの信頼性を評価、分析する上で必要となる標準物質について、新たに2種類開発、整備し、供給を開始する。

【平成26年度計画】

- ・RoHS 指令等の規制に対応する標準物質の特性値決定のための技術開発を進め、1種類1物質について標準物質を開発する。関連する国際比較が実施されれば参加する。

【平成26年度実績】

- ・RoHS 指令等の規制に対応する標準物質の特性値決定のための技術開発を進め、1種類2物質 (フタル酸エステル類分析用ポリ塩化ビニル標準物質、臭化物イオン標準液) について標準物質を開発した。また、関連する底質中の臭素系難燃剤の国際比較 (CCQM-K102) に参加した。

1-(2) ライフ・イノベーションの実現を支える計量標準の整備

【第3期中期計画】

ライフ・イノベーションの推進に必要な計量標準の早急な開発、整備を行い、供給を開始する。具体的には、先進医療機器の開発、標準化に資する計量標準及び予防を重視する健康づくりに不可欠な臨床検査にかかわる計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。また、生活に直結する食品の安全性や生活環境の健全性確保に資するため、食品分析にかかわる計量標準、有害化学物質の分析にかかわる計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。

1-(2)-① 医療の信頼性確保に資する計量標準

【第3期中期計画】

- ・医療の信頼性確保のため、超音波診断装置、放射線治療機器等の先進医療機器の開発、利用に必要な超音波標準、放射線標準等について、新たに4種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。また、医療現場における医療診断、臨床検査に不可欠な標準物質について、新たに4種類開発、整備し、供給を開始する。

【平成26年度計画】

- ・光干渉法による  $40 \text{ MHz}$  までのヒドロホン感度校正、およびカロリメトリ法による  $100 \text{ W}$  までの超音波パワー校正の品質システムを構築し、供給を開始する。

【平成26年度実績】

- ・光干渉法による  $40 \text{ MHz}$  までのヒドロホン感度校正、およびカロリメトリ法による  $100 \text{ W}$  までの超音波パワー校正の品質システムを構築し、供給を開始した。ヒドロホン感度校正では小口径平面振動子を音源として用いた校正手順を、また超音波パワー校正では超音波照射による水温上昇からパワーを求める校正手順

を品質システムとして構築した。

【平成26年度計画】

- ・医療用リニアックからの高エネルギー電子線について、第4期整備に向けて電子線用のグラフィトカロリメータを完成させ、不確かさの評価を行う。治療用密封小線源標準については、Ru-106小線源からのβ線水吸収線標準およびIr-192小線源からのガンマ線線量標準の供給準備を進める。

【平成26年度実績】

- ・医療用リニアックからの高エネルギー電子線について、第4期整備に向けて電子線用のグラフィトカロリメータを完成させ、不確かさの評価を行った。その結果、熱量測定に関する不確かさが若干大きいことがわかり、来年度に不確かさ低減のための装置調整が必要であることが分かった。治療用密封小線源標準については、Ru-106小線源からのβ線水吸収線標準の標準供給を開始し、校正事業者と校正時期について打合せを開始した。Ir-192小線源からのガンマ線線量標準については、Ir-192の線量評価を行い供給準備を進めた。

【平成26年度計画】

- ・医療現場における医療診断、臨床検査に不可欠な標準物質について、1物質の標準物質を開発する。これまでに開発した標準物質の適切な維持管理を行う。

【平成26年度実績】

- ・医療現場における医療診断、臨床検査に不可欠な標準物質について、1物質（臨床検査用タンパク質・ペプチド標準物質：ヒト血清アルブミン）を開発した。これまでに開発した標準物質について定期的に安定性を確認するとともに、出荷期限の延長が可能と判断されたものについては期限の変更を行った。

1-(2)-② 食品の安全性確保に資する標準物質

【第3期中期計画】

- ・食品の安全性確保及び食品に係る各種法規制、国際規格（食品衛生法、薬事法、米国FDA規制、国際食品規格（コーデックス規格）等）に対応するため、基準検査項目の分析に必要な標準物質について、新たに4種類開発、整備し、供給を開始する。

【平成26年度計画】

- ・食品の安全性確保及び食品に係る各種法規制、国際規格に対応した、基準検査項目の分析に必要な標準物質について、2種類2物質を開発し、品質システムの技術部分を構築する。玄麦中の残留農薬分析に関する技能試験を企画・実施する。微量元素分析に関する技能試験について、外部機関と連携した技能試験提供体制の構築と海外実施について企画する。

【平成26年度実績】

- ・食品の安全性確保及び食品に係る各種法規制、国際規格に対応した、基準検査項目の分析に必要な標準物質を、2種類2物質以上（ひ素化合物を追認証の白米、化学形態分析用標準液（塩素酸及び臭素酸））開発し、品質システムの技術部分を構築した。玄麦の残留農薬分析及び頭足類の微量元素分析の技能試験を外部機関と連携して企画・実施した。微量元素分析の技能試験について国内企業と連携の技能試験提供体制を構築した。水道水の微量元素分析について APLAC-APMP の枠組で香港計量機関と連携の技能試験を実施中である。

1-(2)-③ 生活環境の健全性確保に資する計量標準

【第3期中期計画】

- ・国民の生活環境の健全性を確保するため、大気汚染ガス、地球温暖化ガス、有害ガス等の分析、評価、測定等に必要となる標準物質について、新たに9種類開発、整備し、供給を開始する。

【平成26年度計画】

- ・環境分析や品質管理においてトレーサビリティ源として用いられる標準物質を、平成26年度には1種類1物質開発する。

【平成26年度実績】

- ・環境分析や品質管理においてトレーサビリティ源として用いられる、新規標準物質を3種類10物質（非金属イオン標準液（塩化物イオン、亜硝酸イオン、硝酸イオン、りん酸イオン、シアン化物イオン）、有機体炭素標準液、水銀標準液、高純度標準物質（炭酸カルシウム）、2物質の電気伝導率標準液）開発した。

【平成26年度計画】

- ・既存認証標準物質の安定性を評価し、適切な維持、管理と供給を行う。水道法規制対象物質のトレーサビリティ源として、JCSS 基準物質となる認証標準物質の開発に取り組み、H26年度は1種類5物質を開発する。新規標準ガス（ホルムアルデヒド標準ガス）の校正システムを開発する。関連する国際比較が行われた場合、積極的に参加する。

【平成26年度実績】

- ・既存認証標準物質の安定性を評価し、適切な維持、管理と供給を行い、2種類の CRM の有効期間の延長を行った。ホルムアルデヒド標準ガスについては校正システムを開発し目標（1種類1物質）を達成したが、JCSS 基準物質については、界面活性剤など他の水道法関連基準物質の整備を並行して進めなければならず、認証には至らなかったが、目標の5物質を含む16物質の値付け分析法の検討、一部候補標準物質に対する均質性・安定性評価を実施した。窒素中プロパンの濃度測定国際比較（APMP.QM-K111）に参加した。

## 1-(3) 産業の国際展開を支える計量標準の整備

## 【第3期中期計画】

我が国産業の国際通商を円滑に実施するために必要な国際規格、法規制に対応する計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。特に、移動体通信機器の電磁波規制にかかわる計量標準を重点的に整備する。また、ナノデバイス、ナノ材料やロボット分野において、我が国産業の国際競争力を支援し、国際的な市場展開を支える基盤的計量標準の開発、整備を行い、供給を開始する。

