

平成28年度

産業技術総合研究所年報

平成28年度

産業技術総合研究所年報



技術を社会へー Integration for Innovation

国立研究開発法人

産業技術総合研究所

目 次

I. 総 説	1
1. 概 要	1
2. 動 向	4
3. 幹部名簿	19
4. 組 織 図	20
5. 組織編成	21
II. 業 務	23
1. 研 究	23
(1) 研究推進組織	25
1) エネルギー・環境領域	27
①領域長・研究戦略部長・研究企画室	27
②創エネルギー研究部門	28
③電池技術研究部門	35
④省エネルギー研究部門	39
⑤環境管理研究部門	49
⑥安全科学研究部門	58
⑦太陽光発電研究センター	63
⑧再生可能エネルギー研究センター	70
⑨先進パワーエレクトロニクス研究センター	75
2) 生命工学領域	81
①領域長・研究戦略部長・研究企画室	81
②創薬基盤研究部門	82
③バイオメディカル研究部門	86
④健康工学研究部門	110
⑤生物プロセス研究部門	116
⑥創薬分子プロファイリング研究センター	123
3) 情報・人間工学領域	131
①領域長・研究戦略部長・研究企画室	131
②情報技術研究部門	132
③人間情報研究部門	139
④知能システム研究部門	153
⑤自動車ヒューマンファクター研究センター	161
⑥ロボットイノベーション研究センター	162
⑦人工知能研究センター	170
4) 材料・化学領域	177
①領域長・研究戦略部長・研究企画室	177
②機能化学研究部門	178
③化学プロセス研究部門	185
④ナノ材料研究部門	192
⑤無機機能材料研究部門	196
⑥構造材料研究部門	204
⑦触媒化学融合研究センター	209
⑧ナノチューブ実用化研究センター	214
⑨機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	216
⑩磁性粉末冶金研究センター	220

5) エレクトロニクス・製造領域	225
①領域長・研究戦略部長・研究企画室	225
②ナノエレクトロニクス研究部門	225
③電子光技術研究部門	237
④製造技術研究部門	248
⑤スピントロニクス研究センター	258
⑥フレキシブルエレクトロニクス研究センター	261
⑦先進コーティング技術研究センター	265
⑧集積マイクロシステム研究センター	269
6) 地質調査総合センター	274
①センター長・研究戦略部長・研究企画室	274
②活断層・火山研究部門	274
③地圏資源環境研究部門	290
④地質情報研究部門	297
⑤地質情報基盤センター	316
7) 計量標準総合センター	325
①センター長・研究戦略部長・研究企画室	325
②工学計測標準研究部門	326
③物理計測標準研究部門	334
④物質計測標準研究部門	340
⑤分析計測標準研究部門	349
⑥計量標準普及センター	357
8) フェロー	376
(2) 内部資金	377
(3) 外部資金	402
1) 国からの受託収入	405
①経済産業省	405
②文部科学省	425
③環境省	434
④その他省庁	435
2) 国以外からの受託収入	435
3) その他の収入	574
2. 事業組織・本部組織業務	920
(1) 本部組織・特別の組織	920
1) コンプライアンス推進本部	921
2) 監査室	922
3) 評価部	922
4) 企画本部	923
5) イノベーション推進本部	942
①イノベーション推進企画室	942
②技術マーケティング室	943
③ベンチャー開発・技術移転センター	943
④知的財産・標準化推進部	945
⑤産学官・国際連携推進部	949
⑥地域連携推進部	974
6) 環境安全本部	978

①環境安全企画部	978
②安全管理部	978
③建設部	980
④情報基盤部	981
⑤情報化統括責任者	981
7) 総務本部	981
①人事部	981
②経理部	982
③業務推進支援部	983
④ダイバーシティ推進室	984
⑤イノベーションスクール	985
8) TIA推進センター	986
(2) 事業組織	989
1) 東京本部	990
2) つくばセンター	990
3) 福島再生可能エネルギー研究所	991
4) 臨海副都心センター	992
5) 北海道センター	993
6) 東北センター	994
7) 中部センター	996
8) 関西センター	997
9) 中国センター	997
10) 四国センター	998
11) 九州センター	999
III. 資料	1003
1. 研究発表	1004
2. 兼業	1006
3. 中長期目標	1007
4. 中長期計画、年度計画	1018
5. 職員	1062

I . 総 説

I. 総 説

1. 概 要

任 務：

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、「産総研」という。）は、平成13年4月の発足以来、基礎的研究の成果を「製品化」に繋ぐ役割を担い、基礎的研究から実用化研究まで一体的かつ連続的に取り組んできた。同時に、研究分野や研究拠点の枠にとらわれることなく全産総研の視点から人材、施設・設備、予算等の研究資源を最適化し、社会的・政策的課題に応じて研究実施体制を見直すなど、イノベーション創出と業務の効率化を進めてきた。結果として、産総研の技術シーズに基づいた社会インパクトのあるいくつかの実用化事例も創出してきているが、数多くの革新的技術シーズを事業化にまでつなげるため、更なる強化を図る必要がある。

現下の産業技術・イノベーションを巡る状況を見ると、これまで我が国企業は世界最高水準の品質の製品を製造・販売することで世界をリードしてきたが、近年、大企業においても基礎研究から応用研究・開発、事業化の全てを自前で対応することは一層難しくなっている。さらに、技術の複雑化、高度化、短サイクル化が加わるなど、産業技術・イノベーションを取り巻く世界的潮流は大きく変化している。他方で、我が国にはまだ事業化に至っていない優れた技術シーズが数多くある。イノベーションは、技術シーズが企業や研究機関など様々な主体の取り組みにより、事業化に「橋渡し」されることで、初めて生み出されるものである。その意味で、革新的な技術シーズを迅速に事業化につなげていくための「橋渡し」機能の強化によるイノベーション・ナショナルシステムの構築が、我が国の産業競争力を決定づける非常に重要な要素となっている。

こうした中、我が国としても「橋渡し」機能の抜本的強化が必要との認識の下、経済産業省の産業構造審議会 産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会の「中間とりまとめ」（平成26年6月）において我が国のイノベーションシステム構築に向けての提言がなされ、「日本再興戦略」改訂2014（平成26年6月24日）、「科学技術イノベーション総合戦略2014」（平成26年6月24日）、及び「科学技術イノベーション総合戦略2015」（平成27年6月19日）においては、産総研及び新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において「橋渡し」機能強化に先行的に取り組み、これらの先行的な取り組みについて、適切に進捗状況の把握・評価を行い、その結果を受け、「橋渡し」機能を担うべき他の研究開発法人に対し、対象分野や各機関等の業務の特性等を踏まえ展開することとされている。

加えて、「まち・ひと・しごと創生総合戦略」（平成26年12月27日閣議決定）においては、地域イノベーションの推進に向けて、公設試験研究機関（公設試）と産総研の連携による全国レベルでの「橋渡し」機能の強化を行うこと等を通じて中堅・中小企業が先端技術活用による製品や生産方法の革新等を実現する仕組みを構築することとされている。

さらに、平成28年10月に産総研が特定国立研究開発法人に指定されたことにより、厳しい国際競争の中で科学技術イノベーションの基盤となる世界最高水準の研究開発成果を生み出し、我が国のイノベーションシステムを強力に牽引する中核機関となることが期待されている。

また、地質情報や計量標準等の知的基盤は、国民生活・社会経済活動を支える重要かつ不可欠な基盤であり、国の公共財として国民生活の安全・安心の確保やイノベーション促進、中堅・中小企業のものづくり基盤等、国民生活や社会経済活動を幅広く支えており、社会資本と同様に国の責務として整備すべきソフトインフラである。

中でも地質情報については、東日本大震災以降レジリエントな防災・減災機能の強化の必要性が高まる中、その重要性が再認識されているところである。また、計量標準については、イノベーション創出の基盤であり、昨今の高度化する利用者ニーズへの対応を図ることが求められている。

こうしたイノベーションを巡る世界的潮流や国家戦略等を踏まえ、産総研の平成27年度から平成31年度までの新たな中長期目標期間においては、以下の通り取り組む。

第一に、産業技術政策の中核的实施機関として、革新的な技術シーズを事業化に繋ぐ「橋渡し」の役割を果たすことを目指す。このため、技術シーズを目的に応じて骨太にする「橋渡し」研究前期及び実用化や社会での活用のための「橋渡し」研究後期に取り組むとともに、「橋渡し」研究の中で必要となった基礎研究及び将来の「橋渡し」の芽を産み出す基礎研究を目的基礎研究として推進する。この「橋渡し」については、これまでの産総研における取り組み方法の変革が求められること、我が国のイノベーションシステムの帰趨にも影響を与えること、所内でも多くのリソースを投入し取り組むことが不可欠であることから、最重要の経営課題と位置づけて取り組む。また、地域イノベーションの推進に向けて、公設試等とも連携し、全国レベルでの「橋渡し」を行うものとする。さらに、産総研が長期的に「橋渡し」の役割を果たしていくため、将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出す目的基礎研

究にも取り組む。

第二に、地質調査及び計量標準に関する我が国における責任機関として、今時の多様な利用者ニーズに応えるべく、当該分野における知的基盤の整備と高度化を国の知的基盤整備計画に沿って実施する。また、新規技術の性能・安全性の評価技術や標準化等、民間の技術開発を補完する基盤的な研究開発等を実施する。

第三に、これらのミッションの達成に当たって、新たな人事制度の導入と積極的な活用等を通じて研究人材の拡充と流動化、育成に努めるとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図る。

組 織：

産業技術総合研究所は、平成17年度に非公務員型の独立行政法人へ移行したことに伴い、柔軟な人材交流制度を構築するなど、そのメリットを最大限活用することにより組織のパフォーマンス向上を図っているところである。平成27年からの産総研第4期中長期計画の開始に伴い、研究推進組織・事業組織・本部組織の再編を行った。

現在、研究推進組織としては、平成27年度から新たに組織を再編し、「領域」、「地質調査基盤センター」、「計量標準普及センター」を設置している。このうち、「領域」の下に領域の研究開発に関する総合調整を行う「研究戦略部」、企業への「橋渡し」に繋がる目的基礎研究から「橋渡し」研究（技術シーズを目的に応じて骨太にする研究（「橋渡し」前期研究）及び実用化や社会での活用のための研究（「橋渡し」後期研究）まで一体的に取り組むとともに、中長期的キャリアパスを踏まえて研究人材を育成する「研究部門」、領域や研究部門を超えて必要な人材を結集し企業との連携研究を中心に推進する時限組織の「研究センター」の3つを設置している。

事業組織としては、再編・統合を経て現在では「東京本部」、「北海道センター」、「東北センター」、「つくば中央第一事業所」、「つくば中央第二事業所」、「つくば中央第三事業所」、「つくば中央第五事業所」（平成27年10月に統合した旧「つくば中央第四事業所」を含む）、「つくば中央第六事業所」、「つくば中央第七事業所」、「つくば西事業所」、「つくば東事業所」、「臨海副都心センター」、「中部センター」、「関西センター」、「中国センター」、「四国センター」、「九州センター」、「福島再生可能エネルギー研究所」を設置している。

本部組織としては、第4期中長期計画においては「企画本部」、「コンプライアンス推進本部」、「イノベーション推進本部」、「環境安全本部」、「総務本部」、「評価部」、「監査室」を設置している。

また、特別の組織として「TIA 推進センター」を設置している。（いずれも平成29年3月31日現在の情報）

さらに、平成28年度から新たな組織として「オープンイノベーションラボラトリー（OIL）」及び「連携研究室・連携研究ラボ（冠ラボ）」の設置を行った。

大学等内に産総研の研究拠点を設置する OIL 事業を推進することで、これまで以上にきめ細かな連携と協力関係の構築を目指し、基礎研究、応用研究、開発・実証研究をシームレスに実施し、クロスアポイントメント制度の活用による研究の加速化、リサーチアシスタント制度の活用による若手研究者の育成を行った。OIL は、名古屋大学、東京大学、東北大学、早稲田大学、大阪大学、東京工業大学の6大学に設置した。

なお、大学連携の取り組みとして平成27年12月24日閣議決定の「まち・ひと・しごと創生総合戦略（2015改訂版）」に基づく、平成28年3月22日「まち・ひと・しごと創生本部」決定の「政府関係機関移転基本方針」を踏まえ、平成29年1月11日に九州大学にラボラトリーの設置を行った。

「連携研究室・連携研究ラボ（冠ラボ）」は企業の戦略に、より密着した研究開発の実施を目指し設置するもので、3件の連携研究室及び2件の連携研究ラボを設置し、「橋渡し」研究を加速した。

平成29年3月31日現在、常勤役員13名、研究職員2,269名、事務職員681名の合計2,950名である。

沿 革：

① 平成13年1月

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

② 平成13年4月

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

③ 平成17年4月

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

④ 平成27年4月

独立行政法人通則法の改正に伴い、独立行政法人産業技術総合研究所から国立研究開発法人産業技術総合研究所

産業技術総合研究所

へ名称を変更した。

⑤ 平成28年10月

特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法の制定に伴い、特定国立研究開発法人に指定された。

産業技術総合研究所の業務の根拠法：

- ① 独立行政法人通則法 (平成11年7月16日法律第103号)
(最終改正：平成26年6月13日 (平成26年法律第66号))
- ② 国立研究開発法人産業技術総合研究所法 (平成11年12月22日法律第203号)
(最終改正：平成26年6月13日 (平成26年法律第67号))
- ③ 特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法 (平成28年5月18日法律第43号)
- ④ 独立行政法人通則法等の施行に伴う関係政令の整備及び経過措置に関する政令
(平成12年6月7日政令第326号)
- ⑤ 国立研究開発法人産業技術総合研究所の業務運営並びに財務及び会計に関する省令
(平成13年3月29日経済産業省令第108号)
(最終改正：平成27年3月31日経済産業省令第25号)

主務大臣：

経済産業大臣

主管課：

経済産業省産業技術環境局技術振興・大学連携推進課

産業技術総合研究所の事業所の所在地 (平成29年3月31日現在)：

- | | | |
|------------------|-----------|--------------------------|
| ① 東京本部 | 〒100-8921 | 東京都千代田区霞が関1-3-1 |
| ② 北海道センター | 〒062-8517 | 北海道札幌市豊平区月寒東2条17-2-1 |
| ③ 東北センター | 〒983-8551 | 宮城県仙台市宮城野区苦竹4-2-1 |
| ④ つくばセンター | 〒305-8561 | 茨城県つくば市東1-1-1 (代表) |
| ⑤ 臨海副都心センター | 〒135-0064 | 東京都江東区青海2-3-26 |
| ⑥ 中部センター | 〒463-8560 | 愛知県名古屋市守山区下志段味穴ヶ洞2266-98 |
| ⑦ 関西センター | 〒563-8577 | 大阪府池田市緑丘1-8-31 |
| ⑧ 中国センター | 〒739-0046 | 広島県東広島市鏡山3-11-32 |
| ⑨ 四国センター | 〒761-0395 | 香川県高松市林町2217-14 |
| ⑩ 九州センター | 〒841-0052 | 佐賀県鳥栖市宿町807-1 |
| ⑪ 福島再生可能エネルギー研究所 | 〒963-0298 | 福島県郡山市待池台2-2-9 |

2. 動 向

産総研の領域別年間研究動向の要約

I. エネルギー・環境領域

1. 領域の目標

世界的規模で拡大しているエネルギー・環境問題の解決に向けたグリーン・イノベーションの推進のため、再生可能エネルギーなどの新エネルギー導入促進や省エネルギー、高効率なエネルギー貯蔵、資源の有効利用、環境リスクの評価・低減などを旨とした技術の開発を進めている。エネルギー・環境領域（以下、「エネ環領域」）ではエネルギー・環境問題の解決に取り組み、持続可能な社会の構築に向けて、以下の5項目の重点戦略を策定し、これに沿った研究開発を実施している。

(1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発

太陽光についてはコスト低減と信頼性向上を実現するとともに、複合化や新概念に基づく革新的な太陽電池の創出を図る。また、再生可能エネルギー大量導入のためのエネルギーネットワーク技術、さらには大規模地熱利用技術等にも取り組む。

(2) エネルギーを高密度で蓄蔵する技術の開発

再生可能エネルギー等を効率良く水素等の化学エネルギー源に変換し貯蔵・利用する技術を開発するとともに、電源の多様化にむけた車載用、住宅用、産業用の蓄電技術を開発する。

(3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発

省エネルギー社会を実現するために、ワイドギャップ半導体パワーエレクトロニクス技術、熱エネルギーの有効利用技術、自動車用エンジンの高効率燃焼技術、高温超電導コイル化技術等を開発する。

(4) エネルギー資源を有効利用する技術の開発

メタンハイドレート等のエネルギー資源の有効利用にかかわる技術を開発する。

(5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、ナノ材料等の環境リスクを分析、評価する技術、レアメタル等の資源循環を進める技術並びに、産業保安を確保するための技術を開発する。

2. 領域の組織構成

エネ環領域では、3つの研究センター（太陽光発電研究センター、再生可能エネルギー研究センター、先進パワーエレクトロニクス研究センター）、5つの研究部門（創エネルギー研究部門、電池技術研究部門、省エネルギー研究部門、環境管理研究部門、安全科学研究部門）を中心に研究開発を行っている。なお、エネ環領域以外の研究領域とも強く連携を取りつつ、上記重点戦略目標達成に向け、研究開発を進めている。

3. 主な研究動向

平成28年度の主な研究動向は以下のとおりである。

(1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発

- ・酢酸蒸気暴露によるセル電極試験法が、セル電極の優劣を簡便かつ高速に判定可能な普遍的試験法であることを証明した。また多用途展開可能な難燃軽量モジュールを世界で初めて開発した。
- ・最大出力2.5 MW（国内最大）、入力電圧1.5 kVの大型PCSに対する単独運転防止試験を世界で初めて実施し、国際標準を5件提案した。
- ・ナセル搭載ライダーによる突風検知後数～数十秒後に発生する風車の過回転を、フィードフォワード制御の適用により防止することを可能にした。
- ・福島県会津盆地において、地下水流動・熱輸送モデルによる地中熱ポテンシャル評価と現地水文調査結果を組み合わせたポテンシャルマップを作成した。

(2) エネルギーを高密度で蓄蔵する技術の開発

- ・高容量で安定性が高く、資源制約の少ないNa系蓄電池設計への展開に向け、新規正極材料として電気化学的方法により Na_2MnO_3 の合成に成功した。
- ・Irナノ粒子を担持した $\text{Ir}/\text{Ti}_4\text{O}_7$ 触媒を固体高分子型水電解アノード触媒に適用することで、世界最高レベルとなる従来触媒の2倍の質量活性を実現した。

(3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発

- ・つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション（TPEC）に12億円規模の企業資金を獲得し、6インチ対応

の SiC デバイス量産試作ラインを構築した。

- ・ TPEC 事業として 1.2 kV 耐圧クラスの量産化技術開発に加え、微細化により、市場で入手可能な最も低いオン抵抗 SiC-MOSFET の開発に成功した。
- ・ 次世代の電力制御用パワーデバイス材料として期待されているダイヤモンドを用いてトランジスタを作製し、良好な MOS 構造の形成により、パワーデバイスにおいて重要なノーマリーオフ特性を有する反転層チャネル MOSFET の動作実証に世界で初めて成功した。

(4) エネルギー資源を有効利用する技術の開発

- ・ エネルギー自給への貢献が期待されるメタンハイドレート (MH) 資源からの天然ガス生産研究開発において、世界トップレベルの MH コアサンプル分析技術を通じ、高精度な砂層型貯留層モデルを構築した。これを使用して東部南海トラフにおける第2回海洋産出試験候補地の条件最適化を行った。
- ・ 単塔式流動層反応装置を用い、800°C、4気圧にてメタンのベンゼン直接転換プロセスを実施することにより、ベンゼン最大生成速度を約2倍まで向上させることに成功した。

(5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発

- ・ 次世代シークエンサー解析と共焦点反射顕微鏡法を融合し、水処理膜閉塞の原因を解析する新手法を開発した。これを実産業排水に適用し、新たな膜閉塞モデルを提案した。
- ・ 人工合成した蛍光 RNA プローブをヒト細胞内に導入し、細胞内 RNA 分解速度の差を利用して簡単・迅速に化学物質の有害性評価可能な技術を開発した。
- ・ 室内製品暴露評価ツール (ICET) を公開し、業界団体での講演会実施により、国内企業の効率的かつ人健康に配慮した製品開発を支援した。

II. 生命工学領域

1. 領域の目標

健康で安心して暮らせる健康長寿社会や、環境負荷を抑えた持続可能な社会の実現が求められている。そのため、生命工学領域では、新たな健康評価技術や創薬推進技術の開発、あるいは個人の状態に合わせて健康維持・増進・回復を推進する技術の開発により、ライフ・イノベーションに貢献する。また、バイオプロセスを用いた環境負荷低減技術の開発によりグリーン・イノベーションに貢献する。

2. 領域の組織構成

当領域は1つの研究センター (創薬分子プロファイリング研究センター) と、4つの研究部門 (健康工学研究部門、バイオメディカル研究部門、生物プロセス研究部門、創薬基盤研究部門)、および大学内産学官連携研究拠点である2つのオープンイノベーションラボラトリ (産総研・早大 生体システムビッグデータ解析オープンイノベーションラボラトリ、産総研・阪大 先端フォトニクス・バイオセンシングオープンイノベーションラボラトリ) から構成され、バイオテクノロジーから医工学までの幅広い研究分野の研究開発を実施している。また、バイオ技術と情報技術を融合させた研究など、分野融合研究を推進することにより、新領域の技術開発にも積極的に取り組んでいる。

3. 主な研究動向

以下に平成28年度の主な研究動向を示す。

(1) 創薬基盤技術の開発

これまでの古典的創薬プロセスから脱却し、創薬開発を加速させるために、新薬探索や医薬リード化合物の最適化を効率よく進めて、創薬開発を加速できる技術の開発を目指す。そのために、ロボットやナノテクノロジー、数理解析技術を駆使した創薬最適化技術、電子顕微鏡などによるナノスケールでのバイオイメージング技術、糖鎖などのバイオマーカーによる疾病の定量評価技術など、新しい創薬の基盤となる技術を開発する。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・ 薬剤を投与した際の細胞内の影響を解析することを目的として、細胞内の情報伝達を担うタンパク質リン酸化酵素の活性状態をアレイ上で検出し、数理ネットワーク解析によって網羅的にプロファイリングするシステムを構築した。
- ・ 溶液中の生細胞試料やナノ粒子溶液を非染色・非固定・非侵襲の状態で観察することが可能な誘電率顕微鏡の開発を進め、試料調整方法や画像解析技術の改善により 10 nm 以下の分解能を達成した。
- ・ 胆管・肝内胆管がんに特異的な血清中 MUC1糖タンパク質の糖鎖変化を発見し、抗体とレクチンを併用した新

規糖鎖マーカー検出系を開発した。8施設634症例で有効性を検証し、医薬品製造販売承認の最終段階に入った。

- ・リウマチ性疾患を示す血清中の希少な糖鎖マーカーを発見し、これを識別するレクチンと抗体を併用した検出系を構築することで、診断の精度を大幅に向上させることに成功した。
- ・動物実験と臨床試験を代替するマイクロ臓器チップ開発を進め、2臓器8条件または4臓器4条件を同時に測定可能なマルチスループット細胞培養デバイスを作製し、肝臓で代謝されて抗がん作用を発現する薬剤 **Tegafur** の作用を実証した。
- ・体内で安定的に存在し悪性脳腫瘍を認識する新規ペプチドを同定した。このペプチドに抗がん剤を結合させた薬剤を脳腫瘍モデルマウスに経口投与すると脳腫瘍に集積し、腫瘍細胞の増殖を著しく抑制することを見出した。
- ・ヒト完全長 cDNA と不溶化タグ技術を利用して2万種のタンパク質を合成し、質量分析の標準物質リソースとして利用することで、ヒトタンパク質を定量化するシステムを構築した。

(2) 医療基盤・ヘルスケア技術の開発

豊かで健康的なライフスタイル実現のために、医療基盤・ヘルスケア技術の開発を行う。そのために、損傷を受けた生体機能を幹細胞等を用いて復元させる再生医療の基盤となる幹細胞の標準化と細胞操作技術の開発、健康状態を簡便に評価できる技術や感染症などの検知デバイスの開発、さらに、生体適合性や安全性の高い医療材料や医療機器の開発を行う。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・特定の遺伝子とレクチンを用いて、ヒト間葉系幹細胞の骨や軟骨への分化能を評価するためのマーカー遺伝子を同定した。本遺伝子を対象として、民間企業と共同で幹細胞の分化能評価キットを開発した。
- ・2種類の祖先種が異種交配して全ゲノム重複したとされる、アフリカツメガエルの複雑なゲノムの全構造を明らかにした。祖先種から受け継いだ2種類のゲノムを特定し、重複ゲノムの進化過程を解明した。
- ・国内機器メーカーと共同で光イメージングによる血栓検出センサの開発を進め、大型動物実験において臨床使用に十分耐えうる血栓検出性能を実現した。また、遠心血液ポンプ内動圧軸受部の赤血球流動を可視化することに成功した。また、血流によるせん断応力が血液凝固を抑制する作用において、両者の定量的な相関性を明らかにするとともに、血小板活性とは独立して関与する血液凝固因子を見出した。
- ・メソポーラスシリカナノ粒子が単独で抗腫瘍免疫を誘導し、特に免疫グロブリン分泌や細胞性および体液性免疫サイトカイン分泌、骨髄・リンパ節・脾臓での CD4および CD8陽性エフェクターメモリーT 細胞の増強に寄与することを明らかにした。
- ・プラズマ処置による止血並びに低侵襲性となるメカニズムを解明し、低温大気圧プラズマを利用した低侵襲止血技術を確認した。また当該装置の国際標準となる規格書 **IEC60601-2-76-WD** を作成して各国回覧に到達した。
- ・企業との共同開発により、マイクロ流路を用いた往復送液と蛍光検出技術を実装したリアルタイム PCR 装置を開発し、乾電池駆動可能な小型高速リアルタイム PCR 装置を開発した。

(3) 生物機能活用による医薬原材料などの物質生産技術の開発

化石燃料代替物質、化成品原料、医薬品原料、有用タンパク質、生物資材など、物質循環型社会の実現のために、遺伝子組み換え技術を用いて微生物・植物・動物の物質生産機能を高度化し、バイオプロセスを用いた医薬原材料などの有用物質を効率的に生産する技術の開発を行う。

以下に代表的研究成果を示す。

- ・単独で石炭から直接メタンを生成するメタン生成菌 **AmaM** 株を世界で初めて発見した。**AmaM** 株が石炭の構成成分であるメトキシ芳香族化合物をメタンに変換することを明らかにし、天然ガス資源として注目される「コールベッドメタン」の生成メカニズムの解明に大きく寄与する成果を挙げた。
- ・CRISPR/Cas9法をニワトリに適用し、従来法では困難だったニワトリの効率的なゲノム編集技術を世界で初めて確立した。さらに卵の主要アレルゲンであるオボムコイドの遺伝子を欠失したニワトリの作製に成功し、低アレルゲン性卵の生産へ可能性を拓いた。
- ・微生物を利用した放射性セシウム除去技術の開発を目的として、非特異的なセシウム取り込み活性を有する大腸菌のカリウムトランスポーターを誘導的に発現させ、セシウム取り込み能を最大で28倍上昇させることに成功した。
- ・植物の遺伝子組換えに利用されているキュウリモザイクウイルスの外皮タンパク質遺伝子を、発現目的遺伝子と置き換えるベクターを作成し、従来法に比べて目的物質を約8倍発現できる植物遺伝子組換え系を構築した。
- ・複数の遺伝子発現オミクス情報を用いた代謝ネットワーク解析アルゴリズムを開発し、油脂酵母と糸状菌の油脂生産等に係る因子の推定に成功した。
- ・ミトコンドリアの機能に関与する *Thermus thermophilus* 由来 RNA 硫黄修飾酵素が、酸素に接すると崩壊する

不安定な鉄硫黄クラスターを用いて機能することを初めて同定し、ミトコンドリアによるエネルギー生産を制御する機構解明に向けた重要な知見を得た。

- ・分泌型リソフェラーゼを用いた核内受容体アッセイ用のベクターを構築し、動物細胞の核内受容体アッセイに利用できることを確認した。
- ・魚類由来の不凍タンパク質（AFP）を見出し、その高純度品を取得する独自技術を開発し、食品メーカーとの共同開発により AFP の製品化を実現した。
- ・共生細菌スピロプラズマがオスの X 染色体を認識して切断し、細胞死を誘導することで選択的にオスを殺すことを明らかにした。害虫の捕食者を利用した天敵農薬の効率的生産などへの応用展開につながる新知見を得た。
- ・進化的に始原生物に近いと思われる *Thermus thermophilus* において、16S rRNA の遺伝子水平伝播を模した実験を行い、異種生物のものと置換しうることを発見した。生物の系統解析に広く利用されている16S rRNA が水平伝播で進化してきたことを示唆する分子系統学的に重要な知見を得た。

III. 情報・人間工学領域

1. 領域の目標

情報・人間工学領域においては、人と共栄する情報技術の分野横断的活用と深化により社会課題へ取り組み、産業競争力の強化と豊かで快適な社会の実現を目指して人間に配慮した情報技術の研究開発を行っている。さらに、柱である情報学と人間工学のインタラクションによって健全な社会の発展に貢献していくことを目指す。

このミッションを実現するために以下の4つを分野の戦略目標として定めている。

- (1) ビッグデータから価値を創造する人工知能技術の開発
- (2) サイバーフィジカルシステム技術の開発
- (3) 快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発
- (4) 生活の質と豊かさの向上を実現するロボット技術の開発

また、第4期中長期計画期間中において国際的に最高水準の研究機関を目指した組織体質の改革を実施し研究開発アセットとして第5期中長期計画に継承する。

2. 領域の組織構成

当分野の研究組織は、3つの研究センター（自動車ヒューマンファクター研究センター、ロボットイノベーション研究センター、人工知能研究センター）、3つの研究部門（情報技術研究部門、人間情報研究部門、知能システム研究部門）で構成されている。

3. 主な研究動向

(1) ビッグデータから価値を創造する人工知能技術の開発

現在は神経科学的現象を説明する自然科学的モデルにとどまっている脳型人工知能について、工学応用可能な機械学習アルゴリズムの形に統合した情報処理技術として完成するとともに、有用性を実証することを目指す。平成28年度は脳型人工知能機構の基本原理解に基づく人工視覚野及び人工言語野の実現を目指して、プロトタイプを構築した。

また、データ知識融合人工知能については、連続値と離散値の組み合わせや時間的変化をともなう実世界のデータと知識を融合するための新しい確率モデリング技術の研究開発を実施している。平成28年度には多様なデータを統合した確率モデリングのための実世界データ収集基盤を整備し、人工知能技術や機械学習手法を大規模実問題に適用するために必要不可欠なデータ・知識融合環境を構築した。さらに人工知能研究開発環境の利用を進め、基礎的な手法を実問題に適用する場合の評価・検証が容易になることを示した。

点検者の技術に左右されず熟練者並の質の高い点検業務を可能とする、人工知能によるインフラ診断支援技術の研究開発を実施している。各種センサデータに対する診断事例を収集し、機械学習に基づく手法で解析し、異常検知やその要因を推定できるシステムを開発する。平成28年度は戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において、高速道路管理会社、装置メーカー等とともに「学習型打音解析技術の研究開発」を行い、橋梁、道路等の実構造物において実証試験を開始し、その結果をシステム開発にフィードバックし改良を進めた。

(2) サイバーフィジカルシステム技術の開発

安全なサイバーフィジカルシステムの実現を目指し、演算性能や電力に制約のある大量のエッジデバイス上でも実用的な速度で処理が可能な暗号技術と、それを用いたプライバシー保護や認証技術に関する研究開発を実施

している。RSA 暗号等の従来技術では、効率性、機能性、安全性のいずれも不十分であり、格子問題等の数学的構造に基づき、エッジデバイスに適した軽量で高機能な暗号・認証技術の実現を目指す。平成28年度は、前年度の成果を発展させ、関数暗号等の高機能暗号について一層の効率化・高安全化と安全性評価手法の構築を進めた。たとえば、量子計算機に対しても安全と考えられている格子暗号において、ある条件の下で公開鍵サイズを9割削減する効率的アルゴリズムを設計した。また、生体情報など、同一物でも計測の度に値が変わってしまうデータを秘密鍵とできる電子署名の安全性証明等を行った。

生産現場、生活場面での人間行動センシング技術と、それを通じて得られる実世界ビッグデータを集約、分析し、製品の価値向上、サービスの生産性向上に繋げる統合クラウド技術を開発している。平成28年度は、昨年度までに省電力化、小型化したセンサを活用し、7社の企業との資金提供型共同研究を通じて、生産現場、生活場面でのサービス応用技術を研究した。多人数の行動データと属性、環境データを統合して可視化し、サービス生産性を向上させるためのツール群を整備した。これらの技術を基盤とし、2～3年後に、文脈に応じた製品カスタマイズ、サービスプロセス改善を支援する統合クラウド技術を実現し、企業へのライセンス提供に繋げることを目指す。

(3) 快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発

高齢者が自らの残存機能を維持、増進して自立移動ができるようにするために、装着型センサで歩行・走行機能を計測、評価して可視化する技術を開発している。平成28年度は、高齢者の歩行機能データベースをさらに118例拡充するとともに、そのデータベースを用いることで多様なセンサデバイスに共通基盤的に対応できる歩行評価指標の計算、提示クラウド技術を開発した。5社・7件の資金提供型共同研究を通じて、実用化を図った。これらの計測評価技術を、下肢切断者の義足走行機能評価に適用し、大型の公的資金ならびに企業との資金提供型共同研究を通じて、義足の適合評価方法を開発した。

(1)高齢ドライバ支援、(2)自動運転、(3)ドライビングプレジャー (DP) に関わるヒューマンファクターを、ドライバの行動、認知(脳活動)、生理計測によって理解し、より安全で楽しいクルマの設計指針を構築している。平成28年度は、(1)については、主に高齢者の補償運転行動の理解と、加齢に伴ってリスクが増加する運転中の健康状態急変に関する検討(下記、AMECC)、(2)については、ドライバ状態定義と安全なモード遷移設計要件の検討、(3)については、DP 評価構造の理解と客観的評価指標の導出を行った。研究実施に加え、自動運転のヒューマンファクター領域の日本企業・大学連合のリーディングおよび欧米との連携を行った(SIP 自動走行システム)。また産総研を中心に、自動車メーカーやサプライヤー等の産業界、医療機関(筑波大学附属病院)および大学(東京大学)と共同研究型コンソーシアム(健康起因交通事故撲滅のための医工連携研究開発コンソーシアム、AMECC)を設立した。

(4) 生活の質と豊かさの向上を実現するロボット技術の開発

平成28年度は、動力学シミュレーション技術を用いてロボット介護機器の効果評価を行う手法を開発し、機器設計に適用してその有効性を検証した。介護施設等でも利用可能なコストで実現可能な簡易モーションキャプチャシステムのプロトタイプの開発を完了した。コミュニケーションロボットの大規模実証評価を実施し、ロボット介護機器としての有効性を見極めた。高齢者移動支援ロボットに外界センサを用いた自律走行機能を実装し、市街地における自律走行を実現した。

画像センシングおよびパターン認識に関する技術をコアコンピタンスとし、高度な空間情報取得・理解技術を構築するための目的基礎研究を行っている。平成28年度は、空間情報をより積極的に取得するための次世代センサレイ技術として、多眼カメラによる多次元空間センシング技術の構築と、その較正技術、更には取得した多次元情報のパターン認識による解析技術の開発を行った。またこれらの技術を、社会の重要課題を解決するための中核技術とするために、様々な実応用フィールドでの有効性の検証を行った。

災害や、社会・産業インフラの老朽化への対応は喫緊の課題であり、人手不足や危険作業の低減のために、これらを支援するためのロボットの基盤技術の研究開発を行っている。平成28年度は、非整備環境における移動や作業の能力を拡大するための多点接触動作制御技術について開発に着手した。光源の存在によって発生する影や霧、雨、雪等の災害現場で想定される自然現象がロボットの視覚に与える影響を模擬可能なシミュレータを開発した。過酷環境下での通信維持による情報収集技術を、実ロボットシステムで検証した。ひび割れ自動検出精度のさらなる高精度化に取り組むとともに、断片画像からの俯瞰的な損傷図生成技術、劣化損傷の経年変化モニタリング技術の研究開発を行った。

多品種少量生産のロボット化を目指し、これに必要な把持・動作計画技術、力覚・触覚技術、ならびに視覚認識技術の開発を行っている。主な取り組みとしては、自動車部品に特化した比較的低コストな視覚認識システムや把持・動作計画システムの開発を行うことで、組み付け作業の自動化を可能とする。平成28年度は、自動車部品に対応した視覚認識システムや把持・動作計画システムを構成する基盤技術である視覚キャリブレーション、歪補正、バラ積み物品検出、ロボット動作計画等を企業へ技術移転し、それらを統合した中核システムを用いて機能検証を行った。

IV. 材料・化学領域

1. 領域の目標

材料・化学領域では、材料技術と化学技術の融合による、部素材のバリューチェーン強化の実現を念頭に、機能性化学品の付加価値を高めるための技術開発、および新素材を実用化するための技術開発を通じて、素材産業や化学産業への技術的貢献を目指す。第4期における研究開発においては、最終製品の競争力の源となる革新的部材・素材を提供することを目指し、材料の研究と化学の研究との統合によって、グリーンサステナブルケミストリーの推進及び化学プロセスイノベーションの推進に取り組む。また、ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術、新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料、および省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材を開発する。

2. 領域の組織構成

当該領域は平成28年度末において4つの研究センター（触媒化学融合研究センター、ナノチューブ実用化研究センター、機能材料コンピューショナルデザイン研究センター、磁性粉末冶金研究センター）、5つの研究部門（機能化学研究部門、化学プロセス研究部門、ナノ材料研究部門、無機機能材料研究部門、構造材料研究部門）の計9研究ユニットで構成されている。

3. 主な研究動向

当該領域の先端研究事業の代表例を以下に示す。

国家プロジェクト（PJ）の新規獲得に関しては、昨年度からの継続 PJ に加えて、NEDO 事業「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」の採択、NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラムにおける「ナノクリスタルエンジニアリングによる材料・デバイス革新」と「ファインケミカルズ製造のためのフロー精密合成の開発」の2件の採択、さらに、農水省 革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト：実証研究型）では「畜舎内環境管理と悪臭対策技術確立による養豚生産性向上」の採択が主要な PJ として特筆すべきものである。

平成28年度の主な研究成果は、以下の通りである。

(1) グリーンサステナブルケミストリーの推進

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

- ・単層カーボンナノチューブ分散剤として、従来のスチルベン系とは異なり、アゾベンゼンのシストランス光異性化を利用した分散剤を開発することで、光による可逆的な分散制御が可能となった。
- ・昨年度までの徐放性に関わる分子会合制御技術を活かし、今年度は水に濡れると内包物を放出する球状ナノカプセルの大量合成に成功した。
- ・これまで合成が困難もしくは多段階合成を必要とした構造制御シロキサン化合物において、イリジウム触媒とホウ素触媒の利用によりシロキサン結合を3つの触媒反応をワンポットで形成する技術を開発した。

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

- ・D-アミノ酸の生産技術開発では、昨年度に得られた生産酵素の高次構造情報をもとに、基質特異性の改変を進め、酵素活性の向上に成功した。また、生産物からは、L-アミノ酸は検出されず、高純度な D-アミノ酸であることが分かった。
- ・酵母によるエタノール製造に関しては、昨年度に大量培養装置の設計及び予備運転を実施したことで、今年度、遺伝子組み換え酵母の有効性（2種の糖を同時発酵）をパイロットスケールで確認し、1トンの乾燥バイオマスから380 L 以上のエタノール生産に成功した。
- ・エネルギーキャリアとしてアンモニアから高純度水素を生成できる新規の Ru/MgO 触媒を共沈法により開発し、1,000 ppm 以下までアンモニアを分解できることを確認し、加えて、10倍スケールでの触媒調製技術を確立した。

- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発
- ・天然物（砂など）からのテトラアルコキシシラン直接合成において、本年度は、コロコート株式会社と共同で、無機脱水剤であるモレキュラーシーブを利用することで、昨年度報告した有機脱水剤を用いる技術よりも高効率に一段階で直接合成できる技術を開発した。今後2～3年でパイロットスケールでの検証を行い、テトラアルコキシシラン販売の事業化を目指している。
- (2) 化学プロセスイノベーションの推進
- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
- ・新規高機能界面活性剤として、昨年度の環状ペプチド界面活性剤（サーファクチン）の開発で得られた知見を活かし、今年度は洗剤酵素を阻害しない新規環状界面活性剤の合成に成功した。
 - ・界面評価手法「減衰振動法」を活用し、天然由来のカゼインペプチドの界面活性を向上させた。
 - ・酵素反応場の高度化を目指し、2種類の酵素をメソポーラスシリカに固定化することで、高効率・持続的な酵素反応を可能にする物質変換システムを構築し、酵素の繰り返し使用への耐久性が5回（昨年度は2回目で急激に低下）へと向上した。
 - ・「高圧 CO₂噴霧技術の開発」における成果を活用し、高圧 CO₂を利用した大処理量（t/h）を実現できるマイクロ混合器を開発し、黒液(ろ過液)からのバニリン抽出に適用することで、疎水性有価物を含む水溶液から有価物を抽出する高速液液分離技術を実証した。
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
- ・CREST 事業で進めている高圧水素製造技術において、昨年度得られた水素製造技術に関する指針を基に、製造・精製を連続化するため、本年度はイリジウム触媒の利用によりギ酸からの効率のよい高圧ガス発生に成功し、高圧水素精製法を開発した。
 - ・省エネ化への膜分離技術開発では、昨年度得られた無機物質の膜化に関する設計指針を踏まえ、企業との共同研究で高シリカチャバザイト長尺管状膜（1 m）製造の歩留まりをほぼ100%（昨年度10%）に向上させた。
 - ・有機ハイドライド由来水素精製の炭素膜において、昨年度見出した膜製造条件の最適化により、水素選択性の要求スペックを満足しつつ水素透過速度を向上させることに成功した。
 - ・昨年度見出した膜製造技術を膜メーカーへ技術移転し、モジュール化に成功した。
- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発
- ・昨年度得られた改質リグニンと粘土鉱物からなる耐熱性ガスバリア膜材料に関して、膜前駆体である塗工液の塗布条件検討により長尺膜化に成功し、共同研究先企業において30 cm 幅の均一厚の長尺膜の試作が進んでいる。
 - ・産総研で開発した透明不燃粘土膜「クレスト」をプラスチック表面に塗工することで、軽量、強固、透明性そして不燃性を有する新規材料ができ、企業と共同でこの材料による不燃照明カバーを開発した。
 - ・このクレスト塗工技術を用いた照明カバーが東京の地下鉄駅に設置された。
- (3) ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発
- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
- ・バイオ用蛍光マーカーの高度化を目指し、カーボンナノチューブ（CNT）構造分離技術の中で3種類の界面活性剤を用いたゲルカラム法で分離した近赤外発光可能な単一構造 CNT を蛍光マーカーに用いることで、血管造影感度が従来と比較して100倍向上した。
 - ・電子顕微鏡等による原子レベルでの評価技術としての適用範囲拡充を目指し、昨年度の構造イメージングの成功に加え、今年度は電子銃単色化を通じたエネルギー分解能の20倍以上の向上により、CNT1本毎の電子状態や、欠陥構造における原子構造と電子状態を原子レベルで解明した。
 - ・材料機能を原子レベルで理解する上で材料を構成する原子配列を簡潔に表現する手法として、アモルファス材料などの不規則構造を有する物質の表記のために、多面体タイリングを用いて不規則原子配列を簡単に表記できる数理的手法を開発した。
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
- ・昨年度の工業用グラフェンの高品質化（透過率95%、平均シート抵抗130 Ω）に加え、今年度は、良質な粒界接続により高移動度のグラフェンの合成を可能にする反応容器の H₂O 分圧制御法を開発し、連続成膜時に大張力を印加した銅箔基材上で、歪のないグラフェン粒界の接続に成功した。
 - ・物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発において、プルシアンブルーをベースに金属置換、組成制御により、ppmオーダーの希薄アンモニアを短時間で除去でき、多孔質材料では最高の21.9 mmol/gの容量のアンモニア吸着材を開発した。

- ・材料機能シミュレーション技術において、機械的劣化現象が重要な対象であるフィラー充填高分子材料において破壊挙動を粗視化 MD シミュレーションで解析し、破壊時におけるキャビティの生成・合一過程がフィラー・高分子間相互作用に依存することを明らかにした。
- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発
- ・カーボンナノチューブ (CNT) に関しては、CNT 合成法として産総研が開発したスーパーグロース法に関する蓄積技術を基に、「冠ラボ」or「連携研究室」として「日本ゼオン・産総研カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ」(2016/7/1-2020/6/30年1億円)を設置し、第二工場用の低コスト化技術開発に着手した。
 - ・今年度、NEDO プロジェクトにおいて単層 CNT 融合新材料研究開発機構と共同で世界最高水準の耐熱・高強度の CNT 複合体であるスーパーエンジニアリングプラスチックを開発した。
 - ・これらの研究開発過程で蓄積した複合化技術などの基盤技術を基に、CNT 複合材料の新規用途研究、共通基盤技術研究、部材製造プロセス技術研究、及び営業戦略検討を進める目的で「日本ゼオン・サンアロー・産総研 CNT 複合材料研究拠点」がスタートした。
- (4) 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発
- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究 (目的基礎研究)
- ・チタン酸バリウムナノキューブ集積体における昨年度の特異な高誘電特性の発見について、今年度は、計算科学的アプローチを用いてこの現象が界面での格子歪に起因していることを明らかにし、基本的原理の確証を得た。
 - ・エントロピクス材料では、昨年度の磁気熱量金属材料の部材化促進に加え、本年度は金属絶縁体転移を利用したスピン+電荷の複合エントロピー増大によってセラミックス系に拡張したエントロピクス材料の開発に成功した。
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
- ・ナノクリスタルの開発において、企業との共同研究によって、チタン酸バリウムナノキューブの量産技術として、パイロットスケールでの50 L バッチ合成2回で、約100 g のキューブ状粉末を得ることに成功した (従来のラボスケールでは100 mL 容器で数100 mg)。
 - ・無機多孔質粒子を用いた抗体医薬精製カラム担体の開発では、昨年度開発した様々な粒子形状を持つ多孔質シリカ粒子を用いて検討し、本年度、担体形状と表面構造の最適化によって、企業との共同研究で50回程度の使用に耐えうる高リサイクル特性を実現した。
 - ・Sm-Fe-N 系異方性磁石の開発では、プレス圧力や潤滑材料の検討により、配向度が95 %以上 (昨年度80 %) に向上した。
 - ・磁性微粉末合成では、低温での還元拡散法によってサブミクロンサイズの微細粉末の合成に成功し、保磁力 2.5 T 以上(従来のマイクロメートルオーダーの粒子は約1.5~2 T)を達成した。
- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発
- ・ハイブリッドアクチュエータ (HBA) の開発では、薄型点字ディスプレイ開発に向けて企業と共同で HBA 試験用プロトタイプを試作・評価を進めた。
 - ・健康管理のために開発した呼吸ガス検出器に関して、プロトタイプ機を病院に設置し、平成28年度は健康状態モニタリング実証を進めている。今後は検出器とシステムの課題抽出を行い、平成29年の実用化を目指し改良研究を行っている。
 - ・マイクロチューブ SOFC 高性能化・耐久性向上に関して、産総研研究成果である DFT 法による電気化学評価アルゴリズムを基に企業が開発したインピーダンス解析支援ソフトウェアが販売開始となり、橋渡し研究が順調に進展した。
- (5) 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発
- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究 (目的基礎研究)
- ・電析バルクナノ結晶合金の熱脆化を抑制する技術として、昨年度第一原理計算で探索した硫黄を無害化する可能性のある軽元素を添加する技術を開発することで、バルクナノ結晶の耐熱性を向上させた。
 - ・自己修復機能を有するこれまでにない耐久性に優れた防曇処理技術として、水溶性ポリマーであるポリビニルピロリドン (PVP) とアミノ基終端したナノメートルサイズの粘土粒子から構成される超親水性ハイブリッドゲルを用いたコーティング技術を開発した。
 - ・CFRP (炭素繊維強化プラスチック) 製造に伴う廃棄物の低減のための再利用化技術として、リサイクル炭素繊維を用いてサイジング剤フリーで高曲げ強度を有する CFRP の成形プロセスを開発した。
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

- ・輸送機器用の軽量構造部材である難燃性マグネシウム合金に関して、晶出物密度の極小化と晶出物形状の球状化によって、引張強度367 MPa、破断伸び17 % (平均値) と機械的強度を向上させ (昨年度強度352 MPa、伸び14 % (平均値))、1 m 級のマグネシウム合金押出材の作製にも成功した。
- ・企業・大学等と共同でセラミックス3D 造形法のうち「粉末積層造形法」の開発と技術プラットフォーム構築を進め、今年度、アルミナ多孔体や反応焼結炭化ケイ素を対象に造形条件の探索を行い、従来の成形技術では作製困難な構造・形状の各種モデル部材の作製が可能になった。
- ・セラミックス基高気孔率ファイバーレス断熱材料の開発では、耐熱性の向上と低熱伝導・高強度を両立させるプロセス因子を検討し、1450 °C耐熱 (平成27年度は1400 °C耐熱) で、高強度・低熱伝導率 (15 MPa, 0.3 W/ (m・K)) を有する材料が得られた。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

- ・企業と共同で開発した常圧焼結製法によって、高性能な B_4C (炭化ホウ素) 製スピーカー振動板が企業により製品化され、車載用スピーカーの構成部品として販売開始された。
- ・産総研で開発した木質流動成形技術をシーズにした企業との共同研究によって、木・竹材のスピーカー部材 (一体薄肉振動板と任意曲面をもつエンクロージャー) が実用化されるとともに、企業と共同開発した素材「ポリマー・クレイ・ナノコンポジット」がハイルドライバー方式スピーカーの振動フィルムとして実用化された。
- ・マイクロ領域の評価装置の実用化研究として、透明プローブと光学顕微鏡を組み合わせ、高い圧力が発生する先端部に光を透過させる顕微インデントャーについて、ベンチャーの設立を目指して技術開発を進めている。
- ・窒化ケイ素メタライズ放熱基板では、昨年度過酷な温度サイクル化でのメタライズ放熱基板の劣化・損傷メカニズムを解明したことにより、企業との共同実施によって1000回サイクルにも耐えうる高い耐熱温度サイクル性と放熱性を併せ持つ窒化ケイ素メタライズ基板を実現した。本開発技術を基に、今後2~3年で部材供給体制を整備し事業化を目指している。

V. エレクトロニクス・製造領域

1. 領域の目標

エレクトロニクス・製造領域においては、わが国の産業競争力強化への貢献を目的とし、IT 機器の大幅な省エネ化と高性能化の両立を可能とする世界トップ性能のデバイスの開発と、省エネ、省資源、低コストな先端加工技術の開発、さらに、先端エレクトロニクスを基礎としたセンシング技術と革新的製造技術を結びつけることによる超高効率な生産システムの構築を目指している。当該研究開発を推進するにあたり、以下の4つの研究を重点研究課題として定めている。

- (1) 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発
- (2) ものインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発
- (3) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発
- (4) 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発

2. 領域の組織構成

当領域の研究組織は、4つの研究センター【スピントロニクス研究センター、フレキシブルエレクトロニクス研究センター、先進コーティング技術研究センター、集積マイクロシステム研究センター】と、3つの研究部門【ナノエレクトロニクス研究部門、電子光技術研究部門、製造技術研究部門】で構成されている。

3. 主な研究動向

(1) 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発

- ・ナノエレクトロニクス研究部門では、不揮発メモリに関して、超格子型相変化材料を用いて100 nm 以細のメモリセルを作製し1 V 以下の低電圧スイッチングを実証した。ロジック向けの低電圧動作デバイスに関して、Si トンネル FET の CMOS 回路動作に成功するとともに、負性容量 MOSFET の10 nm 世代の設計指針を TCAD シミュレーションに基づいて提示した。また、高性能ロジック向けの GeFinFET については、無損傷加工により Si より高いオン電流を達成した。さらに、新原理の情報処理のためのデバイス・回路技術に関して、超伝導量子アニーリング回路の大規模化に適した新規アーキテクチャと集積構造の提案、トンネル FET 構造のシリコン量子ビットの高温動作の実証、不揮発性アナログ型抵抗変化素子 (2端子および3端子) の性能向上といった成果を挙げた。
- ・スピントロニクス研究センターでは、ノーマリオフコンピューティングを具現化できるスピントロニクス技術として期待される超低消費電力の電圧書込み型不揮発性メモリ「電圧トルク MRAM」の研究開発を行い、最重要課題

であった書き込みエラー率を従来に比べて1/200に低減することに成功した。また、参照層用 Ir スペーサーを新規に開発し、記憶素子直径20 nm 世代の MRAM の要求性能と優れた生産制御性を実現した。さらに、スピントルク発振素子 STO において、水晶発振器並みの発振出力10 μ W（従来の最高値の3倍超）という高出力を実現し、実用化に向けて大きく前進した。

- 電子光技術研究部門では、文科省委託事業「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」において、シリコンフォトニクススイッチを標準ブレード型装置として実装、産総研臨海副都心センターと東京大学等を結んだダイナミック光バスネットワークの都内テストベッドを構築し、実運用を開始すると同時に、波長選択スイッチをコアとするベンチャー企業を設立した。また、産総研コンソーシアム（通称「PHOENICS」）では、民間企業と連携してハイブリッド集積デバイスの試作・評価を行った。強相関材料に関しては、積層型固体ゲート絶縁層と強相関酸化物 VO₂チャネルを組み合わせた電界効果素子において、電気伝導特性の電界変調に成功し、電界による電子相転移制御の可能性を見出した。さらに、強誘電トンネル接合による不揮発性抵抗変化素子については、デバイス改善により、1億回以上の抵抗変化繰り返しを実現するとともに、数十万サイクルの抵抗変化繰り返しにおいて、抵抗値分布の標準偏差が約3 %の高安定性を実現した。また、パルス電圧制御による4レベルの多値データ記憶と連続的抵抗変化を実現した。

(2) ものインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発

- 製造技術研究部門では、広範囲に分散した製造設備や労働力を柔軟かつ効率的に活用し、製造設備ネットワーク全体として高い付加価値を創出することが可能となる製造網（Web of Manufacturing）の実現を目指している。今年度は、複数の系統から構成される大規模システムの運用最適化を目的とし、エネルギー効率を高めるための機器オペレーション計画及び機器メンテナンス計画等の、これまでは独立して検討されていた事象を一元的に記述し分析するためのシステムモデル化技術を開発した。また29年度に、“間接モニタリング技術（簡易計測とシステムモデルを用いて観測困難な項目を予測する技術）”の事例検討を行うため、その前段階として、ガラス基板の潜傷をオフラインで計測する技術を開発した。これにより間接モニタリングの検証用データの取得が可能になった。
- 集積マイクロシステム研究センターでは、無線センサネットワークを活用して道路インフラの状態を常時・継続的・網羅的に把握することを可能とする道路インフラモニタリングシステムと、ライフライン系の都市インフラを支えるモーター・ポンプ・圧縮機等の動力機器の健全性モニタリングの実現を目指している。NEDO 事業「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、 1×10^{-6} の高感度極薄 PZT/Si を25個集積化したひずみセンサアレイシートと太陽光発電駆動通信モジュールからなる無線センサ端末複数台を受信機と組み合わせたプロトタイプシステムを完成させた。このシステムを阪神高速の橋梁に取り付け実証実験を行い、車両通過時に亀裂部分における異常なひずみ分布を捉えることに成功した。また、AlN 系圧電 MEMS 振動発電デバイスとそれに適した超低電力アナログ回路および通信回路を集積化し直径30 mm 程度の超小型無線振動センサ端末を開発し、都内の熱供給施設にて実証実験を行い、正常動作中のポンプの微弱振動を検出できることを確認した。

(3) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発

- 製造技術研究部門では、構想設計プロセスの可視化と制御の目的のために産総研独自開発の関係性記述ソフトであるデザインブレインマッピングツールの機能を進化させ、2回のバージョンアップを実施し、使いやすさを中心に機能向上を行った。構想設計コンソーシアム企業を中心に、「構想設計プロセス改善のためのデザインブレインマッピング手法」の5カ所以上への導入、及び、3部署以上による組織内連携のプロセスの検証を実施し、組織内連携による設計の全体最適化、開発者の負荷分散、抜け漏れの防止、開発期間の短縮等について一定の効果を確認した。更に、産業技術連携推進会議デザイン分科会のネットワークを活用して、山口県及び広島県の公設研との連携により地域企業との「デザインブレインマッピングに基づくワークショップ手法」の実検証を行い、従来のワークショップ手法と比較して効率向上効果が確認出来た。設計検討の場の可視化と制御の目的のためのブレインストーミングシステムのプロトタイプを開発し、構想設計コンソーシアムの企業を中心に試行としての導入およびプロセスの検証を行い、実効性のある手法の体系化を開始した。
- フレキシブルエレクトロニクス研究センターでは、NEDO 事業「次世代プリントエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発」において、製造工程中にも容易に変形が生じるフィルム基板上でも、 $\pm 2 \mu$ m以内の精度で配線パターンが形成できるフレキシブルアライメント技術、複数のセンサヘッドを高集積度で塗り分ける技術などを開発し、圧力温度分布同時計測を実現する高精細シートセンサの製造などを実現させた。また、伸縮性や形状追従自由度が高い電極配線技術を開発し、湾局面、凹凸面、有毛面上でも電極の高い密着性を実現させ、低ノイズでの生体情報計測を可能にするヘルスケアセンサの開発などを実現させた。さらに、プラスチック基板上で、高温高圧プロセスによる基板ダメージを与えることなくチップ実装を可能にする低温実装技術や低温印刷配線形成技術

を開発し、フレキシブルラジオの開発などを実現させた。

- ・ナノエレクトロニクス研究部門では、変量多品種デバイス製造向けのミナマルファブ技術について、デバイスを作り込んだハーフィンチウエハを BGA により実装するための装置群とプロセスを構築し、実装したデバイスを実際に動作させることに成功した。また、ミナマルエッチング装置を用いて世界最高レベルの高精細立体微細化構造形成に成功した。さらに、ミナマルファブを用いたデバイス開発の普及に向けて、イメージセンサへ応用可能な真空電子源の作製レシピや、MEMS 深掘りと TiN ゲートトランジスタを融合した圧力センサ作製レシピなどを整備した。
- ・製造技術研究部門では、3D 造形を含めた加工の複合化により製品の高度化・オンデマンド製造技術の開発を目指している。3D 金属堆積造形では、レーザーデポジション法を用い、250 μm の線幅で1層当たりの積層高さを20 μm とした高精度・超高アスペクト比を保証する金属細書造形に成功し、3D 精密微細造形実現の可能性を示した。また、粉末床溶融型の造形では、造形時の溶融現象の把握や、粉を敷いた時の分布評価など、プロセスの影響が大きい要素の評価技術開発・評価を行った。併せて原料粉の最適化などの検討も進めている。砂型積層造形技術については、インクジェット1液式硬化法により速度10万 cc/h の大型高速造形装置を開発した。小型の装置開発については事業化して公設試、企業への導入を進め、航空機エンジン部材、二輪車・乗用車・トラック用エンジン部材、レース用エンジン、ターボチャージャー、油圧バルブ等の開発・製造に活用中である。複合加工技術に関しては、電解レーザ複合加工専用機を開発するとともに、電解レーザ複合加工を活用した新デバイスとして小径ステントを想定し、本専用機を用いてデモ加工を行ない、レーザ加工のみでは実現不可能なバリや溶融再凝固物の少ない加工が可能であることを実証した。また、スピニング加工による中間ブランクの二次加工のため、円錐パンチ側面に電磁成形用の銅コイルを備えたプレス・電磁成形複合パンチを試作し、絞り成形パンチとして機能することを確認した。さらに電磁成形コイルの通電試験で明らかになった耐久性などの課題解決のため電磁成形コイルの磁力線等の計測とシミュレーション解析を行った。スピニング絞り加工や衝撃プレスでは、加工速度の遅速の違いを生かした加工を展開し、複雑形状の絞り成形や、複雑形状を持つマイクロ部品の打ち抜き成形加工に成功した。

(4) 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発

- ・先進コーティング技術研究センターでは、今年度、プラズマ援用 AD 法で、内閣府 SIP プロジェクトの最終目標である従来 AD 法と同等の膜密度、膜質で、ほぼ10倍の成膜効率を前倒して実現。また、高品位な固体電解質 (LLZO) 単結晶基板上に AD 法で電極材を室温成膜し、世界で初めて酸化物系全固体蓄電池の室温動作に成功。光 MOD では、残光輝度2倍の蓄光材料と高輝度蓄光膜やフレキシブルサーミスタ、SiC パワーデバイス用高耐熱電子部品 (1Ω級) を開発するとともに、酸化物半導体膜の有機 EL デバイスでの有効性を確認した。また、光化学修飾法では新照射システムを構築し、電子部品プロセスの短縮と異種材料接合強度の目標値 (0.7 N/mm) を達成した。

VI. 地質調査総合センター

1. 領域の目標

地質調査総合センター (GSJ) は、国の知的基盤整備計画に基づく地質情報の整備に加えて、「地質の調査」に関するナショナルセンターとして、レジリエントな国づくりのための地質の評価、資源の安定確保、地圏の利用と保全にかかる技術の開発、地質情報の管理と成果の普及、そしてこれを実施するための人材の育成を重要な任務としている。そのための主な活動は、1) 国土とその周辺海域の地質図等の地球科学図の整備、2) 地震・津波や火山噴火等の自然災害のリスク評価技術の高度化、3) 地下資源のポテンシャル評価技術、地下利用技術、地質汚染の評価技術の開発、4) 整備した地質情報を国のオープンデータ政策に対応した形で配信し、社会での利用拡大を進めていくこと、である。

2. 領域の組織構成

地質調査総合センターは、3つの研究部門 (地質情報研究部門、活断層・火山研究部門、地圏資源環境研究部門)、地質情報基盤センター、再生可能エネルギー研究センター (地熱チーム、地中熱チーム) から構成される連携体制を構築している。また、国際的にもこの体制の下で、東・東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP) 等の国際機関や世界地質調査所会議 (ICOGS)、世界地質図委員会 (CGMW) 等に対して、我が国の地質調査機関の代表として対応している。

3. 主な研究動向

平成28年度の主な研究動向は以下の通りである。

(1) 地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備

- ・知的基盤整備計画に沿って、地質図幅等の地球科学図の系統的調査研究を実施している。本年度は、5万分の1地質図幅3図幅（4区画）及び「1/5万富士川河口断層帯及び周辺地域の地質編纂図」の出版、20万分の1シームレス地質図のデータ更新及び次世代シームレス地質図β版公開を行った。
- ・地球観測衛星データを処理した付加価値プロダクト「ASTER-VA」を無償で一般に提供を始めた。使いやすいシステムを構築したことで、140万シーン以上の累計ダウンロードがあった。
- ・宮古島周辺海域で調査航海を実施し、海洋地質図作成のための基礎データを取得した。海洋地質図1枚を出版した。
- ・民間受託研究や SIP プロジェクトを通じて、海底鉱物資源の広域ポテンシャル評価を実施した。沖縄トラフ東縁や伊豆一小笠原弧のカルデラ域で深海曳航探査装置を用いた表層地質マッピングにより高解像度の海底地形図の作成、熱水噴出孔やマウンド、溶岩流や断層と考えられるリニアメントの把握を行い、新たな熱水鉱床の調査手法を開発した。
- ・都市・沿岸域における地質災害の軽減を目指して、関東南部沿岸域の調査を実施した。また、駿河湾北部沿岸域の海陸シームレス地質情報集を出版し、その情報集についてプレス発表を行った。
- ・地下水を含む新たな地下空間利用に資するため、ボーリングデータ整備と地質地盤を3次元で可視化する技術の開発を、千葉県北部地域をモデル地区として実施した。今年度は地層対比の基準データ整備としてボーリング調査を追加実施するとともに、ボーリングデータや地質図等の閲覧ウェブサイト「都市域の地質地盤図」を開発し、21地点の基準ボーリングデータと196地点の露頭柱状図データを公開した。また、暫定的に構築した3次元地質モデルをもとに2次元地質図を作成し先行公開した。

(2) レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価

- ・陸域・海域で合計5断層帯の調査と活動性評価を実施した。2016年熊本地震について、地震時に出現した地表地震断層、関係活断層の活動履歴調査、甚大被害集中域の地盤調査などを実施した。活断層データベースは、最新研究成果の収録、セキュリティ強化のための開発言語改修、ユーザーインターフェースの改良を行った。
- ・地層に残された過去の災害に関わる堆積物として、2015年9月の鬼怒川の氾濫による堆積物の調査から、川の氾濫の過程と堆積物の堆積構造の関係を明らかにした。津波堆積物 DB については、静岡県、三重県、和歌山県のそれぞれ一部地域のデータを追加した。
- ・東海・東南海・南海地域の地下水観測データを、地震調査研究推進本部、気象庁等へ提供し、国の地震評価等に貢献した。また、地下水観測の精度向上のため、観測井の密閉化が有効であることを示した。
- ・富士火山の地質図を出版し、恵山火山、御嶽火山、日光白根火山の調査を実施した。桜島、阿蘇火山島の噴火の緊急調査、西之島火山の上陸調査等を実施し、噴出物の解析結果など、噴火推移等の予測にかかる情報を火山噴火予知連絡会へ提供した。また、気象庁等の火山監視業務で活用できる火山ガス連続観測システムの開発を進めた。
- ・地層処分技術と規制支援に関して国が整備すべき基盤技術の開発、ならびに安全規制に必要な地質環境の評価技術の確立に向けた研究を実施した。顕著な成果としては、断層の活動性評価手法の確立に向け、力学的見地に基づく断層の動きやすさ・動きにくさについて、広域応力場の影響を検討し、地質断層とされているものにも活動しやすいくらい傾向をもつものが存在すること示した。

(3) 地圏の資源と環境に関する評価と技術の開発

- ・鉱物資源評価の研究では、南アフリカの重レアアース鉱石に対する選鉱試験で原鉱の5倍までの濃縮に成功し、ミャンマーやアルゼンチンではレアアース資源を含む鉱物資源のポテンシャル評価を実施した。またアメリカ地質調査所と共同で最新レアアース鉱床 DB の編纂を進めた。非金属鉱物資源について、NEDO プロジェクトにおいて高性能無機系吸放湿材（ハスクレイ）の造粒体製作の低コスト化を達成するとともに、蓄熱に係る実用化試験を実施し、プレス発表した。さらに、未利用資源の低コスト精製技術で地域企業と共同研究を開始した。
- ・燃料資源に関しては、日本海における3年間の表層型メタンハイドレート調査を基に3種の試算で資源量を推定し、いずれも同程度の結果を得、第三者検討委員会で妥当性が承認された。石炭中のメトキシ芳香族化合物からメタンを直接生成するメタン生成菌を発見し、コールベッドメタン形成で重要な役割を担う可能性を指摘した論文が Science 誌に掲載され、プレス発表した。
- ・再生可能エネルギー研究センターと連携し、プレート沈み込み起源の超臨界地熱資源による革新的な地熱資源開発や地域の地質・地下水環境に最適で高効率な地中熱システムの開発を推進した。
- ・我が国の貯留層に適した実用化規模（100万トン/年）での CO₂地中貯留技術を開発するとともに、CCS の社会受容性の獲得を志向した研究開発を行うため、2機関と4民間企業により二酸化炭素地中貯留技術研究組合を

設立し、貯留した CO₂の低コストモニタリング技術などの優位性のあるコア技術を基にプロジェクトを推進した。また、キャップロックの長期的な遮蔽性能評価技術の開発を進めた。

- ・地層処分基盤技術について、沿岸域深部地下水の調査を開始するとともに、その年代評価を含む調査技術の体系化を推進した。
- ・自然由来有害物質管理技術の開発に関して、重金属類吸着材の基本物性や難分解有機化合物の酸化分解メカニズムの解明等の基礎研究を中心を実施するとともに、土壌・地下水汚染対策による環境負荷の評価・低減手法等を協議・共有するコンソーシアムを設立し橋渡しを推進した。また、有害物質溶出試験法の国際標準化等を通じた国際活動を行い、表層土壌評価基本図（高知県地域）も公表した。
- ・水文環境図「富士山」に続き、「大阪平野」の作成および新潟平野や勇払平野における調査を開始した。また、特定地域の地下水 DB の作成に係る共同研究や水文環境図を活用した地中熱利用について外部機関と連携した。

(4) 地質情報の管理と社会利用促進

- ・知的基盤整備計画に沿って、地質情報の普及と活用のための情報管理と成果発信を実施し、政府の IT 戦略の一環として、地質の調査業務の成果を機関成果物として出版・発信した。地球科学図類、報告書類を出版し、データベース等の電子配信を継続した。
- ・地質情報の信頼性向上のため、印刷校正データも含め、「機関アーカイブ」に定常的に登録・保管を進めた。
- ・地質図情報を利用する上で便利なオープンソースアプリケーションを開発し、GitHub による公開を開始した。また、各種データの Linked Open Data (LOD) 発信を開始した。
- ・地質標本館での普及活動（一般展示、特別展、体験・工作イベント等）を例年同様に開催したほか、高校生以上を対象とした講演会「GSJ ジオ・サロン」を、原則毎月開催した。また、地域連携の一環として、「筑波山地域ジオパーク」が認定されたことにちなんで関連する臨時展示を行った。博物館実習生、技術研修生の受け入れも継続して行い、人材育成に貢献した。

(5) 国際連携活動

- ・共同研究として、南アフリカ・カナダ・米国でレアアースの調査、ミャンマー・アルゼンチンで金属鉱床の調査などを実施した。海外の2機関について研究協力覚書を更新した。
- ・東・東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP) の活動では、アジアにおける地下資源、地質災害リスク、環境汚染などの情報について日本が利用できる環境の整備を進めた。GSJ 主導の地質情報総合共有システム (GSi) プロジェクトを継続し、各国で出版された地質情報を GSJ で開発したウェブシステム上に登録し、ポータルサイトを公開した。
- ・タイ・バンコクおよびベトナム・ハノイで地中熱利用システムを設置し、熱帯地域における地中熱利用の可能性について適用実証試験を継続した。
- ・アジア太平洋地域大規模地震・火山噴火リスクマネジメント (G-EVER) に参加する各国と連携して、東アジア地域地震火山情報図を出版し、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システムのデータ拡充を行った。
- ・延べ34カ国から135名の研修生を受け入れ、鉱物資源、地熱資源、海洋地質、WebGIS、シームレス地質図などに関する講習を実施した。

(6) 国内連携活動

- ・「地質の日」のイベント、「地質情報展」の開催、地球惑星科学連合2016年大会等へのブース出展、つくばセンターおよび地域センターの一般公開等への出展、映画・テレビ番組等への協力によりアウトリーチを進めた。
- ・テクノブリッジフェアなど、産総研が実施する企業との連携のためのイベントへの出展を行った。また、GSJ 独自に企業との意見交換などを実施した。
- ・連携大学院へ教員を11名派遣した（東京大学、千葉大学、東北大学、東邦大学）。
- ・国内の技術者・行政職員の育成では、地震・津波・火山に関する自治体職員用研修プログラムで、6都県から7名を受け入れ、野外巡検を含む講習を実施した。また、これ以外の地質調査研修（日本地質学会と共同）などの技術研修を、38名に対して実施した。
- ・リサーチアシスタント制度では、15名を採用・育成した。
- ・地質情報を使った地域振興を目指して、地方自治体と交流した。この結果、講演会の講師派遣依頼、産総研ベンチャーへの依頼に発展した。

VII. 計量標準総合センター

計量標準総合センター (NMIJ) は、2001年4月の独法産総研の発足以来、それまで欧米に比べ不十分とされた計量標準の整備と供給（産総研法に定める第3号業務）を主要課題として活動してきた。この間、2010年までに欧米諸

国に比肩しうる計量標準を整備するという、知的基盤整備計画（2000年度～2010年度）を達成し、2010年度～2014年度の産総研第3期中期目標期間では、それまでに確立した計量標準の維持・高度化を継続しつつ、環境、エネルギー、医療、健康に寄与する計量標準を中心とした60を越える計量標準を立ち上げた。一方、貿易の技術的障害に関する協定（WTO/TBT）を契機として国際的な基準認証の同等性・整合性が求められる中、国際的には国際比較を通じた計量標準の同等性評価、国内的には国家標準への校正ルート（所謂トレーサビリティ制度）の確立が求められた。このため、NMIJは国家標準の整備にとどまらず、国際比較の立案遂行など国際同等性確保のスキーム作り、タイ国家計量標準機関の設立などの途上国支援、国内校正ラボの整備のための標準供給体制の整備も同時並行的に行った。また、法定業務である特定計量器の型式承認、基準器検査、計量人材の育成を着実に執行してきた。これらの活動を通じて、国家計量標準機関としての国際的プレゼンスは2000人以上の職員を擁する米国立標準技術研究所（NIST）、ドイツ物理工学研究所（PTB）などに次ぐ地位を占めるに至った。（2017年3月31日現在の研究職員数：311人）

このように NMIJ 設立当初の目標が順調に達成される一方、産業構造審議会及び日本工業標準調査会の合同会議である「知的基盤整備特別委員会」の中間報告（－知的基盤整備・利用促進プログラム－2012年8月）では、中小企業なども含むユーザーサイドでの計量標準の活用状況はまだ不十分であると指摘されている。また基本的な標準が整備される一方で計量標準への個別ニーズは量目・範囲ともますます多岐に渡り、特に標準物質では組成や濃度など無限とも言える組み合わせが求められている。このような背景を踏まえ経済産業省が中心となって策定した計量標準整備計画（2013年度から2022年度まで）では、整備状況の進捗をチェックするとともに、ユーザーニーズを調査し、その結果を整備計画に反映させる機動的な計量標準の整備が求められている。

さらに、2010年までの整備計画達成にともない市場の目が最新の計測課題の解決に向けられ、計量標準に加えて計測技術の開発も不可欠であることを指摘する声も聞かれるようになった。同時に、計量標準について卓越した実力を有する NMIJ に対し、標準と技術的に近接する計測技術についても研究開発を期待し、発展的に製品化や事業化を意図するユーザーも少なくない。このような計量標準を取り巻く事業環境の変化とほぼ時を同じくして、産総研第4期中長期目標期間では、橋渡し機能の強化が最大の目標となり、技術シーズから事業化まで切れ目なくつなぐ機能が強化されている。NMIJ においても上述した計量標準の的確な整備と普及に加えて、計量標準に関連した計測技術の開発を行い、目的基礎研究の成果創出や技術シーズの産業界への橋渡しを行うことが求められている。以上を踏まえ、第4期ではこれまで通り以下を中核となるミッションとして位置づけ、

- ・ 確立した計量標準の着実な維持と供給
- ・ ユーザーニーズ調査に基づいた計量標準の開発と供給
- ・ 国際的な枠組みでの計量標準確立への貢献
- ・ 計量法業務の的確な遂行

これに加えて新たな挑戦として、

- ・ 計量標準の整備によって築かれた高精度計測技術及びその派生技術を生かした橋渡し機能強化
- ・ 長期的な観点から、将来の科学や産業で必要とされる計量標準や知的基盤の整備に向けた目的基礎研究の推進に注力することとした。

上記の目標を効率的に遂行するため、第3期までは全ての量目について計量標準を担っていた計測標準研究部門を技術分野ごとに分割し、以下の4研究部門、1支援センター体制とした。これにより、各研究部門の長を関連技術分野の市場ニーズ（標準・計測）を把握する司令塔として明確化して、これまで以上に市場との連携を緊密化した。さらに、研究部門ごとに標準と計測のバランスを勘案して、部門の事業効率を最適化する役割を付与した。

- ・ 工学計測標準研究部門：質量、力学、長さ・幾何学、流体の各標準および法定計量
- ・ 物理計測標準研究部門：時間周波数、温度、電磁気、放射測光の各標準
- ・ 物質計測標準研究部門：化学・材料系の物質質量や幾何学量等に係わる標準物質および標準
- ・ 分析計測標準研究部門：音響、量子放射の各標準および将来の計量標準を目指した先端的分析機器の開発
- ・ 計量標準普及センター：計量標準の品質管理、計量法に係る計量技術に関する関係機関との調整、国内の計量技術者の計量技術レベルの向上のための計量教育など

平成28年度の主な研究動向は以下の通りである。

1. 計量標準の整備と利活用促進

2013年度から2022年度までの計量標準整備計画に基づき、新たな計量標準を開発すると共に、イノベーションの創出や利活用の観点から、これまでの計量標準の精度向上、普及技術の開発にも取り組んだ。その代表的成果を以下に示す。

（社会の安心・安全への貢献）がん治療のための放射線・放射能標準の整備、蓄電デバイスの安全性評価基準の確

立に向けた蓄電池の内部インピーダンス標準の整備、マラリア診断デバイスの実用化を可能とする標準の開発など（次世代計量標準の開発）国際キログラム原器の安定性を超える精度でキログラムの実現に成功、2018年に予定されている基礎物理定数によるキログラムの定義改定への貢献、単結晶の原子ステップを利用したナノ段差試料の実現など

（計量標準の利活用を促進するセンサ・標準器開発）薄板ガラスの残留ひずみ計測のための高速位相計の開発、高温熱電対標準の整備、定量 NMR とクロマトグラフィーを組み合わせた新規計測法など

2. 計量標準業務の実施と人材の育成

産総研は国家計量標準機関として、計量法に基づき計量標準を社会に供給する責務を担っている。また、一般の測定器より強い法規制を受ける特定計量器の試験も産総研の役割とされている。平成28年度の標準供給サービスの実施個数は、特定二次標準器の校正511個、特定副標準器の校正11個、依頼試験（一般）461個、依頼試験（特殊）107個、OIML 適合性試験1個であった。研究開発品の頒布が1個、標準物質の頒布数は2,131であった。特定計量器の型式承認試験は83件、基準器検査は2,880個、比較検査11個、検定0個であった。また、計量士等への教習や講習、幅広い計量人材に向けた研修を行い、延べ676人が受講した。

3. 計量標準の普及活動

計量標準の効率的な利用と利用者の拡大を目指し、標準整備や供給に関する PDCA サイクルの実施、産総研内での供給体制の整備と外部への技術支援、国内外の関連機関との連携強化を図った。具体的成果として、最新のニーズに基づいて整備計画を見直し、また標準供給に関して産総研内のマネジメントシステムの維持・管理、計量法校正事業者登録制度（JCSS）への技術支援を実施した。さらに、共同研究等の実施により国内校正事業者の能力向上や競争力強化を支援した。国際連携では、アジア太平洋計量計画（APMP）など国際的な団体での議長ポストを獲得するなど、産総研のプレゼンスを向上させた。

4. 計量標準に関連した計測技術の開発

計量標準と計測技術は不可分の関係にあり、特に正確な目盛を必要とする計測技術の開発は計量標準と表裏一体である。また計量標準と計測技術は高感度センサの開発に結びつくなど、標準・校正という枠を超えて「橋渡し」研究へとつながる可能性を持っている。このような認識の元、計量標準と計測技術の一体的開発を行うと同時に、計量標準の供給を通して構築した校正に関わる人材との緊密な関係をベースに、製品の開発・設計レベルでの連携を強める仕組みを構築してきた。このような方針の下で、当領域が行う研究開発の方向性は、大きく以下の3つに分けられる。

- ・ これまでにない定量化、分析技術など「測定評価方法の開発」
- ・ 測定評価方法を計測器・測定器に一般化させる「装置化」
- ・ 計量計測技術により品質向上、製品開発を支援する「ソリューション」の提供

これら技術的課題を解決するための研究開発に取り組んだ結果、以下のような具体的成果を得た。

目的基礎研究では、これまで築いてきた精密計測技術における強みを生かし、量子化による高分解能化・高精度化、新たな計測分析技術の開発、計量標準供給の効率化、新たな現象を評価する技術の開発に取り組んだ。国際単位系（SI）にトレーサブルな電磁力による微小トルク標準やゼーバック係数（熱電変換係数）の絶対値の測定法など、世界初の技術を開発した。

橋渡し前期研究では、新たな測定評価法の開発とともに、ユーザーの階層を広げる装置化にも重点的に取り組み、流れ場中における精確な粒子径算出と材料識別の同時計測を達成する画期的な材料識別型粒子径評価技術を開発した。参加企業28社の開発装置実用化プロジェクト、成果活用による民間企業共同研究2件を行い、民間技術の向上や新規参入に結び付けた。また電磁波の位相・振幅相関を利用した農産物等の水分量計測法を開発した。電磁波計測技術を他産業分野へと活用した事例であり、本手法は農産物や医薬品などの品質検査に対する現場ニーズに応えるものである。

橋渡し後期研究では、計測技術の民間への技術移転に重点を置きつつ、製品開発における性能評価など計量計測技術によるソリューションの提供にも取り組んだ。社会インフラの老朽化対策として有望な、撮影するだけで橋梁のたわみ計測をする技術や超小型 X 線非破壊検査装置を開発した。産業利用には普及しにくい側面のあった陽電子消滅を利用した、デスクトップ型の原子欠陥検査装置を開発し市販化した。

3. 幹部名簿

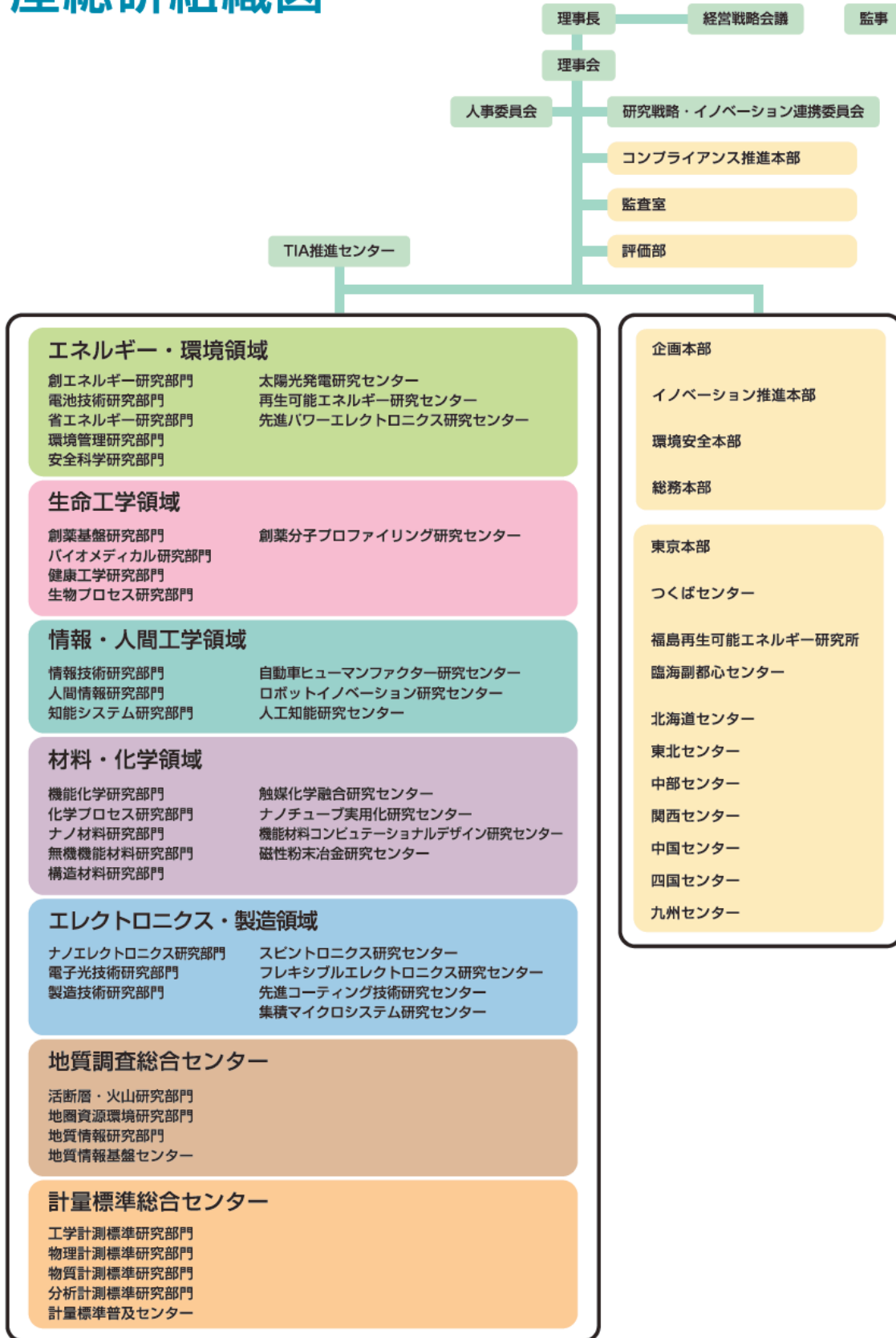
役職（本務）	役 職（兼務）	氏 名	就任期間	就任年月日	備 考
理事長	コンプライアンス推進本部長	中鉢 良治	4年	平成25年4月1日	
副理事長	コンプライアンス推進本部副本部長、つくばセンター所長	金山 敏彦	2年9ヶ月	平成26年7月1日	※H22/4/1～26/6/30までは理事
理事	イノベーション推進本部長	瀬戸 政宏	8年	平成21年4月1日	
理事	地質調査総合センター長	佃 栄吉	5年	平成24年4月1日	
理事	計量標準総合センター長、つくばイノベーションアリーナ推進センター長	三木 幸信	5年	平成24年4月1日	
理事	環境安全本部長 評価部長 情報化統括責任者	島田 広道	4年	平成25年4月1日	
理事	総務本部イノベーションスクール長	富樫 茂子	2年9ヶ月	平成26年7月1日	
理事（非常勤）		藤川 淳一	2年	平成27年4月1日	
理事	生命工学領域長	松岡 克典	2年	平成27年4月1日	
理事	エネルギー・環境領域長	小林 哲彦	2年	平成27年4月1日	
理事	企画本部長	安永 裕幸	2年	平成27年4月1日	
理事	総務本部長	中沢 則夫	2年	平成27年4月1日	
監事		伊東 一明	4年	平成25年4月1日	
監事		風間 澄之	2年	平成27年4月1日	

(平成29年3月31日現在)

4. 組織図

産総研組織図

2016年4月1日現在



5. 組織編成

年月日	組 織 規 程	組 織 規 則
平成28年4月1日	<ul style="list-style-type: none"> ・「中部センター」に「名古屋大学連携研究サイト」を設置 ・研究戦略に関する所掌を「イノベーション推進本部」から「企画本部」へ移管 ・「つくばイノベーションアリーナ推進センター」の名称を「TIA 推進センター」に変更 ・関西センター「尼崎支所」の廃止 ・中部センターに「石川サイト」、関西センターに「福井サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「名古屋大学連携研究サイト」に「窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリー (OIL)」を設置 ・研究戦略に関する所掌を「イノベーション推進本部 総合戦略室」から「企画本部 総合企画室」へ移管 ・イノベーション推進本部 総合戦略室の名称をイノベーション推進本部 推進企画室に変更 ・材料・化学領域に「磁性粉末冶金研究センター」を設置 ・「関西センター 研究業務推進部 尼崎管理グループ」の廃止
平成28年6月1日	<ul style="list-style-type: none"> ・「つくば中央第五事業所」に「東京大学連携研究サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「連携研究室」規定の整備（組織として、「連携研究室」を、役職として「連携研究室長」、「副連携研究室長」をそれぞれ設置可能とした）
平成28年6月6日	-	<ul style="list-style-type: none"> ・「東京大学連携研究サイト」に「先端オペランド計測技術 OIL」を設置
平成28年6月30日	<ul style="list-style-type: none"> ・「東北センター」に「東北大学連携研究サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「東北大学 連携研究サイト」に「数理先端材料モデリング OIL」を設置 ・「材料・化学領域研究戦略部」に「日本ゼオン・産総研カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ」を設置
平成28年7月29日	<ul style="list-style-type: none"> ・「臨海副都心センター」に「早稲田大学連携研究サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「早稲田大学連携研究サイト」に「生体システムビッグデータ解析 OIL」を設置
平成28年10月1日	-	<ul style="list-style-type: none"> ・「イノベーション推進本部 技術マーケティング室」で所掌する「研究情報に関するデータベースの整備、調査、維持、管理及び公開に関する業務」を、「イノベーション推進本部 イノベーション推進企画室」に移管
平成29年1月6日	<ul style="list-style-type: none"> ・「関西センター」に「大阪大学連携研究サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「大阪大学連携研究サイト」に「先端フォトンクス・バイオセンシング OIL」を設置
平成29年1月11日	<ul style="list-style-type: none"> ・「九州センター」に「九州大学連携研究サイト」を設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・「九州大学連携研究サイト」に「水素材料強度ラボラトリー」を設置
平成29年2月1日	-	<ul style="list-style-type: none"> ・「情報・人間工学領域 研究戦略部」に「パナソニック・産総研 先進型 AI 連携研究ラボ」を設置
平成29年2月20日	<ul style="list-style-type: none"> ・「つくば中央第一事業所」に「東京工業大学大学連携研究サイト」 	<ul style="list-style-type: none"> ・「東京工業大学大学連携研究サイト」に「実社会ビッグデータ活用 OIL」を設置
平成29年3月1日	-	<ul style="list-style-type: none"> ・「企画本部」に「人工知能グローバル研究拠点整備準備室」を設置

II. 業 務

Ⅱ．業 務

1. 研 究

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」という。）は、鉱工業の科学技術に関する研究開発等の業務を総合的に行う国立研究開発法人として、経済産業省がその所掌事務である「民間における技術の開発に係る環境の整備に関すること」、「鉱工業の科学技術の進歩及び改良並びにこれらに関する事業の発達、改善及び調整に関すること」、「地質の調査及びこれに関連する業務を行うこと」、「計量の標準の整備及び適正な計量の実施の確保に関すること」を遂行する上で、中核的な役割を担っている。

産総研は、この役割を果たすため、①鉱工業の科学技術に関する研究開発、②地質の調査、③計量の標準の設定並びに計量器の検定、検査、研究開発、計量に関する教習、④これらに係る技術指導及び成果普及、⑤技術経営力の強化に資する人材の養成等の業務を行うこととされている。

研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上のため、以下のとおり、「橋渡し」機能の強化及び地質調査、計量標準等の知的基盤の整備を推進するとともに、これらの実現のため業務横断的に研究人材の拡充、流動化、育成及び組織の見直しに取り組んでいる。

1. 「橋渡し」機能の強化

「橋渡し」機能については、将来の産業ニーズを踏まえた目的基礎研究を通じて革新的な技術シーズを次々と生みだし、これを磨き上げ、さらに橋渡し先として最適な企業と連携して、コミットメントを得た上で共に研究開発を進めて事業化にまで繋げることが求められるものであり、当該機能は、広範な産業技術の各分野に関して深い専門的知見と基礎研究から製品化に至る幅広いリソース、産業界をはじめとした関係者との広範なネットワーク、さらに大規模な先端設備等を有する我が国を代表する総合的な国立研究開発法人である産総研が、我が国の中核機関となって果たすべき役割である。

産総研は、これまで、基礎研究段階の技術シーズを民間企業等による事業化が可能な段階にまで発展させる「橋渡し」の役割を、様々な分野で行っている。

2. 地質調査、計量標準等の知的基盤の整備

我が国の経済活動の知的基盤である地質調査や計量標準等は、資源確保に資する探査・情報提供や産業立地に際しての地質情報の提供、より正確な計測基盤を産業活動に提供する等の重要な役割を担っており、我が国における当該分野の責任機関として、これらの整備と高度化を通じて我が国の産業基盤を引き続き強化するものとする。

3. 業務横断的な取組

（1）研究人材の拡充、流動化、育成

上記1. 及び2. に掲げる事項を実現するとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図るため、以下の取り組みにより、研究人材の拡充と流動化、育成をしている。

第一に、橋渡し研究の実施はもとより、目的基礎研究の強化の観点からも、優秀かつ多様な若手研究者の確保・活用は極めて重要であり、クロスアポイントメント制度や大学院生を研究者として雇用するリサーチアシスタント（RA）制度の積極的かつ効果的な活用を図っている。

さらに、産総研における研究活動の活性化に資するだけでなく、民間企業等への人材供給を目指し、実践的な博士人材等の育成に積極的に取り組んでいる。具体的には、産総研イノベーションスクールの実施やリサーチアシスタント（RA）制度の積極活用等を通して、産業界が関与するプロジェクト等の実践的な研究開発現場を経験させるとともに、事業化に係る人材育成プログラムなどを活用することによって、イノベーションマインドを有する実践的で高度な博士研究人材等の育成を進めている。

第二に、特に、「橋渡し」機能の強化に向けたマーケティング機能強化に当たっては、内部人材の育成に加え、企業等外部人材を積極的に登用している。

第三に、「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員の重要性が増大する中、こうした職員の将来のキャリアパス構築も重要であり、優れた「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員については、60歳を超えても大学教員になる場合と比べ遜色なく、その能力と役割を正當に評価した上で処遇を確保する人事制度等の環境整備を進めている。

研 究

第四に、ワーク・ライフ・バランスを推進し、男女がともに育児や家事負担と研究を両立するための具体的な方策、女性の登用目標や必要に応じた託児施設等の整備等を含む具体的なプログラムの策定等を行い、女性のロールモデルの確立と活用を飛躍的に増大させるための環境整備に取り組んでいる。

(2) 組織の見直し

上記に掲げる事項を実現するため、本部組織と各領域等との役割・責任関係のあり方も含め、現在の組織・制度をゼロベースで見直し、目的基礎研究から実用化までの「橋渡し」を円滑かつ切れ目無く実施するため、領域を中心とした最適な研究組織を構築する。

「橋渡し」機能を強化するには、中核となる研究者を中心に、チームとして取り組む体制づくりも重要であり、支援体制の拡充を図るとともに的確なマネジメントが発揮できる環境を整備する。

また、産学官連携や知財管理等に係るイノベーション推進本部等の本部組織についても、領域との適切な分担をし、産総研全体として「橋渡し」機能の強化に適した体制を整備している。「橋渡し」の一環で実施する産学官連携等については、産業界のニーズ把握と大学等の有する技術シーズの分析を行い、それらのマッチングにより課題解決方策の検討と研究推進組織に対して、研究計画の設計まで関与できる専門人材を強化する。

また、平成28年度から新たな組織として「オープンイノベーションラボラトリー (OIL)」及び「連携研究室・連携研究ラボ (冠ラボ)」の設置を行っている。

大学等内に産総研の研究拠点を設置する OIL 事業を推進することで、これまで以上にきめ細かな連携と協力関係の構築を目指し、基礎研究、応用研究、開発・実証研究をシームレスに実施し、クロスアポイントメント制度の活用による研究の加速化、リサーチアシスタント制度の活用による若手研究者の育成を行う。

「連携研究室・連携研究ラボ(冠ラボ)」は、企業の戦略により密着した研究開発の実施を目指し設置している。

1) 研究推進組織

研究推進組織としては、平成27年度から新たに組織を再編し、「領域」、「地質調査基盤センター」、「計量標準普及センター」を設置している。このうち、「研究領域」の下に領域の研究開発に関する総合調整を行う「研究戦略部」、企業への「橋渡し」に繋がる目的基礎研究から「橋渡し」研究（技術シーズを目的に応じて骨太にする研究（「橋渡し」前期研究）及び実用化や社会での活用のための研究（「橋渡し」後期研究）まで一体的に取り組むとともに、中長期的キャリアパスを踏まえて研究人材を育成する「研究部門」、領域や研究部門を超えて必要な人材を結集し企業との連携研究を中心に推進する時限組織の「研究センター」の3つを設置している。

また、平成28年度から新たな研究推進組織として、研究戦略部の下に「オープンイノベーションラボラトリ（OIL）」及び「連携研究ラボ」の設置を、研究ユニットの下に「連携研究室」を、それぞれ設置できるようにしている。

<凡 例>

研究ユニット名（English Name）

研究ユニット長：〇〇 〇〇 （存続期間：発足日～終了日）

副研究ユニット長：〇〇 〇〇

総括研究員：〇〇 〇〇、〇〇 〇〇

所在地：つくば中央第×、△△センター（主な所在地）

人 員：常勤職員数（研究職員数）

経 費：執行総額 千円（運営交付金 千円）

概 要：研究目的、研究手段、方法論等

外部資金：

テーマ名（制度名／提供元）

テーマ名（制度名／提供元）

発 表：誌上発表〇件（総件数）、口頭発表〇件（総件数）

その他〇件（刊行物等）

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

研究グループ長：氏 名（所在地）

概 要：研究目的、研究手段、方法論等

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

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

研究グループ長：氏 名（所在地）

概要：研究目的、研究手段、方法論等

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目7、テーマ題目8

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

連携研究体長：〇〇 〇〇（つくば中央第△、研究職数名）

概要：研究目的、研究手段、方法論

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目7、テーマ題目8

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

[研究代表者] 氏 名（〇〇研究部門△△研究グループ）

[研究担当者] 〇〇、△△、××、（常勤職員〇名、他〇名）

研 究

[研究内容] 研究目的、研究手段、方法論、年度進捗

[領域名] ○○○○○○○○

[キーワード] △△△△、○○○○、☆☆☆☆

[テーマ題目2] (運営費交付金、資金制度(外部)もしくは○○研究ユニットと共同研究
などで行っている「重要研究テーマ」)

[研究代表者] 氏名(○○研究部門△△研究グループ)

[研究担当者] ○○、△△、××、(常勤職員○名、他○名)

[研究内容] 研究目的、研究手段、方法論、年度進捗

[領域名] ○○○○○○○○

[キーワード] △△△△、○○○○、☆☆☆☆

1) エネルギー・環境領域

(Department of Energy and Environment)

領域長：小林 哲彦
領域長補佐：竹内 浩士

概要：

領域は、世界的規模で拡大しているエネルギー・環境問題の解決に向けたグリーン・イノベーションの推進のため、再生可能エネルギーなどの新エネルギー導入促進や省エネルギー、高効率なエネルギー貯蔵、資源の有効利用、環境リスクの評価・低減などを目指した技術の開発を進めている。領域長は、理事長の命を受けて、研究領域内における研究推進・関連業務の統括管理を行っている。研究ユニット間の研究連携を推進し、関連業務を総括している。

① エネルギー・環境領域研究戦略部

(Research Promotion Division of Energy and Environment)

研究戦略部長：小原 春彦
研究企画室長：秋田 知樹

所在地：つくば中央第1
人員：17名 (15名)

概要：

研究戦略部は中長期目標の具現化に向け、領域における目的基礎研究の育成と橋渡し研究の推進、およびこれらに関連する業務に係る基本方針の企画と立案、総合調整を行っている。研究戦略部長は、領域長の命を受けて、領域における業務の管理および研究戦略部の業務（人事マネジメント及び人材育成；ただし企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く）を統括管理する。

エネルギー・環境領域研究企画室

(Research Planning Office of Energy and Environment)

概要：

エネルギー・環境領域研究企画室は、エネルギー・環境領域（以下、エネ環領域とする）における研究の推進に向けた業務を行っている。

具体的な業務は以下のとおり。

- (1) エネ環領域における研究の推進に向けた研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営等の策定
- (2) エネ環領域における大型プロジェクトの立案や調整
- (3) 複数の研究領域間の連携や領域融合プロジェクトの立案や調整

(4) エネ環領域に関連した経済産業省等の関係団体等との調整

(5) 領域長及び研究戦略部長が行う業務の支援。

機構図 (2017/3/31現在)

[エネルギー・環境領域研究戦略部研究企画室]
研究企画室長 秋田 知樹 他

産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ

(AIST-NU GaN Advanced Device Open Innovation Laboratory: GaN-OIL)

概要：

エネルギー問題解決や高度情報化社会の実現には、半導体機器が省エネルギー性に優れ、高速に動作することが重要である。従来よりも高性能な半導体の素材として注目されるガリウム (Ga) 系の窒化物を使った半導体技術の開発とその発展は、グリーン・イノベーションの達成に大きな役割を担うと考えられており、その中でも、窒化ガリウム (GaN) 材料をもちいた発光デバイスやパワーデバイスの開発は、エネルギー利用の高度化・高効率化を支える重要な技術として期待されている。

産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリは「まち・ひと・しごと創生本部」決定に基づく政府関係機関移転基本方針を踏まえ、2016年4月1日に名古屋大学と共同で名古屋大学東山キャンパス内に設置した。

名古屋大学がもつ世界トップレベルの窒化ガリウムの材料物性や基礎プロセスに関する研究実績と、産総研がもつデバイス化技術や評価・解析技術、企業等との共同開発の実績とを融合させることで、パワーエレクトロニクス技術や発光デバイス技術の実現を目指し、実用化に向けた「橋渡し」研究として、材料から応用に至る一貫した研究を行っている。

機構図 (2017/3/31現在)

[産総研・名大 窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ]

ラボ長 清水 三聡
副ラボ長 宇治原 徹
副ラボ長 澤田 真和

産総研・九大 水素材料強度ラボラトリ

(AIST-Kyushu University Hydrogen Materials Laboratory: HydroMate)

概要：

2017年1月11日に開所した。

九州大学、産総研という日本の水素研究の2大拠点において、人的交流の促進等を通じた研究連携の強化を図り、相互に強みのある分野を発展させるべく、我が国最先端の水素材料強度研究に取り組む体制を強化する。水素が材料の強度や組織に与える影響をナノからマクロレベルまでシームレスに把握し、水素脆化現象の根源的な解明を進めることで、既存材料を超越する革新的な耐水素脆化材料の開発を目指す。

 機構図 (2017/3/31現在)

[産総研・九大 水素材料強度ラボラトリ]

ラボ長 杉村 丈一
 副ラボ長 飯島 高志
 副ラボ長 山辺 純一郎

②【創エネルギー研究部門】

(Research Institute Energy Frontier)

(存続期間：2015.4.1～)

研究ユニット長：児玉 昌也
 副研究部門長：天満 則夫、羽鳥 浩章
 総括研究主幹：長尾 二郎、中村 優美子

所在地：つくば中央第5、つくば西、北海道
 人 員：54名 (54名)
 経 費：1,359,504千円 (344,417千円)

概 要：

1. ミッションと目標

持続可能な社会を構築し、産業競争力の強化に資するグリーンイノベーションの実現を大目標に掲げつつ、エネルギー資源に乏しい我が国においては、新たな資源を開発し、その利用によりエネルギーセキュリティを確保していくことも同時に求められている。創エネルギー研究部門では、非在来型の国産資源を始めとしたエネルギー資源の有効利用にかかわる技術の開発を行う。特に未利用エネルギー資源であるメタンハイドレートや褐炭等の低品位石炭の活用に対し、技術的かつ経済的なリアリティを与える観点から研究開発を推進し、国産エネルギーの夢の具現化と新たなエネルギー産業の創出に貢献する。

2. 主要研究項目と研究推進手段

創エネルギー研究部門では、産総研第4期中長期計画における下記の項目について研究開発を進めている。

○第4期中長期計画

「エネルギー資源を有効活用する技術の開発」
 未利用エネルギー資源の開発・利用を目指して、メ

タンハイドレート資源から天然ガス商用生産に必要な基盤技術や、流動層燃焼プロセスを基盤とする褐炭等低品位炭や非在来型資源等の環境調和型利用技術を開発する。

具体的には、経済産業省「メタンハイドレート開発促進事業」において、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）との連携研究により、海洋産出試験等を通して技術の検証・整備を行い、コア解析技術、シミュレータ技術などの信頼性向上に努める。開発主体の企業移行後は、産総研が開発した基盤技術を各社に提供し、外部資金の獲得につなげる。これと並行して、メタンハイドレート資源開発を基礎研究面から支えると共に、その経済性と多様性を高めるためハイドレートの物理特性を応用する機能活用技術の共同研究開発を推進する。また、公的資金による研究プロジェクトや、橋渡し技術の展開を軸にした民間企業との共同研究等を通して、現在未利用の褐炭等や非在来型炭化水素資源の転換利用技術におけるニーズを見極め、新規転換プロセス開発に必要な概念を提案し、これを実証する。加えて、これまでに培った流動層燃焼プロセス技術を基盤とした水素製造のための褐炭ガス化技術を高度化し、応用展開として石炭ガス化ガスやシェールガス等からの化学原料製造のための触媒転換技術を提案することで、民間企業との共同研究への展開を図る。

○中長期計画を達成するための方策

「中長期目標・計画」の達成は、研究所の存立における第一義であることから、これを自らに課せられた最大の使命であるという認識を研究部門全体で共有する。

①研究者のマインドセットの再構築

研究者自身が公的研究機関に在籍することの意義を見つめ直し、自らの使命を再確認することで、「目的基礎研究」や「橋渡し」における役割を明確化し、業務を遂行する。

②研究テーマの選択と集中

研究アセットの棚卸しにより作成されたポートフォリオを基に、意味づけと位置づけを明確にした上で、下記の研究テーマへの選択と集中を加速し、運営費交付金を始めとするリソースを目的的に最適化して投入することで、効率的な部門運営を目指す。

- ・メタンハイドレート資源開発技術
- ・未利用炭素資源を活用する技術開発
- ・水素エネルギー社会実現に資する技術開発
- ・領域内連携課題（自動車関連技術）

③外部連携への取り組み強化

目的基礎研究から橋渡し研究に至る各段階において、技術マーケティング情報の活用を図り、

“voice of industry”に耳を傾けることを常態と捉え、その上で外部連携が可能なステージに到達した研究については、部門をあげてサポートを強化し、技術を社会実装化するためのリードタイムの短縮を期する。

○平成28年度の重点化方針

①ユニット戦略課題の推進

メタンハイドレート資源開発では、出砂現象の解明ならびに貯留層モデルの構築に注力する。未利用炭素資源の活用では、流動層プロセスのさらなる効率向上に取り組む。また、水素エネルギー社会の実現に資する技術開発では、水素材料の評価技術と性能の向上、ならびにエネルギーキャリア用触媒プロセス開発を行う。加えて領域内連携課題（自動車関連技術）では、主として燃焼技術および省エネ指向性材料の研究に主眼を置く。

②創エネ SIP の実施

H27年度に創設した運営費交付金による創エネ SIP（Seeds, Intellectual properties & Promotion）を、引き続き部門内のシーズ等育成予算と位置づけ、戦略的・効率的な研究資金投入ツールとして活用する。

③部門内協奏の強化

年度当初に行う研究グループ再編と拠点集約化を、部門の研究力充実のまたとない機会と捉え、研究者の協働と研究テーマの融合による研究シーズの骨太化と方向性の明確化を目指す。

内部資金：

「H28スタートアップ（ウェットプロセスによる表面処理技術を用いた水素バリア機能実用化に向けての基礎研究）」

「H28地域企業連携スタートアップ事業「パイオオイル製造装置スケールアップ検討」」

外部資金：

経済産業省 資源エネルギー庁

「平成27年度メタンハイドレート開発促進事業」

「平成28年度メタンハイドレート開発促進事業」

経済産業省 産業技術環境局 産業技術政策課 国際室

「研究テーマ④「CO₂を利用した水素製造・貯蔵技術－二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム」」

経済産業省 産業技術環境局 産業技術政策課 国際室

平成28年度革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業（CO₂フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発）

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

科学技術試験研究委託事業

「エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究」のうちの一部「水素貯蔵材料の劣化機構解明と新規軽量材料の探索」

農林水産省農林水産技術会議事務局

「施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置および利用技術の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

水素利用技術研究開発事業

「トータルシステム導入シナリオ調査研究」

ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト

ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発

「CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発」

戦略的イノベーション創造プログラム

エネルギーキャリア（SIP）

「アンモニア合成触媒の開発・評価」

国立研究開発法人科学技術振興機構

戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「分画成分の詳細構造解析法の確立および水相中の糖の濃縮法の確立」

戦略的創造研究推進事業（ACT-C）

「プロトン応答性錯体触媒に基づく二酸化炭素の高効率水素化触媒の開発と人工光合成への展開」

戦略的創造研究推進事業（CREST）

「高性能・高機能なギ酸脱水素化触媒の開発」

一般財団法人日本自動車研究所

水素利用技術研究開発事業

「HFCV GTR Phase2における水素適合性試験法の審議に必要な材料評価データの取得・解析」

一般財団法人電力中央研究所

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／次世代ガス化システム技術開発「水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるタール改質促進技術の開発」」

国立大学法人九州大学

水素利用技術研究開発事業再委託

「高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化」

山梨県企業局

「CO₂フリーの水素社会構築を目指した P2G システム技術開発／水素吸蔵合金を用いた低圧水素貯蔵システムに関する技術開発「水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発／CO₂フリーの水素社会構築を目指した P2G システム技術開発」

独立行政法人日本学術振興会

平成28年度科学研究費助成事業（科研費）

「H₂TiO₃を原料に用いた V₂O₅-WO₃/TiO₂脱硝触媒製造法の開発」（特別研究員奨励費）

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

「放射能汚染地域のバイオマス利用・高温減容化・灰分安定貯蔵のための灰分挙動解析」（基盤研究(C)）

「イオン性クラスレートハイドレートの工学利用に向けた熱力学性質とガス包蔵特性の解明」（若手研究(B)）

「ナノメートルサイズの Mg クラスタを利用した新規低コスト水素貯蔵材料の開発」（若手研究(B)）

「氷で制限されたナノ・マイクロ空間の分析化学」（基盤研究(A)）

発表：誌上発表102件、口頭発表165件、その他18件

メタンハイドレート生産技術グループ

(Methane Hydrate Production Technology Research Group)

研究グループ長：長尾 二郎

(北海道センター)

概要：

メタンハイドレート資源からの天然ガス生産において、高い生産性と回収率を確保するための生産手法、生産増進法の開発を実施している。具体的には、持続的な天然ガス生産性評価の一環として、新たに開発した生産増進法である強減圧法について、大型室内試験ならびに生産性評価シミュレータを用いて、増進効果の定量的評価を実施している。また、貯留層モデルの高度化においては、断層等の貯留層不連続層の物性測定ならびに海洋産出試験地の圧力コア解析を継続して行い、商業規模でのガス生産挙動を的確に予測するため、得られた分析結果を貯留層モデル構築に適用している。一方、ガスハイドレートの持つ高密度ガス包蔵性や高い生成分解潜熱特性などの機能を活用したガスハイドレートの産業利用促進を目的に、自己保存性等ガスハイドレート特有の現象の発現機構の解明や新たな蓄冷熱媒体の開発、メタンハイドレート貯留層障害対策技術や分解制御技術開発等の研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1

メタンハイドレート地盤特性グループ

(Methane Hydrate Geo-mechanics Research Group)

研究グループ長：坂本 靖英

(つくば西)

概要：

日本近海の海底下に賦存するメタンハイドレート資源からの経済的かつ安定的な天然ガス生産技術の確立をミッションとして、メタンハイドレート堆積層からのガス生産時の地層の長期変形挙動の予測や坑井健全性評価を可能とする地層特性評価・解析技術の高度化・高精度化に関わる研究開発を進めている。具体的には、現場コア試料を用いた力学・透水試験、繰返し載荷試験、高圧条件下中空ねじり試験等の各種力学試験の実施による堆積層の力学特性の実験的評価と高精度モデル化、室内大型出砂評価試験装置を用いた海洋メタンガス産出試験における出砂対策の事前評価、さらには、地層変形シミュレータによるガス生産時の地層変形特性評価ならびに坑井-地層間の接触面摩擦挙動に基づく坑井仕上げ法やその健全性確保のための最適条件に関する解析的検討を実施している。

研究テーマ：テーマ題目1

メタンハイドレート生産システムグループ

(Methane Hydrate Production System Research Group)

研究グループ長：山本 佳孝

(つくば西)

概要：

メタンハイドレート (MH) 資源開発における生産障害対策・抑制技術として、MH 被覆気泡の生成過程、MH 固体粒子濃度と流動抵抗の関係など管内流動障害の発生条件と閉塞過程の解析、MH 再生成過程における各種物性の変化の解明、坑井内流動解析シミュレータの開発等を行う。また、生産性増進技術として、生産時熱伝導モデルの開発、海洋産出試験等コア試料の熱物性率測定を実施する。大型室内試験装置を用いた技術開発をメタンハイドレートプロジェクトユニット各グループ・委託企業等と連携して推進する。MH 再生成条件コントロール技術として、熱力学的及び動的インヒビタの開発を行う。流動障害対策・生産効率化のため、ハイドレートスラリーの流動性質測定を行う。細粒砂移流砂蓄積モデルの開発、細粒砂移流・蓄積評価シミュレータの開発をメタンハイドレートプロジェクトユニット各グループ、東京大学、東海大学等と連携して行う。ガスハイドレートの機能活用技術として、各種ハイドレートの高圧相の解明、効率的生成による炭酸ガス分離、農業分野への利用等に取り組む。ハイドレートを用いたクロマト分離技術の研究を行う。新規共同研究・受託研究相手先の探索、新規分野開拓に努める。平成28年度は、企業実用化フ

エーズ共同研究の取り纏め・知財化、イオン性クラスレートハイドレートのガス分離効率及びメカニズム解明、ハイドレート法によるCO₂+N₂ガスの分離貯蔵特性実験及びフィールド機による実証データ取得を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

未利用炭素資源グループ

(Non-conventional Carbon Resources Group)

研究グループ長：鳥羽 誠

(つくば西)

概要：

未利用炭素資源グループでは、未利用炭素資源の利用のために、埋蔵量が豊富で安価な未利用低品位炭、非在来型重質油からの燃料への転換技術開発および輸送用燃料の石油依存度低減に貢献するため、バイオ燃料の導入・普及により直接的に石油代替が期待できる新燃料製造技術の研究開発を行っている。グループでは、1.クリーンコールテクノロジーとして、低品位炭の触媒ガス化技術およびケミカルルーピングによる燃焼技術の開発、2.重質油および超重質油のアップグレード技術として、溶剤凝集緩和、水素化分解、水蒸気による酸化分解等の技術開発、3.バイオ燃料製造技術として、バイオディーゼル燃料高品質化技術開発では、原料多様化およびガス化炉の安全運転とコスト向上に資するバイオマスガス化特性の解明と副生タールの詳細分析手法の開発、4.多様な未利用炭素資源の利用拡大のための基盤技術として、新規詳細構造解析法の開発を実施している。また、自動車のエンジンシステムにおけるEGRシステムのデポジット生成抑制技術開発に、分析技術を通して寄与した。これらの研究に加え、国際共同研究を通して、我が国とアジア諸国などの諸外国の研究人材・技術者の育成にも貢献している。

研究テーマ：テーマ題目2

炭素資源転換プロセスグループ

(Hydrocarbon Conversion Process Group)

研究グループ長：松岡 浩一

(つくば西)

概要：

炭化水素資源から水素等のガスや化学基幹原料を製造する高効率プロセスの構築を目的に、ガス化等の熱化学変換やベンゼン合成等の触媒転換技術の要素技術開発を行う。具体的には、現在未利用の低品位な褐炭、汚泥等を、流動層等の気固反応装置を用いて、水素等の化学エネルギーあるいは熱エネルギーへ変換するための熱分解、ガス化、燃焼プロセスの高度化を行う。また、ガス化により生成した合成ガス、あるいはシェールガスのメタンを化学基幹原料や水素へ転換する触

媒転換技術の開発も同時に行う。さらに、石炭ガス化燃料電池複合発電(IGFC)のような革新的高効率プロセス構築に必要な燃料電池の耐久性評価技術開発等も推進する。

研究テーマ：テーマ題目3

水素材料グループ

(Hydrogen Industrial Use and Storage Group)

研究グループ長：飯島 高志

(つくば西)

概要：

様々な材料に水素が与える影響を明らかにすることを目的として、水素ガス環境下での材料評価技術の確立と、それを利用した水素材料の研究・開発を行い、燃料電池自動車や水素ステーションなどの水素利用機器の普及と低コスト化を促進し、経済性と信頼性を両立させた水素エネルギー社会の実現を目指す。そのため、以下の課題に取り組む。1.破壊力学に基づいた高圧水素ガス中での水素脆性評価方法を確立させ、低合金鋼などの材料試験データを取得することで、水素ステーション用材料としての使用の可能性を見極める。2.室温以下での高圧水素ガス中材料試験技術を開発し、燃料電池自動車用材料の水素適合性試験法を明らかにすることで、国連基準(GTR)への展開に貢献する。3.材料と水素との関係を幅広い見地から捉え直し、水素の吸着・解離、材料中への水素の拡散、材料中での水素の分布と存在状態など、材料中に水素が侵入してから材料物性に影響を与えるまでの各過程を把握し、その全体像を理解することで、新たな水素材料開発のための指針を明らかにする。

研究テーマ：テーマ題目4

エネルギー変換材料グループ

(Energy Conversion Materials Group)

研究グループ長：曾根田 靖

(つくば西)

概要：

エネルギー回生や化学エネルギーからのエネルギー変換・創出を推進するためには、電力貯蔵技術がそれらエネルギー利用の多様化と高効率化のために重要な技術の一つであり、大規模な定置型用途から自動車・モバイル機器への搭載用途まで、二次電池やキャパシタなどの電力貯蔵デバイスとして我々の社会に必要な不可欠となっている。炭素材料は、導電性や化学的安定性などの優れた基礎的物性に加え、結晶からアモルファスにわたる構造多様性と、紛体から繊維、薄膜といった加工性を有することから、様々な電力貯蔵デバイスの電極用部材として利用されている。さらに最近脚光を浴びる一連のナノカーボン材料の登場により、構造的要素の精密な制御が可能になりつつあり、ナノカ

ーボン材料が持つ種々の特性を必要に応じて、いわばテーラーメイドで引き出すことで、蓄電デバイスの性能をより高いステージへと引き上げることが期待できる。当グループでは、長年培ってきた炭素材料のナノ構造制御・解析技術を活かして、電気化学キャパシタ用高性能電極の研究開発を進めている。また、革新炭素繊維製造プロセスの開発や、燃焼の関与するエネルギー変換、ハロゲン化合物、窒素化合物の挙動に関する研究も推進している。

研究テーマ：テーマ題目5

エネルギー触媒技術グループ

(Energy Catalyst Technology Group)

研究グループ長：高木 英行

(つくば中央第5、つくば西)

概要：

未利用エネルギーの利用拡大を目的とした技術の開発に向けて、触媒、材料工学および反応工学をベースとした研究開発を実施している。特に、水素・エネルギーキャリア（アンモニア、有機ヒドライド、ギ酸、メタン等）の高効率製造・利用技術のための新規触媒や材料およびこれらを用いた新しいシステムの開発、バイオマスの輸送用燃料化のための基盤となる触媒技術の開発、水素・エネルギーキャリア利用技術の社会導入に向けた技術開発課題明確化のための調査・シナリオ策定等に関する研究に取り組んでいる。

エネルギーシステム・シナリオ検討については、長期的な視点のもと、特に、水素について、製造から貯蔵、輸送、利用に至るサプライチェーン全体を俯瞰し、開発している技術の速やかな実用化・普及と技術課題の明確化、将来の技術課題・シーズの発掘等を目指して、技術開発シナリオの作成に取り組んでいる。

エネルギーキャリアとして期待されているアンモニアやメチルシクロヘキサンなどの有機ヒドライドについて製造・利用のための触媒およびこれらを用いたシステムの開発に関する研究を実施している。また、ギ酸・CO₂を利用したエネルギー貯蔵技術について、基盤となる均一系触媒の開発に関する研究を実施している。

さらに、バイオディーゼルの高品質化のための金属担持触媒の開発について、構造解析や耐久性向上なども含めた研究も実施している。

研究テーマ：テーマ題目6

[テーマ題目1] メタンヒドレートアライアンス活動

[研究代表者] 天満 則夫（メタンヒドレートプロジェクトユニット）

[研究担当者] 皆川 秀紀、長尾 二郎、神 裕介、
木田 真人、今野 義浩、木村 匠、
山本 佳孝、室町 実大、清水 努、

村岡 道弘、坂本 靖英、米田 純、
片桐 淳、野田 翔兵、覺本 真代、
森田 洋充（常勤職員17名、他32名）

[研究内容]

メタンヒドレート資源から天然ガスを長期的に安定的かつ経済的に採取する効率的な生産手法を開発するための生産技術の整備、貯留層特性の評価およびモデル構築技術の高度化を実施すると共に、資源開発を基礎的な面から支えるための機能活用技術の開発や外部機関などとの連携を促進し、新たなイノベーションを創出する等を目的にメタンヒドレート研究アライアンス事業を行った。

資源開発の促進のための生産増進法の実フィールド適用可能性の検討として、強減圧法の永久凍土域のフィールドでの適用に関して数値解析による検討を実施した。海域に比べ地温の低い永久凍土域のフィールドでは、強減圧法の適用により減圧直後から氷が生成し、その効果が確認された。本結果から、永久凍土域のフィールドにおける強減圧法の適用可能性が明らかになった。また、通電加熱法に関しては、数値解析による現場適用を検討するために、解析用パラメータ取得のために、塩水の飽和堆積物の電気抵抗を測定した。

貯留層特性の評価では、海洋産出試験地などの圧力コア解析を行い、堆積物粒度、鉱物組成、孔隙率、飽和率およびヒドレート結晶の包接ガス組成と水和数のパラメータ取得を行った。また、浸透率とヒドレート飽和率との間には緩やかな正の相関が確認された。さらに、長期安定生産のためには、生産井内におけるヒドレートの再生成による坑内流動障害を解析する必要がある。このため、低温・高圧混相フローループ装置内でメタン-水系気泡流を生成し、一定温度の下でガス圧入及び水圧入により系の圧力を変化させ、メタンヒドレート生成過程の把握を行った。

生産時の海底地盤の変形および坑井の健全性評価の解析精度向上のため、メタンヒドレート層の力学パラメータを実験的に継続して取得した。圧力を保持した状態で力学試験が可能な可視化型の三軸試験装置を用いて、天然コアの圧力を減ずることなく力学試験を行い、泥層などに関する力学パラメータの取得を行った。また、実験を通したパラメータの見直しや構成式の改良を行い、地層変形シミュレータの精度向上を図った。また、坑井にかかる応力を評価するために、坑井表面凹凸の間隔に関して数値解析による検討を行ったところ、凹凸の間隔が大きくなるにつれ摩擦強度も高くなるが、ある一定値以上になると強度が再び低下することがわかった。さらに、海洋産出試験における出砂現象の検証として第1回海洋産出試験で出砂した砂の粒径に対応した土層を作成し、原位置条件や産出試験の生産条件を模擬した条件下で連続注水試験を行い、出砂の有無の確認とスクリーンの健全性に関する評価を実施し、坑井のベースパイプが

破断した場合や湾曲が生じた場合でも、スクリーンを構成する部材が維持されていれば、出砂が生じる可能性は低いことを実験的に確認した。さらに、地震（主に海底を震源とする地震）発生によって海底地盤が大きく滑動する海底地すべりが発生していることから、MH貯留層および周辺海底地盤の地震の安定性に関する室内試験として、細粒分を20%程度含む試料のせん断試験を実施したところ、拘束圧の増加に伴う粒子破砕により内部摩擦角が低下することが示唆された。

また、機能活用技術の開発として、CO₂ハイドレートの利活用に関する検討や、メタンハイドレート成因解明のための実験的アプローチとして、産総研内の他ユニットと連携して、高圧条件下でのメタン生成菌のメタン生成能力の評価等も実施した。

さらに、アライアンス事業として、企業、大学が参加する生産手法開発グループを運営し、それぞれ3回の意見交換会および進捗状況検討会を開催した。また、アライアンス事業の一部として、工業化に関心の高い企業と大学を結集した「ガスハイドレート産業創出イノベーション」を運営し、総会のほか、講演会を開催し、産総研成果の発信、調査情報の共有等を行い、連携を促進した。また、大学研修生受入れ、企業への技術移転等の人材育成を行ったほか、実験教室や依頼講演等を通じ、国民との対話を推進したり、他機関と連携して地方でシンポジウムの企画・開催やメタンハイドレートに関する講演会を開催したほか、国内のメタンハイドレート関連研究者が一同に会した第8回メタンハイドレート総合シンポジウムを開催した。

【領域名】 エネルギー・環境

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

【テーマ題目2】 新燃料製造技術研究、褐炭から低温触媒ガス化による水素・合成ガス製造技術開発

【研究代表者】 鳥羽 誠（未利用炭素資源グループ）

【研究担当者】 鳥羽 誠、鷹觜 利公、中西 正和、村上 高広、安田 肇、Atul Sharma、松村 明光、川島 裕之、麓 恵里、森本 正人、陳 仕元、小木 知子、福田 芳雄、阿部 容子、浅井 稔、Qingxin Zheng（常勤職員11名、他5名）

【研究内容】

バイオ系新燃料の製造・高品質化技術のキーテクノロジーである触媒技術および熱化学変換技術の基盤構築と

実証化に向けた研究を通して、地球環境に優しい輸送用燃料の社会への提供・普及に貢献することを目的とする。

本年度は、開発した FAME 型バイオディーゼル中の易酸化成分である多不飽和脂肪酸メチルを、選択的に低温流動性が良好で、比較的酸化安定性の高いモノエン酸メチルエステルに水素化できる担持貴金属触媒の高性能化に取り組み、工業化設備で製造可能で、高活性かつ活性安定性の高い触媒を開発した。

油糧作物や木質系バイオマスの熱分解技術開発では、原料多様化およびコスト向上に資する原料種別のガス化特性や副生物成分同定、タールの組成分析技術の開発を行った。

高い水分量と自然発火性の問題から、これまで輸送が困難であった褐炭、亜瀝青炭等の低品位炭を高効率でクリーンに利用する技術開発のため、触媒を用いた低温ガス化に関する研究開発を行なった。この合成ガス製造技術を商業化プロセスへ展開するため、連続式触媒ガス化装置を用いた実証試験を行っている。

平成28年度は、当該技術の商業化プロセスを想定したロータリーキルン型の触媒ガス化装置の設計を完成した。第1段階として、この装置の技術課題となる試料供給部、灰分回収部、およびタール分解炉のそれぞれの設計を完了した。その後、試料供給量、滞在時間、灰発生量、タール回収量の試算から、各部位における最適設計を行い、最終的にロータリーキルン型の新規触媒ガス化装置の設計図が完成した。更にロータリーキルン型ガス化炉装置の3分の1のコールドモデルの設計・製作について検討を実施した。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 輸送用燃料、バイオ系新燃料、高品質化触媒、バイオディーゼル、ガス化技術、ジェット燃料、固形燃料、燃料品質確保、褐炭、低温ガス化、触媒ガス化、合成ガス製造、水素製造

【テーマ題目3】 熱化学転換・触媒改質技術の最適化による未利用炭素資源の高品質化

【研究代表者】 松岡 浩一（炭素資源転換プロセスグループ）

【研究担当者】 松岡 浩一、張 戦国、安藤 祐司、松田 聡、倉本 浩司、稲葉 仁、劉 彦勇、細貝 聡（常勤職員8名、他10名）

【研究内容】

今後数十年も石炭や天然ガスが、一次エネルギーの大宗であることは確実であるが、資源量の制約から現在未利用の褐炭、シェールガス等の利用拡大が見込まれる。これらの未利用資源の転換利用としては、発電、化学原料製造などが想定されるが、いずれにしても CO₂排出抑制の観点から高効率化が極めて重要となる。したがっ

て、化石資源を利用しつつも、CO₂排出を可能な限り抑制する高効率転換プロセスの開発が急務である。

石炭の高効率利用プロセスであるガス化では、反応温度が低い場合、石炭を完全にガスへ転換することは容易ではなく、一部がタールとして排出されてしまい、様々なトラブルを引き起こすため、排出低減が必須である。そこで、石炭ガス化の残渣であるチャーと石炭タールを種々な方式、操作条件の下で流動層反応器内にて接触させることで、タールをチャーに吸着、改質させ、特に重質なタールの排出はほぼ完全に低減可能であることを見出した。

石炭の究極の高効率利用として、石炭ガス化燃料電池複合発電 (IGFC) が計画されている。IGFC では、石炭は高温高压のガス化炉内でガス化され、これを固体酸化物形燃料電池 (SOFC) に供給するため、加圧下での石炭ガス化ガスを用いた SOFC 発電特性および加圧下での燃料ガス中微量成分の燃料極材料への被毒機構を解明する必要がある。ここでは、常圧から4気圧まで加圧が可能なボタン型 SOFC セル発電試験装置を設置し、加圧による発電効率の向上を確認した。また、硫化水素による燃料極での反応阻害が助長されることも明らかにした。

一方、シェールガスの有効利用方法として、メタンを化学原料であるベンゼンへ転換する技術開発も推進している。ここでは、マイクロ加圧流動層反応器を開発し、これを用いて流動層 Mo/HZSM-5触媒の活性評価を種々の条件下で行い、4気圧で常圧より2倍強の最大ベンゼン生成速度を実現できることを検証した。同時に反応塔と触媒再生塔からなる2塔式循環流動層の最適加圧操作条件を確定した。これに加えて、メタンからの水素製造にも着手し、メタンを鉄系触媒上で熱的に分解し、水素と固体炭素に分解する際の操作条件の最適化を行った。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】石炭、ガス化、燃料電池、流動層、メタン

【テーマ題目4】金属材料中の水素挙動に関する研究

【研究代表者】飯島 高志 (水素材料グループ)

【研究担当者】飯島 高志、安 白、榎 浩利、
孫 正明、榑 浩司、浅野 耕太、
Kim Hyunjeong (常勤職員7名)

【研究内容】

高压水素ガス用の耐水素脆化構造材料や、理想的な水素吸蔵特性を有する貯蔵合金など、燃料電池自動車や水素ステーションなどの水素利用機器への応用が期待できる、低コスト高性能水素材料の開発には、材料中の水素の挙動を正確に把握する必要がある。しかし、影響因子が多く複雑で、様々な解析手法を駆使する必要から、未だ十分に明らかにされていない。そこで本研究では、昇温脱離水素分析法 (TDS)、陽電子消滅法、二体分布関

数法 (PDF)、固体核磁気共鳴法 (NMR)、高压水素中 X 線回折法 (XRD)、走査型プローブ顕微鏡 (SPM)、および高压ガス中材料試験装置など、マクロからナノスケールの解析技術を複合的に組み合わせ、金属材料中の水素の分布と存在状態、空孔・転位等の欠陥挙動への影響とその結果としての材料特性を把握し、材料中の水素の状態、挙動を総合的に解明することで、新規水素材料開発のための指針を明らかにする。

平成28年度は、各層の膜厚が異なる Pd/Mg 積層薄膜を作製し、水素の影響について X 線回折と水素放出特性の評価を試みた。また、走査型電子顕微鏡 (SEM) による後方散乱電子回折 (EBSD) および KFM を用いて、オーステナイト系ステンレス鋼の水素放出に伴う表面ポテンシャルの変化をその場観察し、水素拡散に与える結晶方位の影響について調べた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】水素社会、水素材料、水素脆化、水素吸蔵

【テーマ題目5】車載用エネルギー回生用キャパシタに関する研究

【研究代表者】曾根田 靖 (エネルギー変換材料グループ)

【研究担当者】曾根田 靖、加登 裕也、相澤 麻実、
常名 美穂子、高橋 平
(常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

CO₂排出量削減の観点から、自動車の燃費向上に向けた規制強化が国内外で進んでおり、幅広い動力タイプの自動車に対応可能な技術として、減速エネルギー回生システムの積極的導入が自動車業界で進められ、短時間での充放電挙動に優れるキャパシタが蓄電デバイスとして期待されている。本研究では車載用エネルギー回生用キャパシタの高容量化の検討として、次世代型の高エネルギー密度デバイスとして期待されるナトリウムイオンキャパシタ用電極多孔質炭素の開発に取り組んだ。リチウムイオンの黒鉛への挿入と活性炭電極を組み合わせたりチウムイオンキャパシタが開発されているが、資源量の制約等が懸念されており、ポストリチウムとしてナトリウムイオンを利用したナトリウムイオンキャパシタへの期待が高まっている。また、リチウムの場合には結晶性の発達した黒鉛材料が必要であるのに対し、ナトリウムイオンの挿入にはハードカーボン等の低温処理炭素が適しており、負極材料の選択肢が大きく広がる事が考えられる。

本年度は、当グループで検討を続けてきた MgO 鋳型メソポーラスカーボン (MgO-MPC) について熱処理温度を変えて合成することで細孔構造と結晶性を変化させ、ナトリウムイオン挿入脱離反応の電気化学評価と、挿入状態を X 線回折測定などで検討した。その結果、MgO-

MPC をナトリウムイオンキャパシタの電極として用いた場合、多孔質な細孔へのイオン吸着と、炭素構造中への挿入反応の両方が観察され、その割合が熱処理温度によって強く支配されていることを見出した。合成条件で決定される結晶性と細孔構造の割合をチューニングすることで、ナトリウムイオンキャパシタで利用される市販ハードカーボンより高容量を示し、適切なメソ孔分布による高レート特性が実現できることを明らかにした。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】電力貯蔵、ナトリウムイオンキャパシタ、メソポーラスカーボン、パワー密度、高速充放電特性

【テーマ題目6】エネルギーキャリア用触媒プロセスの開発

【研究代表者】高木 英行（エネルギー触媒技術グループ）

【研究担当者】高木 英行、姫田 雄一郎、望月 剛久、
齊田 愛子、陳 仕元、西 政康、
山本 恭世、井元 清明
（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

2014年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画において、水素が将来の二次エネルギーとして中心的な役割を担うことが期待されることが記載され、また、経済産業省においても、水素を活用した社会の実現に向けた「水素・燃料電池戦略ロードマップ」が作成されるなど、水素エネルギーに対する期待が高まっている。水素の重要な意義であるエネルギーセキュリティや環境負荷低減への貢献、すなわち再生可能エネルギー等の未利用資源の利用拡大に向けては、製造、貯蔵・輸送および利用に至るトータルチェーンとしてとらえながら、特に効率的な製造、そしてエネルギーキャリア等を用いた貯蔵・輸送技術に関する技術について、研究開発を進める必要がある。

本研究では、エネルギーキャリアとして期待されているアンモニア、メチルシクロヘキササン（MCH）およびギ酸について、それらの合成および利用（脱水素）のための触媒の開発に関する研究を実施し、その結果、アンモニア製造のための炭素担体を用いた触媒開発について有益な知見を得た。また、ギ酸・CO₂を利用したエネルギー貯蔵技術について、新たなCO₂水素化触媒を開発した。さらに、関連技術や開発した技術の社会実装のための技術開発シナリオに関する検討を行った。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】エネルギーキャリア、水素、触媒、シナリオ検討

③【電池技術研究部門】

（Research Institute of Electrochemical Energy）

（存続期間：2015.4.1～）

研究部門長：谷本 一美

副研究部門長：栗山 信宏、安田 和明

首席研究員：香山 正憲

総括研究主幹：小林 弘典

所在地：関西センター

人 員：45名（45名）

経 費：873,696千円（361,240千円）

概 要：

温室効果ガス削減の世界的な取り組みの機運が高まりの中で2015年12月の温暖化効果ガスの削減目標を示したパリ協定締結を受けてわが国では2016年4月にエネルギー環境イノベーション戦略をとりまとめるともに、2016年10月パリ協定の発効に続いてわが国の批准となりました。限りある資源の高効率な利用と共に再生可能エネルギーの効率的な活用の拡大が必要であると思われます。2011年東日本大震災による原子力発電所の事故後、原子力代替として化石燃料による発電の依存度が増加しています。また、米国ではシェールガスの市場化の拡大や中東産油国周辺での政情の不安定さによる緊張が高まり、ロシアを始めとする非OPEC 国の中央アジア産油国のシェアが拡大の中で、OPEC 諸国との間で2016年の話合いで減産調整となりましたが、それぞれの国の立場の違いもあり継続性も注視されます。さらに、需要側からみれば新興国の飛躍的経済発展から持続的発展の状態へ移行し、需要増加を続けています。また、先進国では、低成長状態の中での国内での社会保障や格差の課題などが顕在化し、これまでのような国際協調の立場が後退し、市場経済発展の見通しを立て難い状態になっています。世界的にもエネルギーの供需給とその価格の予見が困難な中で、2016年の原油安基調から最近の上昇のトレンドに代わりつつあります。パリ協定での21世紀末までの平均気温上昇を1.5度未満とする目標は、各国とも二酸化炭素排出量の削減に難しい対応を迫るものです。このような中でわが国では、再生可能エネルギーの導入促進のための固定価格買取制度で太陽光発電システムの加速的に普及も見られてはいますが、発電場所が地方に偏在しており、電力ネットワークの容量への受容性にも係り、その適切な制度設計や送電制御技術への課題対応も必要となっています。わが国の持続可能な環境調和型社会の構築と経済発展の両立を持続可能という条件も加えて、国際的な産業競争力の強化を目指しグリーン・イノベーション推進を図ることが重要と考えています。

上記のような社会背景とグリーン・イノベーション推進の重要性の認識の下で、平成28年度は第4中長期

期間の5年間の2年目となりました。第4期に産総研として主要な位置づけとなるグリーン・イノベーション推進に関しては、エネルギー・環境領域が主導的に推進する組織となり、創エネ、蓄エネ、省エネのエネルギー開発を担っています。エネルギー環境領域の中で電池技術研究部門は、エネルギーを高密度に貯蔵する技術としての蓄エネルギー技術の中で、二次電池、燃料電池など材料開発、デバイス化技術及びそれらを支える材料基礎研究を進め、産業界への技術の橋渡しと共にそのベースとなる革新的なシーズ創出を進めています。

- ・ エネルギーを高密度で貯蔵する技術開発
- ・ 化学エネルギー貯蔵技術
- ・ 国際競争力のある電池技術

具体的には、家電や自動車などエネルギー需要者側における省エネルギーと環境保全を目指し、蓄電池、燃料電池などの新しい小型・移動型電源技術の研究開発を行い、材料基礎からシステム化まで通した研究に取り組んでいます。その中の研究開発では構成要素である電極材料、電解質材料、触媒、エネルギー貯蔵材料などの材料開発を重視するとともに、材料開発の基礎となる材料科学や材料開発方法論等を部門のコア・コンピタンスと位置付けています。さらに、社会、特に産業界を「顧客」として位置付け、未来産業の創出は未来社会に貢献する新産業技術シーズの提案やハイリスク技術の実証などの「先導的産業技術の提案」および、国際標準や評価技術、寿命予測技術などの国際競争力のバックアップとなる「産業基盤技術の提供」を進めることを方針として考えてきました。そしてこれらの研究開発をバランスよくマネジメントすることで産業界への橋渡し研究とその革新的シーズの基となる目的基礎研究を並行して進めて、社会・産業界の発展に貢献したいと考えています。

関西地域は、製造業生産高が関東の約半分であり、家電、繊維、医薬品などの産業界が関西からの移転で、わが国の経済規模の占める割合が十数%程度と従来に比べて低くなっています。しかしながら、関西地域は情報家電・電機、住宅等を支える素材産業やものづくり産業が高いポテンシャルを持っています。また、京大、阪大、神戸大の他に大阪府大、同志社大、立命館大、関西大等のレベルの高いアカデミアでの当該分野の集積は、関西地域の特徴であり、産総研における電池技術の産学官連携の戦略拠点として、関西地域での活動が重要といえます。阪大、神戸大とはクロスアポイントメント制度の基で、大学教員と産総研の研究者が相互の役割をもつことで連携機能を強化しています。このような特徴ある研究開発の集積の基に、近畿経済局、大阪科学技術センターなどの公的なコーディネー

タ機関とのネットワークを活用して、当研究部門ではナショナル・プロジェクトや研究コンソーシアム等を通じた研究連携拠点としての役割を果たします。特に蓄電池などの蓄エネルギー技術分野では、技術研究組合リチウムイオン電池材料評価研究センター（LIBTEC）との連携、日本自動車研究所とは電気自動車搭載の蓄電池の劣化状態把握などの研究を進めることで、蓄電池の開発拠点の強化を図り、関西地域の産業競争力の向上に貢献するとともに、わが国の産業競争力強化に貢献する役割も担っています。

内部資金：

「宇宙機用高エネルギー密度電池の開発」

外部資金：

国立大学法人東京大学

次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成（サブ課題 E 高信頼性構造材料）

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業／普及拡大化基盤技術開発／先進低白金化技術開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発 研究開発題目③「車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発」」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「革新型蓄電池先端科学基礎研究開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「イオン液体中でのリチウムデンドライト成長の抑制と保護層への適用」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「粉末焼結プロセスを用いた酸化物バルク型全固体電池の創成」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「①シート型フルセルの作製における多層化検討」

「②蓄電池基盤プラットフォーム」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ALCA）

「ゼロ溶剤による新規電解質の開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (ALCA)

「新規硫黄炭素コンポジット正極材料を用いた全電池作製」

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム

「イオン移動マネジメントシステムの構築」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「分子／界面の構造機能解析に立脚した新規錯体系電極触媒の開発」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費

「金クラスター担持触媒の創成・機能発現機構解明に向けた量子化学的アプローチ」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費

「階層型多孔質炭素材料による高効率エネルギー貯蔵の研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費

「高性能液体化学水素キャリアの研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費

「ポーラス炭素の精密構造制御と高効率エネルギー貯蔵の研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (C)

「極強加工と水素誘起分解再結合を利用した高機能積層型水素吸蔵合金の開発」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 (B)

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

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「メカノケミカル法によるナトリウム含有金属硫化物の新結晶相創製」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「リチウム資源問題を解決する常温作動型ナトリウム二次電池の開発」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究 (B)

「リチウムの化学状態を評価する電子分光手法の研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「金微粒子触媒における電気伝導特性と触媒反応機構の研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (B)

「高機能性ポーラス炭素の創成とエネルギー貯蔵への応用に関する研究」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (A)

「放射線によるナノ粒子材料創成のその場観察と機能材料の実用化」

文部科学省および独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究

「超音波接合による水素吸蔵 Mg/Cu 超積層体の開発原理」

発 表：誌上発表79件、口頭発表220件、その他29件

ナノ材料科学研究グループ

(Materials Science Research Group)

研究グループ長：田中 真悟

(関西センター)

概 要：

蓄エネルギーデバイス開発の鍵を握るのは、ナノ界面機能材料（燃料電池や蓄電デバイスの電極や電解質、触媒等々）など優れた機能材料の開発である。特に金属／無機などのナノヘテロ界面は優れた機能が期待される。電子顕微鏡や表面科学手法による実験観察と第一原理計算との連携は、こうした材料機能の基礎的解明や設計に極めて有効であり、また、基礎解析を積極的に新規材料開発に生かす取り組みが求められている。当グループは、電子顕微鏡技術、表面科学や第一原理計算など、ナノ・ミクロの構造解析技術を用いて、ナノ界面機能材料など様々な材料の原子・電子構造や機能のメカニズムを解明し、ナノ材料科学のフロンティアを切り拓く。蓄エネルギーデバイスの新規材料開発や機能・劣化メカニズムの解明など、材料開発との連携を深め、材料基礎解析からの具体的な貢献を行う。ナノ・ミクロ解析技術とコンビケム技術の連携・融合

により、基礎解析を材料開発に積極的に活かして効率的に新材料を開発する新しい方法論-マテリオミクス-の基盤技術の確立を図る。以上により、当ユニットの目的基礎研究の一翼を担い、ユニットのコア技術の醸成を図る。

エネルギー材料研究グループ

(Research Group of Functional Materials of Energy)

研究グループ長：齋藤 唯理亜

(関西センター)

概 要：

本研究グループでは、公的資金プロジェクトや企業の資金提供型共同研究のなかで、電池材料やデバイスに関する基礎から応用に至る研究開発を実施している。リチウム電池・新型電池やキャパシタの新規電極・電解質材料の開発と電解質やセパレータ等の物性評価、電池デバイスの性能評価を行っており、具体的な成果は次のとおりである。

- 1) マグネシウム金属負極二次電池などの高容量化に資するグラファイト正極の充放電電位および容量と挿入脱離を起こすアニオン構造との相関性について検討。
- 2) リチウム中温域熔融塩を用いたリチウム金属析出・再溶解挙動から、濃度勾配が存在しない電解液における特徴を明らかにした。
- 3) 水素貯蔵材料として有望なギ酸から温和な条件下で高効率に水素を発生できる金属ナノ粒子触媒を開発、
- 4) 配位高分子と金属や硫黄化合物との複合体を原料として用いて炭化処理を行うことにより、金属硫黄クラスターと炭素との複合体を合成し、後者について酸素の還元反応 (ORR) の触媒としての高性能を確認、
- 5) 磁場勾配 NMR を用いた拡散係数測定を通して、セパレータ膜と膜内の電解液中イオンとの相互作用力を求める技術を確認、膜の化学組成や物理構造形態とイオン易動度との関係を定量的に解明、セパレータ構造設計指針を提示、
- 6) 液体クロマトグラフィー-質量分析法により、負荷条件を系統的に変化させて充放電を行ったリチウム電池の電解液の反応生成物質を分析同定、負荷種類が反応生成物質の消長に及ぼす影響について解明。

新エネルギー媒体研究グループ

(New Energy Carrier Research Group)

研究グループ長：竹市 信彦

(関西センター)

概 要：

携帯電話から電気自動車に至るまで、二次電池などに対する要求は、エネルギー密度や安全性、高寿命、低コスト、資源・環境に対する配慮など、あらゆる面において今後も増加する傾向にある。当グループでは、現行の電池では実用化されていないものの、上記の電池に対する要求に応える鍵となるべき材料・物質の探

索・開発を行っている。例えば、現行のリチウムイオン電池に多用されているコバルトなどの希少遷移金属を含む無機材料を、有機物に置き換えることができれば、省資源や低コスト化に繋がり得る。また、リチウムも資源の偏在などの問題があり、ナトリウムで代替できれば資源量の制約からは逃れられる。二価のイオンであるマグネシウム等を上手く利用できれば電池の高エネルギー密度化が図れるかも知れない。とも考えている。以上のように、既存の電池材料に代わる新しい材料系の可能性を追究している。今年度の成果は、以下の通りである。

- (1) リチウムに代えてナトリウムを用いた電気化学デバイスの開発をすすめ、現行のリチウム系正極材料の特性を超える高性能正極材料の開発に成功した、
- (2) 希少資源を含まない有機物による二次電池の開発をすすめ、有機活物質の吸熱特性を見出した、
- (3) 新しい電気化学デバイス構築にむけ、材料合成技術の構築や電極作製技術を最適化することで電池性能が飛躍的に改善した。

蓄電デバイス研究グループ

(Advanced Electrochemical Device Research Group)

研究グループ長：小林 弘典

(関西センター)

概 要：

電動クリーンエネルギー自動車の利便性向上によるさらなる普及のため、また、高効率でのエネルギーマネージメントが可能となるスマートシティ/スマートコミュニティ実現のためには、十分な信頼性・安全性を兼ね備えた高エネルギー密度の蓄電池が必須であることから、当研究グループでは、「(1) 次世代型二次電池のデバイス化に向けた技術開発」、「(2) 高性能電極活物質材料の研究開発」並びに「(3) 国際標準化に向けた技術開発」に取り組んでいる。(1)に関しては、新型蓄電デバイスである無機全固体電池の研究開発に注力してきており、硫化物系ではシート型全固体電池を作製し、170 Wh/kg のエネルギー密度を実証した。また、酸化物系ではナシコン系固体電解質を用いることで電池作動温度を室温近傍まで下げることに成功した。(2)に関しては、低温でバルク型電池が作製可能でイオン伝導率が1桁向上した新規酸化物系固体電解質の開発に成功した。(3)に関しては、車載用 LIB の残存性能評価手法高度化に資するべく蓄積したデータ解析を進めることで、劣化メカニズムを明らかにするとともに、次世代 LIB では車載用 LIB とは異なる劣化メカニズムが存在する可能性を見出すなど、将来の国際標準化を見据えた技術開発を実施した。

次世代蓄電池研究グループ

(Advanced Battery Research Group)

研究グループ長：鹿野 昌弘

(関西センター)

概要：

ハイブリッド自動車や電気自動車等の電動車両の動力源、出力変動の大きな再生可能エネルギーの安定化電源など様々な用途で蓄電池への期待が高まっている中、次世代蓄電池の開発が重要になっている。当研究グループでは、「信頼性・安全性の向上」「高エネルギー密度」「高出力密度」「低コスト」など様々な課題に応えた次世代蓄電池を実現するため、金属・合金系負極、高電位酸化物系正極、多電子反応電極などの高エネルギー密度材料の開発に加え、電極と電解質界面の制御技術に関する研究を進めてきた。金属系負極については、電解液系への添加物を検討し、デンドライト状金属の析出抑制と高電流密度化につながる知見を得た。高電位酸化物系正極については、電解液界面で生ずる副反応生成物の半定量化を進めている。高エネルギー密度を有する革新的な二次電池の開発も進めており、コンバージョン型のフッ化物材料のサイクル特性向上のため局所構造の変化など反応機構解析を進めた結果、材料劣化機構を明らかとした。

電池システム研究グループ

(Battery System Research Group)

研究グループ長：栗山 信宏

(関西センター)

概要：

本研究グループでは、企業との資金提供型共同研究と公的資金プロジェクト研究を主体として、電池材料やデバイスに関する基礎から応用に至る研究開発を実施している。リチウム電池や新型電池の新規電極・電解質材料などの開発とその物性評価、電池デバイスでの性能実証と安全性評価を行っており、具体的な成果は次のとおりである。1) 試加圧炭酸ガスを用いることにより、高容量なりチウム遷移金属酸化物系正極の製造方法を従来の有機溶媒系から水系でも可能にした。2) シリコン系負極の安全性について導電助剤の含有量との関係について1Ah級電池にて明らかにした。

また、電気自動車用途の二次電池製造を行う電池メーカーが、当所が NEDO プロジェクトにて産学官連携で開発を進めてきた鉄-マンガン系酸化物正極材料を用いて、NEDO 実用化助成事業において研究開発を実施している。当研究グループは、この助成事業にも再委託先として参画し、鉄-マンガン系酸化物正極材料の高容量化、ガス発生を抑制できる炭素還元プロセスの開発を行い、材料メーカーに技術移転を行って実電池において効果のあることを確認した。また、層状構造からスピネル構造への相転移を初めて明らかにして充電時の安全性向上につながる材料設計指針をプロジェクトに提供した。

さらに、燃料電池・水素・蓄電技術の円滑な社会への普及を目指して、それら各技術に関わる材料及び応用システムの標準化・規制整備・安全性確保に資する基礎データの取得を推進している。燃料電池技術に関しては、日本電機工業会と連携し、標準化に関与した。水素を活用した脱硝技術の研究開発と水素製造用改質反応触媒の研究開発を行った。蓄電池技術に関しては、つくばイノベーションアリーナ推進室と連携し、蓄電池基盤プラットフォームとして電池材料及び電池構造評価に資する研究基盤を整備し、運営に参画している。

次世代燃料電池研究グループ

(Advanced Fuel Cell Research Group)

研究グループ長：五百蔵 勉

(関西センター)

概要：

次世代の燃料電池に資する新技術やその派生技術に関する基礎技術研究を進めるとともに、新たなコンセプトの萌芽的研究テーマに取り組んでいる。(1) 高い耐酸化性を有する酸素欠損型チタン酸化物担体に関して、微細なイリジウム触媒を担持することで、固体高分子形水電解セル用アノード触媒を構成し、従来の無担持触媒に比べ高い質量活性を有することを明らかにした。(2) 白金触媒表面に吸着させることで白金の酸素還元活性(質量活性)が向上する有機材料(テトラアザポルフィリン系分子等)を見出した。このような白金表面修飾は、今後の固体高分子形燃料電池触媒の更なる低白金化に向けた新しい方向性の一つと考えている。(3) 亜鉛-空気電池の可逆空気極に関して、触媒担体だけでなくガス拡散層も含めて非炭素系材料を用いることで高い耐久性が期待できるカーボンフリー空気極の検討を進め、空気電池の空気極として充放電可能であることを確認した。

その他、酸化物担体を用いた耐酸化性燃料電池触媒の開発、固体高分子形燃料電池-水電解可逆セルの開発、金属錯体系耐CO触媒材料の開発、アルカリ型燃料電池触媒の開発、非白金錯体系酸素触媒材料の開発等を行った。

④【省エネルギー研究部門】

(Research Institute for Energy Conservation)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：宗像 鉄雄

副研究部門長：竹村 文男

首席研究員：周 豪慎

総括研究主幹：丸山 茂夫、嘉藤 徹、堀田 照久

所在地：つくば東、つくば中央第2、つくば中央第5、つくば西

人 員：46名（46名）

経 費：1,152,032千円（364,791千円）

概 要：

1. ミッションと目標

省エネルギー研究部門は、限りある地球のエネルギー資源の持続的有効利用と温室効果ガス排出量削減を目標に、省エネルギー技術、高効率エネルギー変換技術等の研究開発を通して持続発展可能な社会の実現、産業競争力の強化に資するグリーンイノベーションの実現を目指す。目的基礎から橋渡し研究まで精力的に取り組み、技術研究組合やコンソーシアム、各種共同研究等を通して企業への橋渡しを図る。

2. 主要研究項目と研究推進手段

「乾いた雑巾」に例えられるくらい日本の省エネは進み、省エネ大国とも言われているが、新規の材料、装置、システム等を組み合わせることで、更なる省エネが可能であると考え、特にエネルギー消費の伸びが著しい民生部門や運輸部門での燃料や熱の効率的な利用を中心に、熱エネルギー・電気エネルギー・化学エネルギーの省エネのための研究開発を幅広く実施する。

省エネルギー研究部門では、下記3つの研究開発課題を中心に、8研究グループ・3研究ラボの体制で、大学や民間企業との共同研究も含め進める。

(1) 燃料および燃焼の基盤技術の研究開発

クリーンディーゼル車向け高効率エンジン燃焼のための基盤技術の研究開発を中心に、次世代エンジンシステムの実用化に資する研究、CO₂排出削減を目指し、福島再生可能エネルギー研究所と連携し、アンモニア混焼技術の実証実験や機能デバイスの開発を行う。内部連携研究ラボ「次世代自動車エンジン研究ラボ」を立ち上げ、エネルギー・環境領域内外の連携を図りつつ研究開発を推進する。

本研究項目を主に担当する研究グループはエンジン燃焼排気制御グループとターボマシングループである。

(2) 未利用熱を有効活用する技術の研究開発

未利用熱を有効活用する熱電変換等による排熱利用技術および革新的な熱マネジメント技術の研究開発を中心に、工場や自動車からの排熱回収発電技術としての熱電材料の材料開発・モジュール化から評価技術までの開発、電力・水素の高効率変換・貯蔵・利用技術の開発、蓄熱・熱輸送などの要素技術と熱の需給のミスマッチを解消するトータルシステム技術の開発、等を行う。

本研究項目を主に担当する研究グループは熱電変換グループ、熱流体システムグループと熱利用グ

ループである。

(3) 革新的エネルギー技術の研究開発

一次エネルギーからの高効率電力変換技術の開発、電力・水素など二次エネルギー間の変換技術・貯蔵・利用技術の開発、および物理化学現象の解明を通じた高効率なエネルギー貯蔵・変換デバイスの開発、等を行う。内部連携研究ラボ「固体酸化物エネルギー変換先端技術ラボ」を立ち上げ、エネルギー・環境領域内外の連携を図りつつ、研究開発を推進する。

本研究項目を主に担当する研究グループはエネルギー変換・輸送システムグループ、エネルギー界面技術グループと燃料電池材料グループである。

また、上記(1)~(3)の他、東京大学とのクロスアポイントメント制度を活用した外部連携研究ラボ「エネルギーナノ工学研究ラボ」を設立し、ナノ材料合成技術と微細加工による表面創製技術等を融合し、革新的なエネルギーデバイスの技術領域を確立する等、新たな展開やブレイクスルーをもたらす革新的・萌芽的エネルギー技術の研究にも積極的に取り組み、若手人材の育成を行うとともに次世代プロジェクトの芽を育てる。

内部資金：

「耐圧液体水素試験評価装置の研究開発」

外部資金：

経済産業省

エネルギー対策特別会計

エネルギー需給構造高度化対策費

エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費

平成28年度革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業「過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発」

「低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発/固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究」

「分散型エネルギー次世代電力網構築実証事業/研究開発項目②次世代配電システムの構築に係る共通基盤技術の開発」

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発/多接合型熱電変換素子の革新的高効率化に関する研究開発」

「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発/熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発/フォノンと少数キャリアの輸送特性同時制御による熱電性能指数の飛躍的向上」

「エネルギー・環境新技術先導プログラム/革新的ナノスケール制御による高効率熱電変換システムの実現」

「高温超電導実用化促進技術開発／高磁場マグネットシステム開発／高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構

国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）（SICORP）

「燃料電池内水分バランスの最適化」

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「革新的燃焼技術」

「ディーゼル噴霧におけるノズル内部・近傍流動の先進光学計測」

「誘電体バリア放電を用いた予混合気の燃焼促進法の開発」

戦略的創造研究推進事業（CREST）

「SOFC 高性能化のためのイオン電子流れ解析技術の開発」

「海洋生態系の酸性化応答評価のための微量連続炭酸系計測システムの開発」にかかると、性能評価・微量計測システム開発」

「自己組織化ナノ液晶高分子の精密構造評価と二次電池電解質への応用」

「平面配位を有する物質の結晶構造解析及びフォノンの研究」

戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発）（ALCA）

「高温超伝導固定化巻線技術の研究開発」

「過電圧の低い正極触媒の開発」

【特定課題調査】燃料電池性能および電極反応および過電圧の解析」

研究成果展開事業（戦略的イノベーション創出推進プログラム）（Sイノベ）

「次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション」

公益財団法人函館地域産業振興財団

革新的技術開発・緊急展開事業

「定置網漁獲物のシームレスなスーパーチリング高鮮度流通体系の構築・実証と各種漁業への展開」

自動車用内燃機関技術研究組合

「排気後処理研究将来テーマ検討に関する調査」

環境省

「平成28年度排出ガス後処理装置の性能低下メカニズムに関する原因究明並びに触媒活性評価試験業務」

独立行政法人日本学術振興会

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

「メソクリスタルナノワイヤーおよび単結晶ナノワイヤーの作製と高性能二次電池材料開発」（基盤研究(C)）

「全固体リチウム空気電池の長寿命化に向けた空気極の開発」（若手研究(B)）

「硬・軟 X 線光電子分光による二次電池電極材料の電子状態と電極性能との関連性の解明」（若手研究(B)）

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

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

「氷核不活性化による疎水性固体表面の創出」（基盤研究(B)）

「CO2湧出口における造礁サンゴからソフトコーラルへの群集シフト」（基盤研究(A)）

「ナノスケール制御によるナノワイヤー熱電変換素子の巨大ゼーベック効果発現と機構解明」（基盤研究(B)）

「マルチレベルフィジックスによる超高予測精度結晶成長シミュレータの実現」（基盤研究(B)）

発表：誌上发表157件、口頭発表279件、その他25件

熱流体システムグループ

(Thermofluid System Group)

研究グループ長：中納 暁洋

(つくば東)

概要：

持続発展可能な社会の実現、及び産業力強化に資するグリーンイノベーションの実現のため、熱工学、流体工学、燃焼工学等を駆使した省エネルギーに寄与する研究開発、及び要素技術開発を推進している。部門ポリシーステートメントにおける革新的な熱マネジメント技術、及び萌芽的な研究開発を念頭に、液体水素利用技術開発及び定置型水素システムの開発、低コスト・高効率水電解装置の開発、冷凍・空調に係る革新的要素技術開発、プラズマによる流体制御を駆使した省エネルギー技術開発、及びプラズマ支援燃焼による革新的動力機器開発等を推進している。また、民間企業との共同研究を積極的に展開して技術の橋渡しを図ると共に、研究人材・技術者の育成に貢献している。

研究テーマ：テーマ題目1

熱利用グループ

(Thermal Energy Applications Group)

研究グループ長：染矢 聡

(つくば東・西)

概要：

再生可能エネルギー、人工排熱等の未利用エネルギーの活用を促進し、高効率のエネルギー供給とエネルギー利用効率の向上を図った豊かで環境に優しい低炭素社会の実現を目指して、蓄熱、熱輸送等の要素技術

や計測制御技術、およびそれらを活用した熱利用システム、熱マネジメント技術を研究開発し、社会・産業界への橋渡しに資することをグループの目標とする。

具体的なテーマとして、固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の高度熱利用技術に関する研究、未利用熱エネルギーの革新的活用技術の研究、熱流体計測・応用システムの研究を実施する。また、未利用熱の排出と熱の需要の時間的、空間的な不一致を解消するための熱機器および熱管理技術を開発する。

研究テーマ：テーマ題目2

熱電変換グループ

(Thermoelectric Energy Conversion Group)

研究グループ長：山本 淳

(つくば中央第2)

概 要：

熱電変換は特殊な半導体や金属（熱電材料）を用いて熱エネルギーと電気エネルギーを直接変換する技術である。熱電材料に温度差を与えると起電力が発生する効果（ゼーベック効果）を用いた温度差発電応用や、逆に熱電材料に電流を流すことで生じる吸熱効果（ペルチェ効果）を用いた冷却技術・熱マネジメント技術応用が期待されている。

熱電変換においてエネルギー変換効率は、熱源の温度と熱電材料の性能に大きく依存する。またシステムの成立性は熱源や冷熱源との熱交換効率や、モジュールの設計に影響される。このため実用化のためには熱電材料から熱電モジュールの試作とその正確な性能評価、高温と低温の熱源との熱交換方法など幅広い研究開発が必要である。

当グループでは、未利用熱を効率よく電気エネルギーとして回収するための高性能熱電材料と熱電モジュールの開発を進めている。基礎物性解明と新原理を用いた革新的高性能熱電材料の開発、発電システムの経済性改善のため高効率かつ安価な元素から構成される熱電モジュールの開発、耐久性をもつ熱電モジュール構造、発電ユニット構造の開発、長時間使用したときの劣化モードの調査や加速試験の方法も含め、熱電モジュールの性能評価技術の開発を実施している。

研究テーマ：テーマ題目3

エネルギー界面技術グループ

(Energy Interface Technology Group)

研究グループ長：松田 弘文

(つくば中央第2)

概 要：

電力エネルギーの貯蔵／変換を行う二次電池デバイスは、従来の携帯機器用途から、電気自動車等への搭載による運輸部門の低炭素化、定置用途による再生可能エネルギー発電電力の平準化等による電力エネルギ

ー利用の高効率化にむけ利用シーンの飛躍的な拡大と、それに伴う二酸化炭素排出量の大幅な削減が期待されている。電力エネルギーの貯蔵／変換デバイスでは、材料界面を通して物質、イオン、電子を交換する物理化学現象により動作している。

エネルギー界面技術グループでは、これらの界面現象の機構解明を目的として、放射光施設による高輝度光源等を計測ツールとし、結晶構造、電子構造、電気化学的挙動、熱挙動等の解析手法を用いてアプローチするとともに、材料合成技術を駆使した新たな界面構造やナノ構造の付与により高効率な界面現象の発現を実現するナノ構造の構築と材料開発指針の獲得を目指している。

当グループの目標は、用途拡大の要請に応えるべく高容量かつ高出力特性を併せ持ち、特性劣化を克服して使用環境を選ばない、革新的な高性能二次電池の開発である。これらの研究開発を効率的かつ効果的に遂行するため、国内外の機関との連携によるオープンイノベーションと人材育成を推進している。

研究テーマ：テーマ題目4

燃料電池材料グループ

(Fuel Cell Materials Group)

研究グループ長：山地 克彦

(つくば中央第5)

概 要：

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の耐久性・信頼性の向上は、商用化・本格普及のために重要な技術課題である。当グループでは、SOFC セル・スタックの耐久性・信頼性の向上に関する研究開発を主として行っており、スタックメーカー及び大学等と協力しながら、その劣化機構解明・耐久性向上を推進している。10年（9万時間）以上の耐久性を確保するためには、微少な化学変化や不純物反応挙動を詳細に捉える必要がある。そこで、微量成分の検出感度が高い二次イオン質量分析法 (SIMS)、結晶相の微妙な変化を検知できる顕微ラマン分光法などを適用し、構成部材・材料の特定部位での変化を詳細に分析し、劣化機構を解明している。実機試料に含まれる微量成分を ppm レベルで分析し、劣化に及ぼす影響を明らかにするとともに、不純物による加速劣化試験法も検討している。また、劣化機構・反応機構をより詳細に解明するための新規分析・解析法の検討も行なっている。さらに、次世代 SOFC への適用を志向した材料基礎研究、SOFC の応用技術である固体酸化物形電解セル (SOEC) に関する基礎研究も実施している。

研究テーマ：テーマ題目5

エネルギー変換・輸送システムグループ

(Energy Conversion and Transportation System)

Group)

研究グループ長：佐藤 緑

(つくば中央第2)

概要：

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギーの導入・普及の最大限の加速と出力変動対策、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用等が求められている。

当グループでは、一次エネルギーの電力への変換技術、電力・水素など二次エネルギー間の変換技術・貯蔵・輸送技術に対し、固体酸化物形燃料電池、水素・合成ガスを生成する高温水蒸気電解セル、電力貯蔵用レドックスフロー電池等の電気化学デバイスとこれらを効率的に接続する極限パワー変換システム、超電導応用機器などの技術開発を進めている。さらに各々の過程において、省エネルギー・エネルギー有効利用の加速を目指し研究を推進し、次世代エネルギーネットワークの構築を先導していくための研究を実施している。

研究テーマ：テーマ題目6、7

ターボマシングループ

(Turbomachinery Group)

研究グループ長：壹岐 典彦

(つくば東・西)

概要：

分散エネルギーネットワークを支える重要な要素技術として (1) 各種タービンシステム、(2) デバイス・制御技術、(3) プロセス技術などの研究開発を行っている。これらの課題に取り組みながら化石資源依存度を抑制しつつ自然エネルギーを取り込んでいく最適な方法を模索している。(1) 各種タービンシステムとしては、再生可能エネルギーが大量に導入されることを想定して、その際に適したターボ機械のシステムについて研究開発に取り組んでいる。(2) デバイス・制御技術としては、ターボ機械を出口として想定して取り組んでいる。セラミック熱交換器などのエネルギーデバイスの開発やその評価技術について研究開発を進めている。流れの能動的制御に関して、誘電体バリア放電プラズマアクトチュエータ (DBD-PA) の開発を進めており、減速領域にできる剥離の抑制について研究している。更にターボ機械の漏れ流れを減らす新しいプラズマアクトチュエータを考案し、開発を進めている。(3) ターボ機械に関わる材料・プロセス技術に取り組んでおり、サスペンションプラズマ溶射技術を始め、セラミック基複合材料 (CMC) 等について研究開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目8

エンジン燃焼排気制御グループ

(Engine Combustion and Emission Control Group)

研究グループ長：小熊 光晴

(つくば東・西)

概要：

競争前領域の共通課題等、自動車業界のニーズを正確に捉え、エンジン燃焼と排出ガス浄化に関する先進技術の開発に向けた基礎的および先導的研究を行う。この延長として、当グループ並びに産総研内関連ユニットの技術ノウハウを集約・発展させ、自動車メーカーと協力してエンジンシステムの高効率化及び環境適合技術のスピードアップを図る。また、次世代エンジンシステムの実用化に資する研究開発を実施し、運輸部門の石油依存度や CO₂低減に貢献する。さらに、自動車燃料に係わる国内外標準化を継続的に推進する。

(1) 産業ニーズ対応型エンジンシステムの基盤研究

① EGR デポジット生成メカニズムの解明、② X線技法による燃料噴霧詳細解析、③ 排出ガス浄化システムの動作および劣化挙動予測技術の研究開発、④ 触媒の貴金属使用量大幅低減化に関する研究、(2) 次世代エンジンの実用化に資する研究開発、① 高性能ジメチルエーテル (DME) 自動車、② 革新的噴霧・着火・燃焼技術、(3) 自動車燃料の標準化研究開発 ① バイオ燃料 (バイオエタノール、バイオディーゼル燃料) の国内外標準化、② DME 燃料の国内外標準化。

研究テーマ：テーマ題目9

次世代自動車エンジン研究ラボ

(Collaborative Engine Research Laboratory for Next Generation Vehicles)

研究ラボ長：小熊 光晴

(つくば東・西・つくば中央第3・中央第5)

概要：

自動車用エンジンは、燃料、燃焼、動力の発生、気体の流動、排気ガスの処理、温度・濃度の計測、全体システムの制御といった多岐にわたる分野が集積したシステムである。当研究ラボは、自動車技術に関する競争前領域の研究課題に対し、オール産総研として英知を結集して積極的に取り組み、日本の産業競争力強化に貢献する。具体的には、国内自動車メーカーが直面している「競争前領域」の「共通課題」について、産総研の技術ノウハウを集約・発展させて解決を目指し、自動車メーカーと協力してエンジンシステムの環境適合技術のスピードアップを図る。また、自動車燃料に係わる国内外標準化を継続的に推進する。これらを通じ、技術者の育成に貢献し、エンジンシステム研究に関するイノベーションハブとして機能することを目指す。

エネルギーナノ工学研究ラボ

(Energy NanoEngineering Research Laboratory)

研究ラボ長：丸山 茂夫

(つくば東・つくば中央第2)

概要：

第4期の産総研の取組みとして、企業への橋渡しの実現が強く求められている一方、企業への橋渡しを継続的に実施するためには、常に新しいアイデアを生み出し、アカデミックな視点からも光る基礎研究の推進に十分な力を注ぐ必要がある。東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻の丸山茂夫教授を産総研クロスアポイントメントフェローとして招聘するにあたり、新たな研究の場を醸成するためのエネルギーナノ工学ラボを東京大学と共同で設立した。

本研究ラボでは、若手人材育成を重要課題として取り組むとともに、領域内外の他部門や他センター、外部機関との連携も図る。研究課題としては、単層カーボンナノチューブ薄膜などのナノ材料創成技術によって、ナノチューブ薄膜を正極透明電極かつホール輸送層としたペロブスカイト型太陽電池や有機薄膜太陽電池などの開発を実施している。また、ナノ材料合成技術と微細加工による表面創製技術、熱電発電技術、マイクロ流動可視化技術、マイクロ結晶制御技術を融合することで、革新的なエネルギーデバイスの技術領域を確立する。

固体酸化物エネルギー変換先端技術ラボ

(Advanced Technology Laboratory for Solid-State Energy Conversion)

研究ラボ長：堀田 照久

(つくば中央第2、第5、つくば西、中部センター)

概要：

化学・熱・電気エネルギーを高効率にフレキシブルに変換できる電気化学デバイスとして、イオンを透過させる固体電解質を使った固体酸化物形燃料電池(SOFC)や高温水蒸気電解(SOEC)があげられる。本ラボでは、このような固体電解質を使った革新的な電気化学デバイスを創製する研究開発を推進するため、領域や部門の垣根を超えて、つくばセンターと中部センターの研究者をバーチャルに結集させて課題解決に取り組んでいる。企業10社以上と産総研とで設立した、「固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム(ASEC)」において、中心的に研究活動をおこなっており、従来のSOFCより10倍高い発電出力や電極反応速度を目指す部材・材料開発を行っている。また、ASECコンソーシアムでの技術開発より広範囲な、萌芽的・革新的な研究にも取り組んでおり、将来の当該技術の普及・拡大のための重要研究を推進している。

[テーマ題目1] 熱流体システムに関する研究

[研究代表者] 中納 暁洋(熱流体システムグループ)

[研究担当者] 中納 暁洋、伊藤 博、稲田 孝明、瀬川 武彦、高橋 栄一、侯 博、Bhogilla Satya Sekhar、小山 寿恵、湯木 泰親、広津 敏博、富田 博之、中川 慶一、宮崎 尚貴、野尻 聖人、菊池 昂、池本 崇記、坂本 隼、吉川 亮、倉持 晃、大橋 俊之、塩澤 晴彦(常勤職員5名、他16名)

[研究内容]

液体水素利用技術開発では民間企業との共同研究「船用液体水素温度センサーの開発」を推進し、液化水素運搬船用温度計測システムの実用化に目途を立てることができた。これに関し、液体水素試験評価装置の高度化・高性能化を図るため、地域センターからの研究提案公募「耐圧液体水素試験評価装置の研究開発」を推進し、液体水素貯槽の運用環境が再現できる耐圧液体水素クライオスタートの設計・製作を進めると共に、高圧ガス製造施設等許可を得て耐圧液体水素試験評価装置を完成させた。定置型水素システムの開発に関しては統合型水素エネルギー利用システムに関するこれまでの成果をまとめ国際誌上等において研究発表を行った。

低コスト・高効率水電解装置の開発では部門イノベーション推進課題として「アニオン交換膜を用いた水電解装置の開発」を進めた。具体的には、安定構造を有する電極触媒層の開発に取り組み、従来よりも安定構造を有しかつ電解性能に優れた電極層を実現した。更に、外部資金研究「燃料電池内水分バランスの最適化(F011)」を遂行し、固体高分子形燃料電池用の自己支持型マイクロポーラス層(MPL)を開発した。これを組み込んだ燃料電池の評価試験から、MPLがセル内水分移動に果たす役割を明確化することができた。また水素循環ループを有する評価試験層装置導入に向けた準備を行った。

冷凍・空調に係る革新的要素技術開発では「不凍タンパク質を利用した熱利用技術」に取り組み、氷核活性抑制効果を持つ不凍タンパク質代替物質が、赤血球細胞の凍結保存に有効なことを実証した。外部資金研究の「氷核不活性化による疎水性固体表面の創出(M025)」では、アルミニウム平板に合成高分子を作用させた疎水性固体表面の作成を試み、合成高分子を作用させる際の濃度や時間をパラメータとして表面の氷核活性の測定を行った。また、疎水性固体表面の作成に有効と考えられる界面活性剤について、吸着特性から氷核活性抑制効果を考察した。共同研究「定置網漁獲物のシームレスなスーパーチリング高鮮度流通体系の構築・実証と各種漁業への展開(I003)」では、スラリーアイスによる漁獲物冷却過程のモデル化を行い、簡易な数値計算によって冷却の律速過程を明確化した。また、スラリーアイス中の氷の粒径変化を観察・測定する手法を確立した。

プラズマによる流体制御技術開発ではターボマシングループと連携し、「リング型プラズマアクチュエータを用いたタービン翼列先端流れの能動制御」を実施した。小型風洞では流れ流れ2次元モデル、環状タービン翼列風洞では流れ流れ3次元モデルを構築し、リング型プラズマアクチュエータの配置場所やタービン先端形状の違いが流れ流れに与える影響を、粒子画像流速測定法（PIV）を用いた空間速度分布解析により明らかにした。

プラズマ支援燃焼による革新的燃焼技術開発では外部資金研究「誘電体バリア放電を用いた予混合気の燃焼促進法の開発」を遂行し、急速圧縮膨張装置の燃焼室内にエンジンを模擬した流動を形成し、流動下におけるノルマルヘプタンと空気の予混合気に対して、誘電体バリア放電による燃焼速度の増大効果を示した。並びに所内萌芽研究としてバーナー火炎に対するバリア放電による熱発生率の変調効果についての研究に取り組み、その結果として火炎形状の変化を確認することができた。また、民間企業との共同研究「高温高圧場におけるプラズマ誘起流動に関する研究」を実施し、エンジンを想定した環境における実験において研究成果を挙げ技術の橋渡しに貢献した。共同研究「レーザーブレイクダウン支援スパーク放電点火法の開発」では近年の高流動エンジンに対応した実験としてアクリル流路に高速空気流を形成し、その中で放電を形成する装置を製作した。本手法を用いることによって従来のスパークプラグを用いた場合よりも長い放電路を長時間にわたって維持できることを示した。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】省エネルギー、水素、水電解、燃料電池、プラズマ、流体制御、燃焼制御

【テーマ題目2】非接触先端熱流動計測による未利用熱利用促進と熱管理技術に関する研究

【研究代表者】染矢 聡（熱利用グループ）

【研究担当者】平野 聡、遠藤 尚樹、上山 慎也、
染矢 聡、馬場 宗明、畑澤 奈緒美、
青山 覚子、坂田 藍美
（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

エネルギー機器、熱機器の現在以上の総合効率向上は容易ではなく、高度な熱利用技術開発のためには、これまで以上の詳細な計測評価技術とシステム内における熱流動現象の理解が必要である。例えば燃焼器内の高温のガスの温度分布を評価することで、従来以上の高効率燃焼器の開発を推進できる。

そこで感温性の燐光物質をトレーサー粒子として流れに添加し、その移動量から速度分布を、燐光の感温特性から温度分布を二次元計測する非接触熱流動計測技術を提案し、開発した。この方法は任意の作動流体に適用可能である。また、燐光トレーサー粒子は無機粒子である

ため耐熱性が高く広い温度範囲に適用できる。微小な燐光トレーサー粒子の熱応答性は高く、10 kHz以上の速度での温度計測も可能である。また、同様の原理を用いて高温の熱システムの表面温度を高速で二次元計測することや、酸素濃度の分布を可視化計測することも可能であり、広範な熱流体システムを対象とした計測技術の高度化や各種応用システムの評価に活用できる。

平成28年度は、複数の無機燐光粒子について、発光スペクトル、寿命と温度との関係性を評価し、複数の素材で1240℃まで、温度に依存して発光特性が変化することを見出した。これらのうち青～緑色で明るく発光する無機燐光粒子を用いて、空間中の温度分布を可視化計測できるシステムを開発した。また、ヒーター出口で1000℃、観察部において850℃の空気噴流が低温の固体表面に触れる衝突噴流流れの可視化計測を行い、計測システムの性能を評価した。時間分解能6 μs、空間分解能30 μmの性能を達成した。

また、潜熱蓄熱に利用可能な相変化物質（PCM）の結晶成長挙動と潜熱量とを同時に可視化計測できる可視化示差走査熱量計を開発した。脂肪酸単物質の他、これらの混合PCMを対象として、融解・凝固時の相変化挙動を可視化するとともに、熱量計測を実施し、開発したシステムの性能を評価した。0.1～0.2℃の誤差で融点を評価できた。また、潜熱量については概ね5～8%未満の誤差でこれを測定できることを示した。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】未利用熱、熱利用、非接触先端熱流動計測、蓄熱、熱輸送

【テーマ題目3】熱電変換技術に関する研究

【研究代表者】山本 淳（熱電変換グループ）

【研究担当者】山本 淳、李 哲虎、太田 道広、
藤井 孝博、村田 正行、
Jood Priyanka、國井 勝、西当 弘隆、
藤本 直子、長瀬 和夫、高 鴻、
相原 誠、島田 和江、木方 邦宏、
高島 泰子、高澤 弘幸、奥村 一郎、
青山 佳代（常勤職員6名、他12名）

【研究内容】

省エネルギー社会を実現するためには、再生可能エネルギー資源の利用促進と同時に、現在使用している化石資源のエネルギー利用効率を高める必要がある。現状では、産業・民生・輸送の各セクタにおいて、化石燃料の利用の最終形態として熱エネルギーが未利用のまま環境中に放出されている。これらの未利用熱の中には自動車の排気熱や工場におけるガス炉の排気ガスのように、比較的溫度レベルの高い良質な未利用熱も含まれているため、経済的な熱エネルギー回収・発電技術の開発により、システム効率の改善、省エネ化を実現することは喫緊の課題である。また低品位排熱の賦存量も膨大であるため、

低コスト熱回収が可能であれば、省エネ効果は計り知れない。熱電変換技術は、半導体や金属からなる全固体デバイスにより小型で簡便な温度差利用発電システムを構築できる特徴的な技術であり、①使用される熱電材料の高効率化、②熱電モジュールの高効率化、③低コスト化、④長寿命化など幾つかの課題を解決することで省エネに貢献する技術となる。利用温度範囲は室温近傍の比較的低温の排熱から1000℃以上の高温まで同一の原理で発電を行うことができることも熱電変換技術の特徴であり、環境発電技術、再生可能熱エネルギーを利用した発電技術としても発展が期待されている。このため、上記①～④の研究課題について研究を推進した。

熱電材料の高性能化においては、ナノ構造の導入による熱電物性制御の原理検証の1つとして、Bi をナノ細線化し、ホール係数などの物性値決定の方法を確立し、電気物性が細線直径に依存し変化する原因を解明した。また硫化銅鉱物の組成を最適化し、毒性の懸念のない p 型新材料を開発し性能の向上に成功した他、ヒ素系 Zintl122相という新物質群においても p 型高性能材料を発見した。材料やデバイスの耐久性評価手法についても新しい加速試験方法を検討し、ZnSb 系材料については安定して使用可能な温度・電流範囲を決定したほか、500℃でも劣化の極めて少ない電極構造やそれを使用したモジュールの開発に成功した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 熱電変換、熱電材料、半導体工学、熱物性、材料プロセス、熱交換技術

【テーマ題目4】 二次電池の電子状態解析と次世代電池材料の開発

【研究代表者】 松田 弘文（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 松田 弘文、周 豪慎、齋藤 喜康、細野 英司、劉 銀珠、北浦 弘和、朝倉 大輔、岡垣 淳、須田山 貴亮、牧之瀬 佑旗、Li Na、Liao Kaiming、Yi Jin、Sun Yang、Guo Shaohua、Wang Yarong、河島 明美、八月朔日 美登里、鈴木 謙介、高野 玲子、林 佑樹
（常勤職員8名、他13名）

【研究内容】

持続的発展可能な省エネルギー社会の実現に向け、クリーンなエネルギーデバイスの開発と普及が必要とされている。このため、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の安価な市場導入と普及を促す車載用二次電池の開発や、再生可能エネルギー発電電力の平準化を実現す定置用二次電池の開発は必須の課題となっている。二次電池の用途拡大に伴って、高容量と安全性が低コストで両立することが求められているが、様々な電池反応により動作する二次電池は、メカニズムにおいて未解明な

部分が多いのが現状である。

二次電池の高性能化と高い安全性を実現するために、我々のグループでは、先端放射光測定技術、高度な材料合成技術、精密な電気化学評価技術、熱解析技術を用いた基礎研究活動を遂行した。また、学術的知見の獲得と橋渡し研究段階への発展を効果的かつ効率的に推進するため、内外の研究機関との分野融合的な共同研究を通じて活動を遂行した。

高容量二次電池の開発では、高い理論容量が期待されるリチウム-空気電池に注目した。現状のリチウム-空気電池では、放電電圧と充電電圧との差からなる過電圧が高く、電池部材との副反応により分解生成物を生じ、長期間のサイクル安定性や充放電効率が毀損されている。我々は、放電反応（ORR）および充電反応（OER）両面において低過電圧を実現しかつ電解液を分解しない空気極触媒の探索を進め、過電圧の低減とサイクル安定性の向上を確認した。また、高エネルギー密度と安全性を両立する全固体リチウム-空気電池の開発を進め、充電時の過電圧を低減する空気極の開発や、簡便に再現性の高い固体電解質-Li 界面を作製する手法の開発を行った。

先端放射光計測技術を用いた正極材料の電子状態評価では、光電子分光による遷移金属元素の価数の判定や、発光分光結果の理論解析を進め、遷移金属-配位子間の軌道混成と電極性能の関連性を明らかにした。

電池材料開発では、電極材料表面のコーティング技術により高度に界面制御を行い、安定な界面を形成することでリチウムイオン電池の安全性が高められることが示唆された。また、高性能なリチウムイオン電池やナトリウムイオン電池開発へ向け、高い結晶性を有し高度に制御したナノ構造材料であるメソクリスタルナノワイヤー等の作製とその合成メカニズムの解明、二次電池材料としての出力特性や充放電サイクル特性の向上を目指した。また、高分子材料の自己組織化プロセスによる構造形成、配向、界面機能の制御を通じ、リチウムイオン電池電解質の開発に取り組んだ。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 リチウムイオン電池、リチウム-空気電池、リチウムレドックスフロー電池、リチウム-硫黄電池、ナトリウムイオン電池、放射光光電子分光、放射光発光分光、ナノ構造制御材料

【テーマ題目5】 次世代 SOFC および SOFC 応用技術に関する基礎研究

【研究代表者】 山地 克彦（燃料電池材料グループ）

【研究担当者】 山地 克彦、岸本 治夫、Katherine Bagarinao、堀田 照久、石山 智大、熱海 良輔
（常勤職員5名、他1名）

[研究内容]

我々のグループでは、次世代 SOFC への適用を志向した材料基礎研究及び SOFC の応用技術である SOEC に関する研究を実施している。

次世代 SOFC のための材料基礎研究において、空気極材料の高性能化およびプロトン導電性ガラスを用いた中温作動燃料電池の研究開発を主に実施している。空気極材料の高性能化について、パルスレーザー堆積法 (PLD) によりナノ柱状構造を有する電極を作成、その効果の検証を進めた。PLD 用ターゲット作成条件の違いが PLD 成膜された電極微構造に与える影響、集電方法によって性能が大きく影響することなどが明らかとなった。プロトン導電性ガラスを用いた中温作動燃料電池の研究開発については、リン酸塩ガラス電解質用の電極特性解析装置の構築を進めた。本年度は、ガラス作製用電気炉とその周辺機器、アルカリープロトン置換によるプロトン注入装置などを設計・導入し、研究室内で作製から評価まで行うための体制を構築した。作成したガラス材料について、水素ポンプ試験で通電に輸送される導電種がプロトンのみであることを確認、加湿なしの水素中で使用可能な材料としての可能性を確認した。

SOEC に関する研究においては、CO₂ と H₂O の共電解後のガスによるメタン合成を検討した。特に、メタン合成時の逆シフト反応に対する電気化学的な触媒反応促進効果を検討した。負極側過電圧の上昇に対応して、逆シフトの反応速度が上昇した。これを吸着モデルによって速度論解析をおこなったところ、逆シフト反応に対する非ファラデー電気化学的触媒活性 (NEMCA) 効果が影響する反応過程であることを見出した。Langmuir 型吸着過程を仮定した速度論パラメーターを用いて、実際の反応速度を精度よく表現できることが分かった。電解セルの試験前後のサンプルにおいて、SIMS 分析を行った結果、800 °C 100時間運転したセルでは、使用前のセルと比較して、正極側では Ca 成分、負極側では C や Cl の濃度が上昇していた。これらはシールに用いたセラミック材等の影響と思われる、SOEC モードでの過電圧上昇の主要因であると考察された。他方、SOFC モードにおいて劣化の要因となる正極側での S や Cr、負極側での S や P の増加は確認されなかった。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] 燃料電池、固体酸化物形燃料電池 (SOFC)、固体酸化物形電解セル (SOEC)、プロトン導電性ガラス

[テーマ題目6] エネルギー変換・輸送システムの研究開発

[研究代表者] 佐藤 縁

[研究担当者] 嘉藤 徹、西澤伸一、古瀬 充穂、
田中 洋平、淵野 修一郎、
成田 あゆみ、門馬 昭彦、根岸 明、

岡野 眞、金子 祐司、八月朔日 英二、
飯村 葉子、吉原 美紀、齊藤 恵美子、
寺山 健、吉岡 あゆみ
(常勤職員5名、他12名)

[研究内容]

50-800 °C で水蒸気、二酸化炭素を電解し合成ガスを生成する高温共電解用の円筒形電解セルの試作研究では、水蒸気・二酸化炭素の利用率が70~80 %程度での性能を把握した。特に600~700 °Cでの電解性能に注目し運転温度の低温化の可能性を検討した。

供給ガス組成 H₂O 68 %、CO₂ 22 %、H₂ 10 % (H₂/C = 3.5) の条件下で試作円筒形セルの電解特性を図 A3-1 に示す。運転温度600 °Cでは1.36 V で0.175 A/cm² (水蒸気・二酸化炭素利用率70 %)、650 °Cでは1.34 V で0.3 A/cm² (利用率70 %) を得ることができた。

また更なる動作温度の低温化を図るため BaZr_{1-x}Y_xO₃ (BZY) を利用した電解セルの検討を開始した。BZY は500 °C程度の低温で優れた性能を有すること、二酸化炭素、水蒸気に対する耐久性を有することなどが報告されているが、クエン酸法などによる粉体合成温度が1,100 °C以上、緻密な電解質膜を得るための焼結温度は1,600 °C程度と高く、他の SOFC 構成材料と製造時の収縮挙動を合わせることが難しい、焼結時に電極支持体などと反応してしまう、あるいは支持体構成元素が BZY 中への拡散してしまうなどの問題点がある。そこで本研究では電解質膜の焼結温度の低温化と焼結挙動の調整を柔軟にすることを目的として今年度は凍結乾燥法による BZY 粉体合成温度の低温化の検討を行った。

Ba(NO₃)₂、ZrO(NO₃)₂nH₂O、Y(NO₃)₃ nH₂O を原料としてこの報告例を参考にしつつ、高温反応雰囲気をより簡易な条件に変え BZYO 粉体を試作した。最初に示差熱天秤 (TG/DTA) 等により水和数 n を決定し、原料溶液を作成した。作成された溶液は液体窒素で急速凍結された後に -40 °C、1 Pa 程度で水分を昇華し無水物とし600~1000 °Cで反応させた。

その結果、800 °C以上で BZY の結晶構造が得られることが判明した。また、組成についても当初 Ba 成分が過剰となる傾向があったが、液体窒素での冷却条件の改善等により目標組成に対し例えば BaZr_{0.8}Y_{0.2}O₃ を合成できることが判明し、粉体合成温度を従来より300 °C程度低減することができた。

固体酸化物形燃料電池 (SOFC) の研究では出力密度の向上、動作温度の低温化を目指し、BZYO、LaSrGaO₃などの難焼結性高イオン導電性材料に対し RF スパッタリングによる成膜温度の低温化を試み、薄膜化による SOFC の高出力密度化を目指した。BZYO に対し、基板温度、成膜雰囲気を制御し MgO あるいは NiO-YSZ 基板上に緻密 BZYO 膜が得ることができた。しかしながら試作膜の組成は目標組成に対し、数%Ba

成分が少なくなっているため、今後はスパッタターゲット材の組成調整などにより組成の制御を試みるとともに、作成した膜の特性評価を進める。

レドックスフロー電池の研究に関しては、これまでの金属イオンを用いる従来のもののほか、新規に有機物を活物質とする有機レドックスフロー電池の研究にも着手し、情報収集、調査等を主に行った。

極限パワー半導体技術に関しては、平成28年度はシリコンウェハ材料特性、デバイスプロセス条件、デバイス構造を相互に関連付けて見直し、Si-IGBT において、従来技術に対して性能倍増（電流密度倍増）を実証した。受動部品に関しては、パワー変換システムの小型・高パワー密度化の障害となっている受動部品、特にキャパシターに関して稼働状態での信頼評価技術開発に着手した。なおシリコン系パワー半導体および周辺技術の研究開発に関しては、産総研では平成28年度2月をもってすべて終了とする判断が下された。

超電導応用機器に関しては、既存の各種超電導線材を利用した省エネルギー機器の実用化にむけ、主にコイル化技術と冷却技術の研究開発を実施している。次世代エネルギーネットワークにおいて高効率電力輸送を担うことが期待される高温超電導送電ケーブルの冷却技術開発、輸送分野の低炭素化に資する車載用超電導モータのコイル技術開発、高温超電導体を利用した省エネルギー電気機器の実用化を加速する超電導接続技術開発については、JST および NEDO のプロジェクトの一環として実施している（平成28年度の研究成果は各項に詳述）。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 固体酸化物形燃料電池（SOFC）、固体酸化物形電解セル（SOEC）、蒸気・二酸化炭素共電解、メタン合成、極限パワー半導体、GaN デバイス、GaN-CMOS、超電導、極低温、強磁界、送電ケーブル、回転機

【テーマ題目 7】 高温超電導応用技術の研究開発

【研究代表者】 竹村 文男

【研究担当者】 古瀬 充穂、和泉 輝郎、
淵野 修一郎、中岡 晃一、町 敬人
（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

常電導機器に比べて低損失かつ軽量・小型化が期待できる希土類系高温超電導機器を実現するためには、高性能かつ低コストな線材の開発が必要である。本テーマでは、本質的に低コストが期待できる有機酸塩堆積（MOD）法により超電導層を形成する手法において高性能化、長尺化の技術開発を行っている。平成28年度は、極薄塗布 MOD 法において、一回塗布膜厚の薄層化による BaZrO₃人工ピンの微細化の効果として、同法による線材が広い磁場、温度範囲で従来手法による膜に比

べて高い臨界電流密度特性を示す事を示す事を確認した。また、仮焼膜内の組成分布に基づいて、同法による人工ピン粒子の微細化機構を明らかにした。更に、連続塗布・焼成プロセスを用いて極薄塗布法による長尺化への基盤技術の開発を行った。

また、高温超電導線材技術の進展を受け、これを利用した電気機器の開発を実施している。高温超電導マグネットによる大空間への強磁界の発生は、省エネルギーや新たな産業創出につながるシーズ技術であり、高エネルギー理化学分野だけでなく、産業分野からの様々なニーズに応える超電導機器の提案と開発を行っている。平成28年度は、液体ヘリウム等の冷媒を使用しない高温超電導マグネットについて、冷凍機直接冷却方式に関する設計・製作技術の開発を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高温超電導、極低温、強磁界、送電ケーブル、回転機、超電導線材、磁場中臨界電流密度

【テーマ題目8】 ターボマシンに関する研究

【研究代表者】 壹岐 典彦（ターボマシングループ）

【研究担当者】 壹岐 典彦、村上 顯、阿部 裕幸、
倉田 修、松沼 孝幸、井上 貴博、
井村 公二、岡田 孝、小椋 友加、
片岡 照貴、小宮 孝司、矢作 誠治、
大橋 俊之、小田 幸弘
（常勤職員6名、他8名）

【研究内容】

化石資源依存度を抑制しつつ自然エネルギーを取り込んでいくため、ターボ機械に関連する技術開発を行っている。発電用ガスタービンは電力系統に追従して発電を行うことができるバックアップ電源としての役割が認められているが、再生可能エネルギー大量導入時代においては、電力需要に応じた発電を行うことが困難な太陽光発電設備や風力発電設備の発電量の割合が増加し、バックアップ電源の役割の重要性が増すものとして、負荷変動対応型先進ガスタービン発電設備の研究開発計画の検討を進めている。電力の需給ギャップに対して電力系統を安定化する様々なシステムについて負荷変動を吸収する能力を調査・検討し、負荷変動対応型先進発電設備の研究開発計画を実効性のあるものにするを旨とした。また、アンモニア内燃機関の技術開発の課題において、福島再生可能エネルギー研究所でアンモニア直接燃焼ガスタービンの実証試験を進めているが、その研究開発にも協力を行っている。

ターボ機械に適用する流体制御技術として、プラズマアクチュエーターの研究開発に取り組んでいる。リング型プラズマアクチュエーターを用いてタービン翼列のチップクリアランスからの流れを抑制するために、チップクリアランスを有する平板での基礎実験を行ってお

り、平板の先端エッジ部分の形状の影響を調べた。チップクリアランスや流れの流速を設定して、印加電圧と周波数を変化させた場合の漏れ流れ抑制効果を調べるとともに、V-Qリサーチ法を用いた消費電力の評価も実施した。またセラミック製のプラズマアクチュエータを用いて漏れ流れの抑制効果を検証した。

流体制御デバイスの開発において、非接触吸着技術を用いた搬送技術の改良を進めた。また、小型無人機利用による環境観測手法を目的として、無人飛行体の空力技術についても研究を開始し、プロペラ設計手法について検討を進め、目的別に試作プロペラについて性能比較を行った。

材料・プロセス技術としては、セラミック熱交換器の熱交換部のために、高温域において、高い熱伝導率と信頼性を両立させるセラミック基複合材料の製造技術に取り組んだ。セラミック材料特有の脆性破壊を薄層の積層によって回避する構造とした複合材料の開発を進めた。

サスペンションプラズマ溶射法 (SPS 法) は、溶射のパラメータを適切に選択することにより、粒子径および気孔率の幅広い制御が可能で、緻密な構造と多孔質の構造を作り分ける技術が可能である。そのサスペンションの微粒化過程について基礎的研究として、水-ジルコニア懸濁液、エタノール-ジルコニア懸濁液の噴霧について微粒化用ガスをアルゴンとした場合について試験を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ガスタービン、プラズマアクチュエータ、空気力学、流体力学、セラミック複合材、セラミックコーティング

【テーマ題目9】 産業ニーズ対応型エンジンシステムの基盤研究

【研究代表者】 小熊 光晴

(エンジン燃焼排気制御グループ)

【研究担当者】 小熊 光晴、小渕 存、内澤 潤子、佐々木 基、文 石洙、Weidi Huang、全 知娟、武田 好央、李 天云、日暮 一昭、松野 真由美、貝塚 昌芳、阿部 容子、森井 奈保子、塚崎 好子、林 由起子、飯島 広子、佐々木 利幸、小野 哲也、松丸 陽子、廣木 一輝、長谷部 奨、君山 尚吾、花房 裕槻、管原 明希、山本 明日香

(常勤職員5名、他21名)

【研究内容】

自動車業界のニーズを正確に捉え、エンジン燃焼と排出ガス浄化に関する先進技術の開発に向けた基礎的および先導的研究を行う。平成28年度における主な実施内容は以下の通りである。

自動車用内燃機関技術研究組合 (AICE) で行ってい

るディーゼル後処理技術に関する研究テーマの一つとして、エンジン排気の一部を吸気に戻し燃焼温度を低下させ窒素酸化物の生成を抑制するエンジンシステム (排気再循環 (EGR) システム) に発生するデポジットの生成メカニズム解明研究を行っている。平成28年度は、デポジット生成メカニズムを定性的に明確にし、ガス成分が壁面材質に吸着しない高温場では活性サイトの反応場が形成できず、熱泳動による soot の壁面付着のみが起こること、場の温度が低下し強極性成分 (酸など) が壁面材質に吸着すると、触媒層や酸化剤層ができ反応場が形成されること、より場の温度が低温側になると凝縮水が発生し、凝縮水へのガス成分の溶解と水分蒸発による成分の濃縮が起こり、反応場形成を加速すること、反応場が形成されると、CVD 重合反応やフェノールに代表される縮合重合反応等による高分子化で高温ラッカーとして壁面上で硬質デポジットが成長することなどを明らかにした。

同じく AICE で行っているディーゼル後処理技術に関する研究テーマのひとつとして、前年度に引き続き、ディーゼルパーティキュレートフィルタ (DPF) 再生における前段酸化触媒 (DOC) の挙動予測に関する研究を行った。昨年度構築したラボ実験に適した希釈反応システムを用いて、モデル酸化触媒について、プロピレン、デカン、セタン、エイコサン、1-メチルナフタレン各単成分の総括反応速度式と反応定数を実験的に取得した。同様の手法で、これらを組み合わせた4成分サロゲート燃料および軽油の総括反応速度式とパラメータ値も取得した。一方、平衡脱着法により、セタンについて窒素ガス中での触媒への吸着の平衡式を取得するとともに、シミュレーションに使用可能な脱着速度式への変換を行った。得られた反応および吸着の反応式を市販のシミュレーションソフト (Axisuite) に入力して実スケール DOC の挙動をシミュレーションし、実験結果と比較した。その結果、高温での定常活性や着火 (light-off) 温度付近での初期活性については概ね実験とシミュレーションの挙動が一致した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 エンジン、ディーゼル、自動車、燃焼、燃料、噴射、噴霧、排ガス浄化、酸化触媒、反応速度、省エネルギー、燃費、EGR、デポジット

⑤【環境管理研究部門】

(Environmental Management Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：田中 幹也

副研究部門長：尾形 敦

総括研究主幹：鳥村 政基、大木 達也

所在地：つくば西

人員：53名（53名）

経費：586,840千円（281,762千円）

概要：

1. 部門のミッション

環境管理研究部門では、大切な資源を有効に活用するための物質循環技術、産業起源の環境負荷の管理・低減に関する科学技術研究開発を行ない、環境技術産業の振興・創出を図るとともに環境関連政策の立案・実効に寄与することで持続可能な社会の構築に貢献することをミッションとする。

2. 研究開発の方針

中長期目標である「レアメタル等の資源循環を進める技術の開発」に対応した中長期計画として、「環境の変化を検出するための分析・モニタリング技術を開発するとともに、環境負荷を低減するための水処理監視・制御技術や都市鉱山技術によるレアメタルリサイクル等、資源循環等対策技術の開発を行う。」が掲げられている。これを達成するために、水処理に関連する分析・モニタリング技術や都市鉱山関連技術の開発に重点的に取り組む。また環境負荷低減や大気・海域における環境動態評価研究もしっかりと継続し、標準化や政策立案にも貢献しつつ、産業と密接に関連した環境管理技術の研究拠点としての地位を確立する。

3. 重点研究課題等

[重点課題1] 水処理監視・制御技術の開発

21世紀の水不足では、アジア・アフリカを中心に約10億人が安全な水を確保できないと言われており、今後の水市場拡大を見越し、国際競争が激しくなっている。我々は特にアジア地域への展開を目指す企業への技術支援を推進するべく、「水質評価技術」と「水処理技術」と「情報技術」の各分野の代表的研究者を集結し、技術融合による産総研独自のスマート水技術の開発を進めている。

具体的には、水質評価では、TOC や重金属、内分泌攪乱物質とその生物影響、微生物などを対象として、「メンテナンスフリー」、「ポータブル」、「リアルタイム」をキーワードとする技術開発を行っていく。水処理としては、MBR 関係では微生物群集の変遷、バイオフィウリングのメカニズム解析と対策技術などの基盤的研究を行う。また、光触媒や吸着剤との複合材料を利用した滅菌、医薬品や化成品等（PPCPs）の吸着分解効率の体系的評価を進めていく。

こうした技術開発に併行して、アジアへの水ビジネス展開を図る国内企業の技術サポートを行いつつ、アジア地域の国研との連携を介した現地への技術適用をはかる。一方で、国内技術の国際標準化の推進

を図るため、ISO/TC282へのデータ提供、TC147にて分析法標準化等を行い、標準化による再生水利用ビジネスの拡大を目指す。

[重点課題2] フェムトリアクター設計技術開発

液体の体積を極限まで小さくすることにより、バルクでは達成できない化学反応や化学プロセスの制御が期待できる。本課題では、気中及び液中のエレクトロスプレー法によって、試料液体を直径マイクロメーターサイズ（体積フェムトリットルレベル）の極微小液滴に微細化し、それらの移動を電場で制御することにより、フェムトリットルレベルの極微小液滴内で混合、分離、加熱などを可能にするフェムトリアクター技術を開発し、低環境負荷・省エネルギー化学プロセスの設計に適用することを目指す。

当部門では、気中エレクトロスプレーによる金属ナノ粒子触媒調製や、液中エレクトロスプレー法における金ナノ粒子サイズ制御を研究するとともに、他領域の研究者とも連携し本法の適用範囲拡大を目指す。

[重点課題3] 都市鉱山技術によるレアメタル等のリサイクル推進

レアメタル等の有用な材料資源の安定供給に資するため、廃電気・電子製品等の未利用資源の高度利用を実現する物理選別技術ならびに化学分離・電解採取技術等を開発する。さらに、コンソーシアムの活動を通じ、国内の静脈関連企業（リサイクル業・製錬業等）、動脈関連企業（家電製造・自動車製造業等）との連携を強化し、産総研開発の技術の普及や動静脈産業が一体となった戦略的都市鉱山の展開を図り、物質循環型社会の構築を目指す。

内部資金：

標準基盤研究

「水試料中ペルフルオロアルキル化合物（PFASs）分析法に関する国際標準規格化」

外部資金：

経済産業省 平成28年度試験研究調査委託費

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

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

国立大学法人東京工業大学 原子カシステム研究開発事業

「白金族元素個別分離のための抽出分離系の選定、アミド抽出剤を用いた白金族元素の個別分離試験」

国土交通省国土技術政策総合研究所

「下水汚泥の熱分解高純度水素製造プロセス技術に関する

る研究」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

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

「エネルギー・環境新技術先導プログラム/動静脈産業連携による循環制御型資源再生技術-情報技術を活用したレアメタル等金属を高効率にリサイクルする革新プロセスの開発-」

「ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト/クリーン・コール・テクノロジー推進事業/コールバンクの拡充」

国立研究開発法人科学技術振興機構

研究成果開発事業【研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)】

「エレクトロスプレー繊維加工技術の開発」

戦略的創造研究推進事業 (CREST)

「時間分解スペクトル法を用いた CO₂還元光触媒反応の機構解明」

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

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

「平成28年度銅原料中の不純物低減技術に関する基礎研究/化学的手法によるヒ素分離回収の高度化に関する基礎的検討」

「平成28年度銅原料中の不純物低減技術に関する基礎研究/銅精鉱から含ヒ素鉱物除去を目指した微粒子選別技術の基礎的検討」

「平成28年度銅原料中の不純物低減技術に関する基礎研究/各種銅鉱物の識別を可能とする単体分離の詳細評価手法の検討」

「平成28年度海底熱水鉱床採鉱技術開発等調査に係る選鉱・製錬技術調査研究 (選鉱基礎試験)」

静岡県 静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業

「最先端遺伝子情報解析技術の活用による環境保全・地域資源循環型の有機農産物安定生産システムの開発」

日本酸化チタン工業会

「酸化チタン鉱滓 (中和滓) を用いたアマモ場創生技術に関する研究」

文部科学省 科学研究費補助金

「第三の極における強太陽光照射が有害物質長距離輸送に与える影響評価研究」

「大気中アルゴン濃度の超高精度観測に基づく気候システム温暖化のモニタリング」

「レーザー3D形状解析によるソーティングシステムの高度化」

「高感度同位体追跡と分離培養で拓く地下圏炭素・エネルギー動態の基軸をなす新生物機能」

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

「質量分析法及び関連技術を用いた機能性ポリマー材料の劣化解析」

「ネットワークポリマーの可溶化反応の動力学検討」

「有機分子立体配座コードプログラムの開発」

「海洋有機物における糖ペプチドの構造解明および炭素循環に果たす役割の評価」

「再生水中の生理活性物質による潜在的健康リスクの発色評価」

「環境浄化と微生物代謝学の再考: シンプルな代謝設計で CO₂からの有価物生産に挑む」

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

「白金族元素吸着ポリマーの特性の解明及び高レベル廃液からの分離回収への適用研究」

「発光性細胞株アレイを用いた高速 PM_{2.5}評価系の構築」

「協同効果を利用した新規ロジウム抽出系開発及びそのメカニズム解析」

「都市域の猛暑の発生に及ぼす風上地面状態の影響評価」

「発光性細胞株アレイを用いた校則 PM_{2.5}評価系の構築 (国際共同研究強化)」

「ゲル内での層状複水酸化物合成による新規アニオン吸着材の開発」

「単一生細胞での細胞内遺伝子センシング技術の開発とチップデバイス化」

「水処理膜の完全性を脅かすバイオフィルムのリアルタイムイメージング」

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

「高圧ジェット装置を用いた活性汚泥減量化機構の解明」

「氷成長抑制ポリペプチドと温度応答性物質を用いた水・氷・霜の付着しない機能面の研究」

「タイ低地熱帯季節林の森林タイプの成立要因と降水量シフトによる森林機能への影響評価」

「西太平洋~インド洋海域洋上エアロゾルの光学特性と変質」

「海洋微細藻類からのエネルギー回収を目指した太陽光利用型光触媒システムに関する研究」

「マイクロ RNA の量的・質的変動を解析するシステムの構築」

「ヒ素可溶化細菌群とヒ素高蓄積植物を用いたハイブリッド土壌浄化システムの開発」

「都市気候と空調エネルギー需要の相互作用感度 (PFB 感度) の定量化とその国際比較」

「熱帯乾燥季節林の水分ストレスと火災が炭素循環に与える影響評価と森林再生への対策」

「多色変化型当センサーアレイの高機能化と多検体同時検出システムへの展開」

「火山・地熱由来水銀の放出量及び拡散量の推計を目的とした安価な長期観測手法の開発」

「英国における海洋漏出 CO₂の環境影響評価のための実海域実験」

経済産業省 平成27年戦略的基盤技術高度化支援事業 (機関補助金)

「樹脂/金属接着技術を用いた大気中全マトリクス捕集装置の開発」

環境省 平成28年度環境研究総合推進費補助金

「硝酸性窒素等の有害物を排出しない白金族リサイクルプロセスの開発」

公益財団法人 LIXIL 住生活財団 平成27年度調査研究助成

「ロボット型クリーナーを活用した屋内環境ロケーションシステムの開発」

公益財団法人鉄鋼環境基金 2016年度環境助成 (一般研究助成)

「マイクロバブルとアルカリ水による代替フロン省エネルギー処理システムの開発」

「水処理膜ファウリング迅速検知システムの開発」

発 表：誌上発表127件、口頭発表300件、その他26件

資源選別プロセス研究グループ

(Resources Separation Process Research Group)

研究グループ長：古屋伸 茂樹

(つくば西)

概 要：

資源選別プロセス研究グループでは、廃製品や天然資源を対象に効率的にレアメタル等を濃縮するための技術開発を推進している。平成28年度の成果は以下の通り。ベルトコンベヤで移動する廃製品に対して、1) 深層学習に基づく画像処理により種類を識別して手作業の数倍に相当する速度 (0.5秒以内/台) で自動選別する技術、2) 表面に印字された型番等を自動認識する技術の基盤を確立した。3) 廃製品の筐体破壊技術及び部品剥離技術の開発において、遺伝的アルゴリズムに基づいた最適解析手法を開発し、実機開発に繋がる知見を得た。4) 縦カラム型空圧多段選別装置の開発において、初期モデルの約2倍にスケールアップしたモデルを製作し実用化のための知見を蓄積した。5) 走査型 LIBS ソータ用3D 位置検知システム

の開発において、複数粒子が密集して移動する条件下での位置決め精度を向上させた。6) 天然鉱石等の単体分離状態の評価の際に発生するステレオロジカルバイアス (SB) の補正技術の開発において、約3千種の粒子群の網羅的解析に基づく汎用 SB 補正モデルの構築、約150万個の粒子データの解析に基づく SB 統計誤差モデルの構築等を達成した。

研究テーマ：テーマ題目2

資源精製化学研究グループ

(Resources Refining Chemistry Research Group)

研究グループ長：成田 弘一

(つくば西)

概 要：

当グループでは、化学的手法をベースとした資源精製技術を駆使し、金属およびプラスチックに対するリサイクル率の向上及び再資源化の促進を目指している。今年度は、以下の成果を得た。1) 希土類元素の吸着分離・回収研究では、吸着反応部位を導入する高分子粒子担体について検討を行ない、合成時の希釈剤組成により担体の細孔特性を制御できることを明らかにした。2) 白金抽出分離研究では、アミド含有アミン化合物による3価白金族イオンの抽出挙動を明らかにした。3) 溶融塩と合金隔膜を用いた希土類の分離プロセスにつき、これまで課題となっていた隔膜の耐久性を大幅に向上させる手法を開発した。4) 炭素繊維強化プラスチックからの炭素繊維の回収における処理条件と回収炭素繊維の物性との関係を検討した。また、含臭素エポキシ基板の熱分解における生成物中の残留臭素濃度に対する鉄粉の添加効果を明らかにした。5) 廃棄物資源化のための前処理及び熱分解に関わる調査及び技術開発においては、20 kg/h 木質ガス化発電システムについて原料として木チップまたは木炭の供給試験を行った。また、発熱量や生成ガス温度の算出に関する理論を組み立てた。さらに、フタル酸系可塑性剤入りの医療用 PVC チューブの熱劣化処理後の破碎特性を検討した。

研究テーマ：テーマ題目2

環境計測技術研究グループ

(Environmental Measurement Technology Research Group)

研究グループ長：中里 哲也

(つくば西)

概 要：

環境リスクを評価・低減する技術の開発を達成するための環境診断技術の開発を目的とし、基盤となる分析法、センサ類の装置試作、およびデータベースの構築を実施している。平成28年度は、1) 「水処理に関する分析・モニタリング技術の開発」について、水質

管理指標である溶存酸素の蛍光式センサの特性評価と標準化（JIS）、水処理膜素材の劣化過程における化学構造変化の解明、および水質モニタリングの前処理として有機炭素化合物の無試薬光反応分解の迅速化を行った。2）「生体応答に基づく化学物質等の生体影響評価技術の開発」では、ヒト iPS 細胞由来神経幹細胞の曝露試験系構築と酸化剤等の曝露に反応するノンコーディング RNA の同定および検出法を確立した。3）「オンサイトモニタリングシステムの開発」では、水晶振動子による個人装着型水銀曝露測定器および VOC 遠隔室内監視システムを開発した。4）「創エネ・省エネ推進のための評価技術の開発」では、石炭ガス化技術開発およびその環境影響評価のため、石炭中微量元素定量法の高感度化および9石炭種の微量元素データベースを構築し、また、質量分析法による太陽光発電用高分子素材の劣化過程における化学構造解析を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

環境微生物研究グループ

(Environmental Microbiology Research Group)

研究グループ長：羽部 浩

(つくば西)

概要：

「資源循環を進める技術開発」を推進するために、(1) 水環境保全及び廃棄物低減に貢献する水処理再生技術の開発、(2) 生物機能の解明並びに高度な解析技術に裏打ちされた基礎的知見の集積、(3) 新規環境対策技術の提案や各種環境汚染対策への提言を目標に活動を行った。

(1) 次亜塩素酸水溶液によるポリアクリロニトリル膜洗浄能を評価するために、人工下水を処理する MBR から採取された閉塞膜を0.1 %、0.5 %の次亜塩素酸水溶液による5分、10分、30分間の洗浄に供した。膜表面の有機物組成を ATR-FT-IR により直接追跡するとともに、微生物群集構造を解析したところ、膜閉塞物質が0.1 %次亜塩素酸水溶液の30分間洗浄で完全に除去されたが、0.5 %次亜塩素酸水溶液による30分間の洗浄を行った後でさえも、膜に汚泥微生物が残存することが明らかとなった。膜上に残存する微生物種の多くが耐塩性や耐酸性を示す極限環境微生物群に近縁であったことから、微生物の化学物質耐性能が次亜塩素酸洗浄後の生存に寄与しており、それと同時に、これら耐性微生物が洗浄後の再利用膜の閉塞に関与する可能性も示唆された。

(2) 共焦点反射顕微鏡法を用いたバイオフィルムの非破壊での観察技術と、次世代シークエンサーを用いた微生物の大規模同定技術との組み合わせにより、水処理システムへ流入する廃水の有機物濃度が水処理膜の閉塞に与える影響を調べた。結果、廃水中の有機物

が多い場合は、バイオフィルム中での異種細菌の捕食被食関係が原因となって生じる死細胞膜脂質が水処理膜上に蓄積するという、従来提唱されていたモデルとは異なる膜閉塞発生機構の可能性を見出した。

(3) 社会ニーズ、企業ニーズに対応した環境汚染対策について、複数の企業に対し共同研究、受託研究を通して技術的な貢献を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

反応場設計研究グループ

(Reaction Field Design Research Group)

研究グループ長：脇坂 昭弘

(つくば西)

概要：

化学反応効率・選択性を極限まで高め、環境負荷物質の発生削減と分解除去効率の最大化を目指して、i) 極微小液滴反応場（フェムトリアクター）、ii) プラズマ触媒複合反応場、iii) 光化学的反応場、iv) 機能性分子反応場、v) 液中クラスター反応場に関する研究開発を行った。i) フェムトリアクターについては、エレクトロスプレー法により極微小液滴を反応場として制御し、金属ナノ粒子のサイズ制御を可能にした。ii) プラズマ触媒複合反応場については、プラズマと触媒の複合反応場での環境負荷物質の分解反応を制御する触媒表面の放電現象を計測することに成功した。iii) 光化学的反応場については、光触媒粒子の機能評価法の標準化、及び金属錯体系化合物等を光吸収体に用いた光化学反応場の最適化に関する研究を行った。iv) 機能性分子反応場については、選択的反応場に関与する光学活性分子の立体配座コード化技術を開発した。v) 液中クラスター反応場については、質量分析法で液中クラスター構造を解析し、液体のクラスターレベルの構造と液体の機能（冷却効果、抗菌効果など）との関係を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

水環境技術研究グループ

(Water Environment Technology Research Group)

研究グループ長：日比野 俊行

(つくば西)

概要：

部門の第4期中長期目標の1つである環境負荷を低減するための水処理監視・制御技術開発の一環として、当グループでは水の高度利用に係る物理化学的処理及び解析の実用に資する新規技術創出を目標としている。具体的には、(1) 吸着剤の開発・改良、(2) 有害物の分解触媒の開発・改良並びにシステム構築、(3) 水処理技術に係る現象の吸着メカニズムの分析・解析を検討する。平成28年度は、昨年度からの検討を継続して、(1) では、ゲル内での層状複水酸化物合成

による新規陰イオン吸着剤の開発を行った。また、関連した活動として、「ベトナムにおける埋め立て処分場の調査・最適処理システムの提案」を主体としたベトナム科学技術アカデミー・環境技術研究所(VAST-IET)との連携を継続し、2月にハノイにある VAST-IET において開かれたセミナーに参加して発表を行った。(2)では、ナノ材料の高機能化による吸着剤・触媒開発、光触媒の改良及びそれを用いた途上国における飲料水浄化に向けたソーラーシステム構築の検討、(3)では、難水溶性結晶表面上での水の秩序構造化及び相変化挙動の分子レベルでの検討を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

大気環境動態評価研究グループ

(Atmospheric Environment Study Group)

研究グループ長：兼保 直樹

(つくば西)

概 要：

大気環境の動態を解析し、環境の変化を検出するための分析・モニタリング技術の開発を行い、産業活動による環境影響の評価、および地球温暖化防止のための対策技術の提言に繋げることを目標に活動を行った。今年度は、国内外3箇所の落葉広葉樹林及び熱帯林において CO₂の大気との交換量や気象等の観測を継続し、エルニーニョ現象の影響を検出した。また、気候変動の要因の解析のため、海洋貯熱量変動の指標となる大気中アルゴン濃度と、発生源の情報を含む CO₂と O₂濃度の同時観測を国内外7箇所で実施した。東京都心部において人工排熱の起源別推定のための CO₂、O₂濃度と放射収支の同時観測を実施し、都市ガス・自動車起源の排熱を分離して同定した。大気中の化学物質に関して、温室効果気体であるフッ素系化学物質の除去速度に関与する加水分解反応速度定数とその温度および pH 依存性を決定、光化学大気汚染の原因ともなる森林起源イソプレンを分光学的に測定するための基盤として低温赤外スペクトルを観測し、基準振動の帰属を検討した。また、福島事故後、地表面に沈着した後に土壌粒子に収着した状態で風により再飛散した放射性セシウムの粒径依存性を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目4

海洋環境動態評価研究グループ

(Marine Environment Research Group)

研究グループ長：鈴木 昌弘

(つくば西)

概 要：

陸上での人間活動あるいは海洋を直接利用する産業および技術が、海洋環境に及ぼす影響と効果の監視・評価手法の開発を行なうとともに、その適用により産業・環境政策の策定の根拠としうる知見の提供を目標

とした活動を実施した。平成28年度は、温室効果ガス排出抑制技術として期待される二酸化炭素 (CO₂) の回収貯留 (CCS) 技術と生態系を利用した CO₂削減技術の効果と環境影響の評価に関連して、海水中の CO₂モニタリングセンサーの開発と英国における海域 CO₂放出実験の事後モニタリングに係る現地観測を実施した。合わせて大気 CO₂削減と沿岸環境浄化を目的とした沿岸海洋生態系の創生技術の評価として、産業副生物を用いたアマモ場擬似現場実験を実施した。また、人工有機汚染物質 (POPs) を化学トレーサーとして地球規模環境変動・長距離輸送現象を解析する研究の一環として、中東・インド・中国から日本までのアジアベルト地帯での国際共同研究体制を確立し、中国・インド研究機関と共同研究協定を確立、北京において8カ国の参加するキックオフ国際研究集会を開催、五年間にわたるモニタリング研究を開始した。また米国において最新の分析技術である TOF×TOF を用いた PFASs 光分解産物の同定試験を行い、ストックホルム条約対応への知見蓄積を行った。

研究テーマ：テーマ題目4

[テーマ題目1] 水処理監視・制御技術の開発

[研究代表者] 尾形 敦

[研究担当者] 尾形 敦、鳥村 政基、中里 哲也、佐藤 浩昭、羽部 浩、飯村 洋介、愛澤 秀信、堀 知行、佐藤 由也、稲葉 知大、日比野 俊行、清野 文雄、根岸 信彰、王 正明、菅澤 正己、灘 浩樹、Fouquet Thierry、大塚 耕治、川岸 恭司、青柳 智、柳澤 真紀、萱嶋 由美子、鈴木 貴子、菅野 裕子、松本 晶子、清水 美春、高橋 信行、平野 翔一郎、直井 誠之、大宮 大輔、加藤 薫、呉 浩怡、伍 曉麗、青島 政之
(常勤職員16名、他18名)

[研究内容]

環境リスクを評価低減する技術開発を目指し、1) 水質分析・評価技術、2) 微生物を用いた水質浄化技術、3) 物理化学的手法を用いた水質浄化技術に取り組んだ。また、4) アジアにおける水環境の調査と海外機関との研究連携を行った。個別の成果、進捗状況は以下の通り。

1) 「水処理に関する分析・モニタリング技術の開発」については、水質汚染指標である溶存酸素の蛍光式センサーの特性評価と標準化 (JIS)、水処理膜素材の劣化過程における化学構造変化の解明、および水質モニタリングの前処理として有機炭素化合物の無試薬光反応分解の迅速化を行った。また、「生体応答に基づく化学物質等の生体影響評価技術の開発」については、

ヒト iPS 細胞由来神経幹細胞の曝露試験系の構築と酸化剤等の曝露に反応するノンコーディング RNA の同定および検出法を確立した。

2) 膜分離活性汚泥法 (MBR) で課題となっている膜閉塞に関わる科学的知見を得るため、膜洗浄および閉塞過程での膜表面について検討を行った。「次亜塩素酸による閉塞膜の洗浄」については、洗浄過程の膜表面の有機物組成を ATR-FT-IR により追跡するとともに、膜表面の微生物解析を行った。その結果、膜閉塞物質が完全に除去されたことが確認されたにも関わらず、膜上に耐塩性や耐酸性を示す極限環境微生物群の近縁種が残存することがわかり、これら耐性微生物が洗浄後の再利用膜の閉塞に関与する可能性が示唆された。一方、「廃水の有機物濃度が処理膜の閉塞に与える影響」については、共焦点反射顕微鏡法と次世代シーケンサーを用いて検討を行った。その結果、廃水中の有機物が多い場合は、バイオフィルム中での異種細菌の捕食被食関係が原因となって生じる死細胞膜脂質が処理膜上に蓄積するという、従来提唱されていたモデルとは異なる膜閉塞発生機構の可能性を見出した。

3) 「吸着剤の開発・改良」については、層状複水酸化物合成による新規陰イオン吸着剤の開発を行い、電荷密度が陰イオン選択性を変化させることを確認し、結晶性や共存陰イオンの影響も明らかにした。また、これらをベースにハイブリッドゲル吸着剤の合成を行った。「有害物の分解触媒の開発・改良並びにシステム構築」については、触媒活性抑制の最大因子を見出した。「ナノ構造制御による微量新規有機汚染物除去剤の開発」については、廃水処理で副生する発がん性有機物に対する選択吸着剤のスクリーニングを行うと共に、新規高可視光活性の複合体型の光触媒の開発に成功した。「水処理技術に係る現象の吸着メカニズムの分析・解析」については、水中におけるイオン凝集化挙動の添加物制御に関する計算科学研究を進め、水処理機能材料中におけるイオン・水分子の挙動を第一原理計算手法と古典分子動力学計算手法により得ることに成功するなど、水の高度利用につながる物理化学的処理技術の開発などに貢献する基礎データを得た。

4) タイ、ベトナム、中国で調査研究、連携強化を行った。「タイ」については、タイ国立科学技術研究所 (TISTR) との水質調査、水処理技術に関する連携を継続するとともに、タイ農村部における飲料水実態調査のため、山岳集落における飲料水のサンプリング並びにヒアリングを実施した。その結果、全ての集落で飲料水中細菌濃度が極めて高いということ、水浄化の必要性は認識しているが、経済的な理由で水浄化が行えない事情も把握した。「ベトナム」については、現地埋め立て処分場の調査・最適処理システムの提案を主体としたベトナム科学技術アカデミー・環境技術

研究所 (VAST-IET) との連携を継続し、2月にハノイ市で開かれたセミナーに参加して意見交換を行った。

「中国」については、清華大との間で3月に北京市にて「水の再生利用に関するワークショップ」を開催し情報交換を行うとともに、天津市の工業用水処理施設の見学を行った。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] 水質分析、水質評価、水処理、微生物、吸着剤、触媒、アジア

[テーマ題目2] 都市鉱山

[研究代表者] 大木 達也

[研究担当者] 大木 達也、古屋仲 茂樹、西須 佳宏、林 直人、上田 高生、成田 弘一、加茂 徹、大石 哲雄、尾形 剛志 (環境管理研究部門)、田原 聖隆、畑山 博樹 (安全科学研究部門)、森本 慎一郎 (地質資源環境研究部門)、増井 慶次郎、近藤 伸亮、高本 仁志、松本 光崇 (製造技術研究部門)、多井 豊、大橋 文彦 (無機機能材料研究部門) (常勤職員18名)

[研究内容]

動静脈産業連携による循環制御型資源再生技術の確立を目指し、静脈-動脈産業が担うべく技術革新について、4つのカテゴリに分かれて検討を行った。

<静脈革新1>自動・自律型リサイクルプラントを実現する要素技術開発では、まず、A-1: 廃製品個体自動認識型の選別技術開発において、手解体・手選別の数倍に相当する高速で実行するための開発を目指した。デジタルカメラ190機種等の試験データベース化をし、2D 静止画像による個体認識の要素技術 (表面文字情報の読取、外観形態情報に基づく決定木分類、深層学習による品目認識) の有効性を確認した。またベルトコンベヤ上を流れる廃製品から2D 画像を連続的に抽出・利用する装置を試作し、2D 画像認識の検証実験にて1秒以内/個の処理速度を確認するとともに、さらなる高速化に向けた課題を抽出した。A-2: 単体分離粒子のトランスフォーマブル選別システムでは、筐体破壊、異素材境界面破壊の効果を評価可能とする破壊数値解析モデルの基礎を構築した。また、製錬技術的な観点から5種のレアメタルを含む8種の金属の製錬原料化要件を抽出、選別産物の目標組成とした。さらに、電子素子を中心とした各種の部品を機能分類した上、金属組成や各種部品物性を試験データベース化し、磁選および渦電流選別に関する選別挙動を予測するシステムの基礎を築いた。A-3: 難燃剤等含有ハロゲン利用の戦略メタル粉体濃縮技術では、臭素系難燃剤を含むエポキシ基板を鉄等の金属共存下で熱分解し、生成物収率に対する温度および共存金属の影響を確認した。また、鉄粉を添加すると液体生成物に含ま

れる臭素化合物濃度が低減し、エポキシ基板を600℃で熱分解すると、液体生成物中の臭素濃度は1000 ppm以下になることを確認した。

＜静脈革新2＞再生原料から戦略メタルを回収する多品種少量製錬技術開発のための基盤構築では、まず、A-4：錯体構造認識分子鑄型を利用した高度金属選択分離技術の開発において、PTA化合物のアミドN置換基を変えることで境界移動が可能なことが判明し、PTA分子鑄型とアミン系配位子により、Nd/Sm系でのNd回収率50%以上、純度80%以上を達成した。また、境界制御技術の精度を高めるため、PTA錯体の構造変化特性を確認した。A-5：熔融塩と合金隔膜を用いたレアメタル製錬技術では、合金隔膜の母材と成り得る種々の金属板を比較検討し、NiベースでMoを含む汎用合金であるハステロイが母材として適していること、これが破損防止にも有効であることを見出した。また、これ以外にも隔膜破損を回避する方法を幾つか考案した。さらに、数種類の市販のセラミック接着剤を用いて熔融塩の遮断性および希土類元素の漏れ具合を定量評価し、適切な候補を絞り込み、合金隔膜を適切に利用できる状況を整えた。

＜動脈革新1＞製品の資源配慮設計導入に向けた基礎概念と設計指針の構築では、まず、B-1：動脈・静脈一体型資源配慮設計要件の検討において、Liイオン電池製品を対象にRRTモデルとPRNモデルを作成・比較分析を実施し、モデルの有効性を検証するためのDfR（資源配慮設計）比較分析と、分析に必要な情報の企業ヒアリング等による補完を実施した。B-2：製品ライフサイクル管理情報システムと再資源化プロセスライブラリを活用した都市鉱山設計支援システムの要件抽出では、製品設計－製品寿命関係分析モデルの構築・再資源化プロセスモデルの拡張を実施した。製品寿命モデルを含め、動静脈間の情報連携の項目抽出を進め、再資源化プロセスモデルの拡張部分についてシステム上の汎用化を実施した。

＜動脈革新2＞戦略メタルと都市鉱山ポテンシャルの推定では、まず、B-3：都市鉱山ポテンシャルの推計に向けた手法開発と情報管理ポイントの抽出において、レアメタル等主要金属が使用されている技術の開発、製品の普及の見通しについてシナリオを構築し、長期の金属需要を予測した。希土類磁石とバッテリーについて、含有製品の将来シナリオを作成することでリチウム、コバルト等レアメタルの長期需要を予測した。また、情報管理ポイントとして、タンタルの間接輸出入の状況を分析した。B-4：資源循環制御の対象金属選定に向けたクライテリアの策定とランドデザインでは、現場的アプローチによって、都市鉱山のリスクの存在を明らかにし、その構成要素の抽出を実施した。科学的アプローチでは過去450超の障害事例を抽出し、国ごとの原因のクロス集計を実施した。B-5：開発技術・システムの省エネルギー性能の評価では、リサイクル対象金属のインベントリ

整備状況の把握とデータ収集を実施、また対象金属のインベントリデータ収集および他のデータベースと比較を実施した。

これらの成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものである。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 都市鉱山、リサイクル、金属資源循環、循環型社会、動静脈連携

【テーマ題目3】 フェムトリアクター化学プロセスによる環境負荷低減技術の開発

【研究代表者】 脇坂 昭弘（環境管理研究部門）

【研究担当者】 脇坂 昭弘、佐野 泰三、
小原 ひとみ、寺本 慶之、金 賢夏、
市川 廣保、堀 智子
（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

液相の化学反応や化学プロセスの収率及び選択性は、液体の混合、分離、加熱、冷却などの単位操作の速度と密接な関係がある。例えば混合速度が遅いと混合によって開始する化学反応のスタートに時間差が生じ、そのため化学反応の進行状況に差が生じ、様々な副生成物が共存し反応選択性が低下する原因となっている。反応選択性の低下は分離に要するエネルギーの増加となるため、大きな環境負荷を引き起こす。パルクスケールの液体プロセスでは、液体の粘性、熱伝導特性、反応容器の形状などが制限となり、これらの単位操作の速度を大きくすることに限界が生じる。この限界を超えるためには、新たな液体プロセス制御法が必要である。よって本研究では、エレクトロスプレー法によって、液体を直径マイクロメートルサイズ（体積フェムトリットルレベル）の極微小液滴に微細化し、それらの移動を電場で制御することにより、フェムトリットルレベルの極微小液滴内で混合、分離、加熱などを可能にするフェムトリアクター技術を開発した。これまでの液体プロセスでは制御ができない極微小体積で混合、分離、加熱などが可能になったことで、化学反応の選択性の向上が期待できる。また、エレクトロスプレーを液中で制御する技術を開発したことにより、フェムトリアクターの適用分野が拡がり、実現可能性が大きく進展した。液中エレクトロスプレーの制御法は、気中のガスのイオン化による放電を抑制するため、気中エレクトロスプレーよりも安定したエレクトロスプレーを形成することができる。また、エレクトロスプレーで使用する電圧を大きく変化させることができるため、発生する液滴のサイズ幅を大きく制御することができる。

今年度は、フェムトリアクターの用途拡大と実用化を加速するため、半導体・金属ナノ粒子のサイズ制御法、高分子化合物の分子量制御法、量産化へ適用するための

スプレーノズルの開発について研究開発を行った。

半導体・金属ナノ粒子のサイズ制御法については、極微小体積で二液混合を可能にしたこと、瞬時に反応開始温度に加熱することを可能にしたことで、従来法では不可能なシングルナノサイズの粒径制御を可能にした。サイズ分布を狭くすること、電圧によるサイズ制御が可能となったことから、触媒、導電加工インクなどの実用化を検討する研究へ発展した。

高分子化合物の分子量制御については、従来技術では、重合度が大きくなると粘度が大きくなるため、反応性が低下して重合が停止し、一定の重合度で限界となっていた。フェムトリアクターの極微小液滴を反応場とすることで、極微小液滴内で高濃度のモノマーを高効率で反応させることが可能となり、従来法の限界を超えた高分子量の合成が可能なることを明らかにした。

これらの研究開発によって開拓された各用途分野における実現可能性を高めるためには、生産規模の拡大に対応することが必要となる。フェムトリアクターはエレクトロスプレーの本数を増やすことにより容易に生産速度を増大することが可能であるため、メンテナンス性に優れた複数本ノズルの制御技術について研究開発を開始した。ノズルの材質、形状、送液方法について、ノズル50本程度を一つのユニットとする量産化システムにより、事業化が可能な合成装置となることが明らかとなり、次年度に試作を検討することとなった。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 フェムトリアクター、エレクトロスプレー、反応場、金属ナノ粒子、触媒

【テーマ題目4】 環境動態評価に関する研究

【研究代表者】 兼保 直樹

(大気動態評価研究グループ)

鈴村 昌弘

(海洋動態評価研究グループ)

【研究担当者】 兼保 直樹、忽那 周三、伊藤 文之、古賀 聖治、前田 高尚、石戸谷 重之、高根 雄也、村山 昌平、鈴村 昌弘、山下 信義、鶴島 修夫、谷保 佐知、山田 奈海葉、塚崎 あゆみ、三島 康史、長尾 正之、近藤 裕昭

(常勤職員16名、他1名)

【研究内容】

大気中のアルゴン (Ar) 濃度は海水温変動に起因してごく僅かに変動するため、高精度観測により広域平均の海洋貯熱量変動の情報が得られ、その全球的な挙動を捉えることで気候変動の予測精度向上に繋がると期待される。そこで、独自に開発した大気中 Ar、酸素および二酸化炭素 (CO₂) 濃度等の高精度同時観測装置を用いて日本周辺および極域における大気中 Ar 濃度の観測を展開している。2016年度は、茨城県つくば市において

連続観測を、北海道落石岬、岐阜県高山市、沖縄県波照間島、東京都南鳥島および南極昭和基地においてフラスコサンプリング法による観測を行った。昭和基地での観測を継続するため新たな試料保存容器を製作し、次年度の観測物資として現地に輸送した。また実験上の問題として、大気採取時の除湿が不十分である場合に Ar 濃度等の分析結果に異常が現れることを見出したことから、保存容器の分析時に試料を除湿する手法を確立して問題を解決した。各サイトの観測結果から Ar 濃度の明瞭な季節変動が捉えられた。つくばおよび波照間で得られた過去5年間の Ar 濃度の年々変動には、米国海洋大気庁による全球海洋貯熱量の変動と相関した変動が見られ、観測結果が広域平均の貯熱量変動を反映していることが示唆された。また2種類の気象輸送モデルによる大気中 Ar 濃度のシミュレーション結果を観測と比較した。両モデルによる季節変動の振幅はいずれも観測結果より小さく、観測とモデルの不一致の原因の少なくとも一部が大気海洋間フラックスの過小評価にあることが示唆された。

全球での炭素循環の定量化により気候変動予測の向上をはかり、同時に気候変動による陸域生態系の応答、適応を定量化するため、森林生態系と大気との間の CO₂ フラックス、林冠フェノロジー (出葉、開花などの季節状態)、気象などの環境諸量の長期観測を継続している。岐阜県高山市 (高山観測サイト、落葉広葉樹林)、タイ中西部カンチャナブリ県 (メクロン観測サイト、熱帯季節林・落葉混合樹林)、タイ東北部ナコンラチャシマ県 (サケラート観測サイト、熱帯季節林・乾燥常緑林および乾燥フタバガキ林) において、並行して、現地観測システムのオンライン化およびデータ収集と解析処理の自動化を進めた。2016年は、2014年から続いたエルニーニョ現象の影響を受け、各観測地とも植生の活動が平年とは異なった。高山では、夏から秋にかけて天候不順により日射量が少なかった一方、春の展葉時期が早まり、落葉は11月中旬まで遅れて、着葉期間が比較的長かった。結果、年間積算の正味 CO₂ 吸収量は平年より多かった。一方、タイのサイトは強い乾燥状態にあり、雨季前半の降雨と土壌水分量が少なく、大気中 CO₂ の正味吸収量が平年より少なかった他、多数の巨木の枯死なども確認された。

第四次環境基本計画における、2050年に温室効果ガス排出量を80%削減するための重要な橋渡し技術である海域地層を利用した CO₂ 回収貯留 (CCS) 技術の実現に向けて、海水中に万が一漏洩した CO₂ の動態予測、監視、環境影響評価手法の構築が不可欠である。長期間のモニタリングにも耐えうる CO₂ センサーの開発を進めると同時に、実海域における世界初の CO₂ 漏洩実験 (英国 QICS プロジェクト) の事後環境影響評価を英国機関と共同で実施した。さらに、森林 (グリーンカーボン) に対するブルーカーボンとして、CCS と共に海

域（海洋生態系）における温室効果ガス削減の担い手として期待される沿岸浅海生態系に着目し、産業副生物を有効活用した浅海生態系創生技術とブルーカーボンの定量的評価に向けた検討を実施した。

また産業起源の人工有機汚染物質（POPs）の長距離輸送現象の解明および POPs を化学トレーサーとした地球規模での物質動態・環境変動の評価手法を開発した。特に全球収支を理解する上での鍵反応である自然環境光下での光分解反応について、洋上分解試験、高山強紫外線照射下分解試験を、中国・インド・台湾・韓国などで実施し、米国ワッツワースセンターの最先端計測機器を用いて測定・解析した。特にストックホルム条約・バーゼル条約の緊急課題となっているペルフルオロスルホン酸関連化合物である、ペルフルオロアルキル化合物（PFASs）の安全管理について、上の全球レベルの環境残留性調査と合わせ、政策レベルで使用できる信頼性の高い測定値を与えるために、いくつかの ISO 国際標準分析法を開発した。具体的には世界初の PFOS/PFOA 国際標準分析法である ISO25101の次期規格として ISO/TC 147/SC 2/WG 74 "PFAS LC-MS/MS" CD 21675を作成し、委員会ドラフトとして投票にかけた。また新規 POPs のメチルシロキサンについても国際標準化を行い最終規格案まで完成した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 アルゴン濃度、森林生態系炭素循環、二酸化炭素回収貯留技術、人工有機汚染物質

⑥【安全科学研究部門】

(Research Institute of Science for Safety and Sustainability)

(存続期間：2008.4.1～)

研究部門長：本田 一匡

副研究部門長：緒方 雄二

総括研究主幹：玄地 裕

所在地：つくば西、中央第5、北、中央第1

人 員：43名（43名）

経 費：606,694千円（273,726千円）

概 要：

本研究部門は、事故や災害の被害予測、技術や製品の健康・環境・経済への影響評価等、幅広い分野にわたる評価技術に関して、科学的な評価のみならず社会的な評価も同時に行う、総合的なリスク評価・管理手法を開発することを通じて、安全で持続的発展可能な社会の実現に貢献することを目標としている。このため、これまでに高い評価を受けてきた化学物質リスク評価、フィジカルハザード評価、ライフサイクルアセ

スメント、エネルギー技術評価等、個別の評価手法を融合させ、学際的な融合研究を推進して、安全と持続可能性を同時に追求する「安全科学」の確立を目指している。

平成28年度は、リスク評価戦略、環境暴露モデリング、排出暴露解析、爆発安全研究、爆発利用・産業保安研究、社会と LCA 研究およびエネルギーシステム戦略の7グループで研究開発を行った。豊かで環境に優しい社会を実現するグリーン・テクノロジーを推進する産総研エネルギー・環境領域の一員として、領域ミッションである環境・安全技術「リスク評価からリスクトレードオフ、リスクコミュニケーションへ」を担当し、化学物質や材料、エネルギーを適切に利用するためのリスク評価・管理手法を開発するとともに、産業事故の防止及び被害低減化に向けた技術開発を行うことを目的として、以下のミッションを掲げている。

ミッション1：行政・企業等の社会ニーズおよび国際化に対応するため、新規材料や化学物質複合影響のリスク評価手法の開発を進め、高エネルギー物質や高圧ガスの安全性評価手法、爆発影響を低減化する技術、および有効利用技術を開発する。これらの成果を行政や国際機関における安全管理枠組みへ反映させる。

ミッション2：産業のイノベーションを支援するために地球規模のリスク評価・管理手法やエネルギー評価手法を開発するとともに、産業の安全及びリスク低減化に向けた評価技術の開発を行う。

これらのミッションに対応して、平成28年度は、本研究部門のプレゼンスを示す部門重点課題（ユニット戦略課題）として1) 安全管理政策に資するリスク評価研究、及び2) 鉱工業のイノベーションを支える評価技術の開発を選定し、融合研究を実施した。

外部資金：

経済産業省 受託研究費「平成28年度化学物質安全対策（ナノ材料気管内投与試験法等の国際標準化に関する調査）」

経済産業省 受託研究費「平成28年度水素導管供給システムの安全性評価事業（水素導管の大規模損傷リスク評価）」

経済産業省 受託研究費「平成28年度石油精製業保安対策事業（高圧ガスの過去事故分析によるチェックポイントの調査研究）」

一般財団法人日本規格協会 受託研究費「火薬類の安定度試験に関する JIS 開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 受託研究費「高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調

機器技術の開発／低温室効果冷媒の性能、安全性評価／自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価」

国立研究開発法人科学技術振興機構 受託研究費「エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対するリスク評価手法開発と社会受容性調査」

国立研究開発法人科学技術振興機構 受託研究費「上流インベントリデータベースの開発／環境ホットスポット分析（エコリーフ）の実施と検証」

一般社団法人日本化学工業協会 受託研究費「化学物質の有害性予測および環境リスク評価・管理システムの高度化」

国立大学法人愛媛大学 受託研究費「毒性メカニズムにより QSAR ドメインを規定し予測精度の向上に資する研究」

国立大学法人東北大学 受託研究費「住宅室内における放射性物質による被ばく線量評価」

静岡県 受託研究費「環境にやさしいローエミッション花火の製造技術の開発」

静岡県 受託研究費「アルミニウムを反応媒体とした SBH (Sodium Borohydride) の工業的製造技術開発と SBH 製造に伴う副生アルミナのアルミニウムへの再生および副生アルミナの品質制御条件の確立」

独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所 請負研究費「大気化学輸送モデルによる環境リスク評価」

基盤研究(A) 科研費補助金「分散型エネルギー取引市場制度設計に関する理論構築、経済実験及び社会実装」

基盤研究(B) 科研費補助金「放射線被ばくへの効果的な対策に資する問題解決型リスク評価手法・過程の検討と実践」

基盤研究(B) 科研費補助金「室内環境における SVOC 類の挙動解析及び統合的暴露評価/リスク評価」

若手研究(A) 科研費補助金「複雑混合物のリスク評価に向けた暴露評価手法開発」

若手研究(A) 科研費補助金「グローバルサプライチェーンにおける隠れた水資源フローに起因する環境リスク評価手法」

研究活動スタート支援 科研費補助金「家庭用エネルギー技術の包括的評価手法の開発」

基盤研究(C) 科研費補助金「ナノ秒衝撃圧縮によるペンスリット単結晶爆薬の衝撃起爆機構の解明」

基盤研究(C) 科研費補助金「産業事故発生メカニズムの解明と事故抑止のための生産システムの実験的検証」

若手研究(B) 科研費補助金「キャビティ増幅吸収分光法による高温場での化学反応追跡手法の開発」

若手研究(B) 科研費補助金「化学物質の有害性推論手法の確立に資する統計的手法の深化とその適用」

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

研究成果公開促進費 科研費補助金「リレーショナル化学災害データベース」

国立研究開発法人国立環境研究所・環境計測研究センター 基盤研究(A) 科研費補助金「精密質量データ解析法の開発と環境化学物質モニタリングへの応用」

国立大学法人東京大学 基盤研究(A) 科研費補助金「サプライチェーンが産み出す価値と環境・資源ストレスの統合的ホットスポット分析」

立命館大学 基盤研究(A) 科研費補助金「システム改革の下での地域分散型エネルギーシステムへの移行戦略に関する政策研究」

国立大学法人東京大学 基盤研究(B) 科研費補助金「金属素材の持続可能な循環利用システムの構築」

富山高等専門学校 基盤研究(C) 科研費補助金「水による爆風圧低減化のメカニズム解明と応用」

上智大学 基盤研究(C) 科研費補助金「単一パルス高圧衝撃波管によるテトラフルオロエチレン爆発予知のための反応モデル構築」

独立行政法人労働安全衛生総合研究所・化学安全研究グループ 基盤研究(C) 科研費補助金「チタンと硝酸との反応による爆発性物質の同定及び安全取扱技術の確立」

国立大学法人東京大学 受託研究費「戦略的研究開発領域課題 S-16: アジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価 サブテー

マ1ー (3) リマニュファクチャリングを中心とした持続可能な生産」

株式会社三菱化学テクノリサーチ 受託研究費「平成28年度化学物質安全対策（スクリーニング・リスク評価における調査）「リスク評価単位の検討」」

国立大学法人横浜国立大学 厚労省科研費補助金（分担金）「定性的手法を用いた労働災害防止対策の取り組みに対する労働者の認識の分析」

公益財団法人住友財団 財団助成金「金属資源循環システムの環境影響評価に向けた基礎データの確立」

発 表：誌上発表85件、口頭発表220件、その他29件

リスク評価戦略グループ

(Risk Assessment Strategy Group)

研究グループ長：蒲生 昌志

(つくば西)

概 要：

（研究目的）主に化学物質に関する具体的な課題についてリスク評価を実施しながら、リスク管理を目的としたリスク評価の考え方の検討を行う。

（課 題）ナノ材料のリスク評価、化学物質の代替に伴うリスクトレードオフ解析（ヒト健康リスク、生態リスク）を中心的課題とする。

（研究内容）ナノ材料のリスク評価については、培養細胞試験及び動物試験による有害性評価を実施し、平成27年度までの成果も含め、安全性試験総合手順書ならびにグラフエンケースタディー報告書を作成して公開した。また、ナノ材料の効率的な有害性評価手法構築のため、気管内投与試験方法に関して、ナノ材料3種類を用いて5機関によるラボ間比較試験を実施するとともに、平成27年度までのプロジェクト成果と合わせて、OECD でのガイダンス文書作成に対する意見表明を行った。

化学物質のリスクトレードオフ解析については、ヒト健康影響について、肝毒性に関して既存インビボデータ、インビトロデータ、記述子データの統計的関連解析を行い、実際の化学物質の薬剤性肝障害の予測に適用した。また、インビトロ遺伝子発現データに適した統計的データ解析手法の開発を行った。生態影響については、化学物質審査における混合物のリスク評価単位の問題の中で金属化合物について検討を行った。さらに、海域における銅の生態リスク評価・管理のための有害性および暴露データを取得した。

また、福島避難地域における被ばく線量の評価および室内における放射性物質の粒径別の存在量の調査を行い、帰還後の被ばく線量推定および放射性物質の

室内における存在形態の解明に資する基礎的データを取得した。

研究テーマ：テーマ題目1

環境暴露モデリンググループ

(Environmental Exposure Modeling Group)

研究グループ長：東野 晴行

(つくば西)

概 要：

化学物質のリスク管理において、環境中の濃度を知ることが最も重要な課題の一つと考えられる。環境中濃度は、観測を行うかモデルによる計算で求められるが、新規の物質等観測データが存在しない場合の推定や限られた観測データからの全体状況の把握、将来や過去の状況推定等でモデルの果たす役割は大きいと言える。

このような背景から、当グループでは、化学物質の人や生態系へのリスク評価において、最も基礎となる暴露評価技術の開発を行っている。大気、河川、海域、室内（製品）等、複数の暴露評価モデルの開発を行い、これらを用いた暴露・リスク評価を他のグループと連携して実施し、その結果を化学物質管理等の政策に反映させる。平成28年度は、以下に示す外部資金及び内部資金によるプロジェクトと民間企業との共同研究を中心に研究を進めた。

- ① 大気化学輸送モデルによる環境リスク評価
- ② ナノセルロース等の革新素材及び製品の安全性評価基盤技術開発

また、これまで開発してきたモデルや研究成果の普及や維持管理にも努めた。

研究テーマ：テーマ題目1

排出暴露解析グループ

(Emission and Exposure Analysis Group)

研究グループ長：恒見 清孝

(つくば西)

概 要：

新規物質、代替物質や混合物のヒト健康や生態への排出・暴露解析やリスク評価を通じて、行政ニーズおよび国際化対応や新技術のイノベーションを支援することを目標として、排出解析、暴露解析を実施し、物性解析手法、環境中への排出量推定手法、発生源同定手法、環境中動態推定手法、ヒト・生物の暴露量推定手法等の手法の開発を行っている。平成28年度は、以下の研究を実施した。

- ① 環境排出量推計手法の開発
 - ・プラスチックおよび金属の排出シナリオ文書について、経済協力開発機構（OECD）暴露タスクフォースの意見をもとに、一部修正を行った。
- ② 混合物の物性推定手法の開発

- ・環境中や製品中の複雑な化合物組成を有する混合物を対象とし、物性推定手法の開発に取り組んだ。エンジンオイルについて経時的にサンプルを採取し、二次元分離装置を用いた計測を実施し、使用過程で生じる変化体の存在を確認できた。この計測データに対し、昨年度開発した物性推定ツールが動作することを確認できた。
 - ・経時変化試料あるいは採取点の異なる同形質の試料といった系統的な混合物試料の計測データに対し、統計学的手法を用いて、差異のある成分をデータ抽出する手法を開発した。
- ③ 生態リスク評価ツールの開発
- ・多くのニーズを反映して、リスク評価結果に応じたリスク管理オプション提示機能、信頼性標識にもとづいた評価用データ選別機能、環境省農薬等のデータベースなどを搭載した汎用生態リスク評価管理ツール（MeRAM）の日本語版 v.2.0.1 と英語版 v.2.0.0 の一般公開版を作成した。
 - ・日本化学工業協会の国際戦略推進や化審法のアジア展開に向けて、国際化学工業協会主催の国際ワークショップでの MeRAM 教育セッション開催、アジア諸国の化学物質管理国際シンポジウムの企画開催支援等を行った。
- ④ カーボンナノチューブ（CNT）の複合材料の排出・暴露評価
- ・CNT の複合材料の加工、摩耗、粉碎時における排出および作業者等への暴露量を評価するための手法開発を行った。熱炭素分析により、多くの樹脂と CNT は分離・定量が可能であることを示した。また、分離ができない場合においても、樹脂の量から CNT の量を推定し、暴露管理する方法を示した。
 - ・計測法と評価事例を取りまとめた「ナノ炭素材料の排出・暴露評価の手引き」をウェブで公開した。
- ⑤ エネルギーキャリアとしての水素活用における先進的リスク評価
- ・エネルギーキャリア物質およびガソリン成分の吸入毒性に関する既報ヒト無毒性濃度を調査し、有害性情報データベースを作成した。また、熱放射による人体への火傷の影響と、爆風圧による建物影響に関する被害関数を設定した。
 - ・都内の仮想的な有機ハイドライド型水素ステーションを対象に、水素漏洩による爆発・火災とトルエンとメチルシクロヘキサン漏洩による急性毒性影響のスクリーニングリスク評価を実施した。
 - ・リスク情報、ベネフィット情報の定量的データを提示した水素ステーションの受容性調査を実施した。
- ⑥ 原発事故に起因する種々のリスク定量化
- ・原発事故直後の高齢者施設入所者の避難による死亡の増加、および避難生活による中長期的な糖尿病患者の増加について、損失余命を用いて放射線被ばく

に伴う発がんリスクと比較した。放射線被ばくに関する対策のリスク削減幅と費用を推定した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

爆発安全研究グループ

（Explosion Safety Research Group）

研究グループ長：若林 邦彦

（つくば中央第5、北）

概要：

当グループでは、爆薬に代表される高エネルギー物質等の発火・爆発現象の解明、爆発安全性評価手法や安全化技術、爆発影響の評価と低減化技術、高エネルギー物質を有効に利用する技術等の研究を実施している。爆発影響評価と低減化技術に関する研究では、野外爆発実験を実施し、地中式火薬庫模型から開放される爆風の方位角依存性と土堤の影響に関する研究を行った。爆風圧の距離・角度分布を測定した結果、火薬庫模型の出口から離れるに連れて爆風圧が小さくなること、土堤による爆風の反射・回折の影響によって爆風圧が局所的に強化・減衰すること等が分かった。室内実験においては火薬庫模型の長さが爆風圧に及ぼす影響を調査した。また、TNT、アンホ爆薬、含水爆薬、黒色小粒火薬、コンボジット推進薬について爆発威力定量化に関する野外実験を実施し、ピーク静水過圧基準の TNT 換算薬量比に関する知見を得た。化学物質の爆発性評価および保安技術に関する研究においては、主として外部の依頼による発火・爆発性の評価を実施した。爆発性のある物質を含有するものを安全に処理する技術、爆発威力を有効利用した新材料合成等に関する研究を実施した。

研究テーマ：テーマ題目1

爆発利用・産業保安研究グループ

（Industrial Safety and Physical Risk Analysis Group）

研究グループ長：久保田 士郎

（つくば西）

概要：

本研究グループでは、火薬類等の高エネルギー物質および高圧ガス、可燃性ガス等の安全利用技術に関する基盤的な研究と産業保安の研究を実施している。火薬類の安全に関する研究では、地中式火薬庫の爆発影響低減化、および火薬類の爆発威力定量化に関する技術基準検討のため、野外実験において地盤振動計測と高速度撮影を実施した。高圧ガスおよび可燃性ガスの安全性に関する研究では、過去の重大事故に関する報告書から現場の保安に役立つ情報をチェックポイントとして知識化して抽出し、それらを容易に検索できるソフトを開発した。また、次世代冷媒として、地球温暖化係数が低く、かつ高効率である自然冷媒のプロパンを取り上げ、家庭用室内空調機に導入された場合を

想定した実寸大のフィジカルハザード評価を実施した。さらに、水素導管供給システムの安全性評価研究として、人為もしくは自然災害等による水素導管の損傷を想定し、漏えいした水素に着火した場合の周囲影響を実験及びシミュレーションを用い調査し、実験では計測値を基にスケール依存の評価式を構築した。産業保安に関する研究では、リレーショナル化学災害データベース (RISCAD) に約200件の事故概要、約10件の事故進展フロー図を新規登録した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

社会と LCA 研究グループ

(Advanced LCA Research Group)

研究グループ長：田原 聖隆

(つくば西)

概要：

本研究グループでは、新規技術の導入に伴う社会構造及び産業構造の変化が環境や経済に直接的・波及的に与える影響をライフサイクル思考に基づいて評価することを目的とした基盤技術を開発している。本年度の主な成果として、インベントリデータベース IDEA ver.2の開発では、海外への販売展開も含めたビジネスモデルを推進し、海外データとの相互利用性を向上させるとともに、IDEA 中国版、タイ版を構築した。影響評価手法開発では、プラネタリーバウンダリーを考慮した水ストレス指標の開発を進め、また環境影響評価手法の世界標準化を実施している UNEP/SETAC Life Cycle Initiative のフラッグシッププロジェクトで、自然資源に関する影響評価の合意形成を世界の各機関と連携して進めた。資源リスク分析では、過去の供給障害事例の分析から主要リスク要因を抽出した。将来技術評価については、新規エネルギー技術の導入によるエネルギー需給構造変化と、システム全体での経済性・環境性評価に向けたモデル開発を進めた。さらに、バイオマス由来の材料を用いた製品製造に関する環境や産業への影響評価、各種エネルギーキャリアを用いた水素サプライチェーンのライフサイクル分析を実施した。

研究テーマ：テーマ題目2

エネルギーシステム戦略グループ

(Energy Systems Analysis and Policy Study Group)

グループ長：村田 晃伸

(中央第5、つくば西、中央第1)

概要：

当グループは、安定供給、経済効率、環境適合、安全性 (3E+S) という4つの評価軸から見て最適なエネルギーシステムはどうあるべきか、という課題にエネルギー技術評価というアプローチで取り組んでいる。国内領域では、水素等のエネルギーキャリアの導入

が我が国のエネルギー需給に及ぼす長期的影響の分析、および再生可能エネルギーの大量導入に関する分析を行っている。平成28年度は、水素等利用技術の学習モデルのパラメータや二酸化炭素排出削減制約に関する感度分析を実施し、長期的な水素等の導入量に強い影響を及ぼす要因を抽出した。また、気象モデルを用いた日射量予測の信頼区間を設定する新しい手法の開発と、エネルギーシステムの太陽光発電・風力発電受入可能量を評価する手法の開発を進めた。

グローバル領域では、世界全体のエネルギー、鉱産物、バイオマス・食料の資源需給、ライフサイクル影響評価モデル (LIME)、経済モデルを統合したグローバルな統合評価モデルの開発を行っている。平成28年度は、昨年度構築した需要推計モデルのうち、一人当たり GDP を固定ではなく内生変数として扱い、モデルに与えたテストランを行った。

住宅地を対象としたエネルギーシステムの研究では、複数の住宅が保有する分散エネルギー源を統合的に最適制御する住宅地エネルギーマネジメント技術の開発を行っている。平成28年度は、燃料電池とヒートポンプ給湯器からなる複数の熱源機を組み合わせた場合の運用に対応するようモデルを拡張し、運用シミュレーションにてモデルの性能を検証した。

省エネルギーの分析と評価の研究では、地域の産業構造から業種別の日負荷曲線の違いを考慮した電力需要推計モデルの構築に着手した。また実施例を基に高い費用効果が見込まれる省エネルギー対策について、技術導入の費用便益に関する総合的なインデックスの作成を行った。

研究テーマ：テーマ題目2

[テーマ題目1] 安全管理政策に資するリスク評価研究

[研究代表者] 本田 一匡 (研究部門長)

[研究担当者] 本田 一匡、中山 良男、蒲生 昌志、東野 晴行、若林 邦彦、五十嵐 卓也、松永 猛裕、藤田 克英、内藤 航、加茂 将史、篠原 直秀、竹下 潤一、堀口 文男、梶原 秀夫、石川 百合子、井上 和也、林 彬勲、小倉 勇、頭士 泰之、薄葉 州、秋吉 美也子、松村 知治、岡田 賢、杉山 勇太、久保田 士郎、椎名 拓海、佐分利 禎、高橋 文明、松木 亮 (常勤職員29名)

[研究内容]

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、化学物質や材料、エネルギーを適切に利用することで環境リスクやフィジカルリスクを低減することが必要である。このために、環境リスクやフィジカルリスクの評価・管理手法の開発を行政・企業等の社会ニーズおよび国際化に対応して進める。

- ① 化学物質のリスク評価研究では、新たな社会ニーズに対応するため、新規材料及び化学物質複合影響のリスク評価手法の開発を進める。また、国際的利用も視野に入れて評価ツールを高度化する。平成28年度は、室内製品暴露評価ツールを公開し、業界団体に講習会を実施した。また国際ワークショップで汎用生態リスク評価管理ツールの教育セッションを開催した。
- ② 爆発安全評価研究では、高エネルギー物質や高压ガスの発火・爆発現象の解明を進め、安全性評価手法や爆発影響を低減化する技術、有効利用技術を開発する。国連試験法の提案等を通じて、国際的な危険物質の取扱基準の策定に貢献する。平成28年度は、悪化した立地条件においても保安距離が確保できる火薬庫の位置、構造及び設備等に関する技術基準を検討するために、地中式火薬庫の土堤が爆風に及ぼす影響等を調査した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ナノテクノロジー、ナノ材料、リスク評価、有害性評価、暴露評価、リスク管理、カーボンナノチューブ、火薬類、火薬庫、保安距離、行政ニーズ、安全性評価、爆風圧、可視化計測、BOS 法、環境低負荷、爆破解体、破砕デバイス、電子制御、破壊実験、ナノリスク、粉塵爆発、混合液化ガス、液体酸素、液体酸素濃度、光吸収、高压ガス、可燃性ガス、支燃性ガス、微燃性冷媒、爆発影響評価

【テーマ題目2】 鉱工業のイノベーションを支える評価技術の開発

【研究代表者】 緒方 雄二（副研究部門長）

【研究担当者】 緒方 雄二、恒見 清孝、田原 聖隆、村田 晃伸、小野 恭子、牧野 良次、塚原 建一郎、工藤 祐揮、小澤 暁人、河尻 耕太郎、本下 晶晴、本田 智則、畑山 博樹、西尾 匡弘、歌川 学、近藤 康彦、安芸 裕久、玄地 裕（常勤職員18名）

【研究内容】

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、化学物質や材料、エネルギー・環境評価等のイノベーションを支える産業から地球規模のリスク評価・管理手法を開発するとともに、産業の安全及びリスク低減化に向けた評価技術の開発を行う。

- ① 水素サプライチェーン等を対象に、事故発生確率、ハザード、脆弱性、暴露、リスク評価から産業保安、社会受容性に至る一貫した安全管理に関わる解析評価を行う。平成28年度は、水素エネルギーキャリアの利用に向けた規制緩和を目的に、事故シナリオ、暴露シナリオ、被害・リスク推定からなるスクリーニング

評価を完了した。

- ② マルチクライテリア評価に向けた影響手法開発とインベントリデータベースの構築を行う。平成28年度は、グローバル化するサプライチェーンに潜む様々な地域への水資源の依存とそれによる環境影響、さらに事業継続のリスクを予測するツールを開発した。また、インベントリデータベース IDEA ver.2の国内外での販売を開始し、さらに日本企業の新興国生産における持続可能性評価基盤構築としてタイ版・中国版の開発を開始した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 リレーショナル化学災害データベース (RISCAD)、事故分析手法 PFA、保安力評価、安全文化、経済性分析、水素エネルギーキャリア、リスク評価、LCA、インベントリデータベース、産業マトリックス、消費者行動、バイオマス、土地利用、水資源

⑦ 【太陽光発電研究センター】

(Research Center for Photovoltaics)

(存続期間：2015.4.1～2020.3.31)

研究センター長：松原 浩司

副研究センター長：増田 淳

副研究センター長：吉田 郵司

首席研究員：佐山 和弘

所在地：つくば中央第2、つくば中央第5、九州センター

人 員：39名（39名）

経 費：993,812千円（272,874千円）

概 要：

地球上にあまねく降り注ぎ、枯渇の心配もない太陽のエネルギーを利用する太陽光発電は人類の持続的発展のために重要な技術である。産総研では太陽光発電研究に戦略的に取り組むために研究センターを設置して研究を続けてきた。当研究センターは、2015年4月より産総研の第4期中長期目標期間が開始するにあたり、前身の太陽光発電工学研究センター（2011-2014年）を改組して新たに発足した研究ユニットである。

エネルギー・環境領域のミッションである“豊かで環境に優しい社会の実現”のために、太陽光発電に関連する技術開発等に取り組み、太陽光発電の持続的な普及と発展を通して低炭素社会の実現、エネルギー安全保障の確保、経済発展、雇用創出等に貢献することをミッションとする。そのために、民間企業との共同研究等を通じた材料、デバイス、システムの技術開発や、従来技術の延長線上にない革新的な太陽光発電技

術の開発、太陽光発電産業の共通基盤技術である基準セル校正技術やデバイスの高精度性能評価技術の高度化などを推進している。また新たな太陽光エネルギーの有効利用技術として、人工光合成や太陽光エネルギー変換による有用化成品製造などにも取り組んでいる。

現在、8つの研究チームで構成され、産総研つくばセンターと九州センターの2拠点で研究開発を展開している。福島再生可能エネルギー研究所（FREA）の再生可能エネルギー研究センターの太陽光チーム等とも連携して研究を実施している。一方、海外の研究機関との交流、協力関係構築も図っており、特に米国国立再生可能エネルギー研究所（NREL）、フラウンホーファー研究機構太陽エネルギーシステム研究所（FHG-ISE）とは、三者 MOU を締結して研究協力を進めている。

内部資金：

標準化戦略 FS 「屋内光下での有機太陽電池の性能評価方法」

標準化戦略 FS 「光触媒材料のセルフクリーニング性能試験方法―汚染状態の簡易評価―」

外部資金：

経済産業省 革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業「太陽光による有用化学品製造」

経済産業省 革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業「単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／共通基盤技術の開発（太陽光発電システムの信頼性評価技術等）／太陽電池性能高度評価技術の開発（新型太陽電池評価・屋外高精度評価技術の開発）」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発／CIS 太陽電池高性能化技術の研究開発（光吸収層の高品質化による CIS 太陽電池の高効率化）」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／共通基盤技術の開発（太陽光発電システムの信頼性評価技術等）／太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発（経年劣化を考慮した各種太陽電池の発電量評価技術の開発）」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／共通基盤技術の開発（太陽光発電システムの信頼性評価技術等）／太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発（太陽電池モジュールの劣化現象の解明、加速試験法の開発）」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／革新的新構造太陽電池の研究開発／超高効率・低コストⅢ-V化合物太陽電池モジュールの研究開発（低コスト化技術・量子ドット成長技術）」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（先端的低炭素化技術開発）（ALCA）「ナノ構造体・結晶シリコン融合太陽電池のメカニズム解明」

国立大学法人東京大学「ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発（新素材と新構造による高性能化技術の開発）」のうち「界面制御技術」

日本学術振興会 科学研究費補助金「有機鉛ペロブスカイト太陽電池高効率化のための結晶成長制御」

発 表：誌上発表94件、口頭発表255件、その他16件

評価・標準チーム

（Calibration, Standards and Measurement Team）

研究チーム長：菱川 善博

（つくば中央第2）

概 要：

太陽電池の評価・標準に関わる基盤技術である校正技術・性能評価技術の開発を行い、我が国太陽電池産業の国際競争力強化・大量導入および輸出入の促進に貢献することを目的とする。太陽電池の価値に直結する基準太陽電池校正技術・新型太陽電池性能評価技術・高精度屋外評価技術の開発を行い、太陽電池の評価・標準の高精度化およびトレーサビリティ体系の維持を図ると共に、技能試験・国際比較等を実施し、開発した技術の国際的整合性の検証・確立・維持・普及を推進する。基準太陽電池の校正・各種太陽電池の性能評価・共同研究等により、成果を積極的に活用するとともに、実用化・標準化し、最新のニーズを把握して効率的な研究を推進する。論文・学会等での成果発表、普及および JIS・IEC など規格の策定に積極的に貢献する。

年度進捗：

- 1) 一次基準太陽電池セルの校正を実施すると共に、更に高精度な校正技術を実現するための技術開発を行っている。ソーラシミュレータ法による太陽電池校正技術を高度化するための要素技術の開発として、

超高温定點黒体輻射や6分岐ファイバ型絶対分光放射計、精密構造型キャビティ絶対放射計を用いて高度化し、それぞれの性能の妥当性と技術的課題の抽出を行った。最高校正能力を0.6 %オーダー (k=2) に向上可能な見通しとなった。

- 2) 各種新型太陽電池の高精度評価を実施し、各デバイスに最適な評価技術を開発・検証した。今年度は特にペロブスカイト、CIGS 太陽電池の時間的過渡応答を考慮した評価技術、新型高効率結晶シリコンペアセル、及び両面受光型太陽電池の高精度評価技術について開発を行った。IEC 等国際標準化、学会論文等発表、欧米の太陽電池評価機関との太陽電池セル・モジュール比較測定等による国際整合性検証及び開発成果の普及を推進した。
- 3) 高精度化のニーズが高まり、今後ますます重要になることが見込まれる太陽電池モジュール屋外高精度測定技術の開発と普及を推進した。

システムチーム

(PV System and Application Team)

研究チーム長：加藤 和彦

(つくば中央第2)

概要：

太陽光発電設備の健全な普及に資することを目的として、太陽電池モジュールや各種太陽光発電設備の性能評価・不具合事例分析を通じた太陽光発電設備の長期信頼性や安全性に関する研究開発、および、太陽光発電技術が将来におけるわが国の基幹系統電源となるために必要な発電量予測手法の技術開発などを、利用者の視点に立脚して実施している。また、太陽光発電の導入ポテンシャルや付加価値を高めるための新しい制御技術の提案や太陽光発電技術の健全な導入を側面的に支援するための社会制度や政策に関する提言も行っている。

年度進捗：

太陽光発電設備の長期信頼性に関する研究開発については、2014年8月に当所つくばセンターに設置されている太陽光発電設備の全数測定作業が終了し、10年間における太陽電池モジュールの出力低下量や不具合発生に関する統計的あるいは現象論的解析を実施しており、その結果をまとめた報告書を作成しているところである。また、太陽電池モジュールの屋外での定格性能判定方法に関する研究開発については、多様な日射強度・太陽電池モジュール温度条件のもとで、日射強度や太陽電池モジュールの温度を積極的に取得しなくとも、数回の電流－電圧特性の試行結果から、対象とする太陽電池モジュールの定格性能を判定することが可能な方法について継続的に検証を実施している。さらに、太陽光発電設備の安全化に関して、バイパス回路故障の実態把握と屋内外における信頼性試験方法

の検討に着手した。

発電予測に関しては、アンサンブル予報を活用することにより、大外れの検知手法を開発し、稀頻度に発生する事象が検知できる可能性を示した。

モジュール信頼性チーム

(Module Reliability Research Team)

研究チーム長：増田 淳 (平成29年1月31日まで)

千葉 恭男 (平成29年2月1日以降)

(つくば中央第2、九州センター)

概要：

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

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

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

年度進捗：

公的資金や民間企業資金による共同研究により、太陽電池モジュールの劣化機構明確化、新規加速試験法開発、実環境での性能推定に資する研究成果を得た。また、新規開発された封止材、バックシート等の優位性を検証した。これらの研究を通じて得られた成果の代表例について以下に述べる。

結晶シリコン太陽電池における湿熱負荷による劣化

が二段階で進行することを明確化した。第一段階は銀電極とシリコンエミッタ層間のギャップ形成によるものであり、曲線因子の低下をとまなう。第二段階は第一段階で残存した銀ピラーが整流特性を示すようになることを特徴とし、短絡電流の低下をとまなう。湿熱劣化を模擬する酢酸蒸気曝露試験法が SEMI 国際標準化投票で可決された。同試験法では、屋外曝露と比較して約4500倍の速度で劣化が進行することを見出した。

システム電圧が高いメガソーラ等において、短期間で発電量が大きく低下する電圧誘起劣化 (PID) 現象に関しても基礎的検証を進めた。ヘテロ接合型結晶シリコン太陽電池の PID 現象が、透明導電膜での吸収の増加に起因することを見出した。吸収の増加は、カバーガラスから移動したナトリウムにより、酸化インジウム系透明導電膜が還元することに起因する可能性が高い。銅 - インジウム - ガリウム - セレン (CIGS) 太陽電池の PID においては、PID 試験時に白色光を照射しないと劣化が大きく、さらに完全には回復しない劣化が生じることを見出した。一方、p 型結晶シリコン太陽電池の PID においては、PID 試験中の紫外光照射が PID の発生を遅らせることを見出した。屋外環境では、PID が発生する発電時は必ず光照射下にあり、暗中の PID 試験が過剰に過酷な試験となっていることが示唆される一方、屋外環境においても部分影が PID を発生させやすい可能性が併せて示された。

屋外曝露設備では、ヘテロ接合型やバックコンタクト型を含む結晶シリコン系、フレキシブル型を含む薄膜シリコン系や化合物薄膜系等の市販されている太陽電池を中心に、新規部材を用いた試作品も含め、各種モジュールを設置して系統連系運転を行った。10分毎に各ストリングの電流-電圧特性ならびに気象データを収集し、データを蓄積した。平成29年3月末時点において、22種類で計72 kW の太陽電池に関してアレイ単位の実環境性能評価を実施している。さらに、毎年1回以上、屋外に設置したモジュールを取り外し、屋内のソーラーシミュレータで性能評価を行うことにより、屋外曝露にとまなう経年劣化を観測している。これらのデータを詳細に解析したところ、裏面パッシベーション (PERC) 型結晶シリコン太陽電池において曝露初期に大きな光劣化を示すこと、ヘテロ接合型結晶シリコン太陽電池において経時劣化は開放電圧の低下をとまなうこと、等が明らかとなった。さらには、CIGS 太陽電池モジュールや有機薄膜太陽電池モジュールにおいては、暗所保管による性能低下と光照射による性能回復といった過渡的現象が生じることを見出した。また、クロスアポイントメント制度のもと、各種太陽電池モジュールの温度係数の精密測定を実施した。所外では、鹿児島県の降灰地域に太陽電池モジュ

ールを設置し、定期的な散水による表面汚濁の抑止が発電量に及ぼす影響を調査するとともに、降灰地域に長期に設置したモジュールを分析することで、火山灰がガラスを変質させることを見出した。さらには、降灰模擬実験を通じて、防汚コートが火山灰の滑落に効果的であることを見出した。

化合物薄膜化チーム

(Compound Semiconductor Thin Film Team)

研究チーム長：柴田 肇

(つくば中央第2)

概要：

薄膜系太陽電池でモジュール変換効率25% (PV2030+目標) を実現するための要素技術を開発すると共に、薄膜系太陽電池の適用範囲の拡大と低コスト化を目指す。具体的には、以下の4項目に重点的に取り組む。

- (1) CIGS 系太陽電池の高効率化技術の研究開発
- (2) CZTS 系太陽電池の高効率化技術の研究開発
- (3) 透明導電膜材料の高性能化と新規材料開発
- (4) 新規な半導体物性評価技術や太陽電池特性評価技術の開発

年度進捗：

- (1) CIGS 系太陽電池の高効率化技術の研究開発

CIGS 系太陽電池の小面積セルの研究に集中し、変換効率21%以上を達成するための要素技術に関して、必要な研究開発指針を得た。具体的には、CIGS 太陽電池を作製した後に、太陽電池に長時間の熱処理と光照射処理を施すことにより、太陽電池の変換効率が顕著に増大することを見出した。この技術により、CIGS 太陽電池で21.4%という高い変換効率を得ることに成功した。高い変換効率が得られた理由の詳細は不明であるが、熱処理と光照射を組み合わせることにより CIGS 光吸収層の正孔濃度が顕著に増大することが観察されており、特に開放電圧が増大する結果をもたらしている。正孔濃度が増大する理由の詳細は不明であるが、一種の永続的光電流 (Persistent Photoconductivity) 現象が発生していると考えられ、CIGS 結晶に存在する深いエネルギー準位が現象に関与していると推察される。また CIGS 太陽電池の高効率化技術の一つとして、Ga/(Ga+In)組成比の深さ方向のプロファイルを最適化する研究も行った。その結果として、CIGS 太陽電池の変換効率 (特に短絡電流の値) は、特に CIGS 薄膜の表面付近における Ga/(Ga+In)組成比の深さ方向のプロファイルに大きく依存しており、プロファイルを適切に制御し選択することにより、開放電圧の値を大きく損なうことなく短絡電流の値を増大させることが可能であることを見出した。

- (2) CZTS 系太陽電池の高効率化技術の研究開発

小面積セルの研究に集中して抜本的な高効率化技術の開発のための研究を行った。本年度は、特に CZTSe 薄膜の表面処理が CZTSe 太陽電池の性能に及ぼす影響を詳しく研究した。具体的には、CZTSe 製膜後に薄膜の表面を酸素プラズマに曝露するという処理を施し、曝露時間と太陽電池性能の相関関係を調査した。また、バッファ層の新しい成膜方法を検討し、バッファ層の膜厚を減少させて高い短絡電流を得る技術の開発を行った。結果として、CZTSe 薄膜の表面を酸素プラズマに曝露する時間が増大するに従って、CZTSe 薄膜の少数キャリアの寿命が単調に増大するという結果を得た。また、その結果として、得られた太陽電池の性能も、CZTSe 薄膜の表面を酸素プラズマに曝露する時間が増大するに従って単調に増大する、という結果を得た。実際には、太陽電池の短絡電流、開放電圧、形状因子の全ての特性が、曝露時間が増大するに従って単調に向上するという結果を得た。このような結果が得られた要因としては、CZTSe の製膜直後に CZTSe 薄膜の表面に存在していた ZnSe などの不純物が、酸素プラズマ処理によって酸化物に転換され、その後のデバイス化プロセスによって除去されたことが考えられる。また、バッファ層の新しい成膜方法を検討した結果であるが、第2バッファ層の成膜に ALD (原子層堆積) 法を用いることにより、第1バッファ層の膜厚を従来よりも大幅に低下させることが可能となり、その結果として短絡電流の値を顕著に増大させることが可能であることが分かった。以上の成果を組み合わせることにより、CZTSe 太陽電池で11.7%という非常に高い変換効率を得ることに成功した。

(3) 透明導電膜材料の高性能化と新規材料開発

CIGS 系太陽電池に求められる透明導電膜材料およびバッファ層材料の特性を考察し、その結果に基づいて CIGS 系太陽電池の高効率化の研究を行った。具体的には、透明導電膜材料として a-IZO および a-IOH、またバッファ層材料として a-IGZO を選択し、ZnO 系と比較しながら、材料とその組み合わせが太陽電池性能に与える影響を研究した。その結果として、a-IOH と a-IGZO の組み合わせにおいて、ZnO 系の材料を透明導電膜材料およびバッファ層材料に用いた場合と比較して、高い開放電圧と形状因子を維持したままで、高い短絡電流を得ることに成功した。

(4) 新規な半導体物性評価技術や太陽電池特性評価技術の開発

正・逆光電子分光法によるカルコゲナイド系太陽電池の評価技術を開発し、その結果に基づいてカルコゲナイド系太陽電池の高効率化の研究を行うことができた。特に、CZTSe 系のカルコゲナイド物質

の正・逆光電子分光法による評価技術の研究を行い、CZTSe とバッファ層および透明導電膜層の間の電子状態の接続について、詳しい解析を行うことができた。

先進プロセスチーム

(Advanced Processing Team)

研究チーム長：松原 浩司

(つくば中央第2)

概要：

シリコン系太陽電池（結晶系、薄膜系）に広く用いられるアモルファスシリコン系薄膜の高品質化や製膜時における下地・界面に与えるダメージを低減するプロセス開発を行っている。さらに、光吸収係数が小さいシリコン系太陽電池に不可欠な、効果的な光閉じ込め構造の検討や作製プロセスの開発も進めている。また、太陽電池の革新的な低コスト化や高効率化を狙った新しいシリコン系材料の開発も行っている。

年度進捗：

水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) の非ドープ層 (i 層) は薄膜シリコン太陽電池の光吸収層や結晶シリコン (c-Si) と組合わせた a-Si:H/c-Si ヘテロ接合太陽電池のパッシベーション層に用いられているが、p 型にドープした a-Si:H との接合により、特に高温プロセスで太陽電池特性が低下することが知られている。このメカニズムの解明のため、a-Si:H 太陽電池の i 層の局在準位をセル構造で評価することにより、接合するドープ層が i 層に及ぼす影響について検証した。p-i-n 型および n-i-p 型 a-Si:H 太陽電池の吸収端とバンドテイル、欠陥量の i 層製膜温度依存性を調査した結果、p-i-n 型セルの i 層は n-i-p 型のそれに比べて製膜温度の増加 (>200 °C) に対する吸収端のレッドシフトが著しく、また、バンドテイルと欠陥がより顕著に増加する傾向が観測された。これらの結果と膜中 Si-H_n 結合の評価から、i 層のフェルミ準位が価電子帯側にシフトすると水素の離脱が促進され、その結果、局在準位が増えることが示唆された。また、a-Si:H i 層の局在準位がセルの開放電圧と曲線因子に及ぼす影響について明らかにした。

a-Si:H/c-Si ヘテロ接合太陽電池に用いる極薄 a-Si:H パッシベーション膜の電子状態と輸送特性を評価した。分光エリプソメトリー法、一定光電流測定法、光学的ポンプ・プローブ法を用い、バンドギャップ、屈折率、価電子帯テイルの広がり、深い準位の欠陥吸収、トラップキャリア、キャリア輸送特性（移動度とライフタイムの積）を定量評価した。様々なサンプルを系統的に評価し以下の知見を得た。極薄膜化（約 10 nm 以下）に伴い、バンドギャップ及びバンドテイルが広がること、さらに深い準位の欠陥が増加することを見出した。キャリア輸送は、バンドテイルの広

がりを抑え、トラップキャリアを低減することで向上することを確認した。また、キャリア輸送特性のよいパッシベーション膜を太陽電池に適用することで、変換効率20%以上の太陽電池が得られることを検証した。

太陽電池のパッシベーション性能の更なる向上を目指し、極薄酸化膜 ($\text{SiO}_x\text{:H}$) の形成方法について検討を行った。オゾン酸化、プラズマ酸化及び原子層堆積法 (ALD法) の異なる3つの手法を用い、シリコン基板上に極薄酸化膜 (数nm) を作製した。今回用いた製膜手法の中では、ALD法で作製した極薄酸化膜が最もよい性能を示すことを見出した。例えば、サンプル構造 (p-type a-Si:H/ $\text{SiO}_x\text{:H}$ /c-Si/ $\text{SiO}_x\text{:H}$ / p-type a-Si:H) に対し、少数キャリア寿命0.6 msが得られた。今後は、太陽電池デバイスを作製し、ALD極薄酸化膜の有用性を検証する。

a-Si:Hと微結晶シリコン ($\mu\text{c-Si:H}$) を組み合わせた多接合薄膜シリコン太陽電池に関しては、産総研独自のハニカムテクスチャ基板を用いたサブストレート型a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$ 三接合型太陽電池を開発してきたが、本年度は、更なる変換効率の向上を目指して、トップセルとなるサブストレート型a-Si:H太陽電池に対し、独自のトライオード型プラズマCVD法の適用やp, n各層の高性能化を図った結果、従来の記録を上回る、14.04% (高精度評価値) の安定化効率を達成した。

高効率で低コストな薄型結晶シリコン太陽電池の実現に向けて、極薄ウェーハを念頭にした光閉じ込め効果や光学損失、表面パッシベーション等に関する基礎的な検討を実施した。薄型ウェーハを用いた疑似太陽電池における光吸収を実験的に見積もった結果、ピラミッド型テクスチャ構造による光閉じ込めはごく薄いウェーハにおいても良好であり、現状で光電流を律則するのは発電層以外での吸収損失であることが明らかとなった。また、ウェーハ厚さの開放電圧への影響を、a-Si:Hでパッシベーションしたc-Siウェーハのimplied V_{oc} を用いて評価した。理論的に予想される薄型化に伴うimplied V_{oc} の増加傾向を、最も薄い場合には厚さ30 μm 程度の超薄型ウェーハにて検証することに成功した。さらに種々の厚さのウェーハを用いてa-Si:H/c-Siヘテロ接合太陽電池を作製し、厚さ60 μm 程度でも一般的な厚さ (200 μm) と同程度の変換効率を得られることを実証した。

高密度ラインレーザーを用いたシリコンの液相結晶化法によりガラス基板上に形成した極薄多結晶シリコン ($\sim 10 \mu\text{m}$) について、様々な条件で作製した試料の電気特性と簡易バックコンタクト型セルの特性評価を行った。その結果、ガラス/シリコン層界面の中間層の製膜条件とシリコン光吸収層のドーピング濃度が移動度やライフタイム、セルの開放電圧を決定づける

重要な因子であることを見出し、それらの最適化により比較的高い開放電圧580 mVを得た。

フェムト秒およびナノ秒のパルスレーザーを用いたコロイド溶液中のプラズマプロセスにより、Si結晶のサイズをナノ (<4 nm) からサブミクロン (~ 500 nm) まで広範に制御できる技術を開発した。この新規プロセスを用いてSiSn合金ナノ結晶の合成に成功し、これまでの報告の中で最も高いSn濃度 (16.5%) を実現した。さらに、表面修飾を制御したSiナノ結晶はカーボンナノチューブ成長の触媒体として機能することがわかり、これを用いることでカーボンナノチューブの高品質化が期待される。溶液中に分散させたSiナノ結晶を真空中で基板にスプレーすることにより極薄膜のSiナノ結晶を異種基板上に製膜・デバイス化することが可能になった。この薄膜を用いた太陽電池の特性を評価した結果、室温大気中で安定であることがわかった。

先進多接合デバイスチーム

(Smart Stack Device Team)

研究チーム長：菅谷 武芳

(つくば中央第2)

概要：

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

年度進捗：

高い変換効率を有する多接合型太陽電池の実現のため、様々な太陽電池を低コストで簡便な半導体接合法により接続する技術 (スマートスタック技術) の開発を行っている。スマートスタック技術は、導電性ナノ粒子配列を接合界面に介在させた簡便な直接接合技術である。28年度は、前年度達成した4接合太陽電池変換効率32%をさらに向上させるため、その要素技術として、GaAs基板上のInGaPトップセル及びInP基板から剥離させたinverted型ボトムセルの開発を行った。トップセルについては、固体ソース分子線エピタキシー装置を用いて、InGaPセルのGaAs基板オフ角度依存性を調べた。その結果、[110]方向にオフした基板と、[1-10]方向に2°オフした基板で変換効率が高くなることがわかった。[110]方向にオフした基板では自然超格子形成が抑制されて開放電圧が高くなり、[1-10]に2°オフした基板では自然超格子形成が一方向にのみ促進され、欠陥やトラップが減少することにより短絡電流密度が増加することがわかった。

ボトムセルを InP 基板から剥離して低コスト支持基板に転写する技術は、基板の再利用に繋がるほか裏面電極の反射を用いた光閉じ込めによってセル特性が改善されることが見込める。前年までに開発した1.05 eV InGaAsP セルに加えて0.7 eV InGaAs ボトムセルを開発した。半導体基板から剥離させていないセル (upright セル) に比べて、Si 支持基板に転写した inverted セルはいずれのサブセルにおいてもすべてのセル特性パラメータが向上し、変換効率は InGaAsP で9.5 %から12.1 %に、InGaAs で8.2 %から9.5 %に向上した。室温時間分解フォトルミネッセンス測定を用いて InGaAsP ボトムセルのキャリア寿命を評価したところ、inverted 型では15.2 ns から20.2 ns に長寿命化することが分かり、裏面反射によりフォトンリサイクリング効果が促進されたことが明らかになった。inverted 型ボトムセルを適用した Si 支持基板上の薄膜型3接合 InGaP/GaAs//InGaAsP (//はメカニカル接合部) スマートスタックセルを開発し、接合プロセスを改善することにより、変換効率は前年の15.9 %から21.0 %に向上した。今後は4接合太陽電池に応用し、さらなる変換効率向上を目指す。

有機系薄膜チーム

(Functional Thin Films Team)

研究チーム長：近松 真之

(つくば中央第5)

概要：

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

年度進捗：

急速な変換効率の向上により注目を集める有機無機ハイブリッド (ペロブスカイト) 太陽電池に関しては、発電層であるペロブスカイト層について作製プロセスとして蒸着法と塗布法を検討した。

蒸着法では、クリーンな環境での組成精密制御および結晶成長技術を開発し、高品質な薄膜作製および高効率化を目指している。今年度は、レーザー蒸着法により製膜したペロブスカイト薄膜が、ルブレ単結晶上にエピタキシャル成長することを実証した。分子レベルで平坦な層状成長が実現し、高度な結晶成長制御に成功している。

塗布法では、印刷プロセスに適用可能な材料・プロセス開発を行い、既存の太陽電池の製造コストを大きく下回る、低コスト化を目指している。特に、電子輸送層/ペロブスカイト層およびペロブスカイト層/正孔輸送層の界面制御に着目し研究開発を行っている。今年度は、電子輸送層であるチタニアとペロブスカイト層の界面制御について、四塩化チタン処理の効果を

詳細に調べた。その結果、四塩化チタン処理で生成したチタニア薄膜が焼成により結晶性が向上するため、伝導帯準位が加熱温度により変化することを見出した。各処理条件で太陽電池セルを作製したところ、伝導帯準位の低下に伴い開放電圧が減少する一方、短絡電流が向上し、最適化した加熱温度で最も高い変換効率17 %以上が得られた。さらに、正孔輸送層とペロブスカイト層の界面制御では、ピリジン系界面修飾材料を比較し、化合物の窒素数の増加に伴い開放電圧が向上することが明らかになった。また、ホール輸送層へのドーパントとして新規 Co 錯体を合成した。新規ドーパント材料を用いた太陽電池セルを作製したところ、既存ドーパント材料よりも高い変換効率を示した。セルの高耐久化については、劣化原因の解明に向けた物性評価技術の開発を行った。

有機薄膜太陽電池に向けた新規半導体材料開発では、n 型半導体として非フラーレン材料の開発を行った。また、p 型半導体として新規オリゴチオフェン誘導体の開発と太陽電池作製評価を他ユニットおよび大学と共同で行った。溶媒蒸気アニール法によりセルを作製することで、発電層の構造制御に成功し、大幅な変換効率の向上が見られた。有機薄膜太陽電池のモジュールの試作では、企業および大学と共同で5直列のシースルー型フレキシブルモジュールのプロセス技術を確認し、モジュール間をジッパーで繋げる新概念のデバイスを開発した。

機能性材料チーム

(Advanced Functional Materials Team)

研究チーム長：佐山 和弘

(つくば中央第5)

概要：

太陽光エネルギーの革新的な利用のために、色素増感太陽電池及び太陽光エネルギーを水素等の化学エネルギーに変換する人工光合成について研究を行っている。人工光合成については、水素や有用化学品製造のための高性能光触媒や光電極材料の開発や反応機構の解明、さらに環境浄化光触媒開発等を行っている。

年度進捗：

色素増感太陽電池に関しては、分子間相互作用の計算化学的研究から、有機レドックス TEMPO を用いた場合に1電子移動の有機色素再還元機構が示唆された。また、ホール輸送剤 Spiro-OMeTAD の酸化過程並びに Li-TFSI の添加効果を計算化学手法によりの確に説明できることがわかった。人工光合成については、アニオン効果によって Ce³⁺酸化の Faraday 効率が大幅に向上する現象を見出した。さらにフランメトキシ化等の有機合成が効率良く進行することが分かった。水分解のための複合助触媒開発に関して、Co と異種元素との複合効果を調べた結果、Cr 複合化によ

り性能が向上することを明らかにした。スピンオフ技術である環境浄化用可視光応答型酸化タングステン光触媒については、企業への特許実施許諾などによる製品化を検討し、製品候補の絞り込みを進めた。

⑧【再生可能エネルギー研究センター】

(Renewable Energy Research Center)

存続期間：2015.4.1～2022.3.31

研究センター長：仁木 栄

副研究センター長：古谷 博秀

総括研究主幹：安川 香澄

所在地：福島再生可能エネルギー研究所

人員：35名 (35名)

経費：2,531,563千円 (1,517,944千円)

概要：

1. ミッションと目標

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

また、当研究センターでは、第4期中長期計画に基づく「第4期中長期目標期間において重点的に推進する研究開発等」の「1－(1)新エネルギーの導入を促進する技術の開発」および「1－(2)エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発」の研究開発を担当する。

2. 研究開発の方針

上記目標と中期計画を実現するために、再生可能エネルギーの大量導入の早期実現に向けて解決すべき以下の技術を戦略的研究課題として設定し、これらの研究課題を企業、大学等と共同で進めていく。

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

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

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

「地熱・地中熱の適正利用技術」に関しては、地熱発電や地中熱利用に関して高度な地熱モニタリング技術と精確なデータマップを提供、開発の鍵となる要素技術の開発により、環境に適合した適切な導入を支援する。

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

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

(1) 再生可能エネルギーネットワーク開発・実証

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

(2) 水素キャリア製造・利用技術

太陽光・風力発電等の変動電源から水素キャリア(有機ハイドライド、アンモニア等)を製造することにより、変動する再生可能エネルギーを大量貯蔵・輸送し、高効率で利用するシステム技術を開発・実証している。有機ハイドライドについて、実証データをもとに150 kW級アルカリ水電解シミュレータの開発と有効熱利用法の提案等を行う。また水素キャリア利用技術として、環境負荷の少ない燃焼技術を見出す。アンモニア合成技術について、パイロットプラントへの実装を目指し、合成触媒の探索及び高活性化を目指す。

(3) 高性能風車要素技術およびアセスメント技術

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

(4) 薄型結晶シリコン太陽電池モジュール技術

結晶シリコンインゴットから太陽電池モジュールまでの一貫製造ラインを用いて、高効率・低コス

ト・高信頼性を兼ね備えた薄型結晶シリコン太陽電池モジュールの量産化技術を結晶シリコン基盤技術コンソーシアム構成企業などと連携して実現する。厚さ80 μmの太陽電池セルと薄型ガラスを用いた軽量（現行汎用品の半分）モジュールで、変換効率22%、寿命30年を目指す。また、次世代の高効率太陽電池として、バンドギャップの異なる材料の太陽電池を金属ナノ粒子を用いて積層化するスマートスタック技術の開発を行う。特に、下部セルとして結晶シリコンセルを用いた結晶シリコンスマートスタックセルの高効率化(>30%)を重点に開発を進める

(5) 地熱の適正利用のための技術

2050年以降の実用化を目指す超臨界地熱発電の実現可能性を探索するとともに、地熱発電所の持続的な運転や周辺温泉への影響監視・評価に必要なモニタリング技術、地熱発電可能地域・開発可能なエネルギー量を拡大する技術等を開発する。また、地熱利用の社会的受容性を高めるため、地熱モニタリング技術開発の成果、及び地熱情報データベース等を利用し、温泉資源との共生を支援する合意形成支援手法を開発する。

(6) 地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術

地下水流動・熱交換量予測シミュレーションに基づく高分解能(<1 km メッシュ)地中熱ポテンシャルマップを作成し、それを活用して地中熱利用システムの最適化・高精度設計技術の開発を行う。地中熱ポテンシャルマップと最適設計手法により、1,000万 kWの地中熱利用システムの導入を目指す。

外部資金：
経済産業省

「平成28年度エネルギー使用合理化国際標準化推進事業委託費（省エネルギー等国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業：大規模分散電源用大型パワーコンディショナの性能試験等に関する国際標準化・普及基盤構築）」
「超臨海地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発」
「EGS 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大」
「系統協調型の分散電源大量導入技術の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「地下水を利活用した高効率地中熱利用システムの開発とその普及を目的としたポテンシャルマップの高度化」
「温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発」
「地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール/腐食等予測・対策管理）」
「風車部品高度実用化開発（小形風力発電部品標準化）」
「太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発/薄型

セルを用いた高信頼性・高効率モジュール製造技術開発」
「洋上風況観測システム実証研究（洋上風況マップ）」
「エネルギー・環境新技術先導プログラム/超臨界地熱開発実現のための革新的掘削・仕上げ技術の創出」

国立研究開発法人科学技術振興機構

「アンモニア内燃機関の技術開発」
「水素エンジン燃焼技術」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

「地熱貯留層評価・管理技術」

科学研究費補助金

「衛星データによる海上風推定の高度化と風況把握システムの構築」
「メソ気象モデルによる海上風推定の高度化を目的とした内部境界層解像スキームの開発」
「オキシシルシフェリン誘導体を用いたホタル生物発光の色変化機構の解明」
「次世代水素ステーションに向けた液体水素冷熱を活用する熱化学水素昇圧材料の探索」
「都市インフラを利用した高効率・低コスト型地中熱利用システムの実用化による温暖化対策」
「テラヘルツ金属メタマテリアルが織り成す超高速電場誘起現象とデバイス応用」
「地殻エネルギー・フロンティアの科学と技術」

文部科学省補助金

「卓越研究員事業」

発表：誌上发表116件、口頭発表209件、その他15件

エネルギーネットワークチーム
(Energy Network Team)

研究チーム長：大谷 謙仁

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

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

具体的には、再生可能エネルギーの導入拡大を進めるため、特に太陽電池に関する各技術の性能を検証、

再生可能エネルギーによる電源価値を向上するため、蓄電技術や水素製造・貯蔵・利用技術、さらには、熱利用技術を統合した再生可能エネルギーマネジメントシステムを開発など、これらの技術開発により、再生可能エネルギーの導入可能量を大幅に引き上げ、再生可能エネルギー100%による電力自立などの様々な利用シーンの実証を目標とし、米 NREL、ノルウェーの SINTEF といった国内外の研究機関との連携した共同研究と国際標準化を推進する。

研究テーマ：テーマ題目1

水素キャリアチーム

(Hydrogen Energy Carrier Team)

研究チーム長：辻村 拓

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

太陽光・風力などの再生可能エネルギーは自然状況に左右されることが大量導入の妨げとなっている。本研究では、再生可能エネルギー発電電力を利用して水電解により水素製造を行い、その水素を効率的に水素キャリアへ化学変換し、安全かつ環境負荷が少なく利用する技術を開発することで、再生可能エネルギーの大規模導入に貢献する。

水素キャリアとして有機ハイドライドの一種であるメチルシクロヘキサン (MCH)、及び窒化物のアンモニアに着目し、再生可能エネルギー由来水素を使った MCH 製造や MCH から脱水素する反応器の動的特性などを評価する。また、MCH を効率的に利用するため、脱水素反応器を装着した廃熱回収型コージェネエンジンを開発し、脱水素反応により発生した水素をコージェネエンジンの燃料の一部として安全かつ高効率に利用する技術を開発する。さらに、水素キャリアの製造から利用までを統合化した『水素キャリア製造・利用統合実証システム』を稼働し、実証データの取得及びそれをもとにしたシステムシミュレータの開発を進め、様々なエネルギー貯蔵・利用モデルの検討を行う。

アンモニアについて、ハーバーボッシュ法 (500℃、200気圧) よりも低温・低圧の下で高効率化、プラント起動の短時間化などに資する触媒反応技術の開発を進めるため、パイロットプラント向けのアンモニア合成触媒の開発を行う。また、アンモニアを火力発電等の熱機関において直接燃焼利用するためのアンモニア専焼及び天然ガス混焼技術を開発する。

研究テーマ：テーマ題目1

風力エネルギーチーム

(Wind Power Team)

研究チーム長：小垣 哲也

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

風力発電の更なる本格普及のためには、発電コストの更なる低減を目指し、風車の高出力化・長寿命化や低騒音化による設備利用率の向上、事前の設置予定場所・配置の選定や年間発電電力量評価のためのアセスメント技術の高精度化が大きな課題となる。こうした課題に対して、近年、国際的に注目されつつある「ナセル搭載 LIDAR」を活用すると、風車前方の風速や風向をリモートセンシングにより計測することができるが、これにより風向急変や突風等を事前に察知し、風車の予見制御を実現することにより、発電出力の向上、寿命向上、故障の低減といった事が期待される。本研究では、ナセル搭載 LIDAR プロトタイプ機を試験研究用風車に搭載し、計測精度の実証と、風車の予見制御技術の先導研究として予見制御アルゴリズムの開発を行うと共に、設備利用率、性能評価、荷重低減効果に関する実証研究、更にはナセル搭載 LIDAR と親和性の高いプラズマ気流制御技術を統合した風車技術の開発を実施する。長期間使用可能な全天候型マイクロホンの開発と共に、無人航空機を活用した現地計測技術、気象シミュレーション技術、衛星画像データによる風速推定技術を統合し、風力発電のアセスメント手法の高精度化、低コスト化に寄与する研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1

太陽光チーム

(Photovoltaic Power Team)

研究チーム長：高遠 秀尚

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

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

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

具体的には、厚さ100 μm以下のウェハを実現するために、固定砥粒 (ダイヤモンドワイヤー) 方式によるシリコンインゴットのスライス技術の開発、高効率・低コストの結晶シリコンセルの実現を目指した厚さ100 μm以下の新しい構造のセルの開発、イオン注入技術といった量産に対応した先端的なプロセス技術の開発、高効率・低コスト・高信頼性・軽量結晶シリコン太陽電池モジュールの実現のための薄型ガラスを用いたダブルガラス構造のモジュールの開発、バンドギャップの異なる複数の太陽電池を金属ナノ粒子を用

いて積層化するスマートスタック技術の開発などを行っていく。

研究テーマ：テーマ題目2

地熱チーム

(Geothermal Energy Team)

研究チーム長：浅沼 宏

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

我が国の地下に存在する地熱エネルギーの量は世界第三位とされているが、様々な理由によりそれを十分に利用できていないのが現状である。本チームでは、資源の不確実性や温泉との共生などの導入阻害要因の克服、社会・地下状況に合わせた最適開発手法の提示、工学的手法による地熱エネルギー利用可能地域の増大・持続性の維持を目指した研究を行い我が国における地熱発電量増大に早急に寄与する。

これに加え、2050年以降の大規模な発電の実現を目指し、超臨界地熱資源開発の可能性を探索するとともに、リードタイムが長い課題について欧米国研等と連携して研究開発を実施する。

研究テーマ：テーマ題目3

地中熱チーム

(Shallow Geothermal and Hydrogeology Team)

研究チーム長：内田 洋平

(福島再生可能エネルギー研究所)

概要：

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

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

研究テーマ：テーマ題目3

[テーマ題目1] 再生可能エネルギーの大量導入のための新システム統合技術

[研究代表者] 大谷 謙仁 (エネルギーネットワークチ

ーム)

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

[研究内容]

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

再生可能エネルギーネットワーク開発・実証については、以下の研究を実施した。

・システム統合技術とエネルギーマネジメント

太陽電池モジュール10種以上、パワーコンディショナ3機種22台で構成された太陽光発電システム、固体高分子型水電解システム(燃料電池機能付)、水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵システム等の個別要素技術の性能分析を行い、さらに新設したスマートシステム研究棟も加えて、これらを基盤とする多くの共同研究を実施した。太陽光発電用大型パワーコンディショナに対し、単独運転防止試験、事故時運転継続(FRT)機能試験の様な系統連系試験が行えるようになり、1 MW を越える大型パワーコンディショナの試験、海外認証向けの試験を実施した。

・再生可能エネルギー資源の高度モニタリング

福島県全域の発電量(太陽光・風力)を1時間単位/2 kmc メッシュで推定する技術の精度向上と全国展開を図るため、気象衛星ひまわり8号の雲画像によって日射量をより高解像度、短時間で推定するモデル開発を行った。雲画像の内、可視光バンドの画像を使って日射量を推定可能とし、時間分解能が1時間から1分値に上げられることを確認した。ランダムフォレスト学習法を使うことにより二乗平均誤差が既存モデルと比べて約半分となった。

・再生可能エネルギーによる水素製造・貯蔵・利用システム

再生可能エネルギーによる電解によって製造された水素を安全に貯蔵するために、高圧ガス及び危険物とならない水素吸蔵合金を特定し、合金の初期活性化においても低温低圧の条件で可能にする手法を特定した。さらに民間企業と資金提供型共同研究において、その合金を用いた大型の水素貯蔵装置構築し、さらに、20 kW 太陽電池と5 Nm³/h 規模の水素製造装置、10 kWh 蓄電池、3.5 kW の燃料電池を組み合わせた水素エネルギーシステム実証設備を構築し、エネルギーマネジメントシステムによる統合制御を進めている。平成27年度に構築した90 MPa 級の水素高圧設備に、高圧条件下での水素吸放出特性を計測できるための水

素流量制御装置を付加し、昇圧用合金の性能試験を行い、典型的な合金を用いて0.2 MPa から、約15 MPa への昇圧を確認し、本格的な材料開発を可能にした。水素キャリア製造・利用技術については、以下の研究を実施した。

・有機ハイドライドの触媒性能評価

積分型反応器を備える水素着脱反応触媒評価装置により、水素化・脱水素化プロセスの繰り返しによる副生成物の蓄積量への影響を定量的に測定した。また水素／トルエン供給比を変動することによる転化率への影響等を明らかにした。また、微分型反応器による反応速度解析も実施し、実スケール触媒反応器の設計指針を示す。

大型アルカリ水電解、水素化触媒塔、大型貯蔵タンク、脱水素触媒搭載型コジェネエンジンを統合した世界最大級の水素キャリア製造・利用統合システム実証機を稼働し、これまでに30 MWh の電力（一般家庭3000軒日分）を水素あるいはMCHとして貯蔵した。電気化学・熱輸送モデルを組み込んだ150 kW 級アルカリ水電解シミュレータを開発し、システムの最適化設計に活用している。今後は水素化反応器の動特性を表現する反応器モデルと連成した水素キャリア製造シミュレータとして発展させる計画である。

・MCH を用いた次世代コジェネエンジン技術

MCH を用いた次世代コジェネエンジンにおいて、エンジン排熱エネルギーをMCHの脱水素に活用する熱回収技術および水素のエンジン燃焼技術を研究開発している。エンジン排熱の高温化等の熱回収を強化することで、世界トップ水準のMCHからの水素発生を実現している。脱水素後の水素を従来燃料とエンジン混焼する技術として、環境負荷を大幅に低減する燃焼手法を見出した。今後は実スケールエンジンにおいて、燃焼コンセプト等を実装することを目指す。

・アンモニア内燃機関の技術開発

東北大学と共同でアンモニアの直接燃焼利用技術を開発している。小型ガスタービン（50 kW 定格）での燃焼利用に挑戦しており、燃焼器の改良に向けてまず燃焼器内の燃焼状態を把握するため、発電中のガスタービンのアンモニア火炎観察に成功した。さらに様々な条件での燃焼器試験を行えるよう燃焼器テストリグを整備し、メタン着火で起動し、アンモニア専焼、メタン-アンモニア混焼で試作燃焼器の試験を行った。またレシプロエンジンにおけるアンモニア燃焼の数値シミュレーションに取り組み、消炎過程も調べた。本研究開発は、内閣府 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「エネルギーキャリア」（管理人：国立研究開発法人科学技術振興機構）によって実施している。

高性能風車要素技術およびアセスメント技術については、以下の研究を実施した。

・ナセル搭載 LIDAR のフィールド実証結果

国際的にも初めて多ビーム（9ビーム）方式のナセル搭載 LIDAR を試験研究用風車に搭載し計測精度の評価と風車制御の高度化に対する適用性を評価した結果、LIDAR によって評価できるロータ等価風速を使用することにより従来のハブ高さ風速よりも風車性能の評価精度を数%改善するとともに、LIDAR のビーム照射を任意に制御することにより、風車制御に有効な風速情報量と取得率とを両立させたデータ取得が可能であることを実証した。

・アセスメント技術の高度化（数値気象モデル）

産総研および京都大学のスーパーコンピュータシステム上にメソ気象モデルの並列実行環境を整備し、洋上風況マップに利用される沿岸風況データベース作成のためのプラットフォームを構築した。また、陸上および海上のデュアルライダー観測を実施し、海上風の吹送距離と増速率の関係について検討した。

・アセスメント技術の高度化（衛星リモートセンシング）

長期マイクロ波散乱計データによる外洋風況把握手法を開発するとともに、風速・風向値の精度検証を実施した。加えて風況把握に必須となる、年平均風速等の統計値も合わせて評価を行った。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] エネルギーネットワーク、太陽光発電、風力、水素キャリア

[テーマ題目2] 太陽光発電の高効率化・低コスト化技術

[研究代表者] 高遠 秀尚（太陽光チーム）

[研究担当者] 高遠 秀尚、棚橋 克人、水野 英範、Mitchell Jonathon、望月 敏光、立花 福久（常勤職員6名、他12名）

[研究内容]

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

・高効率セル作製プロセス検討

これからの市場の中心となる P 型ウェーハを用いた PERC 構造セルの高効率化とその評価法の検討を行った。内部量子効率マッピング法やレーザーテラヘルツ放射顕微鏡といった新しい手法を用いて、絶縁膜 (SiN/AIO)/Si 界面など PERC セル裏面に関する新しい知見を得た。これらを基に量産化プロセスでセルを作製し、変換効率20.5 %を得た。イオン注入を用いた新しいセル作製プロセスの開発においては、ボロン (B) のイオン注入条件の検討を進めた。その結果、リン拡散層およびボロン拡散層を共にイオン注入で形成した両面受光型セルおよびバックコンタクトセルの作製に成功し、それぞれ、20.4 %と20.5 %の変換効率を達成した。さらに、注入マスクを用いたイオン注

入技術の開発に着手し、産総研独自の注入マスク位置合わせ装置の設計・作製を行った。

- ・次世代多接合太陽電池「スマートスタック技術」の開発

整列したナノ粒子を用いて異種材料の太陽電池を積層する産総研のオリジナル技術であるスマートスタック技術についての検討を進めた。下部セルとして結晶シリコン太陽電池を用いた InGaP/GaAs/Si 構造の3接合セルで、変換効率25.1 %を達成した。また、複数枚のトップセルを一括で基板から剥離し、一括でボトムセル (Si) に転写する方法を開発し、InGaP/GaAs/Si セルにおいて21.0 %を達成した。

- ・モジュールの信頼性向上・新規評価方法の開発
- モジュールの高信頼性化に関しては、民間企業と共同で、劣化モジュールの分析や劣化モードの把握を進めた。また、SCREEN ホールディングスと共同で、レーザーテラヘルツ放射顕微鏡(LTEM)の開発を進めた。コロナ放電によって絶縁膜中の電荷を制御することで、絶縁膜/Si 界面の表面電場を測定する新しい方法を開発し、これを用いて絶縁膜中の固定電荷量の測定に初めて成功した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽光発電、結晶シリコン太陽電池

【テーマ題目3】 地熱・地中熱の適正利用のための研究

【研究代表者】 安川 香澄 (再生可能エネルギー研究センター)

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

【研究内容】

「地熱・地中熱の適正利用技術」に関しては、地熱エネルギー利用に資する高度な地熱モニタリング技術と地中熱利用に資する高精度なデータマップを提供する一方、新たな利用技術開発を行うことで、地下環境・社会環境に適合した適切な導入を支援する。

地熱の適正利用のための技術については、以下の研究を実施した。

- ・地熱井への人工刺激シミュレータの開発
- 坑井を介した貯留層への加圧注水等により地熱貯留層の能力改善を試みることもある。欧米の研究者と連携して加圧注水に対する亀裂の応答に関する室内実験を実施するとともに、超臨界地熱システムを想定した超高温の貯留層内で発生する様々な現象を模擬するシミュレータを開発した。
- ・温泉泉質の遠隔連続モニタリングシステムの開発
- 地熱発電と温泉との関連を科学的に説明可能にするために、温泉の泉質 (温度、流量、電気伝導度等) を計

測できるシステムのプロトタイプを開発し、実証試験を開始した。このシステムは自立型計測を可能とし、インターネットを通じて、連続的に取得したデータをサーバへ転送する。2016年度から、温泉地域での実証試験を行い2017年度末の実用化を目指している。

地中熱ポテンシャル評価とシステム最適化技術については、以下の研究を実施した。

- ・会津盆地の地中熱ポテンシャル評価

3次元地下水流動・熱輸送モデルを福島大学・柴崎研究室と共同で構築した。構築したモデルを現地調査で得られた地下水位分布および地下温度プロファイルデータを用いて検証し、盆地内の湧水地点や自噴井の分布を再現した。また、構築したモデルを用いて、クローズドループシステムを想定した熱交換量マップを作成した。さらに、現地湧水調査結果と地下水流動解析より、オープンループシステムに対応するポテンシャルマップを開発した。その結果、盆地の南部地域と北部地域ではクローズドループシステムの熱交換率が高く、盆地中央部では自噴井を用いたオープンループシステムが適していることを示した。

- ・会津盆地の水理地質構造の解明

福島大学との共同研究を通じて、福島県会津地域における第四紀地質構造解析と水理構造 (地下温度構造など) 解析を行い、地中熱ポテンシャル評価の基盤データを構築した。特に、コア試料に基づく柱状図資料により、第四系の上層と下層の区分を行い、上層/下層境界面の深度分布図を作成した。

これらのデータは、前述した「会津盆地の地中熱ポテンシャル評価」に用いる予定である。

- ・地中熱システム最適化技術開発 (シーズ事業)

被災地企業のシーズ支援プログラムを活用して、民間企業3社との共同研究「樹脂製細管熱交換器を内蔵したタンク式地中熱交換器の有効性の検証 (ジオシステム)」「地中熱を利用した電子機器類の排気冷却システム (ミサワ環境技術)」「非排水・非排土熱交換器埋設工法による準浅層における低コスト熱応答試験 (新協地水)」を実施した。いずれも、地域の水文地質環境を活用することにより、従来の地中熱システムよりも高効率の熱交換システムや短時間・低コストの TRT を開発した。

【領 域 名】 地質、エネルギー・環境

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

⑨【先進パワーエレクトロニクス研究センター】

(Advanced Power Electronics Research Center)

(存続期間：2010.4.1～2018.3.31)

研究センター長：奥村 元

副研究センター長：山口 浩、坂本 邦博

所在地：つくば中央第2、つくば西、関西センター

人 員：33名 (33名)

経 費：4,493,775千円 (2,251,413千円)

概 要：

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

特に、過負荷耐性などの極限仕様への対応が期待される SiC、GaN、ダイヤモンドといったワイドギャップ半導体デバイス／システムの電力エネルギー制御への活用を中心課題に据えるとともに、それらによるパワーエレクトロニクス技術の革新、大／中／小の各容量における電力エネルギーのネットワーク化運用・制御の実現を念頭に、エネルギーエレクトロニクス領域への展開を図る。その目標の達成のために、ウェハプロセス、エピタキシャル成長、SiC パワーデバイス、SiC デバイスプロセス、SiC デバイス設計、GaN パワーデバイス、ダイヤモンド材料、ダイヤモンドデバイス、パワーデバイス基礎、パワー回路集積、パワーエレクトロニクス応用の11の研究チームを組織し、有機的な協同体制で上記の新規半導体のデバイス化には不可欠な「結晶－デバイスプロセス－デバイス実証－パワーモジュール化－機器応用」の各段階の技術に関する一貫本格研究を強力に推進する。

本年度の研究内容としては、上記3種のワイドギャップ半導体を包含する内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代パワーエレクトロニクス」と SiC 低損失スイッチングデバイス／電力変換器実証に関する企業との大型共同研究連合体「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション（TPEC）」を「橋渡し研究」の両輪として進めた。特に、SIP「SiC に関する拠点型共通基盤技術開発」や TPEC における集中研究拠点としての活動では、企業研究者を特定集中研究専門員として積極的に受入れるなど、各種企業と密接な連携のもとに研究開発を遂行するため、常勤研究員だけでなく、外来共同研究員、併任研究員、ポスドク／補助員等の契約職員、各種フェロー、連携大学院生等を積極的に活用して研究

活動を行い、総勢270名超の組織となっている。

内部資金：

TPEC を活用したパワーエレクトロニクス技術の橋渡し研究

外部資金：

原子力エレクトロニクス技術を活用した耐放射線半導体イメージセンサの開発

ダイヤモンド MESFET 作製技術の確立とダイヤモンド IC の要素技術開発

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

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／GaN に関する拠点型共通基盤技術開発／GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発／パワーデバイス実用化を可能とする革新ダイヤモンド結晶成長技術開発

低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究/コンパクト加速器を実現するための超高速・高電圧パルス電源の開発

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

車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発

半導体ダイヤモンドの開発

センサデバイス性能向上及びプロセス基盤技術

ドーパントによるワイドギャップ材料の機能化機構の解明

高耐圧用ダイヤモンド MOSFET の作製

粒子線と光の組合せによるワイドギャップ半導体の深い準位評価法の開発

電子励起高密度ラジカル供給による単結晶ダイヤモンドの高効率エピタキシャル成長法

超低損失パワーデバイス用途ダイヤモンド低抵抗ウェハの合成

選択成長法を用いた GaN 系立体チャネル型トランジスタの研究

ダイヤモンド半導体を用いたパッシブな宇宙用電子放出源の実現可能性評価

ドレスト光子フォノンによる革新的人工光合成材料の開発

発表：誌上発表69件、口頭発表185件、その他6件

ウェハプロセスチーム

(Wafer Process Team)

研究チーム長：加藤 智久

(つくば西)

概要：

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

コドーピング技術で n 型バルクウェハで5.3 mΩcm、p 型で60 mΩcm の低抵抗値を達成し、開発目標値を上回る成果を得た。B 添加 SiC 原料粉末を開発し、バルク単結晶成長の実験にて N・B コドーピング成長に十分応用できることを確認した。開発した p 型4H-SiC バルク単結晶からの3 inch ウェハを試作し、IGBT 開発に向けたウェハ-デバイス連携研究の基盤を固めた。低抵抗ウェハやスーパージャンクション構造の平坦化加工技術を開発した。

エピタキシャル成長チーム

(Epitaxial Growth Team)

研究チーム長：児島 一聡

(つくば中央第2、つくば西)

概要：

当チームでは、SiC エピタキシャル薄膜成長技術とその材料評価を中軸に、超高耐圧 SiC バイポーラデバイス用厚膜成長技術と材料評価並びに埋め込みエビ技術を用いた PN カラム (SJ) 構造形成といった SiC デバイスの高機能化に資する新規 SiC 薄膜成長技術の開発を推進継続した。Si 面の厚膜成長ではウェハ裏面加工により4インチ100 μm 厚エビに於いてウェハのそり量を未加工ウェハに比べて1/5に低減、技術の効果を確認した。また、B 濃度を低減することにより100 μm 厚で10 μsec という長いキャリア寿命を C 注入を用いることなく実現、予測されるバルクライフタイムとして20 μsec を得た。一方、C 面に於ても250 μm 厚のエピ膜に対してC注入を行うことで10 μsec のライフタイムを実現、材料としてC面の超高耐圧デバイス適合を確認した。また、ドリフト層のバルク化を目指して on-axis 基板上に厚膜成長を行い、初期成長条件の再検討により3C インクルージョンの密度を従来の1/7 (7個/cm²) まで低減することができた。一方、評価においては BPD の SSF や DSSF への拡張の起点評価を継続、その起点の構造と BPD の拡張条件との関係を明らかにするとともに、X 線 CTR 散乱を用いた SiO₂/SiC 界面評価を開始した。埋め込みエビ技術を用いた SJ 構造形成では、深さ~25 μm、幅~2.5 μm、アスペクト比~10のトレンチ埋戻し成長レートを10 μm/h まで高速化すると共に、

トレンチ形成方向と結晶方位をそろえることにより従来埋め込み領域に発生していた非対称成長を抑制することに成功、SNDM を用いた埋め込み層の濃度評価手法も新たに開発した。

研究テーマ：テーマ題目

SiC パワーデバイスチーム

(SiC Power Device Team)

研究チーム長：原田 信介

(つくば中央第2)

概要：

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

平成28年度は、トレンチ型 MOSFET において、セルピッチ縮小化、チャネル長短縮化を実現するプロセスを開発し、セルピッチ3.2 μm で更なる低オン抵抗化を実現した。また内蔵 SBD 型トレンチ MOSFET の作製プロセスを確立した。スーパージャンクション構造形成技術の開発においては、埋め戻しエビ条件の最適化を行い、オリフラ精度の重要性を見出すことで、深さ25 μm のトレンチ埋戻しに成功し、更には平坦化までの一連の工程を確立することで、6.5 kV 対応 SJ 構造の形成を実証した。MOS 界面評価に関しては、正のゲート電圧に対する早いしきい値電圧変動成分が AC 動作時の周波数、Duty 依存性に与える影響を、製品化された MOSFET に対して評価できる手法を開発した。また負のゲート電圧に対しても早い成分を評価する手法を開発した。また窒化酸化膜界面の実態解明として、アトムプローブ測定と同位体窒素を用いて、界面窒素分布を SiO₂側、SiC 側に分解することに成功した。新規ゲート絶縁膜作製に関しては、原子層堆積法により Al₂O₃膜成膜を通して非 SiO₂堆積膜での界面品質向上の可能性を示した。

SiC デバイスプロセスチーム

(SiC Device Process Team)

研究チーム長：宮島 将昭

(つくば西)

概要：

当チームでは、産業界への橋渡し後期にあたる SiC デバイスの製造プロセスにおける研究開発を進め、それらの量産化試作実証を行なうことと、国プロで実施している順方向電流劣化対策を目的とする。

28年度の実績としては、1.2 kV トレンチ MOS の

寸法幅縮小5 μm から3.2 μm 、それに伴い Halo プロセスの開発、セルフアラインによるトレンチ底に P 層を作るプロセス技術を開発。順方向電流劣化においては、通電電流と積層欠陥発生閾値の関係を調査し、再現性を確認している。

SiC デバイス設計チーム

(SiC Device Design Team)

研究チーム長：平塚 健二

(つくば西)

概要：

当チームでは、SiC パワーデバイスの実用化に不可欠な6インチ基板でのデバイスプロセス量産技術の研究を行うため、西7B 棟スーパークリーンルーム内に新しく SiC 用6インチラインを構築した。

従来4インチ Si 用であった1,500 m^2 のクリーンルームを6インチ SiC 用に展開させ、さらに裏面プロセス用320 m^2 のクリーンルームを新築した。ここに100台超の6インチ SiC 用プロセス装置を設置し、運転を開始、平成28年11月に竣工式が執り行われるに至った。

この6インチラインを用いて、既存4インチラインで基礎特性を検証した高効率 SiC パワーデバイス V 溝型 MOSFET の試作を投入、平成29年3月に裏面プロセスまで含めたフルプロセスで完工させるに至った。

SiC パワーデバイスの実用化に向けた6インチラインを用いた量産技術の研究開発は世界的な規模での競争段階にあり、ここで構築した6インチラインをオープンイノベーション拠点として産学官で活用し、発展させていくことで産業の更なる競争力強化につなげていく。

パワーデバイス基礎チーム

(Power Device Fundamentals Team)

研究チーム長：米澤 喜幸

(つくば西)

概要：

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

バイポーラ要素技術として P++コンタクト検討、ライフタイムの影響、SiC バイポーラデバイスの課題である、順方向劣化現状把握と対策検討を進めた。

順方向劣化対策に関しては、前年度発案した再結合促進層導入により、基板に存在する基底面転位 (BPD) に到達するホール量を制御することにより、2000 A/cm^2 の高電流密度でも、帯状積層欠陥の発生が抑制され、順方向劣化が防止できることを示した。

バイポーラデバイスでは、超高耐圧 SiC-IGBT コレクタ部検討として、PiN ダイオードによる耐圧構造の試作検討結果と自立 n-エピ基板を用いた IGBT コレクタ構造の試作検討結果に基づき、エピ接合コレクタ構造を提案した。この構造を用いて超高耐圧 SiC-IGBT を設計・試作し、耐圧目標20 kV を達成した。

試作した IGBT と PiN ダイオードを組み合わせ、スイッチング試験を行い、高速スイッチングによる低スイッチング損失化の可能性を示した。

GaN パワーデバイスチーム

(GaN Power Device Team)

研究チーム長：清水 三聡

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、結晶成長技術開発、デバイス設計・プロセス開発、回路設計技術を通して GaN 半導体を用いた低損失電力素子の実用化を図ることを目的とする。当チームでは、横型デバイスとして GaN on Si の HEMT デバイスの実用化に関する研究と、GaN 単結晶基板を用いた縦型デバイスの実現性について研究開発を行なっている。

GaN on Si 技術は6~8 inch のシリコン基板上に MOCVD によりデバイス構造を製作するウェハ技術であり、低価格化が可能なことから家電などの市場の広いパワーデバイスに応用が始まっている。そのため家電メーカー等が注目しており、平成28年度は GaN on Si 技術を用いた AlGaIn/GaN パワーデバイスの信頼性評価技術、及びスイッチング回路への応用のための等価回路を用いた設計技術の開発を行なった。また、パワーIC などに向けて(110)Si 基板上のエピを行ない、FET 動作などの実証を行なった。

GaN 単結晶上の縦型デバイス技術は、イオン注入が不可能なことから一般的なパワーデバイスへの応用は不可能であり、高周波等の限定された応用先が考えられる。当チームでは、縦型パワーデバイスの設計製作に必要な不純物の低減とドーピング濃度の制御を MOCVD を用いて行なった。

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

パワー回路集積チーム

(Power Circuit Integration Team)

研究チーム長：佐藤 弘

(つくば中央第2)

概要：

SiC などワイドギャップ半導体パワーデバイスの、高性能かつ超低損失な特長を活かした、高機能・小型・低消費電力の電力変換装置実用化のための基盤技術研究開発を目的とする。具体的には、主に SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) プロジェクトのもと、大電流密度・高発熱密度に対応した SiC モジュールの研究開発を進めている。平成28年度は、汎用モジュール、及び、自動車用員ホイールモーターに適用するモジュールを目指して検討を行った。ワイヤーボンド型モジュール、配線基板型モジュール、モールド型モジュールでは、これまでの研究で明らかになった問題点を解決するため、改良した設計を導入し試作を行った。冷熱サイクル試験の各ステップで故障評価を可能とするため、過渡熱評価法を応用する方法を考案した。作製したワイヤーボンド型モジュールは、大きな問題はなかったが、配線基板型モジュールでは配線基板のクラック・Cu 配線板の剥離が、モールド型では樹脂剥離やコンデンサへの応力などの問題点が明らかになり、今後、信頼製評価を集中して行っていくモジュール構造として、ワイヤーボンド型モジュールを選択した。

一方、パワーデバイス基礎チームが開発した10 kV 超級 SiC-IGBT を用いた高速変換器では、昨年度にモジュール、ゲートドライブ回路の最適化を引き続き行い、試験電圧5kVにて、非常に高速な13 ns のスイッチング時間を達成した。

パワーエレクトロニクス応用チーム

(Power Electronics Application Team)

研究チーム長：坂本 邦博

(つくば西)

概要：

SiC パワーデバイスの大量導入が期待される自動車用の民生用途から、高エネルギー加速器電源のような特殊用途にいたる、幅広い電力変換分野での SiC パワーエレクトロニクスの応用開拓を目指し、民間企業と共同で、SiC パワーデバイスの特長を發揮する高性能モジュール実装技術の開発を進めた。平成28年度は、SiC パワーデバイスの高熱動作 (最高接合温度 200 °C) に対応するモジュール開発において、高耐熱接合材料を150 A 低インダクタンスモジュールに実装して、温度サイクル試験およびパワーサイクル試験を行い良好な信頼性を確認した。10 kV を越える高電圧小電流用途向けに、耐圧15 kV の高耐圧 TO268 ディスクリットパッケージを開発した。また、機器応用では、インダクタの損失をモデル化して回路計算を高速化することによって、パレート空間でインバータ容

積と損失の最適カーブを高速で検索する手法を開発した。実機の実験結果と照合してインダクタのモデル改善を進める必要があるが、有効な最適設計手法であることを確認した。昨年度に引き続き、産総研で試作した SBD、MOSFET チップを、標準パッケージに組み立てて、応用開発を行う共同研究パートナーに提供した。

ダイヤモンドデバイスチーム

(Diamond Device Team)

研究チーム長：牧野 俊晴

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、次々世代のパワーエレクトロニクス材料として期待されるダイヤモンドのデバイス化を念頭に研究開発を行っている。また、ダイヤモンド中の窒素-空孔複合欠陥 (NV センタ) を用いた磁気センサー応用に関する研究を進めている。

平成28年度は、金沢大・デンソーとの共同研究において、n 型ダイヤモンド半導体の高品質化、ウェットアニールによる酸化膜およびダイヤモンド界面の高品質化によって良好な MOS 構造の形成に成功し、反転層チャネルダイヤモンド MOSFET の動作実証に世界で初めて成功した。

ダイヤモンドデバイスの要素技術として、メサ構造を有した pin 接合構造を形成し、従来デバイスと比較して逆バイアス特性の向上 (耐圧：810 V 以上、耐電界：5.1 MV/cm) を実現した。また、ドライエッチング表面に残留するダメージ層の除去等のプロセス技術の高度化を図った。さらに、T-CAD シミュレーションにより電界集中緩和構造を有した pin 接合構造を設計し、これを基に pin 接合の試作を開始した。

磁気センサー応用では、センサー感度を向上するために NV センタに電子がトラップされた NV⁻状態を安定化する研究を行い、縦型 ni 接合を用いたバンドエンジニアリングにより i 層中の NV⁻状態の安定化を実証した。

ダイヤモンド材料チーム

(Diamond Materials Team)

研究チーム長：壺野 由明

(関西センター)

概要：

当チームでは、次々世代のパワーエレクトロニクス材料として期待されるダイヤモンドにとり必要不可欠である大口径単結晶ウエハの実現を目指し、ダイヤモンドのバルク結晶成長技術、ウエハ加工技術、結晶評価技術等の開発を行っている。その他、耐環境デバイス等のダイヤモンドの優れた材料物性を生かしたアプリケーションの開拓を進めている。

平成28年度は、1インチウェハ実現に向けた技術開発として、パルスマイクロ波プラズマ CVD によるダイヤモンドの長尺結晶合成技術の開発を進め、厚さ約 10 mm の結晶をクラックフリーで合成することに成功した。並行して、ダイヤモンドの合成速度あるいは合成面積拡大を目的とした、結晶合成方式に関する検討を行い、有望な知見を得た。

低抵抗ウェハ実現に向けた基盤技術として、熱フィラメント法による高濃度ボロンドープ膜の厚膜化を行った。さらに、数 mm 角の自立基板を作成し、その上で簡単な縦型デバイスを動作させることに成功した。また、大面積基板に対応するプロセス開発を支援するため、ダイヤモンドデバイスチームに 10 mm 基板を供給し、デバイス化検討を実施した。

パワーデバイスの基本素子であるショットキーバリアダイオードを試作し、ドリフト層中にかかる高い電界が走行する少数キャリア数を増倍させる現象を利用した観測手法を用いて、高い電圧環境下で電極縁辺での電界が電極中央部における電界の3倍以上となることを確認した。また、同様の手法を用いて素子の特性を劣化させる欠陥を発見した。

2) 生命工学領域

(Department of Life Science and Biotechnology)

領域長：松岡 克典

概要：

領域は、中長期計画に基づき、研究及び開発並びにこれらに関連する業務を行っている。生命工学領域は、健康で安心して暮らせる健康長寿社会や環境負荷を抑えた持続可能な社会の実現に貢献することを目指す。また、優秀な人材が集まる研究所づくりを目指す。そのために、(1) 世界最高水準の研究開発の推進、(2) 研究成果の産業界への橋渡し、(3) 産業界に役立つ人材の育成、(4) 国際的プレゼンスの向上の4項目を領域のミッションとする。領域長は、理事長の命を受けて、各研究分野における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。

① 生命工学領域研究戦略部

(Research Promotion Division of Life Science and Biotechnology)

研究戦略部長：鎌形 洋一

研究企画室長：萩原 義久

所在地：つくば中央第1

人員：15名 (14名)

概要：

研究戦略部は、領域における研究及び開発並びにこれらに関連する業務に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整を行っている。研究戦略部長は、領域長の命を受けて領域の運営（研究戦略、予算、人事、自己評価等）を行っている。

生命工学領域研究企画室

(Research Planning Office of Life Science and Biotechnology)

概要：

産総研として特色ある研究の方向性や、開発技術を社会に還元することを意識し、生命工学領域の人材資源の最適配置を行いつつ以下のような研究管理を行っている。

すなわち、当該領域における研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針、プロジェクトの企画及び立案や調整、領域間の連携の推進、経済産業省その他関係団体等との調整、当該領域に関する技術組合に関する業務、領域における研究ユニットの評価に関する業務を行っている。また、BioJapan、科学技術振興機構新技術説明会やLS-BTを始めとする各種イベント出展に対する立案や出展テーマの調整、見学・視察対応、新規採用・任期付研究員のパーマネン

ト審査に関する業務などを行っている。

機構図 (2017/3/31現在)

[生命工学領域研究戦略部研究企画室]

研究企画室長 萩原 義久 他

[生物資源管理グループ]

グループ長 海老原 達彦 他

産総研・早大 生体システムビッグデータ解析オープンイノベーションラボラトリ

(Computational Bio Big-Data Open Innovation Laboratory)

概要：

生体で測定された各種ビッグデータと情報解析を融合することによってライフ・イノベーションを達成する。特に、早大が有するメタゲノムデータ・医療系メタデータと産総研の解析技術を合わせることで、疾病メカニズムや医薬品原料の探索・生産に寄与する生命現象のシステムの理解を目指す。また、最先端のアルゴリズム・数理解析手法の開発を行い、世界標準となる生命情報解析技術の開発を行う。さらに、産学官ネットワークの構築により、民間企業の参画による「橋渡し」を強化した組織運営、欧米を中心とした各種研究機関との人的交流を中心とした国際連携の強化を図っている。

機構図 (2017/3/31現在)

ラボ長 竹山 春子 (早稲田大学教授)

副ラボ長 油谷 幸代

産総研・阪大 先端フォトンクス・バイオセンシングオープンイノベーションラボラトリ

(Advanced Photonics and Biosensing Open Innovation Laboratory)

概要：

産総研の有するニーズ対応型のバイオ分析制御技術を具体的な対象として、大阪大学が有するフォトンクス分析の高度基盤技術を実装し、多彩な生体分子を計測する高感度バイオセンシングシステムの開発を行っている。具体的には革新的な細胞機能操作・イメージング技術の開発、次世代フォトンクスバイオセンサーの開発、バイオセンシングの超高感度IoTプラットフォームの構築を推進している。また産総研の橋渡し技術により大阪大学の基礎研究成果の社会実装を加速することを目標とした、産学官連携体制の構築を進めているところである。

機構図 (2017/3/31現在)

ラボ長 民谷 栄一 (大阪大学教授)

副ラボ長 脇田 慎一

業務報告データ

②【創薬基盤研究部門】

(Biotechnology Research Institute for Drug
Discovery)

(存続期間：2015.4.1～)

研究ユニット長：織田 雅直

副研究部門長：鈴木 理

首席研究員：平林 淳

総括研究主幹：成松 久

所在地：つくば中央第2、つくば中央第5、
つくば中央第6、臨海副都心センター

人 員：32名 (32名)

経 費：1,152,764千円 (398,605千円)

概 要：

我が国では急速に少子高齢化が進んでおり、迅速な社会復帰を可能とする疾患の早期診断・早期治療など、適切な個の医療の実現・充実が求められています。また、医療・介護・予防分野での ICT 利活用を加速し、世界で最も便利で効率的なシステムを作り上げること、さらに、健康・医療分野においては、世界最高水準の技術を維持し、医薬品・医療機器産業の国際競争力を向上させ、我が国のリーディングインダストリーへと発展させることが求められています。これら課題について、その解決に必要な技術開発が求められているところです。

我が国の課題解決に求められている創薬基盤技術の開発および医療基盤・ヘルスケア技術の開発を担うため、平成27年4月1日に創薬基盤研究部門が設立されました。つくばセンターと臨海副都心センターの2つの拠点で研究開発・技術開発を展開しています。平成27年4月の設立時は旧糖鎖創薬技術研究センター、旧幹細胞工学研究センターおよび旧ゲノム情報研究センターの研究資源・人的資源を継承しました。

平成28年4月には、バイオインフォマティクス技術のさらなる研究展開のため、ゲノム制御情報研究グループとゲノム機能情報研究グループを人工知能研究センターに異動させました。さらに、当部門内の研究を展開するため、ステムセルバイオテクノロジー研究グループ(つくば)と最先端バイオ技術探索グループ(臨海副都心センター)を設置しました。

平成28年度は、当部門が強みとする糖鎖解析技術、幹細胞工学技術をさらに進展させるため、①糖鎖の差異を用いた疾患の診断マーカー開発と診断薬への展開、②安全なヒト幹細胞樹立法の開発、③幹細胞から作り出した細胞・組織・器官を創薬スクリーニングや再生

医療へ応用するための効率的な幹細胞分化誘導技術の開発、④ケミカルバイオロジーに基づく天然化合物の製造法の開発を行います。また、我々が得意とするこれらの技術を融合させることで新たな技術の開発も積極的に行うつもりです。さらに、他の専門分野の技術を取り入れことで分野を超えた融合技術の開発も積極的に実施したいと考えています。

上記当部門のポリシーのもと、3つの重点課題を設け、①基盤研究の推進、②基盤技術を利用し産業化を目指した技術の開発、③企業連携による製品化を目指した技術開発を実施しています。3つの重点課題の概要は以下の通りです。

重点課題1：糖鎖／ペプチド分析・製造技術に基づく診断薬、治療薬の探索と実用化

糖鎖の差異を用いて、がんや自己免疫疾患、生活習慣病等に対する診断薬、治療薬を効率的に開発することを目指し、疾患に関連する糖鎖、糖タンパク質、ペプチド等の構造と機能の解析し、疾患特異的なバイオマーカーや標的因子を探索、究明する。またこれらの因子を標的化する分子、あるいはそれを高機能化した分子を開発、製造し、疾患の診断薬、治療薬の開発を行う。

重点課題2：細胞を利用した再生医療技術と創薬支援技術の開発

現在、高度な知識集約型産業である再生医療産業や創薬産業が、次の成長分野として期待されている。しかし、国内の関連企業の競争力はまだ強いとはいえ、これらの産業を後押しする技術を開発し、産業界へ橋渡しを行うことが産総研に課せられた課題となっている。本課題では、第4期中期計画項目「医療基盤・ヘルスケア技術の開発」に基づき、先進医療技術を確立するための再生医療技術と創薬支援技術等の開発を進める。さらにガイドライン策定と標準化による幹細胞ならびに医療機器等の実用化を支援する。成果を民間企業に橋渡しして実用化を目指す。

重点課題3：ケミカルバイオロジーに基づく創薬基盤技術の開発

微生物等が生産する天然化合物の創薬への利用を目指し、放線菌やカビ等が生産する天然化合物の生理活性評価と天然化合物生産に関わる遺伝子や未利用生合成遺伝子の機能解析と異種ホストとこれら生合成遺伝子を用いた生産技術の高度化を実施する。

内部資金：
戦略予算「マイクロ臓器ブロック開発」

外部資金：

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業
大学発新産業創出プログラム (START) プロジェクト
支援型「タランチュラ毒由来のペプチドライブラリーと
新規ペプチドディスプレイ技術を用いたイオンチャネル
作用薬の創製技術」

国立研究開発法人科学技術振興機構 ライフサイエンス
データベース統合推進事業 「糖鎖関連データベースの
統合化推進と研究者コミュニティとの連携ならびに国際
連携」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推
進事業 (さきがけ) 「超高感度・非破壊1細胞グライ
コム解析技術の開発」

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生
物系特定産業技術研究支援センター 「ホメオスタシス
維持機能をもつ農林水産物・食品中の機能性成分評価手
法の開発と作用機序の解明」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 感染症実用化
研究事業 肝炎等克服実用化研究事業 肝炎等克服緊急
対策研究事業「肝疾患病態指標血清マーカーの開発と低
侵襲かつ効率的に評価・予測する新規検査系の実用化」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 感染症実用化
研究事業 肝炎等克服実用化研究事業 B型肝炎創薬実
用化等研究事業 「B型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機
能解析と医用応用技術の実用化へ」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 医薬品等規制
緩和・評価研究事業 「ヒト iPS 分化細胞技術を活用し
た医薬品の次世代毒性・安全性評価試験系の開発と国際
標準化に関する研究」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 医療分野国際
科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プロ
グラム) 「メコン川流域における肝吸虫患者の QOL 維
持とがん予防に資する革新的診断システムの開発と普
及」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 医療分野研究
成果展開事業 先端計測分析技術・機器開発プログラム
「腫瘍内不均一性を考慮した癌生細胞検査法の開発」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 次世代治療・
診断実現のための創薬基盤技術開発事業 糖鎖利用によ
る革新的創薬技術開発 「我が国の技術の強みと密接な
医工連携体制を活かした 標的分子探索・検証のための多
角的糖鎖解析システムの構築」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 次世代治療・
診断実現のための創薬基盤技術開発事業 糖鎖利用によ
る革新的創薬技術開発 「多様なグライコプロテオーム
および捕捉分子作製技術開発とその創薬への応用」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 革新的がん医
療実用化研究事業 「ステルス型 RNA ベクターを利用
した All-in-One 型ゲノム編集ツールの開発」

一般社団法人バイオ産業情報化コンソーシアム 「IoT
推進のための新産業モデル創出基盤整備事業 (ライフデ
ータ解析を用いた健康増進モデル事業) におけるライフ
データを用いた健康増進モデル実証事業」 実証事業1
複数のリスク因子を効率的に見いだす候補探索法の実
証」

国立大学法人帯広畜産大学 「牛の放牧管理の効率化・
生産性向上のための小型ピロプラズマ病ワクチンの実証
研究」

国立大学法人筑波大学 AMED 再生医療実用化研究
「高性能の新規 RNA ベクターによる血友病遺伝子治療
の開発」

国立大学法人九州大学 医療分野研究成果展開事業 先
端計測分析技術・機器開発プログラム 「分子病態を可
視化する高機能型内視鏡システム」

学校法人慶應義塾 AMED オーダーメイド医療の実
現プログラム(03) 「保存血清のメタボローム解析によ
る疾患診断の有用性の検証と応用 (レクチンアレイによ
る慢性疾患の異常糖鎖検出)」

日本学術振興会 基盤研究(A) 「グライコプロテオーム
を中心とした複合オミクス解析による疾患モデルの糖鎖
機能解析」

日本学術振興会 基盤研究(B) 「しなやかでウェットな
半立体マイクロ構造体の露光作製及び新規バイオチップ
への応用」

日本学術振興会 基盤研究(B) 「がん幹細胞糖鎖の構造
と機能」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「メタン湧水帯に棲息す
る進化系統学的に極めてユニークな培養困難細菌のメタ
ゲノム解析」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「O.minuta 酵母の基礎
生物学を進めるための遺伝学的基盤解析系の確立」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「膜タンパク質再構成マトリックスにおける部分フッ素化蛍光色素の開発」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「急速に進行する膵管がんの特性を規定する分子メカニズムの解明」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「システム構造化手法を用いた細胞分化メカニズムの解明」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「酸素感受性 tRNA 修飾酵素の反応メカニズム」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「ムチンにおける周波数依存性マイクロ波効果の探索と応用」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「単一細胞内質量イメージング実現へのチャレンジ」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「ダイナミック三次元培養環境制御による iPS 細胞由来のパターン化血管組織の構築」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「系統的な糖鎖付加位置特異的グリコーム分析による糖鎖不均一性生成機構の解明」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「In vitro 交感神経-血管モデル構築による血管疾患メカニズムの解析」

日本学術振興会 若手研究(B) 「褐色脂肪と自律神経を繋げた Organ-on-a-chip の開発」

日本学術振興会 若手研究(B) 「IgE 産生 B 細胞標的ペプチドによる花粉症治療法の開発」

日本学術振興会 若手研究(A) 「膵β細胞・自律神経細胞の人工作製と神経インターフェース化」

日本学術振興会 若手研究(A) 「3D イメージングセルソーティング法の開発」

日本学術振興会 新学術領域研究 (研究領域提案型) 「医療用マイルドプラズマによる創傷治癒の確立とプラズマ-組織細胞相互作用の解明」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「大規模ケミカルライブラリーを駆使した、新規心臓形成シグナルパスウェイの探索と解明」

日本学術振興会 基盤研究(S) 「天然化合物の革新的標

的分子同定法の確立とケミカルエピジェネティクス」

日本学術振興会 基盤研究(B) 「移動速度論の観点によるヒト iPS 細胞増殖、分化機構の解明と実用的生産技術への提言」

日本学術振興会 基盤研究(B) 「iCAF: iPS 由来の癌線維芽細胞による膵癌幹細胞、間質幹細胞の糖鎖標的探索」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「高感度糖鎖解析システムを用いた新たな子宮頸部腺癌診断・治療バイオマーカーの開発」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「末梢神経再生技術の形成外科領域への導入」

日本学術振興会 基盤研究(C) 「FT ICR MS を用いた水圏中微量元素-溶解有機物錯体の分子構造解析」

日本学術振興会 挑戦的萌芽研究 「培養基質の膨潤力を活用した空間自由度の高い細胞力学刺激法の開発」

日本学術振興会 新学術領域研究 (研究領域提案型) 「プラズマ医療科学創成に関する総括研究」

公益財団法人かがわ産業支援財団 平成27年戦略的基盤技術高度化支援事業 (機関補助金) 「再生医療の産業化に向けた未分化・造腫瘍性細胞の検出技術の開発」

関東経済局 戦略的基盤技術高度化支援事業 「磁気分離法による大容量ペプチドライブラリー対応自動ファージディスプレイ技術の開発」

発 表 : 誌上発表77件、口頭発表171件、その他22件

糖鎖技術研究グループ

(Glycoscience and Glycotechnology Research Group)

研究グループ長 : 梶 裕之

(つくば中央第2)

概 要 :

血液などの体液に分泌されたタンパク質や細胞表面等の膜を貫通しているタンパク質の多くは糖鎖修飾を受けている。糖鎖はこれらタンパク質の局在や活性の発現調節に重要な働きを担っている。ヒトでは約200種の糖鎖合成関連タンパク質が存在し、これらが共同的あるいは競争的に作用し糖鎖が形成される。糖鎖合成タンパク質群の組成は細胞の種類によって異なるため、タンパク質上の糖鎖の構造は産生された細胞の種類によって異なる。また、がん化やウイルス感染など

細胞の状態変化によって酵素の組成が変わるので、同じタンパク質でも、由来が正常細胞かがん細胞かで構造の異なる糖鎖を保有している。このことは、たとえば組織（細胞）特異的なタンパク質で、がん細胞に特徴的な糖鎖構造をもつ糖タンパク質を探索し、選択的に検出できれば、疾患マーカーとして利用できることを示している。本研究グループでは糖鎖の機能解明と糖鎖を疾患マーカーとして臨床応用するため、次のような研究に取り組んでいる。1) レクチンアレイ法や質量分析法等を利用した糖鎖の検出・構造解析技術の開発、2) 人為的に糖鎖合成マシーナリー等を改変したモデル生物（酵母・マウスや培養細胞）を利用した糖鎖機能の解明と糖鎖改変糖タンパク質の生産、3) 化学合成と酵素反応を利用した糖タンパク質合成技術の開発、4) 糖鎖認識分子の開発、5) 疾患に関連する糖タンパク質の構造、機能解析による診断薬や治療薬開発支援のための基盤技術の開発、6) 糖鎖修飾に関連する情報を収集、整理した利便性の高い糖鎖科学データベースの構築と情報科学技術開発。

幹細胞工学研究グループ

(Stem Cell Engineering Research Group)

研究グループ長：伊藤 弓弦

(つくば中央第5)

概要：

ヒト多能性幹細胞や間葉系幹細胞は、治療用細胞や検査用細胞の原材料として注目を集めている。しかしながらそれら幹細胞は様々なバラツキを内因しており、最適な大量培養方法や臓器細胞分化方法に関しても未整備な部分が多く、産業化を進めてゆく上で大きな障壁となっている。そこで幹細胞工学研究グループでは、(1)再生医療/創薬用細胞の品質管理・標準化、(2)幹細胞からの分化法開発、(3)再生医療/創薬用細胞の安定供給技術開発、の3つを重点課題とし、関連基盤技術の研究開発を推進している。具体的には、(1)として、主に間葉系幹細胞等を用い、ユーザーの要求する性能を迅速に判別することを可能にするバイオマーカー等の開発を行う。(2)として、iPS細胞から、再生医療や創薬での使用を目指して、胃、肺、脳下垂体等、まだ知見が蓄積していない臓器を中心に効率的に分化制御させる基盤技術の開発を行う。(3)として、培養液や培養添加物、培養装置等を開発/改良することで、安定的に良質な幹細胞/目的組織細胞を供給できるシステムの構築を目指す。

ステムセルバイオテクノロジー研究グループ

(Stem Cell Biotechnology Research Group)

研究グループ長：木田 泰之

(つくば中央第5)

概要：

再生医療や創薬支援のための技術体系構築には幹細胞が有用である。人工多能性幹細胞 (iPS 細胞) の誘導技術開発は再生医療としての多大な可能性を広げるのみならず、化合物による細胞制御と遺伝子操作による最先端の細胞工学技術開発を導いている。そこでステムセルバイオテクノロジー研究グループでは、幹細胞の特性を明らかにする基礎研究を通じて、細胞改変技術や培養デバイスの作製、医療機器開発を進めている。具体的には、多能性幹細胞や体性幹細胞などの細胞特性と微細加工技術を応用し、リプログラミングやダイレクトリプログラミングおよび細胞分化誘導法の開発や組織3次元構築、工学技術の医療応用を進めている。このような幹細胞改変技術と生体工学の融合によって、創薬基盤技術の開発や疾患モデル研究をはじめとした医療分野への貢献を推進することを目指している。

医薬品アッセイデバイス研究グループ

(Drug Assay Device Research Group)

研究グループ長：金森 敏幸

(つくば中央第5)

概要：

再生医療の実用化を目指した研究は、副次的にヒト細胞全般に関する理解と周辺技術の開発をもたらし、現在はその水平展開への関心が高まっている。細胞はたかだか数十マイクロメートルの大きさであり、それを精密に取り扱うためにはマイクロプロセスを活用する必要がある。我々はこの観点から「マイクロプロセスを応用した創薬支援・がん診断デバイスの開発」に注力している。

具体的には、1) multi-organ-on-a-chip のプラットフォームとしての圧力駆動型マルチスルーポットチップ、2) 光分解性ゲルによるがん細胞診断技術、3) 光応答性表面による細胞マニピュレーション技術、を開発している。

1)については、基本的な設計とグループ内での評価を終え、化学マーカーにて機能評価を実施しているが、実験動物を用いた従来技術に比べ、高精度かつ簡便に化学物質のヒトへの影響を評価できることが分かった。

2)についてはプロトタイプ機を用いて、モデル細胞、および実験動物で発生させたがんについて、コンセプトの実証を終えた。平成29年度中に筑波大学附属病院で患者の生検試料に適用する予定である。

3)については、企業で試作品の作製を終え、今後はそれを用いてユーザー開拓を実施する予定である。グループ内では、光応答性表面のための材料をさらに幅広く開発している。

最先端バイオ技術探求グループ

(Leading-edge Biotechnology Research Group)

研究グループ長：新家 一男

(臨海副都心センター)

概要：

生物における物質生産（生合成）は、生命現象の根本である、セントラルドグマ（複製、転写、翻訳）に加えて、代謝全体の制御や多数の生合成ステップの最適な発現タイミングの調製など、複雑な生命活動によってはじめて達成される。これらの生産には、酵素反応に必要なエネルギー供給や補酵素などの供給、さらには酵素反応の「場」など人類の叡智を遙かに超えるメカニズムによって制御されている。本グループでは、このような複雑な自然界のメカニズムを解明すると共に、さらに遺伝子改変や代謝改善などを行うことにより、自然界の能力を超える物質生産能を達成しうる技術の開発を行っている。さらに、物質生産に最も適したホスト菌株を構築し、全ての生物の遺伝子をそのホストで異種発現させる高度な物質生産技術の開発を行っている。

具体的には、ゲノム機能を的確に発現させるための、タンパク質の翻訳後修飾や RNA の転写後修飾機構の機能解析、超精密マスマージングを用いた高等植物などにおける多段階物質生産反応の可視化、多様な細胞内反応プロセスの作用機序の解明を目的とした、各種オミクスデータや数値データからの遺伝子間発現制御ネットワーク解析のための数理モデル・ネットワーク解析技術の開発、巨大生合成遺伝子クラスターを応用した異種発現による物質生産技術開発など、多方面にわたる最先端技術の開発を行い、産業における効率的な物質生産に貢献する。

細胞グライコーム標的技術グループ

(Cellular Glycome-Targeted Technology Group)

研究グループ長：舘野 浩章

(つくば中央第2)

概要：

糖鎖は細胞の最外層を覆い、細胞の種類や状態（癌化、分化）により、糖鎖の構造が劇的に変化することが知られている。そのため糖鎖は細胞の指標として有効であり、再生医療に用いる細胞の品質管理や癌などの疾病の創薬標的として期待されている。また抗体などのバイオ医薬品は糖鎖で修飾されており、糖鎖の構造がバイオ医薬品の薬効や動態と密接な関係があることも明らかにされている。そこで細胞グライコーム標的技術グループでは、国家プロジェクトや企業との共同研究により、(1)細胞やタンパク質に修飾された糖鎖を解析するための技術の開発、(2)再生医療に用いる細胞を評価選別する技術の開発、(3)癌や糖尿病等の疾病に対する診断薬・創薬の開発、(4)抗体等のバイオ医薬品の品質管理技術の開発、を行う。糖鎖・レクチンをキーワードとして、創薬や再生医療をはじめ

とした広くライフサイエンス分野に貢献する実用的な技術を開発して、産業界に橋渡しすることを目的とする。

③【バイオメディカル研究部門】

(Biomedical Research Institute)

(存続期間：発足日～終了日)

研究ユニット長：近江谷 克裕

副研究部門長：本田 真也、大西 芳秋

首席研究員：ワダワ レヌー

総括研究主幹：阪下 日登志、脇田 慎一

所在地：つくば中央第6、関西センター

人員：101名 (101名)

経費：1,092,218千円 (518,672千円)

概要：

産総研の第4期中長期目標である「創薬基盤研究を推進する」ために設定された第4期中長期計画「生体分子の構造、機能を理解するとともに、得られた知見を活用し、新しい創薬技術基盤、医療技術基盤を開発する」を推進するため、当部門は目的基礎研究を実施、2つのミッションを設定した。よって、①生体分子の構造・機能を理解・解明し、それらの知見に基づいた創薬基盤技術・医療基盤技術を確立する。②創薬・医療に関わる基礎・基盤技術の動向を把握し、将来に向けた技術の芽を発掘し育成する。を掲げる。特に、「創薬のリードタイムを短縮するために、古典的新薬探索から脱却し、短時間に低コストで成功率の高い創薬プロセスを実現する創薬最適化技術、ゲノム情報解析技術、バイオマーカーによる疾病の定量評価技術などの新しい創薬の基盤となる技術を開発する。さらに、創薬支援ネットワークにおける技術支援にも取り組む。」の研究項目を担当する。そこで、4つの重点課題及び2つの特別課題を設定し、H28年度は、例えば、神経疾患関連の細胞機能解析技術の高度化、抗体医薬品生産プロセスの最適利用条件の探索等を実施する。

重点課題1. 生体分子の構造機能解析と分子技術の高度化

タンパク質等の生体高分子のエックス線結晶構造解析や高分解能電子顕微鏡解析を行い、これら分子の構造と機能の相関関係を明らかにするとともに、臨床薬のターゲットとなる膜タンパク質の迅速構造解析法等の開発を行う。また、タンパク質設計技術、改良技術の開発を行うとともに、これらを抗体親和性タンパク質等に適用して、抗体医薬品開発におけるダウンストリーム工程および品質管理分析工程の高度化に貢献する。さらには創薬候補化合物の AI を活用したミドル

スルーブット化学合成法の開発、及び化合物と標的タンパク質の複合体の高次構造解析を通じて、創薬研究に貢献する。

重点課題2. 生体恒常性機能を利用した疾患予防技術の開発

健康状態における生体リズムの変動や加齢に伴う生体分子の変化などを個体・細胞・遺伝子レベルで解析し、これらの現象を引き起こす生体分子メカニズムの解明を目指す。また得られた解析成果を利用して生体機能の評価系を開発し、これを制御する生理活性物質を天然物などから探索・同定するとともに、その作用メカニズムを分子レベルで明らかにする。さらに、様々な環境要因や遺伝的要因により引き起こされる疾病、特に睡眠障害などの生体リズム障害および体内時計に関連する精神疾患、高血圧、血栓症、がんなどの生活習慣病をターゲットとして、健康状態をモニタリングするためのバイオマーカー開発やこれら疾患の予防や健康増進を目的とした天然物由来生理活性物質の発見を目指す。

重点課題3. 疾患モデル動物の創出と疾患関連分子の認識・計測による生体評価系の開発

健康や病気の生体や組織において、その機能を調節する核酸やタンパク質、細胞間シグナル伝達に働く種々のシグナル分子などを解析し、これら生体分子による細胞制御メカニズムの解明を目指す。また、老化、脳神経疾患や生活習慣病を初めとする種々の疾患等のモデル細胞・モデル動物の作製を通して、各疾患のバイオマーカーや原因因子を探索する。これらの疾患における標的分子を検出する核酸やペプチド分子の高機能化技術、細胞の機能異常を捉える可視化技術開発を行い、健康の増進や疾患の予防・診断・治療に貢献することを目指す。

重点課題4. 生体分子等の計測解析技術開発と標準基盤整備

微細加工技術、表面加工技術と言ったナノテク技術、薄膜材料や自己組織化膜材料などの材料技術、バイオ分野の技術を融合したバイオ診断計測解析技術の開発を行う。具体的には、生体分子と強く相互作用し信号変換する分子認識材料や発光分子プローブ材料の合成、及び一細胞毎の計測が可能なナノ針アレイ等のデバイス技術の開発を行う。また、それら要素技術を融合し、薬剤管理や代謝評価センサー、タンパク質や遺伝子を高感度に認識できるバイオセンサやマイクロ流路型デバイスなどの実現をめざす。併せて簡便な遺伝子定量法、イメージング法や核酸標準品の開発を行いバイオ計測の標準化に資するプラットフォームを整備、特にISO/TC276バイオテクノロジーの標準化に関して先

導的な役割を担う。

また、産総研のミッションや仕組みを十分理解し、産総研職員として自ら考え的確に行動できる職員の育成を行うとともに、産総研のミッションである「若手研究者のキャリアパス支援及び研究人材の交流推進」を実施するため、当部門はミッション③自ら考え実行に行動・実践・対話できる国際的視野に立った人材を育成する。を実施する。

さらには、産総研職員の育成と共に、産総研イノベーションスクール生、ポスドクや博士課程の学生、企業等からの外部研究員などを受け入れ、研究現場にて研究開発を行いながら人材育成を行う。併せて、インド、インドネシア等のアジアの各国とバイオ研究分野における国際連携を推進するため、当部門はミッション④アジアのバイオテクノロジーハブを目指した国際連携を推進する。を実施する。アジアのバイオテクノロジーのハブ拠点として国際融合研究を推進、さらにはイメージングなどのコア技術をベースとした国際ワークショップを開催するなど国際的に活躍できる研究所内外の人材を育成する。そこで、特別課題1を設定する。

特別課題1. アジアのバイオテクノロジーハブを目指した日印融合研究の推進

産総研・インド DBT 間 MOU 協定をベースとして設立された DBT-AIST ジョイントラボ (DAILAB) の運営を通じてアジア地域との広い連携を可能とする集中研究機能、人材育成機能及び国内バイオ技術の普及機能を持った研究ハブの強化・拡充を目標とする。特に、本ジョイントラボでは AIST と DBT の健康・医療分野における更なる研究協力の推進と人材育成を含めた研究者交流を実施、目標としてはがんや老化をターゲットとした創薬スクリーニングと選択された候補物質の細胞内イメージングを利用した作用機序の解明を通じた創薬開発を目指す。

また、バイオメディカル研究部門の強みを生かす研究を集中的に行うため、⑤in vitro イメージング技術開発を推進する。特に無染色細胞やナノ材料、染色した細胞をナノスケールオーダーで観察する技術を開発する。

特別課題2. ナノイメージング・ソリューションズセンター構想の推進

無染色細胞やナノ材料をナノスケールで観察するための誘電率顕微鏡の開発及びコンサルタント業務を推進する。また、超解像顕微鏡を用いた細胞内小器官のリアルタイムの観察を行い、細胞の分化過程等をリアルタイムに観察する。さらに AI 技術と画像解析の融合を目指した研究を推進、創薬開発のためのイメージングプラットフォームの創成を目指す。

当研究部門は、質の高い論文として研究成果を発信することおよび開発技術の工業所有権（特許）の取得を行うことで成果の普及を行っている。研究論文においては国際的に評価の高い論文誌への投稿を重視し、特許においてはその具体的技術移転を想定した戦略の出願を重視している。また、企業等との共同研究を積極的に行うと共に、産総研テクノブリッジフェア、技術相談、学会・研究会などを通して成果の発信や普及を進めている。最後に、第4期から当研究部門はつくば地域と関西地域の両拠点を持つことから、東西融合・連携を進め、2つの拠点を持つ強みを生かす方向でミッションを遂行する。

内部資金：

- ・ JAXA 課題解決型「「きぼう」利用高品質タンパク質結晶生成実験に係る研究開発」
- ・ 戦略予算「ナノイメージングソリューションズ」
- ・ 戦略予算「日印融合研究を核としたアジア持続的ライフノベーション」

外部資金：

- ・ 農林水産省 受託研究費「国産農産物の輸出先における嗜好性の予測技術開発」
- ・ 農林水産省 受託研究費「国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発」
- ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 受託研究費「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発／植物の生産性制御に係る共通基盤技術開発／ゲノム編集の国産技術基盤プラットフォームの確立」
- ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 受託研究費「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」
- ・ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ロボット・AI部 受託研究費「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」
- ・ 日本学術振興会 受託研究費「水環境における鉛直水柱内空間分布測定用採水装置の開発」
- ・ 日本学術振興会 受託研究費「シグナル攪乱複合体の電子顕微鏡解析」
- ・ 日本学術振興会 受託研究費「免疫機能の最適化とアレルギー予防に資する醗酵食品の機能性に関する研究」
- ・ 日本学術振興会 受託研究費「微弱発光標準光源開発による発光蛍光計測定量化」
- ・ 国立研究開発法人科学技術振興機構 受託研究費「有用蛋白質大量生産を目指した「遺伝子ノックイン鶏卵」の検証」
- ・ 国立研究開発法人科学技術振興機構 受託研究費「研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション(COI)

プログラム COI 拠点「フロンティア有機システムイノベーション拠点」

- ・ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 受託研究費「食シグナルの認知科学の新展開と脳を活性化させる次世代機能性食品開発へのグランドデザイン」
- ・ 日本学術振興会 受託研究費「光らせて・観て学ぼう！ 不思議なナノテクノロジーの世界」
- ・ AMED 受託研究費「腸管免疫と肝免疫、プロバイオティクスによる制御法の開発」
- ・ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター 受託研究費「(1) 農業のスマート化を実現する革新的な生産システム②収量や成分を自在にコントロールできる太陽光型植物工場」
- ・ 沖縄県 受託研究費「ウイルスワクチンを安心安全に生産するための先端遺伝子工学技術の開発」
- ・ 国立研究開発法人日本医療研究開発機構 受託研究費「miRNA 検出用基準物質の構築における定量評価技術の開発」
- ・ 埼玉県 受託研究費「極微量物質の計測が可能なナノカーボン薄膜電極・計測機器の開発」
- ・ 沖縄県 受託研究費「おきなわ型グリーンマテリアル生産技術の開発（用途開発研究）」
- ・ 科研費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「スパースモデリングによる電顕単粒子構造解析の迅速・高分解能化」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（A）「ナノニードルを用いた核輸送による高効率ゲノム編集」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（B）「基本匂い要素の解明と受容体安定発現細胞センサの開発に関する研究」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（B）「覚醒度と快不快度を考慮したサウンドデザインに関する研究」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（B）「高分解能変動電位透過観察技術の開発と液中生物試料の解析」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（B）「インターフェロナーβによる小腸から全身への抗炎症機構」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（B）「CRISPR-Cas エフェクター複合体の構造機能解析」
- ・ 科研費補助金 若手研究（A）「生細胞における超高解像度 DNA 多色イメージングによる分裂期染色体構造の解明」
- ・ 科研費補助金 研究活動スタート支援「寄生原虫トリパノソーマに対する創薬標的の探索」
- ・ 科研費補助金 特別研究員奨励費「環境応答 DNA と脂質膜小胞の融合による動的な細胞型分子ロボットの設計と構築」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（C）「表面吸着因子の解析による生分解性材料の生分解性制御に関する研究」
- ・ 科研費補助金 基盤研究（C）「色覚バリアフリー照明

- の高性能化と試作に関する研究」
- ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「分子グラフティングによるアルブミン結合性ヒト型アダプタータンパク質の分子設計」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用したシーケンス選択的なメチル化解析」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「光ナノ複合材料による健康阻害ガスセンサに関する研究」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「神経栄養因子 BDNF のノンコーディング RNA の分子機能に関する研究」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「ニューロンにおけるゲノム DNA 化学修飾酵素の機能解析」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「唾液を用いた生体時刻測定法の確立」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「金属依存性デアセチラーゼの触媒反応メカニズムの解明と阻害剤の開発」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「セルフアセンブリスマートスキン層を持つ生分解性ポリマーの研究」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「神経堤細胞の進化的起源」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「睡眠障害モデルマウスをプラットフォームとした包括的ストレス疾患改善の基盤研究」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「狭食・狩猟性アリ類の神経毒の餌動物ナトリウムチャンネルに対する適応変化の検証」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「好塩、好アルカリ・ハロモナス菌による有機酸生産に向けた極限菌との代謝解析」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「加齢に伴う睡眠障害性代謝異常のメカニズムの解明と時間栄養学的予防・改善方法の開発」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「セルロース繊維に蛋白質機能を付与する基盤技術開発」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「ゲノム編集ニワトリを用いたヒト抗体医薬大量生産技術の開発」
 - ・ 科研費補助金 基盤研究 (C) 「ダイニン・微小管・DNA 折り紙複合体の構築による軸系ダイニンの力発生機構の研究」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「表面プラズモン増強効果を利用した細胞内分子マニピュレーション手法の開発」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「脳内の標的に特異的かつ高効率な非浸襲送達を可能にする新規高分子タンパク医薬の創出」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「音源付近の加圧により音声明瞭度を向上させる現象の解明」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「Toxin-antitoxin 分子基盤の解明と核酸編集技術・細胞応答制御への応用」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「神経の微細観察系を

- 新たに構築し、アンジェルマン症候群の病理解明を目指す研究」
- ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「電子線励起の蛍光観察を水中にて実現し、がん細胞や微生物の微細解析を目指す研究」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「核酸配列上での発光分子構築反応の開発と遺伝子検出技術への応用」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「強力な鎮痛作用を示す新規オピオイド受容体核酸リガンドの創製と分子作用機序の解明」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「シンプル且つ高機能な DNA/RNA キメラ型核酸アプタマーの技術基盤の構築」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「アミロイドβオリゴマーによる認知機能障害に対する習慣的な運動の効果の解析」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「抗体のミスフォールディング情報を出力する交差反応性分子ライブラリの創製」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「Multi-step 細胞融合による複合遺伝子回路の構築工法」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「細胞への遺伝子導入の順序とタイミングの制御を可能にする遺伝子多重積層界面の作製」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「エマルジョンを利用したメタゲノミクスのための次世代型ゲノム再構築技術の開発」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「細胞が組織に占める位置情報を保持したままエピゲノム情報を可視化する方法の開発」
 - ・ 科研費補助金 挑戦的萌芽研究 「新規ストレスメディエーター 12-HETE のシグナル伝達メカニズムの解明」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「炎症性疾患治療のための活性酸素除去能と細胞認識能を備えたタンパク質フィルムの開発」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「冬眠動物における骨格筋萎縮耐性メカニズムの解明とサルコペニア対策への応用」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「領域特異的エピゲノム編集技術を用いた精神疾患創薬スクリーニング系の基盤構築」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「シングルドメイン抗体に及ぼす異分子コンジュゲートの影響の検証」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「ヒト翻訳制御因子の RNA による活性化機構の構造基盤」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「膜内化学反応と膜ダイナミクスが協同した人工細胞システムの創製と機能創出」
 - ・ 科研費補助金 若手研究 (B) 「マクロファージ機能の

スイッチング作用を有するチタン製インプラントの創製」

- ・ 科研費補助金 基盤研究 (B) 「アミノレブリン酸の X-線増感放射線療法の検証と遺伝子発現解析による作用機序の解明」
- ・ 科研費補助金 若手研究 (A) 「集光レーザー摂動による神経細胞ネットワークダイナミクスの解明」
- ・ 経済産業省 近畿経済産業局 機関補助金 「射出成形の超微細構造プリズムレス SPF バイオセンサーチップ及び装置の開発」
- ・ 経済産業省 近畿経済産業局 機関補助金 「高発現表層タンパク質を標的とした低コスト迅速分析を可能とする微生物検査の革新」
- ・ 文部科学省 補助金 「科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業 (未来価値創造実践人材育成コンソーシアム)」
- ・ 文部科学省 補助金 「卓越研究員事業」

発 表：誌上発表184件、口頭発表376件、その他51件

分子細胞育種研究グループ

(Molecular and Cellular Breeding Research Group)

研究グループ長：本田 真也

(つくば中央第6)

概 要：

細胞や生体分子が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、これらを合目的的に改良する新たな基盤技術 (分子細胞育種技術) の研究開発を行う。その遂行においては、細胞や生体分子が高い機能を実現する合理的な機械であるという側面とそれらが長久の進化の所産であるという側面を合わせて深く理解することを重視し、そこに見出される物理的必然性と歴史的偶然性を有機的に統合することで、新たな「育種」技術の開拓を図ることを基本とする。また、技術開発課題の立案においては、内外のライフサイエンス/バイオテクノロジー分野における技術ニーズを把握し、現実的な社会還元が期待される適切な対象と方法論を選択することに努める。平成28年度は主に、低分子バイオ医薬品の動態改善を目指したアダプタータンパク質のデザイン、非天然型構造抗体の検出技術の高度化、酵母の接合型変換/接合応答制御技術の改良、微細藻類が産生する多糖類の利用技術開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

蛋白質デザイン研究グループ

(Protein Design Research Group)

研究グループ長：広田 潔憲

(つくば中央第6)

概 要：

欲しい機能を有するタンパク質をデザインし有用な

タンパク質を創製することを目指して、酵素の効率的な機能改変を行う技術の開発や、アフィニティ・リガンドタンパク質の開発、医療応用を目指したタンパク質の改変、等に取り組んでいる。具体的には、新機能芳香族化合物の産生における変異タンパク質の利用をはかるべく、個々の変異効果について曖昧な加算性を仮定したタンパク質デザイン法 (準加算性歩行法) の開発を行っている。また、抗体医薬品製造プロセスのプラットフォーム技術の高度化を目指して、低分子化抗体医薬品精製用のアフィニティ・リガンドタンパク質の開発を進めている。医療応用を目指したタンパク質の改変においては、例えば、白血球減少症の治療等に用いられる顆粒球コロニー刺激因子 (G-CSF) は、血中安定性の低さが課題となっているので、血中安定性の向上を目指して、ポリペプチド鎖の末端をペプチド結合で連結 (主鎖環状化) させた環状化改変体の研究開発を進めている。また、Fas リガンドは、疾病の発症原因となる異常細胞のアポトーシス誘導に直接関与する重要なタンパク質なので、その細胞外ドメインを標的として、治療薬や診断用ツールの創製を目指した研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5

構造生理研究グループ

(Structure Physiology Research Group)

研究グループ長：佐藤 主税

(つくば中央第6)

概 要：

人間の体は、組織から細胞・分子・原子に至る様々な階層で相互作用を積み重ねることにより成立している。本グループでは、主に組織、細胞、微生物を対象に、様々な顕微鏡技術・生化学等を駆使して、分子・細胞・複合体レベルで研究展開している。光学顕微鏡で細胞を観察する際、分解能は50 nm 程度までが限界である。しかし、電子顕微鏡は電子線を十分に照射できるサンプルであれば0.2 nm にも達する高い分解能を誇る。しかしタンパク質は電子線にそれほど強くはなく、照射量が限られるため微かに薄い像としてしか写らない。薄い像でも膨大な数の電頭像を組み合わせれば、高分解能の3次元構造を計算できる。我々は、この単粒子解析技術を、情報学を駆使して開発し、神経のシグナル機構、細胞内輸送、抗がん剤に関係する様々な膜タンパク質・複合体の構造を解析する。さらに、生体組織・分泌腺・細胞内の微細構造を、水中において中間倍率で観察するために、超薄膜越しに液中の細胞を直接 SEM で見る方法、電子線走査後の様々なチャージを利用した新顕微鏡などを開発している。また、分子動力学法を複数の方法により開発し、免疫機構と癌の転移も様々な方法を駆使して研究している。これら研究を相互に組み合わせながら、生物の構造機

能相関と研究応用を幅広く研究している。
研究テーマ：テーマ題目6、テーマ題目7

生体分子創製研究グループ

(Biomolecule Design Research Group)

研究グループ長：上垣 浩一

(関西センター)

概要：

創薬基盤・医療基盤技術開発を推進するために、“生体分子を知り、操り、機能性分子（材料）を創製する”という観点から酵素や疾患マーカータンパク質の静的・動的な作用機序の解明、脳における神経細胞の発達・伝達・再生・新生などの細胞メカニズムを調節するタンパク質の翻訳後メカニズム、ノンコーディングRNAをはじめとする遺伝子発現メカニズムなどの分子機構の解明、及び、生物発光システムの多様性に着目した人工酵素“高効率自己励起蛍光タンパク質・BAF”の開発、生分解性を有するポリアミド4やポリ乳酸、ウレタン系ポリマー利用した生体模倣材料の開発など材料面からの分子創製研究も行う。これらの研究を通じて阻害剤や分子デザインに必須の基礎知見の確立、タンパク質の材料としての活用技術の開発、生体模倣材料の生体内分解性の研究や生体分子との複合による高機能化、それらを活用した生命現象の解明研究など、創薬ターゲットやバイオマーカーの候補の産業応用を目指して研究を行う。このように当グループでは生体分子や人工タンパク質、高分子材料など多彩な研究材料を用いた研究から創薬支援・診断技術の開発を目指している。

研究テーマ：テーマ題目8

生物時計研究グループ

(Biological Clock Research Group)

研究グループ長：大石 勝隆

(つくば中央第6)

概要：

健康長寿社会の実現を目指し、睡眠障害やうつ病、ストレス性腸炎などの脳神経関連疾患や、メタボリックシンドロームをはじめとした高血圧、肥満、糖尿病、肝炎などの生活習慣病、ロコモティブシンドロームをはじめとした加齢に伴う身体機能の低下等の発症メカニズムの解明に向けた研究を行うと同時に、これらの疾患の未病状態を検出するための診断技術の開発を行う。また、上記疾患の発症を予防するために、食の機能性を評価・利用し、宿主免疫機能を積極的に利用した先進的な疾患予防技術の開発を行う。具体的には、体内時計に関連する睡眠障害や生活習慣病、ロコモティブシンドロームなどの予防・改善を目指した時間栄養学や時間運動学的研究、日常における健康状態の迅速・簡便なモニタリングを可能とし、疾患を早期

に予測・診断するための技術開発、高血圧の改善に役立つ食品成分を中心とした機能性を発揮する因子の解析と活性な天然化合物等の探索及びその利用法の開発、腸管から全身への免疫活性化メカニズムの解明と、個人の変化に即した機能性成分の開発（食品免疫効果）、自然免疫・経口免疫寛容・脳腸相関を増強する粘膜アジュバントの開発と、それらを「臨床面における免疫修飾創薬」に活用する研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目9

健康維持機能物質開発研究グループ

(Physiological Active Substances Research Group)

研究グループ長：宮崎 歴

(つくば中央第6)

概要：

健康維持機能物質開発研究グループでは、こころとからだの健康維持のための予防および軽度な疾病段階での改善のためのツール開発を目的として研究を進めている。植物や香辛料などを中心とした天然資源より様々な低分子化合物を抽出、単離精製して構造決定するとともに、それらの天然化合物をバイオアッセイに供し、サーカディアンリズム、抗炎症作用、脂肪細胞分化などの生理活性を有する物質の探索をしている。また、その生理活性を引き起こす要因となる転写制御の分子メカニズムを中心として解析を進め、健康維持機能物質としてエビデンスのある物質開発を目指している。他方で、新規な生理活性スクリーニング法の開発やそのための基盤技術となる発光酵素の機能解析・新規蛍光プローブの作成を進めている。

研究テーマ：テーマ題目10

次世代メディカルデバイス研究グループ

(Advanced Medical Device Research Group)

研究グループ長：永井 秀典

(関西センター)

概要：

健康状態の可視化を目指し、次世代メディカルデバイス研究グループでは、様々な環境に対して生命が対応する中で表れるシグナルとしてのバイオマーカーの研究とその計測技術の開発を行う。生命機能は複数のパスウェイやフィードバックが働く複雑なものであり、その機構の根源的理解に基づく工学的研究を展開するためには、分子、細胞、個体レベルの実験を進めるとともに、変化として表れるバイオマーカーを計測評価し、さらにはこれを利用する技術を開発する必要がある。当該グループには、ライフサイエンス実験技術及び材料、機器開発技術についての高度な技術蓄積があり、これらの強みを複合的に組み合わせ、バイオマーカー計測についての本格研究を展開する。さらに、その研究成果により健康な生活の実現に寄与する新たな

ヘルスケア産業創出に貢献することを目標とする。
研究テーマ：テーマ題目11、テーマ題目12、
テーマ題目13

脳遺伝子研究グループ

(Molecular Neurobiology Research Group)

研究グループ長：戸井 基道

(つくば中央第6)

概 要：

超高齢社会に伴い増加の一途をたどる神経・精神疾患において、その発症予測や治療、機能回復に関わる技術に対しての社会的要請が強まりつつある。しかしながら、神経細胞の分化・維持機構、脳におけるネットワーク形成やその可塑的变化を分子レベルで計測し、その詳細を理解することは依然として十分ではなく、そのことが疾患発症の予測や、有効な創薬開発が進まない原因の一つとなっている。そこで当研究グループでは、主にモデル動物を用いた遺伝子解析と光学的イメージング解析に基づいて、神経細胞の維持・再生・移植技術に関する基礎技術の提供を研究目標とする。特に、モデル動物を用いた遺伝子操作や培養細胞への遺伝子導入手法により、神経細胞の基本特性の制御に関与するキー遺伝子の機能や神経疾患に関連した遺伝子産物機能、さらには脳内神経ネットワークの形成・維持制御機構を解明する。そのために、新規の神経疾患モデル細胞・モデル動物の作製や疾患に関与するキータンパク質群の生体内での動態解析技術、疾患変異型モデル生物を用いた新規のスクリーニング技術の開発を行っている。並行して、これらの解析に必須である、新たな顕微鏡システムや観察基盤技術の開発も進めている。これらの解析により、*in vitro*での分子動態レベルから個体レベルでの生体現象の可視化を可能にし、生体脳内や神経細胞内のイベントを詳細かつ鮮明に解析しながら、個々の疾患状態の把握や治療効率の向上に繋げる新たな知見を創出する。

研究テーマ：テーマ題目14

脳機能調節因子研究グループ

(Molecular Neurophysiology Research Group)

研究グループ長：波平 昌一

(つくば中央第6)

概 要：

生物の細胞間・細胞内の情報伝達、また、ゲノムDNAからの遺伝情報の読み取りは、生体分子の相互作用により制御されている。これら生体分子が本来持っている機能を解析しそれを利用した技術開発・機器開発などを遂行している。具体的には、生理活性ペプチド、タンパク質、核酸などが結合する標的分子の認識機構を主に分子生物学的手法により解析し、分子間相互作用機構を利用し、中枢神経系疾患の創薬に資す

る技術開発、機器開発などを行う。また、ゲノムDNAやクロマチン構成因子を修飾するエピジェネティクス制御タンパク質についても、その神経系細胞における機能解析を行い、標的領域制御機構を解明する。さらに、それらのエピジェネティクス制御タンパク質の機能を利用し、新規神経疾患モデル動物やモデル細胞を開発する。

研究テーマ：テーマ題目15

分子複合医薬研究グループ

(Molecular Composite Medicine Research Group)

研究グループ長：宮岸 真

(つくば中央第6)

概 要：

分子複合医薬研究グループでは、多様な機能分子と様々な技術要素を複合的に組み合わせた医薬技術の開発、および、健康な社会の実現を目指し、タンパク質構造から、細胞・個体レベルに及ぶ、多面的なテーマに取り組んでいる。ポスト抗体医薬として注目されている核酸医薬に関しては、次世代アプタマーを用いた検出法、核酸デリバリー法の開発、アンチセンス等の核酸医薬品の開発を行っている。特にアプタマー解析においては、修飾核酸を用いたSELEX法について大きな進展があった。また、構造生物学的アプローチとしては、疾患関連因子等を対象とし、X線結晶構造解析法により、分子認識機構を解明すると共に、その情報に基づいたリサーチツール開発・創薬開発を行った。細胞外膜小胞の研究では、ナノスケールでの分子機構をイメージングできるような電子顕微鏡要素技術の開発を進めると共に、新しい精製法の検討を行った。個体レベルの研究としては、脳におけるてんかん、モルヒネ鎮痛効果の分子機構の解明等を行い、医療技術や医薬品の開発へと展開している。また、OMICSを用いた遺伝子発現解析による生理状態評価において、放射線ストレス等の評価を行い、臨床研究に向けた取り組みを進めている。

研究テーマ：テーマ題目16、テーマ題目17、
テーマ題目18

構造創薬研究グループ

(Structure-Based Drug Discovery Research Group)

研究グループ長：本田 真也

(つくば中央第6)

概 要：

医薬品の創薬に資する基盤技術開発および実用技術開発を行う。その実施においては、標的の構造、候補分子の構造、複合体の構造、構造作用機序等の情報を活用した構造化学的医薬品開発（構造創薬）を基本のアプローチとする。また、これらに関連した萌芽的研究および目的基礎研究も積極的に取り組む。技術開発

課題の立案においては、医療診断分野における技術ニーズを把握し、現実的な社会還元が期待される適切な対象と方法論を選択することに努める。平成28年度は主に、化合物による酵素阻害活性の評価のための新規NMR解析法の開発、シャーガス病治療薬開発の標的分子のハイスループット探索技術の構築、ウラシル塩基を側鎖として有するタンパク質の作製、ヒット化合物の取得と化合物最適化設計技術の開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目19、テーマ題目20

細胞分子機能研究グループ

(Functional Biomolecular Research Group)

研究グループ長：清末 和之

(関西センター)

概要：

生体システム及び構成する分子の機能を、基本的動作原理から理解し、その利用と活用への道を形成することによって、第4期中期目標である「創薬基盤研究を推進する」に資する研究・開発を推進する。内容は以下で、創薬基盤技術の大きな要となる機能分子の発現系及び、構造解析技術の向上を行い、革新的なタンパク質生産システムとしてゲノム編集技術を用いた組換え鶏を用いたバイオリクターの開発、また、機能向上を目指した酵素の構造解析や好熱菌を用いた発現系の開発を行う。一方、生体分子の機能解明と応用の観点から、神経疾患関連遺伝子、また、嗅覚システムの解析から、創薬支援技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目21

先進バイオ計測研究グループ

(Advanced Biomeasurements Research Group)

研究グループ長：近江谷 克裕

(つくば中央第6)

概要：

核酸、タンパク質や細胞などの生体由来物質の計測(バイオ計測：biomeasurement)は、バイオメディカル分野の研究において欠くことのできない分析項目であると共に、バイオテクノロジー産業・メディカル分野の基盤である。また、その技術の発展は、生命現象をよりありのままに観察することや、バイオテクノロジー関連分野の進歩を促進する。先進バイオ計測研究グループは、バイオ計測の科学や先進的なバイオ計測技術開発とその基盤整備に軸足を置きながら、関連する基礎および応用研究を実施した。特に、主に次世代DNAシーケンシング技術を利用したマルチプレックス計測や蛍光イメージング技術、マイクロ流路技術などの要素技術を中心に、ヒト遺伝子定量技術、マイクロRNAなどを含む発現解析技術、マイクロバイオームなど複合微生物生態系評価技術や細胞活性評価技術などの先進バイオ計測技術開発(実験技術および

バイオインフォマティクス)を実施した。また、主に次世代DNAシーケンシング技術を利用したマルチプレックス計測等先進バイオ計測の精度管理技術の構築、バイアスの評価、およびそれらの精度管理方法を開発し、そのために必要な標準物質の開発も行った。さらに、開発した先進バイオ計測技術を利用し、細胞学や微生物学において重要な基礎研究課題に対しその解明に取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目22、テーマ題目23、
テーマ題目24

バイオアナリティカル研究グループ

(Bioanalytical Research Group)

研究グループ長：野田 尚宏

(つくば中央第6)

概要：

(1) 国内・国際的連携体制構築を通じたバイオテクノロジーの標準化推進

医療、診断、食品、環境、研究などの幅広い経済活動分野の中でバイオテクノロジーの標準化は必要とされているものの、その基盤整備は進んでいない。医療での診断に利用される遺伝子関連検査や遺伝子組換え食品などの検査さらには環境中における微生物の消長解析など、バイオテクノロジーが社会で広く利用される時代においてはバイオテクノロジーの標準化の推進が重要である。そのような現状を鑑み、バイオテクノロジーの利用に資する計測技術の妥当性保証、データの品質管理に関する標準化およびそれに貢献する標準物質の作製・評価技術を開発・検討した。さらに開発した核酸標準物質の普及を促進するために、様々な業界団体と連携体制を構築し、それを強化した。

(2) 生体分子解析技術の開発と応用

核酸、タンパク質、細胞等を解析する新規技術の開発を行った。蛍光シグナル分子解析技術などを用いて、生体由来分子のモル濃度を精密に解析する技術の開発を行った。また、それらのスループットを向上させるためにw/oエマルションやリポソームの技術を応用したナノ反応場を構築し、創薬基盤技術や生命現象の理解のための基盤技術としての応用可能性を検討した。

研究テーマ：テーマ題目25、テーマ題目26

ナノバイオデバイス研究グループ

(Nano-biodevice Research Group)

研究グループ長：栗田 僚二

(つくば中央第6)

概要：

「創薬基盤技術の開発」や「医療基盤・ヘルスケア技術の開発」を達成するには、既存の分析手法では成し得なかった新規生体分子計測法の開発が必須である。これまで不可能とされてきた時空間分解能で、タンパ

ク質や核酸を精緻に検出することにより、新規創薬基盤ツールや高度医療診断を可能にしていく。主たる研究戦略として、ナノ材料とバイオ分析を融合させた独自の生体分子計測技術にかかる目的基礎研究を行い、さらにそれらのデバイス開発、実試料計測までを一貫して行うことを目標とする。従来、大型分析装置でしか成し得なかった精緻なバイオ分析を、材料科学、表面科学、微細加工技術、多変量解析技術など多彩なアプローチを駆使することで生体および有機分子機能の高度化を進め、様々な生体分子計測を実現する。エピゲノム変化や細胞分化等の生命現象、医薬、毒素等の創薬基盤技術に有用な分子を簡便かつ迅速に計測可能にすることで、医療、創薬、生命科学の発展に資することを目的とする。

研究テーマ：テーマ題目27

セルメカニクス研究グループ

(Cell Mechanics Research Group)

研究グループ長：中村 史

(つくば中央第5)

概 要：

本研究グループは、生物の有する機械的な運動機能、関連する生体分子の構造と機能を明らかにする、あるいはそのための装置・技術の開発を行う。明らかにした生物の情報、開発された技術により、学術研究、医療、創薬、診断技術等に貢献することを目指す。近年、がん細胞の転移に骨格タンパク質が深く関わることや、血中でがん細胞がクラスターを形成することなどが明らかになりつつあり、病理診断において、細胞の機械的特徴・挙動が重要なマーカーになり得ると期待されている。これら細胞の骨格、運動、接着等、生物の機械的因子に関連する新規機能を解明することで、医療応用における基盤情報の確立に貢献する。そのために細胞の構造と機能を理解し、解析・操作・分離を行う新しい技術を開発する。これらの研究は、バイオインフォマティクス、ナノテクノロジーなどの分野融合によって生み出される全く新しい生体分子工学、細胞工学の技術体系の構築とこれを利用した産業の創出に資するものである。

研究テーマ：テーマ題目28、テーマ題目29

細胞マイクロシステム研究グループ

(Cell Microsystem Research Group)

研究グループ長：藤田 聡史

(関西センター)

概 要：

細胞マイクロシステム研究グループでは、バイオマイクロデバイス・細胞マイクロアレイ・細胞センシング・細胞分子操作技術・各種顕微鏡技術・免疫制御技術など、細胞組織の機能評価や制御を行う技術開発を

多面的に取り組んでいる。これらの技術を用いて生体組織の包括的な理解を進めると共に、これらの技術を応用した DDS の開発、創薬や予防医療支援ツール、免疫制御による新規治療法など、有用なプラットフォームの整備を進め、産業界への橋渡しを行っていく。

具体的には、新規リポソームの電子顕微鏡を用いた評価、リポソームなどのナノ粒子を用いた機能分子(核酸・タンパク質・低分子化合物など)の細胞導入を行う細胞マイクロアレイ及び集光レーザー技術の開発を行う。また、これらを応用し、免疫細胞制御による炎症疾患治療技術やゲノム編集技術の開発へと展開する。

研究テーマ：テーマ題目30

細胞・生体医工学研究グループ

(Medical and Biological Engineering Research Group)

研究グループ長：大西 芳秋

(関西センター)

概 要：

分子から個体を対象とした、以下の医工学研究に取り組んでいる。

1) 間葉系幹細胞を用いた再生医療実現を目指した基盤技術開発

小型アイソレータや高性能細胞分離のための医療用セルソータ、新規分子認識プローブならびに細胞画像解析技術の開発を行っている。またモデル生物としてのメダカやヒト幹細胞コレクションを用いた幹細胞の性能を向上させるドラッグリポジショニングにも取り組んでいる。

2) 細胞内分子イメージング応用による細胞操作技術開発

細胞の分化、増殖に関連する核内クロマチン動態変化を直接可視化する技術を開発することにより、再生医療や創薬スクリーニングへ応用していく。

3) ヒト感性評価に基づく研究開発

ヒトにとって使いやすい医療・福祉・生活機器や、快適な居住空間の提供を目指した研究開発を行っている。種々の非侵襲計測技術を駆使したヒトの知覚・認知メカニズムの高精度な理解に基づき、聴覚・色覚障害の補償技術や新しいタイプのオーディオや照明機器の開発、快適な居住空間の設計技術等へと応用している。

研究テーマ：テーマ題目31

[テーマ題目1] タンパク質の分子育種技術の開発

[研究代表者] 本田 真也 (分子細胞育種研究グループ)

[研究担当者] 本田 真也、小田原 孝行、宮房 孝光、千賀 由佳子、石川 一彦
(常勤職員5名、他4名)

[研究内容]

タンパク質が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、構造情報を基盤とする論理的分子デザイン法とフェージディスプレイ等の進化分子工学法の有機的活用による新規の標的親和性人工タンパク質創製技術の研究開発を行う。また、上記に基づくバイオ医薬品の創薬基盤および製造管理基盤技術の研究開発を行う。

次世代型バイオ医薬品として開発が進んでいるフラグメント抗体等の低分子化タンパク質の薬物動態改善に寄与する汎用技術の確立を目指して、ヒト血清アルブミン (HSA) に結合するヒト型アダプタータンパク質を分子グラフティング法で合理的にデザインし、合成した人工タンパク質の機能と構造に関する *in vitro* 分子特性を評価した。その結果、13-15残基の置換にも関わらず二次構造が変異導入前と同様であること、血中安定性向上に必要な HSA 結合親和性および結合特異性を獲得していることなどを明らかにした。これは、当該分子が低分子化バイオ医薬品の薬物動態改善のための有望なツールとなりうることを示すものである。

抗体医薬品に含まれる不純物の一つである抗体の凝集体は、免疫原性の原因になると懸念されている。平成28年度は、前年度に構築した非天然型構造抗体をサンドイッチする AF.2A1-AlphaScreen アッセイ系を活用して、CHO 細胞の培養上清中からの非天然型構造抗体の検出に取り組んだ。培地由来の成分によりシグナルの低下が見られたが、濃度依存的な応答を確認できた。また、本手法で検出可能な凝集体の大きさを調べるために、DLS と AF.2A1-AlphaScreen の結果を比較したところ、時間経過に伴い凝集体が大きくなると、AlphaScreen シグナルは小さくなるのが分かった。以上の結果より、20-500 nm 程度の凝集体測定に最適な手法であることが明らかになった。

抗体医薬品の品質管理において、精製工程以降 (ダウンストリーム) における非天然型構造抗体のモニタリングだけでなく、培養工程まで (アップストリーム) におけるモニタリングも重要な課題である。表面プラズモン共鳴を原理とする分析装置に AF.2A1プローブを固定化したチップを導入した測定系を用いて、培養上清中の非天然型立体構造を評価した。培養上清中ではシグナルが顕著に減弱すること、シグナルの回復には緩衝液で希釈することが最も有効であることが分かった。サンプル調製の条件を検討した結果、これまでに1 µg/mL オーダーの非天然型立体構造抗体が検出可能となった。

生体高分子結晶化指針確立と細胞内環境での生体高分子会合機構解明の一環として、塩/ポリエチレングリコール (PEG) 沈殿剤をモデル物質とするタンパク質/界面活性剤粒子の会合機構を調べた。いろいろな分子量の PEG に対するタンパク質/界面活性剤粒子の会合効率、粒子の性質や添加される塩の種類によらず PEG 分子量の対数に対して線形的に変化することを確認した。このことから、生体高分子と PEG との化学的な性質に基づ

く相互作用が同じであれば、PEG の凝集効果はその幾何学的な性質によって決まることが明らかとなった。この関係は生体高分子の結晶化だけでなく細胞内での生体高分子会合機構の理解にも役立つことが期待される。

超好熱菌由来の超耐熱性酵素の構造情報および Henri の積分法による酵素反応解析技術を用いて酵素タンパク質の安定化・耐熱化改良デザインを行い、複数の産業用酵素の耐熱化を実現した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】タンパク質、立体構造、バイオ医薬品、抗体医薬品、凝集、生物物理化学、結晶化理論、酵素安定化

【テーマ題目2】微生物の細胞育種技術の開発

【研究代表者】福田 展雄 (分子細胞育種研究グループ)

【研究担当者】福田 展雄 (常勤職員1名)

【研究内容】

微生物が有する高度な機能の広範な産業利用を促すため、酵母の接合型変換および接合応答制御技術確立し、交配育種への応用を目指す。また、酵母のシグナル伝達経路をヒト受容体の機能解析へと利用するための基盤技術を開発し、創薬候補物質の探索での活用を図る。

平成28年度は、G タンパク質共役型受容体 (GPCR) 拮抗薬の評価技術の開発に従事した。出芽酵母を宿主として、内在性の約六千種類の中から最適なプロモーター配列を決定することで、GPCR 拮抗薬のポジティブ検出を可能とする新たなレポーター遺伝子発現システムを構築することに成功した。GPCR 作動薬のみを添加した場合と比べて、作動薬に拮抗薬を混合して添加すると10倍以上のレポーター遺伝子の発現が観測された。本研究で構築したレポーター遺伝子の発現カセットはプラスミドベクター上に搭載されており、GPCR 研究のために開発されてきた他の酵母菌株にも容易に移植することが可能である。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】酵母、受容体、拮抗薬

【テーマ題目3】微細藻類育種技術のための多糖類利用技術の開発

【研究代表者】芝上 基成 (分子細胞育種研究グループ)

【研究担当者】芝上 基成 (常勤職員1名)

【研究内容】

微細藻類が有する物質産生機能の広範な産業利用を促すため、高付加価値物質産生機能の改良とこれらの物質利用技術の開発を図る必要がある。本課題では数ある藻類由来物質の中で特に多糖類に関する利用技術を確立し、その出口を明確にすることで微細藻類の産業利用を促進することを目的とする。

具体的にはユーグレナが産生する多糖 (パラミロン) に着目した。高生産性と高純度は工業原料として好適であり、種々の材料素材としての活用が可能である。平成

28年度はこれまでに確立したワンポット合成法を用いて調製した熱可塑性パラミロン誘導体についてフィルム化を行いその諸物性を測定したところ、光学フィルムとして利用可能な光学物性および機械物性を有することを見出した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】微細藻類、熱可塑性樹脂

【テーマ題目4】蛋白質デザインに関する研究

【研究代表者】 広田 潔憲（蛋白質デザイン研究グループ）

【研究担当者】 広田 潔憲、末森 明夫、竹縄 辰行
（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

欲しい機能を有するタンパク質をデザインし有用なタンパク質を創製できるようにするための研究開発を行っている。

一つには、新機能芳香族化合物の産生における変異タンパク質の利用をはかるべく、既存フラビントタンパク質系芳香族化合物一水酸化酵素群（flavin containing aromatic compound monooxygenases: FAMOs）の効率的な機能改変をおこなう新技術（準加算性歩行法）の開発をめざしている。具体的には FAMOs の系統学的解析および Rational design に基づく逆進化的探索により、*Mesorhizobium loti* MAFF303099 株由来 2-methyl-3-hydroxypyridine-5-carboxylic acid oxygenase (MHPCO) の基質結合部位における祖先アミノ酸残基群を同定し、準加算性歩行法に基づく MHPCO の基質特異性の改変における戦略的指針の設計をおこなった。準加算性歩行の第一段階として、MHPCO の段階的非活性化における標的アミノ酸残基 (A,B,C) を選定し、一アミノ酸置換変異体 (A 変異,B 変異,C 変異)、二重置換変異体 (A 変異+B 変異, A 変異+C 変異, B 変異+C 変異)、および3重置換変異体 (A 変異+B 変異+C 変異) を作成した。その結果、すべての置換変異体において部分的ないし完全非活性化が観察された。次いで、準加算性歩行法の第2段階として、MHPCO 基質特異性改変における標的アミノ酸残基 (D, E, F, G) を選定し、B 変異を雛型とする二重置換変異体群の作成をおこなった。その結果、MHPCO は *m*-hydroxybenzoic acid にはほとんど反応しないのに対し、二重置換変異体 (B 変異+E 変異, B 変異+F 変異) は *m*-hydroxybenzoic acid より protocatechuic acid を産生し得ることが明らかになった。

また、近年、抗体医薬品製造プロセスのプラットフォーム技術の高度化が要望されているので、低分子化抗体をアフィニティ精製するためのアフィニティ・リガンドタンパク質の開発を進めている。具体的には、プロテイン L の抗体結合ドメインをフレームとしたリガンドタンパク質の新たな変異体ライブラリーを作製し、親和性を測

定して有望な変異型リガンドを選抜し、担体に固定化して低分子化抗体に対する結合容量を評価した結果、結合容量が向上している複数の変異型リガンドを見出すことができた。そこで、このような変異の組み合わせを検討したところ、さらに結合容量が向上した変異型リガンドタンパク質をデザインすることができた。このように開発したリガンドタンパク質を民間企業と共同でモノリスシリカゲルに固定化した結果、市販品より優れた結合容量を持つスピンカラムを試作することができた。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】蛋白質デザイン、機能設計、基質特異性、準加算性歩行法、芳香族化合物水酸化酵素、抗体医薬品、低分子化抗体、アフィニティ精製、アフィニティ・リガンド蛋白質

【テーマ題目5】医療応用を目指した蛋白質の改変に関する研究

【研究代表者】 村木 三智郎（蛋白質デザイン研究グループ）

【研究担当者】 村木 三智郎、宮房 孝光、広田 潔憲
（常勤職員3名）

【研究内容】

医療応用を目指したタンパク質の改変のための研究開発を行っている。一つには、主鎖を環状化したサイトカインの開発を進めている。癌化学療法による白血球減少症の治療等に用いられる顆粒球コロニー刺激因子 (G-CSF) は、血中安定性の低さが実用上の欠点に挙げられる。そこで、ポリペプチド鎖の末端をペプチド結合で連結（主鎖環状化）したサイトカインを開発した。開発した4種の環状化改変体のうち、最も安定な改変体の単結晶を作製し、X 線回折実験を実施した。分解能1.7 Åの回折データをもとに立体構造モデルを構築したところ、安定性の根拠となるような構造的な特徴を見出すことが出来た。

また、ヒトの重大な疾病の発症原因となる異常細胞のアポトーシスの誘導による除去に直接関与する Fas リガンドの細胞外ドメインを対象タンパク質として、がんや関節リウマチなどに対する治療薬や診断用ツールの創製を目指した技術開発を進めている。今年度は、より少量でかつ広範囲な新規機能付加用の分子による部位特異的修飾を可能にするため、トランスシクロオクテン (TCO) 基とメチルテトラジン (MTZ) 基間の逆電子要請型ディールスアルダー付加反応を用いた修飾体の調製方法を新たに開発した。これまでに、反応性官能基として TCO 基と MTZ 基のいずれを含む sulfo-Cy3分子を使用した場合にもヒト Fas レセプター結合活性を保持した状態で効率的な蛍光性誘導体化が可能であることが明らかとなった。現在、引き続き本手法の抗体分子断片など医療応用上有用と考えられる他のタンパク質を修飾用

分子とした場合への適用可能性について検討を行っており、得られた付加体についての機能特性を明らかにする予定である。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】サイトカイン、環状化、インテイン、ヒト Fas リガンド、細胞外ドメイン、部位特異的的化学修飾、ディールスアルダー付加反応、蛍光標識

【テーマ題目6】電子線単粒子解析法の開発と新たなタンパク質構造の解明

【研究代表者】佐藤 主税（構造生理研究グループ）

【研究担当者】佐藤 主税、小椋 俊彦（常勤職員2名）

【研究内容】

クライオ透過電子顕微鏡を用いた単粒子解析法は、タンパク質構造決定に結晶を必要としないため現在高い注目を集めている。一般に、電子線を大量照射できるサンプルでは、電子顕微鏡は0.2 nmにも達する高い分解能が得られる。しかし、相手がタンパク質では、電子線にそれほど強くはないため照射量が限られる。そのため、個々の投影像は微かな像としてしか写らない。しかしながら、薄い像でも膨大な数の電顕像を組み合わせれば、最終的には高分解能の3次元構造を計算できることが証明されている。我々は、この単粒子解析技術を、現代のコンピューターを用いた統計学・情報学を駆使して開発している。これらの方法を、新たに開発したサンプル作製法による同一タンパク質の多枚数の電顕像に適用することで、高分解能の3次元構造を比較的短時間で計算できることを目指している。我々は、この単粒子解析アルゴリズム・顕微鏡法によって、神経興奮の発生や、Ca シグナル、痛みの伝達に重要な受容体・イオンチャネル・細胞骨格を中心に研究してきた。脳において、情報伝達において重要な役割を果たすのは、受容体とイオンチャネルなどである。情報伝達物質を制御し、興奮を司ることで様々な高次機能を実現している。我々は様々な心臓疾患や免疫疾患、酸化ストレスセンサー、発癌剤センサータンパク質など創薬に重要なタンパク質構造にスポットを当て、東北大学医学部グループと発癌剤センサータンパク質の Keap1や、東大医学部グループと動的な重合・解離する複合体である microtubule の構造決定に成功した。さらに、microtubule にその表面を走るモータータンパクであるキネシンVが結合したダイナミックな複合体の構造決定に東大医学部グループと共同で成功した。このことから、細胞輸送の様々な現象と機構が解釈された。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】電子顕微鏡、単粒子解析、イオンチャネル

【テーマ題目7】新しいSEM電子顕微鏡技術の開発

【研究代表者】佐藤 主税（構造生理研究グループ）

【研究担当者】佐藤 主税、小椋 俊彦（常勤職員2名）

【研究内容】

我々は、原子40-400個厚程度の薄膜で電顕コラムの真空を遮ることで、水の中の生物サンプルを観察できる全く新しい走査電子顕微鏡を開発した。近年発展が著しい光学顕微鏡は、細胞をハイスループットに観察できる素晴らしいツールである。さらに、超解像度技術も発展してきている。しかし、その分解能は、光の波長である数百 nm から飛躍的に向上することは容易ではない。電子顕微鏡はサブ nm レベルの分解能を誇るが、サンプルを真空に置く必要がある。Epon 樹脂包埋法では、サンプルは真空に耐えるために脱水や蒸着等の長い処理をする必要があり、その処理により特に親水性の細胞内構造に関しては保存性に心配がある。走査電子顕微鏡 SEM の技術を、最新の半導体製造用薄膜技術による超薄膜技術と融合させ ASEM を開発した。これを用いて、細胞内の構造を、自然な水溶液環境で観察できる。この ASEM は、膜近くでは8 nm の分解能で液体中のサンプルを観察できる電子顕微鏡である。本顕微鏡は、物性サンプルにも適用できる。ASEM は疎水処理を必要としないために免疫電顕としても抗原の保護性能が高く、様々な抗原が検出できる。すなわち、金による免疫ラベルや染色法の開発により、今問題となっている様々な疾患に関連するタンパク質の細胞内での局在などを決定した。さらに組織レベルでの観察にも、大脳皮質や脊髄、肝臓、腎臓などを用いて成功し、モーターニューロンが骨格筋に情報を伝える結合点である endplate の形成運命が、糖鎖の欠如によって変化することを可視化した。本年度はさらに、糖尿病と関係する膵臓のランゲルハンス島におけるインシュリンの内分泌の高分解能観察や細菌が形成するバイオフィーム構造の観察に成功した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】電子顕微鏡、光学顕微鏡、細胞内小器官

【テーマ題目8】生体分子創製に関する研究

【研究代表者】上垣 浩一（生体分子創製研究グループ）

【研究担当者】上垣 浩一、中山 敦好、山野 尚子、中村 努、星野 英人、小島 正己（常勤職員6名、他4名）

【研究内容】

本年度は、好熱菌脱アセチル化酵素に対してデザインした阻害剤 MPG（単糖基質のアナログ）と本酵素との複合体の立体構造をもとに、二糖基質（ジアセチルキトビオース）と本酵素の相互作用を明らかにするため分子動力学計算によりシミュレーションを行った。その結果、本酵素は非還元末端糖以外の部分については基質特異性が低いことが判った。すなわち、本酵素は多様な化合物を基質として触媒活性を有し、そのすべての反応に対して MPG が阻害剤として有効であることが示唆された。一方、好熱菌由来 D-アミノ酸代謝酵素の立体構造

解析のための結晶化スクリーニングを行い、最適化条件を決定し、X線回折データを得た。また“hCBD-BAF/セルロース基材複合材”の用途開発のため超耐熱性キチン/セルロース結合ドメイン(hCBD)を利用したプロテアーゼ活性センサー技術開発のため用いるプロテアーゼの大腸菌での発現系の構築と精製を行った。さらにバイオマス繊維素材の高機能化技術の開発を目標にビオチン様ペプチドタグを利用するためのhCBD-SA融合タンパク質の発現系の検討とhCBD-抗体融合タンパク質の発現系の構築を行った。

proBDNF→BDNFのプロセッシング異常マウスではBDNFよりproBDNFが過剰になり成体のマウスでは顕著なうつ様行動をはじめとする行動レベルの様々な表現形が観察される。この異常マウスの分子細胞病態を見出すためにBDNFの転写に注目し、海馬におけるBDNFの遺伝子発現を最初に解析したところ、新規のBDNFアンチセンスRNAがproBDNF過剰マウス海馬では発現していることを見出した。さらに各アンチセンスRNAを培養神経細胞に発現させる実験を行い、AS2cと名付けたBDNFアンチセンスRNAにはBDNFタンパク質を増加させる役割があることを見出した。

生分解性ポリマーの生分解性制御技術の開発が求められている中で、本年度はポリアミノ酸の一種であり、かつ、良好な生分解性を有するポリアミド4をターゲットに、スイッチング機能の導入と末端修飾による生分解制御について検討した。スイッチングのトリガーとして光を選択し、可視域にまで吸収帯を持つ光触媒を配合し、その光照射効果について調べた。活性汚泥を含む培地中に浸すと暗所では速やかな生分解が進行するが、光照射下では光触媒効果により生分解が抑制されることを見出した。またポリアミド4の分解速度を制御するためステアロイル基を付加したポリアミド4を合成し生分解に対する界面活性剤の効果を調べた。両性イオンのCHAPS、非イオン系のTween4の添加を検討したところ生分解速度を向上させることが判り、界面活性剤の利用は有効な分解制御手段であることが明らかとなった。さらに(R)-3-ヒドロキシ酪酸をベースとした新しい生分解性機能材料の開発の一步として(R)3HBの縮合により中分子量(R)3HBの合成や(R)3HBを含む環状モノマーの調製を行い、分子量分別された(R)3HBオリゴマーやグリコール類を利用した生分解性ウレタンの合成に成功した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】蛋白質、神経栄養因子、生分解性材料

【テーマ題目9】生体恒常性を積極的に利用した先進的疾患予防技術の開発

【研究代表者】大石 勝隆（生物時計研究グループ）

【研究担当者】大石 勝隆、中尾 玲子、市村 年昭、根本 直、辻 典子

（常勤職員5名、他11名）

【研究内容】

食リズムの乱れによる代謝異常の分子メカニズムを解明するために、高インスリン血症と高レプチン血症に着目してマウスを使った研究を行った。非活動期のみ給餌を行う時間制限給餌の結果、インクレチンGLP-1の過剰分泌が誘導されることを明らかにし、GLP-1の過剰分泌によって高インスリン血症が誘導されている可能性が考えられた。摂食リズムの乱れが、短期間のうちにレプチン抵抗性を惹起している可能性を検証するために、10日間の時間制限給餌の後にレプチン投与を行い、摂餌量及び体重の減少効果を調べた結果、活動期の時間制限給餌では、レプチン投与による摂餌量や体重の減少が認められたのにもかかわらず、非活動期の時間制限給餌では、レプチン投与による影響が認められず、レプチン抵抗性が惹起されている可能性が示された。

時間栄養学的代謝改善法の開発においては、魚油のもつ脂質代謝改善機能に着目し、摂取時刻の違いによる機能性への影響を明らかにする目的で、マウスを用いた検討を行った。脂肪肝やメタボリックシンドロームの原因と考えられている果糖過剰食を自由摂取させ、朝食時間帯（朝摂取群）あるいは夕食時間帯（夕摂取群）にのみ魚油を含む果糖過剰食に切り替えた。朝摂取群では、夕摂取群に比べ、血中及び肝臓中の中性脂肪量や、脂肪酸合成系遺伝子の発現量が有意に減少していた。朝食時の魚油の摂取により、その機能性が高まるものと期待された。今後はそのメカニズムの解明を目指す。

ストレス負荷によるうつ病様を示すラット脳組織を、新技術HR-MAS-NMR-MPにて解析を行い、うつ病様と健常の脳内代謝の差異を可視化検討した。うつ病様の状態に変化を与える薬理効果についても検討を加えた。腎臓病重症化予防アプリ作成に際し、NMR-MPによる可視化・データ再提示の原理やプロファイリング法の実践応用についての予備的共同研究を実施した。

国産農産物の輸出先の国・地域の消費者の嗜好性と輸出する農産物の多様な品質の双方を正確・容易に把握し、輸出先の嗜好性に適合する品質を容易に判別できるようにするための非破壊的技術を開発することを目的として、国産生食用モモの凍結乾燥粉末また生果についてNMR-MP法によるメタボローム解析を実施した。モモ生果を用いて輸送時を想定した保存試験を行い、生育、輸送、保存などを考慮し、過去データと比較検討した。

国産農産物のもつ品質に対して新しく実用的な非破壊計測尺度の構築を目指し、様々な品種・加工方法等が異なる生食用・加工用トマト試料の提供を受けNMR-MP計測を行った。メーカー提供の品種や加工方法の異なる試作品について解析を行い、商品化標的の選定に大きく寄与した。

腸管の中でも小腸は免疫機能の成熟に重要な環境場であるため、主要常在菌である乳酸菌が、食品成分として

も腸管免疫に働きかけ、免疫恒常性の維持にはたらく可能性を探った。多発性硬化症の実験モデルにおいて、乳酸菌死菌体の経口投与による抗炎症効果と発症の遅延を認めた。小腸における食シグナルの受容から、脳を含む全身性に抗炎症が波及することが示唆された。免疫と伝達機構の解明は、健康維持や疾患の予防・治療技術の可能性を高めると期待される。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】体内時計、食生活、肥満、メタボリックシンドローム、機能的食品、免疫恒常性、小腸乳酸菌、抗炎症、血圧、筋萎縮、褐色脂肪組織、メタボロミクス、NMR

【テーマ題目10】健康維持機能物質開発に関する研究

【研究代表者】宮崎 歴（健康維持機能物質開発研究グループ）

【研究担当者】宮崎 歴、河野 泰広、小川 昌克、安野 理恵、富田 辰之介（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

健康維持機能物質開発研究グループではメタボリックシンドロームやストレス負荷に対する軽減およびその軽度な段階での改善、健康維持に寄与する生理活性物質開発を目指している。特に食経歴のある野菜やキノコ類、地域特性のある天然素材などを中心とした生物資源より天然化合物を抽出し、単離精製して構造決定するとともに、それらの天然化合物をサーカディアンリズム、抗酸化活性、抗炎症活性、脂肪細胞分化抑制活性などを指標としたバイオアッセイに供し、その新規な有効生理活性物質を同定し、商品化へとつなげることを最終目的としている。また、近年の機能的表示食品の基準をクリアするため、その生理活性を引き起こす要因となる分子メカニズムについても、転写制御系を中心として解析を進め、健康維持に貢献できる物質のエビデンスを積み上げることも目的とする。

秋田県総合食品研究センターとの共同研究で、秋田県特産物であるてんこ豆に含まれる血圧降下機能を示す天然化合物の同定に成功した。てんこ豆の水溶性物質に含まれる血圧降下物質を同定するため、血圧調節系酵素であるアンジオテンシン変換酵素阻害効果およびレニン阻害効果を指標とし、カラム精製をおこない活性成分の単一化を行った。また、その物質について NMR で構造を決定し、ニコチアミンであることが分かった。アンジオテンシン変換酵素活性をてんこ豆と類縁の豆類で比較検討したところ、てんこ豆が最も高い阻害効果を持っていることが明らかとなった。きのこ類のアガリクスを材料に抗炎症作用を示す物質を探した結果、これまで免疫増強作用を持つと言われていた多糖類とは異なり、含有脂質の一つリノール酸に強い炎症抑制作用があることがわかった。この作用は他に含まれる C18脂肪酸のステ

アリン酸やオレイン酸と比べても強い抑制作用であることが分かった。さらにタイ原産の香辛料の一つ、カーの抽出物にも強い抗炎症作用のある物質があることをつきとめ、単離同定し構造決定を行った。

新しいバイオアッセイ系の構築およびその基盤技術の開発も進めた。培養細胞の運動性を評価するための蛍光プローブの合成やウミホタル由来のルシフェラーゼの糖鎖がその酵素活性に及ぼす効果について解析した。さらに、多色ルシフェラーゼ解析法を応用した IL-6/IL10 の遺伝子発現をリアルタイムモニタリングするアッセイ系を構築し、既知の炎症抑制を示す天然化合物による発現パターンの変化について検証を行った。

抗炎症作用を持ついくつかの香辛料の抽出物を Per2-Luc 発現の繊維芽細胞に暴露させ、サーカディアンリズムへの影響評価を行った。その結果、暴露の濃度依存的にリズム長延長を示す可能性のある抽出物を見出し、その物質の同定を進めている。

睡眠障害や慢性的なストレス負荷は、炎症を伴う全身性の影響を及ぼすと予想されている。そこで我々の開発した睡眠障害モデルマウスにおいて、リンパ球細胞を単離し免疫応答の亢進が認められているかを確認した。その結果、睡眠障害モデルマウスにおいて全身性の炎症傾向を示す IL-1 等の遺伝子発現が上昇することが分かった。脳内においても同様の現象が認められるか確認したが、大脳皮質領域ではその傾向はないことが分かった。今後、よりストレスの影響が出やすいと考えられる海馬等での影響を見ていく予定である。国立精神神経センターとの共同研究では、睡眠障害の重症度と脳内アミロイドβの沈着の病理の重症度とに相関があることを見出した。独自に開発した睡眠障害モデルマウス作成ケージ(特許第5975481)を用いて、アルツハイマー発症傾向のあるマウスを27日間飼育し、睡眠障害を誘導した。中途覚醒の頻度を指標とし、睡眠障害の程度を重度、中程度の2群を障害発生していないコントロール群と比較した結果、アミロイドβの沈着の程度が睡眠障害の重症度と相関することが明らかとなり論文投稿した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】機能的食品、天然化合物、メタボリックシンドローム、サーカディアンリズム、多色生物発光技術、

【テーマ題目11】疾患モデル生物等に基づく生体メカニズム解明と新規バイオマーカーの開発

【研究代表者】永井 秀典（次世代メディカルデバイス研究グループ）

【研究担当者】永井 秀典、七里 元督、山添 泰宗、出口 友則、赤澤 陽子、古谷 俊介（常勤職員6名、他7名）

【研究内容】

ストレスマーカーを指標とした客観的精神疲労評価手

法の確立と精神的健康の増進についての研究開発を行うとともに、各種疾患におけるバイオマーカーの有用性をヒト試料やモデル動物を用いて検討する。一つ目は、既に当グループでは、マウスにストレスを負荷することで、脂質酸化酵素12リポキシングナーゼによる酵素的酸化反応を介してアラキドン酸酸化物が著増することを既に確認しており、最終目標は、各種環境下における脂質酸化物などの動態を細胞、個体レベルで検証し、アラキドン酸酸化物のストレスシグナル伝達メカニズムを明らかにすることである。二つ目は、メダカを用いた疾患モデルの開発を目指しており、ゲノム編集技術によって、癌や神経疾患モデルの遺伝子組換えメダカを作製することである。三つ目は、実際のヒトの唾液試料等から各種バイオマーカーを計測する技術開発を目指す。

平成28年度は、アラキドン酸酸化物レセプター阻害剤によるストレスに伴う脳内モノアミンの挙動変化を高速液体クロマトグラフィーにより解析し、ストレスによって増加する脳内モノアミン代謝産物がアラキドン酸酸化物レセプター阻害剤の投与によってストレス非負荷マウスと同レベルまで減少していることを見出した。脳内モノアミン代謝産物の増加は神経末端からのモノアミンの放出が増加していることを意味しており、脳内モノアミン代謝産物の減少は神経の活性化が抑制されていることを示した。以上の結果より、ストレスによって血中で増加するアラキドン酸酸化物がレセプターを介して脳内モノアミンの放出を誘導するという機構が存在する可能性が示唆された。

次に、疾患モデル生物等に基づく生体メカニズム解明と新規バイオマーカーの開発として、メダカを用いた遺伝子導入を検討した。メダカの受精卵を用いた遺伝子導入では蛍光タンパク質の発現は確認できたが、遺伝子導入系統の確立には至らなかった。そこで、ゲノム編集技術の一つであるTALENによりゲノムへの遺伝子挿入を試みたところ体細胞においても部分的に蛍光タンパク質の発現を確認することができた。

また、ヒトのストレス計測を目指して、疲労マーカーの一種として報告されている唾液中のヘルペスウイルスの測定の予備検討を行った。リアルタイムポリメラーゼ連鎖反応装置を用いることで、ヘルペスウイルス6およびヘルペスウイルス7の遺伝子配列を有する合成DNAを唾液から定量できることを確認した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】生活習慣病、糖尿病、マラリア、ストレス、疲労、脂質酸化物

【テーマ題目12】バイオマーカー計測評価用メディカルデバイスの開発

【研究代表者】永井 秀典（次世代メディカルデバイス研究グループ）

【研究担当者】永井 秀典、七里 元督、山添 泰宗、出

口 友則、赤澤 陽子、古谷 俊介、安藤 昌儀（常勤職員7名、他8名）

【研究内容】

生体試料等に含まれる各種バイオマーカー計測を目指して、遠心力駆動型ラボCDシステム及び高速核酸増幅システム、高速DNAシーケンス技術、蛍光量子ドット型生体影響ガスセンサ等の製品化研究を進めるとともに、チップ表面物性の高度制御技術、計測プロセスのオンチップ集積化、計測評価システムのダウンサイジング化の基盤研究を行う。

平成28年度は、遠心力駆動型ラボCDシステムとして、免疫アッセイ用微小流体デバイスおよび自動計測用プロトタイプ装置を作製した。また、切削加工でのディスプレイ用試薬カートリッジを試作し、多段階の送液制御を実現した。また、試薬カートリッジと遠心駆動型ラボCDチップの張り合わせるためのシール素材の評価、貼り合わせ方法の検討を行い、プロトタイプ装置上で当該試薬カートリッジを使用した遠心力駆動型ラボCDチップ上での全自動での送液制御を可能とした。

また、高速核酸増幅システムを用いて、現場での高速肉種判別や、動物および植物ウイルスの現場検査法を開発し、実試料による高病原性鳥インフルエンザとキュウリモザイクウイルスの迅速検査を実現し、現場検証を開始した。特に、ノロウイルスは細胞培養株が確立してないため、標準ウイルスを入手することが不可能であることから、ノロウイルスが比較的高頻度で存在していると考えられる加熱食用カキについて複数の産地由来のサンプルを入手し、ノロウイルスの定量を行った。平成28年度は、カキ由来のノロウイルスの実試料を入手し、現場で使用される既存法による検出結果との比較検証を行った。従来装置および本事業で開発したハンドヘルド型高速核酸増幅システムの二次試作機にてノロウイルスの検出を検討した。昨シーズンは、全国的にノロの発生件数が少なく、牡蠣からノロウイルスを検出することができなかったため、本シーズンでは、前週にノロ陽性検体が発生した漁場から採取した牡蠣を入手し検証に用いた。

カキからのノロウイルスの抽出は、簡便化のため前年度に開発したカラム法にて実施し、牡蠣14検体を従来法と比較した。その結果、G1型については従来法にて3検体、G2型については5検体から検出された。それに対し、開発した前処理およびハンドヘルド型高速核酸増幅システムの二次試作機を用いた結果、G1型については9検体から、G2型については4検体から検出した。しかしながら、検出されたどの検体についても10 copies レベル以下の極めて微量なウイルス量であったため、既存の装置含め検出限界付近であり、2回測定において、1回のみが陽性となる結果であった。そのため、この検出限界レベルの濃度が原因と考えられるが、ノロ検査法に定める10 copies 以上が2回とも測定されるという条件を満たしておらず、陽性検体は取得できないという結果となった。

このように厳密なノロの陽性検体ではないものの、1回でも陽性が得られた検体数から、感度および特異度について従来法と比較したところ、G1については感度33%、特異度27%、G2については感度40%、特異度78%となった。感度についていずれも低い結果となったことから、従来装置とハンドヘルド型高速核酸増幅システムでは、陽性が一致せず従来装置の結果についても信頼性が得られない結論となった。以上より、今後も継続してノロウイルスが高濃度に存在する検体を入手し、さらなる検証が必要であると考えられる。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕Point of care testing、遺伝子検査、免疫アッセイ、微小流路デバイス、抗体

〔テーマ題目13〕新規ナノ機能性材料のバイオ研究分野への応用

〔研究代表者〕永井 秀典（次世代医療デバイス研究グループ）

〔研究担当者〕永井 秀典、七里 元督、山添 泰宗、出口 友則、赤澤 陽子、古谷 俊介、安藤 昌儀（常勤職員7名、他8名）

〔研究内容〕

バイオマーカーの実用化に資する新型抗体の開発、タンパク質を活用した界面制御バイオマテリアル、蛍光量子ドットを用いた光学素子の開発と応用を進めるとともに、生体物質や生体適合性材料の本質的理解に基づく研究を進めることで、生命現象の分子メカニズムの解明とその産業・医療応用を目指す。

新型抗体の開発において、抗体-薬物複合体の開発における問題点は、抗体分子への薬物コンジュゲートの不均一性による薬効・安全性への影響である。この問題点は、通常抗体（イムノグロブリンG）の構造の複雑さに起因するものであり、低分子抗体であるラクダ科動物由来シングルドメイン抗体（VHH抗体）を抗体-薬物複合体に利用することで、高い均一性と安全性を兼ね備えた次世代抗体-薬物複合体が期待される。本研究の目的は、付加物質の種類、サイズ、VHH抗体1分子あたりの付加個数によるVHH抗体の機能および物性への影響を明らかとすることで、VHH抗体-薬物複合体開発の技術基盤を確立する。

平成28年度は様々なVHH抗体-異分子複合体の作製を計画し、低分子化合物（ビオチン、蛍光色素）、一本鎖DNA、様々な分子量の二本鎖DNA、RNAの付加体を作製した。異分子付加の為には付加物質の親水性が重要であり、疎水性の高いビオチンや蛍光色素は、混合によりVHH抗体が凝集する。そこで、疎水性の高い分子に対しては、ポリエチレングリコール化された化合物を使用することで、効率のよい複合体作製ができた。一方、異分子付加によるVHH抗体の親和性への影響は、同じ付加物質でも抗体の種類により異なることを認めた。また、

分子量の大きいDNAの付加はVHH抗体の親和性を顕著に低下することを認めた。

また、タンパク質を活用した界面制御バイオマテリアルの開発として、活性酸素を除去するスーパーオキシドディスムターゼと抗体を用いて、活性酸素除去能と細胞認識能を備えたフィルムを開発することを目的として研究を行った。平成28年度は、スーパーオキシドディスムターゼと抗体を含有した微小なタンパク質フィルム（直径：約100 μm 、厚み：数百nm）が有する機能を評価した。このフィルムの機能評価のために、活性酸素を分泌する好中球様細胞を調製し実験に用いた。好中球様細胞と微小タンパク質フィルムを混合し、顕微鏡で観察したところ、フィルムの良好な細胞の捕捉が見られ、フィルムに細胞を集積させることに成功した。細胞はフィルム全面に付着しており、直径100 μm の微小フィルムに約22個の細胞が付着していた。その後、フィルムに捕捉された細胞の活性酸素の分泌挙動を調べた結果、フィルムに捕捉されていないフリーの状態の細胞に比べて、周囲に分泌される活性酸素の量が70%減少することが分かった。これはフィルム内部のスーパーオキシドディスムターゼが有効に働き、分泌された活性酸素の大部分を除去したためだと考えられる。

さらに、光学式オゾンセンサ材料として有望なCdSe系コアシェル型量子ドットについて、0.1ppmという低濃度オゾンで可逆な蛍光強度変化を示し、緑色発光量子ドットは低濃度オゾン、赤色発光量子ドットは中～高濃度のオゾン検知に適していた。量子ドットをポリマーコートすると感度等が低下する結果を得て、応答機構が一部推定でき、アルキルアミンガ스에感應する量子ドットも見出した。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕生体適合性材料、高分子、抗体、量子ドット

〔テーマ題目14〕神経疾患モデル動物の作製と分子動態可視化技術の開発

〔研究代表者〕戸井 基道（脳遺伝子研究グループ）

〔研究担当者〕戸井 基道、加藤 薫、海老原 達彦、落石 知世、佐々木 保典、新海 陽一（常勤職員6名、他3名）

〔研究内容〕

脳神経系の発生過程や機能発現、その維持を制御する分子群の動態解析は、神経細胞の基本的な動作機序を理解し、かつその破綻により引き起こされる様々な神経疾患の原因解明と治療法の開発に繋がることが期待される。今年度は、そのための新たな可視化動物の作製と既に作成済みのモデル動物の解析、また関連分子の動態観察のための顕微鏡技術開発を進めた。

老化や疾患に伴う神経機能評価のために、生体内で神経活動の可視化解析とそのパターン解析から脳機能の全

体像に迫るためのシミュレーション解析を行った。線虫 *C. elegans* にカルシウム感受性および膜電位感受性の蛍光タンパク質を発現させ、刺激依存的な神経活動を記録した。得られた神経活動パターンから、最小限のイメージングデータから複数の神経活動を予測するための数理モデルを構築した。これを実際の線虫神経系で実証するとともに、神経変性疾患原因タンパク質を発現させた形質転換体にも適用した。これにより、老化状態や病態様神経での神経活動予測の可否について議論し、この内容は論文発表を行った。

また、アルツハイマー病の発症要因であるアミロイドベータタンパク質を神経細胞内に発現させたモデルマウスや線虫を用いて、その病態様表現型の有無とその治療に向けた解析を行った。モデルマウスでは、細胞内アミロイドベータオリゴマーによって生じた認知機能異常が運動によってどのように変化するかを解析した。生後3か月齢のマウスを用いて回転かごによる自発的運動負荷を行わせ、運動期間終了後に複数の行動解析を行い、空間認知能力や記憶力の改善が見られるのか解析した。その結果、モデルマウスの認知機能が明らかに改善することが分かった。また、モデル線虫でも神経細胞死との関係を解析し、アミロイドベータオリゴマーが発現し始めてからの期間と細胞変性との間に相関があることを見出した。さらに異なる疾患モデル動物として、自閉症発症と関連付けられている遺伝子突然変異体とクロマチン動態可視化技術を組み合わせた動物を作製した。このシステムを用いて、神経成熟における遺伝子発現とクロマチン動態における新知見を得ることに成功するとともに、エピジェネティックなクロマチン状態を可視化する新規技術として報告した。初期胚における少数の細胞がエピゲノム動態に影響を及ぼし合い、細胞間の機能的多様性を生み出す分子機構を理解するために、細胞が組織に占める位置と形態情報を保持したままエピゲノム動態を可視化する1細胞解析法についても開発を進めている。

細胞内分子動態をより詳細に解析するために顕微鏡観察システムの構築を進め、それを用いて神経成長円錐内における細胞骨格系タンパク質の精細な解析を行った。超解像顕微鏡を用いて、成長円錐内の新規の小胞輸送経路と骨格系タンパク質の動態を詳細に解明し、かつそれに関わる分子メカニズムを明らかにすることに成功し、報告した。同様に大気圧電顕を用いた培養神経細胞の核内構造の解析技術や、細胞活動をモニターする新規プロテオームタンパク質の開発も進め、発表している。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】イメージング、神経精神疾患、創薬スクリーニング

【テーマ15】生体分子の高機能化及びそれを利用した脳神経疾患に対する創薬基盤技術開発

【研究代表者】波平 昌一（脳機能調節因子研究グルー

プ）

【研究担当者】波平 昌一、近藤 哲朗、稲垣 英利、大塚 幸雄、平野 和巳（常勤職員5名）

【研究 内 容】

生物の細胞間・細胞内の情報伝達は生体分子の相互作用により制御されている。その中でも特に神経細胞に存在する受容体やイオンチャネルなどを標的とした生理活性ペプチド、及び、ゲノム DNA やクロマチンを構成するヒストンタンパク質に修飾を施すエピジェネティクス制御タンパク質の標的認識メカニズムを解析し、それを利用した創薬基盤技術開発・機器開発を行う。

ヘビ・クモなどの毒腺には、ヒトの神経細胞の機能に影響を与える様々な生理活性ペプチドが存在する。これらの分子は自然界において長い時間をかけた進化の過程で特化した機能、すなわち標的分子を特異的に認識し結合する能力を獲得している分子であると考えられる。当グループではこれまでに、それらのペプチドをコードする遺伝子の配列上の特徴を利用して、指向的分子進化学手法を用いて目的の標的分子に結合する活性分子の探索技術を開発し、多種の生理活性ペプチドの標的分子の認識機構の迅速な解析を可能にした。これらの解析により得られたペプチドの配列・立体構造情報などは、創薬の際有効に利用されることが期待される。現在、脳神経系特異的に機能する生理活性ペプチドの探索と機能解析を遂行している。

また、哺乳類の後天的なゲノム修飾機構であるエピジェネティクスを担うタンパク質についても、その分子が担うゲノム領域の認識機構を解析している。精神疾患や脳腫瘍といった脳神経系疾患は、その発症が思春期以降となるため、原因解明や創薬開発に資するモデル細胞やモデル動物の確立が遅れている。最近、それらの発症にエピジェネティクス制御機構である DNA メチル化やクロマチン制御機構の破綻が起因していることが疑われている。そこで、それらのエピジェネティクス制御タンパク質に焦点を当て、神経系細胞における機能解析と標的領域認識機構を明らかにする。さらにそれを利用して発症依存的な病態モデル細胞や動物を作製する。これらにより、脳腫瘍及び精神疾患治療に対する創薬スクリーニングのための次世代型新規研究材料の開発と提供を目指している。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】指向的分子進化学、生理活性ペプチド、エピジェネティクス、脳神経疾患

【テーマ16】ストレプトアビジンに対する新規 G カルテット核酸アプタマーの同定と特性解析

【研究代表者】宮岸 真（分子複合医薬研究グループ）

【研究担当者】宮岸 真、山崎 和彦、猪股 梨華、Zhao Jing（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

核酸アプタマーは、抗体と同様に、標的と特異的に結合できる機能を持っている核酸である。その開発はしばしば、thrombin や streptavidin (SA) に対するアプタマーが対象となって研究されている。本研究課題では、セレクトクス法と次世代シーケンズ解析により、SA と特異的に結合する新規の核酸アプタマー (SA-Gq) を取得した結果について報告する。さらに、既に報告されている SA アプタマー (St2-1) と比較し、今回取得したアプタマーの機能的、構造的な特性の解析を行った。

SA 磁気ビーズに DNA library を結合させ、洗浄するというサイクルを3回セクション後、Deep シーケンズにより約10万リードの配列を取得し、その配列データから未知の類似配列を MEME モチーフ解析により抽出した。過去に報告のない15種類の配列がグアニンリッチなモチーフ配列を持つことが判った。

次に15種類のモチーフ配列で出現数の多い配列を SA-Gq として結合能を解析した。初めに、結合に影響がありそうな塩基を置換した変異体を作成し、SA-Gq との結合能を比較することで構成塩基と結合能の関係を検討した。SA-Gq のループ部分の両端の塩基が結合に重要であることが判った。また、ステム部分の安定性も結合能を向上させることが示唆された。

結合アッセイによって SA アプタマーの結合能を調べた所、SA-Gq の SA に対する解離定数は、 78.1 ± 8.9 nM であり、既に報告されている SA アプタマー (St2-1) と同程度であった。また、表面プラズモン共鳴解析を行った結果、結合速度が St2-1 に比べて遅いということが判った。

SA-Gq は G-カルテット様モチーフをループ領域に有しており、CD スペクトル、NMR での測定結果から、パラレル型の G カルテット構造をとっていると推測された。

この SA に対する G-カルテット型核酸アプタマーは優れた結合能、特異性、安定性、簡便性を有するため、生化学的解析から診断/治療ツールと様々なアプリケーションへの適用が期待できると考えられる。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】膜小胞、エキソソーム、膜タンパク質、電子顕微鏡

【テーマ題目17】翻訳制御因子の構造機能解析

【研究代表者】竹下 大二郎 (分子複合医薬研究グループ)

【研究担当】竹下 大二郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

翻訳制御は、mRNA からタンパク質を合成する過程を調節する分子機構であり、遺伝子発現における重要な段階の一つである。翻訳過程における調節は、生体の迅速な環境適応を可能にしており、栄養欠乏、ストレス、発

生や分化、神経系、老化、疾病などに密接に関連している。そのため、翻訳制御機構の分子構造の解明は、生体の発生・分化や恒常性維持に働く生物の基本的メカニズムを明らかにするだけでなく、翻訳制御の異常に起因する疾病の治療法の確立につながると期待される。本研究では、翻訳制御に関わるタンパク質を研究対象として、X 線結晶構造解析と生化学的解析を主な解析手法として利用し、その作用機序の解明を目指した研究を行っている。

翻訳制御に関わる翻訳因子リン酸化酵素に着目し、構造機能解析に向けた組換えタンパク質の大量発現と精製、結晶化実験、X 線構造解析を行っている。また、翻訳因子リン酸化酵素を制御する因子についても同様にして、組換えタンパク質の調製を行い、結晶化実験、X 線構造解析を行っている。調製したタンパク質について、放射線同位体を利用して生化学的実験を行い、活性型であることを確認し研究を進めている。X 線の回折データは、高エネルギー加速器研究機構 PF のビームライン BL17A、BL5A などを利用して取得している。翻訳を制御する因子について、結晶を得て 2.7 \AA 分解能で X 線回折データ収集を行って、構造解析が進行中である。また、高分解能の X 線回折が得られなかった結晶については、タンパク質の発現領域、精製法の検討などを進め、結晶の改良を進めている。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】構造解析、タンパク質

【テーマ題目18】細胞間生命情報伝達を担うヘテロな膜小胞 (エキソソーム) の生物物理基盤研究

【研究代表者】石井 則行 (分子複合医薬研究グループ)

【研究担当】石井 則行、池本 光志、小田原 孝行、小川 昌克 (常勤職員4名、他2名)

【研究内容】

エキソソームは、細胞から分泌される直径 $30 \sim 150$ nm の膜小胞の一種であり、血液、唾液、尿、羊水、悪性腹水等の体液中に存在し、離れた細胞や組織に情報を伝達する役割を担っている。様々な生命情報を担うタンパク質や脂質、核酸 (ゲノム DNA、miRNA、mRNA) 等を内包し、別の細胞に送達されることによって生理的機能を変化・調節する。がん等の様々な疾患発症プロセスにおいて、エキソソームの細胞間情報伝達機構の関与が報告されている。例えば、疾患細胞に由来するエキソソームには疾患特異的な miRNA が見出されており、エキソソームは様々な疾患バイオマーカー探索の宝庫として、また、細胞送達機能の分子機構を、標的指向型ドラッグデリバリーシステム (DDS) に応用する観点からも注目されている。しかし、エキソソームの形成メカニズムは元より、標的細胞への特異的集積や、細胞間コミュニケーション機構は殆ど解明されていない。さらにエキ

ソソームのようなヘテロな複雑系のナノスケールの構造や物理化学的特性、生理活性等の総てを保持した状態で分析する技術は、現状、整備されていない。

世界各地でエキソソーム関連研究が急速に進展している。それを反映して、国内外の試薬メーカーから迅速、簡便性を謳った様々な単離精製キットが市販されている。しかし、「エキソソームが取れない」という研究現場からの声は尽きず、エキソソーム研究の実態は、かなり混迷している。さらに、単離された“エキソソームとされるもの”の中身が同じものではないという状況に立ち至っている。しかし、経済性・効率性を優先する現行の技術限界として半ば黙認されている状況にあり、それらが、そのまま“エキソソームとされるものの機能”として研究されているのが実態と言える。

そこで、我々は、原点に立ち返り、独自に「生物物理学的解析に適した膜小胞の分離調製法」(石井、池本、特許願2016-075498号、PCT/JP2017/013999)を開発し、“インタクト(細胞から放出時の状態にある)”なエキソソームを用いて、物理化学的視点に立つ基礎研究を展開している。

一方で、近年、量子検出効率が大幅に改善された電子直接検出型カメラが開発され、クライオ(低温)電子顕微鏡に実装されたことにより、結晶を必要とせずに、原子分解能で分子量100 kDa程度までのタンパク質構造が決定できるようになってきている。このクライオ電子顕微鏡法による解析技術を、細胞間のナノワールドにおいて生命情報伝達を担っているヘテロな膜小胞に適用することにより、エキソソーム等の“在りのまま”の形態、構造を解明する研究を進めている。市井の分離法よりも格段にインタクトなエキソソームを調製できる強みを活かして、次から次へと興味深い新事実が発見されている(未発表)。その結果、従来の研究常識を覆す程の興味深い実験データも得られている。

[領域名] 生命工学領域

[キーワード] 膜小胞、エキソソーム、膜タンパク質、電子顕微鏡

[テーマ題目19] 構造創薬に関する基礎研究および基盤技術の開発

[研究代表者] 本田 真也(構造創薬研究グループ)

[研究担当者] 山崎 和彦、加藤 義雄、久保田 智巳、高木 悠友子(常勤職員4名、他2名)

[研究内容]

NMR分光法やX線結晶解析法を用いて立体構造を可視化することにより疾患関連タンパク質の認識機能や反応機構を明らかにする。構造情報を利用した化合物探索支援技術を開発する。抗原虫薬の開発に向けて、原虫における遺伝子ノックアウト手法の至適化と必須遺伝子の効率的探索法を構築する。ゲノム編集技術の高度化に向けて、核酸塩基とタンパク質のハイブリッド分子を創出

する。

低分子創薬における化合物探索に活用可能な新規NMR解析法を開発した。標的酵素による反応の進行により、基質から生成物への転換が起こるが、これに伴うNMRスペクトル変化を検出し、共存させる阻害剤による影響を定量的に評価した。この時、阻害剤濃度で変化するスペクトルデータ群に対して因子分析の手法を適用することにより、効果的に阻害効果(IC50値)を見積もることが可能となった。低分子創薬において、結合評価と併用することにより、偽陽性を最小化し、創薬プロセスの確度と効率の向上に資する技術と考えている。

X線結晶構造解析では、タンパク質の構造だけでなく、リガンドや補欠分子族の認識や相互作用の解析に重点を置いて、創薬支援に繋がる情報の枚挙に焦点を当てた研究を行っている。具体的にはがん幹細胞に特異的に発現している糖鎖構造を認識しているレクチン様タンパク質の構造解析とリガンド(糖鎖)結合型の結晶構造解析、様々な遺伝子型のノロウイルスを横断的に認識するフェージ抗体からFab型抗体への組換えと大量発現系の構築、結晶化、立体構造解析などを進めた。また抗原虫薬のターゲットタンパク質に対して、様々な酵素分子種の立体構造解析を行い、抗原虫薬開発支援に資する構造情報の取得を試みた。

原虫の必須遺伝子探索については、組換え原虫株の作製や核酸導入手法の最適化により、従来は遺伝子操作が大変困難であった原虫において、簡便に遺伝子ノックアウトを行うことが可能になった。また、原虫は昆虫ベクターとほ乳類宿主の間を移動する際や宿主内で感染拡大する際に様々な形態に分化するが、人工的に各ステージに分化させた原虫を均一な品質で収穫することにも成功した。これにより、全てのステージの原虫を使用して必須遺伝子の特定や薬剤候補化合物のスクリーニングを行う道が開かれ、より精度の高い創薬標的探索に繋がると期待される。

ゲノム編集技術を高度化していく上では、DNA配列認識ドメインの認識精度の向上と、分子サイズの最小化を図っていく必要がある。核酸塩基を側鎖として有するタンパク質は、塩基対相互作用によるゲノム配列を認識しかつ融合酵素による核酸の切断等を触媒するゲノム編集技術に応用可能であるという仮説のもと、ウラシル核酸塩基を側鎖として有するアミノ酸をポリペプチド鎖へと導入可能であることを検証した。

[領域名] 生命工学領域

[キーワード] NMR、酵素阻害、X線結晶構造解析、糖鎖マーカー、ゲノム編集、遺伝子組換え、創薬標的

[テーマ題目20] 構造創薬の実践および推進のための実用技術の開発

[研究代表者] 本田 真也(構造創薬研究グループ)

〔研究担当者〕 阪下 日登志、古川 功治
(常勤職員2名、他5名)

〔研究内容〕

複数の企業と共同でシャーガス病治療薬開発等、国際貢献性の高い創薬を実践する。また、感染症を中心としたアカデミア発創薬標的についても構造創薬を展開する。ヒットからリード化合物への探索と最適化に革新をもたらす化合物自動設計自動合成システムの開発についても企業とともに推進する。

シャーガス病治療薬開発の標的分子のハイスループット探索技術の構築を行った。病原原虫であるクルーズトリパノソーマに対して CRISPR/Cas9 を用いたゲノム編集による遺伝子ノックアウトを高効率で行うための変異型原虫の作製、原虫の全ゲノム配列の解読、自動動画撮影・評価によるノックアウト効率判定システムの開発等を行い、スループット良く標的探索ができる系を確立した。

国内医科大学との共同で、歯周病の原因となる細菌群の一つである糖非発酵グラム陰性菌が分泌するプロテアーゼ阻害剤の探索を FBDD の手法を用いて行った。独自のフラグメント・ライブラリからスクリーニングした1次ヒットを得ている。またヒット化合物とプロテアーゼの複合体構造解析も終了しており、化合物の展開を図っている。

全世界の創薬に関する論文の知見を経験知として、医薬品開発時の探索研究で必須となる周辺化合物設計を自動で行い、短時間で候補を提示するシステムを開発した。また、この提示化合物を短時間で実際に合成するための自動合成機の開発も企業と共同で行った。提示された候補化合物の薬理活性を実際に精査し、その結果を再び設計システムにフィードバックすることで、自律的な探索研究サイクルを回すことが可能となった。実際に、公開されている臨床検査レベルの医薬品候補化合物に対して、それを上回る活性も持つ化合物の取得を50時間程度の短時間で完了できることを実証した。

〔領域名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 創薬、感染症、国際貢献、歯周病、化合物設計

〔テーマ題目21〕 生体分子機能評価及び関連技術の開発

〔研究代表者〕 清末 和之(細胞分子機能研究グループ)

〔研究担当者〕 清末 和之、佐藤 隆明、藤田 篤、大石 勲、峯 昇平
(常勤職員5名、他5名)

〔研究内容〕

生体分子及びシステムの機能理解から、神経疾患等々の疾病に対するアプローチ技術の開発、また代替機能技術の開発を目指し、「機能分子の活用技術開発」と「機能分子の探索と評価技術の開発」を行っている。前者は、生体分子機能解析、構造解析、新規発現技術の開発を行

い有用物質の生産を進め、後者の課題では、神経系の細胞レベルでの機能解析から個体レベルでの解析と応用を進めている。本年度の成果として、以下の成果を報告する。「機能分子の活用技術開発」として、組換えニワトリの作出技術を用い、組換えタンパク質の生産に挑戦した。作成した複数のラインで外来遺伝子の産物を確認でき、次世代タンパク質生産技術として大きな前進をした。また、軟骨成分で知られているグルコサミンを生成するグルコサミンの合成酵素エキソ β -D-グルコサミナーゼ (GlmA) の立体構造の解析から、変換に重要な活性部位を明らかにした。これにより医薬品原料等に有益なグルコサミンの高生産化に対して重要な一歩を進めた。「機能分子の探索と評価技術の開発」の課題では、嗅覚情報の解析において、新規の wavelet 相関解析法を開発し、脳波解析法として特許出願した。嗅覚経路の3次神経細胞で複数種の受容体信号のフィードフォワード抑制系を介した加算処理により、感覚情報の冗長度が変化し、刺激履歴依存性相関から刺激種依存性相関への変化を明らかにし、論文また総説として報告を行った。

〔領域名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 バイオリクター、ゲノム編集、匂い、神経機能、蛋白質生産、グリコサミン、変換酵素

〔テーマ題目22〕 先進バイオ計測技術開発

〔研究代表者〕 近江谷 克裕(先進バイオ計測研究グループ)

〔研究担当者〕 近江谷 克裕、木山 亮一、Kumar Krishna Rajendra Penmetcha、Tourlousse Dieter(常勤職員4名)

〔研究内容〕

核酸計測/マイクロバイオーム微生物計測を対象としたバイオ計測を念頭に、主に次世代シーケンサなど網羅的計測技術を利用した新規計測技術の開発(ラボ技術およびバイオインフォマティクス技術)を行った。また、その計測の精度評価、および信頼性確保のための方法開発、標準関連の整備を行った。具体的には、次世代シーケンサを利用したマイクロバイオームなど複合微生物生態系評価技術の高度化に関する研究開発を実施し、複合微生物生態系を構成する微生物群の活性に着目した新たな計測技術を最適化した。また、マイクロバイオームに存在する未培養微生物群の機能予測を行うため、マイクロ流路技術と次世代シーケンサ技術を融合した新たな技術開発を継続した。また、次世代シーケンサを利用したマイクロバイオーム評価の精度管理技術の確立に向け、スパイクイン16S rRNA 遺伝子による品質管理方法をさらに高度化させた。また、RNA アプタマー技術を応用したマーカー検出・定量技術開発を想定し、インフルエンザウイルスや特定細菌群を検出、分取するための新規技術開発を実施した。

〔領 域 名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 遺伝子、DNA 定量、PCR、マイクロチップ、細胞機能評価、バイアビリティ、バイオイメージング

〔テーマ題目23〕 創薬・診断等に有効なバイオマーカーの探索研究（エストロゲン応答・発ガン）

〔研究代表者〕 近江谷 克裕（先進バイオ計測研究グループ）

〔研究担当者〕 近江谷 克裕、木山 亮一（常勤職員2名）

〔研究内容〕

エストロゲン活性評価システムを用いて様々なエストロゲン応答に関与する細胞内シグナル伝達経路を明らかにし、食品・創薬や診断分野において応用と実用化を目指し、1) エストロゲン様の作用を示す化学物質による新しいシグナル伝達経路の解析、2) エストロゲンによって制御されるシグナル伝達系タンパク質の解析と、3) 新しい蛍光色素を用いたエストロゲン活性の検出系の開発を行った。遺伝子診断のための診断装置の開発やその診断法の標準化に関する支援を進めた。癌抑制遺伝子 **Kank** に関わる細胞機能を解明し、癌の治療・診断や創薬への利用を目標とした基礎研究を行った。**Kank** を病理診断に利用した新しい免疫組織化学染色法を開発するために、病理検体の長期保存を可能にする蛍光色素を用いて複数のマーカータンパク質を同時に検出する多重蛍光免疫染色法を開発し、病理検体を用いてその有効性を検証した。また、**Kank** タンパク質と相互作用するタンパク質の機能解析を通じて、**Kank** の役割を明らかにし、創薬ターゲットの候補を探索することで **Kank** の癌治療・診断への利用を進めた。

〔領 域 名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 創薬、診断、バイオマーカー

〔テーマ題目24〕 創薬・診断等に有効なバイオマーカーの探索研究（微生物感染、マイクロバイオーム）

〔研究代表者〕 近江谷 克裕（先進バイオ計測研究グループ）

〔研究担当者〕 近江谷 克裕、木山 亮一、Kumar Krishna Rajendra Penmetcha、Tourlousse Dieter（常勤職員4名）

〔研究内容〕

ヒト等マイクロバイオーム中に存在する分子遺伝学的、あるいは機能的に新規な微生物を解析、分離、培養するための新しい方法を開発すると共に、それを利用し新規微生物群の分離、解析を進めた。また、腸内マイクロバイオーム内に存在し、特定疾患との関連する可能性がある微生物群の同定に関する研究を実施し、その実態の解明を行った。さらに、抗炎症性 RNA アプタマーの開発

に関する基礎的検討を実施すると共に、微生物感染に関連した non-coding RNA の探索に関する基礎的検討を実施した。

〔領 域 名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 創薬、診断、バイオマーカー

〔テーマ題目25〕 遺伝子関連検査の質保証に資する核酸標準物質開発

〔研究代表者〕 野田 尚宏（バイオアナリティカル研究グループ）

〔研究担当者〕 野田 尚宏、陶山 哲志、横田 亜紀子、松倉 智子、佐々木 章（常勤職員5名）

〔研究内容〕

遺伝子関連検査等に関するデータの品質管理向上に資する核酸標準物質の作製を行った。すでに計測標準部門と共同で開発した実績のある DNA 認証標準物質の第2ロットの試作品を作製した。作製方法については前回のロット作製までに検討した方法を準拠しつつ、改良を加えた。また、作製された標準物質の品質の評価を行った。具体的には、DNA 認証標準物質試作品の配列、鎖長等を複数の手法により評価した。また、生体由来分子をより簡便かつ直接的に定量することができる新しい手法として一分子蛍光測定法に着目した。一分子蛍光測定方法で核酸標準物質の濃度を精確かつ簡便に測定する技術の精度向上とそのための標準プロトコルの作成を行った。バイオ医薬品の標準化に関して、必要とされる標準物質の要件等について調査・検討を行うとともに、その試作品を作製した。また、昨年度に引き続き米国標準技術研究所の研究者とゲノム標準物質に関する議論を行った。さらに日本人ゲノム標準物質の開発を進めるべく、理研や関連企業等との議論を行い、開発のためのプロジェクトチームの組織化を進めた。

〔領 域 名〕 生命工学領域

〔キーワード〕 遺伝子関連検査、核酸標準物質、PCR、DNA、RNA

〔テーマ題目26〕 生体分子解析技術の開発と応用

〔研究代表者〕 野田 尚宏（バイオアナリティカル研究グループ）

〔研究担当者〕 野田 尚宏、陶山 哲志、横田 亜紀子、松倉 智子、佐々木 章、森田 雅宗（常勤職員6名）

〔研究内容〕

核酸と相互作用する核酸関連酵素を取得し、その機能や活性を評価する手法を確立するとともに、その技術を応用して様々な微生物のトキシン/アンチトキシンタンパク質の特性解析を行った。核酸関連酵素としては RNA を切断するトキシンタンパク質およびトキシンタンパク質の RNA 切断活性を無毒化するアンチトキシンタンパク質に着目し、それらを発現・精製・取得し、蛍光色素

を用いた活性評価系を利用し、機能を評価した。その結果、新規なトキシノ／アンチトキシノタンパク質を取得することに成功するとともに、取得したタンパク質の基質特異性や活性の有無・強弱などを効率的に評価することができた。さらに、これらの核酸関連酵素の機能を阻害する分子のハイスループットスクリーニング系の構築を行った。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】酵素、RNA、蛍光、ヌクレアーゼ

【テーマ題目27】新規生体分子計測に係る材料、手法、デバイス研究

【研究代表者】栗田 僚二（ナノバイオデバイス研究グループ）

【研究担当者】栗田 僚二、吉岡 恭子、小島 直、加藤 大、富田 峻介（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

近年、遺伝子配列解析装置等の飛躍的な技術革新により、莫大な量の遺伝情報が入手可能になり、現在では様々な病気の予知や診断、更には遺伝情報に基づいた治療法の選択（テーラーメイド医療）が可能になりつつある。一方で遺伝情報の解読が進むにつれ、細胞内で発現している遺伝子を直接、高感度に検出する技術の開発が望まれるようになった。従来、このような特定の遺伝子を検出する手法には蛍光分子を利用した核酸プローブが汎用されている。しかしながら細胞内ではタンパク質等の様々な夾雑物質が自然蛍光を有しているため測定障害となり、高感度な検出には限界があった。我々は、遺伝子検出技術としては未開拓であった生物発光を利用した検出法の開発を目指し、遺伝子の配列情報を生物発光に変換するための技術開発を進めている。生物発光は夾雑物の影響を受けないため、非常に高感度な遺伝子検出が可能になると期待される。

また、エピジェネティクスセンサとしてメチルシトシン検出用のデバイス開発を以下のように行った。厚さ40 nm のカーボン薄膜チップをシリコン基板上に作製した。ゲノム DNA 試料をバイサルファイト処理した後、制限酵素での切断の有無を、上記カーボン薄膜チップ上で電気化学的に検出を行った。従来の蛍光色素による検出手法に比べて2桁以上の高感度を示し、より微量での検出が可能であることを示した。

RNA エピジェネティクス計測技術の開発に関しては、ミスマッチ形成による DNA のメチルシトシン検出原理を応用し、大腸菌 rRNA の薬剤耐性に関与する N6メチルアデニンの検出を試みた。目的 N6メチルアデニンを含む配列の合成オリゴ RNA は、バルジ形成 DNA プローブとの2本鎖を形成させ、抗 N6メチルアデニン抗体を結合させた。抗体の結合は、SPR および酵素標識二次抗体の基質の発色により測定した。目的 N6メチルアデニ

ンの検出限界濃度は0.5 nM だった。

上記、抗体のような特異性の高いセンシングのみで無く、交差反応性を利用した新規バイオセンシング技術の確立を目指し、環境応答性蛍光団および種々の官能基を導入した高分子群を合成した。これらの高分子群は、タンパク質に対する多様な交差反応性を示し、そしてタンパク質と結合すると消光するという特性をもつ。この特性を利用することで、これまでの報告で最多の20種類のタンパク質を識別できることを示した。さらに、同高分子に対して Turn-ON 型の応答を示す蛍光団を導入するアプローチも考案した。この高分子は、溶媒環境によってタンパク質に対する交差反応性の傾向が変化することが見出された。このため、たった1種類の高分子でも、複数の溶媒条件でタンパク質と混合することで、タンパク質固有の蛍光フィンガープリントを得ることができ、単純なタンパク質の識別だけでなく、タンパク質に導入された翻訳後修飾の種類の同定や定量を実現できることを見出し、交差反応型タンパク質センシング法の新たな可能性を示した。

一方、アンバランストマグネトロン（UBM）スパッタ装置を用いたナノカーボン薄膜電極を作製し、生体・食品・環境中の化学物質に有用な電極材料開発を行った。ナノカーボン電極表面をフッ素化すると食品物質中の難水溶性の抗酸化物質（ビタミン E など）が簡易かつ再現性良く直接計測できることが明らかとなった。実際に表面のフッ素化の度合いを最適化した電極では、オリーブオイル中のビタミン E 含有量を迅速かつ正確に定量できることが他方法との比較によって明らかとなった。また、カーボンと金属の共スパッタにより金属ナノ粒子がドーブされたハイブリッド型カーボン薄膜電極を形成し、糖バイオマーカーの計測を試みた。具体的には、銅とニッケル合金ナノ粒子を含むカーボン膜では、腸疾患糖マーカーであるマンニトールに対して長期的に安定かつ良好な電極触媒活性を示すことを実証した。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】DNA、エピジェネティクス、表面プラズモン共鳴、イムノアッセイ、電気化学測定、ナノカーボン薄膜

【テーマ題目28】アクチン細胞骨格の制御メカニズムの解明と周辺技術の開発

【研究代表者】長崎 晃（セルメカニクス研究グループ）

【研究担当者】長崎 晃（常勤職員1名）

【研究内容】

真核細胞における様々な生体運動（細胞運動、細胞分裂、細胞接着や細胞内小胞輸送等）はアクチンが重要な役割を果たしており、これら生体運動においては細胞骨格を構成するアクチンフィラメントが様々な構造物（ストレスファイバー、表層アクチン、接着斑、仮足構成アクチン繊維、マイクロスパイクなど）を細胞の限定され

た領域に形成することで成り立っている。均質なアクチン繊維から多様な構造物が形成されるのに驚かされるが、一般に、アクチン構造物の多様性はアクチン結合タンパク質の差異によって発揮されると考えられている。

一方、哺乳類においては非筋アクチン2種、筋アクチン4種の全6種類のアクチンサブタイプが存在する。非筋アクチンである β -アクチンと γ -アクチンのアミノ酸配列はN末端側の4残基しか違いがないことから、一般にこの2つの非筋アクチンは機能的には冗長であると認識されている。また、あまり知られていないことだが非筋細胞においても筋肉細胞特異的と考えられているアクチンも発現している。このように細胞内において複数のアクチンサブタイプが発現しているが、これらサブタイプ間における機能分化については未だ明らかになっていないことから、アクチン機能の多様性はアクチン結合タンパク質による制御のみではなく、アクチンサブタイプ間の機能的分化の寄与による可能性も十分に考えられる。本研究開発では、各アクチンサブタイプの機能を明らかにするため、生化学的、細胞生物学的アプローチによる解析を行うとともに、周辺技術の開発も行う。

まずは、細胞内におけるアクチンを可視化するためGFP-アクチンなどの既存プローブの再評価を行うとともに、より正確なアクチン分布を示すプローブの開発を進める。また、各サブタイプの機能を明らかにするため遺伝子編集技術を利用して、各アクチンのノックアウト細胞の作成を行う。そのための高効率で迅速なクローン分離が可能となる新規遺伝子編集技術開発を行う。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】細胞骨格、生体運動、イメージング、遺伝子編集

【テーマ題目29】1細胞ナノマニピュレーション技術の開発と細胞間相互作用計測への応用

【研究代表者】金 賢徹（セルメカニクス研究グループ）

【研究担当者】金 賢徹、中村 史、長崎 晃、岡田 知子（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

原子間力顕微鏡（AFM）はカンチレバー先端の微細な探針で試料表面を走査し凹凸画像を得る装置であるが、探針先端が試料表面に接触していることを利用し、探針先端に固定化した分子と試料表面（の分子）との間の結合破断力を定量的に測定できる。例えば探針を細胞接着分子でコートし、その探針で細胞表面を触り、細胞表面から探針を引き剥がす際の力を測定することにより、細胞接着分子と結合する受容体の存在部位を、細胞が生きのまま1細胞単位でマッピングすることができる。一方、二つの細胞間の接着強度をAFMで同様に計測する場合、一方の細胞をAFMカンチレバー側に固定化せねばならず、工夫が必要となる。それを実現するために、金属製のカップをAFMカンチレバーに取り付けた「カ

ップチップ」を用いて、二つの細胞間接着強度を簡便に測定する新規技術を開発した。

はじめに、細胞と同程度の直径（10-20 μm ）を持つ市販ポリスチレン粒子を鋳型とした上で基板上に単層配置し、その上に任意の金属（本研究ではNiを使用）を100 nm程度の膜厚となるよう真空蒸着した後、鋳型ポリスチレン粒子を焼成して取り除くことで、金属製マイクロカップを作製した。次に、作製した金属製カップを、マイクロマニピュレータを用いて一粒拾い上げ、カンチレバー先端にエポキシ樹脂を介して取り付けすることで、カップチップを作製した。このカップ内側窪み部分に基板上の細胞を捕獲し、カップチップを基板から遠ざけることでUFOキャッチャーの如く細胞を吊り上げた後、別の細胞の上に再度アプローチすることで2細胞間の接着強度を簡便かつ定量的に測定することに成功した。

この方法を用いて、マウスのマクロファージ（J774.2）と乳がん細胞（FP10SC2）間の接着強度を測定した。比較対象として同種同士の細胞間の接着強度なども測定しつつ、各細胞ペア間の接着強度を比較したところ、J774.2とFP10SC2の接着強度は他の組み合わせに比べて平均値で2倍以上大きいことから、マクロファージとがん細胞が強固に接着することが明らかになった。この強固な接着の原因として、腫瘍環境におけるがん細胞とマクロファージの相互作用に由来する可能性が考えられた。免疫細胞の一種であるマクロファージのうち、一部の細胞はtumor-associated macrophage（TAM）と呼ばれ、腫瘍に局在して腫瘍成長を補助しているらしいことが近年明らかになってきている。本研究で用いたJ774.2がTAM様の分子発現状態を呈していることから、腫瘍微小環境においてTAMとがん細胞が強固に接着し相互協調することで腫瘍を成長させる現象を再現している可能性が考えられ、マクロファージとがん細胞間の接着阻害が新たながん治療標的となりうる可能性を示唆している。これらの結果は、二つの細胞間接着強度を定量的に計測して相互比較することにより初めて明らかになったことであり、カップチップを応用した1細胞ナノマニピュレーション技術の有用性を示している。

【領 域 名】生命工学領域

【キーワード】細胞操作、細胞接着、AFM、がん細胞、マクロファージ

【テーマ題目30】機能分子の細胞導入と細胞内分子操作技術の開発と応用

【研究代表者】藤田 聡史（細胞マイクロシステム研究グループ）

【研究担当者】藤田 聡史、川崎 一則、細川 千絵、戸井田 力（常勤職員4名）

【研究内容】

ナノ粒子と特定の機能分子の複合体を形成し、これらを組織や細胞にデリバリーし、細胞内に導入する技術、

および導入後の機能分子を細胞内で操作する技術の開発は、創薬開発の効率化や個別化・先制医療が求められるバイオメディカル分野において、重要な技術基盤である。

本年度は創薬開発支援ツールとして、従来から開発を行ってきた「細胞マイクロレイ」技術の拡張を進め、低分子化合物や酵素のマイクロレイ化技術の開発を進めた。パクリタキセル等の様々な低分子化合物を固相基板面から徐放し、細胞に作用させる事で様々な薬剤の細胞毒性評価を一度に行うマイクロレイツールの開発を行った。また、同様に酵素を長期間安定に基板面に固相化し、固相面から細胞内に酵素を導入し、酵素が細胞に与える作用を評価するマイクロレイの開発も行った。

また、集光レーザー技術開発として、細胞機能分子の光集合操作および光刺激技術の開発に取り組んだ。神経シナプス伝達の光制御のため、量子ドットを標識したAMPA受容体分子の光捕捉過程について検証した。表面プラズモン共鳴効果を利用した細胞表面AMPA受容体分子のライブセル蛍光イメージングや光ピンセットに取り組み、プラズモニクチップの有用性を示した。さらに、神経細胞内Ca²⁺イメージングと細胞外電位計測との同時計測を行い、集光フェムト秒レーザーを用いた細胞内局所刺激に伴う誘発応答を評価した。

本技術開発に用いられる膜構造や分子集合体の微細構造を解析するため、クライオ技法による電子顕微鏡観察技術の開発を進めた。クライオ走査電子顕微鏡の観察手法を整備し、水中における両親媒性分子（界面活性剤）の分子集合体を可視化することに成功した。急速凍結レプリカ透過電子顕微鏡法での観察も併用することによって、数百マイクロメートルから数ナノメートルにまで渡る広いスケール範囲の解析を可能とし、両親媒性分子がリボン状構造、ロッド状構造、及び球状構造などの多様な形状のミセルを形成することを画像データによって明らかにした。

さらにアポトーシス細胞を模倣したホスファチジルセリンリポソーム(PSL)のDDSとしての応用、組織再生技術への応用に取り組んだ。肥満による生活習慣病予防には肥満炎症の制御が重要である。新開発したIL-10修飾PSLは、腹腔内投与後、脂肪組織のM1型マクロファージに取り込まれ、炎症性サイトカインTNF α およびIL-6の産生を減弱した。さらに、生活習慣病のひとつである脂肪肝疾患の発生を著しく抑制した。また、この効果はIL-10単独投与より優れていた。一方、骨再生の促進を目的にPSLをチタン表面に積層する技術を開発した。すなわち、アニオン性のPSL水溶液とカチオン性の高分子水溶液にチタンを交互に浸漬することで静電相互作用によりPSLの積層構造が形成されることを実証した。PSL修飾チタンは、M1型マクロファージが産生する活性酸素種、種々の炎症性サイトカインの産生を抑制した。また、この抗炎症効果は、PSLの修飾量に依存して増大した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞遺伝子操作、光ピンセット、電子顕微鏡、DDS、再生医療

【テーマ題目31】分子から個体を対象とした医工学研究

【研究代表者】大西 芳秋（細胞・生体医工学研究グループ）

【研究担当者】大西 芳秋、弓場 俊輔、上野 豊、川崎 隆史、高田 英昭、添田 喜治、田村 繁治（常勤職員7名、他10名）

【研究内容】

- 1) 細胞治療用アイソレータならびに高性能細胞を分離するための世界初の医療用セルソータを企業との連携により試作機開発に成功し、これらの機器を有効利用するためさらに医療用に十分数の細胞を培養できる大型インキュベータを同様に企業との共同開発で完成させた。これにより細胞の分離精製から拡大培養に至る一連の工程をシームレスで行うことができるようになった。幹細胞分離に用いる新規分子認識マーカーについては、その開発に用いる進化分子工学的手法に改良を加え、細胞特異的な分子認識プローブをより効率的に濃縮しうる方策を見出し、引き続き開発を行った。同時に、進化分子工学技術に計算科学の手法を導入して、進化速度の向上、すなわち計算機上で分子立体構造を予測・設計してはその知見を分子ライブラリーに反映させることで、分子ライブラリーから最適分子取得に至る分子生物学的工程簡略化によるスクリーニング効率化を試みた。一方、培養幹細胞に限らず、生体内体性幹細胞におけるゲノム安定性の解析に向けてその手法開発に着手、生体組織内の多種多様な細胞群の中から個々の細胞を識別して解析するトランスジェニック技術について、モデル動物であるメダカを活用して開発に取り組んだ。他、生体内細胞に対する水相におけるナノバブルの影響を検証するため、水棲動物メダカを活用して、その生理機能も解析した。
- 2) 細胞の分化、増殖に関連する複数のゲノムDNA配列を可視化、DNAの時空間的挙動を明らかにし、細胞加工における応用展開を目指している。本年度は、DNA可視化に必要なベクター構築、およびヒト培養細胞(HeLa細胞)へのトランスフェクションを行なうことで、標的配列を実際に細胞内で検出し、研究開発の基盤整備を行った。
- 3) 居住空間内で日常的に知覚される音に着目し、加工を施すことによる高付加価値な音創りに取り組んだ。9種類の建物内の空調音、15種類の自動車空調音に対する、心理的好ましさ・不快度をシェッフェの一对比較法を用いて調べたところ、相関指標、または音質評価指標を用いることで、高精度で各被験者の心理的好ましさ・不快度を予測できること、個人差は各指標の標準回帰係数により表すことができることを見出した。

また、スピーカーユニット、エンクロージャー以外の要素が、スピーカーから発生する音に及ぼす影響を検討するために、電源、電源タップ、オーディオインターフェースの電源ケーブル、アンプの電源ケーブル、録音用ハードの電源ケーブルを数種類使用して、聴感印象の違いを調べたところ、特にバッテリー電源を用いると、ノイズ感が少なく音を再生できることを見出した。さらに、光の波長や強度を自在にコントロール可能な LED を利用した、色覚バリアフリー技術の開発に取り組んだ。長波長 LED (赤色) が有効であることを見出し、その理由が CIEL*a*b*色空間で検査での文字と背景の色情報の位置関係に依存することが示唆された。以上より LED 光を波長を適切にコントロールすることで、1 型2 色覚者 (いわゆる赤色盲) に有効な照明の開発が可能であることが示された。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 細胞工学、クロマチン、イメージング、ゲノム編集、自己相関関数、色覚

④【健康工学研究部門】

(Health Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：達 吉郎

副研究部門長：鎮西 清行、大家 利彦

総括研究主幹：黒澤 茂、茂里 康

研究主幹：大槻 荘一

所在地：四国センター、つくばセンター

人 員：45名 (45名)

経 費：519,408千円 (276,890千円)

概 要：

ライフイノベーションと地域産業競争力強化への貢献をミッションとし、「医療基盤・ヘルスケア技術の開発」の研究課題を担う。

健康工学研究部門では、持続可能な社会の中で健康かつ安全・安心で質の高い生活の実現を目指し、生体工学、生物学、材料化学、物理学、などの知識や知見を結集・融合することによって人間や生活環境についての科学的理解を深め、それに基づいて、人と適合性の高い製品や生活環境を創出するための研究開発を行う。

具体的には、医療基盤・ヘルスケア技術の開発のうち、1) 医療機器の高度化とレギュラトリーサイエンス、2) 健康状態の可視化、3) 生活環境における健康増進、を研究開発の柱とする。大学や産業界とも連携し、基礎研究から橋渡し研究を進め、健康工学研究領域の確立、並びに21世紀における新たな健康関連産業創出に貢献することを目指す。

また、本研究部門は、四国、つくばに研究開発拠点を置き、地域の健康関連産業の活性化への貢献を確実に推進することも任務とする。

外部資金：

経済産業省

平成28年度化学物質安全対策「発光レポーターを導入したマウス初代肝細胞を用いた in vitro 肝毒性試験法開発に関する調査」

経済産業省

平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動) 「手術ロボットに関する国際標準化」

経済産業省

平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動) 「再生医療製品の製造に対して有効なフレキシブルモジュラープラットフォームの要となる無菌接続インターフェースに関する国際標準化」

経済産業省

平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動) 「発光株化培養細胞の保存管理方法に関する国際標準化」

国立研究開発法人科学技術振興機構

戦略的創造研究推進事業 (CREST)

「細胞チップ MS システムを用いた1細胞マルチ分子フェノタイピング」

国立研究開発法人科学技術振興機構

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)

「バイオニックヒューマノイド評価法の標準化」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構

「未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業 医療機器等に関する開発ガイドライン (手引き) 策定事業」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構

医療機器開発推進研究事業

「細胞チップを応用した超高感度マラリア診断装置の開発」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構

医療分野研究成果展開事業 産学連携医療イノベーション創出プログラム (ACT-MS)

「う蝕、歯周病、誤嚥性肺炎を予防する次世代歯質接着材料の開発と非臨床における有効性評価」

公益財団法人岡山県産業振興財団
医工連携事業化推進事業実証事業

「在宅歯科医療における口腔感染症や誤嚥性肺炎の予防機能を有した抗菌性粘膜調整材の開発・事業化」

公益財団法人ちゅうごく産業創造センター

中小企業経営支援等対策費補助金（戦略的基盤技術高度化支援事業）

「医療・介護用サポーター等に持続的な抗菌効果を付加するための再生リチャージ可能な抗菌繊維の開発」

公益財団法人滋賀県産業支援プラザ

中小企業経営支援等対策費補助金（戦略的基盤技術高度化支援事業）

「骨格構造に最適な大腿骨骨折治療用 BHA 人工股関節システムの開発および実用化」

埼玉県

埼玉県産学連携研究開発プロジェクト補助金

「超音波治療用モジュール化トランスデューサーの開発」

香川県

機能的食品開発支援事業

「新規生体機能的評価試験法の開発に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 S）研究分担

「複合機能プローブシステムによるバイオ・ナノ材料の分子スケール機能可視化」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 A）研究分担

「光・超音波の統合及び光の位相空間制御による高機能光音響イメージングシステムの開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 A）研究分担

「マイクロ波プロセス・トモグラフィー法による血流内微小血栓モニタリング法の確立」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）

「マイクロ RNA 機能のダイナミズム可視化システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）

「ナノミクスが拓く次世代のメタボリックシンドローム治療」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）

「プラズモン共鳴と強結合した単一色素分子をプローブとする光学応答増強場の定量的検証」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）研究分担

「造影剤投与後の心臓に対する音響放射力インパルスの安全性評価」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）研究分担

「DNA 損傷と細胞死応答に基づく「がん陽子線・複合免疫療法」の開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）研究分担

「数値流体力学解析に基づく脳動静脈奇形の血流解析と集学的治療への応用」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 B）研究分担

「人体に対して頑健かつ高精度に追従する非侵襲超音波医療診断・治療統合システムの構築」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 C）

「散乱光の偏光解析を用いた生体組織の構造および形態の解析についての研究」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 C）

「セシウムイオン選択性捕捉剤の開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 C）

「細胞チップを用いた細胞機能解析を可能とするマラリア迅速・高感度検出システムの構築」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 C）

「インペラに作用する力の釣り合いを利用した動圧浮上遠心血液ポンプの開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費助成事業（基盤研究 C）

研 究

「ネットアイツメガエル皮膚ペプチドを用いたスキンケア素材への可能性追求」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「高集積型細胞チップを用いたオンチップがん診断デバイスの開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「異構造光トラップ場を用いた非接触 3 次元マイクロ操作の高機能化と汎用化の研究」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「多種の脳内神経伝達物質を同時検出するための蛍光プローブの創製と医療診断への展開」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「生体組織のマルチモダリティ音速分布画像化法の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「多波長光イメージングによる 3 次元血流情報の獲得と循環器系デバイス定量評価への応用」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「仮像形成相転移を利用したエナメル質類似組織の構築」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「超高感度・簡便・迅速な診断を目指した紙・フィルム・テープで作る分析チップ」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「高付加価値放射線治療を実現する金ナノ粒子増感剤の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）
「再石灰化促進作用を有する高機能性フィラーの開発と歯科材料への応用」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）

「トリパノソーマにおける Ca²⁺シグナリングの分子基盤の解明と創薬への応用」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「パルスジェットメスによる深部頭蓋底腫瘍摘出法の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「パルスジェットメスによる脊髄神経機能温存下脊髄腫瘍摘出法の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「小児用および部分補助用軸流補助人工心臓の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「パルスジェットメスを用いた軟性内視鏡下下垂体病変摘出法の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「アピオスの潜在的機能の活用とその可能性の探索」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「音響放射力インパルスが肺およびその周辺組織に及ぼす影響」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（基盤研究 C）研究分担
「難治性潰瘍手術ナビゲーションのための下肢末端血流動態画像解析・投影システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）
「DDS 技術を活用した脂肪組織免疫寛容誘導機構の解明と新治療戦略の創出」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）
「ストレス解析による非アルコール性肝障害発症機構の解明と防御」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）
「メカニカルストレスによる血液凝固反応制御メカニズムの粘弾性学的定量評価」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）研究分担
「集束超音波技術を応用した変形性関節症の低侵襲治療法の開発」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（挑戦的萌芽研究）研究分担
「接着界面の劣化を検知して殺菌剤と再生誘導物質を徐放するインテリジェント材料の創製」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（若手研究 B）
「栄養不足に起因する胎児の膵臓β細胞の発生障害の分子メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（若手研究 B）
「緑内障における酸化ストレス関与の科学的解明」

独立行政法人日本学術振興会
科学研究費助成事業（研究活動スタート支援）
「動脈硬化の中赤外レーザー治療における病変選択性の最大化に向けた切削機序の解明」

発表：誌上発表105件、口頭発表228件、その他14件

セラノスティックデバイス研究グループ
(Theranostic Device Research Group)

研究グループ長：小関 義彦

(つくば東)

概要：

診断と治療を融合する次世代の医療機器＝セラノスティックデバイスの技術開発と、それを迅速に社会に普及させるための評価体系＝レギュラトリーサイエンスを創出する事を目標とする。

超音波を応用する診断治療機器技術に関しては、マルチフェーズの集束超音波機器のコア技術としてアンブリード型モジュール型超音波トランスデューサーの試作を進めた。昨年度の基本設計を踏まえて、5モジュールからなる疼痛緩和治療用トランスデューサーを試作した。

金ナノ粒子による放射線治療増感技術として、難治性がんの放射線治療に高い効果が期待される金ナノ粒子内包リポソームの開発を進めた。標的指向性を持たせるために、ペプチド修飾した金ナノ粒子を内包した抗体リポソームを合成した。

研究テーマ：テーマ題目1

人工臓器研究グループ

(Artificial Organ Research Group)

研究グループ長：丸山 修

(つくば東)

概要：

生体適合性の高い医療材料や医療機器の開発については、動圧浮上遠心血液ポンプの製品化を特に重視して開発を進めた。動圧浮上遠心血液ポンプについては、大型動物実験において優れた血液適合性を実証するとともに、製品化に向けて、企業と連携し、ポンプ形状を最適化することで、非接触でのインペラの安定駆動を実現した。ポンプ内で生じるせん断応力に基づく血栓形成の抑制メカニズムについては、せん断応力に対して、血液凝固第V因子が血球成分の影響を受けずに最も顕著に関与することが明らかとなった。血栓形成をリアルタイムに観測する手法として、動圧浮上遠心血液ポンプ内の血液細胞流動イメージング装置を開発し、動圧軸受部の赤血球と血漿が分離するプラズマスキミング現象を発見した。また市販遠心血液ポンプの血栓検出センサの前臨床試験を行い、定量的に血栓形成度を評価できることを実証した。さらに、企業が実用化した遠心式体外循環用血液ポンプにさらなる長期信頼性を付与するための検討を進め、羽根流路端の前切欠の消失により、ポンプの揚程流量特性の向上、インペラの離昇の抑制、および溶血特性の向上が得られることを、数値および実験流体力学により実証し、またその変化は流路数によらないことを確認した。再生医療においては、骨軟骨の生化学特性、構造特性のほか、力学特性の評価が重要であるが、移植前の再生軟骨は、液状・ゲル状で力学強度が低く、十分な評価技術がないのが現状である。そこでゲル状サンプルにも対応可能な、微小剥離試験機の開発が必要であり、ゲル状サンプル等の吸引機構性能試験およびデータ解析・液中サンプルの保持機構作成・吸引力の調節機構性能試験および改良をおこなった。

研究テーマ：テーマ題目1

生体材料研究グループ

(Biomaterials Research Group)

研究グループ長：伊藤 敦夫

(つくば中央第6)

概要：

組織再生を促進するシグナル物質を担持した整形外科用インプラント材料の開発・臨床橋渡し研究を行う。がん免疫療法に用いるための高機能免疫賦活剤を開発し、in vitro・in vivo 安全性、有効性試験、メカニズム解明を行う。

幹細胞を利用した再生医療の実用化研究、細胞培養加工システムの最適化研究、再生医療等製品の開発促進に資する開発ガイドライン策定業務において、再生医療産業化・普及化に資する研究開発ならびに国際標準化活動を実施する。

生体物質の分子間相互作用解析を通じて、医薬品であり、生体材料分野にも適応が期待される各種タンパク質を、迅速且つ低欠陥で結晶化させるために必要なメカニズムを解明する。人体硬組織、特に歯エナメル質の再生を指向して、アパタイトの一方配列に決定的な効果を持つ、基板の物理化学的性質を解明し、エナメルタンパク質分解生成物が一方配列したアパタイトの密充填化に及ぼす影響を解明する。

高生体適合性Ti-15Zr-4Nb合金等の低コスト製造技術の検討、大腿骨骨格構造に最適な人工関節の型成型技術の検討、赤外線応力測定での検討等を実施する。革新的技術である3次元積層造形技術の医療分野への導入を加速させるための開発ガイドライン案の作成、力学的安全性等の基礎データを構築する。生体吸収性金属インプラントの製造プロセス、合金種、素材評価技術等に関する開発ガイドラインを取りまとめる。

研究テーマ：テーマ題目1

界面・材料研究グループ

(Interface Material Research Group)

研究グループ長：田中 睦生

(つくば中央第6)

概要：

様々な知見やニーズに立脚した有機機能性材料開発について研究を展開する。分子レベルでの構造・機能解析を実施し、これら材料が目的とする機能を発揮するように分子設計や分子集合体構造設計に反映させることによって、目的とする有機機能性材料の開発を行う。特に界面や生体機能に関する一連の基盤研究を統合的に展開し、センシング素子、選択的透過膜、分子プローブ、脂質等の機能性有機材料設計・合成技術の確立、さらには実用化を目指した応用技術の確立を目標とする。以上の概念に基づき様々な材料の設計・合成を行い、その機能や構造を検討した結果、バイオセンシング界面構築に用いる表面修飾材料、生体内に存在する糖、ドーパミン、ホルモン等を可視化できる分子プローブ、機能性脂質の合成法や核酸の新規合成法確立などの成果を得ることができた。さらには、今までに蓄積した有機化合物合成技術を応用展開して、電池や半導体に用いる有機材料各種の合成法に関する知見も得ることができた。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

生体ナノ計測研究グループ

(Nano-bioanalysis Research Group)

研究グループ長：達 吉郎 (兼務)

(四国センター)

概要：

当研究グループでは、健康状態を可視化するバイオセンシング技術の産業技術化を目指して、高感度生体

分子検出、バイオチップ、1細胞解析技術などを中心に、基礎から応用まで幅広い研究開発を進めている。これらの研究、技術開発を極めつつ、分子や細胞などを対象とした簡易、迅速、高精度、高感度な分析、診断技術の研究開発を深化させ、目的基礎研究と産業界への橋渡しを推進する。

高感度生体分子検出の開発としては、高度光技術やナノテクノロジーなどを用いた1分子計測技術を目指し、表面増強ラマン散乱 (SERS) の発現機構解明とその実証研究を行った。その他にも、散乱体の偏光特性解析技術の開発も進めた。バイオチップの開発としては、紙、フィルム、テープを用いたマイクロ流体チップの設計作製を行い、周辺部分も含めた検出系も構築した。1細胞解析技術の開発としては、高性能な光ピンセット技術や細胞チップの開発を推進している。細胞チップの開発は、大学、企業とともにCREST研究を産学官連携で進めている。特に当研究グループでは、細胞チップを用いた1細胞の分離、特性評価、回収が可能なシステムの開発を実施した。将来的には、1細胞の質量分析系の構築を目標に細胞チップMSシステムの開発を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

バイオマーカー診断研究グループ

(Biomarker Analysis Research Group)

研究グループ長：片岡 正俊

(四国センター)

概要：

マイクロ化学チップを中心としたバイオナノデバイスを用いて、感染症や生活習慣病を対象に発症前診断が可能なデバイス開発を行っている。細胞チップを基盤技術とするマラリア診断チップおよび循環がん細胞診断チップを開発している。診断デバイスの製品化に向けて、企業との共同研究を進めるとともにマラリア診断ではアフリカをはじめとする流行域でのフィールドテストを進めており、さらに循環がん細胞検出系の構築ではがん患者血液を用いて高感度かつ正確な標的細胞の検出系の構築と一細胞レベルでのがん細胞機能解析を進めている。さらに糖尿病など生活習慣病の早期診断実現に向けた各種マーカー検出、さらには脂肪細胞を標的とするリポソームを応用した疾患関連細胞検出法等の構築を進める。

研究テーマ：テーマ題目2

生活環境制御研究グループ

(Health Environment Control Research Group)

研究グループ長：榎田 洋二

(四国センター)

概要：

食品や水、身の回りの物質のリスクと機能性を評

価・制御することは、人々が健康な生活を営む上で重要である。当グループでは、無機系吸着剤の細孔制御技術や抗菌成分の徐放技術を活用し、身の回りの微量でも有害なイオンや微生物を低減するための技術開発を行う。有害性が疑われるナノサイズの物質については、現在、信頼性のある生体影響評価技術が確立していないため、汎用的かつ信頼性の高い細胞評価系の構築を目指す。また、全国各地の特産物や加工食品に含まれる成分の機能性を評価するとともに、産総研四国センターが事務局を務める「食品分析フォーラム」の活動に協力し、機能性成分の標準定量分析法を確立する。

平成28年度は、抗菌性歯科材料の開発、抗菌繊維の開発、廃水中リン除去技術の開発、セシウムイオン選択性捕捉剤の開発、針状炭酸カルシウムおよび多層カーボンナノチューブの細胞影響評価、緑藻類スジアオノリからのベータカロテンの分析法のプロトコル作成等を行った。

研究テーマ：テーマ題目3

細胞光シグナル研究グループ

(Cellular Imaging Research Group)

研究グループ長：中島 芳浩

(四国センター)

概要：

生体リズムや免疫応答などの生体メカニズムを、独自に開発した発光レポーター技術を用いて可視化・解析するとともに、高機能化した有用タンパク質、あるいは食品機能性成分により生体機能を制御するための技術開発を行う。

具体的には、以下の4つの主要テーマを推進している。①生物発光技術を活用した細胞機能の可視化・検出システムの基盤技術開発、②発光レポーター導入細胞を用いたセルベースアッセイシステムの構築、および化学物質毒性評価システム開発、③細胞および動物を用いた食品成分の機能性および疾病抑制効果の解析、④ナノ・マイクロソーティング技術を活用したナノ・マイクロ流体チップおよび装置開発。

研究テーマ：テーマ題目3

[テーマ題目1] 医療機器の高度化とレギュラトリーサイエンス

[研究代表者] 鎮西 清行 (副研究部門長)

[研究担当者] セラノスティックデバイス研究グループ

小関 義彦、永田 可彦、新田 尚隆、橋村 圭亮、三澤 雅樹、葭仲 潔、鷺尾 利克

(常勤職員7名、他7名)

人工臓器研究グループ

丸山 修、小阪 亮、迫田 大輔、

西田 正浩、山下 樹里、林 和彦
(常勤職員6名、他5名)

生体材料研究グループ

伊藤 敦夫、岡崎 義光、小沼 一雄、十河 友、廣瀬 志弘、王 秀鵬
(常勤職員6名、他2名)

界面・材料研究グループ

田中 睦生、澤口 隆博、村上 悌一、鈴木 祥夫、平田 芳樹
(常勤職員5名、他1名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

[研究内容]

本課題では医療機器等に関する挑戦的な技術開発と、その品質・有効性・安全性等に関する評価技術の研究開発と標準化・ガイドライン化を同時進行的に行ない、臨床成果(あるいはそれと同等のインパクトを持つ成果)を得る。この分野での企業橋渡しでは、「臨床成果で注目を集めること」が重要となっており、逆に企業共同研究に結びつけるには臨床成果を得るところまで国予算や自己資金で実施する必要がある。本重点課題は挑戦的なテーマを中心に開発ラグを短縮して圧倒的な早期実用化を可能とする、ベンチからベッド、企業への橋渡しまでの一貫した研究開発に繋げることを目指す。

平成28年度は、以下の成果を得た。

- 1) 集束超音波機器のコア技術としてモジュール型超音波トランスデューサーの試作を進めた。昨年度の基本設計を踏まえて、5モジュールからなる疼痛緩和治療用トランスデューサーを試作した。
 - 2) 遠心ポンプ血栓検出光センサの試作機を開発し、臨床使用に十分有用な血栓検出精度を示した。また、遠心血液ポンプ内動圧軸受部の赤血球流動のイメージングに成功し、軸受部における赤血球-血漿分離現象(プラズマスキミング現象)を発見した。
 - 3) メソポーラスシリカが、抗腫瘍免疫を誘導するとともに、免疫グロブリンの分泌、細胞性免疫サイトカインと体液性免疫サイトカインの分泌、及び骨髄、リンパ節、脾臓でのCD4陽性エフェクターメモリーT細胞とCD8陽性エフェクターメモリーT細胞を増強することを明らかにした。
 - 4) プラスチックやゴムの表面修飾法を検討した結果、シリコンゴム表面を親水性化できる高分子材料を見いだした。
- [領域名] 生命工学
[キーワード] 診断治療デバイス、人工臓器、生体機能性材料

[テーマ題目2] 健康状態の可視化

[研究代表者] 大家 利彦 (副研究部門長)

[研究担当者] 生体ナノ計測研究グループ

達 吉郎 (兼務)、大槻 荘一 (兼務)

田中 芳夫、伊藤 民武、山村 昌平
(常勤職員5名、他2名)

バイオマーカー診断研究グループ

片岡 正俊、八代 聖基、田中 正人
梶本 和昭、橋本 宗明
(常勤職員5名、他5名)

界面・材料研究グループ

田中 睦生、澤口 隆博、村上 悌一
鈴木 祥夫、平田 芳樹
(常勤職員5名、他1名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

【研究内容】

国民医療費の削減や健康寿命延伸のために、健康状態や疾患の早期・簡便な評価法が求められているが、アンメットなものが多い。当部門ではライフサイエンス、ナノテク・材料工学の複合技術をもとに新規なバイオマーカーの探索とその計測技術を開発してきたが、今期はその橋渡しに必要なプロトタイプ装置の構築を並行して進めると同時に、上記課題とのシナジーにより、計測機器から診断機器への本格的な展開を加速させる。平成28年度はバイオマーカーの高感度検出とサンプル・試薬の自動操作に向け、試薬、チップ、測定装置それぞれの基盤技術開発を実施した。また、細胞診断関連では対象となる細胞を安定して検出するための基盤技術開発を実施した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 健康状態、可視化、バイオマーカー

【テーマ題目3】 生活環境における健康増進

【研究代表者】 達 吉郎 (研究部門長)

【研究担当者】 生活環境制御研究グループ

榎田 洋二、苑田 晃成、小比賀 秀樹
堀江 祐範、田部井 陽介
(常勤職員5名、他6名)

細胞光シグナル研究グループ

中島 芳浩、安部 博子、平野 研、
室富 和俊、安永 菜由
(常勤職員5名、他4名)

(※アンダーラインは主参画グループ)

【研究内容】

健康な生活を営む上で、食品や水、身の周りの物質のリスクと機能性を評価・制御する技術は、製品の高付加価値化はもとより、公共性・社会インフラ的な要求も強い。これまでに、生物学的な評価技術と、化学的な評価・削減技術を開発してきたが、第四期においては、ナノテク技術などの異分野とも融合・統合的に研究を進めるほか、標準化にも取り組み、持続的な事業として橋渡しできる技術開発を進める。平成28年度は、抗菌技術の開発、水処理技術、食品に含まれる機能性成分の評価、生物発光技術を活用した細胞機能の可視化・検出システムの

基盤技術開発を行った。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 健康リスク、健康因子、発光測定

⑤【生物プロセス研究部門】

(Bioproduction Research Institute)

(存続期間：2010.4～)

研究部門長：田村 具博

副研究部門長：扇谷 悟

副研究部門長：鈴木 馨

首席研究員：深津 武馬

総括研究主幹：町田 雅之

所在地：北海道センター、つくば中央第6

人員：55名 (55名)

経費：1,224,960千円 (560,477千円)

概要：

1. ミッション

○微生物による物質生産技術開発：1) 微生物による物質生産技術開発については、新規有用遺伝子資源探索とその利用技術の開発、微生物間相互作用の機構解明やシグナル物質の発見・同定・機能解明を行う。加えて微生物—動物（昆虫等）間共生に関する基礎的知見を得る。2) 微生物の生理的変化をゲノム科学的解析手法により解析し、物質生産に結び付ける手法の開発ならびに3) 物質生産プラットフォーム開発による有用物質生産技術開発を行う。以上を踏まえ生体分子の構造的特徴、他の機能性物質との相互作用等を勘案し、生産物の高機能化を目指す。

○植物による物質生産技術開発：1) 植物による物質生産技術開発では、実用植物における医薬品など有用物質生産技術をさらに展開するために、新育種技術に分類されているような植物ウイルスベクター、エピゲノム技術、ゲノム編集などを実用作物において利用可能とするための基礎・基盤技術の開発を行う。2) 植物工場およびグリーンケミカル研究所を活用した植物による医薬品等の生産に加え、薬用植物等の栽培環境制御による有用物質高効率生産技術の開発を目指す。以上により事業現場のニーズに即した資源植物や商業作物の改良のための技術開発を進める。

2. 研究の概要

1) 共生細菌スピロプラズマがショウジョウバエ雄胚のX染色体を特異的に切断してアポトーシスを誘導することにより、宿主をメスだけにしてしまう仕組みを解明した。共生細菌による宿主生物の生殖操作の理解が進むとともに、有用昆虫の雌特

異的生産などの技術開発に資することが期待される。

- 2) 農業において害虫カメムシ類が問題となっているが、我々はこれら害虫の腸内共生微生物に着目し、それら共生微生物が地球温暖化により生育阻害を受け、それによって宿主である害虫カメムシの発育阻害が起きることを新たに発見した。
- 3) 創薬ターゲットとして重要な逆転写酵素、および物質生産に有用な P450 酵素の立体構造・機能解析を行った。具体的には、B 型肝炎ウイルス逆転写酵素に似せた他ウイルス由来逆転写酵素キメラの構造機能解析、および活性消失型 P450 ビタミン D 水酸化酵素の構造・分子動力学解析を行い、新たな知見を得た。
- 4) バイオマスからの高効率なエタノール生産酵母の開発を行った。次世代シーケンサーを活用した解析手法等で見出した有用要素を組み合わせて実装することにより、発酵阻害物質存在下でも高効率で同時糖化並行複発酵が可能なエタノール生産酵母株を創成した。

内部資金：

- ・戦略予算「遺伝子組換え温室を用いた新規植物組換え技術の開発」

外部資金：

- ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「冥王代類似環境微生物」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「鉱物との電子授受にもとづく微生物酢酸生成代謝が生命初期進化に果たした役割を探る」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「*Thermus thermophilus* リボソーム変異株の創成と進化」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(S)「昆虫－大腸菌人工共生系による共生進化および分子機構の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「新規マーカーによる NASH 予防・診断・治療のための食品・薬剤探索システムの構築」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「ケトン食摂取による脳内の糖脂質発現動態に関する研究」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「核酸分子の構造制御を基盤とした microRNA 阻害薬の開発」

- ・文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「多段シントロフィーによるアミノ酸・分枝鎖脂肪酸分解微生物群の動態解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「昆虫内部共生の成立に関わる共生細菌の遺伝的基盤」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「ダイナミックなヒストン複合体形成による植物転写制御メカニズムの解析」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「導電性鉱物を介した電気共生型メタン生成の分子機構および実環境における寄与の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費「同一ゲノムから生じる 2 種類の生物社会の進化機構」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費「クワガタムシ・コガネムシ類における昆虫－菌類の共生関係の解明と保全生物学的応用」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 特別研究員奨励費「ハムシ類の水生植物利用への進化における腸内微生物群集の役割」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「糸状菌におけるリボソームペプチド合成経路の合理的探索」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「共生細菌が持つ雄殺し遺伝子の同定とその利用基盤技術の開発」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「発光ゴカイにおける新規分泌型発光分子機構の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「糸状菌二次代謝プロモーターの応用による有用物質生産系の構築と改良」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「藍染発酵液の染色強度と微生物叢相関の解明」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「高感度な核酸－蛋白質相互作用評価法の開発と核酸医薬への展開」
- ・文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「放線菌における系統分類と生産物質のデータベース化と

- 新規生産株の簡易検出法の開発]
- ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「植物発現組換えタンパク質の安定的蓄積に関する研究」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「水-二酸化炭素によるバイオマス新規糖化法の開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「シントロフィーを促進するサポーター微生物の存在とその新規微生物間相互作用の解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「ゲノム分子進化を用いた弱毒ウイルス作出法の開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「シオカラトンボの UV 反射 Wax の解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「一年生植物シロイヌナズナを多年生にする」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「氷の再結晶化を阻害する不凍タンパク質機能の定量的解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「コバネヒョウタンナガカメムシにおける細胞内共生成立機構に関する研究」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「がん特異的なコアフコシル化糖鎖を認識する抗体の創製」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「カビの増殖をトリガーとした抗カビ活性物質オートリリースシステムの開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「膵臓における新たな細胞内分子ターゲットによる生物学的診断・治療法の開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「高効率物質生産植物体の開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「金属鉄を唯一のエネルギー源として生育する鉄腐食・酢酸生成菌の代謝機構の解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「自然環境下でゆらぐ遺伝子発現の網羅的同定」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「植物ウイルスの複製機構を利用した新規酵母タンパク質発現系の開発に関する研究」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(B)「スベリン合成制御因子を利用したカスパリー線機能強化植物の作出」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(B)「メタゲノム由来高機能β-グルコシダーゼの解析と応用」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(B)「遺伝子情報から探る未知の窒素固定微生物の生態と生物肥料としてのポテンシャル」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(B)「逆方向 RNA 伸長酵素の RNA 選択機構の解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「持続型アンチ miRNA 創薬の開発と心疾患治療薬への展開」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「C 型肝炎ウイルス糖ペプチドを用いた中和抗体作製と、新規診断技術への応用」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「大腸菌リボソームの可塑性と表現型進化の機構解明」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「陸域地下圏の未知アーキア系統群：環境ゲノム情報と培養技術で切り拓くその新生物機能」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「アカトンボの体色と色覚の進化」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(A)「クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性の包括的理解とその応用技術の創成」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 国際共同研究加速基金(国際共同研究強化)「全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学(国際共同研究強化)」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「電気化学顕微鏡を用いた心筋細胞解析技術の開発」
 - ・ 文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「高効

- 率・高感度な薬物代謝マルチアッセイシステムの開発」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 若手研究(B)「メダカの腸内細菌叢解析：魚類腸内細菌叢の機能解明に向けたモデル研究」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「植物発生ロジックの多元的開拓」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「細胞外シグナルと細胞内調節の相互作用による器官形成ロジックの多元的理解」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型）「冥王代生命学の創成」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(A)「生物界の暗黒物質「未知アーキア」の解明一分離培養で開拓する多様な新生物機能一」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(A)「三次元多様性を分子設計上の鍵概念とする論理的創薬方法論の確立」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(A)「酸化触媒反応による抗生物質及び抗菌剤の分解と抗菌活性に及ぼす腐植物質の影響」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「遠隔作用変異の生成・抑制の分子機構」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「新規ハイブリッド型ポリケタイド合成酵素 **Steely** の産物多様性創出機構の解明」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(C)「シリンギルリグニン生合成を制御する転写因子の網羅的探索と機能解析」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「ケータイ電話を使った生物調査を成功させるには？トンボウォッチ！」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 国際共同研究加速基金(国際活動支援班)「冥王代生命学の国際研究ネットワーク展開」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「トランスクリプトームとエネルギー代謝から紐解くマングループの生態ニッチ決定機構」
 - ・文部科学省 科学研究費補助金 基盤研究(B)「非天然分岐型糖鎖含有デタージェントライブラリの構築と膜蛋白質の可溶化」
 - ・国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発／植物の生産性制御に係る共通基盤技術開発／遺伝子発現制御および栽培環境制御の融合による代謝化合物高生産基盤技術開発」
 - ・国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 「植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発／高生産性微生物創製に資する情報解析システムの開発」
 - ・国立研究開発法人科学技術振興機構 「人工細胞デバイスを活用した高速進化実験系の開発と臨床診断用スーパー酵素の創成」
 - ・国立研究開発法人科学技術振興機構 「一細胞解析と生物・遺伝子資源情報解析による環境微生物集団の構造と機能動態の統合的理解」
 - ・国立研究開発法人科学技術振興機構 「ゼロから創製する新しい木質の開発」
 - ・国立研究開発法人科学技術振興機構 「新規水生植物共生微生物ライブラリの構築
(旧) 水生植物根圏微生物の培養技術開発と根圏微生物ライブラリーの構築」
 - ・国立研究開発法人科学技術振興機構 「イネにおける技術検証；実用作物での検証・最適化」
 - ・地方独立行政法人北海道立総合研究機構 「核内受容体活性による甜菜の機能性評価業務」
 - ・公益財団法人わかやま産業振興財団 「核内受容体活性による和歌山県産柿の機能性評価業務」
- 発表：誌上発表114件、口頭発表271件、その他24件

- 植物分子工学研究グループ**
(Plant Molecular Technology Research Group)
研究グループ長：松村 健
(北海道センター)
- 概要：
本研究グループでは、植物の遺伝子組換え技術を主に利用して、有用物質、すなわち、他生物種由来の医薬品原材料となるタンパク質遺伝子、および植物が生

産する二次代謝産物等を植物で高発現・高生産可能な技術開発を行っている。また、これと並行して完全な人工環境下で栽培・育成から製剤化までの一貫した工程を実施可能な植物工場システムの確立・実用化を目標に研究を進めている。

植物において外来・内在性を問わず目的遺伝子を高発現させるためには、遺伝子サイレンシングなどの植物自身が有する発現制御メカニズムを回避・利用する必要がある。我々は、キュウリモザイクウイルス（CMV）等の植物ウイルスベクターを利用して、簡易にかつ迅速に、目的遺伝子の発現抑制、特に DNA のメチル化誘導技術の開発を試みている。現在まで、植物の代謝系遺伝子に対して、一般的な RNAi 法と我々が構築したウイルスベクター法での遺伝子抑制率の解析・見当を行い、目標とする配列特異的にメチル化が誘導されていることを確認できた。

- 研究テーマ：1. 植物ウイルスベクターによる遺伝子発現制御技術開発
2. 人工環境型植物工場での二次代謝増減を制御する水耕栽培技術開発
3. 微小重力下での水耕栽培技術開発

分子生物学研究グループ

(Molecular and Biological Technology Research Group)

研究グループ長：佐々木 正秀

(北海道センター)

概要：

本研究グループは有用タンパク質、脂質および糖質の新たな生産・利用システムの開発、機能性物質の新規合成法の開発、生物材料の化学原料化、そして生体分子等の位置選択的固定化技術に関する研究を進めている。

有用タンパク質等の新規利用システムに関する核内受容体アッセイでは、分泌型ルシフェラーゼを用いて初めてアッセイに成功した。脂質に関しては、代謝工学的生産法を用いて、機能性脂質生産微生物による脂質生産の最適化を行った。さらに核内受容体活性化では、種々の食品についての評価を行い、特に、野草、山菜について品種による核内受容体活性化の相違について明らかにした。

機能性物質の新規合成法に関して、これまでの知見を基に新マイクロ波利用合成装置の国内市販化がメーカーより開始された。上記装置の製作、機能評価の段階でこれまで既存装置の仕様などが統一されていなかった問題点が、その作用機序により分類可能となった。

生物材料の化学原料化は木質系バイオマスの水熱反応を行い、昨年度の比べより温和な条件（酢酸共存下反応温度255℃、保持時間30 min.）で過度の分解を抑制し、かつ高い抽出率をえることに成功した。こ

で得られた生成物は最終的に既存の硫酸法と同等な単糖収率を示すことが明らかになった。

生体分子の位置選択的固定化技術では、フィルムへの蒸着固定化法について検討を進めた。通常の蒸着固定化では100℃以上の条件が必要であり、被蒸着物質（ここでは抗カビ物質）の蒸発や分解が懸念される。しかしながら、マイクロ波利用により50℃で蒸着固定化に成功した。

- 研究テーマ：1. 有用タンパク質、脂質および糖質の新たな生産・利用システムの開発
2. 機能性物質の新規合成法開発
3. 生物材料の化学原料化
4. 生体分子等の位置選択的固定化技術

生体分子工学研究グループ

(Biomolecular Engineering Research Group)

研究グループ長：小松 康雄

(北海道センター)

概要：

本研究グループでは、核酸、タンパク質、細胞の活性等を、有機化学ならびに工学的手法によって解析し、さらにそれらの性質を改良することで物質生産の効率化、医薬品開発、物質検出の高感度化を目標とした開発を行っている。

昨年度までに、DNA および2'-O-methyl RNA (MeRNA) の鎖内をクロスリンク (CL) した2本鎖が、それに隣接する1本鎖部位における RNA とのハイブリを高度に安定化する現象を見出した。H28年度では、このハイブリの安定化効果がエントロピーロスの抑制に基づいた効果であることを実証した。また、miRNA 阻害核酸 (anti-miRNA oligonucleotide; AMO) の開発においては、CL2本鎖構造が miR-21 以外の miRNA の抑制においても有効な構造であることを確認した。

酵素や核酸を電極上に固定化して電気化学的検出や化学反応を行う場合、電極上に固定化される酵素や核酸の量が感度や反応収量に大きく影響する。そこで当グループでは生体関連物質の固定化量を上げるために電極の表面積を上げる技術開発を進めている。H28年度において我々は、昨年度に見出した希薄塩酸中での金電極酸化溶解法を利用して、微細な針状電極の先端にナノポーラス構造を簡便に作製し、表面積を増加させる技術を開発した。今後、電気化学による物質検出や物質生産において、同技術は有効になり得ると考えている。

- 研究テーマ：1. 核酸の安定化技術の開発と、遺伝子制御技術への応用
2. 電気化学を利用した、生体関連物質の機能解析と検出技術の開発

応用分子微生物学研究グループ

(Applied Molecular Microbiology Research Group)

研究グループ長：田村 具博

(北海道センター)

概要：

本研究グループでは、システム生物学から、物質生産宿主の開発、有用蛋白質の構造機能解析に至るまで、微生物による有用物質生産等の応用利用に向けた包括的な研究開発を行っている。H28年度は、ロドコッカス属細菌や麹菌を物質生産のための優れた微生物宿主として、遺伝子工学技術を駆使し改変を目指した。ロドコッカス属細菌の場合、同族同種で有りながら他の株には見られない株特有の染色体の7ヶ所（領域として10-100 kb）を削除した変異株の作製に成功した。この株を宿主改変の第1世代改変株と位置づけ引き続き宿主の開発を行う。麹菌では、ある遺伝子を破壊することで一次代謝産物であり有用物質となる遊離脂肪酸の生産能力が9.2倍高まったが、更に菌株に改良を加えることで最終的に野生株に対して12.9倍高生産となる株の構築に成功した。

創薬ターゲットとして重要な逆転写酵素、および物質生産に有用な P450酵素の立体構造・機能解析を行った。具体的には、B型肝炎ウイルス逆転写酵素に似せた他ウイルス由来逆転写酵素キメラの構造機能解析、および活性消失型 P450ビタミン D 水酸化酵素の構造・分子動力学解析を行い、新たな知見を得た。

ゲノム情報を活用した研究開発としては、特別研究チーム(生物システム工学特別研究チーム)を編成し、迅速・大規模に生産されるゲノム情報を迅速かつ効果的に産業利用へ繋げるシステムの開発を進めている。具体的には、ゲノム情報を解析するソフトを開発し、プロモーターや同族酵素遺伝子の置換をシステム的にを行い各遺伝子の発現およびそのバランスを制御することで目的遺伝子の生産量を既存の系より数倍高めることに成功した。

- 研究テーマ：1. ロドコッカス属放線菌および麹菌を宿主とした物質生産技術の開発
2. 蛋白質の立体構造情報の取得とその利用
3. 有用なゲノム・遺伝子資源の探索と利用技術の開発
4. システム生物学を利用した生物機能解析・利用技術の開発

環境生物機能開発研究グループ

(Environmental Biofunction Research Group)

研究グループ長：田村 具博

(北海道センター)

概要：

微生物が主な機能を担う環境や「場」における微生物

物叢の形成原理と機能解析、有用微生物の分離、微生物間相互作用、微生物の物質循環への寄与等の解明を通じて、環境保全・環境改善・産業利用に微生物を活用することを目指した研究を行う。また、特殊環境下でも生育する個性の強い微生物群（極限環境微生物）についてその生態および生命維持の仕組みを解明することによって、通常とは別の角度から生物の代謝の仕組みや環境中の有害物質から防御する仕組みを明らかにすることを目標に研究を行う。

農業において害虫カメムシ類が問題となっているが、我々はこれら害虫の腸内共生微生物に着目し、それら共生微生物が地球温暖化により生育阻害を受け、それによって宿主である害虫カメムシの発育阻害が起きることを新たに発見した。加えて、水産業において注目されつつある魚類の腸内および卵表面の微生物叢について解析を行い、いくつかの魚種について常在微生物叢を明らかにした。また、微生物と導電性金属や活性炭との相互作用について解析を進め、微生物-固体間電子移動にもとづく新規微生物代謝として金属鉄腐食性の酢酸生成微生物を新たに発見するとともに、活性炭などの安価な導電性粒子の添加により廃水処理時のメタン生成効率が上昇することを見出した。さらに、極限環境である南極から分離した低温性酵母を利用して、畜産業において問題となっているパーラー排水(乳脂肪分を多く含む搾乳作業時の排水)の効率的浄化を目標に研究を進め、南極産低温性酵母はパーラー排水中の窒素濃度が上昇するにつれて脂肪分解酵素の分泌量が多くなることを明らかにした。

- 研究テーマ：1. 機能性微生物の探索と環境適応機能解明に関する研究
2. 微生物を応用した新規物質変換法および環境浄化法の開発
3. 微生物と有害物質との関係、微生物と宿主および微生物間相互作用についての機構解明

生物共生進化機構研究グループ

(Symbiotic Evolution and Biological Functions Research Group)

研究グループ長：深津 武馬

(つくば中央第6)

概要：

非常に多くの生物が、恒常的もしくは半恒常的に他の生物（ほとんどの場合は微生物）を体内にすまわせている。このような現象を「内部共生」といい、これ以上ない空間的な近接性で成立する共生関係のため、極めて高度な相互作用や依存関係が見られる。このような関係からは、しばしば新規な生物機能が創出される。共生微生物と宿主生物がほとんど一体化して、あたかも1つの生物のような複合体を構築することも少

なくない。

我々は昆虫類におけるさまざまな内部共生現象を主要なターゲットに設定し、さらには関連した寄生、生殖操作、形態操作、社会性などの高度な生物間相互作用を伴う興味深い生物現象について、進化多様性から生態的相互作用、生理機能から分子機構にまで至る研究を多角的なアプローチから進めている。

我々の基本的なスタンスは、高度な生物間相互作用を伴うおもしろい独自の生物現象について、分子レベルから生態レベル、進化レベルまで徹底的に解明し、理解しようというものである。

- 研究テーマ：1. 昆虫－微生物間共生関係の多様性の解明
2. 共生微生物が宿主に賦与する新規生物機能の解明
3. 共生関係の基盤となる生理、分子機構の解明

生物資源情報基盤研究グループ

(Microbial and Genetic Resources Research Group)

研究グループ長：木村 信忠

(つくば中央第6)

概 要：

本研究グループでは、自然界に広く存在する未知・未培養・未利用の生物・遺伝子資源を探索・拡充する技術を開発すると共に、生物機能を活用した新しい物質生産技術(バイオプロセス)や環境制御技術の創成に資する生物資源・解析情報の提供を目的とした技術開発を行っている。

具体的には、本年は(1) 未知・未培養微生物の探索技術の開発および稀少微生物の分離培養・分類同定・ライブラリー化、(2) 微生物や高等生物を対象にした有用遺伝子資源の探索と機能解明、(3) 環境ゲノム解析技術(メタゲノム、メタトランスクリプトーム等)の開発と利用、(4) 全ゲノム操作技術の開発と利用、(5) クローン細胞集団における不均一性の包括的解明とその応用研究、(6) 環境制御・浄化や次世代エネルギー生産に資する微生物の生理学的・生態学的機能の解明に関する研究に取組み、特に次の様な成果を得た。深部地下圏や地下湧熱水環境、廃水処理プロセスに棲息する新規微生物、植物に共生する新規微生物を純粋分離するとともに、植物成長促進微生物や嫌気性共生細菌、メタン生成菌のゲノム解読等を通じて新たな生物機能の解明(例：石炭をメタンに転換する新たなメタン生成代謝や大気水素を消費する植物成長促進微生物の新機能の発見)に成功した。国内の油ガス田環境や世界各地の嫌気性バイオリクター内の微生物群集を対象とした環境ゲノム解析を精力的に実施し、未知微生物遺伝子情報の獲得・資源化に取り組むとともに、環境制御・浄化や次世代エネルギー生産に資する未知

微生物の生理生態機能の解明を進めた。医療診断に活用が期待できる新規酵素をメタゲノムライブラリーから発見した。さらに、微生物以外にも、発光生物の新たな発光メカニズムの解明に資する重要な知見を得た。

- 研究テーマ：1. 未知・未培養微生物ならびに未利用生物資源の探索・同定・分類ならびにライブラリー化
2. 微生物や高等生物を対象にした有用遺伝子資源の探索と機能解明、産業利用
3. 環境ゲノム解析技術(メタゲノム、メタトランスクリプトーム等)の開発と利用
4. 全ゲノム操作技術の開発と利用
5. クローン細胞集団における不均一性の包括的解明とその応用研究
6. 環境制御・浄化や次世代エネルギー生産に資する微生物の生理学的・生態学的機能の解明と利用

合成生物工学研究グループ

(Synthetic Bioengineering Research Group)

研究グループ長：宮崎 健太郎

(つくば中央第6)

概 要：

当研究グループでは、微生物機能を産業利用するための各種基盤技術開発を行う。具体的には、合成生物学的手法による宿主デザイン、環境ゲノムや微生物ゲノムからの有用遺伝子の探索、進化分子工学による生体分子の機能改変、酵母を用いた機能性脂質の生物生産高効率化の研究を行う。

合成生物学的手法による宿主デザインでは、大腸菌をプラットフォームとして、リボソーム30Sサブユニットに含まれる16S rRNAの変異により、高温適応変異体の獲得を行った。有用遺伝子の探索では、超好熱アーキア *Sulfolobus tokodaii* のゲノム情報中に相同性解析では見いだされないが、生命の維持には必要だと推定される糖リン酸異性化酵素を活性を指標に探索し、これまでどの生物からも見出されていなかった全く新規な酵素の単離に成功した。蛋白質の機能改変では、進化分子工学により臨床診断用酵素の活性向上に成功した。また、活性中心への1アミノ酸残基の置換により、超好熱アーキア由来の糖ヌクレオチド合成活性が野生型に比して数倍高い変異体を構築することに成功した。

酵母による脂質生産では、遺伝子改変により脂質含量を増加させた出芽酵母株において、高濃度メチオニン添加によるパルミトオレイン酸含量増加は、リン脂質メチル化酵素遺伝子の破壊で抑制されることを見出した。また、高度不飽和脂肪酸合成系の中で律速段

階とされている $\Delta 6$ 不飽和化の生産性向上を検討し、培養温度上昇（通常の30℃から32℃）による生産性増大を試みたが、ステアリドン酸生産性は低下し、30℃付近までが至適温度であることが判明した。

植物機能制御研究グループ

(Plant Gene Regulation Research Group)

研究グループ長：湯本 勲、鈴木 馨

(つくば中央第6)

概要：

産業、環境、健康などの様々な面での植物利用の高度化、拡大のために、植物が本来持っている様々な機能を制御するメカニズムの解明と植物機能を有効に利用するための制御技術の開発を目指して研究を進めている。具体的には、①各種植物機能を制御する転写因子の同定と機能解明では、ジャスモン酸が関与する老化を抑制制御する因子、側方器官形成制御に関する因子、花成制御に関わる因子の制御機能に関する新規知見を得ると共に、クチクラ形成に関わる複数の因子のそれぞれに特徴的な制御機能を明らかにした。②熱帯産重要資源植物の増産技術開発では、パラゴムノキのジャスモン酸応答やラテックスの滲出に関連する候補因子を複数同定し、解析を進めた。また、形質転換効率の向上を進めた。③新しい非天然木質を形成する植物の開発では、木質の各構成成分を独立して制御する技術を開発し、リグニンを含まない木質を有する植物を開発したほか、木質を大幅に増強したポプラを開発するなどした。

- 研究テーマ：1. 各種植物機能を制御する転写因子の同定と機能解明
2. 熱帯産重要資源植物の増産技術開発
3. 新しい非天然木質を形成する植物の開発

バイオデザイン研究グループ

(Bio-Design Research Group)

研究グループ長：矢追 克郎

(つくば中央第6)

概要：

本研究グループでは、ゲノム情報、遺伝子発現情報、生体分子の構造・機能相関等の解析技術を基盤として、生物プロセスによる有用物質生産基盤技術の開発を行っている。具体的には(1)有用酵素の探索、解析、高機能化を行った。メタゲノムから有用酵素を単離し、その詳細な生化学的・酵素学的解析および結晶構造解析を行った。また、様々な有用酵素の高機能化を目指した研究を進めた。(2)バイオマスからの高効率なエタノール生産酵母の開発を行った。次世代シーケンサーを活用した解析手法等で見出した有用要素を組み合わせることで実装することにより、発酵阻害物質存在下でも高

効率で同時糖化並行複発酵が可能なエタノール生産酵母株を創成した。(3)酵母や糸状菌を用いた有用物質生産技術開発を行った。出芽酵母によるカロテノイド生産、分裂酵母や油脂酵母による脂肪酸生産、糸状菌による天然色素の生産などについて、オミックス解析や代謝工学の手法を用いた生産株開発を行った。(4)糖鎖構造特異的なモノクローナル抗体の開発を行った。オリゴ糖をエピトープ認識するモノクローナル抗体の開発とその活用に関する研究を進めており、当該抗体を用いた糖タンパク質や糖脂質の解析方法を確立し、生理活性物質の活性評価に応用できることを確認した。

⑥【創薬分子プロファイリング研究センター】

(Molecular Profiling Research Center for Drug Discovery)

(存続期間：2013.4.1～)

研究センター長：夏目 徹

副研究センター長：堀本 勝久

副研究センター長：久保 泰

所在地：臨海副都心センター

人員：14名（14名）

経費：603,617千円（342,907千円）

概要：

現在、世界的に製薬業界は収益性が激減し、開発研究費は増加の一途をたどり、10年後には製薬が産業として成り立たないという悲観的な予測が広がっている。この問題の真因は、開発が長期化し且つ成功率が低いからであるとともに、日本においては国民皆保険制度を維持するための薬価伸び悩みが挙げられる。そのためには産官学が一体となってこの問題に取り組まなければならない。

新薬開発上のボトルネックは、ヒット化合物をリード化するうえで、化合物プロファイリング※の非効率性・曖昧性である。またドロップ薬を合理的にレスキューするドラッグリポジショニングの技術の未成熟さである。さらに、臨床治験における層別化マーカーの体系的な探索技術の開発も行われていない。

これらの問題が解決されれば、新薬開発の成功率は大幅にアップし、且つ開発期間も劇的に短縮し、その結果開発費の削減効果のみならず、上市前倒しによる収益性の向上が見込まれる。しかし、これらに各企業が単独で取り組むことは出来ず、またアカデミアにおいて、この問題に特化して取り組んでいる研究機関はない。

そこで本研究センターでは、産総研内に構築された世界屈指の研究リソース計測・解析技術やデータベース構築技術を発展させるとともに、近年急速に進歩し

た人工知能技術も融合し、これらを活用し化合物プロファイリング、リポジショニング、マーカー探索を体系的かつ合理化する技術開発に取り組む。さらに開発された技術をプラットフォーム化し、産業界に広く提供し、創薬開発プロセスの効率化・高度化を実証し、生命科学における新パラダイム創出を目指すことを本研究センターのミッションとする。

※化合物の作用・副作用について、標的、ネットワーク上での位置づけ、原子論的な作用機構などを知り尽くすこと。

重要研究課題としては、下記項目を掲げている。

- (1) **in vitro proteome** を活用した定量プロテオミクスの高度化、およびタンパク質アレイによる創薬支援
- (2) オミックスデータ解析による創薬支援
- (3) 計測と理論計算の融合による分子設計
- (4) 分子シミュレーションによる創薬支援

内部資金：

戦略予算「細胞内シグナル伝達の網羅的解析システム」

外部資金：

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「再生医療のための細胞システム制御遺伝子発現リソースの構築」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「新規バイオマーカー探索と統計学的手法検討の探索的付随研究」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「体液中マイクロ RNA 測定技術基盤開発・エクソソームを補足するための抗体及び抗原に関する調査」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「プロスタグランジン受容体の立体構造を基盤とした創薬開発を目指す革新的技術の創出」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「自己抗体マーカー探索システムの開発」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「肝毒性予測のためのインフォマティクスシステム構築に関する研究」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構「分子モデリングに基づく高度創薬支援」

国立研究開発法人科学技術振興機構「汎特異的相互作用を基盤とする多剤耐性機構の動的立体構造解析」

国立研究開発法人科学技術振興機構「情報統合基盤サイ

ト MEDALS における統合機能の開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構「高品質な培養細胞を実現する培養液かけ流し細胞培養システムの開発」

国立研究開発法人理化学研究所「生体分子システムの機能制御による革新的創薬基盤の構築」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ポストゲノム解析による感染体一宿主ネットワーク」

日本学術振興会 科学研究費補助金「中心体・一次シリアと細胞周期」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ウイルス感染現象における宿主細胞コンピテンシーの分子基盤」

日本学術振興会 科学研究費補助金「シリア・中心体系による生体情報フローの制御」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ネオグライコバリオロジクスの創製とリソソーム病治療薬開発への応用」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ナノチューブ内マイクロ環境を利用した分子進化学の高度化に関する研究」

日本学術振興会 科学研究費補助金「バイオロジーにおける3D 活性サイト科学」

日本学術振興会 科学研究費補助金「肝炎ウイルス治療後の肝発癌機序とバイオマーカーの同定に関する研究」

日本学術振興会 科学研究費補助金「蛋白質立体構造解析と分子動力学に基づく EGFR 分子標的薬の効果予測と創薬」

日本学術振興会 科学研究費補助金「試験管内分子進化技術を用いた癌免疫療法のための中分子創薬研究」

日本学術振興会 科学研究費補助金「次世代タンパク性医薬品開発に向けた反応システム系の開発と展開」

日本学術振興会 科学研究費補助金「機能的構造平衡の NMR 解析による刺激に適合したキナーゼシグナル選別機構の解明」

日本学術振興会 科学研究費補助金「ヒト由来膜タンパク質の機能構造解明に向けた NMR アプローチ」

発表：誌上発表40件、口頭発表43件、その他2件

機能プロテオミクスチーム

(Functional Proteomics Team)

研究チーム長：五島 直樹

(臨海副都心センター)

概要：

創薬を支援するために定量プロテオミクスの技術基盤開発を行っている。細胞の構成タンパク質を定量的に計測することにより、細胞の状態、パスウェイの変化をプロファイリングすることが出来る。超々高感度な質量分析システムを構築し、化合物のターゲットおよびオフターゲットの決定、薬理薬効メカニズム解明に利用する。

また、質量分析による網羅的絶対定量を実現するために、プロテオームワイドな内標準タンパク質の合成システム (in vitro proteome) を構築している。

in vitro proteome は、プロテインアレイとしても活用されており、細胞内リン酸化活性プロファイリングとパスウェイ解析、血清中の自己抗体プロファイリングによって疾患の診断やバイオマーカー探索にも応用されている。また、プロテインアレイ等を用いた低分子-タンパク質結合プロファイリングにより、創薬候補化合物のターゲット探索技術開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目1

システム数理統合チーム

(Integrative Systems Biology Team)

研究チーム長：福井 一彦

(臨海副都心センター)

概要：

パブリックやプライベート・クラウドコンピューティングなどの IT 技術を利用し、実験データ、データベース、ソフトウェア、解析ツールを選択・組み合わせ可能とする環境の整備を行い、利用目的に合った情報解析システムを開発している。

また、本センターにおける様々なデータの収集・集約を行い、データの一元管理による品質維持を実施することで、効率的な解析や研究上の意思決定に活用可能となる知的インテグレーション・システムの構築を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

3D 分子設計チーム

(3D Drug Design Team)

研究チーム長：福西 快文

(臨海副都心センター)

概要：

主に計算によりタンパク質-タンパク質間、タンパク質-薬剤間相互作用の立体構造的解析を行っている。

また、溶液 NMR の情報の利用、電子顕微鏡も稼働させ、ウイルス粒子など通常の観察対象に加え、薬物結合を観察する手法も開発している。

さらに、当チームで開発された手法を用いて、NMR の実験結果を満たすように3次元的な構造モデル構築を行うことも可能であり、本手法は市販グラフィックソフトにも採用され視覚的に、薬物の作用様式を高い精度で解明することができる。また、これらの技術のユーザーに向けた技術指導も行っている。

研究テーマ：テーマ題目3

分子シミュレーションチーム

(Molecular Simulation Team)

研究チーム長：広川 貴次

(臨海副都心センター)

概要：

分子シミュレーションを活用した創薬標的タンパク質分子モデリング法、タンパク質立体構造に基づくリガンド結合予測やケモインフォマティクス技術を融合したバーチャルスクリーニング法の技術開発を行う。

また、分子進化学と有機合成化学を用いて、創薬およびプロテオミクス研究に資する新規人工ペプチドツールの創製システムを構築し、細胞内タンパク質蛍光ラベリング用の人工ペプチドタグや、疾患関連生体分子を標的とする中分子バイオ医薬品の創製を目指す。

産学官および実験系研究グループとの連携を意識した、タンパク質立体構造に関する理論的基礎研究およびインシリコ創薬、中分子創薬等への応用研究を実施する。

研究テーマ：テーマ題目4

[テーマ題目1] in vitro proteome を活用した定量プロテオミクスの高度化、およびタンパク質アレイによる創薬支援

[研究代表者] 五島 直樹 (機能プロテオミクスチーム)

[研究担当者] 五島 直樹、福田 枝里子、足達 俊吾、鍵和田 晴美 (常勤職員4名、他34名)

[研究内容]

研究目的：

in vitro proteome を活用した定量プロテオミクスの高度化およびタンパク質アレイの実証研究への応用

研究内容：

創薬を支援するために定量プロテオミクスの技術基盤開発を行う。細胞内タンパク質を定量化し、超々高感度な質量分析システムを構築し、化合物のターゲット決定と、薬理薬効メカニズム解明に役立てている。

また、質量分析による網羅的絶対定量を実現するために、プロテオームワイドな内標準タンパク質の合成システム (in vitro proteome) を構築している。

in vitro proteome は、プロテインアレイとしても活用

されており、血清中の自己抗体プロファイリングによって疾患の診断やバイオマーカー探索にも応用されている。また、プロテインアレイを用いた低分子-タンパク質結合プロファイリングにより、創薬候補化合物のターゲット探索の技術開発を行っている。

平成27年度進捗状況は以下の通り。

(A) *in vitro* proteomeを活用した定量プロテオミクスの高度化

創薬分子プロファイリング技術開発において定量プロテオミクスや一般的なバイオ実験ベンチワークの高度化を目指して、実験手法を汎用ヒト型ロボットにより実施しヒトよりも高い精度と再現性でサンプル調製が行えるプラットフォームの構築を行ってきた。このシステムを運用し製薬企業との実証研究を実施し、化合物の薬理薬効メカニズムを解明するとともに、化合物の分子標的を決定し、メカニズム解明のための検証研究を開始した。定量プロテオミクスを行うためには、網羅的なヒトタンパク質の標準タンパク質および同位体ラベル標準タンパク質が必要となる。我々は、不溶化タグ（特許出願中）というユニークなタグを開発し、ヒト cDNA リソースと融合させることによって標準タンパク質の画一的なハンドリングを可能にした。本技術は2企業との資金提供型共同研究でも活用されている。

(B) 血清中の自己抗体プロファイリングによって疾患の診断やバイオマーカー探索

2万タンパク質を未変性状態で基板上にアレイ化したプロテインアレイの技術開発を行っている。企業との資金提供型共同研究によって、膠原病や自己免疫疾患に対する多項目診断をプロテインアレイで実施することを目指し、プロテインアレイの作製、アレイ上での自己抗体検出の高感度化、画像解析に関する研究開発を行っている。6拠点以上の病院機関、大学医学部との連携も構築し、医療現場のニーズも取り入れた自己抗体プロファイリングによって疾患の診断やバイオマーカー探索を実施している。

(C) プロテインアレイを用いた低分子-タンパク質結合プロファイリング

in vitro proteome である2万種類のタンパク質を未変性状態で基板上にアレイ化したプロテインアレイの開発を行っている。2企業との資金提供型共同研究によって、プロテインアレイ上のタンパク質と低分子化合物の相互作用を、低分子用質量分析計で測定する技術開発を行った。また、低分子化合物を SPR のセンサーチップに固定し、*in vitro* proteome である2万種類のタンパク質を順次流して、低分子-タンパク質の相互作用をプロファイリングする技術開発を行った。

(D) プロテインアレイを用いた細胞リン酸化活性プロファイリング技術の開発

ヒト細胞のシグナル伝達を担うキナーゼ活性（リン酸化活性）の網羅的測定技術（アレイ上でのリン酸化反応・

検出）の確立とその測定データによる活性化パスウェイ推定技術の開発を行った（産総研、戦略予算を獲得）。これまでのリン酸化プロテオームとことなり、注目する細胞の特定タイムポイントにおけるリン酸化活性を網羅的に測定し、特定時点でのパスウェイの活性化状態を解析する新技術を構築した（システム数理統合チームとの連携）。

論文

A large-scale targeted proteomics assay resource based on an *in vitro* human proteome.
Nat Methods. 14(3):251-258. doi: 10.1038/nmeth.4116. Epub 2016 Dec 26. (2017)
Matsumoto M, Matsuzaki F, Oshikawa K, Goshima N, Mori M, Kawamura Y, Ogawa K, Fukuda E, Nakatsumi H, Natsume T, Fukui K, Horimoto K, Nagashima T, Funayama R, Nakayama K, Nakayama KI.