## 1-(3)-① 国際通商を支援する計量標準

## 【第3期中期計画】

- ・我が国産業の国際通商を支援するため、電磁波不干渉性及び耐性（EMC）規制等の国際規格、法規制に対応する計量標準について、新たに10種類開発、整備し、供給を開始する。

## 【平成26年度計画】

- ・高周波電力標準に関し、PC2.4同軸の校正システムを開発し標準供給を開始する。高周波インピーダンス標準に関し導波管線路の周波数範囲を拡張し、標準供給を開始する。導波管減衰量標準では、75 GHz～110 GHz 帯の標準供給を開始する。電磁界強度標準（ホーン、GTEM セル）について校正システムの精度評価を行い、標準供給を開始する。高周波位相量（同軸）標準について校正システムを開発し標準供給を開始する。

## 【平成26年度実績】

- ・高周波電力標準に関し、2.4mm 同軸への拡張技術を開発し標準供給を開始した。高周波インピーダンス標準に関し、導波管線路の新たな高周波インピーダンス標準器を開発し周波数範囲を拡張し、標準供給を開始した。導波管減衰量標準では、75 GHz～110 GHz 帯の標準供給を開始した。電磁界強度標準（ホーン、GTEM セル）では、震災後の電波暗室の復旧に伴う電波遮蔽の基本性能評価および校正システムの精度評価を完了し、標準供給を開始した。高周波位相量（同軸）標準について従来の同軸減衰量標準の校正システムを拡張し新規標準量として標準供給を開始した。

## 1-(3)-② ナノデバイス、ナノ材料の開発と利用に資する計量標準

## 【第3期中期計画】

- ・ナノデバイス、ナノ材料の技術開発と利用に資する計量標準として、ナノスケールの半導体デバイス製造に不可欠な線幅標準、ナノ粒子の機能及び特性評価やナノ粒子生産現場の環境モニタリングのための粒径標準、ナノ機能材料の分析、評価に必要な標準物質等について、新たに10種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

## 【平成26年度計画】

- ・測長 AFM によるパターン線幅、およびナノメートル粗さの校正における不確かさ見積りを完了し、標準供給を開始する。X 線 CT について METI 委託事業の推進、寸法計測の校正技術における主要な系統誤差の補正等に関する検討を進め、不確かさ要因の検討のための技術的知見を蓄積しつつ国際標準化への貢献を図る。角度測定を利用した表面形状計測技術を用いた平面度の標準供給を開始する。

## 【平成26年度実績】

- ・測長 AFM によるパターン線幅、およびナノメートル粗さの測定不確かさの見積りを完了し、品質システムの整備を行って標準供給を開始した。METI からの委託事業である X 線 CT による寸法計測技術の開発では、系統誤差の補正等に関する調査及び知見の集積を行いつつ、ISO 国際標準化におけるプロジェクトリーダー指名を受けて国際標準の開発を着実に推進した。また、計測用 X 線 CT による内外計測技術の成果普及を着実に推進するための産総研コンソーシアムを立ち上げ、活動を開始した。角度測定を利用した表面形状計測技術を用いた平面度の標準供給を5 nm の不確かさで開始した。

## 【平成26年度計画】

- ・ガス中微量水分発生装置における質量減少速度測定及び流量測定制御について、長期的安定性の評価を行う。10 ppb～1 ppm の範囲において、Ar 中微量水分標準を整備する。第4期中期計画に向けて、CRDS 分光システムの整備を進める。

## 【平成26年度実績】

- ・ガス中微量水分発生装置で発生させた Ar 中微量水分の不確かさ評価を行い、10 ppb～1 ppm の範囲において、Ar 中微量水分標準を整備した。プロトタイプ CRDS 分光システムを改良し、10 ppb 以下の領域での高感度微量水分測定が可能となった。

## 【平成26年度計画】

- ・粒径分布幅標準を粒径30 nm～300 nm の範囲において確立する。

## 【平成26年度実績】

- ・粒径分布幅について、粒径範囲を当年度計画よりも低粒径側へ拡張することに成功し、粒径20 nm～300 nm の範囲において標準を確立した。

## 【平成26年度計画】

- ・ナノ機能材料の分析、評価に必要な4種類の標準物質等のうち、残り3種類の標準物質等の開発を継続する。平成26年度は3種類4物質の開発を行い計画を達成する。

## 【平成26年度実績】

- ・ナノ機能材料の分析、評価に必要な3種類4物質（デルタ BN 多層膜（As ドープ Si 基板）、陽電子寿命による空孔欠陥測定用ステンレス鋼、ポリスチレンラテックスナノ粒子2物質（150 nm および200 nm））の標準物質の開発に成功し、計画を達成した。

### 1-(3)-③ ロボットシステム利用の安全性確保に資する計量標準

#### 【第3期中期計画】

- ・ロボットシステム利用における安全性確保に資するため、機能安全設計の信頼性向上に必要な力学標準、振動標準等について、新たに3種類の標準を開発、整備し、供給を開始する。

#### 【平成26年度計画】

- ・ロボットに使用される各種モータの出力トルク試験に用いるモータ試験装置の動的応答特性の評価方法に関する技術指針を取りまとめ公表する。

#### 【平成26年度実績】

- ・モータ試験装置等に内蔵されるトルクメータ3台以上を置換して相互に比較することによって3台それぞれの動的応答特性を評価する「複数置換評価法」を新たに考案し、技術指針として取りまとめ、学会やNMIJ計測クラブを通して公表した。

#### 【平成26年度計画】

- ・角振動標準については、5 deg/s～300 deg/s までの校正範囲に対する品質システムの技術的部分の構築を完了する。

#### 【平成26年度実績】

- ・角振動標準については、自己校正法により角度標準からのトレーサビリティを確保した校正装置を開発するとともに不確かさ評価を完了することで品質システムの技術的部分を構築し、5 deg/s～300 deg/s の校正範囲で新たに供給を開始した。

## 2. 国家計量標準の高度化

### 【第3期中期計画】

国家計量標準を確実に維持、供給するために必要な国際比較への参加、品質システムの構築を行う。同時に、ニーズに即した範囲の拡大や不確かさ低減等の高度化を、計量標準に関する整備計画に即して行う。また、産総研の校正技術の校正事業者への技術移転を進め、校正事業者が供給する校正範囲の拡張を進めると同時に、校正事業者の校正能力を確保するための認定審査を技術面から支援する。さらに、産業現場まで計量トレーサビリティを普及する校正技術の開発や、トレーサビリティ体系の合理化を行うことで、校正コストの低減や利便性の向上を実現する。国家計量標準の供給体制について選択と集

中や合理化の視点から見直しを行い、計量標準政策への提言としてまとめる。計量標準に関する整備計画の改訂に必要な調査と分析を行い、策定した整備計画についての情報発信を行う。

### 2-(1) 国家計量標準の維持、供給

#### 【第3期中期計画】

国家計量標準を維持管理し、JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）や依頼試験に基づく校正サービス、標準物質等の供給を行う。また、ISO/IEC17025等校正業務の管理に関する国際規格に適合する品質システムを構築、運用し、品質システムに則した標準供給を行う。国際相互承認に係る技術能力（Calibration and Measurement Capability: CMC）の登録の維持、追加申請（国際基準への適合性確保）に必要となるピアレビューを実施し、国際比較（基幹比較、補完比較、多国間比較、二国間比較等）へ参加する。

### 2-(1)-① 国家計量標準の維持、供給

#### 【第3期中期計画】

- ・国家計量標準を維持管理し、JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）や依頼試験に基づく校正サービス、標準物質等の供給を行う。また、ISO/IEC17025等校正業務の管理に関する国際規格に適合する品質システムを構築、運用し、品質システムに則した標準供給を行う。国際相互承認に係る技術能力（Calibration and Measurement Capability: CMC）の登録の維持、追加申請（国際基準への適合性確保）に必要となるピアレビューを実施し、国際比較（基幹比較、補完比較、多国間比較、二国間比較等）へ参加する。

#### 【平成26年度計画】

- ・ISO/IEC 17025に適合するマネジメントシステムのもと、国家計量標準を維持し、校正サービスを実施する。また、ISO/IEC 17025およびISO Guide 34に適合した標準物質の供給を行う。また、校正サービス、標準物質のうち、主要な品目に関して、国際相互承認に係る CMC（校正測定能力）登録を維持するとともに、必要な追加申請を行う。国際相互承認登録のため、ピアレビューおよび品質管理システムに関する認定審査を受けるとともに、必要な国際比較に参加する。

#### 【平成26年度実績】

- ・ISO/IEC 17025に適合する品質管理システムのもと、国家計量標準を維持し、校正サービスを実施するとともに、ISO/IEC 17025およびISO Guide 34に適合した標準物質の供給を行った。既存の国際相互承認に係る CMC（校正測定能力）登録に加え、追加申請を行うため、各技術分野毎のピアレビューおよび品質管理

システムに関する認定審査を受けた。また、新たに104件の必要な国際比較に参加した。

## 2-(2) 国家計量標準の高度化、合理化

### 【第3期中期計画】

より高度な技術ニーズや社会ニーズに対応するため、供給を開始した計量標準の高度化、合理化を進める。特に、省エネルギー技術の推進、産業現場計測器の信頼性確保及び中小企業の技術開発力の向上を支援する計量標準について、供給範囲の拡張、不確かさの低減等の高度化を行うとともに技術移転等による供給体系の合理化を行う。

### 2-(2)-① 省エネルギー技術の利用を支援する計量標準

#### 【第3期中期計画】

- ・省エネルギー機器の開発と利用の推進に不可欠な計量標準として、12種類の標準について、供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・有機 EL 用水蒸気バリア膜の性能評価装置に使用される質量分析計を標準コンダクタンスエレメントによって校正することができる計測評価システムを開発する。標準リーク校正システムについては校正できるガス種を追加する。

#### 【平成26年度実績】

- ・質量分析計を標準コンダクタンスエレメントによって校正することができる計測評価システムを開発し、有機 EL 用水蒸気バリア膜評価装置として製品化した。コンパクト化学研究センターと協力して、この装置を粘土膜クレストの水素バリア性評価に応用した。また、水素リークディテクタ用として、大気圧下へ水素5%窒素95%を用いた標準リークの信頼試験による校正サービス（相対拡張不確かさ1.7% (k=2)）を追加し、校正可能なガス種を増やした。

#### 【平成26年度計画】

- ・標準整備計画に基づき、5 A/ 3 kHz に拡張した交流シャント評価装置の不確かさ評価を完成し、標準供給を開始する。高調波電力については、50次高調波から100次高調波への拡張に向け、シャントやサンプリング計測について周波数特性を評価し、システム全体の不確かさ評価を完了する。

#### 【平成26年度実績】

- ・5 A/ 3 kHz に拡張した交流シャント評価装置の直角移相回路およびバッファ回路を改良し、さらに全体の回路構成を変更することで浮遊容量による漏れ電流の影響を大きく低減することに成功した。また、改良した装置の不確かさ評価を完成し、測定結果の妥当性確認を実施し、標準整備計画に基づき標準を立ち上げ、

供給を開始した。高調波電力については、100次高調波までの拡張に向けて、シャントやサンプリング計測について周波数特性を検討・評価し、システム全体の不確かさ評価を完了した。

#### 【平成26年度計画】

- ・光ファイバパワー（850 nm 帯）の校正波長範囲拡大、及び、校正係数の波長特性試験方法を確立し、信頼試験開始準備を完了させる。

#### 【平成26年度実績】

- ・光ファイバパワー応答度校正用の標準器である光ファイバパワーメータの光吸収体反射率を、FDTD 法による電磁場解析、および、標準反射板との比較測定によって理論的・実験的に評価し、反射率の波長に対する平坦性を定量的に検証した。これらを通じて、光ファイバパワー応答度（850 nm 帯）の校正波長範囲拡大、及び、校正係数の波長特性試験に必要となる校正・試験技術、不確かさ評価技術を確立した。

#### 【平成26年度計画】

- ・新規標準供給項目として、熱流センサーに対する信頼試験（熱流密度標準）を立ち上げる。金属薄膜による薄膜熱物性標準物質（熱拡散率）の開発を行う。新規候補材料による熱拡散率測定用認証標準物質の開発を行う。室温での熱膨張率信頼試験における校正温度範囲の拡張を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・熱流センサーに対する熱流密度0~100W/m<sup>2</sup>での信頼試験を立ち上げた。金属薄膜（モリブデン400nm厚）による薄膜熱物性標準物質（CRM5808-a）および新規認証標準物質（CRM5807-a 熱拡散率測定用黒色セラミックス）の開発を行い、供給を開始した。室温での熱膨張率信頼試験における校正温度範囲の拡張は立ち上げ完了に至らなかったが、当初予定した以上の温度範囲（室温±40K）における安定度±1mKでの温度制御性能を達成し、次年度以降の供給開始を確実にした。

### 2-(2)-② 産業現場計測器の信頼性確保に資する計量標準

#### 【第3期中期計画】

- ・産業現場計測器の信頼性を確保するため、品質管理、認証、認定等に必要となる計量標準として、50種類の標準について供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

#### 【平成26年度計画】

- ・二次元グリッド校正及びパターン真円度校正では、校正技術の最適化を進め、標準供給を視野に入れた不確かさ評価を進める。

#### 【平成26年度実績】

- ・パターン真円度校正の不確かさの最適化に向け参照標準等の品質向上を行った。二次元グリッドおよび小径内径に関しては、品質システムの整備を完了し、標準供給を開始した。また、前年度末に整備した真円度測定機用倍率校正器と球面度の依頼試験の受付を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・光格子時計間の周波数比較ツールとして超高精度化が可能な光ファイバについて実用レベルにすべく、温度変動、振動等の対環境性能を向上させる。また平成25年度で検討開始した GPS 衛星、通信衛星、宇宙時計 (ACES) を用いた比較手段に加え、電波星からの信号を利用した VLBI (超長基線電波干渉計) 法について他機関 (NICT) と比較実験を行い性能評価を行う。

#### 【平成26年度実績】

- ・1) 光ファイバ比較システムの位相制御系の改良等を実施し、関東圏にある複数の光格子時計の比較を18桁の精度で比較可能なプロトタイプを完成させた。2) GPS 衛星キャリアフェーズ法を用いて韓国の機関 (KRIS) と周波数比較を実施し、16桁の精度で比較ができた。3) VLBI 法については、産総研に受信アンテナ等を建設し、産総研～NICT 間で、水素メーザを用いた比較を行い、16桁オーダの性能を確認した。4) ストップウォッチ等の時間の校正の要望に対し、JCSS において機種を追加した。発振器の位相雑音校正装置、位相雑音測定器の校正装置を開発した。