Construction of a novel cell-based assay for the evaluation of anti-EGFR drug efficacy against EGFR mutation.

Oncol Rep. 37(1):66-76. doi: 10.3892/or.2016.5227. Epub 2016 Nov 7. (2017)

Hoshi H, Hiyama G, Ishikawa K, Inageda K, Fujimoto J, Wakamatsu A, Togashi T, Kawamura Y, Takahashi N, Higa A, Goshima N, Semba K, Watanabe S, Takagi M.

Phosphorylated TandemMBP: A unique protein substrate for protein phosphatase assay.

Anal Biochem. 15:513:47-53. doi: 10.1016/j.ab.2016.08.020. Epub 2016 Aug 24. (2016)
Sugiyama Y, Yamashita S, Uezato Y, Senga Y, Katayama S, Goshima N, Shigeri Y, Sueyoshi N, Kameshita I.

The Sam68 nuclear body is composed of two RNase-sensitive substructures joined by the adaptor HNRNPL.

J Cell Biol. 14:214(1):45-59. doi: 10.1083/jcb.201601024. (2016)

Mannen T, Yamashita S, Tomita K, Goshima N, Hirose T.

Screening of Human cDNA Library Reveals Two differentiation-Related Genes, HHEX and HLX, as Promoters of Early Phase Reprogramming toward Pluripotency.

Stem Cells.;34(11):2661-2669. doi: 10.1002/stem.2436.
Epub 2016 Jul 8. (2016)

Yamakawa T, Sato Y, Matsumura Y, Kobayashi Y,
Kawamura Y, Goshima N, Yamanaka S, Okita K.

OVOL2 Maintains the Transcriptional Program of
Human Corneal Epithelium by Suppressing
Epithelial-to-Mesenchymal Transition.

Cell Rep. 10;15(6):1359-68. doi:

10.1016/j.celrep.2016.04.020. Epub 2016 Apr 28.
(2016)

Kitazawa K, Hikichi T, Nakamura T, Mitsunaga K,
Tanaka A, Nakamura M, Yamakawa T, Furukawa S,
Takasaka M, Goshima N, Watanabe A, Okita K,
Kawasaki S, Ueno M, Kinoshita S, Masui S.

Directed Evolution of a Cyclized Peptoid-Peptide
Chimera against a Cell-Free Expressed Protein and
Proteomic Profiling of the Interacting Proteins to
Create a Protein-Protein Interaction Inhibitor.

ACS Chem Biol. 17;11(6):1569-77. doi:

10.1021/acscchembio.5b01014. Epub 2016 Mar 24.

Kawakami T, Ogawa K, Hatta T, Goshima N,
Natsume T.

Hepatocyte nuclear factor 1 beta induces
transformation and epithelial-to-mesenchymal
transition.

FEBS Lett. 2016 Apr;590(8):1211-21. doi:

10.1002/1873-3468.12147. Epub 2016 Mar 31.(2016)

Matsui A, Fujimoto J, Ishikawa K, Ito E, Goshima N,
Watanabe S, Semba K.

Ndel1 suppresses ciliogenesis in proliferating cells by
regulating the trichoplein-Aurora A pathway.

J Cell Biol. 15;212(4):409-23. doi:

10.1083/jcb.201507046. (2016)

Inaba H, Goto H, Kasahara K, Kumamoto K,
Yonemura S, Inoko A, Yamano S, Wanibuchi H, He D,
Goshima N, Kiyono T, Hirotsune S, Inagaki M.

[領 域 名] 生命工学

[キーワード] 網羅的抗体解析、プロテインアレイ、バ
イオマーカー、抗原タンパク質、免疫モ
ニタリング、定量プロテオミクス、低分
子-タンパク質相互作用、リン酸化活性プ
ロファイリング、キナーゼ活性プロファ
イリング、自己抗体

[テーマ題目2] オミックスデータ解析による創薬

[研究代表者] 福井 一彦 (システム数理統合チーム)

[研究担当者] 福井 一彦、井上 雅世、新木 和孝
(常勤職員3名、他6名)

[研究内容]

研究目的:

Bio-IT 融合を目指し、IT 技術を利用し、実験データ、
データベース、ソフトウェア、解析ツールを選択・組み
合わせ可能とする環境の整備を行い、利用目的に合った
情報数理解析システムを開発している。

また独自開発数理解析技術を体系的に融合し、オミッ
クスデータから検証可能な要因候補分子選定のための分
子群絞り込みシステムの開発や肝毒性予測及びドラッグ
リポジショニング・レスキューのための薬剤候補推定シ
ステムを構築している。

研究内容:

平成28年度進捗状況は以下の通り。

センターにおける様々なデータの収集・集約を行い、
データの一元管理による品質維持を実施することで、効
率的な解析や研究上の意思決定に活用可能となる知的イ
ンテグレーション・システムの強化を実施した。またラ
イフサイエンス関連データの省庁間連携として、情報基
盤サイトや MEDALS の更新を行い、そのサイトを公開
している。

オミックスデータ解析技術としては、解析基盤の整備
を行い、公開データや実データの解析を実施し外部研究
機関との連携や共同研究に繋げている。またタンパク質
の Redox に着眼した実験やシミュレーションを行い成
果としてまとめると共に、リン酸化活性化プロファイリ
ング解析技術を開発した。

A large-scale targeted proteomics assay resource
based on an in vitro human proteome.

Nature Methods, 14(3): 251-258. (2017)

M. Matsumoto, F. Matsuzaki, K. Oshikawa, N.
Goshima, M. Mori, Y. Kawamura, K. Ogawa, E.
Fukuda, H. Nakatsumi, T. Natsume, K. Fukui, K.
Horimoto, T. Nagashima, R. Funayama, K. Nakayama,
K.I. Nakayama.

Functional profiling of asymmetrically-organized
human CCT/TRiC chaperonin.

Biochemical and Biophysical Research
Communications Volume 481, pp. 232-238, 2016

K. Araki, A. Suenaga, H. Kusano, R. Tanaka, T. Hatta,
T. Natsume, K. Fukui

Redox Sensitivities of Global Cellular Cysteine
Residues under Reductive and Oxidative Stress

J. Proteome Res.15(8), pp 2548-2559, 2016

K. Araki, H. Kusano, N. Sasaki, R. Tanaka, T. Hatta, K. Fukui, T. Natsume

Identification of novel natural inhibitor for NorM a multidrug and toxic compound extrusion transporter: an insilico molecular modeling and simulation studies *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics* 35, pp 58-77, 2016

M. Keshewani, M. Gromiha, K. Fukui, D. Velmurugan

研究テーマ：テーマ題目3

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 システム生物学、システム薬理学、ネットワーク数理解析、多層オミックス、リン酸化活性化解析、データベース、タンパク質構造解析、RNA 構造解析

〔テーマ題目3〕 計測と理論計算の融合による分子設計

〔研究代表者〕 福西 快文 (3D 分子設計解析チーム)
広川 貴次 (理論分子設計チーム)

〔研究担当者〕 福西 快文、広川 貴次、竹内 恒、三尾 和弘、徳永 裕二
(常勤職員5名、他16名)

〔研究内容〕

研究目的:

理論計算と NMR 計測の融合による新規創薬基盤技術の開発とその適用による新規リード化合物の発見

研究内容:

タンパク質-薬物相互作用解析は、重要な創薬基盤技術であり、センターで研究する主要課題の1つである。我々は既に、独自の NMR によるタンパク質-化合物相互作用の計測技術を開発中であり、この情報を組み込んだ計算手法を開発している。また、電子顕微鏡も稼働させ、ウイルス粒子など通常の観察対象に加え、薬物結合を観察する手法も開発している。

平成28年度進捗状況は以下の通り。

- ・クラウドの利用で、200万化合物のスクリーニングを1時間・3000円で済まし、タンパク質の MD 計算を、1日10 ns で実行、100 ns の計算を5万円で済ますようにソフトウェアの利便性を高めた。
- ・タンパク質と化合物の相互作用情報は欧州 ChEMBL に収録されており、その数は1万タンパク質、190万化合物の1000万以上の相互作用情報が4万報以上の文献から収録されている。このデータから自動的に構造活性相関モデルを構築する手法を改良し、誤差1.5 kcal/mol とドッキングソフトより10倍精度を上げるのに成功した。

- ・中分子などの物質の膜透過性を分子構造から予測するために、分子の入手、計測、文献値の物性値データの収集を行い、近年の AI を含む回帰予測モデルを作成した。
- ・運動性と充足度を同時に評価可能で薬剤の構造最適化に資する新たな NMR 解析技術、禁制コヒーレンス遷移 (FCT) 解析法の開発に成功し、本手法に基づく新たな薬物設計戦略を提案した。さらに、本手法を結合・非結合状態間の平衡にある結合が弱い系に拡張し、リガンドのレセプターに対する親和性および結合の熱力学的特性を改善することに成功した。
- ・NMR 計測を発展させる¹⁵N TROSY 法など複数の解析手法を開発し発表した。
- ・多剤耐性に関わる転写因子が、DNA 上の非特異的相互作用を積極的に転写制御に利用する機構を見出し、論文として発表した。
- ・胎盤に発現して妊娠の継続に重要な免疫分子 HLA-G2 の構造機能解析を推進し、論文として発表した。
- ・創薬等支援基盤技術プラットフォーム事業において、10件の支援研究を実施した。民間企業5社との資金提供型共同研究、4社の技術研修指導を行った。
- ・第12回先進科学技術活用力養成講座 構造ベース創薬、神戸大学遠隔講義「計算生命科学の基礎」III を通じて計算創薬の啓蒙活動を行った。
- ・高度化研究では、分子シミュレーションを通じて、抗 HIV 薬の新規標的部位の同定や、ツムラとの共同研究による漢方成分の複雑な作用メカニズム解明に貢献した。

Variation of free - energy landscape of the p53 C - terminal domain induced by acetylation: Enhanced conformational sampling.

Journal of Computational Chemistry, 37, 2687-2700 (2016).

Shinji Iida, Tadaaki Mashimo, Takashi Kurosawa, Hironobu Hojo, Hiroya Muta, Yuji Goto, Yoshifumi Fukunishi, Haruki Nakamura, Junichi Higo.

Miscellaneous topics in computer-aided drug design: Synthetic accessibility and GPU computing, and other topics.

Current pharmaceutical design, 22, 3555-3568 (2016).
Yoshifumi Fukunishi, Tadaaki Mashimo, Kiyotaka Misoo, Yoshinori Wakabayashi, Toshiaki Miyaki, Seiji Ohta, Mayu Nakamura, Kazuyoshi Ikeda.

Quantitative Structure - activity Relationship (QSAR) Models for Docking Score Correction.

Molecular Informatics, 36, 1600013 (2017).

Yoshifumi Fukunishi, Satoshi Yamasaki, Isao

Yasumatsu, Koh Takeuchi, Takashi Kurosawa, Haruki Nakamura.

Use of multiple cryoprotectants to improve diffraction quality from protein crystals.

Cryst Growth Des, 16, 1565–1571, (2016).

Senda M, Hayashi T, Hatakeyama M, Takeuchi K, Sasaki AT, Senda T.

Structural reverse genetics study of the PI5P4K β -nucleotide complexes reveals the presence of the GTP bioenergetic system in mammalian cells.

FEBS J, 283, 3556–3562, (2016).

Takeuchi K, Senda M, Lo YH, Kofuji S, Ikeda Y, Sasaki AT, Senda T.

Improvement of affinity and thermodynamic properties of weak-affinity ligands by NMR-based evaluation of local dynamics and surface complementarity in the bound state,

Angew Chem Int Ed, 55, 14606-14609, (2016).

*Mizukoshi Y, *Takeuchi K, Arutaki M, Tokunaga Y, Takizawa T, Hanzawa H, Shimada I, (*equal contribution).

Revisiting the Field Dependence of TROSY Sensitivity.

J Biomol NMR, 66, 221-225, (2016).

Takeuchi K, Arthanari H, Wagner G.

Dynamic equilibrium on DNA defines transcriptional regulation of a multidrug binding transcriptional repressor, LmrR.

Sci Rep. 7, 267, (2017)

Takeuchi K, Imai M, Shimada I.

Class II-like Structural Features and Strong Receptor Binding of the Nonclassical HLA-G2 Isoform Homodimer.

Journal of Immunology, 198, 3399-3403 (2017)

Kimiko Kuroki, Kazuhiro Mio, Ami Takahashi, Haruki Matsubara, Yoshiyuki Kasai, Sachie Manaka, Masahide Kikkawa, Daizo Hamada, Chikara Sato and Katsumi Maenaka.

[領 域 名] 生命工学

[キーワード] システム生物学、システム薬理学、ネットワーク数理解析、多層オミックス、データベース、タンパク質構造解析、RNA構造解析

[テーマ題目4] 分子シミュレーションによる創薬支援

[研究代表者] 広川 貴次 (分子シミュレーションチーム)

[研究担当者] 広川 貴次、本野 千恵、川上 隆史 (常勤職員3名)

[研究内容]

研究目的:

分子シミュレーション技術による高度なインシリコ創薬技術の開発

内容:

ドッキング計算、タンパク質モデリング、分子動力学計算等の要素技術に基づく、分子シミュレーションを活用した創薬標的タンパク質分子モデリング法、タンパク質立体構造に基づくリガンド結合予測やケモインフォマティクス技術を融合したバーチャルスクリーニング法の技術開発を行う。

平成28年度進捗状況は以下の通り。

- (1) 新規抗 HIV 薬の探索を目指し、分子シミュレーションにより、HIV ウイルス由来の Tat タンパク質の結合により発生する CDK9の隠された化合物制御部位の同定に成功した (誌上发表)。現在、この制御部位に結合可能性のある化合物300品目を購入し、平成29年度に共同研究先である名古屋市立大学にて評価予定である。
- (2) 漢方メーカーであるツムラとの共同研究により2報の成果を誌上发表した。いずれも漢方成分の持つ複雑な作用機序のメカニズム解明について、分子シミュレーションにより貢献した。
- (1) 分子モデリングに基づく高度創薬支援研究として、10報の成果を発表し、目標を大きく上回る支援研究を達成した。さらに、後継プロジェクトである創薬ライフサイエンス支援事業にも採択された (H29年度より開始)。

MD simulation of the Tat/Cyclin T1/CDK9 complex revealing the hidden catalytic cavity within the CDK9 molecule upon Tat binding

PLoS One. 2017, 12, e0171727.

Asamitsu K, Hirokawa T, Okamoto T.

The Effect of Conformational Flexibility on Binding Free Energy Estimation between Kinases and Their Inhibitors.

J. Chem. Inf. Model. 2016, 56, 2445-2456.

Araki M, Kamiya N, Sato M, Nakatsui M, Hirokawa T, Okuno Y.

Analysis to Estimate Genetic Variations in the Idarubicin-Resistant Derivative MOLT-3.

Int. J. Mol. Sci. 2016, 18, pii: E12.

Komiyama T, Ogura A, Hirokawa T, Zhijing M,

Kamiguchi H, Asai S, Miyachi H, Kobayashi H.

Site-Directed Chemical Mutations on Abzymes: Large Rate Accelerations in the Catalysis by Exchanging the Functionalized Small Nonprotein Components.

ACS Chem. Biol. 2016, 11, 2803-2811

Ishikawa F, Shirahashi M, Hayakawa H, Yamaguchi A, Hirokawa T, Tsumuraya T, Fujii I.

Tailored Synthesis of 162-Residue S-Monoglycosylated GM2-Activator Protein (GM2AP) Analogues that Allows Facile Access to a Protein Library.

Chembiochem. 2016, 17, 1986-1992.

Nakamura T, Sato K, Naruse N, Kitakaze K, Inokuma T, Hirokawa T, Shigenaga A, Itoh K, Otaka A.

Detailed Analysis of the Binding Mode of Vanilloids to Transient Receptor Potential Vanilloid Type 1 (TRPV1) by a Mutational and Computational Study.

PLoS One. 2016, 11, e0162543.

Ohbuchi K, Mori Y, Ogawa K, Warabi E, Yamamoto M, Hirokawa T.

Differences in Intestinal Hydrolytic Activities between Cynomolgus Monkeys and Humans: Evaluation of Substrate Specificities Using Recombinant Carboxylesterase 2 Isozymes.

Mol. Pharm. 2016, 13, 3176-86

Igawa Y, Fujiwara S, Ohura K, Hirokawa T, Nishizawa Y, Uehara S, Uno Y, Imai T.

Ignavine: a novel allosteric modulator of the μ opioid receptor.

Sci. Rep. 2016, 6, 31748.

Ohbuchi K, Miyagi C, Suzuki Y, Mizuhara Y, Mizuno K, Omiya Y, Yamamoto M, Warabi E, Sudo Y, Yokoyama A, Miyano K, Hirokawa T, Uezono Y.

Design and synthesis of unsymmetric macrocyclic hexaoxazole compounds with an ability to induce distinct G-quadruplex topologies in telomeric DNA.

Org. Biomol. Chem. 2016, 14, 5109-16.

Sakuma M, Ma Y, Tsushima Y, Iida K, Hirokawa T, Nagasawa K.

Directed Evolution of a Cyclized Peptoid-Peptide Chimera against a Cell-Free Expressed Protein and Proteomic Profiling of the Interacting Proteins to

Create a Protein-Protein Interaction Inhibitor.

ACS Chem. Biol. 2016, 11, 1569-77.

Kawakami T, Ogawa K, Hatta T, Goshima N, Natsume T.

Protease-resistant modified human β -hexosaminidase B ameliorates symptoms in GM2 gangliosidosis model.

J. Clin. Invest. 2016, 126, 1691-703.

Kitakaze K, Mizutani Y, Sugiyama E, Tasaki C, Tsuji D, Maita N, Hirokawa T, Asanuma D, Kamiya M, Sato K, Setou M, Urano Y, Togawa T, Otaka A, Sakuraba H, Itoh K.

[領 域 名] 生命工学

[キーワード] タンパク質-化合物複合体予測、RNA-RNA 複合体予測、NMR、薬物分子シミュレーション、薬物活性予測

3) 情報・人間工学領域

(Information Technology and Human Factors)

領域長：関口 智嗣

概要：

研究領域長は、情報・人間工学領域における研究の推進に係る業務の統括管理を行うとともに、研究領域間の融合を推進する業務を実施している。

① 情報・人間工学領域研究戦略部

(Research Promotion Division of Information Technology and Human Factors)

研究戦略部長：横井 一仁

研究企画室長：渡邊 創

所在地：つくば中央第一

人員：16名 (15名)

概要：

研究戦略部長は、各研究分野の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括するとともに、研究領域間の融合を推進する業務を実施している。また、領域における技術を社会への橋渡しするための企業連携に取り組む体制として、イノベーションコーディネーターを中心とし、技術に関して深い知識を持ったメンバーが専属で企業連携に関わることで、技術相談による技術的指導に加え、技術コンサルティングによる民間企業連携における技術的指導・助言を実施している。

情報・人間工学領域研究企画室

(Research Planning Office of Information Technology and Human Factors)

概要：

当室は、情報・人間工学領域に置かれ、研究所の業務のうち、当該研究領域における研究の推進に関する業務を実施している。

具体的には、研究戦略の策定と研究計画のとりまとめ、研究戦略予算テーマの立案、領域内公募課題研究テーマの選定・評価、研究ユニットへの交付金予算の配分、分野内・分野間のスペース利用の調整、プロジェクトの企画・立案・総合調整、経済産業省その他関係団体等との調整、研究領域長及び研究戦略部長が行う業務の支援、オープンプラットフォーム推進に係る企画・調整、技術研究組合の窓口業務、見学・視察対応等の業務を行っている。

平成28年度は、通常業務に加え、例として以下の業務を行った。

- 1) 情報・人間工学領域に係る第4期研究戦略の策定
- 2) 産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用 オープンイノベーションラボラトリの設立、およびパナソニック・産総研 先進型 AI 連携研究ラボの設立

ニック・産総研 先進型 AI 連携研究ラボの設立

機構図 (2017/3/31現在)

[情報・人間工学領域研究戦略部研究企画室]
研究企画室長 渡邊 創 他

産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用 オープンイノベーションラボラトリ

(Real World Big-Data Computation Open Innovation Laboratory)

概要：

実社会ビッグデータ活用 オープンイノベーションラボラトリ (2017年2月20日設立) では、産総研と東工大が有する計算プラットフォーム構築技術とビッグデータ処理技術を融合し、さまざまな分野に適用できるビッグデータの処理・解析技術を提供するオープンプラットフォームの構築にむけて研究を開始した。新たな価値を創造するための研究開発を行うとともに、民間企業と密接に連携し共同研究や技術移転を進めることで、得られた成果の速やかな産業化と社会実装を目指す。研究課題として、1) ビッグデータ処理オープンプラットフォームの確立、および 2) ビッグデータを活用するデータ処理技術の開発、に着手した。

機構図 (2017/3/31現在)

ラボ長 松岡 聡
副ラボ長 小川 宏高
他

連携研究ラボ

パナソニック・産総研先進型 AI 連携研究ラボ

(Panasonic-AIST Advanced AI Cooperative Research Laboratory)

概要：

先進型 AI 連携研究ラボ (2017年2月1日設立) では、産総研の情報・人間工学領域が持つ先進の人工知能・ロボット技術と、パナソニックの家電・住宅・車・産業などの事業領域で今後想定される社会課題・顧客課題とを掛け合わせ、より良いくらしと社会の実現に貢献する先進型 AI 技術の研究開発を開始した。重要な社会課題の一つである少子高齢化に伴う労働力不足に注目し、健康・介護分野、流通・接客分野において、先進の対話技術やロボット技術による業務支援に関する研究開発を遂行する。また、AI 技術を応用する上で、アルゴリズムの高度化やデータ規模の増大により、膨大な計算能力が必要となる課題も生じているが、これらの課題解決に向けた計算機環境に関する研究開発も行う。

 機構図 (2017/3/31現在)

連携研究ラボ長 小澤 順
 他

②【情報技術研究部門】

(Information Technology Research Institute)

(存続期間：2005.7.15～)

研究部門長：田中 良夫
 副研究部門長：寶木 和夫
 錦見 美貴子
 首席研究員：後藤 真孝

所在地：つくば中央第1、つくば中央第2、臨海副都心
 センター、関西センター

人 員：46名 (46名)

経 費：726,666千円 (363,355千円)

概 要：

ビッグデータから意味のある情報を引き出して活用することが産業競争力強化や人々の生活の質の向上の鍵となっている。例えば実世界（フィジカル空間）と計算機の世界（サイバー空間）を密接に連携させ、実世界で得られるデータを分析し、その結果を実世界に還元するサイバーフィジカルシステムは、あらゆる産業や社会システムを飛躍的に高度化する技術として期待されている。サイバーフィジカルシステムによるイノベーション創出のためには、数億、あるいは数兆個にもなると言われている大量のセンサから得られるデータを高速に処理する技術が求められる。また、安全なサイバーフィジカルシステムを実現するセキュリティも必要不可欠である。

情報技術研究部門では、サイバーフィジカルシステムの基盤技術と応用技術の研究として、(1)現在の計算機では現実的に扱うことのできないビッグデータを高速に処理する基盤技術の研究、(2)安心して利用できるサイバーフィジカルシステムを実現するセキュリティの研究、(3)価値ある情報コンテンツの創出と利活用を促進するコンテンツ技術（クリエイティビティ・イネープリング技術）の研究を進めた。

「ビッグデータを高速に処理する基盤技術」については、NEDO「平成28年度IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」採択課題「省電力AIエンジンと異種エンジン統合クラウドによる人工知能プラットフォーム」において、異種・複数のAIエンジンノードを自在に結合して、アプリケーションに最適化した実行環境を構築して提供するクラウド（Flow in Cloud）

の研究開発を進めた。具体的には、Flow in Cloudの資源管理システムであるFlow OSの概念設計を完成した。また、この設計に基づき、ユーザの要求に応じて実行環境を構築・破棄する資源管理システムの開発、実行環境をアプリケーションに最適化するコンテナ技術Bare Metal Containerの開発、Flow in Cloudを模したハードウェア動的再構成環境の構築を行い、Flow OSの試作を実施した。本試作を用いてFlow in Cloudを模した環境上でアプリケーションの要求に応じた実行環境を動的に構成・破棄できることを確認した。また、Bare Metal Containerについてはオープンソースソフトウェアとして公開した。

「安心して利用できるサイバーフィジカルシステムを実現するセキュリティ」については、サイバーフィジカルシステムや、あらゆるものをネットワークで接続して社会全体の様々なデータを集め、サイバーフィジカルシステムを支える技術でありコンセプトであるInternet of Things (IoT)のセキュリティに関する研究を進めた。橋渡し後期研究としてIoT環境における製品や製造工程へのサイバー攻撃を防ぐための保護・検知・復旧に関する技術の研究、橋渡し前期研究としてサイバーフィジカルソフトウェア工学、目的基礎研究として高機能暗号技術や次世代IoTアーキテクチャにおけるセキュリティの研究など、ポートフォリオを組んで研究を進めた。その中でも高機能暗号技術の研究においては、量子コンピュータへの耐性を持つ耐量子暗号の研究において極めて優れた成果を達成した。量子コンピュータが実現されると、現在広く使われている公開鍵暗号やそれを基にした高機能暗号は簡単に解読や偽造されてしまう。量子コンピュータでも解読できない高機能暗号を実現する技術として、「格子暗号」と呼ばれる暗号技術が現在活発に研究されているが、その公開鍵サイズが現在使われている公開鍵サイズに比べてはるかに巨大となるため、安全なメモリが多量に必要となるなど、実環境適用への不安が指摘されていた。今回格子暗号のアルゴリズムを工夫することで、公開鍵サイズをこれまでの約10%に削減することができた。また、現在の計算機環境で格子暗号の解読がどの程度困難かを示すことは重要であるが、格子暗号が安全である根拠の1つとなっている数学的問題SVP (shortest vector problem)が、現在のハードウェアとソフトウェアを駆使してどこまで解けるかのコンテストであるSVP Challenge (ダルムシュタット工科大主催)で、これまで自身で持っていた世界記録を150次元にまで更新した。

「価値ある情報コンテンツの創出と利活用を促進するコンテンツ技術」については、生産者と消費者をつなぎ社会の創造性を高めることを目的とし、生産者の知識・経験・技術を補いながら情報コンテンツの創出を容易にして価値創出を支援する技術と、消費者の鑑

賞・検索・推薦・ブラウジング等を多様化して情報コンテンツの価値向上を支援する技術の研究開発を進めた。JST CREST 採択課題「コンテンツ共生社会のための類似度を可視化する情報環境の実現」において、(1) 膨大なコンテンツがある状況下でいかに鑑賞を支援するか(鑑賞技術)(2) 人々が気軽に楽しめる形でいかに創作を支援するか(創作支援技術)(3) 類似度、ありがち度をいかに求めるか、より深い音楽理解をどう実現するか(類似度・ありがち度の推定と音楽理解技術)の3課題について、研究開発を行った。これらの研究成果により、パクリや自動生成とは異なる、コピーが不可能な能動的体験に基づく、新たな産業上の価値を生み出すことを狙う。

内部資金：

「パスワードを用いた匿名認証/属性認証技術の国際標準化」

外部資金：

経済産業省 基準認証政策推進費 工業標準化推進事業委託費「平成28年度工業標準化推進事業委託費(戦略的国際標準化加速事業(国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業：クラウドセキュリティに資するバイオメトリクス認証のセキュリティ評価基盤整備に必要な国際標準化・普及基盤構築))」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト/省電力AI エンジンと異種エンジン統合クラウドによる人工知能プラットフォーム」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) / 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保/(b1) 認証制度の設計」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)「音楽を中心とした類似度可視化情報環境の実現と全体統括」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(ACCEL)「次世代メディアコンテンツ生態系技術に関する研究開発と全体統括」

国立研究開発法人科学技術振興機構 国際科学技術協力基盤整備事業「偽造困難なデバイスを用いたIoTセキュリティ管理システム」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(CREST)「汎用秘匿化依頼計算アルゴリズムの

理論設計」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(さきがけ)「大規模ゲノム情報の安全な統合分析を実現する超高機能暗号」

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム ハイリスク挑戦(A-STEP)「テスト技法 FOT の支援ツール開発、技法の拡充、及び実証実験による実用化研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究(B)「安全な協調ロボット制御ソフトウェア開発方法の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究(B)「サイバーエスピオナージを防止するデバイス管理技術」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究(B)「Linked Open Data 利活用のためのクエリ共有手法に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究(B)「短い秘密情報に基づいた認証技術と鍵管理技術に関する研究開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 研究活動スタート支援「サイバーフィジカルシステムからの情報漏洩の定量的解析」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 研究活動スタート支援「認知的尺度に基づく動画の検索および発信の支援に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 特別研究員奨励費「ビッグデータ利活用を促す高機能暗号・ゼロ知識証明の自動設計手法に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究(C)「次世代メモリのソフトウェア・エミュレーション技術の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 挑戦的萌芽研究「ビッグデータ処理の形式検証に向けて」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 挑戦的萌芽研究「Test Mining : リポジトリマイニングによる組み合わせテスト品質最適化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 若手研究 (B)「クラウドサービスに適した階層型計算委託に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 若手研究 (B)「Development of Practical and Error-Resilient Encryption and Authentication Mechanisms for Cloud-based Security Systems」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 若手研究 (B)「多ユーザ関数型準同型署名の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 若手研究 (B)「信頼できる機関を仮定しない空間統計データ構築技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (B)「検索をベースとした大規模ソフトウェアの変更解析に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (B)「第三者による安全性検証が容易な暗号技術の包括的設計手法に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (B)「超広帯域 I/O を想定したアーキテクチャの検討」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (B)「機械学習における統計的安全性の理論」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (C)「多種センサとクラウドを活用した分散リアルタイム機械学習処理基盤」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (C)「次世代暗号の実用化を支える新たな高度鍵更新手法の設計と安全性評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究補助金 基盤研究 (B)「実行時検証とモデル検査の融合によるネットワークソフトウェアの統合実行監視」

発 表：誌上発表147件、口頭発表185件、その他11件

メディアインタラクション研究グループ
(Media Interaction Group)

研究グループ長：濱崎 雅弘

(つくば中央第2)

概 要：

メディアインタラクション研究グループでは、さま

ざまなメディアコンテンツ（音楽、動画、テキスト、ユーザ活動、実世界デバイス等）を対象に、人々の生活の豊かさの向上に資するメディアインタラクション技術を研究開発している。具体的には、コンテンツの創出と利活用を促進し、生産者と消費者をつないで社会の創造性を高めることを目的とし、生産者の知識・経験・技術を補いながらコンテンツの創出を容易にして価値創出を支援する技術と、消費者の鑑賞・検索・推薦・ブラウジング等を多様化してコンテンツの価値向上を支援する技術を開発している。そのためのメディア処理技術やインタラクション技術等を研究開発し、音楽情報処理、歌声情報処理、ヒューマンコンピュータインタラクション、ウェブサービス、信号処理、機械学習、検索・推薦、コンピュータグラフィックス・アニメーション、視覚化・聴覚化、クラウドソーシング、コミュニティ分析・支援、大規模データ処理等に関して、基礎研究から応用研究まで幅広く取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

サイバーフィジカルクラウド研究グループ
(Cyber Physical Cloud Research Group)

研究グループ長：高野 了成

(つくば中央第1)

概 要：

人工知能 (AI) 技術革新による産業の変革や、高齢化社会、災害、テロなどの社会不安に伴う安心安全な社会の要求を受けて、AI・IoT (Internet of Things) ・ロボット技術を活用した超スマート社会の実現が期待される一方で、増大する一途のデータをデータセンタにて処理する際の効率化、高性能化が喫緊の課題となっている。当グループでは、上記の課題の解決を目指し、2030年の情報処理を支える次世代データセンタに関するアーキテクチャ、システムソフトウェア、及び分散コンピューティング技術に関する研究開発を行う。

特に次世代データセンタアーキテクチャに関しては、アプリケーション毎に適材適所で GPU (Graphics Processing Unit) や FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の処理エンジンやストレージコンポーネントを組み合わせたシステム構成を動的に構築する「フローセントリックコンピューティング」の概念を提案している。まず、この概念を実証するためのオペレーティングシステム及びプログラミングミドルウェアに関する研究開発を橋渡し前期研究として推進する。さらに、国内外の研究機関との連携を積極的に進め、ポストムーア時代に向けたシステムソフトウェア研究を先導する研究ハブとなることを目指す。

研究テーマ：テーマ題目2

サイバーフィジカルウェア研究グループ

(Cyber Physical Architecture Research Group)

研究グループ長：大岩 寛

(つくば中央第1)

概要：

15～20年後、IoT（モノのインターネット）やサイバーフィジカルシステム（CPS）が不可欠の社会基盤として定着する近未来を見据えて、一兆規模の膨大なセンサ等による全世界規模のシステムを安全に連携させ動作させる IoT 基盤システムの構築手法を研究する。

我々の日々の生活が大規模な IoT/CPS に依存することになる近未来、その根底を構成するインターネットには、現在とは桁違いに膨大なセンサを創り出す情報の奔流を把握・制御し、サービスを安全かつ大規模に連携させることが求められる。また、システムの誤動作は人の暮らしや生命の危険に今以上に直結するため、現在より格段に高いシステムの動作の安全性・信頼性が求められる。

当グループは、一兆規模の IoT システムを実現する、サービス・センサ・ネットワーク運用の統合された新しいアーキテクチャの検討を行うとともに、IoT 基盤の安全性を根底から支えるソフトウェアの高信頼化のためのソフトウェア検証などの基盤技術の実用化に注力する。

研究テーマ：テーマ題目3

サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ

(Cyber Physical Security Research Group)

研究グループ長：大崎 人士

(つくば中央第1)

概要：

工場やプラント等のネットワークから切り離されたシステムは、標的型メールのようなサイバー攻撃では直接的な影響は受けにくいものです。クローズシステムのセキュリティレベルを低下させる手段としては、例えば、ヒトやモノのある物理（フィジカル）空間でのシステム障害や人災を契機に、サイバー空間が実被害を及ぼすといった、サイバーフィジカル世界への多段攻撃が有力です。サイバーフィジカルセキュリティ研究グループでは、異常状態に陥ったシステムを超高速に機能回復させる技術開発、システムが満たすべきセキュリティ要件を自動分析する技術の開発を行っています。

研究テーマ：テーマ題目4

ソフトウェアアナリティクス研究グループ

(Software Analytics Research Group)

研究グループ長：森 彰

(関西センター)

概要：

IoT (Internet of Things) やサイバーフィジカルシステムを司る高信頼ソフトウェアを開発するための技術に関する研究を行う。具体的には、高信頼化のための技術として、1) 複雑システムを形式的にモデル化し検証する技術、2) モデルに基づき効率よくテストを設計・実施するモデルベーステストの技術、3) ソースコードを含む開発成果物の間の関係を追跡可能にして解析し、開発プロセスを通じてシステムの信頼性を向上させるシステムトレーサビリティの技術、の開発に取り組み、多様な側面からサイバーフィジカルシステムの信頼性を高める研究を行う。また、昨今のセキュリティやプライバシーに関する懸念に対処するために、ネットワーク接続される IoT デバイス（センサやロボット・家電や自動車など）の脆弱性を検知して修復する自動化技術にも取り組む。研究にあたっては、具体的な問題を取り上げ、大規模システムに対しても適用可能なスケーラブルな技術の確立を目指す。

研究テーマ：テーマ題目5

高機能暗号研究グループ

(Advanced Cryptosystems Research Group)

研究グループ長：花岡 悟一郎

(臨海副都心センター)

概要：

領域が研究開発を推進する安心して利用できるサイバーフィジカルシステムの実現に向けた暗号技術として、関数暗号、準同型暗号等に代表されるような、新機能をもつ暗号技術に関する研究を行う。また、量子計算機を有する攻撃者など、現在想定されているものより一段と高度な攻撃モデルにおける安全性について、その実現に向けた目的基礎研究を推し進める。さらに、既存技術の安全性評価を行い、それらの厳密な安全性レベルを明らかにする。たとえば、安全性が未証明なものについて、厳密な数学的安全性証明を与えたり、もしくは、具体的な攻撃方法を提示したりする。これらの研究を主に理論研究の立場から行い、次世代セキュリティ技術を実現していくための盤石な基盤作りを行うことを大きな目的とする。平成28年度に関しては、昨年に引き続き、有用な新機能を持つ暗号技術である高機能クラウド暗号に関する研究開発を進めるとともに、従来の暗号技術についても高安全化・高効率化するための手法について研究を行う。特に、これまでの研究を発展させ、プライバシー保護が可能なデータ処理秘匿化技術の開発を進める。また、さまざまな暗号技術について詳細な安全性解析を行う。

研究テーマ：テーマ題目6

住友電工業総研サイバーセキュリティ連携研究室
(SEI-AIST Cyber Security Collaborative Research Laboratory)

連携研究室長：森 彰

(関西センター)

概要：

近年、サイバー攻撃の増加・巧妙化は激しくなる一方で、ネットワークにつながる製品に要求されるセキュリティ技術・品質の確立やサイバーセキュリティに通じた専門技術者・開発者の育成が急務となっている。本連携研究室では、住友電工の各事業領域（情報通信、自動車、環境エネルギー、エレクトロニクス、産業素材）におけるネットワークに接続される電子製品群を対象に、サイバー攻撃への対策技術について研究を行う。特に、産総研の保有する暗号技術、組込みシステム高信頼化技術等を適用したIoTセキュリティ技術を中心的な技術と位置付け、住友電工の主力製品である自動車・交通関連のセキュリティや、自社の工場生産設備のセキュリティを対象に実証実験を行い、技術課題を抽出し、実用化に向けた開発を進めていく。

[テーマ題目1] クリエイティビティ・イネープリング技術の研究

[研究代表者] 後藤 真孝（メディアインタラクシオン研究グループ）

[研究担当者] 後藤 真孝、濱崎 雅弘、中野 倫靖、
深山 覚、加藤 淳、佃 洗摂、
尾形 正泰（常勤職員7名）

[研究内容]

本研究は、情報技術の力でコンテンツの能動的な創作・鑑賞体験を可能にすることで、新たな価値を生み出すことを目的とする。従来のコンテンツ産業では、生産者が創作したコンテンツを消費者が受動的に鑑賞する枠組みが中心で、人々が高い価値を感じる体験を効果的に生み出せていない問題があった。そこで本研究は、「その人ならではの能動的な体験は高い価値を持つ」という独自の仮説に基づき、創作と鑑賞の両面の支援によってそうした能動的体験を可能にするクリエイティビティ・イネープリング技術を実現することで解決する。

平成28年度は以下の研究開発を行った。まず、コンテンツへのインタラクティビティ付与技術として、プログラム実行中に内容を変更できるライブプログラミングの技術を応用することで、プログラミングの知識がなくてもプログラムの振る舞いを自分好みに変更できる技術「Live Tuning」を実現した。既に、ユーザが楽曲に合わせて歌詞をアニメーション化できる歌詞アニメーション制作支援サービス「TextAlive」と、レーザーカッターで切断したアクリル板などを組み合わせ、センサやアクチュエータを配置して新しいハードウェアのインタフェースを備えたマイコンアプリケーションを制作できる統合開発環境「f3.js」の両者を実装済みで、誰でも利用可能になっている。次に、コンテンツ自動生成に基づく支援技術として、3次元 CG キャラクタのダンスアニメー

ション自動生成サービス「Songroid」を実現した。機械学習と自動生成技術の組合せによって音楽に対してダンスの振付けを生成し、そのダンスを Web ブラウザ上でリアルタイムにレンダリングして3次的に視点を変えて鑑賞することができる。

一方、コンテンツ利活用を促す能動的鑑賞支援技術としては、膨大な音楽コンテンツを俯瞰的に鑑賞できる音楽視聴支援サービス「Songrium」の研究開発を進め、実証実験のために一般公開をしながら機能拡張して発展させた。これは大規模データを活用した新しい能動的音楽鑑賞を実現することを目指しており、Web マイニング技術・インタラクシオン技術・音楽理解技術を融合して様々な機能・インタフェースをこれまでに実現してきた。平成28年度は「Songrium 生成力ランキング」「Songrium Summary」「Songrium コメント分析」の三つの機能を新たに開発して公開した。Songrium 生成力ランキングは、コンテンツを生み出す力のランキングを表示できる機能であり、派生動画の自動収集により派生作品が多く作られる楽曲を見つけ出すことを可能にした。「Songrium Summary」は、言語圏ごとに分類され時系列で整理された派生動画を俯瞰できる機能であり、派生動画が短期間に大量に生まれる現象を時系列分析することを可能にした。さらに、「Songrium コメント分析」は、動画に対する視聴者の反応を利用して自分好みのランキングを生成する動画検索システムであり、動画共有サービスの膨大な動画の中からユーザの望む動画を発見するような検索を支援することができる。これは、視聴者の反応を動画に投稿された時刻同期コメントから抽出し、機械学習を用いることで膨大なコメントの中から検索に有用なコメントを推定することで実現した。これにより、従来のタイトルやタグに含まれる語に基づく動画検索を超えた直感的な検索が可能になった。

[領域名] 情報・人間工学

[キーワード] メディアインタラクシオン、音楽情報処理、ヒューマンコンピュータインタラクシオン

[テーマ題目2] フローセントリックコンピューティングの研究

[研究代表者] 高野 了成（サイバーフィジカルクラウド研究グループ）

[研究担当者] 高野 了成、池上 努、須崎 有康、
田中 哲、Haga Jason、広瀬 崇宏
(常勤職員6名)

[研究内容]

データセンタに蓄積・処理されるデータの量は増加の一途を辿っており、このような大規模データを持続可能な形で利活用するためには、データ処理におけるエネルギー効率を、今後10～20年の間に10～100倍に高めていく技術が強く求められている。本研究では、大規模デー

タ処理の飛躍的な高効率化を目指し、2030年に実現される次世代データセンタアーキテクチャに向けた技術ロードマップの提示と共に、2020年頃のデータセンタを支えるシステムソフトウェアにおける要素技術の研究開発を目的とした。この目標に対して、我々はアプリケーション毎に適材適所でGPUやFPGA等の処理エンジンやストレージコンポーネントを組み合わせたシステム構成を動的に構築する「フローセントリックコンピューティング」の概念を提唱してきた。

平成28年度は以下の研究開発を行った。まずフローセントリックコンピューティングの実証に向けて、異種・複数のAIエンジンノードを自在に結合して、アプリケーションに最適化した実行環境（スライス）を構築できるコンピューティング基盤Flow in Cloud (FiC)の研究開発に着手した。具体的にはFiCの資源管理を行うFlow OSの概念設計を完成させ、下記の通りFlow OSの試作を実施した。(1) ユーザの要求に応じてスライスを作成・破棄するApache Mesosベースの資源管理システムの開発。(2) スライスに対してアプリケーションに最適化した実行環境を提供するコンテナ技術Bare Metal Containerの開発。(3) Flow in Cloudを模擬した、PCIe over Ethernetベースの動的ハードウェア再構成環境の構築。成果に関しては、国際会議IEEE NOCS 2017、IEEE HPC 2017で論文発表した他、Bare Metal Containerに関してはオープンソースソフトウェアとして公開した。また、高電力効率大規模データ処理実用化の機運を涵養するために、エレクトロニクス・製造領域と共にIMPULSEコンソーシアムの設立準備を行った。

上記に加えて、昨年度までに開発した不揮発メモリ(STT-MRAM)とDRAMを動的に使い分けることで消費電力を削減するハイパーバイザ機構RAMinateの評価実験を進め、システムソフトウェア分野におけるトップ会議ACM SoCC 2016で最優秀論文賞を受賞した。

[領 域 名] 情報・人間工学

[キーワード] ビッグデータ、データセンタ、オペレーティングシステム、不揮発メモリ

[テーマ題目3] ソフトウェア高信頼化の研究

[研究代表者] 大岩 寛 (サイバーフィジカルウェア研究グループ)

[研究担当者] 大岩 寛、Reynald Affeldt、
小方 一郎、今福 健太郎、
川本 裕輔、磯部 祥尚 (常勤職員6名)

[研究内容]

センサで得られた情報を元にコンピュータが判断し、ロボットなどを通じて実世界の制御を行うサイバーフィジカルシステムの概念は、IoTの発展とともに今後5年で急速に日常空間にも浸透すると考えられる。現在においても、ロボット制御が導入されている工場やプラント、電力基盤などの大規模な制御システムにおいては、ソフ

トウェアの信頼性の欠如による誤動作や、弱点を突くサイバー攻撃による情報盗難・プラント暴走などが、既に極めて深刻な問題となっており、IoTの普及はこれらの問題が我々の生活空間まで直接的に持ち込まれることを意味している。2030年のIoT/CPS全盛時代を安心して暮らせるものにするためには、このような問題を抜本的に解決することが求められる。

ソフトウェアの高信頼化には、その規模や求められる信頼性の度合いに応じて複数の手段があり、それらの中からコストや信頼の度合いを勘案して適したものを選択し、組み合わせて用いる必要がある。その中で、システム検証によるソフトウェア信頼性保証技術は、ソフトウェアの信頼性そのものを数学的定理として形式化し、その信頼性証明を厳密な論理証明として実現するもので、システムごとに異なる多様な信頼性の目標に対して、他の手法に比べて極めて厳密かつ柔軟にその保証を行える一方で、証明を得るコストの高さが問題となる。本テーマでは、ここ15年ほどの機械定理証明の基礎技術の大幅な発展を背景に、具体的なソフトウェアに対する信頼性証明技術の共通基盤化・利便性の強化などを図ることで、実用的なコストでのソフトウェア信頼性の型式証明技術の確立を目指す。

平成28年度は、特に技術のIoT/CPSに関係するシステム制御やビッグデータ処理のソフトウェアへの技術適用可能性の強化のため、ビッグデータ処理のためのデータ構造、セキュリティ処理のための数値演算、ロボットなど物理的な動作を含む工学系の性質などについての形式記述基盤の整備を行うとともに、統計的なデータ処理や確率的振る舞いの含まれるソフトウェアについて、その信頼性や情報の流れなどを形式的な解析基盤上で取り扱う技術についての研究を進めた。また、従来型のフォン・ノイマン型計算による情報処理形態とは異なる計算パラダイムとして、新型量子計算機や、ニューロ計算に基づく人工知能などについても、動作の正しさや安全性への要求が今後増してゆくことを想定し、セキュリティ・信頼性の脅威などについての分析や、既存の安全性保証技術の応用手法の検討を行った。

[領 域 名] 情報・人間工学

[キーワード] ソフトウェア信頼性、形式検証

[テーマ題目4] 組込みシステムセキュリティの研究

[研究代表者] 大崎 人士 (サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ)

[研究担当者] 大崎 人士、秋葉 澄孝、坂根 広史、
佐藤 豊、瀬河 浩司、竹内 泉、
戸田 賢二、半田 剣一、青木 尚、
辰野 功、諸藤 力
(常勤職員8名、他3名)

[研究内容]

クローズ系システムを構成する末端の機器やセンサは、

その役割のために防護区域外に配置されて運用することが多く、障害が発生します。末端の機器やセンサが意図通りに動作しないと、その影響はシステム全体に及び、システム全体の機能低下やシステム停止を引き起こします。末端では機器自体の防護が手薄なため、自然放電や自然界の電磁波といった自然界にある外乱によって機器内のマイクロ・コンピュータ（以下、マイコンと呼ぶ）が誤動作を起こすことが知られています。人為的に高出力電磁波や高電圧パルスが機器に加えられて、マイコンが暴走することもあります。マイコンから漏洩する微弱電磁波を解析されて、暴走を誘起するタイミングと箇所が特定されると、システムに致命的な障害が発生することもあります。サイバーフィジカルセキュリティ研究グループでは、マイコンが異常状態に陥った時に、数ミリ秒で機能回復させるソフトウェア技術を開発しています。また、マイコンが異常状態に陥るメカニズムを分析するための物理セキュリティの研究も行っています。

特定の環境を想定してシステムを運用する場合、システムが満たすべきセキュリティ要件が多数あります。システムを運用する事業者は、システムの運用レベルやセキュリティレベルを維持するために、セキュリティ管理策を選択します。選択すべきセキュリティ管理策の妥当性や十分性を検証するためには、自身の管理策と他の管理策の抽象度をそろえて、突合比較する必要があります。サイバーフィジカルセキュリティ研究グループでは、管理策の突合分析を支援するソフトウェアツールを開発しています。このツールは、自然言語処理技術や統計処理技術を用いることで、分析対象から抽出したキーフレーズを元に各管理策の特徴量を決定し、それを元に管理策群を階層的に構築し直す、あるいは既存の構造に振り分ける、という機能を持ちます。これにより、管理策の構造の分析や、管理策の粒度の統一を支援することができます。セキュリティ要件をソフトウェアにより解析できると、人的コストを大幅に削減できて、見落としを減らせることが実験的に判明しています。

【領 域 名】情報・人間工学領域

【キーワード】組込みシステム、分析設計支援自動化、高レジリエンス、超小型 OS

【テーマ題目5】サイバーフィジカルソフトウェア工学の研究

【研究代表者】森 彰（ソフトウェアアナリティクス研究グループ）

【研究担当者】森 彰、和泉 憲明、西原 秀明、山形 頼之、Cyrille ARTHO、崔 銀恵、北村 崇師、田口 研治、相馬 大輔、井上 純（常勤職員7名、他3名）

【研究内容】

さまざまなデバイスがネットワーク接続され、地球規

模での最適制御が行われる将来の IoT 環境を想定したソフトウェア開発の手法について研究を行っている。特に、現実空間と仮想空間にまたがるサイバーフィジカルシステムをどのようにテストするか、そして、発見された不具合をどのように修正するか、という点に着目して研究を進めている。2030年には1兆個の規模の IoT デバイスが稼働するとも言われている。このようなシステムを人手で維持・管理することは不可能であるため、不具合の修正や軽微な機能拡張は、多くの部分をクラウド経由で自動化することが必要となるであろう。こうしたプログラミング作業の自動化のために必要な基礎技術の研究にも取り組んでいる。社会インフラの多くの部分が IoT に依存するに従い、セキュリティも大きな問題になってきている。この点に関し、大規模で複雑なシステムの安全性を向上させる開発手法や、脆弱性を早期に発見し迅速に修復する技術について研究を行っている。こうしたソフトウェアの不具合を仮想環境で同定するために、シミュレーション技術と連携した実行時監視の技術についても取り組んでいる。

平成28年度は、従来から研究を行ってきたモデルベースのテスト設計技術のうち、組み合わせテスト設計について、テスト項目の重み付けを考慮する手法の研究を行った。テストすべきソフトウェアの実行条件の組み合わせを、その重要性に応じて選び出すことで、より実効性の高いテストを行うことができることを示した。また、組み合わせテストの実行結果から、不具合を含むパラメータ値の組み合わせを推定する不具合組み合わせ特定の問題にも取り組んだ。ロジスティック回帰分析を用いることで、不具合を特定するための有効な手法であることを実証した。一方、ソフトウェアモデル検査の技術については、広く利用されているオープンソースの分散処理ソフトウェアについて、システムの動作を定義した状態遷移モデルを参照しながら、さまざま実行シナリオを網羅的に探索することで、これまでに知られていなかった不具合を発見した。

明らかになった不具合の原因を同定する手段としては、ソースコードの変更を構文解析木の差分計算によって正確に再構成し、編集系列を分割・統合して適用することで、テスト結果の反転を引き起こした編集操作を自動的に同定する差分デバッグの技術が有効である。Java プログラムを対象にした昨年度までの取り組みを継続し、オブジェクト指向言語に特有の依存関係を考慮した編集操作のグループ化を行うことで、数万行規模の大規模プログラムについて、回帰バグの原因となったソースコード変更箇所をピンポイントで自動同定することが可能になった。

具体的なサイバーフィジカルシステムの不具合を発見する技術としては、産総研で開発を進めているヒューマノイドロボットの制御ソフトウェアを対象に、実行時の浮動小数点例外の発生を選択的に同定するツールを開発

した。ツールの運用を通じ、ロボット動作のリアルタイム性を損なうことなく、深刻な障害を引き起こす可能性のある不適切なコードを同定することができた。こうした不適切な浮動小数点計算が引き起こす不具合は、再現性が低く原因の同定が困難であることが多いため、開発ツールはシステムの信頼性向上に大きく寄与するものと期待される。新たな試みとして、サイバーフィジカルシステムの実行ログから、機械学習により異常動作を発見する手法の研究にも取り組んだ。実際に稼働している自動運転システムの大規模ログを用いた実験を行い。既存の手法よりも高い精度で異常動作を発見できることを示した。

ソフトウェアそのものの品質を検査するだけでなく、ソフトウェアを開発するプロセスを改善することでも、システムの信頼性を向上させることができる。この観点から、ソースコードに限らず、要件定義書やテスト仕様書などの様々な成果物間の関係を明示的に定義することで、不具合の発生やシステム変更に伴う修正を整合的に行うトレーサビリティ技術の開発を進めた。システムの安全性・信頼性評価のための規格を取り上げ、トレース可能とすべき成果物間の関係を定義したモデルの記述と、これに基づく評価プロセスの分析を行った。

【領 域 名】情報・人間工学領域

【キーワード】IoT、サイバーフィジカルシステム、高信頼ソフトウェア

【テーマ題目6】高機能クラウド暗号技術の研究

【研究代表者】花岡 悟一郎(高機能暗号研究グループ)

【研究担当者】花岡 悟一郎、縫田 光司、辛 星漢、Nuttapong Attrapadung、松田 隆宏、Jacob Schuldt、村上 隆夫、山田 翔太、照屋 唯紀、坂井 祐介(常勤職員10名)

【研究内容】

現在までに暗号技術は非常に高度な発展を遂げているが、その一方で、ネットワークサービスの目覚ましい進歩に必ずしも追いついておらず、さらなる研究開発の必要性が指摘されている。特に、パーソナルデータなどの機密情報のクラウドを介した利活用により、一層高度な情報サービスの創出が期待されているが、その際、十分に利用者のプライバシーを保護しながら、それらの機密情報の高度利用を可能とする暗号技術は知られていない。たとえば、利用者のゲノム情報を秘匿にしたままで、ゲノム情報に基づく疾病リスクの診断が可能となれば、プライバシーの侵害を受けることなく高度な医療サービスを受けることができるが、従来の暗号技術での実現は困難である。

本研究の目的は、この問題を根本的に解決する新技術TTP フリークラウド暗号を実現することにある。TTPフリークラウド暗号とは、信頼できる機関(TTP)が不

要であることに加え、下記の要件①～③に応える方式となっている：要件① 暗号化したままデータ処理が可能。要件② 復号権限を複数の利用者に柔軟に付与することが可能。要件③ 量子計算機のような強力な攻撃環境に対しても高度な安全性が保証される。

上記の目的に対し、本研究においては、準同型暗号や関数型暗号の高安全化・高効率化を推し進め、得られた結果を統合することを基本的な方針とする。その際、関数型暗号においては原理的にTTPが必要となることから、代理再暗号等に関する理論を応用することで、関数型暗号からTTPの必要性を取り除くことを試みる。また、設計を行う方式の安全性評価を行う際、なるべく強固な安全性定義を設計し、その下での安全性証明を行う。さらに、安全性証明においては、量子計算機を用いたとしても求解が困難と予想される数学的問題の困難性に基づくものとなるように方式設計を行う。

平成28年度は、完全準同型暗号や関数型暗号の数学的構造の基盤となる格子暗号について、その公開鍵サイズを大幅に削減する手法について提案を行った。この手法を用いることで、ある適切なパラメータ設定の下で、公開鍵サイズが従来の10%程度にまで削減可能となる。この成果は、暗号理論におけるトップ会議のひとつであるEUROCRYPT 2016に採録となっている。また、関数型暗号の高効率化・高安全化に関し、適応的安全性と呼ばれる高度な安全性を従来方式よりも効率的に達成する一般的手法の提案を行った。この成果も、暗号理論におけるトップ会議の一つであるASIACRYPT 2016に採録となっている。これらの成果を含め、本年度はGoogle Scholar サブカテゴリ Top20に含まれる国際会議において18件の成果の発表を行っている。また、IF付きジャーナルにおいても17件の成果が出版されている。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】高機能暗号、公開鍵暗号、証明可能安全性

③【人間情報研究部門】

(Human Informatics Research Institute)

(存続期間：2015.4～)

研究部門長：持丸 正明

副研究部門長：兵藤 行志、車谷 浩一

総括研究主幹：倉片 憲治

所在地：つくば中央第1、第2、第6、東事業所、
臨海副都心センター

人 員：73名(73名)

経 費：639,077千円(366,641千円)

概 要：

人間情報研究部門では、人間の脳から感覚、身体、

行動、社会参加に至るまでの人間機能を理解し、その個人差を把握した上で、製品・サービス・社会を人間中心視点で構成するための研究を推進している。特に、日常生活の様々な製品にセンサが内蔵され、インターネットに接続される IoT (Internet of Things) の時代を見据え、生活における人間の状態や特性を身の回りのセンサで観測し、個人の特性や状況に応じたサービス提供によって、製品の使用価値を高めるための研究を行う。これは、平均的な人間特性に合わせた画一的な製品を提供するのではなく、観測した特性データに応じたカスタマイズを可能とする製品とサービスの融合ソリューションを提供することを指向する。このような製品とサービスの融合は、製品の付加価値を高めるだけでなく、従来の画一的な製品では十分に配慮しきれなかった子どもや高齢者、障がい者など多様な特性を持つ人々の生活を支えるものとなる。

このような研究の推進のために、人間情報研究部門では3つの特徴のある研究アプローチを獲る。(1) 第一は、人間機能の研究と情報技術の統合である。人間機能を深く理解することは重要であるが、それをセンサやクラウド技術と統合し、製品とサービスの融合ソリューションに繋げることを指向したアプローチを獲る。(2) このために、ディープデータとビッグデータの連携を意識した研究を推進する。ディープデータとは、人間機能の精密で詳細なデータであり、実験室や実験的環境で専門的に収集されるものである。質は高い一方、被験者数や条件数などは限られることになる。このディープデータを数理・統計モデル化し、それをIoTで蓄積される人間特性のビッグデータと連携させる。ビッグデータは膨大な被験者数と条件数を網羅できる一方で、測定できる特性の種類やデータの質には限界がある。ディープデータとビッグデータを連携させることで、それぞれの不足を補い、ビッグデータ解析だけでは得られない人間機能の推定と応用を目指す。

(3) このような製品とサービスの融合ソリューションが社会の中で持続的に提供されるために、これらの研究を企業や医療機関、自治体などとの共同研究として実施し、経済的・環境的・人的な継続性を念頭に置いて研究を進める。すなわち、人間情報研究の要素技術研究とは、人間と社会を研究対象とし、それらを「観測」する技術、観測したデータを「分析・モデル化」する技術、その結果を再び人間と社会に「提示」するインタフェースの開発を意味する。ここで、観測・分析によって得られた人間と社会に対する新しい知識そのものも重要な成果物である。われわれは、実験室で得られたディープデータと、観測技術を実社会サービス展開して蓄積されるビッグデータを連携させて、製品とサービスの融合ソリューション提供を実現する。そのソリューションとは、幅広いユーザに対して安全で快適な生活を実現すること、さらに、その健康を維

持し、身体機能等を支えて生活機能を守ること、そして、人々が社会に貢献し、社会から認知される喜びを享受できるようにすることである。

このような人間情報研究を支えるために、人間情報研究部門には10の研究グループを設置している。その研究グループは、大きく3つの研究分野として位置付けられている。情報技術-人間生活工学-脳科学である。情報技術と人間生活工学にまたがる研究を所掌するグループとして、サービスに関わる人の行動等の観測とモデル化技術を研究する「サービス観測・モデル化研究グループ」、それらのデータを活用してサービスプロセスやエコシステムの設計を支援する「サービス設計学研究グループ」、また、人間の身体・行動特性を数理・統計的にモデル化し設計に活用したりサービスに組み込んだりする研究を担当する「デジタルヒューマン研究グループ」がある。人間生活工学と脳科学にまたがる研究を所掌するグループとして、身体・感覚系と製品・環境のインタフェースを研究する「人間環境インタラクション研究グループ」、障がい者の生活支援を主として身体機能的観点で研究する「身体適応支援工学研究グループ」と感覚機能的観点で研究する「感覚知覚情報デザイン研究グループ」を設置している。さらに、これらの人間生活工学と脳科学を繋ぐ生活場面での脳機能計測研究を担当する「脳機能計測研究グループ」がある。脳科学と情報技術にまたがる研究は、ニューロリハビリテーションなどへの展開を見据えた目的基礎研究として脳機能の解明を進める「システム脳科学研究グループ」、脳機能計測と情報技術を統合したBMI (Brain Machine Interface) 技術などを研究する「ニューロテクノロジー研究グループ」、さらに、人間の脳の機能的構造を参考としながら人間機能ビッグデータのモデル化技術としての機械学習技術を研究する「情報数理研究グループ」を置く。

平成28年度では、これらのグループがグループ間、さらには、部門を越えて内外と連携しながら、以下の研究を重点課題として推進した。

a) サービス工学: サービスに従事する従業員の業務を自動化する研究ではなく、従業員や経営者、場合によってはサービスに参加する消費者の能力を拡張することで、サービス提供を効率化しつつ、その提供価値を引き上げることで、サービスの生産性を向上させるための基盤技術研究と、その適用実証研究を推進する。

b) 組み込み型デジタルヒューマン: 人間機能ディープデータを蓄積・モデル化し、そのモデルであるデジタルヒューマンをシステムに組み込んでインタフェース化することで、個人の特性や状況に適応したサービスを提供するための基盤技術研究と、その実用化研究を推進する。

c) 食べる楽しみの回復技術: 健康は、休養(睡眠)、食事、運動のバランスで形成される。人間情報研究部

門では、食事にも焦点を当て、嚥下・摂食機能の評価と支援、さらに食べる楽しみを回復させるための技術を研究する。

d) アクセシブルデザイン: 高齢者や障がい者の視覚、聴覚機能の多様性を示すデータベースと、これらに配慮して製品・環境を設計するための研究を推進する。特に、国内外の標準を活用しながら社会実装を推進するアプローチに特徴がある。

e) ニューロコミュニケーター: 発話や身体運動での意思伝達が困難な患者に対して、脳波で意思伝達できる技術開発と実証研究を推進する。同装置を用いて、消費者の潜在的な注意状況を評価できる可能性があり、市場調査への適用も研究する。

f) ニューロリハビリテーション: 脳卒中などで脳機能が損傷した場合、脳の可塑性を活かして新しい神経回路網を構成することで、身体機能を回復させるニューロリハビリテーション研究を推進する。このために動物実験等で回復目標となる神経回路網を明らかにする研究、脳機能計測により回復過程を可視化する研究、さらに、目標に向けた回復を加速する介入技術の研究を総合的に行う。

内部資金:

交付金 標準基盤研究

光学的応力イメージング技術の標準化

交付金 地域産業活性化人材育成事業

ランニングにおけるパフォーマンス向上及び怪我予防のための動作評価技術の開発

交付金 地域産業活性化人材育成事業

身体拘束を最適化する動的装具設計手法の開発 2
—装具荷重による姿勢維持モデルの評価手法の開発—

交付金 萌芽構築支援事業

車輪による移動物体の(GPSによらない)測位技術

交付金 戦略予算: 理研—産総研「チャレンジ研究」

運動による遺伝病情報制御の解明と応用-仮想現実とロボティクスの融合による高度高齢化社会支援の社会実装

交付金 戦略予算: 理研—産総研「チャレンジ研究」

量子技術と機械学習の融合による革新的計算基盤の創成

外部資金:

経済産業省 平成28年度工業標準化推進事業委託費(戦略的国際標準化加速事業(国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業: アクセシブルデザイン(AD)製品及びその認証に関する国際標準化・普及基盤構築))

文部科学省/国立大学法人東京工業大学

ハイパフォーマンスサポート事業(パラリンピック競技「B 研究開発プロジェクト」)

農林水産省農林水産技術会議事務局 食料生産地域再生のための先端技術展開事業

貝類養殖業の安定化、省コスト化・効率化のための実証研究

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 次世代ロボット中核技術開発/(革新的ロボット要素技術分野)ブレイン・マシン・インターフェース/脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)/革新的設計生産技術 リアクティブ3Dプリンタによるテーラードラバー製品の設計生産と社会経済的な価値共創に関する研究開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(RISTEX)

人流解析による医療救護訓練の科学的解析手法の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(RISTEX)

多世代視覚障害者移動支援システムにおけるクラウド・ナビ・訓練システムの社会実装

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業(産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム)(OPERA)

人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出に関する国立研究開発法人産業技術総合研究所による研究開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業(社会技術研究開発)

価値創成クラスモデルによるサービスシステムの類型化とメカニズム設計理論の構築

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業(COIプログラム)

精神的価値が成長する感性イノベーション拠点

国立研究開発法人科学技術振興機構 革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)

位置姿勢変化に頑健な3次元地図作成および3次元空間内音源探索

国立研究開発法人科学技術振興機構／国立大学法人お茶の水女子大学 大学発新産業創出プログラム (START) IoT型リアルタイム歩行モニタリングデバイスの開発

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 長寿・障害総合研究事業 障害者対策総合研究開発事業 脳性麻痺者・脳卒中者の意思伝達支援のための非接触ジェスチャ認識インタフェースの開発

国立研究開発法人日本医療研究開発機構 医療分野研究成果展開事業 産学共創基礎基盤研究プログラム バイオメディカル光イメージングにおける数理モデルと画像再構成

一般財団法人日本規格協会
アクセシブルデザイン (AD) に関する JIS 開発

一般財団法人日本規格協会 平成28年度高機能 JIS 等整備事業高機能 JIS 開発事業
床面・路面ライティングに関する JIS 開発

一般社団法人日本皮革産業連合会
平成28年度 革靴履き心地解析等事業「認証革靴のサイズ推奨アルゴリズム策定業務」

公益財団法人大川情報通信基金
音によるデータフィードバックを用いた歩行機能評価システムの開発

公益財団法人内視鏡医学研究振興財団 平成27年度研究助成 B
内視鏡の使用が手術操作の精度に及ぼす影響の研究

一般財団法人日本健康開発財団
入浴後の立ちくらみの起こし易さの機序解明ー動脈ステイフネスおよび圧受容器反射感受性の関与ー

国立障害者リハビリテーションセンター
ロコモティブシンドロームのエビデンス構築に関する研究

公益財団法人健康科学財団
靴型足圧計測デバイスを用いた高齢者の健康活動度モニタリングシステム

公益財団法人すかいらーくフードサイエンス研究所
疑似咀嚼音を用いた介護食の食感改善：音と食品との一致度が効果に及ぼす影響の検討

公益財団法人明治安田厚生事業団 第33回 若手研究

者のための健康科学研究助成
心拍と動作リズムとの同期現象が生じた運動中の脳循環特性の解明ー脳循環の維持・改善に効果的な運動様式の探索ー

大分県
サービス工学活用生産性向上調査研究事業委託業務

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
スパースモデリングを用いた顔の個体認知の神経機構の解明

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
脳卒中後の把握機能回復をもたらす脳内身体表現の変化：サルモデルによる解明

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
スパースモデリングを用いた側頭葉における顔の情報コーディングの研究

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
顔の質感情報の時間的コーディングの研究

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
咀嚼筋電音フィードバックを用いた食質感知覚メカニズムの解明

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
ホームケアをサポートする人間生活調和型コンパクトアクチュエータの総合的研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
データ同化手法を用いた身体障害者の共創的衣服作製に関する研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
超人スポーツのための個人別環境身体ダイナミクス同定技術と身体能力拡張技術の研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
多感覚情報の統合・分離とその神経基盤

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
身体感覚と環境認知の統合モデルを用いた「食事の楽しさ」の評価手法の開発

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
音環境理解に基づく音響計測環境の活性化支援の仕組みづくりに関する研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
重度肢体不自由者支援のための適応的ジェスチャインタフェースの研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
映像コンテンツのバリアフリー化のための認知特性を考慮した字幕設計評価ツールの開発

科学研究費助成事業 研究活動スタート支援
触覚の質感情報に着目した発達障害支援技術の構築

科学研究費助成事業 特別研究員奨励費
自己と他者の情報処理に関わる神経基盤の解明ー比較認知神経科学によるアプローチー

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
An adjoint functors approach to models of cognition

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
特徴空間の幾何構造を利用した学習アルゴリズムの構築

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
異なる感覚モダリティ・属性に共通した「時間」と「内容」の情報統合メカニズムの解明

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
P2P 方式によるモバイル生体センシング基盤に関する研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
動画像特徴による形状予測に基づく変形物体の追跡手法の研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
自己選択による意思決定情報の可視化と解読

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
脳梗塞片麻痺ラットを用いた感覚運動連合学習における動作アシストの効果の解明

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
側頭葉顔ニューロンにみられる時間的情報コーディングの神経機構の解明

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
予約取引と現物取引を融合した市場メカニズムの提案

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
データマイニングにおける中立・公正性に配慮するデータ変換技術

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
地域生活者行動データプラットフォームを活用した高齢者福祉サービスの高度化

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
バーチャルリアリティを用いた発達障害児・者の空間認知能力評価とその改善

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
移動距離で切り替る作業記憶システム間の海馬ー前頭前野路内相互作用機構の研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
ニューラルネットワークの特異点の解消

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
脳損傷後に生じる運動出力経路の再編成

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
寝具ー人体熱収支モデルの構築による寝床内温熱環境評価手法の開発

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)
電気刺激が認知機能に関わる神経機構に与える影響

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
ロービジョン者の紙面書字活動を支援する新奇な拡大読書器の提案と開発

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
生活習慣病予防の健康セルフチェックのための触覚ヘルスメータの開発

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
知覚が反射性眼球運動に与える影響ー意識と不随意運動の相互作用ー

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
現場情報に基づく介護サービスの品質モデルと定量評価手法の開発

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
運動学習における腹側被蓋野の役割解明と同領域の賦活化による運動機能調節の試み

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

定位固定放射線源と診断用骨盤部 MRI 画像を用いた PET 減弱補正法の開発

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究
視覚・言語統合型人工知能システムに基づく脳情報インタフェース技術の開発

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
機械学習を利用した反応材料分布と環境エネルギー条件の推定法構築

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
スパース辞書学習による信号の構造を利用した柔軟な多次元信号処理

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
ランニング障害予防を目的とした接地方法の提案：関節のてこ比に着目して

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
脳梗塞サルモデルを用いた機能回復メカニズムの統合的理解

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
脳波と末梢神経系指標による感情状態の解読—コミュニケーションにおける感情伝染—

科学研究費助成事業 若手研究 (B)
歩行寿命の延伸を目指した足部支援システムの開発

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
高齢者の健康で安全な生活のための居住環境と住まい方に関する基礎的・実践的研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
ヒトの認知の基盤となる神経計算学的圏論

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
屍体標本を用いたシミュレーションに基づく母指関節運動における主動筋相互作用の解明

科学研究費助成事業 若手研究 (A)
動脈硬化の加齢変化の個人差を生むメカニズムの解明—10年間の追跡に基づく検討—

科学研究費助成事業 若手研究 (A)
スポーツ用義足における生体力学的特性の解明とデータベースの構築

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

学びの「楽しさ」は睡眠中の記憶定着を促進するか

科学研究費助成事業 若手研究 (A)
レム断眠が感情記憶に及ぼす効果検証

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
スパースモデリングと高次元データ駆動科学創成への支援と広報

科学研究費助成事業 新学術領域研究(研究領域提案型)
潜在的運動における学習適応メカニズムの解明と計算モデル構築

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
アパレルの質と国際競争力向上の基盤となる日本人の人体計測データの構築と多角的分析

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値に関する基礎的研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
嗅覚による味覚変化の時間特性の解明：実験心理学・脳機能計測・動物行動学の統合研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (A)
高齢者、介護スタッフの思いを記録し記憶へと繋ぐシステム

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
多利用者・多状況に共通する特性の抽出による情報転移 BMI

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
立体視的3次元知覚に及ぼす背景面の効果—奥行き、方向、数量知覚について

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
機械学習における統計的安全性の理論

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
未来予測情報を起点とするサービスシステムの設計・運用手法に関する研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
アパレルの国際競争力の強化を目指した3Dバーチャル工業用ボディの開発と性能評価

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)
3次元機能回復モデル規範型リハビリシステムの開発に

よる麻痺手使用機会の向上

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)

ランダム化比較試験による認知症等を有する高齢者に対するロボットパロの効果

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)

視覚情報の眼球運動を越えた時空間統合機構の研究

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)

行動決定における報酬価値の脳内分散表現メカニズム

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)

白杖・車いす・義手義足の身体化モデルの実験的検討を通じた身体知覚に関する考察

科学研究費助成事業 基盤研究 (B) (特設分野研究)

「懐かしい匂い」と創造活動による認知症の人の安心できる居場所作りとその効果検証

科学研究費助成事業 基盤研究 (B) (特設分野研究)

人工物ジレンマの解決のための情報設計方法論の構築

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)

運動視覚におけるマルチスケール神経情報処理機構の解明

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)

手内筋麻痺指に対する指機能再建法の生体工学的検討

科学研究費助成事業 基盤研究 (C)

嗅覚における注意の機能に関する心理学的研究

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

複数情報源からの異種データに対する統合的解析法

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

ヘッドマウント式輻輳計測装置による眼球運動計測からわかる視覚情報処理

科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究

「空気を読む」為の発達障害者向け視線誘導訓練の研究開発

科学研究費助成事業 基盤研究 (B)

HD-DOT と fMRI を用いた社会脳における感情の生成・

制御の神経メカニズム解明

経済産業省／一般財団法人四国産業・技術振興センター
平成27年戦略的基盤技術高度化支援事業 (機関補助金)
大型車に特化した危険予測可能な後側方障害物センサの開発

企業からの資金提供型共同研究：44件

発表：誌上発表248件、口頭発表369件、その他55件

サービス観測・モデル化研究グループ

(Service Sensing, Assimilation, and Modeling Research Group)

研究グループ長：蔵田 武志

(つくば中央第1、第2)

概要：

サービスの生産性や持続性の向上、サービスオペレーションの革新、新サービス設計及び価値共創社会の構築のために、ヒト、モノ、コト (プロセス) の微視的・巨視的な把握に資する計測・モデル化とその応用としての分析・シミュレーション・オークションに関する研究開発及び実証に取り組む。

現場のラボ化、ラボの現場化について、まず、歩行者推測航法 (PDR) を中核とした広域サブメートル統合測位技術、詳細行動計測技術等の G 空間コンピューティング研究開発を推進する。次に、サービスフィールドシミュレータ (SFS)、人流分析、従業員の作業プロセスデータ同化シミュレーション、可視化 (情報循環) 等の各技術群の開発を進める。

社会問題解決型研究としては、災害救助支援、医療/障害者支援、都市設計などの各プロジェクトを推進しながら、観測・モデル化等の技術ニーズを捉えた技術開発や実用化研究に取り組む。

オークション技術については、産直販売を促進するための電子商取引市場「おらほのカキ市場」でのオンラインダブルオークションに関する実用化研究とその応用展開を進める。さらに、広告のための Real-time Bidding (RTB) 技術を売買に拡張した H-Market モデルに基づく応用技術の開発を継続し、ベンチャーでの開発術の社会実装を推進する。

研究テーマ：テーマ題目1

サービス設計学研究グループ

(Service Design and Implementation Research Group)

研究グループ長：車谷 浩一

(臨海副都心センター)

概要：

サービス工学の「サービスの最適設計サイクル」に

において重要な要素である、サービスの新規設計・再設計を実行するための工学技術の創出と、それらのサービス現場への適用・フィードバックによるサービスの効率向上と新規サービス創出を実証的に推進した。要素技術として、サービスを評価するベンチマーキング、人や環境の状態を把握するセンシング技術を適用し、観光産業・観光地の産業振興、都市空間の見守りサービスの創出、介護等の産業分野でのサービス工学的アプローチの実証を行ってきた。

特に、看護・介護サービスの現場において、従業員が主体的に作業プロセスを見直し、その作業に必要となる道具の仕様を考え、業務改善することを支援する現場参加型開発支援技術の構築を進めた。

被介護者の生活習慣や価値観、介護者のスキルや意識、施設の構造や備品によって、サービス品質を高めるための介護方法が現場によって異なるため、この介護施設ごとの多様性を考慮した介護機器や IT システムの導入効果評価手法を構築した。まず、「業務遂行の場」にて現場での介護行為の原因と方法、その際の介護者と被介護者の身体動作や主観を含む業務状況を短期的長期的に記録する。次に、「省察・創出の場」にて、ロボット介護機器（モノ）の効果を高めるよう業務プロセス（コト）を最適化した上で効果評価した。この業務状況計測と業務プロセス最適支援型効果評価を繰り返すことで、当該施設の状況下で最も効果を発揮するコトを設計した上での機器評価が可能となり、さらにモノの改良指針も得られる方法論である。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

情報数理研究グループ

(Mathematical Neuroinformatics Group)

研究グループ長：赤穂 昭太郎

(つくば中央第2)

概要：

脳の神経回路は、従来の情報処理技術では不可能な柔軟で複雑な情報処理を行っている。当研究グループでは、脳の情報表現や学習・適応のアルゴリズムがどうなっているか、なぜ神経回路のような構造が情報処理をする上で有用なのか、といった問題を通じて、脳の計算原理を数理的に理解することを目指す。具体的には、情報幾何学や関数解析学、圏論などといった数学的な道具を使って、データ駆動科学や機械学習、パターン認識などの応用分野にも適用可能な学術的な知見を積み重ねている。

研究テーマ：テーマ題目6

デジタルヒューマン研究グループ

(Digital Human Research Group)

研究グループ長：多田 充徳

(臨海副都心センター)

概要：

デジタルヒューマン研究グループでは、多様な特性を持つ人々の「生活の質」を向上させるために、(1) 人の形状、感覚、運動、行動、生活を数値化し、計算機上での取り扱いを可能にする計測技術、(2) 計測したデータを統計学的、運動学的、または動力学的に解釈し、再利用に向けたデータベースの構築や、計算機上でのシミュレーションを可能にする数理モデル、(3) 構築した数理モデルを活用し、身体に適合した製品、運動パフォーマンスを向上させる製品、そして生活機能を向上させる環境・サポートなどを可能にする介入技術を研究している。

平成28年度は、環境や身体に設置されたセンサを活用することで、生活環境における人の感覚や振る舞いを簡便に計測するための計測技術や、動力学演算と筋骨格モデルを用いて筋活動を予測するための数理モデルに関する研究を新たに開始した。また、構築した数理モデルを用いることで、身体適合性、運動パフォーマンス、そして生活機能を向上させるための介入技術に関する研究を継続して実施した。特に、計測から解析までがリアルタイムに行える場合には、即時的な介入によるゲーミフィケーションを、そうでない場合には長期的な介入によるサービタイゼーションを実現することで、計測と介入のループが持続するようにした。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目4

身体適応支援工学研究グループ

(Physical Fitness Technology Group)

研究グループ長：井野 秀一

(つくば中央第6)

概要：

少子高齢社会において安全・安心で質の高い生活 (Quality of Life: QOL) の実現を後押しする多様な人間支援技術の構築を目指し、人間の生理機能・感覚運動機能・スキル等を計測・評価する手法を開発すると共に、それらを基盤とする下記の研究テーマに取り組む。

- ① 心身適応力向上のためのリハビリに関する研究：脳神経系情報処理や循環系機能等を調べる生理計測・評価および刺激制御に関する新しい手法を構築し、これらを応用したニューロリハビリやヘルスケア技術の社会実装に向けた基盤創成を目指す。
- ② 心身親和性と残存機能に着目した生活支援技術に関する研究：運動機能や感覚機能を QOL 向上の視点を交えて評価する人間計測技術を開発し、高齢者や障害のある人たちの楽しく活動的な日常生活や機能訓練を支えるヒューマンインタフェースに関する福祉技術の構築を現場連携で目指す。
- ③ 操作スキル向上のための人間工学に関する研究：人間の操作スキルの獲得・向上を支援する技術開発

を行い、患者シミュレータと高臨場感遠隔手術手技指導・自習システムを構築し、安全で効率の良い操作スキル研修カリキュラム開発手法の確立を医工連携で目指す。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目6

人間環境インタラクショングループ

(Human Environment Interaction Research Group)

研究グループ長：佐藤 洋 (~5/31)、小早川 達

(つくば中央第2、第6)

概要：

快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発を課題として、人および人の心身の健康と環境との関係性を導き出す計測を人間および環境側の双方から実施する研究を行う。環境とは物理環境のみならず社会環境、労働環境、対人環境、経済環境等を包含する。さらに、計測だけではなく、計測結果を計測対象にフィードバックする介入を行った時の計測対象の変化をとらえる介入を含めたダイナミックな系を対象とした計測技術の開発に挑戦する。

また、サイバーフィジカルシステム技術の開発を課題として、人と環境の関係性をセンシングする技術、またデバイスにより、人の感覚またはアクティビティをセンシングする研究、および得られたデータをサービスや人の活動にフィードバックすることにより人にとっての環境をより良くする研究開発を実施する。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

感覚知覚情報デザイン研究グループ

(Sensory and Perceptual Information Design Group)

研究グループ長：氏家 弘裕

(つくば中央第6)

概要：

人間の視覚、聴覚、体性感覚、平衡覚等に関する基礎研究を通じて、これら感覚・知覚特性に適合した人間中心の製品設計技術（感覚知覚情報デザイン技術）の開発を遂行することで、高齢者・障害者への配慮を包含する人間工学の実践や生体安全で利便性の高い視聴覚環境の整備を目標として、以下の主要課題を実施する。

(1) アクセシブルデザイン技術の開発と普及活動：

さまざまな年代や障害者に対して蓄積してきた感覚知覚特性に関するデータベースの公開や、これらに基づく高齢者・障害者配慮の設計（アクセシブルデザイン）指針の国内外での規格化を推進するとともに、製品開発の現場で求められるアクセシブルデザイン技術の開発・普及とその基盤となる感覚知覚認知特性についての解明を進める。

(2) 映像の生体安全性技術の開発と普及活動：

映像酔いなど映像情報による生体影響の低減に配慮

した映像情報提示環境の普及をめざして、生体影響特性を基盤とする映像ガイドラインの規格化を推進するとともに、これら映像の生体安全性の普及展開に資する映像情報評価技術の開発を進める。

(3) 製品・環境等のパフォーマンス適合性技術開発：複合感覚（視覚、聴覚、体性感覚等）情報に関する諸特性やこれらの感覚情報フィードバックに基づく動作特性の解明を基盤として、インタラクティブなマルチメディア情報提示環境の設計技術開発を進める。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目6

脳機能計測研究グループ

(Brain Function Measurement Research Group)

研究グループ長：兵藤 行志

(つくば中央第6、第2、つくば東)

概要：

ユニットのミッションである「多様な特性を持つ人々の生活・社会参加を、経済産業活動を通じて実現することを目標とし、この実現に向けて、人を知り、人に合わせ、人を高める技術の研究開発と社会実装を行う」において、当グループは、「快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の研究開発」、そして「従来は計測できなかった、観ることができなかった物理的・生理的事象を計測可能とする技術開発」を基軸として連携研究を推進し、その達成に貢献することを目標とする。

具体的には、電磁波（ラジオ波（MRI）、赤外光、近赤外光、可視光、放射線）を用いた新規検出・解析方法の創出及び高度化と共に、電気生理計測、生化学計測等の相互補完的な活用によって、(1) 生活環境での正確なヒト脳機能モニタリングの実現に資する「ヒト脳活動の機能的分光計測技術」、(2) 脳・生体組織の新規計測方法の開発と機能解明に資する「脳・生体組織の物理・生理情報新規計測技術」の確立を推進する。

研究テーマ：テーマ題目6

ニューロテクノロジー研究グループ

(Neurotechnology Research Group)

研究グループ長：長谷川 良平

(つくば中央第2)

概要：

神経科学研究で得た知見に基づき、人々の「生活の質（QOL）」向上や、新産業の創出を視野に入れたさまざまな研究開発を行う。そのため、人や動物の脳・神経系の構造・機能を調べる基礎研究と先端医工学技術を融合させることによって、身体及び精神機能を補償・拡張するシステムの開発・実用化を目指している。特に精力的行っているのは以下のテーマ：

1) 脳波による意思伝達装置（ニューロコミュニケー

ター)、2) セラピー効果のある動物型ロボット(パロ)、3) 色覚障害者向けディスプレイ技術、4) 脳機能を実現する人工知能、5) 感情コミュニケーション、6) リアルタイムニューロマーケティング、である。

具体例として1) に関する詳細を紹介する。本テーマでは、重度運動機能障がい者の社会参加を補助・促進することを目的とし、脳と機械を繋ぐ新技術「ブレイン・マシン インタフェース (BMI)」として、頭皮上で非侵襲的に計測した脳波のリアルタイム解読によって脳内意思を解読し、CG やロボットのアバターを介して外部に伝達する装置「ニューロコミュニケーター」の開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目5

システム脳科学研究グループ

(Systems Neuroscience Group)

研究グループ長：高島 一郎

(つくば中央第2)

概要：

高次脳機能の神経科学的研究を行い、脳で行われている認知や行動様式の基礎となっている情報処理の仕組みの解明を目指す。表情など複雑な視覚刺激の認識、感覚情報の統合、選択的注意、運動指令の構築、時間・空間表現などの脳内メカニズムの解明を進めることにより、脳が持つ高い適応能力を備えた人工知能技術や、脳の潜在能力を引き出し支援する情報システム技術の実現に向けた基盤的研究を展開する。脳機能計測をコア技術として、神経情報を各種電子機器の制御に利用するブレイン・マシン・インタフェース (BMI) 技術や、疾病診断の生理的指標として有用な視線・瞳孔計測装置などの開発を進める。脳内化学的信号伝達の可視化など新しい脳機能計測技術の開発にも挑戦する。また、脳損傷モデル動物を用い、脳損傷後の回復に伴う脳の機能および構造変化を解明することにより、脳のメカニズムに基づく新しいニューロリハビリテーション技術の提案を行う。

研究テーマ：テーマ題目6

【テーマ題目1】 サービス工学

【研究代表者】 持丸 正明 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 大隈 隆史、河本 満、蔵田 武志、興梠 正克、平野 聡、宮下 和雄、依田 育士 (以上、サービス観測・モデル化研究グループ)、河本 満、幸島 明男、竹中 毅、三輪 洋靖、山本 吉伸 (以上、サービス設計学研究グループ)、車谷 浩一 (人間情報研究部門)、本村 陽一、櫻井 瑛一、西村 拓一、福田 賢一郎、渡辺 健太郎 (以上、人

工知能研究センター)

(常勤職員18名、他7名)

【研究内容】

サービスは GDP においても雇用においても日本経済の7割を占めるようになった。特に、急速に進む少子高齢化などの社会構造変化や、企業の業務効率化のためのアウトソーシングなどによりサービスへの需要は拡大しており、製造業と並んで日本の経済成長の牽引役となることが期待されている。しかし、このような期待に対してサービス産業の生産性の伸び率は低く、その向上は急務となっている。こうした状況を背景として、政府レベルの政策においても、サービス生産性向上は重要課題と位置づけられている。

これを受け、本研究課題では、サービス現場においてデータに基づいて仮説を立て、それを検証しながらサービスを改善していく「サービスの最適設計サイクル」が自立的に廻るようにすることをグランドチャレンジに据える。このグランドチャレンジに向けて、最適設計サイクルの要素となる観測、分析、設計、適用の各技術群の研究開発と実用化、さらにはサービス産業への最適設計サイクルの普及を目標とする。

サービス観測・モデル化技術に関する研究に関しては、歩行者自律航法 (PDR: Pedestrian Dead Reckoning) の考え方を応用した振動解析ベースの車両自律航法技術 (VDR: Vehicle/Vibration-based Dead Reckoning) の研究開発を立ち上げた。メニーセンサでの全身姿勢と位置方位の同時計測システムを開発した。企業と FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いたカメラ一体型ステレオビジョンの開発を行い、車両の衝突検知と人流解析を応用先としたコアパーツの基礎開発を完了させた。統合測位についても、オフライン準最適化手法と時系列パーティクル投票によるエリア判定手法を開発した。サービスフィールドシミュレータ (SFS) のパーソナルモビリティシミュレーション等の機能拡張を支援した。

社会問題解決型研究においては、まず、ER (緊急処置室) シミュレーション教育について、心肺停止 (CPA) 症例を1年間継続実施し、その教育モデルをまとめた。災害医療救護訓練難型などを HP で無料配布するとともに、2種のアプリを無料公開した。

シミュレーションによるサービス設計支援に関しては、より公正な生鮮品のオークションメカニズムとして、バイヤーの取引失敗に対して個人合理性を保証しながらペナルティを課すメカニズムを考案し、マルチエージェントによるシミュレーション実験により、当該メカニズムがセラーの収益を改善することを確認した。流通分野における具体的な課題を解決するための制度設計に関しては、これまでカキを対象とした電子商取引実証を、来年度からカキ以外の商品に展開するために、基本的な機能設計と開発を行い、これまでの生鮮品の電子商取引では

一般的に行われてこなかった不定貫取引、歩留まり対応などの機能を実現できた。

サービス設計工学の実践的アプローチに関しては、看護・介護サービスの現場において、従業員が主体的に作業プロセスを見直し、その作業に必要な道具の仕様を考え、業務改善することを支援する現場参加型開発支援技術の構築を進めた。被介護者の生活習慣や価値観、介護者のスキルや意識、施設の構造や備品によって、サービス品質を高めるための介護方法が現場によって異なる。この介護施設ごとの多様性を考慮した介護機器やITシステムの導入効果評価手法を構築した。本評価手法では、まず、「業務遂行の場」にて現場での介護行為の原因と方法、その際の介護者と被介護者の身体動作や主観を含む業務状況を短期的長期的に記録する。次に、「省察・創出の場」にて、ロボット介護機器（モノ）の効果を高めるよう業務プロセス（コト）を最適化した上で効果評価する。この業務状況計測と業務プロセス最適支援型効果評価を繰り返すことで、当該施設の状況下で最も効果を発揮するコトを設計した上での機器評価が可能となり、さらにモノの改良指針も同時に得ることができる。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】サービス工学、現場のラボ化、ラボの現場化、製造業のサービス化、地域活性化、行動計測、環境センシング、G空間コンピューティング、複合現実、アクションリサーチ、現場参画型開発、現場共有知、ビッグデータ、機械学習、人工知能、サービス最適化、サービス設計、データ同化、社会シミュレーション、マルチエージェントシミュレーション、情報循環、ビッグデータ、ディープデータ、ピアデータ

【テーマ題目2】組み込み型デジタルヒューマン

【研究代表者】多田 充徳（デジタルヒューマン研究グループ）

【研究担当者】多田 充徳、堀 俊夫、宮田 なつき、小林 吉之、保原 浩明、村井 昭彦、中嶋 香奈子、橋詰 賢、河内 まき子（デジタルヒューマン研究グループ）
（常勤職員7名、他2名）

【研究内容】

従来のデジタルヒューマン技術とは、CADソフトウェアと連携して、製品の操作性や安全性をコンピュータ上で検証するための身体モデルと、そのような検証を行うための一連のアルゴリズムのことであった。この狭義のデジタルヒューマンに代わり、製品や環境など様々なシステムに組み込むことで、製品の使用価値やサービスの共創を実現するための技術が組み込み型デジタルヒューマンである。実験室での評価実験と、コンピュータを用

いたオフライン解析が主たる方法論であった従来のデジタルヒューマン技術とは異なり、実際の使用状況を考慮した生活環境での評価実験と、計測、解析、そしてそれに基づくオンライン介入を実現することで、製品やサービスを開発する設計者が、それを使用する消費者の行動や情動に関する情報を消費者自身と共有しながら、使用価値の高い製品やサービスを創出できるようになる。これを実現するには、環境や身体に設置されたIoTセンサを用いて生活環境における消費者の行動や情動を簡便に取得するための計測技術、計測した情報と身体モデルに対して運動学・動力学演算を行い筋活動や消費エネルギーのように実測が難しい身体情報を高速に計算するための解析技術、そして計算した身体情報を用いて製品の使用価値、運動パフォーマンス、そして生活機能などが向上するように製品や環境を変容させる介入技術が必要となる。また、計測から介入までのループを持続的に回すためには、即時的な介入によるゲーミフィケーションや、長期的な介入によるサービタイゼーションの実現が有効である。このような組み込み型デジタルヒューマンの具体的な事例として、歩行評価、Wrap&Sense、そしてInteractive Roomなどの研究開発に取り組んでいる。

歩行評価では、人間の歩行運動を統計的に解析することでデータベースを構築している。このデータベースがあれば、スマートフォンなどに搭載された加速度センサの情報だけから、その人の歩き方を予測できるようになる。転倒リスクの即時的なフィードバックや、歩行運動のモニタリングによる長期的な健康増進サービスへの展開などが期待できる。

Wrap&Senseとは、ボトル製品やグリップなどに巻き付ける距離センサを用いた簡易計測システムである。センサから手までの距離を複数の点で計測し、その状況に合致する手の姿勢を高速に計算することで、製品を握る姿勢や場所をリアルタイム計測できるようになる。このセンサを使えば、生活環境における消費者の行動を記録し、実際の使い方に基づいた新たな製品をデザインできるようになる。

Interactive Roomとは、組み込み型デジタルヒューマン研究の実証の場である。実験室の制御性と生活空間のリアリティを兼ね備えた模擬生活空間であり、詳細な計測装置と、簡便なIoTセンサの双方を備えている。この空間の中で、生活の文脈を再現した運動を行うことで、IoTセンサを用いた運動計測の性能評価を実現する。また、様々な介入とその効果を評価することで、個々の生活者に対して適切な介入をデザインできるようにする。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】生活空間、オンライン計測、オンライン介入、使用価値、サービス、共創

【テーマ題目3】高齢者食事支援のための「食べる楽しみ」回復技術の開発

【研究代表者】井野 秀一（身体適応支援工学研究グループ）

【研究担当者】井野 秀一、遠藤 博史、金子 秀和、関 喜一、近井 学（以上、身体適応支援工学研究グループ）、梅村 浩之、小早川 達（以上、人間環境インタラクション研究グループ）、藤崎 和香（感覚知覚情報デザイン研究グループ）、三輪 洋靖（サービス設計工学研究グループ）、木村 健太（自動車ヒューマンファクター研究センター）
（常勤職員10名、他3名）

【研究内容】

私たちは毎日の食事によって健康な生活を営んでいる。しかし、加齢や脳血管障害等で摂食・嚥下機能に障害が起きると、誤嚥による肺炎や窒息、精神的な不安、介護食・嚥下食による食べる楽しみの喪失、そして食事量が減ることによる栄養状態の低下といった様々な問題が負の連鎖的に生じる恐れがある。高齢者らの食事に関するQOL（Quality of Life）の維持・向上は、長寿社会の日本が抱える大きな課題のひとつである。そこで、本研究課題では、病気や加齢などによる摂食・嚥下障害のリスクをできるだけ軽減し、高齢者が食べる楽しみを失わないための新発想の食事支援技術の実現を目指し、「高齢者のメンタルモデルに基づいた嚥下トレーニング法の構築」「嚥下能力の簡易評価技術の開発」「食感向上のための感覚フィードバック技術の開発」を主軸に研究展開し、介護や医療の現場と相互連携しながら、総合的に研究・開発を進めている。

①高齢者のメンタルモデルに基づいた嚥下トレーニング法の構築：高齢者が嚥下機能維持のためのリハビリテーションを楽しみながら行えるように、高齢者の心身状態に合わせた口腔機能トレーニングシステムの提供を目的とした研究を行っている。今年度は、介護現場のニーズに基づいたシステム開発として、同時に複数人数でのゲーム対応に向けた機能改良を進めた。さらに、メンタルモデルの基盤探索のために、食事そのものとそれを取り巻く諸要因に対して「人は何を楽しみにしているか」についての大規模アンケート調査を行った。その結果、食べ物そのものを重視する「グルメ」因子、食を通した他人とのつながりを重視する「感情」因子、おなががいっぱいになることを楽しみにする「おなか一杯」因子、店の雰囲気や大事にする「おしゃれ」因子の存在が示唆された。

②嚥下能力の簡易評価技術の開発：音を利用した嚥下の簡易評価技術の構築のための基礎研究として、従来の音響学的検査として多く用いられてきた咽頭マイクと計測可能周波数がより広帯域のAE（Acoustic Emission）

センサを用いて嚥下音の音響学的特性を検討すること、さらに、歯学部との連携により、介護食品のトロミ調整剤を用いて、トロミの嚥下音に与える影響を評価する研究を行った。その結果、正常者と比較した場合、舌接触補助床（PAP）使用患者では嚥下音持続時間の有意な延長を認め、Q-Q（Quantile-Quantile）プロットの離脱度は有意に大きかった。また、ウェーブレット変換による解析では、AEセンサで咽頭マイクより高周波数領域の波形が採取することができており、PAP使用患者では正常者と比較し高周波成分の波形がより強く検出された。よって、臨床等での嚥下音計測にAEセンサが有用である可能性が示唆された。

③食感向上のための感覚フィードバック技術の開発：介護食の食べる楽しみの向上を目指して、咀嚼時の筋電信号を音に変換して疑似的な咀嚼音として聞かせる感覚フィードバックシステムの研究を行っている。今年度は、咀嚼音のデータベースを作成し、筋電との振幅変調で任意の疑似咀嚼音を生成可能なシステム開発を行い、装置装着の簡便性を高める工夫として、ドライ電極方式によるオリジナルの小型筋電計測デバイスを試作した。また、高齢者を対象にした人間工学実験により、疑似咀嚼音の違和感が食感改善などの効果に及ぼす影響について調べた結果、音と食品との違和感が小さくなると、より大きな効果が得られることが分かった。さらに、社会実装に向けた現場連携（食品加工）の一環として、長野県工業技術総合センターと共同で、食品物性と食べやすさとの関係について、検討を開始した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】食事、咀嚼・嚥下、高齢者、リハビリテーション、生体情報、福祉技術

【テーマ題目4】アクセシブル情報デザイン技術

【研究代表者】氏家 弘裕（感覚知覚情報デザイン研究グループ）

【研究担当者】氏家 弘裕、伊藤 納奈、大山 潤爾、倉片 憲治、渡邊 洋（以上、感覚知覚情報デザイン研究グループ）、多田 充徳（デジタルヒューマン研究グループ）（常勤職員6名、他9名）

【研究内容】

日常の営みにおいて、人々は製品や環境から様々な情報を取得し、これを行動や思考に利用しているが、こうした情報が人々に有効に利用されるためには、感覚・知覚及び認知における情報処理特性に適合していることが必要不可欠である。とりわけ、発達や加齢に伴う処理特性の変化や障害等による影響に配慮して、誰もが安全で快適に生活できる環境を整えることが重要となっている。そこで、当該研究テーマでは、人の感覚知覚及び認知特性の加齢変化や障害者の特性などその機能の多様性に配慮するとともに、情報提示によって健康障害を生じない

ような情報デザインの普及をめざす。そのために、アクセシブルデザイン技術(高齢者・障害者配慮の設計技術)や映像の生体安全性技術を含むアクセシブル情報デザイン技術について、人間工学的指針の研究開発と標準化、及びその普及活動を実践することを目的とする。

上述の目的を達成するために、主に以下に述べる4つのステップを実施する。第一に、人々の感覚知覚及び認知特性について、高齢者・障害者の機能特性や情報提示に伴う健康障害の特性について、科学的視点にたった知見の集積を基礎研究として進める。この段階では、実験心理学に基づいた心理的計測方法に基づくとともに、必要に応じて生理計測や行動計測を併用する。第二に、集積された基礎的知見をもとに、日常において想定される特定の情報提示において、その提示条件や提示方法による知覚・認知特性の変化を系統的に明確化する。また、これにより、情報デザインとして不可欠な要素を抽出し、さまざまな理由で生じ得る個人差にも配慮しつつ、その影響特性を指標化する。この段階では、データの多様性をどのように効果的に指標化できるかが研究開発のポイントとなる。さらにこの成果を、適宜、データベース化して整理することで、その活用を図る。実際に、これまでに、「高齢者・障害者の感覚特性データベース」をウェブ上で公開している。第三に、指標化された情報デザイン要素について、実際の情報利用場面に即して、その適正範囲や許容限界を決定し、これらを基盤として人間工学的指針を開発するとともに、JIS(日本工業規格)やISO(国際標準化機構)などで、その規格化を図る。第四に、規格化された人間工学的指針の普及を様々な活動により推進する。例えば、基礎的知見をもとに影響要因の指標化を進める中で整理されたデータベースをもとに、実際の情報利用場面に即して条件ごとの提示情報の状況を具体的に示しながらその妥当性を検討できるデータベースシステムを上述のように公開したり、製品に含まれる影響要因を分析することで情報提示が生体に与える影響を推定するシステムを開発したり、あるいは、こうしたシステムの利用促進を進める社会システムの構築を図る。実際に、これまでに、生体に与える影響を推定するシステムとして、「映像酔い評価システム」のプロトタイプを外部研究機関と協力しながら構築している。

当該研究テーマにおいて、平成28年度は具体的に以下の事業が進められた。

高齢者・障害者配慮については、製品やサービスの標準化を念頭においた人間工学データを幅広く網羅した技術報告書であるISO/TR22411の改訂作業および個別テーマの国際規格化提案が進められた。消費生活用製品の操作性はNP投票準備、報知光と音声案内はNP投票で可決され新規課題登録となった。色の組み合わせはPart2、Part3となる色覚異常のデータ収集及びロービジョンの原案作成とNP提案準備、最小可読文字サイズ推定法はCDを原案作成、触知図形の基本設計方法はCD

投票を行いDIS準備を開始した。また、提案していた映像コンテンツのバリアフリー化に向けた補助字幕の設計手法に関する国際規格が、CD投票にて賛成多数で採択され、規格発行に近いDIS投票まで進んだ。また、個人特性に合わせたパーソナライゼーションデザインを、ユーザにもサービス提供者にも負担をかけずに提供できるシステム「デザインソムリエ」を開発した。一方、映像の生体安全性については、ディスプレイの高解像化やVR技術の急速な進展に対応するため映像酔いの国際規格化を国際標準化機構(ISO)にて提案を実施し、投票段階に進んだ。また、この規格化の基盤となる基礎的知見を整理した技術報告書の提案も同時に行い、同様に投票段階へと進んだ。

現在、科学技術の進展に伴い、多様な情報提示手法が開発されるとともに、インターネット環境の急速な普及により、情報提示の多様な展開が進みつつある。このような状況において、いわゆる技術優先ではなく、誰もが情報を安全に、また快適に利用できる過ごしやすい環境を整備することの必要性が高まっており、こうした観点から当該研究テーマの役割は大きい。そのために、今後さらにアクセシブル情報デザイン技術の開発と普及促進を図っていく。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】感覚・知覚情報、高齢者・障害者配慮、アクセシブルデザイン、映像の生体安全性、イメージ・セーフティ、標準化

【テーマ題目5】ニューロコミュニケーター

【研究代表者】長谷川 良平(ニューロテクノロジー研究グループ)

【研究担当者】長谷川 良平(常勤職員1名、他4名)

【研究内容】

近年、革新的次世代医療技術として脳と機械を直結するブレイン・マシン インタフェース(Brain-Machine Interface: BMI)の実用化が期待されている。産総研では非侵襲的脳活動計測に基づくBMI技術の一種として、脳波による意思伝達装置「ニューロコミュニケーター」の開発を行ってきた。この装置は、1)コンパクトな無線脳波計や樹脂製ヘッドギアを用いて高品質な脳波データを簡便に計測できること、2)独自開発のパターン識別アルゴリズムによって選択的注意を反映した脳波成分(事象関連電位)から脳内意思決定を高速・高精度で解読できること、3)階層的なデータベースから効率的にメッセージを生成し、それを臨場感のあるCGアバターによってフレンドリーに表出できること、などの特徴を有している。

この装置の試作第1号機の完成を報告するプレス発表(2010年3月)は非常に大きくメディアで報道され、神経難病や脳卒中による重度の運動機能障害を持つ患者家族やそのような患者の治療やケアを担当する医療関係者

から多くの問い合わせを受けつつ、一刻も早い実用化が期待されている。そこで、メディアで情報を得て問い合わせをしてきて下さった在宅療養中の神経難病患者家族等の要望に応える形で散発的に訪問実験を行ってきた。その過程で、(a) 患者の療養環境に存在する医療機器や家電製品に由来する電氣的ノイズが脳波データに混入する問題や、(b) 長期間の「寝たきり」介護生活の継続や運動関連領域以外への病変の広がりが原因で生じると考えられる認知機能の低下がS/N比の高い脳波データの取得や高精度の脳波解読に悪影響を及ぼすことが分かってきた。しかしながら、遠方に在住の場合も多い患者に対し、医療機関との連絡も含めて事前調査も不十分なまま、半日(毎回現場に必要な準備や片付けを除くと実質1~2時間)の滞在時間中にあわただしく実験を行うスタイルでは、改良のための新しいアイデアを試すどころか、必要最小限の標準的なデータを取得することも困難なことがあった。

この難局を乗り越えるため、H27年度より、筑波大学附属病院との連携を病院内組織である未来医工学センター(CIME)のレンタルラボを活用し、脳神経外科を中心としたサポート体制において、ニューロコミュニケーターの実用化に向けた臨床研究の拠点を設立するための検討が始まった。具体的には下記の3つのサブテーマに関して研究開発を行い、それぞれにおいて成果を導き出すことができた。

●サブテーマ①：多数の被験者(患者)の確保と安全な実験が可能な専用施設の確保

・・・CIME内レンタルラボ制度を活用して専用実験室を開設。部屋の改装後、ニューロコミュニケーターの臨床研究を効率的に実施するための各種実験機器の導入を完了した。すでに当該実験室において予備実験も実施し、良好な脳波データの計測に成功している。

●サブテーマ②：高品質な脳波データを計測可能な実験システムの整備

・・・電磁シールド機能付きヘッドギアと各種フィルターの効果によって、臨床現場に顕著な環境ノイズの影響を激減させることに成功した。

●サブテーマ③：主用途以外の活用法の考案(脳波BMI技術の応用の可能性を広く検討)

・・・ニューロコミュニケーターのコア技術のひとつであるパターン識別手法を活用し、脳波(事象関連電位)の強さや解読精度をバイオマーカーとした認知機能評価手法システムの開発に着手し、主として健常者を対象とした予備実験を開始した。

このような、臨床施設の確保とは独立に、本システムの高度化の一環として、さらにはロボット研究分野における新技術要素として、脳波解読によるロボット制御技術の開発を開始した。具体的には、小型のヒト型ロボットに多数のジェスチャーを表出させるためのシステム開発と、このシステムを用いた予備実験を開始した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】意思伝達、実証実験、脳波、福祉機器、ロボット

【テーマ題目6】テラーメイド化を目指したニューロリハビリテーションの研究

【研究代表者】肥後 範行(システム脳科学研究グループ)

【研究担当者】肥後 範行、村田 弓、松田 圭司、高島 一郎、渡辺 由美子(以上、システム脳科学研究グループ)、山田 亨、兵藤 行志、谷川 ゆかり、川口 拓之、岩野 孝之、瀧田 正寿(以上、脳機能計測研究グループ)、金子 秀和、菅原 順、遠藤 博史、井野 秀一、近井 学(以上、身体適応支援工学研究グループ)、藤崎 和香(感覚知覚情報デザイン研究グループ)(常勤職員17名、他25名)

【研究内容】

高齢化の進む日本において、脳の損傷による後遺症は深刻な問題となりつつある。脳血管疾患などにより脳に損傷を受けると後遺症が残ることが多く、発症後に介護を必要とする疾病原因の第一位となっている。近年、脳の回復メカニズムに基づいた新しいリハビリであるニューロリハビリテーションが注目を集めているが、十分に効果的な方法が確立されているとは言い難い。本課題では、脳損傷によって身体機能が低下した患者の機能回復訓練において、脳内に代替神経回路網が適切かつ効率よく形成できるように、個人の脳状態をモニタリングしながら訓練支援、介入を行う「テラーメイド型ニューロリハビリテーション」の研究開発を行う。また将来的に、本研究で開発するリハビリ技術を医療の現場だけでなく、フィットネスや在宅での身体機能の訓練技術として汎用性の高いものを目指す。

本研究課題は、(1)機能回復に関わる脳の変化を知るための適切な脳損傷モデルの開発、(2)脳の変化をモニターしてフィードバックするfNIRS(機能的近赤外分光法)による評価技術、(3)望ましい脳の変化を促進する介入技術の3つの技術開発を、動物とヒトの両方を対象とする実験研究と臨床応用研究を連携させて進める。

本年度は要素技術間の連携による成果が得られた。(1)の脳損傷モデルと、(2)のfNIRSを用いた脳機能の評価技術の連携により、モデル動物であるサル脳に対して運動中に安定したfNIRS計測を行うことに成功した。さらに、これまでに本プロジェクトのメンバーが確立した、世界で脳卒中の臨床に最も近い動物モデルであるマカクサル内包梗塞モデルに対してfNIRS計測を適用し、内包梗塞後の機能回復過程で生じる脳活動変化をとらえることに成功した。運動前野および補足運動野と呼ばれる領

域の脳活動が運動機能回復に重要であることが分かったため、これらの脳活動を上昇させるような運動プログラムが、機能回復を促進するために重要であると考えられる。さらに、(1)の脳損傷モデルと、(3)望ましい脳の変化を促進する介入技術の開発に関する連携の成果の一例として、前肢への運動アシストが運動変容にもたらす効果を解明した。健常ラット及び脳梗塞片麻痺ラットに選択反応時間タスクを学習させる際、エラーの起きた試行の次の試行において強制的に応答動作様の運動を引き起こすことで学習過程に介入でき、タスクの学習を促進させ得る可能性を示唆するデータを得た。このようにエラーの起きた試行の次の試行において強制的に応答動作様の運動を引き起こすことは、あるタイミングでうまく身体を動かせなかった場合に正しい動きを教えるという状況を模擬していると考えているが、正応答となる動作を引き起こすことで学習過程が遅延し、誤答となる動作を引き起こすことで促進されるという結果が得られていることから、正しい動きを教えることが必ずしも運動学習を促進するわけではないことを示している。これらの知見を、新たなニューロリハビリテーション技術として応用することで、脳損傷患者に対する臨床に貢献できる。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】リハビリテーション、脳機能回復、トランスレーショナルリサーチ

④【知能システム研究部門】

(Intelligent Systems Research Institute)

存続期間：2001.4.1～

研究ユニット長：横井 一仁
副研究部門長：河井 良浩
総括研究主幹：吉田 英一
研究主幹：安達 弘典

所在地：つくば中央第1、第2

人員：47名（47名）

経費：943,615千円（407,012千円）

概要：

知能システム研究部門では、情報・人間工学領域の方針に従い、産総研が長期的に「橋渡し」の役割を果たしていくため、将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出す目的基礎研究に取り組むことを第1のミッションとしている。第3期までに確立した技術シーズ、第4期で確立する技術シーズは、民間企業ばかりでなく、公設試等とも連携し、順次全国レベルでの「橋渡し」研究に繋いでいくことを第2のミッションとしている。

第4期中長期目標期間においては、情報・人間工学領域の重点研究課題の一つである「産業と生活に革命

的変革を実現するロボット技術の開発」を達成するために、「環境変化に強く自律的な作業を実現するロボット中核基盤技術」の研究開発を重点的に推進している。また、ロボットイノベーション研究センターと協力し、介護サービス、屋内外の移動支援サービス、製造業など様々な産業においてロボットによるイノベーションの実現をめざし、人間共存型産業用等のロボットや評価基準・評価技術などの関連技術を開発している。さらに、「ビッグデータから価値を創造する人工知能技術」「産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステム技術」「快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術」についても、人工知能研究センター、情報技術研究部門、人間情報研究部門と協力しながら研究開発を推進している。

第4期中長期計画期間中に、国際的に最高水準の研究機関を目指した組織体質の改革を実施し、第5期中長期計画に継承させる。

平成28年度の重点化方針は、第4期中長期計画に対応した、目的基礎研究、「橋渡し」研究前期における研究開発を重点に実施するとともに、「橋渡し」研究後期についても、直接・間接の両者により民間資金を獲得し実施することとした。

この方針に基づき、知能システム研究部門で実施する代表的な目的基礎研究としては、高度な空間情報取得・理解技術を構築するために、画像センシングおよびパターン認識に関する基盤技術の研究開発を行っている。平成28年度は、空間情報をより積極的に取得するための次世代センサアレイ技術として、多眼カメラによる多次元空間センシング技術の構築と、その較正技術、更には取得した多次元情報のパターン認識による解析技術の開発を行った。またこれらの技術を、社会の重要課題を解決するための中核技術とするために、様々な実応用フィールドでの有効性の検証を行った。

当研究部門で実施する代表的な「橋渡し」研究前期における研究開発としては、災害や、社会・産業インフラの老朽化への対応は喫緊の課題であり、人手不足や危険作業の低減のために、これらを支援するためのロボットの基盤技術の研究開発を行っている。平成28年度は、非整備環境における移動や作業の能力を拡大するための多点接触動作制御技術について開発に着手した。また、光源の存在によって発生する影や霧、雨、雪等の災害現場で想定される自然現象がロボットの視覚に与える影響を模擬可能なシミュレータを開発した。他にも、過酷環境下での通信維持による情報収集技術を、実ロボットシステムで検証した。さらに、ひび割れ自動検出精度のさらなる高精度化に取り組むとともに、断片画像からの俯瞰的な損傷図生成技術、劣化損傷の経年変化モニタリング技術の研究開発を行った。

そして、当研究部門で実施する「橋渡し」研究後期における代表的な研究開発として、多品種少量生産の

ロボット化を目指し、これに必要な把持・動作計画技術、力覚・触覚技術、ならびに視覚認識技術の研究開発を行い、民間企業との共同研究等を通じて技術の実用化を行っている。平成28年度は、自動車部品に特化した比較的低コストな視覚認識システムや把持・動作計画システムの開発を民間企業と共に行った。具体的には、自動車部品に対応した視覚認識システムや把持・動作計画システムを構成する基盤技術である視覚キャリブレーション、歪補正、バラ積み物品検出、ロボット動作計画等を企業へ技術移転し、それらを統合した中核システムを用いて機能検証を行った。

内部資金：
戦略予算「次世代ヒューマノイドロボット HRP-5の開発」

外部資金：
経済産業省

スマートモビリティシステム研究開発・実証事業
「専用空間における自動走行等を活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証」
平成28年度エネルギー使用合理化国際標準化推進事業
「省エネルギー等国際標準共同研究開発：IoT 社会実現に向けた住宅設備連携における機能安全に関する国際標準化」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト

「イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発／路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発」

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）

「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発／橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発」

次世代人工知能・ロボット中核技術開発

「(革新的ロボット要素技術分野)自律型ヒューマノイドロボット／非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発」
「ロボットの国際競技大会の競技種目の具体化に関する調査業務」

国立研究開発法人科学技術振興機構

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)

「タフ・ロボティクスのためのタフ・ワイヤレス技術の研究開発」
「極限環境シミュレーションプラットフォーム Choreonoid の開発」

研究成果展開事業（戦略的イノベーション創出推進プログラム）(Sイノベ)

「高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発」

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構
革新的技術開発・緊急展開事業

「果実生産の大幅な省力化に向けた作業用機械の自動化・ロボット化と機械化樹形の開発」

一般財団法人日本自動車研究所

「平成28年度「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：走行映像データベースの構築技術の開発及び実証」における走行映像データベースに係る比較評価」

一般財団法人日本規格協会

「腰補助用装着型アシストロボットに関する日本工業（JIS）原案作成に伴う同原案に規定された評価試験方法の妥当性検証に関する研究請負業務」

独立行政法人日本学術振興会 科研費補助金

基盤研究(A)

「全身感覚運動情報の多相計測と能動再構成に基づく身体性変化即応認知行動機能の研究」

基盤研究(B)

「多視点3次元観測画像を用いた衣類の仮想展開に関する研究」

「Cutting-edge multi-contact behaviors」

「高輝度小型パターン光源を用いた3次元内視鏡の開発と人体消化器官計測の試み」

「一般化差分部分空間に基づく特徴抽出の完全解明と機能強化」

「人側／装置側の両者の力触覚機能向上による新しい医用力覚呈示システム」

基盤研究(C)

「生物学分野における計測画像の解析手法に関する研究」

「駆動源 HMM のトポロジー自動生成を用いた病的音声の疾患検知」

「パターン認識のための特徴量変換に関する研究」

「異種音声単位と複数言語を用いた高分解能音声特徴空間の構築と応用の研究」

「高度なマニピュレーション作業における失敗からの回復技能の解明」

「複数物体の最密充填と安定性を制御する詰込みに関する研究」

「DNN を用いた音声による音声の検索の高精度・高速・低資源システムの実現」

「モバイル機器を利用した反転授業とその効果に関

する研究」

挑戦的萌芽研究

「人工手指を自分の手指のように動かす：ヒト脳活動を用了人工手指の自然な学習」

新学術領域研究（研究領域提案型）

「胎児・新生児シミュレーションに基づく初期発達原理とその障害の解明」

特別研究員奨励費

「環境変動を予測したヒューマノイドロボットの動作計画」

発表：誌上発表99件、口頭発表184件、その他17件

ヒューマノイド研究グループ

(Humanoid Research Group)

研究グループ長：金広 文男

(つくば中央第1)

概要：

人間工学的に不適切な姿勢での作業や重負荷作業、単純繰り返し作業、有害・危険な環境での作業等が求められる過酷環境で働く人間の活動を代替できるヒューマノイドロボットを目指し、ヒューマノイドロボティクスに関する基盤研究・工学的研究を行っている。転倒にも対応可能な強靱な身体能力に加え、手足の区別なく全身を利用でき、環境との密なインタラクションを可能とするセンシング能力を持つヘビーデューティーヒューマノイドロボットのハードウェア及びシミュレータ等の基盤ソフトウェア、過酷環境内を2足歩行に限らず全身を用いて環境に適した方法で移動し、手先のみならず全身を使って作業するための全身運動計画・制御機能、容易な作業の教示手法を実現すべく活動している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

フィールドロボティクス研究グループ

(Field Robotics Research Group)

研究グループ長：加藤 晋

(つくば中央第2)

概要：

少子高齢化社会において、重労働・危険作業者の減少対策や移動手段の確保のため、人の代わりに作業や移動を支援することや、自律的に行うシステムが期待されている。フィールドロボティクス研究グループでは、特に「災害対応」、「社会/産業インフラの維持・整備」、「快適社会の実現」などに資するロボティクス技術の研究・開発を進め、これらの実環境下における移動、運搬、情報収集、探索、点検や各種作業の安全かつ効率化を実現する移動・作業型システムの実現を目指している。具体的には、災害調査ロボット、インフラ点検用ロボット、自律作業システム、モビリティ

システム、ITS（高度道路交通システム）やロボットの自動運転や運転・作業支援を対象に、環境認識技術、移動機構・制御技術、ナビゲーション技術、遠隔制御技術、ヒューマンインターフェース技術、通信技術など、屋外環境で使えるシステム技術や要素技術に関する研究を推進している。

研究テーマ：テーマ題目2

スマートコミュニケーション研究グループ

(Smart Communication Research Group)

研究グループ長：小島 一浩

(つくば中央第1)

概要：

人と人、人とシステム、システムとシステムなど、つながりが形成されるプロセスに着目し、様々なセンサデバイスと情報ネットワークによる行動・環境分析、ロボット技術(RT)による統合化によって、より豊かで人間本位のコミュニケーション環境を実現する研究開発を行っている。音や電波による計測・分析技術の研究開発、住宅から街全体まで考慮したスマートコミュニティ型 RT システムという生活・産業支援を実現するプロトタイプシステムの開発を進めている。モノ、ヒト、社会をスマートにつなげ新たな価値を創造する技術の開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目3

マニピュレーション研究グループ

(Manipulation Research Group)

研究グループ長：河井 良浩

(つくば中央第1)

概要：

3次元視覚情報処理、力覚・触覚情報処理、把持・作業計画など、知能システムに要求される作業知能に関する要素技術の高度化を中心に、ロボット作業の体系化を図り、様々なニーズに応えるロボット技術の確立を目指した研究開発を行っている。具体的には、人間の作業・活動を支援または代行するシステムとして、産業用ロボットや生活支援ロボットでの応用を目的に、環境や対象物の3次元計測・認識技術、把持計画・動作計画技術、触覚センサ技術、センシング・制御戦略を実装した作業・動作プリミティブに基づく知的マニピュレーション技術等の研究開発とともに、新たな取り組みとしてセンシング技術と作業技術の密な融合による高精度な作業知能技術の確立を目指している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目7

コンピュータビジョン研究グループ

(Computer Vision Research Group)

研究グループ長：佐藤 雄隆

(つくば中央第1)

概要:

いわゆる人工知能技術の発達を背景に、実環境を的確にセンシングするための「機械の目」に関する技術開発への産業界のニーズが急速に高まっている。インターネット上にある情報を処理するための技術は既に高いレベルに達しているが、今後は実世界の情報をいかにセンシングして、処理可能な状態とするかが重要になると考えられる。このような背景のもと、全方向ステレオカメラシステムや高速3次元計測システムなど視覚情報のセンシング能力を大きく向上させるための研究を行うと同時に、パターン認識技術や3次元情報処理技術など、センシングした情報を的確に解析するための技術に関する研究開発を行っている。また、基盤技術の高度化に関する研究のみならず、開発した技術を産業界はもちろんのこと、社会インフラ維持管理といった社会的な重要課題解決において活用していくための取り組みもしている。

研究テーマ：テーマ項目1、テーマ項目2、テーマ項目4、
テーマ項目5、テーマ項目7

インタラクティブロボティクス研究グループ (Interactive Robotics Research Group)

研究グループ長：吉田 英一

(つくば中央第1)

概要:

人と機器や環境とのインタラクションをさまざまな角度からとらえ、製品設計や生活支援に役立つシミュレーション・ロボット融合技術を目指している。まず、デジタル世界で骨格や筋肉を含む人間の身体形状・構造や運動、さらに環境とのインタラクションを再現することで、人間の認知や行動原理の理解・モデル化を進め、支援機器やロボットを含むさまざまな製品の人間中心設計を実現する支援システムを開発する。また、人間の行動をヒューマノイドにより模擬する技術を開発することにより、人では直接測ることが困難な運動・道具・環境の変化に伴う人への力学的効果を定量化し、動作支援機器などの効果を評価する研究を行っている。

研究テーマ：テーマ項目1、テーマ項目6

豊田自動織機一産総研アドバンスト・ロジスティクス連携研究室

(TICO-AIST Cooperative Research Laboratory for Advanced Logistics)

研究グループ長：西牟田 武史

(つくば中央第1)

概要:

近年、少子高齢化に伴う労働力人口の減少、eコマース(電子商取引)の拡大による多頻度・小口配送、

効率・迅速性への対応など、物流を取り巻く環境や改善ニーズの急激な変化に対応するため、知能化・自動化された機器による省人化や、効率的で効果的なオペレーションの実現など、新たなソリューションによって、物流コスト低減等、お客さまの幅広い改善ニーズに応えることが求められている。豊田自動織機の保有する高品質・高性能で環境にやさしい多様な製品の開発力、IoT技術や多くのお客さまへの導入実績に基づく豊富なデータやノウハウに、産総研の高度なロボット技術、AI、データ・アナリティクスなどを適用することで、車両・機器の自律作業を可能とする知能化・自動化や高度なシステムインテグレーションの技術開発を加速し、先進的なロジスティクス・ソリューションの早期実現につなげ、物流現場の課題解決を図る。

研究テーマ：テーマ項目7

[テーマ項目1]過酷環境でも働けるヘビーデューティー ヒューマノイド技術

[研究代表者] 金広 文男(ヒューマノイド研究グループ)

[研究担当者] 金広 文男、Benallegue Mehdi、
阪口 健、森澤 光晴、喜多 伸之、
金子 健二、梶田 秀司、中岡 慎一郎、
吉田 英一、鮎澤 光、
Kheddar Abderrahmane、
Escande Adrien、Audren Hervé、
佐藤 雄隆、岩田 健司、佐川 立昌、
片岡 裕雄、音田 弘、植芝 俊夫、
万 偉偉(知能システム研究部門)
安藤 慶昭、原 功、花井 亮、
ジェフ ビグス、中坊 嘉宏(ロボット
イノベーション研究センター)
森 彰、山形 頼之、井上 純(情報技術
研究部門)(常勤職員24名、他4名)

[研究内容]

大型構造物(航空機、船舶、住宅、ビル等)組立現場や災害現場等の過酷環境における移動・作業から人間を解放するために、環境をロボットにあわせて整備することなく人間の作業員の移動・作業を代替することが可能なヘビーデューティーヒューマノイドを実現することを目的とし、必要となる基盤技術を開発している。

平成28年度の進捗は以下の通りである。

a) ハードウェアプラットフォーム

試作機 HRP-5P 及び3種の新規コンポーネントを開発中である。HRP-5Pは身長180 cm、体重100 kgで、HRP シリーズ最高の身体性能(HRP-2改と比べて脚は2倍程度、腕は4程度の出力)を持ち、胴体部のケージ及び背部のエアバッグにより、転倒時にも重要部位を保護することが可能となっている。HRP-5Pをベースに、狭隘空間での人の活動を代替する研究展開のた

め、各部の寸法を成人男性程度にスリム化した実証機 HRP-5R の仕様策定に着手した。

b) 環境計測・認識技術

AI 技術（機械学習）を用いた物体検出アルゴリズムを開発し、単一 RGB 画像の入力から、特定物体であれば見え方が大きく変化しても85%以上の精度で検出可能という世界トップレベルの性能を達成した。

c) 多点接触動作計画・制御技術

作業の実行と安定余裕を最大化したバランス維持とを同時に実現する姿勢計画手法、机を用いた対象物の持ち替え操作を含む物体操作計画手法を開発した。またこれらの計画を実行するための、二次計画法に基づく制御フレームワークを構築した。29年度に HRP-5P にて実証を行う。

d) タスク記述・実行管理技術

タスク記述言語として Lua 言語を新たに導入し、Python 言語に比べて効率的な並列処理と自由度の高い記述を可能とした。タスク遂行のロバスト性を向上させるため、精度保証の概念を導入し、撓みの生じる物体操作や認識誤差がある状況でのバルブ操作での実証に着手した。

e) 高信頼システム化技術

動力学シミュレーションを用いたロボットソフトウェアの自動テストにメモリ破壊等の実行時検知を導入し、ソフトウェア変更に伴う不具合の発生を15種の動作シナリオを対象として検出する環境を構築した。産総研発のロボットミドルウェア OpenRTM-aist の静的コード解析に基づくコード品質の向上、体内通信システムの IEC61508の機能安全に基づいた安全分析、テスト計画の作成を実施し、ロボット制御システムの信頼性を向上させた。

[領域名] 情報・人間工学

[キーワード] ヒューマノイド、人工知能、大型構造物組立

[テーマ題目2] インフラ維持管理と災害対応に資するロボット技術

[研究代表者] 金広 文男（ヒューマノイド研究グループ）加藤 晋（フィールドロボティクス研究グループ）永見 武司（コンピュータビジョン研究グループ）

[研究担当者] 金広 文男、森澤 光晴、中岡 慎一郎、加藤 晋、有隅 仁、岩田 拓也、神村 明哉、永見 武司、小林 匠、増田 健、Cisneros Rafael、服部 静子、Kheddar Abderrahmane、Escande Adrien、Audren Hervé、越川 知大、川端 伸一郎、大楠 祐司、佐藤 枝美子、佐々木 久之（常勤職員10名、他10名）

[研究内容]

災害や、社会・産業インフラの老朽化への対応は喫緊の課題であり、人手不足や危険作業の低減のために、これらを支援するためのロボットの基盤技術の研究開発を行っている。平成28年度の進捗は以下の通りである。

a) 非整備環境における移動や作業の能力を拡大するための多点接触動作制御技術の開発

社会・産業インフラ等、人が活動できる環境ではあるが、既存のロボットが活動できるように整備されていない非整備環境におけるヒューマノイドロボットの移動や作業の能力を拡大するため、ロボットがその身体の様々な部分を能動的に環境と接触させながら移動や作業を行う技術、多点接触動作制御技術の開発に着手した。作業の実行と安定余裕を最大化したバランス維持とを同時に実現する姿勢計画手法とその姿勢列をセンサ情報に基づいて修正しながら実行するための二次計画法に基づく制御フレームワークを構築した。

b) 災害現場で想定される自然現象がロボットの視覚に与える影響を模擬可能なシミュレーターの開発

光源の存在によって発生する影や霧、雨、雪等の災害現場で想定される自然現象がロボットの視覚に与える影響をシミュレーションで模擬可能とするため、昨年度開発したシェーダをベースとした描画エンジンの上に、複数の光源によって発生する影をシミュレートする機能を実装し、暗い環境でライトを照らしながら活動するロボットのシミュレーションを可能とした他、パーティクルシステムによって自然現象をシミュレートするシェーダプログラムを作成し、煙、炎、水流、雨、雪といった自然現象のシミュレーションを可能とし、様々な環境で活動するロボットの遠隔操作訓練等に利用できるようにした。

c) 過酷環境下での通信維持による情報収集技術の検証

災害時等の過酷環境下においてロボットの真価を発揮させるため、ロボット自体のタフさだけでなく、ワイヤレス通信技術にもタフさを強化する必要がある。そのため、過酷環境下でも人とロボット、ロボットとロボットのつながりを維持する“タフ・ワイヤレス”の実現に必要な要素技術の開発と、実環境上の試験フィールドにおける実証を行っている。平成28年度は、上空でホバリングするドローンを実線中継し、操縦者から見通し外にある小型四輪ロボットの制御と監視が可能であること、地上設置の2つの中継局を經由して目視外のドローンを制御できることなどを実証した。

d) ひび割れ自動検出精度の高精度化および損傷図生成技術、経年変化のモニタリング技術の開発

道路構造物における重要な点検項目であるコンクリートのひび割れについて、その定量的把握および経過観察を精密かつ効率的に行うための自動検出技術およびモニタリングシステムの実現を目的としている。このため、点検対象である床版、橋台、橋脚、トンネル、

道路、付帯構造物に対し、幅0.2 mm以上のひび割れを80%以上の確率で検出するひび割れ自動検出技術、パノラマ合成技術、経年変化検出技術等の要素技術を開発し、これを実装したモニタリングシステムを平成28年度末までに稼働させ、その後2年間の実証評価を行うこととしている。平成28年度は、画像データをもとにひび割れを自動で検出する技術について特徴抽出および判別処理部分の改良を行い、床版、橋台、トンネルを対象にした評価実験で81%の検出精度を得た。また、パノラマ合成技術について、撮影点を拘束しない合成技術を改良し、画像間の接続をより高精度に行い、点検事業者から点検資料として十分な品質との評価を得た。経年変化検出技術では、ひび割れの詳細な形状から長さや幅を算出する手法を開発した。

[領域名] 情報・人間工学

[キーワード] ヒューマノイド、シミュレータ、災害対応ロボット、ドローン、無線通信、低遅延、自動点検、画像処理、異常検出

[テーマ題目3] 偏在するセンサやロボットなどのエッジデバイスをネットワーク化する技術

[研究代表者] 小島 一浩（スマートコミュニケーション研究グループ）

[研究担当者] 小島 一浩、児島 宏明、李 時旭、鍛冶 良作、佐土原 健、佐宗 晃、金 奉根、関山 守、江渡 浩一郎、江崎 正、西尾 秀樹
（常勤職員9名、他2名）

[研究内容]

偏在するセンサやロボットなどのエッジデバイスをネットワーク化するロボットシステム化技術を確立するために、システム to システム (IoT)、人 to システム (生活支援)、人 to 社会システム (社会システム) を構成するための基盤アーキテクチャを設計・実現すると共に、その手法の体系化を目指している。特に、(1) IoT 活用のための基盤技術の開発、(2) 人間行動観測・異常(兆し)検知技術の開発、(3) 共創型イノベーションシステム構築のためのアクションリサーチ、を3本柱として進めている。

(1) IoT 活用のための基盤技術の開発に関しては、第5期科学技術基本計画に「超スマート社会」の実現 (Society5.0) が掲げられ、様々な生活データが集約されるスマートハウスを軸として、そのデータを他の産業で活用することで、IoT 社会のイノベーションが期待されている。一方、住宅外で生成される他産業のデータを活用することで、付加価値の高いサービスをスマートハウスにおいて提供可能となる。これらデータ収集および各種サービス提供においては、住宅設備のネットワーク連携が必要となる。しかし、現状では、住宅設備機器のネットワーク化において、センサ情報

や制御情報の優先度が規定されておらず、安全に設備作動をさせる指針がない。これに対し平成28年度は、住宅設備連携における機能安全規格に関する国際標準化の開発に取り組み、周辺規格の調査、新規業務項目案の作成、業界団体の体制整備を行った。

(2) 人間行動観測・異常(兆し) 検知技術の開発に関しては、記憶や認知機能の低下した高齢者の自立・自律した生活を維持・促進するために、生活に必要な不可欠な情報把握を支援し日常生活行動を見守るロボットシステムの開発を目指し、他5機関と共同研究を行っている。そのうち産総研は主として音声対話サブシステムの研究開発を担当する。平成28年度は、生活雑音に頑健な音声検知技術の導入と、Android 端末上でのクライアントアプリの実装と改良を進め、今後の社会実験に向け他のモジュールとの連携動作と安定動作を検証した。また、認知機能検査対話の音声データを用いて、音声認識による認知機能低下検出実験を行い、スクリーニングの効率化に活用できる可能性を確認した。

(3) 共創型イノベーションシステム構築のためのアクションリサーチに関しては、多様なステークホルダが協働できるプラットフォームとして、ニコニコ学会β、IT×災害会議、一般社団法人住みよさ創造機構、果樹生産ロボットにおける安全性評価体制などのプラットフォーム設計、ワークショップ、アイデアソンの実施を行った。果樹生産ロボットにおける安全評価体制では、果樹圃場における自動走行搬送車の設計・導入に対し、技術開発者、実環境を熟知した専門家や実際のユーザーなどが参画したリスクアセスメントの体制を整備し、机上シミュレーションを実施することにより想定運用を明確化した。

[領域名] 情報・人間工学

[キーワード] IoT、人間行動観測・空間情報理解、共創型イノベーション

[テーマ題目4] 生産用ロボットのためのマニピュレーション技術と視覚認識技術

[研究代表者] 河井 良浩（マニピュレーション研究グループ）

[研究担当者] 河井 良浩、永田 和之、山野辺 夏樹、中村 晃、吉見 隆、植芝 俊夫、音田 弘、長久保 晶彦、北垣 高成、喜多 泰代、万 偉偉、佐藤 雄隆、増田 健、原田 研介
（常勤職員14名、他3名）

[研究内容]

近年、多品種少量生産の製造現場においても数多くのロボットが導入されてきているが、まだ一部の作業工程への適用に限られている。その大きな理由として、多種多様な形状・材質の部品を扱わなければいけないこと、

ロボットへ動作を教示するコストが高いことなどが挙げられる。これらの課題を解決するためには、各種部品を視覚センサで認識でき、その情報に基づいてロボットが作業を行う動作を自動的に生成できる必要、つまり、ロボットに動作教示をすることなく動かすことができるようにする必要があり、その実現に向けて平成28年度では以下の技術課題に取り組んだ。

- 1) 対象物の周辺に隣接物体が存在する場合の適切な把持戦略の研究開発として、物体のモデル面への指の可到達性の観点から物体配置モデルを定義し、CNN を利用して物体の配置パターンを識別学習する技術を開発した。
- 2) 多品種少量生産においてさまざまな形状の物体の把持を可能にするために、ロボットハンドとして最も一般的な平行二指ハンドについてハンド本体と指のメカニカルインタフェースを共通化し、3D プリンタで造形した様々な形状の指を交換して用いることが可能な指着脱ハンドシステムを考案した。
- 3) ロボットの作業動作の生成を容易にすることを目的として、作業実行に関連する様々な情報を蓄積しロボット間で共有・再利用するクラウドデータベースのコンセプトを定め、道具操作を含む組立作業を対象に、作業情報の収集と道具操作のモデル化を行った。
- 4) 組み立て作業の自動化システムの開発を目的として、作業台等の水平面を補助治具として活用し、2つの部品の組み立てるための組み立てシーケンスと動作を再帰的に探索・生成するアルゴリズムの開発を行い、ロボットに実装し実証実験を行った。
- 5) ロボットのエラーリカバリーシステムの体系化を目標に、リカバリー実行後の作業の確実性が向上するように、タスク階層化とエラー分類の概念を用いて、モデル化エラーと計画エラーのようないくつかのカテゴリに推定された原因に基づいてエラーが分類されるエラー回復方法を考案した。
- 6) 部品供給作業におけるピッキングシステムの実用化を目指して、自動車部品に対応したランダムピッキングシステムの基盤技術である動作系・視覚系間のキャリブレーション技術、RGB-D カメラの歪補正技術、バラ積み物体の位置・姿勢検出技術、ロボットの把持・動作計画技術等を企業へ技術移転し、それらを統合した中核システムを構築し、機能検証、改良を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】三次元計測、物体検出、キャリブレーション、部品ピッキング、力覚制御、作業・動作計画

【テーマ題目5】三次元空間情報の認識・理解技術

【研究代表者】佐藤 雄隆（コンピュータビジョン研究グループ）

【研究担当者】佐藤 雄隆、佐川 立昌、増田 健、

岩田 健司、小林 匠、永見 武司、
片岡 裕雄（常勤職員7名）

【研究内容】

三次元センシング技術に対する産業界のニーズが急速に高まっているが、同技術は現状発展途上の段階にあり、従来技術では、高密度のセンシングが困難、センサーまたは対象が動くとき像が歪む（移動歪）という問題があった。したがって、高密度かつ移動歪みの無い広域の三次元空間情報を産業界で活用可能にするために、次の1)～3)に示す技術に関する研究を行う。1) パターン投影型アクティブワンショット三次元計測技術に関する研究開発を行う。パターン投影機構の改良、投影パターン最適化、パターン解析アルゴリズム改良、光源の改良、等を行い、対象物を三次元モデリングにおける1つの精度指標となるテクスチャによらず2 m の距離から2 mm 以内の誤差、且つ30 fps またはそれ以上のフレームレートで取得可能となることを明らかにする。また、光源の改良を進め、最終年度までに屋外対応化を目指す。2) センサーの位置関係が任意であっても較正可能な、汎用的センサーおよびセンサーアレイキャリブレーション技術の開発およびツール整備を行う。キャリブレーションマーカーの最適化、マーカー自動検出アルゴリズム開発、ロバスト統計を導入した較正アルゴリズムの開発、累積誤差分散アルゴリズムの開発、等を行い、センサーの位置関係が任意の場合であっても良較正の1つの指標とされている角度誤差0.3度以内の精度で較正可能となることを明らかにする。3) センサーデータ処理に必須となる欠損補完、三次元点群統合を行うためのアルゴリズムに関する研究開発を行う。統計的ノイズ除去、欠損補完、三次元点群レジストレーション（位置合わせ）等を通して空間情報を再構成・補完・統合する技術を開発し、ソフトウェアとして整備する。

また、人間の動作分析に用いるセンサーは、カメラなど非接触センサーと、力センサーなど接触センサーに分けられるが、これまでの動作分析技術では、非接触センサー、接触センサーそれぞれに問題点があった。モーションキャプチャなど非接触な計測では、位置・速さなど幾何データの収集は可能であるが、力や筋活動のようなデータは取得できない問題がある。一方、接触センサーを用いた計測法においては、人体への装着が必要であることや、設置場所が限られるという問題がある。そこで、4) 非接触センサーだけを用いて、力や筋活動などのデータを取得する技術の開発を行う。これにより、場所を選ばず多くの人が利用しやすい力計測システムを実現することができ、スポーツ選手の筋力を計測し、スポーツ用品の開発に利用したり、ロボット介護機器を利用する介護者・被介護者の運動の分析に利用したり、といった応用が考えられる。具体的な方法としては、まずカメラを用いて身体の皮膚形状データを計測する。次に、表面形状データと、標準体型表皮・筋骨格統合モデルを合成

したモデルを構築する。さらに、筋膨隆をモデル化し、運動時の形状データと、表皮・筋骨格モデルとの位置合わせを行う。最後に、筋 FEM シミュレーションに基づき、筋活動と筋変形の関係を表すモデルを生成し、筋力推定を行う。

平成28年度は1)に関して、パターン投影法に大幅な改良を加え、外乱が非常に強い条件下においても良好な三次元計測を行うことを可能にした。また、2)に関して、内部・外部キャリブレーションアルゴリズムをプログラムライブラリとして整備した。3)に関しては、位置合わせ法の改良を行い、画像の特徴が乏しく従来統合が困難であったデータに対しても、高精度な広域3次元モデルを生成可能にするアルゴリズムを開発・実装し、プログラムライブラリとして整備を行った。4)に関しては、筋肉の動きを計測しやすいボディビルダーを計測対象として実験を行った。腕の筋肉を計測する実験を行い、局所的な皮膚形状変化の抽出を実現し、局所形状変化と物理量の関係の学習と推定を行った。今後の目標として、運動時の形状計測の全周化、高精度化、筋肉モデルの精度向上を図り、様々な運動に対して計測を行うことを目指す。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】コンピュータビジョン、画像情報処理、センシングシステム

【テーマ題目6】人間中心製品評価・設計のためのインタラクション指向ロボット技術

【研究代表者】吉田 英一（インタラクティブロボティクス研究グループ）

【研究担当者】吉田 英一、遠藤 維、吉安 祐介、鮎澤 光、今村 由芽子（知能システム研究部門）多田 充徳、蔵田 武志、宮田 なつき、村井 昭彦、大隈 隆史、一川 良介（人間情報研究部門）（常勤職員10名、他1名）

【研究内容】

人体モデルにおいて、製品や環境などの外界とのインタラクションを伴う身体への力学情報（運動、外力、筋活動、関節拘束力など）をセンサ情報をもとに解析し、その運動や高次の行動をオンラインで解析・推定するためのロボット工学・デジタルヒューマン融合技術の開発を、人間情報研究部門との密な協力のもと進めた。平成28年度は、まず、移動軌跡や運動姿勢、そのたセンサのデータ計測、組み込み型デジタルヒューマンの一部を実装するプラットフォームとして、歩行者自律航法（PDR）モジュールの開発を継続し、30 g の小型化を実現した。これを複数個身体に装着し、モジュールの姿勢情報から逆運動学解析を用いて全身の骨格運動を推定する手法を導入することで、広域測位と全身姿勢推定を同時に行えるシステムを構築した。さらに、人体形状・筋骨格モデ

ルとロボット工学の逆動力学を適用することで、このように測定した全身運動データから、運動や筋活動、椎間板圧など関節拘束力をリアルタイム（10 Hz 程度）で推定し、指定された閾値に対する瞬時リスクを警告する技術を開発した。さらに、全身動作推定結果の連続データに対して機械学習を行うことで、行動内容を自動的に推定する手法を開発し、全身、後退、横歩き、着席、起立などの行動を80%以上で認識することを可能とした。デジタルヒューマン技術としては、これまでの成人の形状データベースに加えて高齢者データベースも用いて主成分分析を行い、従来のパラメータである身長・体重に加え、年齢を指定することで相同モデルに基づいて人体表面形状を生成する機能を実現した。さらに、IoT センサを統合した組み込み型デジタルヒューマン技術の開発も推進し、現場でのユーザ計測とともに、行動改善やコーチングのための介入も可能とするシステムの開発を行った。具体的には、手との距離を測る巻き付けセンサを用いた液体保存容器の把握計測や、車載モーションキャプチャを用いた2輪車操舵計測を行い、それぞれ20 fps 以上でデータを取得することを可能とした。その他、スマホを用いた形状と走り方の可視化に基づくシューズ設計、住環境における製品群のユーザビリティ解析などのデジタルヒューマン応用技術の開発も行った。これらの研究開発においては、技術の橋渡しを視野に、関係分野の企業との共同研究を積極的に推進して、実際のニーズを反映させつつ研究開発を実施した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、歩行者観測航法、全身姿勢推定、逆運動学解析、機械学習、筋骨格解析

【テーマ題目7】次世代物流ソリューション事業のための研究

【研究代表者】西牟田 武史（豊田自動織機一産総研アドバンスト・ロジスティクス連携研究室）

【研究担当者】西牟田 武史、神徳 徹雄、加藤 紀彦、都竹 隆広、古室 達也、河井 良浩、佐藤 雄隆、片岡 裕雄、（知能システム研究部門）蔵田 武志、大隈 隆史（人間情報研究部門）阪野 貴彦、横塚 将志、Thompson Simon、田中 秀幸、安藤 慶昭（ロボットイノベーション研究センター）（常勤職員15名）

【研究内容】

先進的物流ソリューション事業を早期に実現し、かつ長期的な持続発展性を支える技術の研究が必要である。まず作業現場におけるマテハン用車両・機器の自律作業の実現へ向け、安全確保、自己位置の推定、荷物の認識、作業支援に資する研究を行う。本年度は画像認識による

自己位置推定、人検出、フォークリフト作業分析の研究に着手した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】物流システム、ロジスティクス、マテリアルハンドリング、作業支援、自己位置推定、画像認識、自律移動、自動運転、ロボティクス

⑤【自動車ヒューマンファクター研究センター】

(Automotive Human Factors Research Center)

(存続期間：2015.4～2022.3)

研究センター長：北崎 智之

副研究センター長：岩木 直、竹原 淳一

→吉川 正 (10/1～)

首席研究員：赤松 幹之

所在地：つくば中央第6

人員：15名 (14名)

経費：618,742千円 (274,401千円)

概要：

近年、自動車は、急速に発達したコンピューター技術により、機械の目や知能を備え、ドライバーを支援することが可能となった。

しかし、高度に情報化された自動車は、運転中の情報機器操作等の新たな負担をドライバーへもたらしている。高齢ドライバーを含めたすべてのドライバーにとって、自動車を安全で使いやすく、運転していて楽しいものにするためには、様々なドライバーの認知特性や運転行動特性を解明して、自動車を人間に適合させることが重要である。

本研究センターでは、人の認知機能の計測・評価、行動特性の計測・評価及び生理的状态の計測・評価技術の研究開発を基にして、1.超高齢社会に対応した高齢ドライバーの認知特性の理解と支援技術、2.開発が進められている自動運転車の安全性のためのインターフェイス技術、3.自動車のある快適で豊かな生活を実現するための運転意欲・運転スキル・感性技術の開発を行う。

内部資金：

交付金 戦略予算「自動車運転パフォーマンス評価の標準パッケージ開発」

外部資金：

内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
自動走行システム「自動走行システムの実現に向けたHMI等のヒューマンファクタに関する調査検討」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 特別研究員奨励費「見込みの循環制御を司る脳機構の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C)「直感的・潜在的な選好判断に関わる脳内情報処理メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C)「動脈血圧反射による脳血管および心臓調節メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究「個人間の脳活動相関性に着目した協調作業効率の評価技術」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「あがりや巧みな運動に与える影響—情動と運動学習の接点—」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「予測の脳内メカニズム解明：刺激文脈ベースの予測と行為ベースの予測の協調機序の検討」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「妨害刺激嫌悪効果を利用した食行動変容手法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「集団行動における行為の主体感と行動モニタリングの変容メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B)「小脳を中心とした脳内ネットワークによる認知制御機構の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)「セントラルコマンド発現機構の探索—大脳辺縁系皮質から筋血管に至る神経回路の同定」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)「高齢者の不安定性の高い運転行動の抽出とそれを補完する人間機械協調系に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C)「夜間勤務における疲労の早期発見を目指した疲労評価法と食生活・微量元素栄養との関連」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C)「『認知空間の歪み』を定量し運動パフォーマンスの向上に活かす」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B)「生理反応の複数人同時測定による、集団内・間相互作用における潜在的な心理過程の解明」

発 表：誌上発表32件、口頭発表66件、その他3件

認知システム研究チーム

(Cognitive System Research Team)

研究チーム長：武田 裕司

(つくば中央第6)

概 要：

安全かつ快適な自動車の運転には、ドライバーが外界情報や車両情報を適切に知覚・認知し、適切に行動する必要がある。また、他車のドライバーや歩行者とのコミュニケーション、ドライバーの適切な感情状態なども快適な運転環境の構築における重要なファクターである。

そこで、脳機能計測、眼球運動計測、行動計測による知覚・認知・感情・コミュニケーションの評価技術を開発する。既存の評価技術を高度化し、実車及びドライビングシミュレータにおいて評価の基盤となるデータの蓄積を進めるとともに、新しい評価技術の開発を行う。また、ドライバーの認知情報処理メカニズムの解明に関する研究開発を行う。外界情報の知覚から行動や感情喚起に至る過程を一つのシステムとして捉え、それらを総合的に理解するための実験的研究を推進し、安全かつ快適な自動車運転に資する科学的知見を蓄積する。さらに、自動運転車両に乗車している時の認知・感情状態に関する研究、ドライビングプレジャーを決定する要因に関する研究、車載機器の新しいインターフェースの研究など、当該研究分野の次の展開を視野に入れた研究テーマに取り組む。

行動モデリング研究チーム

(Behavioral Modeling Research Team)

研究チーム長：佐藤 稔久

(つくば中央第6)

概 要：

当チームでは、ドライバー並びに新しい社会に適したモビリティ・高度運転支援システムの開発に寄与することを目的とし、高齢ドライバー支援、自動運転・運転支援のヒューマンインタフェース、ドライビングプレジャーに関して、以下の研究開発を行う。

- (1) 交通参加者（ドライバー、同乗者、他車両、歩行者等）の状態・行動データの計測とモデリング技術の研究
- (2) ヒトの状態や行動メカニズムの解明に関する研究開発
- (3) ヒトの状態・行動の計測および評価の新たなシーズ技術の創出に資する萌芽的研究

研究開発に当たって、個別企業、センター内のメンバー、他ユニット、大学、地域試験場等とのコミュニケーションをこれまで以上に密にし、論文・学会を中心に様々なチャンネルを活用した研究成果発信を積極的に行う。

生理機能研究チーム

(Physiology Function Research Team)

研究チーム長：小峰 秀彦

(つくば中央第6)

概 要：

高齢ドライバー支援、ヒューマンマシンインターフェース、及びドライビングプレジャーに資する技術の構築を目指し、主に以下の点に重点を置いた研究開発を実施する。

- (1) 生体・生理計測技術を活用した自動車運転支援技術の研究開発：

脳波、心拍数、血圧、筋電図、バイオマーカー等の生体・生理計測技術を用いて、ドライビングシミュレータや実路で生体・生理データを収集・解析し、ドライバーの特性や状態を把握する手法の開発や、ドライバーを支援する技術の開発を目指す。具体的には、安全に運転するために必要な生体モニタリング技術や運転支援技術、自動運転を含めた運転支援に役立つインターフェイス技術、及びドライバーの意図・感情推定技術等の研究開発を行う。また、運転時におけるドライバーの疾患発症や体調急変を検出するための研究開発を行う。

- (2) 自動車運転支援技術の基盤となるヒトの生体・生理メカニズムの解明及び評価手法の開発：

自動車運転に関わるヒューマンファクターの理解と、基盤的な技術・知見の蓄積を目的として、ヒトの生体・生理メカニズムの解明、及び生体・生理状態を評価するための研究開発を行う。これら基盤的研究開発の推進によって、自動車関連の新たな研究開発シーズを生み出すとともに、他分野の研究や技術と自動車との融合を目指す。

⑥【ロボットイノベーション研究センター】

(Robot Innovation Research Center)

(存続期間：2015.4.1～)

研究ユニット長：比留川 博久

副研究センター長：大場 光太郎

総括研究主幹：松本 治

所在地：つくば中央第2

人 員：24名 (24名)

経 費：739,700千円 (149,352千円)

概要：

1. 研究目的

人と共栄する情報技術の分野横断的活用と深化により社会課題へ取組み、産業競争力の強化と豊かで快適な社会の実現を目指して人間に配慮した情報技術の研究開発を行う情報・人間工学領域のミッションを実現するため、ロボット技術の適用対象業務の分析や投資効率の算定方法、ロボットの仕様設計を支援するための効果・安全評価プロトコル、運用効果を評価するためのログデータの取得・解析技術を確立し、ロボットによるイノベーションを実現することを研究目的とする。

2. 研究手段・方法

経済産業省ロボット介護機器開発・導入促進事業を最重要課題とする。ロボット介護機器の実用化のため、ICFや機械安全等の国際基準と、人との関わりに拡張したV字モデルに基づく安全、性能、効果基準を開発し、それぞれの評価指標に従った試験手法、装置の開発、検証手法の開発を行う。これらを用いて中間審査、ステージゲート審査を実施し、ロボット介護機器開発パートナーシップ等で情報の発信を行い、また開発事業者への開発支援、共通基盤技術開発支援、介護プラットフォームの開発を通して、介護者や被介護者に真に役に立つロボット介護機器の開発と導入を進める。さらに、重点分野のみならずロボット介護機器全般の実用化に不可欠の実証試験ガイドライン確立のための研究や、標準化の研究、及びそれらの成果を含めたロボット介護機器の開発導入指針などにより、広く介護関係者や一般国民へ啓発するためのあり方の検討を実施する。

ImPACT 重介護ゼロ社会を実現する革新的サイバニックシステムの課題では、サイバニックインタフェースとサイバニックデバイスからなるサイバニックシステムに対して、安全性検証手法の開発を行い、実環境レベルで運用可能な安全性の実現を目指す。これまで検討・試作をおこなってきた安全検証手法の改良をすすめるとともに、前年度新たに想定として生じた、排泄支援のためのサイバニックシステムにおける安全試験・評価技術にかかる安全試験装置試作をおこなう。

これらの最重要課題に加えて、生活支援移動ロボットの非接触センシング技術に関する国際標準化、高精度視覚マーカの実用化に向けたハード・ソフトの高性能化、国規模の3次元環境モデルを構築するための低コストセンシング、RT ミドルウェアの研究・開発および標準化の研究を推進する。

また、基盤技術として、システム安全情報モデリング技術 SafeML やシステムモデリング技術 SysML を中心としたシステム記述方法を確立し、認

証ドキュメントの自動生成やトレーサビリティの向上、ミドルウェア技術によるシステム実装技術やIoT 技術に基づくシステムモニタリング技術を確立することで、生産システムからサービスロボットまで、安全・高信頼なシステムを構築する技術の確立を目指す。

次の3つの考え方を運営方針とする。

- **Change the world.**-研究開発成果により、社会の変革を目指す。
- **Eat your dog food.**-研究センターの成果物である開発ツールを使う。
- **Two heads are better than one.**-個人研究よりグループ研究を推奨。

運営体制としては、研究センター長、副研究センター長、総括研究主幹、研究チームリーダー、ユニット支援マネージャーから成る研究センター幹事会を月に2回、研究センター常勤職員全員から成る研究センター会議を月に1回開催し、運営方針・研究進捗状況・外部予算獲得状況、最新の研究トピック等について議論し、情報共有を行う。

ロボット介護機器開発・導入促進プロジェクトユニットを知能システム研究部門、人間情報研究部門、人工知能研究センターと構成、ロボットソフトウェア研究ラボを知能システム研究部門と構成し、協力して研究を実施する。この他、エレクトロニクス・製造領域、エネルギー・環境領域ともデバイスや電池の開発で引き続き協力していく。

ロボット介護機器の開発・導入促進事業では、ICFや機械安全等の国際基準と人との関わりに拡張したV字モデルに基づく安全・性能・効果基準、それぞれの評価指標に従った試験手法・装置を開発する等の社会基盤の提供により、民間企業が開発中のロボット介護機器の早期の実用化・普及を目指す。また、大手民間介護事業者をリーディングユーザーとすべく、業務分析・情報発信等の活動を行う。

知的財産としては、特許性のあるものについては特許、ノウハウについてはこれを実装したソフトウェアの著作権で確保し、普及を目指す。

内部資金

標準基盤研究「安全情報のモデリング言語「SafeML」の標準化」

戦略予算「認知症高齢者の屋外徘徊位置検知装置の開発」

外部資金

経済産業省

戦略的国際標準化加速事業

「生活支援移動ロボットの非接触センシング技術に関する国際標準化」

国立研究開発法人科学技術振興機構

革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)

「サイバニックシステムに対する安全検証手法の開発」

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム (次世代農林水産業創造技術)

「土地利用型大規模経営に向けた農作業機械の自動化・知能化による省力・高品質生産技術の開発」

国立研究開発法人日本医療研究開発機構

ロボット介護機器開発・導入促進事業

「安全評価基準、効果性能基準、実証試験基準、中間審査会およびステージゲート審査会における審査基準、ロボット介護機器開発・導入指針の作成、開発補助事業支援、ロボット介護機器に関する調査、共通基盤技術開発支援」

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

「高精度視覚マーカおよびマーカ認識プログラムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科研費補助金

基盤研究(B)

「マイクロレンズアレイを用いた高精度視覚マーカの技術基盤構築」

「立ち乗り型パーソナルモビリティの操縦評価手法の開発」

基盤研究(C)

「サーバ通信を利用したカメラの自己位置配信と特徴点ベース地図の開発」

「前腕切断端部の筋電信号特性と運動・生理学的分析による筋電義手操作基準に関する研究」

厚生労働省 科研費補助金

「循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業健康寿命及び地域格差の要因分析と健康増進対策の効果検証に関する研究」

公益財団法人 三菱財団

財団等助成金

「世界最高精度の AR マーカの実現と応用のための技術基盤構築」

発 表：誌上発表44件、口頭発表72件、その他17件

ディペンダブルシステム研究チーム

(Dependable Systems Research Team)

研究チーム長：中坊 嘉宏

(つくば中央第2)

概 要：

ディペンダブルシステム研究グループでは、人と共存する次世代ロボット普及のため、システムを高信頼かつ安全 (ディペンダブル) に構成するための技術に

ついでにの体系化を図っている。人と機械の協調をシステムオブシステムズとして捉え、目的指向開発、V字モデル開発、モデルベース、リスクアセスメント、機能安全などの設計・分析・開発・検証の技術に加え、安全センサ、人体モデルなどの要素技術や試験技術を用いて人との共存を実現し、国際標準化を推進する。

具体的な研究開発事例として、高信頼車椅子、SafeML/SysML、介護ロボットとその開発プロセス、冗長化メカニズム、各種センサとその外乱試験、人体モデル、サービスロボットの国際安全規格 ISO13482 への貢献や企業が開発するロボットやモジュールの規格認証支援がある。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目4

サービスロボティクス研究チーム

(Service Robotics Research Team)

研究チーム長：松本 吉央

(つくば中央第2)

概 要：

高齢化社会における QOL 向上やサービスの効率化を目指して、日常生活・業務において人の支援を行うロボット技術 (Assistive Robot, Assistive Technology) の研究開発を行い、社会に資する次世代ロボットの実用化を目指している。個別の支援技術の実装のための要素開発に加え、ユーザの生活や業務を分析し機器の設計につなげる設計支援や、安全性および効果の評価技術の開発を行い、実証実験や企業との連携を通じて、実用化による社会への成果還元を目指している。

具体的な研究内容としては、生活支援の設計・評価技術として、生活分析、業務分析、ベネフィット評価、コスト分析に、また生活支援の実装技術として、操作インタフェース、空間知能化、ビジョンによるセンシングに取り組んでいる。さらにこれらを応用した医療・福祉応用として、アンドロイドロボットによるコミュニケーション支援、リハビリ支援にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目4

スマートモビリティ研究チーム

(Smart Mobility Research Team)

研究チーム長：阪野 貴彦

(つくば中央第2)

概 要：

中心市街地での移動を自動車に過度に依存せず、パーソナルモビリティを有効活用することで、CO2削減や省エネ等を実現しようとする機運が高まっている。また、高齢者など気軽に屋外移動ができない人の足として、電動車いすを含めたモビリティにも注目が集まっている。スマートモビリティ研究チームでは、これ

までに蓄積してきた広域3次元環境構築技術やロボット自律移動技術をコア技術とし、さらに技術の高度化や関連技術との統合化を図ることにより、高信頼でかつ安全性の高いパーソナルモビリティ技術とその運用手法の先行研究開発を行っている。ロボット技術を搭載したパーソナルモビリティ（モビリティロボット）の公道走行実験を可能とする「つくばモビリティロボット実験特区」を有効活用し、開発した技術の検証やシェアリング運用を行い、実運用データを取得・解析・蓄積することにより、シミュレータによる交通予測や充電インフラの最適配置、搭乗者の操作支援、安全情報提供など、パーソナルモビリティを活用した効率的な都市交通計画を支援するための研究開発も実施している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目5

ロボットソフトウェアプラットフォーム研究チーム

(Robot Software Platform Research Team)

研究チーム長：安藤 慶昭

(つくば中央第2)

概要：

複雑化する次世代生産システムや次世代ロボットの实用化には、導入コストを削減し開発・運用効率の向上に資する開発プロセスの確立やソフトウェア基盤が不可欠となる。

ロボットソフトウェアプラットフォーム研究チームでは、ロボットシステムの開発効率向上や安全かつ効率的なシステム運用を支援する技術として、安全設計を含めたロボットシステム開発プロセスの確立や、リスクアセスメント等を支援する手法やツールの研究、ロボットに対する教示を容易にし、教示データを再利用する技術の研究、モデルベース開発を支援する分散コンポーネント指向ソフトウェア基盤の構築等、ロボットシステム開発手法の体系化のための研究・開発を行っている。研究・開発された基盤技術や手法を活用するため、これら技術をソフトウェアやツールとして実装するとともに、一部についてはオープンソースとして配布、教育・普及活動や標準化活動を通じて、研究成果の社会実装や実用化に貢献し、ロボット技術によるイノベーションを目指している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目6

【テーマ題目1】安全基準、性能基準、効果基準、共通基盤技術開発支援および審査基準作成・審査

【研究代表者】比留川 博久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】比留川 博久、大場 光太郎、松本 吉央、中坊 嘉宏、松本 治、梶谷 勇、本間 敬子、角 保志、

脇田 優仁、田中 秀幸、宮腰 清一、原 功、藤原 清司、尾暮 拓也、尾形 邦裕、大川 弥生（ロボットイノベーション研究センター）

吉田 英一、吉安 祐介、鮎澤 光、今村 由芽子、遠藤 維、小島 一浩、児島 宏明（知能システム研究部門）堀 俊夫、三輪 洋靖、多田 充徳（人間情報研究部門）

西村 拓一、北村 光司、西田 佳史、福田 賢一郎（人工知能研究センター）（常勤職員29名、他1名）

【研究内容】

サブテーマ「効果性能基準の開発」では、ロボット介護機器製品の3次元モデルと想定する使用者の体格を反映した人体モデルをそれぞれソフトウェア上で構築し、機器使用時の人の姿勢推定を行い、関節角度・関節トルク・接触力・静的安定性など各種評価指標を解析した。解析結果を基に、機器の幾何パラメータによる身体負担や安定性の変化、使用者の負担を軽減するための立ち上がり軌道生成等の設計に有用なデータを事業者へ提供した。

介護者の位置計測システムについては、安全検証センターの模擬介護施設で検証実験を行い、90%以上の精度で部屋の入退室時刻が推定可能であることを確認した。また、位置計測システムと介護記録システムを統合し、各部屋の入退室をトリガーとしてレコードを作成し、デフォルト値を過去の記録履歴に基づいて入力するシステムを開発した。

さらに、重点8分野のロボット介護機器のそれぞれに対して、静的安定性、静的強度、耐久性、耐衝撃性、耐水性、停止性、滑り性能、移動移乗性能、排水性能、照度性能について、参照すべき標準規格の表を作成した。

サブテーマ「今後のロボット介護機器開発・導入に関する調査」では、AMEDの大規模実証事業として行われたコミュニケーションロボットの大規模実証試験（「ロボット介護機器開発に関する調査」に係る実証試験）で行ったデータ収集・解析結果をもとに、コミュニケーションロボットを「ロボット技術の介護利用における重点分野」にする必要性及び、その際必要な要件を明らかにした。

サブテーマ「安全評価基準の開発」では、本質安全設計支援ツールの新機能として保護方策のコストについて定性的評価を行う機能などを実装するとともに、機械安全の有識者によるレビューを受けて、コンテンツ（危険源、危険事象、保護方策など）の更新を行い、充実をはかった。インシデント記録・可視化ソフトウェアを2015年4月から稼働中のシステムにより493拠点（在宅を含む）のデータ収集に成功した。これにより、サービス・製品と事故の間の関係分析が可能となった。

サブテーマ「実証試験基準の開発、中間審査会およびステージゲート審査会における審査基準、ロボット介護機器開発・導入指針の作成」では、ロボット開発者を主な対象としたロボット介護機器実証試験ガイドライン第2案を作成した。今年度の中間審査会やステージゲート審査会のための審査基準を策定し、当該審査会を運営した。新規参入する開発事業者に提供すべき情報を取りまとめ、昨年度までのマニュアルと統合して倫理審査申請ガイドラインとしてまとめた。基本骨格の確立を目標とした、ロボット機器開発・導入指針第2案を作成した。その際、本指針の対象が、介護関係者（介護福祉士、介護支援専門員、介護事業者等）、介護に関係する専門職（医師、看護師等）、介護に関係する行政であることを明確化し、これらの人々をロボット介護機器使用者、実証試験協力者、ニーズ提供者の3つの観点からとらえることに留意した。

サブテーマ「開発補助事業支援」では、重点分野支援チームを組織し、機器開発における機械としての安全設計・機能設計に関する支援、審査書類（開発コンセプトシート、リスクアセスメントシート、実証試験実施計画書）の作成支援、倫理審査申請書類作成支援などの開発事業者支援を行った。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】ロボット、介護支援機器、基準、評価、安全、効果

【テーマ題目2】サイバニックシステムに対する安全検証手法の開発

【研究代表者】比留川 博久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】比留川 博久、松本 治、中坊 嘉宏、原 功、本間 敬子、角 保志、梶谷 勇、藤原 清司、川倉 慎司、ジェフ ビグス、尾暮 拓也、田中 秀幸、宮腰 清一（ロボットイノベーション研究センター）
吉田 英一、鮎澤 光、吉安 祐介、今村 由芽子（知能システム研究部門）
（常勤職員16名、他1名）

【研究内容】

目標、研究計画：

平成28年度は前年度試作に着手した技術の改良をおこない、また新規の想定に基づいた試験装置についても技術評価のための試作をおこなう。

(1) システム安全情報モデリング技術 SafeML による安全検証技術に関しては、認証ドキュメントとしての使用を想定した分析報告書を複数のフォーマットで自動生成可能なソフトウェアを開発するとともに、認証機関に安全認証の試行を依頼し、その可用性の評価を得る。

(2) 移動支援分野の安全検証技術として、前年度までの検討に基づいた動的安定性試験装置を試作し、試験手順を確立するとともに、歩行者相当の速度での動的安定性試験を実施しその妥当性を検証する。加えて、ロータ型歩行車の JIS 規格（JIS T 9265）に準じて実施した各種安全性試験（3種類以上）のデータを取得・解析し、当該機器全体としての安全検証を実施するための手法や手順を提案する。

(3) 排泄支援分野の電気面の安全検証技術として、排泄支援を想定した人体内電氣的ノイズに関する安全性試験技術開発をおこなう。

(4) 排泄支援分野の応力集中面の安全検証技術として、直腸穿孔の危険を想定した人体内応力集中に関しては、直腸の模擬装置と水流圧力測定装置の開発により、機械式腸内洗浄装置が直腸内で噴出する水流の吐水圧および吸引圧の使用時を模擬した条件での計測を実現する。計測結果は今後同定される予定である傷害耐性基準値と比較できるよう、2桁以上の精度で大気圧の80%~120%の範囲より広い圧力範囲を計測できることとする。また、直腸内吸引による穿孔等の危険について評価するための直腸内吸引のモデルを構築し、直腸内吸引に伴うリスクの形態を明らかにする。

年度進捗状況：

(1) システム安全情報モデリング技術 SafeML による安全検証技術に関して：

ウェブベースの SafeML ソフトウェアツールについて、API 設計の上サーバサイドを中心に実装をおこなった。また基礎的なフロントエンドとして、SafeML のモデル作成および認証ドキュメントの自動生成機能を試作した。これによりモデルベースの安全情報を元に認証ドキュメントをカスタマイズしつつ生成可能であることが示された。また認証機関による可用性についての評価を得た。

(2) 移動支援分野の安全検証技術

安全検証を実施するための手法および手段の提案として、文献調査により、使用者の転倒を伴う事故事象の代表例として歩行器が先行するのに対し使用者が追いつけず、引きずられるように転倒する事故事象を想定した動的安定性試験装置を開発した。

また、高齢者の身体寸法、重量バランス、可動範囲に基づいた転倒事象再現ダミー人形を開発した。

動的安定性試験に対し仮想試験対象機器となる歩行支援機器については、異常な加速に対し制動をおこなうことで転倒を抑制することができる機器とすべく、駆動系およびセンサの改造をおこなった。

また同歩行支援機器の制動状態での使用者との力学的応答により生じる転倒事象を想定し、安定性解析手法を開発した。人体と支援機器を形状・力学モデリングの上、接触力分析により機器を転倒させやすい使用

者の姿勢と、想定する使用者の支持のために求められる機器の質量特性を推定した。

また、ロレータ型歩行に3種の静的安定性試験を実施し、安定性解析に資するバックデータを得た。

(3) 排泄支援分野の電気面の安全検証技術

電気面の安全検証技術開発として、ウェット状態の皮膚電気特性に鑑み導電性ジェルシートをその代替構造物としてファントム表面に設置した場合とそうでない場合の比較実験を構成した。入力信号としてファンクションジェネレータおよび市販低周波治療器を用いた。腹部への電流が胸部ペースメーカ部位に起こす電位への皮膚構造の影響は大きくないとの結果が得られた。

(4) 排泄支援分野の応力集中面の安全検証技術

直腸内に挿入した排泄支援装置が直腸壁に力を加える状態を想定し挙動を評価するためのモデルとして直腸壁の特性を模擬したシリコン製直腸シートを開発した。また直腸内圧力モデルにもとづき、アクリル製の円筒内の吐水圧および吸引圧を-749 hPa から1500 hPa まで測定可能な閉鎖圧力測定装置を開発した。また圧力センサシートにより水流が直腸壁に与える開放圧力を推定することができた。排泄支援装置ノズルの直腸挿入を想定し、リスクの形態を明らかにするための文献調査と分析により①噴出する水流による水圧穿孔、②吸引する際の吸引引きちぎり、③噴出により腸内圧が高まった際の圧力破裂、④挿入する際に腸壁に当たった際の突き当て穿孔、⑤ノズルを抜き差しする際に腸壁と接触して切り裂くねじ込み切り裂きの5種のリスクが挙げられた。それぞれ、直腸組織の力学特性等に関する文献やガイドライン等参照し、危害を生じうる力の大きさについて検討を行った。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】安全検証、ロボット、介護機器、生活支援、サイバニクス

【テーマ題目3】生活支援移動ロボットの非接触センシング技術に関する国際標準化

【研究代表者】角 保志（ディペンダブルシステム研究チーム）

【研究担当者】角 保志、藤原 清司、中坊 嘉宏（ロボットイノベーション研究センター）
金 奉根（知能システム研究部門）
山田 陽滋（名古屋大学）
（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

本研究は、ISO13482で規定される生活支援ロボットの中で、移動ロボットのための非接触センシング技術の試験方法に関する国際標準化を行うことを目的とする。具体的には、屋外での使用を想定した環境及び路面の変化に対する耐外乱試験、及び、移動ロボットに接近する

人の運動ベクトルを検出する対人運動検知性能試験について、国際標準案を作成し、国際標準化機関への提案を目指す。生活支援移動ロボットの対人運動検知技術に関する規格ができることにより、ロボットの移動に関する安全方策の指針が確立される。また、屋外における環境や路面の変化が検知できるようになると、生活支援ロボットの活躍の場が広がり、経済社会へのインパクトが大きい。

耐外乱試験方法の開発については、生活支援ロボットの非接触センサの人検知性能が、屋外の気象現象によってどのような影響を受けるかについての評価基準を策定し、センサの試験方法を開発する。また、対人運動検知性能試験方法の開発については、生活支援ロボットの非接触センサの人検知性能が、人や人の部位、障害物等の移動・運動によってどのような影響を受けるかについても評価基準を策定し、センサの試験方法を開発する。そして、開発した耐外乱試験方法と対人運動検知性能試験方法を規格素案としてとりまとめる。

プロジェクト2年目である平成28年度は、耐外乱試験方法の開発、対人運動検知性能試験方法の開発に関する研究を実施し、得られた結果をもとに、規格素案の検討および策定を行った。具体的な内容は以下の通りである。

① 耐外乱試験方法の開発

- 1) 昨年度開発した人工降雨装置による人工降雨空間の物理的特性を分析するための計測装置を開発し、降雨空間の降雨量、雨滴径、透過率、視程を計測する実験を実施した。また、人体の部位を模した試験片を毎秒3.2 m 以上の速度で移動させることができる防水スライダを開発した。これらの装置を降雨環境試験装置として統合し、センサの耐外乱試験を行うことによって得られたデータをもとに降雨環境でのセンサ試験方法素案をとりまとめた。あわせて、移動物体検知試験の評価用として、最新の距離画像センサを用いるためのソフトウェアを開発した。
- 2) 模擬降雪装置による模擬降雪の定量化を行った。画像処理によって模擬降雪を可視化する装置を試作開発し、その有用性を評価するための実験を実施した。また、人工降雨空間の分析のために開発した計測装置を模擬降雪の分析でも利用可能にするための実験を実施した。これらの装置を用いて模擬降雪と自然降雪の計測を行った結果、昨年度までに実現していた降雪空間の分光透過率の計測に加えて、雪片の粒径、降下数、降下速度等の物理量の計測が可能となった。以上のことから、模擬降雪装置の降雪の定量化が実現できたと考えている。さらに、複数の距離画像センサを用いた物体検知予備試験を実施した。
- 3) （舞台演出等で用いられる）フォグマシンをベースとした人工霧装置試作機を開発した。装置による人工霧と自然霧との比較実験を実施した結果、人工霧と自然霧では分光特性に違いがある（人工霧のほうが赤色

～近赤外光を通しやすしい）ことが明らかになった。ここで得られた結果は、国際会議で発表する予定である。

② 対人運動検知性能試験方法の開発

移動ロボットによる人や障害物の運動情報に関する信号取得の信頼性を評価する手法の開発と、開発した手法に関する基盤データを取得するための試験装置の開発を行った。また、IEC/TC44/W14で議論されているIEC/TS 62998委員会原案（CD）のV&V（安全性検証と妥当性確認）要求事項に準拠した規格ドラフト原文の作成を行うとともに、その根拠となるフィージビリティ評価のサンプルを示した。

③ 規格素案の策定

上記①と②で得られた基盤データから、規格素案の検討および策定を行った。耐環境試験方法としては、降雨空間試験装置によるセンサ評価試験方法を規格素案として取りまとめた。対人運動検知性能試験方法としては、非接触安全センサの移動体運用例をIEC/TS 62998の附属書としてとりまとめ、IEC/TC44/WG14に提案した。また、同WGに参加し、規格策定に貢献した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 生活支援移動ロボット、安全センサ、性能評価、国際標準化

【テーマ題目4】 高精度視覚マーカの実用化に向けたハード・ソフトの高性能化と応用システム開発

【研究代表者】 田中 秀幸（サービスロボティクス研究チーム）

【研究担当者】 田中 秀幸、角 保志、松本 吉央、脇田 優仁、本間 敬子、梶谷 勇、尾形 邦裕（ロボットイノベーション研究センター）金 奉根（知能システム研究部門）（常勤職員8名）

【研究内容】

視覚マーカは、画像による位置姿勢計測を支援するツールである。我々は、「マイクロレンズアレイが作る干渉縞」を用いて姿勢を測る世界初・世界最高精度（誤差1mm、1deg）の視覚マーカを開発し、従来型マーカの長年の未解決問題（正面観測時の姿勢精度の悪化等）を解決した。本マーカは、カメラ1個による低コスト・コンパクトな位置姿勢計測を行う新しい光学系を提供するものであり、ロボット制御、計測、拡張現実等、幅広い分野への応用が期待されている。本研究では、技術的にはそのまま製品化が可能なレベルの「課題①高品質なマーカの設計と製造技術の開発（ハードウェア）」と「課題②ロバスト・高速なマーカ認識アルゴリズムの開発（ソフトウェア）」を行う。また、ポータブル6自由度モーショントラッカー等、本マーカの「課題③応用システムの開発と性能検証」を企業や他機関と連携して行い、他シス

テムと比較した技術的優位性および実用性を明らかにすることで事業化への見通しをつける。本年度の進捗は以下の通りである。課題①については、これまでの高精度マーカで用いていたものに比べ10倍の姿勢感度をもつモアレパターンを使用することで、姿勢推定誤差が0.1deg未満の超高精度なマーカを開発した。これにより、平面視覚マーカを本格的な測位ツールとして利用する道を拓いた。また、波型二色構造による「反転検知パターン」を開発し、この小片を高精度マーカに付加することで、従来マーカの未解決問題の一つであった「姿勢の不定性」の問題を解決する手法、およびマーカを開発した。さらに、モアレパターンで使用しているレンチキュラーレンズに特殊構造を採用し、紙製の従来マーカに劣る唯一の技術的課題であった光の反射の問題を解決した。課題②については、特徴点検出アルゴリズムの改良により、奥行き方向の位置推定の安定性を向上させた（推定値の標準偏差が約1/2になった）。また、超高精度マーカによる高精度な姿勢推定値を活用した位置推定精度向上アルゴリズムを開発し、従来マーカのもう一つの未解決問題である奥行き方向の位置推定精度の悪さを解消した（誤差は測定距離の0.1%程度）。さらに、最大6つのパラメータを自動調整することで、照明強度の変動に影響されないロバストなマーカ計測を可能とするアルゴリズムを開発した。課題③については、宇宙機制御への応用として、JAXA（宇宙航空研究開発機構）と共同で実施していた国際宇宙ステーション曝露スペースにおける本マーカの宇宙環境実証試験を完了した。計測応用としては、カメラ1台と複数のマーカからなるポータブルな動作計測システムを開発し、人の運動モデルを利用して手先・足先への反力を推定するアルゴリズムと組み合わせた簡易動作計測・反力推定システムのプロトタイプを作成した。ロボット制御応用としては、高精度マーカを用いたロボットアームの精密な位置制御や、PTZカメラによるマーカ自動捕捉・トラッキングを実現した。その他AR（拡張現実）応用として、iOSに加え、Android上でもマーカ認識ソフトウェアが動作することを確認した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 視覚マーカ、画像計測、ロボット制御、拡張現実

【テーマ題目5】 国規模の3次元環境モデルを構築するための低コストセンシングシステムの開発

【研究代表者】 阪野 貴彦（スマートモビリティ研究チーム）

【研究担当者】 松本 治、横塚 将志、阪野 貴彦、橋本 尚久、富田 康治、トンプソン サイモン（常勤職員6名、他1名）

【研究内容】

数年以内に自動運転車両は段階的な実用化が始まる見

込みであるが、自動運転に必須とされる3次元地図データを日本全土に渡って整備するには膨大な数の計測車両が必要であるものの、現状では数十社の測量会社が1台あたり数千万円の計測車両を使って運用中である。本研究課題では、一般車両を安価に計測車両に仕立てるセンサユニットを実現するため、その基盤アルゴリズムを開発し、計測車両数十台の運用から、一般車両数万台規模に変えることを目指している。具体的には、ノイズが多く低解像度のレンジセンサやカメラを用いて、大規模範囲な3次元形状を復元することを目標とする。さらに、その技術を手持ちのセンサでも可能すべく、電動車いす等の自動運転にも応用し、車両が進入できない歩行者環境の地図作成・維持にも拡張する。今年度は以下の3つのサブテーマに関して研究開発を実施した。

1) 安価なデバイスによる高精度6自由度軌跡推定技術の開発

主要な幹線道路は国・企業等が高精細な3次元地図を全国的に展開するため、本手法ではそれらに含まれない歩道や自動車が進入できない細い道路を安価なレンジセンサでカバーする必要がある。ここで想定している安価なセンサでは解像度が低いというノイズが大きく、先述した高精細な幹線道路の3次元地図と繋ぎ合わせることは、これまでの手法では困難であった。そこで、精度・密度が大きく異なる2つのレンジデータにフィルタをかけ、特徴的な個所のみで位置合わせする手法を開発し、高精度かつ計算コストを抑えて繋ぎ合わせる手法を開発した。

2) 密な画像測量のためのロバストかつ密な視差検出技術の開発

大規模な範囲で画像のみから3次元形状を復元するには、高速で処理できるアルゴリズムが不可欠である。特に高解像度画像を用いた場合、画像中のすべてのピクセルを用いて3次元復元しては、膨大な処理時間を要する。そこで、高速処理を行うため、画像上のエッジ周辺のみをステレオ視によって奥行き計算し、それ以外の領域は滑らかに補完することで問題解決を図った。本提案手法により、安価なWEBカメラを用い、CPUのみを用いた計算でリアルタイム処理可能な3次元形状復元が可能となった。

3) モーションステレオによる3次元計測技術の開発

国規模の3次元形状を復元するためには、それだけの範囲をカバーする画像の収集が必要であるが、それを数人で行うことは現実的でなく、多くの人に撮影した画像を持ち寄ってもらうことが効率的である。ただし、その場合、画像間に連続性が不明となり、それに適した復元アルゴリズムが必要となる。そこで、画像間の連続性が未知である全方位画像を大量に取得し、画像間の類似性を探索しながらカメラ位置と3次元復元を行う手法を開発した。

[領域名] 情報・人間工学

[キーワード] 3次元地図、カメラ、SLAM、自動運転、自律走行、パーソナルモビリティ、GPS

[テーマ題目6] RT ミドルウェアの研究・開発および標準化

[研究代表者] 安藤 慶昭 (ロボットソフトウェアプラットフォーム研究チーム)

[研究担当者] 安藤 慶昭、原 功、ジェフ ビグス、高橋 三郎、河内 のぶ、宮本 信彦 (常勤職員4名、他2名)

[研究内容]

複雑化するロボットのソフトウェア開発効率を向上させ、システムインテグレーションにかかるコスト低減することで、ロボットの適用範囲・市場の拡大を目指す、ロボットのためのソフトウェアプラットフォーム：RT ミドルウェア (RT-Middleware: RTM) の研究・開発および標準化を行っている。

RT ミドルウェアは、ロボット機能要素 (RT 機能要素) をソフトウェア的にモジュール化した RT コンポーネント (RT-Component: RTC) を多数組み合わせることでロボットシステムを効率的に構築するためのソフトウェア基盤である。

それぞれの RTC はポートと呼ばれる出入り口を通して、他の RTC とデータやコマンドのやり取り等の相互作用を行うことで、全体として一つのシステムとして動作する。モジュール化と相互作用の方法の標準的な方法、およびフレームワークを提供するのが RT ミドルウェアである。

2002～2004年度に行われた NEDO プロジェクトにおいて基本仕様とアーキテクチャを定め、2005年には一つの実装例として OpenRTM-aist をリリースした。2004年から国際標準化団体である OMG (Object Management Group) において RT コンポーネントのインターフェース仕様の標準化を開始し、2008年に正式な OMG 標準となった。その間、OpenRTM-aist をオープンソースとして広く配布し、多数のユーザによる様々なロボットシステムへ適用されることで、多くのフィードバックを得つつアーキテクチャやシステム構築方法に関する研究を進めてきた。2009年に OpenRTM-aist-1.0 を改めてリリースし、現在までのところ OpenRTM-aist-1.1 がリリースされ、次バージョン 1.2 に向けた開発が進められている。

OpenRTM-aist の特長として、多くの言語で RTC を作成し相互運用できる多言語開発能力、Windows、Linux、μITRON など多様な OS への対応、モジュール化によるオーバーヘッドを最小にし、複数のモジュールを密結合しリアルタイム実行を可能にするリアルタイム性能、UML コンポーネントモデルに準拠することによるモデル化のしやすさ、ロジックと実行を抽象化し、RTC と実行コンテキストに分離したことによる実行形態の多様性

などが挙げられる。これらの特性を利用することで、複雑なシステムをモデル化により理解しやすく設計し、トレーサビリティを向上させることにより、不具合の少ない安定したロボットシステムを実現することができる。

今年度は、次バージョンの1.2に向けたパフォーマンスや品質向上のための開発、運用時の効率を改善するマネージャサービスに係る諸機能の実装を行った。このほか、次のメジャーバージョンアップ（バージョン2.0）に向けた追加機能に関して、新たなOMG標準FSM4RTC（状態遷移型RTコンポーネントに関する標準、2016年4月策定）への準拠のための状態遷移フレームワークおよびイベントポートの実装、また高信頼化のための静的コード解析とリファクタリングを実施した。

また、講習会を計7回（受講者数：延べ97名）、RTMコンテスト（主催：産総研、SICE RTシステムインテグレーション部会、ロボットビジネス推進協議会）を実施することで、RTMのユーザ間の人的ネットワーク、RTM普及促進に資する教育、技術者・研究者等の更なる人的ネットワークの輪を拡大する活動等を実施した。第10回目の開催となるRTミドルウェアコンテスト2016を計測自動制御学会・システムインテグレーション部門講演会のオーガナイズドセッションとし実施した。13件の応募があり、最優秀賞「計測自動制御学会RTミドルウェア賞」の他、個人協賛・企業協賛賞が参加者に対して授与された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ロボット、ソフトウェア、プラットフォーム、システムインテグレーション

⑦【人工知能研究センター】

(Human Factors Artificial Intelligence Research Center)

(存続期間：2016.5.1～終了日)

研究センター長：辻井 潤一

副研究センター長：山崎 直己、麻生 英樹、
宮本 晃之

首席 研 究 員：西田 佳史、本村 陽一、

Horton Paul

総 括 研 究 主 幹：野田 五十樹

所在地：臨海副都心センター、つくば中央第1

人 員：64名（63名）

経 費：3,266,917千円（410,412千円）

概 要：

人工知能の研究では、実世界問題への先端技術の適用が新たな先端技術を生み出すという、応用研究と基礎研究の密接な連関が不可欠になっている。また、応用分野の急速な拡大により、人工知能の研究は、まず

まずその学際性を強めており、多様な分野の専門家の共同研究が不可欠となっている。

本センターは、(a)人工知能とその隣接分野の国内外のトップ研究者、新進気鋭の研究者が共同して大規模な研究を推進するための核となること、また、(b)研究成果の実世界への応用を行うための産業界と学界との連携を促進する核となること、を目的として設立された。本センターの研究面からの大きな目標は、「人間の知能と親和性の高い」人工知能を実現することである。急速な発展を遂げてきた人工知能技術は、大きな期待とともに、人間とは異質な知性体を作り出してしまうのではないかという不安も引き起こしている。この不安感、人工知能への不信感という、人工知能技術のユーザビリティを限定する主要な要因ともなっている。膨大な記憶と計算の能力を使う機械学習技術は、膨大なデータから隠れた規則性を学習するという、個々の人間には不可能な能力を実現した。しかし、その反面、たとえば、文脈や場面によってさまざまに変わる言葉の意味を汲み取るといった、人間にとっては自然で簡単なことが、人工知能には難問となるという逆説的な状況も多く残っている。人間と人工知能という2つの異質な知性体が共同して挑戦的な課題を解決していくためには、人工知能を人間の知能との親和性が高いものにし、不安感や不信感を払拭することが必要である。

本センターは、次の2つの研究の柱を設定し、人間の知能との親和性が高い人工知能の実現を目指す。

(1) 人間の知能を発現させる仕組みを人間の脳から工学的に学ぶことで、脳のように柔軟でしなやかな情報処理を行うコンピュータシステムを実現する脳型人工知能や、脳の神経回路と神経細胞が情報を処理する動きをコンピュータの情報処理の動作に取り込むニューロコンピューティングの研究

(2) 膨大なデータから規則性を学習する機械学習技術と、人間社会が蓄積してきたテキストや知識を理解する意味理解技術やテキスト・知識を使う推論の技術とを自然に融合することで、複雑な判断や行動の決定とその過程の説明ができるデータ知識融合型人工知能の研究

この2つの研究テーマは野心的で、長期間の継続的な努力が必要である。本センターは、国内外の研究者の集積と交流の核として、また、学界と産業界の連携の核として、具体的に明確な応用を設定することで、その研究を推進していく。

内部資金：

戦略予算「画像解析技術のパイプライン化・標準問題化の開発」

外部資金：

平成28年度商取引適正化・製品安全に係る事業（高齢者等製品安全基盤情報収集事業）平成28年度商取引適正化・製品安全に係る事業（高齢者等製品安全基盤情報収集事業）

科学技術試験研究委託事業（都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト）(1) 円滑な応急・復旧対応を支援する災害情報提供手法の開発 (b) マイクロメディアサービス開発 2) マイクロメディアサービスにおけるマッシュアップ・双方向インタラクション技術の開発

科学技術試験研究委託事業（ポスト「京」で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発）多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発

戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）完全自動リアルタイムフルデマンド交通システム SAV 向けプラットフォームの研究開発

ー風力等自然エネルギー技術研究開発/風力発電高度実用化研究開発/スマートメンテナンス技術研究開発（分析）（リスク解析等）

ーSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）/インフラ維持管理・更新・マネジメント技術/点検・診断技術の実用化に向けた研究開発/学習型打音解析技術の研究開発

次世代ロボット中核技術開発/次世代人工知能技術分野次世代人工知能・ロボット中核技術開発/次世代人工知能技術分野/人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災機能の強化」交通・群集シミュレーションとハザード・リスク評価

戦略的創造研究推進事業（CREST）大規模社会シミュレーション実行計画機構の開発および全体調整とパッケージ統合

戦略的創造研究推進事業（CREST）統計的検定手法構築、高速化・大規模化及び手法の普及

戦略的創造研究推進事業（CREST）機械学習を用いた倍数体オミクス解析とモデリング技術の開発

戦略的創造研究推進事業（CREST）エビジェネティクス解析及び医療画像データ解析を中心とした機械学習全般の解析手法を用いた統合的解析

戦略的創造研究推進事業（CREST）予防安全分野の多機関分散データの統合的利活用技術のテストヘッド開発

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）データ利用技術の開発と普及

戦略的創造研究推進事業（さきがけ）計算論的代数幾何学によるデータ駆動科学の発展

国際科学技術共同研究推進事業（戦略的国際共同研究プログラム）（SICORP）安全・安心・満足に資する高齢者支援技術 ー高齢者と介護関係者をつなぐデジタルヒー

ューマンネットワークの構築

(1) 円滑な応急・復旧対応を支援する災害情報提供手法の開発 (b) マイクロメディアサービス開発 2) マイクロメディアサービスにおけるマッシュアップ・双方向インタラクション技術の開発

多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発

革新的先端研究開発支援事業エピゲノム解析の国際標準化に向けた新技術の創出

新学術領域研究（研究領域提案型）配列解析によるミトコンドリア由来オルガネラにおける品質管理因子の網羅的探索

新学術領域研究（研究領域提案型）ハイブリッド新種ゲノムが有するオミクス適応能の包括的な解析

基盤研究(A)ミッシングヘリタビリティを埋める複合因子解析手法の開発

基盤研究(B)使うほど医師の知識と経験を蓄積する育成型内視鏡画像診断支援プラットフォームの研究

基盤研究(B)救急医療現場での動線分析と会話分析の融合によるチーム医療の評価と教育効果の向上

研究活動スタート支援 Research and Development of a Novel Approach for Accurate Personal Sleep Tracking 特別研究員奨励費キッズデザインに対応するためのデータベースの設計及び応用

特別研究員奨励費ネットワーク上のコミュニティ検出問題への物理学的アプローチ

特別研究員奨励費なぜフタバガキの種子の羽は無くなったのか：機能喪失型形質の獲得機構と時期の解明

特別研究員奨励費 GPU クラスタを用いた半構造データの並列分散処理基盤の構築

基盤研究(C)マルコフ連鎖モンテカルロ法の挙動に基づくベイズ推定におけるモデル選択手法の開発

基盤研究(C)人間認知理論と深層統計解析による画像表現と理解

基盤研究(C)交通流映像とセルオートマトンに基づく新たなドライバモデリング手法の確立

基盤研究(C)機械学習と網羅シミュレーションによるMA 共有資源選択の効率化・安定化手法の確立

基盤研究(C)大規模機械学習のための並列計算基盤の研究

基盤研究(C)糸状菌由来リボソーム・ペプチド合成遺伝子のバイオインフォマティクス解析による探索

挑戦的萌芽研究物体の分かりやすい説明表現のための絵描き歌自動生成に関する研究

挑戦的萌芽研究大規模空間における避難訓練の科学的解析に基づく屋内避難経路ピクトグラムの作成

若手研究(B)Real-time, Best-effort Query Processing of Semantic Web data

若手研究(B)集合移動パターン分析によるセマンティック軌跡データベースの研究

若手研究(B)ベイズ推論にもとづく全自動かつ高速なテンソル分解のモデル選択法
 若手研究(B)多様な読み手のための単語難易度指標指標の統計的構築手法の開発
 若手研究(B)ゲノム3次元構造データに基づく共局在遺伝子の網羅的探索
 若手研究(B)サービス現場を活性化させる現場起点の業務デザイン知識循環手法の開発
 若手研究(B)金星成層圏での風速変動メカニズムの解明
 若手研究(B)Tree Transducers for Question-Answering over Large Databases
 若手研究(B)現場事例と規範知識を組み合わせた業務プロセス知識の獲得に関する研究
 若手研究(B)ビッグデータ解析環境への効率的なデータステージングの研究
 若手研究(B)ミトコンドリア内膜プロテアーゼにより調節をうける新規ストレス応答因子の探索
 若手研究(A)Regulatory DNA conserved between Phyla 新学術領域研究 (研究領域提案型) スパースモデリングによる潜在構造の抽出
 新学術領域研究 (研究領域提案型) 先進ゲノム解析研究推進プラットフォーム
 新学術領域研究 (研究領域提案型) 植物新種誕生の原理 - 生殖過程の鍵と鍵穴の分子実態解明を通じて -
 基盤研究(S)ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開
 基盤研究(S)組織幹細胞におけるゲノム安定性の制御
 基盤研究(A)複数分子を標的とした新薬設計手法の開発
 基盤研究(A)高齢者、介護スタッフの思いを記録し記憶へと繋ぐシステム
 基盤研究(A)知識表現付き高精度3次元地図を用いた自律協調型自動運転システムに関する研究
 基盤研究(A)あかつき・地上観測と数値モデリングの連携による金星大気力学の研究
 基盤研究(A)エピトランスクリプトーム解析のためのRNA インフォマティクス基盤技術
 基盤研究(B)地域救急医療の質の向上に資する科学的証拠の構築に関する研究
 基盤研究(B)地域救急医療の質の向上に資する科学的証拠の構築に関する研究
 基盤研究(B)ケアリングの実践知を日常的に共有するための支援モデルの構築
 基盤研究(B)ケアリングの実践知を日常的に共有するための支援モデルの構築
 基盤研究(B)ケアリングの実践知を日常的に共有するための支援モデルの構築
 基盤研究(C)変形の伴う3次元形状間の全自動アラインメント
 基盤研究(C)ソーシャルビッグデータにおけるデータ分析とデータ管理の統合理論の構築と実践

基盤研究(C)多種センサとクラウドを活用した分散リアルタイム機械学習処理基盤
 基盤研究(C)MAFFT 多重アラインメントプログラムの大量配列データへの対応と機能拡張
 挑戦的萌芽研究エピジェネティクスによる累代適応を、適応幅が広いシロイヌナズナ属野生種で検証する
 挑戦的萌芽研究携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究
 挑戦的萌芽研究携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究
 国際共同研究加速基金 (国際活動支援班) 植物新種誕生の原理 - 国際的研究センター形成に向けた国際活動支援センター -
 基盤研究(B)マルコフ確率場モデルによる科学技術計測イメージングデータからの潜在構造推定
 基盤研究(B)レジリエントなシステムのモデル化と推論に関する研究
 基盤研究(B)ゲノム網羅的な発現遺伝子を指標にしたブナ林の環境影響評価
 平成28年度医療研究開発推進事業費補助金 (創薬等ライフサイエンス研究支援基盤事業) タンパク質の立体構造及び相互作用推定のための構造インフォマティクス技術の開発

発表：誌上发表194件、口頭発表267件、その他23件

知識情報研究チーム

(Knowledge and Information Research Team)

研究チーム長：中田 亨

(臨海副都心センター)

研究目的は、数値や文字列といった羅列的なデータの中から、知識を抽出する技術を研究開発することである。従来のコンピュータはデータで考え結論を出すのが、人間は知識で考える。この差があるため、人間のように意味や価値判断に基づく深い思考を人工知能に行わせることには、まだ困難がある。研究手段として、データの中に含まれる命題間の関係を抽出し、それらの間に潜む矛盾や一致の関係を検出し、また時間経過による命題関係の変化を追跡することで、コンピュータが雑多な情報から最も信頼性の高い知識を抽出する技術を主に研究する。そして、キーワードの有無で尋ねる従来の検索ではなく、論理的な質問(クエリ)を受け付ける技術と併せることで、知識のレベルで人と対話する人工知能を研究開発する。方法論として、研究のいたずらな抽象化を避けるために、産業事故の報告書や新聞記事といった時世界の出来事を表すテキストを題材として取り上げ、実用性を検証することに主眼を置く。

研究テーマ：自然言語処理、知識抽出

研究テーマ：テーマ題目1、2、3

確率モデリング研究チーム

(Probabilistic Modeling Research Team)

研究チーム長：本村 陽一

(臨海副都心センター)

概要：

現実社会の中で行われるサービスや生活における現象の観測・分析・予測・制御を可能にするために、サービスや生活を通じて得られる大規模データから、現実社会の現象を予測可能な計算モデルである確率モデルとして構築し、それを活用して新たな現象の生成や制御を可能にする技術を開発する。実際の生活現場やサービス現場の中でデータを観測するためにはアクションリサーチが必要になる。すなわち実際の生活やサービス活動を改善しながら、現場で日常的に行われているサービスの活動や生活者の行動を、主観的な領域も含めて観測可能な大規模データとして観測・分析し、計算モデル化を行う確率データモデリングの技術開発し、を現場で利用可能な状態で提供することが重要である。具体的には、人間行動を観測する情報工学的技術、心理学的特性を推定する認知・行動科学的技術、大規模データから潜在的な意味カテゴリを抽出する数理的手法や計算技術、計算モデルを構築する確率的情報処理技術、計算モデルを用いた予測・制御・シミュレーション技術、これらの技術をサービス現場に実装し、社会化を促進する応用開発技術の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

脳型人工知能研究チーム

(Brain-like Artificial Intelligence Research Team)

研究チーム長：中田 秀基

(臨海副都心センター)

概要：

現存が確認されている唯一の知的システムである人間の脳の機構に学び、従来の人工知能、機械学習ではいまだ実現できていない、真に知的なシステムの構築を目指す。具体的には、大脳皮質がある種のベイジアンネットワークを構成しているという神経科学的知見に基づいて、ベイジアンネットワークを用いて構築された大脳皮質モデル BESOM を基盤とし、BESOM モデルの改良とさまざまなドメインへの適用を行う。BESOM モデルは双方向に情報が伝達するベイジアンネットワークをベースとしているため、コンテキストに依存した認識を自然に実現可能である。対象ドメインとしては、画像処理と言語処理とを選択した。画像処理においては、形状と場所の同時認識を目指す。言語処理においては、文法解析機がベイジアンネットワークで表現できることを示す。さらに BESOM の実用性を高めるために、クラスタを用いたデータ並列と、GPGPU を用いたモデル並列を併用して高速化を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

人工知能応用研究チーム

(Artificial Intelligence Applications Research Team)

研究チーム長：村川 正宏

(つくば中央第1)

概要：

社会課題を解決することを目的とした人工知能技術の活用方法について研究を行う。特に、機械学習に基づく画像解析や音響データ解析による異常検知などをコア技術とし、社会インフラ診断および医療診断・創薬支援に資する技術の実用化に向けて研究開発を行う。取り組む課題それぞれのステークホルダーと密接に連携し、PDCA サイクルを短期間に回していくことで、早期の橋渡しを目指すとともに、人工知能技術を実社会で活用するために必要なノウハウや知見を蓄積し、共通部分を抽出することで横展開のフレームワーク化を目指す。また、橋渡しの過程で必要性が浮き彫りになる基盤技術については、他のチームにもフィードバックし連携することで、目的基礎研究の推進にも貢献する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

人工知能クラウド研究チーム

(Artificial Intelligence Cloud Research Team)

研究チーム長：小川 宏高

(臨海副都心センター)

概要：

計算機・ネットワーク技術の普及と各種センサ技術の発展に伴い、多種多様なモノがネットワークに接続され、実世界のさまざまな事象を「データ」として情報技術の世界から捉えることが可能になってきた。本チームではこうした時々刻々と生成される膨大なデータの收拾・蓄積・発信・分析・発見・利用を可能にする技術の開発を行っている。具体的には (a) 多種多様大量のデータを対象としたスケーラブルなデータ処理を可能にするインフラ技術、(b) オープンデータ等の高度利活用を可能にする分散検索技術ならびに並列演算アルゴリズム、(c) ジオソーシャルデータに代表される地理空間情報を対象としたデータ利活用技術、などを研究開発している。さらにこうした技術を基盤として、人工知能応用の容易かつ迅速な実現を可能にする次世代人工知能フレームワークの開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

機械学習研究チーム

(Machine Learning Research Team)

研究チーム長：瀬々 潤

(臨海副都心センター)

概要：

第4期中期計画3-(1)「ビッグデータから価値を創造

する人工知能技術の開発」に貢献することを目的とする。そのために、人工知能の基盤技術の一つである機械学習技術に関して、基礎理論から応用まで幅広く研究開発を実施する。基礎理論に関しては、ベイズ的な確率モデリングに基づいて、スケーラブルな機械学習・確率モデリング技術、機械学習と数理統計学をシームレスに繋ぐ理論の開発、超複雑な機械学習・確率モデリング技術、深層表現学習技術、等の研究開発を進める。機械学習の応用に関しては、医療・農業データの解析への応用、物質科学のデータ解析への応用、地球観測衛星データや惑星科学データの解析への応用、等に関する研究開発を中心として実施する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

サービスインテリジェンス研究チーム

(Service Intelligence Research Team)

研究チーム長：西村 拓一

(臨海副都心センター)

概要：

人々が主体的・共創的にインテリジェンス（観察、判断、行動力）を高める方法論とそれを効率的に実現する人工知能技術を研究する。そのために、モノだけでなく人々の活動とその意味、感情、知識を「コト」としてデータベース化、モデル化し、新たなコトとモノを設計することを支援する技術を開発する。具体的には、介護、看護、健康増進、保育、教育、地域活性化理美容などの現場に知識工学、設計工学、データ工学、認知科学、バイオメカニクスなどを適用し、横展開可能な人間行動モデリング技術を開発する。これにより、サービス現場のインテリジェンスを高め、究極の個別対応サービスが効率的に創出される社会を目指す。

2016年度は、介護現場での食事介助などの11の作業手順を目的指向で構造化した。このベース知識を元に、現場従業員が現場固有の知識を追加する知識発現の方法論を構築、効果を実証した。この知識発現方法論をもとに、健康増進として認知症予防に有効なダンスと音楽指導に関する基本知識の構築を開始した。健康増進や介護現場で重要となる身体運動の質の可視化のために特に動きの基本となる体幹の評価技術を確立した。サービス現場により適した ICT の社会実装を促進するため、サービス現場に加え、現場を支える経営・制度も含めたサービスシステム全体の分析手法の開発に着手し、介護サービスを対象として国内外で調査を実施した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

計算社会知能研究チーム

(Computational Social Intelligence Research Team)

研究チーム長：野田 五十樹

(つくば中央第1)

概要：

様々な社会現象を社会サービスシステムとみなし、人々の知的なふるまいを中心とした計算機モデルを構築し、センシングとシミュレーションにより現象を多方面から評価し、システム設計を支援する技術を構築する。対象とする社会現象としては、地域における公共交通サービスや地域防災施策、イベントや施設における人流制御を取り上げる。これらを対象に、人の動きや判断を継続的かつ非接触型でモニタリングする技術とともに、社会現象のデータ化と、それらのデータに基づく計算機モデルの構築、さらには、その社会現象に関係する多様な状況・要素を網羅して大規模にシミュレーションし分析する技術の開発を進める。これを基に、社会システムやサービスの改善施策の効果を見える化する手法を構成して、人工知能技術を用いた効果的な社会制度設計の支援手法を探索し、地域活性化・付加価値向上のための基盤情報技術を確立する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3

生活知能研究チーム

(Living Intelligence Research Team)

研究チーム長：西田 佳史

(臨海副都心センター)

概要：

多様な生活機能変化者に適合した安全な生活、自立した生活、高度な社会参加のある生活の実現といった社会的インパクトのある具体的課題をいくつか設定し、IoT 技術、画像処理技術、生活データベース技術、ロボット技術などの技術を垂直統合する研究を推進することで、人工知能技術創出と社会インパクトの相乗効果を狙う。また、地域生活が営まれる現実のコミュニティや産業界と連携することで、大規模生活データからニューノーマル化した生活課題をいち早く見つけ、そのソリューションを開発可能にするエコシステムの創造も長期的な狙いとする。平成28年度は、産総研内リビングラボと連携可能な実現場（介護施設や病院や一般住宅など）をセンサ化したサテライトリビングラボの整備を進めた。また、実際に移動ロボット等の評価で重要となる物理情報（動画、RGBD データなど）と意味情報（物体の名称や人側のプロフィール情報、）を参照可能にする生活関連現象のデータベースの基本技術の開発を進めた。実際に有用な生活知能アプリケーションを考えた際に、計測や理解とともに、環境内を自律移動し、情報を自動収集したり、物体を運搬するなどのロボット技術が必要となる。そのための、動きながら観測する技術や、動的地図作成機能、認識モジュールと連携可能なナビゲーション技術の開発を進めた。

研究テーマ：テーマ題目1

地理情報科学研究チーム

(Geoinformation Science Research Team)

研究チーム長：中村 良介

(臨海副都心センター)

概要：

あらゆる情報は、「いつ」「どこで」という時空間情報にタグ付けされています。こうした多種多様かつ膨大な地理空間情報を知的に処理できる基盤を開発し、科学研究だけでなく環境管理・資源開発・防災といった具体的な応用に結びつけます。直近の課題は、宇宙から地球・惑星を観測する衛星群をセンサーネットとみなし、そこから得られる画像や測位データを即時・全量処理できる人工知能フレームワークの構築。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

オーミクス情報研究チーム

(Computational Omics Research Team)

研究チーム長：光山 統泰

(臨海副都心センター)

概要：

近年、ライフサイエンス分野では、測定技術の進歩によって、大量のデータが産生されるようになった。疾病の予防や、再生医療、新薬開発といった健康と医療の諸問題を解決するためには、このようなライフサイエンスのビッグデータを活用することが不可欠である。ライフサイエンスのビッグデータのなかでも、細胞内の分子の様子を観測したデータ、すなわちゲノムデータ、遺伝子発現データ、エピゲノムデータなど、多種のデータがある。これらの総称をオーミクス情報という。がん抑制や治療をはじめ様々な疾病を緩和させたり治療したりするための方法を考えるには、オーミクス情報を解読する必要があるが、人間が直接見ても理解は難しいため、オーミクス情報から有用な知識を抽出する技術が必要である。我々は、人工知能技術を生かして、オーミクス情報を解読する技術を開発している。

研究テーマ：テーマ題目3

インテリジェントバイオインフォマティクス研究チーム

(Intelligent Bioinformatics Research Team)

研究チーム長：富井 健太郎

(臨海副都心センター)

概要：

ゲノム情報をはじめとする多様かつ膨大な生命情報に関するデータから生命科学に資する知識発見を行うためのバイオインフォマティクス技術の開発及びそれらを用いた応用研究を行う。生体分子の有する生物機能活用に向け、膨大な科学技術論文からの知識の再構築を目指し、酵素の機能分類に必要な文献情報解析技術やデータベースなどの開発を進める。また生体

分子の配列・構造データを利用した疾患関連遺伝子の推定や創薬支援などへの応用に向け、バイオインフォマティクス技術や機械学習等に基づくゲノム関連データの情報解析技術及びデータベース等の技術開発を推進するとともに、開発技術を利用した生体分子の機能・構造解析などを行い、創薬などへの応用を目指す。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

NEC-産総研人工知能連携研究室

(NEC-AIST AI Cooperative Research Laboratory)

連携研究室長：鷲尾 隆

(臨海副都心センター)

概要：

シミュレーション技術と AI 技術を融合し、特殊・極限・不測事象を知る技術、過去のデータを超越する高度意思決定技術、多数 AI システム間挙動調整技術について、出口を見据えた基礎原理研究から産業応用研究開発に至るまでを取り組む。(プロジェクト1：機械学習とシミュレーションの融合、プロジェクト2：自動推論とシミュレーションの融合)

研究テーマ：テーマ題目2

[テーマ題目1]人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発

[研究代表者] 辻井 潤一 (人工知能研究センター)

[研究担当者] 辻井 潤一他 (常勤職員47名、他40名)

[研究内容]

人間と人工知能が協働して重要な社会的課題を解決する世界の実現を目指して、人間と相互理解可能な次世代人工知能技術の研究開発を進めている。大学、公的機関、産業界から人材、技術、データを集結させ、①大規模目的基礎・先端技術研究開発、②次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発、③次世代人工知能共通基盤技術研究開発、という3つの研究開発項目を一体的に実施した。初年度である平成27年度の主な進捗は以下の通り。次世代脳型人工知能の研究開発：大脳皮質モデル BESOM の理論的妥当性の検証と並列・分散実装、BESOM を用いた人工視覚野、人工言語野の設計を進めた。視覚野細胞の空間的 STA と時間的 STA の推定手法の検討を進めた。運動のシーケンスを学習・表現可能な大脳基底核-小脳モデルの開発に着手した。能動学習による効率的な物体追跡手法を提案した。データ・知識融合型人工知能の研究開発：研究課題として画像・映像データと経済データに対する説明文生成と質問応答タスクを選定し、データの検討を開始した。ニューラルネットワークが学習した分散表象知識を、人間が理解可能な記号的知識に変換する手法を提案し有効性を確認した。機械学習・確率モデリングの高度化：学習用データの次元圧縮・削減等による学習効率化の先行研究調査を進めた。複数の学習用データ拡張手法を提案・評価

した。有向循環説明グラフを扱える確率プログラム処理系を構築した。深層学習と強化学習との組み合わせに關してのアルゴリズムを検討し、ロボット制御の実験環境を整備した。次世代人工知能フレームワーク研究：次世代人工知能フレームワークプロトタイプ、共通データモデル等の設計を進めた。人工知能研究クラスターの調達を進めるとともに、クラウド上で計算機リソース、データ蓄積・管理・利用サービスを構築した。仮想環境での人間とロボットの対話のデータ収集環境を構築した。先端中核モジュール研究開発：日常生活データを観測・収集するためのリビングラボや日用品の3次元データ収集環境を構築した。認識等のモジュールをクラウド上に統合するミドルウェアの整備を進めた。人の物体操作や組立作業の計測法とそれを利用した行動計画法を提案した。動作模倣学習や不定形物操作の実験環境を構築し、紐状の不定形物を目標形状にするための手順生成法を提案した。既存の自然言語処理ツールの調査を行った。

人間行動モデリングタスク：ビッグデータの活用が期待されている具体的なフィールドの検討を進め、次世代自販機等のデータ収集基盤、行動計測システム、知識収集システムの導入可能性の検討と整備を行った。画像解析タスク：中分解能衛星画像データをクラウド上に整備し、変化検出や地物検出が行えることを確認した。高分解能衛星画像データの活用法の検討を開始した。事故情報テキスト解析・事故予防タスク：事故の進展フロー図の書式を策定し、米国航空安全報告制度のヒヤリ・ハット情報や米国労働安全局の事故データの分析を開始した。対人インタラクションタスク：実験フィールドとして選定した幼稚園に園児を識別・追跡するための環境を構築し、Pepper等を用いたインタラクション実験を実施した。産業用ロボットタスク：産業用ロボットシステムとピッキングシミュレータを構築し、ピッキングの学習実験環境を整備した。自動運転タスク：ヒヤリ・ハットデータベースをリスク予測の学習用に整備した。先進運転支援システムオントロジーを整備し、交差点での状況等の行動記述を試みた。全体の情報処理を十分な速度で実行するためのハードウェアの検討に着手した。

【領 域 名】情報・人間工学領域

【キーワード】人工知能

【テーマ題目2】NEC-産総研 人工知能連携研究室

【研究代表者】辻井 潤一（人工知能研究センター）

【研究担当者】辻井 潤一、鷺尾 隆、野田 五十樹、森永 聡、鶴岡 慶雅、山崎 啓介、中田 亨、本村 陽一、江原 遥、Alvarez Nahum、Ba Seydou、小森 雄斗、西岡 到、山本 風人、木佐森 慶一、窪澤 駿平、中台 慎二、梶原 隆文、川田 拓也、平岡 拓也、大西 貴士、森 達哉、田中 友紀子、

亀田 義男、大嶋 真理絵
（常勤職員 名、他 名）

【研究内容】

シミュレーション技術と AI 技術を融合し、特殊・極限・不測事象のような稀にしか生起しないために学習用のデータを収集しにくく現象についても、シミュレーションで生成したデータを用いることで現象のモデル化や解析を可能にするための技術、過去のデータとシミュレーションで生成されたデータを合わせて用いることで、過去の経験を超えた高度な意思決定を可能にするための技術、複数の AI システムが実世界で利用される状況を想定し、そうした AI システム間の挙動を調整する技術について、出口を見据えた基礎原理研究から産業応用研究開発に至るまで幅広く取り組んだ。本年度は、具体的な課題として、稀にしか生起しない望遠鏡の迷光現象を解析する研究に取り組み、光路のシミュレーションによってデータを生成することで、迷光の原因を推測することに成功した。また、ひとつの街の規模のコミュニティをシミュレーションすることにより、街の賑わいの解析をするための研究に着手した。

【領 域 名】情報・人間工学領域

【キーワード】人工知能

4) 材料・化学領域

(Department of Materials and Chemistry)

領域長：村山 宣光

概要：

領域長は、理事長の命を受けて、各研究領域における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究領域間の融合を推進し、業務を実施している。

① 材料・化学領域研究戦略部

(Research Promotion Division of Materials and Chemistry)

研究戦略部長：花岡 隆昌

研究企画室長：遠藤 明

所在地：つくば中央第1

人員：19名 (18名)

概要：

材料・化学領域における研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務、研究分野間の連携の推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整に関する業務、経済産業省その他関係団体等との調整に関する業務、領域長が行う業務の支援に関する業務などを領域企画室と協力して行っている。

材料・化学領域研究企画室

(Research Planning Office of Materials and Chemistry)

概要：

材料・化学領域における研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務、研究分野間の連携の推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整に関する業務、経済産業省その他関係団体等との調整に関する業務、領域長が行う業務の支援に関する業務などを研究戦略部と協力して行っている。

機構図 (2017/3/31現在)

産総研・東大 先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ

(Advanced Operando-Measurement Technology Open Innovation Laboratory)

概要：

平成28年6月1日に「産総研・東大 先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ」(AIST-U-Tokyo Advanced Operando-Measurement Technology Open Innovation Laboratory : OPERANDO-OIL)を国立大学法人 東京大学【総長 五神 真】(以下「東大」という)と共同で設立した。産総研のオープンイノベーションラボラトリ (OIL) は、産総研の第4期中長期計画 (平成27年度~31年度)で掲げている「橋渡し」を推進していくための新たな研究組織の形態で、OPERANDO-OIL もその一つである。

我が国では産業競争力強化に向けた新たな産業創出や価値創成が求められており、そのためには、新素材や革新デバイス技術を開発するための新原理・原則の追究と、製造効率の向上がますます重要になってきている。中でも、実際に材料やデバイスが反応・動作している環境の下で、刻々と変化する分子構造や欠陥状態をリアルタイムで計測する「オペランド (実環境動的) 計測技術」は、機能発現メカニズムの解明や製造プロセスの可視化につながり、材料・デバイスの開発を大幅にスピードアップできる基盤技術として期待されている。

東大柏キャンパスには物性研究所や新領域創成科学研究科などがあり、物性・物質科学で世界をリードする革新的な基礎研究や分野横断的な研究が行われている。一方、産総研は、先端的な計測技術開発を長年行っていることに加え、素材メーカーやデバイスメーカー、大学などとの共同研究を通じ、新素材、革新デバイスなどの産業化につながる研究開発の実績が多くある。また、「つくば-柏-本郷イノベーションコリドー (TKHIC) 構想」を掲げる東大においても、産総研などと連携して、新たなイノベーション創出のため、学術成果を産業界まで加速的に届けるための仕組みも着実に整えられてきている。

そこで、産総研と東大は新たな産総研の連携研究拠点を東大柏キャンパス内 (第2総合研究棟) に設置し、相互のシーズ技術や研究人材を融合し、素材やデバイス開発分野での新産業創出を目指した研究開発を連携して行い、技術の実用化と社会実装を推進させていく。さらに、RA (リサーチアシスタント) 制度を活用した研究人材育成、産学官ネットワークの構築による「橋渡し」につながる目的基礎研究の強化や、先端オペランド計測技術を活用した新素材、革新デバイスなどの産業化・実用化のための研究開発を推進する。

機構図 (2017/3/31現在)

産総研・東北大 数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリ

(Mathematics for Advanced Materials Open Innovation Laboratory)

概 要 :

平成28年6月30日に「産総研・東北大 数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリ」(AIST-TohokuU Mathematics for Advanced Materials Open Innovation Laboratory; MathAM-OIL) を国立大学法人 東北大学【総長 里見 進】(以下「東北大」という)と共同で設立した。産総研のオープンイノベーションラボラトリ (OIL) は、産総研の第4期中長期計画 (平成27年度~31年度) で掲げている「橋渡し」を推進していくための新たな研究組織の形態で、東北大 原子分子材料科学高等研究機構【機構長 小谷 元子】(以下「AIMR」という)と連携し、離散幾何解析学などの数理科学と計算材料科学による材料モデリング研究の技術の体系化と、材料の構造・機能・プロセスの関連原理の明確化による材料開発の加速化を目指す。

製品を構成する部素材の構造等が複雑になり、製品開発期間が長期化する傾向に対して、鍵となる機能性材料の飛躍的な性能向上や新しい機能による製品の差別化による新しい産業・市場の創出が求められている。さらに、機能性材料は、個々の市場規模は小さいものの、各市場で高いシェアを確保できる分野で、日本発の材料が市場を獲得するためには、それらの市場導入をスピードアップする技術が重要になってきている。本 OIL で取り組む数理科学と計算材料科学融合により材料の構造・機能・プロセスの関連原理を明確にする技術は、超先端材料の設計をスピードアップし、日本での材料・デバイス開発を推進する基盤技術として期待されている。

東北大 AIMR は「数学」、特に離散幾何解析学を活用する複雑材料の構造解析などの材料構造解析研究で世界をリードしている。一方、産総研は、機能材料コンピューテーショナルデザイン研究センター (CD-FMat)【研究センター長 浅井 美博】を中心に、素材メーカーやデバイスメーカー、大学などとのコンソーシアムや共同研究を通じ、機能性材料などの産業化につながる研究開発の実績が多くある。

そこで、産総研と東北大は新たな産総研の拠点である MathAM-OIL を東北大片平キャンパスに設置し、相互のシーズ技術を合わせ、材料の構造・機能・プロセスの関連原理の明確化を目指した研究開発を連携して実施する。それにより、機能性材料開発のスピードアップにつながる産業化・実用化のための研究開発を進めていく。

機構図 (2017/3/31現在)

連携研究ラボ

日本ゼオン-産総研カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ

(Zeon-AIST Nanotube Industrialization Cooperative Research Laboratory)

概 要 :

平成28年7月1日に「日本ゼオン-産総研 カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ」を日本ゼオン株式会社 (代表取締役社長 田中 公章、以下 日本ゼオン) と共同で設立した。

本連携研究ラボでは、組織間の垣根を取り払い、産総研が開発したカーボンナノチューブ (CNT) の合成法「スーパーグロース法 (SG 法)」の実証プラントなどの基盤研究設備と研究員を活用して、SG 法をベースとした高効率合成法、ならびに次世代合成法による CNT の量産化に係る研究開発を推進し、CNT の各種工業材料としての展開を見据えた、より一層のコストダウンおよび生産量向上を目指す。これにより、産総研が推進する評価技術・リスク評価・新規用途開発などの広く CNT 産業の振興に努める研究の促進も期待される。これらを通して、世界一の CNT 産業の構築を目指す。産総研の材料分野では、初めての企業の名称を冠した連携研究ラボとなる。

機構図 (2017/3/31現在)

業務報告データ

- ・材料・化学領域ビジョンと予算案の策定
- ・国プロの立案に向けた総合調整
- ・領域推進プロジェクト、萌芽的研究推進、産総研フェローシップ等の選定・調整
- ・領域運営や橋渡し状況の PDCA 管理
- ・企業等との外部連携の推進
- ・ナノセルロースファイバー事務局の運営
- ・nano tech2017への出展の取り纏め
- ・化学フェスタ等の出展補助
- ・技術研究組合との各種調整

②【機能化学研究部門】

(Research Institute for Sustainable Chemistry)

(存続期間 : 2015.4.1~)

研究部門長 : 北本 大

副研究部門長 : 榊 啓二、吉田 勝

首席研究員 : 山口 智彦、新納 弘之

総括研究主幹 : 須田 洋幸、池上 徹

所在地 : つくば中央第5、中国センター

人 員 : 61名 (61名)

経 費 : 688,727千円 (428,217千円)

概要：

1. ミッション

近年、地球温暖化防止等の視点から、石油からバイオマス等の再生可能資源への原材料転換に関わる技術の確立が急務の課題となっている。当研究部門では、再生可能資源等から、高効率かつ低環境負荷な反応・プロセスで、各種の基幹・機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術開発を目指す。化学品の製造面からは、バイオマス処理技術、微生物や酵素等を用いた変換技術、有機合成を基軸とする材料創製技術などに取り組む。また、化学品の高度利用面からは、分子や界面の精密制御、素材の形成・加工・機能化、光化学反応、材料特性評価・標準化などに関わる研究開発を進める。

環境と経済の両立を指向するグリーン・サステイナブルケミストリーの理念のもと、当部門が母体である触媒化学融合研究センターと連携を図りながら、これらの技術開発を一体的に押し進め、化学品の多様な産業分野への展開や、機能性化学品産業の国際競争力強化に貢献する。

2. 研究開発の方針

当部門は、第4期中期計画が筆頭に掲げる「橋渡し」機能の強化を念頭に、化学・バイオ系分野の研究者の集団力をベースに、下記の4つの戦略課題に取り組む。

- 1) 再生可能資源を利用する反応・プロセス技術
- 2) 化学材料の創製・高機能化技術
- 3) 光化学利用技術
- 4) 先端化学材料の評価技術

課題1)では、バイオマス等から高効率かつ環境低負荷で、基幹・機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術を開発する。課題2)では、電子デバイス、家電製品、輸送機器等の高度化に向け、様々な界面表面で特異な機能を発揮できる新材料（特に、機能性塗料やスマート接着剤）の開発に注力する。課題3)では、新しい光源（LED、ファイバーレーザーなど）を活用して、局所的に機能を付与できる材料プロセスを開発する。加えて、光機能材料を的確に改良し、フレキシブル透明電極、反射防止フィルムや、CIGS 薄膜太陽電池部材等への展開を進める。課題4)では、機能性化学品の高付加価値化に向け、特に有機・高分子材料や複合材料に関して、「耐久性・劣化評価」、「界面・高次構造評価」を可能とする独自技術を構築する。これらの課題推進にあたっては、技術の出口を、より一般消費者に近い位置（健康増進新素材：スポーツ・ヘルスケア・農業系素材など）にフォーカスし、連携すべき事業・企業の幅を広げていくことを目指す。また、バイオマス資源からの機能性化学品製造を第一の目標としていることから、原料供給や製造拠点、製品

市場に密接に関わるアジア地域との連携開拓も視野に入れる。

産総研は産業技術の向上を担う公的研究機関であることを踏まえ、自ら革新的なシーズ技術の創出に努めると共に、大学や企業等との連携のもと、社会に点在する優れたシーズ技術を汲み上げ、着実に実用化フェーズへと「見える化」することにも注力する。特に、競争力のある新技術の創出には、部門員の強みを生かした持続的なコア技術の醸成・深化が不可欠であり、そのための研究環境整備や、リソース配分を優先的に実施する。当部門がつくばと中国センターに跨ることから、地域センター間での技術融合にも積極的に取り組み、多様な視点から地域創成へも貢献する。

知財は、「技術移転の必需品、かつ事業を守り育てる手段」との認識を持ち、成果の特許出願等においては、開発技術の立ち位置、連携すべき企業、想定される事業内容、最終的な市場や顧客等を、多角的な視点から精査する。「広く強い」知財に向けて、ポートフォリオ分析に従い、質と量の拡充を目指す。特許出願後は、可能な限り公開までの間に、的確なスケジューリングで成果発信（学会・論文・プレス発表、展示会等）を行い、技術マーケティングと相補して、最適な連携企業の選定、資金提供型共同研究に繋げる。

3. 運営方針と体制

本部門は、グループ長を一次管理者、部門長を二次管理者とする二階層による部門運営を基本とする。部門長は、ライン上にあるグループ長の一次判断を尊重しつつ、部門スタッフ（副部門長・首席研究員・総括研究主幹・ユニット支援）や、研究業務推進部等の意見を参考に、運営の最終決定を行う。部門スタッフは、部門長とグループ長のラインとは別に位置づけ、部門運営全般に関して部門長を補佐しつつ、必要に応じて各グループの研究活動を先導・支援する。当部門の研究のキーワードである「グリーン・サステイナブルケミストリーの推進」には、化学、バイオに加え、多様な技術の集積・融合が不可欠である。個人、あるいはグループの「独創力」をベースとして、領域内外のユニットは勿論、所外組織との実効的な連携を強く奨励し、集団力を生かした研究展開を図る。

産総研の社会的立場・責務を常に認識し、「分かりやすく、明快に」を念頭に、広く産業界や一般社会に対する、積極的なアウトリーチ活動にも力を置く。

内部資金：

戦略予算 再生可能資源を利用する反応・プロセス技術

研究

戦略予算 化学材料の創製・高機能化技術	度を光により巨大変化させることが可能な分子システムの構築
戦略予算 光化学利用技術	文部科学省 科学研究費補助金 光駆動型有機・無機ハイブリッドナノ空間を用いたバイオリクターの創製
戦略予算 先端化学材料の評価技術	文部科学省 科学研究費補助金 ハイブリッド化による高機能バイオポリマー漆膜の創製
外部資金：	文部科学省 科学研究費補助金 光によるナノ炭素材料の界面物性制御技術の高度化
国立研究開発法人農業環境技術研究所 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業委託事業 畑作の省力化に資する生分解性マルチフィルム分解酵素の製造技術と利用技術の高度化	文部科学省 科学研究費補助金 多官能アントラセン誘導体の合成と可逆相構造制御
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構「革新的技術創造促進事業（異分野融合共同研究）」公募（補完）研究 農林系廃棄物を用いたハイブリッドバイオマスファイラー製造および複合材料開発	文部科学省 科学研究費補助金 安全でしなやかな酵素燃料電池実現のための酵素-電極界面材料開発
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発 木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発	文部科学省 科学研究費補助金 並行複発酵に最適なキシロース発酵性酵母創製に向けた基盤研究
国立大学法人京都大学 非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発 高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発	文部科学省 科学研究費補助金 動きを生み出す分子集合体：静電気応答性の解明と応用
国立研究開発法人科学技術振興機構 ImPACT ナノ秒ジュールパルスを活用する材料表面加工技術の開発	文部科学省 科学研究費補助金 糸状菌アクレモニウム・セルロリテカスの糖化酵素遺伝子の発現制御機構の解析
国立研究開発法人科学技術振興機構 さきがけ スライド型ナノアクチュエータの開発に向けた基盤技術の確立	文部科学省 科学研究費補助金 レジリンモデルポリペプチドから成る超弾性繊維の創製及び機能制御
国立研究開発法人科学技術振興機構 ALCA バイオマスプラスチックを使いこなすための高機能バイオ界面活性剤の開発	文部科学省 科学研究費補助金 低電圧で駆動する折り紙アクチュエータの開発
国立研究開発法人科学技術振興機構 国際科学技術共同研究推進事業 生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト	文部科学省 科学研究費補助金 高効率キシロース資化性酵母創製に向けた基盤研究
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 請負研究 摩擦低減材料の試作・提供	文部科学省 科学研究費補助金 固液界面レーザー誘起反応を利用した透明樹脂上への微細周期構造付加技術の開発
文部科学省 科学研究費補助金 生物規範界面デザイン	文部科学省 科学研究費補助金 オールナノカーボン電極による透過型有機太陽電池の研究
文部科学省 科学研究費補助金 サブ10フェムト秒位相制御光による非熱的原子レベルレーザーカーヴィング技術の開発	文部科学省 科学研究費補助金 非可食バイオマスの直接発酵を可能とする宿主微生物の開発
文部科学省 科学研究費補助金 高分子のガラス転移温	文部科学省 科学研究費補助金 実験と理論の連携による可逆的固液光相転移の機構解明

文部科学省 科学研究費補助金(分担) 構造化ゲルと
化学反応場の協働による運動創発

文部科学省 科学研究費補助金(分担) 生物多様性を
規範とする革新的材料技術

文部科学省 科学研究費補助金(分担) ゲルポンプ内
蔵マイクロチップ分析システムの創生

文部科学省 科学研究費補助金(分担) ホモ・ヘテ
ロ・ナノギャップ構造を持つ周期ナノドット転写法の開
発

文部科学省 科学研究費補助金(分担) 2次元無機有
機ペロブスカイト材料によるハイブリッド特有の光学応
答

文部科学省 科学研究費補助金(分担) 生物はなぜ振
動・同期するのかー酵母細胞における解糖系振動現象の
生命機能の解明ー

文部科学省 科学研究費補助金(分担) マイクロ非平
衡場の制御による細胞サイズ分子ロボットの動的自己組
織化と自律運動

公益財団法人新産業創造研究機構 サポイン セルロー
スナノファイバーとゴム材料との複合化技術を活用した
環境配慮型超軽量・高機能シューズの開発

公益財団法人ひろしま産業振興機構 平成28年戦略的
基盤技術高度化支援事業 航空機用繊維強化樹脂材料の
高効率曲面仕上げを可能とするフレキシブルメタルシー
トの実用化開発

発表: 誌上発表107件、口頭発表222件、その他25件

バイオベース材料化学グループ

(Bio-based Materials Chemistry Group)

研究グループ長: 吉田 勝

(中国)

概要:

当グループでは、バイオマスを原料とした、生物学的もしくは化学的な変換を利用する機能性化学品製造において、その反応効率や生成物収率に大きく影響する、木質の主要3成分(セルロース、ヘミセルロース、リグニン)の高効率分離技術について、高温高压下での水熱反応を中心に、様々な研究開発を行っている。さらに、特に分離したリグニン成分に着目し、これを原料とした機能化学品への変換技術の研究も行っている。加えて、天然由来の素材や材料の機能に着目し、その機能性発現の機構を科学的に解き明かすと共に、有機

合成の手法により、機能性高分子の調製に反映させることで、これまでにない高機能性・多機能性新材料の創製にも取り組んでいる。

研究テーマ: テーマ題目1、テーマ題目2

バイオ変換グループ

(Bioconversion group)

研究グループ長: 星野 保

(中国)

概要:

昨年度までに開発した耐熱キシラナーゼをベースに、X線結晶構造解析によるラショナルデザインを実施することにより、通常の野生型酵素よりキシロオリゴ糖(特にキシロトリオース)の生産量を約10倍向上させた酵素の設計に成功した。また、医薬品や生活用品などの機能性化学品の原料として有用なD-アミノ酸の高収率で安価な生産を達成するため、D-アミノ酸脱水素酵素のX線結晶構造解析を行った。X線結晶構造解析により、D-アミノ酸脱水素酵素の基質認識に重要な役割を持つアミノ酸残基を特定した。さらに、そのアミノ酸残基に対して変異導入することで、D-アミノ酸を生産する活性を3倍程度高めることに成功した。

木質バイオマスから調製した糖化液を原料にした微生物発酵による効率的な化学品製造のためには、糖化液成分を有効利用可能な宿主微生物の開発が重要である。そこで、多様な機能化学品の基幹物質となるピルビン酸を高生産可能な大腸菌を作製した。さらに、ピルビン酸高生産大腸菌を宿主に利用して、糖化液からD-乳酸を発酵生産した。

研究テーマ: テーマ題目1

バイオケミカルグループ

(Biochemical Group)

研究グループ長: 森田 友岳

(つくば中央第5)

概要:

当グループでは、バイオマス等の未利用資源の積極的な活用を目的として、各種の生物・化学プロセスを活用した高付加価値製品の生産技術に取り組むとともに、革新的な産業技術の創出を目指した機能性化学品の利用技術の開発も行っている。具体的には、環境適合性と機能性を併せ持つ機能性バイオ化学品であるバイオ界面活性剤の各種産業分野への応用を目指し、酵素や微生物を利用した製造技術の高度化や用途開拓等を進めている。特に、次世代シーケンサーで取得した微生物ゲノム情報や遺伝子発現プロファイルの解析結果から、バイオ界面活性剤の生合成に関与する複数の遺伝子を特定し、遺伝子組換え技術によって、バイオ界面活性剤の構造制御および生産効率の向上に成功し

た。また、バイオプラスチックの高機能化を目的として、バイオ界面活性剤の添加剤としての用途開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

高分子化学グループ

(Polymer Chemistry Group)

研究グループ長：佐藤 浩昭

(つくば中央第5)

概 要：

当グループは、持続可能な社会の構築を目指し、機能性高分子材料の種々の評価手法の開発を行う。高分子材料評価は物理的な手法による解析に留まる場合が多い現状に対し、当グループでは高分子材料の機能や信頼性を化学構造に基づいて評価する技術の開発を進める。具体的には、(1)質量分析法、クロマトグラフィー、分光分析法、陽電子消滅法など各種機器分析手法を用いた高分子の分子構造やナノ構造などを解析する手法を開発する。(2)化学構造情報に基づく解析結果と機能物性との相関を明らかにし、高分子複合材料の性能や耐久性の評価技術を開発する。(3)環境適合性に優れた高分子材料の評価手法を開発するとともに高分子評価法の国際標準規格化の業務を遂行する。

研究テーマ：テーマ題目4

光材料化学グループ

(Photo-Induced Materials Chemistry Group)

研究グループ長：佐藤 正健

(つくば中央第5)

概 要：

当グループでは、光反応を基軸として、機能性化学品や化学部材製造の高付加価値化・高効率化・省工程化に貢献する材料機能化技術および材料評価技術を開発することを目的としている。各種レーザー光源の利用をはじめとし、光の波長や強度に基づいて示される反応の選択性や、超短パルス化や任意形状高速操作などの優れた時間・空間制御性、高感度検出性など、光反応の特異性を最大限に活用することにより、素材の形成・加工・機能付与技術、光化学反応利用技術、材料特性評価技術に関する研究開発を進めている。特に、異種材構造接着において必要とされる非接触で実施可能な高速、高感度な被着体表面検査技術の開発、および、超短パルスレーザー光による太陽電池の高速高品位スクライブ加工技術の開発に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目3

スマート材料グループ

(Smart Materials Group)

研究グループ長：木原 秀元

(つくば中央第5)

概 要：

当グループでは、有機分子の相変化や分子間相互作用に関わる材料技術をベースに、高度な機能を発現する化学品「スマート材料」の開発を目指している。併せて、その材料開発に必要な新しい分子組織体や分子複合体の探索と、それらと光、熱、溶媒等の外部環境に係る相互作用について基礎的研究を行っているが、特に利便性、環境調和性の高い「光」の利用に注力している。具体的には、可逆接着剤や自己修復塗料などに応用可能な、刺激により可逆的に相変化する有機材料の開発、およびカーボンナノチューブやグラフェン等の炭素材料の分散性を制御できる分散剤の開発、ならびに炭素材料の薄膜化・パターン化技術の開発を目指す。グループの研究スタンスの特徴は、各種の機能性有機化合物の設計・合成から、基礎物性測定、組織体構築、機能評価までを一貫して行うことである。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

セルロース材料グループ

(Cellulose Materials Group)

研究グループ長：遠藤 貴士

(中国)

概 要：

当研究グループが開発した、水熱・メカノケミカル処理技術を基盤としたリグノセルロースナノファイバー・バイオマスファイラー製造技術、特性評価技術および樹脂複合化技術に関する研究開発を行った。

リグノセルロースナノファイバー・バイオマスファイラー製造技術開発では、木質を原料として蓄積したナノ解繊技術を活用して、もみ殻等から有機・無機ハイブリッド型の機能性ファイラーが製造できることを確認した。また、ナノファイバー製造原料であるパルプ製造時の副産物黒液の特性評価を行い、主要なリグニン等由来物質の同定を行った。さらに、原料パルプの化学的反応性評価では、反応前の乾燥条件の影響を解析し、ヘミセルロースの効果的修飾条件を明らかにした。樹脂複合化技術では、もみ殻を原料とし、無機素材をさらに添加して機械的に処理することで、樹脂補強性の高い有機・無機ハイブリッドバイオマスファイラーの効果的製造条件を明らかにした。また、複合材料を用いた種々の製品試作を達成した。さらに、ゴムとの複合化では、ナノファイバーの形状等の特性と複合材料物性との関係性を明らかにした。

研究テーマ：テーマ題目1

動的機能材料グループ

(Dynamic Functional Materials Group)

研究グループ長：大園 拓哉

(つくば中央第5)

概 要：

当グループでは、高分子化合物や生体由来の材料が持つしなやかな構造特性や特異性、可塑性、興奮性および広義の自己組織化能を基盤とするソフトマテリアル、すなわち動的機能材料の研究開発を行う。より具体的には高分子、液晶、コロイド、ゲル等のソフトマテリアルの微小空間と表面の機能合成技術、およびナノメートルからミリメートルに至る階層を越えた動的機能材料を、バイオミメティクスと自己組織化を意識した統合的な開発を行う。その中でも、ゲル内バイオミネラル化の解明とその応用、固/液界面におけるトライボロジー等の物理化学的現象の解明とアクチュエータ等のデバイスへの応用、無機・有機複合材料開発、金属ナノロッドの作製と動的機能創出の研究・開発に対して、化合物の設計と選択から、基礎物性評価、階層組織体構成、機能発現までを、物理・化学の両方の視点から統合的に推進していく。

研究テーマ：テーマ題目2

界面材料グループ

(Interfacial Materials Group)

研究グループ長：増田 光俊

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは界面・表面での有用物質の補足・放出・流動性制御に関する材料技術をベースとして、ヘルスケア、環境分野に利用可能な高付加価値な有機ナノ材料の開発を目指している。具体的には分子の会合制御技術を用いた新規ナノカプセル材料の創製、その大量製造技術、他素材との複合化などの関連技術の開発を行っている。また界面での流体摩擦抵抗を低減する機能性材料やその徐放技術の開発によって従来の限界を超える低摩擦塗料等への実用化を進めている。さらにこれらの基盤技術として、液晶性有機材料を代表とする各種機能性バイオ素材の物性・機能性評価の高度化に加え、これら材料の用途開拓も行っている。

研究テーマ：テーマ題目2

化学材料評価グループ

(Chemical Materials Evaluation Group)

研究グループ長：水門 潤治

(つくば中央第5)

概要：

新素材の実用化には、機能に加えて信頼性の向上が必要不可欠であり、機能と信頼性を両立する材料の開発が求められている。当グループでは、化学材料の信頼性を正しく評価し、更にその向上に資する評価技術の構築を目的とする。具体的には、①化学材料の劣化構造や劣化メカニズムを解析する技術、②熱や光などの刺激に伴う構造変化を *in-situ* で解析する技術、③新型冷媒の燃焼性や環境影響を評価する技術の3本柱

を中心とする研究開発に取り組む。これらの評価技術を活用して先端化学材料の信頼性向上に必要な材料設計指針を提案することにより、民間企業等による製品開発を支援する。

研究テーマ：テーマ題目4

[テーマ題目1] 再生可能資源を利用する反応・プロセス技術

[研究代表者] 森田 友岳 (バイオケミカルグループ)

[研究担当者] 森田 友岳、福岡 徳馬、佐藤 俊、甲村 長利、雑賀 あずさ、吉田 勝、柳下 立夫、青柳 将、花岡 寿明、藤本 真司、渡邊 宏臣、伊藤 祥太郎、星野 保、村上 克司、井上 宏之、松鹿 昭則、藤井 達也、渡邊 真宏、秋田 紘長、蒲池 沙織、遠藤 貴士、井上 誠一、岩本 伸一朗、熊谷 明夫、齋藤 靖子、仲山 賢一、北本 大
(常勤職員27名、他23名)

[研究内容]

化石資源に替わってバイオ原料から化学品を製造するための技術開発及びプロセス開発は、日米欧を中心に戦略的な取り組みが始まっている。本テーマでは、バイオマス等からバイオと化学技術のベストミックスにより、高効率かつ環境低負荷で、基幹・機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術の開発を目指して、バイオベース化学品の製造・利用技術の開発およびセルロースナノファイバーの製造・材料利用技術の開発に取り組んでいる。

(バイオベース化学品の製造・利用技術の開発)

木質系・草本系バイオマスからバイオベース化学品の原料を調製する技術に関して、糖化酵素を用いない糖製造技術を検討した。基本的に熱と水のみでセルロースを加水分解して、グルコースやオリゴ糖を製造することができる。流通式反応器を用いた実験では、製造された糖を反応場から連続的に回収することで、糖の過分解反応を抑え、糖の回収率を向上できることを確認した。

また、比較的低温な水熱処理を行った後に固液分離し、分解し易いヘミセルロース成分を単糖、オリゴ糖として処理液中に溶解させるとともに、同時に分解された低分子リグニンも分離することができた。この処理法では、リグニンの過度の変性が起きないことを確認し、得られた低分子リグニンが有する生理活性を検討した。

機能化学品の原料となる D-アミノ酸をバイオ法により高収率で安価に生産するため、D-アミノ酸アナログ/補酵素/D-アミノ酸脱水素酵素から成る三者複合体結晶を作成し、X線結晶構造解析を行った。構造解析により、酵素の活性に重要な役割を持つ触媒残基を特定した。さらに、その残基に変異導入して、D-アミノ酸脱水素酵素の基質特異性を変換させるとともに触媒効率を向上さ

せた。

バイオ界面活性剤の製造技術の高度化を目指して、バイオ界面活性剤を高生産する微生物の育種・改良を進めた。次世代シーケンサーで蓄積したゲノム情報と遺伝子発現プロファイルの解析結果を活用して、バイオ界面活性剤の生合成に関与する複数の遺伝子を特定した。また遺伝子組換えの基盤技術を開発し、糖転移酵素の遺伝子を破壊することで、バイオ界面活性剤の糖構造のキラリティー制御に成功した。また、遺伝子の導入によって原料である植物油脂を分解する反応を強めることで、バイオ界面活性剤の生産効率の向上に成功した。

(セルロースナノファイバーの製造・材料利用技術の開発)

木質系バイオマスから得られるセルロースナノファイバーは、幅が3~20 nm程度と超微細でありながら、軽量・高強度・高弾性・低熱膨張という特徴を持っている。本テーマでは、木質等バイオマスからの直接的なナノファイバー・バイオマスフィラー製造技術、樹脂やゴムとの複合化技術、およびナノファイバー・バイオマスフィラーの特性評価技術の開発を進めた。成果として、もみ殻を原料として、無機素材をさらに添加して解繊処理することで、樹脂補強性の高い有機・無機ハイブリッドバイオマスフィラーが効果的に製造できることを明らかにした。また、各種製品試作も達成した。ナノファイバーのゴム複合化では、ナノファイバーの形状等特性とゴム補強効果の関係性を明らかにした。さらに、ナノファイバー製造原料であるパルプの化学的反応性を分光学的に精密解析し、効果的な反応条件を明らかにした。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオマス、成分分離、D-アミノ酸、バイオ界面活性剤、セルロースナノファイバー、複合材料

【テーマ題目2】化学材料の創製・高機能化技術

【研究代表者】増田 光俊(界面材料グループ)

【研究担当者】増田 光俊、南川 博之、小木曾 真樹、亀田 直弘、青柳 将、丁 武孝、大園 拓哉、福田 順一、岩坪 隆、寺岡 啓、西村 聡、武仲 能子、木原 秀元、秋山 陽久、山本 貴広、吉田 勝、渡邊 宏臣、伊藤 祥太郎(常勤職員18名、他4名)

【研究内容】

電子デバイス、電化製品、輸送機器等の高度化に向けて、様々な界面表面で利用する機能材料の開発に取り組んでいる。製品のリサイクル性向上と長寿命化を可能にする可逆接着剤や自己修復塗料、ヘルスケア用途のための有用物質を徐放する有機ナノカプセル、簡便・高感度な診断が可能なセンサーシステム等の実現を目指している。

今年度は、光照射に伴う液化固化相変化を示す光可逆接着剤の開発、低摩擦材料を的確に徐放できる技術の開発、および可変凹凸構造を用いた新規な摩擦可変部材において評価検討を行った。

光可逆接着剤の開発では、アゾベンゼン部位を分子内に複数有し、光液化固化相転移を示す中分子化合物において、異性化率と相転移との関係について調べた。トランス→シス異性化率が約20%を越えると軟化することがわかったが、液体か固体かの定量的な評価法が確立していないため、明確な線引きは困難であった。

有機ナノカプセルの開発では、水に濡れて構造変化し、内容物を放出するナノカプセルを開発した。すなわちナノカプセルの壁面成分である亜鉛イオンが水和することで、壁面の構造が変化し、内容物が放出されることを見いだした。同カプセルは発汗などの刺激によって有効成分を放出できるため、機能性化粧品素材として有用である。

摩擦が可変な表面部材への実現に向けて、織物を利用したシワ構造を評価し、これまでになく大きな摩擦変化を生み出すことを見出した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】接着剤、塗料、摩擦部材

【テーマ題目3】光化学利用技術

【研究代表者】新納 弘之(首席研究員)

【研究担当者】新納 弘之、木原 秀元、松澤 洋子、神徳 啓那、佐藤 正健、川口 喜三、高田 徳幸、大村 英樹、奈良崎 愛子、中住 友香(常勤職員9名、他2名)

【研究内容】

新材料開発やプロセス高度化を通じた化学産業の国際競争力強化に資する、光を利用する反応プロセス・材料創製に取り組んでいる。機能性フィルムや薄膜太陽電池等の電子デバイスの開発において、表面機能(反射防止機能、透明導電性、バリア特性、耐摩耗性など)を必要な個所に局所的に付与する技術、あるいは表面物性を局所的に改変する技術が求められている。時間・空間的制御性に優れた光は、これらの技術開発において強力なツールとなり得る。近年の技術革新によって得られた新しい光源(LED、ファイバーレーザーなど)に対応して局所機能付与プロセスを最適化するとともに、ニーズに応じて光機能材料を改良することで、高付加価値を有する材料や部材の開発に取り組んでいる。

今年度は、薄膜太陽電池の高速・高品位スクライブ加工、光製膜技術により得られるナノ炭素材料膜の評価、並びに、異種材構造接着のための被着体表面光検査技術について検討を行った。

薄膜太陽電池のスクライブ加工では、発電効率低下を完全に抑制可能とする技術における、効率の低下と回復をもたらす物理現象を解明した。さらに、実用デバイス

への技術適用性評価を実施した。ナノ炭素材料の光製膜技術では、まずポリエチレンテレフタレート (PET) やポリスチレン (PS) などの様々な樹脂基板上に単層カーボンナノチューブが製膜可能なことを確かめた。また、得られた薄膜の成分をX線光電子分光測定やラマン分光測定などにより解析したところ、分散液を調製するために用いた分散剤が膜中にほとんど残存していないことが確認できた。被着体表面光検査技術では、鉄材表面に付着した微量シリコン系離型材について、レーザー誘起ブレイクダウン分光法を活用した高速検出を検討し、多数の輝線が高密度にみられる鉄基材においてもアルミ材料表面と同程度の微量付着物の検出が可能であることを実証した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】光化学表面反応プロセス、光製膜技術、レーザー化学技術

【テーマ題目4】先端化学材料の評価技術

【研究代表者】須田 洋幸 (総括研究主幹)

【研究担当者】須田 洋幸、水門 潤治、奥本 肇、陳 亮、滝澤 賢二、原 雄介、新澤 英之、藤井 俊治郎、山根 祥吾、国岡 正雄、佐藤 浩昭、船橋 正弘、大石 晃広、萩原 英昭、渡邊 亮太、八木 久彰 (常勤職員16名、他6名)

【研究内容】

先端デバイスや軽量構造材等に利用される高機能化学材料は、我が国化学産業の強みである。本分野における国際競争力を確保し、また持続可能社会の実現に貢献するために、化学材料の信頼性評価に対する共通基盤的な評価技術に対するニーズが高まっている。

本テーマでは、化学材料の信頼性を正しく評価し、更にその向上に資する材料設計指針を提案するための評価技術を開発する。具体的には、①耐久性・劣化評価パッケージ、②界面・高次構造評価パッケージ、③新型冷媒の燃焼性・環境影響評価の3本柱を中心とする評価技術の構築に取り組む。具体的には、①材料の劣化に伴う構造変化やメカニズムの評価・解析技術、構造変化と機能低下の相関解析、②複合材料等の機能に影響を及ぼす界面構造や高次構造の評価・解析技術、③新型冷媒の燃焼危険性を実用的に評価するための試験法などの構築を目指す。

(①耐久性・劣化評価パッケージ)

炭素繊維強化プラスチックの劣化評価に関して、これまでに開発した熱と水による加速劣化法を高精度化し、前処理として120℃以下で劣化させずに迅速に材料に吸湿飽和させる手法 (急速吸湿法)、および、140℃以上で効率的に加速劣化させる手法を開発した。急速吸湿法について ISO/TC61 (プラスチック) /SC13に規格提案を行った。

昨年度提案した二次元ケミルミネッセンス相関分光法を利用して、ポリエチレンの熱酸化現象を解析した。高密度ポリエチレンと低密度ポリエチレンを用いて比較検討した結果、両者で共通の発光波長が観測されるが、発光のタイミングに差があることを明らかにした。発光波長はポリプロピレンの場合と同様であり、観測される発光波長から進行中の酸化反応を推測できる可能性を見出した。

(②界面・高次構造評価パッケージ)

高分子複合材料の樹脂/フィラー界面密着性と物性との関係の評価する手法開発のため、フィラー表面の化学構造を変えたシリカナノ粒子/ポリプロピレンコンポジットをモデルとしてレオ・オプティカル分光法を適用し、密着性の違いにより材料延伸時の結晶・非晶の配向変化速度比が異なることを見出し、同法の密着性評価法としての有用性を見出した。

ATR-FTIR を用いる界面構造解析法として、ポリエチレングリコールとポリプロピレングリコールの相分離過程のモニタリングを行った。両者を攪拌混合し、静置すると相分離が進行する。相分離が進行中に得られるIR スペクトルを二次元相関解析することにより、複雑なピークの分離が可能になり水素結合状態を解析できることを明らかにした。さらに、観測される水素結合状態は相分離過程を表すことから、本手法による相分離モニタリングの可能性を見出した。

(③新型冷媒の燃焼性・環境影響評価)

地球温暖化係数 (GWP) の低い冷媒等について、着火可能性に関する指標である消炎距離の評価法を微燃性冷媒用に改良した。燃焼速度と消炎距離の温度、圧力、不活性ガス希釈の効果进行を明らかにし、両指標の相関を得ることにより、消炎距離から燃焼速度を推算する方法を提案した。新型冷媒等3種について、相対速度法や絶対速度法による OH ラジカルとの反応速度測定及び赤外吸収測定を行った結果、いずれも GWP は150未満であり温暖化効果が小さいことを明らかにした。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】化学材料、高分子材料、信頼性評価、耐久性評価、加速劣化試験、劣化解析、材料設計指針

③【化学プロセス研究部門】

(Research Institute for Chemical Process Technology)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：濱川 聡

副研究部門長：角田 達朗、古屋 武

首席研究員：蛭名 武雄

総括研究主幹：宮沢 哲

所在地：東北センター、つくば中央第5事業所

人 員：46名（46名）

経 費：771,552千円（407,122千円）

概 要：

1. ミッション

化学プロセス研究部門は、低環境負荷で高効率な機能性化学品の製造プロセス実現に向け、特異な空間・反応場を利用した高温・高圧技術やマイクロフロー技術、また、これらを支える流体や物性制御技術などの研究開発を通じ、化学反応プロセスの基盤技術の構築を目指します。また、基礎・機能性化学品の製造時に発生する二酸化炭素の排出量低減に貢献するため、高性能の膜分離や吸着吸収分離などに係る材料・プロセスの研究開発を行い、化学プロセスにおける分離技術の基盤構築を目指します。また、コンソーシアム活動などを活用した地域中核企業との連携による「技術の橋渡し」を通じて、わが国の化学プロセスイノベーションの推進を目指します。

2. 研究の方向性

化学プロセスのイノベーション推進を先導するためには、産業界から見て「キラリと光る」化学プロセス技術が不可欠である。当該研究部門は、105社の企業が参加するコンソーシアムから得られる技術マーケティング情報をもとに、強みを伸ばす技術の精鋭化と様々なニーズに応えるための技術の総合化をそれぞれ推進し、我が国の化学ものづくり産業の競争力の強化を図る。上記を実現するため、(1) 化学プロセスの高効率化に向けた反応制御技術の開発、(2) 化学プロセスの省エネ化に向けた分離技術の開発、(3) 化学プロセスの革新に向けた新機能材料の開発、の3つの戦略課題を設定し、「技術の橋渡し」のスピードアップを図る。以下に戦略課題の内容をまとめる。

3. 研究課題

(1) 化学プロセスの高効率化に向けた反応制御技術の開発

高温・高圧、マイクロ流体等の特異反応場を制御することにより、従来にない高い反応効率を有する化学プロセス技術の開発を行う。具体的には、グリーン溶媒（高温・高圧 CO₂、イオン流体など）、マイクロ波、マイクロリアクター、触媒（固体、酵素）、等を利用した研究開発を実施した。さらに、プロセス開発の基盤となる、各種のデバイスとエンジニアリングに関わる研究開発を実施した。

(2) 化学プロセスの省エネ化に向けた分離技術の開発

新概念、新材料を用いた分離プロセスの提案と評価により、従来にない省エネな化学プロセス技術の開発を行う。具体的には、ナノ多孔材料（カーボン、ゼオライト、MOF）、界面制御（サーファクタン）等の開発とそれらの利用に関わる研究開発を実施し

た。さらに、化学プロセスの省エネ化に関わる評価の手法等についても研究開発を実施した。

(3) 化学プロセスの革新に向けた新機能材料の開発

分離や反応の目的に応じた最適な化学プロセスの提案を目指して、無機・複合材料のナノ構造制御と量産化に資する製造技術の研究開発を行う。具体的には、クレースト、コアシェルナノ粒子、等の材料に関わるナノ構造を制御技術並びにその量産化技術に関わる研究開発を実施した。

内部資金：

産総研・JAXA 課題解決型研究推進事業「イオン液体を用いた極低濃度 CO₂の分離回収技術の開発」

外部資金：

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「エネルギー・環境新技術先導プログラム/革新的分離技術の導入による省エネ型基幹化学品製造プロセスの研究開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「エネルギー・環境新技術先導プログラム/超精密原子配列制御型排ガス触媒の研究開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「有機ハイドライド向け実用型炭素膜の開発と膜分離システム設計」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化」

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

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「ギ酸脱水素化触媒による高圧水素供給プロセスの構築」

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

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「次世代水電解型水素製造プロセス実現のための耐熱耐圧耐食性電気化学マイクロセル開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「アゾベンゼン修飾膜の光照射水透過・海水淡水化に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「連続的なバイオマス変換を可能にする流通式触媒反応システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 研究活動スタート支援 「高温高圧水マイクロプロセスによるスーパーエンブラ基幹原料の環境調和型効率合成」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「食品廃棄物を循環利用するエネルギー・物質の製造技術の開発と導入効果の検討」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「超臨界水還元法による銅ナノ粒子の合成及び配線用銅ナノインクの調製」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「新規ヘミセルロース変換プロセス開発によるバイオマスカスケード利用モデルの構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「特異環境場における輸送物性の計測法開発と現象解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「多量体膜タンパク質の *in situ* 機能解析を実現する新規ナノディスク創製」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「1分子からの DNA 増幅を可能にする酵素のナノ空間への精密配置」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「有機ケイ素を層間に持つ層状ペロブスカイトの機能強化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「有機半導体の板状ナノ粒子の生成機構解明に基づく連続製造プロセスの最適化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「収差補正電子顕微鏡を用いたヘテロポリ酸触媒のキャラクタリゼーションと設計」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 「イオン液体の機能設計とアンモニア分離回

収技術への応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 「金属有機構造体を用いた反応分離膜の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 「微小空間の移動現象に着目した気液固触媒反応器の設計法構築と C1化学への応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 「イオン液体の水和制御に基づくインテリジェント高分子電解質の開発と機能開拓」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 「ナノ粒子規則配列と空隙構造制御を可能とする超低密度ナノコンポジットの創製」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「親/疎水性ナノ空間を併せ持つ有機-無機ハイブリッド型多孔体の開発と触媒への応用」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「シリカ膜マイクロカプセルを用いた自己修復性炭素繊維強化ポリマーの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「イオン液体を利用した環境調和型 CO₂吸収分離再生プロセスの開発」

発 表：誌上発表88件、口頭発表222件、その他38件

コンパクトシステムエンジニアリンググループ

(Compact System Engineering Group)

研究グループ長：金久保 光央

(東北センター)

概 要：

コンパクトシステムエンジニアリンググループは、高温高圧の水や二酸化炭素およびイオン液体等のグリーン溶媒を用いたコンパクトで高効率な低環境負荷型プロセスの開発を目的として、高圧マイクロデバイス技術の開発や特殊反応場の測定・評価技術の高度化等を幅広く進めている。また、本グループは産総研における関連分野のエンジニアリング拠点として機能することを目指している。

高温高圧エンジニアリング技術として、二酸化炭素を用いた粘度低減・霧化技術による革新的な塗装プロセスや最先端ものづくり技術の開発、高温高圧水による無機微粒子合成の体系化ならびに材料化技術への展開等を進めている。また、マイクロ混合器を用いたフローシステムにおいて、高圧二酸化炭素による高速液

液抽出技術の開発を進めている。さらに、イオン液体を用いた分離・反応プロセスの開発とその特性評価、および新規分野の開拓や機能材料への展開を図っている。

研究テーマ：テーマ題目1

化学システムグループ

(Energy-efficient Chemical Systems Group)

研究グループ長：井村 知弘

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、化学プロセスの省エネルギー化や環境負荷低減の分野において、化学工学、界面化学および材料科学の観点から材料技術とシステム技術を一体化して捉えた研究を展開し、得られた成果を積極的に社会・産業界に発信していくことを通じて、持続発展可能な社会の構築に資することを目標としている。

具体的には、ナノ界面及び空間での物質移動・吸着現象・化学反応に注目し、材料の合成・構造・機能の関係を意識しつつ、化学プロセスイノベーションの推進を目指した材料合成技術・構造評価技術の開発、ナノ空孔材料の特性を活かした反応場の構築及びプロセス開発、省エネルギープロセスの解析とプロセス強化・システム化に関する研究を進めている。

研究テーマ：テーマ題目2

マイクロ化学グループ

(Micro Flow Chemistry Group)

研究グループ長：川波 肇

(東北センター)

概要：

マイクロ化学グループでは、長年蓄積してきた高温高圧技術、マイクロ波技術そしてマイクロ空間技術を主軸に、各種有機材料、機能性有機物質、化成品、微粒子、無機-有機複合材料などを合成するための基盤技術を構築している。これら基板技術を土台に、社会（主に化学産業、エネルギー産業等）ニーズを素早く受け取り、適切に対応しながら各種合成プロセス技術の高度化を図り、モノづくり産業の低環境負荷に貢献、更に新たなグリーンイノベーションを引き起こすことを目指している。

具体的には、マイクロ空間反応場で高温高圧状態やマイクロ波技術など駆使して精密に制御しながら、水素製造技術、有機溶媒を限りなく排除した水中での各種有機合成プロセス、そして粒径が高度に制御された有機・無機ナノ粒子合成法などの研究・開発を行っている。また超臨界二酸化炭素を反応媒体とした酸化還元、特に金属ナノ粒子担持メソポーラスシリカ触媒による還元法を行い、各種化成品の還元だけではなく、バイオマス由来の化合物変換技術等へも応用している。

研究テーマ：テーマ題目1

有機物質変換グループ

(Organic Material Conversion Group)

研究グループ長：角田 達朗

(東北センター)

概要：

有機物質変換グループでは、化学プロセスの高効率化に向けた反応制御技術開発として、クリーンな反応場と触媒や酵素を組み合わせた有機物質の効率的な変換技術の開発を目指している。特に、高温高圧の水や超臨界二酸化炭素と触媒や酵素を利用する有機物質変換反応の開発、触媒による炭素資源変換技術の開発、多孔質材料に集積した酵素や機能分子による機能性化学品製造プロセス開発を重点的に進めている。

具体的には、1) 水や二酸化炭素と触媒・酵素を利用する有機物質変換反応の開発により、医薬中間体や化成品原料の合成反応について研究を進めた。2) 触媒による炭素資源変換技術の開発では、炭素資源の多様化のために、バイオマス、有機廃棄物等を汎用高分子や機能性化学品の原料に変換する高効率かつ省エネな触媒反応技術を開発した。3) 多孔質材料に集積した酵素や機能分子による機能性化学品製造プロセス開発では、多孔質材料への酵素および機能性分子の精密配置とそれによる活性制御を実現し、機能性化学品の高効率な製造プロセス開発を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

膜分離プロセスグループ

(Membrane Separation Processes Group)

研究グループ長：根岸 秀之

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、省エネ性の高い膜分離技術の社会への実装化を究極の目的として、高機能分離膜の開発と省エネ型膜分離プロセスの設計・評価手法の開発、およびその要素技術である多孔体素材の合成や、マイクロ波を用いた高効率な化学品製造プロセス技術まで、基礎から応用にわたる基盤技術を一貫して推進している。分子ふるいカーボン膜や金属有機構造体膜、ゼオライト膜などの分離膜や、メソポーラスシリカ吸着膜に着目し、膜作製法と膜性能の向上と、具体的使用状況を想定したモジュール開発を行っている。また、最適な分離プロセスの構成を見出すため、計算機シミュレーションを活用した省エネ膜分離プロセス技術の開発を進めている。さらに、要素技術開発として、マイクロ波の電磁界分布シミュレーションを実施するとともに、世界最大クラスのゼオライト単結晶を合成した。

研究テーマ：テーマ題目2

ナノ空間設計グループ

(Nanopore Design Group)

研究グループ長：佐藤 剛一

(東北センター)

概要：

ナノ空間設計グループでは、化学プロセスの従来にない省エネ化に向けた分離技術、シンプルで新しい化学反応プロセスの提案を目指して、ナノメートルサイズの空孔を有するゼオライト等の材料開発や部材化を図り、分離、触媒反応への適用に関する研究を実施している。

材料の創成においては、多孔質材料のマイクロ・ナノ構造をはじめとした物性や機能の詳細な解析結果をフィードバックして、高性能なナノ空間材料の設計と合成法開発を進めている。材料部材化では膜化に関する研究に注力し、緻密で高耐久性のゼオライト薄膜や機能性有機高分子等との複合膜の合成法を開発している。

これらの利用として、多孔質構造を活用した化学反応用触媒、膜部材の気相・液相での選択的分離精製プロセスや環境浄化、分離と触媒反応を融合した膜反応プロセス、等の用途開発を進め、成果の企業への橋渡しを推進している。

研究テーマ：テーマ題目2

階層的構造材料プロセスグループ

(Panoscopic Materials Processing Group)

研究グループ長：依田 智

(つくば中央第5)

概要：

当グループではナノ粒子・ナノ構造材料を幅広い産業分野へ応用していくためのオンデマンド連続製造、階層化および関連するプロセス技術の研究開発を目標とする。ナノ粒子・ナノ構造を作り出し、それらを階層的に構築して、デバイス、材料、製品へと結びつけるプロセスの技術は、新機能、高機能の創出、製品開発速度の向上、ナノリスクの低減などに貢献できる。

連続的な製造および階層化においては、溶媒、流体をベースとしたプロセスを構築し、流体の特性、物質の溶解度や相状態の把握、化学反応の精密制御を行うことが不可欠となる。これらの物性・反応を緻密に制御するパラメータとして、“圧力”を導入し、さらにマイクロ流路、マイクロミキサーなどのプロセス技術を組み合わせることによって、様々な新規ナノ粒子・ナノ構造材料に対応したプロセスを構築することが可能となる。

当グループでは各種ナノ粒子、ナノ構造材料の連続製造、および階層化プロセスの開発に取り組むとともに、高圧下での諸物性測定・化学反応など必要な基盤技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目3

機能素材プロセッシンググループ

(Functional Materials Processing Group)

研究グループ長：石井 亮

(東北センター)

概要：

機能素材プロセッシンググループでは、様々な素材から機能性材料を効率的に作製する材料プロセス技術並びに材料機能の応用開発に取り組んでいる。

具体的には、粘土鉱物などの天然資源や生物由来資源、炭素固体、有機高分子等の各種素材を用い、当グループの独自技術である、高温水利用合成技術やマイクロ波・高周波加熱技術、有機・無機ハイブリッド化技術、印刷技術、圧縮ガスを用いたナノ加工技術、化学修飾技術等をさらに深化させることにより、耐熱ガスバリア膜などの膜材料、ナノ粒子やナノシート等の新規無機ナノ材料、光学特性や電気特性、特異的イオン吸着能を有する材料を開発する。

材料機能の応用例として、1) ナノ粒子合成を基礎とする導電性ペーストの開発、2) 二酸化炭素ガスを用いた樹脂表面へのナノ構造付与、3) 粘土素材等を利用したガスバリア、耐熱、絶縁性を有する機能化膜への応用、等がある。

また、他グループや外部との連携により、機能化膜や導電性ナノ粒子等の企業への橋渡しに取り組んだ。特に、低炭素社会の実現に寄与する用途等への展開に取り組んでいる。また、国内特に東北地域の企業との連携に基づく産業振興に努めた。

研究テーマ：テーマ題目3

[テーマ題目1] 化学プロセスの高効率化に向けた反応制御技術の開発

[研究代表者] 濱川 聡 (化学プロセス研究部門)

[研究担当者] 濱川 聡、角田 達朗、古屋 武、
 蛭名 武雄、宮沢 哲、金久保 光央、
 川崎 慎一郎、牧野 貴至、藤井 達也、
 河野 雄樹、川波 肇、西岡 将輝、
 石坂 孝之、長尾 育弘、福田 貴史、
 山口 有朋、藤原 正浩、佐藤 修、
 三村 直樹、伊藤 徹二、松浦 俊一、
 新妻 依利子、長瀬 有貴、小坂 祥枝、
 笠原 芳美、槻田 祐二、大川原 竜人、
 櫻井 優子、松尾 康輝、弦巻 武久、
 大瀧 憲一郎、平岡 領子、佐藤 貴一、
 井口 昌幸、鍾 恒、Chatterjee Maya、
 小川 佳代子、伊藤 早枝子、
 猪股 沙良、宮川 正人、喜多川 智子、
 村上 由香、村松 なつみ、

(常勤職員21名、他22名)

[研究内容]

我が国の化学産業の強い国際競争力を維持しつつ持続

可能な成長を展開していくためには、新しい機能を持つ物質や材料の発見とそれらを限られた資源から無駄なく利用することに加えて、省エネルギー、低環境負荷で安全に製造・利用していくことが必要である。なかでもスペシャリティケミカルズと呼ばれる高付加価値化学品類においては、ハイスループットな化学プロセスが求められている。本テーマでは、特異的な反応場を提供する高温・高圧状態の水・二酸化炭素、イオン液体、マイクロ流路やナノ空間等の微小空間、マイクロ波による高周波加熱および触媒（金属、酵素）等を単独あるいは複合的に組み合わせることにより、従来の化学プロセスから飛躍的な効率向上・省エネルギーを実現する化学プロセス技術（化学プロセスイノベーション）に向けた研究を行っている。

高圧二酸化炭素を有機溶媒の代替として用いる高圧CO₂塗装技術では、従来の塗料を用いるだけでは適用困難なものも多く、溶解度パラメータなどを解析手法とした適合塗料の設計指針の構築や微粒化と成膜のメカニズム解析と合わせた高圧CO₂塗装における基盤技術の体系化を図っている。平成28年度は、ポリマー特性（分子量、粘弾性等）と微粒化粒子径の関係、及び噴霧微粒化状態の可視化による詳細なメカニズム解明等に着手した。さらに、本技術をモノづくり技術に展開し、無溶剤、非防爆プロセスの実現可能性が高い機能性薄膜、撥水処理、連続乳化、医薬品微粒子製造技術の研究開発を進めた。また、水溶液中の疎水性有価物に対して、高圧CO₂を抽出溶媒として用い、マイクロ混合器による連続高速液液抽出技術を開発している。迅速混合により瞬時に抽出平衡に到達させ、その直後に疎水性有価物を溶解した高圧CO₂と、水溶液を分離する技術の原理を開発した。イリジウム錯体を触媒としたギ酸分解により高圧水素を発生させる技術を開発し、発生する水素と二酸化炭素の分離機能の向上を達成する一方、高圧下での触媒の分解を抑制することで耐久性が高く、より高活性な触媒の開発にも成功した。更に、本年度は同プロセスに対応した固体触媒の開発にも成功した。高温高圧水反応システムを利用した各種有機プロセスにおいては、ポリイミドを上回る高耐熱性樹脂の基本骨格の簡便な合成法を開発するに至っている。さらに、高温高圧状態の水や二酸化炭素の反応媒体と固体触媒を組み合わせた新規触媒反応系の研究開発を推進した。循環型社会の実現に資するバイオマス原料を、化学原料に変換する触媒反応システムを開発した。例えば、木質バイオマスに含まれるセルロース、ヘミセルロース、リグニンを逐次的に糖アルコールや芳香族化合物に変換する技術を開発した。また、グルコース（セルロース）からヒドロキシメチルフルフラールへの変換、キシロース（ヘミセルロース）からフルフラールへの変換に有効な固体触媒開発および反応システムを開発した。

イオン液体等の機能性グリーン溶媒利用技術では、低

環境負荷型のガス吸収分離プロセスや化学反応プロセスの開発を行っている。これらのプロセス開発に不可欠な機能性溶媒の特性や機能について、エンジニアリングデータを蓄積し、分子構造と関連づけた体系化を図っている。また、並行して、機能性溶媒の部材化・多機能化技術の研究開発を進めている。平成28年度までに、イオン液体等の吸収液の分子修飾によるガス（CO₂、H₂O、NH₃等）吸収特性の制御法を構築した。これにより、CO₂吸収圧縮式ヒートポンプ用吸収液の性能を向上させた。また、イオン液体を用いた、省エネルギーな除湿技術や環境維持技術への応用展開を進めた。

マイクロ流路やナノ空間等の微小空間を利用する技術では、ナノメートルサイズの空孔を有する材料（酵素の固定化支持体）と酵素から成る固定化酵素技術において、双方の表面親和性を反応制御因子とし、物質変換反応における反応速度および持続的な酵素固定化能に及ぼす影響を明らかにした。具体的には、グルタミン酸脱炭酸酵素を利用したγ-アミノ酪酸（機能性アミノ酸）の合成において、反応速度の増大を可能にする新規の両親媒性ナノ空間材料を見出した。また、酵素支持体表面に高い親和性を有するタンパク質タグを酵素に融合した「ハイブリッド酵素」を適用することによって、固定化酵素の繰り返し利用時の耐久性向上を達成することができた。

一方、マイクロ波照射による水素製造技術、無機材料製造技術、複合微粒子製造技術等の開発においては、プロセスのスケールアップ手法について技術開発を進めた。具体的には、照射するマイクロ波周波数について検討を行い、一般的な2.45 GHz 帯に加え915 MHz 帯を利用する技術の開発を行った。この技術は、従来に比べ断面面積16倍以上の反応管を用いた化学反応に利用できることを実証できた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】高温高圧、マイクロリアクター、マイクロデバイス、超臨界水、超臨界二酸化炭素、脱有機溶媒、流体特性、反応場観測、反応場制御、有機合成、無機-バイオ複合、タンパク質リフォールディング、固定化酵素、酵素センサー、イオン液体、ガス分離、マイクロ波、マイクロ波反応場、ナノ粒子、固体触媒、水素製造

【テーマ題目2】化学プロセスの省エネ化に向けた分離技術の開発

【研究代表者】濱川 聡（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】濱川 聡、角田 達朗、古屋 武、
蛭名 武雄、宮沢 哲、遠藤 明、
川合 章子、井村 知弘、片岡 祥、
上村 佳大、平 敏彰、Nguyen Thuy、
根岸 秀之、吉宗 美紀、原 伸生、
長畑 律子、小平 哲也、山木 雄大、

佐藤 剛一、長瀬 多加子、池田 拓史、
長谷川 泰久、日吉 範人、
下村 真理江、鈴木 邦夫、徳橋 頼子、
佐藤 理恵、楮山 夏実、柳本 貴哉、
池田 ゆり、河野 良平、蕪木 和孝、
戴 瑤文、梶吉 紀子、荒井 陽子、
斎藤 優子、竹内 和彦、森 由紀江、
土屋 和恵、岡本 裕子、原谷 賢治、
阿部 千枝、羅 紅岩、佐藤 恭子、
松浦 和佳子（常勤職員23名、他22名）

【研究内容】

本テーマでは、従来にない省エネ化を実現する化学プロセス技術の開発と実装化に貢献するため、基礎及び機能性化学品の製造プロセスにおいて、新概念、新材料を用いた分離プロセスの提案と実証・評価により、高い性能の膜分離や吸着吸収分離などに係る材料・プロセスの開発に取り組み、高機能な分離技術の基盤を構築することを目指している。本年度は、これまで無機物質の膜化に関する研究開発で培ってきた分離技術の適用範囲を拡張し、高機能な分離膜を開発する。また、従来にない特異な界面を構築しうる新規高機能界面活性剤に着目し、新規材料の界面活性や触媒性能等を向上するとともに、反応物を分離・回収する手法を見出すことを目指す。

（高シリカチャバザイト長尺膜の開発）

有機溶媒からの脱水プロセス等において、ゼオライト分離膜は有望であるが、適用範囲を広げるためにも耐酸性などをより向上させる必要がある。これまでに優れた透過分離特性と高い安定性を両立した高シリカチャバザイト膜を開発し、その実用化へ向けて、企業との共同研究により長尺膜の製造技術に関する研究開発を実施してきた。ゼオライト膜はゼオライト粉末の成形では調製できず、支持体上に付着させた種結晶を成長させ、ゼオライト多結晶薄膜を基材上に直接合成する必要がある。今年度は、支持基材に付着させておく種結晶の粒径、濃度等の最適化を図ることで、長尺膜の歩留りを向上させることに成功した。

（化学プロセスのための新規水素分離膜の開発）

水素社会の実現のためには、水素の製造・輸送・供給に関わる技術開発が必須であり、アンモニアや有機ヒドライドなどの水素エネルギーキャリアからの高効率水素精製プロセスの省エネルギー化が重要である。本研究では有機ヒドライドの一つであるメチルシクロヘキサンからの超高純度水素精製プロセスに用いる水素分離膜として、優れたガス分離性能と耐薬品性を有する分子ふるい炭素膜の適用検討を行っている。これまでに燃料電池自動車用の水素純度スペックを満足する炭素膜の必要分離性能を明らかにしてきたが、今年度は昨年度見出した実用的な製造方法に関して、焼成温度や焼成時間等の製造条件の最適化検討を実施し、炭素膜の必要選択性を維持しつつ、水素透過速度を向上させることに成功した。

また、この炭素膜は水素／トルエン混合ガス条件下でも要求水素純度スペックを満たすことを確認した。さらに、これらの炭素膜製造技術を膜メーカーに移転し、膜メーカーで試作された中空糸炭素膜モジュール試作品においても優れた分離性能を確認した。

（高機能界面を利用した反応・分離プロセス技術の開発）

各種化学品製造プロセスの省エネ化において、高効率な反応・分離技術の開発が必要である。本研究では、水を溶媒に用いる反応プロセスを対象とし、これを高効率化する材料として、水に不溶な原料を可溶化・分散化できる界面活性剤型触媒の開発を進めている。これまでに、パラジウムなどの貴金属を自在に配位可能な *N*-ヘテロサイクリックカルベンを骨格に持つ新規界面活性剤及びそのパラジウム触媒の触媒性能を評価してきた。本年度は触媒を再利用するため、その合成法を再検討し、水中で触媒の安定性の向上を試みた。その結果、トリエチルアミンを補助配位子として用いて合成した新しい界面活性剤型パラジウム触媒は、水中での溝呂木ヘック反応に用いると、ヨードベンゼンとスチレンなど水に不溶な原料を分散化させることにより転化率99%でスチルベンを与え、かつ反応後においても触媒は失活せず、ろ過などの単純な操作で触媒を分離・回収できることを実証した。

また、環状ペプチドを特徴とする高機能界面活性剤・サーファクチンの実用化に向け、特に洗浄プロセスの高効率化において重要となる洗剤酵素（プロテアーゼ）との親和性の評価を行った。その結果、一般的な直鎖状の合成界面活性剤とは異なり、サーファクチンは優れた界面活性を示す一方で、洗剤酵素に対しては非常にマイルドであることを明らかにした。この知見を基に、サーファクチンと同様に環状構造を特徴とする新規界面活性剤の合成も進めた。

【領域名】材料・化学

【キーワード】分離プロセス、省エネルギー、膜分離、脱水プロセス、チャバザイト膜、長尺膜、水素分離、炭素膜、吸着、界面活性剤、ミセル

【テーマ題目3】化学プロセスの革新に向けた新機能材料の開発

【研究代表者】濱川 聡（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】濱川 聡、角田 達朗、古屋 武、
蛭名 武雄、宮沢 哲、依田 智、
中村 浩之、竹林 良浩、陶 究、
竹下 覚、江連 一正、上野 裕晶、
片木 京子、田中 隆司、大嶋 哲、
赤松 郷也、石井 亮、林 拓道、
相澤 崇史、和久井 喜人、棚池 修、
中村 考志、江連 一正、上野 裕晶、
片木 京子、田中 隆司、大嶋 哲、

赤松 郷也、岩本 優佳、小西 新、
渡部 知里、鈴木 麻実、庄司 絵梨子、
外門 恵美子、夏井 真由美、
志村 瑞己、阿部 真之、梶井 孔左
(常勤職員16名、他16名)

〔研究内容〕

化学プロセスのシンプル化やグリーン化を進める上で、機能性シート材、例えば、耐熱性や不燃性、ガスバリア性などを有するシート材の開発は重要である。粘土を主成分とする新しい膜材料「クレスト」は、高いガスバリア性や耐熱性、不燃性等を持つため、上記機能性シート材としての利用が期待される。これまでに用途として、i) 透明耐熱材の開発、ii) ガスバリア層としてクレストを含む燃料電池車用水素タンクの作製、iii) 薄膜太陽電池等次世代電子デバイスに使用可能な超水蒸気バリア膜の開発、に展開してきた。さらに、原料粘土の低コスト生産方法の検討を行ってきた。

今年度は、前年度開発したリグニンと粘土鉱物を用いた耐熱ガスバリアフィルムの長尺膜の作製を検討し、同フィルムを低コストで供給することが可能な連続生産プロセスの設計指針を得ることを目標とした。リグニンとして、酸可溶媒分解法により得られた、ポリエチレングリコール修飾型リグニン（以下、改質リグニン）を用いた。また、得られた長尺膜の物性の評価を行った。

具体的には、塗工装置（グラビアコーター）を用いて長尺膜の作製を検討した。改質リグニンを分散可能な溶媒の探索や粘土鉱物を含む分散液の組成と調製条件を検討した。その後、開発した分散液を塗工液に用い、ロールフィルムに連続的に塗工する条件を検討した。その結果、グラビアロールの回転速度及び基板フィルムの掃引速度について長尺膜を作製するための最適な条件を見つけることが出来た。本条件により分散液を塗工し長尺膜を作製したところ、適当な濃度で30 cmの幅で一定厚みを持つ塗工膜を得ることができた。さらに、乾燥後のハイブリッド膜前駆体をロールフィルムから分離することによって、30 cm幅の長尺膜を作製することに成功した。長尺膜の透湿度を評価したところ、塗工液の濃度条件によって異なるものの、すべての条件について市販のポリイミドフィルムを上回る透湿度を有していた。最も高い透湿度は、前年度得られたハイブリッド膜の透湿度と同等レベルであった。長尺品の断面構造を観察すると、キャスト法で得られたハイブリッド膜と同様の積層構造が形成されていることから、長尺膜においてもキャスト法と同様のバリア性を発現できたと考えられる。さらに本条件を共同研究先企業に供給し、リグニンと粘土鉱物からなる耐熱ガスバリアフィルムの連続生産が可能であることを確認した。

以上のことから、改質リグニンと粘土鉱物からなる耐熱ガスバリアフィルムの長尺膜を作製する技術を開発し、その連続生産プロセスの設計指針を得るという今年度の

計画を十分に遂行できた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕ナノ粒子、プルシアンブルー、セシウム、吸着、除染、色変化素子、レーザー溶融、強誘電体、マイクロミキサー、マイクロリアクター、MOF、粘土膜、高温シール材、ガスバリア、水素タンク、粘土膜、耐熱性、難燃性、ゼオライト、水熱合成、パラジウム膜、ゼオライト膜、メンブレンリアクター、膜反応、分離機能、膜透過機能、層状珪酸塩、構造解析

④【ナノ材料研究部門】

(Nanomaterials Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：佐々木 毅

副研究部門長：川口 建二

首席研究員：片浦 弘道、末永 和知

総括研究主幹：原 重樹、井上 貴仁

所在地：つくば中央第五

人員：46名（46名）

経費：829,999千円（450,521千円）

概要：

1. 研究ユニットのミッション

新素材を実用化するための技術開発を通じて、素材産業や化学産業への技術的貢献を目指すために、当部門では、ナノ材料の実用化へ向けて、カーボンナノチューブやグラフェンといったナノカーボン材料、ナノ粒子やナノ薄膜などのナノ材料の開発とその用途開拓を推進すると共に、高度な計測・加工技術を利用した材料開発を進めナノ材料の産業化へ大きく貢献することをミッションとする。

2. 研究ユニットの研究開発の方針

ナノ材料研究部門では、以下の3つの戦略課題を設定して、実用化へ向けたTRLを意識したマイルストーンを設けて次の研究を推進する。

1) ナノカーボン・デバイス材料の製造および応用技術の開発

ナノカーボン・デバイスを実現させるために、高品質グラフェン合成のためのプラズマCVD技術の開発ならびに透明導電フィルム作製技術の開発を進めると共に、eDIPS法によるCNT製造技術、カラムクロマト法やELF法など種々の金属半導体分離およびカイラル分離技術などの高度化を進める。また、開発したナノカーボン・デバイス材料のデバイス実証および用途探索を行う。

2) 低次元ナノ複合体による物質・エネルギー有効利

用技術の開発

配位高分子をはじめとする複合ナノ粒子と、有機材料複合膜をコア材料と位置づけ、物質・熱・光などを吸収し、必要な時期に、必要に応じて形態を交換し、放出する材料の開発を進める。ここでは特にエネルギーキャリア及び有用/有害物質を適切に回収することのできる材料および高効率熱電変換薄膜材料、中性子捕獲療法用のナノ粒子などを開発する。

3) 高度計測およびナノ加工・界面制御技術の開発

ナノレベルの構造・元素解析のための電子顕微鏡をはじめとする各種の高度計測技術を用い、材料における界面状態や物性を評価し、ナノ材料に必要とされる物性・構造・高機能化に資する知見を得る。更に、プラズマやマイクロ波を用いて、材料のナノ加工技術を開発し、異分野融合型の安心・安全・快適な社会に必要とされるデバイス開発を目指す。

3. 中長期目標・計画を達成するための方策

これまでの成果を基に、企業との連携を進めて橋渡し研究を推進すると共に次の研究シーズを創出するための目的基礎研究についても、これらを研究開発駆動の両輪として推進・展開していく。

特に、企業との連携を模索するために、研究グループや接着・界面現象研究ラボ、研究部門で運営しているグラフェンコンソーシアムなどの産総研コンソーシアム等の組織を活用して連携研究のマーケティングを行う。また、積極的に大型プロジェクトの立案に関わり、プロジェクトへの参画を通じて研究拠点の構築を進めるなどして、目的基礎研究から企業への橋渡し研究にシームレスにつながることができるように組織的な研究マネジメントを強化する。

また、研究領域が行う、萌芽研究プロジェクトのみならず、科学研究費補助金や科学技術振興機構が実施する研究助成制度へも積極的に応募して、研究シーズを開拓するとともに、インパクトファクター付論文発表等の成果発信にも努める。

4. 平成28年度の重点化方針

領域において、設定された重点的に推進する課題のうち、省エネルギー新素材の開発として、ナノカーボン・デバイス材料の応用技術の開発や低次元ナノ複合体による物質・エネルギー有効利用技術の開発を積極的に進める。また、食糧・水関連新素材や健康増進新素材についても、部門のポテンシャルを生かした検討を進める。また、特に、ユニットの組織力を強化するためにグループ長の強いリーダーシップのもとグループ内での連携の強化を図ると共に、研究部門内のグループ間での連携研究についても促進する。

また、アジアとの研究機関の連携においては、特にタイ国の NANOTECH 研究所との連携の強化を

図る。

発表：誌上発表128件、口頭発表237件、その他22件

CNT 機能制御研究グループ

(CNT Function Control Group)

研究グループ長：斎藤 毅

(つくば中央第5)

概要：

カーボンナノチューブ (CNT) は、1次元材料として知られているものの中でも極めて微細で且つ化学的に安定な、いわゆる“究極材料”である。優れた電気的・半導体的・熱的な特性を有し、さらにクラーク数が大きい元素 (ユビキタス元素) である炭素から構成されるため環境調和性も高い。CNT は現行材料では実現困難な屈曲性や可撓性を有する透明導電膜や半導体材料等として、フレキシブルデバイス等の幅広い応用分野における実用化が期待されている。そこで当グループでは、CNT の優れた特性を生かした各種デバイス応用の開発を目指して、①合成技術、分離技術などの CNT 材料製造技術、②CNT を利用した素材 (薄膜、線材、複合材料など) を加工・製造するための種々の技術を開発し、CNT 産業応用の基礎的基盤を確立するとともに、③各種 CNT デバイス応用に関する技術開発など応用展開のための探索的研究開発も併せて行う。得られた成果の学会発表や論文発表・広報活動を行い、さらに技術移転などの橋渡し活動をはじめとする産学官での連携・共同研究推進を通じて、社会的ニーズが高い省資源・低コスト製造プロセス等に資する研究開発を行い、最終的に CNT の実用化達成を目指す。

研究テーマ：テーマ題目1

炭素系薄膜材料グループ

(Carbon-Based Thin Film Materials Group)

研究グループ長：長谷川 雅考

(つくば中央第5)

概要：

グラフェンおよびナノ結晶ダイヤモンド薄膜 (ナノダイヤモンド薄膜) を中心とした新しい炭素系材料の薄膜形成技術を開発する。さらに構造、物性、機能等の評価技術を合わせて開発し、真に工業的に魅力ある特性を利用可能な形で引き出すための研究開発を実施する。これらにより、機械的、化学的、電気的、熱的、光学的な機能に優れ、環境に適合する炭素系薄膜材料を用いた用途開発に貢献することを目的としている。独自開発のプラズマを利用した気相化学蒸着法 (CVD) をベースに、高品質なグラフェンの大面積・高速形成技術を開発するとともに、ロールツーロール合成法などの実用化に必須となる量産技術へと発展させる。さ

らに転写法など原子層膜のハンドリング技術を確認することにより材料本来の魅力ある特性を十分に引き出し、特徴ある用途へと結びつける。

研究テーマ：テーマ題目1

ナノ粒子機能設計グループ

(Nanoparticle Functional Design Group)

研究グループ長：川本 徹

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、多孔性配位高分子をはじめとする機能材料をナノ粒子化し、材料の有する機能の改良及び新機能の発現を実現することで、有害・有用物質回収などの資源・エネルギー技術を確認することを目的としている。その目的のため、(1) 多孔性配位高分子などのナノ粒子化技術の研究開発、(2) ナノ粒子を利用した有害・有用物質回収技術の研究開発、(3) ナノ粒子を用いた電気化学素子による資源・エネルギー技術の研究開発を進めている。(1)は、プルシアンブルー型錯体や金属有機構造体のナノ粒子をマイクロミキサーなどの手法を用いナノ粒子化を行うとともに、組成制御なども行う。(2)は特に放射性セシウム、アンモニアなどの回収技術の開発を進め、農業用途への展開を進めている。(3)はエレクトロクロミック素子を利用した調光ガラス技術の研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目2

ナノ粒子構造設計グループ

(Nanoparticle Structural Design Group)

研究グループ長：清水 禎樹

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、急激気相酸化場、液中レーザー照射場、超臨界場、過飽和溶液、プラズマ場に代表される特殊な反応場を利用した独自の粒子合成プロセス技術を開発し、形態・寸法・結晶性に代表される構造が制御された粒子の合成と応用の可能性を探索している。このような特殊反応場プロセスで合成される、金属一酸化物ハイブリッドナノ粒子、サブミクロン球状粒子、立方体状ナノ粒子、高機能生体活性粒子の特徴が大いに活かせる用途での実用化を目指し、各プロセス技術の更なる高精度化に取り組み、高度に構造制御された粒子の合成技術を確認する。更に、合成粒子のデバイス化に向けた検証や、実用化で求められる量の粒子合成に向けた粒子生産効率向上のための研究開発を実施する。

研究テーマ：テーマ題目2

ナノ薄膜デバイスグループ

(Nanofilm Devices Group)

研究グループ長：石田 敬雄

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、有機材料において世界最高レベルの熱電変換性能を達成してきた技術ポテンシャルを基に、省エネルギーに資する熱電変換材料など、エネルギー変換薄膜デバイスの応用をめざし、分子性薄膜や高分子薄膜のナノスケールの構造制御やCNTなどとのハイブリッド化により、高性能な薄膜デバイスおよびデバイス材料の創出を目指している。具体的には1) ナノ高分子薄膜の熱電変換デバイス、クロミックデバイス等、機能性デバイスへの応用研究；2) 分子性薄膜の太陽電池など機能性デバイス応用研究；3) 省エネルギーに資するナノ薄膜デバイス設計指針の理論的な提案と解析に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目2

ナノ界面計測研究グループ

(Nanoscale Interface Characterization Group)

研究グループ長：久保 利隆

(つくば中央第5)

概要：

ナノ材料の開発において、その構造・物性・機能を明らかにするための高度計測技術の重要性は高い。今日、材料開発だけでなく、そのデバイス応用に向けた複合化・システム化の各段階においては、ナノ加工技術や異種界面制御技術の確立も必要不可欠となっている。これらの要素技術を積み上げ、先端計測技術開発、ナノ材料の精密加工制御をおこない、社会に必要とされるデバイス開発を目指す。具体的には、産総研の目指す橋渡し事業を進めるため、計測・加工・界面制御の分野から貢献をする。そのためには、我々の持つポテンシャルをさらに高め、「(1) 高度計測技術開発とその材料評価への適応」を進める。ナノレベルの構造・元素解析のための電子顕微鏡をはじめとする各種顕微鏡や和周波発生分光法等の各種分光装置を用い、材料における界面状態や物性を評価し、そこから得られるデータから、ナノ材料に必要とされる物性・構造・高機能化に資する知見を得る。また出口実用を見据えたナノ材料のシステム化・デバイス化を行うため、同時進行で、「(2) ナノ加工技術・異種界面制御技術開発」を進める。(1)の項目と密接に連携をし、ナノ材料の持つ機能性発現メカニズムを解明しながら、プラズマやマイクロ波を用いて、材料の持つ物性や構造を制御し、目標とする材料になるよう作り込みを行う。また一部にスマートセンシング技術を融合させる事により、異分野融合型の安心・安全・快適な社会に必要とされるデバイス開発を目指す。

研究テーマ：テーマ題目3

電子顕微鏡グループ

(Electron Microscopy Group)

研究グループ長：越野 雅至

(つくば中央第5)

概要：

当グループでは、電子顕微鏡技術を用いた計測技術のさらなる高機能化・高性能化の実現を目指すとともに、計測評価技術によって社会のニーズに応える情報をフィードバックする。界面での原子レベル解析が求められる接着の原理や剥離の化学機構の本質を微細構造評価技術により解明し、素材および製品開発に反映する研究を進める。一方、計測技術の開発においては、低次元物質、原子や分子などの挙動を高速・高感度で捉えるための最先端計測評価技術を開発する。特に、従来の電子顕微鏡よりも低加速、高分解能、高感度なイメージングとその電子状態解析技術を生かし、形態、界面、欠陥などの構造情報や組成、元素分布、化学結合情報を原子レベルで解析し、物質の機能や科学現象の解明に貢献する。これら評価技術を駆使したナノスペース科学の構築とそれを制御した新機能発現とその応用を目指した研究開発を行う。また電子顕微鏡内での化学反応の素過程の観察や単分子の構造解析など、化学・生物分野への電子顕微鏡解析手法の展開を図る。新しい収差補正技術の確立、単色化技術の応用および新規電子顕微鏡法を開発するとともに、試料作製技術などの発展にも貢献する。

研究テーマ：テーマ題目3

[テーマ題目1] ナノカーボン・デバイス材料の製造および応用技術の開発

[研究代表者] 斎藤 毅 (CNT 機能制御グループ長)
長谷川 雅考 (炭素系薄膜材料グループ長)

[研究担当者] 長谷川 雅考、水谷 亘、石原 正統、山田 貴壽、沖川 侑揮、川木 俊輔、片浦 弘道、斎藤 毅、田中 丈士、都 英次郎、平野 篤、丹下 将克、栗原 有紀、(藤井俊治郎)、魏 小均、王国偉、于 躍、周 波、小林 明美、小澤 雅司、清水 馨、和田 百代、都築 真由美、金 泓秀、久保田 真理子、Chechetka Svetlana、今井 裕恵、Elena Bulgarevich (常勤職員14名、他14名)

[研究内容]

ナノカーボン・デバイスを実現させるために、高品質グラフェン合成のためのプラズマ CVD 技術の開発ならびに透明導電フィルム作製技術の開発を進めると共に、eDIPS 法による CNT 製造技術、カラムクロマト法や ELF 法など種々の金属半導体分離およびカイラル分離

技術などの高度化を進める。また、開発したナノカーボン・デバイス材料のデバイス実証および用途探索を行う。

[領域名] 材料・化学

[キーワード] カーボンナノチューブ、グラフェン、プラズマ CVD、透明導電フィルム

[テーマ題目2] 低次元ナノ複合体による物質・エネルギー有効利用技術の開発

[研究代表者] 川本 徹
(ナノ粒子機能設計グループ長)
清水 禎樹
(ナノ粒子構造設計グループ長)
石田 敬雄
(ナノ薄膜デバイスグループ長)

[研究担当者] 川本 徹、田中 寿、中村 徹、南 公隆、Parajuli Durga、高橋 顕、田嶋 一樹、渡邊 浩、野田 恵子、杉山 泰、川上 正美、桜井 孝二、塩見 亜紀子、高村 智恵子、西野 瑞香、道川 健、蔣 咏、清水 禎樹、古賀 健司、石川 善恵、大矢根 綾子、中村 真紀、伯田 幸也、新保 外志夫、坂巻 育子、黒岩輝代子、荒木 裕子、Shubhra Quazi、Arputharaj Joseph、石田 敬雄、川西 祐司、関 和彦、向田 雅一、土原 健治、桐原 和夫、衛 慶碩、鈴木 洋一、大山 真紀子、上原 千夏、齊藤 希巳江、鈴木 靖三 (常勤職員20名、他21名)

[研究内容]

配位高分子をはじめとする複合ナノ粒子と、有機材料複合膜をコア材料と位置づけ、物質・熱・光などを吸収し、必要な時期に、必要に応じて形態を変換し、放出する材料の開発を進める。ここでは特にエネルギーキャリア及び有用/有害物質を適切に回収することのできる材料および高効率熱電変換薄膜材料、中性子捕獲療法用のナノ粒子などを開発する。

[領域名] 材料・化学

[キーワード] プルシアンブルー、吸着、調光ガラス、ナノ粒子、液中レーザー、微小プラズマ、超臨界流体、ナノコンポジット、表面処理、複合材料、生体活性材料、導電性高分子、熱電変換、光触媒、色素増感太陽電池

[テーマ題目3] 高度計測およびナノ加工・界面制御技術の開発

[研究代表者] 久保 利隆 (研究グループ長)
越野 雅至 (電子顕微鏡研究グループ長)

〔研究担当者〕 久保 利隆、清水 哲夫、宮前 孝行、
 鵜沢 浩隆、宮脇 淳、杉山 順一、
 平塚 淳典、佐藤 千佳、狩野 諒、
 田中 深幸、川端 澄子、野田 和希、
 松野 美江、越野 雅至、末永 和知、
 堀内 伸、佐藤 雄太、劉 崢、
 千賀 亮典、YungChan Lin、
 JunHao Lin、佐々木 祐生、
 横田 美子、新京 久美子、中尾 幸道、
 大沼 芳乃、伯川 秀樹、小中 浩子、
 山平 尚廣（常勤職員14名、他15名）

〔研究内容〕

ナノレベルの構造・元素解析のための電子顕微鏡をはじめとする各種の高度計測技術を用い、材料における界面状態や物性を評価し、ナノ材料に必要なとされる物性・構造・高機能化に資する知見を得る。更に、プラズマやマイクロ波を用いて、材料のナノ加工技術を開発し、異分野融合型の安心・安全・快適な社会に必要なとされるデバイス開発を目指す。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 高度計測技術開発、ナノ加工、マイクロ波化学、電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、バイオセンシング、電気接点、電子顕微鏡、EELS、EDS、単原子、単分子、ポリマー、接着、接合、界面

⑤【無機機能材料研究部門】

(Inorganic Functional Materials Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：淡野 正信

副研究部門長：松原 一郎、加藤 一実、加藤 且也

首席研究員：加藤 一実

所在地：中部センター、関西センター

人 員：50名（50名）

経 費：726,014千円（426,957千円）

概 要：

我が国の製造産業は、二酸化炭素排出量の削減、資源制約の緩和、高付加価値製品の開発、製品開発のスピードアップ、エネルギー・環境関連製品の製造力強化、メンテナンス・アフターサービスの強化、少子高齢化の中での技術技能の継承等の課題に直面している。

当研究部門では、領域ミッションにおける、新素材を実用化するための技術開発として、新たなものづくり技術を牽引する、無機系機能材料の高度化と橋渡し研究の積極的な推進に注力する。そのために、無機系新素材の創製とスケールアップ製造技術及び部材化技術を開発し、耐環境性および信頼性に優れた各種の産

業部材を提供する。

具体的には、第4期の研究開発の方向として、〈1〉新機能粉体の創成及びそのスケールアップ製造技術を開発する。それにより、新機能粉体の実用化を実現する。また、〈2〉新素材のバルク組織化技術を開発する。それにより、耐環境性及び信頼性に優れたエネルギー・環境部材やヘルスケア部材を提供する。これらの中長期目標・計画を達成するために、以下の3つの戦略課題を設定し推進する。

- ① 無機系新機能粉体合成と高効率製造技術の開発
セラミックスや金属等の無機系新素材（機能粉体等）を主対象とし、新機能を発現・付与するためのメカニズムの実証、合成技術の確立、量産化技術の開発により、実用化を図る。
- ② 高次機能部材化及び集積技術の開発
セラミックス粒子材料による構造制御や高機能集積化を行い、無機材料の特徴である高温対応の機能性部材を創製し、エネルギー・環境関連のデバイスの耐環境性と信頼性を向上させ、光エネルギーを利用した高次機能化のための基盤技術を開発する。
- ③ 機能融合部材化技術の開発

ガラス材料やハイブリッド材料を主対象とし、部材化に必要な精密成型、高度加工による形状賦与技術の確立、最適材料の組み合わせ技術、材料界面の制御技術、材料複合化プロセスの構築により、実用化レベルの部材創成と高度利用のための基盤技術を開発する。

新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料に関して、平成28年度は以下の研究開発を重点的に推進した。特に、新たな無機機能材料技術の開発を最重点課題として、その展開を強力に推進するために、材料関連の民間企業との連携での集中研究体制や公的資金研究でのプロジェクト推進体制の構築を図った。

橋渡し研究（前期）として、セラミックスや金属等の無機系新素材について、水素やメタン等のエネルギーキャリアを変換するスタックのセラミック部材試作技術を開発し、メタン合成等での優位性を確認した。さらに、高度な電極材料の電気化学評価技術の実用化を目指し、実セル作動下での電極抵抗成分の解析が可能な解析支援ソフトウェアの実用化を目指した。また、呼気検知法でのヘルスケア診断に活用可能なセラミックセンサーのプロトタイプ機での実証を実施した。

橋渡し研究（後期）へ向けた取り組みとして、昨年度目的基礎研究として展開した高性能誘電体デバイスや、蓄電デバイスの実現に向け、結晶構造、形状、サイズをナノレベルで精密に制御したチタン酸バリウム等のナノキューブの合成スケールアップ技術の開発を推進した。また、有機素材への無機ナノ粒子の複合化を容易にする為に、非極性溶媒に分散を可能とするセリア／高分子からなるコアシェルナノ粒子表面改質技

術の開発を進めた。

目的基礎研究の推進として、高電流密度での水電解が可能な高性能ナノ複合化電極材料の開発や、新原理でのプロトン伝導性セラミックス電解質膜を活用するセラミックスコンプレッサ技術の基礎研究を進め、革新的な省エネデバイス技術への展開を目指した。

戦略課題：

- ・「無機系新機能粉体合成と高効率製造技術の開発」
- ・「高次機能部材化及び集積技術の開発」
- ・「機能融合部材化技術の開発」

萌芽研究：

- ・「巨大出力因子を示す還元高温雰囲気下 $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{13}$ 薄膜における高熱電変換性能発現相の特定と実用化可能性の検討」
- ・「中温域作動の混成電位型ガスセンサにむけたガラス電解質の開発」
- ・「水酸化物低温固相合成法を利用した緻密酸化物薄膜の革新的超低温成膜」
- ・「結合性の違いを利用したガラス中への自発的構造誘起」

内部資金：

- ・「フラウンホーファーIPA とのハイブリッドアクチュエータ (HBA) 国際連携研究拠点」
- ・「液相プロセスによる非鉛圧電体単結晶ナノキューブの合成」

外部資金：

経済産業省中小企業庁

戦略的基礎技術高度化支援事業 (サポイン事業)

- ・「単一の測定装置による熱電3物性値の同時計測可能な方法の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

エネルギー・環境新技術先導プログラム

- ・「ナノクリスタルエンジニアリングによる材料・デバイス革新」

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)

- ・「革新的設計生産技術／ガラス部材の先端的加工技術開発」

次世代人工頭脳・ロボット中核技術開発

- ・「革新的ロボット要素技術分野／可塑化 PVC ゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発」

独立行政法人日本学術振興会 (JSPS)

頭脳循環を加速する戦略的国際研究ネットワーク推進プログラム

- ・「結晶科学の国際拠点形成ーバンドデザインによる機能融合ーリチウム空気二次電池の基盤技術開発／セラミックスセパレータ技術の開発」

科学研究費助成事業 (科研費)

新学術領域研究 (研究領域提案型)

- ・「感応性化学種の二光子吸収特性の解明と測定評価基盤の確立」
- ・「原子層の量子物性測定と新規物性探索」
- ・「理論と実験の協奏的アプローチによる複合スピン励起子変換制御」

基盤研究 (A)

- ・「マルチラジカル性を有する開殻超分子系の光磁気機能物質の創成」
- ・「超音波による微小気泡の凝集体形成を利用した生体内細胞デリバリー技術の創成」
- ・「次世代マッキベン人工筋の実現」

基盤研究 (B)

- ・「分子構造デザインによる非シリカ系ハイブリッドメソ多孔体の精密合成技術の開発」
- ・「全固体電池における力学・電気・化学的因子相互作用機構の解明とその応用」
- ・「分子レベルでのグラフェンの電子構造の理解と新規物性の探索」

基盤研究 (C)

- ・「面発光レーザの表面実装に関する研究」
- ・「貴金属と低次元酸化物のナノ界面制御による低温酸化触媒の構築」
- ・「シート構造を有するメソポーラスシリカの創製とその応用に関する研究」
- ・「DNA 由来高分子を利用した高分子アクチュエータの創製」
- ・「Zr 系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則ー不規則配列と酸化物イオン伝導」
- ・「スマート材料のシステム論的モデル化による高効率エナジーハーベスティング」
- ・「カラミチック液晶とディスコチック液晶間を熱及び光照射で相転移するシステムの構築」

挑戦的萌芽研究

- ・「シリカガラス中の特異な酸素配置を有する光活性イオンによる新規機能の創製」

若手研究 (B)

- ・「高分子ロボットカテーテルシステムの開発」
- ・「両イオン伝導体を用いた高効率メタン発電用固体酸化物形燃料電池の開発」
- ・「ガラス構造と内部応力を利用した結晶化ガラスエンジニアリングの構築」

研究活動スタート支援

- ・「導電性酸化物単結晶を用いた粒子整列塗膜の実現と物性解明」

独立行政法人科学技術振興機構 (JST)

戦略的創造研究推進事業

CREST

- ・「新規固体酸化物形共電解反応セルを用いた革新的エネルギーキャリア合成技術 (キャリアファーム共電解技術) の開発」

先端的低炭素化研究開発 (ALCA)

- ・「カルノー効率の60 %に達する廃熱回生熱音響システム/熱音響機関の音場制御とエネルギー変換の実測」
- ・「リチウム空気二次電池の基盤技術開発/セラミックスセパレータ技術の開発」
- ・「液晶科学に基づく革新的塗布型有機太陽電池の開発/液晶性有機半導体の分子設計および合成と構造形成」

研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP)

シーズ顕在化タイプ

- ・「耐熱性 γ -アルミナを用いた高性能 Ni 触媒の開発応用」

産業ニーズ対応タイプ

- ・「ナノブロック高次秩序化による配向性ナノ構造体の開発と表面ドーピングによる高機能化」
- ・「単結晶ナノキューブの自己組織化を利用した新成形技術の開発」
- ・「レイヤード結晶シェルによる“単一結晶面粒子”の創製とその超精密機能化」

シーズ育成タイプ

- ・「移動体の廃熱回収に向けたレアメタルレス熱電発電ユニットの実用化研究」

埼玉県

先端産業創造プロジェクト

- ・「ナノカーボン高分子アクチュエータを用いたスマートフォン用薄型点字表示器の開発」

発 表 : 誌上発表116件、口頭発表267件、その他32件

テーラードリキッド集積グループ

(Tailored Liquid Integration Group)

研究グループ長 : 伊豆 典哉

(中部センター)

概 要 :

今後の高度情報化社会の益々の進展、環境調和型社会の持続的発展、および、高齢化社会における医療福祉技術のさらなる高度化のためには、小型電子機器や医療用機器に対して高性能な電子部材・機能部材が必要である。当研究グループでは、これら部材開発に資する無機系新機能粉体合成および高効率製造技術開発などの無機系機能材料の高度化に関する研究を担当する。特に、溶液化学をベースとし、機能発現ユニット

の合成技術、溶液反応を経由したナノ~マイクロ領域の構造形成技術、精密構造体の集積化技術等に関する研究開発を実施し、産業技術基盤と国際競争力の強化を図る。具体的には、酸化ナノクリスタルの合成・配列・接合、および解析・評価に関する基盤技術の開発、誘電/蓄電デバイスの高性能小型化に向けた単結晶ナノキューブのボトムアップ技術の開発、光学部材用ナノ粒子の溶媒への分散性付与技術の開発、医療用センサ・エネルギー関連部材に向けた集積化ナノ構造に関する基盤技術の開発を実施した。また、多様な外部機関との階層的な連携を通して、開発材料の産業応用の可能性を検討した。

研究テーマ : テーマ題目1

粒子機能化技術研究グループ

(Particle Functionalization Group)

研究グループ長 : 加藤 且也

(中部センター)

概 要 :

当研究グループでは、セラミックスを始めとする無機系粒子の合成・機能化・デバイス化技術を確立し、安心安全や生活環境改善に資する機能性部材を提案することをミッションとしている。本年度は、「多孔性無機粒子の合成技術と機能化技術の開発」に重点を置いて研究を展開した。課題として以下の2テーマについて取り組んだ。テーマ1では、多孔体ジルコニアやシリカ粒子の粒径制御合成技術に取り組むと共に、タンパク質などの巨大分子との複合化を行った。また上記多孔体を持つ酵素固定化能を詳細に検討することで、酵素活性安定化についての多孔体の有用性を確認した。テーマ2では、不焼成セラミック多孔体成形技術を応用して、高温化の際に温度上昇を抑制する高断熱・高潜熱多孔質セラミックス板状成形体の開発を行った。今年度は、特に短繊維添加による機械的特性向上に関する研究を行い、曲げ強度の改善及び即断破壊の抑制を確認した。

研究テーマ : テーマ題目1

電子セラミックスグループ

(Electroceramics Group)

研究グループ長 : 申 ウソク

(中部センター)

概 要 :

電子セラミックスを中心とした、耐環境性及び信頼性に優れたエネルギー・環境部材やヘルスケア部材を提供するために、新材料によるデバイス開発、デバイスを活用したヘルスケア用センシング技術開発、高分散ナノ粒子の合成から塗膜化及びデバイスまでの開発における基盤技術を開発するとともに技術の橋渡しに取り組む。

平成28年度は、ガスセンサの高性能化及びガス検知器の応用、高性能の導電性材料の開発を行った。ヘルスケア応用を目的としたガスセンサにおいては、高温動作型のセンサについて、温度分布シミュレーションを駆使したヒータデザインの改良と材料設計による高信頼性技術の開発とともに、複数のガス成分を分析してガス成分を高精度で識別する主成分分析によるデータ解析を推進した。また、医療機関と連携し、呼気水素検知器を用いた呼気水素ガスを分析した。

熱電材料を含む導電性材料の開発においては、ペロブスカイト型酸化物の焼結プロセスについて、各種高温デバイス応用に適した金属的な低電気抵抗率の焼結体及び厚膜の合成プロセスを開発した。

研究テーマ：テーマ項目2、テーマ項目4、テーマ項目6

機能集積化技術グループ

(Functional Integration Technology Group)

研究グループ長：淡野 正信

(中部センター)

概要：

高性能且つ用途拡大に繋がるコンパクト・高性能な固体酸化物形燃料電池や電気化学的な高効率物質変化が可能なセラミックリアクター、さらには次世代全固体蓄電デバイス等の実現に向け、エネルギー部材・モジュール製造技術および革新的な材料・製造技術の発展が必要とされる。このようなセラミックス電気化学デバイスの飛躍的な性能向上を実現するためには、従来技術では不可能であった機能を発現する部材構造の構築を開発し、それらの高度集積構造を造り込むモジュール化技術の開発が不可欠となる。特に、将来スケールアップ化が可能な製造技術を用い、その中で、ナノレベルでのセラミック電極構造制御やイオン伝導性材料・機能触媒材料等の最適化が重要となる。当研究グループでは、高度なセラミック集積化プロセス技術の開発により、次世代型固体酸化物形燃料電池(SOFC)等の電気化学デバイスにおいて、多燃料利用技術や低温域からの急速起動・停止運転での耐久性向上等を目指した研究開発に取り組んでいる。例えば、マイクロ燃料電池等の接続技術として、ガスシール性を有し接続抵抗値を実用レベル以下に抑えるセラミック集電シール接続技術を開発し、新しいモジュール構造を実現した。また、LPGで直接発電可能なハンディ型燃料電池デバイス開発や高効率電気化学物質変換デバイスの実現を目指し、低温域で高効率発電・電解が可能なセル・スタック製造技術等を開発した。さらに、次世代セラミック蓄電池の実現に向けて、セラミック電解質を金属負極用セパレータ等に適応可能とする界面制御技術等を開発した。これらの成果は電動化が進む次世代自動車やドローン・ロボット等の移動体向けポータブル分散電源等での高効率発電と高容量蓄

電技術を組合せたハイブリッド電源技術等の実現に大きく寄与すると考えられる。

研究テーマ：テーマ項目2、テーマ項目7

物質変換材料グループ

(Materials for Chemical Transformation Group)

研究グループ長：木村 辰雄

(中部センター)

概要：

当研究グループでは、革新的な機能発現と耐環境性や信頼性を両立させた産業部材の製造技術開発に向けて、ナノ粒子設計、界面設計、ナノ複合化、精密多孔化等の各種ナノ構造制御技術を駆使した触媒材料或いはその利用技術の高度化を推進している。研究テーマの方向性や目標は、企業ニーズを意識するとともに、資源制約や需給ギャップ等の社会情勢の変化を反映させながら、適切かつ柔軟に設定し、触媒作用や吸着現象を原子・分子レベルで理解、更にはその場観察技術を組み合わせることで、効果的な機能設計や触媒性能の最大化を目指している。具体的には、排ガス浄化等に用いられる触媒材料の高機能化、資源回収に資する材料等技術開発に関する研究を推進している。

研究テーマ：テーマ項目3

高機能ガラスグループ

(Advanced Glass Group)

研究グループ長：赤井 智子

(関西センター)

概要：

当グループでは、機能性ガラス及びその先端加工技術を開発し、電子・情報、エネルギー関連の新規デバイスの開発や高性能化を目指している。具体的には、ガラスの精密プレス成型による新規な光学素子、太陽電池の高効率化を目指した蛍光ガラス材料、屋外での夜間光源を目指した高輝度蓄光ガラスなどの各種の機能性ガラスの開発にとりくんでいる。

本年度は、ガラス先端加工技術については、リン酸塩ガラスの成型温度近傍での粘弾性特性を測定し、その結果を Maxwell モデルを用いて解析し、成型性と関連を明らかにした。市販の低融点ガラスについて、種々の基板との反応性を接触角の時間変化の観点から調べた。企業との共同研究により、6インチのガラス基板上にマイクロレンズアレイを PV 精度 $2\ \mu\text{m}$ 以下で成型することに成功した。また、機能性ガラス材料については、青色で励起が可能なナノ結晶分散蛍光シリカを作製することに成功した。また酸フッ化物系のガラスに Eu^{3+} を添加すると 95 % という高い内部量子効率を有する蛍光ガラスが得られるが、この構造を EXAFS により解析した。その結果、このガラスは 3 次元ランダム構造ではなく、層状あるいはチャンネル状

の構造を取っていることが示唆された。
研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5

機能調和材料グループ

(Integrated Functional Materials Group)

研究グループ長：神 哲郎

(関西センター)

概 要：

本研究グループでは、製膜技術、接合技術の高次構造物材料への集積化を行い、光-エネルギー変換技術ならびに熱電変換技術により、電気や水素等の高品位エネルギーを産生する部材の創製を行っている。光-エネルギー変換材料は、溶存酸素を含む犠牲剤水溶液中において、TiO₂系光触媒により太陽光-水素変換効率1%相当で水素生成が可能となった。一方、この水素とCO₂から常温常圧でギ酸に変換できる錯体を多孔質ガラス表面に固定化し、ギ酸の生成とギ酸を分解して水素を取り出せることを確認した。また、光触媒系の動作波長域の実効的な波長拡大に向けた長波長の光を短波長へと変換する波長変換技術の開発において、緑(532 nm)の入射光を吸収する分子を多孔質ガラス状に活性を維持したまま固定化して、さらに発光を担う分子溶液に浸漬することで、青色(約430 nm)の短波長発光を得ることに成功した。熱電発電の普及を目指し、高温鍛造による酸化物素子の性能向上とヒートパイプを用いた空冷式発電装置を開発した。さらに出力を高めるため、新たな素子を用いた熱電モジュールの開発と、より冷却効率の高いヒートパイプ技術の開発に取り組んでいる。30%以上の発電効率を有する新規高性能熱電材料を創出するため、フォノン伝導の直接観察など新たな計測技術の構築にも挑戦している。

研究テーマ：テーマ題目2

ハイブリッドアクチュエータグループ

(Hybrid Actuator Group)

研究グループ長：安積 欣志

(関西センター)

概 要：

本研究グループでは、ナノ粒子と高分子の制御されたハイブリッド構造による高性能なアクチュエータ材料を開発し、医療福祉機器を中心とした様々な分野への応用を行う。すなわち、高分子の軽量性、加工性にナノ材料の高機能性を兼ね備えた従来にないソフトでフレキシブルな高性能アクチュエータあるいはセンサーの開発を行うことで、携帯、ウェアラブルなデバイスを開発し、様々な分野への応用を行う。具体的には、導電性ナノ粒子を高分子に分散したハイブリッド電極によるソフトアクチュエータやセンサーの開発を進め、マイクロポンプや能動カテーテル・内視鏡な

どの医療デバイスや、触覚デバイス等の新しい情報機器への応用展開を進める。さらに、これらデバイスの量産化技術の開発による実用化、あるいは積層などの大型化技術の開発、また、コントロール回路や構造材料との一体化技術の開発などにより、ウェアラブルロボットによるアシスト技術の開発などを進め、高福祉社会に貢献する。

研究テーマ：テーマ題目3

【テーマ題目1】無機系新機能粉体合成と高効率製造技術の開発

【研究代表者】加藤 一実、伊豆 典哉、加藤 且也
(首席研究員、テラードリキッド集積グループ、粒子機能化技術グループ)

【研究担当者】加藤 一実、伊豆 典哉、安井 久一、劉 崢、増田 佳丈、三村 憲一、加藤 且也、永田 夫久江、稲垣 雅彦、杉山 豊彦、大橋 優喜、楠本 慶二
(常勤職員12名)

【研究内容】

セラミックスや金属等の無機系新素材(機能粉体等)を主対象とし、新機能を発現・付与するためのメカニズムの実証、合成技術の確立、量産化技術の開発により、実用化を図る。

平成28年度は、高性能誘電体デバイス、蓄電デバイス、自動車排ガス触媒等のキラーデバイスの実現に向けて、化学組成、結晶構造、形状、サイズをナノレベルで精密に制御した単結晶ナノキューブを量産するための基盤技術を検討した。具体的には、企業と共同研究を実施し、チタン酸バリウムナノキューブの量産化技術の確立に向けて、合成プロセスと条件を見直すことにより、{100}結晶面が表面に露出し、形状完全性が高いナノキューブを数100g単位で供することを可能にした。また、酸化セリウム系ナノキューブについても、形状と性質の相関性を確認した。これらの成果を基に公的研究資金2件を獲得し、象徴的な新機能粉体としての単結晶ナノキューブの新価値を産業応用するための研究を開始した。他方、これまでの一連の研究成果が高く評価され、国内外の権威ある表彰や関連学会の進歩賞の受賞に繋がった。

コアシェルナノ粒子の開発では、シェルが水やアルコールに対して親和性が高いため、水やアルコールへの分散性が非常に良好で、かつ、粒度分布が狭いという特長を有するコアシェル型酸化セリウムポリマーナノ粒子(以下、コアシェルセリアナノ粒子)について研究開発を行った。民間企業と共同研究を実施し、既に量産化技術を確立している。平成28年度は、昨年度から引き続き、ユーザー企業開拓のための技術マーケティング活動を行い、種々の機関(企業・大学等)へのサンプル提供を当該民間企業から実施した。また、非極性有機溶媒等

への高分散化が喫緊の課題であることが判明し、コアシェルセリアナノ粒子のシェルを改質することで、非極性有機溶媒等への分散性を改善させる技術開発を当該民間企業と共同で行った。これまでに、ある特定のシラン化合物が表面改質効果を有することを明らかにしていたところ、平成28年度はその他の表面改質剤についても検討を行い、長鎖アルキル基含有シラン化合物やフェニル系シラン化合物、アミン系シラン化合物も分散性向上につながり、実施例を充実させ、民間企業と共同で優先権主張特許出願を行った。

バイオコアシェル粒子の開発において、バイオコアシェル粒子の合成量の増加を目的として、平成28年度は粒子作成条件について詳細に検討した。その結果として、従来の10倍量の合成条件を確立することができた。

カラム用多孔質粒子の開発について、平成27年度中に開発した様々な粒子形状を持つ多孔質シリカ粒子を用いて、各種シランカップリング剤による表面処理、タンパク質と特異的に結合するリガンド分子の表面修飾シリカへの吸着、およびタンパク質の結合効率の測定について注力した。その結果、不定形シリカが、球状シリカと比較して、高いタンパク質結合活性を示すことが明らかとなった。次に、不定形シリカの有機鎖表面処理を行い、リガンド分子とシリカ間の化学結合様式を検討したところ、共有結合によりシリカ表面との結合を行うことで、さらにリガンド分子に対するタンパク質の結合効率をさらに向上させることに成功した。今後は、粒子のカラム充填化に向けて、温度や溶剤に対するリガンド分子の安定性について詳細な検討を進める方針である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノクリスタル、ナノキューブ、高性能誘電体デバイス、自動車排ガス触媒、コアシェル型ナノ粒子、表面修飾、多孔質、セラミックス、粒子

【テーマ題目2】高次機能部材化及び集積技術の開発

【研究代表者】申 ウソク、淡野 正信、神 哲郎
(電子セラミックスグループ、機能集積化技術グループ、機能調和材料グループ)

【研究担当者】申 ウソク、淡野 正信、神 哲郎、伊藤 敏雄、赤松 貴文、鶴田 彰宏、山口 十志明、濱本 孝一、鷺見 裕史、島田 寛之、山口 祐貴、櫻井 宏昭、木内 正人、鎌田 賢司、溝黒 登志子、ヘック クライレ、村井 健介、石堂 能成、舟橋 良次、(常勤職員19名)

【研究内容】

セラミックス粒子材料による構造制御や高機能集積化を行い、無機材料の特徴である高温対応の機能性部材を創製し、エネルギー・環境関連のデバイスの耐環境性と

信頼性を向上させ、光エネルギーを利用した高次機能化のための基盤技術を開発する。

平成28年度は、水素製造に活用可能な電極触媒反応場制御技術、セラミックガスコンプレッサ向け電解質材料技術、全固体蓄エネデバイスのためのイオン伝導性セラミックス材料・構造化技術、電子セラミックスの機能性ナノ粒子合成及びセンサデバイス開発技術、光エネルギー機能化材料創製の要素技術を開発した。

エネルギー・環境関連デバイスとして、固体酸化物形電解セル (SOEC) において、高電流密度での水電解が可能な高性能ナノ複合化電極材料の開発や、新原理でのプロトン伝導性セラミックス電解質膜を活用するセラミックスコンプレッサ技術の基盤研究を進めた。さらに、液体燃料の水蒸気改質が直接可能なナノ構造電極を用いた固体酸化物形燃料電池のコンパクト電源技術を開発した。また、全固体蓄エネデバイスのためのイオン伝導性セラミックス材料・構造化技術においては、リチウムイオン伝導性セラミックス材料の3D 構造化薄層を活用する電池作製に向けたプロセス技術開発を推進した。

センサデバイスの開発においては、医療機関と連携し呼吸水素検知器を用いた呼吸水素ガスを分析した。高温動作型のセンサにおいては、温度分布シミュレーションを駆使したヒータデザインの改良と材料設計による高信頼性技術の開発とともに、複数のガス成分を分析してガス成分を高精度で識別する主成分分析によるデータ解析を推進した。

光エネルギー利用高次機能化のための基盤技術開発においては、白金助触媒を担持したチタニア系光触媒の構造最適化によって、有機物犠牲剤を含む水から溶存酸素の除去を必要としない実用的な条件で、水分解の太陽光エネルギー変換効率1 %相当の水素生成が可能になった。一方、常温常圧で CO₂と水素から直接ギ酸を生成するイリジウム系有機錯体均一系触媒を50 nm オーダーの細孔を多数有する多孔質ガラスの表面に固定化した。この不均一系触媒を用いて、常温常圧アルカリ性条件下で上記光触媒によって生成した水素を CO₂でギ酸として固定化し、常温常圧酸性条件下でギ酸を分解して水素を取り出せることを確認した。また、太陽光の未利用波長資源利用のため波長変換技術の開発においては、緑 (532 nm) を吸収して励起三重項を生成する増感剤色素を多孔質ガラスのナノ細孔の表面に固定化することで、高濃度での色素凝集を防いで三重項生成効率を向上させ、さらに溶液状の発光体材料と組み合わせることで、青色 (430 nm) への波長変換にも成功した。

熱電材料の研究では、熱電材料の高速合成を行い、既存の熱電材料の他にシリサイドを中心とした一連の材料系においての熱電特性を評価することで熱電材料探索を実施した。また、プロセス技術による熱電性能向上の可能性とそのメカニズムを解明し、高 ZT 化技術として塑性変形を伴う焼結を用いて BiSb 合金、シリサイド、層

状コバルト酸化物の熱電性能を向上させた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕燃料電池・電解セル・イオン伝導電気化学デバイス・デバイス集積化用触媒、ガスセンサ、熱電、酵素、酸化チタン、溶液析出法、ナノ結晶、光触媒

〔テーマ題目3〕機能融合部材化技術の開発

〔研究代表者〕赤井 智子、安積 欣志、多井 豊
(高機能ガラスグループ、ハイブリッドアクチュエータグループ、物質変換材料グループ)

〔研究担当者〕赤井 智子、山下 勝、福味 幸平、北村 直之、三原 敏行、金高 健二、篠崎 健二、安積 欣志、清原 健司、杉野 卓司、寺澤 直弘、物部 浩達、堀内 哲也、多井 豊、木村 辰雄、尾崎 利彦、三木 健、大橋 文彦、富田 衷子、粕谷 亮(常勤職員20名)

〔研究内容〕

機能性ガラス及びその先端加工技術については、電子・情報、エネルギー関連の新規デバイスの開発や高性能化を目指している。8インチのマイクロレンズを成型することを目標として大面積精密成型技術を行っているが、本年度は6インチ以上のマイクロレンズをPV精度2 μm 以内で成型する技術を開発した。また、成型に必要な成型点近傍での粘弾性測定と解析をリン酸塩ガラスについて行った。機能性ガラス材料については、高効率で発光するシリカガラスの太陽電池への応用を目指して、青色で励起可能なナノ結晶をポーラスシリカガラスの中に閉じ込めることに成功した。また酸フッ化物系のガラスに Eu^{3+} を添加すると95%という高い内部量子効率を有する蛍光ガラスが得られるが、この構造をEXAFSにより解析した。その結果、このガラスは3次元ランダム構造ではなく、層状あるいはチャンネル状の構造を取っていることが示唆された。

無機有機ハイブリッドアクチュエータ材料について、その創製と高度化を行った。具体的にはナノカーボンとイオン液体ゲルの複合電極による電気駆動アクチュエータ素子の材料最適化開発とデバイス応用、イオン導電性高分子を用いた医療デバイスとメカニカルセンサーの創製、さらにソフト高分子ゲルを用いた新規アクチュエータ材料の創製を行った。これらの開発をベースに、今後さらに新しい無機有機ハイブリッドアクチュエータ材料の開発を進め、ウェアラブルロボットに適用可能な人工筋肉型高性能ソフトアクチュエータの開発を目指す。

排ガス浄化触媒の開発に関しては、貴金属触媒の高性能化或いは省資源化を意識しながら、独自技術であるポリオール還元法を展開し、プロパン酸化反応に於いては

Pt ナノ粒子触媒の従来法触媒に対する優位性を実証した。更には、触媒担体表面に酸化鉄ナノ粒子を分散させておくことで、Pt 粒子の凝集が抑制できることも見出している。クリーンエネルギー開発に資する成果として、化学修飾技術を駆使してNi 触媒の分散性を改善したことで、炭素析出が抑制できたことと関連して、メタン改質反応の選択性を向上させることができた。環境に優しいリサイクル技術として、炭酸リチウムとの反応で複合酸化物を生成させ、白金属の回収量を最大化する溶解プロセスを開発しているが、自動車排ガス浄化廃触媒に含まれる主要な貴金属成分に関して、Pt と Rh の溶解率はほぼ100%を達成、Pd の溶解率は85%程度であったが、同プロセスで追加処理すればPd 残渣もすべて溶解できることを確認した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕ガラス、精密成型、蛍光、ハイブリッドアクチュエータ、人工筋肉、環境触媒、改質触媒、触媒調製、高機能化、資源回収、貴金属溶解

〔テーマ題目4〕中温域作動の混成電位型ガスセンサにむけたガラス電解質の開発

〔研究代表者〕赤松 貴文(電子セラミックスグループ)

〔研究担当者〕赤松 貴文(常勤職員1名)

〔研究内容〕

セラミックスをベースにしたガスセンサは、ヒータなどでガス感応材を加熱し、ガス感応材の起電力変化や抵抗変化をモニタリングしている。様々な形式のガスセンサが開発されているが、低温作動は高感度のものが多く、高温作動は応答速度が速く、水蒸気の影響を受けにくい傾向がある。中温作動では、低温作動と高温作動の特徴を併せ持つガスセンサとなる可能性があるが、中温作動のガスセンサの報告は極めて少ない。混成電位型ガスセンサの場合、ジルコニア、酸化アンチモンなどを用いた室温作動型、ジルコニアなどを用いた600 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温作動型のものが報告されている。我々のグループでは、中温作動を狙い、リン酸塩ガラスと有機物の複合材料からなる電解質を用いて、120 $^{\circ}\text{C}$ 付近で作動する混成電位型ガスセンサを開発しているが、有機物の融点以上では有機物の揮発によってセンサ性能が劣化するため、更なる高温作動化には電解質の耐熱性向上が不可欠であった。本課題では、耐熱性の問題をクリアした中温作動混成電位型ガスセンサにむけ、有機物を必要としないガラス電解質の開発を目標とした。具体的には、ガラスの網目形成酸化物である B_2O_3 、 SiO_2 などを中心に、修飾酸化物や中間酸化物を混合してガラス軟化点を調整し、センサ基板上に電解質を製膜できるガラス組成について検討した。 $\text{ZnO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ (mol%) のガラス組成の場合、ガラス転移点は566 $^{\circ}\text{C}$ であり、電極材料のPt やAu の融点以下となるため、センサ基板上にガラス電解質を容易

に製膜できることを確認した。400 °Cにおける ZnO・B₂O₃ガラスを用いた混成電位型ガスセンサの水素ガスに対する応答特性を調べたところ、250、1,000、10,000 ppm の水素濃度に対してガスセンサの起電力が変化することを確認した。空気雰囲気での起電力と水素ガス雰囲気での起電力の差 (ΔV) を算出し、 ΔV と水素ガス濃度の相関を調べたところ、 ΔV は水素ガス濃度の対数に比例する結果となった。この結果から、ガラス電解質を用いた混成電位型ガスセンサはジルコニアや酸化アンチモンを用いた混成電位型ガスセンサと同様の応答機構であるということが確認された。混成電位モデルでの反応機構であるか調べるため、空気雰囲気及び水素ガス雰囲気における分極曲線の測定を行った。それぞれのガス雰囲気での分極曲線の交点から算出される起電力(混成電位)とガス応答特性による起電力とが良く一致したことから、ガラス電解質を用いた混成電位型ガスセンサは混成電位モデルでの反応機構であることが確認された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ガスセンサ、混成電位、ガラス、電解質

【テーマ題目5】結合性の違いを利用したガラス中への自発的構造制御

【研究代表者】篠崎 健二 (高機能ガラスグループ)

【研究担当者】篠崎 健二 (常勤職員1名)

【研究内容】

ガラスは等方的でランダムな構造を持ち加成則が成立する。すなわち、材料物性を自在に設計できる反面、物性の特異点が出現しにくいことが特性の限界を規定している。本研究にて開発した MgF₂-BaO-B₂O₃ガラスは共有結合性の酸化物ガラス中にイオン結合性のフッ化物を導入した組成である。通常、極性の大きく異なる化合物からなるガラスは分相しやすいが、一方で、このガラスでは分相すること無く、B-O-B の共有結合性を有するネットワークと Mg-F-Ba などのイオン結合性のフッ化物が共存するガラス構造を取っており、EXAFS 解析から三次元ランダム構造ではなく、層状あるいはチャネル状の構造を取っていることが示唆された。このガラスは Eu³⁺の添加によって95 %を超える高い発光量子効率の赤色蛍光を示した。発光強度も大きく、近紫外光の励起では典型的な赤色蛍光体の3倍以上の蛍光強度が得られた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ガラス、蛍光、構造解析

【テーマ題目6】巨大出力因子を示す還元高温雰囲気下酸化物薄膜における高熱電変換性能発現相の特定と実用化可能性の検討

【研究代表者】鶴田 彰宏 (電子セラミックスグループ)

【研究担当者】鶴田 彰宏 (常勤職員1名)

【研究内容】

当研究グループで発見した研究成果である、単結晶基板上に作製したペロブスカイト型酸化物薄膜が高温還元雰囲気下で発現する巨大出力因子に関して、高温還元雰囲気下での高熱電変換性能発現相の特定と物性解明を目的とし、薄膜作製及び各種評価を検討した。

これまでに高熱電変換性能の発現が確認できている SrTiO₃基板上に薄膜を作製し、電気抵抗率及びゼーベック係数を詳細に検討したところ、還元雰囲気かつ600 °C程度以上の高温下では再現よく10 mW/K²m という巨大な出力因子の発現が確認できた。本現象を検討するにあたり、還元雰囲気つまりは酸素欠損状態で導電性を発現することが知られており、本研究内では基板として使用している SrTiO₃に関して、同様の高温還元雰囲気下における電気特性評価を実施した。結果としては、導電率は薄膜で得られる値と比較し大幅に小さく、ゼーベック係数においては正負の符号が異なっていたため、着目している巨大出力因子が薄膜由来の物性であることが明らかになった。

高温還元雰囲気下で電気特性を測定し室温まで還元雰囲気下で降温した薄膜に対して、XRD 測定を用いて高性能相の同定を試みたが、酸化物が還元された単体金属や電気伝導を示し得ない酸化物材料が確認されるのみであり、高性能相の特定は不可能であった。同時に、還元処理前後で薄膜断面の TEM 観察を実施したが、還元処理後においては多結晶化し相分離した膜が確認されるのみであり、高性能相の特定は不可能であった。そこで、雰囲気制御 XRD 測定を実施した。高温測定においては装置の推奨雰囲気である窒素を使用し、還元処理後薄膜の高温 XRD 測定を実施した。結果として、窒素雰囲気においては薄膜内に残存または構造として取り込まれていた還元ガスが離脱し、温度上昇に伴い薄膜を形成する物質が変化することが明らかになった。つまりは、本研究の大きな目標である高熱電変換性能発現相の特定には、大気中はおろか不活性ガスにおける高温観察ではなく、電気特性測定雰囲気である還元ガス雰囲気における高温その場観察が必要であり、さらには還元雰囲気の還元能についても詳細に制御し検討を進める必要があることが判明した。現在該当する環境下での測定が可能な機器及び機関と、測定に関する調整を進めている。相特定に向けた観察のみならず性能発現の物理的な解明に向け、基板-薄膜間における元素拡散等にも着目し、基板種や膜組成を制御した薄膜の作製及び性能評価に着手している。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】熱電変換材料、巨大出力因子、酸化物、薄膜

【テーマ題目7】水酸化物低温固相合成法を利用した緻密酸化物薄膜の革新的超低温成膜

【研究代表者】山口 祐貴 (機能集積化技術グループ)

【研究担当者】山口 祐貴（常勤職員1名）

【研究内容】

次世代の高機能・高耐久なセラミックデバイスの開発には、金属やプラスチックなどの異種材料との複合化技術が不可欠である。その中でも、異種材料基板上へのセラミックス薄膜作製技術は、電子デバイス、電気化学デバイス、環境材料など様々な分野で求められている。金属酸化物の薄膜を作製する場合、基板の材質によっては100度以下の低温熱処理で製膜する必要があるため、酸化物薄膜の結晶性が低い、緻密な膜組織が得られないなどの問題が生じることがある。したがって、結晶性の高い酸化物の緻密薄膜を低温で作製する技術が必要となる。他方で、水酸化物原料と金属酸化物ゲルの酸・塩基反応を利用し、原料粉末を混合して室温付近で長時間静置するのみで、結晶性の良い複合酸化物ナノ粉体が得られる技術を開発してきた。本研究ではこの開発した合成法を応用して、室温付近で複合酸化物薄膜を合成する技術の開発を目指した。まずは基盤技術の構築として、プロトン伝導性セラミック材料であるイットリウム添加ジルコン酸バリウムを、室温付近の低温で製膜する方法について検討を行った。

前駆体となる金属酸化物ゲル薄膜はスピンコート法によって作製した。蒸留水もしくはエタノール溶媒に塩化ジルコニウム粉末と酸化イットリウム粉末を溶解させ各種原料溶液を調製した。作製した原料溶液をスライドガラス基板上へスピンコートし、温度90度・湿度90%の高湿高温環境で12時間熟成することで、膜中に水を多く含む金属酸化物ゲル薄膜を作製した。さらにこの前駆体膜上に粉砕した水酸化バリウム八水和物の微粉末を高密度に接触させ、温度70度・湿度90%の環境でさらに12時間静置することで結晶性イットリウム添加ジルコン酸バリウム薄膜の合成を行った。また比較のために、作製した金属酸化物ゲル薄膜と飽和水酸化バリウム水溶液を用いて、同様の温度・湿度条件でも薄膜の合成を試みた。

前駆体である金属酸化物ゲル薄膜の作製時に用いた溶媒の種類によって、基板に対する濡れ性を適宜コントロールでき、今回はエタノール溶媒を用いることでスライドガラス基板上に均一な前駆体薄膜を得ることができた。スライドガラス基板上に製膜した前駆体薄膜と水酸化バリウム原料粉末を高湿度環境で反応させることで、水によって合成反応が促進されることが明らかとなった。XRD 測定の結果、70度で作製した薄膜はジルコン酸バリウム由来の鋭い XRD ピークを示し、結晶性よく目的物質が製膜されていることがわかった。電子顕微鏡観察により、薄膜を構成している粒子はおよそ30 nm の微粒子であることを確認した。一方で、飽和水酸化バリウム水溶液を用いて合成した場合は、XRD 測定による回折ピークが確認できず、ジルコン酸バリウムの結晶化は認められなかった。これらのことから、水酸化物粉体原

料と金属酸化物ゲル膜の酸・塩基反応を利用することで結晶性の良いイットリウム添加ジルコン酸バリウムナノ粒子薄膜を作製できることが明らかとなった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】薄膜、低温合成、ジルコン酸バリウム、固相反応、酸・塩基反応

⑥【構造材料研究部門】

(Structural Materials Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：田澤 真人

副研究部門長：吉澤 友一

所在地：中部センター

人 員：53名（53名）

経 費：669,171千円（366,912千円）

概 要：

構造材料研究部門では、省エネルギー社会の構築に貢献するため、輸送機器の軽量化による輸送エネルギーの削減、住宅やオフィスといった生活環境などにおける比較的低い温度領域での熱制御、あるいは工場やデバイスなど産業分野で使われる比較的高い温度領域での熱制御のための材料の研究開発を中心として行っている。すなわち、1) 軽量構造材料などの設計技術やプロセス技術を活用した輸送機器の軽量化に貢献する構造部材の開発、ならびに2) さまざまな利用環境に適した熱制御構造部材の開発を行う。第1の課題においては、材料創成・加工・評価技術を活用した信頼性の高い軽量構造部材の開発を行うとともに、実用化に向けた部材化技術、プロセス技術の開発を行い、第2の課題においては生活環境から工場までのそれぞれの温度領域で熱エネルギーを制御する材料を、材料の組織や相、構造を制御することによって開発するとともに、実用化に向けた部材化技術、高信頼性技術、プロセス技術の開発を行う。

平成28年度において、重点的に推進したテーマは下の通り。

- ① マグネシウム合金やアルミニウム合金等の軽量金属および無機/樹脂複合材料の設計やプロセスの開発、信頼性技術に関する研究開発を行った。特にマグネシウム合金のアルミニウム合金並みの特性発現、アルミニウム合金の凍結 casting の高度化、電析技術によるパルクナノメタル技術、マイクロ波を利用したリサイクル炭素繊維の利用技術の研究を推進した。
- ② 日射や熱の透過性を制御する窓材料において、調光ミラーやサーモクロミックシートなどの研究開発を推進するとともに、液晶を使った調光材料に関する研究を行った。また、高温での熱伝導性や断熱性

など熱制御性に優れたセラミックスの製造・評価に関する研究開発を進め、セラミックスの3D造形技術、セラミックス・金属の接合技術、高気孔率と強度を両立するセラミックス、高熱伝導率を有するセラミックスの開発を進めた。

また、材料研究の基礎をなす表面改質技術、再生可能資源の代表である木質材料の成形加工法の研究、材料評価に関する様々な技術の研究開発を進めた。

外部資金：

内閣府総合科学技術・イノベーション会議「戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）／革新的設計生産技術／高付加価値セラミックス造形技術の開発」（管理法
人国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO））

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「エネルギー・環境新技術先導プログラム 生物表面模倣による難付着・低抵抗表面の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／SiCに関する拠点型共通基盤技術開発／SiC次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発／③次世代 SiC モジュールの技術開発（高耐熱部品技術開発）」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」

静岡県

「水素可視化シートの低コスト製造技術の開発と高機能化」

独立行政法人日本学術振興会

「種々の改質剤を導入した木質素材への電磁波照射・分子振動励起による変形能向上と応用」

独立行政法人日本学術振興会

「不均一光重合で誘起される液晶／高分子メゾ相分離と自律配向形成の機構解明」

独立行政法人日本学術振興会

「集合組織制御による高成形性を持つ難燃性マグネシウム合金板材の創製」

独立行政法人日本学術振興会

「ヘミセルロースエステル誘導体の合成と架橋による高強度材料化」

独立行政法人日本学術振興会

「双晶形成に基づく集合組織変化を活用した易成形性マグネシウム合金の創出」

千歳科学技術大学

「生物多様性を規範とする革新的材料技術」

国立研究開発法人物質・材料研究機構

「生物規範階層ダイナミクス」（分担者1）

国立研究開発法人物質・材料研究機構

「生物規範階層ダイナミクス」（分担者2）

福岡歯科大学

「インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安全性に関する研究」

神戸市立工業高等専門学校

「液晶高分子複合体への液晶分子配向形成による自律分光制御型デバイス開発」

国立大学法人名古屋工業大学

「フナムシの微細毛流路を模倣した水-油分離プロセスの構築」

国立大学法人京都大学

「双晶～転位間相互作用の体系化に基づく高加工性マグネシウム合金の創出」

公益財団法人科学技術交流財団

「竹の流動成形による高音質な薄肉・複雑形状スピーカー振動板の実用化」

発表：誌上発表84件、口頭発表233件、その他34件

軽量金属設計グループ

（Light Metal Design Group）

研究グループ長：千野 靖正

（中部センター）

概要：

軽量金属材料の一次成形プロセスに関する研究として、マグネシウム合金の加工熱処理プロセスに関する研究、マグネシウム合金の信頼性（疲労特性・発火特性）評価に関する研究を主に実施した。

マグネシウム合金の加工熱処理プロセスに関する研究では、産総研で開発した難燃性マグネシウム合金（Mg-Al-Ca系合金）を対象として、押出材の高強度化と高延性を同時に実現するための手法を検討した。その結果、特定の組成を対象として熱処理手法を最適化することにより、材料の延性と強度を同時に実現で

きることをラボスケールで実証した。

難燃性マグネシウム合金の疲労特性評価に関する研究では、各種合金（主に母材）の疲労特性を平面曲げ疲労試験等で評価し、第2相粒子や集合組織の形成が疲労特性に及ぼす影響を明らかにした。発火特性評価に関する研究では、AZX611合金粉末を対象として、粉じん爆発特性（下限界濃度、最小着火エネルギー）を評価し、汎用アルミニウム合金（A6N01合金）と比較を行った。

研究テーマ：テーマ題目1

軽量部材鋳造技術グループ

(Light metal casting process Group)

研究グループ長：尾村 直紀

(中部センター)

概 要：

アルミニウム合金を中心とした軽量金属材料の高性能化および鋳造プロセスにおける環境負荷低減・作業環境改善に資する鋳造技術開発に取り組んだ。

軽量金属材料の高性能化に向けては、脱ガス技術開発ならびに組織微細化技術開発を行った。脱ガス処理条件を詳細に検討することにより、7000系アルミニウム合金中の水素量を0.1 ppm以下にまで低減することを可能とした。また、組織微細化においては、これまで開発を進めてきた電磁攪拌プロセスを、実生産プロセスである連続鋳造プロセスに組み込むことを検討した結果、電磁攪拌を印加しながら直径50 mmのアルミニウム合金ビレットの連続鋳造に成功した。低環境負荷鋳造プロセス開発では、複雑形状鋳物の作製に必要な凍結中子の中空形状化に資する要素技術開発を行った。また、凍結鋳型を用いて作製した鋳物の機械的特性に及ぼす鋳型条件の影響を明らかとした。新しい産業を創出するための萌芽研究として、電析プロセスを用いたバルクナノ結晶合金の作製技術開発に取り組み、従来材よりも耐熱性に優れた材料の作製に成功した。更に、部門の戦略課題を支える共通基盤技術として、材料の全物性学性を迅速に評価できる顕微インデンテーション計測システムの実用化に向けた研究開発を行い、プロトタイプを完成させた。

研究テーマ：テーマ題目1

無機複合プラスチックグループ

(Inorganic-based plastics Group)

研究グループ長：堀田 裕司

(中部センター)

概 要：

次世代の輸送機器などにおいて、軽量性・高機械特性、高機能性に優れた軽量構造材料が注目されている。当研究グループは、機能性に優れたセラミックス、カーボン等の無機材料と軽量性・成形性に優れた樹脂・

プラスチックの異種材料を複合化するためのプロセス技術及び先進複合材料に関して研究開発を遂行し、無機材料の特性を最大限に引出した軽量複合材料の開発および製造プロセス技術の確立に取り組んでいる。平成28年度は、軽量複合材料として注目されている炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の新規な高速成形技術の開発のためにマイクロ波プロセスに注目し、開発した成形型のCFRP成形への有効性について熱可塑性および熱硬化性CFRPに対して調査した。開発成形型は、熱可塑性CFRPおよび熱硬化性CFRPの高速成形に有効であり、特に熱硬化性CFRPにおいては、マトリックスの樹脂硬化が通常の36倍の速度で硬化し、CFRPの高速成形および機械特性の向上に効果的であることを見出した。また、当該プロセスによって、樹脂と炭素繊維の密着性を促すサイジング剤がなくても密着性が向上することを見出し、当該プロセスは今後課題となるリサイクル炭素繊維の再CFRP化などの活用技術として有効であることを確認した。

研究テーマ：テーマ題目1

光熱制御材料グループ

(Light and heat control material Group)

研究グループ長：山田 保誠

(中部センター)

概 要：

省エネルギー効果の大きい窓ガラス材料として、ガスクロミック調光ガラス、ナノ粒子を用いたサーモクロミックガラス、液晶を用いた新規調光ガラスの研究を行なった。調光ガラスの研究においては、マグネシウム・イットリウム合金薄膜を用いた調光ミラーに関して、新しいガスクロミック方式を用いる調光ミラーシートを実用化するための研究を企業と共同で引き続き推進した。また、湿式法で作製するWO₃薄膜を用いた調光ガラスに関しては、前駆体液の特性向上を行った。さらに、ポリマーを用いた新規なクロミック材料に関して研究を開始し、多色化を進めた。サーモクロミックガラスについては、ナノ粒子の特性の更なる向上を行った。液晶を用いた新規な調光ガラスの研究では、液晶の相転移を用いた熱応答型光制御素子の特性向上を行った。

研究テーマ：テーマ題目2

材料表面界面グループ

(Advanced Surface and Interface Chemistry Group)

研究グループ長：穂積 篤

(中部センター)

概 要：

当グループは、部門の重要課題の一つである「基盤的技術開発」の中で、二酸化炭素排出量の削減に貢献

する、物質の流動性を制御する表面改質技術の開発に取り組んでいる。主として、ウエット／ドライプロセスによる各種高機能材料（ハイブリッド材料、層状化合物、多孔質材料、ポリマーブラシ、有機単分子膜、オルガノゲル等）創製技術と、それらを利用した動的濡れ性制御技術に積極的に取り組んでいる。平成28年度は、最近、開発した人工粘土と水溶性ポリマーから構成される透明ハイブリッド材料の自己修復機能、防曇性について調査した。付着抑制材料、SLUG 表面へのナノ構造付与にも取り組んだ。また、ドライプロセスによる高耐熱性撥油皮膜の創製技術の研究については、新規に合成した Ti-Si-C-N 系化合物セラミックス薄膜の表面エネルギー測定や動的濡れ性の評価を実施するとともに、表面物性と薄膜構造や高温撥油性の発現との関連性について解明を進めた。さらに、吸着剤の吸着と脱着の速度に注目し、熱重量分析装置を用いたマクロな視点、及び、AFM を用いたミクロな視点で、評価する方法を検討している。造粒体や小型成型品といった製品に近い形状での吸着・脱着速度評価を行える装置の開発を既存製品等の組み合わせで安価に達成できないか検討を行い、再現性に優れた装置の構築が可能となった。現在標準化の可能性を検討している。

研究テーマ：テーマ題目1、2

循環材料グループ

(Eco-renewable materials Group)

研究グループ長：田澤 真人

(中部センター)

概要：

住宅等の居住空間の省エネルギー性と快適性の両立を目的として、当グループでは新しい建築用素材／部材等の開発に取り組んでいる。有機物との複合化や熱処理によって、木材や竹などの天然由来素材の微細構造を制御して強度や耐水性を向上させたり、バルク状の素材に塑性流動性を付与することで3次元複雑形状加工を可能にするなど、天然由来素材を省エネ型建材の材料として利活用するための基礎・応用研究を行っている。併せて、相対湿度60パーセント前後での吸放出挙動に優れた新規調湿材料の開発と内装建材・空調機器等に应用するための技術開発を進めている。

平成28年度は、木材や竹の流動成形技術を中心に、強度や音響特性、耐久性の向上およびそれらの評価・保証技術の高度化、バラツキを低減する前処理方法の開発に取り組んだ。また、添加剤を加えずに木質自体の成形性を向上させる化学修飾技術の開発にも注力した。新規調湿材料の研究においては、タイル等の製造を目標にハスクレイの形状付与技術を検討した。

研究テーマ：テーマ題目2

セラミック機構部材グループ

(Ceramic structural components Group)

研究グループ長：近藤 直樹

(中部センター)

概要：

構造用セラミックスを、各種産業の製造装置用部材、あるいは、熱消費型製造業や熱エネルギー分野でのサーマルマネジメント部材として用いるための製造技術開発を進めている。

セラミックスの3次元造形技術の開発では、材料押し出し方式や材料噴射方式に用いることを想定したセラミック／樹脂混合原料からなるスラリーを作製し、そのスラリーを用いた成形が可能であることを示した。セラミック多孔体の開発では、セラミック／樹脂混合原料の樹脂中に含まれるガスによる発泡を利用して作製する表層部のみが高密度化されたセラミック多孔質体についての改良を進め、高強度化を実現した。他、粉末積層法によるセラミックスの3次元造形技術の開発、セラミックスと金属の接合技術の開発、新規セラミック繊維開発のための基礎検討にも取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目2

セラミック組織制御グループ

(Ceramic microstructure control Group)

研究グループ長：日向 秀樹

(中部センター)

概要：

高度化・高性能化する製造システムや産業機器を支えるための中核となる先進構造部材を創製することを目的として、セラミックスの材料機能を合目的かつ効率的に部材構造中に付与する材料組織制御技術の開発を行っている。特に、セラミックスが本質的に有する高い硬度、耐熱性、耐食性、化学的安定性等を部材機能に取り込んだ高熱伝導部材、高性能多孔体部材、高新規高硬質材料等の開発を目指している。このため、材料特性を支配する因子を検討するとともに、その因子を制御するプロセス技術の開発に取り組んでいる。平成28年度は高熱伝導窒化ケイ素では、窒化するケイ素成形体の厚さが生成する窒化ケイ素の結晶相に及ぼす影響を明らかにした。高気孔率多孔体では、添加する不凍タンパク質の種類が気孔の形状、孔径、気孔率などに与える影響を調査した。新規高硬質材料の開発では不純物の少ない常圧焼結 ZrB₂や酸化物ベースの超硬質材料の開発に取り組んだ。また、これらの材料の評価技術開発や標準化にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目2

マルチスケール部材評価グループ

(Multi-Scale Material Evaluation Group)

研究グループ長：早川 由夫

(中部センター)

概要:

分光学的手法等を用いた原子・分子レベルからサブミリサイズまでの異なるスケールでの計測結果に、空間統計・相関解析や計算科学による現象の解釈を併せて材料機能の発現機構を明らかにする。平成28年度は、効率的な熱制御を実現するための材料・媒体に対する計算科学による解析を行った。フィラー分散材料などのマルチスケールな不均質構造が熱伝導特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、ランダムウォークの枠組みの下、仮想熱粒子の運動に異種界面での波動的振る舞い(反射と屈折)を取り入れることで、不均質構造中の熱拡散が正しく記述されることを確かめた。新たな方法論により、これまでは困難であったサイズ・構造の材料系でも効率よく計算が可能であることが分かった。また、新冷媒の開発に関する研究の一環として、温室効果の低い新規代替フロン(2)の安定性を裏付けるため、分子軌道計算による不均化反応機構の解析を行い新冷媒の劣化機構を説明した。一方、従来から行っている金属中の酸素等の定量分析法開発では、難燃性マグネシウム合金の地金でその有用性を示してきたが、同手法がマグネシウム鋳造部材にも適用可能であることが分かった。今後、合金粉末などの種々の形態の材料に対して分析方法の最適化を進める。また、微細気泡計測技術の標準化に向けた研究に取り組み、水中滞留気泡の安定化が、気泡の表面に付着した疎水性物質を仮定した動的平衡説で説明できることを示した。

研究テーマ: テーマ題目1、テーマ題目2

[テーマ題目1] 輸送機器用の軽量構造材料の開発

[研究代表者] 田澤 真人

[研究担当者] 小林 慶三、兼松 渉、高尾 泰正、千野 靖正、斎藤 尚文、鈴木 一孝、渡津 章、黄 新ショウ、尾村 直紀、宮島 達也、李 明軍、村上 雄一郎、松井 功、堀田 裕司、島本 太介、今井 祐介、佐藤 公泰、富永 雄一、穂積 篤、犬飼 恵一、園田 勉、浦田 千尋、佐藤 知哉、早川 由夫、柘植 明、西田 雅一、辻内 亨、深谷 治彦、丸山 豊、(常勤職員29名)

[研究内容]

本テーマでは、省エネルギー社会の構築に貢献する先進構造材料ならびにその部材化技術を開発して、自動車・鉄道・航空機などの輸送機器を軽量化するための基盤技術を構築することを目指す。輸送機器の軽量化は、輸送エネルギーの削減・低CO₂社会の実現に直結するテーマであるため、基礎となる材料創成・加工・評価技

術を活用して、信頼性の高い軽量構造材料の開発を目指す。さらに、軽量構造材料の実用化に向けては、産業界と連携しながら部材化技術、プロセス技術の開発を行い、製造工程での省エネルギー化や高リサイクル性を目指す。具体的には、マグネシウム合金やアルミニウム合金などの軽量金属材料や炭素繊維強化プラスチック(CFRP)などの複合材料に対して、材料設計やプロセス開発、材料の信頼性評価技術の開発を行う。

平成28年度は、実用金属材料の中で最軽量であるマグネシウム合金に関して、難燃性マグネシウム合金(Mg-Al-Ca系合金)を中心とする展伸材料の高強度化と易成形性を両立するラボレベルでの材料設計手法を見出す研究を実施した。そこでは、難燃性マグネシウム合金に生成する晶出物を球状化する技術を開発し、引張強367MPa、破断伸び17%を有する押出材をラボレベルで作製することに成功した。また、難燃性マグネシウム合金の成形技術を高度化するため、企業と連携して長さが1m以上の押出板材の製造にも成功した。

汎用の軽量金属材料として知られるアルミニウム合金については、アルミニウム合金鋳物の品質向上に向けた溶解・鋳造技術を開発し、その有用性を検証することを目指した研究を行なった。開発したプロセスを利用することで、7000系アルミニウム合金中の水素量を0.04-0.05 ppm程度に低減できる処理条件を明らかにすることができた。さらに、電磁攪拌プロセスを連続鋳造プロセスへ適用することを検討し、電磁攪拌を付与しながらΦ50mmのピレットを連続鋳造することに成功した。また、複雑中空形状アルミニウム鋳物の作製に不可欠な凍結中子の作製プロセスについて種々検討を行なった。さらに、実際に凍結鋳型にて作製したアルミニウム合金鋳物の機械的特性を調べ、鋳型条件を最適化することで従来の砂型鋳物より20%以上強度が上昇することを明らかにした。

軽量構造材料としての実用化が始まった炭素繊維を樹脂で複合化したCFRPについては、炭素繊維強化プラスチックの高速成形に向けた研究開発を行なった。特に、成形プロセスへマイクロ波を適用する際の条件を詳細に検討した。熱浸透率を制御した新たな成形用セラミック型を開発し、マイクロ波を用いた炭素繊維強化プラスチックの高速成形に有効であることを確認した。また、将来のリサイクル技術に向けた技術開発では、リサイクル炭素繊維強化プラスチックの作製時にマイクロ波を適用することで、従来のプロセスより10%の強度向上になることを見出した。

研究成果の実用化については、新構造材料技術研究組合(ISMA)に参画し、民間企業と連携した研究開発を推進している。また、軽量構造材料に関する産総研の研究成果を広く社会へ橋渡しするため、「軽量構造材料シンポジウム」を平成28年11月17日にTechBiz2016(名古屋)の中で開催した。平成28年度は資源循環を実現

できる軽量構造材料の切り札としての「マグネシウム」に焦点を合わせた講演会を企画し、大変盛況に開催することができた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕マグネシウム合金、アルミニウム合金、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）、難燃性、高強度、晶出物、成形技術、溶解、電磁攪拌、凍結鋳造、マイクロ波、材料設計、リサイクル

〔テーマ題目2〕熱エネルギー制御を高効率化する部材の開発

〔研究代表者〕田澤 真人

〔研究担当者〕吉澤 友一、大司 達樹、吉村 和記、平尾 喜代司、兼松 渉、山田 保誠、中尾 節男、西澤 かおり、垣内田 洋、岡田 昌久、胡 致維、重松 一典、三木 恒久、前田 雅喜、太田 一徳、関 雅子、榎本 有希子、西尾 敏幸、穂積 篤、高尾 泰正、犬飼 恵一、宮島 達也、園田 勉、浦田 千尋、近藤 直樹、長岡 孝明、堀田 幹則、北 憲一郎、嶋村 彰紘、日向 秀樹、周 游、宮崎 広行、福島 学、古嶋 亮一、松永 知佳、早川 由夫、柘植 明、西田 雅一、辻内 亨、深谷 治彦、丸山 豊
(常勤職員41名)

〔研究内容〕

減少傾向にある産業部門、運輸部門のエネルギー消費と比較して、民生部門のエネルギー消費は増大を続けており、これを抑えることが喫緊の課題となっている。民生部門のエネルギー消費の中でも冷暖房に消費されるエネルギーは3割程度に達することから、日射や熱の透過を制御することで、これらを抑制できる省エネルギー建材の開発に取り組んでいる。冷暖房負荷を大きく低減できる窓材料として、多層薄膜を積層した調光ミラーシート、ナノ粒子を分散したサーモクロミックシート等を実用化するための研究を継続した。また、窓のサッシ部分の材料を提供するため、木質の「流動成形」という手法を用いて効率的に木製サッシを製造する技術の開発を継続した。さらに、表面の濡れ性を制御することで、着氷雪防止機能や生物付着抑制機能を発現するコーティング材の開発も行った。

製造業における消費エネルギーの削減についてもエネルギー・環境問題の両面から極めて重要な課題であり、これらを支えるための中核となる先進構造部材を創製することを目的として、セラミックスの材料機能を合目的かつ、効率的に部材構造中に付与する材料組織制御技術の開発を行っている。特に、セラミックスが本質的に有

する高い硬度、耐熱性、耐食性、化学的安定性等を部材機能に取り込んだ高熱伝導部材、高性能多孔体部材、高耐摩耗性部材等の開発を目指している。このため、材料特性を支配する因子を検討するとともに、その因子を制御するプロセス技術の開発に継続的に取り組んだ。高熱伝導窒化ケイ素材料では、粒内酸素量の制御と粒界相の結晶化制御のための反応焼結挙動の解析に取り組み、多孔体材料では、気孔の形状、孔径、気孔率などを制御するプロセスの開発、表層部の高密度化の制御性向上を行った。これらの材料の評価技術開発や標準化にも継続的に取り組み、その製造技術として、セラミックスの3次元造形技術の開発、さらに、セラミックスと金属材料の接合技術の開発も行った。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕調光ミラー、ナノ粒子、流動成型、遮熱性、断熱性、濡れ性制御、多孔体、気孔、隔壁、断熱、中空ユニット、搬送容器、蓄熱、熔融塩、耐食性

⑦【触媒化学融合研究センター】

(Interdisciplinary Research Center for Catalytic Chemistry)

(存続期間：2015.4.1～2022.3.31)

研究センター長：佐藤 一彦
副研究センター長：浅川 真澄
総括研究主幹：田村 正則
総括研究主幹：藤谷 忠博

所在地：つくば中央第5

人員：37名 (37名)

経費：676,380千円 (287,795千円)

概要：

1. ミッション

触媒は、化学品製造技術の要であり、グリーン・イノベーションを通じた持続可能社会構築に向けた、キーテクノロジーの一つである。そこで研究センターでは、持続可能な社会の実現に貢献する革新的触媒を開発し、基礎化学品並びに機能性化学品に関する新規製造法の提案をミッションとする。

具体的には、「ケイ素化学技術」「革新的酸化技術」「官能基変換技術」の3つの戦略課題に取り組む。化学品製造技術は、酸化技術、還元技術、炭素結合制御技術、官能基変換技術（機能付加技術）、に大別できる。また、ケイ素化学技術は、石油化学由来の化学品製造技術とは別な体系を持つ。当研究センターでは、石油化学由来の製造技術のうちの2つと、ケイ素化学技術に取り組むことで、基礎化学品並びに機能性化学品製造に適応できる技術を開発する。

2. 戦略課題への取り組み

(1) ケイ素化学技術

砂からの有機ケイ素原料製造プロセス、および有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発を行い、有機ケイ素材料の性能向上・新機能発現、大幅なコストダウンの達成を目指す。主要課題として、シリカからのアルコキシシラン合成の高効率化を行う。

(2) 革新的酸化技術

酸素や過酸化水素水など、クリーンな酸化剤を利用した酸化技術について、新規触媒の設計、触媒の機能化（反応活性、選択性、および耐久性の向上）、を通して酸化技術の拡充・深化を図り、実用的プロセス構築によって、多様な高機能化学品製造への展開を進める。「空気を資源化」する触媒開発を目指して、究極的に環境に優しい酸化剤である空気中の酸素を利用した酸化触媒を見出す。

(3) 官能基変換技術

触媒反応による官能基変換・制御・付加技術を駆使して、セルロースに代表される生物由来原料や二酸化炭素に代表される難反応性原料および含ヘテロ元素化合物からの有用化学品合成反応の開発、および官能基変換技術を応用した高機能部材開発に取り組む。また、含フッ素精密洗浄剤・溶剤化合物製造に関わる触媒反応を効率化する。

外部資金：

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
エネルギー・環境新技術先導プログラム ファインケミ
ルズ製造のためのフロー精密合成の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的イノベーション
創造プログラム【SIP】「エネルギーキャリア」
アンモニア分解技術

国立研究開発法人科学技術振興機構 プログラム・マネ
ージャー（PM）の育成・活躍推進プログラム キャタ
リストインフォマティクスによる機能性化学品イノベ
ーション

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推
進事業（先端的低炭素化技術開発）（ALCA） 触媒の
表面化学、構造解析と設計

国立研究開発法人科学技術振興機構 新学術領域研究
（研究領域提案型） ニッケル-炭素結合を鍵とするニ
ッケル錯体の新規触媒機能探索

国立研究開発法人科学技術振興機構 新学術領域研究
（研究領域提案型） ファインケミカル合成を指向した
酸素酸化用触媒の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 新学術領域研究
（研究領域提案型） 構造化ゲルと化学反応場の協働に
よる運動創発

国立研究開発法人科学技術振興機構 挑戦的萌芽研究
高スピン型金属触媒：新しい触媒領域の展開

国立研究開発法人科学技術振興機構 挑戦的萌芽研究
炭素-水素結合の効率的変換における新規触媒サイクル
の提唱・実践

国立研究開発法人科学技術振興機構 若手研究(B) 触
媒の自己組織化を鍵とする実用的酸化反応の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 若手研究(B) レ
ブリン酸を活用した新規機能性バイオマスプラスチック
の開発

国立研究開発法人科学技術振興機構 基盤研究(C) 疎
水性場の付与に基づく磁性ナノ粒子固定化遷移金属触媒
の高機能化

国立研究開発法人科学技術振興機構 基盤研究(C) カ
ルボニル化合物やアミン化合物の sp³炭素-水素結合を
官能基化する新戦略の実践

文部科学省 科学技術人材育成費補助金 卓越研究員事
業

発 表：誌上発表71件、口頭発表116件、その他10件

ケイ素化学チーム

(Silicon Chemistry Team)

研究チーム長：島田 茂

(つくば中央第5)

概 要：

当チームは、有機合成化学、触媒化学、有機金属化学、錯体化学、ヘテロ元素化学等の有機・無機合成化学技術を中心とした諸分野のポテンシャルを併せて、当センターの中核的研究課題の1つである「ケイ素化学技術」の開発を中心に推進している。具体的には、1) 有機ケイ素機能性化学品のための触媒技術開発、2) 触媒関連基盤技術開発の2つの課題に取り組んでいる。1つ目の課題については、①有機ケイ素原料を現状より格段に低エネルギー・低コストで製造する革新的な触媒技術の開発、②高機能有機ケイ素材料開発に繋が

る高度構造制御触媒技術や白金代替触媒技術等に取り組んでいる。2つ目の課題「触媒関連基盤技術開発」については、将来の種になるような触媒開発に関連する有機金属、錯体、ヘテロ元素、材料技術等における挑戦的なテーマや産総研の独自性の高いテーマに取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1

革新的酸化チーム

(Innovative Oxidation Team)

研究チーム長：田村 正則

(つくば中央第5)

概要：

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

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

官能基変換チーム

(Functional Group Transformation Team)

研究チーム長：富永 健一

(つくば中央第5)

概要：

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

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

研究テーマ：テーマ題目3

ヘテロ原子化学チーム

(Heteroatom Chemistry Team)

研究チーム長：韓 立彪

(つくば中央第5)

概要：

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

研究テーマ：テーマ題目3

触媒固定化設計チーム

(Catalyst Design Team)

研究チーム長：崔 準哲

(つくば中央第5)

概要：

当チームでは、化学プロセスにおける廃棄物の更なる低減、エネルギー効率の一層の向上、循環型資源への原材料転換を目指し、その実現のためのキーテクノロジーである触媒の分子・原子レベルでの設計・開発を行っている。当センターの3つの戦略課題の中の「官能基変換技術」において、生物由来原料や二酸化炭素からの触媒反応による有用化学品製造技術の開発、及び分子触媒の固定化・リサイクル技術や、省資源のための貴金属代替・省量化技術の開発に取り組んでいる。また、有機ケイ素化学品の高効率製造技術の開発も併せて行っている。研究開発のキーワードは、高効率（高活性、高選択性）、高品質（残留金属低減、ノンハロゲン）、低環境負荷（E-ファクター低減）、再生可能資源（ケイ砂、二酸化炭素）利用等である。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

固体触媒チーム

(Advanced Heterogeneous Catalysis Team)

研究チーム長：藤谷 忠博

(つくば中央第5)

概要：

物質循環型社会の実現のためには、炭素資源、鉱物資源等、多様な資源の確保とその有効利用が不可欠である。当チームでは、当センターの技術目標の一つである「官能基変換技術」の構築を目指し、シェールガス等の非在来型資源や、バイオマス等の再生可能資源から、高効率かつ低環境負荷で、各種の基礎及び機能性化学品を製造するための触媒変換技術の開発に取り組んでいる。さらに、将来の水素社会実現に向けた、水素の輸送方法および利用技術の開発も合わせて行っ

ている。具体的には、セルロースから合成されたレブリン酸を芳香族等の基礎化学品に転換するための高性能な触媒の開発、メタンから選択的に炭化水素および含酸素化合物を合成する触媒の開発、エネルギーキャリアとしてのアンモニア合成技術および分解技術に関わる触媒および触媒プロセスの開発、テトラアルコキシシランの水素化およびアルキル化反応に対する高機能触媒の開発研究を進めている。さらに、表面科学的手法等の高度な *in situ* 計測・分析技術も駆使しながら、実用化に向けた触媒の高性能化に関する検討も行っている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

【テーマ題目1】ケイ素化学技術

【研究代表者】島田 茂（ケイ素化学チーム長）

【研究担当者】島田 茂、佐藤 一彦、浅川 真澄、
藤谷 忠博、田村 正則、清水 政男、
中島 裕美子、五十嵐 正安、
深谷 訓久、松本 和弘、佐藤 靖、
別部 輝生、江口 勝哉、石原 吉満、
安田 弘之、崔 準哲、中村 功、
韓 立彪、山下 浩、吉村 彩、
福島 基夫（常勤職員21名、他18名）

【研究内容】

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

（砂からの有機ケイ素原料製造プロセス技術開発）

本課題では、有機ケイ素原料製造における大幅な省エネルギーの達成を目標に、砂から金属ケイ素を経由せず有機ケイ素原料を製造するための触媒技術開発を行う。具体的には、ケイ砂を原料に用いる際の技術課題の抽出や反応経路と触媒の有望な組合せについての検討を行う。

平成28年度は、主に以下の4点について検討を行った。

①シリカを原料としたアルコキシシランへの変換ルートについて、出発原料としていわゆる砂や、灰、産業副産物など、安価で豊富にあるさまざまなケイ素源を利用して、高効率にテトラアルコキシシランが直接製造可能

である事を実証した。②水を還元剤としてアルコキシシランやハロシランのケイ素-酸素結合やケイ素-ハロゲン結合をケイ素-水素結合に変換する反応を継続して検討し、これまでより高い効率を示す触媒系を見出した。また、ジクロロシランの水素化反応において、モノヒドロシランおよびジヒドロシランの選択的合成に成功した。さらに、流通反応器を用いて、固体触媒によるテトラアルコキシシランのアルキル化等に関して高温反応の検討を継続し、特定の原料については部分的にアルキル化体の生成を検出した。③高活性ケイ素化学種を経由した有機ケイ素原料製造法の開発に関して、高活性ケイ素化学種と気体状基質を含む種々の有機基質との反応を検討し、本手法の有効性を見極めた。④その他、大気圧プラズマ利用の可能性を探るべく、反応装置を改造し、テトラメトキシシラン等を用いた変換反応の検討を継続した。

（有機ケイ素原料からの高機能有機ケイ素部材製造プロセス技術開発）

本課題では、有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造するため、現行の白金触媒を代替する触媒や有機ケイ素部材の高度な構造制御を可能とする触媒等の研究開発を行う。

平成28年度は、主に以下の3点について検討を行った。

①ヒドロシリル化反応に関し、工業用白金触媒では達成困難な配位性官能基、特に硫黄官能基を有するオレフィン類のヒドロシリル化を選択的に触媒する金属錯体の開発に成功した。また、アリル化合物のヒドロシリル化に関して、これまでよりもさらに高い選択性および反応性を示す触媒系を見出した。②シラノール合成反応に関しては、実用的なプロセスの開発を目的とし、シリケートのプロトン交換反応によるシラノール合成において最適なプロトン化剤を見出した。構造制御されたオリゴシロキサンやポリシロキサンの合成に関して、室温においても副反応を抑制できる最適な触媒を開発した。さらに、アルコキシシランと無水酢酸の反応により、アシロキシシランを収率良く合成できる触媒反応を見出した。遷移金属触媒を用いたクロスカップリング反応に関しては、これまでに見出している遷移金属錯体では制御が困難であったヒドロシランとシラノールの選択的クロスカップリング反応を達成した。さらに、シロキサン結合のワンポット合成技術を開発し、従来法では合成が困難であった種々のシロキサン化合物を簡便に合成できることを見出した。③ケイ素-ケイ素結合形成技術においては、脱水素カップリング反応に関して、高次シランを製造する検討を実施した。触媒構造や反応条件等の検討を継続し、これまでよりもさらに長寿命で良好な収率を示す触媒を見いだした。

【領 域 名】材料・化学

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

【テーマ題目2】革新的酸化技術

〔研究代表者〕 佐藤 一彦（研究センター長）

〔研究担当者〕 佐藤 一彦、田村 正則、今 喜裕、
田中 真司、矢田 陽、洪 達超、
藤谷 忠博、中村 功、志村 勝也
（常勤職員9名、他10名）

〔研究内容〕

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

近年、本テーマの推進により、半導体封止材用途の二官能エポキシ化合物や鉄を触媒に用いるスチレンオキシドの製造法開発に成功している。これら成果により、レアメタルを用いない鉄によるエポキシ化反応が可能になり、工業品のエポキシ化にも対応可能となってきた。今年度は、昨年度に引き続き鉄を触媒に用いる過酸化水素酸化技術の検討を行うとともに、ピコリン類の選択的な酸素酸化反応を開発した。

（鉄を触媒に用いる過酸化水素酸化技術）

鉄触媒と、配位子としてピコリン酸等を系中で混合することにより、過酸化水素を酸化剤とした酸化反応が進行することを既に見出している。今回、鉄・ピコリン酸およびキナルジン酸を用いる過酸化水素によるアルコールの酸化反応について検討し、系中で発生する鉄錯体の単離と構造解析に成功した。さらに、この鉄錯体の構造と電気化学的測定の結果から、配位子の外れやすさと鉄の酸化還元電位が触媒反応の重要な要因となっていることを明らかにした。

（酸素を酸化剤とする酸化反応の検討）

酸素は低コスト性、安全性から理想的な酸化剤であるが、一般に反応選択性が低くファインケミカル合成に適用される例は少ない。我々はこれまでの検討から、鉄とアルカリ金属のカルボン酸塩を組み合わせた触媒を用い

ることにより、 α, β -不飽和アルデヒドの選択的な酸素酸化反応が進行することを見出している。今回、銅塩を触媒として用いることにより、ピコリン類のアルキル置換基の α 位が酸素により選択的に酸化され、対応するアルデヒドまたはケトンが得られることを見出した。

一方、気相酸素を酸化剤としたメタンの部分酸化によるホルムアルデヒドの1段合成用触媒の開発を検討した。V2O5-Ga2O3/SiO2が活性であったが、SiO2の処理により大きく活性が向上することを新たに見出した。特に、SiO2の前駆体となるSi(OH)4を調製条件により活性を制御できることがわかった。低温でゆっくり水和反応を進行させることで、粒子径も小さく、表面シラノール濃度の高いシリカゲルの調製が可能で、これが高活性の原因であることを明らかにした。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 選択酸化、過酸化水素酸化、遷移金属触媒

〔テーマ題目3〕 官能基変換技術

〔研究代表者〕 富永 健一（官能基変換チーム長）

〔研究担当者〕 富永 健一、有村 隆志、今野 英雄、
根本 耕司、佐々木 一憲、藤谷 忠博、
高橋 厚、Asima Sultana、宮澤 朋久、
市塚 知宏、韓 立彪、吉村 彩、
崔 準哲、坂倉 俊康、高橋 利和、
藤田 賢一、小野澤 俊也、深谷 訓久
（常勤職員18名、他15名）

〔研究内容〕

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

（生物由来原料からの有用化学品合成）

レブリン酸はセルロース系バイオマスから合成可能な化学品の中でも、燃料、基本化学品、機能性化学品の中間体として利用可能であり、基幹物質として高いポテンシャルを有している。これまで、安価で取り扱いやすいアルミニウム化合物とスルホン酸化合物の組み合わせからなる触媒系を用いることで、既存の触媒系に匹敵する収率でレブリン酸メチルが生成することを見出した。今年度は、本触媒系が木粉等のバイオマス原料および木粉等を前処理した原料に適用し、それらの原料に対しても高活性を示すことを確認した。

また、セルロース系バイオマスの変換過程で、原料中

に含まれるリグニン成分が低分子化されることも見出している。今年度はそれらの成分を詳細に分析し、化学原料として有用な複数の成分が含まれていることを確認した。

また、得られたレブリン酸のエンプラ原料化についての検討を行った。レブリン酸の水素化による γ バレロラクトン合成用触媒の開発を行った。昨年までは、各種金属触媒を中心に検討を行ってきたが、今年度の検討により、金属酸化物単独での高効率で γ バレロラクトンを得ることができることを見出した。水素の水素源として、水素やギ酸を用いて検討した結果、高表面積の MgO 触媒が、300 °C 程度の反応温度でレブリン酸転化率 90 % 以上、選択率 95 % 程度で γ バレロラクトンに変換できることを見出した。さらに、CeO₂を添加することで活性はさらに上昇し、かつ、長時間の活性安定性も向上することを明らかにした。

(小分子の付加による機能性化学品合成)

グリーン・サステナブル・ケミストリーの推進に貢献する技術開発の一環として、二酸化炭素からの化学品製造の研究開発を推進している。含窒素複素環カルベンを触媒としたプロパルギルアミンのカルボキシル化-環化反応では、まず 2-オキサゾリジノンが生成し、逐次的な 2-オキサゾリジノンの互変異性化により 2-オキサゾロンが得られることを明らかにした。この反応では二酸化炭素圧により含窒素複素環カルベン由来の触媒活性種の構造が異なるために、生成した 2-オキサゾリジノンの互変異性化の進行を制御できることが分かった。加えて、芳香族アミンと二酸化炭素、チタニウムアルコキシド化合物とを反応させて、芳香族ウレタンを高収率で得られることに成功した。この手法は 2,4-ジアミノトルエンを用いた芳香族ウレタンの合成にも適用可能である。また、反応後の残留物からチタニウムアルコキシド化合物が再生可能であることも明らかにした。

(小分子の付加による機能性化学品合成)

グリーン・サステナブル・ケミストリーの推進に貢献する技術開発の一環として、二酸化炭素からの化学品製造の研究開発を推進している。二酸化炭素を用いたプロパルギルアミンのカルボキシル化-環化反応では、触媒として四級アンモニウム塩を用いることにより、収率よく 2-オキサゾリジノンが得られることを明らかにした。また四級アンモニウム塩の構造としてテトラブチルアンモニウム構造が最も良好な触媒活性を与えることが分かった。加えて、芳香族アミンと二酸化炭素、チタニウムブトキシド化合物とを反応させて、高収率でウレタンを得ることに成功した。この手法は様々なアミン基質に適用可能であることが明らかになった。また、反応後の残留物から再生させたチタニウムブトキシド化合物は、5 回以上再利用可能であることも明らかになった。

産総研で開発した CO₂利用ヒドロホルミル化反応をポリマー原料に適用した。その結果、ポリマー中にヒド

ロキシメチル基を導入するプロセスとして本反応が利用可能であることが分かった。

(ヘテロ元素系反応技術)

ジアルコキシベンゼン構造を有する化合物が良好な潤滑性を示すことを見出し、水が浸入する環境下においても加水分解劣化のない合成潤滑油を開発した。

(高機能部材開発)

有機 EL 素子の発光材料として用いることが可能なイリジウム錯体の開発を行った。2-フェニルキノリン配位子を有する新規ヘテロレプティックイリジウム錯体は赤色発光を示し、有機 EL 材料として利用できることを明らかにした。

ゲスト認識部位に二つの亜鉛ポルフィリンを導入した分子ピンセットを合成した。ピンセット部位の二つのポルフィリンが還元状態では、ゲスト(例えば、DABCO)をキャッチしているが、酸化状態ではゲストをリリースするレドックス応答性のキャッチアンドリリース特性を見出した。

[領 域 名] 材料・化学

[キーワード] バイオマス、二酸化炭素、リン化合物、シアノ化、有機 EL 素子、機能性ゲル

⑧【ナノチューブ実用化研究センター】

(CNT-Application Research Center)

(存続期間：2015.4.1～)

研究センター長：畠 賢治

副研究センター長：岡崎 俊也

首席 研 究 員：湯村 守雄

所在地：つくば市東1-1-1 つくば中央第5

人 員：12名(12名)

経 費：320,838千円(272,268千円)

概 要：

本研究センターではナノテクノロジーを代表する新素材であるカーボンナノチューブを実用化するための研究開発および研究支援業務を行う。民間に技術を橋渡しすることを前提とした、CNT の低コスト量産技術の開発、CNT の分散・成形加工・複合化などの共通基盤技術開発や CNT の用途開発技術を行う。これらを通じて、わが国の新たな産業創出に貢献すると共に、世界をリードするナノカーボン材料の総合研究センターとして、日本の産業を支える科学技術の開発を強力に推進する。

具体的には、以下の研究開発を実施する。

1) カーボンナノチューブの低コストおよび高品質化量産技術の開発

スーパーグロース法をもとに、産業応用を実現する上で重要な低コスト大量生産技術を開発する。さ

らに、次世代カーボンナノチューブ合成技術として、超長尺・高結晶なカーボンナノチューブの合成技術開発を行う。

2) カーボンナノチューブの用途開発

スーパーグロース法で合成された単層カーボンナノチューブを中心に、ゴム・樹脂などとの複合材や軽量線材などの用途開発を進める。さらに、これらを企業と共同連携し、製造メーカーと用途開発メーカーの間で BtoB の流れの形成を促進し、カーボンナノチューブ実用化・産業化の達成を目指す。

3) カーボンナノチューブの品質管理評価技術の開発

カーボンナノチューブ実用化のための品質管理評価技術の開発を行う。特に、分散液ならびに複合材中のカーボンナノチューブの分散状態や品質を評価する手法を開発する。また、カーボンナノチューブ産業の国際競争力強化の点から、開発した評価法の国際標準化を進める。

内部資金：標準基盤研究

「光吸収測定によるカーボンナノ材料の細胞内の取り込み量測定方法の国際規格化」

外部資金：

独立行政法人日本学術振興会

科研費補助金

「生体内分解可能なナノカーボンを用いた標的癌治療薬剤の創製」

発表：誌上発表25件、口頭発表85件、その他8件

CNT 合成チーム

(CNT Synthesis Team)

研究チーム長：Futaba Don

(つくば中央第5)

概要：

画期的なカーボンナノチューブの合成法、スーパーグロース法（水添加化学気相成長法）を開発し、基板から垂直配向した単層カーボンナノチューブを高効率に高純度で成長させることに成功している。

このスーパーグロース法に基づく量産基盤技術開発を行い、「かつてない規模・価格での単層カーボンナノチューブの工業的量産」を目指している。より具体的にはカーボンナノチューブ成長効率を高める炭素源・温度・触媒賦活剤の開発、大面積合成技術や連続合成技術開発などである。さらに、カーボンナノチューブには直径・長さ・結晶性・密度・カイラリティなど、さまざまな構造の多様性を有するが、これらの構造が各用途に適したものに調整されたカーボンナノチューブの成長技術を開発する。さらにはこれらの合成技術の量産化検討を進める。

研究テーマ：テーマ題目1

CNT 用途チーム

(CNT Application Development Team)

研究チーム長：山田 健郎

(つくば中央第5)

概要：

カーボンナノチューブを用途で活用するためには、その優れた性能を損なうことなく、分散・成形加工・複合化する技術を開発して、部品・部材などに作り、デバイスに組み込む必要がある。特に当チームでは長尺配向のスーパーグロース法で作製した単層カーボンナノチューブを中心に、その特長を活かした、分散手法・複合化・成形加工・微細加工の開発を行う。

これらの技術を活用して、カーボンナノチューブのポテンシャルを十分に引き出し、従来にない革新的な機能を有する複合材料の開発およびその部材化、それらを組み合わせたデバイス開発、実用化研究に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目2

CNT 評価チーム

(CNT Characterization Team)

研究チーム長：岡崎 俊也

(つくば中央第5)

概要：

新規材料開発において材料特性を的確に評価する手法は、組成、形状あるいは合成条件を最適化していく上でなくてはならないものである。CNT 開発においても、それは例外ではない。当研究チームでは、各用途に必要な CNT 分散液および複合材、あるいは CNT 自身の特性を可視化する評価技術の開発を行う。また、CNT 実用化によって重要である、ナノ安全性に資する評価法の開発も行う。そして、開発した手法の国際標準規格化を目指し、わが国の生産する CNT の差別化をはかる。

研究テーマ：テーマ題目3

[テーマ題目1] 単層カーボンナノチューブ成長の触媒下地層に関する研究

[研究代表者] Futaba Don (CNT 合成チーム)

[研究担当者] Futaba Don、桜井 俊介、松本 尚之、辻 亨志、山田 真保
(常勤職員3名、他2名)

[研究内容]

単層カーボンナノチューブフォレストの合成においては鉄触媒ナノ粒子を担持させるための下地層の存在が必須である。この下地層には従来酸化アルミニウム（アルミナ）のみが報告されていたが、合成プロセスの低コスト・高品質化を図る上で当チームは下地層の探索を行っ

た。

探索の結果、アルミナを一切使わずとも、酸化マグネシウム (MgO) 薄膜を鉄触媒の担持層としたカーボンナノチューブ (CNT) フォレスト成長において、触媒担持前の MgO 薄膜にアニール処理 (750 °C、20分、空气中) を実施することにより、10分間の水添加化学気相法で成長した CNT フォレストの高さが50倍以上向上することを見出した。この成長効率はアルミナ使用時と同程度であり、成長した CNT の品質 (層数・直径・結晶性・電気伝導度・熱拡散率) もほぼ同程度であった。

CNT フォレストの成長効率が大幅に向上した要因を明らかにするために、アニール処理が MgO 薄膜の結晶構造に与える影響を評価した。XRD パターンにおける (220) 面の回折ピークについて、MgO 薄膜のアニール温度が高いほど、ピーク強度が増大し、半値幅が減少し、MgO 多結晶薄膜の結晶子径が増大したことが分かった。MgO 担持層のアニール処理により結晶性が向上したことで、CNT 成長時 (約800 °C) における鉄触媒粒子の下地層への拡散が抑制されるため触媒の寿命が長くなり、高い単層 CNT フォレストの成長が可能になったものと結論した。

アルミナの代わりに MgO を使用するプロセスでの CNT 製造低コスト化についても併せて検討を行った。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】カーボンナノチューブ、触媒、CVD

【テーマ題目2】CNT の実用化検討用途開発研究

【研究代表者】山田 健郎 (CNT 用途チーム)

【研究担当者】山田 健郎、関口 貴子、小橋 和文、阿多 誠介、加藤 雄一、

Meenakshi Sundaram Rajyashree、

三浦 湖波、西澤 あゆみ、西村 光佳

(常勤職員4名、他5名)

【研究内容】

カーボンナノチューブ (CNT) を用い、その特徴を駆使した新しい CNT の部材開発を行い、用途開発へとつなげることを目的としている。たとえば、ゴム材料にスーパーグロス法で合成した長尺の単層 CNT を均一に複合化 することにより、ゴムの性質を維持したまま、導電性を付与できるばかりでなく、耐熱性等のゴムの特性も向上することを明らかにした。さらに、CNT の分散状態がそれらゴム複合材料の特性に影響を及ぼすことも明らかになってきており、CNT をゴム材料に複合化させる効果およびその原理を探索中である。これらの新しい CNT ゴム複合材料の成果を民間企業へ橋渡しすべく、実用化に資する民間企業との共同研究を開始している。

また目的基礎研究として、特異な性質を示す CNT と銅との複合化において、実用化を踏まえ安定的に複合化できる手法の開発を行っている。

さらに CNT のポテンシャルを十分に引き出し、従来にはない革新的な機能を有する部材の、成形加工技術の開発を行っている。これらの成果を通じ、CNT の実用化研究を展開している。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】カーボンナノチューブ、スーパーグロス、CNT 複合材料、CNT デバイス

【テーマ題目3】実用化に向けた CNT 評価法開発

【研究代表者】岡崎 俊也 (CNT 評価チーム)

【研究担当者】岡崎 俊也、岸 良一、張 民芳、森本 崇宏、飯泉 陽子、中島 秀朗、生田 美植、揚 梅、武 学麗、田島 奈穂子、渡邊 敬之、境 恵二郎、巽 かおり、米山 朱希、浦野 由香里 (常勤職員4名、他11名)

【研究内容】

溶液中および複合材中のカーボンナノチューブ (CNT) 分散状態を総合的に評価する手法の開発を行った。具体的には、遠赤外吸収による CNT 実効長計測や分散液中の CNT 凝集体評価法、ロックインサーマルスコープ法による複合材料中の CNT ネットワーク構造の可視化手法などを確立させ、用途開発企業等が作製した試料の評価を行った。さらに開発した種々の計測法はグラフェンやセルローズナノファイバーにも適用できることを明らかにした。

また、近赤外吸収測定による CNT 細胞取り込み量評価法を確立し、国際標準規格に向けた取り組みを行った。また、同法を利用した CNT の生分解性の研究を行い、一部の CNT には生分解性があることを明らかにした。

また、発光効率を向上した酸化 CNT を近赤外光プローブとして実用化させるため、品質安定性の研究や技術移転を行った。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】カーボンナノチューブ、品質評価、分光、臨床検査、ナノ安全

⑨【機能材料コンピュータショナルデザイン

研究センター】

(Research Center for Computational Design of Advanced Functional Materials)

(存続期間：2015.11.1~2022.10.31)

研究ユニット長：浅井 美博

副研究センター長：宮崎 剛英

総括研究主幹：青柳 岳司

所在地：つくば中央第二事業所

人 員：29名 (29名)

経 費：557,622千円 (170,285千円)

概要：

1. 研究ユニットのミッション

産業に有用なハイパフォーマンス材料の開発に要する研究期間を大幅に短縮する為に、経験と勘に頼っていた従来の研究開発に計算材料設計を活用した非経験性を導入する。この目的に最も有効な計算材料設計手法を、産業界や大学・研究機関と協力しつつ開拓する為の研究ハブとして当センターは活動する。具体的には、構造・組成情報から材料機能を予測するといった順方向の計算予測機能を向上するとともに、それらの計算手法に大規模化や粗視化を導入する事により、ミクロからマクロにつながるマルチスケール計算材料設計技術を構築する。それらの成果を人工知能等の情報技術と結びつける事により、所望の機能を実現する為に必要な材料の構造・組成情報を逆方向に予測する為の推定スキームを確立する。それらを束ねる事により機能性部材・デバイスの開発効率を格段に高めるための設計インフラを構築し、産業界に普及する。

2. 研究ユニットの研究開発の方針

機能材料コンピューショナルデザイン研究センターには6つの研究チームを設置するが、これらを横断する以下4つの戦略課題を設定し、計算シミュレーションの産業普及の観点から整理作成するTRLを意識したマイルストーンを設けて研究を推進する。

1) 材料機能シミュレーション技術開発

材料インフォマティクス研究やフェーズ・フィールド法を用いたマルチスケールシミュレーション研究に関して比較的先行実績が多い金属・合金のみならず、有機・無機ハイブリッド材料、有機材料、更には高分子・レオロジー材料等を含む、広範な材料を対象とした信頼性の高い機能予測計算シミュレーション技術を確立・実証する。

電子レベルから始める第一原理計算・*ab initio*計算、その結果から原子・分子の力場を得て行う分子動力学計算・粗視化分子動力学計算、更にはそれらの長波長極限と繋がる連続体シミュレーションまで、多階層な計算シミュレーション技術の各々を、その長さ・時間で分類される各階層で大規模化する為に必要な階層内のスケールアップ技術と、階層間を紡ぐマルチスケール化技術を重点的に開発し、マクロな材料機能の組成依存性やマイクロ構造依存性に関する化学的な予見性を飛躍的に高め、計算シミュレーションの実用材料開発に対する有用性ポテンシャルを飛躍的に向上する。

2) デバイス材料シミュレーション技術の開発

材料をデバイス・モジュール環境で用いた時の動作性能を電子・原子・分子レベルから第一原理的に予測する計算シミュレーション技術を開発する。材

料の複数機能を計算シミュレーション内で再現できるような、高度に物理的・化学的な現実性を持った計算シミュレーション技術を開発する事により、デバイス・モジュール環境下での動作性能を最大化する為に必要な材料設計条件を導き出す。これらの技術開発を1)で開発するマルチスケール計算技術と組み合わせる事により、世界に類を見ない高い予測性能を持った計算シミュレーション技術を開発し、これをもって産業界のデバイス研究を牽引する。

3) 反応プロセスシミュレーション技術の開発

触媒反応、電気化学反応などの内、産業界で有用な反応プロセスにつき、それを非経験的に予測する為の反応路探索技術を確立する。多孔性材料を用いた触媒反応、分離・吸着反応などを含め、拡散律速の反応や、多数の素反応過程からなる複合的な反応等の実空間的な取り扱いが必要な反応につき、それを取り扱う為の計算シミュレーション技術を開発し、反応プロセスに対するコンピューショナルデザインを実用化すべく研究開発を行う。

4) 連続体シミュレーション技術の開発

有限要素法を用いた流体解析および固体解析におけるマイクロマクロを繋ぐメゾスケール解法、マルチスケール解法による大規模並列連成解析技術の開発を行う。マイクロマクロを繋ぐフェーズ・フィールド法、格子ボルツマン法や、例えば触媒などの多孔質構造を想定したメゾスケール解析技術の開発研究を行う。

(1) 中長期目標・計画を達成するための方策

アメリカでの「マテリアルズ・ゲノム」プロジェクト、ヨーロッパ各国やアジア諸国での「マテリアルズ・インフォマティクス」プロジェクト等、世界各国で計算科学、データベースと情報技術を活用した新たな材料開発研究スキームに関する開拓プロジェクトが急増している。この影響が各国の特許審査のあり方に変化を与え、計算シミュレーション結果のみで成立する特許が増加する可能性が高い。産業界においても、この動きに取り残される事に対する危機感が強い。一方、機能性材料に関してはビックデータが殆ど存在せず、従来型の「データ駆動型」のみでは困難が生じる場合が多い事も予想される。ハイパフォーマンス材料の高速探索に関して、その基盤技術を高める必要が広く認識されており、その開発期間を飛躍的に短縮する事ができるような計算材料設計手法・解析手法に関わる基盤技術の開発を目指す本研究センターは、開発推進主体として最適な研究組織である。本センターで開発を目指す計算材料設計システムは材料・化学領域で目指す「最終製品の競争力の源となる革新的部材・素材の提供」の開発・支援に必要な研究インフラストラクチャーであり、ハイパフォーマンス材料の高速探索を目

指す為には必須の資源である。計算材料設計の活用は企業において未だ十分に進んでおらず、企業が苦手としている分野であり、これに関わる飛躍的な研究開発とその普及活動を行う本研究センターの設置は、産総研第4期中長期計画において最も重要な「橋渡し機能の強化」に有用である。

(2) 平成28年度の重点化方針

研究センター設置全期に渡って、時間・空間に関する各種階層で大規模化する為に必要な階層内スケールアップ技術を開発すると同時に、階層間を紡ぐマルチスケール化技術を開発する。同時にデバイス機能や反応プロセスの材料・分子種依存性を直接計算機の中で再現する為の計算シミュレーション技法も重点的に開発する。平成28年度は、これらの手法開発の内、各階層内での計算シミュレーションのスケールアップ技術の研究開発を重点的に行う。

独立行政法人日本学術振興会平成28年度科学研究費助成事業（科研費）

「単一分子と組織化分子ネットワークの非線型伝導理論」（新学術領域研究（研究領域提案型））[研究代表者] 浅井 美博

「分子アーキテクトニクス：単一分子の組織化と新機能創成」（新学術領域研究（研究領域提案型））[研究代表者] 冨田 博一（大阪大学）

「デバイス応用に向けた2次元材料の電子物性の理論設計」（新学術領域研究（研究領域提案型））[研究代表者] 宮本 良之

「高次元空間自由度のスパース化による反応シミュレーション解析」（新学術領域研究（研究領域提案型））[研究代表者] 安藤 康伸

「陽電子消滅による結晶特異構造のキャリア捕獲・散乱ダイナミクスの評価」（新学術領域研究（研究領域提案型））[研究代表者] 上殿 明良（筑波大学）

「界面原子・分子層における局所高電界効果の理論計算」（基盤研究（B））[研究代表者] 渡邊 聡（東京大学）

「電気化学界面における溶媒和イオン液体の特異な電荷移動反応」（基盤研究（B））[研究代表者] 獨古 薫（横浜国立大学）

「糖鎖結合性タンパク質の分子認識/反応機構に関する分子基盤の構築」（基盤研究（C））[研究代表者] 石田 豊和

「水素結合型有機誘電物質における強誘電性光制御の理論」（基盤研究（C））[研究代表者] 岩野 薫（高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所）

「凝集系の構造変化を誘起する短パルスレーザーの理論的研究とレーザー装置の調査」（基盤研究（C））[研究代表者] 宮本 良之

「新規原子層物質における層間相互作用と電子輸送現象」（基盤研究（C））[研究代表者] 中西 毅

「溶液内化学反応やアモルファス材料のダイナミクスへ向けた大規模量子化学計算法の開発」（基盤研究（C））

[研究代表者] Fedorov Dmitri

「First-principle device simulation」（研究活動スタート支援）[研究代表者] Buerkle Marius

「帯電系のための新規分子動力学法の開発と有機熱電変換材料への応用」（若手研究（A））[研究代表者] 高橋 和義

「パラジウムクラスターによる窒素と水からのアンモニア生成触媒反応」（挑戦的萌芽研究）[研究代表者] 村上 純一（埼玉大学）

国立研究開発法人科学技術振興機構 先端的低炭素化技術開発（ALCA）

「特異的溶解性・電荷輸送を示すリチウムイオン液体の計算化学的解析」[研究代表者] 都築 誠二

文部科学省科学技術試験研究委託事業「元素戦略磁性材料研究拠点」

「平面波基底法（QMAS）等を基軸にした磁気物性量の高精度計算手法の開発」[研究代表者] 三宅 隆

文部科学省科学技術試験研究委託事業「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」

「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発③評価基盤領域実施機関 陽電子状態・消滅パラメータの理論計算」[研究代表者] 石橋 章司

文部科学省科学技術試験研究委託事業「ポスト「京」

「次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成サブ課題 D：高性能永久磁石・磁性材料」[研究代表者] 三宅 隆

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託研究「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト」[研究代表者] 村山 宣光

文部科学省科学技術人材育成費補助金

「卓越研究員事業」[受入代表者] 宮崎 剛英（卓越研究員：屋山 巴）

発表：誌上発表63件、口頭発表142件、その他8件

多階層第一原理計算手法開発チーム

（First-principles multi-scale simulation Team）

研究チーム長：石橋 章司

（つくば中央第2）

概要：

当チームでは、第一原理計算手法・プログラムの開発・高度化、および、多階層化に向けた整備を行なっ

ている。現実の問題の解決に際して、最善のスキームの確立を図り、必要に応じてデータ科学的手法を活用している。平成28年度の研究成果を以下に例示する。精度を犠牲にすることなく、第一原理分子動力学計算を2倍程度高速化する時間積分法を提案した。フラグメント分子軌道法の開発を続け、溶媒中蛋白質の構造最適化を行った。結合解析法によるリガンドと蛋白質結合に於ける脱水効果と分極の重要性を明らかにした。強力磁石化合物として期待される RFe_{12} を QMAS で調べ、希土類 R の原子半径が小さい方が系が安定であることを見出した。水素結合型有機強誘電体の自発分極を理論計算により予測し、作成プロセス最適化の指針とした。

研究テーマ：材料機能シミュレーション技術開発、デバイス材料シミュレーション技術の開発、反応プロセスシミュレーション技術の開発

物性機能数理設計手法開発チーム

(Functional mathematical modeling Team)

研究チーム長：大谷 実

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、物質の性質を理解するために数理モデルを構築し、支配方程式の解法を提案する。モデルを第一原理計算手法に組み込むことにより、実環境下における物質の特性を予測し、デバイス設計指針の提示を行っている。(1)アモルファス材料設計のための基盤技術として昨年度までに創出した多胞体コードワードでは、アモルファス材料の原子配列に対応するボロノイ多面体タイリングを多面体の集合体としてとらえていたが、多角形の集合体としてとらえることによって、より簡潔に多面体の配列パターンを表現する理論を創出した。(2)先端計測機器データに基づくモデリング技術の開発と応用解析研究として、電子顕微鏡撮影画像データに基づく細胞内バイオ複合体の機能解析を行った。親水環境下における機能性高分子の構造解明及び分布の可視化を可能にし、機能発現機構の解明に道筋を開いた。(3)機械学習を用いた実験データの効率解析手法の開発を行った。磁気円二色性分光画像に対して、各ピクセル上のスペクトルを主成分解析によって低次元化し、ノイズの落ちた磁気特性を示す分光成分を抽出、磁性領域のマッピングに成功した。これは簡便かつ高速に行える新しい磁性データ解析手法として期待される。

研究テーマ：材料機能シミュレーション技術開発、デバイス材料シミュレーション技術の開発、反応プロセスシミュレーション技術の開発

多階層分子シミュレーション手法開発チーム

(Multi-scale molecular simulation Team)

研究チーム長：下位 幸弘

(つくば中央第2)

概要：

高い信頼性で材料機能を予測するマルチスケール計算材料設計技術の確立・実証ならびに触媒反応・電気化学反応などの産業界で有用な反応プロセスを非経験的に予測するための反応路探索技術の確立を最終目標に、昨年度に引き続き、量子化学計算法や分子動力学法等の分子シミュレーション技術とそれを用いた材料研究について研究開発を行った。より具体的には、レイイベントを扱う分子動力学シミュレーションにおいて自由エネルギー評価の精度向上を目指したスキームの開発、生体分子機能における酵素反応のモデリング・反応機構解析、量子化学計算を用いた触媒等の化合物の特性や反応性の解明、分子間相互作用やイオンの相互作用の精密解析、光励起ダイナミクスに関わる研究、ならびに、機能材料の構造-物性相関ならびに材料設計技術開発等に取り組んだ。特に、燃料電池電解質膜において、従来材料であるナフィオンの化学的劣化機構を量子化学計算により解明し、広い温度範囲で動作する高耐久性な燃料電池電解質膜を実験グループとともに開発した。

研究テーマ：材料機能シミュレーション技術開発、反応プロセスシミュレーション技術の開発

多階層ソフトマテリアル解析手法開発チーム

(Multi-scale soft matter simulation Team)

研究チーム長：森田 裕史

(つくば中央第2)

概要：

当チームでは、ソフトマテリアルシミュレーションに必須な粗視化モデルと多階層化技術を駆使しながら、ソフトマテリアル材料の構造・物性・機能について解析する研究を進めている。具体的には、フィラー充填材料における破壊過程について、粗視化分子動力学法を用いたシミュレーションを用いて解析した。フィラーとポリマーの間が斥力相互作用の場合には、フィラー界面においてキャビティが生成し、拡大したキャビティが別のフィラーに到達した時点でその拡大が止まる。一方引力相互作用の場合には、ポリマー中から生成したキャビティの合一も観察され、破壊のメカニズムについて示すことができた。また、マルチスケールシミュレーションの実現のために、2つの階層のシミュレーションを定量的に連結させる研究も進めた。全原子分子動力学法 (AMD) と粗視化分子動力学法 (CGMD) を連携させ、高分子のダイナミクスを支配する物理量(平均二乗末端間距離、高分子末端間ベクトルの最長緩和時間等)を精密に決定し、AMD から CGMD への単位系換算を表すスケーリング係数を決定することで、ポリエチレン、ポリスチレンにおける

CGMD の定量化が行えた。さらに2012年から進めているコンソーシアム「ゴム・エラストマーにおける理論・シミュレーション基礎研究会」では、フィラー充填ゴムの引張シミュレーションについて、メンバー企業と連携しながら、成果の橋渡しを進められた。

研究テーマ：材料機能シミュレーション技術開発

統合マクロ計算手法開発チーム

(Integrated macroscopic simulation Team)

研究チーム長：松本 純一

(つくば中央第2)

概 要：

当チームでは、連続体モデルに基づくマクロ計算における流体、固体、熱などの連成解析、マイクロ計算との親和性を考慮したメゾ、マルチ、ブリッジングスケールにおける方法を取り入れた解析技術、これらの順解析および逆解析を可能とする統合的なマクロ計算手法の開発を目指している。近年、有限要素法の乱流を考慮した流体解析において、粗いスケールと微細なスケールを導入したアプローチにより、メッシュ分割で解像できない効果を取り入れて計算を行う変分マルチスケール法が提案されている。有限要素法の要素の一つである気泡関数要素は、1次要素（粗いスケール）と重心点の自由度（微細なスケール）を補間関数に導入した方法（形式）であると考えてられるため、変分マルチスケール法と関係がある。これまで、我々が提案してきた重心点のみの安定化項を導入し計算の安定化を実現する方法（気泡関数要素安定化法）を変分マルチスケール法に整合する解法を検討し新たに開発した。3次元球回りの流れにおいて、乱流モデルを導入しないと再現が難しいとされるレイノルズ数10万～100万の領域で発生するドラッグクライシス現象を計算例とし検証を行った。

研究テーマ：連続体シミュレーション技術の開発

統合シミュレーション実験検証チーム

(Multi-simulations Verification Team)

研究チーム長：宮本 良之

(つくば中央第2)

概 要：

当チームはマルチスケールシミュレーションの手法の実験結果への適用性を検証することを目標としている。そのために、時間と空間それぞれの軸において異なる次元の現象を連結するスキームの確立を目指し、産業用シミュレーション技術の開発に貢献する。H28年度は、Si ナノクラスターの第一原理計算を行い、ボロンやリン単体のドーピングが p 型のキャリアを生じ、リンと酸素の同時ドーピングが n 型のキャリアを生じるなど、不純物の価数のみならず Si クラスター中の置換位置に依存することを見出した。今後ク

ラスターサイズの大きな系の計算スキームを確立する。励起状態ダイナミクスに応用されている時間依存密度汎関数理論と古典的な分子動力学計算を組み合わせる手法にて、比較的大きなベンゼンなどの分子においても電子の量子ビート現象が50fs までの時間の寿命で維持されることを見出した。その他企業との共同研究を推進している。

研究テーマ：材料機能シミュレーション技術開発

⑩【磁性粉末冶金研究センター】

(Magnetic Powder Metallurgy Research Center)

(存続期間：2016.4.1～)

研究センター長：尾崎 公洋

副研究センター長：多田 周二

所在地：中部センター

人 員：20名 (20名)

経 費：273,649千円 (121,860千円)

概 要：

磁性材料は、機能性材料として従来からさまざまな産業用途に利用されてきたが、近年、環境意識の高まりにともなってその需要は大幅に増加している。そのため、社会の持続性を担保し、産業の発展を実現する観点から、より高い性能を可能とする新たな磁性材料およびその応用技術の開発が強く要求されている。特に、ハード磁性材料（永久磁石）やソフト磁性材料は、低炭素社会の実現に貢献する次世代自動車や電化製品などに用いられる高性能モーターを構成する重要な材料である。また、磁気熱量材料は地球温暖化ガスを全く使用しない次世代の冷凍システム（磁気冷凍システム）の構成材料として期待されている。

当研究センターでは、我が国における磁性材料技術が世界を牽引し、関連産業の市場拡大に向けた礎を築くことを大命題と掲げる。限りある資源のなかで省エネルギーや環境に対応した高性能の磁性材料を実現するために、実用化に向けたコア技術や周辺プロセス技術などモジュール化ならびにシステム化を含めて実験レベルから実用化レベルまでの一貫した技術開発を行っている。すなわち、資源リスクに対応できる磁石材料、省エネルギーに寄与できるソフト磁性材料、環境問題に対応できる磁気熱量材料などの実用化を出口として、それぞれに必要なプロセス技術の開発を進めるため、1)高性能磁石およびソフト磁性材料の開発、2)フロン類フリーを実現する冷凍システムと磁性材料開発、ならびに3)バルク磁性材料創製のためのプロセス技術の開発を3本柱のテーマとして掲げ、その解決に取り組んでいる。

磁性粉末冶金研究センターは、産総研として上述の

ミッションを強力に推進するため、平成28年4月に新ユニットとして設立された。ハード磁性材料チーム、エントロピクス材料チーム、ソフト磁性材料チーム、磁性材料プロセスチームおよび焼結プロセスチームの5チームから構成され、それぞれのチームの特徴を活かしながら磁性材料にかかる研究開発を包括的に進めている。

センター設立の初年度である平成28年度は、以下4つの戦略課題を設定して研究を推進した。

研究テーマ1. 耐熱性・耐環境性に優れた永久磁石材料の開発

ハイブリッド自動車用モーターに使われる高性能磁石など、資源・環境・エネルギー問題に対応した永久磁石材料を開発する。これまでに培った粉末合成技術や粉体・粉末冶金技術を駆使して新しい磁石製造プロセスを開発し、優れた特性を有する磁石の創製を行う。特に、サマリウム-鉄-窒素磁性材料に着目し、ネオジム磁石より高い保磁力と耐熱性を持つ焼結磁石の実現を目指す。

研究テーマ2. フロン類フリーを実現する冷凍システムと磁性材料開発

環境負荷が小さくエネルギー効率の高い固体冷凍の実現を目指して、磁場や電場などの印加により熱量効果を生じる材料の特性解明・制御方策と作製技術を構築する。具体的には La-Fe-Si-H 磁気熱量材料の合成技術および相安定化技術の開発や、そのシステム応用技術の開発に加え、新規エントロピクス材料の探索を行う。

研究テーマ3. 高性能軟磁性材料の開発

高効率モーターを実現するために、高飽和磁化と低鉄損を両立するソフト磁性材料の実現が求められている。化学的粉末合成技術と粉末修飾技術を駆使して、自動車用モーターのコア材料としてのソフト磁性材料や、高周波に対応したソフト磁性材料など、用途に応じた特性を有する高性能ソフト磁性材料の開発を目指すとともに、その実用化のための基盤技術の構築を行う。

研究テーマ4. バルク磁性材料創製のためのプロセス技術の開発

金属の凝固プロセス、電磁振動プロセス、マイクロ波プロセスなど様々なプロセス及び組織評価技術を駆使して、バルク磁性材料の開発ならびにその周辺技術を開発し、さらに実用化に向けたプロセス技術を目指す。これらのプロセスにより、組織が高度に制御された磁性材料や磁性粉末を開発する。同時に、磁気特性を十分に発揮したバルク磁性材料を作製可能な焼結プロセスを開発し、特に、高い耐熱性を有するサマリウム-鉄-窒素磁性材料の高密度固化成形を目指して、焼結プロセスの高度化を推進する。具体的には、粉末性状、焼結圧力、焼結温度などの最適化、および高温

高加圧焼結に耐えうる金型材料の開発を進める。

これらの共通プラットフォームとして、材料設計における計算科学的アプローチも協力体制として整備し、研究開発の効率化も図っている。

磁性粉末冶金研究センターでは、開発した技術の早期事業化も重要な使命と位置づけている。橋渡し研究として、資金提供を受けながら民間企業との研究交流を幅広く実施し、磁性材料産業の牽引にも注力している。橋渡し研究として、高性能耐熱磁石の創製や磁気冷凍技術の実現に向けた材料開発を実施し、産業としての展開を見据えながら企業と共同で事業化に向けた経済的プロセス技術の確立に取り組んでいる。

一方、磁性材料分野における目的基礎の研究にも力を入れている。磁性材料の新しい用途や応用分野を開拓する目的で、磁性金属ナノ粒子の合成技術ならびに電磁振動やマイクロ波を用いた熱処理プロセス技術など関連技術も含め研究開発を行っている。

戦略課題：

- ・「耐熱性・耐環境性に優れた永久磁石材料の開発」
- ・「フロン類フリーを実現する冷凍システムと磁性材料開発」
- ・「高性能軟磁性材料の開発」
- ・「バルク磁性材料創製のためのプロセス技術の開発」

外部資金：

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 ・「新規高性能磁石材料の探索に関する検討／高 Fe 含有 RE-Fe-C,N 系磁石に関する検討」

独立行政法人日本学術振興会

基盤研究(C)

- ・「結合相制御による高温高強度 TiCN 系サーメットの創製と摩擦攪拌接合ツールへの応用」
- ・「粒界の精密制御による Sm-Fe-N 焼結磁石の高保磁力化」

挑戦的萌芽研究

- ・「一酸化窒素の磁気リモート制御放出」

若手研究(B)

- ・「熔融塩を用いた低温還元拡散法による高性能 Sm-Fe-N 磁石粉末の開発」
- ・「ナノセル状組織の回転制御による異方性 Sm-Fe-Mn-N 磁粉の開発」

発表：誌上発表13件、口頭発表51件、その他1件

ハード磁性材料研究チーム

(Hard Magnetic Materials Research Team)

研究チーム長：高木 健太

(中部センター)

概要：

エネルギー問題や環境問題の解決に寄与する高効率モータの主要部材となる高性能永久磁石の研究開発を行った。とりわけ、ハイブリッド自動車の駆動モータ用の永久磁石を対象とした、耐熱性・耐候性に優れ、かつ資源枯渇が危惧される重希土類元素を使用しない磁石の開発に注力した。開発の要となるのは、磁性化合物の潜在力を発揮させる粉末冶金プロセスの創製であり、新しい合成技術や成形技術、焼結技術の開発を中心に行った。Nd-Fe-B 磁石を凌駕する Sm-Fe-N 磁石は焼結磁石が作れないとされてきたが、昨年度までに極低酸素下で作製すると焼結磁石にできることを見出した。この知見を活かし、粉碎から成形までのプロセスが全て非暴露となる低酸素プロセスを構築した。また、高性能な Sm-Fe-N 原料粉末の開発として、還元拡散法を利用した化学合成法の開発を実施している。合成粉末の微細化技術や粉末表面の改質技術を開発することにより 3T に迫る保磁力をもつ Sm-Fe-N 磁粉を得た。加えて、従来は高価であった磁粉の成形工程に対して、新たに開発した磁粉成形シミュレーション技術を用いて、安価でコンパクトなパルス磁場圧密成形法の可能性を明示した。一方で、Sm-Fe-N 磁石開発で培った窒化技術を発展させて、窒化困難である重希土類合金の窒化にも成功した。さらに窒化技術を応用して、高濃度窒化された Sm-Fe-N 合金の内部で生じる組織ナノセル化のメカニズムを明らかにすることに成功した。

研究テーマ：テーマ題目1

エントロピクス材料チーム (Entropics Materials Team)

研究チーム長：藤田 麻哉

(中部センター)

概要：

磁気冷凍や固体蓄熱など、磁性体が示す様々なエントロピー現象を、環境・エネルギー問題解決などのグリーンイノベーションに役立てることを目指して、“エントロピクス”の概念を確立し、バルクエントロピクス材料の特性解明・制御方策と作製技術を構築する。特に橋渡し前期テーマとして La-Fe-Si-H 磁気熱量材料の合成技術は、民間企業との共同研究を交え、水素の安定性および均一性を意識して、プロセス制御と合金設計の両面から重点的に行った。また、磁場以外の外場で駆動するエントロピクス材料の探索を行った。特にヴァナジウム系酸化物に見られる金属・絶縁体転移に付随する熱量効果について、熱・磁化測定と分光及び第一原理計算を組み合わせて、スピン・電荷の協調現象であることを突き止め、さらに、これらの機能を保持して応用に向けた部材化につなげる方策を検討した。また、クロスアポイントメントを利用した大学研究者との共同により、磁気冷凍モジュールの運

行及びデータ採取を自動化し、熱分離温度差などをパラメータとして材料とシステムが強調できる実験体制の構築を始動できた。

研究テーマ：テーマ題目2

ソフト磁性材料チーム (Soft Magnetic Material Team)

研究チーム長：松本 章宏

(中部センター)

概要：

高効率モーターを実現するためのコア材料としてのソフト磁性材料や、高周波に対応したソフト磁性材料など、用途に応じた特性を有する高性能ソフト磁性材料を開発することを目的とする。化学合成プロセスを用いることにより、高飽和磁化・低保持力を有する Fe-X 系ソフト磁性粉末の作製に成功した。さらに第3元素を複合添加して、磁気特性に与える効果について検討した。TEM 観察・XPS 分析等を行うことにより、その特性発現メカニズムを考察した。新規ソフト磁性材料の開発を目指して、窒化物の分解によるナノ組織形成を試みた。さらに磁性材料を中心とした機能材料への応用展開を目指して、フェライトへの他元素の複合化・表面修飾技術について検討した。

研究テーマ：テーマ題目3

磁性材料プロセスチーム (Magnetic Material Processing Team)

研究チーム長：田村 卓也

(中部センター)

概要：

磁石材料や軟磁性材料の開発を目的として、凝固プロセス・焼結プロセス・マイクロ波プロセスなど様々なプロセスを開発した。凝固プロセスでは、高鉄含有量のネオジム・鉄2元系合金を特殊雰囲気下で超急冷する事により非晶質化する事が判明、更にはネオジム磁石を溶解・超急冷連続製造するシステムを開発する事により、ネオジリッチ相が1ミクロン程度の間隔で現れる組織が出現する冷却速度以上を有する連続製造法を確立する事ができた。また、磁気熱量材料の La-Fe-Si 系合金の疑2元系状態図を作製した。焼結プロセスにおいては、通電焼結用の金型材料開発を目的に炭化チタン及び炭化ジルコニウム複合材料を作製し、その機械、電気、熱的特性を評価した。マイクロ波プロセスにおいては、雰囲気調整が可能なマイクロ波昇温装置の導入を行い、各種の情報収集を行うことでマイクロ波加熱による材料探査の方向性を見出すことができた。

研究テーマ：テーマ題目4

焼結プロセスチーム

(Sintering Process Team)

研究チーム長：細川 裕之

(中部センター)

概要：

当研究チームでは、高性能磁石材料を作製するための高密度固化成形技術を確立することを主なミッションとし、①高性能磁石作製を目指したプロセス技術の開発、②難焼結性磁石の緻密な焼結を可能とするため、高温高負荷に耐えうる金型材料の開発を行っている。①に関しては、安定した性能を可能にする急冷凝固磁石粉末作製技術の開発、熱処理条件、窒化条件、および焼結条件などプロセス技術の開発に取り組んだ。また磁性材料改質を目指した、せん断力を付与することができるプロセスの立ち上げを行った。②に関しては、結合相の高温強度を向上させた金型材料作製技術の研究開発を行い、真空焼結法により相対密度99%以上で曲げ強度が従来よりも20%程度高い値を示す金型材料を得ることに成功した。また、該技術を利用した難接合材料の摩擦攪拌接合ツールへの応用など広く展開を図るべく、任意形状のツール成形加工技術を開発した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4

[テーマ題目1] 耐熱性・耐環境性に優れた永久磁石材料の開発

[研究代表者] 高木 健太、細川 裕之 (ハード磁性材料チーム、焼結プロセスチーム)

[研究担当者] 高木 健太、山口 渡、鈴木 一行、岡田 周祐、曾田 力央、細川 明秀、細川 裕之、下島 康嗣 (常勤職員8名)

[研究内容]

本研究では、ハイブリッド自動車用モーターに使われる高性能磁石など、資源・環境・エネルギー問題に対応した永久磁石材料を開発する。これまでに培った粉末合成技術や粉体・粉末冶金技術を駆使して新しい磁石製造プロセスを開発し、優れた特性を有する磁石の創製を行う。特に、サマリウム-鉄-窒素磁性材料に着目し、ネオジム磁石より高い保磁力と耐熱性を持つ焼結磁石の実現を目指す。

平成28年度は、昨年度までに見出した知見を活かし、粉砕から成形までのプロセスが全て非暴露となる低酸素プロセスを構築した。また、高性能 Sm-Fe-N 原料粉末の開発として、還元拡散法を利用した化学合成法の開発も実施した。合成粉末の微細化技術や粉末表面の改質技術を開発することによって、3T に迫る保磁力をもつ Sm-Fe-N 磁粉を得ることに成功した。加えて、従来は高価であった磁粉の成形工程に関し、新たに開発した磁粉成形シミュレーション技術を用いることにより、安価でコンパクトなパルス磁場圧密成形法の可能性を明示す

ることができた。一方において、Sm-Fe-N 磁石開発で培った窒化技術を発展させることにより、これまで困難とされていた重希土類合金の窒化にも成功した。さらにこの窒化技術を応用して、高濃度に窒化された Sm-Fe-N 合金の内部で生じる組織ナノセル化のメカニズムを明らかにすることができた。

[領域名] 材料・化学

[キーワード] 永久磁石、還元拡散法、成形シミュレーション、窒化技術、ナノセル化、低酸素プロセス、低温焼結技術

[テーマ題目2] フロン類フリーを実現する冷凍システムと磁性材料開発

[研究代表者] 藤田 麻哉 (エントロピクス材料チーム)

[研究担当者] 藤田 麻哉、楠森 毅、杵鞭 義明、水口 知大 (常勤職員4名)

[研究内容]

本研究では、環境負荷が小さくエネルギー効率の高い固体冷凍の実現を目指して、磁場や電場などの印加により熱量効果を生じる材料の特性解明・制御方策と作製技術を構築する。具体的には La-Fe-Si-H 磁気熱量材料の合成技術および相安定化技術の開発や、そのシステム応用技術の開発に加え、新規エントロピクス材料の探索を行う。

平成28年度は、橋渡し前期の位置づけとして La-Fe-Si-H 磁気熱量材料の合成技術に関し、民間企業との共同研究を交えながら水素の安定性および均一性を意識したプロセス制御と合金設計の両面から重点的に行った。また、磁場以外の外場で駆動するエントロピクス材料についても探索した。特にヴァナジウム系酸化物に見られる金属-絶縁体転移に付随する熱量効果について、熱・磁化測定と分光及び第一原理計算を組み合わせて、スピン・電荷の協調現象であることを突き止め、さらに、これらの機能を保持して応用に向けた部材化につなげる方策を検討した。また、クロスアポイントメントを利用した大学研究者との共同研究により、磁気冷凍モジュールの運行およびデータ採取を自動化し、熱分離温度差などをパラメータとして材料とシステムが強調できる実験体制の構築を始動できた。

[領域名] 材料・化学

[キーワード] エントロピクス、磁気冷凍、ランタン、ヴァナジウム系酸化物、第一原理計算、モジュール化

[テーマ題目3] 高性能軟磁性材料の開発

[研究代表者] 松本 章宏 (ソフト磁性材料チーム)

[研究担当者] 松本 章宏、砥綿 篤哉、山本 真平 (常勤職員3名、他1名)

[研究内容]

高効率モーターを実現するために、高飽和磁化と低鉄

損を両立するソフト磁性材料の実現が求められている。本研究では、化学的粉末合成技術と粉末修飾技術を駆使して、自動車用モーターのコア材料としてのソフト磁性材料や、高周波に対応したソフト磁性材料など、用途に応じた特性を有する高性能ソフト磁性材料の開発を目指すとともに、その実用化のための基盤技術の構築を行う。

平成28年度は、化学合成プロセスを用いることにより、高飽和磁化・低保持力を有する Fe-X 系ソフト磁性粉末の作製に成功した。さらに第3元素を複合添加し、磁気特性に与える効果について検討した。TEM 観察・XPS 分析等を行うことにより、その特性発現メカニズムを考察した。新規ソフト磁性材料の開発を目指して、窒化物の分解によるナノ組織形成を試みた。さらに磁性材料を中心とした機能材料への応用展開を目指して、フェライトへの他元素の複合化・表面修飾技術について検討した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ソフト磁性材料、高飽和磁化、低保持力、XPS 分析、窒化物、ナノ組織形成

【テーマ題目4】バルク磁性材料創製のためのプロセス技術の開発

【研究代表者】田村 卓也、細川 裕之（磁性材料プロセスチーム、焼結プロセスチーム）

【研究担当者】田村 卓也、細川 裕之、安岡 正喜、中山 博行、加藤 清隆、下島 康嗣（常勤職員6名）

【研究内容】

本研究では、金属の凝固プロセス、電磁振動プロセス、マイクロ波プロセスなど様々なプロセス及び組織評価技術を駆使して、バルク磁性材料の開発ならびにその周辺技術を開発し、さらに実用化に向けたプロセス技術を目指す。これらのプロセスにより、組織が高度に制御された磁性材料や磁性粉末を開発する。同時に、磁気特性を十分に発揮したバルク磁性材料を作製可能な焼結プロセスを開発し、特に、高い耐熱性を有するサマリウム-鉄-窒素磁性材料の高密度固化成形を目指して、焼結プロセスの高度化を推進する。具体的には、粉末性状、焼結圧力、焼結温度などの最適化、および高温高加圧焼結に耐える金型材料の開発を進める。

平成28年度は、凝固プロセスとして高鉄含有量のネオジム・鉄2元系合金を取り上げ、特殊雰囲気下での超急冷により非晶質化することを明らかにした。同時に、ネオジム磁石を溶解・超急冷連続铸造するシステムを開発し、ネオジリッチ相が1ミクロン程度の間隔で現れる組織が出現する冷却速度以上を有する連続铸造法を確立することができた。また、磁気熱量材料の La-Fe-Si 系合金の疑2元系状態図を作製した。焼結プロセスにおいては、通電焼結用の金型材料開発を目的に炭化チタンおよび炭化ジルコニウム複合材料を作製し、その機械、電

気、熱的特性を評価した。マイクロ波プロセスにおいては、雰囲気調整が可能なマイクロ波昇温装置の導入を行い、各種の情報収集を行うことでマイクロ波加熱による材料探査の方向性を見出すことができた。

一方、高性能磁石材料を作製するための高密度固化成形技術については、安定した性能を可能にする急冷凝固磁石粉末作製技術の開発、熱処理条件、窒化条件、および焼結条件などプロセス技術の開発に取り組んだ。また磁性材料改質を目指した、せん断力を付与することができるプロセスの立ち上げを行った。さらに、結合相の高温強度を向上させた金型材料作製技術の研究開発を行い、真空焼結法により相対密度99 %以上で曲げ強度が従来よりも20 %程度高い値を示す金型材料を得ることに成功した。また、該技術を利用した難接合材料の摩擦攪拌接合ツールへの応用など広く展開を図るべく、任意形状のツール成形加工技術を開発した

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】凝固、電磁振動、マイクロ波、焼結技術、金型材料、硬質材料

5) エレクトロニクス・製造領域

(Department of Electronics and Manufacturing)

領域長：金丸 正剛

概要：

領域長は、エレクトロニクス・製造領域における研究の推進に係る業務の統括管理を行うとともに、領域間の融合を推進する業務を実施している。

① エレクトロニクス・製造領域研究戦略部

(Research Promotion Division of Electronics and Manufacturing)

研究戦略部長：原市 聡

研究企画室長：昌原 明植

所在地：つくば中央第1

人員：16名（15名）

概要：

研究戦略部長は、領域内企業連携強化に向けたマーケティング業務、各領域の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括するとともに、領域間の融合を推進する業務を実施している。

エレクトロニクス・製造領域研究戦略部研究企画室

(Research Planning Office of Electronics and Manufacturing)

概要：

当室は、エレクトロニクス・製造領域研究戦略部に置かれ、研究所の業務のうち、当該領域における研究の推進に関する業務を実施している。

具体的には、研究戦略の策定と研究計画のとりまとめ、研究戦略予算テーマの立案、領域重点化課題研究テーマの選定・評価、研究ユニットへの交付金予算の配分、領域内・領域間のスペース利用の調整、プロジェクトの企画・立案・総合調整、経済産業省その他関係団体等との調整、領域長及び研究戦略部長が行う業務の支援、オープンプラットフォーム推進に係る企画・調整、技術研究組合の窓口業務、見学・視察対応等の業務を行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[エレクトロニクス・製造領域研究戦略部研究企画室]

研究企画室長：昌原 明植 他

②【ナノエレクトロニクス研究部門】

(Nanoelectronics Research Institute)

(存続期間：2011.4.1～)

研究ユニット長：安田 哲二

副研究部門長：中野 隆志

首席研究員：富永 淳二、Kolobov Alexander

総括研究主幹：安藤 淳、秋永 広幸

所在地：つくば中央第1、つくば中央第2

つくば中央第5

人員：59名（59名）

経費：1,307,474千円（526,089千円）

概要：

1. 社会的・技術的背景と研究ユニットのミッション
データの生成・蓄積・流通の量は、10年で10倍以上の指数関数的な速度で増加している。この大規模データの利活用はビジネスの成功や公共サービスの向上のために益々重要となっている。増加を続けるデータを効率的に収集・解析・活用していくためには、様々なIT機器やセンサを多様なニーズに応じて実現し、その性能を向上させ低消費電力化していくことが必要である。しかし、IT機器等の高性能化・低消費電力化を支えてきたシリコン集積回路の微細化は、技術的な限界のために従来の所謂ムーアの法則に沿った進展が困難になっている。また、最先端半導体の開発や製造に要する投資規模の巨大化という経済的理由も加わって、微細化が終焉しつつあることが広く認識され、2020年代後半に訪れると予想されるポストスケール時代に向けて様々な技術オプションが提案されるなど、技術開発の潮流が変化している。

上述の認識に基づき、ナノエレクトロニクス研究部門では第4期中長期計画期間のミッションを以下のように設定している。すなわち、集積回路に用いられる材料、デバイス、作製プロセス、設計、及び、解析評価に関する革新技術を創出し、大規模化・多様化するデータ利活用を高速化・超低消費電力化するハードウェア開発を先導する。また、超伝導、ミニマルファブ、FPGA等の技術を応用して、社会や市場の多様なニーズに対応する高性能センシングや変量多品種デバイス製造・回路設計を実現する。研究成果を企業との共同研究・受託研究や地域センサーとの連携を通じて橋渡しすると共に、そのプロセスを通じて研究人材や技術経営人材を育成する。これらの取り組みにより、急速な変化を続ける半導体関連分野における我が国の産業競争力を強化し、イノベーション創出の基盤である情報通信プラットフォームの高度化と高効率化に貢献する。

2. 重点的に取り組む課題

ナノエレクトロニクス研究部門は主に以下の4項目について重点的に研究を進めている。

(1) 半導体集積化技術の追求による情報通信システムの高性能化および超低消費電力化

大規模化するデータに対応して高性能な情報処理を高エネルギー効率で行うための技術として、ギガバイトクラスの集積度を持つ相変化メモリ技術、シリコン MOSFET の駆動力省エネ性を超えるロジックデバイス技術、これらを三次元集積する技術を開発する。

(2) 新規情報処理技術による情報通信システムの高性能化および超低消費電力化

通常の CMOS 集積回路では実現できない新規の情報処理技術を創出するために必要となる新材料技術および新原理デバイス技術を開発する。

(3) もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術

社会インフラや産業インフラの保守や点検等に資するため、高エネルギー分解能の超伝導検出器の多画素・多重化技術を開発する。

(4) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術

エレクトロニクス・MEMS の変量多品種オンデマンド生産技術として、ミニマルファブ技術の開発を行う。

平成28年度は、特に(2)に関して、NEDO「IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト」において4課題を受託し、新しいコンピューティングに向けた回路・デバイス・材料の研究開発を本格化させた。半導体微細化が限界に近づく一方でデータの大規模化が進む中で、従来のフォンノイマン型計算機の限界を超える新しいコンピューティングが求められている。これを実現する革新的ハードウェアの開発に向けて、当研究部門が有する超伝導量子ビットや不揮発メモリ等の技術をベースとした回路・デバイス・材料の研究を展開した。上記(4)に関しては、平成30年度以降のミニマルファブ共用ラインの公開を想定して、変量多品種デバイス製造技術開発を加速させた。ミニマルファブ技術は装置開発が順調に進み、実際にデバイスの試作や製造に適用できるフェーズに入っている。本年度は、ミニマルファブ装置群のシステム化と多様なデバイスの作製レシピ整備を進めるとともに、九州センターと連携してミニマルファブに特化したテクノブリッジフェアを開催する等、技術の普及に取り組んだ。また、オープンイノベーションの推進に関して、NEDO「IoT 技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業」に参画し、TIA 推進センターによるスーパークリーンルーム等の共用施設の整備に協力するとともに、

主に上記(1)に関連する研究開発課題を推進した。

3. 研究の実施体制

ナノエレクトロニクス研究部門では、「半導体デバイス集積技術」、「超伝導体デバイス集積技術」、「新材料・新デバイス・ナノスケール計測技術」、「変量多品種製造技術」の4つを研究部門としてカバーすべき分野として設定している。平成28年度は前年度に引き続き、「半導体デバイス集積技術」についてはナノ CMOS 集積グループ、新材料デバイス集積グループ、3D 集積システムグループ、エレクトロインフォマティクスグループの4グループ、「超伝導体デバイス集積技術」については超伝導計測信号処理グループと超伝導分光エレクトロニクスグループの2グループ、「新材料・新デバイス・ナノ計測技術」については、システムティックマテリアルズデザイングループとエマージングデバイスグループの2グループ、「変量多品種製造技術」についてはミニマルシステムグループとカスタムデバイスグループの2グループを置いて研究を実施した。また、クロスアポイントメント制度を活用して東北大学から寒川誠二教授を招聘し、中性粒子ビーム加工による微細加工プロセスの適用例拡大に取り組んだ。

4. 研究部門の運営

ナノエレクトロニクス研究部門の成果の主たる橋渡し先は半導体関連企業（デバイスメーカー、半導体ユーザー企業、装置・計測器メーカー、材料メーカー、ファブレス、ファウンドリ等）である。半導体産業では、微細化が限界に近づく中で、多様化が著しい技術オプションについて、技術や市場の急速な変化に対応しつつ研究開発を行うことが求められている。この状況の中で半導体関連企業が求めているのは、ナノエレクトロニクスに関する科学的・技術的な蓄積を有する当部門をパートナーとして研究開発を進めることにより、技術潮流を見通した研究開発を先導し世界市場の中での競争力を維持・向上していくことである。この認識に基づき、当研究部門の軸足は、橋渡し前期の研究、及び、目的基礎研究に置いた。ただし、製品や製造技術の実用化に向けた個別具体的な問題解決にも一定の-effort を振り分け、この橋渡し後期の研究開発の中で、目的基礎や橋渡し前期の研究の課題設定を研ぎ澄ましていくことを狙った。すなわち、目的基礎研究と橋渡し研究とをリニアモデルの枠組みで捉えるのではなく、両者の間で好循環を回していくことをユニット運営の基本とした。

研究資金に関しては、戦略予算と外部資金（公的資金、企業との共同研究等）を用いて、上記2.の4つの研究項目についての代表的な成果を創出した。領域から配分された重点化課題予算は、これら代表

的成果創出の基盤となる各研究グループの要素技術を磨く共に、シーズ技術を育てるために用いた。

内部資金：

戦略予算／革新的人工知能技術のための超伝導量子計算機開発

戦略予算／ミニマルファブの橋渡し機能強化のためのシステム開発

外部資金：

受託研究／文部科学省／国立大学東京大学／科学技術試験研究委託事業／超伝導転移移端センサが切り拓く革新的原子力基盤計測技術<検出器アレイ多重読出回路の開発>

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／次世代スマートデバイス開発プロジェクト／車載用障害物センシングデバイスの開発

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／エネルギー・環境新技術先導プログラム/ビッグデータ処理を加速・利活用する脳型推論システムの研究開発～新原理デバイス・回路による超高速・低消費電力ハードウェア技術の開発とそのシステム化～

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／エネルギー・環境新技術先導プログラム/高機能暗号を活用した革新的ビッグデータ処理の研究開発

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／超高速・低消費電力ビッグデータ処理を実現・利活用する脳型推論集積システムの研究開発

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／Sensor-to-Cloud Security ～ ビッグデータを守る革新的 IoT セキュリティ基盤技術の研究開発

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／超低消費電力データ収集システムの研究開発

受託研究／国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構／IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／組合せ最適化処理に向けた革新的アニーリングマシンの研究開発

受託研究／JST イノベーション拠点推進部／SIP (戦略

的イノベーション創造プログラム)「革新的構造材料」／微細加工施設及び陽電子施設を中心とした先端計測技術開発と拠点形成

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / 極薄強誘電体膜の形成と機能デバイスの開発

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / テラヘルツ検知用半導体ナノ素材・素子の研究

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / 長期保管メモリの材料設計および評価

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / 超伝導集積化プロセス

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (CREST) / 原子層ヘテロ構造完全制御成長と超低消費電力・3次元集積デバイスの創出

受託研究／JST 戦略研究推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (さきがけ) / 遷移金属内包シリコンクラスターを用いた低消費電力トランジスタ材料・プロセスの創出

受託研究／JST 環境エネルギー研究開発推進部／国立研究開発法人科学技術振興機構／戦略的創造研究推進事業 (先端的低炭素化技術開発) (ALCA) / 微小ジョセフソン接合の開発と超伝導集積回路の高度化

受託研究／JST 産学連携展開部／国立研究開発法人物質・材料研究機構／研究成果展開事業 (先端計測分析技術・機器開発プログラム) / 超伝導検出器を用いた分析電子顕微鏡の開発

文部科学省／科研費／新学術領域研究 (研究領域提案型) / 低コストナノギャップ電極作製手法と単一分子ガスセンサの開発

文部科学省／科研費／基盤研究(A)／超伝導検出器多画

素化と冷却系簡素化を両立するマトリョーシカ型周波数多重読出回路

文部科学省／科研費／基盤研究(A)／多層界面ダイポール変調不揮発メモリの酸化膜界面構造最適化とアナログ動作モデリング

文部科学省／科研費／基盤研究(B)／トポロジカル絶縁体/超伝導体接合におけるスピン流を用いた熱制御デバイスの理論

文部科学省／科研費／基盤研究(B)／革新的な超伝導分子検出技術の開拓と宇宙における分子進化の精密評価への展開

文部科学省／科研費／基盤研究(B)／超低消費電力トランジスタ SOTB における IC チップ偽造防止技術 PUF の有効性検証

文部科学省／科研費／若手研究(A)／金属蒸気触媒 CVD によるグラフェンの絶縁基板上直接合成と高効率 MOS 冷陰極の開発

文部科学省／科研費／若手研究(A)／トンネルトランジスタのトラップエンジニアリングによる新機能素子の創製

文部科学省／科研費／若手研究(A)／単一細胞内タンパク質のイメージング質量分析を実現する撮像型分子検出器

文部科学省／科研費／基盤研究(C)／低温走査トンネル顕微鏡による単ドーパント原子の電界誘起イオン化ダイナミクス観察

文部科学省／科研費／基盤研究(C)／閾値電圧制御による低消費電力 FPGA の設計・評価環境の開発

文部科学省／科研費／基盤研究(C)／Ab-initio study of topological chalcogenide van-der-Waals heterostructures and superlattices

文部科学省／科研費／挑戦的萌芽研究／原子層シリサイド半導体による革新的エレクトロニクス要素技術

文部科学省／科研費／挑戦的萌芽研究／絶縁基板上グラフェイト層間化合物集積化技術の開発とデバイス応用

文部科学省／科研費／若手研究(B)／固体ゲート絶縁体を利用した電界効果による強相関酸化物の電子相制御

文部科学省／科研費／若手研究(B)／固有接合量子メタマテリアルを用いた光制御技術に関する理論研究

文部科学省／科研費／若手研究(B)／高立体角な蛍光 X線計測のための大規模・高密度超伝導アレイ検出器

文部科学省／科研費／若手研究(B)／真贋判定技術 PUF のチップ出荷前の効率的な認証情報取得技術

文部科学省／科研費／若手研究(B)／ナノワイヤにおけるフォノン熱輸送とひずみの関係の原子論的解析

文部科学省／科研費／基盤研究(B)／テラヘルツ対応 CMOS-FinFET を用いた低コストセキュリティ技術の確立

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(S)／熱力学的極限に挑む断熱モード磁束量子プロセッサの研究

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／大規模 SSPD アレイによるシングルフォトンイメージング技術の創出

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／超並列アナログ脳型 LSI に向けたナノ構造メモリ素子とその集積回路化の研究

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／超高感度局在場可視化技術創出による触媒機能発現機構解明と高機能触媒の開発

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／超高感度局在場可視化技術創出による触媒機能発現機構解明と高機能触媒の開発

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(A)／超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(B)／革新的グラフェンフラット電極の開発による単分子デバイスの機能計測

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(B)／300 °C・10 MGy の耐熱耐放射線性能を持つ電子・撮像デバイス用微小電子源の開発

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(C)／最高速 CPU 開発に向けた高品質バルク混晶シリコンゲルマニウム単結晶育成方法の確立

文部科学省／科研費（研究分担者）／挑戦的萌芽研究／テラヘルツ光子計数技術を用いた天文観測手法の開拓

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(B)／変調ドープと結晶粒径極微制御による高移動度・低熱伝導率ナノシリコン熱電材料の創成

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(B)／超伝導光検出器を用いた液体ヘリウム TPC の開発と軽い暗黒物質の探索

文部科学省／科研費（研究分担者）／基盤研究(B)／MEMS 技術を用いた300GHz 帯 FW-TWT の開発

科学技術人材育成費補助金／文部科学省／科学技術・学術政策局 人材政策課人材政策推進室／卓越研究員事業

機関補助金／経済産業省／国立大学法人東北大学未来科学技術共同研究センター／平成27年度戦略的基盤技術高度化支援事業／ナノパーティクルデポジション法で形成する微細金コーンバンプを使った微細ピッチ低温バンプ接合技術の実用化研究開発

機関補助金／経済産業省／学校法人 立命館／平成26年戦略的基盤技術高度化支援事業／高度 IT 融合社会の安全・安心を支える次世代自動車用セキュリティ・ゲートウェイ・ECU の開発

機関補助金／経済産業省／一般社団法人 研究産業・産業技術振興協会／平成28年度戦略的基盤技術高度化支援事業／マスクレス超低損傷加工を実現するミニマル・バイオテンプレート形成装置とミニマル中性粒子ビームエッチング装置の開発

機関補助金／経済産業省／よこはまティーエルオー株式会社／平成28年度戦略的基盤技術高度化支援事業／微細パターンの基板に対応した真空差圧式レジスト剥離、エッチング装置の開発

受託／三菱総合研究所／平成28年度省エネルギー等国際標準開発／酸化物デバイスと電極界面の電気的特性評価方法に関する国際標準化

受託／JSPS 二国間交流事業 共同研究セミナー／ゲルマニウムスズ系薄膜のキャリア・熱輸送特性の最適化と高性能トランジスタ応用

発表：誌上发表197件、口頭発表350件、その他15件

ナノ CMOS 集積グループ
(Nano-CMOS Integration Group)

研究グループ長：松川 貴

(つくば中央第2)

概要：

IoT や AI など今後さらに発展する IT 技術は、ハードウェアの面でシリコン集積回路の進化に支えられている。当グループはシリコン集積回路・ハードウェアのさらなる高性能化・低消費電力化を推し進めるための基盤技術を開発し、我が国の IT 社会と半導体関連産業に貢献することを目指している。近年では半導体の単純な寸法縮小では集積回路・ハードウェア性能向上が困難になってきている。この様な背景の中、産総研発の立体チャネルデバイスである FinFET 技術の高度化を引き続き進めつつ、MOSFET の限界を超える省電力性を有する新原理トランジスタ、新規回路・ハードウェア技術の研究開発を行っている。上記研究開発においては、ナノエレクトロニクス研究部門で管理するナノ棟 CMOS 試作設備を活用し、新規デバイス・回路の試作、評価を行っている。また、上記研究開発によるシーズ技術を元に、産学との積極的な連携を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

新材料デバイス集積グループ

(Advanced Materials and Devices Integration Group)

研究グループ長：遠藤 和彦

(つくば中央第2)

概要：

情報イノベーションで日々増大する大容量データを効率的に処理するには、半導体集積回路の集積度や性能を更に向上させる必要がある。これまでは、スケールリングと呼ばれる半導体集積回路の微細化によりその性能が向上し、飛躍的な情報処理技術の発展に寄与していた。しかしながら、半導体集積回路の微細化が、近年はいよいよその物理的限界に近付きつつあり、微細化による性能向上に限界が見え始めている。そこで本研究グループは、微細化に頼らない集積回路高性能化のために、ポストシリコン材料と呼ばれるシリコンを凌駕する特性を持つ半導体材料の導入を積極的に進め、主として下記の研究課題を進めている。(1) 化合物半導体や、ゲルマニウム、遷移金属ダイカルコゲナイド等の高移動度チャネルを用いた高性能トランジスタ技術、(2) 上記異種材料のシリコンウエハー上への集積化技術、(3) 複数の異種材料トランジスタ層をシリコンウエハー上に3次元に積層化するための基盤技術、(3) 磁性やスピンを利用した新構造メモリや新原理トランジスタ (4) 負性容量をゲートスタ

ックに持つ新規トランジスタや、ゲートスタックの信頼性評価

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3、テーマ題目6

3D 集積システムグループ

(3D Integration System Group)

研究グループ長：菊地 克弥

(つくば中央第1本部・情報棟)

概 要：

3次元 LSI 集積技術を活用した超並列バス・ヘテロジニアスアーキテクチャの採用による超低消費電力 LSI 集積システムの研究開発に取り組む。平成28年度は、車載用センシングデバイスの3次元 LSI 集積実装システムの設計・プロセス技術・プロセス評価技術に関する研究開発を進めた。特に、3次元 LSI 積層構造の構築に向けて、シリコン貫通電極(TSV)技術において、熱応力の解析技術及びその評価技術の構築を含め、3次元積層構造の高信頼性に向けた研究開発を進めた。また、3次元 LSI 積層構造における高精度フリップチップ接続技術の実現に向けて高密度バンパ接続プロセス技術の研究開発を進めた。また、3次元 LSI 集積技術において、シグナルインテグリティ (SI)・パワーインテグリティ (PI) に向けて、電源安定化技術の研究開発を進めた。

エレクトロインフォマティクスグループ

(Electroinformatics Group)

研究グループ長：小池 帆平

(つくば中央第2)

概 要：

当グループでは、ナノエレクトロニクス技術の提供するシーズと情報処理技術からのニーズとを垂直統合的に分野融合させ、新たな電子情報技術の創出することを目指して以下の研究を進めている。(1)新型デバイス向け回路シミュレーション技術の開発：新型デバイスを応用した回路/システム技術の研究開発に必須となる回路シミュレーション技術を開発する。(2)FlexPowerFPGA の開発：新型デバイスの応用例として、しきい値電圧をプログラム可能な超低消費電力 FPGA である FlexPowerFPGA および関連技術を開発する。(3)新型デバイス回路応用技術等の研究：エレクトロニクス技術の提供するシーズと情報処理技術からのニーズとを一元的に融合させた、新たな付加価値を生む情報システム技術について、デバイスの特性を巧みに利用した新しい回路技術に重点を置きつつ、新たな応用技術の模索、関連技術の調査、基本特許の出願、論文発表、新規プロジェクトの提案を行なう。(4)次世代 Technology CAD の開発：物理モデルの搭載が容易で、大規模並列計算可能な、幅広い次世代デバイス開発に貢献する TCAD を開発する。(5)IC チッ

プの偽造防止および認証手法の開発：IC チップの偽造防止技術である Physically Unclonable Function (PUF) の開発を行なう。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3、テーマ題目7

ミニマルシステムグループ

(Minimal System Group)

研究グループ長：原 史朗

(つくば中央第2)

概 要：

低コスト集積回路製造の究極の姿は、ルームサイズのファクトリーである。それぞれの製造装置は1フィート立方 程度の大きさとなる。この新しい産業システム構築構想を「ミニマルファブ構想」と名付け、2010年1月にファブシステム研究会（設立時：企業16社2大学、本報告執筆時点：118社13大学4特許事務所6公的機関）を立ち上げ、構想実現のための技術開発を進めている。ミニマルファブは、現行300 mm ウェハと比較しておおよそ面積が1/1,000のハーフィンチ ウェハ（正確には直径12.5 mm）を用いることで、装置サイズを幅30 cm まで縮小し、これによって設備投資額も1/1,000の5億円程度まで抑える最小単位の半導体デバイス生産システムである。

研究会企業、そして2012年に設立したミニマルファブ技術研究組合とともに産総研を中核としてミニマルファブの開発を進めている。本グループのミッションは、その開発全体を統括し開発をリードすること、ミニマルファブの共通コア技術であるウェハ搬送系の開発を行うこと、ミニマルファブに関する様々な要素の仕様決定を推進すること、開発装置群を用いたデバイスを試作することなどである。本年度は、開発した前工程装置群を用いて、実用 CMOS を目指した要素技術開発を行い、また、開発したパッケージング装置群を用いて、ハーフィンチウェハをそのままパッケージングする独自のパッケージを開発した。今後、さらに、これらミニマル装置群の実用化へ向けた改良と他のミニマルプロセス装置群の実用化開発を進めて行く。

研究テーマ：テーマ題目2

カスタムデバイスグループ

(Custom Device Group)

研究グループ長：長尾 昌善

(つくば中央第2)

概 要：

我々は、社会や市場の多様なニーズに応える新機能・集積デバイス技術を提供することをめざして、多様で特徴のあるデバイスの基盤技術・プロセス技術を開発することを目標としている。特に多様化が求められるセンサーデバイスやメモリデバイスなどへの応用が可能な、産総研独自の基盤要素技術の開発に注力す

るとともに、各デバイス開発の共通基盤インフラとなるミニマル装置群と既存ファブのハイブリッドプロセスの開発を進めている。産総研独自の基盤技術開発として、以下の課題を推進している。不揮発メモリへの応用が有望な強誘電体トランジスタのデバイス構造やプロセスの最適化。耐放射線撮像素子や大電力高周波デバイスなど半導体では実現できないデバイス応用が可能な産総研独自のフィールドエミッタ技術の開発。多様なセンサへの展開が期待できる、CMOS-MEMS融合デバイスの開発。また、絶縁基板上へダイレクトにグラフェンを成膜できる技術を活用して、ガス中や溶液中で動作する新規なMOS型電子源の開発や、透明導電膜への応用を目指している。以上のデバイス技術開発に加え、デバイス開発を下支えする計測技術として、走査プローブ顕微鏡を用いた不純物分布の計測・評価技術にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目4

超伝導計測信号処理グループ

(Superconducting Sensors and Circuits Group)

研究グループ長：山森 弘毅

(つくば中央第2)

概要：

科学技術・産業技術に関わるあらゆる分野で重要性が認識される計測と、その信頼性を保証する計量標準の発展に資するため、半導体や磁性体等、他の素材では実現不可能な高精度計測・低雑音計測を実現する超伝導デバイス、およびそれを中核とする計測器を開発し、産業発展に不可欠な基盤技術と分析評価技術や、国民の健康や安全・安心な生活に資する技術の拡充を目指した研究を行っている。また、量子力学原理を用いて最適化問題を高速に解く量子アニーリングは、現在の主流であるノイマン型コンピュータの欠点を補完する計算手法として近年注目を集めており、超伝導デバイスに基づく量子アニーリングの研究開発に着手する。標記をはじめとした広汎な応用において、日本の超伝導エレクトロニクス研究の土台を支えるため、共同研究機関に頒布できる良好な特性と制御性・再現性に富むニオブ(Nb)・窒化ニオブ(NbN)ベースの超伝導デバイス・集積回路をCRAVITY(Clean Room for Analog digital superconductivity)で作製するための技術の維持・発展に必要な研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目5

超伝導分光エレクトロニクスグループ

(Superconducting Spectronics Group)

研究グループ長：浮辺 雅宏

(つくば中央第2)

概要：

超伝導エレクトロニクスを利用して、従来技術の限界を超える分光、計算性能を実現する。このために、ナノテクノロジー微細加工技術と超伝導理論の双方を活用したアレイセンシングデバイスの開発とそれを活用した先端計測分析機器や、非ノイマン型情報処理のための革新的コンピューティングデバイスの開発を押し進め、計測分析機器のユーザーへの公開や、情報処理能力の飛躍的向上の実現による社会貢献をなすことをミッションとする。具体的には、軽元素ドーパント等の分析を可能にする軟X線蛍光収量X線吸収分光では、放射光ビームラインに設置した分析ステーションにて、SIP等の国プロ、企業等からのニーズに対して有効性をアピールする他、SEMベースの蛍光X線分析システムの開発やセンシングデバイスが検出可能なX線エネルギーの拡大にも努める他、国内外の放射光施設等への超伝導軟X線検出器の新規導入を推進する。質量分析では、新原理に基づく粒子検出器の性能向上、複数のイオン化手法の採用等による性能向上を図るとともに、フェージ等の分析へと展開する。量子計算機では、開発する量子演算チップの基本演算性能を検証し、将来の量子アニーリング機械実現への道筋を作る。また、運営する超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設(CRAVITY)では、商用も含めた超伝導デバイスの外部供給を実現する。

研究テーマ：テーマ題目5

エマージングデバイスグループ

(Emerging Device Group)

研究グループ長：秋永 広幸

(つくば中央第5)

概要：

「新しい研究分野あるいは研究概念を創造し、将来のナノエレクトロニクス技術の発展方向を明確な科学的根拠を以て社会に提示すること」、「研究及び開発の成果を社会に実装する駆動力となること」が本研究グループの長期目標である。機能性酸化物を主たる研究対象とし、それらの物質をナノ構造化、あるいは異種材料の界面を原子レベルで精密に接合することによって、合目的的に設計されたデバイス機能の発現と制御を可能としたナノデバイスの開発成功例を積み上げていくことを本グループの活動指針としている。具体的には、不揮発性メモリ、非ノイマン型情報処理用デバイス・回路等の研究開発を推進している。また、目標達成に向けて、「新機能・高機能」、「省エネ・省資源」、そして「高生産性・低コスト」の3つの性能指標を相反させないこと、「材料」、「デバイス」、「回路」、「アーキテクチャ」、「システム」の5つのレイヤーにおける研究開発を連携・最適化することをガイドラインとしている。さらに、研究開発成果の社会実装を効率的に推進するため、開発技術のオープンプラットフォーム

ム化と国際標準化を実施している。

システマティックマテリアルズデザイングループ

(Systematic Materials Design Group)

研究グループ長：宮田 典幸

(つくば中央第5)

概要：

情報通信機器に組み込むハードウェアの性能向上や新機能追加等を目的として、従来とは異なる半導体材料や新原理デバイスの研究開発が進められている。その中でも、当グループが主体となって進めているカルコゲン化合物超格子をベースとした不揮発性メモリは、従来の結晶・アモルファス相転移によるメモリに比べて格段にエネルギー効率や信頼性が向上することが知られており、将来の大規模データ処理・管理に向けたメモリ技術として期待されている。本年度は、企業が進める超格子メモリの実用化研究に参加し、GeTe/Sb₂Te₃系超格子の成膜技術および材料設計で貢献した。カルコゲン化合物超格子は、トポロジカル絶縁体とよばれる新しい量子物理現象を発現する材料でもあり、当グループでは、トポ特性と相転移を組み合わせた独自のマルチフェロイックデバイスや室温動作が可能なテラヘルツ検出器の研究も進めている。また、SiGeSn 半導体材料や酸化物超格子などの新しい電子デバイス材料の研究開発に力を入れるとともに、それらの材料研究では、走査顕微鏡やラマン分光法などの分析技術および第一原理計算による材料設計を積極的に活用している。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5

【テーマ題目1】IoT時代に求められるCMOS集積回路の極低消費電力化

【研究代表者】松川 貴 (ナノCMOS集積グループ)

【研究担当者】松川 貴、小池 帆平、森田 行則、
右田 真司、森 貴洋、大内 真一、
更田 裕司、日置 雅和、片下 敏宏、
大塚 慎太郎 (常勤職員9名、他1名)

【研究内容】

防災、医療・福祉、防犯、セキュリティ分野等におけるIoTセンサーノードには、多種多様なアプリに適合するFPGA、バッテリーレス環境発電による微弱な電力で動作する極低消費電力LSIが有効である。本研究課題では、産総研固有技術であるFlex Power FPGA、低リークFinFET、トンネルFET高性能化技術をベースとして、IoTセンサーノードの低消費電力化を図ることを目的とする。この目的のために、ボード・集積回路・デバイス・プロセスの横断的開発を3項目にわたり推進した。項目1として、産総研オリジナルのFlex Power FPGAの詳細評価ボードの開発を通じてIoTエッジデバイスとしての省電力性評価・実証を行った。項

目2として、微弱な環境発電(ハーベスタ)出力を集積回路が動作する電圧に高効率で昇圧する回路を開発した。本年度は新規に試作した回路の詳細な評価、知財取得と、さらに効率を向上させる回路の検討を行った。項目3では、極低消費電力CMOSプラットフォーム技術としてFinFETの低リーク化のためのダメージレスドーピング技術の開発を進め、またトンネルFETについては100%Geヘテロ成長技術の確立とトンネル確率向上を実現した。

・項目1：Flex Power FPGAのIoTエッジデバイス適用下の省電力実証

Flex Power FPGA (FP2GA) の評価ボードを新規に製作し、詳細評価の為に測定環境の構築が完了している。FP2GAへの供給電源・各種設定電圧11系統、供給クロックの自動制御、FP2GAの機能設定、動作データ収集を自動的に行うことにより、高度な回路動作時の動作信頼性(出力ベクタのビット誤り率)をモニタしつつ、消費電力と電源など各種設定電圧、クロック速度の関係を評価することが可能となった。今後、暗号化回路といったこれまで評価していなかったIoTエッジ向けの現実的な動作条件で詳細なデータの取得と省電力性能の評価を進める予定である。

・項目2：ハーベスタ用高効率電源回路の開発・評価

平成27年度末に試作が完了したハーベスタ電源回路の評価を進めた。この回路は、熱電発電や室内光での発電による0.1V程度の電圧をシステムLSI動作に必要な電圧(~1V)に変換するものである。新規考案・試作回路では、昇圧動作完了後にリークの多い0.1V動作発振回路を遮断する等の工夫により、従来技術に比べ1桁程度電力変換効率を改善する測定結果を得た。また、本技術に関して特許出願、論文化を行った。

・項目3：極低消費電力CMOSプラットフォーム技術FinFET低リーク化に関しては、化学メーカーとの連携により、通常のイオン注入とは異なりfinに結晶欠陥が生じない固相拡散ドーピング技術を確立した。トンネルFETにおいては、世界で初めてCMOSリングオシレータ動作実証を行い、トラップ(IET)技術による動作速度改善を併せて実証した。本成果は国際会議IEDM2016に採択・発表を行い、併せて産総研・NEDOと合同プレスリリース('16/12/5)を行った。さらに将来の性能向上の決め手となるGe/Siヘテロ構造を量産工程化が容易なスパッタ法で実現した。

【領域名】エレクトロニクス・製造領域

【キーワード】CMOS、集積回路、FinFET、トンネルFET、FPGA、環境発電、IoT

【テーマ題目2】原子層エレクトロニクスの創成のための革新デバイス・材料開発

【研究代表者】遠藤 和彦 (新材料デバイス集積グループ)

〔研究担当者〕 遠藤 和彦、水林 亘、入沢 寿史、
森 貴洋、安藤 淳、齊藤 雄太、
ポールフォンス、寒川 誠二
(常勤職員8名)

〔研究内容〕

近年、原子層材料を用いたエレクトロニクスの創生が注目されている。特に原子層カルコゲナイドを利用した、新規チャンネルデバイス、光デバイス、縦・横型ヘテロ接合 TFET、バレートロンクス素子等の革新デバイスが期待されているが、実用化には、大面積高品質成長技術と加工技術の確立が鍵である。本研究では、原子層堆積法 (ALD) やスパッタリングによる薄膜成長技術、ダメージレス加工技術を開発するとともに、計算による物性予測フィードバックを行い、高移動度、電子スピンや k 空間におけるバレー自由度等を利用した次世代革新デバイスの創生を目指すことを目標とした。ALD 薄膜成長技術としては H_2S とガスソースを用いた ALD 装置の整備を行い、平行して既存固体ソース CVD にて MoS_2 成膜条件の予備調査を行った。諸条件と膜質との関係を調査し、S 雰囲気中熱処理で組成がバルク結晶並みに改善することを見出した。また、計算による物性予測として、 $MoTe_2$ 材料の新規相転移機構をシミュレーション予測し、電子励起により半導体 (2H 状態) から金属 (1T 状態) に相転移可能であることを明らかにした。本機構で表面を金属状態に相転移させるハイブリッド化により、低抵抗コンタクト形成の可能性を見出した。ダメージレス加工技術に関しては、中性粒子ビーム装置を立ち上げ、Ge 半導体への適用を進めた。カルコゲナイド材料への適用に関しては、装置へのメタル材料導入に備えた準備を進め、実験着手する予定である。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造領域

〔キーワード〕 原子層カルコゲナイド、薄膜成長

〔テーマ題目3〕 Impulse TCAD の実用化に向けた研究開発

〔研究代表者〕 福田 浩一 (エレクトロインフォマティクスグループ)

〔研究担当者〕 福田 浩一、服部 淳一、浅井 栄大、
酒井 滋樹、高橋 光恵、池上 努 (情報技術研究部門) (常勤職員6名)

〔研究内容〕

次世代の半導体デバイスを設計するためのデバイスシミュレータ Impulse TCAD を開発してきたが、昨年度までに基本的な半導体デバイスの解析が可能なレベルに達した。今年度は実用化に向けて各種半導体デバイスの解析を実施し、応用例として蓄積した。このような例として、研究ユニット内で研究している、フィン型トランジスタや、有機半導体薄膜トランジスタの計算を可能にした。中でも新しい動作原理の負性容量トランジスタについては、世界に先駆けてそのシミュレーションを可能

にし、微細化に強いデバイスとしての特徴を初めて解明、学会で注目された。負性容量トランジスタについてはさらに新しい知見を得るため、継続して検討する予定である。これらの応用に対応するために必要な物理モデルとして、例えば有機半導体の移動度モデル、負性容量トランジスタの強誘電体モデル、などを新たにシミュレータに組み込み、応用範囲の拡大を図った。これらの物理モデルの組み込みにおいて、Impulse TCAD の特徴である自動微分の機能が効果を発揮し、短期間で新しい物理モデルの追加が可能であることを実証した。今後の新材料・新動作原理の半導体デバイスでは、この自動微分が大きな威力を発揮すると期待できる。強誘電体トランジスタについては、回路シミュレーションに用いる素子動作モデルを世界で初めて開発し、回路応用上の検討を可能にした。デバイスシミュレーションはこのような素子動作モデルにつなげることで、回路応用の検討を可能にすることも重要な役割である。実用化に向けて進展する Impulse TCAD をクラウド計算機上でサービスとして提供するための検討も実施し、AIST SUPER Green Cloud (ASGC) 上での動作も確認した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造領域、情報・人間工学領域

〔キーワード〕 半導体デバイスシミュレーション、トネルトランジスタ、強誘電体トランジスタ、負性容量トランジスタ、有機半導体、薄膜トランジスタ、自動微分

〔テーマ題目4〕 ミニマル装置を活用したデバイス作製レシピの整備

〔研究代表者〕 長尾 昌善 (カスタムデバイスグループ)

〔研究担当者〕 長尾 昌善、柳 永勲、安藤 淳、
村上 勝久、原 史朗、
クンプアン ソマワ、辰巳 憲之、
(常勤職員6名、他1名)

〔研究内容〕

社会的な必要性がありながら数が出ず量産に向かないために実用化されないデバイスや、魅力的な技術でありながら大口径化が難しいために実用化が遅れる技術が存在する。ミニマルファブは少量多品種に最適な生産システムであり、ミニマルファブを活用すればそれらを早期に実用化でき、社会課題解決・新産業の創出につながる可能性がある。そのようなデバイスの例として、耐放射線 FEA 撮像素子やナノ材料デバイス、新提案デバイスなどが該当する。本研究課題では、ミニマルファブを活用してそれらのデバイス作製レシピを整備することで、それらのデバイスの早期実用化の道を開くことを目標とした。本年度は次の2つのテーマを並行して行った。①耐放射線撮像デバイスや、次世代の電子ビームリソグラフィなどを実現する電子源関連プロセスレシピの開発、②従来にない新機能デバイスを実現する CMOS-MEMS

集積化技術の開発、の二つである。①電子源関連レシピの開発においては、ミナマルリソグラフィの最小解像度 ($0.5 \mu\text{m}$) でのパターンニングレシピを開発し、 $0.5 \mu\text{m}$ の電子源を試作可能とした。この技術を使って 300×200 画素の撮像素子用マトリクスフィールドエミッタアレイ (FEA) を試作した。今後、これを耐放射線撮像素子に展開する。さらに、グラフェンを使った高効率平面 MOS 型電子源作製をミナマルファブで実現するレシピ開発を行った。その結果、FEA が動作しないような低真空 (10 Pa) でグラフェン MOS 型電子源が安定に電子放出することを実証した。また、従来の金属を使った MOS 型電子源に比べて、電子放出効率が100倍程度に向上する実験データを得た。②CMOS-MEMS 集積化技術の開発においては、ミナマル深掘りエッチング装置を活用し、Si ダイアフラム構造を試作した。また、そのダイアフラム上に、昨年度開発した TiN ゲート CMOS トランジスタを集積するプロセスレシピを開発した。この技術を使って、ダイアフラムのたわみに応じてシリコンの応力が変化し、その応力変化により CMOS リングオシレーターの発信周波数が変わることを利用した新型圧力センサを試作し、ある程度の動作を確認した。こららの成果に加え、①で開発した FEA 技術と②ので開発した深掘り技術を融合し、超小型人工衛星などの姿勢制御を司る超小型のイオンエンジンをミナマルウエハ上試作するプロセスレシピの開発を始めたところである。

本研究によって、ミナマルファブはターンアラウンドタイムを大幅に短縮でき、研究開発を加速することができる有用なシステムであることが実証できた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造領域

【キーワード】ミナマルファブ、トランジスタ、撮像素子

【テーマ題目5】超伝導検出器の応用拡大に求められる大規模アレイ化技術

【研究代表者】神代 暁 (超伝導計測信号処理グループ)

【研究担当者】神代 暁、浮辺 雅宏、川畑 史郎、志岐 成友、藤井 剛、平山 文紀、山森 弘毅、佐藤 昭、日高 睦夫、永沢 秀一 (常勤職員10名)

【研究内容】

超伝導検出器は、エネルギー粒子や、ミリ波～ガンマ線の9桁にも渡る波長域の電磁波に対し、半導体等の既存検出器に比べ遥かに優れた低雑音性、高量子効率、高速性、高いエネルギー分解能等の特長を持つ。X線分析、生体磁界計測、秘匿危険物検知等の広範な分野での「橋渡し」実現のためには、超伝導検出器に高計数率や短時間イメージング機能を付加する多画素化が鍵となる。本課題では、多画素化と普及上重要な小型検出器システムの両立に必要な二大課題、すなわち、1. 画素間の検出

特性の均一化 2. 多画素化に伴う極低温-室温間の読出配線数・流入熱の増大の抑制と、システムの体積・消費電力を支配する極低温冷却系の小型化を実現する、極低温下の多重読出回路開発を遂行する。そして、最終(2016)年度に、課題1、2の成果を統合し、数個の検出器と読出回路から成るプロトタイプを開発し、X線分光の実証を目指す。

【2016年度の各課題の目標】

1. 検出器技術：①低雑音性と素子パラメータの再現性・制御性・均一性が高い成膜・加工技術 および、②不均一要因となるバイアス電流による検出器への磁界印加を低減、バイアス線のチップ上占有面積を削減する配線技術を開発する。本研究では、①に関し、材料に依存する固有の厚みに比べ薄い二種以上の超伝導膜、もしくは超伝導膜と常伝導金属膜から成る積層膜の特性を、各々の膜の厚みにより制御できる超伝導近接効果を利用した検出器作製技術を指向する。②に関し、検出素子の下に配線を埋め込むとともに、往復バイアス電流の作る磁界低減に有効なバイアス配線のレイアウトを持つ検出素子を試作・評価する。2015年度に、①に関し、積層に必要となる良好な特性の超薄膜を制御性・再現性良く成膜する技術として有望な原子層堆積 (Atomic Layer Deposition; ALD) 法を採用し、超伝導膜の物性評価に着手した。②に関し、三次元 (3D) 超伝導配線を施した超伝導トンネル接合素子アレイを試作した。2016年度は、これら試作素子の特性を評価し、均一性向上に関する指針を得る。
2. 読出回路技術：信号対雑音比が、1本の読出線上への多重画素数 N の増大に伴い低下せず、また、他の多重方式に比べ N の飛躍的増大の可能性を持つマイクロ波帯周波数多重方式を採り上げる。本方式の N が、極低温下の高電子移動度トランジスタ増幅器の帯域に比べ1桁狭帯域である室温信号処理系の帯域で制約されている現状を打破するため、複数の室温信号処理系の信号を1本の極低温-室温間の信号線に束ねることで、極低温エレクトロニクスの持つ広帯域性を充分活かした N の大きなマイクロ波帯多重読出の基盤技術開発を目的とする。2016年度は、2015年度開発した第1系統の室温信号処理回路で得られた知見を基に第2系統の室温信号処理回路を開発し、双方を併せた標記実験に着手する。また、第1系統をベースとする読出回路の雑音、応答速度、ダイナミックレンジの評価法を確立し、高い性能・再現性・制御性を持つ読出回路用材料・成膜法・成膜条件を見出す。

【2016年度の各課題の進捗】

1. 検出器技術：ALD 法で成膜した 50 nm 厚 NbN 膜で ALD として最高の超伝導転移温度 12.9 K を得た。また、有感部下部へのバイアス用 Nb 配線埋め込み技

術を適用、EDS用100画素 Nb/Al STJアレイ軟X線検出器を作製、4.1 eV@400 eV というこれまでで最良のエネルギー分解能を実現した。更に、同アレイ検出器をSEMと組み合わせ、エネルギー分散分光装置(SC-SEM)を実現、耐熱鋼等の実材料の解析を行った。

2. 読出回路技術：2系統の室温回路から成る読出回路システムを構築し、基本動作を実証した。その結果、従来の1系統動作時と変わらないクロストーク量を得た。また、2種の電極材料(Nb, NbN)、2種の基板誘電体材料(Si, Al₂O₃)の組合せによる4種類の共振器を高周波スパッタ法により施策し、0.1 Kでの無負荷Q値(Q₀)のマイクロ波パワー(P_{Res})依存性を調べた。その結果、P_{Res}増大に対し、NbはQ₀<2×10⁵に飽和するが、NbNはQ₀≥3×10⁵となり目標を達成した。Q₀と位相雑音実測値から、読出回路完全動作時の入力換算雑音電流を計算、従来型読出回路と同等の性能が得られることを示した。
3. 検出器と読出回路の協調動作：放射線源からのγ線を照射した単画素の熱型検出器と読出回路の0.1Kでの協調動作を実証、γ線光子検出に基づくパルス波形を取得した。従来型読出回路に遜色なくγ線光子計数分光に充分な応答速度を得た。また、当初2で見積もった値より12倍悪かった雑音に関し、P_{Res}最適化による1/4倍化に成功した。残りファクタ3の原因と対策、および複数画素への拡張実験は、次年度へ繰り越す。

【領域名】エレクトロニクス・製造領域

【キーワード】超伝導検出器、多重読出回路、超伝導近接効果、スパッタ法、原子層堆積(Atomic Layer Deposition)法、マイクロ波共振器、三次元(3D)配線、配線埋め込み技術

【テーマ題目6】オプトエレクトロニクスのためのSiGeSn半導体形成技術

【研究代表者】内田 紀行(システムティックマテリアルズデザイングループ)

【研究担当者】内田 紀行、前田 辰郎、大内 真一、入沢 寿史、Chang Wen Hsin、Pobortchi Vladimir(常勤職員4名、他2名)

【研究内容】

半導体チップ間の光通信のために、Siフォトリソを用いた光I/Oが開発されている。その核になるゲルマニウム(Ge)のフォトダイオード(PD)は、光通信波長のマルチ化への対応が課題である。本研究では、Geにシリコン(Si)と錫(Sn)を混ぜることで、SiGeSn合金薄膜を作製し、SiGeSnのバンドギャップ変調を用い、波長マルチ化に対応したPDを開発する。さらに、このPDと3次元積層したGe系トランジスタによる信

号増幅機能等と融合したオプトエレクトロニクスデバイスを開発することを目指す。

これまでの研究を踏まえて、本課題での主な研究開発項目は、(1) SiGeSn半導体成長のためのSn析出を抑えた新しい成膜プロセス開発、(2) SiGeSn半導体の物性評価、(3) SiGeSn半導体による新規プロセスおよび素子の開発の3つに集約した。(1)では、SiH₄、GeH₄、SnCl₄を使ったSiGeSn前駆体の第一原理計算シミュレーションを行い、Snの析出を抑制するプロセスの検証し、成膜装置によるSiGeSn前駆体を用いたSnの高濃度化や、低温成膜プロセスのコンセプト実証を行う。(2)では、(1)で成膜したSiGeSn膜の、Hall効果測定による移動度評価、フォトルミネッセンス測定等光学特性評価によるバンドギャップ変調や直接遷移化の実証、エッチング選択制御等半導体デバイス応用のための、プロセス加工性能評価、Ge系のデバイス設計に欠かせない熱輸送特性評価を行う。(3)では、産総研のスーパークリーンルーム(SCR)やナノプロセス施設(NPF)の半導体プロセス装置を用いた、SiGeSn薄膜PDの開発、3次元Ge系トランジスタによる信号処理機能等との融合によるオプトエレクトロニクスデバイスの開発を行う。

今年度は、SiGeSn半導体成長のためのSn析出を抑えた新しい成膜プロセス開発において、第一原理計算シミュレーションにより、GeH₄とSnCl₄の気相反応で前駆体の形成が示唆されたため、それを参考に、成膜コンセプト実証装置で、液体からガス化したSnCl₄とGeH₄の反応で前駆体形成とGeSn膜の堆積を行った。また、本研究成果をSCRに整備される、SiGe-CVD装置に導入すべく、実証装置で用いたSnCl₄供給システムの設計を行った。

また、SiGeSn半導体の物性評価では、SiGeSn膜の熱処理条件や評価手法を予め検討すべく、分子ビーム堆積法や、スパッタ法を用いて作製したGeSn膜を用いた評価を行った。その結果、Snの析出機構を解明することで(J. Appl. Phys. **120**, 245304-1-9 (2016))、Snの析出を抑えGeSnを形成するための熱処理条件の確立し、多結晶膜GeSn膜の正孔移動度の向上(32 cm²/Vsから42 cm²/Vs)に成功した(SSDM2016 Late News)。また、Raman散乱測定を用いたGeSn結晶性評価、及び、Sn濃度計測手法の確立、熱輸送特性評価技術を確立した。

さらに、SiGeSn半導体による新規プロセスおよび素子の開発においては、SiGeSnを用いたPD試作のために、SCR、NPFの共用設備を用いたプロセスを確立すべく、低抵抗コンタクトの形成等、要素プロセスの開発を行った。3次元積層したGe系トランジスタに関しては、3次元化をにらんで、シミュレーションによるデバイス内の熱輸送マネジメントを強化すべく、Technology CADチームとの連携し、具体的なデバイス

構造における実測の熱輸送特性をシミュレーションのパラメータとして取り込むことに成功した。(SISC2016で発表)

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造領域

〔キーワード〕 オプトエレクトロニクス、直接遷移半導体、フォトダイオード、トランジスタ

〔テーマ題目7〕 IC チップの「指紋」を手軽に試用できる USB ドングル基板の試作

〔研究代表者〕 堀 洋平 (エレクトロインフォマティクスグループ)

〔研究担当者〕 堀 洋平、片下 敏宏 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

様々な電子機器のセキュリティ機能のトラスト・アンカー (信頼点) となる Physically Unclonable Function (PUF) を手軽に試用できるよう、USB ドングル型の PUF 搭載基板およびそれを用いた認証デモシステムを開発する。

近年、IoT セキュリティのキーテクノロジーとして IC の“指紋”と呼ばれる PUF が注目されている。PUF はデバイスのばらつきを利用してチップ固有情報を生成する機構である。ばらつきは複製できないため、たとえ同一の設計データを用いても同一の入出力特性を持つ PUF を複製することは不可能である。ゆえに PUF は複製不可能な究極のトラスト・アンカーであり、様々な製品の真贋判定や主体認証、および暗号機能における鍵生成等に利用できると期待されている。PUF は不揮発性メモリと異なり秘密情報を格納せず、動作する特定の瞬間のみ秘密情報が存在するため、高額な顕微鏡を用いた侵襲攻撃等に対しても安全であると考えられている。また、不揮発性メモリを搭載できない半導体プロセスにおいても、安全に秘密情報を生成・共有する手段を提供することができる。現在、国際標準化団体 ISO/IEC において PUF の国際標準化が進められており (ISO/IEC 20897)、今後 PUF は様々な製品のセキュリティ機能を実現するために搭載されると考えられる。

産総研には研究用 PUF チップや解析ツール等の知財が豊富に存在するものの、企業や大学等に手軽に試用してもらうことができないという問題があった。そこで本研究テーマでは、産総研が開発した研究用 PUF チップを搭載した USB ドングル基板を作製するとともに、PUF の認証を行うためのプログラム群を開発し、ユーザが実験環境の構築や利用プログラムの開発を行うことなく手軽に PUF を試用できシステムを構築する。平成28年度は、PUF チップを搭載した USB ドングル基板20枚の作製および PUF 認証デモシステムの構築を完了した。搭載した PUF チップは、超低消費電力トランジスタ Silicon-On-Thin-Buried Oxide (SOTB) (65 nm) を用いて作製された。当該 PUF チップには、産総研独自の Pseudo Linear Shift Feedback Shift

Register PUF (PL-PUF) をはじめ、Arbiter PUF, Buskeeper PUF といったベンチマークに用いられる典型的な回路が搭載されている。このほか、基板には PUF チップ制御および通信制御用に FPGA が1個搭載されており、この FPGA 上に暗号化回路や認証回路等を実装したハードウェアシステムを構築することも可能である。PUF 認証デモプログラムは、PUF の入出力データベース (PostgreSQL)、データベース管理プログラム (C#)、PUF 制御プログラム (C#)、および誤り訂正機能を含む認証プログラム (C#) から構成される。これら PUF 認証プログラムを搭載し USB ドングル基板を接続した Windows PC デモシステムにおいて、PUF チップが正しく認証されること、および他の PUF チップに成りすますことができないことを確認した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造領域

〔キーワード〕 PUF、ハードウェアセキュリティ、模倣品対策、認証、暗号鍵生成

〔テーマ題目8〕 高電力効率大規模データ処理の将来像とビジネス化戦略に関する調査 (領域プロジェクト)

〔研究担当者〕 安田 哲二、遠藤 和彦、前田 辰郎、大内 真一、森 雅彦、並木 周、田中 良夫、高野 了成 (常勤職員8名)

〔研究内容〕

指数関数的増加を続ける大規模データを利活用するためにはデータ集中処理の電力効率を大幅に改善する非連続的な技術革新が必要となる。この問題意識から、旧情報通信・エレクトロニクス分野では平成25年度から3年間で産総研 STAR 事業「高電力効率大規模データ処理イニシアチブ」(IMPULSE プロジェクト)を実施し、2030年のデータセンターの将来像を所内研究者の知見を集めて描き、産総研が強みを有する要素技術 (不揮発メモリ、高性能ロジック、光ネットワーク、計算機アーキテクチャ) に着目した先導的な研究開発を進めた。プロジェクト成果の報告会を、平成28年6月に産総研 STAR シンポジウムとしてコクヨホールにて開催した。

IMPULSE プロジェクトが構想したエネルギーに制約されない大規模データ利活用を実現するために、エレクトロニクス・製造領域では、産総研コンソーシアム「高電力効率大規模データ処理イノベーター会議」(略称 IMPULSE コンソ) の活動を平成29年度に開始する。このコンソーシアムは、産学官の関係機関が社会・産業ニーズの変化と技術動向を踏まえたロードマップを議論し共有する場を提供することを通じて、高い付加価値を生み出す産業エコシステムの構築とエネルギーに制約されずにデータを利活用できる社会の実現を先導することを目指すものである。

本調査は、平成29年度に IMPULSE コンソが活動を開始するにあたっての活動方針の策定や活動内容の検討

を進めることを目的として実施した。具体的には、以下の2点について調査・検討を行った。

(1) 大規模データ処理に関係が深い企業等との意見交換や有識者へのヒアリング等により、IMPULSE コンソの活動方針と活動内容を明確化する。

(2) 国際学会やセミナー等において最新の技術動向を調査し、コンソ活動内容の企画に必要な情報を得る。

(1)については、15社2研究機関を訪問しての意見交換等を行った。その結果、「世界制覇するストーリーの提案が望まれる」、「どういうアーキテクチャを何の目的のために導入するのか、それにはどのような新しいデバイスが求められるのか」というシナリオを明確にすべき、「10・20年先についての議論だけでなく、現存する技術で何がどこまで出来るかについての短い時間軸での議論も重要」、「データセンターの将来像の議論のためにはネットワークのエッジ側の動向を把握することも必要」といった、IMPULSE コンソの方針策定において参考となる意見を多数いただいた。

(2)については、International Conference on Rebooting Computing、Supercomputing 2016、International Electron Device Meetin、International Solid-State Circuits Conference 等を中心に最新の研究開発動向を調査し、IMPULSE コンソの調査内容やコンソが主催するセミナーの講師の決定において参考となる情報を得た。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】大規模データ、データセンター、低消費電力化

③【電子光技術研究部門】

(Electronics and Photonics Research Institute)

(存続期間：2011.4～)

研究部門長：森 雅彦
副研究部門長：並木 周
副研究部門長：阿澄 玲子
副研究部門長：澤 彰仁
首席研究員：柏谷 聡
首席研究員：永崎 洋
総括研究主幹：土田 英実
総括研究主幹：榊原 陽一
総括研究主幹：河島 整
研究主幹：鍛塚 治彦

所在地：つくば中央第2、
つくば中央第5、つくば西

人 員：84名 (84名)

経 費：1,562,071千円 (490,575千円)

概 要：

(1) 当部門のミッション

安全・安心で持続可能な社会の実現に向けて、電子と光の特性を最大限に活かした情報処理・通信技術の高度化および超低消費電力化に加えて、新たな電子と光の可能性を追求していく。具体的には、光ネットワーク、光インターコネクションなどの電子と光が融合する領域の新技术や、量子情報処理や強相関電子系、超伝導、化合物半導体、有機材料など、新しい電子・光技術の応用の拡がりを目指した理論や材料、デバイスの研究開発を進め、情報通信システムの高性能化や超低消費電力化を実現する。またプラズマやレーザー基盤研究に基づく加工プロセスによる新しい製造技術の開発を進める。さらに、光・電子による新しい計測技術や生体情報センシングを実現するシステムまで、幅広い課題解決手段によるイノベーションを推進する。

(2) 世界規模の社会システムの急激な変化がもたらしつつある環境・エネルギー問題を初めとして、超高齢化社会の課題、社会基盤インフラ老朽化の問題、大規模災害対策の問題等を解決して、安全安心で持続的な人類の発展に貢献するために、電子と光という従来は個別に発展してきた技術を統合的に捉え、様々な社会課題に対する解決の方向性を探る。電子・光技術の新しい応用の拡がりを目指すとともに電子と光が融合する領域の新技术について研究開発を推進するために、当部門が有するコア技術を軸に、以下の三つの重点研究課題を設定する。

光情報技術

高度な光伝送技術、光・量子エレクトロニクス、シリコンフォトニクス技術などを駆使して、光・電子融合領域における革新的情報通信技術の研究開発を推進する。また、その成果を生かした光デバイスに関するエコシステムの創成もめざす。

a-1) 次世代光伝送および光ネットワーク技術を、デジタルコヒーレント、非線形信号処理、量子光学技術、資源管理などを用いて開発する。具体的には、光パラメトリック過程を用いた波長変換や非線形補償技術などを開発する。また、シリコンフォトニクス光スイッチなどを用いて、次世代コンピューティングを実現する光ネットワーク技術の検討を行う。

a-2) 次世代シリコンフォトニクスデバイスを実現するために重要な3次元構造を可能とする基盤技術を開発する。具体的には、シリコンフォトニクス光導波路を湾曲させ、面垂直方向に光入出力部を形成する技術などを開発する。また、光インターコネクション応用に向けたポリマーフォトニクス技術などを開発する。

a-3) 次世代の近距離光通信（光インターコネクション）用の光源・光機能素子、光導波路および光電子

集積回路等をシリコンフォトニクスおよびポリマーフォトニクス技術を用いて開発する。

- a-4) ダイナミック光パスネットワークを構成する小型低電力光スイッチを、シリコンフォトニクス技術を活用して開発する。シリコンフォトニクス光スイッチチップと、これを実装するパッケージング技術の開発を行う。
- a-5) 高集積光トランシーバなどに幅広く適用可能な汎用シリコンフォトニクス技術を開発する。具体的には、光変調器をはじめとする要素デバイスの設計、製造技術の開発を行う。また汎用シリコンフォトニクスファブの実現にむけて、上記開発技術のプロセスデザインキット（PDK）化を進める。

光応用技術

光を用いた微量物質検出技術を核とした生活安全に向けたウイルスや細菌、環境物質などに対する実用的な光センサシステムの開発を行うとともに、分光技術を核とした生体機能イメージング技術を確立する。また次世代プロセスや極限計測技術への応用を目指して、超短パルスレーザー研究、短パルス光プロセス、プラズマプロセスの医療応用を含めた加工応用研究を推進する。

- b-1) 先進プラズマ技術の高度制御による革新的な省エネルギー・低環境負荷エレクトロニクスデバイスの開発と成果の社会還元、及び、安心・安全な超高齢化社会実現への貢献を目指す。
- b-2) 高出力かつコンパクトな光源開発と加工プロセス等への応用の超高速フォトニクス研究を重点的に進めるとともに、新たなプロセスや高度計測の開拓を目指した光ファンクションジェネレータの研究開発を行う。特にレーザー加工プロセスについては、内外との連携研究により、医療用材料、難加工材料等の次世代高速高品位加工プロセス開発を進める。
- b-3) 独自に開発した光を用いたセンシング技術や計測技術をコアとして、健康な暮らしを誰もが享受できる社会、安全安心な住環境、より高い国際競争力を持つ工業・農業生産技術の実現に資するセンシングシステムを開発する。具体的には、ウイルスや細菌、汚染物質などに対するセンサシステム、生体内物質の低侵襲・無侵襲センシング技術、インフラの安全を見守る分光技術、工業・農業生産プロセスを管理するセンサシステムの開発を進めている。
- b-4) 各種材料（有機・無機・微粒子など）の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光／電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。具体的には、有機材料の設計・合成、マイクロ・ナノパターン形成技術、デバイス作製技術、計測評価技術の開発を行う。

新原理エレクトロニクス

高温超伝導体、強相関酸化物などの機能性酸化物や、化合物半導体、有機半導体を中心に、省エネルギーに貢献する機能性材料の探索を行うとともに、従来技術の延長では達成できない極限的な省エネルギーデバイスの研究開発を推進する。

- c-1) 分子線エピタキシー、有機金属気相エピタキシーなどの高度な結晶成長技術、ナノレベルの微細構造設計・作製技術を駆使して、IoT 時代における低環境負荷社会に貢献しうる化合物半導体・有機半導体先端光デバイスを開発する。
- c-2) 情報通信・エレクトロニクス技術の革新にむけ、卓越した機能を有する超伝導材料の開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導発現機構解明、および産業利用に向けた超伝導技術の応用の提案とその実現に向けた技術開発を推進する。
- c-3) 低環境負荷酸化物デバイス技術の基盤確立をめざして、既存の電子材料にない新機能を示す酸化物半導体、鉛フリー圧電体、酸化物発光材料などの酸化物材料を探索し、デバイス化へむけた可能性を検証する。加えて、これら酸化物材料の機能発現機構の解明、機能制御手法の技術開発を推進する。
- c-4) 情報通信技術のイノベーション創出を目的に、強相関電子材料の特長である電気的、磁氣的、光学的な特性が劇的に変化する電子相転移を、電場、磁場、光などの外場で制御する技術、ダイヤモンド NV センターを利用した量子センシング技術などを開発し、それらの技術を利用した革新的な先端デバイスの研究開発を推進する。

外部資金：

総務省

[戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）]

「Si 系 OAM 光送受信の開発と光渦多重ネットワークノードの構築」

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

[戦略的イノベーション創造プログラム]

「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／点検・診断技術の実用化に向けた研究開発／高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術の研究開発」

[次世代ロボット中核技術開発]

「(革新的ロボット要素技術分野) 自律型ヒューマノイドロボットの研究開発/広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム」

[エネルギー・環境新技術先導プログラム]

「データセンタ向け低消費電力・超多ポート高速光スイッチシステムの研究開発」

[高温超電導実用化促進技術開発]

「高磁場マグネットシステム開発／高温超電導高磁場コ

イル用線材の実用化技術開発」

文部科学省

「先端融合領域イノベーション創出拠点形成プログラム」

「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」

「卓越研究員事業」

「高柔軟性異種デバイス集積技術によるシリコンフォト

ニックプラットフォームの構築」

「科学研究費補助金」

「研究活動スタート支援」

「ナノカーボン材料を用いたフレキシブルペロブスカイト太陽電池の開発」

「基盤研究 (C)」

「光通信波長帯スピン制御光デバイスの研究」

「新学術領域研究 (研究領域提案型)」

「新規複合アニオン化合物の創製：物質合成と設計指針の確立」

「基盤研究 (A)」

「時間分解プラズモン励起発光イメージングを用いたノロウイルス検出システム研究」

「軌道純化に基づく高温超伝導体の圧力・非平衡制御と転移温度増強の理論・実験的研究」

「ナノ NMR センシングを可能とする高機能ダイヤモンド合成」

「強相関電子系の電界効果とモット FET のプロトタイプ開発」

「トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の普遍性：固体物理から冷却原子まで」

「ナノチューブファイバレーザを用いた超広帯域デュアルコム光源の開発」

「基盤研究 (B)」

「消化器系悪性腫瘍検出のための高感度自家蛍光イメージング技術の開発」

「固体内部におけるレーザアブレーションモデルの創成」

「超100 K 級銅酸化物高温超伝導体の単結晶育成技術の開発とデバイス応用の検討」

「光誘起結晶移動現象の機構解明と高度制御」

「量子ドット超格子による高信頼性黄色半導体レーザの実現」

「銅酸化物における Tc 向上のための超伝導圧力相図の決定とその理論的解明」

「立体湾曲シリコン導波路を用いた革新的空間光学の開拓」

「Be カルコゲナイドを用いた高信頼性緑色～黄色半導体レーザの実現」

「強誘電性と導電性の共存を利用した強誘電抵抗スイッチングの物理的機構に関する研究」

「サイクロイド様サブ波長断面構造での高効率局在プラズモン発生と超高感度センサー応用」

「奇周波数電子対の物理 理論と実証」

「ダイヤモンド量子制御による高感度核磁気共鳴イメージング」

「超広帯域 I/O を想定したアーキテクチャの検討」

「Approximate Computing ネットワークの研究」

「圧力波フォーカシングを利用した高純度シリコンクラスタースタービーム生成技術の高度化」

「テラヘルツ LED の研究」

「テスラ級超強磁場高応答キッカーシステムの開発と省電力高効率粒子線入出射法の実現」

「近赤外温度・濃度同時イメージング法によるマイクロ反応拡散場の直接定量評価」

「高圧力磁気測定技術の開発がもたらす磁性・超伝導材料研究のブレイクスルー」

「特別研究員奨励費」

「構造最適化による高温超伝導体の転移温度向上」

「モット絶縁体の単結晶薄膜を制御してモット FET のプロトタイプを作る」

「基盤研究 (C)」

「長周期自然超格子を用いた量子構造の創製」

「価数スキップ揺らぎによる新超伝導体の理論設計」

「電子相関機構に基づく高温超伝導機構の解明と新規超伝導体のデザイン」

「窒化ガリウム系共鳴トンネルダイオード作製とテラヘルツ波発振に関する研究」

「通信波長帯動作するサブバンド間遷移フォトダイオードの開発」

「金属・絶縁体転移を利用した光スイッチ機能の創出」

「超高速キャリア緩和を有する InAs 量子ドットのテラヘルツ波検出素子への応用」

「挑戦的萌芽研究」

「固体表面を光で自在に物質運搬する材料の創製」

「“Interconnected” カーボンナノチューブ合成と応力センサ材料の開発」

「量子限界に挑む新原理の超伝導単一光子検出器の実証」

「表面層深さ方向迅速評価が可能な回転楕円面鏡全反射ラマン散乱光学系の開発」

「ナノサイズ光学窓の形成による超解像効果発現の最適条件の理論的探索」

「近接・低歪み多重積層構造を適用した量子ドットレーザの高効率化に関する研究」

「多バンド超伝導体において生成するトポロジカルソリトンの観測」

「若手研究 (B)」

「鉄系超伝導体の臨界電流特性向上指針の確立と実証」

「Research on monolithically integrated autocorrelator using PIN-type silicon waveguide」

「局所的ナノ構造配列を用いた液晶装荷シリコンフォトニクス技術の開拓」

「挑戦的萌芽研究」

「非平衡光プロセスを用いたナノカーボン系薄膜作製と

デバイス応用」

「立体湾曲シリコン細線導波路の光伝搬制御に関する研究」

「サイクロイド様サブ波長断面構造での高効率局在プラズモン発生と超高感度センサー応用」

「フェムト秒レーザーによる医療用セラミックスの表面微細構造形成技術の開発」

[新学術領域研究]

「原子層の電子物性、量子輸送および光物性の理論」

「対称性に基づいた新奇なトポロジカル相の探求」

「複合アニオン化合物の創製と新機能に関する研究の総括」

「高指数面基板の副格子交換エピタキシーによる半導体多層膜結合共振器の研究」

[基盤研究 (S)]

「ダイヤモンド量子センシング」

[国際共同研究加速基金]

「複合アニオン化合物の創製と新機能に関する研究の国際活動支援」

国立開発研究法人科学技術振興機構 (JST)

[受託 (戦略的創造研究推進事業 (CREST))]

「待機電力ゼロ型フォトニックルータに向けた集積チップ実装モジュールと制御システムの開発」

[受託 (戦略的創造研究推進事業 (さきがけ))]

「強誘電体と機能性酸化物の融合による不揮発ナノエレクトロニクス」

[受託 (国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム))]

「光および化学エネルギー利用のためのポルフィリンナノ構造体制御の分子技術：ポルフィリン集合体の作製と構造評価」

[受託 (研究成果展開事業：先端計測分析技術・機器開発プログラム)]

「量子センシング方式を用いたポータブル NMR 装置の開発」

[受託 (研究成果展開事業：戦略的イノベーション創出プログラム)]

「テラバイト時代に向けたポリマーによる三次元ベクトル波メモリ技術の実用化研究」

[受託 (戦略的創造研究推進事業)]

「トポロジカル量子計算の基盤技術構築」

静岡県

[アモルファスシリコンを用いた超小型ボロメータ赤外線近接センサの開発]

「超高性能多層膜光学フィルタの開発」

「先進パワエレデバイスと時分割変調を活用したマイクロ波応用フロー化学装置の開発」

AMED

[医療分野研究成果展開事業 先端計測分析技術・機器

開発プログラム]

「救急および災害現場で用いるポータブル血液検査装置の開発」

公益財団法人さいたま市産業創造財団

[戦略的基盤技術高度化支援事業]

「表面プラズモン共鳴励起蛍光測定による微細流路型バクテリア検出装置の開発」

発 表：誌上発表234件、口頭発表408件、その他17件

光ネットワーク技術グループ

(Optical Network Technologies Group)

研究グループ長：井上 崇

(つくば中央第2)

概 要：

- ・目的：将来の高機能かつ持続発展可能な光ネットワーク像を模索し、これを実現する研究を行う。具体的には、光ネットワークで大容量の情報を低遅延・低エネルギーで通信するための「ダイナミック光パスネットワーク」の研究開発を行う。また高度な光信号伝送を行うにあたって必要となる各種信号処理技術の研究開発を行う。
- ・意義、当該分野での位置づけ：従来技術では、情報伝送機器の消費エネルギーが情報量に比例して増大していくため、このまま情報量が指数関数的に増大していけば、ネットワークが原因となって深刻なエネルギー問題を引き起こすことになる。当グループの研究活動はこの問題に取り組むものであり、将来の高度情報化社会を実現するうえで、必須の検討課題と位置付けられる。
- ・国際的な研究レベル：光ネットワーク、光信号処理、光伝送のそれぞれに関して、当該分野トップレベルの国際会議や論文誌で招待論文・招待講演も含めて多数発表を行っており、世界トップレベルにあると言える。
- ・研究手段：光スイッチ等の光デバイス、デジタルコヒーレント伝送技術、非線形光信号処理技術、量子光信号処理技術などを用いて、研究対象である光ネットワークや信号処理技術に対する新規提案を行い、理論検討、シミュレーション、システム実験により実証のための検討を行う。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-1)

3次元フォトニクスグループ

(Three-Dimension Photonics Group)

研究グループ長：榊原 陽一

(つくば中央第2)

- ・目的：次世代シリコンフォトニクスにおける革新的な3次元加工プロセスの開発とその機能デバイスへの応用を行う。また、シリコンフォトニクスに異種

材料を組み合わせたハイブリッド型デバイスおよび光インターコネクション応用に向けたポリマーフォトンクス技術の開発なども行う。

- ・意義、当該分野での位置づけ：シリコンフォトンクス光回路技術を3次元化し立体空間へ伸長することは、集積密度の向上やデバイス実装の自由度の向上のために極めて効果的であり、当該分野における革新的なイノベーションの基盤技術となる。また、ポリマーフォトンクス技術は次世代光インターコネクションへの応用が期待されており、独自開発の技術による研究展開は重要である。
- ・国際的な研究レベル：当グループの開発してきたイオン注入によりシリコン導波路の先端を立体湾曲する技術は国際的にも全く独創的なものであり、世界を先導する最先端の研究レベルにある。また独自の直角形状シングルモードポリマー導波路作製技術を持つ。
- ・研究手段：シリコン導波路のイオン注入による立体曲げ加工技術、3次元構造シリコン導波路の数値シミュレーション技術、シリコン導波路と液晶材料を組み合わせたハイブリッド型光デバイスの作製技術などを用いる。ポリマー導波路は独自開発の直角形状作製技術を用いる。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-2)

インターコネクフォトンクスグループ (Interconnect Photonics Group)

研究グループ長：山本 宗継

存続期間 (- 2016/8) (つくば中央第2)

概要：

- ・目的：データセンタ、スーパーコンピュータ等で課題となっているコンピュータ間、コンピュータ内の情報伝送量増大に対処するために、次世代の近距離光通信（光インターコネクション）の実現のための基盤技術の開発を行う。具体的にはマルチキャリア通信用多波長光源、高精度光計測技術、光導波路デバイス用アモルファスシリコン成膜技術、ポリマーフォトンクス技術を用いた光電子集積技術、ならびにそれらの派生技術の開発を行う。
- ・意義、当該分野での位置づけ：材料、光源等の個別デバイスから計測技術、デバイス集積・実装技術と光インターコネクションに必要な技術領域に対して貢献する技術開発を牽引する。
- ・国際的な研究レベル：マルチキャリア光源では他機関ではできていない低温プロセスでの実現を目指してチャレンジをしている。アモルファスシリコン技術では世界最高レベルの低損失光導波路を実現している。光雑音計測では世界最高レベルの感度を達成している。光電子集積技術では光電子集積パッケージ基板の試作を実施しシリコ

ンフォトンクスデバイス実装分野を牽引している。世界最高レベルの量子ドット高密度化に成功しており、大学連携により更なるレーザ特性の向上を目指している。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-3)

光パスプロセッサグループ (Optical Path Processor Group)

研究グループ長：池田 和浩

(つくば西)

概要：

- ・目的：産総研に形成されている「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」が目指すダイナミック光パスネットワークにおいて、その鍵となるシリコンフォトンクス・スイッチを開発し、同ネットワークの社会実装に貢献する。また、TIA-SCRにおけるシリコンフォトンクス・ファウンドリの立ち上げ・高度化に貢献する。さらに、産総研戦略予算、CREST 等も活用し、次世代データセンタ向け光ネットワーク技術等に向けたシリコンフォトンクス集積デバイスの基礎検討を進める。
- ・国際的な研究レベル：広帯域・偏波無依存8x8光スイッチを光通信分野の世界最大の国際会議・展示会にて動態展示・学会発表、世界最大規模32x32光スイッチの完全動作実証を国際会議のポストデッドラインペーパーとして発表、などの世界的に大きなインパクトとなる成果を挙げた。
- ・研究手段：大規模な数値シミュレーションおよびインハウス・プロセスによる試作・評価を基にした精緻なシリコンフォトンクスデバイス設計と、多電極シリコンフォトンクス・スイッチチップの電気・光実装技術を積み重ね、これらの技術を TIA-SCR の 300 mm CMOS ラインを活用した試作に移植し、均一性・量産性の高い作製技術を用いて研究を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-4)

シリコンフォトンクスグループ (Silicon Photonics Group)

研究グループ長：山田 浩治

(つくば西)

概要：

- ・目的：爆発的な情報流通量の増大に対して、情報伝送能力および消費電力の現状技術での限界を打破すべく、将来の情報伝送用光デバイス技術として、集積性、経済性およびエネルギー効率に優れるシリコンフォトンクスの研究開発を総合的に推進し、持続成長可能な情報ネットワークシステムの実現に貢献する。
- ・意義、当該分野での位置づけ：本研究開発を通じ、

高集積光トランシーバなどに幅広く適用可能な汎用シリコンフォトニクス技術を開発し、さらに産業展開にむけた R&D 拠点や産業エコシステムを構築することにより、通信ネットワークやデータセンタネットワークの大容量化・省エネルギー化・高機能化を実現するとともに、日本の産業競争力強化に資する。

- ・国際的な研究レベル：産業用 CMOS 互換プロセスを利用した高精度で均質性の高いデバイス製造技術、およびこれまでの光/電子デバイスの研究開発経験を活かしたデバイス設計技術は世界最高水準である。また、窒化珪素やアモルファスシリコンなどのバックエンド異種材料集積によるシリコンフォトニクスデバイスの高性能化、先鋭化においても世界をリードしている。

研究テーマ：テーマ題目1 (a-5)

先進プラズマプロセスグループ

(Innovative Plasma Processing Group)

研究グループ長：榊田 創

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：プラズマ現象は太陽など宇宙において普遍的であり、地球上においても様々な科学・産業分野において利用され、人類の発展に貢献してきている。そこで、プラズマ等に関する技術を核として更に発展させることで、エレクトロニクス、製造、エネルギー・環境、医療など様々な分野への融合・展開を図り、新産業創出を目指して研究開発を行っている。
- ・意義、当該分野での位置づけ：1) 大面積・高速・低温合成を同時実現するプラズマ CVD 装置を開発し、カーボン系材料として高熱伝導率を有した低価格で高品質なグラフェン等を提供することで、産業競争力強化に資する。2) 高 In 組成 InGaN 素子を実現する CVD 装置を開発し、窒化物系材料として緑色 LED を提供することで、LED の利用拡大に資する。高品質な h-BN 成膜を実現するプラズマ源を開発し、シリコン酸化膜上に接合させることで、グラフェンの半導体利用促進に資する。高平均出力な緑色レーザーを実現するために、数値解析モデルを開発しレーザー波長変換結晶の破壊回避法を明らかにすることで、実用化に資する。小型で、短パルス・高出力のパルス電子ビーム装置を開発し、新規表面処理プロセスを開拓する。3) 生命工学系研究開発として、外科手術用の低侵襲なプラズマ止血装置を開発し、更に国際標準規格化を進めることで、機器の早期実用化に資する。
- ・国際的な研究レベル：高品質なカーボン系材料を低温合成する技術は世界をリードしている。固体元素由来の定常プラズマ生成技術は世界をリードしてい

る。結晶破壊を回避する数値解析モデルは世界を先導している。低侵襲プラズマ止血医療機器の国際標準規格化は世界を先導している。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-1)

超高速フォトニクスグループ

(Ultrafast Photonics Group)

研究グループ長：鳥塚 健二

(つくば中央第2)

概要：

- ・目的：パルス光波合成等の新技術を開発し、未踏領域の光パルス発生、制御、応用を開拓するとともに、先進的光源を新しい加工等へ応用することで、超高速技術を先導する。
- ・意義、当該分野での位置づけ：超高速光技術を利用した加工や物質プロセス制御、計測に資する技術である。主な研究内容は、(1)超短パルスレーザーの特性を生かした表面加工等の技術開発。特に、熱負荷に弱い医療用材料や次世代太陽電池材料等の新しいレーザー加工プロセスの開発に他領域の研究者とも連携して取り組む。(2)パルス光を電界波形のレベルで制御することで、未踏時間分解の光波合成等の新しい光源技術を開拓すると共に、それらの新機能を精密加工や計測に応用する技術を開発する。
- ・国際的な研究レベル：超短光パルスの関連技術を持ち、特に、異波長パルス光間の位相制御及びタイミング制御は当所が先導して開拓してきた技術で、世界最高の時間精度を有する。また、パルス内光波位相 (CEP) 制御光の増幅を、再生増幅器と回折格子ストレッチャーを組合せた高出力化が可能な方式で実現した。本年度は、超短パルスレーザーの医療用材料加工への応用、ファイバーレーザーによるコンパクト高効率な超短パルス発生とレーザーパラメータ制御の技術、について重点的に取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-2)

光センシンググループ

(Optical Sensing Group)

研究グループ長：藤巻 真

(つくば中央第5)

概要：

- ・目的：健康な暮らしを誰もが享受できる社会、安全安心な住環境、より高い国際競争力を持つ工業・農業、の実現に資する光学的センシングシステムの開発を行う。より具体的には、生活安全に向けたウイルス、細菌、環境汚染物質などを迅速かつ高感度に検出可能な光センサシステム、生体組織内の機能や形態の低侵襲、無侵襲センシング技術、インフラの劣化診断用システム、工業用材料の管理用センサシステム、高付加価値農産物の品質管理システムの開

発を推進する。

- 研究手段：専門性の高い光学的知識の上に立脚した独自の光学的検出・計測技術をベースとした微量微小物質検出技術、高感度高性能分光技術、イメージセンシング技術をコア技術とし、これらの技術を微細加工技術や各種高度計測手法によってサポートすることにより、各技術を高度化するための研究開発を実施すると共に、実用化及び技術移転に向けた研究を実施する。菌、ウイルス、汚染物質などの検出においては、当グループが開発した、光ディスク型センサ、導波モードセンサ、表面プラズモン共鳴励起蛍光増強を利用した V 溝バイオセンサなどをベース技術として用い、検出対象物質に最適化した検出手法の確立を行っていく。人の無侵襲な健康診断技術や、コンクリート構造物の非破壊診断技術、各種工業プロセスのモニタリング技術、農産物の管理技術には、当グループが得意とし世界的にも高いレベルにあるマルチスペクトルイメージング技術、高感度フーリエ分光技術、小型分光システム、高 OD 分光システム、などの個々の技術をより高度化させながら、また、各技術の長所を生かしながら組み合わせることによって、その課題解決に資する技術開発を実施する。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-3)

分子集積デバイスグループ

(Molecular Assembly Group)

研究グループ長：則包 恭央

(つくば中央第5)

概要：

- 目的：各種材料（有機・無機・微粒子など）の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光／電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。
- 研究手段、方法論：有機分子の設計、有機合成、分子パッキングの予測、粒子分散技術、各種薄膜作製技術、微粒子の自己組織化、薄膜の計測・観察技術、光化学／マイクロ波化学などの技術を駆使して、エレクトロニクス・フォトニクスに有用な部材・プロセスの開発を行っている。またこれらの技術開発から派生して、小型可搬・簡便な計測評価装置の開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目2 (b-4)

光半導体デバイスグループ

(Optical Semiconductor Device Group)

研究グループ長：森 雅彦 (12/1)

(つくば中央第2)

概要：

- 目的：分子線エピタキシー、有機金属気相エピタキ

シーなどの高度な結晶成長技術、ナノレベルの微細構造設計・作製技術を駆使して、IoT 時代における低環境負荷社会に貢献しうる化合物半導体・有機半導体先端光デバイスの開発を目的としている。具体的に、高効率・高指向性発光ダイオード、黄色半導体レーザー、超小型テラヘルツ光源、有機半導体レーザー、サブバンド間遷移素子などの開発に取り組んでいる。

- 意義、当該分野での位置づけ：可視からテラヘルツまでの広い波長帯域の革新的発光・受光デバイスを開発することで、車載・ウェアラブル情報機器や計測・医療機器、セキュリティ認証・センシングシステムなどの超低消費電力化・高機能化・新機能化を通じて、広く IoT 社会の実現に貢献する。
- 国際的なレベル：エバネッセント光の結合効果に基づく高指向性発光ダイオードや II-VI 族化合物半導体黄色レーザーは、世界初の成果であり、高い独自性と優位性を有している。また、化合物半導体・有機半導体結晶成長技術や微細加工技術において、世界最高水準の技術を保有している。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-1)

超伝導エレクトロニクスグループ

(Superconducting Electronics Group)

研究グループ長：吉田 良行

(つくば中央第2)

概要：

- 目的：情報通信・エレクトロニクス技術の革新に向けた、新奇超伝導材料の物質開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導機構解明、および、産業利用を見据えた超伝導線材の開発、新機能超伝導デバイスの提案と技術開発を推進する。
- 研究手段、方法論：高圧合成法をはじめとする物質合成手法と理論予測、更には高圧下物性測定を組み合わせることにより、より高い性能を有する超伝導体、従来にない性質を示す超伝導体の開発を行う。また、高品質単結晶試料を用いた系統的物性評価を通して、銅酸化物、鉄ヒ素系に代表される高温超伝導体の超伝導発現機構を明らかにする。産業利用を見据えた高温超伝導線材をシミュレーションと実験的評価の組合せにより開発するとともに、新機能超伝導デバイスの提案と技術開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-2)

酸化物デバイスグループ

(Oxide Electronics Group)

研究グループ長：相浦 義弘

(つくば中央第2)

概要：

- 目的：低環境負荷酸化物デバイス技術の基盤確立に

向けて、酸化物半導体、鉛フリー圧電体、酸化物発光材料など材料開発および機能開拓を行う。

- ・研究手段、方法論：半導体、圧電体、誘電体、磁性体から超伝導まで広範な物性を示す金属酸化物について、革新的な省エネルギーに貢献する材料を探索する。機能性酸化物材料の物性発現の機構解明を行い、機能向上、材料設計の新たな指針および機能制御手法を確立する。更に、酸化物材料がもたらす革新的な電子デバイスの実現を目指して、酸化物材料を用いた電子デバイスの可能性を検証する。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-3)

強相関エレクトロニクスグループ (Correlated Electronics Group)

研究グループ長：澤 彰仁

(つくば中央第5)

概 要：

- ・目的：新しい電子デバイス動作原理である強相関電子系の電子相制御技術、ダイヤモンド NV センターを利用した量子センシング技術などの開発と、それに基づく低消費電力不揮発性メモリ、高感度磁気センサなどの革新的な先端デバイスの開発を行う。
- ・意義、当該分野での位置づけ：原理的にサイズ効果のない強相関電子系の電子相転移を外場により制御する技術や量子現象を利用したセンシング技術等の研究開発により、半導体デバイスの限界を超える超高密度・低消費電力不揮発性メモリや、半導体デバイスでは実現できない超高感度磁気センサ等を開発し、情報通信技術を活用したグリーンイノベーションに貢献する。
- ・国際的な研究レベル：強相関酸化物など金属酸化物の大型・良質単結晶を作製可能なレーザー加熱単結晶作製技術、金属酸化物デバイス開発に不可欠な最先端の計測解析技術と微細加工技術・設備を有している。

研究テーマ：テーマ題目3 (c-4)

----- [テーマ題目1] 光情報技術

[研究代表者] 並木 周 (副研究部門長)

[研究担当者] 井上 崇、榊原 陽一、山本 宗継、
池田 和浩、山田 浩治 他
(常勤職員27名、他16名)

[研究目的]

光・電子融合領域の情報通信技術の革新を目指した研究開発を推進する。また、光デバイスに関するエコシステムの創成をめざす。主な研究課題は下記の通りである。

a-1) 光伝送・光ネットワークに関する研究開発

次世代光伝送および光ネットワーク技術を、デジタルコヒーレント、非線形信号処理、量子光学技術などを用いて開発する。また、次世代コンピューティング

を実現する光ネットワーク技術の検討を行う。

平成28年度は以下の成果が得られた。

- ・ダイナミック光パスネットワークの普及を図るため、従来は各企業の独自規格であった光伝送ネットワークシステムを機能ごとに分割し、製造元が異なる装置群を共通規格の同一ラックに収納することで、個別に迅速な機能追加や性能改善を図ることが可能なディスプレイ型システムのシステムについての共通規格を策定した。また、制御方法の異なる各装置を一括運用するための中間制御装置(コードネーム BlueBox)を開発し、国際標準化団体である IEC に対して標準化の働きかけを行い、テクニカルレポートとして出版された。
- ・上記提唱した規格にもとづいて各種機能を持つ装置群を試作して共通のラックに収納し、ラック間を光ファイバで接続した光ネットワークを構成して、光通信関連で世界最大級の国際会議 OFC2017において動態展示を実施し、海外の光通信事業者および研究者に対して規格の周知を行った。さらに、同学会のテクニカルセッションにおいて8件の口頭発表を実施し、動態展示を行う上で開発した技術内容を最新かつ最先端の研究開発成果として報告した。
- ・敷設されているフィールドファイバを利用したダイナミック光パスネットワークテストベッド上で、低遅延・高精細が特徴の4K テレセッションシステムを構築し、ダイナミック光パスネットワークによる低遅延伝送が極めて有効であることを明らかにした。うえて、技術普及の足掛かりとした。

a-2) 3次元フォトニクス基盤技術の開発

次世代シリコンフォトニクスデバイスを実現するために重要な3次元構造を可能とする基盤技術を開発する。具体的には、シリコンフォトニクス光導波路を湾曲させ、面垂直方向に光入出力部を形成する技術の高度化などを行う。また、光インターコネクション応用に向けたポリマーフォトニクス技術を開発する。

平成28年度は以下の成果が得られた。

- ・シリコン光回路の配線末端部にイオン注入し、ウェハ垂直方向に立体湾曲する加工技術の高度化に成功した。また、ビーム径5マイクロメートルの光ファイバと高効率に光の入出力が可能なデバイス形状を数値シミュレーションにより導出した。
- ・シリコン光回路の進行波の位相制御のために、周囲に局所配向した液晶を装荷する新技術の開発に成功した。
- ・ポリマー導波路構造を最適化し、シングルモード伝搬を実証した。

a-3) 光インターコネクション技術の開発

次世代の近距離光通信用の光源・光機能素子、光導波路および光電子集積回路等をシリコンフォトニクスおよびポリマーフォトニクス技術を用いて開発

する。

平成28年度は以下の成果が得られた。

- ・マルチキャリア光源用にモード混合抑制リング共振器を設計した。
- ・周波数シフト帰還レーザを光源とした FMCW ライダを構築し、距離測定の分解能と精度を評価した。
- ・光電子集積パッケージ基板研究開発において、チップ実装に向けた構造の最適化を行った。また、200 Gbps/mm の高密度光コネクタ設計を行った。

a-4) 光バスプロセッサ技術の開発

ダイナミック光バスネットワークを構成する小型低電力光スイッチを、シリコンフォトニクス技術を活用して開発する。シリコンフォトニクス光スイッチチップと、これを実装するパッケージング技術の開発を行う。

平成28年度は以下の成果が得られた。

- ・偏波ダイバーシティ回路（偏波無依存化）、ダブルゲート回路（広帯域化・低漏話化）を搭載した8x8光スイッチをの1RU ブレードに実装し、光通信分野の世界最大の国際会議 OFC2017にて発表、および併設の展示会にて動態展示を行った。
- ・32x32光スイッチを1RU ブレードに実装し、この規模の光スイッチとしては初めて全経路の動作を実証し、光通信分野の主要国際会議の一つである OECC2016にてポストデッドラインペーパーとして採択され、講演を行った。
- ・小型・省電力な新しい方式の偏波ダイバーシティ回路を用いた8x8光スイッチを実現し、OFC2017にて発表、さらに注目発表として News Releases に掲載された。

a-5) シリコンフォトニクス技術の開発

高集積光トランシーバなどに幅広く適用可能な汎用シリコンフォトニクス技術を開発する。また汎用シリコンフォトニクスファブの実現にむけて、上記開発技術のプロセスデザインキット（PDK）化を進める。

平成28年度は以下の成果が得られた。

- ・300 mm シリコンラインを用いたシリコンフォトニクスデバイス製造技術、および設計技術の開発を推進し、トランシーバ応用を想定した高速高効率変調器（動作速度32 Gbps³、変調効率 $V_{\pi}L \sim 3V \cdot cm$ ）を実現するとともに、伝搬損失0.8 dB/cmの世界最高水準の低損失導波路や、グレーティング型ファイバカップラなどの重要光配線要素を実現した。
- ・開発した設計・製造技術を体系的にまとめ、暫定版PDKを完成した。また、ゲルマニウム受光器のシリコン導波路上への集積基盤技術を開発し、受光基本動作を確認した。
- ・さらなる技術の先鋭化や革新的応用展開をめざし、完全 CMOS 互換ファイバ結合や装荷導波路型高効率光変調器、超高効率オートコリレータなどの新技

術を提案した。

- ・産総研コンソーシアムや様々な民間パートナーと連携し、シリコンフォトニクスデバイスの産業展開や製造エコシステム構築にむけた活動が進展した。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] 光伝送、光ネットワーク、光インターコネクション、シリコンフォトニクス、3次元光回路、光電子集積素子、ポリマー光導波路、ナノ構造デバイス、非線形光学、非線形歪補償、コヒーレント光信号処理、光波長変換、光信号波形計測、量子もつれ光子対、光子検出、量子暗号通信

[テーマ題目2] 光応用技術

[研究代表者] 阿澄 玲子（副研究部門長）

[研究担当者] 榊田 創、鳥塚 健二、藤巻 真、則包 恭央 他
（常勤職員27名、他21名）

[研究目的]

光やプラズマを利用した加工・センシング・計測技術や、光機能性デバイスに関する研究開発を行う。主な研究課題は下記の通りである。

b-1) プラズマ利用技術に関する研究

先進プラズマ技術の高度制御による革新的な省エネルギー・低環境負荷エレクトロニクスデバイスの開発を行う。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・短パルス・高パワーの小型パルス電子ビーム装置（スペック；50 kV, 1 kA, 200 ns）の定格出力を達成した。
- ・従来の CVD 技術の限界を乗り越える革新的プラズマプロセスとしてナノ結晶ダイヤモンドとグラフェン膜用の大面積・低温・高速合成システムを構築し、成膜試験を行った。
- ・緑色レーザー用の波長変換結晶の損傷メカニズムとして、線形吸収効果及び2光子吸収効果に加えて、ポーラロン効果を計算モデルに導入し、改善項目を提示した。
- ・半導体用 h-BN 膜生成研究として、新規成膜装置を開発した。
- ・準大気圧環境下での窒化プラズマ生成において、窒素原子の密度計測を行った。
- ・医療用途のプラズマ装置等に関わる国際標準化として、Low energy ionized gas coagulation equipment に関する IEC / TC 62 - SC 62D - WG34委員会原案（IEC 60601-2-76）を策定し、国際投票回覧を行った。
- ・医療機器開発ガイドラインとして、「外科手術用、及び内視鏡下手術用（体腔鏡下手術に使用される）

低侵襲プラズマ止血装置開発ガイドライン」に関するガイドラインを策定した。

b-2) 超高速フォトニクス技術

高出力かつコンパクトな光源開発と加工プロセス等への応用研究を重点的に進めるとともに、新たなプロセスや高度計測技術の開拓を目指した光ファンクションジェネレータの研究開発を行う。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・医療用セラミックス材料のレーザー表面加工に、所内、生命工学領域、材料・化学領域、大学医学部の研究者らと連携して取組んだ。特に、超短パルスレーザーアブレーション加工とアパタイトのレーザー成膜技術によって生体への適合を改善できることを動物実験で確認するとともに、インプラントの強度規格をクリアできる改良プロセスを開発した。
- ・Yb ドープファイバーレーザーにおける極短パルス化と2倍波変換の信頼性向上に取組み、緑色光パルス幅45 fs, 35 nJ の高強度緑色光の安定出力に成功した。生体関連分子の計測と操作の応用実験に適用することができた。
- ・高効率、高出力が可能な Yb ドープファイバーレーザー技術に基づいた加工研究用プラットフォームとして、パルス幅等パラメータの広域可変を可能とする高出力超短パルスレーザーシステムの基本的な設計を行い、開発を開始した。特に、Yb ドープファイバーレーザーによる全融着モード同期発振器、および導波路構造増幅器の試作と特性評価に着手した。

b-3) 光センシング技術に関する研究

健康な暮らしを誰もが享受できる社会、安全安心な住環境、より高い国際競争力を持つ生産技術、の実現に資する光学的センシングシステムの開発を行う。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・V 溝バイオセンサ開発では、ノロウイルスのウイルス様粒子の検出試験を実施した。アルミニウムの表面プラズモン共鳴を用いたチップと量子ドット蛍光標識を用いた検出系の最適化を図り、検出領域内において100個のウイルス様粒子の検出に成功した。また、高速ゲート型イメージインテンシファイアを用いた時間分解型 V 溝センサを構築し、通常測定に比べ4倍以上高感度に蛍光色素の発光が取得可能となることを確認した。さらにバクテリア検出において、チップ形状を改良し、さらにレーザーダイオードを用いた測定系を製作し、1体のバクテリアのイメージング検出が可能であることを実証した。
- ・導波モードセンサ開発では、救急・災害時に用いるポータブル血液検査装置の研究開発に取り組んだ。感染症検査用のマイクロ流路として、感染症4項目の同時検査が可能な流路チップを開発した。ヒト血

漿中の濃度100 nM のウイルスタンパクおよびウイルス抗体の検出により、本流路チップならびに金ナノ粒子増感標識を用いたマイクロ流路測定系の動作検証を完了した。さらに、マイクロ流路駆動ユニットを含む、10チャンネルの同時測定が可能なポータブル血液検査装置のプロトタイプ機を完成させた。

- ・磁性ビーズと光信号用標識とで検出対象物をサンドイッチして、外部磁場によって動作させてその動きを検出する、外力支援近接場照明バイオセンサー (EFA-NI) の開発に成功した。同システムによって、下水二次処理水試料に含まれる濃度40個/100 μl のノロウイルス様粒子の検出に成功した。
- ・光ディスク型のバクテリアイメージングシステムの開発においては、検出対象となる大腸菌を染色し、染色前後のイメージング結果を比較することで、大腸菌と夾雑物 (ポリスチレンビーズ) を区別することに成功した。
- ・高感度分光技術を用いた生体組織内の無侵襲センシング技術の開発では、血液内の微量成分を高精度に計測するために、高感度分光器の波長分解能を2倍にする手法を開発し、アルゴンランプの輝線により100 cm^{-1} 以下になることを確認した。また、手のひらサイズの高感度分光器の試作に成功した。
- ・高感度近赤外分光測定を用いた、コンクリート材料の劣化因子の検出システムの開発を行なった。塩分及び水分の測定において多変量解析を適用し、正解値に対して20 %以内の分布になることを確認した。また現場環境の SN を考慮すると多変量解析よりも波数分解能が必要であると判断したため、市販分光器をベースとしたソフト開発を行い、現場での使用が可能であることを実証した。
- ・高性能な光学フィルタの性能評価が可能な高 OD 分光器の開発を行った。3種類の光源と2種類の検出器を組み合わせることによって、可視光領域において10以上の OD 値を測定可能な分光器の開発に成功した。

b-4) ボトムアップ集積型デバイスの構築

各種材料 (有機・無機・微粒子など) の精密な構造制御や集積化による機能発現を利用した高性能光/電子デバイスの開発、および関連する基盤技術の開発を行う。具体的には、有機材料の設計・合成、マイクロ・ナノパターン形成技術、デバイス作製技術、計測評価技術の開発を行う。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・光の散乱/透過を温度によって変化することが可能な有機材料を開発した。
- ・アゾベンゼンの結晶が光照射によって水面の上を移動することを発見した。この現象は、紫外光によってアゾベンゼンの結晶が液化することによって起こる。

- ・炭素繊維強化樹脂 (CFRP) への優れためっき法を開発し、雷による CFRP への被害をめっきで解決する技術を開発した。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] プラズマプロセス、安全安心、超短パルスレーザー、レーザー加工、センシング、光計測、QOL、ボトムアップ集積技術、光機能性材料

[テーマ題目3] 新原理エレクトロニクス

[研究代表者] 澤 彰仁 (副研究部門長)

[研究担当者] 王 学論、吉田 良行、相浦 義弘 他
(常勤職員36名、他28名)

[研究目的]

高温超伝導体、強相関酸化物などの機能性酸化物や、化合物半導体、有機半導体を中心に、省エネルギーに貢献する機能性材料の探索を行うとともに、従来技術の延長では達成できない極限的な省エネルギーデバイスの研究開発を推進する。主な研究課題は下記の通りである。

c-1) 化合物・有機半導体先端光デバイスの開発

分子線エピタキシー、有機金属気相エピタキシーなどの高度な結晶成長技術、ナノレベルの微細構造設計・作製技術を駆使して、IoT 時代における低環境負荷社会に貢献する化合物半導体・有機半導体先端光デバイスを開発する。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・高指向性 LED 開発を目指した研究開発においては、結晶成長、エッチングプロセス最適化を進め、AlGaAs/GaAs 円錐台作製プロセスの開発に成功した。
- ・有機半導体レーザーの研究では、新規材料系としてペロブスカイト系材料 ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbX}_3$ (X = Cl, Br, I)) において、Cast-capping 法を用いて、自己組織化ファブリペロ (FP) キャビティを実現し、光励起でのマルチモード発振に成功した。
- ・緑～黄色半導体レーザーの開発においては、化合物半導体結晶の急速な劣化が問題であるが、その劣化過程の一部を明らかにした。また、Si/SiN 積層型リング共振器フィルターを作製し特性評価を行った。
- ・GaN 系のデバイスに関しては、サファイア基板と GaN 系 RTD との格子不整合による歪による貫通転移や量子井戸中の結晶欠陥を大幅に低減することに成功した。

c-2) 先進機能超伝導材料の開発と新規超伝導応用の開拓

情報通信・エレクトロニクス技術の革新にむけ、卓越した機能を有する超伝導材料の開発、理論・実験両面からのアプローチによる高温超伝導発現機構解明、および産業利用を見据えた超伝導線材の開発、新機能超伝導デバイスの提案と技術開発を推進する。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・線材開発：銅酸化物高温超伝導体を用いたテープ線材に対して、細線化における電磁応答、MRI コイルの磁場安定性に関する理論解析を行った。新超伝導体の応用については、パウダーインチューブ法を用いた $\text{Ba}(\text{Fe},\text{Co})_2\text{As}_2$ の線材を超伝導式水素液面計への利用を想定し、その実証を行い、知財出願を行った。また、 $(\text{Ba},\text{Na})\text{Fe}_2\text{As}_2$ について超伝導線材化を行い、良好な臨界磁場を得ることに成功した。
 - ・物質開発：新超伝導物質 EuFeAs_2 及び、 $(\text{Na},\text{La})\text{AFe}_4\text{As}_4$ (A = K, Rb, Cs) ($T_c=25\text{K}$) の合成条件や物性を解明した。
 - ・超伝導理論：強相関電子系に対し弱相関から強相関へのクロスオーバーが起こり、それに伴う強い揺らぎにより超伝導が引き起こされることを示した。また、超伝導体 SrGe_2 及び、 BaGe_2 についての第一原理計算を行い、物理圧力と化学圧力が転移温度に対して逆の効果を示すことに対する理論的解釈を与えた。さらに、価数スキップ候補物質である RbTiCl_3 について電子状態の計算を行い、バンド分散が既知の価数スキップ超伝導体 BaBiO_3 に類似していることを見出した。・超伝導デバイス：超伝導ナノストリップによる新規三端子素子 (yTron) に関して、その臨界電流・動作特性について理論解析を行った。
- c-3) 低環境負荷酸化物デバイスの開発および機能性酸化物電子材料の新機能開拓
- 低環境負荷酸化物デバイス技術の基盤確立をめざして、既存の電子材料にない新機能を示す酸化物半導体、鉛フリー圧電体、酸化物発光材料などの酸化物材料を探索し、デバイス化へむけた可能性を検証する。加えて、これら酸化物材料の機能発現機構の解明、機能制御手法の技術開発を推進する。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・Sn 系ワイドギャップ p 型酸化物半導体の開発を行い、p 型キャリア生成の起源は Nb^{5+} を Sn^{2+} の一部が酸化した Sn^{4+} と置換した欠陥であることを見出した。また酸素欠損によるキャリア補償の抑制が p 型化に重要であることを明らかにした。
- ・共振周波数約 600 kHz の鉛フリー AE センサを開発し、室温で感度を評価した。その結果、600 kHz 以上の周波数領域の感度は市販の鉛系 AE センサより高感度で動作することを確認した。また、この鉛フリー AE センサは液体窒素の低温においても動作することを確認した。
- ・Co 系ペロブスカイト型酸化物薄膜において、成膜時の酸素圧が p 型半導体特性に大きく依存することを見出した。また、p-n 接合を作製し、良好な整流特性を得ることに成功した。
- ・バンド間位相差ソリトンの生成法および量子の細分化手法を実際にデバイスにインプリメンテーション

ョンするために、デバイスの基本的なデザインと量子分解素子のシミュレーション技術の開発に取り組んだ。位相差ソリトンのダイナミクスに関して基本方程式に当たるものを突き止めた。

- ・独自開発を行った高精度位置制御可能な真空ステージを高分解能光電子分光装置に組み込み、その先端計測システムの有効性を示した。

c-4) 強相関デバイスおよびダイヤモンド量子センシング技術の研究開発

情報通信技術のイノベーション創出を目的に、強相関電子材料の特長である電氣的、磁氣的、光学的な特性が劇的に変化する電子相転移を、電場、磁場、光などの外場で制御する技術、ダイヤモンド NV センターを利用した量子センシング技術などを開発し、それらの技術を利用した革新的な先端デバイスの研究開発を推進する。

平成28年度は下記のような成果が得られた。

- ・強誘電トンネル接合による不揮発性抵抗変化素子について、独自に酸化物電極材料を開発し、1億サイクル以上の抵抗変化繰り返しを実現するとともに、数十万サイクルの抵抗変化繰り返しにおいて、抵抗値分布の標準偏差が約3%の高安定性を実現した。また、パルス電圧制御による4レベルの多値データ記憶と連続的抵抗変化を実現した。
- ・high-k 材料 HfO_2 と有機材料パリレンの積層型固体ゲート絶縁層と強相関酸化物 VO_2 チャネルを組み合わせた電界効果素子において、電気伝導特性の電界変調に成功し、電界による電子相転移制御の可能性を見出した。また、昨年度開発した SrTiO_3 チャネル電界効果素子により、シナプスの特性の一つであるスパイク時刻依存シナプス可塑性の機能実証に成功した。
- ・ダイヤモンド NV センターを利用した量子センシング技術の応用として、デスクトップ型 NMR 装置を構築した。NMR パルスシーケンスを使ったシステム評価では、プロトンからの NMR 信号の検出を確認し、NMR 信号を検出可能な従来システムと同等の機能を保ちつつ、装置の小型化を達成することができた。さらに、センサの高度化を目指し、ダイヤモンド合成装置と NMR パルスシーケンスに改良を行った。これにより、磁場検出限界を決める電子スピン寿命 (T_2) を改善させることができ、目標としたピコテスラ感度を持つセンサの性能を確認した。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] 化合物半導体、有機半導体、超伝導、酸化物エレクトロニクス、強相関エレクトロニクス

④【製造技術研究部門】

(Advanced Manufacturing Research Institute)

(存続期間：2015.4.1～2020.3.31)

研究部門長：市川 直樹

副研究部門長：加納 誠介、秋山 守人

総括研究主幹：手塚 明、松崎 邦男、徐 超男

所在地：つくば東、九州センター

人員：66名 (66名)

経費：799,599千円 (316,194千円)

概要：

日本の強みと言われていた製造業は、少子高齢化や産業の空洞化という社会構造の問題だけでなく、デジタルマニュファクチャリングや Internet of Things (IoT)、Industrie4.0等をはじめとするセンサ・情報技術の急速な進展などにより、新しい局面を迎えています。従来の消費者への安価・高性能・高機能な製品の供給のための大量生産・大量消費を是とした製造技術から、消費者の個々のニーズの取り込みとオンサイトでの供給、限りある地球上の資源・エネルギーを将来の人類にできるだけ長く引き継ぐことへの考慮、さらには自然災害等への対応のためのレジリエンス(柔軟性)強化などへの転換が求められてきています。

当研究部門では、国立の研究開発機関として、こうした長期的な視点での製造技術の方向性を見据え、革新的な加工プロセス・システムの開発、先端センシングデバイスを用いた測定・評価技術の開発、顧客価値や物流・製品リサイクルなども含めた設計・情報技術の開発に統合的に取り組んでいます。

具体的には、この第4中長期(2015-2019年度)において、下記の4つの重点化課題を定めて、製造技術の新たな潮流への取組みを進めます。

①付加工技術の開発：自由な形状創成が可能な3D積層造形技術の特徴を生かした応用と3D複層化や3D造形技術と加工・成膜技術の複合化による新たな機能発現部材の実現

②複合加工技術の開発：加工現象の解明をもとにした加工プロセスを最適に複合化する製造プロセスを開発し、プロセスチェーンの短縮化のみならず、従来の手法では困難な形状や精度の加工と高機能を付与した部材デバイスの製造

③製造網および情報と製造の融合に関する技術の開発：情報技術との融合により、工場・生産設備のムダ・ムリ・ムラや不具合・診断を行うモニタリングシステム・データモデルの構築、社会的要素も含めたシナリオ分析による生産レジリエンス強化

④構想設計・超上流設計に関する技術の開発：顧客

価値の高い製品・システムの開発を可能にするために、複数業種の製造企業における共通問題の抽出、設計プロセス効率を下げずにデライト設計の質向上を実現

新たに開発される特性の高い素材・材料やこれまで利用されてこなかった高付加価値素材・材料に対して、様々な加工プロセスの最適化、異なる加工プロセスの複合化、加工プロセスやプロダクトのその場計測・評価技術とその設計や加工へのフィードバック、そして機能設計や加工プロセスを上流から考慮する設計情報技術の開発に加え、今年度からは、つながる工場、つながる生産設備等、全体最適を指向した生産システムに関する新しい展開を課題としています。それぞれ将来を見据えた先端技術の開発とその実現のための基礎的知見の集約、技術同士の統合・融合化をはかっていきます。また、これらの成果は、地域産業の活性化を念頭においた公設研や地域企業の技術との連携により、新しいものづくりのコンセプトとして、産業界への提案・実証や展開などを行っていきます。

当研究部門の研究拠点は、機械・加工技術に関する研究ポテンシャルを有するつくばセンター（8研究グループ）と計測モニタリングに関する研究ポテンシャルを持つ九州センター（4研究グループ）の2カ所があり、計12研究グループで研究を進めました。本年度においては、重点化課題①～④の推進のため、以下の4課題を部門重点課題、5課題を萌芽課題、2課題を連携課題としました。

部門重点課題

- ・「3D 造形複合化プロセスによる機能発現部材創成に関する研究」
- ・「生産システムモデル作成技術に関する研究」
- ・「スマートマニュファクチャリングに向けた高性能複合窒化物圧電体の開発」
- ・「医療機器応用のための複合加工法の開発」

萌芽研究

- ・「加工学的発想に基づく先進的医療デバイス開発のための医工連携基盤構築」
- ・「リアルタイム X 線観察によるワイヤ供給造形中のブローホール形成メカニズム解明」
- ・「ゼーバック効果を利用した溶融プールモニタリング技術」
- ・「マイクロ試験片による疲労試験法の開発」
- ・「マグネトロンスパッタリングにおけるドーナツ型エロージョン領域の拡張に対する妙案」

連携研究：

- ・「タンパク質の吸着制御／固定化技術の開発」
- ・「高温摺動材料の開発研究」

内部資金：

- ・「液中粒子濃度計測に係る一般的ガイドライン開発」
- ・「3D プリンターの産業創出プラットフォーム形成事業」

外部資金：

経済産業省

エネルギー需給構造高度化対策費

- ・「大口径マルチモード光ファイバ・コネクタ及びその通信性能に関する国際標準化・普及基盤構築」
- ・「スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築」

戦略的基盤技術高度化支援事業

- ・「超薄肉・極細プラスチックニードルの複合流動制御成形及び量産技術の開発」
- ・「電解レーザ微細複合加工技術の実用化による微細医療器具の開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）

- ・「革新的設計生産技術／チーム双方向連成を加速する超上流設計マネジメント／環境構築の研究開発」

独立行政法人日本学術振興会

科学研究費補助金 基盤研究（A）

- ・「格子・電荷・光結合系の設計と制御によるフォトニクス機能の進化」

科学研究費補助金 基盤研究（B）

- ・「切削力フィードバックによる能動切込制御型マイクロ・ナノ切削加工システムの実証研究」
- ・「透過電顕を用いたナノ蛍光体単一の光学特性評価と粒子構造との関係解明」
- ・「流体操作技術による新たな精子選別技術の開発と実証試験」
- ・「革新的3D トリリオンセンサ作製技術の開発」
- ・「機能分子組織化 DNA・金ナノ粒子複合薄膜による革新的高効率光アップコンバージョン」

科学研究費補助金 基盤研究（C）

- ・「パイプを伝搬するガイド波のモード解析」
- ・「社会様態の変化を促し環境負荷を低減する積層造形（AM）技術利用シナリオの設計」
- ・「正20面体クラスター構造を持つ水潤滑用低摩擦・低摩耗ホウ化物セラミックスの開発」
- ・「電磁非破壊検査技術向上に向けた高度磁場解析技術の構築」
- ・「製品リマニュファクチャリングの成立条件分析と需要予測モデルの研究」
- ・「常磁性低融点金属スパッタリングに用いる新規プラズマ源の研究開発」

- ・「金属積層造形技術の化学分析システムへの応用」
科学研究費補助金 若手研究 (B)
- ・「プラズマ中の微粒子が及ぼすプラズマインピーダンス変化のモニタリングと現象解明」
- ・「欠陥準位制御による微小ひずみ応答材料の創製」
科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究
- ・「異種金属直接接合技術を利用した積層π型熱電発電モジュールの創製」
- ・「走査型プローブ顕微鏡によるアコースティックエミッションの複合計測技術の開発」
科学研究費補助金 特別研究員奨励費
- ・「応力制御型光スイッチの研究開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)

- ・「国産データベースの開発 (セラミックス系の汎用データベースおよび物性データベースの開発) / 国産ソフトウェアの開発」
- ・「構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発」

JST (マッチングプランナープログラム)

- ・「過酷環境に適した高機能メンテナンスフリー型オールメタルシーリング技術の開発」
- ・「パーティクル抑制効果に優れたプラズマエッチング用セラミックス部材の開発」

文部科学省地域イノベーション・エコシステム形成プログラム事業

- ・「車載用着座姿勢センサの開発に関する研究」

農林水産省農林水産技術会議事務局 繁殖性の改善による家畜生涯生産性向上技術の開発委託事業

- ・「繁殖性の改善による家畜生涯生産性向上技術の開発」

一般社団法人ファインバブル産業界医工連携事業化推進事業

- ・「ファインバブル利用による滅菌装置の開発」

発表：誌上発表111件、口頭発表292件、その他16件

デジタル成形プロセス研究グループ

(Digital Manufacturing Process Group)

研究グループ長：岡根 利光

(つくば東)

概要：

3D データを基軸とした CAE・加工プロセス・ヒューマンインターフェイスの開発を統合的に行うことにより新たな生産技術の開発を進めている。そのために、鋳造、塑性加工、熱処理、3D 造形、CAE、AR、IT

等の各基盤的技術について加工評価実験・加工現象のモニタリング手法やシミュレータ、作業支援技術の開発を通して、加工メカニズムの解明と高度化に取り組んでいる。さらに技術的連携・統合・融合化による新たな加工プロセスの開発とそれによる高付加価値機能発現部材の開発を行っている。具体的には、3D 造形技術の高度化を目指した先行研究として、積層造形技術と塑性加工の組み合わせによる組織制御技術、加工技術と CAE、AR との連携による作業支援技術の開発を行った。今後、加工技術の基礎研究をベースに積層造形技術等を利用した高付加価値製造が実現可能となるプロセス指針の確立を目指している。その他、各基盤的技術で進めている加工メカニズム解明の基礎研究を基に、加工プロセスの高度化・合理化・最適化を図り、産業界での活用と普及を推進している。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目5

積層加工システム研究グループ

(Additive Processes and Systems Group)

研究グループ長：小木曾 久人

(つくば東)

概要：

本研究グループでは、コーティング技術とその評価技術を基礎として、付加加工技術 (AM) の高度化をめざし、指向性エネルギー堆積法 (DED 法) を用いた 3D 積層造形技術、および、積層造形物の評価技術の研究開発を行っている。特に、プロセス技術開発は 26 年度から開始されている、経産省の大型プロジェクト「次世代型産業用 3D プリント技術開発」に参画し DED プロセスの微細化に取り組んでいる。この成果は、技術研究組合 TRAFAM を通し、展示会などで発信している。そのほかにも新たな方法であるワイヤ DED 技術の基礎研究も実施している。積層造形物の評価技術としては、AM 造形物の内部欠陥をインプロセスでモニタリングする技術の開発をめざし、レーザ超音波法を用い、非接触、非破壊で、AM 造形物内部の欠陥を検出しその構造を推測する研究を行なっている。さらに AM を実製品に展開するとき不可欠な、AM 部材の後処理を念頭に、めっきや研磨技術などにも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目6、テーマ題目7、テーマ題目8

オンデマンド加工システム研究グループ

(On-demand Manufacturing System Group)

研究グループ長：芦田 極

(つくば東)

概要：

マイクロファクトリ (製造対象の寸法に見合った小型の生産加工システム) のコンセプトに基づき、創意

工夫に富んだ新たな先進的加工システムと、それらのネットワーク化の研究を推進する。主に加工装置および加工対象のマイクロ化をテーマに、これまでの製造技術では対応できない新たな課題を抽出し、それらを解決するために、新原理や複合加工を適用したマイクロ加工プロセス、マイクロ計測・検査技術、小型アクチュエータ要素、これらを組合せた制御システム等を試作開発し、評価を行う。さらに MZ プラットフォームを活用して様々な生産要素をネットワーク化し、生産加工情報を収集・管理、加工プロセスにフィードバックすることで、生産システムの省エネルギー・省資源効果、およびフレキシビリティ向上による多品種少量生産にオンデマンドで対応する製造技術研究を推進する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目5

機能造形研究グループ

(Function Forming Group)

研究グループ長：中野 禪

(つくば東)

概要：

各種の部品を製造する場合、それぞれの部品の機能を十分に得られるように加工する必要がある。部品の機能は、材料・形状・表面機能のそれぞれを最適に得ることにより実現する。加工技術としても、塑性変形、積層造形、コーティング技術等の課題を研究することにより機能の実現を目指している。またどの加工技術を使って機能を得るかを十分に考慮する必要がある。同じ形状を得るだけでも加工技術の得手不得手を十分に検討する必要がある。多様な加工技術を対象に研究を進めている。三次元形状の作製では積層造形が著名になっているが、スピニング加工では板からの成形で高速に形を作り、かつ他の加工法では難しい複雑形状も作れる。粉からの加工では得られないようなマイクロデバイスの作製には、プレス加工と低温拡散接合技術を開発し対応している。材料の特性を最大限に利用することにより得ている。生分解性マグネシウムにおいても、材料特性と加工特性を生かし、高機能の製品を得ている。高温用摺動材料を用いた表面技術でも材料の検討から新しい材料を実現している。積層造形技術では、材料・プロセス・利用技術の観点からプロセス中に生じている各種の現象の把握に努め、加工が難しい材料への対応を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目6、テーマ題目8、
テーマ題目11

トライボロジー研究グループ

(Tribology Group)

研究グループ長：大花 継頼

(つくば東)

概要：

製造分野において、省エネルギー、省資源に資するトライボロジーの課題解決に向けた研究開発を行った。表面機能の高度化を中心として、システムとしてのトライボロジー技術を社会的な課題解決に向けた取り組みとしての基盤的トライボロジーと摩擦現象解明による新しいトライボシステムの開発を目指した先端的トライボロジーの二つの取り組みを有機的に連携させながら深化させ、中・長期的にはマイクロ/ナノからマクロへの展開を主軸とした研究を進め、トライボロジー技術の革新を指向している。

今年度は表面テクスチャリングを有する摺動面の開発において、圧力測定や潤滑油の流れの観察および数値シミュレーションによる低摩擦の発現原理の解明、トライボコーティング技術、さらにはアコースティック・エミッションを用いたメンテナンス・トライボロジーや摺動面のその場観察技術の構築に取り組んだ。また、トライボロジーを軸とした共同研究を通じて実用化を目指した応用研究および標準化に取り組み、産業界の根幹技術であるトライボロジー技術の向上と普及に努めた。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目11

表面機能デザイン研究グループ

(Surface Interaction Design Group)

研究グループ長：三宅 晃司

(つくば東)

概要：

本研究グループでは、表面という場を利用した材料の高機能化を目指した研究を行っている。「材料創成技術」、「シミュレーションと実験とが協調した表面物性評価技術」、「表面修飾技術をベースとした表面機能創成」を中核として、基礎現象解明に基づいた「表面機能設計技術」の開発とその応用展開に取り組んでいる。これらの研究開発を通じて製造技術への物理化学的視点からのアプローチにより、製造産業の発展に貢献していく。「材料創成技術」では、低環境負荷流体からなるトライボシステムの構築に向け、水、アルコール潤滑用金属基複合材料およびセラミックス基複合材料の開発を行う。「シミュレーションと実験とが協調した表面物性評価技術」では、複雑現象であるトライボロジーや加工の基礎原理解明に向けて、表面近傍における破壊等の機械的特性を原子スケールで評価できるシミュレーション技術の開発を行う。同時にナノスケールでの機械的特性評価や材料破壊初期過程の解析に向けた装置開発を行う。「表面修飾技術をベースとした表面機能創成」では抗菌表面を例として、抗菌作用の基礎原理解明を行うことにより、表面形状と表面の化学的物性制御を利用した機能性表面創成技術を確立する

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目10

数値デザイン研究グループ

(Mathematical Modelling and Design Group)

研究グループ長：増井 慶次郎

(つくば東)

概要：

本年度は、重点課題である「生産システムモデル作成技術に関する研究」において、多系統のシステムが混在するシステム（システムオブシステムズ）を統合管理するためのモデル作成支援技術の開発を行った。具体的には、企業との共同研究等を通じて、生産システムのモデル化に必要なパラメータの抽出を行い、そのパラメータ間の関係を明示するための記述方法について一般化（記述形式標準化）案を提示した。本研究は、SIP 革新的設計生産技術の実施項目である「デザインブレインマッピング（DBM）システムの研究開発」とも連携して、設計、製造分野における計算機援用基盤技術として整備している。さらに製造された製品の管理をライフサイクル全般にまで拡張することで、資源・エネルギー効率を高めることを検討した。具体的には、産総研コンソーシアム（SURE）の活動の一環として、廃製品リサイクルのための「動静脈製品情報流通システム」の開発に着手した。

研究テーマ：テーマ題目2

構造・加工信頼性研究グループ

(Structural and Processing Reliability Group)

研究グループ長：原田 祥久

(つくば東)

概要：

産業機器や輸送機器等の構造部材や加工後の部材において「安全・信頼性」を確保することが要求されている。その要求に応えるためには、製造時や加工時の初期欠陥や箇所を検出技術、供用過程における劣化・損傷・欠陥評価だけでなく、これらに基づく「寿命・余寿命予測」に反映させていくことが必要となる。当研究グループでは、発電プラント、輸送機器、社会インフラ、産業機器等の様々な構造部材や付加工を施した加工部材を対象に、材料の耐久性評価、き裂解析、欠陥・欠陥箇所検出等を行い、その劣化損傷メカニズムを解明するとともに、寿命・余寿命予測が可能となる評価技術の開発を行う。また、実用部材で見られる複雑な形状欠陥についても評価が可能な非破壊損傷評価技術の開発を行う。さらには、これらの知見をもとに「複合加工技術の開発」へ反映させるような要素技術の提示に取り組む。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目8

センサシステム技術研究グループ

(Sensor System Engineering Group)

研究グループ長：田原 竜夫

(九州センター)

概要：

ものづくりの現場では、製造工程や製品に対する信頼性を高めかつスループットの向上を図るため、製造プロセスをその場監視できるオンサイトモニタリング技術への期待が高い。その一方で、監視対象となる設備や工程の変更には、通常、消極的である。そこで、工程の変更を前提とせず、大きな設備の増設も不要でありながら、より高度なプロセスモニタリングが可能となるセンサシステム技術の開発を進めている。今年度はその実現に向けて、①薄膜圧電体を利用したセンサシステムの開発、②半導体製造のためのドライエッチング工程における量産効率改善ならびにスパッタリングに用いる新規スパッタ源の開発、③センサ信号から有用な情報を抽出し、センサシステムの効率的運用につなげるための信号処理技術、の三つの要素技術開発に取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目9

センシング材料研究グループ

(Functional Material and Sensor Group)

研究グループ長：山田 浩志

(九州センター)

概要：

モノのインターネット化（IoT）による生産プロセスのスマート化（スマートマニュファクチャリング）、気候・地殻変動、人・物の流れ、ウェアラブルセンシングによる健康管理等、複雑化する社会・環境問題の解決や経済的付加価値の向上に対して、ICT とビッグデータの活用（CPS）が注目されている。その中で、センサは情報の「フロントエンド」となるキーデバイスとして必要不可欠のものである。センシング材料研究グループは、生産・製造技術への技術貢献を念頭に置きながら、下記に列挙するような3つの課題に取り組んでいる。①新規センシング材料の開発：市場におけるセンサニーズを把握しながら、過酷環境下、生体、食品検査等への適用を想定したセンサ材料の開発に取り組む。②センサ素子の開発：センシング材料をセンサ素子として機能させるための成膜技術、デバイスの開発に取り組む。③素材・製品、並びに製造プロセスの解析・評価技術の開発：多元系材料開発の指針や熱力学に係わる諸現象の解明の基盤となる計算熱力学ソフトウェアとデータベースの開発に取り組む。また素材・製品の非破壊評価技術の開発にも注力する。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目11

トリリオンセンサ研究グループ

(Trillion sensing Group)

研究グループ長：寺崎 正

(九州センター)

概要：

トリリオンセンサ研究グループでは、非連続的で膨大なセンサ・プローブを用いたトリリオン（1兆個）センサ時代、すなわち情報オリエンテッドな社会の到来を見据え、「見えないものの可視化」、「価値分布の可視化」の技術開発を行う。開発にあたっては、製造分野におけるもののインターネット化（IoT）、製造業の革命、持続的産業競争力強化を意識し、トリリオンセンサが拓く健康・グリーン・環境・食糧の観点での「無意識による損失」の無い「潤沢な社会」に貢献する。具体的に「見えないものの可視化」に関して、①業界の諦め（例えば、潜傷、静電気等）の可視化、②見えている筈（応力分布の様に経験やシミュレーションで見えているが時に異なる、もしくは時間と共に変化するもの）の可視化、更には③製造現場における暗黙知の可視化など、独自の可視化技術の開発を行っている。特に、マルチマテリアル製造で注目度が高い接着技術に着目し、接着不良部の可視化に成功したことは特筆に値する。既設センサや一見無関係な情報、現場情報と、可視化技術とのデータ相関を活用し、直接計測困難な情報を類推する間接可視化技術の取組みを行っている。製造企業ニーズオリエンテッドな革新的可視化技術開発を通して、材料・プロセス・品質の革新・改善・決断を促す直接的な情報・解決策を提示する事で製造網の構築に貢献するとともに、根源となる学術知見の抽出・集積・カスタマイズを行い、学術、企業、地域を含めた広い産業社会への還元を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

生物化学プロセス研究グループ (Biochemical Process Group)

研究グループ長：山下 健一

(九州センター)

概要：

マイクロ化学、ナノ科学技術を用いて、生産現場での計測技術開発や生産プロセスの強化などについての研究を行っている。マイクロ流体の持つ高い流体操作性を基盤として、化学産業のみならず、環境、医療、製薬、バイオ関連、食品産業、化成工業等への応用展開に関する検討を行う。具体的には、流体操作性による最少試料化（微量）、集積化などによるその場計測や化学反応自体の加速による効率的な計測（迅速）、短い実効拡散距離などの効果を利用した分析（精密）・計測などを行う。特に食品、農産物、医療関連の計測デバイスの開発を企業や大学と連携して進めている。

研究テーマ：テーマ題目10

[テーマ題目1] 3D 造形複合化プロセスによる機能発現部材創成に関する研究

[研究代表者] 岡根 利光（デジタル成形プロセス研究グループ）

[研究担当者] 岡根 利光、梶野 智史、岩本 和世、徳永 仁史、本山 雄一、中野 禪、清水 透、村上 敬、佐藤 直子、小木曾 久人、廣瀬 伸吾、瀬渡 直樹、佐藤 治道、芦田 極（常勤職員14名）

[研究内容]

3D 積層造形技術は、自由な形状創成が可能であり、その特徴を生かした輸送機器用の軽量構造部材、流体制御による高冷却金型・航空宇宙機器部材への活用が期待されている。3D 造形技術の高度化技術の開発を行い、マイクロチャンネル部材、超耐熱部材、耐摩耗材など新たな機能発現部材の実現を目指す。

3D 造形高度化技術の開発では、レーザー積層造形技術・インクジェット積層造形技術をコア技術とし、3D 造形物の高性能化を目的に真空、プラズマによる雰囲気制御造形技術を開発する。レーザー超音波法のインプロセスモニタリングへの適用の検討、Ti 合金および Al 合金の真空雰囲気造形におけるレーザー照射条件の検討を行う。

結果として、AM 造形物に対し、レーザー超音波法を用い、音速、音速分散、画像化技術を組み合わせることで、内部欠陥を非接触、非破壊で検出することに成功した。これにより、AM のインプロセスモニタリングへの適用可能性を検証できた。

真空中レーザー積層造形技術では、Ti 合金および Al 合金について、真空雰囲気における造形物の相対密度に及ぼすレーザー照射条件の影響を明らかにした。Al 合金は、高いレーザーパワーが必要であり、緻密化するレーザー照射条件がチタン合金とは異なる傾向が明らかとなった。

3D 造形プリ・ポストプロセス技術の開発では、非接触欠陥検出技術・EBSD 法による材料評価技術、材料開発・表面修飾技術をコア技術とし、機能発現部材の実現による、企業への橋渡しを目的とした、造形用材料開発等のプリプロセス技術、3D 造形物評価技術等のポストプロセス技術開発を行う。材料開発に向けた加工中の粉敷評価および溶融凝固現象評価及び3D 造形と鑄造・塑性加工との複合加工技術の開発を行うことを目的とした。

結果として、造形物の品質におよぼす原料から造形物に至る様々な因子を理解するためには、加工中の材料の挙動を評価することが必要であり、加工中の粉敷評価および溶融凝固現象評価を試みた。層毎に粉敷の状況のばらつきが観察され、粉敷の安定化に貢献できるデータ取得を行った。また、積層造形用材料の多様化に資するた

め、ボーリングに及ぼす融体の表面張力の影響評価や、異質核添加による造形組織の微細化と造形物の高強度化を図った。さらに、金属セラミックス3D 複合構造体の開発、レーザー積層と塑性加工のポストプロセスによる材料高度化技術の開発を行った。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】3D 積層造形、レーザー積層造形、インクジェット積層造形、プラズマ援用DED、2波長レーザーDED、多孔質シート、低侵襲性医療用デバイス、非接触欠陥検出技術、EBSD 法、機能発現部材、セラミックス鋳型

【テーマ題目2】生産システムモデル作成技術に関する研究

【研究代表者】増井 慶次郎

(数理デザイン研究グループ)

【研究担当者】増井 慶次郎、近藤 伸亮、松本 光崇、往岸 達也、寺崎 正、古賀 淑哲、藤尾 侑輝、坂田 義太郎

(常勤職員8名)

【研究内容】

生産システムの効率化のため、生産シミュレーション導入が加速している。作成された生産システムモデルにより、不具合が起きた際の原因探索や、予防保全にも活用が期待できるため、モデル作成を容易にする技術が求められている。そこで本年度は、主に、多システムのシステムが混在しているシステム（システムオブシステムズ）を統合管理するためのモデル作成に役立つ支援技術の開発を行った。具体的な開発課題は以下の2点である。

①生産モデル記述方法の開発：共同研究等を通じて得られた生産システムに関する情報をもとに、生産システムのモデル化に必要なパラメータの抽出を行い、そのパラメータ間の関係を明示するための記述方法について一般化（記述形式標準化）案を提示した。機能・構造・生産管理といった各階層のモデルで扱うデータの分類とそれらの関係性を整理するとともに、工場の管理者等が知りたい指標を生産現場のデータから類推するための評価プロセスも考案した。

②工程データと製品品質データの構造化：上記事例検討に基づいて一般化された生産システムモデルの記述方法を別の事例（フィルム工場）に適用することで、手法の有効性の検討を行った。具体的には、生産プロセス上重要な静電気計測結果および製品品質に関する計測項目・データ間の関係性を分析することで、静電気を直接計測しなくてもプロセスパラメータを簡易的に計測することで静電気の発生を把握すること（間接モニタリング）を試みた。その一方で、生産計測技術については、間接モニタリングを生産ラインに導入する前段階として、ロジック検証用としての直接計測法の開発も行った。具体的

には、応力発光、潜傷可視化、めっき劣化・プロセス可視化を推進した。その中で、次世代航空機・自動車開発の課題とも言うべきウィークボンド検出に道筋を立てることができたことが非常に有意義であった。

今後の展開としては、本年度作成した基本フレームに基づき、各種モデル間の関係分析技術を開発する。具体的には、レジリエントな生産実施およびメンテナンスを目的とした、グラフモデル特徴量等を用いたエンジニアリング知識の抽出手法の開発を行う。本件の具体事例としては、半導体や高機能ガラスといった製品上の潜傷検知について、プロセスファクタをモニタリングすることで間接的に検知することを試行する。また生産ラインの状況を可視化し、サイバー空間で最適化された結果を作業指示として情報提供するシステム（CPS: Cyber Physical System）を開発する。さらにこれまで工場内について検討してきたモデル化の対象を工場間の連携まで拡張したサプライチェーンのレジリエンス性評価を行う。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】製造網、生産システムモデル、生産計測技術、CPS、不具合診断、レジリエンス評価

【テーマ題目3】スマートマニュファクチャリングに向けた高性能複合窒化物圧電体の開発

【研究代表者】山田 浩志

(センシング材料研究グループ)

【研究担当者】山田 浩志、田原 竜夫、上原 雅人、Sri Ayu Anggraini（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究の背景としては、災害や不具合事象からの生産システム回復力（レジリエンス）強化が求められる中、欧州では、Industrie4.0など生産システム自動化・効率化の革新技術開発が活発化していることがあげられる。このような背景のもと、生産計画、生産設備、生産計測システムを統合した生産システムモデルの一般的記述方式が必要となってきた。そこで以下の3点について開発を行った。

AI や情報通信基盤、センサデバイス技術の飛躍的な発展と低コスト化を背景に、IoT や CPS を利用した製造技術革新への機運が世界各地で高まっている。センサ材料やセンサデバイスは物理世界の情報を捉える信号の入口（フロントエンド）であり、これら材料やデバイスの高度化に向けた研究開発が活発に進められている。窒化物圧電材料は、圧力センサ、環境発電、フィルタ等、IoT を支える先進デバイスのキーマテリアルのひとつとして位置づけられており、アメリカでは計算科学を積極的に利用した未知圧電材料の探索プロジェクトが始動している。企業からは圧電材料開発において遅れを取るのではと懸念され、計算科学を利用した圧電材料開発の促進が期待されている。

圧電材料の中でも AlN 系圧電薄膜材料は、無線通信フィルタとしてほぼ100%使用されており、高性能化のインパクトが非常に高い。そこでターゲット材料を AlN 系に絞り、次の3課題に取り組むことで計算科学技術の材料開発促進に対する有効性を検証することにした。

① 計算科学による金属元素組み合わせのスクリーニング

3元系以上の窒化物を対象とし、各金属元素の組み合わせについて、計算熱力学により安定相と相境界、第一原理計算により生成エンタルピーと圧電定数の評価を行い、有望な金属元素の組み合わせをスクリーニングする。

② 高性能複合窒化物圧電体の開発

①の計算結果に基づき、スパッタリング法を用いて複合窒化物圧電体の開発と物性評価を行う。

③ 計算結果&実験結果のアセスメントと物性メカニズムの解明

①と②の結果について評価を行い、圧電物性に基づく High 圧電材料の開発指針を見つける。

材料開発のメイン装置となる三元同時スパッタリング装置の不調により、本年度予算の2/3を装置のメンテナンス費用に充てることとなった。そのため当初予定していた計算ソフトウェアの拡充は次年度以降となった。各目標に対するこれまでの成果等については下記のとおりである。

① AlN に Mg, X (X=Ti, Nb, Zr, Hf) を共添加 (合金化) したモデルに対して各物理定数の第一原理計算を実行した。圧電定数、生成エンタルピー、弾性定数、誘電率の計算結果を総合的に比較検討し、X=Ti が比較的良好である結果を得た。

② ①の計算結果に基づき、Al, Mg, Ti の3元同時反応性スパッタリングの製膜条件を探索した。Mg, Ti の同時添加により圧電定数の向上 (AlN の1.5倍) を確認するとともに、製膜条件 (温度、ガス圧、スパッタ出力) により Mg, Ti の添加量を大きく制御できることを見出した。今後さらに製膜条件を最適化して Mg, Ti の添加量を増やすことにより圧電性能の向上が期待できる。

③ 昨年3月にプレス発表した MgNb-AlN について構造評価を行った結果、Mg と Nb の共添加とそれぞれの単独添加で結晶構造への影響は全く異なることが分かった。また、XPS 分析により、Nb は5族元素にもかかわらず、主に3価と4価の電子状態で存在していることが判明し、Mg の添加量が増えると4価が増えることを明らかにした。同様な現象は MgTi-AlN でも観測されており、今後の研究の進展により新たな材料設計指針の提唱につながることを期待できる。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 窒化物、圧電体、BAW フィルタ

【テーマ題目4】 医療機器応用のための複合加工法の開発

【研究代表者】 松崎 邦男 (製造技術研究部門)

【研究担当者】 松崎 邦男、芦田 極、栗田 恒雄、小倉 一郎、大花 継頼、鈴木 健、是永 敦、間野 大樹、大村 彩子、三宅 晃司、日比 裕子、藤澤 悟、平澤 誠、原田 祥久、西村 良弘、笹本 明、中住 昭 (常勤職員17名)

【研究内容】

製造業における国際競争力維持のために、高機能を有する先進材料等の難加工材の加工や複雑形状、高精度の加工さらには加工プロセスの高生産性や省エネ性が求められるが、既存の個々の加工では限界がある。そこで、本研究では医療機器応用のために複数のプロセスを複合化して、従来困難であった加工を実現し、高機能を有する部材、デバイスの製造を可能とする革新的な複合加工技術の開発を行った。

電解レーザー複合加工専用機を開発した。電解レーザー複合加工を活用した新デバイスとして小径ステントを想定し、開発した専用機を用いてデモ加工を行った結果、レーザー加工のみでは不可能なバリや溶融再凝固物の少ない加工が可能であることを確認した。小径ステントデモ加工では形状加工創成が可能となったが、実際にステントとして機能させるためにはさらに若干の仕上げ加工が必要である事が分かった。また製造コスト削減のため、加工速度を向上させる必要があることも分かった。

電磁成形を用いた医療機器の成形にも着手した。高菌性を有する素材やメッシュ上の素材に対しても、電磁成形では非接触での加工が可能であることが分かった。また、加工性の向上のための加熱冷却機構との複合化は成形性などの特性向上に有効であることを見出した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 電解加工、レーザー加工、ハイブリッド加工、電磁成形、医療デバイス

【テーマ題目5】 加工学的発想に基づく先進的医療デバイス開発のための医工連携基盤構築

【研究代表者】 栗田 恒雄 (オンデマンド加工システム研究グループ)

【研究担当者】 栗田 恒雄、徳永 仁史、小倉 一郎 (常勤職員3名)

【研究内容】

医療技術の進歩が望まれる反面、医師の負担は適応領域の拡大、技術の多様化などから大きくなる傾向がある。医療機器・器具において、内視鏡、エコーなど計測器は進化している一方、手術器具は単純・汎用なものが使用され、医師技術に依存している。本研究では、国内に蓄積している加工 (製造) 技術、自動化技術などを生体組織に応用することで、これまで医師による手作業で行わ

れた施術の部分的な高効率化、自動化を図る研究開発を行う。

生体組織加工技術、同技術を応用した医療用デバイスを開発することで、患者の身体的、経済的負担の軽減や医師技術の標準化、さらなる医療技術発展へのフィードバックなどに貢献することができる。また、医療用デバイス産業の発展、医療行為の合理化に伴う医療保険費の削減などにより、内需活性化、外貨獲得、税金の効率的活用に貢献できる。

本研究では、国内製造業が持つものづくり技術を生体へ応用できる環境構築のため、生体組織加工技術を体系化するための調査、検証研究を行う。応用先は先ず、患者への負担軽減が期待できるが、医師への負担が大きいと考えられる内視鏡手術など、低侵襲治療技術でニーズ調査、具体的治療デバイスの開発を検討する。さらに生体組織加工技術の有効性を示し、医療技術全般に展開する。

本年度は、現在活用されている製造技術と医療技術の比較を容易にするため、現在用いられている医療（加工）技術が生体組織（加工材料）にどのような影響を与えているかを物理的見地から整理した。具体的には、現在用いられている医療技術を調査し、それらが生体組織に対して、どの臓器、どの組織、どの細胞に、どのような力学的、熱的、電気的、光学的影響を与えているかについて、医学会会議に出席し、研究発表内容を整理した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】生検、鉗子、工具、機械加工、内視鏡手術

【テーマ題目6】リアルタイム X 線観察によるワイヤ供給造形中のブローホール形成メカニズム解明

【研究代表者】瀬渡 直樹

(積層加工システム研究グループ)

【研究担当者】瀬渡 直樹、中野 禪、佐藤 直子

(常勤職員3名)

【研究内容】

レーザを使ったワイヤ供給型3D プリンタは造形材料の供給が固体ワイヤなので迅速な造形が期待される。また、ワイヤ材は、粉末に比べて材料費が安く、保管も容易なため、加工が安価で大体積を高速に造形できるプリンタになる可能性も持っている。更に、様々な合金成分のワイヤが入手しやすいので、実用合金の加工などに対応しやすい特徴もある。しかし、加工条件によっては造形した部分の内部にブローホールと呼ばれる空洞が生成することがあり、これが多数生成すれば、造形物の強度を致命的に低下させる。解決のためにはブローホールの生成挙動を明確にし、抑制方法を講じる必要があるが、ブローホールは造形金属内部で発生するため、その生成挙動を直接観察することは不可能である。そこで

本研究では、ワイヤ供給型3D プリンタで造形中の造形金属内部を X 線で透過し、様々な加工条件下における内部の挙動を観察した。その結果、次のような2ケースが観察された。

まず、レーザの出力が特に大きい、または、ワイヤの供給量が少ない場合には、レーザ照射部分に不安定に膨張収縮するキーホールが形成し、ここから気泡が発生してブローホールとして残留していく様子が確認された。このブローホールの生成挙動はレーザ溶接時のポロシティの生成挙動と同じであることが確認された。また、このような挙動を示したサンプルの熔融金属部の溶込みを分析したところ、レーザ溶接独特の深溶込み溶接になっていた。

次に、レーザの出力が適切、もしくは、ワイヤの供給量が十分な量の場合、レーザ照射部にはキーホールは確認されず、気泡の発生も観察されなかった。このような挙動を示したサンプルの熔融金属部の溶込みを分析したところ、溶込み深さは浅く、積層されている層が厚いブローホールの無い断面だった。

これらの結果より、ワイヤ供給型3D プリンタで造形中に発生するブローホールは深く不安定なキーホールの生成によるものと考えられ、レーザ出力に見合ったワイヤ供給を行うことで、深く溶かすエネルギーをワイヤの熔融と造肉するエネルギーとして使用することができれば、ブローホールの発生はおのずと防げることが確認された。

なお、レーザ出力が特に小さい場合やワイヤの供給が多すぎる場合、もしくは、ワイヤの狙い位置がレーザの照射位置とずれてしまった場合などでは、加工中にワイヤが試験片に溶着する、または、ワイヤが溶けずに加工に失敗するという NG になった。ワイヤの供給位置とレーザの照射位置についてもより一層の精度向上が必要という課題も確認された。

今後は、本知見を活かして、レーザを使ったワイヤ供給型3D プリンタの性能/品質の向上を図り、より多機能な造形への対応を目指す。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ワイヤ供給型 DED、加工内部挙動、ブローホール、レーザ加工、X 線透視観察

【テーマ題目7】ゼーベック効果を利用した溶融プールモニタリング技術

【研究代表者】佐藤 宏司

(積層加工システム研究グループ)

【研究担当者】佐藤 宏司、瀬渡 直樹、小木曾 久人

(常勤職員3名)

【研究内容】

現在、我々が研究を進めているワイヤ供給型3D 積層技術は、レーザ溶接機を改造し、金属ワイヤをレーザ照射位置に挿入して3次元構造物を作製する技術である。

この方法では、積層したい場所にレーザを照射して金属ワイヤを溶融させて肉として供給するため、切削やパウダーベッドで発生する無駄な材料（削り屑や造形しない金属粉末等）を極小に抑えることができる。また、溶接用の大出力レーザを用いるので、供給した材料を高速に溶融させることができ、体積の大きな部品も高速に造形可能である。そして、インコネルのような耐熱合金に対してレーザの吸収率は良好であり、レーザを使った耐熱合金の加工は従来加工法に比べて圧倒的に良好であるため、現在研究が進められている第五世代の超合金へも容易に対応が可能である。しかし造形中は大きなプラズマが発生するため溶融池の状態をモニタリングすることは困難であり、造形中に生じる様々なエラー（ワイヤの溶着、造形物の凹凸等）を軽減することが本技術の課題となっている。

本研究では、光学レーザを熱源とし電氣的に中立なレーザ積層方式に注目し、積層加工中の溶融池の温度をファイバーワイヤと母材との間にゼーベック効果により生じる起電力を利用し、ワイヤの供給状況や溶融温度をリアルタイムにモニタリングするシステムを提案する。

SUS304基板の表面に鋼ワイヤ（溶接用ソリッドワイヤ MG-S50）をレーザ照射により積層させた時に、ゼーベック効果により生じる起電力の測定を行った。鋼ワイヤはレーザ照射により溶融し、SUS304基板表面に造形されるため、電氣的な閉回路が作られる。高温の溶融部に対して異なる2種の金属で繋がっているため、ゼーベック係数の違いから電位差が生じる。1.2 mm の鋼ワイヤを7.7 m/s の速度でレーザ焦点に供給しながら、2.4 kW の YAG レーザで5秒間1.5 m/s の速度で SUS304 基板表面を走査することにより、高さ1.2 mm、幅2.5 mm、長さ80 mm の鋼を積層しているときに発生する起電力の変化を測定した。ゼーベック効果による出力信号の変化が微弱なため、外部からのノイズ信号の影響が相対的に大きい、フィルタ等を介することにより、微弱な熱起電力の測定に成功した。今後は外部からのノイズを軽減し、ゼーベック効果による変化を正確に測定するかが課題となる。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ゼーベック効果、溶融プール、モニタリング

【テーマ題目8】 マイクロ試験片による疲労試験法の開発

【研究代表者】 名越 貴志

（構造・加工信頼性研究グループ）

【研究担当者】 名越 貴志、原田 祥久、小木曾 久人、佐藤 直子（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

マイクロメートルオーダーの微小試験片を用いた機械的特性の評価はサイズ効果として知られる試験片寸法を

小さくすることによる特性の変化を理解するためだけでなく、小型集積化が進む微小デバイスである MEMS に用いられる部材の特性評価としての利用など、実用材への適用が期待されている。しかしながら、試験片の作製による制限や荷重負荷メカニズムの制限などから微小機械試験は圧縮や曲げによるものがほとんどであり、引張による研究報告もわずかである。引張圧縮による両振応力の条件で微小部材の疲労特性評価を行うことができれば、微小部材の特性評価の可能性が広がるだけでなく、疲労メカニズムの素過程を微小試験によって明らかにすることで、疲労メカニズムの解明に大きく貢献できるといえる。また、マイクロメートルの試験片から寿命予測が可能になれば、ボイラやガスタービンなど実機の予寿命の測定が試料採取による損傷をほとんど与えることなく実現でき、装置の長寿命化に大きく貢献できる。本研究では、疲労試験法の実施までは至らなかったが、試験機を作製し、引張試験の実施などを通して疲労試験を行う環境を整えた。今後はチタン単結晶などのモデル試料を用いて微小疲労特性の評価を進めていく予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 微小試験、サイズ効果、疲労特性評価

【テーマ題目9】 マグネトロンスパッタリングにおけるドーナツ型エロージョン領域の拡張に対する妙案

【研究代表者】 本村 大成（センサシステム技術研究グループ）

【研究担当者】 本村 大成、田原 竜夫、笠嶋 悠司、上杉 文彦（常勤職員4名）

【研究内容】

プラズマスパッタリング法は金属膜の作成工程で多用される手法である。マグネトロンスパッタリング法は、プラズマを閉じ込める磁場配位であるマグネロン磁場配位を用いており、スパッタリング速度が速いという特徴を持つ。マグネロン磁場配位を用いると、金属ターゲット外周部にエロージョン領域が局在し、エロージョン領域がドーナツ状になる、そのため、ターゲットの中心付近はスパッタリングが生じないことになり、金属ターゲットの使用効率が悪いことが指摘されている。しかしこれまでターゲット使用効率を改善させる簡単かつ有効な手段は提案されておらず、長年の懸案事項となっていた。そのような中、スパッタリングターゲットの使用効率を向上させる磁場配位及び、プラズマ閉じ込め効果を促進させるアイデアを磁場計算によって見出したので、本取り組みで試作機を製作した。その結果、実験よりターゲット使用効率が改善する可能性が示され、試作した DC スパッタリングカソードを用いると、0.15 Pa (Ar) で放電が持続できることを確認した

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 スパッタリング、ターゲット使用効率

〔テーマ題目10〕タンパク質の吸着制御／固定化技術の開発

〔研究代表者〕中野 美紀

(表面機能デザイン研究グループ)

〔研究担当者〕中野 美紀、松田 直樹、三宅 晃司

(常勤職員3名、他1名)

〔研究内容〕

タンパク質の固体表面への吸着制御技術は、生体適合性材料やバイオエレクトロニクスデバイス開発における重要な課題である。本研究課題においては、有機分子の自己組織化膜 (SAM) を用いて、表面の化学的特性の制御を行い、吸着特性への影響を検討した。SAM は、分子が基板と化学的に結合し、安定な単分子膜を形成する。さらに、分子種の選択により、表面の官能基や濡れ性の制御が可能であり、表面の化学的特性を制御する手法として適している。また、タンパク質の吸着特性の評価には、スラブ光導波路分光法 (SOWG) を用いた。SOWG は、表面・界面のその場測定ができ、エバネッセント波と界面に存在する分子の相互作用の解析が可能であるため、界面における吸着の評価に有効である。本研究課題では、SAM による表面修飾を行い、固液界面においてタンパク質の吸着を制御する手法の検討を行った。

表面修飾には、ホスホン酸とシランカップリング剤をヘッドグループ、カルボキシル基、オリゴエチレングリコール (OEG) をエンドグループにもつ分子を使用した。基板には、ガラス基板及び ITO 基板を用いた。ホスホン酸 SAM のガラス基板への修飾方法と分子密度について、X 線光電子分光法を用いて検討を行った。その結果、SAM 溶液への浸漬後に加熱することで、分子密度が高くなる結果が得られた。また、ヘッドグループの影響について検討した結果、シランカップリング剤よりもホスホン酸を用いた方が、分子密度が高くなる結果が得られた。OEG 末端・カルボキシル基末端のホスホン酸 SAM において、SOWG で *in-situ* でのタンパク質の吸着・脱離特性を調べた。その結果、カルボキシル基末端の SAM よりも OEG 末端 SAM の方が、タンパク質が脱離しにくいことがわかった。以上より、OEG 末端のホスホン酸 SAM がタンパク質を固定化する特性を示すことが示唆された。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕タンパク質、吸着、自己組織化膜、スラブ光導波路分光法

〔テーマ題目11〕高温摺動材料の開発研究

〔研究代表者〕村上 敬 (機能造形研究グループ)

〔研究担当者〕村上 敬、中野 禅、是永 敦、大花 継頼、山田 浩志 (常勤職員5名)

〔研究内容〕

最近加工部分が高温になっても容易に加工できる難切

削材用切削工具や摩擦摺拌溶接ツールの必要性が非常に高まってきている。これら切削工具等を開発するためには高靱性で欠けにくく、かつ超高融点 (最低でも2000℃、可能であれば2500℃以上) の耐摩耗・摺動材料が必要になる。しかし現在切削工具や摩擦摺拌溶接用ツールとして主に使用されているのは、低融点の金属コバルトをバインダーとした炭化タングステン-コバルト系超硬合金 (1300℃近傍で一部溶解が起こる) などで高温強度的に不十分である。本研究では、超高融点材料の短時間焼結が簡単かつ短時間に行うことが可能な放電プラズマ焼結法を用いて、高温摺動の候補材料を数種類作製し、元素分析装置の付属した走査型電子顕微鏡による分析及び X 線回折結果により構成相の同定を行い、同定結果と熱力学解析ソフト CaTCalc により計算した状態図を比較しながら、超硬合金より高温で使用可能で、かつ高靱性、高温強度に優れた高温用摺動材料を開発することを目標とする。今年度は、まず今まで研究代表者らが原材料の短時間混合粉末の放電プラズマ焼結により作製しているために組織が粗く、硬度・靱性等が低い候補材料の組織の微細化等による機械的性質の改善に取り組み、その結果、原料粉末の混合時間を増加させたり、焼結温度をできるだけ低めにし、かつ焼結時間を短めに設定することなどで組織の微細化、硬度上昇させることに成功した。また熱力学解析ソフトで得られた計算状態図と比較した結果、元素分析装置の付属した走査型電子顕微鏡による分析及び X 線回折等で得られた結果とほぼ一致していることがわかった。さらに2種類の相から構成されるよう作製を試みた複合材料の一部については、反応相の形成が見られ、目標の構成相にならなかったが、第3元素を若干量添加することにより反応相をなくすことができ、かつ高硬度が得られるようにすることができた。今後、さらに焼結条件や原料粉末の混合条件をより適正化することにより、より高硬度でかつ高靱性の工具用材料を開発し、切削試験などの実機試験を実施していく方針である。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕サーメット、粉末冶金、放電プラズマ焼結、工具材料、切削工具

⑤【スピントロニクス研究センター】

(Spintronics Research Center)

(存続期間：2010.4.1～)

研究センター長：湯浅 新治

副研究センター長：福島 章雄

所在地：つくば中央第2

人員：18名 (18名)

経費：431,916千円 (136,074千円)

概要：

電子の電荷のみを用いた従来の半導体エレクトロニクスに対して、電子の持つ“スピン”の自由度も活用した新しいエレクトロニクス技術が「スピントロニクス」です。IT 社会の発展に伴って急増する電子機器の消費電力を抑制するために、電子機器が仕事をしていない“入力待ち”時間の消費電力（待機電力）を大幅に削減する必要があり、そのためには電源を切っても記憶が保持される不揮発性メモリ」の開発が不可欠となります。

当研究センターでは、この不揮発性を最大限に引き出すため、固体中のスピン制御技術を極める学術的基礎研究からデバイス応用研究まで、スピントロニクスの技術開発を企業や大学と連携し推進します。

当研究センターでは以下の3つのミッションを掲げ電子スピンを活用したスピントロニクス技術とナノテクノロジーを融合した「ナノスピントロニクス技術」により、大容量・高速かつ高信頼性を有する不揮発性メモリの開発を行い、この技術を中核にして、待機電力ゼロの究極グリーン IT である「ノーマリー・オフ・コンピュータ」の実現を目指します。また、半導体中でのスピン注入、スピン操作、スピン検出の「半導体スピントロニクス技術」を開発し、「スピン・トランジスタ」を開発します。さらに、半導体中のスピンと光の相互作用に基づく「光スピントロニクス技術」を活用し、光通信ネットワークの高度化のための新デバイス「スピン光メモリ」の研究開発を行います。

- ・ミッション1 グリーン・イノベーションの実現
ナノスピントロニクス技術を中核にして、大容量・高速・高信頼性の不揮発性メモリ STT-RAM および電圧トルク MRAM の基盤技術を開発し、コンピュータの主要メモリを不揮発化することによるグリーン・イノベーションの実現を目指す。
- ・ミッション2 半導体スケール限界の突破
スピン RAM によるメモリの不揮発化だけでなく、ナノサイズでも安定に動作するメモリセルを開発することにより、半導体メモリのスケール限界を打破することも目標とする。
- ・ミッション3 革新的電子デバイスの開発
光メモリ、スピン・トランジスタ、高周波デバイスなど、将来的に IT に革新をもたらすポテンシャルを有する新デバイスの創出を目指す。

外部資金：

国立研究開発法人科学技術振興機構（S・イノベ）「3次元磁気記録新ストレージアーキテクチャのための技術開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構（ImPACT）「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（若手研究（A））「電子スピンを利用する円偏光レーザの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（若手研究（A））「電界による磁気光学効果制御技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（若手研究（B））「非線形解析に基づくマイクロ波アシスト磁化反転の理論構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（若手研究（B））「4d 遷移金属を用いた新規強磁性薄膜の理論設計」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（若手研究（B））「低エネルギー高速磁化反転技術のための反強磁性構造の創製」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費・一部基金（基盤研究（B））「コーン磁化薄膜を利用した高速・低消費電力 MRAM 素子の理論研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究）「電気的スピン変換」

発表：誌上発表44件、口頭発表88件、その他4件

金属スピントロニクスチーム

(Metal Spintronics team)

研究チーム長：薬師寺 啓

(つくば中央第2)

概要：

MgO-MTJ 素子の巨大 TMR 効果とスピントルク磁化反転を用いた大容量不揮発メモリ「スピン RAM」の研究開発を行っています。特に、垂直磁化電極を用いた nm サイズ MTJ 素子の開発を行い、書き込み時の低消費電力化と電源を切っても情報が保持される不揮発性の両立を目指しています。また、同じ基盤技術を活用した新デバイスの研究開発、具体的には、ナノサイズのマイクロ波・ミリ波発振器および検波器、物理乱数発生器、不揮発性スイッチング素子の開発も行っています。さらに、薄膜成長技術を応用した新規スピントロニクス素子の開発も進めています。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3

半導体スピントロニクスチーム

(Semiconductor Spintronics team)

研究チーム長：齋藤 秀和

(つくば中央第2)

概要:

半導体スピントロニクスと呼ばれる新技術を用いた新奇伝導及び光素子の研究開発を行っています。具体的には、不揮発的に情報を記憶できる(電源を切っても情報を保持する)スピントランジスタの実現を目指した半導体へのスピン注入・制御・検出、およびシリコン導波路一体型強磁性薄膜光アイソレータや円偏光発振するスピンレーザなどの光デバイスの研究開発を行います。スピントランジスタの実現により、従来技術では困難であったコンピュータの消費電力の劇的な削減に繋げ、将来的には待機電力がほぼ零である「ノーマリー・オフ・コンピュータ」に繋がるのが期待されます。また、新型光アイソレータはシリコンフォトニクス技術を用いた情報通信に大きく貢献し、スピンレーザはレーザ発振の省電力化や光通信のブロードバンド化と共に、スピン情報の増幅装置としての役割が期待されています。

研究テーマ: テーマ題目2

理論チーム

(Theory Team)

研究チーム長: 今村 裕志

(つくば中央第2)

概要:

ナノ構造における磁性・スピンドイナミクスを記述する新規理論の構築、および理論的なアプローチを用いた新規ナノスピントロニクス素子開発の先導を目指して研究を行っています。具体的には、ナノ構造におけるスピンドイナミクスを利用した超高密度磁気記録の読み出し・書き込み技術の開発、スピントルクを利用したナノサイズのマイクロ波発振器の開発、および電圧を用いたスピン制御に関する基礎理論の構築・理論解析を行っています。

研究テーマ: テーマ題目1

電圧スピントロニクスチーム

(Voltage-driven Spintronics Team)

研究チーム長: 野崎 隆行

(つくば中央第2)

概要:

電流をほとんど用いずに、電界(電圧)によってナノ磁性体のスピン操作を行う基盤技術の研究開発を行っています。低電圧かつ超高速でナノ磁性体の双方向磁化反転を実現することにより、スピントルクを用いた場合に比べて情報書き込みの消費電力を1桁から2桁下げることが目標に、基本材料と素子構造の開発および高速スピンドイナミクスの制御技術の研究開発を行っています。

研究テーマ: テーマ題目1

[テーマ題目1] 高速スピンドイナミクス制御技術の研究開発

[研究代表者] 久保田 均

[研究担当者] 福島 章雄、薬師寺 啓、野崎 隆行、甲野藤 真、常木 澄人、谷口 知大、松本 利映、今村 裕志
(常勤職員9名、他4名)

[研究内容]

本研究では、MgO トンネルバリアを有する強磁性トンネル接合をベースとする、マイクロ波発振器および検波器の開発に取り組んでいる。原理は、強磁性トンネル接合中を流れるスピントルクが作るスピントルクとスピンの配置に依存してトンネル確率が変化する強磁性トンネル効果に基づく。これらのデバイスは、サイズが非常に小さく、自励発振であるため共振器不要で回路中に組み込みやすいなどの特徴を持ち、半導体素子にない特徴を有している。28年度は、外部回路との組み合わせによる発振周波数の制御性の向上につとめ、実験と理論の良い一致をみた。これにより、実用素子として必要な特性を明らかにすることができた。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] スピントルク発振素子

[テーマ題目2] 革新的スピン伝導素子に関する研究

[研究代表者] 齋藤 秀和

[研究担当者] Aurelie Spiesser (常勤職員2名、他4名)

[研究内容]

本研究では、電子のスピン自由度を半導体素子中で積極的に利用することにより、従来型素子には実現不可能であり、将来の高度情報社会に貢献し得る新機能素子の開発を目指す。今年度は、従来の横型トランジスタ構造と比較して、メモリ機能の実現に有利であると考えられる縦型チャンネルを有するスピントランジスタ(スピンMOSFET)の実現を視野に入れ、その基本構造となる半導体中間層を有する新規全単結晶トンネル磁気抵抗(TMR)素子の開発を行った。半導体トンネル障壁層材料として酸化物半導体である酸化ガリウム(Ga_2O_3)を用いた。この半導体は、結晶構造が複雑であるため、鉄(Fe)などの一般的な強磁性電極と組み合わせた単結晶TMR素子の作製は困難と考えられていた。我々は独自の成膜プロセスを開発して、Fe強磁性電極と Ga_2O_3 トンネル障壁層から成る全単結晶TMR素子を作製に成功した。スピンMOSFETのメモリとしての性能指数である磁気抵抗変化率(MR比)は、室温において半導体系TMR素子としてはこれまでで最も高い値(92%)を示した。これと並行して実施したSi基スピンMOSFETに関する研究において、Fe/MgO強磁性電極を用いたSiチャンネル中へのスピン偏極電子の電氣的注入および検出に低温で成功した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 スピントランジスタ、酸化ガリウム

⑥【フレキシブルエレクトロニクス研究センター】

(Flexible Electronics Research Center)

(存続期間：2011.4.1～2019.3.31)

研究センター長：鎌田 俊英

副研究センター長：牛島 洋史

総括研究主幹：長谷川 達生

所在地：つくば中央第5

人員：24名 (24名)

経費：240,897千円 (129,450千円)

概要：

1. ミッション

社会の隅々にまで行きわたる情報通信技術の普及には、人々が直接情報の入手・発信に触れるためのツールとなる情報端末機器の利便性の向上と高度普及化が重要な課題となっている。本研究センターでは、こうした課題を解決し、これにかかる新産業創出、国際競争力強化に貢献していくために、ディスプレイやセンサーなどの情報通信端末機器用のデバイス技術としての使用利便性の向上および省エネルギー化の促進を目指して、軽い、薄い、落としても壊れない、形状自由度が高いという特徴を備えたフレキシブルデバイス技術の開発を推進する。これにより、より利便性の高い革新的情報端末機器を社会に普及させ、新市場創出による経済効果の拡大を図る。また、これら情報端末デバイスの低消費電力化技術の開発とともに、フレキシブルデバイスを省エネルギー・省資源・高生産性で製造する技術となる印刷法を駆使したデバイス製造技術の開発に取り組み、大量普及する情報端末用デバイスの低消費電力化、製造エネルギーの削減を推進して、グリーン・イノベーションに貢献する。さらに、これらの技術に係る材料基盤・計測標準化技術の開発に取り組み、産業基盤支援と国際競争力強化に貢献することを目指す。

2. 研究開発の課題

ミッション遂行のために、下記の研究開発課題を設定して、技術開発を推進する。

① フレキシブルデバイス技術の開発研究

超薄型、軽量、形状自由度、大面積、耐衝撃性に優れた情報入出力インターフェースデバイスの創出を目指し、柔軟性を有するフィルム基板上に回路・デバイスを設置したフレキシブルデバイス技術の開発を行う。特に、ディスプレイなどの表示・出力デバイス、圧力、光、熱応答の入力デバ

イス、無線アンテナ、配線等、回路デバイスなどをフレキシブルデバイス化する技術を中心に技術開発を推進する。

② プリントブルデバイス製造技術の開発研究

フレキシブルデバイスの省エネルギー・省資源・高生産性製造プロセス技術として、脱真空プロセス、脱高温プロセス、脱フォトリソグラフィプロセスによりデバイスの製造エネルギーを著しく軽減させ、高速高生産性デバイス製造を可能にする溶液プロセスに立脚した印刷デバイス製造技術の開発を推進する。特に、高精度高精細印刷デバイス製造技術、低温印刷デバイス製造技術、高機能化印刷デバイス製造プロセス、大面積高均質デバイス製造技術などを中心に、技術開発を推進する。

③ フレキシブルデバイス用材料基盤・評価技術の開発研究

フレキシブルデバイス用材料の開発ならびにこれらの基礎物性、寿命、効率、素子性能等にかかる評価、計測に関する技術の開発を推進する。特に、有機半導体材料などのデバイス用有機機能性材料の開発

3. 研究開発の推進体制

研究開発の推進に当たっては、本研究センター内に下記5つの研究チームを設置し、それぞれ設定研究課題に対応した研究開発課題を推進する。

(ア) フレキシブル材料基盤チーム

(イ) 先進機能表面プロセスチーム

(ウ) 機能発現プロセスチーム

(エ) 印刷デバイスチーム

(オ) インタラクティブデバイスチーム

特に、本研究センターの研究開発技術は、産業界の技術開発と密接に関係していることから、関連する多業種の企業群からなる技術研究組合を構成し、その中で企業と一体的な技術開発をすることで、技術の円滑な産業普及と推進を図っていく。現在、次世代プリントドエレクトロニクス技術研究組合 (JAPER)、および未利用熱エネルギー 革新的活用技術研究組合 (TherMAT) の二つの技術研究組合に参加し、それぞれ印刷技術に基づくフレキシブルデバイスの製造技術、フレキシブル熱電変換材料デバイス技術の開発を行っている。さらに、産業界との情報交換の場としての産総研コンソーシアム「次世代プリントドエレクトロニクスコンソーシアム」を設置し、当該関連分野の最新の産業動向を反映させた技術開発の推進を図っている。

外部資金：

国土交通省

「シールドトンネルの平常時のモニタリングおよび掘削時の安全管理へ向けたセグメント組込型有機導波路の提案」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)

〔NEDO 委託事業〕

「クリーンデバイス社会実装推進事業／デザイン多用途型省エネディスプレイ」

独立行政法人日本学術振興会 (JSPS)

「印刷デバイスの形状自由度を損なわない常温配線実装技術の開発」

「オットー光学配置を利用したペーパープラズモニックセンサの構築」

「圧電機能開拓のための強誘電性分子固体の研究」

「多結晶薄膜デバイスのための高空間分解能キャリアイメージング技術開発」

「印刷技術を用いた両親媒性分子による独立二分子膜の構築と選択的イオン透過膜の創成」

「超高齢化社会の医療人材不足を克服する次世代医療用ウェアラブルセンサーの新規開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST)

「新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFT を基盤とするフレキシブルディスプレイの開発」

「ミラー、透明、黒の状態可変技術による省エネ調光窓の開発」

発表：誌上発表73件、口頭発表145件、その他26件

フレキシブル材料基盤チーム

(Flexible Materials Base Team)

研究チーム長：米谷 慎

(つくば中央第5)

概要：

- ・目的：フレキシブルエレクトロニクスによるグリーン・イノベーションを目指し、有機半導体・導電体・強誘電体などの電子機能性材料を印刷プロセスに適用するための材料基盤技術を開発する。特に、プロセス適合性をもつ高性能な電子機能性材料の開発、材料の特質に立脚した革新的印刷プロセスの開発、高性能化に必要な不可欠となる高度な微視的材料評価技術の開発を推進する。
- ・意義、当該分野での位置づけ：物性物理学・物性化学・電子工学を基盤とする先端的知見を活用しながら、新規材料・新機能開拓と、印刷プロセスの革新、微視的評価技術の開発に取り組み、主に学術雑誌を通じた成果発信により情報通信・エレクトロニク

ス・材料分野に貢献する。

- ・国際的な研究レベル：銀ナノメタルインクと反応性表面により高解像度配線を実現できる超簡易印刷法を世界に先駆けて開発、常温常圧の溶液・印刷プロセスで製膜可能な高性能有機半導体や高分極低電場動作型有機強誘電体の材料を開発、材料評価技術として電荷変調分光法を用いた有機半導体のキャリア輸送の研究で世界のトップを走るなど。

研究テーマ：テーマ題目1

先進機能表面プロセスチーム

(Advanced Surface Processing Team)

研究チーム長：山本 典孝

(つくば中央第5)

概要：

従来の真空技術・フォトリソグラフィ技術を用いた大規模大量生産製造から脱却し、省エネルギー・省資源で多品種分散製造を行うため、印刷手法を用いたプロセス技術の開発を行なっている。当グループで開発したマイクロコンタクトプリント法やスクリーンオフセット印刷法の方法、プロセス、評価手法の各要素技術開発を進めており、これら新規印刷手法は企業とともに装置開発も行っている。また装置だけではなく印刷に必要な版の製版技術についても開発を進めている。Si 製造技術等では取り組みにくい曲面へのパターン製造や3次元の製造技術にも挑戦している。機能を向上させるための表面処理技術等の基礎的研究開発を進めながらフレキシブルなトランジスタアレイやフレキシブルセンサ等のデバイス製造も行っており、フレキシブルエレクトロニクスの実現を目指している。

研究テーマ：テーマ題目2

機能発現プロセスチーム

(Functionalizing Process Team)

研究チーム長：白川 直樹

(つくば中央第5)

概要：

フレキシブルエレクトロニクスの実用化には、材料の精密な配置技術と、材料の持つ機能をフルに引き出す技術を、相互作用しながら同時に進めていく必要がある。機能発現プロセスチームでは、従来の1/1000以下の微少液滴吐出が可能なスーパーインクジェットに代表される、非接触・無版印刷技術と、酸素分圧が10の-30乗以下の極低酸素雰囲気を作ることができると酸素ポンプ技術等を用いて、材料本来の機能を発現させるプロセスを開発している。

具体的には、スーパーインクジェットと金属ナノ粒子を用いた一桁ミクロン線幅のマスクレス配線パターン形成、銅ナノ粒子インクに関して酸素ポンプ技術を用いた還元焼成とその発展形である低温プラズマ焼結

による低抵抗銅配線作製、ワイヤーメッシュを用いたレジストの簡易パターンニング、印刷とめっきのハイブリッドプロセスによる配線形成、低出力レーザーを用いた金属粉末融解による配線形成などの研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目3

印刷デバイスチーム

(Printed Electronics Device Team)

研究チーム長：吉田 学

(つくば中央第5)

概要：

- ・目的：自由形状、大面積軽薄、生体適合性など、優れた使用感を持つデバイスとしての期待の高いフレキシブルデバイスやストレッチャブルデバイスの早期実用化が望まれている。このように、デバイスの形状任意性を向上させることにより、電子情報機器に新たな価値を付加し、エレクトロニクス産業の拡大につながることを期待される。こうしたデバイスの特徴を十分引き出すためには形状任意性を考慮したデバイス設計プラットフォームや製造プロセス技術の確立が重要である。本研究チームでは、これらの実現のために、印刷デバイスの設計・動作解析技術の開発、デバイス性能向上のための印刷プロセス要素技術の開発等を推進する。
- ・手段：大型プロジェクト、技術研究組合との連携、企業・大学との共同研究等における研究開発を積極的に推進するとともに、社会のニーズや新規研究テーマの発掘に努める。またフレキシブルエレクトロニクス開発に必要な要素技術の高度化・集積化を図るため、分野横断的な連携を推奨する。
- ・方法論：導電性繊維を用いた高伸縮圧力センサーアレイの開発や情報機器のための新たな入力デバイスの開発を行う。低電圧駆動可能な有機エレクトロニクスデバイスの創製と応用展開を行う。新規低温焼成技術としてマイクロ波焼成+光焼成技術に関する研究開発を推進する。

研究テーマ：テーマ題目4

インタラクティブデバイスチーム

(Interactive Device Team)

研究チーム長：鎌田 俊英

(つくば中央第5)

概要：

- ・研究目的：IoT 機器の爆発的な増大により生じる消費電力の問題やユーザビリティの向上に向けて、非連続的なイノベーション創出に資する部素材、デバイス、及びそのプロセス技術やアSEMBリー技術の基盤的な研究開発を行う。IoT 社会の実現と進展、我が国の情報通信・エレクトロニクス関連

産業の持続的な発展に貢献することを目的とする。

- ・研究手段：IoT デバイスの低消費電力化と高生産性を両立させる製造基盤技術の開発を行う。IoT デバイスのユーザビリティを向上させるフレキシブル、プリンタブル電子デバイスの要素技術基盤として、高機能性材料をインキ化・製膜する技術の開発し、多様な形状の物体等への適応性、耐衝撃性を向上させるフレキシブル部素材・プロセス技術の開発を行う。

・方法論：

- 1)IoT 機器の低消費電力化、フレキシブル化を同時に成立させるための基盤的技術として反射型カラー表示デバイス用低抵抗多孔質透明電極の塗布形成技術の開発、2) IoT 機器の低消費電力化のため、フィルム状のフレキシブル熱流センサの実現に向けた部素材、デバイス設計技術、動作検証の研究開発を進める。

研究テーマ：テーマ題目5

【テーマ題目1】フレキシブル材料基盤に関する研究

【研究代表者】米谷 慎

(フレキシブル材料基盤チーム)

【研究担当者】米谷 慎、堀内 佐智雄、峯廻 洋美、

堤 潤也、長谷川 達生 他

(常勤職員4名、他9名)

【研究内容】

フレキシブルエレクトロニクスによるグリーン・イノベーションを目指し、有機半導体・導電体・強誘電体などの電子機能性材料を印刷プロセスに適用するための材料基盤技術開発を行う。プロセス適合性をもつ高性能な電子機能性材料の開発、材料の特質に立脚した革新的印刷プロセスの開発、高性能化に必要な不可欠となる高度な微視的材料評価技術の開発を推進する。平成28年度には、次の成果を得た。

金属配線印刷技術の開発では、本技術を用いた有機TFTの構築に取り組み、ポリマーゲート絶縁膜の極薄化と単チャンネル化により、高精細・低電圧駆動の有機TFTを得ることに成功し、全印刷フレキシブルデバイスの開発を加速させた。さらに前年度に続き共同研究先である田中貴金属工業株式会社への技術移転によりタッチパネルセンサーへの製品化を推進した。

高性能化・高安定化を目指す印刷プロセス用有機半導体材料の開発では、特に優れたp型半導体BTBT(ベンゾチエノベンゾチオフェン)について、系統的な分子置換効果と結晶構造から、キャリア輸送特性/溶解性/製膜性/耐熱性を向上させるための材料設計指針を確立し、東京大学・日本化薬株式会社との共同研究により新規の高性能材料を得た。またこれら材料の高い層状結晶性の活用により、分子層数レベルで厚み制御した単結晶薄膜の作製に成功し、層数に依存したデバイス特性の測

定と巨大なアクセス抵抗の起源を明らかにした。

インクジェット印刷プロセスでは、前年度に続き、素過程の分子シミュレーションから結晶化に向けての秩序化が、層構造形成と分子長軸配向、層内配置と分子短軸のヘリンボン配向と段階的に進むことを明らかにした。また、前年度提案したインクジェット印刷向け有機半導体材料探索に関する指針（層状液晶性化合物）を十種類以上の材料で検討し、その一般性を検証した。

有機強誘電体の材料開発においては、特に優れた分極をもつプロトン移動型材料について、動作阻害要因の効果的な除去法を見出したことで動作効率や信頼性を改善し、無機材料の動作レベルに並ぶ分極理論予測も実証（クロコン酸、 $30 \mu\text{Ccm}^{-2}$ ）できた。

微視的材料評価技術では、独自技術であるゲート変調イメージング技術において、高開口数の対物レンズとイメージインテンシファイアを導入し、大幅な高空間分解能化（数ミクロン）と高感度化（ ~ 100 倍）を達成した。これを用いた TFT 単一素子の超高倍率測定により、素子性能を律速するミクロな要因（電荷トラップ）を可視化することに成功した。さらに、当初想定していなかった成果として、本技術を応用した強誘電体分極ドメイン可視化技術を新たに開発し、非破壊・高速のメモリデバイス評価技術として有効なことを示した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】有機半導体、有機デバイス、プリントドエレクトロニクス、材料評価技術

【テーマ題目2】先進機能表面プロセスに関する研究

【研究代表者】山本 典孝

（先進機能表面プロセスチーム）

【研究担当者】牛島 洋史、安部 浩司、山本 典孝
福田 伸子、野村 健一、日下 靖之
金澤 周介、尾上 美紀、粕谷 陽子、
藤田 真理子、堀井 美徳、真中 潤、
忽那 志満子、小倉 晋太郎

（常勤職員7名、他7名）

【研究内容】

印刷製造技術がエレクトロニクス分野に実用化されるためにはパターニングの精細度、均一性、信頼性が必要である。精細度については高精細および版製造がオンデマンドで行える技術として“付着力コントラスト平版印刷法”に取り組んでいる。印圧によるパターン歪みを抑制でき、寸法忠実性を $5 \mu\text{m}$ （凸版）から $2 \mu\text{m}$ 未満（平版）に向上させている。パターニングを行う際、刷版や被印刷物表面に施す修飾や改質処理技術、表面の形状や物理化学的性質を評価する技術にも取り組んでいる。また、圧膜印刷では経験の少ないユーザーでも容易に高精細なスクリーン印刷が行える“スクリーンオフセット印刷法”の装置化を進めており、線幅 $20 \mu\text{m}$ の印刷が実現できている。重ね刷り精度の向上や、膜厚の均一化と

平坦化を中心にデバイス作製プロセスの開発を行っている。さらに、評価法としてはコロイド化学や表面化学的手法と走査型プローブ顕微鏡の技術を統合した表面分析技術による評価法の開発も進めている。デバイス製造技術に関しては、MEMS 技術のような3次元構造物を印刷プロセスで作製する“印刷 MEMS 技術”について挑戦しており、歪センサー等への応用を検討している。これらプロセス技術を中心に技術開発を行い、フレキシブルエレクトロニクスの実現に貢献する。

【領 域 名】エレ・製造

【キーワード】マイクロコンタクトプリント、反転オフセット印刷、付着力コントラスト、スクリーンオフセット印刷、走査型プローブ顕微鏡、印刷技術、コロイド化学、表面化学、プリントドエレクトロニクス

【テーマ題目3】機能発現プロセスに関する研究

【研究代表者】白川 直樹

（機能発現プロセスチーム）

【研究担当者】白川 直樹、徳久 英雄、所 和彦、
塚本 志帆、中野 栄司、森田 智子
（常勤職員3名、他3名）

【研究内容】

酸素分圧が 10^{-3} 以下の極低酸素雰囲気を作ることができる固体電解質型酸素ポンプを用い、それによって作られた極低酸素化窒素を大気圧プラズマにして吹き付け試料を焼結する、低温プラズマ焼結プロセスを開発した。 $180 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下の低温処理であるにもかかわらず、抵抗率の面でも金属組織の面でもバルク材料と遜色無いものが得られる。今年度は9連プラズマトーチを用いて、一度に9個の試料を焼成可能な装置の試作に成功した。

また、低温プラズマ焼結により銅配線を有するフレキシブル基板の全印刷作製が可能となったので、その技術デモとしてフレキシブルラジオを試作し、プリンタブルエレクトロニクス展に出展したところ、好評を博した。

ワイヤーメッシュを用いてレジストをパターニングすることにより、フォトマスクを使わずに、線幅 $2.5 \mu\text{m}$ 、面抵抗 $3 \Omega/\square$ の銅メッシュ透明電極の作製に成功した。また、印刷とめっきのハイブリッドプロセスとしては、直径 $100 \mu\text{m}$ 以上、深さ $200 \mu\text{m}$ 以上のスルーホール電極の作製に成功した。

低出力レーザーを走査することで金属を融解させながらパターニングすることにより、PET 上に面抵抗一桁 Ω/\square のメッシュ電極を作製した。同技術では葉上への電極作成にも成功している。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】酸素ポンプ技術、大気圧プラズマ技術、低温プラズマ焼結技術、スーパーインクジェット技術、非接触印刷技術、無版印刷技術、ワイヤーメッシュパターニング

技術、低損傷レーザー加工

高橋 達見、児玉 久子
(常勤職員3名、他2名)

〔テーマ題目4〕印刷デバイスに関する研究

〔研究代表者〕吉田 学 (印刷デバイスチーム)
〔研究担当者〕小笹 健仁、植村 聖、栗原一徳、
延島 大樹 (常勤職員5名、他4名)

〔研究内容〕

1) 形態任意性を持つ柔軟電子デバイスとシリコン半導体チップのハイブリット化に関する研究開発

- ・大面積センサーの形状任意性・可塑性向上を目指し、配線や接合部のストレッチャビリティ向上に取り組む。具体的には50 %以上の伸長・屈曲半径1 mm以下の折り畳みに対しても破壊しないデバイスを製造することを目指す。
- ・ストレッチャブルデバイス形成に不可欠なストレッチャブル配線の製造技術および性能評価を行う。具体的には50 %以上の伸長に対しても信号のセンシングができるハイブリット回路の製造を目指す。
- ・光入力や振動入力に対応した高感度入力デバイスを開発する。

平成28年度は、

- ・100 %以上の伸縮に対しても抵抗値変化が5 %以下の導電配線の形成に成功した
- ・エレクトレット薄膜を用いた高感度圧力検出デバイスの製造に成功した。

2) 印刷製造プロセスを利用した新概念セキュリティデバイスに関する研究開発

印刷製造プロセスを利用した新概念セキュリティデバイスに関する研究開発・印刷形成リングオシレータの発振周波数ばらつき等を利用したセキュリティデバイスの開発を行う。発振周波数のばらつき10 %以内、駆動電圧10 V 以下の回路を作製しセキュリティデバイスとしての性能を評価する。

平成28年度は、

- ・有機半導体と極薄ゲート絶縁膜を用い、2 V 以下で駆動する電界効果トランジスタを作製した。このトランジスタにより構成されるリングオシレータを形成し、これらを Physical Unclonable Function (PUF) として用いることに成功した。

〔領 域 名〕エレ・製造

〔キーワード〕プリンテッドエレクトロニクス、印刷金属配線、印刷メモリ、圧力センサー、RFID タグ、有機エレクトロニクス、評価解析技術

〔テーマ題目5〕インタラクティブデバイス技術に関する研究

〔研究代表者〕鎌田 俊英 (インタラクティブデバイスチーム)
〔研究担当者〕星野 聰、末森 浩司、渡邊 雄一、

〔研究内容〕

IoT 社会の実現と進展、我が国の情報通信・エレクトロニクス関連産業の持続的な発展に貢献することを目的とし、IoT 機器のユーザビリティの向上と低消費電力化、また非連続的なイノベーション創出に資する部素材、デバイス、及びそのプロセス技術やアSEMBリー技術の基盤的な研究開発を推進した。平成28年度は前年度に引き続き、次世代の高ユーザビリティディスプレイとして期待が高まるフレキシブルディスプレイに適用可能な低消費電力表示技術として、エレクトロクロミズムを利用したカラー反射表示の高速応答化と低消費電力化を両立させる反応電極の技術開発を推進した。具体的には、エレクトロクロミック色素を担持固定化した高速応答型低抵抗透明多孔質エレクトロクロミック電極に関して、種々の透明導電性酸化物微粒子材料を検討し、電極抵抗以外にも応答速度を低下させる要因が存在することを見出し、多孔質電極内に形成される細孔サイズが応答速度の制御要因の一つであることを明らかにした。さらに多孔質電極で高速エレクトロクロミック反応を実現するには最適な支持塩濃度範囲が存在することを見出し、高速応答エレクトロクロミック素子の電極構造とその製造技術に関する設計指針が得られた。

IoT 機器の低消費電力化に関してはデバイスの熱流計測が可能なフレキシブル熱流センサ素子の開発を推進した。IoT 機器はチップの高密度化等により放熱技術の開発が必要不可欠であり、そのデバイス設計には材料の潜熱や熱流を理解しなければならない。フレキシブルデバイス等の任意形状のデバイスの熱流計測にはフレキシブル熱流センサが必要であることから平成28年度は印刷プロセスでフレキシブル熱流センサを作製するための基盤技術の開発とその試作、動作検証を実施した。そのセンサ作製には印刷プロセスが適用可能で大面積化や大量生産が容易に行える。原材料や部材には希少金属を必要とせず、優れた特徴を持つカーボンナノチューブ分散高分子からなるフレキシブル熱電変換材料をインク化し、それを用いたフレキシブルフィルム状熱流センサの開発を行った。本熱流センサのユースケースとして、温度環境管理用センサとして物流分野への適用を検討し、保冷剤に巻きつけて熱流計測を行い、その結果から温度保持時間の予測ができることを確認した。

〔領 域 名〕エレ・製造

〔キーワード〕フレキシブルディスプレイ、プリンテッドエレクトロニクス、フレキシブルデバイス、低消費電力化

⑦【先進コーティング技術研究センター】

(Advanced Coating Technology Research Center)

(存続期間：2015.4.1～)

研究センター長：明渡 純
副研究センター長：土屋 哲男
総括研究主幹：相馬 貢

所在地：つくば中央第5、つくば東、つくば西
人 員：16名（16名）
経 費：374,104千円（152,549千円）

概 要：

21世紀の“ものづくり”は、最少の資源、最小のエネルギー消費で、コスト競争力のある製造技術を基本とすることが強く求められている。また、CO2削減をはじめとした省エネルギー、省資源化などの環境負荷低減の観点から、電子機器の小型・集積化、高エネルギー密度、高耐久性の各種電池開発（太陽電池、蓄電池、燃料電池）、軽量で耐久性の高い自動車部品、航空機部材などの開発が世界的に大きな潮流になってきている。これらのニーズに応えるべく新しい材料・部材・デバイスの創成を実現するためには、多種・多様な性質を併せ持つセラミックス・合金などの機能材料を低コストでコーティング可能な製造プロセスが、今後、益々重要になってくる。

当センターでは、産業競争力強化の観点から、従来コーティング技術とはその原理から一線を画す AD 法や光 MOD 法など、センター独自の先進的なコーティング技術やこれに資する独自の材料技術を柱に多様な課題を解決し、先進コーティング技術を企業に橋渡しすることを目的としている。これらの目的を達成するため、具体的には、第4期では、下記の3つの分野重点化課題（戦略課題）を定め、多事業分野で実生産に資するレベルまでプロセス技術の高度化を図る。また、これまで先進コーティング技術プラットフォームで行ってきた地方公設試、大学との連携活動を全国展開し、より積極的に地方企業、地域ニーズ把握に努め、ニッチトップを目指す地方・中小企業の本格的な事業支援を行う。

第4期重点課題「多様な産業部材に適用可能な表面機能付与技術の開発」において、28年度は以下の3テーマを重点化する。

①AD 法では、昨年度明らかになったプラズマ援用などによる成膜速度向上の立証結果をもとに、大型の企業資金獲得につながりつつある蓄電池や燃料電池応用、ガスタービンなどの構造部材応用に絞り込み、実用性能の達成に取り組む。

②光 MOD、光化学修飾法などの化学溶液法では、高感度センサ、電子部品及び発光部材の事業化に向けて大面積化、低コスト化のため、先駆体溶液や照射システムの高度化を図るとともに新規分野へ展開する。

③高容量化と低コスト化が期待されている全固体電池など次世代蓄電池のための高容量負極材料の特性改

善と上記コーティング原料としての最適化に取り組む。
当研究部門の研究拠点は、材料・プロセスに関する研究ポテンシャルを持つつくばセンター（4研究グループ）で研究を進めた。

領域重点課題：

- ・「光反応プロセスを用いた機能膜コーティングの量産化プロセス開発」
- ・「ハイブリッド微粒子スプレー技術を用いたガスタービン用高温部材の高性能耐熱コーティング技術に関する研究」

内部資金：

- ・「AD 常温成膜技術の蓄電池・燃料電池産業分野への応用」

外部資金：

経済産業省

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

- ・「超高分子量ポリエチレン繊維を用いた海洋構造物係留ロープの耐久性向上技術の開発」

平成27年戦略的基盤技術高度化支援事業

- ・「CFRTP 専用ファスナーを用いた自動車用 CFRTP と異種材料の革新的接合技術の開発」

平成28年度戦略的基盤技術高度化支援事業

- ・「Steel Heater 性能向上のための新規絶縁層形成技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会

学研究費補助金 基盤研究（C）

- ・「光表面化学修飾法によるポリマー材料のフッ素官能基化表面改質に関する研究」
- ・「燐光現象を利用した低温場の高速測定技術の構築とその光アニールプロセスへの応用」

国立研究開発法人科学技術振興機構

先端的低炭素化技術開発（ALCA）

- ・「ガーネット型酸化物電解質材料の創出」

一般社団法人日本ファインセラミックス協会

- ・「セラミックスを用いた先進コーティング技術の調査研究」

発 表：誌上発表23件、口頭発表69件、その他12件

微粒子スプレーコーティングチーム

（Fine Powder Spray Coating Team）

研究チーム長：明渡 純

（つくば中央第5）

概 要：

本研究チームは、AD 法、HAD 法、SPS 法など「微粒子スプレー法による高機能セラミックスコーティング技術の開発」を担当。エネルギー関連部材や生体・医療関連部材、半導体製造関連部材、航空機・自動車関連部材などの高度化に資する省エネルギー製造技術の確立をミッションとし、以下の課題に取り組んでいる。1) AD 法の高度化に関する研究、2) SPS 法の高度化に関する研究、3) AD 法の用途拡大に関する研究開発。1),2)については、平成28年度領域重点課題「ハイブリッド微粒子スプレー技術を用いたガスタービン用高温部材の高性能耐熱コーティング技術に関する研究」、平成28年度戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) /革新的設計生産技術「高付加価値セラミックス造形技術の開発」を中心にプラズマ援用によるハイブリッドAD 法のプロセスパラメータの抽出を行った。また、AD 法では平成28年度理事長戦略予算「AD 常温成膜技術の蓄電池・燃料電池産業分野への応用」を中心にエネルギー関連部材での製造プロセスとしての実用性を検証した。3)については、実用化支援チームや先進コーティングアライアンスを活用し、出口戦略を見据えた用途開発を企業連携の中で展開し、耐摩耗・耐傷コーティングによる樹脂基材上へのハードコーティングによる部材軽量化など、複数の企業ニーズにこたえるテーマに取り組んだ。

研究テーマ：テーマ題目2

光反応コーティング研究チーム

(Photo-assisted Coating Team)

研究チーム長：真部 高明

(つくば中央第5)

概要：

本研究チームは、「光反応を用いた表面機能付与技術の開発」を主に担当し、グリーン・ライフイノベーションに資する材料・部材・デバイスの省資源・省エネルギー製造に貢献するフレキシブルなコーティング技術の確立をミッションとし、以下の課題に取り組んでいる。1) フレキシブルコーティング技術開発、2) コーティング材料開発、3) 部材・デバイスへの応用展開 課題1),2)について本年度は、平成28年度領域重点課題「光反応プロセスを用いた機能膜コーティングの量産化プロセス開発」を中心として、塗布光照射法およびナノ粒子光反応法による各種機能性酸化膜、液相マイクロ波プロセスによる新規機能性材料、ポリマー材料への表面化学修飾手法の開発を行った。また、サポイン事業による海洋構造物係留ロープの開発を行った。課題3)については、液相合成新規複合材料の二次電池への適用、表面化学修飾による各種部材接合技術、大学との共同研究 (体内貯留型新規 MRI 造影剤) などの新しい部材・デバイスへの適用を検討した。

研究テーマ：テーマ題目1

エネルギー応用材料研究チーム

(Energy Conversion and Storage Materials Team)

研究チーム長：秋本 順二

(つくば中央第5)

概要：

リチウム二次電池は、今後、様々な小型電子機器から自動車用途、定置型電源などの大型用途での普及・展開が期待されており、そのためには安全性向上、長寿命化と共に、更なる高容量化・低コスト化がキーとなっている。我々は、このような次世代蓄電池や燃料電池等の実現のため、新しい電極材料、電解質材料を始めとする高性能酸化物材料の開発とコーティング技術を適用した部材化・電池システム化を目指している。また、そのための新しい製造プロセスの開拓や、正確な結晶構造・物性評価技術を適用することで、新しい材料設計を進めている。

具体的には、イオン交換合成法、水熱合成法、ゾルゲル法などの低温溶液を用いた素材合成技術を開拓・適用し、コバルトフリー正極材料に代表される高容量・低コストの電極材料であるマンガン酸化物、チタン酸化物、さらには新規固体電解質材料の合成・開発を実施した。さらに、全固体電池部材として、単結晶固体電解質の開発、並びに基盤技術である結晶構造解析技術・物性評価技術の高度化に関する研究開発を行った。さらに、AD 法を適用した新たな蓄電池部材化技術・全固体リチウム二次電池の開発を実施した。

研究テーマ：テーマ題目2

グリーンデバイス材料研究チーム

(Green device Materials Team)

研究チーム長：土屋哲男

(つくば中央第5)

概要：

本研究チームは、グリーンデバイス開発 (創エネ・蓄エネ・省エネ・センサ) に資する材料、電子・光デバイスや先進センサの開発をミッションとして、市場規模の大きいスマートウインドウ、光デバイス更には、光、エネルギー使用量削減に有効な各種センサ、光電極、フレキシブル圧電コーティングによるエネルギーハーベスティングなどを主なテーマとしている。また、グリーンデバイス材料合成とそのコーティングインク開発から評価・解析を行なうとともに、光反応コーティングチームや微粒子コーティングチームとの連携によるコーティング部材を開発に取り組んでいる。本年は、平成28年度領域重点課題「光反応プロセスを用いた機能膜コーティングの量産化プロセス開発」を中心として、塗布光照射法、ナノ粒子光反応法の適用するための、高耐熱抵抗材料や蛍光体材料、更には、高輝度蛍光体膜の開発、フレキシブルサーミスター、及びポリイミド基材へのマイクロパインコーン配列形

状を有するカーボン被膜を作製した。

また、SIP プロジェクトにおいて「高耐熱抵抗抗体膜の開発」、革新的エネルギー技術の国際共同研究開発事業「太陽光による有用化学品製造」、サポイン「CFRTP 専用ファスナーを用いた自動車用 CFRTP と異種材料の革新的接合技術の開発」などを行った。一方、企業との共同研究では、蓄光材料開発、新規抵抗抗体開発、安全表示部材、太陽電池、また、国際共同研究では、CSIRO との有機 EL デバイス開発など、の新しい部材・デバイスへの適用を検討した。

研究テーマ：テーマ題目1

【テーマ題目1】 光反応プロセスを用いた機能膜コーティングの量産化プロセス開発

【研究代表者】 土屋 哲男 (光反応コーティング研究チーム)

【研究担当者】 土屋 哲男、中島 智彦、中村 挙子、山口 巖、松井 浩明 (常勤職員5名)

【研究内容】

光 MOD・LIJ・光化学修飾法は、産総研の独自技術として様々な企業から注目されており、既にいくつかの企業と実用化研究を行っている。本重点課題では、更に市場の大きな分野 (スマートウインドウ (5724億円)、電子部品 (800億円)、フレキシブルプリント基板 (7000億円)) についての基盤技術を開発するため、光反応プロセスの多波長化、ハイブリッドインク開発、及び各応用分野の企業ニーズに即した試作・評価を行い、産総研の知財を強化することを目的とした。また、上記市場規模の大きな出口に対し、川上から川下までの企業を産総研主導でアライアンスを形成し、コンソーシアムによる大型資金提供型共同研究や国プロにつなげることを目的とした。今年度、光 MOD 法によるフレキシブル膜の開発では、新規光照射システムを開発し、フィルム上に厚膜且つ微細配線が可能なプロセスを開発した。さらに、透明導電膜やスマートウインドウ開発に向けフィルム上に赤外反射膜の低温作製やサーモクロミック膜の転移温度について明らかにした。

また、ポリイミド基材を室温大気中でパルスレーザー照射することによって極めて高速に新規マイクロピコン配列形状を有するカーボン被膜を作製し、湿度センサとしての機能を発現させることに成功した。

その他、新規 LED 用の蛍光体材料開発や蓄光材料などのコーティングインク材料を開発し、蓄光材料では、高輝度材料開発に成功した。さらに、光表面修飾による異種材料接合技術では、フレキシブルプリント基板用基材の開発を目的として、異種材料接合技術を検討し、更に接合強度の向上に成功した。今後は、産総研と JFCA で立ち上げた「コーティングアライアンス」の活動において、川上企業と川下企業とをつなぐプロジェクトを立ち上げる予定である。

【領域名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 フレキシブル、ハイブリッド溶液、光照射、表面化学修飾、抵抗体、蓄光

【テーマ題目2】 ハイブリッド微粒子スプレー技術を用いたガスタービン用高温部材の高性能耐熱コーティング技術に関する研究

【研究代表者】 明渡 純 (先進コーティング技術研究センター)

【研究担当者】 明渡 純、鈴木 雅人、篠田 健太郎、浜口 真佐樹、川添 義徳、川添 美智子、中村 光男、尾澤 秀夫 (常勤職員3名、他5名)

【研究内容】

ガスタービンやジェットエンジンの高出力・高効率化のために、セラミックス複合材料 (CMC) の高温部材への適用に向けた開発が進められており、特に水蒸気腐食や CMAS などのアルミナシリケート系の熔融塩に対する耐環境コーティング (EBC) や遮熱コーティング (TBC) の開発が求められている。本研究では、セラミックコーティング技術として成果を上げているエアロゾルデポジション法 (AD 法) およびサスペンションプラズマ溶射法 (SPS 法) を駆使し、CMC 高温部材表面に密着力の高い遮熱コーティング (TBC)、耐環境コーティング (EBC) などの高温部材保護コーティング形成技術の開発を目指した。

前年度において、AD 成膜体が緻密性に優れることから EBC 用途と合致し、また、実用基材上では密着性の観点からプラズマ援用 AD 法が有用であることがわかった。そこで、本年度は、AD 法およびプラズマ援用 AD 法装置の大型化、基材の駆動系の改良をおこない、実部材への製膜を試験できる環境を構築し、実部材を念頭に AD 法、プラズマ援用 AD 法のプロセス条件の最適化をおこなった。

一方、SPS 法においては、前年度、熱サイクル特性に優れ、低熱伝導なカリフラワー状のポーラス膜開発過程で、低出力プラズマ溶射トーチを用いても安価にセラミックコーティングを形成できる可能性を見出した。そこで、本年度は、低出力プラズマ溶射トーチを設計し、実際に数 kW の低電力でもセラミックコーティングが作製できることを確認した。以上のように、緻密膜からポーラス膜まで様々な組織のコーティング形成技術を開発することができた。今後は、これらの複合積層化コーティングを企業に提供し、実部材適用の課題を抽出する予定である。

【領域名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ガスタービン、ジェットエンジン、高出力・高効率化、セラミック複合材料 (CMC)、エアロゾルデポジション法 (AD 法)、プラズマ援用 AD 法、サス

ペンションプラズマ溶射法 (SPS 法)、
遮熱コーティング (TBC)、耐環境コー
ティング (EBC)

⑧【集積マイクロシステム研究センター】

(Research Center for Ubiquitous MEMS and Micro
Engineering)

(存続期間：2015.4.1～)

研究ユニット長：廣島 洋
副研究センター長：松本 壮平
総括研究主幹：高木 秀樹、一木 正聡、
伊藤 寿浩

所在地：つくば東

人員：21名 (21名)

経費：433,119千円 (195,032千円)

概要：

エレクトロニクス・製造領域は、IT 機器の大幅な省エネ化と高性能化の両立を可能とする世界トップ性能のデバイスの開発と、省エネ、省資源、低コストの産業活動の実現を可能とする革新的な製造技術の開発、および、先端エレクトロニクスを基礎としたセンシング技術と革新的製造技術を結びつけた超高効率な生産システムによるわが国の産業競争力強化を掲げている。当研究センターではこの中で、特に情報技術分野に必要とされる、微細加工を利用したマイクロデバイスに関する研究開発およびその分野に関連する人材を養成することをミッションとする。

スマートで安全安心な社会の実現に向けて、モノのインターネット (Internet of Things: IoT) 技術が注目されている。当研究センターは、マイクロ電子機械システム (MEMS) に関するコア技術である低温接合技術、ナノ構造作製技術、圧電 MEMS 技術などの研究開発を通じて、エネルギー、農業、健康医療、自動車、社会インフラ監視などの応用分野における MEMS センサネットワークシステムの社会実装に取り組み IoT の実現を目指す。さらに、MEMS プロトタイプングのためのファウンドリー機能の充実を図るほか、高付加価値で少量多品種の生産に適用可能な製造システムの構築などにより、研究・開発・試作・人材育成等の産業ニーズに応える。

MEMS 技術の実証の場として、これまでに、クリーンルームやデータセンター、およびコンビニでの省エネを行ってきたが、第4期は社会インフラや産業インフラの保守や点検等に資するため、ひずみ、振動、温度など複数のセンシングと通信機能を集積化したネットワーク MEMS システムを開発し、大規模社会実験を行う。このほか、生体情報のセンシング等の実証

実験等も行い、関連産業の競争力の強化にも資する。産総研では現在ナノテクノロジーに係る研究開発・人材育成活動を軸としたイノベーションエンジンとなるナノテク拠点 (TIA-nano) 形成を推進しており、MEMS 分野はこの TIA-nano の6つの重要なコア領域のうちの一つとなっている。当研究センターは、先端集積化 MEMS の研究開発や汎用大口径ラインによるデバイス試作などを行う「MEMS ファンドリー」の環境を整備し、精密機械工業と情報産業、装置ベンダー、材料メーカーを融合した業界とのオープンイノベーション拠点形成を目指す。

◆第4期加速のための重点化課題

微細加工を利用したマイクロデバイスに関する研究開発において、平成28年度は、下記の3つの重点化課題に取り組む。

- MEMS 用低コスト高信頼性真空封止パッケージング技術の開発
パッケージングは MEMS の性能向上のキー技術であり、真空封止の低コスト化は様々なデバイスで課題となっている。この封止技術は個別デバイスごとに対応・開発されており技術の体系化が必要である。表面活性化技術による低ダメージのウエハレベル接合を実現し、MEMS デバイスメーカーとの共同研究等により技術移転を図る。平成28年度は様々な圧力のガス雰囲気において封止接合を低ダメージで実現する内部圧力制御封止接合技術やメッキ金属構造に加えスパッタ膜や CVD 膜からのガス発生評価抑制技術の開発を行う。この他、MEMS 原子時計の Cs 吸収特性から封止性能を評価するとともに、他の MEMS デバイスのパッケージへの適用可能性を探索する。
- 極薄極小シリコンデバイスによるウェアラブルセンサの開発
ウェアラブルデバイスは産業競争力強化のコア技術と位置づけられている。フレキシブルエレクトロニクス技術により、皮膚に直接貼り付けるウェアラブルデバイスは報告があるものの柔軟性が低く、長期信頼性にも課題がある。極薄極小のシリコンデバイスをフレキシブル基板に集積化する技術を開発することで、柔軟でありながら高い信頼性を有するウェアラブルデバイスを実現する。平成28年度は極薄 MEMS 設計・作製方法により開発したひずみセンサに加えて、圧力センサなど他の極薄センサ、極薄回路チップを開発する。また、装置の改良による極薄 MEMS の転写速度を向上や MEMS とフレキシブル基板間のスクリーン印刷配線条件の改善による断線を回避できる条件を見出すなどの極薄極小 MEMS のフレキシブル基材への集積化技術を開発し、ウェアラブルデバイスに必要な柔軟基板上への実装技術を開発する。

- ・微細加工による三次元表面への機能付与と理論的検証

三次元部材表面に特殊な光学機能やぬれ性制御に関する機能を微細凹凸の構造により付与する技術は多くの産業分野で応用が期待されている。機能性表面を利用するマイクロ流体デバイス等の三次元表面へのナノ構造体付与プロセスを開発するとともに、機能性表面設計に適用可能なシミュレーション技術を開発し、実験と理論から最適設計を実現する。平成28年度は微細溝とぬれ性コントラストを利用するスクリーン印刷による高精細・低抵抗配線形成技術を開発し、パターン形成、線幅・アスペクト比ぬれ性の各パラメータの相関を解明する。また、親疎水パターンを利用する分岐・合流挙動を制御する気相・液相ハンドリングを活用する流体デバイス技術ではエマルション形成デバイスの設計の最適化を行う。さらに、3D 表面上の構造体を考慮したぬれ挙動問題に適用可能であり、複雑な自由界面・不均一ぬれ性を扱える多相流体シミュレーション技術において、開発中のフェーズフィールドモデルを上記課題へ適用する。

内部資金：

なし

外部資金：

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

次世代プリントエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発/⑥フレキシブル複合機能デバイス技術の開発「極薄シリコン回路と配線・電極形成テキスタイルによるセンシングウェアの開発」

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ状態モニタリング用センサシステム開発「道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発」

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト/インフラ状態モニタリング用センサシステム開発「ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発」

戦略的基盤技術高度化支援事業（プロジェクト委託型）/IoT、AI等を活用した「超スマート社会」の実現のための技術/ウェハーサイズ3次元ナノインプリントモールド用超高速電子ビーム加工装置の研究開発

国立研究開発法人 科学技術振興機構

研究成果展開事業 マンチングプランナープログラム「企業ニーズ解決試験」「ナノインプリントによるナノスクリーン印刷技術開発」

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター

SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）次世代農林水産業創造技術「生体センシング技術を活用した次世代精密家畜個体管理システムの開発」

静岡県

「光インターコネクトモジュール用光ナノインプリント装置の開発」

独立行政法人 日本学術振興会

科学研究費補助金（基盤研究（C））「フェーズフィールドモデルに基づくマイクロ多孔質体内相変化二相流計算法の開発」

科学研究費補助金（基盤研究（C））「マイクロデバイスの高气密封止のための金属の常温接合に関する研究」

科学研究費補助金（基盤研究（C））「ナノインプリント領域全域での高速充填と均一残膜を実現するモールド設計技術の研究」

科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「耳内部血管流における左右非対称性の検証」

科学研究費補助金（若手研究（B））「液滴を用いた環境水試料の毒性計測技術の開発」

科学研究費補助金（若手研究（B））「低温薄膜シリコンを用いた高速電気光変調器」

科学研究費補助金（基盤研究（A））「非線形モード局在型マイクロレゾネータアレイによる超微小質量計測とバイオセンシング」

科学研究費補助金（基盤研究（B））「工学実用から要請される高性能非構造自由界面多相流数値モデル開発と実証」

科学研究費補助金（基盤研究（C））「ソーレ効果を用いたガス分離デバイスの微細連続構造による高性能化」

発表：誌上発表66件、口頭発表98件、その他8件

ウェハレベル実装研究チーム

(Wafer-level Packaging Research Team)

研究チーム長：高木 秀樹

(つくば東)

概要：

MEMS をキーとするセンシングシステムの高機能化と低コスト化を実現するための、微細加工技術および集積化技術の研究開発を進めている。ナノメートルオーダーの微細構造を、簡便な装置により大面積に形勢可能なナノインプリント技術により、ファインピッチ配線やアンテナパターン、光配線基板などを製造するプロセスを開発している。液状の樹脂原料を高速で

シングルナノ微細金型に充填する技術の開発を進めている。また、高速電子ビーム描画装置とナノインプリントを組み合わせるにより、非常に高い生産性を実現する微細パターン形成プロセスの開発に着手した。一方、異種デバイスおよび異種材料を集積化するため、表面の活性化処理を用いた低ダメージ接合技術を開発し、次世代のデバイスとして期待される高移動度半導体や、スピントロニクス、パワーエレクトロニクスへの展開を進めている。また、この手法を MEMS デバイスの封止プロセスに適用するため、接合と剥離転写を用いた表面の平坦化手法を開発し、常温での接合による気密封止プロセスに適用した。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

マルチスケール機能化表面研究チーム

(Multiscale Smart Surface Research Team)

研究チーム長：高田 尚樹

(つくば東)

概要：

微細加工技術を活用することで、さまざまな部材の表面にマイクロ・ナノスケールの構造体を広域形成し、各種の有用な表面機能を付与する技術の実現を目指す。具体的には、プラスチック等の固体部材表面に、低コストな成型プロセス等のみを用いて所望のマイクロ・ナノスケール凹凸構造を付与できる加工技術の開発、微細構造を付与した表面により、低反射率などの光学的性能や、親水性・はっ水性などの特殊なぬれ性といった機能を発現する手法の開発、また微細構造を付与した部材表面のぬれ性に起因する液滴などの挙動を予測可能な多相流体シミュレーション技術の開発を行う。さらに、これらの要素技術を応用して流体物性センサや光学素子等の MEMS デバイスを開発する。

研究テーマ：テーマ題目3

社会実装化センサシステム研究チーム

(Socially-Integrated Sensor System Research Team)

研究チーム長：小林 健

(つくば東)

概要：

MEMS およびフレキシブルデバイス設計、プロセス、評価技術、低電力アナログ回路設計技術、無線センサ端末及びネットワークシステム技術、ビッグデータ解析技術を駆使することによって産業機器、橋梁、健康医療、土砂災害、畜産動物、それぞれに適したセンサシステムを実現し、実際の現場に社会実装することでセンサシステムの有効性を実証する。社会実装化センサシステムの実証試験による結果を、それぞれの研究開発にフィードバックすることで、MEMS デバイスの高性能化、アナログ回路の低電力化、無線センサ端末とネットワークシステムの高度化、及びビッグ

データ解析技術の高度化を目指す。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2

ウェアラブル IoT 研究チーム

(Wearable IoT Research Team)

研究チーム長：張 毅、松本 壮平

(つくば東)

概要：

スクリーン印刷、3D プリンタ、立体露光、製織プロセスなどを MEMS 技術と融合することにより、革新的な IoT デバイス技術およびセンサネットワーク技術を実現し、道路やその他のインフラ・環境安全、および生体健康管理等に应用するための研究開発に取り組んでいる。具体的には、フレキシブルなウェアラブルセンサを実現するための要素技術や実装技術の開発を行うとともに、高齢者や幼児の見守り、農畜健康管理など新規応用分野を開拓する革新的デバイスの創出を目指す。特に、健康管理支援システムに应用可能なヒューマンインターフェースに関して、実証試験を通じた調査・開発研究を積極的に進めている。さらに、人材育成および MEMS オープンイノベーションへの取り組みを充実化することで、大学・企業等との連携の推進を図っている。

研究テーマ：テーマ題目2

化学バイオインターフェース研究チーム

(ChemBio Interface Research Team)

研究チーム長：井上 朋也

(つくば東)

概要：

本チームのミッションは、環境低負荷かつ安心・安全・健康な社会・生活の実現に化学・バイオ分野の MEMS 技術を通して貢献することである。ミッション遂行のために、とくに MEMS 技術および化学・バイオ技術の融合によるデバイス・インターフェースを含めたデバイスシステム・さらにデバイスを用いて製造されるものの用途開発を研究開発対象とする。

研究テーマ：テーマ題目3

MEMS プロトタイプ研究チーム

(MEMS Prototype Research Team)

研究チーム長：廣島 洋

(つくば東)

概要：

マイクロ電子機械システム (MEMS) に関する当センターのコア技術、低温接合技術、ナノ構造作製技術、圧電 MEMS 技術などの研究開発を通じて、エネルギー、農業、健康医療、自動車、社会インフラ監視などの応用分野における MEMS センサネットワークシステムに向けたデバイス開発およびそのために必要となる

要素技術の開発を行う。また、MEMS プロトタイプングのためのファブリー機能を利用した高付加価値で少量多品種の生産に適用可能な製造システムの構築を目指す。

研究テーマ：テーマ題目1

〔テーマ題目1〕 MEMS 用低コスト高信頼性真空封止パッケージング技術の開発

〔研究代表者〕 高木 秀樹

(ウェハレベル実装研究チーム)

〔研究担当者〕 高木 秀樹、廣島 洋、
 倉島 優一、尹 成圓、魯 健、
 張 嵐、鈴木 健太、小林 健

(常勤職員8名)

〔研究内容〕

MEMS デバイスにおいては、脆弱な機械構造を保護すると同時に、湿気による結露や様々な有機分子の付着によるデバイス特性の劣化を避けるため、気密封止によるパッケージングが必須とされている。また、ジャイロを初めとする振動型の検出原理を有するセンサにおいては、振動機構の Q 値を大きくかつ一定に保つため、真空での気密封止が行われている。さらに、赤外線イメージセンサやマイクロ光電子増管においては、検出感度向上のため高真空での封止が求められている。

本研究テーマでは、このような要求に対応するため、表面の平坦化と活性化を用いた低温での接合封止技術を開発する。平成28年度は、酸化膜付きシリコンウェハ上に形成した金膜が容易に剥離できることを利用した、原子レベルでの平坦面を持つメッキパターン作成法を改良し、合わせて封止キャビティの試作を行った。改良手法では、シリコン基板上にチタンを介して形成した金薄膜上に、メッキにより封止枠パターンを形成し、これと酸化膜付きシリコン基板上に直接形成した金薄膜を接合し、金薄膜をメッキパターン表面に転写した。転写された金薄膜表面は酸化膜付きシリコン基板と同等の表面粗さを有し、常温での接合が可能であることを確認した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 MEMS、パッケージング、低温接合、
 気密封止、真空封止、メッキ

〔テーマ題目2〕 極薄極小シリコンデバイスによるウェアラブルセンサの開発

〔研究代表者〕 小林 健

(社会実装化センサシステム研究チーム)

〔研究担当者〕 小林 健、高木 秀樹、張 毅
 山下 崇博、武井 亮平、岡田 浩尚、
 鈴木 章夫、竹下 俊弘、牧本 なつみ、
 大内 篤 (常勤職員8名、他2名)

〔研究内容〕

フレキシブルエレクトロニクス技術により、薄型のウ

エアラブルデバイスが研究開発されている。薄型かつフレキシブルなデバイスの作製においては、シリコンなどを基材とした電子デバイスを30 μm 程度以下まで薄化し、フレキシブル基板上へ実装する方法が一般的に用いられている。しかし、薄化後のシリコンデバイスは脆く壊れやすいため、既存技術を用いた手法を用いると、薄化後のダイシング、ハンドリング、実装等が煩雑になるという課題がある。そこで我々は MEMS 技術を用いた、極薄極小のシリコンデバイスをフレキシブル基板に集積化する技術を開発した。この技術は既存技術である MEMS 技術と実装技術を上手く組み合わせることで、簡便に極薄極小デバイスを実装する技術である。昨年度は本技術の基礎的な開発と、単純な形状のセンサデバイスである動歪センサの研究開発を行った。本年度はこの技術のさらなる可能性を模索するために、複雑な構造で、かつ機械的可動部のあるアクチュエータデバイスの極薄化、フレキシブル化の研究開発を行った。

本年度は極薄 MEMS ミラーの開発と特性評価を行った。SOI ウェハに Pt/Ti/PZT/Pt/Ti/SiO₂を製膜し、MEMS プロセスで極薄 MEMS ミラーを作製する。デバイスの厚さは5.31 μm と非常に薄い構造となっている。その後極薄 MEMS ミラーを剥離し、穴をあけたポリイミド基板に接着剤を用いて固定した。最後に絶電・導電ペーストを用いて配線を行った。SOI 基板のハンドル層と極薄 MEMS ミラーの枠は3 μm の支持構造でのみ支持されており、その支持構造は簡単に破断するため、容易に SOI 基板から剥離可能である。そのため、既存の MEMS プロセスから大幅に変更する必要がなく、簡便な方法で極薄 MEMS デバイスの実装することに成功した。

作製した極薄 MEMS ミラーの特性評価を行った。ポリイミド基板に実装した極薄 MEMS ミラーを試作し、ポリイミド基板を凸形状に曲げたときの動作確認、及びデバイス特性の評価を、光学実験系を用いて行った。ポリイミド基板の曲率半径が125 mm の状態においても、極薄 MEMS ミラーは曲げに追従し、かつ壊れることなく動作することを確認した。また極薄 MEMS ミラーの共振周波数がポリイミド基板の曲率半径によって影響を受け、変化することを発見した。この現象は安定したミラー駆動に悪影響を与えるため、改善しなければならないと考えられる。今後は極薄 MEMS ミラーの特性評価、フレキシブル性の評価、信頼性評価を行い、さらに応用研究等を行う予定である。本研究で得られた成果で、国内学会2件、国際学会1件を行い、また国際紙での紙上発表も行う予定である。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 FHE、MEMS フレキシブルデバイス、
 光スキャナデバイス、IoT

〔テーマ題目3〕 微細加工による三次元表面への機能付

与と理論的検証

〔研究代表者〕 高田 尚樹

(マルチスケール機能化表面研究チーム)

〔研究担当者〕 高田 尚樹、栗原 一真、穂苅 遼平、
井上 朋也、平間 宏忠、銘苅 春隆、
松本 壮平 (常勤職員7名)

〔研究内容〕

三次元部材表面への微細凹凸等の構造形成により、特殊な光学特性やぬれ性の制御に関する機能を付与する技術は、多くの産業分野で応用の期待が大きい。現状では加工自由度・実現できる機能・コストの点で課題がある。これらの課題解決と新技術の提案、数値シミュレーション技術の活用により、当該技術の応用分野拡大を図る。具体的には以下の3課題について取り組みを行った。

① 三次元表面への精密ナノ構造体付与プロセスの開発

ナノ構造体付与による3D 機能表面製造技術において、新技術であるスクリーン印刷とナノインプリントを融合した高精細印刷技術の更なる向上に向けて、線幅・アスペクト比・ぬれ性等、各パラメータの相関解明を行った。印刷対象基材の表面に形成した溝構造の線幅とアスペクト比の変化により、溝構造への機能性材料の充填性が変わることがわかった。以上の結果から、溝構造とぬれ性のデザインにより機能性材料を溝に充填する毛細管力が適切に制御されてサブマイクロメートルの微細配線パターンが作製できることを示した。

② 機能性表面を応用するマイクロ流体デバイスの開発

ガラス製マイクロ流体デバイスで壁面のぬれ性をコントロールしたエマルジョン調製法を検討した。マイクロ流路の一分岐内をシランカップリング剤で疎水化したのち局所的な紫外線照射により一部を親水化することで、局所的にぬれ性の異なる流路表面を作製した。また、本デバイスを使用して W/O/W 及び O/W/O エマルジョンを効率よく調製できることを実証した。また、ガラス製流体デバイスに触媒を充填した反応器により、気液混相反応を効率よく行えること、及び熱良導体の接合により発熱反応を効率よく行えることを立証した。

③ 機能性表面設計に適用可能な数値シミュレーション技術の開発

昨年度構築した CFD (Computational Fluid Dynamics; 数値流体力学) コードを様々なぬれ性の問題に適用できるよう、微細凹凸等の構造が付与された三次元部材表面やぬれ性が不均一なマイクロ流路の形状を均一な複数の立方体で簡易にモデル化する境界設定モジュールを作製し、コードに追加した。そのコードを使用して、上記①の高精細印刷に関する機能性液体材料の溝構造への充填、及び②のエマルジョン調製に関するマイクロ流体デバイスによる液滴形成の数値シミュレーションを実施した。それらの結果が実験

結果と良く一致したことから、本 CFD コードの有効性を確認した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 微細加工、スクリーン印刷、ナノインプリント、マイクロ流体デバイス、流体シミュレーション

6) 地質調査総合センター

(GSJ: Geological Survey of Japan)

地質調査総合センター長：佃 栄吉

概 要：

地質調査総合センターは、独立行政法人通則法第35条の5の認可を受けた中長期計画に基づき、地質の調査に係る研究と開発及びこれらに関連する業務を行う。地質調査総合センター長は、総合センターにおける業務の統括管理を行っている。また、各研究領域間の融合を推進し、業務を実施している。

① 地質調査総合センター研究戦略部

(Research Promotion Division of Geological Survey of Japan)

研究戦略部長：矢野 雄策

研究企画室長：藤原 治

所在地：つくば中央第1、つくば中央第7

人 員：10名 (9名)

概 要：

研究戦略部は、地質調査総合センターにおける研究と開発及びこれらに関連する業務に係る基本方針の企画、立案、総合調整を行う。研究戦略部長は、地質調査総合センターにおける業務の管理及び研究戦略部の業務を統括管理するとともに、人事マネジメント及び人材育成に係る業務を統括している。また、研究領域間の融合に係る業務を行う。

地質調査総合センター研究企画室

(Research Planning Office for Geological Survey of Japan)

概 要：

研究企画室は、地質調査総合センターにおける研究の推進に関する業務を行っている。具体的には以下のとおり。

1. 地質調査総合センターの運営に関する業務
2. 原課及びその他関係機関との調整に関する業務
3. 国際連携に関する業務
4. 国内連携に関する業務
5. 技術研究組合に関する業務
6. 地震・火山噴火等の自然災害に対する緊急対応

これら業務の結果として、傑出した研究成果の創出、知的基盤としての地質情報整備、外部研究資金獲得の増加、所内外及び海外での関係機関との連携と総合センターの存在アピール向上に貢献している。

1. については、研究戦略や予算編成等の基本方針

の策定、年度計画・年度実績の取りまとめ、プロジェクトの企画と総合調整、ユニット間の連携の推進等を行っている。

2. については、経済産業省等の省庁原課との連携調整に関する業務全般、視察への対応等を行っている。

3. については、地質調査総合センター (GSJ) としての MOU 締結等、海外の地球科学研究機関との連携に関する業務、海外からの研修生の受け入れ、その他国際機関や国際会議への対応等を推進している。

4. については、産業技術連携推進協議会の講演会の開催、地質情報展などのアウトリーチ活動、テクノブリッジフェア出展のとりまとめを行う等、外部機関との連携の強化を図っている。

5. については、二酸化炭素地中貯留技術研究組合の立ち上げを行った。

6. については、災害発生に際して社会的要請に応じて緊急調査の実施及び成果の発信に係る業務を行っている。平成28年度は、熊本地震に関して、各ユニットとの連携のもと、現地調査のための研究者の派遣やマスコミ対応に関する支援、ホームページを通じた情報発信等を実施した。

機構図 (2017/3/31現在)

[地質調査総合センター研究企画室]

研究企画室長 藤原 治

[国際連携グループ]

イノベーションコーディネータ 内田 利弘

[国内連携グループ]

イノベーションコーディネータ 斎藤 眞

②【活断層・火山研究部門】

(Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

(存続期間：2014.4～)

研究部門長：桑原 保人

副研究部門長：増田 幸治

副研究部門長：伊藤 順一

首席研究員：岡村 行信

首席研究員：篠原 宏志

総括研究主幹：山元 孝広

研究主幹：星住 英夫

所在地：つくば中央第七

人 員：63名 (63名)

経 費：1,149,400千円 (363,945千円)

概 要：

(1) 部門のミッション

活断層・火山研究部門は、2014年 (平成26年) 4月

に設置された研究部門である。設置の背景としては、2011年東日本大震災以後、地震・火山噴火等の大規模自然災害への社会的関心が高まり、より精度の高い地震・津波や火山情報の提供への期待が大きくなっていること、原子力施設の立地・廃止・廃棄・最終処分の安全規制等に関わり、より長期的な視点での地質変動予測研究に対しての行政・社会ニーズも増加していることがあった。本部門は、これらのニーズに応えるため、地震、火山、長期的な地質変動の研究の発展を図ることとされ、そのミッションは下記の通りである。これは、2015年度から始まる産総研第4期中期計画の「レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価」に対応する。

- ① 地質の調査や観測を基に、我が国およびアジア太平洋地域も含めた地震・火山・長期地質変動に関する地質情報の整備・社会への提供を行う。
- ② 地震・火山・長期地質変動のプロセス・予測手法の組織的な研究によって社会の災害リスクの軽減に貢献する。
- ③ 我が国の地震火山の調査研究の施策、原子力施設の立地・廃止・廃棄・最終処分のための安全規制施策に貢献する。

(2) 重点課題と研究概要

第4期中期目標・計画達成のため、1) 活断層評価および災害予測手法の高度化、2) 海溝型地震評価の高度化、3) 火山活動予測の高度化、4) 放射性廃棄物地層処分の地質環境評価、を4つの重点課題として研究を進めた。また、これまでも進めてきたアジア太平洋地域の地震火山情報整備についても、当部門での重要な取り組む課題として設定した。さらに、地震や火山に関わる突発災害が起こった場合には、その後の現象の推移の予想や、その時にしか得られないデータの取得のための緊急調査を実施することも重要な任務である。

それぞれの重点課題の中で、外部資金による研究を交え、下記の研究を実施した。

- 1) 内陸地震に関しては、陸域・沿岸海域の5地域の活断層調査、関東地域のテクトニックマップの試作、関東地域の基盤構造の解明、活断層の変形予測手法開発を進めた。
- 2) 海溝型地震に関しては、千島・日本海溝・相模トラフ・南海トラフでの地震・津波履歴情報、津波堆積物データベースの整備を進めた。また南海トラフの深部すべり等のモニタリングを行い、深部すべり履歴データの整備および地下水観測感度の向上のための観測井の密閉化実験を行った。
- 3) 火山に関しては、富士火山の地質図の出版、また防災上重要な7火山の火山地質図の整備等を目指して、3火山の調査を進めた。また噴火推移評価手法開発のため、現地での火山ガス観測を行い、大規模

噴火に関わる噴火履歴情報整備のためのカルデラ火山を調査し、マグマに関わる地殻変動計算、阿蘇でのMT法探査の解析を進めた。また気象庁等の火山監視業務で活用できる火山ガス連続観測システムの実用化を進めた。

- 4) 放射性廃棄物地層処分の地質環境評価の研究に関しては、超長期（100万年）の将来にわたる地質変動および地下水・深部流体が処分場に及ぼす影響の将来予測・評価手法の開発に向け、断層破碎帯が地下水流路として果たす機能についての研究や、従来の評価手法の適応条件・範囲や予測精度の検討を行った。

また、アジア太平洋地域の地震火山情報整備については、国際的に合意した計画（G-EVER プロジェクト）に沿って、「東アジア地域地震火山情報図」を出版した。

2016年度の緊急調査としては、地震に関しては2016年4月の熊本地震（最大M7.3）、10月鳥取県中部の地震（M6.6）、12月茨城県北部の地震（M6.3）、火山に関しては7月桜島、10月阿蘇火山について、調査解析等を実施した。

(3) 成果の発信

上記の調査研究の成果については、内外の学術論文や産総研発行の地質図、研究報告、外部機関の調査報告書等での公表のほか、プレスリリースの実施やGSJ地質ニュース、部門ニュースでの研究紹介の執筆、また、特に緊急調査に関しては産総研ホームページ上で速やかな情報発信を行った。また、研究成果を行政に直接的に生かすための活動として、自治体の防災施策の中に地質情報を適確に活用し行くための自治体職員研修（6県から7名の参加）や気象庁職員（7名）への火山灰の分析・解析研修を実施した。一般への成果普及として、研究紹介のためのイベント出展や、報道への積極的な対応も行った。

外部資金：

火山噴火の予測技術の開発（噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成）（文部科学省 受託研究）

火山噴火の予測技術の開発「火山噴出物分析による噴火事象分岐判断手法の開発」（文部科学省 受託研究 次世代火山研究推進事業）

別府一万年山断層帯（大分平野一由布院断層帯東部）における重点的な調査観測（文部科学省 受託研究）

長岡平野西縁断層帯の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）（文部科学省 受託研究 科学技術基礎調査等委託

事業)

綾瀬川断層（伊奈－川口区間）の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）（文部科学省 受託研究 科学技術基礎調査等委託事業）

長岡平野西縁断層帯の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）（文部科学省 受託研究 科学技術基礎調査等委託事業）

平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査（文部科学省 受託研究）

平成28年度原子力発電施設等安全技術対策委託費（自然事象等の長期予測に関する予察的調査）事業（原子力規制庁 受託研究）

火山影響評価に係る技術知見の整備（原子力規制庁 受託研究 原子力施設等防災対策等委託費）

火山ガス組成および火山灰モニタリング技術の開発（科学技術振興機構 受託研究 戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】レジリエントな防災・減災機能の強化）

マグマ中ガス成分濃度測定に基づく噴火開始条件の解明（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

多面的アプローチによる地球浅部の温度不均質構造解明に関する研究（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

津波堆積物の古生物学的・堆積学的・化学的アーカイブの構築（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

岩石強度の時間変化メカニズムに対する水の影響の解明（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

火山ガス観測による水蒸気爆発噴火の推移予測研究（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

巨大カルデラ噴火のマグマ溜まりにおける噴火準備過程の解明（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

ルミネッセンス法を用いたイベント堆積物の運搬過程の解明と高精度年代測定（日本学術振興会 科学研究費 若手研究（B））

高温沈み込み帯における初期島弧マグマ発生と沈み込み帯発達過程の解明（日本学術振興会 科学研究費 若手研

究（B））

海溝型巨大地震発生を理解と予測を目指した粘弾性地震発生サイクルシミュレーション（日本学術振興会 科学研究費 若手研究（B））

正しい K-Ar 年代値とは何か？－アルゴン初期値の質量分別に関する検討（日本学術振興会 科学研究費 若手研究（B））

高精度年代測定による海洋プレート沈み込み開始過程のタイムスケールとその要因の解（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（B））

水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-W プロジェクト（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

異なる時空間スケールにおける日本列島の変形場の解明（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

観察・観測による断層帯の発達過程とマイクロからマクロまでの地殻構造の解明（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

岩石変形実験による地殻の力学物性の解明：流体の影響（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

測地観測によるスロー地震の物理像の解明（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

浅部マグマ過程のその場観察実験に基づく準リアルタイム火山学の構築（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（S））

マントル組成半球構造のキャラクタリゼーションと成因解明（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A））

地殻応力永年変動（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A））

強震動と液状化の複合作用を受けるライフラインネットワークの被害推定システムの開発（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A））

遠隔操作の多項目観測による西之島形成プロセスの解明（文部科学省 科学研究費 基盤研究（A））

高温変形実験による浅所貫入マグマ物性の研究（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（A））

動力学的震源を活用した地震ハザード評価の新展開（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（B））

地震津波履歴情報の統合利用による古地震・津波の諸相評価手法の確立（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（B））

複合測地データを活用した震源断層即時推定システムの開発（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（B））

非火山域における深部流体の起源と上昇過程（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

地中熱利用システム普及による地下熱環境への影響予測と監視手法の確立（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

希ガス同位体を用いて爆発的噴火の準備過程が熱水活動に与える影響の検討（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

陸上テフラを用いた海底火山の高分解能噴火活動史解明と周辺陸域への影響評価（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

盆地端部でのやや短周期パルス地震動の増幅を考慮した地震危険度評価手法に関する研究（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

地殻ダイナミクス—東北沖地震後の内陸変動の統一的理解—（日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究）

高压下における地盤材料の圧縮、せん断と固化のマイクロメカニクス（日本学術振興会 科学研究費 基盤研究（C））

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト（海洋研究開発機構 受託研究）

マイクロからマクロスケールにおけるアルパイン断層の力学特性の評価（日本学術振興会 二国間交流事業共同研究・セミナー）

偏差応力化における砂岩の透水係数変化（韓国地質資源研究院 受託研究）

層理面を考慮した大深度堆積岩の力学物性評価手法に関

する研究（国際石油開発帝石株式会社 受託研究）

大深度泥岩の初期物性および力学物性値の取得（国際石油開発帝石株式会社 受託研究）

山崎断層主部北西部を対象とした動力学的破壊シミュレーション（応用地質株式会社 請負研究）

布田川断層帯・日奈久断層帯を対象とした動力学的破壊シミュレーション（応用地質株式会社 請負研究）

インドネシア国地熱開発における中長期的な促進制度設計支援プロジェクトのうち地質・地化学・物理探査（西日本技術開発株式会社 請負研究）

長岡平野西縁断層帯の南端地域における地震活動の調査・研究（地震予知総合研究振興会 共同研究）

カッティングス試料を用いた岩石強度推定の実験手法開発（造船学術研究推進機構 研究助成）

発表：誌上発表102件、口頭発表257件、その他86件

活断層評価研究グループ

（Active Fault Research Group）

研究グループ長：宮下 由香里

（つくば中央第七）

概要：

将来発生する内陸地震の規模や時期を予測することを目的として、全国の陸上および沿岸海域の活断層を対象に、活断層の位置や形状を詳細に把握し、過去の活動履歴を明らかにするための各種調査研究を実施する。また、隣接する活断層が同時に活動して地震規模が大きくなる可能性や、地形表現が不明瞭なため通常の調査では認定しにくい活断層についても、新たな調査・評価手法の開発研究を行う。調査の結果得られたデータは、政府の地震調査研究推進本部に提出し、国としての活断層評価に活用するほか、既存の研究成果とともに「活断層データベース」へ収録し、インターネット上で公開する。さらに、大地震が発生した場合には、地表に現れた断層のずれ等の地殻変動を把握するため、速やかに緊急調査を実施し、結果を公表する。

研究テーマ：テーマ題目1

地震テクトニクス研究グループ

（Seismotectonics Research Group）

研究グループ長：今西 和俊

（つくば中央第七）

概要：

本研究グループは地震が発生する場や発生にいたる

プロセスを断層岩の地質調査、室内岩石実験、数値シミュレーション、地震観測・解析など多面的なアプローチにより解明し、地震の規模等の予測精度を向上させるための技術確立を目指す。具体的には、高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究に基づく地震テクトニックマップの作成、脆性から塑性に至る断層変形プロセスの室内実験およびフィールド調査による解明、地震発生の物理モデルに関する研究を実施する。今年度から新たに超臨界地熱開発域における誘発地震の発生ポテンシャル研究を開始する。さらに、グループのコア技術やグループ員のポテンシャルを生かしたプロジェクト研究に積極的に貢献するとともに、南海トラフの深部構造・応力状態解明のための地震観測の維持なども行っている。これらの成果は論文・データベースなどを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目3

地震地下水研究グループ

(Tectono-Hydrology Research Group)

研究グループ長：松本 則夫

(つくば中央第七)

概 要：

南海トラフ巨大地震の短期・中期予測をめざして地下水および地殻変動の観測および解析を実施するとともに、国の東海地震予知事業および地震調査研究業務を分担している。東海・近畿・四国地域を中心に全国で50以上の観測点において地下水の水位・水圧・水温等を観測し、一部の観測点では、歪・GNSS・傾斜計等による地殻変動や地震の同時観測も行っている。これは、地震予知・予測研究のための地下水観測網としては質・量において世界有数のものである。観測データは通信回線等を通じて当グループに送信され、それらのデータを用いて南海トラフ巨大地震の予測精度向上に不可欠な深部ゆっくりすべりや深部低周波微動のモニタリングや地下水等の変動メカニズム解明のための研究などを行っている。特に重要なデータは気象庁にもリアルタイムで送られて東海地震予知のための監視データとなっている。観測結果は、解析手法とともにホームページを通じてデータベースとして公開しており (<https://gbank.gsj.jp/wellweb/>)、地震防災対策強化地域判定会（東海地震の予知判定を行う気象庁長官の諮問機関）・地震調査委員会・地震予知連絡会にデータを報告・説明している。

研究テーマ：テーマ題目4、テーマ題目5、テーマ題目6

海溝型地震履歴研究グループ

(Subduction Zone Paleoequake Research Group)

研究グループ長：宍倉 正展

(つくば中央第七)

概 要：

海溝型地震は2011年東北地方太平洋沖地震のようにまれに巨大化し、大きな津波を発生させることがある。そのような巨大地震は数百年以上の長いくり返し間隔を持つため、正確な規模や長期的な発生時期を予測するには、過去にどのような地震や津波が起きていたのかを数千年オーダーで遡って解明する必要がある。そこで海溝型地震履歴研究グループでは、歴史記録や地形・地質に記録された痕跡の調査から、過去の海溝型巨大地震の発生時期や規模を解明し、地球物理学的な検討を通して震源域・波源域を復元する研究を行っている。特に東日本大震災以降は、最大クラスの地震や津波の評価に資する具体的な地形、地質データの提示によって今後の想定に役立てること、またそのための津波堆積物の識別精度の向上を目指している。各地で得られたデータについては、津波堆積物データベースで web 公開していき、被害予測に貢献する成果を社会に提供している。

研究テーマ：テーマ題目7

地震災害予測研究グループ

(Earthquake Hazard Assessment Group)

研究グループ長：阿部 信太郎

(つくば中央第七)

概 要：

地震災害の軽減を目指し、地質学、地球物理学、地震学、地震工学の融合を意識しながら、地盤変形、地下構造、強震動、震源破壊過程に関する研究に取り組む。地盤変形に関する研究では、陸域および海域に分布する活断層を対象とし、地盤変形予測手法の開発と実フィールドへの適用性の検討をすすめる。地下構造と強震動に関する研究では、陸域および海域の地下構造調査データに基づき、既往の地震を対象に解析手法を検証しながら断層の深部形状も含めて基盤構造と地震動に関する考察を行う。震源断層の破壊過程に関する研究では、断層形状と広域応力場に基づく動力学的破壊シミュレーションの高度化をすすめる。

研究テーマ：テーマ題目8、テーマ題目20

火山活動研究グループ

(Volcanic Activity Research Group)

研究グループ長：石塚 吉浩

(つくば中央第七)

概 要：

中期的な火山噴火予測のため、活動的火山の噴火履歴・成長史を解明し、将来の活動様式・時期を予測するとともに、火山地質図を作成する。また、長期的な火山活動場変遷の規則性を明らかにするために、日本の第四紀火山活動の時間空間分布を明らかにする研究を実施する。これらに加え、年代測定法や化学分析法

などの技術開発および高度化を行うとともに実測定を実施し、物質科学的な見地から火山の総合理解を深める。火山噴火あるいは火山活動時においては、社会的要請に応えるための組織的かつ機動的な緊急調査を実施する。また、地質調査総合センター全体で実施する陸域地質図プロジェクトのコアグループの1つとして、新生代火山岩地域における地質図幅の作成を行う。これらの研究成果は、論文・地質図・データベースなどを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目9、テーマ題目10、テーマ題目11、テーマ題目14、陸域地質図（地質情報研究部門テーマ題目）

マグマ活動研究グループ

(Magmatic Activity Research Group)

研究グループ長：田中 明子

(つくば中央第七)

概要：

短期的火山噴火予知・活動推移予測の基礎となる、噴火機構・マグマ供給系の物理化学モデルの構築を目指し、マグマ系における化学反応・力学過程などの素過程の実験・理論的研究と活動的火山の観測・調査に基づくマグマ活動の把握及びモデル構築を行う。具体的には、火山ガス放出量・組成観測、放熱量観測、地殻変動観測など活火山の観測研究と、メルト包有物や斑晶組織・組成の解析によるマグマの性質と進化の研究、地質調査に基づく岩脈貫入や噴火時系列の解析、高温高压実験やアナログ物質を用いた模擬実験などによる素過程の解析などを実施する。研究成果は火山噴火予知連にも報告され、火山活動の評価などの基礎資料としても用いられる。

研究テーマ：テーマ題目12、テーマ題目14

大規模噴火研究グループ

(Caldera Volcano Research Group)

研究グループ長：下司 信夫

(つくば中央第七)

概要：

大規模噴火の短期的・長期的な噴火の準備過程及び駆動メカニズムの解明とそれを用いた大規模火山の噴火活動評価を行うため、国内外の大規模カルデラ火山を主な対象とする地質学的・岩石学的及び力学的な研究を推進する。大規模噴火による噴出物や火山構造に対する地質学的手法による噴火プロセスの復元や噴出量・噴出率等の基礎的な噴火パラメータの推定を行うとともに、噴出物に対する岩石学的解析や、天然の噴出物を用いた高温高压実験、熱力学計算に基づく大規模噴火のマグマ溜りの深さや大きさ、温度条件等に関する制約を与える。これらの実際の大規模火山における観測量を用いて、マグマ溜りの活動に起因する地殻

変動等のモデルを構築し、大規模火山のマグマ供給系の活動評価を行う。これらの研究成果は、論文等を通して社会に還元されるほか、原子力規制庁による原子力施設に対する噴火影響評価に対する基礎資料としても用いられる。

研究テーマ：テーマ題目13、テーマ題目14、

テーマ題目24

地質変動研究グループ

(Geodynamics Research Group)

研究グループ長：伊藤 順一

(つくば中央第七)

概要：

日本列島における、長期的な地殻変動（隆起・沈降・侵食・堆積・地震・断層・火山・火成活動など）の基礎的理解を深めることを目的として、隆起・侵食速度やメカニズムに関する研究、地質・地形学的手法による第四紀地殻変動の研究、断層解析による地殻応力場変遷史の研究、第四紀火山の地質・岩石学・鉱物学的研究を行う。これらの調査結果による知見や各種の調査手法開発による研究結果は、地質環境の長期変動予測や安定性評価手法の開発に応用される。さらに、原子力規制委員会による放射性廃棄物地層処分安全審査時のバックデータとして活用され、国による安全規制を科学的にサポートする。また、福島第一原子力発電所における汚染水対策に関連した研究を行い、国が行う施策を科学的にサポートする。

研究テーマ：テーマ題目15、テーマ題目18

深部流体研究グループ

(Crustal Fluid Research Group)

研究グループ長：風早 康平

(つくば中央第七)

概要：

日本列島各地における浅層～深層地赤水、温泉、ガスなどを調査し、その起源、成因や流動状態を解明するための手法を開発することにより、深層に存在する地下水系や深部流体の流動や循環を明らかにすることを目的とする研究を行う。具体的研究手法は、地下水・ガスの各種化学・同位体組成からわかる地下水やガスの物質収支および形成機構の解明、希ガス同位体等を用いた超長期地下水年代測定、地質や地質構造と深層地下水流動の関係を明らかにする GIS ベースの DB 開発などである。これらの調査結果による知見や各種地下水調査手法開発による研究結果は、深層地下水系の長期変動予測や安定性評価の開発に応用される。さらに、原子力規制委員会による放射性廃棄物地層処分の安全規制ガイドライン作成等に活用され、国による安全審査を科学的にサポートする。

研究テーマ：テーマ題目16、テーマ題目18

水文地質研究グループ

(Hydrogeology Research Group)

研究グループ長：塚本 斉

(つくば中央第七)

概要：

概要：放射性廃棄物等の処理・処分において重要な地下数百 m 程度までの深度における地下水流動と物質移行、地下環境の調査・評価手法の研究を行う。放射性廃棄物等の処理・処分の安全規制に関わる支援研究として、原子力規制庁からの委託研究（「自然事象等の長期予測に関する予察的調査」）により、地質学的変動・海水準変動等を考慮した地下水流動系の評価手法と地下環境の変動予測手法の研究を実施する。また、交付金を活用し、福島第一原子力発電所における汚染水問題の研究、関東平野の広域地下水流動系の研究、地下水の³⁶Cl 年代を用いた堆積岩地域や富士山の地下水流動に関する研究、岩石の化学的浸透現象に関する研究、岩石の空隙構造と透水性に関する研究、水理力学連成シミュレーション等の研究を実施する。

研究テーマ：テーマ題目17、テーマ題目18

[テーマ題目1] 活断層評価の研究・活断層データベースの研究

[研究代表者] 宮下 由香里（活断層評価研究グループ）

[研究担当者] 宮下 由香里、栗田 泰夫、吾妻 崇、丸山 正、近藤 久雄、東郷 徹宏、白濱 吉起、宮本 富士香、飯尾 由子（常勤職員6名、他3名）

[研究内容]

活断層評価の高精度化および評価手法の高度化を図るため、今年度は下記の研究を実施した。

- 2016年熊本地震の発生を受け、地震直後から緊急調査を実施した。緊急調査では、地表地震断層を含む地表変状の認定・記載とマッピングを行った。結果は、学会・国際誌等で迅速に公表した。
- 国内の主要活断層帯の長期評価の高精度化のため、曾根丘陵断層帯（山梨県）、綾瀬川断層帯（埼玉県）について、地形地質調査と古地震調査を実施し、既存評価を改定する古地震パラメータを取得した。
- 2016年熊本地震発生の結果、地震活動が活発化したと推定される領域に存在する日奈久断層帯未破壊区間の地震切迫度を高精度で評価するため、同断層帯の高野-白旗区間及び日奈久区間において古地震調査を実施した。その結果、両区間において、従来評価を大幅に改訂する、高頻度での活動履歴が明らかとなった。
- 重要地域の活断層の調査として、山口県周防大島町においてボーリング掘削調査を実施し、年代測定試料を採取した。
- 宇宙線生成核種を用いた年代測定手法の高度化のため、

中国の山西地溝帯及び千屋断層帯周辺の断層について、地形地質調査と試料採取・分析を行った。

- 地形表現が不明瞭な活断層の評価手法の開発を目的として、高解像度地形データを用いた地形解析手法の確立の研究を行った。
- 活断層調査手法の指導のため、韓国慶州地震周辺地域において予察的な地形地質調査と、研究打ち合わせを行った。
- 調査結果の普及と有効活用の目的で公開中の活断層データベースについて、7-1) 2016年熊本地震をうけての迅速なトップページの改訂と緊急調査速報の掲載、7-2) セキュリティ強化・メンテナンス性向上のため、開発言語の改修と文字コードの雄機会、7-3) インターフェイスデザイン的大幅改訂、7-4) 最新研究成果の収録を実施した。さらに、活断層データベースの小方法についてのパンフレットを作成し、一般公開、テクノブリッジ、標本関東で配布した。

[領域名] 地質調査総合センター

[キーワード] 活断層、地震、古地震、活動性、評価、緊急調査、データベース

[テーマ題目2] 地震テクトニクス研究

[研究代表者] 今西 和俊（地震テクトニクス研究グループ）

[研究担当者] 今西 和俊、重松 紀生、高橋 美紀、内出 崇彦、大谷 真紀子、北村 真奈美、松下 レイケン、中井 未里（常勤職員5名、他3名）

[研究内容]

地震の発生時期と規模の予測技術の確立を目指し、今年度は下記のテーマを実施した。

- 高分解能地殻応力場の解明と造構造場の研究

別課題（テーマ題目3）で実施中の地震テクトニクマップの有効性と限界を確認するため、2014年長野県北部の地震、2016年熊本地震の震源過程と応力場について検討を行った。熊本地震に関しては、地震発生後速やかに研究を開始し、迅速かつ適切な情報提供に努めた。高精度震源決定法によって再決定した震源分布を地質図 Navi (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>) に提供し、2016年6月まで随時更新した。また、震源分布、断層すべり分布、大分県由布院-別府地域における動的誘発地震をまとめ、一連の現象を包括的に議論した (Uchide *et al.*, 2016)。
- 脆性から塑性に至る断層変形プロセスの解明

アルパイン断層 DFDP-2の孔検層で推定した亀裂分布の特徴を詳細に調べ、その特徴が温度構造と関連して深さ変化している可能性を見出した。また、マイロナイトを形成するような塑性変形から自発的な変形の加速を観測できるようにするため、産総研所有の変形試験機を改良した。岩塩-白雲母混合ガウジの摩擦

特性に関する成果 (Takahashi *et al.*, 2017)、中央構造線栗野一田引露頭における断層破碎帯の内部構造解析 (Shigematsu *et al.*, 2017) などの成果も挙げた。

3) 地震発生の物理モデルの研究

粘弾性緩和応答の効果を導入した地震発生サイクル計算に関して、メモリ変数法と呼ばれる手法を用い、2次元地震サイクル計算手法を構築した。また、昨年度実施した福島県浜通り・茨城県北部周辺の小地震の解析では、M3級の地震の震源スペクトルが標準的モデル (オメガ2乗モデル) から明確に外れる場合が多いことを報告していたが、同様の傾向は国内の他地域における地震についても見られることを明らかにした。

4) 超臨界地熱開発域における誘発地震の発生ポテンシャル研究

今年度から FREA とともに超臨界地熱開発における誘発地震発生ポテンシャルの研究を開始した。超臨界条件下において無垢な花崗岩を用いて三軸圧縮試験を行い、強度とヤング率に対する温度・有効圧依存性を調べた。また、隣接地震を活用した相対モーメントテンソルインバージョン法を開発し、誘発地震の発生メカニズムを高精度で推定することを可能にした。

5) 地下水等モニタリング施設の維持管理

産総研の保有する地下水等観測施設の地震計に関わる部分の観測維持とデータの整理を行った。このデータは他機関のデータと合わせて気象庁により一元化処理され、その結果は地震調査推進本部による「地震活動の総合的な評価」等に活用されている。また、観測点の見直しにより跡津川観測点を廃止することになり、廃止に伴う各種対応を行った。

[領域名] 地質調査総合センター

[キーワード] テクトニクス、応力場、地震発生物理モデル、脆性-塑性遷移、中央構造線、高温高圧、超臨界地熱、誘発地震

[テーマ題目3] 関東地域における地震テクトニックマップの試作

[研究代表者] 今西 和俊 (地震テクトニクス研究グループ)

[研究担当者] 今西 和俊、内出 崇彦、松下 レイケン、阿部 信太郎、堀川 晴央、吉見 雅行、大坪 誠、桑原 保人、石田 瑞穂、杉山 雄一、宮川 歩夢 (地質情報研究部門) (常勤職員8名、他3名)

[研究内容]

将来起こり得る地震の規模や発生様式を含めたポテンシャル評価を行う上で、応力情報や地形地質情報等をもとに地震発生場の地域性を総合的に検討した地図 (地震テクトニックマップ) の整備が急務の課題である。そこで平成25年度より関東地域の25 km 以浅をケーススタ

ディとして試作に取り組み始めた。今年度は文部科学省活断層の地域評価 (関東地域) の対象範囲に合わせるため、解析領域を拡大し、約15年間にわたり蓄積された微小地震データの解析を一通り完了し、応力マップを纏めた。

前年度までの結果から、応力場が空間的に急激に変化する場所がいくつか確認されているが、その中の一つである山梨県北東部において約2年間にわたり実施してきた臨時観測結果を取り纏め、以下の結果を得た (今西ほか、2016)。

- ・南北約40 km、東西約30 km の調査地域において、振幅値を用いた発震機構解推定法を用いることで、M0.0を下限とする合計259個の解を推定することができた。
- ・応力テンソルインバージョン解析により、応力場を定量的に推定した。調査地域全域にわたり最大主応力軸は水平面内に作用しており、水平圧縮力が卓越する場であることが確認できる。一方、その方位は領域毎に異なっており、最大で約90度の違いが見られる。応力場のタイプも逆断層場と横ずれ場が含まれており、狭い範囲内で不均一な応力場の実態が明らかになった。
- ・応力テンソルインバージョン結果をもとに、5つの応力区に区分した。応力区境界の一部には活断層と構造線が分布する。
- ・最大主応力軸は南部から北部に行くにつれて約90度変化するが、急激に変化するのではなく、等方的な水平圧縮力を持つ領域を挟んで徐々に変化していくと見て取ることができる。

地震データ以外の応力情報のコンパイルも終えており、次年度においてマップを公表する準備を整えることができた。

[領域名] 地質調査総合センター

[キーワード] 地震テクトニックマップ、関東地域、応力、地質情報、臨時観測

[テーマ題目4] 地震地下水の研究

[研究代表者] 松本 則夫 (地震地下水研究グループ)

[研究担当者] 松本 則夫、木口 努、北川 有一、落 唯史、武田 直人、板場 智史、佐藤 努、小泉 尚嗣 (滋賀県立大学)、梅田 康弘 (京都大学名誉教授)、角森 史昭 (東京大学)、頼 文基 (台湾国立成功大学) (常勤職員6名、他5名)

[研究内容]

本研究は、東海地震予知事業における地下水観測分野及び「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について (建議)」(文科省測地学分科会) の地下水等総合観測による研究に相当し、平成21年度より継続している。平成28年度に実施した内容は以下の通

りである。

産総研・防災科研・気象庁との共同研究により、3機関のひずみ・地下水・傾斜データをリアルタイムで共有して南海トラフ周辺地域の短期的ゆっくりすべりを解析するシステムの運用を継続した。2015年11月～2016年10月の間に39の短期的ゆっくりすべりの断層モデルを決定した。

2016年5月に三重県の北勢観測点の観測井戸についてパッカーを用いて密閉し、地下水圧に対する地殻歪度を著しく向上させた。水圧データから潮汐成分・気圧応答・降雨応答を除去することで、伊勢湾周辺での深部低周波微動活動に同期した水圧変化を捉えた。

GNSS データから推定した固着・すべり分布の時間変化と産総研の微動カタログを使用し、両者の関係を議論した。その結果、スロースリップと微動活動が同期する場所やスロースリップの時期以外でも、固着のゆらぎと微動活動のゆらぎに関係がみられた。

1995年兵庫県南部地震の断層の一つである野島断層において1997年以降繰り返し実施した注水実験の地下水観測データの再処理・再解析を行った。断層破碎帯の透水性の時間変化の推定においては、比貯留係数が一定で拡散係数だけが変化すると仮定して、透水係数を推定した。2003年までの地震発生後8年以内に断層破碎帯の透水性の低下が終了したことを明らかにした。

台湾・国立成功大学との共同研究の一環として、水文学的・地球化学的手法による地震予知研究についての日台国際ワークショップを産総研で主催し、プロシーディングスを公開した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】南海トラフ巨大地震、東海地震予知、短期的ゆっくりすべり、水文学的・地球化学的手法による地震予知研究

【テーマ題目5】南海トラフの地殻活動モニタリングと巨大地震の短期・中期的予測の研究

【研究代表者】松本 則夫（地震地下水研究グループ）

【研究担当者】松本 則夫、板場 智史、梅田 康弘（京都大学名誉教授）、細 善信（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

産総研では南海トラフ地震の予測を目的とし16点の地下水・歪等観測点を整備した。これらの観測点によって、深部すべり・微動および南海トラフ地震の前に発生する可能性がある前兆すべりのモニタリングを行っている。本観測網では和歌山県および四国北東部の観測点が未整備で、同地域でのすべりの検出能力が四国・紀伊半島の他の地域に比べて低い。これを解決するために、和歌山県および四国北東部で利用されていない深井戸を調査し、観測点として改良・活用する。

和歌山県・徳島県・香川県の100近くの既存未使用井

戸を調査し、モニタリングに適した井戸が複数見つかった。このうち、和歌山県すさみ町、香川県高松市およびまんのう町の3つの井戸において、井戸使用の内諾を得た。当該井戸の地下水位あるいは地下水圧を測定するために、井戸所有者との交渉、機器の購入および設置の準備を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】南海トラフ巨大地震、短期的ゆっくりすべり、前兆すべり、地下水位、地下水圧

【テーマ題目6】地下水位データ公開

【研究代表者】松本 則夫（地震地下水研究グループ）

【研究担当者】松本 則夫、北川 有一（常勤職員2名）

【研究内容】

産総研では東海・近畿・四国地域を中心に全国で50以上の観測点において地下水の水位・水圧・水温等を観測している。これらのうち、地下水位・気圧・雨量のデジタルデータを公開するためにシステムの構築を行うことを目的としている。

本年度はデータ公開のシステムの仕様を検討し、来年度にデータ公開を開始するための準備を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地下水位、地下水圧、気圧、雨量、データ公開

【テーマ題目7】海溝型地震履歴の研究

【研究代表者】宍倉 正展（海溝型地震履歴研究グループ）

【研究担当者】宍倉 正展、澤井 祐紀、行谷 佑一、松本 弾、谷川 晃一郎、伊尾木 圭衣、中村 淳路、竹田 大輔（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

海溝型地震は通常、数十年から百年程度のサイクルで発生するが、数百年から千年に1度、まれに巨大化することが知られ、2011年東北地方太平洋沖地震はその典型例である。本研究テーマの目的は、海溝型巨大地震の履歴を解明すること、および過去の巨大地震に伴う津波や地殻変動を復元して地球物理学的検証から震源・波源の断層を推定することである。平成28年度に実施した内容は次の通りである。千島・日本海溝沿いでは、北海道東部における17世紀の津波堆積物の採取および化学分析、また断層モデルの検討のためのデータ整備、青森県、仙台平野から福島県、千葉県各沿岸で採取された2011年東北地方太平洋沖地震における津波堆積物の分析を実施した。17世紀と2011年の津波堆積物については、おもに科学研究費（基盤研究（C）「津波堆積物の古生物学的・堆積学的・化学的アーカイブの構築」）において実施しているため、そちらに詳しく報告している。

相模トラフ沿いでは千葉県千倉低地の海岸段丘で採取された地質柱状試料から、おもに貝化石の同定と¹⁴C年代測定から離水年代の見直しを行うとともに、高解像度のデジタル地形データの解析を行い、段丘区分を再評価した。南海トラフ沿いについてはおもに受託研究「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」において実施しているため、そちらを参照いただきたい。このほか津波堆積物の識別手法の高度化のため、茨城県常総市で実施した2015年関東・東北豪雨による洪水堆積物の緊急調査結果を *Scientific Reports* 誌で公表した。海外では、カナダ地質調査所との共同研究としてブリティッシュコロンビア州にて津波堆積物調査を実施した。津波浸水履歴情報の整備として、津波堆積物データベースでの web 公開に向け、おもに静岡県、三重県、和歌山県の各沿岸の調査で論文公表されている地質柱状図を整理し、公表した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】千島海溝、日本海溝、相模トラフ、南海トラフ、海溝型地震、津波、地殻変動、津波堆積物、断層モデル、データベース

【テーマ題目8】地震災害予測の高度化に関する研究

【研究代表者】阿部 信太郎（地震災害予測研究グループ）

【研究担当者】阿部 信太郎、堀川 晴央、吉見 雅行、竿本 英貴、加瀬 祐子、森 宏（信州大学）、林田 拓己（建築研究所）、木村 治夫（電力中央研究所）、関口 春子（京都大学）、吉田 邦一（地域地盤環境研究所）（常勤職員5名、他5名）

【研究内容】

本研究では、地震被害軽減に資するよう地震動予測および断層運動に伴う地盤変形予測に関する調査・研究を実施している。

地盤変形に関する研究では、これまで地盤変形予測のために開発してきた地表変位から断層形状を推定する2次元推定手法について、3次元化をすすめるとともに、検証のための数値実験を行った。また断層運動に伴う地盤変形解析を自動実行するプラットフォームの開発にも着手した。

関東平野の基盤構造の解明については、3次元構造を把握するため、既存反射法地震探査データの再解析結果から作成したパネルダイアグラムを拘束条件として、測線間を補完するために重力解析を実施した。その結果、関東平野における反射法地震探査データの再解析で認められた基盤岩上面の落差の存在が重力からも裏付けられ、反射法地震探査の再解析で基盤岩の深度がはっきりしない箇所であっても、重力データからその大略が推定可能であることが認識された。また、この地域内に分布する

活断層帯である三浦半島断層群について、分解能と可探深度が異なる複数の反射法地震探査記録を相補的に用いることによって地表から地震発生源に至る断層形状を明らかにした。その結果、三浦半島断層群の深部は、フィリピン海プレート上面から派生する断層に連続している可能性が示された。

震源断層の破壊過程に関する研究としては、活断層の連動性について山崎断層帯主部北西部の大原断層、土万断層、安富断層をケーススタディーとして動力学的震源モデルを構築し、3断層が連続している断層モデルが、調査結果と最も調和的であることを示した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地震動、地盤変形、反射法地震探査、重力、関東平野

【テーマ題目9】火山活動の研究

【研究代表者】石塚 吉浩（火山活動研究グループ）

【研究担当者】石塚 吉浩、中野 俊、石塚 治、及川 輝樹、山崎 誠子、草野 有紀、星住 英夫、松本 哲一、川辺 禎久（常勤職員9名）

【研究内容】

国の地震火山観測研究を分担し、日本の第四紀火山活動の時間空間分布及び活動的火山の噴火履歴を明らかにするとともに、火山の総合理解を深める研究を実施している。平成28年度は、活火山の活動史や第四紀火山の時間空間分布を明らかにするために、白山で噴火履歴調査を実施し、また九重火山、蔵王火山、日光火山群及び伊豆半島等に産する火山岩のK-Ar年代測定を行った。御嶽火山2014年噴火では活動の推移を解析した。感度法によるK-Ar年代測定システムの評価、及び、より若い年代測定のための技術検討のため、オレゴン州立大学においてAr/Ar年代測定による比較実験を実施した。また、より正確な年代値の算出法確立に向けて、Ar/Ar年代測定システムを用いてのアルゴン初期値に関する研究に着手した。噴火が収束した西之島の上陸調査に参加し、他機関と連携して地質調査、試料採取を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】第四紀火山活動、噴火履歴、年代測定、活火山、噴火対応

【テーマ題目10】火山地質図

【研究代表者】石塚 吉浩（火山活動研究グループ）

【研究担当者】石塚 吉浩、石塚 治、下司 信夫、古川 竜太、及川 輝樹、草野 有紀、中野 俊、山元 孝広、三浦 大助（電力中央研究所）、荒井 健一（アジア航測株式会社）、竹下 欣宏（信州大学）（常勤職員8名、他3名）

〔研究内容〕

火山噴火予知連絡会によって選定された「火山防災のために監視・観測体制の充実等が必要な火山」(50火山)を重点に、活動的火山の噴火履歴を野外地質調査及び室内実験に基づき解明し、火山地質図として整備している。平成28年度は、御嶽火山及び恵山火山で火山地質図作成のための噴火履歴調査を昨年度に引き続き実施し、また新たに日光白根火山で火山地質図作成のための調査を開始した。これら活火山から、10試料以上の放射性炭素年代を得ることにより、噴火史に定量的な時間軸を入れた。社会的要請が高い富士山では、初版(1968年発行)を全面改定し、富士火山地質図(第2版)として出版した。八丈島火山では調査結果をとりまとめ地質図原稿を完成した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕活火山、噴火履歴、火山地質図、火山防災、噴火予知

〔テーマ題目11〕火山データベース

〔研究代表者〕石塚 吉浩(火山活動研究グループ)

〔研究担当者〕中野 俊、宝田 晋治、古川 竜太、石塚 吉浩、及川 輝樹、山元 孝広、工藤 崇(地質情報研究部門)(常勤職員7名)

〔研究内容〕

日本列島全域の第四紀火山活動及び活動的火山の噴火履歴を明らかにするために、平成25年度から「日本の火山」データベースを整備・公開している。平成28年度は富士山に関する活火山詳細データを、同年度前半に出版した富士火山地質図(第2版)を基に作成し、これらの日本語版に加え英語版を整備・公開した。また、1万年噴火データ集に公開するため、阿蘇山の完新世噴火履歴に関してデータ編纂を進めた。1/20万分縮尺で日本列島全域をカバーする全国火山図(平成31年度公開予定)の作成に関しては、北海道、北陸、北関東及び中部地域に分布する第四紀火山のデータ編纂及びGISデータ校正を行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕活火山、第四紀火山活動、日本列島、噴火履歴、火山データベース

〔テーマ題目12〕マグマ活動の研究

〔研究代表者〕田中 明子(マグマ活動研究グループ)

〔研究担当者〕篠原 宏志、田中 明子、斎藤 元治、松島 喜雄、東宮 昭彦、風早 竜之介、畑 真紀(常勤職員6名、他1名)

〔研究内容〕

活動的な火山において放熱量等の熱的観測や電磁氣的観測を行い、地質構造や、他の地球科学的観測を参照しつつマグマ放熱過程のモデル化を行うことを目的にし

ている。

阿蘇地域で2015年および2016年に取得したMT法電磁探査データを総合的に解析するにあたって熊本地震の影響の有無を調べるために、地震前に実施した一部の観測点において繰り返し測定を行った。その結果、余震活動域直上の観測点および想定される阿蘇火山のマグマ溜まり直上の観測点ともに、MT法電磁探査によって得られるサウンディングカーブには、地震活動にともなうような変化が見られないことを確認した。このことから、複数年にわたるデータの一括した解析が可能であると結論され、また、今回の地震活動によって阿蘇山のマグマ溜まりは影響を受けなかったことが推測される。また、マグマ活動を規制する地殻の不均質構造をとらえるために、熱構造に関わるデータの測定、収集などを、計画的に行った。特に、熱的物性値のデータ蓄積に向けて、熱伝導率・熱容量および密度の測定を、試料の様々な形状・状況にあわせて、異なる測定装置を用いて常温・大気圧条件下で行い、物性値の間で有意な関係を得ることができ

ることを確認した。マグマ供給系の長期的進化の解明を目的として、薩摩硫黄島火山の鬼界アカホヤ噴火の竹島火砕流堆積物の中・上部ユニットスコリアについて岩石学的解析とメルト包有物48個の化学分析を行い、噴火直前の流紋岩マグマ溜まりに高温(約1050℃)の安山岩マグマが注入したこと、その圧力条件が80-180 MPaであることを明らかにし、研究成果を火山学会で発表した。

噴火準備過程の岩石学的解析に関する国際ワークショップを11月に主催し、最近の研究のレビューと今後の課題について整理した。マグマ溜まりにおける噴火準備過程を、噴出物中の斑晶の累帯構造の多成分分析等をもとに推定するために、洞爺火砕流の岩石学的データの取得を進め、噴火直前過程に関するレビュー論文を公表した。

火山活動推移の把握と火山ガス放出過程のモデル化を目的として、吾妻山・浅間山・阿蘇・霧島等の火山において火山ガス組成・放出率観測を実施した。浅間山・阿蘇では新開発の高時間分解能二酸化硫黄放出率観測装置と従来の観測装置を用いた同時観測を行い、新開発の装置の定量性能評価を行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕火山、噴火、マグマ、噴火予知

〔テーマ題目13〕大規模噴火の研究

〔研究代表者〕下司 信夫(大規模噴火研究グループ)

〔研究担当者〕下司 信夫、宝田 晋治、宮城 磯治、古川 竜太、山崎 雅、潮田 雅司、大槻 静香(常勤職員5名、他2名)

〔研究内容〕

大規模噴火の短期的・長期的な準備過程の理解や噴火駆動メカニズムの解明と、大規模火山の噴火活動評価を行うため、国内外の大規模カルデラ火山を主な対象とす

る地質学的・岩石学的及び力学的な研究を実施している。大規模火砕噴火の履歴調査研究では、日本国内で発生した過去の巨大噴火の推移を地質学的手法により調査することで、長期的な活動推移や巨大噴火の推移についての高精度での解析を実施した。阿蘇カルデラにおいて地質学的調査を実施し、阿蘇1～阿蘇4火砕流噴火や大規模火砕流間の噴火活動の推移の復元を行った。始良カルデラでは、始良入戸噴火噴出物の層序の地質学的解析および岩石学的解析を行い、巨大噴火の開始条件の解析を行い、先行噴火における火道拡大過程の重要性を明らかにした。また、後カルデラ期の大規模軽石噴火の噴出物の地質学的解析を行いその特徴を明らかにするとともに、噴出物の岩石学的特徴の記載を行った。また、桜島では大正噴火および文明噴火を例に降下火砕物の地質学的解析を行い、大規模軽石噴火の推移等の復元を行った。また、始良カルデラの入戸火砕流および十和田カルデラの毛馬内火砕流の分布の既存データの再解析による噴出量の再見積もりを実施した。

巨大噴火のマグマシステムの研究では、阿蘇・始良カルデラなどを対象に、噴出物の岩石学的解析に基づくマグマシステムの進化過程を熱力学的手法を用いて解析した。またその噴出物の岩石学的解析結果に基づき、高温高圧実験に基づくマグマシステムの温度圧力条件の解析を実施した。その結果、阿蘇4火砕流噴火の珪長質単成分マグマの噴火直前の温度圧力条件を制約することができた。マグマシステム変動過程の研究では、マグマ溜まりを含む火山システムの力学的挙動を解析し、粘弾性リソスフェアモデルを用いて予測される地表変形のモデル化を実施した。カルデラ火山において推測されるマグマ溜りの深さや規模のデータに基づき、マグマ溜り圧力変動に励起される地殻変動のモデル計算を実施し、屈斜路カルデラなど実際のカルデラ火山において観測された地殻変動量との比較検討を実施した。巨大噴火の推移からマグマ溜りの増減モデルを作成し、カルデラ陥没プロセスの力学的解析を実施した。噴火観測手法の開発として、桜島などの火山灰の構成粒子の微細組織や化学組成を用いた解析を行い、噴火プロセスと噴出物の特徴の関連性についての解析を行った。また防災科学技術研究所との共同研究として、噴出物の即時自動解析装置の開発を実施し、試作機の作成をおこなった。また、噴火対応として、阿蘇山、桜島などの噴火に対して、関係機関と連携し噴出物解析等により活動推移把握を行い、結果を迅速に公表した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】大規模噴火、噴火履歴、マグマ供給系、活火山、噴火対応

【テーマ題目14】火山噴火推移予測の高度化

【研究代表者】篠原 宏志（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】篠原 宏志、伊藤 順一、星住 英夫、

石塚 吉浩、石塚 治、古川 竜太、
及川 輝樹、山崎 誠子、草野 有紀、
下司 信夫、宝田 晋治、松島 喜雄、
斎藤 元治、宮城 磯治、東宮 昭彦、
風早 竜之介、大槻 静香、
高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）、
西 祐司（地圏資源環境研究部門）、
石戸 恒雄（地圏資源環境研究部門）、
濱崎 聡志（地質情報研究部門）
（常勤職員19名、他2名）

【研究内容】

桜島および阿蘇中岳の火山灰粒子構成物の解析から、火道浅部における爆発的噴火駆動過程の解明を試みた。桜島昭和火口における爆発噴火に対応した噴出物の採取を行い、それに基づく火道浅部におけるマグマの上昇プロセスを明らかにした。阿蘇火山では2015年5月以降、2016年10月までの爆発噴火の火山灰構成粒子を解析し、2014年～15年4月まで継続したマグマ噴火から、熱水系とマグマとの反応によるマグマ水蒸気噴火に推移した過程を復元した。

噴気活動が活発化している霧島硫黄山にて、火山活動の把握のために噴気組成及びSO₂放出率の繰り返し観測を実施した。噴気温度は沸点付近で変化はないが、水素濃度は増加傾向にあり、地下での温度上昇などを示唆しており、見かけの平衡温度も上昇傾向にあり2017年2月に350度に達した。DOASを用いたSO₂放出率測定では、放出率は検出限界以下であった。

噴火活動期のマグマの貫入、脱ガスに伴う熱水系変動をモデリングするため、地下水流動を反映する自然電位（SP）の連続観測を伊豆大島で継続した。通信環境の変化からSPデータの産総研への伝送が一時中断していたが、ロガーの位置を変更することにより連続観測を再開した。熱水系と地殻変動シミュレーションの連成解析を目指して、地殻変動シミュレーションの計算環境を整えた。

三宅島火山におけるカルデラ及び側火口形成と地殻内マグマ長距離移動プロセスの成因的關係、及びマグマ供給システムの全体像を解明する目的で、沿岸域の調査を開始した。東海大学と共同で三宅島西～南部沿岸域でマルチナロービーム測深機による高精度海底地形調査を実施した。水深200 m 程度まで十分な精度でデータが取得でき、新鼻沖では広範囲に堆積物の被覆のない枕状溶岩が分布していることが明らかになった。また2000年の海底噴火による火口も、400 kHz まで周波数を上げることで船上からの観測で十分な解像度でマッピングできることを確認した。

大規模噴火における噴火プロセスの解明を目的として、桜島の歴史時代における軽石噴火の噴出物の層厚分布、粒径分布及び発泡度などのデータを、火口近傍から50 km 遠方の地域まで取得した。特に、昨年度データ収集

が不十分であった桜島島内北部における文明・大正降下軽石の分布及び層序・粒径分布のデータを収集し、噴出量や噴出率といった噴火パラメータの推定を行った。また、化学組成等の時間変化の解析のため先史時代の軽石噴火の噴出物の系統的な採取を実施した。

噴出物解析にもとづく水蒸気噴火現象の解明のための研究として、吾妻山の明治年間の水蒸気噴火堆積物について解析を行い、噴火推移に対応する構成鉱物の変化を明らかにした。また、蔵王山、安達太良山の水蒸気噴火堆積物の調査を行い、噴出物を確認した。

白山火山では、火山地質図高精度化を目的として、噴火年代の取得が困難であった新白山火山噴出物を対象に、地質調査及び若い年代測定が可能な感度法により K-Ar 年代測定を実施した。この結果、新白山 I 期の大汝峰溶岩から $71 \pm 5\text{ka}$ 、新白山 II 期の御前ヶ峰下部溶岩から $18 \pm 7\text{ka}$ 、最新の白水滝溶岩 2 試料から 12 ± 6 及び $3 \pm 4\text{ka}$ の年代値を得た。これら年代値を既存の TL 及び ^{14}C 年代値とクロスチェックすることで新白山火山の活動史復元を行った。

西之島火山のメルト包有物 10 個について SIMS 測定を行い、マグマの揮発性成分に関する情報を取得した。SIMS の調整・修理を行い、利用可能な状態を維持した。SEM-EDS による酸素含有量の定量手法を確立し、それを用いたガラス含水量の推定方法について誌上発表した。反射 FTIR 法による火山ガラスの含水量測定の感度を向上させるため、新たに高感度検出器と高倍率対物レンズを設置した。さらに、標準ガラス試料を用いて反射 FTIR 法の測定条件を検討し、火山ガラスの含水量測定の測定誤差を把握した。

若い火山噴出物の年代測定の高度化に向けて、これまで K-Ar 年代測定を実施した試料を用いて、オレゴン州立大学において Ar/Ar 年代測定との比較研究を開始し、誤差範囲で一致する測定結果を得た。また従来分析対象としてきた石基試料に加え、斜長石や角閃石斑晶の Ar/Ar 年代測定も試験的に実施したが、過剰アルゴンの影響や Ar 濃度が低いことによる測定精度の低下が見られ、最適なサイズの石基試料を対象とすることの重要性を確認した。

干渉 SAR 解析の高度化し、火山活動に伴う地殻変動解析へ適用するために、火山噴火予知連絡会衛星解析グループなどを通じて得られた緊急観測のデータの処理を行い、異なる解析方法で得られている結果との比較を通じて、その整合性を確認した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】火山、噴火、マグマ、噴火予知

【テーマ題目15】地質変動の研究

【研究代表者】伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】伊藤 順一、間中 光雄、大坪 誠、伊藤 一充、宮川 歩夢（地質情報研究

部門）（常勤職員6名）

【研究内容】

隆起・侵食量評価手法の検討として、海岸段丘を用いた隆起速度評価の高精度化に向けて、青森県上北平野ならびに石川県能登半島の海岸段丘において OLS 年代測定試料を採取すると共に年代測定を実施した。断層活動とその水理特性との関係性を検討するために、昨年引き続き延岡衝上断層の現地調査を行い、断層活動に関連する断層破碎帯晶出鉱物の産状観察を行った。岩盤の水理特性（特に透水率）評価手法の高度化に向けて、北海道幌延地域から採取した試料等を用い、室内透水試験を実施し、基礎データを収集した。火山・火成活動評価手法の検討のためにこれまで整備してきた、第四紀火山岩体・貫入岩データベースについては、最新文献の抽出作業を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】長期地質変動、隆起・侵食活動評価、断層再活動評価、火山・火成活動評価

【テーマ題目16】深部流体の研究

【研究代表者】風早 康平（深部流体研究グループ）

【研究担当者】風早 康平、高橋 正明、佐藤 努、森川 徳敏、清水 徹、高橋 浩、松本 則夫、東郷 洋子、大和田 道子、安原 正也（立正大学）、堀口 桂香（京都大学）（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

関東地方（東京都・群馬県）において、深部流体の混入の有無及び広域地下水流動系の時間スケールや流動地域を解明するため、地下水・湧水の現地調査を行った。採取した地下水・湧水等については、主要化学成分、水の安定同位体比、無機炭素種の炭素同位体比、ヘリウム同位体比等の分析を行い、その化学・同位体的特徴について地域別に検討を行った。これらの結果を用いて、広域地下水流動系の区分について検討中である。また、東北地方の湧水・地下水のデータを用いて、堆積岩地域と結晶岩地域で、古い海水起源の塩水とスラブ起源熱水の起源分離手法について検討を行っている。また、深層地下水 DB に収録している文献値について、品質管理のため位置情報のデータについてチェックを行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】深部流体、地下水、地震、火山性熱水、温泉水

【テーマ題目17】水文地質の研究

【研究代表者】塚本 斉（水文地質研究グループ）

【研究担当者】塚本 斉、富島 康夫、竹田 幹郎、宮越 昭暢、朝比奈 大輔、戸崎 裕貴、高橋 学、佐藤 稔（常勤職員6名、他2名）

〔研究内容〕

地下水流動系の評価・検討として、関東平野の地盤沈下・地下水位観測井網を活用して地下水情報を収集し、2000～2015年までの地下温度プロファイルの繰り返し測定結果等から、地下温度分布の変化を把握し、温度変化の要因に関する検討結果を日本地球惑星科学連合連合大会2015年大会で報告した。津軽平野および石狩低地帯の深層地下水の³⁶Cl年代から、数十万年程度の非常に古い塩水が平野全域に分布していることを明らかにし、堆積岩地域の深層地下水が海水準変動に対して置換されにくい可能性があることを Goldschmidt 2016で報告した。

地下環境の変動予測手法の検討として、特に断層運動と透水性の関係に着目して、き裂を伴う地質材料の水理-力学連成挙動解析モデルを3次元的な解析ツールへと拡張し、その妥当性を室内三軸試験結果に基づき検証し、断層による破壊の進展とき裂内の流速の変化に関する評価が可能であることを EUROCK2016で論文として報告した。弾性的に等方均質な不連続体モデルを開発し、従来の手法との比較検討結果やその妥当性について西日本岩盤シンポジウムで報告した。圧裂引張試験で形成された地質材料の破断面性状のフラクトグラフィ的解析結果と力学的特性について検討し、日本岩の力学シンポジウムで報告した。石油増進回収（EOR）技術の一つである低塩分濃度水攻法における化学的浸透による原油増進効果を解明するため、化学的浸透実験装置の開発を行った。本装置では、岩石試料に原位置と同等の封圧を載荷し、背圧を制御できる圧力制御システム、浸透圧を発生させる溶媒循環システム、溶媒の圧力・濃度の計測システムから構成される。本装置については、頁岩を対象とする予備実験によって動作確認を行い、来年度に実際の貯留層頁岩へ適用していく予定である。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地下水システム、地下水年代、水理特性、水理-力学連成解析

〔テーマ題目18〕地質現象の長期変動に関する影響評価技術の研究

〔研究代表者〕伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 順一、風早 康平、塚本 斉、間中 光雄、大坪 誠、伊藤 一充、高橋 正明、佐藤 努、清水 徹、森川 徳敏、高橋 浩、東郷 洋子、竹田 幹郎、宮越 昭暢、朝比奈 大輔、戸崎 裕貴、大和田 道子、宮川 歩夢（地質情報研究部門）、田村 亨（地質情報研究部門）、安原 正也（立正大学）、堀口 桂香（京都大学）、尾山 洋一（釧路市教育委員会）（常勤職員18名、他4名）

〔研究内容〕

断層の再活動性評価手法の検討のため、昨年に引き続き、延岡衝上断層の現地調査を行い、断層活動を示す条線や鉱物脈の構造、断層破碎帯晶出鉱物の産状観察等を行った。

北海道東部の屈斜路カルデラの周辺において、火山性熱水の上昇域を詳細に検討するため、現地において地下水・湧水・河川水調査を行った。これまでに得られている結果と合わせることで、カルデラ内及びカルデラ外の周囲を含めて面的に上昇域を検討できるようになった。また、新潟県、紀伊半島北部においても地下水を用いた深部流体調査を行い、上昇域等について検討を行った。2011年東日本大地震に伴う地下水流動への影響の検討として、福島県いわき市における地下水湧出現象に対して、引き続き流出量の観測および水質の変動を定期的に調査した。その結果、一部で減少傾向が認められた湧出量については、その後流量を維持している。湧出が止まらない原因として、大型の熱水リザーバーの存在とともにシリカ等の沈殿による亀裂閉塞効果が少ない等の検討を行った。

青森県上北平野の深層地下水の性状・流動を明らかにするため、補備的な温泉水採取・調査を行った。また、上北平野浅層における He 同位体生成速度および³⁶Cl/Cl放射平衡値の検討のため、原子力規制庁の下北半島ボーリングコアから該当地層を採取した。なお、採取した試料は、来年度に分析を行う予定である。

地下環境の変動予測手法の一環として行う化学的浸透圧実験をより精密に実施するため、化学的浸透圧実験装置の背圧バッファータンクの容量を増加させ、背圧の制御をより精密かつ安定的に行えるよう改造した。

福島第一原子力発電所における汚染水問題に関連して、地下水バイパスの効果を検証するためのモデリングと揚水効果の予備的な解析を開始した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕長期地質変動、断層再活動性評価、地下水、深部熱水、深部流体、深部地下環境

〔テーマ題目19〕平成28年（2016年）熊本地震緊急調査

〔研究代表者〕桑原 保人（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕桑原 保人、白濱 吉起、吉見 雅行、栗田 泰夫、丸山 正、吾妻 崇、宮下 由香里、森 宏、今西 和俊、武田 直人、落 唯史、大坪 誠、朝比奈 大輔、宮川 歩夢（地質情報研究部門）（常勤職員11名、他3名）

〔研究内容〕

平成28年4月に発生した熊本地震を受け、地震発生翌日から現地調査隊を派遣し、地表地震断層と地表変状の

調査を実施した。調査結果は、ホームページ等で迅速に公開するとともに、各種報道、アウトリーチ、国の委員会への資料作成に貢献した。地震への緊急対応のため、地質調査総合センター長の下、緊急調査対応本部を組織し対応を行った。

今回の一連の地震活動のうち、顕著なものは14日夜に発生した M 6.5 (最大震度7) の地震と16日未明に発生した M 7.3 (最大震度7) の地震である。震源地域は日奈久 (ひなぐ) 断層帯と布田川 (ふたがわ) 断層帯という2つの活断層が接する場所であり、これらは別府湾から阿蘇を経て島原半島に至る「別府-島原地溝」と呼ばれる構造の内部に位置する。M 6.5の地震は日奈久断層帯の北部 (高野-白旗区間:長さ約16 km) で、M7.3の地震は布田川断層帯の東部 (布田川区間:長さ約19 km) で発生したとみられる。16日に発生した M7.3の地震では地表地震断層 (最大変位:右横ずれ約2 m) が出現し、布田川断層帯の布田川区間とその東西延長で長さ約28 km および日奈久断層帯の高野-白旗区間の6 km に沿っても現れたことが産総研で実施した現地調査によって確認された。

地質調査総合センターの対応概要

- ・4月14日21時26分頃、M6.5の地震が発生
- ・4月14日21時50分:震度6強以上が観測された内陸地震であることから、緊急調査対応本部 (本部長:活断層・火山研究部門長) を設置し、情報収集を開始。
- ・4月15日08時30分:対応本部会議 (第1回) 開催。安全体制、連絡体制、報道対応体制等を確認した上で、現地調査隊第1次 (4名) の派遣を決定。緊急調査対応本部では、現地調査隊との連絡を保つとともに、メディア取材、地震調査委員会への対応などを実施。
- ・4月15日17時30分:公式 HP で今回の地震に関する緊急情報を公開し、随時更新。
- ・4月19日夜より5月7日にかけて、第2次現地調査として、地表地震断層マッピングを計13名 (延べ60人泊) で実施。
- ・5月9日:地質調査総合センター長の判断で、緊急調査対応本部を解除。

現地調査と結果について

第1次調査:現地調査隊は15日夜に九州入りし、翌16日の朝から熊本県益城町を中心に地表に現れた断層の広がりや、ずれの大きさなどについて調査を行った。調査結果に基づいた断層の出現範囲やずれの量に関する資料は、第288回 (4月15日) と第289回地震調査委員会臨時会 (4月17日) に報告し、この地震の評価に用いられた。また、委員会後の記者レクにも使われた。

第2次調査:地表地震断層マッピングについては、およそ10~50 m 間隔で地表地震断層変位を計測。布田川断層帯では布田川区間を主体とし、その東延長は阿蘇カルデラ内まで続き、総延長約28 km の区間、最大変位は約2 m を確認。日奈久断層帯では、高野-白旗区間の

北部約6 km の区間、最大変位約0.5 m を確認した。

今回の地震と事前に想定した地震の関係について、地震前の想定断層の位置は一部を除き正確であった。阿蘇カルデラ内および断層西部の益城町近傍など、想定されていない地域で地震断層が出現した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】熊本地震、緊急調査、日奈久断層帯、布田川断層帯

【テーマ題目20】熊本県益城町における地盤増幅調査

【研究代表者】吉見 雅行 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】吉見 雅行、中澤 努、長 郁夫、佐藤 善輝 (地質情報研究部門)、後藤 浩之 (京都大学)、秦 吉弥 (大阪大学)、卜部 厚志 (新潟大学) (常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

2016年熊本地震の激甚被害地の地盤増幅特性を明らかにすることを目的に、計測震度7が観測された益城町中心部にてボーリング調査 (掘削深50 m 程度) と稠密微動アレイ探査を実施した。

ボーリング調査地点は、大阪大学秦准教授による本震記録地点のうち最大の揺れが観測された TMP3近傍 (GS-MSK-1) および地表断層周辺に計3地点である。ボーリング調査結果 (PS 検層および地質観察) および KiK-net 益城観測点で記録から推定した地盤の非線形特性を用いることで、激甚被害地内外の地震動の強さの違いを定量的に再現することができた。これにより、益城町中心部における被害の差は、表層地盤の非線形挙動を含んだ増幅特性の違いに起因することが明らかになった。

コア試料・ペネ試料の詳細な層相観察、記載岩石学的な検討、及び既存ボーリングデータの検討から、深度50 m 以浅には主に軽石・火山灰からなる Aso-4火砕流堆積物と軟質の凝灰質粘土からなるラハール堆積物が広く分布し、このうち Aso-4火砕流堆積物は層厚を大きく変化させることが明らかになった。また、益城町中心部にて極小微動アレイ観測を実施し、浅部地下速度構造を高密度に把握したところ、おそらくは厚い Aso-4火砕流堆積物と軟質のラハール堆積物に起因して、激甚被害地の平均 S 波速度が台地の他地域に比べて小さいことが明らかになった。

なお、本課題によるボーリング調査は、被災地での調査としては最も早い部類に属した。調査情報を計画段階から関連機関に通知し、他機関調査との重複を防ぐことができた。また、国土交通省都市局による益城町復興計画策定のための調査に、本推進費によるボーリング調査情報ならびに当グループの意見が活かされた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】2016年熊本地震、地震動、ボーリング、

微動探査

【テーマ題目21】超臨界地熱誘発地震研究

【研究代表者】増田 幸治（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】増田 幸治、今西 和俊、高橋 美紀、北村 真奈美、雷 興林（地圏資源環境研究部門）、竹原 孝（地圏資源環境研究部門）（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

超臨界地熱資源開発時の誘発地震発生リスク評価を行うために、観測、実験、モデリングを通じて超臨界岩体内での地震現象の理解をすすめる。今年度は事前の準備としての環境整備を行い、岩石実験研究を開始した。

火山周辺の地下4 km をターゲットとした、高温高压超臨界流体条件下における三軸圧縮試験を開始した。試料は大島花崗岩（Intact 試料、平均粒径2 mm）を使用し、封圧、間隙水圧条件下で実施した。温度範囲は250度から650度。その結果、温度によって、破壊様式が脆性破壊から遷移領域に変化することがわかった。また、応力降下に変化があることが示された。超臨界流体条件下からの急減圧実験を行った。実験後は実験前に比べて、間隙率が増加し、弾性波速度が減少することがわかった。AE システムを装備した200トンプレス荷重システムの改修を行った。これによってモニタリングに関する実内実験を行う準備が整った。

地震観測の準備のために観測機器の導入と、観測のための事前準備を行った。超臨界地熱地域における地震観測に備えて、高精度メカニズム解推定法の開発を行った。ここでは、相対モーメントテンソル法を改良した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】超臨界地熱、誘発地震

【テーマ題目22】アジア太平洋地域の地震火山情報の整備

【研究代表者】伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】伊藤 順一、桑原 保人、宝田 晋治、古川 竜太、吾妻 崇、吉見 雅行、丸山 正、松本 弾、石川 有三、Joel Bandibas（常勤職員8名、他2名）

【研究内容】

G-EVER 推進チームでは、CCOP を始めとするアジア太平洋地域の研究機関と協力し、自然災害の軽減、アジア太平洋地域の協調、災害時に役立つ各種災害情報の整備、データ交換・共有・分析のための国際標準化等を進めている。本年度は、東アジア地域の研究機関と協力し、1000万分の1スケールの東アジア地域地震火山災害情報図を出版し、プレスリリースを行った。また、災害情報図に掲載されている1850年以降の地震や1400年以降の火山噴火による犠牲者の情報、主要な地震の震央・震源域や活断層の位置、津波の発生源の位置、沿岸に到

達した津波の範囲や高さ、活火山やカルデラの位置、大規模な噴火による火山灰の分布、大規模火砕流の分布、地質図について、数値化を進め、アジア太平洋地域地震火山ハザード情報システム上で閲覧検索し、GIS データをダウンロードできるようにした。火山災害予測支援システムについて、Tephra2による降下火山灰のオンラインシミュレーションシステムを公開するとともに、Titan2D による火砕流の数値シミュレーションを実施した。また、高速タイルを用いた Energy Cone モデルによるシミュレーションの高速表示版を公開した。フィリピン火山地震研究所（PHIVOLCS）と WebGIS による情報発信の共同研究を進め、モバイルデバイスでフィリピンの活断層を閲覧検索できる The PHIVOLS FaultFinder を共同開発し、一般公開を行った。インドネシア火山地質災害防災センター（CVGHM）と協力し、インドネシアの活火山情報を整備し、活火山の噴火履歴、災害履歴、ハザードマップ、地質図、文献が閲覧できるインドネシア火山情報システムの構築を進めた。CCOP 諸国と進めている東・東南アジア地質情報共有基盤整備プロジェクトにおいて、CCOP 地質情報総合共有システムの構築を進め、9月にインドネシアで第1回国際ワークショップを開催し、地質情報共有化のため各国のデータ整備や国毎のポータルサイトの構築を進め、11月より暫定公開を開始した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】G-EVER、災害図、地震、火山、アジア太平洋、ハザード、CCOP

【テーマ題目23】活断層・火山データベース整備の推進

【研究代表者】伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】伊藤 順一、吾妻 崇、宮下 由香里、中野 俊、宝田 晋治、古川 竜太、石塚 吉浩、及川 輝樹、山元 孝広、宮本 富士香、工藤 崇（地質情報研究部門）（常勤職員9名、他1名）

【研究内容】

活断層データベースにおいては、ネットワーク上における外部からの攻撃に対するセキュリティ上の脆弱性を解決するため、活断層データベースの開発言語を Perl から PHP に、フレームワークを Laravel に置き換える作業を実施した。また、活断層データベースの公開系と研究開発系について、それぞれ表示できる背景地図の追加、凡例表示機能の改善、調査地写真データ表示機能の追加を行った。研究開発系については、これらのほかに各種文献に基づく活断層位置情報を表示させる機能の追加を行った。

火山データベースにおいては、1/20万分縮尺で日本列島全域をカバーする全国火山図整備を中部地域及び北陸地域で実施した。具体的には、過去の噴火災害要因の範囲（過去の溶岩流の到達した範囲や、火砕流・岩屑など

れの分布等)を、担当研究者自らの研究成果や最新1/20万地質図のほか、1/5万地質図、火山地質図、その他の学術論文を含む既存文献を中心に、1/20万縮尺の地質図に適した地層区分を作成した。それらの各地質単元毎に、時代(上限・下限)、噴出物量、岩相、岩質、SiO₂含有量の属性をまとめ、GIS化作業を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】

【テーマ題目24】東北大マッチング支援事業(イノベーション推進予算)

【研究代表者】下司 信夫(大規模噴火研究グループ)

【研究担当者】下司 信夫、宮城 磯治、東宮 昭彦、大槻 静香(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

マグマ中における揮発性成分の分離・離脱過程を理解するため、高温高压状態での発泡マグマの組織形成実験を行い、発泡したマグマ内での気泡の形状やその連結状態、およびその時間変化を解析した。発泡マグマの組織変化過程を解析するため、桜島大正軽石試料を出発物質として温度・水分圧および酸化還元状態を制御した加熱実験を実施した。また、走査型電子顕微鏡および3次元エックス線 CT 装置を用いて、実験産物中の気泡の分布や連結状態を可視化し、マグマの粘性形状緩和によるマグマ中の気泡のネットワーク構造の時間変化を解析した。

特に、これまで未解明であった発泡組織の緩和過程の空間スケール依存性について、東北大学での実験装置の知見を応用して、大型試料を装填できるガラスチューブ法の実験装置を新たに開発・製造した。これを用いて1cmを超える大型の試料を用いた組織形状緩和過程の反復実験を行い、その試料の気泡連結状態やその時間変化について定量的に解析することが可能となった。系全体における揮発性成分の脱水過程を定量的に評価するため、実験生成物全体の透気率を東北大学で測定し、エックス線 CT による気泡の分布や連結状態の組織解析結果と比較した。

これらの実験の結果、形状緩和による透気率の挙動が出発物質の発泡組織の違いに対応して二極化することが明らかになった。すなわち、発泡組織の不均質性が小さいマグマでは系全体が収縮することで気泡のネットワークが切れて透気率が低下する一方、極端に大きい空隙が存在するような不均質性が大きいマグマの場合には、収縮する場所が複数に分散することで系内に空隙が生じる。その結果、脱ガス通路を形成して透気率を高く維持することが確認された。この結果から、形状緩和前の発泡マグマの不均質性、形状緩和後に形成される脱ガス経路の長さスケール、そして自重によって脱ガス経路が消滅するタイムスケールは爆発噴火の間隔や規模をコントロールする可能性があることが示唆された。

また、産総研の内熱式ガス圧実験装置を用いて、マグ

マ上昇模擬実験の出発物質としての含水ガラスの合成を行い、それを用いて東北大では外熱式水熱合成実験装置を用いてマグマ上昇模擬実験(減圧実験)を行った。その結果、マグマ中の結晶量の違いによってガス分離メカニズムが変化する可能性が明らかになった。つまり、低結晶度では気泡同士が連結した気泡ネットワークを利用し、高結晶度では気泡成長が結晶に抑制されることで生じる圧力勾配に起因するガス分離が起こる可能性が示された。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】マグマ、発泡組織、組織緩和、高温高压実験、東北大マッチング支援事業

③【地圏資源環境研究部門】

(Research Institute for Geo-Resources and Environment)

(存続期間：2001.4.1～)

研究部門長：中尾 信典

副研究部門長：光畑 裕司、今泉 博之

総括研究主幹：丸井 敦尚

所在地：つくば中央第7

人 員：56名(56名)

経 費：932,359千円(412,068千円)

概 要：

現代社会の営みは、多くの天然資源の消費の上に成り立っている。しかし、20世紀後半からの我々人類の生産及び消費活動の活発化は著しく、21世紀の近い将来においても天然資源の枯渇が現実的な問題になりつつある。また、化石燃料資源の大量消費による地球温暖化を始めとして、資源と環境の分野は密接に関連しており、それらの関係を見据えた対応が今なお差し迫った課題となっている。このような状況を背景に、地圏資源環境研究部門は、国の資源エネルギー施策立案や産業の持続的発展に役立てるために、地下資源の安定供給に向けたポテンシャル評価、および地圏環境の利用と保全に関する調査を行い、そのための技術を開発することをミッションとする。

ミッション達成のための具体的な研究及び技術開発として、以下のユニット戦略課題を設定して取り組む。

①地下資源評価

①-1 燃料資源に関する情報整備と評価技術の開発(テーマ題目1)

①-2 鉱物資源に関する情報整備と評価技術の開発(テーマ題目2)

②地下環境利用評価

②-1 二酸化炭素地中貯留に関する評価技術の開発(テーマ題目3)

②-2 地層処分に関する評価技術の開発
(テーマ題目4)

③地下環境保全評価

③-1 土壌汚染に関する情報整備と評価技術の開発
(テーマ題目5)

③-2 地下水の資源と環境に関する情報整備と評価
技術の開発 (テーマ題目6)

これらの研究の推進にあたっては、国立研究開発法人の位置づけを十分に意識し、目的基礎研究、“橋渡し”前期研究、“橋渡し”後期研究とつながる研究発展の流れの中で、我が国の経済・産業が順調に推移するための資源及び環境分野における研究貢献を果たしていく。また、社会ニーズを把握しながら、資源の安定供給や地圏環境の保全に必要な萌芽的・基盤的研究にもバランスよく取り組む。

【内部資金】

「上向流カラム通水試験」および「各種溶出特性試験」の標準化

【外部資金】

経済産業省 平成28年度地層処分技術調査等事業「地層処分共通技術調査：沿岸部処分システム高度化開発」

経済産業省 平成28年度エネルギー使用合理化鉱物資源開発推進基盤整備事業（資源開発可能性調査）

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構 平成28年度希少金属資源開発推進基盤整備事業「平成28年度希少金属資源開発推進基盤整備事業（探査基盤技術高度化支援事業）」

環境省 第三期環境経済の政策研究 「水俣条約に基づく水銀削減政策として経済手法の活用可能性と期待される効果に関する調査・分析」

環境省 平成28年度環境研究総合推進費「機器分析と溶出特性化試験を組合せた自然・人為由来汚染土壌の判定法の開発（サブテーマ：溶出特性化試験に基づく自然由来汚染土からの元素の溶出挙動の解明に関する研究）」

環境省 平成28年度環境研究総合推進費「1,4-ジオキサンの環境動態の把握に基づいた土壌調査法の開発に関する研究（1,4-ジオキサンの土壌中における生物・化学反応の検討）」

農林水産省（一般社団法人食品需給研究センター） 食料生産地域再生のための先端技術展開事業「野菜栽培による農業経営を可能とする生産技術の実証研究」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 平成28年度地熱発電技術研究開発事業「地熱貯留層掘削技術」

独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構 メタンハイドレート開発促進事業「新規取得試料の微生物学的分析」

一般財団法人日本鉱業振興会 助成金事業「海底熱水鉱床試料の比抵抗測定方法の標準化に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「除染・帰還を見据えた地域別の放射性 Cs 流出特性評価とリスク管理戦略の構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（A））「光合成とメタン生成のリンケージ：機能特異分子補酵素 F430分析という新手法の展開」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（研究活動スタート支援）「水蒸気爆発とマグマ爆発：噴煙中の水蒸気の同位体組成を利用した遠隔推定法開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「ゲノム解析と培養試験による海洋のメタン酸化微生物群の共生機構の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「CO₂地中貯留におけるキャップロックの長期シール性能評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「FeS₂/H₂O/O₃反応系における難分解有機化合物の酸化分解」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「新規重希土類資源としてのアパタイトの資源ポテンシャル評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「マルチ同位体分析による次世代型リチウム鉱床の成因と同位体分別に関する研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（A））「CO₂地中貯留と生物的原油分解メタン生成反応を両立する資源創成型 CCS 技術の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「環境保全と社会受容性を踏まえた、「地盤環境基準」の構築と実装のための戦略研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「バックキャスト法による放射性物質汚染に対するモニタリング・対策の戦略研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「高圧下微小破壊音測定実験によるスラブ内地震発生メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「環境汚染を内包する産業ランドスケープのGI化のためのプラットフォーム構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「人力小規模金採掘が農水産物に与える水銀汚染の時空間的影響評価と対策手法」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「市場経済移行国における資源開発に関するガバナンス」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「硫酸還元反応に着目した帯水層蓄熱による地下水水質への影響評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「超臨界流体を利用したナノマイクロシステムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「ダイヤモンドによる固体内秘匿情報記録媒体の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究 研究分担）「堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読」

経済産業省 「平成28年度二酸化炭素大規模地中貯留の安全管理技術開発事業」

経済産業省 平成27年度メタンハイドレート開発促進事業「非砂層メタンハイドレート賦存層の科学的調査研究」

発 表：誌上発表111件、口頭発表235件、その他49件

地下水研究グループ
(Groundwater Research Group)

研究グループ長：丸井 敦尚

(つくば中央第7)

概 要：

地球の水循環系を構成する地下水について、その流域規模での量・質・流れ・変動・温度分布等を明らかにする調査研究を実施するとともに、地下水の開発・利用・管理・環境改善に関わる評価手法の開発やモデリングの高度化を行う。また、地下水にかかわる知的基盤情報を水文環境図等により公開するほか、水文データベース、地中熱ポテンシャルマップ等を更新する。
研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4、テーマ題目6

鉱物資源研究グループ
(Mineral Resources Research Group)

研究グループ長：高木 哲一

(つくば中央第7)

概 要：

国民生活、日本の産業にとって不可欠な各種の鉱物資源、特に産業界からの要請の強いレアアース等の希少金属資源および非金属資源の探査手法の開発を行う。また鉱物資源に関する基礎的情報を提供するとともに、鉱物資源のポテンシャル評価を行う。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目5

燃料資源地質研究グループ
(Fuel Resource Geology Research Group)

研究グループ長：森田 澄人

(つくば中央第7)

概 要：

メタンハイドレート等天然ガス資源をはじめとする燃料地下資源の探査技術高度化を目指し、燃料資源探査法、燃料鉱床形成機構及び燃料資源ポテンシャル評価法の研究を行うとともに、我が国土及び周辺海域の三次元的地質調査情報に基づく燃料資源ポテンシャル把握の精度向上のための基盤的研究を進める。

研究テーマ：テーマ題目1

地圏微生物研究グループ
(Geomicrobiology Research Group)

研究グループ長：坂田 将

(つくば中央第7)

概 要：

地圏における微生物の分布と多様性、機能、活性を評価することにより、元素の生物地球化学的循環に関する基盤的情報を提供するとともに、天然ガス等の資源開発、地圏の利用や環境保全に資する研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目3、テーマ題目5

地圏化学研究グループ
(Resource Geochemistry Research Group)

研究グループ長：鈴木 正哉

(つくば中央第7)

概 要：

地圏内の物質の分布・挙動を、地化学的・地質学的・鉱物学的手法により明らかにすることを旨とし、燃料資源、非金属鉱物資源・材料及びこれらに関連する流体等を研究対象として、資源の成因解明・開発、環境保全、製品化、標準化等に資する研究を進める。
研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目5

物理探査研究グループ

(Exploration Geophysics Research Group)

研究グループ長：光畑 裕司

(つくば中央第7)

概要：

地圏の利用や環境保全、資源・エネルギー開発あるいは地質災害に対する防災等のための基盤技術として、各種物理探査手法の高度化と統合的解析手法の研究を行うとともに、地層処分や二酸化炭素の地中貯留等における岩盤評価、地下水環境・地質汚染等における浅部地質環境評価・監視、地熱・鉱物・燃料資源探査などの分野へ物理探査法を適用し、対象に即した効果的な探査法の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目2、テーマ題目3、
テーマ題目4、テーマ題目5、テーマ題目6

CO2地中貯留研究グループ

(CO2 Geological Storage Research Group)

研究グループ長：徂徠 正夫

(つくば中央第7)

概要：

環境に調和した地下の有効利用を促進するために必要な技術開発を行う。特に、地球温暖化対策としての二酸化炭素地中貯留に関わる技術の開発を行うとともに、環境に負荷を与えない地下利用・資源開発のための技術、環境を保全し安全を評価する技術などについて研究を実施する。

研究テーマ：テーマ題目3

地圏環境リスク研究グループ

(Geo-Environmental Risk Research Group)

研究グループ長：張 銘

(つくば中央第7)

概要：

土壌・地下水汚染に係る調査・評価技術、浄化・対策技術ならびにリスク評価・管理技術の研究開発と知的基盤整備を重点的に推進する。また、関連開発技術と成果を広く社会へ還元するために、原発事故や二酸化炭素地中貯留、核廃棄物の地層処分、休廃止鉱山跡地管理およびスモールスケールマイニングなどの多くの実社会問題にも適用し、社会実装と普及を図る。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目5、テーマ題目6

地圏メカニクス研究グループ

(Geomechanics Research Group)

研究グループ長：雷 興林

(つくば中央第7)

概要：

岩石・岩盤力学、地球物理学、地圏熱・水理・力学連成解析など主として室内岩石実験およびフィールドワークの手法を用いて、地層処分安全研究、CO₂地中貯留研究、地熱等資源開発に取り組み、地圏環境との調和を考えた地下の有効利用および資源開発に必要な基礎研究と技術の開発を行う。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目4

[テーマ題目1] 燃料資源に関する情報整備と評価技術の開発

[研究代表者] 森田 澄人

[研究担当者] 森田 澄人、鈴木 祐一郎、佐藤 幹夫、
中嶋 健、後藤 秀作、坂田 将、
眞弓 大介、持丸 華子ほか
(常勤職員14名、他1名)

[研究内容]

メタンハイドレート資源開発コンソーシアム(MH21)の活動として、経済産業省委託研究「メタンハイドレート開発促進事業」を推進した。MH21の資源量評価グループの活動として、主に日本海に分布が期待される表層型メタンハイドレートの成因・資源ポテンシャル評価に関わる研究を進めた。平成25年度から27年度の3年間に集中的に実施した調査(1.広域地形地質調査、2.詳細地形地質調査(AUV: Autonomous Underwater Vehicle)、3.精密三次元地震探査、4.海洋電磁探査(CSEM: Controlled-source Electromagnetics)、5.掘削同時検層(LWD: Logging While Drilling)、6.地質サンプリング(掘削コアリング)および海底地盤調査(CPT: Cone Penetration Test)、7.海底環境調査)に関する成果を取りまとめ、上越沖の一部において資源量の推定を行った。第三者有識者で構成された表層型メタンハイドレート資源量調査結果検討委員会を開催し、これらの調査に関わる手法やデータの精度、資源量推定結果等について承認が得られた。また、以上の結果は経済産業省からプレス発表が行われた。これより表層型メタンハイドレートについては、将来の開発手法の研究段階に進めることとなり、MH21生産手法開発グループとして創エネルギー研究部門メタンハイドレート研究ユニットが推進する、表層型メタンハイドレートの開発手法提案公募の実施のサポートを行った。

水溶性天然ガス田における堆積有機物の微生物分解メタン生成過程を明らかにすることを目的とし、千葉県の水溶性天然ガス田から採取されたサンプルを用いてメタン生成アーキアに着目した分子遺伝学的解析を行い、検

出された新規メタン生成アーキアの分離同定を行った。本研究で分離したメタン生成アーキアは水素+二酸化炭素、及びギ酸を基質とし、生育至適温度（35℃）・pH（7.0-7.5）・塩化ナトリウム濃度（2%）がいずれも帯水層の環境に一致したため、このアーキアが現在も地下でメタンを生成し、天然ガス資源の形成に寄与している可能性が明らかになった。

深部地下環境から分離した *Methermicoccus* 属のメタン生成古細菌が、30種類以上の多様なメトキシ芳香族化合物を直接利用してメタンを生成することを発見した。近縁のメタン生成古細菌のメトキシ芳香族化合物の利用性を調べるために、*Methanosarcinales* 目に含まれる *Methermicoccus* 以外の9属のメタン生成古細菌についてもメトキシ芳香族化合物の利用性を調べた結果、明確な利用性は確認されなかった。メトキシ芳香族化合物からのメタン生成経路を明らかにするため、2-メトキシ安息香酸を用いて *Methermicoccus* を培養したところ、2-メトキシ安息香酸の減少とともに2-ヒドロキシ安息香酸とメタンの生成が観察された。しかも2-ヒドロキシ安息香酸の生成量はもとの2-メトキシ安息香酸とほぼ等量であることから、メトキシ基の脱メチル化でメタンを生成したことが示唆された。安定同位体トレーサー法でその代謝経路を解析した結果、これまで知られている3種のメタン生成経路とは全く異なる新規な経路であることが分かった。すなわち、脱メチル化の後、1) acetyl-CoA の生成とその開裂によるメタン生成、2) 二酸化炭素の還元によるメタン生成、が同時に起きていると推察された。

【領 域 名】地質調査総合センター、エネルギー・環境

【キーワード】メタンハイドレート、表層型、広域地質調査、AUV、掘削コアリング、メタン生成アーキア、遺伝子解析、ガス田、遺伝子解析、メタン生成経路、嫌気培養

【テーマ題目2】 鉱物資源に関する情報整備と評価技術の開発

【研究代表者】高木 哲一、鈴木 正哉

【研究担当者】高木 哲一、鈴木 正哉、大野 哲二、
児玉 信介、実松 健造、星野 美保子、
森本 慎一郎、昆 慶明、荒岡 大輔、
三好 陽子、森本 和也ほか
(常勤職員10名、他11名)

【研究内容】

レアメタル資源国と共同で資源調査を実施し、我が国の資源権益確保に必要な各種資源情報を獲得するためにレアメタル鉱床の現地調査等を実施し、これらの調査研究を推進する目的で、レアメタル分析・選鉱実験手法の改良・高度化を進めた。瀬戸・東濃地区の未利用資源に関する同地区組合・企業との共同研究では、「青サ

バ」と呼ばれる未利用資源の賦存状況調査および精製実験を実施し、4回の共同研究チーム会合を瀬戸市にて開催した。また、国内珪質資源の再評価を開始し、愛知県豊田地区の珪砂鉱床および静岡県宇久須地区の珪石鉱床の現地調査を実施した。経済産業省委託事業「平成28年度エネルギー使用合理化鉱物資源開発推進基盤整備事業（資源開発可能性調査）」では、南アフリカ、カナダ、米国、ミャンマー、アルゼンチンの5カ国において、現地の公的地質調査機関と共同でレアメタル鉱床・鉱微地の現地調査および試料解析を実施し、資源ポテンシャルを評価した。各種鉱物資源データ統合化に関しては、“Geological Map of Asia” (GSJ, 2011) の地質情報に関する鉱山位置情報について、平成27年度に作成したシステムを用いて評価を行った。また、アフリカ地域における鉱山位置情報について調査と一部データの電子化を行ない、同時に GRIAS システムへの掲載の可能性について検討を行なった。さらに、レアメタル鉱物分析施設にて、X線回折装置の管球交換、走査型電子顕微鏡のオーバーホール、フェムト秒レーザー発振装置の交換など、施設の整備を行った。昨年度に引き続き、レアメタルの需給予測およびマテリアルフロー解析の研究を実施するとともに、11月に香港で開催された国際レアアース会議にて情報収集を行った。

非金属鉱物資源としての粘土鉱物の創製と産業利用において、低コストでかつ水蒸気吸着性の高い粘土系吸着剤の製造方法を確立するとともに、NEDO プロジェクトにて実証試験を行い、プレスリリースを行った。また幅広い分野にて工業的に利用されているベントナイトについて、ベントナイト中の粘土（モンモリロナイト）含有量の指標となるメチレンブルー吸着法について論文として公表を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】資源、レアメタル、レアアース、施設整備、GRIAS、鉱物資源データ統合、粘土鉱物、ベントナイト、粘土系吸着材、メチレンブルー吸着法

【テーマ題目3】 二酸化炭素地中貯留に関する評価技術の開発

【研究代表者】 徂徠 正夫

【研究担当者】 徂徠 正夫、西 祐司、雷 興林、
光畑 裕司ほか
(常勤職員10名、他2名)

【研究内容】

本研究では、我が国の貯留サイトとして最も可能性が高いと想定される沿岸域での CO₂地中貯留に関して、その実現のために不可避となる安全性評価に向けた基礎的な実験や観測調査を実施する。このため、地下の流体挙動や岩石の安定性に関する室内実験、安全性を監視するためのモニタリング技術開発、長期挙動予測を行うた

めのシミュレーション技術開発など、萌芽的課題を含めて多岐にわたった研究を行っている。

本年度は、CO₂地中貯留条件下における岩石の浸透率を測定する二相流水利特性試験装置に関して、荷重をより高精度かつ自動で制御可能とするために自動制御制御システム取り付けを行った。同様に、超臨界 CO₂-水-岩石（鉱物）系での地化学反応を行うための超臨界 CO₂岩石反応装置について、実験効率化のための反応容器の増設と、それに伴う高圧ガス製造施設等変更届書の作成までを行った。モニタリング技術に関しては、経済産業省「二酸化炭素大規模地中貯留の安全管理技術開発」事業において開発中の高精度重力モニタリング手法を我が国へ適用する際に不可欠な沿岸域での補助データ取得とともに、沿岸域に特有な重力変動要因と屋外での安定した計測手法を探るために、山口県と熊本県の海岸で可搬型重力計による連続記録を実施した。また、国土地理院主催の絶対重力計比較計測会に参加することで、重力計測に関する情報交換を行うとともに、保有する絶対重力計で所定の測定精度が得られることを確認した。

CO₂地中貯留に関わる研究成果については、「CO₂地中貯留の実用化に向けて－技術課題と産総研の役割－」のテーマのもと開催された地圏資源環境研究部門成果報告会において複数件の発表を行い、当該分野における産総研のプレゼンスの発揮と対外的なアピールに努めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境、地質調査総合センター

【キーワード】 CO₂地中貯留、モニタリング、重力、自然電位、苫小牧大規模実証試験、米国 SWP、断層、モデリング、ジオメカニクス、ナチュラル・アナログ、シール圧、地化学プロセス

【テーマ題目4】 地層処分に関する評価技術の開発

【研究代表者】 光畑 裕司

【研究担当者】 丸井 敦尚、光畑 裕司、町田 功、井川 怜欧、小野 昌彦ほか
(常勤職員5名、他6名)

【研究内容】

高レベル放射性廃棄物の地層処分について、国の特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針（平成27年）では、国が科学的有望地を提示し、処分地選定調査への協力を自治体に申し入れるよう改定され、平成28年現在、科学的有望地の具体的要件・基準について、総合資源エネルギー調査会地層処分技術ワーキンググループ（丸井が委員として参画）にて専門家による検討が進められている。この状況の中、本研究課題では沿岸域において、原子力政策大綱でいう、地上からの調査を想定した、ボーリングによる地質・地下水環境を調査・観測しながら、段階的かつ繰り返し地下水の流動解析を行い、沿岸域における塩淡水境界の形状把握と地下水の長期的な

流動・滞留状況を評価することを目的とした。これによって、ボーリング掘削を含めた地下水調査と物理探査との組合せや関連データベースの活用等により地下水流動の把握及びその長期的な変遷の評価に係る総合的な調査評価手法として構築することをゴールとしている。

当該年度においては、国民への丁寧な説明を意識しつつ、全国の地質環境特性にあわせた調査手法の確立に焦点を当てて研究を実施している。例えば、調査候補地が選定された場合、所有者の同意を得ることはもちろんであるが、所属する市町村や都道府県にも同意を得た後に、調査にあたることを旨とした。我が国には多くの地質環境が存在するため、まずは堆積岩地域として北海道と新潟県、大阪府を選定し、火山岩地域として静岡県を選定した。これらの地域においては既存井を用いて、深部の地下水試料を採取し、温度等の現場観測と試料分析により水質や同位体を測定した。これによって、日本列島沿岸部の深部地下水について、温度勾配や塩分濃度、滞留時間等を把握することができるようになった。先に挙げた“科学的有望地”は現段階で“地域の科学的特性”と表現され評価されているが、その要件・基準において THMC（温度・水理・地盤変動・化学）と呼ばれる事項が重要視されている。本研究課題においては、独自の調査に加え、これまでに公表されている既存のデータベースも再評価しつつ全国で深部地下水の特性が把握できるデータセットを構築している。

この一方で、我が国の地質環境にかかわる文献調査を実施し、70万件を超える関連既存文献を収集した、沿岸海底下の地質・地質構造ならびに地質環境特性に関わる情報整備を行いつつ、地質環境や調査の実態やを的確に把握することができるようになってきている。これまでの成果を“とりまとめ”としてまとめた。

さらには、平成30年度以降に実施予定となっている国の第三次五カ年計画の先駆けとして、深部掘削技術（日本原子力研究開発機構・原子力環境整備・資金管理センターと共同）ならびに海底湧出地下水・立坑を利用した物質移動（電力中央研究所と共同）をそれぞれ視野におき、予察的な研究も開始している。沿岸部をメインターゲットとし、総合的な深部地下水研究をシステムティックに行い、国民の安心につながる成果を残すべく課題を遂行した。

【領 域 名】 地質調査総合センター、エネルギー・環境

【キーワード】 地層処分、深部地下水、断層、三次元放射法調査、深部地質環境

【テーマ題目5】 土壌汚染に関する情報整備と評価技術の開発

【研究代表者】 今泉 博之

【研究担当者】 張 銘、今泉 博之、村尾 智、川辺 能成、原 淳子、杉田 創、

保高 徹生、井本 由香利、
坂本 靖英ほか
(常勤職員11名、他11名)

〔研究内容〕

環境水などにおける低濃度放射性セシウムのモニタリング技術の普及や技術レベルの向上、さらには国際的な連携を促進するために産総研コンソーシアム「環境水等の放射性セシウムモニタリング」を設立し、活動を展開した。汚染土壌を対象としたカラム試験法の標準化について、ISO/TS 21268-3のアップグレードにおいてリーダー的な役割を果たし、日本国内及びドイツと連携した精度評価試験などを実施し、同国際標準の改訂素案をISOに提出した。

土壌汚染対策法の改正に伴う土壌汚染の原位置浄化の高いニーズを背景に、技術の実用化と普及による社会への還元を目標として、関連調査・評価技術、浄化・対策技術及びリスク評価・管理技術に関する体系的な研究開発を民間企業および他研究機関との研究協力も重視して継続的に実施している。本年度は、これまでの成果を踏まえ、特に毒性が高く、また自然由来で広く分布する特定有害物質のヒ素の長期的溶出特性の評価や濃集メカニズムの解明、安価な吸着材の開発及び使用済ヒ素吸着材の環境安定性評価などを実施し、関連評価技術及び汚染対策技術の実用化を図った。また、ISO/TC190 (Soil Quality)、WG12 (Risk Based Remediation Measures) 委員会活動に継続的に参加し、新規規格素案に対する議論を深めるとともに、産総研コンソーシアム「Sustainable Remediation」における活動を介して、産学官・国際連携による持続可能な土壌汚染対策研究を加速した。

揮発性有機化合物 (VOCs) の原位置浄化技術の実用化に向けて関連企業と連携し、特に微生物を利活用した低コスト・低環境負荷バイオレメディエーションに関する研究を戦略的に推進し、環境微生物による PCE や TCE、cis-DCE、ベンゼン、トルエン及びジクロロメタン (DCM) などによる複合汚染の完全分解のみならず、安定同位体プロービング (Stable Isotope Probing, SIP) 技術による分解微生物の特定にも成功を収めた。また、主要分解微生物の生息特性ならびに複合汚染環境における物質間の相互作用の解明においても新たな知見を得ることができた。科学的自然減衰 (MNA: Monitored Natural Attenuation) 研究に関しては、実汚染サイトでのモニタリングを継続的に実施し、汚染物質の濃度減衰と酸化・還元環境との関連性を評価した。

我が国の地圏環境における環境リスクを評価するための解析手法として、地圏環境リスク評価システム (GERAS) の開発、改良を継続実施している。本年度は、1,4-ジオキサンなどの新規汚染物質も評価対象に取り入れ、また事業所におけるリスク管理と浄化対策の支援として、評価サイトの特性を考慮したモデルの改良を

重ね、複数の企業サイトへ適用し、対策の合理化に寄与した。

表層土壌評価基本図に関しては、宮城県地域、富山県地域、鳥取県地域及び茨城県地域の出版に続き、平成28年度には高知県地域を対象とした表層土壌中の化学成分、各種有害重金属類の含有量、溶出量ならびに当該地域の産業特性と住民のライフスタイルを考慮したリスク評価の情報を整備し、Webにて一般公開した。また、水俣条約に基づく水銀削減政策としての経済手法活用可能性の検討や市場経済移行国における資源開発に関するガバナンスに係る研究を実施した。

〔領域名〕 地質調査総合センター、エネルギー・環境

〔キーワード〕 土壌汚染、地下水汚染、浄化技術、リスク評価、放射性セシウム、知的基盤、国際規格、GERAS、表層土壌評価基本図、水俣条約

〔テーマ題目6〕 地下水の資源と環境に関する情報整備と評価技術の開発

〔研究代表者〕 丸井 敦尚

〔研究担当者〕 丸井 敦尚、町田 功、井川 怜欧、小野 昌彦ほか
(常勤職員4名、他4名)

〔研究内容〕

当該課題においては、環境問題の解決に必要な水文学・地下水学および地下の開発・利用に係る技術に関する調査・研究を行う。特に、社会への貢献や研究成果の反映先を意識しつつ、外部研究機関との連携も保ち、研究計画を策定し体系的な研究を実施する。また、水文環境図の作成を基軸に地下水の資源・環境に関する情報を体系的に取りまとめる。地中熱研究やCO₂地中貯留プロジェクトとも連携し、地下水資源の多角的な利活用を推進する。さらに、経常的な研究課題を通して、看板性の強化、知的基盤整備の加速化、研究シーズの創出に関わる研究などを担当し、部門のミッション達成に貢献する。研究対象地域は日本国内のみならず、CCOP (Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia: 東・東南アジア地球科学計画調整委員会) 活動などを通して海外にも進出する。

当該研究課題を次に挙げる。

- 1) 地下水の研究 (基礎研究)
- 2) 水文環境図の作成
- 3) 海域地質環境研究
- 4) 東南アジア沿岸国における地下水の管理と評価
- 5) 工業用地下水資源の研究

「地質の調査 (2号業務)」ミッションの一つである知的基盤情報整備の一環として、水文環境図の作成・出版に向けた現地水文調査、水質・同位体分析などを実施

している。また、水文環境図は既存の全国統一情報に加え、地域ごとにユーザーが必要とするローカル情報を分かり易く盛り込むことを検討している。本年度は水文環境図第10号「大阪」の現地調査を終了し、編集に取りかかった。また、これまでの出版において問題が発生していた点を解決し、再公開を可能にした。海域地質の環境研究においては、沿岸域の地下水特性や流動（とりわけ深部地下水）についての実証試験を実施している。本年度研究においては、駿河湾の海域地質調査や地形調査、断層調査の結果を取りまとめ、海底に湧き出す地下水の流動経路を把握し、広域・深部・長期にわたる地下水流動解析を行った。

また、東南アジア諸国における沿岸地域の地下水の管理と評価に係る研究も実施している、昨年度から AIST-CCOP 地下水プロジェクトとして東南アジア諸国における沿岸域・都市域の水文環境図作成が開始された。CCOP 地下水プロジェクト PhaseIII (2014～) では、ベトナム・ホン河デルタにおける最新の地下水に関する情報をコンパイルした水文環境図を作成・出版することで合意が成されており、本年度は、そのベースマップと収録する水文データ、地中熱情報を整備している。

さらに、工業用地下水資源の確保のため、地下水賦存量調査を実施してきた。これまでに全国60の地下水盆の地下水流動解析を実施し、日本列島全域の工業用地下水資源の賦存量と流動量を算出した。さらには、水循環基本計画に伴う国の審議会にも経済産業省の命を受けて参加し、専門的な立場から水管理に貢献した。国際活動、内外学会への寄与、学協会等委員参加、産業技術総合研究所イベントへの協力、地質調査総合センター内あるいは地圏資源環境研究部門内への貢献、技術相談・指導など多角的な活動を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】水文環境図、知的基盤情報整備、地下水流動解析、CCOP、工業用地下水資源

④【地質情報研究部門】

(Research Institute of Geology and Geoinformation)

(存続期間：2004.5.1～)

研究部門長：牧野 雅彦

副研究部門長：宮崎 一博、田中 裕一郎

首席研究員：齋藤 文紀、池原 研

総括研究主幹：土田 聡、荒井 晃作

研究主幹：高橋 雅紀

所在地：つくば中央第7

人 員：71名 (71名)

経 費：944,621千円 (713,866千円)

概 要：

1.1 研究目的

地質調査に関する我が国における責任機関として、国の知的基盤整備計画に沿って地質情報の整備と高度化を実施し、我が国の産業基盤を引き続き強化する。

地質情報研究部門のミッションは、日本の国土および周辺海域を対象として地質学的な実態を明らかにし、陸域・海域地質情報を国の知的基盤として整備することにある。日本は、四方を海に囲まれ、大地震や火山噴火が頻発する変動帯に位置する。このような地質条件の中、防災・資源・環境に関わる社会的な課題を解決し、社会の安全・安心で持続的発展を支える地質情報が求められている。そこで、最新の地質情報を整備し、その科学的根拠に基づいて地球の過去・現在を知り、地球環境の健全性の評価および自然災害発生リスクに関する科学的理解と将来予測を社会に発信する。これにより、①産業立地評価、自然災害軽減、資源の利用と地球環境保全、地下利用などに関する科学的根拠の提示、②地球を良く知り、地球と共生するための国民の科学的理解の増進、③国際貢献、④地質情報や調査技術による地質ビジネスの支援を目指す。

1.2 中期目標・計画達成のための方針

地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備を実施する。我が国の知的基盤整備計画に基づいて、国土およびその周辺海域の地質図、地球科学基本図のための地質調査を系統的に実施し、地質情報を整備する。具体的には下記の通り。

- ・知的基盤整備計画に沿った地質図幅・地球科学図等の系統的な整備、及び1/20万シームレス地質図の改訂を行う。日本の陸域の地質情報を整備するとともに、地質情報としての衛星データの整備と活用を行う。
- ・南西諸島周辺地域の地質調査を着実に実施し、日本周辺海域の海洋地質情報の整備を行う。
- ・沿岸域の海陸シームレス地質情報の整備を行う。ボーリングデータを活用した都市域の地質・地盤情報を整備する。
- ・地質調査の人材育成を行う。

1.3 グループ体制と重点課題

中長期目標・計画を達成するため、研究グループをベースにした基礎・萌芽研究と、ユニット・グループを横断するプロジェクト研究によるマトリックス方式を継続して採用する。研究グループは専門家集団としての特徴を生かし、プロジェクト研究の基礎を支え、将来のプロジェクト創出の基となる研究を実施する。当部門の組織体制は12研究グループ

から構成される。当部門では研究グループを横断する以下の5プロジェクト（P）を設定し、連携・協力して研究を進める。

- ・陸域地質図 P：国土基本情報としての陸域の島弧地質と知的基盤整備。
- ・海域地質図 P：国土基本情報としての海域の島弧地質と知的基盤整備。
- ・海底鉱物資源 P：海底熱水鉱床ポテンシャル評価に資するための広域調査。
- ・沿岸域の地質・活断層調査 P：陸域－沿岸域－海域をつなぐシームレス地質情報の整備と活断層の評価。
- ・衛星情報 P：衛星情報の整備と利活用の研究。

1.4 内外との連携

社会の要請に積極的に応えるために、地質情報の信頼性の確保と利便性の向上を図り、国・自治体・産業界との「橋渡し」を強化して、科学的根拠に基づいて提言などを行う。

他の関連ユニットとの連携を強め、産総研における地質調査総合センター（GSJ）としての機能を十分に果たす中核を担うとともに、産総研内外の連携を推進する。

研究によって形作られる地質情報はもちろんのこと、地球を理解する科学技術は、地質学的にも関連の深いアジアをはじめとする世界にとって共通の財産であり、地質情報研究部門は CCOP（東・東南アジア地球科学計画調整委員会）等の国際組織や IODP（統合国際深海掘削計画）、ICDP（国際陸上科学掘削計画）などの国際プロジェクトを通じて世界に貢献する。また、地すべりなど地質災害の緊急課題についても、地質調査総合センターとして迅速に取り組む。

内部資金：

（戦略予算）「沖縄トラフ東縁海域の海底鉱物資源ポテンシャル調査」

外部資金：

経済産業省 ものづくり産業振興費（産業技術研究開発委託費）「ハイパースペクトルセンサ・データの高度利用等に係る研究開発」

国立研究開発法人海洋研究開発機構 科学技術試験研究委託事業「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」

農林水産省 水産業再生プロジェクト「生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発」

中国地方整備局出雲河川事務所「人との相互作用によっ

て持続する汽水湖生態系の構築に関する研究」

国立研究開発法人海洋研究開発機構 戦略的イノベーションプログラム（SIP）海洋資源調査「次世代海洋資源調査技術 海洋資源の成因に関する科学研究」

独立行政法人日本学術振興会 JSPS 国際共同研究事業 多国間国際研究協力事業「デルタ：リスクアセスメントのための統合的モデル構築を伴ったデルタシステムの持続可能性に向けての行動」

国立研究開発法人水産研究・教育機構日本海区水産研究所 革新的技術開発・緊急展開事業「二枚貝養殖の安定化と生産拡大の技術開発」

国立大学法人東京大学 国立研究開発法人海洋研究開発機構 IODP 乗船後研究「Exp.346中新世以降のアジアモンスーンに対する日本海の応答」

島根県「宍道湖における水産資源再生に関わる地学的因子の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究（研究領域提案型））「アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（S））「海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（S））「浅海底地形学を基にした沿岸域の先進的学際研究－三次元海底地形で開くパラダイム－」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「地球史海洋底断面復元プロジェクト：太古代から原生代への環境大変動解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「西部北極海の海氷減少と海洋渦が生物ポンプに与える影響評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「日本内湾の堆積物を用いた高時間解像度の環境復元と人間社会への影響評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「水月湖と日本海の精密対比：ダンスガード・オシュガーイベントの原因論をめざして」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「別府湾柱状堆積物の解析にもとづく過去8,000年間の太平洋十年規模変動の復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「国内古生物標本ネットワークの構築とキュレーティング支援方法の確立」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「ターミナル海盆の堆積記録を用いた南海トラフの地震発生履歴の高精度化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「堆積平野における不整形地盤構造のモデル化精度が強震動予測に及ぼす影響の評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「深海における地磁気異常が明らかにする古地磁気変動」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「完新世の地球環境変動に対するサンゴ礁堆積物生産量変動モデルの確立」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「低逆転頻度期の古地球磁場強度長期連続変動の解明－外核プロセスへの新たな制約」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「最終氷期以降の太平洋子午面循環と気候変動」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「ドミニカ共和国沿岸の重金属汚染の時空間的推移と流入実態の調査と負荷源対策の検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「低圧変成帯の温度圧力構造と島弧地殻のダイナミクスの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「現代リスク社会の変容における公共政策の役割：公共政策と「不確実性」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「Web GIS 3次元地質モデラーを効率的に活

用するための地層対比支援システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「シームレス地質図を活用した学習モデルの実践的構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「堆積物の残留磁化獲得過程における生物学的作用の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「東海地震に関する防災政策の経済的インパクトの研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「南鳥島 EEZ に眠るマンガノジュールとレアアース泥の成因と資源ポテンシャル」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「沈降域の沖積層を用いた最終氷期最盛期以降の海水準変動復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「中央海嶺下マン托ルの再考：マン托ルの均質／不均質化と海洋プレートの物質科学的実体」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「タイ国産腕足動物化石の炭素・酸素同位体組成を用いた石炭紀～ペルム紀の古環境復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（A））「SQUID 顕微鏡による惑星古磁場の先端的研究の開拓」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「温帯性サンゴ骨格から検証する日本周辺の地球環境変動」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（研究活動スタート支援）「プレート二重沈み込み領域におけるマグマ供給系の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「地質アナログ模型の開発と地学教育における活用と検証」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「砕屑岩岩石学から復元する黒瀬川帯ペルム紀島弧の進化過程」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「強制海退によって規定されたバリアースピットの堆積様式の解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「ジルコン U-Pb 年代を用いた日高衝突境界周辺の地体構造解析」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「海洋地殻進化解析に基づく、三波川帯－御荷鉢帯－秩父帯北帯の統合的理解」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「新たな変成反応進行過程の提案と反応継続時間の推定」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（C））「松島湾の泥の物理的変遷解明に基づいた閉鎖性海域の長期環境評価」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「川砂ジルコンを用いた新手法による過去40億年間の古地磁気強度記録の復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（挑戦的萌芽研究）「樹木年輪に記録された地磁気・地球環境変動の SQUID 顕微鏡による超高分解能復元」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「第三紀泥岩の分類：分光測色による「色層序学」の構築」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「オフィオライト海洋地殻を用いた熱水変質に伴う元素移動モデルの確立」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「過去1,000年間における洪水履歴とそれに応じた微高地の地形発達過程」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（若手研究（B））「信頼性の高い3次元地質情報の Web 共有手法の研究」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（基盤研究（B））「重力・地震波の同時観測によるスロースリップ発生域の浅層地下水モニタリング」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究（研究領域提案型））「同位体から制約する核

ーマントルの共進化」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金（新学術領域研究（研究領域提案型））「核ーマントルの地震・電磁気観測」

民間共同研究費「石油開発資源株式会社」
「東南アジアから南アジアにおける完新世デルタの層相と有機物量に関する調査」

財団助成金「JSPS 欧米短期フェローシップ」
「メコンデルタの河川・海洋漸移帯における堆積作用に関する研究」

財団助成金「公益財団法人鉄鋼環境基金」
「カドミウム・鉛同位体を用いた環境汚染評価手法の開発」

発表：誌上发表114件、口頭発表315件、その他142件

平野地質研究グループ

(Quaternary Basin Research Group)

研究グループ長：中島 礼

(つくば中央第7)

概要：

堆積平野とその周辺丘陵地を主な研究対象とし、それらの実態把握と形成プロセスの総合的な理解に努め、自然災害の軽減・産業立地・環境保全等に貢献する地質情報を提供する。この目的のため、陸域地質図プロジェクトや沿岸の地質・活断層調査プロジェクトにも積極的に参加し、また関連する内外の諸研究グループや機関とも連携して研究を進める。関東平野、三河平野、濃尾平野、駿河湾沿岸、下北半島などの沿岸平野及び会津盆地などの内陸盆地を重点的に調査・研究している。平野を構成する地層の詳細な層序・地質特性・地質構造などを把握し、またそれらの形成プロセスを明らかにするとともに、地質情報のマップ化、データベース化を進めている。さらに平野地域に関連した自然災害が発生した場合は関係諸グループと連携を取り、被害調査などを実施する。

2011年東北地方太平洋沖地震による地盤災害や液状化調査や2015年の常総市の水害時の堆積物調査、2016年熊本地震の地盤災害についても調査・研究を進めているほか、国際共同研究についても準備を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目8、テーマ題目13、テーマ題目14、テーマ題目15、テーマ題目22

層序構造地質研究グループ

(Stratigraphy and Tectonics Research Group)

研究グループ長：中江 訓

(つくば中央第7)

概要：

活動的島弧である日本列島と大陸縁辺域であるアジア周辺地域における地質学的実態を把握しその長期的造構過程を解明するために、① 過去の島弧海溝系である造山帯（沈み込み型及び衝突型）における堆積・造構過程の解明、② 火山弧周辺（前弧-火山フロント-背弧内堆積盆）における堆積環境・火山活動の時空間変遷の解明、③ 微化石年代層序区分の構築と高精度化ならびに微化石生物の解析による古海洋地理区と堆積環境の解明、などの地質学的問題を主要な課題と位置づけた「層序構造地質の研究」を、系統的かつ総合的に展開する。さらに国土の基本地質情報整備のために部門重点課題として実行される「陸域地質図プロジェクト」の中核研究グループとして、「層序構造地質の研究」の成果と最新の地質学的知見を融合し、我が国の知的基盤情報として各種の陸域地質図整備を担当する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目23

地殻岩石研究グループ

(Orogenic Processes Research Group)

研究グループ長：宮崎 一博

(つくば中央第7)

概要：

地殻岩石の研究では、変成帯・火成岩体を研究対象とし、その形成において本質的な沈み込み帯での変形・変成作用、島弧地殻での変形・変成・火成作用などを、地層・岩体の地質調査、岩石・鉱物の化学分析・構造解析、及び形成モデリングにより明らかにする。また、国土の基本地質情報整備のために部門重点課題として実行される陸域地質図及び次世代シームレス地質図の研究に、その中核研究グループとして参画する。陸域地質図の研究においては、地殻岩石の研究成果及び既存の地質体形成過程に関する知見を融合・適合することにより高精度の地質図の作成を行う。次世代シームレス地質図の研究では、日本列島に分布する火成岩及び変成岩の分類及び区分を担当する。研究成果は論文・地質図・データベースなどを通じて公表する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、

テーマ題目24

シームレス地質情報研究グループ

(Integrated Geo-information Research Group)

研究グループ長：西岡 芳晴

(つくば中央第7)

概要：

陸域地質図プロジェクトの主要グループとして5万分の1及び20万分の1地質図幅の研究を行う。また、20万分の1日本シームレス地質図サイトの改良を行うとともに、20万分の1日本シームレス地質図 V2の編集を行う。20万分の1日本シームレス地質図をベースとした地球科学図の統合データベース「地質図 Navi」の構築及びオープンデータ化、野外地質データのデータベース化を行う。更に、地質情報を、社会に役立つ、新たな価値を創出する情報として発信するための研究開発や標準の策定を行う。アジアの地質情報の研究・整備・解析、野外調査を基礎にした地質学的・地球物理学的研究も実施する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、

テーマ題目25

情報地質研究グループ

(Geoinformatics Research Group)

研究グループ長：中澤 努

(つくば中央第7)

概要：

情報地質研究グループは、地層や地質試料から新たな地質情報を抽出し、それらを高度化・統合化することによって、新たな地質学的視点を創出する研究を行う。野外地質踏査やボーリング調査、常時微動観測、各種室内分析、X線CT等の機器を用いた解析により、基礎的な地質情報を抽出し高精度化するとともに、それら地質情報の処理技術の開発研究を実施する。またシームレス化・デジタル化された地質情報を統合することにより、地質災害軽減等に資する研究を行い、それらの研究をベースに、都市域の地質地盤図、海陸シームレス地質図、陸域地質図等、部門が推進する地質情報整備に積極的に取り組む。地質情報を公開するための仕様の検討やシステム構築についても取り組む。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目4、テーマ題目8、

テーマ題目14、テーマ題目16、テーマ題目26

リモートセンシング研究グループ

(Remote Sensing Research Group)

研究グループ長：岩男 弘毅

(つくば中央第7)

概要：

産総研では資源探査を中心に JERS-1 (OPS、SAR)、ASTER、PALSAR といったセンサー開発、およびそのデータ利用に関する研究を行ってきた。リモートセンシング研究グループは、これらのデータと、地質情報を統合することにより、環境・資源・防災等に資するリモートセンシングに関する研究開発を行うことを目的とする。具体的には、衛星アーカイブ・配信に関する研究、品質管理（校正・検証および標準

化)に関する研究、衛星情報の利活用促進のための研究を実施する。衛星アーカイブ・配信に関する研究では日米共同運用中のASTERの処理に係る研究を、品質管理に関する研究では光学センサーの経年劣化を把握するための代替校正・相互校正手法に係る研究、利活用促進に関する研究では、特にASTERを用いた防災、資源、環境・基盤データ作成に関する利用研究を実施する。

研究テーマ：テーマ題目17、テーマ題目27

海洋地質研究グループ

(Marine Geology Research Group)

研究グループ長：片山 肇

(つくば中央第7)

概要：

海域地質図プロジェクトおよび沿岸域プロジェクトの中核を担って研究を遂行する。日本周辺海域の海洋地質情報を整備公開するとともに、それらのデータを基に日本周辺海域の地質構造発達史、活断層評価、堆積作用、古環境変動、および海底火山や熱水活動に伴う地質現象の解明を行うことを目的とする。白嶺等の調査船を用いて音波探査、堆積物および岩石採取を行い、それらの解析によって海洋地質図(海底地質図および表層堆積図)を作成、出版する。これらの調査で得られたデータをデータベースとして整備しインターネットでの公開も進める。地質情報に乏しい沿岸海域についても、小型船舶を用いて音波探査と堆積物採取を行い、沿岸域の地質情報の整備を進めるとともに沖合と陸上の地質情報の統合的な解析を行う。これらの調査およびこれ以外の内外の調査航海や他機関のデータ等を活用し、活動的構造運動や堆積作用、古環境変動等の海域における地質現象の解明を行う。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目7、テーマ題目9、
テーマ題目10、テーマ題目18、テーマ題目
19、テーマ題目20、テーマ題目21、
テーマ題目28

地球変動史研究グループ

(Paleogeodynamics Research Group)

研究グループ長：渡辺 真人

(つくば中央第7)

概要：

古地磁気・岩石磁気層序及び微化石層序学的研究を統合した高分解能年代スケールを基盤とし、海陸の地質・古生物学的及び地球物理学的情報を統合して、地質学的時間スケールの地球システム変動やテクトニクスを解明する。これらの研究を基盤として、当部門のミッションである陸域・海域地質情報の整備に貢献する。具体的には以下の研究を進める。1. 新生代統合高分解能年代タイムスケールに関する研究。微化石層

序、古地磁気強度変化、同位体層序、テフラ層序、サイクル層序等を統合した高分解能タイムスケールを構築しつつ、日本列島の新生代層序の枠組みの改善にそれを活用する。2. 日本列島及び周辺海域のテクトニクスと古環境の解明。海陸の地質・地球物理情報を総合的に解析しモデル化することにより、日本列島と周辺海域のテクトニクスを解明するとともに当時の環境を明らかにする。その基礎的解析法として海底及び沿岸域における高分解能表層物理探査、堆積物の解析および大型化石の古環境指標に関する研究と技術開発を行う。3. 古地磁気変動の解明。数千年から数十万年の時間スケールを持つ古地磁気強度・方位の変動や地磁気エクスカージョンの実態解明を進め、地磁気変動と地球軌道要素・気候変動のリンクの可能性を探るとともに、岩石磁気学的手法を応用した古環境研究を進める。これらの3つの研究のポテンシャルを生かし、陸域・海域地質図・地球物理図作成、海底鉱物資源ポテンシャル評価・資源情報整備に関して貢献する。

研究テーマ：テーマ題目1、テーマ題目5、テーマ題目6、
テーマ題目29

資源テクトニクス研究グループ

(Tectonics and Resources Research Group)

研究グループ長：下田 玄

(つくば中央第7)

概要：

我が国周辺海域における海底鉱物資源の広域ポテンシャル評価に資する研究を行った。その為に我が国周辺海域で採取された地質試料に対して地質学的・岩石学的・地球化学的な研究を行った。これらの複数の研究手法を組み合わせることで、海底鉱床の生成に重要な元素の移動や濃集過程を解明し、鉱床形成につながる元素濃集過程の指標を科学的に見いだすことを試みた。岩石学的研究は、日本周辺海域の構造発達史を明らかにする為に用いた。日本周辺の広大な海域について海底鉱物資源のポテンシャル評価を行う為には、海底熱水鉱床が形成されるテクトニックセッティング、すなわち、前弧海底拡大、超低速拡大軸、背弧・島弧内リフト盆地の形成過程の解明が不可欠である。これらの形成過程を科学的に解明することで海底鉱物資源の広域的なポテンシャル評価に資する研究を行った。地球化学的な研究は、海底鉱床の生成に重要な元素の移動や濃集過程の解明に応用することができる。すなわち、同位体比や化学組成が変化する過程を科学的に解明することで、鉱床形成につながる元素濃集過程の指標を科学的に見いだす為の研究を行った。

研究テーマ：テーマ題目7、テーマ題目31

海洋環境地質研究グループ

(Marine Geo-Environment Research Group)

研究グループ長：鈴木 淳

(つくば中央第7)

(つくば中央第7)

概要：

地球環境保全や地質災害などに関する科学的根拠の提示のため、都市沿岸域の環境、及びそれに大きな影響を及ぼす海洋地球環境について、その環境変動幅と変動要因を明らかにする。地球環境問題、すなわち温暖化（海域・内水域）、海水準上昇、海洋酸性化に関係する地質学的諸問題の解明に当たるとともに、それらの過去の変遷を復元する研究に注力する。これら目標実現に向けて、安定同位体比分析を始め各種地球化学的分析法及び光ルミネッセンス（OSL）年代測定法等の高度化について重点的に取り組むと共に、堆積学、古生物学、海岸工学など多様な手法の連携により、研究課題に対して総合的なアプローチを取る。また、部門の重点プロジェクト「海域地質図」に参画する。海底鉱物資源については、生物地球化学及び海洋生態学的手法を用いた物質循環と環境変遷の調査・分析を企画し、海洋環境ベースライン調査、環境影響評価の観点からの貢献を図る。

研究テーマ：テーマ題目5、テーマ題目20、
テーマ題目30

地球化学研究グループ

(Geochemistry Group)

研究グループ長：岡井 貴司

(つくば中央第7)

概要：

地殻における元素の地球化学的挙動の解明を中心とした地球化学情報の集積・活用と高度な分析技術の開発を目的とし、元素の地球化学的挙動解明の基礎となる地球化学図の作成、あらゆる地質試料の分析の基礎となる地球化学標準物質の作製、地質関連試料の高度な分析技術の開発と維持・普及を行う。地球化学図の研究では、大都市市街地における元素のバックグラウンドを明らかにするために、従来の10倍の精度を持つ精密地球化学図を作成するとともに、既に公開している地球化学図データベースの充実を図る。標準物質の研究では、岩石標準試料の国内唯一の発行機関として、ISO に対応した各種地質試料の認証標準物質の作製を行うとともに、岩石標準試料の各種情報をデータベースとして公開する。また、地球化学の基礎技術として、様々な地質試料中の元素の高度な分析技術の開発と、それらを用いた元素の挙動解明の研究を行う。

研究テーマ：テーマ題目3、テーマ題目32、
テーマ題目34

地球物理研究グループ

(Geophysics Group)

研究グループ長：名和 一成

概要：

地球物理データを取得する調査手法、解析技術、シミュレーション技術の開発・高度化を行い、地下地質構造・地下動態を解明する。重力図の作成及び重力データベースの拡充を行うとともに、地球物理情報と他の地質情報を統合・連携した研究を推進する。また、平野部や沿岸域において地震探査や重力探査など物理探査を実施し地層や断層に関する詳細な地下構造を求めることで、国土の知的基盤地質情報整備とその利活用に貢献する。これらの研究成果は論文・地球科学図・データベースや産総研一般公開・地質情報展などを通じて社会に発信する。

研究テーマ：テーマ題目2、テーマ題目11、テーマ題目12、テーマ題目33

[テーマ題目1] 陸域地質図の研究（運営費交付金：重点プロジェクト）

[研究代表者] 中江 訓（層序構造地質研究グループ）

[研究担当者] 中江 訓、原 英俊、野田 篤、
工藤 崇、辻野 匠、宇都宮 正志、
伊藤 剛、大井 信三、水野 清秀、
小松原 琢、小松原 純子、納谷 友規、
宮崎 一博、高橋 浩、濱崎 聡志、
山崎 徹、佐藤 大介、細井 淳、
巖谷 敏光、内野 隆之、渡辺 真人、
高橋 雅紀、尾崎 正紀、七山 太、
井上 卓彦、名和 一成、宮川 歩夢、
石塚 吉浩（活断層・火山研究部門）、
中野 俊（活断層・火山研究部門）、
山元 孝広（活断層・火山研究部門）、
川邊 禎久（活断層・火山研究部門）、
石塚 治（活断層・火山研究部門）、
及川 輝樹（活断層・火山研究部門）、
宮下 由香里（活断層・火山研究部門）、
吾妻 崇（活断層・火山研究部門）、
白濱 吉起（活断層・火山研究部門）、
高木 哲一（地圏資源環境研究部門）、
昆 慶明（地圏資源環境研究部門）、
村田 泰章（福島再生エネルギー研究センター）、
中川 充（北海道センター産学官連携推進室）、
宮地 良典（地質調査総合センター研究戦略部）、
横山 俊治（客員研究員）、
長谷川 健（茨城大学）、
植木 岳雪（千葉科学大学）、
遠藤 俊祐（島根大学）、
脇田 浩二（山口大学）、
大和田 正明（山口大学）、
廣瀬 亘（北海道立総合研究機構地質研究所）、
川上 源太郎（北海道立総合研究機構地質研究所）、
林 圭一（北海道

立総合研究機構地質研究所)

(常勤職員39名(うち他研究ユニット13名)、他11名)

【研究内容】

「陸域地質図の研究」の実施にあたっては、本部門・他研究ユニット及び外部研究機関の研究者との協体制のもと、「層序構造地質」・「平野地質」・「地殻岩石」・「シームレス地質情報」・「火山活動」(活断層・火山研究部門)の5つの研究グループが中心となって推進している。

20万分の1地質図幅では、1区画(輪島)については1年の調査期間を計画通りに開始・終了させるとともに、2区画(広尾・野辺地)の調査を継続し、新たに1区画(宮津)の改訂に着手した。

5万分の1地質図幅に関しては、新規に3区画(浄法寺・外山・桐生及足利)の調査を開始し、12区画(十和田湖・角館・川越・上総大原・稲取・明智・和気・池田・本山・馬路・久賀・栗野)の調査研究を継続させるとともに、2区画(羅臼・網走)の調査を終了した。また、4区画(観音寺・泊・鳥羽・一戸)の地質図及び報告書を完成させ決裁を受け、4区画3図幅(新潟及び内野・母島列島・播州赤穂)を出版した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】地質図幅、20万分の1地質図、5万分の1地質図

【テーマ題目2】地球物理図(運営費交付金：重点プロジェクト)

【研究代表者】名和 一成(地球物理研究グループ)

【研究担当者】名和 一成、伊藤 忍、大熊 茂雄、住田 達哉、宮川 歩夢、村田 泰章(福島再生エネルギー研究センター)、駒澤 正夫、中塚 正(常勤職員6名、他2名)

【研究内容】

活動的島弧に位置する国土の地下地質構造を体系的に解明するために重力図、空中磁気図、データベースなどの作成を行う。20万分の1重力図については、和歌山地域重力図の編集を進めWEB出版した。また、伊勢、名古屋、静岡地域における調査・編集作業を進め、金沢地域重力図の出版原稿を完成させた。重力データベース・日本列島基盤岩類物性データベース(地質情報データベース)の維持作業を行った。最新の地形データを使った地形補正計算を含む重力測定値データ処理のためのインフラシステムを構築した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】地球物理図、重力図、空中磁気図、岩石物性、データベース

【テーマ題目3】地球化学図(運営費交付金：重点プロ

ジェクト)

【研究代表者】岡井 貴司(地球化学研究グループ)

【研究担当者】岡井 貴司、今井 登、太田 充恒、久保田 蘭、御子柴 真澄、立花 好子(常勤職員4名、他2名)

【研究内容】

元素の地球化学的挙動解明の基礎となる地球化学図の作成において、大都市市街地を含む地域における元素のバックグラウンドを明らかにするために、従来の日本全国図の10倍の精度を持つ精密地球化学図を作成する。また、日本全国のヒ素、水銀、カドミウムなどの有害元素をはじめとする53元素の濃度分布の全データをデータベース化し、地球化学図データベースとしてインターネットを通して活用できるようにするとともに、日本における地球化学基盤情報を提供する。

精密地球化学図の作成では、昨年度出版した関東地方「関東の地球化学図」の次の地域として、名古屋市を中心とした中部地域について調査を行い、予定地域の中央部(愛知県、滋賀県、三重県、静岡県)から275個の河川堆積物試料を採取した。試料は各河川の指定された地点の周辺において、その河川の上流域から供給された細粒の堆積物(最大粒径3 mm程度以下)約1 kgをスコップ等で採取し、実験室で乾燥したのち80メッシュ以下の成分を篩分け、自然乾燥した後、粉碎し、分析に用いる試料とする。また、昨年度の調査で中部地域(滋賀県、岐阜県、長野県、愛知県、静岡県、三重県)から採取した試料について化学分析を開始した。化学分析は、試料を硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸で分解後、硝酸酸性の試料溶液を作成し、主成分元素はICP発光分光分析法、微量成分元素はICP質量分析法で行い、水銀については試料を直接、加熱気化原子吸光法により分析した。

地球化学図データベースでは、日本全国の陸域とそれにつながる沿岸海域のヒ素、水銀、カドミウムなどの有害元素をはじめとする53元素の濃度分布図を公開しており、作成に用いた河川堆積物試料(陸域、約3,000個)及び海底堆積物試料(海域、約5,000個)の採取地点の他、各元素の分析データを閲覧・ダウンロードできる。また、試料中のカリウム、ウラン、トリウム含有量から計算式により求めた、日本における大地からの自然放射線図についても公開している。昨年度からは、関東地方精密地球化学図を「関東の地球化学図」として公開(53元素及び自然放射線)するとともに、作成に用いた河川堆積物試料(約1,500個)の情報も日本全国図と同様の内容を公開している。「関東の地球化学図」公開に際しては、日本全域の地球化学図と、表示縮尺に応じた地図の切り替えを行う必要があるため、Google Mapsを用いて縮尺レベルによるフィルタリングで日本全域版と関東の地球化学図を切り替えられるようにしており、大縮尺時は日本全国図を表示し、一定のズームレベルに

達すると関東の地球化学図に自動的に切り替わる。本年度は、関東の地球化学図作成に用いた試料の情報について、検索機能を追加し、全国図と同様に、地域（都道府県、市町村等）、元素濃度等による検索が行えるようにした。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地球化学図、データベース、有害元素、バックグラウンド、環境汚染、元素分布

【テーマ題目4】次世代シームレス地質図の編纂（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】斎藤 眞

（シームレス地質情報研究グループ）

【研究担当者】斎藤 眞、宮崎 一博、水野 清秀、石塚 吉浩（活断層・火山研究部門）、工藤 崇、西岡 芳晴、坂野 靖行、宝田 晋治、森尻 理恵、内野 隆之、尾崎 正紀、竹内 圭史、佐藤 大介、松浦 浩久、高橋 浩、小松原 琢、山崎 徹、辻野 匠、中島 礼、古川 竜太（活断層・火山研究部門）、山元 孝広（活断層・火山研究部門）、中野 俊（活断層・火山研究部門）、及川 輝樹（活断層・火山研究部門）

（常勤職員23名、他2名）

【研究内容】

20万分の1日本シームレス地質図 V2の編纂を行う。平成23年度までに統一凡例の作成、平成24年度～平成26年度で編纂、平成27年度に全体編纂と最終調整を行っている。現行の20万分の1日本シームレス地質図は1992年に発行された100万分の1日本地質図の凡例を踏襲している。それから20年後の最新の知見に基づく新凡例はコードで構造化されているため、詳細な凡例から平易な簡易区分まで、自在に凡例を変えることができるものである。

本年度は、各凡例の表示色の検討し、決定した。また、表示用の文字列表現の調整を行い、凡例の英語版を作成した。さらに、編纂を終了した全国データをもとに、表示用タイトル、凡例 ID タイトル、断層タイトル、凡例記号タイトルの作成を行い、正式公開用のビューアを開発した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】シームレス地質図、統合、数値地質図、標準化、データベース、統一凡例

【テーマ題目5】海域地質図プロジェクト（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、片山 肇、板木 拓也、井上 卓彦、佐藤 智之、天野 敦子、杉崎 彩子、小田 啓邦、佐藤 太一、

佐藤 雅彦、鈴木 淳、長尾 正之、田中 裕一郎、下田 玄、針金 由美子、石塚 治（活断層・火山研究部門）、兼子 尚知、岡村 行信（活断層・火山研究部門）、古山 精史朗、味岡 拓、多恵 朝子、片山 礼子
（常勤職員17名、他5名）

【研究内容】

日本周辺海域の地球科学的調査・研究を通じて、地殻を中心とした海洋地球に関する基盤的情報を系統的に整備し、広く社会へ提供する。特に、海洋地質図の整備、海洋地質データベースの構築とインターネット公開、これらを支え、発展・高度化させる基礎的基盤に関する世界をリードする研究に取り組む。なお、海洋地球に関する基盤の情報及び科学的知見は、国や社会の持続的発展を支える基本的公共財として、産業立地を含む各種海洋開発・災害軽減・環境管理などに対する基礎的資料となる。

本年度は、沖縄県宮古島周辺海域において調査航海を実施するとともに、これまでの調査航海の結果に基づき、海洋地質図の整備を進めた。その結果、調査航海では1878海里の航走観測（音波探査・表層地層探査・地形調査・地磁気観測・重力測定）と3地点での有索無人探査機による海底観察と岩石採取を行った。宮古島周辺の浅海域では海底から突出する沈水した炭酸塩体と考えられる高まり、宮古島北方の斜面域では海底面に変改を及ぼす正断層群が確認された。これらの結果は速報に取りまとめた。また、見島沖海底地質図（CD）を出版した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】海底地質図、重力・地磁気異常図、表層堆積図、データベース、日本周辺海域、南西諸島海域、白嶺

【テーマ題目6】大陸棚調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】渡辺 真人（地質情報研究部門）

【研究担当者】渡辺 真人、岸本 清行、小田 啓邦、下田 玄、石塚 治（活断層・火山研究部門）、湯浅 真人、西村 昭、棚橋 学（地圏資源環境研究部門客員研究員）
（常勤職員4名、他4名）

【研究内容】

本テーマは部門の重点プロジェクトのひとつであるが、部門を横断する大陸棚チーム員および招聘研究員、研究顧問等の協力のもとに取り組んだ。現在「大陸棚調査」では、二つの課題がある。ひとつは2012年4月26日にわが国が受領した「延長大陸棚勧告」の技術的検討に関する「大陸棚延長部会（2015年度改定）」（総合海洋政策本部所掌）を通じたフォローアップ作業であり、他のひとつは、大陸棚申請作成のために用いた資試料のうち産

総研が保有するものを研究利用も含め維持管理することである。

- 1) 2012年に受領したわが国の「延長大陸棚勧告」には一部の審査未了海域が含まれており、早期の審査実施（再開）を国連大陸棚限界委員会に国として働きかけているところである。産総研としての役割は「勧告」内容の精査と分析を行い、今後の大陸棚画定の国内作業や国連大陸棚限界委員会とのさらなる対応における地球科学的・技術的な検討を「大陸棚延長部会」を通して行うことである。当該年度は、内外の国際法の専門家による「大陸棚画定」に関するワークショップに参加し、地球科学以外の課題についても認識を深めた。また、我が国の大陸棚申請海域と一部境界を接する米国およびパラオ共和国の大陸棚に関連した情報収集を行った。
- 2) 前述のように「大陸棚延長部会」機能の一部は、将来の審査再開のためにも当面維持することが求められている。このことに連動して、大陸棚調査で得られた岩石試料等の適切な保管と利活用が産総研の責務となっている。コンパイルされたこれらの解析資料やコア試料は、今後日本の周辺海域で必要となる詳細な地球科学的調査の基礎となる資料であり、関連する地形・地球物理データとともに試料庫やコンピュータに保管されている。また系統的に採取されたコアリングによる海底岩石試料とその分析データは検索可能な新たなデータベースとして登録した。このデータベースは、試料庫に保管されたコア試料とも関係づけられており、資料の利活用のための検索ツールとして利用できる。
- 3) 大陸棚調査で新たに得られた地形、地質、岩石試料等の情報を援用して、わが国の EEZ および隣接海域における「海底鉱物資源マップ」（産総研・臼井他1994刊）の改訂版を編集し原稿を提出した。海底資源情報の改訂に加え、海底地質に関する情報との関連を概観できるように海底地質図を付図にしたことと説明書を作成したことも改訂版の特徴である。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕海洋地質調査、大陸棚画定、国連大陸棚限界委員会

〔テーマ題目7〕海底鉱物資源（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕下田 玄（資源テクトニクス研究グループ）

〔研究担当者〕下田 玄、針金 由美子、佐藤 太一、後藤 孝介、石塚 治（活断層・火山研究部門）、井上 卓彦、田中 弓（常勤職員6名、他1名）

〔研究内容〕

石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）との連携を強化して海底鉱物資源の広域ポテンシャル調査を引き続き推進した。また、民間企業との連携も行った。まず、熱水鉱床形成が起きている可能性の高い地域、及び過去に生成された鉱床が存在している可能性のある地域を抽出するため、我が国周辺の活動的な火山帯火成活動について検討した。陸上の基盤岩についても調査・研究を進めており、本年度に採取した岩石試料を中心に化学分析や鉱物学的岩石学的研究の為に試料調整を進めた。JOGMEC との海底鉱物資源に関するタスクフォース再開することで合意した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕海底鉱物資源、テクトニクス、伊豆一小笠原弧、フィリピン海プレート、地球化学、岩石学

〔テーマ題目8〕沿岸域の地質・活断層調査—千葉県北部におけるボーリングデータの一元化と地質地盤図作成（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕中澤 努（情報地質研究グループ）

〔研究担当者〕中澤 努、野々垣 進、小松原 純子、納谷 友規、長 郁夫（常勤職員5名）

〔研究内容〕

本研究課題では、都市部の地質情報整備の加速化を目的として、公共工事等のボーリングデータを一元化し、それらを基に地下地質情報を提供する3次元地質地盤図作成の試みを千葉県北部をモデル地域として実施している。本研究課題は千葉県環境研究センターと共同で実施している。平成28年度は千葉県北部地域での調査最終年度として、地層対比の基準となる基準ボーリングデータの整備をすすめるとともに、これまでに実施したボーリング調査のデータや露頭柱状図データのウェブ上での公開をすすめた。

基準データ整備のための新規のボーリング調査は、更新統下総層群の層序を明らかにする目的で千葉県松戸市で1地点（掘進長110 m）、東京湾岸埋立地の層序を明らかにする目的で千葉市美浜区で1地点（掘進長60 m）、計2地点で実施した。松戸市のボーリング調査では、更新統下総層群に特徴的な堆積サイクルの認定と挟在するテフラの同定により、下総層群模式地の層序との対比をおこなうことができた。また、千葉市美浜区のボーリング調査地点は2011年東北地方太平洋沖地震の際に液状化被害を被った地点である。このボーリング調査のコア解析では、沖積層と埋立層の認定を層相の詳細な観察及び年代測定をもとに的確に行うとともに、液状化層準の特定を行うことができた。また、これまでの東京湾岸の沖積層・埋立層を対象としたボーリング調査のコア試料を一通り見直し、地層区分の再検討を行った。さらに、台地の地下の軟弱層として重要な下総層群木下層の谷埋め

堆積物についても、これまでのボーリングコア解析結果をとりまとめ、層相分布と形成過程を明らかにした。下総層群の地質構造を知るうえで極めて重要な千葉県南東部の露頭柱状図をウェブ上で公開した。これらの一連の調査により、3次元地質解析を行うベースとなる千葉県北部の地質層序については概ね把握することができた。

一方、Web を通した3次元地質情報の利活用に関する研究として、Web マッピングシステムをベースとした、任意測線における3次元地質モデルの断面図作成プログラムを高速化した。また、VRMLやWeb GLを利用した柱状図データの3次元可視化手法について検討した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】ボーリングデータ、地質層序、3次元地質モデル、地質地盤図

【テーマ題目9】沿岸域の地質・活断層調査－沿岸海域の地質構造調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】佐藤 智之（海洋地質研究グループ）

【研究担当者】佐藤 智之、古山 精史朗、阿部 朋弥、井上 卓彦、荒井 晃作、阿部 信太郎（活断層・火山研究部門）
（常勤職員4名、他2名）

【研究内容】

陸域・海域地質情報のシームレス化のため、相模湾沿岸海域においてマルチチャンネルによる高分解能反射法音波探査を7月に実施し、良好な反射記録を得た。調査海域は北緯35度～35度20分、東経139度13分～139度45分の海域で、総測線長はおよそ388 km である。反射記録の処理を完了し、解釈を進めた。予察的ではあるが、三浦半島断層群の延長部にて得られた反射記録で地層の変形が認められるため、断層群海域延長の分布、変位量について新知見が得られることを目指し、今後解析を進める。また、調査海域西部の大磯丘陵沖において、沖積層基底面の緩やかな変形が認められ、丘陵東縁の活断層が海域にも延長している可能性が判明した。以上の成果は層序区分も合わせて平成30年度内に地質図としてまとめ公表する予定である。

平成28年度までに調査を終了させた外房沿岸についても解釈を進めた結果、九十九里浜沖に陸上の地質構造と対比できる可能性の高い褶曲を発見した。また、広域に追跡できる褶曲の他にも多数の正断層によるグラウンが発達していることもわかった。銚子沖から鴨川沖までに亘る層序区分とその陸上への対比もほぼ完成した。以上を29年度内に地質図としてまとめ公表する予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】反射法音波探査、海洋地質、沿岸域、関東地方、第四紀

【テーマ題目10】沿岸域の地質・活断層調査－沿岸域の堆積物調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、片山 肇、天野 敦子、杉崎 彩子、味岡 拓、多恵 朝子、西田 尚央（東京学芸大学）
（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

地質情報に乏しい沿岸域の地質情報の整備と沿岸域のよりよい調査手法の確立が本調査研究の目的である。本年度は、相模湾周辺海域の表層堆積物採取、酒匂川河口前面海域の海底地形調査を行った。その結果、相模湾沿岸の48地点でグラブ式採泥器による表層堆積物採取と海底写真撮影を行った。これらにより表層堆積物の分布の概要が把握された。海底地形調査では酒匂が河口沖の約10×11 km と大磯海底谷の約4×6 km の範囲で行い、詳細な海底地形データと海底反射強度分布図を得た。海底反射強度画像には陸域から深海底への堆積物輸送を示唆する構造が確認された。また、静岡県「駿河湾北部沿岸域」をweb公開した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】沿岸域、活断層、音波探査、堆積作用、相模湾

【テーマ題目11】沿岸域の地質・活断層調査－陸海接合の物理探査（地球物理 RG-1）（運営費交付金：重点プロジェクト）

【研究代表者】伊藤 忍（地球物理研究グループ）

【研究担当者】伊藤 忍、山口 和雄、木下 佐和子、横倉 隆伸（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

沿岸付近の陸域と海域の地質情報の整備を目的として、地震探査・重力探査の新規調査、既存データの情報収集と再解析を行う。平成28年度は、神奈川県平塚市および千葉県横芝光町で新規の反射法地震探査を実施した。

神奈川県平塚市内の調査は、鈴川・大根川沿いの測線と金目川河口付近の海岸の測線で実施した。前者は、伊勢原断層および公所断層の延長線上の約3.3 km の測線で実施し、それらの断層の延長部が伏在しているか否かを検証することを目的としている。後者は、金目川河口を挟む約2.2 km の測線で実施し、高麗山と市内中心部の間に存在する変位の成因を明らかにすることを目的としている。千葉県横芝光町での調査は、栗山川を挟む約3.5 km の測線で実施し、沖積層基底の深度分布を明らかにすることを目的としている。いずれの調査の深度数百 m 程度までを対象とし、震源に P 波油圧インパクトを使用した。これらの調査のうち、金目川と栗山川を横断する際には、独立型地震探査システムを使用した。独立型地震探査システムを使用することにより、河川を横

断する測線で調査を実施することが可能となった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕沿岸域、関東平野、九十九里低地、沖積層、埋没谷、相模平野、伊勢原断層、公所断層、反射法地震探査

〔テーマ題目12〕沿岸域の地質・活断層調査－陸海接合の物理探査（地球物理 RG-2）（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕大熊 茂雄（資源テクトニクス研究グループ）

〔研究担当者〕大熊 茂雄、宮川 歩夢、岩田 光義、江戸 将寿、駒澤 正夫、中塚 正（常勤職員2名、他4名）

〔研究内容〕

陸域と沿岸海域とをつないだシームレス地球物理図を作成し、活断層や地下地質を含めた統合化された地質情報を提供することを目的として、本研究では陸海接合の物理探査を行う。平成28年度は、神奈川県三浦半島葉山町付近を中心に相模湾東部沿岸域の陸・海域に渡る東西（15 km～20.25 km）×南北12 km の範囲を、標準対地高度150 m、主測線間隔250 m の低高度・高密度測線配置で高分解能空中磁気探査実施した。調査ヘリコプターは AS350B3で、上昇能力に優れ地形起伏への追従性が良く国内での調査に適している。調査は、2016年10月31日～同年11月8日（含む空輸日）の期間、伊勢原市の子易場外ヘリポートを基地として実施した。調査データを編集し暫定版の空中磁気図（全磁力異常）作成した結果、三浦半島北部から江の島にかけて東南東－西北西方向の高磁気異常帯が分布し、葉山隆起帯の海域延長が示唆された。また、調査地域東端付近の衣笠断層や北武断層沿いで複数の高磁気異常が分布しており、地表で一部露出が認められている蛇紋岩類や玄武岩類の伏在分布に対応するものと考えられる。一方、海域では亀城海脚付近で長波長の高磁気異常に重畳して逆帯磁型の磁気異常が複数分布し、複雑な構造を示唆している。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕高分解能空中磁気探査、空中磁気図、磁気異常、地球物理図、相模湾東部

〔テーマ題目13〕沿岸域の地質・活断層調査－平野域の地質調査（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕水野 清秀（平野地質研究グループ）

〔研究担当者〕水野 清秀、佐藤 善輝、小松原 純子、小松原 琢、中島 礼、田邊 晋、納谷 友規、久保 純子（早稲田大学）、國本 節子、田中 ゆみ子、加藤 正人（常勤職員7名、他4名）

〔研究内容〕

陸域と沿岸海域とをつないだシームレス地質図を作成し、活断層や地下地質を含めた統合化された地質情報を提供することを目的として、本研究では平野域の地質調査、特に沖積低地の地下地質と丘陵～台地の地質構造に関する調査を行う。平成26年度から28年度にかけての調査対象範囲は相模湾沿岸域から房総半島沿岸域であり、その中でも足柄平野、相模平野とその間の大磯丘陵、さらに九十九里平野を重点的に調査している。平成28年度は、主として足柄平野と相模平野のボーリング調査を行い、コアの解析を進めた。また、九十九里平野のボーリングコアの解析及び大磯丘陵の補足調査を行った。

足柄平野では、およそ3,000年前の国府津－松田断層の活動による沈降イベントが報告されているが、それを検証する目的で、鴨宮地区にて深度15 m のオールコアボーリング調査を実施するとともに、田島地区の既存ボーリングコアを用いて花粉分析を実施した。鴨宮地区のコアでは、想定される層準に、海成層やイベント堆積物などの明瞭な沈降イベントの証拠はみつからなかった。一方、田島地区の花粉分析では、局所的な層準で草本花粉の比率が増加し、抽水植物の花粉がみられることから、一時的に湿地的環境になったと推定され、断層運動を反映している可能性が考えられた。

相模平野では、大磯丘陵東端に位置する公所断層の少し東側の長持地区で深度50 m、さらに東方の平塚市街地浅間地区で深度92 m のボーリング調査を行った。長持地区では、深度約13.7 m に沖積層の基底があり、それ以深では挟まる軽石層の特徴から20万年前ころの地層が分布すると考えられ、沈降速度が小さいと推定された。一方、浅間地区では深度88 m 付近に沖積層の基底があると考えられ、最終氷期に形成された谷部に位置すると推定された。

九十九里平野については、前年度に実施したボーリングコアの追加年代測定などを行い、海浜の発達過程を詳細に検討した。また、大磯丘陵の地質調査では、主要な活断層のほか中部更新統を切る古い断層の分布を明らかにした。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕ボーリング調査、活断層、シームレス地質情報、地下地質、足柄平野、相模平野、九十九里平野、大磯丘陵

〔テーマ題目14〕沿岸域の地質・活断層調査－関東南部沿岸域の地質・活構造情報図の整備（運営費交付金：重点プロジェクト）

〔研究代表者〕尾崎 正紀（情報地質研究グループ）

〔研究担当者〕尾崎 正紀、小松原 琢（常勤職員2名）

〔研究内容〕

関東平野南部沿岸域における、海陸でシームレスな地質・活構造情報の整備を目的として、陸域において下記

の2テーマを実施。

(1) 大多喜地域の2万5千分の1地質図の作成、及び鴨川低地断層帯の活動性評価のための地質情報整備を行う。平成28年度は、鴨川低地帯の成果として、(a)鴨川低地帯の南部においてこれまで活断層として扱われてきたリニアメントは、変位の向きが新第三紀以降の総変位(南落ち逆断層)と地形から想定される向き(北落ち)で異なっていることや、断層近傍では横ずれの条線がわずかながら認められる程度であることから活断層でない可能性が高いこと、(b)その南の丘陵に断続的に分布するリニアメント近傍においては河川の屈曲と一致して横ずれを示す条線や未固結粘土を伴う小断層が認められることから活断層の可能性を否定できないことをまとめた。また、これらの成果を学会誌に寄稿し、受理された。

(2) 関東平野南部沿岸域の20万分の1活構造図、相模湾沿岸域の5万分の1シームレス地質図、及び東京・横浜周辺地域の2万5千分の1シームレス地質図の作成を行う。平成28年度は、相模湾沿岸域のうち、三浦半島北部～多摩丘陵南東部、足柄平野周辺の5万分の1シームレス地質図について編纂作業を行った。全体の成果は、平成30年度にシームレス地質図として Web 出版する予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地表踏査、活断層、第四紀堆積物、シームレス地質図、活構造図、房総半島、鴨川低地帯、三浦半島、足柄平野

【テーマ題目15】沿岸域の地質・活断層調査—東京湾西部の沖積層アトラス(運営費交付金：重点プロジェクト)

【研究代表者】田邊 晋(平野地質研究グループ)

【研究担当者】田邊 晋、中島 礼、國本 節子
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

本研究は、現在の荒川の河口から横浜市にかけた東京湾西部の沿岸低地を対象として、沖積層の分布と層序、物性、成因を明らかにし、地震動予測などの応用研究に資する地質情報を整備することを目的としている。平成28年度は、平成27年度までに多摩川低地において採取したボーリングコア堆積物とボーリング柱状図データベースの解析結果のとりまとめ、そして多摩川低地における更なるボーリングコア堆積物の掘削地点の選定を行った。解析結果としては、多摩川低地における基底礫層の上位の沖積層が、下位よりユニット A(干潟堆積物)、ユニット B(湾頭デルタ堆積物)、ユニット C(デルタ堆積物)、ユニット D(河川堆積物)に区分され、11.2 cal kyr BP 以降の堆積年代を有すること。ユニット Aの基底は海進面、ユニット B・C 境界は最大海氾濫面(7.9～7.8 cal kyr BP)と認定され、沖積層の同時間線

は、最大海氾濫面より下位では後退的かつ累重的、それより上位では前進的な累重様式をしめすこと。ユニット Cは、いわゆる内湾泥層とみなせ、含水率が高いことから、その分布域は相対的に軟弱な地盤を形成することなどが分かった。このような解析結果に基づいて、東京都大田区の2地点と川崎市中原区の1地点、横浜市港北区の1地点を更なるボーリングコア堆積物の掘削地点として選定した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】多摩川低地、沖積層、層序、堆積相、放射性炭素年代

【テーマ題目16】沿岸域の地質・活断層調査—海陸空間情報の整備(運営費交付金：重点プロジェクト)

【研究代表者】尾崎 正紀(情報地質研究グループ)

【研究担当者】尾崎 正紀、田中 裕一郎、川畑 大作、加藤 敏、佐藤 美子
(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

沿岸域の地質・活断層調査で得られた成果を空間情報として整備・標準化させるとともに、インターネットでの公開手法などを検討し、広く国内に流通させていくことを目的とする。また、プロジェクト内の情報の共有環境の構築を行う。更に、年度毎の速報及び地域毎の成果(海陸シームレス地質情報集)のとりまとめや公開用データの作成などを行う。

平成28年度は、平成27年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告(速報)を冊子出版、海陸シームレス地質情報集「駿河湾北部沿岸域」を Web 出版にて公開した。また、オープンデータの全面的な Web 配信方針に対応させ、プロジェクトの HP を大幅に改訂した。更に、平成29年度公開に向け、「駿河湾北部沿岸域」の成果を空間情報として整備した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】空間情報、情報共有、標準化、海陸シームレス地質情報集

【テーマ題目17】衛星データのアーカイブ・品質管理・配信に関する研究(運営費交付金：重点プロジェクト)

【研究代表者】岩男 弘毅(リモートセンシング研究グループ)

【研究担当者】土田 聡、岩男 弘毅、山本 浩万、小畑 建太、永谷 泉、浦井 稔、堂山 友己子(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

地球観測衛星から撮影した衛星データは地球規模の地質防災、資源探査等の利用において極めて重要な情報であり、本研究では、地質情報としての衛星データの整備

と活用を目指す。衛星情報から潜在的な地質情報を抽出し、これをデータベース化・デジタル化された地質情報と統合することにより、資源管理、地質災害等に関する研究に資するデータを整備する。特に ASTER については、NASA で受信した生データの処理を定期的に行い、その結果を宇宙システム開発利用推進機構、米国 NASA/USGS に定常的、かつ安定的に提供（年間、約 16,000 シーンを処理・提供）する環境を維持した。また、2016年4月1日より、地質分野が提供するサービスの一つとして、ASTER-VA の一般公開を開始した。昨年度一年間で累計約150万シーンのデータへのアクセスがあった。

データの提供にあたって、品質管理されたデータを提供する必要がある。これを実現するため代替校正、相互校正等に係る品質管理研究を引き続き行った。品質管理は、国際標準に関する議論が衛星データを管理する国際機関で議論されている。当グループでは、国際的団体 IEEE GRSS GISIS や CEOS IVOS において、衛星情報の国際標準化に基づく他機関の情報との連携と融合に向けた支援を行い、IVOS については会合の討議に参加した。また、国際的衛星データ品質保証のためのサイト上における ASTER データの定期的なデータ取得の調整を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】ASTER、衛星、品質管理、校正

【テーマ題目18】沖縄トラフ東縁海域の海底鉱物資源ポテンシャル調査（運営費交付金：戦略予算）

【研究代表者】池原 研（地質情報研究部門）

【研究担当者】池原 研、下田 玄、片山 肇、井上 卓彦、板木 拓也、佐藤 智之、天野 敦子、佐藤 太一、針金 由美子、後藤 孝介、石塚 治（活断層・火山研究部門）（常勤職員11名）

【研究内容】

我が国で鉱物資源の供給不安が広がる昨今、海底に賦存する鉱物資源の存在が注目されている。本研究では、沖縄トラフ東縁海域において海底地質調査を実施し、新たな海底熱水鉱床の発見の基礎となる深海曳航型海底表層地質探査システムの構築とこれを用いた海底地形・地質データの収集と解析が目的である。本年度は硫黄島島堆において深海曳航式探査装置による海底地形の詳細マッピングを実施した。結果として、硫黄島島堆カルデラ域全域のマッピングを完了するとともに、これまで船上設置型音響機器では確認できなかった詳細な海底表面構造や熱水ブルームらしき画像、海底下の火山岩などに対応した磁気異常データなどが得られた。また、沖縄トラフとの比較研究として、調査船からブルームが見つけない海域である八丈島西方や利島近傍での調査を実施し、

詳細海底地形データを取得した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】海底鉱物資源、海底熱水活動、硫黄島島堆、深海曳航式探査装置

【テーマ題目19】溺れたサンゴ礁の地質学（運営費交付金：戦略的課題推進費）

【研究代表者】荒井 晃作（地質情報研究部門）

【研究担当者】荒井 晃作、井上 卓彦、横山 心一郎（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

宮古島北東沖の海域において、Arai *et al.* (2016)が発表した沈水サンゴ礁の周辺において、マルチナロービーム精密地形調査を実施すると共に、ブーマー音源を用いた高分解能構造探査を実施した。高分解能構造探査に関して、数 m 以下の分解能の地下構造を取得することに成功した。その中に、明瞭に発達する強反射面を捉えた。強反射面は120~160 ms（往復走時：音速を1,500 m/s とすると90~120 m に換算される）で比較的平坦な面を形成していることが分かった。この強反射面を最大約25 ms（約19 m）の成層した堆積層が覆っている。この強反射面は、おそらく最終氷期の浸食面と考えられ、最終氷期の最大海退期にはこの海域は陸化しており、明瞭な浸食面が断面の強反射面として形成された。その後、最終氷期の海水準上昇に伴って、強反射面を覆うように一部ではサンゴ礁が発達していったものと考えられる。

精密地形調査の結果から、沈水サンゴ礁とその周辺に同様の沈水サンゴ礁と思われる高まり状の地形が3つ存在することを見いだした。3つの高まりは全体として、北西側にやや急な斜面を形成しており、一方の南東側はやや緩やかな斜面となる。このことから、現在の琉球弧のサンゴ礁の発達形態と同様で、北西方向からの卓越風に支配されている可能性が示唆される。また、高まりの縁辺には数 m 以下の2列あるいは3列のリム状の地形が認められた。それらが高まり内側に向かって後退した様子を示唆している。最終的には水深30数 m まで達し、その後、サンゴ礁が溺れたものと考えられる。これらのリムの段差深度と年代値を吟味することで、世界的にもこれまでにない、最終氷期以降の海水準上昇の詳細な変動を検討できる可能性が高い。さらに、これらの沈水サンゴ礁と考えられる高まり縁辺には崩壊地形が発達しているのが分かった。崩壊地形は各高まりの南かやや西斜面に1カ所のみ発達しており、南国特有の大きな台風による影響も考えられるが、地震やそれに伴う津波の影響も考えられる。自然災害の兆候が示唆されることから、今後、斜面崩壊の時期に関する検討も必要である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】精密地形調査、高分解能音波探査、沖縄海域、サンゴ礁、最終氷期、海水準変動

〔テーマ題目20〕 光ルミネッセンス（OSL）年代測定拠点の形成（運営費交付金：戦略的課題推進費）

〔研究代表者〕 田村 亨（海洋環境地質研究グループ）

〔研究担当者〕 田村 亨、杉崎 彩子、伊藤 一充（活断層・火山研究部門）（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本課題の目的は、産総研の光ルミネッセンス（OSL）年代測定室を国内の一大拠点として確立して社会的に増加する OSL 年代測定の需要に対応し、研究人材の育成に資することである。OSL 年代は、鉱物から発せられるルミネッセンスを利用した堆積年代測定法である。鉱物粒子に直接適用でき、10年～数十万の広い年代範囲に適用可能なことが長所である。過去15年間の論文数から、¹⁴C 年代と比較しても需要は大きく伸びている。産総研では2013年から国内最大の測定室を運用している。現在3名の常勤研究者が使用している。最近、民間会社を含め、年代測定の需要が増加し、今後同様の需要が期待される。こうした状況に対応するため、本課題では、新たに測定装置を追加して今後の民間会社との共同研究の需要に対応できる態勢を整える。

今年度は、最新式の OSL 年代測定装置であるデンマーク DTU 製 Risø OSL/TL DA-20'を導入した。装置にはベータ線源を備えるため、放射線管理区域の変更許可申請を行った。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 第四紀、防災、産業立地、年代測定

〔テーマ題目21〕 沿岸域地下空洞利用技術に係わる研究開発（運営費交付金：戦略的課題推進費）

〔研究代表者〕 田中 裕一郎（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 田中 裕一郎、長尾 正之、鈴木 淳、山岡 香子、佐藤 智之（常勤職員5名）

〔研究内容〕

今後の沿岸域地下空洞利用技術の実用化を目指し、「環境影響評価技術」および「沿岸地下構造探査技術」の開発を促進することを目的として、主に地下空洞利用を想定したモデル海域において、①周辺基礎地形、水中音響画像・反射強度データの取得と、②海底堆積物・海水の取得を行った。まず、炭鉱開発に伴う地質ならびに坑道データの豊富な蓄積がある長崎県池島で、マルチナロービーム測深機による海底地形・海底反射強度・水中音響画像を取得したほか、採泥と表層海水の採水を行った。なお、水中音響画像に基づいた水中音響散乱体の検知・3次元可視化技術の高度化を目指し、沖縄県八重山郡竹富島の海底温泉やその周辺海域をもう一つのモデル海域として、この海域の海底から噴出する気泡からの音響反射に基づく水中音響画像を海底地形と共にマルチビ

ーム測深機で取得した。これらの結果、池島周辺海域については、港湾内外と主な周囲浅海部分について詳細な海底地形と海底音響反射強度を得ることができた。また、港湾内外において水中音響画像を取得することができたほか、9地点で表層海水と表層堆積物を取得することができた。さらに、竹富海底温泉とその周辺海域では、主噴気孔とその周辺を中心に、海底から熱水とともに噴出する気泡の立体的分布や特徴を、音響画像から抽出することができ、その気泡の様相をサンゴ礁地形・熱水噴出孔地形上にマッピングすることに成功した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 沿岸、地形、環境影響評価、超音波、地下空間、マルチビーム測深機

〔テーマ題目22〕 平野地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 中島 礼（平野地質研究グループ）

〔研究担当者〕 中島 礼、水野 清秀、小松原 琢、小松原 純子、田邊 晋、納谷 友規、佐藤 善輝、田中 ゆみ子、國本 節子（常勤職員7名、他2名）

〔研究内容〕

本研究は、平野・盆地内あるいはその周辺丘陵地・台地や低地地下を構成する主に第四紀堆積物の堆積プロセス・層序・地質構造あるいは地形の形成プロセス、環境変動などを明らかにすることを目的としている。

平成28年度は、第四紀の年代層序や環境復元の研究として、房総半島上総層群下部に挟まるガラス質火山灰層の屈折率測定・火山ガラスの化学組成分析を行い、新たに5枚以上の火山灰層が広域に対比できることを示した。下北半島沖の海底コアの肉眼観察および化学分析と男鹿半島の露頭観察に基づき東北地方のテフラ層序を再検討した。茨城県内に分布する更新統下総層群の珪藻化石群集を調査し、古東京湾の沿岸珪藻フロラ的一端を明らかにした。

自然災害の調査として、4月に起こった熊本地震では、益城町周辺の家屋被害の分布を調査して帯状に被害集中域が分布することを明らかにし、微動アレイ調査を実施して被害集中域を含む地盤の特性を調査した。2015年関東・東北豪雨による鬼怒川の破堤堆積物について、粒度分析や堆積学的な特徴からその堆積プロセスや14世紀以降の2回の洪水からなることを明らかにした。歴史時代の地震の震央を人的犠牲から求める方法が過密都市でも適用できるかどうかを検討するために1995年兵庫県南部地震の事例について検討した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 第四紀、ボーリング調査、広域火山灰、南九州、常総水害堆積物、液状化現象

〔テーマ題目23〕 層序構造地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 中江 訓（層序構造地質研究グループ）

〔研究担当者〕 中江 訓、原 英俊、野田 篤、
工藤 崇、辻野 匠、宇都宮 正志、
伊藤 剛、大井 信三、原 康祐
(常勤職員7名、他2名)

〔研究内容〕

日本列島を構成する活動的島弧と、周辺の東・東南アジア諸国を含む大陸縁辺域における様々な地質現象を解明するための地質調査・研究を実施した。その結果として今年度は、以下の成果をあげた。

- ・タイ国東部のナン背弧海盆の発達過程を解明するため、砂岩・チャートを採取し碎屑性ジルコン U-Pb年代及び放射虫化石年代を求めた結果、背弧海盆堆積物の層序を復元できた。
- ・南中国のペルム系から、これまで知られていた記録よりも2億年古い世界最古の群体放射虫化石を発見し、その形態などを記載した。
- ・十和田湖周辺の第四系について地質調査・岩石学的分析を行なった結果、第四紀前半の火山活動を新たに見出し、その火山活動の中心が2.5~0.5 Maの間に空間的に移動し、マグマ組成が変化していることを明らかにした。
- ・新潟県糸魚川市で採取した礫岩中の礫から、県内最古の記録となるシルル紀放射虫化石を発見した。
- ・新潟県加茂地域の第三系色層序の背景を探るため、泥岩試料の有機炭素・窒素・硫黄分析を実施した結果、色と対応して七谷階下部/上部/下寺泊階/その上位に区分できることが判明した。
- ・房総半島に露出する前弧海盆堆積物において火山灰及び微化石層序を検討した結果、1.3 Maに大規模な海底地すべりが生じたことが明らかとなった。
- ・丹後地方のペルム系堆積層の形成・造構過程を解明するために、その初段階として含有微化石群集解析を行った結果、この堆積層はペルム紀の初頭~後半の堆積期間を有していることが判明した。
- ・西南日本に分布する和泉層群の堆積環境と堆積年代を明らかにするために、松山地域と池田地域の地質調査及び U-Pb 年代測定を実施し、およそ83 Maと80 Maの年代値を得た。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 層序、構造地質、微化石、活動的島弧

〔テーマ題目24〕 地殻岩石の研究 (運営費交付金)

〔研究代表者〕 宮崎 一博 (地殻岩石研究グループ)

〔研究担当者〕 宮崎 一博、竹内 圭史、高橋 浩、
濱崎 聡志、山崎 徹、佐藤 大介、
細井 淳、山下 康平、長田 充弘、
鈴木 文枝 (常勤職員7名、他3名)

〔研究内容〕

島弧地殻形成において重要な変形作用・変成作用・火成作用の進行過程を明らかにするため、日本列島の主要

な変成帯・火成岩体の野外調査、岩石試料の分析・解析、地質体及び岩石の形成モデリングを行い、以下のような成果を得た。1) 四国の白亜紀高压型変成岩中のフェンジャイト K-Ar 年代を行い、構造的低位に向かい年代が若くなることを見いだした。2) 近畿地方西部に分布する白亜紀珪長質火山岩地域に大規模なカルデラ (コールドロン) を発見した。3) 棚倉断層周辺地域の地質調査と年代測定を行い、急速な沈降運動直後の極めて短期間の間に、デイサイト海底火山活動がおこったことを明らかにした。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地殻、岩石、島弧、沈み込み帯、変成作用、火成作用

〔テーマ題目25〕 シームレス地質情報の研究 (運営費交付金)

〔研究代表者〕 西岡 芳晴

(シームレス地質情報研究グループ)

〔研究担当者〕 西岡 芳晴、巖谷 敏光、坂野 靖行、
長森 英明、内野 隆之、川畑 大作、
斎藤 眞、森尻 理恵、宝田 晋治、
内藤 一樹、吉川 敏之、中川 充
(常勤職員12名、他4名)

〔研究内容〕

20万分の1日本シームレス地質図の改訂に必要な基礎的な野外調査を行う。20万分の1日本シームレス地質図のシステム開発を行うと共に、次世代型20万分の1日本シームレス地質図の編集作業を主導する。地質調査の際にデータをデジタルデータとして直接収集するシステムの開発を行う。標準化の国際動向を把握して、シームレス地質図や地質情報のアジア地域での共通化に関する研究を行う。

本年度は、20万分の1日本シームレス地質図については、凡例を再構築して約2,400の凡例を持つ新バージョンV2の正式公開用のシステムを開発した。地質図Naviについては、2015年度出版図幅等のデータを追加し、日本百名山や県の石のデータを追加した。地層名検索データベースは対象データの追加を行い、さらに地質学会等からの新規データの入力を行った。標準化については、地質関連 JIS (A0204、A0205) の改定作業を進めた。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 シームレス地質図、統合、数値地質図、標準化、データベース、JIS、地層名、日本工業標準調査会

〔テーマ題目26〕 情報地質の研究 (運営費交付金)

〔研究代表者〕 中澤 努 (情報地質研究グループ)

〔研究担当者〕 中澤 努、尾崎 正紀、中野 司、
長 郁夫、野々垣 進 (常勤職員5名)

〔研究内容〕

本研究課題では、地層や地質試料から新たな地質情報を抽出し、それらを高度化・統合化することによって、新たな地質学的視点を創出する研究を行っている。

平成28年度は、2016年熊本地震で甚大な建物被害が生じた熊本県益城町の被害分布調査、微動アレイ調査、ボーリングコア解析を実施した。被害が台地縁の斜面下半部に集中したこと、被害集中域では特定の火砕流堆積物などが他よりも厚く分布し、平均 S 波速度がやや小さいことが明らかになった。また、筑波台地のボーリングコアの再検討を行った。層相・テフラ・花粉化石の解析から、筑波台地の地下の谷埋め堆積物について従来の層序対比と大きく異なる対比案を示した。常時微動のデータ取得手法に関する研究では、微動 H/V スペクトルについて理論に基づいて観測時間と統計誤差の関係式を作成し、実データを用いて妥当性を確認した。また、潮来市液状化地域で表面波探査と微動アレイの同時観測を複数回繰り返すことで微動アレイの浅部探査精度を検証した。新規テーマとして、浅部地盤の微動アレイ探査に適した速度構造インバージョンアルゴリズム・プログラムの開発にも着手した。3次元地質モデルの構築手法に関する研究として、これまでに開発してきた双3次 B-スプラインを用いた曲面推定プログラムを、フリーオープンソース GIS のひとつである GRASS GIS に組み込むモジュール群を作成した。これにより、GRASS GIS 上で効率的に3次元地質モデルを構築できるようになった。また、前年度開発した GPGPU 用ソフトウェアの改良版と超高分解能数値地形モデルを用いて日本各地の島嶼、山体や盆地の自己重力場を計算し、その結果から重力の鉛直成分の観測値に対しては従来のブーゲ重力補正でも問題がないことを示した。X 線 CT 岩石学の研究として、SPring-8 で開発した Scanning and Imaging X-ray Microscope (SIXM) CT 装置を用いて小惑星探査機「はやぶサ2」によるリターンサンプル分析のための予備実験を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】情報地質、3次元解析、地質層序、X 線 CT 岩石学

【テーマ題目27】リモートセンシングの研究（運営費交付金）

【研究代表者】岩男 弘毅（リモートセンシング研究グループ）

【研究担当者】岩男 弘毅、二宮 芳樹、山本 浩万、小畑 建太、永谷 泉、浦井 稔、堂山 友己子（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

衛星情報を用いた地質・資源・防災・環境等の研究開発を行った。地質・資源に係る研究としては広大なチベット高原中部区域を対象とした広域岩相・鉱物マッピング研究結果が査読付き国際誌に採択された。また、「タ

リム盆地および周辺地域」と「タジキスタン国パミール山岳地域」の広域マッピングを実施し、広域岩相・鉱物マッピング結果の一部を共同研究者に提供することにより、国際共同研究プロジェクトへの貢献を果たした。地質防災に係る研究としては、熊本地震に起因する斜面崩壊と ASTER データにおける NDVI 変化の関係を解析し、衛星リモートセンシングを用いた斜面崩壊地域の長期モニタリングの可能性を示した。環境に係る研究としては、前年度開発した ASTER GDEM を用いた全球浸水シミュレーションシステムの公開を行った。さらに、海底地形にも対応するような開発を新たに行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】ASTER、衛星、チベット、岩相・鉱物マッピング

【テーマ題目28】海洋地質の研究（運営費交付金）

【研究代表者】片山 肇（海洋地質研究グループ）

【研究担当者】片山 肇、板木 拓也、井上 卓彦、天野 敦子、佐藤 智之、杉崎 彩子（常勤職員6名、他6名）

【研究内容】

日本周辺海域の海洋地質情報を整備公開するとともに、日本周辺海域の地質構造発達史、活断層評価、堆積作用、古環境変動、海底火山や熱水活動等に伴う地質現象の解明を目指している。今年度は以下のような成果を得た。

日本周辺海域の地質構造に関する研究では、宮古島周辺海域および相模湾海域の音波探査や地形調査から、これらの海域の層序や活構造、地質構造発達史に関する解析を行った。また、沿岸海域と陸域との連続性について検討を進めた。さらに、沖縄トラフ東縁海域や伊豆小笠原海域において海底鉱物資源ポテンシャルに関わる地質構造探査を行った。堆積作用の研究では、相模湾の堆積物調査を行うとともに、沖縄・奄美周辺海域における堆積作用の検討を進めた。古環境変動の研究では、沖縄周辺、日本海および房総沖等で採取された柱状試料および表層堆積物試料を用い、微化石、バイオマーカー、放射性炭素および光ルミネッセンス年代等の分析結果などを基に海洋環境の変遷およびその原因となった海水準変動や海洋循環の変動との関係について検討した。さらに、これまでの海洋調査で取得された音波探査記録および堆積物試料のデータベース化を進めた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】海洋地質、日本周辺海域、海底地質構造、海域活断層、堆積作用、古環境

【テーマ題目29】地球変動史の研究（運営費交付金）

【研究代表者】渡辺 真人（地球変動史研究グループ）

【研究担当者】渡辺 真人、七山 太、小田 啓邦、兼子 尚知、佐藤 雅彦（常勤職員5名）

〔研究内容〕

1) 新生代統合高分解能タイムスケールの研究

珪藻、火山灰、古地磁気等を統合する中新世以降の高分解能タイムスケールの高精度化に関する研究を行うとともに、高分解能タイムスケールを利用して日本列島の新生界の層序を再検討する。本年度は北海道沼田地域と網走地域の新第三系の珪藻化石層序の検討を行い、層序と地層対比を改訂した。

2) 古地磁気変動と岩石磁気に関する研究

古地磁気強度変動に関する研究、地磁気逆転・エクスカージョンの詳細とその宇宙線生成核種との関連に関する研究、古地磁気記録の信頼性向上と古地磁気層序への応用、磁気顕微鏡に関する基礎技術開発等を行う。また、岩石磁気手法の古環境研究への応用も行う。本年度は SQUID 磁気顕微鏡の SN 比向上と液化循環装置の検討、古地磁気連続測定データのデコンボリューションの改良を行った。また、琵琶湖堆積物の古地磁気測定と解析を行った。岩石磁気研究としては、斜交非履歴性残留磁化の基本的性質に関する研究を行った。

3) 堆積物の分析手法に関する基礎的研究

堆積物の採取方法、堆積物の非破壊イメージング、粒度分析等の基礎的研究を行う。本年度は桜島噴火時に採取された降下火山灰を用いて、粒径と粒子形状のパラメーターと火口からの飛行距離との相関について、検討を行った。一方、福岡大学と共同で、石垣島の白保竿根田原洞穴遺跡に分布する津波堆積物の粒度組成の検討を予察的に行った。

4) 物理探査の研究

地球物理マッピング技術を用いて海底拡大系の研究を行う。また、海底地質構造探査を高分解能化するために潜水船や ROV を用いた海底近傍での磁気探査技術の研究を行う。さらに、地中レーダーや高分解能地層探査装置を用いた沿岸域堆積物のイメージングに関する技術、およびその基礎となる堆積学的研究を行う。本年度は響灘重磁力異常図の作成を行った。

5) 大型化石による古環境解析に関する研究

過去の地球環境のより高精度な復元をめざし、大型化石の記載分類学的研究に基づく古環境指標ポテンシャルの評価と、化石の炭酸塩骨格を対象とした酸素・炭素同位体組成分析結果に基づく古海水温推定に関する研究を行う。本年度は歌登産デスモスチルス標本のうち未記載であったものの記載を行った。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 複合年代層序、タイムスケール、テクトニクス、物理探査、地球物理マッピング、古地磁気、岩石磁気、沿岸堆積物、地中レーダー、粒度分析、大型化石、古環境解析

〔テーマ題目30〕 海洋環境地質の研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 鈴木 淳（海洋環境地質研究グループ）

〔研究担当者〕 鈴木 淳、高橋 暁、長尾 正之、田村 亨、山岡 香子（常勤職員5名）

〔研究内容〕

人類活動により影響を受ける将来の環境を考えるため、都市沿岸域の環境及び海洋・地球環境について、環境変動幅と変動要因を明らかにすべく、安定同位体比分析法および光ルミネッセンス（OSL）年代測定法の高度化を進めると共に、海洋環境地質に関する研究を実施した。

海洋酸性化や水温上昇が炭酸塩殻生物に与える影響に関する研究の一環として、造礁サンゴの初生ポリプについて、各種の実験的検討を行って、骨格の微細計測等の手法を適応しつつ、石灰化メカニズムについて検討を実施した。共生藻類の感染がサンゴポリプ骨格の形態形成に大きな影響を与えること、海水の石灰化部位への到達とポリプによる石灰化部位の pH 調整の存在などについて新しい知見を得た。

砂質沿岸域の古環境復元に関する研究については、国内では鳥取県弓ヶ浜半島や屏風山砂丘、国外では、オーストラリア東部～南部のクリーズランド州からビクトリア州にかけての地域、メコンデルタを対象とした研究を展開し、採取した試料について光ルミネッセンス（OSL）年代測定を行うことにより、環境の詳細な変遷を解明した。

海底鉱物資源の環境影響評価に係わる研究として、コバルトリッチクラストを対象にして、国際海底機構の定める環境ガイドラインの適用を想定した環境ベースライン調査について、生物地球化学及び海洋生態学的手法を用いた調査手法についての基礎検討を実施した。また、日本周辺海域鉱物資源分布図の改訂を目指し、日本周辺海域に分布するマンガンクラストにおける水深と厚さの関係や、成因と化学組成の関係などのデータ収集と検討を実施した。

この他、地質調査関連技術の高度化と普及を進めた。土壌を対象とした各種同位体を用いた環境汚染評価手法の検討を行った。音響反射強度から底質判別を行う沿岸観測手法の高度化や、代表的な沿岸海域である瀬戸内海の持続的発展のため環境影響評価技術の高度化を進めた。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地球温暖化、海洋酸性化、海面上昇、沿岸、炭素循環、気候変動、古海洋学、サンゴ礁、デルタ、酸素同位体比、土壌、光ルミネッセンス年代測定法

〔テーマ題目31〕 資源テクトニクスの研究（運営費交付金）

〔研究代表者〕 下田 玄
（資源テクトニクス研究グループ）

〔研究担当者〕 下田 玄、大熊 茂雄、針金 由美子、佐藤 太一、後藤 孝介、田中 弓、

佐久間 仁美、中塚 正
(常勤職員5名、他3名)

【研究内容】

海底鉱物資源の広域調査の指標を確立するため、高精度化学分析に適した実験室環境の構築をした。これにより、地質学的試料の元素・同位体分析の為の環境を整え、海底鉱物資源の形成プロセスに基づいた探査手法の開発を行った。具体的には、海底鉱物資源に関連する様々な試料の元素分析や同位体分析を行い、地球化学的指標の検討を引き続き行った。海底鉱物資源探査指標の確立には、海底から採取した基盤岩の有用元素の分布を調べることが重要である。なぜなら、鉱床の成因や規模を特定することが期待できるからである。これらの手法を陸域の塊状硫化物鉱床に適用して有用性を検証すれば、海域の鉱化作用の分布と規模の評価への応用が可能になると考えているので、画像解析に関する研究も行った。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】海底鉱物資源、テクトニクス、伊豆小笠原海域、フィリピン海プレート、地球化学、岩石学

【テーマ題目32】地球化学の研究（運営費交付金）

【研究代表者】岡井 貴司（地球化学研究グループ）

【研究担当者】岡井 貴司、太田 充恒、久保田 蘭、御子柴 真澄（常勤職員4名）

【研究内容】

地殻における元素の地球化学的挙動解明の研究として、炭酸塩中の元素の挙動と分析法の研究、火成岩の地球化学的研究、鉱物・土壌・堆積物等における微量元素の挙動及び存在形態解析の研究を行った。

炭酸塩中の元素の挙動と分析法の研究では、サンゴ中の Sr/Ca 比及び Mg/Ca 比等を用いた環境変動の解明について、天然及び飼育サンゴを用いて検討するとともに、秋吉地区石灰岩中のリンを用いた過去の海洋環境変動解明の検討を行った。火成岩の地球化学的研究では、東北地方の基盤岩類の地球化学的データのとりまとめを行った。鉱物・土壌・堆積物等における微量元素の挙動及び存在形態解析の研究では、堆積物中の元素存在形態の長期安定性評価のために、銅、亜鉛、硫黄、マンガンの X線吸収分光法による測定及び国際的に規定された逐次溶解法である BCR 法を用いた試料の前処理及び保管条件による違いの検討を行い、銅及び亜鉛解析結果及び BCR 法の検討結果を取りまとめて各々報告するとともに、鉄マンガン酸化物中の希土類元素の局所構造変化が分配係数に与える影響と原子間距離の理論的推定法を報告した。また、瀬戸内海～土佐沖及び東北周辺海域の表層堆積物中の元素の挙動について陸域からの影響も含めて検討し各々結果を報告するとともに、沖縄周辺海域表層堆積物の元素分析及び九州周辺海域の元素濃度支配要因の検討を行った。その他、豊田市、松山市周辺のストロンチウ

ム同位体分布の取りまとめ、八丈島土壌試料の XRD 分析による含有鉱物の同定等を行った。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】地球化学、土壌、堆積物、炭酸塩、火成岩、存在形態

【テーマ題目33】地球物理の研究（運営費交付金）

【研究代表者】名和 一成（地球物理研究グループ）

【研究担当者】名和 一成、伊藤 忍、山口 和雄、大滝 壽樹、大谷 竜、住田 達哉、宮川 歩夢、村田 泰章（福島再生エネルギー研究センター）、横倉 隆伸、木下 佐和子、浜橋 真理、駒澤 正夫、稲崎 富士（常勤職員8名、他5名）

【研究内容】

国土及び周辺地域の地下構造・地下動態の把握・解明の為に、各種物理的手法による計測・探査・解析・解釈技術の開発・改良を行う。複数の地質・地球物理情報に基づく、モデリング・モニタリング手法やシミュレーション手法の開発を行う。所内外の連携研究を中心としたプロジェクト研究の基礎を支え、将来の新しいプロジェクト創出となる萌芽的研究も実施する。具体的には、日本の陸域の地質情報整備の一環としての地球物理図の整備と沿岸域の海陸シームレス地質情報の整備の基礎を支える。また地質調査総合センターの他部門・グループとの連携研究を推進するとともに、計量標準総合センターや他の研究機関、民間企業との連携・共同研究にも積極的に携わる。平成28年度中の具体的な成果として、地質調査総合センターの出版物として和歌山地域重力図（ブーゲー異常）及び海陸シームレス地質情報集「駿河湾北部沿岸域」を WEB 出版した。平成28年4月に発生した熊本地震に関する研究成果をはじめとする論文を国際誌上で発表することができた。科学研究費補助金による継続課題を進捗させるとともに、新規課題も採択された。大学・公的研究機関との共同研究・共同利用に加えて、財団法人・民間企業等との共同研究・技術コンサルティングも実施した。前年度から引き続きリサーチアシスタントとポスドクを雇用し、物理探査をコア技術とした地質の調査に携われる人材の育成にも取り組んだ。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】地球物理、地殻構造、地球ダイナミクス、地球科学情報、重力探査、重力モニタリング、地震探査、地震波解析

【テーマ題目34】地球化学標準試料 ISO（地質分野特定事業費）（成果普及品自己財源）

【研究代表者】岡井 貴司（地球化学研究グループ）

【研究担当者】岡井 貴司、今井 登、太田 充恒、久保田 蘭、御子柴 真澄、立花 好子

(常勤職員4名、他2名)

【研究内容】

地質試料は多種・多様な成分で構成され、化学分析の際には各成分が互いに影響しあうため、正確な分析を行うためには、目的とする試料と主要な化学組成が良く似た、目的成分の濃度が決められている標準試料が必要不可欠である。地質情報研究部門は化学分析用岩石標準試料の国内唯一の発行機関として、1964年以来50年以上にわたって地質関連試料の標準試料を作製し、世界各国の研究機関との共同研究により、化学組成や同位体組成、年代値の信頼性の高いデータを定め公表してきた。この標準試料は世界中で活用されており、分析精度を高める標準として世界的に大きな貢献をしている。しかしながら、近年の国際化の動きの中で、標準物質は国際的な標準である ISO のガイドラインに対応することが必要とされるようになってきたため、当部門発行の岩石標準試料についても、NITE 認定センターより、ISO に対応した標準物質生産者としての認定 (ASNITE 認定) を取得し、ISO の規定に則った認証標準物質 (地球化学標準物質) とした。標準試料の各種情報はデータベースとしてインターネット上で公開しており、認証書の見本や、これまでに報告された各試料および成分毎の個別的分析データ等を見ることが出来る。

本年度は、花崗岩標準試料 JG-3 の在庫が少なくなったため、再調製試料として、JG-3a 試料を作製した。試料は、JG-3 作製時に採取され、保存されていた、島根県雲南市の花崗岩試料 (三刀屋花崗岩) 140 kg を用い、粉碎・篩い分け・瓶詰めを行って、100 g 入り 1,100 本を作製した。源岩には、ブロック状の貫入物がある部分があり、事前分析の結果、ブロック状貫入物の部分は他の部分と化学組成が異なったため、風化部分とともに、目に見える範囲で可能な限り取り除いて粉碎に用いた。ボールミルでの粉碎に際しては、試料量が十分にある場合は、アルミナボールとともに、こぶし大の源岩も粉碎用のボールとして使用しており、今回は源岩ボール 8 kg + アルミナボール 150 kg で、80 時間粉碎を行った。主成分元素について粉碎直後に行った分析では、JG-3 試料とほぼ同程度で、いずれの元素においても均質性に問題はなかった。また、JG-2a 試料の共同分析は、主成分 (12 成分) について、昨年度、外部 7 機関及び地球化学研究グループの計 8 機関で行ったが、本年度、外部の 2 機関を追加し、合わせて 10 機関分のデータがそろったところで、統計処理を行い、仮認証値を設定した。統計処理はロバスト法を用い、通常 z スコアが 2 を超える値を棄却して行うが、最も主要な成分である二酸化ケイ素については、分析方法が重量法を主体としたものであること等を考慮し、z スコアが 1 を超える値を棄却して仮認証値を設定した。

標準物質生産者としての ISO 認定の維持に必要な各種文書やデータ類の管理においては、マニュアル・記録

類の維持・管理を行うとともに、内部監査等を通じて文書の改善を行い、品質管理を向上させた。

【領 域 名】 地質調査総合センター

【キーワード】 国際標準、標準物質、地球化学、岩石、土壌、化学組成

【テーマ題目35】 アジアの海岸沿岸域における基礎地質情報と環境保全に関する研究 (運営費交付金)

【研究代表者】 齋藤 文紀 (地質情報研究部門)

【研究担当者】 齋藤 文紀 (常勤職員1名)

【研究内容】

アジアの海岸沿岸域における基礎地質情報と環境保全に資するため、中国地質調査局青島海洋地質研究所、華東師範大学、アンドラ大学等と共同研究を行った。青島海洋地質研究所との共同研究では、黄河河口周辺海域の渤海から採取した堆積物柱状試料を分析し、1976 年以降の堆積物の特徴を明らかにした。インド半島東部のゴダバリデルタについては、採取したボーリング試料の解析から完新世における気候変化と人間活動の影響を明らかにした。また台湾南西部のデルタについて完新世の堆積量を取りまとめ、沖合に拡散した堆積物が台湾海流によって東シナ海の堆積作用に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。

【領 域 名】 地質調査総合センター

【キーワード】 アジア、デルタ、沿岸、平野、地球環境

⑤【地質情報基盤センター】

(Geoinformation Service Center)

所在地：つくば中央第7

人 員：28名 (8名)

概 要：

地質情報基盤センターは、地質調査総合センターの研究部門及び同研究企画室との密接な連携のもとに、地質・地球科学に関する信頼性の高い、公正な地質情報を国民に提供している。国土の利用、地震・火山噴火等の災害対策、資源の確保、環境問題などへの対応に効果的に使われるべき公共財として、地質情報の活用の利便性向上を図っている。また、世界的にユニークな地球科学専門の博物館である地質標本館を運営している。ここでは地質標本とともに日本や世界の地質、天然資源、地質災害、地球と人類の関わりについての最新の科学的成果を展示し、土・日・祝日も開館している。さらに、地質試料等の整備・調製、並びにこれらに係る研究支援業務を行っている。

機構図 (2017/3/31現在)

【地質情報基盤センター】 センター長 渡部 芳夫

次長 佐脇 貴幸
 次長 利光 誠一
 総括主幹 加瀬 治
 総括主幹 川鈴木 宏
 [整備推進室] 室長 吉川 敏之
 [出版室] 室長 加瀬 治
 [アーカイブ室] 室長 内藤 一樹
 [地質標本館室] 室長 川鈴木 宏

質図類のより一層の利活用促進を目指し、ウェブ等を通じて研究成果の紹介・普及を進めた。

アーカイブ室
 (Archive Office)

(つくば中央第7)

概要:

アーカイブ室は、「地質の調査」に係るメタデータの整備及び提供、地質文献資料・地質図等の収集・管理、地質試料の登録・管理・利用支援・データベース化及び機関アーカイブに関する業務を掌る。

メタデータの整備については、地質文献データベース及び地理空間情報クリアリングハウスにおいて、それぞれの管理・運営とデータの追加更新を行った。文献資料・地質図等の収集活動については、国内外関連機関との文献交換等を通じて行った。明治～戦前発行の貴重図等の永久保存のために、簡易修理及び脱酸性化作業を行った。文献収集活動等の情報の整備とデータベースによる提供を組織的に行うことにより、地質情報の活用を促進した。既刊出版物、標本館グッズ、標準試料の管理・頒布・払い出し・オンデマンド印刷を行った。地質試料の管理については、登録試料の現品確認を進めた。機関アーカイブに関しては、印刷校正データも含め、登録・保管を進めた。

 整備推進室

(Data Services and Communication Office)

(つくば中央第7)

概要:

整備推進室は、地質情報の整備・統合・発信に関するニーズ把握・計画・調整・ウェブサービス、ならびに法制度・標準化・国際関係・産学官連携にかかる管理機能を所掌する組織として、地質調査総合センター公式研究成果の地理空間情報に係るデータ整備とウェブからの発信、そして利活用調査を行った。

データ整備では既刊の42区画分の5万分の1地質図幅 Shapefile と kml のベクトル形式のデータを追加公開した。また、出版済み火山地質図のベクトルデータ制作を開始するとともに、富士火山地質図(第2版)の Shapefile ベクトル形式データを制作・公開した。

ウェブからの発信では、地質調査総合センター公式ウェブサイトの管理、クラウドコンピュータ上でデータベースシステムの運用及び改善を進めるとともに、GitHub によるオープンソースソフトウェアのソースコード公開を開始した。また、地質標本館キッズページの制作を進めた。

利活用調査では、国内外の地質情報利活用事例や市場ニーズの調査を進め、とりまとめた結果を公開した。

出版室

(Publication Office)

(つくば中央第7)

概要:

出版室は、産総研の「地質の調査」業務に基づく地質・地球科学に関する研究成果の出版及び管理、地質情報の標準化整備及び数値化、並びにこれら研究成果の普及に関する業務を行った。研究部門・センターで作成された地質図・地球科学図の編集と出版、研究報告書、GSJ 地質ニュースの編集と出版、データ集のCD-ROM 出版を行った。また、地質出版物・データベースの著作物利用申請に対応した。

地質情報整備では地質情報に関する標準化を進めており、既刊地質図類のラスタデータ整備を実施した。また、地質領域研究企画室と協力して地質情報展等の地質関連イベントで成果普及活動を行うとともに、地

地質標本館室

(Geological Museum Office)

(つくば中央第7)

概要:

地質標本館室は、運営グループ及び地質試料調製グループの2つのグループから構成される。平成28年度においては、以下を実施した。

運営グループは、地質標本館の運営、展示及び管理に関する業務並びに地質標本館における地質の調査に係るアウトリーチに関する業務を担当し、新しいイベント「GSJ ジオ・サロン」を月1回定期的に開催したほか「山と平野とジオパークー筑波山地域ジオパークの地質ー」をはじめとした特別展示、多数のイベントや講演会等の実施並びに外部出展協力を実施した。

地質試料調製グループは、薄片及び研磨片等試料の調製に関する業務を担当し、岩石薄片・研磨片等1,420枚の作製、知財の実施2件、研究関連普及出版物1件の作製、成果普及イベントへの協力等を実施した。また、地質標本館薄片関係展示の更新も行った。

2グループとも、技術研修生を受け入れる等、研究所外の人材育成等にも協力した。

地質の調査

① 地球科学図

本年度の各種地質図類の編集・発行は、重力図1件、5万分の1地質図幅3件、海洋地質図1件、土壌評価図1件、海陸シームレス地質図1件、特殊地質図1件である。

刊 行 物 名	件 数	発行部数	摘 要
	図類・冊子		
重力図（ブーゲー異常図）	ウェブ出版		No.32 和歌山地域重力図
5万分の1地質図幅	3・3	各 1,500	母島列島 播州赤穂 新潟及び内野
海洋地質図	CD-ROM 1	1,000	No.88 見島沖海底地質図
土壌評価図	ウェブ出版		No.7 表層土壌評価基本図～高知県地域～
海陸シームレス地質図	ウェブ出版		S-5 海陸シームレス地質情報集「駿河湾沿岸域」
特殊地質図	1・1	2,500	No.12 富士火山地質図（第2版）

② 地球科学研究報告

本年度の研究報告書は、地質調査研究報告が第67巻1号～6号6件、活断層・古地震研究報告1件、地質調査総合センター速報3件である。

刊 行 物 名	件 数	発行部数	摘 要
地質調査研究報告	6	各 200	Vol.67 No. 1, 2, 3, 4, 5, 6
活断層・古地震研究報告	1	1,450	活断層・古地震研究報告 第16号（2016年）
地質調査総合センター速報	3	ウェブ出版 500 ウェブ出版	No.71 平成27年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告 No.72 平成28年度研究概要報告書-宮古島周辺海域- No.73 国内鉱床・鉱徴地に関する位置データ集（第2版）

③ 刊行物販売状況

研究成果普及品のうち「地質の調査」に係るものは、地質情報等有料頒布要領（26要領第4号）により、地質調査情報センター及び地質標本館が有料頒布業務を遂行することになっている。平成28年度は、下記のように有料頒布を実施し、収入を得た。

○平成28年度 研究成果普及品及び標準試料頒布収入

地球科学図及び地球科学データ集

4,330,000 円

内 訳	頒布部数	頒布金額
委託販売収入（6社合計）	2,749	3,885,363
直接販売収入（地球科学図ほか）	202	266,005
直接販売収入（オンデマンド）	118	178,632
合 計	3,069	4,330,000

普及出版物及び絵葉書

1,439,936 円

内 訳	頒布部数	頒布金額
直接販売収入（普及出版物ほか）	3,496	1,439,936

標準試料

6,996,000 円

内 訳	頒布部数	頒布金額
委託販売収入（3社合計）	516	6,996,000

④ 文献交換

「地質の調査」に係る研究成果をもとに、国内外の「地質の調査」に関する機関と文献交換を行い、地質文献資料の網羅的収集に努めている。さらに、収集資料の明確化と広範囲の利用者の利便性を考慮して、地質文献データベースを構築し、インターネットで公開を行っている。

国内外交換先

	計	JAPAN	EUROPE	ASIA	AFRICA	U.S.A.	CANADA & C. AMERICA	SOUTH AMERICA	OCEANIA
国 数	147	1	34	37	42	1	10	12	10
機関数	1,040	420	213	161	56	83	29	44	34

交換文献内訳

	計	地質調査研究報告	その他報告類	地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅)	その他図幅	CD-ROM
件 数	17	7	0	5	3	2
所外送付部数	2,566	1,064	0	744	395	363
国外送付部数	2,360	77	0	1,115	669	499

⑤ 文献情報活動

文献交換等で収集した地質文献資料の効果的・効率的な利用を目指して、地質文献データベース（統合版 GEOLIS 及び貴重資料データベース）を構築しウェブ公開を継続している。今年度は、検索方法及び検索結果表示等の改良についての機能拡張を行った。統合版 GEOLIS の登録数は15,037件、ウェブ公開で11,674,074件のアクセス数（Webalizer による、以下同様）である。貴重資料データベースの登録数は2件、アクセス件数は178,862件であった。また、地質文献データベースのデータを使用した LOD の構築のため、検討連絡会を2回開催、GBANK 上に統合版 GEOLIS、日本の火山データベース、地質標本データベース及び地質調査総合センター出版物の各データとの LOD データセット（GSJ LD）を構築した。

受 入

	単行本（冊）	雑誌（冊）	地図類（枚）	電子媒体資料（個）
購 入	245	211	51	27
寄贈・交換	324	2,950	276	96
計	569	3,161	327	123

製本・修理（冊） 682

脱酸性化（冊） 52、（枚） 300

地質文献データベース登録数・アクセス件数など

	登録数	登録総数	アクセス件数
統合版 GEOLIS	15,037	481,864	11,674,074
貴重資料データベース	2	976	178,862
計	15,039	482,840	11,852,936

閲覧・貸出など情報提供

所外閲覧者	入館者	閲覧件数	貸出件数
97	4,092	4,701	4,658

地質文献複写外部委託

件数 (件)	コピー (枚)
251	5,551

⑥ メタデータ及びデータベースの整備

「地質の調査」の成果である地質図・地球科学図等の情報に関し、インターネットを通じて利活用出来るよう、メタデータ作成、数値化及びデータベース化を行っている。

メタデータ整備業務では、国土交通省国土地理院の地理空間情報クリアリングハウス用の地理標準フォーマット JMP2.0版に基づくメタデータを1,656件整備しウェブ公開した。

⑦ 数値化・地理空間情報の配信

地質図類ベクトル数値化整備業務では、20万分の1地質図幅1図幅、5万分の1地質図幅4図幅および富士火山地質図をベクトル数値化し、データの校正・編集を行った。5万分の1地質図幅42区画の Shapefile と kml 形式のベクトルデータを公開した。

○平成28年度 地質図・地球科学図データベース及びメタデータ整備

1. 地質図・地球科学図データベース整備 (件数)	
20万分の1地質図幅、5万分の1地質図幅等の数値化数	6
5万分の1地質図幅ベクトルデータ公開	42
2. メタデータ整備 (件数)	
地理空間情報クリアリングハウス：メタデータ登録数	1,650

⑧ 5万分の1地質図幅調査に係る機関アーカイブ作成

地質図幅等の産総研地質調査総合センター発行出版物についての、基礎データの登録・保管を進めた。平成28年度は、17件の基礎データの受付・登録を行った。

⑨ 地質試料の管理

岩石試料1,114点、鉱物試料4点を標本登録した。標本利用（画像利用を除く）は、18件（322点）であった。

○地質標本館関係行事一覧

実施期間	特別展及び速報	講演会	外部出展	イベント	入館者・参加者
2016/4/16				第4回GSJジオ・サロン 「石が息づく世界」	参加者数 18人
2016/4/19～ 5/22	春の特別展・第7回 「惑星地球フォトコ ンテスト」入選作展 示会『地球写真の世界』				期間中の入館者数 4,450人
2016/4/23		特別講演会「地球を 見た！撮った！」			聴講者数 45人
2016/4/28				「地質の日」記念イベ ント 地質標本館イブ ニング ジオ・ツアー	参加者数 16人
2016/5/30				第5回GSJジオ・サロ ン「ウェブカラ地質図」	参加者数 12人
2016/6/4～5			つくばフェスティバル		しおり作成枚数 300枚
2016/7/5～18	「県の石」臨時展示				期間中の入館者数 1,106人
2016/7/20～ 10/2	夏の特別展「あの山 この山どんな山？」 －「山の日」制定記 念日本の山の地質－				期間中の入館者数 17,280人
2016/7/23		特別講演「地震つ てなあに？－熊本地 震をしらべていま す－」			聴講者数 76人
2016/8/1				第6回GSJジオ・サロ ン「富士山を考える」	参加者数 20人
2016/8/19				地質標本館 夏休み化 石クリーニング体験 教室 2016	参加者数 16人
2016/8/20				夏休み 地球何でも 相談	相談数 22人
2016/9/10～12			地質情報展2016とう きょうへの出展協 力		来場者数 553人以上
2016/9/17				地質標本館体験学 習イベント「筑波 山の模型を作ろう ！」－筑波山地 域ジオパーク認定 記念イベント－	参加者数 105人
2016/10/4～29	日本ジオパーク認 定記念臨時展示「 筑波山地域ジオ パークを学ぼう ！」				期間中の入館者数 3,279人
2016/10/11				第7回GSJジオ・サ ロン「みんなの地 質図」	参加者数 21人
2016/10/16		筑波山地域ジオ パーク認定記念 講演会「山と平 野とジオパーク －筑波山地域 ジオパークの地 質－」			聴講者数 58人
2016/11/8～ 2017/1/15	冬の特別展「首都 をささえる大地 のしくみ」－地 質情報展2016 とうきょう－				期間中の入館者数 5,190人
2016/11/12～13			つくば科学フェ スティバル 2016		来場者数 350人

研 究

2016/11/21				第8回GSJジオ・サロン 「日本周辺のメタンハイドレード」－なぜそこにあるのか？－	参加者数 17人
2016/12/19				第9回GSJジオ・サロン 「金の魅力」	参加者数 21人
2017/1/17～ 2/26	新春特別展 ふるさとの新たな主役「県の石」				期間中の入館者数 3,095人
2017/1/16				第10回GSJジオ・サロン 「沖縄の青い海の下をのぞいてみよう」	参加者数 18人
2017/2/20				第11回GSJジオ・サロン 「見えない水」－地下水の今昔－	参加者数 18人
2017/2/28～ 3/26	特別展 GSJのピカイチ研究－2016年のプレスリリース、主な研究成果より－				期間中の入館者数 2,378人
2017/3/27				第12回GSJジオ・サロン 「宇宙（そら）から地質」	参加者数 19人

○地質標本館入館者数（平成28年度総数 41,613人）

入館者数	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	合計
個人	2,087	2,249	1,234	5,902	7,335	1,863	1,793	1,629	1,050	1,325	1,579	2,054	30,100
団体	1,442	363	633	1,276	1,238	1,101	1,579	1,506	822	234	693	626	11,513
計	3,529	2,612	1,867	7,178	8,573	2,964	3,372	3,135	1,872	1,559	2,272	2,680	41,613

○団体見学への地質標本館内説明実績（対応件数 224件）

	区分	件数	内容
学校関係	小学校	18	地層・岩石の話
	中学校	15	地層・岩石の話
	高校	63	地質調査に係る研究成果紹介
	大学・専門学校	8	地質調査に係る研究成果紹介
視察・VIP	視察・VIP	27	地質調査に係る研究成果紹介
国際関係	海外研修生等	11	地質調査に係る研究成果紹介
その他	その他（一般団体）	82	地質調査に係る研究成果紹介
合計		224	

○地質標本館室 職場体験学習生・研修受入

職場体験学習生	芝浦工業大学柏中学高等学校 6人	1日間（6人）	中学生の職業観の育成等（中学校のカリキュラム対応）
---------	------------------	---------	---------------------------

博物館実習	千葉大学 6人	8日間（6人）	博物館業務に係る試・資料の収集・保管・展示等の指導
	立正大学 1人	7日間（1人）	
	川村学園大学 6人	7日間（6人）	
	東京農業大学 1人	7日間（1人）	
	日本大学 1人	10日間（1人）	
	信州大学 1人	10日間（1人）	

薄片技術研修	アースサイエンス株式会社	3日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
	丸本ストルアス株式会社	4日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
	北海道大学大学院理学研究院技術部	4日間（1人）	乾式研磨技術のさらなる向上を目的とした研修
	国立研究開発法人物質・材料研究機構	5日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
	香港特別行政区政府 漁農自然護理署	3日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
	国土交通省国土技術政策総合研究所	5日間（1人）	アスファルトやコンクリートの薄片作製に必要な基本技術の習得
	東北大学大学院理学研究科	2日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
	高知大学理学部理学科地球科学コース	2日間（2人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得

研 究

奈良県農業研究開発センター育種科	2日間（1人）	岩石薄片作製に必要な基本技術の習得
北海道大学大学院理学研究院技術部	5日間（1人）	乾式研磨技術のさらなる向上を目的とした研修
東京芸術大学彫刻科	3日間（1人）	岩石薄片を彫刻に取り入れるため作製に必要な切断、研磨、接着技術の習得

7) 計量標準総合センター

(National Metrology Institute of Japan)

センター長：三木 幸信

所在地：つくば中央第3

概要：

計量標準総合センター（National Metrology Institute of Japan : NMIJ）は、工学計測標準研究部門、物理計測標準研究部門、物質計測標準研究部門、分析計測標準研究部門、計量標準普及センター、研究戦略部から構成される。計量標準の整備は計測技術の研究開発とともに、計量標準総合センターの重要なミッションであり、産業技術の基盤として大きな発展が望まれている。計量標準を整備する4つの研究部門とその成果普及業務等を実施する「計量標準普及センター」、企画調整等を担う「研究戦略部」が互いに連携を取りながら、経済産業省が企画立案する政策のもと、計量標準や計測分析技術に関する先導的な研究開発を行うとともに、質の高い標準供給を行い、我が国のトレーサビリティ制度と法定計量制度の発展に貢献している。また、計量標準総合センターは、外部からは産総研の計量に関わる活動の中核的な組織として、国際的にはメートル条約などにおいて日本の代表機関として位置付けられている。なお計量標準総合センターの計量標準以外の活動については該当する部署の記載を参照されたい。

計量標準の整備・普及や研究成果の橋渡しに関わる活動を円滑かつ確実に実施するため、NMIJ 運営協議会、NMIJ 技術マーケティング会議、物理標準分科会、化学標準分科会を、それぞれ定期的に開催している。

具体的な、主な活動は以下の通りである。

- 1) 標準整備計画に基づく、既存の計量標準の維持・改善と新しい標準の研究・開発
- 2) 高品質な標準の供給、共同研究・技術指導、広報・啓発活動等による成果の普及
- 3) 計量標準の需要動向の調査と、それに基づく標準整備計画や研究課題への反映
- 4) メートル条約、OIML 条約などの国際条約に基づく活動（計量標準の国際相互承認 [MRA]、各国の国家計量標準機関 [NMI] との研究協力・技術協力など）
- 5) 計量や計測に関する人材の育成
- 6) 計量法に基づく計量器の型式承認、基準器検査等
- 7) 計量や計測に関する橋渡しに関連した他機関との連携業務等

① 研究戦略部

(Research Promotion Division of National Metrology Institute of Japan)

研究戦略部長：臼田 孝

研究企画室長：権太 聡

計量標準調査室長：島岡 一博

国際計量室長：日置 昭治

所在地：つくば中央第1、第3

人員：18名（15名）

概要：

領域長（計量標準総合センター長）は、理事長の命を受けて、各研究領域における研究の推進に係る業務の統括管理を行っている。研究領域間の融合を推進し、業務を実施している。

研究戦略部長は、領域長の命を受けて、各研究領域の人事マネジメント及び人材育成に係る業務（企画本部及び総務本部の所掌に属するものを除く。）を統括している。研究領域間の融合を推進し、業務を実施している。

研究企画室

(Research Planning Office of National Metrology Institute of Japan)

概要：

当室は、産総研組織規程第6条の規定に基づき、計量標準総合センターにおける研究の推進に関する業務を行っている。具体的には、第4期中長期目標の達成に向けて、産総研のミッションの遂行のための戦略を策定し、他独法、国立研究開発法人、地域公設試験研究機関、産業界、大学等への働きかけと連携の強化、ならびに領域内外の融合研究などの種々の取り組みを促進するため、平成28年度は主に下記6つの計画の下、業務を行った。

- 1) 研究戦略、予算編成等に係る方針の企画及び立案並びに総合調整
- 2) 領域プロジェクトの企画、立案及び総合調整
- 3) 領域間連携推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整
- 4) 関係団体等との調整
- 5) 領域長及び研究戦略部長が行う業務の支援
- 6) 領域における研究の推進に関する諸業務の遂行
 - 1)については、研究領域における研究の推進に係る研究方針、研究戦略、予算編成及び資産運営に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行った。また、第4期中長期目標にもとづいた年度計画の策定を関係各部署・機関と調整の上を行った。
 - 2)については、研究領域におけるプロジェクトの企画、立案及び総合調整に関する業務を行った。さらに、シーズ発掘、各種連携や融合などへの発展を促進した。また、領域の成果の発信の支援として、テクノブリッジフェアへの参加調整の他、各種講演会及び展示会などの企画と運営を行った。

3)については、研究領域間の連携の推進、プロジェクトの企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行った。

4)については、研究領域における経済産業省その他関係団体等との調整に関する業務を行った。他独法、国立研究開発法人、地域公設試験研究機関、産業界、大学等への働きかけにより組織的な対話の機会を設け、連携の強化やプロジェクトの共同提案などの発展を支援した。

5)については、領域長及び研究戦略部長が行う業務の支援に関する業務を行った。

6)については、研究領域における研究の推進に関する諸業務を行った。委員会等の事務局、各種発注等の取りまとめなど、領域運営・研究推進に係る諸業務を遂行した。研究ユニットと情報交換を行い、研究ユニットの円滑な運営を支援した。また、ユニット幹部とともに、企業幹部を訪問し、共同研究の推進に努めた。

計量標準調査室 (NMIJ Public Relations Office)

概要：

計量標準の開発や供給を通じて産業界や社会のイノベーションを促進させるため、研究実施部門と密接に連携して、計量標準整備計画の策定、維持、改善を図るとともに、講演会や成果発表会などの開催、報告書・技術資料の発行などを通して、新しい計量標準に関する研究成果の発信を行っている。

また、計量標準に係る活動内容や研究成果などを広く普及するため、産技連知的基盤部会、NMIJ 計測クラブ、計測標準フォーラムなどと連携し、NMIJ ホームページ、展示会出展、パンフレット等、様々な形態の広報・啓発普及活動の企画運営を行っている。

国際計量室 (NMIJ International Cooperation Office)

概要：

計量標準・法定計量に関わる国際戦略策定の取りまとめ。メートル条約、及び OIML 条約に係る各種国際会議・委員会・作業委員会（国際度量衡委員会、国際法定計量委員会等）への対応。国際相互承認（CIPM MRA、OIML MAA）への対応。各研究部門が参加する国際比較等の支援・管理。二国間 MoU に基づく国際活動の取りまとめ。JICA プロジェクト等の研修事業の支援。途上国向け技術研修の受入支援。国際機関 APMP 事務局としての活動および APLMF 事務局との連絡・調整などを実施している。

機構図 (2017/3/31現在)

業務報告データは、計量標準普及センターの業務報告データ記載。

[各種データ] ※最後にまとめてデータを載せる

②【工学計測標準研究部門】

(Research Institute for Engineering Measurement)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：高辻 利之

副研究部門長：小島 時彦

総括研究主幹：小谷野 泰宏、寺尾 吉哉、大田 明博

首席研究員：藤井 賢一

所在地：つくば中央第3、つくば北

人員：77名 (77名)

経費：790,306千円 (473,039千円)

概要：

本研究部門では、自動車に代表されるものづくり産業の高度化に役立つ、幾何学量・質量・力学量・流量などに関連する国家計量標準の整備と普及、関係する計測・評価技術の開発・高度化を行っている。これら開発・高度化した計測・評価技術および計測機器を用いて、ユーザーが必要とするソリューションの提供に努める。また、アボガドロ定数精密測定による質量標準など、次世代軽量標準の開発を推進する。さらに、工業標準化や国際標準化をはじめとする基準認証業務への貢献を図る。加えて、特定計量器と呼ばれる、規制が要求される計量器の型式承認やその検定に必要な基準器の検査など、商取引における消費者保護などを目的とした法定計量業務を実施する。

内部資金：

交付金 戦略予算 3D 計測エボリューション

交付金 標準基盤研究 非直交型非接触三次元測定機の国際標準化

交付金 標準基盤研究 半導体製造工程で使用するプロセスガス流量の標準化

交付金 標準基盤研究 円形管路の絞り機構による流量測定方法—スロートタップ式フローノズル

交付金 標準基盤研究 高圧気体用圧力計の校正方法及び特性試験方法の標準化

外部資金：

経済産業省 平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業 (国際標準共同研究開発事業：水素燃料計量システム等に関する国際標準化))

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発/水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

国立大学法人九州大学 HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の音速の測定「高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発/低温室効果冷媒の性能、安全性評価/中小型空調機器に適合する新規低 GWP 冷媒の物性評価および基本サイクル性能評価」

静岡県 先端企業育成プロジェクト推進事業(次世代超薄板ガラスのインライン検査を可能とする超高速複屈折計測装置の開発)

(一財)製造科学技術センター 平成28年度エネルギー使用合理化国際標準推進事業「自動検査プロセス実現のための測定データ標準処理手順案」検証実験

(一財)日本規格協会 新市場創造型標準化制度 超精密用 O リングの形状・寸法の測定及び評価

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 高レイノルズ数円管流れにおける摩擦損失係数の定式化と普遍速度分布に関する研究

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 質量の単位「キログラム」を基礎物理定数によって定義するための研究開発

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(A) パルス超音波デコンボリューション法を用いたワイドレンジ流速分布過渡流量計の開発

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 高衝撃・高周波領域における三軸加速度センサの周波数特性に関する研究

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 光周波数コムを利用した屈折式海水塩分センサの開発

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 高レイノルズ数条件における高精度流量計測のための複測線式多点同時計測 LDV の開発

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) 電磁力による新たなトルク計測技術に関する研究

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(B) AFM による線幅計測の不確かさ低減のための探針形状の絶対評価技術開発

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) マイクロレオロジーセンサーで切り拓くインライン粘弾性モニタリングの新展開

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手研究(A) 気体定数への新たなアプローチ-6桁の精度で気体密度を測る

経済産業省/(公財)やまなし産業支援機構 平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業(液体を検査媒体とすることで高圧工程を安全・低コストに実現する量産対応高圧漏れ検査装置の開発)

経済産業省/(公財)長野県テクノ財団 平成28年度戦略的基盤技術高度化支援事業(回転軸の軸ガタ検出機能を付加した自己校正型ロータリエンコーダの開発)

発表:誌上発表100件、口頭発表148件、その他55件

長さ標準研究グループ

(Length Standards Group)

研究グループ長:尾藤 洋一

(つくば中央第3)

概要:

長さの標準供給は、産業・科学技術の要であり、その安定的供給には大きな期待が寄せられている。この分野では、高精度な上位の標準から、現場で用いられる下位の標準まで、幅広い標準が求められる。これらの要望に応えるためには、信頼性の高い長さ測定技術の開発が不可欠である。当グループでは、産業界から求められ、また国際比較などで求められている長さに関して標準の確立とそれらの供給体制の整備を行うとともに、民間との連携によって、階層構造に基づく我が国のトレーサビリティ体系を構築している。

研究テーマ:テーマ題目1

幾何標準研究グループ

(Dimensional Standards Group)

研究グループ長:阿部 誠

(つくば中央第3)

概要:

ものづくり産業からの要請の強い、工業製品・部品の複雑な形状・寸法を2次元または3次元的に評価・検証するための幾何学量の標準の研究開発を推進している。幾何標準研究グループは産業界からのニーズに基づき、三次元計測、画像計測、計測用 X 線 CT、お

よび角度計測などに関する標準の確立と供給体制の整備を進めるとともに、民間企業等との活発な共同研究等に取り組むことにより橋渡し機能の一翼を担っている。

研究テーマ：テーマ題目2

ナノスケール標準研究グループ
(Nanoscale Standards Group)

研究グループ長：平井 亜紀子

(つくば中央第3)

概 要：

ナノメートルサイズの寸法・形状標準についての標準設定・供給、研究開発を行っている。長さ標準にトレーサブルな高分解能レーザ干渉計、測長型原子間力顕微鏡、干渉顕微鏡、触針式粗さ計を開発し、走査電子顕微鏡も組み合わせて、一次元・二次元回折格子ピッチ、段差、線幅、表面粗さの校正サービスを行っている。また、これらの標準供給の範囲拡大や信頼性を高めるための研究開発を実施している。

研究テーマ：テーマ題目3

質量標準研究グループ
(Mass Standards Group)

研究グループ長：藤井 賢一

(つくば中央第3)

概 要：

質量と重力加速度についての標準から現場計測に至るまでのトレーサビリティを確保するとともに、2018年に予定されているキログラムの定義改定に対応するためにアボガドロ国際プロジェクトを運営し、X線結晶密度法によって原子の数からキログラムを実現するための研究開発を行い、現行のキログラム原器に代わる新しい質量標準を確立する。また、プランク定数にもとづく新しいキログラムの定義を利用した微小質量計測技術を開発し、ナノテクノロジーなどに広く貢献するための計測技術を開発する。分銅の質量校正については JCSS 校事業者登録制度や依頼試験によって標準を供給する。重力加速度についてはその国際比較や国土地理院が主催する国内比較に参加することによって標準を供給し、国内の重力加速度マップの整備に貢献する。

研究テーマ：テーマ題目4

流体標準研究グループ
(Fluid Property Standards Group)

研究グループ長：藤田 佳孝

(つくば中央第3)

概 要：

固体や流体の密度、液体の屈折率、粘度、および関連する流体物性に関する標準の設定、供給範囲の拡張

や高精度化などの計測・校正技術の開発を行う。これらに基づき構築した高精度で信頼性の高いトレーサビリティ体系による標準供給や流体物性の計測・評価を通じて、広範な産業分野で求められる製造工程・品質の管理における信頼性確保や液体材料の物性評価に基づく高度利用に貢献する。

研究テーマ：テーマ題目5

カトルク標準研究グループ
(Force and Torque Standards Group)

研究グループ長：大串 浩司

(つくば中央第3)

概 要：

力・トルク（力のモーメント）の各量についてこれまで開発を進めてきた国家計量標準の範囲を拡大・高度化することにより、標準を維持して産業界に安定的に供給することを主たるミッションとしている。また他国 NMI との国際比較を積極的に行い、国際整合性を確保し、世界最高水準の標準維持に努めている。力に関しては力標準機から力計さらには材料試験機へ、トルクに関してはトルク標準機からトルクメータ・トルクレンチやトルク試験機へと、国家標準から現場の一般計測器につながるトレーサビリティを確保するために必要な課題について研究・技術開発を行っている。新原理に基づく微小力、微小トルク標準の開発や、高精度・高安定な力計、トルクメータの開発にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目6

圧力真空標準研究グループ
(Pressure and Vacuum Standards Group)

研究グループ長：小島 時彦

(つくば中央第3)

概 要：

圧力真空標準は、圧力計や真空計による圧力測定の基準であり、産業を支える基盤技術である。当グループでは、世界最高水準の圧力・真空・分圧・リーク標準を整備し、産業界並びに科学技術分野からの超高圧力から極高真空までの計測技術の要望に応える事を目標として、研究開発を進めている。既に jcss 校正、あるいは、依頼試験で供給開始済みの圧力・真空・分圧・リーク標準について、標準供給を円滑に行うとともに、標準の高度化及び供給技術の効率化を進めている。また、圧力・真空・分圧・リーク標準及び関連する計測技術の高度化のための研究開発を実施し、外部連携による産業界等への技術移転を進めている。国際比較等の国際計量機関の活動へ積極的に参加し、国際計量システムの構築に貢献している。関係する国内外規格の標準化活動への参加、国内トレーサビリティ制度への協力も行っている。更に、圧力・真空・分圧・

リーク標準及び関連する計測技術の研究開発成果と技術情報の普及に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目7

強度振動標準研究グループ

(Vibration and Hardness Standards Group)

研究グループ長：服部 浩一郎

(つくば中央第3)

概要：

振動量、振動加速度・衝撃加速度及び材料強度に関する計測標準の開発維持および供給を行うとともに、より高度な計測技術の開発を行っている。振動加速度領域では、振動加速度、衝撃加速度および角速度について、材料強度領域では、ロックウェル硬さ、ビッカース硬さおよびシャルピー衝撃値の校正サービスを行うとともに、標準供給の範囲拡大および信頼性向上のための研究開発を実施している。

研究テーマ：テーマ題目8

液体流量標準研究グループ

(Liquid Flow Standards Group)

研究グループ長：嶋田 隆司

(つくば中央第3、つくば北)

概要：

液体流量の標準の設定と供給および関連する計測技術の研究開発を担っている。液体（水）流量、石油大流量、石油中流量、石油小流量の国家標準設備（特定標準器）を保有し、校正サービスを行いながら、これらの標準供給の範囲を広げ、また信頼性を高めるための研究開発を進めている。

研究テーマ：テーマ題目9

気体流量標準研究グループ

(Gas Flow Standards Group)

研究グループ長：寺尾 吉哉

(つくば中央第3)

概要：

気体流量、気体流速の標準設定・供給、気体流量測定技術の開発を行っている。気体中流量、気体小流量、気体大流速、気体中流速、微風速の国家標準設備（特定標準器）を保有し、校正サービスを行いながら、これらの標準供給の範囲を広げ、また信頼性を高めるための研究開発を実施している。

研究テーマ：テーマ題目10

型式承認技術グループ

(Type Approval Group)

研究グループ長：上田 雅司

(つくば中央第3)

概要：

特定計量器の性能に関する試験データ及び図面審査の両面から総合評価を行い、計量法に基づく型式承認並びに OIML 勧告に基づく OIML 計量器証明書の適合性評価を行っている。また、技術革新又は国際勧告に調和した技術基準を導入するとともに、合理的かつ効果的な試験・評価方法の検討・策定を行っている。

研究テーマ：テーマ題目11

計量器試験技術グループ

(Testing and Inspection Group)

研究グループ長：森中 泰章

(つくば中央第3)

概要：

計量法に定められた血圧計、タクシーメーター及びアネロイド型圧力計の型式承認試験、特定計量器の標準である基準器検査及び酒精度浮ひょうの比較検査や計量器の依頼校正等を行い、計量が正確に行われることに貢献している。密度標準につながる浮ひょうの計量標準の供給及び標準供給方法の開発、計量器の JIS 原案作成、JCSS の普及活動及び OIML 勧告等の規格に関連した国際化対応にも貢献している。

研究テーマ：テーマ題目12

質量計試験技術グループ

(Legal Weighing Metrology Group)

研究グループ長：三倉 伸介

(つくば中央第3)

概要：

計量法に定められた質量計関連特定計量器の型式承認試験と計量器の基準器検査、公的質量標準に関する管理マニュアルの審査など、法定計量業務に貢献している。基準適合性評価として、型式承認において活用する個別要素試験としての依頼試験と OIML 適合性試験を実施している。また、計量研修センターが実施する計量教習と特定教習に講師を派遣し、人材育成に貢献している。その他、計量行政審議会答申による計量法関連政省令改正に技術面で貢献している。

研究テーマ：テーマ題目13、テーマ題目14

流量計試験技術グループ

(Legal Flow Metrology Group)

研究グループ長：神長 亘

(つくば中央第3)

概要：

計量法に基づく型式承認試験、基準器検査のうち、体積・流量に関する試験・検査を行っている。その他、国際基準による OIML 適合性試験（自動車等給油メーター、水道メーター）、校正サービスによる標準タンク、標準フラスコ等の校正を行っている。また、これらの技術基準について規格の検討及び策定を行って

いる。

研究テーマ：テーマ題目15

[テーマ題目1] 長さ標準の研究開発・維持・供給

[研究代表者] 尾藤 洋一（長さ標準研究グループ長）

[研究担当者] 尾藤 洋一、寺田 聡一、直井 一也、
日比野 謙一、近藤 余範、工藤 良太、
向井 誠二（常勤職員6名、他1名）

[研究内容]

長さ関連（ブロックゲージ、標準尺、距離計等）及び偏差量（平面度、真円度等）の各標準に関して、品質システムに従って維持、供給を行った。技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者の認定審査に参加するとともに、各種技能試験の参照値を提供した。平面度に関しては、アジア地域の国際比較に参加した。さらに、関連する計測技術の高度化のための研究開発を実施し、共同研究、技術コンサルティング等、外部連携による産業界等への技術移転を進めた。また、平面度標準において、角度測定を利用した測定装置の高度化（2次元化）のための技術開発を進めた。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 長さ、幾何偏差量

[テーマ題目2] 幾何学量の高精度化に関する研究

[研究代表者] 阿部 誠（幾何標準研究グループ長）

[研究担当者] 阿部 誠、渡部 司、藤本 弘之、
鍛島 麻里子、佐藤 理、松崎 和也、
福島 博之、呂 明子、加藤 裕美
（常勤職員6名、他3名）

[研究内容]

X線CTによる幾何形状の標準開発のための幾何誤差の要因に関する知見の集積を進めた。jcss校正「ロータリエンコーダ」を2件行った。依頼試験校正について、「CMMによる幾何形状測定」：28件、「多面鏡」：4件、「ロータリエンコーダ」：1件の計33件を実施し、円滑に標準供給できるように設備及び測定環境を整備した。JCSS認定制度への協力として、認定・更新審査における技術アドバイザーの派遣を行った。また、工業標準化への協力としてJIS化2件、ISO原案開発における国際エキスパート派遣（プロジェクトリーダー1件およびタスクフォースリーダー1件を含む）、国内委員会委員等の派遣を行い、JIS原案開発における委員等の派遣を行った。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 幾何寸法・幾何形状、角度標準、座標測定機、ステップゲージ、X線CT

[テーマ題目3] ナノメートルスケール寸法・形状標準の開発に関する研究

[研究代表者] 平井 亜紀子（ナノスケール標準研究グループ長）

[研究担当者] 平井 亜紀子、土井 琢磨、直井 一也、
三隅 伊知子、菅原 健太郎、堀 泰明、
木津 良祐（常勤職員7名）

[研究内容]

測長型原子間力顕微鏡、走査電子顕微鏡、干渉顕微鏡、触針式粗さ計などについて高度化を進め、これまで標準供給を宣言した9項目に対して円滑に標準供給できるように設備及び測定環境を整備した。JCSS認定制度への協力として、認定・更新審査における技術アドバイザーの派遣を行った。また、工業標準化への協力として、ISO化、JIS化、JIS改正作業における国際エキスパート、国内委員会幹事補佐・委員等の派遣を行った。超微細スケールの校正を念頭に、超高分解能レーザ測長技術や小角入射X線回折技術の開発を進めた。また、線幅（フォトマスク、パターン寸法）については、範囲拡大を目指して測定手法やデータ処理法についての検討を進めた。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] ナノメートルスケール、原子間力顕微鏡、走査電子顕微鏡、干渉顕微鏡、粗さ計

[テーマ題目4] 質量標準の開発と供給

[研究代表者] 藤井 賢一（質量標準研究グループ長）

[研究担当者] 藤井 賢一、孫 建新、植木 正明、
倉本 直樹、水島 茂喜、藤田 一慧
（常勤職員6名）

[研究内容]

質量標準に関しては、JCSSや依頼試験など多数の校正依頼に対応し着実な標準供給を行うとともに、キログラムの定義改正に向けた研究開発については、国際度量衡局（BIPM）が主催するキログラムの実現に関するPilot Studyに参加し、プランク定数（CODATAの2014年推奨値）を基準としてX線結晶密度法によって24 µgの標準不確かさで1 kgの新しい定義を実現することに成功した。また、このPilot Studyに参加した米、独、加の計量標準機関の値と±10 µg以内の優れた整合性で1 kgの定義を実現できることが確認できた。この比較結果は2017年秋に公表される予定であり、メートル条約にもとづいて2018年に開催される国際度量衡総会（CGPM）において、キログラムの定義を130年ぶりに改定するかどうかを審議するための重要な指標になるものと予想される。

1 mgよりも小さい微小質量領域での標準確立については、電圧天びんを試作し、従来の技術では測れなかったナノグラムオーダーの微小質量を新しい定義のもとでトレーサブルに計測するための技術開発を行った。その他に、質量標準については、輸送用真空容器に格納された分銅やシリコン球などの器物を空気に触れさせることなく真空天びんに導入するための装置（vacuum transfer）を新たに試作し、既存の真空天びんに大幅な

改造を加えた。

重力加速度標準に関しては、国土地理院などとの定期的な国内共同観測への参加を通して、重力加速度計測の国際整合性確保に協力した。

この他に、JCSS トレーサビリティ制度に関しては、質量の技術分科会に参加し技術基準の作成や改定並びに技術的諸問題の解決に協力するとともに、校正事業者の登録審査や定期検査において技術アドバイザーを務め、JCSS 認定機関の活動に協力した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】質量、重力加速度、キログラム、定義改定、X 線結晶密度法、アボガドロ定数、プランク定数、微小質量、JCSS、依頼試験

【テーマ題目5】密度・屈折率・粘度標準の開発・維持・供給

【研究代表者】藤田 佳孝（流体標準研究グループ長）

【研究担当者】藤田 佳孝、早稲田 篤、粥川 洋平、山本 泰之、狩野 祐也（常勤職員5名）

【研究内容】

固体密度・密度差、密度標準液（水溶液、有機液体、バイオ燃料）、PVT 性質、液体屈折率、粘度標準液、非ニュートン性液体に関して、品質システムに基づいた標準供給や、共同研究・技術コンサルティング等の外部連携に対応するとともに、標準の高度化開発、校正設備の管理・整備等の標準の維持・管理を行った。固体密度については、特定標準器による jcass 校正2件を実施した。バイオディーゼル燃料の認証標準物質（CRM-8302a）について、密度と動粘度に関する保存安定性試験を実施し、問題がないことを確認した。非ニュートン性液体の校正装置については、内・外筒間の狭間隔化によって、より高ずり速度条件下での測定を可能とする精密アライメント機構の改良開発により、ずり速度の低・高域両側の校正範囲を 0.01 s^{-1} ～ 50 s^{-1} まで拡張した。JCSS 制度への協力として、密度標準液と液体の屈折率に関して技能試験における参照値の提供と試験実施への協力を行うとともに、技術アドバイザーとして粘度の校正事業者の定期検査に参加した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】密度、密度標準液、PVT 性質、屈折率、粘度、粘度標準液、非ニュートン流体、流体物性

【テーマ題目6】力・トルク標準の研究開発・維持・供給

【研究代表者】大串 浩司（力トルク標準研究グループ長）

【研究担当者】大串 浩司、上田 和永、林 敏行、西野 敦洋、前島 弘、木村 栄、

柴野 容一（常勤職員5名、他2名）

【研究内容】

力標準・トルク標準に関して、着実に標準供給並びに性能維持管理を行った。力標準・力計測技術については、力計校正に及ぼす気圧変動の影響、力計支持点形状の影響等の研究成果をまとめ、論文掲載・国際研究集会発表を行った。2 MN レンジについてのドイツ PTB との二国間比較結果が論文掲載に至った。10 N を下回る小容量力標準の開発・設計を推進した。老朽化した540 kN 実荷重式力標準機、20 MN 油圧式力標準機の更新をそれぞれ進め、高精度・高安定な力標準供給体系の維持に努めた。トルク標準・トルク計測技術に関しては、現状 $0.1 \text{ N}\cdot\text{m}$ ～ $20 \text{ kN}\cdot\text{m}$ の範囲で標準供給を行っているトルクメータの校正範囲を下限方向に $0.01 \text{ N}\cdot\text{m}$ まで拡大する研究開発を推進した。さらに電磁力を利用したトルク標準研究開発を行い、 $1 \text{ mN}\cdot\text{m}$ を下回る微小トルク標準実現に成功した。基幹比較 CCM.T-K2 の Final Report 取りまとめに協力し、論文掲載に至った。

インドネシア RCM-LIPI から若手研究者を招へいし、1 kN レンジにおける力の二国間比較を実施した。計量法校正事業者登録制度（JCSS）に関しては、力・トルクの各技術分科会に参画し技術基準の作成や改定並びに技術的諸問題の解決に努めると共に、校正事業者の登録審査や定期検査で技術アドバイザーを務めるなど JCSS の認定機関（NITE）に協力した。力の登録校正事業者による自己組み立ての可能性を広げる技術基準の策定や関係機関への周知に努めた。ユーザーの強い手動式トルクツールの技術基準を策定した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】力標準、トルク標準、力計測、トルク計測

【テーマ題目7】圧力真空標準の研究開発・維持・供給

【研究代表者】小島 時彦（圧力真空標準研究グループ長）

【研究担当者】小島 時彦、新井 健太、吉田 肇、小島 桃子、梶川 宏明、杉沼 茂実、飯泉 英昭、井出 一徳、小松 栄一（常勤職員7名、他2名）

【研究内容】

既に jcass 校正、あるいは、依頼試験で供給開始済みの気体ゲージ圧力標準、気体絶対圧力標準、気体差圧標準、液体圧力標準、真空標準、分圧標準、リーク標準について、標準供給を円滑に行うとともに、標準の高度化及び供給技術の効率化を進めた。圧力・真空・分圧・リーク標準及び関連する計測技術の高度化のための研究開発を実施し、共同研究、技術コンサルティング等、外部連携による産業界等への技術移転を進めた。国際度量衡委員会（CIPM）質量関連量諮問委員会（CCM）及びアジア太平洋計量計画（APMP）等の国際計量機関の活

動に参加し、圧力・真空・リーク標準の国際比較を進め、国際計量システムの構築・発展に貢献した。圧力・真空・リークに関わる JIS、ISO、OIML など、国内外規格の標準化活動へ積極的に参加し、計量法校正事業者登録制度（JCSS）等、国内トレーサビリティ制度への協力も行った。更に、圧力真空クラブの開催、論文発表等により、圧力・真空・分圧・リーク標準及び関連する計測技術の研究開発成果と技術情報の普及に取り組んだ。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】圧力標準、真空標準、分圧標準、リーク標準、重錘形圧力天びん、圧力計、真空計、分圧真空計、リークディテクタ

【テーマ題目8】強度振動標準の研究開発・維持・供給

【研究代表者】服部 浩一郎（強度振動標準研究グループ長）

【研究担当者】服部 浩一郎、清野 豊、高木 智史、野里 英明、穀山 渉、田中 幸美、石神 民雄（常勤職員6名、他1名）

【研究内容】

振動加速度および材料強度に関する各標準の維持とともに、その高度化や範囲拡大のため計測技術の研究開発を進めた。特定標準器による校正や依頼試験による供給を行うとともに、技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者認定制度に参加し、計測標準の供給体制整備に協力した。

本年度は材料強度領域について校正事業者の組み立てによるブリネル硬さの JCSS の開始に向けて関係機関と調整を行った。振動加速度領域については、広帯域地震計の特性評価を大学と共同で行うとともに、衝撃加速度についても今後の国際基幹比較開始に向け共同ホスト国の中国と事前比較を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】振動加速度、地震計、振動試験、材料強度、硬さ、シャルピー衝撃値

【テーマ題目9】液体流量標準の研究開発・維持・供給

【研究代表者】嶋田 隆司（液体流量標準研究グループ長）

【研究担当者】嶋田 隆司、土井原 良次、古市 紀之、Cheong KarHooi、和田 守弘、武田 一英、渡部 理夫、沼口 昌美、佐々木 丈太、矢島 美代子、菱沼 裕子（常勤職員5名、他6名）

【研究内容】

水流量については、従前と同じく0.005 m³/h～3000 m³/h の範囲で特定標準器による校正、0.002 m³/h～12000 m³/h の範囲で依頼試験を行った。石油流量標準については、0.1 m³/h～300 m³/h 並びに0.022 kg/s～67 kg/s の範囲に対して灯油及び軽油を使用した特定標準

器による校正並びに依頼試験を行い、0.1 m³/h～15 m³/h 並びに0.022 kg/s～3.4 kg/s の範囲に対しては、スピンドル油を使用した特定標準器による校正並びに依頼試験を行った。また、0.02 L/h～0.1 m³/h 並びに4.4×10⁻⁶ kg/s～2.2×10⁻² kg/s の範囲に対して灯油及び軽油を使用した依頼試験を行った。技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者の認定審査に参加した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】水用流量計、石油用流量計

【テーマ題目10】気体流量・気体流速標準の研究開発・維持・供給

【研究代表者】寺尾 吉哉（気体流量標準研究グループ長）

【研究担当者】寺尾 吉哉、石橋 雅裕、栗原 昇、森岡 敏博、舩木 達也、岩井 彩、櫻井 真佐江、平山 徹（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

気体小流量、気体中流量、微風速、気体中流速の各標準の品質システムに関し、品質システムに従って維持、供給を行った。気体流速の特定標準器による校正範囲を拡大した。特定標準器による校正、依頼試験を行い、技術アドバイザーとして製品評価技術基盤機構が行う校正事業者の認定審査に参加した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】気体流量計、風速計

【テーマ題目11】特定計量器の型式承認及び基準適合性評価

【研究代表者】上田 雅司（型式承認技術グループ長）

【研究担当者】上田 雅司、原田 克彦、分領 信一、長野 智博、島田 正樹、松岡 聡、渡邊 宏（常勤職員7名）

【研究内容】

平成28年度の型式承認審査業務は、タクシメーター、非自動はかり、水道メーター、各種燃料油メーター、液化石油ガスメーター、ガスメーター、積算熱量計、圧力計、アネロイド型血圧計（電気式・機械式）、体温計（抵抗・ガラス製）、照度計及び環境用計量器に当たる濃度計（大気）、濃度計（pH）、振動レベル計等の特定計量器85型式について国内法に規定する技術基準への適合性を評価し、型式承認の審査をするとともに、承認型式軽微変更届出374件の審査業務を実施した。これらは、計量標準総合センターの認証システム（ISO/IECガイド65）に則って、当グループが実施する特定計量器の型式の承認に関わる認証マニュアルに従って業務を実施しているものである。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】特定計量器の基準適合性評価、OIML

計量器証明書、医療用計量器、環境計量器

[テーマ題目12] 血圧計・タクシーメーター等の型式承認試験及び基準器検査

[研究代表者] 森中 泰章（計量器試験技術グループ長）

[研究担当者] 森中 泰章、井上 太、西川 賢二、堀越 努、高橋 豊（常勤職員5名）

[研究内容]

当グループが担当する基準器検査（基準ガラス製温度計、基準液柱型圧力計、基準重錘型圧力計、基準密度浮ひょう、液化石油ガス用基準浮ひょう型密度計、基準酒精度浮ひょう、基準比重浮ひょう、基準重ボーメ度浮ひょう、基準サーボ式ピックアップ）1,097件及び計量器の型式承認試験（タクシーメーター、抵抗体温計、ガラス製体温計、アネロイド型圧力計、アネロイド型血圧計）27件、比較検査（酒精度浮ひょう）4件、及び依頼試験（ガラス製温度計、密度浮ひょう等）1件を品質システム（技術マニュアル）の適正な運用を図りつつ実施した。また、JCSS 校正事業者登録制度による技術審査において、技術アドバイザーとして協力した。その他、経済産業省からの依頼による試買品検査（アネロイド型血圧計）に対応した。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 法定計量、基準器検査、型式承認試験、基準適合性試験、比較検査、標準供給、医療用計量器

[テーマ題目13] 質量計に関する法定計量業務

[研究代表者] 三倉 伸介（質量計試験技術グループ長）

[研究担当者] 三倉 伸介、池上 裕雄、薊 裕彦、大谷 怜志、根本 晴夫（常勤職員4名、他1名）

[研究内容]

質量計に関する特定計量器の型式承認試験と計量器の基準器検査などの法定計量業務について、計量法の技術基準に基づき実施した。非自動はかりの型式承認試験は12件、基準はかりの基準器検査は122台、特級基準分銅の基準器検査は1,163個実施した。

自動捕捉式はかり、充填用自動はかり、コンベヤスケールなど計量行政審議会の答申により法規制化が予定されている計量器の JIS 原案作成委員会に積極的に参加し、規格制定に貢献した。また、法規制化に伴う関連事項の検討を行い経済産業省の法改正作業に貢献した。

国際法定計量に関し、国際法定計量調査研究委員会、質量計作業委員会に委員長、委員を派遣するなど積極的に参加・協力し、常に国際基準・規格に対応するように技術能力の確保に努めた。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 法定計量、特定計量器、型式承認、

基準器検査、非自動はかり、分銅、天びん、OIML、法定計量クラブ、NMIJ 計測クラブ

[テーマ題目14] 基準適合性評価

[研究代表者] 三倉 伸介（質量計試験技術グループ長）

[研究担当者] 三倉 伸介、池上 裕雄、薊 裕彦、大谷 怜志、根本 晴夫（常勤職員4名、他1名）

[研究内容]

OIML 条約に基づく国際勧告（OIML-MAA）に従い、非自動はかり及び質量計用ロードセルの性能評価試験を実施し、テストレポートの発行を行った。非自動はかりの性能評価を円滑かつ効率的に行うためのモジュール試験（非自動はかりの指示計及びロードセル）を実施した。また、これらの試験に使用する設備の整備及び OIML 勧告に従った試験において、品質マネジメントシステム ISO/IEC17025に基づくトレーサビリティの確保と機器管理等を実施した。

経済産業省が実施する計量関連調査事業（家庭用計量器）において、試買品検査として調理用はかり60台の検査を JIS B 7613に基づき実施した。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] OIML、質量計用ロードセル、質量計用指示計、適合性評価、個別要素試験、モジュール試験

[テーマ題目15] 特定計量器の適合性評価に関する研究開発・試験検査

[研究代表者] 神長 亘（流量計試験技術グループ長）

[研究担当者] 神長 亘、戸田 邦彦、伊藤 武、藤本 安亮、菅谷 美行、岩井 彩、堤 寛子、宮澤 豊、秋元 由貴（常勤職員6名、他3名）

[研究内容]

計量法に規定される体積・流量関係について、特定計量器の型式承認試験（水道メーター、温水メーター、燃料油メーター、液化石油ガスメーター、ガスメーター）及び基準器検査（基準フラスコ、基準ビュレット、基準ガスメーター、基準水道メーター、基準燃料油メーター、基準タンク、基準体積管）の試験・検査を行った。また、国際基準に基づく OIML 適合証明書（自動車等給油メーター、水道メーター）のテストレポートを発行した。その他、適合性評価基準の JIS 素案等（燃料油メーター、積算熱量計、排水流量計、CNG ディスペンサ）の作成を行った。また、2016年度に作成した水素ディスペンサ JIS 原案をもとに、国際基準として採用するため、国際会議において日本発信の技術基準として提案をした。

[領域名] 計量標準総合センター

【キーワード】 特定計量器の適合性評価、OIML、JIS

③【物理計測標準研究部門】

(Physical Measurement)

(存続期間：2015.4.1～)

研究部門長：中村 安宏
副研究部門長：藤間 一郎、石井 順太郎
総括研究主幹：座間 達也、丹波 純
首席研究員：山田 善郎

所在地：つくば中央第3、第2、第1

人 員：72名 (72名)

経 費：824,679千円 (494,438千円)

概 要：

研究ユニットのミッション：

電気、時間（周波数）、温度、光の4つの物理量に関して、国の知的基盤整備計画に基づいて計量標準の整備を行うとともに、標準の管理・供給と国際同等性の確保、及び計量ユーザへの情報提供等による利活用の促進を行う。また、測定方法の高精度化と基礎物理定数の追及・探求によって、次世代計量標準の開発を進める。さらに、これら物理量に係る高度計測技術の開発や計測機器、分析装置、センサー等の開発を中心に、目的基礎研究、橋渡し研究に取り組む。

研究開発の方針：

国の知的基盤整備計画（第2期計量標準整備計画）に定められた計量標準を計画通り開発・整備するとともに、民間企業等への校正サービスを着実にを行い、計量標準の普及に努める。また、当部門が有する、電気・光等に係る高度な精密計測技術と専門知見を活用して、モノづくり産業に有用な新たな計測技術や計測装置、センサー等の開発を行い、企業への技術の橋渡しを目指す。

内部資金：

戦略予算「ナノ材料や生体試料の高感度・機能イメージング技術の開発」

外部資金：

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）「【特定課題調査】電磁波による革新的な農産物計測の栽培現場への適用可能性の検討」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業（ERATO）「ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト」

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業（産学共創基礎基盤研究プログラム）「高速・高精度テラヘルツ時間領域ポラリメータの開発と産業応用展開」

国立研究開発法人海洋研究開発機構「水温センサトレ

サビリティ確立のための温度計校正・評価技術の開発」

国立大学法人大阪大学「電磁波吸収量測定」

静岡県「光生物学的安全性リスク評価のための実用計測技術および評価装置の開発」

埼玉県「未利用熱発電のための高耐久型熱発電モジュールの開発」

科研費 新学術領域研究（研究領域提案型）「in-situ 温度測定によるイッテルビウム光格子時計の高精度化」

科研費 基盤研究(A)「Er ファイバーコムを用いた可視域デュアルコム分光に関する研究」

科研費 基盤研究(C)「ホタルルシフェリン生合成経路の解明とキラルフリー発光システムへの応用」

科研費 基盤研究(C)「非接触電力伝送の高効率化に向けた電力計測技術の確立」

科研費 挑戦的萌芽研究「浮遊法と放射率フリーの温度計測法を融合した完全非接触熱物性計測法の構築」

科研費 基盤研究(B)「マンガン窒化物の電気抵抗極大：特異な伝導機構解明と抵抗標準材料への展開」

科研費 基盤研究(A)「全冷却方式超高安定マイクロ波発振器の開発」

科研費 若手研究(A)「単一 Si ナノ粒子と極低温原子集団の混合システム」

科研費 若手研究(A)「国際単位系改訂に向けた電気素量の絶対測定と高速超精密電流測定への展開」

科研費 基盤研究(C)「超高安定セラミック光共振器の開発」

科研費 基盤研究(C)「常温常圧でピコワット分解能のMEMS 方式高速大面積光カロリメータの開発と応用」

科研費 基盤研究(C)「合金の熔融反応に基づく高温温度履歴モニターの開発」

科研費 基盤研究(C)「ドレスト原子を利用したボース・アインシュタイン凝縮体の相互作用制御」

科研費 基盤研究(C)「可搬型光格子時計のための光制御型低速原子線源の開発」

科研費 基盤研究(C)「マイクロプロセス技術を利用した新しい輝度均一標準光源の開発」

科研費 基盤研究(C)「デュアルコム分光による非平衡混合気体の温度測定技術の開発」

科研費 基盤研究(C)「Cs 原子を用いた MHz 帯量子磁界センサの研究開発」

科研費 基盤研究(C)「広帯域テラヘルツパルス電力の精密測定技術の開発」

科研費 基盤研究(C)「新しい電力計測技術の開発」

科研費 挑戦的萌芽研究「半導体イメージセンサの熱雑音を用いた赤外線レーザービームプロファイラの開発」

科研費 若手研究(B)「可視から中赤外領域にスペクトルを持つ狭線幅光周波数コムの開発」

科研費 若手研究(B)「単一分子電気化学の創出を目指したカーボンナノチューブ化学電極の高速電気測定」

科研費 若手研究(B)「長距離光ファイバ伝送路安定化

による高精度キャリア分配システムの開発」

科研費 若手研究(B)「新規絶対熱電能計測技術の構築」

科研費 若手研究(B)「長期連続運転可能で極めて高い周波数安定度を有する原子泉の開発」

科研費 若手研究(B)「量子効果に基づく世界最高水準の高抵抗精密測定技術の開発」

科研費 若手研究(B)「レーザー誘起格子を用いた高温燃焼ガス温度測定法の開発」

科研費 若手研究(B)「テラヘルツセンサの線形性自己校正技術の開発」

科研費 若手研究(B)「基礎物理乗数に基づく先端エネルギーデバイス評価体系構築に向けた計測基準の開発」

科研費 若手研究(B)「移動体への高効率ワイヤレス電力伝送のための新規高周波電力計測手法の開発」

発表：誌上発表151件、口頭発表245件、その他45件

時間標準研究グループ

(Time Standards Group)

研究グループ長：安田 正美

(つくば中央第3)

概要：

時間周波数国家標準である UTC (NMIJ) の維持・管理・供給と国際同等性の確保、および、計量ユーザへの利活用の促進を行う。また、UTC (NMIJ) を高安定化、高信頼化するとともに時間周波数比較精度を向上させるための研究を推進する。

次世代の周波数標準を目指す光周波数標準については、 10^{-17} 以下の不確かさを実現すること、および UTC (NMIJ) の高度化に貢献する事を念頭に研究を進めている。

研究テーマ：テーマ題目1

周波数計測研究グループ

(Frequency Measurement Group)

研究グループ長：稲場 肇

(つくば中央第3)

概要：

光周波数コム(光コム)の発生・制御、そしていくつかの応用に関して研究開発を行っている。より広帯域の光コム発生、より高い周波数比較能力の追求、そして環境モニターなどのために、高速かつ高精度にガスを分光し、温度や種類を検知する技術について研究している。また、UTC など周波数標準と組み合わせる長さの国家標準として運用したり、次世代周波数標準において時計レーザーの周波数安定化に用いられたりするなど、標準においても重要な役割を果たしている。

研究テーマ：テーマ題目2

量子電気標準研究グループ

(Quantum Electrical Standards Group)

研究グループ長：金子 晋久

(つくば中央第3)

概要：

量子電気標準に関わる研究開発・維持・供給を行っている。量子電気標準とは、量子ホール効果やジョセフソン効果、単一電子素子など量子効果を利用した電気標準である。微細加工技術による素子作製、基礎物理実験、装置実装、各種不確かさ要因の追求と低減の研究、従来の標準との整合性の確認、標準供給にいたるまで、基礎研究からその産業応用にいたるまで様々な研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目3

応用電気標準研究グループ

(Applied Electrical Standards Group)

研究グループ長：藤木 弘之

(つくば中央第3)

概要：

交流電圧・電流、インダクタンス、キャパシタ、変成器などの交流電気に関連する国家標準の供給を行なっている。次世代の交流電圧標準の開発にも取り組んでおり、サーマルコンバータ素子や量子現象のジョセフソン効果を利用した正弦波の開発を行っている。再生エネルギーの普及に貢献する計測技術の開発にも力をいれており、高調波電力測定技術の開発、リチウムイオン電池や電気二重層キャパシタのインピーダンス特性評価の研究、廃熱利用に関連した熱電材料のゼーベック係数の新規評価技術などの研究開発も行なっている。

研究テーマ：テーマ題目4

電磁気計測研究グループ

(Electromagnetic Measurement Group)

研究グループ長：堀部 雅弘

(つくば中央第3)

概要：

通信機器や電子機器の設計・製造および性能の保証において、電子回路やデバイスの特性であるインピーダンスや電磁波の伝播特性(散乱パラメータ、Sパラメータ)の測定は必須となっている。これら特性について、kHz から THz の領域に至る広周波数帯域における計測技術と計量標準の研究開発を行ってきた。これにより、ベクトルネットワークアナライザによる高精度な測定を実現するとともに、産業分野でニーズの高い材料の誘電率等の電磁波特性評価技術や、電磁波吸収・遮蔽材料、平面回路、アクティブデバイスなどの計測および設計の技術研究開発も行った。さらに、農産物や医薬品の品質評価を現場で実現することを目

的として、電磁波計測技術に基づく非接触・非破壊センシング技術の研究を行った。

研究テーマ：テーマ題目5

高周波標準研究グループ

(Radio-Frequency Standards Group)

研究グループ長：飯田 仁志

(つくば中央第3)

概要：

高周波・マイクロ波等の電磁波は、近年、産業分野で幅広く利用されている。高周波領域の電磁波では、分布定数的、波動的な取り扱いが必要となるため、低周波における電圧、電流、抵抗などに代わって、電磁波の伝送に関わる高周波電力や高周波減衰量など種々のパラメータが基本的な測定量として重要になってくる。高周波標準研究グループでは、計量標準の研究開発を通してこれまでに蓄積した高度な高周波計測技術を応用し、電波の有効利用を開拓するテラヘルツ帯計測技術、量子効果に基づく新しい高精度マイクロ波計測、セシウム蒸気セルを使った超小型原子時計などの研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目6

電磁界標準研究グループ

(Electromagnetic Fields Standards Group)

研究グループ長：黒川 悟

(つくば中央第3)

概要：

放射 EMI 計測用アンテナ、無線通信用アンテナ用各種標準アンテナの整備、各種アンテナのアンテナ利得校正方法やアンテナパターン測定法等のアンテナの各種特性測定方法の研究開発を行っている(写真：ミリ波ホーンアンテナ校正装置)。さらに、50Hz以上の低周波磁界標準の整備、20MHz以上の電界標準の整備と校正方法に関する研究開発、光ファイバ無線技術を用いた電磁界計測と国際標準化にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目7

温度標準研究グループ

(Thermometry Research Group)

研究グループ長：中野 享

(つくば中央第3)

概要：

-200℃の低温から2000℃近くの超高温までの温度標準の設定と、温度計校正システムの開発、および、その標準供給を行っている。また、熱力学温度測定などの基礎研究を行っている。さらに、100℃を超える高温域で使用されている接触式表面温度計の評価装置や、深海の海水温などを0.001℃レベルの精度で

測定するための温度計校正技術の開発など、産業や研究の現場で必要とされている要素技術の開発にも従事している。

研究テーマ：テーマ題目8

極限温度計測研究グループ

(Frontier Thermometry Research Group)

研究グループ長：浦野 千春

(つくば中央第3)

概要：

極低温の0.9 mKから、室温付近までの温度標準を実現するための技術開発を行うとともに、独自に開発した³He循環式無冷媒冷凍機による低温実現技術や0.1 mKを下回る安定度での温度制御技術等を用いて、極低温から室温付近までの標準供給を行っている。また、これまでに開発した技術を活用し、研究や産業の現場で必要とされている温度計測のための要素技術の開発に着手している。また、他研究グループと共同で、単一光子計測や絶対熱電能計測のための低温度精密温度制御技術の開発などを行うとともに、トポロジカル絶縁体を用いた量子ホール効果の精密測定を行っている。熱力学温度測定に向けて集積型量子電圧雑音源を用いたジョンソン雑音温度計の開発にも取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目9

応用放射計測研究グループ

(Applied Radiometry Research Group)

研究グループ長：座間 達也(兼)

(つくば中央第3)

概要：

放射計測の応用・利用にかかわる研究を通じ、精密計測技術の開発や関係する標準の同等性確保・供給・開発整備を行っている。具体的には、黒体に近い性質を持つ光吸収体・光放射体の開発・利用、およびこれらからの放射の高精度計測技術の開発を研究の中心に据え、これらに基づく高機能光学素子や光熱変換技術の研究開発、高精度分光計測技術の研究開発、放射率計測技術・非接触温度計測技術の研究開発、サーモグラフィ・リモートセンシング等の画像測定技術の研究開発、これらに関係する関連標準の国際同等性確保・供給・開発整備を行っている。

研究テーマ：テーマ題目10

光放射標準研究グループ

(Photometry and Radiometry Research Group)

研究グループ長：薮 洋司

(つくば中央第3)

概要：

国際単位系(SI)の基本単位の一つである光度単

位（カンデラ：cd）を筆頭に、測光標準および紫外・可視・近赤外域における放射標準の開発・維持・供給、ならびに関連する精密計測技術の開発とその応用に関する研究を行っている。主な計測の対象は、放射源の強度・分光特性、光放射検出器の応答特性、材料の光学特性に大別することができ、分光全放射束標準および仲介器の開発、紫外発光ダイオードの精密評価技術、光検出器に基づく測光標準体系の高度化、広いダイナミックレンジを持った応答非直線性評価技術、色や見え方の定量評価を目指した三次元分光反射計測技術など、国家標準の高精度化や拡張に向けた研究に加え、産業利用につながる橋渡し研究にも積極的に取り組んでいる。

研究テーマ：テーマ題目11

量子光計測研究グループ

(Quantum Optical Measurement Group)

研究グループ長：福田 大治

(つくば中央第3)

概要：

情報通信、加工、医療、計測など様々な分野で使用されているレーザーの放射量に関する物理標準の研究開発を行っている。単一光子からキロワット級の高出力レーザービームまで広範な範囲の光出力を正しく計測できる技術を開発するとともに、単一光子精密技術を利用した分光イメージング顕微鏡の開発や、世界で最も黒い特性を持つ材料を用いた信頼性の高い光計測装置の研究開発など、光産業分野への橋渡し研究も行っている。

研究テーマ：テーマ題目12

〔テーマ題目1〕時系（UTC-NMIJ）の維持と周波数標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕安田 正美（時間標準研究グループ 研究グループ長）

〔研究担当者〕萩本 憲、鈴木 智也、赤松 大輔、田邊 健彦、小林 拓実、久井 裕介（常勤職員6名、他1名）

〔研究内容〕

時間周波数国家標準である UTC（NMIJ）を高安定化・高信頼化するとともに、比較精度を向上させ標準供給を実施する。平成28年度も連続して UTC（NMIJ）を発生させ、協定世界時 UTC に対して $-8 \text{ ns} \sim +20 \text{ ns}$ 、周波数偏差は $3\text{E}-14$ 台で運用することが出来た。この UTC（NMIJ）を用いた高精度な校正サービスを周波数標準器に対して提供した。特に GPS 衛星を仲介とした遠隔校正サービスは、年々件数が増加し普及が進んでおり、現在20ユーザに対して利便性の高い標準供給を、年間を通して円滑に実施している。時間周波数に関する技術コンサルティングも開始した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕協定世界時（UTC）、周波数標準器、GPS、遠隔校正

〔テーマ題目2〕光周波数（波長）標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕稲場 肇（周波数計測研究グループ 研究グループ長）

〔研究担当者〕大苗 敦、清水 祐公子、柏木 謙、大久保 章、和田 雅人（常勤職員6名）

〔研究内容〕

SI の定義に基づいてメートルを実現するため、および最近の大容量光通信に対応するための光周波数基準レーザーの信頼性を確保するために、「光周波数コム」を用いてレーザー周波数を測るサービスを行っている。特に、干渉計で長さの基準として使われる633 nm よう素安定化ヘリウムネオンレーザー、および光通信帯波長（1550 nm 帯）の波長安定化レーザーの校正を行っている。時間標準研究グループが保有する、日本の周波数標準 UTC（NMIJ）を周波数基準として使い、レーザーの周波数を1000秒測ることで校正を行っており、不確かさは 1.3×10^{-13} ($k=2$) である。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕光周波数コム、ヨウ素安定化ヘリウムネオンレーザー、周波数標準器、長さ標準

〔テーマ題目3〕直流電圧標準、直流抵抗標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕金子 晋久（量子電気標準研究グループ 研究グループ長）

〔研究担当者〕福山 康弘、丸山 道隆（兼）、大江 武彦、中村 秀司、岡崎 雄馬、小野木 有佳、Gorwadkar Sucheta、皆広 潔美（常勤職員6名、他3名）

〔研究内容〕

直流抵抗標準22件、直流電圧標準5件の特定二次標準器など校正を行った。電圧に関しては、プログラマブルジョセフソン電圧標準（PJVS）による校正システムを整備しそれに基づく標準供給を開始している。昨年に引き続き高安定小型標準抵抗器、高安定ツェナー標準電圧発生器の開発を実施した。名古屋大学と共同で逆ペロフスカイト型マンガン窒化物の標準抵抗器への応用研究を実施した。次世代交流ジョセフソン電圧標準として、プログラマブル駆動ジョセフソン電圧標準、パルス駆動ジョセフソン電圧標準について研究開発を進めている。前者は、主に低周波領域の交流電圧標準として応用電気標準研究グループと共同研究を行っている。接触抵抗の基礎・応用研究を企業と実施している。これに関し、接触構造の微細加工物理モデルと測定値の比較検証・実サン

ブルの精密測定実験などを実施した。単一電子ポンプ素子、量子ホールアレー素子、PJVS を用いた量子電気トライアングルの実験について素子の基本特製の検討を行いシステムの実装中である。同時に微小電流計測、量子電流標準の実現に向けた研究、単一電子操作に関わる基礎研究に取り組んだ。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 ジョセフソン効果、量子ホール効果、単一電子トンネリング効果、標準電圧発生器、標準抵抗器

〔テーマ題目4〕 インピーダンス標準、交流電圧・電流標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕 藤木 弘之（応用電気標準研究グループ研究グループ長）

〔研究担当者〕 山田 達司、坂本 憲彦、堂前 篤志、天谷 康孝、西本 幸夫（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

誘導分圧器標準、AC/DC 標準、交流電圧標準、キャパシタンス標準、インダクタンス標準、交流抵抗標準について、特定二次標準器、特定副標準器、依頼試験、所内校正を行った。電気標準の研究開発においては、プログラマブル型ジョセフソン電圧標準を用い、交直変換素子の10 Hz 以下の精密評価を行った。また、100 mV 以下の低電圧交直変換標準の高精度化を行った。再生可能エネルギーの普及で必要な計測技術の開発のため、高調波標準では、1 MHz までの広帯域分圧器の開発中である。交直差測定技術を応用したゼーバック係数の評価手法の開発を進めている。

物理標準整備計画に基づき、交流電流比標準の校正範囲を最大100 A まで範囲拡張した。蓄電池の内部インピーダンス測定器のための標準を、1 Ω~100 Ω/ 1 kHz において開発し、供給を開始した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 キャパシタンス、交流抵抗、インダクタンス、誘導分圧器、サーマルコンバータ、交直変換器、変流器、高調波

〔テーマ題目5〕 高周波インピーダンス標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕 堀部 雅弘（電磁気計測研究グループ研究グループ長）

〔研究担当者〕 平野 育、昆 盛太郎、岸川 諒子、坂巻 亮、加藤 悠人、吉本 礼子、小林 恵（常勤職員6名、他2名）

〔研究内容〕

高周波インピーダンス標準について、jcss 登録事業者に対して校正を実施した。また、計量標準の利用促進も目的として、シャント抵抗標準の拡張技術および1 GHz

以下における低周波領域の高周波インピーダンス標準の拡張技術を jcss 登録事業者と実施した。さらに、高周波インピーダンス評価技術を活用して、電磁環境試験機器の校正を容易とする校正機器開発を民間企業と実施し、同軸コネクタの評価方法および4K/8K 放送向けのコネクタに関する国際標準化を経済産業省事業として推進した。国際比較について、3.5 mm 同軸 S パラメータに関する CCEM 国際比較、高周波同軸エアラインのインピーダンスに関する APMP 国際比較をパイロットラボとして推進するとともに、高周波誘電率に関するパイロットスタディのための準備を進めた。計測技術開発においては、高周波誘電率に関し低損失材料の不確かさ解析手法などの基礎技術技を、オンウェハデバイス計測については、高精度な計測を実現する計測アルゴリズムの開発をおこなった。さらに、電磁波を用いた農産物などの品質を評価する電磁波センシング技術についても研究を進めた。開発した誘電率測定技術、オンウェハ計測技術および電磁波センシング技術などを活用した共同研究や技術コンサルティング等を26件実施した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 マイクロ波、ミリ波、インピーダンス、誘電率、オンウェハ、電磁波センシング、標準化

〔テーマ題目6〕 高周波電圧・電力標準、減衰量標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕 飯田 仁志（高周波標準研究グループ研究グループ長）

〔研究担当者〕 池上 健、Widarta P Anton、柳町 真也、木下 基、高見澤 昭文（兼）、島岡 一博（兼）、島田 洋蔵（兼）、小寺 眞利子、埜 晴美（常勤職員8名、他2名）

〔研究内容〕

高周波標準に関する校正業務では、23件の jcss 校正を実施した。さらに、これらの計測技術を活用した技術コンサルティングを実施した。また、標準開発においては、高周波電力標準に関し、300 GHz 帯導波管カロリメータの試作・評価を進め、220 GHz から330 GHz の帯域において、市販のパワーメータの校正実証試験を行った。高周波減衰量標準に関し、ネットワークアナライザを利用した110 GHz~170 GHz 帯の減衰量標準の開発を進めた。不確かさ要因である直線性の評価を行い、当該周波数帯域において、50 dB のダイナミックレンジの実現が可能である見通しが得られた。国際比較について、高周波減衰量に関する CCEM 国際比較をパイロットラボとして推進し、現在最終の巡回測定を実施中である。JCSS 制度の運営に関し、電気（高周波）分野の技術アドバイザー等による支援を行った。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

[キーワード] マイクロ波、ミリ波、テラヘルツ、高周波電圧、高周波電力、高周波減衰量

[テーマ題目7] 電磁界標準の維持・供給と高度化

[研究代表者] 黒川 悟 (電磁界標準研究グループ 研究グループ長)

[研究担当者] 森岡 健浩、飴谷 充隆、
She Yuanfeng、石居 正典、
廣瀬 雅信、豊野 由美
(常勤職員5名、他2名)

[研究内容]

ループアンテナ9 kHz~30 MHz、バイコニカルアンテナ30 MHz~300 MHz、ログペリオディックアンテナ300 MHz~1000 MHz、ログペリオディックアンテナとボウタイアンテナの複合アンテナ30 MHz~1000 MHz、電界センサ20 MHz~2 GHzについて、jcssによるアンテナ係数校正サービスを開始した。第5世代携帯電話で利用が検討されている周波数のアンテナ特性評価を技術コンサルティングにおいて実施した。ミリ波帯の電磁波散乱断面積の特性評価を技術コンサルティングにより実施した。新しい電界測定技術として光電界センサを用いた測定システムの研究開発、光デバイスを用いたベクトルネットワークアナライザの研究開発、各種レーダー用アンテナの開発と評価技術の研究開発等を企業との資金提供共同研究により実施した。産業技術連携推進会議知的基盤部会電磁環境分科会活動として、不要電磁波放射(EMI)規制に関する地方公設研との比較測定を実施した。比較測定は、電磁界標準研究グループにて開発したデジタル発信機システムを用いて実施した。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] マイクロ波、ミリ波、アンテナ、アンテナ係数、アンテナ利得、電界、磁界

[テーマ題目8] 温度標準の維持・供給と高度化

[研究代表者] 中野 享 (温度標準研究グループ 研究グループ長)

[研究担当者] 佐藤 公一、Widiatmo V Januarius、
小倉 秀樹、斉藤 郁彦、黄 毅、
金子 由香 (常勤職員5名、他2名)

[研究内容]

温度範囲-189℃~1554℃の特定標準器である温度定点群の維持・管理を行った。そして、温度範囲-40℃~420℃については特定副標準器の校正を行い、-189℃のアルゴン点、660℃のアルミニウム点においては特定二次標準器(標準用白金抵抗温度計)の校正を行った。国際基幹比較(CCT-K9)について-189℃~420℃までの測定を行い、その結果をパイロットである米国NISTに送付した。

また、銀点(962℃)、銅点(1085℃)、パラジウム点(1554℃)において特定二次標準器(熱電対)の校

正を行った。また、熱電対の校正温度範囲拡張を目指し、ロジウム-炭素共晶点(1657℃)での校正を開始した。

熱力学温度計である音響気体温度計(Acoustic Gas Thermometer)の測定を行なった。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 熱電対、白金抵抗温度計、温度定点

[テーマ題目9] 低温計測とボルツマン定数に関する研究

[研究代表者] 浦野 千春 (極限温度計測研究グループ 研究グループ長)

[研究担当者] 島崎 毅、中川 久司、三澤 哲郎、
飯田 保 (常勤職員4名、他1名)

[研究内容]

室温以下の校正システムの維持管理を行い、4 K~25 Kの温度範囲にて低温抵抗温度計の評価を行った。CCT-K1.1(0.65 K~25 K)の国際基幹比較を継続し、データの解析結果をパイロットである米国NISTに送付した。25 K以下の温度範囲に関して、半導体系抵抗温度計を校正するための抵抗測定システムの性能評価を行った。トポロジカル絶縁体の輸送特性を評価した。Acoustic gas thermometry および集積型量子電圧雑音源を用いたジョンソン雑音温度計を用いてボルツマン定数の測定に取り組んだ。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] ロジウム鉄抵抗温度計、白金コバルト温度計、低温生成技術、トポロジカル絶縁体、熱力学温度測定

[テーマ題目10] 放射温度標準、レーザー放射標準の維持・供給と高度化

[研究代表者] 座間 達也(兼)(応用放射計測研究グループ 研究グループ長)

[研究担当者] 笹嶋 尚彦、神門 賢二、雨宮 邦招、
山口 祐、井邊 真俊、沼田 孝之
(兼)、清水 祐公子(兼務)
(常勤職員8名)

[研究内容]

中央局として放射温度計(1.6 μm, 0.9 μm, 0.65 μm)および6定点黒体炉の国際比較を実施した。また、高温定点測定プロジェクト(CCT HTFP Programme WP5, 2013-15)により求めた銅の凝固点の熱力学温度値を基準に、銀、アルミニウム、亜鉛、スズ、インジウムの熱力学温度値を測定した。耳式体温計用黒体炉の国際比較のプロトコル作成に貢献し、熱電対用Pd-C共晶点の校正を実施した。光パワーメータの応答非直線性(光減衰量)のjcss校正2件を実施するとともに、光ファイバ光学長標準の開発を進め、当該校正サービス開始に際して必要な準備を完了させた。海外の国家計量標準機関のピアレビュー等に貢献した。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕放射温度標準、赤外放射温度計、定点黒体炉、金属-炭素共晶点、レーザ放射標準、光ファイバパワー、光減衰量、光ファイバ光学長

〔テーマ題目11〕光放射標準の維持・供給と高度化

〔研究代表者〕 部 洋司（光放射標準研究グループ 研究グループ長）

〔研究担当者〕 市野 善朗、木下 健一、田辺 稔、
中澤 由莉、功刀 芳美
（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

分光応答度の特定二次標準器校正をはじめ、測光・放射標準の維持・供給に関する業務を実施した。標準開発に関する研究では、標準受光器の改良・特性評価により照度応答度標準の不確かさ改善を実現したほか、昨年プレスリリースした標準 LED を用いた分光全放射束測定について、不確かさ評価を完了し、標準立ち上げの準備を進めた。国際比較に関しては、分光透過率（CCPR-K6）の国際整合性が確認されたほか、全光束（CCPR-K4）および光度（APMP.PR-K3.a）で中央局として活動中であり、前者はプロトコル作成が完了し、後者は報告書の作成中である。このほか、計5件の国際比較に参加している。精密光放射測定技術の開発および橋渡しに向けた研究としては、光生物学的安全性評価のための実用評価装置のプロトタイプ試作と性能評価、近距離・高強度場での紫外発光ダイオード測定、紫外放射照度計の信頼性検証、極微弱域での光検出器の直線性評価技術の開発、レーザディスプレイ用の単色光源に基づく放射照度測定技術の開発、変角分光反射測定に基づく三次元光学特性評価装置の構築などを手掛けた。このほか、蛍光体量子収率測定法や光生物学的安全性評価法に関する国際標準化審議を主導した。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕分光全放射束、光生物学的安全性、三次元分光反射計測、紫外放射照度、応答非直線性

〔テーマ題目12〕単一光子計測に関する研究

〔研究代表者〕 福田 大治（量子光計測研究グループ 研究グループ長）

〔研究担当者〕 渡部 謙一、丹羽 一樹、沼田 孝之、
服部 香里、衛藤雄二郎、鷹巣 幸子、
池田 裕真、小林 稜
（常勤職員6名、他3名）

〔研究内容〕

超伝導転移端センサ（TES）を用いた光子の高精度分光計測技術に関する様々な研究を進めた。まず、高品位な超伝導薄膜の実現に向け、超伝導臨界電流の温度依

存性評価技術を開発した。TES 素子の諸性能や物理パラメータを明らかにするため、低温動作下にある TES の高周波インピーダンスを精密評価する技術を開発した。光検出効率や波長帯域幅を向上させるため、誘電体多層膜の複素屈折率評価に関する研究を実施した。光ファイバーとの結合効率向上に向け、シリコンの深堀エッチングによる形状加工や光導波路適用についての研究を実施した。海外の大学と共同で、TES 技術を活用した量子情報伝送についての研究を実施した。CCPR のパイロットスタディとして実施中の単一光子検出器の検出効率の国際比較に向け、実験評価装置の開発研究に取り組んだ。一方、高出力レーザの産業利用については、レーザパワーの精密計測に関する技術コンサルティングを実施した。また、高出力レーザのパワー安定化技術に関する研究に取り組んだ。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕極微弱光、検出効率、超伝導光検出器、
単一光子、バイオイメージング、量子情報通信

④【物質計測標準研究部門】

（Research Institute for Material and Chemical Measurement）（存続期間：2015.4.1～）

研究部門長：藤本 俊幸
副研究部門長：高津 章子
総括研究主幹：井原 俊英、竹歳 尚之

所在地：つくば中央第3、つくば中央第5

人 員：72名（72名）

経 費：713,495千円（392,608千円）

概 要：

本研究部門では、化学分析の基礎を支える pH 標準液や元素標準液、生活・食品の安全性確保に不可欠な生体関連標準物質や組成系標準物質、高品質な工業製品の開発・生産で利用される先端材料系標準物質など、材料・化学産業などへ資する国家計量標準の設定と標準物質の整備・普及、関係する計測・評価技術の開発を実施。また、材料、計量、評価技術等に係る信頼性が明示されたデータベースの維持・高度化を行っている。

内部資金：

標準基盤研究 「電気移動度法による気中ナノ粒子粒径分布計測の標準化」

標準基盤研究 「流動場分離法を用いたナノ材料分級法に係る国際規格の提案」

外部資金：

- 国立大学法人九州大学 「新型加熱機構の設計・製作」
- 国立大学法人東京学芸大学 「放射線計測に関するカリキュラムの試作」
- 気象庁気象研究所 「粒子酸化能の自動観測と原因物質の特定に関する研究」
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 「エネルギー・環境新技術先導プログラム／ビッグデータ適応型の革新的検査評価技術の研究開発」
- 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト／先端ナノ計測評価技術開発／ナノ物質計測技術開発・ナノ欠陥検査用計測標準開発」
- 国立研究開発法人科学技術振興機構 「高出力半導体レーザーの狭線化のためのボリュームホログラフィックグレーティング素子と光学系実装技術」
- 国立研究開発法人科学技術振興機構 「相界面の動的構造観察のための波長分散型表面 X 線回折計の開発と応用」
- 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター 「未利用藻類の高度利用を基盤とする培養型次世代水産業の創出に向けた研究開発」
- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 「パルス通電加熱法を利用した熔融核燃料の熱物性測定システムの開発」
- 一般財団法人日本規格協会 「TMB／REMCO 対応」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 新学術領域研究（研究領域提案型） 「CTR 散乱による表面・界面3D 原子イメージング」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A) 「大強度パルス及び連続中性子を駆使した革新的元素・同位体分析技術の開発と応用・評価」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A) 「シリカ膜のナノチューニングと超薄膜製膜プロセスの確立」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「表面 X 線回折直接法を用いた精密構造解析による超薄膜化に伴う新規物性発現の解明」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「繊維表面に形成させた高分子鎖の柔軟な立体構造を利用する Sr-90分析材料の開発」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「高温高湿度の高度利用のための湿度測定法と精度評価技術に関する研究」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「遮熱コーティングの界面熱抵抗評価方法の開発」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「サハリン島西方沖タートルトラフの天然ガスハイドレート生成環境の解明」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「デュアルキャビティリングダウン分光法を用いたガス中微量水分計測法の開発」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(A) 「極限環境の熱伝導率計測技術による地球コア内部の熱移動の解明」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「水分子によって構成されるかご型ナノ空孔を有する物質の構造相転移」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「高い時間分解能を持つ PM2.5中の無機元素分析技術の開発」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「強太陽光環境下での塩素化ナフタレンの光分解挙動の実態把握」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「食品試料中の²¹⁰Pb/²¹⁰Po 高精度分析法の開発と標準化」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「固体 NMR によるプロトン伝導性無機固体酸塩における相転移のメカニズム」
- 独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「顕微分光法による元素状炭素の特性評価と風化メカニズムの解明」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(B) 「ポジトロニウム消滅による機能性薄膜のサブナノ空隙化学解析法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究(C) 「MEMS 式熱量計によるナノ粒子表面比熱の検証と比熱法則拡張への挑戦」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 挑戦的萌芽研究 「ナノ材料の4次元構造解析を目指した高速X線逆空間マッピング法の開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手基盤研究(B) 「細胞内元素量情報に基づく血中循環腫瘍細胞 (CTC) 検出システムの開発」

独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 若手基盤研究(B) 「C 末端標識によるタンパクの高感度かつ高精度 LC-MS 法と脱アミド化評価法の開発」

(一社) 研究産業・産業技術振興協会 平成28年度戦略的基盤技術高度化支援事業 (機関補助金) 「サイレントチェンジ対策/スクリーニング分析用質量分析装置・技術の開発研究」

発 表 : 誌上発表118件、口頭発表253件、その他27件

無機標準研究グループ

(Inorganic Standards Group)

研究グループ長 : 三浦 勉

(つくば中央第3)

概 要 :

当研究グループでは、日本国における pH 標準液、電気伝導率標準液および元素標準液の一次標準液、および高純度無機標準物質や元素分析用の材料系標準物質などについて、国内ニーズに応じた開発・維持・供給を行っている。これらの標準を開発するために、一次標準測定法およびそれになり得る測定法 (Harned セル法、電量分析法、滴定法、重量法、同位体希釈質量分析法、中性子放射化分析法など) を高精度な値付けのために適切に実行するとともに、それら測定法の高度化およびそれらを用いた応用研究を行っている。

研究テーマ : テーマ題目1、テーマ題目2

環境標準研究グループ

(Environmental Standards Group)

研究グループ長 : 稲垣 和三

(つくば中央第3)

概 要 :

快適な環境や食の安全・安心を担保する上で、検査等における分析の信頼性確保は必要不可欠である。当研究グループでは、環境・食品分析分野における信頼性確保に資する研究活動として、無機計測技術の開発・高度化を推進するとともに、それを基盤とした組成標準物質の開発・供給及び分析実務者の技能向上支援を推進している。

研究テーマ : テーマ題目3

ガス・湿度標準研究グループ

(Gas and Humidity Standards Group)

研究グループ長 : 下坂 琢哉

(つくば中央第3)

概 要 :

当研究グループは、国際単位系に計量トレーサブルな各種標準ガスの開発と供給、ppb レベルの微量水分から露点95 °Cの高湿度までの湿度標準の開発と供給を行っている。これら標準のために、高精度な質量測定に基づく標準ガス調製法やキャビティリングダウン分光法 (CRDS) による高感度分光法の研究を行っている。また、昨今話題となっている温室効果ガスやそれに関連する標準ガスの開発を、国内観測機関と協力して行っている。

研究テーマ : テーマ題目4

有機組成標準研究グループ

(Organic Analytical Standards Group)

研究グループ長 : 鎗田 孝

(つくば中央第3)

概 要 :

農産物、工業製品の品質管理や環境のリスク評価を適切に行うためには、標準物質の使用や技能試験への参加による分析精度の管理を欠かすことはできない。当研究グループでは、農薬、PCB、多環芳香族炭化水素 (PAH)、ふっ素系界面活性剤 (PFAS) や水分などについて高精度な分析法を開発するとともに、食品、工業材料、環境試料や標準液などに信頼性の高い特性値を付与した認証標準物質の供給や、残留農薬分析についての技能試験の主催などを行っている。

研究テーマ : テーマ題目5

有機基準物質研究グループ

(Organic Primary Standards Group)

研究グループ長 : 沼田 雅彦

(つくば中央第3)

概 要 :

食品や環境中の有害成分などの分析に用いられている計測機器の多くは、物質の量の物差しである標準物質による目盛付け (校正) を必要とする。当研究グループでは、計測機器の校正に用いられる有機標準物質

に純度あるいは濃度を精確に付与するために必要な、国際単位系にトレーサブルな評価技術（凝固点降下法、定量 NMR 法、滴定法など）を適用するとともに、簡便に物質量の絶対値が得られる NMR と混合物の分離分析に適したクロマトグラフィーの利点を組み合わせた定量 NMR/クロマトグラフィーなど、新規技術の研究開発を行っている。研究成果は認証標準物質や校正サービスという形で、食品中の残留農薬や水道水中の汚染物質などの分析に用いられる標準物質を産業界等に供給するために活用し、信頼できる標準物質をより迅速かつ低コストに供給できる効率的な開発・供給システムの確立を目指している。

研究テーマ：テーマ題目6

バイオメディカル標準研究グループ (Bio-medical Standards Group)

研究グループ長：高津 章子

(つくば中央第3)

概要：

健康状態の把握や食品分析、医薬品の品質管理などのために行われる生体物質の測定は、私たちの健康で快適な生活の土台となる。バイオメディカル標準研究グループでは、ステロイドホルモンやアミノ酸などの低分子化合物からタンパク質や核酸などの生体高分子に至るまでのさまざまな生体物質を対象に、濃度を正しく決定できる分析法の開発に取り組み、標準物質開発・供給を行うことで、バイオ分析や医療計測の信頼性確保に貢献することを目指している。

研究テーマ：テーマ題目7

表面・ナノ分析研究グループ (Surface and Nano Analysis Research Group)

研究グループ長：黒河 明

(つくば中央第5)

概要：

電子・エックス線・イオンのマイクロビームを用いた表面化学分析法と、ナノ構造を有する材料の分析・解析手法の研究開発を行っている。また分析法の精度を向上させるための標準物質の開発を行い、鉄鋼材料の組成標準物質やナノスケールの薄膜標準物質を提供している。とくに多層膜標準についてはさらに迅速な標準供給を目指すために依頼試験を行っている。また表面化学分析技術の高度化と技術普及化を図るため、ISO 等での国際標準化活動への貢献や国際比較の実施を進めている。

研究テーマ：テーマ題目8

ナノ構造化材料評価研究グループ (Nanostructured Materials Characterization Research Group)

研究グループ長：伊藤 賢志

(つくば中央第5)

概要：

半導体デバイス、反射防止膜、分子選択センサー、イオン分離膜といったナノオーダーの分子構造や極微量成分の制御が重要となる革新的機能性材料の研究開発、および、製造時の品質管理に必要な薄膜、表面組成、空孔などに関する計量標準の確立、および、ニーズに即した実用標準の開発を推進している。これまでに、半導体組成分析用認証標準物質や超微細空孔測定用認証標準物質を開発し、現在、供給しているとともに、関連分析技術（質量分析法、吸着偏光解析法、走査型トンネル顕微鏡、X線回折法等）の研究開発を行っている。

研究テーマ：テーマ題目9

粒子計測研究グループ (Particle Measurement Research Group)

研究グループ長：桜井 博

(つくば中央第3、5)

概要：

当研究グループでは、粒子・高分子計測に関わる研究を行っている。粒子、粉体、高分子材料は、先端材料開発、医療、日常用品などで利用されており、また、PM2.5などとして測定されるように、環境中に存在する粒子もある。粒子サイズなどの粒子特性の精確な計測を実現するため、ナノ領域を含む粒子・高分子標準を供給している。さらに、粒子特性値を高精度に計測する技術の開発、新しい標準物質や校正技術の開発、ISO 等での国際標準化活動を行っている。

研究テーマ：テーマ題目10

熱物性標準研究グループ (Thermophysical Property Standards Group)

研究グループ長：山田 修史

(つくば中央第3)

概要：

省エネルギーや低炭素化社会実現のための断熱・蓄熱などによる高効率なエネルギーの利活用技術の開発や電子機器・精密機器における発熱とそれに起因する諸問題の解決など、熱に関連した様々な問題の解決が社会的な重要課題となっている。当研究グループではこれらの課題解決に不可欠な様々な先端機能材料の熱物性量および熱関連量に関する高精度・高機能な計測技術の開発、熱物性計測により得られるデータの信頼性を確保するための SI トレーサブルな熱物性標準の開発と供給およびデータベース構築による熱物性情報の提供を行っている。

研究テーマ：テーマ題目11

計量標準基盤研究グループ

(Metrological Information Research Group)

研究グループ長：齋藤 剛

(つくば中央第5)

概要：

当研究グループは、RoHS 指令等に対応した添加剤分析で計量トレーサビリティを確立するための標準物質の供給、プラスチック添加剤の分析法の開発や ISO/IEC 規格の活動などを行う高分子分析に関わる研究、「有機化合物のスペクトルデータベース (SDBS)」を運営し、新規スペクトルの追加・更新作業、ウェブでのスペクトルデータ無料公開しているスペクトルデータベースの活動、計測・計量に関するソフトウェアおよびデータの適合性評価技術の研究開発を行うソフトウェア認証に関する研究及び、不確かさの普及・啓発活動を含む測定の不確かさ評価、試験所間比較における同等性評価を中心とした統計的手法の開発・応用を行う応用統計の研究を行っている。

研究テーマ：テーマ題目12、テーマ題目13、テーマ題目14、テーマ題目15

精密結晶構造解析グループ

(Accurate Crystal Structure Analysis Research Group)

研究グループ長：後藤 義人

(つくば中央第5)

概要：

イノベーション創出に向けた先端材料の研究開発では、原子・分子～ナノレベルの効果に起因する物性を巧みに応用し、制御することが機能の高度化にとって益々重要になっており、原子レベルの精密な構造解析や物性発現機構の解明に必要な不可欠な基盤技術である X 線結晶構造解析、固体 NMR 等について精密な計測解析評価手法を開発して、高い信頼性を得るための材料評価基盤技術の確立を目指している。具体的には、環境・省エネルギー分野において重要な次世代高機能材料の開発に必要な固体の原子構造、分子配向、化学結合状態、電荷・イオン・分子種の移動現象等に関する情報の解明を目的とした研究をおこなっている。とりわけ、軽元素含有材料の結晶構造あるいは組成・状態変化の解明のため、X 線回折測定データから解析される構造情報を基に、計算化学あるいは統計的モデリングの方法との融合による精密かつ定量的な結晶構造推定技術の高度化を進めている。

研究テーマ：テーマ題目16

[テーマ題目1] 無機標準物質に関する研究

[研究代表者] 三浦 勉 (無機標準研究グループ)

[研究担当者] 三浦 勉、野々瀬 菜穂子、大畑 昌輝、鈴木 俊宏、朝海 敏昭、

チョン 千香子、和田 彩佳、
山内 喜通、城所 敏浩、石澤ゆかり
(常勤職員7名、他3名)

[研究内容]

平成28年度は非金属イオン標準液1種 (アンモニウムイオン標準液) を新規認証標準物質として開発した。JCSS 基準物質として金属標準液及び pH 標準液認証標準物質75試料を指定校正機関に継続して供給した。1物質をロット更新した。既存の認証標準物質の安定性モニタリングの結果をまとめ、5物質の有効期限を延長した。CCQM 国際比較1件、APMP 国際比較1件に参加した。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] 無機標準物質

[テーマ題目2] pH および電気伝導度の標準確立

[研究代表者] 三浦 勉 (無機標準研究グループ)

[研究担当者] 三浦 勉、鈴木 俊宏、朝海 敏昭、Maksimov Igor、大沼 佐智子
(常勤職員3名、他2名)

[研究内容]

Harned セル法による pH 測定システムの改良を引き続き進めた。このシステムを用いて6種類の pH 緩衝液に対するの保存安定性の測定を継続した。pH 標準液認証標準物質16試料を、JCSS 基準物質として指定校正機関に継続して供給した。2件の CCQM 国際比較に参加した。

[領域名] 計量標準総合センター

[キーワード] pH 標準、電気伝導率標準

[テーマ題目3] 環境分析用組成標準物質および微量分析技術に関する研究

[研究代表者] 稲垣 和三 (環境標準研究グループ)

[研究担当者] 稲垣 和三、成川 知弘、宮下 振一、黒岩 貴芳、朱 彦北、小口 昌枝、工藤 いずみ (常勤職員5名、他2名)

[研究内容]

食品・環境分析における信頼性確保に資することを目的として、組成型標準物質の開発、分析技術の高度化、および技能試験等による分析技術向上支援活動に取り組んだ。

組成型標準物質の開発に関しては、平成27年度は次年度以降に認証を予定しているひ素糖分析用海藻粉末標準物質の調製を完了し、開発済みの標準物質の安定性の評価を継続実施した。

分析手法の高度化としては、pH 自動調整器の開発、液体試料噴霧器の開発、ナノ粒子分析用高速信号読み取りシステムの開発等を進めた。pH 自動調整器に関しては1件の、液体試料噴霧器に関しては2件の海外特許がそれぞれ登録になった。また、標準物質開発に関連する分析能力証明の場でもある CCQM 国際比較に関して、

幹事機関として3件の基幹比較の最終報告書をまとめた。併せて1件の基幹比較に参加し、良好な結果を得た。

分析技能向上支援に関しては、(地独)北海道立総合研究機構 工業試験場への同位体希釈質量分析法の技術指導を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】標準物質、分析技術

【テーマ題目4】標準ガス・湿度標準の開発と高度化に関する研究

【研究代表者】下坂 琢哉 (ガス・湿度標準研究グループ)

【研究担当者】下坂 琢哉、松本 信洋、渡邊 卓朗、青木 伸行、阿部 恒、天野 みなみ、橋口 幸治、丹羽 民夫、北野 寛、高田 佳恵子 (常勤職員7名、他3名)

【研究内容】

既存の標準ガス・湿度標準の維持・供給を行うと共に、気候変動の機構や予測に必要となる高精度環境大気分析用標準ガスの開発、半導体製造や次世代のハイテク材料の性能評価等で必要とされる気体中微量水分の標準発生・測定技術の開発を目的として研究を行った。低湿度一次標準発生装置を使って TDLAS 試作機を長期的に評価して性能を改善し製品化に繋げた。微量水分発生装置の流量制御部の安定性を向上させ、発生槽温度を変えることなく 10 nmol/mol~5 μmol/mol の範囲の窒素中微量水分発生器を開発し、校正範囲を拡大した。高精度先端レーザー計測実験等で不可欠な高性能波長計内にわずかに残留する水分により無視できない誤差が発生することを見出し、簡単かつ有効な解決法を提案した。質量比混合法により高精度酸素標準ガスを調製し、磁気式酸素計によりその調製濃度の不確かさが 1 μmol/mol 以下であることを検証した。天然ガス組成分析用の原料となる純エタン標準ガスを開発した。露点 95 °C~ -70°C の領域の湿度標準の校正を約 20 件、ホルムアルデヒドの校正を 1 件行った。大気観測用 CO₂標準ガスなどの国際比較に参加した。JCSS 制度の運営支援のため、技術アドバイザーを派遣した。他国の標準研究機関の技術的なレビューを行い、国際的な貢献も行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】標準物質、湿度、微量水分、高感度水分測定、天然ガス、大気観測

【テーマ題目5】有機組成標準物質の開発と供給

【研究代表者】鎗田 孝 (有機組成標準研究グループ)

【研究担当者】鎗田 孝、羽成 修康、伊藤 信靖、大竹 貴光、稲垣 真輔、宮本 綾乃、沼田 雅彦、岩澤 良子、青柳 嘉枝、(常勤職員7名、他2名)

【研究内容】

工業製品、食品の品質管理や環境のリスク評価を正確に行うために不可欠な分析精度管理用の組成標準物質や分析方法の開発を進めた。組成標準物質開発として、下痢性貝毒分析のためのホタテ貝中腸腺認証標準物質を開発した。水分分析用標準液の要望増加に対応し、新たな標準液の開発に取り組んだ。大豆試料を用いた残留農薬分析の技能試験 (89機関が参加) を主宰し、産総研が付与する参照値によって参加機関の分析技能を評価するとともに、技術講習会を開催した。ラマン分光法の標準化に向けて、国際的な活動に参加するとともに、国内分析機器メーカーによるラウンドロビンテストを実施した。染料に由来し、発がん性が問題となっている繊維製品中の特定芳香族アミン分析における校正用標準液の不安定さの解決に資するため、安定な標準液の調製法や保管法について検討を行った。ISO ガイド34に基づく標準物質生産のための品質システムを維持するとともに、供給中の標準物質の安定性モニタリングを行い、継続的な標準物質供給を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】組成型標準物質、有機標準物質、環境標準物質、技能試験、国際比較

【テーマ題目6】有機化学標準の開発と供給

【研究代表者】沼田 雅彦 (有機基準物質研究グループ)

【研究担当者】沼田 雅彦、加藤 尚志、清水 由隆、北牧 祐子、山崎 太一、斎藤 直樹、黒江 美穂、齋藤 剛、石川 啓一郎、井原 俊英、山中 典子、大手 洋子、大塚 聡子、鮑 新努、藤木 直美、中村 哲枝 (常勤職員10名、他6名)

【研究内容】

国家計量標準機関の供給する標準物質 (以下、国家標準物質) が整備されていない化学物質については、これまでは計量トレーサビリティの確保された標準物質の市場への供給が十分になされておらず、正確な計量が困難な状況にあった。そこで、標準物質の値付けに用いる校正技術を高度化することにより、国家標準物質の整備されていない化学物質の分析についても計量トレーサビリティを確保できる迅速かつ簡便な計測手法を開発した。さらに、農薬類標準物質及びアミノ酸類標準物質を中心に実用化研究を行って、産総研依頼試験による高純度有機標準物質の純度校正を平成23年度より開始した。本年度より一部の校正業務について化学物質評価研究機構への移転を開始したが、約180種の化学物質の校正サービスを提供中で、平成28年度は農薬や定量 NMR 用基準物質など17件について校正を実施した。

純度校正の中核技術として用いている定量 NMR (核磁気共鳴) 法などに関して、国際度量衡局や国立医薬品食品衛生研究所、NMR 装置メーカー、国内試薬メーカ

一などとの共同研究（2件）や受託研究（1件）、技術コンサルティング（1件）などにより、技術の改善や適用範囲の拡大、手法の普及などに努めた。共同研究の成果としては、アミノ酸標準液の高精度な調製法の確立、NMR 用データ解析ソフトの高度化、qNMR/クロマトグラフィーの開発などが挙げられる。さらに、民間の分析機関などを対象とした定量 NMR 法の測定能力評価のための共同測定を主催して、JIS の通則作成に役立てた。

そのほか、水道法における規制物質の評価に用いる標準液の整備に向けて、フェノール類5種、ハロ酢酸2種、非イオン界面活性剤1種について依頼試験を立ち上げるとともに、カビ臭物質2種、陰イオン界面活性剤5種について溶液濃度の値付け手法の開発を進めた。標準物質については1種類を新規に認証するとともに、既存の31種については、継続的供給に必要な安定性モニタリング等の作業を行い、そのうち6種の有効期限を延長した。

また、校正用有機標準物質の国際整合性確保のため、国際比較 CCQM-K78.a（アミノ酸混合溶液の濃度測定）に参加した。さらに、NMIJ が平成26年度に主催した定量 NMR 法に関する国際比較 CCQM-P150の後継比較 CCQM-P150.b を幹事として実施した。そのほか、国際純正・応用化学連合(IUPAC)の有機化合物純度評価法のテキスト化を目的としたプロジェクトにおいて、本グループ員が熱分析と定量 NMR に関するワーキンググループそれぞれの主査を務めている。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】標準物質、計量トレーサビリティ

【テーマ題目7】バイオメディカル標準の研究

【研究代表者】高津 章子（バイオメディカル標準研究グループ）

【研究担当者】高津 章子、加藤 愛、絹見 朋也、藤井 紳一郎、川口 研、柴山 祥枝、坂口 洋平、山崎 太一、恵山 栄、吉岡 真理子、水野 亮子（常勤職員8名、他3名）

【研究内容】

臨床検査や食品分析、医薬品分析など様々な分野で生体関連物質の測定が行われている。これらの測定結果の信頼性確保に資するために、低分子化合物から生体高分子に至るまでのさまざまな生体関連物質を対象に、標準物質開発や国際整合化活動等に取り組んだ。

標準物質開発については、臨床検査の測定項目のひとつであるヒトインスリンについて、誘導体化と同位体希釈質量分析を組み合わせた高感度・高精度なアミノ酸分析法を利用することで、認証標準物質の開発を行った。また、国際整合化活動としては、国際度量衡委員会物質量諮問委員会が主宰する基幹比較 CCQM-K109（血清中の尿素・尿酸の濃度評価）と CCQM-K86C（遺伝子組み換え菜種中の組み換え DNA 定量）に参加した。そ

のほか、ISO ガイド34に基づく品質システムを維持し、これまでに開発した標準物質の安定性評価を行うとともに、尿素、トリオレイン、ヒト血清アルブミン、定量分析用デオキシリボ核酸（DNA）水溶液、アルドステロン分析用ヒト血清（3濃度レベル）、C-ペプチドについて有効期限延長を行うことで、標準物質の安定的な供給を継続した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】標準物質、臨床検査医学、バイオ分析、生体物質

【テーマ題目8】表面・ナノ分析用の標準物質の開発と計測技術の研究

【研究代表者】黒河 明（表面・ナノ分析研究グループ）

【研究担当者】黒河 明、寺内 信哉、張 ルウルウ、東 康史、城 昌利、福本 夏生、今村 元泰、熊谷 和博、内田 みどり、伊藤 美香（常勤職員8名、他2名）

【研究内容】

表面分析法やナノ構造材料の測定手法の開発研究と、分析手法の精度向上のための標準物質開発を行っている。エックス線蛍光分析（XRF 分析）の校正用に、金・銅・ニッケルの多層膜からなる標準物質 NMIJ-CRM 5208-a を開発した。この標準物質の特徴は、各金属層が厚さ（単位 nm）と面密度（単位 $\mu\text{g}/\text{mm}^2$ ）の二つの特性値を有することである。金属膜の膜厚をサブミクロンで評価するために、断面試料の作製と走査型電子顕微鏡（SEM）による膜厚評価方法を開発している。また SEM 装置は像分解能の標準化が検討されている。そこで SEM の像シャープネス校正のためタングステンドットアレイを用いた標準物質の研究開発を行った。試作した試料の評価により、通常の SEM の電子ビームエネルギーで像コントラストが確認できること、境界のぼけ量を示す像シャープネス値は SEM 分析条件の違いを鋭敏に反映できていること、像シャープネス値を長さの単位で精確に現すことができることを明らかにした。キログラムを新たに定義するためアボガドロ定数 (N_A) の精密測定が各国で実施されている。当グループではシリコン同位体 (^{28}Si) 製球体の表面層をエックス線光電子分光（XPS）法で評価する研究を行い、球体質量の不確かさでは表面が占める割合が大きく表面の測定が重要であることを見いだした。マイクロビームを用いた表面化学分析技術や電子顕微鏡による評価技術の高度化とその技術普及を図るため、国際標準化活動の ISO/TC201,202,229と、国際比較を実施する CCQM の表面分析ワーキンググループ（SAWG）に貢献した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】標準物質、エックス線蛍光分析、走査型電子顕微鏡、像シャープネス

〔テーマ題目9〕機能性ナノ構造化材料の分析技術と関連標準の開発

〔研究代表者〕伊藤 賢志（ナノ構造化材料評価研究グループ）

〔研究担当者〕伊藤 賢志、富樫 寿、平田 浩一、高塚 登志子、山脇 正人、白澤 徹郎（常勤職員5名）

〔研究内容〕

供給中の認証標準物質の安定性試験を行い、品質に問題がないことを確認した。特に CRM5605-a（ハフニウム定量用酸化ハフニウム）については、十分な安定性が確保されていることから有効期限を延長した。構造物の疲労検査や材料研究へ適用可能な陽電子寿命計測に関する非破壊検査方法の高度化を行い、鉄鋼部材評価のための非破壊検査装置を実現する普及型の陽電子寿命測定技術を確立した。マトリックス支援レーザー脱離イオン化過程においてマトリックスクラスターの分裂に伴うイオン対の分解機構を考慮することによりイオン化効率が高まる可能性があることを示した。イオンビームを用いた2次粒子計測による高感度表面分析法を開発し、無機系ナノ薄膜分析に応用することにより従来法では観測されなかった高い分子量を持つ巨大2次粒子が高強度で放出することを見出した。走査型トンネル顕微鏡に付属させるための断面測定用試料ホルダや測定位置調整用部品の設計を行った。X線散乱法による先端薄膜材料の構造評価に関する調査研究を行い、薄膜標準の現状と課題について整理するとともに新規標準を提案した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕材料分析、イオン注入標準物質、微細空隙標準物質、質量分析、X線回折

〔テーマ題目10〕粒子標準の開発と供給

〔研究代表者〕桜井 博（粒子計測研究グループ）

〔研究担当者〕桜井 博、飯田 健次郎、加藤 晴久、坂口 孝幸、高橋 かより、高畑 圭二、前田 綾香、水野 耕平、村島 淑子、佐野 慶子、中村 文子（常勤職員9名、他2名）

〔研究内容〕

粒径、気中と液中各々における粒子数濃度、比表面積、高分子分子量の標準について、依頼試験業務や標準物質供給を行うとともに、標準の新規開発や高度化を進めることを目標としている。H28年度は、H27年度に開発した標準に関する品質システムを完成させるとともに、標準維持のための安定性モニタリング等を実施した。また、動的光散乱法、静的光散乱法、流動場分離法、計数ミリカン法、電気移動度法、パルス磁場勾配核磁気共鳴法等による粒径、粒子質量、分子量の値付けを高精度化する研究を進めた。粒子・粉体・高分子計測に関するISO・JIS等の工業標準化をプロジェクトリーダー、国

内委員長、国内委員として推進した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕粒径、粒径分布、粒子質量、粒子数濃度、比表面積、分子量

〔テーマ題目11〕固体熱物性標準の整備

〔研究代表者〕山田 修史（熱物性標準研究グループ長）

〔研究担当者〕山田 修史、渡辺 博道、阿子島 めぐみ、八木 貴志、阿部 陽香、山下 雄一郎（常勤職員6名）

〔研究内容〕

固体材料を対象とした熱物性（熱膨張率、熱拡散率、熱伝導率、比熱容量、薄膜熱物性、熱流密度など）に関して、熱膨張率標準に関しては、2017年度供給開始を目標とした供給範囲の拡張に関する校正システムの構築および新規標準物質の開発を進めた。比熱容量標準に関して、高温領域での断熱法による校正システムの試作機の製作を進めた。薄膜熱物性標準に関して、認証標準物質 CRM5808-a 熱拡散率測定用モリブデン薄膜の有効期限の延長を行った。また、その他の各標準供給項目に関しても継続的な研究開発と校正技術の改良と高度化を進めた。熱物性関連の計測規格および標準化に関して、真空断熱材熱物性・耐久性試験法や放熱性シート材料の熱拡散率測定方法の規格原案作成委員会、遮熱コーティングの熱伝導率測定や薄膜熱拡散率測定法のISO規格化に関する国内審議委員会などに参画した。分散型熱物性データベースに関して、固体材料の新規熱物性データセット146件を追加登録すると共に、物性間のデータ整合性に基づく信頼性評価システムの試作や遺伝的アルゴリズムによる薄膜熱物性データの自動解析システムの開発を行った。産業技術連携推進会議知的基盤部会計測分科会の温度・熱研究会の運営を担当し、示差走査熱量計（DSC）等による比熱容量測定ラウンドロビン試験を実施した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕固体熱物性標準、標準物質、熱膨張率、熱拡散率、熱伝導率、比熱容量、薄膜熱物性、熱流密度、熱物性データベース

〔テーマ題目12〕高分子中の添加剤標準物質の開発と供給

〔研究代表者〕松山 重倫（計量標準基盤研究グループ）

〔研究担当者〕松山 重倫、齋藤 剛、折原 由佳利（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

プラスチック中の低分子成分含有量に関する認証標準物質について、8110-a、8152-aの認証期限延長を行った。また、平成29年度新規認証予定のCRM 8156-aの

安定性試験を行った。IEC における RoHS 指令に対応したプラスチック中の成分測定法の規格制定に関与した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕プラスチック添加剤、RoHS 指令、SVHC、測定法

〔テーマ題目13〕有機化合物のスペクトルデータベース (SDBS) の高度化研究

〔研究代表者〕齋藤 剛 (計量標準基盤研究グループ)

〔研究担当者〕齋藤 剛、渡邊 宏、松山 重倫、小野 千里、滝澤 祐子、鍋島 真美 (常勤職員3名、他3名)

〔研究内容〕

H28年度に産総研で測定し、評価を行った¹H 及び¹³C 核磁気共鳴、赤外分光と質量の合計432スペクトルを有機化合物のスペクトルデータベース (SDBS) に登録しインターネットを通して公開し、公開するスペクトル数は約11万件となり、アクセス数は一日平均約10万件だった。インターネット上公開している SDBS の Web サイトを保守運営した。そのなかで情報セキュリティの脅威への対策も実施した。今後、産総研内外の化学物質情報と連携していくための媒介として、スペクトルごとのランディングページを整備し、公開するための準備を整えた。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕有機化合物、核磁気共鳴スペクトル、赤外分光スペクトル、質量スペクトル、インターネット

〔テーマ題目14〕ソフトウェア認証に関する研究

〔研究代表者〕松岡 聡 (計量標準基盤研究グループ)

〔研究担当者〕松岡 聡、渡邊 宏 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

ソフトウェア認証に関する基礎研究として、multiplicative linear logic (MLL) 非決定的多項式時間計算クラス (NP) 完全問題の解探索に関する研究・開発を行うとともに、データの信頼や品質の文書化方法を検討するため、SDBS の公開データを題材にアシュアランスケースを作成する実験を行った。

MLL 証明探索に基づく NP 完全問題の解探索に関する研究・開発では、ソフトウェア Proof Net Calculator 上に Backtracking と ID-links dependency relations を用いた探索空間の削減を目的とする機構を実現した。その結果、NP 完全問題の具体例である有向ハミルトン回路問題と3次元マッチング問題に関して従来よりも最大100万倍以上の高速化を実現した。アシュアランスケースの作成実験では、前年度に得たメタノールの帰属評価結果の妥当性を主張するアシュアランスケースの形式化を検討した。その結果、プログラミング言語 Agda のプログラムとして表現された形式アシュアランスケース

の事例を得た。作成実験は神奈川大学との共同研究として実施した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕ソフトウェア、認証、適合性評価、NP 完全問題、アシュアランスケース、形式化

〔テーマ題目15〕不確かさ評価及び同等性確認における統計的問題の研究と技術支援

〔研究代表者〕田中 秀幸 (計量標準基盤研究グループ)

〔研究担当者〕田中 秀幸、城野 克広 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

不確かさ評価に関わる統計的手法の開発・応用を行うとともに、産総研内外での不確かさ評価の技術支援・普及啓発活動を行うことを目標としている。今年度は、測定結果の同等性評価法、ガンマ線測定における信頼性評価、抜取検査などの実用的問題の解決のために統計的手法の開発・高度化を行った。1名の常勤職員を英国に長期派遣し、関連する高度な統計手法の習得とともに、国際的協調のための足掛かりを作った。不確かさクラブでは、不確かさ事例研究会の運営を行い不確かさ評価事例を9件作成し、発表会を開催・報告書を発行した。また、中上級者用不確かさ講習会の開催をはじめとする不確かさセミナーでの講師、不確かさ評価の技術相談等の普及・啓発活動を行った。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕不確かさ、試験所間比較、トレーサビリティ、適合性評価、バイズ統計

〔テーマ題目16〕精密結晶構造解析の高度化に関する研究

〔研究代表者〕後藤 義人 (精密結晶構造解析グループ長)

〔研究担当者〕後藤 義人、山脇 浩、藤久 裕司、竹谷 敏、服部 峰之、林 繁信、治村 圭子 (常勤職員5名、他2名)

〔研究内容〕

粉末 X 線回折データを用いるリートベルト解析による結晶構造情報を基に、軽元素や不安定分子種等を含めた、より詳細な位置情報について確度の高い無撞着な結晶構造を推定するため、量子化学計算の一種である DFT 計算や分子力場計算、分子動力学 (MD) シミュレーション等との融合によって構造モデリングを行う手法の開発を進めた。鉄系超伝導体の1144型および122型に属する新規物質について、粉末 X 線回折データによるリートベルト解析および DFT 計算の併用によって、カチオンの占有率を含めた構造モデルの解析を行った。また、安全科学研究部門と共同で化学物質の爆発安全情報データベースとして公開するため、高エネルギー物質

10種について DFT 計算を用いた構造最適化や MD シミュレーションを行うとともに、それぞれの結晶構造の等温圧縮過程、断熱圧縮過程における構造変化を調べた。

一方、信頼性の高さにおいて結晶構造解析の最も重要な基盤技術であり標準不確かさに基づいた解析評価が有効な単結晶 X 線精密構造解析法の高度化については、原子構造モデルの推定と決定に関して、解析の汎化能力の向上を期待することができる統計的モデリングの手法の一つである情報量規準を用いた開発を進めた。結晶構造モデルへのパラメーター導入の有意性を検定するために、半世紀以上もの間、広く利用され続けてきた Hamilton's test の方法では優劣の判断が本質的に困難と思われる構造モデルの過適合問題に対して、情報量規準を適用することの優位性を示すことに成功し、情報量規準が結晶構造モデルの決定精度を向上することが出来る優れた指標と成り得ることを明らかにした。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X 線結晶構造解析、固体 NMR

⑤【分析計測標準研究部門】

(Research Institute for Measurement and Analytical Instrumentation)

(存続期間：2015.04.01～)

研究部門長：野中 秀彦
副研究部門長：齋藤 則生、時崎 高志、齋藤 直昭
首席研究員：鈴木 良一
総括研究主幹：津田 浩
研究主幹：松林 信行

所在地：つくば中央第2、第3、第5、西事業所

人 員：58名 (58名)

経 費：878,760千円 (409,404千円)

概 要：

当部門では、医療用リニアックを用いた治療レベル線量標準、食品の放射能測定、環境騒音の低減に資する標準などに代表される、医療の信頼性、分析・検査産業の発展を支える放射線・放射能・中性子・音響・超音波に関連する国家計量標準の整備と普及を行うとともに、ナノ材料の評価などに必要な微細構造解析と製品や施設など構造物の非破壊検査のために、陽電子、X 線、レーザー光やイオンなどをプローブとした先端計測、評価、分析および検査技術の研究開発を行う。これら分析と計測に関する標準と先端技術を分析・検査産業などを通じて普及し、より豊かで安全な社会の構築に貢献することを目標とする。各グループの特徴は以下のとおりである。

・音響超音波標準研究グループ

規制値以下の環境騒音確保等のための空中伝搬音の

精密計測技術や計量標準の開発供給、および医療・産業用超音波放射機器の性能や安全性評価のための水中伝搬音の精密計測技術や計量標準の開発供給。

・放射線標準研究グループ

放射線防護や医療用および産業用放射線に関連する γ 線、X 線、 β 線の線量標準の開発・維持・供給、および放射線検出器の評価技術や放射線利用機器の安全性評価技術の提供。

・放射能中性子標準研究グループ

放射能および中性子に関わる計量標準の開発・維持・供給、並びに放射能測定用食品試料の認証標準物質、中性子の精密計測など関連する計測技術の開発。

・X 線・陽電子計測研究グループ

電子加速器により発生した高強度短パルス陽電子ビームを用いた高機能材料の計測評価技術の開発、および加速器技術をベースとしてインフラ等の診断のための可搬型超小型 X 線検査装置開発。

・ナノ顕微計測研究グループ

次世代産業の中核を担う基盤材料として期待されているナノ材料の開発の基盤技術となる計測技術の新規開発。顕微鏡法や質量分析法において新規要素技術の開発から計測のための試料調整技術、装置校正技術、データ解析手法、国際標準化等の開発。

・放射線イメージング計測研究グループ

放射線計測と電子加速器技術を利用した産業技術の開発を目指した、X 線イメージングの研究と産業利用に適した小型加速器の開発。

・非破壊計測研究グループ

社会インフラの老朽化に対応する点検や維持に役立つ超音波や画像解析技術を利用した現場情報の可視化技術の開発と炭素材料などの新材料の評価のための計測技術の開発。

・ナノ分光計測研究グループ

光をプローブとした光学的・分光学的な計測・分析手法の開拓と計測・分析機器の開発及びこれらの機能材料分析から生体・環境の診断・モニタリングへの応用。

各グループは有するコア技術を磨くとともに、新しい標準、計測、分析技術の芽を育てている。

第4期中期目標期間（2015年度～2019年度）においては、計量標準総合センターの一研究部門として、産業界のニーズを取り込みながら、計量標準の開発・維持・供給と先端計測技術とその応用技術の研究開発を、目的基礎、橋渡し前期および橋渡し後期のそれぞれのフェーズを見極めながら推進する。そのために、当部門独自の重点課題を実施した。以下にそれらの重点課題の概要、外部資金による研究テーマ、及び各グループの活動状況を述べる。

【重点課題1】広帯域超音波利用の安全性確保に資す

る瞬時音圧の精密計測技術の開発：音響超音波標準研究グループ

パルス等の広帯域超音波が用いられる超音波診断装置の安全性評価に資する、瞬時音圧精密計測技術を開発する。そのための計測装置を試作した。また生活空間での利用が増加している空中超音波の音圧を光学的に精密計測するシステムの開発を行った。

【重点課題2】アラニン/ESR線量計の温度特性評価による測定の高精度化：放射線標準研究グループ
アラニン/ESR線量計のESRによる信号読取測定時の温度依存性を評価することで、測定の高精度化を目指す。そのために、温度可変装置を導入し、アラニン線量計の測定時温度特性を検証した。

【重点課題3】ガス中のラドン及びその子孫核種による被ばく評価の高精度化：放射能中性子標準グループ
一般公衆の被ばく要因として重要な、ラドンの放射能測定の基本となる高精度測定システムの確立に向け、専用の多電極比例計数管を整備し、測定システムの特性を評価した。

【重点課題4】材料やデバイスの中性子波長分解型非破壊イメージングを目的とした小型加速器パルス中性子源のプロトタイプ開発：X線・陽電子計測研究グループ

材料やデバイスの中性子波長分解型非破壊イメージングを目的として、小型電子加速器電子小型加速器を用いたパルス中性子源のプロトタイプ開発を行った。真空中の冷却したポリエチレン減速材に効率良く高速中性子が集まるような構造の小型加速器中性子源のプロトタイプを構築し、電子加速器高エネルギー電子ビームを用いて実験を行い、中性子源の研究開発に利用できることを明らかにした。

【重点課題5】新規ラジカル分解質量分析法のためのタンデム質量分析計の構築：ナノ顕微計測研究グループ

ラジカル分解質量分析法を確立するため、タンパク質主鎖の特定 N-C_α結合を選択的に切断する新規ラジカル分解法の開発と四重極型及び飛行時間型から成るタンデム質量分析計の開発を行う。すでに完成している飛行時間型に加えて四重極型質量分析計の増設と整備を進める一方で、計算科学的手法の支援でラジカル分解の機構解明等を進めた。

【重点課題6】量子ビームを用いた先端オペランド計測技術開発と材料・デバイス分析への応用：放射線イメージング計測研究グループ

中性子等の量子ビームを用いた材料分析装置導入を目

指して加速器施設の再構築を進める。来年度に新たな電子加速器と中性子発生装置を導入し完成後は材料分析に供する。中性子発生装置の整備と並行して、テラヘルツ吸収分光と円二色性計測を用いた計測分析技術を確立する。水分を含んだ有機・無機材料のテラヘルツ吸収分光を行うため、加速器の安定性や信頼性を確立する。具体的には電子加速器を用いて高強度のコヒーレント・テラヘルツ遷移放射を発生する方法を確立する。またシングルショット時間領域分光システムの開発を本格的に開始するため、バンドパスフィルタや光学遅延回路を用いた時間領域分光システムの基礎実験を行う。

【重点課題7】ホログラフィとモアレを融合させた高精度3次元変形・ひずみ計測システムの開発：非破壊計測研究グループ

デバイスなどの微小領域の3次元変形・ひずみ分布を高精度に計測する技術を開発する。そのために、面内変位計測を行うモアレ法と面外変位計測を行うホログラフィを融合させた計測システムを設計した。

【重点課題8】ポスト橋渡し後期のインビジブルビジョン技術の研究基盤強化：ナノ分光計測研究グループ
赤外線カラー暗視カメラの開発、高度化および展開、放射線カメラの開発を行う。そのため、赤外線カラー暗視カメラによる近距離（室内）から遠距離（250 m）に渡る撮影、並びに、放射線カメラ用検出素子の高感度化（従来の4倍）を実現した。

内部資金：

戦略予算「インフラヘルスイノベーション」
標準基盤研究「3 mm線量当量測定技術の開発と校正方法ISO規格の改正」
標準基盤研究「甲状腺モニタ用ファントム標準化のための研究」
標準化ポテンシャル調査「パルス放射線場における医療用線量計の性能試験方法の開発」
標準化ポテンシャル調査「低線量率γ線校正方法の新規国際標準化」
標準化ポテンシャル調査「放射線の環境モニタリングの品質管理に関する調査」

外部資金：

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト「インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発/超小型 X線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

「高輝度・高効率次世代レーザー技術開発」

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
「エネルギー・環境新技術先導プログラム／大型超軽量
構造材料の AI 利用・高解像度計測技術の研究開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 研究成果展開事業
【研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) 産業ニ
ーズ対応タイプ】「中性子フラットパネルディテクタの
研究開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的イノベー
ション創造プログラム【SIP】「インフラ維持管理・更
新・マネジメント技術」「レーザー超音波可視化映像か
らの欠陥定量検出法の開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的イノベー
ション創造プログラム【SIP】「インフラ維持管理・更
新・マネジメント技術 (先端計測)」「コンクリート内部
を可視化する後方散乱 X 線装置の開発」

国立研究開発法人科学技術振興機構 戦略的創造研究推
進事業 (ERATO)「熱活性化遅延蛍光分子における励
起状態ダイナミクスの解明」

文部科学省 平成28年度科学技術試験研究委託事業
「微細構造解析プラットフォーム」

静岡県「高画質で小型軽量な卓上 X 線3D スキャナの開
発」

独立行政法人日本学術振興会 平成28年度科学研究費
助成事業 (科研費)

「真空紫外領域の円偏光分光法による隕石中のキラリテ
ィの非破壊分析法の確立」新学術領域研究 (研究領域提
案型)

「テラヘルツ帯高強度コヒーレントエッジ放射の利用に
よる自由電子レーザー制御の研究」基盤研究(B)

「レーザー駆動フェムト秒ガンマ線パルスを用いた中性
子発生」基盤研究(B)

「強度輸送方程式に基づくシングルショット複素振幅動
画像計測システムの開発」研究活動スタート支援

「水晶振動子型水素漏洩検知器の屋外使用のための湿
度・湿度補正法に関する研究」基盤研究(C)

「構造体健全性診断のための超音波伝搬可視化法による
定量的非破壊評価」基盤研究(C)

「水等価電離箱の開発」基盤研究(C)

「質量分析法による金属結合タンパク質の構造解析」基
盤研究(C)

「J-PARC パルス中性子ビームを用いた鉄鋼材料や植物

中のホウ素の可視化の研究」基盤研究(C)

「光波面制御を利用した深部計測のための強度干涉断層
イメージング技術の開発」基盤研究(C)

「プロトン性イオン液体を用いたビーム源の開発：有機
系 SIMS の感度と面分解能の向上」基盤研究(C)

「光学的マルチスケールひずみ分布計測法の開発と損傷
メカニズムの実験的解明」基盤研究(C)

「キャビテーション気泡の運動状態の計測制御に関する
研究」基盤研究(C)

「BNCT 領域の熱外中性子線量精密評価用可搬型検出
器の開発」基盤研究(C)

「有機デバイス開発のための低照射線量逆光電子分光法
の研究」挑戦的萌芽研究

「強磁性体/超伝導体接合におけるアンドレーエフ反射
およびスピン緩和に関する研究」若手研究(B)

「コンパクトカロリメータを用いた外部放射線治療現
場における絶対線量計測技術の開発」若手研究(B)

「マイクロ蛍光比例計数管を用いた放射線イメージング
デバイスの開発研究」若手研究(B)

「光電子収量分光法を応用した、励起準位エネルギーの
大気下計測手法の開発」若手研究(B)

「Development of high-accuracy and large-view-field
deformation measurement technique to investigate
micro-nano-scale deformation distributions around
interfaces」若手研究(B)

「加速器 BNCT 用中性子エネルギー分布測定技術の開
発」若手研究(B)

「タンパク質機能発現の解明を目指した高強度テラヘル
ツ時間分解分光システムの開発」基盤研究(B)

「粒子線治療における線量評価技術の開発」基盤研究
(B)

「純ベータ核種の高感度オンサイト絶対測定器の開発」
若手研究(A)

「陽電子消滅による結晶特異構造のキャリア捕獲・散乱
ダイナミクスの評価」新学術領域研究 (研究領域提案
型)

「フェムト秒電子バンチの6D 位相空間分布計測可能な
単一ショット非破壊モニターの開発」基盤研究(A)

「超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準
の高精度化」基盤研究(A)

「リニアック X 線による新たな電離箱線量計校正法と
水吸収線量計測に関する研究」基盤研究(C)

「a-Si:H/c-Si ヘテロ接合界面近傍のボイド構造解明」
基盤研究(C)

「針葉樹型カーボンナノ構造体を用いた超小型タイミン
グ X 線源による分光観測の革新」挑戦的萌芽研究

「多結晶効果の高効率・高精度解明を実現するコンビナ
トリアル型照射損傷研究の新提案」基盤研究(B)

「NRF を利用した同位体3D イメージングに関する基
礎研究」基盤研究(B)

発表：誌上発表126件、口頭発表269件、その他35件

音響超音波標準研究グループ

(Acoustics and Ultrasonics Standards Group)

研究グループ長：堀内 竜三

(つくば中央第3)

概要：

音響および超音波の標準は、環境、医療、ものづくりなどの分野において不可欠であり、ニーズに応じた新規標準の立ち上げや供給範囲の拡大・高度化に必要な研究開発を行っている。既存の標準の維持・供給やMRA 対応の国際基幹比較への参加も継続的に実施している。また橋渡しの実現に向けた計測技術の開発や、将来のシーズとなりうる目的基礎研究にも積極的に取り組んでいる。

音響関連では、音響計測器の jcss 等校正サービスについて、品質システムの継続的運用の下、jcss 校正11件、騒音基準器検査26件、低周波域でのマイクロホン音圧感度の依頼試験2件、音響パワー計測で使用される基準音源の音響パワーレベル校正2件を実施した。JCSS 登録申請事業者に対しては、4件の登録審査を行った。将来的に音響パワーレベル標準の校正周波数範囲を現行の100 Hz から10 kHz から50 Hz から20 kHz へ拡張することを計画している。本年度は50 Hz から100 Hz の周波数範囲における、基準音源から発生する音の放射特性の調査を、音響インテンシティ測定により行った。

超音波関連では、天秤法及びカロリメトリ法による超音波パワー校正、光干渉法によるマイクロホン感度校正の一次校正、同比較校正、超音波音場パラメータ校正の各標準を維持し、依頼試験を継続した。28年度には、超音波パワー校正は1件、マイクロホン感度校正は28件、超音波音場パラメータは1件の依頼試験を実施した。また、医用超音波機器の性能、安全性評価や産業応用のニーズに応えるため校正範囲の拡張などを進めた。医用超音波機器や超音波洗浄機で求められる超音波パワー標準については、超音波振動子への印加電圧を正確に計測するために構築した、サーマルコンバータを用いたシステムによる計測値の不確かさを評価した。またマイクロホン感度校正については、超音波診断画像の分解能向上による校正周波数範囲の高周波化のニーズに対応するため、校正システムのアライメント機構を改良し、S/Nを向上させた。また、諸外国の超音波標準との同等性を相互承認するため参加した、マイクロホン感度校正 (CCAUV.U-K4) に関する国際基幹比較の最終報告書が発行された。

研究テーマ：テーマ題目1

放射線標準研究グループ

(Ionizing Radiation Standards Group)

研究グループ長：齋藤 則生

(つくば中央第2)

概要：

放射線標準は、放射線防護、医療、産業、先端科学にとって非常に重要であり、ニーズに対応した標準の立ち上げと高度化、および関連する計測技術の研究開発、標準の維持・供給、MRA 対応の国際基幹比較に努めている。特に、ライフインベションへの貢献として、放射線を用いた診断・治療の信頼性向上に資するするために、医療用線量標準等の物理標準の開発・範囲拡張・高度化等の整備を知的基盤整備計画に沿って行うとともに、震災復興支援に関連する線量標準や関連する計測技術の開発などを積極的に進めている。

今年度は、医療用線量標準として、Ir-192小線源の基準空気カーマ標準を立ち上げ、プレス発表を行った。また、医療用リニアックからの高エネルギー電子線標準の開発のために、グラフアイトカロリメータのSN比改善に努め、4倍向上した。また、補正係数導出のためにモンテカルロシミュレーションに取り組み、9 MeV について計算が完了した。粒子線治療に関わる標準開発として、炭素線の線質測定、カロリメータを用いた熱量測定を行うとともに、水カロリメータの開発を引き続き行った。

軟 X 線の線量当量標準の開発のために、X 線スペクトルの測定を行った。X 線自由電子レーザー用のマイクロカロリメータを開発した。今後動作テストを行う予定である。

Ir-192小線源などを用いた高線量率小線源治療の安全のために、術中にリアルタイムで線源位置が分かる計測機器を開発する。そのためにダブルピンホールカロリメータ・2次元検出器、および胴体部を模擬した試験用ファントムを設計・製作した。

放射線線量計の校正に関して、jcss11件 (γ線8件、水吸収線量1件、軟 X 線1件、β線1件)、依頼試験32件 (γ線21件、水吸収線量7件、中硬 X 線3件、軟 X 線1件) 行った。

研究テーマ：テーマ題目2

放射能中性子標準研究グループ

(Radioactivity and Neutron Standards Group)

研究グループ長：柚木 彰

(つくば中央第2)

概要：

放射能計量標準に関して、放射性医薬品に用いるラジウム223の標準供給を開始した。放射性ガスの放射能精密測定技術を活用してガスモニタ試験に取り組んだ。国際比較では、インドとニッケル63の二国間国際比較を実施し、放射性セシウムを含む小麦試料を用いた放射能国際比較の開催に向けて試料を準備しプロトコルを作成した。校正サービスについては、jcss 校

正5件、依頼試験3件を実施した。

中性子計量標準に関して、1.2 MeV の速中性子フルエンス標準について、中性子発生に使用するペレトロン加速器のパルス化装置のプロトン用への改造等を進めるとともに、中性子フルエンスの絶対測定を実施し、開発を進めた。2.5 MeV の速中性子フルエンス標準については、同じくペレトロン加速器について加速電圧を安定化させるための改良を行った。Cf-252 中性子放出率、熱中性子フルエンス率標準、中性子線量標準、高エネルギー中性子フルエンス率標準の国際比較の準備を進めた。校正サービスについては、依頼試験1件を実施した。

研究テーマ：テーマ題目3

X線・陽電子計測研究グループ

(X-ray and Positron Measurement Group)

研究グループ長：鈴木 良一

(つくば中央第2)

概要：

非破壊検査や医療診断では、現場で使用できる小型軽量、ロボット等に搭載可能な X 線等の非破壊検査装置が望まれている。当グループでは、カーボンナノ構造体を用いた小型軽量の X 線源、X 線や中性子を用いた非破壊検査技術、放射線線量計等の技術シーズを有しており、ニーズに合わせた開発を行うことによって様々な状況に対応できる計測技術の開発を行う。また、先端材料開発では、原子からナノレベルの構造制御が鍵になっており、これらの極微構造の評価を実現するため、電子加速器を用いて陽電子や中性子のビームを発生し、高度に制御して、各種の材料に適用することによって原子からナノレベルの構造等を評価する計測技術の研究を実施している。

今年度は、化学プラントの配管検査用の X 線検査ロボットの試作とこのロボットに搭載する X 線源及び検出器の性能評価を行い、0.1秒1ショットの X 線で50 mm、18ショットで70 mm の鉄を透過した X 線のイメージを撮ることができることを確認した。また、電子加速器を利用した高強度低速陽電子ビームによる材料計測技術の機器公開を継続し、外部の計測・分析ニーズに応えた。中性子ビームによる材料計測技術では、構造材料分析用の小型電子加速器を用いた中性子計測システムの設計を行った。

研究テーマ：テーマ題目4

ナノ顕微計測研究グループ

(Nanoscopic Measurement Group)

研究グループ長：山本 和弘 (～2016.04.30)、

中村 健 (2016.05.01～)

(つくば中央第2)

概要：

ナノスケールオーダーで構造や特性を制御したナノ物質や物質・材料の機能を飛躍的に向上させるナノ製造技術の研究開発において、計測技術は基盤技術として重要である。当グループでは、電子線・イオンビーム等を含めた各種プローブを用いた顕微鏡的手法及び質量分析法を中心としたナノ領域の計測技術の研究開発を実施している。具体的には、電子顕微鏡を用いたナノ粒子の生体への安全性評価、原子間力顕微鏡 (AFM) や走査型近接場光顕微鏡 (SNOM) 等のプローブ顕微鏡によるナノ粒子の形状観察のための技術開発、質量分析法高度化のためのイオン化及び検出技術の開発、ナノ製造プロセス等のモニタリング用の水晶振動子センサの開発である。

平成28年度は質量分析法に関して、生体高分子の新たな分析法であるラジカル分解質量分析法の研究開発を継続した。四重極型と飛行時間型を組み合わせたタンデム質量分析計の試作を進めた。また顕微鏡法に関しては、表面走査プローブ顕微鏡の機器公開を継続し、外部の計測・分析ニーズに適宜応えた。プローブ顕微鏡の試料前処理技術である凍結乾燥法の開発を進め、ナノ粒子の均一かつ孤立した分散技術の向上に進歩があった。前年度に引き続き ISO TC201 (表面化学分析) 及び TC229 (ナノテクノロジー) を通じて、これら手法に関わる国際標準化の推進を行った。

研究テーマ：テーマ題目5

放射線イメージング計測研究グループ

(Radiation Imaging Measurement Group)

研究グループ長：豊川 弘之

(つくば中央第2)

概要：

電子加速器を用いて発生する X 線、テラヘルツ波、ガンマ線、中性子等の先端量子ビーム発生手法およびその利用方法について研究し、産業に役立つ先端分析計測技術を開発する。従来にない新規量子ビームを発生する技術、既存の量子ビームの性能を格段に向上したり使い易くする技術、量子ビームを高効率かつ正確に計測する放射線計測技術の開発、および技術を社会に広く普及させるための研究を行う。これらの一連の研究活動によって、産総研で開発した技術を社会へ広く橋渡しする。

今年度は高エネルギー X 線源を用いた後方散乱 X 線によるコンクリート等の片面からの内部検査手法の開発を行い、道路床版内部の損傷を片面から撮影することに成功した。また、かぶり深さ10 cm のコンクリート内部にある直径1 cm の鉄筋を画像で計測することに成功した。これによって、コンクリートやアスファルト深部の様子を片面から可視化できるようになった。さらに、X 線を照射すると発光する素子およびそれを読み出す電子回路基板を新規設計することによ

て、また大面積 X 線カメラの開発を行い高精細な画像を得ることに成功した。

研究テーマ：テーマ題目6

非破壊計測研究グループ

(Non-destructive Measurement Group)

研究グループ長：津田 浩

(つくば中央第2、西事業所)

概 要：

全視野計測による材料の微視的変形から構造物全体の巨視的変形評価技術の開発、超音波伝搬状況を可視化することで構造物中の欠陥を容易に検出する構造物健全性評価システムの開発、並びに炭素材料の適用環境における材料特性評価とその評価手法の開発を行っている。

今年度の成果を以下に記す。サンプリングモアレ法による動的たわみ計測を鉄道橋に適用し、従来の変位計を利用した場合と比較して、より経済的に同程度の精度で計測できることを実証した。ミクロンスケールの材料評価では、ナノインプリント技術を用いた微小領域のひずみ分布計測技術を開発し、デバイスの熱残留ひずみ計測に適用した。高精度のひずみ分布計測を実現するために、モアレとホログラフィを融合させた3次元動的形状変位計測システムの試作を行った。超音波可視化探傷技術においては、自動車用接着構造部材の迅速検査手法の開発およびレーザードップラ振動計を用いた完全非接触検査システムの開発に着手した。工業用炭素材料の使用環境である高温物性の計測では、各種炭素材料の超高温物性試験を行い、物性値と微細構造の関係を解明するためのデータを蓄積した。炭素繊維の単繊維の特性評価では、断面形状を精密に計測して、ねじり特性などの力学的特性評価を行った。

研究テーマ：テーマ題目7

ナノ分光計測研究グループ

(Nanoscale Spectroscopic Measurement Group)

研究グループ長：中村 健

(つくば中央第2)

概 要：

先端産業技術各分野の横断的基盤である（生体構成物質を含む）物質の多様な性質・機能の適切な維持と効果的・効率的な利活用のためには、種々の計測・分析・評価手法を駆使した物質系の正確かつ精密な認識の下で制御を与え、現状の課題解決と目標達成を実現することが必要である。このような基盤としての計測・分析技術のうち、第4期中長期目標期間の開始期に新たに設立された当グループでは、プローブである光と物質の相互作用である吸収・反射・干渉等の物理現象を利用した先端計測・分析技術の研究開発を実施している。具体的には、パルスレーザー光による過渡

吸収分光法や多光子吸収イオン化を介した分光法によるナノ物質・材料の表面・界面あるいは気相中での挙動を高時空間分解能で計測する技術の開発、照射した赤外線反射光の検出と解析により不可視領域にある被写体画像を可視化する技術の開発と高度化、医療応用などを念頭に置いた光の干渉を用いた断層イメージング技術の開発と高度化、等である。

平成28年度は、パルスレーザー光励起による光電子放出の検出と解析を利用した二光子光電子収量法（2P-PYS）の開発において、ポンププローブ法による光電子放出によって長寿命励起状態が検出できるか検討した。また過渡吸収分光装置により、次世代有機 EL 発光材料の特徴的な励起状態ダイナミクスを明らかにした。不可視領域の可視化技術の開発では、赤外線カラー暗視撮影時に被写体に照射する赤外線 LED の輝度やパワーの改善と赤外線集光技術の最適化により、より遠方の被写体の動画撮影を実現した。深部計測のための強度干渉断層イメージング技術の開発では、1台の CCD カメラに基づく新しい光学系の構築とその有効性の実験的な確認に成功するなどの進捗があった。

研究テーマ：テーマ題目8

【テーマ題目1】広帯域超音波利用の安全性確保に資する 瞬間音圧の精密計測技術の開発

【研究代表者】堀内 竜三

(音響超音波標準研究グループ)

【研究担当者】堀内 竜三、吉岡 正裕、内田 武吉、
山田 桂輔（常勤職員4名）

【研究内容】

医療や日常の生活空間において広く利用されている超音波の安全性確保のため、(1)診断用広帯域超音波瞬間音圧計測技術と(2)空中超音波の光学的音圧計測技術の開発を以下の通り推進した。

(1) ハイドロホン、水中を伝搬する超音波の音圧を電圧に変換するデバイスである。超音波診断装置の安全性評価のため、ハイドロホンをを用いた超音波音場計測法が IEC 規格で規定されている。これまでは取扱いが容易な狭帯域超音波の使用を想定し、超音波の中心周波数におけるハイドロホン感度の振幅特性のみを用いて音圧の瞬時波形を求めていたが、より精密計測が可能な、超音波の周波数帯域をカバーする複数の周波数におけるハイドロホン感度の振幅と位相特性の両方を用いる方法の導入が検討されている。我が国の医用超音波機器の製造・販売業者においては、自社製品の性能・安全性評価のため、この新たに導入される計測法の利用が不可欠であるが、この計測法の実現に必要な技術は確立されていない。そこで本研究では、診断用広帯域超音波瞬間音圧計測装置を試作した。今後、限られた周波数でのハイドロホン感度校正値により瞬

時音圧を精密計測するために必要な補間、外挿、フィルタリング等、信号処理法の技術的要件を検討する。この計測技術の開発を通じて我が国の事業者への橋渡しに繋げる。

- (2) 20 kHz を超えた空中伝播音は空中超音波と呼ばれている。近年はネズミ除けなど、日常生活の空間において空中超音波の利用が増加しており、安全を図るため音圧計測が必要となっている。空中を伝播する音波の計測には振動膜式のマイクロホンを用いる方法が一般的であるが、超音波領域ではマイクロホン自身による反射の影響が大きく、精密な計測が困難である。そこで、反射の影響のないレーザーを用いた光学的音圧計測技術の開発を行い、空中超音波の精密計測を実現する。今年度は、計測システムのプロトタイプを作成を行った。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 診断用広帯域超音波、瞬時音圧、マイクロホン、空中超音波、光学的音圧計測

〔テーマ題目2〕 アラニン/ESR 線量計の温度特性評価による測定の高精度化

〔研究代表者〕 齋藤 則生

(放射線標準研究グループ)

〔研究担当者〕 齋藤 則生、山口 英俊、加藤 昌弘、黒澤 忠弘 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

アラニン/ESR 線量計は、滅菌や食品照射などに利用されるキログレイレベルの高線量の放射線の測定に有用な積算線量計の一つである。現在、日本において加工レベル線量の照射を行っている施設は、線量計の校正を海外に依存しており、国内での加工レベル線量標準の確立が急務である。そのため、当研究グループではアラニン/ESR 線量計を用いた加工レベル線量標準の確立を目指している。アラニン/ESR 線量計の不確かさに大きく寄与する要因は、ESR による信号読取測定に係る不確かさであると言われている。現在、ESR 測定時の温度補正係数は約-0.25 %/K~-0.75 %/K という報告がなされているが、アラニン線量計の不確かさが1~2 %程度であることを考慮すると、ESR 測定時の温度補正係数を検証することは必要である。本研究では、アラニン/ESR 線量計の ESR 測定時の温度補正係数の検証を目的としている。

アラニン/ESR 線量計へ約108 Gy 照射したペレットを、ESR 用温度可変装置を用いて測定を行った。線量計への照射は当研究グループの⁶⁰Co 標準照射場を用いて行った。温度可変装置は液体窒素を蒸発させた気体を吹き付けることで冷却を行い、かつ、ヒーターで加熱を行うことで温度制御ができるような仕組みとなっている。本研究では、約193 K~293 K の間で温度を変化させて温度依存性を検証した。

実験の結果、室温付近ではアラニン線量計の温度補正係数は-0.065 %/K と導出された。これまで文献で報告されていた値よりも小さい補正值となったが、この原因としては、温度可変時に ESR 装置の共振器内の感度に変化したためだと考えられる。共振器の感度の変化を補正するためには、共振器内に Mn²⁺や Cr³⁺などの標準物質を恒久的に設置し、アラニンペレットの信号値を標準物質の信号値で規格化することが必要である。今後、このような共振器内に設置可能な標準物質を導入し、より正確に温度補正係数を導出する予定である。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 加工レベル放射線、線量標準、アラニン線量計、水吸収線量

〔テーマ題目3〕 ガス中のラドン及びその子孫核種による被ばく評価の高精度化

〔研究代表者〕 柚木 彰

(放射能中性子標準研究グループ)

〔研究担当者〕 古川理央、海野泰裕 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

本テーマは、一般公衆の被ばく要因として重要な、ラドンの放射能測定の基準となる高精度測定システムの確立に向けた、要素技術開発を目的とする。平成28年度は専用の多電極比例計数管を整備し、測定器内でのラドン及びその子孫核種の分布の均一性評価に取り組んだ。まず、ガス循環系の構築と基準器となる多電極比例計数管の単体特性を試験し、次いでラドンガスを導入して長期安定性評価を行い、分布の偏りによる動作の変化を調査した。得られた結果に基づき測定システムを改良し高精度化を目指す。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 ラドン、子孫核種、放射能、均一性、被ばく評価

〔テーマ題目4〕 材料やデバイスの中性子波長分解型非破壊イメージングを目的とした小型加速器パルス中性子源のプロトタイプ開発

〔研究代表者〕 鈴木 良一 (分析計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 木野 幸一、豊川 弘之、大島 永康、O'Rourke Brian、藤原 健 (常勤職員5名)

〔研究内容〕

材料やデバイスの非破壊イメージングを目的とした小型加速器中性子源のプロトタイプの開発を目標とする。具体的には、電子ビームを鉛標的に照射した時に発生する約1 MeV のエネルギーの高速中性子を、非破壊イメージングに適した熱~冷中性子 (エネルギーにして数~数十 meV) に変換し、パルス中性子ビームとして供給する中性子源のプロトタイプを、コンピュータシミュレーションを活用しつつ、中性子源体系を変えながら開発

する。電子ビームには、X線・陽電子計測研究グループと放射線イメージング計測研究グループで所有する電子線形加速器からのパルス電子ビームを利用する。

この目標のため、GM冷凍機を備えた小型中性子源を構築した。真空中に置かれたポリエチレン減速材を冷やした結果、83 Kにまで温度を下げる事ができた。この減速材のまわりを中性子反射材として、グラファイトまたはポリエチレンで囲み、減速材の直上に設置された鉛ターゲットで発生する高速中性子を減速材により多く集めるようにした。減速材から放出される熱中性子を、3.9m離れたところに設置した中性子検出器にて計測した。中性子のエネルギーは飛行時間法によって得られた。

ポリエチレンとグラファイトの反射材では、発生した熱中性子量が異なることを実験的に確認した。この結果は、コンピュータシミュレーションでも確認できた。また、減速材と中性子検出器の間に10 mm厚さの鉄を挿入した。このとき、中性子の鉄による回折現象が、中性子波長スペクトルにブラッグエッジとして観測された。このブラッグエッジのシャープさを分析した結果、グラファイトとポリエチレンでは中性子時間分解能が異なることがわかった。上記の結果を基に、中性子源のプロトタイプ的设计検討を進めた。

本研究では、わずか6 Wの電子ビームにて小型中性子源を構築し、中性子源の研究開発に利用でき、反射材の材質による効果を得ることができた。本装置は放射化が低く抑えられるため、体系を変えての繰り返し実験が容易である。今後もこの利点を生かして高性能中性子源の開発を行う。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕中性子源、非破壊イメージング

〔テーマ題目5〕新規ラジカル分解質量分析法のためのタンデム質量分析計の構築

〔研究代表者〕中村 健

(ナノ顕微計測研究グループ)

〔研究担当者〕中村 健、浅川 大樹、齋藤 直昭

(副研究部門長) (常勤職員3名)

〔研究内容〕

近年の質量分析計の技術革新により、タンパク質の分子量測定やアミノ酸配列決定などの構造解析が容易となり、生命科学分野で急速な発展を遂げている。しかし既存の質量分析法ではデータベースとの照合が必要で未知タンパク質の同定が困難なことから、タンデム質量分析法による直接同定法の開発が求められている。ところが、タンデム質量分析法によるタンパク質のアミノ酸配列決定には、特定の結合を選択的に切断したフラグメントイオンの生成が必要となる。

そこで新たに「ラジカル分解質量分析法」の提案を行い、タンパク質主鎖の特定 N-C_α結合を選択的に切断する新規ラジカル分解法と分解で生成したフラグメントイ

オンを解析するタンデム質量分析計の開発を合わせて進めている。

平成28年度は、タンデム質量分析計の開発に関しては、新規ラジカル化装置を備えた四重極-飛行時間型タンデム質量分析計をプロトタイプ装置として開発し、当該装置での原理実証を踏まえた上での実用化を目指した。すでに飛行時間型質量分析計が完成しているため、これに四重極型質量分析計を増設してタンデム質量分析計としての稼働を目指している。そのため、四重極を駆動する高周波電源及び直流電源と分析のための真空環境を生成・維持する真空容器と・真空排気系の整備を進めた。

また、新規ラジカル分解法の開発には計算化学的手法を支援技術として導入しており、生体高分子のラジカル分解機構の解明及び本法の前処理に有用な金属錯体添加物の設計・合成への指針提供等に進展があった。

平成29年度以降は、プロトタイプ装置の開発を継続し試料のイオン化効率及び真空下への輸送効率の向上を図ると同時に、多様な生体関連試料の測定ニーズへの対応を図るため外部機関との連携構築を目指すこととする。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕質量分析、ラジカル、タンパク質、アミノ酸

〔テーマ題目6〕量子ビームを用いた先端オペランド計測技術開発と材料・デバイス分析への応用

〔研究代表者〕豊川 弘之

(放射線イメージング計測研究グループ)

〔研究担当者〕三浦 永祐、安本 正人、池浦 広美、清紀 弘、小川 博嗣、柏谷 裕美、田中 真人、藤原 健 (常勤職員8名)

〔研究内容〕

中性子等の量子ビームを用いた材料分析装置導入を目指して加速器施設の再構築を進めた。具体的には来年度に新たな電子加速器と中性子発生装置を導入するため、電子入射器、中性子源、およびビームライン等の設計、および導入のための施設調査および整備等を行った。中性子源を導入するために、既存加速器が設置されていた実験室床面、壁面、および冷却水の放射化調査を行った。さらに高周波電源、電磁石電源、冷凍機等の大型実験機器の撤去移動作業を実施した。これによって、新規中性子源を設置するためのスペースが確保でき、次年度以降の研究開発が加速できた。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕中性子源、電子加速器、量子ビーム

〔テーマ題目7〕ホログラフィとモアレを融合させた高精度3次元変形・ひずみ計測システムの開発

〔研究代表者〕津田 浩

(非破壊計測研究グループ)

【研究担当者】津田 浩、李 志遠、王 慶華、夏 鵬
(常勤職員4名)

【研究内容】

高温動作が求められるデバイスは熱変形で破損しないような材料設計が行われており、そのためには微小領域のひずみ分布を高精度に計測する技術が求められている。我々は、ナノインプリント技術を用いて、マイクロメートルオーダーの規則格子をデバイス上に描写し、画像処理から得られるモアレ縞を利用して高精度に面内ひずみ分布を計測する技術を開発した。しかし、実際の物体変形は面内だけでなく、面外方向にも発生しているため、詳細な変形挙動の解析を行うためには、面外変形についても高精度に計測できる技術を開発する必要がある。

本研究では、面内変形用モアレ計測システムに面外方向変形をナノメートルオーダーで計測できるホログラフィ計測システムを融合させた高精度3次元変形・ひずみ計測システムを開発を行うことを目標としている。

ホログラフィ面外変形計測システムの設計および試作を行い、さらに変位計測アルゴリズムを組み込んだ計測・解析ソフトウェアを開発し、検証試験を行った。その結果、計測画像におけるノイズレベルを従来手法に比較して大幅に低減でき、高精度に面外変形を計測できることを実証した。今後、モアレ計測システムと融合させた計測システムで検証試験を行い、本手法の有効性を実証していく予定である。

【領域名】計量標準総合センター

【キーワード】ホログラフィ、モアレ、3次元計測、位相計測、分光イメージング

【テーマ題目8】ポスト橋渡し後期のインビジブルビジョン技術の研究基盤強化

【研究代表者】中村 健

(ナノ分光計測研究グループ)

【研究担当者】中村 健、永宗 靖、時崎 高志
(副研究部門長)、(常勤職員3名)

【研究内容】

インビジブルビジョン技術による高機能カメラシステムの実現を目指して、これまで、赤外線カラー暗視撮影技術およびガンマ線画像撮影技術の開発を行ってきた。赤外線カラー暗視撮影技術は、モノクロ画像となってしまう従来の赤外線撮影技術とは異なり、可視光下での被写体の色と同一または近似した色によるカラー動画としてリアルタイムで撮影表示あるいは録画することのできる新しいタイプの撮影技術であり、夜間の防犯や動物観察などの暗視撮影を必要とする分野などで新しい展開が期待される。また、ガンマ線画像撮影技術は、原発事故等の放射性物質漏洩時に漏洩状態を画像としてモニタリングするために不可欠な技術である。

これらの技術それぞれの不断の高度化と展開を図り、

さらには、それぞれの技術を組み合わせた高機能カメラシステムを実現するため、平成28年度は、赤外線カラー暗視撮影技術の高度化として、被写体に照射する赤外線 LED の輝度やパワーの改善、並びに、赤外線集光技術の最適化により、屋外のより遠方(距離250 m)にある被写体の動画撮影を実現した。また、併せて、放射線カメラ用検出素子の従来の4倍の高感度化を実現した。なお、赤外線カラー暗視撮影技術に関しては、セキュリティカメラとしての課題を抽出し、一般消費者の需要発掘と市場開拓を模索した。

【領域名】計量標準総合センター

【キーワード】赤外線、暗視カメラ、カラー映像

⑥【計量標準普及センター】

(Center for Quality Management of Metrology)

計量標準普及センター長：臼田 孝
標準供給保証室長：岸本 勇夫
標準物質認証管理室長：黒岩 貴芳
法定計量管理室長：根本 一
計量研修センター長：加藤 英幸

所在地：つくば中央第3

人員：18名(13名)

概要：

計量標準は円滑な国際通商を実現するために不可欠であり、さらに産業技術や研究開発の技術基盤であるとともに、環境・安全を評価するための技術基盤を与えるなど、国民の生活に密着したものである。

社会に必要とされる計量標準を的確に把握してその整備・普及の方向性を見出し、標準の供給を的確に行うとともに、計量標準に係わる活動の成果を社会に広く普及していく役割を担っている。

標準供給保証室 (Metrology Quality Office)

概要：

産総研の成果である多岐にわたる物理系計量標準の供給事務(申請受付、証明書類発行など)を一元的に行うとともに、その信頼性を保証するために必要な ISO/IEC17025、ISO/IEC17065 に基づいた品質システムの運営及び関連する支援業務を行う。

標準供給業務としては、次のものがある。

- ・ 特定計量器の検定、比較検査、基準器検査
- ・ 特定計量器の型式承認試験
- ・ 特定二次標準器の校正
- ・ 特定副標準器の校正
- ・ 依頼試験規程に基づく計量器の校正
- ・ 研究開発品の頒布

標準物質認証管理室 (Reference Materials Office)

概 要 :

産総研において研究開発された標準物質の頒布に関する事務を行うとともに、その品質を保証するために必要な ISO ガイド34、ISO/IEC17025に基づいた品質システムの支援業務を実施している。主な業務としては、標準物質の認証のための業務（標準物質認証委員会の開催、標準物質認証書の発行等）、標準物質の該当法規に従った安全な管理、標準物質の頒布業務、標準物質に関わる技術相談、ホームページやカタログ配布等による標準物質関連情報のユーザーへの発信などがある。

法定計量管理室 (Legal Metrology Management Office)

概 要 :

法定計量管理室は、次の業務において、関連する研究部門との連携及び調整をはかる。

法定計量システム政策の支援のために経済産業省を始めとする行政機関や国内産業界との連携及び技術的支援を行う。関連する全国計量行政会議技術委員会、質量計分科会の運営を行う。

法定計量業務の技術基準となる標準化（JIS 制定・改正及び標準化調査研究委員会等）作業として、積算熱量計 JIS の改正、血圧計 JIS、水銀条約に関するものとしてガラス製温度計、ガラス製体温計、液化石油ガス用浮ひょう型密度計の改正及び計量法政省令改正に係る検討、提案を行う。また、自動はかり JIS の改正を行う。

国際法定計量に関連し、OIML（国際法定計量機関）や ISO/IEC の国際文書、勧告及び規格等の発行又は改訂に関する国内のテーマごとの作業委員会に参加し、その内容の検討、審議を行う。

計量行政機関、関連する団体等に向け、法定計量の啓発活動として法定計量セミナー、法定計量クラブ、技術相談会の計画、実施運営を行う。その他計量研修センター、外部機関が行う講師派遣等に関する実施支援及び調整を行う。

計量研修センター (Metrology Training Center)

概 要 :

計量研修センターは、都道府県・特定市の計量行政公務員の研修及び民間の計量技術者に対して、一般計量士、環境計量士の資格付与などのため、一般計量関係及び環境計量関係の教習を企画・実施する研修機関である。前身は、1952年に当時の通商産業省傘下に創設された計量教習所で、2001年に独立行政法人化された産総研に合流した。

年間約600人の研修生を迎えて一般計量教習、一般計量特別教習、環境計量特別教習、短期計量教習、環境計量講習（濃度、騒音、振動関係）、及び計量行政

機関の職員並びに計量士になろうとする者のための特定教習などを企画し実施している。また、計測技術者向けの技術研修などを実施している。

機構図 (2017/3/31現在)

業務報告データ

- ・ NMIJ 全体会合 2回 (4月4日、1月4日)
- ・ NMIJ 運営協議会 45回
- ・ 2016年度供給開始標準項目
物理標準 9、標準物質 6
- ・ ピアレビュー及び ASNITE 認定審査

国際ピアレビュー・ASNITE 認定の合同審査を通じて、校正サービス・標準物質の3技術分野について認定を継続・拡大した。

- ・ JCSS 審査等への技術専門家の派遣
延べ61件、技術専門家の派遣を実施した。
- ・ 講演会等 7回

1. NMIJ 標準物質セミナー2016「健康を支える確かな分析技術と標準物質」(NMIJ 主催) 9月8日 幕張メッセ
2. 計測標準フォーラム第14回講演会「新時代を迎える計量基本単位—新 SI と将来技術—」9月29日 東京ビッグサイト
3. 2016年度計量標準総合センター成果発表会 1月26日～27日 産総研つくばセンター共用講堂
4. NMIJ 法定計量セミナー2016「計量が未来の技術の橋渡し～自動はかりの技術と展望について～」9月30日 東京ビッグサイト
5. 平成28年度法定計量セミナー「計量の歴史から最新の国際動向について」10月6日 京都 株式会社島津製作所会議室
6. NMIJ 法定計量クラブ「特定市における計量行政業務の紹介」、「今後の計量行政の在り方について—平成28年計量行政審議会答申の解説—」、「自動はかり JIS 改正の概要紹介」3月7日 大阪
7. 技術相談会「非自動はかり及び体積計について」計6回開催 関西センター

・ 技能試験

1. NMIJ 分析技能向上支援プログラム「農薬残留分析の信頼性向上のための技能試験 (第5回) 大豆中の農薬分析」 5月16日～7月22日、参加者89名

・ 主なイベント参加

1. 「JASIS2016」ブース出展 9月7日～9日 幕張メッセ
2. 「第27回 計量計測展 INTERMEASURE 2016」ブース出展 9月28日～30日 東京ビッグサイト

・出版物発行 1回

1. 産総研計量標準報告 Vol.9 No.3発刊 (2016.6)

研 究

①物理標準

最上位に位置する国の計量標準の設定・維持・供給という責務を果たすため、さまざまな量に対する国の計量標準を整備して、計量・計測器の校正・試験、標準物質の頒布といった形で利用者への標準供給サービスを行っている。

法定計量

	種 類	申請受理個数	検査・試験個数	不合格個数	不合格率 (%)
イ	検定	0	0	0	-
ロ	型式承認	98	83	2	2.4
ハ	基準器検査	2,870	2,880	69	2.4
ニ	比較検査	11	11	0	0.0

校正・試験等

	種 類	申請受理個数	校正・試験個数
ホ	特定標準器による校正 (特定二次標準器)	519	511
へ	依頼試験 (一般)	454	461
	依頼試験 (特殊)	106	107
	特定標準器による校正 (特定副標準器)	11	11
	OIML 適合性試験	4	1

研究開発品等

	種 類	頒布個数
ト	研究開発品頒布	1

イ、検 定

当所で現在行われている計量法に基づいた検定業務は、精度の極めて高いものと高度の検定設備能力を必要とするものなどの機種だけがその対象となっている。

種 類	項 目	申請受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
ガラス製温度計		0	0	0	-

ロ、型式承認

計量器の構造（性能及び材料の特性を含む。）をあらかじめ十分に試験して、一定の基準に適合するものに「型式の承認」を与え、同一構造のものについては、その後の計量器の検定に際し、構造の検定を省略（一部残るものもある）し、検定の適正化と効率化を図る制度である。

種 類	項 目	申請受理個数			試 験 個 数	承 認 個 数	不承認 個 数	不承認 率 (%)
		新規	追加	計				
	タクシーメーター	1	5	6	7	7	0	0.0
質量計	非自動はかり	5	13	18	16	15	1	6.3
温度計	抵抗体温計	2	1	3	4	4	0	0.0
体積計	水道メーター	8	4	12	8	7	1	12.5
	温水メーター	1	0	1	1	1	0	0.0
	燃料油メーター	0	1	1	1	1	0	0.0
	ガスメーター	1	13	14	9	9	0	0.0
	小 計	10	18	28	19	18	1	5.3
圧力計	アネロイド型血圧計	9	8	17	20	20	0	0.0
熱量計	積算熱量計	6	2	8	4	4	0	0.0
騒音計		9	0	9	9	9	0	0.0
振動計		2	0	2	2	2	0	0.0
濃度計	ジルコニア式酸素濃度計	0	1	1	0	0	0	-
	磁気式酸素濃度計	0	1	1	0	0	0	-
	非分散型赤外線式二酸化硫黄濃度計	0	1	1	0	0	0	-
	非分散型赤外線式窒素酸化物濃度計	0	1	1	0	0	0	-
	非分散型赤外線式一酸化炭素濃度計	0	1	1	0	0	0	-
	ガラス電極式水素イオン濃度検出器	2	0	2	2	2	0	0.0
	小 計	2	5	7	2	2	0	0.0
合 計		46	52	98	83	81	2	2.4

ハ、基準器検査

計量器の構造、修理などの事業を行う者及び計量関係行政機関等が、検定、定期検査、立入検査などを行う場合には、その標準として基準器検査に合格して基準器検査成績書が交付された基準器を用いることになっている。基準器検査の対象機種の大半については当所が検査を行っており、これらの業務は計量法に基づいて行う重要な標準供給業務となっている。なお、基準器検査は検定手数料の関係から次の二つに大別される。

(1) 手数料を徴収する検査（計量器メーカー等が使用するもの）

(2) 手数料を伴わない検査（計量行政機関等が使用するもの）

種 類		項 目	申請受理個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
長 さ		基準巻尺	31	31	0	0.0
質 量 基 準 器		基準手動天びん	115	116	0	0.0
		基準直示天びん	8	9	1	11.1
		特級基準分銅	1,176	1,176	12	1.0
		小 計	1,299	1,301	13	1.0
温 度 基 準 器		基準ガラス製温度計	404	409	5	1.2
体 積 基 準 器		基準フラスコ	28	28	0	0.0
		基準ビュレット	6	6	0	0.0
		基準ガスメーター	120	115	4	3.5
		基準水道メーター	45	44	6	13.6
		基準燃料油メーター	45	47	0	0.0
		液体メーター用基準タンク	78	87	0	0.0
		液体タンク用基準タンク	14	14	0	0.0
		ガスメーター用基準体積管	2	2	0	0.0
		液体メーター用基準体積管	26	26	0	0.0
		小 計	364	369	10	2.7
密 度 基 準 器		基準密度浮ひょう	46	46	0	0.0
		液化石油ガス用浮ひょう型密度計	67	67	8	11.9
		小 計	113	113	8	7.1
圧 力 基 準 器		基準液柱型圧力計	123	123	10	8.1
		基準重錘型圧力計	307	305	2	0.7
		小 計	430	428	12	2.8
騒 音		基準静電型マイクロホン	26	26	1	3.8
振 動		基準サーボ式ピックアップ	15	15	0	0.0
比 重 基 準 器		基準酒精度浮ひょう	11	11	1	9.1
		基準比重浮ひょう	158	158	19	12.0
		基準重ポメ度浮ひょう	19	19	0	0.0
		小 計	188	188	20	10.6
総 計			2,870	2,880	69	2.4

二、比較検査

比較検査は、検定と同様に合否の判定を行うが、具体的な器差を明らかにして成績書を交付し、精密な計量に奉仕する制度である。

種 類	項 目	申請受理 個数	検査個数	不合格個数	不合格率 (%)
酒精度浮ひょう		11	11	0	0.0

ホ、特定標準器による校正

特定標準器による校正（特定二次標準器）

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
01. 長さ 波長安定化レーザ装置	1 1	1 1
02.幾何学量 ロータリーエンコーダ	2 2	2 2
03.時間 原子時計 周波数標準器 兼 周波数標準器	207 207	187 187
04.質量 標準分銅	79 79	79 79
05.力 実荷重式、こうかん式又は油圧式力基準機	4 4	11 11
06.トルク 参照用トルクメーター 参照用トルクレンチ	6 5 1	6 5 1
07.圧力 ピストン式重錘型圧力標準器	16 16	16 16
09.真空 粘性真空計	2 2	2 2
10.流量 気体流量構成装置 ISO型トロイダルスロート音速ノズル 石油用流量計 超音波流速計 微風速校正風洞	12 1 6 3 1 1	13 0 6 5 1 1
11.密度 シリコン結晶	2 2	2 2
14.音響 I形標準マイクロホン II形標準マイクロホン	11 11	13 13
16.振動加速度 振動加速度計	1 1	2 2
19.直流・低周波 ジョセフソン効果電圧測定装置 標準抵抗器・標準抵抗装置 キャパシタ・標準キャパシタ 交流抵抗器 誘導分圧器 交直変換器	27 4 11 4 2 3 3	27 4 11 4 2 3 3
20.高周波 高周波電圧 高周波電力 7mm同軸 高周波電力 2.9mm同軸 高周波インピーダンス	60 1 8 4 28	60 1 8 4 29

研 究

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
ピストン減衰器	1	1
可変減衰器 (同軸)	7	7
同軸固定減衰器	1	1
光パワー測定装置	4	4
固定長エレメント型ダイポールアンテナ	1	0
広帯域アンテナ	2	2
ループアンテナ	1	1
光電検出器	2	2
21.測光量・放射量	6	6
分光応答度	4	4
分光放射照度	2	2
22.放射線	22	20
放射線線量計	22	20
23.放射能	5	8
放射能測定装置(遠隔校正)	5	8
24.中性子	0	0
25.温度	21	19
貴金属熱電対	13	10
白金抵抗温度計	8	8
赤外放射温度計	0	1
26.湿度	16	18
露点計	16	18
28.硬さ	19	19
ビッカース硬さ標準片	14	14
ロックウェル硬さ標準片	5	5
合 計	519	511

へ、依頼試験

依頼試験（一般）

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
01.長さ	29	29
波長（周波数）安定化レーザ	1	1
波長計	1	1
ブロックゲージ絶対測定	23	23
距離計	4	4
02.幾何学量	48	47
ボールプレート	1	0
ステップゲージ	2	2
ボールバー	10	10
CMMによる幾何形状測定	14	16
ロータリーエンコーダ	1	1
多面鏡	4	4
平面度	15	13
真円度	1	1
03.時間	48	49
周波数（遠隔校正）	48	49
04.質量	0	0
05.力	2	2
06.トルク	11	11
トルクメータ	8	8
参照用トルクレンチ	3	3
07.圧力	3	3
液体	1	1
気体	2	2
08.重力加速度	0	0
09.真空計	11	11
リーク	8	8
真空計	1	1
標準コンダクタンス	2	2
10.流量	2	3
気体小流量	1	2
石油小流量（軽油・灯油）	1	1
11.密度	0	0
12.粘度・動粘度	0	0
13.体積	1	1
フラスコ（出用）	1	1
14.音響	4	4
音圧感度（計測用マイクロホン）	2	2
音響パワーレベル	2	2
15.超音波	30	29
音場感度（ハイドロホン）	28	27
超音波音場パラメタ	1	1
超音波パワー	1	1
16.振動加速度	0	0
17.衝撃加速度	1	1
電圧感度	1	1
18.角振動・角速度	0	0
19.直流・低周波	1	1
インダクタ	1	1
20.高周波	2	2
アンテナ係数試験	2	2

研 究

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
21.測光量・放射量	12	14
分光応答度	8	8
分光拡散反射率	2	2
BRDF (2方向反射率分布関数)	0	2
N-9 分光全放射束 (4π放射光源用)	2	2
22.放射線	167	167
照射線量 (率) 測定器	15	15
放射線量検出素子	150	150
Co-60γ線水吸収線量	2	2
23.放射能	4	3
放射能濃度	4	3
24.中性子	0	0
25.温度	0	1
非接触温度計・校正装置	0	1
26.湿度	3	3
露点計	1	1
微量水分計	2	2
27.熱物性	26	26
熱拡散率	3	3
熱膨張率 (線膨張係数)	19	19
比熱容量測定	4	4
28.硬さ	0	0
29.衝撃値	1	1
衝撃試験機	1	1
30.粒子・粒子特性	6	7
粒径	1	0
粒子数濃度	3	5
気中粒子数	2	2
31.純度	14	17
高純度有機標準物質	14	17
32. 薄膜・多層膜	1	1
膜厚	1	1
33.濃度	1	1
標準ガス	1	1
51.計量器の構成要素及び検査装置の試験	10	11
質量計用ターミナル・デジタルディスプレイ	1	1
質量計用指示計 (アナログ信号)	4	5
燃料油メーター用空気分離器	2	2
燃料油メーター用表示装置	3	3
52.その他	16	16
体積	9	9
流量	7	7
合 計	454	461

依頼試験 (特殊)

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
04.質量	0	0
05.力	0	0
09.真空	0	0
10.流量	0	0
11.密度	0	0

産業技術総合研究所

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
12.粘度・動粘度	0	0
19.直流・低周波 交直電圧比較装置	1 1	1 1
20.高周波	0	0
25.温度 非接触温度計・校正装置	0 0	1 1
28.硬さ	0	0
52.その他	105	105
家庭用はかり	60	60
非自動はかり（3級，4級）	45	45
合 計	106	107

特定標準器による校正（特定副標準器）

種 類	申請受理個数	校 正 個 数
19.直流・低周波 交流電圧用交直変換器 交流電流用交直変換器 電圧発生装置 標準抵抗器	8 4 1 1 2	8 4 1 1 2
21.測光量・放射量	0	0
25.温度 温度計用 放射温度計校正用	3 1 2	3 1 2
合 計	11	11

OIML 適合性試験

種 類	項 目	申請受理 個数	試験個数	不合格個数	不合格率 (%)
非自動はかり		0	0	0	-
自動車等給油メーター		2	1	0	0.0
質量計用ロードセル		1	0	0	-
水道メーター		1	0	0	-
合 計		4	1	0	0.0

ト、研究開発品

種 類	頒布個数
1.熱拡散率試験片（4枚）	0
2.石英ヨウ素セル	0
3.パッシブ型シールドループアンテナ	0
4.標準コンダクタンスエレメント	0
5.ジョセフソン電圧標準素子	1
6.極低温電流比較器インサート	0
合 計	1

②認証標準物質

計量標準総合センターでは品質システムを整備し、生産計画に基づいて標準物質の生産を行っている。特性値は安定性と均一性を確認し、妥当性が確かめられた測定方法とトレーサビリティの確立された計測標準を用いている。また、不確かさを算出した上で認証書を付した、認証標準物質（NMIJ CRM）として随時頒布している。また、一部は標準物質（NMIJ RM）として頒布している。

認証標準物質の一覧表

（NMIJ 認証標準物質）

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 1001-a	鉄－クロム合金（Cr 5 %）	1
NMIJ CRM 1002-a	鉄－クロム合金（Cr 15 %）	1
NMIJ CRM 1003-a	鉄－クロム合金（Cr 20 %）	1
NMIJ CRM 1004-a	鉄－クロム合金（Cr 30 %）	1
NMIJ CRM 1005-a	鉄－クロム合金（Cr 40 %）	1
NMIJ CRM 1006-a	鉄－ニッケル合金（Ni 5 %）	1
NMIJ CRM 1007-a	鉄－ニッケル合金（Ni 10 %）	1
NMIJ CRM 1008-a	鉄－ニッケル合金（Ni 20 %）	1
NMIJ CRM 1009-a	鉄－ニッケル合金（Ni 40 %）	1
NMIJ CRM 1010-a	鉄－ニッケル合金（Ni 60 %）	1
NMIJ CRM 1011-b	鉄－炭素合金（C 0.1 %）	4
NMIJ CRM 1012-b	鉄－炭素合金（C 0.2 %）	4
NMIJ CRM 1013-b	鉄－炭素合金（C 0.3 %）	4
NMIJ CRM 1014-b	鉄－炭素合金（C 0.5 %）	2
NMIJ CRM 1015-b	鉄－炭素合金（C 0.7 %）	4
NMIJ CRM 1016-a	鉄クロム合金（Cr 40 %）	0
NMIJ CRM 1017-a	EPMA 用ステンレス鋼	0
NMIJ CRM 1018-a	EPMA 用 Ni（36 %）－Fe 合金	1
NMIJ CRM 1019-a	EPMA 用 Ni（42 %）－Fe 合金	0
NMIJ CRM 1020-a	EPMA 用高ニッケル合金	0
NMIJ CRM 3001-b	フタル酸水素カリウム	39
NMIJ CRM 3002-a	ニクロム酸カリウム	0
NMIJ CRM 3003-a	三酸化二ひ素	10
NMIJ CRM 3003-b	三酸化二ひ素	5
NMIJ CRM 3004-a	アミド硫酸	26
NMIJ CRM 3005-a	炭酸ナトリウム	15
NMIJ CRM 3006-a	よう素酸カリウム	7
NMIJ CRM 3007-a	しゅう酸ナトリウム	4
NMIJ CRM 3008-a	塩化ナトリウム	9
NMIJ CRM 3009-a	亜鉛	5
NMIJ CRM 3011-a	塩化アンモニウム	1
NMIJ CRM 3012-a	トリス（ヒドロキシメチル）アミノメタン	3
NMIJ CRM 3013-a	炭酸カルシウム	22
NMIJ CRM 3201-a	塩酸（0.1 mol kg ⁻¹ ）	0
NMIJ CRM 3402-c	二酸化硫黄	0
NMIJ CRM 3403-b	亜酸化窒素標準ガス（高濃度、窒素希釈）	0
NMIJ CRM 3404-c	酸素	0
NMIJ CRM 3406-d	一酸化炭素	1
NMIJ CRM 3407-b	二酸化炭素	0
NMIJ CRM 3408-a	窒素希釈酸素（10 μmol/mol）	0
NMIJ CRM 3601-a	ナトリウム標準液 Na（1000）	0
NMIJ CRM 3602-a	カリウム標準液 K（1000）	0
NMIJ CRM 3603-a	カルシウム標準液 Ca（1000）	0
NMIJ CRM 3604-a	マグネシウム標準液 Mg（1000）	2

産業技術総合研究所

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 3605-a	アルミニウム標準液 Al (1000)	2
NMIJ CRM 3606-a	銅標準液 Cu (1000)	2
NMIJ CRM 3607-a	亜鉛標準液 Zn (1000)	3
NMIJ CRM 3608-a	鉛標準液 Pb (1000)	2
NMIJ CRM 3609-a	カドミウム標準液 Cd (1000)	2
NMIJ CRM 3610-a	マンガン標準液 Mn (1000)	2
NMIJ CRM 3611-a	鉄標準液 Fe (1000)	2
NMIJ CRM 3612-a	ニッケル標準液 Ni (1000)	2
NMIJ CRM 3613-a	コバルト標準液 Co (1000)	2
NMIJ CRM 3614-a	ひ素標準液 As (1000)	4
NMIJ CRM 3615-a	アンチモン標準液 Sb (1000)	2
NMIJ CRM 3616-a	ビスマス標準液 Bi (1000)	2
NMIJ CRM 3618-a	水銀標準液 Hg (1000)	1
NMIJ CRM 3619-a	セレン標準液 Se (1000)	2
NMIJ CRM 3620-a	リチウム標準液 Li (1000)	0
NMIJ CRM 3621-a	バリウム標準液 Ba (1000)	2
NMIJ CRM 3622-a	モリブデン標準液 Mo (1000)	2
NMIJ CRM 3623-a	ストロンチウム標準液 Sr (1000)	2
NMIJ CRM 3624-a	ルビジウム標準液 Rb (1000)	0
NMIJ CRM 3625-a	タリウム標準液 Tl (1000)	2
NMIJ CRM 3626-a	すず標準液 Sn (1000)	3
NMIJ CRM 3627-a	ほう素標準液 B (1000)	2
NMIJ CRM 3628-a	セシウム標準液 Cs (1000)	0
NMIJ CRM 3629-a	インジウム標準液 In (1000)	2
NMIJ CRM 3630-a	テルル標準液 Te (1000)	4
NMIJ CRM 3631-a	ガリウム標準液 Ga (1000)	2
NMIJ CRM 3632-a	バナジウム標準液 V (1000)	2
NMIJ CRM 3645-a	けい素標準液 Si(1000)	0
NMIJ CRM 3681-a	鉛同位体標準液	5
NMIJ CRM 3802-a	塩化物イオン標準液 Cl (1000)	0
NMIJ CRM 3803-a	硫酸イオン標準液 SO ₄ ²⁻	0
NMIJ CRM 3805-a	亜硝酸イオン標準液 NO ₂ (1000)	0
NMIJ CRM 3806-a	硝酸イオン標準液 NO ₃ (1000)	0
NMIJ CRM 3807-a	りん酸イオン標準液 PO ₄ (1000)	0
NMIJ CRM 3808-a	臭化物イオン標準液 Br (1000)	0
NMIJ CRM 3809-a	シアン化物イオン標準液 CN ⁻ (1000)	0
NMIJ CRM 3811-a	塩素酸イオン標準液 ClO ₃ ⁻ (1000)	2
NMIJ CRM 3812-a	臭素酸イオン標準液 BrO ₃ ⁻ (2000)	2
NMIJ CRM 3813-a	有機体炭素標準液 TOC (1000)	0
NMIJ CRM 4001-b	エタノール	10
NMIJ CRM 4002-a	ベンゼン	22
NMIJ CRM 4003-b	トルエン	22
NMIJ CRM 4004-a	1,2-ジクロロエタン	0
NMIJ CRM 4005-a	ジクロロメタン	0
NMIJ CRM 4006-a	四塩化炭素	0
NMIJ CRM 4011-a	<i>o</i> -キシレン	3
NMIJ CRM 4012-a	<i>m</i> -キシレン	2
NMIJ CRM 4013-a	<i>p</i> -キシレン	1
NMIJ CRM 4014-a	1,1-ジクロロエチレン	0
NMIJ CRM 4019-a	ブロモホルム (トリブロモメタン)	0
NMIJ CRM 4020-a	ブロモジクロロメタン	6
NMIJ CRM 4021-a	エチルベンゼン	2
NMIJ CRM 4022-b	フタル酸ジエチル	6

研 究

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 4030-a	ビスフェノール A	3
NMIJ CRM 4036-a	ジブロモクロロメタン	6
NMIJ CRM 4038-a	1,2-ジクロロプロパン	0
NMIJ CRM 4039-a	1,4-ジクロロベンゼン	1
NMIJ CRM 4040-b	アクリロニトリル	16
NMIJ CRM 4051-b	メタン	0
NMIJ CRM 4052-b	プロパン	0
NMIJ CRM 4054-a	アセトアルデヒド	20
NMIJ CRM 4055-a	スチレン	12
NMIJ CRM 4056-a	ペルフルオロオクタン酸	2
NMIJ CRM 4057-a	1,4-ジオキサン	3
NMIJ CRM 4058-a	<i>tert</i> -ブチルメチルエーテル (MTBE)	4
NMIJ CRM 4203-a	γ -HCH 標準液	8
NMIJ CRM 4213-a	ベンゾ[a]ピレン標準液	3
NMIJ CRM 4214-a	<i>p,p'</i> -DDT, <i>p,p'</i> -DDE, γ -HCH 混合標準液	0
NMIJ CRM 4215-a	燃料中硫黄分分析用標準液	28
NMIJ RM 4216-a	トルエン (燃料中硫黄分分析用—ブランク)	20
NMIJ CRM 4217-a	燃料中硫黄分分析用標準液-高濃度	0
NMIJ CRM 4220-a	ペルフルオロオクタンスルホン酸カリウム標準液 (メタノール溶液)	1
NMIJ CRM 4221-a	ジブチルスルフィド (燃料中硫黄分分析用—高純度)	1
NMIJ CRM 4222-a	水分分析用標準液 (0.1 mg/g)	81
NMIJ CRM 4403-a	SF ₆ ・CF ₄ 混合標準ガス (窒素希釈、排出レベル)	0
NMIJ CRM 4405-a	C ₂ F ₆ ・CF ₄ 混合標準ガス (窒素希釈、濃度0.5%)	0
NMIJ CRM 4406-a	SF ₆ ・C ₂ F ₆ ・CF ₄ 混合標準ガス (窒素希釈、濃度0.5%)	0
NMIJ CRM 4601-a	定量 NMR 用標準物質 (1H, 19F) (3,5-ビス (トリフルオロメチル) 安息香酸)	33
NMIJ CRM 5001-a	ポリスチレン2400	4
NMIJ CRM 5002-a	ポリスチレン500	5
NMIJ CRM 5004-a	ポリスチレン1000	5
NMIJ CRM 5005-a	ポリエチレングリコール400	2
NMIJ CRM 5006-a	ポリエチレングリコール1000	6
NMIJ CRM 5007-a	ポリエチレングリコール1500	2
NMIJ CRM 5008-a	ポリスチレン (多分散)	1
NMIJ RM 5009-a	ポリスチレン8500	3
NMIJ CRM 5010-a	ポリエチレングリコールノニルフェニルエーテル	0
NMIJ CRM 5011-a	ポリエチレングリコール (23量体)	0
NMIJ CRM 5012-a	ポリスチレン (光散乱用)	1
NMIJ CRM 5101-a	しゅう酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5102-a	フタル酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5103-a	中性りん酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5104-a	りん酸塩 pH 標準液	2
NMIJ CRM 5105-a	ほう酸塩 pH 標準液	4
NMIJ CRM 5106-a	炭酸塩 pH 標準液	4
NMIJ CRM 5121-a	電気伝導率標準液 (塩化カリウム水溶液 (1 mol kg ⁻¹))	3
NMIJ CRM 5122-a	電気伝導率標準液 (塩化カリウム水溶液 (0.1 mol kg ⁻¹))	8
NMIJ CRM 5123-a	電気伝導率標準液 (塩化カリウム水溶液 (0.01 mol kg ⁻¹))	14
NMIJ CRM 5202-a	SiO ₂ /Si 多層膜標準物質	4
NMIJ CRM 5203-a	GaAs/AlAs 超格子	6
NMIJ CRM 5204-b	極薄シリコン酸化膜	0
NMIJ CRM 5205-a	デルタ BN 多層膜	0
NMIJ CRM 5206-a	デルタ BN 多層膜 (As ドープ Si 基板)	0
NMIJ CRM 5401-a	シクロヘキサン (熱分析用標準物質)	18
NMIJ CRM 5502-a	動的粘弾性 (PVC)	17
NMIJ CRM 5503-a	動的粘弾性 (PMMA)	10

産業技術総合研究所

識別記号	名称	頒布数
NMIJ CRM 5504-a	動的粘弾性 (PE-UHMW)	8
NMIJ CRM 5505-a	動的粘弾性 (PEEK)	13
NMIJ CRM 5506-a	シャルピー衝撃試験 (PVC)	1
NMIJ CRM 5507-a	シャルピー衝撃試験 (PMMA)	0
NMIJ CRM 5601-a	陽電子寿命による超微細空孔測定用石英ガラス	0
NMIJ CRM 5602-a	陽電子寿命による超微細空孔測定用ポリカーボネート	0
NMIJ CRM 5603-a	低エネルギーひ素イオン注入けい素 (レベル: 3×10^{15} atoms/cm ²)	0
NMIJ CRM 5604-a	低エネルギーひ素イオン注入けい素 (レベル: 6×10^{14} atoms/cm ²)	0
NMIJ CRM 5605-a	ハフニウム定量用酸化ハフニウム薄膜	0
NMIJ CRM 5606-a	陽電子寿命による空孔欠陥測定用単結晶シリコン	1
NMIJ RM 5607-a	陽電子寿命による空孔欠陥測定用ステンレス鋼	3
NMIJ CRM 5701-a	ポリスチレンラテックス ナノ粒子 (120 nm)	10
NMIJ CRM 5702-a	ポリスチレンラテックス ナノ粒子 (150 nm)	3
NMIJ CRM 5703-a	ポリスチレンラテックス ナノ粒子 (200 nm)	6
NMIJ RM 5711-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積11 m ² /g・大粒子径・表面無処理)	7
NMIJ RM 5712-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積57 m ² /g・小粒子径・脂肪酸表面修飾)	2
NMIJ RM 5713-a	酸化チタンナノ粒子 (比表面積76 m ² /g・小粒子径・イソブチル基表面修飾)	5
NMIJ CRM 6001-a	コレステロール	6
NMIJ CRM 6002-a	テストステロン	2
NMIJ CRM 6003-a	プロゲステロン	6
NMIJ CRM 6004-a	17β-エストラジオール	4
NMIJ CRM 6005-a	クレアチニン	7
NMIJ CRM 6006-a	尿素	10
NMIJ CRM 6007-a	ヒドロコルチゾン	0
NMIJ CRM 6008-a	尿酸	0
NMIJ CRM 6009-a	トリオレイン	0
NMIJ CRM 6011-a	L-アラニン	8
NMIJ CRM 6012-a	L-ロイシン	11
NMIJ CRM 6013-a	L-イソロイシン	9
NMIJ CRM 6014-a	L-フェニルアラニン	10
NMIJ CRM 6015-a	L-バリン	7
NMIJ CRM 6016-a	L-プロリン	10
NMIJ CRM 6017-b	L-アルギニン	8
NMIJ CRM 6018-a	L-リシンー塩酸塩	5
NMIJ CRM 6019-a	L-チロシン	6
NMIJ CRM 6020-a	L-トレオニン	2
NMIJ CRM 6021-a	L-セリン	3
NMIJ CRM 6022-a	グリシン	4
NMIJ CRM 6023-a	L-メチオニン	5
NMIJ CRM 6024-a	L-ヒスチジン	2
NMIJ CRM 6025-a	L-シスチン	8
NMIJ CRM 6026-a	L-グルタミン酸	6
NMIJ CRM 6027-a	L-アスパラギン酸	4
NMIJ CRM 6201-b	C 反応性蛋白溶液	3
NMIJ CRM 6202-a	ヒト血清アルブミン	5
NMIJ CRM 6204-b	定量解析用リボ核酸 (RNA) 水溶液	26
NMIJ CRM 6205-a	定量分析用デオキシリボ核酸 (DNA) 水溶液 (1 ng/mL、600塩基対)	3
NMIJ CRM 6206-a	オカダ酸標準液	113
NMIJ CRM 6207-a	ジノフィシストキシニン-1 (DTX1) 標準液	135
NMIJ CRM 6401-b	コルチゾール分析用ヒト血清 (4濃度レベル)	1
NMIJ CRM 6402-a	アルドステロン分析用ヒト血清 (3濃度レベル)	12
NMIJ CRM 6901-b	C-ペプチド	11
NMIJ CRM 7202-b	河川水 (微量元素分析用-添加)	123

研 究

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 7203-a	水道水 (有害金属分析用-添加)	25
NMIJ CRM 7302-a	海底質 (有害金属分析用)	9
NMIJ CRM 7303-a	湖底質 (有害金属分析用)	6
NMIJ CRM 7304-a	海底質 (ポリクロロビフェニル、塩素系農薬類分析用-高濃度)	0
NMIJ CRM 7307-a	湖底質 (多環芳香族炭化水素分類分析用)	7
NMIJ CRM 7308-a	トンネル粉じん (多環芳香族炭化水素分析用・有害元素分析用)	3
NMIJ CRM 7402-a	タラ魚肉粉末標準物質 (微量元素・アルセノベタイン・メチル水銀分析用)	18
NMIJ CRM 7403-a	メカジキ魚肉粉末 (微量元素・アルセノベタイン・メチル水銀分析用)	13
NMIJ CRM 7404-a	スズキ魚肉粉末(有機汚染物質分析用)	0
NMIJ CRM 7405-a	ひじき粉末 (微量元素・ひ素化合物分析用)	43
NMIJ CRM 7406-a	イカ粉末 (微量元素分析用)	1
NMIJ CRM 7407-a	ヒト血清 (有機汚染物質分析用)	20
NMIJ CRM 7501-a	白米粉末 (微量元素分析用 Cd 濃度レベル I)	25
NMIJ CRM 7502-a	白米粉末 (微量元素分析用 Cd 濃度レベル II)	25
NMIJ CRM 7504-a	玄米粉末 (残留農薬分析用)	12
NMIJ CRM 7505-a	茶葉粉末 (微量元素分析用)	3
NMIJ CRM 7507-a	ネギ粉末 (残留農薬分析用)	2
NMIJ CRM 7508-a	キャベツ粉末 (残留農薬分析用)	5
NMIJ CRM 7509-a	大豆粉末 (残留農薬分析用)	8
NMIJ CRM 7510-a	リンゴ粉末 (残留農薬分析用)	4
NMIJ CRM 7511-a	大豆粉末 (微量元素分析用)	1
NMIJ CRM 7512-a	ミルク粉末 (微量元素分析用)	7
NMIJ CRM 7531-a	玄米粉末 (カドミウム分析用)	25
NMIJ CRM 7532-a	玄米粉末 (ひ素化合物・微量元素分析用)	42
NMIJ CRM 7533-a	玄米粉末 (ひ素化合物・微量元素分析用)	28
NMIJ CRM 7541-a	玄米 (放射性セシウム分析用)	3
NMIJ CRM 7541-b	玄米 (放射性セシウム分析用)	28
NMIJ CRM 7601-a	海水 (栄養塩; 極低濃度)	13
NMIJ CRM 7602-a	海水 (栄養塩; 中濃度)	24
NMIJ CRM 7603-a	海水 (栄養塩; 高濃度)	11
NMIJ CRM 7901-a	アルセノベタイン水溶液	43
NMIJ CRM 7902-a	絶縁油 (ポリクロロビフェニル分析用-高濃度)	0
NMIJ CRM 7903-a	絶縁油 (ポリクロロビフェニル分析用-低濃度)	0
NMIJ CRM 7904-a	重油 (ポリクロロビフェニル分析用)	0
NMIJ CRM 7905-a	重油 (ポリクロロビフェニル分析用-ブランク)	1
NMIJ CRM 7906-a	ポリクロロビフェニル混合標準液 (KC 混合物ノナン溶液)	15
NMIJ CRM 7912-a	ひ酸 [As(V)] 水溶液	31
NMIJ CRM 7913-a	ジメチルアルシン酸水溶液	23
NMIJ CRM 8001-a	ファインセラミックス用炭化けい素微粉末 (α型)	3
NMIJ CRM 8002-a	ファインセラミックス用炭化けい素微粉末 (β型)	14
NMIJ CRM 8003-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (直接窒化合成) I	5
NMIJ CRM 8004-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (直接窒化合成) II	19
NMIJ CRM 8005-a	ファインセラミックス用窒化けい素微粉末 (イミド分解合成)	2
NMIJ CRM 8006-a	ファインセラミックス用アルミナ微粉末 (低純度)	4
NMIJ CRM 8007-a	ファインセラミックス用アルミナ微粉末 (高純度)	4
NMIJ CRM 8102-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd,Cr,Pb; 低濃度)	5
NMIJ CRM 8103-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd,Cr,Pb; 高濃度)	5
NMIJ CRM 8105-a	重金属分析用 ABS 樹脂ディスク (Cd,Cr,Pb; 低濃度)	4
NMIJ CRM 8108-b	臭素系難燃剤含有ポリスチレン	22
NMIJ CRM 8109-a	臭素系難燃剤含有ポリ塩化ビニル	4
NMIJ CRM 8110-a	臭素系難燃剤含有ポリスチレン (高濃度)	21
NMIJ CRM 8112-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd,Cr,Hg,Pb; 低濃度)	12
NMIJ CRM 8113-a	重金属分析用 ABS 樹脂ペレット (Cd,Cr,Hg,Pb; 高濃度)	4

産業技術総合研究所

識別記号	名 称	頒 布 数
NMIJ CRM 8115-a	重金属分析用 ABS 樹脂ディスク (Cd,Cr,Hg,Pb ; 低濃度)	18
NMIJ CRM 8123-a	重金属分析用 PVC 樹脂ペレット(Cd,Cr,Hg,Pb; 高濃度)	7
NMIJ CRM 8133-a	重金属分析用 PP 樹脂ペレット (Cd,Cr,Hg,Pb ; 高濃度)	8
NMIJ CRM 8136-a	重金属分析用 PP 樹脂ディスク (Cd,Cr,Hg,Pb; 高濃度)	22
NMIJ CRM 8137-a	臭素分析用 PP 樹脂ペレット	3
NMIJ CRM 8151-a	ポリプロピレン (フタル酸エステル類分析用)	4
NMIJ CRM 8152-a	ポリ塩化ビニル (フタル酸エステル類分析用)	66
NMIJ CRM 8155-a	ABS 樹脂 (ペルフルオロアルキル化合物分析用)	1
NMIJ CRM 8202-a	鉛フリーはんだチップ (Sn96.5Ag3Cu0.5) (Pb 低濃度)	1
NMIJ CRM 8203-a	鉛フリーはんだチップ (Sn96.5Ag3Cu0.5) (Pb 高濃度)	0
NMIJ CRM 8301-a	バイオエタノール	1
NMIJ CRM 8302-a	バイオディーゼル燃料 (バーム油由来)	0
化学系標準物質計		2098
NMIJ RM1101-a-1	熱膨張率標準物質 (単結晶シリコン) 形状 : 1	2
NMIJ RM1101-a-2	熱膨張率標準物質 (単結晶シリコン) 形状 : 2	0
NMIJ RM1102-a-1	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素) 形状 : 1	0
NMIJ RM1102-a-2	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素) 形状 : 2	1
NMIJ RM1104-a	熱膨張率標準物質 (ガラス状炭素)	0
NMIJ RM1301-a	熱拡散時間標準薄膜 (窒化チタン薄膜 / 石英ガラス基板)	6
NMIJ RM1401-a	熱伝導率標準物質(等方性黒鉛)	2
NMIJ CRM5803-a-1	熱膨張率測定用単結晶シリコン (低温用) 形状 : 1	1
NMIJ CRM5803-a-2	熱膨張率測定用単結晶シリコン (低温用) 形状 : 2	1
NMIJ CRM5804-b	熱拡散率測定用等方性黒鉛	4
NMIJ CRM5805-a	熱膨張率測定用高純度銅	1
NMIJ CRM5806-a	比熱容量測定用単結晶シリコン (低温用)	8
NMIJ CRM5807-a	熱拡散率測定用セラミックス (Al ₂ O ₃ -TiC 系)	4
NMIJ CRM5808-a	熱拡散率測定用モリブデン薄膜 (400nm)	3
物理系標準物質計		33
合 計		2131

研究

③外国出張・招へい、協力協定、国際比較

外国出張

出張件数	出張先国	出張目的
139件	フランス	国際度量衡委員会 国際度量衡委員会諮問委員会 国際法定計量委員会 アジア太平洋計量計画 アジア太平洋法定計量フォーラム 二国間比較 その他
	ベトナム	
	タイ	
	中国	
	イタリア	
	インドネシア	
	オーストラリア	
	ポーランド	
	韓国	
	オランダ	
	カナダ	
	ドイツ	
	台湾	
	イギリス	
その他7か国		

外国人招へい

件数	招へい国	招へい目的
4	韓国（4人）、カナダ、オーストラリア	ピアレビュー
1	バングラデシュ、カンボジア、インドネシア、カザフスタン、マレーシア、モンゴル、フィリピン、スリランカ、タイ、ベトナム（10カ国15名）	技術協力 MEDEA (Metrology-Enabling Developing Economies in Asia) プロジェクトによるワークショップ 長さ計測におけるレーザ干渉計に関するワークショップ
4	アメリカ、台湾、中国2件（5名）	研究協力（研修）
1	イタリア（1名）	インターンシップ
1	オーストラリア（1名）	計測標準フォーラム講演者 (Towards a Revised International System of Units of Measurement)

JST 予算による外国人の受入

1件 日本・アジア青少年サイエンス交流事業（さくらサイエンスプラン）

「インドネシアにおける力・トルク標準の整備、維持、供給の高度化について」1カ国1名

外国機関との研究協力覚書締結

MoU：3件（韓国 KRISS、オーストラリア NMIA、メキシコ CENAM）

LoI：1件（タイ TISTR）

国際比較

分野（BIPM）	件数
時間・周波数	0
長さ	0
質量関連量	7
音響・超音波・振動	3
測温	2
物質量	7
測光・放射	1
放射線	3
電気・磁気	1
合計	24

産業技術総合研究所

④講習・教習

平成28年度計量教習実績

計量標準普及センター 計量研修センター

講習・教習名		対象者	期間		場所	受講者数
一般計量教習	前期	計量士になろうとする者及び計量行政機関の職員	未実施	—	—	—
	後期		H28. 9. 5～12. 2	3月	つくば	23
一般計量特別教習		計量士になろうとする者及び計量行政機関の職員で一般計量教習を修了した者	H29. 1.23～ 3.17	2月	つくば	23
環境計量特別教習	濃度関係		H29. 1.12～ 3. 1	7週間	つくば	2
	騒音・振動関係	H29. 3. 2～ 3.17	2.5週間	つくば	3	
短期計量教習		計量行政機関等の職員	H28. 7.11～ 8. 5	1月	つくば	39
特定教習	基礎計量教習	特定市の職員	H28. 8.22～ 9. 2	2週間	つくば	17
	計量検定所・計量検査所新任管理職教習	都道府県及び特定市の新任所長等管理職	H28. 6. 6～ 6. 8	3日	つくば	29
	都道府県・特定市計量行政新人教習	都道府県及び特定市の新任計量公務員	H28. 5.10～ 5.12	3日	つくば	28
			H28. 5.25～ 5.27	3日	関西(池田)	44
	指定製造事業者制度教習	当該制度の検査に携わる都道府県等の職員	H28. 6.27～ 7. 8	2週間	つくば	15
	環境計量証明事業制度教習	都道府県及び特定市の職員	H28. 6. 6～ 6.17	2週間	つくば	16
計量指導者教習		都道府県及び特定市の計量公務員等で所属長より推薦を受けた者	H28.12. 5～12. 6	2日	つくば	10
特定計量証明事業管理者講習		当該事業の環境計量士(濃度関係)であって、ダイオキシン類の実務の経験一年以上等の者	H28.10.17～10.21	5日	つくば	5
環境計量講習	濃度関係	環境計量士の国家試験に合格した者であって、施行規則第51条(登録条件)の条件を満たさない者。登録しようとする区分に係る環境計量証明事業者等に属し、かつ、計量に関する実務に1年以上従事している者については、その実務経験が認められれば環境計量士として登録することが出来るので本講習を受講することは不要	H28. 7. 5～ 7. 8	各4日	つくば	30
			H28. 7.26～ 7.29			28
			H28. 8. 2～ 8. 5			30
			H28. 8.23～ 8.26			28
			H28. 9.13～ 9.16			28
			H28.10. 4～10. 7			25
	騒音・振動関係		H28.10.25～10.28	27		
			H28. 9.26～ 9.30	各5日	つくば	22
			H28.11. 7～11.11			20
			H28.11.28～12. 2			17
計量研修	計測における不確かさ研修(中・上級コース)	計量関係技術者	H28.10.13～10.14	2日	つくば	24
計量技術セミナー		都道府県及び特定市の計量公務員等でスキルアップを目指す者	H28.10. 4～10. 6	3日	福岡	38
			H28.10.25～10.27	3日	倉敷	48
			H29. 2.21～ 2.23	3日	札幌	57
合計(人)						676

8) フェロー

【フェロー】

(AIST Fellow)

所在地：つくば中央第2、つくば中央第5、

概 要：

フェローは、理事長の諮問を受けて、研究者の代表として他の研究者の指導にあたりるとともに、特別な研究を行っている。

平成28年度は、2人のフェローを置いている。

機構図

フェロー	清水 敏美
フェロー	福田 道子

(2) 内部資金

〔研究題目〕 ウェットプロセスによる表面処理技術を用いた水素バリア機能実用化に向けての基礎研究

〔研究代表者〕 飯島 高志（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 飯島 高志、安 白（常勤職員2名）

〔研究内容〕

水素利用機器等の基材として使用が期待されているステンレス鋼のミクロからマクロにおける水素脆化を解析するために、二つの課題について基礎的検討を行った。(1) 微小領域の水素脆化評価技術の開発では、ナノインデンテーションを用いて、水素浸入前後のステンレス鋼に200から4000 μN までの微小荷重を荷重し、水素浸入による軟化・硬化の境界深さを測定することで、水素バリア膜等の微小領域の機械特性に与える水素の影響が評価可能であることを見出した。(2) 低ひずみ速度引張試験による水素バリア膜の耐水素脆性評価方法の探索では、ステンレス鋼の試験片に表面処理を施し1 MPa 水素ガス中で低ひずみ速度引張試験を実施し、表面処理を行わない場合の試験結果との比較を行った。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 表面処理、水素脆化、ステンレス鋼

〔研究題目〕 バイオオイル製造装置スケールアップ検討

〔研究代表者〕 細貝 聡（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 細貝 聡（常勤職員1名）

〔研究内容〕

スクリーを用いた熱媒体の循環による、バイオマスの急速熱分解装置によってバイオマスを熱分解し、バイオオイルを製造するプロセスを、これまで、農林水産省のプロジェクトとして開発してきたが、バイオオイルの製造コストの検討から、バイオオイルの製造コストを低下させるには、プロセスのスケールアップが不可欠であるとの結論を得た。本研究では、バイオオイル製造装置のスケールアップに伴って、スクリー式の熱分解装置内部の粒子搬送挙動を数値計算によって明らかにすることを目的とした。

離散要素法を用いて、スクリー式熱分解装置内部の熱媒体粒子およびバイオマス粒子の搬送および攪拌挙動を解析し、1 t/day の実際の装置との挙動を比較解析した結果、粒子間および粒子と壁面の摩擦を考慮することで、粒子の搬送および攪拌挙動を良好に説明できることを明らかにした。この結果を用いて、10 t/day 規模のスクリー式熱分解装置の粒子搬送・攪拌挙動を解析した。計算の結果、10 t/day 規模になると、スクリーの径が大きく、粒子が動く範囲が大きくなってしまい、攪拌が発生しにくくなることが明らかになった。スケールアップ時には、攪拌を促進するための仕組みをスクリーに組み込む必要があることを明らかにした。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 バイオマス、バイオオイル、熱分解、シミュレーション、離散要素法

〔研究題目〕 宇宙機用高エネルギー密度電池の開発

〔研究代表者〕 小林 弘典（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 小林 弘典、倉谷 健太郎、鹿野 昌弘、齋藤 喜康（常勤職員4名）

〔研究内容〕

宇宙機では日が当たらない時間帯の電力維持用にリチウムイオン二次電池（LIB）が適用されてきている。実用に際し、10年以上に及ぶ実使用時間での長期耐久性試験による寿命の確証が必要とされてきたため、現在も旧世代の LIB が採用されており現行のモバイル用 LIB と比較してエネルギー密度が劣る。一方、電池のエネルギー密度の向上は軽量化に繋がることから、宇宙機の軽量化に対するニーズに合致することから重要な研究開発要素となる。本研究開発は200 Wh/kg 級以上の宇宙機用高エネルギー密度 LIB の開発を短期間で実現することを目的として一昨年度から実施してきた。

今年度は、200 Wh/kg 級の高エネルギー密度を示す18650型円筒電池に加えて、負極に Sn を含有する14430型円筒電池について地球低軌道模擬試験及び加速試験のデータの蓄積を図った。その結果、地球低軌道模擬試験時の残存容量予測の高精度化を図ることができた。また、劣化した電池の発熱挙動を評価した結果、熱測定からも劣化メカニズム解析に有用なデータが得られることが確認できた他、劣化状態によっては充電末期に特異的な発熱の増大を示す場合があることを見出した。更に、宇宙機での温度管理条件の緩和を目的に低温でのサイクル特性の評価を行ったところ、速度の異なる2種類の劣化モードがあることが示唆された。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 宇宙機用リチウムイオン二次電池、寿命評価試験、熱測定

〔研究題目〕 耐圧液体水素試験評価装置の研究開発

〔研究代表者〕 中納 暁洋（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 中納 暁洋（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年、次世代のクリーンエネルギーとして水素エネルギーに多くの期待が集まっており、水素供給体制の強化に伴い液体水素の取扱量は今後飛躍的に増大すると見込まれる。液体水素は大気圧下で約20 K（約-253 $^{\circ}\text{C}$ ）の極低温流体であり、これを取り扱う上で温度センサーや液面計など各種センサーの高精度・高性能化が求められている。開発を行うセンサー類の高度化に伴い試験開発の内容も高度化してきており、開発現場の要求に応えることができる実験プラットフォームの整備が急務となっている。実運用の場、例えば液体水素貯槽の運用圧力