#### 【平成26年度計画】

- ・0.1 N・m～10 N・m のトルク範囲での高精度な参照用トルクレンチの校正技術を確認し、小容量参照用トルクレンチの校正サービスを開始する。比較校正システムを用いた依頼試験による気体絶対圧力の校正サービスを1Pa～10Pa の範囲に拡大する。10Pa～10kPa の圧力範囲の不確かさを低減させるために、周囲圧力制御型の圧力天びんを用いた気体絶対圧力校正システムを開発する。高真空標準については1 nPa までの範囲で依頼試験による校正サービスを開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・小容量参照用トルクレンチの校正技術を確認し、0.1 N・m～10 N・m の範囲で新たな校正サービスを開始した。気体絶対圧力については、発生圧力安定化を図り、気体絶対圧力の依頼試験 (1 Pa～10 Pa) を開始し、周囲圧力制御型の圧力天びんを用いた気体絶対圧力校正システムの不確かさを低減させるための開発を行った。高真空標準については、世界初となる1 nPa までの国際比較を実施し国際整合性を確認した。これに基づいて1 nPa までの校正サービス (相対拡張不確かさ5.7%(k=2)) を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・WS3形マイクロホンの自由音場感度校正は、不確かさを再評価し、品質システムを構築し供給を開始する。基準音源の音響パワーレベル校正は、不確かさ評価を完了し、校正システムを完成させ、品質システムを構築し、供給を開始する。振動加速度標準は、中周波振動加速度 (20 Hz ～5 kHz) の位相遅れ校正に関する不確かさ評価を行い、品質システムの技術的部分の構築を完了する。相互校正法による100 kHz～1 MHz のハイドロホン感度校正の品質システムを構築し、供給を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・II形標準マイクロホンとの比較による WS3形マイクロホンの自由音場感度校正、音圧法による固定マイクロホンを用いた基準音源の音響パワーレベル校正とも、校正システムを完成させ不確かさ評価を完了し、品質システムを構築して供給を開始した。振動加速度標準は、正弦波近似法により中周波振動加速度 (20 Hz ～ 5 kHz) の位相遅れに関する不確かさ評価を完了し、標準として確立した。相互校正法による100 kHz～1 MHz のハイドロホン感度校正では超音波振動子の可逆性や挿入電圧法を用いた校正手順を品質システムとして構築し、供給を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・高周波インピーダンス標準について、機械 S パラメータの被評価コネクタタイプを PC2.92同軸に拡張するための開発を行い標準供給を開始する。アンテナ係数 (超広帯域アンテナ標準) について、30 MHz～1 GHz 帯アンテナ係数 (パイログアンテナ) の標準供給を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- ・高周波インピーダンス標準について、2.92mm 同軸線路の寸法評価により求められる機械 S パラメータ評価のための校正システムを新たに構築し、標準供給を開始した。アンテナ係数標準では、特に EMC 評価等において要望の強い超広帯域アンテナである、30 MHz～1 GHz 帯ボウタイアンテナとログペリオディックアンテナの複合アンテナの校正システムを新たに構築し、標準供給を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- ・1.1 μm、1 kW レベルのレーザパワー校正・不確かさ評価技術確立、光ファイバ系レーザパワー応答非直線性 (850 nm 帯) の校正方法・波長依存性試験方法確立、ビーム系レーザパワー応答非直線性 (765 nm 帯、845 nm 帯、1020 nm 帯) の波長依存性試験方法確立、分光放射照度 (紫外) 拡張による放射束校正技術確立、分光拡散反射率 (可視域) の幾何条件拡張、分光応度 (紫外、可視、近赤外) の校正範囲拡張 (オーバー

フィル条件)に関わる技術開発を完了させ、これらの依頼試験開始準備を終了させる。

#### 【平成26年度実績】

- 可搬型の校正装置の開発と実際のレーザ溶接機を用いた測定精度の実証を通じた、1.1  $\mu\text{m}$ 、1 kW レベルのレーザパワー校正・不確かさ評価技術の確立や、光源・光学系・検出器等の開発・最適化による、光ファイバ系レーザパワー応答非直線性(850 nm 帯)の校正・波長依存性試験技術、ビーム系レーザパワー応答非直線性(765 nm 帯、845 nm 帯、1020 nm 帯)の波長依存性試験技術、分光放射照度(紫外)拡張による放射束校正技術、分光拡散反射率(可視域)の幾何条件拡張技術、分光応答度(紫外、可視、近赤外)の校正範囲拡張(オーバーフィル条件)技術の確立を行い、標準供給を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- 中硬 X 線線量当量標準の供給を開始するとともに、軟 X 線線量当量標準の第4期整備に向け、X 線のエネルギースペクトルを測定する。放射性ガス及び放射性ガスモニタの標準供給を開始する。19 MeV 及び45 MeV 高エネルギー中性子フルエンス標準の供給を開始する。

#### 【平成26年度実績】

- 中硬 X 線線量当量標準の供給を開始し、軟 X 線線量当量標準の第4期整備に向け、スペクトロメータを用いて X 線のエネルギースペクトルを測定した。放射性ガス及び放射性ガスモニタの標準供給を開始した。19 MeV 中性子フルエンスの校正手法の開発を行い、45 MeV 高エネルギー中性子フルエンス標準の供給を開始した。

#### 【平成26年度計画】

- 50 mK までの温度域に対する、極低温抵抗温度計を校正対象とした標準を確立し供給を開始する。上位標準器となる光検出器にトレーサブルな放射温度計の絶対校正を行い、銅の凝固点の熱力学温度測定を実現する。

#### 【平成26年度実績】

- 1) 50 mK までの温度域に対する、極低温抵抗温度計を校正対象とした標準を確立し、供給を開始した。2) 上位標準器となる光検出器にトレーサブルな放射温度計の絶対校正を行い、銅の凝固点の熱力学温度測定を実現した。3) 産業現場におけるプロセスモニタ等のニーズに対応するため、160  $^{\circ}\text{C}$ ～500  $^{\circ}\text{C}$ の範囲の放射温度標準を10 $\mu\text{m}$ 帯に波長展開した。4)赤外イメージセンサの校正・評価に使用する平面黒体炉の標準を整備した。また、産業現場の高温プロセスにおいて活用されている2色放射温度計の工業標準原案を作成した。

#### 【平成26年度計画】

- インクジェット技術を利用した発生器型気中粒子数濃度標準を、粒径範囲0.5  $\mu\text{m}$ ～10  $\mu\text{m}$ 、濃度10個/ $\text{cm}^3$ において確立する。

#### 【平成26年度実績】

- インクジェット技術に基づく発生器型気中粒子数濃度標準を、粒径範囲0.5  $\mu\text{m}$ ～10  $\mu\text{m}$ 、粒子計数頻度範囲10/秒～100/秒(流量0.3 L/min の計測器の場合、粒子数濃度範囲2個/ $\text{cm}^3$ ～20 個/ $\text{cm}^3$ に相当)において確立した。

#### 2-(2)-③ 中小企業の技術開発力向上に資する計量標準

##### 【第3期中期計画】

- 中小企業の技術開発力の向上に不可欠な計量標準として、9種類の標準について、供給範囲の拡張、技術移転等を行う。

#### 【平成26年度計画】

- 7.2V 標準電圧パッケージを完成させ、共同研究先から販売を開始する。バッテリーオプション、ケーブルオプションなどのアクセサリも開発する。分圧器の設計を終了し、プロトタイプ作製の基本特性評価を行う。第4期中期計画に向けて、1k  $\Omega$  標準抵抗の評価を終了させ、1  $\Omega$ 、10k  $\Omega$  の開発を行うとともに、交流電圧標準に関しても低周波領域の範囲拡大に向けた開発を行う。

#### 【平成26年度実績】

- 10V 標準電圧パッケージが完成し、共同研究先から販売が開始された。分圧器を内蔵しているため、当初の予定である7.2V の発生のみならず、産業界で広く利用されている10V の電圧発生も可能である。抵抗器に関しては共同研究先から1  $\Omega$ 、25  $\Omega$  の販売を開始した。1k  $\Omega$  標準抵抗の評価が終了し、論文発表を行った。引き続き10k  $\Omega$  の開発が進んでいる。交流電圧標準に関しても薄膜型サーマルコンバータの低周波帯域を拡大し論文発表を行った。交流プログラマブルジョセフソン電圧標準の出力電圧実効値を10V へ拡大した。

#### 【平成26年度計画】

- 微小アンテナ係数(ループアンテナ標準)に関し、9 kHz～30MHz の周波数範囲における校正周波数点数を拡張し標準供給を開始する。テラヘルツ帯標準に関し、第4中期での標準供給に向け電力センサの研究開発および不確かさ評価を継続して行う。

#### 【平成26年度実績】

- 微小アンテナ係数(ループアンテナ標準)に関し、9 kHz～30MHz の周波数範囲における校正周波数点数を拡張するための、不確かさの詳細な評価を完了し標準供給を開始した。テラヘルツ帯電力標準に関し、超

高感度なテラヘルツ帯電力センサのプロトタイプを完成し、不確かさの主要因について評価を完了した。

## 2-(3) 計量標準政策に関する調査と技術支援

### 【第3期中期計画】

我が国の計量関係団体、機関への参画や、計量標準総合センター（NMIJ）計測クラブの運営を通じて、計量トレーサビリティ体系に関するニーズ調査や分析を行う。その成果に基づき、政府の計量トレーサビリティ施策に対する技術的支援を、知的基盤整備特別委員会や計量行政審議会等を通じて行う。

### 2-(3)-① 計量標準政策に関する調査と技術支援

#### 【第3期中期計画】

・我が国の計量関係団体、機関への参画や、計量標準総合センター（NMIJ）計測クラブの運営を通じて、計量トレーサビリティ体系に関するニーズ調査や分析を行う。その成果に基づき、政府の計量トレーサビリティ施策に対する技術的支援を、知的基盤整備特別委員会や計量行政審議会等を通じて行う。

#### 【平成26年度計画】

・計測標準フォーラムや NMIJ 計測クラブにおいて、技術的な情報交換と計量標準や計量トレーサビリティ体系に関するニーズの把握を継続するとともに、より効果的な開催方法を検討する。

#### 【平成26年度実績】

・計測標準フォーラム講演会を企画し、日本計量機器工業連合会の主催する展示会と併催で実施した。出口産業の一つである自動車産業と計量標準の関係を取り上げ、最新情報の提供と意見交換を行うとともに、計測クラブ全体活動報告を行った。また、経済産業省に協力してニーズ調査を計測標準フォーラムや計測クラブを通じて実施し、結果を分析し、知的基盤整備特別小委員会で議論された第2期標準整備計画の見直しに協力した。

## 2-(4) 計量標準供給制度への技術支援

### 【第3期中期計画】

JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）等において、事業者認定のための技術審査、技能試験の実施、技術的な指針やガイド等の審査基準文書作成を通して計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行い、JCSS等の普及及び拡大に貢献する。

### 2-(4)-① 計量標準供給制度への技術支援

#### 【第3期中期計画】

・JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）等において、事業者認定のための技術審査、技能試験の実施、技術的な指針やガイド等の審査基準文書作成を通して

計量標準供給制度の運用に関する技術支援を行い、JCSS等の普及及び拡大に貢献する。

#### 【平成26年度計画】

・JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）等において、認定機関が実施する事業者認定に関する技術審査、技能試験参照値等の提供、審査に係る技術的な指針やガイド等の文書作成等の協力を行い、JCSS等を通じ計量トレーサビリティのさらなる普及、拡大を図る。

#### 【平成26年度実績】

・計量トレーサビリティの普及、拡大のために、JCSS（計量法に基づく校正事業者登録制度）等において、認定機関が実施する事業者認定において、450件の技術審査への協力、96件の技能試験参照値の提供、123件の技術指針等の作成への協力を実施した。

## 2-(5) 計量トレーサビリティ体系の高度化、合理化

### 【第3期中期計画】

産業現場やサービス産業への計量トレーサビリティの普及を図るため、校正のコスト低減や効率性向上に必要な技術を自ら開発又は業界との連携の下で開発を行うとともに、開発した技術を適用した校正等を実施する。新たな供給方法として、産業現場で直接校正可能な技術等の開発を行い、トレーサビリティ体系の合理化を図る。

### 2-(5)-① 計量トレーサビリティ体系の高度化、合理化

#### 【第3期中期計画】

・産業現場やサービス産業への計量トレーサビリティの普及を図るため、校正のコスト低減や効率性向上に必要な技術を自ら開発又は業界との連携の下で開発を行うとともに、開発した技術を適用した校正等を実施する。新たな供給方法として、産業現場で直接校正可能な技術等の開発を行い、トレーサビリティ体系の合理化を図る。

#### 【平成26年度計画】

・化学計量トレーサビリティ体系の高度化に関する研究に関しては、25年度に引き続き産総研依頼試験による純度校正サービスの範囲を拡大し、これまでと合わせて200物質以上の校正サービスを行う。

#### 【平成26年度実績】

・産総研依頼試験による純度校正サービスに関しては、従前から実施してきた農薬関連標準物質を念頭に対象物質の拡充を計画したが、アミノ酸類やビタミンなどの健康関連分野における急速なニーズ拡大への対応、ならびに本校正サービスを利用したい分析機器メーカーや原料メーカーなどの新たな顧客への対応を優先し、これまでと合わせて180物質への拡充となった。また、純度校正における中核技術である定量 NMR に関して



は、標準化と技術の普及を進め、国際度量衡局との共同研究の締結、及び定量 NMR クラブを通しての共同分析を実現した。

### 3. 法定計量業務の実施と関連する工業標準化の推進

#### 【第3期中期計画】

法定計量業務について、品質管理の下に適正な試験検査、承認業務を実施する。特定計量器の利用状況の調査等を通して計量行政を支援するとともに、計量器の信頼性を検証するための適合性評価システムの整備・普及を促進する。

#### 3-(1) 法定計量業務の実施と法定計量政策の支援

##### 【第3期中期計画】

特定計量器の基準器検査、型式承認試験、型式承認審査等の技術的な試験検査業務を国際標準に基づく品質管理の下に適正に実施する。さらに特定計量器の技術規格整備や法定計量体系の高度化、合理化、国際化等の政策課題に関して、利用者、製造事業者及び民間認証機関への調査を通して、計量行政への支援を行う。