9.5気圧では、液体水素温度は約31 K (約-242 ℃) となり、大気圧下の液体水素温度よりも11 K ほど高くなる。各種液体水素用センサーの開発では、液体水素を取り扱う現場環境下での評価も求められている。

本研究では10気圧までの試験が可能な耐圧液体水素試験評価装置の開発を行った。耐圧液体水素試験評価装置は耐圧液体水素クライオスタットと耐圧仕様の排気ラインからなる。前者は高圧ガス製造施設であるが、圧力と内容積の積(PV 値)を抑え高圧ガス保安法の定める特定設備とはならない設計とした。材質はステンレスで液体窒素の予冷層の内側に液体水素の実験層を設け、クライオスタット底部側面に一對の内部可視化用窓を設置した。液体水素の最大充填量は2.38 L で、高圧ガス製造施設としての処理能力は1.9 Nm³/日の小型施設である。第2種製造者として耐圧液体水素クライオスタットの高圧ガス製造事業届けを行い、耐圧液体水素試験評価装置を完成させ、その安全性、及び性能確認試験を行った。水素液化機内の液体水素容器から耐圧液体水素クライオスタットへの液体水素移送、耐圧性能、及び圧力制御の確認試験を実施した。液体水素移送、及び耐圧性能については問題無いことが確認できたが、液体水素の蒸発量が想定よりも小さかったため自動圧力制御装置を用いての圧力制御に問題が生じた。しかし、この問題については微量流量調整用メータリングバルブを導入することで、手動での圧力制御は可能になると考える。今後、耐圧液体水素試験評価装置の圧力制御機能を確保し、民間企業との共同研究「船用液体水素温度センサーの開発」を加速させる。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 液体水素、クライオスタット

〔研究題目〕 水試料中ペルフルオロアルキル化合物 (PFASs) 分析法に関する国際標準規格化

〔研究代表者〕 谷保 佐知 (環境管理研究部門)

〔研究担当者〕 谷保 佐知、山下 信義、山崎 絵理子 (常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) は残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (POPs 条約) で製造や使用が規制された化学物質である。POPs 条約では PFOS の代替ができない用途に適用除外規定が設けられたが、現在この適用除外がさらに必要か検討が進められている。そのため代替物質を評価するための分析法の国際標準化が必要である。また、ペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOA) とその塩は現在 POPs 条約への追加が検討されている。本研究では、PFOS/PFOA やその代替物質を含むペルフルオロアルキル化合物 (PFASs) の高感度高精度な分析方法を開発し、国際標準規格の発行を目的とした。本年度は、PFOS と PFOA 以外の炭

素数の異なる PFASs の分析法の作業原案 (WD) を国内関係者およびカナダ関係者から意見を集約し作成し、新規提案した。15カ国の賛成投票により新規提案が承認され、プロジェクトリーダーに谷保が就任し、ワーキンググループ (WG 74, PFAS LC-MS/MS) を設置した。TC 147総会時に開催した WG74会議において、11カ国22名と WD を修正した委員会原案 (CD) の案を議論した。この議論を基に CD 案を修正し、CD 投票に移行した。また、WD に掲載した PFOS と PFOA 以外の炭素数の異なる PFASs や、側鎖構造を有する異性体のクロマトグラムのピーク形状やピークのデータポイント数の改善が求められたため、機器分析方法を検討・修正し、CD 案に掲載した。さらに、分析試料の保存期間中の安定性の確認が求められたため、保存期間1日から最長6ヶ月の安定性試験を開始した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 国際標準化、ISO、ペルフルオロアルキル化合物

〔研究題目〕 タイの病院および郡部集落へ安全な水を提供する浄水システムの開発と導入

〔研究代表者〕 鳥村 政基 (環境管理研究部門)

〔研究担当者〕 鳥村 政基、尾形 敦、根岸 信彰、伊藤 努 (常勤職員3名、他1名)

〔研究内容〕

目標：

東南アジア各国でニーズが高まっている病院での治療用水および透析用水を供給するための水浄化システムの事業化で、タイ等の医療現場へ安心安全な水を提供する。もう一つは、都市部ではあまり問題となっていないが郡部では極めて深刻な状況にある水環境問題を克服するため、集落に安全な水を提供するための浄水システムの導入である。

研究計画：

1) アジア連携の強化による現地の原水品質評価、2) 現地での水浄化・水質評価の初期検討、3) 現地ニーズおよび水質評価。年度進捗状況：1 及び2) 連携企業が開発している TOC 計の実証試験をタイ国立科学技術研究所 (TISTR) で実施した。検体には首都圏水道公社 (MWA) の協力を得て水道局の有するチャオプラヤ川取水口において採水した河川水を使用した。また、TOC 計の性能評価のため NMIJ 標準試料を用い定量性の検討を行ったところ、汎用 TOC 計に匹敵する精度を有することを明らかにした。タイ国内の病院等における水浄化の実態調査のため、パトゥムタニー県にあるパトゥムタニー公立病院を訪問し、調剤部並びに腎透析室における浄水システムの状況を視察した。3) タイ農村部における飲料水実態調査のため、チェンライ県の山岳集落における飲料水のサンプリング並びにヒアリングを実施した。その結果、全ての集落で飲料水中細菌濃度が極

めて高いということがわかった。ヒアリングの結果から、水浄化の必要性は認識しているが、経済的な理由で水浄化が行えない事情も把握した。また、地元飲料水ボトリング工場では衛生管理を行わずに不衛生な飲料水のボトリングを行っていることを確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 TOC 計、タイ、病院、農村部、飲料水

【研究 題 目】 生ごみから発生する悪臭処理技術の開発

【研究代表者】 佐野 泰三（環境管理研究部門）

【研究担当者】 佐野 泰三、王 正明、市川 廣保
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

家庭生ごみの90 %は水分であり、運搬と燃焼に多量のエネルギーを要している。生ごみの乾燥により運搬・燃焼コストおよび地球温暖化ガス排出量の削減などが期待でき、また、生ごみ保管時の腐敗臭や汁だれの防止など、快適な生活にも寄与すると期待される。しかし、生ごみ乾燥時に発生する食品臭は濃度によって悪臭となるため、生ごみ乾燥を家庭で行うには悪臭処理技術が必要である。活性炭フィルターを用いる吸着法は比較的安価に多種の悪臭物質を除去でき、活性炭フィルターを装備した生ごみ乾燥機が既に実用化されている。しかし、数ヶ月ごとのフィルター交換が必要であり、交換頻度の低減が課題である。本研究では、生ごみ乾燥時に発生する悪臭物質の定量法の開発と、悪臭除去に用いる活性炭の交換頻度を低減する技術として、オゾンとゼオライト触媒で悪臭を酸化分解するオゾン触媒法の検討を行った。

生ごみ乾燥時に発生する悪臭分子を適切な固相マイクロ抽出法（SPME）で濃縮し、ガスクロマトグラフ質量分析器（GC-MS）で分析することで、約8割の悪臭成分を15分間隔で定量できた。悪臭を含む空気をオゾン発生ユニットを備えたチャンパーに通過させた後、Y型ゼオライト触媒層に通過させた。オゾン発生ユニット前後で悪臭成分の種類、濃度に有意な差は見られなかったが、Y型ゼオライト通過後には検出成分数の減少が見られた。エタノールやアセトアルデヒドの濃度は減少しなかったが、その他のアルデヒド類、アミン類、アセトイン、酪酸などの濃度が減少した。オゾン発生ゼオライト触媒の組み合わせで、悪臭除去効果があると認められた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 生ごみ、生ごみ乾燥、脱臭、悪臭、吸着剤、オゾン、触媒

【研究 題 目】 IDEA の海外販売推進と IDEA アジア地域版の開発

【研究代表者】 田原 聖隆（安全科学研究部門）

【研究担当者】 田原 聖隆、塚原 建一郎、畑山 博樹、小林 謙介、藤井 千陽、横田 真輝
（常勤職員3名、他3名）

【研究 内 容】

近年、欧州委員会やカーボンディスクロージャープロジェクトなど国際的な組織からや、CSR、パリ協定への対応などの観点から製品・サービス、企業といった様々なレベルで、グローバルサプライチェーン全体での環境評価や環境フットプリントへの対応等を求める動きが起きている。このような動きに呼応して UNEP の会合で LCA-DB ネットワーク構想（GLAD）が提案され、環境評価の基盤となる世界各国で使われているインベントリデータベースを国際的に相互運用していくことが決まり、2018 年秋に運用開始を目指し作業が行われている。そのため、我々が開発しているライフサイクルインベントリデータベース（IDEA）も、このようなデータベースの国際化に対応するための体制整備を進めている。一方、グローバルなサプライチェーンに対応するためには、輸出入の多い我が国の産業にとって特にタイや中国などアジア各国の海外データが必要不可欠である。しかし、現状では、海外から輸入している部品等のデータを欧州や日本のデータ（IDEA）で代用することで自社製品の環境評価を実施している状況である。そのため、海外の対象国の状況に対応したインベントリデータベースを開発する必要が生じている。

そこで本研究では、欧州のフォーマットやデータ要件への対応といった海外へのデータ提供に必要な残された技術的な課題への対応や、フォーマット変換プログラム作成を実施し、GLAD への参加を可能にした。また、本年度は我が国のサプライチェーンに重要な、タイ、中国の状況を反映させたインベントリデータを作成した。具体的には、IDEA のプロセスデータをベースに、製品製造時に使用される燃料種とエネルギー消費量に各国の状況を反映させ、その国の状況に応じたカスタマイズを実施した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 インベントリデータ、データベース、海外連携

【研究 題 目】 ナノセルロース等の革新素材及び製品の安全性評価基盤技術開発

【研究代表者】 東野 晴行（安全科学研究部門）

【研究担当者】 東野 晴行、蒲生 昌志、藤田 克英、小倉 勇、梶原 秀夫、小原 佐和枝、丸 順子、遠藤 茂寿、小竹 真理
（常勤職員5名、他4名）

【研究 内 容】

本研究では、ナノセルロースの安全性評価基盤技術開発プロジェクトのスタートアップと、これまで実施してきたナノ材料や製品のプロジェクトのフォローアップを行った。

1. ナノセルロースについての特性や動向の整理

日本の製紙企業等が開発を進めているナノセルロー

スの種類、物性、有害性や暴露の既存研究の情報を収集・整理し、評価対象とする試料の優先度を決定した。従来のナノ材料とナノセルロースとの特性の違いを整理し、新たな開発要素や課題を抽出した。

2. ナノセルロースの分析技術の有用性評価と課題の抽出

複数の可能性のあるナノセルロースの分析技術について予備検討を行い、検出感度、夾雑物の影響、前処理の必要性、簡便性等を考慮して、各技術の有用性を評価すると共に課題を抽出した。

3. これまで実施してきたプロジェクトのフォローアップ

OECD 専門家会合にてナノ材料気管内投与試験方法に関する研究成果発信を行った。室内製品暴露評価ツールを公開し、既存の欧州のツールとの比較を行った。開発したツールが機能、精度の点で優位性を持つことを示した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ナノセルロース、製品暴露、気管内投与試験、分析技術

【研究 題 目】 ニトロセルロースナノファイバー (NCNF) の特性評価

【研究代表者】 岡田 賢 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 岡田 賢、秋吉 美也子、松永 猛裕、齋藤 靖子、遠藤 貴士 (常勤職員5名)

【研究 内 容】

セルロースナノファイバー (CNF) は植物繊維を解繊したもので、繊維の直径は数十 nm であるが、鉄の5分の1の軽さで強度が5倍と、炭素繊維に迫る性能を備える。産総研機能化学研究部門のオンリーワン・ナンバーワン技術である水熱メカノケミカル処理技術による CNF 製造技術は、低コストで CNF を製造できる技術である。一方、ニトロセルロース (NC) は、危険物五類で無煙火薬、塗料、医療用途に用いられており、主に木綿から製造され、繊維の直径は、12-20 μm である。自然発火の危険性を有しており、黒色火薬に比べて燃焼性能が低い。そこで、CNF を原料として、燃焼性能が高い特徴が期待できるニトロセルロースナノファイバー (NCNF) の合成の検討を行った。従来技術では nm オーダーの NC を製造するには、NC を一旦溶媒に溶かし、高電圧を印加し紡糸するエレクトロスピン法が代表的で、繊維径が 50-500 nm、比表面積が 4.8-26.9 m^2/g であり、繊維径が 50 nm 以下や比表面積が 80 m^2/g 以上のは製造できない。また、窒素量が低いものについては、溶媒への溶解が困難であるので、用途に合わせた様々な窒素量の NC を製造することは困難である。これらを解決するため、本研究では、CNF を湿式状態で硝酸エステル化して、NCNF を合成し (特願2016-234914)、その特性の評価 (BET 比表面積測定、窒素

量測定、圧力容器試験) を行った。濾紙を原料として、水熱メカノケミカル処理により、CNF (含水量95%) を準備する。CNF を遠心分離機で水分を除去した後に酸による前処理を行うことにより、CNF の膨潤を促進させエステル化の進行に効果あることがわかった。前処理なしの通常の合成法では、エステル化の進行や収率の低下が確認された。この CNF と氷温の混酸を混合させ、自転・公転ミキサーを使用して混合し、硝酸エステル化を進行させる。エステル化終了後、デカンテーションによる水洗浄を繰り返し、長時間の煮沸洗浄後に有機溶媒を用いた凍結乾燥を行い、NCNF を得た。CNF を湿式状態で硝酸エステル化し 40 nm の網目構造を有する NCNF (N:13.6 %) を合成した。NCNF は NC の10倍の比表面積を有し、圧力容器試験でも燃焼性能が向上することが確認できた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 セルロースナノファイバー (CNF)、火薬類、ニトロセルロース、BET 比表面積、燃焼速度、エネルギー物質

【研究 題 目】 フィジカルハザード評価技術の研究開発

【研究代表者】 緒方 雄二 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 緒方 雄二、中山 良男、若林 邦彦、薄葉 州、松村 知治、杉山 勇太、久保田 士郎、椎名 拓海、佐分 利禎、牧野 良次、松木 亮 (常勤職員11名)

【研究 内 容】

今年度の火薬類の大規模野外実験では、トンネル火薬庫の保安距離評価に関する実験と火薬類の性能評価に関する実験を実施した。これらの実験では、火薬類取締法の改正に必要なデータを取得することを目的としている。火薬類保安実験では、火薬類の爆発で発生する爆風、地盤振動および飛散物を計測することで、火薬類の保安距離に対して指向性と爆風圧低減効果が確認できた。火薬類の性能評価に関する研究では、計測した各種火薬類の爆風圧およびインパルスから基準爆薬 TNT>ANFO 爆薬 \geq エマルジョン爆薬>>黒色火薬になり、TNT=1に対して ANFO 爆薬及びエマルジョン爆薬=0.8、黒色火薬=0.2程度になることを明らかにした。また、コンボジット系の推進薬は、爆轟・爆燃等の爆発現象が確認できず、爆風圧も計測できなかった。しかし、コンボジット系の推進薬は、燃焼時に発生する熱量が大きく、輻射熱が問題となることが想定でき、輻射熱を評価する必要があることを明らかにした。

高圧ガス問題では、東日本大震災の時に発生した大規模な高圧ガスタンク爆発火災 (BLEVE) における影響度評価手法の開発に着手した。圧力容器内の突沸現象を再現する小規模実験から突沸モデルを構築し、一次元シミュレーションを行った。また、BLEVE 現象の理解と、よりスケールの大きい容器爆発実験方法への応用を検討

した。これらの結果は、火薬類取締法および高圧ガス保安法等の改正の資するものである。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 火薬類、火薬類保安実験、性能評価、爆風、地盤振動、飛散物、保安距離、高圧ガス、BLEVE、突沸現象、一次元シミュレーション、火薬類取締法、高圧ガス保安法

【研究 題目】 社会実装を見据えたエネルギー技術評価手法の開発

【研究代表者】 工藤 祐揮（安全科学研究部門）

【研究担当者】 工藤 祐揮、小澤 暁人、村田 晃伸、高木 英行、斉田 愛子、宮本 銀一、野津 育朗（常勤職員5名、他2名）

【研究 内容】

産総研で研究開発を行っている各種エネルギー技術を社会実装していくための加速要因・阻害要因を特定するとともに、社会実装による製品や産業への連鎖を通じた影響や波及効果を把握するための、技術評価の枠組みを構築する。平成28年度は最適化型エネルギーシステムモデル MARKAL を用いて、わが国のエネルギーシステムの中での水素・エネルギーキャリア技術の位置づけを把握するために、環境やコスト制約に関する設定値の感度分析を行い、2050年における水素導入量を規定し得る要因を抽出した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 エネルギー技術、社会実装、エネルギーシステムモデル、波及効果

【研究 題目】 水素等の輸送貯蔵における安全ガイドラインの提案

【研究代表者】 久保田 士郎（安全科学研究部門）

【研究担当者】 久保田 士郎、和田 有司、恒見 清孝、中山 良男、小野 恭子、佐分利 禎、牧野 良次、椎名 拓海、高橋 明文、松木 亮、松村 知治、杉山 勇太、吉田 喜久雄（常勤職員12名、他1名）

【研究 内容】

本研究では、水素ステーションの社会受容性を向上させるために、水素ステーションのリスクを説明する際に必要な、万が一事故が起きたらどういふ被害があるかを、これまでの漏洩口径を限定した被害ではなく、容器破損や配管破断等の様々な条件を想定して、被害を数値シミュレーションによって予測するとともに、それらの被害予測に対してどういふ対策によって、どの程度リスクが低減されているかを明確に示す先進的なリスク評価手法の開発を目指す。加えて、アンモニアの燃焼爆発特性を明らかにし、火災、爆発被害を予測するためのデータを取得するとともに、アンモニアやメチルシクロヘキサン

（MCH）漏洩時の周辺住民の暴露解析および有害性評価を行う。

また、水素に関する社会受容性調査については、まず、水素ステーション設置に関して、導入シナリオを複数設定する。次に、水素ステーション導入シナリオによる大気汚染物質と二酸化炭素の排出低減効果の定量的な評価をシナリオごとに行い、地域および地球環境の持続性の側面から、ヒト健康リスクと温暖化リスクの評価を行う。その上で、水素に関するリスクと便益の定量的評価結果を提供した社会受容性調査を実施して、過大視されやすいリスクイメージを変化させ、水素ステーションの安全と安心に関するリスクコミュニケーションのあり方を検討する。

本年度は、火災影響をフィジカルリスク評価に精度よく反映させるために、輻射熱の評価手法について調査し解析方法を明らかにした。また、大規模な水素漏洩着火によるフィジカルリスク評価を実施する上で重要であるステーション周辺の3次元構造物データを正確に計算場へ取り込む手法を確立した。

水素ステーション周辺住民の水素キャリアの健康影響リスクをガソリンスタンドでの健康リスクと比較する上で情報が不足していた吸入暴露に伴う MCH の神経毒性のヒト無毒性濃度を、生理学的薬物動力学（PBPK）モデルを用いてラットの経口投与試験結果から経路間外挿し、決定した。体内動態試験結果で最適化した PBPK モデルパラメータを用いた場合、ラットの経口投与試験から推定された腎毒性の無毒性濃度は吸入暴露試験の結果とよく一致し、経路間外挿の妥当性が確認された。

リスクの定量化に関して、質調整生存年数によるリスクの定量化に向け、爆風による鼓膜損傷、火災による熱傷を対象として対面方式および郵送方式のアンケート調査によってスタンダード・ギャンブル法に基づくデータを収集し生活の質（quality of life: QOL）の推定値を得た。QOL とは通常健康状態を1、死亡を0とする疾病等の重篤度の指標である。社会受容性調査に関して、予備調査結果を解析し、水素ステーションに対する知識、リスク認知等を説明変数としたロジスティック回帰モデルを構築することにより、水素ステーション受容の特徴を定量的に表した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水素ステーション、リスク評価、被害予測、アンモニア、暴露解析、有害性評価、社会受容性、リスクコミュニケーション、リスクイメージ、大気汚染、二酸化炭素排出

【研究 題目】 放射性物質汚染のリスク管理のための計測・評価技術の開発と適用

【研究代表者】 内藤 航（安全科学研究部門）

【研究担当者】 内藤 航、小野 恭子、黒澤 忠弘、

鈴木 良一、金京 淑、小川 宏高、
保高 徹生、上坂 元紀、山田 千恵
(常勤職員7名、他2名)

〔研究内容〕

福島における放射線に関わるリスク問題の解決には、現場で何が問題となっているかを的確に把握し、その問題解決に資する科学的エビデンスや評価・計測技術を、それらを活用するユーザー（個人や行政）が利用しやすいかたちで提供することが重要である。産総研の有する高い情報・計測・評価の技術や体制は、そのような課題の解決に大きく貢献できるポテンシャルを秘めており、利害関係者（例えば被災住民、除染特別地域の自治体、相談員制度担当者等）からの期待も高い。本研究では、放射能汚染に対し、地域や個人の状況に応じた対策を可能とするための計測・解析技術を構築および対策のトレードオフ評価を目的とする。

平成28年度の主な成果は次の通り。福島県飯舘村の住民の協力のもと実施した個人線量の計測とそれに基づく線量評価の結果を論文としてまとめ、その結果が村の除染検証委員会の基礎資料として採用された。川内村の住民の協力のもと、山林内の活動（キノコ狩り）における個人線量の調査を行った。外部被ばく線量推定ツールのプロトタイプを完成させた。無線技術を利用した放射線量のモニタリング技術開発で CERN（欧州）と千代田テクノと産総研の3者の共同研究契約を締結した。宇宙環境での放射線線量計測への応用や原子力施設の放射線モニタリング等、放射線線量計の利用拡大のための共同研究を開始した。汚染域・土壌中汚染深度分布推定手法の実用化に向けて、製品のインタフェースの検討を行った。放射線対策のリスク削減効果の定量化を目的として、ケーススタディーとして福島県相双地区の放射線被ばくと糖尿病罹患について、損失余命を指標として定量化した。川俣町山木屋地区にて実際の帰還に向けた住民と定期的な意見交換を実施し、現状の課題の整理を行った。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 福島、放射性物質、被ばく線量、線量計測、リスク、除染廃棄物、リスクトレードオフ

〔研究題目〕 光触媒材料のセルフクリーニング性能試験方法－汚染状態の簡易評価

〔研究代表者〕 小西 由也（太陽光発電研究センター）

〔研究担当者〕 小西 由也、佐山 和弘

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

光触媒製品の6割近くが「外装材」であり、機能としてセルフクリーニングが大きな割合を占めている。水接触角や色素の分解を指標としたセルフクリーニングの性能試験方法の標準化も行われている。しかしそれらの指

標はセルフクリーニング性能と相関があるものの、その直接的な評価を示すものではなく、潜在的なセルフクリーニング性能の評価には妥当であるが、用途に応じて汚れや利用できる照射光などが異なる多様な環境に設置される光触媒製品のセルフクリーニング作用の発現を直接的・定量的に調べるものとはなっていない。そこでその発現をより直接的に簡易に試験する方法に関して調査・検討を行った。最初に展示会や連携協議先等の企業への訪問などによりセルフクリーニング作用を持つ光触媒製品に関する調査を行った。その結果、標準化されている性能試験の結果は基本性能として表示するが、効果を直接的に反映する方法ではないため分りにくく、顧客へのアピールが困難との印象が共通していた。展示会などでは（1）光触媒を施工したものとしなかったものについての経年変化の写真比較や（2）カーボンブラックを油分（サラダ油等）に分散させた汚れを付けて水で流す演示やビデオによって視覚的に示すのが一般的であった。さらに（2）の方法のような汚染の除去を簡易に示す方法に関して何らかの標準化がなされれば使用してみたいとのコメントも得られた。そこでセルフクリーニング効果を直接的に示すことができる試験方法の最初の候補として（2）の方法を基に連携先の企業で評価対象となる製品候補を作製して検討することに着手した。まだ製品候補が開発途上であるため継続して進めている。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 光触媒、セルフクリーニング、性能試験方法、標準化

〔研究題目〕 標準化戦略 FS「屋内光下での有機太陽電池の性能評価方法」

〔研究代表者〕 吉田 郵司（太陽光発電研究センター）

〔研究担当者〕 吉田 郵司、近松 真之（常勤職員2名）

〔研究内容〕

屋内光、例えば太陽光（採光）、蛍光灯、発光ダイオード（LED）照明などを供給源としたエネルギーハーベスティングが注目されており、特に屋内光に対して性能が高いとされている有機太陽電池の研究開発が進められている。しかしながら、屋内光での性能評価方法は確立されておらず、業界からもその標準化が求められている。そこで本事業は、屋内光での有機太陽電池の性能評価を可能とする評価方法の国際標準化の確立を目標として、その準備を進めるために実施した。まず、基準となる屋内光源を規定して評価方法を確立することで、屋内光照射下での太陽電池の性能評価を可能とすることを目指すものである。そのための基盤整備として、規定された基準屋内光のスペクトルを用いて種々の有機太陽電池の性能を測定できる LED 光源を用いた可視光シミュレータを活用することとした。屋内光を再現するべく、屋内光スペクトルの再現と低照度を実現する改造を行った。また、有機太陽電池の標準モジュールでの予備的な測定

を行うために、外注モジュールを購入し評価を行った。併せて、当該分野における現状の調査を、国際会議に参加することで行った。その結果、国際標準化に向けた屋内光下での有機太陽電池の性能評価に関するバックデータの取得に向けた準備を行うことができた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 有機太陽電池、エネルギーハーベスティング、屋内光、性能評価、国際標準

【研究 題 目】 TPEC を活用したパワーエレクトロニクス技術の橋渡し研究

【研究代表者】 奥村 元（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】 平塚 健二（常勤職員7名、他約20名）

【研究 内 容】

TIA パワーエレクトロニクス研究拠点において、西7B 棟スーパークリーンルームに平成27年11月より構築を進めていた、シリコンカーバイド（SiC）パワー半導体デバイスの6インチラインが竣工、平成29年3月にフルプロセスのデバイス試作を完工した。

6インチ化は SiC パワーデバイスの実用化に不可欠である。ここでは従来4インチ Si 用であった1,500 m²のクリーンルームを6インチ SiC 用に再構築し、さらに裏面プロセス用320 m²のクリーンルームを新築した。ここに100台超の6インチ SiC 用プロセス装置を設置し、運転を開始、平成28年11月に竣工式が執り行われるに至った。

この6インチラインを用いて、既存4インチラインで基礎特性を検証した高効率 SiC パワーデバイス V 溝型 MOSFET の試作を投入、平成29年3月に裏面プロセスまで含めたフルプロセスで完工させるに至った。

SiC パワーデバイスの実用化に向けた6インチラインを用いた量産技術の研究開発は世界的な規模での競争段階にあり、ここで構築した6インチラインをオープンイノベーション拠点の新たなコア施設として産学官で活用し、発展させていくことで産業の更なる競争力強化につなげていく。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 6インチ化

【研究 題 目】 マイクロ臓器ブロック開発

【研究代表者】 織田 雅直（創薬基盤技術研究部門）

【研究担当者】 金森 敏幸、伊藤 弓弦、木田 泰之、
舘野 浩章、小沼 泰子、高山 祐三、
佐野 将之、中西 真人、鈴木 理、
杉浦 慎治、須丸 公雄、藤田 聡史、
栗田 僚二、山下 健一、松本 壮平、
井上 朋也、銘荊 春隆、平間 宏忠、
栗原 一真、佐藤 琢、進 和美、
橋本 はる代、石原 紗綾夏、

田中 真美、人羅 久子、櫛笥 博子
（常勤職員19名、他7名）

【研究 内 容】

医薬品開発の費用の高騰、期間の延長が世界中に問題となっているが、その要因として、1) 臨床試験の結果を非臨床において予測できる技術が無い、2) 非臨床の最終段階で実施される動物実験で「種の違い」による偽陰性を除外する合理的方法が無い、の2つが挙げられている。また、欧州連合では化粧品開発における動物実験が禁止され、動物実験に代わる評価技術の開発が喫緊の課題となっている。さらには、農薬や食品添加物などは、我々の生活に直結するにもかかわらず、ヒトによる安全性の評価は実施できない。

このような背景から、近年、ヒト細胞を精密に培養して臓器／組織特異的機能を発現させ、さらに複数種類のそれらを結合してヒト体内の高次な生理機能を *in vitro* で模倣する技術（organs-on-a-chip）に世界中の期待が集まっている。

本研究では、organs-on-a-chip の基礎技術の構築を目的として4つの要素技術、すなわち、1) 標準細胞および疾患モデル細胞の誘導と品質保証、2) チップの設計、試作、評価、3) オンチップ検出技術、4) チップ製造技術、について研究開発を実施した。

その結果、1) については、ヒト肝細胞として標準的に用いられているヒト凍結肝細胞およびヒト iPS 細胞から誘導された肝機能発現細胞について、遺伝子解析と細胞膜提示糖鎖プロファイリングによって規格化できる可能性を見出した。2) については、圧力駆動型マルチスルーポットチップを開発し、ユーザー（企業）での性能評価を開始した。3) については細胞の時系列イメージング技術を確立した。4) については、環状ポリオレフィンから安価でチップを成形できる技術を見出した。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 organs-on-a-chip、細胞アッセイ、マイクロプロセス

【研究 題 目】 「きぼう」利用高品質タンパク質結晶生成実験に係る研究開発

【研究代表者】 近江谷 克裕、新聞 陽一（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 近江谷 克裕、三谷 恭雄、安野 理恵、
久保田 智巳、光田 展隆、梶 裕之
（常勤職員6名）

【研究 内 容】

生命現象を的確に捉えるため、バイオイメージング技術は必要不可欠になっている。本研究では、発光タンパク質の改変技術を用いて、生命における基本的現象の探索ツールとなりうる生体イメージングプローブやそれに関わるシステムの開発を目指すものである。特に発光タンパク質の構造を明らかにすることで、生体イメージン

グ技術の応用を見据えた発光基質設計・発光強度増強・発光色の制御・融合フラグメントの導入部位に係る基礎的知見を獲得する。本年度は国際宇宙ステーションの「きぼう」日本実験棟において、宇宙環境を利用した高品質なタンパク質の結晶生成を行うため、発光タンパク質についての結晶化条件の探索を行う。条件の最適化が完了した場合、宇宙実験による結晶生成及びそのタンパク質の構造機能相関の解明につながる精密な立体構造解析及びその応用に係る研究を行うこととする。これまでに、ウミホタルルシフェラーゼを植物細胞等で発現、精製したサンプルの結晶化を目指したが、糖鎖の影響のため、均一なタンパク質を得ることができなかった。そこで、ウミホタルルシフェラーゼ中にある2か所の糖鎖部位を改変し動物細胞で発現させ、糖鎖の機能を調べた結果、糖鎖部位を改変した場合、発光活性は数分の1程度に低下するが、本質的に発光活性に影響しないことが判明した。併せて、植物細胞で発現させたウミホタルルシフェラーゼの糖鎖を糖鎖切断酵素処理することで均一なタンパク質となることが明らかになった。次年度以降、糖鎖を欠失させたウミホタルルシフェラーゼの結晶化を目指す。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】イメージング、結晶化、ルシフェラーゼ

【研究題目】ナノイメージングソリューションズ

【研究代表者】山田 澄人、近江谷 克裕（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】近江谷 克裕、小椋 俊彦、加藤 薫、佐藤 主税、戸井 基道（常勤職員5名）

【研究内容】

産総研が蓄積してきた、「先端且つ多様なイメージング技術」、「画像処理技術や AI 応用技術」を融合し、世界でオンリーワンの高感度・高機能イメージング技術を確立し、世界に冠たるナノイメージング研究拠点の確立を目指す。具体的には、下記に記載する5つの研究テーマを実施、ナノ材料や生体試料のありのままの姿が見える技術を開発及びコンサルタント事業を推進する。研究課題、目標、研究成果は、以下の通り。●新誘電率顕微鏡（小椋）：「溶液中のウィルス、有機ナノ粒子を高分解能での No ダメージ観察技術」のコンサルタント事業の展開、及び企業との共同研究契約の元、汎用機の試作を実施した。●超解像顕微鏡（加藤）：「生きた細胞の中を覗く世界で最も分解能の高い（30 nm）超解像顕微鏡」を目指し、検出限界を超える波面制御技術の開発を目指し、今年度は超解像顕微鏡の購入、作動確認を行った。●大気圧電子顕微鏡（佐藤）：「溶液中の複数のウィルス、有機ナノ粒子を電子線で複数観察する技術」のコンサルタント事業を展開した。また、Cryo-TEM 単粒子解析技術：「結晶化の難しいタンパクの高次構造解析迅速化技術：分解能2Å以下」を目指し従来法の改良を開始し

た。●スマートイメージングシステム（戸井）：「人工知能の力を組み込んだ画像解析手法」を開発、また医療や創薬に関わる画像解析のコンサルタント事業を展開した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】イメージング、電子顕微鏡、光学顕微鏡

【研究題目】ナノイメージングソリューションズ

【研究代表者】山田 澄人（イノベーション推進本部）

【研究担当者】山田 澄人、福田 大治、丹羽 一樹、服部 香里、沼田 孝之、渡部 謙一、鷹巣 幸子、小林 稜、池田 裕真（常勤職員6名、他3名）

【研究内容】

本研究では、細胞や微生物からの発光・蛍光を最小の光量で見ることのできるイメージング技術の開発を目標とする。光の最小単位である光子について、エネルギー（波長）や到達位置など、光子の持つ情報を最大限引き出せる技術を構築し、今まで見えなかったものを可視化できる技術を実現させる。これにより、創薬や再生医療への革新エンジンとして活用できる計測技術となることを目指す。研究計画として、2016年に単一光子分光イメージング技術の実証、2017年は細胞等からの発光を実観察できる実証装置の開発、2018年度以降は細胞等の機能を観察できる実用化装置の開発を予定している。2016年度の研究進捗状況としては、超伝導転移端センサ（TES）による光検出技術を用いた単一光子分光測定の実証研究を行った。TES は光検出器の一種であり、光子の吸収により生じる超伝導状態から常伝導状態への変化から、入射した光エネルギーを測定することが出来る。この光検出器を用いて、発光サンプルからの光子を測定したところ、可視域～近赤外域の極めて広い波長域で光子に対する光スペクトルを取得することに成功した。また、本検出器を搭載した光学顕微鏡を用いて、単一光子分光によるイメージング画像取得の実証実験を行った。その結果、既存のイメージセンサよりも高感度に光子を検出し、かつ分光特性を利用することで光の三原色に基づく明瞭なカラー画像を構築することに成功した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光子、光量子、超伝導、スペクトルイメージング、分光測定、近赤外、高感度光センサー、光検出器

【研究題目】日印融合研究を核としたアジア持続的ライフイノベーション

【研究代表者】ワダワ レヌー（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】近江谷 克裕、ワダワ レヌー、カウル スニル、大西 芳秋、戸井 基道、加藤 薫、落石 知世、栗田 僚二、富田 辰之介、田村 具博

(常勤職員10名)

【研究内容】

産総研・インド DBT 間 MOU 協定をベースとして設立された DBT-AIST ジョイントラボ (DAILAB) の運営を通じてアジア地域との広い連携を可能とする集中研究機能、人材育成機能及び国内バイオ技術の普及機能を持った研究ハブの強化・拡充を目標とする。特に、本ジョイントラボでは AIST と DBT の健康・医療分野における更なる研究協力の推進と人材育成を含めた研究者交流を実施する。具体的成果は、1) 産総研内の DAILAB においてインドのバイオソースより生理活性物質をスクリーニング、探索を行った。一方、探索された創薬候補物質についてはイメージング技術を活用し、生きた細胞内での分子間相互作用や動態を含めた機能解析を実施した。2) 平成 28 年 4 月、スリランカの Sri Jayewardenepura 大学と産総研は MOU を結び、さらに産総研のバイオメディカル研究部門とは具体的な共同研究の覚書を締結、スリランカ、インド政府、日本大使館関係者の出席のもと DAILAB@USJP を開所した。3) 平成28年9月、マニパール大学、平成28年10月、シッキム大学においてインドのバイオソースより生理活性物質をスクリーニング及び探索を行うためのジョイントラボを開所した。4) 平成29年1月にインド若手研究者を含めたアジア若手研究者のための最先端技術ワークショップを実施した。本ワークショップには国内イメージング関連企業ニコン、オリンパス、アトー社が参加、協力した。5) ジョイントラボ主催のネットワーク講演会 (DAILAB-CAFÉ、日本を中心とした中国、韓国、インドネシア、インドを繋げる) を5回、DAILAB のセミナーをインドで2回、国内で1回実施、産総研のポテンシャルを紹介すると共に、アジアのバイオ関連の若手研究者の育成を実施した。

【領域名】生命工学

【キーワード】イメージング、スクリーニング、国際連携

【研究題目】北海道由来のバイオリソースを活用したバイオものづくりに関する基盤技術開発

【研究代表者】田村 具博 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】田村 具博、木村 信忠、三谷 恭雄、北川 航、安武 義晃、三重 安弘 (生物プロセス研究部門)
野田 尚宏 (バイオメディカル研究部門)
(常勤職員7名、他2名)

【研究内容】

北海道の風土には稀有な微生物が集積している環境サンプルが有り、北海道特有の有用遺伝子やタンパク質を探索するリソースとなりうる。そこで、希少微生物や環境ゲノムに由来するゲノムライブラリーを構築し、遺伝

子資源のスクリーニング源として整備する。また、ゲノムライブラリーの優位性アピールを目指して、全化学プロセスの3割を占める酸化還元反応の代替となりうるシトクロム P450酵素の探索と発現ライブラリーを構築し、電気化学的手法を取り入れた新たな物質生産・検出系の構築を目指す。更に、北海道に深い関わりのある家畜に感染する病原性微生物を対象にした抗菌物質の探索を行い、新たな機能性物質の創出に向けた基盤技術の開発を目指す。平成28年度は、北海道固有の希少微生物を含む環境サンプルから、世界的に例が無いロドコッカス属細菌の宿主ベクター系を利用した環境ゲノムライブラリーを含む計15種類のゲノムライブラリーを構築した。また北海道の乳業で問題となっている牛乳房炎の原因菌に対する抗菌物質を探索するための、エマルション式蛍光ハイスループットスクリーニング基盤技術を開発した。更に、目標数を大幅に上回る P450遺伝子の発現ライブラリーを構築し、その有効性を確認すると共に、ライブラリーを活用するための電気化学 P450反応系の基盤を構築した。実用面では、環境ゲノムライブラリーから微生物の挙動を制御する新しい天然化合物を発見し、企業と連携・技術移転に関する協議を開始した。

【領域名】生命工学

【キーワード】環境ゲノム、P450、抗菌物質、放線菌

【研究題目】細胞内シグナル伝達の網羅的解析システム

【研究代表者】堀本 勝久 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】福井 一彦、五島 直樹、鍵和田 晴美、福田 枝里子 (常勤職員5名、他7名)

【研究内容】

産総研が有する cDNA ライブラリーによるタンパク質アレイ測定技術と数理情報解析技術を融合して、従来技術では達成できていない、細胞のタンパク質リン酸化の活性化状態を網羅的に評価して、細胞内シグナル伝達経路を推定・解析するシステムを開発する。

我々のタンパク質アレイは、産総研が世界に誇るヒト cDNA ライブラリーとハイスループットタンパク質合成技術 (Nature Methods, 2008) を基盤とし、タンパク質を未変性のままアレイ化したユニークなものである。細胞抽出液をアレイに添加することによって、細胞内の518種のカイネースと基質タンパク質の相互作用、そしてリン酸化反応をアレイ上で再現することができ、細胞内の種々のカイネース活性をプロファイリングすることが可能となる。

数理情報解析技術については、既知パスウェイの繋がりが具合と計測データとの整合性を定量的に見積もる技術を世界に先駆け開発し (BMC Sys Biol, 2008)、その適用についても実績がある (例えば、Am J Physiol, 2013)。この度に提案では、特殊なパスウェイ構造に限

定されていた技術を汎用化する開発を行い、極めて複雑なパスウェイ構造をもち、かつ経時的にその構造が変化するリン酸化パスウェイに対応できるようにする。

これにより細胞および組織内の各種リン酸化酵素の活性化状態の全体像を俯瞰する世界初の技術が創出される。さらに次年度以降、製薬企業や医療機関の研究開発力も利用した既存薬投与変動の体系的計測による計測技術の実証と DB 構築から成る網羅的システムの開発を行う。このシステムは、製薬企業における創薬プロセスの加速化と効率化に有用であるだけでなく、医療機関との連携により疾患判定・層別化や再生医療・移植細胞の品質管理等に活用でき、創薬と医療の多様な分野において比類ない多量のシグナル伝達を解明する新技術を提供できる。

今年度の成果は、以下のとおりである。

ヒト細胞のシグナル伝達を担うキナーゼ活性の網羅的測定技術（アレイ上でのリン酸化反応・検出）の確立とその測定データによる活性化パスウェイ推定技術を確立した。

タンパク質アレイ技術では、シグナル伝達の中で重要な5種以上のチロシンキナーゼ活性を検出・定量化した。さらに iPS 細胞や疾患 iPS 細胞などの細胞種間の違いやグロースファクター等の刺激によるチロシンキナーゼ活性の変化を検出可能とするアレイ技術を構築した。さらに、基質タンパク質のリン酸化は、反応の最適化・検出高感度化を図り、少量の細胞で網羅的なリン酸化活性のプロファイリングを可能にすると同時に、生検材料のサンプルを用いたアレイ測定を実現した。本技術の対抗候補であるペプチドアレイによるリン酸化活性測定技術を、基質数と検出感度の点で超越する技術開発を行った。

活性化パスウェイ推定技術については、パスウェイ構造が制限された既開発技術を、多様なリン酸化パスウェイ構造に対応可能な汎用推定技術に改良した。また、測定結果の体系的可能なデータベースの設計を行うと共に、測定結果と整合性を推定する104さの代表的な既知パスウェイ構造情報のデジタル化を完了させた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】リン酸化活性化、タンパク質アレイ、数理システム解析、ネットワーク解析

【研究 題 目】光学的応力イメージング技術の標準化

【研究代表者】兵藤 行志（人間情報研究部門）

【研究担当者】兵藤 行志、徐 超男（製造技術研究部門）（常勤職員2名、他3名）

【研究 内 容】

光学的な応力イメージング技術である熱弾性応力測定法や応力発光法は、実際の測定対象物の表面力学状態を、非接触でもれ点なく計測することができる利点を有する。昨今の撮像素子の技術的進展、産総研（徐）における応力発光材料創成とも相まって、その応用範囲は製造業や建築・土木分野等々拡大している。しかしながら、熱弾

性応力測定法（試験方法）は JIS や ISO が未だ整備されておらず、応力発光法は国内外で、用語規格すら制定されていないのが実情である。

よって、当該標準基盤研究では、熱弾性応力測定法や応力発光法の技術的な有効性を比較・検証しつつ、関連学協会との連携のもと、国内・外の標準化を推進することを目的とする。

当該研究テーマの最終年度である平成28年度は、次のとおり国・内外の標準化を推進した。

(1) 熱弾性応力測定法の国際標準化（ISO）

日本非破壊検査協会規格 NDIS 3425: 2008熱弾性応力測定法を第一次英訳し、また当該標準基盤研究の知見を反映させたドラフト素案を作成した。そして、ISO TC135（非破壊試験）/SC 8（赤外線サーモグラフィ試験）のミュンヘン会議（2016年6月）でプレゼンテーションを行った。当該会議の決議に沿って2016年12月31日に、ISO TC135/SC8/WG2コンビーナである兵藤から国際幹事である Wontae KIM 氏へ新規業務項目提案（NWIP）を行った結果、ISO/NP22290として2017-03-28を投票期限として回付され、採択された（2017年7月17日時点で Stage10.99）。現在 WG2（一般通則）において ISO 制定に向けて検討を進めている（ISO TC135国内審議団体：一般社団法人日本非破壊検査協会）。

(2) 応力発光法（用語）の JIS 化

平成28年度は、当該標準基盤研究で産総研に設置した「光学的応力イメージング（応力発光法）標準化検討委員会」（徐超男委員長）を中心として、標準化すべき用語の選択とその定義に関して原案を完成させた。そして、一般社団法人日本非破壊検査協会の JIS Z2300非破壊試験用語改正準備 WG へ提案した。現在、JIS Z2300への掲載について当該 WG において検討が進み、平成29年度には本委員会において討議される予定である。また、試験方法の標準化に関しても上記委員会において先行的に検討が進み、平成29年度からは、ISO 提案も見据えた本格的な検討と審議を、産総研と上記委員会にて開始する予定である。

(3) 赤外線サーモグラフィ試験の国際標準化（ISO）

熱弾性応力測定法は、「赤外線サーモグラフィ試験」における一測定法である。赤外線サーモグラフィ試験は、日本（日本非破壊検査協会、産総研）が提案を行った「非破壊試験－赤外線サーモグラフィ試験－通則」が、担当 WG のコンビーナ及びプロジェクトリーダを兵藤として検討が進んだ。そして、2017年1月に ISO 10880:2017 Non-destructive testing -- Infrared thermographic testing -- General principles として発行された。また、国際エキスパートとして貢献した「非破壊試験－赤外線サーモグラフィ装置及びシステム－第1部 性能表記」も、2017年1月に、ISO18251-1:2017 Non-destructive testing --

Infrared thermography -- System and equipment --
Part 1: Description of characteristics として発行された。

【領 域 名】情報・人間工学

エレクトロニクス・製造

【キーワード】力学、応力、赤外線サーモグラフィ試験、熱弾性応力測定法、応力発光法、応力イメージング、非破壊試験、JIS、ISO

【研究 題 目】ランニングにおけるパフォーマンス向上及び怪我予防のための動作評価技術の開発

【研究代表者】小林 吉之（人間情報研究部門）

【研究担当者】小林 吉之、村澤 智啓（長野県工業技術総合センター）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

近年のランニングブームによりランナー人口は国内だけでも1000万人程度と言われる。また、東京オリンピックへ向けたアスリートの養成にも国や実業団が力を入れている。そのような背景の中、ランニングに伴う怪我予防や、パフォーマンスの向上に対するニーズが高まっており、それらのニーズに応える製品やサービスの開発について企業からの要望があった。そこで本研究では、多種多様なランニングフォームの特徴から「怪我」や「パフォーマンス」などの指標化とそのフィードバック技術の開発を目的とする。

本研究では、モーションキャプチャ等により計測した複数人のランニング中の関節角度データに主成分分析を行うことで、被験者間の特徴を最もよく表す主成分（評価軸）を導出した。これらの主成分が「怪我」、「パフォーマンス」やその他ランナーにとって有効な指標とどのような関係があるのかについては今後の検討課題とした。

本研究期間においては、2名の上級ランナーと11名の非ランナーの比較を行い、上級ランナーに有意に高い主成分を確認した。被験者数が十分ではないものの、この主成分がパフォーマンスに寄与するものである可能性が示唆された。

今後より多くの被験者を対象とした検証が必要であるものの、本手法により上級ランナーに共通する特徴量を評価できる可能性を示唆した。被験者数の増加等により引き続き有効性の検討を行うとともに、本技術を基盤とした製品・サービスの開発を検討する。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】怪我予防、ランニング、動作評価技術

【研究 題 目】運動による遺伝病情報制御の解明と応用ー仮想現実とロボティクスの融合による高度高齢化社会支援の社会実装

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、村井 昭彦、金子 秀和、肥後 範行（以上、人間情報研究部門）、吉田 英一、鮎澤 光（以上、知能システム研究部門）、太田 聡史、横田 秀夫、野田 茂穂、Oleg Gusev（以上、理化学研究所）
（常勤職員6名、他4名）

【研究 内 容】

【目 標】

高度高齢社会に向けて、薬剤によって健康を維持するのではなく身体活動によって健康を維持するためのロボット介入技術を開発するとともに、その介入によって身体側に生じるリモデリングを遺伝子発現レベルで解明することを目標とする。

【研究計画】

チャレンジ研究の先導研究として、VR 介入技術の要素技術調査と試験実装を行うとともに、げっ歯類を対象として持続的な運動形成とそれに伴う筋内部のリモデリングによる遺伝子発現状態変化を行い、研究の実現可能性を確認する。また、研究内容全般について、より精査を加え、平成29年度7月頃までに独創性と実現可能性を兼ね備えた研究計画として完成させる。

【年度進捗状況】

平成28年度では、モーションキャプチャで実測した運動をリアルタイムでデジタルヒューマンモデルとして再構築し、自らの運動を頭上後方など任意視点で観察できるようなシステムを開発し、身体所有感が得られるかどうかの検証を行った。また、げっ歯類を対象として持続的な運動形成を起こさせるためのトレーニングを開始するとともに、遺伝子発現の分析に必要な試料採取を行った。これらの研究進捗の確認や研究計画の精査を行うため、月1回程度の定期全体ミーティングを実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、ロボット工学、ニューロリハビリテーション、遺伝子工学

【研究 題 目】車輪による移動体の測位技術動向調査

【研究代表者】蔵田 武志（人間情報研究部門）

【研究担当者】興梠 正克、蔵田 武志（常勤職員2名）

【研究 内 容】

歩行者自律航法（PDR: Pedestrian Dead Reckoning）の考え方を応用した振動解析ベースの車両自律航法技術（VDR: Vehicle/Vibration-based Dead Reckoning）の開発を進めている。PDR と VDR の組み合わせにより、屋内での移動体の動線を網羅的に把握できるようになると考えられる。この VDR 技術に関して、本研究では、それに先行した特許出願・権利化の動向を調査した。主に、1. 車輪型移動体に適用される自律航法技術の特許出願・権利化動向調査、2. 特に振動解析に限定した場

合の自律航法技術の特許出願・権利化動向調査、の2点についての調査を実施した。

前者については、まず、車輪型移動体向けの自律航法技術は、センサベース（慣性航法）が主流であり、近年はこれに加えて、映像（画像）ベースの自律航法技術の出願・権利化が増加する現象が見られることがわかった。次に、慣性航法ベースの自律航法技術には多くの先行技術（特許出願を含め）が存在するが、これらは加速度積分ベースの技術がほとんどであり、振動解析手法に着目した特許出願は見いだされないこともわかった。

後者については、いくつかの類似特許が存在するが、いずれも着目する特徴量や処理手法が異なるため、我々が研究・開発を進める上で、特許出願・権利化の障害とならないことが見いだされた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】車両自律航法（VRD）、歩行者自律航法（PDR）、特許

【研究 題 目】身体拘束を最適化する動的装具設計手法の開発2－装具荷重による姿勢維持モデルの評価手法の開発－

【研究代表者】宮田 なつき（人間情報研究部門）

【研究担当者】宮田 なつき、多田 充徳、村井 昭彦、木谷 亮太（常勤職員3名、他1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、脊椎側弯患者が身に着ける装具の姿勢矯正効果を、力学的な解析を通じて定量的に行い、装具の設計支援を行うために必要な技術を開発することであり、大阪府立産業技術総合研究所と共同で推進した。

脊椎側弯とは、健康者では直立している脊椎が、何らかの原因により左右いずれかに湾曲し直立を保てなくなる症状を指す。重症で手術を要するケース以外では、体幹を包むような装具を着用することが多い。設計対象となる動的装具では、従来型に比べれば装着による痛みや動きの阻害度合いが軽減されているものの、矯正効果を定量的に評価する方法が確立されておらず、適切な装具を設計しようにも指針を示すことは困難だった。

そこで本研究では、側弯状態を模した筋骨格デジタルヒューマンモデル Dhaiba を用い、人間中心設計用プラットフォームソフトウェア DhaibaWorks（当該研究グループで開発）上で、装具着用による身体状態の変化を力学的に定量評価することを試みた。まず、装具による体幹保持性能を把握安定性の概念を応用して評価し、体幹に与えられる力パターン（力を与える位置、向き、力の大きさ）によって姿勢保持性能には変化があり設計時に考慮する必要があることを確認した。また、実患者の装具着用前後の姿勢変化量データと、同姿勢を保持するのに必要な関節トルクとの関係を求めることで、装具着用前後の姿勢変化を予測する手法を開発した。これらと昨年度の成果（ある姿勢の保持に必要な関節トルクの

計算）を組み合わせることで、体幹に与える力パターンを入力すれば、装具着用後の姿勢と姿勢保持性能を予測することが可能となった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、側弯、筋骨格モデル、装具

【研究 題 目】量子技術と機械学習の融合による革新的計算基盤の創成

【研究代表者】兼村 厚範（人間情報研究部門）

【研究担当者】兼村 厚範、林 浩平、永田 賢二、瀬々 潤（以上、人工知能研究センター）、福原 武、中村 一平、大塚 朋廣、中島 峻、米田 淳、武田 健太（以上、理化学研究所）（常勤職員4名、他6名）

【研究 内 容】

ムーアの法則が破綻し、ノイマン型コンピュータが発展の限界を迎えつつあるとの現状認識・予測のもと、2050年に向け、温暖化、エネルギー問題などの将来の社会問題を解決するために必要な、大規模情報処理に適用できる情報処理スキーム・技術を、量子技術と機械学習の融合により開発することを目指している。

ここ5年間の機械学習の発展の理由は、次の2点に集約される。1) 情報通信技術の発達により、大規模データが集積され、効率的な計算が可能になったこと。2) 深層学習という、複雑なモデルを高精度に推定するアルゴリズムが生まれたこと。本研究が目指すものはこれになぞらえて理解することができる。すなわち、1) 機械学習技術により発展させる量子コンピューティングにより、物理世界を写しとった計算世界の構築を高速化する。2) NP 困難性で阻まれてきた機械学習アルゴリズム設計の壁を、量子コンピューティングにより取り払い、高度なアルゴリズムが現実的な時間で実行できるようにする。これらの実現により、革新的計算基盤が創成される。この計算基盤で、現実世界では困難なシミュレーション・予測を多数行い、それにより科学・工学を発展させることで、様々な社会的課題の解決が可能となると期待している。

2016年度は、主に量子技術の深化に機械学習を用いることを想定し、量子状態制御の最適化や各スピン揺らぎの状態推定に取り組むことを議論した。今後は、各研究課題の推進、長期的視野で取り組むためのチームビルディング、そして実際の長期提案の取りまとめなどに取り組む予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】量子技術、機械学習、人工知能、シミュレーション

【研究 題 目】次世代ヒューマノイドロボット HRP-5R

の開発

〔研究代表者〕横井 一仁（知能システム研究部門）
 〔研究担当者〕金広 文男、Benallegue Mehdi、
 阪口 健、森澤 光晴、喜多 伸之、
 金子 健二、梶田 秀司、中岡 慎一郎、
 吉田 英一、鮎澤 光、
 Kheddar Abderrahmane、
 Escande Adrien、Audren Hervé、
 佐藤 雄隆、岩田 健司、佐川 立昌、
 片岡 裕雄、音田 弘、植芝 俊夫、
 万 偉偉（知能システム研究部門）
 安藤 慶昭、原 功、花井 亮、
 Biggs Geoffrey、中坊 嘉宏（ロボット
 イノベーション研究センター）
 森 彰、山形 頼之、井上 純（情報技
 術研究部門）（常勤職員24名、他4名）

〔研究内容〕

大型構造物組立現場や災害現場等の過酷環境における移動・作業から人間を解放するヒューマノイドを実現することを目的とした基盤技術を開発している。

平成28年度は、ハードウェアプラットフォームについては HRP シリーズ最高の身体性能を持つ試作機 HRP-5P を開発中で、HRP-5P は身長180cm、体重100kg で、胴体部のケージ、エアバッグにより、転倒時にも重要部位を保護することが可能となる予定である。環境計測・認識技術については機械学習を用いた物体検出アルゴリズムを開発し、単一 RGB 画像の入力から、特定物体であれば見え方が大きく変化しても85%以上の精度で検出可能という世界トップレベルの性能を達成した。多点接触動作計画・制御技術については、作業の実行と安定余裕の最大化を同時に実現する姿勢計画手法、機を用いた対象物の持ち替え操作計画手法を開発し、これらの計画を実行するための、二次計画法に基づく制御フレームワークを構築した。タスク記述・実行管理技術については、Lua 言語導入により、効率的な並列処理と自由度の高いタスク記述を可能とした他、精度保証の概念を導入し、撓みの生じる物体操作や認識誤差がある状況でのバルブ操作での実証に着手した。高信頼システム化技術については、テスト環境にメモリ破壊等の実行時検知を導入し、ソフトウェア変更に伴う不具合の発生を検出する環境を構築した他、ロボットミドルウェア OpenRTM-aist の静的コード解析に基づくコード品質の向上、体内通信システムの IEC61508の機能安全に基づいた安全分析を実施し、ロボット制御システムの信頼性を向上させた。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ヒューマノイド、人工知能、大型構造物組立

〔研究題目〕自動車運転パフォーマンス評価の標準パ

ッケージ開発

〔研究代表者〕北崎 智之（自動車ヒューマンファクター研究センター）
 〔研究担当者〕北崎 智之、赤松 幹之、岩木 直、
 武田 裕司、小峰 秀彦、佐藤 稔久、
 小高 泰、木村 元洋、吉江 路子、
 宇津木 明男、高橋 昭彦、熊谷 徹、
 甲斐田 幸佐、木村 健太、小高 泰
 （自動車ヒューマンファクター研究センター）、
 申 ウソク、伊藤 敏雄、赤松 貴文
 （無機機能材料研究部門 電子セラミックスグループ）、梅村 浩之（バイオ
 メディカル研究部門 細胞・生体医工学研究グループ）、寺田 聡一（計量標準総合センター 工学計測標準研究部門 長さ標準研究グループ）、
 蔵田 武志、大隈 隆史（人間情報研究部門 サービス観測・モデル化研究グループ）、大西 正輝（人工知能研究センター 計算社会知能研究チーム）、
 松田 圭司（人間情報研究部門 システム脳科学研究グループ）、橋本 尚久、
 宮腰 清一（ロボットイノベーション研究センター スマートモビリティ研究チーム）

〔研究内容〕

車載情報機器の HMI (Human Machine Interface) の手段が多様化し、新規な車載情報機器 HMI の導入による安全性や快適性の向上が期待できる。しかし、新たな HMI に対して不適切な情報処理がなされると、ドライバーが運転以外へ過度に注意を配分する、ペダル操作が遅れる、緊張感が増大する等、却って運転を阻害することとなる。自動車技術における人間研究では、ドライバーの評価方法や評価環境間の結果の比較方法が確立されておらず、自動車メーカーやサプライヤーでは、車載情報機器の HMI がドライバーへ及ぼす影響の定量的評価方法の確立に対するニーズが非常に高い。また、車載情報機器に限らず、普及の促進が期待される運転支援システムや自動運転機能の導入においても、同様にドライバーへの影響を評価する方法の確立が産業界より期待されている。さらに、車対歩行者事故の増加、高齢者の車運転断念から代替交通への移行により、移動支援利用における汎用な評価手法の必要性が高まっている。

そこで、ドライバーが使いこなせる移動支援技術の開発に向けて、ドライバーの認知・行動・生理の評価方法、評価指標、評価デバイス、評価基準となるデータベース、さらに評価環境間のトレーサビリティ構築までを含めたパッケージを開発する。開発する評価パッケージは、移動におけるヒューマンパフォーマンスのベースラインデ

ータとして活用でき、様々な企業の研究課題・ニーズに合わせた抜本的な実験効率化が期待できる。

2016年度は、次の3項目を実施した。

【トレーサビリティ構築】モーションシステム付の大規模ドライビングシミュレータと、ディスプレイ、運転席のモックアップのみによる簡易ドライビングシミュレータ間において、ドライバー状態の評価結果の互換性を確保するための方法論を開拓した。同一の実験参加者が両シミュレータを運転し、走行中の認知・行動・生理指標のデータを計測し、同一走行シナリオで、シミュレータ環境間での結果の比較方法を検討した。

【評価デバイス】産総研サービスフィールドシミュレータを改良し、世界初となるモビリティロボット（車椅子、セグウェイ、マイクロモビリティ）のシミュレータを開発した。

【評価指標】運転中のドライバー状態を呼気で評価するための新評価軸を検討した。運転のタスクディマン드의異なる状態や手動運転／自動運転の違いによって、呼気のような成分に差が見られるのかを分析した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】認知、行動、生理、歩行、自動車運転、呼気、モビリティロボット、評価方法、シミュレータ、トレーサビリティ

【研究題目】安全情報のモデリング言語「SafeML」の標準化

【研究代表者】ジェフ ビグス（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】ジェフ ビグス、安藤 慶昭（常勤職員2名）

【研究内容】

近年、様々な分野において複雑化するシステムの安全性確保が重要な課題となっている。本来、安全性確保が重要であった鉄道や自動車などの分野だけでなく、ロボット技術が導入されつつある新しい分野においても、製品を市場に投入する上でいかに安全性を確保するかが課題となっている。現在、安全性に関する情報の検討や管理・利用は、人海戦術で行われている。そのため、間違いや対策漏れが多く、安全認証を受けるまでに膨大な人手と時間がかかるため、開発費用を押し上げる原因となっている。上述の問題を解決するために、我々は安全情報をコンピュータで処理可能にするためのモデリング言語「SafeML」を開発した。本活動では、国際標準化団体OMG（Object Management Group）において SafeML 技術をベースに安全情報モデリング言語の標準化を行うことで、様々なモデリングツールベンダーが各社のツールにおいて、このモデリング言語を利用可能にすることを目指す。平成28年度は標準化プロセスの第一歩として、JPL、Ford、CEA 等の組織を含む国際的なチームと共に標準規格書に必要な機能を検討し、標準仕様公募

（Request for Proposals：RFP）を作成した。この RFP は OMG 内のシステムエンジニアリング分科会 SE-DSIG（Systems Engineering Domain Special Interest Group：SysML）を開発したワーキンググループ）のサポートを受け、モデル言語の標準化を管理する ADTF（Analysis and Design Task Force）に対して提案を行い、2017年3月に OMG より発行された。平成29年度は主に、上記国際チームと共同で RFP に対する標準規格提案書の作成、および OMG に対する提案を行う予定である。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】高信頼システム、モデルベース開発

【研究題目】認知症高齢者の屋外徘徊位置検知装置の開発

【研究代表者】比留川 博久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】比留川 博久、松本 吉央（ロボットイノベーション研究センター）

蔵田 武志（人間情報研究部門）

吉田 学、小笹 健仁、徳久 英雄（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）、菊地 克弥（ナノエレクトロニクス研究部門）堀部 雅弘、岸川 諒子、

加藤 悠人（計量標準総合センター）

山下 崇博、森川 善富、張 毅（集積マイクロシステム研究センター）

柴部 比夏里（電池技術研究部門）

近松 真之（太陽光発電研究センター）（常勤職員15名）

【研究内容】

本研究は、屋外を徘徊する認知症高齢者の位置を検知することにより、早期に保護をし、事故や行方不明となることを防止する技術の開発を目的とし、その成果を介護事業者、自宅介護者に供給して利用してもらい、認知症高齢者の社会参加の実現、介護者の負担軽減、総介護費用の抑制を目指すものである。このため、下着に埋込可能で、屋外の位置を検知できる装置の開発を目標とした。このため、フレキシブル基板上に実装された BLE モジュールを開発した。この基板上にアンテナを印刷で実装し、2.4 GHz でゲインがピークとなることを実験で確認した。また、35 mm 角のラミネートセルにより電池を試作し、5 mAh の容量を実現した。電池の耐久期間については、シミュレーションにより受信半径との関係を明らかにした。また、BLE 基板をリボン構造上に実装したウェアラブル端末の開発も行った。さらに、徘徊検知が可能であることを確認するため、既製 BLE の基板を用いて、徘徊行路検知実験を行い、実現可能であることを確認した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】 認知症、位置検知、ウェアラブル、フレキシブルエレクトロニクス、電池

【研究題目】 微小粒子強度測定標準化

【研究代表者】 高尾 泰正（構造材料研究部門）

【研究担当者】 高尾 泰正（常勤職員1名）

【研究内容】

本基盤研究は、平成24(2014)～26(2016)年度において、微小粒子の破壊及び変形に関する強度試験方法並びに評価指標について JIS 規格を規定するものである。標準の適用範囲は、数 μm から数10 μm の粒子径であり、圧縮試験の変位測定最小測定単位は0.01 μm 以下、試験力の精度（最小計測量）数10 nN 以下とする。評価指標は、破壊強度又は公称変形強度で、試験力-変位線図を二次的な推奨評価指標とする。平成26年度中に JIS 素案を完成させた。これを元に、日本規格協会（JSA）の平成29年度 JIS 原案公募制度（B 組：平成29年（2017）8月～30年（2018）7月）において、JIS 原案を作成する。JIS 原案の日本工業標準調査会（JISC）審査を経て、平成30年度に JIS 規格として上梓させる。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 圧縮破壊試験、単粒子、顆粒、塑性変形、脆性破壊、展延性

【研究題目】 アルミニウムと窒化ケイ素基板の間における熱応力緩和構造の形成

【研究代表者】 北 憲一郎（構造材料研究部門）

【研究担当者】 北 憲一郎（常勤職員1名）

【研究内容】

有機ケイ素系ポリマーの活用により、アルミニウムと窒化ケイ素基板の接合の容易化に成功したものの、この接合技術による接合体に対して熱サイクルを与えると、アルミニウムと窒化ケイ素の熱膨張係数の違いから生じた熱応力により、試料の変形や破損が発生し、熱伝導率が低下する。本研究では、アルミニウムと窒化ケイ素基板の間に生ずる熱応力を緩和する構造として、熱膨張係数が純アルミニウムと窒化ケイ素の間にあるシルミン板（ケイ素12 wt%含有アルミニウムの薄板）を挟んで接合した試料を作製し、それらに対して最大1000サイクルによる熱サイクル試験を行い、熱サイクル試験による熱伝導率と接合強度の変化を測定した。

窒化ケイ素ブロックに対して厚さ0.08 mm のシルミン板を挟んで 580 $^{\circ}\text{C}$ で加熱接合した後に、JISR1601:2008相当の曲げ試験片を加工し、4点曲げ試験を行ったところ、熱サイクル試験前では平均324.6 MPa であった接合強度が、100サイクル後では平均268.8 MPa、200サイクル試験後では平均252.2 MPa、500サイクル後では平均104.1 MPa へと低下した。アルミナと純アルミニウムを同温度で接合した4点曲げ試験

用試料による熱サイクル試験結果では、熱サイクル試験前では平均174 MPa、100サイクルの時点で131 MPa まで低下しており、絶対強度・強度低下率共にシルミンを用いた方が良好な結果が得られた事から、シルミンを用いて接合するにより、接合体への熱サイクル試験による熱応力生成を緩和する可能性がある事を示唆している。

次に、熱伝導率が既知である、厚さ5 mm の純アルミニウム板と厚さ0.32 mm の高純度窒化ケイ素基板を用意し、窒化ケイ素基板とアルミニウム間にシルミン板を挟み、窒化ケイ素基板の両側を620 $^{\circ}\text{C}$ で接合した。これらの接合体を定常法にて熱伝導率を測定した結果、100サイクルまでは熱サイクル試験前とほぼ同程度の熱伝導率が観測されたが、200～500サイクルの間で急激な熱伝導率低下が観測され、1000サイクル後の試料では、目視可能な程度の試料破損が確認された。

以上より、シルミンを挟んで作製したアルミニウムと窒化ケイ素基板の接合試料では、熱サイクル試験において、200サイクルと500サイクルの間において熱応力による破損が急激に進むと考えられる。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 アルミニウム、窒化ケイ素、接合、ポリシロキサン

【研究題目】 高強度な生糸からのしなやかな SiC 系繊維の作製

【研究代表者】 北 憲一郎（構造材料研究部門）

【研究担当者】 北 憲一郎、福島 学（常勤職員2名）

【研究内容】

本萌芽研究の目的は、炭化ケイ素（SiC）系繊維の生産生糸のハンドリング性向上である。これまでの知見により、ポリカルボシラン（PCS）に対してシロキサン系ポリマーを相溶する事で、生糸のハンドリング性と焼成後の SiC 系繊維の収率向上が得られることが判明したものの、この SiC 系繊維は非常に折れやすい事が判明しており、実用化の為に、この部分を克服する必要がある。本研究では、PCS へ混合するポリマーの種類と混合量の調整し、「生糸の引張強度5 MPa 以上かつ焼成後のヤング率50 GPa 以上を両立した生糸・SiC 系繊維の作製」を目標とした。これらはそれぞれ既存の SiC 系繊維の50 %の値を示す。

PCS に対して相溶性を有し、かつ混合時にポリマーの融点を低下させるポリメチルフェニルシロキサン（PMPHS）と、熱硬化性を有するポリフェニルシルセスキオキサン（PPSQ）を適量混合したポリマーを紡糸し、生糸の引張強度、並びに1000 $^{\circ}\text{C}$ 焼成後における繊維の引張強度とヤング率を測定した。各ポリマーの混合比率は、PCS を85 wt%で固定し、PMPHS と PPSQ を14.5:0.5, 14:1, 13:2 (wt%比) 加えた3種類の試料を作製した。また、比較として PCS 単体の繊維も作製した。

生糸の引張強度と炭化ケイ素繊維の引張強度並びにヤ

ング率の平均値を測定した結果、生糸の引張強度については、PPSQ を混合したすべての試料において、目標値である5MPa の3倍を超える引張強度を達成した。また、PPSQ の混合量が増加するにつれて、生糸の引張強度が向上する傾向にあった。また、1000 °Cで焼成した繊維の引張強度は、PPSQ を1 wt%以上混合した繊維において、目標値であるヤング率50 GPa 以上を達成することが判明した。試料を XRD で分析した結果、アモルファス構造を有する繊維であることが判明した。

繊維径を調査して収縮率を調査したところ、PCS のみの繊維では収縮率が33 %であったが、PPSQ を2 wt%含有した繊維では収縮率が13 %であった。また、各繊維断面を SEM で観察したところ、PCS のみの繊維では欠陥のない緻密な繊維であったものの、PPSQ を2 wt%含有した繊維では、断面に気孔が多く存在していた。このことから、シロキサン系ポリマーは繊維の収縮（緻密化）を阻害する効果を有しており、その為に焼成後の繊維の強度が低下したと考えられる。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】炭化ケイ素繊維、前駆体高分子、プレカーサー法

【研究 題目】ゲル化凍結法による高分子粉体あるいはその前駆体から超高気孔体の開発

【研究代表者】松永 知佳（構造材料研究部門）

【研究担当者】松永 知佳、福島 学（常勤職員2名）

【研究 内容】

スポーツシューズのソールの部分には主にエチレン酢酸ビニル共重合体（EVA）の発泡体を用いられる。一方、クッション性や耐久性に優れていることからウレタンフォームの利用が期待されているものの限定的な使用に留まっている。これは高气孔率化した際の強度の低下や既存の手法では気孔径が粗大かつ気孔の数が少ないことから「関節の過度な変形」、「足首の倒れ込みによる転倒」など様々な課題を有しているためである。そこで、本研究は高气孔率と高強度を両立可能な多孔体を作製可能なゲル化凍結法により高分子粉体あるいはその前駆体から超高気孔率多孔体を開発するとともにスポーツシューズへの適合化を目的とした。まずは、ウレタン粉体を用いてゲル化凍結法による多孔体の作製に取り組んだ。作製した多孔体は、数十ミクロン程度の細孔を有し、凍結方向に平行な貫通孔が得られ、ハニカム構造に似た気孔構造を有する多孔体の作製に成功した。また、これらの成形体を用いて脱脂温度と収縮率、重量減少率なども評価した。これらをスポーツシューズのソールとして利用することを考えているが、その場合、多孔体に加わる力は一方だけでなく、運動に伴い様々な方向から加わる。そのため、ハニカム構造では、ある特定方向以外の強度が不十分であると考えられるため、貫通方向の異なるハニカム構造を組み合わせたことや他の構造と組み合

わせることにより、多方向からの力に対応する構造の作製にも取り組んだ。引き続き作製した多孔体の特性評価やその結果より更なる構造の改良に取り組んでいく。また、合わせて高分子前駆体を用いた多孔体作製にも取り組んでいく。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ゲル化凍結法、ウレタン、ハニカム構造

【研究 題目】非酸化セラミックスの焼結時着色と物性に関する研究開発+難焼結性 B4C セラミックスの低温焼結に関する研究開発

【研究代表者】松永 知佳（構造材料研究部門）

【研究担当者】松永 知佳、周 遊、日向 秀樹、

平尾 喜代司（常勤職員4名）

【研究 内容】

非酸化セラミックスの焼結時着色と物性に関する研究開発においては、焼結時に着色した Si_3N_4 セラミックスを用いて色度・彩度の測定を微小色差計によって、測定を行った。定性的に灰色、茶色、濃い灰色といった色を $L^*a^*b^*$ 表色計において、3次的に色度・明度配置を行ったところ、それぞれの色の違いは、定量的には非常に近いところに分布しており、特に色の違いは彩度ではなく、明度によって違いとして認識している傾向が確認された。また、色の異なる部分においては結晶相の種類とその割合が異なる部分が X 線回折によって確認されたことから、結晶相と色の違いについて引き続き詳細な調査を行っていく。また、その他の機械的物性においては大きな差異がなく、材料としての色が意匠性以外には大きな影響が無いことが示唆されており、こちらも引き続き研究を継続していく。難焼結性 B4C セラミックスの低温焼結に関する研究開発については、ある特定の添加物を入れることで焼結後の材料の機械的特性の変化が少ない焼結温度範囲が従来の50 °Cから約200 °Cへ広がると共に焼結温度が約150 °C低下することが確認された。また、その添加物の量においては最適値が存在することが確認できた。引き続き研究開発を継続していく。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】窒化ケイ素、炭化ホウ素、セラミックス、色度

【研究 題目】パワーモジュール用高耐熱部品評価技術開発

【研究代表者】平尾 喜代司（構造材料研究部門）

【研究担当者】平尾 喜代司、日向 秀樹、宮崎 広行、周 遊、松永 知佳（構造材料研究部門）、伊豆 典哉（無機機能材料研究部門）（常勤職員6名）

【研究 内容】

本研究は、メタライズ放熱基板等のパワーモジュール用高耐熱部品の信頼性を評価するための基盤技術を構築

することを目的としている。具体的には、(1) 構成材料の諸特性を低温～中温域で収集、(2) 取得データを用いたシミュレーションによる部品の残留応力、変形の解析、(3) 温度変化に伴う部品の変形挙動の測定とシミュレーション結果との比較検証、(4) 部品の欠陥検出手法についての総合的な検討と各手法の得失の明確化を行う。

昨年度に取得した窒化ケイ素および金属導体層の熱膨張係数、弾性率、降伏応力（金属層）などの低温域（-50℃）から中温域（400℃）における物性データを用い、メタライズ放熱基板の熱変形挙動について有限要素法を用いた解析を行なった。実部品で測定した加熱・冷却時のヒステリシス現象を本シミュレーションで再現することができ、特にヒステリシスの大きさは金属層の降伏応力に大きく影響されることを明らかにした。部品の欠陥検出手法として、超音波探傷及びマイクロフォーカス X 線 CT を検討した。温度サイクルに伴うメタライズ放熱基板のセラミック部のき裂の進展状況に関して、予め超音波探傷でき裂の存在箇所を特定した後に、マイクロフォーカス X 線 CT で精査することにより三次元的なき裂の進展状況を観察することができた。また、メタライズ放熱基板において金属層とセラミックの熱膨張差により生ずるセラミック部の残留応力について、顕微ラマン分光法を用いた測定で有意なデータを得られることを示した。ただし、測定の精度を上げるために、測定方法などに関してさらに詳細な検討が必要である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】メタライズ放熱基板、窒化ケイ素、熱的特性、信頼性、欠陥評価

【研究 題 目】技術の見える化支援事業：湿潤ゲル試作検証

【研究代表者】穂積 篤（構造材料研究部門）

【研究担当者】穂積 篤、浦田 千尋（常勤職員2名）

【研究 内 容】

当研究グループが開発した、ポリジメチルシロキサン（PDMS）の骨格を有しかつ、PDMS と比較的親和性の高い湿潤液（シリコンオイル）を含有する湿潤ゲルは、着氷力が小さく、難着氷コーティングとして有用であることが分かっている。多くの企業より、難着氷コーティングとしてのニーズはあるものの、実用化に際し耐久性が乏しいことが課題であった。平成28年度は特に、基材とゲルとの密着性を改善させる課題に取り組んだ。PDMS の前駆液成分と同じ官能基を基材側に導入することにより、基材との密着性が著しく改善された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】湿潤ゲル、ポリジメチルシロキサン、離漿、難着氷表面

【研究 題 目】鉄道車両床下への着氷雪防止機能の付与

【研究代表者】穂積 篤（構造材料研究部門）

【研究担当者】穂積 篤、浦田 千尋
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

当研究グループが開発した、ポリジメチルシロキサン（PDMS）の骨格を有しかつ、PDMS と高い親和性を示す潤滑液（シリコンオイル）を含有するオルガノゲルは、着氷力が小さいことが分かっている。本研究は、開発したオルガノゲルを、鉄道車両床下用の着氷防止コーティング材料として実用化を促進することを目的としている。平成27年度までに、鉄道車両用難燃性試験 AA 法により、当該材料は難燃性であることがわかっている。平成28年度は、大面積化に取り組み、現状、50x50 cm²程度の基材にコーティングすることが可能となった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】難着氷表面、オルガノゲル、鉄道車両床下コーティング、着氷防止技術

【研究 題 目】硬質窒化膜の作製と評価

【研究代表者】中尾 節男（構造材料研究部門）

【研究担当者】中尾 節男、山田 保誠、吉村 和記
（常勤職員3名）

【研究 内 容】

硬質膜は、工具、金型の長寿命化に欠かせない技術となっている。そのため、窒化物等のセラミックス膜が保護膜として実際に使用されている。しかし、硬度と靱性は必ずしも両立できず、十分な耐久性が得られていない。また、高温領域で使用できる硬質膜も限られている。一方で、より過酷な環境での耐久性等、ますます高いハードルが要求されている。このような要求に応えるためには、微細構造をより精密に制御し、十分な機械特性を発現させることが必要である。本研究テーマでは、イオン化効率の高い高電力パルススパッタを採用し、イオンを用いて、微細構造を制御した硬質膜の作製に取り組んだ。スパッタ法は産業界に広く普及している成膜技術であり、スパッタ法を用いることで実用化が容易になる。バナジウム系硬質窒化膜は、高温下での耐久性が優れていると言われている。しかし、硬質膜の中では比較的硬度が低い。そこで、微細構造を制御することで硬質化させることを目指した。高電力パルススパッタを用い、作製条件を変化させて窒化バナジウム膜の作製を進めた。これまでの経験から、微細構造に大きく影響する因子として、膜中の窒素量および成膜時のイオンエネルギーが想定された。そこで、主要な作製条件として窒素流量比および基板バイアス電圧に着目した。作製条件による影響を調べた結果、窒素流量比の増加に伴い、結晶粒子のサイズが減少し微結晶化が顕著となった。また、基板バイアス電圧の増加に伴い微結晶化するとともに結晶成長の方位も変化することがわかった。さらに、窒化バナジウム膜の微細構造は、真空容器の背圧にも影響を受けることが

明らかとなった。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕硬質膜、窒化バナジウム、高電力パルス、スパッタ、窒素流量比、基板バイアス電圧、微細構造、微結晶化

〔研究 題目〕純マグネシウム金属への強加工付加に伴う金属組織制御と材料強度向上手法について

〔研究代表者〕千野 靖正（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕千野 靖正、斎藤 尚文（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

近年、生体用金属材料としてマグネシウム合金が注目されている。マグネシウムは生体必須元素であり、ヤング率がヒト皮質骨と同程度であるため、応力遮断を抑制できる。また、マグネシウムの腐食挙動には純度が影響することが報告されており、純度の制御により骨接合材のような生体吸収性材料としての利用が可能である。

一方、マグネシウムを生体材料として利用するためには、機械的特性を汎用マグネシウム合金並みに改善する必要がある。マグネシウムの機械的特性を向上させる方法としては、合金元素による固溶強化や析出強化などが挙げられるが、生体適合性の観点から添加元素の種類が限られることが問題となっている。他の方法としては、塑性加工による組織制御が挙げられる。なお、純マグネシウムの加工条件と組織形成の関係に関する報告は数多く存在するものの、機械的特性と結びつけた報告は比較的少ないのが現状である。

そこで本研究では、初期組織の異なる純マグネシウムの鍛造特性を評価するとともに、鍛造材のマイクロ組織と機械的特性の関係を調査した。その結果、初期組織を微細化することにより、比較的低温においても鍛造成形が可能であることを確認した。また、鍛造温度を低温に、歪み速度を低めに設定することにより、微細な結晶粒と比較的弱い底面集合組織を有する試料が得られることを確認した。さらに、鍛造温度を相対的に高く設定し、歪み速度を速く設定すると、底面集合組織の形成が顕著になり、降伏応力に影響を及ぼすことを確認した。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕マグネシウム、生体材料、機械的特性、集合組織

〔研究 題目〕生体回路反応から着想を得たポリマーブラシの実用コーティング技術の開発

〔研究代表者〕佐藤 知哉（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕佐藤 知哉（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

当研究グループが開発した、ポリマーブラシ簡易作製法である「Paint-on 法」（はけ塗り式の作製法）は、従来法と異なり、開放系でポリマーブラシを作製可能な手

法として有用である。ポリマーブラシは、耐久性に優れた機能性コーティングとしてのニーズがある。しかし、作製時には、閉鎖系かつ厳密な脱酸素条件を必要とすることが、実用化を阻む課題であった。本研究では、生体の回路反応から着想した、酸化還元サイクルによる Paint-on 法の1) 耐酸素性の向上、2) 適用可能なモノマー種の拡大、を実施した。市販の鉄系脱酸素剤を用いた場合、重合溶液中の触媒の失活が抑制されることを見出した。また、Paint-on 法で作製可能な親水性モノマーを2種類から6種類を増やすことに成功した。さらに、モノマー種を適切に選択することで、高い親水性、防曇性、水中は油性を示すポリマーブラシを作製することが可能となった。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕表面処理、コーティング、高分子、ポリマーブラシ、親水性

〔研究 題目〕低コスト粘土系吸着剤を用いた低温熱源利用デシカントモジュールの設計と開発

〔研究代表者〕犬飼 恵一（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕犬飼 恵一、前田 雅喜（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

工場の廃熱利用による省エネ技術は、現在80℃程の低温領域まで利用が進んでいる。しかし、更なる省エネ化を求め、40～60度での廃熱利用技術の開発が期待されている。この様な低温領域での廃熱利用技術としてデシカント（除湿）空調システムが、候補としてあげられる。

デシカント空調技術は、空気中の湿気を吸着剤（乾燥剤）で除湿することで、水蒸気に含まれている潜熱分の省エネ効果を生む空調システムである。また、吸着量を調整することで、居住者にとって快適な温度と湿度を提供することも可能である。

従来の吸着剤は、優れた物で80℃以上の乾燥温度を必要としたが、我々は無機材料で40～60℃の乾燥温度で再生可能な材料の開発とデシカントモジュールの開発を目標としている。

本テーマは、3つのユニットの共同として実施されている。（地圏資源環境研究部門、化学プロセス研究部門、構造材料研究部門）

構造材料研究部門では、吸着剤の吸着と脱着の速度に注目し、熱重量分析装置を用いたマクロな視点、及び、AFMを用いたマイクロな視点で、評価する方法を検討している。平成28年度は、造粒体や小型成型品といった製品に近い形状での吸着・脱着速度評価を行える装置の開発を既存製品等の組み合わせで安価に達成できないか検討を行った。その結果、再現性に優れた装置の構築が可能となった。現在標準化の可能性を検討している。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕セラミックス材料、調湿材料、デシカント

ト、ヒートポンプ、省エネルギー

【研究題目】非酸化物材料の酸素低減プロセス技術開発

【研究代表者】 古嶋 亮一（構造材料研究部門）

【研究担当者】 古嶋 亮一、日向 秀樹、周 游
（常勤職員3名）

【研究内容】

酸素低減プロセスは、非酸化物の焼結に関わる共通の基盤技術である。本研究では、非酸化物硬質材料である WC-FeAl と非酸化物超高温材料である ZrB₂に対する酸素低減プロセスとそれらを駆使した焼結技術の開発を行い、材料の高特性化を図るとともに、焼結の基盤技術の探求を行った。

WC-FeAl に関しては、原料粉末に含まれる酸素の低減と、粉末の調製過程における酸素混入の抑制を行った。その結果、比較的容易なプロセスを用いることでも焼結体の酸素量の大幅な抑制に成功した。酸素量を抑制した WC-FeAl 焼結体は、通常のプロセスで作製すると不可避に存在する Al₂O₃の量が大幅に低減し、WC と FeAl の濡れ性の向上や焼結体の熱伝導率の向上が見られた。この2つのメリットを生かすことで、従来にはない高熱伝導率を有する WC-FeAl の作製に成功した。

酸素量・粒径を制御した原料粉末を用いて不純物の少ない ZrB₂セラミックスの作製を行った。焼結体密度を向上させるためには粒径及び酸素量にしきい値が存在しており、微細な粒径で酸素量の少ない原料を用いることと適切な微量の焼結助剤を用いることで、比較的低温の焼成温度でも常圧焼結で純度が高く相対密度が98%を超える ZrB₂セラミックスを得ることができた。また、特殊な元素を含む ZrB₂粉末の合成プロセスを開発した。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 酸素、WC-FeAl, ZrB₂

【研究題目】摩擦攪拌接合（FSW）用硬質材料 WC-FeAl の高温特性評価

【研究代表者】 古嶋 亮一（構造材料研究部門）

【研究担当者】 古嶋 亮一（常勤職員1名）

【研究内容】

自動車産業において鉄板同士を接合する技術に注目が集まっている。摩擦攪拌接合（FSW: Friction Stir Welding）技術は、溶接を用いることが困難な部位などにおいても適用可能な接合技術として知られている。本技術においては、高速で回転させたツールが母材に貫入し、接合部を移動する。これにより、接合部が摩擦熱により軟化、塑性流動を起こし、接合が可能となる。今まで FSW は、対象となる母材がアルミニウムなど軟らかく、低温で軟化する材料のみ行われてきたが、近年は FSW を鉄鋼材料の中でもとりわけ硬く、アルミニウムよりはるかに高温で軟化する高張力鋼板の接合に利用し

ようとする試みが増えてきた。この場合は、ツールがより高温で強い抵抗力を受けるため、高温でも硬さや強度に優れた硬質材料でツールを作製する必要がある。硬さと強度に優れた硬質材料として超硬合金 WC-Co が挙げられるが、本材料は600度以上の高温では急激に機械的特性が低下することが知られている。高張力鋼板の FSW による接合においては、条件にもよるがツールが600度以上の高温に晒されることが想定され、WC-Co では耐熱性において不十分であると考えられる。

WC-FeAl は、WC-Co の Co の部分を FeAl に置き換えた硬質材料であり、WC-Co より耐熱性に優れた材料としての期待がある。本研究では、WC-FeAl の高温特性評価を行い、本材料が鉄鋼材料の FSW 用ツール材として有用かスクリーニングを行うとともに、実際に WC-FeAl をツールに加工し、高張力鋼板の FSW 試験を行い、ツール材として耐久性を評価した。

まず、WC-FeAl の高温曲げ強度を測定した。本研究では高温耐酸化性を向上させるために材料中に Al₂O₃を in-situ に生成させた、WC-FeAl を評価の対象とした。本材料は600度においては室温とほぼ同じ強度を保つが800度になると低下する傾向が見られた。WC-Co は600度で強度が低下する傾向があるため、600度付近の温度においては WC-FeAl に優位性があると考えられる。ただし800度以上の高温環境において使用することを想定する場合は、材料としてさらなる耐熱性の向上が必要であると考えられる。

次に WC-FeAl ツールを用いた高張力鋼板の FSW 試験を行った。WC-Co ツールも作製し比較を行った。接合時にはツールと接合材の接触部が赤熱しておりツールが700度以上の高温に晒されることが分かった。試験後のツール接触部を確認すると、明らかに酸化している部分が確認されたが、その度合いは WC-Co より WC-FeAl の方が少なかった。ただし、両ツールとも接合材の欠陥なく接合できる条件に限られ、また高確率でツールが破損する傾向が見受けられた。このため、耐久性を評価する前提として破損を起こさないツールの形状の設計も必要であることが分かった。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 鉄鋼材料、接合、硬質材料、高温曲げ強度

【研究題目】硫黄フリー化によるバルクナノ結晶 Ni-W 合金の高信頼化

【研究代表者】 松井 功（構造材料研究部門）

【研究担当者】 松井 功（常勤職員1名）

【研究内容】

高強度・高延性バルクナノ結晶 Ni-W 合金の信頼性向上において、プロセスに起因して混入する硫黄の除去が求められている。しかしながら、従来の電析浴においては、浴を構成する試薬が硫黄を多量に含んでおり、硫黄

の混入を防ぐことは困難だと考えられる。そこで、本研究では、構成試薬が硫黄を含まない Deep eutectic solvent (DES) 浴を用いてバルクナノ結晶 Ni-W 合金の作製を目指した。

平成28年度は、DES 浴に対する知見を得るためにまずエチレングリコールおよび塩化コリンからなる溶媒を準備し、さらに、塩化 Ni を加え Ni 電析を行った。得られた Ni 被膜に対して EDX を行った結果、硫黄は含有しておらず、目標となる硫黄フリー化が達成された。現在は、これらの技術をベースには Ni-W 合金電析浴の開発ならびに作製条件の最適化に取り組んでいる。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】電析、バルクナノ結晶合金、不純物低減

【研究 題目】イオン液体を用いた極低濃度 CO₂の分離回収技術の開発

【研究代表者】金久保 光央 (化学プロセス研究部門)

【研究担当者】金久保 光央、牧野 貴至、河野 雄樹
川崎 慎一郎、藤井 達也
(常勤職員5名)

【研究 内容】

宇宙ステーションなどの閉鎖系では、生活空間を快適に保ち生命活動を存続するために、~1 %未満の極低濃度の CO₂の分離回収や調湿などの環境維持技術が必要となる。そのため、ゼオライト等の多孔質材料を用いた脱炭酸システムの開発が進められてきた。それらは極低濃度の CO₂を吸着分離できるが、水蒸気などの共存成分の吸着により再生過程で高温を要し、エネルギーが多に掛かることが課題であった。

本年度は、イオン液体の電解質としての特徴を活かし、イオン液体中に分離回収した CO₂を電解還元して有用物質へと変換する技術について検討した。還元側の電位窓が広く、かつ、低粘性のイオン液体として、エーテル基を有する4級アンモニウム塩を選定した。イオン液体の CO₂吸収量および電気伝導度の測定を行ったところ、優れた CO₂吸収量を示し、電気伝導度は CO₂吸収に伴い著しく増加することが明らかになった。これらの結果は、選定したイオン液体が CO₂の電解反応の場として適切であることを示している。さらに、共同研究先において、CO₂の電解還元により電極への炭素析出が確認された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】イオン液体、二酸化炭素、環境維持技術

【研究 題目】超情報接続フォトニクス

【研究代表者】並木 周

【研究担当者】河島 整、鍛塚 治彦、山田 浩治、
池田 和浩、井上 崇
(常勤職員20名、他12名)

【研究 内容】

IoT・ビッグデータを人工知能で解析する技術の先にあるのは、地球上のあらゆる情報・知識が融合しこれを万人が瞬時に享受する「超情報接続社会」である。これを形成するためには、ムーアの法則の終焉を克服するポストムーアコンピューティングを可能とする新しいフォトニクス技術の創出が急がれる。新しいフォトニクスとは、エクサスケールまで拡張可能な超低電力インターコネクタ技術である。すなわち、単芯シングルモードファイバ出力型マルチテラビット級低電力光トランシーバと、10万ポート以上拡張可能な光スイッチシステムである。この実現に向け、産総研が保有するシリコン製造設備などを活用して、ポストムーア時代に鍵となるシリコンフォトニクス技術および持続発展可能なエコシステム創出を目指す。主な活動内容は、①光デバイス企業11社が参加する産総研コンソーシアム「PHOENICS」の運営を継続し、②次世代光トランシーバプラットフォーム「C-POT」技術開発を推進する。③文科省プロジェクト「光ネットワーク超低エネルギーネットワーク技術拠点」で培った大規模シリコンフォトニクス光スイッチ技術をポストムーアコンピューティング用に展開する。④光トランシーバ・光スイッチシステム設計評価技術を立ち上げ、提案するシステムおよびアーキテクチャを詳細化し、検証を行う。

具体的な成果としては、まず、シリコンフォトニクス製造の標準化を進めるためにプロセスデザインキットの整備に着手し、キーデバイスの一つである変調器試作に成功した。PHOENICS に参加する光デバイス企業と連携し、異種材料実装試作を実施した。世界最小の32x32光スイッチの完全動作を、世界で初めて実証した。さらに、同光スイッチを用いたポストムーアコンピューティング向けシステムの提案・検討を行った。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】シリコンフォトニクス、光集積回路、光トランシーバ、光スイッチ、ポストムーアコンピューティング

【研究 題目】液中粒子濃度計測に係る一般的ガイドライン開発

【研究代表者】平澤 誠一 (製造技術研究部門)

【研究担当者】平澤 誠一 (製造技術研究部門)、
綾 信博 (イノベーション推進本部)、
坂口 孝幸、桜井 博 (物質計測標準研究部門)、
兼松 渉、辻内 亨 (構造材料研究部門)、
七山 太 (地質情報研究部門) (常勤職員7名)

【研究 内容】

粒子計測のニーズの高まりに対応して、多くの手法が開発・実用化され、国際標準化が進められている中で、液中分散粒子の粒子径あるいはその分布計測についての規格に比して、濃度計測については、開発が殆どなされ

ていない。パーティクルカウンタ法以外の測定装置の表示値は、実は、粒子径（分布）のみが規格に基づくもので、濃度の値は、正しさが評価されない、参考値でしかない。装置の利用者は、実際には多くの場合、濃度表示値が参考値であること、誤差要因としてどのようなものがあるかということを知らずに、プロセス管理、品質保証等に活用している。また、微細気泡や、ナノ物質の測定においても、濃度の計測値が、機器、プロセス、材料開発に使われつつある。粒子濃度計測に係わる一般的ガイドラインの開発を行うことで、市場の混乱を防ぎ、公正な商取引の実現に資することが、喫緊の課題である。

今年度は、国際標準化のフレームワークについて、昨年度に引き続き検討し、イギリスおよびドイツの専門家と連携しつつ、ISO/TC 24/SC 4において、液中粒子濃度計測の校正のガイドラインを TR として開発提案する準備を進めた。また、ISO/TC 281/WG 2においては、上記ガイドラインを引用する形で、微細気泡濃度インデックスを評価する規格を開発する方向で準備を進めた。上記に結果を記述することになる国際ラウンドロビン試験については、今年度に日本で用意した試料を海外に持参するなどして行った予備的試験の結果比較を踏まえて、平成29年度に実施する試験のための Reference sample を準備して、試料調整上の課題抽出を行った。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】粒子計測、液中分散粒子、コロイド、ファインバブル、ウルトラファインバブル

【研究 題 目】3D プリンターの産業創出プラットフォーム形成事業

【研究代表者】芦田 極（製造技術研究部門）

【研究担当者】芦田 極、中野 禅、小木曾 久人、三宅 晃司、原田 祥久、清水 透、佐藤 直子、瀬渡 直樹、廣瀬 伸吾、岡根 利光、梶野 智史、近藤 伸亮、澤田 有弘、高本 仁志、名越 貴志、手塚 明、松崎 邦男、市川 直樹（製造技術研究部門）、持丸 正明、多田 充徳、渡辺 健太郎（人間情報研究部門）、遠藤 維（知能システム研究部門）、本村 陽一（人工知能研究センター）、壹岐 典彦、井上 貴博（省エネルギー研究部門）、小阪 亮、丸山 修（健康工学研究部門）、高辻 利之、阿部 誠（工学計測標準研究部門）、綾 信博（イノベーション推進本部）、渡辺 一寿、山内 真、馬場 創（エレクトロニクス・製造領域研究戦略部）、徳野木 綿子、川端 裕子、鈴木 鉄良（常勤職員33名、他3名）

【研究 内容】

産業界による Additive Manufacturing (AM) 技術（3D プリンター）を利用した製品開発に資するため、国家プロジェクトと密接に連携をとりながら、造形物の分析・評価装置の開発、傾斜材料造形技術の開発、アプリケーションサイドから発想する設計支援技術の開発、及び製品の試作・評価プロセスの実証を行い、また国際標準化や地域連携の取り組みを通じて、三次元造形技術による産業創出プラットフォームの形成を目指す。三次元造形技術の活用が期待されている事例として、タービン部品及び人工心臓部品について、実験機・モデル実験系での評価を可能とするプロトタイプを作製し、本課題で開発する3D 造形物の分析評価技術を用いてプロトタイプの欠陥・構造評価や機能評価をフィードバックする先事例を示して、実用化への橋渡しを行う。またエレクトロニクス・製造領域と計量標準総合センターとの連携により X 線 CT 装置で得られる内部欠陥の観察と組み合わせ、環境負荷をかけたときの空孔進展等との関連性を調べる。更に、国際標準化への貢献及び公設研との連携を行うことで、三次元造形技術を活用する新たな国家プロジェクトの立案に繋げるとともに、民間との共同研究を展開する。AM は製造の非専門家でも使用可能な事から、デザイナー主導でプロトタイピングを行い、少量から製品を製造、市場展開し、反応を得ることで、迅速かつ低リスクにモノ（ハード、ソフト）・サービスをテストし社会ニーズを探索することが可能となることが期待されている。そこでエレクトロニクス・製造領域と情報・人間工学領域が協力しながら、今後 AM 技術が産業界でフルに活用される状況を想定し、「AM 技術で何を作るか」「どのように使われるか」に関わる設計支援技術の開発を行う。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造、情報・人間工学、計量標準総合センター

【キーワード】Additive Manufacturing、3D 積層造形、材料評価、国際標準化、地域連携

【研究 題 目】AD 常温成膜技術の蓄電池・燃料電池産業分野への応用

【研究代表者】秋本 順二

（先進コーティング技術研究センター）

【研究担当者】秋本 順二、明渡 純、片岡 邦光、永井 秀明（常勤職員4名、他1名）

【研究 内容】

今後、蓄電池・燃料電池戦略で目標としている電動車両用途や定置型等の大型蓄電池や家庭用、業務用コジェネ燃料電池システムの普及加速が必要であるが、現状、高エネルギー密度化、安全性、高効率化、低コスト化への課題が未解決のままである。本研究では、従来塗工法と比較し、常温でバインダーレス、スラリーレス、高密度コーティングが可能な産総研の独自技術である AD 法

を、蓄電池部材の製造技術に展開することを目指す。また、産総研の独自材料である水素チタン酸化物 HTO 等は、高容量材料として有望であり、原材料としては実用化されているが、従来技術では集電体との密着性・導電性が悪く、電極部材化が困難であった。そこで、AD 法を用いて同材料の電極化、低コスト化を試作電池レベルで実証し、橋渡しの実現を目指す。

本年度は、新規チタン酸化物負極材料 HTO をはじめとする各種電極材料について、AD 法による電極の試作を進め、成膜条件と電極特性との関係について精査すると共に、全固体電池への応用について検討を行い、単結晶独自材料である単結晶固体電解質基板の上に電極を成膜することで、25℃でも充放電作動する全固体電池が作製可能であることを明らかにした。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】エアロゾルデポジション法、AD 法、常温成膜技術、リチウムイオン電池、電極、バインダーレス、コーティング、蓄電池

【研究 題 目】「上向流カラム通水試験」および「各種溶出特性試験」の標準化

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、汚染土壌からの溶出挙動を正確に把握するための試験方法について、ISO/TC190において既に国際規格がある「上向流カラム通水試験」に関して国際標準化を進めるための研究を推進する。本試験は、TC190 Soil quality（地盤環境）下の SC7 Soil and site assessment（土とサイト評価）において、ISO/TS 21268-3（技術仕様）として標準化されている。しかし、この標準は技術仕様にとどまっていることから、正式な ISO 化に向けたアップグレードを主導するリーダーとして取り組みを実施した。具体的には、過年度に実施した国内17機関が参加したリングテストの取りまとめ、規格改定に向けた条件変更試験（流速・初期飽和時間等）を実施し、ISO/TC190総会にて ISO/TS 21268-3の ISO 化に向けた議論を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】土壌汚染、カラム試験、国際標準化

【研究 題 目】3D 計測エポリユーション

【研究代表者】高辻 利之（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】高辻 利之、阿部 誠、佐藤 理、鍛島 麻理子、松崎 和也、寺崎 正（製造技術研究部門）、呂 明子、加藤 裕美（常勤職員6名、他2名）

【研究 内 容】

製品の設計・製造・検査などの一連の工程においてデ

ジタルデータを使って効率化する試みがデジタルエンジニアリングとして取り組まれている。さらにデジタルデータを活用してものづくりの工程の PDCA を有機的に回すことによって生産性を向上する、クローズドループエンジニアリングに対する期待が高まっている。こうした動向に対し、45の公設試験研究機関（以下、公設研）、16社の民間企業オブザーバ、さらに3者の有識者の参画を得て研究会活動に取り組んだ。平成28年度は日本全国を4地域に分割した地域分科会を組織し、各地域分科会の幹事により地域産業ニーズに密着した効率的な地域連携体制を構築しつつ活発な情報交換を進めた。研究活動として、全体課題1件、地域課題2件、自由選択課題2件の合計5件の研究課題を設定し、参加公設研のニーズに沿った課題設定を可能とするとともに、研究活動の効率化、研究成果の充実を図った。得られた研究成果は5冊の成果報告書としてとりまとめ、参加公設研による情報共有を推進した。また産総研から参加公設研を経て地域産業に波及するインパクトを参加公設研に対するアンケート結果としてとりまとめた。それによると、当プロジェクトの成果によって、共同研究・受託研究61件、依頼試験・機器利用1,126件、技術相談・技術支援1,791件、およびセミナー・講演会70件につながる成果を得ることができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】3D プリンタ、3D スキャナ、3D 造形、3D 計測、3D ものづくり、クローズドループエンジニアリング

【研究 題 目】非直交非接触三次元測定機の国際標準化

【研究代表者】阿部 誠（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】阿部 誠、佐藤 理、鍛島 麻理子、松崎 和也、高辻 利之（常勤職員5名）

【研究 内 容】

工業製品や人体形状等さまざまな対象の形状計測や寸法測定に使われる非直交型非接触三次元測定機の性能評価法の国際標準を開発することを目標とする。平成28年度は、ドイツの利害関係者が参集する VDI の CMM 委員会にオブザーバとして出席し、技術的懸案に関する意見調整および ISO 規格草案の作成に移行する提案を行うことに関する合意形成に向けて議論を進めた。また ISO 規格原案の審議を行っている ISO/TC213/WG10において非直交型非接触三次元測定機の性能評価法のフレームワークに関する意見集約を図り、2016年9月の中国会議において、規格提案に向けた WD（ワーキングドラフト）の作成を開始することの決議を得た。続いて2017年2月の米国会議において、WD の第1案を WG10 に提出することができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】三次元座標計測、工業標準、評価法規格

**〔研究題目〕半導体製造工程で使用するプロセスガス
流量の標準化**

〔研究代表者〕 森岡 敏博（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 森岡 敏博（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、半導体製造工程において使用されている可燃性・腐食性・毒性等の特殊プロセスガスの流量計測技術を開発する。半導体製造におけるプロセスガスの中には、可燃性、腐食性や毒性等の特殊な性質を持つものが多くあるが、これらのガスに使用する流量計の校正や評価試験は不活性や非毒性の代替ガスによらざるを得ず、評価結果の信頼性が低く、計測技術も未確立となっている。近年、半導体業界では、半導体デバイスの製造技術の高精度化とともに、再現性や互換性が求められている。

本研究では、特殊ガス供給設備（シリンダキャビネット）、ガス漏れ警報設備、排ガスダクト、排ガス処理装置（スクラバー）等の特殊ガス対応設備を導入し、既存の気体流量国家標準設備を耐反応性・耐毒性に改修することにより、静的衡量法を用いた特殊プロセスガスの計測技術を確立する。

本年度は、特殊プロセスガス対応の流量計校正ラインを整備した。また、流量計メーカーとラウンド・ロビンテストを実施し、メーカー間器差があることが明らかになった。本研究の成果は、半導体デバイスの微細化や極薄膜形成・エッチング技術の高精度化が期待され、半導体製造メーカー、半導体製造装置機器メーカー、流量計メーカー、特殊ガス供給会社等に貢献できるものと考えている。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 気体流量、半導体、プロセスガス、マスフローコントローラ、ラウンド・ロビンテスト

**〔研究題目〕円形管路の絞り機構による流量測定方法
—スロートタップ式フローノズル**

〔研究代表者〕 古市 紀之（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 古市 紀之、寺尾 吉哉（常勤職員2名）

〔研究内容〕

現在の蒸気タービンの評価方法に関する IEC60953は、流量計測に関して ISO5167におけるオリフィス等の使用を定義している。蒸気タービンの評価結果は流量計測における精度が支配的であるが、このオリフィス等の持つ不確かさは非常に大きい。より高い精度における蒸気タービンの評価を行うためには、オリフィス等に比して高い精度を有するスロートタップ式フローノズルを使用することが望ましい。一方、すでに ASME における蒸気タービンの評価方法（PTC6）の中においては、スロートタップ式フローノズルが採用されているが、この規格の最大の問題点は高レイノルズ数領域の流出係数に対する外挿が許容されているにも関わらず、これが必ずし

も実情の流出係数を示していない点である。現実的には低レイノルズ数領域における試験結果から高レイノルズ数域に外挿により流出係数を求めざるを得ない。このためには高い推定精度を有する式が規格の中に必要である。したがって、蒸気タービンの高精度評価の実施を背景に、高精度に流出係数を推定することができる式を含めたスロートタップ式フローノズルを標準（ISO）化することを目的とする。

平成28年度においては、口径の異なるノズルによる実験を実施し、規格における上下限について検証した。また、個体差についても実験結果から検証した。最終的に、これまでの数多くの実験結果を統合し、新たな標準となる特性式を確立した。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 スロートタップフローノズル、差圧式流量計、不確かさ、蒸気タービン

〔研究題目〕高圧気体用圧力計の校正方法及び特性試験方法の標準化

〔研究代表者〕 梶川 宏明（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 梶川 宏明、小島 桃子、飯泉 英昭、小島 時彦（常勤職員4名）

〔研究内容〕

水素ステーション、化学プラントなどの高圧ガス利用施設では、使用する圧力計の定期的な校正・検査が必要である。現在、高圧気体用圧力計の校正方法について共通の技術基準はなく、方法の妥当性の検証も十分でない。校正事業者や検査事業者からは、校正方法やトレーサビリティ確保の方法についての技術基準（標準化）が要望されている。方法の妥当性や校正結果の整合性の検証は、国際整合性の確保された気体圧力標準と液体圧力標準の両方を維持している産総研の技術により可能となるため、産総研が主導して検証実験や規格化を進めることが期待されている。

本研究では、高圧気体を利用する事業者に対して圧力計の校正・検査に関する技術課題とニーズ調査を行い、調査で挙げた方法について検証実験を行う。複数の方法で行った校正結果の整合性を確認すると共に、それぞれの方法で適切な校正結果を得るために必要な技術要件（装置構成や加圧手順など）を明らかにする。技術調査及び検証実験の結果を基に、校正方法・特性試験方法の規格化を行うことを目的とする。

平成28年度は、主として高圧気体用圧力計の校正方法の調査と検証実験の準備を行った。高圧気体用圧力計の校正・検査を行っている複数の事業者から、技術的な課題を聞き取り調査した。また、水素ステーションの事業者に対して、高圧気体用圧力計の校正や管理についての現状及びニーズの調査を行った。調査で挙げられた「揮発性液体を圧力媒体として利用する方法」についての実証実験を行うため、測定システムを構築し使用する

圧力媒体を選定した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 圧力校正、圧力計、高圧ガス、水素ステーション

〔研究 題目〕 電気移動度法による気中ナノ粒子粒径分布計測の標準化

〔研究代表者〕 桜井 博（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 桜井 博、高畑 圭二、村島 淑子（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

本研究では、ISO 15900:2009の問題点を解消するために必要な試験・校正技術の開発と実証を行う。ISO 15900は気中浮遊ナノ粒子に対する粒径分布計測法の一つ、電気移動度法についての ISO 規格であり、特に測定精度の保証に関し、改善の余地が多くある。本研究では、我々の持つ高精度校正技術に裏付けされ、かつ、測定現場で適用可能な簡便さを併せ持つ試験・校正法を確立することを目指す。平成28年度は、平成27年度までに有効性を確認し、改定原案へ追記した新たな試験法について改良と実証データの追加を行った。規格改定に向けて ISO 業務計画登録の手続きを進め、新規プロジェクトとして承認されるに至った。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 エアロゾル、ナノ粒子、粒径、粒径分布、個数濃度、電気移動度分析器、凝縮粒子計数器、標準粒子

〔研究 題目〕 流動場分離法を用いたナノ材料分級法に係る国際規格の提案

〔研究代表者〕 加藤 晴久（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 加藤 晴久、中村 文子、伴野 秀邦（常勤職員1名、他2名）

〔研究 内容〕

欧米で急速に進捗するナノ材料の輸出入規制やナノ適合判定に係る法整備展開により、本来高品質であるとされる国産ナノ材料の競争力にマイナスの影響を与えうる懸念が高い。優れた国産ナノ材料の特性を示しつつ、ナノ適合判定を実施するには分級法を用いたナノ材料の特性評価は欠かすことができない方法論である。そこで、本研究ではナノ材料分級法の中でも最も適用範囲が広く、世界規模で利用されている流動場分離法（Field Flow Fractionation : FFF）にフォーカスし、その材料適用範囲ならびに規定すべき分級条件因子等を決定する評価研究を実施し、研究代表者はプロジェクトリーダーとして国際規格の内容策定を実施している。H28年度では ISO/TC229にて TS213362として NWIP 提案を実施し、24ヶ国賛成、反対国無しにて、NWIP として承認された。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 流動場分離法、分級、粒子径、粒子径分布

〔研究 題目〕 パスワードを用いた匿名認証／属性認証技術の国際標準化

〔研究代表者〕 古原 和邦（情報技術研究部門）

〔研究担当者〕 古原 和邦、辛 星漢、関谷 祐美子（常勤職員2名、他1名）

〔研究 内容〕

短いパスワードのみを使ってサーバ、クライアント間で相互に認証し、暗号鍵を共有する従来のプロトコル（例えば、IPsec や無線 LAN などの PSK : Pre-Shared Key 方式など）は、通信路を盗聴するかサーバやクライアントに一度接続するだけで、それ以降はサーバに接続することなく大量かつ並列にパスワードを試す攻撃（オフライン全数探索）が可能となるという問題点があった。スマホ、タブレット端末、IoT 機器などでは長いパスワードの打ち込みは容易でないため、短いパスワードを使いつつオフライン全数探索を防ぐ仕組みが必要となる。我々は従来よりこの仕組みを効率よく実現する暗号学上の仕組みの研究を行ってきており、その応用方式を国際標準として提案し成立させることが本研究の目標となる。具体的には、ユーザを特定することなくそのユーザが特定のグループに属していることをパスワードのみを用いて実現する方式を ISO/IEC 20009-4 の SKI mechanism として提案し、今年度、DIS（Draft International Standard）から FDIS（Final DIS）に進ませることができた。また、短いパスワードのみを用いた相互認証鍵共有方式である AugPAKE（産総研提案方式）を ISO/IEC11770-4に含め CD から FDIS に進ませることに成功した。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 パスワード、認証、鍵共有、プライバシー、標準

〔研究 題目〕 3 mm 線量当量測定技術の開発と X 線、 γ 線、 β 線校正方法 ISO 規格の改正

〔研究代表者〕 黒澤 忠弘（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 黒澤 忠弘、加藤 昌弘（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

2011年 ICRP によって水晶体の線量限度が大幅に下げられた。従来は1 cm 線量当量と70 μ m 線量当量の測定だけで水晶体の線量限度が担保できていたが、新しい線量限度を考えた場合、水晶体の線量である3 mm 線量当量を測定する必要が生じた。そこで産総研において光子及び β 線に対する3 mm 線量当量標準の開発、またそれらを国際規格に導入することを目的としている。昨年度までに光子の3 mm 線量当量に関する換算係数の評価や β 線場での3 mm 線量当量の測定などを行い、国際規格の議論の場である ISO TC85/SC2/WG2にて提言を行

った。また3 mm 線量当量が重要となる環境として、X線を用いた透視をしながら治療を行う IVR 装置がある。この装置周辺での線量測定、また積算型線量計を用いた保護メガネの遮蔽能力について実測を行った。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕水晶体、3 mm 線量当量

〔研究題目〕甲状腺モニタ用ファントム標準化のための研究

〔研究代表者〕柚木 彰（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕柚木 彰、佐藤 泰、海野 泰裕、古川 理央（常勤職員4名）

〔研究内容〕

本テーマは、震災後、体内被ばくを評価するために広く使われている体内放射能測定装置のうち、甲状腺モニタのレスポンス評価について、ファントム及び試験体系の標準化、並びにレスポンス試験の精度向上を図り、製品規格である JIS Z 4343及び IEC 61582に反映することを目標とする。そのため、甲状腺モニタ用ファントムについて、線源及びファントム形状の違いによるレスポンス評価の違い、並びに線源及びファントムに対する検出器の幾何学的配置とレスポンスの関係を試験評価する。平成28年度は甲状腺形状を模擬したよう素-131校正用線源と、バリウム-133とセシウム-137を組み合わせた模擬線源との比較による、日常的なレスポンス試験の精度を評価した。また、校正用線源を、国内で標準的に用いられている IAEA/ORINS ファントム、人体模擬ファントム等に装着してそれぞれレスポンスを求め、ファントムに起因するばらつきを評価した。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕体内放射能測定装置、甲状腺モニタ、ファントム、レスポンス、工業標準

〔研究題目〕光吸収測定によるカーボンナノ材料の細胞内の取り込み量測定方法の国際規格化

〔研究代表者〕張 民芳、岡崎 俊也

（ナノチューブ実用化研究センター）

〔研究担当者〕張 民芳、岡崎 俊也、楊 梅

（ナノチューブ実用化研究センター）
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

カーボンナノ材料（CNM）の安全性評価やバイオ分野への応用開発にとって、細胞試験による毒性評価は不可欠である。その際、細胞内に取り込まれた CNM の量を測定することが必要となるが、その手法が確立されていない。本研究では、CNM であるカーボンナノチューブ、ナノホーン、グラフェンに共通している近赤外光吸収特性を利用して、細胞に取り込まれた CNM の測定方法を開発し、国際標準規格として提案する。

平成28年度は、提案した技術の測定手順・条件を最

適化し、測定結果の再現性を確認した。そして、ISO/TC229国内環境安全分科会（WG3）に提案&審議を行い、ISO/TC229 WG3のシンガポール総会で、ポテンシャル新作業項目（NWIP）として提案した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕カーボンナノ材料、安全性評価、細胞内取り込み量、測定技術

〔研究題目〕革新的人工知能技術のための超伝導量子計算機開発

〔研究代表者〕川畑 史郎（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕川畑 史郎、小池 帆平、神代 暁、浮辺 雅宏、遠藤 和彦、日高 睦夫、永沢 秀一、猪股 邦宏、前澤 正明、山田 隆宏、藤井 剛、中川 格、今福 健太郎、縫田 光司、大久保 雅隆、大岩 寛、片下 敏宏、日置 雅和（常勤職員18名、他1名）

〔研究内容〕

従来型よりもコヒーレンス性能が高く、かつ大規模集積化可能な量子アニーリングマシンの開発基盤技術を確立するために産総研のコア技術を最大限に活用して以下の課題に取り組むことを目標とする。①量子ビットの高品質化のための設計指針確立。②小規模超伝導アニーリングマシンの試作と性能評価。③大規模アーキテクチャ設計用シミュレーションツールの開発。今年度は以下の成果が得られた。①超伝導材料特性の成膜装置および基板依存性を調べ、量子アニーリングマシンに適した成膜方法を見出した。測定仕様を確定し、無冷媒型希釈冷凍機に導入するマイクロ波帯及びメガヘルツ帯測定機器の設計を行った。②先行技術を凌駕しうる大規模集積化が可能なデバイス構造を NEDO Pj に提案し、特許化を行った。この構造実現に注力し、要素技術としてフリップチップ接続を前提に分離された量子ビットと周辺回路それぞれに適した作製プロセス構築を行った。③超伝導回路シミュレータに導入したジョセフソン接合モデルを用いて、4ビットまでの超伝導アニーリング機械の等価回路設計を行った。また計算の効率化を目的とし任意の関数を最少量子ビット数で表現する手法を開発した。さらに、本年度より NEDO 「IoT 横断技術開発プロジェクト」に採択され、超伝導量子アニーリングマシンの大規模化に向けた研究開発をスタートした。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕量子コンピュータ、超伝導エレクトロニクス、人工知能、組合せ最適化問題、量子アニーリング、IoT

〔研究題目〕ミニマルファブの橋渡し機能強化のためのシステム開発

〔研究代表者〕原 史朗（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕原 史朗、前川 仁、池田 伸一、
クンプアン ソマワン、石田 夕起、
来見田 淳也、昌原 明植、遠藤 和彦、
松川 貴、青柳 昌宏、渡辺 直也、
神代 暁、山森 弘毅、中野 禅、
小木曾 久人、岡崎 祐一、
増井 慶次郎、大平 俊行、鈴木 良一、
伊藤 寿浩、高木 秀樹、銘荊 春隆、
鈴木 章夫、前田 龍太郎、宮下 和雄、
松本 光崇、秋永 広幸、鯨塚 治彦、
金高 健二、飯田 健次郎、長尾 昌善、
柳 永助、行村 健、猿渡 新水、
今岡 和典、井上 道弘
（常勤職員32名、他4名）

〔研究内容〕

目標：

小型化が困難なイオン注入と CVD 装置のミニマル化開発により、集積回路製作も含めた一貫プロセスを構築する。また、九州センターを産学官連携によりミニマル拠点化し、地域産業界への橋渡しのモデルケースとする。アウトカムのゴールは、ミニマルプロセスによる研究→開発→生産のダイレクトな RDP 橋渡しプラットフォームを実現することで、R&D の飛躍的効率化と産業の地域分散、そして“My LSI”を実現し、もって、スモールビジネスとスモール研究を、社会的に成立させる。モデルケースとして九州をミニマル実装拠点とすることである。

研究計画：

イオン注入、CVD 等難小型化装置のミニマル化を実現し、集積回路要素技術を構築する。平成30年度に、研究→開発→生産のダイレクト橋渡しを初めて実現するミニマル装置100%の前工程 R&D&P プラットフォームを、つくばと臨海地区の協業によって構築する。また、ミニマル装置群を九州センター内に整備する。装置使用者訓練、デモ、お試し使用を通じて、企業試作拠点ビジネスを可能にする。

年度進捗状況：

平成28年度は、イオン注入、CVD の開発を進めた。CVD については、超低流量でのエピタキシャル成長に成功した。また、CMOS プロセスの安定化プロセス技術開発を進めた。企業と連携して、ミニマルファブを用いた試作を行い、2件の試作を成功させた。産総研九州センターでミニマルリソグラフィシステムのデモが可能となった。

〔領 域 名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕ミニマルファブ、多品種少量生産、変種変量、一個流し

(3) 外部資金

中期目標や中期計画で定められているように、産業技術総合研究所は、業務の効率的な実施による費用の低減、自己収入の増加その他の経営努力により財務内容の改善を図ることとなっており、そのため、外部資金や自己収入の増加と固定的経費の割合の縮減に努めている。

外部資金の多くは、各省庁からの様々な制度に基づく委託研究費で、その多くが、公募型資金となってきた。産業技術総合研究所が受け入れる外部資金は、制度的には、主に受託研究として受け入れられ、研究終了後それぞれの委託元に詳しい成果報告がなされている。

平成28年度に受け入れた受託収入等の状況

資 金 名	件数 (テーマ)	決算額 (千円)
受託収入		15,476,181
(1) 国からの受託収入		3,003,054
1) 経済産業省		1,963,575
石油天然ガス基礎調査等委託費	2	771,431
エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費	8	731,915
産業技術研究開発委託費	1	142,414
工業標準化推進事業委託費	4	87,477
希少金属資源開発推進基盤整備委託費	2	99,415
化学物質安全対策委託費	2	35,926
非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費	1	35,199
石油製品需給適正化調査等委託費	1	14,364
中小企業消費者行政推進調査等委託費	1	44,541
中小企業支援調査委託費	1	893
2) 文部科学省		129,908
科学技術基礎調査等委託事業	1	109,920
国家課題対応型研究開発推進事業	1	19,988
3) 環境省		551,414
原子力施設等防災対策費等委託費	1	469,309
原子力発電施設等安全技術対策委託費	1	39,483
試験研究調査委託費	1	18,960
その他	2	23,662
4) その他省庁	17	358,157
(2) 国以外からの受託収入		12,473,127
1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構	89	7,413,864
2) その他公益法人	311	4,420,515
3) 民間企業	172	630,611
4) 受託出張		8,137
その他収入		11,028,724
(1) 資金提供型共同研究収入		5,922,694
(2) 知的所有権収入		471,146
(3) 技術コンサルティング費		353,026
(4) 外部グラント（個人助成金の間接経費分）		546,577
(5) その他		3,735,280
合 計		26,504,905

※ 千円未満四捨五入のため、合計と一致しないことがあります。

1) 国からの受託収入

【経済産業省】

■石油天然ガス基礎調査等委託費 2テーマ 7.7億円

日本周辺海域に相当量の賦存が期待されているメタンハイドレートを将来のエネルギー資源として利用可能とするため、平成30年度までに商業的産出のために必要な技術整備を行うための経費、他。

■エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費 8テーマ 7.3億円

世界最先端の海外研究機関等と我が国の研究機関等が連携を強化し、省エネ・新エネ技術分野ごとにターゲットを絞って戦略的な革新的エネルギー技術を創出する国際的共同研究を推進するとともに、エネルギー分野の技術開発に関する海外の優れたイノベーションシステムを取り込むための経費、他。

■産業技術研究開発委託費 1テーマ 1.4億円

国際宇宙ステーション（ISS）に搭載したハイパースペクトルセンサにより取得されるデータの利用基盤技術について、研究開発を実施し、宇宙実証を通じてその実用化に向けて必要なデータ等の取得を行うための経費。

■工業標準化推進事業委託費 4テーマ 0.9億円

バイオメトリクス製品のCC（Common Criteria）認証に向け、国内に、①産業界が無理なく参加可能、②十分に有効性があり、③継続性のある、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価基盤を整備することを目的とする経費、他。

■希少金属資源開発推進基盤整備委託費 2テーマ 1.0億円

資源保有国において資源開発可能性調査を実施し、我が国との関係強化・向上を図り、地質情報の収集等を行うことで、我が国企業による金属鉱物資源の権益確保を促進するための経費、他。

■化学物質安全対策委託費 2テーマ 0.4億円

ナノ安全プロジェクトの成果について、OECDのテストガイドライン又はガイダンスドキュメントとすることを目標に、成果物の手順書を用いたラボ間比較試験を実施し追加データを取得するとともに、OECDへの情報発信や有識者の意見交換等を行い、また、これらの活動から得られた知見を基に、ナノ安全性プロジェクト成果物である手順書の改良を行うための経費、他。

■非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費 1テーマ 0.4億円

想定される新設の中低圧水素導管供給システムを実際に運用していく際の維持管理上の課題について、技術調

査等を通じて安全かつ合理的な維持管理方法を明らかにすることにより、水素ガスの工作物の技術基準の整備に資するための経費。

■石油製品需給適正化調査等委託費 1テーマ 0.1億円

過去事故を詳細分析して現場作業員が安全に作業するためのチェックポイントを抽出してチェックポイント集を充実させ、また、チェックポイントを活用する為の検索システムを構築し、現場レベルでの評価を受け改善するための経費。

■中小企業消費者行政推進調査等委託費 1テーマ 0.4億円

進展する高齢化社会への対応やIoT、AIといった新たな情報技術を活用してより安全性の高い製品開発をする際に不可欠となるビッグデータの整備を行うための経費。

■その他 1テーマ 0.01億円

【文部科学省】

■科学技術基礎調査等委託事業 1テーマ 1.1億円

内陸の主要活断層及び沿岸海域の活断層について、各活断層から発生する大地震の発生確率の算出及び地震規模の推定を高度化し、また地震調査研究推進本部による評価の改訂に資するための調査を行い、具体的なデータ取得と総合解析を実施するための経費。

■国家課題対応型研究開発推進事業 1テーマ 0.2億円

高放射線環境下においても安定して動作する半導体イメージセンサの実現をめざし、耐放射線性の極めて高い半導体である炭化ケイ素を活用した耐放射線半導体イメージセンサを実現するための各種要素技術を開発するとともに、プロトタイプを試作するための経費。

【環境省】

■原子力施設等防災対策費等委託費 1テーマ 4.7億円

火山の特性、地下構造、地球物理学的及び地球化学的調査手法等の最新知見に基づく火山活動に起因する事象調査から、原子力施設に影響を与える火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準・指標、火山活動モニタリング評価基準・指標に関する知見を整備するための経費。

■原子力発電施設等安全技術対策委託費 1テーマ 0.4億円

超長期間における地質・気候関連事象の発生及び地質環境の将来予測に係る調査手法の予察的検討を行うことで、安全評価の時間枠の拡大に伴う予測精度の議論に必要な科学的根拠を整備し、燃料デブリの処分における評

価期間の議論に反映させる知見を得るための経費。

ときの経費負担収入及び国等からの機関補助金等として、37.4億円を受け入れた。

■試験研究調査委託費 1テーマ 0.2億円

環境省設置法第4条第3号の規定に基づいて、関係府省の試験研究機関が実施する地球環境の保全に関する試験研究費を「地球環境保全試験研究費（地球一括計上）」として環境省において一括して予算計上し、その配分を通じて国の環境保全に関する試験研究の総合調整を行うための経費。

■その他 2テーマ 0.2億円

【その他省庁】 17テーマ 3.6億円

2) 国以外からの受託収入

■新エネルギー・産業技術総合開発機構

平成28年度は、89テーマを74.1億円で実施した。

■その他公益法人

平成28年度は、311テーマを44.2億円で実施した。

■民間企業

平成28年度は、172テーマを6.3億円で実施した。

■受託出張

平成28年度は、受託出張の経費0.1億円を受け入れた。

3) その他収入

■資金提供型共同研究収入

平成28年度は、民間企業から55.2億円、民間企業以外から4億円の合計59.2億円の資金提供を受け共同研究を実施した。

■知的所有権収入

平成28年度は、当所が所有する産業財産権等を企業等に利用させた実施料収入等として4.7億円を獲得した。

■技術コンサルティング費

平成27年度から、多様な民間企業ニーズに応えるため、新たに技術コンサルティング制度を新設し、平成28年度は3.5億円を獲得した。

■外部グラント

平成28年度は、科研費補助金及び研究助成金の経理委任収入（間接経費分）として5.5億円を受け入れた。

■その他

平成28年度は、計量標準供給業務・計量教習業務による手数料収入、地質図幅等の頒布収入、産学官連携活動の一環として当所施設内で連携先が共同研究等を行う

1) 国からの受託収入

①経済産業省

・石油天然ガス基礎調査等委託費

〔研究題目〕平成27年度メタンハイドレート開発促進事業

〔研究代表者〕天満 則夫（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕長尾 二郎、皆川 秀紀、神 裕介、木田 真人、今野 義浩、木村 匠、山本 佳孝、室町 実大、清水 努、村岡 道弘、森田 洋充、坂本 靖英、米田 純、片桐 淳、野田 翔兵、覺本 真代、清野 文雄（兼務）、宮崎 晋行（兼務）、佐藤 章子、長原 さゆり、毛利 太、内海 崇、袴田 陽子、池田 育子、林 順子、眞城 一憲、渡邊 瑞穂、大島 基、深見 英司、羽田 博憲、金子 広明、西村 興男、泉 彰子、西川 泰則、榊井 明、明円 文子、青木 一男、熊谷 小百合、古屋 敦子、大竹 道香、宮田 雅子、須々木 尚子、野崎 たみ、椿 卓也、白鳥 治子、永瀬 茂紀（派遣）、金澤 達男（派遣）、吉田 卓（派遣）（常勤職員18名、他30名）

〔研究内容〕

メタンハイドレート開発促進事業の生産手法開発に関する研究開発では、大量かつ安定的にメタンを生産する生産手法高度化技術の開発、坑井のガス生産性およびメタンハイドレート貯留層の生産挙動を高い精度で予測する生産性・生産挙動評価技術の開発および生産に伴う地層変形・圧密挙動について長期的な安全性を評価するための地層特性評価技術を開発する。

生産手法高度化技術の開発においては、生産増進および初期有効浸透率の改善を目的とした交流電加熱法について、温度に関する効果を実験的に評価した。メタンハイドレート堆積物を対象としてコア温度3℃および10℃における減圧実験下での通電加熱実験を行い、コア温度3℃においては通電加熱によりガス生産速度が増加し、かつ減圧のみと比較すると生産速度が増加するが、コア温度10℃の減圧・通電加熱実験では熱伝導によるコア温度の昇温が顕著であり、通電加熱によるガス生産速度の増加は10%未満となる等、生産井周辺の温度が低いか、周辺地層の熱伝導率が小さい場合に通電加熱法の分解法としての有効性が認められた。CO₂/水エマルジョン圧入による生産増進法では、これまでの室内実験結果を基に現場でのCO₂/水エマルジョン圧入を行うためのCO₂/水エマルジョン用プローブについて検討した。CO₂ハイドレートの特性から注入深度の坑井内でエマルジョンを生成する必要があるため、エマルジョン生成用のプローブのフィルター数や注入量などの諸量に

ついて取りまとめた。

生産障害対策・抑制技術の開発に関しては、減圧法適応時ガスの生産性を低下させる孔隙レベルでの生産障害である「氷生成・メタンハイドレート再生」について、実験的解析を実施し、再生に伴う浸透率低下に関するデータ取得を行った。また、「細粒砂移流・蓄積」に関する検討として、砂泥互層境界面と砂層内に含まれる泥凝集体（フロック）の可視化を試みるとともに、実験的に取得した泥層浸食に関するパラメータを用いて、長期泥層浸食シミュレーションを行い、出砂が生じないような流速条件下においては生産開始から約1ヶ月後に泥層浸食は生じなくなる可能性を示した。さらに、スキン形成過程のモデル化において、砂泥互層境界面における泥層浸食などによる泥粒子蓄積に伴う浸透率低下と塩濃度の関係を検討するために、微小領域における流動シミュレーションを行ったところ、真水と比較して海水濃度の高い条件では浸透率が時間とともに急激に低下する結果が示された。その理由として、高塩濃度の条件下では表塩電位が低くなるため粒子間の最大斥力が小さくなり、引力（Van der Waals力）が支配的となる距離に接近しやすくなるためと考えられた。インヒビタに関する検討として、地層間隙水に含まれる微生物由来のアンモニウムイオンに関して検討を行った。減圧法適用時に間隙水から生産井へアンモニウムイオンの流入が懸念されたので、塩化アンモニウムがメタンハイドレート生成に与える影響について、他の塩とのインヒビタとしての効果を比較したところ、メタノールに比して約1K程度と阻害温度が低く、尿素やエタノールと同等の阻害効果と同程度であることが分かった。スキン除去対策技術の開発を目的として、粒度分布の異なる模擬堆積物試料を用いた透水性の予測と透水試験を行い、細粒分の目詰まり・流出を予測するモデルの妥当性を確認した。さらに、東部南海トラフ採取コアの粒度を模擬した試料に対して、粒度分布を考慮した目詰まり基準による透水性の予測、および等方拘束圧下での透水実験を行い、粘土・シルト・細砂分からなる試料やシルト・粗砂分からなる試料について、目詰まりの予測判定を行えることが実験によって確認された。

大型室内試験装置による実証として、MH分解挙動の可視化を目的とした多チャンネルの弾性波センサーで構成される計測システムを開発した。キャリブレーション用に、水を仮定したときの理論走時と、波形から読み取られる初動位置がほぼ一致し、本計測システムの信頼性が確認された。

生産性・生産挙動評価技術の開発においては、生産シミュレータの機能強化と商業生産の生産性評価に関しては、生産シミュレータMH21-HYDRESにCO₂/水エマルジョン圧入による増進回収法の計算機能を付加するため数値計算コードのCO₂溶解モデル、浸透率低下モデル、エンタルピー計算に関する改良を行った。さらに、

改良した計算コードを使用し、CO₂/水エマルジョンと水の一定量のスラグを交互に圧入する方式について検討し、圧入条件を調整することによって CO₂/水エマルジョン圧入法による大きな増進回収の効果が期待できることが分かった。これまで開発・改良してきた水理モデル (MH21-HYDRES) と力学モデル (COTHMA) を統合する手法について検討し、試作版の統合プログラムを開発した。また、検証したところ、統合モデルでは MH21-HYDRES に比べて小さなガス生産量、大きな水生産量が予測されることが確認された。また、グリッド-節点間のデータの引き渡しに関して、坑井からの距離の関数としての補間法とスプライン補間法を考案した。また、MH 分解・生産挙動予測のための専用シミュレータ (MH21-HYDRES) の予測精度の向上や大規模問題・実践的問題にも対応可能となるように、入力データ作成支援用グラフィカルユーザーインターフェイス (GUI) プログラムの開発を行い、傾斜を考慮可能な直交座標系グリッドデータの作成、貯留層特性、坑井データ等の入力が行えるプログラムを試作した。

生産挙動評価用三次元貯留層モデルの開発と産出試験の予測・検証については、貯留層およびその周辺に存在する断層の生産挙動に与える影響を評価するため、その浸透率を実験的に解析した。高い有効垂直応力 8.0 MPa の下では、あるせん断変位の範囲までは、孔隙率の急激な減少が見られたが、せん断変位がさらに大きくなると孔隙率が漸減する傾向も認められた。一方、低い有効垂直応力 1.0 MPa の下では、せん断変位の増加による孔隙率の大きな減少は認められなかった。有効垂直応力 8.0 MPa 下で形成されたせん断層について、レーザー回折粒度分析を行ったところ、せん断変位の増加によって粒子が破碎され、細粒粒子が増加したことが明らかになった。孔隙率の急激な減少は、粒子径の減少と圧縮を受けたせん断層の形成と発達によって孔隙率の急激な減少が生じたものと判断された。また、メタンハイドレートの分解に伴う水・ガスの流動で、堆積物の成層構造が壊されると、重力分級による孔隙径分布より、粒子が乱雑に配列することで、平均的孔隙径は小さくなると考えられた。この孔隙径の減少は、シルトや未分散泥片の流出でさらに閉塞しやすくなる可能性があるため、泥質物の分散傾向と堆積物内の孔隙径変化を考えると、長期間のガス生産で、MH 分解後の地層中を分散粒子が移動するのはスキン形成のリスクを伴う可能性があることが推察された。

一方、貯留層モデル構築技術の一環として、インド洋東岸沖で採取された保圧コアを用いて、X 線 CT、P 波速度測定、γ線による密度測定などのコア解析を行い、東部南海トラフと同様の砂層充填型のメタンハイドレートの確認や礫から構成される層など、様々な貯留層条件に関する情報を把握し、評価技術の高度化を図った。さらに、コア分析技術の高度化の一環として、日本海側の

表層 MH のコア分析として、X 線 CT 撮影、P 波速度、γ線による密度計測等を実施した。

地層特性評価技術の開発においては、地層変形シミュレータの機能強化の一つとして、これまでに取得してきた力学パラメータをもとにメタンハイドレート含有砂質堆積物の粘弾性を表すため、ひずみ速度の減速していく1次クリープ、加速していく3次クリープにおける挙動および定ひずみ速度試験におけるひずみ速度依存性を説明可能な構成方程式に関して、メタンハイドレート飽和率や有効拘束圧などに基づく適用範囲を拡張した。これによって、メタンハイドレート含有砂質堆積物の粘弾性挙動の精度向上を図った。また、構成式の精度向上のために、ミクロの視点からメタンハイドレートの胚胎形態による地盤の変形特性の違いを検討した。マイクロフォーカス X 線 CT 装置を用いて、メタンハイドレート胚胎土を計測したところ、ハイドレート飽和率が増加するほどせん断帯の幅は小さくなり、またせん断帯の角度が大きくなることが明らかとなる等、ハイドレート飽和率の増加による強度増加が有効拘束圧にも依存することを明らかにした。

坑井の健全性評価のために、4種類の降伏規準の弾塑性モデルを新たに導入し、坑井を形成するケーシング材料およびセメントの弾塑性的評価の高精度化を図るとともに、地層と坑井の接触面強度を定量的に評価するために、個別要素法 (Discrete Element Method: DEM) により、接触面挙動の解析を行った。DEM 解析の結果、表面粗さ (R_z) を平均粒径 (D_{50}) で除して正規化した表面粗さが、ある値までは接触面摩擦力は大きくなっていくが、その値以上になると摩擦力は正規化した表面粗さに依らず、一定に収束することが明らかになった。これは、粗さが小さい場合には粒子群と表面モデルとの界面で滑りが生じ、粒子群がほとんど変形しないが、粗い表面モデルを用いた場合には、界面で生じたすべり面が粒子群の内部に移動し、粒子群のせん断変形が顕著に生じるためと推察された。COTHMA の精度向上に資する地層変形データの取得のために、大型室内試験装置内に上載圧負荷用ゴム膜、ターゲットマーカーとキャリブレーション格子およびカメラ2台を設置して土層の応力や変形に関する計測を行い、減圧に伴って井戸近傍からの圧密挙動や、ほぼ鉛直下向に変形する挙動の計測データ等の取得に成功した。

MH の商業化を目指す上で、長期安定的なガス生産のための地震時の海底地盤特性を調査・研究することが必要である。そのために、模擬試料を作成し、中空ねじりせん断装置を用いて繰返しせん断試験を行い、MH が濃集しているシルト質砂について実験を行い、力学パラメータの評価を行った。

さらに、これまでに実施した広域地層変形に関するケーススタディーの結果を分析し、地層リスクに関するパラメータである地層厚さ、海底面の傾斜角、断層の傾斜

角、正断層・逆断層の違い、減圧度および坑井～断層間の距離と、地層リスクの指標である不連続変形量、最大沈下量、最大傾斜角、最大水平変位および最大水平ひずみの関係について整理し、地層リスク指標に及ぼす各パラメータの影響度の大小について明らかにした。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 メタンハイドレート、貯留層特性、生産シミュレータ、エネルギー効率、天然ガス、生産技術、原位置計測技術、熱特性、力学特性、圧密特性、相対浸透率、産出試験、東部南海トラフ、地層変形、生産障害

〔研究題目〕 平成28年度メタンハイドレート開発促進事業

〔研究代表者〕 天満 則夫（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 長尾 二郎、皆川 秀紀、神 裕介、木田 真人、今野 義浩、木村 匠、山本 佳孝、室町 実大、清水 努、村岡 道弘、森田 洋充、坂本 靖英、米田 純、片桐 淳、野田 翔兵、覺本 真代、清野 文雄（兼務）、佐藤 章子、長原 さゆり、内海 崇、袴田 陽子、池田 育子、林 順子、眞城 一憲、渡邊 瑞穂、大島 基、深見 英司、羽田 博憲、金子 広明、西村 興男、泉 彰子、西川 泰則、榊井 明、加藤 晃、山田 剛士、明円 文子、青木 一男、熊谷 小百合、古屋 敦子、大竹 道香、宮田 雅子、須々木 尚子、野崎 たみ、椿 卓也、白鳥 治子、永瀬 茂紀（派遣）、吉田 卓（派遣）、金澤 達男（派遣）、糠沢 拓真（派遣）

（常勤職員18名、他32名）

〔研究内容〕

メタンハイドレート開発促進事業の生産手法開発に関する研究開発では、メタンハイドレート層からメタンガスを長期的に大量かつ安定的に生産するための生産技術の整備を進めている。本技術開発では減圧法では十分に回収できない貯留層に対して、追加するエネルギーを抑えながら回収率、生産量の増進を図る生産性増進化技術の開発、坑井のガス生産性およびメタンハイドレート貯留層の生産挙動を高い精度で予測する生産性・生産挙動評価技術の高度化および生産に伴う地層変形・圧密挙動について長期的な安全性を評価するための地層特性評価技術の高度化を実施している。

生産性増進化技術の開発においては、メタンハイドレート堆積物層の初期有効浸透率を増加させる方法の一つとして考えている通電加熱法の現場での適用を検討する

ために、数値シミュレーション用のパラメータ取得のための要素実験を実施した。各濃度の NaCl 溶液における飽和堆積物の電気抵抗を測定し、MH 堆積物の通電加熱結果と比較検討を行いデータの整理を行った。CO₂/水エマルジョン圧入による生産増進法では、現場への適用性として 0℃に近い地層における効果を確認するための室内実験による検討を行った。初期温度 3.5℃で、70%の NaCl 溶液を用いた場合には、発熱による温度上昇の結果が得られ、本手法の適用可能性が示された。

また、長期安定生産を実現するための生産障害対策技術として、生産井周辺堆積層における MH 再生成による浸透率低下の防止・対策が重要である。そこで、堆積物モデル内で生成したハイドレートの形態と、有効浸透率の関係に関する実験的解析を実施した。実験装置内に設けた堆積物を模擬したセルの温度圧力を制御して堆積物モデルセル内に MH が生成する際の差圧・有効浸透率と時間の関係を計測したところ、MH の生成に伴って、浸透率の低下が確認された。浸透率の低下のメカニズムとして、水とガスの界面で MH の薄膜が形成し、MH 膜で覆われた領域がガスの流路本数を減少させる様子が観察され、堆積物モデル内で形成する MH の形態と浸透率を同時に観察・測定することに世界で初めて成功した。

坑井内流動障害対策技術の開発に関しては、低温・高圧混相フロー装置内でメタン-水系気泡流を生成し、一定温度の下でガス圧入および水圧入により系の圧力を変化させ、メタンハイドレート生成を含むメタン-水系混相流が、生成プロセスにおける流速や圧力条件に応じて異なる流動パターンが形成されることを明らかにした。インヒビタに関する検討として、実際に生産ガスに含まれる他の天然ガス成分や CO₂圧入生産増進法などへの MH インヒビタの可用性を検討するため、エタンまたは二酸化炭素ハイドレートに与える阻害効果を実験的に測定した。その結果、MH に対する阻害効果と同等の効果が得られることを確認した。坑井内システムの最適な配管様式や生産条件の解明のために、海洋産出試験での坑底圧を想定した条件で、坑井スクリーン通過直後のメタンガス気泡を含む気液二相流の測定を行った。圧力、液流量、温度を様々に変化させた場合のスクリーン下流における気泡径分布に関する画像解析を実施したところ、全ての条件において、流速の増加に伴い、気泡の平均直径が小さくなる傾向を示した。これは、流量増加に伴う流速増加によりせん断力が増加するため、気泡の崩壊が促進されるためと考えられた。

生産性・生産挙動評価技術の高度化においては、生産シミュレータの機能強化と商業生産の生産性評価に関しては、生産シミュレータ MH21-HYDRES に CO₂/水エマルジョン圧入による増進回収法の計算機能を付加するため計算プログラムの物性計算サブルーチンと連立方程式ソルバー部などに改良を加えた後で、C/W (CO₂-

水) エマルジョン圧入法による増進回収効果 (CO₂の溶解熱/ハイドレート生成熱による増進回収効果) を数値実験で検討した。解析では、減圧法終了時に残存するMHの数10%を増進回収する効果があることが推察された。これまで開発してきた水理モデル (MH21-HYDRES) と力学モデル (COTHMA) の統合化プログラムは、力学挙動を反映してMHの分解・生産挙動を予測することを可能としたが、解決すべき課題として、計算時間の短縮 (ハイブリッド法の適用)、繰り返し計算における収束判定の見直し、両モデル間のデータの移送法、圧密に対する温度の影響の考慮、等があることを明らかにした。

高精度貯留層モデルの開発および産出試験の予測・検証については、貯留層およびその周辺に存在する断層の生産挙動に与える影響を評価するため、その浸透率を実験的に解析した。高い有効垂直応力8.0 MPaの下で浸透率は、せん断変位200 mm程度まで急激な減少が認められた。せん断速度が10倍、50倍となった場合においても、せん断に伴う浸透率の変化は同様の傾向を示した。有効垂直応力0.5~3.0 MPa下では、大きいせん断速度で低い浸透率が得られた。これは、せん断速度増加によってせん断層における粒子破砕が著しくなり、より発達した、せん断層が形成されたものと推察された。また、コア解析より、メタンハイドレート分解に伴うさまざまな地層破壊痕跡 (分解痕跡) が詳細に分類され、地層中にはガス生産時に脆弱になる可能性がある層準が存在することが示唆された。特にMH濃集帯の分解痕跡は、小塊構造を呈し、塊状 (団子状) に収縮しているものの、堆積物の流動構造はほとんど見られなかった。一方、低比抵抗層準に当たる部分のコア岩相は、泥層破壊構造を呈し、堆積物が流動しやすかったことを示しており、移流物質を排出するには、高い含水率と少量でもMHの存在が必要であることが明らかになった。

一方、貯留層モデル構築技術の一環として、インド洋東岸沖で採取された保圧コアを用いて、生産挙動予測のための貯留層モデル構築に資するコアを中心に、堆積物粒度、鉱物組成、孔隙率、飽和率およびハイドレート結晶の包接ガス組成と水和数、熱物性、浸透率や力学パラメータなどのデータ取得を行い、評価技術の高度化を図った。

地層特性評価技術の高度化においては、地層変形シミュレータの機能強化の一つとして、メタンハイドレート飽和率や地層変形の時間依存性などを考慮した様々な構成式の最適化を図るため、実験を通したパラメータの見直しや構成式の改良を行い、シミュレータの高機能化を進めた。具体的には、精度向上のためにMH飽和率や地層変形の時間依存性などを考慮した様々な構成式に、時間依存性を考慮するために導入した二次圧係数や、载荷速度依存性に係るパラメータを追加した。これにより、段階的なクリープ挙動を定量的に評価できることを

確認した。また、ユーザーインターフェースの改良として、地層変形解析のための入力データの作成を支援するプリプロセッサおよび膨大な解析結果の後処理を行うポストプロセッサの機能を追加して、解析作業全体の大幅な効率化を図った。

坑井周辺力学挙動・広域地層変形の評価においては、地層と坑井の接触面強度を定量的に評価するために、個別要素法 (Discrete Element Method: DEM) により、接触面挙動の解析として坑井表面凹凸の間隔 (R_{sm}) に関する検証を行った。 R_{sm} が大きくなるにつれ摩擦強度も高くなるが、ある一定値以上になると強度が再び低下することがわかった。このメカニズムには「破壊面の移動」が関わって、 R_{sm} に応じて破壊面が砂内部に移行するため、摩擦強度は砂のせん断強度になるまで増加するが、一定以上に R_{sm} が大きくなると、破壊面が再び接触界面に戻ることから強度低下を生じることを示唆した。さらに、出砂現象の検討の一環として、第1回海洋産出試験で観測された出砂現象に関して、出砂した砂の粒径に対応した土層を作成し、地圧を模擬した上載圧を負荷した条件下で、産出試験の生産条件を模擬した連続注水試験を行うことで、出砂の有無を確認するとともに、スクリーンの健全性を評価した。本試験では、実機スクリーンの破損の有無をパラメータとして、1) 健全スクリーン、2) 中央部破断スクリーン、3) 湾曲変形スクリーンの3種類を用い、4回の連続通水試験を実施した。7日間の連続注水において、入口と出口の差圧は0.45 MPaで一定に保たれており、土層自体の大きな変化は確認されなかった。また、7日間連続で注水し、シミュレーションからはスクリーン近傍での流速は100 m/day以上と推算されるものの、出砂は確認されず、スクリーンの健全性は保たれることを明らかにした。さらに、長期安定生産のための海底地盤の安定性に関する評価として、地震発生による海底地すべりに関する室内実験および解析を実施した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

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

【研究 題 目】 平成28年度メタンハイドレート開発促進事業「非砂層メタンハイドレート賦存層の科学的調査研究」

【研究代表者】 森田 澄人 (地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】 森田 澄人、鈴木祐一郎、中嶋 健、佐藤 幹夫、後藤 秀作、光畑 裕司、横田 俊之、小森 省吾、坂田 将、吉岡 秀佳、金子 雅紀、松林 修

上田 匠（常勤職員13名）

【研究内容】

主に日本海に分布が知られている表層型メタンハイドレートについて、平成25年4月、政府は3年間の集中的な広域調査実施を盛り込んだ海洋基本計画を閣議決定した。これを受け、経済産業省の受託研究「メタンハイドレート開発促進事業」の一部として、平成25年度から27年度の3年間に表層型メタンハイドレート調査を実施した。

平成28年度は、表層型メタンハイドレートの成因・資源ポテンシャル評価に関わる研究を進めた。平成25年度から27年度で実施した調査（1.広域地形地質調査、2.詳細地形地質調査（AUV：Autonomous Underwater Vehicle）、3.精密三次元地震探査、4.海洋電磁探査（CSEM：Controlled-source Electromagnetics）、5.掘削同時検層（LWD：Logging While Drilling）、6.地質サンプリング（掘削コアリング）および海底地盤調査（CPT：Cone Penetration Test）、7.海底環境調査）に関する成果をとりまとめるとともに、上越沖海域の一部において資源量の推定を行った。第三者有識者で構成された表層型メタンハイドレート資源量調査結果検討委員会を開催し、これらの調査に関わる手法やデータの精度、資源量推定結果等について承認が得られた。以上の結果は経済産業省からプレス発表が行われた。これにより、表層型メタンハイドレートについては、将来の開発手法の研究段階に進めることになった。

【領域名】地質調査総合センター、エネルギー・環境

【キーワード】メタンハイドレート、表層型、広域地質調査、海洋電磁探査、三次元地震探査、掘削同時検層、掘削コアリング、海底地盤調査、環境調査、資源量評価

・エネルギー使用合理化設備導入促進対策調査等委託費
【研究題目】CO₂を利用した水素製造・貯蔵技術-二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム

【研究代表者】姫田 雄一郎

【研究担当者】姫田 雄一郎、川波 肇、徐 強、眞中 雄一、砂 有紀、王 林、村田 和久、伊藤 早枝子、鍾 恒、Zhu Qilong、Li Zhangpeng（常勤職員4名、他7名）

【研究内容】

本事業では、二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステム構築のための、高性能・高耐久性固体（固定化）触媒の開発と、それらを用いた高圧水素連続発生・供給プロセスの構築を図り、ギ酸を用いた水素貯蔵システムの実証化に向けた基盤的研究開発を行う。

平成28年度は、固体および固定化触媒開発においては、それぞれ目標の触媒性能を超える触媒を見出すことができた。特に、固体触媒を用いてギ酸から35 MPaを超えるガス圧に到達することができた。今後のギ酸からの連続反応による高圧水素ガス発生プロセスに向けた有用な成果であり、本事業の最終目標である二酸化炭素の再資源化技術によるクリーン水素キャリアシステムの実証に向かって着実に進展している。また、ICEF/G7WGの開催により、欧米各国およびサウジアラビアとの連携を図ることができた。今後、一層の国際連携を進めることにより、技術開発を加速させていく。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】炭素固定、水素貯蔵

【研究題目】平成28年度革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業（CO₂フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術開発）

【研究代表者】榊 浩司（創エネルギー研究部門）

【研究担当者】榊 浩司、Hyunjeong Kim、中村 優美子、石山 智大（省エネルギー研究部門）（常勤職員4名）

【研究内容】

目標：

CO₂フリー水素社会を見据えた高効率・安価な水素貯蔵・利用技術に必要な要素技術の開発を行う。具体的には、水素の高効率な貯蔵技術として、材料のナノ構造界面を利用した新たなコンセプトに基づくマグネシウム系高容量水素吸蔵合金の開発に取り組む。また、水素利用技術として、300℃近傍で作動する新規なリン酸塩ガラス系プロトン伝導性固体電解質を用いた燃料電池システムの電極材の開発に取り組む。

年度進捗状況：

非混合性材料として、Mg に対する混合エンタルピーが正の値を示す Mn を利用して、Mg-Mn 系材料の合成を行った。ボールミリングによりクラスターサイズの小さな Mg を含む材料の作製に成功した。水素吸蔵圧力が純 Mg よりも高く、水素化物が不安定化していることを確認した。積層合金では、化学組成により積層構造の異なる2種類の化合物の作製に成功した。また、第一原理計算を用いた合金の安定性の予測を開始した。ボルドー大学と共同で、超臨界流体を用いた触媒添加実験を実施し、純 Mg と同様に Pd 触媒が微細に高分散できることを確認した。

水素吸蔵合金の燃料電池電極への利用に先立ち、ガラス電解質作製装置の構築を行い、高プロトン伝導性ガラス電解質作製における再現性を確認した。マグネトロンスパッタリング方式により純 Mg 薄膜と保護層として Pd 電極を積層した成膜を行い、ガラス電解質基板への成膜が可能であることを確認した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水素貯蔵、ナノ構造、燃料電池

〔研究 題目〕 過酷温度環境作動リチウムイオン二次電池の開発

〔研究代表者〕 朝倉 大輔（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 朝倉 大輔、北浦 弘和、細野 英司、
松田 弘文、牧之瀬 佑旗、河島 明美
（常勤職員4名、他2名）

〔研究 内容〕

二酸化炭素の排出量を削減し、地球温暖化対策のキーテクノロジーとして、リチウムイオン電池（LIB）開発は近年、小型の携帯やノート PC 用途から自動車や定置用等の大型用途にも展開され始めた。一方で、最新鋭航空機の発煙事故に代表されるように、安全性の毀損が極めて大きな問題として表面化することとなった。特に低温運用による特性劣化が注目され、金属リチウムの成長による短絡が原因として考えられているが、そのメカニズムは未解明であり、抑制手法も考案されていない。本研究では、低温等の過酷な温度環境での劣化メカニズムの解明と、その抑制法の考案に基づく実用化への検討を分野融合的国際共同研究体制のもと進め、安全性を備えた低コスト・高容量電池の実現と社会への普及を目指す。

平成 28 年度は、①低温環境下におけるリチウムイオン二次電池（LIB）の電気化学特性評価と安全試験、②低温環境下における劣化機構解明のための LIB の電子状態解析と先端的放射光分析手法の開発、③低温対策を施した電極材料の開発を実施し、④電池シミュレーションや電池内部の非破壊観察のため、欧州の研究機関と新たな連携を構築した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 リチウムイオン二次電池、電気化学、放射光分光

〔研究 題目〕 低毒性・超高効率熱電変換デバイスの開発

〔研究代表者〕 太田 道広（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 太田 道広、山本 淳、Jood, Priyanka、
Bouyrie, Yohan、相原 誠、藤本 直子
（省エネルギー研究部門）
舟橋 良次、池西 ひとみ
（無機機能材料研究部門）
（常勤職員4名、他4名）

〔研究 内容〕

産業技術総合研究所と広島大学が開発に成功した銅（Cu）と硫黄（S）を主成分とした硫化物系材料（中温用、約400℃）や、産業技術総合研究所が開発に成功したカルシウム（Ca）と酸素（O）を主成分とした酸化物系材料（高温用、約700℃）は、低毒性でレアメタルレスの熱電変換材料の有力な候補である。本研究で

は、これらの材料に、米国などの技術を取り込み、①元素代替とナノ構造形成による低毒性・超高効率熱電変換材料の開発、②機械的特性と長期安定性の向上によるデバイスの信頼性向上、③実動作に近い環境での実証までを一貫して実施することで、実用化に資する低毒性・超高効率熱電変換デバイスを開発することを目的とする。

本年度は、硫化物系材料の一種であるコルーサイト（ $\text{Cu}_{26}\text{A}_2\text{E}_6\text{S}_{32}$ （ $\text{A} = \text{V}, \text{Nb}, \text{Ta}; \text{E} = \text{Ge}, \text{Sn}$ ））の性能を向上させることを目的として、S をセレン（Se）で置換したり、E 原子を欠損させたりすることで、その化学組成を調整した。特に、E サイトへの欠陥導入によりキャリア濃度の調整が可能となり、熱電性能指数を向上させることに成功した。例えば、 $\text{Cu}_{26}\text{Ta}_2\text{Sn}_6\text{S}_{32}$ のズ（Sn）を $\text{Cu}_{26}\text{Ta}_2\text{Sn}_{5.5}\text{S}_{32}$ まで欠損させることで、400℃の熱電性能指数は0.8から1.0からまで20%向上した。これまで、毒性元素の鉛（Pb）や希少元素のテルル（Te）を用いないと達成できなかった熱電性能指数1.0を、Cu と S を主成分とした材料で達成した意義は大きい。

さらに、酸化物系材料（p 型 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ と n 型 CaMnO_3 ）を用いて熱電変換デバイスを作製して、空气中でヒートサイクル試験などの耐久試験を実施した。ヒートサイクル試験では、低温側を20℃で一定として、高温側を室温から600℃まで上昇させて5分間保持する試験を一サイクルとした。その結果、200回のサイクル後でも明確な劣化は見られず、すなわち、酸素雰囲気中で高耐久性を有する熱電変換デバイスの開発に成功した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 熱電変換、未利用熱エネルギー活用、元素代替、ナノテクノロジー、国際共同研究

〔研究 題目〕 革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業／太陽光による有用化学品製造

〔研究代表者〕 佐山 和弘（太陽光発電研究センター）

〔研究担当者〕 佐山 和弘、小野澤 伸子、草間 仁、
船木 敬、三石 雄悟、小西 由也、
中島 智彦、井口 翔之、舘野 拓之、
高杉 壮一
（常勤職員7名、契約職員3名）

〔研究 内容〕

さまざまな化学薬品の製造には膨大な化石燃料のエネルギーが使用されており、その省エネルギー化やCO₂フリー化は非常に重要な課題である。もし、太陽光エネルギーを利用した光電気化学的な化学薬品製造プロセスが高効率・低電圧で実現できれば大きな省エネ効果と低コスト化が期待できるが、そのような検討例はほとんど無かった。水分解で水素を製造販売するだけで利益を上げることが大変であるが、水素や酸素よりも数十～百倍付加価値のある化成品を製造できれば経済性は飛躍的に

向上できる可能性がある。この光電気化学的な化学薬品製造プロセスの実用化に向けた基礎研究を米国のブルックヘブン国立研究所（BNL）と協力して行った。

半導体光アノード電極の高性能化に関しては、 BiVO_4 光電極上をアルミナで薄く表面処理すると H_2O_2 生成の電流選択性（Faraday 効率）が著しく向上し、その効率向上のメカニズムとしては、表面処理したアルミナによって H_2O_2 の O_2 への酸化分解が抑制されていることを確認した。また、 WO_3 光電極の調製法を改良して、過硫酸製造の太陽エネルギー変換効率を向上できた。塩化物イオンや臭化物イオンの酸化反応では、殺菌や漂白作用を持つ次亜塩素酸や次亜臭素酸イオンを効率良く生成できる条件を見出した。 Ce^{3+} から Ce^{4+} を効率良く生成するアニオン効果を確認できた。有機物の光電極上での酸化反応を検討し、メタノール中のフラン酸化では主にメトキシフランが効率良く生成することを見出した。安価なカソード電極の高性能化に関しては、BNL の Mo 系触媒およびカソード電極作製技術を用いて効率良く水素が製造できることを確認した。

〔領 域 名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 有用化学品、太陽光、酸化剤、光電極

〔研究 題目〕 単結晶化・積層化による太陽電池の高効率化技術の開発

〔研究代表者〕 菅谷 武芳（太陽光発電研究センター）

〔研究担当者〕 菅谷 武芳、西永 慈郎、大島 隆治、永井 武彦、上川 由紀子
（常勤職員5名）

〔研究 内容〕

地球規模・長期の温暖化対策として、 CO_2 の削減は不可欠の技術課題である。本研究においては、我国の地球規模・長期の温暖化対策への貢献として、2030年で1年あたりの太陽光発電による省エネルギー21億 kWh および CO_2 削減量116万 t CO_2 を達成することを目標として、太陽光発電技術における革新的なイノベーションの創出を行う。具体的には、本事業の貢献による化合物薄膜系太陽電池の国内生産量を2030年に2 GW/年とすることを目標とする。その目標を達成するためには、太陽光発電技術を大規模に普及させる必要があるが、そのためには発電コストを7円/kWh（ジェネレーションパリティ）まで低下させる必要がある。そのためには、従来技術の延長上ではない、新しい太陽電池の開発が必要である。従って、本事業の目的は、最終的には太陽光発電技術で発電コスト7円/kWh を実現することであり、具体的には以下の(1)~(3)を目的とする。

- (1) CIGS ($\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$) 太陽電池やペロブスカイト系太陽電池などの化合物薄膜太陽電池に注目し、理論限界効率に迫る高性能な単接合化合物薄膜太陽電池を開発する。
- (2) 産総研が持つスマートスタック技術を駆使して、上

記(1)で開発した単接合化合物薄膜太陽電池を多接合化し、高効率な多接合薄膜太陽電池を開発する。

- (3) 多接合薄膜太陽電池の低コスト化・高信頼性化を行い、発電コスト7円/kWh を実現する。

平成28年度は、昨年度整備した分子線エピタキシー装置を用いて、多結晶 CIGS 成膜で実用化されている三段階法による単結晶薄膜の成膜を行った。三段階法の利点として、裏面障壁構造形成および Cu 組成の精密な制御が挙げられる。第一段階として、単結晶基板上に InGaSe 層を成膜すると、InGaSe 層が単結晶として成膜され、その後の第二段階、第三段階後は CIGS 層が単結晶として結晶成長する。得られた試料の CdS/CIGS、CIGS/結晶基板の界面を透過電子顕微鏡にて調査したところ、格子像が明瞭に確認できる高品質な界面であった。また、時間分解発光スペクトル測定より、多結晶 CIGS 薄膜よりも発光寿命が長いことが確認され、高効率太陽電池としての潜在能力が高いことがわかった。しかし、三段階法による CIGS 成膜は、Cu poor 状態にて形成された CIGS 層に結晶欠陥およびボイドが多数発生しており、高温成長および Cu rich 状態での結晶成長が重要であることがわかった。

三段階法にて成膜した CIGS 単結晶薄膜上に CdS 層を堆積し、その後 ZnO 透明電極、Al 電極を堆積させた。その後、メカニカルスクライブによって、太陽電池端面を切断し、裏面電極を形成後、太陽電池特性を評価した。GaAs 基板上および Ge 基板上 CIGS 単結晶太陽電池は光起電力を示し、CIGS/p-type Ge、CIGS/p-type GaAs 界面がオーミック接触であることが確認された。一方、多結晶 CIGS 太陽電池と比べ、直列抵抗が高く、裏面電極構造の最適化が必須である。三段階法にて Cu 組成を制御することで、並列抵抗の高い CIGS 太陽電池を得たが、GaAs 基板上ではアルカリ金属が添加されないため、CIGS 層のホール濃度は 10^{14} cm^{-3} 程度であった。そのため開放電圧、曲線因子 (FF) が低く、変換効率は11 %程度であった。さらなる変換効率向上のためには、層構造やキャリア濃度の制御が必須である。

化合物単結晶薄膜を用いたスマートスタック太陽電池の開発については、青板ガラス基板上 CIGS 太陽電池上にスマートスタック技術にて、単結晶薄膜太陽電池を貼り付ける技術の予備的検証を行った。青板ガラス基板上 CIGS 太陽電池は表面に凹凸があるため、化学機械研磨法により、酸化亜鉛透明電極を平坦にする必要がある。酸化亜鉛透明電極の平坦化に関して、研究協力者と共に議論を行い、端面の処理が重要であることが明らかとなった。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 太陽電池、化合物半導体

〔研究 題目〕 平成28年度エネルギー使用合理化国際標準化推進事業委託費（省エネルギー等国

際標準共同研究開発・普及基盤構築事業）：大規模分散電源用大型パワーコンディショナの性能試験等に関する国際標準化・普及基盤構築

〔研究代表者〕 大谷 謙仁（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 大谷 謙仁、橋本 潤、菅原 秀一、鈴木 正一、小西 博雄、合田 忠弘、竹中 清（常勤職員2名、他5名）

〔研究内容〕

本事業では、産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所に整備されたグローバル認証基盤施設等において、標準化に関する実証データの取得や国際会議への出席等による関連技術情報の収集を行い、本事業内で設置する委員会での検討結果を踏まえつつ国際標準原案の開発・提案を実施すると共に、普及を見据えた試験・認証基盤の構築などの普及基盤構築として、具体的には主に以下の内容を実施した。

- ① パワーコンディショナ（PCS）用電力系統模擬交流電源の要求事項及び太陽電池模擬直流電源の要求事項を検討し、2016年12月に NP プロジェクトの開始が承認された。
- ② EMC 新規規格策定に向けた国際標準化に関し、IEC62920（TC82）の審議に必要なデータを取得するため、大型（500 kW 程度）PCS のイミュニティ試験（IEC 61000-6-2）、エミッション試験（IEC 61000-6-4）を行った。この結果を用い、平成28年度開始当初 CDV（新規提案文書）であった規格案を FDIS 文書発行まで進めた。
- ③ 信頼性・性能の国際標準化に関して、PCS の発電量を予測するための新しい効率測定法を開発し、国際標準提案を行った。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 太陽光発電、電力変換、国際標準化

〔研究題目〕 超臨界地熱資源による革新的発電のための坑内機器基礎技術・素材の開発

〔研究代表者〕 浅沼 宏（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 浅沼 宏、石橋 琢也、最首 花恵（常勤職員3名）

〔研究内容〕

国内研究者は2050年以降の大規模発電の実用化を目指して超臨界地熱資源開発の実現可能性を検討しているが、その中で、深度4000～5000 m、500℃、60～70 MPa、高腐食性流体環境下で動作可能なモニタリングシステム、サンプラ等坑内機器の開発が重要かつ難易度が高い課題として取り上げられている。本事業では、最終的に超臨界地熱井内での実用化を目的とし、その第一ステップとして5年の期間で350℃、60 MPa、弱酸性

の坑内で使用可能な素材、各種機構の実現を目標に研究開発を行っている。

研究期間第2年目の本年は、初年度に基礎部分の設計・製作を行った「超臨界坑内模擬装置」加圧部分へ導線、光ファイバの導入を可能にするフィードスルー機能を付加し、380℃、60 MPa 以上の環境での耐環境試験を実現可能にし、新素材を用いた圧力容器の耐環境試験を開始した。また、それと同時に光ファイバ分布型温度、圧力、振動計測システムの設計、試作を行い、超臨界坑内模擬装置を使用して、実験で使用した光ファイバの性能上限である300℃までの領域で測定が可能であることを実証した。今後、米国 EGS 研究開発サイトでの実証試験実現を念頭に坑内機器プロトタイプの開発を行って行く予定である。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 超臨界地熱、坑内機器、シリコンカーバイド、光ファイバセンサ

〔研究題目〕 EGS 設計技術による地熱発電可能地域の飛躍的拡大

〔研究代表者〕 浅沼 宏（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 浅沼 宏、石橋 琢也（常勤職員2名）

〔研究内容〕

地下への加圧注水等により人工的に能力を改善した地下地熱システムを EGS（Enhanced Geothermal Systems）と呼ぶ。EGS 型の地熱開発では、地下の状態、開発目的等に応じて事前に工程設計を行うとともに EGS の性能を事前予測するための一連の技術構築（シミュレーション技術）が不確定性の低減、種々のリスク回避のために重要である。

本事業では超臨界地熱開発を含めた EGS 型地熱開発を念頭に、地下への注水により誘発された亀裂のせん断滑りにともなう透水性変化、地震現象、亀裂安定性変化等の現象理解の深化を進め、さらに得られた知見をシミュレータへ組み込み、より現実性の高い EGS 造成シミュレーションを実現することを目的として、5年間の計画で実施している。

本研究開発では、最終的に米国 DOE が実施している EGS 実験サイトでの実証試験を通じた性能評価を目的としているが、プロジェクト2年目の本年度は、初年度に基礎部分の設計・製作を終えた「き裂せん断滑り実験装置」の機能・性能を向上させ、当初想定した性能を有する実験装置を実現し、予備実験を開始した。また、それと同時に、当所が開発してきた EGS 造成・抽熱シミュレータへ、亀裂開口幅不均質性分布、超臨界流体を含む2相流体の存在、亀裂せん断滑りにともなう浸透率変化等の現象をモデル化して組み込みシミュレーションを実現可能にした。

〔領域名〕 エネルギー・環境

【キーワード】 EGS、加圧注水、貯留層シミュレーション

【研究題目】 平成28年度革新的エネルギー技術国際共同研究開発事業（クリーンエネルギー技術開発）：系統協調型の分散電源大量導入技術の開発

【研究代表者】 大谷 謙仁（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】 大谷 謙仁、橋本 潤、鈴木 正一、小西 博雄、合田 忠弘（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

再生可能エネルギー発電システムの機器性能の共通試験方式の開発においては、IEA ISGAN Annex.5（SIRFN）の活動に参画し、サンディア国立研究所（SNL）等のSIRFN参画機関との次世代型パワーコンディショナの共同試験に関する多くの協議を行った。特に、再生可能エネルギー発電システムが大量導入された場合には電力系統の安定運用のため、大型の蓄電池システム（BESS）の活用が不可欠である。BESS用の制御プロトコルを米欧4機関で開発し、技術仕様をIEA ISGANのホームページで公開した。

米国、特にハワイ州におけるスマートインバータの導入事例を前年度に引き続いて調査した。2016年以降に改定される米国本土（特にカリフォルニア州）及びハワイ州での系統連系規程の動向とそれを踏まえたスマートインバータの機能試験方式、ならびに、近い将来にハワイ州で導入を計画している大型蓄電システムへの要求機能を確認した。

太陽光発電（以下、PV）やBESSにスマートインバータを使い、系統安定化機能を導入した場合に、配電系統に与える影響（特に電圧による導入制約）を検討・評価可能なシミュレーションモデルを開発した。これによりスマートインバータを利用したPV及びBESSが多数台配電線フィーダに配置されることを想定した様々な電圧分布等の計算を可能とし、電圧制約等の解消のためのスマートインバータの試験的機能検証を行った。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽光発電、電力変換、スマートグリッド

【研究題目】 スマートモビリティシステム研究開発・実証事業：専用空間における自動走行等を活用した末端交通システムの社会実装に向けた実証

【研究代表者】 加藤 晋（知能システム研究部門）

【研究担当者】 加藤 晋、有隅 仁、川端 伸一郎（知能システム研究部門）橋本 尚久、Thompson Simon、阪野 貴彦（ロボツ

トイノベーション研究センター）
（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

環境・エネルギー制約への対応の観点から、我が国のCO2排出量の約2割を占める運輸部門において、新たな取組である自動走行の普及による省エネへの期待が高まっている。一方で、高度な自動走行の社会実装に向けては、産学官の協調が不可欠な技術や事業環境等の課題が存在する。本事業では、2020～2030年頃の実現が期待される、専用空間における自動走行等を活用した末端交通システムを対象として、安全性・社会受容性・経済性の観点や、国際動向等を踏まえつつ、必要な技術開発と実証を通じて、その社会実装に必要な技術や事業環境等を整備することを目的としている。具体的には、標準化等の協調領域が大きく、事業モデルが存在しない、専用空間における自動走行等を活用した末端交通システムについては必要な技術開発と実証、事業面での検討を行う。なお、『日本再興戦略』改訂2015において「改革2020」プロジェクトとして位置づけられている、高齢者等の移動手手段（専用空間における自動走行等を活用した末端交通システムを含む）については、この技術開発や実証等を通じて、2020年にショーケース化することを目指している。そこで本研究開発では、公共的な利用を前提とし、専用空間を確立することにより自動走行技術を取り入れた地域の活性化等につながる新しい交通手段の実現と社会実装を目指し、導入場所の特徴や事業性などを鑑みて、小型電動カートと小型バスという乗車人数の異なる車両を用い地域に応じた運行管理システム等の開発を行っている。

平成28年度は、それぞれの車両の開発と共に、1）基準策定に向けた研究開発として、末端交通システムの要件整理を整理し、テスト車両における基本制御機能の構築と、自動走行と遠隔制御等を検証した。さらに、遠隔監視・操作制御を含む運行管理システムの設計や、実証評価用車両を開発、動力源管理と補充等の技術についての検証を行った。2）実証実験における課題抽出と実施候補地の選定としては、実証評価地域を公募し、現地調査、審査により、4地域（小型カート：福井県永平寺町、石川県輪島市、沖縄県北谷町、小型バス：茨城県日立市）を選定した。3）社会受容性の構築と実証実験における評価検証として、専用空間等の設計とシェアードスペースを検討し、末端交通システムの在り方と社会受容性に検討を行い、インパクトマップの策定を試み、報告書にまとめた。

【領域名】 情報・人間工学

【キーワード】 自動運転、自動走行、遠隔監視・操作、ラストマイルモビリティ、末端交通、実証評価、社会実装

【研究題目】 平成28年度エネルギー使用合理化国際標

準化推進事業（省エネルギー等国際標準共同研究開発:IoT 社会実現に向けた住宅設備連携における機能安全に関する国際標準化）

【研究代表者】 小島 一浩（知能システム研究部門）

【研究担当者】 小島 一浩、関山 守、谷川 民生、
江崎 正、西尾 秀樹
（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

様々な生活データが集約されるスマートハウスを軸として、そのデータを他の産業で活用することで、IoT 社会のイノベーションが期待される。一方、住宅外で生成される他産業のデータを活用することで、付加価値の高いサービスをスマートハウスにおいて提供可能となる。これらデータ収集および各種サービス提供においては、住宅設備のネットワーク連携が必要となる。しかし、現状では、住宅設備機器のネットワーク化において、センサー情報や制御情報の優先度が規定されておらず、安全に設備作動をさせる指針がない。本事業では、上記の指針として、住宅設備連携における機能安全規格に関する国際標準の開発と提案を行う。具体的には、IoT を活用したスマートハウスの実証実験を行いつつ、ネットワーク化された設備機器の連携動作によるユースケースを抽出し、安全性におけるリスクアセスメントを行う事で、機能安全規格としての規定内容を明確にし、国際提案する。本事業で開発される標準で住宅設備連携における安全性が確保され、IoT を活用したスマートハウスが普及することにより、電力消費量を削減し省エネルギー化に貢献する。

平成28年度は、本事業で設置する規格作成WGにおいて、周辺規格調査および標準化提案先調査を実施した。また、実証実験を通じて抽出したユースケースを分析することにより国際提案内容の検討を行った。

【領域名】 情報・人間工学

【キーワード】 IoT、住宅、安全、国際標準

【研究題目】 平成28年度エネルギー使用合理化国際標準化推進事業委託費（省エネルギー等国際標準共同研究開発事業：異種材料複合体の特性評価試験方法に関する国際標準化）

【研究代表者】 堀内 伸（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】 堀内 伸、船橋 正弘、伯川 秀樹、
大沼 吉乃（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

近年、自動車分野において、環境負荷に配慮した燃費向上の要求により、軽量化への取り組みが従来以上に加速されている。軽量化効果による低燃費化や CO₂削減に向け、金属の特性と樹脂や CFRP の特性を補完し合う異種材料の複合体は、国内外市場において非常にニ

ズが高まっている。近年国内メーカーを中心に、金属-樹脂、および金属-CFRP の複合体のための革新的技術が開発され、自動車部品や電子部品への応用が期待されているが、接合特性および耐久性の評価方法が確立されていないことが、本技術の産業分野への普及が進まない理由の1つになっている。本事業では、日本発の技術である「樹脂-金属」および「金属-CFRP (CFRTP)」異種材料複合体の特性評価試験方法を他国に先駆けて国際標準化し、日本の省エネルギー技術の国際競争力強化、及び日本の優れたモノ作り技術の差別化を図っていくことを目的とする。

「樹脂-金属」特性評価試験方法規格案の有用性を実証するため、素材の組合せの違い、構造接着剤による接合などによる特性評価やデータ取得を広範に行った。特に、長期耐久性評価試験（高温高湿、冷熱衝撃試験等）を実施し、信頼性評価試験データの取得を実施した。評価結果が接合界面の特性を反映していることを実証するため、電子顕微鏡等による解析により接合界面の構造と破壊機構を明らかにした。さらに、ラウンドロビンテストを実施し、評価方法の正当性を実証した。「金属-CFRP (CFRTP)」異種材料複合体の特性評価試験方法の標準化提案のため、破壊靱性特性評価を重点的に検討し、CFRP の破壊靱性評価規格である ISO15024を参考にし、CFRP (CFRTP) / 金属接合界面の破壊靱性評価のための最適な測定条件を見出した。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 接合、界面、標準化、成形加工

【研究題目】 大口径マルチモード光ファイバ・コネクタ及びその通信性能に関する国際標準化・普及基盤構築

【研究代表者】 松田 直樹（製造技術研究部門）

【研究担当者】 松田 直樹、大場 光太郎（ロボットイノベーション研究センター）
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本事業では、車載用光部品の汎用化、低コスト化を目指し、主に短距離用の光ファイバを使った情報伝達配線（LAN）に関する国際標準化及び普及基盤構築を行う。具体的には、今後主流となる大口径マルチモード光ファイバを用いた高速車載 LAN を主な対象として、IEC では光信号に関する試験・評価方法等に関する国際規格の開発、ISO では車載 LAN 用光ファイバ、光コネクタ等に関する国際規格の開発を行う。また、IEEE で進められている車載 Ethernet に関する標準化活動へも参加し、大口径マルチモード光ファイバを使った IEEE 規格の開発に積極的に関与する。IEC、ISO、IEEE 規格における整合を図り、ダブルスタンダードとならない様に調整すると同時に、各規格の有効性を実証システムや試験研究を通して示しながら、IEC、ISO、IEEE での規格

発行を推進する。また、それらを盛り込んだ設計・評価ツールを開発して、大口径マルチモード光ファイバを用いた高速車載 LAN の次世代自動車への普及を促す。車載 LAN における光ファイバの使用は自動車の軽量化に伴う省電力化により二酸化炭素の排出を抑え燃費向上を促し省エネルギー化に貢献する。

産総研は他の参加機関と協力し以下の内容を行った。

- 1) 実証・認証委員会を設置し、実証システムの構築に当たり、光トランシーバ (FOT) 及びカメラシステム等の実証デバイスを試作し、光物理層チームで試作される帯域保証コネクタ、複合ケーブル等を用いて評価用システムを作り、ネットワーク評価やシステム性能評価等を行った。1Gbps イーサネット実証システムを高機能化し、試作する光コネクタ、FOT、光ハーネス等を組み合わせ、複合環境振動試験機等を用いてシステム性能やネットワーク性能等の特性評価を行った。
- 2) 実証試験などを経て、高速車載 LAN の実証システムを構築した。
- 3) 認証検討チームを作り、本事業で開発される国際規格や IEEE 規格をベースとして、認証対象とする試験項目の検討や認証体制構築スキームを作製した。
- 4) 光システム設計・評価ツールとのデータ比較検証等を行い、ツールの有効性検証や精度向上を図るとともに、1Gbps 超の新規提案に貢献するべく多値化の試験を行った。
- 5) ホームページの公開・運営や学会、展示会等への参加を通じて事業成果の普及を図った。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕光通信、ギガビットイーサネット、国際標準・国際規格、大口径マルチモード光ファイバ

〔研究題目〕スマートマニュファクチャリングに関する国際標準化・普及基盤構築

〔研究代表者〕加納 誠介 (製造技術研究部門)

〔研究担当者〕加納 誠介、増井 慶次郎、芦田 極、近藤 伸亮、古川 慈之、Ryabov Oleg、松本 光崇、安藤 慶昭、大岩 寛、中坊 嘉宏、花井 亮 (常勤職員11名、他1名)

〔研究内容〕

我が国の製造製品に係る品質の高さとコンポーネントの強みを生かしつつ、製造にかかわるデータや情報が滞りなく流通するよう、プラットフォームを介して流通する情報の形式をそろえた「(情報の) プロファイル」を標準化しておくことが求められる。

本事業では、品質や製造効率に係る情報をつないでいくことができる「プラットフォーム」と「プロファイル」を試作し、そのメリットを実証・検証し、同時にセ

キュリティ方式の検討などを進め、国際提案に含める範囲を明確化しながら、工場を統括する経営部門から見た観点や予知保全の観点、販売・保守の観点など様々なユースケースに共通したリファレンスモデルを作成し、リファレンスモデルの要件仕様やその運用にかかわるガイドラインを策定して国際標準として提案する計画である。今年度は、プラットフォーム・リファレンスモデル開発 (実証試験のための試作) では、機械加工系モデル生産ラインによるプラットフォームの試作・評価として「機械加工系モデル生産ラインの構築」「機械加工系モデル生産ラインにおける業務シナリオの設計」「機械加工系プロファイル、プロトコル、プラットフォームの設計と試作」「モデル生産ラインにおける業務シナリオの試験運用によるプロファイル、プロトコル、プラットフォームの検証評価及び改修」を行った。また、国際標準化に向けた委員化活動や海外研究機関等の意見交換を行った。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕スマートマニュファクチャリング、ものづくりと情報技術の融合、国際標準化

・産業技術研究開発委託費

〔研究題目〕ハイパースペクトルセンサー・データの高度利用等に係る研究開発

〔研究代表者〕土田 聡 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕土田 聡、岩男 弘毅、山本 浩万、小畑 建太、永谷 泉、浦井 稔、堂山 友己子 (常勤職員4名、他3名)

〔研究内容〕

地球観測の中で高波長分解能を有するハイパースペクトルセンサーは、高波長分解能のデータを取得することができるため従来センサーに比較し、より詳細な対象物の性質分析が期待される。経済産業省が現在開発中の国際宇宙ステーション (ISS) に搭載したハイパースペクトルセンサー (以下、ISS ハイパー) により取得されるデータ (以下、ISS ハイパーデータ) を活用するためには、校正・検証の技術開発が不可欠である。当部門では、代替校正、相互校正、校正アーカイブシステムの開発およびデータの処理アルゴリズム、特に大気補正プロダクトに係る作成処理技術を実施した。

代替校正情報の整備については、校正アーカイブシステムへの実装を前提にした整備を進めた。また、反射板校正技術の開発は、反射板 BRDF モデルを開発・導入し、その測定システムの改良・改善を検討した。さらに、代替校正野外実験については、ハイパースペクトルセンサーを ISS 搭載としたことによって生じる問題、観測頻度減少・観測条件悪化に対応すべく自動観測サイトの検証・整備に着手した。

相互校正においては、他国の ISS 搭載ハイパースペクトルセンサーを利用した相互校正アルゴリズムの検討・構築を行った。相互校正における波長応答特性の違

いに起因する放射輝度観測値の不確かさ（土地被覆依存性）を評価するための感度解析を行い、地表面の影響および非植生領域を対象とすべきことを確認した。また提案手法における波長応答特性の違いに起因する不確かさに対する太陽照度、大気、土壌の影響を評価するための感度解析を行い、提案手法による不確かさの低減を確認するとともにバンドごとの不確かさを見積もった。マルチスペクトルセンサーを用いた相互校正について検討をはじめ、ISS ハイパーデータの視野天頂角・方位角算出のための処理モジュール開発・データフォーマットの調査を進めた。

校正アーカイブシステム構築に向けた設計および開発環境の整備を進めた。これまでに検討してきた校正アーカイブシステム処理手順仕様に従い、校正アーカイブシステムに係るインターフェースの実装を行った。本開発において、ラジオメトリック DB 更新後の検証用に利用する L0B データや、代替校正・相互校正に利用する L1 データの転送先も実装した。ラジオメトリック DB サンプルデータではフォーマットに合わせて機上校正パラメータ等を追加した。また、各種データの保存機能（アーカイブ機能）を開発してシステムに導入し、校正アーカイブシステムの基本動作を確認した。

大気補正については ISS ハイパーデータに対応すべく、大気補正手法およびユーザへ補正情報を提供するためのサービス機能を見直した。また、これに必要なアルゴリズム・ソフトウェアおよびユーザインターフェース等の大気補正処理システムの改修すべき点を明瞭化、一部の改修に着手した。さらに、その検証計画の具体化検討を開始した。

さらに、全ての研究開発の結果を踏まえて、校正技術およびデータ処理アルゴリズムの研究開発に係る、「ISS HSIUI ハイパースペクトルセンサー放射量校正計画書」「ラジオメトリック DB に入るパラメータ定義」「大気補正処理アルゴリズム理論記述書」の三文書を更新した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】衛星画像、校正・検証、ハイパースペクトルセンサー、ISS

・放射性廃棄物処分基準調査等委託費

【研究題目】平成28年度地層処分技術調査等事業（地層処分共通技術調査：沿岸部処分システム高度化開発）

【研究代表者】丸井 敦尚（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】丸井 敦尚、町田 功、小野 昌彦、井川 怜欧（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

我が国では、これまでの原子力エネルギー利用に伴い放射性廃棄物が多量に発生しており、この処理処分対策を着実に進める必要がある。高レベル放射性廃棄物等の

地層処分については、「原子力政策大綱」等に沿って、国や研究開発機関等がそれぞれの役割分担を踏まえつつ、密接な連携の下で基盤研究開発を着実に進めていくこととしている。平成27年5月22日に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」では、国が科学的有望地を提示し、処分地選定調査への協力を自治体に申し入れるよう改定され、平成29年3月に総合資源エネルギー調査会地層処分技術ワーキンググループにて地層処分地の具体的要件・基準について検討が進められた。このなかで、詳細な現地調査を行った場合に安全な地層処分が成立すると確認できる可能性が相対的に高い地域は「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」とされ、さらに、この中から海岸からの距離が短い地域（沿岸海底下や島嶼部を含む）を「輸送面でも好ましい地域」と整理されている。そして、沿岸部における特性と留意事項が示され、今後も技術の高度化やデータ等の拡充に取り組むことが重要であるとの指摘がなされた。

本委託事業である、沿岸部処分システム高度化開発は、産業技術総合研究所のほか、日本原子力研究開発機構、電力中央研究所、原子力環境整備・資金管理センターとの共同受託研究である。沿岸部における地層処分技術の信頼性及び安全性の向上を目的に、沿岸部を対象とした技術課題の整理を行うとともに、概要調査段階等で必要な技術開発を地質環境の調査技術・工学技術・安全評価技術に区分した上で取り組む。この枠組みにより、各分野の技術開発が事業全体の進捗を確認しながら進められるようになることから、地層処分研究全体の中の各分野の位置付けがより明確になり、全体の流れを意識した研究開発を行うことができる。具体的な事業内容は、

- (1) 沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する検討
- (2) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発
- (3) 沿岸部における工学技術の高度化開発
- (4) 沿岸部における安全評価技術の高度化開発

の4項目からなる。(1)では、平成27年度に組織した、関連する専門性を有した学識者と、原子力発電環境整備機構及び関連研究開発機関等から構成される研究会を開催し、研究の運営や取りまとめに関する議論を実施した。

(2) 沿岸部における地質環境の調査技術の高度化開発には、①沿岸部の地下水長期安定性評価技術の検討、②沿岸部における地質環境の調査・解析・評価技術の検討、③沿岸部の地質環境の情報整備が含まれており、産業技術総合研究所は、これらの課題に対して、日本原子力研究開発機構ならびに電力中央研究所と共同して研究を進めた。

①沿岸部の地下水長期安定性評価技術の検討では、日本列島の沿岸部の深層地下水の性状（水質、地下水年代など）を調査する。この目的のために、既存の観測井からダブルパッカーを用いた揚水あるいは温泉井からの地

下水の採取を行い、適用例の少ない放射性同位体や希ガスを含む年代トレーサーの分析を行う。そして得られた地下水年代値と、調査地点の地形、地質、地理学的特性などを比較する。これらの調査は県、市町村、井戸所有者への丁寧な説明後に行われるものであり、平成28年度は4地域約30地点の調査を実施した。

②沿岸部における地質環境の調査・解析・評価技術の検討では、非ダルシー領域、すなわち動水勾配が小さいときに地下水の流速が著しく低減する領域の範囲を示し、その評価方法を提示することを目的としている。加えて、従来未解明な部分が多かった、深層（海面下200m以上）での海底湧出地下水の実態把握などを行う。平成28年度は、選定された地域において地下水流動概念モデルを構築し、定められた深度での地下水年代を求めてダルシー則に基づく流動解析結果との比較を行った。また、海底湧出地下水調査については遠隔操作型無人潜水艇の予備試験等を行った。

③沿岸部の地質環境の情報整備では、沿岸部の自然現象及び地下水長期安定性に係る検討を行うためのデータ提供を目的として、沿岸部の地球科学に係る文献を収録したデータベースを構築するとともに、統計学に基づく整理を行う。さらに構築したデータベースを用い、文献数の地域的な違い、調査手法の適用数などの考察を加え、沿岸部研究全体の研究進捗状況を明らかにする予定である。平成28年度の収録文献数は約80万件である。

(3) 沿岸部における工学技術の高度化開発に関しては日本原子力研究開発機構が、(4) 沿岸部における安全評価技術の高度化開発に関しては原子力環境整備・資金管理センターが中心となり、精力的に課題の推進を図った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】沿岸域、地層処分、地質環境、深部地下水、長期安定性、調査技術

・工業標準化推進事業委託費

【研究 題目】クラウドセキュリティに資するバイオメトリクス認証のセキュリティ評価基盤整備に必要な国際標準化・普及基盤構築

【研究代表者】寶木 和夫（情報技術研究部門）

【研究担当者】寶木 和夫、大塚 玲、大木 哲史、山田 朝彦（常勤職員2名、他2名）

【研究 内容】

バイオメトリクス認証技術に対する社会的に認知されたセキュリティ評価基準がないことで、各製品のセキュリティ性を客観的に評価できない状況を改善するため、バイオメトリクス製品のCC（Common Criteria）認証に向け、国内に、①産業界が無理なく参加可能、②十分に有効性があり、③継続性のある、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価基盤を3年間で整備することを目的とした。

研究計画として、精度については評価ツール、また安全性についてはCCの枠組みに則ってPP（Protection Profile）及びPPに付随する評価手法を作成し、更に評価機関及び認証機関がPP及び評価手法に基づく評価及び認証を実施可能にすることによって、バイオメトリクス製品のセキュリティ評価・認証基盤を整備することとした。また、本事業に参加するベンダー各社の協力を得て、各社のバイオメトリクス製品に対して、作成する精度評価ツールを適用して精度評価を実施し、開発したPPを基に各社製品のST（Security Target、セキュリティ機能仕様書）を作成して、各社のバイオメトリクス製品に対するパイロット評価・認証の実施に取り組むこととした。

平成28年度は、パイロット評価・認証の実施に必要な脆弱性評価手法を開発した。具体的には、評価機関の評価作業実施のための偽造物作成方法・攻撃方法の開発である。パイロット評価・認証の対象製品（TOE（Target Of Evaluation））を考慮した脆弱性評価手法を研究し、評価機関に提供して、パイロット評価・認証に活用した。評価機関は、TOEを使った予備テストを経て、TOEに適した偽造生体を設定し、効率的に侵入テストを実施できた。

本事業で検討したセキュリティ評価方法・認証基盤を適用し、パイロット評価を平成29年2月に完了した。評価完了報告書が、産総研に納品され、認証機関であるIPAにも送付された。パイロット評価・認証の実施により、本事業で作成したセキュリティ評価手法が妥当であることを確認した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】バイオメトリクス、脆弱性評価、セキュリティ評価・認証基盤

【研究 題目】平成28年度工業標準化推進事業委託費（戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発事業：アクセシブルデザイン及びその適合性評価に関する国際標準化））

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、倉片 憲治、伊藤 納奈、大山 潤爾、佐藤 洋、佐川 賢、水浪 田鶴、野田 景子、榎 和子（以上、人間情報研究部門）、田村 繁治（バイオメディカル研究部門）、茂里 康、長澤 真紀（以上、健康工学研究部門）、横井 孝志（日本女子大学）（常勤職員7名、他6名）

【研究 内容】

本事業では、JIS「高齢者・障害者配慮設計指針」シリーズ、ISO/IEC Guide 71、及びISO/TR 22411に基づいて、高齢者及び障害者のニーズに対応した製品やサー

ビスに関する一連の国際規格原案を作成し、ISO に提案する。また、その目的のために、高齢者や障害者の人間特性データ収集のための実験等を行う。さらに、それらの規格に準拠し、アクセシビリティに配慮された製品であることを確認し、消費者に的確に示すための適合性評価制度の検討を行う。

平成28年度の実績は以下のとおりである。(1) アクセシブルデザイン適合性評価制度に関する指針の国際提案に向けて、評価基準の作成を行った。(2) ISO/TR 22411の改訂作業を ISO/TC 159/WG 2にて行った。

(3) ISO/TC 159における国際標準化に関して、次の i) ~ v) に関する調査・実験の実施、標準化提案の準備、原案の審議等を行った：i) 色の組合せ方法、ii) 最小可読文字サイズ推定方法、iii) 触知図形の基本設計方法、iv) 消費生活用製品の報知光、v) 消費生活用製品の音声案内。また、(4) 上記(1) ~ (3)の国際標準化活動を円滑に行うために、欧州との連携強化及び調整を行った。

平成29年度は、引き続き個々の ISO 規格原案の作成作業等を進めていく予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】高齢者・障害者配慮、ISO/IEC Guide 71、国際標準化、JIS、感覚特性、身体特性

【研究 題 目】戦略的国際標準化加速事業（生活支援移動ロボットの非接触センシング技術に関する国際標準化）

【研究代表者】角 保志（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】角 保志、藤原 清司、中坊 嘉宏（ロボットイノベーション研究センター）
金 奉根（知能システム研究部門）
山田 陽滋（名古屋大学）
（常勤職員4名、他1名）

【研究 内 容】

本事業は、ISO13482で規定される生活支援ロボットの中で、移動ロボットに関する非接触センシング技術の試験方法に関する国際標準化を行うことを目的とする。本事業では、以下の研究開発を実施する。

① 非接触センサの人検知性能が、気象現象から受ける影響についての評価基準を策定し、試験方法を開発する。平成28年度は、降雨空間におけるセンサ性能評価を行うための降雨環境試験装置を開発した。また、前年度までに開発した模擬降雪装置による模擬降雪の定量化を行った。さらに、（舞台演出等で用いられる）フォグマシンを利用した人工霧装置試作機を開発し、自然霧との比較を行った。

② 非接触センサの人検知性能が、検知対象の部位の移動・運動によってどのような影響を受けるかについて

の評価基準を策定し、試験方法を開発する。平成28年度は、移動ロボットによる人や障害物の運動情報に関する信号取得の信頼性を評価する手法の開発と、開発した手法に関する基盤データを取得するための試験装置の開発を行った。また、IEC/TC44/W14で議論されている IEC/TS 62998 委員会原案 (CD) の V&V（安全性検証と妥当性確認）要求事項に準拠した規格ドラフト原文の作成を行うとともに、その根拠となるフイービリティ評価のサンプルを示した。

③ 開発した耐外乱試験方法と対人運動検知性能試験方法をとりまとめ、規格素案を策定する。平成28年度は、上記①と②で得られた基盤データから、規格素案の検討および策定を行った。耐環境試験方法としては、降雨空間試験装置によるセンサ評価試験方法を規格素案として取りまとめた。対人運動検知性能試験方法としては、非接触安全センサの移動体運用例を IEC/TS 62998の附属書としてとりまとめ、IEC/TC44/WG14に提案した。また、同 WG に参加し、規格策定に貢献した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】生活支援移動ロボット、安全センサ、性能評価、国際標準化

【研究 題 目】平成28年度工業標準化推進事業委託費（戦略的国際標準化加速事業（国際標準共同研究開発事業：水素燃料計量システム等に関する国際標準化））

【研究代表者】高辻 利之（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】高辻 利之、寺尾 吉哉、森岡 敏博、小谷野 康宏（常勤職員4名）

【研究 内 容】

燃料電池自動車への水素燃料の充填に際して用いられる水素燃料計量システムの高精度化を目的として、研究を行った。

脱圧量算定方法に関しては、水素ステーションの脱圧部を模擬した配管を作製し、簡易チャンバーを用いて衡量法と状態方程式に基づいて、脱圧部配管体積を実測し、繰り返し精度を検証した。

また、コリオリ流量計の性能評価については、コリオリ流量計に実際に高圧水素を流すことによる精度試験を行い、3種類のコリオリ流量計の特性を得た。

さらに、コリオリ流量計に対して、環境温度変化や振動に対する耐久性能を行い、出力がこれらの外乱に影響されず、極めて安定していることがわかった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】国際標準化、水素燃料計量システム、燃料電池自動車、水素ステーション、コリオリ流量計、法定計量

【研究 題 目】平成28年度工業標準化推進事業委託費

(戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動)「再生医療製品の製造に対して有効なフレキシブルモジュラープラットフォームの要となる無菌接続インターフェースに関する国際標準化」

〔研究代表者〕 廣瀬 志弘 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 廣瀬 志弘 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

再生医療等製品は滅菌ができないため、無菌操作法に基づく製造工程の構築が必要である。再生医療等製品の製造工程は極めて煩雑であり、多くの設備・機器が使用されている。また、製造期間は、数週間から数カ月と長期であることが多く、厳密な無菌性の維持が不可欠なため、汚染源である作業員から製品を物理的に隔離し、無菌環境の維持が長期にわたって可能なアイソレータシステムが有望であり、無菌的に装置群を脱着するための接続インターフェースが大きな役割を果たす。既に、無菌製剤製造においては ISO/TC198/WG9にて、ISO13408-6 (アイソレータシステム) が策定済みであるが、再生医療等製品製造に対応する国際規格は未策定である。フレキシブルモジュラープラットフォーム (fMP) の要となる無菌接続インターフェースの国際標準化を行うことで、原料から最終製品まで一貫した無菌操作を達成できるとともに、製造コストを抑制するシステム構築が可能となる。また、アイソレータ本体や様々な周辺装置を含めたアイソレータシステムに対し、固有技術を有する企業間の相互開発や新規参入を容易にし、再生医療分野における産業拡大へと導き、日本が得意とする要素技術のシステム化をもたらし、本産業分野における製造技術の国際競争力を高めるものと考えられる。

ISO/TC198/WG9国内委員会および無菌接続インターフェース有識者委員会において、無菌接続インターフェースの内容を含めた ISO13408-6の改訂ドラフトについて議論し、NP 提案に向けた国内コンセンサスを得た。その後、ISO/TC198/WG9国際会議にて、ISO13408-6の改訂ドラフトを議論し、日本 (PL)、ドイツ、英国、米国、オーストラリアから構成されるタスクフォースでドラフト作成を進めた結果、ISO13408-6の改訂版として正式に NP 登録が承認され、現在 CD 作成中である。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 再生医療、無菌操作、アイソレータ

〔研究題目〕 平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動)「手術ロボットに関する国際標準化」

〔研究代表者〕 鎮西 清行 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 鎮西 清行、鷲尾 利克、小関 義彦 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

本研究課題は、手術ロボットとその周辺機器等の関連分野に関して、国際標準として盛り込むべき内容、我が国の強みを踏まえた標準化戦略と、その一環として今後強化をはかるべき点につき提言して、国際提案へつなげるものである。

平成28年度においては、ISO/TC 299/IEC/SC 62D/JWG 35にてプロジェクトリーダ国として安全性規格 IEC 80601-2-77の策定を進め、その結果2017年2月の釜山会議にて CD 版を完成させた。2017年3月初旬に ISO/TC 299では CD 投票、IEC/SC 62D では CD コメント募集が行われた。順調に審議が進めば平成30年末には FDIS に達する見込みである。

また同規格案の国内審議委員会として国内の産学官の有識者からなるワークグループ (「手術ロボット国際標準化国内検討委員会」) を組織し、4回開催した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 手術ロボット、医用電気機器

〔研究題目〕 平成28年度工業標準化推進事業委託費 (戦略的国際標準化加速事業：政府戦略分野に係る国際標準開発活動)「発光株培養細胞の保存管理方法に関する国際標準化」

〔研究代表者〕 中島 芳浩 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 中島 芳浩、野田 尚宏、丹羽 一樹 (常勤職員3名、他1名)

〔研究内容〕

本事業では、細胞培養メーカーや細胞バンク等の細胞保存施設、および細胞を使用するユーザーにおける発光培養細胞の品質管理の客観性を担保するため、

①発光計測装置の絶対値校正法等を活用した計測精度管理方法

②遺伝子解析によって得られる情報に基づいた発光培養細胞の品質検定のため簡便な測定方法を構築し、これらの技術的要求事項の規格文書原案を作成し、ISO/TC276バイオテクノロジーでの国際標準化提案を目指す。

本年度は ISO/TC276バイオテクノロジーWG3分析手法の国際委員会において「発光計測管理法の国際標準化」の重要性についてプレゼン (説明) を行った。討議の後、日本がイニシアチブをとることを表明し、次年度以降の PWI 提案、NP 提案の道筋をつけることができた。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 標準化、発光細胞、セルベースアッセイ

・化学物質安全対策委託費

〔研究題目〕 平成28年度化学物質安全対策「発光レポーターを導入したマウス初代肝細胞を用

いた *in vitro* 肝毒性試験法開発に関する調査

【研究代表者】中島 芳浩（健康工学研究部門）

【研究担当者】中島 芳浩、安部 博子、室富 和俊
（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究では、発光レポーター導入トランスクロモソミックマウス（Te マウス）の凍結初代肝細胞を用いた *in vitro* 肝毒性試験系を開発した。開発した試験法を、食品薬品安全センターへの技術移転を完了させ、産業技術総合研究所と食品薬品安全センターにおける施設内および施設間再現性試験を実施、極めて高い再現性が得られることを確認した。さらに、多検体物質を用いた試験を実施し、得られた結果から陽性・陰性の判定基準を再設定した。また、凍結肝細胞の凍結・融解方法を追記し、判定スキームを改訂したプロトコル改訂を行った。さらに、当該 *in vitro* 試験系で用いる Gluc (KDEL) レポーターの細胞外漏出と細胞死の種類の相関性についても明らかにした。

本研究により、凍結した肝細胞を用い *in vitro* 肝毒性試験が実施できることを確認したが、より安定且つ頑強な試験結果を得るには、凍結肝細胞の品質を高めるための、凍結・融解方法等の改良が必要であることも明らかとなった。

【領域名】生命工学

【キーワード】ルシフェラーゼ、発光細胞、レポーターアッセイ、人工染色体ベクター、化学物質毒性評価

【研究題目】平成28年度化学物質安全対策（ナノ材料気管内投与試験法等の国際標準化に関する調査）

【研究代表者】蒲生 昌志（安全科学研究部門）

【研究担当者】蒲生 昌志、篠原 直秀、竹下 潤一、藤田 克英、本田 一匡、山本 和弘、江馬 眞、斎藤 英典、柳橋 智子
（常勤職員6名、他3名）

【研究内容】

ナノ材料の安全性評価手法である気管内投与試験方法と同等性判断基準の国際標準化に関して、以下の活動を行った。

経済産業省「ナノ材料の安全・安心確保のための国際先導的安全性評価技術の開発」プロジェクト（平成23年度から27年度）で開発された気管内投与試験方法について、5つの動物試験機関によるラボ間比較試験を実施した。そこでは、粒子状の酸化金属ナノ材料として酸化ニッケルナノ材料、2種類の形状の異なるカーボンナノチューブ（CNT）として単層 CNT と多層 CNT を用い、肺内分布の確認（3材料）と炎症反応の確認（1材料）を行った。そのために、それぞれのナノ材料につい

て、試料調製、キャラクターゼーション、気管内投与試験、肺組織中ナノ材料分析、気管支肺胞洗浄液検査（酸化ニッケルのみ）、肺の病理組織学的検査（酸化ニッケルのみ）等を実施した。

得られた知見に基づいて気管内投与方法に関する議論を行い、「手順書 ラットを用いたナノ材料の気管内投与試験の標準的手法」の改良を行った。

国際発信として、OECD WPMN（ナノ材料作業部会）の第16回会合等に参加し、意見の表明やガイダンス作成提案を行った。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】ナノ材料、同等性、キャラクターゼーション、有害性評価、体内動態、炎症反応、気管内投与試験、ラボ間比較、国際発信

・非化石エネルギー等導入促進対策調査等委託費

【研究題目】平成28年度水素導管供給システムの安全性評価（水素導管の大規模損傷リスク評価）

【研究代表者】久保田 士郎（安全科学研究部門）

【研究担当者】久保田 士郎、松木 亮、椎名 拓海、佐分利 禎、牧野 良次、高橋 明文、緒方 雄二、若林 邦彦、松村 知治、杉山 勇太、橋本 進吾、金山 正明、朝田 恵二、田山 雄一、松永 武士
（常勤職員10名、他5名）

【研究内容】

水素エネルギーの利活用を強力に推進する手段として水素パイプラインの整備が期待されている。想定される新設の中低圧水素導管供給システムの安全を確保するため、周辺への火災や爆風等の影響を明らかにすることは重要である。本研究では、人為もしくは自然災害等による水素導管の損傷を想定し、漏えいした水素に着火した場合の周囲影響を実験及びシミュレーションを用い調査し、水素ガス漏えい着火による燃焼・爆発の周囲影響の規模等について検討した。シミュレーションでは、放出孔からの水素噴流、爆風ならびに火炎形成シミュレーションを実施し、噴出した水素濃度分布、爆風圧、ならびに周辺に形成される温度分布を調査した。放出孔径φ10 mm、供給圧 0.5 MPa 等の放出条件において、濃度分布ならびに爆風圧は実験結果と良い一致を示した。また、毎秒3m 程度の風がある場合とない場合とを比較した。水素火災により形成される高温領域の風の影響、あるいは噴出漏洩水素に対する着火位置の違いによる爆風の影響についても調査した。漏えい水素への着火実験による周囲影響把握では、漏えい孔径φ5 mm およびφ10 mm、供給圧 0.3 MPaG および0.5 MPaG の合計4ケースの着火実験を実施し、放出条件や、放出時間、着火位置が火炎形成や爆風圧に与える影響を調査した。着火後の周囲影響として、輻射、到達温度、および爆風ピーク

過圧を計測した。それぞれ計測値を基にスケール依存の評価式を構築し、影響評価を行った。その結果、火炎下流における高温領域の影響が最も顕著であり、続き輻射強度、爆風圧の順番であった。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水素、導管供給、漏えい、着火、影響評価

・希少金属資源開発推進基盤整備委託費

〔研究題目〕 平成28年度エネルギー使用合理化鉱物資源開発推進基盤整備事業（資源開発可能性調査）

〔研究代表者〕 高木 哲一（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 高木 哲一、大野 哲二、児玉 信介、実松 健造、星野 美保子、昆 慶明、荒岡 大輔、森本 慎一郎、綱澤 有輝、横山 隆臣、徐 維那、江島 輝美、月村 勝宏、

Buenaveturada C. Segwaben、

宮腰 久美子（常勤職員8名、他7名）

〔研究内容〕

本事業は、平成28年度特別会計により、資源エネルギー庁から受託したものである。本事業は、1) 北米におけるレアメタル鉱床の資源開発可能性調査、2) 南アフリカ共和国ブッシュフェルト地域におけるレアメタル鉱床の資源開発可能性調査、3) 南米におけるレアメタル等資源開発可能性調査、4) 東南アジア地域におけるレアメタル等資源開発可能性調査の4項目で、地圏資源環境研究部門により実施された。

1) では、米国地質調査所（USGS）と共同で IOCG 型鉱床に付随するレアメタル鉱床研究を実施した。具体的には、ミズーリ州 Pea Ridge 鉱床、Iron Mountain 鉱床の現地調査および掘削コア採取を実施し、それらに付随するレアアースを含む岩石・鉱物の鉱物学・地球化学的解析を実施した。また、カナダ・ブリティッシュコロンビア州地質調査所と共同研究契約を締結し、同州東部 Rock Canyon Creek 岩体の現地調査を実施し、採取した試料の鉱物・地球化学的解析を実施した。2) は南アフリカ地球科学審議会（CGS）と共同で、ブッシュフェルト花崗岩体東部のフロブラスダル地域の現地調査を実施し、携帯型 XRF を用いてレアアース濃度の空間変化データを収集した。また、採取した試料の鉱物・地球化学的解析を実施した。3) はアルゼンチン地質調査所（SEGEMAR）と共同で、同国北西部のレアメタル鉱床、スズ鉱床の現地調査を実施した。また、SEGEMAR との共同研究は初年度であったため、現地にて今後の研究計画等を協議した。4) では、昨年度まで実施したタニンダリー州における民間企業との事業は（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構に移管し、産総研はミャンマー地質調査所（DGSE）と共同で、同国シ

ャン州のレアメタル鉱床の現地調査を実施した。また、採取した試料の鉱物・地球化学的解析を実施した。

これらの調査研究を進めるために、レアメタル分析・選鉱実験手法の改良・高度化を進めた。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 レアメタル、地質調査、米国、カナダ、南アフリカ、アルゼンチン、ミャンマー

〔研究題目〕 平成28年度希少金属資源開発推進基盤整備事業（探査基盤技術高度化支援事業）

〔研究代表者〕 光畑 裕司（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 光畑 裕司、高倉 伸一、大野 哲二、高木 哲一、児玉 信介、坂野 靖、小森 省吾、古宇田 亮一（常勤職員7名、他1名）

〔研究内容〕

各種鉱物資源データ統合化に関しては、“Mineral Resources Map of Asia”（GSJ、2014）の地質情報の内、大規模鉱床421件および中規模鉱床3,502件について位置情報等を更新したデータを、GRIAS で利用可能な ESRI ShapeFile の形式で提供した。また、南アフリカ Council for Geoscience（CGS）の監修したアフリカ大陸およびアラビア半島における鉱物及び燃料資源図についてプロジェクトの変更を行い、今後の利用が容易となるよう整備した。さらに、同図を用いて、各種資源情報の予備的なマッピングを行った。さらに、平成27年度に構築した可視域から短波長赤外域（0.4-2.5 μm）の光を計測可能な反射スペクトル計測システムを用いてレアメタル鉱物試料およびスカルン鉱床に係する岩石・鉱石試料を収集し、63個の反射スペクトルデータを取得した。取得したスペクトルデータを GRIAS のスペクトルライブラリにするため、データ形式を整えデータセットを作成した。このほか、既存の反射スペクトルデータ67個を収集し、GRIAS のスペクトルライブラリにするためのデータセットを作成した。

物理探査技術検証に関しては、JOGMEC と連携して国内外8地域の鉱石・胚胎母岩等からなる74試料（IOCG 型鉱床：26試料、スカルン型鉱床：16試料、熱水鉱床（浅熱水性鉱床を含む）：32試料、浅熱水性鉱床：19試料）を収集して、広帯域の周波数領域 IP（SIP）測定を行った。また、標本として市販されている15個の標準的な鉱石試料の SIP 測定を実施した。これらの試料については、SIP 測定終了直後に湿潤密度、乾燥密度、有効間隙率の測定を行った。さらに、85試料に対して TDIP（時間領域 IP）測定を実施するとともに、15個の標準的な鉱石試料と他の研究テーマで SIP 測定を実施した15個の岩石試料の化学分析および帯磁率測定を行った。そして、試料ごとに SIP 測定の比抵抗・位相の周波数変化のグラフと TDIP 測定の減

衰曲線のグラフを作成し、比抵抗、位相、充電率などの電気物性を求めた。

測定した試料については識別のためのサンプル番号をつけ、得られた電気物性データを試料に関わる情報とともに整理・分類し、電子ファイルにまとめた。また、GRIAS 上には、電気物性データを鉱床タイプ、岩石・鉱物名、測定日などで検索して、一覧表示をする機能をもたせた岩石電気物性ライブラリを構築した。そして、公開可能な41個の標準的試料を登録した。SIP 測定を実施した227個の鉱石・母岩試料についても、岩石電気物性ライブラリへ登録するため、公開できるデータの検討を進めている。

IP 探査法データの解析システムの整備に関しては、探査データの解析結果の信頼性を評価するための手法として、可探深度評価および感度解析評価について検討を行い、実データに対して解析システムを活用して、それらの評価を試みた。また、実データの適用・評価としては、ペルー国コンドル地域のスカルン鉱床を対象に昨年度取得された4測線の SIP データに対して、昨年度実施した解析手法とは異なり、周波数領域 IP 法における位相差データを対象に、解析システムである RES2DINV を用いて複素導電率を採用した2次元解析を適用した。さらに、比較のために同地域における既往データである時間領域 IP 法データに対しても2次元解析を適用し、それらの結果を比較し、概ね一致した比抵抗および IP 特性分布が推定されることを確認した。加えて、探査技術の検証を目的に、コンドル地域で実施された2本のボーリング調査から推定された地質構造およびコアサンプルの電気物性計測結果を考察し、地質構造と浅部の解析比抵抗断面図は概ね一致するが、深部についてはコアサンプルの比抵抗値と傾向が異なることを確認した。そのため可探深度評価の結果を踏まえ、解析システムを用いて、深部の比抵抗値を固定してデータ解析を実施し、よりボーリング調査結果に近い比抵抗モデルを構築した。一方で IP 異常の分布については、ボーリング調査結果と一致する結果を得ることは困難な結果となった。原因としては、調査仕様において電極間隔が100m と広く、分解能に限界があるためではないかと考えられた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】鉱物資源情報、リモートセンシング、反射スペクトル、物理探査、IP 法、電気物性、データベース

・石油製品需給適正化調査等委託費

【研究題目】平成28年度石油精製業保安対策事業（高圧ガスの過去事故分析によるチェックポイントの調査研究）

【研究代表者】牧野 良次（安全科学研究部門）

【研究担当者】牧野 良次、久保田 士郎、佐分利 禎、

椎名 拓海、高橋 明文、松木 亮、
和田 有司、若倉 正英、中島 農夫男、
金山 正明、阿部 祥子、伊藤 貴子、
鈴木 真紀（常勤職員7名、他6名）

【研究内容】

本調査研究の目的である「事故が発生するまでの事象を抽出・分析し、チェックポイントを抽出する」に関しては、産総研が運営する「リレーショナル化学災害データベース（RISCAD）」から12件の事故事例を選び、産総研で開発した「事故分析手法 PFA®」を用いて事故進展フロー図を作成するという科学的手法によって事故原因を抽出した。これを、化学プラントの現場経験を有するシニアを中心とする「現場保安チェックポイント集検討会」の検討員が、化学工学会安全部会で提案した「3M3E 分析」を用いて「人」、「設備/機器」、「管理」の要因を分析したのちに、それぞれの要因に対して、現場経験に基づく「チェックポイント」を作成した。

作成されたチェックポイントは12事例分を集めて「現場保安チェックポイント集」としてまとめ、「対象者と活用場面」、および「物質」、「機器」、「作業」のキーワードで分類した。

さらに、「現場保安チェックポイント集」を実際に現場で活用しやすくするための「現場保安チェックポイント集検索システム Ver.2」を構築した。このシステムは、Web ブラウザもしくは専用アプリケーションソフトを用いて管理者が現場に伝えたいチェックポイントを選択、チェックポイントリストとして保存、それを PC やタブレット端末に転送して、現場で作業者が閲覧・チェックができるようにし、さらに、チェック結果を保存、現場作業者が管理者が後から確認できるようにしたものである。チェックポイントに関してコメントや写真を付与し、情報共有する機能も実装した。

また、平成27年度石油精製業保安対策事業（高圧ガスの危険性評価のための調査研究）の成果の発表、およびチェックポイント集や検索システム Ver.1の問題点や今後に向けた改善点など企業のニーズに関してアンケート調査を行い情報収集することを目的として「現場保安チェックポイント集および検索システム説明会」を合計2回開催した。1回目は関西地域として平成28年9月7日に産業技術総合研究所関西センター（大阪府池田市）にて、2回目は関東地域として9月14日に産業技術総合研究所臨海副都心センター（東京都江東区）にて開催した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】高圧ガス保安、リレーショナル化学災害データベース、事故分析手法 PFA、RISCAD、事故進展フロー図、化学プラント、現場保安、チェックポイント

・その他

【研究題目】平成28年度商取引適正化・製品安全に係

る事業（高齢者等製品安全基盤情報収集事業）

【研究代表者】西田 佳史（人工知能研究センター）
 【研究担当者】西田 佳史、北村 光司、松本吉央（ロボットイノベーション研究センター）、小林吉之（人間情報研究部門）
 （常勤職員4名）

【研究内容】

本研究では、進展する高齢化社会への対応や IoT、AI といった新たな情報技術を活用してより安全性の高い製品開発をする際に不可欠となるビッグデータの整備を行う。具体的には、主に以下を平成28年度の目的とした。1) 公的機関が有する過去の事故情報等を収集・分析し、高齢者の製品事故の特性を明らかにすることで高齢者向けの製品開発課題を明確にするとともに、2) 高齢者等の生活における動作情報を新たに取得・分析、データ化し、ビッグデータライブラリーを開発する。

1)に関しては、高齢者介護施設（特別養護老人ホーム）の協力により1施設及び1機関の福祉法人から事故報告書データの提供を受け、分析を行った。東京消防庁の協力により、一般家庭における高齢者の都民生活事故データ（65歳以上で「重症」以上・4384件）の提供を受け、分析を行った。また、消費者庁及び独立行政法人国民生活センターが運営している医療機関ネットワークに登録された事故データ（65歳以上・2720件）の提供を受け、分析を行った。

2)に関しては、高齢者介護施設等にカメラ等（合計58台）を設置し、高齢者の生活行動等を動画で収集し、ライブラリ化することを目的に、本事業に賛同、同意頂いた施設内の共有スペース、及びその施設内で個人の撮影に同意を頂いた利用者の居室を対象にセンサーカメラを設置した。また、高齢者の特徴を把握するために、身体機能を評価するための Barthel Index (BI) と、認知機能を評価するための Mini Mental State Examination (MMSE) も実施した。収集した動画データ（利用したセンサーカメラは、マイクロソフト社が販売している Xbox One 用 Kinect）を、高齢者の行動（22人）、場所、身体・認知機能、使用機器などと紐づけて、動画ライブラリ化した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】高齢者、製品安全、インシデント分析、介護施設、生活機能、ビデオサーベイランス、オープンデータ

【研究題目】火薬類の安定度試験に関する JIS 開発

【研究代表者】岡田 賢（安全科学研究部門）

【研究担当者】岡田 賢、加藤 和彦、秋吉 美也子、松永 猛裕、藤原 英夫
 （常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

硝酸エステルを代表とする火薬等は、その特性から、時間経過とともに内部分解が進み、場合によっては自然発火等が生じる危険性がある。そこで火取法第36条では火薬等の輸入や、製造後一定期間を経過したものは、経年劣化の状況を確認するための所定の安定度試験（遊離酸試験、耐熱性試験、加熱試験）を実施し、その安全性を評価しなければならない。現在行われている火薬等の安定度試験に替わり、定量的に経年劣化の評価が可能な方法を検討する。得られた成果は以下の通りである。

(1) 検知管試験検討では、アーベル試験と検知管試験の結果を比較・検証し、整合性を確認するため、代表的な薬種を必要最低限選定して実施した。下半期には、劣化が進んでいる火薬を用い、短時間領域でアーベル試験と検知管試験の整合がとれているかを確認した。検知管試験の高度化では、NO 標準ガスを使用して、検知管試験のプロトコルの確立をはかった。

(2) クロスチェック試験では、(1) で確立した検知管試験方法をわかりやすい方法で火薬メーカーに周知し、現場において検知管試験の測定を実施した。火薬メーカーから外に出せない火薬についてデータ取得をお願いすると同時に試験方法の問題点について確認いただいた。

(3) アーベル試験と検知管試験との対応性の明確化では、(1)、(2) で得られた、データを基に、対応の明確化をはかった。NO ガス 50ppm の発生は、アーベル試験赤変の結論が薬種により変化が無いことを確認した。また、薬種により、NO/NO₂ 比率が変化し、色変化による影響を及ぼす可能性があるため、場合によっては本規格の対象外にすべき薬種が出てくる可能性がないことを確認した。

(4) よう化カリウムでんぷん紙の品質試験では、当該試験方法において規定されている桜ダイナマイトの模擬品から発生するガス成分の測定を行い、これと同等成分の標準ガスを使用したよう化カリウムでんぷん紙の品質試験方法を確立した。

(5) (1)～(4) を基に JIS 追補、JIS 素案を作成した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】火薬・爆薬、安定度試験、火薬類取締法、火薬類経年劣化評価、検知管、ガス分析、JIS

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

【研究代表者】村山 昌平（環境管理研究部門）

【研究担当者】村山 昌平、石戸谷 重之、宇佐美 哲之（環境管理研究部門）
 下坂 琢哉、青木 伸行（物質計測標準研究部門）（常勤職員4名、他1名）

【研究内容】

本研究では、気象庁南鳥島観測所において、大気中酸素濃度、二酸化炭素（CO₂）安定同位体比の高精度連続観測を実施する。また、大気観測用酸素濃度標準ガスを開発し観測データの標準化を図る。

H28年度は、南鳥島において、フラスコサンプリング法および連続観測による大気中酸素濃度の観測を継続した。連続観測によって、フラスコサンプリングでは捉えられない南鳥島における酸素濃度変動の詳細が明らかになり、日々変動から季節的な変動の時間スケールにおける酸素濃度の変動要因の解明が飛躍的に進んだ。

フラスコサンプリング法と質量分析計を用いた手法による大気中 CO₂の安定同位体比の高精度観測を継続してデータを蓄積し、CO₂濃度データと組み合わせた解析により変動要因について考察を行った。さらにバックグラウンド清浄大気中の CO₂安定同位体比連続観測に適した観測システムの製作を進め、その性能試験を行い、改良を図った。

濃度の不確かさが1 ppm 以下の SI トレーサブルな高精度酸素濃度標準ガスを開発するために、昨年度改良した秤量システムによる秤量方法を確立し、原料ガスの分子量を決定した。上皿方式により、小型容器の秤量が安定して必要な秤量精度（0.3 mg 以下）で行えるようになった。また、窒素および酸素の同位体比を測定して、原料に使用する窒素および酸素の原子量を相対値で20万分の1以下の不確かさで決定した。

【領 域 名】 エネルギー・環境、計量標準総合センター

【キーワード】 南鳥島、酸素濃度、二酸化炭素安定同位体、バックグラウンド大気、連続観測、高精度酸素濃度標準ガス、炭素循環、SI トレーサビリティ

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

【研究代表者】 前田 高尚（環境管理研究部門）

【研究担当者】 前田 高尚、村山 昌平、石戸谷 重之（常勤職員3名、他5名）

【研究内容】

運用中の陸域生態系炭素収支の長期連続観測を継続しつつ、遠隔地にある観測現場の測器からのデータ収集から、処理、データベース搭載までのプロセスに、観測機器運用の遠隔監視やデータ流通・解析の自動化といった情報通信技術を、参画他機関と共同でそれぞれの観測サイトに導入し、これらを通じた安定で精度の高い観測とそのデータベース化、他の観測データとの統合を目標とし、技術面から推進する。

今年度も、岐阜県高山市（高山観測サイト）、タイ中西部カンチャナブリ県（メクロン観測サイト）、タイ東北部ナコンラチャシマ県（サケラート観測サイト）の森

林内において、大気・陸面間の CO₂フラックスおよび気象等の環境諸量の観測を継続して実施した。2016年前半も2014年後半から続くエルニーニョ現象の影響を受け、各観測地とも植生の活動が平年とは異なった。高山では、春の展葉時期が早まり、落葉は11月中旬まで遅れて、着葉期間が比較的長かった一方、夏から秋にかけて天候不順により日射量が少なかった。結果、年間積算の正味 CO₂吸収量は平年より少なかった。タイのサイトは強い乾燥状態にあり、雨季前半の降雨と土壌水分量が少なく、多数の巨木の枯死なども確認された。

現地観測のセンサーネットワーク化のためのシステムの構築と改良の作業は、上記3観測サイトとも、各種機器類の障害発生等の自動遠隔監視を通年で運用したことにより、高い観測データ取得率を維持できた。各サイトから受信した一般気象や環境のデータ自動処理の通年運用と並行して、タイのメクロンサイトについても、昨年度の高山サイトに続きフラックス測定データの処理工程の自動化を行い、運用を始めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 地球温暖化、二酸化炭素収支、陸域生態系、環境情報

【研究題目】 平成28年度二酸化炭素大規模地中貯留の安全管理技術開発事業

【研究代表者】 徂徠 正夫（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】 徂徠 正夫、西 祐司、杉原 光彦、藤井 孝志、加野 友紀、後藤 宏樹、雷 興林、及川 寧己、光畑 裕司、上田 匠（常勤職員10名、他2名）

【研究内容】

1) CO₂長期モニタリング技術の開発

苫小牧の観測点において超伝導重力計による2年以上の観測を成功させ、これまでの測地研究等で想定されなかった海岸近傍環境において超伝導重力計の使用が可能であることを実証するとともに、我が国の CO₂地中貯留で典型的と考えられる海岸近傍点における重力データを蓄積した。

重力測定においては、超伝導重力計の試験球により強いフィードバックをかけた Medium モードによる測定を試行し、地震の多い我が国における有効性を検証した。

取得された重力データについて、定型的な手法を用いて潮汐応答成分、気圧応答成分、不規則成分を分離し、目的とする信号が含まれるトレンド成分の説明を試みた。得られたトレンド成分の時間変化は気圧変化と傾向が一部共通しており、定型的な手法では気圧応答成分を分離しきれない可能性が考えられた。一方で、トレンド成分の時間変化は気圧変化のみからは説明ができず、その他の現象（降水、地下水流動、土壌水分量変化など）に起因する重力変化も検討していく必要

性がある。

2) 長期遮蔽性能評価技術の開発

CO₂地中貯留におけるキャップロックの長期遮蔽性能評価を目的として、地化学反応プロセスが岩石の水理特性に及ぼす影響について検討を行った。地化学プロセスが関与する遮蔽性能パラメータとして、岩石内部の空隙構造と接触角の2種類が想定されることから、それぞれのパラメータの評価に適した研究手法の適用を図った。

空隙構造の変化に関しては、各種堆積岩を CO₂地中貯留を模した含 CO₂温泉水中で反応させ、反応に伴う水理特性の変化を解析した。短時間の反応にも関わらず、P_{CO2}の増加に対して浸透率が増加する岩石が見出されたが、この原因として岩石中に含まれるカルサイトの溶解に起因した空隙体積の増加が示唆された。

界面状態の変化に関しては、スロート径が既知の岩石試料のスレッシュホールド圧を測定することで、接触角を逆算する方法を考案した。このため、孔径が10 μm以下の微細穴加工を施した岩石試料を作製し、この穴を通して超臨界 CO₂がブレイクスルーする際のスレッシュホールド圧の計測に成功した。これに関連して、二次元放射流モデルを用いた数値シミュレーションによる感度解析結果からも、地化学反応により接触角が変化した場合に、キャップロックの長期的な遮蔽性能に影響を及ぼす可能性が示唆された。

3) 室内岩石注水実験及びジオメカニクスモデリング技術の開発

CO₂地中貯留では、地下への CO₂の圧入に伴い地下流体の圧力や岩盤内の応力が変化し、岩盤が変形する。岩盤の変形は、地表面変動や地震などの環境変動を引き起こし得る。したがって、事業を安定的に実施するためには、岩盤の変形プロセスを理解し、それに基づいて CO₂の圧入が引き起こす環境変動を予測・制御することが必要となる。そのため、室内試験及び現場試験等の異なるスケールにおいて、ジオメカニクスモデリングを行うとともに、地層安定性の評価・監視のための観測データに基づいた検証手法の検討を行った。

室内試験に関しては、濡れ相流体で飽和した円柱形岩石試料に下端から非濡れ相流体を浸入させ、上端から排出状況を直接観察する実験装置を開発した。一方、硬質泥岩に対して人工的に作製した模擬き裂面の透水性を、各種拘束圧下で実験的に調べた結果、透水性が拘束圧の上昇/低下に応じて増減するのみならず、拘束圧の最大値の上昇、拘束圧上昇低下の繰り返し、および実験休止期間中の低拘束圧の継続载荷により低下することがわかった。モデリングについては、光ファイバーモニタリングにより得られる時空間連続的な歪データが、ジオメカニクスモデリングに有効であることを検証した。

4) CCS のコミュニケーションに関する調査

国際会議や国内の会合における情報収集、技術指導、個別の意見交換、文献調査等により、世界の CCS プロジェクトのコミュニケーションの研究の成果や到達点を5種類のコミュニケーションに分類して調べた。その結果、我が国は世界の CCS に対して十分な貢献ができる領域が非常に多いとの知見が得られた。

今後の CCS 普及のためには、CCS のステークホルダーが互いに地球温暖化対策の大きな絵に対する理解を共有できるコミュニケーション手法の確立が一層重要となるものと考えられる。

[領域名] エネルギー・環境、地質調査総合センター

[キーワード] CO₂地中貯留、CCS、モニタリング、重力、自然電位、苫小牧大規模実証試験、米国 SWP (南西部炭素隔離地域パートナーシップ)、断層、モデリング、ジオメカニクス、ナチュラール・アナログ、遮蔽性能、地化学プロセス、社会的受容性

②文部科学省

[研究題目] 「エネルギー貯蔵システム実用化に向けた水素貯蔵材料の量子ビーム融合研究」のうちの一部「水素貯蔵材料の劣化機構解明と新規軽量材料の探索」

[研究代表者] 榊 浩司 (創エネルギー研究部門)

[研究担当者] 榊 浩司、中村 優美子、Hyunjeong Kim、榎 浩利、浅野 耕太、斉田 愛子 (常勤職員6名)

[研究内容]

目標：

定置型の水素によるエネルギー貯蔵システムにとって、体積あたりの水素貯蔵密度に優れた水素吸蔵合金は魅力的である。水素吸蔵合金に求められる課題として、繰り返し耐久性がある。そこで、放射光 X 線および中性子を用いて、材料の特性劣化の因子を局所構造の観点から明らかにし、劣化メカニズムの解明に取り組む。また、測定技術の高度化として、マルチビームの有効利用および薄膜の構造解析技術の確立を行う。

研究計画：

放射光 X 線・中性子全散乱および XAFS を用いてバナジウム濃度を変化させた際の耐久性と転位形成、Q_{broad} の関係の検証を行う。また、Mg 含有材料の水素雰囲気下でのその場測定を実施し、水素化物の構造解析を実施する。

年度進捗状況：

バナジウム濃度 (1水素化物の c/a) の増加とともに耐久性は良好になり、2水素化物ではサイクル数に伴う Q_{broad} の変化が小さくなる傾向にあり、特性改善と転

位形成、Qbroad に関係性が見られた。 $V_{10}Ti_{35}Cr_{55}$ の1水素化物から得られたPDFの6 Å以下で見られた平均構造からのずれは、 $V_{50}Ti_{20}Cr_{30}$ や $V_{80}Ti_{8}Cr_{12}$ でも確認でき、PDFとXAFSを組み合わせることで、ひずんだBCTモデルで説明できた。このひずんだVH0.5構造のひずみ領域はバナジウム濃度とともに広がる傾向が見られた。Mg系薄膜の水素雰囲気下でのその場測定では合金相から2水素化物へ相変態する際に、水素濃度の低い中間相を経由して反応が進行することを見出した。また、中性子全散乱による薄膜PDF実験のため、基板と薄膜の最適化を実施した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】水素貯蔵、放射光、中性子、構造解析

【研究 題目】次世代の産業を支える新機能デバイス・高性能材料の創成（サブ課題 E 高信頼性構造材料）

【研究代表者】香山 正憲（電池技術研究部門）

【研究担当者】香山 正憲、田中 真悟、石橋 章司、徐 卓（常勤職員3名、他1名）

【研究 内容】

金属系構造材料の微細組織（粒界・析出物・転位・添加元素等）の構造・性質・機械的挙動を、原子・電子レベルからメゾ・マクロまで連携して、高精度に再現・予測・設計する理論・手法の開発を目指している。本年度は「大規模第一原理計算の実行」として、鉄中の転位と添加元素との相互作用、鉄粒界での添加元素の偏析挙動の大規模第一原理計算を実行した。転位の計算では、転位芯と格子間の炭素、水素の各々の相互作用を検討し、また転位芯に置換型の遷移金属原子がある場合のそれらの変化を検討した。鉄粒界の計算では、sp元素に加えて、遷移金属元素の偏析も検討した。粒界の原子体積の小さい場所（tight site）と大きい場所（loose site）とで元素による preference を明らかにした。また、局所エネルギー、局所応力法を適用することで、各元素の偏析機構の飛躍的な解明を試みた。さらに、こうした高精度データを、メゾ・マクロへの連結する方法について検討した。有効な粗視化手法や情報科学手法の適用、Phase Field法との連結など、プロジェクトに参加した他グループと議論を進めた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】大規模第一原理計算、次世代スパコン、粒界、転位、添加元素、計算科学

【研究 題目】白金族元素個別分離のための抽出分離系の選定、アミド抽出剤を用いた白金族元素の個別分離試験

【研究代表者】成田 弘一（環境管理研究部門）

【研究担当者】成田 弘一（常勤職員1名）

【研究 内容】

目標：

硝酸溶液中の白金族元素（パラジウム、ロジウム、ルテニウム）を効率良く分離回収するために、チオジグリコールアミド系及びアミン系抽出剤による、白金族元素の抽出・逆抽出特性を明らかにする。

研究計画：

本研究では、硝酸溶液中の白金族元素を効率良く抽出可能な溶媒抽出法による分離スキームを構築するために、チオジグリコールアミド抽出剤（*N,N'*-ジメチル-*N,N'*-ジトリル-チオジグリコールアミド又は*N,N'*-ジブチル-*N,N'*-ジトリル-チオジグリコールアミド）又はチオジグリコールアミド抽出剤とアミン系抽出剤（トリ-*n*-オクチルアミン又はトリス（*N,N'*-ジ-2-エチルヘキシルエチルアミド）アミン）の混合溶媒を用いて、白金族元素の抽出挙動を調べる。

年度進捗状況：

チオジグリコールアミド抽出剤単独溶媒又はチオジグリコールアミド抽出剤とトリス（*N,N'*-ジ-2-エチルヘキシルエチルアミド）アミン抽出剤の混合溶媒による、硝酸溶液からのパラジウム、ロジウム及びルテニウム抽出率の抽出振とう時間依存性等を詳細に調べることで、チオジグリコールアミド構造や協同抽出系の組合せに関して、白金族元素抽出分離の最適条件を明確化した。さらに、これらの抽出系を組み合わせることで白金族元素を個別分離するためのフローを提案した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】白金族、溶媒抽出、協同効果

【研究 題目】原子力エレクトロニクス技術を活用した耐放射線半導体イメージセンサの開発

【研究代表者】田中 保宣

【研究担当者】田中 保宣（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究では、SiCを活用した原子力エレクトロニクス技術を駆使し、耐放射線半導体イメージセンサを実現するための各種要素プロセス技術を開発するとともに、イメージセンサのプロトタイプを試作し、累積線量2 MGy以上の耐放射線性を達成することを最終目標としている。平成28年度は、耐放射線半導体イメージセンサを構成する要素デバイスの設計、プロセス技術の構築を進めるとともに、一部試作を開始した。更に、耐放射線性を評価するためのプラットフォームの構築を進めた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】SiC（シリコンカーバイド）、イメージセンサ、耐放射線

【研究 題目】ダイヤモンド MESFET 作製技術の確立とダイヤモンド IC の要素技術開発

【研究代表者】梅沢 仁（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕梅沢 仁、大曲 新矢、杵野 由明、
坪内 信輝、渡邊 幸志
(常勤職員5名、他2名)

〔研究内容〕

過酷事故環境へ適用可能な基盤技術として革新的原子炉システムの安全性・信頼性強化に資するため、耐熱・耐放射線性(X線、γ線、中性子線)にすぐれたダイヤモンド電界効果トランジスタおよび前置増幅器を開発することを目標とした研究を分担している。

研究計画全体は、①バルク結晶、電気特性評価用基本的電子デバイスに対するX線、γ線、中性子照射による放射線照射実験、②エリアモニターならびにCAMS用γ線検出器の開発、③前置増幅器用金属-絶縁体-半導体電界効果トランジスタ(MISFET)及び金属-半導体電界効果トランジスタ(MESFET)の開発、④ダイヤモンドFETをもちいた前置増幅器の開発からなり、当機関では③のMESFETおよび④の前置増幅器の開発を主体的に遂行し、①の支援研究を実施している。

今年度は、CAMS用ダイヤモンドFET前置増幅器の目標性能を達成可能なダイヤモンドMESFETの開発と供給を行うため、材料合成に関する基本技術を開発した。特に高品質ダイヤモンド上に合成条件の最適化によりドーピング濃度および膜厚制御技術を確立した。さらにモノリシックIC化のためにMIMキャパシタ、抵抗を形成し、特性評価を行うための基本技術を確立した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕ダイヤモンド、耐放射線、トランジスタ

〔研究題目〕「生体分子システムの機能制御による革新的創薬基盤の構築」(サブ課題C①機能制御部位データベース)

〔研究代表者〕広川 貴次(創薬分子プロファイリング研究センター)

〔研究担当者〕本野 千恵(常勤職員2名)

〔研究内容〕

医薬品開発プロセスにおいて、計算技術の利活用が最も期待されている工程は、「化合物ライブラリーから疾患原因タンパク質に結合し制御する化合物を探索するスクリーニング段階」と、「スクリーニングで特定した候補化合物の活性向上と副作用回避を目指して化学構造を変換するリード最適化段階」である。製薬現場では市販のソフトなどを用いて候補化合物の探索や分子デザインがなされているが、予測精度の低さや評価できる化合物数・標的タンパク数の限界などの問題から、実際の実験に置き換わるほどの革新的技術に至っていない。

そこで本サブ課題では、他の2つのサブ課題(ポスト京でのMDの高度化とアルゴリズム深化、次世代創薬計算技術の開発)でポスト京に対してチューンナップされたMDソフトおよび創薬計算手法を、創薬計算フロー(スクリーニングからリード最適化)にそって連結し

た統合システムの開発を目指す。また、ポスト京のスケールメリットを最大に活かし、多数の創薬関連タンパク質(副作用関連タンパク質を含む)やそれらの分子ネットワークと化合物ライブラリーとの膨大な組合せから最適解を高速に計算し、ベストな医薬品候補化合物を自動でデザインできる創薬計算基盤を構築し、製薬会社に提供する。

平成28年度は、創薬標的タンパク・副作用関連タンパクに関するホモロジーモデリング法、マルチコンフォメーション生成法、機能制御部位推定法を開発した。特に、タンパク質標的部位データベースの基盤技術となる機能制御部位推定法では、MD計算で生成される動的なタンパク質構造情報から機能発現を制御する部位を推定する計算法を開発し、機能既知の創薬関連タンパク質をベンチマークに検証を行った。この拡張サンプリング法を用いて、ヒストンH3タンパク質のテール部分の翻訳後修飾であるメチル化、アセチル化の影響を調べた。結果、特定の安定構造を本来取らないテールが、アセチル化ではヘリックス構造を取りコンパクトな構造を取ることがわかった。一方、メチル化はそのような傾向は一切見られず、メチル基の露出以上にテールの溶媒露出面積が大きくなることがわかった。これらの知見は、他のタンパク質によるアセチル化部位とメチル化部位の認識機構の違いを示唆する。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕生体分子システム制御、創薬基盤、標的タンパク質、分子動力学計算、京コンピュータ、ポスト京コンピュータ、インシリコ創薬

〔研究題目〕「マルチサポート戦略事業(パラリンピック競技「B 研究開発プロジェクト」)

〔研究代表者〕保原 浩明(人間情報研究部門)

〔研究担当者〕保原 浩明(常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では、義足スプリンターの生体力学的特性ならびに既存製品の構造と機能を網羅的に調べ、様々な選手のパフォーマンスを向上させる最適な板バネを選定できるシステム開発を行うことを目的としている。具体的には、実際に義足ユーザーが様々な板バネを使用した際の生体力学的データを、三次元動作解析によって取得することを試みる。

本研究は、マルチサポート委員(名古屋工業大学、帝京大学および工学院大学)、パラ陸連担当者および選手と、多様な立場の方の関わるプロジェクトであるため、関係者と連携を密にとり、半年以上かけて今後の方針に関する打ち合わせを繰り返し行った。本年度はH27年度末に行ったフォーストレッドミルを用いた実験の解析を引き続き行い、2名のパラトライアスロン選手(いず

れも PT2クラス)、2名の陸上競技選手(下腿切断者および大腿切断者; T44と T42クラス)へのフィードバックおよび平成28年度夏に開催されたリオ・パラリンピックにおいて各選手が使うべき義足の選定を提案した。具体的には、フォースプレート内蔵トレッドミルを用いて、速度漸増課題で義足ユーザーにランニング動作を行わせ、各速度域におけるステップ頻度、地面反力(前後・左右・鉛直の三分力)および接地距離(接地期における重心の水平移動距離)を算出し、板バネ特性の変化がどのようにランニング特性に影響を与えるかを調べた。その結果、各選手には使いやすくパフォーマンス向上につながる義足もあれば、逆にパフォーマンスを低下させる義足もあることが明らかとなった。これらの結果は迅速にフィードバックを行い、本研究結果に基づいた義足選定をもとにして各選手がリオ・パラリンピックに出場、うち1名は走幅跳で銀メダルを獲得するに至った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、パラリンピック、エネルギー蓄積型疾走用足部、動作解析

【研究題目】(1)円滑な応急・復旧対応を支援する災害情報提供手法の開発 (b) マイクロメディアサービス開発 2) マイクロメディアサービスにおけるマッシュアップ・双方向インタラクション技術の開発

【研究代表者】野田 五十樹(人工知能研究センター)

【研究担当者】野田 五十樹、小島 一浩、江渡 浩一郎(常勤職員3名)

【研究内容】

本サブプロジェクトは、阪神・淡路大震災、東日本大震災をはじめとする過去の地震災害での経験・教訓をもとに、高い災害回復力(レジリエンス)を持つ社会の実現を研究の全体目的とする。具体的には、日本全国の防災研究者の英知を集め、他のサブプロジェクトと協働しつつ、防災担当者の災害対応能力と一般市民の防災リテラシーの双方の向上のための災害情報提供手法とトレーニング手法について提案することを達成目標とする。構築した災害情報提供サービス(マイクロメディアサービスと名付ける)と防災リテラシーハブ教育・訓練システムについて、我が国の人口の2/3、資産の3/4が集中する首都圏・中京圏・関西圏の3圏を中心とする実証実験によってその効果を検証する。

本年度は、マイクロメディアサービスの持続的システム設計・実装にむけたコミュニティ構築・維持を目的として、IT-DARTをはじめとする情報ボランティアの活用普及に向け「減災ソフトウェア開発に関する一日会議」を開催し、これまでの当会議の参加者やスピーカーとともに、新たな情報共有と活動継続の土台作りを進めた。また、一日会議やIT-DART およびこれまでのマイクロメディアサービスに関する取り組みについて、複数

の自治体の防災担当者に解説・講演をおこない、成果の普及及びマイクロメディアサービスの実装に向けた継続的な取り組みの実現を試みた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】減災情報技術、情報ボランティア、災害対策

【研究題目】多層マルチ時空間スケール社会・経済シミュレーション技術の研究・開発

【研究代表者】野田 五十樹(人工知能研究センター)

【研究担当者】野田 五十樹、山下 倫夫(常勤職員2名)

【研究内容】

異なるスケールの事象が密接に連携・関連している多層な社会システム・社会現象をスーパーコンピュータにより解明する技術を、ポスト京コンピュータを念頭に、研究・開発する。特に経済および交通でのリスクの解明と制御とを中心に進める。社会経済現象では、多様なサブシステムが多層的に相互作用し合いつつ、時間的にも空間的にも異なったスケールの事象が不可分となっている。例えば、一か所の災害が広域的な移動を生じさせ、思わぬ場所での二次災害を引き起こす。こうした現象を事象の因果を明確にしつつ予測し制御できるようになるためには、いわゆる「ビッグデータ」を分析して相関関係を探すだけでは不可能である。現象の発展を記述する動学的モデルが必要となり、モデルをシミュレートするコンピュータが必要となる。本研究は、ポスト「京」に向けて複数のサブシステムの相互作用モデルを構築し、社会経済現象上の課題を予測し制御する技術を開発することを目的とする。

本研究所ではこのなかで、交通・人流シミュレーションのサブ課題の中で、自動車や人の移動・避難を記述する地域振興・防災・減災のための交通・人流シミュレーションとして、自動車交通・災害避難シミュレーションアプリケーションの構築を目指す。

本年度は、人流シミュレーションについて、大規模・網羅的なシミュレーション実行を可能とするため、これまで開発してきた人流シミュレータ CrowdWalk の京への移植と、連成シミュレーションに向けた CrowdWalk の機能拡張を進めた。また、サブ課題の取りまとめを行い、スケールのまたがるシミュレーションの連携や、交通・人流と異種の現象の連成シミュレーションへの準備を進めた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】社会シミュレーション、マルチエージェントシミュレーション、HPC

【研究題目】超伝導転移移動端センサが切り拓く革新的原子力基盤計測技術<検出器アレイ多重読出回路の開発>

〔研究代表者〕 神代 暁

(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 神代 暁、平山 文紀、山森 弘毅、
佐藤 昭、入松川 知也

(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

核燃料物質の精密検査において飛躍的な精度向上、測定作業の効率化の実現を目指し、核物質から発生する硬X線やγ線を優れた分光特性を有する超伝導転移端センサ(TES)により計測する革新的な核種同定分析技術の開発を目的とし、東大、原子力研究開発機構、産総研が参画する。産総研が研究代表機関東大からの再委託を受けた2016年度の実施計画は、(1) 昨年度評価したダイナミックレンジとクロストークに関する課題の解決策を施し、最大16画素 TES の出力信号を周波数多重可能な読出回路を実現する。(2) 2画素以上の TES の同時読出と性能評価を行い、TES 雑音以下の読出回路雑音を実現するであった。進捗状況を述べる。(1) 場所的な隣接画素を占める二共振器間の共振周波数差の増大と、隣接共振周波数を持つ二共振器間の距離増大を両立する配置を施した読出回路チップの開発により、チップ上の16画素間の全てのクロストークを、実用的目標値である $1.0e-03$ 以下に抑制することに成功した。16画素搭載した読出回路チップにおいて、TES への入射光子を擬似した電流入力を与えた7画素の同時読出を実証した。(2) コバルト放射線源からの光子入射を受けた単画素 TES 出力を、従来型読出法と変わらぬ高速応答性をもって読出すことに成功した。2画素 TES の同時読出は今後実施予定である。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導転移端検出器(TES)、超伝導量子干渉素子(SQUID)、マイクロ波共振器、周波数多重読出回路

〔研究題目〕 車載用着座姿勢センサの開発に関する研究

〔研究代表者〕 長瀬 智美(製造技術研究部門)

〔研究担当者〕 長瀬 智美、野中 一洋、山田 浩志
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

安全安心な社会をより高度に実現するため、自動車運転者の居眠りなど、運転不能な状況を短時間で検出するための、高精度かつ非拘束型の検知システムが求められている。本研究では、その検知システムのセンサの一つとして、着座姿勢センサを、車載用途では $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上の高温耐熱性が要求されるため、酸化亜鉛(ZnO)圧電シートを用いて開発することを目的とする。

低コスト化に有利な塗布法により、高分子基材直上に、ZnO 圧電を成膜し、ZnO 圧電センサシートを試作した。得られたセンサシートを用いて、座った人の体動を検知

できることを確認した。ZnO 圧電シート of の基礎的圧電特性評価として、正弦波の荷重変化を与えると、その圧電応答の波形は正弦波を示し、ヒステリシスのない圧電応答であった。電極膜を含めて再検討し、得られた ZnO 圧電シートは、 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ での高温耐熱性を確保することができた。これらの結果から、塗布型フレキシブル ZnO 圧電シートは、着座センサシートへの応用の可能性を提示することができた。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 高耐熱性圧電シート、塗布法、酸化亜鉛、フレキシブルセンサ、車載応用

〔研究題目〕 火山噴火の予測技術の開発(噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成)

〔研究代表者〕 伊藤 順一(活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 伊藤 順一、山元 孝広、星住 英夫、
中野 俊、田中 明子、石塚 吉浩、
下司 信夫、古川 竜太、宝田 晋治、
宮城 磯治、及川 輝樹、草野 有紀、
川辺 禎久、石塚 治、斎藤 元治、
山崎 誠子、工藤 崇(地質情報研究部門)、
中川 光弘(北海道大学)、
藤縄 昭彦、長谷川 健(茨城大学)、
和田 恵治(北海道教育大学)、
後藤 芳彦(室蘭工業大学)、
佐々木 実(弘前大学)、大場 司
(秋田大学)、林 信太郎(秋田大学)、
伴 雅雄(山形大学)、石崎 康男
(富山大学)、竹下 欣弘(信州大学)、
中村 洋一(宇都宮大学)、吉本 充宏
(富士山科学研究所)、三浦 大輔
(電力中央研究所)、上澤 真平(電力
中央研究所)、津久井 雅史(千葉大学)、
萬年 一剛(温泉地学研究所)、
佐藤 鋭一(神戸大学)、宮縁 育夫
(熊本大学)、小林 哲夫(鹿児島大学)、
中田 節也(東京大学)、前野 深
(東京大学)、長井 雅史(防災科学研
究所)(常勤職員17名、他23名)

〔研究内容〕

本研究は、日本の活火山に対する中長期予測と噴火事例系統樹作成に資するため、活動的火山に対する詳細な噴火履歴の解明を目的としたものである。H27年度は、気象庁が活火山(27火山)から採取したボーリングコア(計27本)の岩層、岩質等の観察を行うと共に、放射性炭素年代測定や噴出物の化学組成分析を行った。その結果、鶴見岳・伽藍岳において、火砕流に関連する堆積物を認め、その放射性炭素年代から有史時代の噴火活

動と判断された。栗駒山においては、二回の水蒸気噴火堆積物と溶岩流を確認した。溶岩流は地すべり地塊の一部を覆って氾濫した可能性が考えられた。また、岩手山において、西岩手カルデラ北西部山麓を覆う小規模火砕流を認め、その岩質から西岩手中央火口丘形成期に噴出したものと推定された。十和田においては、山頂部の溶岩ドーム形成に関係すると思われるブロック・アンド・アッシュタイプの火砕流を初めて確認した。十勝岳においては、これまで未確認の水蒸気噴火堆積物と火砕流を確認した。火砕流の噴火年代は明確ではないが、およそ800～1000年前と推測された。

また、大規模噴火データベースの構築に向けて、国内で過去約15万年間に発生した VEI が6以上の「大規模噴火」の噴火推移や噴出物の分布に関する情報を収集した。今年度に情報収集を行った噴火は、阿蘇3噴火、屈斜路羽幌噴火、阿多噴火、阿蘇4噴火、支笏第一噴火、始良入戸噴火、鬼界アカホヤ噴火、池田湖噴火、摩周 F 噴火の9噴火である。これらの噴火について、既存公表文献の収集および文献からの噴火推移情報・噴出物層序情報および分布情報の抽出を実施した。これらの噴火について、約130文献を収集し、その中に掲載された噴出物分布図および噴火層序図を抽出した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】火山噴火、ボーリングコア解析、活動履歴、大規模噴火、データベース

【研究 題 目】火山噴火の予測技術の開発「火山噴出物分析による噴火事象分岐判断手法の開発」(次世代火山研究推進事業)

【研究代表者】宮城 磯治(活断層・火山研究部門)

【研究担当者】宮城 磯治、東宮 昭彦
(常勤職員2名)

【研究 内 容】

噴火がどのような推移をたどるか、その事象分岐条件を抽出するため、観測データが整っている北海道有珠火山に着目し、その歴史時代の噴火事例に関する文献データの整理を行った。対象とした噴火は、1663、1769、1822、1853、1977、2000年噴火である。噴火の起きた場所、マグマ溜りの環境(温度、圧力、含水量、斑晶量)、マグマ混合から噴火までの時間スケール、研究で着目された斑晶と元素、前兆地震の期間、そして2000年の噴火についてはマグマの上昇速度と石基の結晶化圧力について、一覧表にとりまとめた。

マグマ溜りの環境を理論的に推定するため、Mark Ghiorso 氏らが開発し公開したマグマの熱力学計算ソフトウェア「MELTS」を用いた研究を行った。今年度は、広範囲の温度、圧力、含水量、組成に対して網羅的な計算を効率的に行えるよう、制御スクリプトを改良した。MELTS 計算タスクの分散、MELTS の起動と終了、計算条件の読み込み、エラー処理、を制御することにより、

様々な全岩含水量、酸素分圧、二酸化炭素量、圧力での網羅的な自動計算が可能になった。具体的には、温度は700-1400℃の範囲(1℃刻み)、圧力は1気圧から10000気圧の範囲(100気圧刻み)、含水量は0.1から10重量%(0.1%または2%刻み)、酸素分圧はFMQ～FMQ+3ログユニット、二酸化炭素の含有量は0.001、0.01、0.1重量%の三段階に変化させ、これらの温度・圧力・含水量・二酸化炭素量・酸素分圧について、自動的に計算できるようにした。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】有珠火山、噴火、マグマ、熱力学計算ソフトウェア

【研究 題 目】別府一万年山断層帯(大分平野一由布院断層帯東部)における重点的な調査観測

【研究代表者】吉見 雅行(活断層・火山研究部門)

【研究担当者】吉見 雅行、今西 和俊、阿部信太郎、林田 拓己(建築研究所)、松島 信一(京都大学)、川瀬 博(京都大学)、竹中 博士(岡山大学)、山田 伸之(福岡教育大学)、三宅 弘恵(東京大学)、安藤 亮輔(東京大学)
(常勤職員3名、他7名)

【研究 内 容】

平成27年度までに集約した情報、および新規探査による情報を用いて、大分堆積盆地内外の地下構造モデルを改良した。また、別府一万年山断層帯の特性を考慮した震源モデルを作成した。両者を組み合わせ、別府一万年山断層帯の強震動を予測した。平成28年度の実施項目は以下の通り。

・宇佐、九重町千町無田、日田市中心部で最大半径1km程度の微動アレイ観測を実施し、0.2 Hz から5-10 Hzの範囲でレイリー波の観測位相速度を得た。

・本研究で構築した別府湾周辺連続微動観測網(BEP-NET)の観測データを地震波干渉処理し観測点間のグリーン関数を得た。

・大分県自治体震度計における2016年熊本地震の本震、湯布院付近の誘発地震の観測記録を収集・整理した。震度観測点周辺にて単点微動観測、半径微動アレイ観測を実施した。さらに、大分平野内の8点および別府南部の1点にて、2016年8月末から2017年2月上旬にかけて連続強震観測を実施した。

・BEP-NET で捉えられた、2015年5月の別府湾内地震と2016年大分県中部の地震活動について、発震機構解を推定し応力場を推定した。

・大分県全域を含む深部速度構造モデルを作成し、中小地震の再現計算により検証した。

・大分平野および別府扇状地のボーリングデータを収集整理し、工学的基盤以浅の浅部速度構造モデルを作成した。

- ・反射法地震探査断面等に基づいて、豊予海峡セグメント、三佐断層セグメント、府内・朝見川・堀田セグメントを震源断層として考慮するものとし、断層形状モデルおよび広域応力場モデルを用いて動力的シミュレーションによって破壊シナリオを評価した。得られた断層の平均滑り角を強震動予測計算の震源パラメータとした。滑り角以外の断層パラメータは、地震本部の強震動レシピ（イ）に従って設定し、背景領域とアスペリティ領域からなる震源モデルを構築した。
- ・ハイブリッド法による広帯域地震動計算を実施した。地表面の地震動は浅部速度構造モデルを用いた等価線形解析により求めた。別府湾周辺域に対しては、破壊が近づく東破壊の方がラディエーションパターンによる効果もあり、一般的に強い地震動となることがわかった。大分平野および別府南部の別府湾岸域では最大速度100 m/s 以上で震度7相当となる地震動が予測された。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地震動予測、地下構造モデル、震源断層、地震動シミュレーション、地震観測、微動観測

〔研究題目〕長岡平野西縁断層帯の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）

〔研究代表者〕阿部 信太郎（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕阿部 信太郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

測線総延長150 km の高分解能な音波探査するとともに、断層を挟んだ2地点においてパイプロコアラによる柱状採泥（2地点）を実施した。また、本調査海域においては海上ボーリングを含む調査データが蓄積されている。これらの既存調査データも本調査で新規に得られたデータと併せて検討を行った。

音波探査記録に基づき、弥彦山地海域延長部に分布する断層関連褶曲（四ツ郷屋沖背斜）を追跡した。ほぼ南北に伸びる四ツ郷屋沖背斜の変形構造は、調査海域北方沖合に分布する北東-南西方向の隆起帯（角田瀬）の南西側斜面に至って構造的には認識できなくなる。そのため長岡平野西縁断層帯海域部の北端部はこの領域であると判断され、海岸線から海域に延びるその断層長は最大25.5 km となる。

断層を挟んで実施された既存の海上ボーリングにおける放射性炭素年代値に基づいた年代モデルによれば、断層の上盤側と下盤側の堆積速度がほぼ釣り合う時期と下盤側の堆積速度が卓越する時期が交互に繰り返されている。このような堆積様式を撓曲崖の形成と埋め戻しの繰り返しに由来するものと解釈すれば、断層活動間隔は3600年程度となる。この年代モデルにもとづいた断層の平均上下変位速度は2.0~3.0 m/千年と見積られる。また、断層を挟んで上盤側から下盤側にかけて連続する

反射面のセットから見積られる平均上下変位速度も2.1 m/千年程度となり、前述の値と同等である。

四ツ郷屋沖背斜の一部においては、海底面の撓みが認識される部分がある。パイプロコアラの調査結果によって得られた断層の上盤側と下盤側における海底浅部の堆積速度を考慮すると、比較的新しいイベントによって海底面が変位を受けて、現在もその埋め戻しが完了していない状態である可能性が示唆された。このイベントが本断層帯の最新活動と考えられ、その発生時期は概ね900~2100年前と推察される。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕長岡平野西縁断層帯、活断層、活動履歴、音波探査、柱状採泥

〔研究題目〕綾瀬川断層（伊奈—川口区間）の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）

〔研究代表者〕丸山 正（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕栗田 泰夫・丸山 正（常勤職員2名）

〔研究内容〕

断層の活動性や存否が明確でないとされていた綾瀬川断層南東部の伊奈—川口区間について、中期更新世以降の活動性を具体的に明らかにすることを目標とし、さいたま市見沼区の深作地区の中位段丘面上において、測線長1 km の S 波反射法弾性波探査と深度12~38 m のボーリング調査を実施した。

反射法弾性波探査の結果、深度100 m 程度以浅の地層には、既存資料によって指摘された上下変位が認められなかった。また、ボーリング調査では、約23万年前の火山灰層に地形調査から指摘されてきたような変位がないことが確認できた。ただし、反射法弾性波探査では、約10万年前に形成された平坦な段丘面とは非調和の地溝状の小構造が認められたが、その分布や活動性についての詳細は確認できなかった。また、精細 DEM の可視化画像による微地形判読と既存の地下構造探査結果などに基づけば、綾瀬川断層（鴻巣—伊奈区間）とその東南東延長では活褶曲と活撓曲を伴った段丘面の変位・変形が顕著であるが、綾瀬川断層の伊奈—川口区間においては変動地形が確認できなかった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕綾瀬川断層、伊奈—川口区間、活断層、活動性、反射法地震探査、ボーリング調査

〔研究題目〕曾根丘陵断層帯の調査（内陸及び沿岸海域の活断層調査）

〔研究代表者〕丸山 正（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕丸山 正（常勤職員1名）

〔研究内容〕

曾根丘陵断層帯の最新活動時期、活動間隔を明らかにするとともに、複数地点で地震時変位量を明らかにして

地震規模の推定精度を向上させることを目標とし、2地区（4地点）でトレンチ調査および1地区（1地点）で航空レーザ測量による詳細な数値地形モデルに基づいた変動地形調査を実施した。

断層帯西部の西八代郡大塚地区では、東北東—西南西方向に延びるバルジ状の小丘の南東側斜面に分布する2条の南向きの低崖を横切るように、近接する3地点でトレンチを掘削した。その結果、トレンチ壁面には後期更新世～完新世の地層を変位させる複数の断層およびそれに伴う地層の顕著な変形が認められた。断層による地層の切断・被覆関係および地層の¹⁴C年代測定ならびに火山灰分析結果に基づいて、完新世における2回の活動を含む約3万年前以降4回もしくは5回の古地震活動が認定された。断層帯中央部の笛吹市国分地区における空中写真判読および航空レーザデータ詳細地形解析の結果、完新世の扇状地面に累積変位を示唆する北向きの低崖が認められた。低崖の現地測量調査の結果、同地区における最新の活動時の上下変位量が1.3 m程度であり、先行する活動の上下変位量も同程度である可能性が示された。同地区において実施したトレンチの壁面には断層は確認されなかった。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】曾根丘陵断層帯、活断層、活動履歴、トレンチ調査、航空レーザ計測

【研究 題 目】平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査

【研究代表者】岡村 行信（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】岡村 行信、阿部 信太郎、
宮下 由香里、吾妻 崇、東郷 徹宏、
白濱 吉起、栗田 泰夫、丸山 正、
井村 隆介（鹿児島大学）、堤 浩之
（京都大学）、後藤 秀昭（広島大学）、
熊原 康博（広島大学）
（常勤職員7名、他5名）

【研究 内 容】

2016年熊本地震に伴う地表地震断層の分布を明らかにするために、公表資料を収集して比較・検討するとともに、精細DEMおよび空中写真画像データの判読、地表踏査による確認と計測などを行い、詳しい分布図として編纂した。その結果、地震断層の総延長は約33 km、最大幅は11 kmに及ぶことが明らかになった。

日奈久断層帯の将来の地震発生確率推定精度を向上させるため、上益城郡日佐町白旗山出（高野—白旗区間）及び宇城市小川町南部田（日奈久区間）の2地点においてボーリング調査とトレンチ調査を実施した。山出トレンチでは、最新活動時期が約1400～800年前の間で、約1万5千年前以降、4ないし5回の古地震イベントが推定された。南部田トレンチでは、最新活動時期が約2千年前以降で、約1万年前以降、2ないし3回の古地震イベン

トが推定された。

八代海で取得された既存の音波探査記録を再解析し、八代海区間の北部の断層が地溝を伴うことと、区間分けの境界は現在の御立岬沖より八代市付近の方が適切であると推定した。また、八代海での断層活動履歴を明らかにするため、北東部沿岸の完新統が厚く覆う活断層を挟む2ヶ所で海上ボーリングを実施し、最終氷期最低海水準期の侵食面まで達する掘削長20 mと25 mの堆積物試料を得た。またその周辺で高分解能音波探査を面的かつ高密度に実施した。その結果、この断層は過去約一万年間に4回活動したと推定した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】2016年熊本地震、活断層、日奈久断層、布田川断層、トレンチ調査、海上音波探査、八代海

【研究 題 目】南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

【研究代表者】金田 義行（海洋研究開発機構）

【研究担当者】池原 研、板木 拓也、宇佐見 和子、
岩井 雅夫、金松 敏也（海洋研究開発機構）
（常勤職員2名、他3名）

【研究 内 容】

本研究では、南海トラフ沿いを中心に関東から琉球諸島沖の海域において、海底堆積物に残された地震発生記録から過去の巨大地震・津波の発生履歴を解明することを目標とする。本年度は海洋研究開発機構の「かいいい」による調査航海を沖縄八重山周辺海域で実施し、海底地形、表層堆積構造と海底堆積物試料を得た。これらの結果から石垣島南東方前弧域では海底谷を通じた石垣島側からの粗粒炭酸塩屑物の供給があること、宮古島南東沖ではタービダイトの頻度が少ないことが分かった。また、平成26年度に石垣島南西方の海底扇状地で採取した表層試料の年代測定結果から最新のタービダイトの堆積時期は2～3世紀以降であることが明らかとなった。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】海底堆積物、タービダイト、地震、津波、八重山前弧域

【研究 題 目】新型加熱機構の設計・製作

【研究代表者】渡辺 博道（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】渡辺 博道（常勤職員1名）

【研究 内 容】

福島第一原子力発電所事故において発生した核燃料溶融デブリの取出し工法の検討等の観点から、超高温状態のウラン酸化物核燃料の熱的・動的挙動を解明する事が求められているため、炉内の現象を精緻に予測するため計算機シミュレーションの利用が進められている。しかし、事故時の炉心での伝熱解析において必須の計算パラメータである溶融状態を含む超高温領域における燃料の

正確な物性値（比熱容量、熱伝導率/熱拡散率、密度/熱膨張率、放射率、粘度、表面張力等）は非常に少ない。そこで、本研究では、フィードバック制御パルス通電加熱物性測定技術に予備加熱機構を組み合わせて熔融酸化物の短時間局所平衡状態を実現することにより、熔融状態の酸化物燃料の比熱容量等の熱物性値を正確に測定する方法の開発を目的とする。

上記の目的を達成するため、パルス通電加熱により高温状態に瞬間的に到達する試料の温度を正確に測定するため高速放射温度計の導入を行った。また、試料の温度測定の正確性を向上させるため、世界で初めて、2重るつば形状の試料容器の測温対象部分である内側のつば内面に高い放射率を有するカーボンナノチューブを緻密に成膜して、放射温度計測を行ううえで理想的な黒体を実現するための研究開発を行った。酸化物融体の比熱容量及び熔融エンタルピーを測定するため、二重るつばの外側のつば部分に熔融試料を保持し、黒化処理を施した内側のつば部分からの熱放射を高速放射温度計で測定して正確に温度を決定するため、必要な加熱システムの改良および改造に着手した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】熱物性、タングステン、酸化物、カーボンナノチューブ

【研究 題 目】放射線計測に関するカリキュラムの試作

【研究代表者】伊藤 賢志（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】伊藤 賢志（常勤職員1名）

【研究 内 容】

平成28年度国際原子力人材育成イニシアティブ事業「教員養成系大学の特長を活かした高度原子力教育カリキュラムの開発」（以下、原子力教育 PJ）にて計画する実施項目②カリキュラムの試作における実施プログラム「放射線計測に関するカリキュラムの試作」に資するため、光電子増倍管や半導体検出器を用いた放射線計測による実験データを取得する。原子力教育 PJ で計画するカリキュラムのうち、「放射線安全取り扱い」と「食品への影響」にかかる研究開発を行う。

前年度に取得した「放射線安全取り扱い」と「食品への影響」に関する試験結果に基づいて、（1）放射線安全取扱い：遮蔽効果の実習、（2）標準物質の計測の二項目の実習計画を立案した。それら実習計画案を試行した結果、想定時間内で測定データが得られることを確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】放射線計測、ガンマ線分光、放射線防護

【研究 題 目】微細構造解析プラットフォーム

【研究代表者】齋藤 直昭（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】齋藤 直昭、松林 信行、鈴木 良一、大島 永康、大平 俊行、

ORourke Eugene Brian、中村 健、松崎 弘幸、山本 和弘、井藤 浩志、浮辺 雅宏、志岐 成友、全 伸幸、後藤 義人、服部 峰之、（常勤職員15名、その他10名）

【研究 内 容】

本委託事業は、ナノテクノロジーに関わる最先端の研究設備とその活用のノウハウを有する機関が、緊密に連携して全国的なナノテクノロジーの研究基盤（プラットフォーム）を構築することにより、産学官の多様な利用者による共同利用を促進し、個々の利用者に対して問題解決への最短アプローチを提供するとともに、産学官連携や異分野融合を推進することを目的としている。

公開装置は、独自に開発した計測装置や技術を中心に以下の7つの装置（群）である：①陽電子プローブマイクロアナライザー装置（周辺設備含）（PPMA）②超伝導蛍光収量 X 線吸収微細構造分析装置（周辺設備含）（S-XAFS）③可視～近赤外過渡吸収分光装置（4台、周辺設備含）（VITA）④リアル表面プローブ顕微鏡装置（3台、周辺設備含）（RSPM）⑤固体 NMR 装置（3台、周辺設備含）（SNMR）⑥極端紫外光光電子分光装置（EUPS）⑦超伝導蛍光 X 線検出器付 SEM 装置（SC-SEM）。

これらの装置を用い、企業・大学研究機関からの要望に応じてナノ材料などの計測を実施して研究開発に貢献した。具体的な計測の支援実績は、①課題件数：73件（目標63件以上）②外部共用率：平均54 %（目標35 %以上）（装置毎に異なる）③外部共用のうち民間企業の占める割合：平均54 %（目標：平均20 %以上）（装置毎に異なる）であり、いずれも目標の値を達成した。

利用講習会（スクール）として、「第1回設備利用講習会（PPMA）」（陽電子ビーム利用材料評価コンソーシアム研究会との共催、2016年5月）と「第2回設備利用講習会（RSPM）」（日本顕微鏡学会との共催、2016年11、12月）を、つくば産総研にて開催した。これらにより、事業の宣伝とユーザ拡大、および人材育成を図った。また、地域公開セミナーを2回開催した。「大阪大学・産総研 微細構造解析プラットフォーム合同セミナー」（大阪、2016年6月）、「産総研 微細構造解析プラットフォーム地域セミナー」（2016年11月、東京）である。さらに、JASIS2016展示会、次世代ものづくり基盤技術産業展 TECH Biz EXPO 2016や Nanotech2017など、各種の展示会にも出展し、事業の宣伝によるユーザ拡大とユーザニーズの把握を実施した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ナノテクノロジー、機器公開、研究支援、先端計測機器、産学官連携、イノベーション

【研究 題 目】省エネルギー社会の実現に資する次世代

半導体研究開発（パワーデバイス・システム領域）ノイオン注入技術の確立と革新的スマートパワーデバイス構造作製技術への応用

【研究代表者】清水 三聡（窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ）

【研究担当者】山田 寿一、清水 三聡、山田 永、田岡 紀之、井手 利英、沈 旭強、中島 昭（常勤職員7名）

【研究内容】

縦型パワーデバイスのプロセスにおいては、MOS ゲート構造や耐圧構造を形成するために、p 形ウェルや n 形ウェルなどから形成される複雑な構造をイオン注入技術で作製することが必要である。しかし窒化物半導体に関しては、イオン注入技術はまだ確立されておらず、イオン注入時のダメージが大きい、p 形の活性化率が低い、イオン注入領域の電子やホールなどの移動度などがまだ不明もしくは低い、などの問題点がある。

そこで本研究開発においては、イオン注入プロセスの適用性を明確にするために、リコイルインプラなどの技法を用いた低ダメージのイオン注入技術の開発と、注入された Mg イオンの拡散定数などプロセスパラメータを明確にすることが目的である。

平成28年度は、高 Mg ドープの GaN 層を表面に形成し、リコイルインプラの特性を評価した。

【領 域 名】エネルギー・環境

③環境省

【研究 題目】水俣条約に基づく水銀削減政策として経済手法の活用可能性と期待される効果に関する調査・分析

【研究代表者】村尾 智（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】村尾 智、中島 和夫（山形大学）、新海 尚子（名古屋大学）（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

人力小規模金採掘で使用される水銀の量を削減するために必要な経済的インセンティブとしてエシカルジュエリーに注目し、その適用可能性を調査した。今年度はフィリピンにおける採掘・選鉱・製錬の現場で情報を収集した。特に、使用される水銀の量と回収される金の量を比較し、水銀を多量に投入しても無意味であることを明らかにした。また、フィリピンについて、マテリアルフロー分析を行い、同国の水銀流通においては、人力小規模金採掘による影響が極めて大きいことを確認した。さらに、モンゴルの宝飾業界及びドイツ天然資源研究所と協力し、エシカルジュエリーの体制構築について、ある程度の見通しを立てた。次年度に行う実験計画についても検討した。クインズランド大学と協議し、フィリピンとモンゴルにおける計量経済学的な測定の方法とツール

の概要を設計した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】人力小規模採掘、金、水銀、アマルガム、水俣条約、エシカルジュエリー

【研究 題目】機器分析と溶出特性化試験を組合せた自然・人為由来汚染土壌の判定法の開発（サブテーマ：溶出特性化試験に基づく自然由来汚染土からの元素の溶出挙動の解明に関する研究）

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、機器分析と溶出特性化試験を組み合わせた自然・人為由来汚染土壌の判定法の開発研究の一環として、溶出特性化試験に基づく自然由来汚染土からの元素の溶出挙動の解明を目指すものである。自然由来、人為由来などの起源の違いにより、土壌からの経時的な汚染物質の溶出挙動が異なることが想定される。本年度は、複数の自然由来汚染土壌と人為由来汚染土壌、更にはエイジングをした模擬汚染土壌を用いてカラム溶出試験を実施し、自然由来汚染土壌と人為由来汚染土壌の判定に資する情報が得られるかを検討した。また、標準的な上向流カラム通水試験を模擬した数値実験を行い、溶出メカニズムによって異なるカラム破過曲線の形状の特徴を考察するとともに、実際のカラム試験結果を用いて、カラム破過曲線の形状からの無機物質溶出機構の推定を試みた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】カラム試験、自然由来重金属、土壌、判定方法

【研究 題目】1,4-ジオキサンの環境動態の把握に基づいた土壌調査法の開発に関する研究（1,4-ジオキサンの生物反応特性に及ぼす諸因子の検討）

【研究代表者】川辺 能成（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】川辺 能成、坂本 靖英（常勤職員2名）

【研究内容】

昨年度の成果より、1,4-ジオキサンの分解反応は環境条件や共存化学物質の影響により変動することが明らかになった。そこで、本年度は実汚染サイトや処分場等で想定される1,4-ジオキサンとその他の有害化学物質が混在した場合における反応特性を検討した。

1,4-ジオキサン分解菌（ATCC55486）の反応特性に及ぼすフッ素、ホウ素、カドミウム、ヒ素（三価、五価）、1,1,1-トリクロロエタンおよび塩化ビニルの影響を検討したところ、1,4-ジオキサンが完全に分解されるまでの時間が長くなり、分解菌はこれらの化学物質に対

して阻害を受けることが明らかになった。また、1,4-ジオキサンの比消費速度はヒ素（三価）存在下でもっとも小さくなり、その他の化学物質については阻害はそれほど大きくなかった。

得られた速度パラメータや阻害に関するパラメータを用いて1,4-ジオキサンの移動特性を評価した。微生物の増殖を考慮した場合には、汚染現場における1,4-ジオキサン濃度は、微生物が存在しない場合よりも明瞭に減少し、移動範囲も小さくなった。また、微生物の注入時期を変化させて評価を行ったところ、汚染発覚から年数が経過してから微生物を注入した場合には、帯水層内における菌体濃度を高く維持することができず、汚染発覚から早い段階での微生物注入の重要性が示唆された。

【領 域 名】 エネルギー・環境、地質調査総合センター

【キーワード】 1,4-ジオキサン、微生物、分解速度、重金属類、有機塩素系化合物、移動特性

④その他省庁

【研究題目】 国産農産物の輸出先における嗜好性の予測技術開発

【研究代表者】 根本 直（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 根本 直、廣山 華子
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究課題では国産農産物の輸出先の国・地域の消費者の嗜好性と輸出する農産物の多様な品質の双方を正確に、かつ容易に把握できるようにするとともに、輸出先の嗜好性に適合する品質を容易に判別できるようにするための技術を開発することを目的としている。輸出する国産農産物として産地や品種が異なるモモが対象である。プロジェクトは、実際に外国人に試食評価をして頂いた結果を元に、各種分析法を適用し非破壊技術に還元されることにより、国際的需要を見極めた国産農産物輸出品の効率的かつ高い価値で輸出できる基盤形成に資する。

配布されたモモの各品種についてNMR-MP法により、流通時温度を念頭に、開発した重水希釈法にて流通時変化を模したスジ系モモ、ゴム系モモの解析を行った。痛みの早いことが知られているモモであるが、本年度は開花結実期の干ばつおよび多雨により出荷品質のばらつきが深刻であるうえに、小粒であり、輸送の個包装容器の中で動揺したため試料到着時にすでに多くのものに打痕（あたり傷）がある状況であった。NMR-MP解析を行なうと、経時変化の特徴は打痕によって深刻な変動を受けていた。集積した過去のデータと同時散布して比較解析を行い、年ごとの品質の変動の把握を行った。

これらの結果は他の分析グループに提供され、データの照合と統合化の議論が行われた。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 メタボロミクス、NMR、非標的分析、

探索的統計解析、農産物

【研究題目】 国産農産物の潜在的品質の評価技術の開発

【研究代表者】 根本 直（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 根本 直、廣山 華子
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究課題では国産農産物のもつ未注目である品質に対して新しく実用的な非破壊計測尺度の構築を目指している。農産物の代表として、品種が多くその健康効果や成分などの基礎的知見が蓄積されているトマトを解析対象とし、NMR-メタボリック・プロファイリング（MP）によって成分を包括的に解析し、他の機器分析データや品質評価データと関連づけることで、隠れた品質・複雑な品質を簡便に計測する技術を開発することを目標としている。

本年度は主として加工トマト（トマトジュース）について、その果実と品種ごとの特性、加工条件の差などをNMR-MP法にてバッチで可視化した。必要に応じて過去に計画された視点によるデータと結合・分離を行う柔軟な解析の適用方法を試み、新たな知識生成に寄与した。NMRは再現性が極めて高く、定量性も良いので、データマトリクスを一定にすることによって、比較したい任意の新たな群を散布解析することで、加工条件の差異に加え、試作缶容器中における長期保存影響など、過去の視点の反映を行った実験群を新たな視点の群に全部または一部を選択して加減し、自在な可視化検討のできるプロトコルを確立できた。

また、特徴軸再構成法による加工品の特徴による品質の再提示を行い、酸味、旨味、甘みによる独自の整列提示を検討した。特徴軸再構成法は消費者（味覚特徴の選択者）にとって有効であり、簡易的な相対定量としての利用の可能性も見出した。

本成果によりメーカによる商品化の方向性に強く寄与した。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 メタボロミクス、NMR、非標的分析、探索的統計解析、農産物

【研究題目】 平成28年度養殖カキの共販事業における予約取引市場に関する実証研究

【研究代表者】 宮下 和雄（人間情報研究部門）

【研究担当者】 宮下 和雄（常勤職員1名）

【研究内容】

2011年の震災後、宮城県のカキ養殖生産が徐々に回復する一方、販路が減少したために現地の仲買人らの購買力は低迷し、価格も伸び悩んでいる。そのため、一部の漁業者らは従来の共販制度とは別に、販売会社の設立や、インターネットの直販サイトの開設など、独自の販

路を模索するようになった。しかし、不慣れな個々の漁業者による販売活動には多大な経営的リスクが伴うため、生産者の収益改善には至っていない。

宮城県の養殖カキ生産者の収益を改善するためには、県漁協が実施する従来の共販制度を補完する新たな販売ルートが必要である。本研究では、高付加価値商品を高価格で取引可能な新たな電子取引市場を構築することにより、参加した生産者の収益を参加前の約2倍とすることを目標とする。

平成28年度の研究成果は以下の通りである。

- ・水産物など生鮮食品を売買するための市場取引制度の設計を行い、その有効性をマルチエージェントシミュレーションにより確認し、国際会議や国内の水産専門誌でその成果を報告した。
- ・上記、市場取引制度を実装した電子商取引市場「おらほのカキ市場」を開発して実証実験を実施し、平成28年度には殻付きカキ1万個、金額にして約100万円の売上をあげた。平成25年度から4年間の実証実験では、合計で約900万円超の売上を上げた。
- ・「おらほのカキ市場」において、カキ以外の一般の水産物を取引するための歩留まり管理や不定貫処理などの諸機能を実現した。
- ・平成28年度3月末時点で、宮城県漁協の8支所（唐桑、志津川、長面浦、万石浦、荻浜、鳴瀬、松島、宮戸）が「おらほのカキ市場」を利用して殻付きカキの販売を実施している。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 メカニズムデザイン、ダブルオークション、社会実装

〔研究題目〕 畑作の省力化に資する生分解性マルチフィルム分解酵素の製造技術と利用技術の高度化

〔研究代表者〕 森田 友岳（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕 森田 友岳、小池 英明、国岡 正雄、大前 奈月、二宮 扶実
（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

生分解性プラスチック（生プラ）製の農業用マルチは、使用後の分解制御が普及のための課題となっているが、酵素処理による急速劣化で鋤込み可能になれば、生プラマルチの普及によって、廃棄物の削減だけでなく、労力を減らした畑の計画管理や大規模農業への対応が可能になると期待される。これまでの研究で、生プラ分解酵素の活性が、生産培養中に低下することが分かってきた。そのため、生プラ分解酵素を安定した状態で供給するための微生物プロセスの開発が実用化に向けた課題の一つとなっている。本研究開発では、生プラ分解酵素の活性を低下させる遺伝子のスクリーニングと、各遺伝子破壊株による生プラ分解酵素の生産および分解特性を評価し、

培養ろ液を調製するために必要な日数の間の損失を10%以下に抑制することを目指す。

本年度は、生プラ分解酵素の分解物の部分アミノ酸配列から、培養液中のプロテアーゼが生プラ分解酵素を分解している可能性を見出した。推定プロテアーゼ遺伝子に着目して、遺伝子発現プロファイルから候補となる遺伝子を抽出し、生プラ分解酵素の安定性を向上させるためのターゲット遺伝子を8個リストアップした。また、生プラ分解酵素を生産するための培養および保存条件の影響を調べ、細胞内から漏出したプロテアーゼによって、生プラ分解酵素の分解が加速されている可能性を見出した。また、生プラ分解酵素の安定性を評価するための実験系を確立し、ターゲット遺伝子の破壊株の創出を進め、生プラ分解酵素の分解に対する各遺伝子の影響の評価に着手した。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 生分解性プラスチック、農業資材、酵素、遺伝子組換え技術

〔研究題目〕 農林系廃棄物を用いたハイブリッドバイオマスファイラー製造および複合材料開発

〔研究代表者〕 遠藤 貴士（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕 遠藤 貴士、岩本 伸一朗、熊谷 明夫、妙見 夕佳、島本 忠直
（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

本テーマは、農林系廃棄物を高付加価値化する技術開発として、もみ殻が含有しているシリカ成分を林地残材等の森林バイオマス系廃棄物から製造したバイオマスファイラーとハイブリッド化させることにより、樹脂補強用素材として利用できるハイブリッドバイオマスファイラー製造技術の開発を目標としている。研究開発では、林地残材等の森林バイオマス系廃棄物から、微細繊維状のバイオマスファイラーを効率的かつ経済的に製造する技術およびもみ殻由来シリカを用いて、バイオマスファイラー表面を改質し、ハイブリッド化する技術を開発する。さらに、得られたハイブリッドバイオマスファイラーを用いて、プラスチック製品に応用しやすいマスターバッチ製造を進める。

本年度は、基盤試験から無機素材とバイオマスファイラーの単純混合による樹脂補強効果を確認し、製造プロセスの改良を進めた。その結果、もみ殻原料に、工業用シリカ・カルシウム原料を混合して、準乾式粉碎を行うことで、従来必要であった水熱処理を行うことなく、効果的かつ低コストで無機物がアロイ化したハイブリッドバイオマスファイラーが製造できることを明らかにした。さらに、間伐材由来バイオマスファイラーおよび樹脂と複合化し、目標である200 kg以上のマスターバッチが製造できることを確認した。また、複合材料では、従来型の無機ファイラー複合材料と比較して、強度等の物性が向上す

ることを確認し、8種の製品試作を達成した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕農林系廃棄物、バイオマスファイバー、もみ殻、ハイブリッド

〔研究題目〕繁殖性の改善による家畜生涯生産性向上技術の開発

〔研究代表者〕山下 健一（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕山下 健一、永田 マリアポーシャ、石地 友香、松浦 和真（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

流体操作により精子を誘導するという新技術により、人工授精用精液の受精能力を向上させること、ならびに繁殖検診に関連する知見を情報処理技術により整理し、繁殖機能回復の程度の判断を支援する技術の開発を行い、全体平均として分娩後の早期回復を成し遂げるという2つの課題に取り組み、家畜の生涯生産性向上を実証する。28年度は、実際に人工授精用精液の処理を行い、フィールドでの実証試験を中心に行った。その結果、一定の繁殖性の向上の結果が得られた。併せて、このような高度化処理を、大量生産に供する技術開発を行うことで、社会実装に向けた取り組みを進めた。分娩後早期回復の課題については、繁殖作業前後の家畜の牛の状況のデータ収集項目の絞り込みと整理を、獣医師の見解に基づいて行った。そのような項目に合わせてデータ収集を進め、機械学習の手法により解析を行った。この解析結果を活用し、外見状況やセンサーのような、簡易に収集可能な情報から、当該の牛の繁殖性の将来予測が可能であるかについて検討を行った。併せて、多くの機関で同時並行して作業を進めるためのオンライン処理化、社会実装に向けた画像処理のソフト化などの要素開発も進めている。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕繁殖、畜産、獣医学、マイクロ流体

〔研究題目〕野菜栽培による農業経営を可能とする生産技術の実証研究

〔研究代表者〕保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕保高 徹生（常勤職員1名）

〔研究内容〕

福島県は、東日本大震災による地震、津波被害に加え東京電力第一原子力発電所の事故による放射性物質の影響が極めて大きい。本研究は、津波、原子力災害の被災地である浜通り地域が県内向けの種苗供給産地であったことから、種苗生産に着目し、地域農業を最先端種苗産業として発展させることで、雇用対策や地域農業の起爆剤として、復興の後押しとなる実証研究を行うものである。

プロジェクト全体の研究課題としては、①高付加価値苗の技術確立、②育苗労力低減技術確立、③苗生産にお

ける放射性物質のリスクマネジメントの確立研究に取り組み、研究担当者は研究課題③のチームリーダーとして、育苗における放射性セシウムの影響回避のための育苗施設内の放射性セシウムのモニタリング技術の確立、施設内に影響を及ぼさないための放射性物質除去システムの開発・導入、育苗環境の最適化に関する研究を推進している。

本年度は、銅置換体プルシアンブルーを用いた水中の放射性セシウムの簡易モニタリング手法の開発を検討した。具体的には、大量通水および NaI (TI) スペクトロメーターを用いた分析を組み合わせた手法であり、低コストでの分析可能性が示された。また、育苗環境が苗中の放射性セシウムに与える影響や苗栽培における放射性セシウムリスク管理チェックシートの実証農家での適用を実施した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕放射性セシウム、野菜栽培、育苗環境、農業振興

〔研究題目〕生態系ネットワーク修復による持続的な沿岸漁業生産技術の開発

〔研究代表者〕吉田 勝俊（瀬戸内海区水産研究所）

〔研究担当者〕高橋 暁、長尾 正之、安永 恵三子（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

瀬戸内海において漁獲量が激減しているアサリの資源量回復を目的に、その原因であると考えられるアサリ生態系ネットワークの分断箇所の特定を目指す。このために、広島湾と松永湾を対象海域として、浮遊幼生分布調査や流況調査、数値モデルによるアサリ浮遊幼生の移流・拡散実験を行い、これらの結果の相互対比による総合的な解析を行う。

昨年度までに、広島湾においては春季と秋季で浮遊幼生の輸送過程に違いがあること、近年では春の幼生発生が秋に比べ非常に少なくなっていること等が明らかとなり、このことがアサリの生息域が広島湾の北部海域に限定されるようになった原因ではないかと類推されるまでに至っている。また、松永湾モデルを構築し、アサリ浮遊幼生の移流拡散数値実験を行った結果、松永湾は周辺海域の幼生供給地であること、湾内に建設された堤防が幼生の湾内における輸送特性に大きな影響を与えたこと等が明らかとなった。

今年度は、松永湾浮遊幼生移流拡散実験結果を詳細解析し、これまでの現地調査結果と対比・検討することで、特に湾内の幼生輸送特性の解明を試みた。この結果、松永湾内では湾奥東部の干潟が幼生の供給源であり、世代を変えながら時計回りに循環していること等が明らかとなった。これらの結果に基づいて来年度の調査計画が立てられるに至っており、さらには、今後の改善策策定に活用されようとしている。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕アサリ、浮遊幼生、生態系ネットワーク、移流・拡散数値モデル実験

〔研究題目〕平成28年度原子力発電施設等安全技術対策委託費（自然事象等の長期予測に関する予察的調査）事業

〔研究代表者〕伊藤 順一（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕風早 康平、塚本 斉、伊藤 順一、高橋 正明、佐藤 努、森川 徳敏、高橋 浩、宮越 昭暢、竹田 幹郎、朝比奈 大輔、東郷 洋子、戸崎 裕貴、間中 光雄、大坪 誠、大丸 純、殿岡 隆、中村 有理、宮川 歩夢（地質情報研究部門）、田村 亨（地質情報研究部門）、高森 佳奈（地質情報研究部門）（常勤職員16名、契約職員4名）

〔研究内容〕

本研究は、U や Pu といった極めて半減期が長い核種を多く含む燃料デブリの処分時の安全評価に必要な、超長期間における地質・気候関連事象及び地質環境の将来予測に係る調査手法の予察的検討を行うことで、安全評価の時間枠の拡大に伴う予測精度の議論に必要な科学的根拠を整備し、燃料デブリの処分における評価期間の議論に反映させる知見を得ることを目的として実施されたものである。

隆起速度評価手法の検討においては、堆積相解析とルミネッセンス年代測定を組み合わせた隆起速度評価手法の検討を行った。具体的には、ルミネッセンス年代測定法と堆積相解析を組み合わせた隆起速度評価手法を、石川県能登半島の MIS5e から MIS9の海成段丘への適用性の検討を行った。その結果、平成27年度までに確かめられた青森県上北平野と同様に年代測定が適用可能であることが明らかになった。またこれまで適用したことのなかった MIS5c の海成段丘の年代値も得た。一方、堆積相解析では旧海面高度の指標を確認することはできず隆起速度は下限値のみの見積もりとなった。

地質断層の再活動性の評価手法の検討においては、広域応力場・地域応力場とスリップテンデンス（ST）との関係性について、東北日本、西南日本において、均一な応力場の空間的な広がり の把握を応力のテンソルの類似度に注目することで行った。その結果、力学的な手法により断層活動性を評価する場合には、対象とする地域での応力場の空間スケールを把握することが重要であること、その際には応力のテンソルとしての類似性の違いの把握が必要であること、を明らかにした。

地質学的変動・海水準変動等を考慮した地下水流動系の評価手法の検討においては、結晶岩地域及び堆積岩地域のテストフィールドを幾つか選定し水文地質学的変動

モデルの検討を実施した。結晶岩地域に対する研究においては、広島花崗岩分布地域を対象として深層地下水系の現地調査と地下水年代等の解析の結果、①縄文海進期以前の古い海進期に侵入したことが想定される古海水が残存していないこと、②最終氷期に活発化した地下水流動系による塩水のフラッシングが起こったと想定されること、③広島花崗岩分布地域沿岸域の相対的に新しい塩水の分布範囲は縄文海進最盛期の海岸線より海側に位置していること、④縄文海進期以降に当時の海水が少なくとも1,700 m 程度の深層まで侵入したこと等が明らかになった。堆積岩地域を対象とした研究では、深層地下水系の現地調査と地下水年代等の解析の結果、①塩水成分の $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}$ 比は帯水層を構成する地層と放射平衡に達しているものがほとんどであり、100万年以上に相当する非常に古い塩水が残留していること、②淡水成分の ^{14}C 年代はおよそ1万年前程度に相当する値を示し、酸素・水素同位体比が低い値を示すことから、最終氷期後期頃の天水によって涵養された地下水であること、③最終氷期に涵養された淡水の到達深度が1,000 m 以上に達すること、④古い地下水年代を示す塩水は必ずしも閉鎖的に取り残されているとは限らず、氷期には天水起源の淡水の地下水流動により徐々に希釈されつつ存在していること等が明らかになった。このほか、深部流体の上昇域及び流量の評価手法と長期予測に対する検討に対するこれまでの研究成果のレビューを行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕放射性廃棄物、安全規制、隆起活動、断層の再活動性、地下水流動、深部流体

〔研究題目〕火山影響評価に係る技術知見の整備（原子力施設等防災対策等委託費）

〔研究代表者〕山元 孝広（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕山元 孝広、及川 輝樹、石塚 治、古川 竜太、石塚 吉浩、田中 明子、宮城 磯治、斎藤 元治、松島 喜雄、東宮 昭彦、星住 英夫、山崎 誠子、宝田 晋治、山崎 雅、田村 亨（地質情報研究部門）、工藤 崇（地質情報研究部門）、高倉 伸一（地圏資源環境研究部門）、中川 光弘（北海道大学）、宮縁 育夫（熊本大学）、井口 正人（京都大学）、市原 寛（神戸大学）（常勤職員17名、他4名）

〔研究内容〕

本業務は、火山の特性、地下構造、地球物理学的及び地球化学的調査手法等の最新の知見に基づく火山活動に起因する事象調査から、原子力施設に影響を与える火山活動の可能性をより定量的に評価するための評価基準・指標、火山活動のモニタリング評価基準・指標に関する

知見を整備することを目的としている。その達成のため、以下の3項目の調査研究を実施した。

1) 火山活動評価のための調査研究

将来の火山活動の可能性評価のためには、過去に大規模噴火を起こした火山や主要な活火山の活動履歴情報を整備し、可能性評価基準・指標を策定する必要がある。そのために、特に大規模噴火に先行して現れると期待される火山活動の様式や噴出率の変化に注目して、昨年度までに整備した主要火山の積算マグマ噴出量階段図による評価手法の考え方を取りまとめると共に、代表的な火山やカルデラを対象に地質学的・地球化学的事例研究を実施し、その兆候と考え得る事象の特徴を整理した。代表的な事例として、支笏カルデラ・十和田カルデラ・大山火山を対象とした以下の噴火履歴調査を実施している。また、過去1千年間に3回のカルデラ形成噴火を起こしたインドネシアでの事例調査も合わせて行い、比較研究を実施した。

2) 噴火規模及び影響範囲推定のための調査研究

カルデラ火山のマグマ供給系における噴火準備状況の把握に向けた物理探査や、カルデラ火山の活動将来予測を行うためには、大規模噴火のマグマ溜まりの物理化学条件（粘性や圧縮率等）、構造（深さや広がり）、それらの時間変化に関する現状の正確な把握と、そのような時間変化が生じる理由を合理的に説明するモデルに関する知見の整備が必要不可欠である。そこで、幾つかの代表的なカルデラ形成噴火噴出物に対して岩石学的検討を行い、カルデラ形成噴火に至るマグマ供給系の発達過程を明らかにした。代表的な事例として、支笏カルデラ・阿蘇カルデラ・始良カルデラ・鬼界カルデラ噴出物を対象とした。

3) 火山モニタリング評価のための調査研究

大規模なカルデラ形成噴火のマグマ噴出量は数十～数百 km³程度であり、同様な規模の噴火が起こるためには、噴火準備過程でこれと同等以上の規模のマグマ溜まりが地下に形成されるものと考えられる。このような大規模噴火を想定した火山活動モニタリングに求められるマグマの蓄積に伴う広域地殻変動を評価するためのシミュレーション技術開発と、阿蘇カルデラと始良カルデラにおけるマグマ溜まりの位置確認のための地下構造調査を実施した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕火山活動履歴、大規模噴火、カルデラ、シミュレーション

〔研究題目〕完全自動リアルタイムフルデマンド交通システム SAV 向けプラットフォームの研究開発

〔研究代表者〕野田 五十樹（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕野田 五十樹（常勤職員1名）

〔研究内容〕

情報通信技術を用いて地域住民の活動目的を踏まえた移動サービスを提供し、地域活性化の基盤となる公共交通システムを実現する。

本課題の目的は、情報通信技術を用いて地域住民の活動目的を踏まえた移動サービスを提供し、地域活性化の基盤となる公共交通システムを実現することである。我々は、2012年10月～2015年9月にかけて JST・RISTEX の研究費を得てリアルタイムデマンド応答型交通システム SAV (Smart AccessVehicle) システムの研究開発を行ってきた。SAV システムとは従来のタクシーとバスを統合したような公共交通システムであり、固定路線・時刻表を持たず、呼び出しに応じて、場合によっては乗合いをしながら乗客を目的地まで届ける。2015年5月に我々は、函館市街地において4日間、SAV 車両20台（1日間は30台）、乗客211名で世界初となる完全自動リアルタイムデマンド交通システムの社会実装実験を成功させた。本課題ではこの成功を礎にして、プラットフォーム構築、実装実験とプラットフォームの改良、有用性検証を行う。

本年度は、配車プラン生成に関して、配車ポリシー制御の API の設計を行い、様々な評価軸における最適化を柔軟に選択できる方式の開発を進めた。また、プライシング決定のためのアルゴリズムの設計を支援するため、シミュレーションにより評価する枠組みを構成し、プライシング評価を進めた。配車ポリシー制御に関しては、これまで進めてきた、締切時刻以前の到着条件下での旅行時間最小化に加え、早着時間最小化を新たな評価軸に選べる方式を開発した。本課題で開発する SAV システムとほかの交通機関の乗り継ぎを考えた場合、乗り継ぎ時間を最小化するような配車という要望に応える必要がある。これを可能とするために、締切時刻のできるだけ近い時間に到着できるように配車を行う方法を開発した。また、プライシング支援については、多治見市のタクシーの実乗車データを利用し、シミュレーションにより平均速度および乗降時間の推定したうえで、その推定パラメータに基づいて、与えられたプライシングポリシーによりどのような利用者にどのような利便性や減額を提供できるかを評価した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕社会シミュレーション、エージェントシステム、サービス工学

〔研究題目〕Si系 OAM 光送受信の開発と光渦多重ネットワークノードの構築

〔研究代表者〕吉田 知也（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕吉田 知也（常勤職員1名）

〔研究内容〕

100ギガビット超光リンクの低コスト化と低消費電力化の研究開発が進展する中、従来の多重化方式より更に積極的に光の自由度を利用する次世代の多重化方式が様

々に展開されている。本研究ではその中でも特に理論上無限の多重化ができることとされ、実用化されたときのインパクトが大きい光渦（OAM：Orbital Angular Momentum）多重化伝送に注目し、その OAM 多重化伝送を実現するための光渦多重トランシーバ（OAM 光送受信器）の開発を実施した。

OAM 多重化信号を生成するためには、複数の光出射ポートを近接して配置した「OAM 信号生成部」を作製しなければならないのだが、高集積な光導波路を作製可能なシリコンフォトニクス技術を用いても、既存技術だけでは十分な近接配置を実現することは非常に困難である。その課題を克服するために、本研究ではシリコン光配線の先端をウェハ垂直方向に立体湾曲加工する独自技術を応用した。また合わせて「位相調整器」を形成するためのプロセス開発も実施した。

開発した作製プロセスに基づき試作したプロトタイプチップを用いて、自由空間への光出射実験を実施し、OAM 信号生成部の各ポートから出射される事を確認した。本研究で開発した技術は、チップ表面方向に光出射を可能とする非常にコンパクトな OAM 信号生成部を実現でき、光渦多重トランシーバへの応用が期待される。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】光渦多重化伝送、シリコン光集積回路、

【研究 題目】下水汚泥の熱分解高純度水素製造プロセス技術に関する研究

【研究代表者】小寺 洋一（環境管理研究部門）

【研究担当者】小寺 洋一（常勤職員1名）

【研究 内容】

下水汚泥は有機物に加えて多量の水分を含むため、これまでは多量の燃料を消費する焼却処理が行われてきた。嫌気性発酵によるメタン製造も実施されているが、多量の残渣は焼却する必要があった。下水汚泥を焼却するのではなく、含まれる炭素成分と水蒸気の反応で水素を製造するプロセスを開発するため、物質収支の基礎データを得ることを目的として本研究を実施した。研究期間は平成28年6月から29年2月である。電熱ヒーター加熱により石英ガラス管中の絶乾下水汚泥を400℃で炭化でき、炭化物は鉄触媒を用いれば、過熱水蒸気水蒸気と800℃で水素と一酸化炭素を生成することが明らかになった。速度論モデルの結果、改質率80%を得るのに1.5時間を要することがわかった。内部循環型回転炉の設計値として、滞留時間1.5時間が得られた。なお、この知見をもとに、連携する成蹊大学と（株）オストランドはプラントの製作と運転、経済性試算を行った。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】下水汚泥、水素製造、水蒸気改質

【研究 題目】シールドトンネルの平常時のモニタリングおよび掘削時の安全管理へ向けたセ

グメント組込型有機導波路の提案

【研究代表者】福田 伸子、真中 潤（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究は、シールドトンネルのセグメントにあらかじめ光導波路が組み込まれた新規の構造ヘルスマニタリング技術の創出として、セグメントの歪みによって引き起こされる出射光の色変化によりその歪みを肉眼検出できる光導波路構造、およびセグメント同士のズレや破壊により出射光強度が減衰する構造を併せて作製することを目的としている。本年度は、エラストマー光導波路構造体を使用する部材を決定し、回転成形法による光導波路構造体形成環境・条件の検討、成形・搬送・剥離・敷設を考慮に入れた新たな光導波路構造体形成用管の設計・試作、成形用管内壁表面への剥離コート処理と表面科学的な検討、および新規成形用管を用いた光導波路構造体形成・剥離取り出し実証実験を行った。光導波路構造体の部材は PDMS 誘導体を採用し、クラッド材として屈折率が1.34程度、コア材として屈折率が1.41程度の種類の異なる PDMS 材料を選定した。クラッド材は硬化のために最低でも70℃の加熱が必要であることが分かり、成形及び硬化を行う回転成形プロセスは加熱オーブン中で行うこととした。成形・搬送・剥離・敷設までのプロセスを考慮した成形用管内壁の剥離コート処理および圧縮空気押出成型用管の設計を行い、小型スケールで試作した。剥離コート処理の効果を表面科学的手法により予測し、試作した新規成形用管にて実際に光導波路構造体を作製し、剥離・取り出しが可能であることを実証した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】フレキシブルデバイス、光導波路、センサー

【研究 題目】人との相互作用によって持続する汽水湖生態系の構築に関する研究

【研究代表者】山室 真澄（地質情報研究部門）

【研究担当者】山室 真澄、浅枝 隆（埼玉大学）、井上 徹教（港湾航空技術研究所）、大谷 修司（島根大学）、神谷 宏（島根県保健環境科学研究所）、菅原 庄吾（島根大学）、清家 泰（島根大学）、勢村 均（島根県水産技術センター）、谷 幸則（静岡県立大学）、矢島 啓（島根大学）（常勤職員1名、他9名）

【研究 内容】

斐伊川は下流に連結した汽水湖沼（宍道湖・中海）を有する一級河川である。斐伊川では洪水対策としてダム建設、放水路の整備、大橋川の拡幅が進められている。これらの防災事業で予測される環境変化に対して、表在

性海産二枚貝ホトトギスガイの侵入予測など、河川管理者によって様々な検討やモニタリングが為されている。一方、近年の宍道湖ではアオコが頻発し、水質基準は達成されることがない。また近年は汽水性二枚貝ヤマトシジミの漁獲量が激減し、水草が大量繁茂するなどの「異変」が生じている。さらに土砂供給減少による泥場化と、それによるヤマトシジミ資源の減少が懸念されている。本研究ではこのような現状を踏まえ、ダム建設による土砂動態の変化や近年の気候変動による降雨の変化などの影響を含む環境変動と生態系の反応の関係を抽出し、人がどのような働きかけをすることで生態系が持続的になるか明らかにすることを目的としている。

今年度は旧地質調査所が宍道湖で行った1990年代の湖沼堆積物を含む過去の堆積物中有機物濃度と現在との比較を行った。その結果、宍道湖表層堆積物中有機物濃度は1980年代より1990年代の方が少なく、その後、現在になって再び増加していることが分かった。また1980年代には広範囲に生息していたユスリカ科幼虫が、現在は全く生息していないことが分かった。また二枚貝ヤマトシジミは波浪などの湖内流動を利用し、広範囲に移動している実態が明らかになった。塩分成層形成時に硫化水素が発生するのを抑制するために、ヤマトシジミの貝殻粉末と水酸化マグネシウム及び酸化マグネシウムから成る改善剤を考案し、その効果を検証したところ、硫化水素発生を十分抑止することが確認できた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】湖沼堆積物、有機物濃度、底生動物

【研究 題 目】粒子酸化能の自動観測と原因物質の特定に関する研究

【研究代表者】大畑 昌輝（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】大畑 昌輝（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究題目は、平成28年度環境研究総合推進費（以下、推進費と呼ぶ）として採択された「PM2.5の成分組成、酸化能、呼吸器疾患ハザードとそのモデル予測に関する研究」のサブテーマ2である。サブテーマ1～4があり、それぞれ気象研（サブテーマ1）、国環研（サブテーマ2）、自動車研（サブテーマ4）が分担している。

サブテーマ2の主な研究テーマは、新規装置開発であり、PM2.5の有する酸化能を評価するための自動連続測定装置（ACSA-DTT と命名）の開発である。本研究は、既法であるジチオスレイトール（DTT）アッセイをベースとした新規装置開発であるが、DTT アッセイとは、PM2.5を捕集したフィルタ試料を抽出した溶液に還元剤である DTT を混合して DTT 消費量を評価することで、PM2.5の酸化能を評価する手法である。この酸化能は、HO-1の遺伝子発現変化と強い相関を持つことから、生体内の酸化ストレスの指標になると言われている。また、PM2.5を含む粒子状物質の曝露と酸化ストレスに起因す

る喘息などの病気の関連を明らかにする疫学研究においても DTT 酸化能が良い指標になることが示されている。

本研究で開発した ACSA-DTT を用いて、PM2.5の酸化能の全自動・連続測定を検討したところ、PM2.5の酸化能に由来すると考えられる信号を連続的に得ることができた。本信号の変化と PM2.5の変化の相関評価や、本信号の大きさとバッチ式 DTT アッセイ（既法）との相関評価など、検討しなければならない事項について、今後検討を進めていく予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】酸化ストレス原因物質、モデル開発、装置開発、毒性評価、発生源評価、領域評価、疫学との連携

【研究 題 目】自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討

【研究代表者】北崎 智之（自動車ヒューマンファクター研究センター）

【研究担当者】自動走行システムの実現に向けた HMI 等のヒューマンファクタに関する調査検討コンソーシアム（産総研、筑波大、慶應義塾大、㈱デンソー、東京都ビジネスサービス㈱、産総研；北崎 智之、赤松 幹之、佐藤 稔久、武田 裕司、小峰 秀彦、阿部 高志 自動車ヒューマンファクター研究センター（常勤職員6名）

【研究 内 容】

安全で社会的受容性の高い自動運転車を開発するために、ヒューマンファクターおよび HMI（ヒューマン・マシン・インターフェース）に関わる課題は重要である。本研究は SIP 自動走行システムの取り組みの一環として、内閣府より受託した研究開発事業である。平成28年度は、以下の3つの課題に取り組み成果が得られた。

課題 A（筑波大学で実施）：自動走行システムの機能・状態・動作の理解に関わる課題。ドライビングシミュレータ実験により、システムからの要請に対して適切に運転引継ぎを実行するために必要な知識と、その与え方に関する要件を導出した。

課題 B（産総研で実施）：ドライバーの状態と自動走行から手動走行への遷移に関わる課題。ドライビングシミュレータ実験により、ドライバー状態の変化と、運転引継ぎおよび引継ぎ後の運転行動の変化の関係を求めた。またドライバー状態変化を検知する生理指標を抽出し、ドライバーモニタリングシステムの設計要件を導出した。

課題 C（慶応大学で実施）：自動走行システムと他の交通参加者とのノンバーバル・コミュニケーションに関わる課題。ドライバー間、およびドライバーと歩行者間の現状のコミュニケーション行動を理解するために、定

点観測、同乗被験者観察、閉鎖フィールド内実験、アンケート調査を実施した。車両挙動やパッシングライトなどを使用したコミュニケーション行動の定量データを取得した。またコミュニケーション行動の地域性や人の属性による違いを抽出した。

今後、上記実験結果をテストコース実験や公道実験によって検証するとともに、ドライバーや周囲の交通参加者を支援する各種 HMI の研究開発を計画している。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕SIP、自動運転、ヒューマンファクター、HMI

〔研究題目〕国産データベースの開発（セラミックス系の汎用データベースおよび物性データベースの開発）／国産ソフトウェアの開発

〔研究代表者〕菖蒲 一久（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕菖蒲 一久、山田 浩志

（非常勤職員1名、常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は計算熱力学に関する国産の技術基盤構築を目的とする。計算熱力学は実用性が高いことに特徴があり、本来の熱力学解析や状態図解析での利用の他、非平衡現象の数値モデリングのベースとして、また、実材料の物性パラメータの高精度推算法として、マルチスケールシミュレーションにおけるキーテクノロジーの1つとなっている。しかし、既存の関連技術はほとんどが外国製で、主要部分は秘匿・暗号化されている。そのため、実利用で必須の修正や拡張は勿論、独自の改良も不可能であるなど問題が多く、国産の技術開発が喫緊の課題となっている。そこで本研究では国産のデータベースとソフトウェアの開発を行い、計算熱力学に関する独自の技術基盤を構築する。具体的には、データベース開発として熱力学データベースと物性データベースを開発し、また、ソフトウェアの開発として既開発の平衡計算ソフトを元に、物性推算機能、他のシミュレータとのインターフェース機能、および熱化学反応シミュレータの開発を行う。

本年度はセラミックス系汎用データベースの開発とともに耐環境性セラミックスコーティングの候補材料である $\text{Yb}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系の熱力学データベースの開発を行った。また、物性データベースの関しては、同材料系の密度・体積データの収集を行った。さらに、拡散反応シミュレーション機能のプロトタイプ開発を行った。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕計算熱力学、データベース、ソフトウェア

〔研究題目〕構造物の状態を高度可視化するハイブリッド応力発光材料の研究開発

〔研究代表者〕徐 超男（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕徐 超男、藤尾 侑輝、寺崎 正、山田 浩志、吉田 晃人、劉 臨生、塗 東、久保 正義、古澤 フクミ、末成 幸二、川崎 悦子、津山 美紀、有本 里美、渡邊 竜太、斉藤 亮二（常勤職員4名、他11名）

〔研究内容〕

応力発光体は無機結晶微粒子の一つ一つがセンサとして機能するため、構造体表面にこの微粒子を分散塗布すると、構造体の動的なひずみ分布が可視化され、マルチスケールに亘って包括的な応力集中、構造欠陥、劣化部位、亀裂、破壊の現状と予兆診断まで広範囲に適用できる。本研究では、自己発光によって様々な構造物の破壊予兆と劣化進展を、オンサイト・オンタイムに可視化する機能を実現可能なハイブリッド応力発光材料を開発し、構造物の高度な安全安心化を目指す。具体的には、

（1）結晶制御による高感度化、（2）発光波長制御による多色化、（3）無機・有機の多相界面制御による高効率化・多機能化、さらに（4）構造部材とインフラ構造体への実装技術開発と実証を目指している。

本年度は主に、研究開発の実施項目である「1-4」の項目について研究を実施した。特筆すべき成果として、応力発光センサの発光輝度をひずみ量に換算し、2次元のひずみ分布として表示する方法を開発した。これにより、例えば、現場実証試験での測定画像において、ひずみの定量化を可能とした。さらに、鋼橋の腐食に適用し、ひずみ分布が計測できることを実証した。これにより、腐食により部材が減肉していても、応力発光レベルを観察することで補修の要否を判断できる可能性を示すことができた。さらに、応力発光技術コンソーシアム内に社会インフラ検査分科会を設置し、インフラ所有者、検査・補修企業、維持管理専門家、材料・塗料メーカー等との緊密な連携のもと、事業化の検討を開始した。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕応力発光、インフラ、可視化、非破壊検査

〔研究題目〕樹脂／金属接着技術を用いた大気中全マトリクス捕集装置の開発

〔研究代表者〕山下 信義（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

近年注目されている PFOS 等新規有害物質や臭素系難燃剤、放射性物質等の大気経由人暴露評価・環境モニタリングのニーズは増大する一方であるが、この多くは極低濃度で存在し、フッ素系有機酸はガラス等で吸着・反応することから、光・熱分解しやすい臭素系物質と合わせ、従来技術での測定値のばらつきが大きく、測定結果に疑念が持たれている。また、国際的越境汚染物質と

しての粒子状物質、PM2.5監視が地方自治体に義務付けられており数多くの粒子量自動測定機（光散乱など間接測定技術）が全国規模で設置されつつある。一方で、大気中に同時に存在する粒子・ガス状物質の同時暴露に危険性がより高まる事が指摘されているが、既存の粒子測定技術ではガス成分測定法とは整合性がないため、これに対応できない。特に、世界保健機構・厚生労働省でも必要性が指摘されている、捕集した分級粒子に含まれる化学物質やインフルエンザウイルス・薬剤耐性菌についての正確なリスク評価も、既存技術での対応は困難である。

このような中、大気中有害物質調査は分析対象・依頼機関毎に100種以上の異なる捕集・分析技術を使い分けるため、人件費・コスト増が事業者経営を圧迫している。結果として、知的財産や信頼性が確保できない安い海外資本外注先に業務が流れており、国内事業者の衰退が懸念されている。本研究開発では発想を転換し、これまで装置を構成してきた壊れやすく重いガラスの使用をやめ、試料接触部は全てプラスチック（合成樹脂）を用いることとした。合成樹脂は、PFOS等の吸着が生ぜず、化学反応活性点を持たないことから、PFOS、PBDE等のより精度の高い捕集を可能にする。

平成28年度については、前年度に開発した大気中全マトリクス捕集装置の試作品1号機を用いて、PFASs類を指標とした回収試験と実環境性能評価を実施した。この結果からガラス製トラップではほとんど捕集できないPFASs成分がプラスチック製トラップを用いる事で良好な回収率が得られることを確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 大気中全マトリクス捕集装置、PM2.5、
ペルフルオロアルキル化合物

【研究題目】 磁気分離法による大容量ペプチドライ
ブラリー対応自動ファージディスプレイ
技術の開発

【研究代表者】 木村 忠史（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】 木村 忠史、市川 渥志
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

ファージディスプレイは次世代の医薬品といわれるペプチド医薬品候補をスクリーニングする技術として広く利用されている。しかしペプチドライブラリーサイズが大きくなった場合、人の手で作業を行うことは現実的ではなく、大きなサイズのペプチドライブラリーはほとんど利用できていなかった。本研究の目的は、大きなサイズのファージディスプレイペプチドライブラリーを利用できるようにするため、1リットル以上の大量の液量のファージライブラリーを自動的にスクリーニングする機器を開発し、大きなサイズのペプチドライブラリーから医薬品候補となるペプチドを高効率にスクリーニングで

きる機器を開発し商品として販売することである。今年度は、1リットルスケールの自動化プロトコルを作成するために1ミリリットルの小スケールで各種洗浄条件などの条件検討を行った。標的分子をFG beadsに固定化、8merのランダムペプチドライブラリーをスクリーニングし、次世代シーケンサーによって解析した結果、複数回のバイオパニングに従い標的分子に結合するペプチドが濃縮されてくる過程が明らかになった。来年度は今年度設定した条件で1リットルスケールのスクリーニングを行う予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 ペプチド、ファージディスプレイ、自動化、磁気分離、FG beads

2) 国以外からの受託収入

〔研究題目〕水素利用等先導研究開発事業／トータルシステム導入シナリオ調査研究

〔研究代表者〕高木 英行（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕高木 英行、斉田 愛子、野津 育朗、
軽部 みゆき（創エネルギー研究部門）、
工藤 祐揮、玄地 裕、小澤 暁人、
村田 晃伸、安芸 祐久、北川 直美、
井上 麻衣、村松 良二、安齋 由理恵
（安全科学研究部門）
（常勤職員7名、他6名）

〔研究内容〕

本調査研究では、水素利用等先導研究開発事業で開発する技術の速やかな実用化・普及と技術課題の明確化、将来の技術課題・シーズの発掘を目指し、製造から利用までのトータルシステムについて、研究開発から普及までを含む多様なシナリオを提示することを目的として、下記①～③の調査研究を実施する。①水素本格的導入に向けたシステム分析、②学理に根差した技術評価・予測および新技術普及に向けた分析、③技術開発シナリオの作成

本調査研究は、国立大学法人東京工業大学（以下、「東工大」）、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」）、一般財団法人エネルギー総合工学研究所（以下「エネ総工研」）が連携して実施するものであり、産総研は、「①水素本格的導入に向けたシステム分析」および「③技術開発シナリオの作成」を実施した。

「①水素本格的導入に向けたシステム分析（1）経済性・環境性・技術マクロ分析 b) ライフサイクル分析」において、最新のプロセスデータを用いてライフサイクル分析の精緻化を図るとともに、水素利用技術として自動車を想定し、海外再エネ由来・天然ガス改質由来水素を燃料電池車で利用した場合のサプライチェーン全体からの温室効果ガス排出量を算出し、ガソリン車・ハイブリッド車の排出量との比較を行った。「①水素本格的導入に向けたシステム分析（1）経済性・環境性・技術マクロ分析 c) 経済波及効果・国富流出分析」について、最新の産業連関表に水素関連部門を追加するとともに、将来の産業構造変化を反映可能な拡張産業連関モデルを構築し、2030年、2050年時点において水素発電が導入された場合の経済波及効果の試算を行った。「①水素本格的導入に向けたシステム分析（1）経済性・環境性・技術マクロ分析 d) 我が国の長期需給影響分析」では、水素関連技術の学習効果を組み込んだ MARKAL モデルに入力する、水素関連の変換技術、輸送技術、利用技術の効率、経済性、環境負荷、学習効果に関するデータの精緻化について、文献調査により、先進発電技術、燃料電池、二酸化炭素回収貯留等の進歩指数値を更新した。また、2050年の再生可能エネルギー発電比率と二酸化炭素排出削減率に関する複数の想定条件の下で、水素利

用技術の進歩指数等と水素キャリア分解プロセスの入熱量に関する感度分析を行い、2030年以降の水素キャリアと水素利用技術導入量に強い影響を与える要因を抽出した。

「①水素本格的導入に向けたシステム分析（2）ケーススタディーの実施」では、エネ総工研と連携しながら、環境条件の俯瞰的整理として、高い水素供給ポテンシャルが見込まれる地域における主要港湾、気象条件、インフラ、エネルギー価格、kWhあたり二酸化炭素排出量等の環境条件を調査した。風力エネルギー資源、太陽エネルギー資源と地形、土地利用、送電線、保護区のマップを収集し、地形、インフラへのアクセス、規模等を評価する地理情報システムを試作した。大規模なシステム構築が可能な複数地域の資源量を評価した。

「③技術開発シナリオの作成」では、東工大、産総研およびエネ総工研により「共同研究者会議」を設置し、分析結果を技術開発シナリオとして統合するための検討に向け、本研究開発項目実施者らの間で複数のミーティングを行い、前提条件や分析結果の共有手法を決定した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕水素、エネルギーキャリア、サプライチェーン、技術開発、シナリオ

〔研究題目〕ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／ゼロエミッション石炭火力基盤技術開発／CO₂分離型化学燃焼石炭利用技術開発

〔研究代表者〕松村 明光（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕鷹觜 利公、松村 明光、Atul Sharma、
畑中 健志、丸山 一江
（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

ケミカルルーピングを利用した化学燃焼技術とは、流動層反応器を用い流動材の化学変化を介して、燃料をO₂ガス（空気）と直接接触させることなく、熱や燃料ガスに転換し、CO₂を分離する方法である。石炭を燃料とする場合、空気分離の必要がなく、CO₂を回収してもプラント効率（送電端効率）が低下しない高効率の石炭火力発電の実現が期待される。

本事業はエネルギー損失のない高効率でありながら、CO₂の分離・回収が可能な化学燃焼石炭利用技術（以下「ケミカルルーピング技術」という）について、実用化に向けた高性能キャリアと基盤技術を開発することを目的とする。

キャリア反応速度の測定、評価方法の策定においては、下記の簡略化されたメカニズムを仮定しキャリア反応速度の測定、評価を行う。

- (1) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2/3\text{Fe}_3\text{O}_4 + 1/3\text{O}_2$
- (2) $2/3\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow 2\text{FeO} + 2/3\text{O}_2$
- (3) $2\text{FeO} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{O}_2$

(4) $\text{CO} + 1/2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2$

ここで、(1)の反応は優先的に進行し、酸素を生成し、それが(4)の反応で CO と反応して CO_2 が生成する。すべての Fe_2O_3 が反応した後、 CO と反応する O_2 が減少する。結果として、 CO_2 生成速度の減少が観察される。その時点において、 Fe_2O_3 由来で生成する酸素はすべてなくなったと考える。よって CO_2 が減少するまでの生成速度曲線の面積から Fe_2O_3 由来の酸素量が推定される。反応前の Fe_2O_3 内の酸素のうち、上記の CO_2 生成に用いられた酸素量の割合を計算することで、各温度での酸素利用率が計算できる。これを酸素キャリアの還元反応速度の指標として考える。

平成28年度は、6タイプの酸素キャリアを用いて 900 °C、800 °C、700 °C での温度で CO および CH_4 反応性ガス雰囲気下還元実験を実施した。得られたデータから反応速度の動的解析し、ガス側反応速度は一次反応、キャリア側の速度は未反応核モデルに基づいて各キャリアの還元速度定数を求めた。還元速度定数を比較し6種類の酸素キャリアの反応性を評価した。

常温で使用する循環流動層型とバブリング流動層型のキャリア粒子摩耗評価装置を製作し、4タイプのキャリア粒子を取り上げて耐摩耗性の評価試験を実施した。また来年度製作する高温対応の摩耗評価装置の設計を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ケミカルルーピング、石炭、燃焼、酸素キャリア、二酸化炭素

【研究 題目】 固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業／普及拡大化基盤技術開発／先進低白金化技術開発

【研究代表者】 五百蔵 勉 (電池技術研究部門)

【研究担当者】 五百蔵 勉、山崎 眞一、朝日 将史、秋田 知樹、田口 昇
(常勤職員5名、他4名)

【研究 内容】

本研究では、白金担持カーボン等の実用触媒に有機物を修飾することで酸素還元 (ORR) 活性の向上させるコンセプトの確立を目指している。最終的には共同実施機関等で開発されるコアシェル触媒などの次世代高活性触媒に有機物修飾技術を活用することで、出力密度×耐久時間×1／(単位出力あたりの貴金属使用量) が現行の10倍以上を見通せる技術の開発を行う。

今年度は昨年度に引き続き、白金ナノ粒子の ORR 活性を向上させる有機物候補材料の探索を進めた。その結果、ある種のテトラアザポルフィリン系の大環状有機分子を白金ナノ粒子表面に吸着させると白金触媒の酸素還元活性を向上させる効果があることを見出した。

次世代の低白金触媒候補の一つであるコアシェル触媒では、原子レベルでの組成や粒子構造が ORR 活性に大

きく影響するため、触媒粒子の組成構造を明らかにすることが触媒改良の指針を得るために極めて重要である。収差補正高分解能分析電子顕微鏡を用いて、当該事業に参画する機関において開発された種々の高活性触媒の構造解析を実施した。3元系 PtPdM 合金触媒の構造解析からは、高活性化処理や加速劣化処理等を進めると PtPd コアシェル構造が発達する一方で、遷移金属は次第に溶出が進むことが明らかになった。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 燃料電池、酸素還元、白金触媒、錯体触媒、電子顕微鏡

【研究 題目】 車載用リチウムイオン電池の試験評価法の開発

【研究代表者】 小林 弘典 (電池技術研究部門)

【研究担当者】 小林 弘典、小池 伸二、倉谷 健太郎、奥村 豊旗、鹿野 昌弘、齋藤 喜康、松本 勝、松島 壽一、木坂 和正、和合 由美子、森 里織、鈴木 友美、古谷 恭代、名倉 規代、高野 玲子
(常勤職員6名、他9名)

【研究 内容】

車載用リチウムイオン二次電池 (LIB) の「保存劣化式の高精度化と加速試験条件の検討」及び「次世代 LIB セルの寿命評価と解析技術の検討」について取り組むことで、LIB の寿命評価に係る国際標準化に資する知見を蓄積することを目的とする。

今年度の「保存劣化式の高精度化と加速試験条件の検討」の取り組み内容としては、車載用 LIB の寿命試験法を評価するため、データの拡充ならびに得られたデータに基づく寿命予測式 (保存劣化式等) の検証を行った。その結果、今回検討した車載用 LIB では負極の表面被膜成長以外の効果が容量低下に大きく寄与しており、ルート則 (1/2乗則) よりも0.75乗則が寿命予測に有効であることが確認できた。

また、「次世代 LIB セルの寿命評価と解析技術の検討」の取り組み内容としては、Sn 系材料を負極に含有する1 Ah級の次世代 LIB 単セルについて、車載用 LIB で開発した寿命推定法の適用可能性を検証したところ、材料系の違いに起因すると推定される市販 EV 用電池とは異なる劣化挙動が確認された。加えて、次世代 LIB の設計に役立つデータベースを作成すべく、次世代 LIB 用材料を中心に電気化学的な特性及び熱物性等のデータを取得し、整理した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 車載用リチウムイオン二次電池、寿命予測、ルート則

【研究 題目】 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発

【研究代表者】 小林 弘典 (電池技術研究部門)

〔研究担当者〕 小林 弘典、栄部 比夏里、妹尾 博、竹内 友成、鹿野 昌弘、倉谷 健太郎、奥村 豊旗、作田 敦、マセセ タイタス、香山 正憲、田中 真吾、前田 泰、田口 昇、藤原 直子、五百蔵 勉、松井 啓太郎、小金井 寿人、目代 英久、山内 恵里奈、田下 勝則、向井 裕二、横田 秀則、太田 静生、森 正弘、竹内 靖、西田 泰博、名越 由彦、堤 隆裕、中谷 芳雄、阿座上 理恵、中村 亜希子、集田 雅美、吹谷 直美、八坂 美枝、田林 一晃（以上電池技術研究部門）大谷 実、安藤 康伸、中野 藤之、池庄司 民夫（以上機能材料コンピューショナルデザイン研究センター）濱本 孝一、島田 寛之、山口 祐貴（以上無機機能材料研究部門）（常勤職員25名、他18名）

〔研究内容〕

本委託研究は研究開発項目「革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発（RISING2）」①「高度解析技術」②「革新型蓄電池開発」について、車載用電池としての使用に耐えうる500 Wh kg⁻¹のエネルギー密度を示す革新型蓄電池の構築とその開発を支える高度解析技術の開発を目指すものである。

今年度の成果は下記のとおりである。①高度解析技術では、本委託研究で開発すべき革新型蓄電池の特性向上において障壁となる因子を明らかにし、高性能化・高度安定化に貢献可能な解析技術開発とその組み合わせの提案を行うための検討を行った。まず電極材料表面の構造変化の電位依存性について検討し、同時に解析実験の理解を深める第一原理計算手法及び分子動力学手法によるシミュレーションを行った。さらに電極/電解質界面での電気化学反応の解析を効率的に行うためのプログラムを開発した。②の革新型蓄電池開発では、RISINGにて見出した500 Wh kg⁻¹を見通せ300 Wh kg⁻¹のエネルギー密度を有する電池を構築可能な水系空気電池、ナノ界面制御電池（コンバージョン）と硫化物電池について、要素技術の検討を開始した。水系空気電池では炭素の代わりに導電性酸化物のSbドープSnO₂（ATO）またはSnドープIn₂O₃（ITO）を使用した非炭素系空気極について性能と耐久性を検討し、安定した作動を確認した。ナノ界面制御電池（コンバージョン）ではFeF₃の劣化挙動を詳しく解析し、劣化の原因と一つと推定される電解液の選択により改善効果を確認した。硫化物電池でも劣化の改善に取り組み、Fe系金属多硫化物材料バルクへの典型元素添加で容量増加と充放電可逆性の向上を見出した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 二次電池、リチウム電池、革新電池、正極、負極、界面、自動車、コンバージョン、硫黄、空気電池

〔研究題目〕 固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究

〔研究代表者〕 山地 克彦（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 山地 克彦、石山 智大、岸本 治夫、Katherine Bagarinao、堀田 照久、Jeffrey De Vero、Riyan Budiman、石塚 香、高橋 綾子（常勤職員5名、他4名）

〔研究内容〕

これまで、平成17年度より平成19年度まで行われたNEDOプロジェクト「固体酸化物形燃料電池システム技術開発/信頼性向上に関する研究開発」をスタートとして、平成20年度から平成24年度には「固体酸化物燃料電池システム要素技術開発/耐久性・信頼性向上に関する基礎研究」、さらに平成25年度からは、NEDO「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発/固体酸化物形燃料電池の耐久性迅速評価方法に関する基礎研究」に参画、SOFCのスタック・モジュールメーカー及び他の民間研究機関や大学と連携し、SOFCの耐久性向上に向けた基礎研究を遂行してきた。弊所では熱力学解析をベースに、二次イオン質量分析法やラマン分光分析法など種々の分析技術を駆使し、SOFC材料の信頼性を向上させるべく、その劣化挙動の把握とメカニズムの解明に取り組んでいる。現在のプロジェクトでは、10年間の耐久性（劣化率0.1%/1000h）を早期に見通すことを目標に、4つの課題、①中温筒状平板形の耐久性評価、②業務用中温平板形の耐久性評価、③熱力学的解析による劣化機構解明と加速要因分析、④耐久性迅速評価方法の開発、に取り組んでいる。

中温筒状平板形について、4万時間超の長期運転を行ったセルスタックの解体分析を実施、新たな劣化要因は生じていないことを確認した。また、業務用平板型について、初期劣化セルの解体分析を実施、空気極入り口近傍で、他のセルスタック同様、SやCrなどの不純物が堆積していることを確認した。

熱力学的解析について、①セルスタックの劣化挙動解析とまとめ、②劣化基礎データの収集、③加速劣化試験法の検討を実施した。セルスタックの劣化挙動解析とまとめにおいては、スタック開発7社から提供されるセルスタックについて、耐久試験前後に解体調査を行った。電中研での試験時に、多くのセルスタックで社内試験と異なる特異的な劣化挙動が表れた点について、共通的にSの濃集を確認した。劣化基礎データの収集においては、引き続き、SrZrO₃/YSZ界面における酸化物イオン輸送に関する検討を進めている。加速劣化試験法については、空気極のCrおよびS被毒にかかる基礎データの収集を

開始した。

シミュレーション技術の開発においては、東北大と連携し、電解質中の酸素ポテンシャル分布の時間変化、およびそれに付随する電導度変化のシミュレーションを行うための基礎データの収集を進めている。特に実機の運転温度である700-800℃の範囲でのデータを蓄積、シミュレーションをより精密に行うためのデータ収集と考察を進展させた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 燃料電池、固体酸化物形燃料電池、SOFC、耐久性、信頼性

【研究 題目】 分散型エネルギー一次世代電力網構築実証事業／研究開発項目②次世代配電システムの構築に係る共通基盤技術の開発

【研究代表者】 竹村 文男（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 竹村 文男、齋藤 喜康、宗像 鉄雄（省エネルギー研究部門）

山口 浩、奥村 元

（先進パワーエレクトロニクス研究センター）安芸 裕久、村田 晃伸（安全科学研究部門）

大関 崇（太陽光発電研究センター）

大谷 謙仁（再生可能エネルギー研究センター）（常勤職員9名）

【研究 内容】

次世代電圧調整機器等の自然環境下での経年劣化等に関して、寿命評価方法と判断基準を検討するため、10 kV 級耐圧の SiC デバイスで構成される SVC (Static Var Compensator) 全体機器の簡易設計をもとに信頼性評価を行う。具体的には、定格運転時や周囲環境条件の変化等に応じた全体機器の熱設計、パワーモジュール内部の熱応力数値解析を実施し、その結果を元に機器寿命や信頼性評価を行うための手法検討およびそれに基づく信頼性評価を行う。

平成28年度では電力変換器への課通電量を制御する装置を用いて当該実機の発熱量および温度分布測定を行い、実験結果との比較から数値解析結果の妥当性を確認した。引き続き10 kV 級耐圧の SiC デバイスで構成される SVC 全体機器の熱シミュレーションを実施し、各構成部品の耐熱性能を評価した。この結果を活用して、将来的に3.3 kV や10 kV 級耐圧の SiC デバイスや電気部品に要求される性能（発熱量や耐熱温度）を示した。また、単柱設置時のコンパクト化に向けた検討として、高圧充電部のモールド化の放熱への影響を評価した。以上を取りまとめ、熱設計面での機器寿命に関する検討を完了した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 Static Var Compensator (SVC)、SiC パワーモジュール、熱設計

【研究 題目】 未利用熱エネルギー革新的活用技術研究開発／熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発／多接合型熱電変換素子の革新的高効率化に関する技術開発

【研究代表者】 山本 淳（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 山本 淳（常勤職員1名）

【研究 内容】

本事業は室温から700℃近傍までの広い温度範囲を使用して発電する多接合型熱電変換素子の実現を目指すものであり、山口大学、九州大学、山口東京理科大学、物質・材料研究機構、産業技術総合研究所が連携して実施する事業である。熱電変換材料の中でも、電気的特性が優れ、熱伝導率が低い $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$ 系、 $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 系、 $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ 系のクラスレート化合物に着目し、これらの材料を積層した多接合素子とすることで、1種類の材料だけでは担当できない広い温度範囲を利用し高効率発電を実現するのが本研究の目的である。

本年度はすべての温度域を利用して高効率化を行う、多接合の設計思想を実現するため、室温～300℃で性能の良い $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Sn}_{30}$ 系、300℃以上の温度域で性能の良い $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 系、高温安定性に優れた $\text{Ba}_8\text{Ga}_{16}\text{Si}_{30}$ 系の3種を組み合わせた3段型のセグメント型素子を試作した。28 mm×28 mmの基板上に各材料を重ねて組み上げたハーフスケルトン型の8対発電モジュールについて、高温側800℃、低温側30℃の温度条件で評価し高い発電性能を確認した。多接合素子の接合界面の抵抗変化の原因についても解明した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 熱電変換、未利用熱エネルギー活用、クラスレート化合物

【研究 題目】 未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発／熱電変換材料の技術シーズ発掘小規模研究開発／フォノンと少数キャリアの輸送特性同時制御による熱電性能指数の飛躍的向上

【研究代表者】 太田 道広（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 太田 道広、Jood, Priyanka、村田 正行、高鴻（省エネルギー研究部門）（常勤職員3名、他1名）

【研究 内容】

未利用熱エネルギーの革新的活用は、省エネルギーとCO₂排出量削減の重要な柱の一つであり、特に、未利用熱を電気エネルギーに直接変換できる熱電変換技術には大きな注目が集まっている。本事業では、産業技術総合研究所と大阪大学が協力して、熱電変換技術の核となるバルク体熱電変換材料において、ナノ構造を形成することで、フォノンと少数キャリアの輸送特性の同時制御を達成して、熱電性能指数 ZT の飛躍的向上に成功した。

本事業では、573 K～873 K 付近で使用可能なテルル

化鉛 (PbTe) を研究対象の材料として選択した。PbTe 焼結体に、マグネシウム (Mg)、ゲルマニウム (Ge)、硫黄 (S) を添加して、効果的なフォノン散乱を引き起こし、格子熱伝導率を低減させることに成功した。また、これらの添加により、ゼーベック係数のわずかな増加も観測された。これは、少数キャリアの輸送が阻害されたことに起因すると推定される。格子熱伝導率の低減とゼーベック係数のわずかな増加の結果、720 Kにおいて、p 型 PbTe 焼結体の ZT は、Mg や Ge を添加することで大幅に向上した。n 型 PbTe 焼結体においては、S を添加することで ZT は増加した。

Ge を添加した p 型 PbTe 焼結体を透過型電子顕微鏡観察したところ、サイズが 10 nm から 100 nm で、PbTe とコヒーレントな界面を有したナノ構造が、バルク体中に析出していることを確認した。エネルギー分散型 X 線分光法により組成分析した結果、このナノ構造は Ge を主成分していることが明らかとなった。このナノ構造が、上記の通り、効果的なフォノン散乱を実現して格子熱伝導率を低減し、さらに、少数キャリアを散乱してゼーベック係数を増加させることで、従来の域を超えて ZT を向上させる。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 熱電変換、未利用熱エネルギー活用、ナノテクノロジー、フォノン散乱、少数キャリア散乱

【研究 題目】 エネルギー・環境新技術先導プログラム／革新的ナノスケール制御による高効率熱電変換システムの実現

【研究代表者】 村田 正行 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 村田 正行 (常勤職員1名)

【研究 内容】

熱電材料の形状を高精度にナノ構造化制御することによって、電子の波動関数を均質に閉じ込め (量子閉じ込め効果)、それに伴った状態密度の1次元化に伴う熱電変換材料の高効率化を目指した研究を行っている。本研究では、Bi ナノワイヤー熱電変換素子の開発と熱電物性評価を行った。低温領域で極めて大きい内部抵抗を持つナノワイヤー材料のゼーベック係数と電気抵抗率を測定する際、通常のデジタルマルチメータでは入力抵抗が 10 GΩ であることと、入力バイアス電流が pA 以上ある為に、大きな測定誤差を生じることが分かった。そこで、入力抵抗が 200 TΩ と大きく、入力バイアス電流が fA レベルのエレクトロメータを導入することで、内部抵抗が極めて大きいナノワイヤー試料でも、電気抵抗率とゼーベック係数を室温から低温領域まで測定する事に成功した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 熱電変換、ナノ構造、高抵抗試料測定

【研究 題目】 高温超電導実用化促進技術開発／高磁場マグネットシステム開発／高温超電導高安定磁場マグネットシステム技術開発

【研究代表者】 古瀬 充穂 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 古瀬 充穂、吉田 良行、高島 浩、馬渡 康徳、石田 茂之、和泉 輝郎、清水 雄平、町 敬人、衣斐 顕、和田 圭介、薄井 友紀江、栗木 礼二、青木 大志、淵野 修一郎、松澤 充子、岡野 眞、野田 和希、土屋 佳則 (常勤職員6名、他12名)

【研究 内容】

将来のヘリウム資源問題、機器の小型、省エネ化また高磁場化に対応できる医療用 MRI 超電導マグネットを広く普及させるため、高温超電導高安定磁場マグネットシステムの実用化のための要素技術として、高温超電導による実用的永久電流マグネットの実現に向けた超電導接続技術開発 (高温超電導線材同士の接続抵抗として1カ所あたり $10^{-12} \Omega$ 以下の実現)、および、永久電流モード高温超電導コイルの保護・焼損対策手法の開発を実施している。特に超電導接続技術においては、接続部を低温低磁場環境におき、様々な超電導材料を接続に利用できることを前提に、多種多様な接続プロセスの開発を行っている。

平成28年度は、低温低磁場接続アシスト環境の概念設計を行い、接続部のみを低温とする機構について、冷却の高効率化の検討を行った。接続技術としては、ペースト接合および異種超電導薄膜接合を中心とした技術開発を行った。ペースト接合としては、金・銀ナノペーストによる圧着接合について、接合部界面状態の観察等により、表面状態や圧着接合プロセスが接続抵抗に影響していることを突き止め、接続抵抗低減の指針を得た。また金属系超電導体である Nb 粒子を含んだペーストを開発し、極低温において超電導転移することを確認した。異種超電導薄膜接合として、イトリウム系高温超電導 (以下 YBCO) 薄膜と格子定数の近い SrTiO₃ 単結晶基板上に、スパッタリング法または PLD 法により、Nb 薄膜または LaSrCuO 薄膜を形成し、異種超電導物質接合の作製に成功した。他に、コイル間接続のための鉄系高温超電導線材の高特性化技術、接続抵抗の高精度評価技術、永久電流モード超電導コイルの異常検出法として共巻き法の開発を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高温超電導、医療用 MRI、永久電流マグネット

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

【研究代表者】 脇坂 昭弘 (環境管理研究部門)

〔研究担当者〕 脇坂 昭弘、小原 ひとみ、金 賢夏、
寺本 慶之、佐野 泰三、富永 健一、
根本 耕司、井戸 洋平、金久保 光央、
和久井 喜人、牧野 貴至
(常勤職員10名、他1名)

〔研究内容〕

エレクトロスプレー法によって、液体を体積フェムトリットルレベルの極微小液滴に微細化し、それらの移動を電場で制御することにより、極微小液滴内で混合、分離、加熱などを可能にするフェムトリアクター技術を開発し、従来の液相プロセスでは制御が難しい高度な化学プロセスの制御と省エネルギー・低環境負荷を高いレベルで両立させることを目標とする。今年度は、フェムトリアクターの用途を広げるため、液中でエレクトロスプレーを制御する技術、半導体ナノ粒子のサイズ制御法、金属ナノ粒子サイズ制御法、高分子加工物の分子量制御法、抽出・晶析分離技術への適用、実用化スケールの生産速度の評価について検討した。液中でのエレクトロスプレーの制御に関しては、低誘電率液体中でエレクトロスプレーを行うことにより放電が抑制され、エレクトロスプレーが気中よりも安定に継続し、フェムトリアクターの制御性が高くなることを明らかにした。半導体ナノ粒子、及び金属ナノ粒子の合成法への適用については、2液混合速度を極限まで高めたことにより、シングルナノサイズの合成制御が可能となることを明らかにした。高分子化合物の分子量制御法については、モノマーと重合開始剤とを正-負極微小液滴の衝突で混合することにより、高分子量で分子量分布の狭い合成法が確立した。抽出・晶析分離技術への適用については、液中エレクトロスプレーで形成された極微小液滴の高界面比率と迅速な温度制御により、高速溶媒抽出分離と結晶析出による結晶形の制御を可能にした。実用化スケールに対応するため、複数のエレクトロスプレーノズルを制御する試作装置による試験を開始した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 フェムトリアクター、エレクトロスプレー、触媒、有機合成、分離技術

〔研究題目〕 ゼロエミッション石炭火力技術開発プロジェクト／クリーン・コール・テクノロジー推進事業／コールバンクの拡充

〔研究代表者〕 中里 哲也 (環境管理研究部門)

〔研究担当者〕 中里 哲也、鷹鷲 利公、Atul Sharma、
重田 香織、竹岡 美穂
(常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

クリーン・コール・テクノロジー (CCT) の持続的な発展を支援すると共に、CO₂排出量低減、環境負荷低減、および我が国の石炭エネルギー技術の開発や海外事業展開等の国際競争力の強化を図るために必要となる基

礎的情報として、データベースとして高い価値を有するコールバンクの継承発展を目指すことを目的としたコールバンクの拡充を目標とする。平成28年度において、炭種の選定と試料手配については、中国を中心に関係研究機関に石炭試料提供の交渉を行った結果、中国から新たに3種類の褐炭を各約10 kg を入手した。また、入手した石炭試料の保存および配布については、昨年度と同様に石炭試料保管マニュアルを基に乾燥、縮分作業を行い気密容器に窒素雰囲気下で保管し、国内研究機関から要請に応じて試料提供した。また、石炭試料の微量元素分析については、産総研が開発し、ISO ガイドライン規格化したふっ酸フリーマイクロ波抽出・誘導結合プラズマ質量分析法 (以下、AIST 法) により、9炭種の微量元素分析値を取得した。さらに、AIST 法の微量元素分析の高感度化については、セレンについては既存のAIST 法と比較して定量下限を低減化した。さらにまた、コールバンク PR 活動について、AIST は国内外の学会およびシンポジウム等においてコールバンクの PR 活動を実施した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 クリーン・コール・テクノロジー、石炭、データベース、コールバンク、微量元素、低品位炭、分析

〔研究題目〕 高効率低 GWP 冷媒を使用した中小型空調機器技術の開発／低温室効果冷媒の性能、安全性評価／自然冷媒を用いた中小型家庭用室内空調機の実寸大フィジカルハザード評価

〔研究代表者〕 佐分利 禎 (安全科学研究部門)

〔研究担当者〕 佐分利 禎、久保田 士郎、椎名 拓海、
松木 亮、若林 邦彦、松村 知治、
杉山 勇太、緒方 雄二、橋本 進吾、
金山 正明、田山 雄一、朝田 恵二、
松永 武士、高柿 大輔、出雲 充生
(常勤職員8名、他7名)

〔研究内容〕

マルチ型でない中小型家庭用室内空調機に可燃性の自然冷媒である R290 (プロパン) が用いられた場合に想定される事故シナリオのフィジカルハザードを実寸大の実験により評価した。およそ4畳半の模擬室と、およそ2畳強の模擬ベランダを製作し、プロパンが漏洩した際の拡散挙動をプロパン濃度センサーにより計測し、着火した場合の燃焼爆発影響の指標である輻射熱、爆風圧等を計測した。

模擬室での充填量は、模擬漏洩口高さにより IEC60335-2-40に採用された片岡の式を用いて決定し、30 °C、9.5 MPa(G)で4分間にほぼ全量放出するようピンホールを選んで設置した。φ1 mm 程度のピンホールから直接放出した場合には室内に良く拡散し、燃焼下限

界より高い濃度の領域はほぼ現れなかった。φ60 mm 漏斗型の放出口を用いて放出の線速度を落とした実験では、放出中に放出口付近に広く可燃域が形成され室内下方にプロパンが滞留する様子が観測されたが、放出終了後に下限界を超える領域はなかった。放出中の放出口下流で点火した影響評価実験の結果、室外への爆風圧と室内外の輻射熱の影響は大きくなかった。室内圧はガラスサッシの枠が破損する直前に2 kPa(G)となり致命的ではないが窓ガラス等の破損の可能性がある。

模擬ベランダでの充填量は模擬室と同様の手法で12畳半の部屋を想定した充填量を用いた。放出は意図的に放出廃棄した場合を想定して1/4インチチューブから直接放出した。無風の模擬ベランダでは床面排水溝の効果は小さく、床面付近に大きな可燃域が形成された。点火実験によって爆風圧の影響は小さいものの、輻射熱の影響は大きく、点火後2, 3秒でII度の熱傷を生じる程度の熱照射量となることが示された。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】地球温暖化、新規代替冷媒、オゾン破壊、強燃性冷媒、一般高圧ガス保安、冷凍保安、リスク評価、拡散挙動計測、爆発威力評価、燃焼影響評価

【研究 題目】太陽電池性能高度評価技術の開発（新型太陽電池評価・屋外高精度評価技術の開発）

【研究代表者】菱川 善博（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】菱川 善博、増田 淳、土井 卓也、猪狩 真一、吉田 正裕（常勤職員5名）

【研究 内容】

I) 新型太陽電池高精度性能評価技術

① 各種新型太陽電池性能評価技術の開発

NEDO 開発品等新型太陽電池約50サンプル（結晶シリコン、ペロブスカイト、各種薄膜等）を含む高精度評価を実施し、各デバイスに最適な評価技術を開発・検証した。今年度は特にペロブスカイト、CIGS太陽電池の時間的過渡応答を考慮した評価技術、新型高効率結晶シリコンペアセル、及び両面受光型太陽電池の高精度評価技術について開発を行った。IEC 国際標準化、学会論文等発表、欧米の太陽電池評価機関との太陽電池セル・モジュール比較測定等による国際整合性検証及び開発成果普及を推進した。

② 一次基準太陽電池校正技術の高度化

一次基準太陽電池セル校正の不確かさを低減するための技術開発を行った。不確かさ要因として支配的なスペクトルミスマッチ補正係数の不確かさの主要素である絶対分光放射計の対光非直線応答の評価に関して、キセノンランプの放射の重畳法による高均一でスペクトル変化の無い対光直線性校正装置を実現した。6分

岐ファイバ型絶対分光放射計の対光直線性が0.1 kW/m²~1.2 kW/m²の照度範囲で十分に高いことを実証した。超高温定点黒体炉との併用により、最高校正能力を0.6 %オーダー（k=2）に向上可能な見通しとなった。

II) 屋外性能高度評価技術の開発（屋外高精度評価技術の開発）

① 屋外性能評価技術の高精度化

晴天日だけでなく晴時々曇、曇時々晴等、各種気象条件において、0.2秒程度の高速 IV 測定・PV モジュールによる日射計測等により、太陽電池モジュール屋外性能測定を再現性1 %以内で実現可能であることが検証できた。

② 屋外高精度性能評価用 PV 日射センサ構造検証

高精度な測定のために PV モジュール日射センサ（PVMS）を用いた日射計測の比較を行った。基本的に同一部材で計測時刻が10時~14時の間であれば、様々なセル周辺部の余白、サイズの PVMS で被測定サンプル（MUT）との差異が±1.0 %の範囲に入り、高精度計測が可能になったことが明らかになった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】太陽電池、太陽光発電、エネルギー、環境、性能評価、信頼性評価、システム

【研究 題目】高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発／CIS 太陽電池高性能化技術の研究開発（光吸収層の高品質化による CIS 太陽電池の高効率化）

【研究代表者】仁木 栄（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】仁木 栄、柴田 肇、石塚 尚吾、鯉田 崇、反保 衆志、永井 武彦、上川 由紀子、西永 慈郎（常勤職員8名）

【研究 内容】

本研究は、NEDO が2014年9月に策定した「太陽光発電開発戦略」で掲げる発電コスト低減目標の達成に資する研究開発として、CIS 太陽電池を用いた発電コストで、2020年に14円/kWh（グリッドパリティ）、2030年に7円/kWh（ジェネレーションパリティ）を達成するために必要な、共通基盤技術の開発を行うことを目的とする。具体的には、多元同時蒸着法によって製膜した CIS 薄膜を光吸収層に利用した CIS 小面積セルを作製し、2017年度および2019年度に、CIS 太陽電池の光電変換効率でそれぞれ22 %と23 %を達成するための技術開発を行う。実際には、① CdS/CIS 界面の高品質化技術の開発、および② CIS 結晶の高品質化技術の開発、そして③ 新規透明導電膜材料の探索と CIS/Mo 界面の制御技術という、3種類の研究開発課題に取り組む。

平成28年度は、平成27年度に引き続いて CIGS 系太陽電池の小面積セルの研究に集中し、変換効率21 %以上を達成するための要素技術に関して、必要な研究開発指針を得た。具体的には、CIGS 太陽電池を作製した後に、太陽電池に長時間の熱処理と光照射処理を施すことにより、太陽電池の変換効率が顕著に増大することを見出した。この技術により、CIGS 太陽電池で21.4 %という高い変換効率を得ることに成功した。高い変換効率を得られた理由の詳細は不明であるが、熱処理と光照射を組み合わせることにより CIGS 光吸収層の正孔濃度が顕著に増大することが観察されており、特に開放電圧が増大する結果をもたらしている。正孔濃度が増大する理由の詳細は不明であるが、一種の永続的光電流 (Persistent Photoconductivity) 現象が発生していると考えられ、CIGS 結晶に存在する深いエネルギー準位が現象に関与していると推察される。また CIGS 太陽電池の高効率化技術の一つとして、Ga/(Ga+In)組成比の深さ方向のプロファイルを最適化する研究も行った。その結果として、CIGS 太陽電池の変換効率 (特に短絡電流の値) は、特に CIGS 薄膜の表面付近における Ga/(Ga+In)組成比の深さ方向のプロファイルに大きく依存しており、プロファイルを適切に制御し選択することにより、開放電圧の値を大きく損なうことなく短絡電流の値を増大させることが可能であることを見出した。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽電池、化合物半導体、CIS

【研究題目】 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／共通基盤技術の開発 (太陽光発電システムの信頼性評価技術等)／太陽光発電システムの高精度発電量評価技術の開発 (経年劣化を考慮した各種太陽電池の発電量評価技術の開発)

【研究代表者】 増田 淳 (太陽光発電研究センター)

【研究担当者】 増田 淳、松原 浩司、吉田 郵司、佐山 和弘、菱川 善博、近松 真之、千葉 恭男、原 浩二郎、櫻井 啓一郎、崔 誠佑、棚橋 紀悟、佐藤 梨都子 (太陽光発電研究センター)
大谷 謙仁、橋本 潤 (再生可能エネルギー研究センター)

(常勤職員12名、他2名)

【研究内容】

平成27年度に引き続き、屋外で長期曝露試験を実施している太陽電池モジュールをいったん架台より取り外し、屋内のソーラーシミュレータで電流-電圧特性を測定するとともに、エレクトロルミネセンス像を観測することにより、特性等の経時変化を観測した。測定前には太陽電池を洗浄した。今回測定したのは2016年7月に設置を開始した6型式の高効率単結晶シリコン太陽電池モ

ジュールを含む全20型式のモジュールである。曝露期間は取り外し期間を除外して算出した。

2016年7月に曝露を開始したモジュールでは曝露期間が短いため現時点で傾向について明瞭に言及するのは控えるが、一部の裏面パッシベーション (PERC) モジュールやシリコンヘテロ接合 (SHJ) モジュールでは、比較的大きな出力低下を示した。この出力低下は恒常的に続くものではなく、初期の光照射効果に基づく出力変動に起因すると考える。2012年12月に設置した単結晶シリコン太陽電池モジュールや、多結晶シリコン太陽電池モジュールでは、曝露初期に2 %程度の劣化を示すものの、劣化は飽和し、曝露期間3.6年後における年劣化率は0.5~0.8 %/年と比較的小さい。これらの太陽電池モジュールでは p 型ウエハを用いたセルを使用しており、初期の劣化はボロン-酸素複合体に起因する光劣化による可能性がある。これに対して、SHJ モジュールやバックコンタクト (IBC) モジュールでは、曝露期間3.6年後の劣化率は前述の単結晶シリコン太陽電池モジュールならびに多結晶シリコン太陽電池モジュールと同程度であるものの、依然として劣化が飽和傾向にないことが特徴的である。SHJ モジュールの劣化は開放電圧の低下に起因するものであり、p 型アモルファスシリコン層と n 型結晶シリコンの界面での劣化の可能性もある。一方、IBC モジュールの劣化は屋外曝露時に高電位側に設置されたモジュールのみで発生しており、このことが大きなばらつきの原因となっている。劣化は短絡電流と開放電圧の低下をとめない曲線因子は概ね維持されていることから、典型的な電圧誘起劣化と考えられる。薄膜シリコン系太陽電池モジュールでは初期に大きな劣化をとまなうものの、曝露年数3年以上では概ね安定している。また、曝露年数5年での測定は夏季に実施し、他の測定は冬季に実施しているが、夏季の測定では出力が向上した。その原因は、光劣化により生じたシリコンダングリングボンド欠陥が、夏季の温度上昇による熱アニールにより減少したためと考えられる。CIGS モジュールでは、曝露初期に1割程度の出力向上が観測されるが、いわゆる光照射効果によるものと考えられる。一方、CdTe モジュールでは、比較的大きな出力低下が観測されるものの、曝露期間3年を経ることで、薄膜シリコン系太陽電池モジュールと同様に劣化は飽和した。

これらの結果から、初期の光照射にとまなう出力変動が、劣化率の算出に大きな影響を与えていることがわかった。そこで、2016年7月に設置した2種類の PERC モジュール a, b について、屋外曝露にとまなう初期変動を詳細に評価した。モジュール端子を開放または短絡条件にて屋外曝露し、屋外曝露と室内測定を繰り返すことにより光照射による最大出力の変化を観測した。PERC a においては、光照射により端子条件を問わず出力が低下したが、積算日射量23 kWh/m²以上では初期の98.5~99.0%の出力にて推移した。一方、PERC b は積算日

射量2.7 kWh/m²の光照射で-4.4%と著しく出力が低下した。積算日射量2.7 kWh/m²以上では、開放条件で緩やかに出力が回復、短絡条件で出力が低下しており、端子条件によって差が見られた。PERC モジュールでは、型式によって劣化の挙動に大きな差が生じた。

約1年間の屋外曝露を経た有機薄膜太陽電池モジュール32枚を取り外し、4日間の暗所保管を経て、電流-電圧特性を測定した。その結果、大半のモジュールにおいて、測定を繰り返すたびに出力が向上し、5回の測定後に最大で約0.2%出力が上昇した。この現象を解析するため、約1年2ヶ月の暗所保管を施した有機薄膜太陽電池モジュールを屋外曝露し、ソーラーシミュレータで測定したところ、8.5 h の屋外曝露によって短絡電流と曲線因子が上昇し、結果的に最大出力が屋外曝露前の2.3倍になった。屋外曝露後にモジュールを暗所保管したところ、曲線因子が漸減する傾向にあり、932 h の暗所保管により、屋外曝露後に2.3倍まで上昇した最大出力は、屋外曝露前の2.0倍にまで低減した。今回観測された光照射にともなう出力上昇と、暗所保管による出力低減は、光ドープが必要な材料を使用していることに起因すると考えられる。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】太陽電池、太陽光発電、モジュール、屋外曝露、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、有機薄膜

【研究題目】高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／共通基盤技術の開発（太陽光発電システムの信頼性評価技術等）／太陽光発電の寿命予測ならびに試験法の開発（太陽電池モジュールの劣化現象の解明、加速試験法の開発）

【研究代表者】増田 淳（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】増田 淳、松原 浩司、吉田 郵司、柴田 肇、千葉 恭男、原 浩二郎、櫻井 啓一郎、棚橋 紀悟、山本 千津子、原 由紀子、城内 紗千子、秋富 稔、和田 善久（太陽光発電研究センター）
須田 洋幸、佐藤 浩昭、水門 潤治、萩原 英昭（機能化学研究部門）
（常勤職員11名、他6名）

【研究内容】

以下の3テーマについて研究を実施した。成果の概要について述べる。

①モジュール劣化メカニズムの解明

長期屋外曝露された結晶シリコン太陽電池モジュールは、周囲からの湿熱ストレスで発生した酢酸により、経年劣化する。本劣化現象を模擬・加速するため、結晶シリコン太陽電池セルを高温高湿環境下で酢酸蒸気に曝露

する手法を用い、劣化メカニズムの解明を試みた。平成28年度は、酢酸蒸気曝露において発現する新たなインピーダンス成分に対するバイアス電圧の影響を解析することにより、結晶シリコン太陽電池モジュールに用いられるセルの電極腐食機構を検討した。酢酸蒸気曝露によって新たなインピーダンス成分 ($R_3 \cdot C_3$) が発現し、発電特性の変化にともない、 R_3 、 C_3 が変化することが明らかになった。75℃/80%相対湿度環境下で酢酸蒸気曝露を行った結晶シリコン太陽電池セルの発電特性とインピーダンス特性を測定したところ、 C_3 成分の発現と低下という特徴的变化を示した (Phase I)。しかし、短絡電流密度 (I_{sc}) 低下にともなう C_3 成分の顕著な変動は観測されなかった (Phase II)。各フェーズの変動期・安定期における C_3 成分のバイアス電圧依存性を検討したところ、両フェーズにおける差異を確認できた。

セルに対する酢酸蒸気曝露試験とモジュールに対する高温高湿試験を比較した。両者で、曲線因子 (FF) 低下が I_{sc} 低下に先行し、両成分の低下が複合して出力低下が生じる点が共通していた。また、主として FF 低下期における交流インピーダンス特性変化 ($R_1 \cdot R_3$: 増大、 C_3 : 発現と低下、 $C_2 \cdot R_2$: 変化なし) を、両試験で観測した。モジュールの高温高湿試験において、FF 低下期では C_3 成分のバイアス電圧依存性はほとんど観測されないが、 I_{sc} 低下期では高温高湿試験時間の増大とともに負電圧側での傾きが顕著に増加した。この変化は、結晶シリコン太陽電池セルの酢酸蒸気曝露試験においても、 I_{sc} 低下と同期して観測された。

これらの観測結果から、セル表面電極の後期腐食過程 (I_{sc} 低下期) では、電極/エミッタ接合部における半導体特性 (ダイオード特性) の発現により、発電特性の変化 (集電劣化) が生じている可能性が示された。

②各種加速試験法の開発

太陽電池モジュールの急激な出力低下を引き起こす電圧誘起劣化 (PID) 現象を再現する加速試験法について検討した。これまで、屋内で PID を再現する様々な加速試験法が開発されている。しかし屋外での曝露条件が PID に与える影響については明らかにされていない点が多い。平成28年度は、光照射が PID に与える影響について波長依存性や影の影響等について調査した。

p 型単結晶シリコン太陽電池単セルモジュールの4辺をアルミテープで覆い、アルミテープに対してセル端子に-1000 V の電圧を印加した。PID 試験時の温度は85℃、相対湿度は10%以下とした。照射光源にはソーラーシミュレータならびに白色および紫外 LED (ピーク波長370 nm) を使用した。0.3SUN 以上のソーラーシミュレータあるいは0.3SUN の紫外 LED による光照射を行った場合は、光照射を行わない場合に比べて明確な PID 抑制効果が観測された。さらに、ソーラーシミュレータを用いた場合でも、422 nm 以下をカットして光照射を行った場合には PID 抑制効果がないことも確

認した。これらのことより、光照射による PID 抑制効果には、400 nm 程度以下の紫外光による寄与が大きいことが示された。屋外での PID を再現する加速試験には、電圧印加時の紫外光照射が必要であるといえる。

さらに、モジュールの一部に影となる部分を設け、光照射を行いながら、PID 試験を実施した。屋外では電圧発生時には必ず光が照射されているものの、部分影がかかることもあるからである。最大出力の低下は、影の面積が大きいほど大きく、影の部分から EL 像の暗部が発生することが示された。このことから、屋外においても定常的に部分影がかかるモジュールでは、PID が発生しやすいことが示唆される。

③国際標準化とワークショップの創設

米国ならびに欧州で毎年開催される太陽電池モジュール信頼性に関するワークショップとの連携を図り、科学的な知見に基づき、国際標準化に貢献することを目的として、平成28年10月4日～5日に、茨城県つくば市で国際ワークショップを開催した（参加者：110名、講演：42件）。モジュールの劣化現象、モジュール部材、信頼性試験法開発、国際標準化等に関して議論した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽電池、太陽光発電、モジュール、湿熱劣化、酢酸蒸気曝露、電圧誘起劣化、光照射、加速試験、結晶シリコン

【研究題目】 超高効率・低コスト III-V 化合物太陽電池モジュールの研究開発（低コスト化技術・量子ドット成長技術）

【研究代表者】 菅谷 武芳（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】 菅谷 武芳、牧田 紀久夫、太野垣 健、大島 隆治、水野 英範、望月 敏光、加藤 俊一、金井 作信
（常勤職員6名、他2名）

【研究内容】

本研究においては、一般には普及していない III-V 族太陽電池等の超高効率太陽電池において、現在普及している太陽電池並みのコストで製造するための低コスト化の要素技術開発、並びに太陽電池の効率向上により発電コスト低減を実現する要素技術開発をあわせて行う。それにより、III-V 族太陽電池の将来の普及を目指し、2030年に7円/kWh を達成する手段を明らかにすることが研究目的である。

具体的には、Pd ナノ粒子配列を利用したスマートスタック技術により、Si や CIGS をボトムセルとして、モジュール発電効率30%以上を有しかつコストミニマムなセル構造および実用化技術を検討する。また、低コスト III-V 族トップセル成長技術の開発として、超高速・低コストエピタキシャル結晶成長法であるハイドライド気相成長法（H-VPE 法）により、III-V 族化合物半導体太陽電池作製技術の研究開発を行う。GaAs セル

の製膜速度を現状の6倍以上、成膜コストを1/10以下に削減する革新的成膜技術の開発を目指す。さらに、単接合で飛躍的な高効率を達成できる技術として期待されている量子ドット太陽電池において、ワイドギャップホストを用いたバンド構造の最適化、タイプII構造によるマルチバンド内キャリアの長寿命化を利用した量子ドットセルを作製する。キャリアダイナミクス解析をもとに最適化を行い、マルチバンドセルの超高効率化を実現する。

平成28年度の進捗状況としては、荷重量・接合温度・時間等、スマートスタック接合条件を最適化し、Si 上に InGaP/GaAs タンデムセルを接合することにより、変換効率25.1%を達成した。また、低コストの観点より開発を行う低倍集光セルにおいては、III-V/Si スマートスタックセルの変換効率として8倍集光で23.7%（1 sun での変換効率19.3%）を達成、基本検証に成功した。また、大面積化を目指した実用化技術開発として、シリコーン樹脂を用いることにより、複数枚の GaAs 系トップセルの一括剥離・転写プロセスを実証し、各セルの太陽電池特性にバラつきがないことを確認した。これと並行して、LED 実装等で用いられている高速マウンター装置を用いたスマートスタックの可能性も追求した。剥離プロセスに課題が見られたが、搬送・接合に関しては良好な知見が得られた。

大陽日酸との共同研究で新規に導入した H-VPE 装置に関しては、低コスト GaAs, InGaP 結晶成長の初期検討を行った。これまでの熱力学計算に基づいて、原料部温度を850℃、基板部温度を GaAs, InGaP それぞれの場合で710℃、680℃に加熱して結晶成長を行った。GaAs 結晶成長では HCl 流量20 sccm、低 V/III 比5.0の条件で30 μm/h までの高速結晶成長を実現した。p 型に Zn、n 型に S を用いた GaAs p-i-n 構造の SIMS 分析において、ドーパントは結晶成長中に内部拡散せず、遷移領域は40 nm 以下であることを見出した。InGaP 窓層を形成した p-i-n 型 GaAs 太陽電池を試作し、短絡電流密度19.2 mA/cm²、開放電圧0.93 V、曲線因子85.5%、変換効率15.2%が得られた。InGaP 結晶成長では、In、Ga の取り込み効率の違いを熱力学計算で算出し、その計算結果を基にして16 μm/h の成膜速度において GaAs と格子整合した InGaP 結晶を成長することに成功した。試作した InGaP 太陽電池の開放電圧は1.15 V、変換効率3.1%であり、今後さらなる改善を図る。

量子ドット太陽電池においては、MBE 装置を用いたタイプ II 型 InP/InGaP 量子ドット太陽電池の開発を進めた。分光感度特性より InP 量子ドット層による光電流生成を確認し、10%以上の量子効率が得られた。また、InGaP ホスト量子ドット太陽電池中の InP 量子ドットについて、キャリアの寿命評価を行った。量子ドットの発光について時間分解測定を行い、タイプ II 型量子ドットが50ナノ秒以上の長い蛍光寿命を示すことを確認した。これは、GaAs 中の InAs 量子ドット等、タ

イプ I 型量子ドットにおける典型的なキャリア寿命 1 ナノ秒と比較して、10倍以上も長いという特徴を示している。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 多接合太陽電池、化合物半導体、スマートスタック、量子ドット

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

〔研究代表者〕 内田 洋平（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 内田 洋平、吉岡 真弓、シュレスタ ガウラブ、石原 武志（常勤職員4名）

〔研究内容〕

従来の地中熱研究の中で構築されたポテンシャルマップにおいては、熱応答試験（以下、TRT）による有効熱伝導率の測定や現地地で得られた地質サンプルの熱物性計測などによる十分な検証が行われた例はほとんど見られない。本研究テーマでは、現地データに基づく地中熱ポテンシャルマップの高度化を目的として研究を実施している。

平成28年度は、オールコアボーリングによる試料採取（深度約100 m）および熱物性データの計測を青森県北津軽郡と宮城県仙台市の2ヶ所で実施した。北津軽郡については、同オールコアボーリング地点または近傍において、コア採取後、ボーリング孔を熱交換井仕上げし、熱応答試験および光ファイバ温度センサーを用いたTCP（熱伝導率鉛直プロファイル）測定を実施した。熱応答試験結果より、有効熱伝導率 $1.25 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ の値が得られた。

また、3次元地下水流動・熱輸送解析に基づき、郡山市内を中心とする多数地点において地中熱交換井モデルを作成した。ポテンシャル評価法として、戸建て住宅における年間の冷暖房熱負荷を計算し、採排熱シミュレーションを行うことで、各地点の採熱に必要な熱交換井（GHE）の長さを求めた。その結果、郡山市内の中心部では、郡山の気候に対応した必要な GHE 長さは40–80 m と推定された。昨年度の結果（必要 GHE 長さ：秋田平野では60–90 m、津軽平野では30–70 m）も含めると、同一平野・盆地の中でも水文地質環境により必要な GHE 長さが1.5倍から2倍まで異なることが示された。

〔研究題目〕 温泉と共生した地熱発電のための簡易遠隔温泉モニタリング装置の研究開発

〔研究代表者〕 浅沼 宏（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 浅沼 宏、最首 花恵、柳澤 教雄

（常勤職員3）

〔研究内容〕

温泉と地熱発電の共生を実現するためには、正確な温泉データを連続的に取得し、その解析に基づき、地熱発電が温泉へ与える影響を評価することが重要である。本事業では温泉の基本的な情報である温度、流量、電気伝導度等を連続モニタリング可能なシステムの実現を目指し、地熱エンジニアリング株式会社、横河電機株式会社と共同し、4年間の研究期間で研究開発を実施している。本システムはセンサ、制御装置、記録装置、通信装置等が一体となった構造を有しており、温泉配管の途中に取り付けることにより、1分間に一度の頻度でデータを取得し、インターネット上のサーバーへ転送する機能を有している。

研究開発の3年目である本年度は、実証試験用のプロトタイプ器10台を受託者が共同して設計・製作し、泉質、温泉利用法に特徴のある国内10地点の温泉、地熱地域へ設置し、約1年間の実証試験を開始した。本試験で見出された課題点に対し逐次改良を行い、最終的に、ほぼそのままの形で使用が可能な実用モデルの開発につながる計画である。また、同時に、取得したデータの評価を行い、取得したデータから地熱発電が温泉へ与える影響の評価法等についても基礎的な検討を行う予定である。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 温泉モニタリング、地熱発電、社会合意形成

〔研究題目〕 地熱発電プラントのリスク評価・対策手法の研究開発（スケール／腐食等予測・対策管理）

〔研究代表者〕 柳澤 教雄（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 柳澤 教雄、増田 善雄、原 淳子、古澤 みどり（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、既存の地熱材料腐食データの整備や現地試験での検証を通して、地熱発電プラントにおける材料腐食やスケールなどのリスクを事前に予測するシステムを構築することを目標としている。産総研では、既存データの整備と現地試験による検証を担当した。平成28年度の進捗は下記の通りである。

- ① 金属材料の主要元素を Cr に換算する（Cr 当量）
ことにより、温度や pH の条件を入力することで腐食速度を自動計算し、耐久性を判断するシステムの有効性について、葛根田および柳津西山地熱発電所における材料試験の結果との比較により検証した。その結果、炭素鋼では計算値と実測値は一致するが、ステンレスではずれが生じること、また二相流配管では実測値が計算値より低くなることなどの課題を抽出し、システ

ムの修正に取りかかることにした。

② 海外の腐食・スケール事例について国際会議を通して調査し、世界各地の高温地熱地域での腐食・スケールなど情報を得るとともに、上記のシステムによる検証を行った。また、データベース構築に向けて、2000年以後の国際会議や論文のデータ整理を行った。

③ スケール腐食モニタリングとして、試験中の熱水及び蒸気の化学分析、試験後の試料表面の顕微鏡観察、化学分析を行った。その結果、材料表面にシリカスケールやヒ素やアンチモンの析出を確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 地熱発電、材料腐食、スケール

【研究 題 目】 風車部品高度実用化開発（小形風力発電部品標準化）

【研究代表者】 小垣 哲也（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】 小垣 哲也、青木 繁光、阿部 裕幸、菊島 義弘、嶋田 進、竹山 優子、稲吉 仁、櫻井 健一（常勤職員3名、他4名）

【研究 内 容】

水平軸小形風車を対象とした空力弾性シミュレーションモデル（AIST-RAM、AIST Real-time Aeroelastic simulation Model）を開発し、模型によるフィールド実験により検証した。ティータ角等のパラメータについて、フィールド実験結果と比較することにより、シミュレーションモデルのチューニングを行い、精度を確認した。さらに、ブレードとタワーの振動特性、ブレードの空力特性、強制フェールとパッシブピッチ制御および尾翼によるヨー制御等の制御機能、発電機（単体）特性、PCS を含む発電システム特性等を考慮したサブモデルを新たに構築、追加し、モデルを高度化した。高度化したシミュレーションモデルを使用して、3~20 kW の各定格出力クラスの風車本体及びタワーの構造設計のための設計荷重値を評価し、主要コンポーネントである発電機及びタワーの設計、並びに標準化仕様の検討と評価のための基礎データを提供し、標準化仕様コンポーネント開発を技術的にサポートした。

豊橋フィールド試験サイトにおいて実施された5kW水平軸小形風車代表機の実証試験によって得られたデータの解析を行い、各コンポーネントの性能、特性を評価した。さらに、主軸トルク、ブレードフラップ曲げ荷重等の代表的なパラメータについて、フィールド実験結果と比較することにより、シミュレーションモデルの精度・信頼性について評価、検証した。その結果、シミュレーションモデルによる荷重評価値が若干過小評価傾向となる課題があったが、更なるモデルのチューニングによって十分な精度・信頼性が得られることを確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水平軸小形風車、空力弾性シミュレーションモデル

【研究 題 目】 高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発／太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発／薄型セルを用いた高信頼性・高効率モジュール製造技術開発

【研究代表者】 高遠 秀尚（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】 高遠 秀尚、棚橋 克人、望月 敏光、立花 福久、Supawan Joonwichien、白澤 勝彦、福田 哲生、木田 康博、森谷 正昭、宇都宮 智、Shalamujiang Simayi（以上、再生可能エネルギー研究センター）、松井 卓矢、齊 均、布村 正太、Lozach Mickael、佐藤愛子、海汐 寛史（以上、太陽光発電研究センター）（常勤職員8名、他9名）

【研究 内 容】

本研究は、薄型で変換効率の高い太陽電池セルをより低コストで作製するための新規プロセス技術開発およびこの薄型セルを用いた長寿命・高効率モジュール（モジュール効率22%）を実現するための技術開発を行うことを目的とする。このため、薄型ウェーハを用いたセル作製プロセス技術の開発、バックコンタクト（BC）セルの作製プロセス工程数を半減するための新規イオン注入技術の開発、さらに、薄型セルに対応したモジュール構造の開発を進める。本年度は、今後の市場の中心となるP型ウェーハを用いたPERC構造セルの高効率化とその評価法の検討を行った。内部量子効率マッピング法やレーザーテラヘルツ放射顕微鏡といった新しい手法を用いて、絶縁膜（SiN/AIO）/Si界面などPERCセル裏面に関する新しい知見を得た。これらを基に量産化プロセスでPERCセルを作製し、変換効率20.5%を得た。イオン注入を用いた新しいセル作製プロセスの開発においては、昨年度のリン（P）に引き続き、ボロン（B）のイオン注入条件の検討を進めた。その結果、P拡散層およびB拡散層を共にイオン注入で形成した両面受光型セルおよびバックコンタクトセルの作製に成功し、それぞれ、20.4%と20.5%の変換効率を達成した。さらに、注入マスクを用いたイオン注入技術の開発に着手し、産総研独自の注入マスク位置合わせ装置の設計・作製を行った。モジュールの高信頼性化に関しては、民間企業と共同で、劣化モジュールの分析や劣化モードの把握を進めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽光発電、太陽電池、結晶シリコン

〔研究題目〕洋上風況観測システム実証研究（洋上風況マップ）

〔研究代表者〕嶋田 進（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕嶋田 進、竹山 優子、小垣 哲也、川端 浩和、往岸 達也、柏 誠、井川 亜紀（常勤職員5名、他2名）

〔研究内容〕

本事業では、メソ気象モデルによる洋上風況シミュレーションを実施し、約500 m 格子で日本沿岸（離間距離30 km 以内）の洋上風況データを整備する。計算精度は、観測铁塔、ライダー観測、ブイ観測等により包括的に検証・改善し、風車ハブ高度の実測の年平均値に対して±5 %以内を目標とする。また、人工衛星観測値を利用して我が国の排他的経済水域内における外洋風況データについても整備する。これに加えて、洋上風力発電の適地選定に必要な漁業権、航路および水深、底質等の社会環境・自然環境情報を GIS データとして整備する。平成28年度は、外部の共同受託者とともに、日本全国の洋上風況データおよび社会環境・自然環境情報を整備し、それらを一元化した新たな洋上風況マップ閲覧システムを完成させた。

産総研では、1)気象モデルに基づく沿岸風況データの整備、2)人工衛星観測値に基づく外洋風況データの整備及び精度検証、3)洋上ライダー観測、4)IEA 風力実施協定への参画、の4項目を分担した。1)については、日本全国の海岸線から30 km の海域を包含するように合計160の計算領域を設定し、スパコン上での気象モデル実行環境を整備した。2)については、昨年度までに開発した外洋風況データについて、日本近海のブイ観測値と比較することにより観測精度を定量的に評価した。3)については、ライダー観測から得られた海上風観測値を気象モデルの精度検証用データとして利用した。4)については、ExCo（Executive Committee）メンバーとしての各種対応（年間レポートの執筆、ExCo 会議の参加及び各国最新状況報告、等）を行った。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕洋上風力、風況マップ、気象モデル、スパコン、人工衛星観測値

〔研究題目〕超臨界地熱開発実現のための革新的掘削・仕上げ技術の創出

〔研究代表者〕柳澤 教雄（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕柳澤 教雄、増田 善雄、最首 花恵、石橋 琢也（常勤職員4名）

〔研究内容〕

本事業においては、500 °C前後の超臨界温度領域での地熱開発のための革新的掘削のための要素技術の研究開発を行っており、産総研は掘削に必要となる機器やケ

ーシングに要求される材料の調査・検討を担当した。平成28年度の進捗は下記の通りである。

- ① ケーシング用鋼管材料に対する API 規格による強度設計法の詳細な調査・検討を行い、繰り返し熱応力による疲労破壊の評価法確立の必要性を見出した。
- ② 材料腐食について過去の地熱開発における腐食研究の資料を精査し、炭素鋼やステンレス鋼に代わる新しい材料としてシリコンカーバイドなどのセラミックス材の可能性を見出した。また、既存材料について250°Cで硫化水素ガス、NaCl 存在下でステンレス鋼やケーシング用クロム鋼などの腐食特性を確認した。
- ③ 掘削工程で想定される坑内および周辺地層の温度・圧力条件、さらには坑内へ流入する地熱流体のこれらの温度・圧力条件下における化学的変化等が鋼管強度や腐食特性に対して及ぼす影響を考慮するために、既存の地球化学シミュレータで超臨界温度領域まで対応可能な Solveq-Chim により試算を行った。その結果、火山ガスの HCl 成分が、地熱流体をより酸性環境とすることが示されるとともに、減圧時の pH 低下による腐食や、シリカの沈殿などの対策が必要であることが示された。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕超臨界地熱、掘削、材料腐食、化学計算

〔研究題目〕再エネ出力抑制対応水素製造及び熱化学昇圧と街区における水素利用マネジメントの技術開発

〔研究代表者〕前田 哲彦（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕前田 哲彦、遠藤 成輝、五舛目 清剛、黒坂 万里子（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

再エネ出力抑制対応水素製造及び熱化学昇圧と街区における水素利用マネジメントの技術開発について、平成28年度は、2030年再生可能エネルギーの導入量及び需要を推定し、出力抑制の発生状況に応じた蓄エネルギー方法を検討し、将来システムの検討、さらに、そのシステムの技術成立性を調査、検討し、実証システムに求められる仕様の検討を行う計画であり、以下の通り実施した。2030年に、現時点での福島県の PV 認定量が全量入ると仮定し、7地区に分けて各地域の太陽光発電量データベースを作成した。相双、県北、県南地区で発電量が多く、会津、南会津地区で発電量が少ないことを確認した。

アルカリ水電解と PEM 水電解と比較・検討を実施した。PEM 水電解は、アルカリに比べコンパクト化が図れ、100 kW 級ではコンテナに格納可能かつ追加設置が可能となることがわかった。水素吸蔵合金を用いた昇圧に用いる合金について候補の合金の温度平衡圧特性を測定した。再エネ発電事業者が、余剰電力のうちの

50 %を水素に置換するものと仮定すると、PV が750 kW 規模の場合、水電解装置が100 kW (20 Nm³/h)、水素貯蔵・輸送量が1500 Nm³/半月という規模になることをエネマネシミュレーションにより確認した。この規模の装置を対象にして各機器の10年 LLC から水素供給コストを算出した。また、事務所、宿泊施設、学校を対象として水素エネマネモデルを設定して、設備容量最適化検討シミュレーションを実施し、ZEB 実現に必要な各設備の容量や CO₂フリー水素の需要量を算出した。技術開発フェーズにおけるシステム技術開発の仕様検討を開始した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水素エネルギーシステム、街区利用、水素吸蔵合金、熱化学昇圧

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

【研究代表者】 奥村 元 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 奥村 元、山口 浩、加藤 智久、米澤 喜幸 (常勤職員23名)

【研究 内 容】

本開発テーマでは、SiC パワーエレクトロニクスの普及と適用先拡大を目指した次世代技術として、①エピ成長やウェハ加工をも含めて革新的手法を取り入れた次世代 SiC ウェハ (基板) 作製技術、②低損失性・高耐圧性をより向上させる新規構造/プロセスを取り入れた次世代 SiC デバイス作製技術、③高電流密度デバイスを搭載したうえで小型軽量化と信頼性評価法確立を目指す次世代 SiC モジュール作製技術を対象に、一貫した統合的研究開発を当該分野における産学官の有力研究機関の研究者を結集して行っている。

平成28年度は SIP 上期3年間の節目の年として、サブテーマ①～③とも掲げた中間目標を達成した。

①次世代 SiC ウェハの技術開発では、ドナー元素とアクセプタ元素を同時添加するコドーパルク結晶成長技術を開発し、n 型で5.8 mΩ・cm (従来技術の1/3)、p 型で90 mΩ・cm (従来技術の1/10) の低抵抗で、かつ積層欠陥の発生がないバルクウェハ (基板) を実現した。基板上にデバイス形成層を形成するエピ技術では、低エピ欠陥密度 (0.9個/cm²) でキャリア寿命が0.1~5 μsec の間で制御された活性層と、キャリア寿命が20 nsec 以下に制御された再結合促進層を有する超高耐圧デバイス用エピウェハの作製を可能とし、ダイオードを試作して順方向劣化の抑制を実証した。

②次世代 SiC デバイスの技術開発では、新規なユニポーラデバイス用 SJ (Super Junction) 構造ウェハの

効果検証の為、TIA (Tsukuba Innovation Arena) のパワーエレクトロニクス拠点に設置された試作ラインを活用して、プロトタイプ SJ 構造ウェハ上に試作した、1 kV 級 MOS トランジスタにおいて耐圧一抵抗トレードオフ特性改善を確認した。目標とする6.5 kV 対応 SJ 構造実現には、深いトレンチの埋戻しエピ成膜時に、トレンチエッチングのマスクに用いた酸化膜 (メサトップと称する) 上に堆積した SiC 膜が傾斜成長してトレンチ開口部が閉塞される現象の解明が鍵であった。ウェハ上のトレンチパターン方向とステップフロー方向のずれ角 (θ trench) とメサトップ成長の傾き (θ mesa) の関係を詳細に調べた結果、両者の間に相関があることを見出し、メサトップ成長膜が試料表面に対してほぼ垂直になる成長条件を確立した。これにより、6.5 kV 対応 SJ 構造を実現した。バイポーラデバイスでは、PiN ダイオードによる耐圧構造の試作検討結果と自立 n⁻エピ基板を用いた IGBT コレクタ構造の試作検討結果に基づき、エピ接合コレクタ構造を提案した。この構造を用いて超高耐圧 SiC-IGBT を設計・試作し、耐圧目標20 kV を達成した。試作した IGBT と PiN ダイオードを組み合わせ、スイッチング試験を行い、高速スイッチングによる低スイッチング損失化の可能性を示した。

③次世代 SiC モジュールの技術開発では、高チップ電流密度 (最大1 kA/cm²) の1.2 kV-200 A 級モジュール実現に向けて、個別高耐熱部品の性能目標を達成 (産総研・構造材料研究部門、先進コーティング技術研究センターを中心として開発) すると共に、高チップ電流密度かつ受動部品混載のモジュール3種類 (ワイヤボンダ形、配線基板形、樹脂封止形) を試作した。世界初の開発事例として、いずれのモジュールも素子温度225 °C における 600 V-50 A のスイッチング (接合温度 250 °C) において、スイッチング時間20 ns 以下の高速動作 (同じ電圧・電流容量の Si-IGBT の約数十分の1のスイッチング時間) と、並列動作時における電流バランス維持を達成した。試作したモジュールのフットプリントは、同じ電圧・電流容量の Si-IGBT と比べ約1/4であった。

また、上記3サブテーマの遂行をより促進させるため、前年度までに構築した三つのサブテーマ間の連携や SIP 内の連携により、研究開発活動をステアリングすると共に、出口へ向けた活動を強化した。

その具体的成果として、ウェハおよびデバイスサブテーマに関連した大学・公的研究機関および参画企業間の連携により、SiC デバイスに特有な劣化 (順方向劣化) のメカニズムの解明から制御・改善技術の提案 (基板到達キャリア密度を下げる再結合促進層導入) と検証までを達成した。

SIP 内の連携では、信頼性を支えるもう一つの基盤である SiC/酸化膜界面の安定化において、当プロジェクト内外の関係機関との一体的運営を行い、共通評価試料

として、つくば拠点作製の評価 TEG の供給と共同解析を本格化することにより、特性変動を正確に評価する手法を開発し、レセピー化を行った。また、芝浦工大赤津教授テーマ（インホイールモータ）へのモジュール提供へ向けた仕様すり合せ、早大異教授テーマ（メッキ接合）との評価法共通化を行った。

出口へ向けた活動では、産総研研究者と参画企業の技術マネージャー及び有識者で構成された SIP 応用技術調査委員会による動向調査を推進するとともに、SIP 次世代パワエレプログラム内へ情報提供し、将来出口戦略の議論を開始した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 SiC、ウェハ、デバイス、SJ、IGBT、モジュール、耐圧、電流密度

〔研究題目〕 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／GaN に関する拠点型共通基盤技術開発／GaN 縦型パワーデバイスの基盤技術開発

〔研究代表者〕 清水 三聡（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 清水 三聡、井手 利英、沈 旭強、中島 昭（常勤職員4名）

〔研究内容〕

GaN の絶縁破壊電界は3.3程度あり、SiC の絶縁破壊電界の2.5と比較すると2～3割程度大きい。縦型パワーデバイスにした場合に単位面積当たりの素子抵抗が絶縁破壊電界の3乗分の1に比例する。よって SiC の場合に比較して単位面積当たりの素子抵抗は半分程度にすることが可能なため縦型デバイスの研究開発が行なわれている。しかしイオン注入が不可能なことから通常のパワーデバイスは困難であると予想される。

しかし GaN 単結晶を用いたダイオードは、高電圧電力を扱う用途への応用が考えられる。このダイオードを実現するためには、1立方 cm 当たりのドーピング濃度を16乗台で制御するエビ結晶成長技術の開発が必要となる。そのため当グループでは、ダイオード等の縦型デバイスで必要となるエビ成長技術の開発を行なっている。

エビ技術開発で必要なのは、MOCVD 成長における不純物の混入を防ぐことである。MOCVD 法では石英などの部材を用いているため、この部材からシリコンや酸素がエビ中に混入するのが問題となる。

平成28年度は、Mg の供給手法を改善することにより1立方 cm 当たりのドーピング濃度を16乗台で制御することを行なった。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 縦型パワーデバイス、GaN 単結晶

〔研究題目〕 SIP（戦略的イノベーション創造プログ

ラム）／次世代パワーエレクトロニクス将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発／パワーデバイス実用化を可能とする革新ダイヤモンド結晶成長技術開発

〔研究代表者〕 牧野 俊晴（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 牧野 俊晴、小倉 政彦、加藤 宙光、加藤 有香子、竹内 大輔、山崎 聡（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

本テーマでは、物質・材料研究機構、東工大、コーンズテクノロジー株式会社とともにダイヤモンド半導体のパワーデバイスへの展開を可能とするために必要となるダイヤモンド結晶成長技術の高度化を実現し、デバイスプロトタイプ試作によりダイヤモンドパワーデバイスのコアコンピタンスの一つである高い絶縁破壊電界を実証することを目的として研究を行っている。

今年度は、高品質ダイヤモンド膜の作製技術や高度化した不純物ドーブ層積層技術、プロセス技術等を用いて pin 接合構造を形成し、従来デバイスと比較して逆バイアス特性の向上（耐圧：810 V 以上、耐電界：5.1 MV/cm）を実現した。また、さらに高い耐電界を実証するために必要な電界集中緩和構造を有した pin 接合の形成技術の一つとして、ドライエッチングプロセスを高度化した。具体的には、熱処理・酸処理等のプロセスを組み合わせて、ドライエッチング表面に残留するダメージ層を除去するプロセスを構築した。さらに、T-CAD シミュレーションにより電界集中緩和構造を有した pin 接合構造を設計し、これを基に pin 接合の試作を開始した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 ダイヤモンド、絶縁破壊電界、pin ダイオード

〔研究題目〕 低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究／コンパクト加速器を実現するための超高速・高電圧パルス電源の開発

〔研究代表者〕 福田 憲司（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 福田 憲司（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本テーマでは大学共同利用機関 高エネルギー加速器研究機構、筑波大学、(株)パルスパワー技術研究所と協力して、コンパクト加速器を実現するための超高速・高電圧パルス電源を開発するために NEDO から委託を受けたものである。産総研は、ドリフト・ステップ・リカバリー・ダイオード (SiC-DSRD) と高耐圧用パッケージの開発を担当した。SiC-DSRD は、最終目標を

達成するために3種類のタイプについて試作を行い、3 kV 級 DSRD の構造を最適化して、3チップの直列接続において、11 kV の出力電圧と2.3 ns の立ち上がり速度を得ることに成功して最終目標を達成した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 SiC (シリコンカーバイド)、DSRD、パルス電源、コンパクト加速器

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

【研究代表者】 杵野 由明 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 杵野 由明、茶谷原 昭義、坪内 信輝、山田 英明、梅沢 仁、大曲 新矢 (常勤職員6名)

【研究 内容】

ダイヤモンドを用いたパワーデバイスの実現、検証を可能とする低欠陥、低抵抗のウェハ作製技術を開発することで、ダイヤモンドのパワーデバイス用材料としての有用性、他材料との使い分けを明確化し、世界に先がけたダイヤモンド半導体の実用化に向けた環境づくりを行うことを目的とし、千葉大学、大阪大学とともに、ダイヤモンドウェハの大型化・低欠陥化に向けた具体的技術課題抽出のための実験的検討、ウェハのレーザー切断、平坦化などの加工技術検討、ならびにダイヤモンドパワーデバイスの将来性およびそれに必要なウェハ仕様の明確化検討を行う。

1インチ単結晶ウェハ実現に向け基盤となる、パルスマイクロ波プラズマ CVD 法による単結晶ダイヤモンドの長尺結晶成長技術の検討を行った。パルス幅や繰り返し周波数など合成パラメータを選択し、数10時間程度以上の長時間合成に耐え得るプラズマ放電条件を特定した。さらに、微量添加ガスの導入により、厚膜化に伴う結晶性劣化を抑制できる可能性があることを見出した。以上の知見を基に、厚さ約10 mm のバルク単結晶を合成することができた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ダイヤモンド、単結晶、ウェハ、CVD、加工

【研究 題目】 植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発 / 植物の生産性制御に係る共通基盤技術開発 / ゲノム編集の国産技術基盤プラットフォームの確立

【研究代表者】 加藤 義雄 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 加藤 義雄、宮岸 真

(常勤職員2名、他4名)

【研究 内容】

植物等による物質生産機能の制御・改変及びその産業化に向けて、既存のゲノム編集酵素では対応が困難な新規のゲノム編集関連技術を開発し、生物を利用した物質生産における我が国の産業競争力を向上させるための新たな技術基盤の形成を目指す。ゲノム編集とは生命の設計図とも呼ばれるゲノム DNA 配列を、DNA 配列を認識する認識ドメインと DNA 配列を改変する酵素ドメインから構成される人工的な酵素を用いて自由自在に書き換える技術である。これまでに ZFN、TALEN 及び CRISPR といったゲノム編集酵素が海外において開発されているが、各々の技術では対応しきれない課題も見受けられる。そこで、新規な DNA 認識ドメインを開発して多様な標的配列や精度の高い配列設計を行うことを目的とする。既に国内外において苛烈な研究競争が行われている中で新規酵素を探索または創製することは極めてハードルが高いことが予想されるものの、これまでの専門分野の知見を活用した独自のアプローチにより、新規認識ドメインの開発に挑戦していくことを目標とする。初年度においては、核酸化学の知見を活用し修飾核酸等を利用した核酸性の DNA 認識ドメインの新規開発に向けて、探索条件の最適化やモデル実験系の組み立てを行った。細胞内へのゲノム編集酵素の導入に関しては、我々がこれまでに培ってきたタンパク質デリバリー法を高度化していくこととし、多様な生物種への対応を可能とするための条件の探索を行った。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 ゲノム編集、DNA、RNA

【研究 題目】 次世代人工知能・ロボット中核技術開発

【研究代表者】 上野 豊 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 上野 豊 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(革新的ロボット要素技術分野)生体分子ロボット/人工筋肉の生体分子ロボット/人工筋肉の研究開発を東京工業大学との共同研究として分担している。生体分子モーターを利用したアクチュエーター開発を可能にする人工サルコメアを創成し、高出力な人工筋肉を実現するため、5大学と連携した研究を進める。その中で、分子グラフィックス技術を活用して超分子構造となる人工筋肉の設計を可能にするソフトウェアを開発し、動作のシミュレーション技術を開発する計画を進めた。研究計画の立案に参画し、初年度は、基本的な分子モデルの構築と既存のグラフィックスソフトウェア blender を活用した分子アニメーションを試作した。骨格筋だけでなく研究報告の少ない平滑筋の構造モデルの検討、微小管フィラメントをビーズに付与させた人工筋肉の設計等を可能にするモデルを試作し人工サルコメア設計を支援した。共同

研究先における分子間相互作用のシミュレーション結果を可視化する機能の高度化のための独自ソフトウェアの設計を進めた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】モータータンパク質、分子シミュレーション、分子アニメーション

【研究 題 目】植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発／植物の生産性制御に係る共通基盤技術開発／遺伝子発現制御および栽培環境制御の融合による代謝化合物高生産基盤技術開発

【研究代表者】松村 健（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】福澤 徳穂、松尾 幸毅、厚見 剛、大谷 祐子、田坂 恭詞、伊藤 亮（常勤職員6名、他4名）

【研究 内 容】

本研究では、植物自身が有する遺伝子に対して、配列特異的に DNA のメチル化を誘導する基盤技術を開発する。植物における遺伝子発現制御、特に発現抑制には RNAi などを利用した技術が多用されている。一方、DNA のメチル化・脱メチル化により遺伝子の発現が制御されていることは知られており、特に植物においては他の生物種には無い、複雑なメチル化システムを有している。これまで、植物に人為的に導入した外来遺伝子に対して RNAi 等によりメチル化を誘導した報告はあるが、内在性遺伝子のメチル化誘導の例は未だわずかである。

そこで、高メチル化誘導が可能と推測している植物ウイルスベクターを用いて、目的の植物遺伝子にのみ高頻度にメチル化を誘導する技術開発を試みている。現在、2種類の異なる植物ウイルスベクターを用いて、植物の或る遺伝子のプロモーター領域を標的としたウイルス誘導遺伝子サイレンシング（VITGS）遺伝子を構築し、タバコを用いてメチル化誘導実験を実施している。

もう一つの手法として、植物側の遺伝子を組換えることにより、メチル化が誘導されやすい植物体の作出を試みている。すなわち、*de novo* のメチル化およびメチル化の維持に関わるクロマチンリモデリング関連遺伝子を導入した組換え植物体の作出を試みている。クロマチンリモデリングの大幅の変異は致死的な変異を誘導する可能性もあり、非常に高頻度で変異体の出現が確認されているが、一部、正常に再分化した個体を得るに至った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】植物ウイルス、一過性発現、アグロインフエクション、DNA メチル化、クロマ

【研究 題 目】植物等の生物を用いた高機能品生産技術の開発／高生産性微生物創製に資する情報解析システムの開発

【研究代表者】田村 具博（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】油谷 幸代、菅野 学、神坂 泰、亀田 倫史、北川 航、木村 信忠、齋藤 裕、佐原 健彦、玉野 孝一、富永 大介、西宮 佳志、藤森 一浩、松沢 智彦、光山 統泰、三谷 恭雄、矢追 克郎、安武 義晃（常勤職員18名、他4名）

【研究 内 容】

本研究では、生物がもつ多様な化学物質を作り出す能力を最大限に活用し、化学合成プロセスを経ることなく高効率に高機能物質を製造するため、情報技術とバイオテクノロジーを融合させてシステム化することにより、わが国独自の産業微生物「スマートセル」を超高速に育種する技術を開発する。そのため以下3課題を設定して研究開発を推進し、それぞれ新たな成果・知見が得られた。

課題1 ハイスループット合成・分析・評価技術の開発

内部標準を利用したトランスクリプトーム解析のプロトコル、RNA 抽出の半自動化プロセス構築を可能にする RNA 抽出プロトコルの開発をそれぞれ行った。またデータベース用計算機を設置し、データベースの基本仕様を設計するとともに RNA-Seq の品質基準について検討した。

課題2 遺伝子配列設計システムの開発

代謝系を設計する情報解析技術の開発として P450 を対象とした酵素改変のための構造計算手法を開発した。発現データから生産に寄与する遺伝子選択技術の開発を行った。様々な遺伝子配列特徴量を組み合わせた蛋白質発現量制御法を開発し蛋白質生産実験による検証を行った。ゲノムデータとトランスクリプトームデータを連結するためのゲノムデータ解析支援ツール B 版、代謝経路と遺伝子発現をつなげるための支援ツール B 版をそれぞれ開発した。

課題3 新規情報解析システムの有効性検証

上記2課題のシステムを統合し、企業等の産業微生物を利用した物質生産に関する10テーマに適用し有効であるか実証を開始した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】スマートセル、微生物育種、情報科学、オミクス解析、遺伝子制御ネットワーク、遺伝子配列設計、産業微生物

【研究 題 目】IoT 推進のための横断的基盤技術開発プロジェクト／省電力 AI エンジンと異種 AI エンジン統合クラウドによる人工知能プラットフォーム

【研究代表者】工藤 知宏

（東京大学情報基盤センター）

【研究担当者】工藤 知宏（東京大学情報基盤センタ

一)、高野 了成、池上 努、
須崎 有康、田中 哲、広瀬 崇宏、
Jason HAGA (情報技術研究部門 常勤
職員6名)、大内 真一、更田 裕司 (ナ
ノエレクトロニクス研究部門 常勤職員
2名)、村川 正宏、野里 博和 (人工知
能研究センター 常勤職員2名)、
並木 周、石井 紀代、天野 建 (電子
光技術研究部門 常勤職員3名)

【研究内容】

人工知能による高度なデータ処理の実現と、これに必要な消費電力の低減が IoT における差し迫った課題である。本プロジェクトでは、エッジ側とクラウド側双方で電力性能比10倍を実現する人工知能処理の共通基盤技術を開発する。エッジ側では、推論処理の省電力・省スペース化と実時間対応を目標に、人工知能アルゴリズムをハードウェアで実装した省電力 GPU 推論学習エンジンと、設計・実装プラットフォームを開発する。クラウド側では、最適な AI エンジンを組み合わせることにより学習処理を効率化する異種エンジン統合アーキテクチャ及びシステムソフトウェアを開発する。

産総研分担の活動内容は、異種エンジン統合クラウドにおけるシステムソフトウェア開発である。3年計画の初年度となる平成28年度は、異種・複数の AI エンジンノードを自在に結合して、アプリケーションに最適化した実行環境 (スライス) を構築できるコンピューティング基盤 Flow in Cloud の資源管理を行う Flow OS の概念設計を完成した。この設計に基づき、下記の通り Flow OS の試作を実施した。(1) ユーザの要求に応じてスライスを作成・破棄する Apache Mesos ベースの資源管理システムの開発。(2) スライスに対してアプリケーションに最適化した実行環境を提供するコンテナ技術 Bare Metal Container の開発。(3) Flow in Cloud を模擬した、PCIe over Ethernet ベースの動的ハードウェア再構成環境の構築。成果として、(1) の資源管理システムを介して、PC 2台と GPU やストレージ等の PCIe デバイスから成る (3) の環境上にスライスを構築できることを確認した。さらに (2) に関してはオープンソースソフトウェアとして成果を公開した。また、国際会議発表2件、国内研究会発表1件、国際展示会出展1件を行った。

【領 域 名】情報・人間工学、エレクトロニクス・製造

【キーワード】 計算機システム、オペレーティングシステム、人工知能、ネットワーク

【研究題目】 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) / 重要インフラ等におけるサイバーセキュリティの確保 / (b1) 研究開発技術の社会実装を促す適合性確認のあ

り方の研究開発

【研究代表者】 寶木 和夫 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 寶木 和夫、大崎 人士、半田 剣一、
坂根 広史、田口 研治、三科 雄介、
相馬 大輔 (常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

本研究は、有用なセキュリティ機能を速やかに社会実装するための仕組みを設計するため、(1) SBD (Security by Design) を着実に推進するための基本を構築する、(2) ゼロから作るのではなく、新旧混在系におけるセキュリティの確保を図る、(3) 我が国を取り巻く状況を考慮したセキュリティ適合性確認の仕組みと社会実装のあり方を調査、評価し、その実現のための環境整備を行うことを目的としている。

研究計画としては、重要インフラシステムの制御ネットワークや機器、および、その製造者を対象とし、セキュリティ適合性を評価・認証するための妥当な制度のあり方を検討する。そのため、有用となる第三者認証の確立と普及策を設計、試行する。第一者、第二者評価を支援する評価ツールも併せて検討する。また、他プロジェクトの開発技術の活用とともに、大量のセキュリティ要件を半自動的に分類し可視化する要求分析支援ツール、効率的に分析ミスや見落としを低減するセキュリティ・セーフティ可視化支援ツールの研究開発と概念検証により有用性を示すこととした。

平成28年度は、国際会議4件 (Black Hat, RSSRail, CIP, RSA Conference)、海外機関2件 (UL, NIST) の往訪調査、分析を実施した。適合性確認の高効率、高精度化に向け、セキュリティ要件群を入力して階層構造木を生成し可視化することで、その体系化を支援する要求分析プロセス支援ツールの基本機能の試作、セキュリティケースやセーフティケースと呼ばれる規格への適合性を示す資料を半自動で生成する、適合性確認支援ツールの基本開発および試作を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】 セキュリティ、サイバー攻撃、要求定義、システム検証技術、適合性評価技術

【研究題目】 次世代ロボット中核技術開発 / (革新的ロボット要素技術分野) ブレイン・マシン・インターフェース / 脳波によるヒト型ロボット高速制御技術の実現可能性に関する検討

【研究代表者】 長谷川 良平 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 長谷川 良平、松本 有央、稗田 一郎、
中村 美子、長谷川 由香子
(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

本研究開発の目的は、脳波によるロボットアバター制御システムの実用化に必須なコア技術「脳波解読の高速

化」の可能性を調査することである。

本年度は、下記項目のテーマに関して、引き続き試作開発や実証実験を行った。

- ①脳波によるロボット制御のための基盤システムの開発、
- ②脳波によるロボット制御技術の検証手順の確立とその実証、
- ③脳波解読の高速化の試み、
- ④ロボットアバター制御を目的とした臨床実験、
- ⑤ロボットアバターの移動制御専用インターフェースの開発、
- ⑥BMI によるロボット応用についての国内外の開発動向調査

このうち、特に項目③を紹介する。本項目では、脳波によるロボット制御に関する実証実験（被験者対象）を行うとともに、そのデータに対する新手法の適用を行い、オフライン解析ではあるものの3秒台の高速脳波解読の可能性を見出した（理論値では3秒以内も可能）。この成果については、国際査読学会で発表を行うとともに、関連した査読英語ジャーナルに論文形式で掲載された（Hasegawa & Nakamura, LNCS 2016）。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】意思伝達、実証実験、脳波、福祉機器

【研究 題 目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／革新的設計生産技術 リアクティブ3D プリンタによるテーラーメイドラバー製品の設計生産と社会経済的な価値共創に関する研究開発

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、多田 充徳、村井 昭彦
（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本プロジェクトが目指すテーラーメイドシューズの使用感の予測、そして運動と感覚の関係の解明のため、ランニングの計測実験を行い、ヒトの筋骨格モデルを使用した逆動力学計算を実施している。

平成28年度は、運動計測、解析、そして可視化とフィードバックをリアルタイムに実現するシステムを開発した。これにより、運動の定量化と可視化がリアルタイムに行えるようになった。また、ランニングシューズ、運動、そして感覚の間関係を解明するために、異なる硬さのアウターソールで構成されたランニングシューズを使用したランニング運動の計測と、その解析を行った。同一被験者では、アウターソールの硬さによって主観的なクッション性や障害リスクが変化することが明らかになった。また、同一ランニングシューズでも走り方の違いによって、走りやすさに関する主観や障害リスクが変化することが明らかになった。このような実験をより簡便に現場で行えるようにするために、IMU センサを用いて足部の詳細な運動を計測するシステムのプロトタイプ

を開発した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、ランニング、有限要素モデル、筋骨格モデル

【研究 題 目】インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発／道路構造物ひび割れモニタリングシステムの研究開発

【研究代表者】永見 武司（知能システム研究部門）

【研究担当者】永見 武司、小林 匠、増田 健、
佐藤 枝美子、佐々木 久之
（常勤職員3名、他2名）

【研究 内 容】

道路構造物における重要な点検項目であるコンクリートのひび割れについて、その定量的把握および経過観察を精密かつ効率的に行うための自動検出技術およびモニタリングシステムの実現を目的としている。このため、点検対象である床版、橋台、橋脚、トンネル、道路、付帯構造物に対し、幅0.2 mm 以上のひび割れを80 %以上の確率で検出するひび割れ自動検出技術、パノラマ合成技術、経年変化検出技術等の要素技術を開発し、これを実装したモニタリングシステムを平成28年度末までに稼働させ、その後2年間の実証評価を行うこととしている。平成28年度は、画像データをもとにひび割れを自動で検出する技術について特徴抽出および判別処理部分の改良を行い、床版、橋台、トンネルを対象にした評価実験で81 %の検出精度を得た。また、パノラマ合成技術について、撮影点を拘束しない合成技術を改良し、画像間の接続をより高精度に行い、点検事業者から点検資料として十分な品質との評価を得た。経年変化検出技術では、ひび割れの詳細な形状から長さや幅を算出する手法を開発した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】自動点検、画像処理、異常検出

【研究 題 目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／維持管理ロボット・災害対応ロボットの開発／橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発

【研究代表者】岩田 拓也（知能システム研究部門）

【研究担当者】岩田 拓也（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究開発では、小型軽量のマルチロータヘリを飛行ロボットのプラットフォームとして、そこに打検機、目視用光学センサ等を搭載することにより、作業車などの大型設備を使用せずにインフラ内高所の壁面状況のモ

ニタを実現し、収集した打音情報・画像情報をデータベース化し、その変化・変状についての把握を容易とする情報処理システムを実現することを目標としている。実際のトンネル定期点検時の交通規制の多くは片側交互通行規制であり、片側2車線のうち1車線を規制して点検を行い、他の1車線では交通を通す方式であるため、飛行ロボットを使用した点検は、道路上の作業であることから「建設工事公衆災害防止対策要綱土木工事編（建設省事務次官通達：平成5年1月12日）」により、一般交通への危険及び渋滞の防止、歩行者の安全等を図るための交通の処理方法について検討し、道路管理者及び所轄警察署長の指示するところに従い、必要な対策を講じることとなる。産総研では、この必要な対策として、航空の安全3原則である（1）機体の安全（2）操縦の安全（3）運航体制・運航環境の安全、の観点に基づき、安全対策技術を開発している。具体的には、（1）としては、マルチローター型飛行ロボットの衝突安全技術、（2）としては、操縦補助用リードシステム、（3）としては、風は通すが飛行ロボットは通さない安全ネットの開発を行っている。平成28年度は、（1）ではクラッシュプルセーフティー用の炭素繊維複合材材料の開発を実施した。（2）に関しては、企業による製品化による社会実装を実施した。（3）に関しては、前年度の常設安全ネット装置から発展させ、インフラ点検現場へ搬送し、現地で簡便に迅速に組立設置を行える安全ネット展開システムの開発を実施し、NEDOのステージゲート審査で実証を行った。その結果ステージゲート通過の実績を得た。また更に改良を加えた安全ネットシステムは、製品化を担当する企業から JapanDrone2017に出展され、Best of Japan Drone2017産業支援部門賞を受賞した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】インフラ点検、無人航空機、飛行ロボット

【研究 題目】次世代人工知能・ロボット中核技術開発／（革新的ロボット要素技術分野）自律型ヒューマノイドロボット／非整備環境対応型高信頼ヒューマノイドロボットシステムの開発

【研究代表者】金広 文男（知能システム研究部門）

【研究担当者】金広 文男、佐藤 雄隆、片岡 裕雄、森澤 光晴、金子 健二、吉田 英一、加藤 晋、小島 一浩、Cisneros Rafael、郷津 優介（知能システム研究部門）森 彰、山形 頼之（情報技術研究部門）（常勤職員10名、他2名）

【研究 内容】

ヒューマノイドロボットの産業応用の可能性、応用に

際して必要となる基盤技術に対する要求仕様を明らかにし、技術戦略・ロードマップを作成して開発を行い、非整備環境においても高信頼に動作するヒューマノイドロボットシステムを実現することを目標とする。

平成28年度は、前年度につづいて応用調査、技術調査を行い、大型構造物組立分野が人型利用の意義、技術的難易度、市場サイズ、コスト要求の観点から応用分野として有望で、（1）Deep Learning をベースとする環境計測データからの作業対象物体検出・追跡技術、（2）関節トルク指令タイプの多点接触制御システムを発展させた環境計測データに基づいたロボスト多点接触運動技術、（3）シミュレータを用いた仮想テストと実機を用いた不具合の実行時検知を組み合わせたロボットシステム高信頼化技術が重要である、との結論に至った。

この結果に基づいて基盤技術の開発に着手し、（1）物体検出については、物体の画像データベースを作成し、機械学習の追加学習を行うことで高い検出率を実現できることを確認した。（2）多点接触運動については不等式制約条件付き最適二次計画法に基づく多点接触制御系の構築に着手した。（3）高信頼化については、自動的にテストを実行してソフトウェアの変更による不具合の発生を検知する仮想テスト環境を構築するとともに、浮動小数点例外を選択的にトラップする実行時検知技術を開発し、実ロボットに適用して発見された例外の修正を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ヒューマノイド、物体検出、多点接触運動、自動テスト

【研究 題目】ロボットの国際競技大会の競技種目の具体化に関する調査業務

【研究代表者】横井 一仁（知能システム研究部門）

【研究担当者】横井 一仁、河井 良浩、山野辺 夏樹、万 偉偉（知能システム研究部門）、花井 亮（ロボットイノベーション研究センター）（常勤職員5名）

【研究 内容】

ロボット新戦略においてロボットの研究開発を加速し、社会実装を進める一つの方法として、様々なロボットを対象とした競技会を2020年に実施する。本調査業務は各種競技のうちのものづくり競技種目を確立するために必要な検討を行うことを目的とする。ものづくりの代表的な作業である製品組立・分解作業を対象とした競技タスクの基本設計、競技技術を評価するための実環境試験を行い、既存競技大会、関連遵守法令を踏まえた運営マニュアル、審判ルール／評価手法の検討を行った。具体的には、

・競技として製品組立に関するロボット技術、特に変種変量生産で重要となる段取り時間を短縮する教示時間

の短縮、治具レスを目指すこととした。

- ・有力 SIer に聞き取り調査を行い、モデル製品に組み込むべき項目の洗い出した。
- ・海外で行われている既存競技大会の担当者にヒアリング調査を行った。
- ・2017年にトライアル競技として、IROS2017の Robotic Grasping and Manipulation Competition の一種目として実施することを決め、競技内容の検討、実環境試験を行い、競技として適当かの評価を行った。その結果、Gera Unit の組立競技を実施することを当該 Competition の実行委員長に提案した。
- ・2018年のプレ大会についても、競技案を検討・作成し、ものづくり競技委員会に図って賛同を得た。
- ・既存競技大会 RoboCupLogistics の運営マニュアル、審判ルールを調査し、2018年プレ大会の Rules and Regulations の案と、運営マニュアルの目次案を作成した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ものづくり競技、競技タスク、競技大会

【研究 題 目】風力発電高度実用化研究開発／スマートメンテナンス技術研究開発（分析）（リスク解析等）

【研究代表者】村川 正宏（人工知能研究センター）

【研究担当者】村川 正宏、緒方 淳、岩田 昌也（人工知能研究センター）、小垣 哲也、阿部 裕幸、川端 浩和（再生可能エネルギー研究センター）
（常勤職員6名、他2名）

【研究 内 容】

本研究開発は、風車の不適切なメンテナンスや技術欠落を原因とする風車の稼働率低下（設備利用率の低下）、故障の増加や風車の停止時間の増大といった課題の解決を目的とする。このために、目標稼働率95%を達成可能なメンテナンス技術を開発し、風力発電事業で適切に活用されるためのメンテナンスチェックリスト、保険やO&M（運転管理・保守点検）認証への適用性検討など実効的なスキームを検討する。体制としては、プロジェクトリーダーである東京大学、助成事業に参画する企業群と連携して研究開発を遂行し、産総研は、各種要素部品の状態監視システム CMS（Condition Monitoring System）の活用と、関係するセンサデータからの故障検知技術の開発を分担する。

5年計画の4年目となる平成28年度は、当事業でこれまで進めてきた国内実機風車データ解析（異常検知）の実施・検証を継続するとともに、実機故障ギアボックスのベンチ試験のデータ計測並びに解析実験を行った。実機故障ギアボックスベンチ試験では、従来の診断アプローチでは異常（損傷状態）の検知が困難な振動データに対して、当委託事業で開発を進めてきた人工知能アプロ

ーチ（独自特徴量+機械学習）により異常検知が可能である見通しを得た。また、風車実運用との連携・協調による異常検知技術の高度化に係る研究開発を進めた。具体的には、CMS 異常検知結果の提示インターフェース、運用者による異常検知結果検証機能等、風車実運用の中で異常検知技術を効率的かつ効果的に利用できるシステムのプロトタイプを開発した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】風力発電、メンテナンス、異常予兆検知、データ解析、機械学習

【研究 題 目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／点検・診断技術の実用化に向けた研究開発／学習型打音解析技術の研究開発

【研究代表者】村川 正宏（人工知能研究センター）

【研究担当者】村川 正宏、河西 勇二、高橋 栄一、岩田 昌也、緒方 淳、鈴木 綾子、叶 嘉星（人工知能研究センター）、蔵田 武志、大隈 隆史、張 慶春、一刈 良介（人間情報研究部門）
（常勤職員7名、他4名）

【研究 内 容】

インフラ老朽化に伴い急激に増加する点検作業に対し、点検員の技術に左右されず正確に損傷の検出が可能な打音検査技術の開発を目的とする。産総研が有する学習型の音響解析技術を核として、打音装置および打音解析システムを開発する。打音装置は、株式会社テクニーが担当し、首都高技術株式会社および東日本高速道路株式会社東北支社が実構造物における打音収集を分担する。この実データに基づき、開発した打音解析システムの実証評価を共同提案者4者で行い、高性能化と実運用性を高めたシステム開発を行う。

4年計画の3年目となる平成28年度は、打音解析手法の研究においては、教師有り学習手法の開発を行った。特に、クラスタリング手法を用いることで熟練者によるラベル付けのコストを大幅に減らす手法を開発した。

打音解析システムにおいては、昨年度開発した打音解析サーバ上に、これまで開発した教師なし学習手法のうち最も性能のよい手法を実装した。また、これまで開発してきた打音解析結果を打音収集端末（タブレット）上でAR表示できるシステムと連携動作するようにした。この結果、打音装置で収集した打音データを自動的に解析サーバに送信して解析後、その結果をタブレットにダウンロードし、オンサイトで作業者が確認することが可能となった。また、壁面検査向けに点検ハンマの位置取得システムの開発も行い、人手によるハンマの打撃位置を簡便に取得できるようになった。

性能評価においては、プロジェクトメンバーである首

都高技術、NEXCO 東日本、テクニークと共同で、実構造物において打音取得実験を継続して行い、開発手法を用いて取得データを解析し、その結果を打音装置開発にフィードバックし、装置の改良を進めた。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 コンクリート構造物、異常検知、打音解析、機械学習、拡張現実感技術

〔研究題目〕 次世代人工知能・ロボット中核技術開発／次世代人工知能技術分野／人間と相互理解できる次世代人工知能技術の研究開発

〔研究代表者〕 辻井 潤一（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕 辻井 潤一、本村 陽一、西田 佳史、櫻井 瑛一、中田 亨、Geczy Peter、Lynden Steven、Leblay Julien、Laokulrat Natsuda、北村 光司、西村 拓一、福田 賢一郎、渡辺 健太郎、西村 悟史、梁 滋路、小川 宏高、谷村 勇輔、的野 晃整、金 京淑、亀山 空道、宮尾 祐介、岡崎 直観、中山 英樹、松尾 豊、市瀬 龍太郎、佐藤 泰介、尾形 哲也、松下 康之、佐藤 仁、吉村 玄太、彦坂 修平、今泉 友之、藤田 藍斗、野田 遼子、伊東 里保、今関 宏房、中村 友昭、山崎 隆紀、森永 聡、大屋 勝敬、我妻 広明、杉村 領一、麻生 英樹、中田 秀基、一杉 裕志、高橋 直人、川田 正晃、佐野 崇、尾崎 竜史、中村 良介、岩田 敏彰、神山 徹、赤穂 昭太郎、兼村 厚範、高野 了成、広淵 崇宏、村川 正宏、河西 勇二、岩田 昌也、坂無 英徳、野里 博和、高橋 栄一、緒方 淳（人工知能研究センター）、原田 研介、万 偉偉、永田 和之、花井 亮、Ixchel Ramirez-Alpizar、佐藤 雄隆、岩田 健司、佐川 立昌、増田 健、小林 匠、長坂 洋輔、堂前 幸康（知能システム研究部門）、大羽 成征（京都大学）、岡田 真人、鶴岡 慶雅（東京大学）、山崎 匡（電気通信大学）、高村 大也（東京工業大学）、大森 隆司（玉川大学）、稲邑 哲也（国立情報学研究所）、村田 昇（早稲田大学）、橋本 学（中京大学）、藤吉 弘亘（中部大学）、辻 徳生（金沢大学）、山崎 公俊（信州大学）松原 崇充（奈良先端科学技術大学院大

学）（常勤職員47名、他40名）

〔研究内容〕

人間と人工知能が協働して重要な社会的課題を解決する世界の実現を目指して、人間と相互理解可能な次世代人工知能技術の研究開発を進めている。大学、公的機関、産業界から人材、技術、データを集結させ、①大規模目的基礎・先端技術研究開発、②次世代人工知能フレームワーク研究・先進中核モジュール研究開発、③次世代人工知能共通基盤技術研究開発、という3つの研究開発項目を一体的に実施した。先導研究の2年目である平成28年度の主な進捗は以下の通り。次世代脳型人工知能の研究開発：大脳皮質モデル BESOM の効率的なオンライン学習法、プロトタイピング用疑似ベイジアンネット、文脈情報を利用した頑健な文字認識システムの提案と評価、視覚野細胞の STA の効率的かつ安定的な推定手法、運動野－大脳基底核モデルによる運動シーケンス生成手法、能動学習による効率的な物体追跡手法の確立、人工言語野のプロトタイピング、ニューロン数500万超、シナプス数100億超の全脳スパイクモデルの初期プロトタイプ構築、等の成果を得た。データ・知識融合型人工知能の研究開発：研究用データセットの整備を行い、動画に説明文を付与する手法やニューラルネットワークが学習した分散表象知識を、人間が理解可能な記号的知識に変換する手法を提案・評価した。機械学習・確率モデリングの高度化：4種類のスケラブルな機械学習手法の提案と評価、確率プログラム処理系への Viterbi 推論の組み込み、マルチモーダル VAE の提案と画像の修飾への応用、等の成果を得た。次世代人工知能フレームワークの研究：次世代人工知能フレームワークプロトタイプ構築と評価、データモデルの標準化への貢献、人工知能研究用クラスターおよび商用クラウド上を用いた計算基盤構築、人間とロボットとの大規模対話データ収集のための仮想環境構築、科学技術文献の俯瞰と技術の未来予測のためのプラットフォーム構築、等の成果を得た。先端中核モジュールの研究開発：日常生活データを観測・収集するためのリビングラボの整備、日用品の3次元データベースと認識モジュール構築、人の物体操作や組立作業の計測法とそれを利用した行動自動計画手法、動作模倣学習および不定形物操作生成手法の提案と実ロボットでの検証、自然言語処理ツールの構築、等の成果を得た。人間行動モデリングタスク：pLSA とベイジアンネットを組み合わせた人間行動モデリングモジュール構築、ユースケースの調査と社会実装シナリオの可視化、介護、健康増進の現場での知識発見を支援するシステム構築と知識構築、等の成果を得た。画像解析タスク：中分解能衛星画像データをクラウド上に整備して公開するとともに、深層学習によって変化検出や地物検出が行えることを確認した。100種類の人の動作に対して1,000本ずつ、合計10万本の動画からなる学習データセットを構築するとともに、深層ニューラルネットを用

いた動画認識手法を開発した。テキスト情報からの知識獲得タスク：米国航空安全報告制度のヒヤリ・ハット情報や米国労働安全局の事故データの分析を実施した。酵素反応データベースに向けて、関連文献を解析するための辞書・キーワードの整備と分析の試行を実施した。対人インタラクシオンタスク：実験フィールドとして選定した幼稚園に園児を識別・追跡するための環境を構築し、ロボット等を用いたインタラクシオン実験とデータの収集を実施した。産業用ロボットタスク：産業用ロボットシステムとピッキングシミュレータを構築した。自動運転タスク：データ収集用の車両を構築し3次元地図データを構築した。先進運転支援システムオートロジーおよび実験環境を整備し、交差点での運転に適用して有効性を確認した。人材育成活動として NEDO-AIRC=東京大学人工知能基礎技術/先端技術人材育成講座をそれぞれ開講した。人工知能技術の普及・実用化に向けた活動として人工知能セミナー・ワークショップを11回開催するとともに、NEDO プライベート展示会・ワークショップやドイツでの展示会 CeBIT において成果の展示を行った。ステージゲート評価を通過し、研究開発フェーズに進むこととなった。先導研究の成果について中間成果報告会を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】人工知能

【研究 題 目】木質バイオマスから各種化学品原料の一貫製造プロセスの開発
非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発

【研究代表者】吉田 勝（機能化学研究部門）

【研究担当者】吉田 勝、柳下 立夫、田原 聖隆、塚原 建一郎（常勤職員4名、他3名）

【研究 内 容】

本研究の目標は、本プロジェクトで構築される一貫プロセスのシステムシミュレーション評価で得られた各工程での要素変換データ（物質収支及び投入エネルギー等）に基づき、木材や変換・処理に要する化学品等の原料の製造、そして本 PJ の一貫プロセスにおける各種生産物の製造と副産物の処理に要するエネルギー等の温暖化ガスの排出量を求めることである。加えて、当研究所で開発している産業間の連携等の産業構造分析が可能な産業評価用インベントリデータベース（IDEA マトリックス）に、上記一貫プロセスによる化学品製造のデータを組み込み、社会影響評価が可能になるように改良することを目標としている。当該研究題目の初年度である平成28年度では、ライフサイクルアセスメントの基礎技術データの整備として、一貫プロセス評価で製造が想定される化学品の現行プロセスのインベントリデータを、論文・特許・統計データなどの各種資料を参考に作成し、また、一貫プロセスで構築された要素変換データのイン

ベントリデータの収集を行った。上記データを用いてインベントリデータ分析を実施することにより、現行と一貫プロセスの温暖化ガス排出量について比較を行った。加えて、作成したインベントリデータを IDEA へ組み込み、産業評価用データベースを作成した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオマス、ライフサイクルアセスメント、産業構造分析

【研究 題 目】非可食性植物由来化学品製造プロセス技術開発/木質系バイオマスから化学品までの一貫製造プロセスの開発/高機能リグノセルロースナノファイバーの一貫製造プロセスと部材化技術開発

【研究代表者】吉田 勝（機能化学研究部門）

【研究担当者】遠藤 貴士、井上 誠一、齋藤 靖子、齋藤 有紀、市木 佳奈、間世田 安希（常勤職員4名、他3名）

【研究 内 容】

本テーマは、木質からリグノセルロースナノファイバー（リグノ CNF）を製造し、樹脂との複合化による、高強度複合材料化の開発を目的としている。当グループ担当課題として、本年度は、種々の条件で製造したパルプの化学的反応性の精密解析およびパルプ製造時の副産物である黒液の特性評価を実施した。

化学的反応性解析では、製造条件の異なるリグノパルプを用いてアセチル化条件と生成物の化学構造解析からヘミセルロース成分の反応性を評価した。含水状態のヤナギ由来クラフトパルプを、凍結乾燥、アセトン置換後減圧乾燥、アセトン置換後風乾、エタノール置換後臨界点乾燥、減圧蒸留の5つの方法で乾燥し、反応性への影響を解析した。その結果、核磁気共鳴（HSQC-NMR）による置換度評価から、乾燥後の比表面積が大きいパルプ試料ほど、ヘミセルロース成分であるキシランの反応が進行することが判明した。これらの結果から、乾燥時のパルプ繊維の凝集がヘミセルロースのアセチル化を阻害するため、乾燥方法の最適化により反応性が向上できることが示された。

黒液の評価では、アカマツを原料として160℃の蒸解処理時の黒液を用い、酸処理後に固液分離し、黒液中に含まれるヘミセルロースおよびリグニン由来の有機化合物の分析を行った。その結果、黒液中に含まれるリグニン成分は、酸処理によりそのほとんどが固体として回収され、また、リグニン成分の一部は、バニリン、グアイアコール、アセトバニロンなどに分解されていたが、大部分は有機溶媒に不溶な高分子のまま回収されることが分かった。一方、ヘミセルロース由来成分は、糖として残存している量は僅かであり、フルフラール、酢酸などに分解されていることが明らかになった。

【領 域 名】材料・化学

〔キーワード〕 リグノセルロースナノファイバー、木質、反応性、黒液

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム／革新的分離技術の導入による省エネルギー型基幹化学品製造プロセスの研究開発

〔研究代表者〕 遠藤 明（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 遠藤 明、根岸 秀之、吉宗 美紀、原 伸生、山木 雄大（常勤職員5名）

〔研究内容〕

本先導研究では、膜分離、又は膜と他の分離技術や反応技術のハイブリッド化の適用が期待でき、かつ省エネルギー効果も大きい多様な分離対象について、C₂・C₃炭化水素等の分離技術の基盤となる材料開発を実施する。また、それらの分離材料を用いた場合の新規分離プロセス検討を行い、プロセス構成に応じた省エネルギー効果について定量的に評価する。

炭素膜の開発では、プロピレン／水素及びエチレン／水素の分離系を検討対象とし、炭素膜の製造条件を最適化した結果、混合ガス条件下で今年度の目標性能を達成することができた。さらに、99.99%の水素純度が達成可能な高選択性炭素膜を開発し、既存プロセスである吸着法に対して優位性を示すことを明らかにした。

MOF膜の開発では、二次成長法による成膜を行い、多孔質基材の表面に厚さ約1ミクロンの分離層を有するプロピレン／プロパン分離膜を開発した。この分離膜は、供給圧力0.1 MPaにおいてプロピレン透過率 2.1×10^{-8} mol/(m² s Pa) およびプロピレン／プロパン透過率比24を示し、分子サイズの違いに基づいた選択透過特性を発揮することを明らかにした。

分離プロセス検討では、プロピレン／プロパンの分離系を検討対象とし、原料中のプロピレンの濃度に応じた膜分離と蒸留のハイブリッドプロセスの構成を明らかにした。さらに、既存の蒸留プロセスに対して目標とする省エネルギー化を図るために必要な分離膜の性能および膜分離装置の操作条件を明らかにした。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 炭素膜、MOF膜、ハイブリッドプロセス

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム／超精密原子配列制御型排ガス触媒の研究開発

〔研究代表者〕 遠藤 明（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 遠藤 明、上村 佳大、佐藤 理恵（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

本先導研究では、内燃機関自動車の燃費を向上させ、排出CO₂の削減を可能とする燃焼条件（リーンバーンエンジン等）において、窒素酸化物（NO_x）を低減す

るための新規排ガス浄化用触媒を開発する。産総研では、次世代NO_x浄化用触媒として期待される8員環ゼオライトについて、従来合成法と比べて有機構造規定剤（OSDA）を使用しない、新しい合成法を開発する。また、本先導研究で合成されるゼオライト触媒について、高分解能ガス吸着等温線の測定により細孔構造評価を実施し、得られたゼオライト触媒の構造規則性を精密に評価する。

平成28年度は、種結晶添加法を用いてKFI型、RHO型のOSDAフリー合成を実施した。ここでは、KFI型またはRHO型種結晶（従来合成品）を含む特定の反応混合物（OSDAフリーゲル）を水熱処理した。KFI型については、合成条件を検討した結果、既存の方法で合成したKFI型よりもマイクロ孔容積の大きいKFI型ゼオライトが得られた。RHO型については、従来合成品（種結晶）に近い結晶性を有したRHO型を得ることができた。

ガス吸着法による細孔構造制御では、酸処理や粉砕処理したゼオライトの細孔構造変化を、極低相対圧からの窒素吸着等温線を測定することにより評価した。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ゼオライト、触媒、OSDAフリー合成、吸着

〔研究題目〕 ナノクリスタルエンジニアリングによる材料・デバイス革新

〔研究代表者〕 三村 憲一（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕 三村 憲一、加藤 一実（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究開発では、ナノキューブ集積体の優れた物性を応用することで、セラミックデバイスの小型化、高性能化を目指し、特に高容量強誘電体メモリ、超高性能誘電エラストマー、高機能光学フィルム等の革新的デバイスを実現することを目的としている。本年度はチタン酸バリウム系ナノキューブ材料の新しい合成技術の開発を行い、特に固溶体化において、Tiサイトの一部をZrに置換したBa(Zr, Ti)O₃ナノキューブについて、Zr置換量が0.10、0.15、0.20 mol%と増加するに従い、集積体の圧電応答特性においてヒステリシスがスリム化し、電界誘起歪みが0.10の時に最大になることなどを明らかにし、固溶体組成比による特性変化の基礎的な知見を得ることに至った。また、新たな組成のチタン酸バリウム系固溶体ナノキューブの合成にも着手し、合成条件などを最適化することにより、キューブ形状のナノクリスタルを得ることができた。この過程で、原料の仕込み組成比と実際の組成比の差が大きいなどの今後解決すべき種々の問題が明らかになり、次年度の当技術の課題として抽出した。また、これまでに産総研で得られているチタン酸バリウムナノキューブ系集積体の成果について、

Nanotech2017にて展示し、関連企業等への成果普及に努めた。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕ナノクリスタル、自己集積化、誘電体材料

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

〔研究代表者〕赤井 智子（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕赤井 智子、福味 幸平、北村 直之、金高 健二（常勤職員4名）

〔研究 内容〕

ガラスは、ディスプレイ、太陽電池、照明、光通信等の製品において、基板、カバーガラス、レンズとして使用されており、製品サイズ、デザイン、性能を決めるキーマテリアルのひとつである。しかしながら、ガラスは割れやすいという典型的な難加工材料であることから、広範な製品への適用が阻害されている。本研究開発においては、成型・切断・接合という3つのガラス加工の要素について、ガラス内部に生じる複雑な現象を解明することで、速度、精度、面積を飛躍的に向上させる革新的な生産技術を開発する。また、加工のベースとなるサイエンスの構築やシミュレーション技術の開発を関西圏に集積するガラス関連の大学・研究所で実施する。その結果を元に、現在、技術、市場で世界的に優位性をもつ複数のガラス企業で製品開発し、ユーザーからのフィードバックを受けながら部素材、加工方法をパッケージで供給することを目指す。当所では大面積精密成型技術に必要な成型温度付近における粘弾性挙動の解明、ガラス融液とモールドの反応機構の解明に取り組む。また、それらの知見を元に8インチの大面積マイクロレンズアレイの成型技術を開発することを目的とする。

本年度は、リン酸塩ガラスについて、成型温度近傍での粘弾性特性を測定し、その結果を Maxwell モデルを用いて解析し、成型性と関連を明らかにした。市販の低融点ガラスについて、種々の基板との反応性を接触角の時間変化の観点から調べた。企業との共同研究により、6インチのガラス基板上にマイクロレンズアレイを PV 精度2 μm 以下で成型することに成功した。更に6インチ用のモールドの迅速に形成するための技術を開発した。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕ガラス、加工、プレス成型、マイクロレンズアレイ

〔研究 題目〕次世代ロボット中核技術開発／革新的ロボット要素技術分野／可塑性 PVC ゲルを用いたウェアラブルロボット用ソフトアクチュエータの研究開発

〔研究代表者〕安積 欣志（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕安積 欣志（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

ポリ塩化ビニル（PVC）に可塑化剤を大量に加えた可塑性 PVC ゲルに電圧を加えると大きく変形を生じ、それを用いたソフトアクチュエータの研究が進められている。本研究テーマは、この「PVC ゲルアクチュエータ」を用いて、衣服のように人の皮膚に沿って柔軟に変形し、電圧印加によって伸縮するシート状ソフトアクチュエータの創製を試みることを目的とする。本プロジェクトはその先導研究であり、2年間の計画で本年が最終年となる。

研究開発の概要は、PVC ゲルアクチュエータのウェアラブルロボットのためのデバイス化の開発、及び電場応答メカニズムの解明、さらにモデリングとフィードバック制御系の開発による PVC ゲルアクチュエータの正確な位置制御法の開発からなり、産総研では、電場応答メカニズムの解明を担当する。

可塑性 PVC ゲルの電場応答のメカニズムの詳細は現在のところよくわかっていない。本研究では、メカニズムを解明しモデル化することで、アクチュエータデバイス開発研究と相互にフィードバックすることにより、よりアクチュエータに適した材料を見出すと共に、アクチュエータの特性の改善を試みる。

本年度は、昨年に構築したアクチュエータの電気応答の測定系を用い各種電極を用いた PVC ゲルの電気応答の測定を行った結果、可塑性 PVC ゲルの電場応答が、電圧印加によるイオンドラッグ流が生じ、アノード極側での溶媒膨潤層が生じる第1のプロセスと、そのアノード側での溶媒膨潤層がアノード表面での電気界面応力によるクリープ現象が生じる第2のプロセスからなることを明らかとし、定量的なモデルを構築した。本 NEDO プロジェクトはステージゲート制で、2年目で審査があり、本課題はステージゲートを通り、次年度から3年間でソフトアクチュエータによるウェアラブルロボットを開発する計画である。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕ゲル、ポリ塩化ビニル、電場応答、可塑化剤、PVC、ソフトアクチュエータ、ウェアラブルロボット、モデル、メカニズム

〔研究 題目〕高付加価値セラミックス造形技術の開発

〔研究代表者〕大司 達樹（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕大司 達樹、近藤 直樹、日向 秀樹、長岡 孝明、堀田 幹則、北 憲一郎、嶋村 彰紘（以上、構造材料研究部門）、明渡 純、篠田 健太郎、鈴木 雅人、森 正和、Shahien, Mohammed、佐伯 貴紀、野田 浩章（以上、先進コーティング技術研究センター）

(常勤職員10名、他4名)

【研究内容】

本事業では、従来のセラミックス製造プロセスでは困難であった高付加価値部材の製造を可能とし、革新的部品設計を高付加価値製品群として実現できるセラミックス造形技術として、複雑形状付与技術（3D 積層造形技術）および表面構造付与技術（ハイブリッドコーティング技術）を新たに開発するとともに、実際にこれらの新技術を活用した高付加価値部材開発を通じて、イノベーションスタイルを実証することを目的とする。

3D 積層造形技術では、主として、粉末積層造形において、高密度化や大型化などを目指して、原料前処理、積層造形、後処理、の連続する造形プロセスを通しての最適化を進め、また、積層造形物3次元計測・データ処理装置を導入し、これを用いて造形品の寸法や形状を計測した結果を造形プロセス最適化に反映させた。中間目標である、「直径3 mm の穴を有する50 mm×50 mm×10 mm 高さの成形体作成」、「気孔率20 %以上、曲げ強度80 MPa 以上の50 mm×50 mm×5 mm 高さの液相焼結アルミナ多孔体作成」、「曲げ強度280 MPa 以上、ヤング率300 GPa 以上の50 mm 角×5 mm さの反応焼結炭化ケイ素板材作成」を達成した。加えて、最終目標である、「気孔率20 %以上、曲げ強度80 MPa 以上の50 mm×50 mm×5 mm 高さの高純度焼結アルミナ多孔体作成」についても前倒し達成した。得られた知見をプラットフォーム技術として、反応焼結炭化ケイ素製の半導体露光ステージモデルやアルミナ製のフィルター基材モデル等の各種寸法・形状を有する造形品の試作を行い、造形技術としての有効性を示した。

ハイブリッドコーティング技術では、主として、HAD 技術において、3次元駆動 RF（高周波）プラズマトーチ及び大型ロボットを導入し、これまで困難とされた RF プラズマトーチの真空チャンパー中での作動を検証するとともに、トーチと基材との相対的3次元駆動を可能とした。また、開発した複合原料粒子を投入するために粉末供給機を導入すると共に、成膜速度向上のための減圧下での補助スプレー装置を導入し、15° のエッジを含むような3次元の立体形状物や耐プラズマ部材を想定した大型部材表面への均一成膜を可能とした。また、大型成膜装置の環境整備として、減圧プラズマ溶射装置を整備し、第三者が利用可能なコーティング拠点として、セラミックコーティングを対象部材に柔軟に付加できる体制を構築した。さらに、HAD 法特有の成膜条件を見出し、平滑部材から、セラミックフィルターを想定した多孔質部材まで多様な部材へのセラミックコーティングを可能とした。そして、開発した原料粉末を用いることで、現状 AD 法の50倍の成膜効率、40倍の成膜速度を達成し、成膜速度に関しては、最終目標の10倍を上回るとともに前倒しで実現することができた。精密基材加熱装置を導入することにより、樹脂基材上にもセラミッ

ク成膜ができることを確認した。

【領 域 名】材料・化学、エレクトロニクス・製造

【キーワード】セラミックス、造形技術、コーティング技術

【研究題目】エネルギー・環境新技術先導プログラム
生物表面模倣による難付着・低抵抗表面の開発

【研究代表者】穂積 篤（構造材料研究部門）

【研究担当者】穂積 篤、浦田 千尋、佐藤 知哉
（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

本研究はなめくじの粘液分泌による優れた防汚機能と蛾の眼のモスアイ効果（反射抑制）の二つの生物機能を模倣し、低温下（0℃以下）でのみ素材表面から不凍液がにじみ出し、着氷雪防止機能が発現するこれまでにない透明性／光透過性に優れた機能性フィルムを開発することを主たる目的としている。

平成28年度は、これまでに培った知見と基盤技術を生かして20x20 cm²サイズのサンプルを作製する技術を確立した。また、試作品の基本特性の評価に基づき、問題点を抽出し、現在、樹脂成分の改良、最適化に取り組んでいる。最終年度は、最適樹脂を用いて50x50 cm²サイズのサンプルを作製し、目的性能の発現を実証する。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】着氷雪防止、SLUG、ゲル、離漿

【研究題目】SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／次世代パワーエレクトロニクス／SiC に関する拠点型共通基盤技術開発／SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発／③次世代 SiC モジュールの技術開発（高耐熱部品技術開発）

【研究代表者】平尾 喜代司（構造材料研究部門）

【研究担当者】平尾 喜代司、日向 秀樹、宮崎 広行、周 游（構造材料研究部門）、伊豆 典哉（無機機能材料研究部門）土屋 哲男、中島 智彦、鈴木 宗泰、相馬 貢（先進コーティング技術研究センター）（常勤職員9名、他2名）

【研究内容】

本研究開発では、プロジェクト参加機関及び産総研・先進パワーエレクトロニクス研究センターとの緊密な連携のもと、1.2 kV 級 SiC チップを利用した高チップ電流密度モジュール用部品として、高い耐久性（-40～250℃の温度サイクル1000回以上、耐熱性250℃）と優れた電気特性を有するセラミック回路基板（中部センター：構造材料及び無機機能材料研究部門）、高い耐久性と小さい電気特性変動、高い周波数特性をもつ高耐熱受動部品（先進コーティング技術研究センター）の開発

を目指している。産総研は、過酷環境下でのモジュール部品の劣化・損傷機構の解明及び解析結果に基づく部品の設計指針の構築、並びに加速劣化試験法の開発を担っている。

セラミック回路基板については、平成27年度に解明した温度サイクル下での回路基板の劣化・損傷メカニズムに基づき、企業との共同実施によって-40℃から250℃の過酷な温度サイクル下で1000サイクルにも耐えうる高い耐熱衝撃性と高放熱性（窒化ケイ素基板の熱伝導率は140 W/(m·K)）を併せ持つ窒化ケイ素メタライズ基板を試験片レベルで実現した。また、回路基板の耐温度サイクル性に関する加速劣化試験として動的疲労試験が有効な手法であることを実験的に検証した。抵抗器に関しては、平成27年度に得られた部品の劣化メカニズムに関する知見をもとに、企業・大学との共同実施により加速条件下（350℃）での耐熱性向上のための部品設計指針を明らかにした。

【領 域 名】材料・化学、エレクトロニクス・製造

【キーワード】窒化ケイ素、メタライズ基板、回路基板、受動部品、抵抗器、コンデンサ、加速劣化試験

【研究 題目】超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト

【研究代表者】山田 保誠（構造材料研究部門）

【研究担当者】田澤 真人、山田 保誠、岡田 昌久、胡 致維、堀田 裕司、今井 祐介、富永 雄一、伊豆 典哉、劉 崢（常勤職員9名、他3名）

【研究 内容】

超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクトのうち、「⑥様々な界面制御技術による自在なヘテロ接合素材の開発」を分担し、平成30年度末までにポリマーへ均一ナノ粒子を分散するプロセス技術の確立を目標としている。具体的には、均一ナノ粒子の合成プロセスを確立し、さらに、表面改質することで分散液中に凝集することなく均一に分散させるプロセスを確立する。また、湿式ジェットミル法を用いた新たな粒子解砕・混練システムを構築し、並行してポリマー中への粒子分散過程に係るモデル実験を実施する。

平成28年度は、プロジェクト遂行のための、「マイクロ波水熱合成装置」、「バッチ式水熱合成装置」、「連続水熱合成装置」、「湿式ジェットミル装置」、「湿式微粒化装置」等の機器を導入した。さらに、マイクロ波水熱合成装置を用いて作製したVO₂ナノ粒子は従来の水熱合成法で作製した粒子と比べ大幅に小径化できることを示した。また、湿式ジェットミル法に関しては、分散ノズル構造や各種処理条件がフィルター解砕に及ぼす影響について、データの蓄積を進めた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノ粒子、均一分散、解砕、混練、水熱合成、湿式ジェットミル、ナノ粒子分散材料

【研究 題目】有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発

【研究代表者】佐藤 一彦

（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】佐藤 一彦、島田 茂、浅川 真澄、藤谷 忠博、田村 正則、清水 政男、中島 裕美子、五十嵐 正安、深谷 訓久、松本 和弘、佐藤 靖、別部 輝生、江口 勝哉、石原 吉満、安田 弘之、崔 準哲、中村 功、韓 立彪、山下 浩、吉村 彩、遠藤 明、片岡 祥、上村 佳大、崔 隆基、清水 禎樹、Nguen Thuy、福島 基夫（常勤職員27名、他25名）

【研究 内容】

シリコンに代表される有機ケイ素材料は、耐熱性、耐候性、耐光性、高光透過性、耐寒性、離型性等の様々な優れた特性を有しており、他の材料では代替できない材料として極めて広範な分野において利用されている。しかし、有機ケイ素原料の製造は、高エネルギー消費プロセスであり、また、有機材料に比べ、触媒技術の開発が大きく遅れており、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現、コストダウンに大きな余地を残している。そこで、本研究開発では、①砂から有機ケイ素原料を低エネルギー低コストで製造する触媒技術、②有機ケイ素原料から高機能有機ケイ素部材を製造する触媒技術の2つの研究課題に取り組むことにより、有機ケイ素材料の性能向上、新機能発現とともにコストダウンを達成することを目的としている。

平成28年度は、砂等の原料から金属ケイ素を経由せずにアルコキシシランを製造する触媒技術に関して、種々の安価なケイ素源から高効率にテトラアルコキシシランを製造可能である事を実証した。また、水素を還元剤としてヒドロシランを製造する方法や固体触媒を用いたアルコキシシランの変換についても検討を継続した。高機能有機ケイ素部材を製造する触媒技術のうちケイ素-炭素結合を形成する触媒技術に関しては、配位性官能基を有する基質のヒドロシリル化に有効な触媒を見出した。ケイ素-酸素結合を形成する触媒技術に関しては、構造制御されたオリゴシロキサンやポリシロキサンを室温で選択的に合成可能な触媒を開発した。また、ケイ素-ケイ素結合形成技術に関しては、高次シランの製造に有効な、これまでよりさらに長寿命で高収率な触媒を見いだした。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ケイ素、触媒、シリコン、シリコーン、機能性材料

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム
／ファインケミカルズ製造のためのフ
ー精密合成の開発

〔研究代表者〕 小林 修（触媒化学融合研究センター）

〔研究担当者〕 小林 修、佐藤 一彦、浅川 真澄、
島田 茂、小野澤 俊也、市塚 知宏、
藤谷 忠博、甲村 長利、田村 正則、
今 喜裕、矢田 陽、洪 建超、
井上 朋也、平間 宏忠、古屋 武、
根岸 秀之、吉宗 美紀、宮沢 哲、金
久保 光弘、川崎 慎一郎、川波 肇、
石坂 孝之、藤井 達也、長尾 育弘
（常勤職員24名、他7名）

〔研究内容〕

ファインケミカルズにかかわる世界市場は約120兆円
と言われ、今後さらに成長することが見込まれている。
しかしながらその製造法は、有機合成化学に立脚したバ
ッチ法で行われ、多くの廃棄物を排出し、その処理に膨
大なエネルギーが消費されている。今後、我が国の持続
可能な発展のためには、このファインケミカルズ製造の
効率化と、廃棄物の削減は必要不可欠な技術である。そ
こで本研究開発では、ファインケミカルズの製造の中
でも使用頻度が高い反応（「基幹5反応」と定義）をフ
ロー法で行えることを実証するため、「1. 反応・触媒の開
発」を中心に、反応開発のみでは実現し得ない、平衡移
動や共生生成物の分離のための「2. 合成用反応器の開
発」、「3. 分離・精製技術の開発」を協調しながら進め
る。また、将来的に装置の自動化に必要となる、「4. モ
ニタリング制御技術の課題明確化」にも取り組み、フ
ロー法でファインケミカルズを製造する技術への道筋をつ
けることを目的とする。

平成28年度産総研において「1. 反応・触媒の開発」
では、基幹5反応の中でも、主に、酸・塩基触媒を用い
る炭素-炭素結合生成反応、酸化反応および水素化反応
の3反応を中心に、フロー反応用触媒の検討を行うた
めの簡易型フロー反応装置の準備を行った。また、「2. 合
成用反応器の開発」では、エステル化・アミド化反応を
促進させるための脱水を目的に、いくつかの中空糸炭素
膜を作製し、アルコール、カルボン酸に対する耐久性評
価等を開始し、「3. 分離・精製技術の開発」では、連続
抽出技術の検討を開始した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 フロー合成、連続生産、固定化触媒、分
離膜、連続抽出

〔研究題目〕 新規高性能磁石材料の探索に関する検討
／高 Fe 含有 RE-Fe-C, N 系磁石に関する検討

〔研究代表者〕 尾崎 公洋

（磁性粉末冶金研究センター）

〔研究担当者〕 尾崎 公洋、高木 健太、藤田 麻哉、
田村 卓也、中山 博行、山口 渡、
鈴木 一行、岡田 周祐、細川 明秀
（常勤職員9名）

〔研究内容〕

資源リスクの低減を目指して、軽希土類元素の低減と
有効利用を図るとともに高磁化を有する磁石開発を目的
として、超急凝固プロセス、固相合成プロセス、化学
的合成プロセス、超高压プロセス、熱プラズマプロセ
ス、水素化プロセスなど様々なプロセスによって、非平
衡相である Fe 含有量の多い RE-Fe-C,N 合金粉末を合
成し、高温でネオジム磁石を凌駕する可能性のある材料
探索を行った。

検討する基本的な組成として、軽希土類元素、鉄、な
らびに炭素もしくは窒素からなる、RE-Fe-C,N 合金を
取り上げ、以下のテーマについて、調査研究を行った。

「 Re_1Fe_9-C,N 異方性磁石粉末の開発」

磁気異方性磁界が大きくかつ磁化が高いために高性能
磁石として期待されている Sm_1Fe_9N の異方性粉末の合
成を行った。すでに等方性の Sm_1Fe_9N 粉末の焼結体は
作製することができ、その熱特性が従来ネオジム磁石よ
り優れていることがわかっている。そこで、異方性粉末
を開発することができれば、従来ネオジム磁石を凌駕す
ることができることが予想できる。しかし、 Sm_1Fe_9N
は $TbCu_7$ 亜結晶型の準安定相であり、現時点では超急
凝固プロセスしか形成できないため、等方性粉末しか
作製できていない。そこで、本研究では、HDDR 法に
よる安定した Sm_1Fe_9 単相形成を目指すとともに、高度
な微粉化技術の開発によって Sm_1Fe_9-C,N 相を単結晶
粉末として取り出し、異方性粉末の開発を目指した。

「Fe 系合金への元素添加と C,N 化による磁気特性の調
査」

Slater-Pauling 曲線の頂上に位置される Fe-Co 合金
は、最も高い磁化を有する合金として知られている。こ
れまで多くの磁石の研究が Fe-Co 合金を磁石化するこ
とを試みているが、結果的に $Nd_2(Fe-Co)_{14}B$ のように
大量の軽希土類元素との組み合わせになっている。そ
こで本研究では、希土類元素を少なくすることによる磁
気特性への影響を調べた。特に、Re-Fe 系ナノコンポ
ジット磁石の可能性について検討した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 異方性磁石粉末、等方性磁石粉末、
HDDR 処理、微粉化技術、軽元素添加

〔研究題目〕 次世代スマートデバイス開発プロジェク
ト／車載用障害物センシングデバイスの
開発

〔研究代表者〕 青柳 昌宏、菊地 克弥（ナノエレクト
ロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 菊地 克弥、入沢 寿史、渡辺 直也、

馮 ウェイ、青柳 昌宏、荒賀 佑樹、
島本 晴夫、馬 菜娜、橋野 健、
藤井 裕美（常勤職員5名、他5名）

〔研究内容〕

本研究では、昼夜問わず20 m 以上先の歩行者等多数の障害物の位置と距離を同時にリアルタイムで測定できるセンシングデバイス及び3次元 LSI 集積実装技術といった省スペース化と高速信号伝送特性を併せ持つ車載品質のデバイスの小型化技術を株式会社デンソー、ラピスセミコンダクタ株式会社とともに共同で開発する。

平成28年度は、想定する車載用センシングデバイスのために、三次元 LSI 集積実装システムからの要求仕様（電気、熱、応力）に応じた、積層チップを含む三次元 LSI 集積構造全体に関する解析評価技術の開発を進めた。特に三次元 LSI 集積実装技術のキーテクノロジーであるシリコン基板の縦方向配線であるシリコン貫通電極（TSV）からの応力・熱の連成解析評価技術を構築し、新規 TSV 構造の熱応力解析評価を行い、新規 TSV 構造における材料・プロセスの最適化に向けた解析評価を進めた。また、顕微レーザーラマン分光測定装置を導入し、実測と解析の比較検証を進めた。また、TSV の実用化に向けた設計指針を得るための PDK TEG のプロセス技術の構築を行い、PDK の導出を進めた。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 車載用センシングデバイス、三次元 LSI 集積実装技術、省スペース化・小型化、シリコン貫通電極（TSV）

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム／ビッグデータ処理を加速・活用する脳型推論システムの研究開発～新原理デバイス・回路による超高速・低消費電力ハードウェア技術の開発とそのシステム化～

〔研究代表者〕 秋永 広幸（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 秋永 広幸、内藤 泰久、島 久
（ナノエレクトロニクス研究部門）
（常勤職員3名）

〔研究内容〕

目的：

「非連続に増大するビックデータを高速かつ低消費電力で処理するハードウェア及びインターフェースデバイス」の開発が喫緊の課題となり、計算機の性能向上に対する社会的要請は益々高まっていることに対して、革新的なデバイスと回路・システム技術から創出される脳型推論システムを用いてそれを解決する。より具体的には、超低消費電力でシナプス・ニューロンを模倣するアナログ型抵抗変化素子用新材料の開発、その超低消費電

力化、ダイナミックレンジの増強、そして集積化回路の設計と実証を行うと共に、ビックデータ処理を目指したハードウェア指向深層学習とシステムアーキテクチャの構築を行う。

年度進捗状況：

項目1：超低消費電力シナプス・ニューロン模倣素子用新材料技術の開発／金属・金属酸化物ヘテロ構造を用いた神経模倣アナログ型抵抗変化素子のダイナミックレンジ拡大に関しては、脳型推論システム用素子として必要なレンジ幅を確保できる見通しが立った。

項目2：ビックデータ処理を目指した超低消費電力新型デバイスの開発とその集積化回路の設計／集積化アナログ型抵抗変化素子の開発に関しては、0.18ミクロン実デバイスのアナログ動作を確認した。また、高速・低消費電力で動作する積和演算回路を搭載したチップ設計を完了した。

項目3：ビックデータ処理を目指したハードウェア指向深層学習とシステムアーキテクチャの構築／アナログ抵抗変化メモリを用いた深層学習アーキテクチャの構築及び脳型推論システムの評価に関して、従来法と比較して半分の素子数で同規模のニューラルネットワークを構築できること等を明らかにした。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 脳型推論、深層学習、電子デバイス

〔研究題目〕 エネルギー・環境新技術先導プログラム／高機能暗号を活用した革新的ビックデータ処理の研究開発

〔研究代表者〕 菊地 克弥（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 菊地 克弥、入沢 寿史、渡辺 直也、
馮 ウェイ、青柳 昌宏、荒賀 佑樹、
島本 晴夫（常勤職員5名、他2名）

〔研究内容〕

IoT/CPS 時代のネットワークにおいては、小型のセンサ端末群から収集される膨大なデータが、クラウド上のデータセンタに送られ、ビックデータとして蓄積・処理される。さらに、ビックデータの解析に基づくコマンド（指令）が、ネットワークを経由して無数のアクチュエータ装置群に送られ、社会に作用する。ビックデータの処理能力とセキュリティは、このように双方向のコミュニケーションにおけるコンテンツの真正性に強く依存する。本研究開発は、IoT/CPS のネットワークを俯瞰し、センサからデータセンタまで高機能暗号を遍く活用することで、2030年の社会情報システムにおける圧倒的に高度なセキュリティと超省エネルギーを同時に達成するための指針作成を行った。

平成28年度は、高機能暗号モジュールの作製仕様とプロトタイプ開発方針の検討を進めた。高機能暗号モジュールのインタポーザベース実装における作製仕様の検

討としては、高機能暗号を搭載する暗号モジュールについて、ハードウェア構築方式に照らしたデバイスおよびパッケージングの作製仕様と設計基準を検討した。特に先端半導体実装技術としては、従来の2D実装から、2.5D実装技術の導入が必要であることが分かった。高機能暗号モジュールの三次元積層実装における作製仕様の検討としては、高機能暗号を搭載する暗号モジュールについて、ハードウェア構築方式に照らしたデバイスおよびパッケージングの作製仕様と設計基準を検討した。特に先端半導体実装技術としては、さらなる低消費電力かつ高機能を満たすためには、従来の2D実装や2.5D実装技術に比較して、3D実装技術の導入が必要であることが分かった。また、この設計においては、従来の電気的な設計や、熱設計に加えて、電気・熱の協調設計が重要であることが分かった。高機能暗号モジュールのプロトタイプ開発方針の検討としては、信用できる製造ラインのサプライチェーン構築について検討した。その結果、高機能暗号チップを日本の認定工場で作製し、その組立・テストも日本の認定工場で行うことができれば、セキュアなサプライチェーンを構築できる可能性があるということが分かった。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】IoT/CPS、セキュリティ、ビッグデータ、高機能暗号、暗号モジュール、先端半導体実装技術、2.5D実装、3D実装、電気・熱・応力特性解析、サプライチェーン

【研究題目】IoT技術開発加速のためのオープンイノベーション推進事業／IoT技術開発加速のための設計・製造基盤開発

【研究代表者】金丸 正剛

(エレクトロニクス・製造領域)

【研究担当者】金丸 正剛、青柳 昌宏、森田 行則、福田 浩一、遠藤 和彦、菊地 克弥、山田 浩治、多田 哲也、池原 毅、安田 哲二、服部 淳一、浅井 栄大、前田 辰郎、入沢 寿史、渡辺 直也、馮 ウェイ、池上 努、岡野 誠、Cong Guangwei、前神 有里子、大野 守史(常勤職員20名、他1名)

【研究内容】

IoT (Internet of Things) デバイス・システムのアイデアを具現化するため、サンプル試作から量産化までの事業化プロセスで活用できる設計・製造拠点を産総研の既存共用利用設備をベースに構築することを目的とする。具体的には、スーパークリーンルーム (SCR) および SCR を補完するナノプロセス施設 (NPF) 等の小口径ライン・MEMS クリーンルームのラインを、IoT デバイスを試作するオープンイノベーション拠

点として機能させるために必要となる新規購入装置や既存装置の修理・改造の仕様策定・発注作業を行った。一部は納品、設置されている。また、これらの装置を拠点に導入するため、既存装置の再配置やガス配管・排気ライン・排水ライン等のユーティリティ工事の準備・発注を行った。本拠点と連携して実用化研究を行う6事業者の拠点活用を円滑に進めるために不可欠なデバイス設計基盤の構築、新規導入装置の立ち上げ・プロセス基盤確立のための開発を行っている。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】IoT、Internet of Things、拠点形成、オープンイノベーション、TIA、SCR、NPF

【研究題目】IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／超高速・低消費電力ビッグデータ処理を実現・利活用する脳型推論集積システムの研究開発

【研究代表者】秋永 広幸 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】秋永 広幸、内藤 泰久、島 久 (ナノエレクトロニクス研究部門) (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

目的：

情報処理に要する消費エネルギーを非連続的に低減し、機能的にも従来型計算機の不得意な処理を補完する革新的情報処理である「脳型推論集積システム」の研究開発を行う。日本の強みとされているエッジ処理に「脳型推論集積システム」を適用することで、リアルタイムで画像映像解析等に係わる大規模データ処理を可能とする。具体的には、極低消費電力の脳型推論システムを構成する新アナログ型抵抗変化素子の、大規模集積化プロセス開発、エッジ側処理における機械学習器・アクセラレータの電力を大幅低減する技術開発と、ビッグデータ応用開拓のためのニューラルネット演算モデルを開発する。

年度進捗状況：

項目1：効率的・適応的機械学習回路「試行錯誤エンジン」の研究開発に関しては、素子動作条件、新規アーキテクチャの開発を行った。

項目2：アナログ型抵抗変化素子の大量集積化プロセスの研究開発に関しては、制御トランジスタを設置し、そのコンプライアンスで駆動電流の上限値を調整することで、抵抗変化素子の抵抗値を設定する方法が適切であることを見出した。

項目3：ハードウェア指向深層学習とシステムアーキテクチャの構築に関しては、アナログ混載深層学習アーキテクチャを構築し、チップ試作とその性能評価を行った。

項目4：脳型推論集積システムの機能実証と実用化に関しては、低電力ニューラルネットワークシステム演算回

路を設計し、マスク発注を行った。

項目5：脳型推論集積システム社会実装に向けた成果最大化に関しては、公開サーバの設計、脳型推論デバイス試作環境の設計を行うとともに、試作環境等を活用した第1回の人材育成スクールを開催した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 脳型推論、深層学習、電子デバイス

〔研究 題目〕 IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／Sensor-to-Cloud Security ～ ビッグデータを守る革新的 IoT セキュリティ基盤技術の研究開発

〔研究代表者〕 菊地 克弥（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 菊地 克弥、入沢 寿史、渡辺 直也、馮 ウェイ、青柳 昌宏、荒賀 佑樹、島本 晴夫（常勤職員5名、他2名）

〔研究 内容〕

近年、IoT に代表されるように、さまざまな情報の高度利活用が検討されている。それに従い、プライバシー保護の観点などから、それらの情報のセキュアな管理が一層重要となっている。しかしながら、従来の暗号技術を単純に適用した場合、暗号化状態のままデータ処理・管理を行うことが困難であるため、情報の高度利活用を行う上で問題となる。この問題に対し、単にデータの秘匿性を保証するだけでなく、高度なセキュリティを保ったまま、データの高度利活用を可能とする暗号技術は、高機能暗号と呼ばれている。高機能暗号とは、単一の暗号技術の呼称ではなく、従来の暗号技術の単純な利用が問題となるさまざまな状況に対応するための個別の新規暗号技術の総称であり、主として公開鍵暗号の機能を究極に近い形で発展された暗号技術と位置づけられる。

高機能暗号をスケラブルにハードウェアとして構築するため、アーキテクチャ、回路システム、デバイス集積、セキュア実装を垂直統合する研究開発を推進する。

平成28年度は、高機能暗号向け先端デバイス集積においては、高機能暗号チップの2.5D 及び3D 物理実装に向けたシリコン貫通電極 TSV の小径化と厚膜配線作製プロセス構築に向けてプロセス開発環境の構築を進めた。また、微細 TSV 及び低電源インピーダンス配線、超多ピン積層構造において、計測や不良解析等が必要になるため、この構造における電気・熱応力に関する評価技術の解析や実測に向けた環境構築を進めた。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 IoT、セキュリティ、高機能暗号、先端デバイス集積、2.5D 及び3D 実装、シリコン貫通電極 TSV、電気・熱応力特性解析

〔研究 題目〕 IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／超低消費電力データ収集システムの研究開発

〔研究代表者〕 松川 貴（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 松川 貴、森田 行則、森 貴洋、福田 浩一、右田 真司、更田 裕司、服部 淳一、浅井 栄大、昌原 明植、大塚 慎太郎（常勤職員9名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究テーマは、IoT センサーノード向けの超低消費電力な集積回路の実現を目指したものである。このために、現状の MOSFET を凌駕する on/off 急峻性をもつシリコントンネル FET (TFET) の研究開発を進めている。平成28年度においては下記項目につき研究開発を推進した。

- i) off 電流の低減のため、TFET ドレイン形状の見直し、最適化に着手した。シミュレーションによる検討を先行して行い、実用的なゲート長においてドレインオフセットを導入した結果、オフ電流を $0.1\text{pA}/\mu\text{m}$ まで低減できることを確認した。
- ii) 上記と並行してドレイン形状最適化の為の試作にも着手し、パラメータ振りのためのマスク設計、プロセス検討を完了した。
- iii) 現状の性能水準の TFET に関して、CMOS 集積化を先行して進め、インバータ、リングオシレータ回路を作製・動作実証を行った。46個の TFET を集積したリングオシレータの発振動作確認を世界で初めて成功した。本成果については、産業技術総合研究所・NEDO の連名でプレス発表を行っている。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 IoT、トンネル FET、センサーノード、CMOS、省電力

〔研究 題目〕 IoT 推進のための横断技術開発プロジェクト／組合せ最適化処理に向けた革新的アニーリングマシンの研究開発

〔研究代表者〕 川畑 史郎（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 川畑 史郎、小池 帆平、菊地 克弥、遠藤 和彦、山森 弘毅、浮辺 雅宏、神代 暁、日高 睦夫、永沢 秀一、前澤 正明、今福 健太郎、片下 敏宏、日置 雅和、山田 隆宏、渡辺 直也、フェン ウェイ、藤井 剛、根本 俊介、中川 格（常勤職員17名、他2名）

〔研究 内容〕

大規模な超伝導量子アニーリングマシンの実現を目指して、以下の研究テーマに関して研究開発を行った。産総研が提案した拡張性を有する量子アニーリングマシン

を実現するための量子ビット回路と周辺回路のデバイス構造および作製プロセスの開発を行った。量子ビット回路は平坦化多層ニオブとニオブジョセフソン接合により構成される。ジョセフソン接合は、シリコンウエハ上に直接配置される。周辺回路は平坦化された多層ニオブとニオブジョセフソン接合、抵抗層で構成される。これらのデバイスを作製し、液体ヘリウム温度での基本特性評価を行った。その結果、量子ビット回路では、良好な電流電圧特性が測定された。今回は初めての試作のため設計値より若干小さな値となったが、今後試作を重ねることにより設計値に近づけることは十分可能であると考えられる。周辺回路では、シフトレジスタ回路の正常動作を確認することができた。これらの結果から、産総研が所有するニオブ集積回路プロセス技術を発展させることにより、量子ビット回路と周辺回路のデバイス構造と作製プロセスを構築することができた。また、大規模システムの設計に向けた設計ツールの探索については、既存の超伝導回路設計ツールの利用可能性の評価、今年度は特にインダクタンス抽出機能に特化した調査を行い、その結果に基づき環境整備を行った。さらに、エネルギー関数の構成手法の開発については、任意の真理値表に対応して縮退する基底状態を持つエネルギー関数を効率よく構成する手法を開発、これを数式処理ソフト上に実装することにより、例えば、素因数分解に必要な論理量子ビット数を大幅に削減した構成例などを発見することができた。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 量子アニーリング、組合せ最適化問題、超伝導エレクトロニクス、人工知能、量子コンピュータ、超伝導集積回路、IoT

【研究題目】 SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）／インフラ維持管理・更新・マネジメント技術／点検・診断技術の実用化に向けた研究開発／高感度近赤外分光を用いたインフラの遠隔診断技術の研究開発

【研究代表者】 藤巻 真、古川 祐光
（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 藤巻 真、古川 祐光、渡部 愛理、野口 尚美、栗林 亮介
（常勤職員3名、他2名）

【研究内容】

コンクリート劣化診断試験を行う手法の多くは、コンクリート構造物に近接して試験する必要があり、足場の設置が必要である。足場の設置は高額であり、足場を設置せず、遠方からコンクリートの状態を把握し、足場を設置しての試験の回数を減らす、または試験箇所を限定する為の1次スクリーニング技術が必要とされている。また、現在、中性化などの化学的な劣化や、塩分、水分

などの劣化因子の付着に関しては、遠方からの観測技術が存在しない。我々は、高感度近赤外分光法を用いて、遠方からコンクリートの化学的劣化診断を実現する。

近赤外分光分析に基づく、フィールド計測用コンクリート分析装置を試作開発した。デモンストレーションでは、東品川棧橋のコンクリート桁を測定対象とし、約6メートル離れた位置からの測定を実施した。各測定箇所（直径10 cm のエリア）において、塩分・水分などが同時に露光時間約20ミリ秒で計測され、自動的に計測箇所が可視カメラ画像上に5段階でマッピングされていく。喫水界面および喫水面で塩化物が多く検出され、実環境に即した結果が得られている。定量性の評価のため、各評価用供試体を作製して検証を行った。検証濃度は実際の自然環境下に設置されたコンクリートに合わせており、20%程度の精度での定量が可能であることが確認された。本研究は1次スクリーニングに用いられることを想定して開発を進めており、コア抜き調査や供試体試験片設置の目安となるように、広いエリアにおける濃度分布（コンター図）が描けるようにソフトウェア設計を行っている。濃度分布を測定した結果、近赤外分光システムが蛍光 X 線と同様の結果を出すことを確認した。蛍光 X 線では装置を壁面に密着させる必要があり、測定に数分の時間がかかるが、高感度近赤外分光では離れた位置から高速に分析できる。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 コンクリート、塩分、水分、干渉計、フーリエ分光

【研究題目】 次世代人工知能・ロボット中核技術開発／（革新的ロボット要素技術分野）自律型ヒューマノイドロボット／広角・多波長レーザーレーダーによる超高感度コグニティブ視覚システム

【研究代表者】 上塚 尚登（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 姚 兵、大川 正浩、立蔵 正男、土田 英実、佐藤 雄隆
（常勤職員5名、他1名）

【研究内容】

光ビームステアリングのスイッチング速度の高速化を行った。液晶パネルと Polarization Grating を使用したステアリングのバラック実験を実施し、アイセーフ領域の波長1.55ミクロン帯において、切替速度は20マイクロ秒以下と良好な応答特性が得られた。

また、種々の変調方式を用いたレーザーレーダシステムについて、検出感度のシミュレーションを行った。その結果、従来のパルス光を用いるTOF（Time of Flight）方式では、10 mの距離計測は極めて困難であるが、光 FMCW（Frequency Modulated Continuous Wave）などのコヒーレント検波方式では、TOF方式より200倍以上高感度であり、10 mの距離計測が可能であることが

判明した。この結果をもとに、光FMCW方式の性能を確認する実験を行った。光FMCW方式においては、直線性に優れた周波数チャープ光源の実現が鍵となる。そこで、動作原理の異なる二つの光源である(a)直接変調レーザ、および(b)周波数シフト帰還レーザを用いて実験を行った。その結果、チャープ直線性に優れた周波数シフト帰還レーザでは、目標値である距離分解能1cmの測定が可能であることを明らかにした。

さらに、火災及び火山で発生する有毒ガスとして、NH₃、H₂S、CH₄、HCN、CO、CO₂について吸光スペクトルを HITRAN データベースで調査し、また、これらのガスを封入したガスセルの吸光スペクトルを狭線幅波長可変光源によって測定し、光指紋となる吸光スペクトルピークを明らかにした。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 レーザレーダ、Frequency Modulated Continuous Wave、周波数チャープ光源、吸光スペクトル

【研究 題目】 エネルギー・環境新技術先導プログラム／データセンタ向け低消費電力・超多ポート高速光スイッチシステムの研究開発

【研究代表者】 鈿塚 治彦（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 鈿塚 治彦、松浦 裕之、高野 了成、石井 紀代、岡崎 史裕
（常勤職員4名、他1名）

【研究 内容】

2030年にデータセンタ内を流れる情報量は現在の約100倍に達すると予想され、各構成機器の電力を劇的に減少させなければ、今後の IoT 社会の中核をなすデータセンタの構築が電力消費の観点から困難になると懸念される。本研究では、消費電力が一定かつ極めて小さい光スイッチと電気スイッチのハイブリッド構成による革新的なデータセンタネットワークアーキテクチャ及びスイッチシステムを開発するため、基本方式検討、シミュレーション、原理確認実験等のフィージビリティスタディを実施する。この研究題目において、産総研は、コントロールアルゴリズムの研究と高速波長切替技術の研究を担当している。コントロールアルゴリズムの研究においては、データセンター内のトラフィックを光スイッチと電気スイッチへ効率的に振り分けるコントロールアルゴリズムとして、アプリケーションやミドルウェア等のヒント情報を用いるサービス指向方式およびスイッチにおける統計情報を用いるデータ指向方式について検討し、原理実証実験の計画を立てた。高速波長切替技術の研究においては、数10 μs での切替が可能で、信頼性を担保し得る駆動条件等を明らかにするための波長切替技術の原理検証実験の準備として、現状の波長可変レーザの波長切り替え速度を決める駆動条件に関して精査を行い、29年度の実験計画を策定した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 データセンタ、光通信ネットワーク、光スイッチ

【研究 題目】 高温超電導実用化促進技術開発／高磁場マグネットシステム開発／高温超電導高磁場コイル用線材の実用化技術開発

【研究代表者】 吉田 良行（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 吉田 良行、古瀬 充穂、和泉 輝郎、馬渡 康徳、町 敬人、衣斐 顕、中岡 晃一、栗木 礼二、東 陽一、渡邊 利夫、大沼 未央、薄井 友紀江、和田 圭介、青木 大志
（常勤職員4名、他10名）

【研究 内容】

イットリウム系（以下、Y系と称す）高温超電導線材は、従来医療用 MRI 装置等で用いられてきた金属系超電導線材に比べ、小型軽量かつ充分高い温度で動作する超電導コイル実現の可能性が有り、ヘリウム資源枯渇に対応した省エネルギー・省スペースの超電導機器を実現出来ると期待されている。本事業では、これらの課題を解決するため、外部磁場により線材内部に励起される遮蔽電流を抑制可能な「高磁場下高特性安定線材技術」を開発のため、低損失構造線材を開発することを目的とする。

本年度は、テープ線材にスクライブ加工を行うにあたり、シミュレーションを実施すると同時に、実際の加工における課題の抽出と実際の線材の評価を行った。また、撚り線構造については、製作すべき撚り線構造の検討を行った。

シミュレーションに関しては、超電導テープ線材を用いた高磁場コイルの電磁応答に関する理論解析およびシミュレーションを行い、線材の遮蔽電流による磁化とコイルの発生磁場とを直接関連付ける解析的表式を導いた。線材の細線化により磁化を小さくすることが、遮蔽電流磁場の抑制に有効であることを理論的に明らかにした。

撚り線構造については、ROEBEL 構造や CORC 構造といった既存の撚り線化技術の動向を調査するとともに、それらの高磁場コイルへの適用可能性について検討を行った。各種構造の撚り線の特性を網羅的に評価するための方法として、交流磁界下交流電時の導体の損失評価法について調査した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 高温超電導、高磁場コイル用線材

【研究 題目】 革新的設計生産技術／チーム双方向連成を加速する超上流設計マネージメント／環境構築の研究開発

【研究代表者】 手塚 明（製造技術研究部門）

【研究担当者】 手塚 明、澤田 浩之、増井 慶次郎、

近藤 伸亮、高本 仁志、古川 慈之、
澤田 有弘、鈴木 健、持丸 正明、
多田 充徳、遠藤 維、宮田 なつき
(常勤職員12名、他1名)

【研究内容】

製造企業の技術的優位性を競争力優位につなげる目的で、顧客価値の高い製品・システム開発を可能とする設計能力の飛躍的向上のための超上流マネージメント・環境構築の研究開発を行っている。平成28年度は、以下の成果を得た。

- ・構想設計プロセスの可視化と制御の目的のために産総研独自開発の関係性記述ソフトであるデザインプレインマッピングツールの機能を進化させ、2回のバージョンアップを実施し、使いやすさを中心に機能向上を行った。
- ・構想設計能力向上の主たる必要条件である組織内連携効果について、構想設計コンソーシアム企業を中心に実務レベルに取り込んだ検証を行い、組織内連携による設計の全体最適化、開発者の負荷分散、抜け漏れの防止、開発期間の短縮等について一定の効果を確認した。
- ・産業技術連携推進会議デザイン分科会のネットワークを活用して、山口県及び広島県の公設研との連携により地域企業との「デザインプレインマッピングに基づくワークショップ手法」の実検証を行い、従来のワークショップ手法と比較して効率向上効果が確認出来た。
- ・構想設計検討の場の可視化と制御の目的のためのプレインストーミングシステムのプロトタイプを開発し、構想設計コンソーシアムの企業を中心に試行としての導入およびプロセスの検証を行い、それを元の実効性のある手法の体系化を開始した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 上流設計、設計マネージメント、構想設計、デザイン思考

【研究題目】 クリーンデバイス社会実装推進事業／
デザイン多用途型省エネディスプレイ

【研究代表者】 鎌田 俊英、星野 聡 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】 星野 聡、高橋 達見、児玉 久子
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

IT の高度化によって懸念される電力消費の増加に対して、従来よりも機能性に優れ、かつ消費電力は低く抑えられたクリーンデバイスの開発が進んでいるが、用途と需要が極めて限定されているため広く社会に普及し有効活用されているとは言えない状況にある。クリーンデバイスを活用する具体的な製品やサービスを明確化することで実用化や事業化を加速し、新たな適用先を開拓して一層の普及を進めることを目的とした NEDO「クリ

ーンデバイス社会実装推進事業」に関して、平成27年度より、低消費電力の透明液晶ディスプレイの利用が有用なユースケースを具体化し、社会実装・実証実験を通してその有効性の検証を行い、同時に信頼性や安全性等に関する共通化・標準化を推進するコンソーシアム活動を実施課題とする「デザイン多用途型省エネディスプレイ」をシャープ(株)と共同実施している。平成28年度は当該透明液晶ディスプレイの情報表示も可能な窓ガラスとしての有効性の検証を、ユースケースとして実際に屋外を走行する鉄道車両の窓に適応した実装・実証実験を行った。また照度環境を任意に設定できる実験室において、透明ディスプレイや関連部材を用いた表示や透過視認性に関する被験者による主観評価実験を実施し、社会実装実験における視認アンケート結果の現象論的な解析と検証、および透明ディスプレイのデバイス特性に対応した、社会実装時の適切な利用環境や利用方法を提供するため基本的な指標に関する知見を得た。

コンソーシアム活動を行う組織として、平成27年度に産総研を設立母体とし発足させた「デザイン多用途型省エネディスプレイ社会実装推進に向けた標準化に関する検討委員会」では、上記社会実装・実証実験、主観評価実験の内容検討を行い、また実験結果に関しては、これを傍証として IEC TC110での国際標準化を目標とする透明ディスプレイ表示性能の評価方法に係るテクニカルレポートの内容に関する検討、ドラフトの作成を行った。この他、委員会メンバーでの実装実験の現場視察や、透明ディスプレイ想定ユーザー企業や情報サービス企業へのインタビューを通じた透明ディスプレイの新規適応先や要求仕様に関する調査を実施した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 クリーンデバイス、省エネ、ディスプレイ、透明ディスプレイ、社会実装、標準化

【研究題目】 次世代プリントエレクトロニクス材料・プロセス基盤技術開発／フレキシブル複合機能デバイス技術の開発／極薄シリコン回路と配線・電極形成テキスタイルによるセンシングウェアの開発

【研究代表者】 小林 健 (集積マイクロシステム研究センター)

【研究担当者】 小林 健、吉田 学、竹下 俊弘、
大内 篤 (常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

「極薄シリコン回路と配線・電極形成テキスタイルによるセンシングウェアの開発」において、テキスタイル型心電センシングウェアの研究開発を行った。本開発では、極薄シリコン回路チップをフレキシブル回路基板に

集積化したフレキシブル無線モジュールと、配線・電極形成テキスタイルを開発した。

フレキシブル無線モジュールの開発として、極薄シリコン回路チップを実装するためのフレキシブル基板の実装方法に関する検討を行った。極薄シリコン回路チップにテキスタイルの歪が伝達しないような歪緩衝構造をフレキシブル基板に設け、実際に極薄シリコン回路チップ実装部の歪レベルを低減できることを確認した。またデータレートに優れた UWB 帯を用いた無線通信モジュールを作製し、多数の心電波形の無線通信による取得に成功した。本研究に関して特許申請2件を行った。

配線・電極形成テキスタイルの開発について、心電を測定するセンシングウェア開発のために、銀メッキ繊維を柔軟基材上にパターニングするプロセスを開発した。本プロセスで作製した電極について耐伸縮性、耐洗濯性を評価したところ、100 %伸長時（初期長の2倍）に初期値からの抵抗値変化が40 %以内、また、10回の洗濯後に初期値からの抵抗値変化が60 %以内に抑制できることが明らかとなった。本電極を用いて心電波形計測を行ったところ、現行の電解質ゲル電極を用いた波形と同等の波形が得ることに成功した。本研究に関して特許申請1件を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 FHE、IoT、心電、ウェアラブルセンサ、ヘルスマonitoring

【研究 題 目】 ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発／コアモニタリング用センシング・発電デバイスの開発

【研究代表者】 伊藤 寿浩（集積マイクロシステム研究センター）

【研究担当者】 伊藤 寿浩、小林 健、岡田 浩尚、武井 亮平、魯 健、張 嵐、鈴木 章夫、牧本 なつみ（常勤職員6名、他2名）

【研究 内 容】

本開発では、振動発電センサデバイスと鹿威し回路を組み合わせることで、振動波形のピーク値だけをモニタリング可能となり、消費電力を1/100程度に低減しながらポンプの異常診断ができるシステムを実現する。具体的には、平成28年度は特に、新規な高圧電材料 ScAlN を用いた振動発電デバイスとそれに適した高効率整流回路等を開発するとともに、振動発電による電力から無線送信を行うことで、被センシング対象の振動レベルを検知可能な自立動作を実証した。新規な高圧電材料 ScAlN を用いた振動発電デバイスに関し、膜応力制御のために新たに AlN 層を応力補償層に用いる AlN/ScAlN 積層構造を提案し、熱酸化膜／下部電極／圧電材料／上部電極の多層膜を4インチ基板上に成膜した後の基板反りを AlN 応力補償層のないものに比べ、1/60に低減するこ

とに成功した。この構造を用いて試作した振動発電センサデバイスの整流後の直流出力として、電圧2.1 V、発電量0.21 μW を達成し、ScAlN 膜の振動発電への有用性を実証した。高効率整流回路に関し、MOSFET のパッシブブリッジ回路を採用し、振動発電センサデバイスの出力に適合させるべく最適化設計を行うとともに、回路試作を実施してその有効性を実証した。具体的には、整流ブリッジ回路のゲートに振動発電センサデバイスの出力を直接接続する回路構成を用いて、MOSFET のチャンネル幅を2500 μm 以上とすることで高電圧、低電流の AlN 系圧電振動発電デバイスに適した高効率整流回路を設計することができた。この整流回路を試作し、振動発電デバイスに接続した結果、従来品の MOSFET を用いた回路に比べて2.4倍の出力電圧を得るとともに、0.5m/s² の振動加速度の振動印可によって2.1V、0.51 μW の発電量を得て、開発した回路の有効性を実証することができた。さらに、上記 ScAlN 振動発電センサデバイス、超低消費電力の参照電圧発生回路を搭載した完全自立の端末システムを試作して評価を行った。例えば、振動周波数86.8Hz、振動加速度1.0m/s²の振動を印可した際に、およそ70分間隔で無線送信が発生し、完全自立動作の実証に成功した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 圧電、MEMS、振動発電、低消費電力回路

【研究 題 目】 ウェハサイズ3次元ナノインプリントモールド用超高速電子ビーム加工装置の研究開発

【研究代表者】 廣島 洋（集積マイクロシステム研究センター）

【研究担当者】 廣島 洋、高木 秀樹、尹 成圓、倉島 優一、鈴木 健太（常勤職員5名）

【研究 内 容】

ウェハサイズ高輝度光学部品、半導体レーザー、実装配線基板等、多品種デバイスの量産技術として、大面積ナノインプリントリソグラフィの必要性が高まっており、大面積モールドの低コスト作製技術が重要課題となっている。

本事業では、3年間の全体目標において、産総研と民間企業が共同で、従来の加工技術に比べて生産性が1万倍以上高い、100 nm レベルの（レーザー描画では実現不可能な領域の）微細加工技術、および、リソグラフィ用特殊モールド作製技術を開発する。

本年度には、元モールドパターンから、容積均一化用（インプリント成形時の残膜厚の分布を均一にすることが主な目的）の加工パターンデータを自動生成するためのアルゴリズムを構築し、コア機能のみを有するモールド設計ソフトウェアを試作した。また、大面積高精度ナ

ノインプリントリソグラフィ技術の開発に向けて、凝縮性ガスを用いる貼り合せ機のベースとなるプロトタイプ機の作製を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 光ナノインプリント、超高速電子ビーム加工装置、モールド設計ソフトウェア、残膜均一化、大面積高精度ナノインプリントリソグラフィ

【研究 題 目】 道路インフラモニタリングシステムの研究開発

【研究代表者】 小林 健（集積マイクロシステム研究センター）

【研究担当者】 小林 健、山下 崇博、岡田 浩尚、高松 誠一、ダニエル ジメルカ、伊藤 寿浩（常勤職員3名、他3名）

【研究 内 容】

「フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発」において、道路インフラモニタリングに必要な不可欠なフレキシブルひずみセンサアレイシートの開発を行った。厚さ数 μm の極薄シリコン薄板をフレキシブル回路基板上に転写し、スクリーン印刷で一括配線する極薄シリコン実装技術を開発した。この実装技術により、極薄圧電 MEMS/シリコン構造を A6サイズのフレキシブル回路基板上に5×5のアレイ状に25個並べた橋梁モニタリング用動ひずみセンサアレイシートを世界で初めて実現し、箔ひずみセンサ並みの 1×10^{-6} という高感度を達成した。また、その表面には UV と水蒸気からセンサを保護する耐候性保護フィルムを、裏面には離型フィルムを剥がすだけで簡便に対象物に貼り付けられる粘接着層を形成し、屋外環境でも施工性が高く長期に渡って劣化を防止するセンサアレイシートとした。実際の橋梁に貼り付けて、ひずみセンサ25個の出力の増幅、AD 変換、通信可能な小型モジュールを接続して評価を行ったところ、システムは小型ソーラーパネルの電力で駆動し、貼り付けた箇所のひずみ分布データの無線通信に成功した。亀裂の入った箇所に位置するセンサからは通常の100倍以上のひずみ信号が得られたので、本デバイスにより橋梁の致命的な損傷である亀裂の発生やその進展をモニタリングできることが示された。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ひずみセンサ、MEMS、センサネットワーク、IoT、インフラモニタリング

【研究 題 目】 水素利用技術開発事業/燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発/水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

【研究代表者】 森岡 敏博（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】 森岡 敏博、寺尾 吉哉
（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、将来の FCV 及び水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の段階的な基準化・規格化のため、トレーサビリティを確保した水素計量技術の開発と技術実証を行う。本研究開発では、当研究グループが所有する気体流量国家標準にトレーサブルなマスターメーター法による校正装置の構築及び臨界ノズルの最適化を行うとともに、共同実施者と協力して「水素計量基準」案の策定を目指す。

本年度は、代替流体による基準化を実施する為のマスターメーターの評価試験を行った。代替流体としては窒素ガスを使用し、実験には高圧窒素実流試験設備を用いた試験において、整流機能を有するバッファにより脈動低減対策を行い、脈動振幅を1/10に低減することができた。これにより、校正の不確かさは低減されることが推測できるが、基準となる臨界ノズルの流出係数特性に大きな変化はなく、再現性が確認された。マスターメーター評価については、前年度までに評価試験を行ったコリオリ流量計の他に、異なる2台のコリオリ流量計についても、高圧水素実流試験を用いて評価試験を実施し、器差を確認した。その結果、パルス出力による器差については3 %以内であり、器差は大きくないことが確認された。

【領 域 名】 計量標準総合センター

【キーワード】 水素、気体流量標準、燃料電池自動車、水素ステーション、取引計量器

【研究 題 目】 エネルギー・環境新技術先導プログラム/ビッグデータ適応型の革新的検査評価技術の研究開発

【研究代表者】 藤本 俊幸（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】 藤本 俊幸、加藤 晴久、黒河 明、桜井 博、東 康史、熊谷 和博、高橋 かより、中村 文子、時崎 高志、重藤 知夫、稲垣 和三、宮下 振一
（常勤職員11名、他1名）

【研究 内 容】

「ナノ粒子複合計測システム」を構成する個別計測法（走査電子顕微鏡、透過電子顕微鏡、原子間力顕微鏡、動的光散乱装置、誘導結合プラズマ質量分析装置）毎に、測定値の計量計測適及および信頼性に及ぼす効果が図示されたフィッシュボーンダイアグラム（FBD）を作成する指針を決定した。具体的には1) 流動場分離法（FFF）の変動要因が各計測法の評価結果に及ぼす効果を FBD に取り入れた評価計画の作成、2) 個別計測法毎において確定する各種不確かさ要素の影響評価に係る実験計画のセットアップ、3) 本課題にて決定される個

別計測法における各種不確かさ要因をもとにした統合データビューアー設計に係る連携について確認、を実施した。本検討に基づき次年度における円滑な評価体制を構築できたことは重要な進捗である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ナノ材料、電子顕微鏡、動的光散乱、原子間力顕微鏡、誘導結合プラズマ質量分析、流動場分離法、不確かさ、フィッシュボーンダイアグラム

【研究 題 目】超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト／先端ナノ計測評価技術開発／ナノ物質計測技術開発・ナノ欠陥検査用計測標準開発

【研究代表者】加藤 晴久（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】加藤 晴久、中村 文子、大内 尚子、松浦 有祐（常勤職員1名、他3名）

【研究 内 容】

本事業では、ナノ材料製造領域における目的外異物粒子計測評価法を新規に開発している。具体的には流れ場中でブラウン運動するナノ粒子の動きから流れ速度を補正し粒径計測を実施するために、ナノ粒子をトレーサに使用した流速計測法の開発を行い、計測された流速分布の不確かさの議論を行った。次にこの手法によって得られた流速値を用いて、粒子の動きから流れによるドリフト変位を補正することによってブラウン運動による粒子のランダムな動きを抽出し粒子系を計算するための粒子追跡、運動解析ソフトウェアの開発を行うことで、粒子径評価に係る1次解析アルゴリズムを構築した。同時に、流れによる粒子のドリフトを精確に補正するために、安定な層流を維持でき、かつ流速分布を精確に得られるフローセルの開発を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】粒子径、粒子径分布、オンライン計測

【研究 題 目】インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト／インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発／超小型 X 線及び中性子センサを用いたインフラ維持管理用非破壊検査装置開発

【研究代表者】鈴木 良一（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】鈴木 良一、加藤 英俊、藤原 健（常勤職員3名）

【研究 内 容】

高度成長期に整備された社会インフラ及び産業インフラを適切に維持管理するには、その健全性を効率的に検査し対策をとることが必要である。X 線は、検査対象物を透過させて対象物を壊すことなく内部の様子を調べることができることから各種検査に使われている。また、

中性子は水分等に対する散乱・吸収等の相互作用が大きく、インフラ建造物の腐食に係る水分の有無を非破壊で調べることができる。本研究では、これらの検査装置を小型化・軽量化して非破壊検査装置をロボットに搭載することにより効率的なインフラ維持管理を実現することを目指している。

本年度は、昨年度行った中性子水分センサを搭載した配管検査ロボットのプラント現場での実地試験の結果明らかになった課題について改良を行い、現場で容易に扱うことができるようにした。また、超小型 X 線源を搭載する現場検証用のロボット及び高エネルギー X 線対応フラットパネル型 X 線イメージセンサの開発として10 cm 角の X 線イメージセンサのプロトタイプを開発した。さらに、ロボットに搭載する X 線源と検出器の性能を評価するため、鉄厚を変えた鉛文字の透過像試験を行った。この評価試験の結果、0.1秒1ショットで厚み50 mm、18ショットで70 mm の鉄を透過した X 線で鉛文字のイメージングができることを確認し、プレスリリースを行った。この X 線源と検出器をロボットに搭載して、凹みを付けた配管の撮影を行い、保温材で被覆された配管の外形の0.1 mm 程度の段差を可視化できることを確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】カーボンナノ構造体、X 線源、インフラ診断、プラント保温材付き配管、非破壊検査、X 線イメージセンサ

【研究 題 目】高輝度・高効率次世代レーザー技術開発

【研究代表者】黒田 隆之助（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】黒田 隆之助、三浦 永祐、田中 真人、大島 永康、O'Rourke Brian、藤原 健、齋藤 直昭（分析計測標準研究部門）鳥塚 健二、高田 英行、吉富 大（エレクトロニクス・製造領域電子光技術研究部門）大村 英樹（材料・化学領域 機能化学研究部門）宮本 良之（材料・化学領域 ナノ材料研究部門）（常勤職員7名、他5名）

【研究 内 容】

レーザー技術は、世界的に次世代ものづくり産業技術の中核として期待されており、今後も市場の拡大が見込まれている。しかし、様々な加工条件に合わせて効率良く、また付加価値の高い加工等するためには、現在のレーザーは、波長や輝度（出力とビーム品質）、効率等の多くの点で技術的な課題を有する。日本が世界的トップランナーとして、これまでにない高効率かつ高輝度（高出力・高ビーム品質）なレーザー技術を開発することで温室効果ガス排出の削減を図るとともに、日本のものづくり産業の競争力強化を目指す。特に、レーザー加工の計測評価基盤技術の開発に向けた取組としては、次世代

非熱的レーザー加工技術開拓のため、固体表面粒子放出現象やレーザー加工部位の原子レベル計測を実現するためのフラグメントイオン計測装置の設計とその作製、第一原理計算シミュレーションを行うための整備、加工と同期して観測できる評価用レーザー開発の着手を行った。また可搬型高輝度レーザー光評価用計測装置の作製にも着手した。材料と光との相互作用データベース構築のための取組としては、真空紫外域の偏光吸収スペクトル測定装置等の技術を基に、真空紫外域エリプソメトリー分光計測装置ならびに関連装置類の設計と仕様決定を行い、これら装置群の製作と導入を開始した。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕次世代レーザー技術、レーザー加工評価技術、光計測技術、超短パルス技術

〔研究 題目〕エネルギー・環境新技術先導プログラム／大型超軽量構造材料の AI 利用・高解像度計測技術の研究開発

〔研究代表者〕藤原 健（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕藤原 健、加藤 英俊（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

自動車、航空機のエネルギー利用効率向上のため、主要大型構造部材の超軽量化開発が進んでいるが、それら次世代部材（CFRP や革新合金、それらの接合部材等）の健全性評価技術は不足している。そこで、大型構造部材であっても全体をナノオーダーの欠陥（歪み、異物）まで解析可能な、X 線を用いた検査システムの基本技術を開発する。具体的には、(1)ナノスケール画像診断を可能にする高解像・大面積 X 線カメラの開発、(2)低消費エネルギー型微小フォーカス X 線源の開発、(3)AI 技術による自動認識や最適構造提案可能な解析システムの調査研究を行い、検査精度を大幅に向上させると同時に、大型化により検査に必要な労力と消費エネルギーを大幅に低減させた、革新的検査システムの原理実証を行う。本技術開発により安全性の高い次世代軽量大型構造部材が普及し、大きな省エネ効果が期待できる。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕X 線イメージセンサ、CFRP、カーボンナノ構造体、X 線源、非破壊検査、AI

〔研究 題目〕低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／窒化ガリウムパワーデバイスの実用化促進等に関する先導研究／新規絶縁膜形成技術の探索

〔研究代表者〕清水 三聡（窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ）

〔研究担当者〕田岡 紀之、山田 寿一、山田 永、清水 三聡、井手 利英、沈 旭強、中島 昭、宮崎 剛英、西尾 憲吾、石橋 章司、福田 浩一

（常勤職員8名）

〔研究 内容〕

GaN パワーデバイスは低損失で高速なスイッチングが期待できるため、受動部品などの小型化や電源の高効率化が可能であり、さらには高機能なパワーIC などへの展開が期待されている。現在一部製品化が始まっているが、耐圧や動作性能が十分ではなく、まだ広く実用に供しているとはいえない状況にある。これは、素子の信頼性が得られておらず電流コラプス現象や突然故障などが存在するためである。特に横型デバイスである AlGaIn/GaN HEMT は電子の走行するチャンネルと素子表面の間が30～50 nm 程度しかなく、素子表面に電子のトラップなどがあるとその影響を受け電流コラプスが発生する。また電界緩和のためフィールドプレートをを用いる場合にも絶縁膜と半導体の界面のトラップの影響を強く受ける。また最近では AlGaIn/GaN HEMT のノーマリオフ動作を得るためや、縦型パワーデバイスの開発を目的として MIS ゲート構造の開発が行われているが、絶縁膜／半導体界面の制御ができておらず、安定した動作が得られていない。GaN の材料特性や素子プロセス、デバイス構造に起因する特性劣化などの発生メカニズムやデバイス動作特性に与える影響が明確になっていない状況にある。

そこで、電流コラプスや特性劣化などの原因となっている GaN／絶縁膜界面の界面準位を制御する作製技術を開発し、将来の高品質・高信頼性 GaN パワーデバイスの実現に資することを目的とする。

平成28年度は、GaN／絶縁膜界面の設計を第一原理計算で行い、ダングリングボンドが存在しないシームレスで安定な SiO₂/GaN 界面の存在を明らかにした。また、名古屋大学と協力して、PECVD 法により SiO₂/GaN 界面を形成し、Ga 酸化膜がほとんど存在しない組成急峻な高品質 SiO₂/GaN 界面の形成に成功した。また、名古屋工業大学と協力して、ALD 法によって Al₂O₃/GaN 界面を形成し、そのプロセスにおけるオゾン利用の有効性を明らかにした。

〔領 域 名〕エネルギー・環境

〔研究 題目〕低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト／窒化ガリウムパワーデバイスの実用化促進等に関する先導研究／新規結晶成長法の探索

〔研究代表者〕清水 三聡（窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ）

〔研究担当者〕清水 三聡、井手 利英、沈 旭強、中島 昭、山田 寿一（常勤職員4名）

〔研究 内容〕

窒化物半導体材料を用いたパワーデバイスが一部商業化され始めているが、デバイスの作製に用いる基板やエピ構造、デバイス構造は完成されたものではない。エピ

技術としては、従来から用いられている有機金属気相成長法 (MOVPE 法) が主流であるが、MOVPE 法では原料に炭素 (C) を含むため、一定量の C 不純物が膜中に混入する。高耐圧電子デバイスには、低濃度の n 型の作製が必須であるが、C 不純物は電子トラップとして働くことから、C 不純物の濃度が n 型不純物よりも高い場合、低濃度 n 型伝導性の制御が困難である。また、MOVPE 法では成長速度を上げると C 濃度が増加するため、成長速度は数 $\mu\text{m/h}$ 程度までと制限されている。高耐圧デバイスにおいて厚膜成長が必要な場合、10 $\mu\text{m/h}$ 程度以上の成長速度が望まれており、新規成長手法の開発が必須となっている。そこで本研究では、単結晶基板の成長などに用いられている成長速度の速い HVPE 法に注目し、それをを用いたデバイス構造の成長技術を開発する。

平成28年度は、名古屋大学の HVPE 法により成長した GaN エピ層の実用性を評価するために、ダイオードや FET を作製して測定を行なった。その結果、まだダイオードや FET の特性に対してバックグラウンドの不純物による影響はあるものの、表面モロロジーなどのに大きな問題はなく、ダイオードや FET のプロセスが可能であった。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【研究 題目】 アンモニア合成触媒の開発・評価

【研究代表者】 高木 英行 (創エネルギー研究部門)

【研究担当者】 高木 英行、望月 剛久、陳 仕元、西政 康、山本 恭世、井元 清明 (創エネルギー研究部門)、難波 哲哉、松本 秀行、Rahat Javaid (再生可能エネルギー研究センター)、金 賢夏 (環境管理研究部門)、藤谷 忠博 (触媒化学融合研究センター)、工藤 祐揮、北川 直美 (安全科学研究部門) (常勤職員10名、他3名)

【研究 内容】

本開発では、再生可能エネルギーあるいは化石燃料由来の CO_2 フリー水素を用いて、エネルギーキャリアであるアンモニアの製造システム開発を目指すものである。本システムの開発における課題は、主に「低温で高活性なアンモニア合成触媒の開発」、「変動への対応」、「アンモニア合成プロセスの最適化」、「アンモニア合成の実証試験」の4点であり、産業技術総合研究所では、「アンモニア合成触媒の開発・評価」および「アンモニア合成の実証試験」を実施した。

現在の工業的な Haber-Bosch 法によるアンモニア製造では、主に鉄系の触媒が用いられているが、本事業では低温、低圧でより高い反応活性を有するルテニウム (Ru) 系触媒を中心にしながら、これらの触媒を活用した新たな合成プロセスを開発する。触媒の開発に向け

て、触媒の電子供与性がアンモニア合成に必要な因子であることをベースとしながら、電子供与性の向上に寄与する金属および担体の複合化について検討を行う。また、新規材料を触媒成分もしくは触媒担体として使用することで高効率化を図る。

平成28年度は、Ru 系触媒について、金属酸化物および炭素材料を担体として用いた触媒の開発を実施した。金属酸化物を担体として用いた触媒について、種々の温度、圧力、 H_2/N_2 比、SV (空間速度) における活性を評価し、反応条件マッピングを行った。また、速度論解析を実施し、触媒の反応特性の評価・検討を行った。

炭素担体を用いた触媒について、表面および細孔構造の異なる担体を利用してアンモニア合成触媒を調製し、アンモニア合成の触媒活性の評価を行った。その結果、触媒の高い活性と、触媒の表面および細孔構造の影響との関係について有益な知見を得た。

「アンモニア合成の実証試験」については、福島再生可能エネルギー研究所への実証設備の導入に向けて、設計ならびに機器の調達を進めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 アンモニア、 CO_2 フリー水素、触媒開発、活性評価

【研究 題目】 分画成分の詳細構造解析法の確立および水相中の糖の濃縮法の確立

【研究代表者】 麓 恵里 (創エネルギー研究部門)

【研究担当者】 麓 恵里、鷹皆 利公、佐藤 信也、大井 健太 (常勤職員2名、他2名)

【研究 内容】

リグニンなど劣質な未利用難処理炭素資源は C-C、エーテル、エステル結合を介して芳香環が組み込まれており、場合によっては芳香環が縮合している。そのため、従来資源化する技術がないために減容・焼却されてきた。本研究では芳香環同士を結び付ける多様な結合と置換基について、所望の結合のみ分解することで、それらを構成する基本構造である単環芳香族を単離・製造するプロセス開発に結び付く要素技術を開発するものである。

リグニンなど劣質な未利用難処理炭素資源は巨大分子であるため、実用化の際には実施者が提案する2段階プロセスで単環芳香族を生成する。まず低分子化 (分解) を行い、次いで酸化鉄を中心とした触媒による接触分解を行うことで単環芳香族を生成する。当所はリグニンとその反応生成物の平均分子モデルを描くことにより、反応過程での分子構造の変化を明らかにする。

また、低分子化過程で分離されるヘミセルロース由来糖を利用するためには、水相中の糖の濃縮法の技術開発が必要である。濃縮技術としては機構が簡単で連続装置としてプロセス化の容易なスプレードライ法を検討した。

平成28年度は、モデル溶液として1%キシロース水溶液を用いて、スプレードライによる濃縮試験を実施し、

75%の回収率で8%まで濃縮できることを確認した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 バイオマス、リグニン、可溶化、分子構造解析、ヘミセルロース

〔研究 題目〕 プロトン応答性錯体触媒に基づく二酸化炭素の高効率水素化触媒の開発と人工光合成への展開

〔研究代表者〕 姫田 雄一郎（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 姫田 雄一郎、眞中 雄一、尾西 尚弥、前川 秀、小久保 雅子
（常勤職員2名、他3名）

〔研究 内容〕

本研究では、(1)「水素の貯蔵を指向した高効率な二酸化炭素の水素化触媒の開発」と(2)「多機能型錯体触媒を目指したプロトン応答性触媒の設計指針の構築」を目的とする。具体的には、温和な反応条件で二酸化炭素を還元できるエネルギー効率の高い触媒を開発し、二酸化炭素をエネルギー貯蔵物質として利用するための基盤技術の確立を目指す。また、提案者が開発した独創的触媒設計概念である「プロトン応答性」触媒の反応機構の解明および「多機能型触媒」の開発を行うことにより、新しい触媒技術への貢献を目的とする。

平成28年度は、平成27年度に引き続き高性能・高機能な触媒開発に向けて、新たな触媒の設計・合成・評価を行った。これまでに、含窒素非芳香族5員環配位子であるイミダゾリンを有する触媒が、ピリジン系触媒に比べて、高い触媒性能を発現することを解明した。この知見を基に、イミダゾリン系配位子に水酸基を導入することで、触媒をさらに活性化させることができた。これより、水中常温常圧条件下での二酸化炭素の水素化反応で、これまで報告されていた最高の触媒回転効率 70 h^{-1} を 107 h^{-1} に向上させることができた。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 炭素固定、水素貯蔵

〔研究 題目〕 高性能・高機能なギ酸脱水素化触媒の開発

〔研究代表者〕 姫田 雄一郎（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 姫田 雄一郎、松岡 浩一、眞中 雄一、兼賀 量一、齊藤 愛
（常勤職員3名、他2名）

〔研究 内容〕

本研究では、水中 $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の温和な条件下、高性能・高エネルギー効率で、ギ酸から一酸化炭素を含まない“高圧・高品質水素”の連続供給を可能とする技術開発を目標とする。具体的には、実用に適した温度領域で、低環境負荷型かつ高性能なギ酸分解触媒の開発と、ギ酸から発生する高圧ガスを利用した簡便な水素の濃縮・精製プロセスの構築を行うことにより、他の化学系液体燃

料からでは得られない優れた特性を持つ水素供給システムの開発を行う。

平成28年度は、高圧水素発生反応の触媒分解機構解析から得られた知見を、触媒開発チームにフィードバックさせることで、より耐久性の高い触媒開発を進めた。具体的には、窒素二座配位子が高圧水素条件下、一方の配位が外れて、配位子の炭素単結合の回転による触媒の劣化が確認された。そこで、窒素二座配位子が回転しない橋掛け構造を持つフェナントロリン系配位子を用いることにより、触媒耐久性が大幅に向上した。現時点で、世界最高となる触媒回転数500万回、2000時間以上の耐久時間を達成した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 炭素固定、水素発生

〔研究 題目〕 イオン液体中でのリチウム dendroライト 成長の抑制と保護層への適用

〔研究代表者〕 佐野 光（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 佐野 光、橘田 晃宜、鹿野 昌弘、山下 奈美子、灰塚 ユミ
（常勤職員3名、他2名）

〔研究 内容〕

戦略的創造研究推進事業 先端的低炭素化研究開発 (ALCA) 次世代蓄電池プロジェクトに参画し、次々世代電池チーム金属-空気電池サブチームおよび Li 金属負極特別ユニットにて、モデル電解液としてイオン液体を利用し、金属リチウム-電解質界面の特性調査および、空気電池の負極保護層の設計に取り組んでいる。

今年度は、昨年度に引き続きグライム系電解液を含む種々のイオン液体電解液等について、添加剤による液物性と界面物性の同時制御により、dendroライト成長抑制と高電流密度化を試みた。その結果、最も有望な電解液において、電流密度 1 mA cm^{-2} 、充放電容量密度 10 mAh cm^{-2} の条件で26サイクルを達成した。

金属リチウムの dendroライト 成長の解析において重要となる初期過程の挙動の調査として、AFM を用いた金属リチウム電析のその場観察を行った。LiPF₆/PC 電解液中で、数 nm オーダーの高分解能で、形状像と凝着力の同時マッピングに成功した。この観察結果より、析出過程で粒成長している粒子表面では凝着力が小さいこと、すなわち析出がまさに進行している部分では凝着力が小さいことを明らかにした。また、このように凝着力が小さい部分も、一定時間電析を中止することで他の部分と同じ凝着力を持つようになることも明らかにした。これは従来から提案されている表面皮膜生成機構を支持するものである。さらに本プロジェクトで注目しているグライム系電解液系において、凝着力が均一に細かく分布しており、初期状態においても dendroライト 状析出しにくい特徴を有していることを明らかにした。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 金属リチウム、デンドライト抑制、空気電池

〔研究題目〕 粉体焼結プロセスを用いた酸化物バルク型全固体電池の創成

〔研究代表者〕 奥村 豊旗（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 奥村 豊旗、小池 伸二、鹿野 昌弘、竹内 友成、山口 洋一、山本 貴憲、渡邊 通夫（常勤職員4名、他3名）

〔研究内容〕

先端的低炭素化技術開発次世代蓄電池プロジェクトに参画し、通電焼結法を用いた酸化物バルク型全固体電池の創成に取り組んでいる。最終目標では150 Wh/kg または Wh/L のエネルギー密度を達成するのに最適な作製プロセスを確立する。

上記目標に向けて、前年度までに取り組んだ正極側固体半電池の作製・電池評価に引き続いて、今年度は主に1) 低融点酸化物固体電解質と通電焼結プロセスとを組み合わせた負極側バルク型固体半電池の作製及びその電池特性評価を行った。また、2) 同電池の室温作動を実証するため、高リチウムイオン伝導性酸化物固体電解質と組み合わせた半電池の作製・電池評価にも取り組んだ。

1) 単セルあたりの負極層を50 μm 程度と厚く設計した上で、60 $^{\circ}\text{C}$ において300 mAh/g 以上の放電容量を示す負極側半電池の作製に成功した。つまり、前年度までの正極側半電池での成果と合わせて両極を一体成型することによって、最終目標とするバルク型全固体電池の作製が見通せた。

2) バルク型全固体電池セパレータ部に用いる固体電解質を、これまで用いてきた低融点酸化物固体電解質から、共同研究先にて取り組まれている高イオン伝導性ガーネット型酸化物に置き換えることで、より内部抵抗の低い半電池を試作した。そして、室温作動（25 $^{\circ}\text{C}$ ）において100 mAh/g 程度の充放電容量を示す正極側固体半電池の作製に成功した。さらに高イオン伝導性ガーネット型酸化物を薄板化することによって更なる電池性能向上が見込めることを実験結果より確認した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 二次電池、リチウムイオン電池、酸化物バルク全固体電池、通電焼結法

〔研究題目〕 ①電極シートを主軸とした全固体電池の構築プロセスの設計、②全固体電池用電極シートの作製プロセス開発と高性能化

〔研究代表者〕 作田 敦（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 作田 敦、倉谷 健太郎、竹内 友成、小林 弘典、中島 潤二、河村 雄司、荒木 美幸（常勤職員4名、他3名）

〔研究内容〕

全固体リチウム二次電池の実用化の促進には、シート

型の全固体電池を試作し、本質的な課題抽出を行った上で新技術を開拓する必要がある。本プロジェクトにおいて当グループでは、電池作製プロセスの設計、電極のシート化技術開発、シート型全固体電池の試作を担当している。

今年度は150 Wh kg^{-1} の全固体電池の実証を目標として、正負極シートの開発、固体電解質シートおよびセル構築手法の開発を行った。液相振とう法を用いた固体電解質合成における粒子形状制御技術を確立した。負極の容量向上を目的に Si 系負極シートを作製した。さらに甲南大学と協力して、Si 溶射膜の全固体電池での特性を評価した。1.5 mAh cm^{-2} 以上の容量を有する正負極シートと10 mg cm^{-2} 以下の比較的薄い固体電解質独立シートを積層することで、シート型全固体電池を試作した。この電池は高拘束圧下においては、集電体及び外装を除くセル重量当たりのエネルギー密度170 Wh kg^{-1} を達成し、目標を超える成果を得た。今後は、産総研へのチーム内技術の集約を進め、独創性の高い高性能全固体電池の開発を進めるとともに、電池性能の安定化及び向上を進める予定である。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 二次電池、リチウム電池、革新電池、硫黄、正極

〔研究題目〕 ゼロ溶剤による新規電解質の開発

〔研究代表者〕 松本 一（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 松本 一、窪田 啓吾、大藪 理恵、赤井 尚人、竹田 和美（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

本提案課題では、最終的には300 Wh kg^{-1} ～500 Wh kg^{-1} のエネルギー密度を実現できる電池系として金属負極を用いた二次電池系に焦点をあて、これに適用可能な電解質として、溶媒を含まないイオンのみからなる電解質系であるゼロ溶剤に集中して研究を推進する。研究開始当初はリチウム金属系に焦点をあて、その後より挑戦的なマグネシウム等の多価金属イオン電池に必要な電解液の開発およびその固体化を検討する。

今年度はあらたに電解質アニオンが関与する二次電池系としてアニオン系電池に関する研究開発の検討を開始した。負極にはこれまで開発してきた高い体積容量が期待できる金属負極を用い、正極にはアニオンが関与する電極系として、アニオンの挿入脱離が知られているグラファイト系正極に焦点をあて、これまでイオン液体開発で培ってきた様々なアニオン種の挿入脱離反応について検討した。その結果、グラファイトへの挿入脱離が起こるアニオンサイズには上限が存在するが、容量とアニオンサイズの間には明確な依存性が見られず、TFSA などのパーフルオロアニオンが望ましいが、容量としては100 mAh g^{-1} であることから、アニオン系電池で開発目標を

達成するためには、さらに高容量が期待されるコンバージョン系などの新規な正極系の検討が必要であることがわかった。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 金属負極二次電池、イオン液体、アルカリ金属中低温熔融塩、アニオン系電池

〔研究題目〕 新規硫黄炭素コンポジット正極材料を用いた全電池作製

〔研究代表者〕 竹市 信彦（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 竹市 信彦、妹尾 博、小島 敏勝、安藤 尚功、森本 辰美、八木 三鈴（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

本研究課題においては、高エネルギー密度・低環境負荷・低価格・資源制約のないリチウム硫黄電池を実現化するため、1. 高性能正極材料の開発、2. 電解液の探索、3. セル構成の選定を開発項目とした。開発する電池性能の数値目標は、エネルギー密度200 Wh/kg、出力密度600 W/kg、充放電サイクル寿命200回が見越せていることとなっている。

今年度は、当所の技術で開発を進めている硫黄系正極を合成、解析、電極作製、電池特性の評価を中心に進めた。材料の合成条件を検討し、温度条件など種々改善を試みた結果、副反応を抑制し材料合成の大幅なスケールアップに成功し、安定的に合成できる見通しを得た。また、炭素中に含まれる硫黄の状態について放射光などの分光評価方法を駆使し調べたところ、材料中の硫黄は分子状硫黄とは異なり、炭素-硫黄間の結合が主となる構造を有することがわかった。さらにこの硫黄系正極材料を用いた実電池作製を念頭に、塗布電極作製時の活物質：導電助剤：結着剤の配合比率、電解液組成などの最適化を図ったところ、放電容量と安定したサイクル特性を得ることを見出し、さらに、スラリー作製方法を工夫することで電池性能が飛躍的に改善した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 リチウム二次電池、硫黄系正極、溶媒和イオン液体

〔研究題目〕 研究成果展開事業 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム／有機材料の極限機能創出と社会システム化をすすめる基盤技術の構築及びソフトマターロボティクスへの展開／ソフト蓄電デバイス／イオン移動マネジメントシステムの構築

〔研究代表者〕 齋藤 唯理亜（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 齋藤 唯理亜、竹田 さほり（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、有機材料を用いたロボットの駆動電源としての電池開発を最終目標とする。

リチウム二次電池は充放電に伴い電池内にヒステリシスが発生するため、それをバッテリーマネージメントシステム（BMS）なるソフト管理システムを用いて性能制御を行っている。ロボットは他の駆動システム（携帯電子機器、自動車など）と異なりデータ発生個所が多様であるため、電池の分散化が不可欠となる。従って効率的な電源稼働のためには、電池の小型化が必須であるが、電池の小型化に伴い BMS のコストが上がり、かつ電池性能制御が難しくなるという課題が生じる。従って、BMS のクラウド化、最終的には BMS フリーの電池開発の実現が強く望まれる。

本研究テーマでは、電池内のリチウムイオンの移動システムを解明し、電池内に生じるヒステリシスを線形モデルで近似できる理想電池を作成することにより、BMS フリーのマイクロ電池の実現を目指す。このため、電池セル内の易動度や電解質構造変化を支配する因子を定量的に評価し、セル内のイオン移動機構、電解質構造変化機構をナノスケールで解明することを目指す。

今年度は、既存のポリエチレン（PE）系、ポリプロピレン（PP）系セパレータ膜中の電解液について NMR を用いた拡散係数の測定を行い、イオン易動度やイオンに働く相互作用力を解析的に求め、イオン易動度支配因子を定量的に評価する技術を確認した。また電池充放電後の電解液の LC-MS 分析を行い、電池負荷条件やセパレータ種と電解液劣化との関係について考察した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 リチウム二次電池、セパレータ、イオン易動度

〔研究題目〕 燃料電池内水分バランスの最適化

〔研究代表者〕 宗像 鉄雄（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 宗像 鉄雄、伊藤 博、染矢 聡（常勤職員3名）

〔研究内容〕

固体高分子形燃料電池（PEFC）はこれを搭載した燃料電池自動車（FCV）の市場投入が開始されるなど、これまでの技術開発成果が実を結びつつあるが、セル内水分管理についてはいまだ多くの課題を残している。本研究課題ではカソード、アノード両極間の水分移動を含めたセル内全体の水分バランスを適正に保つためのセル構成部材および運転条件の最適化を図る。

平成28年度は、セル内水分バランスに大きな影響を及ぼす構成部材の一つであるガス拡散層（GDL）に着目した研究開発を実施した。具体的には、GDL に付加されるマイクロポーラス層（MPL）のセル性能および水分移動への影響を精緻に理解することを目的とし、均質な性状の MPL を得ることが可能な自己支持型 MPL

の作製に取り組んだ。種々の厚みを持つ自己支持型 MPL を装着したセルの発電性能を多様な加湿条件下で測定することで、これまでよりも高精度に MPL 性状とセル性能および水分移動の関係を把握することが可能となった。この測定結果から MPL 自身はその緻密さから液体水を透過させることが困難であり、MPL における水分移動は蒸気拡散が支配的であることを明らかにした。またこの蒸気拡散は MPL 自身の低熱伝導性により MPL 部の温度が上昇することによって担保されていることが示唆された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 燃料電池、ガス拡散層、水分移動、マイクロポーラス層

【研究 題 目】 ディーゼル噴霧におけるノズル内部・近傍流動の先進光学計測

【研究代表者】 文 石 洙 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 文 石 洙、小熊 光晴、HUANG Weidi (常勤職員2名、他1名)

【研究 内 容】

次世代エンジンの50%熱効率に向けた、「燃焼速度および燃焼相制御による等容度向上」、「コンパクトな火炎形成による熱損失低減」を実現するためには、高精度の混合気制御を可能とする革新的な噴射技術の導入が要求される。エンジン内の混合気制御を目標とした多段噴射などの従来の噴射技術は、各段の噴射における噴射圧力や噴射弁挙動の制御性能が十分ではない。本事業では、混合気の制御性能を更に高める手段として、可変噴射率噴射と超高圧噴射を組み合わせる新たな噴射制御戦略を適用し、それに関する詳細解析を行う。X線噴霧計測を行い、様々なノズル仕様、噴射圧力、可変噴射パターンがノズル内部流れから下流の混合気形成までの一連の過程におよぼす影響を解明し、その結果を元に、今後の噴射系に必要な性能・機能を明らかにすると同時にエンジン数値解析の精度を高めることを目指している。

5年課題の3年目である平成28年度には、平成26年度に構築した高速 X 線撮影装置を用い、微量パイロット噴射からメイン噴射までの幅広い噴射条件に対する X 線計測を行い、可変噴射条件における過渡的なニードル挙動がノズル内部の渦強度変化およびノズル近傍の流動ダイナミクスと広がりにおよぼす影響を明らかにした。また、平成27年度と28年度に得られた結果をまとめ、過渡的なニードル挙動からノズル出口の噴射速度と流動広がり角を予測する新たなモデルを提案し、そのモデルからの予測精度を検証した。得られた成果は、SIP ディーゼル燃焼チームで推進する、可変噴射の高度数値解析技法開発および狙い通りの混合気を形成させるための噴射手法提示に有用なものとして高く評価されている。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 革新燃焼技術、燃焼制御、超高圧噴射、

可変噴射率噴射、X線噴霧計測

【研究 題 目】 誘電体バリア放電を用いた予混合気の燃焼促進法の開発

【研究代表者】 高橋 栄一 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 高橋 栄一、瀬川 武彦、倉持 晃、広津 敏博 (常勤職員2名、他2名)

【研究 内 容】

自動車用エンジンの熱効率の革新的な向上のためには希薄燃焼の実現を含め、各種損失の削減など、総合的な取り組みが不可欠と考えられている。本研究では、その中でも希薄化に伴う予混合気の着火性の悪化、燃焼速度の減少に対処するために、近年注目されている非熱プラズマによる燃焼支援技術の一つとして、誘電体バリア放電による燃焼促進技術の開発を目指している。非熱プラズマは従来のスパーク放電の様な熱を利用するプラズマに比べて高いエネルギーの電子成分を有し、従来の燃焼における化学反応経路とは異なった反応を実現できる可能性を有している。本研究では様々な非熱プラズマ生成技術の中で耐久性の高い誘電体バリア放電に着目した。本年度は非熱プラズマの火炎伝播促進効果を急速圧縮膨張装置を用いて評価した。その結果、油種としてノルマルヘプタン、イソオクタンにおいて火炎伝播速度の増大効果を始めて確認した。また、同装置の燃焼室内は流動が少ないため、エンジン筒内を模擬するために斜め多孔板を設置して乱れ場を形成した。この流動場においてもバリア放電の形成による火炎伝播促進効果をノルマルヘプタンの予混合気に対して確認することができた。引き続き次年度以降に他の油種に対する効果の検証実験を実施し、本技術の有効性を示す。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 希薄燃焼、EGR、誘電体バリア放電

【研究 題 目】 SOFC 高機能化のためのイオン電子流れ解析技術の開発

【研究代表者】 山地 克彦 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 山地 克彦、石山 智大、Katherine Bagarinao、岸本 治夫、堀田 照久、王 芳芳 (常勤職員5名、他1名)

【研究 内 容】

固体酸化物形燃料電池の電極の開発は多くの場合試行錯誤によっており、必ずしも効率的な開発がなされてこなかった。高温のガス雰囲気下で使用できる計測手法に限られており、電極界面で生じる現象の正しい評価が困難である事が一因である。本研究は、電極の実環境を評価する計測手法を開発することで、電極設計を可能にすることを目指している。

課題の設定にあたっては、SOFC の高電流密度化(低コスト化)、高耐久性・信頼性化の同時実現に資することで、SOFC の本格的な普及を促進し、エネルギ

一の高効率利用に量的な貢献をなすことを企図し、

- ① 動作可能温度域拡大のための低温作動カソードの開発
- ② 燃料多様化のためのアノードの担体効果の解明の2項目に取り組んでいる。

今年度、空気極に関しては、反応性・性能を向上するために、引き続き酸素表面反応速度の検討を行っている。パルスレーザー蒸着法による酸化物薄膜のモデル電極を作製し、安定同位体酸素ラベル法及び二次イオン質量分析 (SIMS) による固体中の酸素 (酸化物イオン) の動きを調べている。引き続き、モデル電極の結晶面方位や微構造などの特性を評価することによって、空気極の表面形態・微構造が酸素表面反応速度に及ぼす影響について評価を進めた。燃料極に関しては、これまで、GDCを基板酸化物として用いた Ni モデル電極で、GDCを強還元雰囲気中に保持することによって炭素析出を抑制する効果が現れることを見出している。他方、再現試験を繰り返すなかで、時折、効果が現れないケースも見られた。そこで、処理過程を様々に変化させて炭素析出効果の発現条件を探ったところ、炭素が析出しない試料は、いずれも、Ce が強く還元された状態が実現していたことが明らかとなった。この結果を踏まえ、炭素析出抑制の発現に必要な GDC の量を明らかにするために、いくつかのモデル試料を作製し、炭素析出実験を実施、炭素析出抑制効果の検証を進めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 燃料電池、固体酸化物燃料電池、SOFC、酸素交換反応、炭素析出

【研究 題目】 「海洋生態系の酸性化応答評価のための微量連続炭酸系計測システムの開発」にかかる、性能評価・微量計測システム開発

【研究代表者】 佐藤 縁 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 佐藤 縁、嘉藤 徹 (常勤職員2名)

【研究 内容】

本研究では、小型・省電力で、長期に安定的に微量・連続試料のアルカリ度をフロー系で計測するシステムを開発することを目的としており、システムの目標性能を達成するために、以下の開発項目について検討を行っている。

- A) 微量計測：微量電極の開発。マイクロチップポンプの導入。
- B) 省電力・小型化：マイクロチップポンプの導入。温度制御方式の検討。
- C) 安定計測：電極の安定性を高める。ドリフト対策。比色法の検討。
- D) 実験室・実海域への適用：最適な電源ユニット、ブイシステム。
- E) 標準海水の作製・維持：2次標準試料の作製・維

持。

今年度は、これらの開発項目に関連し、主にチーム代表の東京大学大学院理学系研究科 (茅根研究室) と一緒に行った。A) と B) のポンプ部については昨年度導入を決定した小型のピエゾポンプについて、長期的な試験を行った。C) については、ミリメートルスケールの TAS (mini-TAS) を用いた流路の導入を行い、系全体の小型化の実現の目処をつけた。D) については、電源については当初リチウム電池を採用したが、問題が発生したので再度系を見直した。E) にあたる2次標準試料の作製と維持については、H28年度も Scripps 海洋研究所の Dickson 教授と協力し、実際に情報を交換しながら安価且つ大量な生産体制の維持に努めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 pH 測定、環境計測、電気化学分析、比色測定、マイクロタス

【研究 題目】 自己組織化ナノ液晶高分子の精密構造評価と二次電池電解質への応用

【研究代表者】 細野 英司

【研究担当者】 細野 英司、河島 明美
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

資源やエネルギーを有効に活用するため、あるいは環境に問題の無い安全安心社会を作るため、必要なモノを必要な量だけ選択的かつ効率的に輸送・分離する材料や有害物質やウイルスなどを高度に除去する材料の開発が期待されている。本研究では、規則的なソフトナノ空間を有し、分子やイオンを高選択的に輸送・分離する革新的素材の開発において、自己組織化ナノ液晶高分子の精密構造評価と二次電池電解質への応用を行うことを目的とする。

液晶高分子のナノスケールあるいはサブナノスケールにおける自己組織化プロセスによる規則的な孔の構造形成・配向・界面機能を制御することにより、従来の膜材料では不可能であった高効率な輸送・分離を達成することを目標としており、平成28年度には、自己組織化ナノ液晶高分子の構造評価とリチウムイオン二次電池の電解質への応用について継続して取り組んだ。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 リチウムイオン二次電池、電気化学、高分子

【研究 題目】 平面配位を有する物質の結晶構造解析及びフォノンの研究

【研究代表者】 李 哲虎 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 李 哲虎、山本 淳、村田 正行、藤井 孝博 (常勤職員4名)

【研究 内容】

ラットリング原子とローンペアを持つ平面3配位およ

び擬平面5配位の熱電材料を対象として、熱伝導度と結晶構造の相関関係を明らかにする。特にラットリング原子及びローンペアの周囲の局所構造と熱伝導度の相関に着目し、それらの材料の結晶構造と格子振動を調べる。結晶構造は X 線回折と中性子散乱を相補的に用いて同定する。フォノンは中性子非弾性散乱により測定し、非調和振動している原子の同定など、格子振動のダイナミクスを明らかにする。平成28年度は特に Bi 原子が擬平面5配位をとる $\text{LaOBiS}_{2-x}\text{Se}_x$ 系の低熱伝導率の起源を解明するため、 $\text{LaOBiS}_{2-x}\text{Se}_x$ 試料 ($x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$) を合成し、J-PARC にて中性子非弾性散乱実験を行った。その結果、Se 置換による熱伝導率の低下と対応する低エネルギーフォノンモードを観測した。これは Bi 擬平面5配位原子のラットリングが熱を効果的に散乱することを示す。大きなカゴがなくともラットリング効果が現れるということを示すものであり、熱電材料の新しい設計指針を与えるものである。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】熱電変換、ラットリング、平面配位

【研究 題 目】高温超電導固定化巻線技術の研究開発

【研究代表者】古瀬 充穂 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】古瀬 充穂 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

中・大型電気自動車や鉄道用の高効率・高トルク密度超電導モータの実現を目指し、大電流密度高温超電導コイル技術の開発を行っている。

実現しようとしているモータは、京都大学を中心としたグループが開発した「高温超電導誘導同期回転機」(従来のかご形誘導モータのかご形巻線を高温超電導線材で構成したもの)をベースとし、さらに固定子巻線も超電導化した全超電導モータである。高温超電導誘導同期回転機は、同期・非同期トルクの両立、それによる制御性能向上、同期運転による高効率化といった、従来機では実現できない特性を持つ。そのため十分なトルク密度を持つモータが実現できれば、電気自動車等の一層の高効率化、始動・加速特性の大幅な向上が期待できる。

固定子巻線の超電導化には、レーストラック形状巻線技術の確立、鉄心中での大電流容量化、低交流損失化などの技術課題がある。

平成28年度は、モータの一層の小型化に向け、固定子巻線の小型・大電流容量化のための基礎的検討を行った。曲げ歪に強いイットリウム系高温超電導線材を、素線間絶縁なしで複数本束ねて巻線し、鉄芯中での臨界電流特性を評価したところ、大電流容量化とともに高安定化も達成できることを明らかにした。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】超電導回転機、電気自動車、誘導同期回転機、高温超電導コイル

【研究 題 目】過電圧の低い正極触媒の開発

【研究代表者】周 豪慎 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】周 豪慎、劉 銀珠、北浦 弘和、

Yi Jin, Sun Yang

(常勤職員3名、他2名)

【研究 内 容】

従来のリチウムイオン電池に比べ高い理論容量が期待されるリチウム-空気電池では、長期のサイクル安定性や充放電効率の向上が求められている。放電時に形成される Li_2O_2 を、充電時に酸素発生反応により分解し二次電池として動作させるため、放電電圧と充電電圧との電圧差(過電圧)を生じる。現状0.7V 程度の高い過電圧が電池部材との副反応を引き起こし、サイクル安定性を毀損する原因となっている。そこで本研究では、放電反応(ORR)のみでなく、充電反応(OER)の過電圧も低く、且つ電解液を分解しない空気触媒(電解液に添加している液体型触媒を含む)の探索、充放電サイクル特性、再現性などの調査および、電解液に添加する液体型触媒(酸化還元中間体或いは RM)と空気極の ORR、OER とに関係した反応機構解明、放電生成物や充電生成物の詳細について検討等の活動を行っている。加えて空気極側の電解質について、イオン性液体、高分子型電解質、セラミクス電解質などの複合電解質を用いて、より安定な固体型或いは准固体型リチウム空気電池の電気化学特性についての検討も行っている。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】触媒、空気極、リチウム空気電池

【研究 題 目】【特定課題調査】燃料電池性能および電極反応および過電圧の解析

【研究代表者】石山 智大 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】石山 智大 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

燃料電池の中温作動化によるメリットとして、部材に要求される耐熱性の低減や白金触媒使用量の削減による低コスト化、また、熱や水分管理が容易になることによるシステムのコンパクト化・簡素化などが期待されている。近年、電気化学反応を利用してアルカリ含有リン酸塩ガラスのアルカリイオンをプロトンへ置換する技術が開発され、中温域で既報の伝導度を超えるプロトン伝導性リン酸塩ガラス電解質が発見された。中温作動型燃料電池(ITFC)の実現に向けて、次の課題としては電極材料の開発が求められる。酸化物イオン伝導体を電解質に用いた高温作動の固体酸化物形燃料電池(SOFC)における知見として、酸化物イオンとホールの両者を伝導可能なイオン・電子混合伝導体(MIEC)が電極反応面積を増幅できるため高性能電極となることが知られている。プロトン伝導体を電解質に用いた ITFC においても、同様な効果からプロトンと電子の混合伝導性を有する材料が高性能電極となることが期待される。

本研究では、上記の新規なプロトン伝導性ガラス電解質に利用可能なプロトンと電子の混合伝導性を有するガラス電極について研究を行っている。電極開発においてはカソード、アノードを分離した性能評価が欠かせないため、ガラス電解質用に構築した参照電極が設置可能な装置を用い評価を進めた。評価にあたり、電子伝導性の付与のためにタングステンを添加したアルカリ含有リン酸塩ガラスへのアルカリプロトン置換処理によりプロトン-電子混合伝導体を作製した。タングステン添加のガラスを電解質として用いた際の電極性能評価から、混合伝導性によって電極抵抗を低減できる可能性が示唆された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 燃料電池、プロトン伝導体、リン酸塩ガラス電解質、電極反応

【研究 題目】 次世代鉄道システムを創る超伝導技術イノベーション

【研究代表者】 淵野 修一郎（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 淵野 修一郎、古瀬 充徳
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

平成27年度まで検討してきた長距離冷却システムの課題に関しては、ある程度の対応策が見通せる状況となったため、更なる将来の実用化を見据えて、平成28年度は冷却ステーション間隔を20～30 km とする超長距離冷却システムの検討を開始した。

通常の液体窒素冷却の超電導送電ケーブルは、変電所に冷却ステーションを設置することを想定しているため、その間隔は3～5 km とされており、また、その圧力損失と温度上昇とのトレードオフにより決定される最大冷却長に関しても、十分冷却可能な距離である。

しかしながら、冷凍機設置容積が制限されている地下鉄用の送電ケーブル（地下鉄の路線長20～30 km）や設置が困難な海底ケーブル（青函トンネル長は約30 km、福島洋上ウィンドファームへ距離約20 km）への超電導送電ケーブルへの適用拡大に関しては、ワンスパンで冷却可能な距離が課題となる。

そこで、このボトルネックを解消するため、現行方式での最大冷却可能距離を推定すると共に、冷凍機間隔を20～30 km に延伸するための方策を検討した。その結果、サブクール窒素を冷媒として考える場合は、できる限り冷媒流路の面積を大きくすることが冷却距離延伸への貢献度が大きいことが明らかになった。

今後は具体的な設置条件から、どの程度まで冷媒流路拡大が図られるかを検討することが望ましい。

また、今後の水素利用の拡大にも依るが、冷媒として超臨界水素が利用できれば、冷却距離を大幅に延伸できることが判明した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 超電導送電ケーブル、超長距離冷却、圧力損失、コルゲート管、極低温冷媒

【研究 題目】 エレクトロスプレー繊維加工技術の開発

【研究代表者】 脇坂 昭弘（環境管理研究部門）

【研究担当者】 脇坂 昭弘、小原 ひとみ、
金久保 光央（常勤職員3名）

【研究 内容】

繊維加工、特に糸加工は、機能加工薬剤溶液や染色液中への浸漬、洗浄、乾燥を繰り返して行うため、大量の廃液と熱エネルギー消費が大きな環境負荷を与えている。このため、エレクトロスプレー法によって加工薬剤溶液を帯電した極微小液滴に断片化し、それらを電場の制御によって糸に集束・定着させるエレクトロスプレー繊維加工装置を開発し、高品質加工と環境負荷低減を高いレベルで実現することを目標とする。今年度は、昨年度に試作したエレクトロスプレー高速染色加工試作装置を用いた愛媛県産業技術研究所における実証試験において、エレクトロスプレー染色液の飛び散りの防止に効果があった複数本糸に対してエレクトロスプレーする加工法と絶縁板による電場の制御について、ノズルと糸間の電場シミュレーションにより検証した。その結果、初速度30～40 cm/s でノズルから放出された荷電液滴が減速しながら糸（対極）へ向かい付着する様子と、絶縁板による電場の制御により糸への集束が向上することを再現した。複数の糸を並列に設置すると、エレクトロスプレーされた液滴の糸上への集束率が向上することが試作装置で実証されたことを検証するため、糸をノズルから遠い側に1本増やした場合についてシミュレーションした。エレクトロスプレーが集束する糸が2本存在することで、糸上に収束する荷電液滴の密度が減少し、これによって糸上に集束せずに飛散する荷電液滴の割合が減少することが再現できた。糸を並列に設置することが、液滴の集束に対して有効であることが数値計算でも明らかになった。この計算はノズルや糸の位置、噴霧条件などの最適化に適用することが可能であることを示した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 エレクトロスプレー、繊維加工、染色、抗菌

【研究 題目】 時間分解スペクトル法を用いたCO₂還元光触媒反応の機構解明

【研究代表者】 小池 和英（環境管理研究部門）

【研究担当者】 小池 和英（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究の目的は、太陽光をエネルギー源、水を還元剤としたCO₂の資源化技術の中核となる光触媒の開発を目指す。CO₂還元機能に優れた金属錯体を中心に、(1) 水の酸化機能をもつ半導体との複合化触媒、(2) 光増感機能や電子プール機能を持つ錯体ユニットと複合化し

た多核多電子還元光触媒、(3) 稀少性の少ない金属を中核とする CO₂光還元触媒の開発である。

多核錯体触媒について CO₂還元の直接の前駆体である CO₂付加錯体を作成し、その時間分解分光測定により光増感部位から CO₂付加錯体部位への高速電子移動を実証した。

比較的稀少性の低い銅錯体について、錯体の光励起後に生じる1電子還元状態の生成効率を定量評価し、触媒活性が低い要因が、光励起状態から1電子還元状態生成の過程における逆電子移動にあることを明らかにした。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 人工光合成、CO₂、金属錯体、光触媒

〔研究 題目〕 自己組織化ナノ液晶高分子によるイオン・分子の輸送・分離の計算機シミュレーション（戦略的創造研究推進事業（CREST））

〔研究代表者〕 灘 浩樹（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 灘 浩樹（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

資源やエネルギーを有効に活用するため、あるいは環境に問題の無い安全安心社会を作るため、必要なモノを必要な量だけ選択的かつ効率的に輸送・分離する材料や有害物質などを高度に除去する材料の開発が期待されている。本研究では、規則的なソフトナノ空間を有し、分子やイオンを高選択的に輸送・分離する革新的素材を開発するにあたり、計算科学シミュレーションにより貢献することを目的とする。本研究では、規則的なナノ空間を自発的に形成し、かつナノ空間の機能や構造を制御できる材料として開発される「自己組織化ナノ液晶高分子」のシミュレーションを行い、材料の高機能化・高効率化に活用する。液晶分子のナノスケールあるいはサブナノスケールにおける自己組織化プロセスによる規則的な孔の構造形成・配向・界面機能を制御することにより、従来の膜材料では不可能であった効率的な輸送・分離を達成することを目標とする。

本年度は、昨年度に引き続きナノ空間における水分子やイオンの移動・輸送について、第一原理計算法や分子動力学法などの計算科学手法によるシミュレーションを行った。実験が示す膜機能と関係すると思われるナノ空間中の水分子とイオンの挙動のシミュレーション結果が得られた。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水処理材料、分離・濃縮膜、液晶高分子、自己組織化、シミュレーション

〔研究 題目〕 エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対するリスク評価手法開発と社会受容性調査

〔研究代表者〕 恒見 清孝（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 恒見 清孝、久保田 士郎、和田 有司、佐分利 禎、小野 恭子、牧野 良次、吉田 喜久雄、川本 朱美、吉田 愛、木原 武弘、鈴木 真紀、加藤 悦子（常勤職員6名、他6名）

〔研究 内容〕

概 要：

エネルギーキャリアに関するステーションとその周辺に対するリスク評価手法の開発の成果として、平成28年度は、発生確率解析、排出量推定、ハザード評価、脆弱性推定、暴露データ構築、被害・リスク評価、安全要件の検討のそれぞれに関して、確立した手順をもとに水素ステーションのスクリーニング評価を実施した。

(1) 発生確率解析

階層ベイズモデルを用いて漏洩頻度を推定するために、米国サンディア国立研究所の推定結果を事前分布とし、国内データとして高圧ガス及び危険物の漏洩事故データを取り込むことによりベイズ更新するスキームを確立した。具体的な事故シナリオとして5つの漏洩規模を設定した上で、有機ハイドライド型水素ステーションからの物質漏洩頻度と、各漏洩規模に応じた水素、トルエン、メチルシクロヘキサン（MCH）の排出量を推定した。

(2) ハザード評価

解析対象の都内の水素ステーション周辺の建物情報をもとに爆風解析用モデルを構築し、各漏洩規模での爆風影響シミュレーションを実施した。また、水素漏洩・着火の条件について、ツール試算によりパラメータの一次設定を行うとともに、各漏洩規模での熱影響シミュレーションを実施した。さらに、開発中の急性影響評価ツールのプロトタイプを用いて、漏洩規模別にトルエンと MCH の急性健康影響の程度を評価した。

(3) 脆弱性推定

アンモニアとガソリンの急性の吸入毒性、ガソリン主成分（8物質）の急性あるいは慢性の吸入毒性に関する既報ヒト無毒性濃度を調査し、有害性情報データベースを作成した。また、熱放射による人体への火傷の影響と、爆風圧による建物影響に関する被害関数を設定した。

(4) 暴露データ構築

法人建物調査データ等を使用して建物内人口推計手法を改善し、東京23区内の水素ステーション周辺の建物内人口を再推定するとともに、千葉市等を対象に建物・人口の暴露データを作成した。

(5)被害・リスク評価

上記の漏洩頻度推定結果、各シミュレーション結果、被害関数、暴露人口等のデータを用いて、都内の仮想的な水素ステーションを対象に、爆風圧、水素漏洩による爆発・熱放射とトルエンと MCH 漏洩による急性影

響のスクリーニングリスク評価を実施した。また、生活の質（QOL）に関して、爆風による鼓膜損傷、火災による熱傷、および化学物質暴露による悪臭・目への刺激・色覚異常を対象として対面方式および郵送方式のアンケート調査によってスタンダード・ギャンプル法に基づくデータを収集し、QOL推定値を得た。

(6)安全要件の検討

リスク情報、ベネフィット情報の提示の有無と受容性の関係を解析するため、定量的データを用いた受容性調査を実施した。回答者の約7割がステーション設置に好意的であったものの、情報提供方法については引き続き検討が必要と判断されたため、今後の課題を整理した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水素、エネルギーキャリア、リスク評価、社会受容性

【研究 題目】 上流インベントリデータベースの開発／
環境ホットスポット分析（エコリーフ）
の実施と検証

【研究代表者】 田原 聖隆（安全科学研究部門）

【研究担当者】 田原 聖隆、高田 亜佐子、藤井 千陽、
横田 真輝（常勤職員1名、他3名）

【研究 内容】

本年度は、産総研で開発している IDEA（Inventory Database for Environmental Analysis）v2 に電離放射線、騒音、PRTR 対象物質を拡充した。まず、電離放射線が排出される対象単位プロセスの選定を行うため、UNSCEAR 2008報告書の被爆の分類およびecoinventの排出状況の確認を行った。電離放射線を排出する公衆被爆の中から、石炭採掘・利用、リン鉱石採掘・利用、金属採掘・利用、および核燃料サイクルを対象とした。電離放射線の基本フローの単位は、環境フットプリントで標準的に用いられる Ionising Radiation-Human Health effect model の[kBq]とした。加えて、対象となる単位プロセスデータ数と基本フロー数は、ecoinventと比較し充足度を確認した。次に、騒音に対する基本フローは、影響評価手法 LIME2で評価することを想定して、騒音（道路交通騒音）の基本フロー量を作成した。また、平成27年度実施の化学物質排出移動量届出制度（Pollutant Release and Transfer Register：PRTR）を基に算出した基本フロー量に対する改善点を列举し、修正を実施した。修正は環境影響が大きな PRTR 対象化学物質から見直しを行った。加えて、上流データベースは平成23年（2011年）産業連関表の部門ごとに生産額1円当たりの環境影響に関する物質の排出量を整備する必要がある。上流データベースへの変換には、IDEA 分類から産業連関表の分類に変換に必要な対応表および、物量ベースである IDEA を金額ベースに変換するための単価表が必要となる。産業連関表との整合性

を保つ観点から、IDEA から作成した上流データベースの生産額と産業連表2011年の生産額を比較して、乖離が大きな分類においては、対応表もしくは単価表の修正を実施した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 インベントリデータ、データベース、
ホットスポット分析、環境ラベル

【研究 題目】 ナノ構造体・結晶シリコン融合太陽電池
のメカニズム解明

【研究代表者】 太野垣 健（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】 太野垣 健（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、光波長スケールの表面凹凸構造であるフォトリソナノ構造体と量子ドット積層構造を結晶シリコン太陽電池に融合した「ナノ構造体・結晶シリコン融合太陽電池」の創出を目指した。この太陽電池は、ナノ構造体と光の強い相互作用による光吸収の増大、量子ドットによる吸収可能波長域の拡大、量子ドットのポテンシャルを活用したキャリア再結合の抑制による光とキャリアの完全利用を目指している。ナノ構造体の利用により通常の結晶シリコン太陽電池を上回るエネルギー変換効率を有する高効率太陽電池を実現すること、また、ナノ構造体と光の相互作用・キャリア輸送メカニズムの根源的解明による知見を併せることで超高効率を指向したナノ構造利用太陽電池の実現への道筋を明確にすることを目的とした。本年度は、厳密結合波解析および有限差分時間領域法を用いた電磁波シミュレーションにより、変調フォトリソナノ構造およびランダムナノ構造の光学特性の解析を行った。長周期マイクロスケールテクスチャ構造と短周期ナノスケールテクスチャ構造を融合した変調フォトリソナノ構造において、表面反射低減と光閉じ込め増大による光吸収増大を同時に実現する光マネジメント技術の可能性を見出した。また、多接合太陽電池に導入したフォトリソナノ構造など、フォトリソナノ構造の光学特性を活用した太陽電池の高効率化技術について検討を行なった。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 太陽電池

【研究 題目】 アンモニア内燃機関の技術開発

【研究代表者】 壹岐 典彦（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】 壹岐 典彦、倉田 修、辻村 拓、
小島 宏一、松沼 孝幸、井上 貴博、
鈴木 雅人、古谷 博秀、井村 公二、
岡田 孝、小宮 孝司、片岡 照貴
（常勤職員8名、他4名）

【研究 内容】

アンモニアは、肥料原料や汎用化学品原料として大量

に使用されている。沸点が $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ であり、水素と比較して容易に液化でき、体積当たりの水素貯蔵量は約18 wt%と大きい。また輸送・貯蔵技術が十分に整備されており、次世代の低炭素社会を担うエネルギーキャリアとしての可能性を十分に秘めている。エネルギー消費地における水素への変換、燃料電池デバイス、燃焼などアンモニアの利用技術が確立されることにより、アンモニアをエネルギーキャリアとする社会が構築される。その中でアンモニアを燃料とした内燃機関の燃焼技術の開発を担当している。ガスタービンやレシプロエンジンなどの実用燃焼器においてこれらの技術課題を解決するために、燃焼器の改良を進め、新燃焼コンセプトの実現可能性を検証する研究開発に取り組んでいる。平成28年度は、発電中のガスタービン燃焼器内火炎の観察を進めるとともに、内視鏡を用いてアンモニア直接燃焼ガスタービンの発電時の燃焼状態の観察を行い、アンモニア燃焼でも火炎が燃焼器内にはぼり収まる条件があることを確認した。さらに低 NOx 燃焼器の開発のために導入した燃焼器テストリグについて、整備を進め、メタン点火で試運転を行った。その後、アンモニア専焼、メタン-アンモニア混焼で全負荷相当の空気流量条件で、燃焼器の形状を部分的に変更して、燃料流量を変えて燃焼試験を行い、排気ガス成分測定を行った。レシプロエンジンについて、シミュレーション条件をエンジン試験条件に併せるための検討を進めた。高温高圧下における層流燃焼速度、壁面消炎による未燃燃料量の見積もり、消炎過程 CFD 計算の試みを行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 エネルギーキャリア、アンモニア直接燃焼、内燃機関、ガスタービン、実証試験、燃焼モデル

【研究 題 目】 水素エンジン燃焼技術

【研究 代表者】 辻村 拓（再生可能エネルギー研究センター）

【研究 担当者】 辻村 拓、古谷 博秀、小島 宏一（常勤職員3名、他2名）

【研究 内容】

本研究は、液体水素による水素発電用あるいは運搬船用の大型エンジンシステムの研究開発を行い、高効率・クリーンな水素利用技術の確立を目指すものである。研究目標としては、エンジン単体熱効率50%以上、窒素酸化物200 ppm（排出ガス中酸素濃度：0%）の同時達成を掲げる。研究計画では、大型水素エンジンの特性を予測するため、エンジン筒内の流動や化学反応を伴う多次元エンジンシミュレーション技術を、実験検証等を行いながら構築し、最終的に共同参画機関が開発する各要素技術等も採用し、オープンサイクル型直接噴射式水素エンジンのモデル試験および3次元シミュレーションにより研究目標値の達成を目指す。これまでに、ゼロ次元

サイクルシミュレーションによる最適エンジン諸元の導出、および化学反応動力学計算により水素燃焼の基礎特性等を把握した。また研究用エンジンを用いたモデル試験を開始し、水素エンジン燃焼特性のデータ蓄積を進めている。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 液体水素、水素発電、大型エンジン、燃焼技術

【研究 題 目】 車載に向けたダイヤモンド薄膜を使った熱電子発電素子の開発

【研究 代表者】 加藤 宙光（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究 担当者】 加藤 宙光、牧野 俊晴、小倉 政彦、竹内 大輔（常勤職員4名、他2名）

【研究 内容】

ダイヤモンド半導体の負性電子親和力に着目し、その表面から放出される熱電子を活用した熱電子発電素子の開発を進めた。最終目的は自動車の排気熱を回収することによる燃費5%の改善である。高効率な熱電子発電素子の実現にはダイヤモンド薄膜の内部抵抗および実効的な仕事関数の低減が求められる。内部抵抗は、膜抵抗と接触抵抗の和で表されるためより、詳細な理解には各因子への因数分解が必要となる。理想的なオーミック性接合が得られていない材料において、高濃度ドーピングが有効な低減手段の一つである。ダイヤモンドと金属界面の障壁高さの解析を行ったところ、室温におけるダイヤモンド金属界面の障壁高さが1.3 eV程度となるが、放出電流が TFE（熱電界電子放出）機構によることから、環境温度の増加とともに、相対的に接触抵抗成分の寄与が減ることが明らかとなった。リン濃度を $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の高濃度化ドーピングにより、600 $^{\circ}\text{C}$ において0.01 $\Omega \text{ cm}^2$ 以下までの低抵抗化を実現した。放出サイトの同定や放出メカニズム解明に向け、光電子顕微鏡および熱電子顕微鏡（ThEEM）を用いた解析を進めた他、全光電子放出率分光測定を行った。窒素/リン積層膜の熱電子放出量は、露光時間から換算するとリンドーブ単膜の平均放出量に比べ、最大40倍程度の強度が得られた。また、光電子放出スペクトルの立ち上がりから見積もられる仕事関数は、リン単膜に比べ、窒素/リン積層膜は0.6 eV程度小さい。注目すべき点は ThEEM 像にみられる部分的に熱電子が放出しやすいホットスポットの存在である。SIMS 分析において、窒素/リン積層膜において、窒素膜が島状に形成されていると示唆されるが、表面窒素の結合状態とホットスポットとの関連性およびその詳細構造の理解が今後の課題となる。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 熱電子発電、負性電子親和力、排熱利用、ダイヤモンド

〔研究題目〕半導体ダイヤモンドの開発

〔研究代表者〕 加藤 宙光 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 加藤 宙光 梅澤 仁 加藤 有香子 (常勤職員3名、他2名)

〔研究内容〕

ダイヤモンドの物性はその他の半導体材料よりも優れており、省エネ効果が期待できる究極のパワーデバイス半導体材料の一つである。本研究では、半導体ダイヤモンドの伝導制御技術・高速成長技術の確立およびそれらを実現できる PECVD 装置開発を目的とする。より高速かつ高品質なダイヤモンド成長を実現するため、プラズマ密度の増大、それと同時に温度環境に表面温度を維持するための冷却機構及びガスフローの大幅な改善を行った。結果として最大0.3 mm/h までの高速化を実現した。

AC 磁場を用いたホール効果測定を用いてダイヤモンド膜及び自立基板の抵抗率、キャリア濃度、移動度の評価を行った。すべての試料でボロンアクセプターに起因する0.36 eV の活性化エネルギーが得られ、p 型のダイヤモンド半導体であることを確認した。伝導機構は熱活性化タイプのバンド伝導を示し、欠陥や高濃度ボロンに起因するホッピング伝導特性は室温から600 °C の範囲では現れない。自立ボロンドープ p 型基板として、室温移動度300~1,000 cm²/Vs が得られ、高品質な半導体基板であることが分かった。ボロンを濃度10¹⁷~10²⁰ cm⁻³ の範囲で制御することで、抵抗率を10⁻²~10³ Ωcm の低抵抗化を実現した。結晶性については XRD、Raman、エッチピット評価により進め、X 線ロックアップ半値幅 7.5 arcsec 程度、ダイヤモンド中の転位密度は低抵抗ダイヤモンド CVD 基板においても転位密度10³ cm⁻²オーダーであることが分かった。基板サイズは室温の抵抗率0.02 Ωcm を有するもので5×5 mm²が得られた。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 半導体、ダイヤモンド、導電性ウエハ

〔研究題目〕センサデバイス性能向上及びプロセス基盤技術

〔研究代表者〕 牧野 俊晴 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 牧野 俊晴、小倉 政彦、加藤 宙光、加藤 有香子、竹内 大輔、山崎 聡、宮崎 剛英、宮本 良之 (常勤職員7名、他1名)

〔研究内容〕

本テーマでは、東工大、京大、阪大、ルネサスとともにダイヤモンド中の窒素-空孔複合欠陥 (NV センタ) を利用した、常温・高感度・高空間分解能でイメージング可能な磁気センサシステムの創生を目的として研究を行っている。NV センタは、固体では唯一、室温で単一

スピンを操作・検出でき、さらに磁気共鳴の光検出が可能であることから、高空間分解能かつ高感度な磁気センサへの応用が可能である。

今年度は、磁気センサの感度を向上するために NV センタに電子がトラップされた NV⁻状態を安定化する研究を行った。具体的には、NV センタの長いスピン位相緩和時間を維持しつつ NV⁻の電荷状態を安定化させるために、縦型 nin 接合構造を形成した。NV センタは不純物濃度の低い i 層中に導入し、nin 接合によるバンドエンジニアリングによって i 層中のフェルミレベルを変化させて、NV⁻の電荷状態の安定化を実証した。i 層の膜厚が1 μm 以下であれば、ni 接合だけで NV⁻を安定化できることから、今後はダイヤモンド薄膜の表面近傍での NV⁻安定化を試みていく予定である。

また、NV センタ形成プロセスにおいて意図せずしてできる NV-H 複合欠陥について、第一原理計算により水素原子の脱離の可能性を検証した。レーザー光による電子励起等を用いることにより C-H 結合を弱めても、NV センタから水素原子を引き離すことは容易でないことが示唆された。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 ダイヤモンド、窒素-空孔複合欠陥、磁気センサ

〔研究題目〕タランチュラ毒由来のペプチドライブラリーと新規ペプチドディスプレイ技術を用いたイオンチャネル作用薬の創製技術

〔研究代表者〕 木村 忠史 (創薬基盤研究部門)

〔研究担当者〕 木村 忠史、岡田 水香、李 鵬、黒澤 和彦、市川 渥志 (常勤職員1名、他4名)

〔研究内容〕

ペプチド医薬品は次世代の医薬品として国内外で開発競争が始まっている。本研究の目標は、①ペプチドライブラリー作製技術、②大腸菌を用いたペプチドディスプレイ技術の PERISS 法、③大腸菌を用いたパッチクランプ電気生理学的測定法の3つの技術を融合し、タランチュラ毒由来のペプチドを基にしたペプチド医薬品の開発に資することである。タランチュラ毒由来のペプチド GTx1-15 の熱安定性を評価するため Thermal Shift Assay を行ったところ、GTx1-15 は熱に安定であることがわかった。このことは GTx1-15 がタンパク質分解酵素に耐性があることと共にタランチュラ毒由来ペプチドがペプチド医薬品としての開発において有利な特性を持つことを示している。上述の②と③を用いた新規技術開発の目処が立ったが、歩留まりの向上が今後の課題として残った。タランチュラ毒由来ペプチドは化学的に生産することが困難であることが知られているが、企業の協力で大量に生物生産する技術の開発に一定の成果を得ることができた。大腸菌で膜タンパク質の発現を良くする

ため、ある種のタンパク質と膜タンパク質を結合したキメラタンパク質を作製したところ、膜タンパク質の発現の増加を確認した。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 タランチュラ、ペプチド、ペプチドディスプレイ、PERISS 法、電気生理、パッチクランプ、進化工学、イオンチャネル、膜タンパク質

【研究題目】 糖鎖関連データベースの統合化推進と研究者コミュニティとの連携ならびに国際連携

【研究代表者】 成松 久（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】 成松 久、梶 裕之、榎谷内 晶、鹿内 俊秀、鈴木 芳典、藤田 典昭、石崎 円、木下 聖子
（常勤職員2名、他6名）

【研究内容】

国内の糖鎖科学に関連するデータベースを統合し産総研保有のデータベースをセマンティックウェブ化した。プロジェクト最終年度のためウェブアプリケーションを完成させた。病原体と糖鎖との関連の認識・結合の情報（PACDB, PAConto）や糖鎖関連遺伝子の変異による疾患の情報（GDGDB, GGDonto）をセマンティック化した RDF のデータを JST/NBDC RDF ポータルから提供できるようにした。また、糖鎖科学の実験プロトコル集（GlycoPOD）や糖鎖情報やレクチンと糖鎖の相互作用の情報（LfDB）などのデータを NBDC アーカイブから提供できるようにした。セマンティックウェブ化したアプリケーションはアジア糖鎖科学の研究協力するコミュニティ（ACGG）のデータベースとして公開している。糖タンパク質のデータベース（GlycoProtDB）を UNIPROT の配列ベースに解析し公開できるように対応した。UNIPROT にはないグライコフォームの情報を提供することができた。糖鎖構造のデータに関しては国際リポジトリシステムである Glytoucan に、我々の保有している糖鎖構造情報とグライコフォームや単糖などの情報を登録し相互間に連携できるように開発した。これまで国内外の糖鎖科学の研究者の沢山の協力があり完成させることができた。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 糖鎖、データベース、セマンティックウェブ技術

【研究題目】 超高感度・非破壊1細胞グライコーム解析技術の開発

【研究代表者】 舘野 浩章（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】 舘野 浩章（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、組み換えレクチンライブラリーを用いて

少数細胞のグライコームを生きたまま、超高感度に解析することが可能な、新しいコンセプトに基づくグライコーム解析技術を開発する。本技術により、誰もが簡単に細胞や組織など様々な生体試料のグライコームを解析できるようになることから、糖鎖を標的とした診断薬、創薬、細胞や抗体の品質管理技術の開発など多方面における糖鎖利用の促進が期待できる。本プロジェクトは2016年10月より開始したが、研究は順調に進展している。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 糖鎖、細胞、レクチン

【研究題目】 水環境における鉛直水柱内空間分布測定用採水装置の開発

【研究代表者】 秋葉 龍郎

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 秋葉 龍郎（常勤職員1名）

【研究内容】

海洋や湖沼などの水圏では、深度が変化すると大きく環境が変化することが知られている。そのため海水の様々な性質の深度分布を測定することが求められている。深度分布の測定に必要な、鉛直水柱に対して、高空間分解能かつ連続性のある採水技術を開発することを目標として研究を行った。すでに開発した採水器を改良した。改良前の採水器は、鉛直水柱に対する採水はできるものの、どの深度で採水されたのかわからないという欠陥があった。そこで、今回深度センサを装備し、設定され2深度間を1層として、連続的する多数の層に対して採水できる採水器を開発した。また、深度履歴を記録できるロガーの機能を設けることで、採水中の深度履歴を記録できるようになった。ウインチなどの機器を利用せずに、自由沈降しながら採水する採水器を開発した。採水容量は約500 mLで、100 mm以下の空間分解能での採水が可能となった。

採水時には採水器は自由に沈降しながら採水を行う、そして、設定された深度で空気を注入し採水された試料を分離する。採水しながら、試料を泡で分離することで、鉛直方向での連続性と、分解能の向上を実現した。採水した資料は装置下部に巻かれたチューブに順次保存される。採水器を回収した後は、チューブ内の試料を別のポンプで送り出しながら、保存瓶に保管する。保存瓶中の試料を分析することで、鉛直分布測定が可能となった。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 鉛直水柱、水環境、採水技術

【研究題目】 シグナル攪乱複合体の電子顕微鏡解析

【研究代表者】 佐藤 主税

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 佐藤 主税、川田 正晃、三尾 和弘

(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

目標：

アジアで特に深刻である胃癌の原因であるピロリ菌を用いて、その発癌機構を電子顕微鏡により解明することを目指す。胃癌は日本人が発症する最多の癌の一つであり、大きな医療・社会的な問題となっている。胃癌発生に置いて、重要な要因の一つがピロリ菌である。その分泌するタンパク質 CagA は、胃粘膜細胞でリン酸代謝系シグナルの攪乱を行うため、本プロジェクトではその構造解析と粘膜細胞内への移行経路の解析を行う。

研究計画：

CagA の理解が進まない原因としては、細胞内に移行していく過程を捉えた高分解能画像が得られていないことが一番に挙げられる。ASEM を用いることで、光学顕微鏡より高分解能で、細胞内に移行して行く過程の CagA の像を得る。水溶液中で抗原性を損なわずに画像を取得することで、免疫ラベルを行う。

極低温電子顕微鏡を用いた解析では、CagA 単体とシグナル攪乱複合体を対象とする電子顕微鏡による単粒子解析と X 線結晶構造解析により得られたシグナル攪乱複合体の部分構造を活用し、シグナル攪乱複合体の全体像を得るべく解析を行う。

年度進捗状況：

CagA の細胞内移行は、いまだに世界的にも明快な結果が示されていない。解析に必要な水中電顕観察の基盤技術開発を ASEM を用いて進めた。さらに、金蛍光免疫電顕により CagA が *Helicobacter pylori* 菌で生産され、ヒト細胞へと注入される様子の可視化を行い、SEM による表面構造観察と組み合わせた。宿主細胞に入ったシグナルが観察され、今後 CagA および4型分泌機構に関してその局在決定を進める。

CagA 単量体は分子量130kDa と小さく、微かにしか見えない。CagA 単体を用い、透過電顕解析を中心にプロジェクトを進めた。CagA 粒子像の拾い上げを実現するために、新たに自動拾い上げアルゴリズムの開発を行った。さらに、CagA の構造決定を進めるために、130 kDa でも、より明解な像の撮影が可能な電子線直接検出カメラ (DDC) を用いたクライオ透過型電子顕微鏡法の開発を進めた。

【領域名】生命工学

【キーワード】電子顕微鏡、単粒子解析、pylori 菌、CagA

【研究題目】免疫機能の最適化とアレルギー予防に資する醗酵食品の機能性に関する研究

【研究代表者】辻 典子 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】辻 典子、神谷 知憲、渡邊 要平 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

小腸は食品から免疫シグナルを受ける重要な場であり、特に微生物機能を活かした醗酵食品は身体にとって有益な自然免疫賦活剤となる。そのような中で日本の醗酵食品は世界的に見ても種類が豊富であり、日本食が疫学的にも長寿を示唆していることから、日本の伝統醗酵食品に含まれる菌体成分あるいは菌代謝産物が小腸免疫機構を活性化し、アレルギー性炎症を抑制しうるかについて検討を行った。

食物アレルギー、アナフィラキシーショックのいずれの実験系においても IgE 値の抑制が観察され、納豆菌や麹菌など日本の伝統食品に特有な醗酵微生物についても Th1優位の免疫バランスをもたらす作用があることを確認した。さらに IgE 値と食品成分への応答性、腸内細菌叢との相互の関連性も示唆された。乳酸菌に特有な経路としてトル様レセプター (TLR) 3を同定しているが、細菌叢・ウイルス叢いずれにおいても、TLR3遺伝子欠損マウスの腸内微生物叢が野生型と大きく異なっていることが明らかとなった。腸内微生物叢への影響までを考慮した免疫機能性食品は、腸内微生物叢のプロファイルの変動を観察することのほか、分子レベルでの免疫制御の影響まで明確にできれば望ましい。麹菌等による活性化経路は今後の課題である。機能性食品成分を介した免疫賦活効果を、自然免疫シグナルによる腸管および全身性免疫応答を促進する経路として明らかにする研究であり、日常的な醗酵食品の経口摂取がアレルギー症状を抑制する可能性について検証が進んだ。

【領域名】生命工学

【キーワード】免疫、アレルギー、醗酵食品、腸内微生物叢

【研究題目】微弱発光標準光源開発による発光蛍光計測定量化

【研究代表者】近江谷 克裕 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】近江谷 克裕、三谷 恭雄、野田 尚宏 (常勤職員2名)

【研究内容】

微弱発光標準光源によって実現する定量病理学を確立するため、発光タンパク質をベースに各種病理診断用抗体と融合させた医療診断プローブの作製を目指した。これまでに、カイコで作製した発光タンパク質ウミホタルシフェラーゼをガン細胞の病理診断用抗体の一つである抗 CEA 抗体と融合させた病理診断発光プローブを作成した。測定対象は5立方 mm の匿名化されたヒト由来ガン組織切片であり、これを厚さ30 μm に切片化したものを用いた。切片をサンプル溶液に浸し病理診断用発光プローブを加え30分間待ち、その後、アトー社製当倍率イメージング装置にて撮影し発光画像を取得した。イメージング装置の検出カメラは事前に微弱発光標準光源によって、発光量は RLU (相対発光値) /ピクセル

より Photon (光子数) / ピクセルに変換できるよう校正されている。約5-10分間の測定によってガン細胞は光子数で現わらされた発光画像として可視化することができた。5立方 mm の切片は約150枚となるが3枚おきにガン組織を発光画像として可視化した後、光子数で現わらされる画像を重ね合わせることで、世界で初めて絶対発光値で校正された3次元のガン組織図を作成することに成功した。微弱発光標準光源を基にした発光プローブの定量法の国際標準化として ISO276で発光測定標準化の提案を想定している。国際標準化ではアメリカ国立標準研究所 NIST の動きが鍵となるため、2016年6月と2017年2月に NIST を訪問、研究成果の紹介及び意見交換を行った。はじめに発光測定装置の計測の標準化を進め、その後、発光イメージングの標準化に進むことを確認した。

【領域名】生命工学

【キーワード】ルシフェラーゼ、ルシフェリン、病理診断

【研究題目】有用蛋白質大量生産を目指した「遺伝子ノックイン鶏卵」の検証

【研究代表者】大石 勲 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】大石 勲、吉井 京子
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

ニワトリをゲノム編集により遺伝子改変し、卵管特異的に外来遺伝子を発現する「遺伝子ノックインニワトリ」を樹立した。このニワトリの産む「遺伝子ノックイン鶏卵」について解析を行い、鶏卵にバイオ医薬や酵素等の有用組換えタンパク質を低コストで大量生産する技術(鶏卵バイオリクター)を検証することを目的とした。研究計画として ① 3系統以上の卵の解析(外来タンパク質の発現量、活性の検討等) ② 6ヶ月以上の経時的解析 ③ 2世代に渡る経時的解析を行うこととした。一連の解析により、特に従来の組換えタンパク質製造法に比する技術として潜在力があるか検討を行った。解析を行った4羽の G1 個体組換えニワトリの産む卵の中にはいずれも高い活性を持つ組み換えタンパク質が大量に認められた。また、位置効果などによる遺伝子発現のばらつきもなく、樹立した全ての組換えニワトリ由来鶏卵で長期間(6ヶ月以上)安定した組換えタンパク質の発現が認められた。更にこの形質すなわち大量生産、組換えタンパク質の活性、発現の安定性を次の世代でも認めており、鶏卵バイオリクター技術を組換えタンパク質の製造法として工場レベルで利用可能なことが実証された。培養細胞や微生物を用いた生産技術と比較した場合、極めて高価な培養設備を必要とせず、無菌培養や精緻な温度管理、培養管理等を必要としない優れた利点があり生産コストも微生物と同等かそれ以下と予想されることから、用途次第では新たなタンパク質製造技

術への発展が期待される。

【領域名】生命工学

【キーワード】ゲノム編集、ニワトリ、遺伝子組換え、組換えタンパク質、物質生産

【研究題目】研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム COI 拠点「フロンティア有機システムイノベーション拠点」

【研究代表者】脇田 慎一

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】脇田 慎一、栗田 僚二、富田 峻介
(常勤職員3名、他1名)

【研究内容】

本研究は研究成果展開事業センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム「フロンティア有機システムイノベーション拠点」の産総研サテライトとして行っているものである。

平成27年度に定性的な緊張イベント被験者実証や自律神経ストレス応答機序を解明し、唾液硝酸イオンにより自律神経系ストレス計測ができる可能性が得られた。平成28年度は、FET 型唾液硝酸イオンセンサの社会実装を加速するために、プロトタイプの高性能化及び、新たに第三者評価実験として運動負荷被験者実験を立ち上げた。

緊張被験者現場では、簡便な唾液採取法を採用し良好な結果が得られたが、唾液試料中の失血成分などの夾雑物により、たまに、センサ応答値のドリフトがごく僅かに観測される場合があった。そこで、膜材料に医用ポリウレタンの探索研究を行った。その結果、市販のある医用ポリウレタンを用いた場合、良好な基本センサ特性が得られ、ヒト実唾液を用いたドリフト特性評価を行った結果、従来材料である PVC より大幅なドリフト特性の改善結果を得られた。

さらに、COI プログラムに連携参画しているスポーツ健康学の専門家による定量的な運動負荷実験の立ち上げを行った。簡単な運動負荷による運動ストレス前後の唾液硝酸イオン濃度測定した結果、有意に運動負荷後に濃度が高くなる結果が得られた。

【領域名】生命工学

【キーワード】ストレス、バイオセンサ、実証研究、自律神経系評価

【研究題目】戦略的創造研究推進事業 (CREST) 「細胞チップ MS システムを用いた1細胞マルチ分子フェノタイプング」

【研究代表者】山村 昌平 (健康工学研究部門)

【研究担当者】山村 昌平、山田 恵理子、林 尚子
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究は、戦略的創造研究推進事業（CREST）の研究領域「統合1細胞解析のための革新的技術基盤」における研究課題「細胞チップ MS システムを用いた1細胞マルチ分子フェノタイピング」の主たる共同研究者として研究を進めている。本課題では、1細胞におけるプロテオームおよびメタボロームの解析が可能な超高感度マルチ分子フェノタイピングシステムの構築を目的として、1細胞分離、1細胞成分分画、細胞成分高感度質量分析の3つの要素技術を開発する。またそれらの技術を統合し、各種分子計測データを1細胞レベルで取得することが可能なプラットフォーム“細胞チップ MS システム”を構築する。

本課題で主に担当する1細胞分離・特性計測プラットフォームの開発において、ヘテロな細胞集団から目的とする細胞を分離、特性解析、回収する技術の開発を進める。その中で今年度は、1細胞チップの開発、1細胞チップにおける特性計測技術の開発、1細胞回収技術の開発の3つの課題の開発を進めた。1細胞チップの開発においては、連携企業と作製した1細胞チップを用いて、1細胞を分離、配置するための最適条件を探るため、チップデバイスのデザイン、表面処理などの諸条件を検討した。1細胞チップにおける特性計測技術の開発においては、1細胞チップ上に、培養系白血球細胞（CEM、浮遊系）や培養系肺がん細胞（H1650、接着系）を展開し、チップ上で抗体多重染色を行った。浮遊系 CEM も接着系 H1650も、同様に1細胞チップによって1細胞に分離、配置することができ、抗体染色すると、CEM は核染色剤 DAPI、CD45で染色され、H1650は DAPI、上皮細胞マーカーであるサイトケラチン（CK）で特異的に染色された。1細胞回収技術の開発においては、蛍光顕微鏡に連携企業であるヨダカ技研のピコピペットを連結させ、1細胞回収システムを構築し、1細胞チップからの標的単一細胞の回収を試みた。CEM と H1650をそれぞれ1細胞チップ上で分離、配置し、抗体染色した後、標的単一細胞のみをマイクロキャピラリーによって回収することに成功した。今後、ナノ LC/MS 分析系に繋げるため、より多くの細胞を自動的に回収できるシステムの開発を進める予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞チップ、1細胞解析、マイクロアレイ、がん細胞、バイオチップ、ハイスループットスクリーニング

【研究題目】革新的研究開発推進プログラム
(ImPACT)「バイオニックヒューマノイド評価法の標準化」

【研究代表者】鎮西 清行（健康工学研究部門）

【研究担当者】鎮西 清行、山下 樹里
(常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

本研究課題は、JST 革新的研究開発推進プログラム（ImPACT）「バイオニックヒューマノイドが拓く新産業革命」プログラムの一部である。同プログラムではヒトや実験動物の代わりとなるセンサ内蔵の精巧な人体ダミー「バイオニックヒューマノイド」を開発し、医療機器その他の工業製品の開発の際に課題となる主観評価を定量化して技術を早く社会に届けることを最終目的としている。本研究課題は、バイオニックヒューマノイドに関する標準化活動を目標としている。ケーススタディを通してバイオニックヒューマノイドの開発プロセスと仕様の抽出の方法、妥当性確認の方法を一般化する。

平成28年度には以下の成果を得た。

- 1) 経鼻的下垂体アプローチ脳神経外科手術のパフォーマンス評価のための要件抽出： 模擬骨材料の削り心地計測の予備実験として、手術用ドリル（ナカニシメディカル Primado）による模擬骨材料研削時の反力を計測した。模擬骨材料は石膏3次元プリンタ Z150 による造形物に補強用の接着剤（2種類）を含浸したものとし、ダイヤモンドバー（直径3 mm）を移動速度2種類（1 mm/sec, 2 mm/sec）にて研削したところ、反力の大きさには補強用接着剤の種類とドリル移動速度が大きく影響していることが確認できた。
- 2) 経鼻的下垂体アプローチ脳神経外科手術のパフォーマンス評価に適したバイオニックヒューマノイドの開発： 前頭蓋底・斜台後部・側方へのアプローチを検討可能な患者モデルの1次試作において、モデル化の範囲を決定した。モデル開発を加速するため、中立面形状の抽出プログラムを開発し、産総研の知的財産として登録した。また、開発した模擬鼻中隔軟骨・鼻中隔粘膜炎素材（図1）を産総研知財として登録し、産総研発ベンチャー企業「有限会社サージ・トレーナー」と実施契約を締結した。これにより、有茎粘膜皮弁形成・鼻中隔矯正術の研修が可能となる。
- 3) 国際標準化の検討： 提案先として ISO TC150を想定してプロセス標準として提案する方向で規格原案の策定に着手した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】医療機器評価用ダミー、手術トレーニング用ダミー、標準化

【研究題目】人工細胞デバイスを活用した高速進化実験系の開発と臨床診断用スーパー酵素の創成

【研究代表者】宮崎 健太郎（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】宮崎 健太郎、森尻 純子
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本課題では、産業上有用な臨床診断酵素を、進化分子工学的手法により機能改良する。特に、東大野地研究室が開発する人工細胞リアクタを活用した超並列型スクリ

ーニングを行うことを念頭に、種々の変異手法を駆使した大規模な変異ライブラリーを構築し、スクリーニングに供する。本課題においては、改変対象酵素（以後 X とする）の活性を10倍以上向上させることで、本課題で開発される革新的進化工学技術の有効性を実証するとともに、その他の産業用酵素等に適用し、技術の一般化を図る。これにより、臨床診断分野をはじめ、酵素が活用されるバイオテクノロジー分野全体の競争力強化につなげる。

酵素 X の進化工学的な改変により活性向上変異体を取得するため、まず、酵素 X 遺伝子の安定的な発現系の構築を行なった。大腸菌の最適宿主株の選定、シグナルペプチドの改変、誘導条件の検討などを行い、最終的に CV 値8 %程度の信頼度の高いスクリーニング系を確立した。

変異導入については、Saturation 変異を適用した。N 末端より順次アミノ酸置換を施し、各座位あたり48個ずつの活性（寒天プレート上での発色）コロニーを拾い、菌体培養、活性スクリーニングを行い、野生型の2倍以上高活性化された変異体を同定していった。以下、C 末端まで座位ごとのスクリーニングを行ない、10以上の高活性変異体を獲得した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】産業用酵素、臨床診断、進化分子工学

【研究 題 目】一細胞解析と生物・遺伝子資源情報解析による環境微生物集団の構造と機能動態の統合的理解

【研究代表者】 玉木 秀幸（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 玉木 秀幸、宮崎 亮

（常勤職員2名）

【研究 内 容】

環境中の微生物のほとんどが複合微生物集団を形成し、環境中で重要な役割を担っている。また複合微生物集団の制御技術の開発は、廃水処理プロセスの高度化や腸内フローラの健全化等につながる可能性があり、大きな期待を集めている。一方で、その複合微生物集団の構造と機能については不明な点が多く、その制御技術の開発は非常に困難を極めているのが現状である。本研究では、多角的な視点から複合微生物集団の構造と機能の解明に関する研究を実施する。

特に、環境中の複合微生物系を構成する未知微生物群の実態の解明、ならびに微生物群集動態に寄与する生物間相互作用の精査・検出を目的とした研究を進めている。今年度は、陸域地下圏、植物-微生物共生系、活性汚泥等における微生物集団を構成する未知微生物について、その多様性を明らかにするとともに、集積培養や純粋分離を実施し、未知微生物のゲノム解読ならびに生物機能の解明に着手している。特に、高いメンブランベシクル生産能をもつ新規植物共生 Acidobacteria の発見、微生

物間コミュニケーションを遮断する新規多剤耐性菌の発見、また病原性細菌の進化動態の決定因子ならびにレアバイオスフィアの微生物集団形成における支配因子を明らかにする等の成果を得た。

【領 域 名】生命工学、エネルギー・環境

【キーワード】環境微生物、複合微生物集団、群集構造、生態機能、一細胞解析、環境ゲノム解析、高度顕微鏡解析技術

【研究 題 目】ゼロから創製する新しい木質の開発

【研究代表者】 光田 展隆（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 光田 展隆、坂本 真吾

（常勤職員2名、他5名）

【研究 内 容】

本研究では合成生物学的観点から新しい、有用形質を備えた木質を植物に合成させ、バイオ燃料やバイオリファイナリー原料に適した植物を開発する。具体的には木質を形成しない変異体 (*nst1 nst3*二重変異体) に遺伝子導入を行うことで上記の目的に適した非天然木質を人工的に構築する技術をまずはモデル植物（シロイヌナズナ）で開発し、それを木本モデル植物（ポプラ）に調整、適用する。これまでの実験結果などから、*nst1 nst3*二重変異体の表現型を回復させるのに有望と考えられる転写因子を、すでに77種類個別に導入した。また、全転写因子からすべてのサブファミリー、サブグループを網羅するように代表遺伝子300種類を選抜し、30遺伝子ずつまとめて導入した。個別導入系統について、細胞壁含量や酵素糖化性を中心に評価し、細胞壁含量では野生株比で5割増加する系統を得た。そこで、これをさらに改変したコンストラクトを森林総合研究所と協力してポプラに導入した結果、成長を阻害することなく野生株比で約4割木質密度を向上させることができ、結果的に木材としての強度が6割高まった。同コンストラクトをリグニン合成系酵素遺伝子の変異体に導入したシロイヌナズナを作成したところ、野生株比で酵素糖化率が約1.7倍になり、最大約2.5倍多く糖が取れると計算された。また、集団導入系統を調査した結果、特定の転写因子 CEF を導入したものでは、野生株と同等の細胞壁含量を持ちながら酵素糖化率が野生株比で70 %向上しており、リグニンやキシランを含まない細胞壁が肥厚していることを明らかにした。この転写因子 CEF はこれまで見つかっていなかった新しい細胞壁の制御因子であることがわかり、これまで注目されてこなかったやり方で細胞壁を制御して画期的な木質を生産させるための貴重なツールを手に入れたと言える。さらに最近では、この系統にリグニン合成を制御する転写因子を追加導入することによりリグニンだけを付加することに成功した。また、この系統のほかに、シロイヌナズナにおいて、茎が大幅に太くなった系統や、細胞壁中の特定の成分のみが合成される系統があることを見出し、それらの形質を引き起

こす転写因子を同定し、再現性を確認した。さらに遺伝子導入ではなく変異導入により木質が再形成される個体を発見し、その再現性も確かめることができた。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 植物、ゲノム、木質、バイオエタノール、発現制御、遺伝子、バイオマス

【研究題目】 新規水生植物共生微生物ライブラリの構築

【研究代表者】 玉木 秀幸（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 玉木 秀幸、鎌形 洋一
（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

水生植物は、その根圏や葉圏に多様な未知微生物を内包しており、そこには互いの成長を支え合う『水生植物－微生物共生系』が成り立っている。本研究では、未知知られざる水生植物と微生物との共生系を開拓するとともに、それらを巧みに活用することにより、革新的な高次植生バイオプロセス技術の創成を目指している。特に、本研究では、未知微生物探索技術を駆使して、多様な水生植物種の根圏や葉圏環境から未知微生物を可培養化し、新しい水生植物共生微生物ライブラリを構築するとともに、水生植物の成長を促進する新たな微生物（PGPB: Plant Growth Promoting Bacteria）の取得を目指している。

今年度は、沖縄、山梨、北海道、茨城等の淡水環境や水田、さらには下水処理プロセス（活性汚泥）などの多様な地域・環境から野生のウキクサ亜科植物を採取し、植物体の根や葉に棲息する微生物の分離培養化、系統学的同定ならびにライブラリー化を精力的に実施した。特に、沖縄県内の複数の下水処理場の最終沈殿槽から、ウキクサやミジンコウキクサ等少なくとも3種の野生ウキクサ亜科植物（*Spirodela*、*Landoltia*、*Wolffia*）から40株に及ぶ新規ウキクサ共生微生物の純粋分離に成功した。これらの新規ウキクサ共生微生物は下水二次処理水環境への適応性が高いことが予想されることから、今後、ウキクサに対する成長促進効果が明らかになれば有望な PGPB として期待できる。

ウキクサ亜科植物の成長促進微生物（PGPB）の探索も順調に進んでいる。特に、野生のウキクサ（*Spirodela*）やコウキクサから分離した4株はいずれも系統学的新規性も高く（既知菌種との相同性が88.5%~94.6%以下）、コウキクサの成長を2.3~3.2倍高める PGPB であることが明らかとなった。またこれまで以上に高性能な PGPB として、より付着性能・定着性能の高い PGPB の探索を行った。その結果、系統学的新規性は高くはないものの、根圏細菌として知られる *Rhizobium* 属細菌や、*Asticcacaulis* 属細菌、*Acidovorax* 属細菌等が高頻度に得られた。次に、ここで得られた付着性能の高い微生物のウキクサ成長促進効

果を検証したところ、上記4属の細菌種はいずれも、コントロールの2倍以上の成長促進効果を示したことから、付着性能の高い PGPB 候補として期待される。このように新規水生植物共生微生物ライブラリの構築は順調に進んでいる。

【領 域 名】 生命工学、エネルギー・環境

【キーワード】 水生植物、植生浄化、共生微生物、16S rRNA 遺伝子、分子系統解析、未知微生物、ウキクサ亜科植物、バイオマスプラットフォーム、植物成長促進微生物（PGPB）

【研究題目】 イネにおける技術検証；実用作物での検証・最適化

【研究代表者】 光田 展隆（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 光田 展隆、大島 良美、高木 優
（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本研究では、独自性の高い植物転写因子リソースと胚発生研究・転写因子研究の経験を活かして、受精を介さずにクローン種子を形成する『アポミクシス』を人為的に誘導する技術を確立し、多様な植物に適用することを目指す。本技術が確立できれば、優良形質をもつ F1ハイブリッド系統やエリート系統の種子を介した固定が可能となり、植物育種に革命をもたらす。本研究では具体的にはシロイヌナズナの雄性不稔変異体を用いて、様々な転写因子のキメラリプレッサーを形質転換し、受精せずに種子や胚乳が形成されるラインを探索する。これまでに1000転写因子以上についてスクリーニングを完了し、受精なしに種子や胚乳の形成が起きるラインを多数同定した。これらのうち、シロイヌナズナにおいて受精なしに胚乳形成を引き起こすと目された5遺伝子（のキメラリプレッサー）についてユビキチンプロモーターを用いてイネ野生株（日本晴れ）で発現させたところ、一部の遺伝子については組換え体がほとんど取れなかったほか、その他の遺伝子についても多くの再生個体において著しい成長不良が観察された。このようなことから花器官でのみ遺伝子発現を誘導するプロモーターを使用すべきであると考え、その調査を行った結果 MADS-box 遺伝子ファミリーに属する遺伝子が適切であると考えられ、それらを利用した遺伝子コンストラクトの作成を行った。今後順次それらをイネに導入して効果を検証する予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 植物、アポミクシス、遺伝子、シロイヌナズナ、イネ、種子

【研究題目】 高品質な培養細胞を実現する培養液かけ流し細胞培養システムの開発

【研究代表者】 夏目 徹（創薬分子プロファイリング研

究センター)

【研究担当者】 夏目 徹 (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

細胞培養は生物の研究において最も重要な技術の一つである。細胞の培養は通常37℃-5%CO₂環境下、ANSI/SBS規格サイズの培養皿内で培養液とともに培養を行う。さらに、栄養源などの補給や代謝物の除去のために1~4日間に1回の頻度での培養液の交換を行うが、この方法(断続的な培地交換)では老廃物の蓄積が起きやすく老廃物によって引き起こされたアシドーシスにより細胞がストレスを受け品質が低下する。かん流(掛け流し)培養による連続的な培養液の交換は老廃物の蓄積を低減させる有効な手法であり、自動的かつ程速度で培養液のかん流培養を行う装置を開発、使用することにより、アシドーシスやせん断応力による細胞ストレスが少ない培養を実現できると考えられる。本年度は、かん流培養装置の設計、作製を行い、かん流操作が可能かどうかの確認を行うとともに、培養装置評価に用いる複数の株化培養細胞の選定、評価項目として、次世代シーケンスを用いたトランスクリプトーム解析、質量分析を用いたトータルタンパク質の網羅的定量及び、タンパク質のリン酸化の網羅的定量を行うことを決定、サンプル調製技術の確認を行った。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 かけ流し細胞培養システム、質量分析、次世代シーケンス、培養技術

【研究題目】 汎特異的相互作用を基盤とする多剤耐性機構の動的立体構造解析

【研究代表者】 竹内 恒 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】 竹内 恒 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、多剤耐性転写因子が薬剤との汎特異的相互作用を介して転写を制御する分子機構の解明と基盤技術としての動的立体構造解析の確立を目的とする。この研究目標を実現するために、以下のような3テーマの実験項目に取り組む。①「汎特異的」相互作用に基づく多剤・高親和結合の横断的理解②「汎特異的」多剤結合による転写制御機構の解明③転写制御機構の *in vivo* 解析による検証まず①「汎特異的」相互作用に基づく多剤・高親和結合の横断的理解により、様々な薬剤との「汎特異的」相互作用がどのような分子機構により成立するのかわかるとする。次に②「汎特異的」多剤結合による転写制御機構を、定常状態および薬剤存在下におけるDNA複合体の立体構造および動的平衡を明らかにすることで解明する。さらに提案する転写制御機構に基づく合理的変異体を設計し、ゲノム編集とルシフェラーゼアッセイを組み合わせた実験系を構築することで、③転写制御機構を *in vivo* 解析により検証し、多剤耐性転写因

子が薬剤との汎特異的相互作用を介して転写を制御する分子機構の解明と、動的立体構造解析の基盤技術の確立を行う。

今年度は多剤耐性トランスポーターLmrCDのオペレーター領域に位置する33bpのLmrR結合領域を同定した。またNMRタイトレーション実験により、LmrR-DNA結合のストイキオメトリーを検討したところ、1分子のDNA二重鎖に対して2個のLmrR2量体が結合していることが示された。さらにこれを超遠心分析による解析により検証した。その結果、lmrCD:LmrR dimer = 1:2のサンプルではlmrCD:LmrR dimer 1:2複合体(80.8 K)に相当する87.8 Kにピークが見られ、1:2の結合ストイキオメトリーが証明された。なおlmrCD:LmrR dimer = 1:1のサンプルでは1:1複合体(50.4 K)よりも20%程度大きい60.5 Kに相当するピークが主に見られ、一部(25%)が非結合のDNAとして残った。これは1:0/1:1/1:2複合体が25%/50%/25%存在すると考えて差し支えなく、DNAに対するLmrRの結合には明確な協同性がないことを示唆する。

さらに、RFVがLmrRと結合し、他の薬剤と同様の構造変化を引き起こすことが明らかとなったため、RFV結合に伴うLmrRのDNA親和性の低下を解析した。その結果、RFVの添加によりLmrRのDNAに対する結合強度は85 nMから350 nMへ約1/4に低下することが明らかとなった。一方、*L.lactis*におけるLmrR濃度を半定量WBにより検定したところ、細胞内濃度が3.6 μMと判明した。このことは、薬剤が結合してもLmrRは解離しないことを示している。そこで、薬剤結合はゲノムDNA上でのLmrRの局在を変化させると考え、非特異的DNAの調製と結合実験を行った。その結果、平均47 μMの親和性でLmrRがランダムな配列と結合することが明らかとなった。プロモーターへの実効的な結合強度は非特異的DNA吸着の分だけ低下するため、LmrCDプロモーターへの実効的な結合強度: K_{eff} は3.1 μMとなり、薬剤結合状態では1/4に低下すると考えると、*in vivo*で見られる定常的な多剤耐性トランスポーターの発現と薬剤添加に伴う発現誘導プロファイルと合致した。よって、非特異的DNA吸着の存在によりLmrRの効果的な転写制御が達成されると結論付けた。LmrRについては、非特異的DNA吸着の存在によりLmrRの効果的な転写制御が達成されるとの成果を論文にまとめ、Scientific Report誌に掲載された。

【参考文献】

Takeuchi K, Imai M, Shimada I. Dynamic equilibrium on DNA defines transcriptional regulation of a multidrug binding transcriptional repressor, LmrR. *Sci Rep.* 7, 267, (2017).

【領域名】 生命工学

【キーワード】 汎特異的相互作用、NMR、動的立体構造解析、多剤耐性

〔研究題目〕音楽を中心とした類似度可視化情報環境の実現と全体統括

〔研究代表者〕 後藤 真孝 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 後藤 真孝、濱崎 雅弘、中野 倫靖、
深山 覚、加藤 淳、佃 洗撰、
尾形 正泰 (常勤職員7名、他5名)

〔研究内容〕

本研究は、創作支援技術と鑑賞支援技術を研究開発することで、音楽や動画のようなメディアコンテンツの創作や鑑賞を誰もが能動的に楽しめる社会や、過去のコンテンツに敬意を払う文化、感動体験重視型のコンテンツ文化の実現を目指している。そのために、コンテンツを豊かで健全に創作・利用する「コンテンツ共生社会」の確立に向けた研究開発に取り組み、コンテンツ間の類似度を人々が知ることができる(可視化する)情報環境を実現する技術基盤を構築する。

平成28年度は、プロジェクト最終年度として、これまでの研究成果をさらに発展させながらプロジェクトを進めた。鑑賞支援技術として実現して実証実験中の能動的音楽鑑賞サービス「Songle」に関しては、自動解析結果を外部から活用して開発ができるフレームワーク「Songle Widget」を音楽連動制御の共通基盤として発展させ、利用事例を増やした。音楽鑑賞支援サービス「Songrium」に関しては、派生作品が多く作られる楽曲を見つけ出せる楽曲ランキング機能や、気になるコメントをクリックして動画を探せる機能を新たに開発して公開した。

創作支援技術として実現してきた歌詞アニメーション制作支援サービス「TextAlive」に関しても、背景画像指定機能や動画生成機能を新たに開発して公開した。また、本サービスによる歌詞アニメーションがライブコンサートの背景動画として活用された。

確率的生成モデルに基づく類似度・ありがち度の推定技術も改良し、系列としての生成確率を適切に扱えるようにした上で、楽曲集合モデルのパラメータ推定にベイズ推定を導入して改善した。

さらに、公開シンポジウムを開催して研究成果を対外的に見える形でアピールした。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 音楽情報処理、音響信号理解、音楽コンテンツ類似度、音楽インタフェース

〔研究題目〕次世代メディアコンテンツ生態系技術に関する研究開発と全体統括

〔研究代表者〕 後藤 真孝 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 後藤 真孝、濱崎 雅弘、中野 倫靖、
深山 覚、加藤 淳、佃 洗撰、
尾形 正泰 (常勤職員7名、他7名)

〔研究内容〕

本研究は、「大規模音楽分析合成技術」および「相互効果のある鑑賞・創作・協創支援技術」の二つの基盤技術を構築し、それを応用した「音楽コンテンツ生態系のサービスプラットフォーム」を実現することで、次世代のメディアコンテンツ産業の発展に貢献することを目指している。そのために、好みの音楽を能動的に楽しむことができる鑑賞支援技術や、好みに合った音楽コンテンツを生み出せる創作支援技術等を実現し、大規模なメディアコンテンツから価値を創出するためのプラットフォームを構築する。

平成28年度は、プロジェクト初年度として、「大規模音楽分析合成技術」に関しては、大規模歌詞データを解析することで歌詞のトピックを自動推定できる技術を実現した。また、派生コンテンツの創作を引き起こした要因を自動推定する派生要因分析技術等も実現した。「相互効果のある鑑賞・創作・協創支援技術」に関しては、歌詞から類似歌詞を検索できるインタフェース等を開発した。さらに、「音楽コンテンツ生態系のサービスプラットフォーム」に関しては、実証実験のための一般公開をしながら研究開発を進めている鑑賞支援サービス「Songle」「Songrium」と創作支援サービス「TextAlive」を拡張して発展させた。たとえば、Songriumの拡張として、派生作品鑑賞支援サービス「Songrium Summary」を実現して公開した。歌詞アニメーション制作支援サービス TextAlive も拡張し、背景画像指定機能等を実現・公開した。さらに新たに、歌詞探索ツール「Lyric Jumper」も研究開発し、歌詞のトピックを自動解析して可視化することで、さまざまな歌詞やアーティストに出会える鑑賞支援技術として公開を開始した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 音楽情報処理、音響信号理解、メディアコンテンツ生態系、音楽インタフェース

〔研究題目〕偽造困難なデバイスを用いたIoTセキュリティ管理システム

〔研究代表者〕 田中 良夫 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 田中 良夫、古原 和邦、小方 一郎、
辛 星漢、須崎 有康、関谷 祐美子
(情報技術研究部門 常勤職員5名、他1名) 堀 洋平、片下 敏宏 (ナノエレクトロニクス研究部門 常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究は、IoT デバイスの危殆化時のログ改竄防止や振る舞い監視、および IoT デバイス間での暗号鍵の共有など、IoT セキュリティの運用に関する研究を行った。具体的には、前者においては昨年度開発した PC 上 TPM:Trusted Patfrom Mudule に OS とは独立して起動のログを取る完全性検証機能を IoT に拡張した。これにより、TPM を信頼の基点(Chain of trust)として、

デバイスの電源投入時からのソフトウェアのログを取り、正しい動作を行った時と同じ動作をしているかを検証できるようになり、悪意のあるソフトウェアの混入や改竄を検出可能となった。また、ARM プロセッサが提供するセキュリティ機能 ARM TrustZone と組み合わせる事により、署名のある正当な OS のみが起動できる技術を研究開発した。この機能を使うことより IoT が脆弱な OS を使い続けることなく、常に最新の OS を使えようになった。後者については、物理複製困難関数を IoT デバイスの偽造・複製検出に利用するだけでなく、IoT デバイスの認証とその認証されたデバイスとの間での一時的な暗号鍵を共有する用途に応用するため、その実現方法を検討・研究開発した。具体的には、IoT デバイスのメッセージ送信プロトコルとして使われている MQTT (Message Queue Telemetry Transport) に安全な鍵交換を行うプロトコルである AugPAKE を組み込むことにより、安全な通信路を確立できる仕組みを設計し、性能評価を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】IoT、セキュリティ、Trusted Computing、鍵管理方式

【研究 題 目】汎用秘匿化依頼計算アルゴリズムの理論設計

【研究代表者】花岡 悟一郎 (情報技術研究部門)

【研究担当者】花岡 悟一郎、Nuttapong Attrapadung、縫田 光司、松田 隆宏、Jacob Schuldt、山田 翔太、照屋 唯紀 (情報技術研究部門 常勤職員7名) 浅井 潔、清水 佳奈、光成 滋生、森 遼太 (他4名)

【研究 内 容】

本研究においては、入出力情報を秘密に保ったままデータ処理を高速に実行する汎用のプラットフォームを構築し、情報漏えいの心配のない多様なアプリケーションを社会に実装可能とする、汎用秘匿化依頼計算技術の実現を目的としている。初年度にあたる平成28年度においては、要素技術に関する研究動向調査を行い、暗号要素技術 (関数暗号、Multi-Party Computation、準同型暗号など) および、それらを用いた秘匿化データ処理に関する最新の知見を得ている。また、安全で効率的な関数暗号の構成方法を自ら考案し、その性能評価を行った。具体的には、安全で効率的な関数暗号の実現方法についての検討を行い、特に、適応的安全性と呼ばれる関数暗号において考えられる最高レベルの安全性の一般的な達成方法を明らかにした。さらに、秘匿化の対象とするデータ処理の計算クラスの初期選定を進め、実装を行うデータ処理の候補の絞り込みを行った。

また、応用分野において、基盤的な秘匿計算応用技術

と、アプリケーションを開発する対象について、研究動向調査と検討を行った。特に、秘匿計算応用技術に関する研究動向調査として、秘匿化計算理論から実装システムへ変換するためのコンパイラとプログラミングフレームワークやゲノムデータ処理等の応用についてのケーススタディについて調査を行った。これにより、生命情報工学分野において通常想定されるデータ処理の秘匿化に必要な要素技術が明らかとなり、本研究において秘匿化の対象とするデータ処理の計算クラスの初期選定に貢献した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】秘匿化データ処理、プライバシー保護

【研究 題 目】大規模ゲノム情報の安全な統合分析を実現する超高機能暗号

【研究代表者】縫田 光司 (情報技術研究部門)

【研究担当者】縫田 光司 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、データベースの個々のデータは隠したままデータ全体の性質の分析を可能とする「プライバシー保護データ分析」(PPDM) という暗号応用技術进行研究している。例えば、難病患者の遺伝子情報リストを専門家が詳細に分析することで予防医学や遺伝子治療技術の向上が期待される一方、個々の遺伝子情報は患者のプライバシーと密接に関わるため、専門家相手とはいえどむやみに公表することは憚られる。ここで PPDM 技術を導入すれば、特殊な暗号技術で個々のデータを暗号化し隠したまま、データ全体の統計情報 (例えば最頻値など) のみを抽出でき、プライバシー保護とデータの有効活用の両立の実現が期待できる。特に本研究では、個人ゲノム情報のような超大規模なデータベースにも適用可能な高い効率性と強固な安全性の実現を目指している。

平成28年度は、PPDM 技術の主要構成要素である準同型暗号技術、中でも機能面に優れた完全準同型暗号について、前年度までに取り組んできた新構成原理の探求や関連する数学理論の整備を継続し、特に本方式の効率的な実装を行う上で新たなアルゴリズム構築が必要となる計算問題の特定を行った。また、個人ゲノム情報や電子カルテのデータベースに関するある種の部分文字列最長一致検索を想定した PPDM 技術について、前年度までに開発した方式の国際論文誌での成果発表およびその改良方式の開発を行った。他にも、従来よりもさらに高い安全性を実現する PPDM 技術の安全性モデルの整備や、加法準同型暗号を用いた PPDM 技術の機能拡張に効果的な基盤理論の整備などを行った。

さらに、本研究の認知度向上のため、研究者・学生向けの公開ワークショップを開催し研究成果を発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】暗号技術、プライバシー保護、秘匿データ分析、応用数学

〔研究題目〕テスト技法 FOT の支援ツール開発、技法の拡充、及び実証実験による実用化研究

〔研究代表者〕北村 崇師（情報技術研究部門）

〔研究担当者〕北村 崇師、崔 銀恵、
Cyrille Artho、大岩 寛
（常勤職員4名）

〔研究内容〕

テスト技法 FOT は、組合せテスト技術を基礎にした、テスト設計記述言語及び、テストケース生成技術である。本研究では、テスト技法 FOT の実用化に向けた、技法の拡充、支援ツールの開発、実証実験を行うものである。

平成28年度は、まず、FOT のテスト設計記述言語の表現能力の拡張を行った。具体的には、FOT のテスト設計言語に「パラメータ隠匿化機能」を導入し、テスト設計言語の記述能力を拡張した。拡張した言語を評価するための評価実験を行った。評価実験では、この拡張されたテスト設計言語を、オムロンソーシアルソリューションズ株式会社と共同で、実際の産業システムに適用した。結果、拡張前のテスト設計言語と比較して、有効性を確認した。

また、テスト技法 FOT の内部で使用される標準的なテスト生成アルゴリズムの開発を行った。特に、既存手法が苦手とする、制約式が複雑なシステムに対して効果的なテスト生成方法に着目した。本問題に対して、充足可能性問題（SAT）技術を応用して、より高速にテスト生成が可能なアルゴリズムを開発した。評価実験の結果、制約式が複雑なケースに対して、既存手法と比較して同等の網羅率を達成するテストケースを、より高速に生成できることを示した。本研究成果は、ソフトウェア工学のトップ国際会議である the 31st IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE2016) にて発表した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ソフトウェアテスト

〔研究題目〕人流解析による医療救護訓練の科学的解析手法の開発

〔研究代表者〕太田 祥一（東京医科大学）

〔研究担当者〕依田 育士（人間情報研究部門）、
大西 正輝（人工知能研究センター）
（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

災害後急性期に発生する膨大な医療ニーズをいかに処理するかという観点から災害医療訓練を捉え、その効果を科学的に検証し、「減災につながる地域における自立した災害医療救護」を社会実装するためのマネジメント・ガイドラインを策定することを目的とした。

具体的には、医療救護訓練の人流解析や会話分析を通

じて訓練プログラムの洗練化、標準化を図り、いつでも、どこでも、だれでも、楽しく訓練参加ができるような「Edutainment」性の高い訓練パッケージの構築を目指した。同時に、行政とも協働しながら、災害時の医療救護所設計指針などに関する提案を実施した。

新宿駅西口医療救護訓練を中心に、その訓練内容を3次元画像認識による情報工学技術、ならびに社会学の会話分析を用いて、両者の知見を融合させながら、訓練を科学的に解析する手法を開発し、実際の訓練を観測・分析し、訓練の PDCA サイクルに反映させ、訓練雛形、各種教材、マニュアル、アプリ等を完成させた。

H28年度は、最終年度として開発した全ての成果物である災害医療救護訓練パック（訓練雛形）、災害医療ガイドライン（市民向け教科書）、医療救護所マニュアル、トリアージ・コミュニケーションマニュアルを HP から、救護動画を YouTube から、タブレットやスマートフォン用アプリの災害医療タッチと災害医療クエストを AppStore と Googleplay から全て無償公開した。また、特に小中学生向け災害医療紹介アプリである災害医療クエスト（AR ラリー）は、つくばエキスポセンター、産総研一般公開など5カ所でイベントを実施し、宣伝と品質向上のため改良に努めた。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕救急医学、医療救護訓練、動線解析、会話分析、シミュレーション教育

〔研究題目〕多世代視覚障害者移動支援システムにおけるクラウド・ナビ・訓練システムの社会実装

〔研究代表者〕関 喜一（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕関 喜一、蔵田 武志、興梠 正克、
一刈 良介、井上 拓晃
（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

本プロジェクトでは、多世代の視覚障害者が協働で相互に移動支援を行う新しいタイプの移動支援社会システムの実現を目指す。具体的には、視覚障害者が携帯する汎用携帯型端末が、歩行時における移動アクセシビリティ情報を自動で収集し、クラウドを介して情報共有できるナビゲーションシステムを開発する。これにより、従来は地域のボランティアによって収集されていたバリアフリー情報がビッグデータとして構築され、リアルタイムで配信されるようになる。また、地域での実証を通じて、多世代の視覚障害者の移動支援を核とした地域コミュニティ・デザイン手法を確立し、法制化・標準化等の社会制度化に取り組む。

平成28年度は、本研究開発の第3年度目であり、平成27年度までの成果をもとに、ナビゲーションシステムの要素技術の開発、及び地域コミュニティ活動に重点をおいた。その成果は、以下のとおりである。

- 1) 視覚障害者のナビゲーションの重要要素である“異常行動自動検出技術”について、その基礎となる位置情報記録と解析のための開発環境を構築した。汎用スマートフォンを用いて、3軸加速度、3軸角加速度、3軸地磁気、傾斜、緯度経度、方位、及び BLE ビーコンの情報を記録できるシステムを開発した。
- 2) ユーザインタフェース研究として、骨導ヘッドホンを使用した3次元音響の提示が可能であるか検証した。平成27年度の成果である骨導3次元音響の実現について、さらに実験データの検討を行った。気導ヘッドホンと骨伝導ヘッドホンによる音源定位実験結果の統計解析を行った。その結果、正答率、反応時間ともに骨導と気導で有意差はないことを明らかにし、従来どおりの気導ヘッドホンによる3次元音響技術が、そのまま骨導ヘッドホンで遜色なく使用できることを確認した。
- 3) 平成26年度から継続してジェスチャ入力国際標準化の動向を調査した。その結果、現在 ISO/IEC JTC 1/SC 35で標準化が進んでいる案件が本プロジェクトに制約を与えるような提案はないことを再度確認した。
- 4) バーチャルマッピングパーティの技術を改良した。平成27年度に開催したバーチャルマッピングパーティイベントのための歩行環境の VR 空間内における再現作業においては、歩行現場のパノラマ動画や環境音の収録を行った。今後の課題として、このパノラマ動画や環境音の準備作業をいかに効率よく正確な位置に配置するかという課題がある。前回のイベントの準備においては、パノラマ動画と地図を見比べながら、手動で、撮影・収録された画像・音声の座標や方向を設定していた。しかし、このような方法では運営者側に多大な作業を課すこととなり、本取り組みが普及する上でのボトルネックにもなりえる。そこで、平成28年度は、運営者側の負担を軽減するための取り組みとして、パノラマ画像・環境音の効率的な配置方法を開発した。この開発により、パノラマ画像の位置合わせの問題を、パノラマ画像中で座標が既知な点を特定するだけに簡略化することが可能になった。また平成28年度は、昨年度実施した視覚障害者向け情報収集のワークショップ「部屋にしながらマッピングパーティ～視覚障害者移動支援システムの開発～」で収集した結果の分析により得られた知見をまとめ、今後の技術開発や実施予定の次回以降のバーチャルマッピングパーティへ活用することを目指すことに取り組んだ。分析の結果、効率よく入力するためにはキーボードの入力が不可欠であることなどがわかった。また、リアルマッピングパーティとの客観的な比較の方法の検討が課題として残った。
- 5) 多世代地域イベントの一貫として、AR 巨人将棋イベントを開催した。具体的には、路上で視覚障害者が歩行移動する際、歩行者は、ナビゲーションシステム

から提示される音声情報を聞き取る・頭の中に俯瞰地図を描く・俯瞰地図の中に自己を位置づけるといった多重のタスクを並行して処理しなければならない。こうした状況を擬似的に体験でき、かつ自発的な協力が得られるような「楽しい」ゲームイベントを設計し、実証実験を行った。開催にあたっては、全体設計及び運営を静岡県立大学が行い、各研究チームが技術提供を行った。視覚障害者11名（20代から70代の男女）の協力を得た。ゲームイベントは、会場に仮想的に巨大な将棋盤を広げ、プレーヤは歩き回って情報を取得しながら「詰将棋」を解くというゲームを設計した。その結果、本研究では詰将棋の提示方法の違いが視覚障害者の詰将棋の回答時間、手法に及ぼす影響を検討した。音声のみによる提示方法では回答が最も早く、正確であったのに対し、触図と音声を組み合わせた提示方法では触図のみとの回答時間の差があまり見られなかった。また、参加者は音声に頼る人と点字に頼る人とで探索手法の違いが見られた。これらのことから、視覚障害者の点字読解能力によっては、音声による情報が妨害刺激になりえることがわかった。今後は、触図と音声を組み合わせたものの触図の改善とさらなる調査が必要であると考えられる。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】視覚障害、ナビゲーション、クラウド、情報アクセシビリティ、多世代共創、地域コミュニティ

【研究題目】人と知能機械との協奏メカニズム解明と協奏価値に基づく新しい社会システムを構築するための基盤技術の創出

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、蔵田 武志、竹中 毅、大隈 隆史、小林 吉之、佐藤 洋、一刈 良介（以上、人間情報研究部門）、大西 正輝（人工知能研究センター）、小峰 秀彦、木村 健太（以上、自動車ヒューマンファクター研究センター）
（常勤職員9名、他1名）

【研究内容】

人間の行動は様々な要因に影響を受け変化する。その変化をそれぞれの場に適応した望ましい方向に導くことができれば、業務最適化を達成する従業員の執務行動の変化や生活者の健康行動誘発など、人の「行動変容」を実現することができる。本テーマでは「協奏技術」が適用されるサービス現場や生活現場において、それぞれの技術が人の「行動変容」をどの程度生み出したか、つまりどの程度「協奏効果」があったのかを定量的に評価する技術を開発することを目指す。

平成28年度は、外食、物流、オフィス、計3箇所の実現場において予備計測を行い、協奏効果の定量化試行に

に向けた課題やオープンデータ整備の方向性について検討した。

外食サービス現場では、厨房業務の平準化のために、受注業務と計画業務をエリアで明確に分けるという介入施策を実施し、従業員の行動変容の計測・分析を進めている。一部は計測を完了しており、今後、エリアごとの滞在時間、移動距離、実働時間など多様な指標で定量的に行動データを比較し、行動変容を定量化する。

物流倉庫では、LiDAR（Light Detection and Ranging）で物流倉庫内部を計測すると共に、ピッキング業務中の従業員13名の約4時間の動線を PDR（Pedestrian Dead Reckoning）、WMS（Warehouse Management System）、BLE（Bluetooth Low Energy）の統合により計測した。現在、オープンデータ化しコンテストで活用するための準備を進めている。

オフィスでは、共有スペースに複数台の RGB-D（RGB and Depth）カメラを設置し、ミーティングスペースや本棚、個人の作業スペースなどオフィス空間の使われ方を長期間にわたって計測し、エリア場所ごとの滞在数・時間を可視化した。これにより、オフィス空間でのコミュニケーションの定量評価のための基礎データが取れるようになった。さらには、長期間データの可視化方法や協奏効果の定量化算出方法についての検討を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 行動変容、行動計測、サービス工学、協奏技術

【研究題目】 価値創成クラスモデルによるサービスシステムの類型化とメカニズム設計理論の構築

【研究代表者】 西野 成昭（東京大学）

【研究担当者】 竹中 毅（人間情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究プロジェクトは、サービスシステムの問題の構造と複雑さを、価値創成クラスモデルの考え方を基礎に、分類しながら実サービスを類型化するとともに、新たなサービス創出に資する設計理論を領域横断的なアプローチで構築することを目指すものである。

サービス類型化の達成目標としては、詳細レベルの分析を3～4事例、それ以外にも類型化のために少なくとも10事例以上を調査し、得られた実データを基に分析し、価値創成モデルの考え方に基づいて類型化を行う。成果目標として、価値創成の形式が異なる抽象化された複数の構造が抽出され、実サービスが適切に分類されていることと設定する。さらに、分類にあたって用いた様々な経営評価指標についても整理され、類型化された構造別に用いるべきサービス評価指標が確立していることを達成目標とする。

一方、サービス設計に資する理論構築のテーマに関しては、方法として経済実験を実施するが、少なくともものべ1000人以上で被験者実験を実施することを最低要件とする。設計理論構築としての成果は、サービスメカニズム設計において、共通基盤となる基礎的性質を見出すこと、設計に資する原理を明らかにすることが達成目標である。共通性質については、最終的には数学的に定式化できる形で表現し、各サービスにおいて性質の充足の可否を理論的に示すことが出来るようにする。原理については、例えば、設計時に考慮すべき現実の関連する様々な要因について、幾つかの条件を満たせば簡略化してサービスメカニズムを記述できることを保証するような根拠を明らかにすることである。

平成28年度は最終年度にあたり、これまでの研究結果から企業、顧客、従業員の3者からなる一般化されたサービスモデルを構築し、経済実験及びシミュレーションを用いてその有効性を検討した。また、美容室産業を例として、従業員満足と顧客満足、起業利得の関係性について、いくつかの均衡解を求めるとともに、実社会において観察される従業員満足と従業員満足との関係に類似した性質が経済実験においても確認されることを示した。また、従業員の低賃金や企業収益性の低さが指摘される実際の美容室産業において、例えば、最低賃金やサービスの最低価格を決めるような政策の有効性を検証した。

本研究プロジェクトの成果は、JST/RISTEX「問題解決型サービス科学研究開発プログラム」の中で一部、公表されている。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 サービス、実験経済学、メカニズムデザイン、類型化

【研究題目】 精神的価値が成長する感性イノベーション拠点

【研究代表者】 持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】 持丸 正明、梅村 浩之、藤村 友美
（以上、人間情報研究部門）、

本村 陽一、櫻井 瑛一（以上、人工知能研究センター）（常勤職員5名）

【研究内容】

本プロジェクトは広島大学が中核となり受託したJST 革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）に産総研が参画し実行されている。本プロジェクトでは主に「ワクワク感」を対象として、快-不快、活性-非活性、過去志向-未来志向などの多次元の心理軸に基づいて、脳、生理指標計測による感性の可視化技術、感性情報の解読技術、及びバイオセンシング技術の開発を通して、BEI（Brain Emotion Interface）の開発を行っている。そして、この技術を用いて感性価値を高めるような製品の作成を目指している。

後者の BEI の社会実装のためには、製品・サービスの使用者の嗜好性を推定するための類型化が必要となる。産総研では、類型化のために必要な消費者属性とその感性をモデル化することを行っている。平成28年度においては、自動車販売店において検証した調査項目と個人の価値観設問に基づきネットアンケートを広島大学と共同で実施し、その取得データに対して、わくわく感と価値観の関係性に関し分析を行った。自動車に適用した手法を自動車以外の分野（食料品）に対しても展開し、ユーザモデル構築手法の適用が可能であることを示した。

また、平成28年度から新たに二名の研究員を追加し、共感に関する実験の環境を整備した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 感性工学、データ収集、社会実装、共感

【研究 題目】 位置姿勢変化に頑健な3次元地図作成および3次元空間内音源探索

【研究代表者】 佐々木 洋子（人間情報研究部門）

【研究担当者】 佐々木 洋子（常勤職員1名）

【研究 内容】

タフ・ロボティクス・チャレンジでは、現在の「ひよわな優等生」であるロボットを鍛え上げることにより、災害などの極限環境下において効果を発揮できるタフでへこたれない「タフロボット」の実現を目指している。本研究課題では、「現場の状況が不明」を解決する極限センシング機能のひとつとして、極限音響技術の開発を担当する。具体的には、3次元空間内での音源地図作成に取り組み、1) レーザスキャナによる、人の動きに対応可能な低歪大規模3次元地図作成、2) マイクロホンアレイによる、3次元空間内音源位置推定、の2つの機能を実装する。本プロジェクトの二年目となる2016年度は、初年度に開発した自己位置推定および音源定位機能の脚ロボットへの統合、また3次元地図作成実用化へ向けた失敗検出機能の開発を進めた。

自己位置推定および音源定位機能について、脚ロボット分科会内での統合を進め、はしご昇降やがれき腹這い移動するロボットによる3次元空間内音源探索を実施した。さらにユーザインタフェースグループとの統合を進め、自己位置推定に基づく、脚ロボットの遠隔操縦システムを実現し、フィールド評価会でのデモンストレーションを行った。

3次元地図作成については、失敗リカバリの実現が実利用への課題であった。これを解決するため、各時刻での推定信頼度を評価する指標を定義し、急激な動きや形状特徴の捉えにくい環境などの難条件に対し、推定が失敗した可能性の高いフレームを自動検出し、局所的な失敗の自動リカバリ、またリカバリが難しいと判断される場合は地図の自動分割を行う手法を構築した。より広範囲な計測、実環境での繰り返し利用に耐える高精度3次元地図作成を実現した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 音地図作成、3次元地図作成、音源定位

【研究 題目】 IoT 型リアルタイム歩行モニタリングデバイスの開発

【研究代表者】 留奥 美希（お茶の水女子大学）

【研究担当者】 中嶋 香奈子（人間情報研究部門）、
留奥 美希、太田 裕治（以上、お茶の水女子大学）、
笹田 安那、才脇 直樹（以上、奈良女子大学）
（常勤職員1名、他4名）

【研究 内容】

本研究では、足部や歩行に問題を抱える人やその予備群をユーザとし、日常生活での歩行機能評価を行うことにより、IoT 技術を用いて適切なケアや支援を提供できる仕組みの展開を目的とした。足部の健康は日常活動度に直結するため、日常的ケアによる足部健康度の長寿化が求められる。本研究では、力や動きのセンシング技術を人々の支援技術に応用し、歩行センシングデバイスを開発することで日常的な健康サポートサービスの展開を目指した。さらに、IoT 技術の活用により、長期間蓄積された日常生活健康データを応用することでヘルスケア分野における新たなサービスやビジネスモデルを構築し、社会全体の健康度向上を図ることが期待できる。

上記の背景から、本研究プロジェクトでは靴選びや足部の痛みに悩む女性を主なターゲットとし、インソール型歩行モニタリングデバイス「BELLESTEP」を作製した。事前調査として女性100名を対象としたマーケティング調査を行い、靴選びや足部に対する個人の意識に関する調査を実施した結果を基に、足底圧を計測可能なインソール型歩行モニタリングデバイスのハードウェアの開発を進め、通信制御用の専用ソフトウェアの開発を行った。ソフトウェアには独自に構築した分析アルゴリズムを反映させ、日常生活での足部の状態や歩行動作時の体荷重状態を検知可能なよう設計を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 歩行動作分析、足部異常予防、無線通信、モニタリングシステム、IoT (Internet of Things)

【研究 題目】 タフ・ロボティクスのためのタフ・ワイヤレス技術の研究開発

【研究代表者】 加藤 晋（知能システム研究部門）

【研究担当者】 加藤 晋、有隅 仁、岩田 拓也、
神村 明哉、越川 知大、
川端 伸一朗、大楠 祐司
（常勤職員4名、他3名）

【研究 内容】

ロボットと通信は切っても切り離せない関係にある。人が操作するロボットはもちろんのこと、完全自律で動

作するロボットも、ロボットが得たセンシング情報を人間に提供する際に通信が必要となる。災害対応ロボットに適用する通信は有線・無線の両方が検討されているが、有線通信ではロボットの行動を大きく制限してしまうデメリットが存在する。一方、無線（ワイヤレス）通信では通信の信頼性は有線よりも劣るものの、ロボットの行動を制限することなく活用できる。また、通信の信頼性に関しても、有線通信ではケーブルが切断されてしまえば通信が行えなくなるが、電波を利用したワイヤレス技術が原理的に有する空間冗長性をロボット間協調通信によって活用することで信頼性の向上も期待できる。現状、ロボット制御が求めるワイヤレス通信への技術要件（遅延保証、到達距離、通信速度、タフさ）の全てを満たす通信技術は存在しない。現在の周波数資源の制約からこれらの課題のすべてを満足する通信手段を実現することは困難であるが、最新の無線通信技術を最大限活用することで、ロボット制御にマッチしたワイヤレス技術を再設計（周波数帯、アクセス制御など）し、災害時等の極限環境においてロボットの真価を発揮させるため、ロボット自体のタフさだけでなく、ワイヤレス技術にもタフさを強化する必要がある。以上の理由から、本研究開発提案ではタフ・ロボティクスに適用可能な、極限環境下でも人とロボット、ロボットとロボットのつながりを維持する“タフ・ワイヤレス”の実現に必要な要素技術を新たに研究開発し、実環境上の試験フィールドにおいて実証する。

平成28年度は、5月と6月のフィールド評価会（東北大学青葉山キャンパス）での検証評価で用いる実ロボットとして、地上探査ロボット（RCPV）を制御対象と設定して準備し、情報通信研究機構（NICT）が試作した通信機を接続する通信部分の改修と実装を行った。この評価会では、上空でホバリングするドローンの中継し、操縦者から見通し外にある小型四輪ロボットの制御と監視が可能であることを実証した。また、11月のフィールド評価会用として、地上探査ロボットにアンテナポールを立てて通信の中継車両とする実装を行った。さらに地上探査ロボットをベースとし、上部に有線給電方式のドローンを搭載可能な地上／上空探査ロボットに対し、通信機の実装を行った。この評価会では、中継器を2台用いて、制御対象をドローンとした検証を実施し、地上設置の2つの中継局を経由して目視外のドローンを制御できることを確認した。また、通信のタフさを示すシナリオを設定したデモなどにより、タフ・ワイヤレスの有効性を示した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】災害対応ロボット、ドローン、無線通信、低遅延、試験方法

【研究 題 目】極限環境シミュレーションプラットフォーム Choreonoid の開発

【研究代表者】金広 文男（知能システム研究部門）

【研究担当者】金広 文男、中岡 慎一郎、服部 静子
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

地震や台風等の自然災害によりダメージを受けた工業用プラントの内部及び外部や、土砂崩れ等の現場を災害対応ロボット活動の現場として想定し、このような現場において緊急対応、復旧作業を行なうクローラタイプあるいは脚型移動タイプのロボットをシミュレートしてその開発を支援するシミュレーションプラットフォームを開発、提供することが目標である。

平成28年度は（1）「ROS との接続機能及び Gazebo からの移植支援機能の開発」について、ユーザからのフィードバック等に基づいて、シミュレーション世界の時刻の送出周期を一定にする、シミュレーション終了時に ROS のトピックの情報が残ったままになる問題を修正する、接触情報を ROS のトピックとして送出する、脚ロボットのシミュレーション環境を整備する、脚ロボットの梯子登りや腹ばい移動をシミュレーションで再現する、ドキュメントをより詳細に記述する等の活動を行った。また（2）「描画エンジンの機能拡張：極限環境視野画像シミュレーション」では、昨年度開発したシェーダをベースとした描画エンジンの上に、複数の光源によって発生する影をシミュレートする機能を実装し、暗い環境でライトを照らしながら活動するロボットのシミュレーションを可能とした他、パーティクルシステムによって自然現象をシミュレートするシェーダプログラムを作成し、煙、炎、水流、雨、雪といった自然現象のシミュレーションを可能とした。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】災害対応ロボット、シミュレータ、Choreonoid

【研究 題 目】高齢者の記憶と認知機能低下に対する生活支援ロボットシステムの開発

【研究代表者】児島 宏明（知能システム研究部門）

【研究担当者】児島 宏明、佐土原 健、塚谷 啓介、田嶋 恭子、NGUYEN BAC
（常勤職員2名、他3名）

【研究 内 容】

記憶や認知機能の低下した高齢者の自立・自律した生活を維持・促進することを目的として、生活に必要な不可欠な情報把握を支援し日常生活行動を見守るロボットシステムの開発を目指し、国立障害者リハビリテーションセンターを代表とする6機関で共同研究を行っている。そのうち産総研は主として、高齢者に情報支援を行うための、音声対話サブシステムの研究開発を担当している。全体で3ステージから成る最長10年間のプロジェクトの中で、平成28年度は第2ステージの最終年度であり、主に、これまでに開発した手法の改良と精度の確認、及び

第3ステージで予定する長期の社会実験に向けたシステムの設計と実装を行った。

具体的には、生活環境の雑音レベルに基づいて音声検知の閾値を動的に変動させる技術の導入等、社会実験での利用に向けて **Android** 端末上でのクライアントアプリの実装と改良を進めた他、社会実験前に実施した長期効果検証実験において、音声認識、意図抽出等、クラウド上に実装した他のモジュールとの連携動作と実環境での安定動作を検証した。また、行動判定のためのセンサ及びデータ分析方法の研究において、日常行動のモデル化手法の改良や拡張を進め、社会実験前の効果検証実験において、長期間の日常生活行動データを取得し、情報支援効果の検証のためのデータ分析や歩行状態の分析を行った。さらに、ロボットとの対話から認知機能低下を検出する可能性を検証するため、前年度に収録した高齢者の認知機能検査対話の音声データを用いて音声認識実験を行った結果、これをスクリーニングに利用することで人手による判定対象を約半数に削減できる見通しが得られた。

今後は、意図抽出精度や認知機能検出精度の向上のための改良を進めるとともに、第3ステージで開始する社会実装において長期検証実験に段階的に適用し、その結果や課題をフィードバックすることで、カスタマイズや改良を進める計画である。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 音声対話、ロボット、高齢者、認知症

【研究題目】 サイバニックシステムに対する安全検証手法の開発

【研究代表者】 比留川 博久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】 比留川 博久、松本 治、中坊 嘉宏、原 功、本間 敬子、角 保志、梶谷 勇、藤原 清司、川倉 慎司、ジェフ ビグス、尾暮 拓也、田中 秀幸、宮腰 清一（ロボットイノベーション研究センター）
吉田 英一、鮎澤 光、吉安 祐介、今村 由芽子（知能システム研究部門）
（常勤職員16名、他1名）

【研究内容】

目標、研究計画：

- (1) システム安全情報モデリング技術 **SafeML** による安全検証技術：認証ドキュメント自動生成ソフトウェアを開発し、認証機関による可用性評価を得る。
- (2) 移動支援分野の安全検証技術：動的安定性試験装置を試作。歩行器の **JIS** 安全性試験データ3種を取得・解析する。
- (3) 排泄支援分野の電気面の安全検証技術：人体内電氣的ノイズに関する安全性試験技術開発をおこなう。

- (4) 排泄支援分野の応力集中面の安全検証技術：直腸の模擬装置と水流圧力測定装置の開発。直腸内噴出水流の吐水圧および吸引圧の計測装置を開発。直腸内吸引に伴うリスクの形態を明らかにする。

年度進捗状況：

- (1) システム安全情報モデリング技術 **SafeML** による安全検証技術：
ウェブベースのサーバサイドを実装し、認証ドキュメントの自動生成、認証機関による評価を得た。
- (2) 移動支援分野の安全検証技術：
錘牽引式の動的安定性試験装置および高齢者転倒事象再現ダミーを開発した。
また安定性試験および安定性解析手法の開発をおこなった。
- (3) 排泄支援分野の電気面の安全検証技術
皮膚電気特性を模擬した実験により、腹部からペースメーカーへの電流で皮膚構造の影響は大きくないと結果が得られた。
- (4) 排泄支援分野の応力集中面の安全検証技術
模擬直腸壁シートおよび直腸系閉鎖圧力測定装置、開放圧力計測系を構築。①噴出する水流による水圧穿孔、②吸引する際の吸引引きちぎり、③噴出により腸内圧が高まっての圧力破裂、④挿入する際に腸壁に当たった際の突き当て穿孔、⑤ノズルを抜き差しする際に腸壁と接触して切り裂くねじ込み切り裂きの5種のリスクを導出した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 安全検証、ロボット、介護機器、生活支援、サイバニクス

【研究題目】 交通・群集シミュレーションとハザード・リスク評価

【研究代表者】 山下 倫央（人工知能研究センター）

【研究担当者】 山下 倫央、野田 五十樹
（常勤職員2名）

【研究内容】

本プロジェクトでは、災害時に大群集等による大混乱が予想される巨大都市の大規模ターミナル駅エリアを対象に、エリア特性と被害レベルに応じた震災・水害を想定した事前の対応行動計画と行動ルールを策定し、災害関連情報を入手した際、適切な対応行動を可能とする支援アプリを開発する。このため、災害関連情報に対する最適な対応行動の実現を支援するアプリケーションと、それをサポートする予測・予防のためのシステムとアプリケーション群である (1) エリア災害対応支援アプリケーション、(2) エリア特性に応じた複合災害の予測技術、および、(3) エリア災害予防のためのアプリケーション、の3つの研究開発を推進する。

平成28年度は、千住エリアにおける避難を行い、約7万人の地域住民の避難について、二段階避難の効果につ

いての検証をさらに進め、結果を論文として投稿・公開した。これに加えて、新宿西口地区を対象とする避難のシミュレーションを開始する準備を進めた。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 避難シミュレーション、歩行者シミュレータ、災害避難、避難誘導、二段階避難

【研究 題目】 大規模社会シミュレーション実行計画機構の開発および全体調整とパッケージ統合

【研究代表者】 野田 五十樹（人工知能研究センター）

【研究担当者】 野田 五十樹、山下 倫央、松島 裕康、落合 純一（常勤職員2名、他2名）

【研究 内容】

本研究ではシステム挙動分析・データ同化等の手法を HPC プラットフォーム上で簡便に実現するため、「MASS 計画・管理モジュール」および「MASS 分散実行ミドルウェア」の2つのレイヤからなる MASS 管理・実行フレームワークの構築を目標としている。この目標に対し、本年度は、共同研究先とともに、これまで開発を進めてきた MASS 計画・管理モジュール OACIS/CARAVAN および MASS 分散実行ミドルウェア X11/XASDI について、多数のアプリケーションに提供しながら、機能の拡張を行い、HPC 上でマルチエージェント社会シミュレーションを活用する枠組みの完成度を高めた。

MASS 計画・管理モジュール OACIS の機能拡張では、実験計画法と分割探索手法を組み合わせ、少ない実験数とその結果から、相転移のように急激に出力が変化するシミュレーション設定を探索する手法を開発し、それを OACIS モジュールとして実装した。このモジュールの性能検証として行った津波避難における避難人数の影響分析では、単純な網羅的シミュレーションでは72,171回必要であったシミュレーションの試行回数を486回まで削減でき、その少ない回数で網羅的実行と同じ解析結果が得られることを示した。

また、MASS 分散実行ミドルウェア X10を用いた大規模マルチエージェントシミュレーションの実行基盤開発では、ノード間にまたがったエージェント群とその処理を効率的に管理するため、分散集合ライブラリおよび動的負荷分散機構の研究を進めており、応用事例として人工市場シミュレーション基盤 Plham の大規模並列化に向けた研究を進めた。

【原著論文7】

このほか、これらモジュールやミドルウェアの機能検証のための応用事例では、大規模商業施設における人流や、より一般の人流における集団運動形成、東京証券取引所などの株式・金融市場における制度設計や規制の設計支援、大都市のタクシープローブデータや国体におけるバス運行計画を題材とした都市交通とそのサービス設

計などを題材として取り上げた。

さらに、これら開発してきたモジュール・ミドルウェアの普及を図るため、上記応用事例で用いたアプリケーションシミュレータとセットにしたパッケージを docker などの形式でまとめて公開した。さらには、これらのパッケージの利用方法の講習会を多数開催し、幅広いユーザ層の構築と同時に、不具合などの洗い出しを進めた。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 社会シミュレーション、人工知能、ハイパフォーマンスコンピューティング

【研究 題目】 統計的検定手法構築、高速化・大規模化及び手法の普及

【研究代表者】 瀬々 潤（人工知能研究センター）

【研究担当者】 瀬々 潤、Raissa Relator（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本年は LAMP を理研・東大の収集している20万人47疾患にわたる1塩基置換 (SNP) 情報であるバイオバンクジャパンの情報の中から4疾患に適用、および、東北メディカルメガバンクの収集している1000人分の次世代シーケンサで得られた変異情報と、検診情報に適用した。目的は、LAMP が十分高速に動作しうるか、解析結果有意な結果が出うるかどうかの調査を行うことである。その結果、遺伝モデルの内、劣性遺伝のモデルにおいては十分に動作しうる速度が得られ、計算終了することができるが、優性遺伝のモデルにおいては、現状の LAMP の速度では計算が困難であることが判明した。しかし、劣性遺伝のモデルであっても、今までに確認されていない統計的に有意に疾患に関連した SNP 群が観測されたため、LAMP は新規遺伝要因の発見に十分寄与できる可能性が示唆された。今後、検出された組合せの生物学的・医学的意義の解明を行い、手法の有用性を示していく。

【領 域 名】 情報・人間工学、生命工学

【キーワード】 機械学習、統計検定、ゲノム、遺伝子

【研究 題目】 機械学習を用いた倍数体オミクス解析とモデリング技術の開発

【研究代表者】 瀬々 潤（人工知能研究センター）

【研究担当者】 瀬々 潤（常勤職員1名）

【研究 内容】

作物の多くは複数のゲノム DNA が融合した倍数体であるために、これまでゲノムレベルの研究が困難でした。本研究ではシロイヌナズナ属のモデル倍数体ミヤマハタザオを用いて、野外栽培での大量データ取得技術と、今後懸念される環境変動への適応性、「環境頑健性」の高い植物体を予測する人工知能技術を開発することを目標にしています。さらに、横浜市立大学の木原生物学研究

所グループは、木原均博士以来の倍数体コムギ研究の伝統を生かし、ゲノム構成の異なる様々なコムギを解析します。本年度は、個々のオミクスデータの取得技術の開発にとりかかり、植物育成を行ってデータ取得も開始しました。まず、倍数体ゲノム DNA の解析の最大の難関は、重複遺伝子（ホメオログ）を分けることです。遺伝子発現解析をする際にも、個体変異を解析する際にも重複遺伝子を分ける技術が必要になります。そこで、産総研で開発したソフトウェア HomeoRoq の改良をすすめています。また、スイスグループにてこの解析を検証する中で、既存のゲノムアセンブリと個体変異解析手法を使うと、配列場の特定の位置に誤って変異を同定されやすいというバイアスを発見し、論文として発表しました

(Briskine, B.V., Shimizu, K.K. (2017) Positional bias in variant calls against draft reference assemblies. BMC Genomics, 18; 263)。この問題は、倍数体解析で重要であるのみならず、どの生物にも当てはまる一般的なものです。また、野外での植物生育状況の自動画像取得・解析を目指して、エルピクセル株式会社を中心として画像解析技術の開発を進めています。

〔領 域 名〕 情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕 機械学習、オミクス、コムギ、ホメオログ

〔研究 題目〕 エピジェネティクス解析及び医療画像データ解析を中心とした機械学習全般の解析手法を用いた統合的解析

〔研究代表者〕 瀬々 潤 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 瀬々 潤 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

プロジェクトがスタートし、倫理申請および、データの準備等を実施した。

〔領 域 名〕 情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕 機械学習、エピジェネティクス、医療画像

〔研究 題目〕 予防安全分野の多機関分散データの統合的利活用技術のテストヘッド開発

〔研究代表者〕 西田 佳史 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 西田 佳史、北村 光司、本村 陽一、山中 龍宏 (緑園こどもクリニック) (常勤職員3名、他1名)

〔研究 内容〕

ビッグデータの解析結果は新製品開発など様々な活用が期待され、データ収集・解析・利用を促進するビッグデータ流通システムの構築は必須だが、その促進・定着には、データ所有者、解析機関、利用機関の各エンティティが win-win の関係を築けることが重要である。既存研究では解析機関に着目した研究が多いが、本研究課題では、データ所有者に着目し、データ解析結果の適切

な対価の還元・フィードバックを実現し、データ所有者、解析機関、利用機関を信頼の環で連結し、ビッグデータの収集・解析・利活用・所有者還元をセキュアかつフェアに実現し、サイバー攻撃など各種攻撃に対して頑健なビッグデータの流通プラットフォームを実現する。さらに、予防安全及び医療でビッグデータ利活用の実証実験を行い、運用時の課題も解決する。産総研は、この中で、予防安全分野（事故予防分野）におけるセキュリティ基盤技術による多機関分散データの利活用技術を現場と連携し実証的に開発する部分を担当する。

平成28年度は、平成27年度までに開発してきた傷害データを統合した分析・活用するシステムと、セキュリティコア技術グループが開発した PSI とを統合することで、セキュリティに配慮して利用可能なシステムを開発するとともに、PSI 利用時の処理時間など実用を見据えた検証を行った。具体的には、複数の小学校で発生した事故情報を、どこの小学校で起きた事故かは知られることなく、統合して統計的な分析が可能となった。さらに、医療費の情報を元に、類似状況で特にリスクが高い事故を把握可能なクリック分析機能を開発した。また、事故に関連した製品・環境の形状と類似した形状特徴を持つ製品・環境を見つけ出す機能や、製品・環境の形状とそれに対する子どもの行動の関係をモデリングすることで、形状特徴から子どもの行動を予測する機能を開発した。これにより、製品・環境の形状情報がある場合に、存在する環境だけでなく、設計段階の製品・環境について、起きる可能性が高い事故や子どもの行動を予測することが可能となった。また、平成28年度は、平成27年度に試作して検討してきた、小さな物体の誤嚥による窒息事故や刺傷事故を防ぐために、傷害予防ツールに関して、平成27年度に開発したものの完成度を高めた試作品を製作して、のべ40名に対してユーザビリティテストを実施し、商品化に向けた検証を行った。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 多機関分散データ、データ融合、ビッグデータ、データマイニング

〔研究 題目〕 データ利用技術の開発と普及

〔研究代表者〕 西田 佳史 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 西田 佳史、北村 光司、山中 龍宏 (緑園こどもクリニック) (常勤職員2名、他1名)

〔研究 内容〕

本課題は、政策当局、メーカー、消費者等の関与者が必要とする情報を、政府統計、各種ビッグデータ等を基礎として抽出し、リスクマネジメントに応用する具体的方策論を開発・提案する。リスク情報に関するデータモデルを構築するとともに、関与者の具体的なリスクマネジメント事例を通じてアプローチの有用性を実証し、当事者のインセティブを顕在化させる。また、研究成果の

社会実装を進め、オープンデータコミュニティ形成を図る。この中で、産総研は、生活空間における事故発生プロセスのモデル化、人間行動データや事故行動シミュレーション技術に基づく、傷害発生確率や危険回避の可能性に関する評価技術、生活安全上の支援機器等の開発を支援する生活空間リスクの可視化技術等の開発を担当する。

平成28年度は、開発したシステムの機能（下記1と2）を拡張し、新たに、3）の機能を追加した。1)収集された事故データを施設利用者や他の施設環境に合わせて事故予防に再利用できるデータ蓄積を可能とする事故事例記録・可視化機能、2)多様な生活機能を有する各被介護者の生活動線に合わせたリスク把握を可能とする生活動線考慮型リスク予測機能、3)介護タスク構造を用いた事故データの特徴化によって、事故状況の類似性計算に基づいて潜在的なリスクを予見可能にする類似事故事例可視化機能である。平成27年度は、施設で収集されたデータだけを用いたが、平成28年度は、新たに「事故データバンクシステム」の776件の介護施設で発生した事故データを、他施設で発生した事故データと仮定してリスク予見を行うことで有効性の検証を行った。

また、平成28年度は、平成27年度までに開発した手すりセンサを用いて、実環境において実証実験をした。実証実験のため、88歳の一人暮らしの女性を対象に、被験者宅の廊下に手すりセンサを取り付け、1年間の連続データ取得に成功した。位置推定機能を用いて被験者の移動速度を求められることを確認した。歩行速度の低下に関して、高齢者の歩行速度は加齢と共に低下することが知られており、歩行速度の低下に伴い歩幅、歩行率といった歩行パターンや下肢の筋力の低下もみられることが知られている。このことからニーズの高い在宅という生活空間においても、低コストで、タイムリーに高齢者の健康状態（このケースでは歩行状態）やそれに関連するリスク（このケースでは転倒リスク）を把握するサービスの実現可能性が確認された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】リスクアセスメント、子どもの傷害予防、オープンデータ

【研究題目】計算論的代数幾何学によるデータ駆動科学の発展

【研究代表者】永田 賢二（人工知能研究センター）

【研究担当者】永田 賢二（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、代数幾何学を利用して、特異モデルにおけるベイズ推定のアルゴリズム開発を行い、さらに、そのアルゴリズムの結果として得られるサンプリングを利用した代数多様体の系統的構造抽出法の開発を行う。まず、ベイズ比熱と呼ばれる量を導入することで、ベイズ推定における推定の成否を判断できる可能性があること

を発見した。この有効性を検証するために、スペクトル分解の問題においてデータに重畳されるノイズの大きさを変化させたときのベイズ比熱の変化を追跡し、推定の成否の前後でベイズ比熱が発散することを確認した。その基礎的成果として、スペクトル分解においてピーク個数とノイズレベルの同時推定を行う枠組みを提案し、論文採択に至った。また、ベイズ推定で利用していたアルゴリズムであるレプリカ交換モンテカルロ法を利用することで、代数幾何学において重要とされる対数的閾値をブローアップなしで計算機により求めるアルゴリズムを開発し実装に上半期で成功した。その推定精度向上のためにマルチヒストグラム法を開発中であり、検証実験として、スピンモデルからの有効モデル抽出の問題に適用した。この成果が論文採択まで至っている。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】データ駆動科学、計算論的代数幾何学、ベイズ推定、交換モンテカルロ法、対数的閾値

【研究題目】安全・安心・満足に資する高齢者支援技術 —高齢者と介護関係者をつなぐデジタル・ヒューマンネットワークの構築

【研究代表者】渡辺 健太郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】渡辺 健太郎、三輪 洋靖、西村 拓一、福田 賢一郎（常勤職員4名）

【研究内容】

本研究は高齢者支援・介護支援技術の統合的な開発・適用・評価手法を提案することを目的とする。本目的の実現に向けた本年度の計画は、特に日本側の技術を、両国の高齢者支援・介護支援に対して試験的に適用し、その適用性や要件・使い方の違いの分析を行うことであった。また、フィンランドの高齢者やその家族、並びにサービス現場の従業員に関する意識調査、及び介護サービスの業務調査を行い、日本・フィンランド両国間の高齢者支援サービスの特徴をより明らかにすることであった。

まず、フィンランドにおいて、産総研で開発された介護情報共有支援システム2種類の試用をワークショップ形式で行ったところ、特に写真や動画を用いた情報共有の可能性について、日本と共通の期待が見られた。また、日本の介護機器事業者とフィンランドの自治体、介護・医療関係者と連携し、リハビリ支援機器の活用に関するワークショップを行った。日本においては介護業務分析のための行動センシング技術の評価を実施した。

次に、フィンランドにおける、介護を必要としない高齢者層に対する意識調査の結果から、期待する介護のあり方や技術に対する受容性の違いが明らかになった。また、フィンランドの介護施設における介護士の業務計測を実施し、日本との比較を行った。加えて、フィンランドの施設介護サービス経営者、自治体に対するインタビュー調査を実施し、介護支援機器の導入にあたっての課

題・重点領域の分析を行った。次年度、さらに追加調査を行う予定である。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕介護、高齢者支援、サービスシステム、支援技術、比較研究

〔研究題目〕ナノ秒ジュールパルスを活用する材料表面加工技術の開発

〔研究代表者〕新納 弘之（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕新納 弘之（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ナノ秒パルスを活用する材料表面加工技術における基礎検討の FS 研究の実施として、前半期では、産総研が保有する小型モデル光源を使い、照射実験ならびに試料表面分析の実験検討を行った。産総研が保有する分析評価機器（X線 CT 装置、表面元素分布マッピング装置、高速度カメラなど）を活用することで、レーザー照射時の加工現象の詳細な把握を行った。これらの検討結果から、産総研で保有する分析機器の評価手法を確定できた。しかし、産総研が保有する小型モデル光源（CW 発振ファイバーレーザー光源）では、十分な特性発現が現れなかった。

後半期では、ImPACT プロジェクトでの1J/パルス開発機のモデルとなる大出力パルス・レーザー装置を用いて、産業実用化に向けた具体的な技術開発課題を明確化できた。また、明確化された課題の内、重要度の高い課題に対する解決策方針を確定することができた。本実施においては、企業からの研究協力機関との連携を密に行い、真に我が国ものづくり産業が求めているレーザー応用技術に確度を高めることができた。また、関連する技術分野の研究開発動向調査ならびに特許調査を通期で適宜継続的に実施した。以上の結果から、次段階の「超小型高出力パルスレーザーの応用システム化・実証公募」への応募の道筋を明確化できた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕レーザー精密加工技術

〔研究題目〕スライド型ナノアクチュエータの開発に向けた基盤技術の確立

〔研究代表者〕武仲 能子（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕武仲 能子、関口 ちか子

（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

近年、ロボットの小型化が進むにつれ、その動力機関であるアクチュエータの小型化が求められている。これまでのアクチュエータの主流である電動モーターでは、設計の複雑さや放熱の問題などから更なる小型化が困難になっており、全く異なるメカニズムで駆動する小型アクチュエータの開発が期待されている。このような流れの中で、最近、ソフトマテリアルを用いたアクチュエー

タが注目されている。ソフトマテリアルとは、液晶・高分子・コロイド・ゲルなどの“やわらかい物質”の総称である。ソフトマテリアルを用いたアクチュエータの多くは、光、電場、磁場などの外部刺激に対して、複雑な回路や設計なしに、自発的に形を変え、変位や力を発生する。そこで本研究では、液晶に着目し、スライド型ナノアクチュエータの開発を行っている。昨年度までに得られた知見として、液晶の相転移に伴う体積変化を用いることで、液晶内に分散している微小物体を μm ～数十 μm 程度移送できることが分かっている。この運動は、液晶に光照射をすることで、非接触に引き起こすことができる。本年度はこの運動をさらに展開するため、運動に異方性を持たせることを検討した。液晶媒体そのものや、運動させる微小物体に異方性を付与し、運動の様子を解析した。微小物体に異方性を付与方法として、ナノ粒子を片面に付着させてヤヌス粒子状にする方法がある。このとき用いるナノ粒子の光相互作用によって、液晶内で微小物体が数 μm 移送されることを明らかにし、異方的な運動を取り出すための有力な知見を得た。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕人工筋肉、アクチュエータ、液晶

〔研究題目〕バイオマスプラスチックを使いこなすための高機能バイオ界面活性剤の開発

〔研究代表者〕羽部 浩（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕羽部 浩、森田 友岳、福岡 徳馬、

雑賀 あずさ、河本 翔平

（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、バイオマス由来ポリマーの更なる高機能化を支えるバイオベース添加剤として、微生物が産生する「バイオ界面活性剤（BS）」に着目し、BSの新たな生産および利用技術の開発を行う。具体的には、「BSをバイオマスプラスチック添加剤として利用する技術」および「賦存量の多い木質系バイオマスからBSを量産する技術」を創出することにより、既存のバイオマスプラスチックや、今後世に出される新規バイオマス由来ポリマーをより使いこなす材料高度化技術の革新をもたらすことで、機能性バイオ素材の利用拡大、低炭素社会の実現に貢献する。

一般にBSの中でも生産量が高いことが知られる「糖型BS」をターゲットとして、プラスチックへの添加を想定した各種物性の評価を行った。まず、今回対象とする数種類の糖型BSの熱安定性を評価し、樹脂への熔融混練に適する温度域を定めるとともに、熱安定性データを知財情報として登録（ノウハウ指定）した。また、ポリ乳酸との混合により、糖型BSが独自の表面改質効果を有することを確認した。

また、植物油脂等からBSを量産する微生物として実績のある数種類の菌株について、木質系バイオマスの糖

化液を培地に用いて培養を行った結果、一部の微生物で糖化液からBSを生産できる可能性を見出した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕バイオマスプラスチック、バイオ界面活性剤、機能的添加剤、表面改質、分散剤

〔研究題目〕生物多様性保全のためのパーム油産業によるグリーン経済の推進プロジェクト
国際科学技術共同研究推進事業 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム

〔研究代表者〕藤本 真司（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕藤本 真司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ボルネオ島にはパームオイル工場が多数存在するが、いずれもエネルギー効率は悪く、大量の廃棄物が環境中に排出され、生物多様性の保全に悪影響を及ぼしている。そこで九州工業大学が代表となり、九州大学、産総研と、マレーシアプトラ大学、サバ大学が連携して、パーム産業から発生する廃棄物を有効利用する技術を開発するとともに、パームオイル工場のエネルギー効率を改善することによって、グリーン産業の創出と環境保全を目指した研究を進めている。

共同研究先であるマレーシアプトラ大学と共同で、パームオイル残渣として産業利用の可能性のある Empty Fruit Bunch (OPEFB)、メソカーブファイバー(OPMF)からのアセトイン、セルロースナノファイバーといった有用品製造について検討した。

アセトイン生産大腸菌を用いて、培養温度・pH、空気供給量、攪拌速度がアセトイン生産におよぼす影響を検討し、最適培養条件を決定した。50時間の培養で、グルコースを主成分とする合成培地から、30 g/L程度、OPMFから調製した糖化液から13 g/L程度のアセトインの生産をそれぞれ確認した。

さらに、OPEFBとOPMF由来のセルロースナノファイバーによるゴムの補強を検討したところ、いずれのナノファイバーで補強したゴム複合体も伸び率300%時の引張強度が未補強のゴムに対して2倍以上となった。その補強性はOPEFB由来のナノファイバーの方が高く、破断時の引張応力も約1.25倍向上した。また、ナノファイバー製造の効率化に効果を示した水熱処理が、ゴムの補強に与える影響を確認したところ、OPEFBでは水熱処理の有無による補強性の変化はほとんど無かったが、MF由来のナノファイバーは水熱処理を行うことでOPEFBと同等の高い補強性を示すことを確認した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕パームバイオマス、分解、糖化、発酵、ナノファイバー

〔研究題目〕有機ハイドライド向け実用型炭素膜の開発と膜分離システム設計

〔研究代表者〕吉宗 美紀（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕吉宗 美紀、原 伸生、根岸 秀之、山木 雄大、穂吉 紀子、荒井 陽子、原谷 賢治（常勤職員4名、他3名）

〔研究内容〕

本研究では、メチルシクロヘキサントルエン系有機ハイドライドを用いた水素ステーション用脱水素システム技術の実用化を目的とする。脱水素システムを構成する低コスト水素精製技術の開発に関連して、新規水素分離膜としての実用型炭素膜の開発と要求仕様を達成する効率的な水素精製が可能となる膜分離システムの設計を担当した。

実用型炭素膜の開発では、昨年度に開発した高性能炭素膜を用いて、高い透過速度を維持しつつ、必要な水素選択性を見極めを行うために、透過特性の異なる3種の炭素膜のミニモジュールを用いて水素/トルエン混合ガス分離の長期試験を行った。その結果、水素/メタン選択性2000の炭素膜で、目標値以上の水素透過速度および精製水素中炭化水素濃度2 ppm以下(C1換算)の分離性能を2000時間にわたって安定に維持できることを明らかにした。

膜分離システム設計では、メチルシクロヘキサンの脱水素反応後の気液分離工程を経た水素/トルエン混合ガスから炭素膜を用いて分離し、水素を精製するシステムについて、昨年度検討したマルチモジュールシステムを基に水素精製量50 Nm³/hの膜分離システムの設計計算を行った。その結果、現行の分離技術である吸着法による水素精製装置より装置のコンパクト化が可能であるという見通しを得た。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕水素、有機ハイドライド、炭素膜

〔研究題目〕ナノ細孔を有する多孔質材料の機能化

〔研究代表者〕遠藤 明（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕遠藤 明、片岡 祥、上村 佳大、下村 真理江、佐藤 理恵（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

ナノ細孔に閉じ込められた物質の相状態や吸着・移動特性の基礎メカニズムを検討・解明し、得られた知見を応用技術へ展開することを目的とする。特に、産総研ではナノ細孔を有する多孔質材料の機能化、およびナノ細孔における物質の吸着・移動現象の解析と制御に取り組み、高機能湿度制御材料・システムの創成を目指す。

昨年度に引き続き、細孔径が等しく細孔長さの異なるメソポーラスシリカを合成し、その水蒸気吸着に関する平衡データの取得を継続するとともに、東京大学と共同で速度データの検討とデシカントユニットの概念設計を行った。また、吸着剤としてメソポーラスシリカ以外の応用的な素材や基材を含めたナノ多孔質吸着材（ゼオラ

イト、シリカ、MOF 等) についての構造評価、水蒸気平衡吸着量評価を進め、省エネ型のデシカントユニット設計に必要な各種パラメータを取得した。

各種検討の結果、ナノ細孔内部の凝縮水の移動速度は、同一の細孔でも、凝縮水の量が増えるほど速くなる特性をもつことがわかり、透過型デシカントユニットは極めて高湿度環境のときしか有効ではないことがわかった。透過型の除湿ユニットについては、吸湿材を基材としたものだけではなく、分離膜など様々な材料を検討した。通常の多孔質吸着材を用いた除湿ユニットについては、静止型でバッチ式運転を基本とした除湿ユニットの設計を行った。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノ多孔質材料、吸着、除湿

〔研究 題 目〕 戦略的創造研究推進事業（さきがけ）
「木質バイオマスの全炭素成分有効利用
を目指した触媒化学変換技術の開拓」

〔研究代表者〕 山口 有朋（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 山口 有朋、村上 由香

（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内 容〕

二酸化炭素排出量削減や、化石燃料資源の枯渇・価格の乱高下に対応する脱化石燃料社会の実現のために、再生可能資源から有用物質の製造が世界的に求められている。特にバイオマスは炭素資源であり、現在石油から作られているプラスチックの代替化学品を製造可能なことからバイオマスの利活用技術の開発が求められている。

本研究では、木質系バイオマスを反応物として利用し、セルロース・ヘミセルロース・リグニンのすべての炭素成分からそれぞれプラスチックや医薬品の原料を製造する触媒化学変換技術を開発した。成分を分離する前処理過程を省き、木質バイオマスを反応物として反応温度を逐次的に変えて化学変換を行い、すべての炭素成分を有用物質に変換する手法を明らかにした。本研究により開発される技術により、木質バイオマスの全炭素成分をプラスチック原料へと変換可能になり、二酸化炭素資源化に貢献可能である。

具体的には、担持金属触媒を利用し、木質バイオマスに含まれるセルロース・ヘミセルロースを糖アルコールに変換し、固体残渣として残るリグニンと担持金属触媒をさらに高い温度で処理することにより、リグニンを芳香族化合物に変換することに成功した。担持金属触媒は、固体として回収・再利用可能であることが分かった。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 木質バイオマス利用、担持金属触媒、高温水反応場

〔研究 題 目〕 戦略的創造研究推進事業（CREST）
「ギ酸脱水素化触媒による高圧水素供給

プロセスの構築」

〔研究代表者〕 川波 肇（化学プロセス研究部門）

〔研究担当者〕 川波 肇、井口 昌幸、鍾 恒

（常勤職員1名、他2名）

〔研究 内 容〕

本研究では、再生可能エネルギーを安定的・効率的に利用する水素エネルギー社会の実現に向け、安価・大規模な化学系水素貯蔵材料としてギ酸を用いて、優れた特性を持つ水素供給システムの基礎的・基盤的な技術開発を行った。即ち、均一系遷移金属錯体触媒を用いて、水中で高効率・高選択的なギ酸の脱水素化反応による水素供給システムの開発を行った。具体的には、水中100℃以下の温和な条件下、高性能・高エネルギー効率で、ギ酸から一酸化炭素を含まない“高圧・高品質水素”の連続供給を可能とする技術開発を目標として検討を行った。特に、この技術を実現すべく、“独自開発の触媒技術”と“世界屈指の高圧技術”をもつ産総研内のグループ同士とでタッグを組み研究を行った。

まず、平成28年度は、平成27年度に発見した高圧水素発生挙動から、連続水素発生システムの構築を行った。そのシステムを用いて40 MPa以上の高圧条件下において触媒の反応挙動について検討を行ったところ、20時間以上の運転でガス発生速度の低下が見られたが、劣化機構を詳細に調べることで耐高圧性を有する触媒の開発に成功し、速度の低下を抑えることに成功した。特に開発した触媒は、常圧では110日以上耐久性を有し、TONは500万回を達成し、発見当時は世界最高を記録した。更に、連続高圧発生システムにも適応し、従来触媒と比較してTOFが1.2倍に向上した。また本技術に興味を持ったKAUSTのHuang博士との国際共同研究も開始した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 二酸化炭素、水素、ギ酸、触媒

〔研究 題 目〕 再生医療を支援する高機能培養液添加剤の開発

〔研究代表者〕 大矢根 綾子（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕 大矢根 綾子、中村 真紀、荒木 裕子

（常勤職員2名、他1名）

〔研究 内 容〕

繊維芽細胞増殖因子-2は多能性幹細胞（iPS細胞、ES細胞など）の未分化維持培養に必須の培養液添加剤である。ただし、サイトカインである繊維芽細胞増殖因子-2が、培養液中で短時間内に分解することが課題となっていた。本研究では、リン酸カルシウム過飽和溶液法を活用し、繊維芽細胞増殖因子-2を培養液中で一定期間、一定濃度で徐放する培養液添加剤の開発を目指した。

リン酸カルシウム過飽和溶液法を用いて、繊維芽細胞増殖因子-2を担持した複合材料を合成した。リン酸カ

ルシウム過飽和溶液のイオン濃度・温度などの処理条件を変更し、得られた複合材料の表面形態と化学組成を走査電子顕微鏡、エネルギー分散型 X 線分析などにより評価した。また、得られた複合材料を、血清を含まない細胞培養液中に浸漬し、1、2、3日後の培養液中の繊維芽細胞増殖因子-2の濃度を ELISA により測定した。以上により得られた結果に基づき、複合材料からの繊維芽細胞増殖因子-2の徐放性能が目標値を上回るように処理条件を最適化した。その結果、先行海外製品（繊維芽細胞増殖因子-2を内包した生分解性高分子ビーズ）と同等以上の繊維芽細胞増殖因子-2徐放性能を有し、かつ使い勝手、安全性、ならびに低コスト性で勝る培養液添加剤を得ることができた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】リン酸カルシウム、培養液、添加剤、再生医療、幹細胞、線維芽細胞増殖因子-2

【研究 題 目】高移動度超薄膜材料の創出と化学ポテンシャル制御

【研究代表者】片浦 弘道（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】片浦 弘道、平野 篤、久保田 真理子（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

IOT 技術の進展により、生活空間内に多くのセンサーやタグが配置され、それらからの信号を受信し、活用する技術開発が進められている。しかし、それら多数の IOT センサー機器を駆動する電源確保が大きな課題になっている。CREST 事業では、これらの問題を解決するため、環境に存在する廃熱等の微小エネルギーを効率良く取り出す事により、IOT 機器の電源として活用する技術開発を行っている。本研究課題では、原子レベルで薄く高移動度な導電性超薄膜の表面で電解液流体を流す事により、電気エネルギーを取り出すという全く新奇のフレキシブルな電解液流体発電デバイス開発を行っている。産総研が担当する課題は高移動度の導電性薄膜の創製と、そのキャリア制御である。

本年度は、単層カーボンナノチューブを基板上に一層だけ並べて高密度膜を作製する技術開発を行った。細線状のナノチューブから高密度単層膜を作製するには、ナノチューブを一方向に配向させる必要がある。ナノチューブがいろいろな方向を向いていると、重なり会ってしまうためである。ナノチューブを配向させる手法は多数あるが、本研究課題では、シンプルな濾過法を用いる事にした。高電子移動度の膜を作製するため、高純度金属型のカーボンナノチューブを分離精製し、それをポリカーボネート薄膜に小さな穴を開けた特殊なフィルターでゆっくり濾過する事により、ナノチューブが1層だけ並んだ膜の作製を行った。ナノチューブの局所的な配向はほぼ成功し、伝導度の高い膜の作製に成功したが、全体的な膜厚の均一性に問題が残った。今後特殊な除震装置

を導入し、床からの振動除去を行う。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】環境発電、超薄膜、カーボンナノチューブ

【研究 題 目】新規メタン酸化反応用触媒の精密構造解析

【研究代表者】阪東 恭子（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】阪東 恭子、久保 利隆、小平 哲也（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本プロジェクトは2017年10月より開始し、5年半の研究期間で、メタンの高効率な選択酸化反応の実現を目指すものである。特に、酸化剤として酸素分子を用いて、酸素分子を構成する酸素原子を2原子共に有効利用するという、全く新しいコンセプトもとづく新規触媒と触媒反応システムの構築を目指す。本研究は、東大・北九州市立大との共同研究として立案され、産総研は新規に合成された触媒の構造解析、反応条件下での活性サイトの構造解析、触媒反応機構解析を行う。本年度は、活性は触媒サイトに関する詳細な情報を抽出することが可能であると報告されている、変調分光法に関して、その利用のための情報収集を行った。特に、本手法を開発したスペイン ICIQ の浦川グループの ESRF での実験に参加させてもらい、実際の系でどのように適用できるのか調査した。実際には、印可する電圧に変調をかけた電気デバイス XRD 測定に、変調分光法を適用した系検討した。観察対象がサブミクロンサイズの微小結晶であり、その回折線の強度変化の電圧の変調に対応する成分の抽出を試みた。その結果、窓材からの散乱による主ピークに対して、1/1000程度である回折ピークの強度変化を簡便に抽出することが出来た。これらのことから、変調分光法が本研究で開発を進めるメタン選択酸化反応用触媒の解析にも有用であることが確認できた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】変調分光法、メタン選択酸化、触媒構造解析

【研究 題 目】低加速高性能電子顕微鏡を用いた単分子・単原子計測技術の開発と、物質現象・生命現象の観察実験への応用

【研究代表者】末永 和知（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】末永 和知（常勤職員5名、他3名）

【研究 内 容】

低加速高分解能電子顕微鏡を使用した応用実験と新たな観察・分析手法の模索に重点的に取り組むことにより、本研究課題において目標とする幅広い研究開発分野への低加速電顕の応用可能性を実証する。有機・生体分子やエネルギー関連材料、環境物質などの試料を対象として、分子・原子レベルの動的観察実験および電子分光実験を

実施するとともに、関連する実験手法の確立（試料作製法や支持材の開発、観察条件の最適化など）にも取り組む。さらに、熱や反応ガスなどを電子顕微鏡内に導入し、化学反応をトリガーするその場観察システムの構築を行う。とくにカーボンナノチューブ内で起こる化学反応の直接観察、単分子の構造解析、単原子レベルでの高感度電子分光など、各種測定手法を確立する。なお本課題による試作電子顕微鏡装置の完成までは、既存の電顕装置（先行プロジェクトによる低加速電顕試作機）を使用した予備実験や基礎データ取得を行う。また、低加速観察法・電子分光法に関する理論的検討、試料ダメージや動的挙動のシミュレーションなどの重要課題も、実験と並行して実施する。

〔領 域 名〕材料・工学

〔キーワード〕電子顕微鏡、TEM、STEM

〔研究題目〕新規固体酸化物形共電解反応セルを用いた革新的エネルギーキャリア合成技術（キャリアファーム共電解技術）の開発

〔研究代表者〕藤代 芳伸

（材料・化学領域 研究戦略部 研究企画室（兼任）無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕藤代 芳伸、山口 十志明、申 ウソク、赤松 貴文、島田 寛之、嘉藤 徹、門馬 昭彦、田中 洋平、堀田 照久、山地 克彦、岸本 治夫、Katherine Develos Bagarinao、石山 智大、竹村 文男（常勤職員14名、他4名）

〔研究内容〕

水蒸気および二酸化炭素の高効率共電解セルの作製技術および電解性能評価技術の要素技術開発を目的とし、電解性能の向上および高精度分析手法の開発について研究を進めた。水蒸気および二酸化炭素の利用率を固定し、電解セルの温度依存性を調査したところ、運転温度600℃では1.36 Vで0.175 A/cm²（水蒸気・二酸化炭素利用率70%）、650℃では1.34 Vで0.3 A/cm²（利用率70%）を得ることができた。今年度はさらなる共電解性能の向上を目指し、広い反応場と高い電気伝導性を両立する酸化物電極構造として、Sr_{0.5}Sm_{0.5}CoO₃およびCe_{0.8}Sm_{0.2}O_{1.9}の粒子をナノレベルで均質化させたナノ複合構造を設計し、噴霧熱分解法による製造プロセスを利用して合成した。開発した酸化物ナノ複合化粒子を用いて電解セルで高温水蒸気での電解を行ったところ、電解電流密度2.3 A/cm²（750℃、電解電圧1.3 V）を達成した。また、ガス分析精度のさらなる向上を目指し、電解セル用シール材の性能改善を行い AgTi 系のシール材を用いて室温10 kPa の差圧条件下でリーク率を従来の1/2程度低減し、1.8 ml/min とすることができた。コインセルを用いた逆シフト反応に対する NEMCA 効果検証結果の速度論解析から、過電圧により影響を受ける

のは H₂や CO₂の吸着過程ではなく、Ni 触媒表面における表面反応過程であることが分かった。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕セラミック、共電解、水蒸気-CO₂、電気化学的触媒アシスト効果

〔研究題目〕カルノー効率の60%に達する廃熱回生熱音響システム／熱音響機関の音場制御とエネルギー変換の実測

〔研究代表者〕安井 久一（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕安井 久一（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

熱から音響への変換を行う熱音響エンジンのスタックを水蒸気で濡らすと、発振温度が下がることが知られている。古くは、「多聞院日記」の1568年に記述が有る“吉備津の釜”で知られている。しかし、そのメカニズムはよく分かっていない。そこで、スタック内の気体粒子の運動に注目し、気体粒子の運動を追尾するラグランジュ描像に基づく数値シミュレーションの理論モデルを構築し、それに非平衡な水の蒸発、凝縮の効果を取り入れて数値シミュレーションを行った。本モデルの特徴は、ラグランジュ描像において Rott の式を考慮した点である。いままでのラグランジュ描像モデルでは、Rott の式は考慮されていなかった。その結果、ほとんどの条件において、水の蒸発、凝縮によって、気体粒子の膨張、収縮が増幅されて、気体粒子が外部にする pV 仕事が増加することが分かった。これが、濡れたスタックで発振温度が下がる理由と関係していると考えられる。ただし、定在波型熱音響エンジンでは、気体粒子の膨張、収縮と、水の蒸発、凝縮の位相関係がずれて、かえって pV 仕事が増加する場合もあった。また、メカニズムの詳細は今後の課題だが、スタック内で気体粒子の平均位置が少しずつ移動することも分かった。これは、音響流の発生を意味している。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕熱音響、廃熱利用、水蒸気

〔研究題目〕リチウム空気二次電池の基盤技術開発／セラミックスセパレータ技術の開発

〔研究代表者〕藤代 芳伸（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕藤代 芳伸、濱本 孝一、山口 十志明、山口 祐貴（常勤職員4名）

〔研究内容〕

酸化物型バルク全固体電池の実現に際して、電極／固体電解質の界面における低抵抗化と界面面積の増大を実現するための部素材および製造技術の確立が重要な課題となっている。これまでに高リチウムイオン伝導性を有するリチウム空気電池用のセラミック固体電解質の製造プロセス技術に関する研究を行い、従来よりも低温で焼結が可能な LTAP 系電解質基板の製造プロセス技術を

有している。この技術を応用し、従来よりも更に低温での電極/固体電解質の界面形成が可能な酸化物系全固体電池用の固体電解質および電極部材の検討を行い、650℃以下での焼結が可能な酸化物系固体電解質および電極の合成技術を確立し、良好な電極/固体電解質界面形成の実現を目的とした。昨年に引き続き、今年度は、既に開発している高いリチウムイオン伝導性を有するLTAP ($\text{Li}_{1+x+y}\text{Ti}_{2-x}\text{Al}_x\text{Si}_y\text{P}_{3-y}\text{O}_{12}$) 固体電解質セラミックスシートについて、高い機械強度と高いイオン伝導性を両立するための添加剤の最適化についての検討を行った。その結果、より低い温度で焼結可能な電解質の材料を開発した。更に、電極/電解質界面の良好な形成を目的として、局所加熱を利用した高速焼結技術の検討を行った。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】次世代蓄電池、セラミックス電解質、電気化学、エネルギー部材製造技術

【研究 題目】耐熱性 γ -アルミナを用いた高性能 Ni 触媒の開発応用

【研究代表者】尾崎 利彦（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】尾崎 利彦（常勤職員1名）

【研究 内容】

近年開発・改良されてきた燃料電池自動車や家庭用燃料電池システムでは、水素を製造する触媒としてルテニウムが使用されているが、その産出量は極めて少ない。ルテニウム触媒は低 S/C 比で改質オペレーションが可能で、また反応中の炭素析出も少ないなど、優れた触媒性能を有する。このため将来の水素社会に向けての大量使用が予想され、その使用量削減を目指した技術開発は重要である。本研究開発では、低コストな高性能ニッケル触媒を開発し、貴金属の少使用化に資するとともに、水素製造コストを低減することを目的とした。

ニッケル触媒は従来、硝酸ニッケルなどのニッケル化合物の水溶液にアルミナなどの耐熱性担体を含浸し、乾燥、焼成、還元等を経て作製される。安価かつ迅速な作製方法であるが、担体上にニッケルが凝集するなどの欠点があり、改良が求められていた。本研究では、化学修飾技術を駆使してニッケル触媒の分散性を改善した。本開発触媒を用いることにより、炭化水素の改質活性を向上させ、かつ改質中の炭素析出を抑制させることができた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】改質触媒、白金族低減、アルミナ

【研究 題目】ナノブロック高次秩序化による配向性ナノ構造体の開発と表面ドーピングによる高機能化

【研究代表者】増田 佳丈（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】増田 佳丈、伊豆 典哉
（常勤職員2名）

【研究 内容】

基盤ナノ構造体として、酸化スズナノシート集積型ナノ構造体と薄層フィルムの複合材料の開発を行った。また、フィルムの薄層化、フィルムの加工処理、事前処理を検討し、ナノ構造体と薄層フィルムの複合材料について、BET 表面積を測定できる評価系を構築した。具体的には、センサ等へ向けた基盤ナノ構造体の開発として、金属フィルム上への ZnO ナノ構造体の開発、ポリマーフィルム上への SnO₂ ナノ構造体の開発等を実施した。ナノ構造の形態やシートサイズ、シート膜厚等の異なる SnO₂ シート構造体等を開発することができた。対象ガス等に合わせられるように、最適なナノ構造体を選択できる材料群を得ることができた。酸化スズナノシート集積型ナノ構造体とポリマーフィルムとの複合材料については、試料の固定治具の改良等を実施し、フィルムの薄層化を行った。これにより、フィルム表面のナノ構造体について、BET 比表面積の測定が行える評価系を構築することができた。また、ガス吸着測定に適した事前処理を施す条件を整えた。これらにより、高表面積ナノ構造体の開発に向けて、特に高い表面積が期待できる構造体として、薄層フィルムへの酸化スズナノシート集積型ナノ構造体等の開発を行い、かつ、BET 比表面積の測定を行える評価系を構築することができた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノ構造体、ナノブロック、表面ドーピング

【研究 題目】単結晶ナノキューブの自己組織化を利用した新成形技術の開発

【研究代表者】三村 憲一（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】三村 憲一、加藤 一実、安井 久一
劉 崢（常勤職員4名）

【研究 内容】

本研究開発では、革新的誘電性能を示すチタン酸バリウム単結晶ナノキューブについて、溶媒蒸発時にナノキューブ間に働く毛管力の制御や自己組織化挙動の最適化により、塗布、印刷、シート成形技術等への適用を検討し、大面積かつ高規則配列の三次元ナノ構造体を形成することを目的としている。それぞれの成形手法に適した分散媒の選択は重要な課題である。本年度は、これまでに得られたチタン酸バリウムナノキューブ (BT NC) の非極性溶媒への高分散性に加え、極性溶媒への均一分散化技術の検討を行った。まず、水溶性チタン錯体とオレイン酸を用いて水熱合成した BT NC を非極性溶媒であるトルエンに均一分散させた。その後、さらに界面活性剤オレイン酸を追加し、ホモジナイザーを用いた超音波処理を行うことにより白色沈殿を得た。遠心分離により沈殿を回収し、極性溶媒である水またはエタノールを加え、超音波処理すると均一な分散液になることが確認できた。極性溶媒への親和性向上の要因を解明するため、

極性溶媒分散前の沈殿粉末を乾燥させ、FT-IR 測定および TG 測定を行った。FT-IR 測定から、オレイン酸追加添加後の粉末において C=O 伸縮振動由来の1696 cm^{-1} 近傍の吸収ピーク強度が増加することが確認され、オレイン酸の COOH 基の吸着量の増加が示唆された。さらに TG 測定結果から、オレイン酸追加添加粉末を追加添加しない粉末と比較すると、重量減少が約2倍となり、これらの結果から、オレイン酸の二重構造がナノキューブ表面に形成し、極性溶媒への親和性の高い COOH 基が外側に向いた構造になっているため、極性溶媒への均一分散が可能となったと考察した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノクリスタル、自己組織化、界面制御

【研究 題 目】レイヤード結晶シェルによる“単一結晶面粒子”の創製とその超精密機能化

【研究代表者】永田 夫久江（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】永田 夫久江、宮島 達也（構造材料研究部門）（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、1つの結晶面しか持たない“単一結晶面粒子”を創製し、革新的なセラミックス機能制御プロセスを開発することを目的としている。従来の概念では、セラミック粒子には複数の結晶面が存在する。これに対し本研究では、有機・セラミックスの共創により“単一結晶面粒子”の合成を試みる。結晶面は機能と直結するため、究極の単一機能を有する粒子が得られ、その3次元構造化により超精密機能化を実現するという革新的なプロセスの確立を目指す。平成28年度は、高分子を核（コア）とし、セラミックスを殻（シェル）とするコアシェル粒子を用いて“単一結晶面粒子”を合成した。生物が貝殻など硬組織を形成する時と同様に、無機有機界面での相互作用を利用する手法で3次元複合構造を形成したものであり、界面活性剤を用いずに常温常圧でナノ粒子を合成することにもこだわった手法で実現した。シェルのセラミックスは0.34 nm を基本ユニットとして規則正しく結晶成長していることを TEM により確認した。合成の基盤技術として収量増大を目指し、1バッチあたりの収量を20倍に増大させることに成功した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】セラミックス、結晶面、有機無機複合体

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

【研究代表者】清水 洋（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】清水 洋、米谷 慎（フレキシブルデバイス研究センター）、シン ウン、宮元 彩乃（フレキシブルデバイス研究センター）、樋口 由美

（常勤職員2名、他3名）

【研究 内 容】

本研究では、低製造コスト、低設置コストによる発電単価の劇的な低下を目的として、特別な前後処理を一切必要としないワンステッププロセスにより、非真空ロールトゥロールで大面積が高速生産可能な変換効率20%超の低発電コスト有機太陽電池の実現を目指す。大阪大学と共同で研究を進める。そのために、(a) 溶媒に可溶で塗布するだけで安定して素子作製が可能であること、(b) 高効率化に適した素子構造が特殊な微細加工等を必要とせず実現可能であること、(c) 単一材料・単一層で広範囲な波長領域に感度を持つこと、(d) 光化学的、熱的に安定な材料であることを満たす材料の研究開発を、新たな概念として自己組織化性の強い液晶をベースとした有機半導体を利用することを基軸とした研究を行う。現在の面積・高精細液晶ディスプレイを実現させた液晶の卓越した性質を活用する。平成28年度（最終年度）は、高い光電変換効率を目指し、光吸収波長のより広い範囲をカバーしうる新たな概念を整理、本研究でこれまで開発してきた p 型の液晶性有機半導体で同骨格、異電子状態の関係にある幾つかの材料を液晶の特徴である混和性とナノサイズの相分離を活用した混合系の塗布型太陽電池材料としての特徴をまとめる。これまで成果から、液晶の混和性の利用によるナノスケールで制御された電荷輸送構造と電荷分離構造の形成が可能であることが実験的に示された。一方、同時に塗布型薄膜太陽電池としての性能向上には自発的に行う事ができる可能性について今後開発型検討を行うべき要素技術が明らかになった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】太陽電池、有機エレクトロニクス、液晶

【研究 題 目】アンモニア分解技術

【研究代表者】藤谷 忠博

（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】藤谷 忠博、中村 功、高橋 厚

（常勤職員3名、他2名）

【研究 内 容】

本研究では、550 °C以下の反応温度で効率よくアンモニアを分解できる触媒を開発するために、各種金属担持触媒のアンモニア分解触媒活性を調べ、高性能な触媒の開発を行う。NH₃分解触媒反応において反応速度論モデルをベースに熱移動および物質移動を考慮した二次元反応器モデルを構築し、吸熱反応の影響を最小限化するための反応器設計指針について検討した。その結果、流量10 m^3/hr では壁からの熱供給が追いつかず単独で処理可能な反応器を設計することは困難であることが判明した。さらなる検討から、処理量を1 m^3/hr と減らすことで適切な充填層高さを持って目的転化率に達することを示した。その結果、今回の想定目標では1本あたり1

m³/hr で多管（10本）にすることで実際のシステムへのスケールアップ可能であることを示した。

パイロットプラントで使用する触媒の大量合成に向けた触媒調製法の最適化と触媒の試作を行った。触媒の大量合成試作は、産総研で開発した触媒調製法に関する情報をクライアント触媒に提供し、試作作業を委託した。その結果、直径4.8 mm、厚さ4.8 mm のタブレット型に成型された触媒3 kg の調製品を得た。触媒性能試験の結果、研究室レベルの触媒活性は再現できなかったが、残存アンモニア濃度が2500 ppm 程度までアンモニアを分解できる触媒であることがわかった。ただし、反応温度を20 °C程度上昇すると、残存アンモニア濃度は1000 ppm 程度まで減少した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】エネルギーキャリア、アンモニア、分解触媒

【研究 題目】キャタリストインフォマティクスによる機能性化学品イノベーション

【研究代表者】浅川 真澄

（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】浅川 真澄（常勤職員1名）

【研究 内容】

本提案プロジェクトの中で構想する将来立案するプログラムは、大きな資源と長期を要することから、幅広い関係者（アカデミア並びに文部科学省、経済産業省、産業界など）による議論に基づき、理解していただいた上で関係者の協力を得ながら提案することが重要であり、本プロジェクトの活動の中でワークショップやシンポジウムなどの場を企画運営し、関係者を集めると共に議論の場を設定し、プログラムの必要性を理解してもらうことを目標とする。①北大－理研－産総研「触媒技術」＋「人工知能」連携並びに②FlowST コンソーシアム（東大－京大－産総研）「プロセス技術」連携それぞれにおいてシンポジウムを企画、開催した。①においては第2回北大－理研－産総研「触媒研究」合同シンポジウム（2016年10月31日）を開催し、142名の参加者を集めた。また、競争的資金の獲得に関しては、理研－産総研「チャレンジ研究」（共同研究）公募に応募し、課題「触媒探索システム「AiMAC²」の構築による空気・砂の資源化」が先導課題として採択された。②においては、第1回 FlowST シンポジウム（2016年12月5日）を開催し、170名の参加者を集めた。また、競争的資金の獲得に関しては、NEDO エネルギー・環境新技術先導プログラム公募の E1「大幅な省エネルギー及び CO₂削減を可能とするファインケミカルズ連続フロー合成プロセス技術」に応募し、課題「ファインケミカルズ製造のためのフロー精密合成の開発」で採択された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】プログラム立案、触媒開発、フロー合成、

人工知能との連携

【研究 題目】触媒の表面化学、構造解析と設計

【研究代表者】藤谷 忠博

（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】藤谷 忠博、中村 功（常勤職員2名）

【研究 内容】

ジメチルトリスルフィド（DMTS, CH₃SSSCH₃）は、水質汚濁の原因となる臭気硫黄化合物の一つであると共に、清酒の貯蔵により生じる劣化臭の主成分であることが知られており、現在、DMTS を取り除くための検討が行われている。最近、我々は、貴金属触媒がDMTS の除去に効果的であることを見いだした。しかし、貴金属表面上における DMTS の除去メカニズムについてはわかっていない。このメカニズムを明らかにすることは、より高性能な貴金属触媒を設計する上で重要な指針となる。そこで、本研究では、Ag(111)表面を用いて DMTS の吸着と分解特性を調べ、昨年度までに得られた Au(111)表面との反応性の違いについて検討を行った。

100～300 K での Ag(111)上での DMTS の吸着特性を調べた結果、DMTS は CH₃S 種と CH₃SS 種に解離吸着し、その解離吸着速度と飽和吸着量は、DMTS の露出温度に依存しないことが示された。この吸着特性は、Au(111)表面と同じであった。これに対して、100 K で DMTS の解離吸着により生成した CH₃S 種と CH₃SS 種の熱反応特性は、Au と Ag 表面では異なっていることが示された。すなわち、Au(111)表面上では、加熱により、CH₃SS 種の C-S 結合は切断されたが、CH₃S 種の C-S 結合の切断は起こらなかったのに対して、Ag(111)表面上では、CH₃SS 種と CH₃S 種のどちらの C-S 結合も切断された。したがって、Au と Ag 表面上での DMTS の分解において、CH₃S 種に対する C-S 結合切断の活性化に違いがあることが明らかとなった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】貴金属触媒、ジメチルトリスルフィド、吸着と分解

【研究 題目】微細加工施設及び陽電子施設を中心とした先端計測技術開発と拠点形成（戦略的イノベーション創造プログラム 革新的構造材料）

【研究代表者】大久保 雅隆（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】大久保 隆、李 志遠、王 慶華、浮辺 雅宏、神代 暁、藤井 剛、志岐 成友、Fons, Paul、大島 永康、鈴木 良一、O'Rourke, Brian、石橋 章司、原田 祥久、村上 敬、名越 貴志、井藤 浩志、寺崎 正、

Wenfeng, Mao、小泉 奈穂子
(常勤職員17名、他2名)

【研究内容】

【共通テーマ：先端計測拠点】 拠点グループ

第2回構造材料先端計測国際会議を開催し、国際連携を促進した。EU の複合材料研究開発拠点を調査し、エアバス社を頂点とする産学官のピラミッド体制の構造を明らかにした。構造材料開発のための国際先端計測ハブ拠点となることを目標である。

【個別テーマ：応力と亀裂】 モアレと応力発光グループ
レーザ走査顕微鏡像にサンプリングモアレ法を適用して、Ti64合金の引っ張り試験における変位分布測定を行い、き裂発生箇所の予知に成功し、材料開発者との共著論文を発表した。

応力発光法では、航空機用 CFRP 積層板について、内部に発生したき裂の発生場所と発生タイミングの検出に成功し、応用物理学学会ポスター賞を受賞した。海外から CFRP 接着構造材料の疲労破壊プロセス非破壊検査依頼が届くレベルに達した。

【個別テーマ：微量軽元素】 超伝導分光グループ

3元のチップ構造を有する超伝導トンネル接合軟 X 線検出器を開発し、耐熱合金中の微量軽元素からの特性 X 線と、母材元素の特性 X 線を重なりなく分離するのに必要なエネルギー分解能 (最高4.1 eV) を達成した。応用物理学学会超伝導分科会論文賞を受賞した。また、粒子励起 X 線放出 (PIXE) による軽元素2次元イメージングを実現するために、イオン加速器施設に超伝導分光器をインストールした。

【個別テーマ：空孔欠陥】 陽電子分光と疲労グループ

SUS316L モデル試料を使って、疲労寿命予測に使用すべき未活用情報の種類が、室温では陽電子寿命、550°Cの高温では局所方位差分布であることを明らかにした。今後、Ti 合金や CFRP 樹脂の疲労への拡張が期待される。

【領域名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 構造材料、先端計測、国際連携、モアレ、応力発光、超伝導、陽電子

【研究題目】 極薄強誘電体膜の形成と機能デバイスの開発

【研究代表者】 右田 真司 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 右田 真司、太田 裕之、黒澤 悦男
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

HfO₂系強誘電体の存在が2011年に初めて報告されて以来、この材料をメモリやトランジスタに応用して高性能 LSI の実現を目指す研究が世界中で盛んに行われている。本研究はこの強誘電体の材料物性の未解明部分の理解を深めることを通して、電流カットオフ性能に優れた

た新原理トランジスタの開発を目標としている。

強誘電体を特徴づける物性の一つである抗電界を系統的に調べたところ、HfO₂系は従来材料に比べて一桁ほど大きいことさらに膜厚依存性に特異な傾向が表れることを見出した。HfO₂系薄膜の結晶粒が数10ナノメートルと非常に小さいことと関連がある可能性も高く、構造と物性の関係を予測するための重要な知見を得ることができた。メモリ動作時の信頼性に関わる絶縁破壊強度が抱える課題も確認した。

強誘電体をトランジスタに応用するには分極ドメインの挙動を考慮する必要がある。この現象を取り入れた精緻なデバイスシミュレータを開発し、性能予測を行った。強誘電体内部の分極ドメインがチャンネルのポテンシャルの影響を受けやすいこと、トランジスタのドレインとの容量結合も性能に大きく関わることなど、デバイス設計を支援する新しい知見を得ることができた。強誘電体の自発分極量はトランジスタのチャンネルに蓄積される電荷量に比べて非常に大きく、このアンバランスの解消も重要課題である。これらを踏まえて、新原理トランジスタを最先端 LSI に組み込む際の設計指針も検討した。

【領域名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 薄膜、強誘電体、トランジスタ、メモリ

【研究題目】 カルコゲン超格子によるトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創製

【研究代表者】 富永 淳二 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 富永 淳二、中野 隆志、コロボフ アレクサンダー、フォンス ポール、齊藤 雄太、牧野 孝太郎、浅沼 周太郎、浅井 美博、宮崎 剛英、中村 恒夫、川畑 史郎、柏谷 聡、宮田 典幸、森田 行則、多田 哲也、内藤 裕一、飯田 仁志、木下 基、島田 洋蔵
(常勤職員19名、他7名)

【研究内容】

本研究では、GeTe/Sb₂Te₃カルコゲン超格子構造を中心に、カルコゲン化合物からのトポロジカル機能発現とマルチフェロイック機能デバイスの創成を目指す。

平成28年度では、GeTe と Sb₂Te₃薄膜によって構成される超格子構造の組み合わせ積層数、各層の単位膜厚を詳細に振った研究から、巨大磁気抵抗変化を発生させるメカニズムを解明した (論文投稿中)。理論計算から GeTe/Sb₂Te₃界面のラッシュバ効果により、フェロ配置でも熱緩和による再構成を考慮すると低抵抗状態が実現することを明らかにした (論文投稿中)。三端子超格子デバイスのゲート機能を担う GeTe/Sb₂Te₃超格子の抵抗

スイッチングについて、世界で初めてバイポーラス動作することを確認するとともに、低抵抗・高抵抗状態のコンダクタンス測定にも成功し、スイッチング特性と膜中電荷捕獲の関係を議論した。多機能走査プローブ顕微鏡システム（MSPM）を用いて、GeTe/Sb₂Te₃超格子膜における局所的な電気伝導度のスイッチングの測定を行った結果、電圧パルス印加により起こる状態変化は、探針からの電子的な励起により誘起されていることが分かった。トポロジカル絶縁体の光学応答理論を構築し、トポロジカル絶縁体、ワイル半金属、原子層材料に適用することで、トポロジー性に起因する異常光学応答の出現が予測できた。三端子超格子デバイスのゲート機能を担う GeTe/Sb₂Te₃超格子の抵抗スイッチングについて、世界で初めてバイポーラス動作することを確認するとともに、低抵抗・高抵抗状態のコンダクタンス測定にも成功し、スイッチング特性と膜中電荷捕獲の関係を議論した。プラズモニクスデバイスでは、超格子を用いた不揮発メモリと同様に電圧印加ができるサンプルデバイスの設計を進め作製に着手した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 カルコゲン化合物、超格子、トポロジカル絶縁体、マルチフェロイック素子、不揮発メモリ

【研究 題目】 テラヘルツ検知用半導体ナノ素材・素子の研究

【研究代表者】 前田 辰郎（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 前田 辰郎、高木 秀樹、倉島 優一、石井 裕之、久米 英司、服部 浩之、Wen-Hsin Chang（常勤職員3名、他4名）

【研究 内容】

テラヘルツ（10の12乗ヘルツ、THz と表記する）の周波数をもつ電磁波は、電波と光の中間的な性質を併せ持つため、これを感じて映像化する装置を実現できれば、例えば金属製所持品を、着衣等を透過して即座に識別できるようになるなど、安全・安心の社会の実現を大きく加速することができる。本研究開発は、テラヘルツ電磁波を超高感度で検知する受信器を開発し、それをひとつの半導体チップ内に縦横に配列した撮像素子（イメージセンサー）を実現することを目標とする。本年度は、開発中の半導体を検波素子に用いて1 THz の電磁波を検知できることを実証することを主目標に開発を進めた。

テラヘルツ波の入り口となるアンテナについては、前年度に開発した高感度平面アンテナをさらに発展させ、受信可能な周波数の幅を拡大した構造を考案した。検波素子は、アンテナで受信した電波の大きさに比例した電気信号を作り出す役割を果たし、イメージングデバイス

の心臓部に当たり、このアンテナ構造を検波素子とモノリシックに集積化する手法を開発した。THz 帯の検波には、移動度が高く、高利得特性を有する InGaAs 系 FET 構造を用いた2乗検波法を採用している。昨年度は高移動化を目的に表面チャネル構造である MOSFET から MOS-HEMT 構造に移行したが、今年度はさらなるチャネル構造とプロセスの最適化を進めた結果、代表的な半導体素子であるシリコン素子に比べ5倍以上の速度で電子が移動可能な半導体素子を、テラヘルツ電磁波の損失の少ないガラス基板上に作製する技術を新たに開発した。さらにこの素子を用いて試験検波器を作製して検証した結果、周波数が1 THz の電磁波を検知することに成功した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 テラヘルツ検知、化合物半導体、トランジスタ

【研究 題目】 長期保管メモリの材料設計および評価

【研究代表者】 内藤 泰久（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 内藤 泰久、秋永 広幸、島 久、柳 永勲、宮崎 剛英、西尾 憲吾、角谷 透（常勤職員5名、他1名）

【研究 内容】

デジタルデータを100年の長期にわたって保管する超高信頼メモリシステムを開発する。100年のデータ保管を保証できるように、データ解析手法、寿命予測の物理モデルの確立、メモリデバイスの不良メカニズムの解明、加速試験や劣化予知、エラー修復の手法等の開発を行う。メモリデバイスとして動作原理の異なる3つの候補（フラッシュメモリ、ReRAM、ナノピーボッドメモリ）を取り上げる。産総研ではそのうち、ReRAM、ナノギャップメモリについて、長期保管に適した材料探索、およびその評価を行う。その際、理論的な予測の元に、実証実験を行うなど、理論と実験が相互に連携した効率的な研究開発により、100年を超えた情報保持と集積化素子に適応できる長期保管メモリ素子を実現することを目的とする。

本年度は、ReRAM の書換回数制限による保管特性の顕著な改善を見出し、長期保管特化駆動により100年保管の実現が示唆される結果が得られた。また、材料設計の取り組みとして、不純物ドーブによる酸素拡散抑制効果の第一原理シミュレーションを行い、窒素ドーブにより高い酸素拡散抑制効果が得られることを明らかにした。さらに、このドーブ効果のデバイス実証のため、昨年度産総研内に構築した試作プラットフォームを用いて試作を行い、メモリ動作を確認した。次に、ナノギャップメモリのメカニズム解明のため、STM の金属探針—金属基板間をナノギャップと見立てて動作を確認し、電圧印加に伴う構造変化で抵抗変化が発生していることを

確認した。また、白金を用いたナノギャップ構造を用いて、メモリ動作および情報保持が600 °C超えても可能であることを見出した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 不揮発性メモリ、ストレージ、長期保存情報素子

【研究 題目】 超伝導集積化プロセス

【研究代表者】 日高 睦夫 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 日高 睦夫、永沢 秀一、前澤 正明、浮辺 雅宏、山森 弘毅、遠藤 和彦 (常勤職員6名)

【研究 内容】

目標および研究計画

超伝導量子ビットに用いる超伝導体として Nb を検討するために、成膜装置や基板の違いによる Nb 膜の臨界温度 T_c および室温と 10 K での残留抵抗比 RRR の測定を行う。また、東北大で開発され半導体加工で実績のある中性ビームエッチング法の量子ビット集積回路プロセスへの適用を検討するために、超伝導共振器を用いた通常の反応性イオンエッチングとの比較実験を計画している。

年度進捗状況

Nb 膜成膜では T_c は装置や基板によってそう大きな違いは見られなかったが、Nb 膜質を表していると考えられる RRR には大きな違いがみられた。特に m 面サファイア基板上に成膜した Nb 膜では高い RRR が得られた。来年度以降に Nb を材料とした超伝導共振器を作製するために参考となるデータが得られた。産総研に設置されている中性ビームエッチング装置を用いて Nb 系材料をエッチングするための準備を行うとともに、実験に用いる Nb 超伝導共振器の設計を行った。また、実験に用いる超伝導共振器の設計を行った。超伝導体として膜厚 50 nm の Nb が用いられる。Nb コプレーナー共振器の線幅は、10 μm 、20 μm 、30 μm 、50 μm の4種類であり、全長は全て 2915 μm である。共振周波数は 10 GHz に設計された。この共振器は RC 洗浄されたシリコン基板上にスパッタ成膜された Nb を用いて形成される。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 量子コンピュータ、ジョセフソン接合、超伝導集積回路プロセス、SFQ 回路、中性ビームエッチング

【研究 題目】 原子層ヘテロ構造完全制御成長と超低消費電力・3次元集積デバイスの創出

【研究代表者】 入沢 寿史 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 入沢 寿史、岡田 直也、森 貴洋、

服部 淳一、浅井 栄大、福田 浩一、遠藤 和彦、安藤 淳、小林 正治、森 伸也 (常勤職員8名、他2名)

【研究 内容】

近年、3次元固体とは異なる物質群として、二硫化モリブデンに代表される遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC) 等の様々な原子層物質が発見され、基礎・応用の両面から、非常に活発に研究が推進されている。本研究では、原子層物質の横方向接合部に生じる「1次元界面」を利用した超低消費電力・3次元積層デバイスの実現に向けた学理と技術を構築する事を目的としている。

具体的には、異なる原子層 TMDC を横方向に接合させた原子層ヘテロ構造に着目し、それを実現する気相成長技術の開発と1次元界面に関連する基礎物理の解明を行う。また、原子層ヘテロ接合の特性を最大限に引き出すデバイス構造と集積プロセスの探索を理論・実験の両面から進め、ヘテロ界面の1次元トンネル障壁を利用したトンネル電界効果トランジスタ等の試作と素子特性の検証を行う。最終的には、素子の面内集積および3次元集積化デバイスを作製し、既存材料を凌駕する特性と集積性の実証までを目標としている。

初年度である今年度は、工業展開を見据える上で必須であり、且つ、3次元集積化にも好適な低温成膜を可能とするガスソース気相成長装置の立ち上げを完了し、検討を開始した。また、シリコン微細加工技術により形成されたシリコン系加工基板を利用する事により、TMDC を基板上の所望の位置に位置制御して成膜する技術の検討にも着手した。今後、これら成膜技術を確立させていくと共に、デバイス化技術の開発を進め、従来材料では到達し得ないデバイス特性の実証を行っていく。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 原子層材料、遷移金属ダイカルコゲナイド、ヘテロ構造、3次元集積

【研究 題目】 遷移金属内包シリコンクラスターを用いた低消費電力トランジスタ材料・プロセスの創出

【研究代表者】 岡田 直也 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 岡田 直也 (常勤職員1名)

【研究 内容】

遷移金属原子 (M) を内包した Si クラスター (MSi_n) を単位構造に用いて、新しい半導体薄膜 (MSi_n 膜) が形成できる。この材料は、Si と金属の中間的な原子構造と物性を有していて、実際の LSI プロセスに適用可能で制御性の高い合成プロセスを創出することで、様々な実用展開が期待できる。本研究では、タングステン原子内包 WX_n ($X = \text{Si}, \text{Ge}$) クラスターを単位構造とする WX_n 膜 ($n \leq \sim 12$) の化学気相反応成膜法

を開発し、構造と物性を解明して、トランジスタ材料としての有用性を実証することを目的とした。具体的には、① W と X のガスソースの気相反応により、 WX_n 膜を成膜する手法を開発する。この成膜技術を利用することで、② WX_n 膜の構造や組成を原子レベルで制御して、既存の Si 材料科学ではなし得ない物性を追及する。さらに、 WX_n 膜はほとんど X 原子で構成されることから、Si や Ge と接合を形成した際に、界面準位を形成しないことが期待できる。この性質を利用して、③ 金属と半導体基板の接合界面に WX_n 膜を挿入することで、金属/半導体の接触抵抗を低減して Si や Ge のトランジスタを高性能化する技術を創出し、情報機器の低消費電力化および高速化に貢献する。

本年度は、上記③に関連して、様々な n 値の WSi_n 膜を Si 表面上に堆積し $W/WSi_n/Si$ の接合特性を調べた。堆積直後の WSi_n 膜がアモルファス構造であることを断面 TEM 像より確認し、電子エネルギー損失分光 (EELS) スペクトルより、 WSi_n 膜 ($n = \sim 12$) が W 電極と Si 基板の中間的な電子状態を有することを確認した。また、 WSi_n 膜 ($n = \sim 12$) を Si と W 電極の接触界面に挿入することで、フェルミレベルピンニングを緩和でき、W 電極の仕事関数に対応するエネルギー位置まで電子障壁高さを低減できることを明らかにした。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】シリサイド半導体、コンタクト、トランジスタ

【研究題目】微小ジョセフソン接合の開発と超伝導集積回路の高度化

【研究代表者】日高 睦夫 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一、原島 栄喜 (常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

目標および研究計画

臨界電流密度 10 kA/cm^2 以上、最小接合面積 $0.5 \text{ }\mu\text{m}^2$ を基本とする信頼性の高い集積回路作製プロセスを開発する。臨界電流密度、微細化の進展に対応した値にシート抵抗値を増加する。ただし、その制御性・再現性は現在の値である $\pm 10 \%$ 以内を保持する。これまでの研究開発を踏まえ、平成28年度は微細接合をニオブ9層の超伝導集積回路プロセスに取り込み、ルーチン的に試作に適用することによって信頼性、制御性の評価を行うとともに、SFQ 回路の低消費電力化を推進する。

年度進捗状況

ジョセフソン接合の臨界電流密度を従来比2倍の 20 kA/cm^2 に増加し、接合面積を従来比 $1/2$ の $0.5 \text{ }\mu\text{m}^2$ に縮小したプロセスにおいて、十分な臨界電流制御性と均一性が得られることを確認した。この高品質微小ジョセフソン接合集積回路プロセスを用いて SFQ プロセッサの

106 GHz 動作実証に成功した。また、Nb 9層の ADP 2 を用いて多数の試作を行う中で歩留まりの大幅な向上が確認された。これは SiO_2 成膜方法変更により成膜時のパーティクル数が減少したためであると考えられる。SFQ シフトレジスタ回路を用いた測定から、欠陥密度が $103,485$ 接合に1個との結果が得られ、Nb 9層プロセスを用いて10万接合級の SFQ 回路が作製可能であることを示すことができた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導エレクトロニクス、ジョセフソン接合、超伝導集積回路プロセス、SFQ 回路、マイクロプロセッサ

【研究題目】超伝導検出器を用いた分析電子顕微鏡の開発

【研究代表者】日高 睦夫 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一、神代 暁、平山 文紀、伊坂 美千代 (常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

目標および研究計画

STEM によるマッピング分析を実用的な時間で実行するために必要な X 線計数率を実現する素子数と有効面積 (高い開口効率) を持つ TES 型 X 線検出器素子を研究開発し、あわせて、その極低温初段アンプである SQUID 増幅器を集積化する。さらに、これらを組み合わせた多素子検出器超低温システムを評価する。これらは、宇宙航空研究開発機構 (JAXA)、九州大学 (九大)、日立ハイテクサイエンス (日立 HTS)、太陽日酸と協力して行う。また、STEM によるマッピング分析を実用的な時間で実行するために必要な X 線計数率を実現する素子数と有効面積 (高い開口効率) を持つ TES 型 X 線検出器素子とその極低温初段アンプである SQUID アンプを駆動させるための駆動回路評価を行う。また多素子の SQUID アンプから出力される信号を増幅させるための室温アンプ回路の設計を行う。これらは、日立 HTS、九大と協力して行う。

年度進捗状況

TES システムに搭載するための SQUID アンプを4ウエハ作製した。ウエハは3インチであり、1枚のウエハ上に約30個の SQUID アンプチップが作製される。臨界電流密度の目標は 1 kA/cm^2 であり、4枚のウエハとも目標値に対して $\pm 5 \%$ 以内の良好な特性が得られた。その他の特性も設計値近傍であり、良好な特性の SQUID アンプを供給することができた。また、TES と結合した複数画素の SQUID 中、著しく雑音が多く発振的な振舞を持つ画素が見出された点に関し、チップとチップキャリア間の熱収縮率の違いに起因する、TES-SQUID 間のフリップチップボンディング不良に基づく電熱帰還

の安定条件逸脱の可能性を提示し、標記不良が生じにくいサファイア製チップキャリアを試験した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導エレクトロニクス、ジョセフソン接合、SQUID、超伝導検出器、透過型電子顕微鏡

〔研究 題目〕 待機電力ゼロ型フォトニックルータに向けた集積チップ実装モジュールと制御システムの開発

〔研究代表者〕 池田 和浩（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 池田 和浩、河島 整、鈴木 恵治郎、谷澤 健（常勤職員4名）

〔研究 内容〕

異種材料集積による新規要素デバイスのシリコンチップ上への一体集積、システム実装・モジュール化を担う。そのために、産総研 SCR の300-mm プロセスを活用したシリコン受動光回路の開発およびその高性能化、異種材料の貼り合わせ工程に適合した構造の開発を行うことが第一の目的である。

平成28年度も引き続き、集積化のために必要な Si 光コンポーネントの開発を行った。本プロジェクトでは、半導体光増幅器のように主として TE モードに対して動作する素子や、磁気光学素子のように主として TM モードに対して動作する素子を混在して集積する必要がある。従来から使用してきた TM モードに加え、昨年度は、TE モードに対して動作する、最も基本的かつ重要なコンポーネントである方向性結合器の開発を行った。今年度は、これら2つの偏波モード素子を共存させるために必要な偏波変換素子の開発を行った。Si 導波路に上下方向の非対称性を持たせることで、直交モード間の結合を実現できる。Si 導波路上側のクラッドに Air または SiN を用いるもの、および Si 導波路をリブ型とする3種類の設計を行い、第一段階として比較的作製が容易な Air クラッド型を試作し、広い波長域にわたって偏波依存性2 dB 以下が得られた。本偏波変換素子を用いて、偏波ダイバーシティ8×8光スイッチを試作し、大規模光回路との集積化を実証したが、クラッドを除去する後工程が必要であるため、大規模回路に用いる場合には均一性に問題があることが分かった。今後は、後工程を必要とせず、高い均一性が期待できるリブ型偏波変換素子の開発を進める。また、産総研 SCR で試作した Si 光回路に、異種材料デバイスを集積する工程の課題抽出のための試作も進めた。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 シリコンフォトニクス、異種材料集積、大規模光回路

〔研究 題目〕 トポロジカル量子計算の基盤技術構築

〔研究代表者〕 柏谷 聡（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 柏谷 聡（電子光技術研究部門）、柏谷 裕美（計量標準総合センター 分析計測標準研究部門 放射線イメージング計測研究グループ）、青木 秀夫（電子光技術研究部門）、石川 豊史（電子光技術研究部門）、中川 久司（計量標準総合センター 物理計測標準研究部門 極限温度計測研究グループ）、津村 公平（電子光技術研究部門）、小柳 正男（電子光技術研究部門）（常勤職員 名、他 名）

〔研究 内容〕

電子（粒子）と正孔（反粒子）の性質を兼ね備えた全く新しい電子状態をもつマヨラナ粒子を使うことで、粒子同士の交換順序を決めるだけで論理計算の行える「トポロジカルな量子コンピュータ」が作れると予言されている。その実現に向けて、本研究では要素技術（マヨラナ粒子の生成法・検出法・操作法）の確立と革新的素材（最適トポロジカル超伝導体）の創製とに挑戦する。本年度は磁性元素をドーピングしたトポロジカル絶縁体上にジョセフソン接合を作成し、マヨラナ準粒子を超伝導体のエッジ部に発生させることを試みた。2つの超伝導体間でのジョセフソン電流の存在は確認できたが、4 π 周期のジョセフソン電流を観測するには至っていない。理論的には Fe-doped TI/SC 間にはエロエエネルギーを有する束縛状態が存在することを確認した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 トポロジカル量子現象、マヨラナフェルミオン、トポロジカル量子ビット

〔研究 題目〕 強誘電体と機能性酸化物の融合による不揮発ナノエレクトロニクス

〔研究代表者〕 山田 浩之（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 山田 浩之、豊崎 喜精、澤 彰仁（常勤職員2名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究課題では、強誘電トンネル接合（Ferroelectric Tunnel Junction; FTJ）を用いた抵抗変化型の不揮発メモリ機能の開拓が目的である。FTJ とは、膜厚数 nm の強誘電酸化物をバリア層に用いたトンネル接合である。近年 FTJ において、その接合抵抗（リーク電流）が強誘電分極の向きに依存して変化する不揮発性抵抗スイッチング現象が発見され、注目されている。FTJ の新規不揮発メモリ応用にむけての基盤技術として、本研究課題では、①界面制御・電極材料開発による FTJ の高性能化、②FTJ 作製技術の開発、とくに Si プラットフォーム上への作製、③FTJ の微細化、等を推進している。平成28年度は①と③を推進した。①に関しては、上部電極としてアモルファス RuO₂を用いて全酸化物型の FTJ を開発した。なお、強誘電バリア層は BaTiO₃、下

部電極層は (La,Sr) MnO₃を用いた。その結果、抵抗状態の ON/OFF のスイッチングの繰返し耐性が、最大約10⁹サイクルを達成、また最初の20万サイクルでは ON,OFF 各抵抗値のバラつきが3%以下に抑えられることを見いだした。③に関しては、電子ビームリソグラフィを利用して、サブミクロン以下のサイズを有する FTJ の作製に着手した。その結果、接合サイズ径約100nm の素子作製と抵抗スイッチング動作の実証に成功した。以上の結果から、FTJ における抵抗スイッチング現象によるメモリ機能は、同じ強誘電体を使った不揮発性メモリである FeRAM より微細な素子が作製可能で、酸素欠陥等の移動を利用した通常の抵抗スイッチング型メモリである ReRAM に比して、信頼性の高いスイッチング特性を有することが分かった。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 不揮発性メモリ、強誘電トンネル接合、抵抗変化型メモリ

【研究 題目】 ポルフィリン集合体の作製と構造評価

【研究代表者】 吉川 佳広 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 吉川 佳広、長崎 真由美
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内容】

本研究は、JST 国際科学技術共同研究推進事業 (戦略的国際共同研究プログラム: SICORP) の研究領域「分子技術」の下に実施しており、大阪大学のグループを代表とする研究課題「光および化学エネルギー利用のためのポルフィリンナノ構造体制御の分子技術」の分担研究である。その中で本研究では、ポルフィリン分子あるいはヘムタンパク質から構成されるナノ構造体の炭素材料表面への集積化法を見出し、その構造評価法を構築することを目的としている。平成28年度においては、ポルフィリンワイヤーの伸張を目指し、フランスのグループによって合成されたストラップポルフィリンの基板への集積化法についての検討を継続して進めた。一分子内に2カ所の配位部位を有するストラップポルフィリンについて、溶媒条件、基板へのキャスト方法などを含め、分子ワイヤーを形成する最適条件の探索を行った。まず、ストラップポルフィリンをモノマー化し、その後、種々の溶媒に分散させた。そして、形成された分子ワイヤーの形態を原子間力顕微鏡によって観察した。その結果、前年度まで用いていたポルフィリン分子と比べて、非常に長い分子ワイヤーを創出できるようになった。今後、研究計画に従って、炭素材料表面に集積化したポルフィリン超分子構造体の特性評価を進めていく予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ポルフィリン、分子集積、原子間力顕微鏡

【研究 題目】 量子センシング方式を用いたポータブル NMR 装置の開発

【研究代表者】 渡邊 幸志 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 渡邊 幸志、石川 豊史、柏谷 聡、
吉澤 明男、馬渡 康徳
(常勤職員5名)

【研究 内容】

量子センシングという新しい技術であるダイヤモンド量子磁気センサーをコア技術とし、従来技術の延長線上では実現できない感度と分解能を持つ、新原理に基づくポータブルな NMR 装置の開発を目指す。これにより、わずかな分子数でも検知可能な NMR 装置を実現する。本開発により、将来的には1分子レベルでの NMR 計測が見通せるようになり、ライフサイエンスにおける微量試料を対象とした分析装置の開発などに貢献する。また、材料開発など様々な分野にも適用可能であり、超高感度分析装置の突破口となる技術にすることを目的とする。本年度は(1)新プラズマ条件によるセンサー試作(2)マグネット、アンテナ設計等を目標とした。

期待される成果が得られているとともに、当初計画を上回る性能が確認されるなどおおむね順調に進展している。センサー試作については、新たに設計したマイクロ波電源を用いたプラズマ CVD 装置によって厚さ5 nm の窒素ドーパダイヤモンド薄膜を試作し、フォトルミネッセンスマッピングにより単一の NV センターが形成されていることを確認した。窒素-空孔 (NV) センターの面密度を10⁵個台/cm²レベルに低減させた量子磁気センサーチップにおいて、スピン緩和時間 T₂の目標値を達成した。マグネットおよびアンテナ設計はシミュレーションによる解析を重ね、設計・試作し評価の予備実験に着手した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 量子センシング、ダイヤモンド、NV センター、NMR、ポータブル

【研究 題目】 テラバイト時代に向けたポリマーによる三次元ベクトル波メモリ技術の実用化研究

【研究代表者】 福田 隆史 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 福田 隆史、江本 顕雄、平本 修太郎
(常勤職員1名、他2名)

【研究 内容】

超大容量の情報を長期間、低コスト、低消費エネルギーで保存するためにホログラフィック情報記録技術の開発を企業と大学との連携のもとで進めている。

「位相多値記録媒体の光学的評価」にかかり、平成28年度においては、構造既知の位相物体を観察対象として、構築した光学系の検証を進めた。観察対象の一例として、屈折率1.470@405 nm の石英基板に刻まれたピラー構造 (ピラー直径=1 μm、周期=2 μm、深さ=0.5

μm) を挙げ、位相分布計測を行った結果を考察すると、「位相物体を高い空間分解能で、かつ、歪みを押さえた観察を実現する」と言う目的は十分達成できているが、さらなる改良のためには、参照波の非理想性（すなわち、解析式では参照波をサイズ無限小の1点から広がる波として仮定しているが実際には有限サイズの領域から参照波は発生されていることなど）を考慮した補正や実験光学系のミスアライメント（光軸と観察対象の法線方向のズレなど）を適切に補正する必要があることが示唆された。

今後も理想的な信号波の生成と位相シフト法を用いた信号波の観測、再生波の観測と解析手法の検証を進め、位相多値記録用材料の評価を行い、さらなる材料及び記録・再生システムの革新に対して貢献を目指す。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 三次元ベクトル波メモリ、ホログラフィック情報記録、位相多値記録、記録媒体

〔研究題目〕 過酷環境に適した高機能メンテナンスフリー型オールメタルシーリング技術の開発

〔研究代表者〕 徐 超男（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕 徐 超男、未成 幸二
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

既存のステンレスパッキンをベースとして、極低温環境などの過酷環境下で使用可能なオールメタルシーリング技術を開発する。対象のメタルシーリング機構は、非常に小さい締め付けトルクでシーリングできることが一つの特徴であるが、シーリング性能と締め付けトルクの関係の明確化が求められており、この点を理論的・実験的に明らかにする。

本年度は、応力発光体を用いて、オールメタルシーリング機構のオス部とメス部の接触状態を可視化する実験を行った。透明アクリルで構成したメス部に対して、オス部との接触面に応力発光体の塗膜を形成し、材料試験器を用いて圧力を加え、接触面で発生する応力発光を観測して接触状態を可視化した。

その結果、オス部がメス部に押し付けられるにしたがって、円状の発光分布が発達するのが観測された。観測された応力発光強度は、円周上で様ではなく、接触力の分布が発生していると考えられる。しかし、メス部が透明アクリル製であるため、応力発光体の塗膜形成時に用いた溶剤との化学反応、あるいは切削加工時の残留応力による脆化が発生したと考えられ、接触位置近辺で内部にクラックが発生し、実験を繰り返すことが不可能となり、解析データ数が不足している。

結果として、応力発光体を用いてコンタクト部の接触力分布を測定し、必ずしも均一な接触ではないことを明らかにした。一方、コンタクト部における接触面へのマ

シンオイル塗布がシーリング性能向上をもたらすことから、コンタクト部の表面改質がシーリング性能のさらなる向上に結び付くと考えられる。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 応力発光、可視化

〔研究題目〕 パーティクル抑制効果に優れたプラズマエッチング用セラミックス部材の開発

〔研究代表者〕 笠嶋 悠司（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕 笠嶋 悠司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

半導体量産ラインにおいて歩留まりや装置稼働時間の低下を引き起こす最大要因は、プラズマエッチング工程で発生するパーティクル（微粒子）である。パーティクルが製品ウエハ上に落下・付着すると、ウエハ上に形成した微細配線の短絡や断線の原因となり、製品不良を引き起こす。半導体デバイスの品質や信頼性が大きく低下するため、量産現場ではその抑制が強く求められている。本研究は、研究代表者が保有する量産対応プラズマエッチング装置を用いて新規セラミックス部材のパーティクル抑制効果の評価手法を開発することを目的として実施した。既存部材に対して優位性を有し歩留まりや装置稼働時間、ひいてはメンテナンスコストの大幅な削減に資する新規部材の実用化を目指した評価試験研究に取り組み、これまで開発してきた新規セラミックス材料のパーティクル抑制性能を実環境下で試験・評価する方法を検討・構築するとともに、当該材料を用いた評価試験を量産用プラズマエッチング実機で実際に実施した。既存材料に対する耐プラズマ性やパーティクル抑制効果を検証可能であることを示した。さらに、新規開発したセラミックス部材の今後の実用化研究に向けて解決すべき研究開発項目を明らかにすることができた。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 プラズマエッチング、パーティクル、半導体製造、歩留り、セラミックス部材

〔研究題目〕 無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器の実現

〔研究代表者〕 湯浅 新治（スピントロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 湯浅 新治、ロナルド・ヤンセン、野崎 隆行、今村 裕志、福島 章雄、久保田 均、薬師寺 啓、齋藤 秀和、オレリー・スピーザー、甲野藤 真、塩田 陽一、高木 秀樹、倉島 優一、青柳 昌宏、菊地 克弥、渡辺 直也、馮 ウエイ、鈴木 義茂、白田 悦子
（常勤職員17名、他2名）

〔研究内容〕

本プログラムでは、電圧によるスピン操作技術を活用

し、SRAM 並みの動作速度・電力と DRAM や STT-MRAM を超える集積度を兼ね備えた不揮発性メモリ「電圧トルク MRAM」および不揮発性を有するトランジスタ技術を開発する。さらに、大径 Si ウェーハ上への磁気抵抗素子のエピタキシャル成長とウェーハ接合・3次元積層技術を用いて、実用磁気抵抗素子の単結晶化による不揮発性メモリ MRAM の微細化限界の突破を目指す。これらの基盤技術の中核とした新コンピュータアーキテクチャおよび電圧駆動3次元コールド・ストレージ技術により、IT 機器の消費電力を1/100にすることを目指す。これにより、将来的にほとんど充電を必要としないモバイル機器や大規模災害時に電源なしで長期間使用可能な IT 機器を実現し、エコで快適なライフスタイルの変革、安全・安心なユビキタス IT 社会の実現、日本のエレクトロニクス産業の再興に結びつけることを目指す。

本プログラムは、平成26年度後半から開始され、平成28年度は、(i) 電圧による磁気異方性変化率のさらなる増大、(ii) 電圧書き込みエラー率の大幅な低減、(iii) Si ウェーハと垂直磁化 MTJ 薄膜を用いたウェーハ接合・Si 除去プロセスの高度化、(iv) 大径 Si 基板上への磁気抵抗薄膜のエピタキシャル成長などの成果を得た。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】電圧トルク MRAM、単結晶化、3次元積層、ウェーハ接合、スピントロニクス FET、交差物性

【研究 題 目】3次元磁気記録新ストレージアーキテクチャのための技術開発

【研究代表者】久保田 均、今村 裕志
(スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】久保田 均、福島 章雄、薬師寺 啓、甲野藤 真、谷口 知大
(常勤職員5名、他2名)

【研究 内 容】

本研究では、共鳴アシスト磁化反転書き込みと共鳴読み出しを組み合わせた超高密度ストレージの開発に取り組んでいる。共鳴アシスト書き込みでは、局所的なパルス磁界に加えてスピントルク発振器から発生するマイクロ波磁界を用いる。共鳴読み出しは、スピントルク発振器の発振状態の変化により媒体の磁気情報を読み出す。共鳴周波数の異なる磁性層を多層化することで記録密度の向上を目指す。平成28年度は、面内磁化発振層と垂直磁化固定層からなるスピントルク発振素子と垂直磁化ビットを組み合わせた系の高周波特性を実験的に調べた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピントロニクス、スピントルク発振素子、高密度磁気記録

【研究 題 目】ミラー、透明、黒の状態可変技術による革新的省エネ調光窓の開発

【研究代表者】吉田 学 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】吉田 学、渡邊 雄一、延島 大樹
(常勤職員2名)

【研究 内 容】

本研究では、ミラー、透明、黒の状態可変技術による革新的省エネ調光窓を実現することを目標としている。産総研では、特に黒色モードのときの均一性にかかわる ITO ナノ粒子層の効率的製造方法について検討した。可視光の吸収率は、ITO ナノ粒子層の厚みに依存するため膜厚の薄い箇所は、吸収率が低くなる。一方、膜厚の厚い箇所は、析出する銀量が多いため、銀溶解に要する時間が長くなる。このようなことから膜厚が面内で不均一である場合、銀析出の際には吸収率のムラ、銀溶解時には溶解時間差のムラが、見た目のムラとして認識されるため、均一な膜形成が必要である。均一な膜形成方法として、狙い膜厚が100 nm 以下であること、使用する塗布液の粘度が比較的低粘度であることを考慮し、スプレーコート方式を選定した。この方式で ITO ナノ粒子の濃度、塗布量、溶媒種等を評価し、適切な粒子濃度、適切な塗布量を決定した。選定した溶媒を用いることが最も均一に塗布できる条件であることを見出した。この条件で形成した素子は、銀の析出、溶解時において見た目のムラがなく、吸収率は、目標値を大きく上回ることができた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】エレクトロクロミック・省エネ窓

【研究 題 目】新しい高性能ポリマー半導体材料と印刷プロセスによる AM-TFT を基盤とするフレキシブルディスプレイの開発 (JST)

【研究代表者】長谷川 達生 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】長谷川 達生、堀内 佐智雄、堤 潤也、松岡 悟志、青島 圭祐、北原 暁
(常勤職員2名、他4名)

【研究 内 容】

本研究は、印刷により製造されたフレキシブルなアクティブ・マトリックス・トランジスタアレイ (AM-TFT) の開発を目標として、パイクリスタル株式会社・理化学研究所・東京大学・産総研が共同し、高性能半導体開発とデバイス高性能化・集積化の研究開発を行う。平成28年度において産総研が取り組んだ研究は以下である。研究項目①「スーパーナップ超微細印刷電極の高集積有機 TFT アレイへの応用」では、本プロジェクトで開発した SuPR-NaP 法による銀配線パターンを用いた有機 TFT 高性能化技術を検討した。SuPR-NaP 法の

反応性表面パターン形成に用いるペルフルオロポリマー層をゲート絶縁層とし、その極薄化について検討を行った結果、膜厚25 nm で十分な絶縁性と高いキャパシタンスが得られることを確認した。さらにこれを用いたボトムコンタクト型有機 TFT を構築し、駆動電圧が1 V 以下でヒステリシスのほとんどない安定したトランジスタ動作を確認することに成功した。また研究項目②「ゲート変調イメージング法を用いた高集積有機 TFT アレイのプロセス最適化検討」では、本プロジェクトで開発したゲート変調イメージング法を用いて、高集積有機 TFT アレイの一括評価を行うための基本技術・周辺技術の開発を行った。その結果、A4サイズの有機 TFT アレイの欠陥検査において、実用上問題となる点欠陥（キャパシタリーク）検出法の開発に成功した。また高解像度のゲート変調イメージング測定とそのスペクトル解析をもとに、ペンタセン多結晶 TFT における微結晶内外の蓄積キャリア量とゲート漏れ電界のマッピング測定に成功した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】有機半導体、プリントドエレクトロニクス、プリントドエレクトロニクス、アクティブ・バックプレーン、薄膜トランジスタ、ポリマー半導体、有機エレクトロニクス

【研究 題 目】ガーネット型酸化物電解質材料の創出

【研究代表者】秋本 順二

(先進コーティング技術研究センター)

【研究担当者】秋本 順二、片岡 邦光

(常勤職員2名、他2名)

【研究 内 容】

本研究では、酸化物系材料を固体電解質として使用する全固体酸化物型リチウムイオン電池の実現のため、ガーネット型リチウムイオン伝導他の特性改善のための新規材料探索を行うとともに、粒界抵抗低減のための粉体の粒径制御技術、緻密成型体の作製技術の開発を実施する。具体的には、室温で 10^{-4} S/cm 程度のイオン伝導性が報告され、また広い電位窓が可能であることから有望な材料候補とされている立方晶 $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZ) を凌駕するような Zr 系、Ta 系材料について、新規材料探索、粒径制御技術の確立、低温合成技術の確立を目指す。

本年度は、ガーネット型酸化物材料の新規材料探索のため、LLZ 以上のイオン伝導性を有することが報告されている Al フリーの $\text{Li}_{7-x}\text{La}_3\text{Zr}_{2-x}\text{Ta}_x\text{O}_{12}$ (LLZT) において、最も導電率が堅い Ta 置換量 $x=0.5$ について、緻密成型体の作製に適する微細な粉体粒子の合成を目指して新しい合成法を検討し、生成物の化学組成と粉体特性、結晶構造について調べた。その結果、あらかじめ低温合成法で作製された前駆体原料を用いる合成プロセスにより、700 °C 以下の焼成温度で、一次粒子サイズがサブ

ミクロンオーダーのガーネット型構造の単一相試料が得られることを見出した。さらに、単結晶試料を用いた固体電解質材料の基礎物性、電気化学測定を実施した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】固体電解質、ガーネット、リチウムイオン伝導体、ジルコニウム、タンタル、リチウムイオン電池、全固体二次電池、蓄電デバイス

【研究 題 目】ナノインプリントによるナノスクリーン印刷技術開発

【研究代表者】穂苅 遼平 (集積マイクロシステム研究センター)

【研究担当者】穂苅 遼平、栗原 一真、高田 尚樹 (常勤職員3名)

【研究 内 容】

スマートフォンや次世代自動車の内装パネルのデザイン性、操作性向上のために、曲面タッチパネルセンサー用の透明導電性フィルムのニーズが高まっている。本研究では、曲げに弱い酸化インジウムスズ (ITO) 膜の代替候補であるメタルメッシュ透明導電性フィルムを、生産性の高い印刷技術を用いて実現することを目的に、印刷技術の高精細化を目指す。従来のスクリーン印刷では、線幅15 μm 程度が限界であり、さらなる高精細化は困難であった。そのため、印刷基板に対してナノインプリント法により微細溝を形成し、毛細管力を利用して導電性インクを溝に充填する方法を開発した。粒径の小さい導電性インクを用いることで、線幅300 nm の印刷パターンを形成することに成功した。透明導電性フィルムの試作では、配線幅3.2 μm 、周期150 μm のメタルメッシュパターンを形成することで、光透過率81 %、シート抵抗5.1 Ω/sq と一般的な ITO 膜より優れた光透過性、導電性が得られた。また、30 cm 程度離れた距離からの目視評価において、メッシュパターンを認識することはできず、良好な透明性が確認された。曲げ性能評価では、曲率半径10 mm に変形させたとき、5.7 Ω/sq のシート抵抗が得られ、シンプルな印刷技術により形成した透明導電性フィルムにより、曲面タッチセンサーパネルの実現が可能であることを示した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】印刷、ナノインプリント、毛細管力、透明導電性フィルム

【研究 題 目】火山ガス組成および火山灰モニタリング技術の開発 (科学技術振興機構 受託研究 戦略的イノベーション創造プログラム【SIP】レジリエントな防災・減災機能の強化)

【研究代表者】篠原 宏志 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】篠原 宏志、伊藤 順一、下司 信夫、

古川 竜太、風早 竜之介
(常勤職員5名)

【研究内容】

火山ガス組成のリアルタイムモニタリングの実現を目指し、連続観測装置の高度化および無人機設置型火山ガス組成測定装置プロトタイプを作成し、評価することを目標とする。火山灰のモニタリング技術の高度化のために、エネルギー分散型エックス線分析装置を導入し、実際の火山灰粒子を用いた解析をおこない、火山灰中におけるマグマ粒子の識別方法について標準化を行うことを目標とする。

火山ガス組成計測機器の動作制御・データ収録・解析・通信の自動・遠隔操作を行うための専用基板を設計・作成を行い、機器に搭載した。各種センサーの性能評価試験を実施し、各種条件下での観測に必要なセンサーの性能を評価・選定した。これらを踏まえ火山ガスの多成分組成測定装置（高機能型）および無人機設置型としても使用可能な簡易型測定装置のプロトタイプの設計・作成を行った。

火山灰粒子解析の基礎データとして、火山灰粒子の微細組織及び化学組成解析手法の開発を進めた。火山灰構成粒子個々の化学組成の解析や、粒子集合体の化学組成マッピングを行うため、電子顕微鏡に装着する微小領域エックス線解析装置を導入し、火山灰粒子の由来に対応した組織・組成の特徴の抽出を行った。また、火山灰粒子のリアルタイム観測装置の開発を防災科学技術研究所と共同で実施し、装置のプロトタイプを完成させた。

【領域名】 地質調査総合センター

【キーワード】 火山、噴火、火山ガス、火山灰、モニタリング

【研究題目】 南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト

【研究代表者】 金田 義行（海洋研究開発機構）

【研究担当者】 池原 研、板木 拓也、宇佐見 和子、岩井 雅夫、金松 敏也（海洋研究開発機構）（常勤職員2名、他3名）

【研究内容】

本研究では、南海トラフ沿いを中心に関東から琉球諸島沖の海域において、海底堆積物に残された地震発生記録から過去の巨大地震・津波の発生履歴を解明することを目指す。本年度は海洋研究開発機構の「かいれい」による調査航海を沖縄八重山周辺海域で実施し、海底地形、表層堆積構造と海底堆積物試料を得た。これらの結果から石垣島南東方前弧域では海底谷を通じた石垣島側からの粗粒炭酸塩砕屑物の供給があること、宮古島南東沖ではタービダイトの頻度が少ないことが分かった。また、平成26年度に石垣島南西方の海底扇状地で採取した表層試料の年代測定結果から最新のタービダイトの堆積時期は2～3世紀以降であることが明らかとなった。

【領域名】 地質調査総合センター

【キーワード】 海底堆積物、タービダイト、地震、津波、八重山前弧域

【研究題目】 【特定課題調査】電磁波による革新的な農産物計測の栽培現場への適用可能性の検討

【研究代表者】 昆 盛太郎（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】 昆 盛太郎（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、圃場での収穫前農産物の非破壊品質計測のために、生育状態にある農作物の水分量の分布を計測するための原理構築、シミュレーション、予備計測実験を行う。栽培現場への応用に有効な場面を想定して、これまで開発してきた技術をブラッシュアップするために、まず、農作物の水分量を測定対象として実証実験等を行った。農作物単体の水分量の非破壊計測については、伝送線路をセンサに用いた技術により実現済みである。そこで、圃場に生育している農作物の水分量分布を計測するために、この技術を拡張する方法を検討した。圃場における農作物は水平方向においては何重にも重なっている状態である。一般に、表面の反射や散乱、吸収により水分量を推定する近赤外分光法などによる光技術では、主として表層の情報しか取得できないため、これらの分布を得ることは困難である。しかし、本提案技術で用いる電磁波は、基本的には対象を透過することができるため、分布計測を実現できる可能性がある。ただし、圃場における水分量の分布を従来の手法で求めることは容易ではない。そこで、圃場中に生育している農作物間におけるさまざまな影響を考慮したデータ解析手法と測定手法について新たに検討した。使用するセンサについては、これまで用いてきた伝送線路では圃場のような広い空間を計測することは困難である。そこで、アンテナの使用やドローンへのセンサ搭載を含め、センサの構造と仕様について検討し、分布計測のためのシミュレーションや予備計測実験を行った。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 農産物、水分量、非破壊計測、電磁波、センシング

【研究題目】 ERATO 美濃島知的光シンセサイザプロジェクト

【研究代表者】 稲場 肇（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】 稲場 肇、大苗 敦、清水 祐公子、柏木 謙、大久保 章、和田 雅人、中村 圭佑、矢口 かおり、奥田 敦子（常勤職員6名、他3名）

【研究内容】

当プロジェクトでは、周波数軸上においてスペクトル強度が楕状に精密かつ等間隔に並んだ先端光源「光コ

ム」を、エレクトロニクスと光技術との融合により、基盤のかつ革新的な「知的光シンセサイザ」へと進化させることを目指す。例えば、光波の時間、空間、周波数、位相、強度、偏光などの全てのパラメータを自在に操作でき、様々な応用に使えるところまで進化している知的光源を開発して、その未踏な応用分野を開拓することを目標としている。

平成28年度は、光コムの天文応用、デュアルコム分光およびそれを用いた温度測定、さらに光コムの周波数安定度の向上に関する研究開発を行った。具体的には、電気通信大学、横浜国立大学、国立天文台岡山天体物理観測所と連携しつつ「天文コム」の開発を行い、岡山に製作したコムを設置した。そして、光共振器の調整を行い、波長500 nm 帯において42 GHz 間隔の光コムを得た。また、デュアルコム分光の波長帯域拡大、およびそれを用いて、分子の吸収スペクトルを利用したガス温度測定技術を開発した。さらに、光コムの周波数安定度の律速条件を明らかにし、その向上を目指す研究の第一歩として「ファイバーノイズ」についてその発生原因と低減について実験と検討を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光コム、光周波数コム、デュアルコム、天文コム、光共振器、分子、吸収スペクトル、ガス、周波数安定度、光ファイバー、ファイバーノイズ

【研究 題 目】高速・高精度テラヘルツ時間領域ポーラリメータの開発と産業応用展開

【研究代表者】稲場 肇（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】稲場 肇、大久保 章（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本産学共創プロジェクトの一つの目標は、遅延ステージを排除した二台のファイバーレーザーを同期させた計測系（いわゆる「非同期サンプリングシステム」）と電気光学変調器による計測技術を組み合わせることで、全く可動部分のない高精度テラヘルツ波偏光計測装置をつくることである。偏光計測デュアルコム分光法の発明に関連して支援を行った。

平成27年度には、近赤外領域の「デュアルコム分光法」技術に、「回転偏光子法」を組み合わせることで、新しい概念による赤外周波数域での高精度な偏光計測に成功した。平成28年度には実際に物性評価を行うことで装置の有用性を確認した。なお、「デュアルコム分光法」と「非同期サンプリングシステム」は、二台のファイバーレーザー同期という意味では全く同様の技術を用いることから、本技術はテラヘルツ時間領域分光ポーラリメータ装置にそのまま応用することができる技術である。また、慶應義塾大学で使用するためのファイバーレーザー製作に携わった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】テラヘルツ、光コム、偏光計測、デュアルコム、回転偏光子、電気光学変調器

【研究 題 目】高出力半導体レーザーの狭線化のためのボリウムホログラフィックグレーティング素子と光学系実装技術

【研究代表者】服部 峰之（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】服部 峰之（常勤職員1名）

【研究 内 容】

発振スペクトルが広帯域で CW モードのみであった、高出力半導体レーザー (LD) から、YAG レーザーや狭帯域化 LD を光源とした、蛍光顕微鏡用光源として利用可能な干渉現象を利用する構造化照明や、対象に応じて波長や線幅を選択した光を広い範囲に均一に照射出来る光源として、分光分析用顕微鏡装置での利用可能な性能の光源開発を行った。高出力半導体レーザーのモジュール化においては、欧米製の CS マウント型の19輝点アレイ型 (40W 級) を数個程度用いることが多かったが、国内の技術で商品化に成功したオプトエナジー社製のシングルエミッター型の10 W 級レーザーを十数個使用することで、小型、高性能が期待された。本課題では、ボリウムホログラフィックグレーティング (VHG) による LD 外部共振構造を808 nm 10 W シングルエミッターLD の発振スペクトルについて、狭帯域化と安定化を実現した。YAG 固体レーザー用の励起光光源の高性能化を達成した。今回の開発で、VHG への光入射角度依存性を利用した高密度波長カップリング法の具体的な実装、モジュール化における構成を設計できた。同技術は、可視～近赤外領域の他の波長にも転用可能な技術であり、例えば、光吸収の波長依存性から分子種の定量や化学反応の追跡に狭帯域化波長可変レーザーが必要であり、これらの開発への発展が期待される。その他、イメージング技術用に、対象に応じて波長や線幅を選択した光を広い範囲に均一に照射したい場合における、高出力モジュールとして利用可能なコンパクトな光源の開発につながる、基礎技術を確立した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】レーザー、分光分析、光学素子

【研究 題 目】相界面の動的構造観察のための波長分散型表面 X 線回折計の開発と応用

【研究代表者】白澤 徹郎（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】白澤 徹郎（常勤職員1名）

【研究 内 容】

埋もれた相界面における動的構造変化を時分割追跡するための新しい表面 X 線回折計を開発し、エネルギー高効率利用に資する相界面現象の観察に適用して、相界面現象の解明や新材料開発に貢献することが本研究のねらいである。本研究では従来の単色化した平行 X 線ではなく、波長分散した集束 X 線を用いる方法を開発

し、これにより従来法よりも100倍以上の高速化を達成しており、燃料電池などの相界面のその場追跡への応用を進めている。本年度は直接型メタノール燃料電池のモデル界面として白金単結晶電極を用い、メタノール電気酸化分解中の電極表面の構造変化のその場追跡実験を行った。白金電極表面においては、エネルギー効率を下げる原因として、メタノール酸化分解の中間体である一酸化炭素分子が強く吸着しメタノールを直接酸化分解できる白金表面の面積が低下することが考えられてきたが、時々刻々と変化する白金表面を直接追跡した報告が無かったため、自明ではなかった。本研究のその場追跡実験により、一酸化炭素の吸着及び脱離による白金表面原子層の変位が観察され、この変位とメタノール酸化電流には明瞭な相関があることが明らかになり、一酸化炭素吸着により白金表面のメタノール酸化分解能の低下が生じていることを明瞭に示すことができた。また、一酸化炭素の白金表面からの脱離過程の観察にも成功し、吸着状態を変化させながら脱離することが明らかとなった。この結果は、一酸化炭素の吸着に耐性のある電極表面の設計に有益な情報になると期待される。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X線回折、電気化学界面、白金電極、燃料電池

【研究 題 目】中性子フラットパネルディテクタの研究開発

【研究代表者】藤原 健（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】藤原 健（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、中性子デジタルラジオグラフィの高度化と中性子3D CT を小型中性子源にて可能にするために、大面積中性子フラットパネルディテクタ（nFPD）を開発する。

中性子ラジオグラフィは X 線ラジオグラフィと類似した放射線透過検査法であり、透過特性の違いにより X 線ラジオグラフィと相補的な情報が得られる。中性子ラジオグラフィは数ある中性子利用法の中でも、最も広く実用的に利用されている手法であり、今後全国的に広まりつつある小型中性子源での産業利用が特に期待される手法である。利用されている分野としては近年利用が急増している燃料電池内部の可視化や、原子炉燃料の健全性評価、宇宙ロケット部品の全数検査、エンジンノズル等の試験検査、航空機エンジンを始めとする各種タービンブレードの検査、内燃機関内の燃料の輸送状況観察等が挙げられる。そこで本研究は、中性子デジタルラジオグラフィを高度化するために高効率・大面積の中性子フラットパネルディテクタを開発する。我々はコンパクト中性子源における中性子の低フラックスという課題を検出器の①大面積化・②検出効率の向上・③アクティブ受光素子による高感度化という3つのアプローチをとる

ことで解決し、中性子デジタルラジオグラフィの基盤技術を確立する。

第一世代の nFPD ではコンバータに LiF/ZnS を用い、J-PARC で試験し、高精細な中性子ラジオグラフィを得ることに成功した。今後、検出器の大面積化、TOF への対応、ボロン+Glass GEM 型コンバータへとアップグレードさせていく計画である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】中性子検出器、中性子ラジオグラフィ、ガス検出器、放射線検出器、非破壊検査

【研究 題 目】レーザー超音波可視化映像からの欠陥定量検出法の開発

【研究代表者】遠山 暢之（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】遠山 暢之、宮内 秀和、山本 哲也（常勤職員3名）

【研究 内 容】

レーザー超音波可視化探傷法を利用して、鋼橋に発生するき裂等の欠陥を遠隔で効率的に検出できる非接触・非破壊の劣化診断技術の開発を目指している。本年度は、溶接部に塗装処理を施した鋼製部材のレーザー超音波可視化映像を計測し、き裂の定量評価が可能かどうかの検証を行った。さらにレーザードップラー振動計を用いた非接触計測を本技術に適用して、遠隔き裂検出が可能かどうかの検証も併せて行った。

長さ10 mm 以下の人工き裂を溶接部表面に導入した鋼製溶接部材の表面に防錆処理および塗装を行い、実際に供用される鋼製橋梁部材とほぼ同条件のサンプルを作製した。このサンプルを用いてレーザー超音波可視化データを取得した。まず、超音波可視化動画像から溶接部表面に存在するき裂のエコーを明確に検出することができた。さらに得られた超音波最大振幅画像に差分法とゲート処理を併用した画像処理を行うことによって、き裂が鮮明化され、き裂長さを定量評価することが可能となった。

次に、レーザー超音波の検出を接触式超音波探触子からレーザードップラー振動計に置き換えることによって、遠隔計測を試みた。上述したサンプルから600 mm 離れた場所から超音波検出用レーザー光を照射し、反射した戻り光を受光することによって、サンプル表面の超音波変位を測定し、レーザー超音波可視化データを取得した。接触式超音波探触子と比較すると、感度は低いため、鮮明度は劣るものの、レーザー超音波の伝搬映像が計測可能であることがわかった。さらにき裂部で超音波の進行波が乱れる様子が観察され、き裂の遠隔検出が可能であることが明らかになった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】非破壊検査、レーザー超音波、超音波探傷、インフラ診断、き裂

〔研究題目〕 コンクリート内部を可視化する後方散乱 X線装置の開発

〔研究代表者〕 豊川 弘之（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 豊川 弘之、藤原 健（常勤職員2名）

〔研究内容〕

道路橋やトンネルなどの重要インフラの劣化・損傷に起因する大事故を未然に防ぐための検査技術を、放射線計測と電子加速器分野における最新技術を用いて開発する。具体的には、X線の利点である高精細画像と、電磁波レーダーの利点である片側アクセシビリティの簡便性を併せ持つ後方散乱 X線イメージング装置を開発し、道路床版や橋梁の検査等で利用できるように小型・軽量なシステムとする。従来技術では見ることができなかったコンクリート内部の小さな空洞や密度変化、鉄筋などの鮮明な X線画像を得ることを目指す。

コンクリート内部の直径1 cm の鉄筋可視化に成功した。プレストレスト・コンクリート内部に挿入された金属シース管内部を非破壊イメージングすることに成功し、グラウト未充填箇所を可視化した。アスファルト下にあるコンクリート床版表面の土砂化をアスファルトをはがさず観察することを試み、これに成功した。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 X線、電子加速器、後方散乱

〔研究題目〕 熱活性化遅延蛍光分子における励起状態ダイナミクスの解明

〔研究代表者〕 細貝 拓也（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 細貝 拓也（常勤職員1名）

〔研究内容〕

次世代有機 EL 発光材料として、希少金属を含有せずに100 %の効率で蛍光として発光する熱活性化遅延蛍光（TADF）材料が注目されている。TADF は有機分子の励起三重項状態が室温の熱によって励起一重項状態に変換され、その後に蛍光として放出される。したがって、二つの励起状態間を熱によって行き来するためには、その二つの状態がとるエネルギーの差が室温程度にあることが条件とされている。しかしながら、近年ではこの考えが成り立たないケースが度々報告されるようになった。本研究は、TADF 材料の先駆者である九州大学の安達教授のグループ（以下、『九大』とする）とともに、TADF の高効率な発光メカニズムを当所が開発した先端分光技術によって明らかにすることを目的としている。

本年度は、九大によって合成されたカルバゾールベンゾニトリル誘導体の各励起一重項状態と三重項状態において生成する励起種（励起状態における電荷分布の違い）を過渡吸収分光法によって調べた。その結果、TADF を示す分子にだけに生成する特徴的な励起種（電荷共鳴状態：光によって分子内で分かれたプラスの電荷が分子内をある程度自由に動き回れる状態）を形成することが分かった。また、このような励起種ができる

ことで、これまでエネルギーだけで議論されてきた励起三重項状態から一重項状態への逆変換のプロセスが特定の励起種間を介して行われることも見出した。この結果は、TADF の材料設計においては、各励起状態のエネルギーだけに注力するのではなく、実際に発光に関与している励起種も制御する必要があることを示唆した。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 TADF、励起状態ダイナミクス、過渡吸収分光法

〔研究題目〕 ホメオスタシス維持機能をもつ農林水産物・食品中の機能性成分評価手法の開発と作用機序の解明

〔研究代表者〕 舘野 浩章（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕 舘野 浩章、平林 淳（常勤職員2名）

〔研究内容〕

ヒトのホメオスタシス維持機能に与える影響を微量血液で簡便・高感度に評価できるシステムを開発することは本研究プロジェクトの大きな課題である。そこで我々は、単球・腹腔細胞・マイクログリア等の食細胞機能（貪食能など）を判別するためのレクチン候補を1種類以上抽出して、貪食能の指標となる糖タンパク質マーカー候補を1種類以上同定し、貪食能を測定する方法を構築することを目的としている。これまでの研究において、食細胞の貪食能の指標となる糖タンパク質マーカー候補の同定に成功している。更に、酸化 LDL を測定するための技術の開発に成功しており、研究は順調に進んでいる。今後はヒト検体を用いて上記技術の評価を行う予定である。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 糖鎖、ホメオスタシス、食品

〔研究題目〕 食シグナルの認知科学の新展開と脳を活性化する次世代機能性食品開発へのブランドデザイン

〔研究代表者〕 辻 典子（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 辻 典子、神谷 知憲、渡邊 要平（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

多発性硬化症は神経のミエリンタンパク質に自己免疫応答が起こることにより誘発される。この現象（疾病）は、アルツハイマーや認知症にも共通の脳内炎症を反映すると考えられ、有効な治療薬がない脳神経疾患であることも共通している。そのような背景から、食事と運動は予防法の要として研究が期待されている。我々は発酵食品由来の乳酸菌の経口摂取が、マウスの免疫系・中枢神経系に及ぼす影響を、自己免疫疾患の病態モデルを用いて解析した。

腸管と中枢神経の連関を解析する病態モデルとしては実験的自己免疫性脳脊髄炎（EAE）を構築した。これ

らに糠床から単離した乳酸菌 *Pediococcus acidilactici* (LAB-PA) を経口投与した結果、対照群と比較して EAE の発症率の低下、発症遅延が確認された。EAE モデルでは発症に伴い、中枢神経組織である脊髄への免疫細胞の浸潤が起こる。脊髄における疾患関連遺伝子の発現を qRT-PCR 法で解析した結果、*Ccr2*、*Ccl2*、*Csf2*、*Eomes*、*Tbx21*、*Tnfsf11*、*Ifng*、*Tnfa* などの炎症・疾患に関連する遺伝子群の発現が、LAB-PA 投与マウスの中枢神経組織で有意に減少していることが確認された。

また、IL-17産生性の Th17細胞は、EAE の疾患症状を増悪させる。そこで Th17細胞に対する LAB-PA の影響を *in vitro* 試験にて解析した結果、乳酸菌 LAB-PA 添加群では Th17細胞分化誘導条件下で IL-17A の産生量が有意に抑制されていることが明らかとなった。これらの結果から、T 細胞の分化・活性能をも乳酸菌 LAB-PA が調節することで、EAE が抑制されていると考えられた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】乳酸菌、抗炎症、自己免疫疾患、脳内炎症、多発性硬化症

【研究 題目】果実生産の大幅な省力化に向けた作業用機械の自動化・ロボット化と機械化樹形の開発

【研究代表者】小島 一浩（知能システム研究部門）

【研究担当者】小島 一浩（知能システム研究部門）
橋本 尚久、大場 光太郎（ロボットイノベーション研究センター）
（常勤職員3名）

【研究 内容】

本研究では、実際の果樹園において、自動走行作業台車が導入される際の安全を考慮しながらシステムを設計し実証評価することを目的とする。開発の流れは、実際の環境下の利用を想定し、リスクアセスメントを行いながら、安全のための必要要件を決定する。この際、技術開発者はもちろん、実環境を熟知した専門家や実際のユーザーなども参加し、必要な機能や場面、環境等を明確化する。安全を考慮しつつ、既存システムの再設計を行うことで、安全機能を確保したシステムの構築を実現する。これには、他の研究開発課題である、作業プロセスを含めた再設計、業務分析の課題とも密に連携し、必要に応じて、環境構造化を含めたシステムの開発も視野に入れる。再設計されたシステムを用いて、プロトタイプを開発し、実環境における実証実験を行う。実証実験においては、安全性だけでなく、業務分析などの全体のプロセスなども考慮した結果をフィードバックし、最終実証機器の開発を行う。最終的に開発された実証機器においては、上記のプロセスを踏まえることで、ロボットの安全規格である ISO13482に準拠し、農水省の自律走行型農業機械に関する安全性確保ガイドラインに沿い、実

際のユーザーがシステムによる利便性を享受できるシステムの開発を目指す。平成28年度は、自動走行車を開発する前に、実際の環境下における利用を想定した、安全設計及び安全評価体制の構築を行う。

上記の目標および研究計画のもと、平成28年度は自動走行作業台車の安全設計を行うための体制を構築した。当該体制において、自動走行作業台車の実作業環境として、機械化に適した圃場環境整備が進んでいるリンゴ圃場を先行対象とすることを合意形成した。実環境のリンゴ圃場において、リスクアセスメントの前段階として、安全設計に関わる作業工程分析を収穫作業および選果作業に対し実施した。作業工程分析の結果を用いて、開発コンセプトシートの開発を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】農業・果樹、機械化・ロボット化、安全

【研究 題目】土地利用型大規模経営に向けた農作業機械の自動化・知能化による省力・高品質生産技術の開発

【研究代表者】大場 光太郎（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】大場 光太郎、中坊 嘉宏、角 保志（ロボットイノベーション研究センター）小島 一浩、金 奉根、鍛冶 良作、佐藤 雄隆、岩田 健司、片岡 裕雄（知能システム研究部門）堀部 雅弘、昆 盛太郎、岸川 諒子、加藤 悠人（計量標準総合センター）
（常勤職員13名）

【研究 内容】

稲等が密集した立毛状態において、人が隠れている状態においても検出可能な技術として、以下の2種類の手法を併用することで、人体の安定検出技術を確立することを目的とする。1.電磁波の反射強度の変化からの人体検出、2.視差統合型カメラによる人体の遮蔽のない映像を合成し人体検出を行う方法。

平成28年度の目標は、以下とした。電磁波を利用した安価なシステムを小型化し、圃場における人検出のアルゴリズムを検討・開発し、その性能を明らかにする。画像システムについては、作物中における合成開口 Refocus アルゴリズムを用いた人検出精度を明らかにする。また併せて、裸地圃場におけるカメラ1台を用いた人検出手法を検討・開発し、その精度を明らかにする。

これら目標に対し、電磁波技術に関しては、電波暗室内実験での距離依存性測定の自動化を一部達成し、データの再現性を確認した。これによりシステム小型化に向けた主な要件定義を達成した。画像システムに関しては、作物中における合成開口 Refocus アルゴリズムを用いた人検出については、人物にピントが合う合成画像に対しディープラーニング手法を適用し、ファインチューニ

ングによる性能向上により、エラー率を7%から4%に低減させた。裸地圃場におけるカメラ1台を用いた人検出手法については、ディープラーニングの1手法であるFast R-CNNを用いることで良好に検出できることを確認した。リスクアセスメントに関しては、農水省スマート農業研究会の「ロボット農機に関する安全性確保ガイドライン（案）」で指摘されている人検出技術について、リスクアセスメントに基づいた必要性を明らかにする「運用における安全原則」を開発した。この原則に基づき、人共存製造産業用ロボットや介護ロボット、案内ロボット等との比較による農業用ロボットの圃場における人検出の必要性を明確化した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】農業、センサー技術、安全技術

【研究 題 目】地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新

【研究代表者】蛭名 武雄（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】蛭名 武雄、石井 亮、林 拓道、相澤 崇史、和久井 喜人、棚池 修、中村 考志、吉田 学、吉田 肇、鈴木 麻実、高橋 仁徳（常勤職員9名、他2名）

【研究 内 容】

本研究は、林地残材の収集から改質リグニン製造、加工、機能性、最終製品化、副産物利用を含め、農山村のバイオマスを原料とした一連の技術を総合的に開発することで、地域に高収益をもたらす「リグニン産業」という新たなビジネス基盤を確立すると共に、その社会実装を目的とする。本研究の中で、当グループは改質リグニンを原料として、粘土とのハイブリッド化等でエレクトロニクス素材等の高付加価値マテリアル（ハイブリッド膜材と繊維強化リグニン材）を製造する技術の開発を担当する。

今年度は、リグニン-粘土ハイブリッド膜について、ICチップを組み込んだタッチセンサの製作に取り組んだ。まずハイブリッド膜のハンダ耐性評価を行い、ハンダによるチップと配線の接合が可能なことを確認した。その後、フィルム上にフレキシブルエレクトロニクス技術を用いて電子回路を形成し、ハンダ接合によりICチップを実装した。得られたタッチセンサは問題なく動作し、同ハイブリッド膜がフレキシブル電子基板として利用可能であることを明らかにした。本成果に関する論文が高インパクトファクターの国際誌に掲載された。また、ハイブリッド膜の調製条件について検討し、有機溶剤を用いず水のみ用いてハイブリッド膜を作製する方法を見出した。得られた膜は、高い表面平坦性、ガスバリア性、電気絶縁性を有していた。

一方、繊維強化リグニン材においては、構成員研究機関と共同で難燃性（コーンカロリメーター試験で総発

熱量8 MJ 未満）の付与を達成した。また、成型サイクル30分以内で成型可能な条件を確立した。さらに、リサイクル性に優れた鉱物繊維を開発し、繊維強化リグニン材の試作に成功した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】リグニン、粘土、ガスバリアフィルム

【研究 題 目】畜舎内環境管理と悪臭対策技術確立による養豚生産性向上

【研究代表者】川本 徹（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】川本 徹、高橋 顕、南 公隆、Durga Parajuli、中村 徹、田嶋 一樹、原 重樹、野田 恵子、桜井 孝二、高村 智恵子（常勤職員7名、他3名）

【研究 内 容】

国内養豚業の競争力向上には、生産コストの低減のための飼料消費の効率化と一腹あたりの育成頭数の向上、および大規模化に伴う周辺地域の悪臭対策の徹底が肝要である。このために確立すべき技術体系として、「悪臭を外に出さない畜舎環境管理」を下記方策により実現する。循環型有害物質除去技術として、再生可能な高性能アンモニア吸着材を畜産用途に最適化する。他有害物質対策も加え、熱を極力放出することなしに畜舎内有害物質濃度を低減する。また、自動有害物質・温湿度管理技術・ICT技術により自動で畜舎環境を制御する。気液熱交換等による堆肥化施設からの熱利用により、光熱費上昇を回避する。特に実効的と考えられる飼料効率の改善と、周辺悪臭対策の実現を最終目標とする。

平成28年度の実施内容は以下のとおりである。循環型有害物質除去装置開発として、以下を実施した。①吸着材料評価法の導入、吸着材料の初期評価の実施：吸着材料開発に必要な装置類を導入し、初期評価を実施した。本年度は、吸着材料の組成・一次粒径を制御する基盤技術を開発するとともに、アンモニア吸着・再生性能の評価を一部進める。②吸着システム用成型体の試作：粒状体または粉末を活用したフィルタ・カラム構造のいずれかについて一部試作を行った。統合型環境管理技術開発として、以下を実施した。①暖房部・冷房部の基本設計：暖房部として、堆肥化装置及びそこから熱交換、畜舎試験区への熱の導入方法に関する基本設計を実施した。また夏季の暑熱対策についても検討を行った。②暖房部の詳細設計：暖房部基本設計を受け、次年度に暖房部を導入するための詳細設計を行った。

【領 域 名】材料・化学領域

【キーワード】プルシアンブルー、アンモニア、吸着材、畜産、養豚、悪臭対策

【研究 題 目】生体センシング技術を活用した次世代精密家畜個体管理システムの開発

【研究代表者】伊藤 寿浩（集積マイクロシステム研究

センター)

【研究担当者】伊藤 寿浩、魯 健、張 毅、
岡田 浩尚、野上 大史、張 嵐、
Andersson Lars
(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

(1)「腔内及び体表温センサを用いた授精適期判定法の基盤技術の開発」、(2)「多機能型ルーメンセンサを用いたルーメン機能解析法の基盤技術の開発」、(3)「体表温センサの開発及び診断・利用のための基盤技術の開発」を担当した。

(1)については、1ヶ月以上連続動作可能な小型無線腔内センサ(サイズ:長さ140 mm×径20 mm、電気抵抗測定範囲:0から200 Ω cm (500 Ω cm)、精度±0.4 Ω cm 以下、温度精度0.05 °C以下、測定範囲:25~45 °C、15分の間欠動作で1年以上の連続動作可能)の試作に成功し、センサと首輪中継機の受信率が診断に必要な測定間隔内において、99 %以上であることを実証した。上記腔内センサを30個以上試作し、コンソールシム内の機関に提供した。

(2)については、ルーメンセンサにヘリカルアンテナを用いて、首輪中継機との受信率を99 %以上にできた。pH5.5の標準液に3カ月浸漬し、感度の安定性を確認した。3日間の牛を使用した測定では、概ねルーメン内の pH 変化を測定できている結果を得た。pH 測定可能な多機能型センサでは、基板と電池との筐体内部での位置関係の最適化により筐体内のアンテナ領域を確保し、上記の通信成功率を得た電波の放射強度と同等となることを確認した。

(3)については、小牛への体表温センサの装着を容易にするため、端末の形状最適化(22 mm×16 mm×6 mm)を行った。これによるアンテナの利得の低減が実用レベルでは問題なく、100 m 以上の無線通信が可能であることを確認した。電池は CR1220を使用し、2分の間欠測定間隔では理論連続動作期間は166日である。また、体表温データから発熱を検知する解析アルゴリズムは、リアルタイムに解析できるように修整し、受信システムに組み込み可能であることを確認した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】生体センシング、家畜個体管理、無線センサ、腔内センサ、ルーメンセンサ、体表温センサ

【研究題目】未利用藻類の高度利用を基盤とする培養型次世代水産業の創出に向けた研究開発

【研究代表者】高津 章子(物質計測標準研究部門)

【研究担当者】高津 章子、鎗田 孝、稲垣 真輔、
川口 研、山崎 太一(常勤職員5名)

【研究内容】

本研究課題では、有毒微細藻類の摂取による毒化によ

り出荷自粛が生じ年間数十億円の収益阻害が発生している二枚貝養殖業に対し、現状のマウスアッセイ法による貝毒検査に代わり、CODEX 等国際基準に沿った機器分析法を導入して規制緩和を行うために必要な貝毒の国際認証標準物質を製造する事を目的とする。

前年度に行ったオカダ酸(OA)およびジノフィシストキシン-1(DTX1)標準液の開発における定量 NMR 法による値付けには、貝毒試料に内標準を添加して測定する内標準法を用いた。一方、精製した OA と DTX1 の有効利用の観点からは、貝毒試料に内標準を添加することなく濃度評価することができる外標準法による値付けが望ましい。このため、外標準法を用いる定量 NMR 法について、測定条件を検討し、適用可能性について検討した。二枚貝ホモジネートを用いた組成標準物質開発については、毒化ホタテガイ中腸腺を原料とする組成標準物質を調製し、標準添加法を用いた共同測定による値付けを実施した。これらの結果から認証値を決定し、組成標準物質の開発を完了した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】貝毒、標準液、組成標準物質、
定量 NMR

【研究題目】平成27年度銅原料中の不純物低減技術に関する基礎研究／化学的手法によるヒ素分離回収の高度化に関する基礎的検討

【研究代表者】成田 弘一(環境管理研究部門)

【研究担当者】成田 弘一、田中 幹也、大石 哲雄、
尾形 剛志(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

銅精鉱中に含まれるヒ素の化学的手法による除去には、鉱石からのヒ素浸出工程および浸出液からのヒ素回収工程が必要となる。前者の工程についてはこれまでに様々な方法が検討されており、その中でアルカリ浸出はヒ素を可溶性塩として選択的に浸出することができ、また主要元素である銅を硫化物として回収できるため、銅精鉱中に含まれるヒ素の浸出法として有用であると考えられる。しかしながら、アルカリ浸出液からのヒ素の回収率は十分な値とは言えないため、基礎的知見に基づいた詳細な分離回収挙動の把握が必要であるが、アルカリ域におけるヒ素の分離に関する知見は極めて乏しいのが現状である。本研究では、アルカリ溶液中からの各種分離剤による分離性能および電解挙動を調べることで、銅精鉱からのヒ素の湿式分離回収技術の適用可能性を検討することを目的とする。

吸着分離法では各種吸着剤のスクリーニング試験を行ない、樹脂系吸着剤では陰イオン交換樹脂やグルカミン基を有する吸着剤が、無機イオン交換体では含水酸化セリウム(IV)が硫黄含有系におけるアルカリ性水溶液からのヒ素吸着に有用であることが明らかとなった。

高濃度アルカリ水溶液中におけるヒ素化学種の電気化

学挙動の調査においては、水酸化ナトリウム水溶液にヒ素化合物のみを添加した系、硫化物イオン源のみを添加した系、ヒ素化合物と硫化物イオン源のいずれも添加した系、それぞれについて電位走査法による測定を行った。その結果、ニッケルと銅電極ではいずれの挙動も大きく異なること、想定される組成範囲においては硫化物イオン由来の電流が大きいことヒ素化学種由来の応答の把握が困難であることなどが分かった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ヒ素、有害物質除去、資源回収

【研究 題 目】銅精鉱から含砒素鉱物除去を目指した微粒子選別技術の基礎的検討

【研究代表者】大木 達也（環境管理研究部門）

【研究担当者】大木 達也、古屋仲 茂樹、林 直人（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究では、銅精鉱の脱砒素における浮選の支援ツールとして、磁性や比重など、バルク性質利用の物理選別技術の適用可能性について検討した。高勾配磁選による選別性評価では、0.30 T の磁選にて、Cu 回収率61.7 %、As 品位は0.66 %（原料の As 品位1.62 %）なる回収物が得られた。D1 conc では高勾配磁選による脱砒素効果が認められたことから、精選、清掃選による選別精度の向上を検討した。4次精選の磁着物を回収することで Cu 回収率41.1 %、As 除去率96.0 %、As 品位0.27 % の産物が得られた。さらに精選磁着物に清掃選磁着物を混合した場合については、4次精選磁着物+1次清掃選磁着物で Cu 回収率51.4 %、As 品位0.41 %なる回収物が得られ、4次精選磁着物+1~2次清掃選磁着物で Cu 回収率57.9 %、As 品位0.54 %（鉱物ベースの分離効率50.9 %）なる回収物が得られた。

一方、微粒子比重選別による選別性評価では、実試料に対する Knelson 式選別試験、Wilfley 揺動テーブル選別機を実施した。Knelson 式選別試験の結果、重産物への Cu および As の分配率はそれぞれ67.6 %、62.2 % と共に高く、分離効率は5.4 %に留まり、Cu や As の選択性は低いことが分かった。Wilfley 選別試験においても、分離効率は最大3.5 %、As 無 Cu 鉱石と As 有 Cu 鉱石の分離効率に換算しても3.9 %であった。以上のように、比重選別は非常に困難であることが確認された。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】微粒子選別、高勾配磁選、銅鉱石、砒素除去、比重選別

【研究 題 目】各種銅鉱物の識別を可能とする単体分離の詳細評価手法の検討

【研究代表者】大木 達也（環境管理研究部門）

【研究担当者】大木 達也、古屋仲 茂樹、西須 佳宏、上田 高生（常勤職員4名）

【研究 内 容】

本研究では、各種銅鉱物の識別を可能とする単体分離の詳細評価手法の検討を実施した。実試料（JOGMEC 提供の砒素含有銅鉱石）を用いた砒素含有銅鉱石に対する単体分離分析の下限粒径検証では、Phasemap 分析、CAMEO 分析のいずれの分析手法でも砒素を含む銅鉱石と砒素を含まない銅鉱石の判別が可能であり、SEM-EDX にて倍率2000倍で観察したときに得られる単体分離分析の下限粒径は、ドメインサイズ1 μm（円相当径）との結果となった。CAMEO 像に対する単体分離分析支援ソフトウェア「粒子グルーピング」改良の検討では、画像処理の自動化により処理速度が1.5倍に向上した。また、改良後のソフトウェアを用いて実試料の単体分離分析を実施した結果、産総研開発ソフトによって砒素含有銅鉱石の単体分離分析が問題なく実施できることを確認した。さらに、鉱石単体分離測定において大きな測定誤差をもたらすステレオロジカルバイアスに対する補正技術の開発では、新しい概念に基づく補正手法を開発し、数値解析的検証及び実験的検証により補正法の有効性を確認した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】単体分離、MLA、2D-3D 補正、銅鉱石、砒素除去

【研究 題 目】地熱貯留層評価・管理技術

【研究代表者】浅沼 宏（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】浅沼 宏、山谷 祐介、石橋 琢也、村田 泰章（常勤職員4名）

【研究 内 容】

地下への加圧注水等により人工的に能力を改善した地下地熱システムを EGS（Enhanced Geothermal Systems）と呼ぶ。EGS 型の地熱開発には様々な形態があるが、何れも地熱エネルギー生産量の拡大、開発可能地点の増大、熱エネルギー抽出の持続性維持等に大きく寄与可能であるとされている。福島県の奥会津地熱地域では柳津西山地熱発電所が約20年間操業を行っているが、地下の地熱貯留層への流体供給が不足していることに起因して地熱流体の生産量が減少するとともに様々な操業上の問題が生じている。石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）は、我が国における連続的な注水により地熱貯留層の能力回復を図る「涵養型 EGS」の工程を確立する目的で、2013年度から5年間のプロジェクトを地熱技術開発株式会社、奥会津地熱株式会社、当所へ委託する形で実施している。本プロジェクトにおいて、当所はモニタリングの部分を担当しており、微小地震、ならびに自然電磁波を用いて地下への注水の影響のモニタリングを目指している。プロジェクト4年目の本年は当所が同地域に設置した高密度・高感度微小地震モニタリングシステムを使用して微小地震の連続モニタ

リング、セミリアルタイム解析を継続して実施した。また、自然電位波を用いた繰り返し計測を実施し、注水が地下比抵抗構造に与える影響を評価している。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 EGS、地熱開発、涵養注水、微小地震、MT法

〔研究題目〕 肝疾患病態指標血清マーカーの開発と低侵襲かつ効率的に評価・予測する新規検査系の実用化（AMED 感染症実用化研究事業 肝炎等克服実用化研究事業）

〔研究代表者〕 成松 久（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕 成松 久、梶 裕之、久野 敦、
梅谷内 晶、佐藤 隆、松田 厚志、
曾我部 万紀、萩原 梢、藤田 弥佳
（常勤職員4名、他5名）

〔研究内容〕

本邦には約300万人の B・C 型ウイルス性肝炎患者が存在し、肝炎関連疾患で年間約4万人が死亡している。その主因となる肝がんは AFP、AFP-L3、PIVKA-II といったバイオマーカーを利用した診断が一般的であるが、正診率は7割程度に留まり、かつ再発を予測できるマーカーはない。そのため、高価な CT、MRI、超音波機器に頼らざるを得ないのが現状である。本課題では、肝炎から肝細胞がんが発生するまでの病態の進展や予後予測、治療効果を判定する一助となりうる新しい検査薬の実用化を目指し、①これまで肝線維化マーカー開発で実績がある独自の糖鎖バイオマーカー開発プラットフォームに更なる改良を加え、あらたな糖鎖バイオマーカーを探索し、検証する。②取得バイオマーカーの測定系を構築し、安定供給する。③構築した測定系で多施設多検体解析を行い、当該バイオマーカーの臨床的意義を明確にする。という開発項目を設定し、研究開発を行った。

本年度は以下の3つのマーカーについて取り組んだ。肝細胞がんマーカーは、昨年度までに肝がんの特徴的な糖鎖変化を有する肝がんマーカー糖タンパク質有力候補から2分子まで絞り込み、AFP 陰性肝細胞がん患者血清での反応性が認められたため、簡易アッセイ系を構築し、現在検証試験を進行中である。WFA⁺-MUC1については、ウイルス性肝炎肝がん患者症例組織標本を対象に免疫染色を行ったところ、がん部で染色性を示すことが判明した。この臨床的有用性を検討するために、マニュアル簡易測定系を利用し、2施設で収集された肝がん患者血清225検体の測定を先行的に行った。その臨床的意義について検討したところ、HCV 肝炎患者における肝がん再発予測などに有効であることが見出された。WFA⁺-CSF1R については、2施設で収集された1500検体を対象に有効性検証試験を行い、発がん前の肝細胞がん予測や、生命予後の予測に有用であることが示唆された。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 糖鎖、糖タンパク質、疾患糖鎖バイオマーカー、グライコプロテオミクス、肝臓疾患、肝細胞がん、迅速診断

〔研究題目〕 B 型肝炎ウイルスにおける糖鎖の機能解析と医用応用技術の実用化へ（国立研究開発法人日本医療研究開発機構 感染症実用化研究事業 肝炎等克服実用化研究事業 B 型肝炎創薬実用化等研究事業）

〔研究代表者〕 成松 久（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕 成松 久、梶 裕之、千葉 靖典、
久野 敦、梅谷内 晶、佐藤 隆、
館野 浩章、清水 弘樹、安形 清彦、
曾我部 万紀、助川 昌子、我妻 孝則、
辻川 紫華子、黒須 克恵、鈴木 奈美、
野呂 絵里花、富岡 あづさ、
田中 ナナ（常勤職員7名、他11名）

〔研究内容〕

日本には約140万人の B 型肝炎ウイルス（HBV）感染者がいると考えられ、新規治療法が期待されている。本研究は、平成28年度日本医療研究開発機構 感染症実用化研究事業として実施した。本研究では、B 型肝炎など肝疾患の専門家との協力体制（医工連携体制）により、HBV の感染過程における糖鎖の役割の解明と B 型肝炎の新規治療薬の開発を目的としている。

- 1) 血清から調製された HBs 抗原サンプルについてグライコプロテオーム解析を行った。L-, M-, S-HBs 抗原の主要な画分の糖鎖修飾部位の同定、付加率、ミリスチル化などの修飾についても解析し、HBV 感染とワクチン開発の基礎情報を取得した。
- 2) グライコム解析の結果から、肝細胞に発現する糖鎖構造と、感染性のある HBV 粒子（Dane 粒子）とサブバイラルパーティクル（SVP）とを区別する糖鎖を明らかにした。さらに、患者血清からレクチンを用いることによって、感染性のあるウイルス粒子（HBV DNA⁺）を濃縮できることが明らかとなった。
- 3) 肝細胞±HBV や HBV 分泌を抑制する siRNA 処理した細胞について、肝細胞特異的に発現する糖鎖関連遺伝子（糖転移酵素と内在性レクチン）を解明するために、トランスクリプトーム解析を行った。off-target、ストレスマーカー発現や糖鎖プロファイルなど副作用について解析した結果、siRNA 処理の有効性を確認した。
- 4) 1)の情報に基づき、糖転移酵素により修飾した糖ペプチドを合成、マウスに免疫し、HBV 特異的に反応する血清を得た。B 細胞から抗体 cDNA をクローニングし、発現・調製した抗体を用いて HBV 感染阻害実験を行った。治療に用いられる抗血清 HBIG と比較しても、同程度以上の阻害活性を確認した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕B型肝炎ウイルス、糖鎖、グライコプロ
テオミクス、レクチン、ワクチン

〔研究題目〕ヒト iPS 分化細胞技術を活用した医薬
品の次世代毒性・安全性評価試験系の開
発と国際標準化に関する研究

〔研究代表者〕中西 真人（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕中西 真人、中須 麻子
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

ヒト iPS 細胞は、再生医療や創薬支援技術の素材として期待が集まっているが、なかでも重要なのは、医薬品開発に用いられる標準的なヒト組織細胞の供給源としての役割である。現在、日米欧の三極で同じ基準で医薬品を審査するハーモナイゼーションの取り組みが進められており、一方では、実験動物を使った医薬品安全性試験を、ヒト培養細胞を使った試験で置き換える動きが進んでいる。このような状況を背景にして、医薬品開発に使用可能な、品質が一定の「標準ヒト組織細胞」の開発が注目を集めている。本研究では、「標準ヒト組織細胞」を作製するための前提となる「標準ヒト iPS 細胞」を作製する技術の確立を目指している。従来の技術で作製したヒト iPS 細胞は、品質にばらつきが大きいことが知られているが、我々が開発した欠損・持続発現型センダイウイルスに OCT4, KLF4, SOX2, c-MYC の4個の初期化因子（山中4因子）を同時に搭載した SeVdp-iPS ベクターを使うと、ほぼ均質な iPS 細胞を容易に作製できる。本年度は、iPS 細胞作製において品質や作製効率の変動をもたらす要因を減らすために、さらに初期化効率が高く均質な iPS 細胞ができるベクターの開発を進めた。その結果、山中4因子に2つの遺伝子を追加することで、フィーダー細胞を使用する条件下で最大50%の初期化効率を達成した。このベクターでは、良い（＝多能性が高い）iPS 細胞の指標である TRA-1-60 抗原陽性率も従来技術に比べて高かった。また、このベクターを使用して新たに複数株のヒト iPS 細胞を樹立し、同じ研究班のヒト心筋細胞分化誘導グループに提供して評価し、産総研で作製した iPS 細胞が、従来使われてきた標準的なヒト iPS 細胞と同等の性質を持っていることを確認した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕iPS 細胞、安全性薬理試験、心筋分化

〔研究題目〕メコン川流域における肝吸虫患者の
QOL 維持とがん予防に資する革新的診
断システムの開発と普及（AMED 医療
分野国際科学技術共同研究推進事業（戦
略的国際共同研究プログラム））

〔研究代表者〕成松 久（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕成松 久（他1名）

〔研究内容〕

本研究は、国内提案者の糖鎖・タンパク質に関する先端解析・診断技術を駆使し、タイ・ラオスで罹患率が非常に高い感染症である肝吸虫感染患者の、感染から発癌までの病気の進行や、胆管がん（CCA）の発がんリスクを低侵襲的に定量化できる革新的診断システムをタイ・ラオス研究者と共同で開発し、現地供給することを目的とする。本年はプロジェクト開始2年目であり、初年度に行った検討を元に、具体的なマーカー候補検証のための試験を進めた。

27年度のプレ実験の結果および27年度から28年度月上旬にかけて実施していたタイの追加サンプルマニュアルアッセイの解析結果から、産総研が開発したマーカー候補1は日本およびタイの CCA 患者サンプルにおいて有効であることが判明した。また、熊本大学およびタイコンケン大学（KKU）が開発したマーカー候補2および3は、開発目標である自動化アッセイ系に適用するためには改良が必要であることがわかった。しかし、日本のマーカーとタイの二つのマーカーでは特性が異なるため、コンビネーションアッセイでの有効性が期待される。

28年度上期から KKU にアッセイハブを設立するため諸手続きおよび承認を経て、11月初旬に自動免疫測定装置を設置した。本年度に倫理審査・承認を経たタイ血清試料（約350検体）について、マーカー候補1および関連4項目の測定を行った。結果、マーカー候補1の成績が既存の癌マーカーに比べ優位に高いことが分かった。

上述のとおりマーカー候補2および3について、マーカー候補1との特異性の違いおよびタイ人サンプルでの有効性が示唆されていたが、自動化アッセイに適用するためには最適化および抗体のクラスチェンジが必要とされていた。そこで、29年3月に KKU の研究者3名を産総研に招へいし共同実験を行った。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕バイオマーカー、がん、糖鎖、レクチン

〔研究題目〕腫瘍内不均一性を考慮した癌生細胞検査
法の開発

〔研究代表者〕杉浦 慎治（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕杉浦 慎治、高木 俊之、須丸 公雄、
金森 敏幸、田村 磨聖、佐藤 琢
（常勤職員4名、他2名）

〔研究内容〕

本研究では、不均一な細胞群を三次元培養下の形態と蛍光標識を指標として単離・培養できる『ハイコンテンツイメージングセルソーター』を開発する。これを用いて、マウス発癌モデルやヒト臨床検体由来の細胞からの細胞分離を実施する。

本年度は、培養基材、画像解析、分離プロトコルといった細胞分離関連技術を確認し、細胞分離装置の各種設

計を完了した。培養基材の開発および培養条件の探索に関しては、杉浦慎治（産業技術総合研究所 創薬基盤研究部門）と武藤倫弘（国立がん研究センター 予防研究部）が検討を進め、癌細胞が三次元培養下でより迅速に形態変化を示す培養条件を検討した。具体的には、ゲルの硬さ、ゲルを構成する高分子の組成および培養液に添加する増殖因子について検討し、数種の細胞株を用いて細胞分離の際に使用するゲルの組成のレシピを決定した。

細胞分離装置の開発に関しては、エンジニアリングシステム株式会社とともに平成26年度までに開発した3Dイメージングセルソーターをベースとして、蛍光撮像・解析機能を搭載し、三次元培養下での形態や、二次元および三次元培養下で蛍光標識された癌細胞を自動的に単離する装置、ハイコンテントイメージングセルソーターの設計を行った。ハードウェアおよびソフトウェアの設計を完了し、部材の調達を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞分離、がん診断、高分子ゲル、医療機器、光化学プロセス

【研究題目】我が国の技術の強みと密接な医工連携体制を活かした標的分子探索・検証のための多角的糖鎖解析システムの構築
(AMED 次世代治療・診断実現のための創薬基盤技術開発事業 糖鎖利用による革新的創薬技術開発)

【研究代表者】久野 敦（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】久野 敦、梶 裕之、榎谷内 晶、鈴木 祥夫、岡谷 千晶、野呂 絵里花、藤田 弥佳、富岡 あづさ、助川 昌子、菊池 真美子、田中 ナナ、鈴木 奈美、廣瀬 明子、角田 修一、島崎 裕子
(常勤職員5名、他10名)

【研究内容】

本事業では、糖鎖標的を探索・検証するための技術システムを、先進の国産糖鎖解析技術を改善、開発して3年以内に構築し、創薬標的シーズ（具体的には、5つ以上の疾患を対象に25以上の分子を糖鎖標的としてリスト化・精密糖鎖解析して設計図を作る）を導出することを研究目的とする。目的達成のために、本研究機関の分担研究者は[1] 極微量の糖鎖標的を検出、検証するための新しい技術の開発として、これまで困難であった組織標本等での極微量の糖鎖変化を網羅的に検出、検証するための超高感度化装置および自動分析装置の開発や、見いだされた糖鎖標的の候補分子を試料中から特異的に濃縮、調製する手法を迅速に構築する技術の開発を進めている。また、[2] 標的糖鎖を精密に構造解析するための新しい技術の開発として、微量のサンプルで糖タンパク質等の構造プロファイル（糖鎖構造、糖付加部位、その

不均一性等）を迅速かつ精密に解析する技術（大規模グライコリッジや高深度グライコリッジ法）の開発や、比較定量解析手法による標的糖タンパク質候補の絞り込み技術の開発、さらには得られた構造解析情報を解析し、その結果を利用しやすいように表示するソフトウェアの開発を進めている。開始年度である平成28年度は、手法の最適化、解析・評価方法のデザインを進めた。組織外研究分担者との協力・連携体制のもと、それぞれの課題は計画通り進められ、当初設定したマイルストーンもおおむね達成することができた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】糖鎖標的、治療薬開発支援技術、糖鎖、グライコプロテオミクス、レクチン

【研究題目】多様なグライコプロテオームおよび捕捉分子作製技術開発とその創薬への応用
(次世代治療・診断実現のための創薬基盤技術開発事業 糖鎖利用による革新的創薬技術開発)

【研究代表者】千葉 靖典（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】千葉 靖典、佐藤 隆、館野 浩章、清水 弘樹、横尾 岳彦、安形 清彦、高崎 延佳、高橋 佳江、中島 真理子、作田 智美、長島 生、黒須 克恵、萩原 梢、鈴木 加代、箕嶋 文
(常勤職員5名、他10名)

【研究内容】

病気の原因や進行の異なる患者に適切な治療を行う個別化医療では、その原因分子のみに作用する分子標的薬が中心的な役割を果たしているが、新規な標的分子の発見は年を追うごとに困難になりつつある。このような創薬標的の枯渇は、我が国の医薬品産業の直面する最も重大な課題の一つであり、新たな技術開発にもとづく創薬標的の拡充が望まれている。本事業では創薬標的探索に向け、糖鎖を利用した新たな創薬標的の探索手段の拡充を目指すべく革新的な創薬技術基盤の開発を行うことを目的とする。

本研究では、1) 糖鎖修飾酵素による糖アミノ酸修飾利用技術の開発および糖タンパク質精密合成技術のプラットフォーム化、臨床サンプルを利用した新規糖鎖標的に対する検証、2) マイクロ波利用糖ペプチド精密合成技術開発、3) 高効率な糖タンパク質抗体取得プラットフォーム開発、4) 糖鎖標的的特異的抗体の迅速スクリーニング技術開発、5) 糖タンパク質抗体評価技術プラットフォームの開発、の5つの課題を分担し研究開発を進めている。

平成28年度は、糖鎖修飾酵素の微生物での発現系構築、糖ペプチド合成に適したマイクロ波照射の原理検証、化学-酵素法による糖ペプチド合成、各種動物細胞を使った抗原糖タンパク質の調製と免疫、NGS を用いた抗

体産生細胞のクローニング技術の原理検証、免疫して得られた抗体候補の結合性、特異製、親和性に関する各種分析系の確立等の技術開発を行ない、これらの技術を組み合わせた検証試験を開始した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】糖鎖、標的薬、抗体、糖鎖合成

【研究 題目】ステルス型 RNA ベクターを利用した All-in-One 型ゲノム編集ツールの開発

【研究代表者】中西 真人（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】中西 真人、佐野 将之、飯島 実、海老原 利枝（常勤職員2名、他2名）

【研究 内容】

産総研が開発したステルス型 RNA ベクターは、1) 外来遺伝子を、染色体に挿入せずに安定に発現することができる、2) 4個以上の複数の遺伝子を同時に発現することができる、3) 遺伝子発現のレベルを調節できる、4) 細胞障害性が無い、5) 導入できる細胞種が非常に多い、6) 遺伝子発現が不要になったら簡単に除去できる、といった特徴を持っている。本プロジェクトでは、この特色を活かした安全性の高いゲノム編集技術を実用化することを目指している。本年度は、ゲノム編集酵素 Cas9 による非特異的 DNA 切断を回避するために、弱発現ベクターの骨格を構築すると共に、Enhanced Green Fluorescent Protein (EGFP) 遺伝子を標的として、Cas9 活性の検討を行った。また、Cas9 等の Nuclease を使ったゲノム編集では、ゲノム編集が完了した後は速やかにベクターを除去して副作用を回避することが重要となる。このため、siRNA による効率の良いベクター除去技術を完成すると共に、低分子化合物によるタンパク質の分解促進を利用したベクター除去技術の開発を進め、予備的な結果を得た。今後は、本プロジェクトの最終目標である PD-1 遺伝子の破壊活性を持つベクターを構築すると共に、産総研技術移転ベンチャーである「ときわバイオ株式会社」に技術移転して、実用化を図る予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ゲノム編集、遺伝子治療、がん治療、RNA ベクター

【研究 題目】光らせて・観て学ぼう！ 不思議なナノテクノロジーの世界

【研究代表者】安藤 昌儀

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】安藤 昌儀、茂里 康、川崎 一則、田村 繁治、鎌田 賢司

（常勤職員5名）

【研究 内容】

本プログラムは、学術がもつ意義や学術と日常生活との関わりに対する理解を深める機会を社会に提供し、科

研費研究成果の社会還元・普及を推進することを目的とした事業「ひらめき☆ときめきサイエンス」において実施した。我が国の将来を担う高校生を対象とし、受講生の科学的な好奇心を刺激して心の豊かさと知的創造性を育むよう、下記の内容で実施した。

講義では、科研費研究内容の説明に続き、現代の先端科学技術を支える重要な基盤の1つであり、さらなる応用の広がりが期待されているナノ材料とナノテクノロジーの概要、その研究に不可欠な分析機器（分光分析装置、電子顕微鏡、質量分析装置等）について受講生に学習させた。実験・実習では、分光分析装置を用いた蛍光・吸収スペクトルの測定、量子ドット等のナノ光機能材料の蛍光特性とセンサ機能、走査型電子顕微鏡および透過型電子顕微鏡による微細構造観察を受講生に体験させた。これらの講義および実験・実習を通じて、最先端の機器・実験施設で得られる情報、ならびに、科研費研究に含まれる科学の興味深さや面白さを分かりやすく伝え、研究の意義と成果について、受講生の理解を深めた。さらに、ナノ材料、光機能、ナノテクノロジーの発展可能性について考察させた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ナノ材料、ナノテクノロジー、光機能、センサ、電子顕微鏡

【研究 題目】腸管免疫と肝免疫、プロバイオティクスによる制御法の開発

【研究代表者】辻 典子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】辻 典子、根本 直、廣山 華子、神谷 知憲、渡邊 要平（常勤職員2名、他3名）

【研究 内容】

NAFLD/NASH モデルマウス (STAM マウス) はヒト NASH に類似した病態を安定的に発症する動物モデルである。遺伝子改変を伴わずに脂肪肝から脂肪肝炎、線維化、そして肝癌へと短期間で進行するため、NASH 治療・診断・予防の研究に適している。この STAM マウスにおいて乳酸菌 C60株の経口投与による疾病制御効果をみたところ、乳酸菌投与群で IL-6、IL-1 β 、CCL2、CCR2といった炎症性マーカーの顕著な抑制が再現性良く確認され、経口乳酸菌の NASH モデルにおける強い抗炎症効果が明らかとなった。この現象を説明し、かつより有効な疾病の予防・治療方法を開発するためには、腸管上皮の安定性やエンドトキシン量、腸内細菌叢について詳細な情報が必要となる。その一環として、NASH モデル (乳酸菌の介入あり/なし) の群の腸内細菌叢解析 (次世代シーケンサーを用いた16S rRNA 解析) を行ったところ、乳酸菌投与の影響がみられた。また、NMR を用いて NASH 疾患モデルマウスの血中メタボローム解析を行った。乳酸菌投与の効果として抽出されたマーカーと腸内細菌叢の多層解析を行っていく。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 肝炎、NASH、乳酸菌、抗炎症、腸内細菌叢、NMR メタボローム解析

〔研究題目〕 未来医療を実現する医療機器・システム研究開発事業 医療機器等に関する開発ガイドライン（手引き）策定事業

〔研究代表者〕 鎮西 清行（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 鎮西 清行、池原 譲、伊藤 弓弦、梅村 浩之、岡崎 義光、梶谷 勇、小関 義彦、坂無 英徳、榊田 創、達 吉郎、西田 正浩、花田 幸太郎、廣瀬 志弘、本間 敬子、山下 樹里、葭仲 潔、鷺尾 利克
（常勤職員17名、他7名）

〔研究内容〕

次世代の医療機器を早期に臨床導入するためには、円滑な機器の開発、迅速な薬事審査、市販後の安全維持を総括的に検討すべきで、これらは関連する産業の発展、国際競争力の強化、安心・安全な機器の利用、国民のQOLの向上に大きく寄与する。本研究は、円滑な機器の開発と迅速な薬事審査への寄与を目的とした開発ガイドラインを策定することにある。

平成28年度は、7つの開発WGを組織し、4件のガイドライン（手引き）（案）を策定し、英訳版ガイドラインを1件作成した。

- (1) 再生医療（ヒト細胞製造システム）開発WGでは、「再生医療等製品の製造所における安全キャビネットの設置と維持管理に関するガイドライン（手引き）」（案）を策定した。また、ISO（TC198/WG9）文書提案用「ヒト細胞培養加工装置についての設計ガイドライン（改訂）2015」英訳版を作成した。
- (2) 体内埋め込み型材料（積層造形医療機器）開発WGでは、「三次元積層造形技術を用いたコバルトクロム合金製人工関節用部材の開発ガイドライン（手引き）」（案）を策定した。また、積層造形丸棒試料等の試作、積層造形材の試験片加工、治具等の作製、装置のメンテナンス後、試作材の耐久性試験の実施、耐食性評価、骨プレートを例にした耐久性の統計学的処理方法を検討した。
- (3) 体内埋め込み型材料（生体吸収性材料）開発WGでは、「インプラント用マグネシウム合金の開発ガイドライン（総論）（手引き）」（案）を策定した。
- (4) 画像診断（近赤外イメージング検査システム）開発WGでは、「近赤外イメージング検査システム開発ガイドライン（手引き）」（案）について検討した。
- (5) 在宅用医療機器（人工呼吸器）開発WGでは、分散アラームシステム、インテリジェントアラームシステムに関する既存の規格類、内外のガイダンスについて調査を行った。

(6) プラズマ応用技術（プラズマ処置機器）開発WGでは、「外科手術用、及び内視鏡下手術用（体腔鏡下手術に使用される）低侵襲プラズマ止血装置開発ガイドライン（手引き）」の改訂案を策定した。

(7) スマート治療室開発WGでは、「スマート治療室開発ガイドライン（手引き）」の策定に向けたフィージビリティスタディーを実施した。

また、医療機器開発ガイドラインの普及活動として、手術ロボット、整形インプラントをテーマとした医療機器ガイドライン活用セミナーを3回開催した。合計369名が参加した。

セミナー開催に当たっては、厚生労働省および国立医薬品食品衛生研究所の共催および関連する諸学会の後援を得て、開発ガイドラインの内容紹介だけでなく、関連する次世代医療機器・再生医療等製品評価指標や関連分野の医学および技術、医薬品医療機器等法などの最新動向の情報提供につとめた。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 医療機器開発ガイドライン、薬機法、再生医療、生体適合性インプラント、低侵襲手術機器、医療用ソフトウェア

〔研究題目〕 医療機器開発推進研究事業「細胞チップを応用した超高感度マalaria診断装置の開発」

〔研究代表者〕 片岡 正俊（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 片岡 正俊、八代 聖基、山村 昌平、橋本 宗明、鎮西 清行、Sandy Junedi、芝田 いずみ
（常勤職員5名、他2名）

〔研究内容〕

目標：

世界3大感染症の一つで、WHOを中心として世界的な対策が図られているマalariaについて、治療法とともに大きな課題とされる診断法の確立を目標に、産総研独自の技術であるマイクロメーター単位のマイクロチャンバーを2万個、アレイ状に配列した細胞チップ基板技術を応用して、迅速・超高感度・易操作性のマalaria超早期診断デバイスの開発を進める。そのため、アフリカを中心とするマalaria流行地域での実証試験を企業との共同ですすめ、フィールドで誰でも簡単に使用できるマalaria原虫高感度検出デバイス開発を進める。さらに、感染マalaria種の同定や薬剤耐性の有無を判定するため、PCRによるオンチップ遺伝子解析系の構築を目指す。

研究計画：

マalariaは年間2億人の感染者と42万人が死亡する赤血球へのマalaria原虫による寄生虫感染症である。マalaria対策の大きな問題点として、迅速・高感度・易操作性の診断法は未だに開発されておらず、赤血球ギムザ染色の光学顕微鏡を用いた肉眼的観察がゴールドスタンダ

ードとされている。我々は、民間企業との共同研究により開発中の赤血球分離用カラムと蛍光検出機、さらに細胞チップによるプロトタイプのフィールド試験をアフリカや東南アジアなどマラリア流行域において患者血液を用いて行った。平成28年度では、赤血球単層配列と蛍光核染色により正確かつ高感度なマラリア検出を実証した。さらに、これらの検出技術を基によりフィールド使用に特化した CD 型診断デバイス開発を進めている。また、オンチップ PCR 系の構築のため、一細胞 PCR 系の条件検討を進め、マラリア感染赤血球一細胞から PCR 反応に基づく正確な種の同定法を構築した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 マイクロナノデバイス、細胞チップ、ギムザ染色、マラリア、マラリア診断、寄生虫感染症、光学顕微鏡、赤血球分離、蛍光検出、種、薬剤耐性

〔研究 題目〕 再生医療のための細胞システム制御遺伝子発現リソースの構築

〔研究代表者〕 五島直樹（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 五島 直樹、鍵和田 晴美、
福田 枝里子、高坂 美恵子、
久保 葉子、東 久美子、中村 明日香、
大槻 和重（常勤職員3名、他5名）

〔研究 内容〕

産業技術総合研究所及びバイオ産業情報化コンソーシアムは、基盤技術である①ヒト遺伝子発現リソースと②プロテイン・アクティブアレイについて、H27年度までには①は細胞システム制御遺伝子約1,500種類を追加し、②は約14,000タンパク質/基板の高密度アレイ作製による高スループット化を達成した。再生医療研究における機能的プロテオミクス解析の実施体制が整い、H28年度から、細胞移植における細胞の品質評価および移植患者の免疫応答モニタリング技術の開発を実施している。これらの技術により、細胞移植の安全性を、移植前から移植後まで全般に渡って支援することを目指す。具体的な研究開発内容は以下の通りである。

研究項目1: プロテインアレイによる細胞移植の安全性評価（移植後の評価）

1-1. プロテインアレイの検出効率の最適化

検出シグナルの SN 比の改善を目的に、血清検体とプロテインアレイの効率的な反応条件を検討した。血清にブロッキング材を添加して抗コムギヒト IgG を吸収することにより、コントロール抗原検出の CV 値 10%未満の目標に対して 5.7%を達成した。

1-2. プロテインアレイの性能評価及び細胞移植の安全性評価

約2万種のヒトタンパク質を、活性を維持したまま

搭載したプロテイン・アクティブアレイを用いて、京都府立医大木下教授らと角膜内皮培養細胞移植患者血清検体、京大高橋教授らと iPS 細胞由来神経細胞移植カニクイザル血清検体中の自己抗体の網羅的解析を実施した。何れも陽性抗体が検出され、その治療前後の検出強度の変動も評価でき、本アレイで生体の免疫応答が評価できることを確認した。特に後者に関してはヒトタンパク質搭載アレイでカニクイザル血清の抗体評価系が構築できた。また、網羅的アレイ解析での陽性抗原を搭載した ELISA 様式抗原結合プレートを作製し、多検体評価系を構築した。

研究項目2: プロテインアレイによる移植細胞の品質管理（移植前の評価）

2-1. 細胞プロファイリングによる移植細胞の品質管理系の構築

プロテインアレイを用いて、細胞抽出液中の酵素によるリン酸化反応を検出する技術を開発した。肝細胞分化誘導システム（タカラバイオ社）を用いて各分化段階の細胞を調製し、リン酸化活性プロファイリングを測定し、分化に特徴的なリン酸化活性の検出に成功した。

2-2. 血清成分を利用した非目的細胞亜集団の選別

京都府立医大木下教授らと移植細胞の品質の違いを血清成分の染色によって区別する技術を開発している。H28年度はプロテインアレイを用いて、血中に含まれる培養角膜内皮細胞品質分別因子（抗体）の抗原探索を実施した。

2-3. 脱細胞マトリクス残存タンパク質の定量プロテオミクス

慶應義塾大八木講師らとの共同研究により、ブタ肝臓脱細胞マトリクスを用いて、質量分析用サンプル調製法を確立した。本法にて約25種類の脱細胞マトリクス残存タンパク質を同定した。

研究項目3: 疾患・再生医療関連遺伝子クローンリソースの提供

阪大高倉教授らとの共同研究「Huvec から血管内皮幹細胞へのダイレクトプログラミング因子の探索」にて、血管内皮幹細胞で発現が亢進しているマウス遺伝子47種類について、ヒトホモログ遺伝子を選出した。産総研-JBIC のリソースにて未取得であった36クローン中29クロンの作製を完了した。

また、京大井上教授らとの共同研究「神経変性疾患タンパク質が結合する受容体・GPCR・チャネル探索への cDNA リソースの供給」において、GPCR 遺伝子約300クローンを選出した。実験系の検証のために HcRed を融合した muscarinic 受容体の4つの発現クローンを作製し、供給した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 再生医療、細胞システム制御遺伝子、初期化、分化誘導、iPS 細胞、免疫モニタリング、ダイレクトリプログラミング

〔研究題目〕 自己抗体マーカー探索システムの開発

〔研究代表者〕 五島 直樹（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 福田 枝里子、山口 圭、奥村大志（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

本機器開発プロジェクトでは各チームの達成目標を達成すると、各チームのアクティビティを統合した下記の図に示すように、乳がん、肺扁平上皮がん、膀胱がんの3種がん（下表）について、①血清サンプルの収集、②2万プロテインアレイの作製および測定、③LASSO法解析、④EN アレイ作製および測定、⑤がんマーカー評価を実施している。

アレイ用タンパク質合成

株式会社セルフサイエンスでは、高密度プロテインアレイおよびエバネッセント波アレイの作製に使用するタンパク質をコムギ胚芽無細胞タンパク質合成技術により調製し、各アレイ開発を担当する代表機関（国立研究開発法人産業技術総合研究所）および分担機関（北里大学、株式会社レクザム）に供給した。

自己抗体マーカー探索システムの開発

HORNET-NX 分注機をピンスポッターとして使用し、1536ピンをクルードタンパク質溶液とオイルに順に浸漬し、ピン先にオイルで被覆したタンパク質溶液の液滴を形成させることが技術的に可能となった。

コムギ無細胞合成系で合成した約20,000種のヒトタンパク質を参画機関のセルフサイエンスからクルード液で供給を受け、高密度プロテインアレイ作製法によって SBS 規格プレートの GSH 修飾-aC 基板に1536ピンヘッドによってスポットし、14000タンパク質/SBS規格プレートの密度でプロテインアレイを作製した。

北里大学で取得されたがん患者（乳がん、肺がん扁平上皮がん、膀胱がん）の血清、千葉大学で取得された健康人の血清を用いて、高密度な2万種プロテインアレイを用いて網羅的な自己抗体プロファイリングの実施を行った。

自己抗体測定試料の収集（千葉大学）

川崎病罹患者の急性期で標準治療である IVIG 超大量療法を開始する前の血清、合計70症例分を提供した。自己抗体測定が開始されているが、試料中に極めてバックグラウンドが高くなる症例の頻度が高いことから、その要因の探索を急いでいる。

エバネッセント波アレイの作製、評価および高感度自己抗体マーカー探索

エバネッセント波励起蛍光法によるアレイシステムを用いて、乳癌および肺癌患者血清中の腫瘍関連自己抗体の

検出を行った。既知、新規腫瘍関連抗原に対する自己抗体が、癌患者血清中に高率に検出された。多種の抗原に対する自己抗体を同時に測定可能な本システムは、癌診断のバイオマーカー検出法として臨床的有用性が期待される。

網羅的自己抗体解析の情報解析、マーカー候補自己抗体の絞り込みおよびデータベースシステム整備

Logistic Lasso を適用したマーカー候補探索プログラムを構築し、2万種タンパク質アクティブアレイからシグナルを検出し、乳癌、肺扁平上皮癌、膀胱癌、川崎病に関するマーカー候補自己抗体を探索した。結果として、疾患ごとに38個の候補マーカーの絞り込みを行った。また、本研究で得られるデータを蓄積するデータベースを構築した。

エバネッセント波測定装置の開発、評価

株式会社レクザムは EN 法のスループットを向上する為の取り組みとして、14Well スポット規格の開発・試作を実施した。またエバネッセントスキャナーの本体側について、北里大学における EN 法評価のスピードアップを図る為、14well 規格の自動解析を可能とするソフトウェアを開発すると共に、スキャン時間の短縮を実現した。

ELISA による単一有用自己抗体測定キットの開発および EN（エバネッセント）法による自己抗体測定キットの評価

初年度の研究計画では、弊社は EN（エバネッセント）法の市場調査、スクリーニングによって得られた自己抗体群の中から、単一で有用な自己抗体 ELISA 法の開発を担っている。従って、上記のスクリーニングが終了していないため、初年度は EN（エバネッセント）法の市場調査をメインに行った。市場調査には類似特許の検索やスクリーニングで選別された自己抗体マーカーの特許検索も含む。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 自己抗体、プロテインアレイ、免疫モニタリング、抗体プロファイリング、炎症性腸疾患、クローン病、潰瘍性大腸炎、がん、川崎病

〔研究題目〕 肝毒性予測のためのインフォマティクスシステム構築に関する研究

〔研究代表者〕 堀本 勝久（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 福井 一彦、井上 雅世、趙 楊（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は以下の通りである。a. In vitro 肝毒性マーカーパネルの構築のため、肝毒性に関する分子知識情報および分子計測情報を収集し、b. 肝毒性パネル構成分子群を設定する。当パネル構成分子群の選定におい

ては、サンプルデータ数に応じた通常の統計手法に加え、独自に開発した「表現型相異指向解析」を用いる。加えて、c. 収集整備した肝毒性に関する分子知識・計測情報を利用して、*in vitro* と *in vivo* データの新規ブリッジング手法の開発を行う。

上記研究目的の内、本年度の成果は以下のとおりである。

a. 肝毒性に関する分子知識・計測情報の収集・整備

In vitro 肝毒性マーカーパネルの構築のため、予備的に肝毒性に関する分子知識情報の網羅的収集を行い、同時に、公開データから肝毒性に関する分子計測情報を収集した。公開情報の収集が終了し、肝毒性予測パネル構成分子群及びブリッジングの解析結果の評価の際に利用する知識情報を習得した。

b. パネル構成分子群の設定

これら背景知識をもとに、医薬基盤件山田グループより提供された発現情報データについて、2つの分子刻印推定法により、データセット、濃度、計測時点、それぞれについて分子刻印（総数12,690）を推定した。

推定結果について、検索の利便性を向上するため、ウェブ形式で編集した。分子刻印については、さらにパスウェイ解析を実施し、パスウェイの有意確率に基づいた *in vivo* と *in vitro* で巨視的類似性を見積もる準備を開始した。*in vivo* と *in vitro* で巨視的類似性の推定に基づき、*in vivo* と *in vitro* との相異が顕著な薬剤群を見積もり、それらのデータに基づき最終的なパネル分子候補群を選定する。マイルストーンの達成状況:最終的な分子群候補選定のための準備が完了した。

c. *in vitro* と *in vivo* データのブリッジング手法の開発

in vivo と *in vitro* でマクロなブリッジングのための、有意パスウェイの順位相関（巨視的類似性）の解析準備を整えた。

また、*in vivo* と *in vitro* データのブリッジングのための *in vivo* 生理学的データの整理を行い、1. で解析が終了したすべての分子刻印との照応を可能にした（図4）。生理学的データを目的変数とし、分子刻印を説明変数とする *in vivo* と *in vitro* データのブリッジングの準備が完了した。

加えて、山田グループとの連携強化のため、独自技術であるネットワーク・スクリーニングの準備を行うと同時に、Gene Set Enrichment Analysis (GSEA) による類似薬剤探索法を実装し、入力薬剤刻印によって、入力した薬剤が最も類似する薬剤と推定される検証を行い、ブリッジングに関してパネル分子群を限定する方法以外のアプローチを検討したブリッジング手法開発のための準備が完了するとともに、肝毒性予測及びブリッジングに関する新規なアプローチの可能性を示すことができた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】遺伝子発現、肝毒性、創薬

【研究 題 目】プロスタグランジン受容体の立体構造を基盤とした創薬開発を目指す革新的技術の創出

【研究代表者】小林 拓也（京都大学）

【研究担当者】広川 貴次（創薬分子プロファイリング研究センター）

（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

本研究は、プロスタグランジン (PG) 受容体をモデルとして、立体構造を基盤とした創薬開発を目指している。同じターゲットに対して異なる技術を融合することで、創薬に向けた新しい技術基盤を立ち上げることを目標としている。本年度は以下の研究成果を得た。

小林は、①受容体の構造をアンタゴニスト結合型に固定化するアミノ酸残基を同定する方法を立ち上げた（論文投稿中）。これにより脂質受容体の結晶の分解能は著しく上昇し、アンタゴニストの結合した脂質受容体の X 線結晶構造解析に成功した（論文投稿中）。この技術は非常に汎用性が高く、別の種類の受容体の同じ場所にアミノ酸変異を導入すると、これまで分解能が伸びなかったターゲットにおいても、分解能を向上させられることを実証することができた（投稿準備中）。②同様に、このような技術を利用して、アゴニストの結合した脂質受容体の X 線結晶構造解析を目指している。本年度は、あるアミノ酸変異を受容体に導入することで、生産効率（リッターあたりの精製サンプル量）が向上し、アゴニスト存在下で再現性よく安定に精製することが可能になった。生化学的手法（リガンド結合実験など）により、発現量や熱安定性の向上した変異体は、アゴニストがしっかりと結合していることを確認した。このように、本年度は計画通り、精製可能な変異体を見出すことができた。③さらに、本年度は、通常、微小結晶に使用している大型放射光施設の X 線（マイクロフォーカスビーム）だけでなく、X 線自由電子レーザーを使って受容体の構造解析に成功した（論文投稿中）。これにより、結晶を凍結せずに X 線を照射することができるようになった。今後、凍結による蛋白質や結合するリガンドへのダメージを抑えることが可能になる。脂質受容体にも応用できる技術として期待している。④また、多発性骨髄腫など難治性の高いがん細胞に多く発現している PGRMC1/Sigma-2 受容体がヘムを介してホモダイマーを形成することで、がん細胞の増殖と薬剤耐性に関与していることをダイマーの立体構造を基に検証することに成功した（Nature Commun 2016, Free Radic Bio Med 2016）。脂質受容体においても、ホモダイマーの重要性を確かめていく必要がある。今後は、広川と連携して、PG 受容体の不活性型の結晶構造を基にアロステリック部位を予測、化合物ライブラリーによるインシリコスクリーニングにより、アロステリック制御因子 (NAM) の探索を推進する。

産総研では、プロスタグランジン (PG) 受容体の構造生物学データを医薬・創薬の問題に活用するために、構造情報に加え、分子動力学シミュレーションおよびインシリコスクリーニングを中心としたバイオ、ケモインフォマティクスの手法を適用し、立体構造に基づく機能メカニズムの推定により、生物学的現象の理解と薬剤の探索および分子設計を支援する。特に、分子動力学シミュレーションを積極的に活用し、アロステリック効果に本質的な相互作用部位を抽出し、合理的に構造変化を制御する化合物をインシリコスクリーニングにより探索する。インシリコスクリーニングによって選定された化合物は、他のグループと連携し、実験による評価や化合物の最適化を行う。その結果は、分子動力学シミュレーションやインシリコスクリーニングのパラメータ調整にフィードバックさせることで、PG 受容体の構造を制御する化合物探索・設計技術を高度化させる。

本年度の成果として、小林グループから提供される EP4 の不活性型構造の結晶構造を用いて、①抗体を含む全ての分子系の 1 μ 秒の MD 計算、②抗体を除いた分子系での 1 μ 秒の MD 計算、③内在性リガンド PG2 の結合モードの同定、を行った。その結果、①、②について構造は、1 μ 秒の間安定に存在しており、特に②の抗体を除いた系においても、アンタゴニストは EP4 に対して安定に結合していることが確認できた。さらにアンタゴニスト結合状態において、EP4 のポケット状態を観測した結果、アンタゴニスト結合の周辺にも構造展開が期待できるポケットが存在していることが明らかになった。今後、これらの情報を基に、アロステリック部位領域予測、化合物ライブラリーによるインシリコスクリーニングを行い、NAM の探索を行い、小林・細谷と連携して、選定した化合物の活性評価および最適化設計を始める予定である。内在性リガンド PG2 の結合モードについては、ドッキング計算により 5 つの候補結合モードが存在した。それぞれの候補結合モードに対して、1 μ 秒の MD 計算を実施した結果、1 つの結合モードが安定であることがわかった。今後、この予測結合モードを、EP4 のアゴニスト結晶構造解析にフィードバックしていく予定である。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕プロスタグランジン受容体、G タンパク質共役型受容体、分子動力学計算、インシリコ創薬

〔研究題目〕脳性麻痺者・脳卒中者の意思伝達支援のための非接触ジェスチャ認識インタフェースの開発

〔研究代表者〕伊藤 和幸 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所)

〔研究担当者〕依田 育士 (人間情報研究部門)
(常勤職員1名、他3名)

〔研究内容〕

脳性麻痺などの身体的な理由が原因で意思伝達装置などへの入力が困難な重度の運動機能障害者に対して、簡易なジェスチャにより情報機器を操作可能にするインタフェースの研究開発を進めた。低価格なインタフェースを供給することを目的に、市販の画像距離センサを利用し、既存の各種スイッチ等の利用を困難とする不随意運動や痙性に対応する非接触で非拘束なインタフェースを開発した。そのために、画像情報処理技術を活用し、①多種多様な脳性麻痺者、脳卒中患者の動き (ジェスチャ) の収集を継続するとともに日常生活における長期評価を実施し、②随意運動が可能な対象部位を基に類型化を行いながら、モジュール化されたジェスチャ認識エンジンの開発を継続しつつ、長期評価からのフィードバックを受けながら各種改良を実施した。

平成28年度においては、昨年度までに開発した1次認識エンジンを用いた実生活環境における日々の変動データを収集し、認識正答率を評価した。わずかな指の動き、足踏み動作を認識対象とした初期評価では80%以上の認識結果となった。認識エンジンは各動作に類型化された認識機能に加え、起動時に教師データを取得する機能を付加することで日々の体調変動に対応できることとした。

また、脳性麻痺者向けに、実生活において機器の操作が可能となるような状態遷移図 (操作メニュー) を構築し、ジェスチャによりリレー用スイッチ (意思伝達装置への入力)、学習リモコンによる電灯やテレビの操作、呼び鈴による呼び出しの3種類が可能となるシステムを構築した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ジェスチャインタフェース、ジェスチャ認識、インタフェース、パターン認識、3次元画像理解、重度障害者支援

〔研究題目〕バイオメディカル光イメージングにおける数理モデルと画像再構成

〔研究代表者〕星 詳子 (浜松医科大学)

〔研究担当者〕谷川 ゆかり、川口 拓之 (人間情報研究部門)、星 詳子 (浜松医科大学)、岡田 英史 (慶應義塾大学)、吉永 哲哉、河野 理 (徳島大学)、藤井 宏之 (北海道大学)、大川 晋平 (防衛医科大学)
(常勤職員2名、他6名)

〔研究内容〕

ふく射輸送方程式の解析から導かれる生体内光伝播数理モデルの妥当性の検証を目的として、光学ファントム、小動物、ヒトを対象に、フェムト秒パルス光源と高速の光検出器から構成される高精度時間分解計測システムを用いた生体計測を行い、数理モデルとの比較を行う。また、多チャンネル時間分解計測システムを用いて、ファ

ントムとヒトの計測を行い、画像再構成アルゴリズムの検証を行う。

平成28年度は、輻射輸送方程式数値解の実験的検証を目的とし、フェムト秒パルスレーザとストリークカメラからなる高精度時間分解計測システムを用いて光学特性値が既知の液体ファントムの計測を、また、ピコ秒半導体パルスダイオードと TC-SPC 法を用いた検出器からなる時間分解システムを用い、光学特性値が既知の固体ファントムやヒト頸部などの計測を行い、数値解検証の基礎データとした。ヒト頸部計測に際しては、MRI 計測から得られた被験者の形態情報を DOT 解析の先験情報として用いるため、MRI での計測姿勢を DOT 計測でも再現させる必要がある。そこで、光ファイバホルダを含めた計測治具の改良を行い、被験者の姿勢維持のための治具やホルダ固定具などを試作、位置精度を向上させた。この位置精度の検証として、ホルダ装着時と一旦取り外して再装着した場合の MRI 計測を行い、その位置制度について検討を行った。さらに試作した8ch 時間分解計測システムを用い、ファントム計測やヒト頸部計測を行い、数値解検証の基礎データを得ると共に、装置の精度や S/N などの性能評価を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 近赤外光を利用した生体計測装置、画像再構成、光学ファントム

【研究題目】 安全評価基準、効果性能基準、実証試験基準、中間審査会およびステージゲート審査会における審査基準、ロボット介護機器開発・導入指針の作成、開発補助事業支援、ロボット介護機器に関する調査、共通基盤技術開発支援

【研究代表者】 比留川 博久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】 比留川 博久、大場 光太郎、松本 吉央、中坊 嘉宏、松本 治、梶谷 勇、本間 敬子、角 保志、脇田 優仁、田中 秀幸、宮腰 清一、原 功、藤原 清司、尾暮 拓也、尾形 邦裕、大川 弥生（ロボットイノベーション研究センター）
吉田 英一、吉安 祐介、鮎澤 光、今村 由芽子、遠藤 維、小島 一浩、児島 宏明（知能システム研究部門）
堀 俊夫、三輪 洋靖、多田 充徳（人間情報研究部門）
西村 拓一、北村 光司、西田 佳史、福田 賢一郎（人工知能研究センター）
（常勤職員29名、他1名）

【研究内容】

サブテーマ「効果性能基準の開発」では、ロボット介

護機器製品の3次元モデルと想定する使用者の体格を反映した人体モデルをそれぞれソフトウェア上で構築し、機器使用時の人の姿勢推定を行い、関節角度・関節トルク・接触力・静的安定性など各種評価指標を解析した。

サブテーマ「今後のロボット介護機器開発・導入に関する調査」では、AMED の大規模実証事業として行われたコミュニケーションロボットの大規模実証試験で行ったデータ収集・解析結果をもとに、コミュニケーションロボットを「ロボット技術の介護利用における重点分野」にする必要性などを明らかにした。

サブテーマ「安全評価基準の開発」では、本質安全設計支援ツールの新機能として保護方策のコストについて定性的評価を行う機能などを実装し、コンテンツ（危険源、危険事象、保護方策など）を更新した。インシデント記録・可視化ソフトウェアにより493拠点（在宅を含む）のデータ収集に成功した。

サブテーマ「実証試験基準の開発、中間審査会およびステージゲート審査会における審査基準、ロボット介護機器開発・導入指針の作成」では、ロボット開発者を主な対象としたロボット介護機器実証試験ガイドライン第2案を作成した。新規参入する開発事業者に提供すべき情報を取りまとめ、倫理審査申請ガイドラインとしてまとめた。基本骨格の確立を目標とした、ロボット機器開発・導入指針第2案を作成した。

サブテーマ「開発補助事業支援」では、重点分野支援チームを組織し、安全設計・機能設計に関する支援、審査書類（開発コンセプトシート、リスクアセスメントシートなど）の作成支援などの開発事業者支援を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ロボット、介護支援機器、基準、評価、安全、効果

【研究題目】 エピゲノム解析の国際標準化に向けた新技術の創出

【研究代表者】 光山 統泰（人工知能研究センター）

【研究担当者】 齋藤 裕（常勤職員1名）

【研究内容】

目的：

エピゲノム解析では、目的とした測定結果が期待した品質で得られているかどうかは、大量の配列情報をゲノムにマッピングするなど、比較的高度な情報解析を経て判断できる。期待した品質に満たない場合には、その原因究明の手がかりを得るための情報解析が必要である。エピゲノム解析にとって適切な情報解析を実施することは本プロジェクトの成否を左右する。本研究では、エピゲノム標準化のための情報基盤である情報ツールとデータベースを構築する。

研究計画：

エピゲノムデータ標準品質検査作業

本プロジェクトで計測されたエピゲノムデータについて

て、配列データレベルの品質検査を実施する。

エピゲノム情報解析パイプラインの構築

Bisulfite-seq データ用の高精度パイプラインを開発する。

エピゲノムデータベースの構築

本プロジェクトで生産されたエピゲノムデータをカタログ化したデータベースを構築することで、エピゲノム研究コミュニティでデータ共有を促進する。データベースの構築を継続して実施する。

進捗状況：

エピゲノムデータ標準品質検査作業

品質検査パイプラインを構築し、本プロジェクトで計測されたエピゲノムデータの品質検査を実施した。

エピゲノム情報解析パイプラインの構築

Bisulfite-seq データ用の高精度パイプラインである Bisulfighter を開発した。

エピゲノムデータベースの構築

本プロジェクトで生産されたエピゲノムデータをカタログ化したデータベースを構築した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕エピゲノム、国際連携、データベース

〔研究題目〕ゲルマニウムスズ系薄膜のキャリア・熱輸送特性の最適化と高性能トランジスタ応用

〔研究代表者〕内田 紀行（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕内田 紀行、前田 辰郎、福田 浩一、服部 淳一、岡田 直也、

Chang Wen Hsin

（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

ゲルマニウム (Ge) は、シリコンを凌駕する高移動度特性を有する事に加え、従来のシリコン技術との整合性が良好な事から、ポスト Si の新チャンネル材料として有望視されている。また、Ge は高速性と光学特性に秀でた化合物半導体との格子整合に優れ、エレクトロニクスとフォトニクスを融合するプラットフォーム基板としても期待されている。最近では、Ge はスズ (Sn) 及び Si を添加する事で、さらなる移動度の向上や直接遷移化が予測されており、その物性とデバイス応用へ向けた研究開発が進んでいる。このような背景の中、本研究では、GeSn 層をトランジスタチャンネル材料として総合的に評価し、材料のポテンシャルを最大限引き出すことで、高性能かつ低消費電力なトランジスタの開発を目指している。これにより、指数関数的に増大する CMOS チップの低消費電力化に貢献する。また、Sn 添加による Ge の狭バンドギャップ化や直接遷移化は、Ge 系材料に新たな光学的应用への可能性を引き出すと予想され、エレクトロニクスとフォトニクスを融合させた新たな高

機能、高集積化デバイスの可能性を探索する。

今年度は、ルーベン大グループが固体基板上に単結晶、及び多結晶 GeSn、GeSnSi 膜を作製し、産総研グループは、キャリア輸送特性と熱輸送特性を評価し、それらをパラメータとしたデバイスシミュレーションを用いて、自己加熱効果を考慮に入れた最適なトランジスタ構造を探索した。具体的には、チャンネル、ゲートスタックやソース・ドレインコンタクト等、デバイス構造における熱輸送を計測し、多結晶 GeSn や Ge フィンをチャンネルとした、トランジスタを設計した。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕結晶成長、ポスト Si 材料、高性能トランジスタ

〔研究題目〕救急および災害現場で用いるポータブル血液検査装置の開発

〔研究代表者〕栗津 浩一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕芦葉 裕樹、藤谷 哲也、矢口 誠
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

現在の血液検査は病院内で採血を行い、病院内の別の場所において分析をしてその結果、感染症の有無を判断している。この間1~2時間を要するため初動が遅れる。また災害時には、電源がない状態も想定されるが、電源の得られない環境での血液分析は不可能である。そこで、血液数滴を用いて、ABO 血液型判定（ウラ、オモテ検査）、HBV、HCV、HIV および梅毒保有の有無を一次スクリーニングする小型・携帯可能電源搭載の測定装置を開発するのが目的である。血液は数滴採血した後、チップ上の穴から注入する。その後、結晶と赤血球に分離するマイクロ分離流路を経て、それぞれの検査部へとマイクロ流路を使って運ばれる。血液型判定（オモテ検査）では、流路に凍結乾燥抗体試薬を封入して、そこを通過することで血液と反応させた。ウラ検査では血球と反応させた。病原体検査項目としては、HBs 抗原、HCV 抗体、HIV 抗体、梅毒 TP 抗体とした。基板の修飾は HBs 抗原に対しては、抗 HBs33モノクローナル抗体、HCV 抗体に対しては core、NS3、NS4、NS5抗原、HIV 抗体検出には gp24、gp36、gp41、gp120抗原をそれぞれ流路下の基板に固定化した。全てにおいて検出が確認された。

〔領域名〕エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕バイオセンサー、携帯型センサー、光学センサー、抗原抗体反応

〔研究題目〕平成28年度地熱発電技術研究開発事業「地熱貯留層掘削技術」

〔研究代表者〕唐澤 廣和（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕唐澤 廣和、雷 興林、大野 哲二、宮崎 晋行、今泉 博之

(常勤職員4名、他2名)

【研究内容】

地熱井の掘削コストは地熱開発における全コストの40～60%に達するとされている。掘削コストを削減するための最も重要な技術的課題の一つとして、高効率・長寿命の掘削用ビットの開発が挙げられる。本研究では、地熱貯留層の掘削に適応した PDC ビットの開発を進めた (PDC: 多結晶ダイヤモンド焼結体の略)。既に石油開発分野で広く使われている PDC ビットは、従前より用いられてきたローラーコーンビットと比べ、掘進速度が速く、寿命が長いという特徴を有している。本研究は具体的に、①耐摩耗性・耐久損性・耐熱性に優れた PDC カッター (PDC ビットの先端に取り付けられた刃物) の開発、②高効率・長寿命の PDC ビットの設計および製作手法開発、③PDC カッターや PDC ビットの掘削性能評価、の3つのサブテーマより構成され、民間企業2社と産業技術総合研究所が共同で実施した。産業技術総合研究所では、③PDC カッターや PDC ビットの掘削性能評価に関する研究を主として推進した。室内掘削試験装置を用い、コアビットや6-1/4インチ PDC ビットによる岩石の掘削試験を行い、開発された PDC カッターや PDC ビットの性能を実験的に評価し、従来から石油開発分野で使用されているものと比較して、良好な掘削性能を有していることがわかった。また、チャンファを有する PDC カッターを用いて岩石の直線切削試験を行い、切削抵抗に及ぼすさまざまな実験パラメータ (岩種、切削深さ、レーキ角、チャンファの大きさ等) の影響を検討するとともに、数値シミュレーションによる検証を行った。切削深さが深く、チャンファ (面取り加工) の大きさが大きいほど、切削抵抗は高く、また、バックレーキ角 -5° から -10° 付近で、切削抵抗が小さくなること等が明らかとなった。これらの室内試験により得られた知見を基に開発された8-1/2インチ PDC ビットを用いて、地熱井掘削現場でのフィールド実証試験を行った。開発された PDC ビットの性能は概ね良好であったが、PDC カッターや PDC ビットの仕様に関する改善点が複数抽出された。カッターのバックレーキ角が大きい (絶対値は小さい) ビットの方が掘削速度は速かったが、ビット寿命に至るまでの掘削長は短かった。これらは今後の研究開発における課題と位置づけられる。その他、ビット寿命の評価・予測に資する基礎調査として、工具 (刃物) の摩耗に対する岩石や鉱物等の影響について文献調査を行い、特に石英の含有量、粒径、形状等の影響が大きい傾向があることがわかった。また、IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition に参加し、地熱井掘削への PDC ビットの適用状況に関する調査を行った。その結果、掘削ビットの耐荷重性や耐衝撃性の改善や掘削に伴う振動の抑制により、掘削性能 (掘削速度やビット寿命) の向上を目的とした技術開発が特に重要視されている

ること等がわかった。

【領域名】 エネルギー・環境、地質調査総合センター

【キーワード】 地熱、PDC (多結晶ダイヤモンド焼結体)、掘削、ビット、カッター

【研究題目】 新規取得試料の微生物学的分析

【研究代表者】 吉岡 秀佳 (地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】 坂田 将、吉岡 秀佳、片山 泰樹、金子 雅紀 (常勤職員4名)

【研究内容】

メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム (MH21) の研究の一部として、東部南海トラフ海底堆積物中の微生物のメタン生成活性と群集構造を調べることにより、微生物のメタン生成能力を評価し、メタンハイドレートの集積メカニズムの解明に貢献する。

本年度は、東部南海トラフにおける地盤調査及び海洋産出試験事前掘削において採取されたコア堆積物試料から低温性のメタン生成菌の集積培養・分離を行い、単離されたメタン生成菌を用いて、高圧培養試験を行い、圧力がメタン生成活性に与える影響を評価した。また、コア堆積物中に含まれる補酵素 F430の濃度測定を行い、メタン生成菌バイオマスが含まれていることを明らかにした。

【領域名】 地質調査総合センター

【キーワード】 海洋ガスハイドレート、微生物、メタン生成菌、メタン生成活性、遺伝子解析

【研究題目】 次世代海洋資源調査技術 海洋資源の成因に関する科学研究

【研究代表者】 池原 研 (地質情報研究部門)

【研究担当者】 池原 研、山崎 徹、下田 玄、針金 由美子、後藤 孝介、石塚 治 (活断層・火山研究部門)、佐藤 太一、井上 卓彦、片山 肇、板木 拓也、佐藤 智之、天野 敦子、小森 省吾 (地圏資源環境研究部門) (常勤職員13名)

【研究内容】

本研究では、海底熱水鉱床とコバルトリッチクラストの海底鉱物資源の成因に関して地質学的観点からテクトニック・セッティング及び成因に由来する地形的・地球物理学的情報や岩石学的・地球化学的情報を取得・解析し、新たな有望海域の抽出に資する各種地球科学的指標の特定と有用元素濃集域形成を伴う造構モデルの構築を行うことを最終目標とする。本年度はこのため、伊平屋北海丘、伊平屋小海嶺から平成26年度と27年度に得られた岩石試料に加えて、過去の科学掘削によって得られた試料の全岩主成分・微量成分化学組成分析を行った。これにより、熱源の実体と火成岩-熱水反応の実態につ

いてのモデルを構築した。これについては、SIP事業の研究開発成果資料集に公表した。また、沖縄トラフ伊是名海域での「ちきゅう」による掘削航海に参加し、資試料を得た。コバルトリッチクラストについては、モデル海山として調査・検討を進めている拓洋第5海山などにおいて採取されたクラスト試料の化学分析と解析を進めた。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕海洋資源、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、調査手法、民間連携

〔研究題目〕平成28年度国際共同研究事業多国間国際研究協力事業（DELTA: Catalyzing action towards sustainability of deltaic systems with an integrated modeling framework for risk assessment）

〔研究代表者〕齋藤 文紀（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕齋藤 文紀、田中 明子、田村 亨、上原 克人（九州大学）、堀 和明（名古屋大学）（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

河川から運ばれた土砂によって河口域に形成されるデルタ（三角州）は、地形的に低平であること、生物生産が高く、豊かな生物多様性を示し、多くの水路網やダイナミックに変化する海岸線によって特徴付けられる。デルタは、居住としての場に加えて多くの国々において農業や工業の中心となっており、国内総生産の多くを占めることから戦略的にも重要な地帯となっている。しかしながら現在世界の多くのデルタで地球環境の変化や人間活動の影響に応答して、デルタは自然機能が劣化し、脆弱性が增大する傾向にあり、今後更に状況が悪化することが懸念されている。本来デルタは、自然の機能によって自然災害などに対して復元力をもち応答してきたが、近年急速に増大する人間活動によって、脆弱な環境へと変化してきている。将来に向けて持続的なデルタの利活用、デルタとの共生を行うためにはどうすれば良いか。世界のデルタの脆弱性を評価し、デルタの復元力を活用したデルタの管理と意思決定を支援するツールの開発が緊急に必要とされている。本研究の目的は、以上のようなデルタにおける沿岸環境変化を背景に、個々のデルタに関して特徴的な機能や決定的な要因の更なる理解と、脆弱性を定量的に評価するための地域レベルで活用できる多様なモデリング構成を構築することにある。国際プロジェクトである本研究の中で日本チームは、メコン河デルタを主対象に地球科学的・自然地理学的な手法によりデルタの特性や自然機能を明らかにすること、モデル構築に必要な基礎データの確定や取得方法の確立を目的とする。平成28年度は、平成27年度までに行った研究成果のとりまとめを行い、成果を国際学術誌（Continental Shelf Research, Geology）に投稿し、

Continental Shelf Research の論文は受理に至った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕持続的成長、メコンデルタ、人間活動、デルタ

〔研究題目〕二枚貝養殖の安定化と生産拡大の技術開発

〔研究代表者〕崎山 一孝（日本海区水産研究所）

〔研究担当者〕高橋 暁（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

日本海沿岸各地のイワガキ天然資源が減少し、漁獲量も急減しているが、有効な資源回復方法はまだ開発されていない。一方で、夏季が旬のイワガキは需要が拡大しており、近年、各地で養殖が行われるようになってきている。これらのことから、イワガキ生産の増大に向けて、養殖業者への天然採苗種苗の安定供給、天然資源の回復技術の開発、外海域での養殖技術の開発が喫緊の課題となっている。これら課題に資するため、イワガキ養殖が盛んな舞鶴湾を対象に、その周辺海域を含めた数値モデルを作成し、幼生が発生する夏季における平均的な流動場を再現し、幼生追跡実験等により、イワガキ浮遊幼生の動態の解明を図る。

今年度は、舞鶴湾を含む若狭湾の海域特性を把握するための既存資料収集、数値モデルに必要なデータベース作成のための現地観測（京都府海洋センターが担当）および既存データの収集を行った。これら収集したデータを解析した結果、若狭湾は潮汐が小さく沖合を流れる対馬暖流の影響を受けること、潮流が卓越しないため風による吹送流や河川流入による密度流が卓越すること、さらに、台風にもなう風による急潮も発生すること等が明らかとなった。そして、これらの事を考慮した来年度構築予定の数値モデルの設計を行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕二枚貝、イワガキ、浮遊幼生、移流・拡散数値モデル実験

〔研究題目〕水温センサトレーサビリティ確立のための温度計校正・評価技術の開発

〔研究代表者〕中野 享（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕中野 享、斉藤 郁彦、Widiatmo V Januarius、丹波 純
（常勤職員5名）

〔研究内容〕

本研究の目標は、海洋の温度を計測する水温センサに対して、温度の国家標準との連鎖を構築するための校正技術を確立することである。本目標の達成に向けて、研究は以下の様な計画を進める。まず、水温センサの校正に使用する温槽の温度安定度、および、温度分布の測定を行う。そして、その結果から、温槽の性能に起因した

不確かさを評価する。次に、国家標準にトレーサブルになるように校正された基準の温度計を利用して、水温センサを比較測定する手順を確立する。これらの過程により得られた知見から、最終的に、比較測定による水温センサの校正の不確かさ算出方法を決定する。前述の計画に従い、平成28年度は、水温センサの校正に使用する温槽を24℃に保持した状態で、その温度安定度、および、温度分布を測定し、温槽の性能に起因した不確かさの評価を行った。そして、国際学会 (Tempmeko2016) において、その成果を報告した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】温度、校正、比較測定、標準、不確かさ
水温、海洋

【研究 題 目】パルス通電加熱法を利用した溶融核燃料の熱物性測定システムの開発

【研究代表者】渡辺 博道 (物質計測標準研究部門)

【研究担当者】渡辺 博道、山口 拓人
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

核燃料の溶融挙動解析において、融点以上での比熱、全放射率、溶融のエンタルピーは重要な物性値である。本研究では、パルス通電加熱法を利用して、溶融状態における核燃料の上記熱物性値を熱量法の原理により測定する方法の開発の一環として、非導電性の酸化物である核燃料を融点以上に急速加熱するシステムの設計・試作を行うことを目的とする。

上記の目的を達成するため、従来のパルス通電加熱装置に対して2点の改良を加えた。1点は、試料加熱のための加熱電流回路に並列にふたつのパルス通電加熱電源を接続し、両電源を独立に制御する事が出来るように加熱制御プログラムに改修を加えた。この改良により、最初に一方のパルス通電加熱電源を制御して、酸化物試料を融点直下の温度に加熱・保持した後、間髪入れずにもうひとつのパルス通電加熱電源を機能させ、融点以上の温度に試料を加熱する事が可能になった。第二の改良点は、大容量の直流電流源を並列に試料加熱電流回路に接続し、パルス通電加熱を実施する前段階で直流電流を流して可能な限り試料を加熱する機能の構築に着手した。試料セルの温度測定高度化のためにカーボンナノチューブ (CNT) を利用したセルの黒化処理方法に関しては、3次元物体表面に CNT を成長させる有力な手段である湿式法を活用した CNT 成長技術に関して新たに検討を行った。具体的には、湿式法による成膜法を用いても良好な CNT 膜を形成する事が可能な炭素材料を基材とし、触媒担持層を形成する最適な焼成温度を決定するため、基材表面の触媒担持層の組成/構造が焼成温度の違いにより、どのように変化するか調査した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】熱物性、タングステン、酸化物、カーボ

ンナノチューブ

【研究 題 目】微細構造解析プラットフォーム

【研究代表者】齋藤 直昭 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】齋藤 直昭、松林 信行、鈴木 良一、大島 永康、大平 俊行、ORourke Eugene Brian、中村 健、松崎 弘幸、山本 和弘、井藤 浩志、浮辺 雅宏、志岐 成友、全 伸幸、後藤 義人、服部 峰之、
(常勤職員15名、その他10名)

【研究 内 容】

本委託事業は、ナノテクノロジーに関わる最先端の研究設備とその活用のノウハウを有する機関が、緊密に連携して全国的なナノテクノロジーの研究基盤 (プラットフォーム) を構築することにより、産学官の多様な利用者による共同利用を促進し、個々の利用者に対して問題解決への最短アプローチを提供するとともに、産学官連携や異分野融合を推進することを目的としている。

公開装置は、独自に開発した計測装置や技術を中心に以下の7つの装置 (群) である：①陽電子プローブマイクロアナライザー装置 (周辺設備含) (PPMA) ②超伝導蛍光収量 X 線吸収微細構造分析装置 (周辺設備含) (S-XAFS) ③可視-近赤外過渡吸収分光装置 (4台、周辺設備含) (VITA) ④リアル表面プローブ顕微鏡装置 (3台、周辺設備含) (RSPM) ⑤固体 NMR 装置 (3台、周辺設備含) (SNMR) ⑥極端紫外光電子分光装置 (EUPS) ⑦超伝導蛍光 X 線検出器付 SEM 装置 (SC-SEM)。

これらの装置を用い、企業・大学研究機関からの要望に応じてナノ材料などの計測を実施して研究開発に貢献した。具体的な計測の支援実績は、①課題件数：73件 (目標63件以上) ②外部共用率：平均54 % (目標35 % 以上) (装置毎に異なる) ③外部共用のうち民間企業の占める割合：平均54 % (目標：平均20 % 以上) (装置毎に異なる) であり、いずれも目標の値を達成した。

利用講習会 (スクール) として、「第1回設備利用講習会 (PPMA)」「(陽電子ビーム利用材料評価コンソーシアム研究会との共催、2016年5月) と「第2回設備利用講習会 (RSPM)」「(日本顕微鏡学会との共催、2016年11、12月) を、つくば産総研にて開催した。これらにより、事業の宣伝とユーザ拡大、および人材育成を図った。また、地域公開セミナーを2回開催した。「大阪大学・産総研 微細構造解析プラットフォーム合同セミナー」(大阪、2016年6月)、「産総研 微細構造解析プラットフォーム地域セミナー」(2016年11月、東京) である。さらに、JASIS2016展示会、次世代ものづくり基盤技術産業展 TECH Biz EXPO 2016や Nanotech2017など、各種の展示会にも出展し、事業の宣伝によるユーザ拡大とユーザニーズの把握を実施した。

【領 域 名】計量標準総合センター

〔キーワード〕 ナノテクノロジー、機器公開、研究支援、先端計測機器、産学官連携、イノベーション

〔研究題目〕 HFCV GTR Phase2における水素適合性試験法の審議に必要な材料評価データの取得・解析

〔研究代表者〕 飯島 高志（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 飯島 高志、安 白、孫 正明、榎 浩利、中道 修平（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

2013年4月以降、国連基準 HFCV GTR Phase2（燃料電池自動車の世界統一技術基準の第2フェーズ）の審議が開始され、自動車用圧縮水素容器などについての審議に必要な適正なデータを揃え、国際合意の下で国内基準の適正化と国際基準調和ならびに国連基準と調和した国際標準化活動を行うことが急務となっている。その際、自動車用圧縮水素容器の安全性を保持し、コスト削減、量産性向上、国際競争力強化などもあわせて成立させる必要から、使用可能な材料を探索するための材料評価と試験法の開発を行い、国際基準等に適用できる材料試験法の確立が求められている。本事業では、HFCV GTR Phase2における水素適合性試験法の審議に必要な材料評価データの取得および解析を行う。そのために、試験材料の選定、低歪み速度引張(SSRT)試験や疲労試験などの材料試験方法の策定、および水素ガス圧力、温度などの試験条件について検討し、高圧水素ガス環境下での材料試験を実施する。

平成28年度は、水素適合性試験法作成のための高圧水素ガス中材料試験装置ならびに大気中材料試験装置を導入し、実証試験を開始した。低速度引張 (SSRT) 試験に関しては、大気中、室温、 -45°C 、 -80°C における、SUS304、SUS316、SUS316L の試験を実施し、当初予定していた試験データの取得が終了し、高圧水素ガス中での SSRT 試験データの取得を開始した。また疲労寿命試験に関しては、大気中、室温において SUS304を用いた14S-N 法による材料試験を実施するとともに、大気中、低温での疲労寿命試験データの取得を進めている。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 燃料電池自動車、水素適合性試験、国連基準、国際基準調和

〔研究題目〕 次世代ガス化システム技術開発「水蒸気添加噴流床ガス化炉におけるタール改質促進技術の開発」

〔研究代表者〕 松岡 浩一（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 松岡 浩一、倉本 浩司、細貝 聡（常勤職員3名）

〔研究内容〕

従来の噴流床石炭ガス化は、酸素を主たる酸化剤とするが、本基盤研究ではこれに水蒸気を添加して総括のガス化における水蒸気改質反応（吸熱反応）の寄与を向上することで、冷ガス効率の向上が期待できる。一方、水蒸気改質による吸熱は、炉内温度の低下を伴い、石炭揮発成分に含まれるタールの残留を招く。従って、酸素／水蒸気吹き噴流床ガス化の実現には、冷ガス効率の最大化（ガス化炉出口温度の最小化）と残留タール濃度の最小化を両立するためのガス化条件設定求められ、場合によってはガス化炉設計の改良が求められる。本基盤研究では、水蒸気添加噴流床ガス化炉内を模擬した条件下における、加圧（1 MPa 以下）の流通式管状反応器を用いたチャー粒子による石炭熱分解タールの接触改質の実験的調査を行う。

本研究では、噴流床ガス化炉内を模擬する粒子落下式石炭ガス化装置を設計・製作し、実験を行った。常圧条件下、2種類の石炭を用い実験を行い、ガス化温度を 900°C とした場合、どちらの石炭とも、水蒸気の添加によるタール低減効果は認められなかった。一方で、チャーのガス化は進行し、チャー収率の減少とガス収率の増加を確認した。今後、チャーを石炭と同時に供給することによって、チャーによるタール改質効果を検討し、加圧容器に本実験装置を内蔵することによって、加圧条件下における、チャーのタール改質効果を確認する。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 石炭、ガス化、タール分解、改質

〔研究題目〕 定置網漁獲物のシームレスなスーパーチリング高鮮度流通体系の構築・実証と各種漁業への展開

〔研究代表者〕 稲田 孝明（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 稲田 孝明、小山 寿恵（省エネルギー研究部門）永石 博志（北海道センター）（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

漁獲物の冷却過程の簡易計算手法を開発し、漁獲物の魚や漁獲量に対応したスラリーアイス最適投入量を求め、船上での漁獲物処理方法の最適化に貢献する計算データを提供することを目的としている。また、スラリーアイスの氷粒子径の制御方法を提案・実証し、脱水氷の性状制御方法を確立して、漁獲物のスーパーチリング輸送に向けて最適化された脱水氷の提供に貢献することを目的としている。

今年度は、スラリーアイスによる漁獲物の冷却過程を、集中熱容量近似を用いて一次的にモデル化することで、簡易な数値計算による冷却過程の計算が可能となり、魚の中心温度、表面温度、海水温度の変化を計算することができるようになった。モデルの改良を図りながら典型的な条件における計算を行い、計算結果に基づいて冷却

の律速過程について考察した。

また、スラリーアイス中の氷粒子の粒径変化を測定する手法を検討し、光学顕微鏡による観察の有効性を確認した。塩分濃度を変えてスラリーアイスの氷粒子径変化を測定し、脱水氷の制御に必要な基礎データを取得した。塩分濃度が高くなると、氷粒子径の変化量は小さくなる傾向を、定量的に確認することができた。また5時間以上の測定が可能であることも確認した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】氷、漁獲物、流通

【研究 題 目】化学物質の有害性予測および環境リスク
評価・管理システムの高度化

【研究代表者】林 彬 勲 (安全科学研究部門)

【研究担当者】林 彬 勲、内藤 航、加茂 将史
(常勤職員3名)

【研究 内 容】

既存化学物質の60%~80%はハザード情報が欠如しており、さらに毎年数千の新規物質が登録される。一方、動物愛護等の観点から有害性試験の代替法が求められる。2014年と2015年に2回、日化協会会社を対象に、QSAR 的な有害性情報推定機能開発の重要性についてアンケート調査を行った結果、QSAR 開発の重要性は「重要」と「とても重要」の回答は75%を占め、業界での QSAR 開発ニーズが高いことが明らかにされた。AIST-MeRAM (産総研) は化学工業界のニーズを最大限にマッチングさせて開発したツールで、中には約3900物質16万個の毒性データのデータベースを搭載しているが、毒性データのない物質のリスク評価管理には対応不可能であるほか、より精緻なリスク評価管理に対応するため、欠損している毒性データや物性データの補完が望まれている。一方、ToxCalc (豊橋技科大) は事業者の毒性情報推定ニーズに対応するため開発された QSAR で、TFS (Topological Fragment Spectra) 法を活用することで予測化合物と利用可能なデータ群に応じて動的にモデルを生成することによって毒性データを予測する QSAR モデルである。

本研究は、産総研と豊橋技科大との専門性および技術ノウハウを活かすことで、事業者の直面する有害性情報のない未点検既存化学物質や新規物質などのリスク評価管理を可能にするための高度なシステムを開発する。具体的には、AIST-MeRAM と ToxCalc とのコラボによる相乗効果により、AIST-MeRAM のリスク評価機能の進化を図る。すなわち、AIST-MeRAM に搭載された豊富かつ高品位な化学物質のハザード情報のデータベースを背景に ToxCalc の予測機能向上及び物性値予測ツール (ChemCalc) の開発を企図し、更に両ツールからのフィードバックとして欠損する有害性情報・物性情報の補完を受けることで、より広範な物質のリスク評価管理を可能にすることを目指す。

2016年度では、研究の最終目標に向けて、大きく二部の研究作業を行ってきた。第一部：引き続き、積み残した開発項目の作業 (Windows10対応など) や各種機能の改善 (SSD 等)、化審法の評価ガイダンス変更等に伴う評価機能の更新、環境省初期リスク評価書 DB と環境省農薬 DB の搭載などの作業を行い、完成度の高い MeRAM Ver.2.0の成果物 (日本語版&英語版) を作成した。同時に、これらの成果物活用を促進する活動 (セミナーやユーザー対応) と環境整備 (WEB ページやガイダンスの充実等) にも取り組んだ。第二部：豊橋技科大とのコラボに関連した研究作業を行った。搭載 DB の信頼性標識追加と英語化、KATE 推定値の活用検討や国立環境研究所との連携推進、豊橋技科大学の QSAR システム (PEACH) 開発のための MeRAM DB の自動エクスポート機能開発などを行った。また、豊橋技科大の学生を受入、MeRAM DB の解析や PEACH 開発用 DB 作成などの協働作業を行った。得られた主な研究成果の概要は以下に示す。

- 1) AIST-MeRAM Ver. 2.0.1日本語版の公開 (ユーザーへの配布済み)。
- 2) AIST-MeRAM Ver. 2.0.0英語版の公開 (ユーザーへの配布済み) 及び ICCA-LRI 淡路島ワークショップでの教育セッション開催 (7カ国から33名の参加者から好評)。
- 3) 国立環境研究所の KATE システムとの接続調査を行い、その結果を調査報告書としてまとめた。
- 4) 平行して開発している PEACH-QSAR システムとの接続のための外部インターフェースについての検討を行い、MeRAM から PEACH-QSAR システムの予測値を活用する接続方式について調査し、報告書にまとめた。
- 5) PEACH-QSAR システム開発のため、MeRAM の搭載有害性 DB の信頼性標識整理、環境省の DB の拡充などを行い、MeRAM Ver. 2.0に搭載した。
- 6) MeRAM の DB から信頼性や毒性種別などの条件を指定して、PEACH-QSAR システム開発用の有害性データセットを自動的にエクスポートできるような機能および仕様を検討し、インターフェースの開発に着手した
- 7) 豊橋技科大の学生を2ヶ月間 (2017年1月9日から2月23日) 受け入れて、MeRAM の DB 解析、MeRAM からの PEACH 開発用 DB の作成などの協働作業を行った。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】生態リスク、リスク評価、ユーザーフレンドリー、種の感受性分布、個体群存続、リスク管理、化審法

【研究 題 目】「IoT 推進のための新産業モデル創出基盤整備事業 (ライフデータ解析を用いた

健康増進モデル事業)におけるライフデータを用いた健康増進モデル実証事業」
実証事業① 複数のリスク因子を効率的に見いだす候補探索法の実証

【研究代表者】 織田 雅直 (創薬基盤研究部門)
【研究担当者】 織田 雅直 (創薬基盤研究部門)、
瀬々潤、富井 健太郎、今井賢一郎 (人工知能研究センター)
(常勤職員4名、他3名)

【研究内容】

日本国内で収集されている大規模なライフデータを活かしてヒトの疾病に関わるリスク因子を探索するために、本事業では我々が開発した情報処理技術で大規模なライフデータの解析に利用し、我々が開発した情報処理技術が大規模なライフデータ解析に有効であるかどうかを検証するとともにヒトの疾病に関わるリスク因子を探索した。日本国内で収集されている大規模なライフデータとしてバイオバンク・ジャパンの20万人の疾患患者のゲノム情報と診療情報を用いた。また統計情報処理技術として我々が開発した LAMP 法を用いた。バイオバンク・ジャパンの中で疾患患者数が1,500名程度以上あるバセドウ病、子宮筋腫、アトピー性皮膚炎、関節リウマチの4疾患を選択し、これらの疾患に関し疾病に関わるリスク因子の探索などの解析を実施した。その結果、LAMP の実行は、コーディング領域などの生物学的に重要な領域に着目することで、ほぼ全組合せを一般的なワークステーションにおいて計算することが可能であることを実証した。さらに、4つの疾患に対して解析を実施し、多数の疾患に関する変異の組合せを検出することができた。疾患によって検出された数は異なるが、疾患における検出した SNP (遺伝子) の組合せを考えると、新たな疾患原因因子を検出できる可能性を提示することができたと考える。

【領域名】 情報・人間工学、生命工学

【キーワード】 統計検定、疾患、機械学習

【研究題目】 (1) 農業のスマート化を実現する革新的な生産システム②収量や成分を自在にコントロールできる太陽光型植物工場

【研究代表者】 川崎 一則
(バイオメディカル研究部門)
【研究担当者】 川崎 一則、平澤 誠一、川崎 隆史、
加藤 晴久、綾 信博、辻内 亨、
安井 久一、丸山 豊、兼松 渉、
苑田 晃成、小比賀 秀樹、大内 尚子、
田中 智子、白井 薫
(常勤職員11名、他3名)

【研究内容】

植物工場におけるファインバブルの生育促進効果の実証を目的とする研究開発において、産総研の分担では、

植物工場の栽培養液におけるファインバブルの計測評価技術の確立を目指している。本年度は、植物工場(トマト栽培およびレタス栽培)で用いられたウルトラファインバブルを含む養液について、PTA法を用いてウルトラファインバブルのサイズおよび濃度を測定する方法を実証した。植物工場におけるファインバブル計測評価技術の確立のための基盤技術情報獲得のため、バブル以外にも固形成分が存在することを想定したGPTA (gravitational particle tracking analysis)法を用いたモデル物質に対する検討を実施し、その測定精度ならびに有効性を検証した。また、植物の育成に対するファインバブルの効果を実証するために、植物工場の養液を適切に現場サンプリングして安定に輸送するためのプロトコルの開発を行った。異なるタイプの植物工場において異なる作業者が現場サンプリングを行った場合でも、適切にファインバブル計測を行うための現場サンプリング・輸送用ツールを整備した。植物工場環境からサンプリングを行い、それを密封保管し、輸送できるような、できるだけ単純で簡易なサンプリング装置・輸送コンテナ、及び、それを使うための手順(プロトコル)を考案した。併せて、現場、あるいは輸送中のバブルの状態変化を簡便にモニタリングする方法を検討した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 微細気泡、ファインバブル、マイクロバブル、ウルトラファインバブル、植物工場

【研究題目】 ウイルスワクチンを安心安全に生産するための先端遺伝子工学技術の開発

【研究代表者】 川崎 一則
(バイオメディカル研究部門)
【研究担当者】 川崎 一則、川崎 隆史、白井 薫
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

平成28年度沖縄感染症研究拠点形成事業(創薬分野)の研究課題において、ウイルスワクチンの構造・物性の解析と評価を担当している。ワクチン用の抗原タンパク質試料の微細構造を評価する電子顕微鏡観察を実施し、タンパク質分子がとる構造体の形状やサイズの解析により、ワクチンとしての免疫誘導の機序を考え、ワクチンを再設計する指針を得ることを目標としている。研究代表機関の有限会社生物資源研究所がカイコ蛹で作製したワクチン試作品を評価するために、本年度はH7型インフルエンザウイルス用試作ワクチン(H7型ヘマグルチニンタンパク質)の観察を実施し、直径100 nm程度の膜小胞にスパイク構造が伴ったウイルス様粒子(virus-like particles, VLP)の構造を再確認するとともに、試料中に直径が数nmの微粒子が多数混在することを示した。ショ糖密度勾配遠心処理した分画を解析し、微粒子が除去されVLP構造の精製度が改善されること

を明らかにした。次に、インフルエンザウイルスの H5 型ヘマグルチニンと H7 型ヘマグルチニンの抗原タンパク質混合試料についても、ネガティブ染色法による観察を行い、VLP 構造の形成を確認した。さらに、日本脳炎ウイルス GV 型 (Muar 株) およびジカウイルスの抗原タンパク質の各試作ワクチンについてもネガティブ染色法による検討を行い、いずれにおいても VLP の構造を明らかにした。加えて、本年度はカイコ蛹の切片試料の作製と切片像撮影の方法を整備した。参画機関である株式会社沖繩 UKAMI 養蚕が飼育したエリ蚕の蛹を用いて、良好な切片像を取得することに成功した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ウイルス、ワクチン、抗原タンパク質、タンパク質精製、電子顕微鏡

【研究 題 目】miRNA 検出用基準物質の構築における定量評価技術の開発

【研究代表者】野田 尚宏

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】藤井 紳一郎 (物質計測標準研究部門)
佐々木 章 (バイオメディカル研究部門) (常勤職員2名)

【研究 内 容】

蛍光相関分光法 (Fluorescence correlation spectroscopy; FCS) を利用し、上位の標準物質からの計量計測トレーサビリティの実現という課題を解決することを目指して、miRNA の参照標準物質候補品の評価技術の開発を行った。また、FCS から得られた結果と一次標準測定法である同位体希釈質量分析法 (Isotope dilution mass spectrometry: ID MS 法) とを比較し、その妥当性を検証した。具体的には、miRNA 参照標準物質候補品を選定し、それらを用いて FCS 法による評価を行うとともに、質量分析技術による値付け技術の開発を行うとともに測定妥当性の確認試験を行った。

その結果、FCS による miRNA の検出における試料調製法の開発と検出試験では、実際に検出試験を行い、基礎データを積み重ねたことで精確な miRNA 定量評価を実現するために今後解決すべき課題を見出すことができた。さらに、蛍光相関分光法の測定装置を蛍光色素標準物質で校正し、精確な miRNA 濃度を算出するための標準プロトコルの原案を策定した。さらに、ID MS 法を miRNA の測定に適用し、測定可能性の検証を行った。その結果、その濃度条件から、反応条件、分析条件を設定することが可能となった。当該 ID MS 法においては、試料溶液中のヌクレオチド成分を全て測定することとなるため、miRNA としての純度情報を別に得る必要があるものの、miRNA の高精度な測定技術の実現の可能性を示すことができた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】miRNA、蛍光相関分光法、質量分析法、

核酸標準物質

【研究 題 目】医工連携事業化推進事業実証事業「在宅歯科医療における口腔感染症や誤嚥性肺炎の予防機能を有した抗菌性粘膜調整材の開発・事業化」

【研究代表者】槇田 洋二 (健康工学研究部門)

【研究担当者】槇田 洋二 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

超高齢社会における義歯装着人口の増加に伴って、在宅歯科医療における粘膜調整材の市場規模が拡大している。しかし、在宅歯科医療での義歯治療で頻用される粘膜調整材は、多孔性で粘弾性が大きく微生物 (細菌、真菌) が付着し易いため、口腔環境を悪化させ、抵抗力の減退した高齢者の全身への持続的な感染源となり、誤嚥性肺炎発症のリスク要因となっている。本研究では、この問題を解決するために、微生物が付着し難く、汚染・劣化を防止できる無機系抗菌剤を応用した抗菌性粘膜調整材を企業・大学と共同開発し、事業化を目指す。産総研は、主に「無機系抗菌剤の調整方法の確立」、「抗菌性粘膜調整材の試作」、「知財戦略の立案」を担当する。

平成28年度は、粘膜調整材界面からの抗菌成分の溶出量を調べるために、抗菌性粘膜調整材表面に湿潤保水シートを貼り付け、37℃で24時間静置した後、保水シート中の抗菌成分を定量し、1 cm²・1日あたりの抗菌成分の溶出量を見積もった。上下顎総義歯床面積60 cm² (文献値) で換算した抗菌成分の溶出量は、同じ抗菌成分を含有する市販医薬品ののど飴の1日に摂取可能な量の1/20以下となった。抗菌成分の溶出量は1日目が最も高く、2日目以降はより少ないことから、本研究で開発する抗菌性粘膜調整材の安全性高いことが示唆される。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】抗菌、粘膜調整材、義歯、在宅医療、誤嚥性肺炎

【研究 題 目】体液中マイクロ RNA 測定技術基盤開発・エクソソームを補足するための抗体及び抗原に関する調査

【研究代表者】五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】五島 直樹 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

がん組織特異的なエクソソームを選択的に補足するため、がん組織特異的に発現する膜タンパク質をターゲットとして、抗原-抗体反応等を利用する方法が考えられる。がん特異抗原 (CTA) を対象とし、CTA データベースに登録されているタンパク質の中でも、膜貫通領域を有するタンパク質を計算から導き出し、候補として提示することが可能である。

エクソソーム上にはそのエクソソームが生成された組

織に、特異的に発現しているタンパク質が存在していることが知られている。我々は、がん組織特異的エクソソームを捕捉するための抗体及び抗原に関する調査及びJBICの研究開発に関する指導を行った。

JBIC がエクソソーム捕捉のための抗体について調査を行い、「一般的なエクソソーム表面抗原を捕捉する試薬を用いた、エクソソーム捕捉系の構築」の評価を行った。

がん疾患関連組織特異的な抗原候補の選定については、表面抗原の中でも膜貫通タンパク質等が対象となると考察した。産総研では、がん特異的なエクソソーム表面抗原候補の探索の目的で、計算より導き出した膜貫通領域を持ちがん疾患関連組織に存在するタンパク質について調査を行い、さらにそれらの候補タンパク質と組織特異的なタンパク質の組み合わせを考慮し、効率的なエクソソーム補足系の情報を収集した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】エクソソーム、がん、がん特異的抗原、細胞表面マーカー、miRNA

【研究題目】平成28年度高機能 JIS 等整備事業：安全・安心な社会形成に資する JIS 開発「アクセシブルデザイン（AD）に関する JIS 開発」

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、倉片 憲治、伊藤 納奈、大山 潤爾、佐川 賢（人間情報研究部門）、横井 孝志（日本女子大学）（常勤職員4名、他2名）

【研究内容】

本事業では、ISO/IEC Guide 71改訂版をさらに発展させ、アクセシブルデザイン（AD）技術の体系化及びAD製品の使用性評価に必要な JIS 群の開発を目的とする。

平成28年度の実績は以下のとおりである。(1)「高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活用製品の音声案内」の審議委員会の運営及び技術的検討を行い、JIS 素案を作成した。(2) JIS S 0012「高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活製品の操作性」の改正に必要な技術的検討を行い、JIS 素案の作成に協力した。(3)「高齢者・障害者配慮設計指針－視覚障害者にも使いやすい取扱説明書の作成指針」の技術的検討を行い、JIS 素案の作成に協力した。(4)「高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活用製品のアクセシブルデザイン使用性評価」の技術的検討を行い、JIS 素案の審議に協力した。

平成29年度は、日本工業標準調査会における上記 JIS の原案審議に協力し、JIS 発行を目指す計画である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】高齢者・障害者配慮、JIS、音声案内、操作性、取扱説明書、使用性評価

【研究題目】床面・路面ライティングに関する JIS 開発

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、渡邊 洋、氏家 弘裕、伊藤 納奈、倉片 憲治（人間情報研究部門）、堀 武幸、松原 勉、坂田 礼子、西平 宗貴、福高 新作、相川 真実、久野 徹也（三菱電気株式会社）（常勤職員5名、他7名）

【研究内容】

駅や商業施設、オフィスビル内等の移動では、施設の複合化やセキュリティ強化等により動線が複雑化し、また道路交通でも夜間の歩行者の死亡事故が多発している。

本事業ではこれらの課題解決のため、投影型照明により通路や道路などの床面や路面へ表示する高度な情報提供（以下、プロジェクション・ライティングと呼ぶ）のための、動的な図記号の表示ルールに関する高機能 JIS 開発を行うことを目的とする。

プロジェクション・ライティングの技術の適用事例として、通路においては床面への情報表示により、目的施設への誘導や非常時の誘導、危険回避を実現し、効率的で快適な移動を提供することが考えられる。一方、道路では路面への情報表示により、自動車（ドライバー）から歩行者あるいは自転車へ適切な危険回避情報を提供することで事故低減を狙えると考えられる。従来から行われている通路や路面での情報表示の方法は固定式のサイン表示にとどまっており、時々刻々変化する状況に対応して、適切な場所に適切なタイミングで動的に必要な表示を行う例はない。こうした新たな技術は現在技術的には実現可能である。これを人間工学的な側面を考慮した上で、誰にでも瞬時に理解できる情報表示技術として確立することにより、社会的な必要性が得られるであろう。この観点から、標準化の実現性は高いと言える。

本事業は、三菱電機株式会社（以下、三菱電機）との共同研究である。

平成28年度は、上記技術に関する JIS 開発を見据え、人間工学に基づく視認性・分かり易さの見地から、以下2点について調査・研究を実施した。

(1) プロジェクション・ライティングの日常生活における実用事例を国内、国外併せて24件収集した。調査結果として、全体として明るさ、色、文字の大きさ、提示タイミングなど視覚的な特徴は様々であり、特に一部の床面サインにおいては、文字が非常に小さいもの、また様々な図や絵などと誘導の記号が一緒になって情報が多いため、周辺環境の照度により、暗ければ問題なく視認できても、明るい見えにくくなりそうなものなどがあつた。環境や利用条件による視認性確保の基準が必要と考えられる。

(2) プロジェクション・ライティングが自転車使用者

のブレーキ選択行動に与える影響を、VR 装置を用いて定量的に明らかにした。被験者選定条件として20才代、40才代、60才代を設定することにより、ブレーキ選択率への加齢効果が明確に示され、ユーザーの特性に応じたサイン提示技術の開発が必要であることが示唆された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】 プロジェクションサイン、バーチャルリアリティ、視認性、アクセシブルデザイン

【研究 題 目】平成28年度 革靴履き心地解析等事業
「認証革靴のサイズ推奨アルゴリズム策定業務」

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、小林 吉之、森田 孝男、河内 まき子、元田 真吾（常勤職員3名、他2名）

【研究 内 容】

【目標】

高付加価値の日本製革靴について「Made in Japan 革靴」ブランドを確立し、新興アジア圏で「履き心地がよく、歩きやすく、美しく、靴に起因する足のトラブルがない革靴」としての認知を得るために、科学的根拠に立脚し、パフォーマンスの高い革靴の基盤となる2タイプの靴型（基準靴型）を開発してきた。足形状に基づいて、6 cm ヒール基準靴型を用いて製造された288足の靴（2タイプ×144サイズ）から適切なサイズ・タイプを推奨するアルゴリズムを策定することを目的とする。

【研究計画】

100名のモニターについて、288足の靴から選んだ最もフィットするタイプ・サイズの靴型、本人の足形状、その場での履き心地評価結果、1週間試履き後の履き心地評価結果の関係を調べる。この結果を元に、足の寸法と形状特徴から、最もフィットするであろうタイプ・サイズを推奨するアルゴリズムを策定する。

【年度進捗状況】

1週間試履き後に履き心地に満足していた人は予想外に少なかった（16 %）。多くの場合、前足部がきつい・当たる・痛いことが問題であった。この原因の1つは小さすぎる足囲サイズを選んだためと考えられる。そこで、足に合わないサイズの靴を選んだ人の足の形状特徴を調べた結果、大きいサイズを選ぶことに関連する形状特徴、小さいサイズを選ぶことに関連する形状特徴が明らかになった。また、2つのタイプのうちどちらのタイプを好むかに関する形状特徴も調べた。個人の形状特徴を販売員が簡単に認識できるようにするには、そのサイズの平均形状と比べることが有効だと思われる。以上の結果をもとに、タイプ・サイズ推奨アルゴリズムを作り、暫定版推奨ソフトを作成した。特徴は、(1) 顧客の足寸法

と選定したサイズがターゲットとしている足寸法の差を表示することで、かけ離れたサイズを選定しないようにする；(2) 顧客の足形状を平均形状と比較することで販売員にも顧客にも顧客の足形状特徴を容易に把握できるようにする；(3) 形状特徴に基づきタイプを推奨する、の3点である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】 デジタルヒューマン、人間工学、生体力学

【研究 題 目】「平成28年度「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：走行映像データベースの構築技術の開発及び実証」における「走行映像データベースに係る比較評価」

【研究代表者】加藤 晋（知能システム研究部門）

【研究担当者】加藤 晋、渡辺 顕司、渡邊 哲也、捧 和行（知能システム研究部門）

橋本 尚久（ロボットイノベーション研究センター）（常勤職員3名、他2名）

【研究 内 容】

2018年を目処に交通事故死者数を2500人以下とし、2020年までには世界で最も安全な道路交通社会を実現すると共に、交通渋滞を大幅に削減するとして政府施策目標の解決策として、人為的ミスの抑制や円滑な交通流の実現に向けた自動走行システムの実用化と普及が期待されており、その根幹をなす周辺環境認識技術の発展が望まれている。車載カメラ方式を用いた周辺環境認識技術において、交通弱者である歩行者や二輪車の形状や挙動の認識には、高解像度カメラで撮像された多数の歩行者画像を含む走行映像データベースが不可欠である。戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）の研究開発計画（2014年11月13日：内閣府）の〔I〕自動走行システムの開発・実証の研究開発内容であるセンシング能力の向上技術開発と実証実験の一つテーマとして、「走行映像データベース」の構築技術の開発及び実証（以下、走行映像 DB と称す）は、走行映像データベースの構築技術の確立を目標に平成26年度から実施されているが、産総研は平成27年度より参画している。平成28年度は、走行映像データベースに係る比較評価として、①他のデータベースとの比較の結果において絶対評価として高難易度なデータベースであると評価でき、相対評価として既存データベースと同様な利用が可能と評価できた。②走行映像データベースを物体検出における学習データとして使用することの優位性については、一般的な特徴抽出（HOG feature）と学習（Linear SVM）を用いて、歩行者識別率等の比較を行った。その結果、他のデータベースとの比較として、優良であると評価できた。③統計解析によるデータベースの性質（特性）評価においては、多変量解析手法を用い

てサンプル分布を可視化・比較することで、データベースに収録される映像の統計的性質を解析した。可視化に LgDA (Logistic discriminant analysis) を適用し、図から推測した傾向が、歩行者識別の判定結果と同様の傾向を示しており、性質を表す手法としての有効性を示し、報告書にまとめた。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 自動運転、走行映像データベース、多変量解析、データベース評価、評価手法

〔研究題目〕 ファインバブル利用による滅菌装置の開発

〔研究代表者〕 平澤 誠一 (製造技術研究部門)

〔研究担当者〕 平澤 誠一、綾 信博、三宅 晃司、苑田 晃成、小比賀 秀樹、鷲尾 利克、小関 義彦、葭中 潔、兼松 渉、辻内 亨、安井 久一、多田 敦美 (常勤職員11名、他1名)

〔研究内容〕

オゾンファインバブル水を用いた滅菌装置の開発にあたり、作業者ならびに被滅菌物へのオゾンファインバブル水の安全性評価、狭隘部での滅菌性能評価を行った。

対作業者安全性として、昨年度に検討実施したヒト皮膚モデルを用いたオゾンファインバブル水暴露試験法を用い、皮膚刺激性の追試を行った。生成直後のオゾンファインバブル水と1%及び5%次亜塩素酸ナトリウムによる暴露試験を行ったところ、オゾンバブル水と1%次亜塩素酸ナトリウム溶液は非刺激性、5%次亜塩素酸では刺激性との判定が得られ、評価法の妥当性と併せて、オゾンファインバブルの対皮膚安全性が示された。また、被滅菌物である医療器具材料のモデル物質として選定した SUS306、炭素鋼、シリコーンゴム、エーテル系およびエステル系のウレタン樹脂を対象とした暴露試験を行い、その影響を明らかとした。

狭隘部の滅菌性能評価として、2枚の SUS 平板間の付着物の除去能を評価するとともに、100ミクロンの空隙を有する対向 SUS 平板を対象とした無菌試験を、食品薬品安全センターに滅菌装置試作機を持ち込みのうえ実施し、当該装置による狭隘部滅菌が可能であることを確認した。

今後は、より幅広い医療機器材料のオゾンファインバブル水耐性に関する試験を通じ、製品の医療機器認証に寄与していく予定である。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 ファインバブル、滅菌

〔研究題目〕 セラミックスを用いた先進コーティング技術の調査研究

〔研究代表者〕 土屋 哲男 (先進コーティング技術研究センター)

〔研究担当者〕 土屋 哲男、山口 巖、中島 智彦、中村 挙子、鈴木 宗泰 (常勤職員5名)

〔研究内容〕

従来、エレクトロニクス産業を中心としたコーティング技術は、超高真空、高温反応などの大量消費型プロセスが主流であったが、今後は低環境負荷型の低コストで有りながら多様な多品種変量生産が可能なプロセスが必要不可欠である。特に、新材料・部材・デバイス開発には、金属・有機材料・セラミックスのそれぞれ異なった性質、機能、特性を組み合わせ、新しい高性能デバイスの設計・構築がキーとなってくる。

セラミック材料は多様な機能を持つ材料で有り、その構造や金属組成、組織制御、さらには、異種材料を積層させることで新しい機能の発現が期待されているが、更に、有機材料や金属へのコーティングにより、軽量で、フレキシブルな部材・デバイスの作製が可能となる。また、有機エレクトロニクス材料とのハイブリットも可能になるため、新しいデバイスイノベーションも期待できる。このような観点から、セラミックスの新しい展開として、樹脂基板上へのコーティング、セラミックと樹脂の異種材料接合、有機無機ハイブリッドなど、新しい機能を付与したデバイス・部材が注目され始めている。本調査研究では、低温で樹脂上へセラミックスコーティング成膜が可能な光 MOD 法による VO₂、WO₃膜の低温成膜とその電機・光学特性を評価し、フレキシブルスマートウィンドウの可能性を評価した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 セラミックスコーティング、スマートウィンドウ、光 MOD 法、VO₂、WO₃

〔研究題目〕 海底熱水鉱床試料の比抵抗測定方法の標準化に関する研究

〔研究代表者〕 高倉 伸一 (地圏資源環境研究部門)

〔研究担当者〕 高倉 伸一 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、電気・電磁探査法が求める比抵抗構造を適切に解釈して海底下の地質環境を正確に把握するため、海底下を想定した条件で岩石試料の比抵抗を測定する方法の確立を図る。今年度は、海底熱水鉱床を対象とした電気・電磁探査に関する文献調査と海底熱水鉱床試料用の比抵抗測定システムの構築を行った。

文献調査では、海底熱水鉱床に関する国内外の19件の論文と報告書(英語15編、日本語4編)から、海底熱水鉱床の代表的な(平均的な)比抵抗値を把握し、現状の海洋電気・電磁探査法の技術とその有効性について評価した。

比抵抗測定システムの構築では、非常に低比抵抗と予想される海底熱水鉱床試料を測定するためのシステムを作成した。そして、海底熱水鉱床試料として秋田県小坂

鉍山で採取された黒鉍を使用し、その測定システムによって高精度の比抵抗測定ができることを確認した。また、黒鉍試料を恒温槽に入れ、室温から80℃まで上昇させ、比抵抗の温度依存性を測定した。測定周波数は安定的で迅速に測定できる128 Hzを使用し、256波のデータを平均化した。電流は定電流のモードとして、0.01 mAから5 mAまで変えたところ、測定する試料の比抵抗にもよるが、電流が0.5 mA以上になるとほぼ安定して測定できることが確認できた。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕比抵抗、温度、物性測定、電気・電磁探査、海底熱水鉍床

〔研究題目〕南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト（海洋研究開発機構 受託研究）

〔研究代表者〕宍倉 正展（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕宍倉 正展、澤井 祐紀、行谷 佑一、松本 弾、谷川 晃一郎、藤原 治、安藤 亮輔（東京大学）
（常勤職員6名、他1名）

〔研究内容〕

本プロジェクトは、近い将来の発生が危惧される南海トラフ沿いの巨大地震・津波による災害の軽減に貢献するため、大学や研究機関が自治体と連携し、地域連携減災研究、巨大地震発生域調査観測研究、地震発生シミュレーション研究の3つの分野で調査研究を実施している。活断層・火山研究部門では、これらのうち、巨大地震発生域調査観測研究の一環として陸域津波履歴調査を、地震発生シミュレーション研究の一環としてモデル構築・シナリオ研究の一部をそれぞれ担当している。平成28年度は、陸域津波履歴調査として宮崎県中～南部において次年度に向けた予備調査を行った。また平成25、26年度の掘削調査で得られた高知県南国市、東洋町、四万十町、黒潮町の地質柱状試料について年代測定および微化石分析を実施した。また産総研が静岡県沿岸（浮島ヶ原）と和歌山県沿岸（串本町）で採取した既存の地質柱状試料について¹⁴C年代測定や微化石分析、テフラ分析などを実施した。これらの結果から堆積物の年代や古環境について検討した。モデル構築・シナリオ研究では、歴史地震の断層モデルとサイクルに関する計算手法の検討を行い、富士川河口周辺地域での安政東海地震時の地殻変動を史料に基づいて検討した。また富士川河口断層帯の活動性評価のため、陸域津波履歴調査と連携して富士川河口西岸の蒲原低地において深度100 mのボーリング掘削調査を行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕南海トラフ、巨大地震、津波、履歴、津波堆積物、地震サイクルモデル

〔研究題目〕マイクロからマクロスケールにおけるアル

パイン断層の力学特性の評価（日本学術振興会 二国間交流事業共同研究・セミナー）

〔研究代表者〕重松 紀生（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕重松 紀生、松本 則夫、高木 涼太（東北大学）、西川 治（秋田大学）、林 為人（京都大学）、Horst Zwingmann（京都大学）、岡田 知己（東北大学）、坂口 有人（山口大学）、吉田 圭祐（東北大学）（常勤職員2名、他7名）

〔研究内容〕

本共同研究はアルパイン断層掘削計画 DFDP-2 の成果に基づき、断層挙動、断層の構造、地震発生の関係を明らかにすることを目的とする。初年度に DFDP-2 掘削孔で得られた掘削深度 730 m 付近までの 140℃/km という高い地温勾配について、数値計算によりアルパイン断層上盤の速い隆起速度、地形と断層内部構造に支配された地下水流動に支配されていることが明らかになった。このことはニュージーランド側の研究者を筆頭に国際誌 Nature から印刷公表された。一方、BHTV 検層に基づく亀裂方位に対し、応力テンソル逆解析を適用すると、解の変化から掘削深度 730 m 付近において亀裂分布パターンが変化する。この変化は掘削孔がダメージゾーンに入ったことに対応すると考えられ、ダメージゾーン内部での流体移動を意味している。

また、異なる深度に設置した地震計の波形データ相互相関から、アルパイン断層の上盤と下盤で地震波偏向異方性について、アルパイン断層上盤は主として岩石の持つ片理などの異方性に支配され、下盤は応力方位に支配されていることが明らかになった。また、上盤側では異方性強度の周波数依存性が見られ、理論モデルとの比較から、ダメージゾーン内部における亀裂間での流体移動により説明が可能である。

このほか、アルパイン断層との比較対象として進めてきた日本の中央構造線に対し、掘削孔の水理試験により、アルパイン断層に比べ低い $10^{-15} \sim 10^{-17} \text{ m}^2$ の値を得た。この意味について現在国際誌 Earth Planets and Space 誌に投稿中である。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕ニュージーランド南島アルパイン断層、DFDP 断層掘削、温度勾配、ダメージゾーン、間隙水圧、断層透水性

〔研究題目〕偏差応力化における砂岩の透水係数変化（韓国地質資源研究院 受託研究）

〔研究代表者〕高橋 学（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕高橋 学（他1名）

〔研究内容〕

空隙率の異なる砂岩の透水性と空隙の幾何学情報を調

べるために、拘束圧依存性を含む透水試験およびマイクロフォーカス X 線 CT 撮影を実施した。Berea 砂岩は空隙率がおおよそ18 %程度の粘土分の少ない砂岩である。比較として用いた Otway 砂岩は空隙率が25 %の砂岩であり、Berea 砂岩同様粘土分の少ない砂岩である。空隙サイズ分布もほぼ同じ傾向を示しているが、Otway 砂岩のピークは5~7 μm となり、Berea 砂岩よりもわずかに小さな値を示した。フローポンプ法で透水係数を計測した結果、7 %空隙率の大きな Otway 砂岩が Berea 砂岩よりも一桁小さな透水係数を示した。この透水係数の違いを解明するため、マイクロフォーカス X 線 CT により両砂岩の CT 画像を取得し、空隙の3次元幾何学情報の差異について議論した。隣り合う空隙のうち、半径比の小さい空隙の数が多いほど流体の持つ圧力ポテンシャルの消耗が大きく、この比の大小関係が透水性を決定している可能性がある。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】透水係数、砂岩、マイクロフォーカス X 線 CT、空隙率、岩石内部構造、3 次元空隙構造

【研究 題 目】TMB/REMCO 対応

【研究代表者】齋藤 剛（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】齋藤 剛、藤本 俊幸、朝海 敏昭、宮下 振一（常勤職員4名）

【研究 内 容】

国際標準化機構の標準物質委員会（ISO/REMCO）国内審議委員会の運営及び、本会議等への専門家派遣等を通して、審議中の標準物質に関わるガイド改定及び新規作成状況、並びに諸外国の対応状況の調査を行い、日本に優位なガイド作成の方針案の作成とその反映ができるように活動を行なった。具体的には、国内審議委員会を2回開催し、第1回目の国内審議委員会では第39回 ISO/REMCO 本会議での対処方針案の作成等を、第2回目の国内審議委員会では、REMCO 本会議の報告、改定作業中のガイドに対する対処方針案の審議等を行った。改定作業中の規格については、日本語化を行うことで、国内審議委員会からのコメント募集などにおいてより詳細な点までの確認及び議論を可能とした。第39回 ISO/REMCO 本会議に専門家を派遣して、国内審議委員会で議論した方針案の反映活動及び、その他ガイド改定方針等の調査を行い、これらの調査結果を国内審議委員会へ報告し対処方針案を作成することで、国内の標準物質関連業界に優位に働くガイド等の作成や改定作業に寄与した。長期間にわたって議論されてきた ISO ガイド35改定作業に関しては、委員会投票を行い、最終案が承認され発行される手続きが開始された。昨年度設立されたアドホックグループでは、化学純度の標準物質を題材にした活動範囲を明確にする作業を行い、次年度会議へ向けた提案を行った。これに加え、ISO ガイド34

が国際規格 ISO 17034制定に伴って廃止された。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ISO、標準物質、認証標準物質、標準物質生産、ガイド30シリーズ

【研究 題 目】高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化

【研究代表者】飯島 高志（創エネルギー研究部門）

【研究担当者】飯島 高志、安 白、孫 正明、榎 浩利、阿部 孝行（常勤職員4名、他1名）

【研究 内 容】

水素の影響を多少受ける材料を水素ステーション設備に利用した場合、従来の高圧ガス設備と等しい機能維持を図るためには、従来の材料評価に加えて K_{IH} （水素助長割れの限界応力拡大係数）を設計に利用する方法が有効であることが期待できる。そこで、汎用金属材料（SUS304、SUS316、Cr-Mo 鋼、Ni-Cr-Mo 鋼など）などを対象として、高圧水素ガス中で破壊靱性試験を実施し、データベースを構築することで、高圧水素ガス関連機器において使用可能な鋼種を拡大し低コスト化を目指す。具体的には、115 MPa の水素ガス中で、荷重が漸増あるいは漸減する際のき裂進展メカニズムを明らかにし、水素ステーション用蓄圧器を設計する際に K_{IH} を用いることの有用性を評価する。

平成28年度は、平成27年度に引き続き蓄圧器の破断前漏洩（LBB）評価に関連し、高圧水素ガス中における各種市販材料（低合金鋼、ステンレス鋼、アルミニウム合金等）の破壊靱性試験を、荷重増加法、定荷重法、定変位法を用いて実施し、破壊靱性値に及ぼす試験条件の影響を明らかにした。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】水素脆化、応力拡大係数、水素ステーション

【研究 題 目】毒性メカニズムにより QSAR ドメインを規定し予測精度の向上に資する研究

【研究代表者】加茂 将史（安全科学研究部門）

【研究担当者】加茂 将史（常勤職員1名）

【研究 内 容】

アルコールエトキシレート（AE）を初めとする洗浄剤に用いられる化学物質は、異なる炭素数、アルキルモル数からなる複雑な混合物で、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）におけるリスク評価が困難な物質である。リスク評価では、その物質の有害性を知る、ということが極めて重要であるが、製品ごとに炭素鎖数、アルキルモル数が異なり、それらの混合比も異なる物質では有害性を知ることは難しい。このような混合物に対しては構造活性相関モデル（QSAR）を用いた有害性の推定が試みられている。一方、QSAR で有

害性を推定するにはモデルを構築するための有害性データが多数必要となるが、データが多数あるならそもそも QSAR による推定は不要になるなど、ジレンマが存在する。そこで本研究では、化学物質の構造から有害性を推定する手法に加え、曝露個体の遺伝子発現を観測し、遺伝子の発現解析を行うことで、QSAR による予測精度の向上を試みた。

共同研究先の愛媛大学において、異なる幾つかのアルキルモル数、異なる幾つかの濃度で AE をメダカに曝露し、次世代シーケンサーを用いて遺伝子発現量を取得した。得られた遺伝子発現量に対し、統計処理を行うことで、遺伝子の発現パターンとメダカの死亡率をある程度推定できることが明らかとなった。従来の QSAR 手法を用いれば、濃度、アルキルモル数と死亡率の関係も推定することが可能であり、これら二つの手法をまとめることで、遺伝子発現パターンと濃度、アルキルモル数の関係もある程度明らかにすることが可能となった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】生態リスク評価、混合物、AE、遺伝子発現解析

【研究 題 目】住宅室内における放射性物質による被ばく線量評価

【研究代表者】篠原 直秀（安全科学研究部門）

【研究担当者】篠原 直秀、森田 佳実
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

福島第一原発近傍の住家21軒（福島第一原発からの距離1.60～6.92 km）において、全室を住民の掃除を模した掃除機がけ（サイクロン式掃除機を使用）、ハタキがけ及び掃き掃除を行いながらハウスダストとエアロゾルを捕集した。ハウスダストは、サイクロン式掃除機を用いて、最後段に4 μm フィルターを取り付けた複数粒径の篩を通して粒径別に捕集した。また、ハウスダスト量に対して50倍量の純水や1規定の塩酸での溶出試験を行った。室内外空気中のエアロゾルは、カスケードインパクターを用いて粒径別に PTFE フィルターへ捕集した。

ハウスダスト中の放射性 Cs は、粒径が小さいほどダスト重量当たりの放射能が高くなる傾向が観察された。また、ハウスダスト中の放射性 Cs は、福島第一原発からの距離に比例して低くなり、換気率に比例して高くなる傾向が見られた。ハウスダスト中の放射性 Cs 量は、残渣>塩酸溶性>水溶性の順であり、粒径ごとに大きな違いはなかった。

サイクロン式掃除機を使用した掃除機掛けの際のエアロゾル中 Cs 濃度と比べて、ハタキ掛け・掃き掃除の際のエアロゾル中 Cs 濃度は明らかに高い傾向がみられた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ハウスダスト、エアロゾル、室内環境、

放射性セシウム、放射能、換気回数、溶解性

【研究 題 目】「ペロブスカイト系革新的低製造コスト太陽電池の研究開発（新素材と新構造による高性能化技術の開発）」のうち「界面制御技術」

【研究代表者】近松 真之（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】近松 真之、村上 拓郎、カザウイ サイ、宮寺 哲彦、小野澤 伸子、舩木 敬、佐山 和弘、反保 衆志、鯉田 崇、西川 賢吾、西原 佳彦（常勤職員9名、他2名）

【研究 内 容】

有機無機ハイブリッド（ペロブスカイト）太陽電池は、ここ数年で急速な効率向上が見られ、塗布プロセスで作製可能なことから、低コスト次世代太陽電池として注目を集めている。本研究開発委託事業は革新的低コスト太陽電池の本命であるペロブスカイト太陽電池の実用化を目指すものであり、研究項目としては界面制御技術を担当する。ペロブスカイト太陽電池の積層材料界面に、界面修飾材料を導入し、材料界面における電荷再結合および直列抵抗成分を制御し FF を向上させることによる高効率化を目指す。

電子輸送層であるチタニアとペロブスカイト層の界面制御について、四塩化チタン処理の効果を詳細に調べた結果、四塩化チタン処理で生成したチタニア薄膜が焼成により結晶性が向上するため、伝導帯準位が加熱温度により変化することを見出した。各処理条件で太陽電池セルを作製したところ、伝導帯準位の低下に伴い開放電圧が減少する一方、短絡電流が向上し、最適化した加熱温度で最も高い変換効率17%以上が得られた。また無機系材料を電子輸送層に用いたところ、酸化チタンに比べ Voc (1.11 V→1.13 V) と FF (0.64→0.75) が向上し、ヒステリシスも減少した。さらに、正孔輸送層とペロブスカイト層の界面制御では、ピリジン系界面修飾材料を比較し、化合物の窒素数の増加に伴い開放電圧が向上することが明らかになった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ペロブスカイト太陽電池、有機無機ハイブリッド太陽電池、界面制御、界面修飾材料

【研究 題 目】牛の放牧管理の効率化・生産性向上のための小型ピロプラズマ病ワクチンの実証研究

【研究代表者】池原 譲（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】池原 譲、池原 早苗、山口 高志
（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、新技術・新分野創出のための基礎研究推進事業で実施した「家畜原虫病に対する Th1免疫誘導型糖鎖被覆リポソームワクチンの開発研究」の成果をワクチン技術として実用化し、*Theileria orientalis* の感染により発症するウシの小型ピロプラズマ病の制圧へと展開することである。同病は、貧血や発熱が主症状であり、日本国内においても経済的被害が発生しているにも関わらず、これまでに有効な治療薬やワクチンが開発されていない現状にある。

【目標】

本研究の目標は、ワクチンの製造販売事業を実施する機関（動物医薬品会社）へ成果を移転することと、ワクチン製剤の薬事承認の取得を行うなど、上市に必要なプロセス開発を完了することである。

【年度進捗状況】

同ワクチンを投与したウシに誘導される抗原特異的な Th1免疫応答について、定量的な検出評価技術を確立して知財化を進めて、これまでにピロプラズマ病感染を定量的に検出評価する上で必要となる技術に関して3件の特許を成立させた。「タイレリア原虫抗原の違いによる免疫応答の差、及びその感度と特異度」に関する情報の取得を進めるとともに、ピロプラズマ感染のサーベイやワクチンプロトコルを作成するなどした。さらに、ワクチンの効能評価、精度管理、及び製造ロット評価のプロトコルを確立するとともに、免疫学的解析に使用する抗体や刺激用ペプチドなどの製造ならびにその精度管理のプロトコルを達成している。

【領域名】生命工学

【キーワード】ワクチン、糖鎖、検査技術

【研究題目】高性能の新規 RNA ベクターによる血友病遺伝子治療の開発

【研究代表者】中西 真人（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】中西 真人、吉田 尚美
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

約7,000あると言われている遺伝性代謝疾患の原因遺伝子の解明が進み、欧米では遺伝子治療薬が次々と承認されて、これまで実験的な医療と考えられてきた遺伝子治療が実用化に向けて再び注目を集めている。血友病 A は、血液凝固第8因子の欠損によって引き起こされる疾患で、血液製剤や組換え第8因子が治療に使われているものの、患者は一生、凝固因子の注射を受けなければならない、その QOL は低い。さらに、第8因子製剤は高価で、生涯に必要とされる医薬品の薬価は一人当たり数億円に上り、医療経済上の問題とされている。本研究では、筑波大学医学部と共同で、従来の問題点を解決できる血友病 A の遺伝子治療を目指した。本年度は、血液凝固第8因子 cDNA と新規遺伝子を同時に搭載したステルス型 RNA ベクターを使って、培養細胞で第8因子を

生産し、血友病 A モデルマウス（血液凝固第8因子遺伝子のホモ欠失）に投与することで症状が改善することを観察した。この結果から、新規ベクターで産生した血液凝固第8因子は機能することが確認できた。また、種々の免疫不全の背景を持つマウスへの投与実験を行い、ステルス型 RNA ベクターによる生体内での遺伝子発現の長期持続性には、Natural Killer 細胞（NK 細胞）と抗原特異的 T 細胞の両方が影響していることを示す結果が得られた。今後は、ステルス型 RNA ベクターに免疫反応回避機構を搭載して長期発現を実現し、遺伝性代謝疾患の遺伝子治療を実現すべく研究を展開する。

【領域名】生命工学

【キーワード】遺伝子治療、血友病 A、血液凝固第8因子、遺伝性代謝疾患、RNA ベクター

【研究題目】分子病態を可視化する高機能型内視鏡システム

【研究代表者】高橋 勝利（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】高橋 勝利（常勤職員1名）

【研究内容】

九州大学先端融合医療レドックスナビ研究拠点に設置されている質量分析装置（島津製作所製 LC-QIT-TOF 質量分析装置）のイオン源を改造することにより、脱離エレクトロスプレーイオン化（DESI）による低分子バイオマーカー物質を検出する機能を付加するための DESI イオン源の試作機的设计と製作を行った。この質量分析装置に装着できる DESI イオン源は全く市販されていないことから、質量分析装置のインレットチューブを露出させ、この近傍に試料を塗布したスライドガラスを配置し、XYZ 位置を1ミクロンの精度で精密制御することのできる試料ステージ、及び新規に設計・製作した溶媒ネブライズスプレヤーの XYZ 位置を1ミクロンの精度で精密制御し、スプレイの角度を1度以下の精度で精密に制御できる4軸スプレイーステージを配置する設計を実施した。この設計に基づき、DESI イオン源を製作し、スプレイヤーの4軸位置、試料ステージの3軸位置、溶媒印加電圧をコンピュータによって制御するためのソフトウェアの設計・製作・実装を実施した。各要素部品の基本的な調整は産総研において行い、それを適宜九州大学に輸送して、質量分析装置に装着し、動作試験を行うことにより、DESI-MS として動作させることに成功した。

【領域名】生命工学

【キーワード】DESI、質量分析、内視鏡組込

【研究題目】保存血清のメタボローム解析による疾患診断の有用性の検証と応用（AMED オーダーメイド医療の実現プログラム（再委託））

【研究代表者】成松 久（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕 成松 久、久野 敦、吉田 真樹
(常勤職員1名、他2名)

〔研究内容〕

本事業では疾患特異的な保存血清試料の糖タンパク質解析の有用性を計画期間当初に可及的速やかに且つ十分に検証した上で、BBJに登録されている47疾患のうち、悪性腫瘍の一部、慢性関節リウマチを対象とし、慶應義塾大学医学部との共同作業より、疾患バイオマーカー探索を行い、有用なマーカーの組合せ (biomarker signature) によって特異性と感度の高い診断方法を確立することを目標とする。

本年度はおもにがんを疾患ターゲットとし、各疾患特異的な糖鎖異常の検出を行った。保存血から総量として ng を下回る標的糖タンパク質分子の濃縮、および抗体オーバーレイレクチンアレイによる比較糖鎖解析を可能にした。分子 X に関して、保存血清の解析手法を最適化し、複数のがん種及び良性疾患 (12疾患) の BBJ 保存血清202症例を解析対象とし、分子上糖鎖の質的变化を検討し、併せて東北メガバンク健常者50例も解析対象とした。共同研究機関である慶應義塾大学医学部医化学教室および連携ラボにおいて測定を行った結果、統計学的に有意差のある肺がんで上昇するレクチン (=糖鎖変化) を見出すことに成功した。さらに、保存血清中のエキソゾームの比較糖鎖解析の手法確立も進め、がん細胞培養上清エキソゾームのレクチンアレイ解析手法を確立し、BBJ 保存血清に応用するための手法の改良を行い、保存血清から濃縮したエキソゾームのレクチンアレイ解析が可能になった。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 バイオマーカー、慢性疾患、糖鎖、レクチン

〔研究題目〕 新規バイオマーカー探索と統計的手法検討の探索的付随研究

(AMED 革新がん治療 IMF-001医師主導治験)

〔研究代表者〕 五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

〔研究担当者〕 五島 直樹、福田 枝里子、小川 浩二
(常勤職員2名)

〔研究内容〕

腫瘍組織に NY-ESO-1 抗原を発現し、術前化学療法と根治手術を受けた食道癌患者に CHP/NY-ESO-1ポリペプチド複合体 (ワクチン) を投与した群10例と投与しなかった群6例の血清中の各種抗体の産生を727種のヒトがん抗原蛋白からなるプロテインアレイを用いて網羅的に検討するセロミクス解析をおこなった。

ワクチン投与患者は、術前化学療法後・根治手術前 (P2)、ワクチン投与後11週 (11w)、23週 (23w)、47週 (47w) の4点を対象に、非投与患者は、投与患者と

比較するために同様のタイムポイントを実施するが、検体自体ないワクチン投与後23週 (23w) を除いた、3点を対象に測定をおこなった。

16例のみの結果であるが、NY-ESO-1および CTAG2 (NY-ESO-1と相同配列を持つタンパク質) に対する抗体 (ワクチン抗体) のシグナルパターンにより、ワクチン投与・非投与群を5つに分類することができた。

投与群においては、P2では、ワクチン抗体は検出されないが、11w以降に抗体量が増加し検出された G1、P2からワクチン抗体が検出され、11wでは検出抗体量が増加した G2、P2でワクチン抗体は検出されるが、検出抗体量が減少していった G3と3つに分類することができた。

非投与群においては、P2でワクチン抗体は検出されるが、検出抗体量が減少していった G4、どの測定ポイントでもワクチン抗体が検出されなかった G5と2つに分類することができた。

ワクチン抗体以外に対しては、共通性の高いものや抗体量の増減が顕著なものに注目した。

SPAG16、EDNRB、TCF7、CCNE family に対する抗体の上昇がワクチン投与後に認められた。この現象は、ワクチンによって損傷を受けたがん組織から放出されるタンパク質が抗原となって2次的に抗体が産生される抗原拡散 (antigen spreading) と考えられる。またワクチン非投与群においても VEGFB や GPRC5A に対する抗体の上昇が認められたが、これらはワクチン投与群では認められないため、ワクチン以外の何か別の原因による抗原拡散と考えられる。

共通性の高い抗体としては、LIMS1、MAGE family、RBPJ、DDX53、TP53が認められたが、ワクチン投与による抗体量の変化については、関連が低いと考えられる。ただ MAGE family については、P2から11wにかけて大きく抗体量の低下が認められるものがほとんどであり、また健常人などほぼすべての血清中から検出される LIMS1の次に共通性が高い (11/16の陽性率) という点から、食道癌のマーカーとしてだけでなく根治手術後の治療判断マーカーとしてのポテンシャルを秘めている可能性があり、別の意味で興味深い。

これまで測定してきた検体には、アレイ検出画像のバックグラウンドが高く、かつバックグラウンドの大きなムラが発生して、正確な解析ができず、保留にしていた検体があった。

このバックグラウンドの原因は、血清中に存在していた抗小麦蛋白質ヒト IgG 抗体のアレイへの結合であると予想した。アレイに搭載されている抗原蛋白をコムギ無細胞系で発現させているため、プロテインアレイの作製上、少ないながらも小麦蛋白が抗原蛋白と混在した状態でアレイ上に存在してしまっている。そのため血清中に存在していた抗小麦蛋白質ヒト IgG 抗体が、アレイ上の小麦蛋白と反応してしまうことが考えられる。

そこでそのような検体に対して、血清中の抗小麦蛋白質ヒト IgG 抗体を不活性化させることを実施した。その結果、バックグラウンドの低い、かつムラの少ない自己抗体検出画像を得ることが可能になった。

ワクチン投与・非投与群それぞれ27例、計54例おこなう予定であり、現在までに16例、約30%が終了している。上述したように解析を保留してあった検体15例があるが、やり直し測定をおこなっていく。

解析をおこなうタイムポイントは、ワクチン投与群は、術前化学療法前 (P1)、術前化学療法後・根治手術前 (P2)、ワクチン投与後11週 (11w)、23週 (23w)、47週 (47w) の5点を対象に、非投与患者は、投与患者と比較するために同様のタイムポイントを実施するが、検体自体ないワクチン投与後23週 (23w) を除いた、4点を対象に測定をおこなっていく。また投与群で投与を途中で中止した例は、中止時の検体も測定していく。

今年度、測定方法が確立できたため、今後は効率的に測定を実施していくことが可能であり、来年度にすべての解析を終了する予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】がんワクチン、免疫療法、がん抗原、CTA、抗原拡散、NY-ESO-1

【研究 題目】木質ナノ黒鉛の木材産地での簡便な生産法の開発および産業化ための応用技術開発

【研究代表者】湯田坂 雅子 (ナノ材料研究部門)

【研究担当者】湯田坂 雅子、Mei Yang、張 民芳 (常勤職員1名、他2名)

【研究 内容】

岡山大学が中心となり開発した方法により木材からナノ黒鉛が大量生産できるようになり、得られた木質ナノ黒鉛は木質バイオマスへの高価値付加化を促し、木材の利用を促進すると期待されている。実際に使用する際には、木質ナノ黒鉛の毒性が低いことが重要となるため、本研究において、細胞実験と動物実験により木質ナノ黒鉛の毒性を調べた。その結果、細胞実験と動物実験どちらにおいても毒性兆候はみられなかった。動物実験では、ラットに気管内投与を行い、組織学的検査と血液検査を行い、顕著な毒性兆候がないことを確認した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】木質ナノ黒鉛、毒性試験

【研究 題目】リマニュファクチャリングを中心とした持続可能な生産

【研究代表者】松本 光崇 (製造技術研究部門)

【研究担当者】松本 光崇、増井 慶次郎、田原 聖隆、神垣 幸志、横田 真輝、知崎 憲治 (常勤職員3名、他3名)

【研究 内容】

リマニュファクチャリング (リマン) はリサイクルやリユースと比較して経済性や省資源・省エネに優位であり、環境と経済を両立する資源循環策として今日世界的に注目を集める。本研究ではアジア地域における持続可能な消費・生産パターン定着のための政策デザインと評価を目的として、その中でリマンの位置付け・ビジョン・推進のための施策の検討を行うものである。初年度である今年度は、国内、アジア、欧米のリマンに関わるステークホルダーとの意見交換を通じて、ネットワーク形成とアジア地域のリマンの現状分析を進め、またリマン普及シミュレータの仕様を作成しプロトタイプ構築を行った。

現状の分析を目的として、アジア新興国のリマンの現地視察とヒアリングを行い、複写機、重機、自動車パーツの製品領域に焦点を当てケーススタディを実施し、新興国市場と先進国市場の相違と双方での課題とを明らかにした。またリマン製品に対する消費者選好の比較分析を行い、日本・タイ・インドネシア・ベトナムで各500サンプルの Web アンケート調査を実施し、消費者選好の相違と普及施策に対する示唆を検討した。また、リマンの普及の推移推定・効果分析・シナリオ分析を行うことを目的としたリマン普及シミュレータの仕様作成を行い、複写機のリマンを対象としたプロトタイプ構築を実施し、効果検証と課題抽出を行った。基本データとしてリマンのライフサイクルアセスメント評価事例の収集と分析を行った。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造、エネルギー・環境

【キーワード】リマニュファクチャリング、持続可能性、国際資源循環、政策デザイン

【研究 題目】火山噴火の予測技術の開発 (噴火履歴調査による火山噴火の中長期予測と噴火推移調査に基づく噴火事象系統樹の作成) (文部科学省 受託研究)

【研究代表者】伊藤 順一 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】伊藤 順一、山元 孝広、星住 英夫、中野 俊、田中 明子、石塚 吉浩、下司 信夫、古川 竜太、宝田 晋治、宮城 磯治、及川 輝樹、草野 有紀、川辺 禎久、石塚 治、斎藤 元治、山崎 誠子、工藤 崇 (地質情報研究部門)、中川 光弘 (北海道大学)、藤縄 昭彦、長谷川 健 (茨城大学)、和田 恵治 (北海道教育大学)、後藤 芳彦 (室蘭工業大学)、佐々木 実 (弘前大学)、大場 司 (秋田大学)、林 信太郎 (秋田大学)、伴 雅雄 (山形大学)、石崎 康男 (富山大学)、竹下 欣弘 (信州大学)、

中村 洋一 (宇都宮大学)、吉本 充宏 (富士山科学研究所)、三浦 大輔 (電力中央研究所)、上澤 真平 (電力中央研究所)、津久井 雅史 (千葉大学)、萬年 一剛 (温泉地学研究所)、佐藤 鋭一 (神戸大学)、宮縁 育夫 (熊本大学)、小林 哲夫 (鹿児島大学)、中田 節也 (東京大学)、前野 深 (東京大学)、長井 雅史 (防災科学研究所) (常勤職員17名、他23名)

【研究内容】

本研究は、日本の活火山に対する中長期予測と噴火事例系統樹作成に資するため、活動的火山に対する詳細な噴火履歴の解明を目的としたものである。平成27年度は、気象庁が活火山(27火山)から採取したボーリングコア(計27本)の岩層、岩質等の観察を行うと共に、放射性炭素年代測定や噴出物の化学組成分析を行った。その結果、鶴見岳・伽藍岳において、火砕流に関連する堆積物を認め、その放射性炭素年代から有史時代の噴火活動と判断された。栗駒山においては、二回の水蒸気噴火堆積物と溶岩流を確認した。溶岩流は地すべり地塊の一部を覆って氾濫した可能性が考えられた。また、岩手山において、西岩手カルデラ北西部山麓を覆う小規模火砕流を認め、その岩質から西岩手中央火口丘形成期に噴出したものと推定された。十和田においては、山頂部の溶岩ドーム形成に関係すると思われるブロック・アンド・アッシュタイプの火砕流を初めて確認した。十勝岳においては、これまで未確認の水蒸気噴火堆積物と火砕流を確認した。火砕流の噴火年代は明確ではないが、およそ800~1000年前と推測された。

また、大規模噴火データベースの構築に向けて、国内で過去約15万年間に発生した VEI が6以上の「大規模噴火」の噴火推移や噴出物の分布に関する情報を収集した。今年度に情報収集を行った噴火は、阿蘇3噴火、屈斜路羽幌噴火、阿多噴火、阿蘇4噴火、支笏第一噴火、始良入戸噴火、鬼界アカホヤ噴火、池田湖噴火、摩周 F 噴火の9噴火である。これらの噴火について、既存公表文献の収集および文献からの噴火推移情報・噴出物層序情報および分布情報の抽出を実施した。これらの噴火について、約130文献を収集し、その中に掲載された噴出物分布図および噴火層序図を抽出した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】火山噴火、ボーリングコア解析、活動履歴、大規模噴火、データベース

【研究題目】火山噴火の予測技術の開発「火山噴出物分析による噴火事象分岐判断手法の開発」(文部科学省 受託研究 次世代火山研究推進事業)

【研究代表者】宮城 磯治 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】宮城 磯治、東宮 昭彦 (常勤職員2名)

【研究内容】

噴火がどのような推移をたどるか、その事象分岐条件を抽出するため、観測データが整っている北海道有珠火山に着目し、その歴史時代の噴火事例に関する文献データの整理を行った。対象とした噴火は、1663、1769、1822、1853、1977、2000年噴火である。噴火の起きた場所、マグマ溜りの環境(温度、圧力、含水量、斑晶量)、マグマ混合から噴火までの時間スケール、研究で着目された斑晶と元素、前兆地震の期間、そして2000年の噴火についてはマグマの上昇速度と石基の結晶化圧力について、一覧表にとりまとめた。

マグマ溜りの環境を理論的に推定するため、Mark Ghiorso 氏らが開発し公開したマグマの熱力学計算ソフトウェア「MELTS」を用いた研究を行った。今年度は、広範囲の温度、圧力、含水量、組成に対して網羅的な計算を効率的に行えるよう、制御スクリプトを改良した。MELTS 計算タスクの分散、MELTS の起動と終了、計算条件の読み込み、エラー処理、を制御することにより、様々な全岩含水量、酸素分圧、二酸化炭素量、圧力での網羅的な自動計算が可能になった。具体的には、温度は700~1400℃の範囲(1℃刻み)、圧力は1気圧から10000気圧の範囲(100気圧刻み)、含水量は0.1から10重量%(0.1%または2%刻み)、酸素分圧はFMQ~FMQ+3ログユニット、二酸化炭素の含有量は0.001、0.01、0.1重量%の三段階に変化させ、これらの温度・圧力・含水量・二酸化炭素量・酸素分圧について、自動的に計算できるようにした。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】有珠火山、噴火、マグマ、熱力学計算ソフトウェア

【研究題目】Exp.346中新世以降のアジアモンスーンに対する日本海の応答

【研究代表者】多田 隆治 (東京大学)

【研究担当者】池原 研、板木 拓也、杉崎 彩 (地質情報研究部門) (常勤職員3名)

【研究内容】

本研究では、IODP Expedition 346で日本海及び北部東シナ海から採取された掘削試料の層序対比を完成させ、年代モデルを構築するとともに、各種表の変動の相互関係及び日本海の表層・深層循環の変動との関係を調べて、中新世以降の東アジアの偏西風軸位置と夏季モンスーンや冬季モンスーンの強度、空間分布、アジアモンスーンに対する日本海の応答の変遷を明らかにすることを目標とする。本年度は、東シナ海と日本海南部の浅海のサイトを除くサイトの1.5 Ma までのサイト間対比を完成させ、論文投稿した。また、日本海南部の浅海サイトの年代モデルを底生有孔虫の酸素同位体比、テフラに基づく

東シナ海の酸素同位体比との比較、堆積物の色調から構築した。放散虫に基づく微化石層序については、当初予定していた試料の分析を終え、中期中新世以降の放散虫生層序を確立し、詳細な群集変化を明らかにし、国際誌に公表した。OSL年代測定では、過去12万年間について検討を進め、挟在するテフラと矛盾しない結果を得た。冬季モンスーン変動解明のためのIRD解析では、酸素同位体ステージ12後半～6の分析を実施し、酸素同位体比や日射量変動に対応した変化を確認した。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕日本海、アジアモンスーン、IODP、古環境

〔研究題目〕HFO-1123などを成分物質とする混合冷媒の音速の測定

〔研究代表者〕狩野 祐也（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕狩野 祐也、粥川 洋平、藤田 佳孝（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本研究では、地球温暖化係数（GWP）の小さい新規冷媒として期待される HFO-1123（トリフルオロエチレン）ならびにそれを成分物質とする混合冷媒について、気相域における音速を測定し、冷凍・空調サイクルの性能評価に必要な基礎的な熱力学性質を明らかにすることを目的とする。HFO-1123純冷媒および HFO-1123+HFC-32系混合冷媒を測定対象サンプルとして、円筒型音波共鳴式音速測定装置により気相域の音速を測定する。さらに、得られた音速データから理想気体状態の音速を求めることで、冷媒の熱力学状態方程式の開発に不可欠となる理想気体状態の定圧比熱を求める。

本年度は、既存の音速測定装置を混合冷媒サンプルの測定対応に向けて改良し、測定の実用性を確認した。また、過去に本装置で得られた HFO-1123の音速結果の追加データとして、50℃以上の比較的高温域における音速測定を実施した。得られた音速結果から理想気体状態の定圧比熱を求め、その温度相関式を作成することで、既存の原子団寄与法による推算結果との相違を明らかにした。今後は、HFO-1123+HFC-32の2成分系混合冷媒サンプルの音速測定を行い、熱力学状態方程式の混合モデルの開発に寄与するデータを取得する予定である。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕冷媒、物性、音速、密度、冷凍、空調

〔研究題目〕電磁波吸収量測定

〔研究代表者〕堀部 雅弘（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕堀部 雅弘、平野 育、加藤 悠人（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

積層グラファイトを含有する複数種類のシートについて電磁波吸収特性を評価し、素材の有効性を実証する。

産総研が開発した評価設備を用いて、積層グラファイトの含有率等と電磁波吸収特性を評価するとともに、グラファイトの配合率・直流シート抵抗、誘電率等の特性と電磁波吸収率の関係性を明確にする。その結果より、グラファイトを用いた電磁波吸収の設計指針についての検討結果を提供した。素材の適用先としては、自動車衝突防止レーダーの指向性改善、不要信号の排除を目的としているため、周波数帯としては、76 GHz～77 GHzが含まれるW帯（75 GHz～110 GHz）について、吸収特性を評価し、素材に含まれる積層グラファイトの配合量およびグラファイト粒径との関係を調査した。低濃度グラファイト試料では、65 GHz～75 GHz付近で電磁波の吸収が確認できたが、グラファイトの濃度が高くなるにつれて、金属的な特性となっており、電磁波ほぼ反射し、電磁波吸収は見られなかった。また、ブチルゴムを母材に用いたため、厚さの制御が難しいことが分かり、今後は母材を変更して、実際の利用を想定した母材の適用についても今後の検討課題として結論付けた。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕電磁波吸収、グラファイト、

〔研究題目〕CO₂フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム技術開発／水素吸蔵合金を用いた低圧水素貯蔵システムに関する技術開発

「水素社会構築技術開発事業／水素エネルギーシステム技術開発／CO₂フリーの水素社会構築を目指したP2Gシステム技術開発」

〔研究代表者〕中村 優美子（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕中村 優美子、榊 浩司、浅野 耕太、Hyunjeong Kim（常勤職員4名）

〔研究内容〕

再生可能エネルギーの導入拡大に向けて、余剰電力を水素の形で貯蔵し利用するPower to Gasシステムが注目されている。そこで本事業では、再生可能エネルギーから水素の製造・輸送・貯蔵・利用までを含めた技術開発を行うことにより、Power to Gasシステムの実用化に向けた基盤技術の確立を目指す。本研究テーマでは、Power to Gasシステムにおいて安全かつ安心安価に水素を貯蔵することを目指し、水電解装置により製造された水素を1 MPa以下の低圧で貯蔵可能な水素吸蔵合金材料を開発する。

平成28年度は、これまでに実用化されている希土類系合金に比べて安価で同等以上の水素吸蔵量が見込めるチタン-鉄系水素吸蔵合金材料を設計し、試作と貯蔵特性の評価を実施した。具体的には、貯蔵システムの作動条件（吸蔵時20～30℃、0.9 MPa程度、放出時40～50℃、0.2 MPa程度）を満たすための組成設計を行い、特性評価および詳細設計に必要なパラメータの収集を行

った。また、他の実用上の課題を整理し、重要となる初期活性、反応速度、繰り返し耐久性、不着火性についても評価を行った。その結果、設計した組成において、実用上の課題を概ねクリアできる見通しを得た。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】水素貯蔵、水素吸蔵合金、再生可能エネルギー

【研究 題 目】排気後処理研究将来テーマ検討に関する調査

【研究代表者】小熊 光晴（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】小熊 光晴、濱田 秀昭
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）では、平成26年度から平成28年度までの3年間で、経済産業省自動車課クリーンディーゼル補助事業として排気後処理技術の研究開発を進めている。本事業終了後の平成29年度以降に開始すべき排気後処理次期・将来テーマを選定するための活動を行う。

平成27年度、OEM と賛助会員各社からのニーズアンケート集計結果をベースとして各社のニーズをヒアリング等により再度抽出し整理してまとめ、10件のディスカッショングループ（DG）立ち上げテーマの選定を行った。平成28年度はこれを受けて実際に平成29年度開始テーマの選定に資する活動、また、平成29年度開始テーマの研究資金の確保を目的として、国家プロジェクトへの応募を検討した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】内燃機関、エンジン、排気後処理、触媒、競争前領域、協調領域、共通課題

【研究 題 目】最先端遺伝子情報解析技術の活用による環境保全・地域資源循環型の有機農産物安定生産システムの開発

【研究代表者】羽部 浩（環境管理研究部門）

【研究担当者】佐藤 由也、堀 知行、稲葉 知大
（常勤職員4名、他2名）

【研究 内 容】

近年、環境保全の重要性がますます高まっており、我が国では環境保全型農業が一政策として推進されている。そこで有機性廃棄物を原料とした微生物利用型の有機液肥製造装置のプロトタイプについて、装置を構成する2つのリアクター系内の全有機炭素濃度、無機炭素濃度、全窒素濃度を測定することで液肥の性状を正確に把握し、プロセスの安定性と液肥化反応のメカニズムを解析した。また、両リアクター中に存在する微生物を対象に次世代シーケンサー解析を行い、各リアクターで中核的な働きをする微生物を同定した。それら中核微生物群の短時間における動態変化と長期間における安定性を明らかに

したことで、有機液肥製造装置の安定性が裏付けられた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】環境保全型農業、廃棄物利用、有機液肥、バイオリアクター

【研究 題 目】酸化チタン鈇滓（中和滓）を用いたアマモ場創生技術に関する研究

【研究代表者】鈴木 昌弘（環境管理研究部門）

【研究担当者】鈴木 昌弘、鶴島 修夫、山田 奈海葉、塚崎 あゆみ（常勤職員4名）

【研究 内 容】

産業副生物である酸化チタン鈇滓（中和滓）を基盤材量として利用し、海洋生物を育み温室効果ガス吸収源（ブルーカーボン）となる浅海生態系を創生する技術の評価を行なった。その一環として、人工基盤材料による海草（アマモ）の生育への効果や周辺の海洋環境に及ぼす影響を科学的に検証することを目的として、アマモ場疑似現場実験を実施した。

実験は、産業技術総合研究所中国センター阿賀臨海実験場において2016年1月に開始し、2017年1月まで継続した。酸化チタン中和滓関連物質（市販品）と東京湾で採取した堆積物を1:0、1:1、0:1の比率で混合した土壌に移植されたアマモの生育状況を観察したところ、堆積物と比較して酸化チタン中和滓関連物質含有土壌で生育が抑制される傾向にあることが示された。同時に、コア状の混合土壌を用いた溶出試験により、栄養塩等のフロー解析を行ない、酸化チタン中和滓関連物質による顕著な硫化物抑制効果を確認した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】酸化チタン中和滓、アマモ場、疑似現場実験、堆積物

【研究 題 目】環境にやさしいローエミッション花火の製造技術の開発

【研究代表者】松永 猛裕（安全科学研究部門）

【研究担当者】松永 猛裕、岡田 賢、秋吉 美也子、藤原 英男、嶋田 明洋、Abe Yo
（常勤職員3名、他3名）

【研究 内 容】

日本の伝統文化として親しまれている花火だが、その環境への影響を問題視する声が近年高まってきている。花火大会で使用する打上花火では、固形ゴミ（燃焼残渣）は広範囲に飛散され、怪我・クレーム等も年々増えている。テーマパーク、演劇等における花火では、打ち上げ場所と観客が近い距離にある為、花火の燃焼時に発生するゴミの影響でやけど等の怪我、衣服等への汚れ、近隣設備への汚れなどが発生している。特に上を見上げることが多いため、飛散してきた固形ゴミが目に入ったという苦情が多い。しかし、テーマパークや演劇等のエンターテイメント業界にとってクレームは最も避けたい

ことである。

今年度は、花火から発生する固体残渣および煙を低減できるような結合剤かつ可燃剤を探索した。また、この結合剤を用いて成形した花火の強度、煙や固体残渣量を評価した。ターゲットとなる花火を検討し決定した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 花火、ローエミッション、環境に優しい、粉体硬化、小型煙火、火薬

〔研究題目〕 アルミニウムを反応媒体とした SBH (Sodium Borohydride) の工業的製造技術開発と SBH 製造に伴う副生アルミナのアルミニウムへの再生および副生アルミナの品質制御条件の確立

〔研究代表者〕 松永 猛裕 (安全科学研究部門)

〔研究担当者〕 松永 猛裕、岡田 賢、秋吉 美也子、薄葉 州、Abe Yo、加藤 和彦、山岡 貴子、柴田 強、杉本 まき子、奥田 順子 (常勤職員4名、他6名)

〔研究内容〕

本研究は (株) ハイドリックパワー・システムズ (以下、HPS) が発明し特許を保有する“アルミニウムを還元反応促進剤とした SBH (水素化ホウ素ナトリウム) 生成法の基本技術” (特許第5839337) と日本軽金属 (株) の保有する“国内唯一のアルミニウム製錬技術”を融合させ、水素キャリアとしては比肩するものがない粉末 SBH を大量 (再) 生産できる技術を確立し、水素でガソリン並みのエネルギー価値の実現を目指すものである。本研究に成功すれば粉末 SBH の大量 (再) 生産が実現し、我が国が水素社会実現に向け抱える“水素の輸送・貯蔵”という喫緊の課題に解決策を与えられる可能性がある。

本年度は、SBH の原料であるメタホウ酸ナトリウムおよびアルミニウム粉末の混合物について、摩擦感度試験、熱分析試験および静電気感度試験を行った。その結果、この混合物は爆発危険性が低いことが示された。

ミニラボ試験については装置の設計が進まず、今年度に導入することが困難となった (日本軽金属側)。そこで、産総研所有の耐圧反応装置ハイパーグラスターを改良して行うことにした。実験は12月末から開始でき、安全性を確認しながら1月末までに実験系を確立することができた。2月はマンパワーを投入し、ほぼ毎日、実験を行った。研究開始時に予定していたミニラボ実験を補完できた。確立した実験系で、当初、予定していなかった低い水素濃度と低温で SBH が生成することが確認できた。HPS の特許は100 MPa、800 °Cという特殊環境であるのに対し、本研究では0.5 MPa、300 °Cという安全な環境で SBH を生成できている。これは大きな成果と言える。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水素貯蔵合金、SBH、水素社会、爆発防止、安全性評価、テルミット反応、メカノケミストリ

〔研究題目〕 極微量物質の計測が可能なナノカーボン薄膜電極・計測機器の開発

〔研究代表者〕 加藤 大 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 加藤 大、栗田 僚二 (常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

生体分子や環境物質などの簡便、安価な検出法として期待されている電気化学検出法において、①従来電極では検出が困難な物質の検出 (測定対象の多様化) や、検出限界の向上 (高性能化) が期待でき、②希少・高価な貴金属を使用せず、印刷カーボン電極を用いた既存の低性能バイオセンサチップを代替できる (低コスト+高品質)、「高性能なナノカーボン薄膜電極」の開発を量産可能な方法で実現する。生体・環境分析に用いる高速液体クロマトグラフィやストリッピングボルタンメトリー等の検出器に用いる電極部材を開発し、さらには本電極を搭載可能なポータブル計測機器システムの開発へと展開する。

産総研では、まず疎水化ナノカーボンの開発のため、表面フッ素化の検討を行った。フッ素官能基の導入効率、ナノカーボン中のダイヤモンド成分 (sp^3 成分) に依存していることが明らかとなった。本知見は、十分な疎水化処理をカーボンの表面粗さを変えることなく行う観点で非常に重要である。これにより、食品中の親水性の抗酸化物質であるビタミン C の応答を除外しつつ、脂溶性のビタミン E 類のみを選択検出できる疎水化電極の設計に目途をつけた。また、電気化学処理による親水化ナノカーボン電極を作製し、新しい核酸塩基の誘導体に対して良好な電極反応性を有する表面制御法に目途をつけた。さらには、企業と協力して、これらのナノカーボン電極が搭載可能な計測機器の開発において、要求仕様を明確化し、開発構想に目途をつけ、試作を開始した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 ナノカーボン薄膜電極、電気化学測定デバイス、生体物質、食品物質、環境物質

〔研究題目〕 おきなわ型グリーンマテリアル生産技術の開発 (用途開発研究)

〔研究代表者〕 中山 敦好

(バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 中山 敦好、川崎 典起、山野 尚子、上垣 浩一、常盤 豊、横田 かおり (常勤職員4名、他2名)

〔研究内容〕

安価なバイオマス資源から微生物発酵により高効率か

つ高純度にて生産される(R)-3-ヒドロキシ酪酸((R)3HB)の特性・機能性を活用した各種用途開発を進める。(R)3HBをベースとするポリマーは嫌気的条件下でも容易に生分解され、他の合成系生分解性材料が主として好気条件下で生分解されるのとは大きく異なり、土壌深くや灌水時の水田、海水中など、合成系樹脂では生分解が疑問視される環境でも優れた生分解性を発揮することが期待されるが、そうした環境を選ばない生分解性という特徴を生かして、(R)3HBユニットを他の合成系生分解材料に組み込むことで新しい生分解性機能材料の開発を進めた。

(R)3HBの縮合により中分子量(R)3HBを合成した。また、再沈殿条件の検討により、分子量分別された(R)3HBオリゴマーを得た。グリコール類の利用により、生分解性ウレタンの原料として使用可能な3HBセグメントを合成した。(R)3HBセグメントと脂肪族系ジイソシアネートとの重付加によりポリエステルウレタンを得た。また、高分子量ポリマーを得るための(R)3HBを含む環状モノマーの調製を行い、その生成を確認した。合成したP-(R)3HBは我々が単離した放線菌由来のP-(R)3HBデポリメラーゼで良好に生分解されることを確認した。重縮合法で乳酸との共重合もを行い、仕込み比組成の調整により、(R)3HB組成を制御したポリマーを合成した。これらの活性汚泥生分解試験及び海水生分解性試験から、(R)3HB組成の多いコポリマーにおいて良好な生分解性を示した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ヒドロキシ酪酸、生分解、バイオマス、乳酸、グリコール酸

【研究 題 目】機能性食品開発支援事業「新規生体機能性評価試験法の開発に関する研究」

【研究代表者】中島 芳浩（健康工学研究部門）

【研究担当者】中島 芳浩、室富 和俊、安部 博子（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究は、食品機能性表示制度に対応した香川県内企業の食品開発を支援するため、産業技術総合研究所が有する細胞機能解析技術を駆使し、新規生体機能性評価試験に資する発光遺伝子導入哺乳類細胞を樹立することを目的とする。

当該研究では抗糖尿病作用等が期待される食品の機能性評価に用いる発光培養細胞を樹立した。発光測定結果より、樹立した細胞は発光測定に用いるために十分な発光強度を有していることを確認するとともに、陽性対象薬剤（ピオグリタゾン）により有意な発光強度の増加（転写活性化）を示した。以上の結果より、本研究で樹立した評価用発光細胞は十分に食品機能性評価に使用できると結論付けた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ルシフェラーゼ、発光細胞、レポーターアッセイ、食品機能性評価

【研究 題 目】埼玉県産学連携研究開発プロジェクト補助金「超音波治療用モジュール化トランスデューサーの開発」

【研究代表者】荻仲 潔（健康工学研究部門）

【研究担当者】荻仲 潔、小関 義彦、永田 可彦、新田 尚隆、鷲尾 利克、竹内 秀樹、佐々木 明（健康工学研究部門）、小泉 憲裕、東 隆、高木 周（東京大学）、沖田 浩平（日本大学）、和田 哲郎（筑波大学）、山内 康司（東洋大学）牛田 享弘（愛知医科大学）、川崎 元敬（高知大学）（常勤職員5名、他10名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、最終的な医療機器開発に向けた着実な助走として、理化学機器としての超音波治療機器の研究開発を目標とする。超音波治療は非切開治療、疼痛緩和治療、薬剤亢進効果、Blood Brain Barrierを透過させる効果、美容、骨折治癒促進、遺伝子治療、物理エネルギーと薬剤との併用による効果発現・効果増強など、様々な効果が期待されている。しかしながらその作用機序は未だ不明な点が多く、この分野における基礎研究、基礎臨床研究が進んでいない事が大きな問題となっている。その理由の一つに、簡便に使用できるパッケージングされた理化学機器としての超音波照射機器が存在しない事が挙げられる。個々のトランスデューサーやアンプなど個別の機器や特注された品物は世の中に存在するが、高出力が可能なパッケージングされた理化学機器はほとんど存在しない。これが、医師による臨床前研究や基礎研究を開始するハードルを非常に高くしており、この分野の発展を妨げている。本申請で研究開発する超音波治療用モジュール化トランスデューサーはこの問題を解決する方策の一つであり、誰もが簡単に入手でき、簡便に扱える治療用超音波照射機器パッケージングツールの研究開発・提供を目指す。これにより、基礎・臨床研究が加速され、新しい革新的な医療機器の実現、さらにはその先にある家庭用治療機器への橋渡しを行うための強力なツールとなる。

本年度は、超音波振動子の実機試作、アンプ回路ならびに新規位相制御システムの仕様策定、並びに関連シミュレーション部分の検討を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】超音波診断・治療、集束超音波、超音波振動子

【研究 題 目】無電解めっきによるカーボン／金属複合体製造プロセス技術の開発

【研究代表者】堀内 伸（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】堀内 伸、島田 悟、中尾 幸道、
李 成竺（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

炭素繊維強化複合材料（CFRP）やカーボンナノチューブ（CNT）／樹脂複合材等に代表されるカーボン繊維複合材は炭素繊維と樹脂との複合材料で、軽量性や高い強度、放熱性を有する優れた材料である。しかしながら、カーボン繊維複合材は金属と比較すると導電性が低いため、構造材料としての応用では、落雷等で大電流が流れたときに構造が大きく損傷する恐れがある。本研究開発では、カーボン繊維複合材料表面に金属皮膜を形成した“カーボン／金属ナノ複合体”製造プロセス技術の開発を目的としている。カーボン繊維複合材は機械的特性に優れた新素材で、様々な分野の発展に欠かすことが出来ない材料であるが、導電性の低さに由来する大電流に対する弱さが課題となっている。さらに、本技術はパターンニング技術等との組み合わせにより、カーボン繊維複合材上へのアンテナ形成や配線形成等の新しい市場を開拓する技術になると予想される。

【領域名】材料・化学

【キーワード】カーボン、めっき、耐雷性

【研究題目】水素可視化シートの低コスト製造技術の開発と高機能化

【研究代表者】山田 保誠（構造材料研究部門）

【研究担当者】山田 保誠、吉村 和記、西澤 かおり、
胡 致維（常勤職員4名）

【研究内容】

調光ミラーを用いた水素可視化シートが実用化されてきており、企業から更なる特性向上が求められている。本研究では、水素化したら、脱水素化し難いもしくは水素化した場所の履歴（水素の漏れた場所の履歴）が残る可視化シート、逆に非常に速く脱水素化する可視化シート、鏡状態でない可視化シートの開発を目標に研究開発を行う。

平成28年度は、そのうち、脱水素化し難いもしくは履歴が残る可視化シートの開発に着手した。水素化した場所の履歴が残る可視化シートは、マグネシウム・イットリウム合金を用いた調光ミラーにおいて、成膜直後はマグネシウム・イットリウム合金であるが、一度水素化させた後に脱水素化するとイットリウムは二水素化物までしか脱水素しないことに着目し、用いるマグネシウム・イットリウム合金組成のイットリウム割合を増加させることで、成膜直後と一度水素化させた後との差を明瞭にすることで開発に成功した。また、脱水素化し難い可視化シートは、触媒層をパラジウムからパラジウム合金に改良し脱水素化触媒性能を減少させることで開発に成功した。

【領域名】材料・化学

【キーワード】水素可視化シート、調光ミラー、脱水素化速度

【研究題目】先進パワエレデバイスと時分割変調を活用したマイクロ波応用フロー化学装置の開発

【研究代表者】則包 恭央（電子光技術研究部門）

【研究担当者】則包 恭央、阿澄 玲子、小山 恵美子、
杉山 順一、久保 利隆
（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

本研究テーマでは、先進パワエレデバイスと時分割変調を活用したマイクロ波フロー化学装置を開発し、医薬品用途での難合成等の短時間高収率合成の可能性を、エンドユーザーの参加を交えて実証し、研究開発効率の向上、生産プロセスでの環境にやさしく、エネルギー負荷の少ないプロセスへと展開し産業競争力向上に寄与することを目的とする。

本研究の最終目標は、先進通信用パワエレデバイスと時分割変調 PWM を用い、有機合成におけるエネルギー消費率を、H25.03でのシリコン基板タイプ連続発振方式 CW に比べ、半分以下にするマイクロ波応用フロー化学装置を開発し、難合成といわれる合成が短時間高効率でできることを実証することに置く。

今年度は、PWM 発振器の出力同調制御、発振器の性能実証、および発振器を活用した新規合成技法の開発を実施した。装置の基本性能試験として、溶媒加熱試験および照射周波数のマッチングを実施し、装置側条件の最適化に成功した。また、合成実証試験としてクライゼン転移反応、極難合成の高速合成としてフラーレン誘導体の合成反応の反応プロセスについてそれぞれ条件最適化に成功した。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】有機合成、マイクロ波、フロー化学

【研究題目】超高性能多層膜光学フィルタの開発

【研究代表者】桑原 正史（電子光技術研究部門）

【研究担当者】桑原 正史、福田 隆史、深谷 俊夫、
斉藤 央（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

本研究は、静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業費補助金「超高性能多層膜光学フィルタの開発」の一環であり、日本真空光学（株）との共同研究となる。日本真空光学（株）では、高性能な誘電体多層膜フィルターを開発し、産総研はそれを評価するための分光光度計を開発という計画である。今年度の秋からプロジェクトが開始となった。日本真空光学（株）では、多波長成膜モニターの開発、ロードロック機構による高品質な成膜を目指し、現在開発や装置構築を行っている。産総研では、フィルター評価のための高精度な分光光度計を開発し、

その性能評価を行った。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光学フィルター、分光光度計。

〔研究 題目〕 光インターコネクトモジュール用光ナノインプリント装置の開発

〔研究代表者〕 廣島 洋（集積マイクロシステム研究センター）

〔研究担当者〕 廣島 洋、高木 秀樹、尹 成圓、鈴木 健太、天野 建（常勤職員5名）

〔研究 内容〕

データセンターのサーバー等の大容量データを高速処理する需要拡大により、電気配線に替わる光インターコネクトモジュール（光配線基板）の必要性が高まっている。本事業では、3年間の全体目標において、大型基板上に高精度に多様な3次元光学構造体を一括形成できる光ナノインプリント装置を開発し、従来にない低コストの光配線基板の製造の実現を目指す。産総研の独自技術である凝縮性ガス導入機構、産総研と民間企業が共同で開発経験のある基板裏面からのソフトパッドによる低加圧機構をベースに開発し、8インチの大型基板対応の低加圧で均一なインプリント動作制御が可能な装置を作製する。

全体目標である光インターコネクトモジュールの光学構造体を一括で高精度に形成できるナノインプリント装置開発において、本年度は、4インチの領域での転写試験とアライメント動作の確認、凝縮性ガスの導入・回収機構の開発を行った。転写テストでは中心部からの接触過程、及び45秒以内の樹脂充填を確認した。欠陥率は20.3%、転写樹脂の平均膜厚は48.2 μm 、標準偏差は3.5%であり、今年度設定した目標を達成した。アライメントの評価では、一回のアライメント動作で位置ずれがX方向0.70 μm 、Y方向0.72 μm 、 θ 0.001° が得られ、位置合わせ精度として1 μm 以下を達成した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光ナノインプリント、光インターコネクト光配線、UV 硬化樹脂、インクジェット、データセンター

〔研究 題目〕 宍道湖における水産資源再生に関わる地学的因子の解明

〔研究代表者〕 山室 真澄（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 山室 真澄（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

宍道湖では漁獲対象の二枚貝ヤマトシジミが貝殻を除いても底生動物全バイオマスの98%近くを占め、その濾過能力によって水質浄化に寄与していることが、旧地質調査所が行った研究で明らかになっている。その宍道湖では近年、ヤマトシジミの漁獲量が最盛期の10分の1以下に減少し、平行してアオコが頻発するようになった。

本研究では宍道湖生態系の維持にも重要な機能を果たしているヤマトシジミ資源の減少原因を解明することを目的としている。

宍道湖だけでなく、日本の富栄養化湖沼や海域の多くの場所で、近年、漁獲量の減少が生じている。その原因として栄養塩の総量抑制により水産生物の餌となる一次生産者の増殖が抑制されているとする「貧栄養化」説が唱えられている。しかし宍道湖ではヤマトシジミ漁獲量の減少は、有機物生産量を反映するCODの増加をもたらしていることが分かった。また一次生産速度に影響する栄養塩（全窒素、全リン）の宍道湖での濃度が流入負荷量、溶出量、漁獲量とどのような関係にあるか重回帰分析を行って検討した結果、全窒素・全リンのどちらもヤマトシジミ漁獲量によって決定されることがわかった。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 ヤマトシジミ、COD、栄養塩

〔研究 題目〕 次世代超薄板ガラスのインライン検査を可能とする超高速複屈折計測装置の開発

〔研究代表者〕 穀山 渉（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 穀山 渉、野里 英明、服部 浩一郎（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

本研究は、最先端ディスプレイ技術に使われる超薄板ガラスの生産工程を革新し、国内ガラス産業のさらなる生産性の向上や高付加価値化に役立つものである。静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業の一環として実施されている。

超薄板ガラスの製造工程における重要な品質管理項目に「残留歪み」があり、複屈折計測装置により光学的に計測されている。よって、極めて小さい残留歪みをインラインで実時間に検査する複屈折計測装置がガラスメーカーから強く要望されている。そこで本研究では、複屈折計測装置の心臓部である「位相計」に産総研の特許技術を導入することで、高い精度を保ちつつ従来比10倍以上の超高速計測を可能とし、世界トップ性能の次世代ガラス検査装置としての製品化を目指す。

研究2年目である本年度は、実施計画書に従い、「プロトタイプ干渉計による位相計の光学的性能評価（光学系+電気系）」を実施した。具体的には、レーザ干渉計と接続し光学系も含めた位相計測性能評価を実施した。そのデータを踏まえ、FPGA搭載ロジックの修正や、レーザ干渉計の外乱雑音低減などの改良を実施した。その結果、目標値（ビート周波数10 MHz以上において、位相計測分解能0.1度以下）を達成することができた。この目標は、複屈折計測装置の計測速度を10倍以上に高めるために必要なスペックである。この結果を踏まえ、次年度には、最終的な製品化へ向けた研究開発をさらに進められる見通しを得た。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕複屈折、ヘテロダイナミクス計、位相計

〔研究題目〕光生物学的安全性リスク評価のための実用計測技術および評価装置の開発

〔研究代表者〕 薮 洋司（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 薮 洋司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、各種光源や照明製品等の光生物学的安全性の程度を適切に評価するための、高い測定精度および実用性を兼ね備えた新しい評価技術を開発すると共に、国際認証で主に用いられている従来型のハイエンド評価装置と同等の信頼性を有し、かつ、装置の小型化や簡易評価機能を導入した、コスト・操作性・拡張性に優れた実用評価装置の実現を目的としている。

平成28年度は、主要な測定誤差要因の洗い出しおよび実用的見地からの最適な測定方式の検討を行うと共に、実用評価装置の基本構成を決定し、プロトタイプを試作した。プロトタイプの基本特性評価および代表的な光源に対する光生物学的安全性評価を行い、参照値との比較検証などにより測定値の妥当性を確認した。また、プロトタイプに基づく実用計測方法の確立に向け、測定視野角に依存した逆二乗則の成立範囲の検証、および放射輝度測定における測定誤差の定量評価を行った。さらに、実用評価装置の校正に供するための実用標準光源の探索を行ったほか、測定現場で使用できる簡易校正方法の提案、およびイメージング測定を併用した簡易評価方法の提案を行った。これらの成果により、実用評価装置の完成に向けた基礎技術を固めた。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕光生物学的安全性、リスク評価、放射測定、紫外放射、赤外放射、青色光網膜傷害

〔研究題目〕未利用熱発電のための高耐久型熱電発電モジュールの開発

〔研究代表者〕 天谷 康孝（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 藤木 弘之、島崎 毅、坂本 憲彦

（常勤職員4名）

〔研究内容〕

近年、新たなエネルギー源として、未利用排熱を利用した熱電発電が注目されている。本研究課題では、IoT（Internet of Things）社会の実現に不可欠な自立型センサへの電源供給を目標に、効率良く発電でき、様々な未利用熱源に適用可能な熱電モジュールを開発し、製品化を目指す。研究計画に従い、熱電モジュールに搭載する材料の量産化技術を確認することを目標とし、研究開発を実施した。貴金属をドープした新材料の大口径熱電半導体ウェハの作成条件を確認し、従来の熱電性能を損なわず、生産能力が約10倍に向上させることに成功し

た。材料の製造コストに換算すると、従来の1/3となる。次に、熱電材料評価装置の開発や、リード線部材の絶対ゼーバック係数測定手法の開発に取組み、熱電材料評価の高精度化を達成した。また、熱サイクル試験システムを構築した。150℃で100回以上の温度サイクル試験では、外観の劣化、電気特性の劣化は全く見られず、熱電モジュール化するために必要な安定度を有していることを示した。熱電モジュールの開発においては、55 mm × 55 mm サイズのモジュールを試作し、予備的な評価を行った。その結果、温度差約80℃のとき、最大出力2.6 Wに達した。出力密度に換算すると、0.8 kW/m²に相当する。これは、熱電モジュールの中では世界トップレベルの出力密度である。以上、これらの研究成果により、大口径熱電半導体ウェハの製造技術を確認し、動作温度150℃でも劣化しない熱電材料チップが完成した。

〔領 域 名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕未利用熱、IoT、無線センサ電源、熱電変換発電、熱電材料、熱電モジュール

〔研究題目〕高画質で小型軽量な卓上 X 線3D スキャナの開発

〔研究代表者〕 加藤 英俊（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 加藤 英俊、鈴木 良一

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

X 線源と X 線検出器の両方がバッテリーで駆動可能な、産総研で開発した小型軽量な非破壊検査用 X 線源と共同研究先で開発した高感度高精細な半導体 X 線イメージャを組み合わせて、従来装置と比較して小型で卓上設置が可能な X 線3D スキャナを試作開発することを目的とし、本研究開発においては、金属を含んだ産業製品の X 線イメージを撮影可能とするための管電圧200 kV への高エネルギー化、及び、スキャナ本体の小型軽量化を可能にするための X 線源軽量化を行う。また、パルス X 線発生のデューティが高くなると X 線管の発熱が問題となるため、X 線源の連続駆動限界試験を行い、冷却機構導入を検討する。さらに、3D スキャナ用に X 線源の駆動回路を調整し、高精細かつ小型軽量な X 線3D スキャナを開発を行う。

本年度は針葉樹型カーボンナノ構造体電子源を用いた X 線管の専用設計・製作を行い、昨年度の管電圧170 kV 以上（管電流1.0 mA 以上）から200 kV（管電流1.0 mA 以上）への高エネルギー化を行い、管電圧200 kV 以上（管電流1.0 mA 以上）における X 線射出に成功し、目標を達成した。また、X 線管と高電圧回路を一体化し、瞬時の X 線が発生可能なパルス X 線源を製作した。X 線源としてデューティ3%以上での最終駆動目標に対し、長時間連続ではないが5%での X 線射出が可能となり、X 線駆動回路の改良および冷却機構導入により次年度達成できる用途を付けた。また、X 線源総重量3 kg

以下の最終目標に対し、現状2.78 kg であり、回路改良に伴う増加分を含め達成できる目途を付けた。今後、針葉樹型カーボンナノ構造体電子源を用いた X 線管の管電圧200 kV を実現するとともに、X 線源の駆動回路最適化、連続駆動および形状最適化（小型・軽量化）等の課題解決により、共同研究先による X 線3D スキャナ開発を支援する。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】カーボンナノ構造体、X 線源、非破壊検査、X 線 CT 装置

【研究 題 目】平成28年度化学物質安全対策（スクリーニング・リスク評価における調査）「リスク評価単位の検討」

【研究代表者】蒲生 昌志（安全科学研究部門）

【研究担当者】蒲生 昌志、内藤 航、加茂 将史、竹下 潤一、上坂 元紀、山田 千恵（常勤職員4名、他2名）

【研究 内 容】

改正化審法でのスクリーニング評価・リスク評価において問題となっている UVCBs（組成が不明または不定の物質、複雑な反応生成物及び生体物質）のうち、金属化合物について、評価単位の設定方法の検討を行った。

具体的には、1）データベースからの情報収集に基づいて、イオン特性からの生態毒性の推定と、金属化合物の有害性や物性（水溶解度）の特徴についての解析を行った。さらに、2）生物利用可能性を把握する分析的手法の一つである薄膜拡散勾配法（DGT 法）を用いて、金属化合物の生物利用可能性の評価を行った。得られた知見を踏まえ、考えられる金属化合物のリスク評価単位について得失や実用可能性を議論するとともに、今後の課題をまとめた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】化学物質審査規制法、リスク評価、評価単位、金属化合物

【研究 題 目】ロコモティブシンドロームのエビデンス構築に関する研究

【研究代表者】小林 吉之（人間情報研究部門）

【研究担当者】小林 吉之（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、動作解析により2ステップテストの成績と歩容との関連について検討した。60歳から74歳までの健常高齢者26名を対象に、2ステップテストと、モーションキャプチャシステム及び床反力計を用いた歩行計測を実施し、両者の関連を分析した。動作解析によって得られる関節角度、関節モーメントから260×5151の入力用の行列を構築し、主成分分析を実施した。歩行動作解析データの主成分分析の結果、出力された110の主成分のうち3つの主成分には2ステップテストの結果と強

い相関があることが確認された。これらの主成分から2ステップテストの成績が極端に良い者と極端に悪い者の一歩行周期中の関節角度を模擬的に再構築したところ、2ステップテスト高得点者の歩き方は、低得点者の歩き方に比べて、歩幅が長く、背筋が伸びており、腕の振りも大きいことが示唆された。2ステップの測定値は高齢者の歩行パターンの変化を反映していることが明らかとなった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ロコモティブシンドローム、歩行、ツーステップテスト、モーションキャプチャ

【研究 題 目】酸化物デバイスと電極界面の電気的特性評価方法に関する国際標準化

【研究代表者】秋永 広幸（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】秋永 広幸、島 久（ナノエレクトロニクス研究部門）、吉田 郵司（太陽光発電研究センター）（常勤職員3名）

【研究 内 容】

目的：

機能性酸化物は、新情報処理アーキテクチャを実現する極低消費電力デバイス用材料として注目を集めている。しかしながら、電気的コンタクトの困難さゆえ、デバイス性能を左右する界面の特性評価に標準的な方法論が存在しない。そこで、本事業では、酸化物ナノ界面の特性評価技術として、熱刺激電流評価技術（Thermally Stimulated Current : TSC）に的を絞り、標準化すべき評価法を抽出する。具体的には、平成30年度までに、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission : IEC）／TC113（電気・電子分野の製品及びシステムのナノテクノロジー）に、合計2件の TSC 測定プロトコルを新規提案することを最終目標とした。年度進捗状況：

酸化物ナノ界面の特性評価、及び、人工知能を含むその応用技術をスコープに掲げる国際会議での調査、及びこれらの技術に関する文献・特許調査を行うとともに、熱刺激電流測定による評価項目の具体化に必要な実験データの取得と測定プロトコルの開発等を行った。また、New Work Item Proposal (NP) を1件作成し、IEC／TC113に提出した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】国際標準化、酸化物デバイス、熱刺激電流測定

【研究 題 目】情報統合基盤サイト MEDALS における統合機能の開発

【研究代表者】福井 一彦（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 福西 快文、堀本 勝久
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

MEDALS は、経済産業省関連機関により実施された研究開発プロジェクトの成果等を整理し、ライフサイエンス分野における研究開発の促進に資するデータベースや解析ツールの情報配信を目的としているポータルサイトである。MEDALS の開発では、データベースの再構築による省庁間連携に向けて、選別された産業技術総合研究所のライフサイエンス関連データを対象として統一フォーマットへの変更(アーカイブ化)を行う。また、これまでに引き続き便覧及び横断検索の追加更新等をNBDC と連携し実施する。加えて、新規開発としてはMEDALS 内の解析ツール等に関するオントロジー開発を行う。

・アーカイブ連携

データベースの再構築による省庁間連携に向けてNBDC と連携して生命科学系データベースのアーカイブ化を促進することを目的とする。本年度は、産総研より Confc、DB-SPIRE、TM-Functio の3つのデータベースを選別し、アーカイブサイトから公開するためデータの変換やメタデータの整備を行った。また独自に構築した抗体医薬品に関するデータベースを公開し、アーカイブ化としてNBDC に提供した。

・MEDLAS 便覧と横断検索

経済産業省関連機関により実施された研究開発プロジェクトを対象としてMEDALS より情報配信を行うことを目的として便覧や横断検索の更新を行う。産総研、NEDO、NITE 等の公開情報に基づきMEDALS データベース便覧・ツール便覧・プロジェクト便覧の更新を実施した。便覧更新に伴い、Hyper Estraier による横断検索のため新規にMEDALS に登録されている全エントリーの est ファイルを作成し、NBDC へ提供した。またMEDALS のクラウド運用を進めていく上で、HTTP による通信を安全に行うため、SSL/TLS プロトコールによる通信設定に変更した。

・解析ツールのオントロジー開発

MEDALS 便覧に登録されているデータベースやツールのオントロジーをアップデートし、MEDALS サイトで公開している (<http://medals.jp/medals.owl>)。

〔領域名〕 ライフサイエンス

〔キーワード〕 情報統合、ワークフロー、セマンティック技術

〔研究題目〕 長岡平野西縁断層帯の南端地域における地震活動の調査・研究(公益社団法人地震予知総合研究振興会 共同研究)

〔研究代表者〕 阿部 信太郎(活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 阿部 信太郎、吉見 雅行、加瀬 祐子、堀川 晴央(常勤職員4名)

〔研究内容〕

日本海東縁部のひずみ集中帯の上にあり、中越地震や中越沖地震が発生している長岡地域では、2010年11月より地震予知総合研究振興会が稠密観測網(AN-net)を展開している。

本研究では、これまでAN-net で観測されてきたデータおよび過去の一元化処理震源の検測値に加えて、長岡地域の南部に展開されている産総研の地震観測網のデータをさらに加えることにより、この地域における震源分布と速度構造の決定精度の向上を目指している。

今年度は、産総研の観測網で観測されたデータのうち、2011年11月から2013年の2月までの101個の地震に対して自動読み取りを行った結果をデータとして加えた。

AN-net の南部に位置している産総研観測網のデータが加えられたことにより、長岡平野南部地域における震源決定精度と速度構造の分解能が向上した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 長岡平野西縁断層帯、微小地震観測、地震活動

3) その他収入

〔研究題目〕排出ガス後処理装置の性能低下メカニズムに関する原因究明並びに触媒活性評価試験業務

〔研究代表者〕内澤 潤子 (省エネルギー研究部門)

〔研究担当者〕内澤 潤子、小沢 存 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

20万キロ走行したポスト新長期規制ディーゼル車に搭載されていた後処理システムを構成する SCR 触媒および後段ディーゼル酸化触媒 (後段 DOC) の各触媒、そして尿素 SCR システム全体について、排ガス浄化性能維持の信頼性の検証と劣化メカニズムを検討した。

いずれの触媒も劣化しており、それは触媒活性成分の凝集や担体構造の変化等が原因であることを明らかにした。また、SCR 触媒の Standard-SCR 性能 (O_2 の共存下での NH_3 による NO の還元反応) は著しく低下している一方、Fast-SCR 性能 (O_2 の共存下、 NO_x 中の NO と NO_2 の比率が1:1の時に起こる NH_3 による NO_x の還元反応) は、新品とほぼ同レベルに保たれていた。このことから、SCR 触媒の上流側にある前段 DOC の NO から NO_2 への酸化性能の維持が極めて重要であることが示唆された。さらにシステム全体、すなわち前段 DOC、SCR 触媒、後段 DOC の組合せの活性を調べたところ、 NO_x 転化率は保持していたが、地球温暖化物質である N_2O の副生率が著しく高くなっていた。このことから、システム全体としての劣化が進行していると判断された。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕ディーゼル、自動車、触媒、排ガス浄化、尿素 SCR 触媒、後段 DOC

〔研究題目〕大気化学輸送モデルによる環境リスク評価

〔研究代表者〕井上 和也 (安全科学研究部門)

〔研究担当者〕井上 和也、中川 雄貴
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

給油所 (燃料小売業) での燃料蒸発ガス対策等種々の業種 (7つの業種) への揮発性有機化合物 (VOC) 対策によって得られる地表オゾン暴露の低減効果を通じた環境改善効果を、大気化学輸送モデルを用いて推定した。また、種々の対策間の効率性を比較検討するため、「オゾン暴露削減効率 (単位 VOC 排出削減量あたりのオゾン暴露削減量)」という指標を各対策について導出した。その結果、オゾン暴露削減効率は、対策を行う業種によって10倍以上の違いがあり、給油所 (燃料小売業) での燃料蒸発ガス対策は、他の業種に比べて効率が良いことがわかった。また、オゾン暴露削減効率が業種によって異なる原因を調べた結果、業種間でのばらつきには、VOC 組成の違い以上に排出量地理分布の違いによる影

響が大きい可能性が示唆された。これは、今後業種別に VOC 排出削減対策の是非を検討する場合には、これまで多く検討されている VOC 組成に着目した解析だけでは不十分であり、排出量地理分布も考慮すべきこと、さらには、両者を考慮した本研究で実施したような大気化学輸送モデルを用いた解析が有用であることを示唆した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕大気化学輸送モデル、地表オゾン、排出削減対策、環境改善効果

〔研究題目〕核内受容体活性による甜菜の機能性評価業務

〔研究代表者〕森田 直樹 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕森田 直樹、坂下 真実 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

北海道産甜菜について、機能性を探索し、新たな食品素材としての可能性を検証するために、核内受容体活性評価法 (核内受容体レポーターアッセイ) による機能性のスクリーニングを行った。

北海道産甜菜について、3つの溶媒を用いて各々抽出操作を行い、抽出物を調製した。これら3種抽出物について、レポーターアッセイ (核内受容体レポーターアッセイ) により核内受容体活性化を評価した。その結果、総ての抽出物において、核内受容体の活性化は観られなかった。よって、北海道産甜菜について、今回調べた核内受容体に関してはリガンド活性を有する物質を含有していない可能性が示された。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕核内受容体、核内受容体アッセイ、甜菜、機能性評価

〔研究題目〕核内受容体活性による和歌山県産柿の機能性評価業務

〔研究代表者〕森田 直樹 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕森田 直樹、坂下 真実 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

和歌山県産柿について、機能性を探索し、新たな食品素材としての可能性を検証するために、核内受容体活性評価法 (核内受容体レポーターアッセイ) による機能性のスクリーニングを行った。

和歌山県産柿より調製した「柿ピューレ」について、3つの溶媒を用いて各々抽出操作を行い、抽出物を調製した。これら3種抽出物について、レポーターアッセイ (核内受容体レポーターアッセイ) により核内受容体活性化を評価した。その結果、1つの抽出物で、ある種の核内受容体を活性化することが明らかとなり、リガンド活性を有する物質を含有している可能性が示された。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕核内受容体、核内受容体アッセイ、柿、機能性評価

〔研究題目〕 サービス工学活用生産性向上調査研究事業委託業務

〔研究代表者〕 山本 吉伸（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕 山本 吉伸、竹中 毅（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本調査研究事業では、サービス産業の生産性向上を科学・工学的に研究するサービス工学の視点から、どのように大分県のサービス産業の生産性向上を実現できるかを調査検討した。観光・宿泊業の生産性向上に向けては、企業、顧客、従業員のすべての立場が安定的持続的に成長するサービスエコシステムの観点から議論しなければならない。

そこで本業務では、宿泊業の経営者に対して現状の取り組みや課題をアンケート調査した（大分県下の宿泊事業者約390社に郵送にてアンケート調査票を送付し82社から回答を得、回答に不備があった2社を除く80社を分析するとともに、口コミサイトに公開されている評点を収集して分析した）。この結果をもとに各企業の強み、弱みを視覚的に把握する技術「サービス・ベンチマーキング」を示した。たとえば、基準として客室稼働率、営業利益率、口コミ評点等を軸に宿をプロットすることで自身の経営する宿が全体の中でどの位置にあるのか、どのような方向に進むべきなのかを視覚的に把握できる。投資や改善行動の結果、自社がベンチマーキング上のどの位置に移動したかを確認することで投資効果を客観的に計測することができるなど、サービスの生産性向上に活用できる。

顧客満足度向上の直接的理由であるリピータ増加にむけて、行動要因把握のためすべての年齢層・全国の居住者を対象に調査を行った。その結果、観光地のリピータには「既婚者」で「少々高くても健康によいものを買う」傾向があり、「休日には遠くまで買い物に出かける」「今の自分に対する幸福感がある」人で「にぎやかなところが好き」な人が有意に多かった。このようなプロフィールを持つ人に対する投資が効果的であることが示唆される。

地域に訪れた顧客の単価を向上させるためには、回遊することにスタンプラリーのような目的を付与したり、入場券をセット販売することで立ち寄り拠点を増加させたりすることが効果的である。結果として滞留時間が延長し、飲食その他にも大きな影響を与える。滞留時間が長ければその分だけお金を使う理由が増える。そこで、日田市豆田町商店街と長湯温泉を対象例として事業計画を策定、日田市では「日本遺産×おひなまつり発祥の地をめぐる お得な！豆田ひな小判2016 豆田町キャンペーン」として実証実験を実施した。観光客の回遊状況はリアルタイムでWeb上に表示される。このように得られたデータを統計の専門家ではない人でも加工して記事を作る実験を行い、街づくりに関心のある人の興味を引く記事が提供可能であることが実証された。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 観光、地域、宿泊業、サービス工学、行動解析

〔研究題目〕 腰補助用装着型アシストロボットに関する日本工業規格（JIS）原案作成に伴う同原案に規定された評価試験方法の妥当性検証に関する研究請負業務

〔研究代表者〕 吉田 英一（知能システム研究部門）

〔研究担当者〕 吉田 英一、鮎澤 光、鍋嶋 厚太（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

「腰補助用装着型身体アシストロボットに関する日本工業規格（JIS）原案作成に伴う同原案に規定された評価試験方法の妥当性検証を行い、またそれに基づく原案へのフィードバックを行った。まず、腰補助用装着型身体アシストロボットを装着しその性能を評価する試験装置により、人間の動作軌道が再現できることを示した。次に、試験機により、アシストロボットを装着した状態でその動作軌道が実行でき、実際にアシストトルクや腰部圧縮力の低減効果が評価可能であることを示した。最後に、原案に示された評価指標（定格アシスト率、定格腰部負荷低減率）について実験に基づきその妥当性を評価し、原案へのフィードバックを行った。実験結果に基づき、旧原案の指標が、一定時間の平均値であるアシスト力指標、腰部負荷圧縮力指標に改訂された。本研究の成果は、異なる入力方式のアシストロボットに対しても性能を評価可能な指標の立案に反映された。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 腰補助用装着型アシストロボット、定量指標、日本工業規格

〔研究題目〕 高精度視覚マーカおよびマーカ認識プログラムの開発

〔研究代表者〕 田中 秀幸（ロボットイノベーション研究センター）

〔研究担当者〕 田中 秀幸（常勤職員1名）

〔研究内容〕

視覚マーカは、カメラによる位置姿勢計測を支援するツールである。ここでは、カメラ座標系におけるマーカの位置姿勢の計測が行われる。そのため、マーカを測位、すなわち、地球に固定された座標系における自己位置姿勢推定で利用するためには、上記計測値を用いて「マーカ座標系におけるカメラの位置姿勢」を計算する必要がある。このとき、元々のマーカの姿勢推定に1 deg の誤差があるだけで、10 m 先から観測していた場合の測位誤差は17 cm 程度になる。したがって、マーカを測位用に用いる場合、きわめて高い姿勢推定精度が必要となる。本請負開発においては、誤差0.1 deg の姿勢推定が可能な視覚マーカを設計・開発した。具体的には、これまで

の高精度マーカで使用してきたモアレパターンに加え、その10倍の角度感度をもつ新たなモアレパターンを開発し、それらの組み合わせから0.1 deg 未満の精度で姿勢変化を読み取れるようにした。また、この新しい超高精度マーカに対応したマーカ認識・計測ソフトウェアを開発した。ここでは、超高精度な姿勢推定値を活用し、位置の3自由度だけをパラメータとした再投影誤差の最小化を行うことで、とくに奥行き方向のマーカの位置推定精度を向上させる手法を開発した。結果として、20x20 cm のサイズの測位用超高精度マーカをフル HD の解像度のカメラで10 m の距離から撮影することで、カメラの位置を誤差2 cm 未満で測定できることを実証した。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 視覚マーカ、画像計測、測位

〔研究 題目〕 摩擦低減材料の試作・提供

〔研究代表者〕 増田 光俊（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕 増田 光俊（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

船舶運航における乱流摩擦抵抗の低減は、その省エネルギー化に貢献する。ポリマー等の添加による流体抵抗低減はトムズ効果として知られているが、船舶等の外部流れ場では実用化されていない。一方、船底塗料技術を応用してポリマーを船体と海水の界面に溶出させて、ソフトマター層を塗膜近傍に形成することで、摩擦抵抗低減の可能性が示されている。この実用化のためには塗膜からのポリマーの溶出状態の可視化、ポリマー・水系の速度場計測が必要不可欠である。そこで抵抗低減効果を有する超高分子量の蛍光修飾ポリマーの試作・提供を行った。なお本研究は国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所からの請負研究として、実施した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 乱流、流体摩擦、抵抗低減、トムズ効果、ポリマー、溶出

〔研究 題目〕 山崎断層主部北西部を対象とした動力学的破壊シミュレーション（応用地質株式会社 請負研究）

〔研究代表者〕 加瀬 祐子（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 加瀬 祐子（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

山崎断層主部北西部の3断層（大原断層、土万断層、安富断層）を対象として動力学的震源モデルを構築した。主圧縮軸方向、静摩擦係数等、破壊過程を左右するパラメータを変化させてシミュレーションをおこない、3断層が連動する条件を整理、検討した。その結果、大原断層と土万断層、および、その境界部分が連動し、大原断層西町地点における1回の活動によるすべり量を概ね再

現できる最大主応力軸方向の範囲が88°以上93°以下の場合に、安富断層の静摩擦係数を0.350～0.380程度に設定すれば、大原断層から始まった破壊が、土万断層、安富断層と順に伝播し、3断層が連動する可能性があることが示された。しかし、安富断層が土万断層に続いて破壊する場合においても、安富断層の破壊は、S波速度以上で伝播、もしくは、浅部から深部へ伝播しており、破壊過程としては不自然なものとなっている。そのため、安富断層の破壊速度がS波速度以下で、かつ、破壊伝播が水平方向に近くなる可能性を探る必要がある。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 山崎断層、動力学的断層破壊シミュレーション、破壊速度、地震動

〔研究 題目〕 布田川断層帯・日奈久断層帯を対象とした動力学的破壊シミュレーション（応用地質株式会社 請負研究）

〔研究代表者〕 加瀬 祐子（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 加瀬 祐子（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

布田川断層帯・日奈久断層帯の3区間（布田川区間、高野-白旗区間、日奈久区間）を対象として動力学的震源モデルを構築した。主引張軸方向、主応力値、破壊開始点位置、摩擦係数等、破壊過程を左右するパラメータを変化させてシミュレーションをおこない、3区間が連動する条件を整理、検討した。その結果、トレンチ調査等で観察された右横ずれ量を説明するには、布田川断層帯布田川区間北東端から破壊が始まり、布田川区間のみが破壊するモデルと、日奈久断層帯高野-白旗区間北東端から破壊が始まり、布田川断層帯布田川区間が連動するモデルの2モデルが適していることが示された。このうち、後者のモデルでは、2016年熊本地震の破壊過程に対応している。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 布田川断層帯・日奈久断層帯、動力学的断層破壊シミュレーション、動力学的震源モデル

〔研究 題目〕 インドネシア国地熱開発における中長期的な促進制度設計支援プロジェクトのうち地質・地化学・物理探査（西日本技術開発株式会社 請負研究）

〔研究代表者〕 高橋 正明（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 高橋 正明、内田 利弘（地質調査総合センター研究戦略部）、阪口 圭一（再生可能エネルギー研究センター）（常勤職員1名、他2名）

〔研究 内容〕

国際協力機構が実施している「インドネシア国地熱開発における中長期的な促進制度設計支援プロジェクト」

の一環として、インドネシア国エネルギー鉱物資源省地質総局鉱物石炭地熱資源局の地熱研究者に対して、地熱開発における地質調査、地化学調査、物理探査の現地調査法、機器分析法、解析法の技術指導を行った。また2016年9月にバンドンで開催されたセミナーおよびワークショップにおいて、地質調査、地化学調査および物理探査について講演を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地熱、インドネシア、技術移転、地質調査、地化学調査、物理探査

【研究 題 目】「自動検査プロセス実現のための測定データ標準処理手順案」検証実験

【研究代表者】佐藤 理（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】佐藤 理、阿部 誠（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究は光学式非接触測定機による測定データを用いて三次元設計データと実際の製品との照合を行う検査プロセスの自動化を実現するための基礎として、定められた測定データ標準処理手順案が有効であるかを、実験を通して検証し、確認したものである。

自動検査プロセスを想定した測定データ標準処理手順案に従い、光学式非接触三次元測定システムを使用して樹脂製部品を測定し、得られたポイントクラウドデータと CAD データとを照合した。大きく形状の異なる二種類の試料の両方の測定において、標準処理手順案に従って評価を行うことにより、異なる測定者が、それぞれ異なる測定システムを使用した場合でも、同等性のある評価結果を得ることができることを確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】適合性評価、標準化、同一性検証

【研究 題 目】超精密用Oリングの形状・寸法の測定及び評価

【研究代表者】阿部 誠（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】阿部 誠、藤本 弘之、佐藤 理、鍛島 麻理子、松崎 和也、呂 明子、加藤 裕美（常勤職員5名、他2名）

【研究 内 容】

経済産業省「新市場創造型標準化制度」事業に採択された「超精密用Oリング」のJIS標準開発において、内径が0.5 mm以下であって太さが0.5 mm以下のものに関し、サンプルワーク2種、各10個について、画像測定機、および計測用X線CT装置による参考測定値を付与し、JIS標準開発に資する実測値を提供することを目的として実施した。画像測定機 による測定結果および計測用X線CT装置による測定結果は内径および線径のいずれについてもマイクロメータオーダで一致した結果が得られ、当初の目的を達成した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】JIS、日本工業規格、工業標準、Oリング

【研究 題 目】リレーショナル化学災害データベース

【研究代表者】和田 有司（安全科学研究部門）

【研究担当者】和田 有司、牧野 良次、若倉 正英、中島 農夫男、松倉 邦夫、伊藤 貴子、鈴木 真紀、阿部 祥子（常勤職員2名、他6名）

【研究 内 容】

「リレーショナル化学災害データベース」は、継続的に化学関連災害を収集し、公開することを目的としているデータベースで、化学災害に関連した物質の危険性データへのリンクや文字情報以外のプロセスフロー図、装置図、化学反応式等の付帯情報（画像情報）へのリンクを持ち、利用者が利用しやすいように最終事象、装置、工程、推定原因、被害事象を専門家によって階層化されたキーワードで分類し、教訓を持つことを特徴としている。また、一部の事例には産総研で開発した事故分析手法 PFA によって事故を分析した結果である事故進展フロー図がリンクされ、利用者がより簡便に深く事故を理解できるように工夫されている。

本研究では、日々化学災害事例の収集、分析を行い、事故の概要文を作成した約200件の事例について、関連化学物質の抽出作業および各キーワードによる分類作業を行いながらデータベースへの登録、公開を行った。また、事故分析手法 PFA の結果である事故進展フロー図約10件を Web で公開するフォーマットに整える作業を行い、データベースに登録、公開を行った。

なお、データベースサーバの移転に伴い URL が変更になった。

公開 URL : <https://riscad.aist-riss.jp>

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】リレーショナル化学災害データベース、RISCAD、事故分析手法 PFA、事故進展フロー図、教訓

【研究 題 目】 H_2TiO_3 を原料に用いた $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 脱硝触媒製造法の開発

【研究代表者】張 戦国（創エネルギー研究部門）

【研究担当者】張 戦国、Yu Jian（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

(1)酸溶解および加水分解工程の操作パラメータを制御することにより、チタン含有スラグから、5 wt%-25wt% SiO_2 を含有する廉価な $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 担体を製造できることを確認した。また、10 wt% $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 担体が純 TiO_2 より2倍強の表面積（約180 m^2/g ）を有し、より高い分散性・活性の持つ $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2$ 型触媒の製造に適していることを確認した。さらには、 SiO_2 の存在

により TiO_2 の熱安定性が大幅に改善されたことも高温焼成・形態解析試験より確認した。

(2)チタン含有スラグから製造した10 wt% $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ を担体に用い、含浸法より調製した $\text{V}_2\text{O}_5\text{-WO}_3/\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ 触媒は250-450 °Cの温度範囲で SiO_2 を有しない触媒と同等なまたはそれ以上の脱硝活性を示したことを確認した。また、担体に含まれる少量の Fe_2O_3 並びに硫酸根は触媒の酸化活性と NH_3 吸着性を高める効果があり、触媒の低温脱硝活性の改善に大きく寄与したことも解明した。該触媒は250 °Cの低温で600 ppmの SO_2 と15 %の水蒸気を含む模擬排ガスに対して高い活性と安定性を示しており、実用性が期待される。

(3)異なるバナジウム化合物を前駆体に用いて調製した触媒の活性比較試験を行った。その結果、 $\text{VOSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ と NH_4VO_3 に比べ、 $\text{VO}(\text{acac})_2$ と $\text{VO}(\text{acac})_2$ を前駆体に用いた触媒 ($\text{V}_2\text{O}_5/\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$) の方がより広い温度範囲 (200-450 °C) で高い活性を示した。またハニカム担体に塗布して塗布型触媒としても、ガラス熔融炉からの排ガスの脱硝実証試験において高い耐摩耗性と活性安定性を示した。

(4)酸溶解と分級沈殿からなる手法により、赤泥から高い高温活性を有する廉価な鉄系脱硝触媒を分離・製造できることを確認した。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] 排煙ガス、脱硝触媒

[研究題目] 水蒸気を水素・酸素源として利用する重質炭化水素の軽質化技術の開発

[研究代表者] 麓 恵里 (創エネルギー研究部門)

[研究担当者] 麓 恵里 (常勤職員1名)

[研究内容]

在来型原油を石油精製する過程で副生する残油や、カナダのオイルサンドピッチャメン等の重質油は、有用な軽質油へ転換する際、水素の添加が有効である。しかし水素は高価であるため、本研究では水蒸気を水素・酸素源として利用する重質油の軽質化技術開発のため、ジルコニアとアルミナを含む酸化鉄触媒を用いて中東系常圧残油の接触分解を水蒸気雰囲気下で行った。本反応では、酸化鉄触媒の格子酸素を介して水蒸気由来の酸素種と重質炭化水素が反応する酸化分解反応によって、軽質油や二酸化炭素、少量の残渣が生成する。水蒸気から酸素種が生成するとき、同時に水素種が生成し、この水蒸気由来水素種は軽質炭化水素や残渣等の生成物へ組み込まれると考えられる。ジルコニアは水蒸気からの酸素種と水素種の生成を促進する働きを示し、触媒のジルコニア含有量が増加すると軽質油の生成量が増加する。しかし、分解された重質炭化水素の一部は再結合して炭素残渣が触媒上に堆積し、触媒を長時間使用すると軽質油の生成量がやや減少した。

平成28年度は、使用前後の触媒の構造解析を実施し、

触媒の安定性を検討した。残油の接触分解反応実験を2~6時間の範囲で行った後の触媒の酸化鉄の X 線回折パターンに大きな変化はなかった。2~6時間反応後の触媒の細孔容積分布を比較すると、6時間反応後も細孔構造を維持しているが、4時間反応以降、細孔容積がやや減少した。炭素残渣の付着によって細孔の一部が閉塞して細孔容積が減少し、軽質炭化水素の生成量がやや減少したと考えられる。従って、燃焼により炭素残渣を除去することで触媒を再生できる可能性が高い。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] 重質油、酸化鉄触媒、水蒸気

[研究題目] 放射能汚染地域のバイオマス利用・高温減容化・灰分安定貯蔵のための灰分挙動解析

[研究代表者] 中西 正和 (創エネルギー研究部門)

[研究担当者] 中西 正和、小木 和子、福田 芳雄 (常勤職員1名、他2名)

[研究内容]

バイオマスを燃やすと、灰分は酸化物になり、常温に冷却すると水酸化物になる。セシウム・カリウム酸化物・水酸化物は水に溶けるため、放射能汚染地域で伐採された木材の多くが未利用のまま放置されている。

当グループは、三菱重工業株式会社と共同で15年以上噴流床型バイオマスガス化を研究している。その過程で、水蒸気+酸素雰囲気中で高温処理 (ガス化) すると、条件によってバイオマス中の灰分が安定な形態になることを見出した。高温でのセシウム・カリウム挙動を解析し、安定な形態になる条件を明らかできれば、ガス化処理によりセシウム等の長期安定貯蔵・現在未利用で放置されている放射能汚染地域のバイオマスの高温減容化・エネルギー利用が同時に可能となる。

平成27-28年度、非放射性セシウムまたは非放射性カリウムとバイオマス等との混合物を種々の条件で高温処理した後水処理し、水溶液の高周波誘導結合プラズマ発光 (ICP 発光) 分光分析および固体残渣の走査型電子顕微鏡-エネルギー分散型エックス線分析 (SEM-EDX 分析) 等を行い、難水溶性セシウム化合物・カリウム化合物生成条件を概ね明らかにした。最終年度である平成29年度、難水溶性セシウム化合物の最適生成条件と反応機序を明らかにし、特許出願や外部発表を行う予定である。

[領域名] エネルギー・環境

[キーワード] バイオマス、ガス化、灰分安定貯蔵

[研究題目] イオン性クラスレートハイドレートの工学利用に向けた熱力学性質とガス包蔵特性の解明

[研究代表者] 室町 実大 (創エネルギー研究部門)

[研究担当者] 室町 実大 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

セミクラスレートハイドレートは300 K程度の温度でも生成することが可能な氷のような結晶固体であり、メタンや二酸化炭素などのガスを包蔵することができるため、空調技術およびガス分離技術への応用が期待されている。これらの技術はセミクラスレートハイドレートのガス包蔵特性および熱力学性質に基づくものであり、需要温度やガス包蔵量、ガス選択性を理解し向上させることが必要とされている。セミクラスレートハイドレートの生成には、テトラブチルアンモニウム塩などのイオン性ゲスト物質が必要である。本研究では、ハロゲンイオンやカルボキシ酸などのイオン性ゲスト物質から生成するセミクラスレートハイドレートについて、熱物性測定と結晶構造解析を組み合わせた分析を行っている。

最終年度である平成28年度においては、ヒドロキシカルボキシ酸アニオンをイオン性ゲスト物質とするセミクラスレートハイドレートについての研究を完了した。アニオンの炭素鎖長とハイドレートの融点や結晶構造、融解熱の関係を明らかにしたことで、潜熱蓄熱材としての当該材料開発における有用な知見が得られた。また、カルボキシ酸であるアクリル酸や酪酸をアニオンとするテトラブチルアンモニウム塩のセミクラスレートハイドレートが有するメタンおよび二酸化炭素ガスの包蔵特性について研究を進めた。これらのハイドレートに対するメタンと二酸化炭素の適合性の差が明らかとなり、ガス分離技術への応用が期待される。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 セミクラスレートハイドレート、メタン、二酸化炭素、蓄冷熱、ガス分離

〔研究題目〕 ナノメートルサイズの Mg クラスターを利用した新規低コスト水素貯蔵材料の開発

〔研究代表者〕 浅野 耕太（創エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 浅野 耕太（常勤職員1名）

〔研究内容〕

水素化物 MgH_2 は体積および質量水素密度が高く、Mg 金属は低コストの軽金属であることから高密度水素貯蔵材料としての魅力が高いが、熱的な安定性が高いため水素の放出に高温を要する。平成27年度までの研究により、非平衡の Mg-Ti 系合金を水素化することで Ti 基質組織中に Mg をナノメートルオーダーで生成させれば、その界面エネルギーにより Mg 水素化物が不安定化されることを実証しており、平成28年度はさらなる Mg 水素化物不安定化のため、Cr あるいは Mn を添加した Mg-Ti-Cr および Mg-Ti-Mn 系粉体合金を試作した。その水素吸蔵放出性能を評価した結果、Cr あるいは Mn 添加のいずれにおいても平衡水素吸蔵圧力が上昇したものの、同放出圧力に顕著な変化は見られなかった。この結果は、Ti-Cr あるいは Ti-Mn 基質組織中の Mg のサ

イズが、期待している程の Mg 水素化物の不安定化を発現するまでに十分に小さくなっていない（目標1~2 nm）であるがおそらく現状はその数倍）ことを示している。合金をはじめに水素化する際の条件（温度、水素圧力）の最適化と、Ti 基質組織と Mg の界面の構造を明らかにすることが引き続き必要であると考えられる。

他方、Mg-Ti-X 系に比べて材料コストの低減が期待できる Mg-Fe-Si 系水素化物の作製を試みた。X 線回折、固体 NMR、放射光全散乱実験などにより、水素化物は Mg_2Si 基質組織中に Mg_2FeH_6 が生成していることが示唆された。また Mg_2FeH_6 および Mg_2Si は同じ面心立方構造をもつことから、コヒーレントな界面を形成することで界面エネルギーによる水素化物不安定化の効果が期待されるが、その安定性評価については継続中である。協力関係にあるデルフト工科大学（蘭）およびヘルムホルツ研究所（独）により、ナノメートルオーダーの Mg_2FeH_6 の生成過程において空孔が関与していることが示唆されているが、 Mg_2Si との界面構造などとの関連は現段階では明らかになっておらず、水素化物不安定化の効果と機構解明を継続していく予定である。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水素貯蔵材料、核磁気共鳴法、クラスター構造、Mg 水素化物

〔研究題目〕 分子／界面の構造機能解析に立脚した新規錯体系電極触媒の開発

〔研究代表者〕 山崎 眞一（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 山崎 眞一、前田 泰、田中 真悟、秋田 知樹、朝日 将史（常勤職員5名、他1名）

〔研究内容〕

本研究課題では、Rh ポルフィリン系電極触媒の機能を(1)分子それ自身の触媒作用と(2)界面における分子のふるまいの二つに分けて解析し、得られた情報をもとに高活性な分子電極触媒の開発を行うことを目的としている。

今年度は、反応中間体として考えられる Rh ポルフィリン-CO 錯体の第一原理計算を行い、この錯体の電子状態及び想定している反応機構の妥当性を検討した。また、得られた反応機構に基づく CO 除去層の提案を行い、バッチ系の実験において98%以上の CO 除去率を実現できた。次に界面の影響を調べるため、ポルフィリン錯体の HOPG (Highly oriented pyrolytic graphite) 基板上での配向を AFM (Atomic force microscope) により観察した。ポルフィリン錯体の中心金属の違いにより、基板との相互作用が大きく異なることが分かった。本触媒は燃料電池用の電極触媒としての用途を想定しているので、水の存在下で使用することを想定している。そこで本年度はポルフィリンの配向構造に対する水の影響を AFM により解析した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 燃料電池、アノード触媒、分子触媒、AFM、表面分析

〔研究 題目〕 金クラスター担持触媒の創成・機能発現機構解明に向けた量子化学的アプローチ

〔研究代表者〕 多田 幸平（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 多田 幸平（他1名）

〔研究 内容〕

本研究は、調製段階での現象も含めて理論計算から包括的に検討を行うことにより、金触媒の機構解明と新規触媒の創成に関する知見を与えることを研究目的としている。

これまでの研究で、金触媒の調製における経験則に理論計算から証明を与えることに成功した。

今年度は、昨年度の結果を考慮したうえで、（1）担体結晶面の差異が金クラスターの電子状態に与える影響、（2）担体結晶形の差異が金触媒の活性に与える影響、（3）他貴金属触媒との比較を理論計算だけでなく実験も行い、詳細に検討した。

Au/TiO₂ 触媒に関する検討の結果、確認されている 3 つの Au/TiO₂ 界面のうち Au(111)//TiO₂ anatase(112) の相互作用が最も強いこと、金触媒の CO 酸化活性において TiO₂ の結晶形依存性はほとんど見られないことを見出した。それらの結果をよく説明する妥当な機構を共同研究から示すことに成功し、金触媒の機構解明に大きく貢献した。

また、他貴金属触媒との比較検討を行うことにより、金は他貴金属よりも担体表面上のアニオン種との相互作用が著しく弱いこと、貴金属と酸化物表面の相互作用は化学ポテンシャルだけでは説明ができず化学硬度を導入する必要があること、酸化物表面上へのヨウ素添加は銀や銅クラスターの固定化に効果がある可能性があることを示すことに成功した。これらの結果は、金触媒に限らず、貴金属触媒の新たな設計指針を与えている。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 金触媒、第一原理計算、ナノ材料、表面・界面、貴金属担持触媒

〔研究 題目〕 階層型多孔質炭素材料による高効率エネルギー貯蔵の研究

〔研究代表者〕 徐 強（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 徐 強、（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

二次電池や電気二重層キャパシタにおいては、イオン等の物質の貯蔵と輸送（移動）がキー過程になる。イオンの貯蔵にはイオンのサイズに近い小さな細孔ほど高容量を与えるが、高パワー密度（瞬発力）を得るには、短時間での充・放電に伴うイオンの迅速な輸送が不可欠になるため、より大きな通路（細孔）が必要である。この

ように貯蔵と輸送ではそれぞれ異なる最適な空間（サイズ、構造や機能）を必要とするが、物質貯蔵と輸送の双方に適したマイクロ・メソ空間を兼ね備えた材料の合成は困難であった。貯蔵と輸送の両過程の効率を同時に最大化できる階層的マイクロ・メソ空間の構築法の確立は高効率エネルギー貯蔵の実現に重要な課題である。

本研究では、超分子有機構造体を前駆体として用いて炭素化処理を行うことにより、構造と機能が精密に制御された多孔質炭素材料を創成し、二次電池やキャパシタ等における貯蔵と輸送の能力・効率の最大化を目的とする。

今年度は超分子有機構造体前駆体と酸化グラフェンとの複合体の合成を行い、さらに、その複合体を不活性雰囲気下で高温で熱処理し、窒素ドーピングした多孔質グラフェン炭素材料を合成した。有機構造体前駆体と酸化グラフェンとの複合体及び窒素ドーピング多孔質グラフェン炭素材料のキャラクタリゼーションを行い、細孔構造や窒素含有量など構造と特性を明らかにした。窒素ドーピング多孔質酸化グラフェンのキャパシタの電極材料としての性能評価を行い、得られた炭素材料の多孔性構造、グラフェンの導電性及び表面にドーピングされた窒素(N)成分の効果によって、本材料は、優れた比電気容量及びサイクル特性を有することを明らかにした。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 エネルギー貯蔵

〔研究 題目〕 高性能液体化学水素キャリアの研究

〔研究代表者〕 徐 強（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 徐 強（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

来る水素エネルギー社会を支えるキーテクノロジーとして、高効率水素貯蔵技術の確立が求められている。本研究では広い温度領域において液体であり、水素と窒素への選択的完全分解が可能であり、充填容易かつ副生成物（窒素のみ）の回収・再生不要であることから化学水素キャリアとして高い可能性を持つヒドラジン水和物の優れた性質に着目し、高性能化学的水素貯蔵技術の確立を目的としている。

今年度は3次元グラフェンを合成し、さらに、窒素含有前駆体を用いて、不活性雰囲気下で熱処理を行うことにより、窒素ドーピンググラフェンを合成した。これを担体として用いて、NaOH の共存条件下で前駆体金属塩の還元により二金属 Pt_xNi_{1-x}@3D-NG (x = 異なる Pt/Ni 比) 触媒を合成した。Pt_xNi_{1-x}@3D-NG 触媒を用いてヒドラジン水和物の分解反応を行ったところ、触媒活性・水素生成選択性は、Pt/Ni 比に依存することが分かった。反応速度は反応温度に依存し、293-333 K の温度領域では温度上昇につれて、反応速度が増加することが分かった。Pt_{0.5}Ni_{0.5}@3D-NG は、高い触媒活性を示し、TOF 値は303 K では776 h⁻¹に、333 K では1651 h⁻¹に達し

た。放出ガスの体積測定から、ヒドラジンの完全分解反応 $\text{H}_2\text{NNH}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2$ が選択的に進行し、水素生成選択率が100%に達することが確認された。6回繰り返し実験を行ったところ、顕著な活性低下が観測されず、触媒は比較的高い安定性・耐久性を有することが明らかになった。Pt0.5Ni0.5@3D-NG 触媒の高い触媒性能は、金属間相乗効果及び金属ナノ粒子と担体との相乗効果に起因すると考えられる。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水素、燃料電池

【研究 題 目】 ポーラス炭素の精密構造制御と高効率エネルギー貯蔵の研究

【研究代表者】 徐 強 (電池技術研究部門)

【研究担当者】 徐 強 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、共有結合性有機構造体 (COF) などの有機系結晶性ポーラス材料を鋳型・前駆体として用いて炭素化処理を行うことにより、細孔構造を精密制御したポーラス炭素材料を合成し、キャパシタ等におけるエネルギー貯蔵特性の向上を目的とする。

今年度は溶媒熱反応を利用して、共有結合性有機構造体 (COF) を合成し、シリカ前駆体を COF の細孔に導入した。水蒸気などの雰囲気下でシリカ前駆体を加水分解させ、COF@SiO₂複合体を合成した。合成されたポーラス共有結合性有機構造体 COF やそのシリカとの複合体をアルゴン雰囲気下で、高温処理し、炭素化させ、生成物を HF で洗浄した。炭化処理の温度などの条件により、異なる細孔構造を有するポーラス炭素材料を合成した。700-1000 °C の温度では、共有結合性有機構造体 COF とシリカとの複合体の炭化処理によって得られた炭素材料は高い比表面積を示した。合成されたポーラス炭素を電気二重層キャパシタの電極材料として用いて、硫酸水溶液において充放電特性評価を行った。異なる共有結合性有機構造体前駆体の使用や、炭化処理条件などが、生成されるポーラス炭素材料の構造及び電気二重層キャパシタの電極材料としての特性に与える影響について詳細に検討した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 エネルギー貯蔵

【研究 題 目】 極強加工と水素誘起分解再結合を利用した高機能積層型水素吸蔵合金の開発

【研究代表者】 田中 孝治 (電池技術研究部門)

【研究担当者】 田中 孝治、竹下 博之 (関西大学)、
近藤 亮太 (関西大学)
(常勤職員1名、他2名)

【研究 内 容】

繰り返し圧延による極強加工と水素誘起分解再結合により組織制御された積層型水素吸蔵合金 (超積層体) が、

水素吸蔵・放出温度の低下や反応速度の向上を示す等、通常のバルク体や粉体には見られない優れた特性を持つことを見出し、微細構造と水素吸蔵・放出特性の関係について研究を進めてきた。Mg/Cu 超積層体の研究を通して、強加工の程度による微細化度の違いにより水素化の経路が、水素圧制御により水素放出過程の反応経路が制御可能であることが解って来た。本研究では、微細組織と水素吸蔵・放出特性の関係の知見を元にして、さらに優れた水素吸蔵・放出特性を持つ材料を開発することを目的とする。

今年度は Mg/Cu 超積層体の微細組織と示差走査熱量測定 (DSC) プロファイルの形状との関係について調べた。DSC 1サイクル目の昇温過程において 450 K ~ 600 K の範囲で Mg の水素化、Mg と Cu の合金化による Mg₂Cu の生成、Mg₂Cu の水素化に伴うなだらかな発熱ピークが出現する。次に、670 K 付近の Mg₂Cu 系の水素放出の吸熱ピークと 720 K 付近の MgH₂単体の水素放出ピークの順に続く。DSC 1サイクル目の Mg₂Cu 系の水素放出ピークに対して MgH₂単体の水素放出ピークがある程度以上の大きさの場合、DSC 2サイクル目以降の Mg₂Cu 系の水素放出ピークにダブルピーク現れることが解った。これは、繰り返し圧延による微細化が十分でない場合に、DSC 1サイクル目の昇温過程において Mg の水素化が優先的に起こり Mg₂Cu の生成に必要な Mg が供給されず、結果的に MgCu₂塊が多量に生成した事が原因であると推測された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 極強加工、積層型、水素吸蔵合金、水素誘起分解再結合

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

【研究代表者】 橘田 晃宜 (電池技術研究部門)

【研究担当者】 橘田 晃宜 (常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究ではリチウムイオン電池の電極材料と電解液との界面における種々の現象を表面科学的手法ならびに計算科学的手法を駆使して明らかにし、電池性能の改善の鍵となる反応メカニズムを物理化学的に解明することを目標としている。

今年度はチタン酸リチウム (LiTi₂O₄) への Li 吸蔵反応が原子レベルでどのように起こりうるのかを理解する目的で、第一原理計算による表面・界面シミュレーションを実施した。リチウムイオン電池の反応では、電荷担体となるリチウムイオンと伝導電子が電極材料に同時に挿入されるが、電気量と物質量の保存則から考えると、電極材料へのリチウム単原子の挿入反応と同一である。このような立場から、金属リチウム単原子とバルク結晶の表面における相互作用を考えることは重要である。第

一原理計算コードとして Quantum Materials Simulator (QMAS) を用いた電子状態計算を行い、チタン酸リチウムの結晶表面に吸着させたリチウム単原子から電荷がどのようにバルクへ広がるかを議論した。その結果、電荷の広がりには吸着リチウムと化学結合を生成した酸素の周囲の、特定のチタン原子に局在化する傾向があることを明らかにした。このような傾向はバルクの還元反応がリチウムと酸素の結合を介して起こりうる事を意味しており、以上より、遷移元素の酸化還元反応にとどまらないリチウム挿入の電気化学を説明する上で重要な知見を得たと考えている。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】リチウムイオン電池、電極電解液界面、第一原理計算

【研究 題 目】メカノケミカル法によるナトリウム含有金属硫化物の新結晶相創製

【研究代表者】作田 敦（電池技術研究部門）

【研究担当者】作田 敦（常勤職員1名）

【研究 内 容】

金属硫化物系電極を用いるナトリウム二次電池は、低コストかつ高エネルギー密度な電池として期待されている。しかし、現状においては、硫化物系高容量電極材料の探索は十分に行われておらず、ことさらナトリウムを含有するものに関してはほとんど報告例がない。本研究課題では、ナトリウム二次電池用高容量電極材料の開発の一環として、メカノケミカル合成法を用いてナトリウムや硫黄を高含有する金属硫化物の新結晶相を探索した。

今年度はアルゴン雰囲気グローブボックス中で、ナトリウム源、硫黄源、金属源の試料を秤量し、大気非暴露用の容器を用いたボールミル処理を行うことで、ナトリウム含有金属硫化物を合成した。Na₂ZrS₃組成で岩塩型の結晶相を有する材料が得られた。比較用の実験として合成したリチウムスズ硫化物においても新結晶相を有する固体電解質を見出した。この固体電解質は、25°Cで10⁻⁵ S cm⁻¹を超える比較的高い導電率を示した。本研究課題では、低結晶性材料、非晶質材料、複合材料を含む新規材料を複数発掘することができた。今後は得られた試料の電極性能や電解質としての特性の評価を行い、その結果を高性能材料探索に生かしていく必要がある。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】二次電池、ナトリウム電池、革新電池、硫黄、正極、メカノケミカル法

【研究 題 目】リチウム資源問題を解決する常温作動型ナトリウム二次電池の開発

【研究代表者】片岡 理樹（電池技術研究部門）

【研究担当者】片岡 理樹、高浜 恵美子（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

前年度に電池の充電反応を利用して合成する in situ 合成法を考案し高容量 Na-Mn-O 系ナトリウム正極材料の開発に成功した。

今年度はこの材料の高性能化を目的として検討を行った。これまでは、原料を Na 酸化物および Mn 酸化物とした 2 成分の混合物を上記の反応利用プロセスを利用して材料合成を行っていたが、本年度は第三成分として、Na 正極材料としての動作が報告されている Na_xMO₂ の化学組成を有する化合物を加え in situ 合成を行い高性能材料の開発を試みた。第三成分を加えることで、Na-Mn-O 系材料および第三成分として加えられた Na_xMO₂ が示すどちらの電極特性を超える高容量で充放電可能な材料が得られることがわかった。特に Na_{2/3}(Mn_{2/3}Ni_{1/6}Co_{1/6})O₂ を第三成分として加えた場合、初期放電容量が 240 mAh/g、平均電位が 2.8 V、正極重量あたりのエネルギー密度は 670 Wh/kg を示し、これまでに報告されている酸化物系のナトリウム正極材料の、最も高性能な値を示すことを見出した。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ナトリウム二次電池、省レアメタル、正極材料、高容量材料

【研究 題 目】リチウムの化学状態を評価する電子分光手法の研究

【研究代表者】田口 昇（電池技術研究部門）

【研究担当者】田口 昇（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

軽元素であるリチウム (Li) はリチウムイオン電池等への応用の観点から重要な元素である。しかし、簡便な Li 評価は難しく、電池材料開発や電極評価への応用は特に実験室レベルの手法ではあまり例がない。現在、透過型電子顕微鏡 (TEM) ベースでの電子エネルギー損失分光法 (EELS) は比較的容易に Li をナノレベルの空間分解能で分析可能な手法だが、測定試料サイズ等に制約が大きい。走査型電子顕微鏡 (SEM) は実験室レベルで運用され、かつ簡便に高い空間分解能での試料観察や分析を行うことができるツールとして有用である。TEM に比べても測定試料に自由度が大きい点がメリットとしてあげられる。そこで本研究では、リチウムイオン電池の電極材料評価を迅速に行うために、化合物中の Li を検出可能な走査電子顕微鏡-反射電子エネルギー損失分光 (SEM-REELS) による測定技術の開発を行い、電池材料評価への応用をはかっている。

今年度は、Li 元素のエネルギー領域の SEM ベースでの表面電子分光スペクトルを Li 化合物試料について取得した。REELS による Li K 吸収端領域および参照としてのオージェ電子分光 (AES) による Li KVV 領域の電子分光スペクトルを同時取得してそのスペクトル形状や、強度と Li 濃度変化との比較検討を行った。その結果、REELS 測定を用いた Li K 吸収端評価による

測定では比較的容易に Li 量の変化を捉えられることが分かった。また、電池の充放の電サイクル特性の著しく異なる正極について Li 分布の違いを比較するため、充放電後の電極断面試料を作製して、電極の複数エリアに対して、スペクトラムイメージングスキームによる Li K 端測定・解析を行い、電極内部の Li 分布の差異を可視化、評価することができた。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 電子顕微鏡、SEM、リチウム分布、EELS

〔研究 題目〕 金微粒子触媒における電気伝導特性と触媒反応機構の研究

〔研究代表者〕 秋田 知樹（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 秋田 知樹、前田 泰、田中 真悟
（常勤職員3名、他1名）

〔研究 内容〕

金微粒子触媒の CO 酸化反応を研究対象とし、酸化物担体の電気伝導性によって酸素欠陥の評価を行い、微細構造解析の結果と合わせることで、酸素欠陥の構造と機能をとを解明し、金微粒子触媒の触媒活性発現メカニズムを明らかにすることを目的とする。

今年度は、金微粒子-金属酸化物界面の微細構造に対して走査透過型電子顕微鏡により構造解析を進め、像シミュレーションと合わせて、金-酸化セリウム界面において界面に酸素が存在することを示した。金-チタン酸ストロンチウム触媒では CO 酸化に対する活性を確認し、この系に関しても触媒活性が金粒子の周縁部の長さに比例していることを明らかにした。また、チタン酸ストロンチウム上の金粒子の結晶格子を詳細に調べ、界面付近では格子が縮んでいるのに対して、外側では膨張している傾向が見られることが分かった。金-酸化チタン触媒について、第一原理計算手法を用いて金-酸化チタン界面の詳細な電子状態の解明に取り組んだ。金原子の吸着前後の差電荷密度と軌道占有数の変化分の解析から、金と酸素の間の反結合的な相互作用により、金は正電荷を帯び、酸素との間で静電的に安定すると考えられた。また、酸素-金-チタンの角度が90度に近い方が吸着は安定になることがわかった。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 金微粒子、金属酸化物、触媒、電子顕微鏡、走査プローブ顕微鏡、第一原理計算

〔研究 題目〕 高機能性ポラス炭素の創成とエネルギー貯蔵への応用に関する研究

〔研究代表者〕 徐 強（電池技術研究部門）

〔研究担当者〕 徐 強（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究では、構造と機能を精密制御された多孔質炭素材料の創出と高効率エネルギー貯蔵・変換への応用を目

的とする。

今年度は二溶媒法を用いて、配位高分子 MIL-101-NH₂ のナノ細孔に窒素(N)源として dicyandiamide を、鉄 (Fe) 源として FeCl₃ を導入した。不活性雰囲気下において高温で加熱処理を行い、原子レベルで Fe 及び N がドーブされたマイクロ孔、メソ孔とマクロ孔を持つ階層型多孔質炭素材料を形成した。本階層型多孔質炭素材料では、厚さ約10 nm の炭素シートが相互連結することによって、平均孔径が50 ± 20 nm のマクロ孔が形成され、さらに、メソ孔やマイクロ孔も形成されていることが分かった。高分解能電子顕微鏡による元素分布分析により、Fe 原子は均一に分布されていることが分かった。XANES や EXAFS 解析によって、FeN_x 化学種の存在が明らかになった。本炭素材料は燃料電池や金属・空気電池のカソード反応として重要な酸素還元反応 (ORR) に高い触媒活性を有し、アルカリ性環境では白金 (Pt) 触媒よりも高い触媒性能を示した。詳細な解析の結果、ドーブされた窒素原子 (N) や FeN_x 化学種が主な活性サイトであることが明らかになった。階層型多孔質炭素材料に存在するマクロ孔やメソ孔は電解質のバッファ貯蓄域の役割を果たすことによって電解質の拡散距離を短縮し、さらにメソ孔やマイクロ孔の表面に原子レベルで均一に分布された高活性な触媒種に酸素 (O₂) は容易に接近・相互作用できるため、本材料は高い酸素還元触媒活性を有した。形成された炭素材料は高いグラファイト化度と電気伝導性を有し、ORR 反応に必要な高い電子輸送性能を提供した。今回開発された貴金属を含まない高活性な酸素還元触媒は、燃料電池や金属・空気電池などのエネルギー変換・貯蔵デバイスの電極材料として高い可能性を示した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 エネルギー貯蔵

〔研究 題目〕 高齢・単身世帯化する地域の移動需要変化とモビリティに関する研究

〔研究代表者〕 堀尾 容康（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 堀尾 容康、後藤 新一（他2名）

〔研究 内容〕

本研究は、急速に高齢化が進む都市郊外部コミュニティの移動問題に焦点を置き、福岡・佐賀県にまたがる筑後川流域生活圏を対象に、多様化し時間とともに変化する高齢者・世帯の移動需要を克明に把握すると共に、新しい自動運転システムとのマッチング、および制度的課題について、地域の行政と都市計画、交通工学、エネルギーを担当する研究者が協力して分析を行う。これにより、個と地域の「古い」の観点からこれまで乗合バス等の大量輸送機関が担ってきた生活に必要な移動を、新しいモビリティ手段で再構築する方向性を明らかにすることを目的としている。

3ヶ年計画の初年度である平成26年度は、地域調査に

より多様化する「若い」と移動ニーズの実態とその変化を把握した。2年度目である平成27年度は、高齢者・世帯ライフスタイルと移動手段との機能的マッチング、ならびに、高齢者世帯・新移動手段と既存交通システム・都市計画との社会的マッチングについて事例分析を行い、行政、公共交通事業者、住民組織（買い物、通院支援NPO等）からのヒアリングに基づく課題抽出を行った。この結果、自動運転技術、及びEVや高効率内燃機関など新しいモビリティ技術への社会的要求を明らかにし、合わせて現在検討が進められている都市・地区計画における新たな役割を確認した。最終年度である28年度については、これまでの分析結果を取りまとめ、地域の高齢化の状況と交通手段の変化、特に生活用品の購入と通院における移動の重点化とその一方での閉じこもりの傾向を明らかにした。このため、我が国の高齢化特に都市郊外部や過疎地域において自動運転や自動宅配サービスの可能性を検討し、我が国の急速な過疎化・高齢化に対応する新たなモビリティのモデルについて報告を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高齢化、若い、コミュニティ、モビリティ、移動手段、自動車、交通システム

【研究 題 目】 メソクリスタルナノワイヤーおよび単結晶ナノワイヤーの作製と高性能二次電池材料開発

【研究代表者】 細野 英司（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 細野 英司（常勤職員1名）

【研究 内 容】

持続的発展可能な社会の実現へ向け、クリーンなエネルギーデバイスの開発が必要とされており、電気自動車やプラグインハイブリッド自動車の普及へ向けた取り組みが活発化している。そのため、高性能二次電池の開発が必須であることから、リチウムイオン電池等、高性能二次電池開発に注目が集まっている。

本研究では、リチウムおよびナトリウムイオン電池開発へ向けてエレクトロスピンニング法を利用したナノ構造材料の開発を行っている。メソクリスタルナノワイヤーおよび単結晶ナノワイヤー等、高い結晶性と高度に制御されたナノ構造材料の作製とその合成メカニズムの解明と出力特性や充放電サイクル特性の向上を目指した研究開発である。平成28年度は、 SnO_2 とカーボンの複合体ファイバーの作製について注力した研究開発を行い、透過型電子顕微鏡による観察や電池特性評価を進めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 二次電池、電気化学、ナノワイヤー

【研究 題 目】 全固体リチウム-空気電池の長寿命化に向けた空気極の開発

【研究代表者】 北浦 弘和（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 北浦 弘和（常勤職員1名）

【研究 内 容】

リチウム-空気二次電池の有機電解液を無機固体電解質に置き換えた、高エネルギー密度と安全性を両立する全固体リチウム-空気電池の開発を世界に先駆けて行ってきた。現状、繰り返し充放電特性（サイクル特性）に問題があり、劣化メカニズムの特定が必要である。これまでの検討から、充電時の過電圧が高く、高電位で正極（空気極）が劣化している可能性が高いことが分かってきた。そこで、充電時の過電圧を低減できる空気極の開発を行い、劣化メカニズムに関する知見を得るとともに、全固体リチウム-空気電池の長寿命化を図る研究活動を実施した。セル間の特性差を可能な限り小さくするために、セル作製方法の検討として、空気極に対しては、滴下量を精密に制御しドロップキャスト法の改善を行った。Li 負極に対しては、超音波溶接法により、簡便かつ再現性の高い固体電解質/金属 Li 界面を作製す手法を開発した。空気極の触媒として報告のある RuO_2 に着目し、 RuO_2 -CNT 電極および RuO_2 電極の作製を行い、全固体リチウム-空気電池用の空気極として適用を行った。 RuO_2 -CNT の担持率や、LAGP 固体電解質との混合比などを変化させ、電極特性を調べたところ、最適な RuO_2 -CNT の担持率を見出し、CNT のみの場合に比べ特性を改善することができた。 RuO_2 のみの場合には良好な伝導パスの形成が困難なことから、特性が低下することが分かった。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 全固体電池、空気電池、空気極触媒、カーボンナノチューブ、酸化ルテニウム

【研究 題 目】 硬・軟 X 線光電子分光による二次電池電極材料の電子状態と電極性能との関連性の解明

【研究代表者】 朝倉 大輔（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】 朝倉 大輔（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、硬・軟 X 線光電子分光を駆使し、リチウムイオン二次電池電極材料の電子状態の詳細な解析を行うことを第一の目的としている。平成28年度は複数種の正極材料の光電子分光を実施した。オリビン系正極である LiFePO_4 や、5 V 級のスピネル系正極などの遷移金属元素の2 p 内殻の光電子分光を実施し、価数を判定することができた。また、光電子分光と相補的な情報を与える X 線吸収・発光分光で得られた知見の検討を行った。X 線吸収・発光分光では、内殻励起による光学遷移を観測しており、多重項計算等の理論解析を行えば十分な理解が可能となる一方で、光電子分光はより直接的に占有状態の状態密度の情報を得ることができる。

Mn スピネル系正極材料では、部分的な元素置換で充放電サイクル特性が向上することが知られており、この現象を、X 線発光分光を用いて解析することで、遷移金

属一配位子間の軌道混成と電池性能との関連性を解明することができた。一方、 LiFePO_4 においては、充放電による $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$ の酸化還元反応に関わらず、 Fe-3d 電子軌道と O-2p 電子軌道の混成が弱い状態で維持されていることが判明した。これらの結果については、光電子分光測定を用いた検証をすることで、より確実な解釈を得られると考えられる。更に、結晶構造が異なるスピネル系、オリビン系、層状酸化物系の間で、充放電による電子状態にどのような差異が生じているのかを、系統的に明らかにすることが重要であることを突き止めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 リチウムイオン電池、電極材料、酸化還元反応、光電子分光、X 線分光、オペランド解析

【研究 題 目】 液膜内流れの3次元4成分温度速度同時計測法開発による濃度温度差表面張力対流の解明

【研究代表者】 染矢 聡 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 染矢 聡 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では機能性中空マイクロカプセルを利用し、温度変化や濃度変化を伴う流れに適用可能な、微小スケール流れの温度速度計測法を開発した。また、低入熱、高輝度で出力の安定した高出力パルス光源を開発した。本研究では、T 字型の合流部を持つサブミリスケールチャネルを試作し、ペルチェ素子を用いて温度勾配をもつ流れ場を作製して、その温度速度計測を通じて、このスケールにおいて温度差や粘度差、流速が流れに与える影響を詳細に調査した。

平成28年度までに対物レンズ位置を視線方向に移動させながら、二次元的な温度速度同時計測を行った。その結果、ペルチェ素子に通電した瞬間に流れと逆方向に力が作用して、急激な減速や逆流を生じる現象を発見した。また、ペルチェへの通電を停止した瞬間に流れ方向に力が作用、あるいは、先に流れと逆方向に作用した力が消滅し、瞬間的に流速が大きくなる現象が見られた。更に、定常的な加熱冷却条件下において、T 字合流部では高温流体が鉛直上側を、低温流体が下方を流れる流れ場を形成していることがわかった。また、この合流部の流れに起因して、一定のチャネル形状条件では、合一後の流れがチャネル内でらせん状に旋回することがわかった。平成28年度は、これらの複数の現象の詳細を調べるため、流入流量、ペルチェ素子への印加電圧とその昇圧速度、チャネル形状を様々に変化させ、ペルチェの ON/OFF の瞬間に生じる力との関係を明らかにした。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 可視化、温度、速度、蛍光、熱流動

【研究 題 目】 リング型プラズマアークチューエータを用い

たタービン翼列先端漏れ流れの能動制御

【研究代表者】 瀬川 武彦 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 瀬川 武彦、松沼 孝幸、湯木 泰親、大橋 俊之 (常勤職員2名、他2名)

【研究 内 容】

本研究では、ガスタービンや遠心圧縮機などに適用できる新たなシール技術の確立を目指し、リング型プラズマアークチューエータによるタービン翼列先端隙間に生じる漏れ流れ抑制効果の検証を目的とする。漏れ流れ2次元モデルでは、先端面に複数凹凸が施された供試体や先端エッジに丸みを付けた供試体を試作した。漏れ流れが強い場合には凹凸が施された先端面から局所的に強い誘電体バリア放電が生成され、漏れ流れ抑制効果が增大することや、先端エッジ形状は漏れ流れの上流側・下流側が非対称の場合には漏れ流れ制御効果が著しく低下するが、対称の場合には抑制効果が高くなることが明らかになった。また、壁面側に設置する電極構造として、これまで使用してきた絶縁被覆導線に加え、セラミック製のリング型プラズマアークチューエータ2次元モデルを用いて制御効果の違いを検証した。セラミック製の絶縁層は厚みが 0.2 mm 以下であり、絶縁被覆導線と比較してより強い誘電体バリア放電が形成されるが、漏れ流れ抑制効果は絶縁被覆導線を用いた場合より低下する傾向にあった。

漏れ流れ3次元モデルで使用するリング型プラズマアークチューエータ構築に向けては、円筒状ケーシングの3次元曲面への装着性向上に加え、絶縁被覆材料の耐久性を向上させる必要があるため、材料探索を行った。これまで実績のあるセラミックやシリコン樹脂に加え、テフロン、PEEK、シリコンゴムなどをコーティング技術を用いてプラズマアークチューエータ構造を試作した。特に PEEK は高電圧場、高温場で使用できる優れた特性を有しており、3次元モデルの絶縁材料として期待されたが、耐コロナ性が著しく低く、0.03 mm/分のレートで薄膜化し、0.3 mm 程度の厚膜絶縁層を用いた場合でも比較的短時間で絶縁破壊に至った。一方、PEEK 表面にスプレーコーティング、もしくは型取りによりシリコンゴム被膜を生成した場合には、高電圧を長時間印加した場合でも誘電体バリア放電による劣化は認められなかった。また、漏れ流れ3次元モデルにおける漏れ流れ抑制効果検証のための予備試験として、非定常圧力分布の測定やリング型プラズマアークチューエータのセクター化にも着手した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ターボマシン、省エネルギー、チップクリアランス、漏れ流れ、誘電体バリア放電

【研究 題 目】 氷核不活性化による疎水性固体表面の創出

【研究代表者】 稲田 孝明 (省エネルギー研究部門)

【研究担当者】 稲田 孝明、小山 寿恵
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

氷の核生成を抑制する効果を持つ合成高分子を利用して、過冷却水滴からの氷の核生成抑制を可能とする疎水性固体表面の創出を試みることを目的としている。今年度は、まずは昨年度に引き続き、ヨウ化銀やアルミナの1ミクロン程度の微粒子に3種類の合成高分子を作用させた疎水性微粒子を作成し、それらの微粒子を懸濁した水滴中で氷の核生成温度を測定することによって、微粒子の疎水性の評価を行った。その結果、微粒子と高分子の組み合わせに応じて、まったく異なる疎水性の効果が得られることがわかった。また、疎水性のメカニズム考察を目的として、界面活性剤水溶液中で氷の核生成温度を測定し、界面活性剤の吸着特性と疎水性との関係を実験的に明らかにした。さらには、氷結晶表面への不凍タンパク質の吸着特性と、不凍タンパク質による氷結晶の成長抑制効果との関係も実験的に考察した。

以上で得られた知見に基づいて、疎水性固体表面の技術的な実用性を検証するために、ヒートポンプ用熱交換器を模擬した条件下で着霜実験を行った。空気の温湿度条件の制御を可能とした冷却セル内で、固体表面上での水滴の凝縮、水滴中の氷の核生成、水滴の凍結、霜の成長の一連の現象を観察できるような装置を製作し、水滴凝縮開始時間、凝縮水滴の空間分布、核生成開始時間、凍結の伝播速度、霜の成長速度などの評価手法を確立した。着霜実験においては合成高分子を作用させたステンレス製薄膜を用いて、特に氷の核生成開始時間、凝縮水滴の空間分布、凍結の伝播速度に着目して疎水性を評価した。実用的な観点からは、氷の核生成を抑制するだけでなく、水滴間の凍結伝播も抑制できるような疎水性固体表面が有効であることも考察した。

【領域名】 エネルギー・環境
【キーワード】 氷、核生成、着霜

【研究題目】 第三の極における強太陽光照射が有害物質長距離輸送に与える影響評価研究

【研究代表者】 山下 信義 (環境管理研究部門)
【研究担当者】 山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子
(常勤職員2名、他1名)

【研究内容】

第三の極 (the Third Pole) とは、地表に比べて40%も強い太陽光照射に年間を通して暴露されることで北極・南極と同様あるいはそれ以上の地球温暖化・オゾン層破壊の影響を受けているヒマラヤ山脈・チベット高原など、標高3500 m を超える高山・高地を指す。その面積は400万平方 km を超え、全地表の3 %近くを占めるが、これを地球環境問題の対象とした研究報告は少ない。北極・南極よりも急速に進行する第三の極における環境破壊の現状を理解するために、中国・インド周辺各国の連

携のもと、最先端の科学技術を用いた調査を行う。

平成28年には中国チベット高原、Ruorgai、Mt. Wolong において POPs テスト試料 (標準物質・実試料) を標高2500-4000m の高山に設置し、長期間の強太陽光下光分解試験を行った。また本研究に参加する8カ国12機関の研究チームのキックオフ国際研究集会を12月に北京で開催し、5年間にわたる国際連携・合同での現地試料採集計画について合意した。

また第三の極と類似した稀有な自然環境にある、ハワイ・マウナケア山頂 (標高4200 m) の国立スバル天文台と2003年より共同研究を開始し、地表では分解しないと考えられてきた PFOS 類が強太陽光照射高山環境では有意に光分解することを発見、2013年に公表しているが、これについてもフォローアップ研究を行い、現地試料採集を行った。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 第三の極、PFOS、ペルフルオロアルキル化合物、長距離輸送

【研究題目】 大気中アルゴン濃度の超高精度観測に基づく気候システム温暖化のモニタリング

【研究代表者】 石戸谷 重之 (環境管理研究部門)
【研究担当者】 石戸谷 重之、村山 昌平
(常勤職員2名)

【研究内容】

大気中のアルゴン濃度は海水温変動に起因してごく僅かに変動するため、高精度観測により広域平均の海洋貯熱量変動の情報が得られると期待される。近年の地球温暖化の過程で地球が蓄えた熱の90 %以上は海洋が吸収しているため、温暖化の実態解明には海洋貯熱量の時空間変動の把握が不可欠である。本研究では我々が開発した大気中アルゴン、酸素および二酸化炭素濃度等の高精度同時観測装置を用いて日本周辺および極域における大気中アルゴン濃度の観測を展開している。

平成28年度は、茨城県つくば市において連続観測を、北海道落石岬、岐阜県高山市、沖縄県波照間島、東京都南鳥島および南極昭和基地においてフラスコサンプリング法による観測を行った。昭和基地での観測を継続するため新たな試料保存容器を製作し、次年度の観測物資として現地に輸送した。また実験上の問題として、大気採取時の除湿が不十分である場合にアルゴン濃度等の分析結果に異常が現れることを見出したことから、保存容器の分析時に試料を除湿する手法を確立して問題を解決した。

各サイトの観測結果からアルゴン濃度の明瞭な季節変動が捉えられた。つくばおよび波照間で得られた過去5年間のアルゴン濃度の年々変動には、米国海洋大気庁 (NOAA) による全球海洋貯熱量の変動と関連した変動が見られ、観測結果が広域平均の貯熱量変動を反映していることが示唆された。また2種類の大気輸送モデル

による大気中アルゴン濃度のシミュレーション結果を観測と比較した。両モデルによる季節変動の振幅はいずれも観測結果より小さく、観測とモデルの不一致の原因の少なくとも一部が大気海洋間フラックスの過小評価にあることが示唆される。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 地球温暖化、大気中アルゴン濃度、大気中酸素濃度、海洋貯熱量

【研究 題 目】 レーザー3D 形状解析によるソーティングシステムの高度化

【研究代表者】 古屋 伸 樹（環境管理研究部門）

【研究担当者】 古屋 伸 茂樹、小林 賢一郎、藤木 由美子（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

本研究は研究代表者が開発した「レーザー3次元解析法によるソーティングシステム（ARENNA ソータ）の大量処理性能を飛躍的に向上させることを目的としている。今年度の研究実績は以下の通り。

制御プログラムの改造により、識別計算に用いる変数（特徴量）を従来の9種類から17種類へ拡大し、協力企業から提供を受けた「アルミ破碎スクラップ」と「鉄破碎スクラップ」について17種類の変数を測定、データベース化した。また、1回の3D 撮影で6個以上のスクラップを同時に認識し、6 ch パドル制御によってこれらを自動選別可能な重量値不要・並列処理システムを開発した。上記を反映した新規識別アルゴリズムによって重量値を計測することなく、「鉄破碎スクラップ」中に含まれる「圧延鋼板」と「棒状特殊鋼」を正解率88%で識別可能、また「アルミ破碎スクラップ」に含まれる「展伸材」と「鋳造材」を正解率82%で識別可能なことを明らかにした。さらに、前年度と同様の検討により、ニューラルネットワーク法とベイズ法を比較、新規識別アルゴリズムを用いた場合、ニューラルネットワーク法がベイズ法に比べて10ポイント程度正解率が勝ることを明らかにした。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 リサイクル、ソーティング、アルミ、鉄、破碎

【研究 題 目】 高感度同位体追跡と分離培養で拓く地下圏炭素・エネルギー動態の基軸をなす新生物機能

【研究代表者】 堀 知行（環境管理研究部門）

【研究担当者】 堀 知行（他1名）

【研究 内 容】

本研究では、地下微生物－鉄鉱物相互作用を利用した集積・分離培養法に加え、未培養微生物機能同定法「超高感度 Stable Isotope Probing (SIP)」と次世代シーケンサーを用いた標的型 RNA-seq 法を組み合わせるこ

とで、地下圏炭素・エネルギー動態の中核微生物群（鉄還元とカップリングする嫌氣的メタン酸化菌と嫌氣的酢酸酸化菌）の種類・分布・新機能を解明する。海底地下コア試料の単位体積あたりの微生物数は、海底下深度10 m から1 km の範囲においては陸上土壌の3から5オーダー少ない値であるが、国際深海掘削 IODP337で取得した大深度コア試料（1 km から2.5 km）ではその値がさらに激減する。得られる微生物菌体量の乏しさを打開するために、解析スケールや分析感度を上げるのはもちろんであるが、本研究では海底地下試料および陸域地下試料を直接解析するのではなく、第一に地下圏微生物－鉄鉱物相互作用を利用した微生物集積培養系を構築し、その中から中核微生物候補群の抽出を試みた。今年度成果として、メタンまたは酢酸と結晶性酸化鉄を基質とする集積培養を継続し、その中の一部の集積系で結晶性酸化鉄の還元による色の変化が観察された。次世代シーケンサーを用いて微生物種を大規模同定した結果、メタン培養系では、鉄還元型の嫌氣的メタン酸化菌として2016年に報告された Methanosarcinales 目アーキアに加えて、未培養・新門に属する新規細菌が優占化することを見出した。また酢酸培養系では、Firmicutes 門に属するこれまでに鉄還元能が報告されていない複数種の細菌が集積されていることが明らかになった。さらにこれらの標的微生物群を分離培養するため、集積度の高い培養系を対象として、溶解性鉄を用いた培地による限界希釈培養を開始した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 環境分析、深海環境、地球化学、環境、微生物

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

【研究代表者】 王 正明（環境管理研究部門）

【研究担当者】 呉 浩怡（他1名）

【研究 内 容】

本研究は、アップコンバージョン効果など特異な発光性を示す発光材料を光触媒ナノ粒子と組み合わせることにより、省エネで高い太陽光利用率複合型光触媒を創製し、環境リスク削減への応用を目指す。本年度において、アップコンバージョン材料や持続発光性材料の効果を高効率的に生かすための可視光型光触媒の開発を更に進めた。昨年度得た炭素マイクロ球・チタニアコアシェル構造複合型光触媒の合成条件を精査し、従来のグラフェン複合材料を超えた可視光活性を得ることができた。また、当該触媒は450 nm より長い波長範囲での活性が市販の白金系触媒のそれよりも高かったことが分かった。水処理・排ガス処理に応用しやすいために、ナノセルノースファイバーを基質材として、開発したコアシェル型光触媒と高次複合型フィルター材を作る試みをした。そ

の結果、市販白金系触媒を用いる場合と比べ、本研究で開発した触媒を用いた場合の方が水流フラックスが早く、光触媒活性も高かったことを確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境、ナノテクノロジー・材料・製造

【キーワード】 発光体、光触媒、遅延発光、アップコンバージョン効果、複合型

【研究 題 目】 質量分析法及び関連技術を用いた機能性ポリマー材料の劣化解析

【研究代表者】 佐藤 浩昭（環境管理研究部門）

【研究担当者】 佐藤 浩昭（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

機能性ポリマー材料は、再生可能エネルギー技術や資源循環技術の開発において重要な役割を果たしている。高信頼性・高性能な機能性ポリマー材料を開発するためには、分子レベルでの詳細な化学構造解析と、劣化初期段階におけるわずかな化学構造の変化を検出し、材料設計にフィードバックすることが必要である。そこで本研究では、様々な機能性ポリマー材料が様々なストレスなどにさらされることによって起こる分子構造変化を解析して、分子レベルでの劣化機構を解明する手法の開発を目的とする。

平成28年度は、ポリマー材料の劣化により生じる複雑な成分の組成および構造を解析するために、高分解能マススペクトルのデータ解析法の開発を行った。劣化ポリマーの高分解能マススペクトルでは膨大な数のピークが観測され、データ解析が困難になる。これを解決するために、ポリマー成分の精密質量のうち小数点以下の値が構成元素により異なることに注目した高分解能な成分分布プロット法を開発した。この方法を用いて、エレクトロスプレーイオン化法で観測される多価イオンの価数ごとの分布や、これまでは不可能であると考えられてきた分子量1万を超える成分の成分分布プロットも可能になることを見出した。この新しいデータ解析法を用いて、水処理膜の次亜塩素酸洗浄で起こる劣化機能の解析に取り組み、膜素材ポリマーの劣化過程における構造変化を明らかにした。さらに複雑な構造をもつ界面活性剤の化学構造及び組成解析と、その加水分解劣化を評価することにも成功した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高分解能質量分析、機能性高分子材料、構造解析

【研究 題 目】 ネットワークポリマーの可溶化反応の動力学検討

【研究代表者】 加茂 徹（環境管理研究部門）

【研究担当者】 加茂 徹（常勤職員1名）

【研究 内 容】

135～157℃で加熱された溶媒に40メッシュのカゴに

入れた試料を挿入して反応を開始し、所定の時間経過後にカゴを引き上げて反応を停止させた。反応後、試料をテトラヒドロフランで洗浄した後に乾燥させて秤量し可溶化率を算出した。可溶化率の対数値は反応時間に対して直線的に減少し、架橋化 EVA の可溶化反応は擬一次反応とみなせることが分かった。架橋化 EVA の濃度が2%の場合、可溶化速度は水酸化カリウム濃度に比例して増加した。また熱分解-GC-MS や熱天秤を用いた分析結果から、架橋化 EVA の可溶化では初めにアセチル基が溶媒に置換され、次にカリウムが取り込まれていることが示唆された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 可溶化、熱硬化性樹脂、溶解

【研究 題 目】 有機分子立体配座コードプログラムの開発

【研究代表者】 和泉 博（環境管理研究部門）

【研究担当者】 和泉 博（常勤職員1名）

【研究 内 容】

薬剤、繊維、液晶などの機能性有機分子は日本を支えるものづくりにかせない素材であり、分子レベルでの構造特性を突き詰めることが国際競争力確保につながっていく。本研究では、Conformational Code for Organic Molecules (CCOM) プログラムにさまざまな手法の構造データを連携させて精度の高い立体配座変化情報を蓄積する解析技術を開発する。これにより、立体配座変化を利用した機能性分子の設計に活用し、立体配座に関する構造有機化学の基盤を確立する。

立体配座の命名法の規則である IUPAC Rule E-5.6 に R/S 表記の規則が一部含まれており、三次元フラグメント構造検索に不具合が生じていた。そこで、IUPAC Rule E-5.6 に代えて、決定できるなら、たとえ原子番号が大きくなるとも中心の結合から近い順に二面角決定のための原子を選択するという解決策を見出し、新たな規則を提案した。さらに、共通する SMARTS 記法で表されるフラグメントをもち自由度が高い分子にむけて、フラグメント分子のデータベースの中から立体配座探索を行い、密度汎関数法計算のための初期構造を自動作成する ConfFragGeneration プログラムを完成させた。応用例としてコレステリック液晶状態の VCD 解析に利用できることを示した。また、有機分子立体配座コード化変換、SMARTS 3D 探索 (CCOM) デモプログラム、及びタンパク質超二次構造コード (SSC) 変換プログラムを公開し、アカデミア向けに researchmap からダウンロード可能にした。

【領 域 名】 材料・化学

【キーワード】 機能性有機分子、立体配座、機械学習、ケモインフォマティクス、赤外円二色性分光法、三次元化学構造検索、IUPAC 命名法、創薬

〔研究題目〕 海洋有機物における糖ペプチドの構造解明および炭素循環に果たす役割の評価

〔研究代表者〕 塚崎 あゆみ（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 塚崎 あゆみ（常勤職員1名）

〔研究内容〕

海洋には大気中 CO₂の炭素量に匹敵する規模の有機物プールが存在する。しかし構成有機物の分子に関する情報は乏しく有機物が海洋に蓄積するメカニズムはよく分かっていない。研究代表者は、海洋有機物の生成・初期分解の場に位置する海洋表層粒子状有機物（POM：デトリタス+プランクトン）中に糖ペプチドが残存・蓄積していることを発見した。本研究では、糖ペプチドの糖鎖の働きにより海洋有機物が分解酵素から保護され海水中に蓄積するという仮説を立て、糖ペプチドの化学的性質および量を明らかにすることによって、糖ペプチドが海洋有機物の蓄積に果たす役割の解明をめざす。平成28年度は海洋表層 POM に含まれる糖鎖について修飾の有無や鎖長の分析および定量を試みた。様々な抽出液やヒドラジン分解法を用いて POM 試料から糖鎖を抽出・精製後、糖鎖を蛍光標識して電気泳動することで、糖鎖の分離および定量に成功し、還元末端が未修飾のグルコースが3から13繋がった糖鎖と、連続的な幅広い移動度をもつ糖ペプチド鎖が検出された。しかし検出できたこれらの糖鎖は、同 POM 試料に含まれる全単糖の1.6 % にすぎず、多くの糖は本法では検出されていないことが明らかとなった。適用した実験条件からこれらの未検出糖は単糖もしくは電気泳動されない程巨大な分子量をもつ糖鎖として存在していることが予想される。しかしながら懸濁態有機物に含まれる多くの糖が低分子量である単糖として懸濁粒子の形状を保っていることは考えにくく、本結果は POM 中の糖の多くは巨大糖鎖として存在しており、それらが粒子の形状維持や有機物の蓄積に寄与している可能性を示唆するものと考えられる。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 海洋有機物、物質循環、糖鎖、ペプチド鎖、炭素固定

〔研究題目〕 再生水中の生理活性物質による潜在的健康リスクの発色評価

〔研究代表者〕 金 誠培（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 金 誠培、藤井 理香
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は、研究番号 M035の挑戦的萌芽研究課題である（科研費）。再生水の滅菌プロセスにおいては様々な化学物質が産生される。これらは非意図的に産生されるため、認識されることが少なく、ヒト健康への隠れたリスクであり、短時間でその全貌を明らかにすることは困難である。本研究では、応募者が独自に開発した三つの技術（超高輝度発光酵素、発光可視化プローブ、多チャ

ンネル光検出技術）を融合することにより、再生水中に形成された化学物質の多様なホルモン様活性を迅速かつ網羅的に発色判定する分析法を開発する。

当年度では、前述の目的を達成するために、污水問題の深刻な中国の清華大学と協力し、污水再生の観点から再生水内に存在する生理活性物質のホルモン様活性を発光評価する実験を行った。具体的には、中国・清華大学環境学院の協力を得て、中国の污水処理中に産生された再生水内化学物質をカラム分離して送って貰い、その生理活性を測定した。また、本研究代表者が直接中国に渡り、以下の研究に助力した：（1）中国の再生水中の化学物質を高速液体クロマトグラフィー（HPLC）により分離精製し、（2）精製された化学物質のホルモン様活性（男性、女性ホルモン様活性、向精神性活性、細胞毒性など）を、当研究者独自開発の発光プローブを用いて測定し、（3）その結果、一定の条件下では、化学物質の性ホルモン様活性および阻害作用が確認された。また場合によっては、ホルモン様活性の相乗効果も観察された。

これらの成果は、再生水中の化学物質の生理活性研究において、今まで分からなかった再生水中のホルモン様活性に関する、暫定的ながらも一定の結論を示すものであり、当研究の方向性の正しさを裏付ける成果であった。

これらの成果の一部は、Methods Mol Biol など、複数の科学雑誌に発表もしくは投稿中である。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 再生水、ホルモン様活性、発光プローブ、化学物質

〔研究題目〕 安定同位体プローブ法と次世代シーケンスの融合で拓くレアバイオスフィアの生理生態

〔研究代表者〕 堀 知行（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 堀 知行（他1名）

〔研究内容〕

本研究は、次世代シーケンスによる16S rRNA 遺伝子の大規模解析からその存在が明らかになったものの実体の分かっていない「レアバイオスフィア（稀少微生物）」、とりわけ未踏の微生物分類グループ「微生物暗黒画分」の生態生理を解明するため、未培養微生物群の機能同定法「超高感度安定同位体プローブ法（Stable Isotope Probing [SIP]）」を自然環境中で見られる微生物群集の異なる栄養段階（好気代謝 [易分解・難分解化合物の分解]、嫌気代謝 [酸化還元カップリング]）へ適用する。これにより、我々の理解が及ぶことの無かったレアバイオスフィアの機能・全貌をあぶり出すことを目指す。今年度は、特に好気代謝に焦点を当て、活性汚泥微生物群集が持つ高い好氣的有機物分解能を明らかにした。具体的には、易分解化合物であるパルミチン酸などの長鎖脂肪酸が含まれるオリーブオイルの高効率分解が

可能な活性汚泥リアクターを立ち上げ、その安定運転を実現した。その後、得られた活性汚泥微生物群集を接種源とした¹³C-パルミチン酸(1,2,3,4位標識)による培養試験において、¹³C-パルミチン酸が短時間で汚泥微生物群により分解されることを見出した。さらに安定同位体された微生物 RNA を次世代シーケンサーによって大規模に同定したところ、系統的に極めて新規な微生物群が¹³C-パルミチン酸を取り込むことが明らかになった。さらに難分解化合物を好氣的に分解する活性汚泥微生物群を同定するための事前検討を行い、活性汚泥リアクターにて標的とする難分解化合物が安定に分解されること、さらに当該リアクター内で微生物群集が劇的に変遷していること確認した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 遺伝子、生態学、微生物、環境分析、環境技術

【研究 題 目】 環境浄化と微生物代謝学の再考：シンプルな代謝設計で CO₂からの有価物生産に挑む

【研究代表者】 佐藤 由也 (環境管理研究部門)

【研究担当者】 佐藤 由也 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究課題では、独立栄養性の水素細菌を用い、温室効果ガスとして注視される二酸化炭素の有価物への変換に挑戦している。微生物を用いた物質生産における共通課題は、物質生産をさせることで微生物の生育が阻害され、結果的に生産物の収量が抑えられてしまうという点にある。そこで本研究では、遺伝子の発現量をコントロールする「プロモーター領域」を選定し、目的の物質生産遺伝子に融合させることで、任意のタイミングで生産を開始させる物質生産系の構築を目指した。

本課題では、独立栄養条件下で下流の遺伝子を高発現させるプロモーターを選定し、培養条件を変更することで物質生産を開始させる戦略をとった。次に、対象微生物への遺伝子導入法の確立を試み、相同組換えによってゲノム中に目的遺伝子を導入する方法を構築した。物質生産遺伝子としては4種を選定し、それぞれをプロモーター領域と融合させ、目的微生物ゲノムへの導入を試みた。その結果、3種についてはゲノム導入に成功したが、残り1種については成功には至らなかった。成功した3種について培養試験を行い、CO₂を原料とした物質生産を試みた。しかしこれまでのところ、温度や培地組成などの改良を加えても有意な生産量向上は確認できていない。これは、大量に物質生産が始まることで菌体へのダメージが大きくなってしまふことが原因と考えられ、他の遺伝子発現を抑制する遺伝子領域を応用する重要性が示された。

一方、これまでに様々な条件で行ってきた遺伝子導入実験を精査することで、効率的な遺伝子導入法を確立す

ることができた。なお、対象微生物が有する特異な防御酵素が見つかったため、これについても解析を進めることができた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 微生物利用、低炭素化技術、温室効果ガス

【研究 題 目】 白金族元素吸着ポリマーの特性の解明及び高レベル廃液からの分離回収への適用研究

【研究代表者】 鈴木 智也 (環境管理研究部門)

【研究担当者】 鈴木 智也 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

目標：

硝酸水溶液中の白金族金属 (Ru, Rh, Pd) を効率的に回収するために、ベタイン型ポリマーの白金族イオンに関する吸着特性を明らかにする。

研究計画：

本研究では、① ベタイン型ポリマーの硝酸水溶液中の白金族イオンに関する吸着メカニズムの評価、② Ruを含む硝酸水溶液へのアミン化合物添加及び溶液温度の上昇に伴うベタイン型ポリマーの吸着力増大に関するメカニズムの評価を行う。

年度進捗状況：

ベタイン型ポリマーと白金族イオンを含む硝酸水溶液を混合し、混合前後の水溶液中の金属イオンの変化から吸着率を算出した。その結果、pH1付近で高い吸着率を示し硝酸濃度の上昇に伴い吸着率が減少した。Ru(III)に関しては、硝酸濃度1M 以上においても、吸着率が徐々に上昇していくことが確認された。水素イオン濃度や硝酸イオン濃度のみを変化させ検討を行った結果、どの白金族イオンにおいても、水素イオン濃度が低く、硝酸イオン濃度が高い溶液条件において吸着率の上昇が確認された。硝酸を吸着したベタイン基の水素イオンと白金族カチオンのイオン交換による吸着と予想される。

Pd 及び Ru を吸着後のポリマーを赤外分光測定により調べたところ、吸着前後でカルボキシレートのピークのシフトが観測されたことから、ベタイン基の Ru または Pd への配位が吸着に関与していることが示唆された。Rh についても同様の分光学的検討を進める。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 白金族金属、吸着、ベタイン

【研究 題 目】 発光性細胞株アレイを用いた高速 PM2.5評価系の構築

【研究代表者】 金 誠培 (環境管理研究部門)

【研究担当者】 金 誠培、長縄 竜一、中里 哲也、藤井 理香 (常勤職員3名、他1名)

【研究 内 容】

本研究は、研究番号 M040の科研費基盤 B 課題であ

る。本研究では、本研究独自開発の一分子型生物発光プローブを用いて、浮遊微粒子状物質（PM2.5など）の生物毒性・炎症作用の評価技術の開発を行った。まず都市由来と越境由来のPM2.5による汚染を精査するために、川崎市と福岡市にPM2.5採集装置を設置し、それぞれの地点における浮遊微粒子状物質を手に入れ、次の実験に用いた。（1）既開発の生物毒性・炎症作用可視化プローブの高輝度化・高感度化を行った。具体的には、これらの各可視化プローブに適した発光基質を有機合成することにより、各発光酵素に対してピンポイントで発光する一連の基質が合成できた。この基質を用いて化学物質が持つ免疫毒性と女性ホルモン阻害作用をそれぞれピンポイント可視化するマルチプレックスイメージングシステムを開発した。この成果は、Scientific Reports (Nature Publishing Group) に掲載された。また、（2）PM2.5が持つ重金属類により人工生物発光酵素（ALuc）の活性が変化する現象を発見し、この現象を用いた重金属発光イメージングを行い、その手順と知見を実験プロトコルとして纏めた。このような発光基質の合成、発光プローブの高度化、重金属の測定などの成果を纏めて Springer (New York) より単行本出版に至った（2016年8月）。この本は全世界でオンライン版だけで1万部以上売れるなど、本研究成果普及に貢献した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 PM2.5、生物発光、可視化、分子プローブ、発光基質

【研究 題目】 協同効果を利用した新規ロジウム抽出系開発及びそのメカニズム解析

【研究代表者】 成田 弘一（環境管理研究部門）

【研究担当者】 成田 弘一、元川 竜平（日本原子力研究開発機構）（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

目標：

酸溶液中のイオンが極めて抽出不活性であるために実用的な分離試薬が存在しないロジウムに対し、2種類の抽出剤を混合した溶媒による協同効果を利用した新規抽出分離系の開発及び抽出メカニズム解析を目標とする。

研究計画：

本研究では、抽出剤にアミン系及びスルフィド系化合物を用い、金属イオンの二相間分配挙動解析に加え、ロジウム抽出錯体の内圏及び外圏における構造特性の解明を行う。得られたメカニズム情報を基に協同抽出系を最適化し、さらに高濃度金属溶液などを用いた応用研究を行うことで、新規ロジウム抽出分離プロセスを構築する。年度進捗状況：

疎水性・実用性が高いテトラ-2-エチルヘキシル-チオジグリコールアミド（TEHTDGA）を導入し、トリ-n-オクチルアミン（TOA）との混合溶媒による抽出実験を行った。0.5 mol/L TEHTDGA-0.5 mol/L TOA にお

いて、希釈剤を1-オクタノールと n-ドデカンで比較したところ、後者の方が高い抽出率を示した。ロジウムの逆抽出に関しては、5 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液の使用で、ジ-n-ヘキシルスルフィド（DHS）-TOA 系及び TEHTDGA-TOA 系では低い逆抽出率を示したが、ジフェニルスルフィド-TOA 系では高い値が得られた。

上記の協同抽出系における抽出錯体に関し、X線小角散乱（SAXS）法を用いた分析を行った。その結果（TEHTDGA）-TOA 協同抽出系では、TOA のみで抽出されるロジウムの外圏錯体とは異なる長周期構造がつけられていることが示唆された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ロジウム、協同効果、抽出錯体、溶媒抽出、抽出剤

【研究 題目】 都市域の猛暑の発生に及ぼす風上地面状態の影響評価

【研究代表者】 高根 雄也（環境管理研究部門）

【研究担当者】 高根 雄也（常勤職員1名）

【研究 内容】

本課題では、猛暑が発生しやすく、かつ地面を吹走する気流が卓越しやすい濃尾平野を対象に、風上側の猛暑に及ぼす風上側を含む数十 km スケールでの地面状態の影響を、現地観測結果に基づき検証した。

昨年度までの調査により、多治見で猛暑が発生している日には、西寄りの山越え気流が頻繁に卓越しており、そしてこの風が、地表面からの非断熱加熱を伴う特殊なタイプのフェーンのマカニズムにより多治見の猛暑の発生に寄与している可能性が高いことが示唆された。これらの特徴（西寄りの風と多治見の猛暑の気候学的特徴）を事前に把握した上で、平成28年度の7、8月の2ヶ月間、上記の特殊なタイプのフェーンの存在を確かめるために濃尾平野を含む計7地点で土壌水分量を含む気象要素の観測を実施した。

上記の観測結果を、現地観測データの解析だけではなく、数値シミュレーションおよび統計解析という3つの異なる手法・視点からそれぞれ調査した結果、いずれの手法においても地表面からの非断熱加熱を伴う特殊なタイプのフェーンの存在を示唆する結果が得られた。この結果は、風上側を含む数十 km スケールでの地面状態が、風下側の猛暑に大きな影響を及ぼしていることを明瞭に示している。なお、以下の条件の時には、風上の非断熱加熱の影響が大きくなりやすいことも明らかになった。それは、1) 気流が都市域を通過するとき、そして2) 入力日射が大きく、かつ土壌が乾燥している日（風上側の顕熱フラックスが卓越しやすい条件での日）である。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高温、局地風、都市、現地観測、数値シミュレーション

〔研究題目〕発光性細胞株アレイを用いた高速
PM2.5評価系の構築

〔研究代表者〕金 誠培（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕金 誠培、藤井 理香
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は、研究番号 M043の国際共同研究加速基金課題である。化学物質により起こる代表的な細胞内分子イベント（リン酸化、タンパク質間の相互作用、核内移行など）は何れも病理現象と深く関係している。本研究では、これまで科研費研究により開発した「生理活性可視化プラットフォーム」を活用し「化学物質による分子イベントを定量可視化し、病理現象に至る相関性の解明」を行うものであり、環境・医学連携研究として位置づけられる。

この研究実施の連携先として、この分野で世界的な技術力と実績を持っているアメリカ・スタンフォード大学医学部の分子イメージングプログラム（MIPS）と、国際共同研究を実施する。これまで科研費基盤 B 支援により開発した「（化学物質の生理活性）可視化プラットフォーム」を、MIPS が得意としている定量可視化・病理現象診断技術と融合することで、「化学物質の診断技術」の新たな飛躍に挑戦する。

本研究者は、2017年3月末よりアメリカ・スタンフォード大学医学部に着任したばかりであり、本原稿執筆時には研究体制を整えているため、具体的な研究成果はまだない状態である。これから胎児奇形要因物質や免疫毒性物質の生理活性イメージングプローブを開発と性能改善に関する研究を進めているところである。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕胎児奇形、免疫毒性、分子イメージング、生理活性、化学物質

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

〔研究代表者〕金 賢夏（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕金 賢夏、寺本 慶之、尾形 敦
（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本研究では、触媒、吸着、大気圧低温プラズマの相補的融合における相互作用のメカニズムを解明し、革新的化学反応分野の開拓とプラズマ化学の高度利用技術の確立を目指している。具体的には、プラズマによる触媒の低温活性化メカニズムを解明することで、常温・大気圧の条件下において反応活性と選択性に優れた革新的化学反応の基盤技術を確認し、「水素の長距離輸送に適した低温燃料改質」、「大気及び水中の汚染物質除去の高度化と省エネルギー化」、「脱貴金属の低温触媒技術の体系化」等の多様な応用分野へ波及効果をもたらす高度利用へ展

開する。

平成28年度の研究では、触媒を充填したプラズマプラズマ反応器におけるプラズマの発生に関連した研究を続け、触媒の種類によって異なる放電モードが得られることを確認した。特に、担体としてアルミナより酸化チタンの方がサフェースストリーマの進展に有利であることが分かった。表面の電気伝導度の違いによる表面電荷の緩和特性がプラズマ進展に影響していることが推察された。また、プラズマ中に発生する短寿命の活性種と触媒表面との作用を定義する無次元パラメータを提案し、プラズマ触媒反応器の設計に必要な知見が得られた。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕低温プラズマ、触媒、複合技術、VOC分解

〔研究題目〕ゲル内での層状複水酸化物合成による新規アニオン吸着剤の開発

〔研究代表者〕日比野 俊行（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕日比野 俊行（常勤職員1名）

〔研究内容〕

今年度は、当初計画のうち、1価陰イオン選択性向上についての検討を行った。効率よく検討するため、ゲルとの複合の前に、まずは、粉体での Mg/Al 系層状複水酸化物（LDH）を合成して検討を行った。LDH の結晶性、LDH ホスト層の電荷密度（Mg/Al 比）を変えて、陰イオン選択性が変化するかをみた。結果として、本検討の共沈サンプル及び水熱育成サンプルともに Mg/Al 比が陰イオンの選択性に影響を与えることが分かった。特に結晶性がよい水熱育成サンプルで Mg/Al 比による選択性の変化が大きいことが示唆された。Mg/Al 系 LDH 結晶末端では、水酸化マグネシウムと水酸化アルミニウム単体の性質も発現する可能性が考えられる。そこで、水酸化マグネシウムと水酸化アルミニウムを滴定法によって合成し、陰イオンの吸着挙動を測定し比較したが、上記陰イオン選択性の変化との特段の関連性は見いだせなかった。ここまでは粉体 LDH での検討であったが、ゲル複合体に上記結果を応用して検証した。そこで、アガロースゲル内での LDH の合成を行い、乾燥させてから吸着実験に供した。ゲル内で合成する LDH の組成を仕込み比で Mg/Al=3、4.5、6で検討したところ、粉体 LDH と同様の陰イオン選択性の傾向が見られた。また、含水量が多いサンプルでは乾燥の過程で空気中炭酸ガス由来の炭酸イオン混入が起こることが知られているが、本検討の複合体で確認を行ったところ、乾燥法の相違（真空乾燥と風乾）で、炭酸イオン混入の差異に起因すると思われる相違が見られ、真空乾燥と比較して風乾ではイオン吸着量の減少が起きた。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕層状複水酸化物、ハイドロタルサイト、ハイブリッドゲル、イオン交換、吸着

〔研究題目〕単一生細胞での細胞内遺伝子センシング技術の開発とチップデバイス化

〔研究代表者〕青木 寛（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕青木 寛（常勤職員1名）

〔研究内容〕

単一生細胞での細胞内遺伝子センシング技術を開発しそれをチップデバイス化することで、多数の細胞内遺伝子活動を並列的に同時観測可能とし、簡便かつ迅速な遺伝子診断技術の構築を目指す。その際、遺伝子検出法として、生細胞への影響を極力抑えたその場分析を可能とするため、低侵襲性の面から電気化学的手法のほか表面プラズモン共鳴（SPR）法を併せて検討する。最終的には、臨床や環境の現場で使用可能な一次スクリーニング技術として統合し、テーラーメイド医療や化学物質の生体影響評価に貢献する。

本年度は、SPR イメージング法／顕微イメージング法に基づく手法を検討した。SPR イメージング測定では、プローブ DNA を金表面上に固定化してターゲットの配列選択的認識の後、酵素反応によりシグナル増幅を図った、具体的には、ターゲットであるマイクロ RNA（miRNA）の認識後、酵素反応により miRNA 末端に poly(A)鎖を伸長させ、複数のシグナル増幅因子添加後、TMB/H₂O₂混合溶液添加により酸化 TMB（3,3',5,5'-tetramethyl benzidine）の青色沈殿を生成させた。この結果、大幅なシグナル増幅が観測された。この際、酵素反応後にタンパク質分解酵素を使用することで、バックグラウンドシグナルが減少して S/N 比が向上することを見出した。肺がんマーカー miRNA を検出下限 pM レベルで検出できることを確認した。また、SPR 顕微イメージング測定法に基づく高感度検出も検討した。ハイドロゲルに基づくナノ粒子を用いて生体試料のモデルであるマンノースが高選択的に認識され、本手法が微量生体試料測定に有用であることを見出した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕細胞、センシング、チップデバイス、バイオマーカー、DNA、RNA

〔研究題目〕水処理膜の完全性を脅かすバイオフィームのリアルタイムイメージング

〔研究代表者〕稲葉 知大（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕稲葉 知大（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では水処理膜の完全性と微生物の関係を明らかにすることを目指している。近年の水資源減少は世界的に深刻であり、廃水の処理再生は水資源の持続的利用の命題となっている。そこで注目されるのが膜ろ過技術だが、そこでは膜閉塞が深刻な問題となっている。この膜閉塞の主な原因の一つとされているのが、膜表面での微生物の付着・増殖（バイオフィーム形成）であり、それによって処理効率や膜完全性の低下が発生すると考えら

れている。水処理膜上へのバイオフィーム形成機構には広く受け入れられている一般的なモデルが存在するが、実際にモデル通りに膜閉塞が発生しているかについては技術的な理由から実証されてこなかった。本研究ではリアルタイム顕微鏡観察技術「連続最適化共焦点反射顕微鏡法（COCRM 法）」と最先端の大規模微生物解析技術を融合した解析により水処理膜上の微生物の振る舞いと処理膜の完全性への影響を明らかにすることを目的とする。

当該年度は水処理膜上のバイオフィームを非破壊的に可視化・定量する技術の確立を目指して研究を行った。水処理再生の中核的技術である膜分離活性汚泥法（MBR）における膜閉塞の可視化定量を試みた。可視化には独自の共焦点反射顕微鏡法を適用・最適化し、ろ過膜表面のバイオフィームを非破壊的に定性・定量することに成功した。さらに、一般的な閉塞モデルとは異なる機構で膜閉塞が発生する事象を発見した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕廃水処理、ファウリング、バイオフィーム

〔研究題目〕分散型エネルギー取引市場制度設計に関する理論構築、経済実験及び社会実装

〔研究代表者〕本田 智則（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕本田 智則、田原 聖隆、柴 義則、若松 弘子（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

本研究は、分散型電源及び既存電源を協調させつつ、長期安定的に稼働可能な電力システムの構築を目指し、市場の効率性に着目し、環境性・経済性を両立する新たな電力取引市場の制度設計を行うための基礎的知見を得ることを最終的な目的としている。

電力の市場取引が株式市場取引と異なる点として、その取引において、同時同量制約、連系線制約といった様々な物理的制約が存在すること、また、電力が社会経済において重要な基盤であることから、1つの最も低価格となる電源のみを選択することは社会経済の安定性を担保する上で避けるべき選択であること、さらに、温室効果ガス低減を果たすという外部不経済の内部化を考慮に入れたものであること、等が挙げられる。

本年度は主として、2万軒の実住宅における HEMS データを用いた生活者行動分析を実施した。その結果、生活者の省エネ施策に対する反応は理論的に想定されたものとは異なる行動が取られている可能性が示唆された。そのため、分散電源を自主的にコントロールした場合、その省エネ効果が十分に得られない可能性が示唆されるに至った。

今後は、実住宅のデータ分解能を高めると同時に、得られた HEMS データと外気温データ等を組み合わせることによって生活者行動モデルを構築することで生活者

の分散電源活用モデルを構築していく。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 電力自由化、実験経済学、被験者実験、HEMS、電力

【研究 題目】 放射線被ばくへの効果的な対策に資する
問題解決型リスク評価手法・過程の検討
と実践

【研究代表者】 内藤 航（安全科学研究部門）

【研究担当者】 内藤 航、小野 恭子、岡 敏弘
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

福島第一原発の事故に起因する放射性物質で汚染された地域において、住民の避難や帰還・活動制限、除染等の被ばく線量対策についての意思決定の基礎は外部被ばく線量（以降、被ばく線量）である。公的機関より被ばく線量評価のための予測式や実測データが公表されているが、それらは、実態に合っていないかたり、年間積算量であったりするため、被ばく線量低減対策の具体的な検討には使えないという課題がある。本研究は、福島地域住民や行政と連携して、被ばく線量の実態把握とリスク対策に資する推定手法の開発を行う問題解決志向の実践的研究と国内外におけるリスク対策及び実践的研究のメタ解析から成る。さらに、それらを通して得た知見や教訓を体系的に整理し、科学的合理性が高く社会に受容されるリスク対策が備えるべき要件とそれを支えるリスク評価とコミュニケーションのあり方を提示することを目指す。平成28年度は避難地域の住民の協力のもと実施した個人線量データの解析を行い、航空機モニタリングより得られる空間線量と個人線量との関係を定量化した。飯舘村のような面的除染が実施された地域では、除染の効果等より、個人線量と航空機モニタリングより得られる空間線量との比が、相対的に小さくなっていた。これまで得られた知見を分析して、将来の線量予測に必要な係数の範囲を得ることができた。福島県の被災地における放射線リスクとその他の健康リスクについて、そのリスク削減対策の効果を定量的に算出した。大熊町の除染費用の整理を行った。また、国内外のリスク対策を比較するための情報収集シートの作成を行った。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ナノ材料、放射性物質、リスク評価、リスクコミュニケーション、線量評価、個人線量、除染、費用対効果

【研究 題目】 室内環境における SVOC 類の挙動解析
及び統合的暴露評価／リスク評価

【研究代表者】 篠原 直秀（安全科学研究部門）

【研究担当者】 篠原 直秀、森田 佳実
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

室内における挙動／暴露モデル構築のためのパラメータを取得するために、実験室において PFS（パッシブフラックスサンプラー）を用いた放散量測定試験を実施し、建材表面濃度や放散量に関わるパラメータを取得した。建材中表面のブリーディング量と放散量には相関がみられた。また、チャンバーを用いた気中の粒子への DEHP の吸着特性を把握する試験を行い、吸脱着特性を把握した。その結果、浮遊中の粒子への吸着が建材表面での粒子の移行と比べても小さくないことが分かった。これらに関しては、3種の建材を用いて実施した。この結果については平成28年室内環境学会にて報告した。更に、PFS を用いて、建材から粒子への移行を測定する手法を検討した。

一般住宅2軒において、ハウスダストを粒径別（4-20 μm , 20-63 μm , 63-180 μm , 180-500 μm , 500 μm -1 mm）に収集し、粒径別の粒子中のフタル酸エステル濃度を測定した。また、粒径別の捕集方法について、検討・改良を行った。経皮暴露に関しては、既存文献を収集し、フタル酸エステル類の皮膚移行係数や皮膚透過係数などのデータを整理した。また、DEHP を主とするフタル酸エステル類のリスク評価を行うために、既存の暴露情報や有害性情報を収集した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ハウスダスト、SVOC、フタル酸エステル類、経皮暴露、粒子、吸脱着

【研究 題目】 複雑混合物のリスク評価に向けた暴露評価手法開発

【研究代表者】 頭士 泰之（安全科学研究部門）

【研究担当者】 頭士 泰之、山取 由樹
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

製品等に含まれる複雑な組成をした混合物について、現状では適切なリスク評価方法が無い。そこで本研究では、混合物リスク評価手法に向けた暴露評価手法の開発に取り組む。特に残油を事例として2次元ガスクロマトグラフィーによる成分分析法、分類化法、環境動態予測のための物性推定法等を開発し、混合物リスク評価におけるステップの一つとなる混合物の暴露評価手法の構築を目指す。昨年度までは、測定環境基盤整備を進め、物性推定手法については線形自由エネルギー関係に基づき計算される物性を2次元分離測定データのマップに投影するツールを作成した。今年度は、エンジンオイルの経時的なサンプリングとその2次元ガスクロマトグラフィー分析を進め、またそれら試料に物性推定ツールが動作することを確認した。分析の結果においては、使用過程で生じる環境変化体の存在を確認でき、こうした手法が混合物の評価に適している事を明らかにできた。また環境変化試料等の系統的な混合物試料に対し、統計的手法を開発して、クロマトグラムの直接的差異の解析を可能

とする手法も作成でき新たな展開性も確かめられた。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 複雑混合物、化学物質、暴露評価手法、リスク評価手法、2次元ガスクロマトグラフィー、線形自由エネルギー関係

〔研究 題目〕 グローバルサプライチェーンにおける隠れた水資源フローに起因する環境リスク評価手法の開発

〔研究代表者〕 本下 晶晴（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 本下 晶晴（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

世界的な水需給バランスの不均衡とサプライチェーンのグローバル化により、日本で生産される製品／サービスの隠れた水資源フローとそれに起因する環境リスクが懸念される。本研究では世界のサプライチェーンを通じた我が国の製品／サービスの水資源フローを可視化するデータベースを開発する。また、水消費に起因する物理的資源ストレスを通じた環境リスク影響を定量評価する世界スケールのモデルを構築する。これらを組み合わせることで我が国の製品／サービスに関わる隠れた水資源フローとその環境リスクの分析を可能とし、さらに将来の消費支出構造の変化による環境リスクの変化を時系列で予測し、水資源に関わる環境リスクの中長期的な予防的管理に資する手法の開発を目指す。

本年度は日本への輸入材料、製品、サービスに関わる水消費量の算定と水資源の物理的ストレス指標の開発を行った。世界230カ国における製品・サービスの生産に投入される水資源料とその消費割合を算定し、日本の産業連関表との連結のため57部門への集約を行った。水資源消費に関する物理的ストレス指標として基盤となる需要としての環境用水量および人間生活への基礎需要を定量化することで正味の利用可能水量を算定し、正味の利用可能水量の豊富さと水需要との比率で競合状態を表現する2つの指標を物理的ストレス指標として開発した。水ストレス指標についても世界全域を流域スケールでカバーしており、国レベルに集約することで前述の水消費原単位データベースとの連結ができるものとなっている。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 ウォーターフットプリント、水資源、サプライチェーン、水ストレス、環境リスク、ライフサイクルアセスメント (LCA)

〔研究 題目〕 家庭用エネルギー技術の包括的評価手法の開発

〔研究代表者〕 小澤 暁人（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 小澤 暁人（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

わが国の温室効果ガス排出削減目標達成に向けて、家

庭部門の低炭素化は喫緊の課題であり、そのためには個別の技術評価に基づいた従来の技術普及策ではなく、技術の複合利用を想定した効果的な普及策を示すことが不可欠である。本研究では、これまで個別に技術評価されてきた需要側（家電製品等）・供給側（燃料電池等）の家庭用エネルギー技術について、導入による経済性・環境性を包括的に評価する手法を開発し、経済・環境の両立するエネルギー技術システムの普及策を提案することを最終的な目的とする。

本年度は技術評価用モデルの開発を行った。まず、家電・給湯製品の使用実態調査に基づいて家庭の電力・給湯需要を15分刻みで推計するモデル（以降、需要推計モデル）を拡張し、異なる性能の家電・給湯製品を導入した時の需要推計を可能にした。この拡張版の需要推計モデルを用いて、家電製品（冷蔵庫・テレビ・照明等）の買い替えによる家庭電力需要パターンの変化を示すとともに、買い替えによる家庭の節電量・費用負担額・温室効果ガス排出削減量を評価した。

さらに、家庭用燃料電池に着目して、与えられた需要パターンに対する最適なエネルギー供給をシミュレーションするモデル（以降、最適供給モデル）を開発した。この最適供給モデルを用いて、異なる需要パターンを想定した場合の燃料電池導入による家庭エネルギー需給構造の変化を示すとともに、家庭の温室効果ガス排出量を燃料電池の性能別・需要パターン別に評価した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 家庭、省エネルギー、創エネルギー、地球温暖化ガス排出削減、家電製品、燃料電池

〔研究 題目〕 ナノ秒衝撃圧縮によるペンスリット単結晶爆薬の衝撃起爆機構の解明

〔研究代表者〕 若林 邦彦（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 若林 邦彦（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

パルスレーザーを用いたナノ秒衝撃圧縮実験装置とラマン分光装置を用いて、衝撃圧縮下におけるペンスリット単結晶のラマンスペクトル測定を行った。パルス幅6ナノ秒、波長532 nmの単発励起光照射によって、衝撃圧縮下におけるペンスリットの分子振動に由来するストークスラマンスペクトルとペンスリット単結晶の格子振動に由来するストークスラマン及びアンチストークスラマンを同時測定した。衝撃圧に対して明瞭にピークシフトが観測されるニトロ基由来の分子振動ピーク（1293 cm⁻¹）に着目して、そのシフト量から衝撃圧縮領域内部の平均衝撃圧力を求めた結果、約2.9 GPaであった。一方、同時に測定した格子振動に由来するピークについては、ピーク強度の明らかな変化が認められたものの、分子振動と比較し、ピークの圧力誘起シフトは明確ではないことが分かった。光学系の高度化によってスペクトル

の S/N 比が向上したため、常温常圧時の測定と同様に、衝撃圧縮下においても4組の格子振動ピークを観測することが可能となった。しかし、分子振動と比較してシフト量が小さかったため、圧縮領域の成分と未圧縮領域の成分をピーク分離することが困難であった。圧縮領域の格子温度を正確に測定するためには、スペクトルの解析手法の高度化が重要であることが分かった。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ペンスリット単結晶爆薬、衝撃起爆機構、ナノ秒衝撃圧縮、レーザー衝撃圧縮法、ラマン分光法

【研究 題 目】 産業事故発生メカニズムの解明と事故抑止のための生産システムの実験的検証

【研究代表者】 牧野 良次 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 牧野 良次、竹下 潤一 (常勤職員2名)

【研究 内 容】

2011年以降主に化学産業において重大事故の発生が多発している。産業事故の抑止は持続的な企業経営ひいては持続的な経済を維持する上で喫緊の課題である。その理由は、産業事故による被害が従業員や周辺住民の死傷・周辺環境の汚染にとどまらず、設備破損や信用失墜に起因する企業価値の低下、サプライチェーンを通じた関連産業への影響拡大等、国民生活への波及効果が甚大であるからにほかならない。中央省庁による報告書や各社事故報告書において指摘されているとおり、本質安全設計や安全装置の導入といったハードウェアの改善による安全対策からは既に一定の効果を得ているとの理解のもとに、事故原因として人間によるエラーや不安全行動の発生（さらにはその背後要因としての安全文化）に着目しその発生メカニズムの解明にチャレンジしているというのが学術・産業界の現状である。本研究は確率論的リスク評価と戦略的相互依存関係下での人間の意思決定を分析するゲーム理論とを融合した数理モデルに基づいた経済実験を行うことによって、直列生産システムや並列生産システムといった物理的生産システムの特性の相違が共同作業している人間の意思決定、ひいては生産システム全体の信頼性に及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。平成28年度は被験者を工場の管理者役および従業員役の2グループに分け、管理者が労働災害リスク低減策を実施する場合と実施しない場合とで、従業員の労働意欲がどのように変化するかを経済実験により検証したデータを解析した。管理者がコストを負担して労災リスク低減策をとった場合、従業員の労働量がリスク低減コストを補填するのに十分な生産量増加をもたらす程度に増加する傾向が観察された。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 産業事故、ゲーム理論、経済実験

【研究 題 目】 キャビティー増幅吸収分光法による高温

場での化学反応追跡手法の開発

【研究代表者】 松木 亮 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 松木 亮 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

高温環境下で進行する気相化学反応に関与する反応中間体を、高感度かつ実時間で捉えるための手法開発とその適用を行った。高温化学反応の速度論的研究を行うための新規手法「衝撃波管/時間分解広帯域キャビティー増幅吸収分光法」を、ニトロメタンの熱分解反応および芳香族炭化水素化合物の高温反応の研究に適用した。本手法では、衝撃波により加熱された高温場において、紫外可視域における過渡吸収スペクトルを、増幅された吸収光路長によって高感度に観測できる。ニトロメタンの熱分解では、生成する二酸化窒素の過渡挙動を追跡することで、熱分解反応の分岐比や生成物の再結合反応を含む反応機構を明らかにした。芳香族の高温反応では、ベンジルラジカルの熱分解における過渡吸収スペクトルの測定結果から、多環芳香族化合物の生成に寄与すると予想される、フルベナレンやフルベナレニルラジカルといった五員環化合物の生成が示唆された。また、アニソールの熱分解からフェノキシラジカルおよびシクロペンタジエニルラジカルが逐次的に生成する過程を直接観測することに成功した。上記ラジカルはいずれも共鳴安定化ラジカルであり、燃焼場における芳香族の成長過程において重要な役割を有すると考えられる。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 高温化学反応、燃焼反応、衝撃波管、過渡吸収分光法

【研究 題 目】 化学物質の有害性推論手法の確立に資する統計的手法の深化とその適用

【研究代表者】 竹下 潤一 (安全科学研究部門)

【研究担当者】 竹下 潤一 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

平成28年度は、2つのタイプの有害性推論手法の研究を行った。1つは QSAR (定量的構造活性相関) アプローチであり、もう1つは Read-across アプローチである。

QSAR アプローチについては、ラットのインビボデータベースと化学物質の分子記述子を用いてラット肝毒性を判別する統計モデルの構築方法を提案した。まず「有害性評価支援システム統合プラットフォーム (HESS)」に搭載されているラット反復投与毒性試験データより、28日間試験結果が報告されている176化合物の情報をトレーニングデータセットとして整理した。統計モデルを構築するには、次の2つの統計的問題点を克服する必要があった。(1)モデルの説明変数の候補である分子記述子の数が学習用化合物の数よりも多いこと。(2)毒性を示す化合物数が、毒性を示さない化合物数に比べて少ない、すなわち学習データが不均衡データであること。そこで、主要な肝毒性マーカーである血中

ALT レベルの上昇を例とし、問題点(1)を *k*-medoids 法を応用することで、問題点(2)を SMOTE アルゴリズムを適用することで克服し、判別モデルをロジスティック回帰モデルを用いて構築する方法論を提案した。この結果については論文としてまとめ、国際誌に投稿した。Read-across アプローチについては、以前に研究代表者が共著論文として発表した9化合物のインビトロ遺伝子発現データを用いて、化合物を分類する手法を提案した。インビトロ遺伝子発現データを用いて化合物を適切に分類するためには、適当な RNA を抽出する必要がある。そこで、多目的の組合せ最適化問題に対するメタ戦略と階層的クラスタリングを併用する方法論を提案した。この結果については、平成29年度に論文としてまとめ国際誌に投稿する予定である。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】化学物質、有害性推論、QSAR（定量的構造活性相関）、ロジスティック回帰モデル、Read-across、組合せ最適化問題、メタ戦略、クラスタリング