#### 3-(1)-① 法定計量業務の実施と法定計量政策の支援

##### 【第3期中期計画】

・特定計量器の基準器検査、型式承認試験、型式承認審査等の技術的な試験検査業務を国際標準に基づく品質管理の下に適正に実施する。さらに特定計量器の技術規格整備や法定計量体系の高度化、合理化、国際化等の政策課題に関して、利用者、製造事業者及び民間認証機関への調査を通して、計量行政への支援を行う。

##### 【平成26年度計画】

- 1) 平成26年度の組織改正に適応した品質マニュアルの整備を速やかに行うとともに同マニュアルに基づく法定計量業務を着実に実施する。
- 2) 社会変化に順応した技術基準の検討、策定及び提案を行い、適切な法定計量業務の実施に反映させる。
- 3) 地方行政機関を対象としたセミナー又は研修を定常的に開催し、計量行政の実施機関として必要な知識・技術を提供する。
- 4) 濃度計に関する JIS 原案を作成する。
- 5) 法定計量クラブについて、積極的に参加しやすい方策を検討する。計量行政会議等に委員として出席し、計量法上の技術的解釈への調査及び支援業務を行う。

##### 【平成26年度実績】

- ・1) 平成26年度の組織改正に対し、設備の移転及び適応した品質マニュアルの整備を速やかに行うとともに同マニュアルに基づく法定計量業務を着実に実施した。
- 2) 各種行政会議に出席し、様々な案件に対応するとともに適切な法定計量業務の実施に反映させた。3)

地方計量行政機関を対象としたセミナー又は研修を関西及び関東において開催し、計量行政の実施機関として必要な知識・技術を提供した。4) 濃度計を含め7本の JIS の発行を支援した。5) 法定計量クラブ開催とともに技術相談窓口及びセミナーを同時開催し、参加者数を増加させた。行政機関が開催する計量行政会議に委員として出席し、技術的支援をした。

#### 3-(2) 適合性評価技術の開発と工業標準化への取組

##### 【第3期中期計画】

特定計量器について、技術基準の国際整合化を図り、その技術基準に基づき製造される特定計量器の新たな適合性評価技術の開発、整備を行う。また、一般計測、分析器及びそれが生み出す測定結果の信頼性を評価する技術の開発を行い、評価基準の作成、普及を図る。さらに、一般計測器、分析器の内蔵ソフトウェア、計測器モジュールの評価技術基準を作成し、普及を図る。

#### 3-(2)-① 適合性評価技術の開発と工業標準化への取組

##### 【第3期中期計画】

・特定計量器について、技術基準の国際整合化を図り、その技術基準に基づき製造される特定計量器の新たな適合性評価技術の開発、整備を行う。また、一般計測、分析器及びそれが生み出す測定結果の信頼性を評価する技術の開発を行い、評価基準の作成、普及を図る。さらに、一般計測器、分析器の内蔵ソフトウェア、計測器モジュールの評価技術基準を作成し、普及を図る。

##### 【平成26年度計画】

- 1) OIML MAA に基づく OIML 適合証明書 (R76及び R60、R49) に関する基本証明書の発行及び管理を適切に行う。
- 2) 国際法定計量調査研究委員会に積極的に参加し、OIML 等の技術文書の検討を行い、各種の作業委員会及び分科会に専門家を派遣し、計量関係機関との連携及び調整を図る。
- 3) OIML TC6、TC8、TC9及び TC17を含む各種の TC 及び OIML 等の国際機関が主催する各種の技術セミナーへ積極的に参加し、これからの国内法定計量システムの整備に対応させる。

##### 【平成26年度実績】

・1) OIML MAA に基づく OIML 適合証明書 (R76及び R60) 及びその他基本証明書 (R117及び R49) の発行及び管理を適切に行った。2) 国際法定計量調査研究委員会の各種の作業委員会及び分科会に委員を派遣し、OIML 等の技術文書、特に燃料油メーター、ガスメーター、包装商品等の検討を行い、国内技術基準、法定計量関係機関との連携及び調整を図った。3) 自動はかり (充てん用自動はかり、コンベヤスケール、自動重量選別機) 及び燃料油メーターの JIS 調査検

討委員会に出席し、標準化の検討を行った。

#### 4. 国際計量標準への貢献

##### 【第3期中期計画】

計量にかかわる国内の技術動向の調査に基づいて、計量標準、法定計量に関連する国際活動に主導的に参画する。特に我が国の技術を反映した計量システムや先進的な計量標準を諸外国に積極的に普及させるとともに、メートル条約と法定計量機関を設立する条約の下、メンバー国と協調して国際計量標準への寄与に努める。また、二国間 MOU（技術協力覚書）の締結、維持により、製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器の適合性評価結果の受入れを可能にするための国際協力を行う。

##### 4-(1) 次世代計量標準の開発

##### 【第3期中期計画】

国際計量標準の構築において我が国の優位性を発揮するため、秒の定義やキログラムの定義等を改定する革新的な計量標準の開発を世界に先駆けて行う。その成果を国際度量衡委員会（CIPM）、同諮問委員会、作業部会等を通して国際計量標準に反映させる。また、環境、医療、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、エネルギー関連等の先端産業技術を支援する戦略的な計量標準に関しては、先進国の計量標準研究所との競争と協調の下に効率的に開発を進める。

##### 4-(1)-① 次世代計量標準の開発

##### 【第3期中期計画】

- ・国際計量標準の構築において我が国の優位性を発揮するため、秒の定義やキログラムの定義等を改定する革新的な計量標準の開発を世界に先駆けて行う。その成果を国際度量衡委員会（CIPM）、同諮問委員会、作業部会等を通して国際計量標準に反映させる。また、環境、医療、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、エネルギー関連等の先端産業技術を支援する戦略的な計量標準に関しては、先進国の計量標準研究所との競争と協調の下に効率的に開発を進める。

##### 【平成26年度計画】

- ・シリコン28同位体濃縮球体を国際度量衡局（フランス）から産総研に輸送し（3月以降確定）、その体積および球体表面酸化膜厚さを測定する。また、シリコン28同位体濃縮結晶の格子面間隔の分布測定を行う。これらの結果をアボガドロ国際プロジェクト参加研究機関で測定される格子定数、モル質量測定結果と合わせて、アボガドロ定数を $2e-8$ の相対標準不確かさで決定する。

##### 【平成26年度実績】

- ・シリコン28同位体濃縮球体を国際度量衡局（フランス）から産総研に輸送し、その体積をレーザー干渉計により $2e-8$ の精度で決定した。さらに分光エリブソメーターによる球体表面分析および放射光を利用したシリコン28同位体濃縮結晶の格子面間隔の分布測定を実施した。これらの結果をアボガドロ国際プロジェクト参加研究機関で得られた格子定数、モル質量測定結果と合わせて、アボガドロ定数を $2e-8$ の相対標準不確かさで決定した。測定結果の詳細を国際度量衡委員会に報告し、2018年のキログラム再定義実施を確定的なものとする見通しを得た。