【研究 題 目】最適手法に基づく複数住宅での温水需要予測技術とマネジメント技術の開発

【研究代表者】安芸 裕久（安全科学研究部門）

【研究担当者】安芸 裕久（常勤職員1名）

【研究 内 容】

昨年度開発した、予測モデル、最適化モデルおよび逐次運用モデルおよびそれらを統合して運用シミュレーションを行う DEM-SEM（分散エネルギー源シミュレーション評価モデル）を用いて、運用シミュレーションを引き続き実施した。

今年度は特に対象エネルギー機器の拡張を行った。家庭用燃料電池コージェネレーションシステム（FC-CHP）において、固体高分子形（PEFC）と固体酸化物形（SOFC）の両方を対象とし、さらに CO₂ヒートポンプ給湯機（CO₂HP）も対象に加えた。機器台数についても、住宅4戸に対して、FC-CHP が2/4台の場合、FC-CHP と CO₂HP が2台ずつの場合、PEFC と SOFC を1台ずつ、CO₂HP が2台の場合など、様々な組み合わせについてシミュレーションを行った。温水融通においても、4住戸に対して貯湯槽を1台のみ設けた場合や、各戸に設けた場合など異なる形態を検討した。

エネルギー機器の運用は、エネルギー費用最小化を目的関数としていることから、エネルギー価格（電気・ガス料金）に大きな影響を受ける。特に、FC-CHP と CO₂HP とを組み合わせる場合は、電気料金とガス料金とのバランスの影響が大きい。そこで、実際の料金形態を参考に、エネルギー料金を変化させたケーススタディを行って、エネルギー料金変化への感応度を評価した。

エネルギー機器構成やエネルギー料金を変えた場合でも、開発したエネルギーマネジメントシステムのモデル

では、ほぼ最適に近い機器運用が実現できていることが確認できた。また、複数の機器を組み合わせた場合は、温水供給に関して概ね FC-CHP が中心的な役割を担い、CO₂HP は補助的な役割に留まり主に冬期に運用されることとなった。ただし、エネルギー料金について、冬期にガス料金が高くなるという想定をした場合は、冬期において、FC-CHP の運用が抑制され、CO₂HP が積極的に運用されることもあった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】エネルギーシステム、エネルギーマネジメント、省エネルギー、住宅、給湯、最適化、需要予測

【研究 題 目】定性的手法を用いた労働災害防止対策の取り組みに対する労働者の認識の分析

【研究代表者】牧野 良次、岡田 賢

（安全科学研究部門）

【研究担当者】牧野 良次、岡田 賢（常勤職員2名）

【研究 内 容】

事業所の安全衛生管理には、労働者の積極的な参加が必須である。そのためには、好事例の背景にある労働者の認識、彼らの価値観や取り組む動機、取り組みに対する反応等を形式化して、個別の事業所・産業に留めることなく共有できるようにすることが有効であると考えられる。本研究は、労働災害防止対策への取り組みに関する労働者の意識をヒアリング等により得て、その情報を定性的手法により分析し、労働者の認識を構成する要因や影響を与える要因の間の関係を構造化して理解することによって、効果的な取り組みに資することを目的とする。

数値化されたデータを扱う定量的手法に対し、ヒアリング等から得られた情報を解釈しながら分析し類型化・構造化を通じて理解していく定性的手法は労働者の考えを理解するうえで定量的手法に劣らず有効と考えられる。平成28年度は対象となる事業所（化学産業・建設産業）にてヒアリングを実施しデータを収集した。平成29年度は関係学協会と連携してモデル化の結果の検証を行い、応用に耐える概念となるよう強化し、労働者の意識の「見える化」および「見える化」された内容の汎用化を目指す。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】労働災害、労働災害防止対策、労働者の認識、質的研究、定性的手法

【研究 題 目】有機鉛ペロブスカイト太陽電池高効率化のための結晶成長制御

【研究代表者】宮寺 哲彦（太陽光発電研究センター）

【研究担当者】宮寺 哲彦（常勤職員1名）

【研究 内 容】

高効率・低コストな次世代太陽電池として期待されている有機鉛ペロブスカイト太陽電池の研究分野において、

本研究では、構造制御されたペロブスカイト結晶の構築を目指した研究開発を行った。開発手法として、当研究室でこれまで開発してきたレーザー蒸着法を用い、真空中で精密に材料供給速度を制御して共蒸着を行うことで、高い結晶性を有するペロブスカイト結晶を構築することを試みた。単結晶基板を用い、レーザー蒸着によってペロブスカイトを結晶成長させる実験を行った。様々な単結晶基板を用いて実験を行ったところ、ルブレン単結晶上にペロブスカイトを製膜することで、基板の規則構造に従って成長するエピタキシャル成長が実現することを明らかにした。このようにして作製した有機鉛ペロブスカイト結晶の詳細な結晶構造を、大型放射光施設（Spring-8）における斜入射 X 線回折法を用いて解析した。X 線回折パターンを3次元的に取得することで、ルブレン単結晶と有機鉛ペロブスカイトの結晶方位関係を明らかにした。本研究により、高度に制御された有機鉛ペロブスカイト結晶を構築可能なことが実証できたため、今後は当該手法を用いて作製した有機鉛ペロブスカイトの基礎物性評価や太陽電池素子作製を行い、結晶構造が物性および素子特性に与える影響について調べていく。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 太陽電池、有機・無機ハイブリッド材料、結晶成長

〔研究題目〕 衛星データによる海上風推定の高度化と風況把握システムの構築

〔研究代表者〕 竹山 優子（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 竹山 優子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

初年度に構築した ALOS PALSAR データ L1.0 データのアーカイブシステムを用いて、日本沿岸域における海上風推定精度検証を実施した。この結果、海岸近くの陸地にビル等の人工構造物が多くある大都市の近くでは、大都市の衛星進行方向にアンビギュイティと言われるノイズが多く発生し、海上風を過大評価することが分かった。一方、このような条件に合わない海域では、既存の合成開口レーダと同様の風速推定精度を得られることがわかった、さらに、欧州の衛星 Sentinel-1 を用いた海上風推定精度の検証を実施し、一部の海域では既存の C-band 合成開口レーダと同様の精度が得られたが、既存の精度よりも低い結果も得られ、今後はこの原因を探るとともに、精度向上に向けた手法開発を行う。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 洋上風況、海上風、人工衛星データ、合成開口レーダ

〔研究題目〕 メソ気象モデルによる海上風推定の高度化を目的とした内部境界層解像スキーム

の開発

〔研究代表者〕 嶋田 進（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 嶋田 進（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、低コストで高精度な洋上風力資源量調査手法の開発を目的として、リモートセンシング装置による遠隔風況観測および厳密な数値計算の結果に基づき、メソ気象モデルによる海上風計算の精度改善を試みるものである。具体的には、光波による風計測装置であるライダーによる野外実験を行い、その結果を用いて気象モデルや数値流体力学モデルによる海岸線付近での海上風シミュレーションの再現性について定量的に検証する。これまで、港湾空港技術研究所の観測棧橋先端でのライダー海上風観測の実験準備を行ってきた。平成28年度は、棧橋先端と根元部分にライダーをそれぞれ設置し、陸上および洋上での同時観測を実施した。

ふたつのライダー観測結果の解析から、陸上および洋上の風速比（洋上/陸上）が吹送距離に応じて増加している現象（フェッチ効果）が確認された。厳密には、風速比は海岸線から1.2 km 沖までは単調増加するものの、それより沖合ではほとんど変化しないことが確認された。さらには、このフェッチ効果は、100 m 高以下では明瞭に確認出来るものの、高度とともに不明瞭になることも明らかとなった。これらの結果は、陸上風が海面の小さな粗度長によって増速する現象は、水平方向には1~2 km、鉛直方向には100 m 高程度の範囲に限定されることを示唆している。この野外実験を対象とした気象モデルのシミュレーションを実施したところ、数百メートルの解像度であっても、フェッチ効果は不完全ではあったものの再現されていることを確認した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 メソ気象モデル、数値流体力学モデル、海上風、野外観測、フェッチ効果、ライダー

〔研究題目〕 オキシシフェリン誘導体を用いたホタル生物発光の色変化機構の解明

〔研究代表者〕 望月 敏光（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕 望月 敏光（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、ホタル生物発光の発光物質の誘導体の発光、吸収特性を各種溶媒および発光タンパク中で測定し、分子動力学計算と比較することで、ホタル生物発光が起きている際に発光体が置かれている環境を明らかにし、ホタル生物発光の発光機構、色変化機構を解明することを目的とする。研究の計画としては、まず5-5ジメチルオキシシフェリンをホタルシフェラーゼに取り込ませた、in-situ の状態における吸収および蛍光スペクトル

の測定を行い、得られた結果を通常型ルシフェリンの in-situ 状態の吸収および発光スペクトルと定量比較する。5-5 ジメチルオキシルシフェリンは塩基性の水溶液中で加水分解が進むとされているが、濃度0.15M の GTA 緩衝溶液中に 7.1×10^{-6} M の5-5 ジメチルオキシルシフェリンを溶かした溶液の吸収スペクトルの時間変化を見ると、pH 8にて時定数 590 ± 40 分、pH 9にて時定数 311 ± 10 分で指数関数的に減衰するガウス成分を観測しているため、溶液の作成から測定終了までの時間は1時間以内とする。そのうえで、GAUSSIAN09による計算結果を参考に、各吸収ピークと発光ピークの解釈を行った。5-5 ジメチルオキシルシフェリンの発光特性をルシフェラーゼがつくる環境中で観測することに成功し、発光および吸収をプローブとして発光タンパク質が作る環境を調べる道筋を立てた。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】生物発光、発光定量測定、標準、機能性タンパク質

【研究題目】次世代水素ステーションに向けた液体水素冷熱を活用する熱化学水素昇圧材料の探索

【研究代表者】遠藤 成輝（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】遠藤 成輝（常勤職員1名）

【研究内容】

水素吸蔵合金の水素吸放出圧は温度上昇と共に指数関数的に高くなる。これは熱化学的な水素昇圧で、機械動力不要の昇圧である。本研究ではこの性質を利用して、液体窒素温度から 80 °C程度まで昇温するだけで、 70 MPa 高圧水素を得ることを目指す。液体窒素は液体水素の冷熱を活用して得ることを想定した。合金組成による水素吸放出圧制御が可能な AB2型 Laves 合金をベースとし、低温における水素の吸放出能・昇圧能を調べ、燃料電池車用の昇圧に適した多元系合金の組成最適化を図る。得られた合金で昇圧試験を行い、原理実証する。

具体的な合金としては、 TiCr_2 基および ZrFe_2 基合金を用い、 77 K から室温までの昇温による2段階の熱化学昇圧で、 70 MPa 高圧水素を得る。初年度は、汎用的な水素特性評価装置を用いた常用的水素圧下 (< 15 MPa) での水素吸放出試験等を行う。 TiCr_2 基合金が 7 K、 0.1 MPa で吸蔵、 190 K、 8 MPa で放出、 ZrFe_2 基合金が 190 K、 8 MPa で吸蔵するように、元素部分置換による合金組成の最適化を図る。次年度は、 90 MPa 対応高圧水素実験設備を用いた 15 MPa 以上の高圧水素圧下での試験を行い、 ZrFe_2 基合金の昇温による昇圧能と、 80 °C程度における水素放出圧 (≥ 70 MPa) を調べる。適宜本結果を組成最適化に反映し、最適な両合金が得られたならば、熱化学昇圧試験を行う予定である。

初年度の進捗状況としては、 70 MPa 高水素圧の平衡

放出圧を有する合金探索の目途をつけることができた。AB2型 $\text{Ti}_0.2\text{Zr}_0.8\text{Fe}_{1.6}\text{V}_{0.4}$ の平衡圧の温度依存性を調べ、本合金は 60 °Cで 40 MPa の水素放出圧を示すことを見出した。 70 MPa までには足りないが、合金組成制御等を行えば達成可能と考えている。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】水素吸蔵合金、熱化学昇圧、水素ステーション、燃料電池自動車

【研究題目】ドーパントによるワイドギャップ材料の機能化機構の解明

【研究代表者】加藤 有香子（先進パワーエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】加藤 有香子（常勤職員1名）

【研究内容】

ワイドギャップ材料は、高耐圧特性を活かせる高出力系統での省エネパワーデバイス応用が期待される材料である。ダイヤモンドは 5.5 eV と大きなバンドギャップを有した絶縁体であるが、ボロン・リンなどの不純物（ドーパント）の添加で半導体から金属的な特性を付加することができるので、ワイドギャップ材料として注目されている。

本研究では、不純物濃度とドナー・アクセプタ濃度が異なる現状を鑑みて、不活性ドーパントの活性化を目的に、不活性ドーパントの原子位置の解析を試みている。

光電子回折像は結晶構造の実像が得られる手法であり、元素ごとの原子配列が得られるという大きな特徴を有する手法である。光電子を扱うために、軽元素・低濃度元素をターゲットにするのは困難であるが、高輝度放射光光源と組み合わせることで、ホウ素・炭素などの軽元素や数パーセントの軽元素不純物を検出することが可能である。

評価した試料は導電性を示す高濃度ボロンドープダイヤモンドである。高温高圧ダイヤモンド基板上に CVD 法で合成したエピタキシャル成長膜で、ダイヤモンドパワーデバイスのコンタクト層と同じ条件で合成した。ボロン濃度は約 1 % である。この濃度は、過去に測定したボロンドープダイヤモンドよりも低い。SPring-8 BL07LSU のフリーポートに設置した DELMA を用いて $\text{C}1s$ の光電子回折像を測定した結果、試料の結晶構造はダイヤモンド構造を維持している事と、 $\text{B}1s$ は2つの化学状態を示すことを見出した。回折シミュレーションの結果、2つの状態の内1つは、置換位置にあるボロンを示すことが示唆された。現在、もう1つの化学状態を明らかにすべく新学術領域内の研究者と議論を重ねると共に、比較対象として合成方法が異なる試料を準備した。

【領域名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、パワーデバイス

【研究題目】高耐圧用ダイヤモンド MOSFET の作製

【研究代表者】山崎 聡 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】山崎 聡、Aboulaye Traore
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

外国特別研究員の持つ半導体デバイスにおける基本的なデバイス物理の知識と産総研の持つデバイス作製技術を合わせ使うことにより、ダイヤモンド半導体デバイスを作製し、そのデバイス特性を評価し、ダイヤモンドデバイス物理の特殊性を明らかにすることを目的とする。

パワーデバイスの設計を行う際には、デバイス内部における電界分布の制御が必要である。ダイヤモンドを使うメリットは高電圧がかけられることであり、デバイス内部における電界分布のシミュレーションを行う。

ダイオードの計算機シミュレーションと素子測定の結果の解析の過程で、電界集中作用が、当初予定していたデバイス中央部ではなくエッジ部分で想定より5倍強くなるという欠陥を得た。

計算では、ダイヤモンド PIN ダイオード (P 層、10ミクロン厚、ドーピング濃度 $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 、I 層、3ミクロン厚、不純物として $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 、N 層、1ミクロン厚、ドーピング濃度 10^{20} cm^{-3}) を用いた。TCAD を用いた結果では、I 層と N 層の界面の端において、非常に大きな電界が生じていることがわかった。この電界強度は局所的であり、この電界をいかに下げることができるかが、デバイス設計を行う際のカギとなる。

高電界強度を含む界面の座標を横軸にし、それぞれの座標における電界強度を縦軸に示すと、全体の電圧としては、1.2 kV をかけており、I 層膜厚の3ミクロンメートルで割り算すると4 MV/cm となる。しかしながら、デバイス端ではおよそ20 MV/cm の非常に高い電界強度であることが分かった。

電界を緩和するためには、特殊な構造をもつ電界緩和構造、ダイヤモンドのデバイス加工プロセスの特殊性を考慮し、ドーピング濃度の異なる層の製膜とエッチングプロセスを用いる電界緩和構造が必要であることが分かった。

【領域名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、パワーエレクトロニクス、トランジスタ

【研究題目】高耐圧用ダイヤモンド MOSFET の作製

【研究代表者】山崎 聡 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】山崎 聡、Aboulaye Traore
(常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

外国特別研究員の持つ半導体デバイスにおける基本的なデバイス物理の知識と産総研の持つデバイス作製技術

を合わせ使うことにより、ダイヤモンド半導体デバイスを作製し、そのデバイス特性を評価し、ダイヤモンドデバイス物理の特殊性を明らかにすることを目的とする。

ダイヤモンド PIN ダイオードの電界緩和構造の設計を行うことを目的とした。他半導体と異なり、ダイヤモンドにおいてはイオン注入が行うことが困難である。これは、イオン注入に伴う、欠陥発生が熱処理において除去することができないことが原因である。このダイヤモンドデバイス作製プロセスの特殊性を鑑み、製膜とエッチングにおいて可能な電界緩和構造の設計を行った。

1) N 層横に異なるリン濃度層を作る構造

10^{20} cm^{-3} のリン濃度の横に 10^{18} cm^{-3} の N 型ダイヤモンド、さらにその横に $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の N 型ダイヤモンドを作りつける構造を作成し、その電界強度を見積もった。その結果、20 MV/cm の電界強度が、10 MV/cm となり、二つの N 型ダイヤモンドを用いた時には、6 MV/cm まで低減できることが分かった。

2) N 層と I 層の間に低いリン濃度の N 層を入れ込む構造

10^{20} cm^{-3} のリン濃度の N 層の下に 10^{18} cm^{-3} の N 型ダイヤモンド層、さらには $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ の N 型ダイヤモンド層を挿入し、低濃度ほど広い面積を持ち、 10^{20} cm^{-3} のリン濃度の高濃度 N 層直上に電極を設ける構造をとった。この構造の場合には、1層の場合には、挟まなかった場合の20 MV/cm が6 MV/cm まで下がり、さらに、2層挿入した場合には5 MV/cm まで下がるということが分かった。

1) と 2) を比較すると、ダイヤモンドデバイス作製プロセスにおいて 2) が作製上簡単であり、有効であることがわかった。今後この構造において、ダイヤモンドの材料として持つ高い絶縁耐圧をデバイスとして直接証明していきたいと考えている。

【領域名】環境・エネルギー

【キーワード】ダイヤモンド、パワーエレクトロニクス、トランジスタ

【研究題目】粒子線と光の組合わせによるワイドギャップ半導体の深い準位評価法の開発

【研究代表者】坪内 信輝 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】坪内 信輝 (常勤職員1名)

【研究内容】

本テーマは、絶縁性の高いワイドギャップ半導体中のキャリア捕獲をもたらすエネルギー準位に関する評価を行うための、粒子線と光励起を組み合わせた新規手法の開発を行うことを目的とする。

昨年度に検討した装置の設計及び組み上げと測定原理の実現性の検証を行った。漏れ電流がナノ A レベル以下であることを確認した上で、絶縁性の単結晶ダイヤモンドについて、正孔キャリアによる粒子線エネルギー

ペクトル測定を行った。複数の試料について、明瞭なスペクトルピークを観察できるものと、そうでないものが存在することが分かった。スペクトルピークの観察が困難なものについては、光透過スペクトル測定から、窒素の含有が関係する可能性が示唆された。即ち、結果としてキャリア緩和時間が小さくなることにより、誘起チャージが非常に小さくなり、ピークがバックグラウンドに埋もれることが推定された。ピークが観測された試料について、白色光源と650 nm のバンドパスフィルター、あるいは赤色レーザーダイオードを照射しながらスペクトル測定を行った。その結果、スペクトルピークが高エネルギー側にシフトすることが確認された。これは、これらの光照射によって捕獲準位から価電子帯に正孔が放出されたことにより、チャージが付加的に誘起されたためと解釈され、本装置の原理が部分的に検証されたことを示す。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、パワーエレクトロニクス

〔研究題目〕 電子励起高密度ラジカル供給による単結晶ダイヤモンドの高効率エピタキシャル成長法

〔研究代表者〕 山田 英明 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 山田 英明、金 載浩、榊田 創 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

原理的に合成面積についての制約が比較的少ないマイクロストリップライン (MSL) 型プラズマをダイヤモンド合成に適用するため、合成装置を構築した。そのために必要となる、マイクロ波伝播経路及び、ガス導入路の設計を行い、これらに基づいて実際に装置を構築して、長さ50 mm の線状ノズルに沿って安定放電を確認した。原料ガス圧を准大気圧から大気圧 (1-760 torr) まで変化して、安定なプラズマ生成・維持に成功した。一方、従来の体積放電型のマイクロ波プラズマ CVD における原料ガス温度に比して低温であることも確認した。以上のようにプラズマ源を新規に構築した後、Si 基板上への多結晶ダイヤモンド合成を試みたところ、粒状の結晶成長を確認した。ラマン分光法により結晶評価を行ったところ、ダイヤモンドに起因する明確なピークを確認することができ、本方式で原理的にダイヤモンド結晶成長が可能であることを確認できた。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、プラズマ CVD、ストリップラインアンテナ

〔研究題目〕 超低損失パワーデバイス用途ダイヤモンド低抵抗ウェハの合成

〔研究代表者〕 大曲 新矢 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 大曲 新矢 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

本テーマでは、電力変換機器の小型化、超低損失化が期待されるダイヤモンド縦型パワーデバイス開発を念頭に、低抵抗ウェハの合成に取り組んでいる。現在市販されている高温高圧製の低抵抗基板は結晶面内に多くの欠陥を内包し、また抵抗率が100 mΩcm 級と大きい。マイクロ波プラズマ CVD 法では、高濃度 B ガス導入によりチャンバー内に煤を発生し、長時間合成を阻害する根本的問題を抱えている。本研究では、大面積均一成長に優位性のある熱フィラメント CVD 法を用いた低抵抗ウェハ開発を行っている。気相中から膜中への不純物取り込み効率がよく維持されており、煤の発生がないことから長時間合成の見通しが得られた。抵抗率は、B ドープ量上昇に伴って1 mΩcm まで減少することを確認した。また厚膜成長による自立結晶作製に成功し、縦型ショットキーバリアダイオードを試作し、10⁸を超える整流動作を確認した。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、低抵抗、高濃度ドーピング

〔研究題目〕 グライコプロテオームを中心とした複合オミクス解析による疾患モデルの糖鎖機能解析

〔研究代表者〕 成松 久 (創薬基盤研究部門)

〔研究担当者〕 成松 久、梶 裕之、佐藤 隆、梅谷内 晶、安形 清彦、鈴木 奈美 (常勤職員3名、他3名)

〔研究内容〕

本課題では、各糖転移酵素特異的な標的タンパク質の大規模同定を行うために、糖転移酵素遺伝子ノックアウト (KO) マウス群を用い、糖鎖キャリア分子 (糖ペプチド) をレクチン捕集して、野生型と KO マウスとの比較グライコプロテオーム解析を行っている。まずは、Lewis x 構造を合成する、α1,3-フコース転移酵素9 (Fut9) に着目し、その KO マウスを用いた解析を行った。脳組織を使用してグライコプロテオーム解析による Lewis x 糖鎖のキャリアタンパク質および糖鎖構造の (野生型と KO マウスとの) 比較解析を行なった。また、LDN 糖鎖の生合成に関与する酵素遺伝子群の欠損マウスあるいは細胞株を用いてグライコプロテオーム解析を遂行し、そのキャリアタンパク質候補の同定と解析を行った。そのうちの1系統の KO マウスは胎生致死のため、交配し発生時期毎に胎仔マウスを取得して解析を実施した。また、モデル細胞を用いてグライコプロテオーム解析を行った結果、キャリアタンパク質候補の同定に成功した。以上のように、新たなグライコプロテオーム解析によって各種糖鎖キャリアが同定されたの

で、今後、表現型との関連を解析することで、糖鎖の体内機能を明らかにすることができると期待される。

【領 域 名】情報・人間工学、生命工学

【キーワード】糖鎖機能、グライコプロテオミクス、グライコミクス、トランスクリプトミクス、糖鎖遺伝子

【研究 題 目】しなやかでウェットな半立体マイクロ構造体の露光作製及び新規バイオチップへの応用

【研究代表者】須丸 公雄（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】須丸 公雄、高木 俊之（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、全く新しい「ものづくり」の方法論として、2次元と3次元の両方の長所を併せ持つ「半立体」マイクロ構造体群を、半導体 LSI 製造に用いられるフォトリソグラフィのプロセスを通じて作製する技術を確認し、バイオ用途への展開を試みる。ハイドロゲルの架橋及び基材表面からの立ち上がり剥離を光制御することで半立体構造体群を作製、しなやかな半透性ハイドロゲル膜からなる新しいバイオチップを構成し、流れる培養液の中での浮遊細胞集塊の分画や、継続的な観察による品質管理下での培養の実現を図る。

光強酸発生基を側鎖に有する PMMA (pPAGMMA) 薄層上で、1,3,4,6-tetrakis (methoxymethyl) glycoluril 及び両末端にカルボキシル基を有する PEG を架橋剤とし、ヒドロキシプロピルセルロース (HPC) の酸触媒架橋及び架橋 HPC 層の pPAGMMA 薄層からの剥離の両方をパターン照射によって誘起できることを確認、メッシュポケット構造を含む様々な半立体マイクロ構造体を実際に形成できることを実証した。また、紫外光応答可視光不応答の光酸発生剤として、ナフチルイミド型の非晶性低分子材料を用いて、数10 μm 程度の分解能で HPC を局所架橋できる条件を特定した。

さらに、o-nitrobenzaldehyde 基を組み込むことで、光照射に応答して固体状態から速やかに水溶化する新規ポリマーを開発、このポリマー層を介して基材表面に固定化・接着した微粒子や細胞、架橋 HPC 層が、局所光照射によって基材表面から選択的にリリースできることを実証した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ハイドロゲル、マイクロ構造体、バイオチップ、フォトリソグラフィ

【研究 題 目】がん幹細胞糖鎖の構造と機能

【研究代表者】舘野 浩章（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】舘野 浩章、Johann Dion
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

我々はヒト iPS/ES 細胞に発現する糖鎖をレクチンア

レイで網羅解析した結果、ヒト iPS/ES 細胞に特異的に反応するレクチンとして rBC2LCN を発見するとともに、rBC2LCN を用いてヒト iPS/ES 細胞を検出・除去する新たな技術を開発してきた。最近、この rBC2LCN が膵がん幹細胞に強く結合することを見出した。本研究では、膵がん幹細胞の糖鎖構造を明らかにする。次に rBC2LCN が認識する糖タンパク質マーカートを同定し、その構造と機能を明らかにする。更に、rBC2LCN を用いて膵臓がんを殺傷除去するための新たな技術を開発する。最終的には最大の難治がんである膵がん幹細胞糖鎖の構造と機能についての理解を深めることを目的とした。本年度は各種膵がん細胞株、膵がんゼノグラフトモデルから採取した癌部の糖鎖プロファイルをレクチンアレイで解析した。また、質量分析計と液体クロマトグラフィーを用いて膵がんゼノグラフトモデルの定量的糖鎖構造解析を実施した。更に、薬剤融合型 rBC2LCN レクチンを用いて、膵がんへの殺傷効果を in vitro 及び in vivo で検証を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】がん、糖鎖、レクチン、創薬、診断

【研究 題 目】メタン湧水帯に棲息する進化系統学的に極めてユニークな培養困難細菌のメタゲノム解析

【研究代表者】末永 光（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】末永 光（常勤職員1名）

【研究 内 容】

Planctomycetes 門細菌群は、系統分類学上においても細胞構造上においても、極めてユニークな微生物グループであるが、培養が非常に困難なため、未だにその機能や生態の多くが未知である。本研究は、申請者らが、メタンを含む湧水発生地点（メタン湧水帯）で偶然発見した、「芳香環代謝」に寄与する新規な *Planctomycetes* 門細菌に着目し、謎に満ちている本細菌の生理的特徴と環境中での役割および適応進化の謎を解明するものである。

昨年度までに、微生物マット環境試料より構築したメタゲノムライブラリより、*Planctomycetes* 属細菌由来と予測されるフォスミドクローンを選別し、その塩基配列の決定を行った。この結果、炭素固定、窒素化合物の代謝など一次代謝経路が以外にも、嫌気的な安息香酸の分解や、糖代謝など二次代謝に関する遺伝子群の存在も明らかになった。

さらに本年度は、FISH (Fluorescence in situ hybridization) 解析を行うことにより、環境試料中における、*Planctomycetes* 属細菌の分布および存在量について計測した。16S rDNA のデータベースである SILVA database (<https://www.arb-silva.de>) および ARB プログラム (<http://www.arb-home.de/home.html>) を用いて、*Planctomycetes* 属細菌に特有な配列を持つ

オリゴヌクレオチドプローブを設計した。蛍光標識したプローブを作成し、蛍光顕微鏡を用いて検出した。ここで、実験に使用した環境試料については、通常の FISH 法においては、十分なシグナルが検出できなかったため、HRP (Horseradish peroxidase) の触媒作用を利用してシグナルを増幅する TSA (Tyramide Signal Amplification) 反応を用いた CARD (Catalyzed Reporter Deposition) -FISH 法を用いた。この結果、環境試料における *Planctomyces* 属細菌の定量に成功した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】微生物、ゲノム、メタゲノム、進化、海洋生態

【研究 題 目】*O. minuta* 酵母の基礎生物学を進めるための遺伝学的基盤解析系の確立

【研究代表者】横尾 岳彦 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】横尾 岳彦、千葉 靖典、小松崎 亜紀子 (常勤職員2名、他1名)

【研究 内 容】

メタノール資化性酵母 *Ogataea minuta* において自在な遺伝学的解析を可能とすべく、有性生殖が可能な株を確立し、また、染色体に組み込まれることなしに自律的に複製可能なプラスミドの構築を行うことを目的とする。平成28年度は、以下のような研究を行った。

O. minuta NBRC 10746alpha 株と、二重薬剤耐性を利用することにより、NBRC 10746株における二倍体を取得することに成功した。この二倍体株は一倍体に比較して約1.3倍の大きさであり、倍增時間や形態は一倍体株とほぼ同一であること (YPD 培地、30 °Cにおける倍增時間約120分、扁平率約90 %) を明らかにした。また、この二倍体株が効率よく胞子形成を行わせる条件を見出し、マイクロマニピュレータによる胞子の四分子解析に成功した。これより、*O. minuta* においても遺伝学的解析手法が適用可能であることを明らかにした。

自律複製配列 (ARS) 保有プラスミドの有効性を調べるため、グリコシルホスファチジルイノシトールの脂質リモデリングに関与する *PER1* 遺伝子の破壊を試みた。その結果、*O. minuta* において *per1* 遺伝子破壊株は重篤な増殖遅延を示すことを明らかにした。この増殖遅延の表現型は、*O. minuta* の ARS および *PER1* 遺伝子 (*Saccharomyces cerevisiae* 由来あるいは *O. minuta* 由来) が挿入されたプラスミドを導入することにより相補されることを見出した。これにより、ARS を含むプラスミドが *O. minuta* において実用可能であることを明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】酵母、メタノール、接合、胞子形成、自律複製配列

【研究 題 目】膜タンパク質再構成マトリックスにおける部分フッ素化蛍光色素の開発

【研究代表者】高木 俊之 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】高木 俊之、金森 敏幸 (常勤職員2名)

【研究 内 容】

脂質膜および膜タンパク質から成る脂質-膜タンパク質ハイブリッドセンサは、医薬品開発のスクリーニングツールとして注目されている。本研究は、安定人工脂質膜の設計・機能評価、膜タンパク質再構成基材の設計・機能評価、人工脂質・膜タンパク質複合体、複合体の機能性基板への固定化・機能評価により、安定な脂質-膜タンパク質複合体を利用したバイオセンサの開発研究を行うことを目的としている。

近年開発した部分フッ素化人工脂質は、物理的・化学的にも安定かつ膜タンパク質の組み込みにも有用であることがわかってきた。最適な人工脂質・膜タンパク質複合体構築に向けた高配向秩序で適度な膜流動性を有する人工脂質膜を創製するため、部分フッ素化人工脂質から成る分子集合体 (二分子膜) の基盤情報 (膜流動性) を取得すべく新規な部分フッ素化蛍光色素を見出す。

部分フッ素化人工脂質から成る二分子膜に特化した蛍光色素を新たに設計し、合成経路の探索から行った。その結果、新規な部分フッ素化した蛍光色素の合成に成功し、さらに高純度化の精製プロトコルの作成にも目処が立った。現在、新規な部分フッ素化蛍光色素のライブラリ合成とそれらの膜物性評価を行っている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】フッ素、蛍光色素、人工脂質、膜タンパク質

【研究 題 目】急速に進行する膵臓がんの特性を規定する分子メカニズムの解明

【研究代表者】池原 譲 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】池原 譲、山口 高志、池原 早苗、草野 知子 (常勤職員1名、他3名)

【研究 内 容】

【目標】

本研究の目標は、1) 膵臓がんにおける上皮間葉系変換 (EMT) の制御機構の解明ならびに、2) 急速に進行する難治性膵臓がんが Pancreatic intraepithelial neoplasia (PanIN) より直接発生するかについて明らかにすることである。その目的は、これらの達成により膵臓がんの克服につながる早期診断マーカーの開発と創薬標的探索を加速するためである。

【年度進捗状況】

本年度における1) に関する進捗は、膵臓がんが形成する管状構造と EMT の誘導のプロセスや超微形態学的な特性を明らかにし、そのプロセスを、シームレスに解析評価することを実現できたことである。これらの進捗により、TGF β 処理によって膵臓がんが形成する管状

構造と EMT のプロセスを時間経過で展開し、TGF β 処理および未処理の対比を機軸として解析することを可能とした。結果、TGF β 処理で誘導される管状構造形成の過程で発現の変動する遺伝子群 (mRNA) を同定することができ、リアルタイム PCR による結果検証を行う状況となっている。2)の目標については、T 抗原発現させることで急速に進行する膵管がんを発症する遺伝子改変マウスの解析を引き続き行うことで、KrasG12D の単独発現で PanIN を生じる時期の確定およびがんの発生初期を解析する方法を確定することができた。これにより系統的な採材を進めて、病理組織学的・分子生物学的解析へと進む予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】がん、疾患モデルマウス、がん幹細胞、ワクチン療法

【研究 題 目】システム構造化手法を用いた細胞分化メカニズムの解明

【研究代表者】油谷 幸代 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】油谷 幸代 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、モデル生物の細胞分化過程や幹細胞における分化多能性に対し、遺伝子間発現制御ネットワークの中から、ある細胞に分化していく過程で活性化する部分構造を推定することで、多様な細胞分化プロセスの作用機序の解明を目標とする。特に、細胞分化、器官形成など時間経過とともに形態変化を起こしていく細胞において、異なったステージへの移行を決定する細胞内因子を推定し、細胞分化プロセスをネットワークモデルとして解析する。具体的には、公開されている大量の発現データの情報を利用することで、少数サンプルや一点計測由来のデータから活性化しているサブグラフを推定する手法を開発する。従来のネットワーク構造推定手法は多変量データ解析を基盤としていることが多く、少数サンプルや一点計測データに適用が困難であった。本研究では、発生過程における発現データが充実している線虫・ショウジョウバエ・マウス ES 細胞において、発現データから包括的ネットワークモデルを構築する手法を開発する。推定された包括的ネットワーク構造をグラフ構造の制約条件とし、細胞分化過程やある細胞系譜上で測定されたデータにもっとも近くなるようにグラフ上の各エッジの係数を推定する。特定の条件下で測定されたデータが複数ある場合には、グラフ構造上の制約条件はそのまま構造方程式モデリングを適用し、より正確な各係数の推定を行う。平成28年度は本研究課題の根幹であるシステム構造化手法の遺伝子発現データへの適用のための実装プログラム開発を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】システム構造化、ネットワーク、発現制御モデル

【研究 題 目】酸素感受性 tRNA 修飾酵素の反応メカニズム

【研究代表者】鳴 直樹 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】鳴 直樹 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

tRNA はタンパク質合成においてコドンとアミノ酸を結び付ける要であり、転写後に化学修飾を受け機能を発揮する。tRNA の硫黄修飾塩基はコドン認識や構造安定化などに必須である。本研究ではその生合成を担う硫黄修飾塩基の生合成機構の解明を目的としている。

これまでに、細胞内の硫黄化合物の生合成には、さまざまな活性化硫黄運搬タンパク質が関与し、反応性の高い硫黄原子を安全かつ確実に硫黄酵素に伝達していくという概念を提唱している。今回新たに、好熱菌 tRNA の硫黄修飾塩基 (s2T54) の生合成に関与する新規タンパク質 TtuD を逆遺伝学手法により同定した。試験管内で組換えタンパク質を用いて硫黄転移機構を生化学的に解析し、ペアスルフィド結合タンパク質 TtuD の硫黄修飾塩基の生合成における以下の役割をあきらかにした。

まず生合成の最初の段階ではシステイン脱硫酵素がペアスルフィドを生成する。TtuD はシステイン脱硫酵素の反応を促進する。次にこの硫黄原子を受け取り、効率的に TtuB に伝達する。最終的に TtuB に結合した硫黄原子が硫黄化酵素 TtuA により RNA に導入される。この内容は FEBS Letters, 2016に発表した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】タンパク質合成系、転移 RNA、RNA 修飾、硫黄転移反応

【研究 題 目】ムチンにおける周波数依存性マイクロ波効果の探索と応用

【研究代表者】亀山 昭彦 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】亀山 昭彦、杉山 順一、清水 弘樹 (常勤職員3名)

【研究 内 容】

ムチンは多量の糖鎖に覆われた粘性の高い巨大糖タンパク質であり、古くから腫瘍や感染症との関わりが示唆されてきたが、多量の糖鎖のためプロテアーゼによる小分子化が難しいことが同定や構造解析の障害となってきた。そこで、本研究ではムチン分子近傍の多数の糖鎖による「束縛された水分子」を介して、ムチン分子を選択的に活性化できるマイクロ波の周波数を見出し、さらにその周波数のマイクロ波を活用したムチンの選択的分解反応を見出すことを目標とした。平成28年度は、昨年度に引き続きモデル分子としてムチンと同様に粘性の高い巨大多糖であるヒアルロン酸を用いた弱酸条件下での分解実験を行った。ヒアルロン酸の分解をモニターする方法として粘度測定その他、ポリエチレンイミンを用いた分子マトリックス電気泳動法を開発した。分子量分布の異なるヒアルロン酸を5種類用意し、マイクロ波照射前

後での粘度の変化を測定した。その結果、粘性による温度拡散の低下が局所的な加熱（蓄熱）を誘導し、計測温度（全体温度）上は低くても、分子量低下に至る温度上昇がマイクロ波によって誘発されることが推察された。ヒアルロン酸分解の周波数依存性としては、1~2 GHzを境に低周波数側では導電加熱が、また高周波数側では誘電加熱が生じることが明確に区別された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ムチン、糖鎖、マイクロ波

【研究 題 目】単一細胞内質量イメージング実現へのチャレンジ

【研究代表者】高橋 勝利（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】高橋 勝利（常勤職員1名）

【研究 内 容】

紫外パルスレーザーの集光光学系を大幅に改良して、従来倍率3倍であった対物レンズを倍率5倍にするとともにビームエキスパンダーの倍率を10倍とすることにより、レーザースポット径を従来の10ミクロンから5ミクロンに改善することに成功したが、その反面、レーザー照射にともないイオン化に供される試料の量がレーザースポット径の2乗に反比例して減少するため、これを補償するために検出感度を向上させるための方策を取った。

厚みを持つ非導電性植物組織の質量イメージング分析において、致命的な分析感度低下の原因となるチャージアップを防止する目的で、アブレーション能力の高い波長266nmの（Nd:YAG4倍波）パルスレーザーを同軸照射し、物質のイオン化とアブレーションによる厚みを持つ非導電性組織への貫通孔形成によるチャージアップ防止により、植物組織の単一細胞質量イメージングに向けての基礎技術の開発に成功した。

波長266 nmの強力なパルスレーザー光を試料や生成した分子イオンに照射すると、その高い光子エネルギーに起因して断片化イオンを生成することが明らかになった。これを防止するために、イオン化用の355 nmパルスレーザーと266 nmパルスレーザーの照射タイミングをマイクロ秒オーダーで精密に制御するなどの工夫を行い、断片化イオンの精製を抑制したうえで、厚い非導電性試料によるチャージアップを効果的に抑え、分析感度を大幅に向上することに成功した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】質量顕微鏡、フーリエ変換型質量分析計、MALDI、イメージング、植物組織

【研究 題 目】ダイナミック三次元培養環境制御によるiPS細胞由来のパターン化血管組織の構築

【研究代表者】杉浦 慎治（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】杉浦 慎治、高木 俊之、須丸 公雄、

金森 敏幸（常勤職員4名）

【研究 内 容】

生体内の発現現象は時間的に変化する細胞周囲の三次元環境によって制御されているが、この三次元的かつ時間的に変化する環境を生体外で再構成することは難しく、生体外で幹細胞から三次元組織を誘導することが困難となっている。これまでに申請者らは独自の光開裂型架橋剤を開発し、パターン光照射によってハイドロゲルの構造や物理化学特性をマイクロスケールで制御し、任意のタイムポイントで変化できることを示してきた。本研究では、光分解性ゲルを用いてパターン化血管組織の構築する技術を開発した。特に、マイクロ流体デバイス内に光分解性ゲルを導入し、光分解性ゲルに光照射を行うことで、光分解性ゲル内に管腔構造を形成する技術を構築した。

本年度は当該研究に使用するクリック架橋型光開裂性架橋剤を合成し、光分解性ゲルを調製した。様々な基材と架橋剤の濃度における光分解性ゲルの調製条件について検討し、ゲルの形成特性、ゲルの分解特性、細胞接着性といった観点から評価した。血管内皮細胞が良好な接着性を有し、良好なパターン分解が可能な条件を見出した。

また、作製した光分解性ゲルをマイクロ流路内に導入し、フェムト秒レーザーを走査することで、光分解性解ハイドロゲルに対して多光子励起加工を行った。二光子励起加工形成した管腔構造に血管内皮細胞を導入することで血管様組織に構築が可能となると考えられる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞、ゲル、血管、パターン、微細構造、光分解性ゲル

【研究 題 目】系統的な糖鎖付加位置特異的グリコーム分析による糖鎖不均一性生成機構の解明

【研究代表者】梶 裕之（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】梶 裕之、岡谷千晶、富岡あづさ（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

分泌タンパク質や膜貫通タンパク質の多くは糖鎖修飾を受けている。糖鎖は多数の、例えばヒトでは、約200種の糖鎖合成関連タンパク質（酵素）が鋳型に依存することなく、共同的あるいは競争的に作用することによって合成されるので、多様かつ不均一な構造になる。またこれらの酵素群の発現は産生される細胞によって異なるため、細胞ごとに糖鎖バラエティー（グリコーム）は異なり、さらに同じ細胞で合成されたとしてもタンパク質ごと、糖鎖付加位置ごとに異なっているといわれている。しかしこれらの情報は断片的であり、その実態はほとんど知られていないのが実状であり、構造や機能、またそれらの相関の解析は極めて困難な状況にある。そこ

で本研究では、これまでの研究で開発した糖ペプチドのペプチド部分を大規模に同定する技術（従来のグライコプロテオミクス技術）を拡張し、糖ペプチドの糖鎖組成とペプチドの両方を同定する技術（新規グライコプロテオミクス技術）を開発する。またこれを利用して、モデル動物（マウス）の組織ごとの糖タンパク質糖鎖修飾状態を大規模分析する。この分析で糖鎖不均一性の実態を解明し、糖鎖生物学のコミュニティーにその情報を提供することによって、糖鎖の不均一性が生成される機構や、不均一な糖鎖がもつ生理的意義を解明する研究の一助とすることを目的としている。28年度（最終年度）は試料調製法、LC/MS 分析条件、解析ソフトの改善、解析パラメーターや解析手順の最適化をとおしてこの方法を確立し、マウス主要組織のデータ集積を行った。6つの組織（肝臓、腎臓、胃、膵臓、脾臓、精巣）から調製した糖ペプチドの大規模な分析によって、約800タンパク質、1,200部位、12,000種の位置特異的グリコーム情報を取得した。組織ごとのグリコーム、グライコプロテオーム、部位特異的グリコーム情報の比較、解析より、ハイマンノース型糖鎖のみ、あるいは複合型糖鎖のみを持つタンパク質に加え、部位によって違うタイプの糖鎖を持つタンパク質が存在することが判明した。これらの相違がタンパク質のいかなる特性と相関しているのか解析を進めている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】糖鎖、糖タンパク質、質量分析、グライコプロテオミクス、グリコーム

【研究 題 目】In vitro 交感神経-血管モデル構築による血管疾患メカニズムの解析

【研究代表者】高山 祐三（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】高山 祐三、木田 泰之、榎筒 博子、若林 玲実（常勤職員2名、他2名）

【研究 内 容】

本研究の目的はヒト交感神経細胞、血管周皮細胞、血管内皮細胞の複合組織により調節される血圧制御等の機能を生体外にて再構成した in vitro モデルを構築することである。我々はヒト iPS 細胞より交感神経を誘導し、血管組織細胞と結合させることで作製する交感神経-血管モデルシステムを用いた血圧制御とその破綻メカニズムの解析を行うことを目標としている。初年度では材料となる各種細胞の誘導もしくは確保を優先課題とした。血管内皮細胞に関しては広く用いられている HUVEC（ヒト臍帯静脈内皮細胞）を用いる。更に、血管周皮細胞に関してもまず市販細胞である HPA-SMC（ヒト肺動脈平滑筋細胞）を使用可能かの検討を行った。HPA-SMC を複数回継代した後、交感神経細胞が放出する神経伝達物質であるノルアドレナリンを人為的に添加した際の細胞活動をカルシウムイメージングにより観測した。その結果、HPA-SMC はノルアドレナリンに反応して

カルシウム応答を示すことを確認し、本研究の目的とする交感神経-血管モデル構築に向けて有用な細胞であることを確認できた。また、我々のオリジナル技術であるヒト多能性幹細胞からの自律神経細胞誘導技術に関しては、交感神経細胞と副交感神経細胞が混在することが今後の応用に際しての課題であったが、神経分化培養時の条件を最適化することで、交感神経・副交感神経細胞を選択的に誘導する技術開発にも成功している。以上の通り、研究は順調に進展している。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ヒト iPS 細胞、自律神経細胞、血管、微細加工

【研究 題 目】褐色脂肪と自律神経を繋げた Organ-on-a-chip の開発

【研究代表者】榎筒 博子（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】榎筒 博子、木田 泰之
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

本研究は生体メタボリズム機構に関わる組織間ネットワークを in vitro にて再構成する生体工学の融合的な研究に挑戦するものであり、褐色脂肪細胞と自律神経（交感・副交感神経）を繋げた Organ-on-a-chip の開発を目指している。自律神経による褐色脂肪細胞の制御を評価するにあたり、まずは褐色脂肪細胞の基礎的データを得るための解析、iPS 細胞からの各細胞種への分化誘導法を最適化する実験を行った。また、本研究では患者個々人の細胞を再現した Organ-on-a-chip による創薬研究（薬剤試験）への応用を視野に入れている。そこで家族性自律神経失調症（Familial dysautonomia, FD）に着目し、米国 Salk 研究所との共同研究として患者由来の線維芽細胞株からの iPS 細胞の樹立、ゲノム編集技術により疾患原因となる遺伝子変異を修復した iPS 細胞の樹立を行い、本研究室で確立した自律神経の分化誘導法を適用して機能評価に向けた実験を進めている。また、Organ-on-a-chip の基盤となるデバイスの試作も行っている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】Organ-on-a-chip、褐色脂肪、自律神経、iPS 細胞

【研究 題 目】IgE 産生 B 細胞標的ペプチドによる花粉症治療法の開発

【研究代表者】野中 元裕（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】野中 元裕（招聘研究員1名）

【研究 内 容】

花粉症は IgE が引き金となって発症するアレルギー疾患である。花粉症の治療戦略としては IgE 産生を抑制することが第一であり、様々な研究が行われている。中でも、抗原特異的な免疫療法である減感作療法は、

IgG を誘導することによって、IgE 産生を相対的に抑制しうることが期待されている。実際、スギ花粉症の患者に対しては、減感作療法は一定の効果を示すことが明らかにされている。

本研究ではまず、IgE 産生型もヒト骨髓腫細胞株 U266 を培養し、培養上清に含まれる IgE を精製した。ウェルに IgE を固相化し、ファージディスプレイ法により U266細胞由来 IgE に特異的に結合するペプチド（7アミノ酸配列）を26種類同定した。得られた配列間で相同性の高いアミノ酸配列が複数見つかった。

また、花粉症のモデルとして、アレルギー性鼻炎マウスモデルを構築した。BALB/c マウス（6週齢）に抗原としてオボアルブミン（OVA）タンパク質を皮下投与により1、8、15日目に感作し、その後、22日目から28日目にかけて連続的に点鼻投与した。マウス血清を回収し、ELISA 法により IgE を測定したところ、正常マウスに比べてアレルギーマウスが優位に IgE を産生していることが明らかになった。OVA を固相化したウェルに対して IgE が結合したことから、この IgE は OVA 特異的であることが分かった。

〔領 域 名〕生命工学領域

〔キーワード〕ペプチド、ワクチン、アレルギー、治療薬

〔研究 題目〕アジアにおけるホモ・サピエンス定着期の気候変動と居住環境の解明

〔研究代表者〕北川 浩之（名古屋大学）

〔研究担当者〕田村 亨（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

約20万年前頃のアフリカ大陸で誕生したホモ・サピエンス（新人）は、10～5万年前頃以降、ユーラシア各地の多様な環境に適応しつつ拡散し、先住者たる旧人たちと交替した。新人が拡散し定着した時代のアジア（パレオアジア）を文化史的な観点から考究し、アジアにおける新人文化の形成過程の実態と背景を明らかにするために、考古遺跡やその他の古環境記録を対象に、その時代の気候・環境に関わる各種の証拠を多面的に取得・解析する。

今年度は、ヨルダン南部の旧人から新人への交替期を含む考古遺跡の OSL 年代測定に取り組み、また、ベトナム中部の火山湖（マール）において、最終間氷期（12万5千年前）以降の古環境変動を解析するために湖成堆積物の掘削を行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕古環境記録、年代測定、考古学、人類の進化

〔研究 題目〕膵β細胞・自律神経細胞の人工作製と神経インターフェース化

〔研究代表者〕高山 祐三（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕高山 祐三、木田 泰之、榑筥 博子、
若林 玲実（常勤職員2名、他2名）

〔研究 内容〕

本研究では「神経インターフェース技術により膵β細胞のインスリン分泌を制御する手法開発とデバイス化」を目的としている。多能性幹細胞から膵β細胞と自律神経細胞を作製・共培養を行い、電気刺激により自律神経細胞活動制御を介した膵β細胞のインスリン分泌制御を目的としている。更には両細胞種を用いた3次元組織化・デバイス化を行い、糖尿病治療のための生体移植デバイスとして発展させることを視野に入れている。初年度より継続して実験を行ってきたマウス細胞に対する化合物添加による細胞加工実験について、これまでに開発したヒト多能性幹細胞からの自律神経細胞作製技術に替わるものとして注力を行い、マウス線維芽細胞に対し複数種の低分子化合物を添加することで末梢神経細胞を誘導する技術開発を行い、論文発表（Takayama et al., FEBS Letters, 2017）を行った。この技術開発と並行して、ヒト多能性幹細胞からの自律神経細胞誘導技術に関しても更なる改良を行ってきた。これまでに報告してきた自律神経細胞誘導技術では交感神経細胞と副交感神経細胞が混在した状態になっていたことが今後の応用への障害となっていた。そこで、細胞密度・添加栄養因子の濃度等の神経分化誘導条件の最適化を行うことで、交感神経・副交感神経細胞を選択的に誘導する技術へと発展できている。この内容に関しては PCT 出願を行っている。また、微細加工デバイスを用いた自律神経細胞と膵β細胞の共培養実験についても実験を進めており、その成果の一端について国内学会発表を行っている。以上の通り、研究は順調に進展している。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕再生医工学、糖尿病、微細加工、幹細胞、自律神経

〔研究 題目〕3D イメージングセルソーティング法の開発

〔研究代表者〕杉浦 慎治（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕杉浦 慎治、高木 俊之、須丸 公雄、
金森 敏幸、田村 磨聖、佐藤 琢
（常勤職員4名、他2名）

〔研究 内容〕

フローサイトメーター等の従来の細胞分離法では、表面抗原をマーカーとして細胞を分離する。一方、がん組織や幹細胞培養系などのヘテロな細胞集団の中にはマーカーの定まっていない細胞も多く、細胞の機能を細胞毎に個別に解析して細胞を分離する手法の開発が期待されている。本研究では、我々の開発した光分解性ゲルを利用して、正常細胞とがん細胞の混合培養系から三次元培養下での形態や、浸潤能、薬剤耐性といった細胞機能を

指標として悪性度の高いがん細胞を単離する新手法の開発を目指している。

昨年度までに、本細胞分離方法に適したクリック架橋型光開裂性架橋剤の合成を行い、光分解性ゲルの調製条件および光照射条件に関する検討を行っていた。本年度は、この光分解性ゲルを用いてマウス乳癌由来の細胞株の分離を行った。光分解性ゲル内の細胞形態に基づいて分離し、コロニー状の細胞と粒状の細胞とを取得した。取得したコロニー状の細胞と粒状の細胞の腫瘍形成能や転移の過多を検討したところ、それぞれの細胞が異なる性質を示した。以上の結果は本研究の細胞分離法の有効性を示す結果と考えられ、この結果に基づいて論文投稿を行った。また、蛍光イメージングに基づく細胞分離については前年度に引き続きプロトコル検討を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞分離、がん診断、高分子ゲル、医療機器、光化学プロセス

【研究 題 目】新学術領域研究 医療用マイルドプラズマによる創傷治癒の確立とプラズマ組織細胞相互作用の解明

【研究代表者】池原 譲（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】池原 譲、榊田 創、金 載浩、池原 早苗（常勤職員3名、他1名）

【研究 内 容】

本研究は、文科省・科研費・新学術領域「プラズマ医療科学の創成」の計画研究として実施したもので、申請者らが開発を進めてきた医療用プラズマ発生装置の使用で明確となる「低侵襲性」や「血液凝固やその後の創傷治癒効果」について、その作用原理・メカニズムを明らかにすることを目標としている。

【目標】

当該年度の目標は、1)プラズマが作用する生体分子ネットワークの探索（担当：池原、中西）と2)プラズマによるタンパク凝集・分散の解析（榊田、金、池原）の成果について、これらを更なるステージへと発展させることである。具体的には、プラズマによる生体分子の凝集・分散メカニズムについて構築した学理の発信に努めるとともに、その応用展開として、プラズマ照射による3)タンパク質の機能改変や形状加工を中心とした医薬品製造プロセス等における利用可能性にむけた道筋の探索である。

【年度進捗状況】

1)では、プラズマによる血液凝固と止血についての有効性と安全性検証を、2)では試験環境の制御下に質の異なるプラズマを照射し、化学プローブ法、吸収分光法、電子スピン共鳴法によってプラズマの影響を明らかにした。さらに3)では、医療技術への利用展開として、プラズマを起因としてタンパク質に作用する気相・界面・液中の反応プロセスについての体系的理解を進めて

いる。一連の検討により、プラズマによる血液凝固の現象は、そのメカニズム理解を深めることとなり、一般のタンパク質を対象とした凝集制御技術として医薬品製造の新しいプロセスの可能性を明らかにするなどの成果をあげたと考えている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】プラズマ医療科学、止血・創傷治癒、低侵襲性医療、病理学、プラズマ工学

【研究 題 目】大規模ケミカルライブラリーを駆使した、新規心臓形成シグナルパスウェイの探索と解明

【研究代表者】伊藤 弓弦（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】伊藤 弓弦、原本 悦和（常勤職員2名）

【研究 内 容】

多能性幹細胞や間葉系幹細胞など、ヒト幹細胞を原料に用いて様々な臓器細胞を作り出し、創薬分野や再生医療分野に提供するための研究が世界中で行われている。効率的な新薬のスクリーニングや治療効果の高い再生医療を実現するには、それぞれの目的に応じた要求性能を満たした臓器細胞を供給する必要があるが、十分な性能の臓器細胞を作り出すことは、まだ難しい。そこで本研究では、臓器作製法のノウハウのさらなる整備を目指して、発生生物学的な心筋形成過程の理解を目標とした。研究の戦略としては、大量の初期胚を使用することが出来るアフリカツメガエル初期胚を用い、化合物ライブラリーを駆使したスクリーニングを行うことで、心筋誘導に影響を与える新規化合物を探索し、生体内における未知のシグナル経路の抽出を目指した。当該研究課題の最終年度にあたる本年は、初年度に同定したプロテオグリカンの代謝経路に影響を及ぼす化合物を用いて、さらにスクリーニングをすることで同定してきた下流の候補遺伝子に関して、その発現解析や機能解析を進めてきた。発現解析に関しては、変態前の後期胚から変態後の成体における心臓での発現を確認した。機能に関しては、文献情報などからは心臓形成での機能は報告されておらず、新規機能を有していることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】心筋、発生、化合物、ツメガエル

【研究 題 目】スパースモデリングによる電顕単粒子構造解析の迅速・高分解能化

【研究代表者】佐藤 主税（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】佐藤 主税、越野 雅至（常勤職員2名）

【研究 内 容】

目標：

結晶なしにタンパク質の構造を決定できるクライオ電顕単粒子解析の画像処理を、スパースモデリング（SpM）を用いて改良する。我々生体内の機能分子の主役は、様々なタンパク質である。そのため、多くの薬

はタンパク質に結合し機能を調整することで働く。現代の創薬においては、ターゲットとなるタンパク質を決めた後に、目的タンパク質の構造を解明することが重要なステップの一つとなってきた。そして、タンパク質が薬と結合するポケットの形から薬の構造をデザインしてゆくのである。これまで、タンパク質の構造決定で最も一般的な方法は X 線結晶解析法である。しかし、創薬ターゲットとなるタンパク質の結晶作製は一般に容易ではない。そのため、結晶なしに様々な向きの投影像から構造を決定する単粒子解析法が、網羅的な構造解析法として最近注目を集めている。SpM を組み合わせることで、本方法の改善を目指す。

研究計画：

単粒子解析法は、検出素子や電子顕微鏡本体とアルゴリズムなどの進歩により、近年原子モデルを作製できる分解能に到達した。しかし、原子分解能に到達したのは分子中の一部分であり、全く届かないことも多い。理由は、タンパク質粒子自体の持つ柔らかさと向きの偏り、撮影におけるステージの安定性等々の様々な複合的な要因である。また、最高分解能も2.2 Åと創薬への実用化に必要と言われる1.9 Åには未だに届いていない。ここでは、電子顕微鏡撮影での問題点やセンサー改良、画像解析アルゴリズムを検討することで単粒子解析法を改良する。

年度進捗状況：

本年度は、タンパク質粒子の向きに偏りがあり、疎な投影角度が多いという問題点に関して、本領域内の情報学グループに撮影クライオ画像を提供しながら、スパースモデリングを応用した画像処理法を開発してその克服を目指しアルゴリズムの構築を進めている。さらに、スパースモデリングと共通した側面を持ちさらに適用範囲が広いベイズ推定に関しても、その適用可能性を探っているところである。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】電子顕微鏡、単粒子解析、ベイズ推定

【研究 題 目】ナノニードルを用いた核輸送による高効率ゲノム編集

【研究代表者】中村 史（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】中村 史、加藤 義雄
（常勤職員2名、他2名）

【研究 内 容】

本研究では、人工ヌクレアーゼを用いて目的遺伝子以外の部分に損傷を与えない安全で確実、高効率なゲノム編集技術を開発することを目的としている。

平成28年度は、SELEX により取得された FokI アプタマー及び Cas9 アプタマーの性能を評価し、細胞への輸送効率を検討した。まず、FokI アプタマーとして取得された F6#8、F6#71の2種のアプタマーを、ナノニードルに修飾して ZFN-GFP の細胞への導入を試み、

導入が可能であることを確認した。但し、細胞外分泌物による脱離促進効果が確認され、迅速な挿入動作が必要であることが明らかとなった。Cas9に対して細胞内の高濃度のカリウムイオンに応答して結合が解離するアプタマーを探索し、150 mM NaCl から150 mM KCl へ変更することにより、30 %脱離する7K16及び60 %脱離する7K27の2種が取得された。Cas9アプタマーを修飾したナノニードルを作製し、Cas9もしくは Cas9-sgRNA 複合体を固定化し、150 mM KCl 条件での放出量を評価したところ、いずれのアプタマーでも Cas9-sgRNA でも固定化量、放出量が著しく低下し、sgRNA 結合サイトとアプタマー結合サイトが競合している可能性が示唆された。また Cas9アプタマーを介して Cas9-GFP をナノニードル表面へ結合し細胞への導入を検討した結果、細胞内での放出は確認されたものの細胞膜への Cas9-GFP の吸着が観察され、Cas9の正電荷の集中する領域が細胞膜と静電的相互作用すると推察された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ゲノム編集、オフターゲット効果、ナノニードルアレイ

【研究 題 目】基本匂い要素の解明と受容体安定発現細胞センサの開発に関する研究

【研究代表者】佐藤 孝明（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】佐藤 孝明、渡辺 布美
（常勤職員1名、他3名）

【研究 内 容】

嗅覚情報センシング利用により、遠隔的な危険物検知・捜査や対象物の加工・熟成・健康状態の判定を可能とするためには、色覚の R/G/Y/B 基本色に対応する基本匂いの解明と、匂い情報符号化法および嗅覚センサ開発が不可欠である。本課題では、基本匂いの解明を目指し、マウス行動実験で匂いの検知・識別に寄与する受容体の特徴を解析し、共通・相違要素匂いの寄与度および背側受容体の寄与を検討する。1) マウス行動実験による基本匂い要素の解析では、匂いビーム提示型試作 Y 迷路を用いてヒト尿臭の要素匂いの相対強度を評価した。体臭の個人差や食事の影響を低減させる条件で混合尿の識別閾値を比較した結果、膀胱がん摘除前の尿臭を識別可能なことが分かった。また、新規の wavelet 相関解析法を開発し、脳波解析法として特許出願した。本手法で嗅覚2次中枢の振動性匂い応答の類似性を評価した結果、嗅覚経路の3次神経細胞で複数種の受容体信号のフィードフォワード抑制系を介した加算処理により、感覚情報の冗長度が変化し、刺激履歴依存性相関から刺激種依存性相関への変化を見出した。2) 特定臭検知ヒト受容体群の応答データ解析では、新たに77種のヒト鍵受容体の発現ベクターを構築し、合計144種に対して、応答測定を開始した。また、嗅覚の匂い情報階層性は、G タンパク質との初期一過性特異的相互作用を介した安定相

相互作用の迅速形成を可能とする GPCR のヘリックス8の2番目のアミノ酸がグルタミン酸である鍵受容体により支配されるという仮説は、同位置のアミノ酸が GPCR の同一クラス間で共通性が高い結果からも支持された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】感覚情報処理、疾病異常、嗅覚代替センサ

【研究 題 目】覚醒度と快不快度を考慮したサウンドデザインに関する研究

【研究代表者】添田 喜治（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】添田 喜治、矢野 肇

（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

覚醒度・好ましさに影響を及ぼす音響物理指標を明らかにすることを目的として、音の定量化と音に対する心理反応の定量化を行った。

音の定量化に関しては、空調音50種類、鳥・虫の鳴き声100種類を、相関係数、音質評価指標を用いて解析した。相関指標では、自己相関関数のパワー、最大振幅と最大振幅時の遅れ時間、初期減衰幅、音質評価指標では、ラウドネス、シャープネス、ラフネス、変動強度を用いて、各音源の物理的特徴を調べた。ニューラルネットを用いて、相関指標と音質評価指標のどちらが正確に空調音を分類できるか調べた結果、相関指標は97パーセント、音質評価指標は82パーセントの正解率で、空調音を分類できることを明らかにした。また、空調音、鳥・虫の鳴き声に関して、相関指標、音質評価指標の分布・ばらつきから、心理実験に用いる刺激を決定した。

9種類の建物内の空調音、15種類の自動車空調音に対する、心理的好ましさを不快感をシェッフェの対比較法を用いて調べた。また、18種類の鳥の鳴き声、16種類の虫の鳴き声に対する心理的好ましさをシェッフェの対比較法を用いて調べた。実験から求めた空調音に対する好ましさを不快感尺度値に関して、相関指標、音質評価指標を用いて重回帰分析を行った。その結果、相関指標、または、音質評価指標を用いることで、高精度で各被験者の心理的好ましさを不快感を予測できること、個人差は各指標の標準回帰係数により表すことができることを明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】好ましさを、覚醒度、自己相関関数

【研究 題 目】高分解能変動電位透過観察技術の開発と液中生物試料の解析

【研究代表者】小椋 俊彦（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】小椋 俊彦、岡田 知子（常勤職員2名）

【研究 内 容】

目標：

水液中の生きた細胞や細菌をナノレベルの高分解能で

観察する新たな観察技術（高分解能変動電位透過観察法）を開発し、これを用いた様々な細胞の動的メカニズムの解明を目標とする。本装置では、従来の走査電子顕微鏡（SEM）では観察が困難であった、水溶液中の非染色・非固定の生物サンプルをナノスケールの分解能で電子線のダメージが無く、高コントラストでの撮像を可能とする。

研究計画：

本年度は、電位透過観察技術の根幹となる水溶液観察ホルダーの高安定化と高感度化を主目的に改良を進める。さらに、培養細胞やバクテリア等の生きた試料を安定してホルダーに封入し、2時間以上観察可能とする様改良を行う。こうした改良を進めるために耐圧性薄膜のサイズを6種類試作し、より高感度で高安定となる条件を実験により求める。

年度進捗状況：

本年度は、窒化シリコン薄膜の窓サイズを0.4×0.4 mm から0.1×0.1 mm まで6種類作成し、観察ホルダーを試作することで、より生きた生物試料を安定して長期間観察可能な条件を探り出すことが出来た。これにより、様々なバクテリアや培養細胞の非染色・非固定の観察を可能とし、生きた状態での2時間以上の直接観察を達成した。また、培養細胞に対して抗体染色によるタンパク質の同定処理を行い、高安定化ホルダーを用いることで抗体を介して金コロイド等のタグをタンパク質に結合させ観察することに成功した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】電子顕微鏡、画像情報処理、非染色生物試料、培養細胞、液中観察、膜タンパク質

【研究 題 目】インターフェロン β による小腸から全身への抗炎症機構

【研究代表者】辻 典子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】辻 典子、神谷 知憲、渡邊 要平

（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

乳酸菌は小腸の主要な常在細菌であり、発酵食品などからも日常的に摂取される。そのプロバイオティクス効果から乳酸菌は人々の健康維持・増進に効果があることが知られており、食品・医薬品業界から非常に注目されている。私たちはこれまでに乳酸菌に特有の免疫活性化ならびに抗炎症機構を示してきた。本研究では、二本鎖RNA を認識する TLR3が乳酸菌に特有の樹状細胞活性化経路であることから、TLR3を高発現する CD8陽性樹状細胞が乳酸菌により IFN- β を産生し、さらに共存する T 細胞の IFN- γ 産生細胞への分化を促進することを示した。また、乳酸菌の経口投与による腸炎予防効果が IFN- β の中和により消えることを示しているが、食物アレルギーの予防などに重要とされる経口免疫寛容へも

IFN- β が関与するメカニズムについて検証を進めている。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 乳酸菌、抗炎症、インターフェロン- β 、
経口免疫寛容

〔研究 題目〕 CRISPR-Cas エフェクター複合体の構造機能解析

〔研究代表者〕 沼田 倫征 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 沼田 倫征 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

CRISPR-Cas 系は原核生物における獲得免疫に関わる。まず、細胞に侵入してきたファージなどの外来 DNA の一部が宿主ゲノムの CRISPR 遺伝子座に取り込まれる。続いて、CRISPR 遺伝子座から転写された RNA がプロセッシングされ、crRNA が合成される。crRNA は Cas タンパク質と会合してエフェクター複合体を形成する。エフェクター複合体は crRNA と配列相補的な外来核酸と結合し、それらを分解して外来遺伝子の発現を抑制する。エフェクター複合体は数種類のクラスに大別される。本研究では、III 型エフェクター複合体の機能構造解析を行った。

III 型エフェクター複合体は、さらに、III-A 型の Csm 複合体と III-B 型の Cmr 複合体に分類される。Csm 複合体は5種の Cas タンパク質と crRNA から成り、crRNA と相補的な外来 RNA を加水分解する。Csm 複合体が働くしくみを解明するために、Csm2の結晶構造を解析した。大腸菌を用いて Csm2の組換えタンパク質を合成し、各種クロマトグラフィーを用いて精製した。SEC 分析により、Csm2は溶液中でモノマーであることが判明した。結晶化条件をスクリーニングし、PEG3350を沈殿剤として用いた条件で結晶が得られた。放射光施設を利用して SAD 法により結晶の位相を決定した。結晶構造を解析したところ、Csm2は α -ヘリックスから成り、Cmr 複合体を構成する Cmr5の構造と類似することが判明した。これまでの構造解析から、Cmr5は Cmr 複合体のヘリカル領域を構成するタンパク質であり、Cmr4や標的 RNA と相互作用することを明らかにしている。さらに、Csm3が Cmr4と類似していることも明らかにしている。したがって、Cmr5と同様に、Csm2は Csm3や標的核酸と相互作用すること、また、Csm 複合体中では多量体化しヘリカル領域を構成することが示唆された。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 CRISPR-Cas 系、crRNA、Cas タンパク質、遺伝子サイレンシング

〔研究 題目〕 生細胞における超高解像度 DNA 多色イメージングによる分裂期染色体構造の解明

〔研究代表者〕 高田 英昭 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 高田 英昭 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

本研究では細胞内で複数のゲノム DNA 配列を可視化し染色体凝縮時の DNA の時空間的挙動を明らかにし、染色体凝縮メカニズムの解明を目指している。本年度は、DNA 可視化に必要なベクター構築、およびヒト培養細胞 (HeLa 細胞) へのトランスフェクションを行なうことで、標的配列を実際に細胞内で検出した。本研究では、標的 DNA を検出するためにゲノム編集技術である CRISPR/Cas9を応用し、標的 DNA に gRNA を介してヌクレアーゼ活性が欠損した dCas9を結合させる。ここで、gRNA の3'末端側に特定の RNA 結合タンパク質が認識するために必要なモチーフ (PP7) を付加し、PP7に結合する PPC タンパク質に GFP を融合することで、gRNA を介して標的 DNA を蛍光で検出することが可能になる。このため、標的 DNA を検出するためには、1) dCas9発現ベクター、2) gRNA-PP7発現ベクター、3) PPC-GFP 発現ベクターの3種類が必要となるため、これらのベクターを構築した。また、sgRNA の標的配列としてはテロメア配列 (TTAGGG) を選択した。これらの構築したベクターを HeLa 細胞に導入することで、核内にテロメア様の輝点を多数検出することに成功した。また、細胞内でカルシウムイオンやマグネシウムイオンなどの二価陽イオンが DNA の凝縮を制御する因子である事を示すことにも成功しており、今後本システムを用いて二価陽イオンが染色体凝縮時の DNA の挙動に与える影響の詳細が明らかになる可能性がある。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 染色体、クロマチン、イメージング、ゲノム編集

〔研究 題目〕 寄生原虫トリパノソーマに対する創薬標的の探索

〔研究代表者〕 高木 悠友子 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 高木 悠友子 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

「顧みられない熱帯病」の一つであるシャーガス病は、病因原虫のクルーズトリパノソーマを昆虫ベクターが媒介することによりヒトに感染する。罹患者の4人に1人はその後数年から数十年にわたる潜伏期間を経て慢性期症状を発症し、心臓合併症などにより突然死に至る。中南米を中心に800万人ほどの罹患者がおり、年間1万2000人が死亡している感染症である。現行の治療薬は強い副作用が発生し、慢性期の患者が完治するケースは2割に留まる。このため、新たな薬剤の開発が強く求められている。

本研究では、原虫クルーズトリパノソーマにおいて将来の創薬に繋がるような創薬標的遺伝子の探索を行っている。この原虫は代表的なモデル生物とは異なる特殊な

細胞機構をもっており、従来は遺伝子操作などを行うことが大変困難であった。しかし近年、CRISPR/Cas9の技術を利用したゲノム編集がクルーズトリパノソーマにおいても有効であることが示され、比較的簡便に遺伝子ノックアウトを行うことが可能になった。

これを利用し、近縁の原虫ブルーストリパノソーマから得られた知見をもとに必須遺伝子の候補をノックアウトし、創薬標的となり得るクルーズトリパノソーマ遺伝子の特定を進めている。創薬標的としての妥当性が確認されたら、その後は結晶構造解析や阻害剤となる化合物のスクリーニング等を行い、創薬ステップへと繋げてゆく。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】感染症、遺伝子組換え、創薬標的

【研究 題 目】環境応答 DNA と脂質膜小胞の融合による動的な細胞型分子ロボットの設計と構築

【研究代表者】森田 雅宗（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】森田 雅宗（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究課題は科研費（特別研究員奨励費）として、平成26～28年度まで助成を受けたプログラムである。近年、分子一つから人工細胞や分子ロボットを創る試みが進展している。本研究課題の最終目標は、生命システムのように動的かつ自律的なシステムを、分子一つからボトムアップ的に作製することである。細胞と同じ程度のサイズの超微小容器を人工的に創り、内部に分子を封入し自律的なシステムを生み出すということを目指した。細胞は、細胞膜（脂質二重膜を基本とする）で覆われた超微小容器である。近年、細胞サイズ（1-100 μm 程度）のリボソーム（脂質二重膜小胞）やドロップレット（脂質単層膜小胞）は、細胞機能の解析のためのツールとして、幅広い分野で利用されている。しかし、この超微小容器を人工的に作製し制御する方法論は、未だに開発途上で様々な方法が開発されてきている。本研究成果として、人工細胞の器・分子ロボットのボディとして使用される超微小容器の作製方法の開発について報告する。卓上遠心機の遠心力によって液体を封入してある微細管から微小液滴が生成される遠心型マイクロ流体デバイスを用いて、均一サイズを有した細胞サイズのリボソームおよび、均一サイズかつサイズ制御可能な細胞サイズのドロップレット作製方法を開発した。この方法のメリットは、煩雑なマイクロ加工技術を必要とせず、実験サンプル量も極めて微量（1 μL ）で行えるため貴重な実験試料を無駄にせず使える高い汎用性が期待できる。現在、これら超微小容器に様々な生体分子を封入して生命システムのような分子ロボットの構築に向けてさらに研究を進めている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】分子ロボット、人工細胞、リボソーム、ドロップレット、ソフトマター物理、DNA ナノテク

【研究 題 目】表面吸着因子の解析による生分解性材料の生分解性制御に関する研究

【研究代表者】山野 尚子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】山野 尚子、川崎 典起、中山 敦好、伊田 小百合（常勤職員3名、他1名）

【研究 内 容】

生分解性ポリマーの生分解性は利点である反面、用途を制限する短所にもなり、生分解性を制御可能な材料が求められている。我々が見出した長鎖脂肪酸末端付加による生分解性制御技術を基に、種々のポリマーの生分解速度を任意に制御する技術を確認することを目的としている。前年度にアニオン系界面活性剤を添加することにより生分解が抑制されていたステアロイル基を付加したポリアミド4（C18PA4）が生分解されるという結果を得た。そこで今年度は他の界面活性剤の効果について検討した。両性イオンの CHAPS、非イオン系の Tween40で C18PA4は生分解される結果となり、界面活性剤の効果は普遍性を持つことを明らかにした。一方、同じくアニオン系でもベンゼンスルホン酸は効果が弱くカチオン系のジメチルジステアリルアンモニウムクロリドでは効果は認められなかった。またこの効果は PA4だけでなく生分解が抑制されたステアロイル基を持つポリカプロラクトン（C18PCL）も界面活性剤添加により生分解された。PA4と同じく活性汚泥・海水・土壌分解の他、リパーゼを用いた酵素分解試験でも効果が認められた。PCL に PEG を付加することにより作成した PEGPCL は活性汚泥による生分解が抑制されることは既に報告している。この PEGPCL は海水、土壌中でも生分解を受けず、リパーゼによる酵素分解も抑制された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】生分解性ポリマー、ポリアミド、生分解性制御

【研究 題 目】色覚バリアフリー照明の高性能化と試作に関する研究

【研究代表者】田村 繁治（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】伊藤 納奈、茂里 康
（常勤職員2名、他2名）

【研究 内 容】

本事業は、日本人の320万人（男性が99%）が色覚に障がいを持つことを鑑み、正しい色情報を認識することを可能とするための、色覚バリアフリー照明のスペクトルをシミュレータによる模擬実験、協力者による被験者実験によって求めることを目的とする。

本実験では、7種類の LED（150 lx）をバリアフリー用の光源として選び、7種類の光源の中から2種類のみ

を選び、28通りの照明パターンを構築した。I型強度色覚者6名、II型強度色覚者（8名）、一般色覚者（11名）の協力を得て、石原式色覚検査表（国際版38表）およびSPP-1色覚検査表を読み、正答数を調べた。I型強度色覚者およびII型強度色覚者については、通常は正答しないので、正答した場合の光源のスペクトルの特徴について理論的解析を含めて調べた。その結果、長波長LED（赤色）が有効であることを見出し、その理由をCIEL*a*b*色空間で検査での文字と背景の色情報の位置関係に依存することを見出した。今回は各光源の照度を150 lx、合計照度を300 lxに固定したが、今後、正答率が良かった照明光源の照度比について最適化を行う。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕色覚障害、色覚バリアフリー、照明スペクトル、バリアフリー照明

〔研究題目〕分子グラフティングによるアルブミン結合性ヒト型アダプタータンパク質の分子設計

〔研究代表者〕本田 真也（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕本田 真也（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究は、低分子化タンパク質の薬物動態改善に寄与する汎用技術の提供を目指して、ヒト血清アルブミン（HSA）に特異的に結合するヒト型アダプタータンパク質を開発し、その機能と構造に関する *in vitro* 分子特性を解析することを目的とする。平成28年度は、以下の2項目を実施した。(1)「アダプタータンパク質のHSA結合特異性の測定」では、アダプタータンパク質のHSA結合活性が選択的であることを表面プラズモン共鳴（SPR）法で確認した。アダプタータンパク質がGAモジュールとHSAの結合を濃度依存的に阻害することから、アダプタータンパク質がGAモジュールと同一の結合サイトを認識していることが明らかになった。(2)「アダプタータンパク質の相互作用熱力学解析」では、SPR法測定を異なる温度で行って、結合のエンタルピー変化、エントロピー変化、結合比熱変化を定量的に評価した。その結果、アダプタータンパク質とHSAの結合は、エンタルピードリブンで、かつエントロピー的にも好ましい相互作用となっていることを明らかにした。以上を含む *in vitro* 分子特性解析の結果は、目標としたヒト型アダプタータンパク質の開発に成功したことを示すものである。また、本研究を通じて、構造バイオインフォマティクスの活用が分子グラフティング法の高度化に有効であることを実証することができた。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕バイオ医薬品、タンパク質工学、薬物動態、血清アルブミン

〔研究題目〕ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用した

シーケンス選択的なメチル化解析

〔研究代表者〕栗田 僚二（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕栗田 僚二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

DNA、特に CpG アイランドに存在するシトシンのメチル化による後天的遺伝子発現の変化（エピジェネティクス）が、ガン、精神疾患、生活習慣病等の多くの疾患に関与していることが明らかになり、詳細な解析が進められている。現在、エピジェネティックな遺伝情報に関するデータベースは構築されつつあるものの、その医療応用に関してはいくつかの課題が残る。その1つとして、現場で誰にでも測定できるような簡便で洗練されたエピゲノム検出法が無いことにある。そこで本研究では、ミスマッチ DNA 塩基の回転を利用して、測定対象 DNA 中に含まれるシトシンのメチル化状態を迅速検知する新手法の提案を行い、基礎特性評価及びマイクロデバイス化を行った。従来、抗体を用いるメチルシトシン検出法は総量を測定可能であるものの、シーケンス内での位置情報が不明なため利用価値が乏しかった。そこでミスマッチ塩基の外向き回転を利用した位置選択的な抗体認識と、マイクロデバイス化による迅速計測に挑戦した。これにより、Bisulfite 反応や PCR、電気泳動を必要としない新規メチルシトシン検出法を提案し、さらにそのマイクロデバイス化により、世界最速のシーケンス選択的メチル化 DNA 分析を目指した。まず、ミスマッチ塩基の外向き回転を利用したシーケンス選択的メチル/非メチルシトシン識別が、どの程度の感度・選択性を有するのか、様々なシーケンスにより既存 SPR 装置（BIACORE）による相互作用解析を行った。これにより一塩基バルジが最も高効率に DNA2本鎖からフリップアウトしていることを見出した。その後、一塩基バルジ形成プローブ DNA を用いて、新規 SPR チップ（エピジェネティクスチップ）の開発を行い、合成オリゴ DNA 並びに制限酵素による断片化と組み合わせることにより、小型 SPR 装置におけるゲノム DNA でのメチル化計測を実現した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕DNA、疾病診断、バイオセンサ、エピジェネティクス

〔研究題目〕光ナノ複合材料による健康阻害ガスセンサに関する研究

〔研究代表者〕安藤 昌儀（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕安藤 昌儀、茂里 康（常勤職員2名）

〔研究内容〕

前年度に続いて、ガスとの接触時に蛍光強度等が可逆変化する光ナノ複合材料を用いて、健康阻害ガスを検知可能な光学式ガスセンサの研究開発を実施した。健康阻害ガスとして、強い酸化力と毒性をもつオゾンに加えて、新たに、シックハウス症候群等の原因物質となる有害な

揮発性有機化合物 (Volatile Organic Compound (VOC)) を対象として調べた。オゾンガスセンサ実験システムを一部改良し、セレン化カドミウム (CdSe) 系コアと硫化亜鉛 (ZnS) 系シェルからなるコアシェル型量子ドット薄膜のオゾン感度について、濃度依存性の測定と解析を行い、機構解明を進めた。一方、VOC ガスセンサ実験システムを構築した。濃度を規定した VOC 含有空気は、VOC 液体試料を入れたインピンジャーに合成空気を流通して飽和蒸気を発生させ、これに合成空気を所定の比率で混合・希釈して得た。各種 VOC ガスと接触した際の量子ドット薄膜の蛍光強度・スペクトルを調べた結果、CdSe 系コアシェル型量子ドットの薄膜が、室温・大気圧下において、可燃性・爆発性・悪臭を有するアルキルアミンガスに感応して可逆な蛍光強度変化を示すことを見出した。また、アルキルアミンガスに対する感度は、ヘキシルアミン (第1級アミン) > ジエチルアミン (第2級アミン) > トリエチルアミン (第3級アミン) であることを確認した。以上のように、CdSe 系コアシェル型蛍光量子ドットが、空気中のオゾン検知のみならず VOC 検知にも利用可能なセンサ材料となることがわかった。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 健康阻害ガス、光学式ガスセンサ、オゾン、VOC、光ナノ複合材料、蛍光

【研究 題 目】 神経栄養因子 BDNF のノンコーディング RNA の分子機能に関する研究

【研究代表者】 小島 正己 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 小島 正己、熊ノ郷 晴子
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

proBDNF→BDNF のプロセッシング異常マウスでは BDNF より proBDNF が過剰になり成体のマウスでは顕著なうつ様行動をはじめとする行動レベルの様々な表現形が観察される。この異常マウスの分子細胞病態を見出すために、本研究では BDNF の転写に注目した。つまり、proBDNF 過剰による細胞内シグナルの変化が起す新たな転写発現などを期待した。

この目標を達成するために、海馬における BDNF の遺伝子発現を最初に解析した。その結果、proBDNF 過剰マウスでは、BDNF アンチセンス RNA の発現が上昇していることを見出した。そこで、proBDNF 過剰マウスで発現している BDNF アンチセンス RNA の同定を行う分子生物学的実験を行い、複数の BDNF アンチセンス RNA を同定した。その結果として興味深いことに、これまで報告されていない新規の BDNF アンチセンス RNA が proBDNF 過剰マウス海馬では発現していることを見出した。次にその結果に基づいて cDNA ベクターを作製し各アンチセンス RNA を培養神経細胞に発現させる実験を行なった。その結果、AS2c と名付けた

BDNF アンチセンス RNA には BDNF タンパク質を増加させる役割があることが見出された。BDNF ゆえに神経細胞に対する突起進展作用や生存作用の可能性も調べたが、これらについては効果がなかった。本研究により BDNF タンパク質を増加させる新しいアンチセンス RNAAS2c が見出されたので、今後はこのアンチセンスの発現と BDNF 作用の関係を制御する仕組みの解明を目指す。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 神経細胞、RNA、アンチセンス、遺伝子、マウス

【研究 題 目】 ニューロンにおけるゲノム DNA 化学修飾酵素の機能解析

【研究代表者】 波平 昌一 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 波平 昌一 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

ヒトやマウスなどの哺乳類において、エピジェネティクス制御の一つである DNA メチル化の神経細胞 (ニューロン) における異常が、精神疾患発症や幼児期のストレス暴露による成体の行動異常などに関与することが指摘された。また、ヒドロキシメチル化という新たな DNA 化学修飾の存在が明らかとなり、それが脱メチル化の際に生じる中間産物であることが示唆されている。特に、ヒドロキシメチル化された DNA がニューロンのゲノムに豊富に存在していることが報告されたことから、ニューロンにおけるそれらの DNA 化学修飾を担う酵素群の役割解明が世界的に注目されている。本研究では、ニューロン特異的に DNA 化学修飾酵素を欠損又は過剰発現する新規遺伝子改変マウスを実験材料として、ニューロンの発達と機能発現における DNA 化学修飾酵素の機能解析を行う。これにより DNA 化学修飾制御機構の破綻と精神疾患との関連を明示し、その発症の分子メカニズム解明することが本研究の目的である。これまでに、胎生後期に DNA メチル化酵素を神経幹細胞特異的にノックアウトしたマウスの成体期において、成体神経新生の減少と不安様行動の増加を明らかにした。また、ニューロン特異的に DNA メチル化酵素を欠損させた成体マウスにおいて、海馬ニューロンの形態異常、及び、活動量の増加が認められた。これらのことは、発達過程のニューロンを含めた神経系細胞における DNA メチル化酵素の機能異常が、成体期の精神疾患を誘発する可能性のあることを示している。さらに、DNA メチル化酵素と相互作用する LSD1タンパク質のヒト神経幹細胞における役割の一端を明らかにした。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 神経精神疾患、エピジェネティクス、DNA メチル化

【研究 題 目】 唾液を用いた生体時刻測定法の確立

【研究代表者】大西 芳秋（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】大西 芳秋（常勤職員1名）

【研究内容】

全唾液生体時刻測定において、体内時計による日内変動のみならず、個々の唾液腺の変動、食事やホルモン等の刺激、疾患、個体差により全唾液に含まれるタンパク組成は変動する。そこで、このための内部標準マーカータンパクとして β -Actinを用いていたが、さらに適切な内部標準マーカータンパクについて検討した。昨年度抗体反応タンパクが検出できなかった Fibronectin, Mucin について抗体ロットを代えてウェスタンブロット解析を行ったが、反応タンパクを検出することはできなかった。同一全唾液試料を用いて、コルチゾールならびにメラトニンの発現量変動を測定したところ、リズム位相は異なるが概日リズムを観察することができたことより、本唾液試料を用いて生体時刻を測定できることが推察された。全唾液生体時刻測定のための内部標準マーカータンパクとしては、これまで解析を行った β -Actin, IgA, Lysozyme, Albumin, Fibronectin, Mucin, Amylase の中でも β -Actin が最も良い内部標準タンパクであるという結果となった。今後は本ウェスタンブロット法による概日リズムとコルチゾールならびにメラトニンの概日リズムとの相関関係を明らかにするとともに、発現機能を解明することにより従来法より優れた時刻測定法であることを証明していきたい。

【領域名】生命工学

【キーワード】唾液、マーカー、転写、クロマチン、生物時計

【研究題目】金属依存性デアセチラーゼの触媒反応メカニズムの解明と阻害剤の開発

【研究代表者】中村 努（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】中村 努、上垣 浩一、大嶋 真紀
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本研究は、N-アセチル基を加水分解する2種類の金属酵素 Dac (N-アセチルグルコサミン単糖およびその二糖を基質とする) および DAA (N-アセチル D-アミノ酸を基質とする) をターゲットとして、触媒メカニズムを解明し、阻害剤をデザインすることを目的とする。平成28年度は、すでに Dac に対してデザインした阻害剤 MPG (単糖基質のアナログ) と Dac との複合体の立体構造をもとに、二糖基質 (ジアセチルキトビオース) と Dac の相互作用を分子動力学計算によりシミュレーションした。その結果、非還元末端側の糖 (水酸基) が活性部位近傍のアミノ酸残基との水素結合により固定されていることが明らかになった。一方で、還元末端側の糖は特異的な相互作用を持たずに分子間のクレフトに位置し、動きを持つ様子が示された。このことは、Dac は非還元末端糖以外の部分については基質特異性が低いと

いうことを示している。すなわち、Dac は多様な化合物を基質として触媒活性を有し、そのすべての反応に対して MPG が阻害剤として有効であることが示唆された。DAA に関しては、立体構造解析のための結晶化スクリーニングを行い、最適化条件を決定し、X線回折データを得た。また、酢酸の定量による活性測定法を確立し、各種基質に対する特異性を明らかにする研究に着手した。

【領域名】生命工学

【キーワード】デアセチラーゼ、分子動力学、阻害剤

【研究題目】セルフアセンブリスマートスキン層を持つ生分解性ポリマーの研究

【研究代表者】中山 敦好（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】中山 敦好、川崎 典起、山野 尚子、伊田 小百合（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

廃棄プラスチックによる海洋汚染などを解決するための一手段として生分解性プラスチックが注目されて久しいが、その普及はなかなか進まない。その原因の一つとして、使用中でも生分解が進行、物性の劣化を引き起こす点にある。初年度、可視域にまで吸収帯を有する光触媒が持つ弱い酸化力に起因する抗菌力が生分解抑制に効果的であることを示した。今年度は、バイオマスから容易に合成され、かつ、良好な生分解性を有するポリアミド4に光触媒を配合し、その効果について調べた。

ポリアミド4は、常法に従い合成し、再沈殿法で精製した。光触媒は酸化チタンを用い、溶媒キャスト法でコンポジットフィルムを作成した。生分解性は活性汚泥を用いて評価し、重量減少、消費酸素量の定量などで行った。また、土壌生分解試験では育苗ポット中の土壌表面に試料フィルムを並べ、土壌水分率を保持して試験を行い、一定期間ごとに重量測定した。光触媒を含有する生分解性プラスチックは、通常、光照射条件下で光分解が進行し、分子量低下を引き起こすが、本樹脂は蛍光灯を光源とする光照射の前で分子量は変化しなかった。また、光触媒を高濃度に添加しても同様の結果となったことから、本光触媒による光劣化は小さいといえる。フィルムを活性汚泥を含む培地中に浸すと、暗所では速やかな生分解が進行するが、光照射下では明らかに生分解が抑制された。光触媒濃度、光量、フィルム厚等の条件が生分解に及ぼす影響について結果を得た。

【領域名】生命工学

【キーワード】生分解制御、ポリアミド4、光触媒、抗菌

【研究題目】神経堤細胞の進化的起源

【研究代表者】大塚 幸雄（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】大塚 幸雄（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、脊椎動物に固有な形質である神経堤の進

化的起源を探っている。神経堤は神経板と予定表皮領域の境界（神経板境界）に生じることから、脊椎動物に最も近縁な無脊椎動物であるホヤの神経板境界がどのように形成され、そして分化するのかを明らかにすることで神経堤の進化的起源に迫る。昨年度の研究により、ホヤ神経板境界には神経堤細胞と同様に移動性を示す細胞が存在することを明らかにした。そこで本年度は、そのホヤ移動性外胚葉細胞の移動および分化メカニズムについて研究を行った。

まず初めに、卵膜に局在するテスト細胞がホヤ移動性外胚葉細胞の移動に関与するのかについて調べた。浸透圧ショックによりテスト細胞を死滅させた胚で移動性外胚葉細胞の移動が起こることから、テスト細胞は移動性外胚葉細胞の細胞移動に関与しないことが判明した。

次に、移動性外胚葉細胞の分化メカニズムについて調べた。FGF シグナルを阻害した胚における移動性外胚葉細胞の分化を調べたところ、FGF シグナルは初期囊胚期に移動性外胚葉細胞の末梢神経細胞への分化を誘導する一方で、神経胚期には末梢神経細胞への分化を抑制していることが分かった。また、移動性外胚葉細胞の分化には FGF シグナルに加え、Nodal およびレチノイン酸シグナルが重要であることも明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】神経堤細胞、神経板境界、細胞移動

【研究 題目】睡眠障害モデルマウスをプラットフォームとした包括的ストレス疾患改善の基盤研究

【研究代表者】宮崎 歴（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】宮崎 歴（常勤職員1名）

【研究 内容】

ストレスにより生ずる睡眠障害の性向を示すモデルマウスを作成する手法を確立してきたが、本研究課題では、そのモデルマウスを用いて、睡眠リズム障害を引き起こすメカニズムにアプローチするとともに、精神疾患やメタボリックシンドロームなどの特徴をモデルマウスがもっているかどうかを検証することを目的としている。さらにこれらの疾患を改善するような天然化合物や食品成分の探索を進めることも目指している。本年度は、睡眠障害モデルマウスにおける炎症性の変化を検証するために、ストレス負荷したマウスから白血球を単離し、血球における免疫応答関連遺伝子の発現変化を解析した。その結果、睡眠障害モデルマウスでは IL-1 β 、IL-1ra、IL-1 α の遺伝子発現がいずれも上昇していることが確認された。このことは、ストレス性睡眠障害の状態にあるマウスの体内のいずれかの組織においても炎症があることを示唆するものである。また、アルツハイマー発症型マウスに対して PAWW ストレスを負荷し、睡眠を障害させる実験を行い、中途覚醒の頻度が高いことでタウタンパク質の沈着蓄積が顕著となり、ストレスによる睡眠

障害がアルツハイマー発症の憎悪因子となることが確認された。さらに体温をモニタリングするデバイスを用いて、急性のストレス応答性を評価するマウスモデル系の検討も行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ストレス、睡眠障害、精神疾患、モデルマウス、アルツハイマー

【研究 題目】狭食・狩猟性アリ類の神経毒の餌動物ナトリウムチャンネルに対する適応変化の検証

【研究代表者】稲垣 英利（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】稲垣 英利（常勤職員1名、他4名）

【研究 内容】

国内において、アギトアリ（*Odontomachus monticola*）、オオハリアリ（*Pachycondyla chinensis*）、ハシリハリアリ（*Leptogenys confucii*）のサンプリングを行った。アギトアリ、オオハリアリについては、毒腺から total RNA を抽出し、次世代シーケンサーによってトランスクリプトーム解析を行った。同時に、アギトアリの毒液を逆相クロマトグラフィー（C8）で分離した後、質量分析器によりピークフラクションの精密質量を測定した。

その結果、トランスクリプトーム解析からは6種類の新規ペプチド系毒素を同定することができた。これらのペプチドのトランスクリプトーム解析から推定される質量と、毒液から精製したペプチドの質量分析の結果の多くは一致した。さらに、化学合成した6種類のペプチド系毒素は抗菌性、溶血性などを示した。現在、これらのペプチドに加えて2種類の神経毒様ペプチドの、ハエ・ナトリウムチャンネルに対する阻害活性を測定している。

オオハリアリの毒腺のトランスクリプトーム解析からも、複数の神経毒様ペプチドが見つかっており、これらについても順次、組換え体を作成しナトリウムチャンネルに対する阻害活性を測定する予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】アリ、トランスクリプトーム解析、ナトリウムチャンネル

【研究 題目】好塩、好アルカリ・ハロモナス菌による有機酸生産に向けた極限菌との代謝解析

【研究代表者】河田 悦和（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】河田 悦和、下園 詔子、藤田 正樹（常勤職員1名、他2名）

【研究 内容】

持続可能型社会実現には、エネルギーや化成品を非食糧バイオマス資源から生産することが課題である。独自に見いだしたハロモナス菌 *Halomonas* sp. KM-1は高塩、高 pH 環境で生育し、他の菌のコンタミを認めない。C6糖、C5糖、糜グリセロール等の各種炭素源を利用し、

好気条件では菌体内にバイオプラスチック PHB を蓄積し、微好気条件に移行すると、蓄積した PHB を分解し、モノマーの3-ヒドロキシ酪酸を著量分泌する。さらに、炭素、窒素、微量金属などをコントロールすることで、各種有機酸を分泌生産すること、この分泌が、一部のハロモナス菌に共通することを見出した。そこで、ハロモナス菌や好塩菌等の代謝物の違いを分析し、工業原料として利用が期待される有機酸・代謝中間体の生産に役立つことを研究の目的とする。昨年度は著量のピルビン酸の分泌生産を見いだしたが、今年度は、耐塩性向上の観点から、培地の塩 (NaCl) 濃度を上昇させた場合に、クエン酸が分泌することを認め、この結果を学会発表、特許提出などを行った。今後、これらの有機酸の分泌に関与するメカニズムが好塩菌に共通か、さらにどのような代謝系が関与しているのかについて検討していく予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 ハロモナス菌、極限菌、代謝解析、有機酸

【研究 題 目】 加齢に伴う睡眠障害性代謝異常のメカニズムの解明と時間栄養学的予防・改善方法の開発

【研究代表者】 大石 勝隆 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 大石 勝隆 (常勤職員1名、他5名)

【研究 内 容】

摂食リズムの乱れによる代謝異常の分子メカニズムを解明するために、高インスリン血症と高レプチン血症に着目してマウスを使った研究を行った。非活動期のみ給餌を行う時間制限給餌の結果、インクレチン GLP-1 の過剰分泌が誘導されることを明らかにし、GLP-1 の過剰分泌によって高インスリン血症が誘導されている可能性が考えられた。摂食リズムの乱れが、短期間のうちにレプチン抵抗性を惹起している可能性を検証するために、10日間の時間制限給餌の後にレプチン投与を行い、摂餌量及び体重の減少効果を調べた結果、活動期の時間制限給餌では、レプチン投与による摂餌量や体重の減少が認められたにもかかわらず、非活動期の時間制限給餌では、レプチン投与による影響が認められず、レプチン抵抗性が惹起されている可能性が示された。

時間栄養学的代謝改善法の開発においては、魚油の持つ脂質代謝改善機能に着目し、摂取時刻の違いによる機能性への影響を明らかにする目的で、マウスを用いた検討を行った。脂肪肝やメタボリックシンドロームの原因と考えられている果糖過剰食を自由摂取させ、朝食時間帯 (朝摂取群) あるいは夕食時間帯 (夕摂取群) にのみ魚油を含む果糖過剰食に切り替えた。朝摂取群では、夕摂取群に比べ、血中及び肝臓中の中性脂肪量や、脂肪酸合成系遺伝子の発現量が有意に減少していた。朝食時の魚油の摂取により、その機能性が高まるものと期待され

た。今後はそのメカニズムの解明を目指す。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 体内時計、食リズム、睡眠、生活習慣病

【研究 題 目】 セルロース繊維に蛋白質機能を付与する基盤技術開発

【研究代表者】 星野 英人 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 星野 英人 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

超耐熱性キチン/セルロース結合ドメイン (hCBD) をタンパク質機能のアダプターとして用いて、1) オリジナル技術の“hCBD-BAF/セルロース基材複合材”を活用したプロテアーゼ活性センサー技術を実用化レベルに高める、2) hCBD を介して“タンパク質機能”をバイオマス繊維基材に付与する成功事例を増やし、バイオマス繊維素材の高機能化技術としての汎用可能性を検討することを目的として当該課題を遂行した。

1) に関しては、一般的な風邪ウイルスのプロテアーゼである HRV-3C を対象とした予備研究から抽出された、セルロース基材からのセルロース繊維の脱落に依存する、発光活性の高いバックグラウンド軽減の取組を市販セルロース基材製品から、ベターな製品を選択するに至った。また、風邪ウイルスよりも社会的な訴求性がある SARS コロナウイルスを対象としたプロテアーゼ活性の検出系の検討のため、当該プロテアーゼの大腸菌での発現と精製を開始し、プロテアーゼ活性の確認には至っていないものの、概ね順調に進めることができた。

2) に関しては、ストレプトアビジン (SA) 派生体を最初の候補タンパク質として考え、Strep-tagII を有する“タンパク質を選択的に捕捉する紙”の開発を狙ったが、hCBD-SA 派生体融合蛋白質の大腸菌発現が不調であり、当該課題解決に難航している。劇的な改善の見通しが立たないため、当該年度途中で当初次年度計画に想定していた“hCBD を介して紙素材に抗体を選択的に固着させる取り組み”を前倒して開始した。これまでのところ、概ね順調に進められている。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 バイオマス繊維、蛋白質、複合材料

【研究 題 目】 ゲノム編集ニワトリを用いたヒト抗体医薬大量生産技術の開発

【研究代表者】 大石 勲 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】 大石 勲、吉井 京子
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

鶏卵バイオリクターを用いた安価な抗体医薬製造法の開発、検証を目指して抗体医薬 (トラスツズマブ) 遺伝子を卵白タンパク質オボアルブミンの遺伝子座にノックインしたニワトリの作製を試みた。オボアルブミン翻訳開始点より上流約2.8 kb、下流約3.0 kb の間に人工合

成したトラスツズマブ遺伝子（重鎖および軽鎖から構成される）ならびに薬剤耐性遺伝子を挿入したドナーベクターを構築した。次にニワトリ始原生殖細胞株（雄型、ハイラインマリア種由来）に対し CRISPR/Cas9法によりオボムコイド翻訳開始点近傍を切断し同時に細胞に導入したドナーベクターのノックインを行った。薬剤耐性遺伝子で始原生殖細胞の選択を行った。細胞を一部回収し、ゲノム DNA を抽出した後に PCR 法によって期待する遺伝子ノックイン細胞が取れているか検証を行い、ノックイン細胞が存在することを確認した上で生殖巣キメラヒヨコの樹立を行った。レシピエントとなる受精卵を4-6Gy のガンマ線照射によって内在性始原生殖細胞の大部分を不活化させた後に一胚当たり2000個以上の始原生殖細胞を移植した。移植は孵卵操作後2.5日、Hamburger and Hamilton (HH) stage13-15の間で行った。7羽の雄個体を孵化させ、性成熟に至るまで飼育を行った。キメラ個体より精液を採取し、ゲノム DNA を調製後、定量 PCR により各生殖巣キメラ由来精液におけるドナー寄与率の高低（相対値）を検討した。最もドナー寄与率が高い群は内部標準である GAPDH と同等のシグナル強度を示しており、交配によりノックイン後代が得られると強く期待される。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ゲノム編集、ニワトリ、遺伝子組換え、組換えタンパク質、ヒト抗体生産

【研究 題 目】ダイニン・微小管・DNA 折り紙複合体の構築による軸系ダイニンの力発生機構の研究

【研究代表者】広瀬 恵子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】広瀬 恵子、Rofia Boudria
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

軸系外腕ダイニン分子は、2-3個の異なるモータードメインをもち、負荷に応じて力発生機能を調節することによって鞭毛・繊毛の周期的屈曲運動に働くが、分子を構成する複数個のモータードメイン間の協調や負荷に対する応答の仕組みはわかっていない。本研究では、二本の微小管の間に外腕ダイニン分子が規則的に並んだ複合体を作成し、ここに微小管同士を架橋する構造を付加することにより運動中の複合体の解離を防ぎ、力発生中のダイニンを電子顕微鏡観察できるような系を構築する。構造を急速凍結固定して低温電子顕微鏡法で解析し、負荷のかかった状態で運動する軸系外腕ダイニンの構造変化を高分解能で明らかにすることを目指している。

本年度はまず、クラミドモナス鞭毛およびウニ精子鞭毛から抽出した軸系外腕ダイニンを、*in vitro* で重合した微小管に結合させて複合体を作成し、二本の微小管の間にダイニンが一行に規則的に並ぶような条件を検討した。さらに、力発生時に微小管が滑り合って複合体が解

離するのを防ぐため、複合体を構成する微小管同士を架橋する構造体を、DNA 折り紙法を用いて作成した。長さ80 nm 程度の棒状の DNA 折り紙構造体をデザインし、これを複合体の微小管に結合させることにより、架橋構造の位置を電子顕微鏡で明確に観察できるような系を作成することができた。このような架橋構造を加えることにより、ATP を加えた時に起こる複合体の解離を防ぐことができることを確認した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】分子モーター、細胞骨格、DNA 折り紙、電子顕微鏡、生物物理

【研究 題 目】表面プラズモン増強効果を利用した細胞内分子マニピュレーション手法の開発

【研究代表者】細川 千絵（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】細川 千絵（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、表面プラズモン増強効果を利用した新規光マニピュレーションにより、細胞表面の分子のみを局所的に操作するマニピュレーション技術を開発し、細胞内の高次操作へと応用する。これまでに、表面プラズモン共鳴効果を利用した細胞表面分子マニピュレーションを実証するため、神経細胞表面に局在している神経細胞接着分子の高効率な光捕捉や単一ナノ粒子の捕捉力の増大について検証した。今年度は、これまでの研究成果をまとめ、プラズモニックチップを用いた光ピンセットの有用性を示した。プラズモニックチップとして、カバーガラス上にピッチ500 nm の二次元周期構造を作製し、金属層（銀、または金）と消光抑制層（シリカ層）を成膜したものを使用した。金を成膜したプラズモニックチップ上でラット海馬由来神経細胞を培養したところ、銀を成膜したチップ上での培養と比較して細胞培養に対する耐性が高く、3週間以上の長期培養が可能であることを見出した。神経細胞シナプス表面に局在する AMPA 型グルタミン酸受容体分子に対して特異的に結合する抗体、および蛍光性量子ドット (QD) を標識し、免疫蛍光染色により神経細胞表面に局在する AMPA 受容体を可視化した。波長1064 nm の光ピンセット用レーザーを細胞表面に集光し、QD 標識 AMPA 受容体の蛍光相関分光測定を行った結果、集光領域における分子の平均滞在時間は、カバーガラス上で培養した細胞での結果と比較して長い傾向がみられ、表面プラズモン共鳴効果に基づく光捕捉力の増大が示された。今後、本手法を用いた神経伝達過程の可逆的操作への展開が期待される。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】表面プラズモン共鳴、光ピンセット

【研究 題 目】脳内の標的に特異的かつ高効率な非浸襲送達を可能にする新規高分子タンパク医薬の創出

【研究代表者】近藤 哲朗（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】近藤 哲朗（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、中枢神経系を標的とした高分子バイオ医薬の開発に基盤技術的側面から貢献することを目指している。抗体医薬をはじめとするタンパク医薬・バイオ医薬は、その特異性および治療効果から世界の医薬市場で需要が急増しているが、その多くは中枢以外の組織のがん（血液のがん、大腸癌、肺癌、乳癌など）や関節リウマチ等を対象としている。一方、中枢の疾患に対しては、それらに関わる責任分子を直接的な対象として実用化に成功したタンパク医薬・バイオ医薬は極めて少ない。とくにアルツハイマー病をはじめとする神経変性疾患や卒中・脳腫瘍など、高齢社会が抱える深刻な中枢疾患に対しては、特異抗体やサイトカイン等を設計した高分子タンパク医薬が次世代の中枢薬として期待されているものの、血液脳関門の存在が大きな障壁となっているため、中枢以外の組織を対象とした抗体医薬・高分子医薬と比べ、開発が遅れている。高分子医薬を脳に投与するには、現状では穿頭・開頭等の外科手術を必要とすることが多く、患者にかかるストレスは無視できない。本研究では、これらの問題を解決するために、進化工学的手法を応用し、脳へ非侵襲的に投与することができる中枢標的型の高分子タンパク医薬の創出を目指した基盤技術の開発を行った。本年度はとくに中枢神経系の持つ本来の生理機構を応用した新しいスクリーニング系を構築し、標的とする中枢生理作用特異的な機能モチーフを極めて迅速かつ効率的に創出できる新技术を開発した。

【領域名】生命工学

【キーワード】脳、抗体医薬、高分子医薬、進化工学

【研究題目】音源付近の加圧により音声明瞭度を向上させる現象の解明

【研究代表者】添田 喜治（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】添田 喜治（常勤職員1名）

【研究内容】

昨年度は、2種類のオルゴール、既製のスピーカー、携帯電話を音源として、4種類板を用い、厚さ、曲げの強さが異なる条件で、音源付近の加圧により、音圧と繰り返し成分が増加する現象を再現し、厚さ0.5 mmの亚克力板が最もよく現象を再現できることを明らかにした。しかし、実用的と言える程度の音圧レベルや音声明瞭度の改善効果が見られなかったことから、今年度は、音源の振動部分に直接板を接触することで、実用的な音圧レベルや音声明瞭度の改善効果を得ることを目指した。

効果的に圧力を加えるために、動電型（ダイナミック）スピーカーの試作を行った。スピーカーユニットに亚克力板を取り付けたり、エンクロージャーに亚克力板を挿入し、その形・大きさ・曲げ強度を変えて、発生する音を録音した。録音した音の音圧レベル、自己相関関

数の有効継続時間の解析を行ったが、スピーカーユニット、エンクロージャーのどちらの場合も、音圧レベルや音声明瞭度の向上は見られなかった。これは、スピーカーの振動が亚克力板に効果的に伝わっていないためと考えられ、音源の加圧方法を再検討中である。

スピーカーユニット、エンクロージャー以外の要素が、スピーカーから発生する音に及ぼす影響を検討するために、電源、電源タップ、オーディオインターフェースの電源ケーブル、アンプの電源ケーブル、録音用ハードの電源ケーブルを数種類使用して、聴感印象の違いを調べた。その結果、特にバッテリー電源を用いると、ノイズ感が少なく音を再生できることがわかった。

【領域名】生命工学

【キーワード】加圧、音圧レベル、音声明瞭度

【研究題目】Toxin-antitoxin 分子基盤の解明と核酸編集技術・細胞応答制御への応用

【研究代表者】横田 亜紀子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】横田 亜紀子（常勤職員1名）

【研究内容】

【目標】

原核生物におけるプログラム細胞死を担うトキシン（毒素）-アンチトキシン（抗毒素）（TA）システムの中で、特異的な RNA 配列を認識・切断するトキシンと、その標的 RNA ならびにアンチトキシンの分子認識機構を調べ、核酸編集技術・細胞応答制御に応用することを目的とする。具体的には、制限酵素として働くトキシン（RNA interferase）の標的 RNA 配列を同定するとともに、新規抗菌剤の開発を視野に入れ、病原菌に内在するトキシンを活性化して細胞死を誘導しうるメカニズムの解明を行う。さらに、特異性変換等の新たな機能を有する RNA 制限酵素の創製（分子学的ツールへの応用）を目指す。

【研究計画】

様々な生物種由来の TA 遺伝子群の中からトキシンとアンチトキシンを選定し、そのタンパク質分子を調製する。その後、長鎖 RNA と反応させ、認識・切断された RNA 配列を同定し、複数種の新規 RNA interferase を獲得する（RNA 制限酵素ライブラリーの構築）。さらに、配列情報や活性データを利用した新規酵素の設計と、病原菌トキシン活性化（標的 RNA の認識・切断の促進）因子の探索を行う。

【年度進捗状況】

平成28年度は、昨年度に認識配列を同定することに成功したトキシンについて、アンチトキシン分子を調製し、その混在下における RNA 切断活性阻害を確認した。また、新たに複数の病原菌由来トキシンを取得し、RNA 認識配列を同定することに成功した。さらに、病原菌トキシンの活性化因子の探索するための、細胞外致

死因子スクリーニングシステムの構築について検討を重ね、そのシステムの設計がほぼ完了した。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕核酸、タンパク質、分子認識、細胞応答制御

〔研究 題目〕神経の微細観察系を新たに構築し、アンジェルマン症候群の病理解明を目指す研究

〔研究代表者〕海老原 達彦
(バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕海老原 達彦 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

アンジェルマン症候群 (AS) は、重篤な発達遅滞を主症状とする先天性疾患であり、原因遺伝子及び Ube3a と特定されている。このため、先天性疾患の中では遺伝子と発症メカニズムの解析を進めやすい部類と思われるが、病理に関する分子メカニズム解明が遅れている。一方、疾患として重篤であることから、少しでも治療効果が上がれば患者と家族の QOL 上昇が見込まれる。本研究では、この疾患の病理研究で手薄となっている、発症の分子メカニズム解明を最終目標として、その端緒として神経細胞レベルでの発症の再現とその病態可視化に挑戦する。そのために、以下二通りのアプローチを行う。

適切な神経観察系の構築を目指して、マウスの海馬錐体細胞を培養し、遺伝子 (主として Ube3a) の核内分布解析を行う。Ube3a 近傍は、大脳神経細胞に限って父系母系染色体の発現活性やメチル化状態が異なっていることが分かっている。恐らくそれを反映して、対立遺伝子の分布が僅かに異なると想像している。超解像顕微鏡や ASEM (大気圧走査電顕) を用いて、分布及び周辺環境を解析する。

母系の Ube3a 遺伝子の欠損或いは機能不全により、AS を発症する。大脳新皮質や海馬の錐体細胞に限って、父系の Ube3a の発現が強く抑えられている。この状態を再現し、かつ IRES/レポーターを組み込んで発現状態をモニターできるモデルマウスを作製する。

現時点で、ASEM による核内染色条件を検討している。今年度は蛍光による核内観察を行うと共に、モデルマウスの作製に着手した。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕神経発生、神経病理、エピジェネティクス

〔研究 題目〕電子線励起の蛍光観察を水中にて実現し、がん細胞や微生物の微細解析を目指す研究

〔研究代表者〕佐藤 主税 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕佐藤 主税、海老原 達彦、岡田 知子

(常勤職員3名)

〔研究 内容〕

目標:

薄膜により水中のサンプルを電顕カラムの真空から隔離し、直接観察することを可能にした大気圧走査電子顕微鏡 (ASEM) をそのまま用いる。その励起蛍光の観察を実現するために、電子線励起に適した蛍光物質を発見することを目指す。我々が新規に開発した大気圧走査電子顕微鏡 (ASEM) は、3.5 cm ディッシュ上の水中サンプルの観察が可能である。これをさらに改造して、電子線に励起された蛍光の観察実現を目指す。これによって細胞内の微細構造やタンパク相互作用の解析が容易になると見込まれる。さらに、微生物やがん細胞の解析着手も目指す。

研究計画:

a) 蛍光物質ごとの電子ビームに対する特性の解析」及び「b) 細胞などの微細構造解析」を、並行して進める。

前者 a) は Alexa, Q-dot 等の蛍光ビーズについて、EM-CCD を搭載した ASEM にて電子線による励起蛍光を観察し、電子線密度やビーム電位ごとの蛍光強度と退色を測定することで、物質毎の最適条件を検討する。蛍光フィルターレベルで、蛍光の“色”も確認する。蛍光ビーズであれば、EM-CCD でもこの程度の調査は可能と期待している。

後者 b) は培養神経細胞、微生物について、現行の ASEM による微細解析を進める。それぞれについて、免疫染色による ASEM 電顕像及び従来の蛍光顕微鏡像の比較を進め、電子線励起による効果的な観察対象や方法を探索する。

年度進捗状況:

これまでの電子顕微鏡による水中観察では、電子線で高効率励起が可能な蛍光物質が見つかっていないために、多色観察は実現していない。ここでは適した蛍光物質を目指し、酸化亜鉛 ZnO の粒子を観察した。ZnO 粒子では EM-CCD と通常 CCD の両方で明解な蛍光が検出でき、EM-CCD では micro meter レベルの極めて小さな ZnO 粒子が観察できた。次にタンパク質蛍光6種類、Alexa, Q-dot のスクリーニングを行った。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕電子顕微鏡、電子線励起、光電子相関顕微鏡、転移性がん細胞

〔研究 題目〕核酸配列上での発光分子構築反応の開発と遺伝子検出技術への応用

〔研究代表者〕小島 直 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕小島 直 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

本研究課題では、miRNA 等の鎖長の短い核酸配列を高感度に検出可能な遺伝子検出技術の開発を目指し、遺

伝子の検出技術としては未開拓であった生物発光を利用した新しいシステムを構築する。そこでまず、配列情報を生物発光シグナルに変換するための新規核酸プローブを作製する。蛍光を利用する従来の遺伝子検出法では、蛍光分子が導入された核酸プローブが汎用されているが、細胞内ではタンパク質等の様々な夾雑物質が自然蛍光を有しているため測定の障害となり、高感度な検出には限界があった。生物発光はバックグラウンドの影響を受けないため、高感度な検出が可能になると期待される。

昨年度は、遺伝子配列情報を生物発光に変換するシステムとして、標的遺伝子上で発光基質（ルシフェリン）を化学的に構築する“発光基質構築型核酸プローブ”の開発を進めた。研究2年目となる H28年度は、標的遺伝子配列への結合を引き金として生物発光分子を放出する“発光基質放出型核酸プローブ”の開発を目指し、核酸プローブの構築に必要な分子の化学合成を行った。現在、核酸プローブの作製を進めており、平成29年度末までには開発したシステムの検出効率・検出感度等の検証を行い、これらの結果を従来の蛍光を用いた検出法（TaqMan Probe 法、QProbe 法）と比較して、本手法の優位性を明らかにする計画である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 核酸化学、生物発光、分子プローブ、生体分子計測

【研究 題目】 強力な鎮痛作用を示す新規オピオイド受容体核酸リガンドの創製と分子作用機序の解明

【研究代表者】 池本 光志（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 池本 光志、（常勤職員1名）

【研究内容】

G Protein Coupled Receptors (GPCRs) は、生命維持に必須な生理機能の発現に関与する7回膜貫通型受容体であり、主要な創薬標的因子である。特に、主要な鎮痛関連 GPCR である MOR オピオイド受容体 (MOR) は、耐性依存性を示さずに強力な鎮痛効果を示す新規リガンドの開発を進める上で重要な標的受容体である。本研究は、鎮痛創薬に向けた GPCR 関連創薬技術開発を目的とし、GPCR 結合 DNA アプタマーの効率的探索方法ならびに高親和性 GPCR 結合アプタマーの創製を試みた。最初に、薬物（テトラサイクリン）依存性 MOR 発現誘導293安定細胞株に改良型 Cell SELEX 法を適用し、40塩基長の任意配列を含む76塩基長の一本鎖 DNA ライブラリーから、MOR に特異的に結合する DNA アプタマー (Apt-MOR) の探索を実施した。MOR 受容体への DNA アプタマー結合活性を指標にスクリーニングを実施した結果、Apt-MOR を同定した。Apt-MOR は、MOR 発現細胞のみに特異的かつ高親和性に結合し、MOR 活性化指標である cAMP 産生抑制能を示したことから、MOR に対してアゴニストとして作用する分子と

考えられた。また、Apt-MOR の鎖長の最適化を行い、30塩基以下に短鎖化することに成功した。一方、独自に開発した GPCR 結合核酸リガンドの新規探索法を用いることにより、数回のスクリーニングによって Apt-MOR を同定することに成功した。従って、新規核酸アプタマー探索方法および Apt-MOR は、GPCR 関連鎮痛創薬開発における有用なツールとなり得ることが示唆された。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 核酸アプタマー、鎮痛、7回膜貫通型受容体 (GPCRs)、オピオイド、創薬

【研究 題目】 シンプル且つ高機能な DNA/RNA キメラ型核酸アプタマーの技術基盤の構築

【研究代表者】 宮岸 真（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】 宮岸 真（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

核酸アプタマーの新規取得法として、次世代シーケンサーを用いた One Step Selection 法の開発を行っている。本研究課題では、この手法を用いた DNA/RNA キメラ型核酸アプタマーの基盤技術の開発研究を提案する。核酸アプタマーは大別して DNA アプタマーと RNA アプタマーがあるが、DNA アプタマーは安定であるが、認識能が乏しいこと、RNA アプタマーは認識能が高いが、ヌクレアーゼ等により壊れやすいことが大きな課題となっている。この問題を解決するために、本研究課題では、両者の長所を併せ持つ、認識能が高く生体内で安定な DNA/RNA キメラ型核酸アプタマーの技術基盤開発を行う。

今年度は、モデル系を用いて、DNA/RNA キメラ型ライブラリーの設計に関する検討を行った。まず、核酸ライブラリーとして、次の4つの17塩基の領域をランダム化したライブラリーを構築した。1) 1塩基ごとに RNA を挿入するライブラリー、2) 2塩基ごとに RNA を挿入するライブラリー、3) 3塩基ごとに RNA を挿入するライブラリー、4) CU のみを RNA とするライブラリー。これらのライブラリーを用いて、ストレプトアビジンに対して、One Step Selection 法によりセレクションを行い、濃縮した配列を次世代シーケンサーにより解析を行った。複数の濃縮配列に対して化学合成した候補アプタマーを合成し、結合を調べたが、強い結合能を示す候補アプタマーは得られなかった。次年度は、ライブラリーの設計、スクリーニング条件等の再検討を進めていく予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 核酸アプタマー、SELEX 法、検出法

【研究 題目】 アミロイドβオリゴマーによる認知機能障害に対する習慣的な運動の効果の解析

【研究代表者】 落石 知世（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 落石 知世、角 正美
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

ヒトは加齢とともに記憶力や学習効率が低下するが、運動によって高齢者の認知機能が改善されることはよく知られている。アルツハイマー病 (AD) 患者でもこれは例外ではないことから、薬による AD 治療法が未だに確立しない中、習慣的な運動は新たな治療的介入の一環として注目を集めている。AD の発症原因として、神経細胞から細胞外に分泌されたアミロイドβタンパク質 (Aβ) が異常凝集し老人斑を形成することに起因するとするアミロイド仮説が提唱されてきた。しかし最近、細胞外での Aβの沈着より細胞内の Aβオリゴマーがより強い毒性を示すことが示唆されている。個体に対する運動は海馬歯状回の神経新生を促進し、これが認知機能の改善に繋がるといわれている。Aβオリゴマーは神経新生に対し促進作用を示すという報告と、逆に抑制作用を示すとする報告があり、この作用の違いは Aβの重合状態に依存する可能性が高いと考えられる。我々が開発した新規モデルマウス (Aβ-GFP マウス) は、細胞内に Aβオリゴマーが発現し、シナプス機能を低下させ、生後2~3ヶ月齢で既に記憶障害を呈する。本年度はこのモデルマウスの認知機能が運動によってどのように変化するかを解析した。生後3か月齢のマウスを用いて回転かごによる自発的運動負荷を7週間行った。運動期間終了後直ちに物体再認テスト及びモリス水迷路を行い、空間認知能力や記憶力の運動による変化を解析した。その結果、Aβ-GFP マウスの認知機能に明らかな改善が認められた。今後、このマウスの脳内で自発的運動によって発現が変化するタンパク質の同定などを行う予定である。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 アルツハイマー病、アミロイドβタンパク質、習慣的運動、シナプス

〔研究題目〕 抗体のミスフォールディング情報を出力する交差反応性分子ライブラリの創製

〔研究代表者〕 富田 峻介 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 富田 峻介、石原 紗綾夏
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

一般に抗体は不安定であるため、製造から投薬までの各過程において様々な経路でミスフォールディングして劣化しやすい。したがって、抗体製品の安定な生産法を確立するには、サンプルに含まれる抗体の状態評価が鍵となる。本研究では、抗体のミスフォールディング情報を出力した“フィンガープリント”を利用することで、一回のアッセイで簡易にミスフォールド抗体組成を同定できるセンシング法の開発を目指す。本年度はミスフォールド抗体のフィンガープリンティングに適した分子群

の設計を試みた。

酵素や合成高分子など様々な材料のスクリーニングを行った結果、3'末端に蛍光団を修飾した一本鎖 DNA (ssDNA-TAMRAs) とナノサイズの酸化グラフェン (nGO) からなる複合体群が有効であることを見出した。ssDNA-TAMRAs と nGO を混合すると、複合体を形成して ssDNA 由来の蛍光が消光する。異なる配列を有する6種類の ssDNA-TAMRAs と nGO からなる複合体群を、それぞれマイクロプレート中でアレイ状に配置したセンサーを準備し、ここに天然状態・変性状態・凝集状態のヒト由来抗体 (イムノグロブリン G およびオマリズマブ) を加えた。その結果、各種抗体と ssDNA-TAMRAs/nGO 複合体間の競合的な相互作用の強弱を反映した蛍光フィンガープリントが得られた。線形判別分析によって、得られたフィンガープリントを解析したところ、抗体の種類に関わらず各状態を高精度に識別することができた。また、本センシング法は、3つの状態の抗体混合物の識別にも利用できることが明らかになった。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 抗体、バイオセンサー、酸化グラフェン、DNA、機械学習、高分子

〔研究題目〕 Multi-step 細胞融合による複合遺伝子回路の構築工法

〔研究代表者〕 福田 展雄 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 福田 展雄 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

合成生物学では、電子回路の集積手法をヒントとして、遺伝子パーツにより構成される遺伝子回路を組み上げ、それらを複合化することにより、高度な生命機能を創出することを目指している。しかし合理的 (情報工学的) な遺伝子回路の設計は不完全であるため、構築した細胞の表現型を確認して不十分であれば、問題点を明確化したうえで設計に戻って反映する必要がある。この試行錯誤のサイクルは現状では非常に緩慢であり、とくに細胞の構築プロセスには多くの時間・費用・労力を要する。そこで、ある機能単位を有する酵母細胞を接合させ、各酵母が有する遺伝子パーツを段階的に統合することで複合遺伝子回路構築の効率化を図る。

平成28年度は、遺伝子パーツを搭載した一倍体酵母を創製した。緑色または赤色蛍光タンパク質を発現する酵母株に加えて、人工転写因子を発現する酵母株を取り揃え、各酵母の蛍光特性の確認を行った。遺伝子パーツを搭載した一倍体酵母の接合型はすべてα型であり、この状態ではパーツの統合を行うことができない。そこで酵母の接合型をα型からa型へと変換するためのプラスミドDNAを構築した。当該プラスミドDNAを、各遺伝子パーツを搭載したα型酵母に導入したのち、特定条件下での培養とクローン単離を行うことで、それぞれa型酵母を作成することに成功した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 合成生物学、遺伝子回路、接合

〔研究題目〕 細胞への遺伝子導入の順序とタイミングの制御を可能にする遺伝子多重積層界面の作製

〔研究代表者〕 藤田 聡史（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 藤田 聡史（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、細胞を積層界面に播種するだけで、複数の遺伝子を様々なタイミングで細胞に取り込ませることができる手法の開発を進めた。

昨年度は、遺伝子多重積層界面の構築と安定化および遺伝子導入効率と細胞毒性の評価を行い、多重積層からの遺伝子導入タイミングの評価を主として進めた。カチオン性リポプレックス（プラスミド DNA とカチオン性リポソームの複合体）の混合比と、固相面からの遺伝子導入効率の関係を評価した。カチオン性リポプレックスとヒアルロン酸を交互に積み上げる事で20層の遺伝子多重積層（LbL: Layer-by-Layer）を作製し、その遺伝子導入効率と細胞毒性を評価した。その結果、積層回数が10回程度までは、遺伝子導入効率が向上するが、積層数が増えるほど、細胞接着面が柔らかくなり、細胞の基板面への接着が低下した。それに伴い、遺伝子導入効率も低下する傾向が観察された。

また、本技術を応用し、2種以上の遺伝子の発現を細胞毎で可視化する技術の開発を進めた。モデルとして、2種の遺伝子を個々に封入したリポプレックスを界面に固相化する際にその位置を制御する事で、1細胞毎に細胞に導入した遺伝子の種類を蛍光で検出する新たな手法の可能性を見出した。

本年度は、遺伝子導入のタイミングをずらすためのLbL 材料を複数検討する予定である。遺伝子導入の位置とタイミングを制御する技術を応用した実用化モデルの検討を今後進める。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 マイクロアレイ、遺伝子導入、Layer-by-Layer

〔研究題目〕 エマルジョンを利用したメタゲノミクスのための次世代型ゲノム再構築技術の開発

〔研究代表者〕 関口 勇地（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 関口 勇地、Tourlousse Dieter、

大橋 明子（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

自然環境や人工生態系には多様な未培養微生物群が存在しており、その機能の多くは未知なままである。その遺伝情報にアクセスするため、メタゲノム情報から個々の微生物群のゲノム情報を抽出、再構築するためのピニ

ング技術の開発が進められている。しかしながら、それらピニング技術は方法に付随する様々な問題が指摘されている。その問題を回避するため、本研究課題ではメタゲノム情報を得る際、各塩基配列情報に対し、それが由来する微生物の系統分類情報を物理的に付加する新しい技術を提供することを目的とした。本課題では、1) エマルジョン技術を利用した、16S rRNA 遺伝子と他のゲノム断片との融合技術の確立、2) 16S rRNA 遺伝子配列に基づきゲノム断片をグループ化する解析スクリプトの作成、3) 実環境試料に対する開発技術の適用を行い、最終的に環境試料（排水処理複合微生物系もしくはマウス糞便試料）より未培養微生物群を代表するゲノム情報の取得を実施する。平成28年度は、エマルジョン技術を利用した、16S rRNA 遺伝子と他のゲノム断片との融合技術の確立（課題1）、及び16S rRNA 遺伝子配列に基づきゲノム断片をグループ化する解析スクリプトの作成（課題2）を実施した。課題1では、16S rRNA 遺伝子の一部と他のゲノム断片が融合したキメラ DNA を作製する工程の開発に注力した。このキメラ DNA の生成には、エマルジョン技術を利用し、一つの液滴に1細胞の原核微生物をトラップした後、その液滴中で16S rRNA 遺伝子の増幅と、その上流もしくは下流に存在するランダムなゲノム断片を付加する技術開発の検討を実施した。また、課題2では、得られるシークエンスデータから付加してある16S rRNA 遺伝子配列に基づきゲノム断片情報を抽出、アセンブルするための解析パイプラインを整備した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 ゲノム解析、難培養微生物、メタゲノム

〔研究題目〕 細胞が組織に占める位置情報を保持したままエピゲノム情報を可視化する方法の開発

〔研究代表者〕 佐々木 保典

（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕 佐々木 保典（常勤職員1名）

〔研究内容〕

目標：

初期胚では、ごく少数の細胞がエピゲノム動態に影響を及ぼし合い分化・発生が進行する。これら細胞間の機能的多様性を生み出す分子機構を理解するために、細胞が組織に占める位置と形態情報を保持したままエピゲノム動態を可視化する1細胞解析法を開発する。

研究計画：

①クロマチン修飾あるいは DNA 結合因子が結合したゲノム領域の認識、②標的ゲノム領域の限定、③「同時検出」：①と②の部位が近接している場合に限定したシグナル増感・検出、これら①から③のそれぞれについて試薬や反応条件等を最適化して方法論を確立する。その後、ヒト ES 細胞の X 染色体不活性化、およびカエル

神経管発生の実験系で有効性を実証する。

年度進捗状況：

NEAT1遺伝子座における、nascentNEAT1 RNA と RNA 結合タンパク質 NONO との相互作用が知られている。そこで NEAT1遺伝子座と NONO タンパク質間の相互作用検出を試みた。これら NEAT1遺伝子座と NONO とを同時に抗体で認識したとき、これら二つの抗体はごく近傍にある。NEAT1遺伝子座を DNA プローブで認識し、そのプローブを抗マウス IgG 二次抗体で検出した。一方、NONO はウサギ抗 NONO 抗体と抗ウサギ IgG 二次抗体で検出した。これら二種の二次抗体について、近傍にあるペアのみ「同時検出」に成功し、それ以外の領域ではペアを成していないため、シグナルが検出されなかった。このように予備実験において NEAT1遺伝子座上に NONO のシグナルをマップできた。次年度以降は②標的ゲノム領域をさらに限定する方法論開発に取り組む。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞核内の微細構造、非コード RNA、遺伝子制御機構

【研究 題目】新規ストレスメディエーター12-HETE のシグナル伝達メカニズムの解明

【研究代表者】七里 元督（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】七里 元督（常勤職員1名）

【研究 内容】

マウスにストレスを負荷することで、脂質酸化酵素12リボキシゲナーゼによる酵素的酸化反応を介してアラキドン酸酸化物12-HETE（12-hydroxyeicosatetraenoic acid）が著増することを既に確認しており、最終目標は12-HETE のストレスシグナル伝達メカニズムを明らかにすることである。

昨年度12-HETE がストレスのメディエーターとして機能することを想定し、12-HETE のレセプターを介したシグナル伝達によってストレス反応が惹起されるとの作業仮説を立て、本仮説の立証を目的として12-HETE レセプター阻害剤をマウスに前投与しストレス負荷を行ったところ、ストレスに伴うマウスの応答反応（行動変化）が改善することを確認した。既報にてストレスに伴う行動変化には脳内モノアミンの変動が影響することが知られており、平成28年度は12-HETE レセプター阻害剤によるストレスに伴う脳内モノアミンの挙動変化を高速液体クロマトグラフィーにより解析した。その結果、ストレスによって増加する脳内モノアミン代謝産物が12-HETE レセプター阻害剤の投与によってストレス非負荷マウスと同レベルまで減少していることを見出した。脳内モノアミン代謝産物の増加は神経末端からのモノアミンの放出が増加していることを意味しており、脳内モノアミン代謝産物の減少は神経の活性化が抑制されていることを示した。以上の結果より、ストレスによって血

中で増加するアラキドン酸酸化物12-HETE がレセプターを介して脳内モノアミンの放出を誘導するという機構が存在する可能性が示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ストレス、脂質酸化物、脳内モノアミン

【研究 題目】炎症性疾患治療のための活性酸素除去能と細胞認識能を備えたタンパク質フィルムの開発

【研究代表者】山添 泰宗（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】山添 泰宗（常勤職員1名）

【研究 内容】

活性酸素を除去する酵素 Superoxide dismutase (SOD) は、安定性が低い事や活性酸素を分泌している好中球に到達しない事が問題となり、治療薬としての効果が不十分である。本研究では、SOD と抗体を用いて、活性酸素除去能と細胞認識能を備えたフィルムを開発することを目的とする。このフィルムを用いることで、積極的にフィルムと好中球を接触させ、分泌された活性酸素をフィルム内の SOD が即座に無毒化する新たな局所炎症性疾患の治療法の確立を目指している。本年度は主に、SOD と抗体を含有した微小なタンパク質フィルム（直径：約100 μm、厚み：数百 nm）が有する機能を評価した。このフィルムの機能評価のために、HL60細胞を分化させて活性酸素を分泌する好中球様細胞を調製し実験に用いた。好中球様細胞と微小タンパク質フィルムを混合し、顕微鏡で観察したところ、フィルムの良好な細胞の捕捉が見られ、フィルムに細胞を集積させることに成功した。細胞はフィルム全面に付着しており、直径100 μmの微小フィルムに約22個の細胞が付着していた。その後、フィルムに捕捉された細胞の活性酸素の分泌挙動を調べた結果、フィルムに捕捉されていないフリーの状態の細胞に比べて、周囲に分泌される活性酸素の量が70%減少することが分かった。これはフィルム内部の SOD が有効に働き、分泌された活性酸素の大部分を除去したためだと考えられる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】アルブミン、抗体、活性酸素、炎症性疾患、好中球、フィルム

【研究 題目】冬眠動物における骨格筋萎縮耐性メカニズムの解明とサルコペニア対策への応用

【研究代表者】中尾 玲子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】中尾 玲子（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究では、冬眠動物（シリアンハムスター）と非冬眠動物（マウス）に対して飢餓状態を模倣するとともに低体温を誘導する高脂肪・低炭水化物食（ケトン体食）を摂取させ、骨格筋への影響を分子レベルで比較することにより、冬眠動物特異的な筋量維持メカニズムの解明

を目指す。

初年度の試験において、ケトン体食摂取による体温低下の経日変動にマウス、ハムスター間で違いが見られたため、ケトン体食摂取中の体温調節機構に着目し、骨格筋特異的に発現する日周発現遺伝子 *Slc25a25* の熱産生機能と発現制御機構について解析を行った。*SLC25A25* はミトコンドリアに発現する ATP トランスポーターである。*Slc25a25* 遺伝子の発現は活動開始時間帯をピークとする顕著な日内リズムを示したが、その日内リズムは *Clock* 変異マウス、*Bmal1* 欠損マウス、坐骨神経を切除したマウスにおいて消失した。このため、*Slc25a25* 遺伝子は体内時計と神経系のシグナルを介して日周発現すると考えられた。次に、*Slc25a25* 分子と体温調節との関与について検討した。*Slc25a25* 遺伝子はケトン体食負荷によって発現が誘導されたが、坐骨神経切除によって発現誘導は消失した。熱産生臓器として知られる褐色脂肪組織における *Slc25a25* 遺伝子、*Ucp1* 遺伝子の発現量にはケトン体食や坐骨神経切除の影響が見られなかった。このとき、坐骨神経を切除しケトン体食を摂取したマウスの体温は、対照マウスと比較して、暗期の体温が顕著に低下した。これらの結果から、飢餓時の体温調節には骨格筋による熱産生が必要であり、体内時計や神経系によって発現量が制御される *Slc25a25* 遺伝子が寄与する可能性が示された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】熱産生、骨格筋、体内時計

【研究題目】領域特異的エピゲノム編集技術を用いた精神疾患創薬スクリーニング系の基盤構築

【研究代表者】平野 和己（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】平野 和己（常勤職員1名）

【研究内容】

近年、神経細胞（ニューロン）におけるゲノム特定領域の DNA メチル化やヒストン翻訳後修飾などのエピゲノムの異常と精神疾患との関連が報告されているが、直接的な証明は行われていない。本研究では、独自のエピゲノム編集技術を確立し、それを用いてエピゲノム異常を惹起させ、精神疾患発症の分子機構を解析すること、さらにヒト神経幹細胞におけるエピジェネティクス修飾の生理的機能を解明することを目的としている。

本研究課題において、ジンクフィンガータンパク質と DNA メチル化酵素 (DNMT) を融合させ、特定のゲノム領域の DNA のメチル化を惹起するキメラタンパク質を作成した。神経幹細胞で高発現している *SOX2* 遺伝子のプロモーター領域を標的としたジンクフィンガータンパク質を設計した。これらの DNA メチル化活性を、メチル化感受性制限酵素を用いたアッセイ法やバイサルファイト法により評価したところ、標的領域の近傍でのメチル化の亢進を確認することができた。さらに、エピゲ

ノム編集キメラタンパク質を発現させたヒト神経幹細胞における *SOX2* の発現の低下を蛍光免疫染色法により確認することができた。今後、このシステムを用いた簡易的なエピゲノム編集法を確立し、疾患に関連するゲノム領域へのメチル基の付加により、疾患発症との関連を証明していく。また、DNMT との相互作用や、新たなエピゲノム編集の材料としても期待されているヒストン翻訳後修飾関連因子 *LSD1* に着目した解析も行い、*LSD1* のヒストン脱メチル化活性がヒト神経幹細胞のニューロン分化に必須であることも合わせて明らかにすることができた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】エピゲノム編集、神経幹細胞、精神疾患

【研究題目】シングルドメイン抗体に及ぼす異分子コンジュゲートの影響の検証

【研究代表者】赤澤 陽子（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】赤澤 陽子（常勤職員1名）

【研究内容】

抗体-薬物複合体 (Antibody Drug Conjugate: ADC) の開発における問題点は、抗体分子への薬物コンジュゲートの不均一性による薬効・安全性への影響である。この問題点は通常抗体 (IgG) の構造の複雑さに起因するものであり、低分子抗体であるラクダ科動物由来シングルドメイン抗体 (VHH 抗体) を ADC に利用することで、高い均一性と安全性を兼ね備えた次世代 ADC が期待される。本研究の目的は、付加される物質 (ペイロード) の種類、サイズ、VHH 抗体 1 分子あたりの付加個数による VHH 抗体の機能および物性への影響を明らかとすることで、VHH 抗体-薬物複合体開発の技術基盤の確立に資する。

平成28年度は様々な VHH 抗体-異分子複合体の作製を計画し、低分子化合物 (Biotin, Alexa, FITC)、一本鎖 DNA、様々な分子量の二本鎖 DNA、RNA の付加体を作製した。異分子付加の為にペイロードの親水性が重要であり、Biotin や FITC は疎水性が高く、混合により VHH 抗体が凝集する。疎水性の高い分子は PEG 化された化合物を使用することで、効率のよい複合体作製ができた。一方、異分子付加による VHH 抗体の親和性への影響は、同じペイロード付加でも抗体の種類により異なることを認めた。また、分子量の大きい DNA の付加は VHH 抗体の親和性を顕著に低下することを認めた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】シングルドメイン抗体、異分子コンジュゲート、抗体-薬物複合体

【研究題目】ヒト翻訳制御因子の RNA による活性化機構の構造基盤

【研究代表者】竹下 大二郎

(バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】竹下 大二郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

翻訳開始因子リン酸化酵素は、外部因子によって活性化され、翻訳開始因子をリン酸化し不活性化する。これまで、これらのリン酸化酵素がどのように外来因子を認識するか解明されていない。そのため、本研究課題では、リン酸化酵素複合体の構造解析を行い、認識機構と活性化機構を明らかにすることを目的としている。

リン酸化酵素の組換えタンパク質の調製を行った。HIS タグ付加した酵素のコンストラクトを作製し、組換えタンパク質を発現した。全長、および全ドメインを含むコンストラクトを作製し、Ni カラム、イオン交換カラム、ゲルろ過カラムを使って精製を行った。複合体形成を行い、結晶化スクリーニング実験を行った。しかしながら現在まで、良質な結晶を得るところまで至っていない。全長のサンプルでは、柔軟な領域があり、それが結晶化を妨げていると考えられる。また、リン酸化活性の活性部位を含む領域や、活性を阻害するタンパク質を大量発現し、Ni カラム、陰イオン交換カラム、ゲルろ過カラムを使って精製を行った。精製した後、結晶化スクリーニング実験を行った。その結果、阻害するタンパク質については結晶を得ることができ、X 線回折実験とデータの解析を進めている。今後、さらに結晶化条件などの検討を行い、良質な結晶を作製する予定である。また、酵素複合体の調製条件を検討していき、結晶化実験に供していく予定である。

【領域名】生命工学

【キーワード】構造解析、タンパク質

【研究題目】膜内化学反応と膜ダイナミクスが協同した人工細胞システムの創製と機能創出

【研究代表者】森田 雅宗 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】森田 雅宗 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究課題は科研費 (若手 B) として、平成28~29年度で助成を受けているプログラムである。近年、生命システムの理解のために、合成生物学や再構成生物学などの新たな生物学分野が勃興しており、物質一つから「人工細胞」を構築する研究が大きく進展している。生体膜は、膜面上で見られる脂質ラフト・クラスター構造や、リン脂質二重膜の膜内外層のリン脂質の非対称性、さらには膜タンパク質の分布、細胞骨格など様々な特徴的構造が、細胞内の反応と協同し、外部環境との情報分子のやり取り、内部でのシグナル伝達による細胞の生育等の生命機能に関与していることが明らかにされてきた。これらのシステムを個々に再構成して、細胞機能の理解につなげる研究はこれまでも数多く報告されてきたが、これらがシステム全体として再構成され、どのように協調しあうかはよくわかっていない。本研究課題の最終目

標は、生命システムの中でも生体膜上で見られる様々な現象を人工的に再構成し、実際の生体膜上で起きる機能の創出を目指し、人工細胞システムによるセンシング技術・マイクロマシン技術への応用を検討することである。これまでの本研究成果として、マイクロ流体デバイスを用いて、人工細胞膜小胞を作成し、さらに、人工細胞膜小胞上の、脂質の濃度や種類を様々に使い分けることで、これまでのマイクロ流体デバイスでは制御が難しかった細胞膜上に見られる構造であるラフトドメイン構造や脂質二重膜の内外層の脂質組成が非対称なリポソームの開発に成功した。現在、これら人工細胞膜小胞に生体分子を封入し、反応系とともに、人工細胞膜小胞がどのような反応を示すか、さらに研究を進めている。

【領域名】生命工学

【キーワード】人工細胞、リポソーム、ソフトマター物理

【研究題目】マクロファージ機能のスイッチング作用を有するチタン製インプラントの創製

【研究代表者】戸井田 力 (バイオメディカル研究部門)

【研究担当者】戸井田 力 (常勤職員1名)

【研究内容】

チタンは人工股関節や歯科インプラントの材料として臨床で使用されているが、生体内に埋入後の材料周囲の骨組織の再生が遅い、術後の疼痛のため、社会復帰に時間がかかることが問題であった。炎症組織にはマクロファージ (MΦ) が浸潤しており、炎症の慢性化と組織再生において重要な役割を担っている。MΦは炎症性のM1型、抗炎症性・組織治癒性のM2型が存在しており、術後に亢進するM1型を早期にM2型に変換できれば、骨再生の促進、鎮痛作用を発現することが期待される。

これまで、ホスファチジルセリン含有リポソーム (PSL) は、MΦをM1型からM2型に変換させることを示している。まず、このPSLをチタン表面に修飾する方法を確立した。プラズマ処理にてアニオン化したチタンをカチオン性高分子水溶液とPSL水溶液に交互浸漬することで、PSLを積層させPSL修飾量を自在に制御することを考えた。しかし、一枚膜構造のPSLを使用した場合、チタン表面上でLB膜構造を形成してしまうため、積層構造は形成されなかった。そこで、多重膜構造のPSLを調製し、同様の検討を行ったところ、PSLの積層構造が形成された。PSL修飾チタン上にM1型MΦを培養し、上清の活性窒素 (NO) および炎症性サイトカインの濃度を測定したところ、PSLの修飾量増大に伴い、NOおよび炎症性サイトカイン産生が減少した。現在、ラットの骨欠損モデルにチタン丸棒をインプラントし、周囲骨の再生を評価している。

【領域名】生命工学

【キーワード】炎症、マクロファージ、リポソーム、インプラント、組織再生

〔研究題目〕 アミノレブリン酸の X-線増感放射線療法の検証と遺伝子発現解析による作用機序の解明

〔研究代表者〕 高橋 淳子 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 高橋 淳子 (常勤職員1名、他2名)

〔研究内容〕

放射線治療はがんの三大治療法の一つであり、国内で年間20万件以上が実施されている。しかし、小児には照射後の QOL の観点から成人と同等の線量が照射出来ず、耐容線量照射後のがん再発時に再照射が出来ない等、治療効果向上および線量低減ニーズは非常に大きい。光照射により活性酸素を生成するポルフィリン類化合物は、光線力学療法の光増感剤としてがん治療に用いられている。天然アミノ酸の5-アミノレブリン酸 (5-ALA) はプロトポルフィリン IX (PpIX) の前駆体であり、5-ALA を経口投与するとがん細胞内に PpIX が集積するため、脳腫瘍の光線力学診断の光増感剤前駆体として国内で薬事認可されている。PpIX に X 線を照射すると活性酸素が生成することを見出し、光の代わりに X 線を反応駆動力とする「放射線力学療法」を提案し、X-線増感放射線療法としての効果検証、および遺伝子発現解析による作用機序の解明に取り組む。

平成28年度はヌードマウスを用いて転移脳腫瘍モデルを作成し、5-ALA の投与濃度、投与時間による腫瘍内 PpIX 濃度のデータを取得した。また、複数の5-ALA 投与条件に対して X 線量を変えた分割照射と一括照射を行い、腫瘍抑制効果のデータを取得した。今後も、異なる種類の癌に対する5-ALA の X 線増感効果の検証を行う。

健康人への5-ALA 投与の安全性は、他の治療法の開発で既に確認されている。この為、放射線療法の標準治療プロトコルを用い、人への安全性が確認された条件で5-ALA を投与する「放射線力学療法」の臨床における実現性は非常に高い。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 放射線療法、X 線増感剤、がん治療、5-アミノレブリン酸、ポルフィリン、遺伝子発現解析

〔研究題目〕 集光レーザー摂動による神経細胞ネットワークダイナミクスの解明

〔研究代表者〕 細川 千絵 (バイオメディカル研究部門)

〔研究担当者〕 細川 千絵、大西 恵
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、集光レーザービームの光摂動を用いて神経細胞のシナプス結合部位に局在する機能分子集合体を操作し、神経細胞の脱分極過程を操作する技術を開発することにより、レーザー摂動による神経細胞ネットワークの時空間制御の実証を目指す。今年度は、昨年度に引

き続いて、興奮性神経伝達において主要な受容体である AMPA 型グルタミン酸受容体分子を対象とし、蛍光イメージング解析によりレーザー照射前後における分子動態変化について検証した。ラット海馬由来神経細胞を培養し、細胞表面に局在する量子ドット標識 AMPA 受容体分子に光ピンセット用近赤外レーザーを照射すると、レーザー光強度が高く、培養日数の経過とともに、集光領域での分子運動が遅くなる傾向を見出した。これらの結果は、AMPA 受容体分子が光捕捉され、集合することを明示しており、光捕捉過程は AMPA 受容体分子の初期状態に依存することを示した。さらに、集光フェムト秒レーザー照射に伴う神経細胞の光刺激手法の開発のため、神経回路網の細胞外電位計測と蛍光 Ca^{2+} イメージングとの同時計測により、レーザー照射に伴う神経回路網の誘発応答について検証した。レーザー照射直後において一過性の細胞内 Ca^{2+} 濃度上昇が見られたのと同時に、近接する電極上の細胞から高頻度の電位変化が観測され、フェムト秒レーザー光刺激により神経活動の伝搬が誘発されたことを示した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 神経細胞、光ピンセット、フェムト秒レーザー、蛍光解析

〔研究題目〕 マイクロ RNA 機能のダイナミズム可視化システムの開発

〔研究代表者〕 中島 芳浩 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 中島 芳浩、安永 茉由、赤澤 陽子
萩原 義久 (常勤職員4名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、miRNA による遺伝子発現制御を独自に開発した発光レポーター遺伝子 (ルシフェラーゼ) に対するナノボディー抗体を用い、鋭敏に検出する新規モニターシステム構築を行う。本年度はルシフェラーゼを大腸菌で発現・精製した標品を作製、これらをラクダ科動物に複数回免疫し、ルシフェラーゼに対する抗体価の上昇を確認後、部分採血した。続いて、白血球成分由来 mRNA から特異的プライマーを用いたナノボディー抗体 cDNA を増幅し、ファージベクターにクローニングした抗ルシフェラーゼ抗体ライブラリーを作製した。次に、抗ルシフェラーゼ抗体のスクリーニングのため、ルシフェラーゼタンパク質のプレート上への固定化方法について検討し、ルシフェラーゼを融合したタグ配列を介し固定化する最適方法を確立した。さらに、バイオパニングによりルシフェラーゼに結合するファージクローンをスクリーニングした結果、ルシフェラーゼに特異的に結合する複数のファージクローンを取得することに成功した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 miRNA、ルシフェラーゼ、セルベースアッセイ、イメージング

〔研究題目〕 散乱光の偏光解析を用いた生体組織の構造および形態の解析についての研究

〔研究代表者〕 大槻 荘一（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 大槻 荘一（常勤職員1名）

〔研究内容〕

生体組織からの散乱光の偏光解析を行い、生体組織の構造や形態を解析することにより、病理検査に代替する手法を開発することを目標とする。

本年度は、①平面体が均質で等方的な場合および光学活性または複屈折を有する場合について、平面体から放出される散乱光の偏光状態のシミュレーションを行う。②前年度に製作した装置を用いて測定を行うことにより、シミュレーションの結果を検証する。

球状微粒子が分散した平面体に径の細い光を照射した時、光の照射点の周りから射出される散乱光の偏光状態から、平面体における多重散乱の偏光特性を、モンテカルロ法に基づき数値的に解析した。媒体が光学活性でない時、散乱を表すミューラー行列は、可逆性と面対称性を満たし、媒体が光学活性である時、可逆性を満たすことを明らかにした。また、還元実効散乱行列を分解し、散乱の偏光解析計数を照射点からの距離の関数として求めた。複屈折を有する平面体において、複屈折の方向が平面に対し垂直な場合、還元実効散乱行列は照射点からの距離だけに依存する。一方、複屈折の方向が平面内に存在する場合、前記行列は照射点の周りで距離と方位角の両方に依存し、照射点について2回または4回対称性を示す。次に、複屈折が平面に対し角度を有する場合、前記行列は複屈折に平行および垂直な平面に対して、それぞれ対称および非対称となる。また、前年度に試作した装置は校正が難しいことが判明したため、光源からの光を偏光子と液晶可変移相子を通して試料に照射し、回転移相子および偏光子を介して冷却型 CCD で測定する装置を新たに製作した。種々の試料を用いて測定を行い、その結果を数値的な予測と比較した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 偏光計測、光散乱、シミュレーション、モンテカルロ法

〔研究題目〕 セシウムイオン選択性捕捉剤の開発

〔研究代表者〕 槇田 洋二（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 槇田 洋二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、イオン鑄型反応法を利用して、セシウムイオンに対して極めて高い選択性を示す新規な無機イオン交換体を開発するとともに、各種陽イオンに対する交換特性や、イオン交換サイトの結晶構造とイオン選択性の関連性を明らかにする。また、開発した無機イオン交換体の成形技術を確認し、放射能汚染土壌の除染廃液中に含まれる放射性セシウムの捕捉技術への応用について検討する。

平成28年度は、昨年度までに開発したセシウムイオン選択性の高い無機イオン交換体粉末の造粒を転動造粒法により行った。その結果、約10 wt%の塩化ビニル系のバインダーを添加することで粉落ちがほとんどない造粒体を得ることができた。また、造粒したセシウムイオン選択性捕捉剤を用いて、カラムクロマトグラフィーによるセシウムイオンの低減について検討した。セシウムイオン選択性捕捉剤をガラスカラムに充填し、模擬除染廃液を通水した。模擬除染廃液は、セシウム濃度が1,000 ppb となるように調整した1/2希釈海水を用いた。溶出液をフラクションコレクターでサンプリングし、溶出液中のセシウム濃度を調べた結果、実験直後は1,000 ppb のセシウムが約10 ppb まで低減した。しかし、溶出液中のセシウム濃度が徐々に上昇し約180 BET 体積（吸着剤充填体積の180倍）の模擬除染廃液を通水したところで模擬除染廃液中のセシウム濃度と同程度となった。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 セシウム、無機イオン交換体、ニオブ酸化物、イオン鑄型

〔研究題目〕 細胞チップを用いた細胞機能解析を可能とするマラリア迅速・高感度検出システムの構築

〔研究代表者〕 八代 聖基（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 八代 聖基、芝田 いずみ
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

マラリア原虫は人類史上最も重篤な寄生虫感染症である。感染症マラリアの深刻な問題として、薬剤耐性マラリア原虫の出現や、地球規模の温暖化・交通手段の発達による感染者数の増加・感染地域の拡大が上げられる。このような背景のなか WHO などの国際機関ではマラリア撲滅指針の一つに「早期発見および適切な早期治療」を掲げている。近年、予防・治療分野では薬剤を塗布した蚊帳による感染予防、生薬をベースとした抗マラリア薬の開発は実を結びつつある。しかし診断法に関しては、検出感度や検出時間などの面から今だ100年以上前に確立されたギムザ染色による顕微鏡下での観察診断が主流とされている。そのため特に感染初期段階での診断に多大な時間と労力を必要とし、早期発見とその先に続く治療の大きな妨げとなっている。本年度は特に昨年度までに積み上げた各チャンバーに一定数赤血球が入る条件下で、薬剤耐性評価までのすべての行程をオンチップ化することに取り組んだ。チャンバー内のマラリア遺伝子（actin-1）は検出させることに成功したが、薬剤耐性のタイプングのための遺伝子増幅がうまくいかない事が明らかとなった。チャンバー内の標的遺伝子が検出限界以下であると想定される。今後すべての行程をオンチップ上で行うべく、培養時の細胞の脱落軽減、PCR 反応

の際のハンドリングによる標的遺伝子消失がより少なくなるハンドリング工程を見出すことで、目標の達成を目指す。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 マラリア原虫、細胞チップ、薬剤スクリーニング

【研究 題 目】 インペラに作用する力の釣り合いを利用した動圧浮上遠心血液ポンプの開発

【研究代表者】 小阪 亮 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 小阪 亮 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

現在、体外設置型補助循環ポンプは、短期使用が前提である接触式の軸受を採用している。そのため、軸受の磨耗による耐久性や、血液適合性に課題が残っている。本研究では、長期耐久性と高い血液適合性を有する体外設置型補助循環血液ポンプを開発するため、血液ポンプ内のインペラに作用する力の釣り合いを利用した動圧浮上遠心血液ポンプを開発する。平成28年度は、インペラに作用するスラスト合力とラジアル合力を解析することで、ポンプの至適形状を求めた。

1) インペラに作用するスラスト合力の評価

ポンプ内のインペラに作用するスラスト合力を評価するため、インペラ上下面の流体力と動圧発生力を数値流体解析により算出し、インペラの磁気力、自重、浮力は試作モデルで実測した。本合力を軸受隙間毎に求めた結果、軸受隙間中央でインペラ上下の合力が釣り合うインペラの至適形状が明らかとなった。また、スパイラル溝形状の動圧軸受の山部と溝部の比と螺旋角度を数値流体解析により至適化することで、軸受発生力を高め、より安定した浮上を実現できることがわかった。

2) インペラに作用するラジアル合力の評価

インペラに作用するラジアル合力を評価するため、インペラ中心方向に作用する流体力、動圧発生力、磁気力、遠心力を求める手法を開発し、軸受剛性を設計パラメータとすることで、偏心や公転運動の少ない多円弧動圧軸受の多円弧数や溝深さなどの至適形状が明らかとなった。今後、試作評価モデルを用いて、浮上特性や軸受の安定性、血液適合性を評価する予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 人工心臓、動圧軸受、血液適合性

【研究 題 目】 ネットアイツメガエル皮膚ペプチドを用いたスキンケア素材への可能性追求

【研究代表者】 茂里 康 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 茂里 康 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

14 アミノ酸からなる Pxt-5 ペプチド (FIGALLGPLLNLK) の50%TFE 存在下での立体構造を調べた。測定は500MHz NMR を使用して測定を

実施した。得られたペプチドの構造から、本ペプチドは N 末端から7アミノ酸程度は明確な構造を取らないランダムコイル様の構造を取るが、8番目のプロリンから C 末端まで典型的なアルファヘリックス構造を取ることが判明した。このアルファヘリックス構造は、ロイシンが周囲を取り囲む非常に疎水性の高いヘリックスであった。TFE 等の有機溶媒は膜等の疎水環境を模倣するために良く用いられる。このことから、膜存在下では、本ペプチドの C 末端のヘリックスが膜に突き刺さると考えられる。あるいは水溶液中ではこのヘリックスを利用したバンドル構造を形成する事で規則的な会合 (凝集) を起こすと想定される。一方脂質ナノディスクとは、主にアポリポタン A-I (apoA-I) と各種リン脂質から形成されるディスク状のナノ粒子であり、生体内において脂質輸送を担う HDL を再構成したものである。そこで、通常用いられる apoA-I ではなく、Pxt ペプチドに注目した。特にアルファヘリックス構造形成を行う Pxt-5 に注目した。その結果、臨界会合体形成濃度 (CMC) 以上の濃度の Pxt-5 と DMPC リソソームを直接混合すると、わずか2分程度で濁度が低下し、脂質を速やかに可溶化させて脂質ナノディスクを形成することが明らかになった。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 ペプチド、ヘリックス、ミセル、NMR、ナノディスク

【研究 題 目】 高集積型細胞チップを用いたオンチップがん診断デバイスの開発

【研究代表者】 山村 昌平 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 山村 昌平 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

近年、転移がんの予後の診断指標として、血液中の循環がん細胞 (CTC) の解析が新しい検査として期待されている。CTC が存在する割合は、血液10 ml (白血球: 約数千万個) 中に数個から数百個程度といわれており、既存の FACS 等では極めて検出は困難である。本研究では、多数の細胞を一細胞レベルで一度に解析可能な世界最大級の高集積型の細胞チップの開発を進める。さらに、本細胞チップの高機能化として、標的がん細胞を回収し、単一がん細胞の詳細な機能解析まで行えるオンチップがん診断デバイスの構築を目指す。

今年度は、微細加工技術である金型からの射出成型技術を用いて、直径100マイクロメートルのマイクロチャンバーが約8万個集積化した高集積型細胞チップを作製した。これまでに、複数枚のチップを用いれば、1000万個の白血球を解析できることが示された。次に、細胞チップ上で抗体多重染色を行い、蛍光顕微鏡下で培養系白血球細胞中に添加した標的がん細胞を濃度に依存して定量検出できた。また、1枚のチップ上で0.0001%の標的がん細胞も検出可能であった。さらに、共同研究先の

企業と連携し、細胞チップ上に光応答性ガス発生樹脂を被覆し、光照射によってチップ底面よりガスを発生させ、標的単一がん細胞の剥離、回収を目指した。まず、光応答性ガス発生樹脂を被覆したプラスチック基板上に、モデル系として大型のマイクロチャンパーアレイチップを作製した。チャンパー内に吸着した培養系がん細胞を、LED の光照射によるガス発生によって標的がん細胞も含めた細胞群を剥離させ、回収することができた。今後、高集積型細胞チップを用いて、細胞回収を試みる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞チップ、1細胞解析、循環がん細胞(CTC)、がん診断、バイオチップ、マイクロアレイ、ハイスループットスクリーニング

【研究 題 目】異構造光トラップ場を用いた非接触3次元マイクロ操作の高機能化と汎用化の研究

【研究代表者】田中 芳夫 (健康工学研究部門)

【研究担当者】田中 芳夫 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、光学的干渉の発生しない2組の光トラップ場の3次元時空間構造を精密に実時間制御できる双腕3D 光ピンセットを試作し、高度自動化技術と統合・融合化することで、光学顕微鏡下の多様な物質を高精度に3次元マイクロ操作するための基盤技術を開発することを目的としている。本年度に得られた主な成果は以下のとおりである。

- (1) 試作システムの基本性能評価と改良：昨年度試作した双腕光ピンセットの1本のビーム系にマイクロレンズアレイを組み入れる多点光ピンセット光学系において、この光学系を2枚のレンズを交換するだけで S および P 偏光を用いて分割した2本のビームの何れの3D 光ピンセット系へも容易に導入、調整できるようレンズ配置を改善した。この結果、マウスを用いた光トラップ点への微粒子の挿入、取り出し性能等が向上した。
- (2) マイクロレンズアレイを用いた広域トラップ場の制御：昨年度提案したマイクロレンズアレイの基本格子から生成される光トラップ点を時分割同期走査することで基本格子の整数倍の格子状光トラップ点を生成する動的微粒子アレイ作成法を、エッシャーの絵画のように任意の図形の周期パターンとして微粒子を配置することも可能な方法として一般化した。生成した多様な形状の光トラップ場へ、大きさ、色、蛍光特性の異なる100個以上の微粒子を精密に配置し、その後全て同時に縮小、回転などの幾何学操作ができる事を示し、本手法の有効性を実証した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】光学顕微鏡、マイクロ・ナノデバイス、マイクロマニピュレーション、細胞操作、

微粒子アレイ

【研究 題 目】多種の脳内神経伝達物質を同時検出するための蛍光プローブの創製と医療診断への展開

【研究代表者】鈴木 祥夫 (健康工学研究部門)

【研究担当者】鈴木 祥夫 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、脳内神経伝達物質として重要なドーパミンおよびオキシトシンをそれぞれ特異的に検出するための蛍光プローブの設計・合成・性能評価および開発した試薬の医療診断への適応可能性について検討を行う。

平成28年度は、ドーパミンおよびオキシトシンをそれぞれ特異的に検出するための化合物の設計及び合成を引き続き行うと共に、合成が終了した蛍光分子プローブが、それぞれ目的とするドーパミンまたはオキシトシンを特異的に認識するかどうかを、蛍光光度法を用いて確認した。その結果、標的物質添加前は、蛍光分子プローブからは微弱な蛍光が観察されたが、室温下、ドーパミンまたはオキシトシンを添加すると、目的とする標的物質と相互作用した時のみ、瞬時に蛍光強度の増加が確認された。検量線については、ドーパミン濃度またはオキシトシン濃度と蛍光プローブの蛍光強度との間には良好な直線関係が成立した。蛍光分子プローブと標的物質の解離定数を算出したところ、 10^{-9} M オーダーの値が算出された。また、妨害物質の影響について検討したところ、無機塩、還元剤、有機溶媒などは、蛍光プローブとドーパミンまたはオキシトシンとの反応に影響を与えないことが分かった。以上の結果から、開発した蛍光分子プローブは、標的とする神経伝達物質を高感度かつ高選択的に認識出来ることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】神経伝達物質、蛍光分析、分子プローブ

【研究 題 目】生体組織のマルチモダリティ音速分布画像化法の開発

【研究代表者】新田 尚隆 (健康工学研究部門)

【研究担当者】新田 尚隆 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

生体組織の音速は組織変性と相関があり、疾病診断等のために高精細な音速分布の画像化が望まれている。これまで、MRI から得られる伝搬距離情報と超音波の伝搬時間情報を組み合わせ、生体内の音速を非侵襲で測定するマルチモダリティ法の検討を進めてきた。しかし従来法では、厚さ方向での平均音速の算出に留まり、組織内の音速分布を可視化することができなかった。そこで本研究では従来法を発展させ、組織内の音速分布を画像化するための技術開発を行う。MRI 装置内で使用できる超音波振動子の製作と信号処理法等の開発を行い、生体模擬材料や実験動物を用いて測定精度や再現性を評価

し、本技術の実現可能性を明らかにすることを目的とする。

これまで検討してきた生体内音速測定の実施形態では、まず超音波診断装置で測定対象内における超音波パルスの伝搬時間を測定し、次に MRI 装置で測定対象内における超音波パルスの伝搬距離を測定することで縦波の音速を算出していたため、位置決め精度の影響を受けてしまう課題があった。そこで平成28年度は、MRI 装置内で超音波振動子を測定対象に接触させ、その場での測定を実現すべく、関連研究の調査を行いながら MRI 装置内で使用可能な超音波振動子の設計を行った。MRI 装置内に超音波振動子が存在することによる MRI 画像への影響を低減させるため、MRI 内にテスト用超音波振動子を置いて MRI 画像への影響の調査を行い、使用する材料を選定した。さらに音速分布を画像化するための超音波振動子の仕様を決定した。以上により、次年度の試作に繋がる成果を得た。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】画像診断システム、医療・福祉、生物・生体工学

【研究 題 目】多波長光イメージングによる3次元血流情報の獲得と循環器系デバイス定量評価への応用

【研究代表者】迫田 大輔（健康工学研究部門）

【研究担当者】迫田 大輔（常勤職員1名）

【研究 内 容】

遠心血液ポンプ等の体外補助循環デバイスや血管内の流速イメージング装置を開発する。イメージング深度を複数の波長を使用することで変化させ、各波長イメージング結果を組合せることで3次元血流情報を獲得し、実際に血液を用いて循環器デバイスの血液適合性や冠動脈バイパス吻合部の定量評価を達成することが目的である。

平成28年度では、最大8波長の高速フィルターチェンジャーと高速カメラからなる高速多波長イメージング装置を設計、試作を達成した。試作装置の基礎実験を行うための、一様せん断流れ場イメージング光学系および当研究室で開発中の動圧浮上遠心血液ポンプ内イメージング光学系の構築を達成した。特に試作装置による遠心血液ポンプ内イメージングについて、ポンプ全域のマクロイメージングから細胞レベルのマイクロイメージングまでを達成した。細胞レベルのイメージングについて、ヒト血液を使用した際に隙間20 μm の軸受部で血球細胞と血漿が分離するプラズマスキミング現象があることがわかった。これは血液ポンプ内で最も細胞破壊が起こる高せん断軸受部に血球細胞が入り込まず、低せん断流路に誘導できることを意味し、これを応用すれば革新的血液適合性が獲得できる可能性が考えられた。

次年度へ向けて、高速カメラとフィルターチェンジャーのシンクロ制御によって実際に高速多波長イメージン

グを行い、得られた画像から3次元血流情報に相当する壁せん断速度イメージングを得るソフトウェア開発に取り掛かる予定である。また、開発システムを用いて実際に当研究グループで開発中の動圧浮上遠心血液ポンプの血液適合性評価を行う予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】人工臓器、血液、医療技術評価学、非侵襲イメージング

【研究 題 目】仮像形成相転移を利用したエナメル質類似組織の構築

【研究代表者】小沼 一雄（健康工学研究部門）

【研究担当者】小沼 一雄、飯島 まゆみ（健康工学研究部門）、山越 康雄（鶴見大学）
（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、室温・溶液系でヒト歯のエナメル質組織を再現し、世界初の進行性虫歯の完全治療法として提示することである。歯はヒトの生命維持に必要な食物の咀嚼を担う重要器官であり、欠損によってその能力が喪失すると種々の内蔵疾患や痴呆を引き起こす原因になる。細胞による代謝がないヒト永久歯のエナメル質は、一度欠損すると物理的修復を行う以外に再生の手段はない。歯科分野で通常使用される修復材は人体に無害な貴金属、あるいは有機高分子（コンポジットレジン）であるが、これらの物質はエナメル質の主成分であるアパタイト（HAP）結晶と熱膨張率や弾性率が大きく異なるため、経時的に本来のエナメル質との間に空隙を生じて二次虫歯発生の原因になる。我々はこの課題を解決すべく、自然歯エナメル質と同等の構造を *in vitro* で迅速に再現する手法を開発した。本年度の具体的な成果は以下のとおり。

- 1) アモルファスリン酸カルシウム（ACP）ナノ粒子を圧縮成形した基板を開発。
- 2) 上記基板を擬似生理環境場においてリン酸カルシウム溶液に浸漬し、ACP から HAP ナノ粒子への高速相転移を利用して、一方向配列した高結晶性 HAP ナノロッド結晶群（人工エナメル質構造）を構築することに成功した。
- 3) 上記 HAP ナノロッドは、自然歯エナメル質アパタイトに等しい Ca/P 組成を持つ。
- 4) HAP ナノロッド群は、アモルファスナノ粒子ヘテロ基板（アモルファス炭酸カルシウム）上にも形成可能なことを発見した。
- 5) HAP ナノロッド層のヤング率及び硬度は、自然歯エナメル質に近い値を示した。

今後は、体内でエナメル質形成に関与するタンパク質群が、HAP ナノロッド構造に如何なる影響を及ぼすかに焦点を当てた研究を行う予定である。

【領 域 名】生命工学

〔キーワード〕 アバタイト、人工エナメル質、相転移、アモルファスナノ粒子

〔研究題目〕 超高感度・簡便・迅速な診断を目指した紙・フィルム・テープで作る分析チップ

〔研究代表者〕 瀧脇 雄介（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 瀧脇 雄介（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、紙やテープなどの安価な素材だけで構成される新しい診断用チップを用いて液の滴下だけで発色と酵素免疫測定法による高感度検出を目標に進める。本年度は、既に測定系を構築しているアディポネクチンによるサンドイッチ免疫アッセイ法をベースに、既存の体外診断薬であるイムノクロマト試験紙の蛍光法で感度1万倍、発色法で感度100倍の高感度化を目指して検討した。

具体的には、高感度アッセイに必要な複数の試薬の導入法の改良や（タイミング、数、量）、フィルムとテープによるマイクロ流路内（高さ10-50 μm 、流路幅300-1,000 μm ）における迅速な反応と検出のための構造設計の変更などを検討した。加えて、高感度化に必要な試料の添加から検出に至る一連のプロセスを自動化するため、産業技術総合研究所の材料・化学研究領域と新たに連携し、省電力かつ安価・軽量のカーボンナノチューブ（CNT）を用いたピペットシステムと蛍光検出器を組み合わせたモバイル型のプロタイプ機を構築した。

高感度化については96 well プレートでの免疫アッセイと同等のシグナルは得られなかったものの、プロトタイプ化によりデータのバラつきが低減し、真値による評価系の構築ができることが示唆された。当初は市販の点眼瓶に試薬を入れてプロトコルの最適化をはかる予定であったが、このようにピペットシステムの自動化と、分析チップと組み合わせたカートリッジを構築することで、安定性が向上し、1 step で行うプロセスを新たに見出すことができた。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 医療診断、紙、イムノクロト、カーボンナノチューブ、免疫アッセイ

〔研究題目〕 高付加価値放射線治療を実現する金ナノ粒子増感剤の開発

〔研究代表者〕 三澤 雅樹（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 三澤 雅樹（健康工学研究部門）
松本 孔貴（筑波大学）、布施 拓（茨城県立医療大学）（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

X線照射によって、金ナノ粒子から電子が発生し、水溶液中で活性酸素発生を増強する現象を放射線治療に適用し、腫瘍集積性を高める機能修飾した金ナノ粒子を事前投与し、根本治療の難しいび慢性、浸潤性、遊走性のがんを細胞レベルで除去することが可能な、高付加価値

放射線治療を実現する。具体的には、抗体リポソームによる腫瘍集積と、シグナルペプチド修飾金ナノ粒子による細胞内局在の2段階の標的指向性をもつナノ粒子複合体を合成し、X線、陽子線治療機を用いて、活性酸素発生および腫瘍細胞生存率を評価する。本増感剤開発により、低線量でリスク臓器の損傷が少なく、再発を低減できる高付加価値の放射線治療法を提供する。

平成28年度は、1) ペプチド結合金ナノ粒子合成、2) 抗体リポソーム合成、3) ナノ粒子特性評価、4) 腫瘍細胞への送達評価を計画し、ほぼ全ての項目を達成することができた。抗 EGFR 抗体を還元し、抗体のSH基とリポソームのアミノ基を架橋剤で接合した。SEM/TEM 観察でリポソーム1個あたり2-3個の金ナノ粒子が含有されていることを確認した。金ナノ粒子、リポソームの平均粒子径は26 nmと182 nm、ゼータ電位は-44 mVと-3.5 mVであった。還元抗体の抗原親和性は、水晶マイクロバランスで評価した。培養時間と金コロイド濃度を変化させ、EGFR 発現する HeLa 細胞および NB1RGB 正常繊維芽細胞に投与したところ、HeLa 細胞への集積が高く、細胞内小胞へのリポソームの集積、細胞質内への金ナノ粒子拡散を確認することができた。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 放射線治療、増感剤、金ナノ粒子、活性酸素、リポソーム、抗体

〔研究題目〕 再石灰化促進作用を有する高機能性フィラーの開発と歯科材料への応用

〔研究代表者〕 小比賀 秀樹（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕 小比賀 秀樹、榎田 洋二
（常勤職員2名）

〔研究内容〕

目標：

中～高齢者に特徴的な口腔疾患の1つである根面う蝕は、防湿が困難な歯肉縁下で発症するため、コンボジットレジンよりもガラスアイオノマーセメントの使用が推奨されている。本研究では、抗菌成分と再石灰化成分（カルシウム、リン酸）を、日常の口腔ケアや唾液から取り込み、かつ、辺縁部で徐放させる新規な無機フィラーを開発し、根面う蝕治療に適した歯科材料を開発することを目的としている。

研究計画：

これまでの各種イオン選択性捕捉剤開発や抗菌剤開発における知見を活用し、抗菌効果を発現させるための塩化セチルピリジニウム、および再石灰化を促進するためのリン酸およびカルシウムを選択的に捕捉する無機イオン交換体を開発する。また、開発した無機イオン交換体の結晶構造や各種イオンの吸着特性（吸着容量、分配係数等）等の基礎物性を明らかにする。

進捗状況：

今年度は、歯の再石灰化を促す無機イオン交換体として必要とされるカルシウムとリン酸を吸脱着する無機イオン交換体についてスクリーニングを行い、リン酸イオン交換体として129.2 mg/g という高い吸着量を持つ層状複水酸化物 (MgFeZr-LDH) を選択した。ついで、このリン酸吸着剤について脱イオン水条件下でのリン酸吸着特性と放出特性について検討した。0.05 M の水酸化ナトリウムを含む0.15 M の塩化ナトリウム中では24時間で、吸着したリン酸のほぼ全量が溶出した。また人口体液の pH に相当する生理食塩水中では、固液比が200の条件では人口体液中のリン酸イオン濃度の約2倍の濃度での溶出が可能であった。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 無機イオン吸着剤、アパタイト再生、無機フィラー、モンモリロナイト、抗菌剤、グラスアイオノマーセメント

〔研究 題目〕 DDS 技術を活用した脂肪組織免疫寛容誘導機構の解明と新治療戦略の創出

〔研究代表者〕 梶本 和昭 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 梶本 和昭 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

肥満は、脂肪組織の慢性炎症からインスリン抵抗性を惹起し、全身の糖・脂質代謝機能を低下させることで糖尿病や動脈硬化を引き起こす要因となるため、新たな治療法・予防法の開発が強く望まれている。我々は、これまでの研究で脂肪組織の血管に選択的ナリポソーム型 DDS を開発し、アポトーシス誘導剤を内封したリポソームによる肥満治療が可能であることを動物モデルを用いて実証した。当初、「脂肪組織の栄養供給路を遮断して脂肪細胞を兵糧攻めにする」という作用機序を想定していた。しかし、その後の検討で脂肪血管を標的とした肥満治療には全く未知のメカニズムが関与する可能性が強く示唆された。本研究では、そのメカニズムを解明し、新たな肥満治療戦略の創出へつなげることを目指す。

今年度は、(1)安定した *in vivo* 検討を可能にするナノ DDS のスケールアップ調製法の最適化と(2)ナノ DDS が脂肪血管内皮細胞に取り込まれる際のメカニズムの解明の2点を達成した。(1)に関しては、W/O/W 型エマルジョンを用いたリポソーム調製法を基盤とし、ナノ DDS の構成脂質を溶解する有機溶媒の組成を最適化した。その結果、水溶性タンパク質を50 %という高効率で再現良くナノ DDS に封入できる条件を見出した。(2)に関しては、標的となる脂肪組織の血管内皮細胞に対してナノ DDS がどのような機序で作用するのかを明らかにする目的で、種々のエンドサイトーシス阻害剤を用いて特定の経路を阻害した場合のナノ DDS の取り込みへの影響を調べた。その結果、主として2通りのメカニズムが関与することが明らかとなり、また、そのうち一方の経路を介して取り込まれたナノ DDS はリソソームに

よる分解系を回避できることも初めて明らかとした。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 ドラッグデリバリーシステム、リポソーム、肥満、血管

〔研究 題目〕 ストレス解析による非アルコール性肝障害発症機構の解明と防衛

〔研究代表者〕 吉田 康一 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 堀江 祐範、梅野 彩
(常勤職員2名、他1名)

〔研究 内容〕

近年、国内外とも罹患者が急増している非アルコール性肝障害 (NASH) の発症メカニズムを解明すること、また、治療法を提案することを目標とした。

2年目として動物実験を主として行い以下の成果を得た。①STAM マウス (NASH モデル) において、肝障害とともに顕著な酸化ストレスの亢進がみられた。②肝臓の所見および TG 蓄積の改善から、運動による NASH 改善が期待される。しかしながら、生化学的指標および酸化ストレス状態から判断すると、本モデル系では運動による改善効果は完全とは言えない。そこで、ビタミン E 等のラジカル捕捉剤の併用も検討する。また、動物試験として STAM マウスだけでなくいくつかのモデルを試し、NASH モデルとして最適な実験系を構築し人試験への知見を集積する。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 非アルコール性肝障害 (NASH)、治療、バイオマーカー、発症メカニズム

〔研究 題目〕 メカニカルストレスによる血液凝固反応抑制メカニズムの粘弾性学的定量評価

〔研究代表者〕 丸山 修 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 丸山 修 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

メカニカルストレスを血液および血漿に負荷する方法として、せん断負荷装置である外筒回転式二重円筒型レオメータを使用した。試験検体としてクエン酸ナトリウム抗凝固ヒト血液、およびヒト血液を遠心分離して採取したヒト血漿を使用した。試験血液5.00 mL をせん断負荷部に入れ、せん断速度 $2,880\text{s}^{-1}$ (8.6Pa) で3時間、37 °Cでせん断負荷を加えた。その結果、せん断速度負荷後のヒト血液の APTT はせん断速度負荷前と比較して有意差は見られず、PT は14.8 %有意に延長した。また、血液凝固第5因子の反応を特異的に反映する PT が1.3 %有意に延長した。一方、せん断速度負荷後のヒト血漿の APTT はせん断速度負荷前と比較して118.8 %延長し、PT は74.9 %延長した。これに伴い内因系に関与する血液凝固因子のうち、第9因子の反応を反映する APTT は2.9 %延長、第8因子では13.5 %延長、第10因子では3.7 %延長、第5因子では48.7 %延長、および第2

因子では3.0 %延長した。外因系に關与する凝固因子のうち、第 V 因子の反応を反映する PT は52.4 %延長し、第2因子では1.7 %短縮した。また、せん断負荷前の反応時間から、外因系に關与する血液凝固因子は第10と5、2、7因子の順に外因系全体の反応に影響することが分かった。これらの結果から、特に血球を含まない血漿の結果から、ヒト血液にせん断速度を負荷すると、主に血漿中の血液凝固第5因子の反応が抑制されることで、血液凝固因子全体の反応が抑制されることが分かった。また、このせん断負荷条件は、フォンビル・ブランド因子マルチマーが分解されるメカニカルストレスであることを確認した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 人工臓器、血液、せん断応力、血栓抑制、血液凝固因子

〔研究 題 目〕 栄養不足に起因する胎児の膵臓β細胞の発生障害の分子メカニズムの解明

〔研究代表者〕 安永 菜由 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 安永 菜由 (常勤職員1名)

〔研究 内 容〕

膵臓のβ細胞数の維持には骨の骨芽細胞によるオステオカルシンの分泌が必須であることが報告されている。また妊娠期低栄養モデルにおける仔の骨形成不良も報告されており、骨芽細胞による膵臓β細胞の発生障害の可能性を検証することとした。当該年度は妊娠期低栄養モデル動物を作製し、既報の表現型を検証することでモデル動物の妥当性を評価し、新たに骨形成に着目し、血中オステオカルシンの定量などその表現型解析を遂行した。

まず妊娠期低栄養モデル動物を作製するため、日本クレーアより購入し馴化した ICR 雌マウスを雄マウスと交配し、交配翌日プラグを確認した雌マウスを妊娠0.5日とした。妊娠0.5-13.5日はオリエンタル酵母社製飼料 (MF) を自由給餌で、13.5-18.5日はオリエンタル酵母社製飼料 (MFAIN-93M) をコントロール群の半分量を与え、18.5日以降は MF を自由給餌で与えた。飲水はいずれの期間も自由飲水で与えた。

得られた新生児の体重はコントロール群と比較し、約 80 %と低体重を呈し、膵臓の HE 染色により膵島の縮小傾向が観察でき既報の表現型とも一致していたことから、妊娠期低栄養モデル動物を作製できたと判断した。

次に新生児での血中オステオカルシン量を ELISA により測定した結果、顕著に低く、体重と相関関係を示すことが明らかとなった。また大腿骨および頭蓋骨の大きさ (各長さ) は変化しないものの、重量は低下することが分かった。その他、膵臓および肝臓の重量は変化が見られず、脾臓の重量は低下傾向が観察された。さらにこれらの表現型は5週令では観察できなくなり、体重だけではなく、骨形成においてもキャッチアップされることが明らかとなった。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 妊娠期低栄養、オステオカルシン、骨形成、膵臓β細胞

〔研究 題 目〕 動脈硬化の中赤外レーザー治療における病変選択性の最大化に向けた切削機序の解明

〔研究代表者〕 橋村 圭亮 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 橋村 圭亮 (常勤職員1名)

〔研究 内 容〕

本研究の目的は波長5.7 μm 帯量子カスケードレーザー (QCL) 照射時の動脈硬化プラークの切削機序を解明すること、切削飛散物による合併症に対する安全性を評価すること、および組織選択性を最大化する治療条件を決定することであった。

波長5.75 μm の中赤外レーザーは、動脈硬化プラークの主成分の一つであるコレステロールエステルのエステル結合に強く吸収されるため、動脈硬化プラークの選択的除去が可能である。QCL は小型で比較的出力の高い半導体レーザーであるため、臨床で用いる光源の候補として有用性を検討している。これまでに、QCL での動脈硬化の選択的切削に成功したが、安全性・有効性が最大となるようにして本レーザー治療装置を開発するためには、QCL 照射時の選択的切削の機序を明確にし、切削機序に基づいて治療条件を決定する必要がある。

平成28年度は QCL 照射によるウサギ動脈硬化病変及び正常血管の温度上昇モニタリングの実験を行った。QCL 照射時の温度上昇の広がりを赤外サーモカメラで測定し、エネルギー分布を調べるための実験系の構築を行い、予備実験を行った。また、遺伝的に動脈硬化を発症する WHHLMI (myocardial infarction-prone Watanabe heritable hyperlipidemic) ウサギを神戸大学より入手し、動脈硬化血管の採取を行った。現在、この実験系を用いてウサギ動脈硬化病変および正常血管の QCL 照射時の温度上昇のデータ収集を行っている。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 レーザー治療、動脈硬化、低侵襲治療、中赤外光、コレステロールエステル

〔研究 題 目〕 トリパノソーマにおける Ca²⁺シグナリングの分子基盤の解明と創薬への応用

〔研究代表者〕 橋本 宗明 (健康工学研究部門)

〔研究担当者〕 橋本 宗明 (常勤職員1名)

〔研究 内 容〕

寄生原虫 *Trypanosoma cruzi* を病原体とするシャーガス病に対する現行の治療薬は、効果や副作用の点で実用的でなく、新規治療薬開発が急務である。本研究は、申請者らの独自研究を進展させ、*T. cruzi* の分裂増殖・変態・細胞侵入などを制御する Ca²⁺チャネル (TcIP3R) を介する Ca²⁺シグナリングを標的とした治療薬開発の

ための基盤研究を行う。その成果をもとに、トリパノソーマの Ca^{2+} シグナリングのユニークな点を顕在化するとともにその特異的阻害剤を新たに同定し、副作用のない治療薬開発を目指す。

本研究計画は、トリパノソーマ原虫の生存に必須な TcIP_3R を介する Ca^{2+} シグナリングの未解明な問題を多角的な研究アプローチにより明らかにすると共に、これまでの基礎研究を応用することによって本経路の阻害剤を同定するべく遂行する。

平成28年度の研究成果は下記である。① $[\text{Ca}^{2+}]_i$ 依存的に蛍光を発するタンパク質 (R-GECO1) を発現する *T. cruzi* の作製に成功した。②原虫の生活史で大きく $[\text{Ca}^{2+}]_i$ が変動することを明らかにした。さらにそのシグナル強度は TcIP_3R の発現量と正の相関を示すことが明らかになった。③ TcIP_3R 遺伝子の一部を破壊し、発現量を1/3にした原虫 (SKO 原虫) に R-GECO1 を発現させ、WT と比較したところ、蛍光シグナルも約1/3に減少していた。④以上の結果は、 TcIP_3R が $[\text{Ca}^{2+}]_i$ の決定因子であることを示すと共に、R-GECO1発現原虫はシャーガス病の治療薬スクリーニングに有望であることを示している。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 トリパノソーマ、 Ca^{2+} シグナリング、創薬

【研究 題目】 緑内障における酸化ストレス関与の科学的解明

【研究代表者】 梅野 彩 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 梅野 彩 (特別研究員1名)

【研究 内容】

本研究は脂質酸化ストレスマーカーのヒドロキシリノール酸 (HODE) を用いて、眼疾患の中でも重篤な緑内障の進行に伴う酸化ストレスの関与を科学的に解明し、緑内障早期診断・予後診断へ応用することを目的とする。HODE はリノール酸が一重項酸素、ラジカル、酵素によって酸化されて特異的に生成する異性体を有する。紫外線照射によって生成する一重項酸素は、光暴露が多い眼科疾患への関与が示唆されているが、生体内での存在は確かめられていない。そこで、今年度は緑内障の病態を示す因子のうち、いずれの因子が酸化ストレスと関連するかを HODE 異性体の生成によって検討した。

緑内障群、非緑内障対照群の血清317サンプルの HODE の定量を行った。加えて脂質酸化ストレスマーカーとして、アラキドン酸は脳に多く視神経は脳に直接つながる脳神経の一つであることからアラキドン酸由来の酸化生成物ヒドロキシエイコサテトラエン酸類などを網羅的に解析した。その結果、脂質酸化ストレスマーカーの一部は、緑内障、非緑内障対照群の群間において有意な差を認めた ($P<0.0101$)。種々の背景因子 (年齢等) の調整後も、それらは眼圧高値に対して有意な因子であ

った ($P<0.026$)。以上の結果から、高眼圧に対して酸化ストレスが関与していることが示唆された。現在、前房水中の酸化ストレスマーカーを精査している。本結果は緑内障発症機序解明につながる知見であり、早期診断へつながることが期待される。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 緑内障、酸化ストレス、ヒドロキシリノール酸、10-, 12-(ZE)-HODE、一重項酸素

【研究 題目】 ナノミクスが拓く次世代のメタボリックシンドローム治療

【研究代表者】 梶本 和昭 (健康工学研究部門)

【研究担当者】 梶本 和昭 (常勤職員1名)

【研究 内容】

地球規模で増え続ける肥満に対して治療法の選択肢は限られており、大きなアンメットメディカルニーズが存在する。本研究は、申請者らのこれまでの研究成果から導き出された『脂肪血管の異常こそが肥満に付随する病態の本質である』という独自の作業仮説に基づき、「脂肪血管を特異的に認識する新規の DNA アプタマー」と「肥満の脂肪血管で高発現する CYP1B1を新規の治療ターゲットとする多機能性医薬分子」を開発し、両者を融合した全く新しいナノ送達システムの構築の構築を目指す。

今年度は、脂肪組織の血管正常化を促進する医薬分子として curcumin に着目した。Curcumin は、ウコン (ターメリック) などに含まれる天然のポリフェノール化合物であり、強力な抗酸化作用、抗炎症作用、抗腫瘍作用など様々な生理活性を有し、肥満の脂肪血管に高発現する CYP1B1に対する阻害作用を有することも明らかとなっている。しかし、curcumin は水溶性が極めて低く、小腸や肝臓における代謝によって速やかに失活するため、経口投与ではほとんど効果がないという問題がある。そこで、curcumin をナノ DDS に搭載し、脂肪血管へ選択的に送達することで上記の問題を克服できると考えた。

Curcumin を効率良くナノ DDS に搭載するため、高濃度の curcumin を溶解できる溶媒やナノ DDS の調製方法などについて検討を行い、水にほとんど溶解しない curcumin を数日以上にわたって安定に水中に分散させることが可能なナノ DDS の構築に成功した。構築したナノ DDS 化 curcumin の薬理効果を in vitro で簡便に評価するため、モデル細胞としてがん細胞に対する細胞増殖抑制効果を調べたところ、ナノ DDS 化 curcumin の処理濃度依存的に増殖抑制効果を示すことが明らかとなった。現在、in vivo における薬効評価を進めている。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 ラグゲデリバリーシステム、リポソーム、肥満、脂肪組織、血管

〔研究題目〕プラズモン共鳴と強結合した単一色素分子をプローブとする光学応答増強場の定量的検証

〔研究代表者〕伊藤 民武（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 民武（常勤職員1名）

〔研究内容〕

概要：

表面増強ラマン散乱（SERS）技術を用いれば分子の構造の詳細な測定が可能なデバイスを開発できる。プラズモン共鳴によって銀ナノ粒子近傍の分子と粒子との電磁相互作用の強さは向上する。SERSはこの電磁相互作用強度の向上によって引き起こされるラマン増強現象である。しかしながら単分子検出可能な増強スポットの体積はナノ粒子間隙の数 nm^3 に制限される。従って分子がこの領域に入る確率は非常に低いという問題が未解決のままである。本研究ではナノ粒子の代わりに銀ナノワイヤを用いこの領域を一次元方向に伸ばす。10 μm 程度の長さのナノワイヤ2量体間隙を用いることで増強スポットのサイズを 10^4 倍に拡大し SERS の検出効率を向上させる。

目標：

既存の光学系を単一銀ナノワイヤ2量体のプラズモン共鳴と SERS の分光測定可能に改良する。SERS 活性を有する銀ナノワイヤ2量体を用いてプラズモン共鳴と分子との電磁相互作用の検証を行う。第1の目標は SERS を引き起こしている銀ナノワイヤ2量体のプラズモン共鳴を明らかにすること。第2の目標は銀ナノワイヤ2量体のプラズモン共鳴と SERS の分光測定と電子顕微鏡測定を組み合わせること。この測定によって銀ナノワイヤ2量体間隙における SERS 検出効率向上を定量する。

進捗状況：

既存の光学系の暗視野照明系を、単一銀ナノワイヤ2量体のプラズモン共鳴と SERS の分光測定が可能となるように改良した。SERS 活性を有する銀ナノワイヤ2量体を用いてプラズモン共鳴と分子との電磁相互作用の検証を行った。銀ナノワイヤ2量体の SERS とプラズモン共鳴の偏光依存性を比較することで目標意を達成した。銀ナノワイヤ2量体のプラズモン共鳴と SERS の分光測定と電子顕微鏡測定を組み合わせることに成功した。その結果、数値解析法で実験結果を定量解析でき、増強スポットを 10^4 に拡大できることを証明した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕表面増強ラマン散乱（ラマン散乱が増強され単分子計測が可能となる方法）、銀ナノ粒子、プラズモン（伝導電子の集団振動）、カーボンクラスター

〔研究題目〕冥王代類似環境微生物

〔研究代表者〕鎌形 洋一（新学術領域・冥王代生物学

の創成・計画班代表 生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕鎌形 洋一、玉木 秀幸、柿澤 茂行（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

本計画研究班では、冥王代類似環境やその周辺熱水環境に棲息する微生物のゲノム解読、培養化、生理生態機能の解明を通じて、最終的に原始的な生命体のゲノムや生物機能の痕跡に迫ることを目的とするものである。本年度は1) 白馬八方蛇紋岩熱水系において優占的に存在している微生物の多様性ならびに代表微生物のゲノム構造を次世代シーケンサーによって更に詳細に解析した。2) ゲノム構造解析ならびに比較ゲノム解析によって当該微生物群の特徴的なゲノム情報の抽出に成功した。3) このうち炭酸固定に関わる CO dehydrogenase 遺伝子に着目し、比較ゲノム解析を行い、その系統的位置を明らかにした。さらに当該遺伝子を全合成し大腸菌で発現させることに成功した。4) 当該環境に生存する微生物は培養が極めて困難であることから熱水系の大規模サンプリング、中空糸膜による濃縮、培養を試みた。5) 蛇紋岩熱水系微生物群から得られたゲノムを培養可能な微生物に移植する大規模ゲノム操作系の基礎技術開発に成功した。6) 深部地下圏で特異な有機物を分解する古細菌の分離培養に成功した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕生命の起源、熱水系地下環境、微生物生態系、系統進化

〔研究題目〕鉱物との電子授受にもとづく微生物酢酸生成代謝が生命初期進化に果たした役割を探る

〔研究代表者〕加藤 創一郎（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕加藤 創一郎、高篠 素子（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では「硫化鉄等の導電性金属鉱物に蓄えられた電気」を唯一のエネルギー源とした「還元のアセチル CoA 経路による酢酸生成反応」が初期地球環境における原始生命体の主要なエネルギー・炭素固定代謝であったとする仮説を提唱し、現存する冥王代類似環境を含む多種多様な環境から該当の代謝経路を有する微生物を集積・純粋分離し、初期地球環境において鉱物・微生物間電子移動にもとづく酢酸生成が初期生命進化のドライビングフォースたり得たことの実証を目的とした。

(1) 鉱物をエネルギー源とする酢酸生成微生物の集積培養：高温・高アルカリの冥王代類似環境（長野県白馬八方温泉）、および高温（各種温泉、堆肥等）、低 pH 環境（北海道美唄湿原土壌）、地下環境（北海道猿払炭鉱地下水、地下油層構造水など）を微生物源とし、金属鉄を唯一のエネルギー源として利用する微生物の集積培養

をおこなった。その結果、土壌や地下水などの複数のサンプルで金属鉄酸化に依存した酢酸生成が観察された。

(2) 集積培養物の微生物群集構造解析：金属鉄依存酢酸生成反応がみられた集積物を対象に、16S rRNA 遺伝子配列にもとづく微生物群集構造解析をおこない、優占微生物種として *Clostridium magnum* (相同性97.9%)、*Moorella stamsii* (相同性96.0%)、*Acetobacterium wieringae* (相同性99.3%) といった既知の酢酸生成微生物と近縁なクローンが検出された。これらは金属鉄酸化・酢酸生成により生育が可能な微生物であると予想された。

(3) 酢酸生成微生物の純粋分離：酢酸生成菌が好んで利用する基質をエネルギー源とした固体培地を利用して、各種集積培養系から酢酸生成細菌の純粋分離を試みた。その結果、地下油田構造水由来の集積物から水素・二酸化炭素を唯一のエネルギーおよび炭素源として生育し、酢酸を生成する *Moorella* 属に近縁な微生物を得ることに成功した。今後、本分離株についてのゲノム解析、および細胞外電子伝達機構の解明を進めていくことで、鉱物との電子授受にもとづく微生物酢酸生成代謝についての進化的考察を深めることができると考えられる。

【領域名】生命工学

【キーワード】微生物、初期進化、酢酸生成、細胞外電子伝達、冥王代類似環境

【研究題目】*Thermus thermophilus* リボソーム変異株の創成と進化

【研究代表者】宮崎 健太郎 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】宮崎 健太郎、泊口 菜月

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

冥王代に Habitable Trinity の場で誕生した生命は、以来、極めて多種多様な種に分化し、地球上のあらゆる環境に適応している。本課題では、生物繁栄の基礎を築いた「種分化」のプロセスを実験的に再現し、生命誕生に続く生物進化の謎を解き明らかにすることを目標とする。

本研究では生命の起源に近い *Thermus thermophilus* の16S rRNA を異種生物のものと置換し、置換可能な系統範囲、ドナーとなる外来16S rRNA の生育温度と変異株取得のための選択温度の関係、温度適応などにおいて顕著な表現型変化のある置換変異株の取得を目指した。

T. thermophilus HB27株にはゲノム内に2つの16S rRNA 遺伝子が含まれており、そのうちの1つ (*rrsB*) の遺伝子破壊を相同組み換えの手法により行なった。単一の16S rRNA (*rrsA*) のみを含む変異株を宿主として、*Deinococcus-Thermus* 門に属する種々の細菌より16S rRNA を単離し、*T. thermophilus rrsA* 遺伝子との置換を試みた。その結果、試行した全ての *Thermus* 属細菌、属レベルで異なる中等度好熱菌 *Meiothermus ruber*、

目レベルで異なる *Deinococcus radiodurans* 16S rRNA により機能相補が確認された。特に後者については元の宿主株よりも16S rRNA 自体の耐熱性が欠如しているためか、機能相補実験の設定温度を50℃と、元株の生育下限温度にまで下げた場合に置換変異体が得られた。また全長遺伝子の置換だけでなく、種々のキメラ体や、複数存在するゲノムを反映して、複数種の16S rRNA を含むヘテロ染色体の状態も観察された。

【領域名】生命工学

【キーワード】リボソーム、大腸菌、

Thermus thermophilus、16S rRNA、水平伝播

【研究題目】昆虫-大腸菌人工共生系による共生進化および分子機構の解明

【研究代表者】深津 武馬 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】深津 武馬、古賀 隆一、森山 実、谷藤 直子、朝賀 雅楽

(常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

生物界において微生物との高度な共生関係が具体的にどのように始まり、成立したのかは進化生物学における重要な問題である。最近私たちは、チャバネアオカメムシという昆虫において、生存に必須な腸内共生細菌が自然集団で顕著な多型を示すことを発見した。さらに、もとの共生細菌と大腸菌の置換により、正常な感染局在を示し、垂直伝達され、継代維持が可能であり、さまざまな操作実験や分子遺伝学の適用が可能な人工共生系の創出に成功した。本研究課題では、この画期的なモデル共生系について、実験進化的アプローチ、ゲノム科学的アプローチおよび分子遺伝学的アプローチを駆使し、共生進化の過程および機構の本質に関する理解を従来なし得なかったレベルにまで深めることをめざす。

- ・6種の共生細菌ゲノム解析：培養できない共生細菌 A, B は単離中腸から、培養できる C, D, E, F は培養菌体から完全ゲノム配列を決定した。異なる共生細菌のプラスミドに共通してカロテノイド合成系及び IV 型分泌装置の遺伝子がコードされており、共生機能との関連が示唆された。
- ・フォスミドライブラリスクリーニング：昨年度までのスクリーニングより共生細菌 C の5遺伝子が候補として浮上したが、これらを含む10 kb の断片を改めて大腸菌に導入したところ良好なパフォーマンスを示した。また、他の5種の共生細菌の相同領域10 kb を大腸菌に導入した場合も概ね良好なパフォーマンスを示した。これら5遺伝子のうち一つのオペロンを形成する3遺伝子を共生細菌 C から欠損させたところ、生存率や体の大きさが有意に減少した。すなわち、これら候補遺伝子が共生関連遺伝子であると示唆された。
- ・大腸菌人工共生進化実験：高速進化大腸菌系統 Δ

mutS に感染させたチャバネアオカメムシを継続的に累代飼育したところ、13進化系列の過半数（8系列）において30-80%に達する高い羽化率を示すようになった。これらの共生進化大腸菌系列について、ゲノムリシーケンス及びRNAseqを実施したところ、ゲノム部分欠失や部分重複がダイナミックに起こっていることが示された。また人工共生進化大腸菌の宿主羽化率が低い系列/世代と向上した系列/世代で、遺伝子発現パターンが明確に分かれることが示された。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕昆虫、共生細菌

〔研究題目〕新規マーカーによる NASH 予防・診断・治療のための食品・薬剤探索システムの構築

〔研究代表者〕森田 直樹（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕森田 直樹（常勤職員1名）

〔研究内容〕

わが国では、メタボリック症候群の増加とともに、非アルコール性脂肪性肝炎（NASH: Non-Alcoholic Steato-Hepatitis）患者の増加が問題視されてきている。単純性の脂肪肝とは異なり、NASHの病態は進行性で、肝の傷害と炎症が持続し、最終的に肝硬変・肝癌にいたると考えられるためである。我々は、これまで肝とストレスの研究を進めてきており、脂肪肝さらにはNASHへの移行の病態メカニズムを明らかにしてきた。最近になりNASH進行のキーとしてマーカーとなる分子p62を同定することに成功した。本研究ではそれらの成果に基づき、臨床研究によりマーカー分子の臨床病態学的な意義・重要性をより詳細に検討し、同時に脂肪肝からNASH病態への移行を阻止するために有効な薬剤・機能性食品のスクリーニングシステム（細胞・小動物モデルによる）の開発を目的とする。

今年度は、スクリーニングシステム構築のためのアッセイ系に用いる各種分子機能反映プローブの作成と細胞レベルでの機能確認を行った。プログラム細胞死に関与する分子機能を細胞内で観察するプローブについては、細胞内での機能性が確認できた。また、p62タンパク質遺伝子のプロモーター領域を利用した遺伝子発現を観察するレポータープローブについては、十分な反応性が得られなかった。今後、さらにデザイン及びプローブ活性の測定法について再検討が必要であることがわかった。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕非アルコール性脂肪性肝炎（NASH: Non-Alcoholic Steato-Hepatitis）、脂肪肝、マーカー分子、機能性食品、メタボリック症候群

〔研究題目〕ケトン食摂取による脳内の糖脂質発現動態に関する研究

〔研究代表者〕奥田 徹哉（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕奥田 徹哉（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、古くからてんかん治療に用いられてきた低炭水化物食（ケトン食）の摂取が、脳内の糖鎖発現に及ぼす影響について明らかにする。特に、遺伝性てんかん発症との関連が明らかとなったスフィンゴ糖脂質の分子種（ガングリオシド）の発現量への影響を中心に解析を進め、てんかん治療のための適切な食事療法や、てんかん抑制効果を有する実用的な食品の開発、創薬への応用を目指す。

今年度は、（1）糖脂質の統計解析に必要な個体数の組織試料を調製した。（2）調製した試料に含まれるガングリオシドをHPLCにて定量的に分析する方法を確立した。マウスではガングリオシドは脳や肝臓に豊富に存在しており、本検討では扱いやすい肝臓試料を用いることで方法論を確立した。（3）HPLC定量分析により肝臓ガングリオシドの発現量へのケトン食摂取の影響を詳細に解析したところ、TLC解析による予備検討の結果通り、ケトン食の持続的摂取によりガングリオシドの各分子種の発現量が増加することを統計学的な有意差を持って明らかにした。（3）見出したガングリオシド増加のメカニズムについてDNAマイクロアレイを用いた網羅的遺伝子発現解析によりアプローチし、候補となる遺伝子を見出した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕ケトン食、てんかん、スフィンゴ糖脂質、ガングリオシド、糖鎖、脳神経疾患

〔研究題目〕ケトン食摂取による脳内の糖脂質発現動態に関する研究

〔研究代表者〕奥田 徹哉（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕奥田 徹哉（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、古くからてんかん治療に用いられてきた低炭水化物食（ケトン食）の摂取が、脳内の糖鎖発現に及ぼす影響について明らかにする。特に、てんかん発症との関連が明らかとなったスフィンゴ糖脂質の分子種（ガングリオシド）の発現量への影響を中心に解析を進め、てんかん治療のための適切な食事療法や、てんかん抑制効果を有する実用的な食品の開発、創薬への応用を目指す。

これまでの検討にて、ケトン食の摂取によりガングリオシドの発現量が増強することを見出しており、DNAマイクロアレイ解析によってこの現象に関わることが推測される遺伝子の候補を見出していた。本検討では検体数を増やした解析を実施することで候補遺伝子の絞り込みを行い、ガングリオシドの合成に関わるシリアル転移酵素遺伝子の転写量が増加していることと、分解に関わる活性化タンパク質の転写量が減少していることを見出

した。Real Time PCR 解析によるバリデーションでもこれらの遺伝子発現が統計学的有意差を持って変化していることを確認した。また、動物モデルにて見出した仕組みがヒトにおいても保存されていることを確認するため、ヒト由来培養細胞を用いた解析に向けた検討も進め、モノクローナル抗体を用いたスフィンゴ糖脂質、糖タンパク質の糖鎖解析技術を確立した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ケトン食、てんかん、スフィンゴ糖脂質、ガングリオシド、糖鎖、脳神経疾患

【研究 題 目】核酸分子の構造制御を基盤とした
microRNA 阻害薬の開発

【研究代表者】小松 康雄（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】小松 康雄、平野 悠
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

miRNA に相補的なオリゴヌクレオチド（anti-miRNA oligo; AMO）は、miRNA と結合することでその細胞内における効果を抑制する。また、AMO の末端に2本鎖を導入することで、AMO の抑制効果は増強されることが報告されている。我々もこれまでに、クロスリンクによって安定化させた2本鎖構造を末端に接続した AMO は、通常の2本鎖よりもさらに高い miRNA 抑制効果を示すことを明らかにしている。

平成28年度はまず初めに、クロスリンクさせた2本鎖の分子内の相対位置を変えた AMO を幾種類か合成し、miRNA の阻害活性と、miRNA 量への影響を調べた。miRNA にはがん化と密接に関連している miR-21 を選択して評価した。実験の結果、これまでの報告と同じくクロスリンク2本鎖の分子内位置によって AMO 活性は大きく影響を受け、miR-21 は AMO の添加によって分解/伸長反応を受けることを確認した。しかし興味深いことに、miR-21 の分解/伸長のパターンが AMO の構造に大きく影響されるという興味深い現象も見出した。この miRNA の修飾と AMO 構造との関連性は予想外の結果であったことから、今後、当初の予定を変更し、これらの関連性を調べる予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】核酸化学、RNA、クロスリンク、miRNA、核酸医薬

【研究 題 目】多段シントロフィーによるアミノ酸・分枝鎖脂肪酸分解微生物群の動態解明

【研究代表者】成廣 隆（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】成廣 隆（常勤職員1名）

【研究 内 容】

アミノ酸を高濃度に含む廃水を処理する嫌気性リアクターから採取した微生物試料（汚泥）に含まれる微生物群の多様性を、16S rRNA 遺伝子に基づく微生物群集構

造解析法により調査した。その結果、*Syntrophomonas* 属や *Pelotomaculum* 属等に近縁の嫌気共生細菌、*Methanobacterium* 属や *Methanospirillum* 属等の水素利用メタン生成アーキア、*Methanosaeta* 属や *Methanosarcina* 属等の酢酸利用メタン生成アーキア、*Bacteroidetes* 門や *Synergistetes* 門等の既知の門に属する機能未知微生物群が高頻度で検出された。また、これらの優占微生物群の代謝機能を解明することを目的としてメタゲノムショットガンシーケンズを実施し、各種ソフトウェアを用いて遺伝子リードのアセンブルと、得られたコンティグのピニングを行い、約25個の微生物ドラフトゲノムを再構築することに成功した。さらに、アノテーション解析を実施して各ドラフトゲノムに含まれる機能遺伝子から主要微生物群の代謝機能の推定を試みたところ、*Syntrophomonas* 属に近縁の微生物が、分枝鎖アミノ酸（ロイシン、イソロイシン、バリン）の分解から生じるイソ酪酸、イソ吉草酸、2-メチル酪酸の分解経路を有しており、水素利用メタン生成アーキアとのシントロフィーにおいて重要な役割を果たしていることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】微生物、廃水処理プロセス、微生物ゲノム、未知微生物

【研究 題 目】昆虫内部共生の成立に関わる共生細菌の
遺伝的基盤

【研究代表者】菊池 義智（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】菊池 義智、竹下 和貴、岡本 恵、
大井 はるか（常勤職員1名、他3名）

【研究 内 容】

我々は昆虫にみられる宿主-細菌間相互作用の分子機構の総合的理解を目指し、昆虫では例外的に共生細菌の培養と遺伝子組み換えが可能なホソヘリカメムシ-*Burkholderia* 共生系を対象に研究を行っている。本研究の全体構想は以下ようになる：①培養時と共生時における共生細菌の遺伝子発現比較により共生時に特異的に発現する遺伝子を同定；②共生時に特異的に発現亢進する遺伝子の欠損株を作成し機能解析を行う；③得られた知見を統合し、内部共生の遺伝的基盤を網羅的に解明する。具体的には、ゲノムが解読されているいくつかの *Burkholderia* 共生細菌株について培養時と共生時のトランスクリプトーム比較を行い、共生時に発現亢進する遺伝子を特定し、高精度に共生関連遺伝子の取得を行うことを目的とする。本年度は、昨年度に続きトランスクリプトームデータを精査するとともに、いくつかの共生関連遺伝子候補について遺伝子欠損株を作成し、ホソヘリカメムシへの感染実験を行なった。共生時に高発現する遺伝子としてタウリン代謝系（硫黄代謝）およびアラントイン代謝系（窒素代謝）に着目し、それぞれの代謝に関わる遺伝子を特定し欠損株を作成した。これら遺伝

子変異株についてカメムシへの感染実験を行なったが、野生株に比べ共生器官への定着に関して有意な変化はみられなかった。カメムシの成長・繁殖への影響については調査をしていないことから、今後はそれら適応度パラメータへの影響を調査する。また、今後はさらに異なる遺伝子についても欠損株を作成し、共生への影響を調査する。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 昆虫、微生物、共生、遺伝子

〔研究 題目〕 ダイナミックなヒストン複合体形成による植物転写制御メカニズムの解析

〔研究代表者〕 藤原 すみれ (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 藤原 すみれ (常勤職員1名、他1名)

〔研究 内容〕

植物の遺伝子の働きは、正に働く転写活性化因子と負に働く転写抑制因子により複雑に制御されていると考えられている。我々はこれまでに、ヒストンなどの因子が転写抑制機構に関わることを見出した。本研究では、ヒストンとその関連因子に主に着目し、複数のタンパク質によってダイナミックに制御されていると考えられる植物の転写抑制機構の一端を明らかにすることを目的としている。また、得られた知見を応用して斬新な遺伝子発現制御法の開発につなげることを目指している。

当該年度においては、昨年度に引き続き、転写抑制に関与する可能性を見出した各種因子の機能欠損が転写抑制因子の働きに与える影響の解析や、各種解析に必要な植物材料の作製、各因子間の関係の解析をおこなった。

また、新たに、転写抑制因子と相互作用を示さないにも関わらず転写抑制機構に関与する可能性のある因子群を同定した。これらの因子の機能欠損株では、転写抑制因子の働きが弱まるケースと強まるケースがあることを発見した。また、これらの機能欠損による影響の有無は転写因子によって異なることを見出した。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 植物、シロイヌナズナ、転写因子、ヒストン

〔研究 題目〕 導電性鉱物を介した電気共生型メタン生成の分子機構および実環境における寄与の解明

〔研究代表者〕 加藤 創一郎 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 加藤 創一郎、五十嵐 健輔
(常勤職員1名、他1名)

〔研究 内容〕

メタンは有機物分解菌とメタン生成アーキアとのエネルギー（電子）伝達を介した共生により生成される。従来その電子伝達は、水素などの電子キャリア物質の拡散輸送によってのみ媒介されると考えられていた。我々は新規かつ高効率な共生機構として、導電性鉄鉱物を流れ

る電流を介した微生物間電子伝達にもとづく電気共生型メタン生成を発見、提唱した。しかしその詳細な分子機構、および自然環境における寄与はいまだ不明である。本研究では、電気化学的・微生物学的手法により、メタン生成アーキアが導電性固体から電子を受け取る分子機構の解明、およびその代謝の実環境に置ける寄与の解明を目的としている。

電気共生を可能にするメタン生成アーキアの分子機構解明に向け、まずはモデル共生系の構築に取り掛かった。様々な微生物種、および基質の組み合わせを検討した結果、導電性粒子に電子を注入する側の有機物分解細菌として *Geobacter metallireducens*、電子を受け取るメタン生成アーキアとして *Methanosarcina barkeri*、基質としてエタノールを使用することで、導電性粒子依存的にメタン生成反応をおこなうモデル共生系を構築することに成功した。また *Desulfovibrio burgaris* と *Methanosarcina barkeri* の組み合わせで乳酸を基質とすることで、比較対象となる電気共生を起こさない、通常の水素共生系を構築することに成功した。

次に分子機構解明に向けた比較トランスクリプトーム解析の条件検討をおこなった。各メタン生成共生系は微生物の増殖が遅く、また細胞外多糖の多量生成のためか、質、量的に十分な RNA を回収するのが困難であった。しかし培養法の改良や RNA 抽出法の改善 (LiCl 沈殿による RNA の精製など) により、トランスクリプトーム解析をおこなえるだけの RNA を調整可能にした。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 微生物、導電性鉱物、メタン生成、細胞外電子伝達、電気共生

〔研究 題目〕 同一ゲノムから生じる2種類の生物社会の進化機構

〔研究代表者〕 植松 圭吾 (生物プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 植松 圭吾 (他1名)

〔研究 内容〕

社会性アブラムシの一部の種では、その生活環において宿主植物を変更し、それぞれの世代（1次宿主世代・2次宿主世代）で異なる2種類の社会を形成する。本研究では、それぞれの社会を構成する個体の表現型および遺伝子発現の類似性を複数種で詳細に解析することで、同一ゲノム上で異なる社会性が進化・維持されるメカニズムの理解を目指す。本年度は、これまで得られていなかった *Colophina* 属・センニンソウワタムシのゴールの人為的誘導に成功した。得られたゴール世代および開放コロニー世代において計7種類のモルフから RNA を抽出し、cDNA ライブラリーを調製し、配列解析を行い、その後モルフごとの遺伝子発現量の比較を行った。その結果、祖先的な兵隊を持つとされるセンニンソウワタムシにおいては、生活環境が全く異なるにもかかわらず、1次・2次宿主世代の兵隊の遺伝子発現が高い類似

性を示した。この結果は、2種類の兵隊がその起源において、外部形態だけでなく、遺伝子発現においても酷似していたことを示唆している。次に、1次・2次宿主世代についてのデータが得られた *Colophina* 属の4種全てに共通するオルソログ遺伝子を抽出し、発現量の種間比較をクラスター解析により行った。その結果、不妊兵隊で発現が変動する遺伝子を用いた場合は、1次宿主世代・2次宿主世代のモルフごとにクラスターが形成され、2次宿主の不妊兵隊の発現パターンは1次宿主のグループに属することがわかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】社会性アブラムシ、社会性昆虫、表現型多型、RNA-seq

【研究 題 目】クワガタムシ・コガネムシ類における昆虫一菌類の共生関係の解明と保全生物学的応用

【研究代表者】棚橋 薫彦（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】棚橋 薫彦（他1名）

【研究 内 容】

クワガタムシ類は、その巨大な体や魅力的な姿形によって世界中で広く親しまれている昆虫であると同時に、森林生態系を象徴する昆虫として、生物保全の重要な対象となっている。クワガタムシ類の多くの幼虫は木材腐朽菌によって腐朽した材を食べる。木材は消化困難であり、食材性昆虫のほとんどは微生物の助けを借りて木材を消化することが知られている。クワガタムシにおいては、メス成虫が腹部末端に菌嚢と呼ばれる器官を持ち、その中に酵母類を保持している。

本研究では、日本産クワガタムシ科の約40種のうち一部の離島固有種を除いた計32種について、成虫の菌嚢または幼虫消化管に存在する共生酵母を解析・同定した。クワガタムシ科の共生酵母の大半は *Scheffersonyces* 属のキシロース醗酵性酵母であったが、特殊な生態を持ついくつかの希少種クワガタムシからは、これまでに知られていない新規の酵母群が発見された。

また、酵母以外の微生物との共生についても新規の知見が得られた。例えば、フィリピンに生息するクーランネプトクワガタの成虫腸管からはツリガネムシ類に近縁な繊毛虫が見出された。類似の繊毛虫については、ミズスマシの口腔内、またゲンゴロウの食道内に寄生するという古い報告はあったが、陸上生物の体内にこの種の繊毛虫が共生する現象は大変珍しく、新規な発見である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】クワガタムシ類、酵母、繊毛虫

【研究 題 目】ハムシ類の水生植物利用への進化における腸内微生物群集の役割

【研究代表者】池田（福森）香代子（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】池田（福森）香代子（他1名）

【研究 内 容】

本研究は、ハムシ科甲虫がもつ共生細菌の多様性と共進化状況を明らかにすることを目的としている。本年度は、日本産カメノコハムシ亜科23種について共生細菌を同定し、その多様性および宿主との共進化関係について明らかにした。カメノコハムシ亜科における共生細菌の体内局在を FISH 法で可視化したところ、多くの種で雌雄ともに前腸と中腸の間に2個または4個の小さな共生器官が見られたが、数種からは共生器官が見いだされなかった。雌の卵巣の近傍に次世代への共生細菌伝達に関わると思われる器官を同定した。細菌16S rRNA 遺伝子の系統解析の結果、中腸前方の共生器官および雌の伝達器官には同じ細菌が優占しており、ガンマプロテオバクテリア綱に属する新規共生細菌であることが判明した。共生細菌と宿主カメノコハムシ亜科それぞれにおいて3つの遺伝子領域の塩基配列をもとに系統樹を作成したところ、共生細菌の系統関係は宿主の系統関係と一致する傾向にあり、両者の共進化関係が示唆された。多くの種で高度に保存され、器官レベルの特殊化も見られることから、この共生細菌はカメノコハムシ亜科において重要な生理機能をもつ可能性が示唆された。また、サルハムシ亜科のブドウサルハムシがもつ共生細菌の同定と系統解析に取り組んだ。本種では雌雄ともに前腸と中腸の間に指状の共生器官が見られた。また、雌の卵巣の近傍に次世代への共生細菌伝達に関わると思われる器官を同定した。共生器官内にはロゼット状の形態をもつ共生細菌が認められ、系統解析の結果、ガンマプロテオバクテリア綱に属する新規共生細菌が優占していることが判明した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】昆虫、共生細菌、分子系統樹

【研究 題 目】糸状菌におけるリボソームペプチド生合成経路の合理的探索

【研究代表者】梅村 舞子（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】梅村 舞子（常勤職員1名）

【研究 内 容】

糸状菌は多様な生理活性物質を産生することで知られる。その生合成経路は、医薬品や農薬となりうる化合物の合成と生産に役立つ重要な遺伝子資源である。近年研究代表者により、糸状菌 *Aspergillus flavus* において、二次代謝物質 *ustiloxin* の生合成経路が同定された。代謝物中間体および遺伝子配列の詳細な解析により、本経路は、化合物の骨格構造がペプチド鎖として遺伝子に直接書き込まれた、糸状菌で初めてのリボソームペプチド生合成 (ust-RiPS) 経路の例であることが明らかになった。本研究課題では、同種の経路を *Aspergillus* 属を中心に探索し、遺伝子破壊と代謝物測定から当該生合成経路と化合物のセットを同定することを目的とする。

平成28年度は、前年度までに見出したリボソームペプチド生成経路候補と対応した生成化合物の精製を進めた。本化合物は産生量が極端に低いため、500 mLの固体培養を200本以上行って化合物を抽出・精製した。構成アミノ酸同定およびNMR測定により、前駆体ペプチド配列が2ヵ所で環状になった構造を持つ、分子量が1000を超える新規リボソームペプチドであることを同定した。本化合物はすでに見出されている他の2つのust-RiPS化合物とは骨格構造が全く異なるもので、本ust-RiPS経路が多様な環状ペプチドを生合成する1つの大きな糸状菌二次代謝経路のクラスであることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】真菌類、環状ペプチド化合物、リボソームペプチド生成経路、質量分析

【研究 題 目】共生細菌が持つ雄殺し遺伝子の同定とその利用基盤技術の開発

【研究代表者】安佛 尚志（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】安佛 尚志（常勤職員1名）

【研究 内 容】

ショウジョウバエに感染して、胚発生初期の雄を特異的に殺す「雄殺し」と呼ばれる生殖操作をおこなう共生細菌スピロプラズマの持つ雄殺しの原因遺伝子の同定を目的とし、雄殺しスピロプラズマ2系統（NSRO, MSRO）および雄を殺さなくなった突然変異系統（NSRO-A）の計3系統について、完全ゲノムの決定と比較ゲノム解析に取り組んだ。昨年度に得られた各スピロプラズマ系統のドラフトゲノム上に推定された約2,400の遺伝子について、アミノ酸の相同性に基づくアノテーションを行った。オス殺し系統のNSROを例に挙げると、2,478遺伝子のうち、大部分（75%）が機能未知のタンパク質をコードしていることが示された。アノテーションがついたものは613遺伝子であり、機能の内訳としては遺伝子制御系の遺伝子が最も多く、次いで代謝系、環境シグナル、細胞プロセスに関わる遺伝子が多かった。また、非オス殺し突然変異系統のNSRO-Aにおいて変異が生じた遺伝子を検出するため、雄殺し系統のNSROとの間でゲノム上にコードされたアミノ酸の比較を行ったところ、およそ8%（209）の遺伝子にアミノ酸変異が生じていることが示唆された。今後は、これらの変異について詳細に解析を進める予定である。一方で、各ドラフトゲノムは極めて相同性の高いファージゲノムの挿入により10コンティグに分断されており、完全長ゲノムを得るため、次世代シーケンサーPacBioRSIIのリードデータのうち、ファージ全長の19 kbを超えるリードによるコンティグの結合を試みているところである。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】共生細菌、生殖操作、雄殺し、次世代シ

ーケンサー、ゲノム、スピロプラズマ、ショウジョウバエ、ファージ

【研究 題 目】発光ゴカイにおける新規分泌型発光分子機構の解明

【研究代表者】三谷 恭雄（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】三谷 恭雄（常勤職員1名）

【研究 内 容】

生物発光を利用した生体イメージング等が広がりを見せ、多くの成果を挙げている一方で、特に海棲発光生物では発光分子機構が未解明な種が多く残されている。中でも富山湾を中心に生息が確認できている発光ゴカイは、発光粘液を分泌するが、その分子の実体はこれまでほとんど解明されていなかった。この発光液は他に類を見ない発光色（510 nm）と発光強度を持つ特徴的な系であると考えられるが、発光ゴカイの出現時期が極めて限定的なことなどから従来の生化学的手法を適用するためには、量の確保が困難であった。これに対し、我々は発光液に含まれるタンパク質のアミノ酸配列決定と次世代シーケンサーを組み合わせた手法により、他のタンパク質と全く相同性を示さない、新規なルシフェラーゼ遺伝子を同定・単離し、組換えタンパク質としての発光活性を確認してきた。さらに、本課題においては、発光液のLC-MS/MS解析により、発光ゴカイルシフェリンの推定構造を明らかにするとともに、それに基づく有機化学合成を行い、発光活性を示す低分子化合物の取得に向けて研究を進めている。富山湾にて採取したゴカイを有機溶剤に浸すことでルシフェリンを抽出し、組換えルシフェラーゼを用いてその活性を確認するとともに、安定性試験等を実施した。抽出したゴカイルシフェリンを含む溶液をLC-MS/MS解析に供し、構造推定を行った。現時点までに、予想される化合物の基本骨格の有機化学合成を終えており、今後、側鎖部分も含めた合成を進め、活性測定に供する。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】発光生物、ルシフェラーゼ

【研究 題 目】糸状菌二次代謝プロモーターの応用による有用物質生産系の構築と改良

【研究代表者】小池 英明（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】小池 英明（常勤職員1名）

【研究 内 容】

伝統的発酵産業で使われる麹菌（*Aspergillus oryzae*）は、対数増殖後に余剰の糖を二次代謝としてコウジ酸に変換する。その変換効率は極めて高く、他化合物の高生産化への応用が期待される。今までにコウジ酸合成酵素のプロモーターを応用して胞子色素ポリケチドの合成酵素を高発現し、二次代謝生産期での人為的なヘテロ化合物生産に成功した。本研究では、この色素のさらなる生産性向上を目標として、色素およびコウジ酸生産時に

機能する遺伝子と代謝を詳細に明らかにして、高生産と相関の高い代謝の知見獲得を目指す。

糸状菌である麴菌は生育が定常期に入った後、培地中に残る余剰グルコースをコウジ酸 (KA) に変換する。増殖が終わった後の KA 二次代謝生産は、働く遺伝子も少なく、極めて効率的であり、その結果培地中に KA が大量に蓄積する。麴菌が高生産する2つの二次代謝化合物 (コウジ酸 KA、色素ポリケタイド YWA) 生産時に働く遺伝子、代謝パスを明らかにすることを目標とする。最初にコウジ酸生産条件で、発現遺伝子を RNA-seq 解析した。麴菌を、コウジ酸を生産する条件で培養し、1日毎に菌体を回収し、その菌体内で転写されている mRNA を解析した。同時にコウジ酸を生産しない条件でも培養し、同様に mRNA を解析した。既に RNA のデータは取得していたため、情報科学的に有意に発現が上昇している遺伝子を特定してリスト化した。コウジ酸の生産に直接かかわる3つの遺伝子はもちろんであるが、それ以外にも日によって有意に発現が生産と関連して上昇する遺伝子が見られた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】二次代謝、転写制御、糸状菌

【研究 題 目】藍染発酵液の染色強度と微生物叢相関の解明

【研究代表者】湯本 勳 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】湯本 勳 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

藍の発酵は仕込みを適正に行うことにより比較的短期間で微生物叢が正常化し、自然発酵により藍の色素の還元が起こる。さらにオープンな環境で運用しているにも関わらず半年以上も還元状態を維持している。発酵の善し悪しは発酵液の色素の還元力で容易に判断出来る。この様に自然発酵で且つオープンな系で長期間維持が可能で、その状態の善し悪しを容易に判断出来る系は非常にユニークであると考えられ、その発酵の立ち上がりと維持のメカニズムに興味を持たれるところである。

本年度は発酵の立ち上がりの細菌叢の変化を次世代シーケンズで経時的に解析した。その結果、発酵の立ち上がりの期間において、急激な微生物叢の変化が観察された。仕込みの段階で、熱処理による微生物の選抜→高アルカリ嫌気に適応した微生物の優先化が短期間で起こることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】発酵、藍還元、発酵の立ち上がり、還元の維持

【研究 題 目】高感度な核酸-蛋白質相互作用評価法の開発と核酸医薬への展開

【研究代表者】三重 安弘 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】三重 安弘 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

目的：

がん等の疾病に関与している microRNA (miRNA) を標的とした核酸医薬が期待され、miRNA 活性を阻害するオリゴ核酸、anti-miRNA oligonucleotide (AMO) の開発が行われている。しかしながら、その作用機序の理解は進んでいない。本研究では、電極上に固定化したオリゴ核酸のダイナミクスを指標とすることで高感度な核酸-蛋白質相互作用評価法を開発し、これを応用して miRNA-蛋白質複合体に対する AMO の作用機序を解明することを目的とする。

研究計画：

miRNA-蛋白質複合体やオリゴ核酸プローブを調製し、電極上でこれら分子の高感度な相互作用アッセイが可能になるような該分子の固定化手法・検出方法を開発する。該方法にて miRNA-蛋白質複合体に対する種々 AMO の相互作用評価し、他の知見と併せて作用機序を解明する。

年度進捗状況：

本年度 (1年目) はまず、argonaute 蛋白質 (Ago) と miRNA の複合体 (Ago・miRNA) の調製を進めた。ペプチドタグを導入した Ago 蛋白質の発現ベクターを準備し、ヒト培養細胞を活用した該蛋白質の調製法を検討し、十分量の蛋白質を得ることに成功した。更に、導入したタグを利用した精製を行い純度の高い Ago 蛋白質試料を調製できた。得られた Ago 蛋白質に、2本鎖および1本鎖の miRNA を作用させ、目的の Ago・miRNA 複合体を得ることができた。現在、該反応効率向上の検討を行っている。また、電極上に効率的に固定化するための官能基を導入したオリゴ核酸を種々条件下にて金電極上に固定化し、該電極上での電気化学マーカーの電圧-電流応答特性等から、固定化密度の異なるオリゴ核酸電極を構築できることを明らかにした。この知見は、今後の Ago・miRNA 蛋白質複合体と該電極上の核酸分子との相互作用評価に有用と考えている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】シトクロム P450、薬物代謝、高感度アッセイ、電気化学酵素反応

【研究 題 目】放線菌における系統分類と生産物質のデータベース化と新規生産株の簡易検出法の開発

【研究代表者】北川 航 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】北川 航 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

ロドコッカス属細菌において同種でありながら株レベルで異なる抗生物質を生産する数株を得ている。これらの系統学的分類と抗生物質生産性による分類を関連づけるため、それぞれ異なる物質生産性を示す *Rhodococcus erythropolis* 4株の完全ゲノムを決定した。

これによりこれまで分類の指標の候補としていた *gyrB* (DNA ジャイレースサブユニット B) や *rpoB* (RNA ポリメラーゼ β サブユニット) だけでなく、16S rRNA 遺伝子の完全長やコピー数を明らかにする事が出来た。更にそれぞれの抗生物質の生産系遺伝子を明らかにする事が出来た。これらの情報から、これまでに得ていたものよりも更に詳細に進化系統関係と抗生物質生産性について解析を進める事が出来た。更に *recA* (DNA recombinase)、*trpB* (tryptophan synthase beta)、*atpD* (ATP synthase beta)、を合わせた5遺伝子による MLST 解析を行った。結果としては *gyrB* と *rpoB* はほぼ同じ解像度を持ち、MLST と同等の解像度が1遺伝子で達成されるというものであった。また *R. erythropolis* 種内 (21株) の *gyrB* 1000塩基あたりの変異率は5.8であり、*Pseudomonas putida* の103、*Bacillus cereus* の77.9と比べ極めて低く、*R. erythropolis* の各株が極めて進化的に近縁でありながら、機能的な多様性を持つ事が示された。ロドコッカスについてはこれらの情報を元に分類またデータベース化が可能であった。しかし抗生物質生産菌として知られるストレプトマイセスについては同一の株において複数の抗生物質生産をする株が極めて多く、また培地条件などにより生産物が異なる事から、同様の手法による分類とデータベース化は困難であると結論付けた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ロドコッカス、抗生物質、系統分類

【研究 題 目】植物発現組換えタンパク質の安定的蓄積に関する研究

【研究代表者】松尾 幸毅 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】松尾 幸毅 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究は、植物を利用した組換えタンパク質の生産において、植物細胞内での組換えタンパク質の分解を防ぐことによって、その生産量を向上させるための技術開発を行うことを目的とした。各種生物由来のプロテアーゼインヒビターを、モデルタンパク質と植物体内で共発現させた結果、一部のプロテアーゼインヒビターにおいてモデルタンパク質の生産性の向上が確認された。このことから、植物体内における組換えタンパク質の安定性が向上し、その蓄積量を大幅に増加させることが可能であると考えられる。また、植物細胞内における不安定さから生産困難であると考えられる組換えタンパク質の生産が可能になることも期待される。

2016年度は本課題において開発したリーフディスクを利用した簡便なアグロインフィルトレーション法について追加の研究を実施した。菌体の濃度、減圧処理条件、添加する抗真菌物質の濃度、リーフディスクの培養期間等を GFP をモデルタンパク質として、また、モデル植物体としてタバコの一つである *Nicotiana*

benthamiana を用いて実施し、アグロインフィルトレーションの条件を最適化した。また、複数の RNA サイレンシングサブプレッサーの効果の相違についても、リアルタイム RT-PCR やウエスタンブロット解析により検討を加えた。更に、有用タンパク質の一種であるヒト酸性繊維芽細胞増殖因子の生産試験も実施し、本アグロインフィルトレーション法の有効性を検証した。本手法を用いて、プロテアーゼインヒビターと有用タンパク質の共発現試験を実施し、プロテアーゼインヒビターの組換えタンパク質生産性における有用性について検討した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】物質生産、遺伝子組換え植物

【研究 題 目】水-二酸化炭素によるバイオマス新規糖化法の開発

【研究代表者】佐々木 正秀 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】佐々木 正秀、清水 弘樹

(常勤職員2名)

【研究 内 容】

本研究は木質系バイオマスの化学原料化を目指して、水と二酸化炭素のみで木質系バイオマスの糖化反応を行い、種々の化学原料となるグルコース、キシロースを効率的に生成することを目的とする。昨年度二酸化炭素導入部を新設したパーコレーター型反応装置に関して、基本運転条件の設定を行った。具体的には、全自動背圧弁のヒーター温度の設定、効率的な試料 (水溶液) 回収方法、水と二酸化炭素合流点での混合促進、そして電気炉および冷却管の冷却水温度の設定である。これらの条件を最適化後、実際の反応実験を行った。

木質系バイオマスを試料とし反応温度255℃で種々の比率 (水/二酸化炭素) で反応を行った結果、水流速: 6.0 mL/min、二酸化炭素流速: 6.0 mL/min の場合に、水のみ反応に比べ反応残渣収率の減少が観測された。さらに得られた液状生成物の硫酸による加水分解の結果、単糖 (グルコース、キシロース) 収率も二酸化炭素共存で増加が認められた。以上のことより、水共存下超臨界二酸化炭素の添加が木質系バイオマスの加水分解反応に効果的に作用することが初めて実証された。

【領 域 名】ライフサイエンス

【キーワード】サステイナブルケミストリー、バイオマス、化学原料化、水、二酸化炭素

【研究 題 目】シントロフィーを促進するサポーター微生物の存在とその新規微生物間相互作用の解明

【研究代表者】成廣 隆 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】成廣 隆 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

メタン生成環境の代表例として、汚泥消化タンクなどに代表される嫌気性廃水処理プロセスを対象とし、シン

トロフィーによる有機物分解を担う嫌気性共生細菌（シントロフ）とメタン生成アーキア、およびシントロフィーを促進していることが推定されるその他の嫌気性微生物群の代謝機能を比較ゲノム・メタゲノム解析により明らかにすることを試みた。シントロフィーによる有機物分解を支えるヒドロゲナーゼ、ギ酸デヒドロゲナーゼ、およびフラボプロテイン酸化型ヒドロゲナーゼ複合体やフェレドキシン：NAD 酸化還元酵素複合体等の電子伝達関連酵素をコードする遺伝子群を、*Syntrophomonas* 属や *Pelotomaculum* 属等に近縁のシントロフのメタゲノム情報から見出し、それらがシントロフィーの促進と維持に重要な役割を果たしていることが示唆された。また、メタン生成アーキアの比較ゲノム解析では、メタン生成反応の各段階を触媒する酵素遺伝子のシンテニーを比較し、*Methanomicrobiaceae* 科に属する水素利用メタン生成アーキアが、メタン生成に必要な一連の酵素遺伝子群をゲノム上に連続して配していることが明らかとなり、シントロフ-メタン生成菌のペアリング形成にとって有利に機能していることが示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】微生物、廃水処理プロセス、微生物ゲノム、未知微生物

【研究 題 目】ゲノム分子進化を用いた弱毒ウイルス作
出法の開発

【研究代表者】柿澤 茂行（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】柿澤 茂行（常勤職員1名）

【研究 内 容】

近年考案されたレアコドンウイルスは、従来の弱毒ウイルス（生ワクチンウイルス）の問題点の多くを克服した次世代の弱毒ウイルスとして期待されているが、ウイルスゲノムを人工合成して作製するため遺伝子組換えウイルスになってしまう点が問題である。本研究は、遺伝子組換えを用いることなくレアコドンウイルスを作出する新たな手法を植物ウイルスに対して応用することで、遺伝子組換えでないレアコドン弱毒ウイルスの作出を行うことを目的とする。

レアコドンは、細胞内における tRNA の存在量が少なくなるとに起因すると言われている。あるコドンに対する tRNA 量が少ない場合、そのコドンを持つ遺伝子の翻訳速度が低下し、タンパク質の発現量が制限される現象が起こる。また多くのウイルスでは、宿主内におけるウイルスの複製量を最大にするため、ウイルスゲノムのコドン頻度が宿主のコドン頻度に対して最適化されていることが知られている。これらレアコドンについての調査結果を踏まえ、レアコドンに対する tRNA 遺伝子を植物において過剰発現させる系の検討を行い、本アプローチの有効性を検討した。またその結果を踏まえ、レアコドンに対する tRNA 遺伝子を植物において過剰発現させる系の検討を行った。その結果、通常の形質転換系

で問題なく行うことが出来ることが分かった。またウイルスの経代を繰り返し定期的にサンプリングしたのちその塩基配列を解析する系を検討した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】コドン、ウイルス

【研究 題 目】シオカラトンボの UV 反射 Wax の解明

【研究代表者】二橋 亮（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】二橋 亮（常勤職員1名）

【研究 内 容】

日本人に馴染みの深いシオカラトンボは、成熟過程でオスが麦わら色から白っぽい水色へと変化する。申請者は、シオカラトンボのオスは、体色変化の際に Wax を分泌して体表の微細構造を変化させ、同時に強力な UV 反射能を獲得することを発見した。本研究では、真夏の日差しに強いシオカラトンボの体表 Wax 構造の合成・輸送経路の分子基盤を解明し、生物素材としての応用の可能性を探ることを目的とする。平成27年度までに、GC-MS 解析により、体表 Wax の主要成分を同定することができた。また、体表 Wax による撥水性の評価についても、概ねまとめることができた。平成28年度は、共同研究によりこの Wax の合成を行ったところ、1種類の Wax 合成品でも高い紫外線反射能と撥水性を有することが明らかになった。合成品は、結晶化させる方法によって表面構造が変化するが、滴下させた場合が生体に最も近い特徴を持つことが確認された。また、オスとメスおよび通常メスとオス型メスの RNAseq 解析から、オスの背側に特徴的な Wax 生産に関わる候補遺伝子を複数同定することに成功し、特に差のある遺伝子を1種類特定することに成功した。以上のように、Wax 類似物質を人工的に再現できたことから、紫外線反射に関わる新たな生物素材としての応用面への展開も期待できる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】昆虫、シオカラトンボ、構造色、表面微細構造、紫外線反射

【研究 題 目】一年生植物シロイヌナズナを多年生にする

【研究代表者】藤原 すみれ（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】藤原 すみれ（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、一年生植物であるシロイヌナズナにおいてある転写因子を強く発現させた際に見られる多年生植物様の形質に主に着目し、解析することで、一年生植物と多年生植物の違いを生み出す未同定の要因を見つけるとともに、分子育種等に役立つ知見を得ることを目的としている。

シロイヌナズナの野生型で強発現した際に多年生的性質を付与することを見出している転写因子について、ある遺伝子を破壊した系統内で同じく強発現させた場合に

は野生型の場合と比較して形質が弱まったことから、その遺伝子が多年生の形質の付与に關与する可能性が示唆された。

また、上記の多年生の形質を付与する転写因子を強発現するコンストラクトを用い、シロイヌナズナと異なる日長感受性を示す他の植物に形質転換し、栽培試験を行ったところ、シロイヌナズナで見られたような形質変化は現れなかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】植物、シロイヌナズナ、転写因子、多年生

【研究 題 目】氷の再結晶化を阻害する不凍タンパク質

機能の定量的説明

【研究代表者】津田 栄 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】津田 栄 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

通常の氷は無数の氷の単結晶すなわち氷核が再結晶化を起し互いに固く結びついたものである。一方、不凍タンパク質 (AFP) と呼ばれる物質の水溶液を凍らせると、通常の氷とは異なり、互いに結びつかない氷核の集合状態になることが知られている。これは不凍タンパク質が無数に氷核表面に結合することで氷核の再結晶化を阻害するためと考えられているが、その機能を定量的に説明する試みは殆ど行われていない。本研究では、氷核の経時変化が Ostward Ripening 則 ($r_3 = r_3(0) + Kt$) で近似できること、この式の中の再結晶化速度 (K) を実験的に求めることによって AFP の IRI 機能を定量できることを明らかにした。すなわち、従来のように一定時間毎に撮影した視野の異なる氷晶画像から 200-300 個以上もの氷核の大きさの平均値を見積もるのではなく、上式が示す通り、視野を変えずに連続撮影した氷晶画像の動画から複数個の氷核の成長速度を見積もることによって、より速く正確に K が求まることを新たに見出した。更に、この定量的解析法を用いて様々な AFP 試料の IRI 機能を解析することで分子量 3.3 kDa の 40 アミノ酸残基から成る BpAFP が極めて優れた IRI 活性を發揮することを明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】不凍タンパク質、氷核再結晶化阻害

【研究 題 目】コバネヒョウタンナガカメムシにおける細胞内共生成立機構に関する研究

【研究代表者】菊池 義智 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】菊池 義智 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

多くの昆虫はその体内に細胞内共生細菌を保持しており、母子間伝播によって次世代へと受け継がれることが知られている。このような昆虫の細胞内共生系について、

これまで進化的研究やゲノム科学的研究が行われてきたが、細胞内共生の進化的起源についてはほとんど分かっていないのが現状である。最近我々は、共生細菌を毎世代環境土壌中から獲得するコバネヒョウタンナガカメムシが、その共生細菌を消化管の上皮細胞内に保持していることを発見した。昆虫においてこのような「恒常的細胞内共生の初期段階」ともいえる共生系はこれまで知られておらず、コバネヒョウタンナガカメムシにおける共生メカニズムの解明は、昆虫における細胞内共生の進化に迫る大きな成果に繋がると期待できる。本年度はコバネヒョウタンナガカメムシにおける *Burkholderia* 共生細菌の生物学的役割を解析し、これら細菌が宿主カメムシの成長に必須の役割を果たすことを明らかにした。また、解析範囲をヒョウタンナガカメムシ科全体に拡大し、多くの種がコバネヒョウタンナガカメムシと同様に環境獲得型の細胞内共生をしていることを明らかにした。一方ヒョウタンナガカメムシ科以外の近縁分類群ではこのような細胞内共生が観察されなかったことから、この環境獲得型細胞内共生はヒョウタンナガカメムシ科の共通祖先で独自に進化したものと考えられる。また本年度は、細胞外 (腸内) に *Burkholderia* 共生細菌を持つホソヘリカメムシと、細胞内に *Burkholderia* 共生細菌を持つコバネヒョウタンナガカメムシの間で共生細菌の交換実験を行い、細胞内に共生するという性質が宿主カメムシによって決められていることを明らかにした。細胞内共生成立に關わる遺伝的基盤はほとんど分かっていないが、本発見はそのランドマークともなる重要な知見といえる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】進化、昆虫、細菌、細胞内共生

【研究 題 目】がん特異的なコアフコシル化糖鎖を認識する抗体の創製

【研究代表者】奥田 徹哉 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】奥田 徹哉 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

コアフコシル化糖鎖は新たに発見された様々ながんマーカー候補の糖タンパク質に見られる糖鎖構造である。本研究ではコアフコシル化糖鎖をターゲットとした高効率の抗原 (免疫誘導剤) の調製と、その利用によるコアフコシル化糖鎖認識抗体の獲得を目的としている。糖鎖は一般に抗原となりにくいことが知られているが、提案者らは糖鎖に最適化した免疫誘導法を確立しており、この方法をコアフコシル化糖鎖への免疫誘導に最適化し、モノクローナル抗体を獲得するための基盤技術の開発を進めている。目指すモノクローナル抗体の獲得により、現状技術では困難であったがん診断や抗体医薬品の開発が可能となる。

本年度は、(1) コアフコースを有する糖タンパク質を固相化抗原とした ELISA を確立し、ハイブリドマ

のスクリーニングに必要な一連の実験系の確立を完了した。(2) 免疫誘導剤の調製について、抗原部を構成する糖鎖の調製まで完了した。(3) 類似の免疫誘導剤を用いた検討にて、免疫誘導剤の活性増強が期待できる構造上の改良点を見出した。(4) 既存のモノクローナル抗体を用いて糖タンパク質の糖鎖解析技術を確立した。本技術にて、がん細胞に由来する糖タンパク質の糖鎖解析を実施し、その有効性を確認するとともに成果を学術論文として公表した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】 コアフォース、モノクローナル抗体、糖鎖、癌、腫瘍マーカー

【研究 題 目】 カビの増殖をトリガーとした抗カビ活性物質オートリリースシステムの開発

【研究代表者】 山口 宗宏 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 山口 宗宏、佐々木 正秀、清水 弘樹 (常勤職員3名)

【研究 内 容】

本研究は、カビが放出する酵素がトリガーとなって、人体に無毒な抗カビ活性物質を必要時に必要量、必要な場所に放出し、カビの増殖を効果的に抑制するシステムを開発するものである。

昨年度は、ガラス表面への均一な物質固定化方法について検討したが、平面基板上への生物活性物質のモデルである蛍光物質の固定において、良好な均一性、再現性が得られず、定量的な検討を行うことが出来なかった。そこで、シリカゲル上に化合物を固定化する検討を進めた。蛍光官能基であるダンシル基を固定化したところ、定性的には固定化されていることが確認できたが、定量分析は困難であった。次に、96穴プレート中で抗カビ活性を検討するため、表面に活性エステル基が修飾されたものに抗カビ活性が認められた4種類の天然由来の化合物を0.2 pg/ml~2 mg/ml で処理して固定化し、抗カビや殺カビ効果実験をおこなった。しかし、全ての場合で抗カビや殺カビ効果は観察出来なかった。これは、活性エステル基の密度が十分でなかったためと考察した。現在は、より化合物濃度が調整可能なペプチドや核酸合成で利用される固相レジンをを使った実験を計画、遂行中である。

また、抗カビの生化学的な研究として、アミノ基を持つ化合物の添加効果について検討を進め、培地に添加することでイネいもち病菌ではアミダーゼ遺伝子の発現が2倍以上に増加することを見出した。つまり、アミノ結合により抗菌性化合物を結合した表面に対してアミダーゼが作用し、抗菌性化合物が遊離することが期待できると考えられた。また、本研究で主に用いている天然由来の食品添加物の一種である、抗菌性化合物に対する糸状菌の遺伝子応答を解析中である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】 衛生、抗カビシステム、機能性表面、酵素反応、菌類

【研究 題 目】 膵癌における新たな細胞内分子ターゲットによる生物学的診断・治療法の開発

【研究代表者】 森田 直樹 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 森田 直樹 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

膵癌細胞において、生存能・転移能・増殖能・薬物耐性・抗低酸素能などに関して、ある種の蛋白質 (pXY) が関係しているかを細胞生物学的・分子生物学的に検討することを目的とした。

pXY 発現により影響される細胞の生物学的機能の解析を行った。pXY 発現・活性化は、細胞内酸化能に強く影響を与えていた。様々な酸化分子を上方制御することで、酸化ストレスに対する基本的な抵抗性を与えていることが示唆された。同時に抗アポトーシス分子の活性化、細胞生存関連分子 Akt/PKB 活性化、さらには Fas の発現制御を誘導したことから、癌細胞が様々な刺激による傷害から免れ、強い生存能を有していると考えられた。また、pXY 刺激は、細胞増殖に関わる分子活性には影響を与えてはいなかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】 膵癌、治療ターゲット分子、生物学的診断・治療法

【研究 題 目】 高効率物質生産植物体の開発

【研究代表者】 松尾 幸毅 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 松尾 幸毅 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、高効率に組換えタンパク質等の生産が可能な「高効率物質生産植物体」の作出を目的とする。具体的には、植物のウイルス等に対する基本的な防御機構である RNA サイレンシング機構に関与する遺伝子を、ゲノム編集技術によってノックアウトする。これにより RNA サイレンシング機構の働きを阻害することで、組換えタンパク質遺伝子由来 mRNA の分解が防がれ、結果として、目的とする組換えタンパク質の生産量の増大させることが可能となる。モデル植物は、タバコの一つであり植物による物質生産に世界中で広く用いられている *Nicotiana benthamiana* を用いる。

2016年度は遺伝子ノックアウトのためのベクターの構築を行った。*N. benthamiana* 由来遺伝子サイレンシング関連遺伝子について、各種ソフトウェアにより CRISPR/Cas9 システムにおける標的配列を検索し、ガイド RNA 発現のためのカセットを複数設計した。一方、Cas9 遺伝子及びガイド RNA 発現カセットを植物発現用バイナリーベクターへ組み込み、さらに本ベクターによりアグロバクテリウムに形質転換を行った。本アグロバクテリウムを用いて *N. benthamiana* における Cas9

タンパク質一過性発現試験を行った結果、その発現がウエスタンブロット解析により確認された。今後は、標的遺伝子への変異導入に関し検討を加える予定である。

【領域名】生命工学

【キーワード】物質生産、遺伝子組換え植物

【研究題目】金属鉄を唯一のエネルギー源として生育する鉄腐食・酢酸生成菌の代謝機構の解明

【研究代表者】加藤 創一郎（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】加藤 創一郎（常勤職員1名）

【研究内容】

我々は固体である金属鉄中の自由電子を唯一のエネルギー源とし、二酸化炭素から酢酸を生成することで生育可能な新規微生物を単離し、この代謝が無酸素環境下での鉄の腐食（いわゆる“さび”）を促進することを発見した。しかしこの微生物がいかんして細胞の外にある金属鉄から電子を受け取っているのか、その分子機構は不明である。本研究では我々が以前に単離した鉄腐食・酢酸生成細菌を対象として、近縁種との比較ゲノム解析、網羅的遺伝子発現解析、電気化学的解析、変異株の作製を通して、金属鉄との電子授受に基づくエネルギー代謝の分子機構を解明することを目的としている。

まず我々が単離した鉄腐食・酢酸生成細菌（*Sporomusa* sp. GT1株）とその近縁の酢酸生成菌群について、金属鉄を唯一の電子受容体とした培養実験をおこなった。その結果、明確な鉄腐食活性を示したのは *Sporomusa* sp. GT1株と *Sporomusa sphaeroides* のみであり、*Sporomusa ovata* やいくつかの *Moorella* 属、*Acetobacterium* 属の酢酸生成菌は鉄腐食能を示さなかった。このことは細胞外の固体から電子を受け取る能力を持っているのは酢酸生成菌の中でもある一部の特殊な菌のみであることを示唆している。

次に鉄腐食能を示した *Sporomusa* sp. GT1株と *S. sphaeroides* のゲノム DNA を調整し HiSeq 法による全ゲノムシーケンズ解析をおこなった。得られたデータから配列のアセンブリ、遺伝子同定をおこない、総コンティグ数が100前後、カバレッジが95%以上のゲノムデータを得ることができた。現在、すでにゲノム解析がおこなわれている鉄腐食能を持たない近縁の酢酸生成菌（*S. ovata* など）のゲノムデータを加えた比較ゲノム解析をおこなっており、鉄腐食能を持つ菌株のみが有しているいくつかの遺伝子（鉄腐食関連遺伝子の候補）が同定されている。今後鉄腐食酢酸生成菌のトランスクリプトーム解析などを行うことで、この鉄腐食関連遺伝子候補の機能推定を進めていく予定である。

【領域名】生命工学

【キーワード】微生物、鉄腐食、酢酸生成菌、比較ゲノム、代謝機構

【研究題目】自然環境下でゆらぐ遺伝子発現の網羅的同定

【研究代表者】宮崎 亮（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】宮崎 亮（常勤職員1名）

【研究内容】

近年の一細胞解析法を用いた研究によって、同一環境下で培養したクローン細菌集団であっても、個々の細胞レベルでは表現型に多様性があり、それが集団全体の機能やフィットネスにアドバンテージをもたらすことがわかってきている。本研究は、これまで主に実験室のモデルシステムを用いて研究されてきた上記の現象を自然環境下で観察・モニタリングし、その進化生物学的意義の解明に挑むものである。

緑膿菌の III 型分泌系遺伝子のプロモーターと構成的に発現するプロモーターを別々の蛍光タンパク質遺伝子と連結し、同一細胞内で両者を検出するためのコンストラクトを作製した。本コンストラクトを導入した緑膿菌を共焦点顕微鏡で観察したところ、複雑なシスエレメントが原因で一方のレポーター遺伝子が正常に機能しなかったため、コンストラクトに各種改良を加え、最終的に両レポーター遺伝子発現の検出が可能な汎用性の高いコンストラクトの作製に成功した。さらに、予備実験としてアガロースパッド上で本レポーター株を培養し、長時間 time-lapse 顕微鏡観察のための基礎条件を検討した。現在は、海水や湖底汚泥などイメージング解析を行うための各種環境資料のサンプリングを行っている。

【領域名】生命工学

【キーワード】一細胞解析、遺伝子発現、ゲノム解析

【研究題目】植物ウイルスの複製機構を利用した新規酵母タンパク質発現系の開発に関する研究

【研究代表者】西宮 佳志（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】西宮 佳志（常勤職員1名）

【研究内容】

酵母発現系は、扱いが容易かつ安価であり活性型タンパク質の発現性に優れるうえ、哺乳類細胞に類似の翻訳後修飾が可能であることから外来タンパク質の発現システムとして広く利用されている。特に出芽酵母 *Saccharomyces Cerevisiae* は、相同組換えによるゲノム DNA の破壊や置換が容易であり、代謝経路の編集による有用物質生産にも利用されている。その一方で、*S. Cerevisiae* の外来タンパク質発現レベルは十分とはいえ、その向上が課題となっている。本研究では、RNA ウイルスが宿主細胞内で増殖する機構、すなわちウイルス由来 RNA 依存性 RNA ポリメラーゼ等の RNA 複製関連酵素がウイルス RNA を複製し宿主細胞翻訳系がそれらの RNA の情報からタンパク質を大量合成することを利用した新規酵母タンパク質発現系を構築することを目的としている。平成28年度は、RNA 複製

関連酵素遺伝子の構築と酵母用発現ベクターへのクローニングを行った。また、外来タンパク質発現のレポーターとして蛍光タンパク質を採用し、この遺伝子を RNA 複製関連酵素遺伝子後部にあるサブゲノムプロモーターの下流に組込んだ。酵母内で発現された RNA 複製関連酵素が蛍光タンパク質の RNA を複製することが期待される。現在、構築したベクターで *S.Cerevisiae* を形質転換し蛍光強度を指標に蛍光タンパク質の発現評価を行っている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】酵母、タンパク質発現、RNA 複製

【研究 題 目】スベリン合成制御因子を利用したカスパリー線機能強化植物の作出

【研究代表者】大島 良美（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】大島 良美（常勤職員1名）

【研究 内 容】

根の内皮を囲むカスパリー線とスベリン層は、植物が根から水と栄養素を選択的に吸収し、乾燥や外敵から身を守るために必要不可欠な構造であることが知られている。しかし、その形成の分子機構の研究は緒に就いたばかりであり、これらの解明が進めば乾燥や低酸素耐性付与のための新規な育種技術の開発につながる。これまでにスベリン様のポリエステル・クチンの合成制御因子を解析する中でスベリン形成制御因子の候補を得ている。本研究では候補因子の機能解析及び新規制御因子の同定を行い、スベリン及びカスパリー線形成制御機構を明らかにする。最終的には制御因子を用いてスベリン及びカスパリー線を機能強化した乾燥・低酸素耐性植物の作出を目指す。本年度は、スベリン及びカスパリー線形成を制御する新規転写因子を同定するため、CRES-T ライブラリから側根の数と形状を指標にスクリーニングを行った結果、15転写因子を同定した。その中には、カスパリー線に関与すると考えられるリグニン関係の転写因子や、CRES-T ラインのスベリン蓄積が減少する転写因子、スベリン合成酵素遺伝子の発現が低下するクチクラ関連転写因子が含まれていた。これらの機能強化型を根の内皮で発現する植物を作成した。今後、転写因子の機能解析やストレス耐性試験等を進める。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】植物、遺伝子、発現制御、ポリエステル、脂質

【研究 題 目】メタゲノム由来高機能β-グルコシダーゼの解析と応用

【研究代表者】松沢 智彦（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】松沢 智彦（常勤職員1名）

【研究 内 容】

リグノセルロース系バイオマスはセルロースやキシランなどの多糖類およびリグニンなどによって構成されて

おり、酵素によって分解することで単糖やオリゴ糖などの有用物質に変換することができる。β-グルコシダーゼはセロビオースなどをグルコースに分解する酵素で、リグノセルロース系バイオマスの分解に非常に重要であるが、その反応産物（グルコース）によって阻害されること（生成物阻害）が知られている。この生成物阻害はリグノセルロース系バイオマスの酵素分解のボトルネックとなっており、生成物阻害を克服することによってリグノセルロース系バイオマスのより効率的な利用が可能になると期待される。そこで環境中の微生物メタゲノムから、生成物阻害などに対して耐性を有する高機能β-グルコシダーゼを探索した。大腸菌を用いたファンクショナルスクリーニングによって複数の生成物阻害耐性を有する高機能β-グルコシダーゼの単離・同定に成功し、それらの酵素の詳細な解析を進めた。一部の生成物阻害耐性を有するβ-グルコシダーゼに関しては結晶構造解析にも成功し、そのユニークな性質について詳細に明らかにすることができた。また、得られた立体構造情報をもとに、生成物阻害耐性β-グルコシダーゼのさらなる高機能化を目指した研究も進めた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】酵素、バイオマス、メタゲノム、グルコシダーゼ

【研究 題 目】遺伝子情報から探る未知の窒素固定微生物の生態と生物肥料としてのポテンシャル

【研究代表者】菅野 学（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】菅野 学（常勤職員1名）

【研究 内 容】

温室効果ガスの発生量増大や環境汚染の問題から、化学肥料の農耕地への投入量を低減した環境保全型農業への移行が求められている。しかし一方で、増加する世界人口の食料を賄うことは緊急の課題であるために、農作物の生産量増加も同様に求められている。この「減肥」と「収量増加」のジレンマを解決するためには、微生物機能を最大限活用することが有効と考えられる。本研究は、イネの体内から分離した *Streptomyces* 属に分類される放線菌株の生態や生物肥料としてのポテンシャルを明らかとすることを目的とする。

まず、次世代シーケンサーを用いたゲノム解析の結果から、当該菌株は高親和性ヒドロゲナーゼ遺伝子をゲノム中に1コピー持っており、大気水素を酸化することを確認した。一方で、当該菌株は窒素源を含まない培養液においても安定して増殖するため、窒素固定細菌であることが期待されたが、ゲノム中に既知のニトロゲナーゼ遺伝子の類似配列を持たず、安定同位体比質量分析の結果から菌体中への重窒素の有意な取り込みは認められなかった。昨年度に入手した CRISPR-Cas9ベクターを用いて、当該菌株の高親和性ヒドロゲナーゼ遺伝子の欠失

株を作製して、その水素酸化能の喪失をガス分析により確認した。この遺伝子破壊株をイネに接種したところ、野生株で見られる植物生育促進効果の低減が見られた。植物生育促進に関連する既知の生理学的特性を野生株と破壊株と比較したところ、顕著な違いは見られず、他の要因が考えられた。今後は、当該菌株の大気水素の利用能と植物生育促進の関係性について、そのメカニズムの解明に取り組む予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】微生物、放線菌、植物共生細菌、肥料

【研究 題 目】逆方向 RNA 伸長酵素の RNA 選択機構の解明

【研究代表者】中村 彰良（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】中村 彰良（常勤職員1名）

【研究 内 容】

目的：

近年、通常の核酸合成酵素とは逆向きの3'-5'方向への塩基伸長活性を有する酵素 Thg1と TLP が発見され、遺伝情報伝達機構の新事実注目が集まっている。研究代表者らはこれまでに Thg1と TLP の tRNA 複合体構造の解析に成功し、新規の RNA 認識機構を提唱してきている。本研究では、未解明である TLP のアンチコドン認識様式を X 線結晶構造解析および X 線小角散乱解析 (SAXS) によって明らかにし、提唱した RNA 認識機構の全容を解明する。また得られた知見を元に、tRNA のみならず多様な RNA に対し3'-5'方向への塩基伸長を可能とする手法を確立し、全く新しい研究ツールへの応用に繋げることも目的としている。

研究計画：

tRNA 分子を鋳型 RNA と基質 RNA に分割した分割型 tRNA を作成し、自然界では tRNA に限定されている Thg1/TLP の3'-5'方向の RNA 伸長活性をより多様な RNA に応用する手法を確立する。また、TLP-tRNA^{His}複合体構造の X 線結晶構造解析および SAXS を行い、TLP の tRNA^{His} 認識様式を解明する。

年度進捗状況：

今年度（1年目）はこれまでに得られている Thg1-tRNA 複合体の立体構造情報を元に分割型 tRNA を作成し、Thg1が分割型 tRNA に対しても活性を有することを確認した。その後、分割位置および塩基配列の検討の結果、分割型 tRNA のステムループ構造を熱力学的に安定化することで活性を大幅に向上させることに成功した。さらに、最適化した分割型 tRNA を用い、未解明であった Thg1の GTP 認識機構を解析し、GTP 認識が相補鎖側の塩基との組み合わせによって決定されることを明らかにした。

TLP-tRNA^{His} 複合体を大量調製し、放射光施設にて SAXS 実験を行った。これまでに得られている構造情報を利用して SAXS データの解析を行った結果、TLP には

tRNA^{His} 特異的な RNA 認識機構が存在する可能性が示唆された。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】DNA/RNA ポリメラーゼ、逆向き重合、tRNA 修飾、X 線結晶構造解析

【研究 題 目】持続型アンチ miRNA 創薬の開発と心疾患治療薬への展開

【研究代表者】小松 康雄（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】小松 康雄、平野 悠
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

昨年度までに、DNA および2'-O-methyl RNA（以下 MeRNA）のクロスリンク（以下 CL）2本鎖が、隣接する1本鎖上における RNA とのハイブリを高度に安定化する特性を有することを明らかにした。今年度は、CL2本鎖を有する1本鎖プローブと標的 RNA とのハイブリの融解温度から熱力学的パラメータを求め、安定化効果に関する原因を調べた。実験の結果、CL2本鎖は隣接1本鎖におけるハイブリにおいてエントロピーの低下を抑制する効果を有し、それによってハイブリを安定化していることを明らかにした。

また miRNA の中でも発がんに関与している miR-21に相補的な anti-miRNA oligonucleotide (AMO) に、上記 MeRNA から成る CL2本鎖を導入した場合、CL2本鎖構造は AMO の活性を大きく向上させることを昨年度までに明らかにしていた。H28年度では、miR-21以外の miRNA に対する CL2本鎖含有 AMO の効果を評価した。miRNA として miR-16および let-7c を選択し、それぞれに対する CL2本鎖含有 AMO を複数種類合成し、各 AMO の細胞内における阻害効果を調べた。実験の結果、それぞれの miRNA 阻害においても、CL2本鎖の効果は miR-21用 AMO と同様に観察され、CL2本鎖は他の miRNA の阻害にも有効であることを確認した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】核酸化学、DNA、核酸医薬、miRNA、RNA

【研究 題 目】C 型肝炎ウイルス糖ペプチドを用いた中和抗体作製と、新規診断技術への応用

【研究代表者】清水 弘樹（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】清水 弘樹、奥田 徹哉（常勤職員2名）

【研究 内 容】

C 型肝炎ウイルス (HCV) の表層糖タンパク E2のアミノ酸配列は HCV 株間で保存性が小さく多様性に富んでいるため、汎用的な E2検出抗体は得られていない。本研究では E2の中でもアミノ酸配列の保存性が高い糖鎖付加領域に着目し、当該領域の糖ペプチド抗原をデザイ

ンすることで HCV 特異性が高くかつ株間依存性が低いモノクローナル抗体の作製を目指している。そして、有用な HCV 中和抗体の創出や HCV 迅速検出系の開発を指向した基盤研究展開を進めた。

困難を極めていた5糖含有糖ペプチド抗原の合成は、昨年度までに達成できた。そこで、今年度は免疫による抗体作製の実験を進めた。まず、抗体価の評価に必要な ELISA 法の確立について検討した。本糖ペプチド抗原は特異的な物性を有しており、汎用法で固相化することは困難であったが、固相化量の調整など種々の条件を検討し ELISA 法の確立に成功した。次に免疫複合体の作製について検討した。同様に抗原が特異的な物性を有することから、まずアジュバント混合条件の検討をすすめ、最適条件を得た。得られた免疫複合体をマウスに免疫したところ、抗原に反応する抗体誘導は生じたが、血清抗体価の上昇時間や誘導されるサブクラスの種類に独特なパターンが見られた。そこで、血清調製時期やマウスの系統差による免疫誘導能について再度検討し、糖ペプチド抗原による良好な免疫条件を得た。そして、これら抗体が株間を超えて機能するものかどうか判定するべく、E2リコンビナントタンパク質を用いた評価法を検討した。

また、HCV 診断法開発の基盤研究として、抗宿主因子抗体による HCV レポーター粒子の感染阻害研究、糖鎖多価センサーの合成実験や、それらの機能性の検証研究を進めた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】C型肝炎、糖ペプチド、抗体、糖鎖合成

【研究題目】大腸菌リボソームの可塑性と表現型進化の機構解明

【研究代表者】宮崎 健太郎（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】宮崎 健太郎、佃 美雪
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

目標：

大腸菌リボソームを様々に改変することで、表現型の変化した大腸菌宿主ライブラリーを創成する。本方法を様々な用途に応じた宿主の創成に活用する。

研究計画：

大腸菌リボソームの中核因子の一つを変異させることで様々な翻訳特性を有する大腸菌を創成する。とくにリボソーム RNA (rRNA) に着目し、多様な rRNA を環境 DNA からクローニングし、大腸菌に組み込む方法をとる。

研究進捗状況：

16S rRNA 遺伝子クローニング用の PCR プライマーを再設計し、環境 DNA より増幅した16S rRNA を発現ベクターに組み込み、大腸菌の rrn オペロン完全欠失株を宿主として機能スクリーニングを行った。生育の不良

な小さなコロニーを集中して解析した結果、大腸菌とは門レベルで異なるアシドバクテリア門由来の16S rRNA 遺伝子により生育相補可能なことを見出した。得られた16S rRNA と大腸菌16S rRNA との間でドメインキメラ隊を構築したり、点変異レベルでの変異解析を行ったりした結果、両者を隔てる334塩基のうち大半が機能的にほぼ中立で、アシドバクテリア門由来の16S rRNA に含まれる一つの塩基対（2塩基）を大腸菌型に戻すことで生育や翻訳活性が回復することが判明した。このことは、リボソームにおいて、RNA とタンパク質が必ずしも共進化してきたのではなく、門レベルで異なる16S rRNA も配列の違いの大半が機能的に中立なことを示唆している。

また、異種16S rRNA を含む変異株ライブラリーを高温にて集積培養を行なった結果、45℃での生育が良好な変異株を得た。従来、このような適応進化にはゲノム内に多くの変異を段階的に重ねる手法が取られてきたが、我々の手法では、基本的には16S rRNA 遺伝子の位置遺伝子支配により即時応答型で同等の適応進化が達成されたことになる。グローバルレギュレーターの変異による新たな生物機能の開発という点で全く独創的な方法論となりうる。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】リボソーム、大腸菌、宿主、水平伝播、中立進化、育種、温度適応

【研究題目】陸域地下圏の未知アーキア系統群：環境ゲノム情報と培養技術で切り拓くその新生物機能

【研究代表者】 玉木 秀幸（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】 玉木 秀幸（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、陸域地下圏環境に棲息する未知アーキア群とその周辺微生物の実体を明らかにし、重要な生物地球化学プロセスにおいて地下圏の未知微生物群が果たす役割の解明を目指している。今年度は、メタゲノム解析を通じて昨年度までに再構築に成功した未知アーキア・未知バクテリアのゲノム情報から基幹代謝機能の解析を行い、深部地下圏環境で重要な酢酸代謝やメタン代謝機能を有する未知微生物系統群を特定した。

また今年度は、深部地下圏環境試料を分離源とし、系統学的に新規性の非常に高い未知アーキアならびに未知バクテリアの集積培養化に至っており、本集積培養系のメタゲノム解析・メタトランスクリプトーム解析を通じて新生物機能の解明ならびに地下圏の炭素循環における役割の解明に関する研究を実施している。

また今年度は、深部地下環境から分離に成功したメタン生成アーキアが単独で石炭からメタンを生成すること、さらにそのメタン生成経路がこれまでに知られているものとは全く異なる新規な代謝経路であることを明らかに

し、この発見が著名な国際誌に掲載されるなど、大きな成果を挙げた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】陸域地下生命圏、未知アーキア、新生物機能、生物地球化学プロセス、環境ゲノム解析、培養技術、地下微生物

【研究 題目】全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学

【研究代表者】柿澤 茂行（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】柿澤 茂行、沼崎 るみ
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

難培養性細菌（難培養細菌・未培養細菌）と呼ばれる細菌は、培養が不可能もしくは非常に困難な細菌である。難培養性細菌は決して珍しいものではなく、近年のメタゲノム解析などの台頭により、環境中の微生物の99%以上は培養できないことが明らかとなり、これにより新たな微生物像が浮き彫りとなった。これらの難培養性細菌は、その全ゲノム配列を決めることで多くの知見が得られる一方で、遺伝子のノックアウトや過剰発現ができないという技術的な欠陥のため、その遺伝子の機能についての確実な証明はほとんどされていないのが現状である。本研究は、近年開発された「全ゲノム操作技術」を応用することで、難培養性細菌の培養および遺伝子操作系の開発を目指し、難培養性細菌の持つ多様な機能を解明することを目的とする。

本年度は難培養性細菌の全ゲノムをクローニングした。用いたベクターは、YAC（酵母人工染色体）ベクターに、マイコプラズマ用の耐性マーカーを加え、かつ、マイコプラズマ細胞内での複製に必須な領域を保持したものと、同領域を持たないものの2種類を作成した。次にクローニングした難培養性細菌の全ゲノムを培養可能なマイコプラズマゲノムへと導入するための手法の改良を試みた。酵母の細胞融合とその後の相同組換えによって融合ゲノムを作成する手法を検討し、これにより研究が進展するであろう端緒をつかんだ。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ゲノム、細菌

【研究 題目】アカトンボの体色と色覚の進化

【研究代表者】二橋 亮（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】二橋 亮（常勤職員1名）

【研究 内容】

アカトンボ（トンボ科アカネ属）は、日本のトンボの中では桁違いに種数が多く、体色や斑紋に著しい多様性が見られる。一方で、トンボの体色や色覚の進化に関わる分子機構は、現時点では全く解明されていない。平成27年度までに、アキアカネでは20種ものオプシン遺伝子が存在すること、各オプシン遺伝子は、幼虫と成虫お

よび成虫複眼の背側と腹側で全く異なる発現パターンを示すこと、オプシン遺伝子の発現と対応するように複眼背側では紫外線から短波長領域を主に認識するのに対して、複眼腹側では紫外線から長波長までの幅広い領域を認識できることが明らかになった。さらに、オプシン遺伝子はトンボの種間で極端に多様化していることも確認された。平成28年度は、トンボにおける遺伝子の機能解析系の構築を試みたところ、エレクトロポレーション法を併用することで、siRNAの投与によって局所的に遺伝子機能阻害が生じることを確認し、論文発表を行った。また、アカトンボに近縁なチョウトンボにおいて、RNAseq解析、ゲノム解析、翅色多型の原因遺伝子を特定することに成功した。次年度は翅色多型の原因遺伝子の機能解析を進めるとともに論文化を目指す予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】昆虫、トンボ、色覚、遺伝子進化、体色変化

【研究 題目】クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性の包括的理解とその応用技術の創成

【研究代表者】宮崎 亮（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】宮崎 亮、大河内 香代
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

同一ゲノムを持った細菌細胞集団（クローン細胞集団）を均一な条件下で培養しても、個々の一細胞レベルの生理状態は完全に均一ではなく、mRNAやタンパク質等の細胞内分子の量的・質的ばらつきに依存して、特異的な機能や個性的な挙動が生まれる。本研究は、従来の微生物学において見過ごされてきたこのような「クローン細胞集団における一細胞レベルの不均一性」を網羅的に解析する独自の手法を構築するとともに、その生物学的意義を明らかにし、応用研究に繋げようというものである。

昨年度に引き続き *Pseudomonas* 属細菌の遺伝子水平伝播に関与する不均一な遺伝子発現に着目し、当該遺伝子を発現している一部（3-5%）のサブ細胞集団と、発現していないその他の母集団を蛍光顕微鏡およびセルソーターで分離後、RNAを回収した。トランスクリプトーム解析の結果、遺伝子水平伝播に同調して染色体上の様々な遺伝子が発現変動していることを明らかになった。特に細胞増殖や運動性に関わる遺伝子が変動しており、それらの活性については実験的検証も行った。これらの成果は遺伝的に均一な細菌集団内に生まれる多様な表現系を示すサブ細胞集団をゲノムワイドに解析・比較した初めての例であり、現在はデータをまとめ上げ、論文投稿間近の状態である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】一細胞解析、遺伝子発現、ゲノム解析
 【研究題目】全ゲノム操作が拓く難培養細菌の遺伝子工学（国際共同研究強化）

【研究代表者】柿澤 茂行（生物プロセス研究部門）
 【研究担当者】柿澤 茂行（常勤職員1名）
 【研究内容】

難培養性細菌（難培養細菌・未培養細菌）と呼ばれる細菌は、培養が不可能もしくは非常に困難な細菌である。難培養性細菌は決して珍しいものではなく、近年のメタゲノム解析などの台頭により、環境中の微生物の99%以上は培養できないことが明らかとなり、これにより新たな微生物像が浮き彫りとなった。これらの難培養性細菌は、その全ゲノム配列を決めることで多くの知見が得られる一方で、遺伝子のノックアウトや過剰発現ができないという技術的な欠陥のため、その遺伝子の機能についての確実な証明はほとんどされていないのが現状である。本国際共同研究強化においては、難培養性細菌ゲノムをマイコプラズマ細胞内に導入することで難培養性細菌の性状を解明することを目的とし、そのためマイコプラズマにおける複製起点を持った新たなベクター系を開発することで、巨大なゲノム断片をマイコプラズマ細胞内に共存させる系の開発を目指す。加えて、酵母内において YAC（酵母人工染色体）ベクター内の配列を自在に操作する技術により、導入した難培養細菌ゲノムを自由に改変すると共に、マイコプラズマ細胞の性質の詳細な解析も行う。

今年度はアメリカの研究所との共同研究をスタートさせ、マイコプラズマの複製起点の解析やベクター系の検討を行った。今後の研究の進展に向けた準備が順調に進んだと思われる。

【領域名】生命工学
 【キーワード】ゲノム、細菌

【研究題目】電気化学顕微鏡を用いた心筋細胞解析技術の開発

【研究代表者】平野 悠（生物プロセス研究部門）
 【研究担当者】平野 悠（常勤職員1名）
 【研究内容】

創薬において、新規薬剤候補の心臓へ与える影響の評価は必須となっており、心筋細胞を利用して拍動パターンを電氣的に解析するアッセイ系などが利用されている。しかしながら、測定対象となる生体から取り出した細胞は、目的以外の細胞を含んでいることから定量性に課題がある場合があった。また、心筋細胞では代謝活性が薬理作用の評価へ重要となると考えられるが、細胞レベルで拍動パターンと酸素消費、グルコース消費などを評価することは困難だった。本研究では、生細胞を対象に、非接触かつ多機能な観察が可能である走査型電気化学顕微鏡（SECM）を利用して、心筋細胞の動き、エネルギー代謝を一細胞レベルで解析可能なシステムの開発を

目的としている。これまでに、マイクロ電極をプローブとして利用することで、心筋細胞の動きと酸素消費を細胞レベルで評価し、強心剤や拍動パターンを乱す薬剤の評価への応用可能性を示した。また、細胞レベルでグルコース代謝を評価するために酵素をマイクロ電極表面に選択的に固定化する方法を開発した。DNA を酵素固定化の足場として利用することで、マイクロ電極先端に二種類の酵素を配列して固定化し、グルコース濃度を測定可能であることを示した。特に、足場となる DNA 配列を変えることで二種類の酵素の距離や固定化量を制御し、局所における効果的なグルコース測定が可能となった。さらに、酵素固定化マイクロ電極と SECM を統合し、細胞レベルでのグルコース消費の評価の可能性を示した。

【領域名】生命工学
 【キーワード】電気化学、走査型電気化学顕微鏡、マイクロ電極、心筋細胞、一細胞分析

【研究題目】高効率・高感度な薬物代謝マルチアクセスシステムの開発

【研究代表者】三重 安弘（生物プロセス研究部門）
 【研究担当者】三重 安弘（常勤職員1名）
 【研究内容】

目的：

シトクロム P450（CYP）等の薬物代謝酵素を含有するミクロソームを用いて、薬物の代謝率を計測することは、医薬品開発や薬物投与設計において極めて重要である。しかしながら、現在のアッセイ法は低感度かつ高コストで時間を要するといった問題を有している。本研究では、高感度かつ低コストで迅速な計測が可能な電気化学法を利用する新しいアッセイ法の開発を目指す。これにより薬物研究の推進に大きく寄与できると考えられる。研究計画：

これまでに見出している電極上での薬物代謝反応の安定化現象の詳細な解明とより好ましい系の探索を行い、電気化学薬物代謝アッセイに最適な電極系を見出す。更にその電極系を流路システムに展開することで、高効率・高感度な薬物代謝アッセイ法を開発する。
 年度進捗状況：

本年度（4年目）は、昨年度に続き電極上での CYP 酵素反応の持続性に関する詳細な検討を進めた。昨年度に見出した電圧印加による酵素分子の不安定化を鑑み、これを抑制するために最適な電極界面のコーティング法を調査し、より安定な CYP 酵素反応系の構築に成功した。この系を用いて、マイクロ流路を用いた検討を実施し、該酵素反応を検出できることを実証した。また、昨年度に見出した「より有用なナノ構造電極界面」についても更なる検討を進めた。ナノ構造作製時の条件と得られる構造体の相関を明らかにした。最適な界面においては従来と比較して、電極と電子授受可能な該界面上の CYP 酵素の割合を60%向上させることができ、大変有

用な知見を得た。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕シトクロム P450、薬物代謝、高感度アッセイ、電気化学酵素反応

〔研究 題目〕メダカの腸内細菌叢解析：魚類腸内細菌叢の機能解明に向けたモデル研究

〔研究代表者〕伊藤 英臣（生物プロセス研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 英臣（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究課題では、魚類腸内細菌叢の機能解明モデル開発に向け、優れたモデル魚類のメダカに着目し、その腸内細菌叢に関する基礎情報を得ることを目的とした。

各研究機関で室内飼育されているメダカと、日本各地の河川において採集した野生メダカの腸内細菌叢の群集構造を比較解析した。その結果、どの研究機関の室内飼育メダカにおいても、淡水魚の日見病菌が含まれる *Aeromonas* 属や *Flavobacterium* 属細菌が優占していたのに対し、どの地域の野生メダカにおいてはこれら3属の細菌群はほとんど検出されなかった。これらのことから、環境要因によって腸内細菌叢は変動しやすく、人工的な飼育条件下では実環境中とは異なる腸内細菌叢が形成されることが示唆された。

室内飼育しているメダカの、エラ、表皮粘膜、背ビレ、腸、腸内容物、卵表面の細菌叢を比較解析したところ、どの部位においても *Aeromonas* 属や *Cetobacterium* 属細菌が検出されたが、これらの構成比は体内外において大きく異なっていた。腸や腸内容物といった体内由来のサンプルにおいて、これら2属の細菌群が優占していた。一方、表皮粘膜、背ビレといった体表面においては、これら2属の細菌群の割合は相対的に低く、代わりに体内ではほとんど検出されなかった *Acidovorax* 属細菌が優占していた。さらに卵表面においては、他の部位では見られなかった *Undibacterium* 属、*Rheinheimera* 属細菌といった水棲細菌が特異的に優占していた。これらのことから、メダカの各組織にはそれぞれ特異的な細菌叢が形成されることが示唆された。

〔領 域 名〕生命工学

〔キーワード〕腸内細菌、モデル生物、メダカ

〔研究 題目〕機能的構造平衡の NMR 解析による刺激に適合したキナーゼシグナル選別機構の解明

〔研究代表者〕徳永 裕二（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕徳永 裕二（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

マイトジェン活性化タンパク質キナーゼ (MAPK) は、MAPK カスケードを構成するシグナル伝達タンパク質である。MAPK の多くはハプタンパク質としての

性質を備えており、MAPK の一種である p38 α は、多種類の特異的基質を介したシグナル経路を持つことで、炎症、分化誘導因子、ストレス等の外部刺激に対して、サイトカイン産生、分化、増殖、細胞死等の多様な細胞応答を担っている。これまでの知見により、p38 α の特異的基質に共通したモチーフとして“ドッキング配列”が同定されている。ドッキング配列は、p38 α のアロステリックサイトに結合し、基質との高親和性を担うことで特異的シグナル伝達に寄与している。しかしながら、p38 α の特異的基質は数多く存在するにも拘らず、刺激依存的な細胞内環境の変化を想定して複数の特異的基質の相対的なリン酸化効率（優先度）を体系的に解析した先行例は無く、p38 α が刺激に応じて特定の基質を選別し適切なシグナルを伝達する機構は明らかでなかった。今年度は、p38 α の主要な機能のひとつであるストレス応答に着目した。ストレス下での活性酸素種 ROS の産生に伴う細胞内の酸性化 (pH 低下) および ATP 濃度低下に依存した p38 α のキナーゼ活性を、実時間 NMR 測定を含む生化学的手法にて解析することで、基質優先度の細胞内環境依存性の一端を明らかにすることを試みた。

まず、キナーゼ p38 α による基質選別の pH 依存性を生化学的に解析した。基質 MK2 および ATF2 を試料調製し、これら基質の混合条件において、p38 α によるそれぞれの基質リン酸化の相対的な効率を調べた。この結果、正常な細胞内を模倣した中性 pH 7.5 の条件においては、MK2 が独占的にリン酸化され、ATF2 はほとんどリン酸化を受けないことが示された。これに対し、ストレス下の細胞内を模倣した弱酸性 pH 6.7 の条件においては、MK2 のリン酸化効率は中性 pH の約半分まで減弱し、代わって ATF2 のリン酸化が MK2 と同等まで亢進した。これは、ATF2 の p38 α に対する結合配列中の His 残基が酸性化に伴いプロトン化され正電荷を持つようになったため、負電荷を帯びた p38 α 側の結合部位との電気的相補性を増し、親和性が向上した結果と考えられた。この結果より、ストレスの影響が細胞内に浸透するに従いキナーゼ p38 α は基質選別の特性を応変し、細胞応答を切り替える機構を持つことが分子論的に実証された。

さらに、基質リン酸化において示された pH 依存的な基質選別の分子的基盤を追究するため、p38 α -基質間の親和性を pH 依存的および ATP の有無の条件にて解析した。この結果、p38 α の MK2 に対する親和性は pH および ATP の有無の影響をほとんど受けず、1.5 倍の範囲内に留まった。対照的に、p38 α の ATF2 に対する親和性は、ATP の有無いずれの条件においても、pH 酸性化に伴い 2~6 倍に増強されることが明らかとなった。このことから、pH 酸性化に伴う p38 α の基質選別の ATF2 への優先化は、親和性向上に依拠することが示唆された。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 NMR、構造平衡、シグナル選別機構

〔研究 題目〕 ナノチューブ内マイクロ環境を利用した分子進化工学の高度化に関する研究

〔研究代表者〕 久保 泰（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 久保 泰（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

試験管内分子進化（IVE）技術は、標的分子を特異的に認識する“selective binder”を取得する技術として種々の手法が考案されてきた。我々は、加速進化型ペプチドを鋳型として作製したランダムペプチドライブラリが、任意に設定した標的分子に対して親和性および特異性の高いペプチドを選択するのに都合のよい多能性を発揮できる出発材料となることを既に証明した。加速進化型ペプチドの多くは、システイン残基を複数持ちその間で disulfide (S-S) 結合を形成し、 α ヘリックス、 β 構造も含めてコンパクトで堅牢な構造をしている。そのため、当該技術において、タンパク質翻訳後の適正で効率の良いリフォolding・S-S 結合形成が重要な課題である。

本研究課題では、有機ナノチューブ（ONT）がモノマー設計により制御したナノ環境を設定しうることに着目し、それを利用すればシャペロン様機能を発揮できる可能性を想定し、ペプチド翻訳過程にこれを適用して IVE の高度化を図った。具体的には、

- (1) 加速進化型の生理活性ペプチドの中で、S-S 結合が3~4個ある生理活性ペプチドをモデルケースとして、種々の両親媒性分子の自己組織化で形成した ONT ゲルについて、還元・変性したペプチドをもとの生理活性のある形に再生するための至適条件を探った。
- (2) 試験管内分子進化（IVE）法に沿って無細胞タンパク質翻訳系で上記のペプチドを合成し、第1段階で見出した ONT とその至適反応条件で、本来の生理活性を示すか検証した。

その結果、有機ナノチューブ存在下で生理活性ペプチドの無細胞翻訳を行ったところ、ペプチドのリフォoldingが促進され、その活性回収率が向上することを見出した。この研究成果により、目的とする特異的認識分子の単離・同定に至る時間の大幅な短縮、リード探索の効率化が可能となり、引いては創薬の迅速化に繋がることが期待される。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 有機ナノチューブ、マイクロ環境、試験管内進化、リフォolding、シャペロン

〔研究 題目〕 ポストゲノム解析による感染体一宿主ネットワーク

〔研究代表者〕 夏目 徹（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕 夏目 徹（常勤職員1名、他2名）

〔研究 内容〕

生体を構成する個々の細胞には数万種類のタンパク質が存在する。それらのタンパク質は、単独で機能するのではなく、常にグループ・組織を形成し、機能複合体を形成している。同様に、ウイルスの感染・侵入から、感染性ゲノムの複製・翻訳、ウイルス粒子へのパッケージング、そして放出に至るまで、そこにも、多くの宿主因子（タンパク質）の機能複合体とウイルス因子との相互作用が存在する。また、これらの相互作用は宿主生理機能系と競合しながら成立していると考えられる。我々は、独自に開発整備してきた、超々高感度・ハイスループットな質量分析システムとヒト型汎用ロボットを活用し、これまでにウイルスタンパク質の相互因子の解析、ウイルス感染時に起こる宿主タンパク質の変化、ウイルスタンパク質量変化の半網羅的解析を行ってきた。本年度は、(1)インフルエンザウイルスについて、前年度までにインフルエンザウイルスタンパク質 NS1の結合タンパク質として同定に成功していた宿主タンパク質 X について、タンパク質 X が本来ウイルスの感染防御に関わる重要なサイトカインである TNF α の発現抑制に関わっており、NS1がタンパク質 X と結合することにより、ウイルス感染時における TNF α の発現を抑制していることを明らかとした（筑波大学の永田、川口チームと共同研究）。(2)また、HSV-1ウイルスについて、前年までに同定に成功していた5種類の新規 HSV-1タンパク質（nORF1-5）のうち nORF5について、nORF5を欠損した HSV-1ウイルス株を用いた実験により、nORF5が HSV-1ウイルスのもつウイルス毒性に関わる重要なタンパク質であることを明らかとした（東京大学の川口、加藤チームとの共同研究）。

〔領 域 名〕 生命工学

〔キーワード〕 質量分析、ウイルス、宿主、タンパク質相互作用、新生タンパク質定量解

〔研究 題目〕 試験管内分子進化技術を用いて癌免疫療法のための中分子創薬を行う研究

〔研究代表者〕 平家 勇司（聖路加国際大学）

〔研究担当者〕 五島 直樹、久保 泰（創薬分子プロファイリング研究センター）、多田 耕平（聖路加国際大学）（常勤職員2名、他2名）

〔研究 内容〕

近年、PD-1を始めとする免疫チェックポイント分子をターゲットとした抗体医薬によるがん免疫療法が注目を集めている（Ito, Tada, et al, *BioMed Res Int*, 2015）。PD-1は T 細胞表面に発現される膜タンパク質で、腫瘍細胞や抗原提示細胞に発現されるリガンド(PD-L1, PD-

L2)が結合すると、T 細胞の増殖と活性化が抑制される。このように T 細胞表面に発現され、T 細胞に抑制性のシグナルを伝達する分子を「免疫チェックポイント分子」と呼ぶ。免疫チェックポイント分子には PD-1の他に、CTLA-4、Tim-3、LAG-3など多数の分子が報告されており、T 細胞の増殖と活性化を制御している。そして、腫瘍細胞、もしくは腫瘍局所環境中の他の細胞（免疫細胞や間質細胞）が免疫チェックポイント分子のリガンドを発現すると、T 細胞の増殖と活性化が抑制され、免疫抑制環境が腫瘍組織内で構築されることになる。このような腫瘍組織内の免疫抑制機構を打破し抗腫瘍免疫を増強させることで、腫瘍の縮小や患者の生存期間の延長が得られることが明らかになっている。最も開発が進んでいるのは PD-1と PD-L1,2の相互作用を阻害する抗 PD-1抗体、抗 PD-L1抗体である。悪性黒色腫、非小細胞肺癌、腎細胞癌では抗 PD-1抗体の有効性と安全性が第3相臨床試験で証明されている。さらに、卵巣癌、胃癌、乳癌、ホジキンリンパ腫、膠芽腫、膀胱癌などでも抗 PD-1抗体、もしくは抗 PD-L1抗体の有効性が強く期待されている。抗 PD-1抗体、抗 PD-L1抗体によるがん免疫療法は、従来の抗がん剤や分子標的薬が無効であった患者に対しても有効性を発揮し、有効であった患者ではその治療奏功期間も長い傾向にあり、さらに、副作用の頻度や重症度は総じて軽く、画期的な治療法として注目を集めている。

しかしながら、抗 PD-1抗体、抗 PD-L1抗体による治療の問題点と限界も徐々に明らかになりつつある。抗 PD-1抗体の奏効率は、上述の癌種ではいずれにおいても20-30 %程度であり、すべての患者に有効であるわけではない。その原因の1つとして、腫瘍局所環境中のPD-1のすべてに抗 PD-1抗体が結合しているわけではないことが挙げられている (Das, et al, *J Immunol*, 2015)。従って、より PD-1に親和性が高く、腫瘍局所に集積し、腫瘍局所で安定的な薬剤の開発が望まれる。また他の原因として、PD-1/PD-L1以外の他の免疫チェックポイント分子による免疫抑制が関与していることも挙げられている。そのため、抗 PD-1抗体に、抗 CTLA-4抗体や抗 Tim-3抗体、抗 LAG-3抗体などを併用する臨床試験が進行中である。また、抗 PD-1抗体の高額な薬剤費も問題になりつつある。標準的な体重の日本人が抗 PD-1抗体を1年間使用すると薬剤費だけで1500~1800万円が必要になる。今後、抗 PD-1抗体と他の免疫チェックポイント阻害抗体の併用が標準治療になると薬剤費はさらに膨大になり、公的医療保険財政の破綻につながりかねないことが有識者の間では既に懸念され始めている。そのため、より効果的に、より安価に、PD-1を始めとする免疫チェックポイント分子の機能を阻害できる物質が今後求められることになると思われる。

そこで本研究では3-finger protein library の試験管内指向的進化 (directed evolution *in vitro*) 技術を用い、

programmed death-1 (PD-1)と PD-1 ligand (PD-L1, 2)の相互作用を阻害する中分子特殊タンパク質を取得する。さらに、取得されたリード化合物の分子プロファイリングを明らかにし、薬剤としての最適化を行う。これにより新たながん免疫療法のための創薬を目指す。

研究分担者 久保(産総研)により既に構築されている3-finger protein library の試験管内進化技術を用い、PD-1と特異的に結合する3-F protein を数種類にまでスクリーニングする。本技術を PD-1 に適用するためのパイロットスタディーは、多田(聖路加大)が行い、中間解析において特定の amino 酸配列の収斂傾向があるところまで確認ができています。

【領 域 名】 ライフサイエンス

【キーワード】 分子進化、機能性ペプチド、人工抗体、PD-1、がん、免疫治療

【研究 題 目】 運用現場における音案内の誘導性能をリアルタイムに評価するツールの開発

【研究代表者】 佐藤 洋 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 佐藤 洋、関 善一 (人間情報研究部門)、森本 政之、佐藤 逸人 (神戸大学) (常勤職員2名、他2名)

【研究 内 容】

これまで、音による視覚障害者等の円滑な移動を支援し、かつ騒音にならない誘導鈴の音デザインおよび公共空間の音環境整備に資する研究を実施し、音案内に関する JIS 規格原案の開発および国土交通省のガイドライン改定に寄与してきた。本研究では、現場における音案内の評価を、設置高さの影響および動的な音案内の効果を含めて可能にするツールの開発を行い、現場における音案内の性能評価を実現することであった。そこで、次の3項目について研究を実施した：(1) 従来の方法論による実験室実験による音の方向定位試験、(2) 視覚的注意特性の計測を取り入れた新しい音の方向定位実験、(3) 運用現場における立体音響観測分析を併用した評価ツールの開発。

本研究の結果として、音案内の誘導性能評価に不可欠な高さ方向の評価が、視線計測では十分な精度でできないこと、空間内に存在する視覚情報の有無により音源の位置推定が変化することが明らかになり、視覚情報が多様に存在する公共空間内における安定的な計測結果を得ることは困難と考えた。この結果、上昇角については、視線計測による感覚とマッチさせるツールの開発としての成功には至らなかったが、音源方向に相当する両耳間時間差の計測を基本パラメータとして、計測ツールを作成した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 視覚障害者、音環境、音案内

【研究 題 目】 安全な協調ロボット制御ソフトウェア開

発方法の研究

〔研究代表者〕 磯部 祥尚 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 磯部 祥尚、大岩 寛、
Affeldt Reynald、初谷 久史 (情報技術研究部門 常勤職員3名、他1名)、
中坊 嘉宏、安藤 慶昭、
Biggs Geoffrey、花井 亮 (ロボットイノベーション研究センター 常勤職員4名)

〔研究内容〕

本研究では、連携・協調するロボット制御ソフトウェアの安全性と信頼性の向上を目的として、制御ソフトウェアを設計・検証・実装するための開発環境の構築を目標とする。近年、ロボット技術の進歩とともに、工場のような閉鎖された場所だけでなく、人間と協力するロボットや、他のロボットと協調するロボットのように、協調型のロボットが登場してきている。しかし、協調動作の相互作用を適切に把握し、設計することは難しく、人間に危害を加えるような誤動作が混入する可能性もある。

本研究の2年目である平成28年度では、ロボットの振舞いの形式化については、ロボットアームの振舞いを論理的に表現するために、剛体変換の様々な表現 (等長写像、同次表現、Denavit-Hartenberg 変換、らせん運動) を定理証明支援系 COQ 上に基本ライブラリとして形式化し (コード化し)、そのライブラリの適用事例として、スカラロボットの振舞いを形式化して、この成果を国際会議 CPP2017で発表した。また、ロボットの協調動作を可視化するツール COMPASU については、遷移条件を最簡形に変換し、各状態のデッドロックの可能性 (危険、注意、安全) を可視化する機能を追加した。さらに、ロボットの制御ソフトウェアの開発環境については、協調動作を簡潔に実装するための同期型メッセージパッシング通信方式をロボットソフトウェアプラットフォーム OpenRTM-aist 上に実装するために、そのインターフェース (IDL 記述) を設計した。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 協調ロボット制御、形式仕様記述、定理証明器、ロボットソフトウェアプラットフォーム

〔研究 題目〕 サイバーエスピオナージを防止するデバイス管理技術

〔研究代表者〕 須崎 有康 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 須崎 有康、古原 和邦 (情報技術研究部門 常勤職員2名)、堀 洋平 (ナノエレクトロニクス研究部門 常勤職員1名)

〔研究内容〕

近年のモバイル端末は高性能なデバイス (カメラ、GPS、ジャイロセンサ) が可能で便利であるが、一旦攻撃が成功するとこれらを悪用したサイバーエスピオナ

ージ (電子的諜報活動) の危険性が指摘されている。この問題に対して OS レベルでの問題解決を提案されているが、OS レベルでは攻撃者から防御技術を回避される恐れがある。このため、OS とは独立にハイパーバイザでデバイス管理を行う技術の開発を行っている。平成28年度に開発した項目は下記の3つである。

(1) 個体識別技術と連携したハイパーバイザ: 物理的特徴を利用してデバイスに固有の値を出力する複製困難関数 Physically Unclonable Function (PUF) が USB 経由で利用可能にし、その PUF を用いて正しいデバイスであるかを認証ができるようにした。現在、USB-PUF は産総研で開発した Zuiho ボードのみで利用可能であるため、PUF 以外に USB シリアルナンバーを使っても個体識別できるようにした。認証は OS とは独立にハイパーバイザで行うようにして、任意の OS に本技術が適用できるようにした。ハイパーバイザとしては、IntelCPU で動作する BitVisor をベースとして、任意の PC で本技術が使えるようにした。また、OS が含まれるディスクを暗号化し、ハイパーバイザによる復号なしでは OS が起動できないようにした。この鍵はセキュアチップである TPM が提供する TrustedBoot の機能を利用して特定の起動シーケンス以外は取り出せない機能を用いて、改ざん不能とした。

(2) 個体識別技術による個別デバイス認証技術: Zuiho ボードで利用可能な PL-PUF (Pseudo Liner Feedback Shift Register PUF) を USB から利用可能にして、ハイパーバイザに適用した。

(3) サイバーエスピオナージを想定したリスク評価: 高性能デバイスを悪用したサイバーエスピオナージを論文などで公開されているものを元に調査した。GPU による画像処理の手順の違いから特定する技術やブラウザでの JavaScript 処理から CPU の型番を特定するなど、直接の攻撃ではないが、脆弱性があれば活用できる高性能デバイスを推定する多くの攻撃がある。また、情報漏洩ばかりでなく、データ消去のためにデバイス破壊などもあり、本研究の重要性を認識できた。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 情報セキュリティ、オペレーティングシステム、仮想化技術

〔研究 題目〕 Linked Open Data 利活用のためのクエリ共有手法に関する研究

〔研究代表者〕 濱崎 雅弘 (情報技術研究部門)

〔研究担当者〕 濱崎 雅弘 (情報技術研究部門 常勤職員1名)、的野 晃整、Steven Lynden (人工知能研究センター 常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究では、Linked Open Data (LOD) の利活用を阻害する最大の要因である LOD 検索の困難さに対して、クエリ共有が有効であることを明らかにする。LOD は

本質的に複雑性、異種性、分散性および大規模性を有しており、これらに対する検索クエリを生成するためには高度な専門知識を要するとともに、クエリの実行には多大な計算コストが必要である。一方、LOD は利用するアプリケーションのデータ構造に合わせて柔軟に検索クエリを設計することが可能であるため、クエリ生成の支援と実行の高速化を実現することで LOD の普及と利活用の拡大が期待できる。本研究課題では、(課題1) クエリ生成の支援に有効な共有クエリ推薦技術の研究開発、(課題2) クエリ実行の高速化に有効なクエリキャッシュ技術の研究開発、の二つの研究を実施する。

H28年度は、昨年度に研究開発したクエリキャッシュの基盤技術 (RDF 問い合わせ最適化技術) の改良に着手した。本手法は結合選択率の間接的見積もりを用いることにより精度改善を達成したものである。また、統合クエリ (Federated Query) のキャッシュ技術についても研究開発を進めた。提案手法では完全な検索結果を返すのではなく、類似した検索結果を返すというアプローチを取る。Coverage (より多くの検索結果が含まれる)、Freshness (より新しい情報が含まれる)、Diversity (より多くの情報源から取得する) の三つの観点から評価した結果、既存手法と比較して最大30%の向上を達成した。さらに、実際に Web 上で公開されている LOD データセットおよび SPARQL エンドポイントについて調査を行った。これは統合クエリを活用するには複数の LOD データセットおよび SPARQL エンドポイントが必要となるが、それらについての情報の整備が特に国内においては不十分だからである。可用性や処理性能、他の LOD との接続性といった点について、国内50件以上の LOD データセットおよび SPARQL エンドポイントに対して調査を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】セマンティックウェブ、リンクト・オープン・データ、SPARQL、クエリ共有、クエリキャッシュ

【研究 題 目】短い秘密情報に基づいた認証技術と鍵管理技術に関する研究開発

【研究代表者】辛 星漢 (情報技術研究部門)

【研究担当者】辛 星漢、松田 隆宏、山田 翔太、村上 隆夫、照屋 唯紀 (常勤職員5名)

【研究 内 容】

暗号分野においてパスワード認証方式は短い秘密情報 (パスワード等) だけを共有しているパーティがアクティブな攻撃者に対しても相互認証と安全な通信路が確立できるものであり、パスワード鍵管理方式は短い秘密情報だけでユーザの長い秘密鍵を安全に復元するものであり、匿名パスワード認証方式はパスワード認証方式の安全性にユーザの匿名性を保障するものである。現在、これらの方式は ISO/IEC 11770-4と20009-4で国際標準化

が進んでいる。本研究では、産総研方式 AugPAKE と SKI mechanism をそれぞれ ISO/IEC 11770-4と20009-4で標準規格化するとともにパスワード認証方式、(パスワード) 鍵管理方式、匿名パスワード認証方式を徹底的に分析した上、より効率がよくてかつ厳密な安全性証明ができる新しいパスワード認証方式、鍵管理方式及び匿名パスワード認証方式を提案する。

平成28年度の主な成果として、産総研方式 AugPAKE が含まれている ISO/IEC 11770-4と産総研方式 SKI mechanism が含まれている ISO/IEC 20009-4はそれぞれ FDIS へ進むことが決議・承認された。また、既存の匿名パスワード認証方式における問題点を明確にした上で、よりよい効率と安全性証明を有する新たな方式を提案した論文が国際論文誌へ採録された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】暗号、パスワード、認証、鍵管理、匿名

【研究 題 目】サイバーフィジカルシステムからの情報漏洩の定量的解析

【研究代表者】川本 裕輔 (情報技術研究部門)

【研究担当者】川本 裕輔 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、サイバーフィジカルシステムからの秘密情報の漏洩量を推定することを目指し、大規模な確率的システムからの秘密情報の漏洩量の推定を効率化・自動化することを目的としている。

本年度は2カ年計画の最終年度にあたり、昨年度に引き続き定量的情報流解析の技術を改良するとともに、これを実装したツール HyLeak の開発に取り組んだ。

確率的システムに対する定量的情報流解析の手法には、記号的手法と統計的手法がある。本研究では昨年度、これらの二つの手法を融合させることにより、解析の品質と効率を両立させた新たな解析手法を考案していたが、本年度はこの新手法を改良した。具体的には、例えば、記号的手法に基づいてソースコードを解析することにより、解析の品質を保ちつつも、統計的手法におけるシミュレーションの実行回数を削減する手法を考案した。これらの研究成果をまとめ、査読付国際会議 FM 2016で発表した[1]。

前述の定量的情報流解析の新手法において、確率的プログラムの各部分に対して、記号的手法と統計的手法のどちらを用いて解析するとより効率的なのかを判定するヒューリスティクスを改良し完成させた。このヒューリスティクスを前述の解析技術と組み合わせることにより、確率的システムからの情報漏洩の度合いを、従来よりも高速かつ高品質に推定する解析技術を開発した。さらに、昨年度実装したプロトタイプを改良し、定量的情報流解析ツール HyLeak を開発し、公開した。

この他に、確率的システムの安全性検証に関して、定理証明支援系ベースの検証手法・ツールについて調査を

行い、確率的システムの中でも暗号システムに焦点を当てて、安全性の形式検証の入門から計算機上での証明までを紹介する解説論文[2]を執筆した。

[1] Yusuke Kawamoto, Fabrizio Biondi and Axel Legay. Hybrid Statistical Estimation of Mutual Information for Quantifying Information Flow. In Proc. of 21st International Symposium on Formal Methods (FM 2016), Lecture Notes in Computer Science, Vol.9995, pp.406-425, November 2016.

[2] 川本 裕輔. 暗号系の安全性検証 - 入門から計算機による証明まで。コンピュータソフトウェア、Vol.33 No.4, pp.67-83, November 2016.

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】プライバシー、情報漏洩、プログラム検証、形式手法、量的情報流解析、情報理論、統計学的推定

【研究 題目】認知的尺度に基づく動画の検索および発信の支援に関する研究

【研究代表者】佃 洗撰（情報技術研究部門）

【研究担当者】佃 洗撰（常勤職員1名）

【研究 内容】

平成28年度は大きく分けて二つの研究に取り組んだ。一つ目は認知的尺度に基づく動画検索である。動画に投稿された時刻同期コメントを利用することで、視聴者が「かわいい」や「高音綺麗」、「イントロ超かっこいい」などと言っている動画を探すことを実現した。昨年度は簡単なプロトタイプの実成にとどまっていたが、本年度は、誰もが利用できるように、その機能を Web サービス「Songrium コメント分析」(<http://comment.songrium.jp/>)として公開した。本サービスでは、検索に使用するコメントの推薦、コメントを直接入力することによる動画検索、動画の見どころの可視化などを実現した。また、本研究の成果を国際会議 IEEE ICDMW 2016で発表した。

二つ目は N 次創作活動のモデル化である。オリジナルコンテンツから次々と新しい派生コンテンツが制作される N 次創作活動において、派生コンテンツの制作を引き起こした要因を推定するためのモデルを提案した。提案モデルでは、クリエイターが派生コンテンツを制作する際に次の三つの要因が影響すると思った：(1) オリジナルコンテンツの魅力、(2) オリジナルコンテンツの人気、(3) 派生コンテンツの人気。各要因の影響力を確率的に推定することで、各クリエイターが各要因を重視する度合いの可視化や、オリジナルコンテンツを起点とする派生樹形図の作成を実現した。また、推定結果を Web ブラウザ上で閲覧できる Web サービス「Songrium 派生要因分析」(<http://factor.songrium.jp/>)

を公開した。さらに研究成果を国際会議 ACM CIKM 2016で発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】N 次創作、ユーザ生成コンテンツ、検索、時刻同期コメント

【研究 題目】ビッグデータ利活用を促す高機能暗号・ゼロ知識証明の自動設計手法に関する研究

【研究代表者】坂井 祐介（情報技術研究部門）

【研究担当者】坂井 祐介（他1名）

【研究 内容】

本研究で目指す暗号技術は、通常の暗号技術で達成される高い安全性に加えて、利用者が独自の要求に応じて自在にカスタマイズした暗号方式を設計できるような技術である。平成28年度は、そのための重要な要素技術となるゼロ知識証明について研究を進め、特に、ゼロ知識証明を用いた属性ベース署名技術についての成果を得た。属性ベース署名とは、匿名認証技術の一種であり、各署名者が確かにある属性を有することを第三者に証明できる暗号要素技術である。このとき、署名者の属性がある条件を満たしていることのみが証明され、そのような条件を満たすもののうちいずれであるかは秘匿されるという性質を持つ要素技術である。この要素技術において、利用できる条件のクラスを拡張することは、同要素技術の研究において中心的な課題である。本研究では、正規表現を用いて条件を記述でき、属性としては長さに事前の上限のない任意の文字列を利用できる属性ベース署名方式を設計した。また、ゼロ知識証明を用いた各種の暗号要素技術において有用な要素技術である非対話開示機能付公開鍵暗号（PKENO）について研究を進め、これまで提案されている構成法の多くは共通の構造に基づいて設計されていることを明らかにした。実際、これまでの構成法の多くを抽象化した単一の構成法（一般的構成）を設計し、これまで知られていた構成法の多くが、設計した一般的構成の具体例として得られることを明らかにした。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】暗号理論、公開鍵暗号、ゼロ知識証明、匿名認証

【研究 題目】次世代メモリのソフトウェア・エミュレーション技術の研究

【研究代表者】広瀬 崇宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】広瀬 崇宏、高野 了成（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、仮想計算機技術を用いて、次世代メモリが接続された計算機があたかも存在するかの状況をソフトウェア上で再現する手法（エミュレーション手法）を研究する。全体の研究期間3年において初年度にあたる

平成28年度においては、エミュレーション機構の基礎となる技術の開発に取り組んだ。

第一に、先行して開発を進めてきたハイブリッド型メモリシステム向けのハイパーバイザについて、詳細な評価実験を行い、その結果を取りまとめて国際会議に投稿した。本課題で必要となる任意の物理メモリ領域を仮想計算機の任意のメモリ領域に割り当てる機構および仮想計算機のメモリアクセス量をリアルタイムに計測する機構を有している。これら今後のエミュレーション手法の開発で必要となる2つの技術について、実装の完成度を高め綿密な動作確認を行った。投稿した論文は国際会議において最優秀論文賞を獲得した。

第二に、次世代メモリの性能特性を再現する機構について、基礎的なプロトタイプを設計した。文献調査の結果、既存の類似研究が存在するものの、次世代の不揮発メモリが備える、読み込みレイテンシと書き込みレイテンシが異なるという特性を再現できないことが分かった。一方、我々の提案技術では、CPUのライトバック動作を分析して、読み書きレイテンシが異なる影響を考慮して性能特性を再現する手法を開発した。提案機構のプロトタイプを実装し、改善の余地があるものの、ある程度の精度で性能特性を再現できることを確認した。評価を取りまとめ、査読付きシンポジウムで発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【研究 題 目】ビッグデータ処理の形式検証に向けて

【研究代表者】AFFELDT Reynald (情報技術研究部門)

【研究担当者】AFFELDT Reynald、田中 哲 (産総研情報技術研究部門 常勤職員2名)、GARRIGUE Jacques (名古屋大学)

【研究 内 容】

インターネットに接続される機器の増加に従って、蓄積される履歴データなどが爆発的に増大している。これらの大規模なデータを解析し、活用しようという動きが、いわゆる「ビッグデータ」のもとで進んでいる。しかし、ビッグデータ処理に用いられるプログラムの信頼性については、十分に厳密な検討や検証がなされているとは言いがたい。本研究では、データを圧縮したまま処理することができる「簡潔データ構造」に着目し、そのアルゴリズム及び実装の信頼性を検証する。簡潔データ構造は大規模なデータを少ないメモリで処理できるため、ビッグデータ処理の中心になると期待されている。

本研究の2年目である平成28年度では、簡潔データ構造の基礎的なアルゴリズムの形式検証実験を完成させ、論文を作成し投稿、その成果を国際学会で発表した[1]。検証した rank アルゴリズムは最小のメモリを使用し、効率的にビット列内のビットを数えるアルゴリズムである。本実験は、定理証明支援系 Coq のコード出力機能を用いて、検証済みかつ実効可能なプログラムを形式モデルから得られた。平成28年度は特に、得られたプロ

グラムのデータ構造の単純化と最適化に集中した。しかし、そのプログラムは主に関数型言語 OCaml で記述されていたため、効率に関して改善の余地があった。従って、さらに効率の良いプログラムを得られるように、Coq のコード出力の新機能を提案した。本提案によって、形式モデルから直接効率の良い低レベルの C 言語のプログラムを得られ、そのプログラムと元の形式モデルの適切さを確認するため、新しい仕組みを提案した。具体的に、Coq プラグインという拡張方法を用いて、C 言語のプログラムの生成器 (monomorphization という型を特化する仕組みかつ C 言語のコード生成の仕組み) のプロトタイプを実装した。その生成器の安全性を確認するため、monadification というプログラム変換も Coq プラグインとして実装した。以上のプラグインを合わせて、形式的に安全性を確かめられる生成器ができた。その生成器のプロトタイプの実験について国内ワークショップでポスターを発表し、議論した。

[1] Akira Tanaka, Reynald Affeldt, and Jacques Garrigue. Formal Verification of the rank Algorithm for Succinct Data Structures. In 18th International Conference on Formal Engineering Methods, volume 10009 of Lecture Notes in Computer Science, pages 243-260. Springer, 2016

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】形式検証、ビッグデータ、アルゴリズム

【研究 題 目】Test Mining:リポジトリマイニングによる組み合わせテスト品質最適化

【研究代表者】崔 銀恵 (情報技術研究部門)

【研究担当者】崔 銀恵、北村 崇師、森 彰、Artho Cyrille (情報技術研究部門常勤職員4名)、水野 修 (京都工芸繊維大学)

【研究 内 容】

組み合わせテストは、テストコストを効率的に削減できるブラックボックステストとして知られているが、大規模システムのための組み合わせテストの実用化には、品質効果の裏付けが喫緊の課題である。本研究では、大規模データベースのマイニング技術を適用することで、組み合わせテストの品質効果を定量的に評価・予測し、更にテスト設定を最適化する手法を開発する。また、高精度のマイニングのためには大規模データベースが必要になるが、オープンなソフトウェアリポジトリにあるプログラム履歴、バグレポートを利用し、この問題を解決する手法を開発する。これらの2つの強力なアイデアによって、組み合わせテストプロセスの品質を強化するフレームワークを開発する。

本研究の1年目である平成28年度では、まず、マイニングフレームワーク開発のために、公開リポジトリ SIR の C プログラムプロジェクトとパッケージ管理システム MacPorts を対象に、必要なテストコード、テス

トモデル、バグ履歴、テスト結果などを、半自動または自動で抽出できるところまで実施した。次に、マイニングフレームワークを用いたテストの設計・評価のために、まず、抽出したテストとバグ履歴を入力としたベイズ推定に基づいて、テストモデルのパラメータの優先度を自動的に計算する基本アルゴリズムを開発した。また、その優先度の重み付けを入力として異なる戦略で組み合わせテストを生成したときのテスト効果（コードカバレッジ、バグ検出力）をレポジトリから抽出した情報を用いて比較評価する実験を行った。また、テスト結果をデバックとテスト最適化へフィードバックさせるために、回帰分析と機械学習の手法を用いてテストの結果から不具合組み合わせを特定するアルゴリズムを開発した。研究成果は、国内ワークショップ FOSE、国際会議 QRS、ISSRE、QuASoQ、ICST で発表した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 組み合わせテスト、リポジトリマイニング、テスト最適化、ベイズ推定、回帰分析、不具合組み合わせ特定

【研究 題 目】 クラウドサービスに適した階層型計算委託に関する研究

【研究代表者】 松田 隆宏（情報技術研究部門）

【研究担当者】 松田 隆宏（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、クラウドサービスに適した柔軟かつ安全に「計算の委託」を行うことができる検証可能委託技術について研究を行っている。

平成28年度は、昨年度までに引き続き、現在までに得られている「暗号文の再暗号化」を取り扱うことができる暗号技術である代理人再暗号化方式について重点的に取り組んだ。

代理人再暗号化とは、あるユーザ A 宛の暗号文を、第三者機関である「代理人」が、別のユーザ B が復号できる暗号文への変換(再暗号化)できる技術である。しかも再暗号化のプロセスは復号を経ずに実現することが可能であり、再暗号化において代理人に平文の情報は漏れない、という性質を持つ。昨年度までに、従来の代理人再暗号化では実現されていなかった、代理人が再暗号化手続きを正しく行ったことを暗号文の受信者が検証できる「再暗号化検証機能」付きの代理人再暗号化方式の構成を明らかにしたが、その構成においては、中心的な構成要素として、暗号文の復号者が暗号文の復号結果の正しさ（暗号文と平文の対応関係）を、復号鍵を公開することなしに第三者に検証させることが可能な公開鍵暗号方式が用いられている。その様な機能を持つ公開鍵暗号方式は、非対話型開示機能付き公開鍵暗号（Public Key Encryption with Non-interactive Opening、以下 PKENO）という暗号要素技術として定式化がなされている。今年度は、この PKENO の機能の拡張、及び新

たな構成法を成果として得られた。具体的には、ハイブリッド暗号の構成法を PKENO に拡張して適用することにより、PKENO におけるハイブリッド暗号の理論的枠組みを構築した。そして、それによって任意長の平文を暗号化可能な PKENO の方式を、新たに複数方式得られた。これにより、従来よりもさらに検証可能代理人再暗号化の構成の幅が広がった。この成果は、国際会議において発表がなされている。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 検証可能計算委託、代理人再暗号化、証明可能安全性

【研究 題 目】 Development of Practical and Error-Resilient Encryption and Authentication Mechanisms for Cloud-based Security Systems

【研究代表者】 Schuldt Jacob（情報技術研究部門）

【研究担当者】 Schuldt Jacob（常勤職員1名）

【研究 内 容】

One of the main focus areas of this project during FY2016 has been signature schemes with security properties required in cloud-based security systems. This has led to research results in two different areas:

(1) Analysis of the security of standardized signatures schemes when used with weak or maliciously manipulated randomness, which can occur in cloud-based environments based on virtualization.

(2) Analysis of the security against related-key attacks against standard signature schemes, which is relevant for the security of devices interacting with cloud-based services.

The results obtained as part of (1) continue the investigation of related randomness security started in the previous year of the project, but with a focus on signatures as opposed to encryption, whereas the results obtained as part of (2) directly builds on results obtained in the first year of the project.

Additionally, research into a new type of attack in which the considered system makes use of a maliciously designed pseudorandom generator was started during FY2016. The recent controversy regarding the Dual EC-DRBG pseudorandom generator highlights the relevance of this type of attack. This research has already led to results published at CRYPTO'16, the highest ranking conference on cryptography according to Google

Scholar.

The project is on track and is progressing according to the research plan. This year has led to publication of results on related randomness secure and related key attack secure signature schemes, as well as results on maliciously designed pseudorandom number generators, which expands the considered research area of weak or maliciously generated randomness. This progress lives up to the expectations set out in the research plan.

In the final year of the project, the plan is to consolidate the results obtained during the first two years, both with respect to encryption and signature schemes, and furthermore to attempt to apply the techniques developed in the first two years to key agreement schemes. In particular, consolidation of the results on related randomness security will be a focus area, with a special emphasis on limitations of the already established results and how to overcome these.

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 provable security, cloud-based security, weak randomness, fault attacks

【研究 題目】 多ユーザ関数型準同型署名の研究

【研究代表者】 山田 翔太 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 山田 翔太 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究課題は、従来の準同型署名を拡張し、異なる署名鍵によって分散的に生成された署名を、真正性を損なわずに準同型処理を施すことができ、さらに準同型処理の実行に関してもアクセス制御が可能であるような技術である「多ユーザ関数型準同型署名」を創出することである。本研究で目指す技術が完成することにより、個人の健康情報等の機密性の高いデータから有用な知見を、個人のプライバシーの保護と得られた知見の真正性を両立しつつ、抽出することが可能となる。

平成28年度は、当該課題への足がかりとして、ID ベース暗号の設計に取り組み、新方式を提案した。ID ベース暗号は従来の公開鍵暗号と異なり、任意の文字列(メールアドレス等)に向けて暗号化が可能な技術であり、アクセス制御技術である関数型暗号の特殊なケースである。また、通常の電子署名に容易に変換が可能であり、その意味で電子署名とも深い関連のある技術である。

得られた成果はより具体的には以下の通りである。従来の ID ベース暗号は、信頼性の非常に高い数学的仮定に基づく安全性を達成しようとする、(1) 選択的安全性という弱い安全性のみを満たしているか、(2) 適応的安全性という高い安全性を満たしているが、公開鍵等の

パラメータが大きいか、のどちらかであった。当該研究では、適応的安全性を達成しつつも、公開鍵長が従来よりも漸的に短い方式を提案した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 暗号技術、電子署名、アクセス制御、準同型処理

【研究 題目】 信頼できる機関を仮定しない空間統計データ構築技術の開発

【研究代表者】 村上 隆夫 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 村上 隆夫 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究では、ユーザのプライバシーを考慮した位置情報サービスの普及促進に向けて、信頼できる機関 (TTP: Trusted Third Party) を一切仮定しない「空間統計データ構築技術」の研究を推進している。この技術は、「各ユーザの位置サンプルに (ノイズ付与などの) 加工を施す段階」と「大量の加工済み位置サンプルから、空間統計データを構築する (加工前の位置情報の分布を推定する) 段階」に分けることができる。前者の位置情報加工メカニズムについては、従来より randomized response や二次元ラプラスメカニズムなどが提案されている。後者の分布推定法については、従来より逆行列法や反復ベイズ法などが提案されている。

平成28年度は、後者の分布推定法を開発した。具体的には、最も有望な従来手法である反復ベイズ法に着眼し、これよりも高精度な分布推定法を開発した。反復ベイズ法は、EM (Expectation Maximization) アルゴリズムに基づいて、加工前の位置サンプルの分布を推定する手法であり、サンプル数に依存せずに最尤推定と等価であることが知られている (逆行列法もサンプル数が十分大きいときに最尤推定となるが、小さいときは最尤推定とならず、非常に精度が悪い)。しかし、最尤推定はサンプル数が小さいときにバイアスが0ではなく、(逆行列法よりは精度が高いものの) 推定精度に改良の余地が残されていた。そこで、反復ベイズ法のバイアス (有限サンプルにおける二次バイアス) の期待値を求め、それを推定値から差し引くことで補正を行う「バイアス補正付き反復ベイズ法」を開発した。実データを用いた評価実験を行い、サンプル数が小さいときに大幅な高精度化が可能であることを明らかにした。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 位置情報プライバシー、差分プライバシー、反復ベイズ法、バイアス補正

【研究 題目】 検索をベースとした大規模ソフトウェアの変更解析に関する研究

【研究代表者】 森 彰 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 森 彰 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究では、従来から研究を行ってきた木構造比較アルゴリズムを、構文解析木に適用して計算されるソースコードの変更情報を、漏らさずデータベースに格納することで、開発過程で行われたリファクタリングやバグ修正などの変更パターンを、簡単な検索問い合わせにより列挙可能にする技術を開発することを目的としている。

平成28年度は、ソフトウェアの回帰バグの原因を自動的に同定する差分デバッグの研究に取り組んだ。隣接バージョン間の編集系列を、ソースコードの構文解析木の差分計算によって再構成し、これを違いに独立なグループに分割して適用することで、テスト結果の反転を引き起こした編集操作を自動的に同定することができる。Java プログラムを対象にして、オブジェクト指向言語に特有の依存関係を考慮した編集操作の分割を行うことで、数万行規模の大規模プログラムについて、回帰バグの原因となったソースコード変更箇所を、ピンポイントで自動同定できることを示した。依存関係を規定する100個程度のルールを定義し、これらの間の順序関係も指定することで、仮想的な中間バージョンをビルド・実行可能な形で構成することが可能になった。またこの過程で、ソースコードの木編集系列をパッチファイルとして部分的に取り出し、もとのソースコードに適用して変更後のソースコードを得る木パッチシステムの開発も行った。

前年度までに取り組んだリファクタリングパターン検出技術については、人手による解析結果をベースラインとして、既存研究との比較を行った。検出結果の適合率と再現率の両面において、本研究の手法が高い性能を持つことを示した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ソフトウェア変更解析、リファクタリング、木差分計算、差分デバッグ

【研究 題目】 第三者による安全性検証が容易な暗号技術の包括的設計手法に関する研究

【研究代表者】 花岡 悟一郎 (情報技術研究部門)

【研究担当者】 花岡 悟一郎、
Nuttapong Attrapadung、縫田 光司、
松田 隆宏 (常勤職員4名) 吉田 真紀、
江村 恵太 (他2名)

【研究 内容】

ネットワーク社会の著しい高度化に伴い、それに適した様々な新暗号技術の提案が行われている。また、それらの暗号技術については、設計者により数学的安全性証明がなされていると主張されている。しかし、ほとんどの場合、その証明は膨大な分量の非常に難解な数式の羅列により構成されており、もはや専門的な研究者であっても、正当性の検証が困難となっている。また、実際に証明の誤りもしばしば発見されている。そこで、本研究では、安全性の検証が容易で、誰もが安全性を確信でき

る暗号技術の設計のための包括的方法論を構築し、それに基づく具体的な暗号方式を設計する。安全性証明の正当性のみならず、理解の容易さをも全面的に考慮した方法論はこれまで無く、本研究は当該分野全体に対して重要な問題提起を行うものとなっている。

H28年度においては、前年度までの成果をさらに一層発展させ、高度な機能を持つ暗号技術をより単純な機能のみを持つ暗号技術から一般的に構成するさまざまな手法の検討を進めた。具体的には、完全群構造維持署名や秘密情報の値のみならずサイズをも秘匿可能なマルチパーティ計算の実現手法を明らかにしている。特に、完全群構造維持署名の一般的構成を用いることで、通常多くの群構造維持署名を一括して完全群構造維持署名に変換可能となるため、非常に多くの新たな完全群構造維持署名を同時に設計することが可能となった。また、これらの安全性についても一括して証明がなされたことになる。さらに、範囲による条件付けが可能な属性ベース暗号の設計方法などの提案も行っている。これらの手法を用いることで、構成要素となる基本的暗号技術の安全性の検証を行うだけで自動的にさまざまな高度な機能を持つ複雑な暗号技術の安全性検証を行ったことになり、本研究の目的の一部が達成されたものと考えられる。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 公開鍵暗号、証明可能安全性

【研究 題目】 カーネル法による高次元データの非線形スパースモデリング

【研究代表者】 赤穂 昭太郎 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 赤穂 昭太郎、麻生 英樹 (知能システム研究部門)、末谷 大道 (鹿児島大学)
(常勤職員2名、他1名)

【研究 内容】

本研究課題では、カーネル法など非線形のスパースモデリングの数理基盤の確立と実応用への適用を課題としており、今年度は以下の成果を得た。

課題1のマルチモーダルスパースモデリングについては、複数の観測結果を統合する転移学習の観点から、情報幾何的な定式化のもと、e-混合分布の推定という新たな枠組みを提案し、さらにそれをノンパラメトリックな設定に拡張するべくカルバックライブラーダイバージェンスに基づく幾何学的なアルゴリズムを考案した。導出したアルゴリズムは脳波信号の解析に応用した。また、同様の幾何学的なアルゴリズムはトピックモデルと呼ばれる機械学習の低次元化法にも応用可能であり、地球科学データの組成データの解析に適用し、地質学的に重要ないくつかのクラスタの発見に結びついた。

課題2のダイナミカルスパースモデリングについては、徐々に時間変化する遷移行列を定常分布から推定するアルゴリズムを考案し、自動車のマーケットシェアの遷移を抽出し解釈することができた。また、脳の記憶の再現

性についてランダム結合ニューラルネットワークと正準相関分析を用いたシミュレーションにより集団的な再現性を説明することができた。

課題3については、高次元中に複雑に埋め込まれた多様体を抽出するための要素技術として、多様体の局所次元を推定するアルゴリズムを構築した。高次漸近展開を用いた推定法により、従来法よりも精度が高くなることを実証した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】アルゴリズム、機械学習、モデル化

【研究 題 目】スパースモデリングを用いた顔の個体認知の神経機構の解明

【研究代表者】菅生 康子（人間情報研究部門）

【研究担当者】菅生 康子、松本 有央（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、スパースモデリングを用いて認知機能を知覚と記憶の相互作用の観点から取り扱う枠組みを、電気生理学データに基づくデータ駆動アプローチで構築することを旨とする。我々の社会生活を支える脳の重要な機能の1つ、顔の個体や表情の認知は、入力された視覚情報から、髪、眉、眼、鼻、口などの要素を取り出し、その組み合わせとしての顔を知覚するプロセスと、過去に見た経験により形成された記憶から想起された顔と今見ている顔とを照合するというプロセスの統合によって可能になると考えられる。これまでの研究から、知覚のプロセスには側頭皮質の顔細胞からの情報が、記憶のプロセスには内側側頭葉の概念細胞の情報が関与していると考えられる。しかしながら、情報の統合を可能にする神経機構は明らかでない。

これまで、顔認知に関わる情報処理をニューロンレベルで明らかにするため、顔の倒立提示により個体認知の成績が低下するという心理学的現象（顔倒立効果）に基づき、顔の倒立提示が側頭皮質の情報処理に与える影響を調べた。その結果、側頭葉視覚連合野（TE 野）のニューロンが、顔を倒立で見た時、ヒトかサルか図形かを分類する大まかな分類情報は獲得できるが、個体や表情についての情報を獲得することは困難になることが示唆された。さらに、L1正則化ロジスティック回帰を用いて、各々の分類に関わるニューロンを解析した。その結果、ヒトかサルかの大まかな分類に寄与するニューロンと顔の正立と倒立の分類に寄与するニューロンが異なることが示唆された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】顔認知、側頭葉、ニューロン、スパースモデリング

【研究 題 目】脳卒中後の把握機能回復をもたらす脳内身体表現の変化：サルモデルによる解明

【研究代表者】村田 弓（人間情報研究部門）

【研究担当者】村田 弓、肥後 範行（常勤職員2名）

【研究 内 容】

脳卒中後の心身機能の回復の背景には脳・神経の可塑的变化による機能回復および機能代償システムが関わっていると考えられるが、回復メカニズムの理解は不十分である。本研究課題は脳卒中動物モデルを用いて、脳卒中後の上肢運動機能の回復に脳内身体表現がどのように関わるのかを明らかにすることを目的として行った。

モデル動物にヒトと脳筋骨格構造が類似しているサルを用いた。内包後脚に損傷を作成した動物モデルを確立し、回復過程を調べた。母指と示指で小さな物体を保持するつまみ動作が可能な動物であるサルを対象に、第一次運動野の手領域からの下行路が通る内包後脚に血管収縮作用を持つ薬物を投与し、局所的な微小梗塞を作成した。梗塞後、数ヶ月間にわたってつまみ動作の回復過程を調べた。その結果、損傷直後から、母指と示指を対立させて小さな物体を保持する精密把握の遂行が困難となった。この結果から、内包損傷によって協調した手の運動の遂行が影響を受けることが分かった。

また、脳損傷後の回復過程について数理モデルを用いた解析を行い、回復過程の行動変化の仕組みを明らかにすることを試みた。これまでの実験から第一次運動野を損傷した後に、精密把握を行う把握動作のトレーニングを繰り返し行くと、把握機能の回復が認められた。さらに、脳損傷後の回復の過程において、一時的に成功率が低下し、把握方法の戦略的転換が起こる「回復の谷」といえる現象が確認された。数理モデルを用いた実験では、第一次運動野および運動学習に関わる数理モデルを用いて、コンピュータシミュレーションによって脳損傷とその後のリハビリテーションを行い、「回復の谷」を再現できるかを検討した。その結果、損傷後のトレーニングの有無によって「回復の谷」の出現の有無が変化する結果が認められた。この結果から、脳損傷後のトレーニングの有無によって回復過程の行動変化やタイムコースが影響を受けることが明らかになった。さらに、リハビリトレーニング中の把握動作の変化について解析を行った。その結果、1種類の大きさの孔を使って行うリハビリトレーニング課題においても、母指を屈曲してエサを把握していた代償的な把握動作の使用が減少し、つまみ動作の使用が増加する傾向が認められ、把握動作の変化が起こることが分かった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】リハビリテーション、身体性システム、機能回復、神経可塑性、把握動作

【研究 題 目】スパースモデリングを用いた側頭葉における顔の情報コーディングの研究

【研究代表者】菅生 康子（人間情報研究部門）

【研究担当者】菅生 康子、松本 有央（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、スパースモデリングを用いて認知機能を知覚と記憶の相互作用の観点から取り扱う枠組みを、電気生理学データに基づくデータ駆動アプローチで構築することを目指す。我々の社会生活を支える脳の重要な機能の1つ、顔の個体や表情の認知は、入力された視覚情報から、髪、眉、眼、鼻、口などの要素を取り出し、その組み合わせとしての顔を知覚するプロセスと、過去に見た経験により形成された記憶から想起された顔と今見ている顔とを照合するというプロセスの統合によって可能になると考えられる。これまでの研究から、知覚のプロセスには側頭皮質の顔細胞からの情報が、記憶のプロセスには内側側頭葉の概念細胞の情報が関与していると考えられる。しかしながら、情報の統合を可能にする神経機構は明らかでない。

これまで、顔認知に関わる情報処理をニューロンレベルで明らかにするため、顔の倒立提示により個体認知の成績が低下するという心理学的現象（顔倒立効果）に基づき、顔の倒立提示が側頭皮質の情報処理に与える影響を調べた。その結果、側頭葉視覚連合野（TE 野）のニューロンが、顔を倒立で見た時、ヒトかサルか図形かを分類する大まかな分類情報は獲得できるが、個体や表情についての情報を獲得することは困難になることが示唆された。また、分散分析で個々のニューロンの応答を解析したところ、サルの個体と表情の効果を表現するニューロン、ヒトの個体と表情の効果を表現するニューロン、および、サルとヒトの個体や表情の効果を表現するニューロンが存在し、すなわちサル・ヒトや個体・表情の表現がある程度収束していた。これらのニューロンが、階層としては深い情報処理を担うことと関連する可能性がある。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 顔認知、側頭葉、ニューロン、スパースモデリング

【研究 題 目】 顔の質感情報の時間的コーディングの研究

【研究代表者】 菅生 康子（人間情報研究部門）

【研究担当者】 菅生 康子、松本 有央（常勤職員2名）

【研究 内 容】

顔には、我々の社会生活に重要な情報が含まれている。我々が顔を見るとき、個体や表情を認識できるが、それは、眼、鼻、口などの形やそれら相互の距離など造作の形態情報に基づいている。さらに、年齢や体調などを推しはかることもできるが、肌や髪、眼などの質感情報に基づくと考えられる。このように、顔の質感は、個体の状態を見分けるために重要な情報を与える。本研究は、この顔の質感をコードする神経機構を明らかにすることを目的とし、顔の肌（同じ材質）の異なる質感（異なる状態）の知覚について、情報の時間的コーディングという観点から研究を進める。TE 野では、ヒトかサルかの

分類情報と個体・表情の情報が時間的に異なるタイミングでコードされることが明らかになっている。

本年度は、マカクザルの TE 野前部からニューロン活動を記録し、顔に対する応答を調べ、質感情報の時間的コードを、個体や表情の情報の時間的コードと比較する研究に着手した。具体的には、画像の輝度チャンネルの正の成分を変更し、光沢を強調、あるいは、減弱した顔画像を作成した。また、スタイル変換の手法を用いて、顔の質感を変化させた画像を作成した。これらの顔画像セットを用いて、マカクザルの TE 野前部から単一ニューロン活動の記録を開始した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 顔の識別、質感、側頭葉、ニューロン

【研究 題 目】 咀嚼筋電音フィードバックを用いた食質感知覚メカニズムの解明

【研究代表者】 藤崎 和香（人間情報研究部門）

【研究担当者】 藤崎 和香、遠藤 博史、井野 秀一
（常勤職員3名、他2名）

【研究 内 容】

質感知覚は様々な感覚から入力された情報を処理するだけでなく、予測、意思決定、身体制御、感覚運動フィードバックなどを含んだ、多感覚的、適応的、能動的なプロセスの結果として生じる。食質感知覚はこのようなプロセスを考えるうえで最適の題材である。それは、食質感知覚には、「食べる」という能動的な動作によってもたらされる感覚フィードバックの情報が大きく貢献しているからである。

これまで咀嚼音をフィードバックして食質感を変容させる様々な研究が行われてきたが、フィードバックの時間ずれや、利用できる食品の物性上の制約が課題であった。我々は近年、咀嚼に完全に同期したフィードバック音を、あらゆる物性の食品について返すことができる画期的な手法を考案した。それは咀嚼音そのものではなく、咀嚼時の咬筋の筋電波形を音に変換したものをフィードバックするという手法である。

今年度の実績として、まず、単純に筋電波形をそのまま音に変換してリアルタイムにフィードバックしただけでも、噛みごたえやざらざら感といった食質感が変化すること、さらに、高次質感（高級感、新鮮さなど）や行為主体感（食べている実感など）が変化することを示した。この成果は *Physiology & Behavior* 誌に掲載された (Endo, Ino & Fujisaki, 2016)。さらに、咬筋の筋電波形のエンベロープを取り出して任意の音信号を振幅変調して出力できるように装置を改良し、実験を進めた。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 食質感、咀嚼筋電、フィードバック、多感覚

【研究 題 目】 ホームケアをサポートする人間生活調和

型コンパクトアクチュエータの総合的研究

【研究代表者】井野 秀一（人間情報研究部門）

【研究担当者】井野 秀一、近井 学、細野 美奈子（人間情報研究部門）、柿 浩司（創エネルギー研究部門）、土井 幸輝（国立特別支援教育総合研究所）、山下 和彦（東京医療保健大学）、和田 親宗（九州工業大学）（常勤職員4名、他3名）

【研究内容】

本格的な高齢社会を迎え、多様なライフスタイルをサポートする福祉機器の開発とその充実が真に求められている。また、世界各地で頻発する甚大な自然災害や都市災害の現場では、電源インフラに依存せず、高出力で機動性に優れた防災救助ツールの登場が期待されている。そこで、本課題では、電源フリーでハイパワーかつコンパクトな人間生活調和型のソフトアクチュエータの新技術を、高齢者や障害をもつ人たちのホームケアおよび防災救助向けの応用に軸足を置き、機能性材料開発や人間行動計測などを織り交ぜて、学際的な視座から研究開発することを目的としている。

本年度は、ユーザーフレンドリーかつ省エネの機能デザインを指向したアクチュエーションのシステム開発に取り組んだ。抄紙技術を応用した LaNi₅系の水素吸蔵合金シートを作成し、試作した合金シート（新形態）と合金粉末（通常形態）の性能比較のための構造観察および評価実験を行った。その結果、シート化に伴う加工によって、合金の基礎的な物性に劣化を及ぼすことのないこと、アクチュエータとして重要な反応速度が増すこと、システムへの組み込みに関する形態的メリットが格段に向上することがわかった。さらに、人間工学に基づく動作研究では、ホームケア支援および防災活動支援のシステムデザインのための計測実験を行い、座面リフトによる安定な移乗動作および転倒家具の対処などでのジャッキ操作の至適条件を探った。その結果、移乗時のリフト支援策としては、着座シートの前後スライド機能、防災ジャッキの身体的負担の少ない操作方法としては、ジャッキのレバーとユーザの体幹との位置関係の重要性が示唆された。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】アクチュエータ、水素吸蔵合金、ホームケア、介護、防災、生体計測

【研究題目】データ同化手法を用いた身体障害者の共創的衣服作製に関する研究

【研究代表者】蔵田 武志（人間情報研究部門）

【研究担当者】蔵田 武志、一刈 良介（人間情報研究部門）、大西 正輝（人工知能研究センター）、尾形 邦裕（ロボットイノベーション研

究センター）（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

多くの車いすを利用する身体障害者が問題として挙げている褥瘡の軽減、着脱のしやすさ、動きやすさ等の機能性、意匠性、及び経済性を同時実現する衣服の設計を支援するために、H28年度は以下について取り組んだ。

1) モバイル RGB-D カメラを用いた非接触体形計測技術及びそれを用いた MR 試着システムについては、標準人体モデル（Dhaiba）を計測データに基づいて変形させることによって、姿勢変化による体型変形時のモデル化や MR 試着時の画質向上を行った。e テキスタイル装具を用いた接触計測については、主に下半身の運動把握を目的として伸縮、圧力のそれぞれに関する可視化システムを試作した。また、特に圧力について、主に腹部での接触圧変化を長時間記録できるモバイルシステムを構築し、取得されたセンサデータから利用者の内的状態の推定が可能であるか検討した。ダミーロボットが上着を着て車いすを漕ぐ動作を行うことを想定し、人が車いすを漕ぐ動作のデータを収集した。ダミーロボットの腕や肩にセンサを装着し、腕を動かした際にどのようなセンサ信号が取れるか、実験的に調べた。ダミーロボットと人の両方に装着可能なセンサについて検討し試作の準備を開始した。

2) モバイル RGB-D カメラを用いた身体計測及び MR 試着機能を持つアプリのポータルサイト配布のための倫理審査準備を進め、データ収集環境整備を進めた。衣服のリフォームをいくつか試み、「国リハコレクション2016」を開催し、その開催後に「国リハコレクション2016」の紹介冊子を作製し、試作展示したリフォーム例や出展機関を紹介した。JIAM2016へも出展した。JIAM ではインクルーシブ出展の形態をとり、当事者とのコミュニティ形成を進めた。事例データベースの拡充も進め、約500事例を検索可能な状態で公開した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】サービス工学、現場のラボ化、製造業のサービス化、複合現実、インクルーシブデザイン、データ同化、情報循環、身体障害者支援、衣服設計、機能性、意匠性、経済性、衣環境

【研究題目】超人スポーツのための個人別環境身体ダイナミクス同定技術と身体能力拡張技術の研究

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、村井 昭彦（人間情報研究部門）、暦本 純一、稲見 昌彦（東京大学）小池 英樹（東京工業大学）、野嶋 琢也（電気通信大学）、杉浦 裕太（慶應義塾大学）（常勤職員2名、他5名）

【研究内容】

本研究は、幅広い身体特性の人が一緒にスポーツ参加できるシステム構築を目標として、環境と身体の間相互作用である「環境身体ダイナミクス」を解明して運動・認識能力を拡張する技術の研究である。そのために、①運動計測・感覚刺激・コントロールシステムの開発、②超人スポーツ競技のルール策定、③超人スポーツにおけるヒトの運動解析技術を開発している。本年度は、これらを実験室環境で行うことを目標に研究を遂行した。

まず①について、運動計測としてボールカメラを開発し、様々な環境下で並進・回転するボールから撮影される映像をスタビライズする技術を開発した。また、感覚刺激として振動介入システムを開発し、身体上に配置した振動子を様々なパターンで振動させることで情報提示や無意識の運動変化を生じさせる技術を開発した。そして、コントロールシステムとしてドローンウェアを開発し、高出力ドローンに関わるアクチュエーターの選定や制御実験を行った。

次に②について、超人スポーツ競技のルール策定のため、AR ドッジボールおよびスポーツ応援拡張技術の開発を行った。これは、様々なレベルのプレイヤーが参加するゲームにおいて同じレベルでプレイできるようルールの調整を行う枠組みとなり、身体環境ダイナミクスのコントロール則の決定に活用される。

最後に③について、デジタルアスリートモデルを構築した。ヒトの解剖学的形状にもとづいてポリリメトリック皮膚・筋骨格モデルを構築し、産総研で開発されるヒト中心設計のためのシミュレーション環境“DhaibaWorks”上でリアルタイムにヒトの運動の計測・解析・可視化を可能とした。また、OpenSim との連携により体性感覚情報推定を実現した。これは、運動・感覚能力拡張の際の感覚刺激と運動変容をつなぐモデルとして活用される。

次年度は、これらの技術を展開・組み合わせ、実フィールドでのスポーツの実現を目指す。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】超人スポーツ、ヒューマンインタフェース・インタラクション

【研究題目】多感覚情報の統合・分離とその神経基盤

【研究代表者】山本 慎也（人間情報研究部門）

【研究担当者】山本 慎也（常勤職員1名）

【研究内容】

脳は、様々な感覚信号を統合・分離することによって、外界で生じたイベントを再構成することができる。このことは、我々の知覚表象の形成において、重要な役割を果たしている。本研究課題では、脳がどのようなメカニズムで、複数の感覚情報の統合・分離を行っているのかを解明することを目標としている。

単一のイベントから複数の異なる感覚種の信号は、異

なる受容器から入力を受け、脳の異なる領域で処理がなされるが、最終的に統合されて一つの知覚表象が形成される。このためには、外界の時間関係を脳内で再現する必要があり、外界で同時に生じた感覚信号は脳内でも同時であると処理されるべきである。このような時間的なキャリブレーションのメカニズムがいくつか明らかになりつつあるが、本年度は、比較的小さい時定数を有し、主に物理伝導時間差（イベントから受容器までに生じた時間差）を補正していると考えられるラグアダプテーションと呼ばれる補正機構に着目した。ラグアダプテーションは複数の感覚信号の系統的な時間差を無視する方向に働く適応機構であるが、感覚信号のオンセットに対して駆動されるのか、オフセットに対して駆動されるのか、あるいはその両方であるのか、明らかではなかった。そこで、オンセットのみ（あるいはオフセットのみ）の十分長い時間長の視覚刺激と聴覚刺激を用い、それらの刺激時間差の分布を視覚先行側あるいは聴覚先行側にバイアスをかけ時間順序判断を行わせるという実験を行った。その結果、オンセットのみの実験条件でもオフセットのみの実験条件でも、ともにラグアダプテーションが生じることが明らかになった。このことから、物理伝導時間差の補正に基づく情報統合メカニズムは、刺激のオンセット・オフセットに依存しないアルゴリズムであることが示唆された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】神経科学、認知科学

【研究題目】身体感覚と環境認知の統合モデルを用いた「食事の楽しさ」の評価手法の開発

【研究代表者】三輪 洋靖（人間情報研究部門）

【研究担当者】三輪 洋靖、梅村 浩之（人間情報研究部門）、平田 文、窪田 聡（国際医療福祉大学）（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

私たちの生活において、飲食品の摂取行動である「食」はエネルギー摂取のために欠かすことのできない一方、質の高い食事は楽しみであり、生活の質を高めることが経験的に知られている。本研究では、「食事の楽しさ」は感覚的要因と環境的要因から構成されると考え、各要因の構造を説明できるモデルの構築とモデル間の関係性の解明を行うことで、「食事の楽しさ」の構造を明らかにする。さらに、「食事の楽しさ」モデルを応用し、「食事の楽しさ」評価システムを研究期間内に開発することを研究目的とした。初年度である平成28年度は、感覚的要因、環境的要因の計測とモデル化および「食事の楽しさ」評価システムの開発に重点を置いて研究を進め、以下の5点の成果を得た。

(1) 若年健康者に対して、特性が異なる様々な飲食品を摂食・嚥下したときの嚥下音、筋活動、運動を同期して計測した。そして、試料摂取時における各信号の特徴

量に加え、それらの相互関係に関する基礎的知見を得た。

(2) 若年健常者に対して、摂食時の筋活動と頸部圧力を計測し、口腔内に食べ物を運ぶタイミングに関する視覚情報と上肢運動が嚥下反射に与える影響を検討した。その結果、視覚情報、上肢運動は反射相である咽頭期には影響しないを明らかにした。(3) 若年健常者を対象とし、飲水時の水の温度、飲水量の違いが血圧に及ぼす影響を検討した。そして、冷水刺激による昇圧効果の増加は、降圧作用を高めるため、圧受容器反射感受性を高めていたことが示唆された。(4) 食事とそれを取り巻く諸要因に対して「人は何を楽しみにしているか」についての大規模アンケート調査を行い、食品に関する因子、他人と関係性に関する因子、満腹感に関する因子、雰囲気に関する因子が示唆された。(5) 試料摂取時の喉頭部の運動解析を支援するプロトタイプソフトウェアを開発し、その有効性を確認した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 生体計測、モデル化、嚥下、感性評価、食事

【研究題目】 音環境理解に基づく音響計測環境の活性化支援の仕組みづくりに関する研究

【研究代表者】 河本 満 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 河本 満、幸島 明男、車谷 浩一 (常勤職員3名)

【研究内容】

本事業では、音響計測を通じて、現場の音データを継続的に収集し、その収集したデータから音環境現場の雰囲気などを継続的に分析することで、音響計測現場の変化で現れる「稀なこと」への「気づき」が与えられる技術を研究開発することを目的としている。

平成28年度は、新たな音環境となる二子玉川商店街において、計測環境の整備を行った。二子玉川商店街においてどの場所に音センサ (マイクロフォンアレイ) を設置するのかを検討し、設置場所に応じた音センサの形状を考え、また、屋外に音センサを設置することも考慮して、新たな音センサの構築を行った。さらに、二子玉川ライズ (二子玉川商店街とは別の場所、二子玉川駅付近) に既に設置済みのマイクロフォンアレイから得られた音データを用いて、音を色で可視化する音データ解析手法の提案にも成功した。本可視化手法により、音環境の現状やその変化などが音模様として理解できることを示した。

平成29年度は、商店街の音模様の解析を進め、「稀なこと」の提示が行えるようにする。また、別の音環境 (軍艦島) に音模様を適用して、軍艦島の老朽化した建物のモニタリング、例えば、崩落の過程の調査にも活かしていく予定である。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 サービス工学、マイクロフォンアレイ、

音環境理解、音模様、モニタリング

【研究題目】 重度肢体不自由者支援のための適応的ジェスチャインタフェースの研究

【研究代表者】 依田 育士 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 依田 育士 (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

より多くの重度肢体不自由者に対し距離画像カメラを用いたインタフェースシステムを適応可能にするため、対象となる筋疾患・神経疾患患者と頸髄損傷者を中心に、3次元動画のジェスチャデータの収集を実施した。具体的には、34部位のデータを新たに取得した。そして、合計159部位のデータに関して、より少ない認識エンジンでより多くの部位に対応することを念頭に、ジェスチャの分類を行った。今年度は137部位を10分類し、22部位を未分類として分類した。

そして、これらの部位に対応する認識エンジンの開発を行い、部位モデルに依存する頭部動作、舌の出し入れ、指の動き、両足の動き、膝の開閉、肩の動きを認識する6つの認識エンジンの基本開発を実施した。また、部位などに依存しない認識エンジンとして、カメラに最近接した部位の動きを認識するエンジン、指定した領域の小さな動きを認識するエンジン2種を開発した。

さらに、システムが被験者の短期の揺らぎ、長期の変動に追従できるようになるため、頸髄損傷者1名と、神経筋疾患患者1名に対して、自宅にシステムを設置し、長期実験を実施した。毎回、最初に利用する際に学習用のジェスチャ操作を行い、その際のデータを取得した。そのデータを解析し、長期変動に対応するための学習手法、対応方法などを検討した。現時点では、大量のデータから適切な固定的なしきい値を決定するより、毎日の初期データから最適なしきい値を取得する方法が優れている結果を得た。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ジェスチャインタフェース、ジェスチャ認識、インタフェース、パターン認識、3次元画像理解、重度障害者支援

【研究題目】 映像コンテンツのバリアフリー化のための認知特性を考慮した字幕設計評価ツールの開発

【研究代表者】 大山 潤爾 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 大山 潤爾、井野 秀一 (以上、人間情報研究部門)、若月 大輔 (筑波技術大学)、中島 佐和子 (秋田大学) (常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

映像コンテンツのバリアフリー化には、音声を視覚的に代替する字幕が不可欠である。本研究では、字幕デザインの見やすさ分かりやすさを自動で定量的に評価できるアクセシビリティ支援ツールを開発する。字幕デザイ

ンを総合的に評価するためには、字幕文字自体だけではなく、映像と同時に呈示される状況で、字幕デザインが映像と字幕の双方の視認性と内容理解に与える影響を定量的に調べる映像認知特性の研究が必要である。映像認知特性に基づいた字幕評価手法を確立し、それを応用した字幕デザインの解析評価ツールを開発することで、適切なコストと安定した品質の字幕の供給を支援し、バリアフリー化の普及を促進する。

本年度は、映像と字幕の関係性を考慮した字幕アクセシビリティ評価手法の研究と、字幕と映像のデータから字幕設計評価に必要な要素情報を抽出する字幕解析技術の研究を進めた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】応用認知心理学、情報支援工学、映像認知、時短デザイン、アクセシブルデザイン、情報保障、バリアフリー

【研究 題 目】触覚の質感情報に着目した発達障害支援技術の構築

【研究代表者】近井 学（人間情報研究部門）

【研究担当者】近井 学（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、発達障害がある児童などに多い先天的な触覚機能の過敏・鈍麻傾向といった知覚異常を客観的に評価する手法の実現に向け、触覚の質感情報を客観的に評価できる刺激呈示デバイスの実現を目指している。その中でも発達障害がある児童が苦手と言われている痒みや痺れといった痛みに関連した触覚刺激に着目し、本研究で開発するデバイスではこれらの苦手な刺激を人工的に生成するものを検討した。

平成27年度は、発達障害がある児童などが苦手としているちくちくとした痛みに関連した刺激を呈示することが可能な、フォンフライ式圧痛覚計を利用したタッチテストの刺激呈示の有効性について検証を行った。この実験では、タッチテスト時の手の動きと与える物理刺激の関係性を明らかにするために、3次元動作解析装置で実験被験者の圧痛覚計を握った動きを計測し、力センサで圧刺激の大きさを計測した。次に、ポジショニングステージで手の動きを代替した場合の圧刺激の大きさを同様に計測した。これらの実験の結果から、圧刺激は動作や座屈数による影響があり、一定した刺激呈示が難しいことを示した。従来法の課題を解消した痒みや痺れといった痛みに関連した刺激を惹起させるための一つの手段として、先行研究で得た知見を踏まえ、温度刺激と振動刺激を呈示する2つの物理刺激の呈示と、被験者が刺激呈示デバイスの表面に触れている時に生じる荷重を調整することが可能なデバイスを試作した。このデバイスでは、従来のタッチテストによる圧刺激に比べて、それぞれの物理刺激は独立して呈示することや呈示する物理刺激（例えば表面温度や振動周波数など）を決められた値に

調整することができるため、再現性がある物理刺激を可能とした。

平成28年度は、前年度試作した触覚刺激呈示デバイスの評価を行った。計測実験では、触覚の知覚異常がない健常被験者に対して、痛みに関連する聴覚的な表現（ちくちく感、ずきずき感など）を含んだ複数の触覚の質感情報に関する擬音語（オノマトペ）を評価項目に用いて、デバイスが振動や温度などの複数の刺激を組み合わせると指先に呈示した場合に、被験者が痛みに関連した刺激を知覚しているかという点について、それぞれの擬音語に対して7件法の尺度で回答してもらい、提案したデバイスの有効性を評価した。はじめに、デバイスが振動や温度など独立して呈示する刺激を用いた場合、被験者はぶるぶる感やほかほか感といった質感情報を知覚していることがわかった。加えて、デバイスが複数の刺激を組み合わせると呈示した場合、被験者らが知覚する痛みに関連する表現の回答には尺度値に個人差が見られたことがわかった。今後は、この研究をさらに発展させるため、本研究で開発したデバイスを用いた主観的な指標での評価に加え、脳機能計測などの客観的な指標と組み合わせると触覚の質感情報を評価し、さらに発達障害がある児童を被験者とした評価実験へと展開していく予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】触覚、質感情報、生体計測

【研究 題 目】自己と他者の情報処理に関わる神経基盤の解明—比較認知神経科学によるアプローチ—

【研究代表者】兎田 幸司（人間情報研究部門）

【研究担当者】兎田 幸司（他1名）

【研究 内 容】

時々刻々と変化する複雑な社会環境の下で動物が生きていくためには、自分自身や、自らを取り囲む他者についての情報を適切に処理する能力が不可欠である。しかしながら、こうした情報処理の能力は、どのような神経基盤によって実現されているのかは依然として不明なままである。本研究においては、自己と他者の「意識」という機能に焦点を絞り、霊長類と齧歯類の比較研究を通して、進化・機能・構造の3つの側面からヒトを含めた動物の「意識」について包括的に明らかにすることを目的としている。

申請者は、これまでに動物の主観的な時間意識を調べる行動課題を確立した。今後は、実験心理学的な行動課題、計算理論による行動解析、オプトジェネティクスによる神経細胞活動の操作手法を効果的に融合することによって、「意識」を生み出す神経基盤の解明に迫っていく予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】自己と他者、神経基盤、比較認知神経科

学、オプトジェネティクス

〔研究題目〕 An adjoint functors approach to models of cognition

〔研究代表者〕 Phillips Steven (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 Phillips Steven、武田 裕司 (自動車
ヒューマンファクター研究センター)

(常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、圏論に基づいて認知の二重経路特性を理解・検証することである。圏論によると、認知の二重経路特性は、一對の随伴関手 (adjoint functor) と、認知プロセスの2つの経路間におけるコスト-ベネフィットのトレードオフによって説明できる。つまり、認知課題のゴールに到達するための認知プロセスに2つの経路がある場合、各経路のコストとベネフィットが評価され、その評価に基づいて、より低コストの経路が選択されると考えられる。このコスト-ベネフィット仮説を検討するための実験手続きの確立を目指した。

コスト-ベネフィット仮説を検討するためには、一對の随伴関手、すなわち2つの認知プロセスの経路が存在し、各経路のコストとベネフィットを操作できる手続きが必要となる。そのような手続きとして、一對の刺激を画面の右と左に呈示する、画面分割パラダイムを提案した。実験参加者は、このパラダイムを用いた視覚探索課題を行った。課題では、2つの探索フィールドが画面の右と左の一つずつ、同時に呈示された。各探索フィールドには、1つの標的刺激と複数の非標的刺激が含まれていた。参加者の課題は、どちらか一方の探索フィールドを選択し、その中から標的刺激を検出することであった。各探索フィールドにおける標的刺激検出の難度を操作し (低難度・高難度)、課題成績と課題中の眼球運動を分析した。その結果、実験参加者はより難度が低い探索フィールドを選んで課題を遂行することが示された。同様の結果は、計算課題や心的回転課題など、他の認知課題においても示された。これらの結果は、この画面分割パラダイムが、認知プロセスにおける二重経路のコスト-ベネフィットを測定する有用な方法であることを示している。本研究により、圏論に基づいて認知プロセスのコスト-ベネフィットを検証するための、新たな手法とその有用性が示された。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 圏論、視覚的注意、コスト-ベネフィット

〔研究題目〕 特徴空間の幾何構造を利用した学習アルゴリズムの構築

〔研究代表者〕 赤穂 昭太郎 (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 赤穂 昭太郎、藤木 淳 (福岡大学)
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、特徴空間の幾何学的構造の解明およびそれに基づく学習アルゴリズムの構築を行い、パターン認識やコンピュータビジョンに応用することであり、その研究の流れに沿って下記のような成果を得た。

まず、入力空間を情報幾何学で考える情報空間としてとらえ、指数分布族の空間での自己平行な部分多様体への射影問題として定式化し、拡張ピタゴラス定理に基づくロバストな推定アルゴリズムを構築した。これらは種々の機械学習の設定に応用可能であり、非負値行列分解や転移学習などの問題にも応用可能であることを示した。非負値行列分解においては、自然言語処理で用いられるトピックモデルと等価なモデルに対し、より情報幾何的に自然な射影法が存在することを示した。また、従来手法はスパースな基底ベクトルの場合に数値的に不安定性が生じるという問題があったがそれも解決することができた。一方、転移学習は情報幾何学の基本モデルであるe-混合モデルが最大エントロピー基準などの観点から有効であると考え、さらに柔軟なモデル化のためにノンパラメトリックな設定で推定を行う手法に拡張した。従来手法はノンパラメトリックな設定に対しては適用できないため、提案手法はその意味でも有効である。そのほか、多様体あてはめにおける局所次元推定問題についても高次テイラー展開に基づく拡張により精度の高い手法を開発でき、今後の研究に結びつく新規の課題として研究を進めた。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 アルゴリズム、機械学習、幾何学、関数解析学、パターン認識

〔研究題目〕 異なる感覚モダリティ・属性に共通した「時間」と「内容」の情報統合メカニズムの解明

〔研究代表者〕 藤崎 和香 (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 藤崎 和香 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、「時間」と「内容」の情報を適切に統合してダイナミックな知覚世界を成立させている人間の脳の論理を、心理物理学の実験手法を用いて解明することである。研究成果から、物理的には時間がずれていても人間にはずれを感じさせないような、人に優しいマルチモーダルインターフェースの設計指針が得られることが期待される。

我々は近年、感覚モダリティ間・属性間のバインディング課題の時間周波数限界が、感覚モダリティや属性の組み合わせによらず、約2.5Hzと共通になることを発見した。本研究では、この感覚や属性の組み合わせによらない共通の時間限界が、「時間 (いつ)」と「内容 (何)」の情報を並列的に処理したのちに統合するという脳の戦略を反映したものではないかという仮説を、「運動」という感覚・属性に共通した新たな指標を用い

て検証するものである。

今年度は前年度に引き続き、この問題について「感覚-運動間の時間-特徴統合課題」を行って検討した。具体的には、色、輝度、方位（視覚）および音高（聴覚）の交替刺激の変化する瞬間のタイミングでボタンを押すという課題を行って、交替刺激の周期が高くなるにしたがってボタン押しのタイミングがどのように変化するかを調べた。その他、「視覚と聴覚における感覚フィードバック研究-時間遅延と質感変容-」というタイトルで、日本バーチャルリアリティ学会のオーガナイズドセッションで依頼講演を行うなどした。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】マルチモダリティ、同時性判断、時間情報処理、時間バイディング

【研究 題 目】P2P 方式によるモバイル生体センシング基盤に関する研究

【研究代表者】幸島 明男（人間情報研究部門）

【研究担当者】幸島 明男、河本 満、車谷 浩一
（常勤職員3名）

【研究 内 容】

家族や介護者が携帯端末等で遠隔地から高齢者等の生活を見守る遠隔見守りサービスにおいて、生体センシングデータをいったんサーバに集約した後に他の利用者に配信するサーバ・クライアント方式による実現は、プライバシーやスケラビリティなどの観点から課題がある。そこで本研究では、センサ装着者の生体情報をクラウド上のデータサーバを経由せず、直接必要とする利用者の携帯端末等に送信する Peer-to-Peer (P2P) 方式の遠隔見守りサービスのためのモバイル生体センシング基盤について研究を行っている。

平成28年度は、屋内の無線LAN環境における利用を念頭に、スマートフォンよりも常時携帯性や装着性に優れた腕時計型端末を用いたモバイル生体センシング基盤のプロトタイプを開発した。本プロトタイプシステムにおいては、生体センサと通信する腕時計型端末どうしが、取得した生体センシングデータや、生体センシングデータを解析して得られる身体状況（心拍数と姿勢）を直接送受信することで、相互的な見守り機能が実現可能である。また、常時身体に装着するという腕時計型端末の特性を活かし、利用者の身体状況をより直観的かつ身体的に感知するための新しい遠隔見守りインタフェースとして、心拍間隔に応じた振動通知インタフェースを提案した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】モバイル、生体センシング、携帯端末

【研究 題 目】動画像による形状予測に基づく変形物体の追跡手法の研究

【研究代表者】西田 健次（人間情報研究部門）

【研究担当者】西田 健次（常勤職員1名）

【研究 内 容】

対象追跡は、コンピュータビジョンの主要な適用例であり、特に自動車などの大きくは変形しない物体に対する追跡手法は、ほぼ確立されていると言って良い。一方、人間のように変形を伴う物体の追跡に関しては、変形に対して不変な特徴を用いて追跡を行う例が多く、サッカーのようなチームスポーツ、あるいは、群衆などの、類似の特徴量を持つ複数の対象が近接して存在するような状況においては、追跡を行う対象とそれ以外の対象を弁別することが難しく、有効な追跡手法は確立されていない。近接する類似の特徴量を持った対象と目的の対象を弁別するために、対象の移動軌跡を利用する手法が考えられるが、前述のチームスポーツのような状況では、対象（選手）同士の隠れなどの影響により、移動軌跡の推定自体が困難となる。そこで、追跡対象が変形物体であることを利用し、対象固有の変形の時系列を検出し、それを特徴量として目的の対象の位置を同定する手掛かりとする。これにより、従来、追跡が困難であった類似の特徴を持つ変形物体が複数存在する状況での対象追跡が可能となる。そのためには、対象の形状変化の予測と形状変化に基づいた追跡の二つの手法の確立が必須となる。本研究では、変形物体の形状変化をより正確に予測し、その変形予測をもとに似たような特徴量を持つ集団の中から、目標とする対象を識別し追跡する手法を確立することを目的とする。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】パターン認識、コンピュータビジョン、トラッキング

【研究 題 目】自己選択による意思決定情報の可視化と解読

【研究代表者】松本 有央（人間情報研究部門）

【研究担当者】松本 有央、設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

報酬獲得のための行動決定を調べるために、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を2匹のサルにトレーニングした。この課題では、最初に、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題を行う。課題内容は以下の通りである。まず、3段階の報酬量と3段階の仕事量を示唆する9種類の選択肢から2つをサルに提示する。選択肢の明るさがもらえる報酬量を表し、長さが報酬をもらえるまでに必要な試行数を表す。モンキーチェアには、3本のバーが中央と左右に付着されている。サルが中央のバーを握れば課題が始まり、初めに一つの選択肢が画面の中央に表示される。その後、もう一つの選択肢が画面の中央に表示される。さらにその後、表示された2つの選択肢が画面の左右どちらかの場所にランダムに同時に表示さ

れる。サルが左右のバーのいずれかを握れば、対応する選択肢が選ばれ、選ばれた選択肢のみが表示される。行動決定課題終了後に、実際にサルが選んだ選択肢が示す視覚弁別課題を行う。

昨年度は、行動決定課題遂行時のサルが実際に選択をおこなう期間において、脳の眼窩前頭皮質から記録された単一ニューロン活動が、初めに提示された選択肢と次に提示された選択肢の両方の情報を足し合わせたような情報をコードすることが分かった。それゆえ、本年度はニューロン活動を記録した脳部位をムシモルにより一時的に不活性にした。その結果、行動決定課題遂行時のサルの誤答率および選択の反応時間が増大した。これは、ニューロン活動記録部位が行動決定に関わっている可能性を示唆したものである。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】意思決定、行動選択、報酬量、負荷量

【研究 題 目】脳梗塞片麻痺ラットを用いた感覚運動連合学習における動作アシストの効果の解明

【研究代表者】金子 秀和（人間情報研究部門）

【研究担当者】金子 秀和（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

我々は、脳梗塞後のリハビリ訓練中に動作を補助し、動作関連筋肉及び関節に深部感覚を誘発することによって、学習過程及びリハビリ過程の促進効果が現れると考えている。これまでに選択反応時間タスクの逆転学習を片側前肢感覚運動野脳梗塞ラットに行かせたところ、脳損傷部位対側前肢に関する学習機能が低下していることが分かってきている。本研究では、同様の実験条件下で、強制的に応答動作を誘発することによって本タスクの学習過程が促進されることを実証する。その際、強制的に応答動作を誘発させる前肢の側及びタイミングの影響を統計解析し、学習やリハビリ過程を効果的に促進しうる動作補助条件を明らかにする。

今年度は、応答動作のタイミングにあわせた正応答側あるいは誤応答側レバー駆動の効果を検証するため、左右前肢のレバー押力の比率を閾値処理することで応答動作のタイミングを予測できるように改良した。予測された応答動作タイミングに同期させてタスクのキューである刺激時刻とレバー応答の時刻についてヒストグラムを作成したところ、レバー応答タイミングの20ミリ秒前の時刻を予測する場合であればタスクのキューよりもレバー応答の分布のピークが高くなり、「予測された時刻がタスクのキューに追従するものというよりもレバー応答に先行するもの」といえることが分かった。このことを利用して、駆動遅れ時間が20ミリ秒程度であるアクチュエータと組み合わせて応答動作を誘発すれば、応答時刻付近で応答動作を誘発できるようになる。この技術を用いて片側前肢感覚運動野脳損傷ラットに対して本タ

スクの学習実験を行った。その結果、異なるタイミング（刺激時刻の一定時間後あるいは応答時刻付近）で応答動作（正応答あるいは誤応答）を誘発した場合、誤応答側レバーを駆動することにより、学習に要する日数が少なめである可能性が示唆された。今後さらに詳細なデータ解析とデータの追加収集を実施する必要がある。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】リハビリテーション、脳神経疾患、脳・神経、神経科学、動物

【研究 題 目】側頭葉顔ニューロンにみられる時間的情報コーディングの神経機構の解明

【研究代表者】菅生 康子（人間情報研究部門）

【研究担当者】菅生 康子、松本 有央（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、顔を識別するための神経基盤と考えられる、側頭葉ニューロンによる顔画像情報の時間的情報コーディングの神経機構を明らかにすることにある。時間的情報コーディングは、下側頭皮質の神経発火に、顔の大まかな分類（サルかヒトか）が詳細な分類（個体や表情）より時間的に早くコーディングされている現象として観察できる。その神経機構を明らかにするため、サル下側頭皮質の顔領域（前部顔領域）とそれより後方に位置する情報の入力源（後部顔領域）を特定し、それら領域で顔画像に対するニューロン活動の時間的パターンを観察し、そこで表象される情報の時間的情報コーディングを調べる。

本年度は、前部顔領域のニューロンへの入力を明らかにするため、個々のニューロンについて受容野を調べる実験を、2頭目のサルを用いて行った。階層的に分類できる刺激画像セット（ヒト、サル、図形、に分類でき、また顔画像は個体と表情で分類できる）を、注視課題を遂行中のサルに提示し、その側頭皮質 TE 野前部で、単一ニューロン活動を記録した。さらに、その刺激セットの中から、ニューロンの応答強度が強い視覚刺激を選別し、受容野を調べた。TE 野のニューロンの多くは、中心視野タイプの受容野、あるいは、中心視野を含み記録している大脳半球とは反対側の視野に広い受容野を持つことが確かめられた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】顔識別、側頭葉、ニューロン

【研究 題 目】予約取引と現物取引を融合した市場メカニズムの提案

【研究代表者】宮下 和雄（人間情報研究部門）

【研究担当者】宮下 和雄（常勤職員1名）

【研究 内 容】

平成28年度は、様々な観点から現物取引と予約取引を融合した市場において、商品価値の時間的変化に対応した収益最大化メカニズムの洗練化を行った。具体的

研究内容を以下に示す。

- 現物取引と予約取引を融合した市場モデルの提案
平成27年度に設計した市場メカニズムの挙動を模擬するシミュレータの開発を行い、様々な戦略的行動に基づいた入札者の行動をパラメータ化した上でシミュレートするソフトウェアエージェントの実装を行い、大規模マルチエージェントシミュレーションを行った。
- 上記市場モデルにおいて取引参加者全体の収益を最大化するためのメカニズムの検討

上記のマルチエージェントシミュレーションに基づく評価結果を解析することにより、戦略的行動に対するメカニズムの頑健性や様々な取引状況におけるメカニズムの有効性を定量化するための評価尺度を開発することにより、市場メカニズムの設計に対する具体的な指針を与えた。それらの結果を踏まえ、メカニズムに対して容易に実施可能で有効な戦略的行動を無効化するよう改良を加え続けることにより、取引参加者のモデルに制約を加えない現実的な取引状況においても、現物取引と予約取引が融合した市場において、商品価値の時間的変化に対応した取引参加者全体の収益を最大化するメカニズムを実現した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 メカニズムデザイン、オンラインダブルオークション、マルチエージェントシミュレーション

【研究 題目】 社会的公正性に配慮したデータマイニング技術

【研究代表者】 神島 敏弘（人間情報研究部門）

【研究担当者】 神島 敏弘、赤穂 昭太郎
（常勤職員2名）

【研究 内容】

本年度は、従来からの公平性制約と確率的行列分解を用いた独立性強化型推薦システムに加えて、新たな公平性制約の実現手法について研究を進めた。一つは確率的潜在意味分析モデルの拡張であり、もう一つは後処理による簡潔な手法である。

まず、従来からの公平性制約項と確率的行列分解を用いた独立性強化型推薦システムについて述べる。二つの分布の平均値のみを考慮するごく粗い近似により公平性を実装していたが、それに対して分布の二次以上のモーメントを考慮できる方法を2種類提案した。また、この拡張の有効性を示す実験を行った。

二つ目の潜在意味分析モデルとは、自然言語処理や情報検索の分野で用いられる次元削減手法の一つである。この潜在意味分析モデルが実現できるよう新たなモデルベースの手法を提案し、ICDM のワークショップにて発表した。

最後の後処理を用いた方法は、分類問題を対象とした機械学習における公平性の実現では広く用いられている

方法の一つである。公平性の実現手法には、データを事前に変化する前処理型、学習時に同時に公平性を実現する中処理型、そして学習したモデルを後から反感する後処理型がある。今までの上記二つの方針は中処理型であるが、ベースラインとして簡素な後処理型でどれだけの性能が実現できるか今まで未検証であった。そのため、予測値の平均と標準偏差を修正する後処理型を実装し、今までの中処理型との比較実験を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 データマイニング、公平性

【研究 題目】 地域生活者行動データプラットフォームを活用した高齢者福祉サービスの高度化

【研究代表者】 山本 吉伸（人間情報研究部門）

【研究担当者】 山本 吉伸、竹中 毅（人間情報研究部門）、福田 賢一郎、渡辺 健太郎（人工知能研究センター）（常勤職員4名）

【研究 内容】

多くの自治体で地域高齢者の見守り事業を推進している。地域包括支援センターなど公的団体の職員や民生委員による日々の活動に支えられた事業であるが、訪問先の選定は地域住民から通報があったときのほかは、勘と経験に基づいて決定されておりサービス生産性は高くない。本研究では、地域生活者行動データプラットフォームを活用することでサービス生産性の高い高齢者福祉行政サービスを実現する技術の確立を目指す。具体的には、同意を得られた高齢者の生活空間での行動パターンを分析することで、認知症その他健康上重大な変化が生じつつある高齢者を速やかに検出し、早い段階で変化に対する「気づき」の機会を高齢者福祉実務者に提供するシステムを構築することを目的とする。

平成28年度は、昨年度に引き続き民生委員各位のご協力のもと、本研究にご協力いただけることを書面にて確認できた独居高齢者の生活パターンのデータ収集を実施した。

個別の事情に依存せず、かつわずかな変化を的確にとらえる一般的な数値解析手法はほとんど知られていない上、仮にそのような手法があったとしても、システムがデータの意味内容に踏み込んで解釈を行うことは技術的にも困難であるばかりでなく、民生委員が個別にケアを実施する趣旨をも没却しかねない。我々は、人間がデータを見て価値判断をすべきであって、技術はその判断の一助として活用できることが最も重要だと考える。そのような観点から、入浴頻度をカラーバーで表現する方法を試みている。この方法は、入浴した日を赤いラインで塗って年間を通じて帯状に表現するものである。規則的に入浴がある場合は全体が均等の色として表現されるが、この規則が乱れた期間は濃淡が筋になって見える。数値表現を使うより全体のなかでの変化がわかり易い。高齢者ごとの性格や普段の生活リズムを勘案して民生委員が

判断するときに活用することが期待できる。ただし、現在までのところデータ分析対象の高齢者に体調等の異変が生じておらず、分析アルゴリズムの評価には至っていない。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕高齢者、見守り、ビッグデータ、行動解析

〔研究題目〕バーチャルリアリティを用いた発達障害児・者の空間認知能力評価とその改善

〔研究代表者〕渡邊 洋（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕渡邊 洋、氏家 弘裕、梅村 浩之（以上、人間情報研究部門）、奥村 智人（大阪医科大学 LD センター）、若宮 英司（藍野大学）（常勤職員3名、他2名）

〔研究内容〕

発達障害児・者が直面する課題として地誌的失見当が指摘されている。これは、広い現実空間において、認知地図の作成の困難、ランドマーク利用の困難などによって生じる問題である。したがって、従来行われてきた机上のペーパーテストなどではその評価、あるいは改善が困難であった。そこで、発達障害児・者の空間認知能力を定量的に評価する技術を開発し、リハビリテーション技術の確立を行うことを本研究の目的とした。これを実現するために、VR システムを用いて現実場面に近い環境を模擬し、そこでの空間探索行動を計測し、その特性を明らかにする。

この観点から、平成28年度は以下の点について研究の展開を行った。(1) PC への実験プログラムの移植、(2) 健常大学生データの取得、(3) 発達障害児データの取得、(4) 論文の作成。

(1) については、平成27年度ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を使用したシステムの構築を検討し着手を行った。しかし、HMD の普及に伴い若年者への影響が懸念され始めたことを受け、HMD メーカーの設定するレギュレーションが、12才（小学生）以下への使用を推奨しない方向へと変更となった。これに従い今年度は HMD の使用を断念し、PC および通常の液晶ディスプレイを用いた実験を展開した。(2) については、PC およびディスプレイという新規システムの検証のため、21名の健常大学生を対象としたデータ収集を行った。(3) については、本研究の主題であり、共同研究先である大阪医科大学 LD センターに通院する22名の発達障害児を用いた実験を実施した。(4) については、コントロール群としての定型発達児童の行動データと質問紙データの相関関係を論じた原著論文を作成した。また、米国において開催されたオプトメトリックに関する国際会議においてこれまでの成果を発表した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕発達障害、バーチャルリアリティ、空間認識、認知地図、ランドマーク、探索行動、モーションキャプチャー

〔研究題目〕移動距離で切り替る作業記憶システム間の海馬—前頭前野路内相互作用機構の研究

〔研究代表者〕瀧田 正寿（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕瀧田 正寿（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

申請者の研究成果は「手元周囲と移動先の離れた所での作業記憶は、各々異なる脳内システムが担う」ことを強く示唆する (Takita 他 2013 ; Izaki 他 2008)。動物行動実験を用いて「近接作業記憶システムと遠隔作業記憶のシステム切替の仕組み」を解明することが当該研究テーマである。ヒトで「目的距離に応じて作業記憶システムが異なる」ことを示唆する心理研究の例はあるが (Chieffi & Allport 1997)、ヒト歩行中の脳機能計測の方法には制限もあり、脳生理に照らし合わせた十分な研究はされていない。そこで、その脳内機構の解析を動物実験から取り組んだ。

作業記憶課題は、手元周囲に対してオペラント箱を、移動先に対して T 迷図を用いている。本年度は、オペラント箱について①トレーニング期間が「護送船団方式の落伍者のない学習」で3~5ヶ月が必要だが「80%選抜方式」だと1~2ヶ月となることがわかった。②遅延時間が長いと固執化様反応に沿った記憶成績上昇が、遅延が短いと対照反応への注意リソースが十分確保されず成績が落ちると考えられる現象が確認された（過去の知見と併せて）。作業記憶時間の長短に伴う成績の逆転に「意識の逆説」に類似する点があるかもしれないし、ストレスコントロールとも関係するかもしれない。T 迷図について①主に実験環境のセッティングに費やしたが、建物の改修があることが判り、セッティングを分解し違う建物に再セッティングした。②長期記録用電極の選定と作成方法を確立し、移転先で計測の実施を行うことができた。③タイマー式自動制限給餌法について製品がないので、その開発が必要になった。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕認知行動、作業記憶、不安、前頭前野、扁桃体、海馬

〔研究題目〕ニューラルネットワークの特異点の解消

〔研究代表者〕新田 徹（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕新田 徹（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年、大規模で多様なデータを解析するために、統計学や計算科学の知見を取り入れた機械学習の手法が発展し、実問題への応用も進められている。その中でも、多数の層を持つニューラルネットワークにおける学習（深

層学習、deep learning) は、既存の機械学習に比べて、汎化能力が格段に高く、より人間に近い識別能力を持っている。しかし、現状の深層学習技術では、大量のパラメータの調整が必要であるため、学習が行える適切な条件を特定するのに大変な労力がかかっている。ニューラルネットワークには、学習に悪い影響を与える多くの特異点が存在するからである。本研究では、根本の原因である特異点を解消することを目的としている。

平成28年度は、深層ニューラルネットワークが数多くの「階層構造に基づいた特異点」を持っていることを数理的に明らかにした。「階層構造に基づいた特異点」は中間ニューロン数と層数に応じて増加する。そして、深層ニューラルネットワークがそのような「階層構造に基づいた特異点」を持たないための十分条件を明らかにした。また、求めた十分条件を実現する具体的な手法を2つ考案した。一つは、「階層構造に基づいた特異点」の近傍に入ったら、強制的に抜け出す仕組みを取り入れた学習アルゴリズムである。もう一つは、ネットワークの構造上、「階層構造に基づいた特異点」を持たないニューラルネットワークを用いる手法である。一般に、深層ニューラルネットワークの学習においては、特異点が学習性能に悪い影響を与えている。本研究で得られた成果は、「階層構造に基づいた特異点」を持たない深層ニューラルネットワークを提供するものであり、特に勾配ベースの学習アルゴリズムを用いる場合の学習性能に良い影響をもたらすものと考えられる。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ニューラルネットワーク、学習、特異点

【研究 題目】 脳損傷後に生じる運動出力経路の再編成

【研究代表者】 肥後 範行 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 肥後 範行 (常勤職員1名)

【研究 内容】

人に近い体格と脳構造を持つサルを実験動物として、脳損傷後の機能回復過程で生じる細胞レベルの変化を検証した。

まず、運動野損傷後の機能回復過程において、神経投射の可塑的变化を検討した。運動出力に重要な役割を持つ大脳皮質第一次運動野に神経毒を注入して神経細胞を破壊し、人工的に不可逆的な損傷を作成した後、リハビリ運動訓練により精密把握を含む巧緻動作が回復した個体を対象として、損傷半球運動前野腹側部に解剖学的トレーサー(ビオチン化デキストランアミン)を投与した。運動野損傷を行わなかった対照個体と比較した結果、損傷個体では皮質下運動神経核である赤核大細胞層への投射の増加がみられた。大脳皮質から赤核大細胞層を含む皮質下運動神経核への投射が増加することが、運動機能回復の構造的基盤になっていると考えられる。

さらに、脳卒中の好発部位である内包に局所的な脳梗塞を作成した内包脳卒中モデルを確立した。特に臨床に

おいて大きな問題となる上肢の運動機能回復に着目するため、上肢運動の出力線維が走行する内包後脚領域に局所的な梗塞を確立した。梗塞直後から上肢の運動に障害が見られ、数週間後には粗大動作の回復が見られた。一方、精密把握を含む巧緻動作の回復は見られなかった。組織学的解析を行ったところ、大脳皮質の運動野の細胞に縮退が見られた。内包後脚領域の局所的な梗塞により、大脳皮質運動野に不可逆的な構造的影響が生じることが明らかになった。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 感情、表情、コミュニケーション

【研究 題目】 寝具—人体熱収支モデルの構築による寝床内温熱環境評価手法の開発

【研究代表者】 森 郁恵 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 森 郁恵 (常勤職員1名)

【研究 内容】

健康で快適な生活のために睡眠は重要な要素の1つであり、室内環境と寝具および人体によって形成される寝床内温熱環境を、季節や人の状態に応じて適切に形成することが求められる。本研究では、寝具の使用実態に即した熱的性能を計測・評価するとともに、寝具—人体を1つの系とした熱収支モデルを構築することにより、睡眠時の寝床内温熱環境を予測・評価する手法を開発することを目的としている。

平成28年度は、寝具の素材の違いが熱的性能や寝床内温熱環境にどのような影響を及ぼすかを検証するため、これまでの実験でも使用してきた一般的な素材であるウールおよびポリエステル綿の敷き布団と掛け布団を対象として、寝具全体の断熱性(熱抵抗)と通気性(換気量・換気回数)について、サーマルマネキンを用いた計測実験を行った。断熱性については、寝具全体の熱抵抗値に大きな差は見られないが、胸や腰など身体の部位によってはウールとポリエステルで差があることが示された。また、通気性については、寝具内の換気量および換気回数を測定する方法を検討するため、建物の換気量を求める際に用いられ、衣服内の換気量測定にも応用されているトレーサーガス法による計測を試みた。算出された換気量は室温が低いほど大きく、温度差により生じていると推測出来る結果となったが、換気回数については室温では説明出来ない結果となった。今後、より正確な測定方法を検討するとともに、寝具の素材や使い方による違いについても検証を行い、構築するシミュレーションモデルに反映していく予定である。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 寝床内温熱環境、寝具、睡眠、熱的性能、熱収支モデル

【研究 題目】 電気刺激が認知機能に関わる神経機構に与える影響

〔研究代表者〕 渡辺 由美子（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕 渡辺 由美子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

経頭蓋電気刺激とは非侵襲的に脳表面から微弱な電流を流す方法で、運動機能・認知機能障害の治療に有効ではないかと近年着目されている。しかし、実際に脳の神経活動や神経回路が刺激によってどのように変化するか、どのようなメカニズムで機能改善が見られるのかなど詳細は分かっていない。そこで、本研究では経頭蓋電気刺激が脳活動や行動にどのような影響を与えているかを解明することを目的とした。

平成28年度は、実験のセットアップを行うとともに、動物に刺激電極を取り付ける方法を検討した。また、刺激による動物の行動への影響を検討するために、認知機能を測定するための行動課題を導入した。アルツハイマー病などの認知症では少し前のことを思い出すことができない症状が現れる。そこで、刺激による認知機能への影響を調べるために、動物が以前見た物を覚えているかどうかを調べる行動課題として、新奇物体再認課題という課題を使用した。齧歯類にある物体を探索させた後に異なる物体を提示すると新奇物体への探索時間が増加する、という行動傾向を用いた記憶課題であり、実際にこの傾向を確かめることができた。また、刺激によって行動に変化が見られる傾向があることも確認することができた。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 神経科学、電気刺激、認知機能

〔研究題目〕 ロービジョン者の紙面書字活動を支援する
 新たな拡大読書器の提案と開発

〔研究代表者〕 坂本 隆（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕 坂本 隆（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、拡大読書器の仕組みや機能を根本から見直すことによって、ロービジョン者（高齢者含む）向け視覚補助装置に革新的な進歩をもたらす新技術の研究である。本研究が着目したのは、拡大された書字画面を見ながら、利用者が紙に文字を書くことが困難であるという、拡大読書器の機能や利用法に関する課題である。また、据え置き型の拡大読書器は、利用場所が限定されるなどの問題もあり、拡大読書器の形態や構造の見直しも視野に入れている。こうした諸問題を解決する方法を模索し、拡大読書器の構造・形態・機能・利用法などについて、研究成果に基づく新たな提言を目指している。

平成28年度の進捗状況：

ハイパースペクトル情報に基づく精緻な撮像方式、および色覚特性を反映した画像提示の検討を進める中で、日本盲人会連合の「読み書きが困難な弱視（ロービジョン）者の支援の在り方に関する調査研究事業」報告が昨年度公開された。その公開を契機に、連携研究者と研究

の進め方と課題について、改めて議論を進めた。その結果、拡大読書器の利用者が必要としている（研究成果として実現すべき）機能として、従来の研究提案の方式とは異なる書字情報取得・画面提示方式として、スキャナ方式による文書情報の取得・提示を試すべきとの結論に至った。そこで、研究期間を1年延長し（日本学術振興会に科研費の研究期間延長を申請し、その延長が認められたため）、従来方法とは異なる書字情報取得・画面提示方式に基づく拡大読書器の試作と、効果検証に着手した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 福祉情報工学、視覚補助装置、視認性

〔研究題目〕 生活習慣病予防の健康セルフチェックの
 ための触覚ヘルスメータの開発

〔研究代表者〕 井野 秀一（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕 井野 秀一、高橋 紀代（篤友会リハビリテーションクリニック）、
 布川 清彦（東京国際大学）

（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

本課題では、生活習慣病に関係する糖尿病の神経障害や転倒予防のための身体要因に着目し、当該疾病の早期発見（からだのセルフチェック）と予防医療を支えるヘルスケアのための新しい検査・評価法の開拓を医工連携のチームプレーで目指している。

本年度は、生活習慣病予防の健康セルフチェックを目的とした末梢神経障害の定量評価のための計測システム（触覚ヘルスメータ）の開発を行うと共に、感覚計測のデータ分析に着手した。システム開発では、計測システムの小型・軽量のための筐体デザイン等のハードウェア設計および直感的な検査に結びつく操作インターフェースのためのソフトウェア開発を進めた。また、計測プロトコルに必要な足底皮膚へのずれの機械刺激に関する物理的パラメータについて議論し、糖尿病性末梢神経障害の検査で一般的に利用されるモノフィラメント検査との比較検討を行った。その結果、皮膚の水平方向へのずれ刺激による足底感覚の測定法とモノフィラメントを利用した検査法によるデータの比較分析から、両者で相関性の高い領域と低い領域が存在することがわかった。加えて、この相関性の低い領域の成因を探るために、モノフィラメントの機械特性評価試験を行い、相関性の低い領域（ばらつき）の生じる要因を考察した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 ヒューマンインターフェース、ヘルスケア、
 触覚、糖尿病、生活習慣病

〔研究題目〕 知覚が反射性眼球運動に与える影響—意識と不随意運動の相互作用—

〔研究代表者〕 竹村 文（人間情報研究部門）

【研究担当者】竹村 文（常勤職員1名）

【研究内容】

普段、何気なく過ごしている私たちの動きは、動かそうという意識よりも、体が動く方が早い。歩行や腕の到達運動を例にとると、足や指先を意識して動かすことはない。これらの運動は後から認識することは可能だが、体が動く方が早いのである。私たちの認識という意識的なプロセスは時間のかかる情報処理であり、無意識によって導かれていることを近年の脳科学は示唆している。本研究の目的は、オンラインシステムである運動の修正運動を対象に、感覚運動情報処理プロセスにおける認識という主観的な現象と運動の相関を解き明かし、脳の意識的過程と無意識的過程の関係性に迫ることである。

これまで、「ヒトのよいモデル動物」として動物を用いて、アイコイルを使った両眼の眼球運動の同時計測を行ってきた。H28年度は、運動が環境に合わせて日々アップデートされるメカニズム（運動学習）について、これまでのデータを解析し、論文にまとめた。当該論文では、意識にのぼらない眼球運動の発現に関与する情報処理の流れ（目の網膜→初期視覚野→後頭・頭頂連合野→小脳→脳幹→眼筋）を明らかにしたうえで、意識にのぼらない運動学習の座が少なくとも後頭・頭頂連合野までではなく、小脳以降であることを明らかにした。次年度は、両眼視システムを構築して実験パラメータを検討する一方で、2フレーム・ムービーを用いて、初期視覚野の情報処理を明らかにする。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】脳科学、認識、意識、無意識、随意運動、不随意運動

【研究題目】現場情報に基づく介護サービスの品質モデルと定量評価手法の開発

【研究代表者】三輪 洋靖（人間情報研究部門）

【研究担当者】三輪 洋靖、西村 拓一（人工知能研究センター）（常勤職員2名）

【研究内容】

介護サービスでは、複数の職種のスタッフが連携してサービスを提供しており、その評価は従業員の時間の使い方とサービス品質の両面からの評価が求められている。しかし、サービス品質の評価手法は十分に確立されていなかった。そこで、本研究ではサービス品質計測システムの開発を目指し、サービス品質の構造をサービス利用者および従業員の両面から明らかにすることを研究目的とした。

最終年度である平成28年度は、サービス利用者と従業員の関係性をモデル化し、サービス品質モデルに統合するとともに、サービス品質計測システムの開発を目指し、以下の2点に重点を置いて研究を進めた。(1) サービス利用者と従業員の関係性をモデル化するため、平成27年度に構築したクオリティスタディによる食事介助

における介護士と高齢者の関係を長期計測した。その結果について、統計処理に加え、介護士とのワークショップ等を通して分析方法を検討し、入居者に対してどのようにしてサービスを提供しているか、入居者がどのようなサービスを受けているかを分析した。(2) 平成27年度に開発したクオリティスタディ支援システムに、分析機能、可視化機能を統合したサービス品質計測システムを新規に開発した。これにより、サービス現場で提供したサービスや、介護スタッフの行動、サービス品質の計測から可視化までを一貫してサービス現場で実現可能とした。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】介護サービス、サービス品質、計測、モデル化

【研究題目】運動学習における腹側被蓋野の役割解明と同領域の賦活化による運動機能調節の試み

【研究代表者】高島 一郎（人間情報研究部門）

【研究担当者】高島 一郎（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、腹側被蓋野と一次運動野の活動相関を調べ、運動学習中の腹側被蓋野に適切なタイミングで電気刺激を行う介入操作により、学習効果に改善が見られるかどうかを検証することを目的とする。

本年度は、運動関連皮質（一次および高次運動野）領域間の情報伝達様式についてより詳細な解析を行った。結果、高次運動野皮質が一次運動野を中継して感覚情報を受け取る神経回路の存在が明らかになった。この情報伝達においては皮質下神経核の関与はなく、大脳皮質2/3層と5層を使って皮質-皮質間神経情報伝達が行われていることを、大脳皮質の部分切除術や薬剤による不活化実験、電流源密度解析法などを用いて示すことができた。これらの実験結果から、運動学習における腹側被蓋野の電気刺激の作用について、介入条件（電気刺激パラメータ）を適切に選択することにより、一次運動野皮質だけでなく高次運動野皮質までも動員し、より大規模な運動関連皮質ネットワークの活動を制御することによる運動調節の可能性が示唆された。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】膜電位イメージング、腹側被蓋野、一次運動野

【研究題目】定位固定放射線源と診断用骨盤部MRI画像を用いたPET減弱補正法の開発

【研究代表者】川口 拓之（人間情報研究部門）

【研究担当者】川口 拓之（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、ポジトロン断層映像法（PET）と磁気共鳴映像法（MRI）を同一の装置に統合した

PET/MRI スキャナにおける技術的課題の一つである、MRI 画像を用いた骨盤領域の PET 減弱補正法の開発をすることである。

平成28年度は、昨年度に開発した診断用の T1強調 MRI を基にした骨の影響を考慮した PET 減弱補正用画像 (μ マップ) 生成法の評価を行った。前立腺がん患者の診断に用いた MRI を回顧的に用いて2種の従来法 (閾値法、テンプレート変形法) と提案法によって μ マップを生成したところ、提案を使ったほうが正確な μ マップが作成できることが示された。さらに、前立腺がん患者の PET シミュレーションを行い、最構成した PET 画像における放射能で提案法を評価した。閾値法では前立腺周辺部の放射能がシミュレーション真値よりも9%程度過小評価されたのに対し、骨の影響を考慮した提案法とテンプレート変形法では2%程度まで誤差を低減することができた。また、テンプレート法では原理的に腸管内のガス領域を検出できないため、本来腸管部である位置に偽陽性が生じたが、患者本人の MRI に基づいている提案法と閾値法ではガスの影響は大幅に低減されることがわかった。以上より、提案法が従来法よりも性能の良い μ マップ生成法であることを示した。

本研究の成果は、減弱補正に特化した MRI 撮像に時間を割くことなく診断用の T1強調 MRI を用いれば PET/MRI の減弱補正が十分な精度でできることを示している。このことで画像診断装置の稼働率を向上できるので、同一時間内により多くの患者を診断することが可能となる。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 PET/MRI、領域分割、放射線減弱補正

【研究 題目】 視覚・言語統合型人工知能システムに基づく脳情報インタフェース技術の開発

【研究代表者】 林 隆介 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 林 隆介 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究の目的は、最新の人工知能システムを利用して、脳・神経信号から高度な視覚情報の復号化を行い、対人コミュニケーションに利用する、ブレイン・マシン・インタフェース技術を開発することにある。研究計画では、画像認識と言語処理を統合した深層ニューラルネットを構築し、大脳皮質・視覚野から記録した神経信号に基づき、視覚体験の内容を、言語化して出力するインタフェース技術の開発を目指している。

初年度にあたるH28年度は、視覚・言語統合型深層ニューラルネットワークの開発を行い、画像に含まれるさまざまな視覚概念を単語として出力する人工知能システムを構築した。開発した人工知能システムを用いて、人間の視覚認知傾向のシミュレーションを行い、得られた知見をもとに学会発表を行った。加えて、神経情報処理の解析に有用な新たなデータの解析手法を考案し、論文

発表を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 神経科学、人工知能、ブレイン・マシン・インタフェース、視覚情報処理

【研究 題目】 機械学習を利用した反応材料分布と環境エネルギー条件の推定法構築

【研究代表者】 城 真範 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 城 真範 (常勤職員1名)

【研究 内容】

機械学習を利用した新しい低分子専用の反応シミュレーション手法を構築するため、本年度も引き続き、他機関を含めた幅広い研究者と積極的に議論し、実装とその改良を行った。

現時点では反応時の計算負荷を減らすため、分子基単位の計算において新しい分子が生成されたとき、乖離しうる全パターンをメモリ上に持つという、やや強引な設計となっている。パターンは指数的に増大するので効率性は悪い。環状分子などでも結合点を与えるだけで適切な分解を高速に計算できる仕組みを考えているところである。

設計は可搬性を考慮して標準 C++11の枠を出ないようにしているが、その枠内での並列化も今後の課題である。

また、本来量子計算をするべき化学反応を粗視化によって回避することが本課題のテーマの一つであるので、成果を論文として公刊するには正確と考えられる量子計算あるいは実際の化学実験との結果を比較する必要があるが、その点でデータ入手の壁にぶつかっている。本研究がテストケースとして行っている簡易な計算は量子計算における主要なテーマでないため、比較のためのデータが見つけれられていない。今後、より積極的に他機関の研究者との連携が不可欠である。

その他、本テーマを実行する上で様々なテスト用の擬似的なデータを (半自動的に) 生成する必要があり、そのためのシステム構築を引き続き行った。結果は広く国民に無償利用していただけるよう、将来的な公開を前提として準備しているところである。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 化学反応、機械学習

【研究 題目】 スパース辞書学習による信号の構造を利用した柔軟な多次元信号処理

【研究代表者】 兼村 厚範 (人間情報研究部門)

【研究担当者】 兼村 厚範 (常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究の目的は、辞書学習の枠組みにスパース構造正則化を導入することにより、脳機能信号解析における新規な手法を提案することである。辞書学習とは、信号を表現する基底をデータ適応的に生成する方法論である。

辞書学習は、基底に直交性ではなくスパース性を仮定することで、信号を効率よくかつ柔軟に表現できる。辞書学習による脳活動信号の処理は、ますます実世界応用に近づきつつある当該分野を進展させ、周辺分野に影響を及ぼす可能性を持つ。

本年度は、ディープラーニング（深層学習）を用いた脳波信号の識別、辞書学習による NIRS データの時空間解析、スパース性を用いた遷移行列推定法の高度化、画像信号処理の衛生姿勢決定への応用、スパースモデリングによる代表点抽出法の改善、深層学習とスパース性の統合利用、バイナリニューラルネットワークの性能探索などの課題に取り組んだ。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】統計的信号処理、スパース正則化

【研究 題 目】ランニング障害予防を目的とした接地方法の提案：関節のてこ比に着目して

【研究代表者】橋詰 賢（人間情報研究部門）

【研究担当者】橋詰 賢（他1名）

【研究 内 容】

ランニング障害予防を目的としたランニング動作の研究は広く行われている。中でも“ランニングの接地初期において、つま先から接地することで、踵から接地するよりも足が地面から受ける力（地面反力）が減少する”という報告により、ランニング動作の中でも接地方法に関する研究が注目されている。しかし、接地方法に関するこれまでの研究では地面反力での評価に留まっており、筋、腱や骨といった、実際にランニング障害が発症する組織に作用する力を評価出来ていないという重要な問題がある。障害の発症は組織の損傷であることから、障害が発症する組織に作用する力の評価が必要不可欠である。そこで本研究では、異なる接地方法が足部周りの腱および骨（アキレス腱および脛骨）に作用する力へ及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

前年度までの研究にて、ジョギング程度の走速度（3.3 m/s）条件において、接地方法間で地面反力に差は認められなかった一方、アキレス腱張力および関節間力（アキレス腱および脛骨に作用する力）は前足部接地で最も大きく、次いで中足部接地、後足部接地の順で値は小さいという結果が示された。この差を説明する要因として、前足部接地では地面反力の作用点が足関節回転軸から離れた前足部に位置し、その結果大きな地面反力のモーメントアームを有していたことが挙げられる。これらの結果により、アキレス腱および脛骨に生じる障害を予防するためには、前足部接地および中足部接地と比較して後足部接地が有用である可能性が示された。

平成28年度における研究では、ジョギングペース（3.3 m/s）からレースペース（5.6 m/s）を想定し、異なる走速度条件下において接地方法の違いがアキレス腱張力および関節間力に作用する力へ及ぼす影響について

検討を行った。結果、総速度の増加に伴い、地面反力、アキレス腱張力および関節間力は増加したが、その差分は接地方法間における差分よりも小さいことが飽きたかとなった。これらの結果から、アキレス腱および脛骨に生じる障害を予防するためには、走速度の増減による運動強度の変更よりも、接地方法の変更がより有用である可能性が示された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、足関節、運動器、動力学解析、モーメントアーム

【研究 題 目】脳梗塞サルモデルを用いた機能回復メカニズムの統合的理解

【研究代表者】村田 弓（人間情報研究部門）

【研究担当者】村田 弓（常勤職員1名）

【研究 内 容】

脳損傷後の機能回復の背景には神経回路の可塑的変化による代償機能が関わっていると考えられるが、メカニズムの理解は不十分である。本研究課題は脳内梗塞動物モデルを作成し、脳損傷後の機能回復に関わる脳領域を明らかにすることを目的に行った。

モデル動物にヒトと脳筋骨格構造が類似しているサルを用いた。内包後脚に損傷を作成した動物モデルを確立し、回復過程を調べた。母指と食指で小さな物体を保持するつまみ動作が可能な動物であるサルを対象に、第一次運動野の手領域からの下行路が通る内包後脚に血管収縮作用を持つ薬物を投与し、局所的な微小梗塞を作成した。梗塞後、数ヶ月間にわたってつまみ動作の回復過程を調べるとともに、MRI 画像を用いて損傷部の体積の変化を調べ、把握動作と損傷領域範囲の関連を調べた。

損傷直後はつまみ動作を含む手の運動に障害がみられた。T2強調画像の高信号部位が内包後脚に認められたことから、薬剤を投与した内包後脚で浮腫などが生じて組織がダメージを受けていることが示唆された。MRI 画像の高信号部位は損傷後2週間から1ヵ月後には減少傾向を示したが、つまみ動作の使用頻度は回復しなかった。これらの結果から、画像上では損傷が確認できなくなっても、損傷による影響は持続しており、協調した手の運動の遂行に影響を与えていることが推察された。

内包損傷による皮質への影響を調べるために、内包損傷後の第一次運動野の錐体細胞の大きさを調べた。その結果、正常個体と比べて損傷後の個体のほうが、第一次運動野の大型錐体細胞が減少している傾向が認められた。

以上の結果、脳内梗塞動物モデルの構築を行うことができ、脳損傷後の機能回復のメカニズムや機能回復への運動訓練の影響を解明するための有益なモデルを確立できたと考えられる。また、内包損傷によって、損傷部だけでなく、運動野を含む広い脳領域が影響を受けることが分かった。さらに、小さな物体をつまむなどの細かい手の動きが内包損傷前後および、内包損傷後の運動機能

回復過程でどのように変化するかを調べるために、手の行動解析を行うための方法を検討した。カメラを使用し、手の運動を自動で測定することを目指して、機器の選択や設定、マーカーなどの検討を行った。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 リハビリテーション、霊長類、病態モデル、機能回復、神経可塑性

〔研究題目〕 脳波と末梢神経系指標による感情状態の
 解読—コミュニケーションにおける感情
 伝染—

〔研究代表者〕 藤村 友美 (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 藤村 友美 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

脳情報から感情状態を解読する技術開発は盛んに行われているが、どのような感情状態を解読すべきかは、技術が応用される場面や社会的要請を考慮する必要がある。本研究では、対人場面における2者間のコミュニケーション時に生じる感情伝染に焦点を当てた。感情伝染とは、他者の表情と一致した感情を自らも主観的に経験する現象である。本研究では、脳波と末梢神経系指標を用いて、感情伝染を定量的に評価する技術開発を目的とする。

実験状況において、感情伝染を引き起こすため、顔表情刺激が必要となる。既存の顔表情データベースは、外国人のものや写真画像のみのもので、表情種も限られている。そこで、本年度は昨年度に引き続き、日本人の動画および静止面の顔表情データベースの作成を行った。顔表情データベースには、喜び、悲しみ、恐れ、驚きに加えて、嫌悪、怒りはそれぞれ開口と閉口の2種類、また、興奮、睡眠、平穏といった覚醒度の異なる表情も含まれている。これらの表情種について、表情のモデルが意図した感情を表出していると認識されるかどうかの心理評定を行ったところ、動画呈示は静止画呈示よりも認識率が高くなることが示された。また、表情の快や不快の程度および覚醒度の程度の評定を行ったところ、動画のほうが静止画よりも快表情では快が強く、不快表情では不快が強く評定されることが明らかになった。動画に含まれる運動情報によって、表情のモデルが意図した感情が的確に伝達されるといえる。本研究から、コミュニケーションにおける感情伝染を検討する上では、表情刺激は静止画呈示よりも動画呈示のほうが有効であるといえるだろう。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 感情、表情、コミュニケーション

〔研究題目〕 歩行寿命の延伸を目指した足部支援シス
 テムの開発

〔研究代表者〕 中嶋 香奈子 (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 中嶋 香奈子 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

ヒトの歩行は日常生活中において自身の移動手段としての基本動作であり、足部の機能はその歩行動作を行う上で重要な役割を果たす。子供から高齢者までの幅広い年代において足部異常の発生が問題として挙げられ、健康への影響も考えられることから、足部異常の予防が求められる。本研究では、日常生活での足部の状態や歩行動作を簡便にモニタリングおよび定量評価し、人々の足元からの健康管理へとつなげる仕組みを構築することを目的とした。

平成28年度は、日常生活現場で活用可能な歩行機能評価デバイスの開発および足部状態と歩行機能の関連性の分析を行った。歩行機能評価デバイスは圧力センサと加速度・角加速度センサを靴に設置し、各センサから得られる出力値を無線通信により制御用PCやタブレット型情報端末に伝送する仕組みとした。そのため、対象者は無拘束な状態で、リアルタイムに取得データをモニタリングすることが可能である。はじめに、歩行機能評価デバイスの試作機を作製し、センサから得られるデータ無線通信の安定性やデバイスの精度検証を行った。本デバイスは靴に装着し、ユーザが日常生活中において使用することを目的としていることから、試作デバイスの小型・軽量化を図りデバイスの改良を進めた。

開発デバイスを用いて健康者20名を対象とした歩行動作計測を行った。実験時には、開発デバイスおよび既存のモーションキャプチャシステム・フォースプレートを使用した三次元動作計測、静止立位時の足底圧分布図計測、足部状態の評価を実施した。本実験結果を基に、ヒトの足部特徴や足底部にかかる圧力分布特徴と歩行時の全身の動作特徴との関連について分析を進めた。結果より、足底圧の荷重傾向と身体動作のパターン分類ができ、個人の足部状態に着目した特徴量の抽出を行うことができた。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 歩行動作分析、足部異常予防、無線通信、モニタリングシステム、モーションキャプチャシステム

〔研究題目〕 高齢者の健康で安全な生活のための居住
 環境と住まい方に関する基礎的・実践的
 研究

〔研究代表者〕 都築 和代 (人間情報研究部門)

〔研究担当者〕 都築 和代 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

東日本大震災以降、エネルギー節約のために室内の冷房温度が28℃に緩和されてきた。健康な生活をおくるためには、日常生活の中での散歩や歩行運動などの身体活動が奨励されている。夏季には熱中症による救急搬送が増えており、高齢者に適切な冷房環境の選択を促す必要があると考えられる。そこで、本研究では、屋外の日射のある暑熱環境において、高齢者が軽運動を実施した

時の体温調節の違いを青年と比較した。また、15分間の軽運動の後に、28℃の冷房空間で休憩を取ることを繰り返した。軽運動においては、青年の方が発汗量は有意に多くなったが、高齢者の方が心拍数や直腸温の上昇度は大きくなった。このことから、屋外の日射環境における軽運動は高齢者に負担になっていることが明らかになった。軽運動は青年と高齢者で絶対運動強度は同じであったが、年齢から最高心拍数を求め、実際の心拍数を除して求めた相対運動強度を算出すると、青年で25%、高齢者で45%であり、高齢者の方が相対的には身体への負担が大きくなっていることが明らかになった。また、運動後の28℃冷房で椅子座安静をとった場合には、高齢者では心拍数が最初の安静の値まで戻らなかった。このことから、暑熱環境と行き来するような場合は、28℃の冷房は高齢者にとって十分ではないことが明らかになった。以上を踏まえ、健康な住まい方についてまとめる方策を検討した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】屋外日射環境、冷房、高齢者、軽運動

【研究 題 目】ヒトの認知の基盤となる神経計算学的圏論

【研究代表者】Phillips Steven (人間情報研究部門)

【研究担当者】Phillips Steven、武田 裕司 (自動車
ヒューマンファクター研究センター)
(常勤職員2名)

【研究 内 容】

本研究の目的は、圏論に基づいてヒトの認知のシステム性を理解することである。認知におけるシステム性とは、課題の普遍的構造に基づいた表象の学習であると定義される。実験では、手がかり・標的連合学習課題を用いて、「システム性の獲得は普遍的構造の学習にかかるコストに依存する」というコスト-ベネフィット仮説を検証した。

実験参加者は、普遍的構造が存在する学習課題と、普遍的構造が存在しない学習課題を行った。学習課題では、手がかり刺激と標的刺激的要素数を3から6まで設定した。上昇群の参加者は、学習すべき刺激的要素数が少ない条件から実験を開始し、要素数を増加させながら学習を行った。下降群の参加者は、学習すべき刺激的要素数が多い条件から実験を開始し、要素数を減少させながら学習を行った。その結果、上昇・下降どちらの群でも、普遍的構造の有無にかかわらず手がかり・標的の連合が学習された。ただし、普遍的構造が存在する学習の成績のみ、学習系列(上昇・下降)の影響を受けた。すなわち、下降群では全ての要素数条件で普遍的構造が取得されたが、上昇群では要素数の大きい条件でのみ普遍的構造が取得された。これは、要素数が少ない場合には、手がかり刺激と標的刺激的の連合を直接学習する方が、普遍的構造を利用して学習するよりもコストが低いと判断さ

れたためだと考えられる。この結果から、コスト-ベネフィット仮説の妥当性が支持された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】システム性、圏論、普遍的構造、連合学習

【研究 題 目】屍体標本を用いたシミュレーションに基づく母指関節運動における主動筋相互作用の解明

【研究代表者】多田 充徳 (人間情報研究部門)

【研究担当者】多田 充徳 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

手指の関節運動は複雑な筋腱ネットワークの相互作用から生み出されている。母指の場合、その複雑な3次元運動を可能にしているのは、CM関節(母指付け根の関節; carpometacarpal joint)を中心とする関節群とこれらに作用する外在・内在筋群である。本研究では、母指の3次元関節運動に対する外在筋と内在筋の関与を、新鮮凍結屍体、筋腱駆動装置、そして光学式モーションキャプチャを用いて明らかにする。

このために、4つの内在筋(APB、OP、FPB、ADP)に対して個別に0、100、200、300、400または500gの錘を用いて静荷重を加えた状態で、4つの外在筋(EPL、FPL、APL、EPB)を個別に2.0mm/secで駆動し、その際の指尖部の軌跡をモーションキャプチャで計測した。また、CM関節固定後に同様の実験を行い、固定術が母指の可動範囲に与える影響を評価した。

内在筋に荷重を加えない状態では、APLを除き外在筋による指尖部の軌跡の長さに固定術の前後で有意な差がみられなかった。一方、外在筋を駆動しない状態では、全ての内在筋による指尖部の軌跡の長さが固定術後に有意に減少した。このため、外在筋と内在筋による指尖部の可動領域は固定術により元々の30%程度にまで制限される。これは、CM関節の運動には内在筋が重要な役割を担うことを示唆する。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、母指、内在筋、外在筋、筋骨格運動計測

【研究 題 目】動脈硬化の加齢変化の個人差を生むメカニズムの解明—10年間の追跡に基づく検討—

【研究代表者】菅原 順 (人間情報研究部門)

【研究担当者】菅原 順、東本 翼 (人間情報研究部門)、野田 尚宏、松倉 智子、塚越 一也 (バイオメディカル研究部門)、前田 清司、下條 信威 (筑波大学) (常勤職員3名、他4名)

【研究 内 容】

動脈硬化度の増大は循環器疾患の発症リスクであるが、

加齢変化の程度には個人差があり、有酸素性運動の実施で維持改善できることが示唆されている。ただし、それらは横断的検討や短期間の運動介入実験に基づくもので、長期観察による検討はない。

後向き観察研究により動脈硬化度の加齢変化に対する遺伝子多型と習慣的な有酸素性運動の関与を調べた。2003-05年に動脈硬化度 (baPWV) 計測を行った成人90名 (男性51名、初回参加時52±14歳) を対象に2013-15年に baPWV 計測と身体活動量評価を行った。加えて ET-A/B 受容体、アドレナリンβ受容体、エストロゲンα受容体の一塩基配列変異多型を Taqman assay 法で判定した。

15METs/週以上の有酸素性運動実施者は10年間の baPWV 増加率が非実施者よりも有意に低値であった (+7 vs 13 %)。有酸素性運動量が15METs/週未満の者に限ると、ET-B 受容体が GG 型の場合、baPWV 増加率は AA 及び AG 型よりも有意に高かった (それぞれ約+19 %、+12 %、+11 %)。

動脈硬化度の加齢変化における ET-B 受容体遺伝子多型の関与、及び有酸素性運動による動脈硬化度の抑制効果が縦断的研究でより明確になった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】加齢、動脈硬化度、遺伝子多型、身体活動

【研究 題 目】スポーツ用義足における生体力学的特性の解明とデータベースの構築

【研究代表者】保原 浩明 (人間情報研究部門)

【研究担当者】保原 浩明 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、スポーツ用義足の形状、剛性、アライメント (装着方法) の違いがランニング中の生体力学的特性と短距離走パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにすることを目的としている。

平成28年度は平成27年度に引き続き、義足スプリンターのレース分析データベースの拡充に取り組んだ。ウェブ上にある義足スプリンターの公式動画 (100 m 走及び200 m 走) 内において、各選手の公式タイムと総歩数を計測することで、短距離走における時空間変数 (平均速度・平均ステップ頻度・平均ステップ長) を算出し、個人データ (レース開催年、レース名、予選/決勝、障害クラス、氏名、性別、国籍、使用している義足、公式タイムなど) を紐付けてデータベースに組み込んだ。このデータベース (DBAS) は H28年度末の段階で義足ランナーのべ863名、健常者のべ204名の計1067名のデータが蓄積されている。本年度は当該データベースから①健常者とは異なり、下腿切断者は時空間変数と身長に相関関係が見られないこと、②男子 T44クラス (片下腿切断) 内における競技レベルの差は主に平均ステップ長によって生じていること、③男子 T44クラス (片

下腿切断) 内においては人種差 (黒人、白人、アジア人) が顕著に存在しており、それはステップ長に反映されていることが明らかになった。これらの結果は、すでに複数の学術誌に掲載されている。

なお、昨年度に続き、データベース作成と並行して、義足スプリンターの動作解析実験に取り組んでいる。平成28年度末の段階で日本代表レベルの義足スプリンター15名を対象に、三次元動作解析装置によって、ランニング時の機械的特性をキネマティクスおよびキネティクスの観点から解析している。現状では、大腿切断者が全力疾走を行った際の地面反力や下肢バネ剛性の左右差に関して解析を終了し複数の学術誌に採択されている。今後は、接地期に生じる関節キネティクスとその左右脚差および断端長と走パフォーマンスとの関係を明らかにしていく予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】義足、ステップ頻度、ステップ長、データベース

【研究 題 目】多視点3次元観測画像を用いた衣類の仮想展開に関する研究

【研究代表者】喜多 泰代 (知能システム研究部門)

【研究担当者】喜多 泰代、植芝 俊夫、喜多 伸之 (常勤職員3名)

【研究 内 容】

本研究は、汎用型のロボットが衣類のように操作中に形が大きく変化する柔軟物を視覚的に認識しながら自然に扱うことを可能とし、将来的に、高齢者や要介護者の日常生活支援に役立てることを目指す。本研究期間内では、片手で空中に把持した衣類を多視点から観測することにより、現実を広げることなく、仮想的にその展開形状を獲得する手法の研究を行う。

平成28年度は、本研究計画開始年度として、単一3次元観測画像を用い、衣類表面の仮想展開の基盤となる手法の開発を行った。3次元点群から、メッシュやボクセルなどの中間記述を構築することなく、直接的にその表面上の測地線 (geodesic line) を算出できる手法を開発した。さらに、観測領域の境界線上の点を用いて2点間の測地線距離を算出し、この値を平面上に展開したときの各点間の距離の拘束条件として仮想展開する手法の検討を行った。実データを用いた実験を行い、方針の有望性を確認し国際会議で成果を発表した。

3次元観測画像の計測精度を高めるため、時系列ステレオ画像から密なレンジフローを抽出する手法について検討し、対象物体の局所的な形状とカメラの大域的な運動パラメータの2種類の情報を、一方を固定して他方を更新することを交互に繰り返すことによって同時に推定するアルゴリズムを考案した。

広視野のステレオ画像から至近距離にある対象の3次元形状を復元するための研究を行った。信頼性の向上の

ために広視野カメラに特有なカメラパラメータを簡便にキャリブレーションできるための原理を発見した。処理の高速化のために、3次元至近空間上に平面を設定し、その近傍にある対象の形状を高速に復元する手法を開発し、国際会議で発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】コンピュータビジョン、ロボット

【研究 題 目】Cutting-edge multi-contact behaviors

【研究代表者】Kheddar Abderrahmane (知能システム研究部門)

【研究担当者】Kheddar Abderrahmane、金広 文男、森澤 光晴、吉田 英一
(常勤職員3名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、複雑な環境でデジタルアクターやヒューマノイドの多点接触動作計画・制御を自動化するための技法の解明を目標としている。平成28年度は、この目的のため、人間の巧みな全身多点接触動作を装着型モーションキャプチャシステムにより観測し、その分類と特徴量の抽出を行った。さらに、観測した人間動作をヒューマノイドに移植する手法を導出した。多点接触動作計画・制御のヒューマノイドへの応用に関し、閉ループ制御に関する研究を実施した。現在は、動作軌道を計画した後はそれを再生する形でロボットを制御しており、動作・測定の誤差などにより接触状態や力が目標と異なる場合には動作の実行が困難になる。この目的のため、3次元上の多点接触の安定指標について解析を行い、それに基づく接触力の制御と2次計画法による安定化制御手法を構築し、シミュレーションにより検証した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】多点接触動作計画、デジタルヒューマン、最適化

【研究 題 目】環境変動を予測したヒューマノイドロボットの動作計画

【研究代表者】吉田 英一 (知能システム研究部門)

【研究担当者】吉田 英一、Andreas Orthey
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、位相幾何学における連続的に変形して同じ幾何的な形状に移せる性質であるホモトピーの概念を利用し、環境変動を予測したヒューマノイドロボットの動作計画手法の構築を目的とする。平成28年度は、変動する環境を抽象化して表現する手法について関連文献の広範な調査を行い、ホモトピーの性質の利用については研究の余地が大いにあることが認められた。これに基づき、ロボットが移動する環境の幾何的特徴量を抽出し、適応的に抽象化することで、複雑な多点接触動作計画の取扱いを効率化していく方針を確認した。同時に、これ

らのロボット動作計画・制御を実現するため、ロボットのシミュレータ Klamp't と動作計画ライブラリ OMPL の環境を整備した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】動作計画、ヒューマノイド、ホモトピー、環境変動

【研究 題 目】生物学分野における計測画像の解析手法に関する研究

【研究代表者】渡辺 顕司 (知能システム研究部門)

【研究担当者】渡辺 顕司、和田 俊和 (和歌山大学)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究は、「ユーザーが数理・情報幾何的な知見を持たなくても、好適な特徴抽出・識別(類別)結果の直感的解釈を可能とした画像解析手法を実現する」ことを目的とし、実施されたものである。

平成28年度は、昨年度の研究成果である「主成分分析、および線形判別分析を半教師あり機械学習手法の枠組みで統合した特徴量変換手法」の改良と、医用画像解析への応用を実施した。手法の改良では、制約条件において任意の値となるバランス項の数理的意味を解析し、当該バランス項に自動決定の枠組みを導入する改良を行った。

改良した提案手法を生理検査画像の識別問題に適用し、既存の特徴量変換手法と比較実験を実施したところ、提案手法は安定した識別性能向上効果を示した。さらに、当該識別問題において、Convolutional neural network (CNN) を用いて抽出した特徴量と提案手法を組み合わせることにより、スキヤナの機種に依存せず5%程度の識別率向上が認められた。この際、CNN は、識別対象と全く異なる大規模画像データセットで学習したものである。以上の研究成果は、オンライン国際学術論文誌である PLOS ONE に投稿し、採録された。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】多変量解析、半教師あり機械学習、特徴量変換

【研究 題 目】駆動源 HMM のトポロジー自動生成を用いた病的音声の疾患検知

【研究代表者】佐宗 晃 (知能システム研究部門)

【研究担当者】佐宗 晃 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

音声は最も重要なコミュニケーション手段であり、高齢者のみならず人が充実した社会生活を送るために重要な要素である。しかし、喉頭がんの進行により喉頭全摘出手術を余儀なくされ、自分の声を失う高齢者は少なくない。このような状況を改善するには、声帯疾患や喉頭がんの初期症状の1つとしてあらわれる嗚声を早期に発見することが重要である。従来、言語聴覚士のような専

門家が実施している病的音声の検知や嗄声の聴覚印象評価に匹敵する機能を、例えば、スマートフォンのアプリケーションとして実装し、ユーザの通話音声などの日常発話を監視することで、声帯疾患を伴った病的音声の検知をより早期に、そしてより低コストに実現する音声分析評価システムの基盤技術の確立を目標とする。

平成28年度は、病的音声の声質評価に関する手法の検討を行った。具体的には、嗄声の4性質（粗ざう性、氣息性、無力性、努力性）のそれぞれについて、AR-HMM 分析結果に基づいて聴覚的印象を識別する手法を構築した。提案法では、これら4性質を識別するために、AR-HMM 分析で得られた声帯音源信号から高次局所自己相関係数を算出し、それらを入力とし、また言語聴覚士が行った4性質の識別結果をターゲット出力としてニューラルネットワークを学習することで、嗄声の声質評価の自動化を試みた。予備実験を行った結果、88%の識別精度が得られることを確認した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】音声分析、AR-HMM、声帯疾患、食道発声音声

【研究 題 目】パターン認識のための特徴量変換に関する研究

【研究代表者】小林 匠（知能システム研究部門）

【研究担当者】小林 匠（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、認識システムの性能を向上させるために、画像や動画から抽出された特徴量を認識に有効な形式へと変換する新たな方式に関するものである。

本年度はまず、確率的観点からのヒストグラム特徴変換手法の研究を行った。一般に事象の生起頻度に基づくヒストグラムは確率密度関数とみなすことができ、そのようなヒストグラム特徴の背後にはディリクレ分布をその事前確率モデルとして自然に想定することができる。この特徴量の生成モデルに基づき、フィッシャーカーネルによる特徴量変換技術を開発した。フィッシャー情報行列の特性、つまり情報行列の各成分がトリガンマ関数によって記述され、そのスパース性に注目することで、低計算コストでヒストグラム特徴ベクトルを変換できる新たな手法を提案した。ヒストグラム特徴の \log 変換によって提案手法は構成されるため、従来はヒューリスティックに用いられてきたそのような \log 変換が本質となることを数理的観点からも示したことになる。

次に、ヒストグラム（非負）形式から、より一般形式での特徴量に対する変換手法に関する研究にも着手した。ここでは、画像などの物理座標系から特徴量が抽出されていることに注目した。そのような物理座標系に基づく特徴量は自然とテンソル形式で表現することができるため、特徴テンソルに対する変換手法を開発した。特徴テンソル間の類似度として、人の知覚モデルに由来する

画像類似度 Structured Similarity Index Measure (SSIM) に基づいた類似度基準を新たに定義し、その類似度が埋め込まれた空間への非線形変換として特徴変換手法を定式化した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】特徴変換、ディリクレ分布、SSIM、パターン識別

【研究 題 目】異種音声単位と複数言語を用いた高分解能音声特徴空間の構築と応用の研究

【研究代表者】李 時旭（知能システム研究部門）

【研究担当者】李 時旭、伊藤 慶明（岩手県立大学）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

近年、携帯端末等に音声認識機能が搭載され広く利用されるようになったが、本来の利便性に寄与する実使用には性能上いま一段の高度化が必要である。しかし、性能向上のための基本技術開発は極めて難しいのが現状である。こうした中で、複数の異種特徴・手法などを統合する (Diversity) 方式が性能向上に効果があることが実験的に示された。本研究では、音声の異種情報 (異種音声記述単位や複数言語) を利用し、特徴空間上に高分解能音声特徴空間を構築するという立場から理論的・実験的に研究し、最適化の方略を確立する。これにより、音声検索、音声対話など実用音声認識システムの高精度化に直接貢献することを目標とする。

本研究では、高分解能の音声特徴空間を構築するため、2種類の音声記述単位であるトライフォン（文脈的拡張）と音素片（時間的拡張）との最適な統合手法の研究を行う。まず、大規模な音声データを用いてトライフォンと音素片の音声特徴空間を生成し、その音響的な尤度に基づく損失関数を用いてブースティング手法により各々の音声特徴空間の最適化を行う。また、複数言語に対してもトライフォンと音素片の音声特徴空間を生成する。次に、統合のアルゴリズムを2つの段階で適用する。まず、音声特徴空間上での統合として高分解能の音声特徴空間を構築することを計画している。

平成28年度においては、研究初年度に構築した大規模な日本語音声データによる異種的な音声特徴空間を識別的な空間モデルの深層学習 (Deep Learning) に拡張し、音声特徴空間の高精度化による性能向上を達成したと共に、高精度化された特徴空間においても異種情報の統合が有効であることを、音声検索語検出タスクの検証実験を通して、認識精度、検索率の性能向上を国際会議で発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】音声認識、異種音声単位、多言語処理

【研究 題 目】複数物体の最密充填と安定性を制御する詰込みに関する研究

〔研究代表者〕 音田 弘 (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 音田 弘 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、物体同士が密に接触する詰込の安定性解析とそれに基づく作業計画法について、作業の力学的解析とシミュレーションを元に最密充填と過渡状態の安定性を実現する詰込手法の基礎を確立することを目的とする。最密充填詰込の研究は主に離散幾何等で扱われてきたが、ロボットで実現可能な条件（把持可能性）を考慮すると、その手順は前記のものとは一般に異なる。一方、複数の対象物からなる詰込はそれらの過渡・最終状態の安定性を考慮する必要がある。従って、その作業計画を行うには、これら2つの実現可能性を考慮した計画法が必要となる。物体同士が密に接触する詰込の安定性解析とそれに基づく作業計画法を行うために、詰込まれた一つの対象物にどのような力が働くかを計測するセンサモジュールを開発し、過渡状態・最終状態の力分布を計測する。触覚センサを対象物の表面上に配置したセンサモジュールを作成し、対象物の配置順序を変更しながら計測を行いその違いを計測する。この実際の測定値を得て、順序を変更した際の力分布の推移の計測を行う。摩擦のある場合の力分布は一般には一意に決まらず、不等式で表された区間等が求まるだけであるが、その範囲内での力分布の推定を、測定値を入れたシミュレーションによるモデル化により推測を可能とする。

平成28年度の研究実績は以下の通りである

1. 複数個のセンサモジュールの作成

前年度に構築したセンサモジュールを複数個作成した。

2. 複数個のセンサモジュールによる詰込・積載時の力分布の同時計測

複数個のセンサモジュールにより、詰込・積載時の力分布の計測を同時に行った。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 マニピュレーション、ロボット、作業計画

〔研究題目〕 人工手指を自分の手指のように動かす：ヒト脳活動を用いた人工手指の自然な学習

〔研究代表者〕 Ganesh Gowrishankar (知能システム研究部門)

〔研究担当者〕 Ganesh Gowrishankar、宮脇 陽一 (電気通信大学) (他2名)

〔研究内容〕

本研究では、人の既存手指に新たに付加した人工手指を、日常生活に関与する神経活動とは独立な「自由神経活動」を制御信号として活用することにより、自分自身の体の一部のように自由に制御できるよう自然に学習する手法を確立することを目的とする。平成28年度は、

人工手指の身体性獲得に関する要求事項と限界について考察するとともに、使用者の手の筋電 (EMG) 信号を測定し、これを入力として利用することで、他の指とは独立に人工手指を制御するインタフェースを構築した。このインタフェースとロボットの指を用いた実験により、接触のフィードバックが、人工手指を使用者の身体性に組み込むために重要であるとの知見を得た。脳神経信号の冗長空間と考えられる自由神経活動を用いる制御手法の有効性を確認するため、fMRI を用いた実験とその実験結果の解析を開始した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 BMI、自然学習、機能拡張、可塑性

〔研究題目〕 見込み的循環制御を司る脳機構の解明

〔研究代表者〕 石井 圭 (自動車ヒューマンファクター研究センター)

〔研究担当者〕 石井 圭 (自動車ヒューマンファクター研究センター) (他1名)

小峰 秀彦 (自動車ヒューマンファクター研究センター) (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

運動を行うとき、脳は運動指令と共に見込み的に循環指令 (セントラルコマンド) を発することで運動実行と同時に心拍数や骨格筋血流量を制御する。セントラルコマンドの詳細な神経回路は不明であるが、これまでに得られた研究成果に基づき『内側前頭前野 (mPFC) からシグナルが中脳腹側被蓋野 (VTA) を介して運動と同期した循環応答を引き起こす』という仮説をたて検証した。麻酔下ラットを用いて、mPFC や VTA を薬理的に活性化もしくは抑制した際の動脈血圧・心拍数を記録した。また、脛骨神経活動を記録し運動神経の放電の有無を確認した。

GABA 受容体拮抗薬である bicuculline を VTA に微量投与 (2 mM, 60 nL) することで活性化させると、心拍数と動脈血圧が増加し脛骨神経の放電が生じた。その応答は GABA 受容体作動薬である muscimol の事前投与 (2 mM, 60 nL) により消失した。Bicuculline を mPFC に投与し活性化させると、心拍数が顕著に増加した。Muscimol により VTA を抑制した状態で、bicuculline により mPFC を活性化させると、心拍数の変化は消失した。

以上の結果から、mPFC からのシグナルは VTA を介して心拍数の増加を引き起こすことが示唆された。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 血圧、運動、セントラルコマンド

〔研究題目〕 直感的・潜在的な選好判断に関わる脳内情報処理メカニズムの解明

〔研究代表者〕 武田 裕司 (自動車ヒューマンファクター研究センター)

【研究担当者】武田 裕司（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、脳波の低ガンマ帯域におけるチャンネル間位相同期性が直感的な選好の情報処理を反映している可能性について検討することであった。実験では特定の刺激を無視した後にその刺激に対する選好判断を行うと「嫌い」と答える確率が増加する現象（Distractor Devaluation 効果；以下 DD 効果）に着目して、低ガンマ帯域の位相同期性の変化を検討した。過去の研究において無意識レベルでの DD 効果が確認されている注意の瞬き課題のパラダイムを援用して実験を実施した。実験では複数の無意味図形を高速系列視覚提示し、実験参加者にはその中に含まれる標的（矢印）の検出課題を課した。その後、妨害刺激として提示された図形（あるいは新奇的な図形）を提示し、その図形の好悪評定課題を課した。好悪評定中の脳波の位相同期値を調べたところ、DD 効果が生じていると考えられる試行において低ガンマ帯域（30-40 Hz）の位相同期値が増加する傾向が認められた（ $p < .07$ ）。統計的に有意な結果ではなく確定的な結論に至ることはできなかったものの、無意識レベルで生じる DD 効果が直感的な選好処理のバイアスと類似したプロセスによって生じている可能性を示唆している（無意味図形に対する直感的な負の選好バイアスが低ガンマ帯域の位相同期性の増加と関連していることが昨年度までの研究で明らかになっている）。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】選好、脳波、位相同期、低ガンマ帯域

【研究題目】動脈血圧反射による脳血管および心臓調節メカニズムの解明

【研究代表者】小峰 秀彦（自動車ヒューマンファクター研究センター）

【研究担当者】小峰 秀彦（常勤職員1名、他3名）

【研究内容】

本研究は、頸動脈洞および大動脈弓に存在する血圧受容器が脳血管ならびに心臓・全身末梢血管に与える影響について調べることを目的としている。

今年度は、頸動脈洞および大動脈弓の血圧受容器が脳血管、心臓・末梢結果に与える影響を調べるための装置の完成に取り組んだ。比較的緩やかな血圧変化に対して、頸動脈圧変化が頸動脈洞に与える影響をキャンセル制御するシステムは既に作製していたが、実際の実験では急激な血圧変化時に頸動脈圧のキャンセル制御が追従できていなかった。そこで、早い血圧変化にも対応できるようにシステムの見直しを行った。システムの見直しについては、ハードウェア、ソフトウェア両面から行った。改修した頸動脈圧制御システムを用いて、血圧変化時に頸動脈圧制御ができていないか、また頸動脈の有無が脳血流、心拍数に与える影響を調べた。血圧は連続血圧計を用いて beat-to-beat で記録した。脳血流は超音波ドップラ

ーを用いて、心拍数は胸部3誘導で記録した心電図波形から算出した。その結果、血圧変化時に頸動脈圧を制御できていること確認するとともに、頸動脈圧制御の有無によって脳血管応答および心拍数に影響を与える影響が異なるという結果を得た。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】血圧、動脈血圧反射、脳血管、心臓

【研究題目】個人間の脳活動相関性に着目した協調作業効率の評価技術

【研究代表者】岩木 直（自動車ヒューマンファクター研究センター）

【研究担当者】岩木 直（常勤職員1名）

【研究内容】

複数の作業員による協調作業の効率は、その協調作業従事中の作業員間の認知・行動を司る神経活動における相互作用（個人間神経連関）の影響を受けると考えられるが、そのダイナミクスや、協調作業パフォーマンスとの相関関係はまったく明らかになっていない。本研究では、協調作業における作業員間の動的な相互作用の神経基盤、とくに互いに対面した被験者間の脳活動の相互作用と行動指標との間の相関関係をモデル化する技術を開発することを目的とした。申請者は、昨年度までに対面する2名の被験者から脳波信号を同時に計測する技術を確認し、アイ・コンタクト課題中の両者の神経活動の相関関係について明らかにした。今年度はこのシステムを用いて、対面する2名の被験者が協調的および競争的に行う課題を設計し、両者からの脳波の同時計測実験を行った。具体的には、(i) 2名の被験者が協力してできるだけ一連の課題（メンタルローテーションを伴う視空間課題）を速く遂行する条件（協調条件）と、(ii) 2名の被験者が同じ課題をスコアを競いながら遂行する条件（競争条件）について、脳波を計測（ハイパースキャン）し、さまざまな帯域の自発脳活動の被験者間の相関関係について調べた。この結果、2名の被験者の自発脳活動のうち、 α 帯域（8~12 Hz）では両被験者の前頭部と頭頂部の間の強度コヒーレンスが競争課題時に有意に増加し、 γ 帯域（25~45 Hz）では両被験者の前頭部と側頭部の間の強度コヒーレンスが協調課題時に有意に増加する現象を発見した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】被験者間神経連関、非侵襲脳機能計測、脳波ハイパースキャン、協調作業

【研究題目】学びの「楽しさ」は睡眠中の記憶定着を促進するか

【研究代表者】甲斐田 幸佐（人間情報研究部門）

【研究担当者】甲斐田 幸佐（常勤職員1名）

【研究内容】

チクセントミハイのフロー理論によると、ヒトが適度

な難易度の活動に没頭している際には快の感情（フロー体験）が生じ、課題に対するパフォーマンスは向上し、学習は進む。ところが、それを実験により実証した研究はほとんどない。本萌芽研究では、視覚運動課題の難易度と実施者のスキルを調節することによりフロー体験が生じるかどうかを確かめ、その際の学習効率を調べる。さらに、学習後の仮眠が、視覚運動学習の定着を促進するかどうかを検証する。

本年度は、実験を行い、データを整理して学会発表を行った。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 感情、記憶

〔研究題目〕 あがりや巧みな運動に与える影響—情動と運動学習の接点—

〔研究代表者〕 吉江 路子（自動車ヒューマンファクター研究センター）

〔研究担当者〕 吉江 路子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

スポーツの試合や音楽の公演など、他者から評価される社会的場面において緊張・あがりや喚起されると、運動パフォーマンスが低下することがあり、多くの人々を悩ませている。本研究では、他者の感情的反応が運動に及ぼす影響の背後にあるメカニズムを解明し、緊張・あがりによる運動パフォーマンス低下を予防するための対処法を提案することを目指している。さて、緊張・あがりや喚起される際、あたかも自分で自分の身体を動かしていないような感覚が生じることがある。すなわち、「自分で自分の身体運動を制御し、外界に何らかの結果を引き起こしている」という感覚である「行為主体感」が変容することがある。このことから、本年度は、運動行為に対する他者からの感情的反応が行為主体感という運動知覚に与える影響を検討した。行為主体感を定量化するため、時間知覚の錯覚を利用した。すなわち、意図的運動行為（ボタン押しなど）を行い、その一定間隔（典型的には250ミリ秒）後に行為の結果としての感覚信号（音など）が生じると、行為と結果との間の主観的時間間隔が狭まる現象である「intentional binding」を用いた。この現象は、運動を行ったタイミングが感覚信号のタイミングに近づく現象と、感覚信号のタイミングが運動のタイミングに近づく現象という2つの要素に分離できるが、本年度は、主に前者に焦点を当てた。過去の研究結果と同様に、自らの運動行為が良い結果を引き起こした時は、悪い結果を引き起こした時に比べて行為主体感が上昇する傾向が認められた。さらに、こうした他者の感情的反応が行為主体感に与える効果は、結果に関する「予測」の影響を受けることが明らかとなった。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 行為主体感、感情、社会的認知、運動知覚

〔研究題目〕 予測の脳内メカニズム解明：刺激文脈ベースの予測と行為ベースの予測の協調機序の検討

〔研究代表者〕 木村 元洋（自動車ヒューマンファクター研究センター）

〔研究担当者〕 木村 元洋（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、脳内で視覚事象の予測を行っている二つのシステム（刺激文脈ベースの予測システムと行為ベースの予測システム）の協調の仕組みを、脳波の一種である事象関連脳電位（event-related brain potential: ERP）を用いて解明することを目的とする。刺激文脈ベースの予測システムは、視覚オブジェクトの現時点までの文脈からルールを抽出し、それを基に瞬時に予測モデルを形成することで、その視覚オブジェクトが次にどのように変化するかを、観察者の意図に関わらず自動的に予測する。一方、行為ベースの予測システムは、我々が自らの行為によって外界に働きかける際、その行為によって外界にどのような変化が生じるかを自動的に予測する。この二つの予測システムの協調メカニズムを調べるため、前年度までに同定した、刺激文脈ベースの予測システムと行為ベースの予測システム、それぞれの働きを反映するERP成分を指標に、予測システム間の関係性を明らかにするための実験を行った。その結果、刺激文脈ベースの予測システムと行為ベースの予測システムがそれぞれ異なる視覚事象を予測した場合、刺激文脈ベースの予測システムの働きを反映する視覚ミスマッチ陰性電位（visual mismatch negativity）とよばれるERP成分の惹起パターンが、行為ベースの予測システムの働きによって変化することがわかった。この惹起パターンの変化は、行為ベースの予測システムが、刺激文脈ベースの予測システムの働きを一時的に停止（フリーズ）させることで生じている可能性が高い。本研究の結果は、行為ベースの予測システムが、刺激文脈ベースの予測システムの働きをトップダウン的に調節しうる、階層的に上位の関係にあることを示唆している。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 予測、行為、視覚、脳波、事象関連脳位

〔研究題目〕 妨害刺激嫌悪効果を利用した食行動変容手法の開発

〔研究代表者〕 井上 和哉（自動車ヒューマンファクター研究センター）

〔研究担当者〕 井上 和哉（他1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、妨害刺激嫌悪効果やその関連現象（例えば、感性満腹感）のような人間の嗜好を変容させる方法を用いて、人間の食行動を変化させる方法を開発することであった。平成27年度の研究では、食べ物の

動画を長時間提示することにより、動画で見た食べ物に対する摂取意欲が変化することが明らかになった（視覚刺激による感性満腹感）。平成28年度の研究では、視覚刺激による感性満腹感の生起メカニズムを明らかにすることを目的とした。平成27年度の研究では、単に食べ物の動画を見たために動画で見た食べ物の摂取意欲が変化したのか、摂食しているところをシミュレートするような動画を見たために摂取意欲が変化したのが明らかではなかった。そこで平成28年度の研究では、摂食のイメージを喚起しない動画を見た際に摂取意欲が変化するかを明らかにすることを目的とした。使用した動画は平成27年度の研究で使用したものと同一であったが（皿の上からグミまたはポテトチップスが取り去られる動画）、動画を逆回しに再生したために実験参加者は自分がグミやポテトチップスを食べているところがイメージしにくかった。実験の結果、逆回しの動画を見た際には、動画で見た食べ物に対する摂取意欲が変化しなかった。この結果は、単に食べ物を反復的に見るだけでは視覚刺激による感性満腹感を生起させるのに不十分であることを示しており、摂食をシミュレートさせることが重要であることを示唆する。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 食行動、妨害刺激嫌悪効果、感性満腹感

〔研究題目〕 集団行動における行為の主体感と行動モニタリングの変容メカニズムの解明

〔研究代表者〕 木村 健太（自動車ヒューマンファクター研究センター）

〔研究担当者〕 木村 健太（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、社会的状況における行為の主体感の変容が行動モニタリングを調節する生物学的メカニズムを明らかにすることを目的とする。一般に、他者との集団形成を通して共通の目標を達成しようとするときには、自らの行動の重要性を割り引く責任の分散と呼ばれる現象が生じる。これまでの研究では、責任の分散がどのように行動モニタリングに影響するかは明らかではない。本年度は、結果の確信度が社会的状況における行為の主体感に及ぼす影響を検討した。実験では、3名の小集団が多数決に基づき二つの内一つの図形を選択してポイント（報酬）を獲得することを目指す集団意思決定課題を用いた。結果の確信度を操作するため、参加者は、二つの図形の報酬確率を事前に学習した。これにより、高い確信度で結果を予測するときと低い確信度で結果を予測するときを設定して、集団意思決定に付随するポイントの獲得・損失結果呈示時に生起する脳波を解析した。実験の結果、自身の選択が集団内において少数派であるときは、多数派であるときに比べて獲得・損失結果の呈示により生起したフィードバック関連陰性電位（FRN）振幅値及び θ 波のパワー値が小さかった。また、確信度の

高低を比較したところ、結果の確信度の操作は、FRN振幅値には影響を及ぼさなかったものの、FRNの直後に見られるP300成分の振幅に大きく影響を及ぼした。FRN振幅及び θ のパワー値は、行為結果の感情的な重要性を反映することから、少数派時には多数派時に比べて責任の分散による行為結果の感情的重要性の低減が生じていることが分かった。加えて、結果の確信度の操作がFRN振幅値に影響を及ぼさなかったことは、結果の予測性は行為の主体感の減衰には寄与しない可能性を示唆している。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 行動モニタリング、社会性、脳波、事象関連脳電位

〔研究題目〕 小脳を中心とした脳内ネットワークによる認知的制御メカニズムの解明

〔研究代表者〕 長谷川 国大（自動車ヒューマンファクター研究センター）

〔研究担当者〕 長谷川 国大（他1名）

〔研究内容〕

本研究は近年高次認知機能との関連が注目されている小脳とそれを中心とした脳内ネットワークから認知的制御機能の理解を目指すものである。当該年度では、まず小脳と認知的制御の関連を示すため、(1)脳イメージング技法を用いた認知的制御機能に関連する過去研究の結果のメタ解析、(2)大規模オープンソースデータを用いた脳構造と心理機能との関連づけ、を実施する計画であった。状況は以下の通りである。

(1) 過去研究のメタ解析研究では、過去20年間に実施された認知的制御機能に関連する脳イメージング研究結果を収集し、これをALE法と呼ばれる解析手法によりメタ解析を行った。この手法では、複数の研究で繰り返し観測されている脳活動部位を特定することができ、単発の研究でしか報告されていないような活動部位を排し、信頼性に重点を置いた脳機能マップを得ることができる。認知的競合、メタ認知、課題切り替えなどの課題遂行中の脳活動を対象とした研究を対象として解析を行い、このうちメタ認知機能に関わる脳機能マップについて一定の成果を得たため、論文にまとめて学術誌に投稿し、採択を目指している状況にある。

(2) 脳構造学的研究では、米国 Human Connectome Project が一般に公開している脳研究の大規模オープンソースデータの中から500件超の脳構造画像と対応する心理機能スコアのデータを得て、これをVoxel-based Morphometry (VBM) の手法を用いて解析し、脳の構造と心理機能の対応関係を明らかにすることを目指している。また小脳・脳幹に特化した脳画像解析ツールボックス (SUIT) を用いることでより精度の高い機能局在の導出を試みている。予備解析において一定の成果が得られたため、本解析を開始したが、解析中に使用してい

るデータベースに大幅なアップデートがあり、使用できるデータ量が倍増した。これを用いることでより精度の高い検討が可能になると判断し、途中であった旧データ解析をやめ、新しくリリースされたデータを加えて新規に解析をスタートさせている。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕認知的制御、小脳、脳内ネットワーク

〔研究 題目〕レム睡眠が感情記憶に及ぼす効果検証

〔研究代表者〕甲斐田 幸佐（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕甲斐田 幸佐、仁木 和久
（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

睡眠は、記憶するために必要な生理現象である。睡眠不足になると、物事を認知・判断する能力が低下し、記憶能力が低下することが知られている。本研究では、レム睡眠の選択的抑制によって、感情認知や記憶の偏向が長期的な影響として残るのかどうかを検討する。

本研究では、通常睡眠のあと（統制条件）、またはレム睡眠の選択的抑制のあと（レム睡眠条件）に被験者に感情写真を記憶させ、その後に記憶テストを行い、記憶の忘却率を算出し、条件間で比較する。記憶テストは、記憶の直後（10分後）と8日後に行う。本研究で検討した仮説は下記である。① 断眠後の記憶能力は、中性刺激に対しては低下するが、快・不快刺激に対しては低下しない、② 断眠の影響は、断眠8日後にも残る。被験者は健康男性大学生16名程度である。

本年度（3年計画を延長した4年目）は、データを整理し、研究を終了させた。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕睡眠不足、感情、記憶

〔研究 題目〕マイクロレンズアレイを用いた高精度視覚マーカの技術基盤構築

〔研究代表者〕田中 秀幸（ロボットイノベーション研究センター）

〔研究担当者〕田中 秀幸、角 保志、松本 吉央（ロボットイノベーション研究センター）
金 奉根（知能システム研究部門）
（常勤職員4名）

〔研究 内容〕

視覚マーカは、カメラによる位置姿勢計測を支援するツールである。我々は、「マイクロレンズアレイが作る干渉縞」を用いて姿勢を測る世界初・世界最高精度の視覚マーカを開発し、従来型マーカの長年の未解決問題（正面観測時の姿勢精度の悪化など）を解決した。本研究では、本マーカの実用化を促進するため、実環境の厳しい観測条件下でも安定した計測を実現する（「本当に使える」）技術の確立を目指す。具体的には、ソフトウェア（マーカ計測アルゴリズム）とハードウェア（マー

カ本体）の両面から、実環境における「ロバストかつ高精度な計測技術」と、タスクの要求に応じて「最適なマーカを設計する手法」の研究を行う。本年度は、ソフトウェア面では、姿勢反転を検知して正しい姿勢に修正するアルゴリズムと、高感度な干渉縞パターンを活用して0.1 deg の精度で姿勢推定を行うアルゴリズムを開発した。またハードウェア面では、レンチキュラーレンズに特殊加工を施すことで、干渉縞パターンにおける外光の鏡面反射を抑えて認識率を向上させることに成功した。また、推定姿勢の反転を検知する波型二色構造を開発し、これを利用することで平面マーカの重大な未解決問題の一つである姿勢不定性の問題を解決できるマーカを開発した。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕視覚マーカ、画像計測、ロボット制御、拡張現実

〔研究 題目〕サーバ通信を利用したカメラの自己位置配信と特徴点ベース地図の開発

〔研究代表者〕阪野 貴彦（ロボットイノベーション研究センター）

〔研究担当者〕阪野 貴彦（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

人間と共生するロボットが自律的かつ安全に移動するためには、必要な周囲の環境情報を取得し、地図と比較照合してロボット自身の位置を知ることが重要である。しかも、安価なセンサで実行できることが望ましい。そこで移動ロボットが、カメラを主たるセンサとして、自律的かつ安全に移動するために必要な3次元地図作成と、自己位置推定システムの開発を行った。

特徴点ベースの3次元地図に関しては、全方位カメラを用いて、2種類のシーン復元手法を開発した。入力画像を連続的に処理し形状復元と自己位置推定を行うシーケンシャルな手法と、使用する画像を一度全て蓄積したうえで全体的な処理を行うグローバルな手法である。シーケンシャルな手法では、本手法では一定フレーム遡った情報を利用した高速な3次元復元が可能となり、グローバルな手法では、高精度化、複数の画像列の合わせ込みが可能となった。

現在位置推定では、全方位画像を用い、球面グリッド上から局所的な学習を行うことで特徴点抽出を行い、特徴点周辺での画像勾配を基に記述子を策定した。また、グリッドの密度を変えることで、画像のスケール変化にも対応できるようにした。従来の画像マッチングでスタンダードに使われている平面画像の特徴点抽出手法と比較したところ、SIFT と同程度の計算時間で、従来手法よりも高精度にマッチングを行え、類似画像探索においても従来手法より高精度であることが確認できた。さらに、この記述子を用いたカメラ位置姿勢推定手法をP3P ベースで開発した。本手法はグレンナー基底を用

いて高速・高精度に解析的に算出することができた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】3次元環境復元、特徴点記述子、自己位置推定

【研究 題 目】立ち乗り型パーソナルモビリティの操縦評価手法の開発

【研究代表者】橋本 尚久（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】橋本 尚久（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、立ち乗り型のパーソナルモビリティロボット（以後 立ち乗り型 PM）と呼ばれる乗り物における、操縦者の評価手法の開発を目的とする。立ち乗り型 PM は、多少の制約は残るものの全国展開が決定し、今後の利用拡大が期待されている。小型特殊や原付にカテゴリ化されているものの、免許制度がある2輪車・自動車等と比較すると客観的な操縦評価を持たない立ち乗り型 PM においては、誰もが安全に利用を開始すべきかどうかの判断基準が明確ではない。そこで本研究では、免許制度に似た操縦許可の判定を可能とするための立ち乗り型 PM の操縦評価ツールの開発を目的とする。

当該年度では、筆者らが管理する複数の立ち乗り型 PM に挙動・状態変化を記録するためのセンサ機器・情報取得機器を取り付けるための改造を行った。具体的には、取得するセンサとして3軸加速度・3軸ジャイロセンサを立ち乗り型 PM の中心部に固定するとともに、センサ情報をリアルタイムに保存できるプログラムソフトウェアの開発、ソフトウェアを実行するための制御機器の電源の取り回し等を行った。加えて、データ取得の確認のため、被験者2人の予備実験を行い、2名の操縦方法の事前評価を実施し、相違点等の抽出も行うことができた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】移動ロボット、ヒューマンマシンインタフェース、操縦評価

【研究 題 目】配列解析によるミトコンドリア由来オルガネラにおける品質管理因子の網羅的探索

【研究代表者】今井 賢一郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】今井 賢一郎、深沢 嘉紀、小田 俊之、富井 健太郎（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

本研究は、ミトコンドリア及びミトコンドリア関連オルガネラ（MRO）を持つ生物種がミトコンドリア品質管理関連因子をどれほど維持しているかを調べ、ミトコンドリアの品質管理機構の進化及び MRO の品質管理機構を明らかにすること目的としている。まず、開発した

膜タンパク質予測法を用いた MRO の品質管理機構の新規因子候補探索と共同研究における実験的検証によって、赤痢アメーバの MRO や小胞体局在するに系統特異的膜タンパク質を発見することができた。これらの機能と品質管理機構との関連性についてはさらなる解析が必要である。また、ミトコンドリア及び MRO のタンパク質輸送複合体（TOM 複合体、TIM23複合体）の進化解析でも成果が得られた。真核生物54種に対するタンパク質輸送複合体のサブユニットの精密なオルソログ解析を行い、Last eukaryotic common ancestor (LECA) における TOM、TIM 複合体の原始モデルを推定した。このモデルをベースに系統解析、祖先配列推定、構造予測、プレ配列欠損/獲得推定などを用い、TOM、TIM23複合体、プレ配列を持つ遺伝子の進化解析を行ったところ、輸送複合体は、収斂進化や遺伝子のマイグレーションによって巧みにサブユニットを獲得することで多様な進化を行っていることがわかった。また、輸送複合体の進化は、プレ配列を用いた輸送機構を維持するかどうか束縛条件となっていることもわかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ミトコンドリア、ミトコンドリア関連オルガネラ、進化、品質管理、タンパク質輸送

【研究 題 目】ハイブリッド新種ゲノムが有するオミクス適応能の包括的な解析

【研究代表者】瀬々 潤（人工知能研究センター）

【研究担当者】瀬々 潤（常勤職員1名）

【研究 内 容】

「鍵と鍵穴」の障壁を超え、交雑により生まれたハイブリッド新種は、農業において積極的に利用されている一方で、ハイブリッド新種が作成できたとして、その適応力は明らかではない。本研究では、この適応力を予測する手法の構築を目指し、交雑による新種の育種、大規模オミクス解析、形質予測につながる手法開発を実施している。本年度は、対象としているハクサンハタザオを含むシロイヌナズナ属を代表する27分類、94個体のゲノム情報を用いて解析を行ったところ、多くの多型が自然選択などによって共有されていることを報告し、その中で我々が開発した異質倍数体を解析するソフトウェア HomeoRoq が利用された[Nature Genetics]。また、異質倍数体化によって親種がもつ形質が、異質倍数体にどのように引き継がれるのか、あるいは、引き継がれないかの分子基盤を明らかにするため、表現型として重金属耐性を選択し調査した。この形質は、ミヤマハタザオの親種であるハクサンハタザオ（重金属耐性に優れる）とセイヨウミヤマハタザオの間で異なるものである。これら三種の遺伝子発現を RNA-seq で取得し、HomeoRoq で解析することで、ミヤマハタザオの重金属耐性に係る遺伝子の発現が、親種の発現の半分になっており、どち

らの性質も持つジェネラリストであることが明らかになった[MBE]。また、来年度に向けて HomeoRoq の改良を実施、ミヤマハタザオの移植実験の実施、更に、移植実験等からの大規模な RNA-seq による観測の実施を行い、来年度以降の研究につなげる成果が出た。

【領 域 名】情報・人間工学、生命工学

【キーワード】機械学習、オミクス、環境適応

【研究 題 目】ミッシングヘリタビリティを埋める複合因子解析手法の開発

【研究代表者】瀬々 潤（人工知能研究センター）

【研究担当者】瀬々 潤、阮 佩穎

（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

本研究ではゲノムワイド関連解析（GWAS）の急速な普及によって、今まで手の届かなかった遺伝的疾患が明らかになる一方で、遺伝性が認められるにも関わらず、必ずしも GWAS で解けない「ミッシング・ヘリタビリティ」問題に対して、その理由を明らかにし、解決手法を提案することを目的としている。そのアプローチとして、単一の変異のみでは現れず、複数の変異を組み合わせることで現れる疾患が存在する仮説のもと、数理統計手法 LAMP の開発、大規模 GWAS データへの適用を実施してきた。本年は、国内の大規模コホートであるバイオバンクジャパン、東北メディカルメガバンク、長浜0次コホートとの連携を進め、データの開示許可を得た上で、一部データに対して LAMP を実施した。更に、開発したプログラムが広く人類遺伝学者の皆様に利用できるよう、人類遺伝学で利用されている PLINK にその機能を組み込み、公開した。また、検出した結果の閲覧と解釈を容易にするため、結果の整形を実施するプログラムを開発した。更に、実際に解析を行っている際に問題になることとして、遺伝子領域外にある SNP が疾病に関連しているケースがある。この解釈に向け、異なるアプローチとしてマルチオミクスデータを用いた解析によるミッシングヘリタビリティの理解に向け、公共の次世代シーケンスデータベースより、ChIP-seq データ及び遺伝子発現データの取得を実施し、広く利用されているパイプラインを実行することで、統計解析・機械学習に資する転写調整に関するデータの収集を実施した。次年度以降、具体的な解析を実施する。

【領 域 名】情報・人間工学、生命工学

【キーワード】機械学習、数理統計、ミッシングヘリタビリティ

【研究 題 目】使うほど医師の知識と経験を蓄積する育成型内視鏡画像診断支援プラットフォームの研究

【研究代表者】野里 博和（人工知能研究センター）

【研究担当者】野里 博和（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、内視鏡検査を対象として、コンピュータに蓄積された情報に基づいた自動分類結果と類似症例画像の提示により医師の知識や経験の差を補うと同時に、それら提示結果への医師のフィードバック情報によりコンピュータ内の診断基準を再構築する、医師が使えば使うほど診断基準が精練され精度が向上する育成型内視鏡画像診断支援プラットフォームの確立を目的としている。本研究では、このプラットフォームを構成する(1)高度診断支援システム、(2)再構築アルゴリズム、(3)診断支援インターフェースの要素技術の研究を行い、これらを統合することで診断支援プラットフォームの実現を図る。

3年計画の1年目となる平成28年度は、まず、高度診断支援システムの研究課題において、これまでの研究で開発した自動分類手法と類似症例検索手法を統合し、共通の処理である内視鏡画像の強調処理と特徴抽出処理の共通モジュール化を行い、このモジュールによる類似症例検索アルゴリズムの向上を図り、内視鏡画像を用いた実験により有効性を確認し、論文（International Journal of Biomedical Imaging）にまとめた。再構築アルゴリズムの研究課題においては、内視鏡画像に対し、抽出した特徴量、分類情報、類似画像インデックスなどの情報を紐づける症例データベースを SQL により構築し、入出力ライブラリを試作した。診断支援インターフェースの研究課題においては、プラットフォームを実装する統合ソフトウェアのインターフェースの試作を行い、支援情報を医師に提示する画面レイアウトやフィードバック方法などの流れについて検討を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】画像認識、自動分類、類似画像検索、診断支援

【研究 題 目】救急医療現場での動線分析と会話分析の融合によるチーム医療の評価と教育効果の向上

【研究代表者】大西 正輝（人工知能研究センター）

【研究担当者】大西 正輝、川島 理恵（関西外国語大学短期大学部）、内田 康太郎（東京医科大学）（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

救急救命センターに設置した RGB-D カメラから得られる映像を画像認識することによって医師や看護師がどの場所にどのくらいいるかや、どこからどこへの程度の速度で移動したかなどをリアルタイムで定量的に評価できるシステムを作成した。また、医師や看護師の導線と発話した場所を重ね合わせ、発話のタイミングと動きを分析できる可視化システムを作成した。特に会話の中でも「指示」の意味を含む会話に着目し、指示のタイミングと動きの関連性を中心に分析している最中である。現在、研修医は「指示」の会話の後に動き出している様

子や、上級医の動きにつられて動き始める様子が抽出できており、今後、それらのタイミングや頻度が研修医の上達とどのように関係しているかを定量的に評価できる指標を考えていく予定である。また一方で、救急救命センター内で研修医に対して心肺蘇生の症例を想定したブリーフィングを行い、心肺停止状態で運ばれた患者を想定したダミー人形を用いた模擬的な初療を行った後、デブリーフィングを行うことで、どのようなことに注意しながら初療を行うかなどの研修医教育を行っている。一般にこのような研修医教育はシミュレーションセンターで行われることが多いが、シミュレーションセンターではなく実際の現場である救急救命センターで訓練を行うことの効果や意義について検討している。これらの訓練は月に一度の割合で行い、高い教育効果のある方法論を確立することを目指している。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 教育工学／解析・評価／可視化

〔研究題目〕 キッズデザインに対応するためのデータベースの設計及び応用

〔研究代表者〕 西田 佳史（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕 西田 佳史、張 坤
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、社会的要請の高い乳幼児の傷害予防に応じるため、人類の共通財産ともいえる傷害ビッグデータを最大利用することによって子ども傷害予防対策の基盤となるキッズデザインデータベースの構築と傷害データマイニング技術に関する理論的基盤を確立することである。

平成28年度は、製品横断的な世界初の子どもに対する安全認証制度である CSD 認証制度に参加しようとする事業者を支援するために、平成27年度に開発した KDDB に基づくデータマイニング手法（KDDB 利用技術）を開発した。主に子どもや保護者の行動や製品の特徴を用いて、製品が子どもに与えるリスクを予測する技術を開発した。子どもの製品の製造メーカーや設計者にヒアリング調査を行い、それぞれのニーズを反映して設計者が使いやすい予測システムを提案した。また、メーカーと連携して KDDB 利用技術の検証を行い、この検証を通じて得られた成果から、子どもの傷害ビッグデータに対応するためにデータの一連の整理の流れをまとめた総合的な傷害予防技術を開発した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 傷害データベース、傷害サーベイランス、事故統計

〔研究題目〕 ネットワーク上のコミュニティ検出問題への物理学的アプローチ

〔研究代表者〕 川本 達郎（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕 川本 達郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ネットワーク上のマクロな構造、特に密につながった集合を抽出する、コミュニティ検出と呼ばれる操作は、その汎用性と近年の豊富なデータセットの影響により、従来から非常に関心が集まっている分野である。そのなかでも、ネットワークのなかで何個のコミュニティを検出するべきかという問題は、非常に重要である。

平成28年度は、信念伝搬法を用いた統計推論のフレームワークのもとに、効率の良いコミュニティ数推定手法を提案した。具体的には、ネットワーク上の枝の予測誤差の交差検定による評価公式を導き、その有用性を人工データや実データに適用することで確認した。さらに、評価公式の持つ性質を理論的に研究し、周辺尤度関数との形式的なつながりや、理想的な状況下では評価公式によって情報理論的な検出限界を達成できること、導出した種々の予測誤差の間に成立する不等式を示した。コミュニティ数の推定には、何らかの情報量基準を用いることが多いが、alluvial diagram と呼ばれる可視化手法を用いることも非常に有力なアプローチであることを提案した。

また平成28年度は、同じく信念伝搬法を用いた場合に、コミュニティ構造がまったく検出できなくなる限界について、従来研究を一般化した公式を導出した。これは、その後、より一般的な限界公式を導出する前段階の結果として、重要な意味を持っている。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 ネットワーク科学、ベイズ推論、情報統計力学

〔研究題目〕 なぜフタバガキの種子の羽は無くなったのか：機能喪失型形質の獲得機構と時期の解明

〔研究代表者〕 小林 正樹（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕 小林 正樹（他1名）

〔研究内容〕

東南アジア熱帯雨林のフタバガキ科植物では、2つの異なる果実の形態が観察される。その一つは風散布タイプであり、萼が果実の成長に伴い伸長することにより羽状の器官が形成され、それがプロペラのような役割を果たすことで種子の長距離散布が起こることが知られている。そしてもう一方が重力散布タイプであり、萼の伸長による羽状器官の形成が起こらず、種子は母樹のすぐ近くに落下し短距離散布が起こる。これらの果実の形態は、近縁種間においても異なることから、フタバガキ科の複数の属において両方の果実形態が見られる。そこで本研究では、これらの羽状器官を持つ果実と羽状器官を持たない果実がどのように進化してきたのかを明らかにするため、系統樹を用いたフタバガキ科植物の果実の祖先形質の復元を行った。

フタバガキ科植物の葉緑体3遺伝子の配列を用いた系統樹をもとに、現存種の果実の形態から過去のフタバガキ科の種がどちらの果実形態を持っていたかを推定した結果、アジアのフタバガキ科の共通祖先は羽状器官を持つ種であった可能性が示唆された。またその後、羽状器官を失うという進化が独立に何度も起こった可能性が示唆された。さらに羽状器官が失われた時期についても検討した結果、年代制約に用いる化石情報のために時期の推定には不確実性が存在するものの、同じような時期に独立に羽状器官が失われていった可能性を示唆する結果が得られた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】フタバガキ科、熱帯雨林、進化

【研究 題目】GPU クラスタを用いた半構造データの並列分散処理基盤の構築

【研究代表者】小澤 佑介（人工知能研究センター）

【研究担当者】小澤 佑介（他1名）

【研究 内容】

GPU クラスタを用いた並列分散データ処理の実現に向けて、GPU を用いたデータのクラスタ分析に関する研究を行なった。データのクラスタ分析を行ない、その結果を基に GPU クラスタの計算ノード上にデータを配置することで、分散処理中のノード間の通信を削減でき、効率的な処理が可能になると考えられる。具体的な研究成果は以下の通りである。

前年度に開発した GPU を用いたグラフクラスタリング手法の拡張・改良を行った。

具体的には以下の三つの点となる。(1) GPU メモリ上に乗り切るサイズのデータのみを対象としていたところを、GPU メモリ以上のサイズのデータも処理可能となるよう拡張した。

提案手法では、一般的に性能のボトルネックとなりやすい CPU と GPU 間のデータ転送を、GPU 上での計算とオーバーラップして行うことでデータ転送による遅延をほぼ無しで処理可能としている。(2) さらに上記の手法を、GPU のみでなく CPU でも同時に処理を行うよう拡張した。これにより、以前は利用していなかった計算資源である CPU も活用可能になりさらなる高速化が達成できる。(3) また、提案手法において必要となる集計処理の並列化の改良も行った。以前は GPU に適した処理であるデータ並列プリミティブを組み合わせることで集計を実現していたところを、ロックフリーなハッシュ表を用いることで高速化を図った。これにより、並列化によって導入された余計な計算コストの削減が可能となる。

実験により、これらの手法が既存手法と比較して数倍高速であることを確認した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】GPU、並列処理、クラスタリング

【研究 題目】マルコフ連鎖モンテカルロ法の挙動に基づくベイズ推定におけるモデル選択手法の開発

【研究代表者】永田 賢二（人工知能研究センター）

【研究担当者】永田 賢二（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法の挙動や緩和過程に基づいたベイズ推定の新たなモデル選択法の開発を行う。平成28年度では、昨年度新たに定義したベイズ比熱の有効性を検証するシミュレーションを行い、それらの結果をまとめることに注力した。その結果のひとつとして、スペクトル分解のベイズ推定アルゴリズムにおいて、従来では用いるピークの個数を推定するモデル選択法を組み込んでいたが、これに加えてデータに重畳されるノイズのレベルも同時に推定する枠組みの開発に成功した。また MCMC 法をモデル選択に用いる計画を超えて、用いるデータの効率的な生成法についての開発も行った。対象としては、非制限ハートリーフォック計算により得られるスピン配列に対するエネルギーの値を、イジングモデルなどの古典的な有効モデルにより表現するベイズ推定の枠組みに適用した。推定自体は線形モデルで表現されるため解析的な枠組みの導出が可能であるが、用いるデータをいかにして生成するかが鍵となる。理想としては、全ての考えるスピン配列の状態エネルギー計算をすればよいが計算量が膨大になり現実的ではない。この問題に対し、MCMC 法を利用することで効率的にデータを生成する方法を提案した。また、マルチヒストグラム法を活用することで、本来全状態探索により得られる分布の類似度が高くなるように修正することも成功した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】マルコフ連鎖モンテカルロ法、ベイズ推定、モデル選択、スペクトル分解、有効モデル抽出

【研究 題目】交通流映像とセルオートマトンに基づく新たなドライバモデリング手法の確立

【研究代表者】山崎 啓介（人工知能研究センター）

【研究担当者】山崎 啓介（常勤職員1名）

【研究 内容】

運転行動のモデル化は自動運転などへの応用から近年注目を集めている。本研究の目的は、定点カメラによる交通流の動画とセルオートマトンからドライバモデルを構築する全く新しい手法を確立することである。動画データの取得が容易であることと、セルオートマトンの最適化に数理統計学の手法が活用可能なことから、車載センサーの情報に基づいた従来法の欠点を克服し、汎用性と信頼性の高いモデルの構築が期待できる。平成28年度は交通流を表すセルオートマトンにおいてパラメータを推定する課題に取り組んだ。具体的には Totally

Asymmetric Exclusion Process と Zero Range Process (ZRP) と呼ばれる2種類のモデルについて検討を行った。双方のモデルにおいて実際の交通流を模倣する際に必要となるのは運転方法の異なるドライバーの種類がデータ中にいくつ混在しているかを知ることである。クラスタリングの手法を応用することで種類の数推定する課題に取り組んだ。特にベイズクラスタリングの適用に注力し ZRP において変分ベイズ法を用いてパラメータを高精度かつ高速に求めるアルゴリズムを考案した。また運転行動データを基に道路領域のクラスタリングを行った。この結果をセルオートマトンの設計に用いることで、より現実的な交通流のモデリングが可能となる。さらにセルオートマトンの形状とアルゴリズムの関係を調査するため、3次元セルオートマトンへの拡張を行った。3次元空間での渋滞としてドローンのモデルを提案し、飛行データから飛行規則のクラスタリングを行うアルゴリズムを提案した。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 渋滞学、ベイズ統計、交通流の統計学

【研究 題 目】 機械学習と網羅シミュレーションによる
MA 共有資源選択の効率化・安定化手法
の確立

【研究代表者】 野田 五十樹 (人工知能研究センター)

【研究担当者】 野田 五十樹、山下 倫央
(常勤職員2名)

【研究 内 容】

本研究ではマルチエージェントの共有資源選択問題でのジレンマについて、理論的及び実践的な手法で分析を行い、ジレンマ解消に向けた基盤技術の確立を目指す。スマート社会の実現の中央制御型と自律分散型の2つアプローチの内、自律分散型を取り上げ、エージェントの利己性に起因する過度集中のジレンマを共有資源選択問題として定式化し、エージェント行動選択の側面と、情報提供など群全体への誘導方策の側面の、両面からジレンマ解消に資する手法の研究開発を行う。

本年度は、まずボトムアップアプローチでは、個々のエージェントの利得関数や行動選択ルールについて、特に Exploration 率と共有資源問題の関係について考察・検証を進めた。これをもとに、自律分散な制御方法にもかかわらず、系全体の平均利得と自らの平均利得を比較し、それに基づき Exploration 率を調整させる方法を提案・改良し、全体最適を達成できる方法を構築することができた。さらに、この手法について、理論的な側面からも考察し、本手法が安定して全体最適に向かって学習を進めることができることを示した。また、エージェント群全体の挙動について、高次元のパレート解曲面の形状に基づくデータ同化の観点から考察した。この考察から、解曲面と実データとの関係や距離により、パレート解の形状が異なることが示唆され、この形状の異

なりにより系全体の挙動の推定可能性について推論できる可能性が示唆された。このことは、データ同化の可能性をパレート解の形状から判定する方法の可能性を示すものであり、いくつかの類型的な場合について、解形状の違いを分類できることが示した。

また、トップダウンアプローチでは、イベント時などの誘導路配置において、動的群集誘導モデルや二段階の誘導を用いた方法をシミュレーションで検討した。その結果、動的な誘導がシステム全体の最適化に寄与できる可能性があること、また、段階的な誘導が有効な場合が存在することを、具体的な地図を元に示すことができた。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 社会シミュレーション、人工知能、マルチエージェントシミュレーション

【研究 題 目】 大規模機械学習のための並列計算基盤の
研究

【研究代表者】 中田 秀基 (人工知能研究センター)

【研究担当者】 中田 秀基 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

大規模なデータを対象とする機械学習を実現するための、並列計算基盤の研究開発を行う。インターネットの普及により大規模なデータの蓄積が容易になり、それを対象とした機械学習技術が大きく発展している。しかし、IoT (Internet of Things) の今後の発展によってより大規模なデータが日々生成されること、さらに機械学習技術の発達により機械学習の計算量が増大することを考慮すると、現在の処理手法では対応することが難しいと思われる。本研究提案では、大容量データと計算量の大きい機械学習技術に特化した大規模並列計算基盤の研究を行う。

大容量データ入力に関しては Apache Spark を対象に中間データ保持機構の最適化を行った。従来の手法ではメモリ上のキャッシュとディスク上のキャッシュの連携が不十分であったため、不必要なデータ移動が頻発し性能が低下していた。われわれはこの点に着目し、連携アルゴリズムを改良することで、典型的なプログラムにおいて大きな性能向上を得ることができた。本件に関しては研究会発表1件、ワークショップ発表1件、ポスター発表1件を行っている。

データ並列機械学習の耐故障性に関しては、シミュレーションを用いて、さまざまな耐故障アルゴリズムの定量的比較を行い、モデル同期手法の一つであるパラメータサーバを用いた方法では、この方法に固有の耐故障アルゴリズムによって効率的に耐故障性が実現できることを示した。本件に関しては査読付き国際会議発表1件、研究会発表1件を行っている。

データ並列機械学習を実行する計算機におけるネットワークへの要件を明らかにするために、シミュレーションによる定量的評価を行った。いくつかのモデル同期手

法に対して、さまざまなネットワーク構成でのネットワーク通信コストを評価した。この結果、データ並列機械学習におけるネットワーク負荷は、通常のいわゆる高性能計算における通信と比較して遥かに小さく、したがってネットワークへの要請が小さいことを明らかにした。本件に関しては、ワークショップ発表1件、ポスター発表1件を行っている。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】機械学習、分散計算、並列計算

【研究題目】糸状菌由来リボソーム・ペプチド合成遺伝子のパイオインフォマティクス解析による探索

【研究代表者】長野 希美（人工知能研究センター）

【研究担当者】長野 希美（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

菌類のリボソーム・ペプチドを合成する二次代謝系遺伝子を探索するために、631種類の菌類ゲノム・データをJGI（米国・DOE Joint Genome Institute）のデータベースから取得し、AspGD のフォーマットに基づいて、遺伝子情報のデータを作成し、更に下記の解析を行う。

年度進捗状況：

- ①ドメイン予測；蛋白質ファミリーデータベース・Pfam（ver.30）を用いて、全遺伝子配列に対するドメイン予測（hmmsearch）を行い、Pfam-A 全ドメインを対象に行った。
- ②全遺伝子の膜貫通領域予測；TMHMM-2.0c というプログラムを用いて、膜貫通領域の予測を行った。
- ③シグナルペプチド解析；SignalP-4.1というプログラムを用いて、全遺伝子のシグナル配列解析を行った。

631ゲノムから、RiP を環状化させる酵素遺伝子（UstYa）のホモログ遺伝子は、7,245個検出され、1ゲノム当たり、11個の UstYa ホモログ遺伝子が存在する事が判明した。また、ゲノムによって、UstYa ホモログ遺伝子のない生物種もあることが判明し、偏りが存在する事が判明した。631ゲノムのうち、約40ゲノムに対して、RiP の前提条件である繰返し配列の検出と Kex2プロテアーゼに切断されるサイトの検出などの解析を行っている。上記のドメイン予測、TMHMM 解析により、これまでの *Aspergillus* 糸状菌類の解析では除けなかった偽陽性（false positives）のデータを排除することができると考えられる。予備的な解析では、各ゲノムに RiP の前駆体遺伝子候補は数十個、存在すると予測されている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】糸状菌、ゲノム、パイオインフォマティクス、リボソーム・ペプチド、二次代謝、遺伝子、酵素

【研究題目】物体の分かりやすい説明表現のための絵描き歌自動生成に関する研究

【研究代表者】金崎 朝子（人工知能研究センター）

【研究担当者】金崎 朝子（常勤職員1名）

【研究内容】

写真に写っている物体を分かりやすい表現で説明することを目的としたアプリケーションとして、本研究では物体認識技術を応用した絵描き歌自動生成システムの技術開発に取り組んでいる。未知の物体を言語で表現するとき、人はよりイメージしやすい物体を用いて「○○のような」「××を△△に乗せたような」といった比喩的表現を生成する。これを機械が実現するためには、物体の外観特徴を抽象的にとらえた上で他の物体との類似性を上位レベルで評価する必要がある、人工知能の本質的な課題といえる。

このような課題を達成するための物体認識技術は、ある特定の既知物体をデータベースに登録して後に照合できる機能（特定物体認識）だけでなく、未知の物体であっても、それが何のカテゴリであるかを推定できる機能（一般物体認識）が要求される。さらに、絵描き歌の素材として様々な物体を認識するためには、各物体カテゴリを代表するような一つの決まった姿勢のみを学習するのでは不十分であり、あらゆる回転姿勢の物体をさまざまな方向から観測して認識できるように学習する必要がある。そこで、今年度は、回転台を用いた撮影およびインターネット上で収集した三次元物体の CAD モデルのレンダリングを用いて、物体を様々な方向から見たマルチビュー画像を学習し、物体のカテゴリと姿勢を同時に認識する手法を開発した。さらに、画像全体から個々の物体に喩えるための領域を自動抽出するために、画像セグメンテーション手法の開発を進めた。人による教師データ作成を必要としない教師なし学習の新たな手法を提案し、複数の既存手法との比較実験を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】物体認識、画像セグメンテーション、機械学習

【研究題目】大規模空間における避難訓練の科学的解析に基づく屋内避難経路ピクトグラムの作成

【研究代表者】大西 正輝（人工知能研究センター）

【研究担当者】大西 正輝（常勤職員1名）

【研究内容】

入手した3つの大きな劇場の平面図をもとに避難経路を調査し、一手先の経路に関しては十字、丁字、ト字の合計3種類であること、その先の二手先の経路に対しても十字、丁字、ト字の3種類の経路に対して左右対称性などを利用しながら組み合わせることで全て表現できることが分かった。三手先を考えるとピクトグラムに示す

経路が複雑になるため扱わないものとして、最大で二手先までのピクトグラムを考えた場合には一手先のものが3種類、二手先のものが15種類の基本図形を組み合わせて左右対称性などを利用することですべての経路を表現できることが分かった。また、駐車場の案内図など幾つか実際の誘導のために用いられている経路表示の看板を調査したが、経路を知らない人に対しても直観的に理解しやすいものはなかった。施設の避難誘導ピクトグラムは初めて施設に来た人にとっても迷わないように分かりやすいデザインにする必要があることから、もっと直感的に理解できるようにデザインを工夫する必要があると考えている。現在15種類のラフなデザイン画を作成している途中であり、その完成後、実際のデザイナーにピクトグラムをデザインしてもらう予定にしている。一方で、人は身に差し迫った危機にさらされない場合には、実際にはなかなか避難しないことが知られている。そこで実際に逃げるアナウンスが流れても非難しない様子の映像を用いて非難しない心理についての分析を行った。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 減災、可視化、認知科学

【研究 題 目】 Real-time, Best-effort Query Processing of Semantic Web data

【研究代表者】 Steven Lynden (人工知能研究センター)

【研究担当者】 Steven Lynden (常勤職員1名)

【研究 内 容】

Ongoing research was performed into the development of techniques for Linked Open Data query processing and semantic information retrieval. In particular, research was performed to investigate the hypothesis that analysing URL structure may be a promising technique when determining, from a large set of possible URLs, which ones to investigate to retrieve relevant structured (semantic) Linked Open Data. Two complementary approaches were developed for eliminating or reducing the reliance of applications on centralised knowledge bases and third-party search services for retrieving structured data. Both approaches utilise machine learning techniques to analyse URL content alone, exploiting the emergence of conventions such as Semantic URLs, to aid the discovery of structured data. The study, focusing on data obtained from DBpedia resources representing creative works such as movies and books, and associated Google search results, provided a proof-of-concept of the proposed approach, which is described in [1]. The results are expected to be of use in the development of Linked Open Data query processing systems, where they can be applied as optimisation techniques to increase efficiency and

reduce query response times. This will be the focus of ongoing work which the research has helped to facilitate.

[1] Steven Lynden. Analysis of Semantic URLs to support automated linking of Structured Data on the Web. Web Intelligence Mining and Semantics (WIMS) Conference 2017, June 2017, Amantea, Italy.

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 リンクトデータ、セマンティック Web、データベース

【研究 題 目】 集合移動パターン分析によるセマンティック軌跡データベースの研究

【研究代表者】 金 京淑 (人工知能研究センター)

【研究担当者】 金 京淑 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

通信技術、測位技術の発展に伴い、ヒトやモノなどの大規模な軌跡データが容易に取得可能になった。本研究では、こうした大規模な移動軌跡データから精度の高い知識を効率良く獲得することを目的として、「動き」に関する有用なパターンを発見し、意味を付与するセマンティック軌跡のフレームワークの要素技術とデータ管理技術の研究開発を行う。本研究は3年間かけて、セマンティック軌跡データの生成フレームワークの実現(初年度)、多次元セマンティック軌跡モデル及びデータベースの構築(28年度)、モデル検証及び実証実験用のマッシュアップサービスの実装(29年度)を行う。

28年では、セマンティック軌跡のフレームワークから生成される軌跡データに意味付けを行い、大量なセマンティック軌跡データを管理するデータベース技術の研究開発を行った。特に、意味的なエピソードの意味情報および時空間的なトポロジー関係をフレキシブルに組み合わせ検索するインタフェースを定義し、CassandraというNoSQL基盤にデータ処理の機能を実装した。また、データの有用性と利用のポジティブフィードバックを推進するため、地理情報に関する国際標準化団体OGCに移動体の位置情報へのデータアクセス仕様(OGC国際標準規格として採択)作成に参加し、そのプロトタイプシステムの開発において、本研究の一部分の成果を利用している。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ビッグデータ、時空間データ分析、ストリーム処理、可視化

【研究 題 目】 ベイズ推論にもとづく全自動かつ高速なテンソル分解のモデル選択法

【研究代表者】 林 浩平 (人工知能研究センター)

【研究担当者】 林 浩平 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、テンソル分解において重要なハイパーパラメータであるランクの自動決定を行う手法の開発を目的とした。本研究の計画は4つの項目から成り立っており、それぞれ「項目1：FAB 推論アルゴリズムの連続隠れ変数モデルへの一般化」、「項目2：主成分分析の全自動モデル選択法の開発」、「項目3：Tucker 分解の全自動モデル選択法の開発」、「項目4：CP 分解の全自動モデル選択法の開発」となる。

前年度において、項目1および項目2を達成した。今年度はこれを下地として項目3および項目4に取り組んだ。しかしながら、研究途中において項目3・4を達成するためには計算アルゴリズムにおけるスケーラビリティの問題が発生することを確認し、それが解決困難であることを認めため、方向転換を行った。具体的にはベイズ的手法にこだわらず、より基礎的な頻度論に基づくランク決定方法を開発した。これは上記のスケーラビリティの問題を解決しており、大規模なテンソルに対しても十分計算可能な方法となっている。これをもとに項目3を達成する手法を開発し、論文としてまとめ国際会議NIPS への投稿を行った。また項目4への適用も引き続き行っており、近いうちに論文として発表予定である。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 機械学習、人工知能、ベイズ学習

〔研究題目〕 多様な読み手のための単語難易度指標の統計的構築手法の開発

〔研究代表者〕 江原 遥 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 江原 遥 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、「理系学生が学ぶべき英単語の列挙」や「難しい日本語の簡単な英語への翻訳」などの第二言語学習者支援のための単語難易度指標の統計的構築方法を開発することである。具体的には、専門分野の考慮や、言語間での単語難易度の比較を可能とする単語難易度モデルを構築する。

本年度の目標は、「読み手集合を特徴に分解する分解モデル (例えば、日本語を母語とする英語学習者を、英語学習者+日本語母語話者といった特徴に分解する)」と全モデルの統合である。

本年度は、この分解モデルに関する研究を行い、本年度末に行われた言語処理学会にて発表した。母語話者を対象にした調査ではあるものの、言語心理学分野では、読み手の単語に対する親密度や、単語が意味するものをどの程度の度合いで想像できるか、といった言語心理学的指標の大規模調査が行われており、言語資源なども整備されている。そこで、この研究では、これらの指標を専門分野ごとの特徴に分解し、各専門分野が指標の値の予測にどの程度貢献しているかを計測する手法を提案した。この手法は、用いるデータを母語話者を対象にした

データから第二言語学習者を対象にしたデータに変更すれば、そのまま本研究課題に適用可能である。

全モデルの統合についても、「読み手が知っている単語を推定するモデル (単語推定モデル)」は、これまでの研究成果で得られているので、困難なく実現できるめどがたった。

また、既に前年度の論文採択時に業績に含めたので再度の記載は行わないが、本研究に関連する研究が、人工知能分野におけるトップ国際会議 (査読付き) である The 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-16) に採択されており、本年度内に発表した。

本年度は、当初からの目標であった、「読み手集合を特徴に分解する分解モデル (例えば、日本語を母語とする英語学習者を、英語学習者+日本語母語話者といった特徴に分解する)」を提案することができた。さらに、全モデルの統合にもめどがたったため、おおむね順調に進展していると言える。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 自然言語処理、項目反応理論、難易度推定

〔研究題目〕 ゲノム3次元構造データに基づく共局在遺伝子の網羅的探索

〔研究代表者〕 齋藤 裕 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 齋藤 裕 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

目標

HiC データから共局在遺伝子を網羅的に探索する情報解析手法の開発

研究計画

H27：提案手法のプロトタイプ開発

H28：提案手法のソフトウェア公開、論文投稿

年度進捗状況

ゲノムの形成する染色体規模の3次元構造において、複数の遺伝子領域が空間的に近接 (共局在) することで協調的な発現制御を受ける例が報告されており、遺伝子制御の新たなパラダイムとして注目を集めている。近年、HiC などの実験技術の登場によりゲノム3次元構造の大量データが得られるようになったが、遺伝子の共局在について網羅的な解析を行うための情報基盤は整備されていない。そこで本研究は、HiC データから共局在遺伝子を網羅的に探索する情報解析手法の開発を目的とする。また、この手法を様々な細胞種の HiC データに適用して、同定された共局在遺伝子に対して公開オミクス情報を活用した機能アノテーションを行う。

本年度は、昨年度に開発した手法のプロトタイプを改良して、ソフトウェア Cosearge として実装した (<https://github.com/yutaka-saito/cosearge>)。Cosearge を胚性幹細胞の HiC データに適用して、共局在遺伝子

の網羅的探索を行った。これにより、先行研究において提案された topologically associated domain などの概念に依存しない新しい共局在遺伝子を多数発見することができた。さらに、発見した共局在遺伝子に対して ENCODE の ChIP-seq データによる機能アノテーションを行った。その結果、胚性幹細胞に特異的な転写因子である NANOG や POU5F1 によって協調的な発現制御を受ける共局在遺伝子を同定することができた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】エピゲノム、ゲノム3次元構造、バイオインフォマティクス

【研究 題 目】サービス現場を活性化させる現場起点の業務デザイン知識循環手法の開発

【研究代表者】渡辺 健太郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】渡辺 健太郎（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、従業員が実施している業務設計結果を、各種支援ツールを用いて形式化・共有可能にすることにより、人材育成の促進、サービスの品質の向上・安定化を図り、生産性の向上を実現することを目的とする。

本年度は、前年度に開発した、業務デザイン事例の表現、並びにその表現要素に意味づけを行うためのインタフェースを実装したタブレット端末用アプリケーションについて、主に介護職員を対象としたテストを実施した。まず、タブレット端末用アプリケーションを利用した業務デザインとその表現結果の意味づけ・モデル化を行うプロセスをワークショップの形式に整備した。本ワークショップの目的は、業務中の状況や課題を想定し、新しい業務プロセスや方法、知識の表現を試行すると共に、データの再利用性を高めるための表現データの意味づけとモデル化を行うことである。本ワークショップをまず国内の介護施設の介護士を対象に実施した後、プロセスの見直しを行い、海外の連携先であるフィンランドの研究機関の協力を得て、フィンランドの訪問介護、施設介護それぞれの介護職員に対しても適用した。ワークショップの結果は現在分析中であるが、異なるサービス環境下における表現・意味づけの結果やその過程の分析から、適用したアプリケーション、並びにプロセスに対する要件の共通性、個別性を明らかにし、汎用化を進めることができると考えている。次年度は意味づけ手法により付与された意味タグを用いた、業務のデザイン事例の検索・活用手法の開発を進めると共に、タブレット用アプリケーション、ワークショッププロセスと合わせて開発手法の試用・評価を進める。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】サービス設計・デザイン、設計支援

【研究 題 目】金星成層圏での風速変動メカニズムの解明

【研究代表者】神山 徹（人工知能研究センター）

【研究担当者】神山 徹（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究課題はこれまで安定と思われてきた金星大気スーパーローテーションに近年見出された時間変動性について、観測的事実・理論の両面からその成因を探ることを目的としている。本年度は1. 現実的な金星大気場のなかで東西風速に取りえる変動を与え、惑星スケールの Kelvin 波、Rossby 波の伝搬特性の違いを可視化、2. 金星軌道に投入されたあかつき取得の金星画像解析から、地形に固定された定在構造が大気に存在することを発見、3. あかつきデータ処理に用いたジオメトリ計算を応用し、地球観測衛星においてもこの計算が有効に利用できることを示した。

1. 過去の観測から金星雲頂高度において、東西風速に30 m/s もの変動が存在することが報告されている。この観測事実に基づき金星大気をモデル化し、変動する風速の中を Kelvin 波、Rossby 波どう伝搬するかを調査した。この結果、風速の速い、遅いの違いが Kelvin 波、Rossby 波の伝搬性に影響を与えることを示し、それぞれ異なる大気加速をもたらすことを示した。
2. 金星軌道投入時の観測であかつきが発見した巨大な弓状構造について、その後の中間赤外線カメラのデータ解析により、この構造が背景風に流されず定在する波動的現象であることを見出した。これまで見逃されていた風速を減速させうる現象であり、あかつきの主要な成果として発表されている。
3. あかつきの画像データ解析で用いられるジオメトリ計算を地球観測衛星に応用し、可視画像に写る地形の位置関係から衛星の姿勢を決定する手法を開発した。特にコストに制限のある小型衛星にとって有利な技法であることを示した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】画像解析、データ処理、地球科学、惑星科学、金星

【研究 題 目】Tree Transducers for Question-Answering over Large Databases

【研究代表者】Pascual Martínez-Gómez（人工知能研究センター）

【研究担当者】Pascual Martínez-Gómez、Yusuke Miyao、Hien Vu（常勤職員1名）

【研究 内 容】

[Goal] The objective is to use tree-to-tree transducers to generalize the current state-of-the-art string-to-tree and tree-to-tree models of grounded semantic parsing for Question-Answering over large Knowledge Bases. One of the advantages of this

generalization is that we will be able to import the techniques that have been independently developed by other researchers working on QA and leverage existing and well-studied techniques of the transducers literature such as grammar intersection, cascading or grammar composition.

[Plan] The plan comprises three lines of action. First, we need a general method to induce synchronous tree substitution grammars which are at the core of a tree transducer. Second, we need a powerful parameter estimation routine that is able to assign scores to rules that may have not appeared during the training stage. Third, we need a wide-coverage entity/relation linking mechanism to map natural language phrases to constants in the Knowledge Base (entities and relations).

[Progress in FY 2016] I have formulated the problem of tree transducer induction in terms of a tree mapping algorithm. Under this formulation, given a pair of trees, we need to find the node-to-node correspondences given a certain cost function. This approach can be seen as a generalization of the GHKM algorithm, but instead of using leaf-to-leaf hard alignments we allow the specification of an ensemble of cost functions between tree fragments. However, the search space of this generalized tree mapping algorithm is intractable (complexity: exponential with the number of nodes and factorial with the number of variables). Thus, I implemented an approximate bottom-up beam-search algorithm to carry out the tree mapping efficiently. Once the tree mapping is completed, I saved intermediate results in a hypergraph structure from which I can enumerate efficiently the productions of a synchronous grammar. I published these results as the following paper:

Pascual Martínez-Gómez and Yusuke Miyao. Rule Extraction for Tree-to-Tree Transducers by Cost Minimization. In Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing 2016, pages 12-22. Austin, Texas, USA.

[領 域 名] 情報・人間工学

[キーワード] Tree Transducers、Question-Answering、Large Knowledge Bases

[研究 題目] 現場事例と規範知識を組み合わせた業務プロセス知識の獲得に関する研究

[研究代表者] 西村 悟史 (人工知能研究センター)

[研究担当者] 西村 悟史 (常勤職員1名)

[研究 内容]

本研究の目標は、現場の状況に適応的なサービス行為

のマニュアルを構成するための方法論を構築し、サービス品質の向上に貢献することである。例えば、介護サービスでは、被介護者や価値観、環境の変化などの状況に応じた個別対応が必要となるため、属人的となり介護サービス行為の知識が共有されにくい。問題解決のための下位目標として、(1-a) 教科書レベル知識の構造的記述、(1-b) 業務記録の分析と状況の整理、(2) 現場適応型マニュアルの実装と評価を設定した。

本年度の成果を以下に示す。総体として、おおむね順調に進展していると言える。

(1-a)については、介護分野を対象を絞って、11種類の介護業務について共通知識の構造的記述を行った。それに加えて、平成29年度の実施内容にも含まれることではあるが、現場の従業員の持つ固有知識を表出し、構造的に記述する方法論として知識発現を確立した。

(1-b)については、(1-a)で記述した共通知識に埋め込まれる形で状況の整理を行った。当初予定していた介護施設における業務記録の分析は十分には進められていないが、前述の知識発現を通して、従業員の持つ現場固有の知識から、それらの業務がどのような状況で行われるのかが整理された。

次年度の計画を以下に示す。

(2) 現場適応型マニュアルの実装と評価：平成28年度の成果をもとに、知識発現をより精緻な方法論として確立する。具体的には、研究協力先である介護現場と共同で、参加する従業員の属性、人数、共通知識として用意する知識の質と量等を精緻化する。同時に、その応用に関しても検討を進める。このような想定される応用範囲を整理し、そのために必要な知識発現方法論として精緻化する。

[領 域 名] 情報・人間工学

[キーワード] 知識発現、オントロジー工学、知識マネジメント

[研究 題目] ビッグデータ解析環境への効率的なデータステージングの研究

[研究代表者] 谷村 勇輔 (人工知能研究センター)

[研究担当者] 谷村 勇輔 (常勤職員1名)

[研究 内容]

現在主流のビッグデータ解析基盤は、バックエンドの大容量ストレージとのデータ移動において、データ構造変換のオーバーヘッドや実行中の解析プログラムとの性能干渉の問題を抱えており、マルチテナントの運用や階層的なデータ保存が容易ではない。本研究では、バックエンドのストレージから高速なディスクを持つビッグデータ解析環境への効率的なデータステージングの実現を目指し、解析処理層のデータ構造を保持したままのデータ移動、バックエンド・ストレージ側での解析前後処理、性能を保証したステージング・スケジューリング手法を開発する。これにより、高速なビッグデータ解析環境の

多目的の運用や、従来的にデータ保存管理に優れたストレージシステムとの相補的な利用を可能にするを旨している。

本年度は解析処理層に Apache Spark、ステージング層に Alluxio、バックエンド層に Hadoop Distributed File System (HDFS) を用いたテスト環境を作り、Spark アプリケーションが Alluxio に対して Read や Write を行う操作と Alluxio が HDFS に対して Read や Write を行う操作が同時に行われた際の各性能を評価し、ステージング・スケジューリングの有効性を確認した。また、各層で用いられるデータフォーマットやデータ構造について調査し、ステージング対象のデータに対して解析前後処理を施すことを目標に、データ構造の変換を最小限に抑える手法の検討を進めた。また、Ceph RADOS を対象に、バックエンド層で解析前後処理を行う仕組みの実装方法について検討を進めた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】データストレージ、ビッグデータ解析、データステージング

【研究 題 目】ミトコンドリア内膜プロテアーゼにより調節をうける新規ストレス応答因子の探索

【研究代表者】今井 賢一郎 (人工知能研究センター)

【研究担当者】今井 賢一郎、深沢 嘉紀
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究は、ミトコンドリアのストレス応答制御として、内膜プロテアーゼ PARL による基質タンパク質切断による局在・機能調節に注目し、新規のストレス応答因子候補を *in silico* 解析による探索を行うことを目的としている。そこで、本年度は、PARL の基質予測パイプラインの開発を行った。既知の PARL の基質は数例しかないが、その特徴としては、1回膜貫通型の膜タンパク質であること、プレ配列を持つことである (持たない場合もある)。したがって、パイプラインの開発には、(1) 内膜タンパク質の膜貫通 (TM) 領域予測、(2) PARL による切断部位予測、(3) プレ配列予測という3つの予測技術が必要となる。プレ配列予測に関しては、開発済みのため、内膜の TM 領域を予測する技術と PARL の切断部位予測の開発を行い、組み合わせることでパイプラインの開発を行った。

ミトコンドリア内膜の TM 領域は、小胞体や細胞膜の TM 領域に比べ、疎水性も弱く、膜への組み込みに重要な物理化学的性質も異なる。そこで、1回膜貫通型の内膜タンパク質を集め、内膜の TM 領域のアミノ酸組成、物理化学的性質、ホモログ間での配列保存性を特徴量として、機械学習を行うことで、既存手法よりも高精度に内膜の TM 領域を判別できる予測法を開発することができた。次に、切断部位予測であるが、既知の

PARL の基質は数例しかないため、同じ Rhomboid 型プロテアーゼファミリーに属する AarA、GlpG、YqgP などの切断部位情報、変異実験情報を取り入れることで配列情報を増幅させ、切断部位付近の配列プロファイルを作成し、それを用いた予測法を開発した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ミトコンドリア、内膜プロテアーゼ、ストレス応答、品質管理

【研究 題 目】Regulatory DNA conserved between phyla

【研究代表者】フリス・マーティン

(人工知能研究センター)

【研究担当者】フリス・マーティン (常勤職員1名)

【研究 内 容】

The goal is to increase our understanding of how genomes evolve, and how they encode the information for producing living organisms. The method is to compare different genomic DNA sequences, to see how they vary, and understand what aspects of the sequences remain conserved. A fundamental requirement for these goals is to accurately infer the evolutionary relationships between each part of (each letter in) the sequences. This year, we finalized and published “last-train”, software that learns the rates of change between two sets of DNA sequences [Bioinformatics 33(6):926]. This is extremely useful, and enables accurate comparison of not only genomes, but also raw “reads” from new DNA sequencing technologies such as nanopore.

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ゲノム、進化、遺伝子

【研究 題 目】生物規範界面デザイン

【研究代表者】大園 拓哉 (機能化学研究部門)

【研究担当者】大園 拓哉、黒川 孝幸、平井 悠司、小林 元康、野方 靖行、鈴木 航祐
(常勤職員1名、他5名)

【研究 内 容】

生物の「動き」とその「制御」は、生物表面-環境の界面を持つ作用である。様々な環境に適応した多様な生物群を考えると、その環境下での生物の運動、物質交換、情報獲得のために進化した個性豊かな界面構造、その動き、制御機構が存在する。最近になってバイオミメティクスの観点からその一部の原理が調べられ、抽出された概念が工学へ応用されるようになってきた。そのなかで本研究では、変形能を有する界面凹凸形状と液体に濡れた (ウェット) 界面に特に着目し、そのトライボロジー機能と構造・変形の関連を人工的な材料系を構成することで調査し、生物の事例にも学びながら、より一般的な

学理を導き出す。さらにその結果を、社会ニーズの実現の観点から応用し、特にスイッチング可能なトライボロジー特性（吸脱着能、摩擦力の増減能）を有する界面を開発することを目的とする。そのため生物の体表面などに見出されるウェットかつ可逆的に変形可能な微細構造を模倣した材料を創製し、それらの構造が摩擦や潤滑、接着など表面特性に与える影響を明らかにすることで、表面・界面の機能を自在に制御（スイッチング）可能な新しい技術や原理の創出を目指している。生物特有のウェットかつ柔軟な材料（ソフトマテリアル）のトライボロジー特性を明らかにすることは学術的にも極めて重要であるが、そのためには高分子科学、無機化学、トライボロジー、付着・接着学、海生生物学、界面メカニクス、非線形科学、機械工学など当班員がカバーする幅広い異分野連携・異分野融合によって研究を進めている。最近では、凹凸形状の変化で摩擦力を大きく変化でき、かつ摩擦挙動が特異な荷重依存をする部材を開発している。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオミメティクス、トライボロジー、生物規範工学、自己組織化

【研究 題 目】サブ10フェムト秒位相制御光による非熱的原子レベルレーザーカービング技術の開発

【研究代表者】大村 英樹（機能化学研究部門）

【研究担当者】大村 英樹、鳥塚 健二、高田 英行、宮本 良之、吉田 剛
（常勤職員4名、他1名）

【研究 内 容】

本研究提案の目的は、パルス幅サブ10フェムト秒程度の光電界の操作された極短レーザーパルスによって、原子レベルで固体材料を切削・造形するレーザーカービング技術を開発することである。研究期間内での目標は以下のとおりである。(1) 非熱的レーザーアブレーション観測のための固体表面粒子放出現象計測装置の開発。(2) $(\omega+2\omega)$ 位相制御とサブ10フェムト秒に至る極短パルス化を併用することによって、レーザー誘起固体表面粒子放出現象における急速加熱効果低減の実験的検証と、非熱的レーザーカービングの基本概念を確認。(3) 時間依存密度汎関数理論を用いた第一原理電子・格子ダイナミクスのシミュレーションによる非熱的→熱的レーザーアブレーションのクロスオーバーの検証と、トンネルイオン化の解析的理論（シーガート漸近理論）による意味づけ。

平成28年度の成果は以下のとおりである。

(1) 光パルス照射下における固体表面からの放出イオン運動量及び放出角度分布の測定ができる固体表面反応制御用真空チェンバーおよび低温に冷却された固体針状試料先端の原子配列が観測できる電解イオン顕微鏡の高性能化を行った。サブ10フェムト秒程度の位相制御光

が導入できる光学窓を装備させるなどの改良を行った。

(2) 現有装置であるフェムト秒レーザーシステムを光源とした、10フェムト秒程度の極短パルス $(\omega+2\omega)$ 位相制御レーザーパルス発生装置の設計を行い、その製作に着手した。

(3) 時間依存密度汎関数理論を用いた第一原理シミュレーションでは、位相制御レーザーパルス照射下における電子ダイナミクスのコヒーレンスを検証した。得られた結果は現在論文投稿中である。また弱電場漸近理論では、多電子系について補正項に対する解析的表式を導出した。さらに核振動を理論の枠内で厳密に取り扱う理論を構築し水素分子の同位体効果を調べた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】量子制御、コヒーレント制御、レーザーアブレーション、位相制御レーザーパルス

【研究 題 目】高分子のガラス転移温度を光により巨大変化させることが可能な分子システムの構築

【研究代表者】山本 貴広（機能化学研究部門）

【研究担当者】山本 貴広（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、可塑剤分子の集合状態を光で制御することにより、高分子のガラス転移温度を光で巨大変化させることが可能な分子システムを、実験と理論が協働して創製することを目的としている。高分子のガラス転移温度に与える液晶相構造の影響を検討するために、ネマチック相の比較となるスメクチック A 相を発見する液晶化合物の探索を行った。また、本研究において対象としている高分子の光可塑性について、その一般性（適用可能な高分子）を、高分子の極性に着目して検討した。ポリメタクリル酸メチル（高極性）とポリスチレン（低極性）をそれぞれ用いて光応答性樹脂を調製し、紫外光を照射したところ、高分子に依らずガラス転移温度の光降下を誘起できることを確認した。一方で、ガラス転移温度の光降下により発現する光接着性に与える被着体表面物性の影響を、ポリメタクリル酸メチルを用いた光応答性樹脂について調べたところ、オゾンもしくはアミノフェニルシランで処理した親水性ガラスに対しては、高い接着強度を示したが、オクタデシルシラン処理した疎水性ガラスに対しては、接着強度が親水性ガラスに比べて50分の1に低下した。これらの結果から、高極性高分子であるポリメタクリル酸メチルを用いた光応答性樹脂は、疎水性表面に対しては接着力が著しく低下することを明らかにした。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】高分子、光可塑性、粘着、接着

【研究 題 目】光駆動型有機・無機ハイブリッドナノ空

間を用いたバイオリクターの創製

【研究代表者】 亀田 直弘（機能化学研究部門）

【研究担当者】 亀田 直弘（常勤職員1名）

【研究内容】

光応答性ユニットとしてアゾベンゼンを含有するペプチド・糖脂質分子を水中で自発的に組織化し、有機ナノチューブを選択的に調製することができた。凍結乾燥した有機ナノチューブに酵素を添加したところ、毛細管力により、有機ナノチューブ内空間に酵素が効率的に包接された。酵素を包接した有機ナノチューブの分散水溶液と表面に親水基と疎水基を併せ持つ磁性ナノ粒子の分散水溶液を混合した結果、有機ナノチューブの両端を磁性ナノ粒子でキャッピングすることに成功した。

得られた有機・無機ハイブリッドナノチューブは、紫外光照射によるアゾベンゼンユニットのトランス→シス構造異性化に伴い、内径サイズや膜厚を維持しつつ、ヘリカルナノコイルへと形態変化した。これにより、酵素が包接されたヘリカルナノコイルへの反応基質の取り込みが可能となり、酵素触媒反応がオンとなった。一方、続く可視光照射によるアゾベンゼンユニットのシス→トランス構造異性化は、再びナノチューブへの形態変化を誘起し、酵素触媒反応をオフにした。磁石を用いて、反応溶液中からナノチューブを簡単に回収することができた。

可逆的な形態変化後もナノチューブやヘリカルナノコイルの内空間から、酵素と磁性ナノ粒子の放出が起こらないことを確認した。バルク水溶液中の酵素は、時間の経過や反応の繰り返し操作により、次第に触媒活性が失われていったが、本系では同条件下も高い触媒活性を維持できることが明らかとなった。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 自己組織化、有機無機複合化、ナノ空間、酵素、ナノリアクター

【研究題目】 ハイブリッド化による高機能バイオポリマー漆膜の創製

【研究代表者】 渡邊 宏臣（機能化学研究部門）

【研究担当者】 渡邊 宏臣（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、天然物である漆と他の素材とを複合化することにより、漆膜が元来有する堅牢性などの優れた特性を強化し、高機能性コーティング材料としての展開を図ることを目的としている。本年度は、これまで行ってきた有機-無機ハイブリッド系に加え、側鎖を飽和させた水添ウルシオールとの複合化について研究を推し進めた。実際には、水添ウルシオールとウルシオールの比率が異なるハイブリッド膜を作製し、その機械的強度測定などの物性評価を行った。その結果、水添ウルシオール比率の増加は極限引張強度やヤング率の低下をもたらし、ヤング率を例にとると70 mol%においてウルシオール単独

と比べて約半分の0.4 GPa程度となることが明らかとなった。しかしながらそれ以上の高濃度においては、極限引張強度とヤング率の両方が再び上昇に転じ、水添ウルシオール単独膜では、ヤング率を例にとるとウルシオール膜の約8割程度まで回復することも明らかとなった。この複雑な挙動は、二つの相反する要素に起因すると思われる。その一つが二重結合の寄与であり、水添ウルシオールの増加は架橋密度の低下をもたらし、結果、機械的強度が低下する。しかしながら、側鎖構造が均一である水添ウルシオールは、XPS 測定および接触角測定より明らかであるように高濃度になるに従って側鎖のパッキングと表面への偏析を生じ、これが高濃度領域で高い機械的強度をもたらしたものと考えられる。今年度得られたこの知見は、本研究の目的とする漆の高機能性コーティング材料としての展開だけでなく、他の天然材料から高機能性コーティング材料を得る際にも新しい材料設計指針として有用であるものと考えられる。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 バイオベース材料、薄膜、漆

【研究題目】 光によるナノ炭素材料の界面物性制御技術の高度化

【研究代表者】 松澤 洋子（機能化学研究部門）

【研究担当者】 松澤 洋子、根来 千絵
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

各種のカーボンナノチューブ（CNT）は、ナノ炭素材料の一つとして、種々の産業応用が期待されている。しかし、CNTは溶解性に乏しく、精製や分離、ならびにデバイス応用を目的とした材料への導入、複合化等において、CNTのハンドリングや加工技術の開発が求められている。このような社会的背景を鑑み、CNTの扱いを簡便化するための産総研独自の材料（光応答性分散剤）を開発してきた。本研究では、研究代表者がこれまでに確立した光応答性分散剤による単層カーボンナノチューブ（SWCNT）の分散制御技術を高度化し、新規SWCNT薄膜加工技術として展開してゆくために、まず現行の光応答性分散剤が抱える課題（不可逆反応・多段階反応）を克服する新規光応答性分散剤（可逆で一段階反応）を設計合成し、その物性評価を行うことを目指している。昨年度までに、可逆な光反応を示す光応答性分散剤を数種類合成し、SWCNTを分散できることを確認してきた。本年度は、これまでに確立した光応答性分散剤を用いて調製した塗布用インクに、光学的な異性を示す相が発現することを見出した。この相は濃度に依存し、最適な濃度が存在することがわかった。また、このインクに機械的な配向操作を施すと、SWCNTが面内に並んだ薄膜を得ることができた。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 ナノチューブ、有機電解質化合物、有機

光化学、コロイド界面化学

〔研究題目〕多官能アントラセン誘導体の合成と可逆相構造制御

〔研究代表者〕秋山 陽久（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕秋山 陽久（常勤職員1名）

〔研究内容〕

室温での安定状態が液体である場合と固体である場合を可逆的に制御できる無色の化合物群を合成し、その特性を明らかにすることを目的としている。対象となる分子の基本構造は、光二量化反応を示すアントラセンユニットを一分子中に複数もつ糖アルコール誘導体である。すでにアントラセンの6量体構造で液状化合物の合成に成功し、この化合物が光二量化反応による架橋体の生成と熱解離反応によって繰り返し液体状態と固体状態をとることがわかっている。これらの化合物は、ニートでは液体時の粘性が高く取り扱いが難しかったが、本年度分子構造を調整することによって、繰り返し液化する性能を保ったまま液体時の粘性を引き下げることに成功した。また、硬化時に不可逆光反応物が生成してしまうために戻りの液化特性に問題があったが、光照射波長を厳密に制御することで副反応を抑えられることがわかり、これによって繰り返し特性を向上させることにも成功している。この液化に必要な熱分解反応の反応温度依存性を詳細に調べた結果、複数の異性体がこの反応に関与していることが分かった。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕アントラセン、光二量化、接着、可逆

〔研究題目〕安全でしなやかな酵素燃料電池実現のための酵素－電極界面材料開発

〔研究代表者〕青柳 将（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕青柳 将、西山 舞、栗田 遼二（バイオメディカル研究部門）
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

本研究ではメディエーター不要な、直接電子移動により発電可能な酵素を用いて、集電材の炭素材料の酸化状態および、カチオン性高分子のポリエチレンイミンの有無の電極反応への影響を調べた。具体的にはアノード用酵素にフルクトースデヒドロゲナーゼ、カソード用酵素にビリルビンオキシダーゼを選択した。集電材として用いるナノサイズの炭素材料にはカーボンブラックナノ粒子を用いた。カーボンブラック上の官能基を増やすために過酸化水素水中で加熱して酸化処理をおこなった。カーボンブラックに添加するポリアミン材料として、アミノ基含有有機ナノチューブのモデルとして、すべてのアミノ基が共有結合で固定化されたポリエチレンイミンを用いた。

以上の部材を用いて電極を作成し、フルクトースを溶解した pH5緩衝液中でサイクリックボルタンメトリー

を測定した。

カーボンブラックの XPS を測定したところ、酸化処理前のカーボンブラックにも酸素由来のシグナルが観測され酸素官能基がわずかに存在することが確認されるが、反応後の試料ではシグナル強度が増大し、含有酸素の増加が示唆された。また酸化処理したカーボンブラックを用いた CV 測定では、アノード、カソードの両方で電流値が低下した。ポリエチレンイミンの添加については、カソードで電流値が増大した。これらの違いは緩衝液の pH における、各部材の表面電位、親疎水性が影響していると考えられる。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕酵素燃料電池、カーボンブラック、カチオン性高分子

〔研究題目〕並行複発酵に最適なキシロース発酵性酵母創製に向けた基盤研究

〔研究代表者〕松鹿 昭則（機能化学研究部門）

〔研究担当者〕松鹿 昭則（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、耐熱性酵母 *Kluyveromyces marxianus* DMB1株耐熱性機構やキシロース代謝調節機構を明らかにし、並行複発酵の高温条件下で、六炭糖と同程度の発酵効率でキシロースから各種の燃料や有用物質を生産するための新たなプラットフォーム酵母を創出するための研究基盤を確立することを目的とする。そのために、*K. marxianus* DMB1株の優れた高温耐性機構や酸素の有無で異なる五炭糖代謝制御機構などの未だ解明されていない基礎的な問題を解決し、さらに DMB1株を並行複発酵の最適なツールとして展開するために、DMB1株に導入するキシロース代謝酵素群の改良（耐熱化）等を行い、高温下での効率的キシロース発酵法を確立する。

本年度、DMB1株から高温耐性遺伝子の単離を試みた。そのために、DMB1のゲノム DNA ライブラリーを構築し、*Saccharomyces cerevisiae* BY4742株に形質転換し、41℃で培養した。尚、この温度では、DMB1は生育できるが、BY4742株は生育が著しく低下することを確認した。その結果、生育が良好な高温耐性酵母株として、5コロニー取得し、この中の1株からプラスミドを単離し、再度 BY4742株へ形質転換した。得られた高温耐性遺伝子発現株は、41 において、ゲノム断片を含まない対照株と比べて、濁度（OD 値）が最大で2倍以上増加し、優れた増殖を示すことを確認した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕耐熱性酵母、高温耐性遺伝子、ゲノム DNA ライブラリー、スクリーニング

〔研究題目〕動きを生み出す分子集合体：静電気応答性の解明と応用

〔研究代表者〕神徳 啓邦（機能化学研究部門）

【研究担当者】神徳 啓邦（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、分子集合体が示す特異な静電気応答現象のメカニズム解明と応用研究を模索するものである。当該年度は①分子集合体の構造解析と、②静電気応答性の定量化・ライブラリ化についての取り組みを行った。①に関しては、正と負、真逆の静電気応答性を示す二種類の分子集合体について UV-vis 吸収スペクトル測定や、FT-IR スペクトル、ゼータ電位測定によって評価をおこなった。また、静電気応答性を示さない分子集合体と静電気応答性を示す分子集合体にクロロホルムを加え、集合構造を破壊した溶液についても比較測定をおこなった。これらの結果より、分子の配向状態が静電気応答性に大きくかかわっていることが確認された。また、ゼータ電位測定の結果、同一の静電気発生源に対して異なる応答性を示した分子集合体は、溶液中での分子集合体の表面電位も正と負で異なっていることが確認された。これらの結果については、国内学会にて成果発表をおこなった。②については、イオン性化合物や、双極子モーメントの大きな化合物を合成し、分子集合体の形成と静電気応答性の確認をおこなったが、これまでのポルフィリン誘導体と同様の静電気応答現象を示す化合物を得ることはできなかった。

【領域名】材料・化学

【キーワード】分子集合、静電気応答、ポルフィリン、自己組織化

【研究題目】糸状菌アクレモニウム・セルロリチカスの糖化酵素遺伝子の発現制御機構の解析

【研究代表者】藤井 達也（機能化学研究部門）

【研究担当者】藤井 達也（常勤職員1名）

【研究内容】

セルロース系バイオマスを原料とした有用物質の生産過程において、糸状菌が生産する糖化酵素は中間体である単糖の生成に用いることができる。糸状菌タラロマイセス・セルロリチカス（旧称アクレモニウム・セルロリチカス）が生産する糖化酵素は既に実用化され、他の糸状菌のそれよりも優れている点があることから注目されている。本研究では、未解明な部分の多い本菌の糖化酵素遺伝子の発現機構を明らかにし、得られた知見を酵素生産性の向上へ役立てることを目的とする。これまでの検討で、*tacA* 遺伝子や *tctA* 遺伝子、Hap complex 遺伝子といった転写調節因子が本菌の糖化酵素遺伝子の発現に寄与することを見出した。また、新規な転写調節因子を探索する過程で、相同組換え能が飛躍的に向上した株の取得、および糖化酵素遺伝子の発現に重要なプロモーター領域の特定といった成果を得た。

本年度は、研究代表者が海外の大学へ1年間研究留学に派遣されていたため、研究成果の公表を中心に科研費

活動に取り組んだ。具体的には、①昨年度までに得られた研究成果をまとめた論文が海外英文誌に採択、②留学先でのミーティングや帰国後の国内学会といった複数の会議で口頭発表、といった成果を得た。

今後、本研究で得られた成果により、本菌の糖化酵素遺伝子の発現メカニズムが更に明らかとなり、酵素生産性が向上することが期待される。

【領域名】材料・化学

【キーワード】酵素、遺伝子、セルロース、バイオマス

【研究題目】レジリンモデルポリペプチドから成る超弾性繊維の創製及び機能制御

【研究代表者】福岡 徳馬（機能化学研究部門）

【研究担当者】福岡 徳馬（常勤職員1名）

【研究内容】

エラスチン、コラーゲン等に代表される弾性タンパク質は、人間や動物、昆虫などの生物の細胞や組織・器官を構成している構造タンパク質として知られている。中でも昆虫の骨格タンパク質である「レジリン」は、合成ゴムをはるかに凌ぐ90以上の高いレジリエンス（復元力）と、何十億回と伸縮を繰り返しても劣化しない高耐久性を示すことから、近未来の天然超高弾性繊維として期待される。本研究では、レジリンをモデルとした人工ポリペプチドを設計・合成し、ペプチド鎖中のチロシン残基の酸化カップリングにより構造・機能を制御した超高性能バイオエラストマーの創製に取り組む。

本年度は、前年度設計したショウジョウバエ及びハマダラカ由来レジリンに見られる3種類の繰り返しアミノ酸配列（11～15アミノ酸）をコードするDNA塩基配列について、配列の一部を改変することで、目的ポリペプチドの生産性が改善し、上記3種類のアミノ酸配列が8～32回繰り返されるポリペプチドを過剰生産させることに成功した。さらに、各々の繰り返しアミノ酸配列が連結したブロック共重合体状のハイブリッドポリペプチドを得ることに成功した。これらのレジリン模倣ポリペプチドは His-Tag タンパク質として Ni アフィニティーカラムで回収できることを確認し、その分離精製条件を確立した。

今後は得られたポリペプチドを十分な量確保し、これらを用いてチロシン残基の酸化カップリングを行い、ハイドロゲル等を調製して機械物性や粘弾性等の評価を進める。

【領域名】材料・化学

【キーワード】ポリペプチド、レジリン、人工タンパク質、弾性繊維、微生物生産、遺伝子組換え、酸化カップリング、バイオベース素材

【研究題目】低電圧で駆動する折り紙アクチュエータの開発

【研究代表者】原 雄介（機能化学研究部門）

【研究担当者】原 雄介（常勤職員1名）

【研究内容】

高分子アクチュエータは、軽量・柔軟・成型加工性の高さを有し、金属疲労が発生せず、無音・無発熱で駆動することを特徴としている。このような特徴を有する高分子アクチュエータは、微細化しても駆動するため、マイクロ空間で駆動制御が可能なマイクロアクチュエータへと発展させることが可能である。本研究では、全てが有機物で構成され、低電圧で駆動する非常に薄いペーパーアクチュエータの開発を目指した。このような非常に薄いアクチュエータは、近年注目を浴びているマイクロチップ等の微細な空間内で駆動するマニピュレーターやバルブとして活躍することが期待されている。本年度は、導電性高分子である PEDOT/PSS をペーパーアクチュエータの電極として採用した電気二重層キャパシタタイプの薄膜アクチュエータに関して検討を行った。PEDOT/PSS 薄膜の間に絶縁性の水溶性の高分子を塗布することで、アクチュエータとして機能させることが可能である。このようなペーパーアクチュエータは低電圧で駆動させることができるが、駆動時のジュール熱が駆動に大きな影響を与えることが明らかになった。現状ではアクチュエータの形状を工夫することで、マイクロチップ内部でバルブ等として応用可能な検討を行っている。今後は得られた知見を基に、PEDOT/PSS のさらなる性能向上を目指すとともに、実用化検討を行ってきたい。

【領域名】材料・化学

【キーワード】ソフトアクチュエータ、導電性高分子、低電圧、電場応答

【研究題目】高効率キシロース資化性酵母創製に向けた基盤研究

【研究代表者】蒲池 沙織（機能化学研究部門）

【研究担当者】蒲池 沙織（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、主として熱耐性を付与した触媒反応系の導入により、高温域で高いキシロース資化能を有する酵母の創製を目的とする。具体的には、キシロース代謝に関わる一連の酵素群の構造を X 線回折法により決定し、示差走査熱量測定（DSC: Differential scanning calorimetry）による変性機構の解明を行い、これら酵素の物理化学的知見に基づき、高温域で高活性な改変型酵素を創製する。そしてこの改変型酵素遺伝子を酵母 *Saccharomyces cerevisiae* へ導入し、高温でのキシロース資化能への効果を検証する。

本年度、キシロース代謝関連酵素群の発現・精製および結晶化条件の確立を試みた。そのために、一連のキシロース代謝関連酵素群について His タグを付加した大腸菌発現用のコンストラクトを構築し、大腸菌株 BL21

(DE3) 株へ形質転換後、大量培養を行い、菌体破碎上清において目的酵素の発現を確認した。精製した野生型酵素については、DSC を行い、変性温度 T_m を指標として熱安定性を評価した。また、良質な結晶化条件の検討を行い、 2.0\AA の高分解能データを大型放射光施設で収集した。さらに、熱安定性に寄与する変異箇所の特定期および変異体の調製を行い、変性温度測定と活性測定の二点から、変異箇所のスクリーニングを実施した。

【領域名】材料・化学

【キーワード】*Saccharomyces cerevisiae*、キシロース資化、耐熱性酵素、X 線結晶構造解析

【研究題目】固液界面レーザー誘起反応を利用した透明樹脂上への微細周期構造付加技術の開発

【研究代表者】中住 友香（機能化学研究部門）

【研究担当者】中住 友香（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、金型を用いることなく微細な構造体を作製可能な方法の開発を目指して、レーザー光の干渉と光重合反応を組み合わせた、金型やフォトマスクを必要としない直接描画型の微細構造体の作製手法の開発を目標としている。本検討では、安価で汎用性が高い波長 405 nm 半導体レーザー光を用いて、4光束・干渉光学系の新規開発を行った。開発した光学系はシャッターを用いることで、1光束から4光束まで選択的に基材に照射可能で、2光束以上で干渉光を作り出すことができる。光重合を行う反応溶液には、アクリル系のモノマーと光ラジカル開始剤を混合させたものを採用した。その結果、2光束を干渉させた場合には縞状の微細構造体が、また3光束もしくは4光束を干渉させた場合はドットアレイ状の構造体が形成可能なことを明らかにした。構造体形成の際、反応液に含まれる開始剤濃度が微細構造体形成の可否に大きな影響を与えることが明らかになった。レーザー顕微鏡を用いた微細構造体の評価により、サブミクロン周期の微細構造体の形成を確認した。また、本研究で得られた知見を様々な分野へ応用するため、本検討で得られた知見が分析用途で多用されているフェーズドシリカ基材に応用できないか検討を行った。その結果、フェーズドシリカの表面電位に起因して発生する電気二重層を制御可能な表面被覆方法の開発を行うことができた。今後は、反応溶液組成の最適化を図ることで、光の干渉を利用した周期構造体の形成に関わる制御因子を探る。また、周期構造体のゲル化検討も行うことで、多様な機能を有する微細構造体を作製できないか検討を行う。本検討で得られた知見については、学会発表等を通して広く公表するとともに、国際論文誌等に詳細を積極的に報告していく予定である。

【領域名】材料・化学

【キーワード】半導体レーザー、微細構造体、干渉、ド

ットアレイ、高分子

【研究題目】 オールナノカーボン電極による透過型有機太陽電池の研究

【研究代表者】 藤井 俊治郎（機能化学研究部門）

【研究担当者】 藤井 俊治郎（常勤職員1名）

【研究内容】

近年、透過型の有機薄膜太陽電池は、ビニールハウス、建物の窓やブラインドなどサンシェード機能を持つ部材などへの応用が期待されている。最近研究が活発に行われている低ギャップ半導体ポリマーと C₇₀フラーレン誘導体を活性層に用いた有機薄膜太陽電池は、可視光のほぼ全波長領域の光を吸収する。本年度は、同材料を用いた透過型太陽電池において、本性質を利用した色制御の新技术を提案した。上部電極の金属材料を変えることにより、同一の活性層材料での色制御を試みた。酸化モリブデン/金属極薄膜（金、銀、銅/アルミニウム）を上部電極として用いることにより、ITO/ガラス基板上に作製した透過型有機薄膜太陽電池の色をグリーン、ブルー、グレーに変えることができた。両面からの発電を確認でき、ITO 側から入射した場合、金属材料によらずほぼ同等の性能を示すことが分かった。一方、高い光電変換効率を持ち塗布形成可能な有機無機ハイブリッド型ペロブスカイト太陽電池が次世代の太陽電池として期待されている。そこで本年度は、ナノカーボン材料を部材として用いた有機無機ペロブスカイト太陽電池の作製にも取り組んだ。一般的に正孔輸送層に用いられている導電性高分子は、強酸性・吸湿性を持つため、素子の劣化を早めるなどの問題が懸念されている。本研究課題では、酸化グラフェンを採用し、正孔輸送材料として適用できるかどうか検証した。その結果、従来の導電性高分子、酸化グラフェンを用いた太陽電池の発電効率は最大でそれぞれ5.0%、4.1%を示した。ペロブスカイト太陽電池の正孔輸送層として、酸化グラフェンが適用可能であることが分かった。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 有機薄膜太陽電池、ペロブスカイト太陽電池、グラフェン

【研究題目】 非可食バイオマスの直接発酵を可能とする宿主微生物の開発

【研究代表者】 秋田 紘長（機能化学研究部門）

【研究担当者】 秋田 紘長（常勤職員1名）

【研究内容】

木質系非可食バイオマスの全主成分から有用物質の発酵生産を可能とする宿主微生物を開発するため、好気性好熱性細菌 *Ureibacillus thermosphaericus* が有するリグニン分解活性を解析した。その結果、*U. thermosphaericus* が有するリグニン分解活性は、既知のリグニン分解微生物が有する活性と比べて、著しく低いことが明らかとなった。

U. thermosphaericus のリグニン分解活性を酵素・遺伝子レベルで解明するため、ゲノムシーケンスを解読した。解読結果より、*U. thermosphaericus* にはリグニン分解に必要とされる複数種の酵素が備わっていない、または、それら酵素の活性が低いことが推察された。

高いリグニン分解活性を有する微生物を新たに分離するため、自然界に存在する環境土壌を用いて広範なスクリーニングを行った。その結果、木質系非可食バイオマスの全主成分のうち、複数種の成分を炭素源として利用可能な微生物を分離した。また、本分離微生物は、*U. thermosphaericus* と同様の優れた増殖速度を示した。以上の実験結果から、今後は、本分離微生物を利用して宿主微生物の開発を行うことを判断した。

【領域名】 材料・化学

【キーワード】 木質系非可食バイオマス、リグニン、*Ureibacillus*

【研究題目】 実験と理論の連携による可逆的固液光相転移の機構解明

【研究代表者】 木原 秀元（機能化学研究部門）

【研究担当者】 木原 秀元、下位 幸弘、秋山 陽久、則包 恭央、松澤 洋子、深田 環、松本 祐樹、田中 智子（常勤職員5名、他3名）

【研究内容】

我々は、有機色素であるアゾベンゼンを鍵官能基として用いることにより、温度を変化させることなく光照射のみによって液化・固化を自在に繰り返す（可逆的固液光相転移）新奇化合物群を開発し報告してきた。本研究では、未だ十分に明らかになっていないこの可逆的固液光相転移のメカニズムを実験計測的および計算科学的手法の両方のアプローチにより解明すること、さらに解明されたメカニズムを基に高速な光相転移を示す化合物を開発することを目的とする。

本年度は、昨年度に引き続き、理論と実験によるデータを比較するために結晶構造が既知である単純な分子構造を持つアゾベンゼンの単結晶薄膜を作成し、その光学吸収スペクトルの実測について検討した。約500ナノメートルのギャップを持つサンドイッチセル内にて、目的のアゾベンゼンの単結晶膜を、光学顕微鏡観察下において成長させることに成功した。この結晶薄膜を用いて偏光吸収スペクトルを測定し、結晶の吸収異方性を実測した。得られた実測結果と、密度汎関数法による遷移双極子相互作用による理論的なスペクトルを比較した。その結果、実験結果を理論計算が定性的に再現できていることが明らかになった。また、結晶構造中でもトランス-シス転移が可能かについて計算した。結晶構造から切り出したクラスターにおいて、中心分子のトランス-シス転移に対するポテンシャル局面を密度汎関数法により計算し、空間的に制限され環境においても転移の可能性が

示唆された。

一方、分子内にアゾベンゼン部位を複数有する中分子において、異性化率と相転移との関係について調べた。トランス→シス異性化率が約20%を越えると軟化することがわかったが、液体か固体かの定量的な評価法が確立していないため、明確な線引きは困難であった。さらに、リビングラジカル重合によるホモポリマー系の光可逆接着剤の合成方法を確立した。リビングラジカル法の導入により、分子量の制御が可能となったため、分子量依存性を調べた。その結果予想に反して低分子量体において強い接着強度が発現することが分かった。高分子の末端の影響が出ていることが示唆された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】光化学、相転移、有機材料、計算科学、分子動力学、DFT 計算

【研究 題 目】次世代水電解型水素製造プロセス実現のための耐熱耐圧耐食性電気化学マイクロセル開発

【研究代表者】陶 究（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】陶 究、古屋 武（常勤職員2名）

【研究 内 容】

高温高圧場でのアルカリ水電解による次世代水素製造プロセスのための基盤技術開発を目的としている。水電解は高温、高圧、高アルカリ濃度ほど性能が向上するため、高温高圧アルカリ水電解法は有効な水素製造法の1つと考えられている。一方、装置、電極、セパレータの腐食や耐久性の問題から、安全面やコスト面を含めて装置作製上の課題が多いため、商用での最高温度は90℃程度であり、性能の向上が顕著な高温高圧域での実用化には至っていない。

本研究では、耐熱、耐圧、耐食性に優れたマイクロ電極を含む新規な構造の電気化学マイクロセルを提案、開発するとともに、常温から400℃、常圧から50 MPaにおけるアルカリ水電解を実施し、プロセス化に不可欠な電流電圧曲線や水素生成速度といった基盤データを蓄積し、提案するプロセスの有用性を例証することを目的としている。

本年度は、マイクロ電極を備え、かつ、耐熱、耐圧、耐食性に優れた電気化学マイクロセルを作製し、圧力24 MPaの条件で電圧1 V～5 V、温度23℃～400℃の範囲で実際にアルカリ水電解を実施し、電流測定を行うとともに、より正確かつ安全に電解実験を実施するためセルの改良方針を検討した。さらに、発生する水素をガスクロマトグラフィーで正確に定量するための方法の検討と高圧下で流量を高度に制御するためのシステム開発を実施した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】アルカリ水電解、水素製造、高温高圧、電気化学マイクロセル、マイクロリアクター

【研究 題 目】アゾベンゼン修飾膜の照射水透過・海水淡水化に関する研究

【研究代表者】藤原 正浩（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】藤原 正浩、金久保 光央、増田 善雄（常勤職員3名）

【研究 内 容】

地球温暖化、環境破壊や経済発展により、近年、地球規模での水不足が問題となっている。汚染水処理や海水淡水化は有効な対処法であるが、それらに要するエネルギーとして化石燃料を使用することは、さらなる温暖化を招くことにもなる。水処理による淡水造水は、太陽光等の再生可能エネルギーで賄われなくてはならない。研究代表者は最近、アゾベンゼンを修飾した陽極酸化アルミナ膜に紫外線と可視光を同時に照射することで水が膜透過することを見出した。膜上の水として、色素水溶液や塩化ナトリウム溶液とした場合、透過した水には色素や塩は含まれず、淡水・純水になることも確認した。この水の浄化は、照射でアゾベンゼンのトランス体・シス体間の光異性化が連続して起こり、この分子運動が水を蒸発させ膜を透過させたため、いわば光エネルギーを直接用いた膜蒸留と考えることができる。

本研究では、この照射膜透過の様々な多孔性膜材料への応用と高性能化、膜透過の詳細なメカニズムの解明、エネルギー効率の評価を行い、最終目標とする太陽光直接利用による海水淡水化技術の基盤を構築することを目指す。

本年度は、使用する多孔性膜を耐久性や加工性に優れたPTFE膜とし、可視光のみで光異性化するアゾベンゼンを当該膜に修飾することによる光エネルギーを用いた海水淡水化を試みた。その結果、可視光のみの照射でも水は膜透過し、透過した水は十分に淡水といえるほど脱塩されていた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】海水淡水化、水処理、多孔性膜、アゾベンゼン、色素、太陽光、膜蒸留

【研究 題 目】連続的なバイオマス変換を可能にする流通式触媒反応システムの開発

【研究代表者】三村 直樹（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】三村 直樹、佐藤 修、山口 有朋、増田 善雄、村松 なつみ（常勤職員4名、他1名）

【研究 内 容】

バイオマスの有効利用は、実験室レベルの少量の原料と触媒を用いた反応活性の検討だけでは不十分で、天然の木材や糖類などを想定して大量の原料を効率的に変換する技術体系を構築する必要がある。本研究では、大量

処理・大量合成とスケールアップが容易な「液相流通式触媒反応」によるバイオマス変換による有用物質の合成を目的とする。

研究計画としては、開始時には、(1)流通式装置の設計と試作、(2)流通式装置に適した固体触媒の開発、(3)各種バイオマス変換反応の検討、(4)反応管内の化学反応と流体の挙動の分析・シミュレーションに着手する。その結果、液相のみを加圧下で供給する流通反応と、酸化剤や還元剤として酸素や水素のようなガスと原料溶液を同時に供給する流通反応の両者が可能になる。研究期間後半には、より挑戦的な課題である(5)異なる反応を結合することによるワンパス合成、(6)難易度の高い原料(水への溶解性が低いセルロース、天然木材)の使用、(7)反応器のスケールアップ、へと研究を進展させる。その結果、実バイオマスの連続処理、大量処理につながる成果を得る。

平成28年度の進捗としては、上述の(1)~(3)に重点的に取り組み、貴金属触媒を用いるバイオマス変換反応であるグリセリンの酸化反応を、流通式装置を用いて行った結果、分子状酸素を酸化剤としてカルボン酸類を効率的に得ることができる流通式反応に適した固体触媒を見出した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオマス、貴金属触媒、グリーンケミストリー

【研究 題 目】高温高圧水マイクロプロセスによるスーパーエンブラ基幹原料の環境調和型効率合成

【研究代表者】長尾 育弘（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】長尾 育弘（常勤職員1名）

【研究 内 容】

化学産業の「国際競争力の強化」や「拠点の国内回帰」への強い要請から、「低コスト」かつ「簡素」であり、しかも、「環境に調和」した有機合成手法の開発は重要な課題となっている。超臨界・亜臨界水の性質を活かした有機合成反応は、そうした観点から大変魅力的である。なぜなら、水は、1)地球上で最も豊富に利用できる溶媒（実質的に無尽蔵）であり、安価である、2)常温・常圧で安定な液体であり、揮発性が低く、取り扱いが容易である、3)毒性が無い、などの優れた特性を有するからである。その上、水は、超臨界・亜臨界領域において「極性の低下」や「イオン積の増大」、「拡散係数の増大」などの特性を示すため、i)有機溶媒の代替として活用できる、ii)酸・塩基反応剤・触媒として活用できる、iii)反応前後の極性の違いを利用することにより精製工程を簡素化できる、iv)反応を短時間化・高速化できる、などの様々な可能性をも秘めているからである。

一方、主要化学工業製品の一つにスーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンブラ）がある。た

とえば、その代表例とも言えるポリイミド樹脂は、その突出した耐熱性のために、長年、航空宇宙産業や電気産業などにおいて広範な需要を形成してきた。最初に市場に投入されたのがすでに50年の昔になるにもかかわらず、近年のエレクトロニクス産業の繁栄とも相俟って、現在もその需要の増加は止まるところを知らない。従って、ポリイミドをはじめとするスーパーエンブラやその原材料となる前駆体を効率よく合成する手法の開発は、スーパーエンブラ材料の「低価格化」や「特性の向上」、「新機能の発現」などに直結するため、極めて重要な課題と言える。

本研究では、スーパーエンブラの基幹原料の環境調和型効率合成手法を確立することを目指して、超臨界・亜臨界水中における遷移金属触媒カップリング反応の検討をおこなった。その結果、遷移金属触媒・塩基反応剤の添加量、並びに、反応時間の大幅な削減を実現した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】超臨界流体、マイクロ化学プロセス、スーパーエンジニアリングプラスチック、クロスカップリング、低環境負荷、化学製造プロセス

【研究 題 目】食品廃棄物を循環利用するエネルギー・物質の製造技術の開発と導入効果の検討

【研究代表者】三村 直樹（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】三村 直樹、佐藤 修、藤原 正浩（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究は、食品廃棄物を原料として、エネルギーと物質を製造する化学的物質変換の基盤技術を新たに構築し、食料生産現場に持続的なエネルギーと物質を供給する、循環利用社会モデルの設計と提案を行うことを目標とする。本課題では、異分野の研究者が協調・協力して、それぞれ得意とするアプローチ手法をもって課題に取り組み、融合的な体制のもと「技術開発」と「導入・普及シナリオの策定」の両面から研究を行い、目標達成を目指す。

主な研究計画は、以下の3項目である。

- (1) 食品廃棄物から水素やプロパン・ブタン等の燃料ガス、および、アルケン類・芳香族などの化成品（プラスチック等）原料を製造する、エネルギー・物質の製造技術の開発
- (2) 国内外に存在する食品廃棄物の賦存量調査と回収率向上策の検討、および、開発技術を社会に向けて展開するための、導入普及施策の検討
- (3) 課題(1)、(2)を基にしたエネルギー・物質の循環マップの作成と、CO₂削減効果の検討

平成28年度は、年度半ばから研究を開始し、主な共同研究先である名古屋大学との打ち合わせを行い、国内

外の食品廃棄物の有効利用の状況や、触媒反応に関する予備的実験のデータの検討を行った。展示会や講演会に参加し、農業、鉱工業に携わる人々から食料の循環的利用に関して情報収集を行った。また、科研費の特設分野（食料循環研究）の発表会では、当分野を主導する立場の方々との情報交換を行い、直接研究に関する助言を得るなど、研究の方向性を明確化した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】食品廃棄物、触媒反応、CO₂削減

【研究 題 目】超臨界水還元法による銅ナノ粒子の合成及び配線用銅ナノインクの調製

【研究代表者】林 拓道（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】林 拓道、中村 考志、和久井 喜人、蛭名 武雄（常勤職員4名）

【研究 内 容】

本研究は、分散安定性及び耐酸化性が高く、低温焼成可能な銅ナノインクの作製を目的に、超臨界水還元法による金属銅ナノ粒子の合成について、表面修飾剤の探索、水熱合成条件の検討を行い、表面修飾銅ナノ粒子の連続合成技術の確立を目標とする。

本年度は、表面修飾剤としてポリアクリル酸（PAA）を用いて流通式超臨界水還元法による銅ナノ粒子合成について検討した。1)銅前駆体として PAA 水溶液への溶解性から2-エチルヘキサン酸銅を選択した。pH の影響として、KOH 添加量を変えて合成したところ、KOH 無添加系では、銅ナノ粒子の生成は認められず、KOH/PAA=1で粒子径80 nm、KOH/PAA=2で粒子径50 nm となり、pH による過飽和度の違いにより粒子径が制御可能であった。2)銅ナノ粒子分散・耐酸化安定性への溶媒の影響として、分子量5,000の PAA ではメタノール中で、分子量25,000の PAA では1-プロパノール中で長期安定性が確認された。親和性の高い溶媒中で PAA の固有粘度が最大となることから膨潤した高分子鎖が銅ナノ粒子表面と酸素との接触を抑制するものと推察される。3)分子量25,000の PAA について銅ナノ粒子の1-プロパノール分散液を濃縮し、銅ナノインクを調製した。ガラス基板に塗布、3%水素一室素気流中320 °C 焼成で電気抵抗 $1.4 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ と十分実用的な電気伝導性を発現した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】銅ナノ粒子、超臨界水還元法、流通式水熱合成、耐酸化性、導電性銅ナノインク

【研究 題 目】新規ヘミセルロース変換プロセス開発によるバイオマスカスケード利用モデルの構築

【研究代表者】佐藤 修（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】佐藤 修、増田 善雄（常勤職員2名）

【研究 内 容】

水-超臨界二酸化炭素二相反応系内で実バイオマスを固体酸触媒で処理する、環境調和型のヘミセルロース-フルフラール変換プロセスの開発を行う。

2年目となる平成28年度は、昨年度に引き続き、1)反応条件のキシロース-フルフラール変換に及ぼす影響と、2)バイオマスのセルロース利用プロセスの前処理技術としての可能性を探るべく、処理残渣に対する水素化分解を行い、糖アルコール生成に対する影響について検討を行った。

(1)陽イオン交換樹脂である Amberlyst70を触媒とし、水-二酸化炭素二相反応系内でのキシロース変換反応を、圧力を変えて行った。170 °C、8時間の処理条件の場合、二酸化炭素を導入しない場合のフルフラール収率25.0 %に対し、系内圧力5 MPa、10 MPa、20 MPaとした場合のフルフラール収率は、32.7 %、48.4 %、55.2 %と増加した。高圧条件であるほど系内のフルフラールの二酸化炭素への分配比が増加することから、水中での触媒によるフルフラールの副反応が抑制され、高収率になったものと推察される。

(2)CHA 型ゼオライトを用いた水熱処理を行った竹残渣に対して、白金担持触媒による水素化分解を行ったところ、これまでの報告より温和な条件でもグルコース由来のソルビトールが生成することを見出した。また、キシロース由来のキシリトールの生成は見られないことから、分離プロセスの簡略につながる可能性を確認することができた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオマス、フルフラール、固体酸触媒

【研究 題 目】特異環境場における輸送物性の計測法開発と現象解明

【研究代表者】金久保 光央（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】金久保 光央（常勤職員1名）

【研究 内 容】

低環境負荷型の化学プロセスの構築を目的として、極低温や高温、高圧、電場印加、極微小空間などの特異的環境下における輸送現象の計測ツールを新たに開発する。計測ツールとしては、適用対象が広い磁場勾配パルス核磁気共鳴（PFG-NMR）法に注目し、様々な条件において高精度測定が実現可能な計測法の開発を進める。これにより、超臨界流体やイオン液体などの新しい低環境負荷溶媒の機能解明を行い、平衡物性と輸送物性の双方から化学工学的な基礎基盤技術の構築を進める。

平成28年度は、昨年度精密に校正した PFG-NMR 装置を用いて、*N*-メチル-*N*'-プロピルピロリジニウムビス（フルオロスルホニル）イミド（[Pyr13][FSI]）および Li[FSI]-[Pyr13][FSI] 混合溶液における、各種イオン（Li⁺, [Pyr13]⁺, [FSI]⁻）の自己拡散係数を0~80°Cにおいて測定した。また、Li[FSI]-[Pyr13][FSI]混合溶液の

密度、粘度、電気伝導度を同じ温度範囲において決定した。それら実験結果から、速度相関係数や抵抗係数を求め、混合溶液中におけるイオン間相互作用について考察した。今回調べた電解質溶液中では Li^+ と [FSI]⁻ との相互作用は比較的弱く、 Li^+ の周りの [FSI]⁻ の化学交換は速いことが見出された。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 NMR、パルス磁場勾配法、自己拡散係数、電気伝導度、イオン液体、二酸化炭素

〔研究題目〕 多量体膜タンパク質の *in situ* 機能解析を実現する新規ナノディスク創製

〔研究代表者〕 井村 知弘 (化学プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 井村 知弘 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

ナノディスクとは、微細な膜構造を持つディスク状のナノ粒子であり、通常はアポリポタンパク質やヘリカルペプチドが脂質二分子膜を包み込むように自己組織化して形成される。本研究では、ヘリカルペプチドの代わりに新しいペプチド型界面活性剤を利用することで、新規ナノディスクを創製し、多量体膜タンパク質の *in situ* 機能解析を実現することを目指している。

これまでに親水性と疎水性のバランスの異なる各種ペプチド型界面活性剤を設計・合成した。 α -ヘリックス構造を形成するペプチド型界面活性剤の疎水面の中央に、アルキル基が導入された新規ペプチド型界面活性剤の合成を行った。その結果、システインの側鎖のチオール基と2-ヨード-N-オクチルアミドを水中で反応させることによって、オクチル基が導入されたペプチド型界面活性剤を収率70%で合成することに成功した。アルキル基の異なる数種類のペプチド型界面活性剤も合成するとともに、これらの構造については、MALDI-TOFMS 測定や NMR 測定により確認した。

次いで、得られた種々のペプチド型界面活性剤を用いた新規ナノディスクの調製を実施した。ある種のペプチド型界面活性剤を添加すると、リボソーム溶液の濁度が短時間で減少することが分かった。ネガティブ染色透過型電子顕微鏡 (NS-TEM) 及び動的光散乱法 (DLS) により、その構造や粒子径を確認したところ、ナノサイズのディスク状の粒子が多数観測された。合成したペプチド型界面活性剤を用いることで簡便かつ短時間でナノディスクを創製することができた。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノディスク、ペプチド型界面活性剤、膜タンパク質、ナノ粒子、透過型電子顕微鏡 (TEM)、動的光散乱法 (DLS)

〔研究題目〕 1分子からの DNA 増幅を可能にする酵素のナノ空間への精密配置

〔研究代表者〕 松浦 俊一 (化学プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 松浦 俊一、池田 拓史 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

遺伝子の精密診断では、1細胞レベルの極微量サンプルからの高効率かつ選択的な DNA 増幅法の開発が求められている。本研究では、規則性細孔を有するナノ空間材料を DNA 増幅酵素の固定化場および反応制御場として活用し、極微量 DNA からの高効率の増幅を試みた。

本年度は、4種類のナノ空間材料 (メソポーラスシリカ、メソポーラスカーボン、高アルミニウム含有メソ多孔体、両親媒性有機-無機ハイブリッド多孔体) に固定化した DNA 増幅酵素を用いて、数十分子の DNA からの増幅を試みた。その結果、メソポーラスシリカを用いた場合のみ標的 DNA の特異的な増幅が認められ、その他の材料や遊離の酵素では反応阻害の傾向が示された。

そこで次に、メソポーラスシリカへの酵素の吸着メカニズムを解明するために、固体核磁気共鳴および示差熱・熱重量測定装置を用いて、DNA 増幅酵素を固定化したメソポーラスシリカの局所構造を詳細に解析し、表面 (細孔内壁面) 組成を推定した。その結果、メソポーラスシリカの種類によってシリカ表面近傍の吸着水の分布や末端シラノール基 (Si-OH) の分布に違いが見られ、表面親水性に違いがあることが判明した。さらに興味深いことに、DNA 増幅反作用の Tirs 緩衝液で処理したサンプルでは表面末端の隣接するシラノール基同士が縮合し、シリカの表面性状がより疎水的に変化していることが明らかになった。

以上の結果より、メソポーラスシリカの細孔が DNA 増幅酵素の安定な固定化場および反応制御場として好適であり、また、緩衝液の作用による表面性状の変化が酵素の固定化状態や反応性に影響することが示唆された。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 多孔質材料、酵素、遺伝子診断

〔研究題目〕 有機ケイ素を層間に持つ層状ペロブスカイトの機能強化

〔研究代表者〕 片岡 祥 (化学プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 片岡 祥 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

平成28年度は、有機ケイ素を層間に持つ層状ペロブスカイトを作製し、得られた材料の薄膜化を検討した。有機ケイ素材料として、アミノプロピル基を末端に持つカゴ状シルセスキオキサン (POSS) を用いて、様々な金属ハロゲン化物とハイブリッド型層状ペロブスカイトを作製した。

その中で、ハロゲン化鉛の層状ペロブスカイトは、X線回折から層状構造を確認し、可視紫外吸収スペクトル及びフォトルミネッセンス発光スペクトルから、励起子吸収・発光をしていることを確認した。それにより、POSS が層間材料として機能し、層状ペロブスカイトと

しての機能を維持していることが分かった。

次に、作製したペロブスカイト材料のコーティングを試みた。当該ペロブスカイト材料はジメチルホルムアミド (DMF) あるいはジメチルスルホキシド (DMSO) にしか溶けないため、それらの溶媒に溶かして塗布して薄膜を得た。しかし、これらの薄膜を X 線回折法で分析したところ、層状ペロブスカイト構造を持たないことが分かった。通常の有機アンモニウム塩を持つ層状ペロブスカイトで同様のコーティングをしたところ、層状ペロブスカイト構造を維持することは確認している。そのため、POSS を層間に持つ層状ペロブスカイト特有の問題であることが分かった。原因の一つとして、POSS が溶ける溶媒と、ハロゲン化鉛が溶ける溶媒の組み合わせが少ないことが考えられる。溶媒の組み合わせが限られているため、POSS を層間に持つ層状ペロブスカイトの薄膜化が非常に難しいことが分かった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】層状ペロブスカイト、薄膜、シルセスキオキサン、ハイブリッド

【研究 題 目】有機半導体の板状ナノ粒子の生成機構解明に基づく連続製造プロセスの最適化

【研究代表者】竹林 良浩 (化学プロセス研究部門)

【研究担当者】竹林 良浩、三浦 俊明 (常勤職員2名)

【研究 内 容】

本研究では、有機電子デバイスを構成する有機半導体薄膜の積層に適すると考えられる薄い板状のナノ粒子を連続的に製造するための、実験的・理論的基盤の確立を目的とする。研究代表者らは、有機半導体 NPB の溶液と貧溶媒を、マイクロミキサーを用いて急速混合することにより、厚さ数 nm の板状ナノ粒子が析出した分散液を連続製造できることを見いだした。しかし、他の有機半導体化合物への汎用性や、異方的な粒子成長に必要な調製条件は明らかではなかった。本研究では、これらの点を実験的に明らかにするとともに、有機ナノ粒子が異方的な成長をする機構を計算化学的に結晶構造に基づいて解明し、理論予測手法の開発へとつなげる。

平成28年度は、有機半導体として NPB の類縁体およびテトラセンなどの多環芳香族を対象として、ナノ粒子の連続製造実験をおこなった。渦流型マイクロミキサーを用いて乱流条件下で貧溶媒を混合することにより、ナノ粒子の分散液を閉塞なく連続回収できた。得られたナノ粒子は AMF (原子間力顕微鏡) 測定により厚さ数 nm の板状であることを確認した、また、XRD (X 線回折) 測定から、NPB では (1, 0, 1) 結晶面、テトラセンでは (0, 0, 1) 結晶面が広がるように粒子が成長していることが示唆された。これらの化合物の結晶構造中では、分子間の芳香環どうしが平面内でヘリンボーン配列しており、C-H \cdots π 相互作用が層状に発達していることが、異方的な粒子成長の原因であると考えられる。

こうした結晶構造中での相互作用の異方性を定量的に評価するため、スラブ法を用いた各結晶面での表面エネルギーの計算を開始した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノ粒子、マイクロミキサー、有機半導体、貧溶媒晶析、結晶構造、計算化学

【研究 題 目】収差補正電子顕微鏡を用いたヘテロポリ酸触媒のキャラクタリゼーションと設計

【研究代表者】日吉 範人 (化学プロセス研究部門)

【研究担当者】日吉 範人 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究は、走査透過電子顕微鏡 (STEM) による固体ヘテロポリ酸触媒の局所構造観察手法を確立し、原子分解能観察に基づいた精密な活性点構築を行うことで、優れた触媒の開発に繋げることを目的とする。

平成28年度は、ヘテロポリ酸単分子の原子分解能観察を行うためのサンプル調製と観察条件 (電子線の照射・検出条件、操作手順) について検討を行った。ケギン型ヘテロポリ酸分子を電子顕微鏡観察用のカーボン支持膜に付着させたサンプルでは、STEM 像撮影中のヘテロポリ酸分子の移動などにより、ケギン型ヘテロポリ酸分子の形態が歪んで見える像が得られた。そこで、支持膜上でのヘテロポリ酸分子の動きを制限し、ケギン構造が有する本来の原子配列を可視化するために、カーボン支持膜上に規則的にケギン型ヘテロポリ酸分子を配列させることを試みた。ケギン型ヘテロポリ酸塩の生成条件を検討することにより、薄膜状のヘテロポリ酸塩結晶を作成し、これをカーボン薄膜上に固定せることに成功した。本サンプルについて、STEM 観察手順および観察条件を検討し、ケギン型ヘテロポリ酸単分子の原子分解能観察が可能であることを示すとともに、単分子観察のための最適条件を決定した。さらに、ケギン型ヘテロポリ酸分子の配列構造や欠陥構造を原子レベルで可視化することができた。

本検討で得られた知見は、ヘテロポリ酸分子配列を制御した固体触媒の調製やその評価への応用が期待できる。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】電子顕微鏡、ヘテロポリ酸、触媒

【研究 題 目】イオン液体の機能設計とアンモニア分離回収技術への応用

【研究代表者】牧野 貴至 (化学プロセス研究部門)

【研究担当者】牧野 貴至 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

アンモニアは化学産業において最も多く生産される物質であり、化学原料だけではなく、水素貯蔵媒体や燃料電池等のエネルギー源に利用される。アンモニア製造プロセスは一般に多大なエネルギー量を必要とし、全消費

エネルギーの3割を分離回収工程が占める。本研究では当該工程の省エネルギー化を達成すべく、イオン液体を用いた高温高压条件下におけるアンモニア分離回収技術の確立に向けて、アンモニア吸収量と回収量に優れたイオン液体（室温近傍に融点を持つ液体の塩で不揮発かつ難燃の溶媒）の開発に取り組む。

平成28年度は、ブレンステッド酸置換基を持つイオン液体の、アンモニア吸収メカニズムについて、NMR、ラマン分光分析および第一原理計算により、さらに検討を進めた。その結果、カルボキシル基とスルホン基に加えてヒドロキシル基もブレンステッド置換基として機能できること、ブレンステッド置換基とアンモニアが化学反応してアンモニウムが生成すること、アンモニウムがアンモニアと相互作用してアンモニア吸収量を増加することを見出した。続いて、金属イオンとアンモニアの錯体形成反応を利用した吸収液を開発すべく、アニオンに金属イオンを持つイオン液体を合成し、アンモニア吸収量の測定を試みた。当該イオン液体は、ブレンステッド酸系イオン液体と同様にアンモニアを多量に吸収するものの、アンモニア吸収後に凝固することが分かった。

金属系イオン液体をアンモニア吸収液として利用するためには、アンモニア吸収後も凝固しないようイオン液体の分子構造をデザインする必要がある。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】アンモニア、イオン液体、省エネルギー

【研究 題 目】金属有機構造体を用いた反応分離膜の開発

【研究代表者】原 伸生（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】原 伸生（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、分離膜素材として新規多孔性材料である金属有機構造体（MOF : Metal Organic Framework）に注目し、これを用いた MOF 膜および MOF 反応分離膜への展開を目指して研究を行った。

本年度は昨年度に引き続き、MOF 膜を分離膜および反応分離膜へ展開することを目指して、より薄い MOF 分離層を形成するための成膜方法の開発に取り組んだ。多孔質支持体の表面近傍に MOF の一種である ZIF-8 の緻密層を形成する反応条件の検討においては、反応溶液中の金属塩（硝酸亜鉛）と有機配位子（2-メチルイミダゾール）の濃度、濃度比、反応温度を変えて解析を行った。

この結果、高濃度比では核発生頻度が高くなり多孔質支持体の表面における結晶形成密度が高くなるが、さらに濃度比が高くなると、溶液中における均一核発生が優勢となり、多孔質支持体の表面における結晶形成密度は低下する結果が得られた。得られた MOF 膜の気体透過特性解析においては、供給分圧の増加に伴いプロピレン透過率が低下する傾向が得られ、プロピレンの吸着飽和によって透過率が減少したものである。一方、プロパン

の透過は供給圧力によらずほぼ一定の値を示し、結晶粒界におけるクヌッセン流の寄与が見られた。MOF 膜に形成した多結晶の分離層においては、マイクロ孔透過、クヌッセン流、粘性流がそれぞれ存在する。分離層の微細構造がこれらの透過流の寄与の割合を決定するため、分離層の構造制御が重要であるとの知見を得た。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】膜分離技術、気体分離膜、金属有機構造体

【研究 題 目】微小空間の移動現象に着目した気液固触媒反応器の設計法構築と C1 化学への応用

【研究代表者】福田 貴史（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】福田 貴史（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、反応流体の濃度・温度の迅速な均一化が可能な微小空間の特徴を取り入れた化学反応装置、いわゆるマイクロリアクターを用いて、高生産性（ハイスループット）とコンパクト化を両立させたプロセス開発を目的としている。これまでの成果として、模擬バイオガス（メタンと二酸化炭素の混合ガス）によるメタンのドライ改質を対象に、提案したプレート型反応器を用いることでメタン反応率を維持したまま、課題のひとつである炭素析出由来の圧力損失の増加を抑制することに成功した。

平成28年度は C1化学への応用を念頭におき、バイオガスから効果的に発電用水素を取り出すための反応条件を熱収支計算により探索し、定まった反応条件において反応律速域の性能（触媒本来の性能）が得られるプレート型反応器への改良を試みた。反応条件は、燃料電池から得られる発電エネルギーが局所最大値をとる条件である反応温度650℃でメタン/水蒸気比を2とした。この条件で実験したところ、例えば、触媒層深さ約500 μm、プレート間距離1.43 mm とすることで $W/F = 24 \text{ kg s mol}^{-1}$ においてメタン転化率79%と、反応律速域の充填層型反応器と同程度のメタン転化率を得ることができ、反応器の改良に成功した。

また、プレート型反応器の設計においては、反応速度、流速、反応流体の拡散速度のバランスが重要であることが分かり、それらを無次元化し閾値を使った制約条件とすることで、プレート型反応器の設計指針を提示することに成功した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】マイクロリアクター、プレート型、ハイスループット、コンパクト、C1化学、流路閉塞、圧力損失、反応器設計

〔研究題目〕 イオン液体の水和制御に基づくインテリジェント高分子電解質の開発と機能開拓

〔研究代表者〕 河野 雄樹 (化学プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 河野 雄樹 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

外部環境変化にアクティブ応答して物質親和性をスイッチングできるインテリジェント高分子電解質を開発し、固体材料としての機能化につなげることを目標とする。まず、構成イオン種に重合基を持つイオン液体モノマーの構造設計により、温度や pH、特定化合物濃度等の外部環境変化で水との親和性を制御できる高分子電解質を作製する。次に、環境応答性が認められた高分子電解質を対象に、適切な架橋構造を導入して固体化し、得られる固体材料が環境応答性を維持できるか検討する。

平成28年度は外部環境変化として温度に着目し、昇温により水と相分離する下限臨界溶解温度 (LCST) 型の相挙動を示すイオン液体モノマーを用いた固体材料を作製した。アニオンにスチレンスルホン酸、カチオンにアルキル鎖の異なる2種のホスホニウムカチオンからなるイオン液体モノマーと、架橋剤としてポリエチレングリコールジアクリレートを混合し、光重合法により固体化を行った。得られた膜状の固体材料を純水に浸し、各温度における含水率を評価した結果、この固体材料が LCST 型の水吸収・放出能力を持つことが明らかとなった。例えば、22 °C から 30 °C への温度上昇で含水率は 54 wt% から 14 wt% へ低下した。以上より、適切な架橋構造を導入すれば LCST 型の相挙動を維持する固体材料を作製できることを示した。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 イオン液体、スマートマテリアル

〔研究題目〕 ナノ粒子規則配列と空隙構造制御を可能とする超低密度ナノコンポジットの創製

〔研究代表者〕 竹下 覚 (化学プロセス研究部門)

〔研究担当者〕 竹下 覚 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

金属有機構造体の金属イオンと有機配位子の関係を模倣し、無機ナノ粒子をポリマーナノファイバーの3次元ネットワークに複合化させることで、空隙構造制御が可能な超低密度ナノコンポジット材料「エアロコンポジット」を新規開発し、緻密なコンポジットにはない新機能の探究に取り組んだ。

ナノ粒子として還元剤に応答して蛍光強度が変動する $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子を、ナノファイバーとしてキトサンナノファイバーを選択した。キトサン水溶液に架橋剤を添加して3次元ネットワークをもつナノファイバゲルを作製し、このゲルに $\text{Y}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$ イオンと VO_4^{3-} イオンを交互に吸着させることで、ゲル内部において

$\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子を「その場生成」させた。さらに、高圧 CO_2 を用いた超臨界乾燥によりゲルの収縮を最小限に抑えつつ乾燥し、 $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ ナノ粒子/キトサンナノファイバー複合エアロコンポジットを得た。得られたコンポジットは超低密度 (空隙率 97~98 %) で、可視光透過性と機械的柔軟性を兼ね備える。このコンポジットをホルムアルデヒド蒸気に暴露しつつ紫外光を照射したところ、ホルムアルデヒド濃度に対応して蛍光強度が低下し、センシング機能を発現した。同様の実験を緻密な $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ /キトサン複合樹脂を用いて行ったところ、蛍光強度のホルムアルデヒド濃度依存性は認められず、応答速度 (蛍光強度低下の時定数) も 20 倍以上遅かった。

以上の結果は、エアロコンポジットの高空隙率な空間構造が周囲のガスのナノ粒子へのアクセスを可能にしており、従来の緻密なコンポジットではなしえなかった機能を発現できることを示している。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノコンポジット、エアロゲル、蛍光体、ナノファイバー、キトサン

〔研究題目〕 レーザープラズマによる固液界面反応の理解と骨結合性インプラントシステムへの応用

〔研究代表者〕 大矢根 綾子 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 大矢根 綾子、中村 真紀、坂巻 育子、欠端 雅之、屋代 英彦、伊藤 敦夫 (常勤職員5名、他1名)

〔研究内容〕

歯科・外科用インプラントの表面にある種のリン酸カルシウムを成膜すると、骨伝導性を付与することができる。研究代表者らはこれまで、過飽和溶液を反応場とする液相成膜技術とレーザープラズマによる表面加工技術を組み合わせ、インプラント用の材料基材に対するリン酸カルシウム成膜技術を開発してきた。本研究では、レーザープラズマ加工による基材の表面構造変化・液相成膜反応を基礎的に追求するとともに、骨伝導性インプラントの開発に向けて、リン酸カルシウムを成膜したジルコニア基材に対し、動物実験による機能実証を行った。平成28年度は、前年度の予備検討の結果をもとに、ウサギの匹数を増やして動物実験を実施した。ジルコニア基材としては、インプラント材料として有用なイトリア安定化正方晶ジルコニア多結晶体 (Y-TZP) を用いた。フェムト秒レーザープラズマ加工後にリン酸カルシウムを成膜した Y-TZP 基材 (A 群) が、未加工基材 (C 群) およびリン酸カルシウム成膜のみを施した基材 (B 群) に比して、より強固に骨と固着することを実証した。非脱灰標本を作製して骨と基材との界面を観察した結果、B 群および C 群に比べ、A 群では骨組織が Y-TZP 基材と直接接している領域が多く観察され、骨接触率の有

意な向上が認められた。A 群では、骨組織が基材との隙間を埋めるように再生したことで、骨固着力を向上させたと考えられた。一方、A 群および B 群において、表面に成膜した CaP の残存を明確には確認することができなかった。A 群で表面に形成させた凹凸構造が骨固着力の向上に重要な役割を持つことが示唆された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】リン酸カルシウム、アパタイト、過飽和溶液、表面処理、パルスレーザー、レーザープラズマ

【研究 題 目】完全制御カーボンナノチューブの物性と応用

【研究代表者】片浦 弘道（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】片浦 弘道、田中 丈士、藤井 俊治郎、平野 篤、魏 小均、都築 真由美、久保田 真理子（常勤職員4名、他3名）

【研究 内 容】

単層カーボンナノチューブ（SWCNT）は、層状結晶の黒鉛（グラファイト）から取り出した単原子厚のシート（グラフェン）を、継ぎ目無く丸めて直径1ナノメートル程度の筒状にした構造のナノ材料である。この丸め方は何通りもあるため、実際に合成した SWCNT は様々な構造の混合物になっている。本研究課題では、独自開発のゲルクロマトグラフィー法を用いて、SWCNT の大量構造分離装置を作製し、SWCNT の原子配列のわずかな違いも選り分ける、精密構造分離の大規模化を目指す。炭素原子の配列が同一の SWCNT を大量に分離精製し、さらに規則正しく並べる事により、これまで不可能だった SWCNT 単結晶を作製し、まだ誰も成功していない、SWCNT の精密構造パラメータおよび物性を明らかにする事を目的としている。

本年度は、昨年度得られた単一構造カーボンナノチューブの大量分離技術及びそれを用いたマウスの高輝度血管造影技術、カーボンナノチューブの右巻き・左巻き分離とそれを用いた電子構造解析の2件の成果を、誰でも読めるオープンアクセス誌に論文発表し、世界に情報発信を行った。さらに、右巻きと左巻きのカーボンナノチューブを、特殊な分散剤で分散する事により、これまで成し得なかった純度評価を実現する新たな技術を世界で始めて開発し、フラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会で発表し、担当の特別研究員が飯島賞を受賞した。また、本研究課題で得られた、高度に構造制御したカーボンナノチューブを国内外の共同研究者に提供する事により国際共同研究を展開し、多くの関連成果を得ることができた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノチューブ、構造分離、カイラリティ

【研究 題 目】単原子スペクトロスコピーの高度化研究

【研究代表者】末永 和知（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】末永 和知、千賀 亮典、Lin YungChang（常勤職員3名）

【研究 内 容】

単原子の分析・識別は、1800年にダルトンが原子論を提唱して以来、全科学者の目標の一つであった。近年の電子顕微鏡の発展はめざましく、細く絞った電子線と高性能の分光器を用いることで、従来は不可能とされていた原子のひとつひとつからの分光がなされるまでに至った。本研究ではこの単原子スペクトロスコピー法のさらなる応用と発展を目指す。特に電子顕微鏡を用いた電子分光測定の高速度化・高感度化・高精度化を通して、単原子のスピ状態、配位数およびそれらの変化の実時間観測を可能にし、物性研究および生命研究の基礎的発展に大きく貢献できる基盤技術開発につなげる。

【領 域 名】材料・工学

【キーワード】電子顕微鏡、単原子物理、STEM、EELS

【研究 題 目】非線形分光を用いた有機デバイス機能界面の分子配向と電荷輸送機構の解明

【研究代表者】宮前 孝行（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】宮前 孝行、阿澄 玲子、宮寺 哲彦（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、有機薄膜太陽電池や有機トランジスタ、有機 EL などの有機エレクトロニクスデバイスの高効率化に向けて、デバイス動作時におけるデバイス内部の分子の挙動と電荷輸送状態のその場解析のため、界面選択的な非線形分光である和周波発生（SFG）分光により有機薄膜界面の分子配向とデバイス駆動時の電荷挙動、電荷輸送状態の解析を進め、分子配向秩序と電荷輸送との相関を明らかにすることを目的としている。

本年度は、SFG 分光で素子に印加する電圧をパルス電圧に変更して、素子に電圧が印加された際の SFG 信号の挙動の時間変化を追跡するシステムの構築を進めた。素子に印加できるパルス電圧は、パルスレーザーから取り出したプレトリガーを基準として、デジタル遅延発生器により矩形波を発生させ、さらにこの矩形波を高速バイポーラーアンプで増幅させることで素子駆動に十分なパルス電圧を発生させた。素子に電圧印加された状態をモニターするため、試料の直上に光電子増倍管を配置し、有機デバイスの発光をモニターできるようにした。また発光しない有機デバイスのモニター用として電流プローブを用いて素子に注入する電流をモニターすることを可能にするよう改良を行った。

この時間分解システムを用いて有機 EL デバイスのパルス電圧駆動時における SFG スペクトルの時間応答の測定を進めた。パルス電圧印加により、(1)電極に電荷

が注入され、素子内部の自発分極の打消しが起こり、(2)電荷分離層界面での正孔(カチオン)生成に由来する振動ピークの出現、(3)電荷蓄積による正孔輸送材料由来の SFG ピークの増加、を時間応答として確認することに成功し、有機デバイスの電荷輸送挙動の非破壊その場観察に本手法が十分適用可能であることを見出した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕有機エレクトロニクス、表面・界面、非線形分光

〔研究題目〕動脈病変の早期診断・治療のためのリン酸カルシウム系複合ナノ粒子の創製

〔研究代表者〕中村 真紀(ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕中村 真紀、大矢根 綾子、黒岩 輝代子(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、動脈硬化や動脈瘤の早期診断・治療を可能にするリン酸カルシウム系複合球状ナノ粒子を創製することを目標としている。本年度は、医薬品共沈法を用いて、診断のための MRI 造影能を有する磁性酸化鉄ナノ粒子とリン酸カルシウムの複合ナノ粒子の作製に取り組んだ。医薬品共沈法は、認可済み医療用注射液のみから、穏やかな条件でリン酸カルシウムナノ粒子を生成させる手法であり、安全性の面から臨床応用に有利な手法といえる。6種の医薬品注射液を原料として調製したリン酸カルシウム過飽和溶液に、MRI 造影剤でありカルボキシデキストランで被覆された磁性酸化鉄ナノ粒子であるフェルカルボトラン注射液を加え、さらに、添加剤 A あるいは B (医療用注射液より選択)を加えて反応液を調製した。この反応液を穏やかな条件(37℃)で短時間(30分)静置したところ、リン酸カルシウム、フェルカルボトラン、添加剤(A あるいは B)の共沈により、磁性酸化鉄ナノ粒子とリン酸カルシウムの複合ナノ粒子を得ることができた。添加剤 A を使用して作製した粒子の平均粒子径は約300 nm、添加剤 B を使用して作製した粒子の平均粒子径は約400 nm となり、動脈硬化や動脈瘤の病変部に集積する細胞(マクロファージ)への取り込みに適したサイズとなった。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕リン酸カルシウム、複合ナノ粒子、MRI 造影剤、動脈病変

〔研究題目〕生体内高精度細胞機能制御のためのナノ複合体の創製

〔研究代表者〕都 英次郎(ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕都 英次郎(常勤職員1名)

〔研究内容〕

生命現象の解明を目指した高精度な細胞機能制御技術の開発は、生命科学研究における究極の目的の一つである。なかでも光を活用した細胞機能制御技術は、簡便性

や細胞応答性の高さから注目を集めている。しかし、従来技術は、生体透過性の低い光を利用するため生体深部領域の細胞機能を制御することはできない。また、安全性の低いウイルスを利用するため医療応用が難しい。従って、本研究目的では、生体透過性の高い近赤外光によって発熱可能なカーボンナノチューブ(CNT)と特定の温度で内包分子を放出する温度感受性リポソームを組み合わせることで、ウイルスフリーで、かつ生体深部の細胞機能をナノメートルレベルで光により制御する技術を構築する。本研究は、とりわけガンや神経変性疾患に対する新しい分子標的医薬や先進医療技術のための普遍的な技術となる。本研究では、最終構想にマウス生体中の細胞内酵素反応制御が可能な機能性ナノ複合体の開発を掲げており、本研究では、最終構想にマウス生体中の細胞内酵素反応制御が可能な機能性ナノ複合体の開発を掲げており、本最終構想を達成するために、本年度は、まず、コア技術となる細胞・組織集積能を強化したナノ複合体の開発を目指した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕カーボンナノチューブ、細胞、光操作

〔研究題目〕遺伝子を刺激する磁性ナノ粒子の創製と血管形成療法への応用

〔研究代表者〕大矢根 綾子(ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕大矢根 綾子、QUAZI T. H. Shubhra(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

本研究は、細胞への遺伝子導入機能と磁性を併せ示す DNA-磁性酸化鉄-リン酸カルシウム複合粒子を創製することを目的とする。研究代表者らはこれまでに、認可済みの医療用輸液を原料とする、安全性に優れた DNA-リン酸カルシウム複合層の合成技術を開発してきた。本研究では、この合成技術を利用し、磁性酸化鉄と DNA を複合担持させたリン酸カルシウム複合粒子を合成し、*in vitro* および *in vivo* 機能評価を行った。具体的には、DNA(ルシフェラーゼの cDNA を含むプラスミド)および種々の濃度の磁性酸化鉄ナノ粒子(フェルカルボトラン)を添加したリン酸カルシウム過飽和溶液を用いて、DNA-磁性酸化鉄-リン酸カルシウム複合粒子を合成した。過飽和溶液への酸化鉄添加濃度が、得られる複合粒子のサイズ、表面ゼータ電位、酸化鉄および DNA 担持量に与える影響を明らかにし、細胞への遺伝子導入機能を最大化するための複合粒子の合成条件を見出した。最適化された複合粒子はサブミクロンサイズの大きさを持ち、合成後30分以内は分散状態を維持した。また、同複合粒子は、非晶質リン酸カルシウムよりなるマトリックス中に多数の酸化鉄ナノ粒子を内包し、磁石の作用下において細胞への遺伝子導入機能を向上させた。得られた複合粒子は、磁気ターゲティング機能を有する遺伝子導入剤としての応用が期待される。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 リン酸カルシウム、DNA、遺伝子導入、過飽和溶液、ナノコンポジット、磁性粒子、マグネトフェクション

〔研究 題目〕 新規二次元物質複合体の微細構造と物性を関連付けるその場測定の研究

〔研究代表者〕 末永 和知 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 末永 和知、Lin Junhao
(常勤職員1名、他1名)

〔研究 内容〕

The research aims to investigate the physical properties of complex defects structures in novel two-dimensional (2D) materials at the single atom scale, and gives guidance to material design for better performance of the device. It

also aims to explore the suitable 2D materials for in-situ studies. The major research tools involve the combination of high resolution scanning transmission electron microscopy (STEM) and atomic scale calculations. We have achieved some preliminary results on the properties of some novel 2D materials and also develop related sample preparation method that is compatible for in-situ study. The goal of the research in the second phase is to continue to develop in-situ related studies on novel 2D materials.

〔領 域 名〕 材料・工学

〔キーワード〕 二次元材料、TEM、STEM、電子顕微鏡

〔研究 題目〕 高速測定によるナノ構造および電子状態解析

〔研究代表者〕 越野 雅至 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 越野 雅至 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

研究の目的：

原子レベルで構造を同定し、さらに含有元素やその電子状態を詳細に知ることのできる走査透過型電子顕微鏡 (STEM) と電子線エネルギー損失分光法 (EELS) を組み合わせた分析手法は、物質の構造と機能とを正しく理解するうえで非常に重要な役割を果たす。しかしながら、この測定手法は、比較的安定な金属や半導体を観察対象とすることが多く、有機分子を基本骨格とするようなポーラス材料、自己集積型素材、生体物質などには、“電子線損傷”のため適用するのが難しい。本研究提案では、物質の空間情報とエネルギー情報を同時に取得できる STEM-EELS の利点を維持しながら、損傷を受けやすい物質にも本手法を適用できるように拡張することを目的として、超高速、高感度、ダメージレスな原子レベルの分析手法の開発を目指した。

研究成果：

(1) 画像およびスペクトル取得技術の開発

高速で ADF 像—EELS 情報を取得する技術に関しては、任意の時間で EELS 取得ができるアルゴリズムを開発し、その手法が適用可能な系を検討した。測定には Gatan 社のハードウェアおよびソフトウェアを用いたため、同社のソフトウェアで動作する Script の Thread 機能を用いることで、ADF 像と像1枚当たりの積算した EELS の高速同時取得を可能とし、さらに連続したデータ取得を行い動画およびエネルギー状態の経時変化を連続して撮影することに成功した。分子集合体のようないくつかの大きな物質では、室温および低温でその構造変化と EELS の同時取得に成功し、現在論文執筆中である。

(2) 原子ラベリング法の開発

生体分子では蛍光分子をマーカーとしたラベリングイメージングがすでに実用的なレベルになりつつある。一方、分子や原子をその元素種別により識別できる STEM-EELS においては、その元素マーカーの計測機器として大きな可能性を秘めており、将来の技術的なニーズに対応できるよう早い段階から開発を進めていく必要がある。本研究の枠組みでは、水素をフッ素、塩素、臭素、ヨウ素などに置換したハロゲン化ベンゼンおよびその類似物質をカーボンナノチューブ内部に導入し、その TEM 像、STEM 像、ADF-EELS 像、動的変化、および化学反応をトレースした。この研究結果は、ハロゲン利用ミニシンポジウムで発表し、専門家との議論を深め、論文化を進めている。

(3) 温度やエネルギーなどの外部環境変化に対する分子や原子、界面や欠陥の解析

測定装置の加速電圧、観察対象となる試料の厚み、そして得られる画像の S/N 比に関して、フラーレン、カーボンナノチューブ、グラフェンおよび h-BN など新炭素材料および二次元物質を対象に TEM および STEM-EELS 取得を行った。炭素原子ひとつ一つからなる炭素鎖がグラフェンに架橋した構造を、室温および高温でその中の炭素ペア間隔が異なることを STEM-EELS で観察し、炭素原子ひとつ一つの電子状態と理論計算を合わせて解析し、その結果を2017年 Nano Lett に発表した。

(4) 超薄膜、真空への試料固定による超高感度測定

ナノカーボン材料の表面に物理吸着した量子ドット像とそのエネルギー状態などのデータ取得を行った。特に発光材料となる量子ドットに関してそのサイズと EELS 吸収スペクトルを取得するとともに、レーザー照射による EELS の変化などに関してもデータ収集を行い、その詳細に関しては解析中である。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 電子顕微鏡、カーボンナノチューブ、グラフェン

〔研究題目〕 気相中熱酸化プロセスによるハイブリッドナノ粒子の創生と形態制御

〔研究代表者〕 古賀 健司 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 古賀 健司、平澤 誠一 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

これまでの研究で、金属 (卑金属) のナノ粒子の気相中での熱酸化によって、酸化物ナノ粒子へと変化するプロセスにおいて、その条件の制御によって異なる形態の粒子の作り分けが可能であることを見出ししてきた。特に、卑金属に貴金属を混合させて合金のナノ粒子を熱酸化させることで、貴金属と酸化物が接合したハイブリッドナノ粒子の生成と形態制御が可能である。本研究では、p型半導体の NiO ナノ粒子、および、それに貴金属 (Au, Pt, Pd) ナノ粒子が接合したハイブリッドナノ粒子、夫々について、異なる形態の粒子を気相生成させ、電極基板上に直接堆積させて膜を作成し、電気抵抗変化による水素センシング性能を調べることによって、ナノスケールの形態と物性との相関を明らかにすることを目標としている。

実験の結果、NiO ナノロッドが最も高い水素センシングの応答を示し、貴金属ナノ粒子が NiO ナノロッドの端部に接合したマッチ棒形態の粒子は、貴金属種にあまり依存せずに応答の大きな低下が観測された。外形が球形に近い形態を示す NiO 中空状ナノ粒子は、NiO ナノロッドに比べて低い応答を示した。それらの内部に貴金属を内包した粒子は、貴金属種に依存せずに、さらに低い応答を示し、マッチ棒形態粒子の応答と同程度であった。以上より、貴金属ナノ粒子の接合は、NiO の水素センシングにとって減感作用となることが明らかとなった。貴金属の接合様式 (外部か内部か) とハイブリッドナノ粒子の形態に依存しなかったことを考慮すると、化学的 (触媒) 作用では無く、電子的機構を示唆する結果である。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノ粒子、合金、酸化、貴金属、酸化物、結晶成長、ガスセンサ

〔研究題目〕 有機太陽電池の電荷分離・再結合の統計理論による究明

〔研究代表者〕 関 和彦 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 関 和彦 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

有機分子は、可視光の吸収に優れた分子の種類が豊富であり、太陽光の吸収という観点では、太陽電池として高いポテンシャルを有している。しかし、有機分子中では、強いクーロン相互作用のために、電荷対の熱解離が抑制される可能性が指摘されている。強い引力的なクーロン相互作用に抗して起こる励起子の熱解離について、様々な機構が提案されているが、それらの相違を調べる

方法の一つに、電荷対の解離確率の電場依存性がある。我々は、誘電率が低い媒質においては熱エネルギーとクーロン相互作用エネルギーの大きさが同程度となる電荷対間距離であるオンサガー距離が、初期の電荷分離の距離を特徴付ける分子間距離よりも十分に大きいことに着目した。電荷分離のクーロン相互作用に抗して熱的に電荷分離する場合には、電荷対間距離がオンサガー距離程度となるまでに、分布はボルツマン因子に近くなり初期電荷分離の角度依存性が失われるという仮定の下で、電荷分離の解離確率の電場依存性を求めた。そして、この仮定の妥当性については数値的に検証した。また、初期の電荷分離距離依存性についても、理論式を導出した。これらの結果を、PPV-PCBM のバルクヘテロ結合での電荷移動錯体からの発光収率の電場依存性に適用し、実験データの電場依存性を良く表すことを示した。また、電荷移動錯体の電荷分離速度は、発光の速度の10倍程度であることを示した。このように本研究では、統計理論とシミュレーションを併用して電荷分離の効率を求めた。また、有機分子の分子性や、不均一な構造の効果についても統計理論とシミュレーションを用いて検討を行った。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 有機薄膜太陽電池理論、電子移動、拡散

〔研究題目〕 低加速電子線が誘起するナノ物質の局所構造変化の実験的検証

〔研究代表者〕 佐藤 雄太 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 佐藤 雄太 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究課題は、透過電子顕微鏡の新しい領域である低加速電圧において、電子線照射によってナノ物質に生じる局所的な構造変化のメカニズムの解明を目的として、ナノチューブや金属ナノ粒子などを対象に原子レベル構造観察を実施するものである。また低加速電子線の照射下で生じる現象を直接捉え、加速電圧や照射量、試料温度、試料周囲の微量ガス等の要因について多角的検証を進めると同時に、より幅広いナノ物質を対象に低加速電子顕微鏡の応用を進めるための指針を得ることを目指している。平成28年度は、カーボンナノチューブ (CNT) に内包されたポリチオフェン (dimethylquaterthiophene; 4T) 分子の低加速 (S) TEM 観察に取り組み、電子線照射下における4T 分子の動的挙動を検討した。TEM 観察において、4T 分子が CNT 内部でその直径に応じて一列または二列に配列する様子が捉えられるとともに、STEM-EELS 測定においては、4T 分子中の硫黄原子を単原子レベルの感度で検出し、その空間分布を可視化することに成功した。また無機ナノ粒子の観察例として、メタクリル酸等のマトリクス中に存在する、酸化ハフニウムや酸化チタンの非晶質ナノ粒子の低加速 STEM 観察にも取り組んだ。加速電圧60 kV における STEM 観察において、これら

のナノ粒子の非晶質構造が維持されることが確認され、また金属元素の差異に応じてナノ粒子の分散状態が異なることも示された。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕TEM、STEM、EELS、ナノ材料

〔研究題目〕切削工具への耐摩耗性膜性膜のための卓上型プラズマ CVD 装置の開発とプロセスの研究開発

〔研究代表者〕清水 禎樹（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕清水 禎樹、中野 禪（常勤職員2名）

〔研究内容〕

難削材の加工で過酷な摺動環境に曝される切削工具の長寿命化に向けて、耐摩耗性や潤滑性に優れた薄膜コーティングによる寿命改善が検討されている。本研究の木テクは、このような成膜を、難削材加工の現場で簡易的に施すための、卓上型プラズマ CVD 装置の開発である。平成28年度は、卓上型プラズマ CVD 装置の開発を中心に研究開発を行った。装置は主に、円筒型の狭小なリアクター、リアクター内部にドリルを設置するための治具、プラズマ発生器で構成されている。リアクター内部は減圧が可能で、ドリルに対しては治具を介してバイアスが印加できる機構を備えており、ドリルを取り囲むようなプラズマ放電が可能である。今後は、当該開発装置を用いて、窒化チタンおよび炭窒化チタンなどの成膜・評価実験を実施する予定である。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕プラズマ、CVD、潤滑性薄膜、工具寿命

〔研究題目〕Gene-activating scaffold による in vivo 組織再生

〔研究代表者〕大矢根 綾子（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕大矢根 綾子、荒木 裕子
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

研究代表者らは近年、リン酸カルシウム（CaP）過飽和溶液中での共沈反応を利用し、DNA-CaP 複合体による遺伝子導入技術を開発してきた。前年度までに、CaP 過飽和溶液を用いてポリスチレン基材表面に集積させた DNA-CaP 複合体（表面集積型）の遺伝子導入機能を調べ、最適な共沈反応条件を見出した。また、この最適条件下では、過飽和溶液中での均一核形成によって、速やかに DNA-CaP 複合体のナノ粒子が生成することを明らかにした。平成28年度は、基材表面に集積する前の DNA-CaP 複合体粒子（液中分散型）を用いた遺伝子導入法について検討を行った。まず、前年度の検討結果を参考に、CaP 過飽和溶液の Ca および P 濃度を変化させ、DNA-CaP 複合体からなるサブミクロン粒子を複数種合成した。この際、複合体粒子に振動を与えることで、粒子の分散性と均質性の向上を図った。

得られた液中分散型のサブミクロン粒子を培養細胞に作用させ、遺伝子導入機能評価の結果に基づき合成条件を最適化した。最適化された DNA-CaP 複合体粒子（液中分散型）は、前年度に最適化した表面集積型の DNA-CaP 複合体と同等の遺伝子導入機能を示した。また、コントロール（遺伝子導入剤なしで培養した細胞）に対し細胞 viability の有意な低下は認められなかった。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕リン酸カルシウム、複合体、DNA、遺伝子導入、ナノコンポジット、粒子

〔研究題目〕吸引プラズマによる層状化合物のデジタルエッチング技術の確立

〔研究代表者〕宮脇 淳（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕宮脇 淳、久保 利隆（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究では、次世代超消費電力デバイスの実現のため、二次元層状物質の高品質な加工技術の開発を進めている。二次元層状物質の持つ物性を最大限に引き出し、実際に電子デバイスに適応するには、機能の源泉となる結晶性がよい単層の原子薄膜を用意すること、すなわち膜厚の一層単位の精密制御が必要不可欠である。我々の独自技術である加工残渣の少ない吸引型プラズマを最適化することにより、層状化合物のデジタルエッチングの可能性を検証し、プラズマによる欠陥低減・制御に向けた検討を行った。対象試料として二硫化モリブデンを用い、吸引プラズマの装置形状やエッチング条件を変化させて四フッ化炭素ガスによるエッチングを行い、試料表面を走査型プローブ顕微鏡を用いて観察することにより、デジタルエッチングの可能性を検証した。層制御が可能なエッチングレートと、エッチングのアスペクト比を最適化するための条件探索を行った結果、15層毎秒程度のエッチングレートで原子層を剥離した後に、サブミクロンオーダーのテラス領域を残すことに成功した。また、エッチングメカニズムとして、初期段階に広いテラス上に穴状の欠陥形成が始まり、その欠陥からは縦方向よりも横方向に優先的にエッチングが進行することにより、テラスの形成が進行していくことを明らかにした。このメカニズムはモンテカルロ法を用いた計算シミュレーションにより検証された。一方、エッチング後の表面には多数の欠陥が残留しており、デジタルエッチングに対しては問題になることが判明したため、この欠陥を熱処理により低減させることを試みた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕二次元層状物質、プラズマ、エッチング

〔研究題目〕機能性ナノ構造体を活用した花粉交配法の開発

〔研究代表者〕都 英次郎（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕都 英次郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年、作物の受粉を担う蜜蜂の大量減少は、食糧危機に関わる世界規模の問題になっている。本研究では、効果的に花粉を吸着・媒介可能な新規材料を開発することを目的としている。本研究は、世界規模の蜜蜂減少に対する高性能材料による安心・安全な花粉媒介を可能にする普遍的技術の基礎になる。本研究目的を達成するために、本年度は不揮発性、高粘性のイオン液体ゲルを合成し、プロトン NMR、接着性、機械的強度、粘弾性、水接触角度等の種々の物性解析を行った。また、当該イオン液体ゲルをアリやハエの体表面に成形させ、チューリップの花粉吸着量を光学顕微鏡ならびに電子顕微鏡により解析した。この結果、当該イオン液体ゲルを塗布した昆虫が効果的に花粉吸着することを明らかにした。また、本イオン液体を塗布した垂直配向型の馬体毛を飛翔ロボット（ドローン）表面に装着させ、ラジオ波でコントロールすることで、ユリ花粉の媒介挙動を蛍光顕微鏡により検証した。この結果、当該飛翔ロボットによって花粉を花から花へ媒介することに成功し、花粉稔性（花粉管成長）を蛍光顕微鏡により観察することができた。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕花粉交配、バイオミメティクス、ドローン、ミツバチ、ゲル

〔研究題目〕導電性高分子 PEDOT/電極間接触抵抗の大幅な低減による有機ペルチェ冷却素子開発

〔研究代表者〕桐原 和夫（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕桐原 和夫、石田 敬雄（常勤職員2名）

〔研究内容〕

新しい熱電変換材料として注目される導電性高分子 PEDOT:PSS について、その高出力化のボトルネックの1つである、金属電極界面での高い固有接触抵抗を従来の値の1/10000にするための、電極界面の評価技術確立、構造設計・接合技術改良を行うことを目標とする。28年度は、PEDOT:PSS と電極の固有接触抵抗の効率的・定量的な測定技術を確立し、その計測結果をもとに、固有接触抵抗増加の一因と考える PEDOT:PSS と電極の界面劣化の機構とその防止策の具体案を検討した。

まず、本研究の出発点として、PEDOT:PSS と金属電極の固有接触抵抗を定量的に測定する技術を確立した。印刷デバイス等への実用化を念頭に銀ペーストを PEDOT:PSS 上に既定の電極面積及び電極間距離で電極形成するためのマスク加工・ペースト塗布条件を最適化するとともに、伝送線路法を用いた固有接触抵抗測定装置を立上げた。これにより、最適な塗布条件で固有接触抵抗が105 $\mu\Omega\text{cm}^2$ 前後の値であり、数週間後には1桁以上高くなる様子を定量的に確認できた。さらに、製膜後の PEDOT:PSS 表面を洗浄して余分な PSS を除去してみると、電極形成時の固有接触抵抗は従来の値の

1/100である104 $\mu\Omega\text{cm}^2$ 前後であることが分かった。この結果から、PSS の析出を防止しつつ、電気伝導を担う PEDOT と金属との強固な化学結合形成を有する新規の界面形成の具体的なアイデアを検討した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕導電性高分子、接触抵抗、熱電変換

〔研究題目〕ナノスペースを利用した低次元材料の原子スケール評価と応用に向けた要素技術開発

〔研究代表者〕千賀 亮典（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕千賀 亮典（常勤職員1名）

〔研究内容〕

カーボンナノチューブやグラフェンなどの低次元材料はバルク状態とは異なる低次元特有のユニークな物理特性を有し、幅広い分野での応用が期待されている。しかしながら実験の難しさなどから、詳細な物性発現メカニズムは未だすべてが解明されているわけではない。さらなる理解のためには原子レベルで見た材料の構造と性質を定量的に結びつける必要がある。この研究では特にこれまで評価が難しかった一次元材料に焦点を当て、応用に向けた要素技術開発を行ってきた。まず平成26年度にヨウ化セシウムを原料とした異なる原子が1列に並んだ原子鎖の合成と評価に成功した。原子の種類によって動的挙動が異なるなど、マクロなスケールでは現れないユニークな現象を次々と発見した。これを基に平成27年度はさらに幅広い材料を用いた一次元材料の評価へと研究を展開し、軽元素を含む原子鎖の合成及び評価を通して、電子顕微鏡を用いて初めてリチウム単原子を可視化することに成功した。さらに平成28年度は、これまで構造評価が中心であった電子顕微鏡観察において、一次元材料の物性評価に踏み込んだ新たな評価手法を構築した。具体的には高分解能電子エネルギー損失分光法によってカーボンナノチューブの欠陥を含む原子構造と光学特性、輸送特性を1対1で対応付けすることに成功した。ここで開発した手法は様々な材料に対しても原子構造と物性を定量的に結び付けることができるため、今後さらに低次元材料の物性発現メカニズムの解明が進むものと期待される。

〔領域名〕材料・化学領域

〔キーワード〕低次元材料、カーボンナノチューブ、ナノスペース

〔研究題目〕局所加熱による溶融液相を用いたチタン酸化合物球状粒子の合成

〔研究代表者〕石川 善恵（ナノ材料研究部門）

〔研究担当者〕石川 善恵、新保 外志夫（常勤職員2名）

〔研究内容〕

酸化チタンと炭酸マグネシウムの混合分散液に対する

レーザー照射によって、チタン酸マグネシウム化合物球状粒子が得られることを確認していた。この系では、波長355nmのレーザー照射中に酸化チタンが熔融するのにたいし、炭酸マグネシウムは固体のままである。そこで本年度は、混合分散液へのレーザー照射によって得られる複合材料球状粒子のメカニズムをより理解することを目的とし、材料は当初の目的とは異なるが、照射するレーザー波長に対していずれも光学吸収を有する材料の組み合わせによる複合球状粒子の生成を試みた。原料であるヘマタイトと B_4C のエタノール混合分散液に、532 nmのレーザー光を照射した。照射後の磁気回収物の化学組成はレーザー光のエネルギー密度に依存しており、 $75, 100 \text{ mJ cm}^{-2} \text{ pulse}^{-1}$ ではマグヘマイトや $\gamma\text{-FeOOH}$ が得られたのに対し、 $150 \text{ mJ cm}^{-2} \text{ pulse}^{-1}$ 以上では新たにFeBの生成が確認出来た。磁気回収粒子のXRD分析によって、FeBの生成比率はレーザーのエネルギー密度の上昇にしたがって増加した。レーザー光の各エネルギー密度において、粒子が吸収したエネルギーから見積もられる到達温度より、 $150 \text{ mJ cm}^{-2} \text{ pulse}^{-1}$ 未満のレーザー照射では、原料であるヘマタイトは熔融しているのに対して B_4C は固体のままであり、一方で $150 \text{ mJ cm}^{-2} \text{ pulse}^{-1}$ 以上のレーザー照射では、ヘマタイトと B_4C の両方が熔融していると考えられた。これらの結果より、マグヘマイトと B_4C の系において混合原料粒子の複合球状粒子を得るためには、両方の原料粒子が熔融している必要があることが明らかとなった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】液中レーザー熔融法、サブミクロン球状粒子

【研究題目】Photoinduced Dedoping of Conducting Polymers: Patterning and Device Application

【研究代表者】衛 慶碩（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】衛 慶碩（常勤職員1名）

【研究内容】

有機電子デバイスの性能を高めるためには、共役高分子の伝導機構の解明と特性向上が必要である。そのためには、共役高分子のドーピングレベル等の物理的特性を理解することが重要となる。従来の研究では、中性の共役高分子のキャリア密度の制御には、薄膜トランジスタ（TFT）構造を利用してきた。誘電体においては、無機材料における高度な作製手法と特性評価手法が確立されていることから、共役高分子のキャリア輸送特性とキャリア密度の関係についての研究に、無機誘電体と有機誘電体からなるTFTを用いた方法が広く使われてきた。このTFTを利用した手法は、ドーピングとデドーピングを可逆的に制御できることに利点がある。しかし、共役高分子中のキャリアは、安定ではなくむしろ不安定で、ゲート電圧を不安定にする。従って、このアプローチは、

厳密には、低誘電率で低キャリア密度の従来型のTFTに限定されるべきである。より高いキャリア密度の計測には、電解質ゲートトランジスタや電気化学トランジスタが用いられるが、これらの手法でのドーピングは共役高分子中のイオン拡散によるため、膜形態や膜中の不規則性誘起トラップの影響を受けてしまう。本研究の目的は、固体光誘起電荷移動反応を利用してドーピング制御を行う新しい手法の開発である。この手法を確立できれば、低キャリア密度から高キャリア密度までの共役高分子のキャリア挙動を研究するうえで、有望な手段となることが期待できる。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】有機半導体、ドーピング、移動度

【研究題目】カーボンナノチューブデバイスの高性能化とばらつき低減技術の開発

【研究代表者】栞原 有紀（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】栞原 有紀（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では集積単位ともなる単層カーボンナノチューブの一本の物性と構造制御し、カーボンナノチューブの高次構造構築の技術を開発することにより、最終的にはカーボンナノチューブ薄膜デバイスの高性能化と性能のばらつきの低減を目指す。平成28年度では、カーボンナノチューブ薄膜トランジスタの基礎物性評価としてデバイス性能に対する半導体カーボンナノチューブの長さの影響を調べた。また、分離して得られた半導体カーボンナノチューブ分散液のインクとしての安定性の評価、インクの塗布技術の構築を行った。

カーボンナノチューブを非イオン性界面活性剤で分散し、電界誘起層形成（ELF）法を用いて半導体カーボンナノチューブの高純度化を行うことで半導体インクを調製した。これをさらにサイズ排除クロマトグラフィーを用いて長さで分級し、各カーボンナノチューブ薄膜を熱酸化膜付きシリコン基板上に形成し、最後に電極を蒸着してデバイスを作製した。長さが異なるとパーコレーション閾値が異なる。そのため、各カーボンナノチューブの密度が異なるデバイスを複数作製することで、オンオフ比、オン電流、移動度の性能において傾向を比較した。結果、高純度半導体カーボンナノチューブの長さの違いによる性能の優位差はほぼみられないことを確認した。また、インクの安定性については、約4カ月にわたりカーボンナノチューブの製膜性およびデバイス性能の経時変化を評価し、この期間においてインクの安定性を確認した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノチューブ、トランジスタ、分離、印刷

【研究題目】新規炭化ホウ素ナノワイヤの熱電物性計

測及び伝導機構解明による廃熱発電素子の開発

〔研究代表者〕 桐原 和大 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 桐原 和大、向田 雅一、清水 禎樹
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

身の回りの未利用熱を電力に変換する熱電材料として、有望な炭化ホウ素に焦点を当て、そのナノ構造化による高性能化を目指す。新規の炭化ホウ素ナノワイヤを作製し、ナノワイヤ1本の高精度な熱起電力及び電気伝導率の計測を行う。ホウ素クラスターや構造欠陥を通じたホッピング伝導による電気的性能向上、ナノ構造におけるフォノン散乱による低熱伝導率化、等を手がかりに、画期的な高性能化を実現するナノワイヤを探索することを目的とする。

従来のバルク(焼結体・単結晶)の値を上回る、炭化ホウ素ナノワイヤの高い熱電性能の要因を探るべく、導電率及び Seebeck 係数の温度依存性の詳細な解析を行い、ナノワイヤの電気伝導機構を解明した。特に、200K～室温の温度域を挟んで、低温側では可変領域ホッピング伝導、高温側ではスモールポーラロンによるホッピング伝導に従う電気伝導であることが分かったが、両者の伝導機構が温度変化で遷移する背景に、ホッピング距離が、上記2つの伝導の拮抗する温度域でいずれも炭化ホウ素正20面体クラスター間の距離に対応する点を明らかにした。双晶や積層欠陥などが入ることで欠陥準位を介した可変領域ホッピング伝導を炭化ホウ素で初めて明瞭に観測できた。さらに、炭化ホウ素のナノワイヤの熱伝導率の低下に関して、Callaway 理論及び Matthiesen 則に基づいた考察を行い、炭化ホウ素中の点欠陥(ホウ素が部分的に炭素に置換されることによる欠陥)より、ナノスケールのサイズ効果の方が、より効果的にフォノン散乱を引き起こすことを明らかにした。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノ材料、熱電変換、ナノ物性計測、炭化ホウ素

〔研究題目〕 孤立カーボンナノチューブのナノ配列制御と電子デバイス応用

〔研究代表者〕 田中 丈士 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 田中 丈士、片浦 弘道、周 波
(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

本研究課題では、生体物質である DNA (デオキシリボ核酸) の自己組織化能力を用いて、カーボンナノチューブを配列させることを最終的な目標とし、カーボンナノチューブの構造やエナンチオマー(右巻きと左巻き)の違いが DNA との相互作用に与える影響を調べることを目的としている。平成28年度は、所属機関の方針により研究代表者が急遽、研究所の外部機関に併任出向す

ることとなった。そのため、研究代表者が担当となっている、DNA とカーボンナノチューブの各エナンチオマー(右巻きと左巻き)の相互作用を解析する実験をほとんど進めることができなかった。最終的に、後述するように、補助事業期間延長の申請を行い、平成29年度まで事業期間を期間延長することとなった。一方、共同研究者が進めるエナンチオマーも分離した単一構造カーボンナノチューブの大量調製については、当初の計画通りクロマトグラフィー装置を用いて大量に分取できる条件が得られた。補助事業期間延長申請の承認を受け、研究代表者の併任出向が解け研究を再開できる平成29年度は、平成28年度当初に計画していた、カーボンナノチューブのエナンチオマーの DNA に対する相互作用の解析を進め、成果をまとめる。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 カーボンナノチューブ、エナンチオマー、DNA

〔研究題目〕 カーボンナノチューブを用いた蛋白質の光クロマトグラフィ

〔研究代表者〕 平野 篤 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 平野 篤、和田 百代
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

生物学的製剤は、ターゲットに対する高い特異性をもち、かつ副作用が少ないため、低分子の医薬品では困難であった病気に対する次世代の治療薬として期待されている。その一方で、生物学的製剤は溶液中で不安定であり、凝集や変性を引き起こしやすい性質を有するため、投与した際の抗原性などの問題が懸念されている。生物学的製剤を如何に安定に精製するかが産業応用上の課題となっている。

本研究ではカーボンナノチューブを固定化したカラムを作製し、光を使って蛋白質を精製するクロマトグラフィの開発に取り組んだ。本手法は、光照射によって蛋白質の吸着・溶出を制御するため、溶離液を用いる従来法では不可能であった不安定な蛋白質を安定に精製することが可能になると期待される。

当該年度ではカーボンナノチューブと蛋白質のチオール基の相互作用を評価した。蛋白質のチオール基はカーボンナノチューブと酸化還元反応を起こし、その結果、チオール基はジスルフィド結合を形成することが明らかになった。このようなカーボンナノチューブと蛋白質の相互作用は当該カラムクロマトグラフィ技術を完成させる上で重要な知見であり、今後、如何にこのような相互作用を抑制するかが課題である。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノチューブ、蛋白質、クロマトグラフィ

〔研究題目〕 カーボンナノチューブによる褐色脂肪組織の近赤外光造影

〔研究代表者〕 湯田坂 雅子 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 湯田坂 雅子、蓬田 陽平、片浦 弘道、田中 丈士、張 民芳 (ナノ材料研究部門)、佐伯 久美子 (国立国際医療研究センター)、岡松 優子 (北海道大学)、石原 一彦 (東京大学)
(常勤職員3名、他5名)

〔研究内容〕

カーボンナノチューブ (CNT) による褐色脂肪組織 (BAT) 造影の基礎を構築し、BAT 造影剤として動物実験レベルでの実用化に向けた研究を加速させるために、CNT が BAT に集積するメカニズムを明らかにした。2016年度研究では、CNT の表面を poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine-co-n-butyl methacrylate (PMB) という生体親和性の高いポリマーで被覆 (PMB-CNT) して用いた。PMB は金属やプラスチックの表面を PMB で被覆すると、生体分子との相互作用が軽減され、炎症反応や免疫応答を惹起することがほとんどないと報告されている。PMB-CNT の場合も、疎水性のブチル基が CNT に吸着し、表面には親水性基が多数露出することで、PMB-CNT の生体親和性が高くなっていると考えられる。PMB-CNT をマウスに経尾静脈投与し、近赤外 (NIR) カメラにより全身撮影を行ったところ、脂肪組織が再現性よく造影された。また、脂肪組織における CNT 発光強度から CNT 量は BAT : 白色脂肪組織 (WAT) ~20:1 であることがわかり、PMB-CNT が BAT 優先的に集積することを示していた。NIR 蛍光顕微鏡による BAT を観察から、CNT は BAT や WAT の毛細血管の内皮細胞内にいると推定された。この推定が妥当であることを血管内皮細胞の免疫染色、および透過電子顕微鏡観察により確認した。また、Western Blotting などにより PMB-CNT がマウス血清中の ApoB、ApoE、ApoC を特異吸着することも確認された。従って、PMB-CNT が脂肪組織の毛細血管内皮細胞内に集積するのは、血中でアポリポタンパクが PMB-CNT に吸着し、そのアポリポタンパクが脂肪組織毛細血管内皮細胞に発現している受容体に捕らえられるためと推定された。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 ナノチューブ、褐色脂肪組織

〔研究題目〕 感応性化学種の二光子吸収特性の解明と測定評価基盤の確立

〔研究代表者〕 鎌田 賢司 (無機機能材料研究部門)

〔研究担当者〕 鎌田 賢司 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は新規な感応性化学種について、その分子構造と二光子吸収特性の関係を明らかにし、応用を探索する

と共に、二光子吸収を用いた化合物の応用研究の加速に資するため、分光学的非専門家でも二光子吸収の評価が容易となる様に比較対象物質 (標準物質) を整備することを目的とする。

本年度は、新規波長可変レーザー光源の特徴を活かした新しい測定手法の検討を行い、二光子吸収スペクトルの外形が得られるまでの所要時間を従来手法の1/3にまで短縮することに成功し、その手法を用いて標準物質としてローダミン系色素やジフェニルアセチレン系色素についての二光子吸収スペクトルを得た。本手法では、二光子吸収以外の非線形吸収が存在するかどうかの確認について、励起光強度を変えた補足的な測定も合わせて必要である。また、一重項開殻性を持つ共役型高周期典型元素化合物の測定を行い、この新規感応性化学種が970~1,050 nm の幅広い波長域で二光子吸収を持つことを見出した。この波長域で得られた信号は純粋な二光子吸収から得られるものに比べて若干のずれを示し、三光子吸収の寄与も存在することも示唆された。さらにこの新しい測定手法を適用して、新規な金属錯体系やヘテロ環骨格を持つ化合物系で顕著な二光子吸収が得られることを明らかにした。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 感応性化学種、高周期典型元素、二光子吸収

〔研究題目〕 導電性酸化物単結晶を用いた粒子整列塗膜の実現と物性解明

〔研究代表者〕 鶴田 彰宏 (無機機能材料研究部門)

〔研究担当者〕 鶴田 彰宏 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

室温電気抵抗率が1 mΩcm 以下である導電性酸化物 $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{13-\delta}$ に対する強塩基フラックス法を用いた単結晶微粒子合成において、結晶方位を反映した形状異性を有する粒子合成を検討した。合成温度や原料濃度、温度プロファイル等の様々な結晶成長パラメータの制御により、100 nm から10 μm の間での粒子サイズ制御を達成した。しかしながら、合成可能な粒子形状は粒子サイズを問わず立方体形状であった。粒子面と結晶方位の解析から、粒子面が複合ペロブスカイト型酸化物である $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{13-\delta}$ 結晶格子を構成する基のペロブスカイト構造の最安定面であることが明らかとなり、粒子形状を律速する成長安定面が異方性を持たないため、少なくとも結晶成長速度が非常に速い強塩基フラックス法においては、当該材料に対して、異方的な形状での粒子合成が困難であるという結論に至った。

次に一辺が10 μm 程度の立方体 $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{13-\delta}$ 粒子整列膜の作製を検討した。各種溶液内でブラウン運動が働かず分散はおろか浮遊させることすら困難である粒子サイズに対し、キューブ状粒子整列膜で一般的に用いられるディップコート等の手法は適用できず、本研究内で

は新規マイクロサイズ立方体粒子整列膜作製手法を開発しマイクロサイズ $\text{La}_4\text{BaCu}_5\text{O}_{13-\delta}$ 立方体粒子整列膜を実現した。また、作製した粒子整列膜の電気特性に関して検討し、粒界電気輸送特性等に関して考察した。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕酸化物、電気伝導性、単結晶微粒子、粒子整列

〔研究 題 目〕面発光レーザの表面実装に関する研究

〔研究代表者〕金高 健二（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕金高 健二（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

情報処理システムの高性能化・省電力化のため、光電子融合回路の実用化が急務である。高密度光配線の集積実装技術を構築することは、実用化に向けた重要課題の一つである。本研究では、面発光レーザから高密度光配線へ信号導波光を結合する実装手法として新規な光集積素子を提案・検討し、理論的・実験的に実証することを目的とする。

これまでに、光導波路と表面周期構造から構成される導波モード共鳴フィルタの開口サイズの微小化を目指し、分布ブラッグ反射器ペアで構成する光導波路共振器内に導波モード共鳴フィルタを集積した、共振器集積導波モード共鳴フィルタを提案し、開口サイズ4~10 μm の素子を実証した。また、共振器内での導波モード共鳴フィルタの位置が素子特性に大きく影響することを理論的、実験的に明らかにし、より狭帯域の素子を実証した。さらに、共振器集積導波モード共鳴フィルタと金属ミラーとを集積した、共振器集積導波モード共鳴ミラーを試作し、ノッチフィルタリング特性を示す素子を理論的・実験的に明らかにした。

本年度は、共振器集積導波モード共鳴フィルタにおいて、共振器を構成する分布ブラッグ反射器の特性を制御することにより、本フィルタが狭帯域高反射兼導波光励振素子として機能することを理論的・実験的に検討した。また、共振器集積導波モード共鳴ミラーでは、誘電体多層膜ミラーを使用することで、より狭帯域なノッチフィルタ素子を実証した。

〔領 域 名〕エレクトロニクス・製造、材料・化学

〔キーワード〕光集積回路、光導波路、周期構造、導波モード共鳴、波長フィルタ、光結合

〔研究 題 目〕貴金属と低次元酸化物のナノ界面制御による低温酸化触媒の構築

〔研究代表者〕富田 衷子（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕富田 衷子、多井 豊（常勤職員2名）

〔研究 内 容〕

本研究は、水賦活処理を利用した界面制御方法を発展させて、低温酸化活性の高い貴金属触媒を構築することを目的とした。平成28年度には、開発触媒を用いて、

プロパン、プロピレン、トルエンの酸化活性評価を行った。

白金鉄アルミナ系開発触媒でトルエン酸化活性を評価したところ、約150 $^{\circ}\text{C}$ 以上でトルエンが酸化され、生成物は CO_2 のみであった。

プロパンおよびプロピレンの酸化には、白金担持アルミナ触媒で、助触媒に鉄とセリウムを使用し、熱処理後の性能を評価した。

助触媒に鉄を使用した場合、少量の鉄（白金と等モル程度）を含有させ水賦活処理を行うことで熱処理時の白金の金属分散度の減少を抑制でき、プロパン酸化活性が向上した。鉄量が多くなると、金属分散度は減少したがプロパン酸化活性は向上し、白金の5倍モル程度の鉄で極大になった。プロパン酸化の律速過程は、プロパンの C-H 解離吸着とされている。鉄がプロパンの C-H 解離吸着を促進してプロパン酸化活性が向上したと考えられる。実際に、白金への吸着エネルギーが元々大きいプロピレンの酸化活性は鉄によって促進されなかった。

助触媒にセリウムを使用した場合にも、少量のセリウム（白金の5倍モル程度）を含有させ水賦活処理を行うことで熱処理後の金属分散度減少を抑制でき、プロパンおよびプロピレン酸化活性が向上した。過剰のセリウムでは金属分散度は増加したものの酸化活性は低下した。この場合、セリウム上で白金が高分散するものの、白金が酸化されるために活性が低下したと考えられる。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕貴金属、炭化水素、酸化触媒

〔研究 題 目〕シート構造を有するメソポーラスシリカの創製とその応用に関する研究

〔研究代表者〕加藤 且也（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕加藤 且也（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

一般的にメソポーラスシリカ（MPS）粒子は、作製条件を変化させることで、その粒子構造が球型や棒型に変化することが知られている。しかし、シート型の MPS を安定的に多量作製する方法は、いまだ確立していない。昨年度までにシート型 MPS の横や厚さのサイズをコントロールして作製し、その構造について詳細に検討を行った。本年度は、その粒子にタンパク質である酵素を担持させて、その活性評価を行った。触媒酵素のモデルとしてチトクローム c（分子サイズ $2.5 \times 2.5 \times 3.7 \text{ nm}$ 、分子量12 kDa）を、今回合成したシート型 MPS 及び一般的なメソポーラスシリカである MCM-41 と SBA-15 に固定化し、過酸化水素添加条件下におけるフェノール及び4-アミノアンチピリンの酸化触媒活性を測定した。その結果、シート型 MPS はチトクローム c の担体として、その触媒活性を大きく増強させることが明らかになった。さらに、シート型 MPS の応用展開を図るため、金属イオン（亜鉛及び銅）の吸

着材としての機能を解析した。結果として、亜鉛の最大吸着量は、0.22 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ であり、MCM-41の最大吸着量と比較して非常に大きかった。銅イオンの吸着においても同様に、シート型 MPS は高い金属イオン吸着特性を示した。以上から、シート構造が金属吸着に影響を与えることが示唆された。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕シリカ、シート構造、酵素、吸着、金属、メソポーラス

〔研究 題 目〕DNA 由来高分子を利用した高分子アクチュエータ

〔研究代表者〕杉野 卓司（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕杉野 卓司、安積 欣志

（常勤職員2名）

〔研究 内 容〕

本研究課題では、ナノカーボン高分子アクチュエータの高分子材として DNA 由来の高分子を用いることにより、変形応答の安定した、効率よく変形する高分子アクチュエータの開発および DNA の持つ分子認識特性を応用した新規センシングデバイスの開発を目的として研究を進めている。今年度は、昨年度得られた DNA 由来固体電解質とカーボンナノチューブが DNA 高分子中に分散した電極膜から三層構造のアクチュエータを作製し、その変形応答を調べることを試みた。

水分散により得られた電極膜及び電解質膜は水分が乾燥するともろくなり、加熱圧着による固体電解質膜との積層化（三層化）ではうまく接着せず、三層化構造のアクチュエータを作製することができなかった。そこで、水分散時にイオン液体を共存させて電極膜、電解質膜を作製したところ、適度な柔軟性が付与され、圧着による積層化に成功した。2V 程度の電圧を印加したところ、変形応答は遅いものの DNA 由来高分子を支持高分子とするアクチュエータの作製に成功した。これまで、ナノカーボン高分子アクチュエータの変形応答の問題点として、長時間電圧通電した際に、変形が戻ってしまうことがあった。この点、今年度、DNA 由来高分子を用いて作製したナノカーボン高分子アクチュエータは2時間程度直流電圧を印加しても変位の戻り現象が見られず、安定した変形応答を示すことができた。イオン液体としてイミダゾリウム系のイオン液体を用いた場合、DNA 由来高分子からなる電解質膜のインピーダンスを測定した結果、DNA 高分子中のイオンの移動度は1 mS/cm 以下であることが分かった。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕DNA、アクチュエータ、ナノチューブ、疎水化、センシング

〔研究 題 目〕シリカガラス中の特異な酸素配置を有する光活性イオンによる新規機能の創製

〔研究代表者〕赤井 智子（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕赤井 智子（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

メソポーラス構造を有するシリカガラスの内部に遷移金属等の光活性イオンをドーピングして焼成すると、そのイオンの周囲に配位数の低い歪んだ特異な構造が発生し、その結果、この化学組成では通常得られない紫外励起による高効率発光が観察される。本研究では、この焼成過程で生じる特異な酸素の配位構造を制御することで、新規な発光材料を創出することを目的として研究を行う。そのためまず、この特異な構造の構造精密決定手法、電子状態との理論的な相関解明、構造制御方法の三点について、実験、量子化学計算の両者を用いてその基盤を確立する。その手法を用いて、金属—シリカガラスという単純かつ安易な組成系で、LED、太陽光コンバーターに使用される近紫外または赤外で高効率に可視～近赤外で発光する可能性のある構造を提案し、それを実際に合成して実証することを目的とする。

本年度は Cu K-edge の XANES スペクトルの形状を元に量子化学を用いて提案されたモデルと EXAFS スペクトルとを比較した。その結果、Cu-O 距離を若干調整すると EXAFS スペクトルの形状が概ね説明できることがわかった。また、量子化学計算から状態密度を計算すると、3d 軌道と4p、4s 軌道が混成しており、この混成によって禁制がとけて遷移確率が向上し、強い発光を示すようになったと考えられる。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕メソポーラスシリカ、XANES、量子化学計算

〔研究 題 目〕高分子ロボットカテーテルシステムの開発

〔研究代表者〕堀内 哲也（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕堀内 哲也（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

現在、血管内カテーテルによる低侵襲外科手術が盛んである。低侵襲手術とは患者へのダメージが少ない手術の総称であり、特に70歳以上の高齢患者への手術の適用範囲を広げた。その中でも血管内カテーテル手術は、患者の身体を切り開くことなく、患者の血管を經由して患部を処置することが可能である。

しかしカテーテル手術の問題として、現在はガイドワイヤによる手操作に過ぎず、緻密な手術は不可能という点があり、機械的に繊細な操作可能なロボットカテーテルの登場が望まれている。

本研究では、産総研基盤技術である高分子アクチュエータを用いて、ロボットカテーテルシステムを開発する。高分子アクチュエータとは、イオン導電性高分子の表面に金メッキを設けることで作製される。金メッキは、正極と負極に分かれ、それぞれに正負の電圧を印加するこ

とによりイオン導電性高分子内部に電場が発生する。その電場によって内部陽イオンと水分子が局在し体積変化が生じ、その体積変化分がアクチュエータの変位となる。本アクチュエータをカテーテル形状にすることで、外部電圧印加で駆動するカテーテルが試作可能となる。

本研究では、カテーテル部分のみならず、カテーテルコントローラを人間工学的観点から設計し、実用に耐えうるレベルのシステムを試作する。現在の進捗では、カテーテル先端部断面をトラック形状に変更することで断面二次モーメントを軽減し、屈曲曲率を従来の10倍程度に向上させることに成功した。理論値では160倍まで向上可能である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】高分子アクチュエータ、カテーテル、低侵襲外科手術

【研究題目】両イオン伝導体を用いた高効率メタン発 電用固体酸化物形燃料電池の開発

【研究代表者】島田 寛之（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】島田 寛之（常勤職員1名）

【研究内容】

高効率発電デバイスとして、両イオン伝導性を有する固体酸化物形燃料電池（SOFC）の開発を行った。電解質候補材料として、高いイオン伝導率を有するBa(Zr,Ce,Y,Yb)O₃（BZCYYb）を選択し、BZCYYb電解質とNiO-BZCYYb（NiOとBZCYYbの混合材料）燃料極支持体の共焼結条件の最適化、およびSOFC特性について検討した。これまでの検討において、高温焼成プロセス中に起こるNiのBZCYYb結晶中への固溶によりイオン伝導率が低下し、相対的に電子（ホール）の輸率が増加することで、電子リークによる発電効率の低下が起こることがわかっている。そこで、BZCYYb電解質とNiO-BZCYYb燃料極支持体の共焼結温度を1,300から1,400℃まで変化させ、燃料極支持体からBZCYYb電解質へのNiの拡散の様子を、高分解能波長分散型X線を用いて分析した。その結果、共焼結温度の増加に伴い、Niの拡散量および拡散距離が増加することを半定量的に把握することができた。また、電解質抵抗が共焼結温度の上昇に伴い、増加することが観測された。イオン輸率の観点からは、BZCYYb電解質の膜厚が重要であり、現在の共焼結によるセル製造プロセスでは、電解質膜厚20 μm以上とすることにより、90%以上のイオン輸率（700℃時）を得られることがわかった。以上のように、今年度の検討により、(1)燃料極支持型SOFC製造プロセスの最適化、および(2)イオン輸率の向上、を達成できた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】セラミックス、両イオン伝導体、プロトン、酸化物イオン、固体酸化物形燃料電池、SOFC、電気化学

【研究題目】ガラス構造と内部応力を利用した結晶化 ガラスエンジニアリングの構築

【研究代表者】篠崎 健二（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】篠崎 健二（常勤職員1名）

【研究内容】

結晶化ガラスはガラスと結晶の双方の特徴を併せ持つハイブリッド材料である。単純な組み合わせの特性が得られるだけでなく、ガラスという固体から結晶が析出するため、結晶合成法としてみたとき、液相当を経由する他の合成法とは異なる特徴がある。本課題ではガラス構造と結晶構造の相関、および、構造の再配列に伴う巨大な体積変化に由来し誘起される巨大応力に注目した。今年度は以下の成果を得た。

- 1) フッ化物は低粘度成分であることなどから、酸フッ化物ガラスは一般的に熱処理によりフッ化物結晶を析出する。本研究課題において、MgF₂-BaO-B₂O₃系のガラスを熱処理結晶化した場合はフッ化物結晶ではなく、酸フッ化物結晶BaMgBO₃Fが析出することを初めて明らかにした。これはFがフリーな状態ではなく架橋性の構造を取っており、ガラス中のFの状態を制御することで析出結晶相を制御できることが示唆された。このガラスは極めて高い発光効率や真紫外域までの広い光透過性を示すなど、ガラス結晶化制御のみならず革新的物性を示す新規ガラス開発につながる成果である。
- 2) SrAl₂O₄となる組成のガラスをガス浮遊法によって合成し、熱処理結晶化を施した結果、結晶化の際に誘起される巨大応力によって安定相の単斜晶系のSrAl₂O₄結晶ではなく、高温相の六方晶のSrAl₂O₄結晶を相転移させること無く室温まで冷却することに成功した。この六方晶のSrAl₂O₄結晶にEu²⁺とDy³⁺を共添加することで、高温相からの長残光特性の発現を初めて明らかにした。この高温相結晶では、低温相に比べ励起ピークが長波長シフトしており、青色LEDでも有効に励起できるようになることから、可視光利用の観点からの有用性を提案した。また、本課題の骨子と成るガラス結晶化により生じる巨大応力場がガラス結晶化により合成される結晶相の結晶構造制御に有効であることを提示した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】結晶化ガラス、高温相、蓄光

【研究題目】分子構造デザインによる非シリカ系ハイ ブリッドメソ多孔体の精密合成技術の開 発

【研究代表者】木村 辰雄（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】木村 辰雄（常勤職員1名）

【研究内容】

種々の合成条件を検討した結果、ベンゼン架橋ではホ

スホン酸エステルの部分的な酸処理を必要としたが、アミノ基及びスルホン酸基を含む場合は、ホスホン酸エステルから直接薄膜合成を行った方が、構造規則性のより高いメソポーラス薄膜を得ることができた。有機官能基の安定性等を正確に把握しなければ適切な触媒反応の選択並びに反応条件が設定できないため、各種メソポーラスホスホン酸アルミニウム薄膜の耐熱性評価に必要な各種分析（データ収集）に注力した。耐熱性（400℃）が高いベンゼン架橋を基本骨格として、焼成温度の影響を細かく調査した結果、250℃より高温域ではアミノ基、400℃より高温域ではスルホン酸基が除去されることを確認した。従って、アミノ基とスルホン酸基を同時に有する場合でも、250℃以上温度で焼成するとスルホン酸基のみを残存させることができる。即ち、有機官能基の耐熱性を考慮して適切な温度で焼成することで、アニリン或いはベンゼンスルホン酸で架橋されたメソポーラスホスホン酸アルミニウム薄膜が得られることを明確化した。以上の結果は、親水空間が誘起する特異な吸着機能や触媒機能の調査が可能なレベルに研究成果を高めることができたことを意味している。

その他、アルミニウムとは反応性が異なる金属種（チタン、バナジウム等）でもメソポーラス金属ホスホン酸塩の薄膜合成を行った。より反応性が高いチタン系は非水系で合成する必要があったが、ベンゼン架橋のホスホン酸チタン或いはホスホン酸バナジウムの規則性メソポーラス薄膜を得ることに成功しており、他の金属種への拡張性についても、一定の波及効果が見込める研究成果を創出することができた。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕多孔体、メソポーラス、無機固体化学、ナノ機能材料

〔研究 題 目〕種々の改質剤を導入した木質素材への電磁波照射・分子振動励起による変形能向上と応用

〔研究代表者〕三木 恒久（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕三木 恒久（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

本研究では、木質素材の流動成形技術を高度化する目的で、マイクロ波・高周波などの電磁波を応力負荷時に作用させることを提案する。木材加工の電磁波利用は、既に曲げ加工や圧縮（圧密）加工で実績があり、誘電加熱による均一（内部）加熱や高速昇温条件によって加工時間の短縮だけでなく、良好な成形品が得られるとの報告がある。樹脂などの改質剤を導入した木質素材について電磁波条件を適切に選択することによって、流動成形の高速化だけでなく、繊維方向への変形能を向上できる可能性もある。また、マイクロ波照射では、水酸基などを直接活性化させて加熱するため、少ない樹脂率や組織を選択した局所加熱によって、木質素材の繊維・組織構

造を損なわずに大変形を付与でき得る。

上記の研究目的のもと、平成28年度は以下の結果を得た。

誘電体測定システムを用いて、改質剤を導入した木質素材の誘電緩和測定を行った。誘電損失の周波数依存性についての情報から誘電加熱特性を評価することを試み、基礎的知見を得た。その結果をもとに、高周波発振によって直接、木材試料を内部加熱して圧縮特性を評価できるシステムを構築した。

具体的には、メラミン樹脂、フェノール樹脂などの熱硬化性樹脂を含浸した木質素材の硬化前後の誘電損失特性として、未硬化樹脂では広い範囲の周波数帯で誘電損失が大きくなることがわかった。27MHzの高周波発信器を組み込んだ圧縮試験機を試作し、サーモグラフィによって内部加熱の発現を確認するとともに、比較的低い抵抗で変形が進むことがわかった。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕木材、流動成形、電磁波、塑性加工

〔研究 題 目〕不均一光重合で誘起される液晶／高分子メゾ相分離と自律配向形成の機構解明

〔研究代表者〕垣内田 洋（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕垣内田 洋、吉村 和記
（常勤職員2名）

〔研究 内 容〕

我々が提案する「不均一露光による光重合誘起相分離（P-PIPS）」の手法は、メゾスケールのドメインサイズで、液晶と液晶高分子相との二相からなる複合構造を、高い分子配向秩序を維持して形成することができる。この手法を用い、我々は、「リバース型熱応答高分子分散液晶（PDLC）」を開発し、スマートウィンドウなどへの応用を目指している。平成28年度では、リバース型熱応答 PDLC を作製する基本技術を発展させ、高温の白濁時の光散乱特性を様々にデザインして素子を作製することに重点的に取り組んだ。一方、不均一露光下でのP-PIPS 進行にともなう分子配向の秩序化の過程を詳細に調べ、リバース型熱応答 PDLC の形成機構の解明に取り組み、本素子の作製技術をさらに発展させる鍵となる知見を得た。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕高分子分散液晶、PDLC、光重合誘起相分離、P-PIPS、反応性メソゲン、配向秩序形成、ネマチックー等方相転移、光散乱

〔研究 題 目〕集合組織制御による高成形性を持つ難燃性マグネシウム合金板材の創製

〔研究代表者〕黄 新ショウ（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕黄 新ショウ（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

Mg-6wt%Al-1 wt%Ca と Mg-1.5 wt%Zn-1 wt%Ca に対し、微量添加元素が組織、機械的特性、室温張出し成形性等に及ぼす影響を調査した。Mg-1.5 wt%Zn-1wt%Ca 合金圧延材は特異な集合組織を示すため、この合金への第4元素の添加効果を重点的に調査した。Mg-1.5 wt%Zn-1 wt%Ca に0.5~3 wt%の Al を添加した結果、圧延材のエッジ割れが顕著に改善された。2.5 wt%以上の Al を添加すると、集合組織は TD-split texture (c 軸が板幅方向に約35° 傾く集合組織) から通常の RD-split texture (c 軸が圧延方向に約15° 傾く集合組織) に変化することを確認した。X 線回折と組織観察の結果、Al の添加により、Ca 系第二相粒子は粗大な Mg₂Ca 粒子から微細な Al₂Ca 粒子に変化することを明らかにした。上記の集合組織の変化は Al₂Ca 化合物の形成により、母相への Ca 固溶が阻害されたためと考えられる。2 wt%程度まで Al を添加した場合、TD-split texture は維持され、破断伸び、均一伸びと n 値は増大した。Al 添加量が2 wt%付近では、圧延材の室温エリクセン値は7.2から8.1まで向上した。成形性向上の主な理由としては、TD-split texture の維持と破壊起点になりうる粗大な Mg₂Ca 粒子が減少したことが挙げられる。2.5 wt%以上の Al を添加すると、TD-split texture は消滅し、底面集合組織の強度は上昇した。その結果、r 値が増大し、伸びと n 値が低下し、成形性は悪化した。3 wt%の Al を添加すると、エリクセン値は6.9まで低下した。一方、Mg-6 wt%Al-1 wt%Ca と Mg-1.5 wt%Zn-1 wt%Ca に Sn または Zr を微量添加した場合、集合組織に明瞭な変化が見られず、張出し成形性の向上は確認できなかった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】マグネシウム合金、圧延、集合組織制御、成形性

【研究 題 目】ヘミセルロースエステル誘導体の合成と架橋による高強度材料化

【研究代表者】榎本 有希子 (構造材料研究部門)

【研究担当者】榎本 有希子 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

近年、石油由来のプラスチックの代替材料として、植物由来の非可食系バイオマスの有効利用が求められている。セルロースは、最も豊富に存在するバイオマス多糖類の一つであり、その糖単位に存在する水酸基にエステル化などの化学修飾を施すことで、熱可塑性を付与し、プラスチック材料として利用されている。自然界には、植物由来のヘミセルロース(キシランやグルコマンナン)、微生物が産生するカードランといった多糖類も存在するにもかかわらず、これらはプラスチックのような材料としては利用されてこなかった。また、多糖類には、寒天のようにゲルを形成するものが多いが、一般的に強度が弱くて脆く、材料としての利用は困難であった。これは、

ヘミセルロースなどについては、その分子量の低さ、ゲルについては、形状保持が水素結合などの弱い結合によるものであるためと考えられた。

そこで、本研究では、これらの多糖類の分子鎖間を化学的に架橋することで、強度を向上させたフィルムあるいはゲル材料の作製を目的とした。

キシランの桂皮酸エステル誘導体を合成し、キャストフィルム作製後、紫外線照射による桂皮酸の2量化による架橋を試みたが、立体障害や反応点の濃度が低いためか、十分な2量化反応の進行やフィルムの強度の向上は見られなかった。

一方、キシラン、グルコマンナン、カードランのアルカリ水溶液からエポキシ試薬を用いて架橋することで、これらの多糖のヒドロゲルの作製を試みたところ、カードランから自立可能なヒドロゲルが得られた。このカードランヒドロゲルは、非常に柔らかく小さな力で変形可能であるにも関わらず、90 %まで圧縮しても崩壊せず、圧縮後ももとの形状を回復する強度と柔軟性を有していた。本研究で作製したカードランゲルは、高い変形能と強度を有する柔らかくしなやかな新規の多糖素材になり得ると期待される。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ヘミセルロース、キシラン、グルコマンナン、カードラン、架橋、ゲル

【研究 題 目】双晶形成に基づく集合組織変化を活用した易成形性マグネシウム合金の創出

【研究代表者】千野 靖正 (構造材料研究部門)

【研究担当者】千野 靖正 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

マグネシウム合金は軽量・高比強度・易リサイクル金属素材として国内外で注目を集めている。一方、室温成形性に乏しいことが大型部材化・量産化を阻んでいる。低成形性の原因の一つとして、圧延中に形成される強い底面集合組織が塑性異方性を助長していることが指摘されている。このような状況の下、微量の特定元素をマグネシウムに添加すると、汎用のマグネシウム合金板材よりも著しく弱い強度の底面集合組織が発現し、市販アルミニウム合金並みに優れた張り出し成形性が発現することが明らかとなっている。一方、他の変形モード(深絞り成形性等)は、未だアルミニウム合金と比較すると劣った数値を示し、さらなる特性の改善が求められている。

近年、我々は圧延後のマグネシウム合金板材の微細組織を調査した結果、圧延中に形成される双晶界面を基点としてナノオーダーの再結晶粒が生成することを発見し、微細な再結晶粒の生成が底面集合組織のランダム化に寄与することを明らかにした。そこで、本研究では、に双晶を選択的に導入する合金組成やプロセス技術を開発し、優れた室温成形性を有するマグネシウム合金板材を開発することを目指す。

平成28年度は Mg-Ca 系合金の室温成形性や集合組織形成に及ぼす Ca 濃度の影響を系統的に調査した。また、双晶を選択的に導入する手段として曲げ引っ張り加工の適用を検討し、汎用マグネシウム合金 (AZ31 合金) を用いて実証した。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕マグネシウム合金、室温成形性、機械的特性、集合組織

〔研究 題 目〕ニッケル-炭素結合を鍵とするニッケル錯体の新規触媒機能探索

〔研究代表者〕中島 裕美子 (触媒化学融合研究センター)

〔研究担当者〕中島 裕美子、中村 豪、松本 和弘、島田 茂 (常勤職員4名)

〔研究 内 容〕

本研究は、ニッケル錯体の反応性徹底解明と、高効率な新規ニッケル触媒を開発することを目的とする。ニッケル錯体は多様な電子状態を取り、それを反映して様々な反応性を示すことから、新規反応開拓の鍵として注目を集めている。一方で、不安定で分析および取扱いが困難であることから、これまでニッケル錯体特有の反応性を活かした触媒反応開発が十分に成されてきたとは言い難い。これに対し、我々はこれまでに、種々のニッケル錯体がある特定の電子・立体環境において、新規のメカニズムでヒドロシリル化を触媒するなど、多彩な触媒機能を示すことを見出している。そこで、ニッケル錯体反応場の精緻な電子・立体環境制御に取り組み、ニッケル錯体の新たな触媒機能の開拓が可能となると考え、種々検討を重ねた。その結果、安価で入手容易なビス (アセチルアセトナト) ニッケル(II) (1) およびその類縁体である bis(hexafluoroacetylacetonato)nickel(II) (2)、bis (2,2,6,6-tetramethyl-3,5-heptanedionato)nickel (II) (3)がニトリル類のヒドロホウ素化触媒として機能することを見出した。

ニトリル類のヒドロホウ素化反応は、アミン合成を指向した新しいニトリル類の還元手法として注目されている。一方で、本反応の触媒としては、合成の煩雑なモリブデン、ルテニウムおよびマグネシウム錯体が知られるのみであった。本研究において、入手容易および安価な1-3が効率よくニトリル類のヒドロホウ素化を触媒することを見出した点は極めて興味深い結果と言える。本成果は、Catal. Sci. Tech. 誌に投稿し、アクセプトされた。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕ニッケル錯体、ヒドロホウ素化

〔研究 題 目〕ファインケミカル合成を指向した酸素酸化用触媒の開発

〔研究代表者〕田中 真司 (触媒化学融合研究センター)

〔研究担当者〕田中 真司 (常勤職員1名、他1名)

〔研究 内 容〕

本研究課題では、ファインケミカルズをクリーンかつ効率的に合成するための触媒開発を進めており、特に電子材料用エポキシ樹脂の原料として有用なグリシジル化合物の合成に関して重点的に取り組んだ。グリシジル化合物は、通常、エピクロロヒドリンを原料として合成される。しかし、エピクロロヒドリンに由来する微量塩素の残留による樹脂性能低下の問題や、塩素含有化合物の使用規制の背景から、塩素フリープロセスへの転換が求められている。我々は、グリシジル化合物の新たな合成法として、グリシドールを原料とする方法とアリル化合物の酸素エポキシ化反応による方法の2つの戦略を提案し、平成28年度は前者の戦略を主に進めた。

グリシドールは酸、塩基触媒のいずれの作用によってもエポキシ開環反応を引き起こし、エポキシを維持したままの変換反応は、酸ハロゲン化物等の反応性の高い基質との反応に限定されていた。我々は、グリシドールを温和な条件で活性化する触媒として、第四級アルキルアンモニウム塩が有効であることを見出し、メチルエステルとの反応によりグリシジルエステルを良好な収率で得ることに成功した。核磁気共鳴法により溶液中におけるグリシドールの活性化状態を観測したところ、グリシドールは第四級アルキルアンモニウム塩と会合体を形成していることを見出した。さらに、有機ポリマーや金属酸化物等に担持することで回収可能で実用的な触媒へと改良する予定である。

〔領 域 名〕材料・化学

〔キーワード〕触媒、グリーン・サステイナブルケミストリー、エポキシ、酸素

〔研究 題 目〕疎水性場の付与に基づく磁性ナノ粒子固定化遷移金属触媒の高性能化

〔研究代表者〕藤田 賢一 (触媒化学融合研究センター)

〔研究担当者〕藤田 賢一、藤井 亮 (常勤職員1名、他1名)

〔研究 内 容〕

今年度はマグネタイト固定化炭酸水素イミダゾリウムを新規に合成し、これを触媒としアルデヒド等のシアノシリル化反応に適用し、リサイクル型含窒素複素環カルベン触媒としての有用性を検証した。

(tert-ブチル) イミダゾールと (ヨードウンデシル) トリアルコキシシランより、対応するヨウ化 (tert-ブチル) イミダゾリウムを合成した。このものとマグネタイトをエタノール中で加熱還流することにより、マグネタイト固定化ヨードイミダゾリウムを得た。次にこのものと炭酸水素カリウムを水中で攪拌することにより、疎水性有機リンカーを有するマグネタイト固定化炭酸水素イミダゾリウムを得た。

得られたマグネタイト固定化炭酸水素イミダゾリウム

を触媒とし、トリメチルシリルシアニドを用いベンズアルデヒドのシアノシリル化反応を行った。60 °Cで触媒を0.02 mol% 用い30分反応を行ったところ、収率よく対応するシアノシリル化体が得られた。さらに、触媒の回収・再利用について検討したところ、反応後触媒は磁石に引き寄せられ速やかに回収され、触媒の再利用も可能であることが分かり、本マグネタイト固定化炭酸水素イミダゾリウムのリサイクル型窒素複素環カルベン触媒としての有用性が示された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】マグネタイト、触媒、リサイクル

【研究 題 目】カルボニル化合物やアミン化合物の sp^3 炭素-水素結合を官能基化する新戦略の実践

【研究代表者】矢田 陽（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】矢田 陽（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

遷移金属触媒による炭素-水素結合の変換反応は、標的分子を短工程かつ副生成物を最小限に抑えながら合成できる有用な分子変換手法である。現在、 sp^3 炭素-水素結合の活性化反応が適用できる化合物には大きな制約があり、その改善が急務である。本研究は、これまで困難であったカルボニル化合物やアミン化合物の sp^3 炭素-水素結合の活性化・官能基化を達成することを目的としている。

研究計画当初、平成28度はアルデヒドやケトンなどのカルボニル化合物の炭素-水素結合を官能基化に適した新しい配向基を設計・開発する予定であったが、研究開始の段階で同様のアイデアによる反応が国際論文誌に報告された（Jin-Quan Yu et al. *Science*, **2016**, *351*, 252、Haibo Ge et al. *JACS*, **2016**, *138*, 12775など）。したがって、本年度予定していた研究開発を断念し、次年度以降の研究計画内容である N-カルボキシルアミンの炭素-水素結合の官能基化反応の開発に着手した。まず、本触媒反応の達成の鍵となるカルボキシラートの置換基効果について検証を行うため、2,2,6,6-テトラメチルピペリジンの窒素原子上にさまざまなカルボキシラートが置換した基質を合成した。合成した基質を一酸化炭素雰囲気下でパラジウム触媒と塩基を添加して加熱攪拌したところ、窒素原子の β 位の炭素-水素結合が活性化されて一酸化炭素の挿入を伴って β -ラクタムが得られたが、その収率はカルボキシラートの構造によって異なることがわかった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】触媒、有機合成、炭素-水素結合、一酸化炭素

【研究 題 目】高スピン型金属触媒：新しい触媒領域の展開

【研究代表者】中島 裕美子（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】中島 裕美子、島田 茂（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、安定な半閉殻構造を取るマンガン (II) 錯体に着目し、これの反応性の詳細理解に基づき、高スピン型金属触媒の化学を展開することを目的とする。まず、N-ヘテロサイクリックカルベン (NHC) を支持配位子とする種々のマンガン (II) ジメチル錯体 [MnMe₂(NHC)₂] (**1a**, NHC = 1,3-diisopropyl-4,5-dimethylimidazol-2-ylidene (IPr); **1b**, NHC = 1,3-bis(2,4,6-trimethylphenyl)imidazole-2-ylidene (IMes); **1c**, NHC = 1,3-bis(2,6-diisopropylphenyl)imidazole-2-ylidene (IPr))を合成・単離し、X線構造解析により固体状態の構造を確認した。次に、錯体**1a-c**とテトラメトキシシラン (Si(OMe)₄)との反応を検討すると、テトラメトキシシランのモノメチル化が選択的に進行し、MeSi(OMe)₃が40%程度の収率で得られた。したがって、錯体**1a-c**は、電気陽性の Mn に結合したメチル基が、求核剤として反応することが示された。以上の結果をまとめ、*J. Organomet. Chem*誌に論文投稿し、アクセプトされた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】マンガン錯体、求核置換反応

【研究 題 目】炭素-水素結合の効率的変換における新規触媒サイクルの提唱・実践

【研究代表者】矢田 陽（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】矢田 陽（常勤職員1名）

【研究 内 容】

遷移金属触媒による炭素-水素結合の変換反応は、標的分子を短工程かつ副生成物を最小限に抑えながら有機分子を合成できる。しかし、炭素-水素結合の反応性の低いため、反応効率の改善が急務である。本研究は、分子への活性基の導入・結合形成・活性基の再利用という素反応から成り立つ触媒サイクルを確立し、これにより炭素-水素結合の低反応性を克服することを目的としている。

昨年度までに、2-エチルアニリンや1-ナフチルアミンの γ 位炭素-水素結合のパラジウム触媒アリール化反応が、サリチルアルデヒドを触媒量添加すると進行することを明らかにした。本年度は、*sec*-ブチルアミンのアリール化反応において、サリチルアルデヒドを触媒量用いる反応の開発に取り組んだ。様々な反応条件について詳細に検討したが、目的の反応は全く進行しなかった。一方、本触媒反応の検討中に、同様の反応が2-ヒドロキシニコチンアルデヒド（Jin-Quan Yu, *JACS*, **2016**, *138*, 14554）またはグリオキシル酸（Haibo Ge, *Nat. Chem.* **2017**, *9*, 26）を触媒量添加することで進行することが報告された。そこで、それらの反応条件をもとにサリチ

ルアルデヒドを触媒量添加してみたところ、低収率ではあるが反応が進行することが明らかとなった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】有機合成、炭素-水素結合、触媒

【研究 題 目】触媒の自己組織化を鍵とする実用的酸化反応の開発

【研究代表者】田中 真司（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】田中 真司（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究課題では、シンプルな触媒と過酸化水素あるいは酸素を酸化剤とする実用的かつ環境調和型酸化反応の開発を目指して研究を進めている。前年度までに、過酸化水素によるアルコールの酸化に好適な自己組織化型鉄触媒の開発を行い、触媒として最適な組み合わせとなる鉄塩とピコリン酸の組み合わせを見出した。さらに、触媒前駆体となる種々の鉄錯体の合成を行い、鉄錯体の単結晶 X 線構造解析や電気化学測定により、錯体の性質と触媒活性の相関関係を明らかにした。平成28年度は、本触媒反応の基質適用範囲の拡張とともに、酸素による酸化反応への展開に取り組んだ。

酸素を酸化剤とする酸化反応は理想的と言えるが、反応の制御が難しく、逐次酸化等により目的物の選択性が低下する課題がある。我々は以前に、鉄塩とアルカリ金属塩を最適な比率で用いることにより、アルデヒドの酸素によるカルボン酸への酸化反応が選択的に進行することを見出していたが、選択性向上の要因が不明であった。そこで触媒活性種の構造解析を試みたところ、鉄イオンとナトリウムイオンが1:3で含まれるクラスター状の化合物の構造を明らかにした。この結果から、本触媒反応では活性サイトとなる鉄イオンの周囲にナトリウムイオンが存在することにより酸化還元電位がコントロールされ、選択性向上へとつながっていることが示唆された。今後はこの知見をもとに、より有用な化合物の合成に向けた酸素酸化用の触媒開発を進めていく予定である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】触媒、酸化、グリーン・サステイナブルケミストリー、過酸化水素、酸素

【研究 題 目】レブリン酸を活用した新規機能性バイオマスプラスチックの開発

【研究代表者】根本 耕司（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】根本 耕司、富永 健一（常勤職員2名）

【研究 内 容】

持続可能な社会の実現のためには、再生可能資源を利用した新たなリファイナリー体系の構築が必要である。近年、このような観点から、豊富に存在するバイオマスを原料として有用な化学品群を製造するバイオマスリファイナリーについて盛んに研究が行われている。バイオマスから合成可能な化合物の中で、特に注目を集めてい

るものの一つにレブリン酸と呼ばれる化合物がある。レブリン酸は米国エネルギー省の定める12の基幹物質の一つにも選ばれており、このレブリン酸を基点として農薬や燃料添加剤、汎用プラスチック原料など多種多様な化学品を合成できることが知られている。当研究グループもいち早くレブリン酸に着目して研究を行ってきた。これまでに、バイオマス原料から直接的にレブリン酸およびレブリン酸エステルを合成することが可能な触媒反応を見出し、バイオマス原料から大量生産するプロセスの実現に目途がきつつある。そのような中、本研究では、産総研独自のバイオマスリファイナリー技術の創出を目指して、レブリン酸を原料に合成可能なバイオマスベースの機能性ポリマーの開発に取り組んでいる。本年度はレブリン酸の機能性モノマーへの変換を試み、バイオマスベースの機能性ポリマーの製造に有効と思われる新たな機能性モノマーを合成した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオマス、バイオマスリファイナリー、レブリン酸、バイオマスベースプラスチック

【研究 題 目】生体内分解可能なナノカーボンを用いた標的癌治療薬剤の創製

【研究代表者】張 民芳

（ナノチューブ実用化研究センター）

【研究担当者】張 民芳（常勤職員1名）

【研究 内 容】

カーボンナノチューブ（CNT）やナノホーン（CNH）などのナノカーボンを使用した医療応用研究が盛んになっている。しかし、ナノカーボンは毒性が低いものの、肝臓や脾臓などの組織に集積され易いことが分かっている。実用化するには、長期にわたって人体の健康を守ることが大前提になるため、ナノカーボンは組織内で分解、あるいは、体外へ排出されなければならない。本研究では、CNH を用いて、ナノカーボンの分解を促進する酵素などを化学修飾し、生体内で分解され体外へ排出されやすい、CNH のドラッグデリバリーシステム（DDS）を構築するのが目的である。

これまでは、ヒト好中球酵素（MPO）や、植物由来の酵素（HRP）及びヘモグロビンなどを用いて、CNH の生分解可能性を調べ、最適な生分解促進酵素を見出した。そして、CNH の細胞内の分解可能性を調べるため、近赤外光吸収測定法を用いて、マクロファージ細胞内 CNH 量の経時的な変化から、CNH の細胞内の分解可能性を調べた。本年度では、CNH の生体内の生分解を解明するため、酵素および界面活性剤を用いて、生体組織の溶解条件を最適化し、組織内の CNH を定量することに成功した。この方法を用い、動物体内の CNH 分解可能性を明らかにした。

【領 域 名】材料・化学

〔キーワード〕 ナノカーボン、生体内分解、ドラッグ

〔研究題目〕 粒界の精密制御による Sm-Fe-N 焼結磁石の高保磁力化

〔研究代表者〕 山口 渡 (磁性粉末冶金研究センター)

〔研究担当者〕 山口 渡 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、Sm-Fe-N 系材料からなる焼結磁石の保磁力を飛躍的に高めてネオジム磁石を超える性能を引き出すことを目指している。焼結磁石の高保磁力化には結晶粒界に非磁性相を形成することが有効と考えられるが、非磁性相の含有量に応じて磁性相が薄められ、残留磁化は減少してしまう。非磁性材料の添加を最小限に抑えながら最大の保磁力向上効果を得るため、焼結前の磁石粉末にあらかじめ非磁性材料のナノ被膜を形成しておく方法を試みた。乾式薄膜プロセスを用い、真空容器中で膜厚が偏らないように磁石粉末を攪拌しながら非磁性金属を成膜した。膜厚や均一性、表面化学状態について詳細に分析した結果、平均粒径数ミクロンの Sm-Fe-N 微粒子ひとつひとつを膜厚数 nm の非磁性ナノ被膜でほぼ隙間なく被覆できることが明らかになった。磁性微粒子は非常に凝集しやすい性質を持っているため、凝集体を丸ごと切断しその断面の元素分析も行ったが、その結果、内部の粒子もナノ被膜で均一に被覆されることが確認できている。これは、凝集体の構成粒子が攪拌中絶えず入れ替わっているためと推察している。以上のように、焼結体の粒界制御を念頭においた磁石粉末へのナノ被膜形成技術確立することができた。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 焼結磁石、保磁力、粒界、非磁性相

〔研究題目〕 結合相制御による高温高強度 TiCN 系サーメットの創製と摩擦攪拌接合ツールへの応用

〔研究代表者〕 細川 裕之 (磁性粉末冶金研究センター)

〔研究担当者〕 細川 裕之、下島 康嗣
(常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

WC 量を変化させた TiCN-xWC-(Ni,Fe)₃Al サーメット (x = 0, 20, 30, 40, 60, それぞれ0WC, 20WC, 30WC, 40WC, 60WC と称す) を作製し、それらの特性評価と組織・組成分析を行い、WC 添加が及ぼす特性への影響を検討した。WC 量の増加とともに機械的特性は増加にあるが、焼結時間が機械的特性に及ぼす影響に3つに分類できる相違が認められた。0WC では焼結時間が長くなるほど、相対密度、機械的性質が低下した。20WC、30WC、および40WC では、焼結時間とともに相対密度、機械的性質は向上した。60WC では焼結時間とともに相対密度は高くなるが、機械的性質が低下した。これら、3つの相違はそれぞれ、濡れ性が悪いことに起因する欠

陥の増加、焼結性を改善する WC 添加さによる欠陥の減少、および Ti が WC 相に含まれることによる界面強度の低下が原因と考察した。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 硬質材料、TiCN、WC、摩擦攪拌接合、強度

〔研究題目〕 一酸化窒素の磁気リモート制御放出

〔研究代表者〕 山本 真平 (磁性粉末冶金研究センター)

〔研究担当者〕 山本 真平 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

一酸化窒素 (NO) は多くの生体システムの制御に重要な役割を果たす生理活性物質として認知されているが、その反面、作用させるタイミングや暴露量を誤れば重大な副作用をもたらす有毒ガスとしても知られている。いわば「諸刃の剣」ともいえる NO の医学的な利活用には、「必要な時」に「必要な分量」だけ NO を作用させる、制御放出技術の確立が必要となる。本研究の目的は、NO が実際に作用している生体、特に深部領域で、「必要な時」に「必要な分量」だけ NO を放出させるシステムの基盤をなす技術確立することである。本研究は、非侵襲的に生体透過能の優れた磁場の長を活かした全く新しい NO 制御放出技術として、熱分解して NO を放出する化合物と磁性ナノ粒子を均一に複合化・適度な大きさとしたナノ複合体から、外部磁場をトリガーとして NO を放出させる技術の開発をめざした。NO 放出化合物のスクリーニング、溶媒蒸発法を用いたナノ複合体合成、NO 制御放出実験、および細胞毒性評価試験を行うことにより、低細胞毒性かつ交番磁場の印加時のみに NO を放出する NO 放出ナノ複合体の合成に成功した。これまで、「必要な時」に「必要な分量」だけ NO を供給できないことが様々な疾患・障害治療への問題となっていた。外部磁場を用いた NO の制御放出技術の確立は、磁場の高い生体透過性と相まって NO が実際に作用している生体深部での制御放出実現に向けた画期的なブレイクスルーとなりうる可能性を秘めている。

〔領域名〕 材料・化学

〔キーワード〕 一酸化窒素、磁性ナノ粒子

〔研究題目〕 ナノセル状組織の回転制御による異方性 Sm-Fe-Mn-N 磁粉の開発

〔研究代表者〕 細川 明秀 (磁性粉末冶金研究センター)

〔研究担当者〕 細川 明秀 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

永久磁石の特性は粉末粒径に強く影響される事が知られている。そのため有力な永久磁石材料の1つである Sm-Fe-N 磁石において粉末粒径を下げるための努力がなされてきた。これに対し、化学量論組成 (Sm₂Fe₁₇あたり N 原子の数 x=3) を超えて過窒化を施すと、特に Mn 添加した合金系において、元々単結晶だった

Sm-Fe-Mn 粉末中にナノ結晶相が非晶質相に区切られたナノセル状組織を示し、この非晶質相が磁壁のピンニングサイトとなって粗粉末でも良好な保磁力を示す事が知られている。しかし、この方法で作られた **Sm-Fe-Mn-N** 磁石は高保磁力の割には角型性が乏しく普及するには至らなかった。これは、過窒化の過程で転位セルが生成し、結晶が回転して結晶方位がランダム化する事に起因するとわれてきた。

初年度研究で、窒化温度をキュリー点上下に設定する事で、強磁性と常磁性のいずれの状態でも過窒化しても磁気特性が等方性化する事を見出し、磁性の有無と等方性化の間に特に関係はない事を明らかにした。2年目となる平成28年度は、電子顕微鏡を駆使し、過窒化による粉末内組織の変化を詳細に調べてナノセル状組織生成のメカニズム解明に取り組んだ。その結果、非晶質相に区切られたナノ結晶セル組織は確認されたものの、転位セルは全く見られず、結晶セル部分の方位はほぼ配向のままである事が明らかになった。これは転位セルの生成が結晶セルの回転に寄与しているとする従来の解釈を覆す結果であり、本研究を実施した事で得られた新知見である。

転位セルが生成しない事が分かった以上、応力印加して過窒化すれば転位生成を抑えて配向粉末を作れるという当初のねらいは崩れたと言わざるを得ない。しかし、逆に言えば結晶方位は揃っている事が確認できたので、今後は磁気特性の等方性化に寄与していると思われる非晶質相の体積分率を下げる努力を続ければ、異方性磁粉が達成できると考えられる。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】永久磁石、サマリウム鉄窒素、透過型電子顕微鏡、ピンニング型磁石、保磁力、角型性、窒化、アンモニア

【研究 題 目】溶融塩を用いた低温還元拡散法による高性能 Sm-Fe-N 磁石粉末の開発

【研究代表者】岡田 周祐（磁性粉末冶金研究センター）

【研究担当者】岡田 周祐（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では粒径の微細化による高保磁力な Sm-Fe-N 磁石粉末の実現を目的としている。

粒径の微細化には還元拡散温度の低温化が一つの手段である。溶融塩を用いて還元拡散温度の低温化を検討したところ、Sm-Fe 合金微粒子は得られたが、粒子同士が強く焼結してしまうことが課題であることが分かった。よって、粒子間焼結が起こる原因の調査と対策方法の開発に取り組んだ。

粒子間焼結の調査の結果、還元拡散前の水素予還元において原料鉄粒子の粒成長が起こっており、原料鉄粒子が目的とする Sm-Fe 粒子サイズよりも粗大なサイズになっていることを突き止めた。そこで、硝酸カルシウム

を構造規制剤かつ水素還元時の粒成長防止剤として利用する水熱合成法の開発を行い、微量な炭酸カルシウム層を有するキューブ状ヘマタイトを作製した。この炭酸カルシウムの存在により水素還元時の粒成長が抑制することができ、結果約0.1 μm の鉄微粒子粉末を得ることが出来た。

今後、開発した鉄微粒子粉末とサマリウム源の複合化を行い、これを原料として溶融塩を用いた低温還元拡散、窒化を行うことで、これまでにない単磁区サイズの Sm-Fe-N 微粉末の作製と高保磁力発現を検討する。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】希土類磁石、Sm-Fe-N、Sm₂Fe₁₇N₃、溶融塩、還元拡散

【研究 題 目】低コストナノギャップ電極作製手法と単一分子ガスセンサの開発

【研究代表者】内藤 泰久（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】内藤 泰久、中村 徹（常勤職員2名）

【研究 内容】

目標：低コストナノギャップ電極作製手法の達成と、その利用法の開発

研究計画：ナノギャップ電極作製手法における工程をより低コストなものに置き換え、その条件でも実施可能か検証する。また、低コストナノギャップ電極の利用法の一例として単一分子の特性を利用したガスセンサーの実証を行う。

年度進捗情報：独自に考案した sub1nm 幅のナノギャップ電極の作製手法について、昨年度までの開発により、パターンニングプロセスをメタルマスクに置き換え大幅な低コスト化を達成したが、さらに一歩進めて、金属蒸着法を物理蒸着法からより一般的なマグネトロンスパッタに置き換えナノギャップ形成が可能であることを見出した。また、基板をガラス板、メタルマスクもレーザー加工を施した紙マスクなどに置き換えることにより更なる低コスト化を実現した。

次に、作製したナノギャップ電極にエッチングプロセスガスであるフッ素系ガスに反応する分子を導入し、ガスセンサーを試作した。その分子はフッ素系ガスに反応することによって色が変わるものであり、その反応スピードに難があったが、ナノギャップ電極を用いて導電性の変化で検出を行うことにより、100倍程度の感度向上を実現した。今後ナノギャップ電極の利用法として引き続き検討していきたい。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ナノギャップ電極、合成分子、ガスセンサー

【研究 題 目】超伝導検出器多画素化と冷却系簡素化を両立するマトリョーシカ型周波数多重読

出回路

【研究代表者】神代 暁

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】神代 暁、平山 文紀、山森 弘毅、
佐藤 昭、永沢 秀一、福田 大治*、
佐藤 泰**、入松川 知也、中島 裕貴
(*物理計測標準研究部門、**分析計測
標準研究部門) (常勤職員7名、他2名)

【研究内容】

ミリ波～ガンマ線の9桁に渡る波長域の電磁波に対し、半導体等の既存検出器を凌駕する低雑音性を示す超伝導転移端検出器 (TES) の応用拡大に必要な多画素化には、極低温検出器-室温信号処理装置間の配線経由の極低温への流入熱の画素数に伴う増加を抑制し、検出器システムの体積・消費電力の支配要因たる極低温冷凍機の小型・低消費電力化・低廉化が求められる。極低温下で複数画素の出力信号を1本の信号線に束ねる超伝導多重読出回路がこれを可能とし、複数の方式が提案されている。この中で、マイクロ波周波数多重読出法 (MW-MUX) は、多重化数に依存しない信号対雑音比と、他法に比べ1本の信号線あたりの多重化数の飛躍的増大が期待されている。一方、現状の MW-MUX の多重化数は、極低温下の高電子移動度トランジスタ増幅器の帯域に比べ1桁狭帯域である室温信号処理系の帯域で制約され、極低温エレクトロニクスの潜在能力を充分活かしているとは言い難い。本研究は、複数の室温信号処理系の信号を1本の極低温-室温間の信号線に束ねることにより、標記問題の解決と MW-MUX の潜在能力実現を目的とする。今年度は、電極2種 (Nb, NbN) × 基板2種 (Si, Al₂O₃) = 4種材料から成る共振器全てに対し、無負荷 Q 値と発生雑音の実測値から入力換算雑音を試算し、従来型超伝導量子干渉素子による読出法に遜色ない雑音実現の見通しを得た。また、読出回路入出力特性上の直線性誤差が、画素間クロストーク量に比例することを発見し、チップ上の画素配列の工夫により、クロストークと直線性誤差の、TES のエネルギー分解能を支配しない1.0e-03以下への低減に成功した。さらに、昨年度の第1系統に続き、第2系統の室温処理回路を構築し、正常動作を確認した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導量子干渉素子 (SQUID)、超伝導転移端検出器 (TES)、マイクロ波共振器、周波数多重読出回路

【研究 題 目】多層界面ダイポール変調不揮発メモリの酸化膜界面構造最適化とアナログ動作モデリング

【研究代表者】宮田 典幸 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】宮田 典幸、住田 杏子

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

情報処理システムにおける不揮発メモリの役割が高まっており、特に新原理で動作する高速・大容量メモリを利用した革新的な情報処理技術に期待が集まっている。本研究は、研究代表者が独自に発案した界面ダイポールメモリの基礎的検討を行い、ストレージ技術としてのポテンシャルを見極めることを目的としている。界面ダイポールメモリは、酸化物界面に誘起されるダイポールを電界によって変調させることで情報を記憶するデバイスであり、これまでに、HfO₂/Si および HfO₂/SiO₂ 界面ダイポールの変調動作が確認されている。実際にメモリデバイスとして利用する場合、フラッシュメモリ構造が有望であるが、ダイポール変調機構を FET (Field-Effect Transistor) に組み込む技術が必要となる。本研究では、フラッシュ型界面ダイポールメモリを試作し、メモリ動作させることを第一の目標としており、さらに、メモリ性能向上のための酸化物・界面構造の最適化や原子レベルでのダイポール変調機構の理解を目的としている。平成28年度は、HfO₂/SiO₂ 積層構造を組み込んだ FET を試作し、初歩的なダイポール変調の読み出しに成功した。また、研究分担先の東京都市大学では、SPring-8 の HAXPES (hard X-ray photoemission spectroscopy) により、MOS キャパシタ中に埋め込んだ HfO₂/SiO₂ 構造からの光電子スペクトル測定するとともに、変調機構の解明において極めて重要な電圧印加による光電子スペクトルの変化も観察することに成功した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】不揮発メモリ、フラッシュメモリ、界面ダイポール、ニューロコンピューティング

【研究 題 目】トポロジカル絶縁体/超伝導体接合におけるスピン流を用いた熱制御デバイスの理論

【研究代表者】川畑 史郎 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】川畑 史郎 (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

極低温で動作するナノ・量子デバイスに対する冷却技術として、超伝導体を利用した固体電子冷却技術に大きな注目が近年集められている。本研究においては、トポロジカル絶縁体/超伝導体接合の熱輸送理論を構築する。そして、トポロジカル絶縁体表面のスピン状態を制御することで高性能な固体電子冷却器やトポロジカル相転移を利用した熱制御デバイスが可能になることを明らかにする。今年度は、トポロジカル絶縁体、カイラル超伝導体、原子層物質等が接合した系における量子輸送理論、熱輸送理論及び電磁応答理論の構築を行った。具体的には、

昨年度に引き続きワイル半金属/超伝導体接合における熱輸送と電子冷却について理論的・数值的に研究を行い、電子冷却効率を最大化するための最適設計を行った。そして具体的な素子構造やデバイスパラメータの提案を行った。さらに、ワイル点の相対位置やスピン軌道相互作用と熱流の関係を定性的に明らかにし、熱流を改善する方法の提案を行った。また実験グループとデバイス作製の可能性について検討を行った。さらに、最近トポロジカル物質・バレートロンクスへの展開が期待されている原子層物質（遷移金属ダイカルコゲナイド）についても検討を開始した。今年度は、原子層物質の高周波輸送理論の基礎理論を構築した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 トポロジカル絶縁体、電子冷却、超伝導エレクトロニクス、超伝導接合、熱輸送、ワイル半金属、原子層物質

〔研究 題目〕 革新的な超伝導分子検出技術の開拓と宇宙における分子進化の精密評価への展開

〔研究代表者〕 浮辺 雅宏（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 浮辺 雅宏、志岐 成友、藤井 剛、大久保 雅隆、野尻 真士（常勤職員4名、他1名）

〔研究 内容〕

目標：

原子層堆積法（ALD）により16K以上の超伝導転移温度（ T_C ）を持つフルエピタキシャル NbN/AlN/NbN 多層膜を実現、さらに同表面にコート材を成膜し、STJ素子に加工することで、粒子の運動エネルギーをロスすることなく検出可能な STJ 粒子検出器を開発、静電型イオン蓄積リングでの有機分子の DR 過程の分岐比等の詳細分析を可能とする。

研究計画：

平成29年度は ALD で成膜する NbN 薄膜で16K以上の T_C を達成し、同時に Nb/Al STJ 素子を用いて、エネルギー散逸を抑制可能なコート材の開発を継続する。H30年度以降、それまでに確立するプロセスで作製する NbN 多層膜を用いて NbN-STJ を作製、 J_C 、 I_{leak} を評価することで、トンネル層（AlN）の作製プロセスを最適化、低 I_{leak} (<10nA) かつ高 J_C (~1 kA/cm²) な NbN-STJ を実現する。さらに同 NbN-STJ に、開発したスパッタ現象によるエネルギー散逸を抑制可能なコート材を施し、2 K 以上の動作温度、1 keV@20 keV という高エネルギー分解能を持つ粒子検出器を実現する。

年度進捗状況：

ALD 装置で成膜した膜厚50 nm の NbN 膜を、1気圧窒素雰囲気550度 200秒でアニールする事により13K まで T_C を改善、同じ膜厚としてはスパッタ法で得られる NbN 膜と同等のものとする事が出来、最終目的

である16K 以上の T_C を実現出来る目処が立ったと考えている。またスパッタ成膜した NbN/AlN/NbN 多層膜を用いて NbN/AlN/NbN STJ の作製を試みた。作製した STJ 素子は、リーク電流が大きくまだ検出器として使用できないものであったが、外部磁場に対する応答等、STJ を検出器として動作させるために必要な基本特性は確認出来た。筑波大学のスパッタ重イオン源でも、STJ 素子への照射位置でのイオンビームを半導体検出器により確認し、コート材の性能評価のため行う粒子の運動エネルギー測定の前準備をほぼ終了し、H29年度中には、産総研及び筑波大学での運動エネルギー測定を実施できる見通しとなった。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導トンネル接合（STJ）、高エネルギー分解能、粒子検出器、静電蓄積リング、NbN、ALD、分子進化

〔研究 題目〕 超低消費電力トランジスタ SOTB における IC チップ偽造防止技術 PUF の有効性検証

〔研究代表者〕 堀 洋平

（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 堀 洋平、片下 敏宏、小笠原 泰弘（常勤職員3名、他2名）

〔研究 内容〕

Internet of Things (IoT) のエッジデバイスは省電力であることが求められるため、IoT エッジデバイスに超低消費電力トランジスタ Silicon-on-Thin-Buried Oxide (SOTB) を適用することは極めて有効である。また、不正機器排除やセキュリティ機能が必須の IoT では、IC の偽造防止技術 Physically Unclonable Function (PUF) が重要となる。PUF はデバイスのばらつきを利用してチップ固有情報を生成する回路である。一方、SOTB はばらつきの少ないデバイスであることが知られており、「SOTB を用いて作製した PUF」（以下、SOTB-PUF）が実現できるかどうかは明示的でなく、これまでに検証もされていない。本研究では SOTB-PUF チップの特性解析を行い、SOTB-PUF の実現可能性と性能・安全性を明らかにする。

平成28年度は、SOTB-PUF の測定環境の整備と解析プログラムの開発を行い、交付金で製造された65nm STOB-PUF チップを様々な電圧・温度・タイミングの下で測定しデータ解析を行った。解析対象の PUF 方式は、産総研独自の Pseudo Linear Feedback Shift Register PUF (PL-PUF) 及びベンチマークとして典型的な Arbiter PUF である。これにより、SOTB トランジスタを用いた場合の PUF の性能が初めて示された。本解析の結果は国際会議に投稿された。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 IoT セキュリティ、超低消費電力トラン

ジスタ、Silicon-on-Thin-Buried Oxide (SOTB)、Physically Unclonable Function (PUF)、Pseudo-LFSR PUF (PL-PUF)

[研究題目] 金属蒸気触媒 CVD によるグラフェンの絶縁基板上直接合成と高効率 MOS 冷陰極の開発

[研究代表者] 村上 勝久 (ナノエレクトロニクス研究部門)

[研究担当者] 村上 勝久、長尾 昌善、田中 駿丞 (常勤職員2名、他1名)

[研究内容]

MOS (Metal/Oxide/Semiconductor) 構造を用いた平面電子放出素子は、従来の針状陰極構造を有する冷陰極素子に比べて、低電圧で動作可能、既存の半導体プロセスで作製可能、動作可能な真空度の制約が少ない、面放出であるなど様々な特徴を有している。しかしながら、電子取り出し効率の低さが MOS 型電子放出素子の実用化を妨げている。MOS 型電子放出素子では、酸化膜を走行した電子のうち、最上層の金属電極を貫通した電子だけが真空中に放出されるが、酸化膜を流れる電流の大部分はその過程で散乱されエネルギーを失い、金属電極で回収されダイオード電流となるため、電子の取り出し効率は通常0.01%以下である。電子取り出し効率の上部金属電極膜厚依存性の評価から、酸化膜厚を最適化した MOS 構造において金属電極での電子散乱を完全に抑制すると、電子取り出し効率を10%程度まで向上できると予測されているが、上部電極の膜厚を2~3 nm 以下にすると低抵抗な連続膜を成膜することが難しいため、更なる上部電極の薄膜化は困難であった。グラフェンは原子1層 (膜厚0.35 nm) の炭素原子のみで構成される2次元の導電体であり、電子の散乱断面積は金属よりも小さいため、電子の散乱をほぼ無視することができ、電子取り出し効率の向上が期待できる。本研究では、独自に開発した金属蒸気触媒化学気相成長法を用いて酸化膜層に直接グラフェン電極を成膜することにより、GOS (Graphene/Oxide/Semiconductor) 構造の平面型電子放出素子を試作した。試作した GOS 型電子放出デバイスに真空加熱処理を施すことにより、電子放出効率3%、電子放出密度10 mA/cm²を達成し、金属を上部電極とした従来素子と比較して1000倍の特性向上を実証した。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] グラフェン、化学気相成長法、平面型電子放出素子

[研究題目] トンネルトランジスタのトラップエンジニアリングによる新機能素子の創製

[研究代表者] 森 貴洋

(ナノエレクトロニクス研究部門)

[研究担当者] 森 貴洋、松川 貴、浅井 栄大、塚田 順一 (常勤職員3名、他1名)

[研究内容]

本研究はトンネルトランジスタ (TFET) のチャンネル中にトラップ準位を形成する不純物を添加することで、TFET の高性能化および新機能性発現を目指すものである。トラップとしては等電子トラップを用いる。本年度の大きな成果を3つ述べる。まず、多数の TFET を接続した回路レベルでの高性能化を実証した。具体的にはリング発振回路の動作を実現した。これは TFET では世界で初めて実現したものである。この内容は電子デバイス分野で最も権威のある国際会議 International Electron Devices Meeting にて発表、反響を得た。2つ目に、集積化に向けた素子特性ばらつきの実験的検証を行なった。この内容は国際会議 Solid State Devices and Materials および国際論文誌にて発表した。3つ目に、新機能としての量子ビット動作を実現した。これは理化学研究所および物質・材料研究機構との共同研究として実施、シリコンスピン量子ビットとしては世界最高の動作温度1.5K を実現した。共同研究者が国際会議で報告し、大きな反響を得た。この内容については、その後の進展と併せて論文を発表予定である。以上のように、本年度は順調に研究が進展した。本技術による TFET の高性能化については、デバイスレベルでの実証に続き回路レベルでも実証できたことになる。今後は、コンセプト実証実験としては他種回路での実証を目指すと共に、更なる性能向上策を併せて検討していく。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] トンネルトランジスタ、シリコン、大規模集積回路、低消費電力

[研究題目] 単一細胞内タンパク質のイメージング質量分析を実現する撮像型分子検出器

[研究代表者] 全 伸幸

(ナノエレクトロニクス研究部門)

[研究担当者] 全 伸幸 (常勤職員1名)

[研究内容]

目標

本研究では、分子が入射した位置を決定できる超高感度な撮像型の分子検出器を開発する。現有の飛行時間型質量分析装置の検出部に搭載し、単一細胞内におけるタンパク質の質量と空間分布を同時に測定できるイメージング質量分析を実現する。

研究計画

平成28年度は、分子が入射した位置を決定できる検出器構造をシミュレーションにより解明する。次年度は、1画素に相当する40ミクロン角の超伝導ストリップライン検出器 (SSLD: Superconducting Strip Line Detector) の両端に時間デジタル変換器を接続し、現有の冷凍機に実装する。フェムト秒パルスレーザを

SSLD に照射し、パルス発生時刻の揺らぎ（タイミングジッタ）を評価する。タイミングジッタが SSLD の位置分解能を決定する。

最終年度は、2500画素の撮像型 SSLD を現有の質量分析装置に搭載する。誰も成功したことがない、単一細胞内のタンパク質の分布画像を取得する。

年度進捗状況

これまでの SSLD はマイクロストリップ伝送線路として設計されていない。本研究では、SSLD を伝送線路として設計・製作し、SSLD が本来有している10ピコ秒程度の超高速応答パルスを伝送可能な検出器構造を実現する。ストリップ線方向の力学インダクタンス L と、誘電体層のキャパシタンス C をパラメータとして、最終目標の画素数に相当する2500段だけ直列に接続したシミュレーションを実施したところ、立ち上がり時間が10~20ピコ秒の高速パルスを伝送可能なパラメータ L と C を得ることができ、実現可能な検出器構造が明らかとなった。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 質量分析、イメージング、超伝導検出器

【研究 題目】 低温走査トンネル顕微鏡による単一ドーパント原子の電界誘起イオン化ダイナミクス観察

【研究代表者】 内藤 裕一（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 内藤 裕一（常勤職員1名）

【研究 内容】

現在の情報化社会においてコンピュータをはじめとする情報通信機器の超高性能・極低省電力化は欠かせない。すでにその物理的限界が近いと言われながらも、未だこうした情報通信機器の超高性能・極低省電力化を担うのは半導体超高集積回路の基本要素デバイスであるシリコンベースの電界効果トランジスタ（Field Effect transistor: FET）である。FET の物理寸法は、そのゲート長がいまや十数 nm まで縮小されており、商用 FET のチャネル電流ですら、少数ドーパント原子の離散的な分布がその輸送特性に影響を及ぼしている。例えば、離散的なドーパント原子の並び方が、FET のチャネル電流特性のゆらぎの主な原因になっているという報告もある。いっぽう、半導体表面近傍に離散的に存在する少数、あるいは単一のドーパント原子が持つ特有の電子機能を積極的に見出して活用しようとする試みは、“Solitary Dopant Electronics” と呼ばれ、現在世界的に研究が活性化しつつある分野である。少数のドーパント原子が与える巨視的な物性変化として、アンダーソン局在による金属-絶縁体転移がある。これは不純物原子を金属もしくは半導体中にドーブすることによって、電子が局在化して、ある不純物濃度で絶縁体となる現象である。2次元と1次元の系では、極僅かのドーパント原

子でアンダーソン局在が顕在する可能性がある。そこで本研究では、代表的な2次元電子材料系であるグラフェンにドーブすることで金属-絶縁体転移の観察を行った。観察では、 H^+ ドーズ量が $1.2 \times 10^{16} \text{ion/cm}^2$ 、すなわち結晶欠陥密度に換算して、1.2 %以上の欠陥が生じるとアンダーソン局在が顕在することがわかった。また局在長はおおよそ20~50 nm 程度と見積もられた。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 グラフェン、走査型プローブ顕微鏡、金属-絶縁体転移

【研究 題目】 閾値電圧制御による低消費電力 FPGA の設計・評価環境の開発

【研究代表者】 片下 敏宏（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 片下 敏宏、小池 帆平、日置 雅和、堀 洋平（常勤職員4名）

【研究 内容】

回路データにより機能を再構成できる FPGA (Field Programmable Gate Array) は、少量多品種な製品向け半導体や、演算の高速化と省電力化を両立する技術として注目され、データセンターのエネルギー効率向上などの利用への期待が急速に高まっている。これまでトランジスタの閾値電圧をプログラム化にできる低消費電力デバイス FlexPowerFPGA を開発し、試作回路において静的消費電力の予備評価を行ってきた。本研究では、FlexPowerFPGA の実用化に不可欠な設計環境と評価環境を整備し、さらに、実用的な回路を実装した際の低消費電力効果を評価すること最終目標としている。

本年度では、設計フローを処理するツールのプロトタイプ設計を実施し、通信回路や暗号回路など実用的な回路の合成と動作検証を実施した。また、デバイスへの入力クロックや電源電圧を変化させながら搭載した回路の動作を評価する機構を備え、回路の動作・最大動作周波数や、消費電力の測定が可能な評価プラットフォームを構築した。さらに、センサや通信チップなど外部モジュールと組み合わせて実機評価を行うためのプロトタイプボードを開発した。今後、様々な回路を実装した際の消費電力や動作速度の評価を行う予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 Field Programmable Gate Array、電力評価、評価プラットフォーム、回路実装

【研究 題目】 Ab-initio study of topological chalcogenide van-der-Waals heterostructures and superlattices

【研究代表者】 Kolobov Alexander（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 Kolobov Alexander、Fons Paul、齊藤 雄太、富永 淳二（常勤職員4名）

〔研究内容〕

The goal of the project is to search for materials with extended and multi-functionality through studies of structural stability and properties of van der Waals heterostructures that contain GeTe, A3VB5VI topological insulators (TI), and transition-metal dichalcogenides.

We are making reasonable progress in the proposed study of transition metal dichalcogenides, phase-change alloys and chalcogenide-based van der Waals heterostructures.

In H28 FY effect of optical excitation in monolayer MoTe2 was studied (presented at Fall MRS and published in Phys. Rev. B). Besides this, studies of differently cut slabs of Sb2Te3 was initiated and it was shown that the crystallographic orientation of surfaces has a deterministic effect of the formation of the Dirac cone. Systematic study of various GeTe/A3VB5VI heterostructures was performed and important role of stress and van der Waals interaction was demonstrated.

In H29, the accent will be on A3VB5VI/TI heterostructures with different topology, including the effect of crystallographic orientation, alongside the GeTe/Sb2Te3 superlattices. Interactions between MoS2 and few-monolayer GaN will also be investigated with accent on the effect of the van der Waals interaction between the two materials as it is believed that this combination can lead to fabrication of the Haeckelite phase of GaN with a direct gap predicted recently.

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 chalcogenides, van der waals, topological insulators, dichalcogenides, heterostructures

〔研究題目〕 原子層シリサイド半導体による革新的エレクトロニクス要素技術

〔研究代表者〕 内田 紀行 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 内田 紀行、多田 哲也 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

本研究では、半導体デバイスの極低消費電力化のために必要な革新的なデバイス要素技術の開発を行っている。具体的には、遷移金属原子 (M) の周りをシリコン原子 (Si) で囲んだ遷移金属内包 Si クラスター ($M@Si_n$, $n=8-12$) を単位構造とした数原子層からなるシリサイド極薄膜を Si 基板上に形成し、 $M@Si_n$ の特有な性能を活かしたデバイスの低消費電力化技術を検討しており、特に、 $M@Si_n$ 層での 10^{21} cm^{-3} の高キャリア密度を実現

し、既存の Si 材料科学では実現できない、キャリアドーピング密度の極限化を追求している。昨年度までに、半導体量産技術である化学気相堆積法 (CVD 法) による $M@Si_n$ 材料の作製手法を確立し、シランガス (SiH_4)、六フッ化タングステン (WF_6) など、半導体製造に用いている手法、原料ガスによる合成を実証した。本年度は、CVD 法で作製した $W@Si_n$ 膜の膜質の評価を行い、単位構造の均一性に起因する高い膜質と熱的安定性を有することを見出した。実際、非晶質の $W@Si_n$ 膜が 800°C の熱処理でも、 $W@Si_n$ の局所構造を保つこと、Si 基板上に堆積した $W@Si_n$ 膜が、 700°C の熱処理で、W 内包構造は維持したまま、エピタキシャル成長した。このエピタキシャル層は、 0.3 eV のバンドギャップを持ち、 0.1 eV の深さのドナー準位を有することから、金属電極と n 型 Si の間に挿入することで、ショットキー障壁を効果的に低減することができる。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 Si 半導体プロセス、低抵抗化、高キャリアドーピング

〔研究題目〕 絶縁基板上グラファイト層間化合物集積化技術の開発とデバイス応用

〔研究代表者〕 村上 勝久 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 村上 勝久、田中 駿丞 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

これまで学術的な物性研究の興味の範疇に留まっていたグラファイト層間化合物のデバイス応用に向けた、絶縁基板上へのグラファイト層間化合物の集積化技術の確立を目的としている。独自に開発した Ga 蒸気触媒化学気相成長法を用いて絶縁基板上に直接成膜した厚膜グラファイトに各種原子を層間挿入した層間化合物基板を作製し、電気特性、熱伝導率等を評価する。更に、層間化合物を用いた新しいデバイス応用を実証することを目指す。本年度は、Ga 蒸気触媒化学気相成長法を用いて石英基板上に厚膜グラファイト製膜条件の探索を行った。キャリアガスの流量を減らすことでグラファイト成膜速度が向上することが分かった。また、水素ガスの導入量によってグラファイトの結晶性や成膜速度を制御可能であることを明らかにし、石英基板上への厚膜グラファイトの成膜条件を見出した。次に、デバイス加工に向けて、グラファイト基板のフォトリソグラフィと酸素プラズマエッチングによるパターニング条件の探索を行った。更に、成膜したグラファイト基板に真空加熱処理を施すことにより、グラファイト基板の仕事関数が減少することをケルビンフォースプローブ顕微鏡測定により明らかにした。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 グラファイト、黒鉛層間化合物

〔研究題目〕 固体ゲート絶縁体を利用した電界効果による強相関酸化物の電子相制御

〔研究代表者〕 浅沼 周太郎 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 浅沼 周太郎 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

近年、強相関酸化物の一種であるモット絶縁体が示す金属-絶縁体 (MI) 転移を電界により制御することで素子を通る電流を制御するモットトランジスタの研究が進んでいる。モットトランジスタは、金属に匹敵する大量の電子が関与する電子相転移を利用することから、素子サイズを半導体素子の微細化限界以下に微細化しても動作することが予想されている。また、理論的には、スレッシュホールド係数 (S 値) が低く、僅かな電荷ドーブで相転移を誘起出来ると考えられている。

これまでの研究結果から、金属絶縁体相転移に伴い構造相転移も起こす NdNiO₃ のチャンネルは、固体ゲートに覆われると構造相転移を抑制されてしまうため、電荷をドーブしても金属絶縁体相転移が起きず、抵抗率がほとんど変化しないことが分かった。そこで、H28年度は、構造相転移を伴うことなく金属絶縁体相転移を起こすと考えられている SmCoO₃ をチャンネルに用いて固体ゲート Mott transistor を作製する研究を進めた。

絶縁性の高い SmCoO₃ 膜を用いて固体ゲート Mott transistor の作製を試みたところ、これまで利用して来たデバイス構造だとチャンネルの抵抗率が高過ぎて PPMS を用いた抵抗率の温度依存性の測定が出来ないことが分かった。そこで、PPMS で SmCoO₃ の抵抗率の温度依存性の測定が可能な構造のデバイスの開発に取り組み、実現した。現在、この素子に電荷をドーブして電子相を制御する実験を進めている。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 金属絶縁体相転移、Beyond CMOS、モットトランジスタ

〔研究題目〕 固有接合量子メタマテリアルを用いた光制御技術に関する理論研究

〔研究代表者〕 浅井 栄大 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 浅井 栄大 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究課題の目的である固有ジョセフソン量子光デバイスの提案に向けて、超伝導量子ビットを人工原子に用いた次元超伝導量子メタマテリアルの電磁場応答理論を構築した。本年度は固有接合に特有な接合間相互作用を考慮した古典的なモデルを構築し、IJJQM の古典電磁気学的な性質を調べた。この研究では、特にデバイス応用において重要となる、外部刺激による特性の可変性に着目した。古典的な IJJQM (即ち固有接合) は電圧

を印加する事で、強い THz 電磁波を放射する事が知られており、その特性がデバイスの温度分布に大きく依存する事が近年報告されている。そこで、外部からの局所加熱による放射 THz 波の変化について、古典的なモデルに基づく解析を行った。その結果、放射 THz 波の偏光状態 (円偏光度や回転方向) が局所加熱により大きく変化する事がわかった。このような THz 波の円偏光状態に対する高い可変性は従来のデバイスでは困難であり、固有接合デバイスの際立った特徴であるといえる。このように、本研究の成果により固有接合が高い制御性を持った光学デバイスとして応用可能である事が明らかになった。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導量子ビット、高温超伝導体、固有ジョセフソン接合、メタマテリアル、THz 波

〔研究題目〕 高立体角な蛍光 X 線計測のための大規模・高密度超伝導アレイ検出器

〔研究代表者〕 藤井 剛

(ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 藤井 剛、浮辺 雅宏、野尻 真士 (常勤職員2名、他1名)

〔研究内容〕

本研究は、シリコンドリフト検出器などのエネルギー分散型 X 線検出器の10倍以上のエネルギー分解能力を有する超伝導トンネル接合 (STJ) アレイ X 線検出器の有感面積を大幅に拡大させるため、従来の10倍の素子数となる1000素子 STJ アレイから成る検出器を実現可能な構造を開発する。超伝導体を埋め込んだシリコン貫通電極 (TSV) を作製したチップの表面に STJ アレイ層と埋め込み超伝導配線層を積層した構造、裏面に超伝導パンプ用のボンディングパットを作製する。本チップをフリップチップボンディングにより実装することで、チップ表面の8割を検出器の有感面とすることが可能で、最大8000素子までのアレイ化が可能となる。

本年度は、超伝導埋め込み配線に1000素子 STJ アレイを作製した。平坦化手法の改良により埋め込み配線上の平均自乗粗さを0.3 nm まで減少させ、平均リーク電流12.2 nA を実現した。この平均リーク電流は平均自乗粗さが0.6 nm であった埋め込み超伝導配線構造上に作製した100素子 STJ アレイの平均リーク電流40 nA の1/3程度であった。また、昨年度作製したスズを埋め込んだ TSV の低温特性を評価した。64本の TSV を Nb 超伝導配線で直列に接続したデバイスで、約3 K で超伝導転移することを確認した。0.3 K での臨界電流は約180 nA であった。これら特性は STJ 向けの TSV としては十分である。一方で、チップ内での歩留まりが25 %であり、大規模アレイ用としては不十分な特性である。今後、TSV の歩留まり向上を行う予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造
 【キーワード】 超伝導、X線検出器、シリコン貫通電極

【研究題目】 真贋判定技術 PUF のチップ出荷前の効率的な認証情報取得技術

【研究代表者】 小笠原 泰弘（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 小笠原 泰弘（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、半導体チップの真贋判定を行うための技術である物理複製不可能関数（PUF）の実用化のための研究である。半導体チップはチップごとに製造由来の僅かな特性のばらつきを持つ。PUFはこのばらつきを利用して任意の入力ビット列に対し、チップごとに固有の応答ビット列を出力する。この入力・応答ペアを用いて真贋判定を行う。PUFは大まかに分けて、ばらつきを利用して固有の内部ID値を生成し、そのIDを利用して応答を生成するものと、回路が自身のばらつきによって直接入力から応答を生成するものがある。内部にIDを生成するものは、常にその値を読み取られる攻撃のリスクを伴い、IDが読み取られた際には完璧な複製品が作られてしまう問題がある。本研究はチップの中のPUF回路が任意の入力に対し、回路がチップの持つばらつきに応じて直接応答を生成し、応答によって真贋判定を行う方式を対象にする。この方式では、チップ出荷前に入力・応答を取得してサーバに保存し、サーバに問い合わせることで真贋を判定する。本研究の課題は安全性を担保するために必要な入力・応答のペア数が膨大となり、PUFチップの出荷時のテストのコストが跳ね上がる点にある。これに対し、本研究は高速に入力・応答を取得する方式を提案し、本年度は高速に入力を生成する方法について調査を行い、結論を得た。次年度にその方式の検証を行って論文として発表を行う予定である。同時に、調査結果を踏まえた特許出願を予定している。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造
 【キーワード】 情報セキュリティ、チップの指紋、コンピュータハードウェア

【研究題目】 ナノワイヤにおけるフォノン熱輸送とひずみの関係の原子論的解析

【研究代表者】 服部 淳一（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 服部 淳一（常勤職員1名）

【研究内容】

目標：

トランジスタの微細化が進むにつれて、発熱密度の増大から、熱による性能低下が顕著となり、トランジスタにおける熱輸送への関心が高まっている。また、微細化の過程では、ひずみによる性能向上技術も生まれ、近年は広く利用されている。熱輸送とひずみ、両者の間には

不明な点が多い。本研究では、次世代トランジスタの要となる部材のナノワイヤを対象に、原子の集団運動すなわちフォノンとその熱輸送を原子スケールで解析し、ひずみの影響を解明する。

研究計画：

ナノワイヤにおけるフォノン熱輸送とひずみの関係を包括的に理解するため、①長さ無限のナノワイヤにおける一様ひずみ、②長さ有限のナノワイヤにおける一様ひずみ、③一様でない現実的なひずみの順にフォノン熱輸送への影響を明らかにしていく。このためには、ひずみナノワイヤの原子モデルの生成、非平衡グリーン関数法による透過係数の計算、ひずみ計測技術との連携について技術を開発する必要がある。平成30年度までの研究期間中に、これらの要素技術を完成させ、冒頭で述べた三つの段階を経て目標を達成する。

年度進捗状況：

平成28年度は、長さ無限のナノワイヤを対象に一様ひずみ、特に、ナノワイヤに平行なひずみ、軸ひずみの影響を調べた。その結果、ナノワイヤの熱輸送能力は、圧縮ひずみによって向上する一方、引っ張りひずみによって低下する傾向にあることが明らかになった。引き続き、ナノワイヤに垂直なひずみの影響について調べを進めているところである。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造
 【キーワード】 ナノワイヤ、フォノン、熱輸送、ひずみ

【研究題目】 テラヘルツ対応 CMOS-FinFET を用いた低コストセキュリティ技術の確立

【研究代表者】 松川 貴
 （ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 松川 貴、柳 永勲、昌原 明植
 （常勤職員3名）

【研究内容】

電磁波の透過性と光の直進性を合わせ持つテラヘルツ波は、食品中の異物や違法化学物質の検出等安全・安心の実現に極めて有益であるが、高額な機器が普及に向けての障害になっている。本研究では CMOS-FinFET ベースの低コストなテラヘルツ波放射器の実現を目的とし、下記の研究開発を進めた。

テラヘルツ発生器の実用的な性能（最大発振周波数と出力強度）を実現するためには、FinFET のスケールアップをさらに進める必要がある。その際には、FinFET の寄生抵抗がより顕在化する。そこで、寄生抵抗増加のメカニズム解明と寄生抵抗抑制技術の確立を進め、通常のプレーナ MOSFET で有効とされていた As に代わり、P をイオン注入に用いることで寄生抵抗とそのばらつきが改善することを明らかにした。

テラヘルツ発生器の高度化の検討のため、CMOS ベースの高周波発生技術の動向調査を進めた。FinFET ベーステラヘルツ波発生器の高機能化のためには、広帯域

での発振周波数掃引が重要であり、周波数制御には損失の大きな可変容量素子ではなくインダクタの活用の方が有利であること等、将来の開発方針を獲得した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】CMOS、FinFET、スケーリング、テラヘルツ波、高周波

【研究 題 目】ナノカーボン材料を用いたフレキシブルペロブスカイト太陽電池の開発

【研究代表者】樂 優鳳（電子光技術研究部門）

【研究担当者】樂 優鳳（常勤職員1名）

【研究 内 容】

近年、有機・無機ペロブスカイト太陽電池は次世代太陽電池として注目されている。ペロブスカイト太陽電池の高耐久性を実現するためには電極材料および界面材料が重要であることが明らかである。本研究では、電気特性・耐久性・機械特性に優れたナノカーボン材料を用いることで、耐久性の高いかつフレキシブルペロブスカイト太陽電池を開発する。今年度は、ナノカーボン材料（CNT・グラフェン）の分散液などを製膜し、膜表面やペロブスカイト膜との界面の制御技術を開発した。作製した CNT・グラフェン薄膜の疎水性が原因で、ペロブスカイト前駆体溶液が CNT・グラフェン薄膜へ浸潤は困難であることが分かった。分散液中の CNT の含有量が増加すると薄膜の疎水性が強くなる傾向である。そして、作製した CNT・グラフェン薄膜をプラズマなど処理することで、薄膜の疎水性を抑えることができた。更に、含有量を制御することにより、ペロブスカイト薄膜の平滑度をコントロールすることに成功した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】太陽電池、ナノカーボン、ペロブスカイト

【研究 題 目】光通信波長帯スピン制御光デバイスの研究

【研究代表者】池田 和浩（電子光技術研究部門）

【研究担当者】池田 和浩（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、光通信波長帯かつ室温において長い電子スピン緩和時間を有する InGaAs/InAlAs 量子井戸を有する面発光レーザーのスピン物性を調べた上で、光学的なスピン注入によって、光通信波長帯面発光レーザーの円偏光発振を世界で初めて実現することを目的とする。

光励起によるレーザー発振については、昨年度に引き続きより高い円偏光度でのレーザー発振を試みた。残留応力が小さいと考えられる、メサが大きなマルチモード VCSEL を用いて評価を行ったが、現在のレーザー光源のパワー、光学系では十分な励起密度を確保できず、評価が難しいことが分かった。また、レーザー加工による応力付与による複屈折の制御についても、加工後の経時変化

が疑われ、正しい評価が難しいことも判明した。そこで、スピンフリップモデルによる解析を行い、得られた実験データについて考察を進めた結果、残留複屈折と発振円偏光度の相関関係が明らかになった。また、①長い電子スピン緩和時間により複屈折の影響が低減されること、②初期スピン偏極度を向上させることで発振閾値よりも大きな励起強度においても高い円偏光度を維持できること、が分かった。これらの成果は、国内の学会および研究会にて口頭発表を行い、また国際論文誌に投稿し、受理・出版された。

基礎データとして、使用した InGaAs/InAlAs 系量子井戸を活性層とする VCSEL の層構造を TEM 観察により確認した。その際、TEM 評価サンプルの作製にあたり FIB 加工を行ったが、本 VCSEL の活性層を光学的に測定するための加工が可能であることが分かった。今後、VCSEL の微小なメサ構造（10 μm 程度）の最上部にある金属電極や、分布ブラック反射膜の除去加工を行い、活性層の電子スピン緩和時間やキャリア寿命などを評価する。また、これに必要な光学系の整備も進める。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピントロニクス、光デバイス、半導体レーザー

【研究 題 目】非平衡光プロセスを用いたナノカーボン系薄膜作製とデバイス応用

【研究代表者】阿澄 玲子（電子光技術研究部門）

【研究担当者】阿澄 玲子、橘 浩昭、島田 悟（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究課題では、プラスチックを含む任意の基板上に塗布製膜・後処理によりナノカーボン系薄膜を作製する技術を開発し、これを半導体素子や透明導電膜などのデバイスに応用することを目指している。方法として、プリカーサーとなる種々の有機材料の薄膜を基板上に塗布法によって作製し、これに短パルス光を照射して、基板を傷めることなく照射部分の急速加熱焼成を行い、ナノカーボン系薄膜に転換する。光を用いるため、焼成と同時にパターニングを行うことも可能である。この技術を用いてプラスチック基板を含む様々な基板上に塗布製膜でのデバイス作製のプロセスを開発することを目指す。

平成28年度も、平成27年度に引き続き、有機プリカーサーの組成を検討するとともに、カーボンナノチューブと無機化合物の複合膜の導電性向上へのパルス光焼成技術の適用を進めた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ナノカーボン、光焼成、電子デバイス

【研究 題 目】立体湾曲シリコン細線導波路の光伝搬制御に関する研究

【研究代表者】吉田 知也（電子光技術研究部門）

【研究担当者】吉田 知也（常勤職員1名）

【研究内容】

クラウドコンピューティングの発達や近未来に予見される IoT 社会の到来により、データセンター内やデータセンター間の短中距離大容量光通信技術という新たな技術ニーズが生じている。さらに LSI の発達により CPU チップとメモリーチップ間の電気配線による大容量信号伝送などが限界を迎えつつあり、その限界を打破するために光通信による新たなチップ間信号伝送技術の開発が期待されている。

シリコンフォトニクスは、シリコン LSI で培われてきた大量生産可能な微細加工技術を利用できる上にシリコン半導体電子回路との融合集積も可能なため、上記ニーズに応える有力な候補技術として世界各国で研究開発が活発化している。しかし実用化には、光ファイバーなどの外部光部品とシリコンフォトニクスデバイスのシリコン光配線を高効率に結合する技術が必須であり、そのような結合技術、特に実装コストの低減、ウェハ段階で検査可能という利点を持つ表面結合技術の開発が求められている。

本研究では、従来難しいとされてきたシリコン光集積回路への光ファイバーや光部品の表面実装を容易にする光結合技術を開発した。通常シリコン光配線はウェハ面内に形成されるが、本技術ではシリコン光配線の先端をウェハ垂直方向に立体湾曲加工して、ウェハ面から光集積回路へ光入出力できるようにする。本年度は更なる高効率化・低波長依存性・低入射角度依存性ための設計を行い、また、その設計を実現するための新たなプロセス技術開発も行い、スポットサイズ径が5マイクロメートルの高効率の光結合を実証した。これは、従来技術とは動作原理が異なる画期的な光結合素子で、データセンター内外の短中距離大容量光通信や半導体チップ間信号伝送などへの応用が期待される。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】シリコン光集積回路、シリコン光配線、光インターコネクション、シリコンフォトニクス、イオン注入技術

【研究題目】新規複合アニオン化合物の創製：物質合成と設計指針の確立

【研究代表者】荻野 拓（電子光技術研究部門）

【研究担当者】荻野 拓（常勤職員1名）

【研究内容】

無機固体化学における新しい物質系である「複合アニオン化合物」について、相生成指針の構築、合成方法の確立、物質探索などの研究を総合的に進めている。アニオンは周期表の近い位置であっても価数・イオン半径・電気陰性度などの特性が大きく異なり、これをうまく扱うことで、新しい固体化学を生み出すポテンシャルを秘めている。本年度は、当研究グループで見出した酸ハロ

ゲン化合物 $Ba3RE2O5Cl2$ (RE: 希土類元素) の発光特性を評価し、X線で励起することで、これらの化合物が発光元素を添加しない母体の状態でも強く発光することを見出した。蛍光寿命が数ナノ秒と非常に短いこと、物質によっては密度が非常に高いことから、これらは放射線用蛍光体としての可能性を秘めている。また鉄系超伝導体の物質探索を行い、As が異なる価数で二種類のサイトを占める複合アニオン化合物 $EuFeAs2$ を見出した。この物質は類似化合物 $CaFeAs2$ とは c 軸方向の積層が異なる一方 As からなる一次元チェーンを持つ鉄系超伝導体として新しい構造を有しており、鉄系超伝導体の物質バリエーションの増加に寄与するとともに、メカニズム解明、実用材料化にも貢献できると考えている。その他、鉄系超伝導体の臨界電流密度向上、酸ハロゲン化物新物質探索、層状クロム化合物の物質探索などを行った。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】複合アニオン化合物、超伝導、新物質合成、光学

【研究題目】時間分解プラズモン励起発光イメージングを用いたノロウイルス検出システム研究

【研究代表者】藤巻 真（電子光技術研究部門）

【研究担当者】藤巻 真、芦葉 裕樹、久保田 智巳（常勤職員3名）

【研究内容】

ノロウイルスは非常に感染力が強く、感染予防用センサには、100~1000 copies/ml 程度の高いウイルス検出感度が要求される。この検出感度レベルを満たす手法は幾つか存在し、実際に利用されているが、これらの従来法は、操作が煩雑であったり、検出に時間を要したり、特殊技能が必要であったりと、現地でのその場検査には適用が難しく、これらの手法と同程度の感度で、かつ簡易、高速なウイルスセンサが求められている。また、ノロウイルスには33以上もの遺伝子型が存在し、各遺伝子型はそれぞれ異なった抗原型に対応している為、遺伝子型特異的な抗体を用いている現状の臨床検査用ノロウイルス検出キットでは、これら全ての型を網羅的に検出することは出来ないという問題点もあった。

我々は、プラズモン励起発光の蛍光寿命測定を用いて、高感度、簡易操作かつポータブルで、全ての遺伝子型のノロウイルスを一度に検出できる手法の実現を目標に開発を行った。蛍光寿命測定用システムは、高時間分解 CMOS イメージセンサを用いて開発を行った。多成分の蛍光寿命分離のために、励起光と撮影タイミングを自動走査する機能をカメラに内蔵し、また、オンラインでの蛍光寿命画像表示を可能としたことにより、より簡便に時間分解画像を取得することが可能となった。また、我々は、ノロウイルスのウイルス様粒子、12A11抗体及び抗ノロウイルスポリクロナール抗体を用い、AI を表

面プラズモン共鳴励起層に用いたバイオセンサによってウイルス様粒子検出試験を行い、測定領域内に VLP がおよそ100粒子あれば検出可能であることを示した。また、プローブとして選択した12A11抗体の性状解析を行い、この抗体が GII.4遺伝子型株だけでなく他の遺伝子型株の VLP のウイルス吸着因子への結合も阻害することを明らかにし、12A11抗体の交差反応性の高さを実証でき、より広範囲の型のノロウイルス検出が実現可能であることを示すことができた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】免疫アッセイ、蛍光色素、バイオセンサ、ウイルス、

【研究 題 目】軌道純化に基づく高温超伝導体の圧力・非平衡制御と転移温度増強の理論・実験的研究

【研究代表者】青木 秀夫（電子光技術研究部門）

【研究担当者】青木 秀夫、永崎 洋、伊豫 彰、竹下 直（常勤職員3名、他1名）

【研究 内 容】

目標、研究計画：

高温超伝導における転移温度増強を、平衡においては単一軌道化を方針として開発する。理論的手法としては、DMFT+FLEX、DΓA などを用いる。単一軌道からなる非連結フェルミ面系や、広いバンドと狭いバンドの共存系を実現するための物質として、具体的な遷移金属化合物に着目し、理想系の実現を目指す。実験的には、理論設計された候補物質を試作し、圧力効果を含めて高温超伝導出現の可能性に迫る。

本年度進捗状況：

青木は、研究実施計画通り、動的バーテックス近似(DΓA)を超伝導体に拡張する定式化を終了し、これを、高温超伝導酸化物に対するハバード模型に適用し始めた。これにより、以前にFLEX+DMFT法により求めた超伝導転移温度 T_c のドーム構造が、DΓAでは全体的に低温側にシフトするが、やはりドームとなるという結果を得た。また、多体効果のためにフェルミ面が自発的に歪むポメランチュック不安定性も調べ、歪みがある場合に T_c が増強されるケースがあることを見いだした。また、様々な遷移金属化合物に対して、 T_c を増強させる物質設計を黒木グループと協力して行い、実験の永崎グループとも綿密な議論を行った。永崎、伊豫、竹下のグループは、上記の理論設計と連携して実際に物質合成を様々試み始めた。また、加圧による T_c の変化の詳細や、島野グループによる超伝導におけるヒッグス・モードの実験のための単結晶作成も行った。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導材料・素子、強相関電子系

【研究 題 目】ナノ NMR センシングを可能とする高機

能ダイヤモンド合成

【研究代表者】渡邊 幸志（電子光技術研究部門）

【研究担当者】渡邊 幸志（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究の目標は、単一プロトン検出に要求される磁場検出感度と空間分解能となる、ダイヤモンド NV ペアのダイヤモンド表面近傍配置(5 nm 以下)とその電子スピン位相保持時間($T_2=45 \mu\text{s}$ 以上)を両立させるダイヤモンドの窒素ドーピングと表面近傍の極浅 NV ペア形成技術を開発することである。

最終年度である FY28の成果は以下のようにまとめられる。

【ソリッドステートマイクロ波源を通じたダイヤモンド薄膜合成の高度化】

設計・開発した高パワー(1500W)のソリッドステートマイクロ波源により、不要な周波数広がりや周波数変動による不要なガス励起およびプラズマ発生を抑制したした中で、ダイヤモンドをホモエピタキシャル成長させる技術が確立された。この技術により、NV ペア密度を保ちつつ電子スピンの外乱要因となる不要な欠陥構造の抑制が可能となった。結果的に、ガス励起およびプラズマ発生のためのマイクロ波の位相雑音やスプリアスによる不要波が、結晶性に加えドーパント原子の取込みやそれによる電子状態の形成に影響を与えている可能性が見出された。材料合成でマイクロ波源のソリッドステート化が進むにつれ、これまで試されてきた様々なドーピングや結晶成長技術の未解決課題に対しても新たな合成パラメータとなることが期待できる。

【NV 電子スピン特性の向上】

CVD 層5 nm のダイヤモンド量子磁気センサーを試作した。PL 評価より、基板としたバルクダイヤモンドではなく、CVD 層のみに NV センターが形成されていることを確認し、 $T_2=71 \mu\text{s}$ を得た。これは、我々の従来技術と比べて、約7倍の延伸を示し、ソリッドステートマイクロ波源を通じたダイヤモンド薄膜合成の高度化により、NV 電子スピン特性の向上を実証することができた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】量子センシング、ダイヤモンド、マイクロ波プラズマ CVD

【研究 題 目】強相関電子系の電界効果とモット FET のプロトタイプ開発

【研究代表者】井上 公（電子光技術研究部門）

【研究担当者】井上 公、富岡 泰秀、白川 直樹、山田 浩之、渋谷 圭介、STOLIAR, Pablo、SCHULMAN, Alejandro、押川 正毅（常勤職員5名、他3名）

【研究 内 容】

SrTiO₃ (STO) をチャネルに、パリレンと HfO₂ をゲート絶縁膜に用いた電界効果トランジスタ (FET) のゲートにパルス電場を印加した時のチャネル電流の変化を系統的に測定し、migration-induced field-stabilized polar (MFP) 層の形成を示唆する結果を得ました。これは STO 表面にバルク方向に正の電界を印加すると、初めから存在する酸素欠損(正に帯電)がバルクに押しやられ (drift)、表面付近には欠損の少ない分極層 (=MFP) が出現するというものです。本来のゲート電場が誘起する電荷に MFP が誘起する電荷が加算されるので、電荷濃度が増大し「負の静電容量」という現象になったと考えられます。さらに界面が2次元金属に相転移すると、酸素欠損の diffusion がゆっくり進む間は MFP が残り、電流電圧特性に巨大な履歴現象が出現すると理解できます。さらに、この2次元金属相は低温で近藤効果を示すことも確認しました。

巨大履歴現象のおかげで、素子はパルス時刻依存可塑性 (STDP) を示します。人工シナプスに利用できる特性です。また、2次元金属相は不均質に形成されるので、電流電圧特性に負性微分抵抗が現れます。これらを利用すると、正負のゲインをゲート電圧で制御できる人工シナプスが作製できます (国際特許出願済)。さらにゲート電場の履歴でこの素子の非線形性が変化することを利用するとタイプ II のニューロンにもなります。特筆すべき成果であり、現在特許出願準備中です。

STO の La ドープ単結晶の超伝導転移も確認することができました。酸素欠損や Nb ドープによって金属化した試料に比べて、低ドープ側で転移温度が2~3倍も高くなることがわかりました。さらにこれを酸素同位体置換すると、転移温度が上昇する傾向が見られました。今後さらに詳しく検証します。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 電界効果トランジスタ (FET)、モット転移、モット FET、パリレン、酸化ハフニウム、チタン酸ストロンチウム、2次元電子系、ラシュバ効果、サブスレシヨルドスイング、易動度、負の静電容量

【研究 題目】 消化器系悪性腫瘍検出のための高感度自家蛍光イメージング技術の開発

【研究代表者】 有本 英伸 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 有本 英伸 (常勤職員1名)

【研究 内容】

手術で摘出した腫瘍組織から得られた分光データを用いて、補酵素 NADH と FAD の自家蛍光スペクトル解析、および血液の酸素飽和度推定を行い、腫瘍部位と正常部位を判別する正確さについて評価を行った。分光データは、白色光照明で得られる分光反射率、および波長 365、405、450 nm で励起された自家蛍光スペクトルのセットからなる。自家蛍光スペクトルは NADH およ

び FAD 由来のものと認められたが、上部に存在する血液に含まれるヘモグロビンによって自家蛍光の一部が吸収され、正確な補酵素の定量のためにはヘモグロビン吸収を補正する必要があることが判明した。そのため白色光源を用いて計測した分光反射率データによって、3波長で励起したそれぞれの自家蛍光スペクトルを補正するとともに、同じ分光反射率データから血液の酸素飽和度を推定した。腫瘍判別精度は365、および405 nm 励起の自家蛍光スペクトルの比 (F365/F405) と酸素飽和度の両者に関して評価した。サンプルは正常部位と腫瘍部位の両方を含む全32点である (正常32、腫瘍32)。F365/F405については、エラーレベルの大きな偽陽性が1件、偽陰性が2件認められた。酸素飽和度の評価については、概ね正常部位では高く腫瘍部位で低くなる傾向が確認できた。また、深さ方向の蛍光スペクトル分布を分析するために光軸方向の空間分解能を有する共焦点型蛍光スペクトル分光装置を開発し、これを用いて摘出腫瘍の計測を行った。この結果、深さ約100マイクロメートルに組織の代謝状態が急激に変化する部位がある可能性を見いだした。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 分光、蛍光、癌検出、イメージセンサー

【研究 題目】 固体内部におけるレーザーアブレーションモデルの創成

【研究代表者】 加藤 進 (電子光技術研究部門)

【研究担当者】 三尾 典克 (東京大学)、
轟 眞一 (物質・材料研究機構)
(常勤職員1名、他2名)

【研究 内容】

連続光レーザーは、光通信やレーザーディスプレイなどで広範囲に利用されている。近年、レーザー光の高平均出力化に伴い、光ファイバや非線形光学結晶などの固体内部における光絶縁破壊が顕在化し、通信の大容量化や装置の高出力・小型化の障害となっている。

本研究の目的は、光絶縁破壊がトリガーとなり、誘電体内部を発光しながら破壊が伝播する状態を固体内部におけるレーザーアブレーションによって発生したプラズマと見なし、その発生および維持・伝播機構を理解することである。このために、高平均出力連続光が誘電体を透過する状況下で、誘電体がプラズマに遷移する過程を記述するモデルを構築する。

本年度は、誘電体に対する価電子帯と伝導帯間遷移による電子、ホールおよび励起状態の生成・消滅を取り扱う詳細なキネティックモデルと電磁波の伝播方程式を結合することにより、第二高調波の増幅に対する励起状態の影響を調べた。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 レーザー、光絶縁破壊、アブレーション、非線形光学結晶

〔研究題目〕 超100K 級銅酸化物高温超伝導体の単結晶育成技術の開発とデバイス応用の検討

〔研究代表者〕 永崎 洋（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 永崎 洋、鬼頭 聖、吉田 良行、
Dongjoon SONG（常勤職員3名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、現存する超伝導体の中でも最も高い超伝導転移温度を有する水銀（Hg）系銅酸化物超伝導体 $\text{HgBa}_2\text{Can-1Cu}_n\text{O}_{2n+2}$ ($n=2,3$) の純良単結晶育成技術を確立すること、更に、得られた単結晶試料の基礎物性評価を行うことで、同物質の示す高い T_c の原因を探るとともに、その特長を活かした新奇超伝導デバイスの可能性を検討することをその目的とする。研究初年度にあたる平成28年度は、高純度前駆体の調整、および、閉鎖雰囲気下における結晶成長手法の確立に注力した。具体的には、前駆体として、良質な $\text{ReBa}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ の調製手法を最適化するとともに、 HgO を安全に取り扱うためのグローブボックスの設備を整えた。更に、 HgO の蒸気圧を抑えるための手法として、SUS 封管と石英ガラス管の二重封管法を試み、同手法を用いることで、目的となる単結晶の育成を安全かつ再現性良く行うことが出来ることを実証した。同手法を用いることで、 $T_c=134\text{ K}$ を有する、大きさ $1\text{ mm}\times 1\text{ mm}\times 0.05\text{ mm}$ の単結晶育成に成功を収めた。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 高温超伝導 単結晶 デバイス

〔研究題目〕 光誘起結晶移動現象の機構解明と高度制御

〔研究代表者〕 則包 恭央（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 則包 恭央、中野 美紀、高田 尚樹、
松本 純一（常勤職員4名）

〔研究内容〕

本研究課題では、研究代表者らが新たに発見した結晶移動現象の機構を実験および計算科学的手法を用いて解明し、さらに高度な移動制御を実現することを目的とする。これを通して、光を活用した物質移動・輸送分野を飛躍的に発展させる。具体的には、様々な分子構造・結晶構造を有する結晶を作製し、共焦点レーザー顕微鏡および走査プローブ顕微鏡を用いた移動現象の詳細な観察、光照射方法や基板表面特性の制御、フェーズフィールド法を用いたシミュレーションを実施することにより、本現象を支配する因子を明らかにし、その知見を移動制御に利用する。

今年度は、分光学的手法、各種顕微鏡観察手法を駆使してこの現象を解析するための標準的な評価法について検討した。顕微分光、光学顕微鏡および共焦点レーザー顕微鏡にそれぞれ、LED 光源を組み合わせた光学系を構築し、これによって、任意の角度からの光照射におけ

る結晶移動の観察、および可視光領域での顕微分光の測定が可能になった。さらに、これまで手作業で行っていた移動速度の解析作業を画像処理ソフトウェアを活用することによって、半自動的に見積もる手法を確立した。

基板表面との相互作用の検討においては、金を蒸着したシリコン基板表面に疎水性、および親水性の自己組織化単分子膜を形成し、その基板における結晶移動速度の測定を行い、これまで検討していた化学修飾していないガラス基板上での結果と比較した。その結果、結晶移動速度は、親水基板で最も速く、一方で疎水基板では最も遅く、ガラス基板がその中間的な速度であることが分かった。

フェーズフィールド法を用いたシミュレーションにおいては、基板表面のぬれ性と形状を考慮する多相計算モデルを構築した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光化学、結晶、移動、機能表面

〔研究題目〕 量子ドット超格子による高信頼性黄色半導体レーザーの実現

〔研究代表者〕 秋本 良一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 秋本 良一（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、レーザー活性層に量子ドットを導入した II-VI 族半導体材料を用いて、信頼性の高い黄色波長域で動作する量子ドット半導体レーザーを実現することである。量子ドット特有の効果である、量子ドット内に局在した注入キャリアと活性層に内在する点欠陥との空間分離効果に着目し、従来から量子井戸レーザーの高信頼性を阻害してきたキャリアと点欠陥の光反応による欠陥自己増殖が、量子ドットの導入により抑制されるかを検証する。また量子ドット層を多層化し、層間の電子的結合効果を制御した量子ドット超格子を導入して、発光波長を長波長化した黄色波長レーザーを実現する。本年度は、レーザーの活性層に導入する量子ドットの結晶成長条件とその発光特性について研究を行った。試料の構造は、 CdSe 量子ドット活性層層、 BeZnSe ガイド層、 BeMgZnSe クラッド層とし、比較のため活性層以外はこれまでの量子井戸型レーザーと同じ層構成とした。 CdSe 供給量の増加とともに発光ピークが 490 nm から 530 nm の範囲で発光を観測できた。供給量が 2.5 原子層 (ML) のとき、波長 520 nm で量子井戸試料と同程度の発光強度が得られた。さらに長波長の発光波長をもつ試料では、発光強度が急速に減少しており結晶欠陥の発生が示唆された。単一量子ドット層によるさらなる長波長化を実現するため、量子井戸層の中心に量子ドットを形成した Dot-in-a-well 構造も検討した。 $\text{CdSe}1.5\text{ML}$ 、量子井戸層 4 nm の試料は、量子井戸構造と同程度の発光強度を持ちつつ、発光ピーク波長が $550\sim 560\text{ nm}$ まで長波長化できた。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造
 〔キーワード〕 半導体レーザー、II-VI 族半導体、量子ドット

〔研究 題目〕 銅酸化物における Tc 向上のための超伝導圧力相図の決定とその理論的解明

〔研究代表者〕 竹下 直（電子光技術研究部門）
 〔研究担当者〕 竹下 直、伊豫 彰、佐々木 岬、岡崎 尚太（常勤職員2名、他2名）

〔研究 内容〕

銅酸化物高温超伝導体に対して、Tc の圧力依存性を物質横断的、網羅的に探索することによって、Tc 向上のメカニズム、方法論を導き出すことを目的としている。3か年の初年度となる今年度は、水銀系銅酸化物、Cu₂C系銅酸化物、頂点フッ素系銅酸化物のそれぞれに対して、Tc の圧力相図をさまざまなドーピングレベルおよびCuO₂面の枚数の場合に依りて明らかにした。特に頂点フッ素系の試料に関しては大きく進展し、集中的な実験によって1~4枚の場合の測定を終えることができた。これらの結果に関して学会発表を行い、成果の発信に心がけた。一部の試料は、インターンシップ後の追加実験として雇用ののち実験補助に従事した茨城工業高専および木更津工業高専の学生によって合成され、評価も行い、彼らの手によって日本物理学会での成果発表を行うことができた。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造
 〔キーワード〕 高圧力、超伝導、圧力効果、銅酸化物高温超伝導体

〔研究 題目〕 立体湾曲シリコン導波路を用いた革新的空間光学の開拓

〔研究代表者〕 榊原 陽一（電子光技術研究部門）
 〔研究担当者〕 榊原 陽一、吉田 知也、渥美 裕樹、面田 恵美子（常勤職員3名、他1名）

〔研究 内容〕

最近シリコンフォトリソグラフィの空間光学への研究展開が活発化しているが、基板面から面外方向に光を取り出すために回折格子カプラを用いている。本研究は、研究実施者らが最近開発した立体湾曲シリコン導波路カプラ（エレファントカプラ）をアレー状に複数個並べて面外方向に光を取り出し、それを干渉させて光ビームをステアリングする新しい素子の基盤的研究を遂行することを目的としている。エレファントカプラは、回折格子カプラにない本質的特長（点光源性、小さな配置間隔が可能）があり、ステアリング角度が大きくビームの収束性のよい独創的なデバイスが実現できると期待される。

このような素子を実現するためには、多数のエレファントカプラを2 μm 程度の挟みピッチで高精度に配置できる微細加工技術の確立が必要である。また、それぞれのカプラから出射される光の位相を個別に制御する必要が

あり、多数の熱型位相変調器の TiN ヒーター電極にアクセス可能な電気プローブ技術の確立が必要である。さらに空間に放射された光ビームの強度プロファイルを評価する観察光学系の確立が必要である。

2016年度はこれらの要素技術の確立に注力し、新規に開発した高精度位置配置技術を用いることにより、複数のエレファントカプラを配置した表面出射型フェーズアレー素子のプロトタイプ構造の試作に成功した。また観察光学系構築が容易な端面出射型の2点出射型フェーズアレー素子を試作し、出射光の位相を干渉させ波長掃引によるビーム偏向の原理実証に成功した。さらにシリコン導波路の上部に設置する高集積の熱型位相変調器の TiN ヒーター電極部に一括アクセス可能な専用プローブカードを開発した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造
 〔キーワード〕 シリコンフォトリソグラフィ、空間光学、フェーズアレー

〔研究 題目〕 構造最適化による高温超伝導体の転移温度向上

〔研究代表者〕 永崎 洋（電子光技術研究部門）
 〔研究担当者〕 永崎 洋、Dongjoon SONG（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究では鉄系高温超伝導体 Ba-122系の純良単結晶対象として、その臨界電流 J_c の組成依存性を明らかにし、J_c を決定づける磁束ピンニング機構を解明するとともに、J_c の向上に向けた指針を確立することを目的として研究を行った。その結果、J_c は、どのようなドーピング手法を用いても、その T_c が最大となる組成よりも小さい組成において鋭い極大を示すことを明らかにした。この関係は、T_c が組成とともに緩やかに変化しているのとは対照的であり、最高の J_c 出現が（T_c 決定要因とは異なる）外因的な要因に依るものであること、また、最高の T_c を出現させる組成が必ずしも応用にとっての最適組成とはなっていないことを示している。本研究の結果を元に、論文“Doping-dependent critical current properties in K, Co, and P-doped BaFe₂As₂ single crystals”を執筆し、Physical Review B 誌上で発表した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造
 〔キーワード〕 超伝導、高温超伝導、鉄系超伝導体、単結晶、輸送特性、臨界電流密度

〔研究 題目〕 モット絶縁体の単結晶薄膜を制御してモット FET のプロトタイプを作る

〔研究代表者〕 井上 公（電子光技術研究部門）
 〔研究担当者〕 井上 公、SCHULMAN, Alejandro（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究で扱う遷移金属酸化物は本質的に欠損を生じやすい物質であるため、その上にゲート絶縁膜を積層してFETを作るのは容易ではありません。我々は、チャンネル物質の上に6 nmのバリレンをつけることで表面が保護されて、その後のプロセスや電界を印加した際に新たな酸素欠損が生じないことを確認しました。FETとして十分な電界効果を得るために、バリレンの上にさらに20 nmのHfO₂を積層させるというのが我々のデバイスのキーポイントです。このHfO₂は原子層堆積装置(ALD)を用いて作製するのですが、我々はこの装置を持っていないため、物質・材料研究機構(NIMS)が文科省のナノテクノロジー・プラットフォーム(NPF)事業として共同利用に供しているALD装置を利用しています。ところが平成28年度はこのALD装置が不調で、試料ステージの変更をおこなうなどの措置が施されたため作製条件が変わり、予定していたSrTiO₃(STO)の(110)と(111)面およびNiOの(100)面などをチャンネルにしたモットFETの作製が成功しませんでした。

しかし、その研究にあてる予定だった時間を有効に活用して、これまでのSTOの(100)面上のFETの電流電圧特性を詳細に検討しなおすことができ、履歴現象の出現と金属非金属転移の関係、負の静電容量の出現理由、ニューロモルフィック素子としての可能性、低温での近藤効果と非線形ホール効果について理解を深めることができました。昨年度終了時点ではそれぞれの現象のつながりが曖昧で、それぞれに都合の良い解釈を与えていましたが、理解が深まったおかげで整合性が取れ、それを用いると、全ての現象を予想通りに再現できるようになりました。これは電子素子としての応用を考えると非常に大きな進歩となりました。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】電界効果トランジスタ(FET)、2層ゲート絶縁膜、バリレン、酸化ハフニウム、チタン酸ストロンチウム、寄生容量、ホール効果、近藤効果、非線形ホール効果

【研究 題目】長周期自然超格子を用いた量子構造の創製

【研究代表者】荻野 拓(電子光技術研究部門)

【研究担当者】荻野 拓(常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究では複合アニオン化合物と呼ばれる、複数アニオンの層が交互に積層した層状化合物について、様々な観点から物質探索を行った。我々はこれまでに、層構造を形成する元素の組み合わせに関する指針を得ており、励起子発光物質Sr₂ScCuSO₃をはじめ数多くの複合アニオン化合物を発見している。Sr₂ScCuSO₃はこれらの化合物は半導体層と絶縁体層が積層した化合物の場合には自然超格子を形成することから、量子閉じ込め効果やそれに由来する励起子発光が発現することが期待でき、昨

年度までに見出した化合物のうちのいくつかでも本年度もこれまでの知見を元に新規化合物の探索を行った。その結果、CuTe層、MnAs層とペロブスカイト型酸化物層が積層した化合物を中心に、多数の新物質を発見した。CuTe層を持つ化合物は励起子発光が見られず、Sr₂ScCuSO₃等と異なる電子構造を持つ一方、高いゼーベック係数を持つことを見出した。またBa₃RE₂Cl₂O₅(RE:希土類)で表される化学式を持つ一連の化合物を見出した。Ba₃Y₂Cl₂O₅やBa₃Lu₂Cl₂O₅は広いバンドギャップと酸素5配位の希土類サイトという特異な配位環境を持っており、Euのドーピングで高効率発光することが分かった。今後他の希土類元素を添加した場合についても特性を評価する予定である。この他、フッ化剤を用いて低温でフッ素化するトポタクティック反応についてもいくつかの化合物に対して反応を試み、ルテニウム化合物超伝導体Sr₂RuO₄がCuF₂、ZnF₂等によりフッ素化されSr₂RuO₃F₂に変化することを見出した。この手法は他の化合物にも適用可能で、今後の発展が見込まれる。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】複合アニオン化合物、超伝導、新物質合成、光学

【研究 題目】価数スキップ揺らぎによる新超伝導体の理論設計

【研究代表者】長谷 泉(電子光技術研究部門)

【研究担当者】長谷 泉、柳澤 孝(常勤職員2名)

【研究 内容】

自然界には特定の価数を選択的に排除する「価数スキップ元素」が存在する。その不安定な価数を強制的にとらせることで大きな電荷揺らぎが発生し、電荷密度波や超伝導状態が生じる。超伝導状態を実現させるためには競合する電荷密度波を壊す必要があるが、今回我々は圧力を系統的に印加することで電荷密度波を壊すことが可能であることを、価数スキップモデル物質RbTlCl₃の第一原理計算によって示した。この際、圧力印加とともに陰イオンの平衡位置がシフトしていく過程が決定的に重要であることが判明した。RbTlCl₃の体積弾性率がBaBiO₃よりも1ケタ小さいことから、現実的な圧力での相転移が可能になる。様々な物質系にこの理論を適用して行くことが今後の課題である。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】価数スキップ、電荷揺らぎ、超伝導、第一原理計算、圧力誘起相転移

【研究 題目】電子相関機構に基づく高温超伝導機構の解明と新規超伝導体のデザイン

【研究代表者】柳澤 孝

【研究担当者】柳澤 孝、長谷 泉、伊豫 彰、竹下 直(常勤職員4名)

【研究 内容】

電子相関に基づいた高温超伝導機構の研究を行い、それに基づいて新奇超伝導体のデザインを行った。

強相関電子系に対する新しい波動関数を考案し、それらが過去において研究されてきた多くの波動関数を比較して最適の波動関数であることを明らかにした。電子相関のある系においては、強相関領域と弱相関領域の明確な区別があり、それらの領域の間でクロスオーバーが起こる。強相関領域においては反強磁性相関が抑えられることが明らかになった。これは、強相関領域では運動エネルギーを得るために、スピンゆらぎが増大しスピン相関が消えていくことを示している。このスピン相関が高温超伝導を引き起こす可能性があることが明らかになった。

また、新奇超伝導体のデザインについて考察を行い、新超伝導体の候補物質を吟味した。価数スキップゆらぎによる超伝導に関しても、新超伝導体の候補物質を提案した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】高温超伝導、超伝導メカニズム、電子間相互作用、新規超伝導体

【研究 題目】窒化ガリウム系共鳴トンネルダイオード作製とテラヘルツ波発振に関する研究

【研究代表者】永瀬 成範（電子光技術研究部門）

【研究担当者】永瀬 成範（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、窒化ガリウム系共鳴トンネルダイオード（GaN 系 RTD）の優れた材料物性を用いることで、高性能なテラヘルツ（THz）波発振器を実現することを目指した。昨年度までに、長年未解明であった GaN 系 RTD で生じる双安定性（THz 波発振に不利なヒステリシス現象）のメカニズムを明らかにし、量子井戸構造の改良により、双安定性を抑制することに成功した。また、電磁界シミュレータを用いたアンテナ構造設計法やアンテナ構造作製のためのプロセス技術を確立した。最終年度は、GaN 系 RTD からの THz 波発振を目指して、GaN 系 RTD の高品質化を行った。GaN 基板を用いたホモエピタキシャル技術、及び、バリア層の低 Al 組成化等により、サファイア基板と GaN 系 RTD との格子歪によって発生する貫通転位や、バリア層中の結晶欠陥を大幅に低減することに成功した。しかし、THz 波発振に十分な微分負性抵抗特性を得るまでには至らず、更なる高品質化が必要であることがわかった。大面積成長等に優位性を持つ MOVPE 成長では、ヘテロ界面の平坦性が十分ではなく、ヘテロ界面の平坦性に優れた MBE 成長も視野に入れた取り組みが必要であることが示唆された。本研究期間では、THz 波発振までには至らなかったが、GaN 系 RTD で生じる双安定性のメカニズム解明により、THz 波発振器を実現するための GaN 系 RTD の設計指針を明らかにすることに成功し

た。今後は、更なる GaN 系 RTD の高品質化により、THz 波発振器の実現へと繋げていく予定である。また、双安定性のメカニズム解明は、GaN 系 RTD の双安定性を用いた新デバイスの創出にも繋がった。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】窒化物半導体、量子井戸、テラヘルツ波、双安定性

【研究 題目】通信波長帯動作するサブバンド間遷移フォトダイオードの開発

【研究代表者】牛頭 信一郎（電子光技術研究部門）

【研究担当者】牛頭 信一郎（常勤職員1名）

【研究 内容】

光ファイバによる光通信では、光の3自由度：波長・位相・偏波を有効活用し、それらの多重化によって伝送容量を増大してきた。情報通信量の増大により、今後は更に多重化が必要な状況で、集積デバイスの研究が盛んである。しかし、偏波を集積デバイスで扱うのは難しい。そこで本研究では、集積可能な受光器で偏光を見分けることが可能なデバイスの開発を目指している。集積デバイスを念頭に置き、材料系は光アクティブデバイス作製に適した InP（インジウム燐）系の III-V 族化合物半導体を採用した。偏光依存性はサブバンド間遷移の利用によって達成する。三年目の本年は、昨年度までに作製した、漏れ電流を少なくするための構造の評価を行った。また、昨年度行った成長条件の最適化による結晶性向上の結果を学会で発表した。その後、研究代表者（担当者）が所内管理部門に移動になったため、研究は一旦停止している。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】サブバンド間遷移、光受光器、偏光依存性

【研究 題目】金属-絶縁体転移を利用した光スイッチ機能の創出

【研究代表者】渋谷 圭介（電子光技術研究部門）

【研究担当者】渋谷 圭介（常勤職員1名）

【研究 内容】

高度情報化社会の進展により通信機器の消費電力が増加の一途を辿っており、今後も IT 機器やネットワークシステムの消費電力量が大幅に増加することが懸念されている。この課題を解決するため、シリコン導波路型を始めとした光スイッチの研究開発が進んでいる。しかしながら、従来型の光スイッチでは、電気スイッチに匹敵するような高集積化を達成することは原理的に困難である。そこで本研究では、金属-絶縁体転移を示す材料をシリコン導波路に組み込んだ光デバイスを作製し、革新的な光スイッチ機能を創出する。

本年度は、光スイッチ作製技術の開発に主眼を置いた。SOI（Silicon on Insulator）ウェハから、フォトリソグ

ラフィーと反応性イオンエッチングによりシリコンコアを形成した後、化学気相成長（CDV）法により二酸化シリコンをクラッド層として堆積させた。さらに、バッファードフッ酸（BHF）を用いたウェットエッチングにより開口部の二酸化シリコンを除去し、金属-絶縁体転移を示す二酸化バナジウム薄膜をパルスレーザー堆積（PLD）法により成長させた。上記プロセスにより、新規光スイッチの作製に成功した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 遷移金属酸化物、金属-絶縁体転移、シリコン導波路、光スイッチ

〔研究 題目〕 超高速キャリア緩和を有する InAs 量子ドットのテラヘルツ波検出素子への応用

〔研究代表者〕 熊谷 直人（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 熊谷 直人（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

当初は超高速なキャリア緩和を持つ InAs 量子ドット積層構造を用いて、テラヘルツ波検出用の光伝導アンテナを作製し、テラヘルツ波の検出特性を評価する予定であったが、採択年度の本所への異動により、「計画通り進まない時の対応」として想定していた InAs 量子ドット積層構造の面内光伝導の評価とメカニズム解明に向けた研究を行うことにした。InAs 量子ドット層は2次元成長した InAs 濡れ層の上に島状3次元構造がドットとして形成され、いわば「2次元電子系と0次元に閉じ込められた電子系が連続して繋がった系」である。この系において、ドットで光吸収と再結合を担い、濡れ層を光励起キャリアの伝導層にできれば、光励起時の面内伝導を光伝導スイッチへ応用することが期待できることから、面内光伝導の評価やメカニズムの解明は重要となる。本年度は面内光伝導測定を行うために光電流一定法（CPM）装置を用いることを検討した。これまで、1.5 μm 帯のレーザを用いて、励起時の光電流を評価してきたのに対し、CPM ではスペクトルでの光電流評価が可能である一方、ランプ光源なのでレーザ励起と異なり、励起強度密度が著しく低下することから、光電流を見積もり検討したところ。その結果、光電流密度で3桁程度下がるものの、CPM 測定が可能であると判断した。試行的に電極構造を作製して、波長800-2000 nm で CPM 測定を行ったところ、吸収スペクトルを得ること出来、1600 nm 付近での InAs 量子ドット層の吸収、1200 nm には InGaAs 層の吸収と考えられる構造がみられた。今後は CPM を用いて、吸収スペクトルや面内光電流の励起強度依存性を調べる予定である。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 量子ドット、光伝導アンテナ、テラヘルツ波

〔研究 題目〕 固体表面を光で自在に物質運搬する材料

の創製

〔研究代表者〕 則包 恭央（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 則包 恭央（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究では、平坦な固体基板表面を光で物質を輸送する、画期的な分子運搬材料を創製することを目的とする。研究代表者らが新たに発見した、光照射によって固体基板上を結晶が移動する現象を利用し、移動を起こす化合物に他の目的化学種と化学的、あるいは物理的に結合させた複合体を形成する。そして、光照射によって複合体を目的の位置に移動させる。以上により固体基板上において物質を光で自在に運搬する材料を創製し、流路等に頼らない全く新しい物質運搬法を提案する。本研究は、次の三つの段階を設定して研究を進める。①アゾベンゼン誘導体に限定した光で移動する分子のライブラリーを作成する。この中で良好な移動特性を持つ化合物を見出す。ここで得られた知見を基に、②最適な複合体形成手法を開発し、最後に③複合体としての物質輸送能力を評価する。

今年度は、上記①および②について検討を行った。①においては、アゾベンゼンにアルキル鎖、アミノ基およびハロゲンを置換した化合物群について、化合物の構造と融点、吸収スペクトル、および光応答性について検討を行い、光で移動するための分子構造の最適化を行った。その結果、光で移動するためには、アミノ基およびハロゲンの置換位置が重要であるとの知見を得た。さらに、紫外光を使用せず、可視光のみで移動する分子を見出した。②においては、アミノ基が置換した化合物および化学修飾された量子ドットとの複合体について検討し、顕微鏡観察下における光異性化を確認した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光化学、結晶、移動、運搬

〔研究 題目〕 "Interconnected" カーボンナノチューブ合成と応力センサ材料の開発

〔研究代表者〕 島田 悟（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 島田 悟、周 英、阿澄 玲子（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

本研究では、カーボンナノチューブ（CNT）同士が各種金属・半導体のナノ粒子によりいわば“半田付け”された“Interconnect”構造が発現する条件を探索し、多様な“Interconnected”CNT を合成できる技術の確立を目指している。この新規材料の一群である銅ハロゲン化合物は導電率の向上と長期安定性をもたらすことをすでに明らかとしているが、ストレッチャブル性など未知の物性の発現も期待される。作製方法としては、まず、ヒドロキシプロピルセルロース（HPC）を分散剤とした高粘性 CNT インクを用いて、ドクターブレード法により基板上へ CNT インク薄膜を製膜する。次にパルス

光照射あるいは有機溶剤の浸漬処理により、絶縁性の HPC を除去することにより CNT 薄膜を作製する。さらにこの膜に真空蒸着法や塗布法により、各種金属・半導体の膜を積層させる。最後にこの積層膜に対してパルス光を照射した後、原子間力顕微鏡観察や電気特性の評価を行うことにより、物性や構造変化を確認する。本年度は、CNT 膜上に塗布法によりヨウ化ナトリウム (NaI) などの金属ヨウ化物を積層し、各種条件で短パルス光照射を行った。その結果、生成した CNT 複合膜は、銅ハロゲン化物と同様に導電率が向上することを見出し、“Interconnected” CNT がより広範囲に存在する可能性を示した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】カーボンナノチューブ、導電膜、センサー

【研究 題 目】量子限界に挑む新原理の超伝導単一光子検出器の実証

【研究代表者】馬渡 康徳（電子光技術研究部門）

【研究担当者】馬渡 康徳、全 伸幸、藤井 剛
（常勤職員3名）

【研究 内 容】

本研究では、新型の超伝導単一光子検出器の原理実証を行う。バイス電流を運ぶ超伝導ナノストリップが光子を吸収して生じる量子化磁束を単一磁束量子 (SFQ) 回路で計数するという、新原理に基づく光子検出器である。常伝導転移を伴う従来型の超伝導ナノストリップ検出器に比べて、桁違いに高い計数率をもつなどの飛躍的な性能向上により、将来の高度な量子情報通信技術の実現に資するものと期待される。

平成28年度は、時間依存 Ginzburg-Landau 方程式と熱拡散方程式を連成した数値計算により、超伝導ナノストリップが光子を吸収して量子化磁束(渦糸)が発生する過程を再現する数値シミュレーションを行った。また、既存の超伝導デバイス評価用の冷凍機を改造し、光ファイバの導入を可能にするとともに、SFQ 回路の正常動作のための磁気シールドを施した。さらに、超伝導ナノストリップと SFQ 読み出し回路とを同一チップ上に集積化したモノリシック検出システムを作製し、光を照射しない状態で熱励起による量子化磁束の検出(ダークカウント)を示唆する実験データが得られた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導、検出器、単一光子、磁束量子

【研究 題 目】鉄系超伝導体の臨界電流特性向上指針の確立と実証

【研究代表者】石田 茂之（電子光技術研究部門）

【研究担当者】石田 茂之（常勤職員1名）

【研究 内 容】

超伝導体の性能を評価する基本的指標として、超伝導

臨界温度、臨界磁場、臨界電流の3つが挙げられる。このうち、臨界温度と臨界磁場はその物質に固有の物理パラメータでほぼ決定される。一方で、臨界電流は物質固有のパラメータに加えて磁束のピン止めが重要な決定要素となる。実際に、超伝導ケーブルや超伝導磁石といった超伝導応用においては、さまざまな工夫により磁束ピン止めを強めることで臨界電流特性の向上が図られている。本研究は、2008年に日本で発見され、新たな超伝導実用材料として注目されている鉄系超伝導体について、臨界電流特性の向上指針を提案・実証することを目的としている。本年度は、さまざまな化学組成を持つ鉄系超伝導体の単結晶を用いた物性測定を行い、鉄系超伝導体の臨界電流特性がどのような要因によって決定されているかを調査した。BaFe₂As₂を出発物質とする Ba_{1-x}K_xFe₂As₂、Ba(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂、BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂の良質な単結晶試料を対象とした詳細な物性評価の結果、臨界電流特性は元素置換量 x に大きく依存し、非常に狭い x の範囲で顕著に増大することを見出した。鉄系超伝導体に特有の磁束ピン止め現象を示唆しており、磁束ピン止め現象の基礎理論構築および臨界電流特性向上に向けた応用技術の両面で重要な役割を果たす成果である。今後は、単結晶を用いた物性評価で見出された臨界電流特性向上指針を鉄系超伝導線材作製プロセスに活用し、臨界電流の向上を実証する計画である。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導体、超伝導線材、臨界電流、鉄系化合物

【研究 題 目】Research on monolithically integrated autocorrelator using PIN-type silicon waveguide (シリコン PIN 導波路を用いた集積回路型オートコリレーターの研究)

【研究代表者】Cong Guangwei（電子光技術研究部門）

【研究担当者】Cong Guangwei、山田 浩治、大野 守史（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

数ピコ秒以下の時間的オーダーの超短光パルス波形の計測においては光学自己相関をベースとするオートコリレーターと呼ばれるパルス時間測定器が広く使用されている。従来のオートコリレーターは、自由空間光学コンポーネントと光学検出器として使用される非線形光学結晶により構成されており、大型で高価であった。そこで本研究ではシリコンフォトニクス技術を利用した集積回路型オートコリレーターを実現することを目指している。従来型と比べてこの集積型は小型、低コスト、高感度、調整が容易などの利点があり、オンチップ信号処理や計測等の幅広い応用展開が期待される。本研究課題の初年度(平成28)では強い光閉じ込めが可能なシリコン PIN 導波路の二光子吸収型検出器としての特性とパルス幅計測の正確度を理論的に計算し、さらに220

nmSOI で試作した PIN 導波路を用いた高感度オートコリレーター動作を実証、1 ps 幅パルスの正確な測定を実現した。また、従来の二光子吸収型パルス検出器に対し約100倍の高感度が得られ、理論計算で予測された特性とほぼ一致した実験結果が得られた。また、次年度に試作する集積オートコリレーター用の集積デバイスの設計を完了した。次年度には集積型オートコリレーターの試作や測定等が予定されている。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 シリコンフォトニクス、オートコリレーター、フォトニクス集積回路

〔研究 題 目〕 局所的ナノ構造配列を用いた液晶装荷シリコンフォトニクス技術の開拓

〔研究代表者〕 渥美 裕樹（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 渥美 裕樹（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

シリコン光集積システムの高度化に向け、低消費電力かつ広帯域な光位相シフタの開発が求められている。我々は、大きな屈折率異方性を有し電界による配向制御が可能である液晶材料をシリコン導波路上に集積した光位相制御デバイスの開発を進めてきた。その中で、液晶分子の初期配向状態は、デバイスの応答速度や位相変化量、駆動電圧を決定する重要な要因であることが分かっている。そこで本研究では、シリコン導波路の周りにナノサイズの溝配列を形成することで、液晶分子の初期配向を局所的に制御可能な技術の開発を行った。

本年度は、CMOS 互換の半導体加工プロセスを用いてシリコン基板上、石英基板上に100~300 nm 程度の幅の溝配列をエッチング形成し、偏光顕微鏡を通じて液晶配向能力の検証を行った。さらに、光パススイッチ素子の一つである方向性結合器に本技術を導入し、溝配列の方向に応じたデバイス駆動電圧の変化を確認した。その結果、透過近赤外光での偏光顕微鏡観察を通じ、溝配列に沿って液晶分子が配向していることを確認した。また、光パススイッチにおいて、導波路方向に対し垂直方向に近い溝配列であるほど低駆動電圧となる結果を得た。これは、溝に沿って配向した液晶分子が導波路側壁近辺の液晶分子配向にも影響を与えていることを示す。本技術は、従来の配向膜実装による初期配向制御法に比べて、局所導入可能かつ自由度が高いことから、様々な機能を要するシリコン光集積回路への導入に向いている。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 シリコンフォトニクス、液晶

〔研究 題 目〕 Be カルコゲナイドを用いた高信頼性緑色～黄色半導体レーザーの実現

〔研究代表者〕 秋本 良一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 秋本 良一（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

本研究では、結晶強度の増大が期待できるベリリウム (Be) カルコゲナイド系 II-VI 族半導体材料を用いて、信頼性の高い緑色および黄色半導体レーザーを実現するための基盤技術を開発する。活性層に Be を添加した BeZnCdSe 量子井戸レーザーの室温連続発振条件下における信頼性を検証し、Be の添加が素子の結晶強度や劣化抑制に与えるインパクトを定量的に明らかにすることを目的とする。今年度は活性層のフォトルミネセンス発光特性を詳細に調査し、レーザー素子の信頼性向上に向けたヒントとなる現象を見出した。具体的には、励起レーザー光の照射を継続すると、発光強度が数倍増大すること現象を見出した。このとき時間分解測定により、発光寿命が増大することが観測され、発光強度・寿命の間に明瞭な相関関係があることを見出した。レーザー照射により無輻射遷移過程が抑制され、結晶成長時に導入された点欠陥がレーザー照射により消滅していることが示唆される。蛍光顕微鏡を用いてこの現象の空間的な特徴をさらに研究した。励起光照射直後の点欠陥が消滅する前の状態では、PL 像にサブミクロンの濃度の強度ムラが観測されたが、励起光照射を継続して点欠陥が消滅するにつれて、PL 像の空間的な強度ムラが消滅していくことを明らかにした。さらに励起光照射を継続すると、PL 像に発光しない暗線が結晶軸にそって多数発生することが観測された。この暗線の発生がレーザー素子の劣化に関係することが示唆された。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 半導体レーザー、II-VI 族半導体、量子井戸

〔研究 題 目〕 強誘電性と導電性の共存を利用した強誘電抵抗スイッチングの物理的機構に関する研究

〔研究代表者〕 澤 彰仁（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 澤 彰仁（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

強誘電体の分極反転を起源とする新しいタイプの抵抗変化不揮発性メモリが、次世代不揮発性メモリの候補として注目されている。しかし、その動作機構の詳細は未解明であり、今後、素子開発を進める上で、動作機構の全容解明が課題となっている。本研究では、導電性強誘電薄膜・接合の導電パスと導電機構、抵抗スイッチングの発現に不可欠な素子内部の非対称なバンド構造の起源を明らかにし、強誘電抵抗スイッチング現象の動作機構の全容を解明する。また、動作機構を基づく素子特性の制御手法を開発し、強誘電抵抗スイッチングの特長を活かした低消費電力メモリ応用の基盤確立を目指す。

平成28年度は、強誘電抵抗スイッチングの特性制御手法の開発と特性向上を目指して、電極材料と結晶性が抵抗スイッチング特性に与える影響を調べた。BaTiO₃ をバリア層とする強誘電トンネル接合において、単純金

属の Co または多結晶の酸化金属を上部電極とする素子を作製し、パルス電圧印加による繰り返し抵抗変化特性を評価した。その結果、Co を上部電極とする素子では約100サイクルから高抵抗状態、低抵抗状態ともに抵抗値のバラつきが発生したのに対し、酸化金属を上部電極とする素子では1000サイクルを超えても安定した抵抗変化が観測された。さらに、酸化金属をアモルファスにすることにより、1億回以上の安定した抵抗変化繰り返しを実現した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 不揮発性メモリ、抵抗スイッチング、強誘電体、遷移金属酸化物

【研究 題目】 サイクロイド様サブ波長断面構造での高効率局在プラズモン発生と超高感度センサー応用

【研究代表者】 福田 隆史（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 福田 隆史、古川 祐光、石田 尚之、茨田 大輔、江本 顕雄（常勤職員2名、他3名）

【研究 内容】

本研究では、サブ波長スケールの周期を持つ曲面で構成される表面（サイクロイド様サブ波長断面構造）の最適化を通じて、局在プラズモン共鳴スペクトルの狭帯化と屈折率応答性の極大化を図り、そのことを通じて、分光器によるスペクトル計測を不要化する局在プラズモン型長高感度バイオセンサーの実現を目的としている。

平成28年度は、サイクロイド様サブ波長断面構造の設計効率化を図る手法として、電磁界分布計算方法に関しては変数分離法の改良をはじめとする数式処理上のノウハウを上積みし、より高速な電磁界分布計算が可能となった。また、サブ波長断面構造のナノインプリント作製プロセスに関しては、基板やモールド表面の化学的・物理的清浄化技術に関するノウハウの蓄積によって、各構造単位の精度と大面積での均一性に関する大幅な向上が達成された。さらに、PET フィルムを基板とする6スポット（2列×3行）チップの作製に成功し、各チップの特性バラツキの評価、ならびに、基板を湾曲させた時の光学特性の変化（安定性）などについて検討を行い、フレキシブルなマルチスポットチップの実用化に向けた成果が得られた。また、各要素技術の技術統合と機能検証を進めた結果、最終目標である局在プラズモン型超高感度バイオチップの実現のための技術基盤を整備できた。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 バイオセンシング、局在プラズモン、サブ波長構造、機能表面制御、色度解析

【研究 題目】 液相剥離法の高度化による原子層薄膜の作製とデバイス化

【研究代表者】 橘 浩昭（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 橘 浩昭、阿澄 玲子（常勤職員2名）

【研究 内容】

CaSi₂、CaGe₂の層状化合物を出発物質として、Si ないし Ge の単原子層膜を含む分散液を物理的あるいは化学的手法で作製する条件を見出す。これを用いて塗布法で薄膜を作製し、組成・構造を光電子分光（XPS）、ラマン分光法などの分光的手段や各種顕微鏡等を用いて調べる。得られた結果を材料設計にフィードバックすることを研究目的としている。

今年度は、Ge の単原子層膜を含む分散液を物理的に作製する条件を探索して、得られた分散液の特性を調べた。CaGe₂を塩酸あるいはヨードメタンと反応させることにより得られた GeH 粉末ならびに GeCH₃粉末を種々の溶媒中で超音波照射して分散効果を検討した。トルエンあるいはクロロベンゼン中で超音波照射すると GeH 粉末や GeCH₃粉末は分散するが、一定期間、分散液を静置すると沈殿が生成して安定な分散液を得ることができなかった。それに対して、N-メチルピロリドン中、GeH 粉末や GeCH₃粉末を超音波照射することにより、分散液は数カ月も安定に存在することが分かった。それぞれの分散液を用いて紫外-可視吸収スペクトルを測定したところ、いずれの分散液も800 nm 付近から吸収が立ちあがるが、GeH と GeCH₃分散液ではスペクトル形状に違いが観測された。

【領 域 名】 材料・化学

【キーワード】 層状化合物、原子層薄膜

【研究 題目】 フェムト秒レーザーによる医療用セラミックスの表面微細構造形成技術の開発

【研究代表者】 欠端 雅之（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 欠端 雅之、屋代 英彦（常勤職員2名）

【研究 内容】

フェムト秒レーザーを適切な条件で照射することでイットリア安定化正方晶ジルコニア多結晶（3Y-TZP）表面にレーザー波長程度の周期的微細構造が形成される。3Y-TZP は機械的特性に優れインプラントや人工関節などの医療用部材に用いられており、本手法を応用することで親水性の制御や機能性材料膜の強固なコーティングなど医療用部材の性能向上が期待される。本研究は、医療用3Y-TZP へのフェムト秒レーザー照射による周期構造形成条件の探索、形成機構の解明、構造形成された材料の特性評価などを行うことを目的とする。

平成28年度は以下の結果が得られた。周期構造形成条件の系統的探索として、フェムト秒チタンサファイアレーザーを光源とし、パルス幅への依存性と、楕円偏光に対する依存性を明らかにした。また、フェムト秒イッテルビウムレーザーの基本波、二倍波、三倍波を用いた周期構造形成を行い、異なる波長での周期構造形成の波長依存性を明らかにした。

構造形成された材料の特性評価として、共焦点レーザ

一顕微鏡や走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて表面形状を観測した。また集光イオンビーム（FIB）により周期構造の断面を作製し、周期構造の形状や結晶粒の分布を、走査型イオン顕微鏡（SIM）や透過型電子顕微鏡（TEM）を用いて観測した結果について検討した。また

結晶相の評価を X 線回折測定により行い、フェムト秒レーザー照射後の結晶相に関して、正方晶から単斜晶への変化は1 %程度であり、実用上問題にならないことが分かった。また、周期構造形成機構解明のためのダブルパルス照射実験と、照射試験片の機械強度と長期安定性評価に着手した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】レーザー、セラミックス、表面修飾、インプラント

【研究 題 目】格子・電荷・光結合系の設計と制御によるフォトニクス機能の進化

【研究代表者】徐 超男（製造技術研究部門）

【研究担当者】徐 超男、劉 臨生、塗 東、津山 美紀、廣津 丈（常勤職員1名、他4名）

【研究 内 容】

応力発光は構造物の健全性診断など安全安心な社会を支える基幹技術への利用が強く期待されている。本研究は、応力発光発現機構や増強法を多角的な視点から究明し、得られた知見をもとに画期的なフォトニクス材料を新たに創出することを目的とする。具体的には、特異な積層化合物について、応力発光等フォトニクス機能に及ぼす結晶構造、電荷移動、欠陥の影響とその機構を調べ、発現機構を明らかにして、画期的なフォトニクス新材料の設計・創出を目指す。

本年度は、(1) ミクロ・ナノファイバと ML シートのナノレベルの結合状態を解明して、ミクロ、メゾ、マクロのそれぞれ異なる階層での物性を多角的にアプローチし、応力発光に及ぼす結晶構造、電荷移動、欠陥の影響に関する機構モデルの構築に続き、(2) 得られた理論に基づき、高感度 ML 特性を有する圧電材料 $\text{LiNbO}_3:\text{Pr}^{3+}$ を創出した。この材料は低ひずみに対しても優しい ML 特性を持ち、低ひずみのセンシング、破壊診断、エネルギー転換および光電特性を利用して多機能制御への応用を突き止めた。(3) 低次元 SAO ファイバ状単結晶について、電気特性およびその温度・湿度依存性、UV 出力パワーの依存性等を詳しく評価した。(4) 得られた合成法と材料設計指針の有効性を検証し、ML 特性を有する圧電材料は、高感度応力発光機能を有すること、電気・機械・光のエネルギー転換機能を有する斬新なフォトニクス機能を有することを突き止めた。

得られた成果は論文誌、学会等で多数発表し、その中で圧電性と高感度 ML 特性の両方を有する新規材料が *Advanced Materials* 誌に掲載された。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】応力発光、光機能材料、多機能、光電特性

【研究 題 目】流体操作技術による新たな精子選別技術

の開発と実証試験

【研究代表者】山下 健一（製造技術研究部門）

【研究担当者】山下 健一、天本 真里子（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

マイクロ流路を用いた流体操作技術による、独自の運動性精子捕集技術を基盤として、繁殖用精液の簡便な精製技術を確立し、高度に計画的な家畜繁殖の実現を目指して研究を行っている。28年度は、体外受精系による評価を通じて、人工授精への適用可能性についての検討を中心に行った。具体的には、捕集した精子の性状と、体外受精に供した後の胚の分割状況や環境耐性に関する試験、性割合に関する分析、などを行った。選別された精子の性状を分析したところ、同ロットの非選別や別ロットの非選別に比べ、完全性の高い DNA を保持していることを確認した。この結果は、過去の文献から、繁殖性の改善につながることを期待される。体外受精による試験では、全体的な傾向として、高い（発生胚/分割胚）率を示した。これは言い換えれば、受精後、胚が分割していく途中で分割停止とならないということであり、特徴的な結果である。また、体外受精成績の精子濃度については、低い精子濃度でも、高い発生率を示した。これらの結果は、運動性選別精子の繁殖に対する有効性を示すものである。具体的には、完全性の高い DNA を運んでいることや、低い精子濃度での高い（胚盤胞発生胚/分割胚）率は、得られた胚の品質の高さを示すものである。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】繁殖、畜産、マイクロ流体、数値流体力学

【研究 題 目】革新的3D トリリオンセンサ作製技術の開発

【研究代表者】寺崎 正（製造技術研究部門）

【研究担当者】寺崎 正、古賀 淑哲、菊永 和也、藤尾 祐樹、坂田 義太郎（常勤職員5名、他2名）

【研究 内 容】

本提案では、トリリオンセンサ時代（非連続的膨大多数のセンサ、年間45兆個、現在の100倍強/2023年）を担う3次元・集積センサの革新的作製技術の開発を目的としている。提案者は世界に先駆けて【力学情報の応力発光可視化】、【内部応力可視用の近赤外応力光】、【ナノインクによる生分解印刷センサ】を達成した。一方これら要素技術（ナノ・マイクロ機能材料）を産業へと活かす『自由自在に、3次元空間に配置、集積する製造技術』は存在しない。そこで本提案では『ナノ・マイクロ機能材料の3D印刷』を基とした革新的トリリオンセンサ作製技術開発として、2課題を行っている。具体的に得られた実績は、それぞれ以下のとおりである。【課題

1: 3D印刷による3次元配線技術の確立と、センサ・給電デバイスへの応用】3次元印刷配線条件を明らかにするため、専用三次元造形機（3次元プリンタ）による微細空間・細線の造形を行うことに成功した（ $L/S=150\text{ }\mu\text{m}-2\text{ mm}$ ）【課題2: CAE設計高度化に向けた3D印刷による内部応力可視化センシングの確立】外表面、内部への応力発光センサの位置選択導入条件を明らかにすることを目的として、下記を達成した。(1) 3次元造形（光硬化）用、応力発光インクの開発に成功した（濃度・種類の最適化）。(2) 応力発光計測により、3次元器物（造形物）の強度・異方性と造形様式との関係を明らかにした（引張荷重）。またCAE高度化を考慮した造形法はインクジェット方式であることも明らかにした。(3) 骨端プレート（医療器具）のリバースエンジニアリングデータによる3次元器物（造形物）を介した応力発光によるひずみ分布の可視化に成功した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】トリリオンセンサ、応力発光、3Dプリンタ、CAE

【研究 題目】応力制御型光スイッチの研究開発

【研究代表者】徐 超男（製造技術研究部門）

【研究担当者】徐 超男、塗 東

（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

これまでに、新規な機能性材料である応力消光体（ CaZnOS:Cu ）の開発を進めてきた。応力消光体 CaZnOS:Cu は、残光の減衰時間の変化に関して、 Cu の低濃度領域では、応力負荷により、応力消光から応力発光へと変化し、高濃度領域では、応力発光から応力消光へと変わる特異な現象を示す。この現象解明のため、他の遷移金属（ Mn 、 Ag 等）をドーピングした材料を新たに合成し、 CaZnOS:Mn は応力発光を、 CaZnOS:Ag は応力消光を示すことが発見された。

本年度は、上記の研究を進めていくことで、残光寿命を新たな評価要素として導入し、 CaZnOS:Cu の応力消光の性能を分析した。これにより、応力消光の原理が解明され、効果的な電子トラップ制御も可能となった。この研究成果は、応力消光体の開発のみならず、すべての蛍光体の基礎研究、および、効率向上に対しても重要な手がかりとなると予想される。

また、開発された応力消光と応力発光の両機能を有する材料の応用例としては、光メモリ、光ストレージ等の開発も可能となり、独自の応力発光技術と応力消光技術を組み合わせることによって、光調整可能な新規光スイッチの創出の可能性が期待される。

将来的には、この新しい光スイッチの機能性を利用して、精密加工機器や医療機器のフィードバック制御、ならびに、航空機や高速鉄道車両等の応力負荷箇所において、新規な計測手段として使用されることが期待される。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】応力消光、応力発光、光スイッチ

【研究 題目】正20面体クラスター構造を持つ水潤滑用低摩擦・低摩耗ホウ化物セラミックスの開発

【研究代表者】村上 敬（製造技術研究部門）

【研究担当者】村上 敬、廣瀬 伸吾（常勤職員2名）

【研究 内容】

油を使わないクリーンな水潤滑システムは最近水圧ポンプや食品機械などの分野で注目され、既に河川・ダム用水門扉用水圧ポンプや水圧制御弁、あるいは潜水調査船用海水ポンプのピストンシリンダなどに応用され始めている。現在水潤滑用しゅう動材料としては、主に Si_3N_4 、 Al_2O_3 、樹脂などが使用されている。しかし Si_3N_4 （摩擦開始直後など）や Al_2O_3 は摩擦・摩耗が大きく、樹脂は硬度、耐摩耗性が劣る欠点がある。本研究では今年度、研究代表者らが以前水中で低摩擦・低摩耗であることを明らかにしていたものの靱性の低い AlB_{12} セラミックスについて、メカニカルアロイングなどを用いてサーメットにする工夫を行い、その結果室温でのスラブ硬さが1700以上になる $\text{AlB}_{12}\text{-}20\text{ vol}\% \text{ NiAl}$ サーメットを作製することに成功した。コーティングについては今年度、大気プラズマ溶射法及び Ni めっき法を用いてそれぞれ AlB_{12} 膜、 Ni-AlB_{12} 膜の作製に取り組んだ。前者については SEM-EDS 分析、X 線回折によって、 AlB_{12} 膜が SUS304 基板の一部に形成されていることがわかったが、基板全面ではなく一部に限られることがわかった。しかしコーティングを行わない SUS304 基板に比べて摩擦・摩耗特性に改善の見られることがわかった。一方後者については、SEM-EDS 分析などから Ni-AlB_{12} の厚膜形成が可能であることはわかったものの、 AlB_{12} 粒子の濃度が5~10vol%に限られ、さらに高濃度の被膜を得るにはより工夫の必要ことがわかった。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ホウ化物、水潤滑、粉末冶金、コーティング、摩擦、摩耗、トライボロジー

【研究 題目】社会容態の変化を促し環境負荷を低減する積層造形（AM）技術利用シナリオの設計

【研究代表者】近藤 伸亮（製造技術研究部門）

【研究担当者】近藤 伸亮、高本 仁志

（常勤職員2名）

【研究 内容】

本年度は昨年度までに実施した積層造形技術（以下、AM 技術）の環境負荷、コスト評価のためのインベントリデータ等の収集を継続するとともに、AM 技術が生産システムやサプライチェーンの形態、ユーザの消費行動、ビジネスモデルなどにどのように直接的・間接的に影響

を与えうるかを表現する「部分シナリオ」を広範な範囲の生産システム技術専門家との議論を通じて収集した。一連の議論を通じ、AM 技術は Internet of Things (IoT) と相互作用して生産と消費、資材の流通の在り方を大きく変化させるとともに、製品設計や製造に従事する様々な組織の人員構成や働き方にもその影響が及びることなどが浮かび上がった。収集したこれらの部分シナリオから、AM の使い方を設計するうえで特に重要となるコンセプトを(1)分散型生産システム、(2)高度なカスタマイズと高密度な地産地消、(3)新たな価値セクター（製品のカスタマイズ情報だけを販売する事業者や、様々な製品のインテグレートなどに特化する事業者など）の登場とそれに伴う経済的パワーシフトの3点に集約して検討を進めることを決定した。

さらに、上記3点を表現した AM 技術の「使い方」を評価・設計するためのツールおよび指標についての基礎的検討を実施し、Sustainable Development Goals (SDGs)等の一連の評価指標に関する文献調査を実施した。関連して査読付き国際会議2件の研究発表を行った。

今後、以上のインベントリデータおよび部分シナリオを用いて、AM によって可能となる生産様式およびビジネスモデルシナリオを複数作成し、持続可能性の観点からその有効性の評価を行い、本プロジェクト成果の取りまとめを行う。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 積層造形技術、シナリオモデル、社会影響評価、環境負荷、持続可能性、設計支援

【研究 題目】 製品リマニュファクチャリングの成立条件分析と需要予測モデルの研究

【研究代表者】 松本 光崇（製造技術研究部門）

【研究担当者】 松本 光崇（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究の目標事項の一つである、リマニュファクチャリング（リマン）の成立条件分析を目的として、国内外のリマンに関わる企業・研究者との意見交換を行い、リマンの成立条件と障害要因についての検討を進めた。主要項目として、リマンのための使用済み製品の回収、リマン工程の効率化、需要側の受容性、等が成立条件に関係し、また使用済み製品の輸出入規制や安価な新品製品等が近年の障害要因であることを明らかにした。

本研究の第二の目標は、リマンの生産管理の向上のためのリマン製品の需要推移予測モデル構築であり、本研究では自動車パーツのリマン企業から同企業の12年間の月次受注履歴データの提供を受け、データを元に受注数（需要）の予測モデルを構築し精度検証を行った。今年度は特に時系列分析法である Holt-Winters 法と製品寿命モデルである Weibull 分布モデルの統合手法の開発を進め、効果検証を行った。

本研究の第三の目標である、リマン製品の消費者受容性の分析と国際比較について、日米の自動車パーツのリマン製品に対する消費者意識・選好分析を昨年度に引き続き実施し、今年度は日米消費者の購買意思の比較分析と、選好要因の影響度比較分析を行い、得られた知見と示唆をまとめ、学術成果として発表を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 リマニュファクチャリング、需要予測、ライフサイクル工学、社会受容性評価

【研究 題目】 常磁性低融点金属スパッタリングに用いる新規プラズマ源の研究開発

【研究代表者】 本村 大成（製造技術研究部門）

【研究担当者】 本村 大成（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究の目標は、常磁性低融点金属を高密度プラズマでスパッタリングし、ターゲット材料のスパッタリング速度が1分あたり1.0 μm 程度まで可能なプラズマ源の基盤技術を構築することである。本研究では、常磁性低融点金属の高速スパッタリングのために電気力線と磁力線が平行になるような電磁場を用いて、高密度イオン流束を効率よくターゲットに引き込む手法を提案する。本年度は、高密度プラズマ生成法であるヘリコン定在波励起が実現可能な装置の構築と、ヘリコン定在波の励起条件を満たすために必要な実験パラメータのサーベイを行った。本年度の数値目標として、スパッタリングプロセスに用いる窒素プラズマの数密度を1立方メートルあたり10の18乗 (10^{18} m^{-3}) と設定した。本年度の研究成果として、先に挙げた装置の構築と実験パラメータのサーベイを行い、本年度の数値目標であったスパッタリングプロセスに用いる窒素プラズマの数密度 10^{18} m^{-3} を達成した。実験条件は、高周波電力500 W、窒素ガス圧力0.2 Pa、磁場コイル中心の磁場強度0.08 T であった。来年度は本プラズマ源を用いて実際にスパッタリングプロセスを実施し、常温で液体となる金属であるガリウムに窒素プラズマを照射して成膜テストを実施し、本装置の成膜特性などを調べる予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 スパッタリング、液体金属、窒素プラズマ、高速成膜

【研究 題目】 金属積層造形技術の化学分析システムへの応用

【研究代表者】 岩崎 渉（製造技術研究部門）

【研究担当者】 岩崎 渉、佐藤 直子、清水 透、中野 禪（常勤職員4名）

【研究 内容】

本研究では金属積層造形により作製した、金属ポーラス構造体を電気化学検出器として用いるための作製法の検討を行った。本年度は、電極に求められる構造を検討

するとともに、その構造を積層造形で作成する方法を検討した。電極の構造は、毛細管現象を発生させる穴があることと、反応場を稼ぐために比表面積の高い方が望ましい。構造の検討では、チタン合金の粉末焼結多孔質シートを用いた。多孔質シートは気功率が約60%であり、空隙の大きさは楕円近似すると長軸が37 μm 、短軸が19 μm であった。積層造形では、昨年度は加工条件（投入エネルギー量）を変化させて空隙率を変化させることを検討した。しかし、毛細管現象を生じるほど微細な構造を得ることが難しかったため、本年度は水素化チタンを添加し、加熱時にガスを発生させて気孔を生成させるプリカーサ法を検討した。その結果、プリカーサ法を用い、かつ加工条件を最適化することにより、空孔の構造を制御できる可能性が示唆された。しかし、空孔サイズは今回検討した条件では粉末焼結多孔質シートの空孔サイズよりも大きく、今後検討が必要である。また、作製した造形物への金コーティングを試みた。金コロイド液に浸漬し、加熱することで金ナノ粒子を固着させてコーティングすることを試みたが、造形物全体を被覆することはできなかった。スパッタリングによる金のコーティングも試みたが、造形物表面しかコーティングできず、造形物内部をコーティングすることは難しかった。今後はメッキなどによりコーティングする方法を検討する。また、イムノクロマトグラフィーに電気化学的手法を導入する方法に関して、電極配置の関係や、ニトロセルロース内を流れる流体挙動に関して調査し、電気化学信号は時間の6乗根に反比例することがわかった。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 金属積層造形、電気化学、イムノクロマトグラフィー

【研究 題 目】 走査型プローブ顕微鏡によるアコースティックエミッションの複合計測技術の開発

【研究代表者】 藤澤 悟（製造技術研究部門）

【研究担当者】 藤澤 悟、間野 大樹（常勤職員2名）

【研究 内 容】

走査型プローブ顕微鏡（scanning probe microscope, 以下 SPM）の圧電体スキャナにアコースティックエミッション（acoustic emission, 以下 AE）が作用することにより、圧電効果で AE 波に起因する信号すなわち AE 信号が発生して、走査信号に重畳されることを利用する技術を開発した。走査信号に重畳される AE 信号を電子フィルタ回路で走査信号をカットする事により、試料と摩擦力・負荷荷重の相互作用と AE を同時に検出できる。本年度の研究においてハイパスフィルタ回路の最適次数は二次と結論づけた。これ以上高いと回路自体のノイズが検出の障害となるからである。また、信号強度が市販センサーの1/100以下である問題に対しても最大1万倍の増幅を達成した。

実験的には、SPM 探針はダイヤモンド（先端曲率半径約0.5 μm 、ステンレス製カンチレバー（バネ定数は230 N/m）、試料は光学レベルで平坦な溶融石英を用いて行った。実験としては、探針・試料間に垂直に荷重をかけるナノインデンテーションを行った。これは、接触モードでの測定が基本の場合の画像取得の初期設定動作である。かけた荷重は最大110 μN で、これでナノレベルの破壊が発生した。

溶融石英表面に荷重をかけると AE 信号として単発のスパイク波形が現れた後に連続したスパイク波形が現れ続けた。これは試料表面の場所を変えて試験しても再現性がある波形の発生の様子であった。よって、スパイク状の単発の振幅の大きな AE 波と連続したスパイク波形が現れることは、発生メカニズムに起因したものであると考えられる。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 アコースティックエミッション（AE）、走査型プローブ顕微鏡（SPM）、圧電体スキャナ、

【研究 題 目】 欠陥準位制御による微小ひずみ応答材料の創製

【研究代表者】 藤尾 侑輝（製造技術研究部門）

【研究担当者】 藤尾 侑輝（常勤職員1名）

【研究 内 容】

耐用年数を迎える社会インフラの内部損傷（腐食、空洞化、き裂等）を診断する技術が切望されている。これに対して、我々は、小ひずみに伴い発生する応力に着目して、ひずみに対して発光するセラミクス材料（応力発光材料）に注目してきた。本研究では、材料中の欠陥を制御することで0.01%の微小ひずみに応答する新規材料を開発することを目的とした。今年度は、昨年度検討したアルミン酸ストロンチウム系応力発光材料（ $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$ ）の微小ひずみに対する応答性の発現因子について検討した。

本研究開発で開発した応力発光材料の微小ひずみに対する感度は、従来材料と比べて、材料欠陥中にトラップされたキャリアが外部からの力学的刺激より早期に開放されるためと考えている。そこでこの仮説について検討するために、応力発光塗膜センサーの励起後の待機時間依存性について検討したところ、待機時間の増加とともに微小ひずみに対する感度が減少した。待機時間の増加は、キャリアの熱的開放時間の増加を意味する。すなわち、待機時間が短い場合は、浅い欠陥にトラップされたキャリアが熱的に解放されずに力学的刺激によって解放されるため、微小ひずみに対する応答性が発現される。一方、待機時間が長い場合には、浅い欠陥にトラップされたキャリアが熱的に解放され、深い欠陥にトラップされたキャリアが力学的刺激によって解放されるため、微小ひずみに対する応答性が消失したものと考えられる。これら

の検討結果より、微小ひずみに対する応答性は、バンドギャップ内に形成された比較的浅いキャリアトラップ準位の形成により発現されたと推測される。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ひずみセンサ、微小ひずみ応答性、応力発光材料、セラミックス、発光体、損傷診断、欠陥制御

【研究題目】プラズマ中の微粒子が及ぼすプラズマインピーダンス変化のモニタリングと現象解明

【研究代表者】笠嶋 悠司（製造技術研究部門）

【研究担当者】笠嶋 悠司（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、半導体の量産現場における歩留まり低下の主要因である微粒子（剥離パーティクル）がプラズマインピーダンスに与える影響を明らかにするとともに、その発生を検知する新たなモニタリング手法の原理的有効性を実証することを目的として実施している。平成28年度は、プラズマ中の微粒子が及ぼすプラズマ放電状態の変化を明らかにするため、プラズマ中に微粒子を混入した際のプラズマインピーダンスの変化のモニタリングに取り組んだ。まず、微粒子をプラズマエッチング装置内に導入するシステムを検討し、上部電極部品から微粒子を導入可能なシステムを設計・開発した。次に、微粒子として市販の標準粒子（直径1ミクロン以下）を用いて、この微粒子導入システムによってプラズマエッチング装置内に実際に標準粒子が導入できるか否かその性能を確かめた。具体的には、レーザー光散乱法に基づく微粒子計測システムを用いて、上部電極の直下領域の観測を実施した。その結果、上部電極から導入した標準粒子をプラズマ放電中にリアルタイムに検出することに成功した。さらに、微粒子計測システムによる微粒子検出とプラズマインピーダンスモニタリングの同時測定が可能な測定システムを構築した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】プラズマエッチング、微粒子、半導体製造、歩留り、電場応力

【研究題目】透過電顕を用いたナノ蛍光体単一の光学特性評価と粒子構造との関係解明

【研究代表者】上原 雅人（製造技術研究部門）

【研究担当者】上原 雅人（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

本研究では、多層構造蛍光ナノ粒子について、球面収差補正電子顕微鏡によるオングストロームオーダーでの構造評価に加え、エネルギー分解能の高い電子エネルギー損失分光法によるナノ粒子単一の光学特性評価を行う。両者の比較からこれまでの研究で不明な点が多い蛍光ナノ粒子の構造と光学特性の関係を明らかにし、発光効率

の高い蛍光ナノ粒子の開発指針を提案することを目的としている。

本年度はインナーシェルに CdZnS の導入と CuInS₂/CdS/ZnS マルチシェルナノ粒子の合成を試みた。CdZnS インナーシェルについて、原料として酢酸カドミウムや酢酸亜鉛等を用いた結果、インナーシェルに由来する吸収波長がこれまでの CdS よりも短くなったことが確認できた。また透過電子顕微鏡での元素分析で、インナーシェルから Cd と Zn、S が検出されたことから目的の化合物が形成されたことがわかった。このコアシェル粒子に対してアウターシェルとして ZnS での被覆を行ったが、発光効率は従来以上のものは得られなかった。コアとインナーシェルの界面ひずみの影響も考えられるが、CdZnS の結晶性が CdS に比べると低かったことから、インナーシェルの結晶性が反映されたものと考えられる。CuInS₂/CdS/ZnS マルチシェルナノ粒子については、これまでに合成した CuInS₂/ZnS よりも発光効率が高くなり、マルチシェル化の効果が確認できた。しかし、粒子の均一性は CdSe 系が良かった。また、蛍光スペクトルの半値幅は80~100 nm 程度と従来とほぼ同等で改善されなかった。この広い半値幅は CuInS₂の内部欠陥に由来するものと考えられる。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】ナノ粒子、電子顕微鏡、コアシェル

【研究題目】切削カフィードバックによる能動切込制御型マイクロ・ナノ切削加工システムの実証研究

【研究代表者】芦田 極（製造技術研究部門）

【研究担当者】芦田 極、小倉 一朗、エレラ ヘルマン

（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

本研究では、柔軟カンチレバー工具を用いて加工力をフィードバック制御することで、熱変形や振動による誤差を生じても1ミクロン以下の安定した切込み深さを制御可能な新原理を提案し、その有効性を検証した。開発したシステムは、変位センサ、ピエゾアクチュエータ、カンチレバー、ダイヤモンド工具などで構成された工具ホルダを、一般的な工作機械機構に用いられる直交3軸ステージに搭載し、カンチレバーのたわみ量から切れ刃に作用する垂直荷重を検出し、微動機構により切込み深さをフィードバック制御する。

ガラスやシリコンなどの硬ぜい材料にV溝切削加工を行ったところ、一般的に1ミクロン程度が限界値とされていた延性モード切削を、3ミクロン以上の切込み深さで可能である現象を見出した。その現象を合理的に説明するための基礎データを収集することを軸に、柔軟カンチレバー工具特有の変形挙動や切れ刃に作用する加工力について、剛体工具ホルダとの比較実験により検討を行

った。

光弾性を利用して材料の内部応力を可視化できる高速カメラを用いて、加工中の切れ刃接触部直下の生じる応力を観察した。その結果、柔軟な工具ホルダでは、カンチレバー部の変形により加工部に生じる最大応力が小さくなる傾向が見られ、脆性破壊の発生を抑える効果があることを明らかにした。また、本システムの曲率や傾斜を有する被加工面に対しても切込み深さを一定に制御できる機能を活用し、ガラス球の表面に倣ってマイクロスケールの溝加工を行うことに成功した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】切削加工、硬ぜい材料、延性モード加工

【研究 題 目】パイプを伝搬するガイド波のモード解析

【研究代表者】佐藤 治道（製造技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 治道、小木曾 久人
（常勤職員2名）

【研究 内 容】

パイプは生活インフラの中で広く使われている。それらから安全性の確保や半導体や医薬品の性能や信頼性の向上と低価格化のためには非破壊検査や高精度な超音波流量計の開発が必要である。パイプの検査効率向上や超音波流量計の高精度化にはパイプを伝搬するガイド波の解析が必要である。本研究は、パイプを伝搬するガイド波のモード解析を行うことを目的としている。これまでに、著者等は内部に流体を満たした固体パイプを伝搬するガイド波の解析解、実験、軸対称 FEM による解析および、それらを応用した超音波流量計の開発等を行ってきた。ガイド波のモードの分類には変位の分布を知る必要がある。変位の分布の解析解は得られているものの、実験での検証は難しく、軸対称 FEM との比較しかできていない。しかし、実際の実験では軸対称だけでなく、面対称の変位分布を持つモードの励起効率も高い。また、面対称の変位をする場合のモードの分類法も複数ある。そこで、円筒座標系に対応した3D-FEM のプログラムを開発し、内部に水を満たした外径34 mm 内径28 mm のステンレスパイプを伝搬するガイド波の変位が面対称あるいは軸対称になる場合のシミュレーションを行った。その結果、解析解と良い一致を見た。そこで、変位が面対称になるモードを詳細に調べたところ、分散曲線同士が交わることはなく、同一曲線上のモードであっても周波数で特性が大きく変化することが確認された。面対称のモードでは、円周方向の変位が中心になる T-mode とたわみの F-mode は分離できなかった。そのため、中空および内部に水を満たしたパイプを伝搬するガイド波は軸対称モードの L-mode と T-mode、非軸対称モードの F-mode の三種類に分類されると結論づけた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超音波、流量計、ガイド波

【研究 題 目】電磁非破壊検査技術向上に向けた高度磁場解析技術の構築

【研究代表者】中住 昭吾（製造技術研究部門）

【研究担当者】中住 昭吾（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究課題で磁場解析方法の中心となる拡張型有限要素法 (XFEM) は、従来型の有限要素法 (FEM) を発展させ、あらかじめ解の局所的特性が既知となるような問題に対し、それを表す関数を解の近似公式に入れ込む解法であり、これにより解析のための準備データである FEM メッシュにき裂などの複雑形状をモデル化することが不必要となり運用面で解析の自由度が向上することを期待するものである。

工学的見地から、解析対象の欠陥として、昨年度の「表面き裂」、「内部き裂」に続き、折れ曲がり点を有する屈曲き裂も重要であるとの認識で新たに、折れ曲がり点を有する屈曲き裂への適用に着手した。複素数のベキ乗関数が、頂角 α の扇形領域から頂角 β の扇形領域への等角写像となることを利用して、直線状き裂を屈曲き裂に変換することができるようになった。しかしながらこの手法では、ベキ乗の操作の際に原点を中心とする拡大率が、上半面と下半分で異なることにより、屈曲点周囲の解の特性を表すエンリッチ関数がき裂端部分で変位の「食い違い（不連続）」を生じるという現象が発生した。このままでは解として不適切であるが、写像の拡大率を補正することによりこの食い違いを解消することが可能となった。これは工学的に非常に実用的な成果だと考えられる。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】非破壊検査、数値解析、欠陥

【研究 題 目】異種金属直接接合技術を利用した積層 π 型熱電発電モジュールの創製

【研究代表者】佐藤 宏司（製造技術研究部門）

【研究担当者】佐藤 宏司（常勤職員1名）

【研究 内 容】

研究で作製する熱電発電デバイスは、 π 構造を保ちながら N 型素子 (Ni) と P 型素子 (Al) を直接接合することにより作製するエナジーハーベストデバイスである。一度に多数の π 型積層構造を作製することができるため、ゼーバック効果の低い金属材料を用いても十分実用レベルに電圧を昇圧することができ、デバイス自体の低価格化が可能であることを特徴とする。

当該年度においては、ニッケルとアルミニウムの直接接合部の機械的強度試験を行い、本デバイスが構造体としても有効に活用できることを示した。また直接接合部の内部抵抗の測定を行い、内部抵抗が極めて低いことを証明した。この結果から、本デバイスを積層し利用が可能であることが証明された。

実際に10層のアルミニウム・ニッケル積層構造を作

製し、陽極酸化膜を剥離層として利用することにより、アコーディオン型積層デバイスの試作・評価を行った。その結果、本デバイスは130℃の温度差において、約250 μW の発電が可能であることが解った。

ニッケルとアルミニウムのゼーベック係数は一般の熱電材料に比べてきわめて低く熱電発電に用いるには不向きであるが、絶縁層を挟みこみ直接接合法を用いることにより、内部抵抗を上げずに多数の π 型積層構造を作製することができる。また絶縁膜として陽極酸化膜を利用した場合は陽極酸化膜とニッケルが接合しないため、作製したデバイスを左右に広げるとアコーディオン型構造（蛇腹構造）の熱電発電デバイスを作製することができる。このような構造にすることにより、より冷却効果を高め温度差を作ることができ、またさまざまな熱源の形状にも対応することができるため、例えば車のラジエータ等の熱交換器に利用することが可能である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 熱電発電デバイス、エナジーハーベスト、直接接合

【研究 題 目】 非線形解析に基づくマイクロ波アシスト磁化反転の理論構築

【研究代表者】 谷口 知大

(スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 谷口 知大 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

近年、磁気記録への応用の観点から、磁性体にマイクロ波を照射することで磁化反転を誘起するマイクロ波アシスト磁化反転が盛んに研究されている。しかしこのようなダイナミクスは本質的に非線形であり、定量的に理論解析・予測を行うことは極めて難しい。本研究では申請者によって最近明らかにされた、スピントルク磁化反転との数学的類似性を利用することにより、マイクロ波を照射した時などに生じる非線形磁化ダイナミクスの一般的な理論を構築することを目指している。平成28年度は主に、マイクロ波発生器として注目を集めているスピントルク発振器の同期現象の理論を構築した。これにより、マイクロ波源と磁性体の相互作用によるダイナミクスの理論解析が著しく進むと共に、マイクロ波の出力増幅の指針も確立された。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ナノ強磁性体、非線形ダイナミクス、理論、スピントロニクス

【研究 題 目】 4d 遷移金属を用いた新規強磁性薄膜の理論設計

【研究代表者】 北岡 幸恵

(スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 北岡 幸恵 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、強磁性トンネル磁気抵抗素子 (MTJ) の高密度化および低消費電力化に向けて、スピン軌道相互作用の大きい4d 遷移金属を用いた強い垂直磁気異方性と大きい電界効果を有する強磁性薄膜の材料設計に取り組んでいる。第一原理電子状態計算手法を用いて、直径10ナノメートルサイズの MTJ 素子に耐え得る磁気異方性エネルギーをもち、さらに、電界印加によって面直から面内に磁化スイッチングが起こる MgO/4d 遷移金属界面の探索を行っている。

平成28年度は、主に MgO/Ru 界面における磁気異方性エネルギーとその電界効果について研究を行った。界面形成によって磁気異方性エネルギーが増加する原因、および電界印加した際の磁気異方性エネルギーと電子状態の変化について解析した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 第一原理計算、スピントロニクス、垂直磁気異方性、電界効果

【研究 題 目】 コーン磁化薄膜を利用した高速・低消費電力 MRAM 素子の理論研究

【研究代表者】 松本 利映

(スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 松本 利映 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究では、磁化自由層にコーン磁化薄膜を用いて高速・低消費電力で動作する MRAM 素子の開発に取り組んでいる。コーン磁化状態とは一次と二次の磁気異方性の競合により実現する傾いた磁化状態である。平成28年度は、ゼロバイアス電流で垂直磁化状態の薄膜を磁化自由層として用いた場合であっても、二次の磁気異方性を利用することで高速・低消費電力の MRAM 素子を実現可能であることを新たに指摘した。また、コーン磁化薄膜をスピントルク発振器の磁化自由層として応用することも検討した。この研究の過程で、応用上重要な面内磁化自由層の場合について、閾電流の解析式を得ることができた。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 スピントロニクス、MRAM

【研究 題 目】 電子スピンを利用する円偏光レーザの開発

【研究代表者】 揖場 聡

(スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】 揖場 聡 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

近年、半導体中の電子スピン自由度を積極的に利用した半導体レーザ“スピンレーザ”が注目を集めている。スピンレーザは円偏光のコヒーレント光を出力できるため、偏光-磁性体磁化間での情報転写や制御、また、カイラル物質のセンシングなど次世代光源として期待が大

きい。そこでスピンレーザの基幹構造である活性層の特性向上を目指し、(110)面 GaAs 量子井戸の開発に取り組んできた。分子線エピタキシー法による系統的な結晶成長実験を通して、一般的な(100)面 GaAs 試料と同程度の表面平坦性を得るとともに、発光特性・スピン特性の大幅な向上を達成した。また、同程度の結晶性を持つ(110)および(100)QW の発光効率の比較実験を行い、室温において(110)QW の方が3~4倍優れた発光効率を示すことが分かった。これらの成果により(110)面 GaAs 量子井戸を利用した高性能なスピンレーザの実現が期待される。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピン、円偏光、レーザ、LED

【研究 題 目】電界による磁気光学効果制御技術の開発

【研究代表者】野崎 隆行 (スピントロニクス研究センター)

【研究担当者】野崎 隆行 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本プロジェクトでは、強磁性超薄膜の磁気光学特性を電圧によって変化させる新しい制御法を開発し、電界駆動型磁気光学素子の基盤技術確立を目標とする。

平成28年度は電界磁気光学制御の最大化を図るため、Fe/MgO 界面への heavy metal ドーピング制御を試みた。一例として白金層を0.03 nm 以下の極薄領域で挿入した場合に、界面磁気異方性、および電圧効果が向上することを見出した。今後はこれまで材料探索に取り組んできた high-k 誘電層とこの極薄磁性層/誘電層の界面エンジニアリングを複合化させることで、高効率な磁気光学の電界制御の実現を目指す。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピントロニクス、磁気光学効果、電圧制御

【研究 題 目】圧電機能開拓のための強誘電性分子固体の研究

【研究代表者】堀内 佐智雄 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】堀内 佐智雄、堤 潤也 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)、石橋 章司 (機能材料コンピューショナルデザイン研究センター) (常勤職員3名、他1名)

【研究 内 容】

研究代表者らが近年世界に先駆け次々と開発してきた有機強誘電体は、電子やプロトンの授受を特徴とし、高分極・低電場動作性に優れる一方で、圧電効果は無機材料と比べ依然小さい。本研究では、問題解決に向けて、新物質・プロセスを開発し、バルク・薄膜状態での結晶構造と強誘電ドメイン状態の詳細を調べる。課題初年度

の顕著な成果の一つとして、プロトン互変異型強誘電体の圧電特性を最大限引き出すための自発分極最適化と、それによる有機系で世界最高レベルの自発分極の実現、さらに材料高性能化指針の確立があった。分子の全体または局所回転による強誘電性を示す物質について、数例新規開拓に成功している。低温から室温までの格子・構造変化、構造相転移の有無やその特徴、分子の回転状態の変化を解明するための実験環境整備として、室内系 X 線回折装置に温度可変機構を導入し、低温構造解析を行った。薄膜化とその評価については、新たな材料で溶液法による単結晶薄膜作製に成功するとともに、薄膜内の強誘電ドメインを光学イメージとして可視化する強誘電体電界変調イメージング (FFMI) 法を新たに開発し、得られたイメージと圧電応答顕微鏡 (PFM) による観察結果が一致することを確認した。さらにこれを用いて、電圧印加により分極が書き換わる際のドメイン壁運動の観察に成功した。理論計算については、精密実験で決定された結晶構造の水素原子位置を理論計算で最適化した構造における自発分極値が、実験結果と非常に良い一致を示す結果を得た。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】有機強誘電体、有機エレクトロニクス、強誘電体薄膜、電子状態、第一原理計算

【研究 題 目】多結晶薄膜デバイスのための高空間分解能キャリアイメージング技術開発

【研究代表者】堤 潤也 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)

【研究担当者】堤 潤也、松岡 悟志、上村 洋平、長谷川 達生 (常勤職員1名、他3名)

【研究 内 容】

本研究では、多結晶薄膜デバイスの性能を強く制限するとされる結晶粒界を介した μm オーダーの局所伝導機構を明らかにすることを目的とし、デバイス内部の電荷の空間分布を可視化できる申請者の独自技術 (ゲート変調イメージング法) を用いたナノ秒時間分解測定に取り組んでいる。本年度前半は、定常状態の高空間分解能測定に注力し、ペンタセン多結晶薄膜をチャネルとする有機薄膜トランジスタについて、結晶粒のサイズ ($>3 \mu\text{m}$) よりも十分に高い空間分解能 ($<1 \mu\text{m}$) での電荷の空間分布イメージングに成功した。これにより、電荷密度が低いことを示す信号成分が結晶粒の中心付近に分布しているのに対し、トラップに対応すると考えられる電荷密度の高い信号成分が結晶粒界付近に集中するなど、不均質な電荷分布の様子を初めて明らかにした。年度後半は、発光ダイオードのパルス発光をシャッターに用いた時間分解能 $3 \mu\text{s}$ 程度の時間分解測定に取り組むとともに、来年度以降の大幅な高時間分解能化に向け、イメージンテンシファイアを組み込んだ新たな装置の構築に取り組んだ。また、想定外の成果として、本手法を強誘電体

に適用すると、向きの異なる分極ドメインの分布を可視化できることが分かった。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 トランジスタ、多結晶薄膜、結晶粒界、伝導機構、イメージング、過渡応答

〔研究 題目〕 オットー光学配置を利用したペーパープラズモニクセンサの構築

〔研究代表者〕 福田 伸子（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 福田 伸子（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

紙の上に形成させた金属表面で表面プラズモン共鳴（SPR）が発現することを示し、「紙」を化学・バイオセンサ用のチップ基材とするペーパープラズモニクセンサの構築を研究目的とする。殆どの SPR センサで採用されている Kretschmann 光学配置とは異なる、Otto 光学配置を利用し、紙をセンサチップ基材に利用した最適な光学系を設計する。印刷技術を用いて紙上にプラズモン場や分子認識場を形成し、SPR によるタンパク質やカテコールアミン類の分子認識反応をその場検出できることを実証する。本年度は、市販の様々な紙に様々な条件で金を堆積させ、Otto 光学配置での反射率の入射角度分散を測定し、その反射率減衰挙動から SPR が発現できることを実証した。予測通り、ラフネスの小さな紙上への金の堆積によって、より伝搬長が長くなることを実験的に確認した。また、蒸着で堆積する場合は、蒸着速度をより小さくすることによって、蒸着される金のグレインサイズを大きくすることができ、結果として表面ラフネスを小さくすることができた。金属の堆積条件を制御することによって、ラフネスが比較的大きい紙表面でも伝搬型の SPR を発現できることを実証した。さらに、紙上の金の上が空気と水の場合では、反射率減衰が起こる入射角が大きく変化することを Otto 光学配置系にて実験的に確認し、紙を基材とした伝搬型プラズモンセンシングの可能性を見出した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 フレキシブルデバイス、表面プラズモン共鳴、センサー

〔研究 題目〕 印刷デバイスの形状自由度を損なわない常温配線実装技術の開発

〔研究代表者〕 野村 健一（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

〔研究担当者〕 野村 健一（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

フィルム基材上に印刷技術を用いてデバイスを製造するフレキシブルデバイス技術が注目を集めている。本技術においては、デバイス部の自由形状性もさることながら、外部の電極・配線とデバイスの電極・配線とを接続

するコネクタ部がフレキシブルであることも重要となる。さらに、そのコネクタには、熱に弱いフィルムに損傷を与えないよう、非加熱で接続できることに加え、現状のコネクタの最小電極ピッチ（約100 μm ）程度の実現、ならびに実用化の際には、そのコネクタを大量製造することも要求される。ただ、残念ながら、これらを満たす技術はこれまでなかった。

上記の課題を解決するため、粘接着層付フィルムの粘接着層上に、生産性の高い印刷法にて電極・配線を形成し、さらにその構造体を相手方に貼り付けることで、相手方の電極・配線との接続を行う非加熱でフレキシブルな接続技術・コネクタの開発を行った。

今年度は、前年度までに確立した粘接着体上への微細電極・配線の形成技術に加え、実装用途に資する厚膜化（5 μm t 以上）、ならびに実際のデバイス駆動を目指した。

厚膜化については、スクリーンオフセット印刷法を改良してこれを実現した。具体的には、シリコンゴム上に連続でスクリーン印刷をして導電インクを積層した後、一括で基材に転写する手法を開発し、線幅20 μm で厚みが10 μm t に迫る微細で厚膜な電極・配線の形成に成功した。また、実際のデバイス駆動も試みた。粘接着層を有するフィルム基材上にスクリーンオフセット印刷で電極・配線を形成し、その上に、LED、チップ抵抗、ボタン電池等を実装して回路を構成した。結果、凹面方向の曲げでは問題なく動作した。一方、凸曲げの場合は、シーラント剤で補強すれば接触不良はある程度回避できるものの、曲率半径が小さくなると接続が外れて動作不良となる場合があると分かった。凸曲げ時でもいかに安定的に電気的接続を維持させるかが今後の課題といえる。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 フレキシブルエレクトロニクス、プリンテッドエレクトロニクス、実装、コネクタ、スクリーンオフセット印刷

〔研究 題目〕 燐光現象を利用した低温場の高速測定技術の構築とその光アニールプロセスへの応用

〔研究代表者〕 篠田 健太郎（先進コーティング技術研究センター）

〔研究担当者〕 篠田 健太郎（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

機能性酸化物の大気圧下での低温製膜プロセスの実現に向けて期待されている塗布照射法では、紫外のエキシマパルスレーザーを照射した時の光結晶成長機構の解明が重要である。しかしながら、パルスレーザー照射時のナノ秒オーダーでの温度変化を高速測定する技術が確立されていなかったことから、その光・熱反応の定量的な評価が困難であった。そこで、本研究では、低温ほど信号強度が増大する燐光現象に着目し、高速測定で定評

のある放射測温と組み合わせることにより、塗布光照射法下における紫外パルスレーザー照射時の温度場の定量的理解を目指した。スズ酸化物の光結晶化過程において、パルスレーザー照射時の最高到達温度がレーザー照射数とともに大きく変化することを見出した。興味深いのは、レーザー照射初期過程においては、レーザーフルエンスに最高到達温度が強く依存するのに対し、後半の結晶化が進んだ過程では、基材の材質に強く依存することであった。本結果は、結晶化プロセスが、皮膜を緻密化する初期過程と、結晶化がおきていく後半の過程に分けられることを示唆している。一方で、ユーロピウムをドーブしたイットリウム酸化物を用いることで、レーザーを照射した時の燐光を測定し、その燐光の減衰曲線から、プロセス温度を見積もったところ、1000 K 程度の温度場であることが推定された。絶対値の精度については今後も検討が必要であるが、放射温度測定で困難であった低温場での温度測定の可能性を見いだすことができたことは重要な進歩である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 エキシマレーザー、塗布光照射法、放射温度計測、燐光温度計測

【研究 題 目】 光表面化学修飾法によるポリマー材料のフッ素官能基化表面改質に関する研究

【研究代表者】 中村 挙子
(先進コーティング研究技術センター)

【研究担当者】 中村 挙子、土屋 哲男、大花 継頼
(常勤職員3名)

【研究 内 容】

光表面化学修飾法を利用することにより、軽量・フレキシブル性等のポリマー材料の特性を保持しつつ、安全・簡便な各種ポリマー材料最表面へのフッ素官能基表面修飾法の開発を目的とする。

当該年度においては、前年度に開発した光表面化学フッ素官能基化法を各種形状ポリマー材料へ適用するため、溶媒中において紫外光照射を行うウェットプロセス法、および塗布光化学修飾を行うドライプロセス法について開発を行った。

ウェットプロセス法については、パーフルオロアルキルアゾオクタンをパーフルオロヘキサンに溶解させ、粉体状ポリエチレンまたはペレット状 PET を入れて調製した後、キセノンエキシマランプを照射した。フッ素官能基化反応処理前後のポリマー材料の XPS 測定を行ったところ、いずれの形状においても未処理ポリマー材料と比較して新たに C-F に由来する C1s および F1s のピークが観測され、フッ素官能基導入が確認された。

また、ドライプロセス法では薬液をシート状または板状のポリマー材料表面に塗布した後、キセノンエキシマランプを照射した。ポリマー材料については、各種汎用ポリマー材料（ポリエチレン、ポリプロピレン、

PMMA、ポリビニル、PET、ABS 樹脂）を基材とした。フッ素官能基化処理各種ポリマー材料の XPS 測定において、新たに C-F に由来する C1s および F1s のピークが観測され、フッ素官能基導入が確認された。水接触角測定において、フッ素官能基修飾ポリマー材料は高い撥水性（104-113°）を示すとともに、フッ素官能基化処理試料は基材の透過度が維持され、塗布光化学修飾法においても光照射による影響がないことが明らかとなった。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ポリマー材料、光表面化学修飾、フッ素官能基

【研究 題 目】 フェーズフィールドモデルに基づくマイクロ多孔質体内相変化二相流計算法の開発

【研究代表者】 高田 尚樹（集積マイクロシステム研究センター）

【研究担当者】 高田 尚樹、松本 純一、井上 朋也、
竿本 英貴（常勤職員4名）

【研究 内 容】

本研究の目標は、地質・エネルギー・環境・製造分野の様々な問題に見られる、微小スケールの空隙が不規則に連なる多孔質媒体の内部で気体・液体・固体等複数の相が相変化を伴い混在して流れる複雑な流動現象について、従来よりも高精度・高効率に予測するためのシミュレーション手法及びその計算コードの開発である。

研究計画では、マイクロスケールの気液・液液・固液等の二相流動を対象として、(1)流体界面と固体の形状を解像可能な空間スケールで流動を予測する詳細シミュレーション手法の開発、及び(2)空間・時間平均化された流動を予測する疎視化シミュレーション手法の開発、の2項目を実施する。

計画3年目の今年度は、基材表面に加工した微細凹凸構造による液体への毛細管現象を利用する高精細スクリーン印刷技術の開発において、当該手法による印刷インクのぬれ広がりシミュレーション結果が実験結果と定性的に一致することを確認するとともに、被印刷基材表面の凹凸形状の設計指針を提示した。また、液滴滑落のシミュレーションを実施し、当該手法は、ある一定以上の空間解像度を設定すれば信頼性の高い予測結果が得られることを確認した。加えて、演算の一部を改良して計算コードの簡易な変更のみでシミュレーションの安定性と予測精度が向上可能であることを確認した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 マイクロ流体デバイス、濡れ性、表面改質、コンピュータシミュレーション

【研究 題 目】 マイクロデバイスの高気密封止のための金属の常温接合に関する研究

【研究代表者】 倉島 優一（集積マイクロシステム研究

センター)

〔研究担当者〕 倉島 優一、高木 秀樹、鈴木 健太
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

マイクロデバイスの気密封止には金メッキによる封止枠等が広く用いられているが、メッキによる金の表面は非常に粗いため、高温・高圧下で金を変形させて接合面同士の密着を図る必要がある。このため熱膨張係数の異なる異種材料を含むマイクロデバイスのような場合には、接合後に熱応力が残留することなどの問題がありデバイス特性を悪化させる原因になっていた。本提案では、超平滑な基板表面にスパッタ成膜された金薄膜を封止基板上の金メッキ表面に写し取る手法を開発し、表面活性化常温接合に適応を図る。

本年度は、原子レベルで平滑な基板表面に金薄膜を成膜し、この平滑な基板表面の形状を封止基板上にメッキした封止枠表面に直接転写することで、原子レベルで平滑なメッキ表面の実現を図った。平滑な基板には表面粗さ0.2 nm rms 程度の熱酸化膜付き4インチシリコンウエハーを用い、封止枠は4インチシリコン基板上にフォトソグラフィと金の電気メッキにより100 μm の線幅で3 mm 角の形状を6 mm のピッチで作製したものをを用いた。超平滑な基板表面全体に成膜した金薄膜と封止基板上のメッキを熱圧着法により接合した後、超平滑基板と封止基板を引きはがすことで超平滑基板上の金薄膜は封止形状にきれいにいはがれてメッキ表面に転写された。メッキ直後及び平滑化後の表面の形状を原子間力顕微鏡で測定した。その結果、メッキした直後の金表面は10 nm の凹凸があり表面粗さは $Sq=4.43$ nm rms と粗く常温接合に適応出来る面では無かったのに対して、開発した手法により平滑化した金メッキ表面の表面粗さは $Sq=0.58$ nm rms と原子レベルで非常に平滑な表面を形成することに成功した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 表面活性化接合、マイクロデバイス、平滑化

〔研究題目〕 ナノインプリント領域全域での高速充填と均一残膜を実現するモールド設計技術の研究

〔研究代表者〕 尹 成圓 (集積マイクロシステム研究センター)

〔研究担当者〕 尹 成圓、鈴木 健太 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

光ナノインプリント (UV-NIL) 技術を多種多様なデバイスに適用するため、高速充填や欠陥 (バブル欠陥や不均一残膜分布) の低減による高スループット、低コスト化が求められている。本事業では、3年間の全体目標において、チップスケール数値シミュレーション手法と暗視野観察によって、ナノインプリント領域全域に対し

での充填挙動を明らかにし、凝縮性ガスを用いる UV-NIL において、高速充填や残膜均一化を可能にするリソグラフィ用モールドの設計技術の高度化を図る。

平成28年度には、CAD ソフトウェア用のマクロ機能をベースに、容積均一化用の2段目補正パターンを自動生成する補正パターンジェネレータの基礎原理検証を行った。テスト図面により生成された補正パターンに対して、数値シミュレーションや理論・従来実験結果等との比較を行い、その妥当性の検証や、今後の改善に向けての課題の導出を行った。また、上記パターンジェネレータープロトタイプやナノインプリント解析用ソフトウェアを併用し、容積均一化効果の分割領域 (粒度) 等、異なる補正パターン形状および粘度条件に対しての成形特性の依存性を調べ、充填時間と粒度サイズの関係、粘度・充填時間・残膜均一化効果の関係等を明らかにした。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光ナノインプリント、ナノインプリントシミュレーション、モールド設計、残膜均一化、高速充填、凝縮性ガス

〔研究題目〕 耳内部血管流における左右非対称性の検証

〔研究代表者〕 森川 善富 (集積マイクロシステム研究センター)

〔研究担当者〕 森川 善富 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

所属研究機関内の人間工学実験計画書の書式、システム変更等事務処理に適宜対応しながら被験者実験のさらなる向上を図りつつデータ分析を進め、耳内脈波の左右非対称性解析を中心とした評価手法の開発を進展させて成果を積極的に外部発信した。

ウェアラブル機器を中心に広範に人間状態計測技術に関連した情報を収集、市販の類似ウェアラブル機器を調達入手して比較検討、さらには被験者実験を通して計測機器の汎用性を詳細に検証することにより本研究で使用した耳内脈波計測機器に内在する課題を具体的に抽出することができた。産業界など外部機関との共同研究等を視野に入れて適用可能範囲の拡大、汎用性の向上を目指す耳内脈波計測機器の次期開発計画を検討し指針を得ることができた。また、被験者への実験実施前の説明時や研究室見学者への対応時など他者に計測機器の装着方法を直感的に理解していただくためにマネキンを用いて装置のディスプレイの仕方を工夫した。これらの研究成果は2016年9月に開催された「2016年度精密工学会秋季大会学術講演会」、同年11月に開催された「第54回日本生物物理学会年会 (国際会議)」等において発表、報告された。

今後、被験者実験で取得したデータ分析技術を多角的に適用展開することにより耳内脈波の左右非対称性解析評価手法のさらなる進展を目指す。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造
 〔キーワード〕 センサ、生体情報計測、ウェアラブル機器

〔研究 題目〕 マグマ中ガス成分濃度測定に基づく噴火開始条件の解明

〔研究代表者〕 斎藤 元治（活断層・火山研究部門）
 〔研究担当者〕 斎藤 元治（常勤職員1名）
 〔研究 内容〕

目標：

マグマ溜まりからマグマが上昇を開始するメカニズムを解明し、火道内でのマグマの脱ガス圧力を推定するため、国内の活動的火山についてメルト包有物分析を行い、マグマのガス成分濃度を決定する。

研究計画：

北海道から九州までの活動的火山15個を研究対象とし、5年計画で実施する。必要に応じて現地地質調査による試料採取と岩石試料について蛍光 X 線分析 (XRF) による全岩化学組成の決定を行った後、メルト包有物を電子線マイクロアナライザー (EPMA) および二次イオン質量分析計 (SIMS) を用いて分析し、マグマのガス成分濃度 (H₂O、CO₂、S、Cl) を決定する。

年度進捗状況：

平成28年度は、試料として、阿蘇中岳1979年、1989年および2014年噴火噴出物、西之島火山噴出物を用いた。西之島火山は当初の計画では研究対象では無かったが、2014-15年に活発なマグマ噴火があり、その噴火過程を知る上でマグマのガス成分濃度の情報が重要であるため、新たに研究対象とした。阿蘇中岳について、1979年、1989年および2014年噴火メルト包有物18個のSIMS 分析結果を解析し、同噴火マグマの揮発性成分濃度を決定した。この成果は、日本地球惑星科学連合2017年大会でポスター発表した。西之島火山メルト包有物11個の EPMA および SIMS 分析結果を解析し、主成分元素組成は安山岩-デイサイトであること、H₂O 濃度が0.5-6 wt%と大きな濃度変動があること、CO₂濃度が0.01 wt%以下であることが明らかとなった。この結果は、日本火山学会2016年度秋季大会でポスター発表した。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター
 〔キーワード〕 マグマ、ガス成分、噴火開始、メルト包有物

〔研究 題目〕 多面的アプローチによる地球浅部の温度不均質構造解明に関する研究

〔研究代表者〕 田中 明子（活断層・火山研究部門）
 〔研究担当者〕 田中 明子（常勤職員1名）
 〔研究 内容〕

系統的に取り扱われる機会の少ない熱伝導率の測定や既存データの活用を通じ、地球熱学の基礎的なデータで

ある地殻熱流量値の拡充に努める。一方、それらでは捉えることのできない広域的な地球内部温度構造に敏感な指標のデータ解析手法の開発・改良を行い、従来には無い多様なデータに基づく地球浅部の温度構造を、高分解能かつグローバルに捉えることを目的とする。

本年度は、昨年度に引き続き、熱的物性値のデータ蓄積に向けて、熱伝導率・熱容量および密度の測定を常温・大気圧条件下で行った。火山噴火予知連絡会コア解析グループ (2015、2016) による4火山の5地点における14個のサンプル、小沢・江藤 (2005) において孔内温度が公開されている3地点8個のサンプルなどを用い、様々な形状・状況にあわせて、異なる測定装置を用いて測定した。また、一部のサンプルを用い、有効間隙率の測定も行い、物性値の間で有意な関係を得ることができると確認した。

さらに、昨年度までに得られた平衡温度などを用いて、地殻熱流量を新たに求めた。これらを加え、コンパイルされつつある既存のデータとともに、地殻熱流量データベースの作成を始めた。

一方、直接的な観測量である地殻熱流量の無い場所の情報を補うために、広域的な温度構造を反映していると考えられている磁化層の下限の分布やそれを規定する要因を定量的な解釈を行った。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター
 〔キーワード〕 地下温度構造、地下温度構造、地殻熱流量

〔研究 題目〕 津波堆積物の古生物学的・堆積学的・化学的アーカイブの構築

〔研究代表者〕 澤井 祐紀（活断層・火山研究部門）
 〔研究担当者〕 澤井 祐紀、松本 弾、谷川 晃一郎、伊尾木 圭衣、中村 淳路
 （常勤職員4名、他1名）

〔研究 内容〕

平成28年度は、過去に堆積した津波堆積物を採取するため、北海道浜中町において柱状堆積物の採取を行った。また、2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物を採取するため、青森県三沢市およびおいらせ町においてピット掘削を行った。

浜中町では平成27年度にも調査を行っているが、平成28年度は湿原南部の一番沢において再調査を行った。その結果、17世紀とそれより古い津波堆積物を採取することができた。得られた試料は CT 写真撮影によって堆積構造の有無を確認し、津波堆積物の分布範囲を明らかにした。また、平成27年度に採取した試料について無機元素分析を行ったところ、津波堆積物の上位と下位で古環境が異なっている可能性を見いだした。

三沢市天ヶ森周辺においては、新たな津波堆積物試料を採取することができた。また、おいらせ町周辺では、震災直後に津波堆積物を観察した場所において再度同様

の調査を行い、津波堆積物の経年変化を検討した。

また、昨年度に福島県南相馬市小高区周辺で採取した試料について、堆積物に含まれる微量元素の同位体比の測定を行った。その結果、異なる2地点において同位体比の鉛直プロファイルは同様であり、津波堆積物とその下位の土壌で値が異なることが明らかとなった。千葉県山武市においては、昨年度に引き続き2011年当時に採取された試料について珪藻化石群集を抽出し、その種構成を調べた。

山武市における結果については、日本第四紀学会において発表した。また、これまでの成果のうち、山武市における粒度分析や化学分析については、日本地質学会誌 *Island Arc* に発表した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕津波堆積物、粒度分析、化学分析、微化石分析

〔研究 題目〕岩石強度の時間変化メカニズムに対する水の影響の解明

〔研究代表者〕増田 幸治（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕増田 幸治（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

岩石強度の時間変化メカニズムに対する水の影響について、前年度の成果と既存データを総合し、水が関与する応力腐食作用が岩石物性の時間変化の本質であるという作業仮説を検証するためのモデル構築を継続しつつ、その応用や課題遂行の過程で開発した実験技術についてとりまとめた。

応用例としては、誘発地震（注水等の人為的行為によって発生する地震）のリスク低減は重要課題である。地下10 km 程度の地殻深部においても、微小地震が発生していることが観測されている。実際の開発前に、超臨界状態にある岩体内で発生する地震現象を理解しておくためには、室内実験による検証が有用な手段となる。地殻深部環境において、間隙流体によって誘発された地震のメカニズムや観測可能性を検証することが重要課題のひとつである。この成果は、地球惑星科学連合大会での招待講演で発表した。

実験技術に関しては、高压ガスを使った高温高压下での岩石変形実験技術を独自開発した。地下深部で起こっている現象を加速化して検証できる技術の開発についてまとめた。自然界で進行する現象の時間スケールは長く、人間の時間スケールでは観測事実が得られない。そこで、プロセスを再現する場合の壁となる環境条件（温度・圧力）の違いに着目し、熱力学的考察を基に、プロセスをスピードアップするための高温実験技術を開発した。水の状態を制御して実際の地下環境よりさらに高温状態を実現（温度と時間の trade-off）した。この開発過程について、産業技術総合研究所が発行する論文誌「シンセシオロジー」（日本語および英語版）に公表した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕破壊強度、破壊実験、応力腐食、断層強度回復

〔研究 題目〕火山ガス観測による水蒸気爆発噴火の推移予測研究

〔研究代表者〕風早 竜之介（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕風早 竜之介、篠原 宏志、森田 雅明（東京大学）（常勤職員2名、他1名）

〔研究 内容〕

水蒸気爆発噴火メカニズムの解明を目的として、水蒸気噴火発生が危惧される火山において火山ガス観測を実施した。先行研究により、噴火前に火山地下に圧力隔壁生成によって火山ガス放出量が減少し、マグマの脱ガス圧力変化によって火山ガス組成が変化することが示唆される。

本研究では吾妻山、樽前、雌阿寒、十勝岳において、火山ガス放出量・組成の観測を行った。また、2015年に噴火が発生し、全島民が避難した口永良部島において、山頂・新岳火口付近に火山ガス組成の自動観測装置を設置した。これらの観測により、噴火活動推移に合わせた火山ガス放出過程の変化が捉えられつつある。特に、口永良部島では2014、2015年噴火前後で火山ガス組成（ $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ ）の著しい変化が捉えられている。この変化は浅部での温度変化やマグマ脱ガス圧力の変化に起因すると考えられるが、現在詳細を火山化学的に解析している最中である。

先行研究のモデルによる噴火準備過程における火口周辺の圧力隔壁の生成は、水蒸気爆発噴火だけにとどまらず、マグマが直接的に関与しているブルカノ式噴火でも提唱されている。実際、桜島におけるブルカノ式噴火発生前に、圧力隔壁生成に起因すると思われる火山ガス放出率の減少が観測されている。本研究では、水蒸気爆発噴火とブルカノ式噴火の類似性・非類似性を明らかにする事を目的として、ブルカノ式噴火前の火山ガス放出率の減少を定量化し、圧力隔壁生成によって火道内に蓄積した火山ガス蓄積量を見積もった。今後はこの知見を基に、水蒸気爆発噴火とブルカノ式噴火の圧力隔壁形成プロセスの差異について研究を進めていく所存である。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕水蒸気噴火、火山ガス、火山ガス組成

〔研究 題目〕巨大カルデラ噴火のマグマ溜まりにおける噴火準備過程の解明

〔研究代表者〕東宮 昭彦（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕東宮 昭彦（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

洞爺カルデラ（北海道）で約11万年前に起きた破局的な大規模カルデラ噴火のメカニズム等を理解するため、このとき噴出した洞爺火砕流堆積物中の軽石などの岩石

学的分析等を行った。平成28年度は、室蘭工大およびオレゴン州立大学の共同研究者とともに、洞爺火砕流堆積物の地質学的調査と岩石試料の採取を行った。また、これら試料の化学分析を行い、京都フィッシュトラックの共同研究者も交え、噴火に関与したマグマの特徴などを議論した。

洞爺火砕流をもたらしたマグマは、斑晶に乏しく（数%以下）シリカに富んだ（78 wt.%程度）高シリカ流紋岩で特徴付けられる。含まれる斑晶鉱物の化学組成や組織を調べると、主たるマグマである流紋岩マグマを起源とする type-A、高温の玄武岩～安山岩マグマを起源とする type-B、それら以外を起源とする type-C に大きく分けられる。このことは、噴火前に、流紋岩マグマと高温マグマなどが混合したことを意味し、この混合過程が噴火のトリガーと何らかの関連を持つと考えられる。

噴火をトリガーした可能性のある高温マグマ注入過程がいつ起きたかを調べるため、洞爺火砕流中の type-B 斜長石斑晶の MgO 量のゾーニング（拡散）プロファイルを解析した。Costa et al. (2003) のモデルを適用して元素拡散時間を求めたところ、数百～数千年が得られた。このことから、洞爺カルデラ直下への高温マグマの注入開始から洞爺カルデラ噴火に至るまでに、数百～数千年かかったと考えられた。

これらの結果について、国際学会や国際ワークショップでの招待講演、その他国内学会講演などにより発表を行った。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕カルデラ噴火、洞爺火砕流、マグマ混合、斑晶、元素拡散

〔研究題目〕ルミネッセンス法を用いたイベント堆積物の運搬過程の解明と高精度年代測定

〔研究代表者〕伊藤 一充（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕伊藤 一充（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本ルミネッセンス法を用いてイベント堆積物の年代測定を行い、堆積前の運搬過程を推定することを目指した。平成28年度はイベント堆積物のうちの一つである津波堆積物の年代決定を行い、前年度までの室内露光実験の結果と合わせて、運搬過程が推定できるかを調べた。試料は先行研究 Tamura et al. (2015) によりすでに石英の OSL 年代測定が行われたもののうち、AD869年の貞観地震による津波堆積物（2試料）と AD1454年の享徳地震による津波堆積物（1試料）の3試料である。先行研究では、石英の性質の問題により多少過小評価された年代が得られていたため、前年度までの露光実験でも利用したカリ長石の pIRIR 法を、粒子毎の露光状況を年代値に反映させることができる単粒子による測定で行った。なお、年代値は g-value によって補正、また現世のピ

ーチの砂の蓄積線量を残存線量として試料の蓄積線量から除した。その結果、pIRIR_{50/170}年代は過大評価されたが IRSL_{50/170}年代は既知年代と誤差範囲で一致した。一方、運搬前の蓄積線量が IRSL と pIRIR において同等であると仮定し、最も太陽が高い位置に来ている場合と曇りまたは雨の日の場合において運搬過程における露光状況を推定した。以上のことから、ルミネッセンス年代測定法によりイベント堆積物の年代決定と運搬過程における露光状況の推定の可能性が示唆された。

<参考文献> Tamura T., Sawai Y. and Ito K., 2015. OSL dating of the AD 869 Jogan tsunami deposit, northeastern Japan. *Quaternary Geochronology*, 30, 294–298.

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕津波堆積物、ルミネッセンス年代測定、露光実験

〔研究題目〕高温沈み込み帯における初期島弧マグマ発生と沈み込み帯発達過程の解明

〔研究代表者〕草野 有紀（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕草野 有紀（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、沈み込み帯（海溝）形成初期に発生したマグマの組成変化およびマントルの進化過程を解析することにより、沈み込み帯発生・発達過程を明らかにすることを目的とした。オマーンオフィオライトを調査対象とし、初期に島弧ソレライト、後期に無人岩へとマグマ組成が変化した島弧火成活動に着目した。本年度は研究課題の最終年度にあたり、補足調査および研究成果の取りまとめを行った。沈み込みに伴うマグマ組成の変化について、国際科学雑誌 *Chemical Geology* に論文を公表した。この中で、島弧ソレライト生成にはスラブ由来流体のみが、無人岩にはスラブ由来流体と堆積物メルトの両方が必要であることを定量的に示した。この結果に基づいて、伊豆小笠原マリアナ弧の発達過程とは異なる、オマーン古島弧の高温沈み込み帯モデルを提案した。また、15日間のオマーンオフィオライト調査により、火山地質学的な観点から、古島弧火山列の形成過程を明らかにした。特に露出のよい15 km について詳細な地質調査を行った結果、初期のソレライトは、2-5 km 間隔で火道や火口が見つかることから、複数火口から火山群のように活動したと推定した。後期の無人岩溶岩が厚く分布する地域において岩脈・割れ目火口とその一連の噴出物を記載し、噴火と火山の発達規模を推定した。さらに、これらの供給岩脈およびマグマ溜まりと考えられる深成岩体を記載した。今後の研究により、島弧マグマの形成・噴出過程が明らかになると期待される。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕オマーンオフィオライト、初生マグマ、火山地質学、沈み込み帯

〔研究題目〕 海溝型巨大地震発生の理解と予測を目指した粘弾性地震発生サイクルシミュレーション

〔研究代表者〕 大谷 真紀子 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 大谷 真紀子 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では、断層への応力蓄積過程・地震の発生を計算機中で模擬する地震発生サイクルシミュレーション (ECS) において、数百年という長期時間経過を扱う際に重要となる粘弾性効果の導入を行い「断層面の三次元幾何形状を考慮した境界積分法 (BIEM) 粘弾性準動的地震発生サイクルモデル」を構築する。また、これを用いてプレート境界面上で発生する巨大地震を含む多様なすべり現象の相互作用を検証することを目的とする。

平成28年度では、これまで用いてきた、弾性体を仮定した BIEM 準動的 ECS への粘弾性効果の導入を行った。粘弾性効果の導入を行う際に必要となる履歴積分の計算について、メモリ変数を用いた粘弾性応答の評価方法 (平原・他、2012) を導入し、粘弾性準動的 ECS を構築した。本手法において、ある時間ステップの粘弾性応答は前時間ステップにおける変数の漸化式として表される。テストケースとして二次元平面断層について計算を行ったが、本手法はそのまま三次元幾何形状を考慮した断層面に対して適用可能である。今後さらに空間方向の近似を行う。

また、異なるスケールのすべり現象の相互作用を検証するために、応力蓄積過程・地震時のふるまいを近似的に扱う RSQSim (Dieterich, 1995) に習いサイクル計算コードを構築した。今後、これらを組み合わせて、複数のすべり現象の相互作用を検証し、粘弾性応答の効果を評価する。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地震発生サイクル、シミュレーション、粘弾性

〔研究題目〕 正しい K-Ar 年代値とは何か？-アルゴン初期値の質量分別に関する検討

〔研究代表者〕 山崎 誠子 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 山崎 誠子 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

いくら誤差が小さく精度のよい年代値であっても、求められる前提条件を満たしていない場合、得られた数値は意味のないものになる。K-Ar 年代測定において、数十万年前より若い試料を対象とする際には、アルゴン初期値の質量分別補正が必要であることが明らかにされているが、(1)実際に初期値がどの程度ばらつくのか、(2)質量分別が起こるメカニズム、については明らかにされていない。そこで本研究では、通常年代測定の対象とされない非常に若い試料や噴出後に急冷した試料についてアルゴン同位体組成と岩石学的特徴との関連を明らかに

し、変動傾向とメカニズムについて議論する。平成28年度は、フィレンツェ大学の L. Francalanci 教授とイタリア地球物理学火山学研究所の R. Corsaro 博士の協力のもと、ストロンボリ火山及びエトナ火山において、噴火後30年未満の非常に若い試料を採取した。エトナ火山では、脱ガス過程の違いによる組成の不均質について検討するために、同じ溶岩流で複数点の試料を採取した。また、ストロンボリ火山については、通常年代測定に不適とされる発泡した試料も比較のために採取した。さらに、日本の火山においては、草津白根山、浅間山から歴史記録のある噴火に対応する若い溶岩試料を採取するとともに、阿蘇火山及び西之島火山においては一昨年から噴火による岩石試料を分取した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 K-Ar 年代、アルゴン初期値、質量分別、火山岩

〔研究題目〕 高精度年代測定による海洋プレート沈み込み開始過程のタイムスケールとその要因の解

〔研究代表者〕 石塚 治 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 石塚 治、針金 由美子 (地質情報研究部門)、谷 健一郎 (国立科学博物館)、森下 知晃 (金沢大学)、海野 進 (金沢大学) (常勤職員2名、他3名)

〔研究内容〕

本研究では、高精度年代測定技術を駆使し、沈み込み開始時から島弧成長期の連続的な地質記録が保存されている地殻層序 (オフィオライト) に精密な時間軸を入れることにより、この期間の火成活動 (マグマ) の特徴と地質環境の時間変化を詳細に明らかにする。さらに、沈み込み開始と他の地質学的イベントとの時間的關係から、何がプレート沈み込み開始のきっかけとなる主要な要因であるのかを解明する。

ギリシャ、イラン、トルコ、キプロスの各オフィオライト層序から採取された火山岩、深成岩類の化学組成分析、同位体組成分析、ArAr 法、U-Pb 法による精密年代測定、マントルかんらん岩の鉱物組成分析、変形様式の解析を実施した。特筆すべき成果として伊豆小笠原マリアナ弧の基盤であると想定して掘削された IODP Ex.351の海洋地殻から、伊豆小笠原弧におけるプレート沈み込み開始時期に相当する年代が得られたことが上げられる。これは、プレート沈み込み開始時期にいたるテクトニクスを復元し、沈み込み開始に必要な条件を解明する上で極めて重要な発見である。キプロスの Troodos オフィオライトに関するデータから、マグマ起源物質の特徴、特に沈み込むスラブ由来の物質の寄与について、層序に従った変化と同時に東西方向の空間変化が存在することが明らかになった。これは Troodos オフィオライトの火成岩層序を形成したマグマ活動が、プ

プレート沈み込みと関連してどのように進化していったかを解明する上で貴重なデータと考えている。研究成果の公表については、Goldschmidt 国際会議、米国地球物理学連合秋季大会等の国際学会で各分担者が発表を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】プレートの沈み込み、オフィオライト、高精度年代測定、初期島弧地殻、マントル

【研究 題 目】水試料の放射性炭素濃度の相互比較と前処理手法の検討：RICE-W プロジェクト

【研究代表者】高橋 浩（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】高橋 浩、南 雅代（名古屋大学）、荒巻 能史（国立環境研究所）
（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

本研究では、放射性炭素（ ^{14}C ）分析値のコンセンサスを得るために、各手法の特徴を抽出することを目的として、複数の機関が参加する相互比較プロジェクトの RICE-W（Radiocarbon Intercomparison on Chemical Experiments, Water series）を実施する。平成28年度は、水試料の放射性炭素分析を実施できる機関（国内：8、海外：1）に配布して相互比較を実施した。

実施した相互比較はおおよそ良い一致を示し、水試料の放射性炭素の分析値の機関による違いは許容できる範囲に収まっていると考えられる。しかし、一部には誤差範囲を超えて放射性炭素濃度が一致しない結果も見受けられた。放射性炭素濃度が高い試料や DIC 濃度が低い試料で、分析値のばらつきが大きい傾向があった。また、同一機関の分析結果で2%ほど異なる放射性炭素濃度を示すものがあつた。同時に処理をした試料の炭素安定同位体比は良い一致を示すことから、ガス化後の試料処理に問題があると思われる。

沈殿法を用いて試料処理を実施した機関の分析値の一部に、現代炭素の混入が疑われる結果が示された。用いた試料量から推定される炭素量と、沈殿法による処理後に回収できた炭素量を比較すると、炭素量の増加が見られた。試料量の変化から見積もられる炭素混入率と ^{14}C 分析から推定される現代炭素の混入率は、ほぼ一致する結果となり、実験操作中に外来の炭素成分の混入があつたことがわかる。沈殿法による炭素回収は、実験環境や実験操作の熟練度によっては、再現性に疑問が生じやすい可能性があることがわかつた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】放射性炭素、水試料、相互比較、ろ過、沈殿法

【研究 題 目】浅部マグマ過程のその場観察実験に基づく準リアルタイム火山学の構築

【研究代表者】下司 信夫（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】下司 信夫、中村 美千彦（東北大学）、奥村 聡（東北大学）、小園 誠史（東北大学）、上杉 健太郎（高輝度光科学研究センター）、三宅 亮（京都大学）
（常勤職員1名、他5名）

【研究 内 容】

火山の火道浅部に上昇したマグマは、減圧脱水作用によりに置かれ、微細な結晶の晶出が進んで粘性が急激に上昇する。本研究は、これまで未解明である減圧脱水結晶作用による粘性上昇の速度過程を、その場観察実験により明らかにすることを目的とする。さらに発泡苦鉄質マグマの変形実験により、噴火の駆動力を左右する「浸透流脱ガス」のメカニズムを調べる。この両者を火道流物理モデルに組み込むことで、実際のマグマ貫入イベントの圧力-時間履歴に即した準リアルタイムでの活動推移予測を目指すものである。本研究のうち、実際の爆発的噴火によって噴出したマグマ物質の微細組織の記載やその解析を担当した。本研究においては、実際に目撃された噴火の詳細な推移の復元とその噴出物との対応が重要である。本年度はこの目的のため、頻繁な苦鉄質マグマの噴火が発生しているイタリア・エトナ火山やストロンボリ火山、また爆発的噴火の模式地の一つであるブルカノ火山において、歴史噴火の噴出物の採取を行い、その組織解析を行った。また、エトナ火山・ブルカノ火山では爆発的噴火を起こした火道が露出している供給岩脈の構造の観察および実際の岩脈試料の採取を行った。これらの試料を、電子顕微鏡等を用いてその微細組織の解析を実施した。特に、噴火形態を左右する気泡の形状やその密度、また石基ガラスに含まれる水の微小領域の分析を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】マグマ、噴火、高温高压実験

【研究 題 目】測地観測によるスロー地震の物理像の解明

【研究代表者】板場 智史（活断層・火山研究部門）

【研究担当者】廣瀬 仁（神戸大学）、宮崎 真一（京都大学）、松島 健（九州大学）、田部井 隆雄（高知大学）、山崎 健一（京都大学）、高木 涼太（東北大学）、田中 愛幸（東京大学）、木村 武志（防災科学技術研究所）、板場 智史（常勤職員1名、他8名）

【研究 内 容】

本課題は新学術領域研究「スロー地震学」のサブテーマの一つである。西日本の南海トラフおよび琉球海溝沿いでは、世界中で最も多彩なスロー地震活動が検出されてきている。しかしながら、その活動の地域性の原因や、地域間の相互作用、異なるタイプのスロー地震間の関連

性など未解明な点が多い。本計画研究では、スロースリップイベント（SSE）の活動様式を、発生頻度の高い西日本の複数地域にて、GNSS・傾斜・歪・重力等の測地学的観測手段によって詳細に捉え、地域ごとのプレート間のすべり特性、それを規定している地球科学的要因、隣接地域との相互作用、SSE発生と地殻流体との関連性などを明らかにし、他計画研究の観測データ・室内実験結果・数値モデルからの知見と融合することで、スロー地震の理解を通して地震現象の再定義を目指す。

平成28年度は、豊後水道 SSE による地殻変動をとらえるため、四国・豊後水道周辺において GNSS 観測点を設置して連続観測を開始したほか、傾斜・歪データを用いた SSE 自動検出手法の高度化を継続した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】スロー地震、SSE、地殻変動

【研究 題 目】除染・帰還を見据えた地域別の放射性 Cs 流出特性評価とリスク管理戦略の構築

【研究代表者】保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】保高 徹生（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、研究代表者らが開発した低濃度の水中放射性セシウム（以下、rCs という）の迅速モニタリング方法を活用発展させ、土地利用・地域別の rCs の流出特性・長期挙動評価を行い、地域と連携して除染・帰還後の残存する rCs へのリスク管理戦略の構築を目指す融合研究である。

本年度の進捗は以下の通りである。

①土地利用別の rCs 流出評価：水田を対象として rCs の流入・流出・水田内変化を測定し、異なる水利用形態の水田への放射性セシウムの蓄積・流出状況の評価した。また、都市堆積物および河川水を採取、媒体中の rCs および微量金属濃度を測定し、河川水中の rCs に対する都市堆積物の寄与を評価した。さらに、ため池を含む少流域における rCs 及び各種イオン濃度を測定し、多くのため池で溶存態 rCs の濃度増加していることを確認した。

②モニタリングシステム開発：銅置換体プルシアンブルー担持不織布を用いて、林内雨およびリターからの浸出水のモニタリングシステムの開発を進めた。

③長期動態評価：福島県阿武隈高地内の河川において①で得られたデータを用いて SWAT (Soil and Water Assessment Tool) により流量、rCs 負荷量の妥当性評価、将来推定を行った。また、水系暴露解析モデル (SHANEL) を用いた影響評価も実施した。

④除染等のリスク管理戦略の策定：避難区域内地区における帰還後のリスク管理戦略を構築するため、避難区域内の地元住民と協力して、線量や河川中のセシウム濃度の測定結果をもとにした帰還後の生活/生産活動にお

けるリスクについて定期的な対話を持った。減容化技術等も含めた減容化のあり方について解析を実施した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】放射性セシウム、水、モニタリング、流出特性、土地利用

【研究 題 目】光合成とメタン生成のリンケージ：機能特異分子補酵素 F430分析という新手法の展開

【研究代表者】金子 雅紀（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】金子 雅紀、坂田 将（常勤職員2名）

【研究 内 容】

当該年度は高速液体クロマトグラフ／トリプル四重極質量分析計の高感度化を試みた。従来の高速液体クロマトグラフに対し、ナノフロー液体クロマトグラフを用いることで高感度化を目指した。しかしながら、低流量下かつアシストガスが無い状態でのイオン化が不安定であることが原因で、分離および検出は可能であるものの、定量分析の再現性が得られなかった。一方で、内部標準を新たに準備すれば、シグナルのばらつきを補整し、ナノフロー液体クロマトグラフを用いた分析が可能になる可能性が示唆された。当該年度は方針を変更し、マイクロ流量での分析のルーチン化を行った。

補酵素 F430の分解実験を行い、補酵素 F430が現場環境における半減期が極めて短く、原位置のメタン生成ポテンシャルを定量するバイオマーカー分子になり得ることを実験的に示した。

統合国際深海掘削計画 (IODP) の第370航海に参加し、室戸沖の掘削調査および試料採取を行った。今後更なる分析を進め海洋環境におけるメタン生成菌の分布と活性を明らかにする。

当該年度中に国際誌による発表1件、国際学会による発表3件、国内発表による発表1件を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】補酵素 F430、機能特異分子、メタン生成アーキア、嫌氣的メタン酸化アーキア、安定同位体比、地下生命圏

【研究 題 目】水蒸気爆発とマグマ爆発：噴煙中の水蒸気の同位体組成を利用した遠隔推定法開発

【研究代表者】高橋 幸士（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】高橋 幸士（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、火山噴気中の水蒸気の安定同位体比を指標に用いることによって、火山の噴火様式を判別する新手法を確立することである。具体的には、大気試料を真空捕集瓶に採取し、採取試料中の水蒸気の濃度と安定水素・酸素同位体比 ($\delta^2\text{H}$ ・ $\delta^{18}\text{O}$ 値) をキャピティリングダウン分光分析装置で高感度分析する『真空捕集法』

の開発を進め、これを噴煙へ応用する。本研究では、真空捕集法の測定精度に関する検証を進めると共に、箱根-上湯場噴気地帯の噴煙へ応用した結果を解析し、噴気孔から放出される水蒸気の遠隔同位体比測定が可能であるかを検証した。その結果、噴煙中の水蒸気の濃度と $\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ 値は、明瞭な混合線を示した。混合線から推定された噴気孔由来の水蒸気の $\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ 値は、噴気孔より直接採取した水蒸気（凝縮水）の値と誤差の範囲で一致した。以上の結果から、開発した真空捕集法により、火山噴気孔から放出される水蒸気の $\delta^2\text{H} \cdot \delta^{18}\text{O}$ 値を遠隔測定出来ることが確認された。また、噴煙中の水素、二酸化炭素の分析結果に基づき、噴気孔における水素-水蒸気、二酸化炭素-水蒸気における同位体平衡温度を推定した結果、各同位体平衡温度は、誤差の範囲で噴気孔の実測温度と一致した。以上の結果は、本研究手法が、気体成分間の同位体平衡温度を利用した火山噴気温度の遠隔測定にも応用出来る可能性を示している。これらの成果について、国内学会等に参加し、成果発表（3件）を行った。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】火山ガス、水蒸気、安定同位体比、噴気様式

【研究 題 目】ゲノム解析と培養試験による海洋のメタン酸化微生物群の共生機構の解明

【研究代表者】竹内 美緒（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】竹内 美緒（常勤職員1名）

【研究 内 容】

海底堆積物における微生物によるメタン酸化活動は、メタンハイドレート開発や、地球温暖化に関連する重要な微生物活動である。しかし、これまで海洋のメタン酸化細菌の分離培養が困難であったことから多くが未知であった。本研究では、メタン酸化微生物群集を様々なアプローチで解明し、新たな知見を求めるものである。これまで、3種類の微生物の分離培養に成功し、ゲノム解析を実施した。

本年度は、メタン酸化細菌とメタノール酸化細菌の共同培養時における遺伝子発現をトランスクリプトーム解析により解明することを試みた。各サンプルについて22-30 million リードの配列が得られ、今後解析を進めていく予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】メタン・海底・微生物

【研究 題 目】CO₂地中貯留におけるキャップロックの長期シール性能評価

【研究代表者】徂徠 正夫（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】徂徠 正夫（常勤職員1名）

【研究 内 容】

CO₂地中貯留におけるキャップロックの遮蔽性能およ

び貯留層の圧入性の観点から、岩石が反応する際の水理特性の変化を検証した。用いた岩石は、日本各地の露頭から採取した浪花層（NM）、大原層（OM）および一志層群（IM）の泥岩、五日町層群泥灰岩（IR）、および大泊有孔虫砂岩（OS）と灰爪層石灰質貝層砂岩（HC）である。これらを円筒状に成形し、個々の岩石に対して4個の試料を、それぞれ168、336および672時間、CO₂-水系で反応させた。実験中は温度を40℃に保持し、超臨界CO₂で10 MPaに加圧維持した。次に、反応後の試料に対して浸透率とスレッシュホールド圧を測定した。今年度は特に、浸透実験後の試料に対する水銀ポロシメータによる細孔径分布測定と、反応終了時ごとに採取した溶液の化学組成分析を行った。

結果として、NM、OM および HC は672時間の反応で水理特性がほとんど変化しなかった。これらの岩石では高い Ca 溶出量から炭酸塩の溶解が示唆されたが、流路に影響するほどの体積変化は生じなかったと考えられる。その他の岩石では反応により浸透率が増加し、スレッシュホールド圧が減少した。IM および OS は、168時間までの反応で大孔径側の流路体積が大幅に増加したことから、定常状態に到達前にクラックが形成した可能性がある。一方、IR では、細孔径分布におけるピーク孔径が反応の経過と共に大孔径側に移動した。ピーク孔径が数10 nm と小さいことから、炭酸塩のわずかな溶解でも孔径に相対的に大きな変化が生じたと考えられる。

このように、反応に伴う水理特性の変化は孔径と鉱物組成の関係で決まることが示された。長期的な遮蔽性能に関する知見は不足しており、本成果は有用である。ただし、今回は溶媒が純水であったため、より激しく溶解が進行した可能性がある。今後は塩水を用いることで、二次鉱物の沈殿までを含めた評価が必要である。

【領 域 名】エネルギー・環境、地質調査総合センター

【キーワード】CO₂地中貯留、キャップロック、遮蔽性能、スレッシュホールド圧、地化学反応、炭酸塩鉱物

【研究 題 目】FeS₂/H₂O/O₃反応系における難分解有機化合物の酸化分解

【研究代表者】原 淳子（地圏資源環境研究部門）

【研究担当者】原 淳子（常勤職員1名）

【研究 内 容】

FeS₂/H₂O/O₃反応系における芳香族化合物の化学的酸化分解能を評価するために、本手法で対象汚染物質と分解する際に中間生成物として蓄積が見込まれるベンゼンおよび酢酸を含む低分子有機酸の分解機構の解明を進めた。その結果、酸化促進剤を用いた場合の分解機構の変化についても検討を進め、以下の知見を得た。

・FeS₂/H₂O のみの反応系において一週間で9割以上のベンゼンが分解し、そのうち55%は二酸化炭素まで

完全分解した。さらに酸化促進剤を加えた反応系ではオゾン、過酸化水素いずれを使用した場合も99 %以上のベンゼンが分解し、過酸化水素では70-75 %、オゾンでは98 %と CO₂までの完全分解率が上昇した。

- 本手法によるベンゼンの酸化分解は、オレフィン化合物を介して、主にグリオキシル酸、シュウ酸、ギ酸を経由する経路とマロン酸、酢酸を経由する経路に分かれ、両経路を経て CO₂まで完全分解する機構で進行することが明らかとなった。
- 酸化剤を添加した反応系では、シュウ酸を経由する経路が優勢となり、特に過酸化水素を用いた反応系ではシュウ酸の蓄積量が無添加時よりも増加することが明らかとなった。また、促進剤効果による反応促進経路の変化は熱力学的な計算結果に裏付けられることを検証した。
- ベンゼン分解速度の全容は、検出された有機酸の反応速度を用いた数値計算結果とおおよそ合致した。
- 二硫化鉄表面で汚染物質の酸化分解に寄与するラジカル発生種を特定し、その定量に成功した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境、地質調査総合センター

〔キーワード〕 化学的酸化分解、ラジカル反応、ベンゼン、低分子有機酸、分解機構

〔研究 題目〕 新規重希土類資源としてのアパタイトの資源ポテンシャル評価

〔研究代表者〕 星野 美保子（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 星野 美保子（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

アパタイトは非常に結晶構造の許容性が高く、100種類以上のグループ鉱物を持つ。特に REE 含有アパタイトは、化学組成が非常に複雑であり分析が困難であることから、研究例も非常に乏しく、最大でどのくらいの HREE を含有できるかなど、資源利用のために必須の基礎的なデータが不足している。そこで、昨年度は電子プローブマイクロアナライザー (EMPA-WDS) やレーザー ICP-MS を用いて、代表的なリン鉱床であるカナダ (Benjamin River, Hoidas Lake)、アメリカ (Pea Ridge)、南アフリカ (Blockspruit)、モンゴル (Mushgai Khudag) のアパタイトの正確な重希土類 (HREE) 含有量を決定した。その結果、超苦鉄質岩に伴われるアパタイトに多量の HREE が含有されることが判明した。特に南アフリカの Blockspruit 鉱床地には、HREE を10 wt%以上含有するアパタイトを含有するアクチノライト岩が産出しており、これまで報告されているアパタイトの中で最大の HREE 含有量である。さらに、このアクチノライト岩の広域分布を把握するために南アフリカ地球審議会と共同で、アリ塚を用いた携帯型蛍光 X 線分析による原位置化学分析を実施したところ、南西から北東方向に0.5 km×1 km の鉱体があることが

明らかとなった。また、アパタイトと共生する蛍石の流体包有物の観察を行ったところ、包有物の中に HREECl₃、KCl₂、NaCl、菱鉄鉱、FeCl₂、磁鉄鉱のような多様な結晶が観察された。これは、Blockspruit 鉱床地の形成に F-Cl-Fe-Ca-Na-K-CO₂-CH₄を伴う複雑な流体が関与したことを示唆する。アパタイトの流体包有物の観察も行ったが、サイズが小さいため、試料数を増やし丁寧に観察することで、高濃度の HREE を含有するアパタイトを形成したマグマの直接的な情報が得られると期待される。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 重希土類資源、アパタイト、リン鉱石資源、資源評価

〔研究 題目〕 マルチ同位体分析による次世代型リチウム鉱床の成因と同位体分別に関する研究

〔研究代表者〕 荒岡 大輔（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕 荒岡 大輔（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

二次電池の普及により需要が増加しているリチウム (Li) の安定供給には、未開発域における塩湖かん水型以外の次世代型 Li 鉱床の探査・開発が必要である。しかし、探査の上で欠かせない、Li 鉱床の成因や形成メカニズムはほとんど明らかになってない。そこで本研究では、国外の次世代型 Li 鉱床を対象に、鉱床内の各鉱物・地層に Li 等の各種同位体比と、絶対年代分析を適用することで、鉱床の成因・形成メカニズムや形成史を明らかにすることを目的としている。

本年度は、当該研究課題を進める上で基礎となる、新しい同位体分析システムの開発を主に行った。具体的には、国内ではほとんど研究例のない Mg 安定同位体分析手法の立ち上げを当ラボにて行い、海水や生物源炭酸塩などの標準試料で±0.1 ‰ (2SD) 以下での分析精度で正確な分析が可能なシステムを確立した。トルコ・ホウ酸塩鉱床は現在治安上の観点からアクセスが困難であることから、代替としてブリテッシュコロンビア州のミシシッピバレー型鉱床に同手法を応用しているところである。また、Ca 安定同位体分析手法の立ち上げにも精力的に取り組んでいる。さらに、共同研究者と協力してイオンクロマトグラフィーとフラクションコレクターを組み合わせたオフライン型のマルチ元素分離装置の開発を進めており、Li、Mg などの同位体を簡便かつ迅速に分離できる手法を開発中である。Li 同位体については、高温での水-岩石反応時における同位体挙動を理解するため、島弧・背弧域での海底熱水を対象に体系的な同位体データを報告し、結果を国際誌に報告した (Araoka et al. 2016, *Geochemistry Geophysics Geosystems*)。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 リチウム資源、同位体、水-岩石反応

〔研究題目〕 CO₂地中貯留と生物的原油分解メタン生成反応を両立する資源創成型 CCS 技術の開発

〔研究代表者〕 眞弓 大介 (地圏資源環境研究部門)

〔研究担当者〕 眞弓 大介 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

枯渇油田を対象とした CO₂地中貯留 (CCS) の影響を評価するため、国内油田の3カ所の生産井から採取した油層水と原油を用いて、現場油層環境を模擬する高温高压培養実験と CCS 後の高濃度 CO₂環境を模擬する高温高压培養実験を進めた。その結果、ある1カ所の油田の現場油層環境の培養条件において生物的原油分解反応が観察された。

一方、原油分解ポテンシャルが存在しない油田に原油分解微生物コミュニティを導入するバイオオーグメンテーション技術に対する CO₂地中貯留の影響を評価した。本研究で獲得した上記の原油分解微生物コミュニティを用いた高 CO₂濃度の高压培養実験の結果、低 CO₂濃度環境においては原油分解メタン生成反応が観察された一方で、高 CO₂濃度環境ではその阻害効果が観察された。阻害効果の主な原因は CO₂濃度の増加による pH の減少であると考えられた。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 油田、油層内微生物、高压培養、原油分解メタン生成経路、遺伝子解析

〔研究題目〕 SQUID 顕微鏡による惑星古磁場の先端的研究の開拓

〔研究代表者〕 小田 啓邦 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕 小田 啓邦、佐藤 雅彦、片山 礼子、野口 敦史、河合 淳、山本 裕二、白井 朗、白井 洋一、中村 教博、宮城 磯治 (活断層・火山研究部門) (常勤職員3名、他7名)

〔研究内容〕

本研究は、SQUID (超伝導量子干渉素子) 顕微鏡を用いて惑星古磁場の基礎的研究を開拓することを目的とし、金沢工業大学・東北大学・海洋研究開発機構の研究分担者、および高知大学の連携研究者の協力のもとに推進している。本年度は昨年度までに完成・改良した SQUID 顕微鏡を用いて、地質試料の分析と解釈を進め、学会発表・論文発表ならびにプロジェクトホームページの作成を行った。鉄マンガンクラストについては正徳海山・拓洋第5海山・半沢海山・琉球海溝の4地点の試料について分析を行った結果、陸に近い琉球海溝を除く3地点では磁気縞模様から成長速度を見積もることに成功し、それぞれ4.5 mm/Ma (過去78万年について)、3.4 mm/Ma、2.7 mm/Ma であることがわかった。これらは、¹⁰Be/⁹Be 法で推定されている成長速度と整合的であった。一方、陸域に近い琉球海溝の磁気画像には多数

の小さな双極子的な磁場が分布する様子が見られ、明瞭な磁気縞は確認できなかった。陸起源の多磁区磁性鉱物粒子が双極子的な磁場となって磁気縞模様の判読を困難にしていると思われる。正徳海山については、マイクロフォーカス X 線 CT データから微細構造の読み取りも行った。また、拓洋第5海山については等温残留磁化 (1.4 T) およびその後の逆向き磁場をかけた磁気イメージ (-0.3 T) からインパーションにより残留磁化を計算し、S 比の計算を行った。この結果、約300万年前から現在にかけて高保磁力磁性鉱物 (赤鉄鉱あるいは針鉄鉱) がパッチ状に存在すること、これらは柱状に伸びた成長構造の隙間に対応することがわかった。また、淡路島の野島断層試料からは、磁気イメージで強い磁場を示す部分が過去の断層滑り面に対応すること、高温加熱によって磁性鉱物が生成された可能性が示唆された。さらに、琵琶湖堆積物、やまと隕石試料、ならびに太古代岩石から取り出したジルコン単結晶について磁気イメージングを行った。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 SQUID 素子、岩石薄片試料、古地磁気学、磁気イメージング、惑星古磁場、鉄マンガンクラスト、隕石、衝突残留磁化、ジルコン、太古代、断層岩、堆積物

〔研究題目〕 温帯性サンゴ骨格から検証する日本周辺の地球環境変動

〔研究代表者〕 鈴木 淳 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕 鈴木 淳、岡井 貴司、中島 礼、高田 徳幸 (機能化学研究部門) (常勤職員4名)

〔研究内容〕

日本周辺海域では、サンゴの北上が進行するなど、地球温暖化の影響による環境変動が顕在化している。本研究課題では、亜熱帯海域については、明瞭な年輪を持つハマサンゴ属のサンゴ骨格を用い、本州南方など温帯域では、卓越する枝状群体のミドリイシ類の骨格について、水温計としての利用法を開発し、環境変遷の復元にあたる。ミドリイシ水温計開発には、水産分野の専門技術の助けにより、従来に比べ格段に良好な状態でサンゴを飼育して、精密な環境制御下で形成された骨格を用いて、気候プロキシの検討を行い、気候変動研究の確度・精度向上を図る。研究計画2年目にあたり、新潟県柏崎市の海洋生物環境研究所・実証試験場及び沖縄県本部町の琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設における飼育実験で得られた温帯性ミドリイシ類およびハマサンゴ類の骨格試料について、温度指標とされる骨格の酸素同位体比や Sr/Ca 比が、海水の炭酸系パラメータや成長速度に影響するかどうかを検討した。飼育期間中の定期採水試料について、水の酸素同位体比等を計測した。サンゴ骨格の酸素同位体比や Sr/Ca 比は、温度に関し

て明瞭な応答を示すが、炭酸系パラメータへの依存性は認められなかった。また、海水の炭素同位体比と有孔虫やサンゴ、その他の炭酸塩骨格の炭素同位体比の関係に注目した解析を進めた。海洋酸性化実験では、二酸化炭素分圧の増加に伴い、添加する二酸化炭素分圧の影響で、海水の溶存無機炭素の炭素同位体比が大きく低下する。有孔虫では、殻の炭素同位体比に海水の炭素同位体比への同調性に大きな差異があることが見出された。これは、石灰化機構の違いを示唆する。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】酸素同位体比、ストロンチウム／カルシウム比、炭素同位体比

【研究 題 目】プレート二重沈み込み領域におけるマグマ供給系の研究

【研究代表者】木下 佐和子（地質情報研究部門）

【研究担当者】木下 佐和子（他1名）

【研究 内 容】

関東地方と中部地方は、地下に二枚のプレートが沈み込む、非常に複雑な地域である。太平洋プレートの上に沈み込むフィリピン海プレートの中央部分は、火山が連なる島弧と呼ばれ、地殻が通常の海洋プレートより分厚くなっている。この島弧は伊豆半島で本州と衝突して北西の方向に地下に沈み込んでおり、その先には富士山や浅間山などの活火山が存在する。本研究は、島弧が沈み込む領域において、地下100 km 以深の深さで発生したマグマが、島弧を突き抜けてどのように地表へと上昇しているのか、地震波形のレシーバ関数解析によって解明することを目的としている。平成28年度は、東海、関東地方において沈み込む IBM 島弧の形状がどのようになっているのかを明確にするため、広範囲の地震波形データを取得した。次に、地下の S 波速度構造を求めめるために、レシーバ関数のインバージョンアルゴリズムの改良を行った。レシーバ関数は地震波の S 波速度の変化量に敏感な関数であるが、S 波速度の絶対値を抑えるのが難しいという問題があるため、先行研究によって求められた S 波速度構造から計算した分散曲線とレシーバ関数を同時にモンテカルロ法でインバージョンして解を安定的に求めた。このアルゴリズムを使用して数多くのテスト計算を実施し、求めた解の安定性を確認した。今後はこのアルゴリズムを広範囲のデータに適用して、S 波速度構造を計算する予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地下構造、火山、レシーバ関数解析

【研究 題 目】地質アナログ模型の開発と地学教育における活用と検証

【研究代表者】高橋 雅紀（地質情報研究部門）

【研究担当者】高橋 雅紀（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

地層の走向・傾斜を理解するためのアナログ模型や、実際のクリノメーターで測定するための簡易地層模型を製作した。この模型は地層の傾斜を何段階かに変更することができるので、室内の適当な場所においてクリノメーターで実際に走向・傾斜の測定を経験してもらった。あわせて、地層の走向・傾斜から地質図学を用いて露頭線を作図するための架空の地形データを用意し、実際の測定データから作図するまでの過程を室内で疑似体験できる実習教材を作成した。つづいて、地質図学実習用に2,000分の1の縮尺の架空の地形・地質模型を製作した。そして、この模型と同じスケールで地質・断面図をパソコン (Adobe illustrator) で作成し、表土部分を隠したルートマップを A3用紙に印刷して地質図学実習用の教材とし、地学オリンピック日本代表高校生向けの実習等において活用した。

また、最終氷期に形成された都心部（ほぼ山手線の範囲）の埋没谷地形を、1万分の1のスケールで製作した。この浅層構造は短周期の地震動を増幅するため、研究所の一般公開や高校地学教員向けのシンポジウム等で展示して、一般家屋の地震防災教育に活用した。さらに、正断層と逆断層や横ずれ断層を再現した可動式アナログ模型を製作し、各種のイベントで活用して一般市民の方の理解度を把握した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地学教育、アウトリーチ、普及活動、アナログ模型

【研究 題 目】砕屑岩岩石学から復元する黒瀬川帯ペルム紀島弧の進化過程

【研究代表者】原 英俊（地質情報研究部門）

【研究担当者】原 英俊（常勤職員1名）

【研究 内 容】

ペルム紀のアジア大陸東縁では、パンサラッサ海の海洋プレート沈み込みにより島弧が発達し、日本列島の原型をもたらした初期にあたと考えられる。しかし、現在の日本列島には、島弧の主部をなしていた火山岩や花崗岩などは多くは削剥され、その地質情報は非常に少ない。そこで黒瀬川帯に分布するペルム系砕屑岩を対象とし、砕屑岩に砕屑粒子として保存されている後背地の情報から、島弧の発達及び変遷過程を復元することを試みた。そのために、四国東部北川地域及び中央部伊野地域周辺から砕屑岩を採取し、岩石学的記載・全岩化学分析・砕屑性ジルコン U-Pb 年代測定を行った。まず分析結果より、黒瀬川帯ペルム系を、中期ペルム紀付加体（弱変成岩）、後期ペルム紀付加体、後期ペルム紀浅海性層に区分した。これらの後背地解析により、中期～後期ペルム紀にかけて島弧火成活動が、安山岩質からより珪長質火山岩へと変遷したことを見出した。その一方で、浅海性層に含まれる後期ペルム紀花崗岩礫の存在は、後期ペルム紀に急速な花崗岩の開析が起きていたことを示

唆する。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕黒瀬川帯、ペルム紀、沈み込み帯、島弧、砂岩組成

〔研究 題目〕強制海退によって規定されたバリアースピットの堆積様式の解明

〔研究代表者〕七山 太 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕七山 太、渡辺 和明 (地質情報基盤センター) (常勤職員2名)

〔研究 内容〕

北海道東部、野付湾周辺には、現在も活動的なバリアースシステムが認められており、野付崎バリアースピット (NBS) と呼ばれている。我々は、2015年以降、科研費予算を用いて、NBS において浜堤を横断する5本の測線を設定し、地形・地質調査を実施してきている。これまでの掘削調査により、上位から7層の完新世テフラ、Ta-a (1739年) および Ko-c2 (1694年)、B-Tm (929年) および Ma-b (10世紀)、Ta-c (2.5 ka)、Ma-d (4.0 ka)、Ma-e (5.2 ka) が見いだされ、これらを時間面として、NBS の地形発達史を解読することができた。

NBS が現在の位置に成立したのは、茶志骨の泥炭層基底の Ma-d を挟む泥の存在から4,000年より前と推定される。一方最も若い分岐砂嘴である BS1は Ta-a、Ko-c2に被覆されないことから、17世紀以降に出現し現在荒浜岬を形成している、BS2は江戸時代後の通行屋遺跡を載せ、その標高は1.59 m に達している。この浜堤は Ta-a、Ko-c2に直接被覆されることから、17世紀に離水した可能性が高い。Bs4はオンニクル付近のみ分布する。Ta-c に被覆され2,652-2,347 cal yr BP というAMS 年代値を新たに得ていることから、約2,500年前に離水した古い砂嘴の残骸と推定される。BS4の標高は2.66 m 以上に達している。野付半島ネチャーセンターが立地する BS3の離水年代は、Ta-a、Ko-c2と礫浜層との間に泥炭層を挟み、新たに767-683 cal BP という値を得ていることから、12~13世紀と予測される。BS3の標高は2.47 m に達している。

少なくとも BS3よりも若い分岐砂嘴の出現には、千島海溝における広域な地震性地殻変動が関わっていた可能性が高いと考えられる。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地形発達史、野付嶺バリアースピット、地震テクトニクス、南千島海溝、東北海道、北部日本

〔研究 題目〕ジルコン U-Pb 年代を用いた日高衝突境界周辺の地体構造解析

〔研究代表者〕高橋 浩 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕高橋 浩、七山 太、山崎 徹、

御子 柴真澄、志村 俊昭 (山口大学)
(常勤職員4名、他1名)

〔研究 内容〕

日高変成帯の形成プロセス及び北海道中軸帯のテクトニクス解明のため以下の研究を行った。(1)日高変成帯南部の深成・変成岩類の野外調査、ジルコン U-Pb 年代測定用試料採取を行った。さらに、採取試料の岩石薄片を作成し顕微鏡観察を行い、年代測定用ジルコンの分離とカソードルミネッセンス像の観察を行いすべてのジルコンに変成作用によると考えられる再結晶リムが形成されていることを確認した。その後、2試料 (猿留川及び札内川の片麻岩) についてジルコンの碎屑性コアと再結晶リムの U-Pb 年代測定を行った。その結果、札内川の試料について碎屑性コアで53.1 Ma、再結晶リムで39.6 Ma (いずれも最若粒子集団加重平均値) を得た。(2)日高山脈東麓に分布する日高帯・中の川層群について、野外調査・試料採取を行い、堆積年代決定のため、酸性凝灰岩2試料及び砂岩2試料のジルコン U-Pb 年代測定を行った。酸性凝灰岩は59 Ma 及び57 Ma、砂岩は58 Ma 及び55 Ma (いずれも最若粒子集団加重平均値) を示し、中の川層群の堆積年代は59~55 Ma と見積もられた。さらに、日高帯の地体構造を明らかにするため、日高帯北部のトムラウシ地域において、野外調査、試料採取、岩石薄片作成及び顕微鏡観察 (角閃岩) を予察的に行った。(3)広尾コンプレックスに含まれる緑色岩類について野外調査・試料採取を行い、岩石薄片を作成し顕微鏡観察を行った後、XRF 及び ICP-MS による化学分析を行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕北海道中軸帯、日高帯、常呂帯、日高変成帯、中の川層群

〔研究 題目〕海洋地殻進化解析に基づく、三波川帯ー御荷鉾帯ー秩父帯北帯の統合的理解

〔研究代表者〕内野 隆之 (地質情報研究部門)

〔研究担当者〕内野 隆之、原 英俊 (常勤職員2名)

〔研究 内容〕

本研究の目的は、中生代の付加体中に含まれる海洋地殻断片である苦鉄質岩の地球科学的特徴及び形成年代を明らかにすることによって、中生代の古太平洋地域でいつどのような海底火成活動が起き、またそれがいつどのように海溝域で沈み込みこんだか、という海洋地殻の進化過程を理解することである。対象は、ジュラ紀~白亜紀の付加体が分布する秩父帯北帯、御荷鉾帯、三波川帯であり、中でも現在作成中である地質図幅に関係する紀伊半島と関東山地の苦鉄質岩を検討する。

本研究は3年計画であり、初年度に地質調査と試料採取、次年度及び最終年度に化学分析と放射年代測定を行い、また最終年度に成果を学術誌に投稿する予定である。化学分析は玄武岩を対象とし、XRF による全岩化学組

成を基に形成場の推定を行う。年代測定は、U-Pb 年代測定が可能なジルコンを含む可能性のある斜長岩（ドレライトや斑れい岩に随伴）を対象とする。

初年度である2016年度は、三重県志摩半島鳥羽地域に分布する御荷銻帯及び秩父帯北帯において地質調査と化学分析・年代測定に適した試料の採取を行った。また、鏡下観察にて御荷銻帯と秩父帯北帯のものとは初生鉱物の組み合わせが異なることが判明し、両帯の苦鉄質岩が異なる環境で形成された可能性が見出された。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】御荷銻帯、秩父帯、苦鉄質岩、化学分析、年代測定、海洋地殻、進化過程

【研究 題 目】新たな変成反応進行過程の提案と反応継続時間の推定

【研究代表者】宮崎 一博（地質情報研究部門）

【研究担当者】森 康（北九州自然史博物館）、
重野 未来（北九州自然史博物館）、
西山 忠男（熊本大学）（他3名）

【研究 内 容】

変形と反応がカップリングした新たな変成反応過程の提案と反応継続時間の推定のため、長崎県西彼杵半島の長崎変成岩からジルコンを分離し、カーソードルミネセンス、反射二次電子線像による観察、U-Pb 年代測定を行った。組織観察より、ジルコンは碎屑性コアと変成リムに明瞭に区別されることが判明した。碎屑性コアの体積とこれを被覆する変成リムの体積を計測し、変成リムの成長動力学的推定を行い、変成リムは流体が十分に存在する状態での界面律速成長で成長したことを明らかにした。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】変成反応、ジルコン、泥質片岩、成長動力学

【研究 題 目】松島湾の泥の物理的変遷解明に基づいた閉鎖性海域の長期環境評価

【研究代表者】長尾 正之（地質情報研究部門）

【研究担当者】長尾 正之、高橋 暁（常勤職員2名）

【研究 内 容】

わが国沿岸では規制により水質改善が進んだが、大都市圏を抱える湾では水質汚濁の指標である化学的酸素要求量（COD）が横ばいであり、その原因が湾奥海底の泥に起因している可能性がある。また、2011年3月11日の東日本太平洋沖地震・津波で壊滅的被害を受けた宮城県松島湾のアマモ場が未だに回復しない原因として、地震・津波発生前から堆積していた泥の関与が示唆されている。そこで、松島湾をモデル海域とし、泥の長期変遷研究を行う。まず、泥の基本性状や関連情報の変遷を、先行研究・調査、提案者が2012年・2014年に行った調査結果、ならびに研究期間中の最新データも加えて、明

らかにする。また、堆積物表層の難分解性有機物・脂肪酸・ベントスの変遷も示す。次に、震災前・津波襲来前・現在の三時点の海底地形・海岸線に基づいた湾内流況再現から、物理環境の差違を評価する。

平成28年度は、震災後5年経過した松島湾において、2012年、2014年の調査と同じ採取地点で、同じ採取時期にあたる2016年9月30日から10月2日にかけて、宮城県松島湾において、海底堆積物の採取を行った。表層堆積物は28地点において採取された。さらに、採取地点の全てで多項目水質計により、水質鉛直分布を測定した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地形、数値モデル、堆積物、再懸濁、環境影響評価、松島湾、津波、アマモ場

【研究 題 目】川砂ジルコンを用いた新手法による過去50億年間の古地磁気強度記録の復元

【研究代表者】佐藤 雅彦（地質情報研究部門）

【研究担当者】佐藤 雅彦、山本 伸次（横浜国立大学）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

本研究では、川砂ジルコンを用いた古地磁気強度測定新手法の確立を目標と設定していた。平成28年度は、神奈川県丹沢山地中川で採取したジルコン試料に対して、電子顕微鏡観察・実体顕微鏡観察を用いた組織観察・包有物観察を行った。その結果、磁鉄鉱、磁硫鉄鉱などの磁性鉱物が直接確認され、磁気測定の結果を裏付けるデータを得ることができた。また、中華人民共和国上海市の長江河口で採取したジルコン試料およびアメリカ合衆国ルイジアナ州のミシシッピ川河口で採取したジルコン試料に対して、前年度までに行った磁気測定データを詳細解析し、その結果から天然のジルコン結晶中には磁鉄鉱、磁硫鉄鉱がしばしば含まれており、古地磁気強度測定に適していると期待される磁鉄鉱を含みかつ自然残留磁化強度/等温残留磁化強度の比が小さい試料が大規模河川の川砂中に一定数含まれていることを示した。研究期間全体を通じた成果としては、磁気測定用ジルコンの採取・準備手法の確立、微小・微弱なジルコン単結晶の各種磁気測定手法（残留磁化測定手法、低温消磁・磁化測定手法、低温磁気測定手法、磁気ヒステリシス測定手法、熱残留磁化着磁・磁化手法）の確立、磁気パラメータの組み合わせによる古地磁気測定試料選別基準の提案、選別基準を満たす試料による予察的古地磁気強度実験の実施があげられる。本研究により、ジルコン単結晶を用いた古地磁気測定研究の基礎構築がなされ、川砂ジルコンを用いた古地磁気強度研究の実現可能背が示された。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】古地磁気強度、ジルコン、岩石磁気

【研究 題 目】樹木年輪に記録された地磁気・地球環境変動の SQUID 顕微鏡による超高分解能

復元

【研究代表者】小田 啓邦（地質情報研究部門）

【研究担当者】小田 啓邦、佐藤 雅彦、片山 礼子
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

年単位・季節単位における高分解能古環境記録の復元は、地球環境システム研究において極めて重要な研究課題である。樹木の年輪は年単位・季節単位で成長するため、樹木試料は高時間分解能の地磁気・地球環境変動復元研究に適している。そこで本研究では、申請者が開発した SQUID（超伝導量子干渉素子）顕微鏡を用いて、樹木試料断面の磁気特性連続プロファイルを測定する事で、過去100年間の環境変動記録を年単位・季節単位の超高時間分解能で復元する。今年度は、樹木年輪の高感度分析のために SQUID 顕微鏡の高感度化に向けて改善作業を行い、サファイアウインドウの窓を大きくすること、サファイアロッド周辺の断熱の最適化を行ったが、SQUID チップと試料の距離は250 μm が最短であった。ノイズカットトランスや電磁シールドを導入してノイズ低減し、さらに参照センサーにより外部擾乱ノイズやドリフトを差し引き感度の向上を図った。また、初期分析のために産業技術総合研究所構内の複数箇所において、伐採が計画されていた樹齢45年前後で、年輪断面の直径30~40 cm 程度の赤松樹木8本について試料採取を行った。樹皮近傍の表層周辺の1試料（厚さ1 mm）について予察的分析を行ったが、自然残留磁化は試料表面のコンタミに起因すると思われる磁気ダイポールが確認された。1.4 T の鉛直方向磁場を印加した飽和等温残留磁化の分析結果は、磁気イメージに年輪と平行な弱い縞模様を確認された。科研費申請前に測定した試料は樹木伐採後の土壌によるコンタミの懸念があったが、今回の測定でコンタミの影響が概ね排除された。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】SQUID 素子、走査型 SQUID 顕微鏡、ノイズ、ドリフト、SN 比、樹木年輪、磁気マッピング、環境岩石磁気、赤松

【研究題目】第三紀泥岩の分類:分光測色による「色層序学」の構築

【研究代表者】辻野 匠（地質情報研究部門）

【研究担当者】辻野 匠（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、従来、主観的に記載されてきた第三紀泥岩の色を客観的に分光測色値やスペクトル特性として定量し、もって、色の層序を構築することである。層準ごとに泥岩の色の違いを客観的に把握し、その違いが如何なる古環境的あるいは統成的差異を反映しているのかを明らかにすることで「色層序学」を樹立することができる。

模式として加茂地域（背弧）と房総半島（前弧）の泥

岩について各層準ごとに代表的な3~4試料を選び、有機炭素・無機炭素・窒素・硫黄、粉末 X 線回折（鉱物分析）、一部は更にポイントカウント法を実施した。

房総半島の泥岩は、CIE 表色系上で、 $b^*=2a^*+4$ の回帰直線に集中する。分光スペクトルを差分処理すると、ほとんどの層準では450 nm 付近にピーク、600 nm 付近にトラフ、780 nm 付近に第2ピークをもつ差分スペクトルを示す。これは針鉄鉱（550 nm にピーク）、赤鉄鉱（580 nm にピーク）とは全く異なる。また、 a^* は窒素及び炭素/硫黄比と、 b^* は硫黄とゆるく相関している一方で、従来言われていたような炭酸カルシウム・有機炭素と L^* との関係は認められない。

加茂地域では後期中新世のハイエタスを境として表色系上の分布が異なり、ハイエタスより下位では更に細分され得る。ハイエタスより上位では Al が多く、ハイエタスの直下（下部寺泊階）では有機炭素が多く、その下の七谷階は炭酸塩が多く、前期中新世の末葉では石英に富み、層準ごとの呈色パターンに対応している。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】第三紀泥岩、分光測色、色層序学、スペクトラム、珪藻

【研究題目】オフィオライト海洋地殻を用いた熱水変質に伴う元素移動モデルの確立

【研究代表者】山岡 香子（地質情報研究部門）

【研究担当者】山岡 香子、山本 綾
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

熱水変質した海洋地殻の化学組成は、海洋及び固体地球の化学進化を理解するために不可欠である。まだ実際の海洋地殻を連続的に掘り抜いた例は無いため、オフィオライトは、海洋地殻層序全体の首尾一貫した情報が得られる現在唯一の研究対象である。本研究課題では、高速拡大海嶺で生成した過去の海洋地殻であるオマーンオフィオライトを用い、海底からモホ面に至る海洋地殻断面の総括的な化学組成プロファイルを完成させる。未変質玄武岩の新規分析データとの比較により、各元素・同位体の挙動を詳細に明らかにし、海洋地殻の熱水変質における物質収支を定量的に見積もることを目的とする。

本年度は、約90個のオマーンオフィオライト海洋地殻試料について、ガラスビードを作成し、蛍光 X 線分析装置（XRF）を用いて、主要元素分析を行った。強熱減量（LOI）についても、分析に着手した。各種同位体の分析については、イオンクロマトグラフィーを用いた化学分離法の確立に向けた予備実験を行い、概ね良好な結果を得た。また、マルチコレクタ型 ICP 質量分析計を用いて、標準試料の繰り返し測定による分析精度の検証を行い、十分な精度での測定が可能であることを確認した。

【領域名】地質調査総合センター

〔キーワード〕 海底熱水系、同位体

〔研究題目〕 過去1,000年間における洪水履歴とそれに応じた微高地の地形発達過程

〔研究代表者〕 佐藤 善輝（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 佐藤 善輝（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究課題では、鬼怒川左岸に分布する微高地（主にクレバススプレーの複合体から構成される）の堆積物の特徴を明らかにし、平成27年9月関東・東北豪雨に伴う鬼怒川の破堤堆積物の特徴を参照することにより、過去約1,000年間における鬼怒川の氾濫履歴やその特性を解明することを目的とする。今年度は、①米軍撮影空中写真の実体視判読と現地踏査に基づく微地形分類図の作成、および②クレバススプレー堆積物を含む浅層堆積物のオールコアボーリング掘削調査を実施した。常総市石下地区周辺の微地形判読結果に基づきボーリング地点を計4地点選定し、各地点で掘削長5 mのボーリングコアを採取した。いずれのコア試料も、シルト・粘土層とそれを覆う層厚1~3 m程度の砂層から構成される。周辺で得られている既存資料との対比から、これらのコア試料はクレバススプレー堆積物を含むと考えられ、上記の研究目的に合致した良質のコアを考えられる。また、平成27年9月関東・東北豪雨により常総市上三坂地区に堆積した破堤堆積物について粒度分析などを実施し、堆積学的特徴を明らかにするとともに堆積プロセスを復元した。研究進捗状況については、地形判読の実施完了地域が当初の計画よりも狭くやや進捗が遅れているものの、概ね当初の計画に沿って実施できている。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 クレバススプレー、微高地、微地形、平成27年9月関東・東北豪雨、破堤堆積物、鬼怒川、沖積層、完新世

〔研究題目〕 信頼性の高い3次元地質情報の Web 共有手法の研究

〔研究代表者〕 野々垣 進（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 野々垣 進（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、地質の研究者・技術者が共同で各自の野外踏査で得た地質情報を電子情報として集約し、それらから得られる地層の分布形態・地質構造を、誰もが理解しやすい3次元地質情報として Web 上で共有する手法を検討する。

本年度は主に(1)地質情報の電子化手法の検討、(2)地質情報の共有サーバーの整備および(3)地質柱状図の Web 共有手法の検討を実施した。地質情報の電子化手法の検討では、地質柱状図について、電子化およびデータベース管理する手法を検討した。地質情報の共有サーバーの整備では、地質情報の管理や3次元地質モデリン

グ、Web 配信を行うためのサーバーコンピューターを整備した。また、検討した電子化手法に基づいて、サーバーコンピューター上に、地質柱状図を対象とする地質情報の管理データベースを構築した。データベースの開発には、Web から無償ダウンロード可能なフリーオープンソースソフトウェアの PostgreSQL を用いた。地質柱状図の Web 共有手法の検討では、Web マッピングライブラリーの Leaflet を用いて、データベース管理した地質柱状図を、Web 上で検索・表示する手法について検討した。また、その結果に基づいて、地質柱状図の検索と、検索結果の3次元表示を Web 上で行うプロトタイプシステムを開発した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地質情報、データベース、Web

〔研究題目〕 重力・地震波の同時観測によるスロースリップ発生域の浅層地下水モニタリング

〔研究代表者〕 名和 一成（地質情報研究部門）

〔研究担当者〕 名和 一成、伊藤 忍、宮川 歩夢、山谷 祐介（福島再生可能エネルギー研究所）、奥田 隆、田村 良明、池田 博（常勤職員4名、他3名）

〔研究内容〕

超伝導重力計連続観測による重力データと地震計連続観測による地震波データを組み合わせ、3次元の地下水分布の変化を推定する手法を提案する。観測データの検証とモデリングに必要な地下構造を得るため、重力と地震波を用いた構造探査も実施する。それによって地下水挙動を高時空間分解能で把握するとともに、地殻活動域の重力観測の高精度化に資することを目的とする。今年度も年間を通して超伝導重力計観測、気象・土壌水分観測、地震計観測を継続した。陸水の増減を面的に捉えるため、超伝導重力計観測を行っている VERA 石垣島観測局より上流（山）側にある防災科学技術研究所石垣広帯域地震観測施設に、これまでの短周期地震計に加えてスプリング式連続観測用重力計 gPhone を設置した。gPhone 重力計のルビジウム発振器を用いた時間周波数遠隔校正実験を行うと共に、取得した重力データから観測点近傍の陸水擾乱を明瞭に検出することができた。その重力応答は1次元の降雨浸透／流出のモデルで説明できる。また、直接水の動きを捉えるために、投げ込み式水圧計を用いて、超伝導重力計観測点を含む名蔵ダムから名蔵湾に至る流域の水位測定を試みた。その結果、名蔵ダムと名蔵湾のセイシュによると考えられる短周期の水位変動や、VERA 局構内の土壌水分計では困難だった不圧地下水水位の数ヶ月スケールの変化を観測することができた。前年度から開始した短周期地震計連続データの解析については、自己相関関数や相互相関関数の時間変化の検出を試み、本研究で実施した反射法地震探査で得られた反射面と考えられるイベントやその周辺の時

間変化を検出できた。しかし、地下構造／物性の変化として解釈するためには超伝導重力計の冷凍機や VERA のパラボラアンテナの振動の寄与分を分離する必要がある。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】超伝導重力計、地震計、土壤水分、地下水、潮位、セイシュ、ダム、台風、反射法地震探査

【研究 題目】高レイノルズ数円管流れにおける摩擦損失係数の定式化と普遍速度分布に関する研究

【研究代表者】古市 紀之（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】古市 紀之（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は、発達した円管流に対して、高レイノルズ数試験設備等において、管摩擦損失係数と LDV を用いた流速分布の同時計測を高精度に行い、それぞれの結果に対して、 10^7 オーダーの高レイノルズ数領域における普遍的な関数形を決定することを目的とする。

平成28年度においては、平成27年度に計測された口径100 mm の配管の LDV による流速分布計測結果と管摩擦係数の結果の整合性について、高度な解析的な検証を行った。対数流速分布においては、カルマン定数および切片定数が、レイノルズ数 3×10^5 を境とし、特性が変わることが明らかになった。流速分布を Musker 式にフィッティングし、これを積分することにより、流速分布と管摩擦係数が1 %以内の差により一致した。この結果は、独立したそれぞれの計測結果が高い整合性を有していることを示している。他の研究グループ、特に Superpipe における研究成果と異なることに対して、非常に高い優位性を示すものである。

さらに口径が387 mm の配管における流速分布計測の実験を進行している。口径100 mm の結果と非常に良い一致を示す結果が得られており、合わせて実験の信頼性を向上できている。この結果は、口径が異なる配管においても、高レイノルズ数域においては同一の流速分布が得られることを示しており、円管内における普遍的な流速分布形が存在することを示唆している。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】高レイノルズ数、管摩擦係数、流速分布、不確かさ、管内流

【研究 題目】質量の単位「キログラム」を基礎物理定数によって定義するための研究開発

【研究代表者】倉本 直樹（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】倉本 直樹、藤田 一慧、水島 茂喜、藤井 賢一（工学計測標準研究部門）、稲場 肇、大久保 章（物理計測標準研究部門）（常勤職員6名）

【研究 内容】

近年、普遍的な基礎物理定数によって、質量の単位「キログラム」を定義することが検討されている。これまでに我々は、シリコン単結晶などの密度からアボガドロ定数を精密に決定し、原子の質量を基準としてキログラムを定義するための研究を進めてきている。アボガドロ定数高精度化には、密度測定に必要なシリコン単結晶球体体積測定の高精度化が支配的な役割を果たす。そこで、本研究ではキログラムの基礎物理定数による定義実現のために、次の研究開発を行う。

1) 質量1 kg のシリコン単結晶球体の直径を、ほぼ原子間距離に等しい0.3 nm の精度で測定する青色半導体レーザー干渉計を開発し、球体体積を $1.0E-8$ の精度で決定する。

2) 28 Si 同位体濃縮結晶を用い、アボガドロ定数を世界最高精度 ($1.4E-8$) で決定する。

この目的のために、本年度は以下の項目を実施した。

- 1) Si 球体直径測定用青色半導体レーザー干渉計開発：430 nm 付近で20 GHz に渡る周波数チューニングが可能なシステムを構築するための光学素子などの仕様を決定し、購入した。これにより、長さの国家標準である「光コム」を基準とした光周波数チューニングシステム構築のめどがたった。また、青色レーザーに対応した特殊コーティングを施した光学部品の仕様を決定し、購入した。これにより、青色半導体レーザー干渉計構築のめどがたった。
- 2) 自然同位体比 Si 単結晶球体による測定精度検証：平成29年度以降に実施する28 Si 単結晶球体の直径測定、質量測定、表面分析に備え、各測定の精度検証を行った。検証のための測定には産業技術総合研究所が所有する質量1 kg の自然同位体比 Si 球体を用いた。すべての測定システムは仕様通り動作することを確認した。これにより、アボガドロ定数高精度測定のめどがたった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】アボガドロ定数、キログラム、基礎物理定数

【研究 題目】パルス超音波デコンボリューション法を用いたワイドレンジ流速分布過渡流量計の開発

【研究代表者】和田 守弘（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】和田 守弘（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は、パルス超音波デコンボリューション法を用いた従来にない超音波流速分布過渡流量計の基礎システムを構築し、産業技術総合研究所の流量検定設備を用いた実流試験にて検証することを目的とし、本年度は、詳細な評価試験を行うために不可欠な、より安定した流量及び水温にて実流試験可能となる中規模流量検定設備を

用いるための計測システム開発に重点を置いた。具体的な内容としては、高精度加工配管・高感度高周波数超音波センサならびに広角高周波数超音波センサを設計試作し、昨年度までに構築したハードウェア・ソフトウェアを統合したシステム開発を行い、パルス超音波送受信基礎試験を実施した。特に複数の超音波センサ小型並列化及び低ノイズ化を行うことで、パルス超音波デコンボリューション法に不可欠な微小信号完全同期受信システム構築に成功し、配管断面の広範囲に渡るパルス超音波送受信が可能であることを確認した。これにより、研究当初では困難と考えられていた詳細な評価試験が可能な中規模流量検定設備での実流試験が実施可能などところまで計測システム開発が到達した点が重要な成果である。また、従来の超音波流速分布計測法も取り入れた過渡流量計測ワイドレンジ化を発想し、超音波の特殊形状パルス適用やトレイン化による新たな流速分布計測手法を開発、流量検定設備を用いた実流試験にてそのワイドレンジ化効果を実証した。これにより、流体中に僅かな微小粒子が流れているケースなどを対象としたパルス超音波デコンボリューション法との相互補完性を拡充できた点も重要な成果と言える。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】超音波、流量、流速分布、過渡変化

【研究 題目】高衝撃・高周波領域における三軸加速度センサの周波数特性に関する研究

【研究代表者】野里 英明（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】野里 英明、穀山 渉（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究の目的は、汎用・小型化が進んでいる MEMS センサを対象にした、高衝撃・高周波領域における三軸加速度センサの周波数特性を評価することである。高衝撃・高周波領域では、微小領域における微小変位を μs 以下で高精度に測定する必要があるために、三台のヘテロダイン式レーザ干渉計を組み合わせた計測システムを構築した。その計測システムでは、三台のレーザ干渉計それぞれが1つの測定点をモニターするため、三軸加速度計の受感面近傍における微小変化を伴う入力加速度を高精度に測定することが可能である。

本年度は低反射材から高反射材まで、さまざまな材質のホプキンソン棒を製作して、目標とする高衝撃を得る見通しがついた。そこで、低反射材においてもレーザ干渉光の十分な光強度を得るため、ステンレス製のホプキンソン棒において、反射テープの有無における測定結果の違いから反射テープの測定に与える影響について評価した。その結果、その影響は1%以下と見積もられた。目標として、1%程度の不確かさで三軸加速度センサの周波数特性を評価するため、本研究を遂行するうえで、問題ないレベルであることが確認された。今後、同装置を用いて、MEMS タイプの三軸加速度センサの周波数

特性を評価していく予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】高衝撃、高周波、三軸加速度センサ、ヘテロダイン式レーザ干渉計

【研究 題目】光周波数コムを利用した屈折式海水塩分センサの開発

【研究代表者】粥川 洋平（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】粥川 洋平（常勤職員1名）

【研究 内容】

海洋観測においてこれまで用いられてきた電気伝導度センサは、換算した絶対塩分の値に誤差を生じる特性があり、測定精度についても海洋研究の要求を満たしていなかった。そこで本研究では、絶対塩分をダイレクトに計測可能な屈折率センサを開発することを目的とし、分光干渉計と光周波数コムを組み合わせた計測技術の開発により、従来センサの20倍の測定精度を実現することを目標とする。

平成28年度は、恒温水槽中で高精度に温度制御した状態において屈折率計測を可能にすべく、新たに光路長50 mmの密閉型円筒セル2つを導入した。ひとつを参照物質である純水で満たし、他方に海水を充填することで屈折率差を測定可能な干渉計を構成した。さらに、平成27年度に用いた市販のレーザ分光干渉変位センサに代わり、発振波長範囲420 nm \sim 2 μm を持つ広帯域光周波数コムを光源として採用し、同波長帯域における干渉スペクトルを光スペアナにより測定した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】絶対塩分、屈折率、光周波数コム、海洋物理、センサ

【研究 題目】高レイノルズ数条件における高精度流量計測のための複測線式多点同時計測LDVの開発

【研究代表者】古市 紀之（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】古市 紀之（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究においては、高精度流量計測およびその校正方法がまったく確立されていない高温大流量条件化および高レイノルズ数条件下における絶対的な高精度流量計測を、多点同時計測レーザードップラー流速計（LDV）をベースとした面的な流速分布計測可能な複測線式多点同時計測 LDV を新規に開発することにより行うことを目的としている。

昨年度製作した多点同時計測 LDV に関して、円管流に適用する実験を行う、各種の問題点の洗い出しを行った。その結果を反映し、高精度計測が可能のように、周波数シフトおよび信号強度に関する検討を行い、両者ともに流速分布計測の高度化に寄与できることが明らかになった。一方で、多点同時計測 LDV システムを用いた

流速分布計測による流量計測については、測定線が1本のために、偏流等があった場合には流量計測に対する誤差になりうる。そのため、面的な計測法を検討した。本研究においては、面的な計測法として、オプティカルファイバーアレイを用いた手法を検討した。シリンダカルレンズにより拡大されたレーザが配管内において面的に交差するものである。その結果、配管内における流速分布を計測することに成功した。本システムをさらに多チャンネル化することにより、面的な計測が可能になるとともに、高精度の流量計測が可能となることが期待される。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】多点 LDV、管内流、流速計測、流速分布

【研究 題 目】電磁力による新たなトルク計測技術に関する研究

【研究代表者】西野 敦洋（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】西野 敦洋（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、一様な静磁場中に置かれたコイルに電流を流すことでトルクが発生する原理に基づいたトルク発生装置を開発し、電磁力によるトルクの計測技術を確認することである。昨年度までに、電磁力によるトルク発生装置を開発し、1 mN・m から50 mN・m までの範囲において、世界で初めて電磁力による方法で国際単位系（SI）にトレーサブルなトルクの実現に成功した。

平成28年度は、①電磁力によるトルク発生装置で実現されるトルクの不確かさの評価、②トルク単位によって電磁力と重力の同一性を検証するための実験装置の開発、③電磁力によるトルク発生装置で実現されるトルクの範囲をさらに微小領域へ拡張するための研究をそれぞれ行った。①では、電圧、電流、角速度、角度位置の各不確かさ要因について試算を行った。その結果、電磁力によるトルク発生装置で実現されるトルクの不確かさを、相対拡張不確かさで 1.6×10^{-3} （包含係数 $k=2$ ）と評価することができた。②では、線膨張係数が 1×10^{-6} 以下の低膨張材を選定し、モーメントアームを設計・製作した。そして、そのモーメントアームを電磁力によるトルク発生装置に組み込み、この装置を電磁力で実現するトルクと、重力で実現するトルクとを直接比較するための実験装置に改良することができた。③では、矩形コイルに、より精密な微小電流を流すために、精密可変電流源として電圧・電流発生及びそれらの測定機能を搭載した高精度・高機能プログラマブル電圧電流源を導入した。その結果、SI にトレーサブルなトルクとしては世界最小となる $0.3 \mu\text{N}\cdot\text{m}$ までの実現に成功した。

【領 域 名】計量標準総合研究センター

【キーワード】トルク、超精密計測、微小トルク、電磁力、ワットバランス

【研究 題 目】AFM による線幅計測の不確かさ低減のための探針形状の絶対評価技術開発

【研究代表者】木津 良祐（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】木津 良祐（常勤職員1名）

【研究 内 容】

近年、先端的な半導体デバイスでは三次元ナノ構造を有するため、その製造にはナノメートル精度の三次元寸法計測が求められ、特に、最も基本的な寸法パラメータであるラインパターンの線幅計測が重要となる。本研究では原子間力顕微鏡（AFM）方式による線幅計測の測定不確かさ低減を目的として、従来課題となっていたAFM 探針形状に起因した不確かさを低減するための探針形状の絶対評価技術を開発する。

平成28年度はAFM 測定中の探針摩耗抑制を目的として、測定の最適化、AFM カンチレバーの励振方法、探針制御について検討し、以下の知見が得られた。矩形ラインパターンを跨ぐように探針走査すると、ライン立ち上がりにおいてZ 方向に急峻な変化が起り、探針と試料の強い接触が原因と考えられる探針摩耗が確認された。特にラインエッジ付近においてはスキヤナのZ 軸制御において発振が起きていたため、PID ゲインと走査速度の調整により発振の低減を行った結果、探針摩耗量が低減できた。また、安定した側壁探針走査に向けて、水平方向の検知能力向上のためにカンチレバーの周波数特性分析を行い、一般的な上下振動（bending）モードに加えてねじれ振動（torsional）モードを導入した。ねじれ振動を補助的に使用することで、側壁走査中のカンチレバー振動振幅信号が安定化し、ラインエッジ付近においても発振が抑制される結果が得られた。

以上の探針摩耗と制御に関する基礎的な知見をふまえ、次年度以降は探針形状の絶対評価のための探針制御の改良と実験を行っていく予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】原子間力顕微鏡、線幅計測、探針形状

【研究 題 目】マイクロレオロジーセンサーで切り拓くインライン粘弾性モニタリングの新展開

【研究代表者】山本 泰之（工学計測標準研究部門）

【研究担当者】山本 泰之、松本 壮平（集積マイクロシステム研究センター）（常勤職員2名）

【研究 内 容】

液体レオロジーは、分子の力学的な変形の特長や、液体分子間の相互作用などに関する情報を得ることができる物性値であり、医薬品、化粧品、食品、高分子などの産業分野で高い頻度で測定されている。また、レオメータと呼ばれるレオロジー性質の測定器は、通常1,000万円以上もする高価な機器であり、低価格化と、小型化が望まれていた。特に小型化によって、インライン、その場測定などが実現できれば、液体を用いる産業の広い分野において大きなインパクトを与えられると考えられる。

そこで本研究では、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いたマイクロレオロジーセンサーの開発を行っている。

2016年度は、マイクロレオロジーセンサーの試作と理論解析を進めた。製作したセンサーチップを用いて、精密な温調下での粘性測定を行った。粘度標準の供給に用いられている高度な温度安定システムが組み込まれた精密循環恒温装置と、標準白金抵抗測温体と温度計測ブリッジの温度測定システムを用いて、一定温度下で粘度を測定した。粘度は温度の影響を大きく受けるため、これまでの、温度制御が不完全な実験系では、センサーの測定値のずれが、温度によるものか、センサーが原因かを区別することができなかった。本年度の実験では、温度を1 mK 以下のばらつきで制御し、温度計の精度も3 mK 程度の高精度なものを用いた結果、粘度の校正値との比較で2%以内の高精度な測定が実現できることを実証した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】粘度、粘性率、センサー、MEMS、マイクロマシン、プロセス粘度計

【研究 題 目】気体定数への新たなアプローチ-6桁の精度で気体密度を測る

【研究代表者】 粥川 洋平 (工学計測標準研究部門)

【研究担当者】 粥川 洋平 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

基礎物理定数のひとつである気体定数は現在、気体の音速測定結果から決定した値が採用されているが、他の独立な方法による測定結果との比較検証は未だに出来ない。一方、工学計測標準研究部門における近年の研究で密度の計測技術は信頼性が格段に向上しており、気体の密度計測から6桁レベルの相対不確かさで気体定数を決定する可能性が見えてきた。本研究では8桁の水準を実現しているシリコン固体密度標準を気体の密度計測に応用し、6桁レベルで気体定数の正確さを検証することを目的とする。平成28年度は、これまでに製作した気体密度測定装置および温度制御用デュワー、平成26年度に導入した気体圧力絶対測定のための重錘型圧力天秤を組み合わせ、相対不確かさ1 ppm レベルを有する気体密度測定システムを構築した。測定温度は、絶対温度の不確かさが最も小さい、水の三重点 (0.01 °C) とした。測定流体については、アルゴンや窒素等、複数の不活性ガスを検討したが、第2ビリアル係数が第一原理から厳密に求められているヘリウムを採用することとした。ヘリウムガスの平均モル質量を測定する環境は整っていないが、自然同位体比のヘリウムに関する同位体組成は十分に小さい不確かさで測定されている。これらの測定条件における気体密度の測定不確かさを評価したところ、現在の気体定数の不確かさと同等の、1 ppm を達成可能であることを明らかにした。一方、圧力の絶対

測定の不確かさは、重錘型圧力天秤に用いられているピストンシリンダの断面積の校正不確かさの制約から、数十 ppm のレベルである。気体定数の決定には、圧力の絶対測定における不確かさの低減が課題となることが明らかとなった。また、ヘリウムのモル質量に関しては、同位体組成の不確かさへの影響は少ないものの、ガスサンプルに含まれる不純物の影響が大きく、これも今後の課題として指摘できる。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】計量標準、超精密計測、熱工学、基礎物理定数、一般気体定数

【研究 題 目】全冷却方式超高安定マイクロ波発振器の開発

【研究代表者】 池上 健 (物理計測標準研究部門)

【研究担当者】 池上 健、渡部 謙一、柳町 真也、高見澤 昭文 (常勤職員4名)

【研究 内 容】

低温サファイア発振器はあらゆる発振器の中で最も短期周波数安定度の優れた発振器であるが、定期的な液体ヘリウムの補充が必要なため一次周波数標準器の運用には使い勝手が悪い。冷凍機を用いることで液体ヘリウムを使用することなく長期に渡る運転が可能となるため、水素メーザーを超える次世代の実用周波数標準器としても期待される。本研究では発振ループ内に入る素子の温度安定化や低雑音化を図り従来の低温サファイア発振器の周波数安定度を 10^{-17} 台にまで改善するとともに、数年にわたって連続的に動作する超高安定なマイクロ波発振器を開発することを目標とする。

今年度は、昨年度までに製作された2台の振動抑制型クライオスタットを用いた電氣的冷却方式低温サファイア発振器の結晶の結合やループ内素子の改良、発振パワーや制御パラメーターの調整を行い、短期周波数安定度の改善を行った。2台の低温サファイア発振器のビート周波数から短期周波数安定度を評価し、 10^{-16} 台まで短期周波数安定度が改善されたことを確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】低温サファイア発振器、振動抑制冷凍機、極低位相雑音、周波数安定度

【研究 題 目】単一 Si ナノ粒子と極低温原子集団の混合システム

【研究代表者】 赤松 大輔 (物理計測標準研究部門)

【研究担当者】 赤松 大輔 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究の目標は、単一 Si ナノ粒子を超高真空中で光トラップし、さらにその周りをレーザー冷却された極低温原子気体で包むことである。このような物理系を実現し、極低温原子とナノ粒子の間の相互作用を探索することが目的である。

プロジェクト初年度である本年度は、ナノ粒子の光トラップを目標に実験を行った。真空装置の設計、ナノ粒子の導入方法、光源の選定、トラップ光集光用レンズの選定を行った。そして、市販の顕微鏡用の対物レンズを用いて、光トラップ用の光を集光し、光の勾配力を利用した SiO₂ ナノ粒子の光トラップに成功した。さらに光トラップからの散乱光と光トラップ光の干渉を利用することで、ナノ粒子の運動をリアルタイムに観察することに成功した。常圧では空気分子との衝突によるブラウン運動が観測された。

さらに、真空用チェンバの排気を行うことで100 Pa程度の低真空領域でも安定に光トラップすることに成功した。真空中では、ナノ粒子が光トラップ中を調和振動する様子を観測することにも成功した。

以上の研究成果は、国内学会で発表済みで、さらに来年の国際会議でも発表する予定である。

来年度は、磁気光学トラップ用のレーザーを開発し、セシウムの磁気光学トラップに関する実験を行う予定である。さらに、市販の顕微鏡レンズでは超高真空に到達することが難しいことが判明したので、大きなNAを持つ単レンズを特別に製作し、超高真空中でのナノ粒子の光トラップに挑戦する予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ナノ粒子、光トラップ、レーザー冷却

【研究 題目】国際単位系改訂に向けた電気素量の絶対測定と高速超精密電流測定への展開

【研究代表者】中村 秀司（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】中村 秀司（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究究の目的は、国際単位系の改訂に向けた電気素量の絶対測定とその応用技術である高速超精密電流計測技術の確立である。本研究では、電気素量の絶対測定のボトルネックとなっている単一電子ポンプの精度を、素子改良と単一電子の高速制御技術（実時間高速電子計数技術、フィードバック制御）によって100倍程度高精度化する。このようにして高精度化した単一電子ポンプと超精密電気測定を組み合わせ電気素量の絶対測定を行い、国際単位系改訂に貢献する。さらにこの単一電子レベルでの高速超精密電流測定を絶縁体、環境、生態計測において重要性の増している aA (10⁻¹⁸ A) ~ nA (10⁻⁹ A) の微小電流計測へと応用する事で、従来の電流測定分解能では測定困難な電流領域での新奇現象探索にむけた舞台を整える、

本年度は、単一電子ポンプ素子と量子ドット電荷計複合デバイスを作製しその基本的な動作を確認した。具体的には半導体二次元電子系上に二重量子ドットを形成し、その輸送特性を評価した。その結果、二重量子ドットに特徴的な伝導パターンを確認し二重量子ドットとして動作することを確認した。さらにこの二重量子ドット近傍

に作製した量子ドットを電荷計として用いることで二重量子ドットの電荷状態を読み出すことに成功した。さらに無冷媒希釈冷凍機中にマイクロ波を用いた電荷状態読み出し回路を実装し、マイクロ波によって単一電子ポンプの動作を実時間で測定する測定系を構築した。今後は二重量子ドットを用いた単一電子転送とその実時間測定を行い、単一電子ポンプのエラー率の評価やフィードバック制御によるエラー低減を行う予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】単電子素子、超伝導、量子ドット、電荷センサー、電流標準

【研究 題目】超高安定セラミック光共振器の開発

【研究代表者】保坂 一元（理計測標準研究部門）

【研究担当者】保坂 一元、稲場 肇、大久保 章
（常勤職員3名）

【研究 内容】

本研究は、これまでにない短期周波数安定度を持つレーザーを開発するにあたり、周波数安定度に限界を与える光共振器の熱雑音を低減させる事を目指す。光共振器のスペーサー材料として、超低熱膨張セラミックに注目し研究を進めた。しかしながら、60 cm以上の共振器長を持つ大型の超低熱膨張セラミック製光共振器スペーサーの作製において、仕様を満たす性能を担保することが技術的に難しい事が分かった。具体的には、厚みのある超低熱膨張セラミックを作製する際に、材料温度を均一に保ったまま焼結する事が極めて難しいために、超低熱膨張材料としての特性が劣化するという問題がある。厚みを薄くしたセラミックを用いる設計においては、大型の光共振器の設計を考えると剛性を保証することは難しく、複雑な構造とその作製に伴う経費を考慮した際に、ガラス製光共振器スペーサーに対する優位性を期待することは困難であることが明らかになった。このことを踏まえ、もう一つの選択肢として考えていた、半導体薄膜を用いた光共振器の作製を推進した。これは、光共振器の熱雑音の最も大きな原因となっている反射膜の機械的Q値を上げるために、従来、高反射膜として用いられてきた誘電体多層膜ではなく、半導体薄膜を用いるものである。ULE ガラスのスペーサー（長さ12 cm 太さ6 cm）の両端に半導体薄膜を溶融石英にオプティカルコンタクトしたミラーを装着した光共振器を用いる事で、この光共振器の熱雑音によって制限される周波数安定度は、 1.2×10^{-16} となり、既存の光共振器による周波数安定度の1/10以下であることが明らかになった。最終年度となる平成28年度はこの光共振器および温度調整のための恒温真空槽を開発した。室温より低い温度においても光共振器の温度調整が可能になるようにペルチェ素子を用いて真空槽を冷却する温度調整システムを製作した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】狭線幅レーザー、光共振器、低熱膨張セ

ラミック、低熱膨張ガラス、熱雑音

【研究題目】 常温常圧でピコワット分解能の MEMS 方式高速大面積光カロリメータの開発と応用

【研究代表者】 雨宮 邦招 (物理計測標準研究部門)

【研究担当者】 雨宮 邦招 (常勤職員1名)

【研究内容】

光の強さに関するあらゆる単位は、放射束 (光パワー) を基本量としている。その標準器である電力置換方式熱型放射計は、SI 単位にトレーサブルな高精度な光パワー計測が可能である。しかし従来の熱電素子方式 (サーモパイル等) では、十分な有感面積 (5 mm φ 程度) にするとノイズレベルが数 nW 程度になり、高い信号対雑音比を得るのが困難であった。この課題を克服できるものとして、バイメタル MEMS センサを開発を進めている。熱型放射計の温度センサにバイメタル MEMS センサを使うことで、高感度低ノイズと大面積を両立した、新しい光パワー標準器の開発を目指した。

バイメタル MEMS センサは、光入射による加熱で微小変位が生じる現象を利用するもので、センサ面積が大きいと、センサ固有のノイズは逆に低減するという特徴がある。今年度は、バイメタル MEMS 温度センサの微小熱変位の検出系として前年度に構築した、ファイバファブリケーター干渉計についてノイズ源の詳細な検討を行った。1 μW 未満の光加熱でもセンサの微小熱変位を十分に検出でき、等価ノイズパワー (NEP) も十分な積分時間を取れば 12 nW 相当程度と、従来型のサーモパイル方式と同等性能こそ達成したものの、理論予測より 2桁程度大きい。ノイズスペクトル解析の結果、1~2 Hz の超低周波域にピークを持つことが判明した。測定系をアクティブ防振台上に設置して環境由来の超低周波振動の除去を試みたが効果は見られなかった一方で、MEMS センサ系周りの防音対策の有無がノイズに与える影響が大きかったため、超低周波音の影響が示唆された。こうした超低周波ノイズを何らかの方法で除去できれば、設計通りの 1 nW 未満の低ノイズ化が期待できる。

本センサは分光分析など、微弱光の精密計測が必要とされる分野をはじめとして、光計測以外にも微小熱量検出が必要なバイオ・化学分野等への応用が可能であると考えられる。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 カロリメータ、熱量センサ、MEMS、バイメタル、放射計

【研究題目】 合金の溶融反応に基づく高温温度履歴モニターの開発

【研究代表者】 笹嶋 尚彦 (物計測標準研究部門)

【研究担当者】 笹嶋 尚彦、山田 善郎 (常勤職員2名)

【研究内容】

イオン注入した SiC パワー半導体の活性化アニールには 1500 °C 以上の高温が必要とされており、その際の温度分布の測定と温度制御が重要とされている。しかし、放射温度計による測定ではウェハ位置や測定窓の問題があり、熱電対による測定では配線や測温接点による温度分布の乱れ等が問題になるため、正確な測定は困難とされている。そこで、熱処理装置内のウェハ面内の温度分布を評価するため、金属-炭素共晶点技術を応用し、試料の表面状態の変化から到達温度の違いを判断する技術の開発を目的とする。

平成 28 年度は、白金蒸着試料の基板となるグラファイト材を変更して、前年度と同様に様々な温度で熱処理を行い、試料表面及び断面の状態を SEM 等を用いて評価した。その結果、白金とグラファイトが共晶点温度よりもかなり低い温度で反応していること、及び焼鈍温度の上昇に伴い、反応の状態が大きく変化していくことを確認した。昨年度実施した断面観察の結果と合わせることで、試料の状態から熱処理温度をある程度定量的に判断できることを実証した。一方、熱処理温度をより定量的に判断するために、新たに分散型分光器を用いた反射率測定による熱処理温度判定方法を試みた。この結果、焼鈍した試料としていない試料の間には明確な違いが見られたが、焼鈍温度の違いによる反射率の差は小さく、定量的な判断が難しいことを実証した。これは、グラファイト基板の表面粗さの影響や表面状態の変化が温度変化に対して極めて小さいことが理由として考えられる。今後、異なる試料等を用いて焼鈍実験を行い、原因の解明を行う。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 高温計測、温度標準、共晶点、温度定点、放射温度計、熱履歴

【研究題目】 ドレスト原子を利用したボース・アインシュタイン凝縮体の相互作用制御

【研究代表者】 衛藤 雄二郎 (物理計測標準研究部門)

【研究担当者】 衛藤 雄二郎 (常勤職員1名)

【研究内容】

原子気体ボース・アインシュタイン凝縮体 (BEC) は、原子間相互作用や捕獲ポテンシャルといった多くの実験パラメータを制御することが可能であり、またその内部の多成分スピン自由度を利用することにより多彩な非平衡量子ダイナミクスを観測することができるユニークな系である。本研究の目的は、ラジオ波やマイクロ波によるスピン制御法を利用して、豊富なスピン自由度を持つルビジウム原子 BEC の新規な制御法や観測法を実現し、量子スピン系における非平衡ダイナミクスに関する新たな知見を得ることである。

当初計画では、2成分の BEC に対してラジオ波によりラビ結合を誘起し、結合強度を変化させることで、2成分間の原子間相互作用を実効的に制御することを目標

としていた。当初計画の実験に関しては、ラビ結合を誘起することで、2成分 BEC の相分離ダイナミクスを抑制することに成功した。さらに本年度は、新規なスピンの制御法に関して当初計画になかった「2成分 BEC の空間パターンの制御」という全く新しい制御法を実現し、量子凝縮系における新規な非平衡空間ダイナミクスの観測に成功した。これは水と油を用いて相分離構造を作り出し、その構造を混ざり合う性質を持つ水とアルコールに瞬間的にマッピングするような操作に対応している。豊富な内部状態を有し、さらにそれが離散化されているという特徴を持つ冷却原子の量子系だからこそ実現できた実験である。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕原子気体ボース・アインシュタイン凝縮・スピン・非平衡ダイナミクス、混和性

〔研究題目〕可搬型光格子時計のための光制御型低速原子線源の開発

〔研究代表者〕安田 正美（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕安田 正美、赤松 大輔（常勤職員2名）

〔研究内容〕

光格子時計実験の出発点である原子線源としては古くから、原子オープンが用いられてきた。これは500℃程度の加熱による金属蒸気生成によるものであり、大電力が必要など、小型・可搬化への障害になっている。この問題を解決するために、光誘起原子脱離（Light Induced Atom Desorption: LIAD）現象に着目し、その詳細を研究してきた。この現象は物体表面に付着した金属に紫外線を照射すると、金属原子が脱離するというものである。この現象を詳細に調べるために、イッテルビウム（Yb）原子を合成石英基板上に堆積し、まず、X線光電子分光を行った。その結果、 $1\text{E}\cdot 7\text{Pa}$ 程度の超高真空環境にあっても、比較的速やかに Yb 原子が酸化されることが分かった。次に、キセノンランプや半導体レーザーからの紫外線を照射し、表面から脱離する Yb 原子の四重極質量分析器による観察を試みた。一方で最近、酸化ストロンチウム（SrO）に紫外レーザー光を照射して起こる還元反応から Sr 原子単体を生成する試みが報告された。これは LIAD とは別個の現象ではあるが、小型・可搬型原子源としての有効性が酸化イッテルビウムにおいても期待される。このような金属酸化物の光還元は、ストロンチウムのみならず、水銀においても実用化されており、その有効性が示されている。酸化 Yb はそれ自体が安定な物質であるので、取り扱いも容易である。酸化ストロンチウムにおける先行研究から、この光還元反応を起こさせるためのレーザー強度には最適値が存在することが知られており、これを実験的に探索することが必要となる。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕可搬型光格子時計、光誘起原子脱離、低速原子線源

〔研究題目〕マイクロプロセス技術を利用した新しい輝度均一標準光源の開発

〔研究代表者〕神門 賢二（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕神門 賢二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

従来まで利用されてきた輝度均一標準光源は輝度レベル範囲、可搬性や安定性という点において問題があり、現在のディスプレイ評価の要求測定精度を満たすことが難しい。このため本研究では、マイクロレンズや高機能光学素子技術等を利用することにより、高安定かつメガコントラスト範囲の輝度制御可能な輝度均一標準光源の開発を目的としている。

本年度は、昨年度実施した光線追跡法による検証結果に基づき、3種類の輝度均一標準光源の試作開発のために、筐体部の設計、低反射率精密アパーチャの試作、および光学部品の選定を行った。試作開発した3つのタイプは、輝度均一な拡散光学部を実現する方法がそれぞれ異なっている。また昨年度実施した光線追跡法による検証結果との比較および光線追跡法の精度向上のために、設計・選別した各部品は、反射スペクトルや電子顕微鏡像などの評価も併せて行った。更に、輝度均一標準光源の輝度値の絶対校正のために、精密アパーチャを有する放射照度光学系および分光放射計から構成される絶対校正装置の開発を行った。本装置にはイメージング輝度計も取付け可能であり、輝度均一標準光源の輝度均一性評価も可能な装置となっている。校正装置・評価装置の準備を終了させたことにより、来年度から輝度均一標準光源の輝度値校正や均一性評価が可能となった。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕輝度、仲介用標準器、光線追跡法、LED、ディスプレイ、マイクロレンズ

〔研究題目〕デュアルコム分光による非平衡混合気体の温度測定技術の開発

〔研究代表者〕清水 祐公子（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕清水 祐公子、大久保 章、大苗 敦、稲場 肇（常勤職員4名）

〔研究内容〕

デュアルコム分光法を用い、気体分子の温度を求める新しい温度測定技術を開発する。分子の振動回転遷移に基づく多数の吸収スペクトル線を同一実験条件で取得し、その吸収強度を一括して理論式でフィッティングすることで温度を求める。

研究計画としては、まずは、デュアルコム分光法で分子の振動回転遷移の吸収スペクトルを取得し、全吸収スペクトル線の吸収強度を一括してフィッティングし温度を求めるシステムを構築する。測定可能な温度範囲を広

げる。広帯域性を利用し、複数の分子種の温度を同時に求める方法を確立する。さらに、過渡的な状態の気体温度を高い時間分解能で連続的に測定できるシステムの構築を目指す。

平成28年度は、室温におけるアセチレン分子の吸収スペクトルを取得し、その約50本の全吸収スペクトル線の吸収強度を、一括して理論式でフィッティングするシステムを構築した。室温において1℃以下の不確かさで温度を決定した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光コム、温度計測、気体温度、分子分光

【研究 題目】Cs 原子を用いた MHz 帯量子磁界センサの研究開発

【研究代表者】石居 正典（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】石居 正典、木下 基（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、原子の構造と基礎物理定数に基づいた量子現象を利用する、次世代型電磁界センサの実現に関する研究を行っている。なお、ここでは特に磁界と原子の相互作用を利用するため、磁界センサについての検討を行っている。

今年度は、これまでの先行研究において、等価的な検討として実施していた被測定磁界に対して変調を加える測定系システムを改良及び応用し、磁界の測定に使用するレーザー光側だけに振幅変調を加えたシステムの構築とその検証実験及び実現の可能性を検証した。またさらに、測定の空間分解能の検討として、ガラスセルに対して、被測定磁界の他にポンプ光となるレーザー光とプローブ光となるレーザー光の2つのレーザー光を照射し、2つのレーザー光の交点の大きさを空間分解能とした測定システムの構築が可能であるかについての実験的な検証も行い、その実現の可能性も確認した。

またさらに、電磁界シミュレータを使用して、ガラス製セルの被測定磁界に対する侵襲性の検証や、今後さらに低侵襲性の磁界センサを研究開発する際に必要となるガラス製セルの形状、大きさ、ガラス厚に関する設計指針を検討した。この際、計算結果に関する妥当性の検証も行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】電磁界測定、磁界センサ、セシウム

【研究 題目】広帯域テラヘルツパルス電力の精密測定技術の開発

【研究代表者】飯田 仁志（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】飯田 仁志、木下 基、黒田 隆之助（常勤職員3名）

【研究 内容】

本研究は広帯域テラヘルツパルスの絶対電力を定めるための高精度センサの開発を目的としている。平成28

年度は広帯域パルスを測定するための要素技術開発と評価実験系の構築を目標に以下の成果を得た。磁気損失材料装荷エポキシを用いた平板型及びピラミッド型構造を有する広帯域吸収体を設計し、試作を行った。テラヘルツ時間領域分光装置やベクトルネットワークアナライザによる評価の結果、従来の吸収体に比べて1 THz 以下の周波数領域において吸収特性の大幅な改善が見られた。当該エポキシ材料の反射率は、平板型では50%程度とやや大きいのが、ピラミッド構造にすることで大幅な改善の見通しが得られた。また、有限要素法を用いて吸収体の熱伝導特性を解析し、均一性等価性などの不確かさ要因を明らかにした。これによって、ミリ波帯からテラヘルツ帯までの広帯域検出が可能なセンサ素子の要素技術を確立した。

広帯域テラヘルツパワーの測定レンジを拡張し正しく測定するためには、基準となる減衰器が不可欠である。そこで、金属薄膜を利用したテラヘルツ減衰器について、カロリメータを用いた直流電力置換法による校正法を開発した。1 THz における評価の結果、テラヘルツ減衰量を高精度に値付け可能であることを示した。

テラヘルツパワーの広帯域定量測定を実現するためには、周波数ごとの測定感度などの性能評価を行うことが重要となる。その実験評価系として、近赤外波長可変レーザーの試作評価を行った。光スペクトラムアナライザによる評価の結果、安定性に若干課題が残るものの、フォトミキサを駆動可能な波長掃引特性と出力パワーが得られることが分かった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】テラヘルツ、高精度センサ、パワー計測

【研究 題目】新しい電力計測技術の開発

【研究代表者】藤木 弘之（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】藤木 弘之（常勤職員1名）

【研究 内容】

交流電力の国家標準は、電圧標準、電流標準、位相標準の個別の国家標準を組み合わせ実現されている。本研究は、サーマルコンバータを用いて、物理現象の原理に基づいた交流電力の計測技術を提案し、組み立て量による標準ではなく、電力標準器による新しい電力測定技術を開発すること目的としている。現在の方法では、各標準により校正されたデジタルの交流電圧計や位相計を用いているが、デジタル機器が基準となるため、温度などの外乱の影響や経年変化により、高精度化に限界がある。また、100 V、5 A、50 Hz の決まった値の電力の校正は可能であるが、20 V、3A、600 Hz のような中途半端な電力の基準を実現するのは困難である。

これまで、サーマルコンバータと呼ばれる熱-電気変換素子は、交流電圧標準と交流電流標準の基準として用いられてきたが、従来のサーマルコンバータは印加できる電圧範囲に限られるため、サーマルコンバータを用いた

電力標準への応用研究は実績が乏しかった。本研究では、ヒータ薄膜を、熱電対とは別の熱伝導率の高い窒化アルミ基板に作製することにより、耐電圧を改善し、電力標準で用いることができるように改善した。低周波範囲の交流電圧測定の不確かさ改善も行い、ヒータ抵抗の温度係数を10 ppm以下に改善し、熱リップルの影響を小さくできる熱的時定数のサーマルコンバータを開発して、10 V、50 Hzの交流電圧の交直差の不確かさは従来の12 ppmから4 ppmに改善した。また、サーマルコンバータを電力基準器として用いる新しい電力標準を評価するため、現在の電力計測システムと比較評価するシステムの準備を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】電力、電力計測、サーマルコンバータ、交流電圧標準

【研究 題 目】半導体イメージセンサの熱雑音を用いた赤外線レーザービームプロファイラの開発

【研究代表者】沼田 孝之（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】沼田 孝之（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、半導体イメージセンサの各画素で生じる熱ノイズを信号源として赤外線領域のレーザービームの断面強度分布を検出することを目的としている。昨年度までに、Si製イメージセンサの表面に遮光性の光熱変換材料を配置し、赤外線ビームを照射してセンサを加熱することで熱雑音信号の増減を検出することに成功している。光熱変換材料を薄膜状とすることで検出特性の向上が期待されるが、本研究では可視～近赤外光がわずかでも透過しイメージセンサに漏れ入ることによって背景ノイズの原因となる。そこで本年度は、ノイズ特性評価を目的とし、Siイメージセンサにおいて可視～近赤外線の光電変換によって生じる信号分布の評価を行った。積分球を用いて様々な波長の均一放射照度場を作成し、そこにイメージセンサを設置して、ノイズの分布を評価した。その結果、可視～0.8 μm帯ではセンサ面内でほぼ均一にノイズが生じる一方で、波長1 μm周辺では分布が不均一となり、露光時間にも依存することがわかった。これについて、電荷漏えい現象との相関から考察を行い、論文投稿を行った。これによってイメージセンサにおける可視光由来のノイズの空間分布特性を把握することができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】赤外線、レーザー、ビームプロファイル熱雑音、CCD

【研究 題 目】可視から中赤外領域にスペクトルを持つ狭線幅光周波数コムの開発

【研究代表者】大久保 章（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】大久保 章（常勤職員1名）

【研究 内 容】

デュアルコム分光によるガス分析の高感度化、異なる波長域の光周波数標準の同時比較のために、高速制御型光周波数コムと非線形光学結晶による波長変換を用いて、可視～中赤外領域にスペクトルを持つ狭線幅光周波数コムを開発する。そのために偏波保持・高速制御型コムを新たに開発し、これを導波路型周期分極反転 LiNbO₃結晶に直接入射するシンプルな方法で可視・中赤外コムを発生させる。

研究計画としては、まず波長変換を効率良く行うための偏波保持出力の Er ファイバーコムオシレータを開発する。続いて、コムオシレータの出力を広帯域化してオフセット周波数を検出・制御し、同時に狭線幅レーザーに位相同期してコムを狭線幅化する。そして、広帯域化したコムを導波路型周期分極反転 LiNbO₃結晶で波長変換し、可視および中赤外領域のコムを同時に発生させる。

平成28年度は、偏波保持出力型の光ファイバーアンプの製作し、最適なパルス増幅ができるように偏波保持型のシングルモードファイバーとエルビウム添加ファイバーの長さで分散を調整した。高非線形ファイバーによる広帯域化に適したパルスエネルギーはまだ得られておらず、引き続き調整が必要である。一方で、偏波保持型ではない光周波数コムと PPLN 導波路を用いて可視から中赤外のスペクトル発生を達成しており、これを偏波保持化することで高効率かつ安定なスペクトル発生を実現できる見通しは立った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光コム、広帯域光源、波長変換

【研究 題 目】単一分子電気化学の創出を目指したカーボンナノチューブ化学電極の高速電気測定

【研究代表者】岡崎 雄馬（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】岡崎 雄馬（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、微小電流標準およびその周辺技術を利用して高感度な電気化学計測を行うことを目標としている。特に、化学的に安定で、微細加工とも組み合わせられるカーボンナノチューブを化学電極として用いることで単一分子分解能での電気化学反応の検出を目指している。それにより電極触媒反応のメカニズム解明や病気の早期検出などといった化学産業、医療分野への応用が期待される。

本研究の計画として、まずカーボンナノチューブを電極として利用する化学電極を作成することを行い、次に電流標準などで利用されるマイクロ波の反射測定を利用した高速な電気測定装置開発を行って、それらを組み合わせ高速に電気化学反応をモニタリングすることを計画している。

平成28年度は、ナノチューブの成長実験を継続する一方で、単一電子精度の電気化学反応検出に用いる RF

反射測定による電気抵抗の高速読み出しの測定系を構築する実験を行った。具体的には、トランジスタを用いた疑似的な可変抵抗素子に RF を入射し反射波をホモダイン検波して抵抗変化を実時間に高速に測定するというものである。また、化学インピーダンス測定などで重要となる微小交流電流の計測技術として、超伝導デバイスを用いた低雑音電流アンプの開発や単一電子制御による極めて正確な交流電流の生成技術の確立など測定技術の面で大きな進展があった。この単一電子制御に基づく微小交流電流の任意波形発生は、電気化学インピーダンスの測定に応用できると期待されるだけでなく、世界に先駆けて単一電子交流電流標準の基礎を提案・実証したものであるからこれをさらに発展させこの分野で世界を牽引できるようになりたいと考えている。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】カーボンナノチューブ、電気化学、微小電流計測、微小交流電流計測

【研究題目】長距離光ファイバ伝送路安定化による高精度キャリア分配システムの開発

【研究代表者】和田 雅人（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】和田 雅人（常勤職員1名）

【研究内容】

光ファイバを用いた周波数伝送技術は、近年18桁の精度を叩き出した光時計の比較に用いることができると期待されている。中でも特に精度の高い光キャリア伝送では、これまで複数の信号をやりとりする手法が確立されていなかった。そこで本研究では、光ファイバ伝送路を利用した双方向多地点精密キャリア分配システムの開発を目指す。

当初、波長1.55 μm の伝送用光源として狭線幅光コムに位相同期された半導体レーザーを使用する予定で開発を進めていたが、実験室の電源ノイズにより所望の性能に到達しないことがわかった。そのため計画を変更し、低熱膨張光共振器に直接ロックされた1.55 μm 半導体レーザーを利用することにした。本光源のシステムを構築したが、出力部分の光ファイバが環境変動により強度雑音を受けやすいことが判明し、その改善に取り組んだ。出力部分をよりシンプルな構成とすることで強度雑音の低減に成功した。その後、光源の周波数雑音及び強度雑音のより詳細な評価に着手した。

前年度の研究により伝送局や中途局等を構成するための光ビート干渉計の出力信号に周囲の環境変動の影響が現れることがわかった。より高い精度での伝送及び信号評価を行うため、干渉計の温度制御システムや防振機構を開発した。温度制御は室温において ± 1 mK レベルで実現可能であることを確認した。温度制御の性能は、10 m の光ファイバ中を伝播するレーザー光の位相変動から見積もった。また、新たに導入したパッシブ除振台で数 Hz から100 Hz までの振動ノイズを除去できるこ

とを確認した。安定化された長距離光ファイバ伝送路においては中途局等の雑音が顕在化する可能性があるため、より精密なシステムの検討を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光周波数比較技術、光ファイバ、光周波数コム、狭線幅レーザー

【研究題目】新規絶対熱電能計測技術の構築

【研究代表者】天谷 康孝（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】天谷 康孝（常勤職員1名）

【研究内容】

熱電材料の熱を電気に変換する能力の指標はゼーベック係数と呼ばれ、熱電材料の評価では試料単体のゼーベック係数（絶対ゼーベック係数）を正確に求める必要がある。しかしながら、これまで、簡便な評価が可能なことから、白金に対する相対値として計測されてきた。そこで、我々は、交流信号を用いたゼーベック係数の絶対測定手法を新たに考案した。この手法は、従来法と異なり、熱伝導率、熱損失など正確な評価が困難な熱物性データが不要で、電気抵抗測定から絶対ゼーベック係数を導出可能である。本研究課題では、精密な計測装置を構築し、新規測定手法の原理実証実験を行った。研究計画に従い、製作した断熱制御方式のクライオスタットを用いて、超伝導体を用いた絶対ゼーベック係数の測定を実施した。従来の金属系超伝導材料に代り、工業用材料としては最高の超伝導転移温度を示す、ビスマス系超伝導酸化物を用いることで、初めて100 K 以上での絶対ゼーベック係数の評価に成功した。これにより、液体窒素温度以上で絶対ゼーベック係数の正確な評価が可能となった。以上の技術を統合し、白金の絶対ゼーベック係数を評価した。その結果、白金のトムソン熱の計測に成功し、熱伝導率や熱損失値無くとも、絶対ゼーベック係数の導出に成功した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】未利用熱、熱電変換発電、熱電効果、物性計測、材料評価

【研究題目】量子効果に基づく世界最高水準の高抵抗精密測定技術の開発

【研究代表者】大江 武彦（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】大江 武彦、Gorwadkar Sucheta、板谷 太郎、金子 晋久（常勤職員3名、他1名）

【研究内容】

現在の直流抵抗の基準は量子ホール効果を用いて実現されており、量子ホール素子を直並列に組み合わせることで集積化した、量子ホールアレー素子は任意の量子化抵抗値を実現可能である。本研究は、高抵抗の量子化抵抗値を示す量子ホールアレー素子の作製・評価、及びそれによる高抵抗測定精度の向上である。

平成28年度は、主に1 M Ω 量子ホールアレー素子の開発を行った。ホール素子を88個直並列に組み合わせた素子を作製し、1 M Ω や500 k Ω の量子化抵抗値が得られることを確認した。量子ホールアレー素子においては、内部に集積化されたすべてのホール素子が2次元電子系への良質なオーミックコンタクトを形成する必要がある。極低温・強磁場下でのコンタクト抵抗の歩留まりを確認するため、集積化された素子と同じ寸法の量子ホール素子を作製し、25素子のコンタクト抵抗を測定した。その結果、100%の歩留まりで良質なコンタクトが形成されていることを確認し、作製した量子ホールアレー素子の信頼性の高さを裏付けた。他にも、素子内部の配線抵抗や絶縁抵抗や量子崩壊電流特性が量子化抵抗値に影響しないことを実測により確認した。作製した1 M Ω 量子ホールアレー素子の量子化抵抗値は0.01 ppmの桁で信頼できるものと考えられる。

また、1 M Ω 量子ホールアレー素子を用いて、従来の測定系の信頼性の確認を行った。量子ホールアレー素子から直接測定した1 M Ω の値と、1 Ω 抵抗器群を基準として室温のブリッジ等を用いて測定した1 M Ω の値とが7桁で整合することを確認した。今後より高抵抗のアレー素子の開発の可能性について検討を行う。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】量子ホール効果、高抵抗精密測定、2次元電子系、量子ホールアレー素子

【研究 題目】レーザー誘起格子を用いた高温燃焼ガス温度測定法の開発

【研究代表者】山口 祐（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】山口 祐（常勤職員1名）

【研究 内容】

自動車エンジンやガスタービン、製鉄高炉における微粉炭吹き込みなど、燃焼機関における燃焼・反応効率の向上や熱/流れ場のシミュレーションには高温燃焼ガスの温度の情報は不可欠であるが、従来手法の測定精度は数%程度にとどまっている。本研究では、レーザー誘起格子分光（LIGS）法を用い、1000 $^{\circ}$ C超の高温域での燃焼過程の高速かつ高精度な温度測定法を開発することを目的とする。

そのために、H₂O分子、OHラジカルを測定対象とし、パルスレーザーと減衰周期測定に基づく高速LIGS測定システムを開発する。励起波長、誘起格子の安定性、周期・緩和時間の短さなどの課題を解決するため、誘起格子生成条件の特定、誘起格子を安定化する光学系の設計・構築、高速検出系における周期/緩和時間解析といった要素技術を確立した後、別途熱電対や二色放射温度計等を用いた他手法との比較による温度値・精度の検証を行う。

初年度である平成28年度では、イソプロパン-プロパン燃焼ガス中のH₂O分子・OHラジカルの吸収帯の調

査および波長と光学幾何配置による格子生成条件の検証を実施した。さらに、当該波長に適合したパルスレーザーによるLIGS測定系の設計およびレーザー格子集光光学系のパルスエネルギーに関する基礎測定を行った。具体的には、波長可変パルスレーザーを用い、700-900 nmの範囲でレーザーを交差させる光学系を構築し、794 nm、810 nm付近の吸収帯で格子生成条件の検討を行った。その結果、交差点からプローブレーザー（670 nm）の回折が発生することを確認した。今後は、ポンプ・プローブ光の共焦光学配置の最適化、回折光減衰関数の周期条件の同定、燃焼ガスの気体混合比の調整などにより、高温反応ガス中での安定したLIGS測定の実現を進める予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】レーザー誘起格子、燃焼、温度計測研究

【研究 題目】テラヘルツセンサの線形性自己校正技術の開発

【研究代表者】木下 基（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】木下 基（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は、重ね合わせ法を用いたテラヘルツ波帯におけるセンサの線形性自己校正技術の開発を目指す。センサの線形性は、測定パワーレベルの拡張や、吸収・反射・透過スペクトル測定の基となる信号強度比の精度決定するため、テラヘルツ波の応用技術を支える重要な役割を担う量である。重ね合わせ法とは、あるセンサに同一強度の信号を2つ入射したときの応答が、それぞれの信号を個別に入射したときの応答の2倍となるかを検証するものである。

今年度、重ね合わせ法を実現するために、テラヘルツ波を二分し、それぞれの強度を調整した上で、再び結合する機構を有する線形性自己校正システムを構築した。本システムにおいては、1対のワイヤグリッド偏光子が分岐・結合および強度調整の両役を担うという独自の機構を取り入れている。ワイヤグリッドは互いに直交する偏波成分を反射波および透過波に分けるので、二分した信号同士が干渉することによる不具合を避けることもできる。当初、光伝導アンテナによるパルス信号を用いていたが、信号強度やパルス波形に課題があることが判明した。そこで、より高精度化が期待できる単一周波数信号源を用いたシステムに改良した。この結果、汎用のパワーメータや焦電式センサなどの複数のテラヘルツ波センサに対して、線形性評価の指標である非線形性の評価を実現することができた。本成果は、テラヘルツ波領域において初となる重ね合わせ法を利用したセンサの線形性自己校正の実例である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】テラヘルツ波、センサ、線形性、応答直線性、重ね合わせ法、重畳法、自己校正

〔研究題目〕基礎物理乗数に基づく先端エネルギーデバイス評価体系構築に向けた計測基準の開発

〔研究代表者〕堂前 篤志（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕堂前 篤志、（常勤職員1名）

〔研究内容〕

2018年以降、SI 単位系は基礎物理定数を基にした新体系（新 SI 単位系）へ移行する見込みである。新 SI 単位系に基づく先端エネルギーデバイス（リチウムイオン電池、燃料電池など）の評価体系の構築を最終目的に、本課題ではその評価体系のキーデバイスとなる参照インピーダンス標準器を開発し、その性能を ISO ガイドに従い評価する。化学計測では標準物質を使って SI 単位系に基づいた評価を行うが、多様な化学物質から構成される先端エネルギーデバイスを標準物質で評価するのは極めて困難である。本課題の評価体系では、基礎物理定数を基に参照インピーダンス標準器を評価し、参照インピーダンス標準器で先端エネルギーデバイス評価に使われる電気化学測定器を校正する。一連の流れで、新 SI 単位系に基づく先端エネルギーデバイス評価を可能にする。

今年度は「参照インピーダンス標準器の設計・製作」と「開発品評価の準備」の2本立てで研究開発を進めた。

「参照インピーダンス標準器の設計・製作」では、まず標準器の適切なサイズを、製作部材の入手容易性やコストも加味して検討した。次に検討した結果を基に製作に必要な部材の調達を行った。そして製作に着手した。

「開発品評価の準備」では、参照インピーダンス標準器の評価で使用する治具や配線機器の準備を進めた。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕SI 単位系、インピーダンス、標準器

〔研究題目〕移動体への高効率ワイヤレス電力伝送のための新規高周波電力計測手法の開発

〔研究代表者〕昆 盛太郎（物理計測標準研究部門）

〔研究担当者〕昆 盛太郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、災害用ロボットや惑星探査機などの移動体へ高効率にワイヤレスで電力を伝送するために必要となる、時間的に変動する高周波電力の計測手法を開発することを目的としている。特に通常のベクトルネットワークアナライザでは計測困難な瞬間的に変化する電力を計測する手法の実現を目指している。平成28年度においては、まず、時間的に急激に変動する高周波電力を計測するための計測原理について基礎検討を行った。具体的には、発振器を複数台使用した計測手法について理論的検討を行い、送電アンテナから受電側への距離と受電側の移動速度を検出するための手法について検討した。この原理を検証する過程で、発振器を複数台使用せずとも、信号に適切な処理を加えることで、同様の計測が実

現できる可能性を見出し、新たにこの信号処理方法についても原理検証を開始した。また、計測原理を実際の測定で実証するために、評価用装置の試作に着手した。ここで、評価用装置を校正する電力測定用の一部機器については、評価を行った。また、計測装置の試作については、送電アンテナと受電デバイスについて検討を行い、動作検証実験を開始した。今後はインピーダンス整合に関する検討を行い、さらに検証実験を進める予定である。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕無線電力伝送、移動体、評価、計測

〔研究題目〕デュアルキャビティリングダウン分光法を用いたガス中微量水分計測法の開発

〔研究代表者〕阿部 恒（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕阿部 恒、橋口 幸治、天野 みなみ（常勤職員3名）

〔研究内容〕

水蒸気は大気中に大量に存在し、一度装置等の内部へ入り込むとその高い吸着性によって除去することが非常に困難なため、高純度ガスや高真空を必要とする科学実験・製造プロセスでは、不純物としてよく問題にされる物質である。近年、特にハイテク分野を中心として、微量レベルでの水分管理の重要性が増している。しかし、管理を行うために必要となる微量水分計の性能には、感度・応答性の観点から問題があることが明らかになってきた。そこで本研究では、2波長のキャビティリングダウン分光法を使った高感度で高精度な微量水分計を開発し、国際単位系（SI）へのトレービリティが確保された実験に基づいてその性能評価を行うことで、サブ ppb レベルでも測定可能な信頼性の高いガス中微量水分計測法を確立することを目的としている。

28年度は測定プログラムの改良を行い、長時間の自動測定が可能となった。水分濃度を急激に変化させた実験を行い、応答性・感度の評価を行った。その結果、10 ppb レベルでの素早い水分濃度変化も十分捉えることが可能であることが分かった。また、吸収スペクトルの解析から水分濃度を決定した。標準値と比較したところ、不確かさの範囲で一致することが確認できた。

〔領域名〕計量標準総合センター

〔キーワード〕高感度、吸収分光法、湿度計測、高純度ガス

〔研究題目〕極限環境の熱伝導率計測技術による地球コア内部の熱移動の解明

〔研究代表者〕八木 貴志（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕八木 貴志（常勤職員1名）

〔研究内容〕

産総研が開発したレーザ光を温度プローブとする最先端の薄膜用熱伝導率測定技術を活用することで、ダイヤモンドアンビルセル（DAC）によって発生した地球中

心部に相当する極限環境（圧力360 GPa、温度5000 K）における金属の熱伝導率を測定し、最終的に地球コア内部の熱移動の解明に挑む。今年度は、3000 K 超の DAC 内部の加熱に対応するために、波長1064 nm、直線偏光の20 W 出力レーザーを導入し、パルス光加熱サーモリフレクタンス法熱伝導測定装置へ組み込みを行った。Fe について、約1500 K、200 GPa までの熱伝導率の圧力-温度依存性を得た。新たにフェムト秒パルスレーザーによる超高压用弾性波測定装置を構築し、これまでの電気伝導率と熱伝導率に加えて、対象物質の音速や剛性率に関する評価を可能とした。本装置により、Fe および Fe-Ni 系合金について超高压音速測定を実施し、Ni 濃度による音速低下傾向の依存性を明らかにした。これら以外に、熱伝導測定装置を用いて、各種マントル層物質の評価を進め、地球深部における熱物性データの集約を進めた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】熱拡散率、計測技術、高压、高温、鉄系合金

【研究 題 目】水分子によって構成されるかご型ナノ空隙を有する物質の構造相転移

【研究代表者】竹谷 敏（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】竹谷 敏、藤久 裕司（常勤職員2名）

【研究 内 容】

包接化合物の構造と物性の相関を調べるうえで包接分子（ゲスト分子）の占有率の解析は重要であるが、従来の分光学的手法では、その精密評価は困難であった。新たなホスト-ゲスト化合物の設計へとつなげることを目指し、本研究では、位相差 X 線イメージング法を用いた密度解析によりこの問題を克服し、粉末 X 線回折によるゲスト分子の平均分布位置の解析と組み合わせ、骨格構造とゲスト分子の分子間相互作用の解析手法として確立させることを目指している。この方法論に基づき、かご型包接化合物であるガスハイドレートの、ゲスト分子種と温度の影響による骨格構造（ケージ）の変化とそれに伴う結晶構造相転移の関係を明らかにし、ガスハイドレートの物性への影響の理解と物性コントロールを目的としている。

今年度は、これまでに得られた解析結果をもとに、ハイドロフルオロカーボンやプロパノールといったゲスト分子が水分子で構成されたケージ内でどのように分布するか、その際にケージ構造がどのように変化するか、といった観点から、ゲスト分子の種類との相関を明らかにした。その結果、ゲスト分子の種類を変えることにより、ケージの大きさを制御し得ることが明らかになった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X 線構造解析、包接化合物、ガス貯蔵

【研究 題 目】高い時間分解能を持つ PM2.5中の無機

元素分析技術の開発

【研究代表者】朱 彦北（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】朱 彦北（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は大気中の微小粒子状物質（PM2.5）の多元素同時測定において、高い分析感度を有する分析技術を確立し、短時間の試料採取（従来24時間、目標1時間）で分析が実現できる高い時間分解能（従来経日変化、目標経時変化）を持つ分析法の開発とその JIS 化を目指している。また、高い分析感度（大気中の金属検出能力：従来約50 ng/m³、目標1 ng/m³以下）を有する分析技術の新規開発とその有効性検証を目的としている。本技術では、従来法の一環である酸分解を必要せず、無機元素をオンライン溶出し分析することによって、分析時間を短縮し（従来4時間以上、目標10分以内）、高い時間分解能を確保することを目指している。

今年度は平成26年度から3年間行ってきた同研究の最終年度である。開発目標である「高い時間分解能を持つ PM2.5中の無機元素分析技術」に基づいた試料捕集・分析システムの構築を試み、その実用化を検討した。

本研究期間を通して以下の成果が得られた。①チューブ状フィルター設計の最適化を行い、PM2.5の捕集効率（95%以上）を確認した。②オンライン溶出/ICP-MS法の溶出条件の最適化によって、PM2.5試料中の無機元素の定量的溶出条件を確立した。③検量線の作成法について検討し、オンライン溶出/ICP-MSによる定量法を確立した。④エレクトロスプレー方式微粒子発生装置を用いて微粒子物質を発生させ、チューブ状繊維フィルターを用いて捕集・分析を行った結果、微粒子物質の捕集効率は99%以上であることを確認できた。⑤微粒子物質の元素成分の濃度は捕集時間と正の相関性があり、本法は PM2.5中の元素の捕集・分析に有効であることが確認された。⑥従来技術であるインピンジャー式捕集デバイスとの比較実験を行った結果、本法の妥当性を確認できた。⑦本法を用いて、同一場所同一時間で採集した試料を分析した場合、従来法より多くの元素（例、従来法1元素、本法13元素）を高い感度で分析できた。

現在、本研究で開発し、構築した試料採取・分析システムを用いて、PM2.5中の元素濃度の経時変化の解明に取り組んでいる。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】PM2.5、多元素同時測定、高い分析感度、オンライン溶出

【研究 題 目】強太陽光環境下での塩素化ナフタレンの光分解挙動の実態把握

【研究代表者】羽成 修康（物質計測標準研究部門）

【研究担当者】羽成 修康、山下 信義（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究課題の目的は、PCB と同様に難分解性・高蓄

積性を有し、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約 (POPs 条約) の対象物質である塩素化ナフタレン (PCN) の強太陽光環境下での光分解挙動を解明するために、実環境での太陽光照射試験及びウェザーメーターでの耐候試験を並行して行い、試験前後の PCN を二次元ガスクロマトグラフ質量分析計により異性体別分析し、分解経路等の実態を把握することである。この課題解決により、POPs 条約での議論に必須の物性やリスクプロファイルの知見を得ることだけでなく、POPs の環境中での挙動に関して再評価の必要性が高まると考えられるため、汚染源推定やリスク評価の高度化に繋がる事が期待される。

当該年度の結果として、中国雲南省での太陽光照射試験で用いた試料容器材質の差異 (Pyrex 製および石英製) に対して、PCN 量や異性体組成の違いが生じなかったことが挙げられる。また、PCN との比較対照として POPs 条約の対象物質である DDT や HCH も太陽光照射試験を実施中であり、今後、これらの結果を詳細解析し、PCN の分解挙動だけでなく、対照物質との差異を明らかにする予定である。以上の成果は、PCN を含めた POPs 条約の対象物質に関するリスクプロファイルの高度化に繋がる成果になると考えられる。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】有害化学物質、塩素化ナフタレン、光照射試験、分解挙動

【研究 題 目】食品試料中の²¹⁰Pb/²¹⁰Po 高精度分析法の開発と標準化

【研究代表者】三浦 勉 (物質計測標準研究部門)

【研究担当者】三浦 勉 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

食品試料、特に魚類、貝類等の海産物中の²¹⁰Pb、²¹⁰Po 高精度分析法を開発し、測定の信頼性の向上につながる分析法の国内標準化をめざす。本研究では既存の²¹⁰Pb、²¹⁰Po 分析法を比較検証するとともにブラインドサンプルを用いた共同実験により、試験所間差、測定のばらつきの要因を明らかにするとともに、被ばく線量上寄与が高い²¹⁰Pb、²¹⁰Po 測定の国内同等性を評価し、測定の信頼性を向上させることが目的である。28年度は Po の化学分離法の各段階での回収率を確認する実験を行うとともに、共同実験用試料の調製、液体シンチレーションカウンターによる Po 測定の金属鉛試料への応用を行った。

Po 分析法では分解 (硝酸)、分離 (抽出クロマトグラフィ)、電着 (測定試料作製) の3つのステップがある。採取後、5年以上経過し、²¹⁰Po が減衰した海水魚凍結乾燥粉末をマトリックスとし、27年度に調製した Po 溶液を分解、分離、電着の各ステップで既知量添加した。最終的に測定された Po 量は添加ステップ間で有意な差がなく、現在用いられている Po 分析法の信頼性

が高いことが確認できた。

27年度に実施した共同実験用試料の探索の結果、10 Bq/kg 以上の²¹⁰Po 濃度を示すことが確認できた乾燥かつお粉末、乾燥いりこ粉末をそれぞれ5 kg 程度調達した。各粉末試料を、V 型混合器を用いて均質化を行った後、約50 g ずつポリカーボネート瓶に小分けした。⁶⁰Co γ線を照射して滅菌し、共同実験用試料を作成した。

液体シンチレーションカウンター (LSC) による Po 測定の検討では、金属鉛試料を溶解、抽出クロマトグラフィで Po を分離した後、LSC で測定した結果、²¹⁰Po 測定が可能であることを実証した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ポロニウム-210、鉛-210、食品

【研究 題 目】固体 NMR によるプロトン伝導性無機固体酸塩における相転移のメカニズム

【研究代表者】林 繁信 (物質計測標準研究部門)

【研究担当者】林 繁信 (他2名)

【研究 内 容】

AO₄型四面体イオンの水素結合ネットワークを持つ無機固体酸塩では液体に匹敵する高いプロトン伝導を示す超プロトン伝導相が出現する。一方、(SO₄)²⁻および(PO₄)³⁻イオンの混合した系では、高温で実現した超プロトン伝導相が温度を下げても室温相にもどらず、室温でも高いプロトン伝導を維持する。本研究では、プロトン伝導性を支配する相転移挙動の制御を目指して、AO₄型四面体イオンの水素結合ネットワークを持つ無機固体酸塩における、相転移のメカニズムを微視的に明らかにすることを目的とする。無機固体酸塩としてCs₂(HSO₄)(H₂PO₄)を中心に取り上げ、手法として固体 NMR を用いた。

平成28年度は、平成27年度に行った¹H、³¹P の一次元固体高分解能 NMR スペクトルの測定を¹H-³¹P の二重共鳴測定に拡張し、¹H-³¹P 核スピン間の相互作用を観測した。核スピン間の相互作用としては、「双極子相互作用」を用いた。双極子相互作用は核スピン間の距離を反映している。Cs₂(HSO₄)(H₂PO₄)では PO₄と SO₄四面体が1:1で存在し、その配置はランダムであると考えられている。平均的には AO₄四面体1個あたり3個の水素結合をしていることになる。固体高分解能³¹P NMR の手法を用いて³¹P-¹H 間の双極子相互作用の大きさを測定し、Cs₂(HSO₄)(H₂PO₄)の室温相における PO₄四面体まわりの水素結合状態を推定した。

並行して、NMR 測定時間の短縮を図るために、セシウムイオンの一部をアンモニウムイオンに交換して¹H のスピン格子緩和時間の短縮を試みた。その結果、仕込み値で5 %までアンモニウムイオンに置換した試料を作成することができ、¹H 緩和時間の短縮を図ることができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

〔キーワード〕 固体 NMR、プロトン伝導、無機固体酸塩、相転移、水素結合

〔研究題目〕 顕微分光法による元素状炭素の特性評価と風化メカニズムの解明

〔研究代表者〕 伊藤 信靖（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 伊藤 信靖（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本申請課題では、顕微分光法による元素状炭素の特性評価と風化メカニズムの解明を目的としている。平成28年度は、構造や形態の異なる元素状炭素材料を複数入手して、顕微ラマン分光装置を用いて構造や形態に依存するスペクトルの評価と分類を試みた。入手した元素状炭素の多くは、粒径や表面状態等が大きく異なる。また、将来的には大気粉じんをフィルター捕集試料に適用することを想定している。これらのことから、予め微粉化した元素状炭素試料をペレット化して評価を行った。その結果、顕微ラマン分光装置では、いくつかのピークを指標とすることにより、入手した元素状炭素試料の種類を大まかに分類することができた。また、顕微ラマン分光装置で特徴的なスペクトルを示した元素状炭素試料の一部については、大気粉じん中の炭素成分評価に広く用いられている、炭素成分分析計による測定・評価も行った。その結果、顕微ラマン分光装置で得られたスペクトルには明確に差があった試料についても、炭素成分分析計では差が見られないケースや、その逆のケースもあった。このことから、炭素成分分析計で定義される元素状炭素の画分は、顕微ラマン分光装置で観測できる構造だけでは説明できず、両者の結果を比較して議論する上では、別のアプローチや解釈が必要であるものと考えられた。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 元素状炭素、顕微ラマン、大気粉じん

〔研究題目〕 ポジトロニウム消滅による機能性薄膜のサブナノ空隙化学解析法の開発

〔研究代表者〕 伊藤 賢志（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 伊藤 賢志（常勤職員1名）

〔研究内容〕

^{22}Na 放射性同位体を陽電子源に用いた低速陽電子寿命運動量相関測定システムを構築し、試料表面から400 nm 程度の深さにおける陽電子寿命・運動量相関スペクトルの取得に成功した。陽電子寿命計測系には、アナログ式に比べて高スループットかつ高安定性計測が期待できるデジタル信号処理計測モジュールを活用した。低速陽電子ビーム測定システムへの適用は初の試みであり、陽電子消滅波形解析パラメータの最適化を進める一方、既存技術であるアナログ処理系とデータを比較することにより計測データの妥当性を評価した。その結果、実証試験に適用可能な性能を有する測定システムを構築する

ことができた。開発した機能性薄膜中のサブナノ空隙化学解析法の実証試験に用いるための薄膜基準試料の候補として堆積条件の異なる薄膜試料をプラズマ化学気相堆積（CVD）法により作製した。シロキサン系 CVD 膜および対照試料として石英ガラスとポリエチレンのバルク試料の測定データを取得した。その結果、ポジトロニウム平均寿命は従来のアナログ式測定系で得られた値と一致し、測定システムの健全性を確認できた。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 陽電子消滅、ポジトロニウム運動量分布、ナノ細孔、機能性薄膜

〔研究題目〕 MEMS 式熱量計によるナノ粒子表面比熱の検証と比熱法則拡張への挑戦

〔研究代表者〕 阿部 陽香（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 阿部 陽香（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を用いた示差熱測定式熱量計を開発し、ナノ粒子の直接的な微小熱容量測定を実現することにより、バルク材の比熱としてはこれまで考慮されていなかった表面比熱の影響を系統的に検証することを目的としている。今年度は、MEMS 熱量計に関する調査研究を行うと共に、示差熱測定式 MEMS 熱量計の設計に着手した。本研究で開発する MEMS 熱量計は二つの試料が置ける双子形状をしており、二つの測定対象の微小熱容量差を検出することに特化した構造となっている。従って、バルクとナノ粒子、又はサイズが異なる二種類のナノ粒子を同時測定することにより、その微小な熱容量の差異を抽出することができる。設計は、シリコン基板に厚い酸化膜をつけることにより、基板と試料の熱接触をできるだけ抑える構造とした。基板には、主に試料ホルダ、試料加熱用ヒータ、試料温度測定用センサ、熱補償用ヒータ等を作製する予定である。また MEMS 熱量計用のソケットを試作し、その構造について検討を行なった。

ナノ材料測定の現状を把握するため、従来の示差走査熱量計を用いた比熱容量測定を実施した。測定試料は、多層カーボンナノチューブ等であり、室温から800 K の広い温度範囲での比熱容量測定により、今後の本研究に有用な結果を得ることができた。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 比熱容量、MEMS、ナノ粒子

〔研究題目〕 ナノ材料の4次元構造解析を目指した高速X線逆空間マッピング法の開発

〔研究代表者〕 白澤 徹郎（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 白澤 徹郎（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ナノ材料のマルチスケール4次元（空間＋時間）構造観察のための、X線逆空間マップ高速測定法を開発する

ことを目的としている。このために、放射光波長分散集束 X 線を用いる独自の方法で広範囲の逆空間マップを迅速測定し、新しいデータ解析法により、数枚の画像データから3次元マップを構築する方法を確立する。近年行われるようになった単色 X 線と2次元 X 線検出器を用いた高速方法では、試料や検出器を走査しながら100枚程度の画像測定が必要であり、時間構造観察への応用は極めて限定的であった。本方法では従来法に比べ、数倍の広範囲逆空間を数10倍から100倍の早さでマッピングすることが可能であり、4次元構造解析への応用展開が期待される。本年度は波長分散集束 X 線ビームを2次元集光する光学系の設計と製作を行った。水平面内の集光については、波長分散集束 X 線を生み出すポリクロメーター結晶の彎曲形状を数値計算して収差の出ない形状に設計し、その製作および評価を終えた。鉛直方向の集光については光路追跡計算の結果、X 線集光を行わずにスリットで微小ビームを切り出す方法を用いるように方針決定した。また、数枚の2次元散乱分布データから3次元逆空間マップを再構成するためのアルゴリズム開発を進め、逐次近似法により4枚の2次元散乱画像データから数10回の反復計算で3次元逆空間マップを再構成できることをシミュレーションにより確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X 線逆空間マッピング、高速測定、ナノ材料構造評価

【研究題目】細胞内元素量情報に基づく血中循環腫瘍細胞 (CTC) 検出システムの開発

【研究代表者】宮下 振一 (物質計測標準研究部門)

【研究担当者】宮下 振一 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究は、がんの早期発見や転移性がんの高感度・高効率モニタリングを可能とする、細胞内元素量情報に基づく新たな血中循環腫瘍細胞 (CTC) 検出システムを開発するための基盤研究として、(1)マイクロ流体デバイスを用いたハイスループットな細胞分離技術の構築、(2)一細胞質量分析技術による各種細胞中元素マーカの高感度分布計測法の確立に取り組むものである。3年計画の最終年である本年度は、上記(1)及び(2)の完了を目指した。

(1) マイクロ流体デバイスを用いたハイスループットな細胞分離技術の構築

昨年度までの検討結果に基づき、最適形状と予想されたピンチフローチップ及びラミナフローチップデバイスを試作し、これらを用いた血球細胞の分離技術の構築に取り組んだ。血球細胞を模倣した微粒子を用いて試作デバイスの分離性能を評価した結果、ピンチフローチップデバイスにおいてハイスループットかつ良好な分離を達成した。このことから、当該デバイスを用いることにより、実際の血液試料中の血球細胞につ

いても同様の分離が期待できることが明らかとなった。
(2) 一細胞質量分析技術による各種細胞中元素マーカの高感度分布計測法の確立

血中 CTC の存在の有無を判断するために有用な元素マーカ探索に取り組んだ。正常細胞及び複数種のがん細胞の元素含有量について網羅的に解析した結果、一部のがん細胞における銅又は亜鉛含有量が正常細胞と比較して有意に異なることを確認した。このことから、一細胞質量分析技術による高感度分布計測において、血中 CTC の存在の有無を判断するための元素マーカとして銅又は亜鉛の有用性が高いことが明らかとなった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】マイクロ流路分析、がん診断、血球、循環腫瘍細胞、質量分析

【研究題目】C 末端標識によるタンパクの高感度かつ高精度 LC-MS 法と脱アミド化評価法の開発

【研究代表者】坂口 洋平 (物質計測標準研究部門)

【研究担当者】坂口 洋平 (常勤職員1名)

【研究内容】

生体試料中短鎖ペプチド (6アミノ酸～13アミノ酸) 定量への応用

前年度は短鎖ペプチドをモデル化合物として本誘導体化の基礎検討及び再現性、定量性について確認を行った。当該年度は、基礎検討を行った本誘導体化法を用いて、短鎖ペプチドを対象とした生体試料分析へ応用した。アンジオテンシン1～4、ブラジキニン、ニューロテンシンを分析対象とし、ヒト血清分析を行った。対象とした短鎖ペプチドはいずれも本法によりカルボキシル基が誘導体化され、LC-MS 分析における高感度化が確認された。そのため特別な濃縮操作、前処理等を用いずに血清中に含まれる微量のペプチドを定量することが可能であった。また、同位体希釈質量分析法を用いて本法の生体試料を対象とした定量性における妥当性評価を行った結果、精確な定量が行えていることが確認できた。以上の結果より、本法は生体試料中の微量な短鎖ペプチド及びアミノ酸の定量において有用であることを示すことができた。

タンパク質分析への応用

前年度、当該年度までに短鎖ペプチドを対象とした誘導体化法を開発し、生体試料中分析へ応用した。本法をさらに発展すべくタンパク質分析へ応用した。タンパク質を対象とする場合は、消化酵素を用いて断片化した後に、本法を用いてカルボキシル基を誘導体化し、LC-MS にて定量することとした。本研究のモデル化合物としてヒトインスリンを選択し、V8プロテアーゼにより断片化を行った。得られた断片化ペプチドは、短鎖ペプチドと同様に本法によりカルボキシル基が誘導体化され、

LC-MS 分析における高感度化が確認された。今後は、短鎖ペプチドと同様に生体試料中分析が可能かどうか検討する。

【領域名】計量標準総合センター

【キーワード】LC-MS、タンパク質、ペプチド、アミノ酸、誘導体化、カルボキシル基

【研究題目】真空紫外領域の円偏光分光法による隕石中のキラリティの非破壊分析法の確立

【研究代表者】田中 真人（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】田中 真人（常勤職員1名）

【研究内容】

生体分子のホモキラリティが如何にして原始生命発生前の段階で獲得されたかは、大きな謎の一つであり、多くの仮説が提唱されている。円二色性・光学活性・円二色散乱などの円偏光を用いた分光分析法は、キラリティの偏りを直接検出可能であるため、キラリティ起源の有力な仮説である宇宙起源説の検証の有力なツールである。本研究では真空紫外領域での円二色性・光学活性・円二色散乱などの円偏光を用いた分光技術開発とこれら手法の隕石中などでのキラリティの偏りの直接的かつ非破壊分析手法として有用性や最適な計測法をアミノ酸薄膜・粉末等の隕石模擬試料の測定などから検証することを目指す。また必要に応じて、上記手法とマイクロビーム化技術を組み合わせた装置・手法開発等を行う。

本年度は主に本研究の中心となる光学活性ならびに円二色性散乱のマイクロビーム化有無での光学系・測定系などの開発指針の決定と設計などを行った。現在の円二色性計測システムは、真空紫外分光器から出射した重水素ランプ光源からの真空紫外光を直線偏光子ならびに光弾性変調子とで高速変調された左右円偏光にし、その試料透過光強度を光電子増倍管で測定し、左右円偏光でのわずかな光強度差をロックイン検出するものである。光学活性計測に関しては、試料と光電子増倍管の間に直線偏光子を配置し、偏光子であるローションプリズムからの異常光をカットして常光のみを計測する光学システムを設計した。マイクロビームを用いた計測の際は、試料前後にシュバルツシルト型反射対物レンズをそれぞれ組みこむことで、スポットサイズ50マイクロメートル程度でのビーム径での光学活性測定が可能な設計を行った。また同じく円二色散乱計測に関しても試料直下に真空紫外シンチレータと真空紫外光をカットする光学フィルタを配置するなどの測定法の指針の決定と基本設計を行った。これら成果を基にして、実際の測定手法の開発と評価を次年度に行う。

【領域名】計量標準総合センター

【キーワード】円二色性、光学活性、散乱、宇宙科学、アミノ酸、真空紫外線、キラリティ、構造解析、分子構造

【研究題目】テラヘルツ帯高強度コヒーレントエッジ放射の利用による自由電子レーザー制御の研究

【研究代表者】清 紀弘（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】清 紀弘、小川 博嗣、境 武志、田中 俊成（常勤職員2名、他2名）

【研究内容】

本研究では、自由電子レーザーを増幅した直後の電子ビームのパルス特性を、自由電子レーザーを損なうことなく抽出できるテラヘルツ帯コヒーレントエッジ放射を利用し、マイクロパルス毎のパンチ長を評価する技術を開発することを目標としている。この目標を達成するため、日本大学の自由電子レーザー施設 **LEBRA** を利用し、コヒーレントエッジ放射源を開発してビーム特性を解明した後に、パンチ長評価を介した自由電子レーザー発振制御を行うことを計画している。平成28年度は、偏向磁石から射出されるコヒーレントエッジ放射を実験室内で大気中に取り出し、2次元空間分布を明らかにすることに取り組んだ。

コヒーレント遷移放射はコヒーレントエッジ放射と同様の空間分布及び偏光特性を有しているため、まず、チタン薄膜を用いたコヒーレント遷移放射光源を開発した。この光源は4.5マイクロ秒のマイクロパルスあたりの出力が約1 mJ であり、広帯域加速器 THz 光源としては国内最高強度である。次に、下流偏向磁石で発生したコヒーレントエッジ放射を真空中で輸送するシステムが別予算にて構築されたため、これを利用して放射線の影響を受けない実験室にてコヒーレントエッジ放射を観測した。真空容器による反射を含めた放射強度は、マイクロパルスあたり0.2 mJ あり、電子パンチ長計測を行うのに十分な出力が得られることが分かった。高速応答の検波器を用いた2次元空間分布測定では、反射成分のために対称的な同心円分布は得られなかったが、放射中心に低強度な領域があることを確認できた。当初計画した研究目標は達成しており、当研究は順調に推進している。

成果発表においては、国内外で6件の研究発表を行い、うち1件は招待発表である。当研究関連の論文は国際誌に3報、国内学会誌に1報掲載されており、IF 論文生産コストは540万円/3報であった。コヒーレント遷移放射開発に関する1報は論文誌編集者が注目論文として認定した **Spotlights** に選定されており、十分な成果発信を行うことができた。

【領域名】計量標準総合センター

【キーワード】自由電子レーザー、テラヘルツ、コヒーレントエッジ放射、パンチ長

【研究題目】レーザー駆動フェムト秒ガンマ線パルスを用いた中性子発生

【研究代表者】三浦 永祐（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】三浦 永祐、豊川 弘之、藤原 健、

黒田 隆之助、山崎 淳
(常勤職員4名、他1名)

【研究内容】

本研究は、高出力レーザーを利用して超短パルスのガンマ線を発生し、それを用いて材料分析等に有用な低速中性子を発生する基盤技術を確立することを目的としている。高出力フェムト秒レーザーパルスによって生成されるプラズマを利用した電子加速（レーザー加速）により200 MeV のエネルギーの揃った準単色電子線を発生する。この電子線と波長400 nm のフェムト秒レーザーパルスを相互作用させ、レーザーコンプトン散乱によって光子エネルギー1.7 MeV 以上のフェムト秒ガンマ線パルスを発生し、ベリリウムでの光核反応を用いて中性子を発生する。

今年度はレーザー加速による200 MeV の準単色電子線発生のため、フェムト秒レーザー装置の高出力化に取り組んだ。実験に用いるレーザー装置では、フェムト秒レーザーパルスを一旦伸張し、高エネルギー化した後に圧縮する方式が採用されている。従来よりも溝本数の多い高反射率型の回折格子をパルス圧縮に用い、レーザーの高出力化を図った。パルスの伸張と圧縮に用いる回折格子の溝本数が異なるので、プレパルスの小さな高品質のフェムト秒レーザーパルスを得るには、パルス伸張器も同時改造する必要があった。パルス伸張器および圧縮器の設計を行い、レーザー装置全体の改造を開始した。

レーザーの高性能化と並行して、ガンマ線検出器、中性子検出器の検討を進めた。微弱光の検出が可能な光子計数デバイスを複数配置してアレイ化した中性子検出器を設計し、その製作に着手した。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 高出力レーザー、プラズマ、量子ビーム、レーザー粒子加速

【研究題目】 強度輸送方程式に基づくシングルショット複素振幅動画像計測システムの開発

【研究代表者】 夏 鵬 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 夏 鵬 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、強度輸送方程式による複素振幅計測法に必要な複数の強度画像を単一の撮像素子を用いて1回の撮影で記録し、干渉を利用することなく、動く物体の振幅と位相を同時に計測することを実現する。

平成28年度は、まず、高出力 LED 光源、偏光板、一軸性光学結晶、偏光イメージングカメラを用いた実証システムの設計と構築を行った。LED からの発散光を平凸レンズで集光し、集光した部分にピンホールを設置して空間フィルタリングを行い、LED からの光の波面整形を行った。波面整形をした光ビームは被写体を透過した後、偏光板を透過することで縦方向の垂直偏光となり、さらに高速軸を45度に設置した一軸性光学結晶を透過

する。カスタム一軸性光学結晶は高額であるため、その代わりにマルチオーダー波長板を用いた。偏光イメージングカメラを導入する前に、一般的なカメラと偏光板合わせた構成で原理確認実験を行った。構築したシステムにおいて、カメラ前の偏光板を利用して、それぞれ低速軸と高速軸を透過した物体光の2枚の強度画像を記録し、計算機上で、提案法の像再生処理を行った。

本技術では伝搬距離が異なる2枚の強度画像から物体の位相情報を求める。異なる物体に対して、強度画像の最適な間隔が異なるため、まず複数種類の物体を仮定し、計算機シミュレーションにより各物体（透明フィルムや細胞液など）の最適な強度画像の間隔を解明した。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 位相イメージング、強度輸送方程式

【研究題目】 水晶振動子型水素漏洩検知器の屋外使用のための温度・湿度補正法に関する研究

【研究代表者】 鈴木 淳 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 鈴木 淳 (常勤職員1名)

【研究内容】

温度安定型水晶振動子を用いた水素センサを屋外に設置し、外気温度及び湿度の変化に対する安定性を評価した。センサ出力の変動率は水素センサとしての使用を考えると、0.33 %以下が目標になる。初めの約40日分の結果では変動率は0.28~1.03 %であり、目標を達成したのは13 %に留まった。そこで水晶振動子に接続するプリアンプへの温度の影響を低減するための対策を講じたが、その効果は十分ではなかった。そこで安定性の改善を、圧力補正により行った。出力の圧力依存性を用いると、24時間屋外測定で求められる圧力変化量から、圧力センサ出力の変化分が計算により得られ、これを測定結果から差し引くことにより圧力補正できる。その結果、実際の測定結果と比較して圧力補正後の結果は変化が小さく、安定性が改善されていることがわかった。以上の成果は温度及び湿度補正法の開発により達成されたものである。具体的には温度変化に対する出力の変化が小さい、すなわち温度安定な温度安定型水晶振動子や、湿度の影響を抑制するため大気中の水分のみを除去する中空糸フィルターを用いたこと、温度及び湿度または圧力変化に対するセンサ出力の依存性からそれぞれの変化量に対する補正法を確立したことにより屋外使用における温度及び湿度の影響を抑制できた。以上の結果、水晶振動子型水素センサの屋外使用における安定性が改善され、実用化を進めるために必要な性能が得られた。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 水素漏洩検知器、水素濃度計、水素エネルギー、温度安定型水晶振動子、水晶摩擦圧力計、粘性計測、回路インピーダンス、共振周波数

【研究題目】構造体健全性診断のための超音波伝搬可視化法による定量的非破壊評価

【研究代表者】 山本 哲也 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 山本 哲也 (常勤職員1名)

【研究内容】

パルスレーザー走査を適用した欠陥検出装置において、センサ(探触子)を複数か所に配置することにより、レーザー励起された超音波の伝搬挙動を異なる場所での多系統の信号として同時にモニタリング・映像化を行う手法に関して、その有効性の検証を昨年度まで行ってきた。従来は基本的に1か所へのみ欠陥を有する試験片に対して探傷を実施してきたが、本年度は、特に、複数か所に近接配置された欠陥の分離判定の可能性に関して、その有効性の検証を行った。垂直探触子を試験片の側面に適用し、欠陥中心間距離の異なる5種類の貫通欠陥を有する試験片に関して考察を用い、入射波に対して欠陥が前後に並んで配置された場合において、欠陥中心間の距離が最も近い5 mm においても2か所に配置された欠陥からの散乱現象(波頭面)を別々に視認できた。

次に、より高い信頼性を有する欠陥検出法の確立に向けて、ステップ状の不連続を有する金属円形パイプ内部にマイクロ波を伝搬させた際の反射・透過特性に関して検討を行った。著者らはこれまで11 GHz において金属円形パイプ内部にマイクロ波を伝搬させるための給電回路の最適設計を行い文献値と一致することを確認し、当該回路を向かい合わせに配置した際の伝搬特性に関して検討を行ってきた。本年度は、円形導波管の両端面に当該回路を装荷し、実際に減肉等を模擬したステップ状の不連続部を2か所に装荷した際の反射・透過特性の計算を行い、2か所に配置した不連続部の距離が1/4波長離れている場合には反射波がお互いに打ち消し合い良好な透過特性が得られるが、距離が1/2波長離れている場合には反射波が重ね合わされるために反射特性としてより大きな値となることを確認した。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 非破壊計測、波動伝搬、劣化予測・診断、可視化

【研究題目】水等価電離箱の開発

【研究代表者】 森下 雄一郎 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 森下 雄一郎、河内 徹 (千葉県がんセンター) (常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

放射線治療の発展に伴い、様々な放射線が治療目的に利用されている。光子線に限ったとしても、そのエネルギーは数100 keV から数10 MeV にわたっている。これらの治療では計測した水吸収線量に基づいて患者の線量を決めていて、水吸収線量の測定には空気が吸収体の電離箱が用いられる。空気式電離箱では、その出力が空気と水の阻止能比に比例し、阻止能比は放射線治療に使

われる光子エネルギーの範囲では強いエネルギー依存性をもつ。従って、線量を精度良く決めようとする、エネルギーごとの校正が必要であり、世界的にはエネルギーごとに標準を用意する方向に流れができつつある。しかしこの方式では、細分化をすればするほど、校正の体系は複雑になる。また、標準を整備し供給するコストは増大するので、治療にかかるコストも増大してしまう。そこで本研究では、ユーザーの電離箱としてより理想的な水等価電離箱を開発し(ここではエネルギー依存性の観点で水等価と呼んでいる)、増え続ける線質に効率的に対応することを目指している。

前年度の測定の結果、電離箱の吸収体にかかる電場が十分大きくないこと、および、信号線のガードが不十分であるため、空気中で電離された電荷を測定してしまうことが、信号を得る上で問題になっていると考えられた。

そこで本年度はそれらの問題を解決するための電離箱の構造について検討した。今回は信号線が完全にガードされる形式にすることにし、吸収体の厚みも十分薄くできるようにした。現在部品を調達し、組み立てる段階である。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 水吸収線量、水等価電離箱

【研究題目】質量分析法による金属結合タンパク質の構造解析

【研究代表者】 浅川 大樹 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 浅川 大樹 (常勤職員1名)

【研究内容】

金属結合タンパク質の構造解析手法開発の基礎研究として、金属-ペプチド複合体の質量分析におけるフラグメンテーション過程について研究を行った。

まずペプチドの電子移動解離タンデム質量分析法において金属塩添加により生成する金属-ペプチド複合体をプレッカーサーイオンとして用いることでアミノ酸配列を反映する良好なスペクトルが得られることを明らかにした。このメカニズムについて検討するために計算化学を用いて、遊離プロトンを含まない金属-ペプチド複合体を計算化学により設計し、メカニズムを明らかにした。さらにこのメカニズムを応用し、リン酸基と特異的に結合する金属錯体を用いリン酸化ペプチドの配列解析法を開発した。

【領域名】 計量標準総合センター

【キーワード】 質量分析、タンパク質、フラグメンテーション、アミノ酸配列

【研究題目】J-PARC パルス中性子ビームを用いた鉄鋼材料や植物中のホウ素の可視化の研究

【研究代表者】 木野 幸一 (分析計測標準研究部門)

【研究担当者】 木野 幸一 (常勤職員1名)

【研究内容】

本研究では、高強度パルス中性子を用いて、鉄鋼材料や植物中の ppm レベルの微量ホウ素を定量イメージングすることを目的としている。平成27年度は比較的大きな面積のホウ素含有試験試料（鉄鋼や植物を模擬したもの）においてホウ素の定量評価の初期実験を行い、ppm レベルでホウ素が検出できることを得たが、平成28年度以降では更なる定量化実証やイメージングの実証を行うことを目標とした。中性子コリメータにより細く絞ったパルス中性子で試料をスキャンして試料面方向のホウ素の空間分布をイメージングするために、試料を面方向に駆動する機構が必要である。この試料駆動機構の仕組みを検討した。このために J-PARC/MLF/BL04 ビームラインの Ge スペクトロメータの試料位置付近のダクトや構造体を現地調査し、必要な図面などを入手した。ppm レベルの微量ホウ素を定量評価するためには、ホウ素10が中性子と反応して発生する478 keV ガンマ線を良い S/N で計測することが必要であり、バックグラウンドを極力低下させる必要がある。このために、試料付近の物質量を減らす構造の工夫をした。また、必要な精細さでイメージングを行うためにはサブミリの位置精度で試料を駆動する必要がある。また、リチウム6濃縮された炭酸リチウムで作られるコリメータの構造も検討した。J-PARC での実験実施のため平成29年度のマシンタイムに応募し、採択された。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】中性子、ホウ素、イメージング

【研究 題 目】光波面制御を利用した深部計測のための強度干渉断層イメージング技術の開発

【研究代表者】白井 智宏（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】白井 智宏（常勤職員1名）

【研究 内 容】

光によるイメージング技術は、医療分野では、各種疾患の低侵襲かつ早期診断を可能にする新しい診断機器の原理として重要視されている。しかし、光を使って生体組織の深部（数ミリメートル程度以上）を高分解能（細胞が識別できる程度）でイメージングする技術は、未だ確立していない。本研究では、量子光コヒーレンストモグラフィーから発想を得て研究開発を進めてきた、分散に不感な強度干渉に基づく断層イメージング技術を高度化する。さらに、これを多重散乱光を補正するための新しい光波面制御技術と融合することで、光を使って生体組織などの多重散乱媒質内部をより深くより高精度に断層イメージングする技術の確立を目指す。

平成28年度は、当該断層イメージング技術の高度化として、2組の光ファイバケーブルと1台の CCD カメラを利用することで、演算に必要な2つのスペクトルを同時に取得する新しい光学系を構築した。また、この光学系により、より安定した断層イメージングが可能であることを実験的に検証した。さらに、当該断層イメージング

技術で問題となっていた不要な像（アーティファクト）を低減するために、スペクトル取得用の検出器を若干シフトする手法を、2つのスペクトルを時系列に取得するこれまでの光学系と上述の新しい光学系に適用し、いずれの光学系においても有効に機能することを確認した。一方、強度干渉法の新しい応用として、その原理が干渉計測における位相差増幅に利用できることを新たに見出し、その有効性を理論と検証実験により明らかにした。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】生体医用光計測、波面制御、強度干渉法

【研究 題 目】プロトン性イオン液体を用いたビーム源の開発：有機系 SIMS の感度と面分解能の向上

【研究代表者】藤原 幸雄（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】藤原 幸雄（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、プロトン性イオン液体を真空中でエレクトロスプレーする方式を用いた帯電液滴ビーム源を開発し、二次イオン質量分析（Secondary Ion Mass Spectrometry：SIMS）用の一次イオンビームとして応用することを目的とするものである。SIMS は、一次イオンビームを試料表面に照射することで生じた二次イオンを質量分析する手法である。分析対象が無機材料の場合には、酸素やセシウム等のイオンビームが用いられる。一方、有機系材料の場合には、イオンビーム照射に起因する有機分子の断片化（＝フラグメンテーション）が避けられず、分子量の大きな二次イオンはほとんど検出できないという問題があった。しかし近年、クラスターイオンを一次イオンビームとして用いることで、比較的大きな有機分子も検出できるようになり、半導体産業のみならず、化学分野等においても、SIMS の応用範囲が広がっている。しかし、分子量の大きな分子を、高感度かつ高面分解能で分析することは困難であり、大きな課題となっている。

そこで本研究では、イオン液体という液体を高真空中でエレクトロスプレーする方式の帯電液滴ビーム源を開発し、SIMS への適用性を試みる。イオン液体は、蒸気圧がほとんど無いため真空中でも蒸発せずに液体として存在し、またそれ自体がイオン性の液体であるため、高真空中においてもエレクトロスプレーできることが大きな特徴である。イオン液体には、プロトン性のものと非プロトン性のものが存在するが、本研究ではプロトン性イオン液体を用いることも特徴である。プロトン性イオン液体を一次イオンビームとして用いることで、有機分子にプロトンが付加する反応が促進でき、プロトンが付加した状態の二次イオン量を増大できるからである。本年度は、硝酸プロピルアンモニウム（propylammonium nitrate）を用いた SIMS 実験を行った。その結果、アミノ酸などのプロトン化分子が二次イオンとして検出で

き、その有用性を実証することができた。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 表面分析、質量分析、イオンビーム

〔研究 題目〕 光学的マルチスケールひずみ分布計測法の開発と損傷メカニズムの実験的解明

〔研究代表者〕 李 志遠（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 李 志遠、王 慶華（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

本研究では、モアレ現象及び縞画像の位相解析技術を利用した光学的マルチスケール変位・ひずみ計測手法を開発し、CFRP 複合材料および異種構造材料での損傷を実験的アプローチによりそのメカニズムを解明しようとするものである。初年度では専用のマルチスケール格子の設計と特注作製および高精度な全視野変位・ひずみ分布を測定できる新しい計測手法の原理を確立し、以下の研究成果が得られた。

- 異なる空間周波数を有するマルチスケール格子を新たに設計した。大視野と小視野両方を最適なモアレ観察できるように、750 nm ピッチの小格子と15ミクロンピッチの大格子を混在したマルチスケール格子のモードを作製した。作製したモードを使用して、試料表面にマルチスケール格子を付与し、同一レーザー顕微鏡で異なる倍率で観察を行った。その結果、それぞれの観察倍率で2方向のモアレ縞画像をサンプリングモアレ法より生成できることを確認できた。特に小視野での微細格子からきれいなモアレ縞画像を生成するために、フーリエ格子変換法を導入した。これにより、材料全体のひずみ集中部と界面での高分解能のひずみ分布を同時に評価できる見込みが立った。
- 2次元格子の2方向同時解析によるせん断ひずみ分布測定法を開発した。材料表面の損傷評価を行ううえで重要とされている最大・最小主ひずみ分布をより高精度で測定できる光学的方法を新たに考案した。本開発手法は、従来評価困難だった複雑な変形挙動を示すCFRP 複合材及び半導体チップ等の異種材料間での損傷メカニズムを実験的アプローチにより明らかにするうえで極めて重要と考える。
- 時系列で撮影された連続した実験画像を用いて、新たに時空位相平均法を考案し、その有効性をシミュレーションより確認した。本手法はひずみ算出の際に誤差の原因となるランダムノイズの影響を低減できる可能性が高い。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 マルチスケール、サンプリングモアレ法、モアレ縞、位相解析、ひずみ計測

〔研究 題目〕 キャビテーション気泡の運動状態の計測制御に関する研究

〔研究代表者〕 内田 武吉（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 内田 武吉（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

水に高出力超音波を照射すると気泡が発生する。この現象はキャビテーションと呼ばれ、産業等で応用されつつある。例えば、キャビテーションは産業部品や半導体のガラス基盤の汚れなどを洗浄するために使用されている。しかし、キャビテーションは洗浄対象を破壊する作用も有しているため、歩留まりが問題となっている。この問題を解決するためには、気泡の運動状態を計測制御する技術が必要である。

キャビテーション気泡は、stable 状態、inertial 状態、圧壊の3つの段階に分かれ、それぞれ異なる超音波信号を発生させていることが理論的に報告されている。そこで本研究では、円筒形キャビテーションセンサにより気泡由来の信号を測定し、気泡の運動状態を計測制御することを検討している。

28年度は、圧電材料の PZT を水槽の底部に設置した超音波照射装置及び円筒形キャビテーションセンサを設計・製作した。この実験システムを用いて水槽内の音圧と気泡由来の信号の関係を検討した。水槽内の音圧を増加させると、気泡由来の信号である1/2分調波と広帯域雑音が異なる音圧で発生することを確認した。音圧の増加に伴い、最初に広帯域雑音が発生し、その後1/2分調波が発生した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 超音波、キャビテーション、気泡、分調波、広帯域雑音

〔研究 題目〕 BNCT 領域の熱外中性子線量精密評価用可搬型検出器の開発

〔研究代表者〕 松本 哲郎（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 松本 哲郎、増田 明彦
（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

本研究は、加速器を利用したホウ素中性子捕捉療法（BNCT）において、ほとんどの施設で利用されるエネルギー帯である熱外中性子の計測精度を向上させ、BNCT における線量評価につなげる。熱外領域では、中性子計測に利用される ^{10}B 、 ^6Li 、 ^3He などと中性子との反応断面積の精度が熱領域と比較して悪いため、計測の不確かさも大きい。そこで、本研究では、熱外領域において、核反応断面積に依存しない中性子計測方法の開発を目標としている。平成28年は、プロトタイプ検出器の作製を行い、平成29年に検出器の特性評価、平成30年に複数の中性子源による比較試験等によって実用化の可能性評価を行う。検出器は、ホウ素を含む LGB シンチレータと γ 線検出を目的とする BGO シンチレータによって構成される。LGB シンチレータ内で ^{10}B ($n, \alpha \gamma$) 反応から生成される α 粒子を LGB シンチレータ内で観測し、 γ 線を BGO シンチレータで観測する。また、

全吸収¹⁰B₄C 試料を使うことによって¹⁰B 断面積情報を理想的には除去できる。京都大学原子炉実験所電子線形加速器施設における中性子源で動作試験を行い、α線とγ線の同時計数など動作の確認を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ホウ素中性子捕捉療法、熱外中性子、中性子フルエンス、検出器開発

【研究 題目】有機デバイス開発のための低照射線量逆光電子分光法の研究

【研究代表者】小川 博嗣（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】小川 博嗣、清 紀弘、加藤 英俊、池浦 広美（常勤職員4名）

【研究 内容】

逆光電子分光法（IPES）は、有機デバイスの動作において重要な因子である空準位の情報を精密に測定できる唯一の手法である。しかし、IPES は感度が非常に低いため、測定試料に大量の電子線を照射する必要があり、有機材料試料のチャージアップや損傷の問題が起きやすく測定上の大きな課題となっている。この問題を解決するため、本研究では、逆光電子過程により放出される光子の集光効率を向上させることができる集光光学系および電子線照射用の電子光学系を新規にデザインすることにより、IPES の高感度化を実現する。これにより測定の信頼性と効率を大幅に向上させた実用的な IPES 装置の開発を目的としている。

本年度は、前年度に実施した IPES 装置の基本設計に基づき、IPES 装置の熱電子銃が起因の迷光の低減法や掃引する電子エネルギーに依存しない電子ビーム軌道の安定化など IPES 計測における信頼度向上のための改良を行った。これらの改良に伴う電子ビームの空間電荷効果によるエミッタンス増大を抑えるとともに高い開口数で試料から放出される光子を検出可能な IPES システムの設計に取り組み、IPES 装置（熱電子銃、低速電子輸送系、電子照射系、集光光学系等）およびロードロックで測定試料を搬送できる真空蒸着源を備えた試料準備室を製作した。上記の成果をもとに従来に比べ高感度化が実現できる IPES 計測システムを構築することができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】逆光電子分光法、低エネルギー電子ビーム、有機デバイス

【研究 題目】強磁性体／超伝導体接合におけるアンドレーエフ反射およびスピン緩和に関する研究

【研究代表者】柏谷 裕美（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】柏谷 裕美（常勤職員1名）

【研究 内容】

超伝導トンネル接合を用い、既存の冷凍機と組み合わせ、超伝導トンネル接合上で（既存の）冷凍機の冷却温

度以上に低い温度を実現させる固体冷凍機の冷凍能力改善を目指すための研究を行っている。

実際の冷却は、超伝導接合上に冷却したい微小サンプルを熱的に接触させ、固体冷凍機から排熱を行うことを想定しており、冷却が必要なセンサー部分のみを局所的に冷却することにより効率のよい冷却を行うことができる。固体冷凍機は、素子中の準粒子を利用して排熱を行う。アンドレーエフ反射により排熱が行われにくくなるが、強磁性体を用いるとスピンによりアンドレーエフ反射が起こりにくくなると想定されるため、強磁性体を用いた場合の接合の冷却効果の改善を検証するための実験を行っている。

常伝導体（N）／絶縁体（I）／超伝導体（S）接合の作製を行い冷凍機により冷却して固体冷凍機としての効果を検証した。冷却の効果は接合のコンダクタンススペクトルの理論曲線との比較により行われ、バス温度0.5Kの場合に常伝導体側の温度は0.27 K になっていることが判明し、実際に冷却されていることを確認した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】超伝導トンネル接合

【研究 題目】コンパクトカロリメータを用いた外部放射線治療現場における絶対線量計測技術の開発

【研究代表者】清水 森人（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】清水 森人（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は現場標準器として一般の医療施設においても運用可能なカロリメータを開発し、二次標準機関の標準場の出張校正や国内における導入台数がまだ少ない最新の治療装置の校正を可能にすることを目的としている。

研究計画の最終年度である今年度は、産総研設置のリニアック装置における測定と共に、開発した小型カロリメータを一般の医療施設のリニアック装置に持ち込んだ測定に取り組んだ。従来の一次標準器では一連の測定に2週間程度の時間がかかっていたが、本研究では1日で完了することが可能となっており、休日などの医療施設の診療時間外の時間内で一連の測定が完了できることを確認した。

測定の結果では、小型カロリメータで得られる水吸収線量の値は一次標準器で得られる値より0.4 %ほど大きい傾向が確認されたが、両者の測定結果の比較の相対標準不確かさは0.6 %であり、不確かさの範囲内で一致していることが分かった。今後は医療用リニアック装置以外にも測定対象をひろげ、現場標準器としての応用範囲拡大に取り組む。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】高エネルギー光子線、リニアック、水吸収線量

〔研究題目〕 マイクロ蛍光比例計数管を用いた放射線イメージングデバイスの開発研究

〔研究代表者〕 藤原 健 (分析計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 藤原 健 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では Glass GEM (Gas Electron Multiplier) と呼んでいるガラス製のマイクロ比例計数管アレイと、蛍光ガスを組み合わせた放射線イメージング検出器を開発した。蛍光ガスの組成の探索、デバイスの設計を中心に組み、混合したガスの発光を定量的に調べる他、ガスの発光イメージングデバイスとして活用するためには放射線量とガスの発光が比例関係であることが必要になるため、その実証に、電離と励起発光の相関を調べる装置を組み上げ評価した。その上で、イメージング装置を組み上げ、X線、粒子線、中性子の本研究の目的である本装置による放射線イメージングを実証した。

試作した検出器は、ガス検出器として世界最高レベルの高解像イメージングに成功しており、従来の X線ラジオグラフィでは困難であった、軽元素で構成される生体試料のイメージングに成功した。検出器の有感面積は 100 mm²までを達成しており、今後さらなる大面積化を目指す。空間分解能に関しては400 μm (FWHM) を達成しており、今後ガスの組成を変えることで空間分解能の向上を目指していく。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 X線検出器、放射線イメージング、ラジオグラフィ、ガス検出器、放射線検出

〔研究題目〕 光電子収量分光法を応用した、励起準位エネルギーの大気下計測手法の開発

〔研究代表者〕 細貝 拓也 (分析計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 細貝 拓也、松崎 弘幸、中村 健 (常勤職員3名)

〔研究内容〕

本課題では、有機 EL や有機トランジスタなどの基幹材料である有機半導体の研究開発の支援として、有機半導体の非占有準位を簡便に測定できる新しい計測手法の開発を目指している。具体的には、超短パルスレーザーを光源に用いて、二光子吸収光電子分光と光電効果の閾値分光法を組み合わせた二光子-光電子収量法 (2P-PYS) を開発し、大気下または実デバイスの開発環境に近い不活性雰囲気下での非占有準位の計測を実現することを目的としている。

本年度は、2P-PYS 専用の光学遅延システムを構築して、長寿命励起状態がポンププローブ法による光電子放出によって選択的に検出できるかを検討した。試料に代表的な p 型半導体特性を示すペンタセンの蒸着膜を用いて、150ピコ秒の時間幅を持つ二つのパルスレーザー光を異なる遅延時間で照射したところ、二つのパルス光が時間的に重ならない十分に長い遅延時間において光電

子の信号が得られた。これまで報告されているペンタセン薄膜の励起状態ダイナミクスを勘案すると、これは試料中に生成した三重項励起子からの光電子を検出したと考えている。今後は、パルス光をサファイアなどの透明媒質に集光することで白色化を実現し、これを測定システムに組み込むことで本研究課題である各励起状態における光電子放出のエネルギー閾値決定を達成する。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 有機半導体、電子構造、励起状態、光電子収量分光法、パルスレーザー

〔研究題目〕 Development of high-accuracy and large-view-field deformation measurement technique to investigate micro-nano-scale deformation distributions around interfaces

〔研究代表者〕 王 慶華 (分析計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 王 慶華 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究では、複合材料の界面損傷挙動を非破壊で評価するために、モアレ現象による微小変形分布測定技術を開発した。本年度は、高精度・広視野の変形測定を行うために2つの新規モアレ計測法の原理を提案し、レーザー走査顕微鏡下で実施可能な3点曲げ試験および引張疲労試験装置を設計し作製した。

高精度でかつ広視野の変形測定を実現するために、高精度であるサンプリングモアレ法と広視野である走査モアレ法を融合した2段モアレ法を考案した。この方法では位相解析を採用しているため、ひずみ測定精度は従来の走査モアレ法の10倍以上であると同時に測定できる視野は、格子を観察する必要がないため、サンプリングモアレ法より100倍広い範囲を評価することができる。シミュレーションおよびアルミ試験片の引張実験よりひずみ測定精度を検証し、その有効性を確認した。

簡便な2次元変形測定を実現するために、従来は試料を回転させて2回撮影を行っていたが、本研究では試料を回転させずに1回の走査で2次元の変形を測定できる再構成乗算モアレ法を開発した。開発された2次元走査モアレ法の変位とひずみの両方の測定感度は、従来の走査モアレ法の2倍である。この方法の有効性は、レーザー走査顕微鏡および走査電子顕微鏡の観察下で行った炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の3点曲げ試験によって検証した。マイクロスケールで微小ひずみ分布を測定できることを確認した。

装置開発では、レーザー顕微鏡で3点曲げと引張試験が可能なミニサイズの疲労試験装置を設計した。1E6の疲労サイクルまで実施可能で、荷重は2000 N まで負荷をかけることができる。本装置を用いて CFRP 試料の疲労試験中にレーザー顕微鏡より CFRP 表面の格子画像を記録できることを確認した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 微小変形測定、ひずみ分布、光学手法、
界面評価、複合材料

〔研究 題目〕 加速器 BNCT 用中性子エネルギー分布
測定技術の開発

〔研究代表者〕 増田 明彦（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 増田 明彦（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

加速器中性子ビームを用いたがん治療（ホウ素中性子捕捉療法、BNCT）では、その中性子エネルギー分布に施設依存性が高く、モンテカルロ計算によるシミュレーションと合わせて実測による評価が必要とされている。本研究では、治療レベルの大強度中性子のエネルギー分布を精密に測定するための技術を開発している。

初年度の平成28年度は、いばらき中性子医療研究センターの加速器 BNCT 施設（iBNCT）において、加速器開発期間中のみ利用可能な微弱な中性子ビームを利用し、従来型の³He 比例計数管を用いたボナー球スペクトロメーター（BSS）により中性子の強度とエネルギー分布を測定した。中性子施設的环境、構造物との相互作用、中性子源のパルス性等に留意して測定・解析を行い、PHITS によるモンテカルロ計算結果を概ね支持する測定結果を得た。この結果は、今後大強度中性子に対応した検出器による測定を行う際のリファレンスデータとなる。また、治療レベルの中性子強度を達成するために必要な陽子ビーム電流増強目標値も評価することができた。

一方、施設完成後の治療レベルの大強度中性子ビームに対しても同等の測定を行うことを目的として、光電子増倍管の電流モード動作を利用した⁶Li ガラスシンチレーター検出器を開発している。京都大学原子炉実験所の電子ライナック中性子施設においてその応答特性を評価するとともに、産総研の熱中性子場で電流測定回路を含めた応答の中性子強度に対する線形性を確認した。

今後は、放射化検出器を用いた BSS による測定の準備を行うとともに、⁶Li ガラスシンチレーターを用いた大強度中性子向けの能動型 BSS の開発を進める予定である。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 ホウ素中性子捕捉療法、BNCT、中性子、
加速器中性子源、スペクトル測定、ボナー球スペクトロメーター

〔研究 題目〕 タンパク質機能発現の解明を目指した高
強度テラヘルツ時間分解分光システムの
開発

〔研究代表者〕 黒田 隆之助（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 黒田 隆之助、田中 真人、平 義隆
（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

本研究はキロアンペア級ピーク電流値を持つ超短パルス電子ビームから高強度テラヘルツコヒーレント放射光を発生するとともに、シングルショットテラヘルツ分光法、およびバンドパスフィルタを用いた簡易分光によって、タンパク質のテラヘルツ吸収分光計測を実施している。テラヘルツパルス生成・計測に関して、本年度は小型加速器からの短パルス電子ビームに対し、その傾きを詳細に制御することによりコヒーレント・テラヘルツパルスを生成する手法を開発し、更に EO 結晶による EO（Electro-Optic）サンプリングシステムを構築することで時間領域分光（TDS）を実施した。当初の想定どおり、非常に広帯域なテラヘルツパルスであることを確認するとともに、シングルサイクルを持つことを EO サンプリングにより実証することができた。パルス幅から計算されるピーク強度は10 kW 級のテラヘルツパルスを実証することができた。更にシングルショット分光システム及びテラヘルツパルスの更なる高強度化により、今後のタンパク質の水和挙動計測も実現できると考えられる。

また、タンパク質計測に関しては、昨年度に引き続きテラヘルツバンドパスフィルター（0.1～1.5 THz）を用いたタンパク質水溶液試料の計測結果解析を実施し、ヒト血清アルブミン（HAS）及び各種イオン（硝酸や硫酸、Li 等）の濃度変化から吸光度と吸収係数の算出最適化を行った。特に Li イオンの特定条件下の挙動は、変化に対し不感的で興味深い結果が得られた。更に、吸収係数の変化に対し、フィッティングモデルによる水層の推定に成功し、水とタンパク質の挙動解明に向けた新たな知見が得られたと言える。今後は水層算出の精度向上が重要となってくるため、各種イオンとの関連や周波数特性なども十分考慮した算出が必要であると考えられる。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 テラヘルツ、シングルショット時間領域
分光、コヒーレント遷移放射

〔研究 題目〕 粒子線治療における線量評価技術の開発

〔研究代表者〕 齋藤 則生（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 齋藤 則生、田中 隆宏、清水 森人
（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

平成28年度も昨年度に引き続き放射線医学総合研究所の重粒子線がん治療装置の共同利用実験を行った。

拡大ブラッグピーク（SOBP）中心において水吸収線量を一層高い精度で絶対測定するため、SOBP の物理線量分布がより平坦となるようなリッジフィルタを290 MeV/n（SOBP 6 cm）の炭素線用に開発した。開発したリッジフィルタを用いて、深部電離量測定を行った。その結果、吸収線量を評価する深さ（および電離箱を校正する深さ）である SOPB 中心近傍での物理線量の平

坦化を確認した。さらに、グラファイト中でも深部電離量分布の測定を行い、290 MeV/n の単色炭素線の場合と同様に、阻止能比の違いを反映した結果を得た。

炭素線用に新たに開発したグラファイトカロリメータに関しては、昨年度、炭素線照射による応答（検出部の温度上昇）は確認したが、SN 比の改善などの課題が明らかとなっていた。今年度は計測システムを改良した後、290 MeV/n の炭素線の熱量測定を行った。その結果、十分な SN 比を達成していることを確認した。

さらに、水カロリメータを新たに開発した。290 MeV/n の炭素線を用いて熱量測定を行った。熱量測定部であるガラスセルには、水中に水素を限界量まで溶かしこんだ飽和水素水を用い、放射化学反応による吸収エネルギーの消費（熱欠損）を抑えた。水カロリメータは炭素線場での初めての測定にも関わらず、十分な SN 比と再現性であることを確認した。

最後に、水カロリメータによる測定結果とグラファイトカロリメータによる測定結果の比較は現在解析中であるが、概算では両者とも概ね良い一致を示している。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】粒子線、水吸収線量標準、グラファイトカロリメータ、水カロリメータ

【研究 題目】純ベータ核種の高感度オンサイト絶対測定器の開発

【研究代表者】海野 泰裕（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】海野 泰裕（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、オンサイトで混在試料中の純ベータ核種の迅速な放射能測定装置の実現を目指している。前年度までの装置の検討を踏まえて、本年度では測定装置により得られる測定性能として、不確かさと検出限界を評価した。なお、本研究においては、福島第一原子力発電所での事故を参考に、純ベータ核種として放射性ストロンチウム (Sr) が放射性セシウム (Cs) と混在している状況を想定している。

測定の不確かさについては、計数統計による不確かさ、全ベータ線放出率を評価する際の外挿による不確かさに加えて、Cs 放射能を決定する際のガンマ線スペクトロメトリによる不確かさが大きく影響することを明らかにした。その上で、本研究の手法では、全ベータ線放出率からセシウム寄与分を差し引く手法を採用しており、Cs に対する Sr の存在量が不確かさに大きく影響する。仮の比として、Cs:Sr=1:5として評価した結果、放射能が42 Bqである Sr を8.7 Bq（拡張不確かさ、 $k=2$ ）の不確かさで測定できることを明らかにした。この結果は、既存の標準溶液に付された値と比較して、一致することが確認された。

この不確かさについては、ベータ線検出器の計数効率が低いほど、前述の全ベータ線放出率の不確かさが小さ

くなる。本研究では、オンサイトでの実施状況を踏まえ、プラスチックシンチレーション検出器を採用しており、蛍光読み出し装置として複数の光電子増倍管や半導体検出器を検討した。特に、低エネルギーベータ線を放出する Cs-134に対して計数効率を調べた。Co-60等の高エネルギーベータ線のみを放出する核種との比較においても、Cs-134の場合でも同程度であり、ベータ線のエネルギー依存以外の原因を検討中である。

一方で、検出限界についても、全ベータ線放出率中での Cs 寄与量が影響する。混在する Cs によるベータ線計数率が10や100 cps の場合を想定し、測定時間に応じた検出限界を算出したところ、100 cps の場合でも、1日の実稼働時間の範囲内として20,000 秒の測定を実施すると、検出限界は0.22 Bq まで下がる結果が示された。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】放射能測定、純ベータ核種、放射性ストロンチウム、放射性セシウム、ベータ線、ガンマ線

【研究 題目】氷で制限されたナノマイクロ空間の分析化学

【研究代表者】山本 佳孝（創エネルギー研究部門）

【研究担当者】山本 佳孝（常勤職員1名）

【研究 内容】

空ケージを有するセミクラスレートハイドレートにおけるガス包接現象を利用したクロマトグラフィーの研究を行う。ガス選択性と分離現象の解明を目的とする。これまでに、テトラブチルアンモニウムブロミドが形成するセミクラスレートハイドレート (TBAB-CH) を固定相とするガスクロマトグラフィーが方法論的に可能であること、ガス分子選択性はハイドレート生成のしやすさを反映している可能性があることを明らかにした。昨年度は、TBAB-CH を利用する CO₂と CH₄の分離に関する情報を得るために、これらの吸着挙動の差を明らかにすることを目的とした。実験系の改良を行い、CO₂と CH₄ブレイクスルー測定を行った。圧力を変化させた測定が可能であることを確認した。2つのガス種で吸着挙動に差があることが示唆された。しかし、測定の再現性がまだ十分に得られていない。TBAB-CH には結晶系が2種類あり、ガス吸着挙動が異なることが知られている。本研究においては、TBAB-CH の結晶系の制御ができていなかったために、測定の再現性が得られなかった可能性があり、今後は TBAB-CH 合成法の見直しを行い、分離挙動の解析を進める予定である。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】TBAB ハイドレート、ガスクロマトグラフィー

【研究 題目】放射線によるナノ粒子材料創成のその場観察と機能材料の実用化

〔研究代表者〕 山本 孝夫（大阪大学工学研究科）

〔研究担当者〕 田中 真悟、秋田 知樹（電池技術研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究は、放射光 X 線を用いて還元と同時に行う XAFS 測定を活用して、燃料電池電極や CO 酸化の触媒材料などの触媒反応機構解明に挑戦する。また得られる粒子材料の機能の測定や、構造解析も行い、構造と機能の相関も研究する。加えて、優れた衛生繊維材料などの開発研究を展開し実用化に近づけていくことも念頭においている。これらを併せて、新たな高付加価値の製品製造法を確立し、放射線利用の新たな価値を見出していくことを考えている。

本研究に先立つ研究において、商用施設を用いた電子線照射により水溶液中のイオンを還元して金属化し、液中で直ちに担体上に安定化した担持型ナノ粒子材料を大量に創成する手法を開発済みであり、一部は製品化やサンプル出荷されている。本手法では、二元金属ナノ粒子内の原子配列制御が可能であり、量産性も有している。しかしながら、照射による粒子合成反応の過程に不明な点が多い為、狙った構造への反応制御は未熟である。本研究では、その部分の解決も視野に放射光（PF、SPring8）を利用した XAFS、収差補正付電子顕微鏡、XRD、ICP、FTIR 等の手法を活用し、放射光 X 線を粒子合成と XAFS 解析の両方に活用し、粒子創成過程を in-situ 観察するシステムの立ち上げを推進している。さらに、照射で得られる特異な粒子構造と機能の相関を追求するため、第一原理を中心とした計算材料科学手法と組み合わせた研究を展開する。

今年度は、炭素担持 PtCu 合金ナノ粒子の合成において保護剤の役割を明らかにするために計算科学手法を適用して、特有の吸着構造が存在する事がわかってきた。保護剤の違いにより合金ナノ粒子のサイズやアルコール酸化活性に違いがあることが判明した。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 エネルギー・環境機能材料

〔研究題目〕 超音波接合による水素吸蔵 Mg/Cu 超積層体の開発原理

〔研究代表者〕 藤井 啓道（東北大学）

〔研究担当者〕 藤井 啓道（東北大学）、田中 孝治（電池技術研究部門）、粉川 博之（東北大学）、佐藤 裕（東北大学）（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

Mg は水素吸蔵性に優れた材料として知られているが、反応速度が遅く、水素放出に573 K という高い温度が必要なことが実用化に向けて解決すべき課題となっている。反応促進の方法として、合金化やナノ構造化が知られているが、既存の技術ではコストや作製時間に問題が生じ

ている。藤井らの最近の研究より、低環境負荷・省エネルギープロセスとして知られる超音波接合を利用すると、異種金属界面にナノサイズの金属間化合物相が形成することが示唆された。本研究では、Mg と Cu の薄膜を超音波接合によって積層造形することより、Mg₂Cu ナノ合金層を有する Mg/Cu 超積層体を作製し、従来の常識を超えた特性を持つ水素吸蔵合金を開発するための基礎学理を究明することを目的とした。

今年度は、Mg/Cu 超音波接合界面における金属間化合物相の成長挙動に関する基礎的知見を得るため、純 Mg と純 Cu の板材を用いて、垂直荷重および接合時間を変化させながら超音波接合を実施した。得られた試料の接合界面近傍における組織解析を走査型電子顕微鏡により観察した結果、Mg₂Cu の金属間化合物相が形成され、接合時間と共に指数関数的に厚さが増加することが明らかになった。また、透過電子顕微鏡を用いて、接合初期段階における金属間化合物相を観察した結果、ナノ結晶構造の Mg₂Cu 相が形成されていることが明らかになった。続いて、熱電対を接合界面に埋め込むことにより、接合界面の温度履歴を測定した結果、従来の放物線則から予想される金属間化合物相の成長よりも、超音波接合界面においては4~5桁程度大きい速度で成長していることが明らかになった。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 超音波接合、金属間化合物、水素吸蔵合金、電子顕微鏡、積層造形

〔研究題目〕 CO₂湧出口における造礁サンゴからソフトコーラルへの群集シフト

〔研究代表者〕 佐藤 縁（省エネルギー研究部門）

〔研究担当者〕 佐藤 縁（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、高濃度の CO₂環境で、サンゴがソフトコーラルへシフトする要因を明らかにし、他の CO₂湧出サイトと比較して環境の要因を明らかにしていくことにある。特に、異なる CO₂濃度下でサンゴとソフトコーラルの飼育実験、および現場実験を行う成長速度を計測し、高 CO₂環境下でサイトによって異なる群集にシフトする要因を考察していく。その中で、H28年度は、化学量計測のシステムとして相応しい計測手法を選び出すために、簡易な海水の電気化学測定、海水中の分析測定のための水晶振動子マイクロバランス法の導入を試みた。本手法により、採取した海水サンプル中に保存料として添加する重金属などを検出、取り除く手法を考案できた。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 環境計測、電気化学分析、pH 測定、水晶振動子マイクロバランス法

〔研究題目〕 ナノスケール制御によるナノワイヤー熱

電変換素子の巨大ゼーベック効果発現と機構解明

【研究代表者】村田 正行（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】村田 正行（常勤職員1名）

【研究内容】

直径700 nm 級の Bi ナノワイヤーにおいて、集束イオンビーム加工を利用した局所電極の形成と、電流磁気効果の測定を行った結果について、ナノワイヤー化の効果をマティーンセン則によって緩和時間に取り込み、ボルツマン方程式に基づいて、ホール係数と磁気抵抗効果の計算を行った。その結果、ナノワイヤーにおけるホール係数の温度依存性がバルクのものとは異なる様子を、モデル計算により説明することに成功した。さらに、磁気抵抗効果を含めた解析によって、キャリア移動度を実験的に評価したところ、室温領域でのキャリア移動度はバルクの値とほぼ変わらないが、低温領域では大きく平均自由行程の制限の影響を受けることから、キャリア移動度がバルクに比べて大幅に低下する様子を観測することに成功した。これまで理論的には、ナノワイヤー化によってキャリアの移動度が低下することが予想されていたが、実験的に確認されたのは初めての事である。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】熱電変換、ナノワイヤー、電極接合、オーミックコンタクト

【研究題目】マルチレベルフィジックスによる超高予測精度結晶成長シミュレータの実現

【研究代表者】西澤 伸一（省エネルギー研究部門）

【研究担当者】西澤 伸一（常勤職員1名）

【研究内容】

次世代パワーデバイス用半導体材料である SiC を代表例として取り上げ、結晶成長装置レベルでの熱・化学反応・流体・機械構造などを総合的に取り扱う数値解析技術と、結晶成長時の成長表面を原子レベルで扱う数階席技術を統合することで、原子レベルでの結晶成長物理・化学を、結晶成長装置パラメータレベルで精密に制御する技術を提案する。平成28年度においては、原子レベル計算から提案される SiC 多形制御を装置レベルでの技術と連携させることを行った。このとき、接続パラメータ（物理数）として過飽和度を用いることで、定量的に議論できることを確認した。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】半導体、パワーデバイス、結晶成長

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

【研究代表者】村山 昌平（環境管理研究部門）

【研究担当者】村山 昌平（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究の目的は、森林生態系の炭素循環ならびに炭素固定機能を決める生態系呼吸の動態メカニズムと林冠光合成生産力の関係を、生態系生理学的手法と大気化学的手法を結合したアプローチにより解明し、森林生態系機能の機構解明と変動予測研究の精緻化を進めることである。落葉広葉樹林と常緑針葉樹林を対象として、森林葉群の生理生態（光合成、呼吸）、土壌呼吸、森林二酸化炭素（CO₂）フラックス、近接リモートセンシング等の複合的観測と安定同位体分析を組み合わせることにより、（1）生態系呼吸プロセス（枝、幹、土壌呼吸）の時間的変動と環境応答特性と、（2）林冠光合成生産力のフェノロジーの関係に基づいて、（3）光合成から呼吸に至る炭素分配・代謝フラックスの動態機構を解明し、（4）森林炭素動態の詳細・広域評価を展開する。これらのうち、産総研では大気化学的手法によるアプローチを担当する。

平成28年度は、岐阜県高山市の落葉広葉樹林観測サイトにおける、各呼吸プロセスの寄与を評価するために、CO₂フラックス、大気中 CO₂濃度、気象の連続観測および大気、土壌空気、降水、土壌水、大気中水蒸気の同位体観測を継続して行った。これまでに得られた試料の同位体比分析を進め、データを蓄積した。昨年度開始した水の同位体測定装置を用いた分析については、実サンプルの分析を本格的に進めた。葉呼吸に伴う酸素同位体比の推定のためのモデルの改良の検討を進めた。また、同位体を用いた各呼吸の寄与の推定結果と比較するために、当サイトで実施している、渦相関法によるフラックス観測や土壌チャンバーによる土壌呼吸観測のデータの解析を行った。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】炭素循環、安定同位体、森林生態系、生態系呼吸

【研究題目】氷成長抑制ポリペプチドと温度応答性物質を用いた水・氷・霜の付着しない機能面の研究

【研究代表者】灘 浩樹（水環境技術研究グループ）

【研究担当者】灘 浩樹（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究は、空気流中の水滴、雪、氷粒子、水流中の氷、さらには蒸気流が冷やされてできる霜が付着しないように、ナノスケールの表面の凹凸が温度に応じて変わることができる新規な透明機能面を確立することを目的とする。その目的のもとにおいて、本研究の目標は、低温環境下で生息する一部の生物が持つ不凍タンパク質にヒントを得た高分子と熱応答性高分子を結合して透明プラスチック板に適切に固定した機能面を作製し、その機能面に水滴、氷結晶、霜が着かないことを実験的に明らかにすることである。水滴、氷結晶、水蒸気は静止空気中と乱流気相中の両方の場合を検討することに、分子動力学、

フェーズフィールド法、乱流直接数値シミュレーションなどを用いて水滴、氷結晶、霜が着かないメカニズムを理解することも本研究の目標である。

本年度は、冬ガレイ由来のアミノ酸配列をもとにしたポリペプチドの分子動力学シミュレーション研究実施に向けて、高精度水分子間相互作用モデルを作成し、そのモデルを使って氷界面の大規模分子動力学シミュレーションを実施した。このシミュレーションにより、ポリペプチドがある特定の氷界面方位に選択的に吸着する事実に関係した分子レベル氷界面物性の新しい知見が得られた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】凍結制御、不凍タンパク質、温度応答性物質、シミュレーション、物質表面機能

【研究 題 目】タイ低地熱帯季節林の森林タイプの成立要因と降水量シフトによる森林機能への影響評価

【研究代表者】前田 高尚（環境管理研究部門）

【研究担当者】前田 高尚（常勤職員1名）

【研究 内 容】

地球温暖化に伴うと思われる降水量シフト（年降水量や季節性の変化）や極端な気象が顕在化している。近年タイでは乾季の降水量の増加や、雨季に乾燥期間が出現する傾向が見られ、生物季節の変化など森林生態系への影響も認められる。タイ低地には常緑樹林と、2つの異なった乾季落葉樹林が存在する。これらの分布は、従来は気候的要因で説明されてきたが、我々の以前の調査により、森林タイプの分布は地質や地史に明瞭に対応していることがわかり、土壌基質にも依存しているという仮説を立てるに至った。これに従えば、タイの低地林は、降水量シフトや土壌改変に対し、従来の認識よりさらに脆弱であることになる。本課題では、京都大学ほかと共同で「タイ低地熱帯季節林の成立要因に関する新仮説」を検証し、これに基づいて「土壌-樹木-大気」の関係をモデル化して、降水量シフトなど気候の長期的変化に伴う熱帯季節林の変化の予測と脆弱性の評価を行う。このため、タイ中西部カンチャナブリ県にある混合落葉林、タイ東北部ナコンラチャシマ県にある乾燥常緑林と乾燥フタバガキ（落葉）林において、気象などの環境要素、林冠フェノロジー（出葉、開花などの季節状態）などのモニタリングを現地機関の協力の下で継続する。今年度は、本課題の端緒として、過去に同観測地で得た各種データを集約し、それぞれの森林の林冠フェノロジーと、降水、土壌水分の季節変化の年々変動や、エルニーニョ現象など数年周期で起きる気候変動との関係について解析を始めた。また、現地では巨木の立ち枯れが多数みられ、2014年から続く長いエルニーニョ現象によると思われる強い干ばつとの関係について調査を始めた。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】熱帯季節林、地球温暖化、生物多様性、エルニーニョ現象、フェノロジー

【研究 題 目】西太平洋～インド洋海域洋上エアロゾルの光学特性と変質

【研究代表者】塩原 匡貴（国立極地研究所）

【研究担当者】古賀 聖治（環境管理研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

西太平洋から南大洋のインド洋海域を対象に、エアロゾル粒子の光学特性とその鉛直構造の実態把握、および人為起源エアロゾル粒子が大気環境に与えている影響を調査することが本研究の目的である。南極観測船「しらせ」は毎年定期的にはほぼ同一の海域を航行する。この船を用いて、エアロゾル粒子の地球規模での実態把握を行うことが本研究の特色である。このような船上観測は海外では実施されていない。観測項目は、リモートセンシングを主とした大気全層のエアロゾル粒子の光学特性と大気境界層内のエアロゾル粒子の光学特性および化学組成に関する時間空間変動の把握の二つに大別される。

日本南極地域観測隊の夏隊員が観測を担当する。そのため、国内では毎年、搭載される各観測装置の取り扱いについて、習熟訓練を隊員に対して実施している。また、装置の担当者は、担当装置の「しらせ」への搬入、設置、撤収、搬出、および動作確認を実施する。データは装置に接続したノートパソコンに収録され、帰国後に解析される。

筆者は大気境界層内のエアロゾル粒子の光学特性の観測を担当している。「しらせ」は開水域、海氷域、定着水域を航行する。これらの環境に対応して、光学特性も変化することがわかった。海氷・定着氷域では、海面からの海塩粒子の発生やエアロゾル粒子の先駆物質である気体の供給が抑制されるため、エアロゾル粒子の個数濃度や光学特性を表す数値が、開水域の10分の1程度に減少する。同様な傾向が毎回確認されることから、この分布は普遍的であると言える。観測で得られたエアロゾル粒子の光学特性と個数濃度を基に、その他の光学特性を理論的に導出する予定である。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】エアロゾル、光学特性、南極、しらせ

【研究 題 目】海洋微細藻類からのエネルギー回収を目指した太陽光利用型光触媒システムに関する研究

【研究代表者】根岸 信彰（環境管理研究部門）

【研究担当者】根岸 信彰（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では太陽光を藻類培養と油分抽出並びに残渣のバイオガス変換の両者で使用する省エネルギー型新規プロセスの開発を実現するため、光触媒を用いた微細藻類

の破碎によるオイル回収及び残渣の光触媒分解によるバイオガス生産に向けた基礎研究を進めた。本年度は、昨年度水中において有効なシグナルが得られなかった海水中 TiO₂光触媒の測定に代わり、常温大気圧下における海水塩を混合し乾燥させた光触媒の ESR 観察による活性種の確認を行った。光触媒の ESR 測定では昨年度から使用している閉鎖循環系で用いている TiO₂セラミック光触媒の他、標準触媒である P25にも海水塩を固定化して測定を行った。P25単独では海水塩が無い状態では ESR シグナルは常温大気圧下では全く出ず、紫外光照射下でも酸素ラジカルに帰属されるシグナルが僅かに出るだけだったが、Cl を固定化して UV 照射することで酸素ラジカル強度が約7倍に増大することを見いだした。これにより海水塩の存在により活性種生成量が増大することを確認した。さらに、本研究の反応に通常用いているセラミック光触媒の ESR シグナルを測定したところ、UV 照射する前から極めて強い活性種 (Cl 固定 P25比で31.5倍) に起因するシグナルを有していた。Cl を固定化すると UV 照射前から強い酸素ラジカルに帰属されるシグナルを有するところは同じであったが UV 照射によるシグナル強度の増大は僅かであった。これら結果は、Cl 塩の存在が TiO₂上でラジカル発生を誘発していること、また、セラミック触媒が暗条件においても常温常圧で活性種を内包していることを突き止めた。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 光触媒、海水、バイオマス

【研究 題 目】 マイクロ RNA の量的・質的変動を解析するシステムの構築

【研究代表者】 谷 英典 (環境管理研究部門)

【研究担当者】 谷 英典、青木 寛、中村 薫
(常勤職員2名、他1名)

【研究 内 容】

近年、タンパク質に翻訳されない (タンパク質をコードしない) ノンコーディング RNA が注目を集めており、特に短鎖ノンコーディング RNA であるマイクロ RNA は新たな情報伝達分子として生命に影響を及ぼしていると考えられているが、依然として不明な点も多い。このようなマイクロ RNA の役割を正しく理解するためには、発現の有無や増減を議論するだけでなく、その存在量を定量的に求め、さらに生体内での生合成と代謝分解の過程を経時的に追跡する必要がある。本課題では、最新鋭の分析技術を利用して、細胞内外に極微量に存在しているマイクロ RNA の量的・質的な変化を評価する技術の開発に取り組んでいる。本年度では、細胞に化学物質を暴露させた際のマイクロ RNA の発現量変化の解析を進めるにあたり、まず、マウス多能性幹細胞 (マウス ES 細胞) を神経細胞に分化させたものに含まれるマイクロ RNA に関して、次世代シーケンサにより網羅的に RNA 量を解析するシステムの確立に成功した。さらに、

神経細胞に分化させたマウス ES 細胞に9種の化学物質 (PRTR 法の第1種指定化学物質から選定: クロロホルム、トリクロロエチレン、りん酸トリ-n-ブチル、ベンゼン、フェノール、ピロカテコール、p-クレゾール、p-ジクロロベンゼン、フタル酸ビス) を暴露することにより、これらの化学物質に対して高い応答性を有するマイクロ RNA を複数同定することに成功した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 細胞、マイクロ RNA、次世代シーケンサ

【研究 題 目】 都市気候と空調エネルギー需要の相互作用感度 (PFB 感度) の定量化とその国際比較

【研究代表者】 高根 雄也 (環境管理研究部門)

【研究担当者】 高根 雄也、亀卦川 幸浩、大橋 唯太、井原 智彦 (常勤職員1名、他3名)

【研究 内 容】

本研究では、都市域での“気温上昇→冷房需要増→排熱増→更なる升温”のポジティブフィードバックによる都市気温と空調エネルギー需要の相互作用感度 (PFB 感度) に着目する。研究代表者らが PFB 過程を含む世界初の数値モデルとして開発した都市気候と建物エネルギーの連成数値モデルを大阪、ロンドン、デリー、ジャカルタへ適用し、都市気温と冷房電力需要に対する二つの現況 PFB 感度の定量化を試みる。この為、建物エネルギーモデルを国外へ適用すべくその改良を行い、国外3都市で実施する屋内外気象観測の結果と比較し検証する。検証後の連成モデルで PFB 感度を定量化し、対象4都市間での差異とその要因を解明する。最後に、都市～全球の気候変動予測における PFB 過程のモデル実装の可否やモデル改良の今後の方向性を明確化する。

本年度は、PFB の定量化に先立ち、都市気候と建物エネルギーの連成数値モデルによる都市気候と空調使用に伴う電力需要の再現精度の検証を、大阪と対象に実施した。その結果、空調に関わる複数のパラメータを導入することで、大阪市の都市気候と空調使用に伴う電力需要の時間変化および空間分布を精度良く再現・予測できることを確かめた。また、本モデルをジャカルタに適用し、試算を実施した。

次年度は、大阪市において PFB の定量化を実施するとともに、ロンドンの計算に必要な基礎的なパラメータ収集を行う予定である。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 都市気候、電力需要、都市、数値シミュレーション

【研究 題 目】 多色変化型糖センサーアレイの高機能化と多検体同時検出システムへの展開

【研究代表者】 青木 寛 (環境管理研究部門)

〔研究担当者〕青木 寛（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高感度で迅速かつ明瞭多彩な色調変化を示し、生体サンプル中のグルコース濃度を簡便・正確に測定できる実用的な多色変化型糖センサーを開発する。グルコースに対する応答感度を向上するため、新たな構造を有するボロン酸モノマーを合成して薄膜作製に用い、薄膜の比表面積を増大させる手法を開発する。この際、薄膜の色調変化を数値化して定量的に評価する手法を確立する。糖以外の化合物に対する応答メカニズムの新規導入も検討する。最終的に、我々の身の回りに存在する多種類の測定対象物質を1枚のチップにより測定できる多検体同時検出システムへの発展を目指す。

本年度は、グルコースに対して高感度かつ高選択的に応答する色調変化型センサーを実現するため、前年度開発した過酸化水素センサーをグルコースオキシダーゼと組み合わせ用いる手法を検討した。一定濃度のグルコースオキシダーゼと色素、および種々の濃度のグルコースを含む水溶液を調製し、そこにボロン酸含有薄膜を浸漬すると、グルコース濃度に依存した色調変化が観測された、これは、グルコースオキシダーゼの作用によってグルコースが酸化される際に過酸化水素が生成し、これが薄膜中のボロン酸基と反応して、色素の吸脱着を引き起こしたものと考えた。この手法によれば、酵素を用いない方法と比較して10～100倍の高感度でグルコースを検出できることが明らかとなった。また、糖以外の化合物に対するセンサーとして、次亜塩素酸に対する色調変化型センサーの開発も併せて行った。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕比色反応、センサーアレイ、糖尿病、糖、グルコース、ボロン酸

〔研究題目〕火山・地熱由来水銀の放出量及び拡散量の推計を目的とした安価な長期観測手法の開発

〔研究代表者〕丸本 幸治

（国立水俣病総合研究センター）

〔研究担当者〕野田 和俊（環境管理研究部門）

（常勤職員1名）

〔研究内容〕

火山・噴気活動によって放出される水銀の環境影響を評価するため、阿蘇火山の噴火により放出された火山灰中の水銀濃度を計測した。その結果、火山灰中の水銀濃度と水溶性イオン成分濃度は噴火のタイプによって大きく異なることが分かった。火山ガス中水銀の簡易計測法として水晶振動子式水銀検知センサー（QCM-Hg センサ）の妥当性について評価するため、霧島地方の噴気地帯において噴気ガスの水銀濃度を観測した。噴気地帯の土壌から放出される水銀について QCM-Hg センサと従来の携帯型原子吸光式 Hg との並行試験を行い、両者の観測

値が良好な相関関係にあることが分かった。マルチプロターを用いた飛行観測について検討し、複雑な地形による風、噴気孔上空の強い上昇気流による影響を確認し、十分に安定した飛行およびホバリングが可能であることが分かった。次に、温度・湿度センサ等を搭載したロガーを搭載させて噴気地帯において飛行観測を行った結果、良好に動作し、ワイヤレスデータ送信も混信などの問題もなく、良好であった。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕センサ、水晶振動子、水銀、IoT

〔研究題目〕英国における海洋漏出 CO₂の環境影響評価のための実海域実験

〔研究代表者〕鈴木 昌弘（環境管理技術研究部門）

〔研究担当者〕鈴木 昌弘、塚崎 あゆみ

（常勤職員2名）

〔研究内容〕

海底下地層を対象とした二酸化炭素回収貯留（CCS）技術の実用化に向けては、国際条約（ロンドン条約1996年議定書）や国内法（海防法）により、地中の貯留層から海洋環境への方が一酸化炭素の漏洩を想定した環境影響評価と監視（モニタリング）の実施が定められている。2012年、英国 Ardmucknish 湾において日英共同による二酸化炭素漏洩実験（QICS）が行なわれ、漏洩二酸化炭素の影響やその検出手法の評価が世界で始めて実施された。当該研究課題では、漏洩実験の実施から長期間経過後の影響の度合いを評価するために現地観測を実施するものである。平成28年度は、第1次 QICS における二酸化炭素放出から4年目の事後調査として2016年5月に SAMS（Scotland Association for Marine Science）と共同で現地観測を行なった。QICS 当時は採取できなかった堆積物のより深い層の試料（固相および間隙水）の採取、トレーサーによる間隙水動態観測、地下水流入調査を実施した。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕二酸化炭素、CCS、環境モニタリング、環境影響評価

〔研究題目〕精密質量データ解析法の開発と環境化学物質モニタリングへの応用

〔研究代表者〕頭士 泰之（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕頭士 泰之（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究ではガスクロマトグラフ - 高分解能飛行時間型質量分析計（GC-HRTOFMS）の環境分野における高度化を目指し、その装置性能を最大限に引き出しつつ活用した物質の検索・同定が可能な高精度な網羅的分析法や、物質組成や量の変化を好感度に検出・識別できる精密質量データの解析法を開発し、測定データからの物質の発掘や検索・同定において精密質量データを用いるこ

との優位性を明らかにすることを目指す。ケーススタディとして、廃棄物処分場、環境監視地点等における大気及び水環境中の化学物質の網羅的モニタリング及び異常検出とその原因解析を行い、開発した手法の妥当性と有用性について評価する。当方の担当分として、複数にわたる測定クロマトグラム間の保持時間のズレを補正するツールの開発及びその高度化を進めた。本事業の最終年度目となる今年度は、海外の研究者と議論を重ねながら、これまでに作成したプロトタイプをグラフィカルユーザーインターフェースで動作するよう改良し、多様なユーザーが利用できるようにした。またその性能について、多面的な評価を行いそれらの結果を論文発表した。今後は本ツールについて、次の研究展開への活用及びさらに多数のユーザーへの普及等を進める。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 GC-HRTOFMS、精密質量、環境モニタリング、保持時間補正、網羅分析

【研究 題目】 サプライチェーンが産み出す価値と環境・資源ストレスの統合的ホットスポット分析

【研究代表者】 工藤 祐揮（安全科学研究部門）

【研究担当者】 工藤 祐揮、田原 聖隆、北川 直美（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

サプライチェーンに潜在するストレス要因のホットスポットを特定することで、その持続可能性を高めることが求められるが、そのための分析手法は未成熟な状況にある。本研究では、国産製品のサプライチェーン（国内産業および輸入原料を含む）を対象として、国内外の地域レベルおよび地球レベルで発生する環境・資源ストレスのホットスポット分析の枠組み・指標・原単位を確立する。まず、環境・資源・社会面の評価領域を定義し、地域レベルの統計や国際物質フロー分析を活用してストレス指標を開発する。将来的に需要量・生産量が増加することが想定される製品やエネルギーを対象とした事例分析に適用し、それらの潜在的なストレス要因のホットスポットを特定する。さらに、分析方法のアルゴリズムおよび原単位のデータベースを実装することで、ホットスポット分析の汎用的な枠組みを構築することを目指している。平成28年度は、再生可能資源の有効利用に伴う離島におけるサプライチェーン全体への波及効果に関するデータ整備を行った。また、全国の事業所データと地震発生確率、南海トラフ地震の予測震度を組み合わせることにより、国内生産品目に関する地震リスク指標を算定した。さらに、サプライチェーン構造を記述したインベントリ（IDEAマトリクス）を更新した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 サプライチェーン、環境・資源ストレス、ホットスポット、再生可能資源、地震リ

スク、サプライチェーンマトリクス

【研究 題目】 システム改革の下での地域分散型エネルギーシステムへの移行戦略に関する政策研究

【研究代表者】 歌川 学（安全科学研究部門）

【研究担当者】 歌川 学、小杉 昌幸（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究は、現在の大規模システムと大量エネルギー消費の組み合わせから、エネルギー消費を効率化し削減した上で地域分散型システムへ移行する戦略、移行のプロセス、政策について解明することを目的としている。産総研では、省エネ技術普及を分担して研究を実施する。

平成28年度は、産業部門（ユーティリティ等）や業務部門の事業者・事業所のエネルギー消費実態およびCO₂排出実態、対策事例調査を設備投資及び運用について実施した。排出が増えた事例についても調査を実施した。科学的技術的知見の共有方法等も調査を実施した。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 温暖化対策、省エネ対策

【研究 題目】 金属素材の持続可能な循環利用システムの構築

【研究代表者】 畑山 博樹（安全科学研究部門）

【研究担当者】 畑山 博樹（常勤職員1名）

【研究 内容】

金属素材の社会中での使用量（ストック）は先進国において飽和傾向にある。これらの国では、使用済み製品から回収された鉄鋼等の金属は相当量が輸出されており、国内で循環利用し続けられているとはいえない。さらに鉄に随伴するレアメタル等合金元素については、国内のリサイクルであってもほとんどが有効に活用されていない。そこで本研究では、鉄およびその合金元素の循環に着目し、「循環利用に従った合金元素の挙動に関する体系的理解」「鉄鋼材に混入する不純物の経路と量の定量化」「鉄スクラップの合金種別分離等の合金元素を有効利用するための循環システムの最適化」を実施する。

鉄鋼における合金元素の利用ポテンシャルを把握する上では、鉄鋼以外での合金元素の用途とその散逸を分析する必要がある。3年の研究期間の2年目である今年度は、レアメタルを合金元素として多く使用するアルミニウムについて、マテリアルフローデータの整備を実施した。アルミニウムは合金系別に添加されている元素が異なるため、マテリアルフローもそれに応じた整理が望ましい。そこで、アルミニウムの展伸材を板材と押出材に分けて考慮し、さらに42の合金系、49の用途に区分されたマテリアルフローデータを作成した。これにより、各合金系の組成を考慮することで、アルミニウムの利用に伴うレアメタルのフローを分析することが可能となっ

た。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 リサイクル、都市鉱山、鉄鋼、レアメタル、社会ストック

〔研究 題目〕 水による爆風圧低減化のメカニズム解明と応用

〔研究代表者〕 中山 良男（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 中山 良男、杉山 勇太（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

爆薬の近傍に水を配置した状態で爆発が起こると周辺の爆風圧が低減化することが知られているが、そのメカニズムは明らかにされていない。

本研究では単純な系における実験として、透明の樹脂で作成した直管モデル内部でアジ化鉛100 mg を爆発させた。高速度カメラ撮影と管内・管外の爆風圧計測により爆風低減メカニズムを解明することを目的とした研究を実施した。管内の水配置をパラメータとして実験を行い、爆薬の真下に配置した水が、爆風圧低減に大きな役割を果たしていることを見出した。

実験を再現する数値解析を行い、流れ場の可視化や水が吸収するエネルギー量を定量的に評価した。その結果、水と空气中を伝播する衝撃波の干渉によって、特に爆薬直下の水が波立つ様子等を観測できた。角管から開放される爆風伝播過程を解明することができ、実験で得られた爆風圧を数値解析によって概ね再現できた。爆発によって生じた爆風が水に入射することによって獲得する水の運動エネルギーや熱エネルギーを定量的に評価した。その結果、爆発直後の高圧・高温空気から爆薬直下にある水へのエネルギー移動量が非常に多いことが爆風圧の低減に寄与することがわかった。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 高エネルギー物質、爆発、爆風圧、水、低減化

〔研究 題目〕 単一パルス高圧衝撃波管によるテトラフルオロエチレン爆発予知のための反応モデル構築

〔研究代表者〕 松木 亮（安全科学研究部門）

〔研究担当者〕 松木 亮（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

テトラフルオロエチレン（ C_2F_4 ）ならびに含フッ素不飽和炭化水素（ハイドロフルオロオレフィン）の高温下での反応機構の解明に資するため、衝撃波管装置を用いて分光学的に高温反応の研究を行っている。前年度に引き続き、衝撃波によって生成した高温場によってオクタフルオロシクロブタン（ $c-C_4F_8$ ）を熱分解し、生成したジフルオロメチレン（ CF_2 ）ラジカルの紫外吸収をモニターすることで、その生成挙動を明らかにした。オクタフルオロシクロブタンの熱分解からテトラフルオロエ

チレンを経てジフルオロメチレンラジカルが生成する反応経路が推測された。また、テトラフルオロプロペンの熱分解反応を、赤外過渡吸収分光法によって追跡した。測定結果から、熱分解は二つの段階を経ることが明らかとなった。一段目はフッ化水素脱離によって、二段目はフッ化水素脱離およびジフルオロメチレンラジカル脱離が競合して進行する。また、ジフルオロメチレンラジカルが比較的安定なラジカルであることから、ジフルオロメチレン基を持つ炭素間二重結合が比較的切断されやすいことが明らかとなった。さらに、高温環境下では、ジフルオロメチレンラジカルと、不飽和結合を有する化合物の反応が、比較的容易に進行し得ることを明らかにした。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 衝撃波管、テトラフルオロエチレン、ハイドロフルオロオレフィン、自己分解爆発、高温化学反応

〔研究 題目〕 チタンと硝酸との反応による爆発性物質の同定及び安全取扱技術の確立

〔研究代表者〕 佐藤 嘉彦（労働安全衛生総合研究所）

〔研究担当者〕 岡田 賢、秋吉 美也子、松永 猛裕（安全科学研究部門）（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

本研究は、今後頻発する恐れがあるチタン薄膜を硝酸で処理する薄膜剥離工程での爆発災害を防止し、労働安全の更なる向上に貢献することを目的としている。具体的には、チタン薄膜／硝酸処理工程で爆発の原因となる爆発性生成物を同定し、摩擦や衝撃等の感度や爆力を把握する。チタン／硝酸溶液組成の影響を明らかにし、爆発性物質を生成しない、安全に取り扱える範囲を確定する。

今年度は、爆発事故現場の確認と作業員から作業状況と事故状況の聞き取りを行った。その結果、産総研で実施している、再現実験とは以下の点で異なることがわかった。①チタン薄膜／硝酸の攪拌が攪拌棒による物理的攪拌ではなく、空気バブリングによる攪拌であること。②溶液の加熱方法が槽の外部からの加熱ではなく、投げ込みヒーターを用いた加熱であること。今年度は、この結果を踏まえて、①の点に着目しながら再現実験を行った。溶液に、エアポンプを使用して、空気を送り込み、チタン薄膜／硝酸処理工程の再現実験を行った。吹き込んだ酸素と酸により不動態皮膜の損傷と新表面の露出が発生し、発火現象に至ることを期待した。しかしながら、爆発現象の再現は確認できなかった。来年度は②の効果も取り込んで再現実験を行う予定である。今後、更に爆発性生成物と不動態皮膜成長の観点から検討を進める必要がある。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 チタン薄膜／硝酸処理工程、爆発性生成

物、不動態成長

〔研究題目〕都市インフラを利用した高効率・低コスト型地中熱用システムの実用化による温暖化対策

〔研究代表者〕内田 洋平（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕内田 洋平、吉岡 真弓、シュレスタ ガウラブ、石原 武志（常勤職員4名）

〔研究内容〕

省エネルギー効果の高い地中熱利用システムにおいて、高額な熱交換井掘削費は常に普及阻害要因となるため、水平溝を用いる水平型地中熱交換器による初期コストの低減は重要である。一方、水平型地中熱交換器は広い敷地を要するため、都市部における導入は現状困難である。そこで、本研究では地下トンネル、建物下、グラウンド下など、都市部各所にあり、かつ未利用の地下浅部における導入を可能にするための諸研究を行う。本研究ではまず、地下トンネル、建物下における既設システムにて採取したデータを用いた数値モデリングと感度計算を行い、設置条件・システム用途・気象などに応じた最適システムデザインと省エネルギー効果を検討する。次に、室内及び屋外試験により地中熱交換器の最適設計を行い、既往研究では十分な検討が行われていない水平型地中熱交換器の効率化を達成し、地中熱利用システムの一層の普及を目指す。

産総研福島再生可能エネルギー研究所（福島県郡山市）および産総研つくばセンター（茨城県つくば市）に設置した水平型地中熱交換器の運転モニタリングを実施した。両者は、地質構造と地下水環境が異なり、これらの水文地質環境の違いが水平型地中熱交換器に及ぼす影響を定量的に把握できると予想される。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕地中熱、水平型熱交換器、モニタリング、水文地質環境

〔研究題目〕テラヘルツ金属メタマテリアルが織り成す超高速電場誘起現象とデバイス応用

〔研究代表者〕廣理 英基（京都大学物質－細胞統合システム拠点）

〔研究担当者〕望月 敏光（再生可能エネルギー研究センター）（常勤職員1名）

〔研究内容〕

近年の急速な情報通信技術の高速化と大容量化の要請から、半導体電子デバイスにおける素子の最小加工寸法は10 nm 以下にせまる微細化が進み、デバイスの駆動電場の高電場・高周波化が進んでいる。このため固体メモリーにおける電荷蓄積やトランジスタにおける電流制御が従来の半導体材料では十分に行えない「微細化の限

界」が問題となっている。本研究では、このような物理的な限界を突破し新たな固体メモリーやスイッチング電子デバイスを実現するために、テラヘルツ周波数帯の高電場下における半導体の新規光学現象を探索することを目的としている。バンドギャップ近傍の光学応答は、励起子（電子－正孔対）準位によって支配されている。励起子準位の光学応答を、100 fs 程度の高い時間分解能で、かつ高い信号／雑音比で観測するためには、プローブ光としてテラヘルツ光発生用のレーザー光パルスの基本波（800 nm）を利用すればよい。このため、基本波と同じエネルギー位置に、励起子吸収が現れるように GaAs 量子井戸試料の設計・作製を行った。光学応答を観測するために、試料作製上必要な GaAs 基板をケミカルエッチングで除去することにより、テラヘルツ照射下での微弱な超高速吸収変化を検出することができるようになった。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕テラヘルツ波、メタマテリアル、III-V 族化合物半導体

〔研究題目〕地殻エネルギー・フロンティアの科学と技術

〔研究代表者〕浅沼 宏（再生可能エネルギー研究センター）

〔研究担当者〕浅沼 宏、最首 花恵、石橋 琢也、高橋 美紀（常勤職員4名）

〔研究内容〕

本研究は超臨界地熱開発のターゲット、すなわち、脆性－延性境界以深、弾性－塑性変形遷移域、亜臨界－超臨界遷移域の岩体内で人工的に高透水ゾーンを形成する際に生じる様々な現象を室内実験を通じて明らかにし、超臨界地熱開発を支える科学的基礎を築くことを目的として、東北大の研究者が中心となり、平成26年より実施している。4年目の本年度は、減圧破砕、水圧破砕の2種類の破砕に注目し、本研究を通じて開発した「フラクチャクラウド創成装置」を使用して、初期温度、初期圧力、応力、減圧・加圧条件等の実験条件を変えて実験を行い、現象理解の深化を図った。産総研研究者は、実験装置のシール機構や透水性評価方法、弾性波速度測定方法等、実験システム・実験方法に関する助言を行うとともに、実験を通じて透水性を変化させた岩石試験片の物性値測定、実験結果の共同解釈を行う等の点で寄与した。また、これらの実験を通じて得られた知見を掘削、貯留層造成、抽熱等の実際の開発工程へ適用するための方法について検討した。本研究を通じて得られた科学的知見の多くは、平成29年度以降実施予定の超臨界地熱開発詳細事前検討、試掘予備調査等で使用する予定である。

〔領域名〕エネルギー・環境

〔キーワード〕超臨界地熱、減圧破砕、水圧破砕

〔研究題目〕 選択成長法を用いた GaN 系立体チャネル型トランジスタの研究

〔研究代表者〕 清水 三聡 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 清水 三聡、沈 旭強、井手 利英、中島 昭 (常勤職員4名)

〔研究内容〕

GaN 系のパワーデバイスは二次元電子ガス (2DEG) をチャネルとする HEMT (high electron mobility transistor) が唯一実用段階であるが、オン抵抗やオフリーク電流にまだ課題が多い。これに対し、GaN の選択成長法により立体チャネルである Fin 構造を直接形成し、これによって FinFET を新たに実現する。選択成長による低転位密度のチャネルを得ると共に、AlGaN/GaN 系特有の結晶異方性を活用して、バルク伝導チャネルや側壁2DEG チャネルなど異なる伝導型のトランジスタを実現し、それらと比較することで、新しい GaN 系トランジスタの可能性と方向性を明らかにする。H28年度は、選択成長の条件出しを行い、成長条件のパターン依存性を調査した。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 GaN (ガリウムナイトライド)、FinFET、選択成長

〔研究題目〕 ダイヤモンド半導体を用いたパッシブな宇宙電子放出源の実現可能性評価

〔研究代表者〕 加藤 宙光 (先進パワーエレクトロニクス研究センター)

〔研究担当者〕 加藤 宙光 竹内 大輔 (常勤職員2名、他2名)

〔研究内容〕

増え続ける宇宙ゴミの問題を解決するためには、混雑軌道にある大型のデブリを除去する必要がある。このデブリ除去を低コストで実現するためには、エレクトロダイナミックテザー (EDT) の開発が必要となる。本研究はこの EDT に必要不可欠な電子放出源に関するものであり、最終的に電力供給や制御を必要としないパッシブな電子放出源の実現に向け、その実用化研究に入るために必要な基盤技術を確立することを目的とする。ダイヤモンド半導体は、その表面状態を制御することで、負の電子親和性の状態を持ち、実効的な仕事関数を大幅に引き下げることができるユニークな材料である。また、負の電子親和性という特殊な状態により、ダイヤモンド半導体を適切に組み合わせたダイオードに電流を流すだけで、空間に電子が漏れ出る現象も見つかっている。これらのダイヤモンド半導体の特異性と、宇宙環境という地上とは異なる特異な環境条件を組み合わせることで、宇宙空間においてパッシブな大電流電子放出が期待できると考える。今年度は、熱電子放出および電界電子放出試験に適したダイヤモンド電極の作成技術開発を進めた

他、電子放出特性の評価装置の整備を行った。また、地球周回軌道上の原子状酸素環境を模擬した実験において、ダイヤモンド電極が十分に耐え得ることを確認した。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 ダイヤモンド、スペースデブリ、負性電子親和力、エレクトロダイナミックテザー

〔研究題目〕 ドレスト光子フォノンによる高効率人工光合成材料の開発

〔研究代表者〕 八井 崇 (東京大学)

〔研究担当者〕 竹内 大輔 (エネルギー技術研究部門) (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

二酸化炭素 (CO₂) を削減することは、持続可能な発展を維持するための最も重要な課題の一つである。しかしながら、CO₂を光によって分解するためには、高い光子エネルギーが必要となる。本研究で開発する光アシスト形状制御技術によって ZnO ナノロッドの表面形状が制御可能となり、その結果高効率に発生するドレスト光子フォノン (DPP) によってエネルギー上方変換が発生するため大幅な CO₂分解効率の向上が期待される。この高効率なエネルギー上方変換という「機能」を、自己組織的に創発する光プロセスを構築する。さらに、DPP により加工された ZnO ナノロッド表面を水素終端化する手法を開発することで、分解された CO₂がエタノールに変換させることで、高効率人工光合成を実現する手法の確立を目指す。

一昨年度、東京大学で作成された ZnO ナノロッドを有する試料に対する水素終端化の成功を確認し、昨年度、水素化の有無を比較して、水素化による CO₂還元率の向上を確認した。本年度は、水素化による効果の再現性を確認した。また、ナノ構造の割合の多い構造体において、より強い近接場効果を確認することができた。これらの結果は、近接場光の非一様性の理論より妥当な結果であり、今後より制御性の高い ZnO ナノロッドによってさらに強い近接場効果を発生させるための構造作製に有益な情報を得ることが出来た。

〔領域名〕 環境・エネルギー

〔キーワード〕 二酸化炭素削減 (CO₂)、ZnO、ナノロッド、ドレスト光子フォノン (DPP)

〔研究題目〕 天然化合物の革新的標的分子同定法の確立とケミカルエピジェネティクス

〔研究代表者〕 新家 一男 (創薬基盤研究部門)

〔研究担当者〕 新家 一男 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

天然生理活性物質 (天然物) には極めて強力な特異的な作用を示す物質が存在する。それらの標的分子と作用機構の解明は、ペニシリンを例に挙げるまでもなく、時

として世界を変えるほどのインパクトを生物学に与えてきた。しかし、これまでの個別研究は試行錯誤の繰り返しによるものであり、こうした生理活性物質の標的分子を迅速に同定し、作用メカニズムを解明する効率的な方法論は確立されていない。本研究では、新しい化合物標的相互作用検出技術を開発し、あらゆる化合物の標的分子を迅速、組織的に同定する系を構築する。

本年度は、昨年度に引き続き、特殊なチオアミド構造を持つ JBIR-140 を対象に、標的分子の同定を進めた。チオアミド構造は、アミノ酸同士が結合するアミド結合の酸素が硫黄に変換された特殊な構造であり、天然化合物でも極めて希な構造である。産総研で発見した JBIR-140 は、複数のチオアミド構造を持つ化合物であり、構造のユニークさに加え生物活性に興味を持たれている。そこで、本化合物の標的分子同定のための詳細な生物活性の検討と、標的分子釣り上げ用のプローブ化合物調製のための化合物大量供給を行った。本化合物に関しては、親株の生産が安定しないため、生合成遺伝子を用いた異種発現生産による安定供給システムを構築した。本化合物の大量供給のため、異種発現ホストについて、種々の培養法および精製法を詳細な検討を行った。JBIR-140 生産菌は同時に thioviridamide を生産しており、培養毎にその生産比率が変わる問題があった。今回の検討により、thioviridamide は JBIR-140 の artifact であることが判明し、JBIR-140 のみを安定に取得することが可能になった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】ケミカルゲノミクス、ケミカルバイオロジー、天然化合物

【研究 題 目】移動速度論の観点によるヒト iPS 細胞増殖、分化機構の解明と実用的生産技術への提言

【研究代表者】金森 敏幸（創薬基盤技術研究部門）

【研究担当者】金森 敏幸、須丸 公雄、杉浦 慎治、佐藤 琢（常勤職員3名、他1名）

【研究 内 容】

ヒト iPS 細胞の産業化、医療への応用に期待が集まっている。ヒト iPS 細胞を実用化する際には、未分化能を維持したまま所定量を所定期間内に培養し、高い選択性で目的とする細胞に分化する技術が必要となる。現在、ラボレベルではこれらの作業は用手的に行われているが、実用化の際には処理量および処理速度と品質維持の両面から自動化が必須である。

培養工程を自動化する際には、細胞の培養環境を精密に制御する必要があるが、培養装置や細胞を取り扱うプロセスを化学プロセスと見なし、従前の化学装置や化学プロセスで用いられている自動化技術を応用することができる。そのためには、細胞増殖や分化機構を明らかにし、化学反応に置き換えて検討する必要があるが、その

際には移動速度論や反応工学を用いたアプローチが有効となる。

本研究課題の研究代表者である大阪大学大学院基礎工学研究科の岡野泰彦教授は移動速度論を基盤とした数理モデルの専門家であって、本研究課題では上述のヒト iPS 細胞の未分化維持培養、および分化誘導のプロセスについて数理モデルを構築し、その生産技術へ応用を最終目標としている。

その中であって我々は、数理モデル構築のための情報（数理モデルに盛り込むべき物理化学的パラメータ）の提供を行うと共に、数理モデルの妥当性を検証するための培養実験を実施した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞培養、マイクロプロセス、灌流培養、自動培養装置

【研究 題 目】iCAF : iPS 由来の癌線維芽細胞による膀胱癌幹細胞、間質幹細胞の糖鎖標的探索

【研究代表者】木田 泰之（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】木田 泰之、榎 博子、渋谷 陽一郎（常勤職員1名、他2名）

【研究 内 容】

膀胱に代表される難治性固形癌は間質組織を誘導して増殖させ、間質の主要構成細胞である腫瘍関連線維芽細胞（Cancer Associated Fibroblast: CAF）と癌細胞/幹細胞が cross talk して統合的に癌の発生・進展が進むと考えられている。すなわち癌組織とは、形態学的には癌細胞と間質細胞の両者が共存する集合体を指すが、今までの多くの研究は癌細胞のみを標的とする治療開発にエネルギーが注がれ、癌-間質相互作用に配慮した研究をデザインする意識が希薄であった。本提案では癌細胞と間質組織の *in vitro* 共培養系を構築し、癌の増殖・転移・浸潤を再現し、革新的医療基盤技術の礎を築くことを目指した。

研究プロジェクトでは、癌細胞と間質細胞が接続し相互作用している状態における、遺伝子発現、ゲノム DNA メチル化状態などのエピジェネティクス、代謝経路や代謝産物のメタボローム解析から、生体では解析できない『リアルタイムの癌発生』を捉えることを目標としており、これまでに RNA-seq と Bisulfite-seq、またメタボローム解析は既に完了した。現在、代謝産物の解析からの特定代謝物の抽出を行い、癌化における間質の役割を解析中である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】膀胱癌、幹細胞、iPS 細胞

【研究 題 目】iCAF : iPS 由来の癌線維芽細胞による膀胱癌幹細胞、間質幹細胞の糖鎖標的探索

【研究代表者】館野 浩章（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】館野 浩章（常勤職員1名）

【研究内容】

本研究では、膵癌の病理組織学的な特徴である間質組織増生に焦点を当て、間質組織が存在する状態における膵癌幹細胞、膵癌間質幹細胞に特異発現する糖鎖を同定する。本年度はレクチンアレイを用いて各種膵がん間質幹細胞を解析して、糖鎖プロファイルを取得した。更に、様々なレクチンを用いて膵がんを含む各種がん組織を染色し、レクチン染色パターンを把握した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 がん、糖鎖、レクチン、創薬、診断

【研究題目】 高感度糖鎖解析システムを用いた新たな子宮頸部腺癌診断・治療バイオマーカーの開発

【研究代表者】 榎谷内 晶 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】 榎谷内 晶、成松 久
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

子宮頸がんは子宮がんの約7割を占め、近年は若年層での発生頻度が増加傾向にあり30歳代後半が発生のピークとなっているが、通常早期にはほとんど自覚症状がない。診断方法としては、細胞診、コルポスコピーによる直接観察 (コルポスコピー)、原因とされるヒトパピローマウィルス (HPV) グループの DNA 検査があるが、細胞診、コルポスコピーには熟練を要する。子宮頸がんの中でも子宮頸部腺がんは扁平上皮がんと比較して細胞診検体の形が崩れ易い、コルポスコピーによる発見が難しいなど早期診断が困難な場合が多く、難治療性と言われている。そこで我々は子宮頸部腺がんの早期診断を可能とする分子マーカー開発を目的とした探索を開始した。

まず子宮頸部腺がん組織に特徴的な糖鎖変化を見出すために、昨年度までに患者組織の癌部、非癌部より採取したレーザーマイクロダイセクション (LMD) 切片のレクチンマイクロアレイ解析を実施した。そこで今年度は、実際の診断に用いられる臨床検体を想定し、細胞診試料、体液等の試料について検討を開始した。その結果、細胞診試料は通常の生化学的解析のサンプルとしての使用には適していないと結論づけ、一方、種々の体液サンプルについては、レクチンマイクロアレイ解析を行うための条件設定を終えた。今後は収集した検体のレクチンアレイ解析を実施し、特徴的な糖鎖変化とそれらの糖鎖を持つマーカー候補となる糖タンパク質を探索していく予定である。

【領域名】 生命工学領域

【キーワード】 グライコпротеオミクス、糖鎖バイオマーカー、子宮頸部腺がん

【研究題目】 末梢神経再生技術の形成外科領域への導入

【研究代表者】 木田 泰之 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】 木田 泰之、高山 祐三、榎谷 博子、
渋谷 陽一郎 (常勤職員2名、他2名)

【研究内容】

本研究の目的は「最近開発された末梢神経再生技術の動物モデルへの移植を行うこと」である。現在のところ末梢神経損傷後には神経縫合、神経移行、自家腓腹神経移植等が行われるが、再生軸索の伸張速度は約1mm/dayと遅く、機能回復が得られる前に廃用性筋萎縮を来す例もある。筑波大学では、ラットにおいて血管結紮クリップを用いて顔面神経不全麻痺モデルを構築し術式検討を行ってきた。一方、産総研では、マウス脂肪由来細胞からの神経前駆細胞誘導法の開発、および神経細胞培養法の開発とデバイス化を行ってきた。術式の改善は、これまでの研究進展でプラトー相に達している。この課題に対して、我々は「幹細胞や誘導した神経前駆細胞、デバイス化した培養神経前駆細胞を動物モデルに移植、解析し、末梢神経再生への新規幹細胞利用治療法の礎を築く」ことを目指すものである。

これまでに我々が開発した方法により、マウス皮下脂肪組織から脂肪由来細胞を調製した。この皮下脂肪組織より、我々が新規に開発した非接着培養から培養を開始しその後分化誘導する方法で、移植用神経前駆細胞を作製することができている。現在、細胞移植等の検討のため、準備した細胞での遺伝子発現、細胞増殖能、細胞分化能等の細胞性状を解析中である。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 神経、再生医療、幹細胞

【研究題目】 末梢神経再生技術の形成外科領域への導入

【研究代表者】 高山 祐三 (創薬基盤研究部門)

【研究担当者】 高山 祐三、木田 泰之、榎谷 博子、
若林 玲実、渋谷 陽一郎
(常勤職員2名、他3名)

【研究内容】

本研究では末梢神経再生効果を検証するために、移植用末梢神経組織の作製、及び神経損傷モデルマウスを用いた移植組織の効果検討を行うことを目的としている。用いる細胞材料として、マウス皮下脂肪組織を採取し、酵素処理等を行って間質血管細胞群 (stromal vascular fraction、以下 SVF) を調製した。この SVF を非接着培養条件から培養を開始し、細胞が安定後、接着培養に切り替えて低分子化合物による分化誘導により、移植用神経軸索を作製させるための神経前駆細胞を作製することに成功した。次に、微細加工技術を利用して、シリコンゴムの一種であり、高い生体適合性を有する細胞工学研究に有用なポリジメチルシロキサン (Polydimethylsiloxane、以下 PDMS) 製の培養チャンバーを作製し、その中で移植用誘導神経軸索束の作製

に挑んだ。また、移植用細胞としての安全性には課題が残るが、より多くの末梢神経細胞及び組織を作製可能な手法としてヒト iPS 細胞からの末梢神経誘導法確立も並行して行った。全ての末梢神経細胞種は神経堤細胞という1種の幹/前駆細胞から分化誘導が行われる。よって、ヒト iPS 細胞からまずはこの神経堤細胞を効率的に誘導する手法確立を目指し、培養手法の最適化を行ってきた。作製したヒト末梢神経細胞の機能解析のために、微細加工チャンバー内で他種細胞と共培養、及び機能的な相互作用を形成することを確認でき、移植用末梢神経組織作製手法確立において一つの方向性を示せたと考えている。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】再生医工学、微細加工、幹細胞、末梢神経

【研究 題 目】FT ICR MS を用いた水圏中微量金属元素－溶存有機物錯体の分子構造解析

【研究代表者】高橋 勝利（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】高橋 勝利（常勤職員1名）

【研究 内 容】

実験室において陸水試料中の溶存有機物と Cu を錯生成させ、水試料からの Cu-有機物錯体の濃縮法を検討した。金属-有機錯体の分離濃縮法としては、逆相クロマトグラフィーが有力であったが、一方で固相抽出法は簡便な操作により錯体を分離できるため、多量の水試料を処理するのにあたっては固相抽出法の利用も検討した。分離をメタノールなどの極性溶媒で行うことができる C18 (ODS) などは質量分析の前処理としても適しており、極性の異なる数種類のカートリッジを用いて濃縮・分離条件を検討し、より低極性の物質を分離する C8、基礎構造に飽和アルキル鎖を有し、低極性物質を分離する C18、基礎構造に芳香環を有し、低極性物質を分離する SDB ポリスチレンなどを試し、金属-有機物錯体濃縮に適した方法を探索した。天然水からの有機配位子の濃縮には、固定化金属アフィニティクロマトグラフィーを試みた。活性グループとして、一般的なカルボキシル基だけでなく、硫酸エステル、フェニルホウ酸などを修飾した固相を作成し、それらを用いた IMAC により、天然水中の有機配位子の分離濃縮を行う方法を試した。分離された配位子の化学的特性の評価を FT ICR MS 分析により評価した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】フーリエ変換型質量分析計、水中溶存有機物、金属錯体

【研究 題 目】培養基質の膨潤力を活用した空間自由度の高い細胞力学刺激法の開発

【研究代表者】杉浦 慎治（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】杉浦 慎治、高木 俊之、金森 敏幸

（常勤職員3名）

【研究 内 容】

近年、細胞は移動、接着、および分化などの様々な局面において外部の力学的刺激に敏感に応答していることが認識されてきている。これまで、細胞の機械的応答は、電気または手動のアクチュエータを用いてゴムベースの細胞培養基質を変形させることによって広く研究されてきた。しかしながら、これらの方法は、一般に、その構造上の複雑さのために、空間的自由度（一軸または二軸のストレッチ）が非常に限られている。

本研究では、埼玉大学（吉川 洋史准教授）と共同で多方向および異方性の機械的歪みに対する細胞の応答を評価するための新しい方法を開発した。産総研では、様々な生体適合性ポリマー（例えば、ゼラチンおよびマトリゲル）の光分解性ゲルを形成することができる光開裂性架橋剤を合成した。この光開裂性架橋剤を利用して、光分解性ゼラチンゲルを合成することができる。埼玉大学では、光分解性ゼラチンゲルに UV 光を局所照射すると、ゼラチン基材の局所的な膨張が誘導されることを見出した。この局所的な膨張は、接着細胞に機械的歪みとして働くことができると考えられる。また、UV 照射パターンを調整することにより、様々な大きさおよび方向の機械的歪みを接着細胞に負荷することができた。このような自由度の高い細胞力学刺激の負荷は、従来の電気または手動アクチュエータを用いる方法では容易ではなかったものである。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞、光分解性ゲル、力学刺激

【研究 題 目】プラズマ医療科学創成に関する総括研究

【研究代表者】池原 譲（創薬基盤研究部門）

【研究担当者】池原 譲（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究題目「プラズマ医療科学創成に関する総括研究」の目的は、科研費・新学術領域研究「プラズマ医療科学創成」の活動を加速することにある。

【目標】

当該年度における「プラズマ医療科学創成」の目標は、プラズマ【活性粒子の集合体】と生体や生命組織との相互作用に関する学術基盤の確立を達成し、新たな学問領域として『プラズマ医療科学』を創成して、新しい医療技術を開拓することである。これを踏まえた「プラズマ医療科学創成に関する総括研究」の活動目標は、プラズマプロセス分野の研究者と生物、医学領域の研究者が有機的に連携した学術研究組織の構築のサポートである。

【年度進捗状況】

新学術領域「プラズマ医療科学の創成」において設定した各研究項目（A01：医療プラズマエレクトロニクス、A02：プラズマ分子生物学、A03：プラズマ臨床科学）の行う連携研究を推進した。池原は特に、A02のリーダー

ーとして、産業技術総合研究所をサテライト拠点『プラズマ医療分子生物学・応用拠点』とする活動を推進した。その結果、名古屋大学プラズマナノ工学研究センターと医学部を中心としたハブ拠点『プラズマ医療科学総合拠点』、九州大学プラズマナノ界面工学研究センターを中心とするサテライト拠点『プラズマ医療安全安心科学拠点』とで行う融合連携研究を推進し、さらには領域横断的な活動を先導することで、プラズマを利用した新しい止血デバイスの創成に関する共同研究論文の発表や知財化を達成した。

【領 域 名】生命工学、エレクトロニクス・製造

【キーワード】プラズマ医療科学、止血・創傷治療、低侵襲性医療、病理学、プラズマ工学

【研究 題 目】複合機能プローブシステムによるバイオ・ナノ材料の分子スケール機能可視化

【研究代表者】山田 啓文 (京都大学)

【研究担当者】平田 芳樹 (健康工学研究部門)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究課題では周波数変調型原子間力顕微鏡 (FM-AFM) の高精度化により高い空間分解能と力感度が達成され、溶液中を含む様々な環境下での精密な力計測が可能にした。高い力感度を生かし、溶液中で表面に弱く束縛された水分子を探針が排除する時に必要な力を可視化して水和構造イメージを取得することを可能にした。この手法を用いて、生体分子の構造形成などの表面水和構造が生体分子の構造形成や機能発現に対してどのような役割を果たしているか理解する事が期待される。

生体試料として、細胞膜内に存在し、水分子を透過させて浸透圧調節機能を担っているアクアポリン (AQP) を含む膜断片を用いた。用いた AQP は、羊や豚などの動物の眼球のレンズ組織から採取して用いた。AQP を含む膜断片は多くが凝集体を形成しており、1枚膜部分を拡大観察すると正方形のタイル状の構造が観察された。これはヘリックス6回貫通型の AQP 膜単量体が平板状に4つ並んだ4量体を形成している状態を観察しているものと考えられる。この膜面上で表面水和構造を計測すると、空間的な繰り返し周期と同程度の周期で水和構造の乱れが観察された。これは、タンパク質を含まない脂質2分子膜の表面水和構造では見られない現象であり、AQP の2次元結晶周期と近い値である。しかし、AQP の表面構造の複雑さを考慮すると、水透過機能による水和構造の乱れとは断言することはできない。水分子透過機能との相関を議論するためには、数多くの試料を用いた統計的な解析を行なう必要があった。また、長時間測定時の熱的ドリフトの抑制や環境制御可能な試料チャンバーの開発が必要である。

こうした生体試料の持つ問題を克服して水和計測を行うため、脂質2分子膜に保持した膜タンパク質系を測定

対象とする手法を検討した。マイカのような原子状に平滑な基板に吸着した固体支持脂質2分子膜 (SLB: Supported Lipid Bilayer) を計測できる試料ホルダを作成した。これにより、溶液中でも安定な脂質2分子膜をマイカ基板上に形成可能になり、その上にアネキシン V やストレプトアビジンのような水溶性のタンパク質の2次元結晶を形成させ、イメージングできることを明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】周波数変調型原子間力顕微鏡 (FM-AFM)、原子間力顕微鏡、水和構造、膜タンパク質、アクアポリン (AQP)、脂質2分子膜

【研究 題 目】光・超音波の統合及び光の位相空間制御による高機能光音響イメージングシステムの開発

【研究代表者】椎名 毅 (京都大学)

【研究担当者】新田 尚隆 (健康工学研究部門)、
椎名 毅、山川 誠、近藤 健吾、
浪田 健、戸井 雅和 (以上、京都大学)
(常勤職員1名、他5名)

【研究 内 容】

光と超音波技術を融合した光音響イメージングは、他のモダリティでは描出が困難な、微細ながんの新生血管を描出し早期診断に有用であることや、腫瘍血管の酸素飽和度を評価でき、良悪性の鑑別診断が可能になることが期待されている。しかし、従来の光音響法では、光自体の特性や臨床における計測条件などに関するさまざまな制約が、解像度、画質、定量性の低下を招いている。そこで本研究では、従来の光音響イメージングの医療計測における解像度、画質、定量性などの機能の低下をもたらす要因に対処するため、臨床での計測条件に適合した各種アルゴリズムの開発や、超音波と光の最適な融合方法の検討などを行う。これにより、深部計測や臨床計測時においても、高解像度、高画質が維持され、酸素飽和度などを定量的に得ることが可能となる。本研究では、このように高機能で実用的な光音響イメージングの実現を目指す。

平成28年度は、上記の機能低下をもたらす要因について検討を行った。特に、生体の音響特性 (音速) が与える影響について、理論的な解析および数値シミュレーションにより検討した。その結果を踏まえ、これらの影響を考慮したアルゴリズムの構築について検討した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】光音響イメージング、可視化、非侵襲生体計測

【研究 題 目】マイクロ波プロセス・トモグラフィー法による血流内微小血栓モニタリング法の

確立

【研究代表者】 武居 昌宏 (千葉大学)

【研究担当者】 丸山 修 (健康工学研究部門)
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

当グループにて開発した近赤外光血液凝固モニタリング法との比較を行なった。In vitro 模擬循環回路でブタ血液を循環させ、回路チューブ間を流動する血液のキロ～メガヘルツ帯のインピーダンススペクトルを取得し、Cole-Cole Analysis により誘電緩和周波数を求めた。一方で、回路チューブに波長785 nm のレーザー光を照射し、光透過光強度をリアルタイムにモニタリングした。回路の連続流血液ポンプ回転数を周期的に変動させることで、低流量域において赤血球凝集反応を促し、透過光強度から赤血球凝集能を推定した。回路内血液凝固反応に伴って、光学的に求めた赤血球凝集能の変化と、誘電緩和周波数の変化に相関があり、血栓形成に伴う電気特性変化による血栓予測方法は、光学的予測法と同程度である結果が得られた。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 人工臓器、高せん断、血栓検出、誘電緩和

【研究題目】 造影剤投与後の心臓に対する音響放射力インパルスの安全性評価

【研究代表者】 秋山 いわき (同志社大学)

【研究担当者】 新田 尚隆 (健康工学研究部門)、
秋山 いわき (同志社大学)、
谷口 信行、石黒 保直 (以上、自治医科大学) (常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

本研究は、超音波造影剤投与後の心臓に対して音響放射力インパルス (ARFI) を照射した場合の期外収縮誘発について、動物実験による検討を行う。特に、期外収縮発生率に与える、造影剤投与後から ARFI が照射されるまでの時間および心臓における照射部位の影響を検討する。これらの実験結果から、期外収縮の発生機序を明らかにすることによって、超音波診断および ARFI の安全性を評価することを目的とする。

本研究では、音響放射力を伴う超音波が心臓のどの部位で最も高い強度となるかどうかをモニタリングしながら動物実験を行う必要があるため、モニタリング機能を備えた ARFI 照射システムを構築する必要がある。そこで平成28年度は本システムの開発を行った。モニタリングは従来の超音波 B モード画像で行うこととし、B モード画像による撮像と ARFI 照射が可能な超音波プローブ、およびこれを駆動する本体システムの設計および製作を行った。また、心臓の動きに同期した照射を行うため、心電波形をトリガとして超音波照射の制御が可能な専用回路を製作し、上記システムに搭載した。製作

したシステムについて、基本的な動作検証を行った後、ウサギを用いた動物実験に適用し、正しく動作することを確認した。次年度以降、本システムを用いて実験を行うことが可能となった。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 超音波、音響放射力、期外収縮

【研究題目】 DNA 損傷と細胞死応答に基づく「がん陽子線・複合免疫療法」の開発

【研究代表者】 坪井 康次 (筑波大学)

【研究担当者】 伊藤 敦夫 (健康工学研究部門)、
坪井 康次、善光 純子 (以上、筑波大学) (常勤職員1名、他2名)

【研究内容】

本研究では、難治性固形腫瘍を克服するために、陽子線照射により局所の腫瘍を根絶するとともに遠隔転移を防ぐ「がん陽子線・複合免疫療法」を実現するための基礎的研究を行う。具体的には腫瘍に対する陽子線照射で誘導される「免疫原性細胞死」により惹起されるがん免疫応答を明らかにする。DNA の損傷修復を抑制し、免疫原性細胞死を誘導する機構の陽子線増感効果と免疫賦活効果を明らかにする。陽子線照射後の新規アジュバントの局所投与による全体的がん免疫賦活効果を明らかにする。産総研は主に上記アジュバントの開発を担当する。

平成28年度は、リン酸カルシウム系アジュバント候補材に関し、安全性の観点から医薬品を原材料に製造する方法を検討した。具体的には、日本薬局方に記載されている医薬品を使用作製する方法と、市販の医療用輸液類を使用する作製方法を検討した。合成操作はすべて滅菌下で実施した。製造物は組成分析、粉末 X 線測定、赤外吸収スペクトル測定、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡観察による検討を行った。その結果、製造されたリン酸カルシウムは液中における分散状態が良く、また、短期であれば保管しても再分散後の分散状態の持続時間に変化もなく、アジュバント候補材として操作性に問題無いことを確認した。また、作製したアジュバント候補材はマウス腫瘍治療モデルで性能評価を実施した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 がん、放射線、免疫療法、アジュバント

【研究題目】 パルスジェットメスによる深部頭蓋底腫瘍摘出法の開発

【研究代表者】 川口 奉洋 (東北大学)

【研究担当者】 鷲尾 利克 (健康工学研究部門)、
川口 奉洋、中川 敦寛、小川 欣一、
大谷 清伸 (以上、東北大学)、
荒船 龍彦 (東京電機大学)
(常勤職員1名、他5名)

【研究内容】

本研究では、抹消神経機能および細血管温存下に深部

頭蓋底腫瘍の摘出を実現するための手術法の開発を行う。使用するデバイスは、拡大蝶形骨洞的到達法で、摘出難度が高い症例でも、病変摘出率増加、出血量減少、手術時間短縮を有意に認めるパルスジェットメスである。より難度が高い深部頭蓋底腫瘍摘出に適用するために、パルスジェットメスの使用条件について流体工学的基礎実験を行い、得られた結果を動物実験で検証し、臨床応用に移行可能な知見を得ることを目指す。

パルスジェットメスの使用条件について、商用ソフトウェアを用いた数値計算モデルを作成し、従来簡略化して解析を行ってきた、液体に対するレーザ照射時の物理現象を忠実に再現することを試みた。計算結果から、これまで得られている射出時の先端のブレを低減させるレーザ出力に関する知見に加えて、更にブレを低減できるレーザ出力パターンと送液のパターンについて、知見を得た。得られた2つのパターンが、実際の装置で達成出来るか、それらは最適値であるか、の検証を行い、実機での実装を試みた。試行結果では流量が数値計算モデルほど増加させられず、数値計算モデルの更なる正確性が必要であることがわかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】パルスジェットメス、数値計算

【研究 題目】パルスジェットメスによる脊髄神経機能温存下脊髄腫瘍摘出法の開発

【研究代表者】遠藤 俊毅（東北大学）

【研究担当者】鷲尾 利克（健康工学研究部門）、
遠藤 俊毅、岩崎 真樹、中川 敦寛、
大谷 清伸（以上、東北大学）
（常勤職員1名、他4名）

【研究 内容】

本研究では、脊髄神経機能温存下に脊髄腫瘍を摘出する手術デバイスの開発を行う。元となるデバイスは熱損傷がなく、細血管の温存が可能なパルスジェットメスであり、これまで脳腫瘍摘出術における出血量の有意な減少と病変摘出率の増加が報告されている。脊髄ではすべての白質繊維が頭尾側方向に走行するなど脳と構造が異なり、構造上機能代替を行う余地はなく、脊髄腫瘍の摘出動作は神経機能の悪化を引き起こしやすい。脊髄神経繊維に並行にパルスジェットを使用することで、脊髄神経機能の温存を図りながらの脊髄剥離操作を目的とするデバイス開発のため、脊髄に対する組織選択性を高める工学的基礎実験を行い、得られた結果を動物実験で検証して、臨床応用に移行可能な知見を得ることを目指す。

数値計算モデルを用いて得た脊髄剥離に有利に働くハンドピースの先端形状について、改良型のハンドピースを試作して実験を行った。実験結果は、数値計算モデルから算定された流速を下回る値となった。数値計算モデルによる正確性確保のため、数値計算モデルの改良を試みた。改良した数値計算モデルでは、先端形状に対する

流速についてまだ正確性は低く更なる改良が必要である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】パルスジェットメス、数値計算

【研究 題目】小児用および部分補助用軸流補助人工心臓の開発

【研究代表者】山根 隆志（神戸大学）

【研究担当者】丸山 修（健康工学研究部門）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

部分循環補助軸流ポンプ（KAP 6）について接液部がポリマー製の小型軸流ポンプを2機種試作比較した。2号機（KAP 6）について回転数切替して溶血試験を行ったところ、8000 rpm（70 mmHg）以下ならば $NIH < 0.05$ g/20 minに抑えられることが確認できた。6日間のヤギ動物実験（流量0.3 L/min）では溶血を恐れて8000 rpmで維持したところ、90 h（4日）で電流値上昇を示し、7日目には体外回路全体に血栓形成という結果であった。流量1 L/min以上、 $ACT > 200$ sの条件ならば「急性心不全患者の部分循環補助ないしBTD用VAD（LVAD）」として使える見通しが得られた。また、小児用軸流ポンプ（KPAP 4）については接液部がポリマー製の小型軸流ポンプを4機種試作比較した。4号機（KPAP 4）の溶血が最も低く（ $NIH = 0.06$ g/20 min）、クエン酸Naと塩化Caを用いた模擬血栓回路試験では、1.0 L/minおよび0.5 L/minで原因明確な微少血栓のみであった。5日間のヤギ動物実験（流量0.3 L/min）では72 h（3日）での電流上昇、脱血回路に血栓形成であった。軸流ポンプKPAP 4は、小児用VADとしてほぼ満足できる性能・低溶血性・抗血栓性を達成した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】補助人工心臓、軸流ポンプ、小児用、部分補助用

【研究 題目】パルスジェットメスを用いた軟性内視鏡下下垂体病変摘出法の開発

【研究代表者】小川 欣一（東北大学）

【研究担当者】鷲尾 利克（健康工学研究部門）、
小川 欣一、中川 敦寛、川口 奉洋、
大谷 清伸（以上、東北大学）、
荒船 龍彦（東京電機大学）
（常勤職員1名、他5名）

【研究 内容】

本研究の目的は、軟性内視鏡下に抹消神経機能、細血管温存下に病変摘出が可能な手術デバイス（パルスジェットメス）の開発である。軟性内視鏡に導入可能なデバイスを試作し、流体工学的基礎実験を行い顕微鏡下デバイスと同等以上のパルスジェットの射出技術を確認し、得られた結果を動物実験で検証することを目標とする。

これまでの知見で、射出動力源となるレーザ出力毎に

最適となる供給水量は実験的には明らかであったが、臨床では狭空間での使用における射出時のブレが敬遠され最適水量での使用は行われていない。しかし、数値計算モデルを用いた計算結果から、最適水量を供給した場合、ブレが減少する傾向がみられたので、実際に軟性内視鏡下を想定した改良型ハンドピースを試作し、数値計算モデルと同様の条件で射出実験を行った。実験結果から、射出するためのエネルギーに対して、射出用液体を満たし且つ光ファイバを配置するチューブの強度と構造の制限が大きく、改めて数値計算モデルでの検討を行う必要が示唆された。数値計算モデルでは、ステンレスチューブにおける実験結果をレファレンスとして、改めて商用ソフトウェアによるモデル化を行い、結果を比較検討した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】パルスジェットメス、数値計算

【研究 題目】アピオスの潜在的機能の活用とその可能性の検索

【研究代表者】奈良 一寛（実践女子大学）

【研究担当者】堀江 祐範（健康工学研究部門）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

通常の食生活では、大豆およびその加工品以外でイソフラボン類を摂取することは困難であるとされるが、マメ科植物であるアピオス（*Apios americana* Medik）にイソフラボンが含まれることが明らかとなった。本研究では、アピオスに含まれるイソフラボン類の中で、他の食品ではほとんど見られない2'-ヒドロキシゲニステインに注目し、生物学的効力の高いアグリコンであるゲニステインと比較しながら、その可能性について検索し、アピオスをイソフラボンの新たな摂取源として展開するための基盤を確立する。2'-ヒドロキシゲニステインは、大豆に含まれるゲニステインの配糖体であるが、経口摂取した場合には、腸内細菌によってアグリコンであるゲニステインとして吸収されると予想される。しかし、腸内における分解機序は不明であり、アピオスの潜在的機能の活用のためには、その解析が欠かせない。産総研では、2'-ヒドロキシゲニステインの摂取による消化管内での腸内細菌による分解と吸収の検討を行った。本年度は、腸内の有用菌の代表的菌種である *Lactobacillus* 属に着目し、動物由来および植物由来の *Lactobacillus* 属を入手し、2'-ヒドロキシゲニステインの分解を評価するための実験系の構築に着手した。次年度以降、本年度の成果を基に乳酸菌による2'-ヒドロキシゲニステインの分解の評価を行う。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】イソフラボン、アピオス、配糖体、消化、乳酸菌

【研究 題目】音響放射力インパルスが肺およびその周囲組織に及ぼす影響

【研究代表者】笹沼 英紀（自治医科大学）

【研究担当者】新田 尚隆（健康工学研究部門）、
笹沼 英紀、谷口 信行、石黒 保直、
小形 幸代、金谷 裕司（以上、自治医科大学）（常勤職員1名、他5名）

【研究 内容】

音響放射力インパルス（ARFI）と呼ばれる技術は、超音波を用いて肝臓の硬さや乳癌の質的診断を可能にする新しい手法で、弾性超音波診断法として既に臨床応用されている。従来の超音波より高強度で持続時間の長いパルス波を使用するため、これまでの安全基準内で出力しても、条件によって組織破壊および有意な温度上昇を引き起こす可能性がある。我々は、肝臓、心臓に対するARFIの安全性を検討してきたが、この過程で肺に傷害が及ぶことを見出した。本研究は、肝臓、乳腺、心臓へのARFIの応用を前提に、隣接する肺組織にARFIがどのような条件下において傷害を起こすのかを明らかにすることを目的とする。さらに臨床での超音波照射の安全域について検討を行う。

平成28年度は、これまでに開発した超音波照射システムを用い、ウサギを用いた動物実験を行った。超音波照射は、ウサギを全身麻酔下に、腹壁より肝臓を経由させ横隔膜経由で肺に照射する経路で行った。超音波の照射条件は、パルス持続時間：数百 μ s～数十ms、休止時間：1秒～1分、照射回数：1～数十回、音圧：十数MPa程度を目安として変化させた。超音波照射を行った後の肺の変化については、摘出後、肉眼視および組織像により確認した。その結果、安全基準内の超音波照射条件下においても、肺胞において出血が生じる場合があることを見出した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】超音波、音響放射力、生体作用

【研究 題目】難治性潰瘍手術ナビゲーションのための下肢末端血流動態画像解析・投影システムの開発

【研究代表者】荒船 龍彦（東京電機大学）

【研究担当者】鷺尾 利克（健康工学研究部門）、
荒船 龍彦、本間 章彦、大越 康晴
（以上、東京電機大学）
（常勤職員1名、他3名）

【研究 内容】

閉塞性動脈効果症など末梢性動脈疾患（Peripheral arterial disease：PAD）に起因する下腿難治製潰瘍の治療成績向上を目的とした、経皮酸素分圧（TepO₂）に変わる、新たな表在血流の虚血スクリーニング手法の開発を行う。具体的には（1）デジタルビデオカメラと、独自の処理アルゴリズムで血行動態を把握する画像処理

ソフトウェアを組み合わせることで下肢抹消の血流動態を二次元的に把握する計測システムを開発し、(2) 患者の下肢の三次元形状情報に合わせて本システムを用いた血流動態情報を精緻に皮膚表面上にプロジェクションマッピングするナビゲーションシステムを開発することを目的とする。

開発する血流計測システムは、対象となる画像があればその処理を自動化し結果が得られるので、血流計測システムが可搬性を有することは、PAD 疑いの患者に関して自身の症状の把握を容易にし、生活の質 (Quality of life) の向上が見込める。そこで、撮像機能およびデータの送受信機能を有する携帯アプリケーションと、サーバサイドアプリケーションとして処理アルゴリズムを実装したサーバシステムの作成を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】血流計測、携帯アプリケーション、サーバサイドアプリケーション

【研究 題 目】集束超音波技術を応用した変形性関節症の低侵襲治療法の開発

【研究代表者】牛田 享宏 (愛知医科大学)

【研究担当者】葭仲 潔 (健康工学研究部門)、
牛田 享宏 (愛知医科大学)、
野口 光一 (兵庫県立医科大学)、
小泉 憲裕 (電気通信大学)、
池内 昌彦、川崎 元敬 (以上、高知大学) (常勤職員1名、他5名)

【研究 内 容】

本研究では、申請者らがこれまでに研究、開発してきた痛みに関する神経科学的診断・治療法を基盤とし、高精度な集束超音波 (HIFU) 照射技術と融合させることで変形性関節症・脊椎症 (OA) の痛みを非観血的に緩和する画期的な治療法を開発する。本研究は痛みの緩和にとどまらず、国民病ともいべき OA によって著しく低下した歩行をはじめとする高齢者の運動機能をも大きく改善することが期待できるため、ロコモティブ・シンδροームの予防・治療にも大きく資する。OA の痛みは画像上の関節症性変化と必ずしも相関しないことが痛みの治療を困難にしている。これは画像上の変化には現れない神経成長因子 (NGF) や Artemin 等の神経栄養因子や神経ペプチドなども痛みの発生機序に大きく関与しているためと推察され、そのコントロールを行うことで、関節変形があっても痛みの悪循環に陥っていない病態に戻すことができるものと期待されている。他方、HIFU 照射技術は熱により腫瘍実質や転移性骨腫瘍の痛みを治療しようとするものであり、これまでに実施したほぼすべての患者に対して何らかの症状の改善がみられるきわめて有望な治療技術である。そこで、本研究ではこれまでの OA における神経生理学的研究の知見と集束超音波 (HIFU) 技術とを融合させる、言わば『融合的 OA 治

療法』を新規に開発する事を最終的な目標とし、その実現のための要素技術の研究開発を行う。

本年度は、超音波照射プロトコルの確立ならびに骨表面神経等の可視化手法の確立を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】超音波診断・治療、集束超音波、超音波振動子、関節

【研究 題 目】接着界面の劣化を検知して殺菌剤と再生誘導物質を徐放するインテリジェント材料の創製

【研究代表者】吉田 靖弘 (北海道大学)

【研究担当者】横田 洋二 (健康工学研究部門)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、歯質接着面の劣化時に薬剤の放出によって抗菌効果を発現する次世代歯科材料の開発を目指し、殺菌剤と再生誘導物質を封入したドラッグデリバリー型層状フィラーを作製するとともに、劣化応答性ドラッグデリバリーの開発に必要な基礎的知見を集積する。層状フィラーの層間にフッ化セチルピリジニウムを挿入し、フッ素成分で歯の脱灰を抑制し、セチルピリジニウムで菌の増殖を抑制する。

平成28年度はドラッグデリバリー型層状フィラーの作製方法を検討した。フッ化セチルピリジニウムは市販されていないため、まず、市販の塩化セチルピリジニウムを用いて、フッ化セチルピリジニウムへの変換を試みた。塩化セチルピリジニウムの溶解特性を利用することにより、溶液中に含有される塩化セチルピリジニウムの約30%をフッ化セチルピリジニウムに変換できることを明らかにした。次に、得られたフッ化セチルピリジニウム含有溶液に層状化合物を添加・攪拌し、フッ化セチルピリジニウムの層間挿入を試みた。得られた生成物のエックス線回折パターン測定を行った結果、層間隔が大きく拡張することがわかった。また、この生成物を蒸留水中に添加するとフッ素が溶出した。これらの結果から、層状化合物の層間にフッ化セチルピリジニウムが挿入されていることを明らかにした。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】抗菌、徐放、歯質接着材料、ドラッグデリバリー、層状化合物

【研究 題 目】数値流体力学解析に基づく脳動静脈奇形の血流解析と集学的治療への応用

【研究代表者】清水 宏明 (秋田大学)

【研究担当者】鷺尾 利克 (健康工学研究部門)、
清水 宏明 (秋田大学)、富永 悌二、
新妻 邦泰、杉山 慎一郎、太田 英輝、
船本 健一 (以上、東北大学)、
荒船 龍彦 (東京電機大学)

(常勤職員1名、他7名)

【研究内容】

本研究の目的は、最新の手法である4次元 MR で得られたパラメータを併用した数値流体力学的解析結果から脳動静脈奇形 (AVM) のデータベースを構築し、これにデータマイニング手法を適用し、個々の AVM の破裂リスクや、破裂しやすい部位を同定することである。AVM は若年の脳出血の大きな原因であり、出血による死亡率も高い。しかしながら、手術の危険性も高く、治療適応を決定することが困難である。特にサイズが大きい、もしくは機能的に重要な部位に生じた AVM は治療自体が不可能で、経過観察しか行えないこともある。本研究により破裂の危機に瀕した部位を同定し、その部位に限局した治療を行うことにより、従来治療不可能であった難治性 AVM を低侵襲かつ最小限のリスクで治療できる可能性がある。また、破裂リスクの低い AVM は経過観察することにより、無用な手術を回避し、医療費削減も期待できる。

これまでに行った仮想データを対象に、商用ソフトウェアによる機械学習スクリプトでの分類結果から、機械学習のパラメータを変更し、分類を再試行した。得られた結果をレファレンスとし、フリーウェアで機械学習環境を構築し、同様の試行で得られた結果を比較した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 機械学習、統計解析

【研究題目】 人体に対して頑健かつ高精度に追従する非侵襲超音波医療診断・治療統合システムの構築

【研究代表者】 小泉 憲裕 (電気通信大学)

【研究担当者】 葭仲 潔 (健康工学研究部門)、
小泉 憲裕、月原 弘之、東 隆 (以上、
東京大学)、牛田 享弘 (愛知医科大学)、
川崎 元敬 (高知大学)
(常勤職員1名、他5名)

【研究内容】

本研究の目的は、医療技能の技術化・デジタル化 (医デジ化) である。具体的には、申請者らが独自に提案する医療支援システム構築の方法論およびこのためのコア基盤技術に基づいた、非侵襲超音波診断治療統合システムの構築法の確立を目指す。本研究で提案する非侵襲診断治療システムとは、呼吸や心拍等により能動的に運動する患部を抽出・追従・モニタリングしながら超音波を集束させてピンポイントに患部へ照射することにより、がん組織や結石の治療を患者の皮膚表面を切開することなく、非侵襲かつ低負担で行おうとするものである。

このうち、研究期間内に、生体に対しても精度を落とすことなく頑健に動作するシステムを実現するとともに、非臨床でのシステムの有効性および安全性を実証する。本年度は、超音波画像のテクスチャのみならず形状情報

を利用し、臓器の変形・回転・音響シャドウの影響を受けにくい追従手法の開発等を行った。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 超音波診断・治療、集束超音波、体動補償・追従

【研究題目】 植物発生ロジックの多元的開拓

【研究代表者】 塚谷 裕一

(東京大学大学院理学系研究科)

【研究担当者】 光田 展隆、大島 良美 (生物プロセス研究部門) (常勤職員2名)

【研究内容】

植物の幹細胞や分化細胞のアイデンティティを決定し、発生・成長プログラムを動かすためには転写制御ネットワークや、調節因子、低分子 RNA などの細胞・器官間を移動するシグナル、代謝物による制御が重要であることがわかってきた。しかし、植物の発生・成長の本質的な発生ロジックは未だに明らかになっていない。本研究領域では、複数のモデル植物を扱う9つの計画研究班と4つの支援体制を組織し、多角的な解析研究を行うことにより「植物の発生ロジック」を理解することを目的とする。植物の発生・分化の過程では多くの転写因子が重要な鍵をにぎっている。発生ロジックを理解する上で重要な転写因子の発見とその制御メカニズム解明の為、転写ネットワークや転写因子の相互作用の研究を加速させることは重要だと考えられる。本支援班ではシロイヌナズナ全転写因子を対象とした転写因子ライブラリーを整備することにより、各転写因子の機能欠損表現型を示す CRES-T ラインの提供や、転写因子と DNA (酵母ワンハイブリッド) またはタンパク質 (酵母ツーハイブリッド) の相互作用解析用ライブラリーの提供を行っている。本年度は、酵母の代わりにプロトプラストを用いて特定の DNA あるいはタンパク質と相互作用する転写因子を同定するシステムの構築を試み、350転写因子ほどであるが、高感度に検出できることを確認した。また、酵母ワン・ツーハイブリッドシステムにおいても新しいプレバクターがこれまでよりも高い性能を有することを見出し、新バクターでの再構築を開始した。

【領域名】 生命工学

【キーワード】 植物、遺伝子、発現制御、発生、タンパク質間相互作用

【研究題目】 細胞外シグナルと細胞内調節の相互作用による器官形成ロジックの多角的理解

【研究代表者】 柿本 辰男 (大阪大学理学部)

【研究担当者】 大島 良美、光田 展隆 (生物プロセス研究部門) (常勤職員2名)

【研究内容】

細胞のアイデンティティ決定の仕組みは発生生物学の重要課題の一つである。細胞アイデンティティは、

周辺細胞からの情報に応じて特定の転写ネットワークが形成されることにより完成する。そこで細胞系譜の前駆細胞や、分化細胞のアイデンティティを決定する鍵転写因子を同定する。また、多細胞生物の形態形成には細胞間協調作用が必須である。自己組織化の原動力としての細胞間シグナル分子候補として、オーキシンやペプチド性シグナル分子が考えられる。そこでこれら因子の同定、受容、シグナル伝達の仕組みを解明する。これまでに、ある発分化現象に関与するシロイヌナズナの複数転写制御因子について、転写因子だけからなる酵母ツーハイブリッドライブラリーを用いて相互作用する転写因子を探索してきた (LexA 系による改良酵母ツーハイブリッドスクリーニング)。しかし、このたびライブラリーを大幅に拡張したので、再度あたらしいライブラリーを用いてスクリーニングをやり直し、これまでとは異なる新しい候補因子を多数同定することができた。現在この生物学的意義を明らかにすべくキメラリプレッサー発現植物などを用いて解析を進めており間もなく論文として出版できる予定である。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 植物、発生、遺伝子、発現制御、タンパク質間相互作用

【研究 題目】 冥王代生命学の創成

【研究代表者】 鎌形 洋一 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 鎌形 洋一 (新学術領域・冥王代生命学の創成・総括班分担)

【研究 内容】

新学術領域「冥王代生命学の創成」は、原始的な生命が誕生したと考えられる地球誕生から約6億年間 (46-40 億年前) の「冥王代」に焦点をあて、生命がいつ、どこで、どのように誕生したかを、最先端の地球惑星科学、生命科学および有機化学などを結集し明らかにする新たな学術領域である。冥王代の地球では、大陸、海洋、大気の三要素が循環的に相互作用し、生命誕生場となる極めて多様で動的な環境「Habitable Trinity」を提案した。今年度はこの Habitable Trinity モデルをより深化させた仮説を構築するとともに英国ニューキャッスル大学・ドイツデュッセルドルフ大学らの最先端研究者と国際シンポジウムを開催するとともに共同研究を開始した。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 生命の起源、熱水系地下環境、系統進化、地球惑星学

【研究 題目】 生物界の暗黒物質「未知アーキア」の解明—分離培養で開拓する多様な新生物機能—

【研究代表者】 玉木 秀幸 (生物プロセス研究部門)

【研究担当者】 玉木 秀幸 (常勤職員1名)

【研究 内容】

全生物は、ユーカリア (真核生物)、バクテリア、そしてアーキアの三つのドメインに分けられることが知られている。中でもアーキアドメインは、環境中に多様かつ普遍的に存在しているが、ほとんどのアーキアは未だ培養されたことがない機能未知な生物であり、最も理解の進んでいない生物ドメインであることが明らかとなっている。本研究では、新規培養技術と最先端の微生物機能推定技術を活用することで未知アーキアの分離・培養を実現し、アーキアの持つ多様で新しい生物機能を明らかにすることを目的としている。今年度は、16S rRNA 遺伝子解析に基づいて未知アーキアが豊富に存在する環境試料を選定するとともに、未知アーキアの集積培養化を試みた。今のところ、ポピュレーションはそこまで高くないものの、いくつか未知のアーキアを内包する集積培養物が複数得られている。今後は、より安定な集積培養系を確立し、未知アーキアの純粋分離を試みるとともに、バイオマスが十分に得られればメタゲノム解析を通じて本未知アーキアのゲノム情報を解析し、未知アーキアの生理生態機能の解明につなげてゆきたいと考えている。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 未知アーキア、難培養微生物、分離培養、培養技術、新生物機能、生物地球化学プロセス、環境ゲノム解析、培養技術

【研究 題目】 三次元多様性を分子設計上の鍵概念とする論理的創薬方法論の確立

【研究代表者】 周東 智 (北海道大学大学院薬学研究院)

【研究担当者】 小松 康雄 (生物プロセス研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内容】

天然の DNA2重らせんは、アデニン：チミン、グアニン：シトシン間の塩基対によって形成される。これらの塩基対は、水素結合と上下塩基対のスタッキング相互作用によって構築される。一般的に、水溶液中における重要な分子間相互作用には疎水的相互作用も知られている。本研究では、DNA2重らせんを形成する塩基対結合に疎水的相互作用を利用した新たな分子認識機構の確立を目指した研究を進めている。本研究は、北海道大学大学院薬学研究科と共同で行う。

平成27年度までに、直鎖のアルコキシ基を有するフェニル基を2本鎖内の向かい合った部位に導入した場合、2本鎖構造を安定化する性能を有すること、また、アルコキシ基の導入部位がその安定化能力と密接に相関していることを見出した。平成28年度では、フェニル基を持たない核酸を合成することによって、導入した人工核酸間の相互作用部位を同定する実験を進めた。その結果、フェニル基間の相互作用に加え、アルコキシ間の直接的な相互作用が2本鎖の安定性に寄与している可能性を確

認した。今後、アルコキシ基の構造をさらに詳細に変換し、より効果的な相互作用を有する人工核酸塩基対の開発を進める予定である。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 核酸化学、DNA、分子認識、塩基対、2重らせん

〔研究題目〕 担持型酸化触媒による臭素系難燃剤の分解に及ぼす腐植物質の影響

〔研究代表者〕 福嶋 正巳（北海道大学工学研究科）

〔研究担当者〕 佐々木 正秀（生物プロセス研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

廃棄物処分場の浸出水中には家電ゴミを起源とする臭素系難燃剤（BFRs）が含まれており、これらは環境ホルモン作用も示すことから分解・無害化する必要がある。浸出水には腐植物質と呼ばれる褐色の高分子有機物が10から200 mg/L程度含まれている。本研究では、酸化分解を阻害する腐植酸共存下でも、プロモフェノール類を選択的かつ効率的に分解できる担持型触媒の開発を目的とした。SMMXの酸化分解能を明らかにするために、4種のCu錯体（Cu-BPAC, Cu-MPAC, Cu-PHAC, Cu-MPHAC）、フタロシアン錯体および鉄ポルフィリン、マンガンポルフィリンについて検討した結果、鉄ポルフィリン錯体が最も活性が高いことが明らかになった（分解率74%）。ピリジル基を含む環状窒素で形成された非ヘム錯体の2,4,6-tribromophenol (TrBP) 酸化に対する触媒活性を常温、常圧条件下で検討したところ、ピリジン配位子の数が多く非ヘム錯体 Fe (tpa) とターピリジン誘導体を配位子とした非ヘム錯体 Fe (terpy) は、TrBPの分解に対して高い触媒活性を示した。GC/MSおよびLC/MSによる分析の結果、酸性条件（pH 4-7）において100%に近い分解率と70%以上の脱臭率をそれぞれ示した。

産業技術総合研究所研究担当者は、電子スピン共鳴（ESR）装置による反応活性種の検出を分担している。今期は非ヘム、ラッカーゼモデル触媒における活性種と考えられるヒドロキシラジカルおよび一重項酸素の検出に関して、ヒドロキシラジカル測定はDMPOによるスピントラップ法を採用し、ESRの基本測定条件を設定した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 臭素系難燃剤、担持型酸化触媒、腐植物質、電子スピン共鳴（ESR）

〔研究題目〕 遠隔作用変異の生成・抑制の分子機構

〔研究代表者〕 紙谷 浩之（広島大学医歯薬保健学研究院）

〔研究担当者〕 小松 康雄（常勤職員1名）

〔研究内容〕

研究代表者らはこれまでに、位置特異的に導入された変異塩基が、構造上異なる部位に変異を誘発することを見出した。この機構を明らかにするため、部位、種類の異なる変異を有するDNAを合成して細胞に導入し、遠隔部位における変異誘発度を調べる。

平成28年度は、細胞導入に用いる1本鎖DNAの化学合成を進めた。合成したDNAは研究代表者らが細胞内に導入し、変異誘発能と変異導入部位の解析を進めている。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 核酸化学、遺伝子変異、修復、DNA

〔研究題目〕 新規ハイブリッド型ポリケタイド合成酵素 Steely の産物多様性創出機構の解明

〔研究代表者〕 齊藤 玉緒（上智大学）

〔研究担当者〕 森田 直樹（生物プロセス研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

細胞性粘菌の Steely 酵素は、別個の酵素と考えられてきた I 型ポリケタイド合成酵素（PKS）の C 末端に III 型 PKS が融合するという特異な構造を持つ。III 型 PKS は芳香族ポリケタイドを合成し、緩やかな基質特異性から複数の産物を与えることが知られているが、Steely 酵素の場合は発生段階に応じて、酵素の発現場所や構造を変化させていることが、これまでの研究結果から推定された。本研究では、SteelyA 酵素をモデルとして発生段階によって酵素がどのようにして、複数の異なる産物を与える産物多様性創出の機構を解明することを目的とする。

SteelyA 酵素は発生初期には Dictyoquinone を合成し、後期には 4-methyl-5-pentylbenzene-1,3-diol (MPBD) を合成する。Dictyoquinone の合成は MPBD を酸化して合成するものと考えられ、この酵素の同定が生合成経路を理解する鍵であることがわかった。Dictyoquinone は *Dictyostelium discoideum* 以外の粘菌種にも存在していることから、その生合成経路理解の手がかりを得るために、他の粘菌種で SteelyA 酵素が MPBD を合成しているのかを検証した。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 ポリケタイド合成酵素、ハイブリッド型酵素、分化誘導、細胞性粘菌、土壌微生物

〔研究題目〕 シリングルリグニン生合成を制御する転写因子の網羅的探索と機能解析

〔研究代表者〕 鈴木 史朗（京大大学生存圏研究所）

〔研究担当者〕 光田 展隆、坂本 真吾（生物プロセス研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

再生可能資源であるリグニンのシリングル核比率の増

加は、産業利用上種々の利点がある。しかし、実用化に向けた非遺伝子組換え植物の育種には、未だほぼ解明されていないシリングルリグニン生合成の発現制御機構について理解する必要がある。そこで本研究では、イネのシリングルリグニン生合成を制御する転写因子を、96穴プレートとロボティクスを活用した改良型酵母ワンハイブリッドスクリーニング法によって網羅的に探索し、機能解析を行うことによってシリングルリグニン生合成の発現制御機構の全体像を明らかにする。今年度はイネにおいてリグニンのシリングル核比率を左右する重要な酵素遺伝子およびリグニン合成に関与する重要な酵素遺伝子のプロモーター領域に結合するイネ転写因子を、改良型酵母ワンハイブリッドスクリーニング法によってスクリーニングした。その結果両方に共通する転写因子の一つを見出すことができた。今後この転写因子に注目して各種組換えイネの作成などを行って詳細解析を行う予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】植物、リグニン、イネ、発現制御、遺伝子、転写因子

【研究 題目】ケータイ電話を使った生物調査を成功させるには？トンボウォッチ！

【研究代表者】山中 武彦（国立研究開発法人農業環境技術研究所）

【研究担当者】二橋 亮（生物プロセス研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

市民愛好家と協同した生物相調査の試みが各地で実施されている。しかしながら、既存の生物調査の多くは参加者のモチベーションを長期的に維持するのが難しく、持続的な生物多様性モニタリング手法とはなりにくい。本研究では、市民参加型調査に、自己発見的なエンターテインメント性を付与することで、参加者へのメリットを創出することを目的とする。参加者が楽しみながら調査を継続してくれる本手法が確立できれば、日本国民総出でのリアルタイム生物多様性モニタリングが実現することが期待される。富士通 FIP が開発している携帯フォトシステムを基本モジュールとして、①過去の観察データを表示する機能、②参加者同士が競い合う得点計算を表示する機能、③同定に不慣れな参加者のための簡易図鑑機能、を備えたスマートフォン用の「トンボウォッチ」が完成したので、実際の運用を試みた。その結果、合計21名から127件の投稿があり、トンボ目61種が記録された。実施期間が短かったため、投稿数はやや少なめであったが、イベント後の自主的な投稿も見られ、得点方式がモチベーション向上に働いていたと推察された。登録手順の簡略化や参加者間での情報交換ネットワークの構築が、今後の課題と考えられた。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】トンボ、スマートフォンアプリ、参加者フィードバック、一般参加型生物調査

【研究 題目】冥王代生命学の国際研究ネットワーク展開

【研究代表者】鎌形 洋一（生物プロセス研究部門）

【研究担当者】鎌形 洋一（新学術領域・冥王代生命学の創成・国際活動支援班）

【研究 内容】

新学術領域「冥王代生命学の創成」では、原始的な生命が誕生したと考えられる、地球誕生から約6億年間（46-40億年前）の「冥王代」に焦点をあて、生命がいつ、どこで、どのように誕生したかを、最先端の地球惑星科学、生命科学および有機化学などを結集し明らかにする新たな学術領域である。本領域研究を通して国際ネットワークを形成するために、英国 New Castle 大学、米国 John Craig Ventor Institute, University of Illinois の研究者との研究交流を開始した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】生命の起源、熱水系地下環境、系統進化、地球惑星学

【研究 題目】トランスクリプトームとエネルギー代謝から紐解くマングローブの生態ニッチ決定機構

【研究代表者】渡辺 信（琉球大学 熱帯生物圏研究センター）

【研究担当者】光田 展隆（生物プロセス研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は、マングローブ林の構成樹種が、獲得したエネルギーをどのような用途に消費しているのかを、トランスクリプトームとエネルギー代謝を探索することにより、マングローブ生態系成立の仕組みを解明しようとするものである。具体的には次世代 DNA シークエンサーを用いて樹種毎の遺伝子発現プロファイルを作成し、データベースを構築するほか、異なる光強度と湛水ストレス及び高塩類濃度ストレス条件下での樹種毎のエネルギー代謝の違いをトランスクリプトーム解析と各種生理実験により明らかにする。特に、エネルギー供給の根幹であるカルビン回路から解糖系に至る代謝経路、エネルギー充填効率、湛水ストレスに関連する生理的反応について着目し、イオン輸送体や植物ホルモン受容体などの挙動を中心に明らかにする。今年度は昨年度から引き続きマングローブ林構成樹種の一つであるオヒルギを人工環境下で定期的に湛水ストレスに曝し、時間を追って RNA を取得して次世代 DNA シークエンサーを用いた RNA シークエンシングを行った。結果についてデータベース構築を行いパイオインフォマティクス解析を進めた。しかし当初想定していたような湛水周期と体内時計

との関連性を見出すことはできなかった。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】植物、ゲノム、マングローブ、発現制御、
遺伝子、生態系

【研究 題 目】非天然分岐型糖鎖含有デタージェント
ライブラリの構築と膜蛋白質の可溶化

【研究代表者】松尾 一郎（群馬大学理工学研究院）

【研究担当者】清水 弘樹（生物プロセス研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

分岐構造や化学修飾した糖など、天然からは入手することができない特殊な構造を有する糖分子を利用して、糖結合デタージェントを系統的に合成し、糖の種類（水酸基の配向）、糖鎖の分岐度および重合度、糖分子内の疎水性度を基準に、糖の結合水や水クラスター構造を考慮したライブラリの構築研究を進めた。そして膜蛋白質可溶化に従来利用されているデタージェントの性質を凌ぐ糖結合デタージェントの開発を目指した。

昨年度までに合成した糖脂質のデタージェント能を検証したところ、可溶性能が同じであってもタンパク質の安定性を低下させてしまうという化合物が存在した。そこで、各化合物の溶解性や限界ミセル濃度などの基本的な物性やデタージェント作用機構を検討し、それらの結果を参考に改良型の糖脂質をデザインし、さらなる合成研究を進めた。その中で、糖脂質には水溶性の糖部分と脂溶性のアグリコン部分が存在するため、合成最終段階でヒドロキシル基の脱保護反応を行うと、反応が進行すればするほど、糖部分とアグリコン部分の物性のミスマッチが際立ち、多くの場合で最終物を得る反応を完結させることが困難になった。この問題点は、マイクロ波照射を利用することで解決できることを見出した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】界面活性剤、膜タンパク質、糖鎖合成、
デタージェント、有機合成、マイクロ波

【研究 題 目】シリア・中心体系による生体情報フロー
の制御

【研究代表者】五島 直樹（創薬分子プロファイリング
研究センター）

【研究担当者】五島 直樹、鍵和田 晴美
（常勤職員2名）

【研究 内 容】

新学術領域「中心体-シリア」における計画班としてシリア・中心体系による生体情報フローの制御の解明に参加している。シリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題であるが、現時点ではその詳細は不明である。多細胞生物において、細胞は、内部環境（中心

体など）から発生する情報と一次シリアや細胞間接着装置などを介して得た外部環境からの情報を統合して、その細胞周期チェックポイントを制御し、秩序だった増殖と分化を行い、巧みに組織や器官を形成・維持していると考えられる。特に、組織幹細胞において、このシリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題であるが、現時点ではその詳細は不明である。我々の網羅的なヒト蛋白質発現リソース、発現蛋白質、細胞内局在情報を本領域の各チームと協力して活用し、プロテオミクスサポートセンターとして有機的連携を図り、研究を円滑に進める。

シリア・中心体系の制御に重要なトリコプレインの分解制御を明らかにするため、E3リガーゼを約1000種類搭載した E3リガーゼプロテインマイクロアレイを作製し、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群に対する E3リガーゼを結合特異性を基に探索した。また、約1000種類の E3リガーゼを蛋白質合成し、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群に対する結合特異性をビアコア A100を用いた SPR 法によって測定した。探索した E3リガーゼを細胞内で過剰発現および siRNA でのノックアウト実験を行い、トリコプレイン等の細胞内蓄積を調べ、インビボにおける分解系としての検証を行い、KCTD17がユビキチンリガーゼとして働き、トリコプレインをユビキチン-プロテアソーム系で制御していることを明らかにした。

(1) 中心体・一次シリアからのシグナルによる細胞周期制御機構の解明：

我々が同定した一次シリア制御因子であるトリコプレイン及びその類縁蛋白質群の網羅的解析を通して、中心体・一次シリアによる細胞周期チェックポイント制御機構の解析している。これまでに、一次シリア形成が誘発される際に、トリコプレインがポリユビキチン化依存的に分解され、中心体より消失することを見出した。ユビキチン化されないトリコプレイン変異体 (K50/57R) を発現する細胞や、プロテアソーム阻害剤を処理した細胞では、一次シリアが形成されないことから、ユビキチン・プロテアソーム系によるトリコプレインの分解が一次シリア形成に必要不可欠であることを証明した。さらに、研究分担者の五島と共同で、プロテインアレイと siRNA 法を組み合わせた網羅的な E3リガーゼスクリーニングを行い、トリコプレインをポリユビキチン化する E3リガーゼとして KCTD17を同定した。

さらに、KCTD17を介したトリコプレインのポリユビキチン化は、プロテアソーム依存的な分解を引き起こすこと、さらに、この一連のシグナルが一次シリアの形成に必要不可欠であることも明らかにした。一方、トリコプレインのもつ TPHD ドメインを有する

81分子について hTERT-RPE-1細胞において siRNA スクリーニングを行い、4分子が一次シリア形成を抑制することを見出し、それらの1つである Ndel1について詳細な検討を行っている。また、Aurora-A キナーゼと相互作用する分子の探索を行い、これらの中で Aurora-A の高い活性化能が認められた CCDC78に着目し、その機能解析を行っている。

更には、トリコプレイン・オーロラキネース制御系によるシリア形成を、Ndel1が抑制することも明らかにした。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 シリア・中心体系、トリコプレイン、E3リガーゼ、ユビキチン化、タンパク質分解

【研究 題 目】 中心体・一次シリアと細胞周期

【研究代表者】 五島 直樹 (創薬分子プロファイリング研究センター)

【研究担当者】 五島 直樹、鍵和田 晴美 (常勤職員2名)

【研究 内 容】

新学術領域「中心体・シリア」総括班として中心体・一次シリアと細胞周期について研究を推進している。中心体は、細胞分裂期において染色体の分離・分配を制御し、静止期にある細胞では一次シリアの基底小体として働くことが知られている。多細胞生物において、細胞は、内部環境(中心体など)から発生する情報と一次シリアや細胞間接着装置などを介して得た外部環境からの情報を統合して、その細胞周期チェックポイントを制御し、秩序だった増殖と分化を行い、巧みに組織や器官を形成・維持していると考えられる。特に、組織幹細胞において、このシリア・中心体系を経由した細胞内外からの情報のフローが、細胞周期チェックポイントをどのように制御しているのかは、細胞生物学・発生生物学における根本的命題である。本研究では、網羅的なヒト蛋白質発現リソースを構築し、インピボ及びインピトロでの蛋白質の発現および複合体形成の解析、網羅的な蛋白質の細胞内局在情報の解析を行い、トリコプレイン及びその類縁蛋白質群と中心体構成蛋白質群のプロテオミクス研究を行う。我々の構築した世界最大のヒト蛋白質発現リソース、ハイスループット蛋白質合成技術、プロテインアクティブアレイの特徴を生かし、プロテオームワイドなシリア・中心体系の解析研究を行った。シリア形成の制御に重要な機能を持つトリコプレインは、Trichohyalin/ Plectin Homology Domain (TPHD) ドメインをもつことから、TPHD 様の構造を有する97個の蛋白質群を同定した。これら97個の TPHD 蛋白質を培養細胞で強制発現してそれらの局在を確認した。次に、これら候補蛋白質の siRNAi によるノックダウン実験を行い、シリア形成に関連する因子の特定を行った。これ

らの結果をまとめて論文発表を行った (Kasahara, K., et al., *Nature communications*, 2014)。

トリコプレイン類縁蛋白質の網羅的機能解析

(a) TPHD ドメインをもつ中心体局在蛋白質群の解析

今回、トリコプレインのもつ TPHD ドメインを有する81分子について hTERT-RPE-1細胞における siRNA スクリーニングを行った。その結果、4分子が一次シリア形成を抑制することが示唆された。それらの1つである Ndel1は中心体蛋白質で、神経発生や細胞分裂など様々な現象への関与が知られおり、Ndel1のノックアウトマウスは初期胚致死であることが報告されている。増殖中の RPE-1細胞において Ndel1を siRNA によりノックダウンしたところ、48時間後に約40%の細胞が一次シリアを形成し、G0期での細胞周期停止がみられた。IFT20とのダブルノックダウン実験により、この細胞増殖の停止は一次シリア依存的事であることが示唆された。また、血清飢餓により一次シリアを形成し細胞増殖が停止した細胞に血清を加えたところ、Ndel1をノックダウンした細胞では細胞周期への再進入が見られなかった。Ndel1は中心体の sub-distal appendage に局在し、その局在は Odf2 依存的事であった。また、血清飢餓による一次シリア形成時には局在の変化は見られなかった。さらに共同研究者の A03計画班の広常(阪市大)らにより、Ndel1の hypomorphic mutant マウスの腎臓では、生後0日齢において尿管の一次シリアが野生型と比べ長く、若干の細胞増殖の低下がみられることが明らかとなった。以上より、Ndel1の欠損は一次シリアの形成を引き起こし、細胞増殖を阻害することが示唆された。Ndel1の中心体での機能をさらに明らかにするために、中心体構成タンパク質を搭載した中心体タンパク質アレイを作製し、解析をした。

(b) coiled-coil domain (CCD) をもつ中心体局在蛋白質群の解析

Aurora-A キナーゼは中心体に局在し、分裂期で多数の役割を果たす蛋白質である。また Aurora-A は種々のがんで過剰発現が報告されており、それを標的とした阻害剤の臨床研究 (Phase I, II) が進んでいる。Aurora-A の阻害は、がん細胞を細胞死に導くことは知られていたが、我々は正常細胞においては細胞周期の G0/G1での停止を誘導することを報告した (*J. Cell Biol.*, 2012)。このような背景から、我々は、Aurora-A キナーゼと相互作用する分子の探索を行った。そのために、coiled-coil domain (CCD) をもつ蛋白質に着目した。CCD をもつ中心体局在蛋白質のうち Aurora-A キナーゼと相互作用する蛋白質をスクリーニングし、さらに Aurora-A の活性化を調べたところ、5つの候補蛋白質に絞ることができた。

【領 域 名】 生命工学

【キーワード】 中心体、1次シリア、細胞周期、組織形

成、器官形成、細胞間ネットワーク

【研究題目】ウイルス感染現象における宿主細胞コンピテンシーの分子基盤

【研究代表者】夏目 徹（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】夏目 徹（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

本研究の目的は、病原性発現に帰結する宿主特異的なウイルス複製と細胞内防御メカニズムとの拮抗の分子基盤を理解することである。ウイルスは自然宿主の中では、感染現象と細胞内防御系を含む生命プロセスが折り合った状態であると考えられ、高い病原性は示さず感染サイクルを繰り返しながら存続する。一方、疾患に繋がる感染を起こす宿主では、この均衡がウイルス側に偏ることによって高い病原性が発現すると考えられる。本研究では、これらの結果に繋がる細胞の特性を「宿主細胞コンピテンシー」と言う概念で捉え、その特性の分子基盤を明らかにし、ウイルスが宿主を選択し、また宿主に適合したメカニズムを明らかにする。平成28年度は平成27年度に引き続き、質量分析によってウイルスタンパク質に結合する宿主タンパク質の同定の試み、同定されたタンパク質について、ウエスタンブロット法によって結合結果の確認を行った。

【領域名】生命工学

【キーワード】質量分析、ウイルス、宿主細胞コンピテンシー、分子基盤

【研究題目】バイオロジーにおける3D 活性サイト科学

【研究代表者】久保 泰（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】久保 泰（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

近年、イオンチャネルや受容体などの膜タンパク質の結晶構造解析が急速に進み、標的分子の分子構造に基づく低分子化合物のドラッグデザインに有用な情報を提供している。これにより、「static（静的）」な情報は得られるが、リアルタイムで「動的（dynamic）」な情報については得られていない。本研究では、膜系受容体に Diffracted X-ray Tracking (DXT) 法を適用してその分子動態を探り、動態制御による創薬という新しい創薬プラットフォーム確立に資することを目標とする。

分子レベルでの構造-活性相関について研究蓄積があるニコチン性アセチルコリン受容体（nAChR）と nAChR の細胞外領域と相同性の高いアセチルコリン結合タンパク質（AChBP）について DXT 法で分子動態を計測した結果、リガンドとの結合によって惹起される tilting (θ ; 回転軸垂直方向の動き) と twisting (χ : 回転運動) の動きを 100 μ 秒の時間分解能で解明できた。

本研究ではここで得られた条件を適用して脳神経系に局在する $\alpha 7$ nAChR の分子動態を調べた。nAChR $\alpha 7$ は、電気生理学的に open, close, desensitization の3つの大きな分子状態を遷移することが知られている。 $\alpha 7$ はアルツハイマー病や統合失調症に伴う認知障害に対する創薬標的とされているが、副作用問題を回避するための「アロステリック創薬」においてこれらの分子動態およびその遷移過程を知ることは極めて重要である。そのため我々はこの課題に DXT 法を適用して解決を試みた。 $\alpha 7$ nAChR はアフリカツメガエル卵母細胞に cRNA を微量注入してタンパク質を発現し、その膜画分から精製した。その結果、前記3状態に相当する θ および χ 方向の動きを確認することに成功した。さらに、電気生理学的には捉えることのできない positive allosteric modulator (PAM) による $\alpha 7$ チャネルのダイナミックな分子運動を捉えることにも成功した。

【領域名】生命工学

【キーワード】1分子動態解析、ニコチン性アセチルコリン受容体、リガンド受容体チャネル、高輝度 X 線、X 線回折点追跡法、アロステリック創薬

【研究題目】ヒト由来膜タンパク質の機能構造解明に向けた NMR アプローチ

【研究代表者】竹内 恒（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】竹内 恒（常勤職員1名）

【研究内容】

GPCR をはじめとする、多くの膜タンパク質複合体の立体構造決定が行われているが、その真の機能発現メカニズムを理解し、創薬研究などに応用展開していくためには、界面活性剤中での立体構造情報のみならず、適切な脂質二重膜環境においてリガンド・薬物などの作用により誘起されるダイナミックな構造変換メカニズムを明らかにしていくことが重要となる。NMR 法は、このような動的構造変化を捉えるのに適した手法であるが、真核生物由来の膜タンパク質については、NMR 解析のための試料調製は依然容易ではない。そこで本研究では、特にヒト由来膜タンパク質に重点をおいた NMR による動的な機能構造解析を推進している。平成27年度にこれまで主鎖構造情報の取得が不可能であった分子量領域の膜タンパク質およびその複合体を解析することのできる新たな測定法として、15 N 観測 TROSY 法を発表したが、平成28年度はこれをさらに発展させ、異なる磁化移動方式を採用することで、分子量150Kを超えるタンパク質について NMR シグナルの観測に成功した。本手法をナノディスク（分子量200 K程度に相当）に対して適用したところ、ナノディスク構成タンパク質の MSP 由来のシグナルの観測が可能であった。MSP の Trp 側鎖シグナルについては、配列から予想されるシグ

ナルの数よりも多くのシグナルが観測されており、ナノディスクには構造的な多形が存在することが示唆された。以上の結果は、¹⁵N 観測 TROSY 法を適用することで、ナノディスクに再構成した膜タンパク質の脂質2重膜中での動的構造解析が可能になることを示している。

【参考文献】

Takeuchi K, Arthanari H, Wagner G. Revisiting the Field Dependence of TROSY Sensitivity. *J Biomol NMR*, 66, 221-225, (2016).