##### 【平成26年度計画】

- ・Sr 光格子時計の周波数不確かさ評価を行い、その絶対周波数を決定する。

##### 【平成26年度実績】

- ・Sr 光格子時計の開発に成功し、時計遷移の周波数測定における不確かさ評価を行った。その結果、Sr 光格子時計自身の不確かさは、 $3.8E-16$ であることを明らかにした。Sr 時計遷移の絶対周波数測定を行い、 $3.7E-15$ の不確かさでその絶対周波数を決定した。この不確かさは、マイクロ波周波数標準の不確かさによって制限されていることを示した。

##### 4-(2) 計量標準におけるグローバルな競争と協調

##### 【第3期中期計画】

国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制（MRA）及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め（MAA）を発展させる活動に率先して取り組む。具体的にはメートル条約に係る国際機関、地域機関において技術委員会の主査を務める等、主導的な活動を行う。また、国際貢献の観点から通商の基盤となる計量標準確立への途上国支援を行う。

##### 4-(2)-① 計量標準におけるグローバルな競争と協調

##### 【第3期中期計画】

- ・国家計量標準の同等性に関する国際相互承認体制（MRA）及び計量器の技術基準の同等性に関する国際相互受入れ取決め（MAA）を発展させる活動に率先して取り組む。具体的にはメートル条約に係る国際機関、地域機関において技術委員会の主査を務める等、主導的な活動を行う。また、国際貢献の観点から通商の基盤となる計量標準確立への途上国支援を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・国際計量研究連絡委員会を開催し、計量標準、法定計量に関する我が国の意見を取りまとめ、メートル条約の国際度量衡総会、国際度量衡委員会、諮問委員会や国際法定計量委員会へ適切な専門家を派遣する。また、メートル条約の国際機関、地域機関において技術委員

長等のポストを継続して獲得する。さらに、途上国の国家計量機関からの産総研への研修生の受け入れにおいて、関係機関との調整を行う。東南アジアの計量ネットワークの構築支援プログラムを継続するとともに、アジア太平洋計量計画（APMP）の途上国支援の取り組みとの連携を深める。

#### 【平成26年度実績】

- ・国際度量衡委員ポストを継続して獲得し、メートル条約の国際度量衡総会、国際度量衡委員会、諮問委員会、作業部会に専門家を派遣した。物質計量諮問委員会（CCQM）ワーキンググループ(WG)日本開催を実現した。国際計量研究連絡委員会を2回開催した。国際法定計量委員会第二副委員長ポストを継続して獲得し、国際法定計量委員会に専門家を派遣した。アジア太平洋計量計画では、技術委員長のポスト3件を継続した。海外計量機関から19名の研究員（技術研修4名、招聘研究15名）の受け入れを調整した。また東南アジアの計量ネットワークの構築を推進するための支援プログラムを継続して実施した。計量に関わる JICA 研修でインドから研修生12名を受け入れた。また JST さくらサイエンスプランに基づきタイから研修生10名を受け入れた。

#### 4-(3) 計量標準分野における校正、法定計量分野における適合性評価の国際協力の展開

##### 【第3期中期計画】

製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための調査、技術開発を行う。また、受入れに必要な二国間 MOU（技術協力覚書）の締結、維持等の国際協力を行う。

#### 4-(3)-① 計量標準分野における校正、法定計量分野における適合性評価の国際協力の展開

##### 【第3期中期計画】

- ・製品の認証に必要となる計量標準の同等性を確保し、特定の計量器における適合性評価結果の受入れを可能にするための調査、技術開発を行う。また、受入れに必要な二国間 MOU（技術協力覚書）の締結、維持等の国際協力を行う。

##### 【平成26年度計画】

- ・計量に関する二国間の MoU に基づいて、引き続き計量標準の同等性に関する技術協力について相手国の機関との調整を行う。具体的には、外国の国家計量標準機関に対してピアレビューの派遣、招聘や計量標準の国際比較について調整を行う。日中計量標準会議及び日韓計量計測標準協力委員会への参加団の派遣に協力する。

##### 【平成26年度実績】

- ・国際度量衡局（BIPM）と研究協力に関する MoU を

新たに締結した。また計量に関する既存の二国間 MoU に基づいて、相手国の機関と技術専門家やピアレビューの派遣、招聘の調整を行った。第12回 NMIJ-KRISS 所長会談（つくば）を主催し、第37回日韓計量計測標準協力委員会（韓国）に参加団を派遣した。日中計量標準会議は次年度に延期された。

#### 5. 計量の教習と人材の育成

##### 【第3期中期計画】

法定計量業務に対応できるよう、国内の法定計量技術者の技術力向上を図るための教習を企画、実施する。公的機関、産業界及び開発途上諸国の計量技術者に対し、計量標準技術と品質システムの研修を行い、人材育成を行う。

##### 5-(1) 計量の教習

##### 【第3期中期計画】

計量法に基づき、計量研修センターと計測標準研究部門を中核として法定計量の教習を企画、実施して、国内の法定計量技術者の技術力向上を図る。

##### 5-(1)-① 計量の教習

##### 【第3期中期計画】

- ・計量法に基づき、計量研修センターと計測標準研究部門を中核として法定計量の教習を企画、実施して、国内の法定計量技術者の技術力向上を図る。

##### 【平成26年度計画】

- ・平成25年度に引き続き、一般計量、環境計量（騒音振動、濃度）、短期計量、計量行政新人、新任所長、幹部職員、指定製造事業者制度、及び環境計量証明事業制度教習を実施する。同時に、環境計量講習（騒音・振動）、環境計量講習（濃度）、及び特定計量証明事業管理者講習を実施する。つくば以外での講習実施という従来の方針にもとづき、関西センターにおいて短期の講習等を実施することを検討する。

##### 【平成26年度実績】

- ・一般計量（2回）、一般計量特別、環境計量特別、短期計量（2回）、指定製造事業者制度、環境計量証明事業制度、計量行政新人、新任所長、及び幹部職員の各教習を実施した。また、環境計量（濃度）、環境計量（騒音振動）、及び特定計量証明事業管理者講習の各講習を当初の計画通り実施した。その他、基準タンの検査についての技術教習を実施した。また、計量教習等検討特別委員会を開催し、短期計量特定教習案の策定、新任管理職教習の平成27年度新設、及びつくば以外での研修実施に向けた自治体アンケートの実施と意見とりまとめを行った。

5-(2) 計量の研修と計量技術者の育成

【第3期中期計画】

計量にかかわる公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、啓発、教育、技術トレーニング等の人材育成プログラムの開発を行い、人材育成を行う。また、計量技術者の自発的な成長を促進するため、計量技術に関する情報について体系的に整理を行い、公開する。

5-(2)-① 計量の研修と計量技術者の育成

【第3期中期計画】

- ・計量にかかわる公的機関、産業界及びアジア諸国の技術者を対象として、啓発、教育、技術トレーニング等の人材育成プログラムの開発を行い、人材育成を行う。また、計量技術者の自発的な成長を促進するため、計量技術に関する情報について体系的に整理を行い、公開する。

【平成26年度計画】

- ・計量関係技術者を対象とした技術研修事業として計測の不確かさ研修を実施する。また、騒音・振動に関するスキルアップ研修を計画し実施することを検討する。濃度分野のスキルアップ研修はアンケートをもとに引き続き実施案を検討する。

【平成26年度実績】

- ・技術研修業務として、計測の不確かさ研修を実施した。環境計量（騒音振動と濃度）に関するスキルアップ研修の実施体制と開催時期について検討した結果、開催時期の調整が必要となったため次年度以降の実施計画に反映することにした。

【平成26年度計画】

- ・計量技術者の技術向上に資する技術文書等をホームページに掲載するとともに、計量技術者を対象とした計量標準に関するセミナー、講演会を実施する。

【平成26年度実績】

- ・シンセシオロジー等で2件の論文を NMIJ ホームページにもリンクし、計量技術者にアクセスしやすい形で提供した。また、最新の単位定義改定動向をホームページに掲載した。計量技術者を対象とする NMIJ 成果報告会、NMIJ 標準物質セミナーを開催した他、日本品質保証機構主催のマネジメントシステム審査員のための計量計測トレーサビリティ講演会の後援と講師派遣を通じて、計量標準の啓発を図った。

## 5. 職員

## 平成26年度形態別・機能別職員数

所属名称	役員	職員	研究職					事務職等	総計
			(内)パーマ ネット	(内)招へい 任期付	(内)博士型 任期付	(内)研究テ ーマ型	(内)産業技 術人材 育成型		
理事	11							11	
監事	2							2	
参事									
フェロー									
環境・エネルギー分野		2	2	2				2	
環境・エネルギー分野研究企画室		9	8	8			1	9	
メタンハイドレート研究センター		14	14	6	3	5		14	
コンパクト化学システム研究センター		28	28	25	1		2	28	
先進パワーエレクトロニクス研究センター		24	24	18	4		2	24	
太陽光発電工学研究センター		26	26	21	3		2	26	
バイオマスリファイナリー研究センター		17	17	12	3		2	17	
触媒化学融合研究センター		22	22	19	2		1	22	
再生可能エネルギー研究センター		26	26	15	11			26	
ユビキタスエネルギー研究部門		75	75	66	5		4	75	
環境管理技術研究部門		58	58	46	7		5	58	
環境化学技術研究部門		36	36	30	4		2	36	
エネルギー技術研究部門		113	113	98	8		7	113	
安全科学研究部門		38	38	34	2		2	38	
ライフサイエンス分野		2	2	2				2	
ライフサイエンス分野研究企画室		8	7	7			1	8	
幹細胞工学研究センター		17	17	14	2		1	17	
創薬分子プロファイリング研究センター		14	14	10	3		1	14	
糖鎖創薬技術研究センター		8	7	7			1	8	
ゲノム情報研究センター		13	13	11	1	1		13	
健康工学研究部門		64	64	57	5		2	64	
生物プロセス研究部門		62	62	53	6		3	62	
バイオメディカル研究部門		82	82	71	1	6	4	82	
ヒューマンライフテクノロジー研究部門		84	84	73	7		4	84	
情報通信・エレクトロニクス分野		2	2	2				2	
情報通信・エレクトロニクス分野研究企画室		9	7	7			2	9	
ネットワークフォトンクス研究センター		15	15	10	2		3	15	
デジタルヒューマン工学研究センター		13	13	11	1		1	13	
ナノスピントロニクス研究センター		16	16	9	1	5	1	16	
サービス工学研究センター		19	19	18	1			19	
フレキシブルエレクトロニクス研究センター		21	21	16	5			21	
知能システム研究部門		69	69	62	4		3	69	
情報技術研究部門		37	37	28	5		4	37	
ナノエレクトロニクス研究部門		51	51	43	1	5	2	51	
電子光技術研究部門		61	61	55	6			61	
セキュアシステム研究部門		30	30	24	1	4	1	30	
ナノテクノロジー・材料・製造分野		1	1	1				1	
ナノテクノロジー・材料・製造分野研究企画室		8	7	7			1	8	
ナノチューブ応用研究センター		22	22	14	4		4	22	
集積マイクロシステム研究センター		25	25	17	6		2	25	
グリーン磁性材料研究センター		14	14	12	2			14	
先進製造プロセス研究部門		95	95	81	9		5	95	
サステナブルマテリアル研究部門		46	46	40	4		2	46	
ナノシステム研究部門		94	94	85	1	4	4	94	
計測・計量標準分野		1	1	1				1	
計測・計量標準分野研究企画室		5	4	4			1	5	
生産計測技術研究センター		24	24	18	5		1	24	
計測標準研究部門		240	240	229	8		3	240	
計測フロンティア研究部門		56	56	46	5		5	56	
計量標準管理センター		26	19	19			7	26	
地質分野		1	1	1				1	

産業技術総合研究所

所属名称	役員	職員	研究職					事務職等	総計	
			(内)パーマ ネット	(内)招へい 任期付	(内)博士型 任期付	(内)研究テ ーマ型	(内)産業技 術人材 育成型			
地質分野研究企画室		7	6	6				1	7	
地圏資源環境研究部門		59	59	49		6		4	59	
地質情報研究部門		67	67	57		6		4	67	
活断層・火山研究部門		66	66	51	1	7	1	6	66	
地質調査情報センター		20	6	6				14	20	
地質標本館		16	9	9				7	16	
東京本部		1						1	1	
北海道センター		21	6	6				15	21	
東北センター		14	3	3				11	14	
つくばセンター		1	1	1					1	
つくばセンターつくば中央第一事業所		14						14	14	
つくばセンターつくば中央第二事業所		39						39	39	
つくばセンターつくば中央第三事業所		12						12	12	
つくばセンターつくば中央第四事業所		12						12	12	
つくばセンターつくば中央第五事業所		21	2	2				19	21	
つくばセンターつくば中央第六事業所		15						15	15	
つくばセンターつくば中央第七事業所		16						16	16	
つくばセンターつくば西事業所		23						23	23	
つくばセンターつくば東事業所		15						15	15	
臨海副都心センター		22	2	2				20	22	
中部センター		31	7	7				24	31	
関西センター		38	10	10				28	38	
中国センター		11	2	2				9	11	
四国センター		13	3	3				10	13	
九州センター		14	2	2				12	14	
福島再生可能エネルギー研究所		13	3	3				10	13	
企画本部		64	43	42			1	21	64	
コンプライアンス推進本部		8	3	3				5	8	
イノベーション推進本部		17	17	17					17	
イノベーション推進企画部		23	14	14				9	23	
知的財産部		24	6	5	1			18	24	
産学官連携推進部		42	5	5				37	42	
国際部		16	6	6				10	16	
ベンチャー開発部		7	2	2				5	7	
国際標準推進部		8	4	4				4	8	
イノベーションスクール		1	1	1					1	
つくばイノベーションアリーナ推進本部		32	14	12	1	1		18	32	
環境安全本部										
環境安全企画部		22	3	3				19	22	
安全管理部		23	8	8				15	23	
施設整備部		20						20	20	
情報基盤部		14	1	1				13	14	
総務本部										
業務推進支援部		9						9	9	
人事部		56	5	5				51	56	
財務部		42						42	42	
ダイバーシティ推進室		6	3	3				3	6	
法務室		5						5	5	
評価部		18	15	15				3	18	
広報部		21	4	4				17	21	
監査室		5						5	5	
<b>職員合計</b>	<b>13</b>	<b>2907</b>	<b>2237</b>	<b>1934</b>	<b>9</b>	<b>188</b>	<b>6</b>	<b>100</b>	<b>670</b>	<b>2920</b>