【領 域 名】生命工学

【キーワード】膜タンパク質、NMR、測定法

【研究 題目】肝炎ウイルス治療後の肝発癌機序とバイオマーカーの同定に関する研究

【研究代表者】堀本 勝久（創薬分子プロファイリング研究センター）

【研究担当者】堀本 勝久（常勤職員1名）

【研究 内容】

C型インターフェロン治療後、肝がんを発症した患者と発症しなかった患者について、治療前と治療後の遺伝子発現及びDNAメチル化に関するオミックスデータを解析する。目的は、治療後の診断において、肝がん発症のリスクを予測するマーカーを探索することである。

本年度は、初年度整理した発現データと、それらの臨床試験との照応に基づいて、予後予測マーカーを行った。

予測に際しては、新たに開発した、前向き予測に頑強なマーカー探索のための過剰適合を抑制する変数選択法を採用した。本解析法は、線形回帰で選択された変数群について、ネットワーク推定技術を用いて線形モデルの検証を行うことで過剰適合を抑制する。

解析の結果、遺伝子刻印として22遺伝子を選定し、さらにそれらから新規マーカー探索法により4遺伝子まで絞り込みに成功した。現在取得中の前向きデータを用いて検証を行う予定である。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】遺伝子発現データ、DNAメチル化、バイオマーカー、がん再発

【研究 題目】蛋白質立体構造解析と分子動力学に基づくEGFR分子標的薬の効果予測と創薬

【研究代表者】大西 宏明（杏林大学医学部）

【研究担当者】広川 貴次（創薬分子プロファイリング研究センター）、中村 浩之（東京工業大学）（常勤職員1名、他2名）

【研究 内容】

EGFR遺伝子およびその関連シグナル伝達分子の異常は、肺癌、脳腫瘍、消化器癌など、様々な癌の発症・進展に関わっている。肺癌では、EGFR遺伝子のエクソン19-21の変異がチロシンキナーゼ阻害剤（TKI）

の効果に関与することが明らかとなっている。特に、エクソン20のT790M変異は、TKIに対する耐性遺伝子変異として知られ、TKI耐性となった患者の約半数はT790M変異を獲得することが知られている。我々は過去の報告において、EGFR遺伝子のV843I生殖細胞系変異が遺伝性肺腺癌の原因遺伝子であることを明らかにした。本変異を有する家系では、高率に肺腺癌が発生し、この癌細胞では付加的なEGFR L858R変異が生じていることがわかった。また本変異を有する肺腺癌細胞株は薬剤感受性試験においてTKIに耐性であり、実際にTKIを投与された患者でもTKIの効果は認められなかった。我々は、EGFR遺伝子V843I変異を導入したNIH3T3細胞株を用いた解析により、本変異が細胞増殖の亢進に関与することを明らかにした。また、本家系の患者から樹立された細胞株に対する、数種のTKIやEGFRV843I変異特異的siRNAを用いた解析により、本変異がT790Mに比べてより幅広いTKIに対する耐性を示すことも明らかとなった²⁾。すなわち、T790M変異はgefitinib, erlotinib等の第1世代のEGFR-TKIには耐性を示すが、afatinib, dacomitinib等の第2世代EGFR-TKIには感受性を持つのに対し、V843I変異を持つ細胞はこれらのEGFR-TKIすべてに対して耐性を示した。一方、EGFR-TKI感受性変異であっても、特定のTKIに対する感受性が異なる場合があることも知られている。例えば、afatinibはEGFRエクソン19の欠失変異に対しては効果が高いが、L858R変異は感受性が低いことが報告されている。このようなTKIの感受性や耐性に関与するEGFR変異は他にも知られており、コンピューターシミュレーションによるEGFR分子構造の推定に基づくTKI結合能の推測などからその耐性機序の解析が行われている。しかしながら、各変異における特定のTKIに対する感受性・耐性を生じる分子メカニズムの詳細については、明らかにされていない。また、低頻度変異や、二つ以上のEGFR変異が同時に生じている例についてはこのような検討はほとんどなされていない。このような分子メカニズムの解明は、EGFR-TKIに対する耐性の克服による抗癌治療のみならず、新たな抗EGFR薬の創薬による新規抗癌治療の開発に不可欠である。

本研究は、蛋白質立体構造解析および分子動力学解析の手法を用いて、EGFRおよびその変異体の動的立体構造の詳細を明らかにし、特にTKIの効果に深く関与するチロシンキナーゼ部位におけるATP分子の動態をTKI分子との関連において解析することを目的とする。

本年度は、結晶構造に基づいたホモロジーモデリング法による初期構造の構築により、野生型および変異を持つEGFR分子について、TKI結合部位を中心として立体構造解析を行った。その後、ポケット構造の動態のサンプリングによる構造ランドスケープ解析を行った。構造ランドスケープ解析では、ポケット構造の揺らぎを二

次元で表現し、野生型と変異型との俯瞰図を構築した。

結果として、蛋白質立体構造解析の結果、野生型 EGFR 分子ではチロシンキナーゼ部位のポケットが広く、EGFR-TKI の一つである erlotinib との結合が不安定な状態が見られた。それに対し、EGFR L858R 変異では R858 残基と D837 残基とのイオン結合によりポケット部位が縮小し、erlotinib が結合しやすくなっている状態が認められた。ポケット構造のサンプリングの主成分分析による構造ランドスケープ解析では、野生型 EGFR では二次元グラフ上で局在点が複数観測され、ポケットが複数の構造状態を持つため erlotinib の結合が不安定となる可能性が示唆された。一方 EGFR L858R では、二次元グラフ上で単一の局在点が見られ、ポケットの揺らぎが減少し erlotinib の分子サイズに適合した状態で安定化していることが予想された。

薬物を含む物質の結合部位は一般的に静的なものではなく、規則的な立体構造の変動を伴っており、機能分子や薬物との結合もその変動を考慮する必要が明らかとなってきている。今回の解析により、erlotinib に感受性のある EGFR L858R 分子では、結合部位の構造の揺らぎが野生型に比べ減少し、erlotinib が安定して結合できることを予測できた。今後、他の変異についても、TKI 結合部位の分子構造の動態をコンピューターシミュレーションにより予測し、これまでの静的な立体構造解析ではわからなかった EGFR 分子と TKI との作用動態について明らかにしたい。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】EGFR 遺伝子、抗がん剤、薬剤感受性変異、分子動力学計算、インシリコ創薬

【研究 題 目】ネオグライコバイオロジクスの創製とリソソーム病治療薬開発への応用

【研究代表者】伊藤 孝司 (徳島大学薬学部)

【研究担当者】広川 貴次 (創薬分子プロファイリング研究センター) (常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

抗体医薬をはじめ組換え糖タンパクを用いるバイオ医薬品開発が進展しているが、糖鎖の不均一性に基く有効性低下と副作用が問題になっている。本研究では、遺伝性リソソーム酵素欠損症 (リソソーム病) を対象に、標的細胞内取り込みに必要、かつ均一な機能性合成糖鎖を組換えヒトリソソーム酵素に付加する技術を確立し、より有効性が高く副作用を低減できる人工糖タンパク製剤 (ネオグライコバイオロジクス) の創製を目的とする。また現在臨床応用されている、哺乳類細胞株由来の組換えリソソーム酵素製剤の問題点を克服すべく、より高生産性の遺伝子発現系で作製した組換えヒト酵素または化学合成タンパクと均一な機能性合成糖鎖との共役付加体 (ネオグライコ酵素) の有効性と安全性を、新規に開発する中枢神経症状を伴うリソソーム病患者 iPS 細胞由

来培養神経系及びマウスモデルを開発し評価する。

本研究では、研究期間内に下記の事項を明らかにする。

- (1) ヒト CTSA を絹糸腺で恒常発現する組換えカイコ系統 (Tg-CTSA) から活性型 CTSA 酵素を精製し、精製酵素の N 型糖鎖と、細胞内取り込みに必要な均一機能性糖鎖ドナーを化学合成または天然物から単離し、そのオキサゾリン誘導体と endo β -hexosaminidase を用いる chemoenzymatic な糖鎖挿げ替え法により、均一機能性糖鎖をもつ CTSA の作製法を確立する。
- (2) 既知のヒト Hex や GM2A の X 線結晶構造に基づき、分子動力学 (MD) 法やフラグメント非経験的分子軌道 (FMO) 法に基づく分子科学計算により、GM2A との結合部位を導入した改変型 HexB と GM2A とのタンパク間相互作用を予測し、GM2 分解に関し高機能型 HexB/GM2A をデザインする。
- (3) 改変 GM2A を恒常発現するメタノール資化酵母株から高機能型 GM2A を精製する。一方 NCL 法により化学合成した高機能型 GM2A と改変型 HexB との分子間相互作用を解析する。ま高機能型 HexB/GM2A 複合体の X 線結晶構造を解明し、in silico 予測の妥当性を検証する。
- (4) 野生型及び高機能型 GM2A の化学合成では、N 型糖鎖のアクセプター部位としての N-acetylglucosamine (GlcNAc) 残基を導入し、均一な機能性糖鎖のオキサゾリン誘導体と endo β -hexosaminidase を用いる transglycosylation 法により糖鎖付加型 GM2A を作製する。
- (5) CTSA、HexA 及び GM2A 欠損症患者由来皮膚繊維芽細胞から樹立した iPS 細胞から神経系細胞 (神経細胞、アストロサイトなど) の分化誘導条件を確立し、健常者由来細胞の機能と比較する。

また1)~4)で作製した、均一機能性糖鎖が付加された人工糖タンパク (ネオグライコプロテイン) を、各欠損症患者 iPS 細胞由来の培養神経系細胞または疾患モデルマウスの脳室内に、単独または同時補充実験を行い、脳内蓄積基質の減少を指標に有効性と安全性を評価する。

本年度は、HexB を標的としたプロテアーゼ耐性を向上させる変異体について、変異体モデリングおよび分子動力学計算を実施し、メカニズム解明に貢献した。その内容については、以下の論文にて誌上発表を行った。

- Kitakaze K et al.: Protease-resistant modified human β -hexosaminidase B ameliorates symptoms in GM2 gangliosidosis model. J. Clin. Invest. 2016 May 2;126(5):1691-703

【領 域 名】生命工学

【キーワード】リソソーム病、遺伝性リソソーム酵素欠損症、人工糖タンパク質製剤、インシリコ創薬

【研究 題 目】次世代タンパク質性医薬品開発に向けた

反応システム系の開発と展開

〔研究代表者〕 大高 章 (徳島大学)

〔研究担当者〕 広川 貴次 (創薬分子プロファイリング
研究センター) (常勤職員1名、他3名)

〔研究内容〕

タンパク製剤に代表される生物医薬品の医療における重要性は増大の一途をたどっており、生物医薬品の高機能化を通じたさらなる発展が期待されている。しかし、高機能化のためにはアミノ酸配列選択的な修飾反応と、この修飾部位の特異的反応性ユニットへの変換が不可欠である。本要件が達成されれば、従来にない人工タンパク質の創製やアミノ酸配列特異的な機能性分子の導入を基盤とする高機能化が可能となる。そこで、本研究ではタンパク性医薬品の高機能化のための化学反応システムの構築を目指す。すなわち、本研究ではタンパク質の特定配列選択的な特異的反応ユニットの導入を目標とし、この特異的反応性を利用した人工タンパク質創製(半化学合成)やタンパク質への機能性部位導入を通じた生物医薬品高機能化をその目的とする。

本年度は、実験グループ(徳島大学)を中心となって、戦略 A: 二価ニッケル(Ni(II))イオンの特異的配列に対する錯体形成の利用、戦略 B: Zn-finger 錯体の利用、の2戦略それぞれについて、①アミノ酸配列選択的の化学反応の基盤開発、②配列選択的の反応を利用した特異的反応ユニットの導入研究を実施している。計算科学による解析は、平成29年度より実施予定である。

〔領域名〕 生命工学

〔キーワード〕 バイオ医薬品、アミノ酸配列選択的の反応、タンパク質直交性がある反応、水中反応

〔研究題目〕在宅医療を支える遠隔看護技術の実用化に向けたプロトタイプの提案

〔研究代表者〕 川口 孝泰 (筑波大学)

〔研究担当者〕 川口 孝泰、浅野 美礼、大久保 一郎、市川 政雄、中内 靖、川上 康、内藤 隆宏、小泉 仁子、田村 恵美(以上、筑波大学)、佐藤 洋 (情報・人間工学領域戦略部)、佐藤 政枝 (埼玉県立大学)、日向野 香織 (つくば国際大学) (常勤職員1名、他11名)

〔研究内容〕

急速な少子高齢化に伴う社会環境の変化によって、医療を取り巻く環境は「病院完結型」の治す医療から、地域全体で支える「地域完結型」への移行が進展している。これらに対応する新たな医療体制づくりに向けた中心的役割を担う専門職として、看護師の活躍が期待されている。本研究は次世代の在宅医療の基礎となる遠隔介護の「知・技術」の創造と、それらを具現化するための方略として、遠隔看護技術の実用化を目指し、次世代を見据

えた新たな在宅医療モデルを構築、推進及び実施する計画である。本課題に向けて、医療機器及びそれらを設置する環境をシステムとして捉え、プロトタイプングすることを担当し、遠隔看護に適した医療機器の情報デザインを提案する計画である。

「遠隔看護技術」を、対象に合わせたものとして機能させるために必要な各種デバイスの整備として、基礎的な検討として、医療空間の音環境調査と医療機器のアラーム情報提示に関する検討を筑波大学と共同で実施した。用いた医療機器は高度な医療機器も含むが、①ベッドサイドモニター、②輸液ポンプ、③人工呼吸器、④呼吸器用加湿システム、⑤酸素投与、⑥人工心肺であった。空間により騒音レベルが異なり、特に ICU に対応した設定にて在宅に医療機器を持ち込むことは非常に問題が生じることなどが明らかとなった。

〔領域名〕 情報・人間工学領域

〔キーワード〕 遠隔看護、医療機器、アラーム音

〔研究題目〕音の移動感を利用した視覚障害者のための移動支援システム「音響矢印」の開発

〔研究代表者〕 森本 政之 (神戸大学)

〔研究担当者〕 森本 政之、佐藤 逸人(以上、神戸大学)、佐藤 洋 (情報・人間工学領域戦略部) (常勤職員1名、他2名)

〔研究内容〕

従来の音響案内が人間の音の方向感だけを利用しているのに対し、逐次移動する音源を用いて知覚される音の移動感を利用した、新しい視覚障害者の移動支援システムの研究を行った。目的地点まで複数設置されたスピーカから順次音を鳴らすことによって、あたかも方向を知らせる矢印のように知覚させることで誘導することを実現する。視覚障害者は誘導目的地点に向かって移動する音を追従して行くことによって、目的地点まで正確に移動できるようになる。この方法であれば、スピーカは被誘導者の近くにあることから、小さな音で十分に聞こえ、不快感や喧騒感を軽減できる。また、残響音の影響も小さくできるため、背景騒音や残響音に頑強な視覚障害者の移動支援システムを構築できると考えている。

今年度は、基礎的研究として、神戸大学において、スピーカを2つに限定し、ノイズバーストをそれぞれのスピーカから逐次再生する条件を対象とし、ノイズバーストをある2つのインターバルを交互に用いて連続して呈示した場合の音の移動感について実験的に検討した。その結果、以下を明らかにした。(1) ノイズバーストの群化には、ノイズバースト間のインターバルの長さだけでなく呈示された順序も影響し、どちらを優先させるかで生じる移動感に個人差が生じた。(2) ほとんどの被験者については2つのインターバルの差が大きくなるほど、提示された順序よりも時間間隔のみ時間差を優先してノイズバーストを群化して音の移動感を知覚する割合が高

くなった。

〔領 域 名〕 情報・人間工学領域

〔キーワード〕 視覚障害者、移動支援、音響信号

〔研究題目〕 超広帯域 I/O を想定したアーキテクチャの検討

〔研究代表者〕 工藤 知宏（東京大学情報基盤センター教授）

〔研究担当者〕 並木 周、石井 紀代（電子光技術研究部門 常勤職員2名）、高野 了成（情報技術研究部門 常勤職員1名）

〔研究内容〕

計算機システム内の計算ノード間で飛躍的に広帯域な通信が利用できることを想定し、通信と計算・メモリアクセスの性能バランスが大きく変化したシステムの構成法を評価検討する。広帯域通信を実現する光トランシーバ技術に加え、広域通信で用いられる光スイッチ等の光ネットワークング技術を適用すれば、従来の100~1000倍程度の通信帯域を計算ノード間に柔軟に設定可能となる。従来の計算機システムはプロセッサの演算速度やメモリアクセス帯域に対して、計算ノード間の通信帯域は小さいことを前提に設計されてきた。本提案では、システムの作り方を一から見直し、広帯域通信を十分に活用する、I/O と計算回路・メモリの接続方法、ネットワークの構成法、システムソフトウェアでの I/O の取り扱い方を検討する。産総研分担の活動内容は、広帯域 I/O 向けシステムソフトウェア、及び光ネットワーク技術の適用検討である。3年計画の初年度にあたる平成28年度は、広帯域 I/O を活かした通信アーキテクチャの検討、想定アーキテクチャと光スイッチ技術との親和性の検討の他、実証用アプリケーションとして機械学習アルゴリズムを FPGA 上に実装した。また、広帯域通信の次世代技術として、光の新原理から光デバイス・システムまでを議論する国際ワークショップ・国際会議などに参加し、世界最先端技術の動向調査を行った。

〔領 域 名〕 情報・人間工学、エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 計算機システム、超広帯域 I/O、ネットワーク、光スイッチ、シリコンフォトニクス

〔研究題目〕 機械学習における統計的安全性の理論

〔研究代表者〕 佐久間 淳（筑波大学）

〔研究担当者〕 村上 隆夫、松田 隆宏（情報技術研究部門 常勤職員2名）神島 敏弘、兼村 厚範、（人間情報研究部門 常勤職員2名）佐久間 淳、日野 英逸（筑波大学）

〔研究内容〕

機械学習が重要な意思決定を担うためには、その予測やモデルが訓練データの秘密を漏らさない、予測が外部

から恣意的に操作されない、非倫理的・差別的な意思決定を行わない、などの安全性を保証する必要がある。本研究では、これを達成するために、機械学習の予測プロセスにおいて、以下の二つの実現を目指している：(1) 訓練データの提供、学習モデルの公開、予測値の公開、の各段階における、統計的な安全性の定義、を確立し、その安全性を保証する手法を与える。(2) 予測プロセスを通じて秘密情報を取得したり、予測値を恣意的に操作しようとする能動的攻撃者の存在下における、暗号理論的な安全性の定義を確立し、その安全性を保証する手法を与える。

平成28年度では、統計的安全性を保証したまま、人口分布などの統計情報を推定する手法に関する理論解析を行った。具体的には、統計的安全性の評価指標として、局所的差分プライバシー（LDP: Local Differential Privacy）に着眼し、ノイズ付きのデータから元のデータの分布を逆推定する手法として、反復ベイズ法に着眼した。反復ベイズ法は、EM（Expectation Maximization）アルゴリズムに基づいて、加工前の位置サンプルの分布を推定する手法であり、サンプル数に依存せずに最尤推定と等価であることが知られている。しかし、最尤推定はサンプル数が小さいときにバイアスが0ではなく、（逆行列法よりは精度が高いものの）推定精度に改良の余地が残されていた。そこで、反復ベイズ法のバイアス（有限サンプルにおける二次バイアス）の期待値と、バリエーションの下限を与えるフィッシャー情報行列の逆行列について、理論解析を行った。反復ベイズ法からバイアスの期待値を差し引くことで、さらなる高精度化が実現でき、その場合の推定誤差を、バリエーションの下限を基に議論することができる。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 局所的差分プライバシー、反復ベイズ法、バイアス、バリエーション

〔研究題目〕 次世代暗号の実用化を支える新たな高度鍵更新手法の設計と安全性評価

〔研究代表者〕 江村 恵太（情報通信研究機構）

〔研究担当者〕 江村 恵太（情報通信研究機構）、花岡 悟一郎、Nuttapong Attrapadung、松田 隆宏（情報技術研究部門）（常勤職員3名）、林 卓也（他1名）

〔研究内容〕

高機能暗号の社会実装を進めるうえで、鍵漏えいの問題は実用上の重大な脅威と考えられている。そこで、本研究においては、次世代高機能暗号技術における安全で効率的な鍵更新手法について検討を行う。

平成28年度は、逐次秘密鍵を更新／執行する仕組みを効率的に実現するため、まずは効率的な鍵執行機能付き ID ベース暗号を構成した。素数位数を持つ非対称双

線形群上での構成がなされ、なおかつ、復号鍵漏えい耐性を持ち、公開パラメータ長がユーザ数に依存しないという点でこれまで提案された鍵効機能付き ID ベース暗号の中で最も効率的な方式である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】公開鍵暗号、鍵漏えい、証明可能安全性

【研究 題目】実行時検証とモデル検査の融合によるネットワークソフトウェアの統合実行監視

【研究代表者】山本 光晴（千葉大学）

【研究担当者】山本 光晴、萩谷 昌巳（東京大学）、田辺 良則（鶴見大学）、Lei Ma（千葉大学）、Cyrille Artho、山形 頼之（情報技術研究部門）（常勤職員2名、他5名）

【研究 内容】

本研究課題の目的は、実行時検証とモデル検査とを融合させることにより、ネットワークシステムが全体としての仕様を満たすことを検証しつつ、それが検査対象プログラムのスケジューリングによらないことを検査するような枠組とその実装を提供することである。第3年度である28年度においては、(1) net-iocache へのアクション・スコープの導入、(2) net-monitor の実装、(3) peer-monitor の3課題が研究計画において設定されていた。

この内(2)について、他の分担者と協力して net-monitor のプロトタイプを開発している。28年度は net-monitor のモニター記述言語である CSP_E の実装をさらに進めるとともに、他の実装（QEA）との比較、また CSP_E の動作の理論的な記述を行った。これらの成果を論文「Runtime monitoring for concurrent systems」（Y. Yamagata, C. Artho, M. Hagiya, J. Inoue, L. Ma, Y. Tanabe, M. Yamamoto）にまとめ、国際会議 Runtime Verification にて発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ネットワークアプリケーション、ソフトウェア検証

【研究 題目】スパースモデリングと高次元データ駆動科学創成への支援と広報

【研究代表者】岡田 真人（東京大学）

【研究担当者】赤穂 昭太郎（人間情報研究部門）、岡田 真人、宮本 英昭、福島 孝治（以上、東京大学）、富樫 かおり、田中 利幸（以上、京都大学）、木川 隆則、谷藤 学（以上、理化学研究所）、駒井 武（東北大学）、本間 希樹（国立天文台）、福水 健次（統計数理研究所）、樺島 祥介（東京工業大学）、

藤代 一成（慶應義塾大学）

（常勤職員1名、他12名）

【研究 内容】

計測技術の向上が大量の高次元観測データを日々生み続けている。また、生命情報科学のように、各論的なデータ科学が推進される中、天文学における高次元データ解析手法が、全く対象とスケールの異なる生命科学でも有効に働くような状況に遭遇する。本計画研究では、こうした多様な視点の導入による革新的展開を引き起こす方法論として、スパースモデリング（SM）に着目する。理科第2分野に属する生物学・地学の幅広い分野の実験・計測研究者と情報科学研究者の有機的連携により、高次元データから隠れた規則性を発見する高次元データ駆動科学ともいべき新学術領域を創成することを目的とする。

平成28年度は、このような支援活動および広報活動に関連し、まず領域会議など複数の会合を開催し、研究計画の実験グループとモデルグループの間でいくつかの共同研究テーマの立ち上げを行った。また、非線形性や階層性、セミパラメトリックな状況の取り扱い、高次元化による計算困難の打破、及び、実験者にフィードバックを促す可視化に関する情報数理基盤の形成のためのモデルグループと情報グループの間の連携をスタートさせた。さらに、公開シンポジウムやチュートリアル企画・運営も行い、本学術研究領域の普及や広報活動を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】スパースモデリング、データ駆動科学の実践、情報数理の基盤形成、若手人材育成

【研究 題目】潜在的運動における学習適応メカニズムの解明と計算モデル構築

【研究代表者】五味 裕章（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）

【研究担当者】五味 裕章、竹村 文（人間情報研究部門）、三浦 健一郎（京都大学）（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究では、未だ謎の多い、感覚情報によって無意識に駆動される「潜在的な感覚運動生成」の情報処理の学習・適応のプロセス、および自己運動感覚とのインタラクションを、運動学的・心理物理学的手法、電気生理学的手法などを組み合わせて明らかにし、随機的・潜在的運動の統合学習モデルに結び付ける基礎知見を明らかにすることを目標とする。具体的には、潜在的な追従腕応答を生成する大脳皮質を含む情報処理神経基盤を明らかにし、自己運動感覚がある随意運動の運動指令生成過程とのコントラストを浮き彫りにする。

平成28年度は、動物の上肢を用いた到達腕運動トレーニングを行うとともに、その運動課題を行う実験セッ

トについて電気生理実験をおこなう環境に整備した。ヒトのモデルとして霊長類の電気生理実験で神経基盤を探索の際の指針となる点について、共同研究者と整理し、視覚運動解析の座とされる MT/MST 野の不活化や細胞記録に向けた計画を組み立てた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】脳科学、視運動、腕運動、運動学習、運動情報解析、視覚

【研究 題 目】アパレルの質と国際競争力向上の基盤となる日本人の人体計測データの構築と多角的分析

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、河内 まき子
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

【目標】

本研究の目的は、全国規模の人体計測を実施し、最新の日本人の体型を分析するとともに、三次元計測と伝統的手計測との互換性を明らかにし、グローバルな視点から国際比較を可能とするデータベースの基盤を作り、あわせて世界初の衣料サイズに対応する三次元人体標準サイズモデルの基盤を構築することである。また、これらに基づいて JIS、ISO 衣料サイズの規格化を目指す。

【研究計画】

平成25年からの5年計画の研究で、日本の10地域を対象に各年代男女100名、計4000名のデータを採取する。このうち2000名については、三次元計測を実施し、アパレル設計に向けて体型の分析、類型化を行うとともに、地域差、年齢差の比較を行う。平成25年度では計測条件・項目の決定、首都圏・関西での計測を行う。平成26年度以降は、全国各地域での計測とデータ分析を進めるとともに、国内外のデータや各国標準を調査し、JIS、ISO 規格化に向けた検討を行う。

【年度進捗状況】

研究担当者は、本研究における計測項目選定に関する助言、計測の品質管理に関する助言、3次元体型データの分析技術の提供、ならびに、ISO 規格化を目標とした海外の人体計測データや各国標準の動向調査を担当する。平成28年度は、平成27年度までに収集した三次元体型データのモデル化と統計分析について技術提供をした。また、広島で開催されたサービス学会国内大会に参加し、個人の人体形状データと、最新の3次元プリンタ技術を統合したスポーツシューズなどのアパレル製品のカスタマイズ研究について、最新のデータ利用ビジネスの動向を調査した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、人間工学、被服構成学

【研究 題 目】サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値に関する基礎的研究

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明、戸谷 圭子（明治大学）
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

【目標】

本研究の目的は、サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の役割と価値を解明し、体系的に整理をし、サービスの生産性と質の向上の為の科学的・工学的手法の効果的利用を促進することにある。

【研究計画】

平成26年度から30年度までの5年計画で、(1) サービスを業種ではなくサービス特性により分類・整理することを通じてサービスの本質を理解し、(2) この方法で分類・整理されたサービスプロダクトおよびサービスプロセスに対して有効に働く科学的・工学的手法はどのように分類・整理されるのかを研究し、(3) 結果を体系化する。

【年度進捗状況】

平成28年度では、サービスイノベーションにおける科学的・工学的手法の調査・研究として、平成27年度に実施したグループインタビューから得られた仮説に基づき、100個程度の設問からなる質問紙調査を設計し、中小企業5,000社、大企業300社に対して Web によるアンケート調査を実施した。アンケートの回答に基づいて、サービス化の進展度合いを先行研究に基づいて3段階に類型化し、第0段階：サービス化せず、第1段階：製品関連サービス、第2段階：顧客関連サービスの3群の間で、価値共創に関するアンケート回答の変化を調べた。価値共創に関するアンケート回答は因子分析の結果、2つの因子にまとめられ、第1因子が感情価値、第2因子が知識価値となった。3群間で因子得点の差を検定した結果、サービス化の段階が進むにしたがって、大企業、中小企業ともに感情価値、知識価値ともに共創価値の形成が進むことが明らかになった。また、中小企業では第2段階で顧客との紐帯を示す感情価値が、大企業では第2段階で顧客からの情報に基づく知識価値が高くなることが分かった。これらの成果の一部は、2017年のものづくり白書に掲載される見通しである。また、平成27年度に実施したグループインタビューの成果については、製造業のサービス化に関する国際会議である Spring Servitization Conference 2016（マンチェスター、イギリス）で発表した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、サービス工学

【研究 題 目】嗅覚による味覚変化の時間特性の解明：実験心理学・脳機能計測・動物行動学の

統合研究

〔研究代表者〕和田 有史（農業・食品産業技術総合研究機構）

〔研究担当者〕小早川 達、後藤 なおみ（人間情報研究部門）（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

嗅覚による味覚の促進あるいは抑制は、学術的に「味覚修飾」と呼ばれ、古くから知られている現象である。本研究では、味嗅覚修飾に関する脳内処理の時間特性について解明することを目的としている。

平成27年度に実施した味覚と嗅覚の組み合わせにおける同時性判断課題において、日常生活における食経験が、味覚と嗅覚の間の分離知覚に影響を及ぼすことが示唆された。しかしながら、嗅覚物質によって嗅覚の時間解像度が変化した可能性も考えられたため、平成28年度は、視覚と嗅覚の同時性判断課題を実施した。視覚刺激として、赤色光を用いた。嗅覚刺激として、醤油とクマリン（桜餅の香り）を用いた。視覚刺激と嗅覚刺激の提示タイミングの差は、±800ミリ秒の間で変化させた。実験協力者には、一試行ごとに、二つの刺激が同時に提示されたと感じたか否かの判断を求めた。

取得したデータを基に、組み合わせごと、実験協力者ごとに、時間差を横軸、同時と判断した確率を縦軸とする同時判断率の時間分布を作成した後、ガウス分布で近似した。組み合わせ間で近似式のパラメータを比較したところ、半値半幅（同時性知覚に対する解像度）に有意差は認められなかった。以上の結果から、嗅覚物質によって嗅覚の時間解像度が変化した可能性は否定された。

続いて、味覚と嗅覚の同時性判断課題中の脳活動について検討するため、事象関連電位の計測を行った。味覚刺激として食塩水、嗅覚刺激として醤油を用いた。味覚刺激と嗅覚刺激の提示タイミングの差は、±800ミリ秒の間で変化させた。取得したデータを同時と判断した試行と非同時と判断した試行に分けた上で、各データ群を味覚刺激オンセット、嗅覚刺激オンセットで加算した。その結果、いずれの刺激オンセットで加算したかに関わらず、味覚刺激単独、嗅覚刺激単独で提示した場合（先行研究のデータ）と比較して、長潜時において明瞭な2つのピークが観察された。また、味覚刺激オンセットで加算した場合、同時と判断したデータ群では、非同時と判断したデータ群および味覚刺激単独提示のデータ群に比べ、第一次応答の振幅の抑制が観察された。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕味覚、嗅覚、味嗅覚修飾、時間特性、同時性判断課題

〔研究題目〕高齢者、介護スタッフの思いを記録し記憶へと繋ぐシステム

〔研究代表者〕桑原 教彰（京都工芸繊維大学）

〔研究担当者〕三輪 洋靖（人間情報研究部門）、

渡辺 健太郎（人工知能研究センター）
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

認知症高齢者向けの介護施設であるグループホームでの生活は、介護スタッフと高齢者間の信頼関係が欠かせない。一般に、施設での体験を介護スタッフと高齢者が共有し、相互に信頼関係を構築していく。しかし、施設への入居直前や直後等、介護スタッフは入居前に本人、家族からヒヤリングした生活の記録を拠り所に、高齢者にアプローチすることになり、高齢者自身の急激な環境変化と相まって、その信頼構築が困難な場合がある。そこで、本研究では、介護施設が高齢者自身にとって安らぎの空間になることを目指し、過去の記憶だけでなく現在の生活での様々なバーバル、ノンバーバル情報を記録し断片を紡ぎ、本人が幸せを感じられる記憶の形成を補助するシステムの開発を目的とした。

平成28年度は、グループホームの入居者に関する職員の気づきを入力するためのシステム DANCE の導入にあたり、事前に職員の業務のタイムスタディを実施し、現状の業務・情報共有の状況を分析した。また、レクリエーションの効果測定に用いるカメラシステムとコト・データベースの連携部分の開発を行った。さらに、レクリエーションを通じた入居者の QoL の向上とその効果測定を実施するために、DANCE とカメラシステムのデータをコト・データベース上で関連づけ、分析を実施する。本年度は、最終年度の実評価に向け、現状の業務把握とシステムの準備を並行して進めた。

今後、DANCE・カメラシステム及び関連システムをレクリエーションの現場に適用し、入居者の QoL の向上を目指す。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕介護サービス、認知症ケア、コト DB

〔研究題目〕多利用者・多状況に共通する特性の抽出による情報転移 BMI

〔研究代表者〕川鍋 一晃（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）

〔研究担当者〕兼村 厚範（人間情報研究部門）、
川鍋 一晃、平山 淳一郎（以上、株式会社国際電気通信基礎技術研究所）
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

脳活動から意図を読み取る BMI は、最初に数時間の訓練が必要であることに加え、経験者でも利用直前に数十分間の校正用データ収集が精度維持のため不可欠という実用上の難点を解消するため、本研究は、実環境脳活動データに共通して現れる成分のモデリングと安静時計測の利用により、都度の校正を必要としない BMI とそれに用いる機械学習法の確立を目的としている。

本年度は、以下の3点に取り組んだ。第1に、脳内ネ

ネットワーク結合の個人間および状況間の変動の理解を容易にするために開発した直交結合因子法（OCF）をさらに改良して、モジュール構造およびそのモジュール間結合の変動を同時推定するモジュール結合因子法（MCF）を開発した。本手法を大規模安静時 fMRI データに適用したところ、モジュール構造として①安静時に活動する default mode network（DMN）、②外部刺激を処理する感覚系ネットワーク、③Saliency ネットワークが抽出され、①・③間と②・③間の結合が反対に変動するという結果も③が①と②のネットワークを切り替えているという知見に合致した。第2に、本研究の転移学習アプローチで用いている辞書学習法に基づき、近赤外分光画像（NIRS）データから日常生活行動を判別するための時空間解析法を開発した。実データで従来法と同等の性能を保ちつつ、課題関連脳活動とアーチファクトのパターンが分離でき、容易に解釈できる結果が得られた。第3に、少数データかつ高ノイズの複数の脳波データに対してさまざまな深層学習法を適用し、従来法の性能を上回ることを示した。特に時間情報がある課題に対しては LSTM が有効であることがわかった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】成分分析、ブレイン・マシン・インタフェース（BMI）

【研究 題 目】立体視的3次元知覚に及ぼす背景面の効果—奥行き、方向、数量知覚について

【研究代表者】下野 孝一（東京海洋大学）

【研究担当者】氏家 弘裕（人間情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

ヒトの視知覚機能のうち、視空間定位について、奥行き知覚と視方向、および数量知覚について研究対象とする。このうち当該分担課題においては、いわゆる従来方式の立体提示により、奥行き知覚やこれに関連する視機能などのパフォーマンスに影響を与える要因（例えば、調節・輻輳刺激の乖離や左右眼用の像の各種のズレ）の影響を明らかにすることを目的とした。

立体提示による影響要因の効果については、鶴飼らのグループが28項目の自覚評価質問紙を考案し、その分析にもとづく検討を試みているが、当該分担課題では、さらに多くのデータを基に分析を行い、その効果の解明を試みた。分析に用いた実験データは、立体 CG 映像により球体を縦横に7×13個（計91個）配置した状態を模擬したものを用いた。これら球体は観察者の視線方向に沿ってディスプレイ面の前後にランダムに配置されており、観察者はこれら球体の中から、奥行き方向に運動していると知覚される1つの球体を探索する課題が課された。実験では、奥行き知覚や視機能などのパフォーマンスに影響を与える要因として、両眼間のクロストーク4条件、縦ズレ4条件、さらに網膜像差とクロストークの

組合せで12条件の操作を行っており、その観察の前後で観察者が自覚評価質問紙の28項目に対して評価を行った全332のデータが得られた。

これらを因子分析にかけたところ、4つの因子が抽出され、それぞれ、眼精疲労的症狀、動揺病的症狀、頭痛関連症狀、さらにピント調節系の症狀に分類された。鶴飼らの報告でも、5つの因子を抽出し、眼精疲労、全般的な不快感、吐き気、焦点の合わせづらさ、頭痛としており、4つの因子についての対応が見つかる結果となった。このことから、いわゆる立体提示により、奥行き知覚や関連する視機能などのパフォーマンスに対する影響要因により、少なくとも眼精疲労、吐き気、焦点の合わせづらさ、頭痛への影響に配慮する必要性が明らかとなった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】立体知覚、立体提示、調節・輻輳の乖離、左右眼間のズレ、因子分析

【研究 題 目】機械学習の統計的安全性の理論

【研究代表者】佐久間 淳（筑波大学）

【研究担当者】神尾 敏弘、兼村 厚範（以上、人間情報研究部門）、松田 隆宏、村上 隆夫（以上、情報技術研究部門）、佐久間 淳、日野 秀逸（以上、筑波大学）（常勤職員4名、他2名）

【研究 内 容】

本年度は、機械学習や統計的データ解析の安全性・プライバシー・公平性の保証などにおいて、以下の研究に取り組んだ。

(1) 多数の人や組織からデータを収集する際におけるプライバシーや Geo-indistinguishability を満たしつつ、人口分布などの統計情報を反復ベイズ法に基づいて推定する差異のバイアスを理論的に解析した。

(2) 個人に関わる予測や判断を行う差異の、その予測・判断結果に関する公費性を保証する公平性配慮型学習における研究を行った。具体的には、センシティブ特徴に関して公平性を保証した分類問題についての理論面についての研究をすすめた。分類問題の公平性にとって、モデルバイアスと確定的な決定則が重要であることを示した。

(3) 個人情報を入力値として予測値を提供するときに、その予測値から、個人情報である入力値を推定できる可能性がある。このような、予測値を提供するサービスにおいて、予測値公開のリスク評価手法とそのリスクを低減する手法を提案した。

(4) データ解析において、統計的安全性を精密に評価するためには、統計量の精密な評価が必要である。離散分布において、単一の連続関数によって加法分解可能なスカラー汎関数を推定する問題に取り組んだ。対象とした汎関数は Shannon エントロピー、Renyi エントロピーなどの統計量を表現可能である。この研究では、い

くつかの仮定の下である推定量を提案し、これがミニマックス最適なレートを持つことを示した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】データマイニング、公平性、プライバシー

【研究 題目】未来予測情報を起点とするサービスシステムの設計・運用手法に関する研究

【研究代表者】谷崎 隆士（近畿大学工学部）

【研究担当者】竹中 毅（人間情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究は、対面重視型サービス産業を対象とした、未来予測起点のサービス最適化ループを実現することを目的とする。従来研究は過去データの分析に重点を置いているが、本研究では需要変化の予測を起点とし、未来予測データをもとにサービス提供現場で起こりうる事態を事前にシミュレートし、その結果に基づいてサービス提供環境設計、人員計画、生産計画を支援することで、サービスの同時性に起因する生産性低下要因の克服を図ることを目指す。また、従来研究は観測、分析、設計、適用で構成されるサービス最適化ループを構成する要素技術開発に主眼が置かれているが、本研究は要素技術を統合し、企業内で最適化ループを実際に形成し、経営の意思決定支援、サービス提供現場支援の実現を目指す。

平成28年度は飲食店の実際のデータをもとに、売上や出品に関する需要予測モデルを構築し、その結果から発注や生産計画を行うための意思決定支援技術の検討を行った。

今後、未来予測に基づく人員計画、生産計画などのサービス設計支援システム、およびレイアウト計画、設備計画などのサービス生産の環境設計支援システムの確立を目指す。

その一例として、対面重視型サービス生産に起因するサービス生産の不確実性の低減を狙いに、ビッグデータを元に顧客の購買行動を事前に予測したデータを用いサービス提供現場のサービス生産のハード的側面（人員計画）とソフト的側面（生産計画）をシミュレートする。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】サービス工学、飲食サービス、需要予測

【研究 題目】アパレルの国際競争力の強化を目指した3D バーチャル工業用ボディの開発と性能評価

【研究代表者】持丸 正明（人間情報研究部門）

【研究担当者】持丸 正明（常勤職員1名）

【研究 内容】

【目標】

本研究の目的は、アパレル用3D-CAD で使用されるバーチャルボディの科学的な構成方法を確立し、実際に

日本人体型に基づく3D バーチャル工業用ボディを開発し、その有用性を評価することにある。

【研究計画】

平成28年からの4年計画の研究で、平成28年度に日本人成人女性（20歳～70歳）600人の3D 体形計測と上半身の相同モデル化、平成29年度に、下半身の相同モデル化、平成30年度に、それらの統計処理と代表形状の導出、アパレル3D-CAD 上での上半身と下半身の統合によるバーチャルボディ作成、平成31年度にはそのバーチャルボディに衣服のゆとり量を付加する方法を検討し、バーチャル工業ボディを開発する計画である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、人間工学、被服構成学

【研究 題目】3次元機能回復モデル規範型リハビリシステムの開発による麻痺手使用機会の向上

【研究代表者】井澤 淳（筑波大学システム情報系）

【研究担当者】井澤 淳（筑波大学システム情報系）、
村田 弓、肥後 範行（以上、人間情報研究部門）（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

脳卒中後の心身機能の回復の背景には脳・神経の可塑的变化による機能回復および機能代償システムが関わっていると考えられるが、回復メカニズムの理解は不十分である。本研究課題は脳損傷動物モデルを用いて、脳損傷後の上肢運動機能の回復が麻痺手の使用機会の調整によってどのように変化するかを明らかにすることを目的として行った。

モデル動物にヒトと脳筋骨格構造が類似しているサルを用いた。第一次運動野に損傷を作成した動物モデルを用いて、把握機能の回復過程を調べた。母指と示指で小さな物体を保持するつまみ動作が可能な動物であるサルを対象に、また、脳損傷後の回復過程について数理モデルを用いた解析を行い、回復過程の行動変化の仕組みを明らかにすることを試みた。

第一次運動野を損傷した後に、精密把握を行う把握動作のトレーニングを繰り返し行うと、把握機能の回復が認められた。さらに、脳損傷後の回復の過程において、一時的に成功率が低下し、把握方法の戦略的転換が起こる「回復の谷」といえる現象が確認された。数理モデルを用いた実験では、第一次運動野および運動学習に関わる数理モデルを用いて、コンピュータシミュレーションによって脳損傷とその後のリハビリテーションを行い、「回復の谷」を再現できるかを検討した。その結果、損傷後のトレーニングの有無によって回復の谷の出現の有無が変化する結果が認められた。この結果から、脳損傷後のトレーニングの有無によって回復過程の行動変化やタイムコースが影響を受けることが明らかになった。

さらに、サル¹の把握動作の解析について、画像解析手法の検討を行った。サルが小さな穴からエサを取り出す課題を側面から撮影した動画から、把握動作中のマーカーを付けていない指の動きを自動的に抽出するために、新しい画像解析システムの構築を検討した。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕リハビリテーション、身体性システム、機能回復、神経可塑性、把握動作

〔研究 題目〕ランダム化比較試験による認知症等を有する高齢者に対するロボットパロの効果

〔研究代表者〕井上 薫（首都大学東京）

〔研究担当者〕柴田 崇徳（人間情報研究部門）、井上 薫、小林 隆司、繁田 雅弘（以上、首都大学東京）（常勤職員1名、他3名）

〔研究 内容〕

動物のように人と共存し、特に身体的な相互作用を通して、楽しみや安らぎの精神的効果を与え、人の心を豊かにすることを目的に、メンタルコミットロボット「パロ」の開発を行っている。動物の場合には、アレルギー、人畜感染症、噛み付き、引っかき事故、管理、衛生などの問題で、動物を飼うことができない人々や一般家庭・医療福祉施設などがある。メンタルコミットロボットは、動物と同様に、人々に様々な効用を与えようとしている。

これまでに、アンケート調査や医療福祉施設での長期実験などから、パロの効用に関して様々な評価を行い、定量的、定性的研究により実証してきた。一般家庭ではペットの代替として家族の一員に、医療福祉施設ではアニマルセラピーの代替として高齢者向け施設での生活の質を向上させ、認知症高齢者の脳機能や行動を改善している。

本研究では、海外でのユーザ会議や日本でのパロによるロボット・セラピー研究会等のユーザからのコメントや臨床評価結果等に基づき、認知症高齢者のセラピーに適切なパロの行動生成動作アルゴリズム等の認知症用パロの研究開発を行っている。また、地方自治体と連携しながら、在宅介護や施設介護でのパロのロボット・セラピーの効果について検証を行っている。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ロボット、認知症、在宅ケア、作業療法、ランダム化比較試験

〔研究 題目〕視覚情報の眼球運動を越えた時空間統合機構の研究

〔研究代表者〕菅生 康子（人間情報研究部門）

〔研究担当者〕菅生 康子（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

私たちは、絶えず眼を動かし、空間内の様々な位置に

ある対象物を、網膜の内でも感度の高い中心窩に捉え、外界を知覚している。下側頭葉視覚連合野を始めとするサルの高次視覚処理にかかわる領域からニューロン活動を記録し、様々な空間内の位置に、形態的特徴を持って存在する視覚刺激に対する反応を眼球運動前後で記録し、眼が動く前に記憶された視覚刺激が、眼が動いた後の視覚刺激とどのように照合され、統合されるのかを調べる。

本年度は、下側頭葉視覚連合野の個々のニューロンについて受容野を調べた。階層的に分類できる刺激画像セット（ヒト、サル、図形、に分類でき、また顔画像は個体と表情で分類できる）を用いて、注視課題を遂行中のサルの側頭皮質 TE 野前部で、単一ニューロン活動を記録した。さらに、その刺激セットの中から、ニューロンの応答強度が強い視覚刺激を選別し、受容野を調べた。TE 野のニューロンの多くは、中心視野タイプの受容野、あるいは、中心視野を含み記録している大脳半球とは反対側の視野に広い受容野を持つことが分かってきた。さらに、刺激のサイズを変化させ、ニューロンの応答の変化を調べる実験を開始した。

〔領 域 名〕情報・人間工学

〔キーワード〕顔認知、側頭葉、ニューロン、スパースモデリング

〔研究 題目〕行動決定における報酬価値の脳内分散表現メカニズム

〔研究代表者〕設楽 宗孝（筑波大学医学医療系）

〔研究担当者〕松本 有央、肥後 範行、松田 圭司（人間情報研究部門）（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

報酬獲得のための行動決定の際の報酬価値のコーディングを調べるために、2頭のサルに、報酬までの労働負荷と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題（行動選択型報酬スケジュール課題）をトレーニングした。この課題では、3から4段階の報酬量と3から4段階の仕事量を組み合わせた9から16通りから、その内の2つを選択肢として呈示し、選択を行わせる。行動選択の結果は報酬価値の指数関数割引モデルでよく説明された。このモデルを用い、眼窩前頭皮質の単一ニューロン活動を2番目の選択肢が呈示されたときに関して解析した結果、およびムシモルによって当該部位を不活性化したときの結果を、SfN2016で発表した。

次に、報酬までの遅延時間と報酬量の組み合わせを選択する行動決定課題（行動選択型報酬遅延課題）をサルにトレーニングしている。この課題は、行動選択型報酬遅延課題であることを示すため最初の固視点の色を黄色とし、報酬遅延時間はターゲットの長さによって、報酬量はターゲットの明るさによって表す。報酬遅延時間は、スケジュール課題遂行にかかる時間に合わせた。一方、マルチユニット記録のためにマルチ電極の検討を tetrode タイプと linear array タイプについて行い、ま

た、マルチユニット記録装置の作成については Ripple 社の SCOUT システムを導入して実験制御装置とのインターフェースの作成を行い、人工データを入力して記録、そのデータ解析方法の検討を行った。分担者は、MRI を用いてアカゲザルの形態計測及びニューロン記録電極の刺入位置の確認を行った。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 行動決定、報酬価値、アカゲザル、眼窩前頭皮質、単一ニューロン

〔研究 題目〕 白杖・車いす・義手義足の身体化モデルの実験的検討を通じた身体知覚に関する考察

〔研究代表者〕 布川 清彦（東京国際大学）

〔研究担当者〕 井野 秀一（人間情報研究部門）、梶谷 勇（ロボットイノベーション研究センター）、布川 清彦（東京国際大学）、土井 幸輝（国立特別支援教育総合研究所）、井手口 範男（森ノ宮医療大学）、大石 健二（日本体育大学）
（常勤職員2名、他4名）

〔研究 内容〕

本課題では、白杖ユーザの多くが「白杖が手の延長のように感じる」と報告することをヒントにして、道具の「身体化（主観）=f（目的、道具デザイン、動作、身体負荷、パフォーマンス）」というモデルを提案し、このモデルの妥当性を実験的に検証することを目指している。具体的には、白杖、白杖と同じ身体外の道具である車いす、そして白杖とは違い失われた身体部位を補うことを目的とする義手・義足を題材に選び、自分の身体とは何かについて改めて問い、自分の身体を知覚すること（身体知覚）の意味や働きについて考察する。

本年度は、白杖の身体化モデルの実験的検証のための準備として、白杖ユーザの動作パターンを定量的に把握する計測システムを構築し、予備実験として、白杖を使用している時の上肢の筋電図モニタおよび三次元動作計測を行った。また、白杖の身体化モデルに関する心理実験として、白杖の利用の有無による対象物の硬さ判断の比較を行った。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 身体化、動作、知覚、道具、福祉機器

〔研究 題目〕 「懐かしい匂い」と創造活動による認知症の人の安心できる居場所作りとその効果検証

〔研究代表者〕 杉原 百合子（同志社女子大学）

〔研究担当者〕 小早川 達（人間情報研究部門）

（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究の目的は、「懐かしい匂い」を用いた嗅覚モダ

リティへの刺激と認知症患者参加型「アート制作活動」を融合させたプログラムを開発することにより、認知症患者にとって安心できる居場所作りを目指すことにある。研究体制は、心理学・看護学グループと創造グループで構成されている。心理学・看護学グループは、高齢者における嗅覚同定能力測定、高齢者にとって落ち着く匂いの選定、創作グループが実施するアート制作活動および着香の効果に関する多角的評価を行う。創造グループは、心理学・看護学グループが選定した匂いによるアート制作および展示を実施する。

研究担当者が属する心理学・看護学グループは、平成28年度の活動として、岩手県二戸市在住の高齢者を対象に「懐かしい匂い」に関する聞き取り予備調査および嗅覚同定能力測定・認知能力検査を実施した。取得したデータとこれまでに他地域で取得したデータを用い、本調査に向けた分析を行った。今回の岩手県での調査では、幼少期から現在に至るまで接し続けている匂いを挙げた高齢者が多かった。換言すれば、今回の調査対象者にとっての「懐かしさ」は、実験者が想定した「懐かしさ」の定義（昔は頻繁に接していたが、しばらく接しておらず、久しぶりに接したことによって喚起される感情）とは異なるものであった。今回の調査対象者は、幼少期と現在の間で生活様式や地域社会の様子に大きな変化を感じていないため、昔は接していたが長らく接していない匂いに思い当たらず、昔から接し続けている匂いを回答として挙げたようである。

現在、本調査に向けて、予備調査の結果の慎重な分析を進めている。次年度以降、本調査を実施し、「懐かしい匂い」の選定を行う予定である。

〔領 域 名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 懐かしさ、匂い、嗅覚、認知症、高齢者、アートデザイン、居場所作り

〔研究 題目〕 人工物ジレンマの解決のための情報設計方法論の構築

〔研究代表者〕 西野 成昭（東京大学工学系研究科）

〔研究担当者〕 竹中 毅（人間情報研究部門）

（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

情報通信技術の進歩に伴い、ハードとしての人工物から本来埋め込まれていた情報が分離され、社会を豊かにする一方で弊害をもたらしている。そのような情報分離現象を人工物ジレンマと定義し、その理論的基礎と解決のための人工物設計論を追究する。具体的課題として、
（1）スマート家電等の人工物ログデータの標準化問題、
（2）人工物における情報セキュリティ問題、
（3）プラットフォーム型ビジネスエコシステムの構成問題、
（4）IoT におけるデータ所有権と利用、
（5）人工物の設計/使用情報と資源循環の5つを設定し、従来の工学的設計問題としてだけではなく、社会システムにおけるステー

クホルダと人工物の在り方を人工物情報分離の視点から研究する。各課題に対し、ゲーム理論に基づきステークホルダと人工物の社会構造をモデル化し、人工物設計が社会システムに与える影響を理論的に明らかにする。さらに、理論モデル検証のため、経済実験とマルチエージェントシミュレーションを行う。加えて、実データを用いた実証分析を行い、理論や実験結果と比較する。各課題で得られた知見を総合し、人工物ジレンマに対する設計手法として成果を取りまとめる。

平成28年度は IoT によって取得されたログデータからどのように人間行動をモデル化し、その後の設計に活かすことができるか、また、そこでどのような人工物ジレンマを生み出すことが懸念されるかについて、スマート家電を想定し、ログデータを有効に活用するために必要なデータ形式やその標準化について検討した。また、IoT データをどのように新たな人工物の設計情報に変更できるかについて検討した。

現在、様々なステークホルダが IoT データを活用し、新たなサービスを持続的に生み出すためのサービスプラットフォームの在り方について検討している。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】人工物、ジレンマ、設計論

【研究 題 目】運動視覚におけるマルチスケール神経情報処理機構の解明

【研究代表者】三浦 健一郎（京都大学）

【研究担当者】竹村 文（人間情報研究部門）、
三浦 健一郎（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

私達は日常の環境の中で、動いている物体から視覚入力を受ける。また、自分が動くとき自分自身を包む環境から視覚的な動きを経験する。その中で、入力されてくる視覚情報から動きを検出し、その情報を統合することによって注目する物体の動きや自らの動きを知ることは視覚システムの重要な課題である。視覚システムは高度に並列化された神経経路から構成され、その一つの特徴は、様々な異なる解像度で視覚情報を並列的に処理することにある。本研究では、視野の広い範囲の動きを解析するシステムとその出力としての眼球運動反応に着目し、運動視覚システムのマルチスケール情報処理において、視覚運動情報が抽出、統合、出力されるプロセスを明らかにする。

平成28年度は、平成27年度に記録したデータを基に、視覚刺激を調整し、様々な異なる時間・空間解像度の視覚刺激を開発した。さらに、複数の動物から実験データを蓄積した。次年度は、記録したデータを基に眼球運動の解析を行い、運動視覚システムのマルチスケール情報処理において、視覚運動情報が抽出、統合、出力されるプロセスを明らかにする。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】脳科学、視運動、眼球運動、運動情報解析、視覚

【研究 題 目】手内筋麻痺指に対する指機能再建法の生体工学的検討

【研究代表者】多田 充徳（人間情報研究部門）

【研究担当者】多田 充徳（常勤職員1名）

【研究 内 容】

内在筋麻痺指に対する機能再建法として最も一般的なのが Lasso 法である。元々は内在筋の機能を代替するために、浅指屈筋腱を A1プーリーに巻きつけていたが、このバリエーションとして A2プーリーに巻きつける方法も提案されている。しかし、これらの効果を比較した研究は行われていない。

本研究では、屍体標本と筋腱駆動装置を用いた運動計測実験を行うことで、様々な指機能再建法の効果を直接的に比較する。本年度は、この実験を行うための装置の構築と、実験方法の予備検討を行なった。筋腱駆動装置は7個のセンサ・モータユニットから構成されており、示指の関節運動に寄与する7つの筋腱を独立に駆動すると同時に、その時の滑走距離と張力を計測できる。コントローラ PC 上には位置サーボ制御をベースに、記録した滑走パターンを再生するプログラムを実装した。また、制御開始と同時にスタートトリガを光学式モーションキャプチャに送ることで、筋腱駆動装置で計測する滑走距離と張力、そしてモーションキャプチャで計測するマーカー軌道の同期がとれるようになった。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】デジタルヒューマン、示指、内在筋、外在筋、筋骨格運動計測

【研究 題 目】嗅覚における注意の機能に関する心理学的研究

【研究代表者】綾部 早穂（筑波大学）

【研究担当者】小早川 達（人間情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

視聴覚心理学の分野において、「注意」は、外部情報を効率よく取り込むための選択機能と定義されており、すでに多くの知見が得られている。その一方で、嗅覚モダリティにおける「注意」の機能や、嗅覚モダリティと他の感覚モダリティの間における「注意」の配分に関する研究はほとんどない。そこで、本研究では、嗅覚における情報処理に関する基礎的知見を得ることを目的とする。

本研究では、連続的に提示されるニオイの濃度や種類を実験的に操作して変化させた場合、どの程度、変化の検出が可能であるかについて検討する。平成28年度は、嗅覚刺激（ニオイガス）の連続提示、嗅覚刺激の濃度変化、嗅覚刺激の種類を入れ替えを可能とする刺激提示装

置の開発を行った。この装置は、嗅覚刺激が流れる系と無臭空気が流れる系から構成されており、系を切り替えることによって、実験協力者に嗅覚刺激もしくは無臭空気が提示される仕組みになっている。嗅覚刺激が流れる系は、更に4つの系に分かれており、最大4つの嗅覚刺激を互いに混じることなく提示することができる。また、この刺激提示装置は、マイコン（Arduino Uno SMD Rev3）によって制御されている。筑波大学に設置された刺激提示装置は、様々な心理物理実験での活用が期待されるため、実験の進行に伴い、適宜改良を加える予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】嗅覚、ニオイ、注意、刺激提示装置、開発

【研究 題 目】複数情報源からの異種データに対する統合的解析法

【研究代表者】川鍋 一晃（株式会社国際電気通信基礎技術研究所）

【研究担当者】兼村 厚範（人間情報研究部門）、川鍋 一晃（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、異種情報源からなるデータを統合的に解析するため、高コスト・ノイズなどのため間欠的になっているデータから、隙間を補完した連続的なデータを推定する方法論を開発することである。

本年度は、以下の4点に取り組んだ。第1に、欠測データを無視した推論で生じるバイアスの問題に対処するため、propensity scoreを用いたマッチング法の改良法を提案した。具体的には、propensity score推定において線形モデルのlogistic regressionの代わりに、非線形モデルのCNN（convolutional neural network:畳み込みニューラルネットワーク）を用いることで、欠測バイアスを軽減できることを示した。第2に、GPSなどの移動軌跡のデータベースではプライバシー保護の理由から一部の移動履歴を削除することがあるが、このような欠測データを処理するための群疎性正則化付テンソル分解を提案した。この手法は少数訓練サンプルにおいても移動パターンの個人特性を捉えることができる特徴量表現を与える。一方で、公開データ内の匿名化された移動履歴のユーザ同定性能が従来法より高まるため、プライバシー攻撃への対応策の必要度も増すことがわかった。第3に、異種情報源からなるライフログの長時間記録の中から、有用な情報を持つ時区間（key frame）を抽出するための機械学習法を開発した。一人称映像に加えて加速度データを活用することにより、日常行動に無関係なアーチファクト区間（frame）を除去することが可能となった。第4に、アイトラッカー、深度カメラ、加速度計、心電計測用ウェア、スマートフォン、位置推定用ビーコンからなるライフログシステムを構築し、延べ5名

の被験者が日常行動を行った際の信号を記録し、予備的解析を行った。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】異種データ解析、欠測推定・補完、生体計測

【研究 題 目】ヘッドマウント式輻輳計測装置による眼球運動計測からわかる視覚情報処理

【研究代表者】河野 憲二（京都大学学術融合教育研究推進センター）

【研究担当者】河野 憲二、松田 圭司（人間情報研究部門）（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、ヒトが豊富な視環境の中から処理すべき対象物を抽出し、視線を向けるときに起こる眼と頭の協調運動を計測することにより、視線を向けるための3次元空間における視覚情報の処理機構を明らかにすることにある。豊富な視覚対象物のある実世界環境下で、自発的、あるいは指示の下に起こる頭と眼の動きをヘッドマウント式計測装置を用いて計測し、存在を感じた対象物に視線を移す時、輻輳眼球運動、サッケード眼球運動と頭部の運動とがどのようなタイミングで協調して起きているのかを明らかにする。また、その動作の特性を確認、定量化するため、実験室では、視覚的性質を正確に、系統的に変化させることのできる対象物を用い、意図的に頭と眼を動かした時に観察されるそれぞれ動きの視覚刺激の性質に対する依存性を明らかにする。

本年度は、ヘッドマウント型眼球運動計測システムの精度、特性を確認するため、視覚刺激の特性を系統的に変化させることのできる新しい3次元視覚刺激提示装置の開発を行った。この装置は、ハーフミラーを使って、2つの液晶画面を重ねて見ることができるようになる装置で、異なる距離に配置された液晶画面上の画像を重ねてみるのが可能になる。また、この液晶画面に表示タイミング検出装置を装着し、視覚刺激提示のタイミングを記録できる。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ヘッドマウント型眼球運動計測システム、輻輳眼球運動計測、サッケード眼球運動計測

【研究 題 目】「空気を読む」為の発達障害者向け視線誘導訓練の研究開発

【研究代表者】和田 真（国立障害者リハビリテーションセンター研究所）

【研究担当者】大山 潤爾（人間情報研究部門）、日高 聡太（立教大学）、和田 真、福井 隆雄（以上、国立障害者リハビリテーションセンター研究所）（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

定型発達者は、効果的に視線を動かすことで相手の「心」を読み、相互の「共感」を生じさせている。一方、自閉症者では、視線移動の時空間パターンが定型発達者と異なる。このことから、適切なタイミングで適切な対象に視線を向けられないことで、状況把握に必要な情報を得がたくし、コミュニケーション障害を悪化させている可能性が考えられる。本研究では、視線計測を用いた心理実験と脳機能計測により上記の仮説を検証し、視線移動パターンを定型発達者に近づける訓練プログラムの開発を行う。

本年度は、プロトタイププログラムを開発し、定型発達者と発達障害者における視線反応の違いを確認できた。また、その結果分析から、訓練前後でのコミュニケーションにおける視線を評価する実験システムを設計した。

評価実験によって当該訓練での効果を確認することで、一般場面での般化が生じるかを検証し、萌芽的な本研究を基に、自閉症の「生きにくさ」を軽減するための支援法の開発に発展させていく。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 リハビリテーション科学、福祉工学、福祉機器、認知支援、障害者対応

〔研究題目〕 HD-DOT と fMRI を用いた社会脳における感情の生成・制御の神経メカニズム解明

〔研究代表者〕 星 詳子（浜松医科大学）

〔研究担当者〕 谷川 ゆかり、川口 拓之（以上、人間情報研究部門）、星 詳子（浜松医科大学）、精山 明敏（京都大学）
（常勤職員2名、他2名）

〔研究内容〕

社会脳とは、空気を讀んだり、がまんしたりなど、人間関係や社会の営みの中で必要とされる脳機能を意味している。人と付き合う中で感情が生じ、その感情を制御することも社会脳と見なすことができる。ひきこもりやキレやすい人などは、社会脳に不調があると思われるが、その脳内メカニズムは不明である。本研究は、(1) 従来の近赤外線スペクトロスコピー（NIRS）が抱える頭皮血流影響の問題を解決する高密度拡散光トモグラフィ（HD-DOT）システムの構築と、(2) HD-DOT と機能的核磁気共鳴法（fMRI）を用いて対人関係から生じる感情の生成・制御の神経メカニズムを明らかにし、社会脳の機能不全に対する教育的・医療的介入進展のための脳科学的エビデンスの取得を目的とする。

平成28年度は、DOT アルゴリズムの検証用ファントムの開発のため、ファントム素材の検討や光学計測から Monte Carlo ルックアップテーブル（MC-LUT）を用いた光学特性値推定を行い、任意の光学特性を持たせたファントムを試作、時間分解計測など各種計測に応用し

た。さらに、ファントム計測用ホルダを用いてファントム計測を行い、アルゴリズム検証のための基礎データを取得した。また、DOT アルゴリズムにおける先験情報として必要な MR 画像の segmentation 方法の検討およびデータ解析を行った。また、ヒト計測用光ファイバホルダの検討と試作を行った。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 社会脳、近赤外線スペクトロスコピー（NIRS）、拡散光トモグラフィ

〔研究題目〕 胎児・新生児シミュレーションに基づく初期発達原理とその障害の解明

〔研究代表者〕 國吉 康夫（東京大学）

〔研究担当者〕 長久保 晶彦（知能システム研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、胎児期から乳児期までの連続的発達シミュレーションを構築し、環境条件を変化させつつ実験することで、発達の基本原理と発達障害のメカニズムを構成論的に解明し、これに基づく発達障害の包括的診断方法、支援法・支援技術の構築などに取り組みとともに、実験結果の定量比較や診断用定量指標のために、胎児・新生児用の認知運動計測・解析の新技术を開発提供することで、胎児期から乳児期までの範囲を対象に、各種の知見を統合するモデルと定量化手法の提供を行うことを目的とし、特に皮膚感覚計測システムの構築、発達実験用ロボットの改良、身体性認知原理の研究などを行う。

平成28年度は、感覚運動の予測と抑制の発達など身体性から社会的認知基盤に至る発達シミュレーション実験を行うための乳児型ロボットについて、本ロボットやハンド機構などのようにセンサ類の実装スペースが狭く制約が強い条件下で、体表面上のセンサの実装エリアと駆動メカニズムを共存させるのに有効なセンシング主要面とは逆の関節背屈側に駆動機構を集中させる技術、またこれまで開発してきた皮膚感覚計測システムの複数デバイスへの対応や圧力分布データ可視化ソフトウェアのまとめなどを行った。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 認知発達、ロボティクス、皮膚感覚センサ

〔研究題目〕 全身感覚運動情報の多相計測と能動再構成に基づく身体性変化即応認知行動機能の研究

〔研究代表者〕 國吉 康夫（東京大学）

〔研究担当者〕 長久保 晶彦（知能システム研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、身体・環境の障害や道具使用等の際に即応変化し、認知行動能力の適応・再利用を可能とする身体

図式の解明と構成を行うことで、状況変化に対する即応能力の構成方法の基盤構築を目的とする。ロボットで従来試みられた限定的モデルと異なり、人間は全身感覚運動情報の超モダリティ構造を能動的に抽出・活用しているとする最近の研究に基づき、これまでに開発してきた全身感覚運動計測技術と人体型ロボット技術を統合し、即時適応中の人間の全入出力計測とその能動的再構成実験を行うことで、革新的な身体図式モデルを構築するとともに応用を開拓していく。

平成28年度は、即応的に身体や環境の障害などに適応できる身体図式を実現するシステムにおいて、特に自由度の障害などに対する適応性を高めるための機構や制御の原理構築、またモデルによる条件変化時の挙動予測などのシミュレーション実験を行うために、構造の動的な変更などに対応しやすい動力学シミュレータの構築を行った。ペナルティー法などの接触モデルでは、接触部のエネルギー収支の不整合による不安定性が問題になる場合があるが、エネルギー収支を考慮し管理する方法により構造変更に適した構成とした。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 人間計測、触覚センサ、適応行動

【研究 題目】 高輝度小型パターン光源を用いた3次元内視鏡の開発と人体消化器官計測の試み

【研究代表者】 佐川 立昌 (知能システム研究部門)

【研究担当者】 古川 亮 (広島市立大学)、田中 信治 (広島大学)、川崎 洋 (鹿児島大学)、佐川 立昌 (常勤職員1名、他3名)

【研究 内容】

本研究では、内視鏡と小型のパターン光源を利用することで、腫瘍のサイズや形状を広範囲に計測する3次元内視鏡を開発する。これまでに内視鏡の外部に小型のパターン投光器を取り付けたシステムを開発し、人体から抽出された生体組織の計測を成功させてきた。これを発展させ、鉗子孔 (内視鏡の手術器具を通す穴) から高輝度パターン光源を通して照射することで対象の形状計測が可能なシステムの開発を行う。本年度はまず、高輝度、長焦点深度のパターン光源の開発について、内視鏡の鉗子孔に挿入可能な、高輝度、長焦点深度のパターン光源の開発に成功し、目標を達成することができた。この結果について、国際会議 ECCV、EMBC などに発表を行った。次に、複数の計測結果の統合による広範囲かつ高精度の形状情報の獲得について、連続的に計測された画像群からそれぞれの範囲の形状を計測し、さらに各形状を統合して単一の形状モデルを生成することに成功した。これにより、口内の広い範囲を内視鏡を動かしながら観測し、統合されたモデルの出力を実現した。第3に、生体組織の鏡面反射による形状推定について、計測画像中のハイライトによる復元失敗を軽減することが目的であったが、この目標を達成するための代わりに手法として、

計測画像をハイダイナミックレンジ画像化することにより、3次元形状を安定して行うことができることを確認した。第4に、生体組織の表面下散乱のシミュレートによる形状推定について、計測画像におけるパターンのボケに対応することが目的であったが、この代替の手法として、学習によるパターン特徴の抽出の研究を進めている。SVM 学習器を用いて、線パターンの計測に成功した。今後さらに計測結果を安定化することを目指して研究開発を進めている。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 ワンショット形状計測、3次元内視鏡

【研究 題目】 一般化差分部分空間に基づく特徴抽出の完全解明と機能強化

【研究代表者】 福井 和宏 (筑波大学)

【研究担当者】 小林 匠 (知能システム研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内容】

本研究は、パターン識別法として日本を中心に開発されてきた部分空間法の発展系である一般化差分部分空間法に対して、その数理的振る舞い・機能をパターン判別的観点から解明することを試みる基盤的研究である。

一般化差分部分空間法は、特徴ベクトルが成す部分空間の間の弁別性が向上するような空間への射影を与える手法であり、福井 (研究代表者) らにより提案された。これはパターンの弁別性を改善することを目的とする手法であるため、特徴ベクトル間の弁別性を向上させるために従来用いられてきた線形判別分析との機能的側面での類似性を見出すことができる。そのため本年度はまず、一般化差分部分空間法と判別分析との関係を数理的に明らかにすることを試みた。より具体的には、判別分析は級内分散最小化と級間分散最大化の2つのプロセスから構成されるため、一般化差分部分空間法とそれらの最適化プロセスとの類似性を明確にすることで、判別分析との関連を示すことができる。数理的観点ではいずれの手法も固有値問題として定式化されていることから、この数理的枠組みでの類似性に着目した。これにより、一般化差分部分空間法と判別分析での級内分散最小化とが等価であることを示した。さらに、パターンの成す部分空間に対して (ある自然な) 仮定を置くことで、判別分析における級間分散最大化とも関連づけることができた。

【領 域 名】 情報・人間工学

【キーワード】 部分空間法、一般化差分部分空間法、判別分析

【研究 題目】 DNN を用いた音声による音声の検索の高精度・高速・低資源システムの実現

【研究代表者】 伊藤 慶明 (岩手県立大学)

【研究担当者】 伊藤 慶明 (岩手県立大学)、李 時旭 (知能システム研究部門)

(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

ビデオ機器の大容量化に伴い、今後は一週間の放送全てを録画しておき、見たい部分を検索して所望の区間のみを鑑賞するライフスタイルに変わっていくと予想している。その際、ビデオを簡単に検索できる機能が望まれる。一週間のテレビプログラムを「音声で」検索する、一週間のビデオ中の音声を「音声で」検索する機能を、高精度・高速・低資源で実現するシステムの開発を目指す。これまで音声でテキストを検索する技術の研究は多くなされてきたが、音声で音声データを検索する精度は低くその技術は確立されていない。また、高速にすれば精度低下や必要資源の増加に繋がり、精度・速度・資源のいずれかが損なわれてしまった。音声認識では近年 Deep Neural Network (DNN) により認識精度が飛躍的に向上しており、本研究では大型な DNN を導入しながら、高精度・高速・低資源で音声による音声データ検索を可能にする技術を新たに開発することを目標とする。

本研究テーマでは、先行研究の音声検索性能のさらなる高度化を図るもので、音声検索技術の(1)高精度化、(2)高速化、(3)低資源化、(4)未知語音声クエリの実現の4件のサブテーマで研究開発を推進し、最終的には(1)~(3)の狙いを両立する「音声で音声を検索する」システムの研究開発を計画している。

平成28年度においては、音声による音声データ検索タスク (Query-by-Example) における DNN の事後確率間距離の導入により、検索精度の向上が得られると共に、事前距離計算に基づき動的計画法の高速な処理が可能になった。当研究によって得られた研究成果を国内外の学術雑誌や学術会議・学会において公表した。

【領域名】 情報・人間工学

【キーワード】 音声中の検索語検出、深層学習、音声認識

【研究題目】 モバイル機器を利用した反転授業とその効果に関する研究

【研究代表者】 小張 敬之 (青山学院大学)

【研究担当者】 児島 宏明 (知能システム研究部門)

(常勤職員1名)

【研究内容】

語学教育において小型 PC やタブレット機器を利用した反転授業が関心を集めている。本研究では特にスマートホンなども含めたモバイル機器を中心に、英語学習において効果的な教材の構成や学習方法の研究を行い、学習者の音声の分析などを通じてその効果を検証する。青山学院大学を代表機関とし、他に3大学と産総研が分担する。そのうち産総研では、学習効果を被験者の発話データに基づいて評価するための音声分析手法や統計分析手法等を担当する。

平成28年度は、全体で3年間の計画の2年目として、

主にこれまでに収録されたデータの整理と分析を行った。そのためにまず、以前に研究代表機関で収録された CALL (コンピュータ支援語学学習) 利用データを、練習前と単語練習後と韻律練習後の3段階に分類した後、それらの間の変化を分析した。CALL 教材による音声分析で得られた単語ごとの学習者スコアを文ごとに平均し、その変化を分析したところ、いずれの学習段階でも優位差は見られなかったが、単語ごとのスコアを分析したところ、長さや品詞によって、一部の単語に優位差が現れることがわかった。今後の研究実施期間において、それらの要因の詳細な分析をさらに進め、語学教育における効果的な授業や教材の指標となる知見の獲得を目指す。

【領域名】 情報・人間工学

【キーワード】 CALL (コンピュータ支援語学学習)、音声分析

【研究題目】 人側/装置側の両者の力覚機能向上による新しい医用力覚呈示システム

【研究代表者】 栗田 雄一 (広島大学)

【研究担当者】 栗田 雄一、辻 敏夫、恵木 浩之 (広島大学) 永田 和之 (知能システム研究部門) (常勤職員1名、他3名)

【研究内容】

本研究の目的は、ハプティックレコーダの要素技術の一つである「力覚の拡張現実感提示」を腹腔鏡手術トレーニングなどの医療トレーニングに応用し、より現実感のあるトレーニング評価が行えるようにすることである。ハプティックレコーダとは記録・再生型の力覚提示デバイスのことで、力覚の拡張現実感提示とは、臓器を模した補助物体に力覚提示デバイスで実操作を加え、補助物体からの反力に力覚提示デバイスにより作られた仮想反力を重畳することで、模擬臓器上に仮想的な病変や複雑な脈管を作りユーザに提示するもので、世界に先駆けて産総研で提案され特許が成立している。今年度は、3Dプリンタで作成した模擬臓器に対して、プロジェクトによる臓器病変や心臓の拍動画像と、ハプティックレコーダで生成した反力の両方を重畳し、鉗子操作における知覚向上効果についての評価実験を実施した。

【領域名】 情報・人間工学

【キーワード】 力覚の拡張現実感提示、腹腔鏡手術、医療トレーニング

【研究題目】 セントラルコマンド発現機構の探索ー大脳辺縁系皮質から筋血管に至る神経回路の同定

【研究代表者】 松川 寛二 (広島大学)

【研究担当者】 小峰 秀彦 (自動車ヒューマンファクター研究センター)、松川 寛二、川真田 聖一、長尾 正崇、梁 楠、

遠藤 加菜、黒瀬 智之（広島大学）、
定本 朋子（日本女子体育大学）、
丹 信介（山口大学）
（常勤職員1名、他8名）

〔研究内容〕

高次脳中枢から発する中枢コマンド（セントラルコマンド）は運動開始時や運動イメージ時に働き、活動筋及び非活動筋の血流量を増加させることを我々は明らかにしてきた。本研究では、大脳皮質から筋血管に至る中枢コマンドの神経回路を同定することを目的に、①筋血流の中枢性調節：筋血流量を上下肢の筋肉群から記録し、エルゴメーター運動のみならず巧緻性運動に対する筋血流反応を調べて中枢性筋循環調節に関わる動作原理を解明する。②中枢コマンド神経回路の探索：筋血流量を指標として、大脳皮質表層部の脳活動を NIRS により、大脳皮質深部の脳活動を functional-MRI・レーザー血流計法・c-Fos 染色法を用いて解析し、中枢コマンドと関係する脳活動領域ならびに下降路を可視化する。③筋血管の交感神経支配：免疫染色を用いてヒト筋血管に対するコリン作動性交感神経支配を形態学的に解明する。今年度は、ラットを用いて運動時の循環調節に関わる脳内神経回路を調べた。麻酔下にて運動時の循環調節に関わる脳内領域候補に神経作動薬、阻害薬を投与、同時に心拍数や血圧等の心循環項目を計測した。その結果、運動時の循環調節に関わる候補部位として中脳腹側被蓋野が関与する可能性を得られた。来年度以降の MRI 実験等につながる知見を得ることができた。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 自律神経、運動、血流

〔研究題目〕 高齢者の不安定性の高い運転行動の抽出とそれを補完する人間機械協調系に関する研究

〔研究代表者〕 小竹 元基（東京大学）

〔研究担当者〕 北崎 智之（自動車ヒューマンファクター研究センター）、下坂 正倫（東京工業大学）、山崎 彬人（東京農工大学）、鎌田 実（東京大学）

（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

本研究の目的は、高齢ドライバーによる無信号交差点での事故発生パターンに関連する不安定性の高い運転行動を、ドライブレコーダーによって取得したデータから、新規に開発する分析ツールにより抽出・類型化し、運転支援方策を実証的に見出すことである。具体的には、まず高齢ドライバー事故の多い無信号交差点の交通空間の特徴と、その空間を安全に通過するための行動要求を明らかにする。そして道路空間における幾何・地物・標識データを入力、確認・操作などの安全運転行動を出力とする規範数理モデルと、実運転行動を比較することに

より、高齢ドライバーの不安定性の高い運転行動の特徴を抽出する。その結果を基に、高齢ドライバーの弱点を適切に補完する人間機械協調系としての運転支援方策に関する知見を得る。

平成28年度は、東京都三鷹市と千葉県柏市在住の高齢者を対象に、自家用車に常時記録型ドライブレコーダーを搭載し、日常生活の運転行動データを取得した。また、画像処理と機械学習によるドライバー視認対象抽出技術、および交通環境に依存する安全運転行動モデルの開発に着手した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 交通事故、安全、高齢者、無信号交差点、ドライブレコーダー、画像処理、機械学習、運転行動モデル

〔研究題目〕 夜間勤務における疲労の早期発見を目指した疲労評価法と食生活・微量元素栄養との関連

〔研究代表者〕 亀尾 聡美（群馬大学）

〔研究担当者〕 岩木 直（自動車ヒューマンファクター研究センター）、七里 元督（健康工学研究部門）、亀尾 聡美、小山 洋（群馬大学）、井上 顕（島根大学）、星野 泰栄（群馬バース大学）

（常勤職員2名、他4名）

〔研究内容〕

本研究は、夜間勤務の疲労を早期発見するために、夜間勤務者の疲労の程度を客観的にかつ簡便に評価し、さらに食生活状況および微量元素栄養との関連を明らかにすることを目的とし、疲労を抱えながら勤務している看護師の疲労状態評価・バイオマーカー測定・食生活状況調査を行う。

具体的には以下の事項を実施する。

- 1) フリッカーヘルスマネジメント（産総研ベンチャー）にて開発しているフリッカーテストによる客観的疲労評価と唾液中アミラーゼ、血中コルチゾール等のストレスバイオマーカーとの関連を明らかにし、本フリッカーテストの有用性を検証する。
- 2) 食生活状況・微量元素栄養状態と疲労度の関係を夜勤回数・病棟等の違いを考慮し解析する。以上の検討を行う事で夜間勤務者の疲労の早期発見・事故防止・健康維持・管理のための適切な支援を行うための基盤となる研究を実施する。

今年度は、産総研技術移転ベンチャー企業フリッカーヘルスマネジメントと協力し、運輸業従事者を対象とした長期的なフリッカーテストデータの蓄積を行い、業務中のヒヤリハット事象とフリッカーテストスコアの間に関連があること、運転業務従事者の「まぶしさ」を抑える偏光レンズつきサングラスの着用で、一日単位のフリッカーテストスコアを改善できる可能性があることを明

らかにした。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】疲労、ストレスマーカー、フリッカー
検査

【研究 題 目】『空間認知の歪み』を定量し運動パフォーマンスの向上に生かす

【研究代表者】小高 泰（自動車ヒューマンファクター
研究センター）

【研究担当者】小高 泰（常勤職員1名）

【研究 内 容】

我々は、地球からの重力加速度を受けている空間に生活している。そのため、その空間に適した空間認知システムが構築されていると考えられている。一方、もし、この重力加速度によって形成されている空間が、平常時と違った場合、どのような空間認知が行われるかについては明らかにされていない。科学技術が発達した現在、自動車や飛行機等の乗り物、さらには、宇宙空間で長期にわたって生活をするような状況が生じてきており、その際、重力場が異なった（或いは、加速度が追加された）状況における空間の認知がどのようにされるかについて理解する事は、重要である。

そこで、本研究では、重力加速度方向が変わった状況（座面がチルトする事で、斜め方向からの重力加速度を受けるような状況）において、ヒトが、どのような空間状況の把握をしているのか、また、その状況に対して、自己中心座標とする運動がどのように調節・或いは影響を受けるのかを実験で確かめた。

その結果、暗黒において、左右方向に8度、16度に傾いた状態で、正面に呈示された運動目標に向けて、上肢到達運動をさせると、傾きの度合いに応じて、傾いた方と反対向き、到達位置のずれが生まれることが観察された。この結果には、個人差が大きく、被験者によっては逆向きの結果を示すものがあったが、平均すると傾きの量と、運動の補正の方向は逆向きである事が判った。

補正が行われた運動を解析すると、運動開始時の初期の運動の開始方向は、チルトの角度や向きとの相関を示さなかった。しかし、運動後期（上肢運動が終了する手前0~200 ms までの区間）の運動方向ベクトルは、体の傾きの大きさや、方向と相関して変化を示していた。

これらの事から、空間への運動は、運動初期には、それまで学習・経験によって得られている運動パターンがあらわれるが、運動の最中に、その時々重力場に対する補正が行われているのではないかと推測された。

今後は空間がどの程度ひずんで認知されているかを確かめるため、SVV（自己垂直認知）など、自己の自覚する重力場の認知と関係を調べる予定をしている。

発表；空間認知と運動制御研究会で発表。（Submit）

J Exp Brein Res.に論文投稿中。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】空間認知、運動制御、重力場の認知、運動の心理物理計測

【研究 題 目】生理反応の複数人同時測定による、集団内・間相互作用における潜在的な心理過程の解明

【研究代表者】片山 順一（関西学院大学文学部）

【研究担当者】木村 健太（自動車ヒューマンファクター研究センター）（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、集団内・集団間の相互作用にかかわる心的機能を認知神経科学的手法を用いて明らかにすることを目的としている。昨年度までの研究では、集団意思決定方式を取り入れたギャンブル課題を実施することにより、集団メンバー間での相互作用が集団意思決定結果の評価をどのように変容するかを検討してきた。

本年度は、集団間相互作用が集団意思決定結果の評価に及ぼす影響を検討した。実験では、二名を一つのチームとして、二つのチームが交代でカードを選択するギャンブル課題を用いた。カード選択では、ペアのうち一人が「あたり」と「はずれ」の大きさを決めるカードを選択した後、もう一人が「あたり」か「はずれ」を決めるカードを選択した。カードの選択結果は、各カードの選択直後に提示した。集団間相互作用を検討するため、カードの選択結果が相手チームに及ぼす影響を操作した。協力条件では、自チームの「あたり」は相手チームの「あたり」、自チームの「はずれ」は相手チームの「はずれ」とした。競争条件では、自チームの「あたり」は相手チームの「はずれ」、自チームの「はずれ」は相手チームの「あたり」とした。ギャンブル課題遂行中の4名から同時に脳波を測定し、結果呈示により生起する事象関連脳電位（ERP）を検討した。

その結果、協力条件では、自チームの「はずれ」結果に対するフィードバック関連陰性電位（FRN）と相手チームの「はずれ」結果に対するFRN振幅に差はなかった。一方、競争条件では、自チームの「はずれ」結果に対するFRN振幅は、相手チームの「はずれ」結果に対するFRN振幅よりも大きかった。FRNは選択結果の重要性の評価を反映する。このことから、本研究の結果は、集団が互いに協力する状況では、他集団の失敗は自集団の場合と同程度に重要だと評価されるのに対して、集団が互いに競争する状況では、他集団の失敗の重要性は低減することを示している。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】集団内相互作用、行動モニタリング、脳波、事象関連脳電位

【研究 題 目】前腕切断端部の筋電信号特性と運動・生理学的分析による筋電義手操作基準に関する研究

〔研究代表者〕大庭 潤平（神戸学院大学総合リハビリテーション学部）

〔研究担当者〕梶谷 勇（ロボットイノベーション研究センター）大庭 潤平（神戸学院大学・総合リハビリテーション学部）

大西 謙吾（東京電機大学・理工学部）
（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

事故や病気などによって手を失った人、あるいは先天的に手に障害のある人が、手の機能の一部を代替するために用いる義手について、そのリハビリテーション手法に関する研究である。義手には様々な種類があるが、その中でも、手に残る部分（断端部）の筋肉を動かしたときに生じる電気信号（筋電）を用いて操作する筋電電動義手は、近年、活発に活用されるようになってきたものの、その機能を最大限に生かすためのリハビリテーション手法が体系化されていないことが課題である。運動生理学的な解析により、筋電を測定する部位の決定方法、およびアセスメント、リハビリテーション方法に関する知見の集約と解析を実施する。本年度は、ヒューマンインタフェース領域で著名なフィッツの法則に基づく評価方式を考案し、健常被験者が筋電電動義手の操作を体験できる模擬筋電電動義手を用い、健常被験者による模擬実験によりデータを収集して解析を行った。併せて、電動義手の評価に関する先行研究について、範囲を広げた再調査を進めている。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕義手、筋電、アセスメント、リハビリテーション

〔研究題目〕循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業健康寿命及び地域格差の要因分析と健康増進対策の効果検証に関する研究

〔研究代表者〕田宮 菜奈子（筑波大学）

〔研究担当者〕松本 吉央（ロボットイノベーション研究センター）（常勤職員1名）

〔研究内容〕

介護保険制度の福祉用具貸与サービスでの機器利用状況を明らかにすることを目的として、全国介護レセプトデータを用いて貸与価格に着目した分析を行った。具体的には2012年度に追加された自動排泄処理装置を対象とした。この装置には、現在以下の2つのタイプがある。

① 尿の処理に対応したもの：メーカー希望小売価格10万円未満、すべての要介護区分で利用可能。2機種。

② 尿・便両方の処理に対応したもの：メーカー希望小売価格40万円台～60万円台、要介護4、5の利用者のみ利用可能。8機種。

月額の手貸与価格と要介護区分を考慮した利用状況を調べたところ、①と②は月額1.8万円を閾値として分ける

ることが分かった。ただし、①②ともに貸与価格に3倍以上の大きなばらつきがあった。また、2013年度の利用件数は①が9,002件（人・月）、②は75件（人・月）であった。つまり、①は全国で750人、②のタイプに限ると1機種あたり1名弱の利用者しかいないことになる。

次期介護保険制度改正では、貸与価格に極端な価格差が生じないように上限設定を設ける等が検討されている。また、先進的な介護ロボットのうち、2016年度より電動アシスト付き歩行器が、2017年度中には車いすに変形可能な電動ベッドが貸与対象に入る予定である。これらにより、利用状況にどのような変化が生じるか、今回と同様の手法で分析を行う予定である。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕介護保険、給付、データベース、分析

〔研究題目〕スパースモデリングによる潜在構造の抽出

〔研究代表者〕永田 賢二（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕永田 賢二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高次元観測データにより、科学の実践に必須の仮説／検証ループに基づくモデル化が著しく困難になっている。本計画研究では、この困難をスパースモデリングにより解決し、生物学・地学における実験・計測データから、系の潜在構造として物理特性を抽出する普遍的手法を開発する。下記で説明するように、【課題1】ベイズのスペクトル分解による情報抽出の限界評価、【課題2】SpDMDによるコヒーレントフォノン信号のモード分解解析、及び、【課題3】全状態探索による線形回帰のスパース変数選択について研究遂行した。

【課題1】ベイズ比熱という新たな統計量を導入し、スペクトル分解における数値実験において、統計的推測において必要なデータの量あるいはノイズの大きさについて明らかにした。

【課題2】時空間データを少数のモードへ分解するsparse Dynamic Mode Decomposition (SpDMD)に着目し、物性科学のコヒーレントフォノンのデータへの適用した。その結果、既存解析で用いられるフーリエ変換を凌駕する結果を得た。

【課題3】平成28年度では、スパースモデリングを深化させるため、少数の説明変数の組み合わせを網羅的に探索し、線形回帰の変数選択を行う手法の提案した。また、説明変数の組合せ爆発に対して、交換モンテカルロ法を用いて効率的に探索し、本手法を大規模な実データへの適用を想定したシミュレーションデータへの適用を行った。その結果、最後に天文データに適用した結果、近似的スパースモデリングでは分からなかった、データ不足の可能性について示唆した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕スパースモデリング、潜在構造抽出、

SpDMD、ベイズ比熱

〔研究題目〕 先進ゲノム解析研究推進プラットフォーム

〔研究代表者〕 瀬々 潤 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 瀬々 潤、Kuo Tony
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

科研費採択者のゲノム研究加速に向けて、次世代シーケンサによるゲノム配列の解析のサポートを実施した。このフレームワークに乗っ取り、大麦、マウスに関して、共同研究を実施した。

〔領域名〕 情報人間工学、生命工学

〔キーワード〕 機械学習、次世代シーケンサ、変異

〔研究題目〕 植物新種誕生の原理—生殖過程の鍵と鍵穴の分子実態解明を通じて—

〔研究代表者〕 瀬々 潤 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 瀬々 潤 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

新学術領域の総括班として、主としてデータ解析環境の整備を実施し、各班の研究進展に寄与した。

〔領域名〕 情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕 データ解析

〔研究題目〕 ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開

〔研究代表者〕 佐々木 洋子 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 佐々木 洋子 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

ロボット自身に装備された耳(マイクロホン)で聞く「ロボット聴覚」では、混合音から音響事象を認識し理解するという音環境理解の立場から、(1)混合音からの音源定位、(2)音源分離、(3)分離音認識、の3つの要素技術に取り組んできた。音環境理解では、さらに「どこでどんな音がするか」という時空間的な音理解機能を備えることが重要である。本研究では、我々がこれまでに提唱してきたモバイルオーディション機能を発展させ、ロボットが動きながら3次元空間中で音を捉える技術の開発とこれを用いた環境の音地図作成・人間の発見・生活行動のモデル化の研究を行う。

プロジェクト最終年度となる2016年度は、これまでに取り組んだ各種認識機能の視聴覚統合を進め、様々な移動ロボットから3次元空間中の音を捉える3次元音源地図作成を実現した。イベント会場での人の動きと周囲の音の可視化、自然環境で3D 地図上に野鳥の鳴交情報表示、災害環境を想定した四脚ロボットによる音源探査など、様々な環境に実装し、技術展開を進めるとともに、その効果を示した。これらの視聴覚統合3次元音源地図作成技術を国際会議や論文誌で発表した。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 ロボット聴覚、音環境理解

〔研究題目〕 組織幹細胞におけるゲノム安定性の制御

〔研究代表者〕 瀬々 潤 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 瀬々 潤、Kuo Tony
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

メダカを対象とし、大阪大学・藤堂研から算出される、ゲノムの大規模情報から、変異あるいは再構成が起こっているかどうかを同定する計算を開発・実施した。

〔領域名〕 情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕 幹細胞、ゲノム、変異、構造変異

〔研究題目〕 複数分子を標的とした新薬設計手法の開発

〔研究代表者〕 瀬々 潤 (人工知能研究センター)

〔研究担当者〕 瀬々 潤 (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

本研究では、創薬において創薬ターゲットとなる因子を同定するために(1)遺伝子発現の制御因子の同定、(2)全ゲノムに渡る変異情報(GWAS)からの疾患関連因子の同定、の2種類について検討することで、複数分子をターゲットとした創薬、リポジショニングにつながる手法の研究開発を実施した。

本研究においては、特徴の組み合わせを考慮して統計検定を実施すると、多重検定補正が過剰であることを見出した上で、より適切な補正後の有意水準を求める解析的な方法を構築した上で、全ての組合せを高速に計算できるアルゴリズムの開発を実施し、無限次数多重検定法(LAMP)と名付けた[PNAS 2013, PKDD 2014]。更に、LAMP では、補正後の有意水準を解析的に求めている関係で、過剰に偽陽性率を補正している可能性があったため、計算時間は必要とするが、十分設定した値に近い偽陽性率となる補正後の有意水準を求める手法を、並べ替え法によるシミュレーションを利用することで構築した[BIBM 2013]。更に、GPGPUを用いた高速化を実施し、HWYと名付けた[ACM BCB 2015]。

本研究では手法構築だけに留まらず、実データへの応用も進めた。以上の手法を酵母の高温ストレス環境下における遺伝子発現制御因子の同定や、ヒト乳がん細胞における制御因子の同定に適用することで、今までは見過ごされてきた複数の因子に関し、相乗的に関与している可能性が示唆された[PNAS 2013]。

更に、全ゲノム情報(GWAS)からの疾患推定を実施するため、遺伝統計学で頻繁に用いられるソフトウェアである PLINK に LAMP を組み込んだ LAMPLINK の開発を実施[Bioinformatics 2016]し、github を通じて広く公開している。以上の手法を日本国内の大規模コホート研究で観測されている情報に適用し、複数の変異が疾患に関わる例を発見できている(未発表)。医学・生

物学者と組むことで、新たな創薬ターゲットの同定へとつながる示唆が得られており、今後検証を進める。

〔領域名〕 情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕 遺伝子発現、創薬、GWAS、無限次数多重検定法

〔研究題目〕 知識表現付き高精度3次元地図を用いた自律協調型自動運転システムに関する研究

〔研究代表者〕 佐々木 洋子（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕 佐々木 洋子（常勤職員1名）

〔研究内容〕

高齢者社会に備えた安全で快適なモビリティに向けて、高精度3次元地図技術を利用した自律協調型自動運転システムの研究に取り組む。特に市街地を含む複雑な環境での自動運転に向けて、高精度3次元地図に移動体や交通状況に関する動的な情報を知識表現として追加する。たとえば見通しの悪い交差点での制御方法や、歩行者と出会いにくいルートを算出する方法など、潜在的リスクを回避するメカニズムと安全なルートを算出するメカニズムを明らかにし、これに必要な知識表現手法を確立する。

3年プロジェクトの初年度である2016年度は、走行車両による高精度3次元地図作成技術の開発に取り組んだ。レーザセンサで走査しながら地図を作成するには、センサの移動と環境の形状を同時に推定する SLAM (Simultaneous Localization And Mapping) が一般的なアプローチとなっており、様々な手法が提案されている。いずれの手法も各時刻での推定結果を重ね合わせるため、時間とともに誤差が積分し市街地規模の大規模な地図作成が難しい。本問題を解決するため、国土地理院が発行する基盤地図情報から道路情報を利用し、SLAM 結果を最適化する手法を提案した。お台場での検証実験を通して、基盤地図情報の精度を持つ市街地規模の3次元地図を自動作成可能なことを示した。これらの成果は国内会議で発表し、国際会議にも採択された。

〔領域名〕 情報・人間工学領域

〔キーワード〕 3次元地図、自動車、自律走行

〔研究題目〕 あかつき・地上観測と数値モデリングの連携による金星大気力学の研究

〔研究代表者〕 松田 佳久（東京学芸大学）

〔研究担当者〕 神山 徹（人工知能研究センター）
（常勤職員1名、他6名）

〔研究内容〕

金星の自転速度は1.6 m/s（自転周期は243日）と非常に遅いのに対し、金星大気はその全体が自転よりも速く回転しており、雲頂付近（高度約70 km）での東西風速は自転速度の60倍、100 m/sにも達する。この現象は金星大気スーパーローテーションと呼ばれ、大気の運動を

支える運動量輸送が従来の気象学では説明できないことから、惑星気象最大の謎の一つとされている。本研究では数値シミュレーションと観測・データ解析の密接な連携により、金星大気中の波の構造と力学的性質を明らかにし、スーパーローテーションの成因解明を目標としている。

産業技術総合研究所では地上大型望遠鏡による観測データの取得・解析と衛星取得データの解析を通して、観測の面から金星大気中に存在する波のふるまいを明らかにすることを担当し、平成28年度ではハワイ・マウナケア山頂に設置されている大型望遠鏡による金星観測を実施した。その結果金星夜面においてスーパーローテーションの存在の中、金星の地面に固定されたようなふるまいを示す大気波動の存在を確認した。この波動はスーパーローテーションを減速する特性を持つなど、新たな運動量輸送の存在を明らかにしている。

〔領域名〕 情報・人間工学

〔キーワード〕 画像解析、データ処理、地球科学、惑星科学、金星

〔研究題目〕 エピトランスクリプトーム解析のためのRNAインフォマティクス基盤技術

〔研究代表者〕 浅井 潔（東京大学）

〔研究担当者〕 亀田 倫史（人工知能研究センター）、阿部 洋（名古屋大学）、浜田 道昭（早稲田大学）、（常勤職員1名）

〔研究内容〕

修飾塩基を含む RNA の2次構造情報解析技術を開発し、エピトランスクリプトーム解析のための RNA インフォマティクス基盤技術を確立することを目的とする。重要だが従来の2次構造予測では扱えない修飾塩基について、エネルギーパラメータを実験と分子動力学計算の組み合わせで同定し、様々な RNA 2次構造解析ソフトウェアに導入する。さらに、修飾塩基を含む RNA 転写物を網羅的に解析し、データベースを作成して公開する、また、修飾塩基を含む RNA が指定の2次構造を持つように設計できる、創薬応用志向の RNA 配列設計技術の基盤を確立することが目標である。

これまでに、自己会合し、かつ、修飾塩基イノシンを含む様々なヌクレオチドを化学合成により作成し、それらの熱化学測定を行い、熱安定性 (ΔG) を求めた。また、イノシンの分子モデルを作成し、実験を行ったヌクレオチドを計算機上に再現した。それらの分子動力学シミュレーションを元に、イノシンを含まない配列 A からイノシンを含む配列 B への変異に伴う自由エネルギー変化 ($\Delta \Delta G$) を求め、実験値と比較したところ、相関係数が0.9程度とよく相関することを示した。これらの実験・計算データから RNA 二次構造予測用のエネルギーパラメータを求める、統計学的手法の開発も行った。今後は、これらの手法を用いて、実際に二次構造予測を

行う予定である。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】RNA・分子動力学シミュレーション・
修飾塩基

【研究 題目】地域救急医療の質の向上に資する科学的
証拠の構築に関する研究

【研究代表者】山田 クリス孝介（佐賀大学医学部）

【研究担当者】本村 陽一、櫻井 瑛一
（常勤職員2名、他3名）

【研究 内容】

本研究の目的は、地域救急医療の質の向上に資する科学的証拠（エビデンス）を構築することである。具体的には、以下の3点について検討する。(1) 散在している救急医療関連データを精査・整理すると共に、次世代診療支援システムを導入し、価値ある情報を収集可能な統合データベースを構築する。(2) 上記(1)の統合データベースを利用して病院前から医療機関での治療を経て社会復帰に至るまでの一連の救急医療のプロセスを明らかにする。(3) 上記(2)で明らかにした救急医療のプロセスを評価し、地域救急医療の質の向上に資する科学的証拠（エビデンス）を構築する。平成28年度には、今年度においては、各種のデータの整備を進め、そのデータを用いた分析にも着手した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】データ解析

【研究 題目】ケアリングの実践知を日常的に共有する
ための支援モデルの構築

【研究代表者】渡辺 健太郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】西村 拓一、福田 賢一郎
（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、看護・介護におけるケアリングの実践知の共有の現状を分析し、その結果に基づき実践知の日常的な表現形式・方法を開発すると共に、同表現形式を用いた支援システムとその活用方法を看護・介護職員と連携して開発・導入することで、継続的なケアリングの支援モデルを実現することを目的とする。

本年度の目標は下記の2点であった。1点目は、大学病院、介護施設等の看護・介護現場で使用されている情報媒体とそれを用いたコミュニケーションの調査を行い、特に、紙媒体使用時と電子媒体使用時で、表現形式や方法、各表現の具体的な意味やコミュニケーションへの活用方法の違いを分析し、日常的に共有されるケアリングの実践知の表現の特徴とその方法に関する要件を明らかにすることであった。2点目は、本分析結果を踏まえ、日常業務の中でケアリングの実践知を情報システム上で扱うための表現形式を開発することであった。

本年度は大学病院において、業務経験の異なる看護師

を対象とした、看護記録の方法とシステム利用に関する半構造化インタビュー、ワークショップを実施した。また、介護施設においても事前調査を実施した。その後、収集したデータの分析を行い、情報システム上で実践知を扱う際の表現の特徴分類を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ケアリング、実践知、知識共有

【研究 題目】ケアリングの実践知を日常的に共有する
ための支援モデルの構築

【研究代表者】渡辺 健太郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】渡辺 健太郎、西村 拓一、
福田 賢一郎（常勤職員3名）

【研究 内容】

本研究では、看護・介護におけるケアリングの実践知の共有の現状を分析し、その結果に基づき実践知の日常的な表現形式・方法を開発すると共に、同表現形式を用いた支援システムとその活用方法を看護・介護職員と連携して開発・導入することで、継続的なケアリングの支援モデルを実現することを目的とする。

本年度の目標は下記の2点であった。1点目は、大学病院、介護施設等の看護・介護現場における情報媒体とそれを用いたコミュニケーションの調査を行い、特に、紙媒体使用時と電子媒体使用時における、表現形式や方法、各表現の具体的な意味やコミュニケーションへの活用方法の違いを分析し、日常的に共有されるケアリングの実践知の表現の特徴とその方法に関する要件を明らかにすることであった。2点目は、本分析結果を踏まえ、日常業務の中でケアリングの実践知を情報システム上で扱うための表現形式を開発することであった。

本年度は大学病院において、業務経験の異なる看護師を対象とした、看護記録の方法とシステム利用に関する半構造化インタビュー、ワークショップを実施した。また、介護施設においても事前調査を実施した。その後、収集したデータの分析を行い、情報システム上で実践知を扱う際の表現の特徴分類を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】ケアリング、実践知、知識共有

【研究 題目】ケアリングの実践知を日常的に共有する
ための支援モデルの構築

【研究代表者】渡辺 健太郎（人工知能研究センター）

【研究担当者】西村 拓一、福田 賢一郎
（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、看護・介護におけるケアリングの実践知の共有の現状を分析し、その結果に基づき実践知の日常的な表現形式・方法を開発すると共に、同表現形式を用いた支援システムとその活用方法を看護・介護職員と連携して開発・導入することで、継続的なケアリングの支

援モデルを実現することを目的とする。

本年度の目標は下記の2点であった。1点目は、大学病院、介護施設等の看護・介護現場で使用されている情報媒体とそれを用いたコミュニケーションの調査を行い、特に、紙媒体使用時と電子媒体使用時で、表現形式や方法、各表現の具体的な意味やコミュニケーションへの活用方法の違いを分析し、日常的に共有されるケアリングの実践知の表現の特徴とその方法に関する要件を明らかにすることであった。2点目は、本分析結果を踏まえ、日常業務の中でケアリングの実践知を情報システム上で扱うための表現形式を開発することであった。

本年度は大学病院において、業務経験の異なる看護師を対象とした、看護記録の方法とシステム利用に関する半構造化インタビュー、ワークショップを実施した。また、介護施設においても事前調査を実施した。その後、収集したデータの分析を行い、情報システム上で実践知を扱う際の表現の特徴分類を実施した。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ケアリング、実践知、知識共有

〔研究題目〕ソーシャルビッグデータにおけるデータ分析とデータ管理の統合理論の構築と実践

〔研究代表者〕石川 博（首都大学東京）

〔研究担当者〕石川 博（首都大学東京）、廣田 雅春（大分高等専門学校）、江原 遥（人工知能研究センター）、遠藤 雅樹（職業能力開発総合大学校）（常勤職員1名、他3名）

〔研究内容〕

本研究では時空間・意味情報を基に、分析の専門家でない当事者が疑似相関に注目してソーシャルビッグデータを効率よく分析できる基盤の開発とそのための理論構築を行う。応用の、抽象度の高い分析と説明ができる基盤の実現によってソーシャルビッグデータの利活用・流通を促進し、異種セクタが協業するダイナミックな知的社会の実現を目指すことが、本研究の目標である。

当該年度は、International Conference on Knowledge Engineering and Semantic Web (KESW) 2016というチェコ・プラハで行われた会議で、観光に関するツイート（マイクロブログへの投稿）をしているTwitter ユーザが居住者か旅行者かを識別するタスクに関するLive or Stay?: Classifying Twitter Users into Residents and Visitors という査読付き国際会議論文を公表した。本研究において、当該研究者は、投稿論文の英語原稿をほぼ全文に渡り書き直した。

その他、位置情報付きのツイートをしているTwitter ユーザの情報から、都心における各地区の混雑度を曜日・時間ごとに割り出し、地震などの広域災害が発生した場合に、混雑地区から最寄りの広域避難場所までの通

路で人通りが多く混雑しそうな地区を発見するVisualizing High-Risk Paths using Geo-tagged Social Data for Disaster Mitigationという研究も、地図情報研究のトップ査読付き国際会議であるACM SIGSPATIALのWorkshopであるであるWorkshop on Location-based Social Networksで発表を行った。この研究は、当該年度に、論文誌版がジャーナル採録された。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕ビッグデータ、ソーシャルメディア、機械学習

〔研究題目〕多種センサとクラウドを活用した分散リアルタイム機械学習処理基盤

〔研究代表者〕中田 秀基（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕中田 秀基、高野 了成（情報技術研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

センサーがいたるところに存在するIoT時代においては、センサーからデータを効率的にクラウドに収集し、そこでリアルタイムに機械学習処理を行う必要がある。このようなシステムにはリアルタイム性とスケーラビリティが同時に要求される。われわれはこの問題に対して、分散処理系であるSparkを基盤とするシステムを提案し、評価を行った。SparkにKafkaを組み合わせたシステムを構築し、スループットに関する知見を得た。また、Sparkによる分散並列実行に関しても様々なデータセットに対する評価を行い、効率面での問題点を発見した。

これらの内容に関して国内研究会、全国大会で5件の発表を行った。さらに、1件の査読付き国際会議での発表を行っている。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕分散計算、ストリーム処理、動画認識、機械学習。

〔研究題目〕MAFFT 多重アラインメントプログラムの大量配列データへの対応と機能拡張

〔研究代表者〕加藤 和貴（大阪大学 免疫学フロンティア研究センター）

〔研究担当者〕加藤 和貴、山田 和範、富井 健太郎（人工知能研究センター）（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

生体分子の配列解読技術の進歩に伴い、多重アラインメントプログラムの大量配列データへの対応の重要性が増してきている。MAFFT 多重アラインメントプログラムには巨大なアラインメントを構築するためのオプションがあり、それらの適性について評価を行った。本年度は、累進法により巨大なアラインメントを構築するには、ド

のような案内木が適しているか、近年開発された新たなベンチマーク HomFam、ContTest および OXFam (OXBench の拡張版) をを用いて検証を行った。従来よく使われてきた案内木に比べてより簡単なランダムに生成した鎖状案内木が最善であるか、計算量が多くより厳密に推定した案内木がより良い結果を与えるのかを調べた。その結果、より厳密な方法で計算された案内木を用いた方が良いという、従来の考えを支持する結果が得られた。また、他手法 (Clustal Omega や UPP) も用いて、反復改善法と累進法の組み合わせ、及び、厳密な案内木と整合性スコアを使用するあまり近似しない累進法を使用した場合、三つのベンチマークについて、鎖状案内木を利用した累進法よりも一貫してベンチマークスコアを上昇させることを明らかにした。こうした結果は、累進法を用いて巨大なアラインメントを構築する場合、鎖状案内木よりもより厳密に推定した案内木を利用することが好ましいことを示唆している。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】大量配列データ、アラインメント、バイオインフォマティクス

【研究 題 目】エピジェネティクスによる累代適応を、適応幅が広いシロイヌナズナ属野生種で検証する

【研究代表者】瀬々 潤 (人工知能研究センター)

【研究担当者】瀬々 潤 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

筑波大学の菅平高原実験場を中心に、シロイヌナズナ属の植物の移植実験を実施することで、エピジェネティックな変異の観測を実施した。また、その個体のエピジェネティクスに関し、累代適応を観測するために、サンプル取得を実施した。

【領 域 名】情報・人間工学、生命工学

【キーワード】エピジェネティクス、シロイヌナズナ

【研究 題 目】携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究

【研究代表者】岡田 みずほ (長崎大学)

【研究担当者】本村 陽一、西村 拓一 (人工知能研究センター)、佐藤 洋 (情報・人間工学領域研究戦略部) (常勤職員3名)

【研究 内 容】

本研究の目的は、医療現場における看護業務の質や安全性を高めるための看護業務改善サイクル構築に関する技術や手法の開発である。医療・看護現場は、年々高度な医療機器や新たな医療方法の開発が行われており、安全かつ適切に運用するために電子カルテ上で運用する個人認証 (ログイン) や、看護業務手順をチェックリストを用いて確認している。しかし、多くの場合複数の看護

業務を同時に実施しているのが現状であり、チェックや手順の重複が起きるなどの看護業務の「ムダやムラ」が発生していると考えられる。そこで我々は、これまで明らかにできなかったあらゆる看護業務の実態を正確に把握し、入力データを簡便に集計分析できるツールの設計・開発を勧め、これらの結果に基づく看護業務評価並びにそれを用いた標準的看護業務実践モデルの構築を目指している。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】データ分析、行動観察、サービス工学

【研究 題 目】携帯端末を利用した正確な看護業務評価による看護業務改善サイクル構築に関する研究

【研究代表者】岡田 みずほ (長崎大学)

【研究担当者】西村 拓一 (人工知能研究センター) (常勤職員1名)

【研究 内 容】

急性期病院では年々在院日数が短縮し、医療現場は益々高度化複雑化している。このため、医療現場の業務密度は年々増加し、医師、看護師ともに疲弊しつつあると言われている。さらに、2025年に向けて看護師不足が深刻化し、看護師増が容易でない中、業務手順の見直しや最適化による個々の業務効率の向上が必要である。そのためには、まず正確な業務評価 (可視化) が必要であるが、その手法として、紙ベースでの看護業務量調査による実態把握がほとんどであり、必ずしも正確に把握できてはいない。本研究の目的は、正確な業務評価に向け携帯端末を使った看護業務記録アプリケーションを活用し、正確な看護業務の実態を把握し、その評価を行うことである。

今年度は、業務分類を作成し携帯端末のアプリケーションに内蔵し、対象者4名の勤務する時間帯 (日勤帯) の実施する全ての看護業務について、参与観察方式で導入したソフトに開始時刻と終了時刻を記録した。このデータを分析した結果、最も登録件数が多かったのは、「記録」に分類される項目群 (経過記録、看護ケア実施入力、患者からの情報収集、看護計画評価、看護計画評価立案) だった。しかし、1回あたりの平均所要時間は4~5分程度であり、短いサイクルで業務を繰り返し実施しているなど看護業務の特性を把握することができた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】看護、効率化、業務量調査

【研究 題 目】植物新種誕生の原理 -国際的研究センター形成に向けた国際活動支援センター-

【研究代表者】瀬々 潤 (人工知能研究センター)

【研究担当者】瀬々 潤 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

新学術領域「植物新種誕生の原理」における国際活動

支援センターとして、国内外の交流を実施した

〔領域名〕情報・人間工学、生命工学

〔キーワード〕国際交流

〔研究題目〕マルコフ確率場モデルによる科学技術計測イメージングデータからの潜在構造推定

〔研究代表者〕永田 賢二（人工知能研究センター）

〔研究担当者〕永田 賢二（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究課題では、科学技術計測から得られた画像データから系の物理特性を自動的に抽出するアルゴリズムを提案する。平成25年度の成果により、マルコフ確率場モデルにおけるハイパーパラメータが拡散方程式の拡散係数と対応することが明らかになったため、ハイパーパラメータ推定を通じて拡散係数を精度良く推定することが重要になっている。平成26年度、平成27年度では、ハイパーパラメータ推定に対して観測時の空間解像度や時間解像度の低下が及ぼす影響を評価した。平成28年度では、以下に説明するように、(1)マルコフ確率場モデルのハイパーパラメータ分布推定に対する理論的評価手法の開発(2)マルコフ確率場モデル解析法の境界条件に関する拡張 について研究を遂行した。

- (1) 平成25年度の成果によって得られたマルコフ確率場モデルのハイパーパラメータ分布推定法に対し、分布の期待値を解析的に計算する手法を提案した。本手法によって、モデルに含まれる物理特性パラメータや観測条件から、推定される物理特性パラメータの値と誤差を解析的に評価する事が可能になった。本手法は、具体的な観測モデルを設定した際のモデルの評価に繋がる。
- (2) 平成25年度から(1)の研究を含め、マルコフ確率場モデルの解析は解析の都合のため周期的境界条件を仮定していた。本研究では、力学におけるバネモデルの解析手法を援用し、この境界条件を廃したモデルに対して従来行われていた解析を拡張した。さらに、従来の手法に対して推定誤差に対応するハイパーパラメータ分布推定の信頼度が向上することを示した。また、本手法によって推定されたハイパーパラメータを利用することで、画像解析の性能が向上することを示した。本研究で拡張された解析法により、境界条件を廃したより一般の画像データに対する、マルコフ確率場モデルを用いた物理特性の抽出が可能になる。

〔領域名〕情報・人間工学

〔キーワード〕画像解析、マルコフ確率場モデル、ベイズ推定、潜在構造抽出

〔研究題目〕レジリエントなシステムのモデル化と推論に関する研究

〔研究代表者〕Katsumi Inoue

〔研究担当者〕Katsumi Inoue, Tenda Okimoto,
Nicolas Schwind, Chiaki Sakama.

〔研究内容〕

Topic #1: Formalization of Resilience in Constraint-Based Dynamic Systems.

Abstract: We were interested in building resilient systems that can absorb shocks and recover from damages caused by unexpected large-scale events. Existing approaches evaluate the resilience of systems from a qualitative viewpoint or are domain-dependent. Our work introduces a general, abstract computational model rich enough to represent a large class of constraint-based dynamic systems. Based on a thorough review of the literature, we proposed a simple property capturing the main features of resilience independently from a particular application domain, and showed how to assess the resilience of a constraint-based dynamic system through this new resilience property. We have shown the applicability of our resilience property on a real-case resilience scenario.

Topic #2: Dynamics of Opinion in Social Networks for Brand Crisis Management.

Abstract: We considered the problem of opinion propagation in a group of communicating agents, modeled in the framework of Belief Revision Games (BRGs), i.e., social networks each agent expresses her opinion through a formula and revises her opinion at each step by considering the opinions of her acquaintances. In a brand crisis situation, one may want the agents to reach a consensus w.r.t. some specific brand's goal, or on the contrary to avoid some piece of belief to be unanimously accepted; and a way to reach such goals is to take control of a certain set of agents. We have focused on the non-trivial, key question asking what belief should be assigned to some controllable agents.

Publication List for FY2016:

Journal Paper:

1. Nicolas Schwind, Morgan Magnin, Katsumi Inoue, Tenda Okimoto, Taisuke Sato, Kazuhiro Minami, Hiroshi Maruyama. Formalization of Resilience for Constraint-Based Dynamic Systems. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, 2(1), pp. 17-35, 2016. DOI: 10.1007/s40860-015-0016-0.

International Conference Papers:

2. Nicolas Schwind, Katsumi Inoue, Gauvain Bourgne, Sébastien Konieczny, Pierre Marquis. Is Promoting Beliefs Useful to Make Them Accepted in Networks of Agents? In Proc. of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'16), pp. 1237-1243. ISBN: 978-1-57735-770-4.

3. Nicolas Schwind, Katsumi Inoue, Gauvain Bourgne, Sébastien Konieczny, Pierre Marquis. On Opinion Control in Belief Revision Games. The 30th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI'16).

4. Hayato Uraji, Tenda Okimoto, Nicolas Schwind, Katsutoshi Hirayama, Katsumi Inoue. A Study for Identifying Influential Agents in Distributed Constraint Satisfaction Problem. (in Japanese). The 30th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (JSAI'16).

Book Chapter:

5. Nicolas Schwind, Kazuhiro Minami, Hiroshi Maruyama, Leena Ilmola, Katsumi Inoue. Computational Framework of Resilience. In Urban Resilience: A Transformative Approach. Yashiki Yamagata, Hiroshi Maryama (Eds.) Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-39812-9.

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】Systems Resilience, Dynamic Systems, Resilience Metrics, Opinion Propagation.

【研究 題 目】ゲノム網羅的な発現遺伝子を指標にしたブナ林の環境影響評価

【研究代表者】瀬々 潤 (人工知能研究センター)

【研究担当者】瀬々 潤 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

ブナ林の立ち枯れに関する環境評価として、遺伝子発現量の解析を実施した。酸性雨が起こった状況を疑似的に再現し、その遺伝子発現を観測することで酸性雨の評価系を確立。更に、ブナ林の中で立ち枯れた木と立ち枯れない木が混在している点において、国内3箇所において遺伝子発現を観測し、酸性雨の影響を調査した。

【領 域 名】情報・人間工学、生命工学

【キーワード】遺伝子発現、次元削減、温暖化

【研究 題 目】構造化ゲルと化学反応場の協働による運動創発

【研究代表者】萩谷 昌己 (東京大学・大学院情報理工学系研究科)

【研究担当者】原 雄介 (機能化学研究部門)

(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、新学術領域で検討中の分子ロボットをスケール拡大することを目指して、ゲル反応場で構成されるスライム型分子ロボットの開発を目指している。そのため、精密に分子設計された高分子ゲルを反応拡散場として非均質な反応空間を生成することで、様々な分子デバイス群を動作させることを目指した。またこのような仕組みを利用することで、ゲルアクチュエータを駆動させる基盤要素技術の開発を目指した。本年度は、ゲル内部に化学反応場を有するゲルアクチュエータの作製を目指した検討を行った。ゲルアクチュエータの合成条件を検討するとともに、駆動挙動についても検討を行った。また、新規ゲルアクチュエータの作製を目指して、様々なモノマーを用いた合成検討も行った。今後は得られた知見を活用して、ゲルアクチュエータの高速化を目指すとともに、ゲルの駆動変位を増幅するための分子設計指針についても検討を行う。最終的には、DNA コンピューターによって駆動が制御可能なソフトロボットへと発展させていきたい。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】高分子ゲル、ゲルアクチュエータ、スライム型分子ロボット

【研究 題 目】生物多様性を規範とする革新的材料技術

【研究代表者】下村 政嗣 (東北大学 多元物質研究所)

【研究担当者】大園 拓哉 (機能化学研究部門)

(常勤職員1名、他10名)

【研究 内 容】

本学術領域研究の目標は、生物学・工学・環境科学の異分野連携によって、「生物多様性」に学び「人間の叡智」を組み合わせた新しい学術領域としての「生物規範工学」を体系化し、技術革新と新産業育成のプラットフォームとなる「バイオメティクス・データベース」を構築するとともに、生物学と工学に通じた人材を育成することを目的としている。本領域は、7つの計画班と総括班から構成され、総括班には、計画班メンバーからなる実施グループ、評価グループ、産学連携グループ、ならびに事務局を置き、領域を送達すべく、以下の課題を中心に実施している。

- (1) 各計画班内ならびに班間における異分野融合を効果的に推進するために、主として若手の連携研究者・大学院生を対象にした連携研究課題の募集と支援を行う。
- (2) 「バイオメティクス・データベース」作成の進捗を勘案しつつ、ポータルサイトの運用計画を立てる。
- (3) 「生物と工学の融合」を主題とする講習会を開催する。
- (4) バイオメティクス国際標準化の国内審議・認証機関である高分子学会や関連の学協会との密な連携のもと、海外における実用化、産業化など研究開発動向を収集分析する。
- (5) 領域国際会議、分科会および全体会議を開

催する。(6) 本領域の研究成果や国内外の研究動向を発信するホームページを設置する。(7) 博物館が有する生物資源を効率的にデータベース化するため、博物館ネットワーク形成の検討を始める。(8) 博物館機能を利用して、市民講座や定期刊行物等による市民向け情報発信を図り、我が国の科学・技術を文化として育むことに資するとともに、次世代人材育成に寄与する。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】バイオミメティクス、データベース、生物規範工学、自己組織化

【研究 題 目】ゲルポンプ内蔵マイクロチップ分析システムの創生

【研究代表者】山口 佳則 (大阪大学工学大学院研究科)

【研究担当者】原 雄介 (機能化学研究部門)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本研究では、化学反応で駆動するソフトアクチュエータをマイクロチップに内包可能なポンプの動力源として採用した、液体クロマトグラフィー分析が可能なチップ作製を目標としている。ポンプの機構をマイクロチップ内に内包させることで、システム全体の小型化が可能で、測定時のコンタミネーションを回避することができる。また、場所を選ばずマイクロチップを使用可能とすることができる。さらにポンプの動力源であるソフトアクチュエータの単価を安くすることで、ポンプ内蔵型のマイクロチップを使い捨て利用することも可能である。本研究は、ポンプの高機能化を目指して、化学反応で駆動するゲルアクチュエータの合成検討を行った。ゲルアクチュエータの最適な主鎖構造を探索するため、様々なモノマーを用いて検討を行った。また、ゲルアクチュエータのコストダウンを図るため、触媒部位の探索を行った。今後は、ゲルアクチュエータやマイクロチップの形状などを最適化することで、使い捨てが可能な液体クロマトグラフィーを行うことが可能なポンプ一体化型マイクロチップの開発を目指す。

【領 域 名】材料・化学領域

【キーワード】分析化学、クロマトグラフィー、高分子ゲル、マイクロチップ、アクチュエータ

【研究 題 目】ホモ・ヘテロ・ナノギャップ構造を持つ周期ナノドット転写法の開発

【研究代表者】中田 芳樹 (大阪大学レーザーエネルギー学研究センター)

【研究担当者】奈良崎 愛子 (機能化学研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究課題では、超短パルスレーザー干渉加工法において、干渉パターン中のスポット毎にフェムトリットルの溶融金属挙動が過渡形成される原理を利用し、ホモ・

ヘテロ・ナノギャップ構造を持つ金属ナノドットの周期配列構造の形成に挑戦する。具体的には、前記フェムトリットルの溶融金属をレーザー転写 (LIDT, Laser-Induced Dot Transfer) 法に応用し、金属ナノドット周期構造を任意基板上に自在形成可能な手法開発を目指す。また複数回の干渉 LIDT やシングルドット堆積を組み合わせる事で、一元または多元金属 (金、白金など) 等のホモ接合・ヘテロ接合・ナノギャップ構造の作製に挑戦する。パイオや触媒工学、プラズモニクスなど幅広い分野に貢献する、素材・サイズ・配列が自由なナノ構造作製法の基盤要素技術を開発する。本年度は、シングルビーム LIDT 装置において、金ナノドットのドットサイズならびに堆積位置精度のレーザーフルエンス依存性の詳細検討に取り組んだ。その結果、最適レーザーフルエンスにおいて直径500 nm の金ナノドットのオンデマンド堆積に成功した。また最終目標の超微細ナノドット形成・配列に向け、超精密ステージを導入した装置構築を開始した。今後は、レーザー集光径の超微細化と超精密ステージを用いた LIDT 法の高度化を進め、ドットの微細化とドット堆積位置制御の高精度化を検討、金属ナノドットの周期配列とナノギャップ構造の実現を目指す。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】周期ナノドット、ナノギャップ、レーザー転写

【研究 題 目】2次元無機有機ペロブスカイト材料によるハイブリッド特有の光学応答

【研究代表者】高田 徳幸 (機能化学研究部門)

【研究担当者】高田 徳幸 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

無機と有機が複合したペロブスカイト材料の二次元構造を利用して、ハイブリッド特有の光学応答を顕著に出現させ、デバイス応用 (室温でのポラリトンレーザ発振) への基礎を築くことが本研究の目的である。本年度は、室温における励起子ポラリトン (励起子と共振器モードが強結合した状態) 形成の確認を行った。

無機有機ペロブスカイト材料中で、室温での蛍光量子効率が高い CHEPbI₄を用いて、マイクロキャビティ (光の波長程度の共振器) 構造素子 (誘電体反射ミラー[5×(SiO₂/TiO₂)]/CHEPbI₄/NPB/Al) を作製した。励起子ポラリトンが形成されたかを確認するため、反射スペクトル及びフォトルミネッセンス (PL) スペクトルを測定角度 θ (0~60°) の関数として計測した。

反射スペクトル及び PL スペクトルは共に、 $\theta = 45^\circ$ 付近に励起子ポラリトン形成を示すラビ分裂 (アンチクロスの光学モード) を示した。ラビ分裂エネルギーは約 140 meV を超え、無機半導体に比べ1桁以上大きな値を示すことが分かった。

さらに蛍光寿命を計測したところ、CHEPbI₄の短寿

命の成分は認められず、長寿命の成分のみが観測された。この成分は NPB に由来する発光であることも分った。CHEPbI4励起子と共振器モードの強結合状態（励起子ポラリトン）が形成されていることは明らかだが、このポラリトンモードを介して NPB 励起子からの発光が観測されたことは興味深い。ポラリトンレーザ実現に向け、新たな励起技術の開発につながる可能性を秘めている。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】励起子ポラリトン、強結合状態、ラビ分裂、無機有機ペロブスカイト

【研究 題目】生物はなぜ振動・同期するのか—酵母細胞における解糖系振動現象の生命機能の解明—

【研究代表者】山口 智彦（機能化学研究部門）

【研究担当者】山口 智彦（常勤職員1名）

【研究 内容】

生命現象には振動・同期などの非線形現象が普遍的にみられる。生物にとって最も基本的なエネルギー獲得プロセスである酵母などの解糖系においても、代謝産物の細胞内濃度が振動的に変化することが知られている。しかし、酵母細胞が1個体として振動すること、および、集団として同期することの生物学的機能や意義（生命機能）は不明である。本研究課題は、酵母細胞の解糖系振動・同期現象等におけるエネルギー獲得効率などを評価指標として、これらの生命機能と生物の生存戦略の関係を明らかにしようとするものである。産総研は研究分担者として、非線形ダイナミクスの視点から、エネルギー獲得効率の解明および生存戦略の解明に取り組む。

平成28年度は、研究課題代表者である横国大・雨宮教授らが、個々の癌細胞においても解糖系の振動を誘発し顕微鏡下で観測することに初めて成功した。これを受けて、エネルギー獲得における解糖系と呼吸（TCA サイクル）との差異を踏まえつつ、癌細胞に誘起された解糖系振動の生物学的意義などについて考察した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞、解糖系、振動、生命機能、非線形ダイナミクス

【研究 題目】マイクロ非平衡場の制御による細胞サイズ分子ロボットの動的自己組織化と自律運動

【研究代表者】瀧ノ上 正浩（東京工業大学大学院総合理工学研究科）

【研究担当者】原 雄介（機能化学研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、分子を時間的・空間的に制御することで、マイクロメータスケールの非平衡場のエネルギーを利用して自律的に駆動可能な細胞サイズ分子ロボットの開

発を目指している。またこれらの研究活動を通して、機械制御工学・物質科学・生命科学・情報科学・システム科学等の発展に寄与することを目指している。このような目的を達成するため、本研究では細胞サイズのボディを持った分子ロボットの構築を目指した。本年度では、振動反応である Belousov-Zhabotinsky (BZ) 反応で高分子鎖の状態が周期的に変化する自励振動高分子を用いて、細胞サイズの分子ロボットの実現を目指した。自励振動高分子は主鎖の化学構造に依存して大きく振動挙動が異なることが、これまでの研究から明らかになっている。本研究では細胞サイズの分子ロボットの実現に最適な高分子の化学構造を決定することを目指して、様々な主鎖を有する自励振動高分子を合成し、その振動挙動と基礎物性について検討を行った。今後は、Belousov-Zhabotinsky 反応の最適な反応条件を見出すことで、化学反応を力学的なエネルギーに変換して駆動する、細胞サイズ分子ロボットの開発を目指す。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】非平衡場、分子ロボット、高分子ゲル、アクチュエータ、自己組織化

【研究 題目】親/疎水性ナノ空間を併せ持つ有機-無機ハイブリッド型多孔体の開発と触媒への応用

【研究代表者】池田 拓史（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】池田 拓史（常勤職員1名）

【研究 内容】

本年度は、ベンゼン環に SiO₃が1つ付いたフェニルトリエトキシシラン (PTES)、アルミナ Al₂O₃、KOH を原料とする混合ゲルの水熱反応から、新規ハイブリッドアルミノシリケート KCS-5を得ることに成功した。

これまでベンゼン環のパラ位に2つの SiO₃が付いた有機シラン剤を用いて、ハイブリッド多孔体 KCS-2の合成に成功しているが、KCS-5では PTES を用いることで層状構造が期待され、層間剥離によるナノシート材料の構築を設計のコンセプトにしている。池田は、粉末 X線回折データを用いて、実空間法の一つである並列焼きもどし法による構造解析から KCS-5の結晶構造の決定に成功した。そのユニットセルは、斜方晶系に属する空間群 Pmc2₁で表される。4員環と6員環からなるアルミノシリケート層状骨格構造を有し、骨格表面（表裏）にベンゼン環が配列している。結果層間にベンゼン環が分布し、疎水性の2次元的なナノ空間を形成している。一方、KCS-5は窒素やアルゴンなどの物理吸着能はないが、ベンゼンを選択的に取り込む性質を有している。従って、構造モデルから強い疎水性の層間のナノ空隙に有機分子が優先的に吸着していると推定される。結果として KCS-5は設計コンセプト通りの構造をしていることがわかった。

他にも分子サイズや構造の大きく異なる有機シラン剤

からも、多数の結晶性物質が得られた。今後これらの構造解析を進め、新規な物性を有するハイブリッドナノ多孔体群の形成を目指していく。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】無機-有機ハイブリッド、フェニルトリエトキシシラン、水熱合成、粉末X線回折、結晶構造解析、ナノシート

【研究 題 目】シリカ膜マイクロカプセルを用いた自己修復性炭素繊維強化ポリマーの開発

【研究代表者】藤原 正浩（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】藤原 正浩（常勤職員1名）

【研究 内 容】

近年、繊維強化ポリマー（FRP）は優れた強度性能を有していることより、航空宇宙・自動車等の幅広い分野への適用が期待されている。しかしながら、FRP は使用中に微小な内部損傷が容易に発生し、突発的な破壊を引き起こすという問題点があり、その安全性・信頼性の確保が必要になっている。一方、FRP 廃棄物の増加による環境負荷も問題である。そこで、その優れた特性を長期間維持できる FRP を創出するため、内部損傷を自己修復機能によって実現し、安全性・信頼性を高め、同時に環境負荷低減を目指す必要が高まっている。

本研究は、ポリマー修復剤を内包した耐熱性の高いシリカ・マイクロカプセルを、炭素繊維ストランドを空気中で広げてポリマーの含浸性を改善した開繊炭素繊維ストランドを組み合わせて強化繊維の間隙にシリカ・マイクロカプセルを均一配置した、自己修復性を有する炭素繊維強化ポリマー（CFRP）積層材料の開発を目標とする。優れた初期特性と自己修復機能を両立させ、構造物の安全性・信頼性を飛躍的に向上させた新規 CFRP 積層材料の創成を当面の目的とする。

本年度は、優れた修復剤包含能を持ったシリカ・マイクロカプセルの開発を行い、主粒径が50マイクロメートルのマイクロカプセルの合成方法を確立することができた。このマイクロカプセルにはポリマーのモノマー分子が容易に浸透・内包できることも確認し、自己修復材料用マイクロカプセルになる可能性を見出した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】シリカ、マイクロカプセル、中空粒子、ポリマー、自己修復材料、炭素繊維

【研究 題 目】イオン液体を利用した環境調和型 CO₂ 吸収分離再生プロセスの開発

【研究代表者】牧野 貴至（化学プロセス研究部門）

【研究担当者】牧野 貴至（常勤職員1名）

【研究 内 容】

イオン液体は、イオンのみから構成され、室温近傍に融点を持つ液体の塩である。不揮発性、難燃性、低い比熱、高い CO₂ 吸収特性等の特徴を有するため、従来の

CO₂ 吸収液の課題を解決できる溶媒として注目されている。本研究では、高分圧 CO₂ 発生源における省エネルギー脱炭酸プロセスの実用化を目指し、高 CO₂ 吸収量、低粘度、低コストのイオン液体吸収液の開発に取り組む。そのためには、CO₂ 吸収特性や物性の変化、共存ガスに対する選択性等を明らかにし、イオン液体の設計指針を得る必要がある。

平成28年度は、平成27年度に引き続き、プロトン性イオン液体に注目して研究を進めた。アミジニウム系イオン液体のカチオン構造を変化させて、諸物性やガス吸収量に及ぼす影響を調べた。その結果、N,N'-ジメチルホルムアミジニウムをカチオンとするイオン液体は、アミド基のプロトンをメチル、エチルに変化させたアミジニウムと比べて、密度と粘度が低く、CO₂ 吸収量が多いことを明らかにした。これらイオン液体を NMR で分析したところ、N,N'-ジメチルホルムアミジニウム系イオン液体は、プロトンがカチオン側に完全移行しておらず、カチオンとアニオンの静電相互作用が弱いことを見出した。イオン液体源のブレンステッド酸塩基性を制御することで、イオン液体の物性をチューニング可能である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】二酸化炭素、イオン液体、省エネルギー

【研究 題 目】複合原子層の界面特性理解と原子層デバイスへの応用

【研究代表者】長谷川 雅考（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】長谷川 雅考、水谷 亘、石原 正統、山田 貴壽、沖川 侑揮（常勤職員5名）

【研究 内 容】

物性と応用をつなぐ“応用物性”として原子層を複合化した場合の界面特性の理解と制御が最重要課題という認識の下、グラフェン/金属電極のコンタクト抵抗の低減の研究を進めている。

低濃度炭素源によるプラズマ CVD 法を用いて合成した低抵抗グラフェン膜を用いたデバイス開発を行った。透明かつフレキシブル性が高いグラフェン膜の特徴を活かした応用例の一つとして、有機エレクトロルミネッセンス（EL）素子に使われる透明電極がある。特に ITO と比較して原子層の薄さが特長であるグラフェンは様々な光学的優位性が期待される。本研究では将来大面積化が期待されるグラフェン膜を用いた高分子有機 EL 素子の作製と評価を実施した。グラフェンを用いた有機 EL 素子の重要なポイントとして、グラフェン膜の低抵抗化及び仕事関数のチューニングが挙げられる。本研究ではこれまでに、ドーパント材料として塩化金ドーピングを用いることで、グラフェン膜の低抵抗化とキャリア密度の増大を確認した。また、グラフェンに対する UV オゾン処理を用いることで、グラフェン膜へのダメージを抑制しつつ、ホール注入層である PEDOT:PSS の濡れ性を向上させ、高分子有機 EL 素子の作製を行い、2

mm×6 mm 程度での発光観察に成功した。今年度は CVD グラフェンに補助電極を組み合わせた高分子型有機 EL 素子を試作し、これまでの 2 mm×5 mm から 3 mm×40 mm に素子発光面積を拡大した。また新しい応用例の一つとして、グラフェン電極を用いた調光素子を実証した。さらにグラフェン合成では、PMMA を塗布した銅箔にマイクロ波プラズマ処理をする新しい合成技術を確認した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】グラフェン、有機 EL、界面制御、コンタクト抵抗

【研究 題目】高排熱と電磁ノイズ遮蔽を実現するパワー Supply on Chip 用基板の研究

【研究代表者】長谷川 雅考（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】長谷川 雅考、水谷 亘、石原 正統、山田 貴壽、沖川 侑揮（常勤職員5名）

【研究 内容】

低炭素社会実現に向けて、化石燃料を燃やすエネルギーから電力エネルギーへの転換が推進されており、パワーエレクトロニクス技術はエネルギーの有効利用にかかわるキー技術とされている。パワーエレクトロニクス技術で最も重要な装置は電力変換装置であり、この電力変換装置は15年で1桁程度小型化している。小型化された高効率な電力変換機器を多数用いて、より効果的に電力を有効利用することが重要となる。電源の小型化に対しては排熱技術と電磁ノイズの抑制が重要課題である。本研究で電源の究極小型化であるパワーSoC (Supply on Chip) を実現する一環として、良好な排熱特性（良好な熱伝導性）と絶縁特性を維持しつつ電磁ノイズの抑制が可能な積層パワーSoC 用の3D 積層基板を開発することを目的とする。

これまでにプラズマ CVD でシリコン基材上にナノ結晶ダイヤモンド薄膜層を作製し、さらにその上に同じくプラズマ CVD で銅箔上に合成した原子層グラフェン膜を、転写法を用いて積層した。このグラフェン/ナノダイヤモンド/シリコン積層構造の電界遮蔽特性を KEC 法と ASTM 法で評価する技術を開発し、その特性を明らかとした。今年度は開発した積層技術をもとにグラフェン/シリコン積層構造を作製し、さらに誘電体層や電極層の積層技術など、実デバイス形成のための基盤技術の開発を行った。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノ炭素材料、絶縁特性、放熱・排熱、電磁波遮蔽、誘電体、電極

【研究 題目】スマートナノバイオマテリアルの開発と口腔領域における臨床応用への展開

【研究代表者】湯田坂 雅子（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】湯田坂 雅子、片浦 弘道、横山 敦郎

（北海道大学）、平田 恵理（北海道大学）（常勤職員1名、他3名）

【研究 内容】

これまで北海道大学ではカーボンナノマテリアル (CNMs) を応用して骨芽細胞培養用スキャホールドの開発やチタンへの表面修飾等を行うとともに生体反応を解析し、口腔領域における再生医療用生体材料への CNMs の応用の可能性を示してきた。本研究では、北海道大学との共同研究により、抗生物質の CNM への担持に成功し、薬剤の抗菌効果を高めることを見いだした。さらに、局所投与した CNM の全身への拡散を調べたところ、拡散はほとんど見られず、応用に際しての安全性が高いと推定された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】カーボンナノチューブ、骨再生

【研究 題目】パラジウムクラスターによる窒素と水からのアンモニア生成触媒反応

【研究代表者】阪東 恭子（ナノ材料研究部門）

【研究担当者】阪東 恭子、村上 純一（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

本研究では、窒素 (N) が吸着したパラジウム (Pd) 表面において窒素分子 (N_2) が活性化され、その活性 N_2 と水 (H_2O) との反応によってアンモニア (NH_3) と亜酸化窒素 (N_2O) が生成すること、これによって、 N_2 と H_2O による NH_3 生成触媒反応が可能となることを X 線光電子分光法 (XPS) や質量分析法、赤外 (IR) 分光法を用いて明らかにする。今年度は以下の研究を実施した。(1) 赤外分光セルを用いて、シリカ (SiO_2) 微粒子に担持した Pd クラスター (サイズ~10 nm) 上の NH_3 の検出を試みた。実験では Pd 担持微粒子をディスク状に成形し、それを NH_3 に曝露させた後、手持ちの赤外分光計による測定を行った。 NH_3 に特有な N-H 振動の検出を試みたが、目的の振動は観測することはできなかった。一方、XPS 測定によって、 NH_3 が Pd クラスターに吸着していることが確認されたので、IR の結果は赤外光の吸収強度が小さいためであると考えられる。(2) Pd 表面への N_2 吸着安定構造を第一原理計算によって調べた。その結果、Pd (100) 表面には $di-\sigma$ 型ではなく、通常の on-top で吸着する方が安定であることが分かった。さらに、(3) 遷移金属クラスター構造による N_2 の活性化、その N_2 と H_2O との反応による N_2O 、 NH_3 の生成を再確認するために、以前実施した気相タングステンクラスターによる常温での N_2 活性化と、その H_2O との反応のデータ (反応の時間変化とそのクラスターサイズ依存性) を再検討した。これにより、ナノクラスター構造による N_2 活性化と H_2O との常温による N_2O 生成が確かに起こることを確認した。この成果を国際学術誌に発表した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 窒素分子活性化、Pd 触媒、XPS、アンモニア

〔研究 題目〕 局所的短パルス加熱による材料プロセスでの現象解明とその応用

〔研究代表者〕 石川 善恵 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 石川 善恵 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

これまでに様々な材料におけるナノ粒子に対し、適当なエネルギー密度のパルスレーザーを照射することによって、サブマイクロメートルサイズで真球に近い粒子が得られることを確認してきた。特にシリコンのサブミクロン球状粒子は様々なアプリケーションが期待出来る。過去の報告では、サイズが1~2 μm のシリコン粒子を原料として532 nm のナノ秒パルスレーザー照射したところ、粒子生成に必要なフルーエンスが460 $\text{mJ pulse}^{-1}\text{cm}^{-2}$ と、他の金属や金属酸化物のナノ粒子を原料とした場合と比較して、高いフルーエンスを要した。一方で、Mie 理論に基づいたシリコンの吸収効率の波長依存性を用いて、例えば100 nm の球状粒子を溶融するために必要なエネルギー密度を求めたところ、532 nm では約200 $\text{mJ cm}^{-2}\text{ pulse}^{-1}$ 必要であるのに対し、355 nm では約25 $\text{mJ cm}^{-2}\text{ pulse}^{-1}$ と、適当な波長を選択することによって、必要なエネルギー密度を大幅に低減できることがわかった。これはシリコンのバンドギャップは1.2 eV と小さいが間接遷移のため532 nm の光に対する吸収効率が悪く、十分加熱されにくいことが原因と考えられた。実際に約100 nm の形状不揃いなシリコン粒子を原料とし、HF 水溶液中に分散して表面の酸化シリコンを除去してよく洗浄した後、エタノール中でレーザー照射したところ、波長355 nm で66 $\text{mJ cm}^{-2}\text{ pulse}^{-1}$ 、30 min の条件で球状粒子が得られることを確認出来た。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 液中レーザー溶融法、サブミクロン球状粒子

〔研究 題目〕 Molecular level studies of advanced phosphide catalysts with high activity in hydrodeoxygenation

〔研究代表者〕 阪東 恭子 (ナノ材料研究部門)

〔研究担当者〕 阪東 恭子 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

本研究では、バイオオイルを脱酸素により改質するプロセスに使用する担持金属触媒を対象とし、その担持金属触媒の脱酸素反応における活性サイト構造や脱酸素反応の反応機構を解明するため、反応条件下で X 線吸収端微細構造解析 (XAFS) による観察を行い検討することを計画し実施した。H28は H27年度に完成させることができた、ガンマバレロラクトン (GLV) の水素流

通加圧気相反応条件下で situ XAFS 観察を可能にする反応システムを用いて、各種担持 Ni 触媒について in situ XAFS 測定を高エネルギー加速器研究機構放射光科学研究施設 (PF) BL9C にて実施した。H28は、反応システムにさらに改良を加え、加圧下で反応初期の過渡的な構造変化も追跡することを可能にし、動的な構造解析も実施した。測定試料としては、モノメタリックの担持 Ni 触媒に加えて、プロモーターとして異種金属種を添加してバイメタリック化し、活性、性能を高めた試料も用いた。それら触媒の活性化過程における構造変化および反応条件下における構造変化を Ni K-edge および添加金属の吸収端の測定により詳細に検討して、反応機構の解明を行った。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 バイオオイル改質、Ni 触媒、X 線吸収端微細構造解析、その場測定

〔研究 題目〕 原子層の量子物性測定と新規物性探索—透過電子顕微鏡による複合原子層の原子構造・電子構造の解明

〔研究代表者〕 劉 崢 (無機機能材料研究部門)

〔研究担当者〕 劉 崢、末永 和知 (ナノ材料研究部門) (常勤職員2名)

〔研究 内容〕

炭素原子の sp^2 結合から構成するナノ構造・物質群は多様性に富み、1986年に発見されたゼロ次元のフラーレン、1991年に発見された一次元物質カーボンナノチューブ、そして2004年に発見された二次元物質グラフェンなど、ナノカーボン材料に関する基礎研究と応用開発は近年目覚ましく進展している。その一方で、新しい機能性材料として、遷移金属原子とカルコゲン原子からなる遷移金属ダイカルコゲナイド (TMDC) という層状物質が最近大きな注目を集めている。1層の TMDC は薄いシート状の構造を有し、2枚のカルコゲン原子シートにサンドイッチされた1枚の遷移金属原子シートから構成されている。TMDC はグラフェンと異なり、多様な遷移金属元素とカルコゲン種の組み合わせによって、半導体や金属、さらに超伝導体など、様々な機能を持つことができる。TMDC の物性制御に向け、元素置換は有用な手法の一つである。単層 $\text{Mo}_{1-x}\text{W}_x\text{S}_2$ 合金において、バンドギャップの Mo-W 組成依存性などが報告されていたが、不純物準位の形成やキャリア制御の観点から、Mo や W 以外の元素に関する置換効果の理解も重要な課題である。今年度は Nb にドーブされた単層 WS_2 の発光特性の解明のため、Nb ドープ単層 WS_2 試料を原子分解能で構造解析し、Nb のドーブ量および Nb の位置を解明し、発光特性との関連性を見出した。また、ナノカーボン材料に関して、官能基付きナノホーンや、CNT 中に形成されたナノリボン材料などの構造解析を行った。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕電子顕微鏡、原子層物質、グラフェン、構造解析

〔研究題目〕理論と実験の協奏的アプローチによる複合スピン励起子変換制御

〔研究代表者〕鎌田 賢司（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕鎌田 賢司、溝黒 登志子、
Aizitiaili Abulikemu
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

励起状態を含む複数の分子が協同的にスピン状態変化する複合励起過程（複合スピン励起子変換）は、三重項-三重項消滅、もしくはその逆過程である一重項分裂として知られており、近年、前者は低エネルギー光子から高エネルギー光子へのアップコンバージョン、後者は長寿命三重項励起子生成による太陽電池の変換効率向上の観点から特に関心が持たれている。本研究は、その複合スピン励起子変換の支配因子の抽出と機構の解明を通して、有用な新規物質を提案することを全体目標とする。特に三重項対から一重項対への変換である TTA 過程に軸足を置き、理論面では量子化学に基づく高精度励起状態計算によって、実験面では時間分解および定常光分光測定によって、その変換過程の支配因子を解明する。この全体計画の下、弊所においては TTA 機構によるアップコンバージョンのメカニズムを実験的に解明し、固体系を含めて高い発光収率の TTA-UC 系への展開を図る。

本年度は増感剤を凝集させることなく分散させるための手法の一つとして、基材に増感剤を固定することを検討した。イオン性の末端部位を持つ増感剤分子を、アニオン化処理を行った基材の表面にイオン交換を行い、増感剤が均一に分散されていることをスペクトル測定によって確認した。この基材上に固定化された増感剤はフリーの状態のものよりも、発光収率に優れ、時間分解発光測定の結果、溶液中よりもエネルギー損失過程が抑制されていることが分かった。この基材を用いることで、発光体からの光アップコンバージョンも確認でき、基材表面に固定された増感剤分子から発光体分子へのエネルギー移動が問題なく生じることが明らかになった。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕開殻電子構造、ラジカル、二光子吸収、結晶性固体

〔研究題目〕マルチラジカル性を有する開殻超分子系の光磁気機能物質の創成

〔研究代表者〕鎌田 賢司（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕鎌田 賢司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

開殻性を有するナノサイズ分子性物質は磁性に加え、従来の閉殻系を凌駕する導電性や光学特性等を示す可能

性があるために注目されている。本研究では複数の開殻部位を有する開殻超分子系について、開殻性を表す化学的指標である「開殻因子」に基づいて光磁気機能発現機構を解明して、開殻分子の化学的修飾、電場印加等の物理的摂動、溶媒や結晶場等の環境効果が開殻因子に与える影響を明らかにする。その結果、開殻因子の制御に基づく光磁気機能の発現およびその制御理論の構築を全体目的とする。そのために新規開殻性化合物の溶液ならびに固体薄膜における二光子吸収等の開殻因子との関連が期待できる光学物性を実験的手法により解明する。

本年度は、固体結晶状態での二光子吸収測定を行うための良質な結晶作成に取り組んだ。種々の溶媒、並びに混合溶媒から異なる揮発条件での結晶化を検討した結果、針状結晶と板状結晶の2種の結晶形が得られることがわかった。針状結晶は黒色を呈し、恐らく中間開殻性分子が1次元方向にスタックしたものだと考えられるが、二光子吸収測定を行うには十分な結晶の幅が得られなかった。一方、板状結晶は薄い灰色を呈し、結晶の幅も二光子吸収測定が可能であったので、測定を試みたが、二光子吸収によると考えられる透過率変化を得ることができなかった。今後、測定可能な針状結晶試料の作成に向けてさらに条件の最適化を行う。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕開殻電子構造、ラジカル、二光子吸収、結晶性固体

〔研究題目〕次世代マッキンベン人工筋の実現

〔研究代表者〕安積 欣志（無機機能材料研究部門）

〔研究担当者〕安積 欣志（常勤職員1名）

〔研究内容〕

生き物らしい運動特性を持ったロボットの実現を目指して、ヒトや動物の駆動機構を模倣したロボット機構の研究が盛んとなっている。十分な収縮能力をもち、集積して多自由度機構を駆動できる「人工筋」の開発が、上記ロボットの実現において最も重要であることは明らかである。本研究では、その様な「人工筋」ソフトアクチュエータとして、電気駆動の次世代マッキンベン人工筋を実現することで上記のロボット実現の可能性を開くことが目的である。

電気駆動の次世代マッキンベン人工筋は、固体高分子電解質膜による水の電気分解による気体発生と吸収を利用した原理であり、産総研では、その固体高分子電解質膜の水の電解および燃料電池反応のマッキンベン人工筋用の最適化について担当する。

本年度は、固体高分子型燃料電池のイオン交換樹脂として広く用いられているナフィオンを用いて、白金の無電解メッキにより、白金電極を接合し、その接合体のマッキンベン人工筋への適用、および、白金黒微粒子あるいは、白金担持カーボンのコーティングによる電極成形による人工筋用接合体の作製、及びその最適化を試みた。

さらに、市販の加工用ナフィオンペレットを用い、熱成形によりチューブ状のナフィオンを成形、それに白金担持カーボンのコーティングを行い、人工筋のゴムチューブで覆うことで、電気駆動のマッキンベン人工筋を実現することに成功した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】マッキンベン人工筋、ソフトアクチュエータ、プロトン交換膜、イオン交換膜、ナフィオン、無電解メッキ、白金、水電解、燃料電池

【研究 題 目】全固体電池における力学・電気・化学的因子相互作用機構の解明とその応用

【研究代表者】鷲見 裕史（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】鷲見 裕史（常勤職員1名）

【研究 内 容】

燃料極支持型固体酸化物形燃料電池（SOFC）では、燃料極基板との熱膨張係数の差によって固体電解質薄膜に巨大な内部応力が導入される。電解質薄膜の欠陥はSOFC セルスタックの力学・電気・化学的信頼性を低下させる要因となるため、特に製造工程において導入が想定される欠陥については予め非破壊で検査できることが望ましい。本研究では X 線応力測定に着目し、燃料極支持型 SOFC の非破壊検査技術として適用するための基礎的検討を行った。走査型電子顕微鏡（SEM）観察において欠陥が確認されなかった燃料極支持型 SOFC の電解質薄膜には、熱膨張係数差から求められる理論値とほぼ同じ約500 MPa の内部圧縮応力が観測された。一方、成膜治具の不具合によって7、10 μm の平均径の欠陥が導入された電解質薄膜では応力緩和が起こり、内部応力はそれぞれ460、410 MPa まで減少した。また、焼結不足によって多数の欠陥を持つ電解質薄膜においても同様に内部応力の低下が観測され、開回路起電力等の電気的特性や電極劣化等の化学的特性に影響を及ぼすことを確認した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】燃料電池、エネルギー効率化、薄膜、X 線、内部応力

【研究 題 目】Zr 系パイロクロア組成化合物の酸素空孔の規則-不規則配列と酸化物イオン伝導

【研究代表者】野村 勝裕（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】野村 勝裕（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は Zr 系パイロクロア組成化合物を系統的に作製し結晶構造解析を行い、得られた結晶構造パラメータを基に酸素空孔の規則-不規則配列の程度を定量化することにより酸化物イオン伝導度との相関を明らかにし、酸化物イオン伝導メカニズムを解明することを目的とし

ている。Zr 系パイロクロア組成化合物中の酸化物イオン伝導メカニズムを解明するためには、結晶構造の評価と併せて、酸化物イオン伝導度の精密な評価が必要である。本研究では、全伝導度（＝酸化物イオン伝導度、プロトン伝導度、ホール伝導度、電子伝導度の総和）の温度依存性、酸素分圧依存性、及び水蒸気分圧依存性を調べることにより、酸化物イオン伝導度を分離・評価するとともに、X 線回折データのリートベルト解析により、結晶構造評価を行う。今年度は、Hf 含有量が少ないパイロクロア組成化合物 Nd₂Zr₂O₇粉末を調製し、空气中、25～900 °Cの温度範囲で X 線回折測定を行った。得られた回折データについて、リートベルト法による構造精密化を行った。Nd₂Zr₂O₇の回折ピークは全温度範囲で立方晶系（空間群：*Fd-3 m*、No.227）で指数付けでき、酸素空孔が規則配列したパイロクロア（P）型構造を持つことが分かった。この挙動は、La₂Zr₂O₇で見出されたものと同様である。これまでに得られた知見より、Eu₂Zr₂O₇の高い酸化物イオン伝導性（800 °Cで8.0×10⁻³ S/cm）は、La₂Zr₂O₇と比較して不完全な P 型構造を有し、Zr サイトの静的な構造の大きな乱れを持つことに依ると推定された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】酸化物イオン伝導、プロトン伝導、ホール伝導

【研究 題 目】スマート材料のシステム論的モデル化による高効率エネルギーハーベスティング

【研究代表者】安積 欣志（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】安積 欣志（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は、様々な環境の変化から電力を取り出しセンサーネットワークや故障診断装置などのあまり電力のいらない電源として用いられるいわゆる環境発電について、産総研で開発を進めてきたイオン導電性高分子アクチュエータの材料を用いて、様々な環境における振動を利用して電力を取り出す研究である。イオン導電性高分子に金属接合した接合体は、変形させると微小な電圧が発生することが知られており、それはイオン交換樹脂内のイオン流が原理である。その原理の詳細についてはまだ解明されておらず、材料特性も詳細に調べられていない。本研究では、様々なイオン導電性高分子について、振動発電の特性を調べ、定量的モデルを検討することを目的とする。

昨年度は、イオン導電性高分子アクチュエータ材料として代表的な、固体高分子電解質型燃料電池で用いられるフッ素型イオン交換樹脂へ金を無電解メッキで接合したフィルムの振動発電特性について、相対湿度を乾燥状態から20、30、50、70、90 %、さらに水で完全に膨潤した状態まで変化させた時の特性について、発生電圧と電流の測定を行った。その結果、わかったことをまとめ

ると以下の通りである。電圧応答、電流応答とも、変形一定にしても、応答の緩和を示すこと、また、応答の強度および緩和の挙動は湿度に大きく依存し、応答の強度はある一定の湿度で最大値を示すことである。また、乾燥したフィルムからノイズのみで信号が得られなかった。

本年度は以上の結果に基づき、定量的モデルを構築し、実験との比較を行った。モデルは、イオンと水のフラックス式に基づき、イオン導電性高分子のメカニカルなモデルとのカップリングした偏微分方程式を解くことで、変形させた際の高分子内のイオン濃度や電位分布を、様々な高分子の含水率条件、イオン濃度条件等で計算することで実験と比較した結果、よい一致が得られた。

上記の成果に基づき、今後、本素子を用いた振動発電デバイスの実現を目指してさらに材料やシステムの開発を進める。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】スマート材料、エナジーハーベスティング、環境発電、イオン導電性高分子、センサーネットワーク、イオン交換樹脂、モデル、イオン流

【研究 題 目】カラミチック液晶とディスコチック液晶間を熱及び光照射で相転移するシステムの構築

【研究代表者】清水 洋（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】清水 洋、手島 遼
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内 容】

液晶は、棒状分子からなるカラミチック液晶と、円盤状分子からなるディスコチック液晶に分類される。我々は、一つの分子が棒状と円盤状の間で分子形状を変えることで、分子の集合体の液晶相でもカラミチック液晶とディスコチック液晶間の相転移を引き起こす系を研究し、最近、熱と光でこれらの相間を可逆的に異性化する世界で最初の分子を見出した。本研究では、分子形状の異なる液晶相間の相転移メカニズムを明らかにし、光で制御しうる新たなオプトエレクトロニクス材料への展開を目指した研究を行う。

研究代表者側で合成、精製された棒状液晶性部を構成するアルコキシアゾベンゼン6個と円盤状液晶性部の中心となるトリフェニレン環をエステル結合で結合した新たな光応答性液晶2種について、引き続き熱相転移挙動の詳細を検討するために高輝度光による計測を行った。その結果、棒状分子形状によって形成されるスメクチック相ではスメクチック相構造は棒状のアゾベンゼン部が担っており、分子全体としては必ずしも典型的な棒状形状となっていない可能性が示唆された。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】棒状液晶、円盤状液晶、光応答材料

【研究 題 目】分子レベルでのグラフェンの電子構造の理解と新規物性の探索

【研究代表者】鎌田 賢司（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】鎌田 賢司（常勤職員1名）

【研究 内 容】

グラフェンが持つジグザグ端に現れる特殊な磁気状態である「エッジ状態」とゼロギャップの線形バンド構造である「ディラック点」という2つの大きな電子的特徴を、化学合成したモデル分子を用いて分子レベルで理解し、その特徴的電子構造に由来する特異な電子物性を解明することが本研究の全体目的である。エッジ状態を有する化合物は、化学的にはラジカル状の開殻電子構造を持つことと理解され、磁気特性や非線形光学特性といった特有の電子物性が期待される。これまで、開殻一重項状態を持つ分子系は中間程度の開殻性の場合に非線形光学特性が増大することが知られ、特に非線形光学特性の一種である二光子吸収の増大の形で実験的に検証されて来た。本研究では、研究推進の主体となるモデル分子の合成を行う合成化学者と連携して、それら新規モデル分子の二光子吸収特性の探索を分担し、「エッジ状態」、「ディラック点」を持つ物質の二光子吸収特性を明らかにする。

今年度は、グラフェンモデル化合物である縮環芳香族系化合物の二光子吸収スペクトル測定を継続した。また、縮環芳香族系化合物の電子エネルギー準位を蛍光スペクトル測定で行い、金属ポルフィリン化合物との混合により、両者の間に三重項エネルギー移動を起こさせて、その励起三重項準位を調べた。その結果、同縮環芳香族系化合物の励起三重項準位は励起一重項準位の半分程度の大きさにあり、光アップコンバージョン特性を示すことを見出した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】グラフェン、開殻電子構造、二光子吸収、励起状態

【研究 題 目】生物多様性を規範とする革新的材料技術

【研究代表者】穂積 篤（構造材料研究部門）

【研究担当者】穂積 篤（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究の目的は、「生物多様性」すなわち「高炭素世界の完全リサイクル型技術」に学んで新しい技術規範（パラダイム）を体系化した「生物規範工学」を創生することにある。細胞内部や表面に形成される数十 nm～数ミクロンの「サブセラー・サイズ構造」が持つ機能の解明によって「生物の技術体系」を明らかにし、生物多様性と生物プロセスに学ぶ材料・デバイスの戦略的設計・製造を達成する。人類の自然認識体系として本来一体のものであるべき、自然史学、生物学、農学、材料科学、機械工学、情報学、環境政策学、社会学を再架橋して、オープン・イノベーションのプラットフォームたる

「バイオミメティクス・データベース」を構築するとともに、生物学と工学に通じた人材を育成する。環境政策に基づくソシエタル・インプリケーション（社会的関与）の観点から、新たな「科学・技術体系」としての「生物規範工学」を確立し、「持続可能性社会」の実現を目指す。最終年度は、成果発信のため、年に3回ニュースレターに加え、教科書、啓蒙書、専門書を発刊、全体会議企画／運営、各種国際／国内会議、バイオミメティクス研究会を主催し、バイオミメティクスの普及に務めた。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 バイオミメティクス

〔研究 題目〕 生物規範階層ダイナミクス

〔研究代表者〕 穂積 篤（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕 穂積 篤（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

本研究は、生物のサブセラー・サイズ構造の階層性に起因する動的特性（表面特性・界面特性・内部構造特性）を材料科学・分子科学の視点から解明し、生物の多様な機能（昆虫の足の可逆的接着性、カタツムリや蓮の葉のセルフクリーニング現象、自己増幅・自己複製修復機能、等）を規範として、新しいエレクトロニクス実装技術（可逆的接合、セルフアライメント技術、防汚／防錆性付与による長寿命化、微細結線）等を開発することを目標としている。研究担当者は、特に、表面（動的な濡れ性）制御による防汚／防錆性付与と、それによる材料の長寿命化を担当する。

平成28年度は、防汚性の耐久性の向上に取り組んだ。ナメクジの粘液分泌挙動から着想を得たオルガノゲルに、表面構造構築に寄与する成分と、化学組成構築に寄与する2種類の成分を導入することで、紫外線や酸素プラズマに対して優れた耐久性を示す防汚性表面の作製に成功した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 刺激応答、汎用元素、はっ水／はっ油処理、防汚／防錆性

〔研究 題目〕 生物規範階層ダイナミクス

〔研究代表者〕 浦田 千尋（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕 浦田 千尋（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

生物体表の多くは、分泌により表面機能を付与し、その機能を持続させている。例えば、Harvard 大学の研究者らはスポンジ状フッ素樹脂やシリコン樹脂内部に潤滑液（フッ素系液体やシリコンオイル）を含浸させ、水や油のみならず、マヨネーズや血液等の高粘性エマルションに対しても、優れた難付着性を示す塗膜を開発した。しかしながら、これらの手法は、湿潤液の蒸発や流失により、長期間、表面機能を持続させることが困難であることが指摘されている。この解決策として、樹脂膜

内/外部にリザーバーや血管状空洞を導入し、潤滑液を補給するシステムが考案されているものの、加工に特殊な条件・装置を必要とするため、より簡易的手法やこれらを必要としない材料の開発が求められている。平成28年度は、平成27年度より得られたナメクジの粘液分泌挙動から着想を得たオルガノゲル表面の温度応答性を調査した。

湿潤液として、オルガノゲル成分と親和性の大きな液体と小さな液体を混合し、その割合を調整することで、 -15°C から -30°C の範囲にて、離漿温度を制御できることを見言い出した。離漿温度以下では表面に油層が存在するため、優れた難付着性を示した。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 防汚技術、難付着性、バイオミメティクス、湿潤ゲル

〔研究 題目〕 インプラント治療における iPS 細胞を用いた再生骨の長期安全性に関する研究

〔研究代表者〕 渡津 章（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕 渡津 章、園田 勉、寺岡 啓
（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

チタン、及びチタン合金は歯根、関節等の加重部位を補綴するインプラントの材料として利用されているが、その表面における骨形成過程（オッセオインテグレーション）は詳細に観察されていない。これはチタンが不透明であること、及び埋入したままの簿切標本が困難であることに由来する。そこで本課題においては、切りやすい透明材料、例えばプラスチック上に形成した透明チタン薄膜を評価用チタンインプラント表面として作成し、該表面を各種評価に運用するための指針を作成することを目的とする。平成28年度は、細胞培養ディッシュ等の実際に生体関係の評価実験に使用するプラスチック製の製品やインプラント形状の基板を用いて、膜厚を制御したチタン薄膜を形成した。その試料について、生体適合性の試料とすると共に、可視光透過率の評価を行った。その結果、可視光透過率と試料形状や実験条件との相関を調べ、制御性をあげ、再現性を保つための指針を得た。また、生体適合性の計測を行うための試料設計の指針も得た。その結果、細胞の分化状態等の観察に再現性良く適応可能であることを見出すとともに、チタン膜の細胞増殖・接着に係る特徴の検討に再現性の面でも十分適用可能であることを明らかにした。

〔領 域 名〕 材料・化学

〔キーワード〕 透明チタン、インプラント、生化学試験

〔研究 題目〕 液晶高分子複合体への液晶分子配向形成による自律分光制御型デバイス開発

〔研究代表者〕 垣内田 洋（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕 垣内田 洋（常勤職員1名）

〔研究内容〕

選択反射型の調光素子への応用として、コレステリック液晶に周期的な螺旋ねじれを生じさせ、その螺旋ピッチをカイラル剤添加により、ミクロン近傍で幅広く変化させて、選択反射波長領域への効果を調べた。この知見により、赤外波長域で優先的に選択反射機能を発現させる条件を明らかにした。さらに、この材料系にモノマーを加え、UV照射で選択反射波長域の幅を制御し変化させた。以上の結果を基に、日射制御性能と可視透過率を解析し、日射の赤外波長域の遮蔽効果を向上させられる可能性を見出した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕コレステリック液晶、螺旋ピッチ制御、赤外選択反射、選択波長チューニング、UV露光、熱応答型調光窓材

〔研究題目〕フナムシの微細毛流路を模倣した水-油分離プロセスの構築

〔研究代表者〕浦田 千尋（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕浦田 千尋（常勤職員1名）

〔研究内容〕

チューブなどのクローズド流路を利用して粘性液体を輸送するためには、高い圧力が必要となる。微細構造は流路抵抗となると考えられており、流路内に形成させる事は不適と考えられていた。一方、フナムシの脚に観察される微細構造は、流水速度を促進させる役割を示すことがわかっている。本研究では、フナムシの脚を模倣した、表面微細構造と化学組成が精密に制御されたオープン流路を作製し、微細構造と表面組成由来の長距離粘性液体輸送プロセスや液体の選択輸送プロセスの構築を目標としている。

平成28年度は、オープンチャネルの骨格成分“ポリジメチルシロキサン”と液体成分の親和性（膨潤度）を調査し、オープンチャネルに適した油成分を探索した。シリコンオイルを液体成分として使用した場合、シリコンオイルの粘度が増加するほど、膨潤度が小さくなった。つまり、低粘度シリコンオイルはオープンチャネルの輸送液体として不敵であることが示された。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕液体の輸送、バイオミメティクス、オープンチャネル、リソグラフィ

〔研究題目〕双晶～転位間相互作用の体系化に基づく高加工性マグネシウム合金の創出

〔研究代表者〕千野 靖正（構造材料研究部門）

〔研究担当者〕千野 靖正（常勤職員1名）

〔研究内容〕

マグネシウム合金は軽量・高比強度・易リサイクル金属素材として国内外で注目を集めている。一方、室温成形性に乏しいことが大型部材化・量産化を阻んでいる。

低成形性の原因としてマグネシウム合金の多くが室温でのすべり系の少ない六方最密充填構造を有すること、また変形中に生じる双晶が破壊の起点となることが指摘されている。前者のすべり系については、集合組織のランダム化による延性改善の研究が隆盛である。後者の双晶については、双晶と転位が同時かつ互いに作用するために現象が複雑であり、双晶と転位の両者が本質的・体系的に理解されているとはいえない。そこで、本研究では、マグネシウムの変形を担う「双晶」と「転位」の相互作用を、微量添加元素によりミクロ～ナノ～原子スケールで制御することを目指し、双晶も含めたマグネシウムの変形機構を体系化することを目指すとともに、マグネシウム合金の室温成形の可能性を探る。

平成28年度は、平成27年度からの継続研究として、第一原理計算や分子動力学計算により予見された合金系を対象としてマグネシウム合金圧延材を作製し、その室温成形性をエリクセン値や室温引張り試験により評価した。また、室温で成形した際の変形双晶の巨視的および微視的な傾向を光学顕微鏡観察や、X線回折分析等により把握した。

〔領域名〕材料・化学

〔キーワード〕マグネシウム合金、室温成形性、双晶、集合組織

〔研究題目〕構造化ゲルと化学反応場の協働による運動創発

〔研究代表者〕有村 隆志（触媒化学融合研究センター）

〔研究担当者〕有村 隆志、都 貞喜、田中 文昭（常勤職員1名、他2名）

〔研究内容〕

生活環境負荷の少ない機能性ソフトマテリアルは未来志向型材料として注目されている。ソフトマテリアルの官能基を自在に変換することで、分子認識能を有するアクティブゲルの開発を行うことを目標としている。今年度は、バイオ分子、高分子及び低分子群を望み通りの次元にシステム化する分子・触媒設計技術を開発し、機械工学を基体としないソフトマテリアルをベースとした分子機械を創製し、レオロジー制御に係るゲルの構造相関性を明らかにすることを計画した。即ち、熱平衡にない状態での散逸構造現象を見出すために金属ポルフィリン誘導体を用いて、酸化還元状態を周期的に変化させることに初めて成功した。非線型反応を利用した金属ポルフィリンの酸化還元自律振動反応は、ポルフィリンの濃度依存性があり、インターバル約100秒で変化し、およそ40分継続した。

また、二つの金属ポルフィリンをリンカーで結合させた分子ピンセットを合成し、特定の分子に対して高い選択性で会合することを明らかにした。その会合特性は、ポルフィリンの酸化状態で分子をリリースし、還元状態でキャッチするレドックス応答を示した。更に、アクテ

ィブゲルを構造化したゲルカプセルを反応場として、DNA 分子を信号とするブランチマイグレーションが起こることを明らかにし、アンドゲートとオアゲート等の論理ゲートを実装した。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】分子機械、ソフトマテリアル、アクティブゲル、自律振動反応、ポルフィリン、酸化還元、分子ピンセット、論理ゲート

【研究 題 目】マンガン窒化物の電気抵抗極大：特異な伝導機構解明と抵抗標準材料への展開

【研究代表者】金子 晋久（物理計測標準研究部門）

【研究担当者】金子 晋久、大江 武彦（常勤職員2名）

【研究 内 容】

目標：

マンガン窒化物の精密抵抗器への応用可能性の検討

研究計画：

マンガン窒化物焼結体を用いて、これまでに従来の抵抗器材料であるマンガニンに勝る -0.2 ppm/K^2 の抵抗温度係数、及び年間数 ppm の経年変化を実現した。平成28年度は、単結晶膜を用いることで経年変化等の低減が可能かの検討を開始した。

年度進捗状況：

エピタキシャル成長した単結晶膜を用い、抵抗体の試作を行った。まずエピタキシャル成長によって得られた単結晶膜を数 mm 角に切り出し、直接 Al ワイヤボンディングを施して抵抗体の経年変化の評価を行った。結果5.9 ppm/day 程度の経年変化を示した。フロリナート FC-3283を用いた経年変化の測定を行い、経年変化が膜の酸化によるものではないことを明らかにした。

サンプルを細長く加工し、端子部分を四端子形状に加工することにより配線部分の経年変化の影響を低減することが可能になる。エピタキシャル成長した膜のミアンダー形状への加工方法の条件出しを行った。抵抗膜の抵抗は50 μm 幅で長さ1 μm あたり1 Ω 程度であり、 $\pm 10 \mu\text{A}$ の範囲で抵抗の線形性は良好であった。今後ミアンダー形状に加工したサンプルを用いてエピタキシャル成長した膜サンプルの経年変化等特性の評価を行う予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】直流抵抗標準、標準抵抗器、精密抵抗、逆ペロブスカイトマンガン窒化物、温度係数、経年変化

【研究 題 目】熱力学的極限に挑む断熱モード磁束量子プロセッサの研究

【研究代表者】日高 睦夫（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一、岩田 比呂志（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

目標および研究計画

平成27年度にプロセスの詳細を決定したジョセフソン接合層を含むゲート層を上下二段に重ねた3次元超伝導回路プロセスを用いて AQFP 回路および SFQ 回路の積層デバイスを作製し、横浜国立大学に提供する。また、3次元回路の各パラメータの制御性および均一性を評価するとともに各種欠陥の発生頻度を評価することによって3次元超伝導回路プロセスの信頼性を評価する。

年度進捗状況

ジョセフソン接合 (JJ) を含むゲート層2層のダブルゲートニオブ集積回路を作製し、JJ 特性を始めとするプロセスパラメータの測定を行うとともに横国大が設計した AQFP 回路の作製を行った。上下ゲート層の JJ 特性に大きな違いは見られず、 $I_c R_n = 1.6 \text{ mV}$ の良好な値が得られている。作製した2層 AQFP 回路の正常動作と回路面積削減効果の確認により、本ダブルゲートプロセスの有効性を実証した。JJ を含むゲート層2層のダブルゲートニオブ集積回路を作製し、回路パラメータの制御性を実証できたこと、およびこのプロセスを用いて AQFP 回路の動作実験に成功したことにより計画を達成できた。ダブルゲートニオブ集積回路は世界初の試みであり、本成果により超伝導デジタル回路の新たな扉を開くことができた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導エレクトロニクス、ジョセフソン接合、超伝導集積回路プロセス、SFQ 回路、AQFP 回路、3次元超伝導回路

【研究 題 目】大規模 SSPD アレイによるシングルフォトンイメージング技術の創出

【研究代表者】日高 睦夫（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】日高 睦夫、永沢 秀一（常勤職員2名）

【研究 内 容】

目標および研究計画

超伝導単一光子検出器 (SSPD) は、高検出感度、低暗計数率、高計数率、低ジッター、広波長帯などの優れた特徴を持ち、すでに量子鍵配送実験などで数多くの採用実績がある。これまで単ピクセル素子の高性能化に焦点を当てた研究開発が行われてきた。他ピクセル化による高速化や2次元イメージングを可能とし、バイオ・医療等のライフサイエンス、宇宙通信等の新しい応用への活用を目指す。本研究では、多ピクセル SSPD の出力を超伝導デジタル回路である SFQ 回路で処理するためのプロセス開発を行う。

年度進捗状況

NbN を材料とする SSPD と Nb が材料である SFQ 回路をモノリシック化するための作製プロセスを開発した。NICT が作製した NbN の16ビット SSPD 上に産総

研 CRAVITY において SPT2プロセスを用いた SFQ 読出し回路を作製した。SSPD と SFQ の接続方法及び目合わせ方法を工夫した結果、SFQ 回路による読出し動作を確認することができた。ただし、NICT が成膜した SiO₂ 絶縁膜が SFQ プロセス途中で剥離するなど問題点もいくつか明らかとなり、今後これらの改善を行う予定である。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 超伝導エレクトロニクス、ジョセフソン接合、超伝導集積回路プロセス、SFQ 回路、SSPD、モノリシック回路

【研究 題 目】 超並列アナログ脳型 LSI に向けたナノ構造メモリ素子とその集積回路化の研究

【研究代表者】 遠藤 和彦 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 遠藤 和彦 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

近年、従来の機械学習方式の性能を大幅に凌駕するディープ・ラーニング (深層学習) が注目を集めており、脳型情報処理方式の重要性が増している。脳型情報処理を実現する鍵は、ゆらぎを利用した多彩な時空間ダイナミクスに基づく超並列処理と、柔軟なアナログ学習機能である。これらは既存の CMOS デジタルシステムの不得意とするところであり、本研究ではそれを補完する新デバイスを開発して、最先端デジタルデバイスである FinFET と結合することで、新世代情報処理システムを構築することを目的としている。

本研究では、時空間情報処理を物理的に実現する実ニューロン方式脳型集積システム構築のために、分子の自己組織化機能によるナノ構造作製技術を駆使して、制御性の高いアナログ記憶・学習機能素子を開発すると共に、ゆらぎを利用する脳型情報処理素子と回路を新たに開発している。特に、電子のトンネル伝導の揺らぎを利用するナノディスクアレー (NDA) をゲート電極近傍に備えた、新しい構造のフィン型トランジスタ (NDA-FinFET) を開発し、多入力 NDA-FinFET において時間軸で積和演算が可能な素子を実現した。更に、抵抗変化体と FET を結合したアナログ演算素子の開発も進め、抵抗変化体の特性ばらつきも考慮した回路構成を考案し、デバイス試作を進めている。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ナノディスクアレー、脳型情報処理、フィン型トランジスタ

【研究 題 目】 超高感度局在場可視化技術創出による触媒機能発現機構解明と高機能触媒の開発

【研究代表者】 小川 真一 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 小川 真一 (契約職員1名、他1名)

【研究 内 容】

触媒はセンサー機能などエレクトロニクス部品には欠かせない材料である。本研究は高機能触媒を開発するための基礎となる、ナノ材料における電子状態、およびその変化の可視化、具体的には触媒機能発現機構の解明を目標にナノ材料にヘリウムイオン顕微鏡を用いて1 nm 径程度に絞ったヘリウムイオンビームを走査しながら照射し、ナノレベル領域での電子の授受制御、すなわち電子伝導機構の制御を行い、これらの現象を可視化することを目的としている。これまでの研究でシリコン酸化膜上に形成した単層グラフェン膜にヘリウムイオンビームを照射し、照射量を制御することにより導体から絶縁膜へと電子伝導機構を制御できることを明らかにしている。今年度は昨年度整備した試料環境 (電位、温度) 制御機能をヘリウムイオン顕微鏡に結合し、一例として酸化バナジウム薄膜の抵抗-温度依存性のその場観察を行い、導電性ドメインの成長による抵抗値低減現象を観察可能であることを明らかにした。また抵抗測定時の通電により発生する電位勾配に起因すると考えられる各ドメインのコントラスト差も観察できることを示した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 触媒、ナノ構造、ヘリウムイオン顕微鏡、環境制御評価

【研究 題 目】 超高感度局在場可視化技術創出による触媒機能発現機構解明と高機能触媒の開発

【研究代表者】 村上 勝久 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】 村上 勝久 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本年度は4分割 STEM 検出器を使用したグラフェンドメイン分布の観察手法の開発を目的として、①4分割 STEM 検出器の ARM200F への設置、②4分割 STEM 検出器を用いた金ナノ粒子のドメイン分布の観察の2項目を実施した。項目①に関しては、DEBEN 社製 Gen5 BSD 検出器を ARM200F に導入、GATAN 社製 DigiScan システムと接続することで、4分割の検出器の取得画像を PC 上でキャプチャーできるように整備した。項目②に関しては、4分割 STEM 検出器を用いたグラフェンドメイン分布観察前の予備実験と装置完熟練習を兼ねて、金ナノ粒子のドメイン分布の観察を実施した。暗視野像では金ナノ粒子の領域は白いコントラストであるが、暗視野像の位相微分コントラスト像では、金ナノ粒子内部に明暗のコントラストが生じていることが確認できた。また、4分割 STEM 検出器の差分のとり方が直交した2つの微分位相コントラスト像を比較すると、金ナノ粒子内部でのコントラストに違いが生じていることが分かった。これらの結果は、4分割 STEM 検出器を使用した暗視野像の位相微分コントラスト像を取得することで、観察物質のドメイン方向を一度に同定できる

可能性を示唆している。来年度は本手法を用いて、グラフフェンドメイン分布の解析を実施する予定である。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 透過型電子顕微鏡、微分位相コントラスト像

〔研究 題目〕 超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

〔研究代表者〕 浮辺 雅宏 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 浮辺 雅宏 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

目標：

極めて高いエネルギー弁別性能を有する超伝導転移端センサ (TES) とグラフアイト製重粒子線吸収体を組み合わせたマイクロカロリメータを開発し、従来の電離箱測定法では到達しえない優れた精度を有する重粒子線絶対線量標準を確立する。さらにこの重粒子線 TES 検出システムを水ファントム中に設置し、炭素線が水を通過する距離を変化させ、水中での LET (線エネルギー付与) 深度分布を μm オーダにて測定する。

研究計画：

既に確立した硬 X 線 γ 線 TES 精密分光技術をベースに、超伝導イリジウム温度センサとグラフアイト重粒子線吸収体を組み合わせた検出器を作製し、炭素線ビームを照射して絶対線量精密測定を実現する。そして既存電離箱計測法と比較し、TES による線量測定法の不確かさ低減を実証する。さらにこの炭素線検出用 TES を搭載した冷凍機システムを水ファントム中に設置し、炭素線ビームを照射しつつ、水ファントムを駆動させる等して炭素線の水中通過距離を最小 μm オーダにて精密に制御して、水層透過後の炭素線のエネルギーを精密に計測する。これにより、各測定点における炭素線エネルギーの差分をとることで、水中での LET が詳細に得られる。特に μm オーダの分解能にて炭素線の水吸収 LET 分布におけるブラッグカーブのピーク構造とピークの末端に広がる破砕核に起因したテール部の正確な把握・解明に努める。

年度進捗状況：

重粒子線 TES 検出器のメンブレン膜の作成を分担している。TEOS-CVD 装置を使用する。TEOS-CVD 装置の成膜条件を変更することで、その応力を制御し膜全体として100 MPa 以下の小さな応力値を持つ絶縁膜を成膜、その応力の経時変化等を評価した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導転移端センサ (TES)、重粒子線、LTE、絶対線量精密測定、ブラッグカーブ

〔研究 題目〕 超伝導転移端センサが実現する粒子線治

療用線量標準の高精度化

〔研究代表者〕 神代 暁 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 神代 暁 (常勤職員1名)

〔研究 内容〕

重粒子線癌治療において被曝を最小限に抑えつつ高い治療効果を得るには、体内の吸収線量分布の正確な把握が必要不可欠である。本研究では極めて高いエネルギー弁別性能を有する超伝導転移端センサ (TES) とグラフアイト製重粒子線吸収体を組み合わせたマイクロカロリメータを開発し、従来の電離箱測定法では到達しえない優れた精度を有する重粒子線絶対線量標準を確立する。さらにこの重粒子線 TES 検出システムを水ファントム中に設置し、炭素線が水を通過する距離を変化させ、水中での LET (線エネルギー付与) 深度分布を測定する。これにより鋭いブラッグピーク形状の高精度な検出のみならず、核破砕片によるエネルギー付与も正確に把握しうる。これらの知見・データは高精度な吸収線量予測に必須であり、今後主流になると考えられるスポットスキヤニング照射での治療精度向上にも大いに役立つものと期待される。今年度は、将来的に多画素化した重粒子線 TES を、信号対雑音比の低下なく全画素において最適雑音で読出すための、マイクロ波多重読出回路の設計を行った。具体的には、TES 出力用低雑音電流計の素子パラメータと、周波数多重化に用いる共振器の共振周波数が満たすべき関係を明らかにし、同一の素子構造・形状・寸法の基で、配線接地部の位置の変更だけで、標記関係式を満たせることを明らかにした。そして、この設計を基にした読出回路の試作と基礎特性評価を行い、設計指針の妥当性を確認した。

〔領 域 名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 超伝導量子干渉素子 (SQUID)、超伝導転移端検出器 (TES)、マイクロ波共振器、周波数多重読出回路

〔研究 題目〕 革新的グラフエンプラット電極の開発による単分子デバイスの機能計測

〔研究代表者〕 小川 真一 (ナノエレクトロニクス研究部門)

〔研究担当者〕 小川 真一 (契約職員1名、他1名)

〔研究 内容〕

集積化分子デバイス実現のための配線手段の一つとして導電性高分子鎖の研究を進めている。本研究の今年度の目標は導電性高分子鎖 (配線) を周囲から絶縁する方法の確立である。検討中の導電性高分子配線はグラフェン膜上にエピ成長させた絶縁性高分子膜を走査型トンネル顕微鏡を用いて選択的に配線状に導電性に変化させることにより形成するが、下地のグラフェン膜は導電性であるため他の配線と絶縁されないという問題点がある。これら配線を絶縁するための一つの方法は絶縁性高分子

膜をエピ成長させる前に下地グラフェン膜の結晶性を破壊することなく絶縁化することである。

これまでに研究してきたヘリウムイオン顕微鏡を用いたシリコン酸化膜上のグラフェン膜のヘリウムイオン照射による絶縁化技術を本研究に応用することとした。単層グラフェン膜では $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ のヘリウムイオン照射で絶縁化は可能ではあるが、絶縁化可能な領域の大きさ、例えばライン状の幅がどの程度まで可能であるか、を詳細に検討する必要がある。伝導機構の物理的観点からはアンダーソン局在の最小距離を検討することである。本検討のためにグラフェン膜にヘリウムイオンビームを照射しながらグラフェン膜の抵抗値変化を測定した。照射ライン幅数10 nm 以下で抵抗が上昇する現象が観測できたが、現状の測定環境では電気的なノイズが大きく、精度の高い評価ができないことが判明した。現在、このノイズ低減のための測定系の改良を行っている。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ヘリウムイオン顕微鏡、グラフェン、配線、導電性高分子、単分子デバイス

【研究 題目】 300°C・10MGy の耐熱耐放射線性能を持つ電子・撮像デバイス用微小電子源の開発

【研究代表者】 長尾 昌善（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 長尾 昌善、辰巳 憲之（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

福島第一原子力発電所の圧力容器内の観察をはじめとし、事故時の高温・高放射線線量下であっても動作するカメラや電子デバイスを、半導体の微細加工技術を用いて作製する電界放出型の微小電子源（真空電子デバイス）を用いて実現することを最終的な目標としている。この研究課題においては、第一段階として真空電子デバイスの基本構成要素である電界放出電子源に耐高温・耐放射線性を付与することを目的とする。電子源においてはこれらの特性は電極間絶縁膜の特性で決まる部分が多いことから、高温で絶縁性の良い、かつ、耐放射線性のある絶縁層薄膜を開発し、その薄膜を用いた電界放出電子源作製プロセスを確立して、高温・放射線に耐えうることを示すことを目的としている。平成28年度はいくつかの種類の絶縁膜を成膜した。シリコン熱酸化膜、テトラエトキシシランガスをを用いた化学気相成長法によるシリコン酸化膜、反応性スパッタ法により成膜したシリコン窒化膜などを試した。シリコン窒化膜については、欠陥が多く、室温でも漏れ電流が大きかったが、酸化シリコン膜では室温での漏れ電流は殆ど無かった。電子源の試作にはミニマルファブ設備を活用した。ミニマルファブで0.5 μm のリソグラフィを用いて、シリコン窒化膜と酸化シリコン膜を積層したサブミクロンの電子源を

作製するプロセスを開発した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 耐放射線、電界放出電子源、真空デバイス

【研究 題目】 超高速 CPU 開発に向けた高品質シリコンゲルマニウム結晶基板製造の研究

【研究代表者】 前田 辰郎（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 前田 辰郎（常勤職員1名、他2名）

【研究 内容】

SiGe は、現在最先端の Si-CMOS 技術におけるチャネル材料やコンタクト領域、ストレス印可層など様々なところで利用されている。しかしながら、SiGe を利用したデバイス設計には SiGe そのものの基本物性値が必要にもかかわらず、最も基本的な電気特性であるキャリア密度すなわち真性度や移動度さえもほとんど報告されていない。本研究では、JAXA で開発された TLZ 法により成長した様々な Ge 組成を有する高品質な SiGe 単結晶の電気物性を評価することが目的である。昨年度までに SIMS にて単結晶中の p 型キャリアである B 濃度を測定し、深さ方向に均一に不純物が存在していること、SiGe 単結晶中の不純物 (B) 濃度は、BN 坩堝を利用した場合は $1\text{E}18 \text{ cm}^{-2}$ 程度であったが、石英を利用することで $1\text{E}15 \text{ cm}^{-2}$ 程度まで低濃度化でき、TLZ 法による SiGe 結晶の優位性を示してきた。今年度は、るつぼをカーボン製にすることで、さらなる高純度化を図った結果、 $1\text{E}14 \text{ cm}^{-2}$ まで不純物のない純粋な結晶を得られることがわかった。一方、移動度はほとんど変化しなかったことから、この不純物濃度では不純物が散乱体にならない極めて真性に近い半導体であり、得られた移動度は理想的な極限值に近い可能性が高いことが判明した。また、SIMS による不純物濃度の精度上げるためにイオン打ち込みにより標準サンプルを作製し、その感度因子を算出した上で、B 濃度を求めることにも成功した。これらのことから、この結晶を利用して半導体の基本物性の評価をする上で最適な結晶であることが証明された。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 半導体、シリコンゲルマニウム、混晶、移動度

【研究 題目】 テラヘルツ光子計数技術を用いた天文観測手法の開拓

【研究代表者】 浮辺 雅宏（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】 浮辺 雅宏（常勤職員1名）

【研究 内容】

目標：

熱放射源からの光子数の揺らぎはポアソン統計よりも大きく、その程度は光源の輝度温度に依存するという、

新たな光子統計の概念を、テラヘルツ帯の天文観測手法に導入、同手法により光源の物理温度を決定することを目指す。そこで、テラヘルツ帯の光子計数が可能な極めて低い漏れ電流の超伝導検出器を新たに開発、高速のサンプラーと組み合わせることで光子計数型のテラヘルツ帯検出システムを構成し、本研究課題で提案する新たな観測手法を実証する。

研究計画：

光子数の揺らぎを測定可能な高速の検出器システムを構築する。その構築に必要な、超伝導ニオブを用いた極めて小さなリーク電流のトンネル接合 (STJ) 素子を作製するため、リーク電流密度と接合の大きさ、プロセスとの関係性を評価、本研究に最適な STJ 素子を作製する。次に、同 STJ 素子を極低温クライオスタットに組み込み、読み出し回路と結合、光学試験を実施して、信号波形を確認する。検出システム構築後に、信号処理システムを構築、検出システムと結合する。更に、開発検出システムに人工光源を導入し、その温度や開口などを制御して長時間測定を行い、光子数の揺らぎという統計情報から光源の物理状態を推定する新たな観測手法を検証する。

年度進捗状況：

光子検出用極低リーク STJ 素子の作製を分担している。我々の持つ X 線検出用 STJ 素子作製技術を元に、 $10 \mu\text{m}^2$ 以下の小面積 STJ 素子を作成することで光子測定に必要な極低リーク STJ 素子を実現する事を目指した。その結果、 7pA とこれまでで最小のリーク電流の STJ 素子を得る事が出来た。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導トンネル接合 (STJ)、テラヘルツ光天文観測、電波天文学、光子計数技術

【研究 題 目】変調ドーブと結晶粒径極微制御による高移動度・低熱伝導率ナノシリコン熱電材料の創成

【研究代表者】内田 紀行 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】内田 紀行 (常勤職員1名)

【研究 内 容】

本研究は、IoT の進展に伴い近い将来実現されるトリリオンセンサ社会において必要となるエネルギーハーベスト技術のために、有害・希少元素を含まない高効率な熱電材料を開発することを目的としている。具体的には、毒性が低く、資源量が豊富なシリコン (Si) をベースとした熱電材料の開発を行っている。Si は電気伝導や熱起電力の面で、優れた熱電性能を有する一方で、高い熱伝導が、高い熱電変換効率を得るための足かせとなっており、熱電変換指数 (ZT) は室温付近で0.1を切っており、実用化に必要な $ZT=1$ に遠く及ばない。本研究で

は、室温で $ZT=0.4$ を持つ Si ナノコンポジット薄膜 (産総研独自技術) の熱電性能をさらに向上するために、最近の Si 電子デバイス技術動向を参考に、Si ナノコンポジット試料での変調ドーピングの検討や、Si へのIV族半導体元素のゲルマニウム (Ge) やスズ (Sn) の添加による熱電性能向上を行っている。本年度は、Ge、Sn 添加による、Si ナノコンポジット膜の形成温度の低減や、Si ナノ結晶グレインサイズ制御による電気伝導特性と熱伝導特性のバランス点の探索等を行った。Si、Ge、Sn 等、IV族元素を主成分とすることで、リソグラフィなど微細加工技術が適用でき、熱電デバイスを集積した回路を形成することは容易である。IoT デバイスへの実装が、他の薄膜熱電材料と比較して容易であり、迅速な社会普及が期待できる。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】熱電変換材料、エネルギーハーベスティング、IoT デバイス

【研究 題 目】超伝導光検出器を用いた液体ヘリウム TPC の開発と軽い暗黒物質の探索

【研究代表者】山森 弘毅 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】山森 弘毅、神代 暁、平山 文紀 (常勤職員3名)

【研究 内 容】

超伝導検出器の一種である光検出器 KID (Kinetic Inductance Detectors) を用いた液体ヘリウムの TPC (Time Projection Chamber) を開発し、軽い暗黒物質の探索実験を遂行する。ヘリウム原子核を標的とし、反跳ヘリウムからのシンチレーション光 (平均エネルギー 16 eV の紫外線光子) を80 %の高効率で直接検出することができる超伝導検出器 KID を用いることによりこれまであまり探索されることがなかった10GeV 以下の軽い暗黒物質の探索が世界に先駆けて可能になる。検出器の原理検証やエネルギー較正を行い最終的に液体ヘリウム36g 程度の TPC を作製し、軽い暗黒物質の実験を開始する。これまで56素子を集積した KID を作製し、可視光の検出を確認した。また、各素子の共振周波数の設計値からのずれの原因が、素子作製に起因するものと、素子間の物理的な干渉によるものがあることを突き止めた。前者については電極エッチング時に基板がエッチングされるのを防止するためのエッチングストップ層として窒化アルミを導入することで素子のばらつきを改善した。後者については、素子間にグランドプレーンを配置することにより画素間の干渉を減少させた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】超伝導検出器、軽い暗黒物質、シンチレーション光

【研究 題 目】MEMS 技術を用いた300GHz 帯 FW-

TWTの開発

【研究代表者】長尾 昌善（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】長尾 昌善、辰巳 憲之
（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

高出力の必要な高周波デバイスは、現在でも進行波管（Traveling Wave Tube: TWT）と呼ばれる電子管（真空管）が用いられている。従来、進行波管の電子源には、熱電子源が用いられてきた。しかし熱電子源は電源を入れてもすぐには温度が上がらず、インスタントオンできないため、常にヒーターに電源を入れておく必要がありそのため比較的大きな待機電力が必要となる。本研究では、進行波管の電子源を熱電子源に代わってフィールドエミッタを利用することでインスタントオンが可能となり、低消費電力化することをめざしている。本年度は、昨年度開発したボルケーノ構造のダブルゲート微小電子源の電流密度を向上させる目的で、電子源構造のアスペクト比（縦と横の比）の最適化を行った。アスペクト比が高いほど、より低電圧で電子放出が可能となる。電子源製造の際の条件を見直した結果、電子源材料を蒸着する際の蒸着レートがアスペクト比を大きく左右する条件の一つであることがわかった。蒸着レートを制御することで、安定的に高アスペクト比の電子源を作製できることが確認できた。また、この高アスペクト比の電子源を、ミナマルファブを使って作製するプロセスレシピを開発した。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】進行波管、超高周波管、真空管

【研究題目】原子層の電子物性、量子輸送および光物性の理論

【研究代表者】青木 秀夫（電子光技術研究部門）

【研究担当者】青木 秀夫（他1名）

【研究内容】

目標、研究計画：

原子一層からなる物質をテーマに、電子物性を記述する理論体系の構築と新奇物性の理論的提案を行い、新しい固体物理分野としての確立を目指す。具体的には、電子状態の基礎有効理論を作るとともに、ナノスケールの構造体をグラフェンにおいて考えるなどの新構造や物性の可能性を探究する。

本年度進捗状況：

青木は、MIT 化学科の MirceaDinca グループとの国際共同研究により「分子の網目」のような構造を理論設計し、フェナレニルという有機分子を、金属原子（ここでは金）で繋いで金属・有機フレームワーク（metal-organic framework; MOF）として籠目格子にして、そこで発現する強磁性やトポロジカルな性質を設計した。また、青木は、原子層を曲げて3次元的な曲面にして

「3次元グラフェン」を考えると、2次元グラフェンでは質量の無いディラック粒子が現れるのに対して3次元曲面上でどう振る舞うか、という問題となるが、これを東北大（現阪大）の越野と理論的に考え、3次元構造ではディラック電子は質量をもつ、などの特徴を明らかにした。応用物理としても、このような3次元グラフェンでは、表面積が一枚の原子層よりは圧倒的に大きいので、これを電解質に浸すと電子の密度を従来より桁違いに変えることができることが、東北大の田邊等により、実験的に3次元の構造（ナノポーラス・グラフェン）の合成に基づいて実証された。青木、越野はこのナノポーラス・グラフェンのホール抵抗の振舞いなどの理論解析をおこなった。グラフェンは、従来は電子デバイスとしての応用は必ずしも容易ではなく、その理由の一つは電子密度の制御が簡単でなかったためであり、これを打破する一つの方向になる可能性が考えられる。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】グラフェン、ナノ材料

【研究題目】対称性に基づいた新奇なトポロジカル相の探求

【研究代表者】柏谷 聡（電子光技術研究部門）

【研究担当者】柏谷 聡、矢野 力三、小柳 正男
（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

対称性とスピン軌道相互作用を起源とする新しい種類のトポロジカル物質を探索するとともに、トポロジカル物質が発現する新奇量子現象やエキゾチック準粒子の性質を解明することを目的とする。とりわけトポロジカル絶縁体、ディラック半金属、ワイル半金属、トポロジカル超伝導体などの新奇トポロジカル物質を世界に先駆けて発見し、先端分光技術などを駆使して、その電子構造の完全決定を目指す。高品質のバルク・薄膜単結晶の作成に加えて、分子線エピタキシー（MBE法）、接合デバイス作成技術を用いて、トポロジカル超伝導候補物質の各種接合を作成することなどによって、新奇トポロジカル量子現象の観測・解明を行う。また他の研究との有機的研究交流によって、概念共有を深めた研究展開を図り、トポロジカル量子相特有の準粒子を探索・実証し、その背後に横たわる量子凝縮相の物理を解明する。本年度はトポロジカル超伝導である Sr₂RuO₄に対するジョセフソン効果を実験的、理論的に解析を進め、この物質がトポロジカル結晶超伝導体という全く新しい電子相を有することを証明した。これはエッジ状態にマヨラナゼロエネルギー状態の存在を保証するため、今後のトポロジカル量子計算にきわめて重要な結果である。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】トポロジカル量子現象、トポロジカル超伝導、マヨラナ準粒子

〔研究題目〕 複合アニオン化合物の創製と新機能に関する研究の総括

〔研究代表者〕 荻野 拓 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 荻野 拓 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

21世紀に入って、複数のアニオンが同一化合物に含まれる「複合アニオン化合物」が、新しいタイプの無機材料として注目を集めはじめている。複合アニオン化合物では特異な配位構造や結晶構造が得られるため、根源的に異なる革新的機能が現れる可能性がある。このような背景を受けて、研究領域「複合アニオン化合物の創製と新機能」を提案し、研究活動を行っている。従来、物質系・応用分野ごとに仕切られていた研究体制を本計画研究では横断的に結びつける。この研究体制を円滑かつ機能的に運営し、最大限の成果を得ることが本研究の目的である。国際的な研究ネットワークの形成や、グローバルに活躍できる若手人材育成の責も負う。本年度はこれらの目的を達成するため、総括班として様々な活動を行った。新学術領域内の A01～A03班内・班間連携を促進するため、領域内留学を奨励し、これらの活動への支援活動を行った。また社会・国民への成果発信として、ホームページの開設やニュースレターの発行のほか、メンバーが所属する機関の広報やオープンキャンパスも効果的に利用して情報発信を行った。このほか運営会議を随時開催し、領域内研究の推進や成果発信方法について随時検討を行っている。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 複合アニオン化合物、超伝導、新物質合成、光学

〔研究題目〕 ダイヤモンド量子センシング

〔研究代表者〕 渡邊 幸志 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 渡邊 幸志 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、ダイヤモンド中の個々の量子ビットをセンサーとして、単一の分子や細胞の核磁気共鳴 (NMR) イメージング測定や電位分布測定を室温で実現する実験手法を確立する。同位体ダイヤモンド表面近傍 (数 nm) に 100 μ 秒以上の量子コヒーレンス時間を有する窒素-空孔 (NV) ペアを配置し、個々の NV ペアに束縛された電子スピンを制御する手法を開発し、2年目には単一 NV 電子スピンをセンサーとしてダイヤモンド外部に置かれた単一分子電子スピンまたは単一原子核スピンの磁気共鳴検知を成功させ、さらに2次元 NV アレイを用いて空間分解能 50 nm での磁場・電位・温度分布イメージングも実現する。並行してニューロン等の単一細胞への刺激に対する電位分布の時間発展バイオセンシングを NV アレイを用いて実現する。4年目以降には、量子センサーとしての利点を保ちながら、空間分解能 10 nm 以下の実現を目標とし、単一分子・細胞の磁場・電場・温度

イメージングを目指す。本年度も引き続きセンサー構造の高度化を目指し成長条件探索を実施した。プロセス条件となる N/C 比を 1 %～24 %、膜厚を 1 nm～5 nm の範囲で変えた実験をおこなった。その結果、膜厚 5 nm において、N/C=6 % の条件で、面密度 10^5 個/cm² 程度のシングル NV の形成条件として制御できることを見出した。従来条件の半分程度の窒素ドーパ量で実現されており、 T_2 の外乱となる結晶内の不純物量が相対的に減少し、 T_2 の延伸も期待できる。次年度に引き続き膜厚に関する最適条件を模索し、最終目標に向けたセンサー構造の実現を試みる。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 量子センシング、ダイヤモンド、電子スピン、イメージング

〔研究題目〕 トポロジカル相におけるバルク・エッジ対応の普遍性：固体物理から冷却原子まで

〔研究代表者〕 青木 秀夫 (電子光技術研究部門)

〔研究担当者〕 青木 秀夫 (他1名)

〔研究内容〕

目標、研究計画：

トポロジカル相は、今や物性物理学の中心的なテーマの一つとなっているが、本課題では特に、バルクがトポロジカル系であると、その端にはトポロジカル端状態が存在し、バルクと端とは一心同体である、という「バルク・エッジ対応」と呼ばれる概念が確立しつつあることに集中し、これを理論家と実験化の合同のチームにより探究する。

本年度進捗状況：

青木は、平坦かつトポロジカルなバンドをもつようなフェルミオン格子模型における「平坦バンド超伝導」の可能性を理論的に、原子力機構の小林、奥村、町田とともに考察し、厳密対角化と DMRG を用いて物性を調べた。結果は、電子の全 band 平坦バンドが空の状況直下でペア相関が発達することを見出した。特に、平坦バンドが厳密に 1/3 の場合は系はトポロジカル絶縁体になっており、トポロジカル端状態をもつことが分かり、平坦バンド超伝導はトポロジカル相に隣接した超伝導相となっていることを見出した。

また、青木は、見上、岡 (マックス・プランク研ドレスデン) 等とともに、Floquet 動的平均場理論を用いて、様々な格子模型に円偏光を印加したときの電子状態を計算した。その結果、円偏光照射下の蜂の巣格子、Lieb 格子、籠目格子などに適用すると、外場を変化させるにつれて異なるトポロジカル状態間の一連の転移が起き、さらに多体相互作用があると、モット絶縁体とトポロジカル状態間の転移が起きることを見出した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 トポロジカル系、エッジ状態

〔研究題目〕 ナノチューブファイバレーザを用いた超広帯域デュアルコム光源の開発

〔研究代表者〕 榊原 陽一（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 榊原 陽一、周 英（常勤職員2名）

〔研究内容〕

本研究ではカーボンナノチューブ可飽和吸収体を組み込んだモード同期ファイバレーザを用いた超広帯域デュアルコム光源の開発に取り組んでおり、産総研は分担研究として単層 CNT をポリイミド樹脂に均一分散させた CNT 薄膜の作製技術および CNT 薄膜をレーザ光路中に実装する技術を検討した。ポリイミド樹脂を溶かした有機溶剤に直径約1.5 μm の HIPCO 法の単層 CNT を入れ、超音波処理の最適化により、CNT の凝集体が細かく解繊されて、高品質な分散液がえられた。また、直径約2 μm の eDIPS 法の単層 CNT と高分子の分散も検討し、最適な分散工程及び製膜工程を見出した。また、CNT ポリイミド薄膜を光ファイバ光路に挿入するための実装ステージ系を構築した。まず CNT ポリイミド薄膜を小片チップ加工するための切断加工技術を確立した。次に小片チップを搬送する手法を検討し、チャックとリリースの自由度の高い吸着チャック法を採用することとした。吸着チャックした小片チップを任意の位置と方向に保持装着するために必要な移動と姿勢保持の自由度を検討した結果、6軸制御が必要であることが判明したので、必要な部材を確保してステージ系を構築した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 ナノチューブ、レーザ

〔研究題目〕 奇周波電子対の物理理論と実証

〔研究代表者〕 柏谷 聡（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 柏谷 聡、小柳 正男

（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

奇周波電子対とは2電子の時間の入れ替えに対して電子対の符号が変わる新奇な電子対であり、この新奇な電子対の存在を理論・実験の両面から確立するのが本研究の目標である。奇周波電子対関数はバルクの電子対が既存のもの（偶周波数）であっても、併進対称性の破れにより広く偏在し、特に超伝導接合系の輸送特性に重要な役割を果たすことが理論的に解明された。本研究では Sr_2RuO_4 を始めとするスピン3重項超伝導体接合系の近接効果の理論的研究を系統的に行い、実験との比較を通して奇周波電子対の存在を確定する。また自発的対称性の破れによって誘起される超伝導体のバルクに合えられる奇周波電子対の物性解明を通して、並進対称性の破れにより形成される電子対の性質の違いを明確にする。本年度はロシア科学アカデミーとの共同研究により Sr_2RuO_4 と Au の接合系におけるマイクロ応答を測定した、従来型超伝導とは異なるマイクロ応答を確認した。

これが奇周波電子対の影響によるものかについて理論的検討を進めている。また超伝導固体冷凍機に磁性物質を付加し、奇周波電子対による熱輸送による効率化の向上を試みたが、明確な性能向上は得られていない。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 奇周波電子対、固体冷凍機、マイクロ波応答

〔研究題目〕 ダイヤモンド量子制御による高感度核磁気共鳴イメージング

〔研究代表者〕 渡邊 幸志（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 渡邊 幸志（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、ダイヤモンド中の窒素-空孔ペア（NV ペア）に局在した電子スピンを、「量子核磁気共鳴（NMR）センサー」として利用し、超高感度・高空間分解能 NMR イメージングを実現する。具体的には、微細加工テンプレート基板と窒素ドーパント同位体制御化学気相成長法を組み合わせた独創的なダイヤモンド作製法により特性制御された高密度 NV ペア生成し、かつ NMR イメージングに適したパルス光検出磁気共鳴顕微鏡を構築する。サンプル作製と装置開発を融合することにより、高感度かつイメージングが可能な NMR センサーを開発し、少数個（ 10^4 個程度）の ^1H 核スピンの NMR イメージングを実現する。本年度も引き続き、FIB およびフォトリソグラフィにより幅、深さ、方向、オフ角を系統的に変化させた溝構造をダイヤモンド基板上に作製し、それを使用した CVD ダイヤモンド成長を行った。今回、 Ar/H_2 によるフォーミングガスと高純度人工空気中による低圧長時間アニール処理の組み合わせにより、最大13%ほどの NV^- への変換効率に相当する密度の増加を確認した。本プロセスは NV^- への変換に有効であると期待されるため、次年度に引き続き最適条件を模索し、さらに高性能センサーの実現を試みる。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 量子センシング、ダイヤモンド、電子スピン、イメージング、微細加工

〔研究題目〕 Approximate Computing ネットワークの研究

〔研究代表者〕 石井 紀代（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 石井 紀代（常勤職員1名）

〔研究内容〕

ビッグデータ処理や映像処理計算を対象とし、情報の価値に応じた許容誤差でデータ転送することで、コンピュータネットワーク内の通信遅延、エネルギー性能を向上させる Approximate Computing ネットワークを追及する。これは、データ転送中にエラーが生じた際に、そのエラーが結果に重大な影響を及ぼさない場合は、データの再送やエラー訂正を行わずに処理を続行することで、

ハードウェアや処理時間のオーバーヘッドを削減しようとするものである。本年度の産総研分担の活動内容としては、広域光通信網で使用されている多値変調を適用し、情報の価値に応じて多値度を変える、すなわち、重要な情報は高雑音耐性となるよう多値度を下げ、重要でない情報は高変調効率となるよう多値度を上げることで、情報の価値に応じたエラー耐性を提供する、エラー耐性可変変調について検討を行った。さらに、将来の大容量コンピュータネットワークを支えるための光通信技術に関し、光デバイス性能、および、アーキテクチャの要件について検討を行った。外部の共同研究者とともに、研究成果を国際会議にて報告した。また、コンピュータアーキテクチャやシリコンフォトニクス技術など、関連技術が報告される国際会議に参加し、世界最先端技術の動向調査を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 コンピュータネットワーク、光通信

【研究 題目】 圧力波フォーカシングを利用した高純度シリコンクラスタービーム生成技術の高度化

【研究代表者】 岩田 康嗣（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 岩田 康嗣、織田 望、内田 雄幸
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

レーザー蒸発法によるサイズ分散の小さい高純度なシリコンクラスターを生成する手法を開発するため、クラスターの生成メカニズム、動作条件依存性を明らかにし、クラスター供給能力の高度化を図ることが本研究の目的である。平成28年度は、シリコン蒸気ブルーム中における原子、分子、クラスター等のクラスター源内における粒子密度の時間変動を高速イメージングと分光計測とを組み合わせた観測システムで解析し、レーザー照射強度などの動作パラメーターとの相関を明らかにして、高純度シリコンクラスター生成の高効率化につなげることを研究目標とする。

高速フレーミング撮影が可能な ICCD を利用して、レーザー蒸発によって標的シリコンから噴出する高密度蒸気（ブルーム）の発光像を時間を追って撮影し、ブルーム密度の時間変化の計測からシリコンクラスター成長に関わる情報が得られる。レーザーの照射時間12 ns ～ 13 ns に対して、ブルームがクラスター成長セルの出口端に到達するまでの時間が約25 μs、ブルームはそこで反射して標的方向に戻りセル内を行き来して閉じ込められ、やがて消滅する。その間凡そ100 μs 以下であり、本生成原理が産総研で開発された2002年の頃の閉じ込め時間300 μs の1/3に短縮され、シリコンクラスターのサイズ分散がより小さい高純度化が進む条件が整った。生成されたシリコンクラスタービームを炭素原子層のグラフェン基板上に蒸着し、シリコンの新たなナノ結晶構

造を形成するシリコンクラスター超格子の開発につながっている。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 シリコンクラスター、レーザー蒸発

【研究 題目】 表面層深さ方向迅速評価が可能な回転楕円面鏡全反射ラマン散乱光学系の開発

【研究代表者】 相浦 義弘（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 相浦 義弘、川手 悦男
（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

様々な機能性を付与するための製膜技術の発展に伴い、極表面層の評価が課題としてあげられる。ラマン分光法は非破壊・非接触・大気中で測定可能という利点を有することから注目されている。しかし、吸収係数の小さな試料ではラマン励起光が試料内部まで侵入することから、表面層のみからの信号を得ることが困難である。ラマン分光法による深さ方向の情報を選択できる評価法の確立するために、エバネッセント波の浸み出しを利用した極表面層部のラマンスペクトルを測定する全反射法に着目した。本研究目標は、複数の回転楕円体面鏡からなる入射・集光光学系により入射角度連続可変で全散乱角度同時計測可能な光学システムを作製、集光された散乱光をマルチチャンネル検出器で分光するラマン分光システムを構築することである。

ラマン分光の信号は微弱であることに加え、エバネッセント波を利用することで、さらに信号強度は弱くなる。この課題を解決するために、平成28年度、四分の一形状回転楕円体面鏡2台を互い違いに組合せた集光側の集光効率の向上を可能にするハードとソフトの高感度化を進めた。展示会において、開発を行った複数の楕円面鏡で構成された光学系に関する技術紹介を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 ラマン分光、装置開発

【研究 題目】 ナノサイズ光学窓の形成による超解像効果発現の最適条件の理論的探索

【研究代表者】 桑原 正史（電子光技術研究部門）

【研究担当者】 桑原 正史（常勤職員1名）

【研究 内容】

石川工業高等専門学校佐野陽之教授が代表を務める科学研究費補助金「ナノサイズ光学窓の形成による超解像効果発現の最適条件の理論的探索」に関して、分担者として研究を進めた。これは、光ディスクの超解像再生機構を原理的に明らかにしようという試みである。石川高専では、熱的、光学的なシミュレーションにより、再生時の動的な超解像再生現象を解明した。また、超解像再生の鍵となるカルコゲナイドに対し、高温熔融状態の第一原理計算を実行し、高温熔融状態で光学的な変化がおこる物理的な機構を原子、電子の挙動で解明した。産

総研では、シミュレーションに必要なパラメータの測定・提供をおこなった。例えば、SbTe は高温熔融状態では、固体時と比べ透過率は高くなる（透明化）ことを光学的な実験から見いだした。また、この現象は、固体とのバンド構造の変化から生じると予想したが、石川高専の佐野教授の第一原理計算ではこれを裏付ける結果となった。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】光記録、第一原理計算、高温熔融

【研究 題 目】近接・低歪み多重積層構造を適用した量子ドットレーザの効率化に関する研究

【研究代表者】天野 建（電子光技術研究部門）

【研究担当者】天野 建（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本申請では、近接・低歪み積層構造を提案し、量子ドットの光利得向上及び高速変調速度の向上そして、量子ドットの結晶歪み低減を実現する。本研究で提案する量子ドットレーザの構造を以下の手順で実現化する。

- (1) 量子力学的結合を実現させるための近接積層膜厚の算出
 - (2) 近接・低歪み多重積層構造量子ドットの結晶成長
 - (3) 近接・低歪み多重積層構造量子ドットの光増幅率及び高速変調速度の評価
 - (4) 近接・低歪み多重積層構造の歪み・欠陥評価
- 手順(3)、(4)の評価結果と(2)の結晶成長へフィードバックを繰り返し、最適構造とし、(5)量子ドットレーザデバイスへ展開する。具体的に平成28年度は下記を行った。

近接・低歪み積層量子ドットの成長

実際に密度の異なる量子ドット活性層を成長し、フォトルミネッセンス法により発光特性の評価を行った。量子ドット密度の違いにより発光特性の変化を確認し、近接・低歪み多重積層構造の最適化の知見を得た。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】量子ドット、半導体レーザ

【研究 題 目】多バンド超伝導体において生成するトポロジカルソリトンの観測

【研究代表者】田中 康資（電子光技術研究部門）

【研究担当者】田中 康資（常勤職員1名）

【研究 内 容】

研究目的

近年、多成分量子凝縮系に注目が集まっている。従来の量子凝縮系では量子位相が一つしかないことに対し、複数の量子位相がある多成分量子凝縮系では、特異なトポロジーが生じ、バラエティーに富んだ量子欠陥の発現が期待できるからである。私たちは、2001年に多バンド超伝導において多成分量子凝縮系特有のトポロジーがあることを初めて提示し、この分野をけん引してきた。

新規のトポロジーは、多成分量子凝縮系にとどまらず、超弦理論や素粒子論といった、まったく異なる分野とも関係が深く学際的な研究が進展している。また、量子コンピューターへの展開も期待され、多バンド超伝導を使った方法論は、米国特許としても成立している。そこで、私たちは、多バンド超伝導において、これらのトポロジーを自在に制御することを目標に、位相差ソリトンと呼ばれるトポロジカルソリトンの観測を目指している。

研究計画

多バンド超伝導を使い、位相差ソリトン発生・検出の基本的な手法の理論的検討を進め、実験的な実現方法を開発する。多バンド超伝導としては、超伝導超薄膜2層膜を使った疑似的な多バンド超伝導体も視野に入れる。

進捗状況

位相差ソリトンが作る位相スリップを、分数磁束量子へ変換して測定するための基本的な実験スキームの検討を進めた。位相差ソリトンのデバイスへの展開のために、位相差ソリトンのダイナミクスを支配する基礎方程式の検討を行った。基礎方程式は、位相差ソリトンの理論的発見以来、16年間謎のままになっている。これらの解決へ向けた方向性を見出し、シミュレーションプログラムの開発と位相差ソリトン検証デバイスのグランドデザイン作成に着手した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】位相差ソリトン、分数量子、多バンド型多成分超伝導

【研究 題 目】複合アニオン化合物の創製と新機能に関する研究の国際活動支援

【研究代表者】荻野 拓（電子光技術研究部門）

【研究担当者】荻野 拓（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では本領域が国際展開を進め、領域全体を活性化し、国際的な研究者コミュニティをけん引し、国際社会で日本の存在感を維持・向上させるための企画を立てることを目的とし、以下の4項目の活動支援を行った。

1) 「複合アニオン化合物」の研究における国際活動の

支援：①国際共同研究の推進：複合アニオン化合物の合成、解析、評価で世界トップレベルの海外グループとの国際共同研究が必要である。本申請メンバーは既に世界中の**68以上もの研究グループと国際共同研究**を行って数多くの成果を上げており、その情報も集約して今後の国際共同研究の支援準備は万端である。

②海外の大型施設の利用促進：複合アニオン化合物のキーとなるアニオンを正確に評価するには海外の中性子等の大型施設利用が鍵となる。本申請課題のメンバーは既に**8つの海外大型施設を延べ11グループが利用**しており、その情報も集約して支援の準備を進めている。

③新しい国際共同研究および海外施設利用のスタート支援：本課題申請グループが有する多く

の国際活動実績を情報交換しており、それを基に新しい共同研究と新たな施設利用を促す。

2) 国際ネットワークと研究拠点・ハブの構築、情報収集

および情報交換の推進：著名研究者の招聘、海外交流等数多くの実績を更に推進して研究拠点・ハブを形成し、世界をリードする。

3) 若手研究者・次世代の後継者の育成：若手（学生、ポスドク、若手教員）を国際共同研究、海外施設利用、海外研究室訪問のために積極的に派遣して、次世代を担う若手を育成する。

4) 「複合アニオン化合物」の研究の国際的普及：海外の若手を中心とした研究者の短期滞在、レクチャーツアーを通して複合アニオン材料の科学技術を国際的に普及させる。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] 複合アニオン化合物、大型施設、若手育成、国際活動支援

[研究題目] 近赤外温度・濃度同時イメージング法によるマイクロ反応拡散場の直接定量評価

[研究代表者] 角田 直人（首都大学東京）

[研究担当者] 有本 英伸（電子光技術研究部門）
（常勤職員1名）

[研究内容]

前年度までに開発した温度と物質濃度の同時イメージングシステムの光学系と画像処理法を改良し、温度・濃度分解能を向上させた。温度感度波長と濃度感度波長の2つの波長を利用し、マイクロ流路内の中和反応における各物質の濃度画像を構成することに成功した。特に生成される塩に関しては、特定の一波長を用いることで安定かつ精度よく画像化できることを示した。これは他の反応物（HCl, NaOH）に対して等吸収（非濃度依存）を示すためである。また、界面近傍における拡散速度は物質によって異なることを画像によって確かめることができた。このような反応は界面の不安定性にも影響を与えることが示唆された。本手法では単一波長を用いたが、複数のフィルターなどを利用することで多波長化が容易に実現でき、複数成分の濃度の同時測定や温度測定に拡張できる。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] 近赤外分光、温度計測、濃度計測

[研究題目] 高圧力磁気測定技術開発がもたらす磁性・超伝導材料研究のブレイクスルー

[研究代表者] 竹下 直（電子光技術研究部門）

[研究担当者] 竹下 直（常勤職員1名）

[研究内容]

Quantum Design 社製の MPMS 磁化測定装置中で使用可能なダイヤモンドアンビルセル高圧力発生装置（DAC）での実験を補完するための高圧力下の輸送特

性実験を進めた。3か年の研究の最終年度となる本年度は特に、巨大ねじり歪を加えたニオブの超伝導転移温度の圧力相図を作成するため、産総研のキュービックアンビル型高圧力発生装置を用いた電気抵抗測定を行い、磁化測定との一致が得られるかを検証した。この3年間の協力関係より、20万気圧程度までの圧力下の相補的な測定手法を確立することができ、物質開発の上で非常に効率的な研究手法となることが実証できた。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] 高圧力、超伝導、圧力効果、圧力下磁化測定、圧力下電気抵抗測定、巨大歪み

[研究題目] 機能分子組織化 DNA・金ナノ粒子複合薄膜による革新的高効率光アップコンバージョン

[研究代表者] 松田 直樹（製造技術研究部門）

[研究担当者] 松田 直樹（常勤職員1名、他1名）

[研究内容]

無尽蔵エネルギー源として太陽電池の重要性がますます高まり、エネルギー捕集波長域の拡大、光誘起電荷分離及びキャリア輸送のより一層の効率向上が求められている。光電変換にほとんど利用されていない近赤外光は地上における太陽エネルギーの半分以上を占めているが、この近赤外光をより短波長に変換するアップコンバージョン（UC と略称）という現象がある。太陽光のようなインコヒーレントで低エネルギー密度の光による UC として最近注目されているのは、長波長の光を吸収し励起三重項を効率よく生成する増感剤とそれからのエネルギー移動で生じる三重項状態の分子拡散に基づく二分子反応（三重項-三重項消滅、TTA）によって励起一重項を生成し、より短波長の蛍光を発する発光剤の組み合わせの開発である。

本研究では、二重らせん構造DNAに機能分子を濃縮・組織化した薄膜系を作成し、金ナノ粒子薄膜の局在表面プラズモン共鳴による励起光の増幅とあわせて、分子拡散によらない革新的高効率光UCを目指している。具体的には、可視～近赤外域を吸収するカチオン性三重項増感剤、より短波長の蛍光を発するカチオン性発光剤分子と連結分子の合成、ソリューションプラズマ（SP法と略す）法による分散剤を含まない金ナノ粒子（AuNP）分散水溶液の調製と薄膜化、蛍光・燐光スペクトル及び寿命評価、水溶液中に増感剤と発光剤を分散し可視～近赤外域の定常光によるUCの実現、二重らせん構造DNAに増感剤、発光剤、反応中心連結分子を濃縮・組織化させた固体薄膜を金ナノ粒子薄膜上に形成し、UC効率向上をはかる。動力学的検討と合わせて、増感剤と発光剤・連結分子のエネルギー準位、濃度、配置などに関してシステムの最適化と近赤外光から可視光への分子拡散によらない革新的高効率UC 機能をもつDNA薄膜デバイスの構成を目的とする。

平成28年度は SP 法で AuNP 分散水溶液調製する際の再現性を向上させるため、種々の実験条件を変化させて実験を行った。特に SP 法で AuNP 分散水溶液調製を行う時間、得られた AuNP 分散水溶液の濃縮を行う温度、容器と時間を変化させて実験を行い、その最適化を試みた。結果として安定して AuNP 分散水溶液が得られる実験条件を特定する指針が得られた。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】アップコンバージョン、機能分子組織化、DNA、金ナノ粒子、複合薄膜

【研究 題 目】電気的スピン変換

【研究代表者】白石 誠司（京都大学）

【研究担当者】斎藤 秀和、揖場 聡（スピントロニクス研究センター）（常勤職員2名）

【研究 内 容】

半導体中の電子スピンを使用した新規スピンドバイスとして、スピンと光の相互作用を活用する新たな半導体レーザ“スピンレーザ”の開発を行っている。

通常の半導体レーザは直線偏光と呼ばれる光でレーザ発振するが、スピンレーザは強磁性体電極からスピン偏極した電子を利用することにより円偏光と呼ばれる職種な光でレーザ発振する。即ち、スピンレーザでは半導体中のスピン偏極状態を光の偏光としてコヒーレントな光信号に変換できる。特長としては、片側のスピン状態の電子のみがレーザ発振に寄与するため、省エネルギー（発振閾値の低減）が期待できる。また、次世代の偏光多重通信や量子暗号技術、更には、キラル分子認識技術やディスプレイなど広範囲に応用できる可能性を秘めており、その技術発展が期待されている。

平成28年度はスピン緩和時間が長く高性能スピンレーザ実現に繋がると期待される GaAs/AlGaAs(110) 量子井戸に関して成長条件の最適化を進めた。具体的には、結晶成長温度と材料供給量を系統的に変化させた試料を作製し、表面観察、発光特性（フォトルミネセンス）、電子寿命および電子スピン寿命の測定より量子井戸特性を評価した。当初は従来の(100)量子井戸と比較して、t 特に発光特性に劣ることが懸念されていたが、成長条件によってはこれを大幅に上回る発光強度を示すことを見出した。これは、実用的なスピンレーザに繋がる成果であり、学術論文1件で報告および国内特許1件を出願した。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピンレーザ、スピン注入、スピン・光相互作用

【研究 題 目】低エネルギー高速磁化反転技術のための反強磁性構造の創製

【研究代表者】今村 裕志（スピントロニクス研究センター）

【研究担当者】今村 裕志（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、反強磁性性をキーワードに、反強磁性と強磁性層の接合における磁化ダイナミクスや、異なる強磁性層間の界面における反強磁性定期的な交換結合の利用により、磁化反転を高速化および低エネルギー化することを目的とする。平成28年度は異なる強磁性層の積層幕 L₁₀-FePt / Ni₈₁Fe₁₉におけるマイクロ波共鳴磁化反転の解析を行った。東北大学の実験で得られた反転磁界の周波数依存性を詳細に解析することにより、スピン波共鳴によって反転磁界が低減していることを明らかにした。この磁化反転過程は共鳴を利用していることから、多層磁気記録の選択書き込みに応用可能であると考えられる。

【領 域 名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】スピントロニクス、反強磁性

【研究 題 目】印刷技術を用いた両親媒性分子による独立二分子膜の構築と選択的イオン透過膜の創成

【研究代表者】長谷川 達生（フレキシブルエレクトロニクス研究センター）

【研究担当者】長谷川 達生、峯廻 洋美、荒井 俊人、浜井 貴将、森田 楓（常勤職員1名、他4名）

【研究 内 容】

本研究は、近年、電子デバイスを製造するための新しい製膜パターンニング法として期待される印刷技術を活用し、非対称な両親媒性有機分子による独立二分子膜を、望みの位置に望みの数だけ構築・配列する技術の開発と、それらの応用展開を目的とする。本年度は、前年度に端緒を見出した大面積の独立単層2分子膜の形成法について、これを可能にする分子論的機構の検証と製膜技術の高度化に取り組んだ。当該製膜法では、アルキル鎖長のみ異なる2種の両親媒性分子を用いることで2分子膜どうしの積層が抑えられる機構を利用する。まずアルキル鎖長の異なる Ph-BTBT-C6 と Ph-BTBT-C10 の 9 : 1 混合溶液のブレードコート製膜において、製膜温度・溶液濃度等を最適化し、6インチシリコンウエハー（10 cm × 10 cm）大の単層2分子膜の製膜に成功した。また上記以外のパイ電子骨格のアルキル鎖置換体においても、同様な単層2分子膜の形成を確認した。得られた単層2分子膜の X 線反射率、及び回折測定とその解析から、膜内ではパイ電子骨格どうしを向かい合わせた2分子膜構造が形成されていること、及び短い鎖長により層内構造が決定されていることを明らかにした。さらに、単層2分子膜を形成する際の短鎖・長鎖アルキルの混合比に対する膜厚分布の依存性から、長鎖と短鎖の差分による余剰アルキル鎖が2分子膜どうしの積層に対する幾何学的フラストレーション効果として作用していることを実験的に証拠づけることに成功した。

[領域名] エレクトロニクス・製造
[キーワード] プリンテッドエレクトロニクス、有機エレクトロニクス、両親媒性分子、有機半導体、イオン透過膜

[研究題目] 超高齢化社会の医療人材不足を克服する次世代医療用ウェアラブルセンサーの新規開発

[研究代表者] 内田 広夫 (名古屋大学)

[研究担当者] 吉田 学、植村 聖、延島 大樹 (フレキシブルエレクトロニクス研究センター)、(常勤職員3名)

[研究内容]

本研究は、社会問題となっている超高齢化社会における医療人材不足に対応するためのウェアラブル医療機器を開発することを目的としている。具体的には、下記の三種の機器の開発を推進した。1) 着衣と同時にバイタルサイン(血圧・呼吸数・心拍数)を認識する病衣、2) 手術中常に呼吸音を認識できる選択的呼吸音センサー、3) 長期臥床や術中の体圧をモニターし褥瘡を防止する圧センサー。これらのセンサーは人体に密着させて使用するため、高い伸縮性と、繰り返しの伸縮・屈曲に対応した耐久性が必要となる。そこで、我々は3倍以上の伸縮に対しても抵抗値変化が少なく、且つ断線しにくい高伸縮性配線を開発した。この高伸縮性導電性配線は、3倍以上伸張しても抵抗値変化が±5%以内、30万回以上折り曲げても断線しない安定な電気特性を実現した。この配線を用いれば、衣服上のセンサーからの信号も安定して収集することができ、医療分野への貢献が期待される。

[領域名] エレクトロニクス・製造

[キーワード] ウェアラブル・医療用センサー

[研究題目] 非線形モード局在型マイクロレゾネータアレイによる超微小質量計測とバイオセンシング

[研究代表者] 松本 壮平 (集積マイクロシステム研究センター)

[研究担当者] 松本 壮平、山本 泰之 (常勤職員2名)

[研究内容]

筑波大学と産総研(集積マイクロシステム研究センターおよび工学計測標準部門)の協力により、生体分子の反応過程の解明に向けた液体中で超微小質量の計測が可能なMEMSセンサーの開発を行っている。共振器(レゾネータ)を用いる質量計測の原理では、質量変化に伴う共振点のわずかな変化を検出する必要があるが、液体中では減衰により周波数の明確なピークが得られず計測が難しいという問題があった。本研究では、これまでに提案している自励振動によるレゾネータ励振法をさらに発展させ、互いに弱いバネで結び付けられた複数レゾネー

タによる弱非線形連成効果と非線形モード局在現象を利用した新しい微小質量計測手法およびそれらを実現するMEMS質量センサーの開発を行う。平成28年度は、レーザードップラー振動計の原理に基づく同時多点計測によるモード形状計測機構およびレーザードップラー振動計下で自励発振を行うためのフィードバック制御装置を構築し、MEMS技術で試作した非線形連成レゾネータアレイを用いて、提案手法による検出原理の実証を行った。実験では、MEMSレゾネータにビオチンSAM膜(自己組織化単分子膜)を形成し、生理食塩水中で模擬質量として用いたポリスチレンビーズ(質量約0.1ng)をアビジン-ビオチン結合反応により付加することで生じたレゾネータアレイの振幅比変化を計測し、微小質量変化の検出原理が有効であることを確認した。

[領域名] エレクトロニクス・製造、計量標準総合センター

[キーワード] MEMS、質量センサー、レゾネータ、自励発振、液中計測

[研究題目] 工学実用から要請される高性能非構造自由界面多相流数値モデル開発と実証

[研究代表者] 高田 尚樹 (集積マイクロシステム研究センター)

[研究担当者] 高田 尚樹 (常勤職員1名)

[研究内容]

非構造格子を用いる自由界面流れのシミュレーション手法と多相流の数値モデルは工学上必要性が高いがまだ十分確立されていない。そこで、本研究では、東京工業大学の研究者らと協力し、彼らが提案している数値解法の採用により従来手法の問題点を克服し、工学実用化に向けた非構造格子に基づく自由界面多相流の数値モデルを開発する。加えて、複雑な幾何形状を持つ流路における多相流実験を数値モデルの検証用を実施し、実際の現象を高精度に再現できるモデルの確立を目指す。3年間の研究計画では、既存の所内設備を使用し、気相と液相または2種類の液相が混在してマイクロスケールの複雑な流路を流れる二相流の高速度ビデオカメラ撮影による可視化実験を行い、数値モデル検証用ベンチマークデータセットを整備する。

2年目の今年度は、市販ガラス製流体チップと、当該研究担当者が設計し外注で作製したシリコン・ガラス製流体チップを使って、シリコン油と純水が混在して流れる二相流の可視化実験を行った。チップに加工された流路の幅は100マイクロメートル、深さは20または100マイクロメートルであった。様々な流量条件で、十字型に交差する流路で形成される油滴の大きさ・速度・周期を測定した。その実験結果を使用して、共同研究者が構築した数値モデルに基づくシミュレーション結果を評価し、両結果に良い一致を確認した。また、二分岐流路での油滴の分裂やくさび状壁面を持つ流路内の油滴の変形

を高い空間・時間分解能で再現性良く可視化した。以上により、数値モデル検証用実験データの基礎を整備した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 マイクロ流体デバイス、濡れ性、コンピュータシミュレーション

〔研究題目〕 ソーレ効果を用いたガス分離デバイスの微細連続構造による高性能化

〔研究代表者〕 松本 壮平（集積マイクロシステム研究センター）

〔研究担当者〕 松本 壮平（常勤職員1名）

〔研究内容〕

芝浦工業大学・茨城大学との協力により、マイクロ化学プロセス等における精製工程での応用を想定したガス分離用マイクロ流体デバイスの開発を行っている。成分分離の原理として、温度勾配によって駆動される分子拡散現象であるソーレ効果を用いることで、廃熱等を利用して化学的処理を一切必要としない新しいガス分離技術の確立を目指す。ソーレ効果による成分分離では、一般的に得られる濃度差の上限は高々数パーセントと小さい点が課題であった。これに対して本提案手法では、分離素子の大規模ネットワーク化という新しいアプローチにより、同じソーレ効果の原理を用いて理論的にはほぼ完全な分離が可能となる。平成28年度は、分離素子ネットワークによる水素と二酸化炭素の混合ガス分離の実証機構築に向けて、単位分離素子の設計・試作と性能評価を実施した。エッチング加工したステンレス薄板を積層・拡散接合することにより、複数の単位分離素子を並列接続した微細流路を含む金属製流体チップを作成した。この流体チップに水素・二酸化炭素混合ガスを流し、表面と裏面の間に温度差を印加するときの流出ガスの成分濃度を計測した。形状の異なる複数の流路に対する実験により、分離性能に流路断面形状のアスペクト比の影響が大きいことを示す結果を得た。また、分離後の濃度差は全体的に予想より小さく、この原因として、分離素子を小型化することによるチップに占める流路部分の面積比の減少と熱通過の増大等の課題が抽出された。これらの課題を改善するため、高温側と低温側の温度差を維持する設計の検討を進めている。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 MEMS、マイクロ流体デバイス、ガス分離、濃縮、廃熱利用

〔研究題目〕 異なる時空間スケールにおける日本列島の変形場の解明

〔研究代表者〕 大坪 誠（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 大坪 誠、宮川 歩夢（地質情報研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

日本海東縁歪み集中帯での活褶曲群において褶曲成長

に伴う層間すべりの把握を行い、地震時と地震間で変位速度に違いがある可能性を示した。また、跡津川断層周辺では、地質学的な時間スケールでの変形に断層外の変形が寄与している可能性に注目してフィールド調査を行い、活断層の無い場所で未固結の断層岩を伴う小～中規模の断層帯を多数発見した。また、東北地方から中部地方にかけての活断層と非活断層に対して、断層の姿勢と地域の応力場から断層の再活動性を計算し、長い地殻変形過程における非活断層から活断層への時間発展のモデル化の可能性を示した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 歪み集中帯、東北地方太平洋沖地震、内陸地震、変形、東北日本、褶曲

〔研究題目〕 観察・観測による断層帯の発達過程とミクロからマクロまでの地殻構造の解明

〔研究代表者〕 重松 紀生（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 重松 紀生（常勤職員1名）

〔研究内容〕

中央構造線は断層深部から浅部にかけての断層岩が露出している。平成28年度における本研究の目的は2つあり、1つは紀伊半島東部における中央構造線の履歴と、それに対応した断層岩の変形条件を明らかにし、露出している断層岩が経験した、深部から浅部にかけての断層運動を評価することで、中央構造線の大規模露頭の1つである栗野・田引露頭を対象とする。もう1つは脆性-塑性遷移条件付近の応力と歪の不均質を明らかにすることである。

前者については平成27年度までの段階で、露頭が異なる地殻深度の断層運動を記録し、深度により鉱物組成、変形様式が異なるという結論が得られていたことから、論文を執筆し国際誌 *Tectonophysics* に投稿し印刷公表された (*Tectonophysics* 696-697, 2017, 52-69)。

後者について中央構造線に沿う東西 15km の範囲の調査を開始するとともに、栗野・田引露頭に隣接した林道沿い約500 m にわたり、カタクレサイト/マイロナイトの連続露頭が露出していることを見出した。このことから、この連続露頭の詳細な記載を行うことで脆性-塑性に至る断層運動の様子を明らかにできると考え、記載を開始した。なお林道沿いの露頭記載にあたっては、記載を効率よく行うことを目的としドローンで取得したデータ用ルートマップを作成するためのルーチンを作った上で、実際にドローンを飛ばしデータを取得した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 中央構造線、断層露頭、断層運動、鉱物組成、地殻ダイナミクス

〔研究題目〕 岩石変形実験による地殻の力学物性の解明：流体の影響

〔研究代表者〕 高橋 美紀（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕 高橋 美紀、重松 紀生、清水 以知子
(東京大学)、中谷 正生 (東京大学)、
武藤 潤 (東北大学)、大橋 聖和
(山口大学)、星野 健一 (広島大学)
(常勤職員2名、他5名)

〔研究内容〕

本課題は新学術領域研究「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」のサブテーマの一つである。産総研が担当したのは主に下記の2テーマであった。

①「天然の断層岩 (MTL 断層帯より採取) の摩擦強度を測定し地殻の強度の議論を行う。」MTL 栗野-田引き露頭でみられる脆性の断層岩のうち、最も古い時代に形成されたと考えられるガウジ D 層について、形成された温度・圧力条件を推定の上、剪断実験を行った。ガウジ D 層はスメクタイトを含んでいないので有効垂直応力に依存せず一定の摩擦係数 (0.42) を示す。摩擦の速度依存性について、ガウジ D 層はより速度弱化的傾向をもち、低速度条件では特に強い歪硬化が見られた。

②深部塑性変形領域の変形特性を明らかにする。そのために必要な高温炉の開発も含む。」温度計算に基づく設計通りのヒーターを試作した。一方ヒーター以外の部分でも問題点が見つかった。より高温での実験は、試料部を絞った形状のアセンブリを用いることを想定しているが、この形状は試料部の空間が大きくなるため対流が起こりやすい。現状のヒーターを用い 800℃までの高温条件を、試料部を絞った形状のアセンブリで制御しようと試みたが、試料上部の温度がターゲットの温度以上に上昇し、温度が安定しない状態であった。この問題を改善するためには現在用いている金属ジャケットの絞り角度を可能な限り高角に絞る必要があり、次年度の課題である。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地殻強度、中央構造線、断層ガウジ、摩擦特性、高温炉

〔研究題目〕 地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明

〔研究代表者〕 風早 康平 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 風早 康平、高橋 浩、東郷 洋子、
佐藤 努、清水 徹、森川 徳敏、
高橋 正明、松本 則夫、岩森 光 (海洋研究開発機構)、
田中 秀実 (東京大学) (常勤職員8名、他2名)

〔研究内容〕

本課題は新学術領域研究「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」のサブテーマの一つである。地震-火山活動、地殻変動など、地殻ダイナミクスの理解に重要と考えられる「地殻流体の分布や流量」

を明らかにすることが、本計画研究の目的である。新学術領域「地殻流体」で得られた知見を進展させ、岩石物性測定・地磁気地電流 (MT) 観測・地殻流体インバージョン・深部由来流体計測により、流体分布や流量の定量的制約を目指す。

2016年度は、2016年熊本地震後の温泉水・ガスの緊急観測を行った。湧出量・水質等の変動の有無を調査するため地下水、湧水の調査を行った。地震直前に収集していた熊本市内の温泉における水温・水質変動は見られなかった。流量については、変化した場所があり、観測調査を続けている。また、長野県大鹿村の鹿塩温泉周辺において、深部由来流体の組成端成分及びフラックスを推定するために、調査を行った。トリチウム濃度や希ガス濃度を用いてスラブ由来の塩水の端成分を決定した。その結果、端成分は、スラブ起源水が地殻内において約 200℃で岩石と酸素同位体交換反応したことで説明可能である。塩水の上昇量は日量で約 15 ton (NaCl 換算) であった。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地殻流体、温泉水、スラブ起源水、フラックス、熊本地震

〔研究題目〕 地殻流体の実態と島弧ダイナミクスに対する役割の解明 (日本学術振興会 科学研究費 新学術領域研究)

〔研究代表者〕 松本 則夫 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 松本 則夫、佐藤 努、宮越 昭暢
(常勤職員3名)

〔研究内容〕

本研究では、沈み込むスラブからの脱水による水がマントルウェッジに放出され、地殻を経て地表まで循環する深部流体のフラックスを、流量や水圧の物理的な測定および化学・同位体組成等の測定を通して推定することを目的としている。本年度は昨年度実施した平林観測点の井戸の揚水試験データおよび1996年から現在までの地下水位データによって透水係数の時間変化を推定した。平林観測井は野島断層を深さ 623.1~625.3 m で貫いている。地下水位観測から求めた透水係数は1996年から2006年までほぼ一定で、その後徐々に小さくなり、2011年東北地方太平洋沖地震と2013年淡路島の地震後に一時的に上昇した。掘削直後、2000年、2016年1月の3回の揚水試験から求めた透水係数は、水位観測から求めた透水係数とほぼ一致した。2016年1月の揚水直後に行った温度検層の結果より、平林観測井での主な帯水層はケーシングに対し穿孔が行われた深さ 630~650 m ではなく、深さ 200 m 以浅であることがわかった。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 深部流体、揚水試験、ヘリウム、
温度・電気伝導度検層

〔研究題目〕 マントル組成半球構造のキャラクタリゼーションと成因解明

〔研究代表者〕 石塚 治 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 岩森 光、中村 仁美 (海洋研究開発機構)、横山 哲也 (東京工業大学)、石塚 治 (常勤職員1名、他3名)

〔研究内容〕

本研究では、1)他元素。マルチ同位体比を用いたキャラクタリゼーションと、海洋-島弧-大陸下マントルの詳細な東西半球空間分布解明、2)東西半球の組成差を生み出した元素分別過程の機構と年代推定、を行うことを目的とする。分布構造、元素分別の機構と年代に基づき、「いつ、どこで、どんな」物質が沈み込み、地球内部を循環したかを検証し、マントルの組成半球構造の成因と元素分別-対流モデルの提案を目指す。

28年度はカムチャツカ半島の火山岩について、同位体希釈法による K-Ar 年代測定、及び Ar/Ar 法による年代測定を継続した。地球化学的分析結果と合わせ、当地域島弧下マントルの時空変遷についての情報が蓄積された。さらにこれまで知られていなかった単成火山群の活動時期の詳細が明らかになり、これらの火山の起源となるマグマの成因について、岩石地球化学的データと合わせて、論文投稿を行った。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 マントル、同位体、沈み込み、不均質構造、対流

〔研究題目〕 地殻応力永年変動

〔研究代表者〕 大坪 誠 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 大坪 誠 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

南琉球弧の多良間島・石垣島・波照間島など島々での琉球層群を対象に野外調査を実施した。露頭規模で認定される断層群から取得した断層スリップデータに対して応力逆解析を適用すると、波照間島を除く島々では、 σ_3 軸の方向が北東-南西方向もしくは北西-南東方向の正断層型応力が検出され、波照間島では横ずれ断層型応力が検出された。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 琉球弧、沖縄トラフ、応力変化、沈み込み帯、琉球石灰岩

〔研究題目〕 強震動と液状化の複合作用を受けるライフラインネットワークの被害推定システムの開発

〔研究代表者〕 吉見 雅行 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 吉見 雅行 (常勤職員1名)

〔研究内容〕

ライフラインネットワークの地震時被害推定システムの開発を目的とし、平成28年度は熊本地震の被害調査

を通じて震源近傍の断層変位や地震動がライフラインに及ぼす影響についてのケーススタディを行った。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔研究題目〕 遠隔操作の多項目観測による西之島形成プロセスの解明

〔研究代表者〕 篠原 宏志 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 篠原 宏志、中野 俊 (常勤職員2名)

〔研究内容〕

2013年11月に噴火が始まった西之島において各種地球物理的観測および物質学的データの習得を行い、西之島の噴火活動や西之島形成プロセスの理解を目指す。

2016年10月に実施された上陸調査に参加し、西之島の溶岩流の産状の調査観察を行うとともに、火山噴出物の採取を行った。上陸は、溶岩流に覆われていない西之島旧島付近の西側海岸で実施し、その付近及び北側、南側において、異なる噴火時期に流出した溶岩流等の産状観察を行い、これらの火山噴出物を採取した。2013-2015年噴火の溶岩流の産状は、1973-74年噴火時に流出した溶岩流の産状と類似し、また、全岩化学組成は1973-74年噴出物と西之島旧島の中間の組成を示していることを明らかにした。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 西之島火山、噴火、活動推移

〔研究題目〕 高温変形実験による浅所貫入マグマ物性の研究

〔研究代表者〕 下司 信夫 (活断層・火山研究部門)

〔研究担当者〕 下司 信夫、中村 美千彦 (東北大学)、奥村 聡 (東北大学)、小園 誠史 (東北大学)、高橋 一徳 (東北大学)、上杉 健太郎 (高輝度光科学研究センター)、三宅 亮 (京都大学) (常勤職員1名、他6名)

〔研究内容〕

火山火道浅部に貫入したマグマは、メルトの結晶化や脱ガスによる急激な粘性の増加が発生する。この粘性の増加は、マグマの上昇プロセスに大きな影響を与える。そのため、本研究では浅部に貫入したマグマの物性変化を高温高圧変形実験を用いて解析することを目的とする。本研究のうち、実際の爆発的噴火によって噴出したマグマ物質の微細組織の記載やその解析による火道内部過程の復元を担当した。

本研究においては、実際に目撃された噴火の詳細な推移の復元とその噴出物との対応が重要である。この目的のため、EGU2016において、頻繁な苦鉄質マグマの噴火が発生しているイタリア・エトナ火山やストロンボリ火山、また爆発的噴火の模式地の一つであるブルカノ火山における火山活動の実態についての情報収集を行い、かつ活動的火山の火道内部構造について、エトナ山・三

宅島における供給岩脈の内部構造及び噴出物の組織解析についての研究発表を実施した。本研究課題は、同じ研究代表者・研究グループによる科学研究費基盤研究 S（浅部マグマ過程のその場観察実験に基づく準リアルタイム火山学の構築）の採択を受けて、平成28年5月で廃止され、研究内容は同科学研究費基盤 S に引き継がれた。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕マグマ、噴火、高温高压実験

〔研究 題 目〕動力学的震源を活用した地震ハザード評価の新展開

〔研究代表者〕加瀬 祐子（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕三宅 弘恵（東京大学）、加瀬 祐子、松島 信一（京都大学）、関口 春子（京都大学）（常勤職員1名、他3名）

〔研究 内容〕

本研究は、観測事実を説明する想定内の地震動を生成する地震シナリオに、動力学的な知見を加味することにより、想定外の地震動のハザード評価を提示することを目的とする。

平成28年度は、1995年兵庫県南部地震を対象として、前年度に収集した強震記録および震源モデルに加え、地下構造モデルの収集・整理をおこなった。また、経験的手法・運動学的手法による想定兵庫県南部地震のハザード評価を行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地震ハザード評価、疑似動力学的震源モデル、動力学的震源モデル

〔研究 題 目〕複合測地データを活用した震源断層即時推定システムの開発

〔研究代表者〕板場 智史（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕太田 雄策（東北大学）、高橋 浩晃（北海道大学）、大久保 慎人（高知大学）、板場 智史（常勤職員1名、他3名）

〔研究 内容〕

本研究では、リアルタイム GNSS データと、広帯域で幅の広いダイナミックレンジを持つ歪計等の地殻変動連続観測を複合利用し、プレート境界で発生する地震の規模と、その断層面の広がりにより確度高く把握する、統合解析システムの構築を行う事を目的とする。

平成28年度は、キネマティック GNSS 解析時の最適対流圏遅延パラメータ推定手法のより長期間データに対する適用、歪記録から推定した主歪方向を用いた震源位置推定手法の適用下限マグニチュード等に関する既往地震データを用いた検証、静的歪変化を用いた震源規模推定手法の内陸地震への適用の検証などを行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕GNSS、歪計、地殻変動、震源断層

〔研究 題 目〕地震津波履歴情報の統合利用による古地震・津波の諸相評価手法の確立

〔研究代表者〕行谷 佑一（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕行谷 佑一、今井 健太郎（海洋研究開発機構）（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

江戸時代などの過去に來襲した津波の高さは、歴史記録の精読とそれに基づいた現地調査から推定されている。歴史記録の中には、被害記録のみが記されている場合があり、このような情報から津波の高さへは直接結びつきにくい問題があった。本研究では、被害記録と地面からの津波の高さ（浸水深）とについて定量的な関係を構築することを目標としている。

本研究では主に静岡県沼津市内浦長浜における、1854年安政東海地震津波による被害記録『大地震大津浪ニ付書上帳』（沼津市歴史民俗資料館所蔵）を調査した。同史料には内浦長浜集落の各戸の被害の状況と、家屋によってはそこでの浸水深と思われる値が記録されている。その一例を示すと、「一 居宅五分潰 嘉七 水床上四尺五寸」などとあり、嘉七の居宅は床から4尺5寸（約1.4 m）浸水し、半壊程度（五分潰）の被害となったと解釈される。本史料には全42軒の被害情報が記されているが、このうち津波の高さにかんする情報も記されているのは33軒であった。現地を訪れ、できるだけ古い家屋に着目して地盤面から床上などの高さを測定し、浸水深を推定した。

浸水深が推定された33軒について、被害程度と浸水深との関係を構築した。この結果、浸水深が0.8 m で無難と5分潰が混在し、浸水深が2 m 以下まで5分潰の家屋が支配的になった。また、浸水深が2 m を超えると7分潰や9分潰の家屋が存在することがわかった。

このほか、徳島県穴喰町や和歌山県由良町、三重県立図書館等において過去の東海地震や南海地震の史資料調査を行った。また、秋田県にかほ市を訪れ、1804年象潟地震に関する現地調査を行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕津波、被害率、浸水深、歴史記録

〔研究 題 目〕非火山域における深部流体の起源と上昇過程

〔研究代表者〕森川 徳敏（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕中村 仁美（海洋研究開発機構）、岩森 光（海洋研究開発機構）、常 青（海洋研究開発機構）森川 徳敏、風早 康平、（常勤職員2名、他3名）

〔研究 内容〕

本研究では、非火山域における深部流体の分布と上昇過程を把握し、日本列島における変動現象と流体の関係の理解を推進させることである。「有馬型塩水」は、非火山域に湧出するにも関わらず、高塩濃度、高 H-O 同

位体比、マントル由来の He など地球深部に由来する流体である証拠が蓄積されつつある。そこで、これら化学・同位体に加え、有馬型を含む深部流体の検出および上昇途中での地殻・表層物質との反応に敏感な重元素同位体 (Sr, Nd, Pb, 希土類元素) を用いて、西南日本非火山域における深部流体の分布と上昇過程を把握する。これにより、深部流体の流れを捉え、沈み込み帯の水循環と変動現象への寄与の理解に繋げる。

今年度は、紀伊半島および四国地方の中央構造線沿いに湧出し、深部由来の可能性のある深層地下水を採取した。そして、一般水質、水の同位体、炭素同位体、溶存 He 同位体のどのデータを把握した。その結果いくつかの深層地下水において深部由来の流体成分が混入していることがわかった。今後、希土類元素および重元素同位体比のデータを取得し、深部流体成分の検出とともに、上昇過程における水-岩石反応における水質進化を検討する。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】深部流体、有馬型塩水、同位体、希土類元素、重元素同位体

【研究 題 目】地中熱利用システム普及による地下熱環境への影響予測と監視手法の確立 (科学研究費)

【研究代表者】宮越 昭暢 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】濱元 栄起 (埼玉県環境科学国際センター)、八戸 昭一 (埼玉県環境科学国際センター)、宮越 昭暢 (常勤職員1名、他2名)

【研究 内 容】

地中熱利用システムは、地球温暖化対策や都市のヒートアイランドの抑制など環境負荷低減効果があることから急速な普及が予測されている。しかし地中で人為的に採排熱することから環境への影響も懸念されているもののこれまで広域的な評価は全くされていない。本研究では、関東平野を対象に独自に開発した計測技術を活用して地下環境調査を実施し、併せて地下水流動・熱輸送解析を行うことでシステムの普及に伴う今後50年間の地下の熱環境を予測することを目標とする。産総研担当者においては、地下環境モニタリング、水文地質情報および観測データの評価を担当する。当該年度においては地下熱環境調査として、対象地域における4地点において地下温度モニタリングを実施した。また、地下水流動・熱輸送解析に用いるデータとして最適な地点を選定するための準備作業を実施した。これらの成果については、次年度に中間報告として学会発表を予定している。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】環境負荷低減、都市化、地下水流動、地下熱環境、関東平野

【研究 題 目】希ガス同位体を用いて爆発的噴火の準備過程が熱水活動に与える影響の検討

【研究代表者】山崎 誠子 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】山崎 誠子、佐藤 佳子 (福島工業高等専門学校)、伴 雅雄 (山形大学)、熊谷 英憲 (海洋研究開発機構)、武部 義宣 (山形大学) (常勤職員1名、他4名)

【研究 内 容】

最近10万年程度の火山活動史を正確に編年することは、防災の観点からも極めて重要であるが、この範囲の放射年代を精度よく決めることは非常に困難でもある。また、噴出物や熱水・湧水等の希ガス同位体組成から起源物質及び脱ガス過程に制約を与えられる可能性が指摘されているが、必ずしも確かな知見が得られているわけではない。そこで、本研究では、最近火山性微動が増加し噴火が懸念されている蔵王火山を対象とし、アルゴン初期値補正を適用する K-Ar 年代測定、火口湖及び温泉水試料の希ガス同位体組成分析を実施し、噴火史の各段階における脱ガス過程の違いについて検討する。検討にむけては、薄片上でのレーザーによる局所希ガス同位体分析も試みる予定である。平成28年度は、火口湖である御釜及びかみのやま温泉から水試料を採取し、希ガス同位体分析を実施するとともに、5万年前未満と考えられる山頂周辺の溶岩試料の K-Ar 年代及び Ar/Ar 年代測定を実施した。レーザー溶融による希ガス同位体分析に先立ち、質量分析装置の安定性を向上させるために、制御系の調整改良と前処理装置の改造も実施した。また、最適試料の吟味や分析の問題点に関して議論し、溶岩の発泡度や薄片観察において重要視すべき点を整理した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】K-Ar 年代、アルゴン初期値、質量分別、火山岩

【研究 題 目】陸上テフラを用いた海底火山の高分解能噴火活動史解明と周辺陸域への影響評価

【研究代表者】及川 輝樹 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】及川 輝樹、谷 健一郎 (国立科学博物館)、豊福 高志 (海洋研究開発機構) (常勤職員1名、他2名)

【研究 内 容】

陸上の地層中に保存された風成テフラ層は、火山活動史を高分解能に復元するのに有効な地層である。本研究は、海域に隣接した陸上テフラを用いて海底火山の噴火史を高分解能に復元する方法を開発することを第一の目的とし、そのテフラ層中に含まれる化石や粒子を用い周辺陸域への影響評価を明らかにすることも目標とする研究である。本年度は、伊豆大島南の海底に存在する大室ダシ火山起源のテフラの分布を明らかにするため、鶴戸根島の調査を行いテフラの露出状況を確認した。鶴戸根

島は、すでに大室ダシ起源のテフラが報告されている伊豆大島および利島と並び、大室ダシに隣接した陸域なので当該テフラが保存されていることが期待されたが、観察した範囲内ではテフラは発見されなかった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕火山活動史、テフラ、水底（水中）噴火

〔研究題目〕盆地端部でのやや短周期パルス地震動の増幅を考慮した地震危険度評価手法に関する研究

〔研究代表者〕吾妻 崇（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕吾妻 崇（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究は、1995年兵庫県南部地震発生時における神戸地域にみられた「震災の帯」のように、やや短周期パルスが生じた際に地盤構造による干渉によって地震動が増幅され、大被害が生じる恐れのある地域における地震危険度評価手法の開発を目的とする科研費基盤研究（C）（研究代表者：松島信一教授・京都大学防災研究所）の一部である。研究計画では、M7クラスの内陸活断層の近傍に深い地盤構造が存在するような地域を選定し、その地域においてやや短周期パルスの増幅特性を考慮した地震危険度評価を行うこととしており、当部門では活断層情報と地盤構造情報に基いた調査対象地域選定にかかる調査と検討を担当している。

平成28年度には、活断層情報と地盤構造情報を収集整理し、M7クラスの地震が発生する可能性のある活断層が存在し、かつ近傍に深い地盤構造がある地域として、奈良盆地（生駒断層）と北上低地（北上低地西縁断層帯）を調査対象地域に選定した。活断層については、既存調査資料の文献調査を行い、研究対象とした活断層の地下における断層面の傾斜角度に関する情報を収集した。また、米国カリフォルニア州メンロパーク市で開催された地震時における断層変位に関する国際ワークショップに参加し、関連知見を収集するとともに関係者と議論を行った。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地震動、やや短周期パルス、増幅、活断層

〔研究題目〕地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー

〔研究代表者〕松本 則夫（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕松本 則夫（常勤職員1名）

〔研究内容〕

研究題目は文部科学省 科学研究費 新学術領域研究「地殻ダイナミクスー東北沖地震後の内陸変動の統一的理解ー」の総括班の一員として領域全体の研究方針の策定や、企画調整等を行うものである。2016年7月に岐阜県高山市で開催された本領域の国際集會に参加し議論を

行うとともに、web を用いた広報を担当して本領域の広報活動に努めた。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地殻ダイナミクス、総括班、広報、国際集會、web

〔研究題目〕高圧下における地盤材料の圧縮、せん断と固化のマイクロメカニクス

〔研究代表者〕北島 弘子（活断層・火山研究部門）

〔研究担当者〕北島 弘子、高橋 美紀、松島 亘志（筑波大学）、波多野 恭弘（東京大学）、渡辺 圭子（立命館大学）、別府 万寿博（防衛大学校）（常勤職員1名、他5名）

〔研究内容〕

本研究は、高圧下の粒状体の複雑な巨視的物性（圧縮・せん断・固化特性）を、粒子スケールの力学（粒子破碎による粒度や粒子形状の変化、それに伴う粒子骨格構造変化、細粒分粒子の付着力による固着力など）から導く理論を構築するために、地盤工学、衝撃工学、地球科学、材料科学、粉体物理学の観点から、(1) 粒状体の高圧載荷実験を系統的に実施し、マクロな力学応答と粒子物性変化情報を取得し、(2) 粒子スケールの数値シミュレーションと比較することにより、幅広い条件下で成立する統一的なマイクロメカニクス構成モデルを構築することを目的としている。

2015年度に引き続き、今年度も高圧下での粒子破碎挙動を明らかにするために、岐阜砂および鹿島砂の回転式高圧摩擦せん断試験を垂直応力0.5-3 MPa、すべり速度0.65 mm/s-0.65 m/s の条件下でおこなった。今年度はせん断試験中にアコースティックエミッション（AE）測定を追加した。実験ではせん断が進行するにつれて砂粒子が粉碎し圧密が進行し、せん断ひずみが約500で摩擦係数・間隙比・AE 発生頻度が定常状態に至ることがわかった。また、一軸圧密試験、高圧摩擦せん断試験、および粒度分布測定の結果から、圧密・せん断における粒子の破碎過程を繰り返し間隙充填モデルで説明することができた。以上の結果は Geotechnique に論文投稿予定である。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕摩擦、せん断、粒状体

〔研究題目〕環境保全と社会受容性を踏まえた、「地盤環境基準」の構築と実装のための戦略研究

〔研究代表者〕保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕保高 徹生（常勤職員1名）

〔研究内容〕

本研究では、科学的根拠と社会受容性に基づき、新しい“地盤環境基準”の構築と実装を目指す融合研究であ

る。本年度は、継続してバッチ型溶出試験の再現性確保に関する検討を進めるとともに、カラム試験の試験条件が結果に与える影響、再現性について取りまとめた。また、物質移動評価において重要なパラメータである分配係数について既往の結果を基にした推定モデルの構築を試みた。さらに物質移動シミュレーションに基づく不飽和帯のリスク評価に関する研究を推進した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕汚染土壌、重金属、リスク評価、試験方法

〔研究 題目〕バックキャスト法による放射性物質汚染に対するモニタリング・対策の戦略研究

〔研究代表者〕保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕保高 徹生（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究では、放射性物質の環境挙動に関する知見の集約化および体系化を通じて、福島県等の被災地における今後の長期的な環境モニタリングのあり方を示すとともに、今後の原子力災害発生時における環境モニタリング、および初期環境管理に関する技術的な指針の作成を行うことを目的とした。本年度は、水中の放射性セシウムのモニタリングデータの整備のあり方について検討し、有識者を交えた会合を開催するとともに、過去のデータ整備を開始した。また、国際機関と連携し、水中の放射性セシウムのモニタリング技術の標準化に関する取り組みも実施した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕放射性セシウム、モニタリング

〔研究 題目〕高圧下微小破壊音測定実験によるスラブ内地震発生メカニズムの解明

〔研究代表者〕雷 興林（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕雷 興林（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究は、愛媛大学が代表の科研費課題『沈みこむプレート内での局所的不安定流動現象と水の効果：その場観察実験による検証』を分担するもので、稍（やや）深発地震の発生場であるプレート内部の温度圧力条件下において、高圧下での断層活動に相当する“局所的不安定流動現象”が水によって誘発されるかどうかを実験的に検証する。それによって、稍深発地震の発生と水性流体の因果関係を鉱物・物理学的観点から明らかにするとともに、稍深発地震発生の前兆現象がどのような形で現れるかを検証することを目的とする。本研究では、従来よりもより高感度な微小破壊音検出システム（ヘッドアンブ搭載型センサを使用した二重増幅システム）を高圧実験としては世界に先駆けて採用することにより、これまで困難であった、水性流体を含むカンラン岩試料にて発生した微小破壊音測定の実現を狙う。産総研は AE 計測

システム設計及び AE 震源決定プログラムの開発を担当する。

本年度では、「水による局所的不安定流動現象の誘発」の検証実験を本格的に行った。プレート内部の温度圧力条件下（1.5–7 Gpa、600–800 °C）にて、水性流体を含むカンラン岩の一軸圧縮変形実験を行い、応力、歪、アコースティック・エミッションを同時測定する。前年度に得た、無水カンラン岩での実験結果と比較することにより、稍深発地震発生が水によってどの程度誘発されるかを明らかにする。また、規模の大きな本震の前兆現象がどのような形（応力、歪速度、前駆地震の発生頻度の不連続変化など）で起きるかについても着目しながら実験結果を取りまとめた。AE 震源決定について、相対震源決定手法を導入し、100 μm オーダーの精度が実現可能であること検証した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕中間深度地震、斜方輝石かんらん岩、せん断局域化、AE 震源決定

〔研究 題目〕環境汚染を内包する産業ランドスケープの GI 化のためのプラットフォーム構築

〔研究代表者〕保高 徹生（地圏資源環境研究部門）

〔研究担当者〕保高 徹生（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

環境汚染を内包する産業ランドスケープの GI（グリーン・インフラ）化のためのプラットフォーム構築の研究の推進のため、環境汚染に基づく規制により長期的に避難を強いられた地域の住民の現状について、現地調査を実施した。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕未利用地、放射性セシウム、ブラウンフィールド、グリーンフィールド

〔研究 題目〕人力小規模金採掘が農水産物に与える水銀汚染の時空間的影響評価と対策手法

〔研究代表者〕竹中 千里（名古屋大学）

〔研究担当者〕村尾 智（地圏資源環境研究部門）、

竹中 千里（名古屋大学）、

池口 明子（横浜国立大学）、

富安 卓滋（鹿児島大学）、

野中 健一（立教大学）

（常勤職員1名、他4名）

〔研究 内容〕

ASGM（Artisanal and Small scale Gold Mining）が行われているフィリピン・カマリネスノルテ州の Labo 市と Jose Panganiban 市を対象に調査を行い、製錬所とその周辺で植物試料と土壌試料とを採取した。また、同意を得た上で、地域住民の毛髪を採取した。

植物試料と土壌試料では、製錬所において既存の報告を超える値（植物試料最大値：34 ppm、土壌試料最大

値: 72 ppm) がみられ、水銀汚染が確認された。また、製錬所内においても植物種、採取地点によって水銀濃度は大きく異なり、種間の吸収能力の差および土壌中の水銀の局在に起因すると推測された。製錬所以外の地点では、製錬所のような著しい水銀汚染は見られなかったが、一部の植物試料において、非汚染地における既存の報告濃度よりも高いものがみられ、さらなる調査が必要であると考えられた。

毛髪試料の分析からは、健康への影響が心配されるほどの高濃度の水銀は検出されなかった。ASGM を行っている村と行っていない村の間に毛髪中の水銀濃度の差は見られなかったが、魚を食べる頻度・魚の入手方法によって水銀濃度に差が出た。このことから、人への水銀の影響としては、食生活による影響が大きいと考えられた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】零細及び小規模金採掘、フィリピン、水銀、農水産物、ASGM

【研究 題 目】市場経済移行国における資源開発に関するガバナンス

【研究代表者】中野 亜里 (大東文化大学)

【研究担当者】村尾 智 (地圏資源環境研究部門)、
中野 亜里 (大東文化大学)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

2016年4月、ベトナム中部沿岸で、外国資本の製鉄所からの廃水により海水魚が大量死する事件が発生し、鉱業と環境をめぐるガバナンスの問題が新たに浮上した。そのため、従来の調査対象であるボーキサイト開発現場に加え、中部沿岸地域でも現地調査を実施した。いずれの事例でも、行政による住民生活への配慮や、説明責任が不足している現状が明らかになった。

議論を重ねる中で、先端技術がガバナンスに及ぼす影響と、ガバナンスの科学的検証の2点が課題となった。ベトナムやミャンマーなど、現地調査が容易ではない地域について、客観的なデータの集積をガバナンスに結びつける可能性を追求するため、8月に社会地質学会および情報地質学会との共催で、「ガバナンスを支える技術の実践」と題するワークショップを開催し、講師によるリモートセンシングとGISの実習を行った。

11月に日本大学で開催された第26回環境地質学シンポジウムで、ベトナムのボーキサイト開発と海洋汚染問題のこれまでの研究成果、およびガバナンスのモデルとして、モンゴルにおける小規模金採掘についての調査結果を発表し、各分野の専門家との意見交換を行った。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ガバナンス、開発、鉱物資源、ベトナム、ミャンマー、モンゴル

【研究 題 目】硫酸還元反応に着目した帯水層蓄熱による地下水水質への影響評価

【研究代表者】井岡 聖一郎 (弘前大学)

【研究担当者】町田 功 (地圏資源環境研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内 容】

積雪寒冷地域で普及を目指している帯水層蓄熱では、蓄熱過程において様々な温度環境下での硫酸還元反応の発現が報告されており、有害な硫化水素の発生予測が現状困難な状況にある。この原因は帯水層中に存在する微生物が有機酸(酢酸、ギ酸)等をエネルギー源として、様々なプロセスで硫酸還元反応を発現させるためである。しかし、蓄熱過程における地下水中の有機酸等がどのような変化をするのか、あるいは変化しないのか過去の研究では解明されていない。これを解明するために本研究で用いたのは微生物が有機酸を利用する有効エネルギーを熱力学的に導き、現場データと比較する方法である。平成28年度は、冬季の青森県津軽平野の浅瀬川下流域において調査を実施し、結果として地下水は鉄還元環境下にあると思われるものの硫酸還元環境には至っていないことが推定された。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】浅層地下水、水質、オープン方式地中熱ヒートポンプシステム

【研究 題 目】超臨界流体を利用したナノマイクロシステムの開発

【研究代表者】藤井 孝志 (地圏資源環境研究部門)

【研究担当者】藤井 孝志、戸田 雅也 (東北大学)
(常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

本テーマは、二酸化炭素(CO₂)の超臨界状態で微小空間(ナノからサブマイクロレベル)に閉じ込め、高い伝熱性や拡散性、溶解力、または密度ゆらぎや光学特性変化といった、超臨界流体物性をマイクロ解析システムや高感度センシング技術として利用することを目的としている。CO₂地中貯留については、従来の地上からの弾性波モニタリング技術に加え、岩石細孔内からの直接的なモニタリング手法の開発を試みることで、次世代の高精度モニタリング技術の実現に向けた知見の提供を目指し、特に本研究ではCO₂雰囲気下での微細構造中のCO₂挙動を把握する。本年度は、昨年度に作製した窓付き高圧セルを用いて、光学的手法に基づきCO₂雰囲気下でのシリコン基板上の酸化膜の厚みを計測し、大気圧下での計測値とほぼ同じであることを確認した。今後は、多孔質化したSi基板を岩石モデルとみなし、CO₂雰囲気下での計測および解析を実施する予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター、エネルギー・環境

【キーワード】CO₂地中貯留、ナノセンシング、微細構

造

【研究題目】ダイヤモンドによる固体内秘匿情報記録媒体の開発

【研究代表者】 加田 渉 (群馬大学)

【研究担当者】 村尾 智 (地圏資源環境研究部門)、
加田 渉 (群馬大学)
(常勤職員1名、他1名)

【研究内容】

本研究は、高エネルギーイオン注入技術を利用し、「任意方法で秘匿情報を固体素子内に記録する媒体」、つまり、固体秘匿情報記録媒体の開発を目的とする。具体的に、単結晶ダイヤモンドを主な試験対象として、その表面及び内部にあらかじめ決定した空間的な情報配列に沿ってイオン注入処理層の形成を行う。N-V センターを形成できる窒素や、陽子線、並びに炭素近傍の他元素について、その打ち込み空間の分布を制御しながら注入処理を行うことで、一見すると外部から取り出せない情報配列を基板内に埋め込む。これにより復号方法を知る観察者のみに情報を映し出す秘匿埋め込み型の情報記録素子を実現する。

本年度は、シングルエンド加速器並びにタンデム加速器の集束イオンビームラインを利用して実験を行った。高エネルギーイオンビームの制御ソフトウェアに2次元的な情報配列を関連付け、情報配列に沿った照射を可能とした。本技術を活用し、単結晶ダイヤモンドならびにSiC、さらには蛍光活性中心を含むリン酸塩ガラス、蛍石といった鉱物試料に対して、任意の箇所にイオン注入処理を実施した。この方式により、シャドウマスクを必要としない任意構造の照射が可能となった。本処理を行った試料のうち、ダイヤモンドでは1,000℃の加熱処理により、陽子線照射試料においても2次元的な情報配列の視認が共焦点顕微鏡設備を利用することで確認できた。またダイヤモンド以外の試料では照射後の加熱処理を経ずに記録情報を参照することが可能であった。

【領域名】 エネルギー・環境

【キーワード】 イオンビーム、ダイヤモンド、蛍石、エシカルジュエリー、N-V センター

【研究題目】 堆積物に記録される西アジアにおける第四紀環境変動の解読

【研究代表者】 安間 了 (筑波大学)

【研究担当者】 安間 了、八木 勇治 (筑波大学)、
昆 慶明 (地圏資源環境研究部門)、
申 基澈 (総合地球環境学研究所)、
折橋 裕二 (東京大学)、横尾 頼子
(同志社大学)、堀川 恵司 (富山大学)
(常勤職員1名、他6名)

【研究内容】

第四紀は人類紀ともよばれ、東アフリカで人類の祖先

が誕生し拡散していく過程を考える上で、その時代を通しての環境変動を解き明かすことは最重要課題である。本研究では、新学術領域のフォーカスである古代西アジア文明の成立と変遷を考える上で、特に重要である第四紀完新世の環境変動を遺跡ごとに解き明かしていくことで、文明の変遷と地域環境変動のリンクを明らかにしていくことを目標とする。具体的に本研究では、遺跡近傍のため池や湖沼などから、第四紀堆積物の分布状況と積み重なり方を調べ、柱状試料を採取し、これに含まれる珪藻・花粉等の微化石、磁性、堆積物を充填する膠着物質の性質や年代などを調べることによって、第四紀環境変動をそれぞれのサイトから明らかにしている。また、メソポタミアおよびシャフリゾール盆地で堆積物中の碎屑性ジルコンの U-Pb 年代分布を明らかにすることで、堆積速度の変化と堆積盆発達史の解明を目指す。

上記研究活動の一環として、ジルコンの年代測定法の検証を行い、標準物質 NIST SRM 610を用いて、91500および Plesovice 標準ジルコンの U-Pb 年代と希土類元素組成を5%以内の精確さで得られることを確認した。今後、メソポタミアおよびシャフリゾール盆地の堆積物中から採取したジルコン試料に対し、同手法を用いることで得られた年代分布から堆積盆発達史の解明を目指す。

【領域名】 地質調査総合センター

【キーワード】 メソポタミア、粘土板

【研究題目】 同位体から制約する核-マントルの共進化

【研究代表者】 鈴木 勝彦 (海洋開発研究機構)

【研究担当者】 下田 玄 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名)

【研究内容】

コアとマントルの分離年代は未だに解明されていない。この分離年代の研究には、消滅核種であるタングステン同位体組成がもちいられることが多い。消滅核種は高分解能な時間軸が得られるので、核の形成に関する重要な指標になりえるが、長期間のスケールには対応できない。核の形成やマントルとの相互作用を、地球史全体の観点から考えた場合、長寿命核種との組み合わせた研究を行うことが求められる。これまでの研究で報告されているタングステン同位体組成と鉛同位体組成を組み合わせる等して、核とマントルの相互作用を地球史の観点から考え、地球化学的モデリングを行えば、核とマントルの相互作用や核の形成年代に関して制約が得られる可能性がある。そこで、微量の鉛同位体比測定を可能にするため、高分解能型プラズマイオン源質量分析計の高感度化を行った。

【領域名】 地質調査総合センター

【キーワード】 同位体地球化学

〔研究題目〕 核マントルの地震・電磁気観測

〔研究代表者〕 田中 聡 (海洋開発研究機構)

〔研究担当者〕 大滝 壽樹 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名)

〔研究内容〕

地球深部構造の動的挙動の解明に向けて、地震学的観測から地球深部の統合的理解に貢献する。本研究では特に地球の外核下部から内核上部の地震波速度の深さ変化・水平方向変化を研究対象とし、他の研究と連携して地球深部の統合的理解に取り組む。

今年度はオーストラリア下の外核最下部の P 波速度構造を研究対象とした。外核は、大部分を占める鉄に少しのニッケル・軽元素をふくむ液体と考えられている。構造解析には昨年度と同じく我々の開発した方法を使った。この方法は外核底近くの地震波速度を従来より精密にきめることができる。他の構造の影響はほぼ受けない。解析の結果、この地域では外核底の少し上で深さ方向の速度勾配が少し大きくなり、さらに深く、底近くになると小さくなることがわかった。この構造は昨年度求めた北東太平洋下の構造とは異なる。この構造の違いは外核最下部の速度が水平方向に変化していることを示しており、軽元素濃度差などの組成の違いが外核最下部にある可能性が高い。えられた成果は国際学会で発表した。外核底の速度決定に用いられてきた従来の手法は今回の手法と比べマントルや内核の構造とのトレードオフが大きい。従来の手法の構造への感度についても学会で発表した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地球の外核、P 波速度、地震波速度の分散、水平方向不均質

〔研究題目〕 海洋酸性化の沿岸生物と生態系への影響評価実験

〔研究代表者〕 野尻 幸宏 (弘前大学)

〔研究担当者〕 鈴木 淳、長尾 正之 (地質情報研究部門) (常勤職員2名)

〔研究内容〕

人為起源二酸化炭素がもたらす海洋酸性化の沿岸海洋生物への影響を主レベルと生態系レベルで明らかにする研究を、我が国の沿岸生物を主たる対象として実施する。本研究課題で開発した精密二酸化炭素分圧調整装置 (AICAL 装置) を用い、アカガイ及びウバガイの二枚貝類2種について海洋酸性化実験を実施し、体成長や殻成長への影響を評価した。アカガイは17℃及び25℃一定で二酸化炭素分圧区6段階、ウバガイは17℃一定で二酸化炭素分圧区5段階で飼育実験を実施した。アカガイは酸性化条件下でも殻成長・体成長ともに有意な変化はみられなかった。一方、ウバガイでは酸性化が進行するほど、殻の厚みが薄くなる傾向がみられ、種による海洋酸性化耐性の違いが顕著であった。さらに、飼育期

間に成長した殻の炭酸塩の炭素同位体比は、ウバガイではアカガイに比べ、溶存無機炭素の炭素同位体組成をより強く反映していた。これは、相対的にウバガイの石灰化部位 (外套膜外液) に周囲の海水が浸入しやすいことを示唆し、したがって、外套膜外液の pH が低下して石灰化量の減少が起きた可能性が考えられる。このように、炭酸塩殻の炭素同位体比を指標に、海洋酸性化に対する石灰化機能の耐性を評価できる可能性がある。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 サンゴ、海洋酸性化、石灰化、ストレス

〔研究題目〕 浅海底地形学を基にした沿岸域の先進的学際研究—三次元海底地形で開くパラダイム—

〔研究代表者〕 菅 浩伸 (九州大学)

〔研究担当者〕 長尾 正之、鈴木 淳 (地質情報研究部門) (常勤職員2名)

〔研究内容〕

沿岸浅海域は人の居住域に近いにもかかわらず科学的見解が驚くほど少ない。本研究では最先端のマルチビーム測深などを用いて浅海域から沿岸域の精密地形図を作成し、未知の海域を可視化する。その上で浅海底地形学を開拓し推し進めるとともに、自然科学諸分野から人文・社会科学に至る学際研究をすすめ、総合的環境理解へと繋げることが目的である。ここでは未踏査域の三次元海底地形図上に学際的フィールド研究の成果を載せることによって、新たな発見が期待される。本年度は、研究計画の第二年度にあたり、初年度に引き続いて研究代表者を中心に研究体制の構築に努めた。また、マルチビーム測深を奄美大島西岸の大和村沖合のサンゴ礁海域で実施した。大和村は、本課題の研究分担者が漁民の海域利用と漁場知識に関する研究を積み重ねてきた地域であり、主に漁撈活動従事者によるサンゴ礁微地形の民俗分類について、生物相や要求するハビタットの機能面について分析が行われている。今回の調査により、地形図がなかった沿岸浅海域で、マルチビーム測深を用いて精密地形図が作成され、自然と「文化・人類・考古学」の研究を繋ぐ研究が開始された。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 海洋探査、地形、サンゴ礁、可視化、防災

〔研究題目〕 複数核種と複数原理に基づく宇宙線年代決定法の新展開

〔研究代表者〕 堀内 一穂 (弘前大学)

〔研究担当者〕 小田 啓邦、片山 礼子 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

バススルー超伝導岩石磁力計による堆積物コア試料の測定とデータの蓄積は、国際深海科学掘削計画 (IODP)

のジョイデスレゾリューション号・「ちきゅう」ならびに掘削コア試料リポジトリ付属の研究施設をはじめとして弊所を含む世界中の古地磁気実験室で10年以上にわたって行われている。しかしながら、パススルー磁力計による測定はセンサー感度曲線によって平滑化され、なおかつ歪められている。これまでパススルー磁力計のデータについてデコンボリューション処理が試みられてきたが、正確なセンサー感度曲線の取得ができなかったために、その実用化が遅れていた。本研究では、精密成型した小型立方体プラスチックに埋め込んだ磁気点源と治具を用いて、高知大学海洋コアセンターの u-channel 用パススルー超伝導岩石磁力計、産業技術総合研究所および掘削船「ちきゅう」のロングコア用パススルー超伝導岩石磁力計の正確なセンサー感度曲線の測定と計算を行った。また、昨年度に引き続きレーザー干渉距離計による試料トレイの位置決め誤差の評価を行い、論文成果として発表した。これらの研究によって、新しいアルゴリズムによるデコンボリューションの実用化に向けてさらに一歩前進した。今後の古地磁気学の発展に寄与すること、特に地磁気逆転・地磁気エクスカッションによる古地磁気層序学の発展と年代決定の精度向上に役立つと期待される。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地磁気逆転、地磁気エクスカッション、デコンボリューション、国際深海科学掘削計画 (IODP)、パススルー超伝導岩石磁力計、センサー感度曲線、赤池情報量規準、ノイズ、レーザー干渉距離計

【研究 題 目】地球史海洋底断面復元プロジェクト：太古代から原生代への環境大変動解明

【研究代表者】清川 昌一 (九州大学)

【研究担当者】後藤 孝介 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内 容】

原生代前期は、酸素発生型光合成生物の出現・活動に起因する大気酸素濃度の大きな上昇 (大酸化イベント) や全球が氷床に覆われる大規模な気候変動 (スノーボールアース) が起きたと考えられている。そのため、当時の表層環境を詳細に理解することは、地球における生命進化や表層環境の長期的な安定性・変動性を理解する上で重要である。本研究課題では、原生代前期における深海底の環境を復元することを目的に、ガーナ・ビリミアン累層群の地質調査およびボーリング調査を行ってきた。本年度は、採取したコア試料の記載作業や簡易的な磁力測定を高知コアセンターの実験室を用いて行った。その結果、(1) コア試料の岩相は、大きく堆積岩と貫入岩に分けられること、(2) 堆積岩はマフィックな砕屑物で主に構成されており、有機物や自生の硫化物に乏しいこと、(3) ただし、堆積岩には自生の炭酸塩も一部確認できること、(4) 貫入岩は斜長石を多く含むことが分かった。

試料観察の結果、堆積岩の堆積年代を直接決定することが困難であることが予想される。今後、貫入岩を主なターゲットとした Re-Os 同位体分析や、堆積岩・貫入岩を対象としたジルコンの U-Pb 年代などを行い、堆積岩の堆積年代を間接的に制約していく予定である。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】原生代前期、ビリミアン累層群、地球化学、地球史

【研究 題 目】西部北極海の海水減少と海洋渦が生物ポンプに与える影響評価

【研究代表者】小野寺 丈尚太郎 (海洋研究開発機構)

【研究担当者】小野寺 丈尚太郎、田中 裕一郎 (地質情報研究部門) (常勤職員1名、他1名)

【研究 内 容】

北極海では、21世紀に入り夏季の海水の融解が顕著となり、海洋一次生産者など生態系の物質循環に強い影響を与えていることから、北極海の環境動態に注目が集まっている。本研究では、カナダ海盆南西部からチャクチ海西部縁辺を対象に、海洋物理場、プランクトン群集分布と生物起源沈降粒子の観測データを取得し、北極海の海水現象が海洋表層物理場と生物群集や物質循環に及ぼす影響評価を複数年に渡って調査し、その経年変化の解明を行うものである。そのプランクトン群集分布と生物起源沈降粒子の観測データ取得や生態系の経年変化を観測の一環として、海洋研究開発機構所有の海洋地球研究船「みらい」により、2016年9月に、北緯75度、西経162度のノーウィンド深海平原地点に、生物起源沈降粒子を捕集するためのセジメントトラップの投入作業を行った。前年度に、同海域に投入していた2測点のセジメントトラップを含む係留系を回収し、沈降フラックスの経年変化が分析され、2015年10月と2016年6月に沈降粒子量のピークが認められた。また、同海域から前年度に採取されたトラップ試料の円石藻遺骸について検鏡を試みたが、産出は認められなかった。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】地球温暖化、北極海、海洋生態系、海洋観測、沈降粒子

【研究 題 目】日本内湾の堆積物を用いた高時間解像度の環境復元と人間社会への影響評価

【研究代表者】川幡 穂高 (東京大学)

【研究担当者】鈴木 淳、山岡 香子 (地質情報研究部門) (常勤職員2名)

【研究 内 容】

日本沿岸の湾内の水温が気温と高い相関を有するという特性を活かして、沿岸堆積物柱状コアを用いて高時間解像度で高精度の気温と関連環境指標の復元を行い、これらに影響を与えた自然環境プロセスを明らかにするとともに、人間活動への影響を評価する。これに基づき、

社会の変化が人間社会の内部要因によるのかどうかを判断する。最重要の目標は弥生人が最初に日本に渡来した3,000年前（14^c年代で紀元前10世紀）以降とするが、過去数千年間についても自然環境プロセスとの関係を解析する。また、平城京での古代消費社会以前、未汚染時の土壌の化学組成を明らかにする。研究は、1) 自然の作用のみによる環境の定量的復元、2) 環境の人間活動への影響評価より構成される。これらのデータとこれまで報告された文献を比較し、環境と人類活動の関係について考察することが、本課題の目的である。本年度は、計画第二年目にあたり、沿岸堆積物柱状コアの試料について、有機炭素濃度及び炭素窒素濃度比分析を継続した。また、津軽海峡太平洋側から採取された堆積物柱状試料MD01-2409の分析結果から過去27,000年間の水温変動を明らかにし、最低水温は最終氷期最盛期ではなく、約16,000年前であったことを見出して、約16,000年前とされる世界最古の矢尻（石鏃）と最古級の土器が青森県地方から算出されていることに関連して、当時の気候と縄文時代の人間活動について考察した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】古水温、弥生時代、縄文時代

【研究 題目】水月湖と日本海の精密対比：ダンスガード・オシュガーイベントの原因論をめざして

【研究代表者】中川 毅（立命館大学）

【研究担当者】池原 研（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

福井県の水月湖とその沖合の日本海の高環境変動記録を両者に共通して産出するテフラを介在に精密に対比することにより、最終氷期に繰り返し起こった急激な気候変動（ダンスガード・オシュガーイベント）の原因論に迫ることが目標である。本年はこの目標のため、若狭湾沖日本海の5地点において採取された海底堆積物試料の採取を行い、コアの基本情報（写真撮影、色測定、岩相記載、長さ管理など）の整理と沖合の2地点で採取されたコアのコア間対比、挟在するタービダイト層準の確定を行い、近傍の隠岐堆でのテフラ層序及び暗色層層序との対比を確立させた。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】日本海、水月湖、テフラ、気候変動

【研究 題目】別府湾柱状堆積物の解析にもとづく過去8,000年間の太平洋十年規模変動の復元

【研究代表者】山本 正伸（北海道大学）

【研究担当者】池原 研（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

別府湾コアの古水温及びイワシ鱗の測定から、過去

8,000年間の太平洋十年規模変動とそれに伴うレジームシフトの復元を行うのが本研究の目的である。本年は別府湾からすでに採取されている2本のコア中のイベント層の同定とコア間対比、これらに基づく年代モデルの作成作業を行った。さらにイベントの特徴づけと起源の推定並びに長期的な給源変化の推定のため、イベント層と半遠洋性泥について鉍物組成分析を行った。これらの結果、層序モデルを確立するとともに、イベント層の頻度と組成の時間変化を認定した。

【領 域 名】地質調査総合センター

【キーワード】別府湾、気候変動、レジームシフト、イベント堆積物、年代モデル

【研究 題目】国内古生物標本ネットワークの構築とキュレーティング支援方法の確立

【研究代表者】伊藤 泰弘（東京大学）

【研究担当者】兼子 尚知（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内容】

本研究では、国内の古生物標本を所蔵する大学・博物館・資料館等の標本データベースを横断的に検索できるようネットワークを構築し、古生物学の論文に記載された証拠標本（voucher specimen）について所蔵状況を明らかにしてその維持・管理体制を整備する。国内の大学・博物館・資料館等における標本の所蔵状況を把握し、いくつかの中・小型館等について標本整理や目録・データベースの作成からその公開に至るキュレーティング活動を支援あるいは共同で行い、それらの成果を恒久的に維持できるようにアーカイブ等の仕組みを整備することを目指す。このような活動をケーススタディにして協力・支援方法を確立する。古生物標本を横断的に検索できるネットワークとして「日本古生物標本横断データベース<<http://jpaleodb.org/>>」を構築し、その拡充をはかるため、参加協力機関を増やす取り組みを行う。これは、参加協力機関が収蔵する標本情報のアーカイブを形成し、情報が複数のサーバに保存されていることによるバックアップ体制を継続的に維持するものとなる。

今年度は、参加協力を依頼するための協議の目的で北海道内に出張し、道内15か所の博物館・研究機関（足寄動物化石博物館・北網圏北見文化センター・湧別町ふるさと館 JRY・オホーツクミュージアムえさし・浜頓別町教育委員会・稚内市青少年科学館・中川町自然誌博物館・士別市立博物館・深川市郷土資料館・滝川市美術自然史館・小平町教育委員会・北海道立総合研究機構地質研究所・北海道博物館・札幌市博物館活動センター・苫小牧市美術博物館）を訪問した。各機関の担当者に、日本古生物標本横断データベースへの参加とデータ提供の依頼を行った。また、日本古生物学会年会（福井県立大学）において複数機関の担当者にデータ提供を打診し、協力を依頼した。今後、これらの博物館からデータの提

供を受けてデータベースを拡充する。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕古生物標本、データベース、博物館学

〔研究 題目〕ターミナル海盆の堆積記録を用いた南海トラフの地震発生履歴の高精度化

〔研究代表者〕芦 寿一郎（東京大学）

〔研究担当者〕池原 研（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

海溝型巨大地震の過去の発生場所・時期の推定のために、地震動によって発生した混濁流を逃さずに溜められる深い凹地（ターミナル海盆）の堆積物から高精度で欠損のない地震履歴情報を得ることが目標である。本年はこの目標のため、駿河湾から日向灘の海域において調査航海を実施し、深海曳航式探査装置により表層地層探査記録と表層堆積物試料を得た。熊野沖や日向灘での表層地層探査記録には活構造による変形地形が確認できた。また、駿河湾石花海盆では焼津市側から続く海底谷から海盆にかけて表層地層探査を実施し、海底地すべり起源と考えられる構造をとらえるとともに、表層堆積物試料を採取した。また、室戸トラフ北側斜面の海底地すべり様の海底地形がみられる場所における表層地層探査では海底地すべりを明瞭に肯定する構造は確認できなかった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕南海トラフ、地震性タービダイト、海底地すべり、ターミナル海盆

〔研究 題目〕堆積平野における不整形地盤構造のモデル化精度が強震動予測に及ぼす影響の評価

〔研究代表者〕上林 宏敏（京都大学）

〔研究担当者〕長 郁夫（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

強震動予測において用いられる3次元地盤構造モデルの作成には、探査対象地点直下の地盤構造を水平成層構造と見なした探査手法による推定結果が広く利用されている。従って、これら探査手法の推定精度が強震動予測の精度へ大きく影響を及ぼす。しかし、地層が傾斜、湾曲、屈曲する領域においても、これら手法の妥当性が評価されることなく使われている。そこで本研究では、現実的な3次元堆積盆地モデルを用いた微動や地震動のシミュレーションを行い、これらの波形を観測記録と見なした上で、地盤不整形の度合いに伴う上述の探査手法の推定精度の検証を行った。

具体的には、異なる堆積層厚さを有する水平成層構造を傾斜基盤面で接続した地盤構造モデルを用いて常時微動の模擬波形を作成し、それを用いて地下構造探査シミュレーションを実施することにより基盤面形状の不整形性がアレイ探査で得られるレーリー波位相速度の同定精度に及ぼす影響を評価した。その結果、水平成層部では少なくとも基本モードについては1次元モデルと概ね整合的であり、1次元近似の妥当性が確認された。一方、不整形地盤直上では傾斜角が5°程度ならば1次元近似は一定のレベルで妥当と言えるが、傾斜を10°にすると低周波数帯域でやや食い違いが見られ、さらに傾斜を90°にすると1次元近似は著しく破綻した。この結果はSPAC法、FK法ともに同様であった。解析パラメータ選択の恣意性や解析方法の恣意的な選択に起因するパラッキやバイアスの影響を調べるためにこの模擬微動波形を複数の解析グループに配布してそれぞれ位相速度を同定してもらうブラインドテストを実施した。その結果、地盤の共振周波数よりも十分に高い周波数帯域では、パラッキ、バイアスともに非常に小さく、恣意的な判断の影響が入りにくいことが分かった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地震防災、強震動、常時微動、地下構造探査

〔研究 題目〕深海における地磁気異常が明らかにする古地磁気変動

〔研究代表者〕島 伸和（神戸大学）

〔研究担当者〕沖野 郷子（東京大学）、野木 義史（極地研究所）、佐藤 太一（地質情報研究部門）（常勤職員1名、他2名）

〔研究 内容〕

深海における地磁気観測から得られる地磁気異常を利用することで、海洋底の磁化の記録から、地磁気の逆転より詳細な古地磁気変動を読み取ることが本研究の目的である。具体的には、設定した調査海域において海上および深海における地磁気観測を実施し、得られた地磁気観測データを解析して、海洋底の磁化変化を推定する。

本年度の最も大きな実績は、調査海域2（インド洋、マダガスカル島の南の海域）での観測を、平成29年1～2月にフランスの研究船「Pourquoi pas?」による調査航海により実施できたことである。観測のために、日本から船上3成分磁力計と深海曳航式磁力計を準備してこの調査航海に持ち込み、フランスの観測機器も利用することで、海上および深海での地磁気観測データを取得した。この調査海域2は、インド洋で白亜紀スーパークロンの時期に形成された海洋底が存在する海域であり、観測により得られた地磁気観測データの解析を進めることで、地磁気異常データから白亜紀スーパークロンにおける古地磁気変動の抽出を試みる予定である。

調査海域1（インド洋、マリーセレストランスフォーム断層とアルゴトランスフォーム断層を含む海域）での調査概要については、関連学会で公表した。この調査海域1には、2つの長大なトランスフォーム断層があり、

海洋底にある大きな傷でマントルへの水の取り組みの有力な候補だと考えられている。この観測データの解析を進めており、水の取り込みによる蛇紋岩化現象に伴う磁化変化の情報検出を試みている。

調査海域3（マリアナトラフ背弧海盆）での調査を、（独）海洋研究開発機構の研究船利用公募課題として提案したが、残念ながら不採択であった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地球磁場変動、地磁気異常、海洋底の磁化

〔研究 題 目〕完新世の地球環境変動に対するサンゴ礁堆積物生産量変動モデルの確立

〔研究代表者〕藤田 和彦（琉球大学）

〔研究担当者〕長尾 正之（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究 内 容〕

サンゴ礁海岸の堆積物はサンゴ礁石灰化生物を起源とする生物源砕屑物から構成され、地球環境変動に対する石灰化生物の応答の結果として形成された。しかし、地球環境変動に伴ってサンゴ礁堆積物生産量が変動した可能性はこれまでほとんど考慮されていない。そこで、サンゴ礁堆積物生産量の長期変遷解明を目的として、北西太平洋サンゴ礁海域の砂粒子の主要成分である有孔虫殻を例に、地形学・堆積学・生態学・生理学的研究成果を融合・発展させたサンゴ礁堆積物生産量変動モデルを確立する。

平成28年度は9月1日から10日までに沖縄諸島久米島東岸の堡礁型サンゴ礁、特にハテノハマ南部周辺で、シドニー大学との国際合同調査を実施した。その中で、超音波ドップラー流速計、電磁流速計、波高計、多項目水質計を用いた水温塩分鉛直分布調査を担当し、台風が接近した前後にデータを取得できた。今後、これらのデータを解析し、サンゴ礁地形の生物地形学的評価および有孔虫砂や珊瑚礫により維持されている島周辺の基本物理環境の解明を行う。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕環境変動、完新世、サンゴ礁、堆積物生産、有孔虫

〔研究 題 目〕低逆転頻度期の古地球磁場強度長期連続変動の解明—外核プロセスへの新たな制約

〔研究代表者〕山本 裕二（高知大学）

〔研究担当者〕小田 啓邦、片山 礼子（地質情報研究部門）
（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内 容〕

古地球磁場強度長期連続変動の解明のために、高島沖から得られた琵琶湖の柱状堆積物試料による地磁気永年変化の分析をおこなった。堆積物は少なくとも13層の

火山灰を挟む泥からなる。13層準から植物片による¹⁴C年代測定値が得られており、これによって暫定的に過去4万年程度の年代モデルが作成されている。堆積物からは古地磁気キューブの採取を連続的に行い、産業技術総合研究所の超伝導岩石磁力計を用いて80 mT までの段階交流消磁による残留磁化測定を行った。また、古地磁気キューブと平行する形で u-channel (20×20×1,000 mm) と LL-channel (10×10×1,000 mm) の試料を採取し、それぞれ産業技術総合研究所および高知大学海洋コア総合研究センターのパススルー超伝導岩石磁力計で u-channel は20 mT まで、LL-channel は10 mT まで段階交流消磁による測定を行った。古地磁気キューブの結果は先行研究 (Ali *et al.*, 1999; Hayashida *et al.*, 2007) と、2,600年前の極小値および3,400年前の極大値などについて伏角の変動パターンの対応を確認することができた。特に、高知大学海洋コア総合研究センターで測定した u-channel 試料についてセンサー感度曲線を用いたデコンボリューションを行い、古地磁気キューブ試料の変動パターンと概ね一致することが確認された。LL-channel についても一部解析を行った結果、細かい変動パターンは若干不一致が見られた。LL-channel の採取位置がコア周辺部であることが影響している可能性がある。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地磁気永年変化、パススルー超伝導岩石磁力計、センサー感度曲線、デコンボリューション、琵琶湖堆積物

〔研究 題 目〕最終氷期以降の太平洋子午面循環と気候変動

〔研究代表者〕岡崎 裕典（九州大学）

〔研究担当者〕岡崎 裕典（九州大学）、池原 実（高知大学）、板木 拓也（地質情報研究部門）、久保田 好美（国立科学博物館）、佐川 拓也（金沢大学）、杉崎 彩子（地質情報研究部門）、関 幸（北海道大学）、堀川 恵司（富山大学）
（常勤職員2名、他6名）

〔研究 内 容〕

海洋大循環は膨大な熱と二酸化炭素などの物質の輸送を担い、数十年から1,000年オーダーの地球規模気候変動に重要な役割を果たしている。本研究では、太平洋子午面循環の要である北西太平洋を対象海域とし、北太平洋における水塊構造と循環速度の変化を海底堆積物記録から復元することで、最終氷期から最終退氷期における太平洋子午面循環像を明らかにすることを目的としている。地質情報研究部門では、微化石、環境岩石磁気、OSL 年代測定、テフラ層序を担当している。平成28年度は、前年度に海洋調査船「新青丸」の研究航海で採取された試料の分析を開始し、現在も継続中である。また、

平成28年11月に実施された海洋調査船「白鳳丸」の研究航海では、本研究で用いられる試料の採取が行われ、ピストンコアラーを用いて過去40万年間を連続的に記録した海底堆積物を得ることに成功した。更に、本航海では微化石として保存される有殻プランクトンと現在の海洋循環との関係を明らかにするため、水深3,000 mまでの各層プランクトン試料が採取された。今後、これらの試料の分析を推し進めることにより、過去の黒潮変動及び中層循環に関する知見の蓄積が期待される。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕古海洋学、北西太平洋、第四紀

〔研究題目〕ドミニカ共和国沿岸の重金属汚染の時空間的推移と流入実態の調査と負荷源対策の検証

〔研究代表者〕作野 裕司（広島大学）

〔研究担当者〕鈴木 淳、長尾 正之（地質情報研究部門）（常勤職員2名）

〔研究内容〕

カリブ海に位置するドミニカ共和国のように、鉱物資源を主な輸出品とする発展途上国では、沿岸域での重金属汚染が深刻であるにも関わらず、重金属を対象とした汚染モニタリング体制が貧弱であるため、汚染状況の推移を把握できていない。汚染対策を実施してもその検証ができないことが対策を行う上での問題である。本研究では、まず、サンゴ骨格の分析により、同国南部沿岸における重金属汚染の推移を経時的、空間的に再現する。次に現地調査により河川からの重金属の流出負荷実態を把握し、衛星画像に基づくリモートセンシング検証を行いながら、海洋環境シミュレーションモデルにより各河川から同国南部沿岸への重金属の分散を三次元で予測する。そして、このモデルを用いて沿岸海域の近過去や現在の重金属汚染状況を時空間的に再現し、過去の重金属汚染対策による効果を検証する。計画初年度にあたり、ハイナ川河口沖合のサンゴ礁から採取された塊状サンゴ群体の骨格の鉛等の重金属含有量の分析を実施した。サンゴ年輪の計数により約15年間の記録が得られたと考えられる。このハイナ川は、数万 ppm に及ぶ重大な重金属土壌汚染の原因となったバッテリー工場が隣接することで特徴付けられる。ドミニカ共和国の南部沿岸の重金属濃度の時空間的な推移の知見自体が新しい。本研究では、今後さらに海洋環境シミュレーションモデルにより、ハイナ川からの重金属の分散状況を分析し、そして、サンゴ骨格の分析や同モデルの計算結果を利用し、沿岸海域の近過去や現在の重金属汚染状況を時空間的に再現すると共に、重金属発生源での環境管理・対策による効果の検証を試みる予定である。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕鉛汚染、汚染履歴、生物モニタリング、サンゴ

〔研究題目〕低圧変成帯の温度圧力構造と島弧地殻のダイナミクスの解明

〔研究代表者〕池田 剛（九州大学）

〔研究担当者〕宮崎 一博（地質情報研究部門）（常勤職員1名）

〔研究内容〕

島弧及び大陸縁辺部での対の変成帯形成過程を解明するために、未解明の部分の多い低圧高温型変成帯の温度圧力構造、年代を明らかにし、数値シミュレーションによって地殻内部の物質循環を明らかにする。本年度は、九州北部大牟田地域に分布する高温型変成岩が西南日本内帯に東西約1,000 km に渡り連続する領家コンプレックスの西方延長であることを見いだした。更に、大牟田の変成岩の変成分帯と形成条件を見積もり、ミグマタイトからなる高変成度部が変成帯の薄化を伴いながら上昇してきたことを明らかにした。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕変成帯、島弧地殻、温度圧力構造

〔研究題目〕現代リスク社会の変容における公共政策の役割：公共政策と「不確実性」

〔研究代表者〕清水 美香（京都大学）

〔研究担当者〕清水 美香（京都大学）、大谷 竜（地質情報研究部門）（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本年度は、大規模地震発生の予測結果の社会での効果的な活用のために、情報がどのように発信され、それがどのように国民に受け取られるのかに関する調査を実施した。まず地震学者と公共政策学者との間でワークショップを開き、南海トラフ等での巨大地震発生の際に、地震学はどのような情報を発信しうるのか、そしてそれは防災政策の上で果たして効果的なのかについて議論を行った。さらに、そうした情報が社会でどのように受け取られるのか、具体的な現場での反応と対応を調べるため、小・中・高等学校の教育関係者を招いたワークショップを実施した。一連のワークショップから、大きな不確実性を伴うことが不可避な地震発生に関する予測結果は、地震学の専門家外においては、研究者・一般市民を問わず、そもそも必ずしも正しく理解されていないことが分かった。その原因として、こうした低頻度大規模災害においては、気象災害とは違い、事象が希有であるために経験による学習が働かない一方、地震という現象自体には報道等通じて強い印象が与えられていることから、情報を受け取る人々が元々有しているイメージによって、情報の理解が大きく左右されるためであることが示唆された。

〔領域名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕地震、火山、地質ハザード、公共政策、不確実性、リスク

〔研究題目〕 Web GIS 3次元地質モデラーを効率的に活用するための地層対比支援システムの開発

〔研究代表者〕 升本 眞二 (大阪市立大学)

〔研究担当者〕 升本 眞二 (大阪市立大学)、
根本 達也 (大阪市立大学)、
Venkatesh Raghavan (大阪市立大学)、
野々垣 進 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名、他3名)

〔研究内容〕

本研究の目的は、3次元地質モデルを構築する作業工程の中で最も多くの時間を必要とする、ボーリング柱状図の情報をを用いた地層の対比や区分(データの分類作業)の効率化を支援するシステムを開発することである。これにより、Web GIS 3次元地質モデラーを利用した3次元地質モデルの構築・発信の効率を向上させる。

本年度は、地層の対比を補助する情報を生成するために、対比に用いられている地質学の知識、および、対比する際に必要となる情報(粒度組成などの岩相や地盤の硬さを表す指標である N 値など)の整理を進めた。ボーリング柱状図の表示方法についても、従来の規格化された方法とは異なる、新しい表示方法の可能性について検討した。これらの検討結果をもとに、限られたボーリング柱状図から概略的な3次元地質モデルを作成し、そこから得られる地質断面図を対比画面の背景画像として利用することで、地層の対比を補助するという方法について検討した。また、地層の対比を行うたびに新しく作成される情報が、3次元地質モデルの基本となっている地質構造の論理モデルと矛盾していないかを、理論的に評価する原理について検討した。これらの成果の一部を国内外の学会で発表した。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 柱状図、ボーリング、3次元地質モデル

〔研究題目〕 シームレス地質図を活用した学習モデルの実践的構築

〔研究代表者〕 川村 寿郎 (宮城教育大学)

〔研究担当者〕 内野 隆之 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名)

〔研究内容〕

本研究は、中学生における地域地質及び防災のリテラシー向上のために、地質調査総合センターが公開している「20万分の1日本シームレス地質図」(以下、シームレス地質図)を活用して、学校現場で利用可能な教材の作成と学習方法の検討を行い、その学習効果を検証するものである。本研究は3年計画で本(初)年度は以下を行った。

1. 学習対象として、仙台周辺の新第三系や北上山地の古・中生界を選定し、実際に現地確認を行って、その有効性を確認した。

2. 仙台地域において、シームレス地質図と併用可能な他の地質情報について検討し、ボーリング資料やハザードマップなどが教材として利用できる見通しをつけた。

3. 宮城教育大学附属中学校において、シームレス地質図を利用した授業実践を行った。また、弘前大学及び岩手大学の両附属中学校とテレビ会議システムで同時中継し、各々の地域の地質を比較しながら自地域の地質の成り立ちを理解する交流授業を実践した。そして、授業観察記録と生徒のワークシート等を通じて、学習効果を検証した。

4. 岩手県一関地域の中学校理科教員研究会において、シームレス地質図を利用した授業実践の支援を行い、普及を図った。また、教員を含む一般市民向けにも、シームレス地質図の有効な利用について普及活動を行った。

来年度は、継続して学習コンテンツ整理と学習モデルの構築を行う予定である。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 20万分の1日本シームレス地質図、中学校教育、地学リテラシー、教材

〔研究題目〕 堆積物の残留磁化獲得過程における生物学的作用の研究

〔研究代表者〕 山崎 俊嗣 (東京大学大気海洋研究所)

〔研究担当者〕 七山 太 (地質情報研究部門)
(常勤職員1名、他1名)

〔研究内容〕

西部赤道太平洋の西カロリン海盆南部で採取された、過去約40万年をカバーする2本のビストンコア(KR0515-PC2、PC4)のX線CT画像を撮影した。

水深はそれぞれ3,583 m (PC2)、4,277 m (PC4)であり、堆積速度はともに平均約4.5 cm/kyrである。PC02コアでは直径0.5 mm程度の巣穴が存在し、弱い生物攪拌が見られた。このコアでは部分的ではあるが、堆積構造(平行葉理)が認識できた。その一方、PC-04コアでは直径1~2 cmの巣穴が存在し、激しい生物攪拌が見られた。このコアでは多くの部分で堆積構造を観察できなかった。こうした地点間での生物攪拌強度の違いが、堆積物の残留磁化獲得過程に影響している可能性がある。今後は、各コアの生物攪拌の強度を定量的に評価し、レーザー回析散乱法による粒度分析結果を踏まえて、より詳細な情報を取得する予定である。

〔領 域 名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 生物源マグネタイト、古地磁気、岩石磁気研究

〔研究題目〕 東海地震に関する防災政策の経済的インパクトの研究

〔研究代表者〕 宮崎 毅 (九州大学)

〔研究担当者〕 宮崎 毅（九州大学）、大谷 竜（地質情報研究部門）（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本年度は、本研究で被害額算定に用いた地震被害計算ソフトウェア RiskLink の推定精度を評価するため、静岡県第3次地震被害想定で使用された、町丁目レベルの用途別建築年代別階数別の詳細な建物データセットを用いた解析を新たに行い、推定された被害額を RiskLink とは独立な手法で計算された静岡県の第3次地震被害想定の結果と比較した。その結果、両者は整合的な結果が得られることを確認した。その上で、これまで得られた東海地震対策の住宅被害軽減効果の推定結果における、旧耐震基準と新耐震基準の違いの影響、大規模地震対策特別措置法や Disaster Management Cycle の中における住宅耐震化の位置づけ、類似の先行研究との違いについて検討し、地震対策の効果を測定する際には、地震対策以外に由来する耐震対策の時間経過に伴う傾向を考慮することの重要性を確認した。これまで得られた結果についてまとめ、防災研究分野の国際学術誌に投稿した。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 地震財特法、大規模地震対策特別措置法、地震被害軽減効果、仮想現実アプローチ

〔研究題目〕 南鳥島 EEZ に眠るマンガンノジュールとレアアース泥の成因と資源ポテンシャル

〔研究代表者〕 中村 謙太郎（東京大学）

〔研究担当者〕 中村 謙太郎（東京大学）、加藤 泰浩（東京大学）、藤永 公一郎（東京大学）、沖野 郷子（東京大学）、町田 嗣樹（海洋研究開発機構）、佐藤 太一（地質情報研究部門）（常勤職員1名、他5名）

〔研究内容〕

本課題では「南鳥島 EEZ 内のマンガンノジュール」と「レアアース泥」について、「どこに」「どのくらい」「どうして」存在するのかを明らかにすることを目的に研究を行なっている。

本年度はサンプルの分析および地球物理探査から以下の結果を得た。

(1)潜水船による海底観察を南鳥島 EEZ 南部から南東部にかけて実施し、マンガンノジュールの分布状況観察とサンプルの採取を行った。(2)マルチビーム音響測深機 (MBES) によるマンガンノジュール探査手法確立のため、音響探査の結果と海底観察結果の比較検討を行った。その結果、観測される MBES の後方散乱強度とマンガンノジュールの分布密度が対応していることが明らかとなり、船上からマンガンノジュールの広域探査を行う目処が立った。(3)上記成果に基づき、南鳥島 EEZ におけるマンガンノジュールの広域的な分布を明らかと

した。ノジュールは EEZ 全域に広く分布し、その分布域はすでに明らかとなっているレアアース泥の露出エリアと重複していることがわかった。(4)潜水調査によって採取されたマンガンノジュール試料について、(a) X線 CT による非破壊3次元構造解析、(b) XRD による構成鉱物の同定、(c) ICP-MS による主成分・微量元素組成分析を行った。(5)これらノジュール試料の分析・解析の結果、南鳥島のマンガンノジュールは組織および化学組成の異なる5つの層からなることがわかった。さらにこの5つの層は、同じく南鳥島 EEZ の中にある拓洋第五海山のマンガンクラストの最近1,000万年間の層変化と良く対応することも明らかとなった。このことから、水深が3,000~4,000 m も異なるマンガンクラストとマンガンノジュールが同一の成長イベントを経て形成していることがわかった。

〔領域名〕 地質調査総合センター

〔キーワード〕 レアアース泥、南鳥島 EEZ、サブボトムプロファイラー、マルチビーム音響測深機、ピストンコア、マンガンノジュール

〔研究題目〕 沈降域の沖積層を用いた最終氷期最盛期以降の海水準変動復元

〔研究代表者〕 堀 和明（名古屋大学）

〔研究担当者〕 堀 和明（名古屋大学）、大串 健一（神戸大学）、山田 桂（信州大学）、田邊 晋、納谷 友規（地質情報研究部門）（常勤職員2名、他3名）

〔研究内容〕

本研究は、テクトニックな沈降に伴って形成された、台湾南西部の嘉南平野に分布する世界最厚の沖積層を用いて、海洋酸素同位体ステージ3から最終氷期最盛期にかけての海水準変動を復元することを目的としている。平成28年度は、平成27年度に台南市付近において掘削した300 m 長のボーリングコア堆積物 (NU-TN-1) と台湾の経済部中央地質調査所が所有する嘉南平野における既存のボーリングコア堆積物の各種分析を行った。各種分析とは、粒度分析と放射性炭素年代値の測定、珪藻化石と有孔虫、介形虫の同定である。粒度分析は、レーザー回折法によってそれぞれのボーリングコア堆積物で20 cm 間隔で行った。放射性炭素年代値の測定は、NU-TN-1から122点、既存のコア堆積物から93点の貝化石と植物片を選定し、名古屋大学においてグラフィットの作成とアメリカ合衆国の Direct AMS を通じて加速器質量分析計による炭素同位体比の測定を行った。珪藻化石の同定は納谷、有孔虫の同定は大串、介形虫の同定は山田が担当した。これらの分析結果については、現在解析中であるが、融氷パルス1A や IB に相当する時期における堆積速度の急増などを捉えることができた。また、珪藻化石は100層準ほどでその有無を調べたが、全く含

まれないことが分かった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕台湾、嘉南平野、MIS3、沖積層、沈降

〔研究 題目〕中央海嶺下マントルの再考：マントルの均質／不均質化と海洋プレートの物質科学的実体

〔研究代表者〕森下 知晃（金沢大学）

〔研究担当者〕針金 由美子（地質情報研究部門）
（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

中央海嶺起源と考えられる「メルト成分に枯渇したかんらん岩」の成因を検討し、海洋マントル最上部物質における不均質性と形成メカニズムを解明したい。そこで異なる拡大速度をもつ海域から得てきた中央海嶺起源のかんらん岩について、岩石学・地球化学・構造地質学的研究を行ってきた。研究担当者は最終年度である平成28年度において、北極海のガッセル海嶺から採取されたかんらん岩8試料を用いて、これまでに微細構造観察・主要鉱物化学組成・結晶方位定向配列のデータをそれぞれ得てきた。微細構造観察において、プロトグラニューラー組織（2試料）と輝石のポーフィロクラストとかんらん石と輝石の細粒基質部からなるマイロナイト（6試料）が認められた。またプロトグラニューラー組織を持つかんらん岩2試料のうち1試料には斜長石が含まれていた。スピネルの化学組成分析から、かんらん岩マイロナイト5試料とプロトグラニューラー組織を持つかんらん岩1試料は低い Cr#（Cr#≒10~20）を示したが、残りのかんらん岩マイロナイトと斜長石を含むかんらん岩については比較的高い Cr#（Cr#≒25~40）を示した。このかんらん岩2試料については TiO₂ wt % の値も高い。そして、かんらん石の結晶方位定向配列の結果として、プロトグラニューラー組織を持つかんらん岩2試料は AG-type ([010] fiber pattern) を示すが、かんらん岩マイロナイトはすべて E-type ((001)[100] pattern) の傾向を示したことが明らかになった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕海洋プレート、かんらん岩、不均質性、中央海嶺、島弧

〔研究 題目〕タイ国産腕足動物化石の炭素・酸素同位体組成を用いた石炭紀～ペルム紀の古環境復元

〔研究代表者〕井龍 康文（東北大学）

〔研究担当者〕井龍 康文（東北大学）、原 英俊（地質情報研究部門）（常勤職員1名、他1名）

〔研究 内容〕

タイには保存の良い石炭紀～ペルム系の腕足動物化石が産出することが知られている。この腕足動物化石殻にて炭素・酸素同位体組成分析を行い、石炭紀～ペルム紀

にかけて熱帯赤道域の海洋環境変動を明らかにすることを目的とした。まずタイ北中部のペッチャブン地域のインドシナ地塊より採取した、ペルム紀のプロダクタス科腕足類動物化石について、その腹殻内側表面ならびに腹殻内部の炭素・同位体組成を測定した。そして殻内変化と個体差の影響が、同位体分析にどの様な影響を及ぼすかについて、まず検討を行った。その結果、炭素・酸素同位体ともに、最大で3~4 %の大きなばらつきを示すことが明らかとなった。また殻内部構造より腕足動物化石の続成作用の評価も行い、続成作用によって殻内微細構造の破壊と炭素・酸素同位体の減少に関係が見出された。従来の研究では、バルク試料を用いて同位体分析が行われてきたが、精密な古環境推定には、測定部位の厳選及び続成作用の評価が必要であることが明らかとなった。

〔領 域 名〕地質調査総合センター

〔キーワード〕腕足類、石炭紀、ペルム紀、炭素・酸素同位体組成、タイ

〔研究 題目〕次世代超大型光学赤外線望遠鏡 TMT と高分散分光器による宇宙の加速膨張の直接検証

〔研究代表者〕白田 知史（国立天文台 TMT 推進室）

〔研究担当者〕稲場 肇、大苗 敦、大久保 章（物理計測標準研究部門）（常勤職員3名）

〔研究 内容〕

2020年代に稼働する次世代超大型地上光学赤外線望遠鏡（TMT）により(1)「宇宙の加速膨張の直接測定」のための科学的・技術的検討を行う。TMT の大集光力を活かして多数の遠方天体の超高分散分光観測を行い、その吸収線の赤方偏移の10年にわたる経年変化を超精密に測定し、ダークエネルギーの正体にも迫る。また、この超高分散分光観測から、(2)「微細構造定数、陽子・電子質量比の時間変化に対する制限」、(3)「銀河間物質の3次元構造の解明」、というこれまで不可能だった天文学を実現する。これらを実現するための基礎技術の習得と要素開発、および試験観測が本研究の主眼である。3つのサイエンスゴールに共通する超高分散分光観測の実現のために必須である光周波数コムを開発し、すばる望遠鏡高分散分光器に搭載し、全体性能の評価と試験観測を実施し、TMT での本格的な宇宙論研究の手法を確立する。

平成27年度は、スペクトルの平滑化に必要な空間位相変調器を調達し、予備実験を行った。平成28年度は、高分散分光器の波長校正に適した広い間隔周波数を実現するための、光共振器による光コム切り出し技術において、必要な低分散ミラーの仕様についての知見を得ることができた。特に、広帯域にわたる光共振器による光コムの切り出しについて厳密な計算機シミュレーションを行うことができるようになったことは大きな進展であっ

た。シミュレーションの結果では、広帯域にわたり、等間隔に光コムが切り出されている様子が示されている。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光コム、TMT、高分散分光器、天文学、宇宙の加速膨張、ダークエネルギー、微細構造定数、陽子・電子質量比

【研究 題 目】Er ファイバーコムを用いた可視域デュアルコム分光に関する研究

【研究代表者】洪 鋒雷（横浜国立大学大学院工学研究院）

【研究担当者】大久保 章、稲場 肇、住原 花奈（物理計測標準研究部門）
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

光コム2台を使うデュアルコム分光法は、従来のフリーエ変換分光法と比べて分解能が高くかつ測定時間が短いため、燃焼ガスの分析などに役に立つと期待され、その実用化が望まれている。しかし、Er ファイバーコムを用いた可視域のデュアルコム分光はまだ実現されていない。高効率の非線形波長変換デバイスによる光コムの広帯域化メカニズムを解明し、可視域のデュアルコム分光計を構築し、Er ファイバーコムによる信頼性の高いデュアルコム分光を実証することを目指す。

研究計画としては、まず近赤外の Er ファイバーコムによる広帯域可視光コムの発生という課題を取り上げ、導波路型周期分極反転 LiNbO₃結晶による広帯域近赤外コムから広帯域可視コムへのダイレクトな波長変換を実施し、そのメカニズムを解明する。さらに、発生した広帯域可視コムを用いて、デュアルコム分光計を構築し、緑から赤まではヨウ素分子など、青では Yb 原子や Te₂ などを使ってデュアルコム分光の実証を行う。また、新たに開発された分光計の性能評価を行い、その信頼性に関しても総合的な検証を行う。

平成28年度は、Er ファイバーコムとチャープ付き導波路型 PPLN 結晶を用いて発生した波長780 nmの第2次高調波コムを高非線形フォトニッククリスタルファイバーに入射し、短波長側が波長530 nmまで広がった可視広帯域コムを得た。また、チャープ付き PPLN からは2次高調波とともに発生する3次高調波でも波長500-570 nmの広帯域可視コムが得られることを発見した。ヨウ素分子の吸収スペクトルターゲットとし、PPLN 前の分散を調整して最も効率的に波長500 nm 帯のコムを発生させる条件を探った。3次高調波の光コムを用いてヨウ素分子の吸収線観測に成功した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】光コム、デュアルコム、分光、ガス分析

【研究 題 目】ホタルルシフェリン生合成経路の解明とキラルフリー発光システムへの応用

【研究代表者】加藤 太郎（鹿児島大学理工学域理学系）

【研究担当者】丹羽 一樹（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

蛍の光は生物発光反応と言われる酵素化学反応の結果放出され、発光する基質分子はルシフェリンと呼ばれている。このルシフェリンがホタル体内で生合成される化学メカニズムに関して産総研では、光学反転反応が最終段階の反応として働いていることを世界に先駆けて解明してきた。本研究では、この光学反転反応の生化学的解析を行い、さらにこれを応用した発光反応系の構築を目的としている。

ルシフェリンの光学反転反応では、CoA - チオエステラーゼ (CTE) と呼ばれる加水分解酵素が機能していることがこれまでの研究で明らかにされている。そこで、次世代シーケンサによるゲンジボタルのゲノム解析結果をもとにリコンビナントのチオエステラーゼ酵素を調製し、活性試験を行った。また CTE として大腸菌の TESB およびヒトの ACOT 酵素群についても同様に酵素サンプルの調整を行った。このうち、TESB をはじめ複数の酵素に発光反応系に使用可能な酵素が見出されたが、ホタル由来のリコンビナント発現物には活性が見られなかった。

そこで、発光反応系としての効果が比較的大きかった TESB を用いて、反応メカニズムの解析を行い、ホタルからの酵素探索の指標を得ることとした。その結果、TESB は発光基質 D - ルシフェリンよりも、その光学異性体である L - ルシフェリンを生合成していることが明らかとなった。これについて、BBA-General Subject 誌に論文発表を行った。

以上のように、ルシフェリンの光学反転反応を応用した発光反応系の構築には成功したが、ホタル自身はほぼ100%の効率で光学変換が可能である。今後は、ホタル自身の CTE の探索を引き続き進めていく。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】生物発光、ルシフェリン、生合成、光学異性体、ホタル

【研究 題 目】非接触電力伝送の高効率化に向けた電力計測技術の確立

【研究代表者】桐生 昭吾（東京都市大学工学部）

【研究担当者】堂前 篤志（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

共鳴型非接触電力伝送技術が実用化されつつあり、電気自動車の充電、携帯電話の充電、体内埋め込み型医用機器への電力伝送などに応用が期待されている。それらの機器開発には高精度な電力測定器が必要となる。現在、低周波領域では高精度な電力計が存在し、高周波領域で

はインピーダンス整合を前提とした電力計が存在する。しかしながら、上記の中周波領域では、整合を前提としない場合、浮遊インダクタンスや浮遊容量により高精度な電力計測が困難であった。本研究では、高精度小型チップ抵抗など最新の部品技術を用い整合を前提としない中周波領域での高精度電力計測技術の確立を目的とした研究を行う。

産総研における研究分担として、今年度は電力伝送に使用するコイルの検討を行った。印刷技術を用いて、透明プラスチックフィルム（125 μm 厚、サイズ40 mm \times 60mm）上に銀ナノ粒子インクによって平面コイルを試作した。その電気的特性（インダクタンス値の周波数特性、損失成分）の評価を行った。また、試作したコイルの実装上の課題を洗い出した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】非接触電力伝送、電力計測

【研究 題 目】浮遊法と放射率フリーの温度計測法を融合した完全非接触熱物性計測法の構築

【研究代表者】小島 秀和（弘前大学北日本新エネルギー研究所）

【研究担当者】山田 善郎、笹嶋 尚彦、山口 祐（物理計測標準研究部門）（常勤職員3名）

【研究 内 容】

铸造や溶接など融体を經由する材料プロセスの最適化条件の探索に向けた数値シミュレーションにおける入力データとして、高温融体の正確な熱物性情報が不可欠である。電磁浮遊法を活用した非接触超高温融体熱物性計測システムによって、高温熱物性計測が可能となったが、対象の温度をいかに正確に測定するかが重要な課題である。本研究では、産総研で開発中の2波長反射率比温度測定法と、電磁浮遊法を組み合わせることで、非接触かつ放射率フリーの高温融体の温度測定法を構築することを目的とする。

平成28年度は、産総研においては、反射率比測定に用いる2波長サーモグラフィの測定波長の最適化、開口絞りの追加などの改良を進めた他、レーザー光源による補助光照射光学系を試作した。さらに、東北大学において実施された球状金属における測定実験結果の検討を行い、2波長反射率比計算に用いる実効波長の必要性が確認された。そこで、測定に用いた放射温度計（0.9/1.35/1.55 μm ）の測定波長を調べるため、可視・近赤外域の分光応答度測定を実施した。今後は、当該手法を電磁浮遊液滴に適用し、その不確かさを評価するとともに、これまでの融点を基準とした放射率測定データとの比較・検証を進める予定である。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】温度計測、放射率、電磁浮遊、非接触、金属融体

【研究 題 目】CTR 散乱による表面・界面3D 原子イメージング

【研究代表者】若林 裕助（大阪大学 基礎工学研究科）

【研究担当者】白澤 徹郎（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

表面は触媒反応や電気化学反応の場であり、界面はトランジスタに代表される電子デバイスの機能を生じる場である。近年の金属酸化物の成膜技術の向上、あるいは有機半導体を利用した発光デバイスの実用化等に伴い、様々な物質の表面・界面の物性が応用上も重要になっている。多様な応用を持つ表面・界面の性質を微視的に理解するため、原子分解能、あるいは分極が観測できるピコメートル分解能の構造観測の必要性が高まってきた。また、特に触媒研究などで問題となるのが、非平衡・非定常な状況の理解である。そのため表面構造を、時間分解能を持って観測する事が求められているが、その実現は極めて難しい。本研究ではこれらのニーズに応えるために、X 線 CTR（結晶トランケーションロッド）散乱法の高速度測定法の開発及び、X 線 CTR 散乱法による表面・界面原子のイメージングに立脚した物性研究を行い、様々な表面・界面現象の理解を進めることを目的としている。本年度は二酸化チタン表面の光誘起現象を調べた。二酸化チタンは代表的な光触媒であり、紫外線照射に伴い疎水性から親水性に表面の性質が変わることが知られている。濡れ性変化の原因として2つの説があった。光触媒効果による疎水性汚染物の分解という説と、二酸化チタン表面構造の変化による性質変化という説である。この起源を探るため、紫外線照射に伴う表面構造変化を時分割 CTR 散乱測定で調べた。この結果、濡れ性変化とともに原子レベルの表面構造変化が生じることが明らかになり、濡れ性変化のメカニズムとして、紫外線照射によって表面に親水性の水酸基が増加するモデルを提案することができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X 線 CTR 散乱、二酸化チタン、光誘起濡れ性変化

【研究 題 目】大強度パルス及び連続中性子を駆使した革新的元素・同位体分析技術の開発と応用・評価

【研究代表者】海老原 充（首都大学東京理工学研究科）

【研究担当者】三浦 勉（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究は大強度パルス中性子源 J-PARC の物質・生命科学施設に設置した中性子核反応測定装置（以下、ANRRI と略称する）と大強度連続中性子源 JRR-3原子炉に設置した多重即発ガンマ線検出装置（以下、MPGA と略称する）を用いて、新しい元素分析法の開

発を行い、宇宙・地球化学的試料、環境試料、標準物質のそれぞれに適用して分析法としての特徴を明らかにすることを目的とする。JRR-3は28年度も運転休止が継続され、JRR-3連続中性子ビームを用いた研究を進めることができなかった。一方、J-PARC はビーム強度を低減させたものの継続的な運転が行われたため、J-PARC-ANNRI による研究を進めることができた。J-PARC-ANNRI は中性子飛行時間法 (TOF) と即発 γ 線分析法 (PGA)を融合させた TOF-PGA 法だけでなく、PGA 測定も可能である。そこで PGA による金属中の水素の定量を行い、その分析能力を評価した。これは高純度金属の純度を決定するために主成分以外の元素濃度を測定し、定量結果の総和を100 %から差し引く差数法への応用を指向したものである。試料として、NIST SRM 2453a Hydrogen in Titanium alloy を用いた。NIST SRM 2453a の認証値は水素の質量分率として126.8 mg/kg \pm 2.5 mg/kg である。認証値は NIST の PGA 装置による測定値と不活性ガス融解熱伝導度検出法で決定されている。J-PARC での PGA では、水素のピークは確認でき、水素の検量線は得られたものの計数統計に基づくばらつきが20 %を越えていた。この原因は高速中性子の遮蔽として用いた同位体濃縮 ^6LiH からのバックグラウンド γ 線であり、水素の定量限界の改善には中性子遮蔽を置き換える必要があることがわかった。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】中性子放射化分析、加速器中性子、多重ガンマ線検出法

【研究 題目】シリカ膜のナノチューニングと超薄膜製膜プロセスの確立

【研究代表者】都留 稔了 (広島大学工学研究科)

【研究担当者】伊藤 賢志 (物理計測標準研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内容】

分子設計したアルコキシシランを出発原料として、シリカネットワークの間隙サイズを分子選択透過性の分離原理とする Molecular-Net をナノチューニングし、超薄膜アモルファスシリカ膜の製膜プロセスを確立し、化学プロセスの革新的分離を可能とするため、実用化を念頭においた超薄膜製膜の学理を明らかにするだけでなく、Molecular-Net 中の透過分子の移動現象を明らかにする。これにより従来の10倍以上の透過速度を有する分離膜を開発するとともに、分離困難な各種気体および液体分離プロセスの省エネルギー分離を可能とすることを目標とする。

本年度は蒸気吸着エリブソメトリー (EP) と陽電子寿命法 (PALS) によるシリカ系超薄膜及びその素材の評価を進めるとともに、両手法の高信頼性化に資するため、ナノ構造の異なるプラズマ化学気相堆積薄膜を製作し、それら薄膜の細孔構造を解析した。その結果、EP

ではプローブ分子に依存した吸着パラメータが観測できたとともに、PALS では EP では見えなかった閉鎖マイクロ孔が観測できた。さらに陽電子寿命運動量相関測定を実施し、分離膜部材への適用性を実証した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】陽電子消滅、吸着偏光解析、ナノ細孔、分離膜

【研究 題目】表面 X 線回折直接法を用いた精密構造解析による超薄膜化に伴う新規物性発現の解明

【研究代表者】高橋 敏男 (東京学芸大学教育学部)

【研究担当者】白澤 徹郎 (物理計測標準研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内容】

近年、バルクで着目されている物質を基板結晶上で薄膜成長するとバルクとは異なる電子特性をもつようになることが広く認識されるようになり、トポロジカル絶縁体や超伝導体などが注目されている。これは、表面や界面の存在により薄膜が格子ひずみを生じバルクとは異なる原子配列とすることに起因しているからである。本研究では、まず第1に、典型的なトポロジカル絶縁体である Bi_2Se_3 がある臨界膜厚以下では、トポロジカル絶縁体ではなくなることを、我々が開発してきた表面 X 線回折法を駆使して原子層分解でその構造を精密解析し、構造の観点からトポロジカル絶縁性を発現する起源を解明する。次に、Fe 系超伝導体である FeSe は、 SrTiO_3 基板上に単層成長した場合には、超伝導転移温度がバルクでは10 K 程度なのに対して65 K と極めて高温になることで注目を集めており、本研究においては FeSe 層および基板の表面層の構造を精密解析し、超伝導転移温度が高くなる機構を構造変化を通して明らかにする。本年度は、 Bi_2Se_3 超薄膜および FeSe 超薄膜を製作してその場で表面 X 線回折測定するための分子線エピタキシー装置の整備を行った。この装置を用いて Si(111)基板上に Bi を1原子層蒸着した $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Bi 構造の上に成長させた Bi_2Se_3 超薄膜 (膜厚1、2、3QL) を作製し、これら試料の表面 X 線回折データを取得した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】表面 X 線回折、超薄膜、トポロジカル絶縁体、超伝導薄膜

【研究 題目】繊維表面に形成させた高分子鎖の柔軟な立体構造を利用する Sr-90分析材料の開発

【研究代表者】浅井 志保 (日本原子力研究開発機構原子力科学研究部門)

【研究担当者】大畑 昌輝 (物理計測標準研究部門)
(常勤職員1名)

【研究 内容】

福島第一原子力発電所の事故を受け、喫緊の課題となっている放射性廃棄物の処理処分を進めるには、放射性核種の分析が不可欠である。安全評価対象核種のうち、 ^{90}Sr は ^{137}Cs と同様に発生量が多く、高濃度試料の分析ニーズが高まっている。しかしながら、現行法では煩雑な分析前処理操作が必要であり、1回の分析サイクルに1カ月程度を要することから、緊急時にも対応できる迅速分析法の開発が求められている。

本研究では、 ^{90}Sr 分析の迅速化を目的とし、クラウンエーテル誘導体を担持した繊維状の分析用固相抽出材料を作製した（以下、Sr 吸着繊維と呼ぶ）。Sr 吸着繊維の作製には、高分子表面改質法の1つであるグラフト重合を利用した。グラフト重合によって、繊維表面に疎水性の高分子鎖を結合すると、疎水性の界面が形成され、クラウンエーテル誘導体を担持できるようになる。

本研究で作製した Sr 吸着繊維は、実用上十分な Sr 吸着量を有し、かつ吸着速度は市販材料の100倍を超えた。しかしながら、吸着した Sr の定量的な溶出が困難であったので、Sr を溶出せずに Sr 吸着繊維を直接測定することが可能な固体試料の高感度・直接元素分析法であるレーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法（LA-ICP-MS）の適用を検討した。天然の同位体組成をもつ Sr 標準液中の Sr を吸着させた Sr 吸着繊維の LA-ICP-MS 測定を行ったところ、同位体存在度が低い ^{84}Sr 以外の Sr 同位体では、十分に定量可能な計数率が得られたことから、溶出せずに直接測定できる見込みが示された。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】ストロンチウム、グラフト重合法、繊維、クラウンエーテル、レーザーアブレーション

【研究 題 目】高温高湿度の高度利用のための湿度測定法と精度評価技術に関する研究

【研究代表者】伊與田 浩志（大阪市立大学工学研究科）

【研究担当者】阿部 恒（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

高温高湿度条件（大気圧の過熱水蒸気を含む）は、近年、樹脂材料の加速耐久試験、農・水産物の乾燥や加工工程、塗料の硬化過程や樹脂の熱処理などで利用が進んでいる。乾湿球湿度計は、このような利用条件下においても原理的に湿度測定が可能であり、簡便で安価な測定法としての利用技術の確立が期待される。本研究は、 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上、水蒸気モル分率0.01（室内空気）～1.0（過熱水蒸気）において、同湿度計の原理を利用した湿度測定装置の開発と精度及び誤差要因の検証、そのための湿度発生装置の開発を目的とする。

平成28年度は試作装置の改良を行ったうえで、その不確かさ解析を行った。複数の不確かさ要因の寄与率に

ついて、理論的考察に基づいた予測との比較を行った。本研究では、分流法を改良した湿度発生方式として、飽和槽の代わりに小型ボイラーを用いた混合法を提案しているが、そこで重要となる水蒸気を含む気体の流量測定法についても検討を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】乾湿計、高湿度、信頼性、トレーサビリティ

【研究 題 目】遮熱コーティングの界面熱抵抗評価方法の開発

【研究代表者】高橋 智（首都大学東京理工学研究科）

【研究担当者】阿子島 めぐみ（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

高温部品を被覆する遮熱コーティング1047グ（Thermal Barrier Coating、以下TBC）では、熱物性値のニーズが高い。レーザーフラッシュ法による熱拡散率測定方法において多層モデルを適用して基材から剥がさずに TBC を構成するセラミックトップコート（TC）、ボンドコート（BC）の熱拡散率を評価する方法が実用化され、標準化された。この方法を発展させ、TBC を構成するセラミックトップコート（TC）の熱拡散率と TC/ボンドコート（BC）界面熱抵抗を評価する実用的な方法を考案し、TC 組織や TC/BC 界面に生成する熱成長酸化物（TGO）を調べ、熱時効温度や時間ならびに熱サイクル数の増加に伴う熱拡散率や界面熱抵抗の変化を TBC の組織変化と関連付けて究明することを目的とした研究である。

本年度は、金属基材に TBC を施工した多層試料を熱処理し、厚さを削って変化させながら見かけの熱拡散率を測定し、その結果から界面熱抵抗の評価を試行した。また、TC 単層試料を用いて、板厚方向と面方向それぞれの組織観察と熱拡散率測定を行い、構造と熱物性の異方性の関係を議論した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】遮熱コーティング、熱拡散率、熱伝導率、界面熱抵抗、レーザーフラッシュ法、多層解析、ガスタービン

【研究 題 目】サハリン島西方沖タートルトラフの天然ガスハイドレート生成環境の解明

【研究代表者】八久保 晶弘（北見工業大学工学部）

【研究担当者】竹谷 敏（物理計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

新たな天然ガス資源として期待され、地球上の海底下や永久凍土地帯等に天然ガスハイドレートの存在が確認されている。音波・音響探索により海底表層のガスチムニーや海底から立ち上がるガスプルームを指標とした海

底堆積物の採取により、オホーツク海や日本海北部海域に海底表層型の天然ガスハイドレートの存在が確認されている。本研究では、粉末 X 線回折法と位相コントラスト X 線イメージング法を用いた天然ガスハイドレートの測定手法、結晶解析手法を確立する。天然に含まれるメタン以外の炭化水素にも焦点をあて、これらの成分が天然ガスハイドレートの結晶構造安定性に及ぼす影響を理解することを目的としている。

今年度は、天然における天然ガスハイドレートの異なる結晶構造のガスハイドレートの存在理由の解明に向け、粉末 X 線回折実験を行った。人工的に生成したメタン+エタン混合ガスハイドレートの分解実験の結果、構造 I 型のガスハイドレート結晶が分解すると同時に、エタンが濃縮された構造 II 型のガスハイドレート結晶が生成されることが確認された。この結果をもとに、天然環境下における天然ガスハイドレートの結晶構造安定性についての検討を行った。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】X 線構造解析、包接化合物、ガス貯蔵

【研究 題 目】陽電子消滅による結晶特異構造のキャリア捕獲・散乱ダイナミックスの評価

【研究代表者】上殿 明良（筑波大学数理物質系）

【研究担当者】大島 永康（分析計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

陽電子消滅を用いて、特異構造の光学特性や電気的特性、また、特異構造中の電界が与える影響を明らかにし、拡張結晶学の構築に寄与することを目標に、モデル試料を用いた単色エネルギー（パルス）可変陽電子ビームを用いた欠陥評価、ならびに、試料測定用の陽電子マイクロビームシステムの改良研究を進めている。

本年度は、陽電子マイクロビーム光学系の改良を重点的にすすめ、レンズの電圧や電流の変動、外部磁場の変動、光学レンズの性能を調査し、合理的解決策を検討した。具体的には、既存システムの制御回路図を作成し、低ノイズ化の改良点を検討した。その結果、電極用電圧は数 V 程度で変動しており、ビームスポット径数十マイクロメートルの変動を引き起こす主要因と推定された。

電極用電圧を安定化させる対策として、アナログ出力回路と高圧用電源モジュール電源の別機種への交換、絶縁トランスのノイズフィルタリング強化、グランドループ配線の解消する方策を検討した。また、レンズ用電流電源を、スイッチング方式から同等品のドロップ方式に変えたことで、リップルノイズを半減させた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】陽電子消滅、欠陥評価、陽電子ビーム光学

【研究 題 目】フェムト秒電子バンチの6D 位相空間分

布計測可能な単一ショット非破壊モニターの開発

【研究代表者】黒田 隆之助（分析計測標準研究部門）

【研究担当者】黒田 隆之助、平 義隆
（常勤職員2名）

【研究 内 容】

本研究では、理化学研究所が実施している極短電子バンチを10 fs の時間分解能で計測する電子ビームモニター開発に産総研が参画している。

今年度は、昨年度に引き続き、産総研 S バンド小型リニアックにおいて、フォトカソード RF 電子銃からの高輝度な電子ビームを S バンド帯の定在波型加速管により追加速し、アクロマティックアークセクションにおける磁気パルス圧縮器により圧縮し、キロアンペア級のピーク電流量の電子パルスを生成した。更に、この高輝度・超短パルス電子ビームを各種ターゲット材料に集光照射することで各種のコヒーレント放射光を生成し、特性計測を行った。テラヘルツの検出には、帯域制限されるショットキーダイオードだけでなく、テラヘルツカメラや広帯域検波器を用いた。特に、コヒーレント遷移放射光では、これらの検出器によるテラヘルツ波の特性計測とともに、EO 結晶を用いた EO サンプリングによるテラヘルツ検出法の開発も進め、最適な計測手法の検討を進めた。コヒーレント回折放射についても、各種スリットターゲットを用いた生成実験を進め、遷移放射との特性の違いを観測することができた。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】電子ビーム診断、コヒーレント放射、回折放射、EO サンプリング

【研究 題 目】超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

【研究代表者】大野 雅史（東京大学）

【研究担当者】清水 森人（分析計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

今年度は大規模計算システムを構築し、より高精度なブラッグピーク付近の粒子線線量分布の計算の実施に取り組んだ。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】粒子線、ブラッグピーク、モンテカルロ

【研究 題 目】超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

【研究代表者】大野 雅史（東京大学）

【研究担当者】黒澤 忠弘（分析計測標準研究部門）
（常勤職員1名）

【研究 内 容】

重粒子線がん治療において被ばくを最小限に抑えつつ高い治療効果を得るためには、体内の吸収線量分布の正

確な把握が必要不可欠である。本研究では極めて高いエネルギー弁別機能を有する超伝導転移端センサ (TES) とグラフィト製重粒子吸収体を組み合わせたマイクロカロリメータを開発し、従来の電離箱では到達し得ない優れた精度を有する重粒子線絶対線量標準を確立する。また重粒子線 TES 検出システムを水中に設置し、炭素線が水を通ずる距離を変化させ、水中における重粒子線の LET (線エネルギー付与) 深度分布を μm オーダーで測定することを目標とする。H28年度はグラフィト製重粒子吸収体の HIMAC での実験に携わった。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 超伝導転移端センサ、重粒子線

〔研究 題 目〕 超伝導転移端センサが実現する粒子線治療用線量標準の高精度化

〔研究代表者〕 佐藤 泰 (分析計測標準研究部門)

〔研究担当者〕 大野 雅史、松崎 浩之 (東京大学)、松藤 成弘、坂間 誠 (放射線医学総合研究所)、大谷 知行 (理化学研究所)、浮辺 雅宏、神代 暁 (ナノエレクトロニクス研究部門)、清水 森人、黒澤 忠弘、佐藤 泰 (分析計測標準研究部門) (常勤職員5名、他5名)

〔研究 内 容〕

重粒子線癌治療において被曝を最小限に抑えつつ高い治療効果を得るには、体内の吸収線量分布の正確な把握が必要不可欠である。本研究では極めて高いエネルギー弁別性能を有する超伝導転移端センサ (TES) とグラフィト製重粒子線吸収体を組み合わせたマイクロカロリメータを開発し、従来の電離箱測定法では到達しえない優れた精度を有する重粒子線絶対線量標準を確立する。さらにこの重粒子線 TES 検出システムを水ファントム中に設置し、炭素線が水を通ずる距離を変化させ、水中での LET (線エネルギー付与) 深度分布を μm オーダーにて測定する。これにより鋭いブラッグピーク形状の高精度な検出のみならず、核破砕片によるエネルギー付与も正確に把握しうる。これらの知見・データは高精度な吸収線量予測に必須であり、今後主流になると考えられるスポットスキニング照射での治療精度向上にも大いに役立つものと期待される。

核破砕片によるエネルギー付与に関する基礎的データを収集するため、放射性物質を密封した放射線吸収体を超伝導転移端センサに接合し、放射線吸収体内で発生する放射線を測定することが考えられる。このため、放射性物質を密封した放射線吸収体を製造する装置を設計した。本装置は、放射性物質を内包した金属箔を冷間鍛造し放射性物質を金属箔内に分散させるものである。据込と呼ばれる、加圧軸に対して直角の方向に材料が進展し、断面積が増大する手法を用いることにより、金属と放射性物質の混合が促進されるものである。

今後、本装置を製造し、実際に、放射性物質を密封した放射線吸収体を製造して、放射線の測定を行う予定である。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 癌治療、重粒子線、超伝導転移端センサ、放射線標準、グラフィト

〔研究 題 目〕 リニアック X 線による新たな電離箱線量計校正法と水吸収線量計測に関する研究

〔研究代表者〕 齋藤 秀敏 (首都大学東京)

〔研究担当者〕 清水 森人 (分析計測標準研究部門) (常勤職員1名)

〔研究 内 容〕

医療現場における水吸収線量評価の不確かさ改善を図るため、基準電離箱線量計となる電離箱の線質変換係数などの特性を評価し、より効率の良い標準供給方法を確立する。

今年度は $\text{Co}\gamma$ 線水吸収線量標準、高エネルギー光子線水吸収線量標準を使って、電離箱線量計の高エネルギー光子線に対する感度補正係数である線質変換係数の評価及びモンテカルロシミュレーションによる導出に取り組んだ。

また、標準供給を円滑にするための電離箱と電位計の分離校正の開始に向け、その際のプロトコルとなるガイドラインの作成に取り組んだ。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 高エネルギー光子線、リニアック、水吸収線量、線質変換係数

〔研究 題 目〕 a-Si:H/c-Si ヘテロ接合界面近傍のポイド構造解明

〔研究代表者〕 松木 伸行 (神奈川大学工学部)

〔研究担当者〕 大島 永康、オローク・ブライアン (分析計測標準研究部門) (常勤職員2名)

〔研究 内 容〕

水素化アモルファスシリコン/結晶シリコン (a-Si:H/c-Si) ヘテロ接合太陽電池は Si 系太陽電池の中でも 25.6 % の最高変換効率を有する有望な構造の太陽電池であるが、その一方で、結晶 Si 表面欠陥を終端キャリア再結合を抑制するために形成されている厚さ 10 ナノメートル程度の a-Si:H 薄膜中で生成する SiH_2 結合の存在が太陽電池特性の向上を阻害するというジレンマも抱えている。したがって、a-Si:H 薄膜中の SiH_2 生成過程を追究することが変換効率の向上にとっての重要な課題である。最近、 SiH_2 結合は a-Si:H ネットワーク内のポイドと共存していることが明らかとなった。すなわち、 SiH_2 結合を伴うポイドそのもののサイズや密度分布の詳細を解明することが、変換効率向上への重要な知見を与える。

本研究は、誘電関数虚数部最大値の低下（光吸収の低下）と、陽電子消滅測定によるボイド評価結果との相関性を確認する。本年度は、Si 基板上に種々の条件で製膜した a-Si:H における陽電子寿命（ボイドサイズ）産総研において、入射深さ可変の陽電子ビームを用いて計測データを解析した。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 陽電子ビーム、ボイド、太陽電池

〔研究 題目〕 a-Si:H/c-Si ヘテロ接合界面近傍のボイド構造解明

〔研究代表者〕 松木 伸行（神奈川大学工学部）

〔研究担当者〕 オローク・ブライアン、大島 永康（分析計測標準研究部門）（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

水素化アモルファスシリコン／結晶シリコン（a-Si:H/c-Si）ヘテロ接合太陽電池は25.6 %の高変換効率が達成されている有望な太陽電池であるが、a-Si:H の構造内に微小ボイド欠陥構造が形成されるためにさらなる変換効率向上が妨げられている。本研究では、低速陽電子ビームを用いて a-Si:H/c-Si ヘテロ接合構造試料の陽電子寿命測定を行った。

共同研究者が行っていた分光エリプソメトリーと陽電子寿命測定の結果では、a-Si:H/c-Si ヘテロ構造における少数キャリア寿命が a-Si:H 膜厚10 nm 以下で急激に短寿命化する一般的傾向とも合致し、界面近傍 a-Si:H 構造の特異性を明瞭に表していることがわかった。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 水素化アモルファスシリコン、ヘテロ接合太陽電池、陽電子寿命測定

〔研究 題目〕 針葉樹型カーボンナノ構造体を用いた超小型タイミング X 線源による分光観測の革新

〔研究代表者〕 加藤 英俊（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 加藤 英俊（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

衛星に搭載される X 線検出器の較正用線源として、産総研の針葉樹型カーボンナノ構造体製作技術と理研のマイクロパターン電子増幅フォイル製作技術を組み合わせ、ナノ秒で ON/OFF を制御できる超小型 X 線源を製作した。

針葉樹型カーボンナノ構造体冷陰極電子源を産総研で成膜し、理研で製作した電子増幅フォイル（GEM）を組み合わせ、X 線発生装置の特性調査を行った。GEM は厚さ100 μm の絶縁体の片面に銅極板が付いており、表面には規則的な $\phi 300 \mu\text{m}$ の穴をもつ。針葉樹型カーボンナノ構造体に GEM を被せて銅極板に100 V を印加すると構造体に約1 MV/m の電界が印加され、電子電界放出現象によって電子を放出させることが出来る。放出

された電子を加速してターゲットに衝突させることで X 線の発生を行う。GEM に印加する電圧の ON/OFF を行い、パルス幅600 ns、印加電圧300 V において X 線の発生を確認した。また、DC 電圧にて長時間動作試験の結果、標準的な衛星寿命（2年）運用する際に発生させる必要のある総電荷量618 mC とほぼ同程度の793 mC を引き出すことができ、総電荷量という観点からは、衛星での運用に十分耐えるということがわかった。また本研究開発による X 線源は、医療機器や非破壊検査などの産業への応用、宇宙空間における X 線通信などの応用が期待できる。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 カーボンナノ構造体、電子増幅フォイル、小型 X 線源

〔研究 題目〕 多結晶効果の高効率・高精度解明を実現するコンビナトリアル型照射損傷研究の新提案

〔研究代表者〕 鎌田 康寛（岩手大学理工学部）

〔研究担当者〕 大島 永康（分析計測標準研究部門）（常勤職員1名）

〔研究 内容〕

本研究は、原発機器構造物の照射環境下での経年劣化現象の機構解明を効率的に行うための“コンビナトリアル法”を取り入れた非破壊評価技術を開発するものである。コンビナトリアル法とは試料作製と特性評価を高効率・高精度に行う強力な実験手法で、元素濃度・損傷度等を多条件含む試料を1度に作製し、走査型プローブによる非破壊特性評価を行うことで、極めて効率良くデータを取得できる。さらに同時作製・評価により実験値のばらつきが低減される。本研究では添加元素の濃度勾配をもたせたモデル金属試料を、電子顕微鏡と陽電子マイクロビーム等を複合的に用いて特性評価を実施する計画である。このなかで、産総研では、陽電子マイクロビームを用いて非破壊的に原子空孔評価を評価する方法を開発し、実際にモデル試料に適用する実験をすすめる。

本年度は、昨年につき、直径数ミリメートル程度の試料内で、空間的に組成濃度が変化するモデル試料の準備をすすめた。陽電子マイクロビーム法の分析深さ、試料準備時に導入される加工変質層の欠陥の影響をフィードバックして、試料準備法について検討を行った。

〔領 域 名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 陽電子マイクロビーム、原子空孔、コンビナトリアル法

〔研究 題目〕 NRF を利用した同位体3D イメージングに関する基礎研究

〔研究代表者〕 豊川 弘之（分析計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 豊川 弘之、平 義隆（常勤職員2名）

〔研究 内容〕

本研究では、同位体によってそのエネルギー準位が異なる核共鳴蛍光散乱（Nuclear Resonance Fluorescence: NRF）とガンマ線コンピュータ・トモグラフィ（CT）を組み合わせた新しい原理による同位体の3次元イメージングを行うことを目標としている。エネルギーメガ電子ボルト領域の準単色レーザーコンプトン散乱（Laser Compton scattering: LCS）ガンマ線を対象物に照射し NRF ガンマ線を計測する。ガンマ線の照射位置や角度を変えて NRF ガンマ線と透過ガンマ線を同時に測定する事で原理的には任意の同位体の3次元分布が測定可能である。このために、同位体3次元イメージング測定システムを開発し、分子科学研究所の放射光施設 UVSOR-III において LCS ガンマ線の開発を行い、実証実験と空間分解能などの性能評価までを最終的に行う。

平成28年度は、これまでに開発した LCS ガンマ線を用いて、NRF ガンマ線を用いた CT による元素イメージング実験を実施し、金属容器内に封入したサンプルの特定の同位体を可視化することに成功した。

【領 域 名】計量標準総合センター

【キーワード】原子核共鳴蛍光散乱、レーザーコンプトン散乱ガンマ線、同位体イメージング

【研究 題 目】マイクロバブルとアルカリ水による代替フロン省エネルギー処理システムの開発

【研究代表者】忽那 周三（環境管理研究部門）

【研究担当者】忽那 周三、高橋 正好、中塚 涼（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

代替フロンのうち、ヒドロクロロフルオロカーボン類（HCFCs）は、成層圏オゾン層保護のため2020年または2030年までに放出量を全廃することが取り決められている。段階的規制が既に開始されており、使用済みのHCFCs は回収され、通常焼却処理されている。一方、HCFC-22のようにアルカリ水中で比較的容易に加水分解（OH⁻反応）する HCFC がある。しかし、HCFCs はアルカリ水に溶けにくいいため、溶ける過程が律速になり、通常の溶解方法では HCFC-22等のみかけの反応速度は遅い。本研究では、マイクロバブル技術を用いて、HCFC-22等が効率よくアルカリ水に溶ける条件をみつけることにより、HCFC-22等を加水分解処理できる、小型の省エネルギー処理システムの開発を目的とする。

28年度は、HCFC-22を含む試料ガスを水または水酸化ナトリウム水溶液にマイクロバブルとして導入し、HCFC-22のアルカリ加水分解におけるマイクロバブル効果を調べた。HCFC-22除去率は、内部標準法により定量した。水を用いた場合 HCFC-22が加水分解しないことを確認するとともに、60-70℃において30 mM および200 mM の水酸化ナトリウム水溶液を用いた場合、

HCFC-22が加水分解することを確認した。これら加水分解が反応律速で進行すると仮定すると、試料ガスの水溶液中滞留時間はいずれも約50 s と計算された。滞留時間が等しいことから、マイクロバブルを用いた場合、HCFC-22のアルカリ加水分解は、HCFC-22が効率よくアルカリ水に溶けるため、上記反応条件下で溶ける過程が律速にならないことがわかった。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】ヒドロクロロフルオロカーボン、加水分解、溶解速度、内部標準

【研究 題 目】ロボット型クリーナーを活用した屋内環境ロケーションシステムの開発

【代表研究者】野田 和俊（環境管理研究部門）

【研究担当者】野田 和俊、愛澤 秀信（常勤職員2名）

【研究 内 容】

ロボット型クリーナーを活用し、住宅など屋内施設の各種環境情報をワイヤレス送信可能な内蔵式センサユニットで検知し、そのデータを離れた箇所計測・見える化することによって、異常場所を判断可能とする簡便なスマートロケーションシステムの開発を行った。

ロボット型クリーナーを利用したパッシブタイプの室内環境測定の有効性を調査し、漏洩物質検知の可能性が示された。メーカーを問わず本システム活用の可能性が示された。

検知システムの特性としては、ある程度の吸引量（力）で検知可能であり、強力なパワーは不要とも考えられる。また、漏洩物質（液体）が気化しやすい状況を作製するため、ブラシや加熱等の工夫も必要である。

【領 域 名】エネルギー・環境

【キーワード】センサ、水晶振動子、IoT、ロボット、室内環境

【研究 題 目】水処理膜ファウリング迅速検知システムの開発

【研究代表者】愛澤 秀信（環境管理研究部門）

【研究担当者】稲葉 知大（常勤職員2名）

【研究 内 容】

膜分離活性汚泥法（MBR: Membrane Bioreactor）は、下排水を生物活性で処理、膜ろ過することで迅速かつ高品質な処理水を得られることから、世界中で導入が進んでいる。

しかし、MBR は、膜ろ過の過程で膜閉塞（ファウリング）が発生する。ファウリングは大きく、活性汚泥中の懸濁物質などによるものと、微生物が形成するバイオフィームによるものに分けられる。前者は洗浄で回復するが、後者は初期段階で洗浄除去しなければ、頻繁にファウリングを引き起こす。バイオフィーム原因であるバイオフィーム形成を初期段階で検知、除去できれば、バイオフィーム抑制が可能となる。本研究では、迅

速なバイオフィアウリング検知システムを開発するため、共焦点顕微鏡と水晶振動子センサを融合し、センサ上のバイオフィルム形成過程のリアルタイム観察によって、バイオフィルム形成とセンサの周波数変化の相関性調査を目的とした。バイオフィルム形成と周波数変化の相関性を明らかにすることで、水処理膜面のバイオフィルム形成メカニズムと迅速検知法を確立する。迅速なバイオフィルム形成が検知出来れば、バイオフィアウリングを未然に防止し、低コストで高効率な水処理が可能となる。

今年度は、膜材料を被覆した水晶振動子センサでMBR実処理水を循環通水したときの周波数変化を測定した。処理水循環から5時間ほどで物質吸着と思われる周波数減少が生じた。この減少は1日おきに増加するものの、全体としては減少傾向を示した。本検討では、センサ上で経時的な不可逆的積層物の構築を周波数変化でモニタリングできることを明らかにした。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 水処理、膜分離活性汚泥法、膜ファウリング、水晶振動子、バイオフィルム

【研究 題目】 金属資源循環システムの環境影響評価に向けた基礎データの確立

【研究代表者】 畑山 博樹（安全科学研究部門）

【研究担当者】 畑山 博樹、田原 聖隆
（常勤職員2名）

【研究 内容】

金属資源の持続的な利用は、社会インフラの形成から先端技術の開発と普及に至るまでを支えるにおいて不可欠と考えられている。その一方で、採鉱、精錬過程における環境汚染やエネルギー消費、資源枯渇等の環境影響が指摘されている。しかしながら、従来のライフサイクルアセスメントでは、鉄、アルミニウム等の一部のベースメタルを除いてインベントリデータの収集が不十分である。従って、資源循環システムの構築によって得られる環境影響や資源リスクの低減効果を評価するためのデータの整備が必要である。

今年度はレアメタル等15鉱種を対象として、現状のインベントリデータの収集状況を調査した。調査対象は、ecoinvent（欧州）とIDEA（日本）の2つのデータベースとした。その結果、既存のデータベースにおいては、リチウム等6種についてデータが存在する一方で情報の透明性に疑問があることが、またディスプレイウム、テルビウムについてはデータ自体が作成されていないことが明らかになった。そこで、これらの金属についてプロセスデータを文献等から収集し、IDEAへの実装を可能とした。

【領 域 名】 エネルギー・環境

【キーワード】 ライフサイクルアセスメント、インベントリデータ、レアメタル、レアアース

【研究 題目】 音によるデータフィードバックを用いた歩行機能評価システムの開発

【研究代表者】 中嶋 香奈子（人間情報研究部門）

【研究担当者】 中嶋 香奈子、佐藤 洋（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、ヒトの歩行時の足底の圧力分布変化を歩行者にリアルタイムに音で知らせることにより、正しく、かつ楽しく歩行ができるようになる歩行機能の評価システムの開発を行った。歩行動作は人々の生活に密接に関係し、身体の移動を行う上で重要な役割を担っていることから、歩行機能を評価し、継続的に管理を行うことが健康を維持する上で重要である。さらに、歩行機能には足部の状態（扁平足、外反母趾、浮き趾などの有無）が深く関与していることから、足圧の観点から解剖学的知見に基づいた歩行機能を定量的に評価することで、歩行データと連動した音のリズムに合わせ、楽しみながら自身の歩行状態を知ることができる歩行機能管理システムの確立を目指した。本システムの活用により、対象者の歩行機能の定量評価と、歩行動作に関連する正しい歩き方指導の情報提示を可能にし、歩行や足部に対して日常的に関心を高める仕組みを検討した。

平成28年度は、以下の3点を進めた。

①ヒトの歩行時足底圧特徴の定量化

ヒトの歩行動作時の足底圧の特徴を定量化し、音データに変換するための要素となる基礎的検証を行った。健康者10名を対象とし、既存の足底圧計測装置を用いて歩行計測実験を行うことで、歩行時足底圧の特徴量を評価した。

②靴型足圧計測デバイス制御用ソフトウェアの開発

足裏にかかる圧力を検知するセンサにより、ヒトの歩行特徴を定量評価可能な靴型足圧計測デバイスの制御用ソフトウェアを設計した。本ソフトウェアは、計測デバイスから得られる歩行動作時の足底部圧力値を音データに変換し、出力することで聴覚フィードバックが可能になる仕組みとした。

③正しく楽しく、歩行ができる音づくり

②において開発を行った靴型足圧計測デバイスのソフトウェアには、音を用いたデータフィードバック機能を盛り込むことで歩行データに関する対象者への新たな情報提示法を確立した。歩行データに合わせて、健康歩行に近いデータが得られた場合は協和音が発信され、歩行データが不調な場合はその状況を反映させた不協和音を用いた音等が流れる仕組みを採用した。利用者はフィードバックされた音によって楽しく、自らの歩き方を客観的に知ることができ、結果に合わせて歩行動作を修正することが可能となる。

本システムを用いることにより、人々の実際の生活に即した、より現実的な歩行機能・足部の評価を簡便に行うことが可能なよう着目した点は本研究の大きな特徴であり、計測を行ったその場で評価結果を即時にフィード

バックする機能を有することもシステムの利点である。本計画による歩行機能の新たな評価手法は、日常生活を想定した現実的な観点から、より楽しく足元からの健康管理を行うことが可能になると考える。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】歩行分析、足底圧力計測、サウンドフィードバック

【研究題目】擬似咀嚼音を用いた介護食の食感改善：音と食品との一致度が効果に及ぼす影響の検討

【研究代表者】遠藤 博史（人間情報研究部門）

【研究担当者】遠藤 博史、大森 信行（長野県工業技術総合センター）（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

咀嚼嚥下機能が低下した高齢者は、誤嚥のリスクを避けるため、非常に軟らかく調理された単調な食感の食品しか口にすることができなくなる。味気ない食事は食べることへの興味や意欲を低下させ、高齢者の栄養状態の低下を引き起こす1つの要因となっている。食感は口腔内の感覚だけでなく、咀嚼音からも得られるクロスモーダルな感覚であることが知られており、軟らかく調理された介護食の咀嚼中に、人工的に生成したザクザクという擬似的な咀嚼音を聞かせると、食品の硬さ感が増すなどの食感改善効果がある。しかし一方で、疑似咀嚼音と食品との間に違和感がある場合には音をうるさく感じてしまう。

本研究課題では、疑似咀嚼音と食品との違和感が食感改善効果に及ぼす影響について検討を行った。実験では高齢者を対象に、同じ食品を6種類の異なる疑似咀嚼音で食べ、提示された疑似咀嚼音の違和感が味や食感などに及ぼす影響は主観評価アンケートで評価した。疑似咀嚼音が聞こえることで、噛みごたえ感などのいくつかの評価項目において有意な変化が見られた。さらに音と食品との違和感に関して、違和感が小さい疑似咀嚼音ほど、大きな変化が得られる傾向があった。このことから、音と食品との違和感を減らす（一致感を高める）ことで、疑似咀嚼音の効果を高めることができる可能性が示唆された。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】介護食、食感、高齢者、咀嚼、筋電

【研究題目】心拍と動作リズムとの同期現象が生じた運動中の脳循環特性の解明—脳循環の維持・改善に効果的な運動様式の探索—、第33回 若手研究者のための健康科学研究助成

【研究代表者】菅原 順（人間情報研究部門）

【研究担当者】菅原 順、東本 翼（常勤職員1名、他1名）

【研究内容】

安静時における脳循環の低下は精神疾患や脳血管疾患の発症につながる事が報告されている。これらの疾患を予防するため、習慣的なジョギングやサイクリングなどの有酸素性運動が推奨されている。しかし、これらの運動が脳循環に及ぼす影響に関するエビデンスは十分でない。そこで本研究では、運動中の循環効率が向上すると考えられる心拍と動作リズムの同期現象（CLS: Cardiac-Loocomotor Synchronization）に着目した。

研究の目的は、CLSが生じた運動中の心臓から脳に至る一過性の循環応答を検討することとした。対象は、明らかな循環器系疾患および脳震盪等の頭部外傷のない健康な若年男性13名とし、心臓・呼吸・筋収縮のリズムが同調した際の心臓および脳循環特性を検討した。セミリカンベント式自転車エルゴメーターを用いて20分間ペダリング運動行いながら、一回拍出量（超音波法）、上腕血圧（オシオメトリック法）、橈骨動脈圧（トノメトリ法）、中大脳動脈血流速度（経頭蓋骨ドップラー法）、換気量（呼吸ガス分析器）、筋活動（筋電図）および心拍数（心電図）を記録した。現在は、記録したデータを解析し、論文執筆および報告書の作成を進めている。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】脳血流、筋ポンプ、心拍—動作リズム同調運動

【研究題目】内視鏡の使用が手術操作の精度に及ぼす影響の研究

【研究代表者】山下 樹里（人間情報研究部門）

【研究担当者】山下 樹里（常勤職員1名）

【研究内容】

近年、内視鏡手術の普及は著しいが、未熟な手技技能に起因する事故の懸念もまた増している。内視鏡手術の難しさは、内視鏡による視覚の座標等の変換（直接肉眼で見るとは視点位置・方向・拡大率などが大きく異なること）および手術器具による手の運動座標の変換（内視鏡視野に合わせて長く湾曲した形状の器具を操作すること）の2点にあると考えられる。これは心理学で視覚運動協応または *psychomotor skill*（精神運動スキル）と呼ばれるもので、その習得には繰り返しの練習が必要である。内視鏡の中でも、特に斜視鏡は習得が難しい。また、腹腔鏡のように内視鏡の視野方向選択の自由度が高い場合も、術者と内視鏡・モニタの位置関係により手術操作のパフォーマンス（操作時間・精度）が大きく低下する場合があることが知られている。そこで本研究では、内視鏡による視野の変換、すなわち術者と内視鏡・モニタの位置関係が手術操作の精度や操作時間にどう影響するか、またその影響は繰り返しの練習によりどれだけ改善できるかを、実験的に明らかにする。

平成28年度は、内視鏡下鼻内手術、特に経鼻脳下垂体腫瘍手術における蝶形骨洞内・トルコ鞍底近傍での操

作を想定して、鏡筒直径4 mm の30度斜視鏡による観察下に、刺激図形に沿って線を描くタスク（なぞりタスク）を設計した。描線の際にペンで刺激図形を押す力を予備的に計測したところ、0.5-1 N 程度とかなり小さいことがわかったため、このレンジの力を計測可能な6軸力・トルクセンサを試作した。予備実験にて、内視鏡筒の軸方向と、術者・内視鏡モニタを結ぶ線との角度が、なぞりタスクのパフォーマンスに影響することが確認できた。今後、刺激図形の位置・角度・術者に対する配置および練習と、パフォーマンスとの関係を計測し、より安全な機器配置や効率的な手技研修方法を明らかにしていく。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】内視鏡下手術、視覚運動協応

【研究 題目】靴型足圧計測デバイスを用いた高齢者の健康活動度モニタリングシステム

【研究代表者】中嶋 香奈子（人間情報研究部門）

【研究担当者】中嶋 香奈子、佐藤 洋（常勤職員2名）

【研究 内容】

高齢者の転倒骨折は社会的問題であり、寝たきりの要因の一つとして考えられるため、転倒を発生させる前に効果的な予防対策を行うことが望ましい。転倒には身体機能が複雑に関係しており、個人の特性に合った質的評価を基にしたアプローチが重要であると考えられる。

本研究では、高齢者の日常生活中において簡便に歩行機能計測が可能な靴型歩行計測システムを構築し、生活中の歩行機能を評価すること、対象者の健康活動度のデータ分析を行うことを目的とした。これらの支援技術の仕組みにより、個人の歩行機能特徴と日常生活の活動度を定量的データで示すことができ、可視化された健康情報の管理を行うことが可能となる。

平成28年度は、開発を進めた靴型歩行計測システムを用いて歩行時の足部状態を定量的に評価するための実験を行った。本開発デバイスは靴のインソール部分に圧力センサを設置し、加速度・角加速度センサをかかと部分とつま先部分に搭載した。ヒトの足底部にかかる部位別の圧力値と足部の踵・つま先部分の動作角度・傾きを検知可能なよう構成し、無線通信技術を用いて、搭載した各センサから得られるデータを制御用 PC やタブレット型端末に伝送可能な仕組みとした。そのため、対象者は計測環境や装置の配線等に拘束されることなく、歩行計測が実施可能である。本デバイスの確立により、ヒトの日常生活の歩行や姿勢制御などの動作分析が簡便に行える仕組みを構築することができ、計測データを定量化することが可能となり、個人の特徴抽出を行うことができた。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】転倒予防、健康管理、歩行動作分析、無線通信、モニタリングシステム

【研究 題目】入浴後の立ちくらみの起こし易さの機序解明—動脈スティフネスおよび圧受容器反射感受性の関与—

【研究代表者】菅原 順（人間情報研究部門）

【研究担当者】菅原 順、東本 翼

（常勤職員1名、他1名）

【研究 内容】

家庭内での溺水・溺死の増加は著しい。この現象に関しては、出浴の際の姿勢変化に温熱刺激による皮膚血管拡張と水圧からの解放の影響が加わり、過剰な血圧低下が生じ、脳への血流が維持できなくなることが原因の一つと考えられている。しかしながら、具体的なエビデンスは不足している。

本研究では、動脈スティフネス、動脈圧反射感受性、および下肢血管拡張能に注目し、入浴終了直後の立ちくらみの個人差を生む機序を明らかにすることを目的とした。

成人男性13名（29～57歳）に5分間の温水浴（41度、腋窩水位）を行ってもらい、その前後で、心拍数、血圧、動脈圧反射感受性、動脈スティフネス、下肢血管抵抗を計測した。動脈圧反射感受性は、温水をためる前のバスタブ内での5分間の座位安静、および温水をためた状態での5分間の座位安静（入浴）の直後に、それぞれ起立動作を行い、その際の血圧低下に対する頻脈応答の直線回帰式の傾きから動脈圧反射感受性（baroreflex sensitivity [BRS]）ゲインを算出した。立位動作に伴う血圧低下には大きな個人差が認められ、血圧低下応答に入浴前後で有意な変化は生じなかった。入浴後に、BRS ゲインは有意に増大し、動脈スティフネスおよび下肢血管抵抗は有意に減少した。入浴前において、起立動作に伴う平均動脈圧の低下応答の程度は BRS ゲインと負の相関を示した（ $r=-0.736$ 、 $P=0.006$ ）が、入浴後にはこの相関関係が消失した。立位動作に伴う血圧低下の入浴前後での変化量は入浴前の BRS ゲインと正相関する傾向にあった（ $r=0.531$ 、 $P=0.076$ ）。一方、ベースラインの動脈スティフネスおよび下肢血管拡張能の関与は示唆されなかった。短時間の温水浴の場合、出浴時の起立動作に伴う血圧低下に有意な変化は生じないが、動脈圧反射感受性がもともと低下している者では、大きな血圧低下を生じる可能性がある。

【領 域 名】情報・人間工学

【キーワード】温水浴、動脈圧反射感受性、動脈硬化度、下肢血管抵抗

【研究 題目】世界最高精度の AR マーカの実現と応用のための技術基盤構築

【研究代表者】田中 秀幸（ロボットイノベーション研究センター）

【研究担当者】田中 秀幸、松本 吉央（常勤職員2名）

【研究 内容】

我々は「見る角度に応じて動くモアレパターン (VMP)」を用いて姿勢を計測する世界初の光学系を開発し、これをARマーカに応用することで、推定誤差が従来の10分の1以下という高精度な位置姿勢計測の実現に成功した。現在、ロボット、AR (拡張現実)、計測等、広い分野で本マーカ技術の応用が検討されており、企業や研究機関等からの早期の実用化を望む声も多い。本研究では、実用化に向けた最後の課題、「①姿勢の不定性の解決」および「②マーカ認識ソフトウェアのロボスタ化」に取り組み、本マーカの技術を幅広く社会や産業界で利用するための技術基盤を構築する。①の課題については、マーカの姿勢を一意に決められるよう、視線角度に応じて変化するパターンを新たに追加することで解決する。本年度は、課題①に関しては、見る方向に応じて白黒パターンが二値的に変化する波型二色薄型構造を開発し、これを利用することで推定姿勢の反転を検知し、正しい姿勢に修正する手法を開発した。これにより、姿勢不定性の問題を根本的に解決する新しいマーカを開発した。②の課題については、画像の二値化に関する最大6つのパラメータを自動調整してロボスタにマーカ認識を行うアルゴリズムを開発した。

【領域名】情報・人間工学

【キーワード】視覚マーカ、画像計測、ロボット制御、拡張現実

【研究題目】カッティングス試料を用いた岩石強度推定の実験手法開発

【研究代表者】北村 真奈美 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】北村 真奈美 (他1名)

【研究内容】

本研究では、ライザー掘削に伴う循環泥水とともに採取されるカッティングス試料を用いて、インデンテーション試験から岩石強度を見積もる手法を開発することを目標に、(1) インデンテーション試験に用いることができる試料サイズの決定と、(2) 強度推定のための経験式の決定をおこなった。

(1) について、軸対称2次元有限要素法を用いたインデンテーション試験の再現計算、及び異なるサイズの白浜砂岩を用いたインデンテーション試験をおこなった。その結果、球状圧子を用いたインデンテーション試験には、厚さ・長さともに3 mm以上、かつ長さ・厚さの比が0.9以上の試料を用いる必要があることがわかった。

(2) について、間隙率の異なる4種類の堆積岩を用いてインデンテーション試験及び一軸圧縮試験をおこなった。インデンテーション試験から求めた強度 (G_i) と一軸圧縮強度 (G_o)、及びインデンテーション試験から求めたヤング率 (E_i) と一軸圧縮試験から求めたヤング率 (E_o) は間隙率が減少するにつれて増加することがわかった。また G_i と G_o は $G_o = 0.513 \times G_i$ ($R^2 = 0.95$) という線形関係にあり、 E_i と E_o は $E_o = 6.86 \times \exp(0.26 \times$

$E_i) - 6.86$ ($R^2 = 0.98$) という指数関数的な相関があることがわかった。以上のことから、今後はインデンテーション試験をおこなうことで、一軸圧縮試験から得られる値と同等の強度・ヤング率を調べることができるようになった。上記の結果をまとめて *Journal of Structural Geology* (国際誌) にて筆頭論文 (Kitamura, M., and Hirose, T., Strength determination of rocks by using indentation tests with a spherical indenter, 2017) として公表した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】インデンテーション試験、カッティングス試料、岩石強度

【研究題目】西南日本弧におけるアンチモン濃集プロセスの解明

【研究代表者】清水 徹 (活断層・火山研究部門)

【研究担当者】清水 徹 (常勤職員1名)

【研究内容】

目標:

西南日本弧の中央構造線周辺の深部熱水活動とアンチモン鉱床の成因的関連性を明らかにするため、同鉱床を形成した熱水の化学的特性 (温度・塩濃度) や鉱石の微量成分を予察的に調査する。

研究計画:

輝安鉱 (Sb_2S_3) - 石英鉱石試料の肉眼観察および研磨薄片作成、流体包有物の観察および加熱・冷却実験、ならびに輝安鉱の微量成分分析。

年度進捗状況:

市之川アンチモン鉱床 (愛媛県西条市) 周辺の地質調査 (露頭観察及び試料採取) を行った。調査の結果、鉱脈は主に石英からなり局所的に角柱状の輝安鉱を含むことがわかった。

次に市之川アンチモン鉱床及び菱刈金銀鉱床 (鹿児島) の石英-輝安鉱試料から研磨薄片を作成した。近赤外線顕微鏡による薄片観察を行い、石英と輝安鉱の流体包有物の産状を記載した。さらに加熱・冷却実験装置を用いて、両鉱物の流体包有物の均質化温度および塩濃度測定した。その結果、菱刈鉱床の石英及び輝安鉱の形成温度は、それぞれ高い (207-237 °C) および低い (106-117 °C) ことがわかった。併せて、石英を形成した熱水が低塩濃度 (0.0-1.1 wt% NaCl 相当) であることが推定出来た。

複数のアンチモン鉱床の輝安鉱の化学 (成分) 分析を行った。その結果、鉱床形成と火成活動の間の因果関係の有無によって、銀など微量元素濃度に相違があることがわかった。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】アンチモン、西南日本弧、熱水、輝安鉱

【研究題目】カドミウム・鉛同位体を用いた環境汚染

評価手法の開発

【研究代表者】山岡 香子（地質情報研究部門）

【研究担当者】山岡 香子、井上 麻夕里（岡山大学）、
山本 綾（常勤職員1名、他2名）

【研究内容】

土壌や底質の重金属汚染に関して、特にカドミウムや鉛は低濃度であっても長期的な暴露により慢性中毒を引き起こすため、有害性が高い。汚染の対策には起源と経路の特定が第一段階となるが、バックグラウンド値は地域によって異なり、また濃度は環境中で変化してしまうため、濃度だけで汚染が人為起源か自然由来かを特定することは難しい。鉛同位体は、従来から使われてきた伝統的なツールであり、産地ごとに異なる同位体比をもつことを利用して、これまで汚染源の特定に大きな効力を発揮してきた。一方、カドミウム同位体は、分析機器の発達によって近年高精度な測定が可能になってきた先進的なツールであり、鉛と異なり産地ごとの違いは小さいが、融点が比較的低いことにより製錬で大きな分別が起きる。本研究では、この2つの同位体を組み合わせることにより、効果的な環境汚染評価手法を開発することを目的とする。

土壌や底質試料に適した簡便かつ高精度なカドミウム・鉛同位体分析法を確立することを目指して、本年度は、イオンクロマトグラフィーを用いたカドミウム・鉛の同時分離法の検討を行った。様々な条件で実験を行った結果、これまで報告されている方法よりも少ない樹脂量及び溶出液量で、カドミウム及び鉛を分離・回収することができた。また、マルチコレクタ ICP 質量分析計を用い、各種条件を調整しながらカドミウム標準溶液の繰り返し測定を行って、精度良く同位体測定が出来る条件を決定した。カドミウム濃度100 ppb の標準溶液の繰り返し測定により得られた測定誤差は $\pm 0.3\%$ (2σ , $n=15$) であり、値は文献平均値と良く一致した。

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】重金属汚染、同位体

【研究題目】メコンデルタの河川・海洋漸移帯における堆積作用に関する研究

【研究代表者】齋藤 文紀（地質情報研究部門）

【研究担当者】Marcello Gugliotta（他1名）

【研究内容】

本共同研究では、メコンデルタを対象に河川と海洋との漸移帯（遷移帯）における堆積作用について研究を遂行した。特別研究員の Gugliotta 氏は河川と海洋の境界域の研究を長年実施してきたことから、これらのデータの解析を共同で実施した。特に、河川地形、堆積物の粒度、粒子の特徴、堆積相、珪藻、貝、マングローブ、塩分、潮位変化の特徴をメコンデルタ全域においてとりまとめ、全体像の把握を第一に取り扱った。研究成果は、Continental Shelf Research に投稿し、受理された。

また、メコンデルタの潮汐の影響は内陸のカンボジアにまで及んでいることから、カンボジアにおける自然堤防の堆積相の調査を共同で実施した。なお、本研究はベトナム科学技術院ホーチミン市資源地理研究所との共同研究として実施された。Marcello Gugliotta の滞在期間（2016.5.15～2017.5.14）

【領域名】地質調査総合センター

【キーワード】メコンデルタ、堆積相、河川海洋遷移帯、東南アジア

【研究題目】卓越研究員事業（Towards future clean coal utilization: Combined Underground Coal Gasification and Carbon Capture-Storage (UCG-CCS)）

【研究代表者】内田 洋平（再生可能エネルギー研究センター）

【研究担当者】内田 洋平、
アリフ ウィディアトモジョ、
吉岡 真弓、シュレスタ ガウラブ、
石原 武志（常勤職員5名）

【研究内容】

卓越研究員事業により再生可能エネルギー研究センター・地中熱チームに所属するアリフ ウィディアトモジョが、同センターの共同実験フィールドおよび東南アジアの実験フィールドを活用し、国内外における地中熱システムのデータ解析を行う。また、タイとベトナムに設置した地中熱システムの解析およびシステム改修、インドネシアへの地中熱実証試験器の設置作業等を本補助金により実施する。

平成28年度は、地中熱チームが所在する研究棟において、地中熱シミュレーション研究に必要な数値解析用ワークステーションの整備および各種解析用コードの選択・購入・セットアップを実施した。また、郡山盆地の地中熱ポテンシャル評価のための基礎データ収集を目的として、観測井を掘削し地質データ解析のためのコアサンプルを取得した。上記のデータを含めた熱交換シミュレーションを実施し、東北地方に位置する郡山盆地における地下水流動・熱輸送解析を実施した。解析結果に基づく地中熱ポテンシャル評価を行い、ポテンシャルマップのプロトタイプを作成した。また、2017年2月にはベトナム・ハノイにおいて地中熱ワークショップを開催し、ベトナムの関係者に対して地中熱システムの解析方法に関する講演およびサンプルデータを用いた実地トレーニングを実施した。

【領域名】エネルギー・環境

【キーワード】地中熱、シミュレーション、地中熱ポテンシャル、東南アジア

【研究題目】樹脂／金属接着技術を用いた大気中全マトリクス捕集装置の開発

〔研究代表者〕 山下 信義（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 山下 信義、谷保 佐知、山崎 絵理子
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

近年注目されている PFOS 等新規有害物質や臭素系難燃剤、放射性物質等の大気経由人暴露評価・環境モニタリングのニーズは増大する一方であるが、この多くは極低濃度で存在し、フッ素系有機酸はガラス等で吸着・反応することから、光・熱分解しやすい臭素系物質と合わせ、従来技術での測定値のばらつきが大きく、測定結果に疑念が持たれている。また、国際的越境汚染物質としての粒子状物質、PM2.5監視が地方自治体に義務付けられており数多くの粒子量自動測定機（光散乱など間接測定技術）が全国規模で設置されつつある。一方で、大気中に同時に存在する粒子・ガス状物質の同時暴露に危険性がより高まる事が指摘されているが、既存の粒子測定技術ではガス成分測定法とは整合性がないため、これに対応できない。特に、世界保健機構・厚生労働省でも必要性が指摘されている、捕集した分級粒子に含まれる化学物質やインフルエンザウイルス・薬剤耐性菌についての正確なリスク評価も、既存技術での対応は困難である。

このような中、大気中有害物質調査は分析対象・依頼機関毎に100種以上の異なる捕集・分析技術を使い分けるため、人件費・コスト増が事業者経営を圧迫している。結果として、知的財産や信頼性が確保できない安い海外資本外注先に業務が流れており、国内事業者の衰退が懸念されている。本研究開発では発想を転換し、これまで装置を構成してきた壊れやすく重いガラスの使用をやめ、試料接触部は全てプラスチック（合成樹脂）を用いることとした。合成樹脂は、PFOS等の吸着が生ぜず、化学反応活性点を持たないことから、PFOS、PBDE等のより精度の高い捕集を可能にする。

平成28年度については、前年度に開発した大気中全マトリクス捕集装置の試作品1号機を用いて、PFASs類を指標とした回収試験と実環境性能評価を実施した。この結果からガラス製トラップではほとんど捕集できないPFASs成分がプラスチック製トラップを用いる事で良好な回収率が得られることを確認した。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 大気中全マトリクス捕集装置、PM2.5、ペルフルオロアルキル化合物

〔研究題目〕 硝酸性窒素等の有害物を排出しない白金族リサイクルプロセスの開発

〔研究代表者〕 成田 弘一（環境管理研究部門）

〔研究担当者〕 成田 弘一（環境管理研究部門）、野村 勝裕、粕谷 亮（無機機能材料研究部門）（常勤職員3名、他2名）、

〔研究内容〕

目標：

複数の技術要素の組合せにより、塩素ガスや王水など有害な酸化剤を一切用いることなく、複数の白金族が混在するスクラップの中から白金族を溶解し、かつ迅速な白金、パラジウム、ロジウム、イリジウム及びルテニウムの相互分離が可能である、新しい環境調和型の白金族湿式リサイクルプロセスを確立することを目的とする。そのために、塩酸による溶解を可能にする、空気中で白金族を酸化させる前処理技術を開発する。また分離工程では、これまで工業用分離剤が存在しない3価白金族イオンであるルテニウム(III)及びイリジウム(III)に対する有用な分離剤を開発するとともに、白金、パラジウム、ロジウム、イリジウム及びルテニウムの相互分離条件を調べることで、前段の溶解工程から得られた浸出液からの分離スキームを確立する。

研究計画：

複数種の白金族金属が混在する廃材から、王水や塩素ガスを使用することなく白金族を溶解し、迅速に分離する技術の確立を目標とする。そのため、ペロブスカイト酸化物を経由するプロセスにより、固体高分子形燃料電池（白金、ルテニウム）、工業用電極（白金、イリジウム）等の廃材に含まれる白金族（特にルテニウム、イリジウム）をペロブスカイト酸化物に吸蔵させ、塩酸に溶解する手法を確立する。また、アルカリ金属塩との反応により、自動車触媒等に含まれる白金族（白金、パラジウム、ロジウム）を完全にアルカリ金属複合酸化物へと変化させ、塩酸に溶解する手法を確立する。さらに、蒸留、酸化還元工程を経ずに白金族の相互分離が可能なフローを構築する。現行プロセスとほぼ同等の白金族回収率を維持しつつ、硝酸性窒素の排出量ゼロ化を達成する。

年度進捗状況：

硝酸性窒素等の有害物を排出しない白金族リサイクルプロセスの開発に向け、平成28年度は以下の要素技術の開発を行った。①ペロブスカイト酸化物を用いる新規白金族（イリジウム、ルテニウム）溶解技術の開発、②アルカリ金属との複合酸化物を経由する白金、パラジウム、ロジウムの溶解手法の高度化、および③塩酸溶液からの3価ルテニウム及び3価イリジウム抽出が可能な分離系の探索及び抽出挙動解析を行った。

〔領 域 名〕 エネルギー・環境、材料・化学

〔キーワード〕 白金族、塩酸、溶解、溶媒抽出

〔研究題目〕 再生医療の産業化に向けた未分化・造腫瘍性細胞の検出技術の開発

〔研究代表者〕 舘野 浩章（創薬基盤研究部門）

〔研究担当者〕 舘野浩章、平林 淳
（常勤職員2名、他1名）

〔研究内容〕

iPS細胞など多能性幹細胞を再生医療に用いる際に懸

念されるのは、移植細胞へと分化誘導後に、尚残存する未分化な iPS 細胞が腫瘍を形成する可能性である。そこで、本補助事業では、移植細胞中に残存する未分化 iPS 細胞を、高感度に検出し適切に品質管理しうる実用化システムの開発を目的とする。アッセイ系は当該研究者らが開発実績を有するレクチンマイクロアレイとし、未分化 iPS 細胞の検出に適した組換えレクチンを数種選抜し、スライドガラスに固定化することにより、組み換えレクチンアレイの試作品を作製した。その品質を評価用プローブで検証した後、野生型 CHO 細胞と糖鎖欠失変異株や各種癌細胞株の解析が可能であることを確認した。そこで、分化細胞と未分化 iPS 細胞が異なる割合で混合しているサンプルを作製し、どの程度の感度で未分化細胞を検出できるかどうかについての検討を行った。比較実験としては既に確立済みの ELISA 法を用いた。その結果、本補助事業において、世界初となる組み換えレクチンアレイの試作品を開発し、それを用いて未分化細胞を検出する技術の検討を行い得ることを確認した。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】再生医療、糖鎖、レクチン、未分化細胞

【研究 題 目】射出成形の超微細構造プリズムレス
SPF バイオセンサーチップ及び装置の
開発

【研究代表者】細川 千絵（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】細川 千絵（常勤職員1名）

【研究 内 容】

本研究では、射出成形により透明樹脂基板に光の波長以下の超微細構造を高精度に施し、高感度、低コスト、簡便性に優れたプリズムレス表面プラズモン増強蛍光バイオセンサーチップを作製し、チップを組み込んだ高感度イムノセンサー装置の開発を目標としている。今年度は、表面プラズモン増強蛍光を利用したバイオセンサーチップを用いて疾患起因物質等を高感度に検出するため、蛍光性プローブとして量子ドットのチップ表面上での蛍光強度を測定し、蛍光色素分子と比較して輝度値が向上し、光安定性が高いことを示した。さらに、高感度イムノセンサー装置用チップへと展開するため、マイクロ流路の形状や検出部について議論するとともに、チップ基板上への光照射、蛍光検出方法について検討を行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】表面プラズモン共鳴、蛍光増強

【研究 題 目】高発現表層タンパク質を標的とした低コスト迅速分析を可能とする微生物検査の革新

【研究代表者】上垣 浩一（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】上垣 浩一、中村 努、星野 英人
（常勤職員3名）

【研究 内 容】

食品流通現場での食品の安全性の検査については現状では結果までに2～3日を要する。しかし現場では、食品が市場に流通するまでに安全性を迅速・簡便に確認できる手法が要求されている。そのため本計画では、多種微生物を一括に検出できる高性能抗体を利用した微生物検出と、ISFET 半導体技術を掛け合わせることで、食品中の汚染微生物の有無を0.5日以内に迅速・低コストで測定する技術を開発し、食品流通の安全性を担保するものである。「高感度で迅速な微生物分析を実現可能にする試薬開発」の中の「ISFET 計測用の抗体標識用酵素の開発」を実施するため、本年度は候補酵素の選定を行った。ISFET センサーは高感度 pH センサーであるので酵素反応に従い pH の変化が起きることが必要である。そこで次の3点①pH 変化を起こさせる反応を触媒すること②安価に大量生産が可能③安定に長期間保存できること、を選定基準とした。この条件を満たす候補として耐熱性古細菌が持つデアセチラーゼを選定し本酵素の有用性の検討を行った。大腸菌で大量発現を行い、各種イオン交換クロマトグラフィーを用いることで純度 90 %以上の高純度標品を得ることが出来た。また本酵素は長期にわたり凝集もなく熱安定性も良好であった。また酵素反応により酢酸を遊離するが本研究開発で利用する ISFET センサーでも酵素反応をモニターすることが出来た。これらのことから高熱性古細菌由来のデアセチラーゼが ISFET 搭載酵素として可能性のある候補酵素である事が判った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】耐熱酵素、pH センサー、微生物汚染

【研究 題 目】科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業（未来価値創造実践人材育成コンソーシアム）

【研究代表者】中鉢 良治（産総研理事長）

【研究担当者】近江谷 克裕、中村 史、山岸 彩奈
（バイオメディカル研究部門）
（常勤職員20名、他5名）

【研究 内 容】

東京農工大学、国際基督教大学、早稲田大学、産業技術総合研究所の3大学1機関でコンソーシアムを構成し、Biological Materials Science 分野を中心とした豊かで持続的な生活を実現するイノベーションを真に牽引できる次世代研究者を、コンソーシアム構成機関間を流動させることにより、「未来価値創造実践人材」として育成する。育成人材は、PI として新たな時代を拓く先端研究に邁進すると共に、独創的な研究成果や革新的な技術開発をもとに、従来の価値観を越えた新事業を国際展開するためにチーム形成、組織間連携、交渉によって目標を完遂することができる実践力を発揮し、学術界のみならず国内外の産業界、実社会でも主導的な役割を果たせ

る人材となる

平成28年度は、PI 人材は、コンソーシアム代表機関の東京農工大学においてナショナルプロジェクト研究員の身分を付与され、2拠点で本格的な研究活動を開始した。乳癌細胞の転移メカニズムに関する研究を推進し、中間径フィラメント、細胞の弾性率、転移性の関係を明らかにすることに成功した。これらの成果について3件の学会発表を行った。また、産総研イノベーションスクールに入学し、産総研での橋渡し研究・企業にて博士人材に求められる能力等に関する講義を受講し、スクール生である異分野の若手研究者との交流を行った。産総研所属のイノベーション創出人材養成対象者1名を選考し、米国パデュー大学でのインターンシップを行った。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】細胞工学、ナノバイオテクノロジー、バイオセンシング

【研究 題目】卓越研究員事業

【研究代表者】大西 芳秋（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】大西 芳秋、高田 英昭（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究では、分裂期染色体の凝縮メカニズムの解明を目指し、染色体凝縮因子を同定するとともに生きた細胞内で特定の DNA 配列の動きを可視化することを目的としている。染色体凝縮因子の同定については、分裂期特異的なタンパク質のリン酸化に着目し、質量分析装置を用いて凝縮したクロマチンに特異的に結合するリン酸化ペプチドの同定を図る。また、凝縮因子としてカルシウムイオンやマグネシウムイオンといった2価陽イオンにも着目する。こうした染色体凝縮因子がクロマチンの凝縮状態に与える影響を生きた細胞の中で高分解能・高感度に検出するためにゲノム編集技術を応用した DNA 多色可視化システムを構築している。現在までに、ヒト培養細胞内で発現させる蛍光タンパク質融合 RNA モチーフ結合タンパク質、特定のゲノム DNA 配列に結合し dCas9と複合体を形成する sgRNA に RNA 結合モチーフを付加した RNA、そして dCas9を発現するベクターを構築できた。本システムを用いることで、テロメアリピート配列の可視化を試みたところ、核内に多数の輝点が検出されたことからテロメアが可視化できていると考えられ、FISH を併用することで実際に標的箇所が検出できていることを確認する。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】染色体、クロマチン、細胞周期

【研究 題目】卓越研究員事業

【研究代表者】野田 尚宏（卓越研究員：森田雅宗）

（バイオメディカル研究部門）

【研究担当者】森田 雅宗、野田 尚宏（常勤職員2名）

【研究 内容】

本研究課題は文部科学省の科学技術人材育成費補助事業「卓越研究員事業」として、平成28～32年度で助成を受けているプログラムである。細胞膜上で見られる様々な機能の発現システムの原理を理解し、人工的に再現・制御することは今後の生命科学および生命工学分野における発展ために欠かせない目標の一つである。本研究では、細胞膜の特徴的な構造を人工細胞膜小胞上に再構成し、外部環境に応じて形状や変形機能を自在に操作・制御する人工細胞膜小胞を、培ってきた研究技術を駆使して開発し生命現象の理解につなげ、生命科学の発展に寄与することを目指し研究を行った。これまでに、細胞の様な複合分子から成るシステムを再構成し制御するために、膜と物質（分子）の相互作用の理解、人工細胞膜小胞の構築のための技術開発が重要であると考え、研究を展開した。これらの成果を発展させ、細胞膜上で見られる様々な機能を操作・制御できる人工細胞膜小胞の開発の実現を目指す。さらに、人工細胞膜小胞内部で様々な反応系を人工的に再構成して、機能性材料を開発、人工細胞膜小胞の機能と組み合わせ、遺伝子治療・再生医療・細胞操作技術への応用を視野に入れつつ、医学・薬学の発展にも貢献できる研究を志向する。

【領 域 名】生命工学

【キーワード】人工細胞膜小胞、リボソーム、ソフトマター物理

【研究 題目】医療・介護用サポーター等に持続的な抗菌効果を付加するための再生リチャージ可能な抗菌繊維の開発

【研究代表者】横田 洋二（健康工学研究部門）

【研究担当者】横田 洋二、小比賀 秀樹
（常勤職員2名、他1名）

【研究 内容】

医療・福祉分野で使用されるサポーターやコルセットは、使用が長期間に亘る場合が多く、汗や汚れから発生する悪臭、皮膚感染（皮膚炎）とそれに起因するアナフィラキシーショックといった課題を有している。本研究は、サポーターやコルセットの抗菌性ならびに抗菌効果の持続性を担保するために、再生リチャージ可能な抗菌繊維を企業・大学と共同開発するものであり、産総研は「繊維への添加に適した抗菌剤の超微細加工技術の開発」、「抗菌効果再生技術の開発」、「抗菌剤の安全性および品質安定性の確認」、「抗菌繊維の開発」を担当する。

平成28年度は、抗菌剤の抗菌効果の失活について検討した。本研究で用いる抗菌剤は、水中で抗菌成分が微量に溶出することで抗菌効果を発揮する。そのため、洗濯処理回数が増えると抗菌効果の失活が懸念される。そこで、抗菌剤粉末を洗濯用洗剤液と蒸留水に各30回交互に浸し、振とうした。この洗濯処理後のサンプル中の抗菌成分量を熱分析により調べた結果、洗濯処理1回目に約40%の抗菌成分が溶出するが、2回目から30回目ま

では約10%しか溶出していなかった。また、洗濯処理を30回行っても抗菌性を示すことを確認した。これらの結果より、本研究で用いる抗菌剤は極めて抗菌効果の持続性が高いことが示唆された。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕抗菌、繊維、サポーター、コルセット

〔研究題目〕骨格構造に最適な大腿骨骨折治療用
BHA 人工股関節システムの開発および
実用化

〔研究代表者〕岡崎 義光（健康工学研究部門）

〔研究担当者〕岡崎 義光、有田 千成子

（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本事業は、輸入依存度の減少および国内企業の新規参入を目指して、日本人（東洋人）の骨格構造に最適で、耐久性等の信頼性の高い骨折治療用 BHA 人工股関節を開発し、早期に実用化することを目的として実施するものである。このうち、今年度については、アウターカップの高温型鍛造成型の開発および患者の骨格構造に最適なステムの設計開発に関して、アウターカップの設計、嵌合強度試験、ステムの設計および耐久性試験並びにステムの高温型鍛造成型試験等を実施し、アウターカップの高温型鍛造成型条件の確立、既承認品を購入し基礎となる耐久性データを取得し、型鍛造成形したステム製品の中央部にスリップバンドが見られる等の改善点の把握、アウターカップとポリエチレンライナーの嵌合強度の試験方法の検討、ブラスト処理技術の既承認品との同等性を検討するため、細胞毒性試験、過酷抽出条件下での感作性試験および溶出試験を終了し目的を達成した。

特に、購入した既承認品を用いて、基礎となる耐久性データを取得し、製品開発の目標値が選定できた。ステムの高温型鍛造成型条件の検討では、製品の中央部にスリップバンドが見られ、スリップバンドからの疲労亀裂の発生および角部からの疲労亀裂の発生により、耐久性の低下が懸念され、次年度以降の改善点が把握できた。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕整形外科、インプラント、高生体適合性、性能評価

〔研究題目〕埼玉県産学連携研究開発プロジェクト補助金「糖尿病の早期発見のための Point of care testing (POCT) システムの開発」

〔研究代表者〕永井 秀典（バイオメディカル研究部門）

〔研究担当者〕永井 秀典、吉田 康一、萩原 義久、片岡 正俊、七里 元督、堀江 祐範、赤澤 陽子、古谷 俊介、梅野 彩、橋本 芳子、石田 規子、西尾 敬子
（常勤職員8名、他4名）

〔研究内容〕

本研究開発では糖尿病の早期発見のための Point of care testing (POCT) システムの開発を目指し、境界型糖尿病の早期発見に資するマルチマーカーの検証、多項目測定可能な免疫アッセイ用集積型微小流路デバイスおよびこれを使用する小型かつ安価な機器開発、POCTに適した新型抗体の開発を三位一体で行い、平成29年度中には上記全ての要素技術を実装したプロトタイプを作製することを目標としている。

本年度はマルチマーカーの検証では3つの生活習慣病バイオマーカーを用いたモデルにおいて新規被験者127名を対象に、必須マーカーによる糖尿病リスクモデルによる耐糖能異常、インスリン抵抗性の判定精度を評価したところ、感度97%、特異度100%を達成した。機器・デバイス開発では、多段階送液の際に任意のタイミングで溶液の種類ごとに微小流路デバイスへ注入可能な試薬カートリッジを作製し、また展示会用のプロトタイプ装置を作製した。さらに洗浄液注入の自動化を目指し、シリンジポンプアレイにより駆動する自動分注機構を搭載した。作製した免疫アッセイ用集積型微小流路デバイスにより、血清中の3つの生活習慣病バイオマーカーのそれぞれについて定量できることを確認した。新型抗体の開発では生活習慣病バイオマーカーを免疫したアルパカ白血球由来 VHH 抗体として、生活習慣病バイオマーカーに親和性を有する2種類の VHH 抗体を獲得し、これを用いた免疫アッセイ系を確立した。

〔領域名〕生命工学

〔キーワード〕生活習慣病、糖尿病、Point of care testing、免疫アッセイ、微小流路デバイス、抗体

〔研究題目〕分子モデリングに基づく高度創薬支援

〔研究代表者〕広川 貴次（創薬分子プロファイリング研究センター）

〔研究担当者〕本野 千恵、福井 一彦（常勤職員3名）

〔研究内容〕

創薬標的タンパク質を対象に、ホモロジーモデリング、ドッキング計算（タンパク質-タンパク質、タンパク質-低分子、タンパク質-核酸）、分子動力学計算要素技術に基づいた、立体構造に指南されるドラッグデザインを高精度で実施するための高度分子モデリング技術の支援と高度化を行う。申請者らが取り組んできた、GPCR やキナーゼなど代表的な創薬標的タンパク質に対する分子モデリング実績や、網羅的モデリングデータベース SAHG の活用による外部研究者への「支援」活動と、次世代の標的とされるタンパク質-タンパク質（核酸）相互作用や、分子認識に大きな構造変化を伴う難易度の高い標的タンパク質への創薬支援を目指した、大規模計算、分子動力学計算を積極的に活用した「高度化」研究を実施する。

(1) 支援研究

バイオインフォマティクス、ケモインフォマティクス技術による、ホモロジーモデリング、ドッキング計算（タンパク質-タンパク質、タンパク質-低分子、タンパク質-核酸）、分子動力学計算等の要素技術、ヒトタンパク質の網羅的立体構造データベース SAHG を用いて、立体構造に指南されるドラッグデザインを高精度で支援するための分子モデリング技術の支援を行う。創薬標的に重点をおきつつも、申請者らのこれまでの分子モデリング実績や、既知構造の活用のし易さなどを考慮し、外部研究者へ実現可能なアウトプットを提供できることを優先して標的タンパク質を選定する。特に分子モデリング実績の観点から、GPCR およびキナーゼを重点標的タンパク質とし、外部研究者へ共同研究を提案する。安定した技術の支援により、バイオインフォマティクスの貢献を外部研究者が実感でき、当該分野や横断的分野への波及効果を狙う。ホモロジーモデリングは、成熟した計算手法と認識されているが、GPCR やキナーゼなど化合物などの分子認識や選択性のメカニズムが求められる創薬標的タンパク質のモデリング構造では、標準設定の自動化されたプロトコールのみでは、精度に問題があることが指摘されている。またドッキング計算においても市販のプログラムを用いるだけでは、擬陽性のドッキングポーズが多く、天然/非天然の結合ポーズの判別が困難である。本申請では、ホモロジーモデリングにおける、創薬標的タンパク質ファミリーに特徴的なアラインメント技術や鑄型構造の選定・組み合わせ方法、ドッキング計算におけるスコア関数の使い分けや、ドッキングポーズの擬陽性を改善する、タンパク質-化合物相互作用フィンガープリント、分子動力学計算を活用したポストドッキング処理など、これまでの独自の実務経験のノウハウを支援内容として提供することで独自性も示したい。分子認識に大きな構造変化を伴う標的タンパク質を対象としたインシリコスクリーニングやドラッグデザインが可能となることは、医薬品探索における標的疾患の拡大につながり、創薬分野での波及効果が期待できる。しかし、本研究課題は、国内外でも長年取り組まれている重要かつ難易度の高い研究課題である。よって、本申請では、申請者ら開発した多数の現存の基盤技術を積極的に融合する戦略で独自性と優位性を持たせ、実現可能な達成目標をもった高度化研究を行う。

(2) 高度化研究

分子認識に大きな構造変化を伴う難易度の高い標的タンパク質や、次世代の創薬標的であるタンパク質-タンパク質 (RNA) 相互作用など、安定した創薬支援技術として更なる高度化が必要な研究課題について、大規模計算、分子動力学計算を積極的に活用した研究を実施する。「支援」課題との関係を図1に示す。図1の(a) Lock & Key モデルおよび構造変化が比較的小

さい(c) pre-existing equilibrium model が「支援」における対象標的タンパク質となり、構造変化が大きい (c) pre-existing equilibrium model および (b) Induced-fit model の高精度予測を「高度化」研究課題の対象とする。

[領 域 名] 生命工学

[キーワード] 分子モデリング、創薬支援、バイオインフォマティクス、ケモインフォマティクス

[研究 題 目] 大型車に特化した危険予測可能な後側方障害物センサの開発

[研究代表者] 西田 健次 (人間情報研究部門)

[研究担当者] 西田 健次、小林 匠 (知能システム研究部門) (常勤職員2名)

[研究 内 容]

近年の自動車安全対策技術の進歩により死亡事故者数は減少傾向にあるものの、事業用大型車では平成22年以降、減少傾向が横ばいとなっている。死亡事故の多くは、大型車対「人」の事故であり、特に右左折時の巻き込み事故が重大視されている。このような背景により、大型車製造メーカーには右左折時の車両後方、および、側方の交通弱者（歩行者、二輪車など）を検知する運転者支援システムの技術的確立が求められている。近年、画像センサによる歩行者、障害物検知技術が進んできており、昼間、好天時の障害物検知は高度なものとなってきた。一方で、雨天、霧、夜間での障害物検知技術は、未だ確立しているとは言い難い。また、大型車に関しては、乗用車に比べて市場規模が小さいため、大型車特有の環境に対応したシステムの開発は、乗用車に比べて遅れていると言わざるを得ない。本研究では、画像センサによる交通弱者検出技術とマイクロ波レーダーによる障害物検知技術を組み合わせ、照明条件、天候に対して頑健な交通弱者検知システムを開発しようとするものである。

平成28年度は、車載用マイクロ波レーダーを試作し、マイクロ波レーダーによる距離データをもとに、障害物の位置推定を行う手法を検討した。また、画像センサの近接領域での識別性能向上も図った。

[領 域 名] 情報・人間工学

[キーワード] 高度交通システム、歩行者検出、左折巻き込み事故防止

[研究 題 目] タンパク質の立体構造及び相互作用推定のための構造インフォマティクス技術の開発

[研究代表者] 富井 健太郎 (大阪大学 免疫学フロンティア研究センター)

[研究担当者] 富井 健太郎、今井 賢一郎 (創薬分子プロファイリング研究センター)、

深沢 嘉紀、林 庚澤、小田 俊之、
中村 司（人工知能研究センター）、
山田 和範、加藤 和貴
（常勤職員2名、他6名）

【研究内容】

事業の選定課題に対し支援やコンサルタントなどを行うとともに、高度化研究を実施した。感染症対策に向けた、感染症の原因となる原虫の細胞内輸送因子の機能解析に関する支援では、バイオインフォマティクス技術によるドメイン推定などを行った。新規 IgGFc 融合タンパク質の開発に関する支援では、ヒンジ領域の有無による違いを立体構造モデルから明らかにした。セスキテルペン合成系の生産性向上に向け、合成酵素の可溶性予測や立体構造予測などを行った。リン酸化依存的な蛋白質複合体形成機構の探索では、二次構造や天然変性領域の予測を組み合わせた候補部位の抽出を行った。セラミド結合タンパク質に関する解析では、結合部位の同定に向け、バイオインフォマティクス技術によるドメイン推定の結果に基づきドメイン別のアッセイに向けコンストラクト構築を行った。これら以外にも依頼に応じて、バイオインフォマティクス技術を用いた支援及びコンサルタントを行った。高度化研究では、タンパク質の立体構造予測や相互作用（部位）予測要素技術の改良を行った。それらを利用して、タンパク質立体構造及び複合体構造の国際的な予測実験 CASP/CAPRI に参加し、複合体構造予測部門において第一位の成績をおさめた。また、結晶パッキングの統計解析に基づくタンパク質結晶改善に向けた新規手法を理化学研究所と共同で開発した。

【領域名】生命工学

【キーワード】タンパク質、創薬支援、バイオインフォマティクス

【研究題目】セルロースナノファイバーとゴム材料との複合化技術を活用した環境配慮型超軽量・高機能シューズの開発

【研究代表者】吉田 勝（機能化学研究部門）

【研究担当者】遠藤 貴士、岩本 伸一朗、熊谷 明夫
（常勤職員4名）

【研究内容】

本テーマは、次世代のバイオマス素材として注目されているセルロースナノファイバー（CNF）によるゴムの補強技術と加硫発泡技術とを融合させ、高機能・超軽量の環境配慮型ゴム系靴底を用いたシューズ開発を目的としている。当グループの本年度の実施項目としては、CNF の新たな表面修飾法開発および CNF の形状がゴム物性に及ぼす影響評価を行う。

表面修飾法開発では、これまでに確立したセルロース原料に無水マレイン酸基を導入することにより得られる超微細なセルロースナノファイバーのゴム補強効果を評価した。その結果、機械処理のみで作製したナノファイ

バーと比較して、マレイン酸で化学修飾した超微細ナノファイバーは、高い補強効果を示した。さらに、長繊維パルプを原料として作製した化学修飾ナノファイバーを用いたゴム複合材料では、引っ張り応力とともに破断点応力が大きく改善することが分かった。

CNF の形状影響評価では、種々の条件で製造したナノファイバーを用い、比表面積を指標とした解繊度合とゴム補強効果の関係を評価した。その結果、解繊度合の低い比較的太い機械処理 CNF は、ゴムを強く硬く補強する性質があることが示され、解繊が進んだ微細なナノファイバーは、硬さに関わる補強性が低下するものの、伸びを維持させることが可能であることが明らかとなった。

【領域名】材料・化学

【キーワード】セルロースナノファイバー、ゴム、シューズ

【研究題目】航空機用繊維強化樹脂材料の高効率曲面仕上げを可能とするフレキシブルメタルシートの実用化開発

【研究代表者】吉田 勝（機能化学研究部門）

【研究担当者】吉田 勝、木原 秀元、松澤 洋子、
神徳 啓邦（常勤職員5名）

【研究内容】

航空機製造業界では、軽量化による燃料節約や高機能化を目指し、CFRP・アラミド繊維強化樹脂等の繊維強化樹脂部材が大量に用いられている。これら繊維強化樹脂部材はむき出しで使用されるため、なめらかな表面に仕上げる必要があるが、その仕上げ現場では、切断面、締結用リベットを挿入する穴加工表面のエッジ部の仕上げ、繊維強化樹脂同士や、補強用として取り付けるリブを接合した際の接合面にはみ出した接着剤の除去に苦慮している実態がある。さらに、当該業界では研磨対象物が大きく自由曲面形状のため、金属ヤスリは適さず、紙やすりを用いた手作業によって仕上げられており、複合樹脂材中の炭素繊維の方向性による研磨精度の低下や、やすりの目詰まりによる切削性の低下は現場作業の著しい低下を招いている。このような状況を鑑み、切削能力・耐久性が高く、目詰まりのない高機能性を有し、自由曲面にフレキシブルに沿って切削・研磨可能なフレキシブルメタルシートを開発・事業化することを目指している。我々は上記技術課題の解決に向けて、フレキシブルメタルシートへの砥粒の強固な付着を実現する高機能CNT 複合めっき技術の高度化に取り組んでいる。本年度は CNT をめっき液に良好に分散可能な天然高分子の選定指標のひとつとなる粘度測定を行った。また、複合めっき液の保存安定性を評価する分光システムを立ち上げた。

【領域名】材料・化学

【キーワード】ナノチューブ、やすり、めっき、繊維強

化樹脂、

【研究題目】単一の測定装置による熱電3物性値の同時計測可能な方法の開発

【研究代表者】申 ウソク（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】申 ウソク、鶴田 彰宏
（常勤職員2名、他1名）

【研究内容】

熱電変換材料の性能指数評価に必要となるゼーベック係数、電気抵抗率、熱伝導率の熱電3物性とその温度依存性を同時に高精度且つ迅速に計測できる技術がないため、性能評価に多大な時間と労力を要していた。そこで本研究開発では、熱電3物性を同時に計測するための接触式マルチセンシングプローブ（センサ）及び計測手法を新たに構築し、容易・迅速、高精度かつ広い温度範囲で計測できる装置を開発する。

平成28年度では、単一の測定装置で同時に3物性を測定する計測システムの構築を図り、共同研究先が試作したマルチセンシングプローブを用いて熱電3物性の計測を行った。熱電3物性同時計測システムを新規に構築し、新しい計測用センサを用いて、熱電物性が既知のコンスタantan及び代表的な熱電材料であるビスマステルルの熱電3物性を同一環境下で計測し、特に周期加熱法を用いた熱拡散率の簡易計測の有効性の検証を実施した。

【領域名】材料・化学

【キーワード】熱電変換、周期加熱法、熱拡散率

【研究題目】結晶科学の国際拠点形成ーバンドデザインによる機能融合ー

【研究代表者】藤代 芳伸（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】藤代 芳伸、濱本 孝一
（常勤職員2名）

【研究内容】

電子材料の機能は、それぞれの物質の電子構造（バンド構造）に依存する。したがって、結晶に人工的な修飾を加えて電子構造を変えることで、既存の性能を超えた材料を生み出す可能性がある。このような電子構造をデザインするバンドエンジニアリングは半導体分野ではある程度研究が進んでいるが、他の材料系への波及は限定的である。我々は、結晶の機能を最大限に引き出す、あるいは融合するためには、界面をも含んだバンド構造のデザインが重要であるとの考えを基に、近年の物質科学研究によって明らかになった先進的なナノテクノロジーや物質合成技術により、伝統的な組成制御による化学的な機能デザインの手法を超えるような、結晶に新たな機能を付加する学術的な研究を組織化することを目指している。昨年度に続き、高イオン伝導性セラミック電解質や電気化学デバイス用の高次構造電極製造技術を活用し、次世代エネルギーデバイスとして期待される燃料電池及び蓄電池等のイオン電気化学デバイスの高性能化に

バンドエンジニアリングを用いた電極や電極-電解質界面の設計の可能性について、燃料電池及び蓄電池等の研究開発で高いポテンシャルを有する米国 Northwestern 大学と共同で研究を行った。その中で、デュアルビームを用いた3次元構造解析により、凍結乾燥プロセスを応用し作成した高次構造を有するリチウムイオン蓄電池用の電極の微構造と電気化学特性の相関についての研究を行い、電極中の活物質の密度や複合化したカーボンの微構造状態が、蓄電池の性能向上に強く影響する可能性があることを明らかにした。

【領域名】材料・化学

【キーワード】次世代燃料電池、次世代蓄電池、セラミックス電解質、電気化学、エネルギー部材製造技術

【研究題目】ナノカーボン高分子アクチュエータを用いたスマートフォン用薄型点字表示器の開発

【研究代表者】安積 欣志（無機機能材料研究部門）

【研究担当者】安積 欣志、杉野 卓司
（常勤職員2名、その他1名）

【研究内容】

産総研で開発を行ったナノカーボン高分子アクチュエータを用いることにより、これまでにない薄型、軽量の視覚障害者用点字表示器の作製が可能である。この研究開発テーマでは、関係企業と共同で、この点字表示器の点字ピンの均一性等の技術的課題を解決し、スマートフォン用の薄型点字表示器プロトタイプを開発し、ユーザーへのフィージビリティ調査（F/S）を通じて商品化を行うことを目的とする。本プロジェクトは昨年度から3年間の計画であり、プロジェクト終了後、プロジェクト参画の企業により、薄型軽量点字表示器付きのスマートフォン用ケースとその点字表示器のアプリの開発、販売を行う予定である。

昨年度は、厚生労働省自立支援器等研究開発プロジェクトで開発を行った点字ディスプレイプロトタイプの改良版を作製、さらに、点字高さばらつき評価装置を作製し、点字表示器のピンの間隔3 mm、あるいはピン高さ、発生力、そのバラつき許容幅、維持時間について、ユーザーによる評価を行い、それらの値の再設定を行った。その結果、ピン間隔等は従来の設定値を採用できるが、ピン高さ、発生力について、ある程度素子のばらつきを考慮した上で、必要なピン高さが0.5 mm、発生力が5 gであることが、本デバイスの実現に重要なスペックであることが明らかとなった。

本年度はその成果に基づき、ピン高さが0.5 mm、発生力が5 g をスペックとした、スマートフォン用点字表示器のプロトタイプ数台を開発企業と共同で作製し、評価を行うことを進めた。その結果、ピン高さは十分なものができたが、発生力について、安定したプロトタイプ

の作製ができないことが明らかとなり、本プロジェクトを本年度で中断し、アクチュエータの量産化の課題について再検討後、再開について検討することとなった。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】ナノカーボン高分子アクチュエータ、点字表示器、スマートフォン、視覚障害者、点字ディスプレイ、触覚デバイス

【研究 題 目】竹の流動成形による高音質な薄肉・複雑形状スピーカー振動板の実用化

【研究代表者】三木 恒久（構造材料研究部門）

【研究担当者】三木 恒久、重松 一典、太田 一徳、関 雅子、桐生 智明（常勤職員4名、他1名）

【研究 内 容】

高音質音源の普及により、それを再現できるスピーカー振動板が求められ、木製振動板は従来最も有望であった。本研究では、木材の流動成形をシーズ技術として、金属成形ノウハウを融合し高度化する事で、音響特性の勝る竹の緻密化・極薄肉・複雑形状化、高生産化プロセスを開発する。この実用化により、世界でも類のない高音質振動板と金型装置を開発・事業化し、日本の森林を触む放置竹林を解消する新規ビジネスを創出する。

今年度は、素材である竹の供給から成形前処理、成形によるサンプル作製のすべての課題を並行して進めた。検討課題と主な成果は以下のとおりである。

素材の処理においては、熱硬化性樹脂の竹・木材への含浸処理（プリプレグの作製）をメインとする研究課題を設定し、竹・木材への良好な樹脂含浸を達成できる樹脂の種類、溶媒、含浸条件について実験的に検討した。そして、調整した含浸材に熱・圧力・変形量・繊維配向状態などを変化させて得られる成形材の諸物性の評価を行い、高弾性（剛性）、高い内部損失が得られる条件を導出した。それら物性値に及ぼす温湿度の影響についても検討し、従来振動板との優位性についても検討した。金型・装置の研究課題としては、プリプレグの硬化挙動を考慮して金型キャビティ温度・昇温速度やプレスモーションを調整できる金型・装置の開発を目指した。薄肉かつ大型スピーカー振動板の高速成形を実現するためには、キャビティ表面の低摩擦化に加えて、キャビティ内の昇温時の高精度な温度制御に加えて、硬化に必要な温度保持時間（熱量投入）後の迅速冷却が不可避であることがわかった。このため、ヒート&クールサイクルを含む迅速温度制御を実現できる金型内部構造の開発を進めた。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】竹、流動成形、塑性加工、金型、スピーカー、音響特性

【研究 題 目】卓越研究員事業

【研究代表者】田村 正則（卓越研究員：洪 達超）
（触媒化学融合研究センター）

【研究担当者】田村 正則、権 恒道、今 喜裕、田中 真司、矢田 陽、洪 達超、大籠 祐二（常勤職員6名、他1名）

【研究 内 容】

エネルギー・環境問題を解決するために、太陽光エネルギーを利用した物質変換の技術を開発する必要がある。また、持続可能な社会の実現という観点から、光エネルギーを利用し、豊富に存在する水、窒素、酸素及び安定な二酸化炭素やメタンといった小分子を貯蔵可能な化合物や燃料へと変換する技術開発は喫緊の課題である。その第一歩として、これら安定な小分子を活性化できる触媒の開発が重要である。本研究は、ボトムアップ法及びトップダウン法を用いて小分子を活性化する高活性な触媒の開発及び光エネルギー物質変換システムの構築を目的とする。

今年度は、 S_2N_2 型の4座配位子を有するニッケル単核錯体を合成し、二酸化炭素の還元反応の活性を評価した。ニッケル錯体を触媒とし、光増感剤であるルテニウムトリスピリジン錯体及び犠牲還元剤を含む溶液に、二酸化炭素雰囲気下で可視光を照射すると、光触媒的二酸化炭素の還元反応が進行し、選択的に一酸化炭素が生成したことを見出した。また、より高活性な触媒の開発、二酸化炭素の多電子還元生成物を得るために、ボトムアップ法による触媒設計を用い、反応サイトを近傍に有するヘテロ二核金属錯体の合成について検討を行った。実際に、目的とするヘテロ二核金属錯体が生成したのを質量分析で明らかにした。今後、ヘテロ二核金属錯体の合成を確立させ、その触媒活性を評価していく予定である。

【領 域 名】材料・化学

【キーワード】グリーンケミストリー、小分子の活性化、触媒、酸化還元

【研究 題 目】クラスター気相合成法を用いた非平衡IV族系半導体の創製と限界突破デバイスの実現

【研究代表者】遠藤 和彦（ナノエレクトロニクス研究部門）

【研究担当者】岡田 直也（常勤職員1名）

【研究 内 容】

近年の携帯電子機器の発展と普及により、デジタル情報の処理量や蓄積量は爆発的に増大しており、それに伴い消費電力量も増大している。情報通信技術の発展が消費電力量の抑制と両立するための根本的な対策としては、電子情報機器の高性能化と低消費電力化が挙げられる。本研究では、「新しい非平衡IV族系半導体薄膜」で、この課題にアプローチする。

これまでに開発したナノ構造体高精度形成技術 Cluster Preforming Chemical Vapor Deposition (CP-

CVD)を利用して、構成原子の配列構造を規則的に揃えた非平衡IV族系半導体薄膜を創製する。CP-CVDの研究では、IV族半導体と遷移金属を主な対象元素とし、カルコゲン等の他の元素にも順次拡大していく。それらの内の2種類の元素の組合せから、新材料を構成する。新材料の成膜法の開発、物性解明、を複合的に進めていく。さらに、この新材料のデバイス応用に向けて、ナノエレクトロニクス研究部門で進めている情報処理システムの低消費電力化や量子現象等の利用による新規情報処理技術の開発の観点から検討する。原子レベルで物質制御した新材料の大面积成膜の開発にも取り組み、実用に適した成膜法を創出する。これらにより、情報通信機器の高性能化と低消費電力化に貢献する。

本年度は、直接遷移化や高移動度化が期待されるIV族系半導体薄膜の $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ 膜に着目し、CP-CVD技術の開発で得た知見を活かして合成探索を行った。ガスソースとして SnCl_4 と SiH_4 を利用することで熱的な気相反応で $\text{Si}_{1-x}\text{Sn}_x$ 膜が形成できることを確認し、透過顕微鏡観察およびラマン散乱測定により、膜の結晶化を確認した。また、CP-CVDの対象物質を、カルコゲンを含む二次元層状材料へ拡大するために、硫化水素ガス供給設備と成膜装置を立ち上げた。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】IV族半導体、カルコゲン、化学気相合成法、低消費電力デバイス

【研究題目】ナノパーティクルデポジション法で形成する微細金コーンバンプを使った微細ピッチ低温バンプ接合技術の実用化研究開発

【研究代表者】青柳 昌宏 (ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】青柳 昌宏、菊地 克弥、入沢 寿史、渡辺 直也、馮 ウェイ (常勤職員5名)

【研究内容】

本研究では、センサ領域が広く、高速画像処理が可能という特長を有する3次元積層型イメージセンサを実現するため、低温・低荷重、微細ピッチでバンプ接続を可能とする微細金コーンバンプを用いた微細ピッチ低温バンプ接合技術の開発を東北マイクロテック株式会社と共同して進めている。

平成28年度は、昨年度に引き続いて、微細金コーンバンプについて、ナノパーティクルデポジション法で微細なバンプを形成する技術の詳細検討を行った。i線ステッパー露光装置による $2\ \mu\text{m}\phi$ および $1\ \mu\text{m}\phi$ バンプ用レジストパターン形成の露光現像条件を求めるとともに、Heガス的高速流を利用したNPD法によるAuナノ粒子堆積プロセスにおける、Heガス流量を変化させた際のバンプ高さの変動について、基礎データを取得した。また、バンプ接続部の高精度に電気抵抗を評価するため

のテスト用TEGデバイスのパターン設計を進めた。さらに、バンプ接合形成に用いる熱圧着接合形成装置について、吸着方法を改善した試料ホルダーの検討を進めた。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】バンプ接合、微細ピッチ、3次元積層、ナノパーティクル、イメージセンサ

【研究題目】高度IT融合社会の安全・安心を支える次世代自動車用セキュリティ・ゲートウェイ・ECUの開発

【研究代表者】堀 洋平

(ナノエレクトロニクス研究部門)

【研究担当者】堀 洋平、片下 敏宏

(常勤職員3名、他2名)

【研究内容】

自動車以外の自動車やデータセンター、IoTデバイス等と通信することで交通の最適化や事故の防止を図る「つながるクルマ(Connected Car)」の研究が盛んに行なわれている。このようにネットワークに繋がる次世代の自動車は、サイバー攻撃に対するセキュリティが必要不可欠である。本研究では、ハードウェア・セキュリティ技術とソフトウェア・セキュリティ技術を融合した車載向け「セキュリティ・ゲートウェイ・ECU」を開発する。

産総研では、セキュリティ・ゲートウェイ・ECUに搭載するセキュリティ・コア・モジュールであるPhysically Unclonable Function (PUF)の仕様検討を行う。PUFの特性評価を行い、その結果に基づいて誤り訂正等における適切なパラメータについて検討する。

平成28年度は、Altera社FPGA(Cyclone V SoC)上のPUFの性能改善に係る研究開発、並びにPUF評価デモシステムの開発を行った。前年度までの性能評価では、PUF出力のユニーク性が低いという結果が得られていたが、対称性の高い回路配置を実施することでユニーク性を改善することができた。PUF認証デモシステムは、平成26年度に開発したPUF入出力データベース、平成27年度に開発したFPGAボード向け中間基板と、性能解析プログラムや認証プログラムを統合したシステムである。これを用いて、同一のPUF設計データを異なるFPGA上に実装した場合に、異なる秘密情報が生成され、PUFを用いた個体識別が可能であることが示された。

【領域名】エレクトロニクス・製造

【キーワード】つながるクルマ(Connected Car)、車載セキュリティ、サイバーセキュリティ、Physically Unclonable Function (PUF)、Pseudo-LFSR PUF (PL-PUF)

【研究題目】マスクレス超低損傷加工を実現するミニマル・バイオテンプレート形成装置とミ

ニマル中性粒子ビームエッチング装置の開発

〔研究代表者〕 遠藤 和彦（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 遠藤 和彦、原 史朗、
クンプアンソマワン、寒川 誠二
（常勤職員4名）

〔研究内容〕

近年、環境発電が大きな市場になりつつある。これまでシリコンで培った微細加工技術を用いて、ナノサイズ量子ドットを用いた太陽電池や熱電変換素子等を安価に高精度に製造することができれば、環境電源として高効率の発電が可能となる。しかしながら、微細パターンの形成に用いられる、レジストマスクを用いたフォトリソグラフィ法では、近年の加工寸法の微細化に伴い、照射する光の波長の短波長化が進み、ArF 等エキシマレーザーや、EUV 光を必要として、高価な装置を導入が必須となる。従ってこれらの高価なリソグラフィ装置に頼ることなく、量子ドット等の微細パターンを形成することのできる新たな手法の開発が望まれている。

一方、レジストマスクを形成した後は、プラズマエッチングにより微細加工が行われる。このプラズマエッチングには、従来から反応性プラズマが用いられているが、プラズマ中の荷電粒子や紫外光が素子にダメージを与える。

本研究開発では、低コスト・マスクレスでナノ構造が形成できるミニマル・バイオテンプレート形成装置を開発する。また、無欠陥加工を可能とし、ナノ構造素子やCMOS 回路のさらなる微細化・高性能化に必須となる、ミニマル中性粒子ビーム加工装置を開発する。両技術ともに高精細なプロセスのため、ミニマルプロセスと極めて親和性が非常に高く、低コスト及び高効率で、デバイスに搭載可能な実用レベルのナノ構造体を形成することが現実化する。

本年度は既に開発が進められているミニマル規格のスピンコーター、およびプラズマエッチャーを用いて、バイオテンプレート形成や中性粒子ビームの生成に関するの基本的実証を試みた。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 ミニマルファブ、中性粒子、バイオテンプレート

〔研究題目〕 微細パターンの基板に対応した真空差圧式レジスト剥離、エッチング装置の開発

〔研究代表者〕 安藤 淳
（ナノエレクトロニクス研究部門）

〔研究担当者〕 安藤 淳、グエン タット トルン
（常勤職員1名、他1名）

〔研究内容〕

本研究では、小口径半導体ウェーハの微細加工におい

て、製品の高機能化・精密化、品質の安定性を大きく左右するレジスト剥離、バックエッチング、洗浄・乾燥工程に関して、真空差圧を利用し減圧下で処理液及び窒素ガス的高速流を作り、加工処理の高度化を同一装置で実施できる技術の開発を、よこはまティーエルオー株式会社、マイクロ技研株式会社、国立大学法人横浜国立大学と共同して進めている。

平成28年度は、高速流を発生させる流体噴射ノズル形状の最適化、2流体噴射に伴うパターン損傷防止条件の明確化、ウェーハ超音波加振法の開発およびその最適化等を支援するための「微細深溝パターン付ウエハ」の作製を引き続き実施するとともに、「パーティクル追加汚損のないウエハ輸送方法」を確立するための輸送試行とその評価も併せて実施し、平成29年度実施予定の「剥離プロセスの試作装置での検証」等に対する準備を実施した。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 レジスト剥離、バックエッチング、高アスペクト比微細パターン、高精度加工プロセス評価手法

〔研究題目〕 高柔軟性異種デバイス集積技術によるシリコンフォトリソプラットフォームの構築

〔研究代表者〕 高橋 礼（高 磊）
（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 高橋 礼（高 磊）、山本 宗継、
山田 浩治（常勤職員3名）

〔研究内容〕

本研究では、IoT のキーワードで特徴づけられる超大規模情報接続社会の実現に必要な、小型でエネルギー効率と経済性に優れた光ネットワークデバイスの実現をめざし、集積性や量産性に優れたシリコンフォトリソプラットフォーム上に、光源や増幅器などの化合物半導体デバイスやその他様々な異種材料機能性デバイスをデバイス製造プロセスの干渉を避けてフレキシブルに集積する、トランスファープリンティング技術の研究を進めている。本年度は、当該技術開発を行うための最重要装置である薄膜材料用トランスファーステージの設計を行い、その調達を完了した。光学精密機器メーカーとの緻密な議論やダミーサンプル送付などによる検証の結果、位置決めや面平行精度、温度制御性などに優れた装置が完成した。また、研究代表者の一時派遣先である University of California, Berkeley においてデバイス作製プロセスの予備実験として、低温成長された GaAs を石英やシリコン酸化膜基板上への形成を試み、THz 発生効率が非常に優れたオンチップ光源や THz 受光器動作を確認した。一部のサンプルでは電極コンタクトにばらつきが発生していることから、次年度の優先すべき解決課題として取り組む予定である。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 シリコンフォトニクス、化合物半導体、光デバイス集積

〔研究題目〕 表面プラズモン共鳴励起蛍光測定による微細流路型バクテリア検出装置の開発

〔研究代表者〕 藤巻 真（電子光技術研究部門）

〔研究担当者〕 藤巻 真、芦葉 裕樹、安浦 雅人、島 隆之、田口 由利子（常勤職員4名、他1名）

〔研究内容〕

バクテリア検査は安全な飲料水を確保する上で重要であり、そのニーズは様々な分野で急増している。水関連システムメーカーや水検査会社からは、取水場や浄水場で、簡単、迅速にバクテリア検査ができる装置が強く望まれている。

水質検査において最も一般的なバクテリア検出方法は培養法である。培養法は、クリーンな環境が必要なので、現場から水を採取しラボへの搬送が必須となる。また、培養には1日必要になり、検査は専門知識を有するオペレータが行うため、人的コストも高い。このように従来技術では、現状のニーズに応えることは困難である。

本プロジェクトの目標は、培養工程を必要とせず、迅速に結果が出る高感度な小型装置および低コストな使い捨てチップ、専門的な操作技能を必要としない簡単な前処理用の検査試薬キット、誰でも使える簡単操作を実現するソフトウェアの実現である。

我々が開発する装置では、アルミニウムによる表面プラズモン共鳴励起蛍光法を用い、蛍光染色されたバクテリアからの発光信号を増幅して、バクテリアを検知する。今期の開発では、より多くの検体水を一度に検査できるようにチップ構造の改良を実施した。金型成型によって新たに設計したチップの試作を行い、バクテリア検出試験を行ったところ、本プロジェクトの最終目標である、バクテリア濃度 10^3 個/ml の測定に成功した。検査キットや検出プロトコルの開発も行い、検体水の注入から検出までの行程を20時間以内で完了させることに成功した。検出装置の開発に関しては、非冷却 CMOS カメラの採用や光学素子形状の最適化により、目標としていたサイズを達成することができた。

〔領域名〕 エネルギー・環境

〔キーワード〕 水質検査、飲料水、環境水、簡易検査、迅速、

〔研究題目〕 光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点

〔研究代表者〕 中鉢 良治（産総研理事長）

〔研究担当者〕 中鉢 良治、並木 周、高野 了成、河島 整、鍛塚 治彦（常勤職員29名、他14名）

〔研究内容〕

映像情報を中心としてネットワークトラフィックが増大しており、対応してネットワーク機器の消費電力が急激に増大している。ネットワークを活用した効率的な社会インフラを構築するには、低消費エネルギーで大量の情報を処理することのできる新しいネットワーク技術が必要となる。この新しいネットワーク技術として、光スイッチを用いた回線交換型の光パスネットワーク技術を開発する拠点を協働企業10社とともに形成している。この拠点では、デバイス、システム化技術からアプリケーションとのインターフェースまでをカバーする垂直融合の技術開発を進めている。具体的には、以下の四つの技術に関して検討を進めた。第一はネットワークアプリケーションインターフェース技術で、主に、仮想ネットワークの性能確保技術として、前年度に開発した CPU キャッシュ制御技術の完成度を高め、国際会議 OFC2017（2017年3月21日～23日、米国）において NTT と共同で動態展示を行った。第二はダイナミックノード技術で、ダイナミック光パスネットワークの実用普及を促進するために、ダイナミックノードの標準ラックを立案し、世界の主要国際会議 OFC2017をはじめとする展示会などで展示し国内外で提案・普及活動を展開した。第三はパコンディショニング技術で、主にトリマティスと古河電工と連携して、波長変換信号の動作に対応する波長変換器の設計を行ったうえで、波長変換器プロトタイプ的小型化を進め、標準ラック準拠でサイズが3RU のブレード型筐体に収容し、OFC2017での動態展示を行った。第四は光パスプロセッサで、主に、8x8、32x32シリコンフォトニクススイッチを制御回路基板と一体化し、さらに本拠点が提案している標準ラック用ブレードに実装した。また、波長選択性スイッチについては独自方式による高性能化のプロトタイプ試作を行った。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 光パス、省エネルギー、ネットワーク、シリコンフォトニクス、光スイッチ、波長変換

〔研究題目〕 超薄肉・極細プラスチックニードルの複合流動制御成形及び量産技術の開発

〔研究代表者〕 原田 祥久（製造技術研究部門）

〔研究担当者〕 原田 祥久（常勤職員1名）

〔研究内容〕

歯科用医療機器部材は金属からプラスチックへの代替ニーズが高まっており、これに対応するためには超薄肉・極細・長尺部材を成形する高度な成形技術の開発が必要である。そこで本研究では、最適樹脂流動性を実現する解析技術、高精度な金型構造と複合流動制御成形システムを開発し、先端外径0.25 mm、内径0.1 mm、軸長27 mm のプラスチックニードルを実現する。

平成28年度は流動解析を行い、樹脂流動に優れる中

子ピン形状の検討、ゲート数によるニードルの偏肉の確認を行った。金型についてはピン保持機構、真空ガス抜き機構、加熱冷却回路を付加した特殊金型を取り入れ樹脂滞留改善型を完成させた。その樹脂滞留改善型を用いた最適条件の検証を行い充填率は100%、曲がり率は70%の合格率となった。曲がりの要因を調べるために、マイクロフォーカス X 線 CT を用いて成形品の評価を行ったところ、ニードル先端から2・10 mm の範囲で肉厚差を生じ、その曲がり率は肉厚の大きい方向に発生していることがわかった。また、1点ゲートに比べ2点ゲートの方が肉厚差が少なくなった。複合流動制御成形システムにおいては、材料混練時のガス抜きが向上できる適量供給装置を成形機に付加し連動できるシステムに試作した結果、気泡の発生がなく有効性を検証した。また、成形機と連動させ温調機、制御機成形機及び金型と連動したヒート&クール制御の確認を行った。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 医療機器、プラスチックニードル、流動解析、マイクロフォーカス X 線 CT、射出成形

【研究 題 目】 電解レーザー微細複合加工技術の実用化による微細医療器具の開発

【研究代表者】 栗田 恒雄（製造技術研究部門）

【研究担当者】 栗田 恒雄、徳永 仁史、小倉 一朗、芦田 極、古川 慈之（常勤職員5名）

【研究 内 容】

低侵襲で患者負担の少ないカテーテル治療や内視鏡治療は、その適用領域が拡張されている。カテーテル治療ではステント等の末梢系や微細器官への適用が図られ、内視鏡治療では適用可能な治療範囲の拡大が要望される等、微細かつ機能的な器具の開発が要望されている。DEEL 複合加工の実用化に依り、微細医療機器の加工を実現し医療機器を創出する。

産総研のシーズ技術である DEEL (Deep Electrochemical Etching with Laser assistance) は熔融再凝固物がほとんど発生しない新しい加工技術である。初めに、電解加工により加工物表面に不働態皮膜を形成する。次に、レーザー加工により不働態皮膜の加工領域を除去する。再び電解加工を施すことにより加工領域のみで除去及び不働態皮膜の再形成が行われる。その後、再び形成された不働態皮膜を除去する。この工程を繰り返すことによって加工が進行する。この加工方法は10 μm の形状を創成出来、材料の主たる除去原理を電解加工とすることで、レーザー加工時の熔融再凝固物発生量の削減と、熔融再凝固物の電気化学的溶出を同時に行い、加工後の熔融再凝固物をほとんど発生させないことが可能な複合加工技術である。

今年度は加工条件の最適化を効率良く行うためにレーザー加工、電解加工工程を自動で切り替え可能な実験装置

を開発した。また、DEEL 複合加工における電解加工液を検討した。検討した加工液では従来よりも低い電解電圧において電解加工速度2倍を達成した。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 複合加工、レーザー加工、電解加工、カテーテル、ステント、医療デバイス

【研究 題 目】 超高分子量ポリエチレン繊維を用いた海洋構造物係留ロープの耐久性向上技術の開発

【研究代表者】 中村 挙子（先進コーティング技術研究センター）

【研究担当者】 中村 挙子、土屋 哲男、松本 悠（常勤職員2名、他1名）

【研究 内 容】

船舶、洋上標識、海洋エネルギー機器、構造物の係留で使用される鋼製チェーンの代替技術として、スチールと同等の強度を持ち、軽量で耐食性、メンテナンス性に優れた超高分子量ポリエチレン繊維ロープの耐摩耗性と繊維の集束性を向上させるため、密着性に優れた樹脂被覆を行うことにより、軽量・高強度・耐摩耗性・屈曲性を持つロープを開発する。

市販ポリエチレン繊維には油剤が塗付されており、そのままでは繊維に樹脂を接着させることが困難であるため、紫外光クリーニングによる油剤除去、紫外光表面改質による親水化および撥水化処理を経て樹脂加工を行った。当該年度は紫外光によるクリーニングおよび表面改質のプロセス改良に取り組み、前年度と比較して薬剤使用量およびエネルギー使用量の大幅な低減に成功した。被覆候補として選定された複数樹脂について前年度に引き続き樹脂被覆試験を行うとともに、さらに樹脂被覆試料を用いた疑似海水摩耗試験にてスクリーニング試験を行い、樹脂被覆量および疑似海水摩耗試験後の樹脂残存率より被覆樹脂3種を最終選定した。

また、樹脂被覆ポリエチレン繊維および疑似海水摩耗試験試料における樹脂由来ピークの顕微 FT-IR マッピング解析により繊維の断面観察を行った。未処理繊維および親水化処理繊維は被覆樹脂が内部まで浸透していることが明らかとなり、さらに疑似海水摩耗試験後においても親水化処理繊維は未処理繊維と比較して樹脂が残存していることが明らかとなった。本結果からも繊維への樹脂被覆においては表面改質処理が有効であることが確認された。

【領 域 名】 エレクトロニクス・製造

【キーワード】 超高分子量ポリエチレン繊維、表面改質、海洋構造物係留ロープ、樹脂被覆

【研究 題 目】 CFRTP 専用ファスナーを用いた自動車用 CFRTP と異種材料の革新的接合技術の開発

〔研究代表者〕 土屋 哲男（先進コーティング技術研究センター）

〔研究担当者〕 土屋 哲男、山口 巖（常勤職員2名）

〔研究内容〕

環境に配慮した次世代自動車に求められる技術課題のうち、燃費向上に直接寄与する極めて重要な課題が車体の軽量化であり、現在、炭素繊維複合材料（CFRP、CFRTP）が注目され従来の鋼材からの積極的な転換が進んでいる。自動車部材に炭素繊維複合材料の利用が進んだ場合、従来法での接合は困難であるため、難接合素材の部材接合を効率良く実施する新たな接合方法の開発が求められている。

一方、炭素繊維複合材料と金属材料の接合では界面でガルバニック腐食（電食）が発生し、アノード側の金属材料が腐食される。カソード側の炭素繊維とアノード側の金属材料の電位差によるものであり、金属・炭素繊維間で電流が生じることに起因する。そこで、本研究では、金属材料へ絶縁コーティングを行うことで、電食を抑制することを目的とする。金属表面の絶縁性を達成するだけでなく、密着性も課題となる。

当該年度は、絶縁性材料としてシリカやアルミナ等のセラミック酸化物を選択し、金属有機化合物堆積法（metal organic deposition, MOD）を用いて、鋼材上にコーティングを行い、密着性、絶縁性を評価した。スピコート法を用いた塗布により、1 μm を越える厚さの膜が得られ、絶縁性、密着性の良好なものが得られ、これら、セラミック酸化物の有効性が確認できた。ただ、液体を用いた加速試験では、ピンホールの影響により、電食を完全に抑制することができていないため、過酷な条件での使用のためには、より、ち密な膜を得ることが必要であることが明らかとなった。

〔領域名〕 エレクトロニクス・製造

〔キーワード〕 炭素繊維複合材料、電食、電気絶縁コーティング、金属有機化合物堆積（MOD）法

〔研究題目〕 液体を検査媒体とすることで高圧工程を安全・低コストに実現する量産対応高圧漏れ検査装置の開発

〔研究代表者〕 吉田 肇（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 吉田 肇、新井 健太、小島 時彦（常勤職員3名）

〔研究内容〕

エネルギー、航空・宇宙、自動車等の産業では、エネルギー高効率化のため超高压機器が使用されはじめている。これらの機器では製造時の品質管理で高圧（70 MPa 以上）を加えての漏れ検査が必須であるが、従来のヘリウムガスによる漏れ検査は、安全性・コスト等の点から、量産ラインに適用することができない。本研究では検査媒体にヘリウムガスに替えて液体を使用するこ

とで、安全・低コストで量産に適用できる世界初の高圧部品用の定量漏れ検査装置を開発する。

最終年度である本年度は、試作したステンレス製多孔質焼結体からなる気体導入素子「標準コンダクタンスエレメント」を使った液体蒸気校正リークを用いて、導入リーク量の長期安定性試験を行った。液体蒸気校正リークの長期安定性は2%～6%（1σ）／11ヶ月であり、高い安定性を示した。最終的な定量導入の絶対精度（正確には不確かさ）は約30%と見積もられた。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 漏れ検査、リーク検査、真空、高圧、水素、エネルギー、航空・宇宙、自動車

〔研究題目〕 回転軸の軸ガタ検出機能を付加した自己校正型ロータリエンコーダの開発

〔研究代表者〕 渡部 司（工学計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 渡部 司（常勤職員1名）

〔研究内容〕

工作機械は、5軸加工機や複合加工機といった多軸化による高い自由度を備えることにより、より複雑な形状の加工を実現してきた。近年、非球面レンズなどの小型自由曲面形状から、航空機部品や自動車部品、金型などの大型で複雑な特殊曲面形状の加工に対して、川下製造業者からの「更なる加工精度の高精度化・高緻密加工の可能性への要求」と、「複雑化した工作機械の故障予知とメンテナンス作業の効率化への要求」が急速に高まってきた。

本研究では、角度誤差検出と軸ガタ検出機能を持ち合わせるインテリジェントな「軸ガタを検出する機能を付加した高精度な歯車型磁気式ロータリエンコーダ」を実用化することにより、過酷環境下で利用される工作機械のモータ主軸の角度制御の高精度化と継続的な故障予知による寿命管理技術に資する研究開発を行っている。

歯車型磁気式ロータリエンコーダに自己校正原理を適用した高精度技術の評価実験を実施しながら、磁気式エンコーダ信号の自己校正を可能にする信号処理回路の開発、およびインボリュート歯形形状における電磁解析結果と角度誤差の周波数解析の技術開発を実施し、3個の磁気抵抗センサを用いて自己校正機能を付加した歯車型磁気式ロータリエンコーダを試作した。この結果、自己校正原理を歯車モジュール M0.4（歯数256）の歯車型磁気式ロータリエンコーダに適用可能であることを確認し、さらに±10秒以下の角度精度を達成することが可能であることを確認した。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 角度、軸ガタ、ロータリエンコーダ、自己校正法

〔研究題目〕 サイレントチェンジ対策／スクリーニング分析用質量分析装置・技術の開発研究

〔研究代表者〕 津越 敬寿（物質計測標準研究部門）

〔研究担当者〕 津越 敬寿（常勤職員1名）

〔研究内容〕

工業材料分析として、従来、技術的に欠落していた有機化合物の一次評価技術・装置を開発する。経済のグローバル化の進展に伴い、輸入原材料・製品の含有成分や組成が知らないうちに変わること（サイレントチェンジ）によるトラブル事例が増加している。本技術開発により、迅速・簡便且つ低コストに工業材料等の品質チェックを効果的に行うことが出来るため、企業の CSR 対策や安心・安全な製品作りに資する技術開発となる。28年度の課題として、質量分析装置試作を行った。その内容は、先ず市販モデルを改造したベース機体を納品、そのベース機体の仕様検討／機能比較・検証のため、既設の試作型発生気体分析ーイオン付着イオン化質量分析装置も活用した。機能検証の具体例としては、DeBDE の定量下限0.5 µgを確認し、熱分解1%以下はビタミン E で確認した。ただし、DeBDE は共雑成分か熱分解物かの判断が付かない成分があるため、継続して評価中である。

初期段階のまとめはすでに学会発表しており、2016年12月に開催された国際会議（MSAT-9）では最優秀ポスター賞を受賞した。

〔領域名〕 計量標準総合センター

〔キーワード〕 サイレントチェンジ、品質管理、スクリーニング、材料評価、質量分析、フラグメントレスイオン化、ソフトイオン化、ダイレクトインレットプローブ

2. 事業組織・本部組織業務

平成27年からの産総研第4期中長期計画の開始に伴い、「コンプライアンスの強化」「橋渡し」のための研究企画「知財・標準化、産学連携等の強化」「研究職と事務職の人事の一元的管理と適材適所の配置、人材育成の強化」「広報活動の強化」に関する組織及び業務体制の見直しを行うとともに、研究支援体制（事業組織）を再編することで、より一層の業務効率化を図った。

(1) 本部組織・特別の組織

平成28年度は業務の効率化及び適正化を図るため、各組織が所掌する業務の調整、名称の変更、組織の設置等を以下のとおり実施した。

研究戦略に関する所掌を「イノベーション推進本部 総合戦略室」から「企画本部 総合企画室」へ移管するとともに、「イノベーション推進本部 総合戦略室」の名称を「イノベーション推進本部 イノベーション推進企画室」に変更した。

また、産総研をはじめ複数機関が参画する研究拠点「つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点」（略称「TIA-nano」）が「TIA」に名称変更することに伴い、所内に特別の組織として設置していた「つくばイノベーションアリーナ推進センター」を「TIA 推進センター」へ名称変更した。

更に、「イノベーション推進本部 技術マーケティング室」で所掌していた「研究情報に関するデータベースの整備、調査、維持、管理及び公開に関する業務」を、「イノベーション推進本部 イノベーション推進企画室」に移管した。

加えて、平成28年度第二次補正予算「人工知能に関するグローバル研究拠点整備」事業において、東京大学柏 II キャンパス及び臨海副都心センターにそれぞれ柏ハブ研究拠点及び臨海ハブ研究拠点設置の整備を進めるため、「人工知能グローバル研究拠点整備準備室」を設置した。

（組織再編の一覧表は「5. 組織編成」に記載）

【本部組織】

- ・ 企画本部
- ・ コンプライアンス推進本部
- ・ イノベーション推進本部
- ・ 環境安全本部
- ・ 総務本部
- ・ 評価部
- ・ 監査室

【特別の組織】

- ・ TIA 推進センター

< 凡 例 >

本部・事業組織名（英語名）

所在地：つくば中央第×、△△センター

人 員：常勤職員数（研究職員数）

概 要：部門概要

機構図（2017/3/31現在の役職者名）

××室（英語名）

（つくば中央第○）

概要：業務内容

△△室（英語名）

（△△センター）

概要：業務内容

業務報告データ

1) コンプライアンス推進本部 (Compliance Headquarters)

所在地：つくば中央第1

人員：9名（3名）

概要：

コンプライアンス推進本部は、研究所のコンプライアンスに関する体制の構築、コンプライアンス推進に関する取組み、研究ミスコンダクト（研究成果物等の作成に係るねつ造、改ざん、盗用等）への対応等を行っている。

平成28年度の主な活動は以下のとおりである。

1. リスク管理及び危機対策の取組み

(1) コンプライアンス推進委員会（リスク情報報告会）の開催

顕在化したリスク情報を現場から収集し、理事長及びコンプライアンス推進担当理事等に報告するためのコンプライアンス推進委員会を原則毎週開催した。なお、同委員会では、リスク情報ごとに対処方針を検討するとともに、適宜現場への指示を行った。

(2) リスク情報の共有

研究所内で定期的に開催されている役員の連絡会議及び事業所長等の連絡会議においてリスク情報を共有し、研究所内への周知及び注意喚起を行った。

(3) 緊急連絡体制の見直し

理事長等への緊急連絡の迅速化を図るため、連絡ルートを簡略化するとともに、リスク情報の種類ごとに連絡責任の明確化を図った。

(4) 「お助け隊」の設置

研究者がより気軽に相談でき、研究不正等を未然に防止するための支援体制として、各事業所に「お助け隊」を設置した。加えて、各事業所「お助け隊」に共通するメンバーとして、経験豊富な相談員2名を総務本部に配置し、横断的な課題等への対応を可能とする体制とした。

2. コンプライアンスの普及啓発活動

(1) コンプライアンス研修の実施

従来から実施している階層別研修に加え、新たにコンプライアンス推進室の職員が地域センター及び研究ユニットに向いて研修を実施した。また、研修内容についても、過去の事例を紹介するとともに、事例の発生原因及び注意すべき事項等を説明し、職員のコンプライアンス意識の向上を図った。

(2) 「コンプラ便り」の発行

職員のコンプライアンス意識の醸成を図るため、毎月、テーマを替えて「コンプラ便り」を発行し、イントラに掲載した。

3. 研究ミスコンダクトへの対応及びその防止策

(1) 研究ミスコンダクトへの対応

研究ミスコンダクト事案について、所内規程に基づき、研究者倫理統括者の指揮のもと迅速かつ厳正に対応した。

(2) 剽窃探知オンラインツールの利用促進

引用・参考文献の表示漏れ、意図しない自己剽窃等を防ぐために不正防止の取り組みの一助として導入した剽窃探知オンラインツールを研修やイントラ等で周知し、利用の促進を図った。

(3) 研究記録の適切な管理の徹底

研究ノートへの記録と上長による検認を義務付け、適切な研究記録の管理・運用を徹底した。

構成図（2017/3/31現在）

[コンプライアンス推進本部]

本部長	中鉢 良治（理事長）
副本部長	金山 敏彦（副理事長）
担当理事	安永 裕幸
担当理事	中沢 則夫
審議役	石井 正一
総括企画主幹	重松 一典

[コンプライアンス推進室]

室長	安富 正
----	------

コンプライアンス推進室（Compliance Office）

概要：

コンプライアンス推進室は、(1)研究所全体のリスク管理のとりまとめ及び組織横断的なリスクの管理・対策に係る企画立案・総合調整、(2)研究所におけるリスクの定量的な評価の実施、重大リスク（優先的に取り組むべきリスク）と共通する原因・背景の掌握、(3)過去の失敗事例やリスク評価の結果に立脚した重大リスクの低減策の策定、(4)事故・事件等の危機に対応し、被害を最小限に留める対策、(5)適切なコミュニケーション（情報提供・公表等）による信頼の維持・確保に向けた各部門等との調整、(6)コンプライアンス推進委員会の事務局に係る業務、(7)内部通報制度に係る業務、(8)コンプライアンスに係る訴訟対応業務を行っている。

2) 監査室 (Audit Office)

所在地：つくば中央第1

人員：5名

概要：

監査室は、(1)①業務の有効性及び効率性、②事業活動に係る法令等の遵守、③資産の保全、④財務報告書等の信頼性の実現のため、各業務が適正かつ効率的に機能しているかモニタリングすることを目的とした内部監査業務、(2)研究所の財務内容等の監査を含む業務の適正かつ能率的な運営を確保することを目的とした独立行政法人通則法第19条第4項に基づく監事の監査業務の支援に関する業務、(3)会計検査院法（昭和22年4月19日法律第73号）に規定する検査への対応に関する業務を行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[監査室]

室長	渡邊 修治
総括主幹	益子 利和
総括主幹	真中 民雄

平成28年度の主な活動

内部監査については、監査の必要性の高い特定のテーマに加え、研究ユニット単位で業務全般について包括的な監査を実施し、監査を通じて把握・取得した業務の実態及び客観的データを分析・評価することにより、当該業務の合規性、有効性、効率性の把握と課題等を抽出し、監査対象部署等に対する改善提言等を行い、併せて、過年度の内部監査における改善提言に対する改善状況のフォローアップ監査を行った。

また、監事の監査業務の支援として、監事監査が適正かつ効率的に行えるよう監事との打合せを十分に行うとともに、監査対象部署の事前情報収集、データ作成、日程調整及び監査記録作成等を行った。

会計検査院による検査対応業務については、内部監査と会計検査院による検査の情報を一元的に管理し、関係部署との情報共有を十分に行うことにより、適切かつ迅速な対応を行った。

3) 評価部 (Evaluation Department)

所在地：つくば中央第1

人員：9名（6名）

概要：

評価部のミッションは、公正かつ中立的な立場から

研究所の活動が評価されることを通じて、研究所運営におけるPDCAサイクルが徹底されるための要の役割を果たすことである。

具体的には、外部委員からなる評価委員会等の事務局として、委員による指摘が、①研究、研究関連及びその他の業務活動の活性化並びに質的向上と、②経営層による優れた経営判断とに繋がるよう、効果的かつ効率的に委員会を運営し、また、③評価結果を公開して透明性確保と国民への説明責任を果たすことである。

平成28年度は、評価委員会について次の2点の改善を行った。①年度終了後に年度実績に基づき、委員会開催時の評価結果を委員が見直す2ステップ評価を導入。②取組や成果の全体像を見やすくするため、評価項目を類型化・大括り化、また一部の委員会を統合。

さらに、特定国立研究開発法人指定に伴う中長期目標等の変更に評価項目を対応させた。

その上で次の業務を行った。

1. 平成27年度実績の評価

(1) 外部評価

7の研究評価委員会、研究関連業務評価委員会及び業務運営・財務等評価委員会による平成27年度の評価結果を報告書として公開した。

(2) 自己評価

平成27年度の自己評価案を取りまとめ、その妥当性を外部委員からなる自己評価検証委員会で検証し、その結果を取りまとめた。

2. 平成28年度実績の外部評価

(1) 研究評価委員会

7の研究評価委員会において、平成28年度の研究成果等の評価を実施した。

(2) 研究関連業務評価委員会

マーケティング、知財、人材育成等の研究関連業務及び業務運営の改善・効率化、財務内容の改善等の業務に関し、平成28年度の評価を実施した。

機構図（2017/3/31現在）

評価部	部長	加藤 一実
	次長	秋道 斉
	審議役	中村 徳幸
	室長	中山 一彦、(兼) 中村 徳幸

評価企画室（Evaluation Planning Office）

（つくば中央第1）

概要：

評価に係る業務の企画及び立案並びに総合調整、外部評価に関する業務（研究評価室の所掌に属するものを除く。）、評価に係る業務であって、他の所掌に属しないものに関する業務を行う。

研究評価室 (Research Evaluation Office)
(つくば中央第1)

概要：
外部評価のうち、研究及び研究に関連する業務の評価に関する業務を行う。

業務報告データ
研究評価委員会等 評価報告書

*産総研公式ホームページから閲覧可能
(<https://unit.aist.go.jp/eval/ci/report.html>)

4) 企画本部 (Planning Headquarters)

所在地：東京本部、つくば中央第1

人員：72名 (33名)

概要：
企画本部は、理事長を補佐し、研究所の総合的な経営方針の企画及び立案、研究所の業務の実施に係る総合調整並びに業務合理化の推進、研究所の広報等に係る業務を行っている。
具体的には、理事長の執務補佐を行うとともに、研究所の経営企画業務として、経済産業省と密接なコミュニケーションをとりつつ、法人運営全体に係わる企画調整、経営方針の企画立案、中長期計画及び年度計画の取りまとめ、研究資源の配分、研究センター・研究部門の新設及び改廃案の策定、広報業務の企画立案、研究成果の発信等を行っている。
また、国会、経済産業省、総合科学技術・イノベーション会議や国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構等の外部機関への総括的な対応を担っている。

機構図 (2017/3/31現在)

【企画本部】

企画本部長	安永 裕幸
企画副本部長	山崎 知己
	四元 弘毅
審議役	助川 友之
	高橋 正春
	前田 秀
	牧野 守邦
	高木 博康
	田村 修

【総合企画室】

室長	和田 有司
総括企画主幹	佐藤 洋
	亀山 仁彦
	宮地 良典

【経営改革推進室】	室長	小林 富夫
【報道室】	室長	川村 栄浩
【広報サービス室】	室長	長山 隆久
【人工知能グローバル研究拠点整備準備室】	室長	高木 博康

総合企画室
(General Planning Office)

概要：
企画本部5室を総括し、研究所の総合的な経営方針及び研究方針の企画及び立案並びに総合調整に関する業務を行っている。

経営改革推進室
(Governance Reform Office)

概要：
経営改革推進室は、研究所の組織及び人員配置にかかる基本方針の企画及び立案並びに総合調整、研究所の経営戦略会議、理事長が参加する外部委員会等への対応及び研究記録に関する業務を行っている。

報道室
(Media Relations Office)

概要：
報道室は、広報業務の企画立案及び総合調整、マスメディアを通じた広報及び取材対応等の業務を行っている。

広報サービス室
(Public Relations Information Office)

概要：
広報サービス室は、コーポレートアイデンティティの活用及び企画・推進、情報ネットワークを用いた研究成果等の発信、広報誌等刊行物の発行・頒布、映像及び画像の制作、常設展示施設「サイエンス・スクエアつくば」の運営、研究所の公開等の企画・運営、外部イベントへの出展、見学受入等の業務を行っている。

人工知能グローバル研究拠点整備準備室
(Planning Office for AI Global Open Innovation Arena)

概要：
人工知能グローバル研究拠点整備準備室は、研究所の人工知能技術に関する最先端の研究開発及び社会実装を産学官連携で推進するための柏ハブ研究拠点及び臨海ハブ研究拠点の整備並びに各研究拠点における研究業務の企画及び立案に関する業務を行っている。

1) 報道関係

平成28年度プレス発表件数（所属別）

所属名	件数
企画本部	4
TIA 推進センター	5
再生可能エネルギー研究センター	1
太陽光発電研究センター	1
先進パワーエレクトロニクス研究センター	2
触媒化学融合研究センター	3
ナノチューブ実用化研究センター	4
スピントロニクス研究センター	5
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	3
先進コーティング技術研究センター	3
集積マイクロシステム研究センター	1
人工知能研究センター	3
機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	2
磁性粉末冶金研究センター	1
電池技術研究部門	2
省エネルギー研究部門	2
環境管理研究部門	2
安全科学研究部門	2
バイオメディカル研究部門	4
創薬基盤研究部門	1
生物プロセス研究部門	2
情報技術研究部門	2
人間情報研究部門	3
知能システム研究部門	3
機能化学研究部門	2
化学プロセス研究部門	1
ナノ材料研究部門	5
無機機能材料研究部門	4
構造材料研究部門	2
ナノエレクトロニクス研究部門	3
電子光技術研究部門	3
活断層・火山研究部門	2
地圏資源環境研究部門	3
地質情報研究部門	6
工学計測標準研究部門	1
物理計測標準研究部門	6
物質計測標準研究部門	2
分析計測標準研究部門	5
窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリ	1
先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ	1
数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリ	1
日本ゼオン-産総研カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ	1
生体システムビッグデータ解析オープンイノベーションラボラトリ	1

所属名	件数
先端フォトニクス・バイオセンシングオープンイノベーションラボラトリ	1
水素材料強度ラボラトリ	1
パナソニック-産総研 先進型 AI 連携研究ラボ	1
実社会ビッグデータ活用オープンイノベーションラボラトリ	1
エネルギー化学材料オープンイノベーションラボラトリ	1
エネルギー・環境領域	3
生命工学領域	2
情報・人間工学領域	5
材料・化学領域	4
エレクトロニクス・製造領域	2
地質調査総合センター	2
計量標準総合センター	1
イノベーション推進本部	1
産学官・国際連携推進部	5
中部センター	1
関西センター	3
九州センター	1
福島再生可能エネルギー研究所	1
総計	147

(*発表件数は119件。)

産業技術総合研究所

平成28年度取材対応件数（所属別）

所属名	件数
TIA 推進センター	1
イノベーション推進本部	3
エネルギー・環境領域研究戦略部	1
スピントロニクス研究センター	1
ダイバーシティ推進室	1
ナノエレクトロニクス研究部門	14
ナノチューブ実用化研究センター	1
ナノ材料研究部門	9
バイオメディカル研究部門	23
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	3
ベンチャー開発・技術移転センター	3
ロボットイノベーション研究センター	19
安全科学研究部門	13
化学プロセス研究部門	7
活断層・火山研究部門	200
環境安全企画部	1
環境管理研究部門	13
関西センター	4
企画本部	8
機能化学研究部門	13
機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	2
計量標準総合センター研究戦略部	1
健康工学研究部門	1
工学計測標準研究部門	3
構造材料研究部門	9
再生可能エネルギー研究センター	19
材料・化学領域研究戦略部	2
四国センター	3
磁性粉末冶金研究センター	2
自動車ヒューマンファクター研究センター	4
情報・人間工学領域	3
情報・人間工学領域研究戦略部	2
情報基盤部	1
情報技術研究部門	16
触媒化学融合研究センター	7
人間情報研究部門	75
人工知能研究センター	73
人事部	1
水素材料強度ラボラトリ	1
数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリ	1
生物プロセス研究部門	8
生命工学領域研究戦略部	1
製造技術研究部門	1
先進パワーエレクトロニクス研究センター	1
創エネルギー研究部門	3
創薬基盤研究部門	2
創薬分子プロファイリング研究センター	8
太陽光発電研究センター	4
知的財産・標準化推進部	2
知能システム研究部門	13
地域連携推進部	4
地圏資源環境研究部門	31

所属名	件数
地質情報基盤センター	26
地質情報研究部門	56
地質調査総合センター研究戦略部	39
中部センター	1
電子光技術研究部門	11
電池技術研究部門	3
福島再生可能エネルギー研究所	31
物質計測標準研究部門	1
物理計測標準研究部門	7
分析計測標準研究部門	2
北海道センター	2
無機機能材料研究部門	4
名誉フェロー	5
理事	2
臨海副都心センター	4
総計	836

平成28年度マスコミ等報道件数（媒体別）

媒体名		件数
新聞	朝日新聞	93
	読売新聞	84
	毎日新聞	59
	産経新聞	62
	日本経済新聞	145
	日刊工業新聞	431
	フジサンケイ ビジネスアイ	36
	日経産業新聞	158
	化学工業日報	222
	科学新聞	78
他	974	
	計	2,342
雑誌等		130
TV/ ラジオ	NHK	39
	民放 他	70
	計	109
WEB その他		1,148
	総計	3,729

2) 主催行事等

平成28年度講演会等実施一覧

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	28.4.28	人工染色体ベクターに関するセミナー	産総研 健康工学研究部門	主催	香川県	産総研 四国センター
2	28.5.24	計測・診断システム研究協議会 平成28年度 総会・講演会	産総研コンソーシアム「計測・診断システム研究協議会」	主催	福岡県	九経交流プラザ
3	28.5.25	GIC 平成28年度第46回研修セミナー	産総研 グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム	主催	宮城県	TKP ガーデンシティ仙台
4	28.5.30	東北大学多元研一産総研東北センタージョイントセミナー（平成28年度 Clayteam 総会／第25回 Clayteam セミナー）	産総研 Clayteam、東北大学多元物質科学研究所	主催	宮城県	東北大学片平キャンパス
5	28.7.7	日本を元気にする産業技術会議シンポジウム持続可能な社会に向けた磁性材料イノベーションー磁性粉末冶金研究センター設立記念シンポジウムー	産総研／日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	日経カンファレンスルーム
6	28.7.14	GIC 平成28年度第47回研修セミナー	産総研 グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム	主催	茨城県	産総研つくばセンター
7	28.8.24	北海道センターワークショップ「産総研がねらう農業イノベーションへの橋渡し」	産総研 北海道センター	主催	北海道	札幌全日空ホテル
8	28.8.26	平成28年度（第12回）九州・沖縄公設試及び産総研九州センター研究者合同研修会	産総研 九州センター、九州経済産業局 地域経済部産業技術課	主催	宮崎県	KITEN コンベンションホール
9	28.9.5	平成28年度 産総研 エネルギー・環境シンポジウム環境・エネルギー新技術の展望：フェムトリアクターによる化学プロセスの革新性	産総研 環境管理研究部門	主催	東京都	機械振興会館ホール
10	28.9.8	NMIJ 標準物質セミナー2016	産総研 計量標準総合センター	主催	千葉県	幕張メッセ
11	28.9.9	つくば発イノベーション 第33回講演会／常陽 nextX セミナーサービス産業のための「生産性向上」セミナー	産総研、株式会社常陽銀行	主催	茨城県	常陽つくばビル
12	28.9.13	第2回 Clayteam アカデミックシンポジウム	産総研 Clayteam	主催	宮城県	東京工科大学 八王子キャンパス
13	28.9.23	第3回 3次元積層造形精密後加工技術 WG 講演会第32回 精密加工プロセス研究会講演会（第12回ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究会講演会）	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」精密加工プロセス研究会 3次元積層造形精密後加工技術 WG	主催	福岡県	九経交流プラザ
14	28.9.27	GIC 平成28年度第48回研修セミナー	産総研 グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム	主催	宮城県	産総研東北センター
15	28.9.30	インターメジャー2016 NMIJ 法定計量セミナー	産総研 計量標準総合センター	主催	東京都	東京ビッグサイト

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
16	28.10.7	中部イノベネット「産業技術の芽」シーズ発表会 in 富山 / 産業技術総合研究所技術普及講演会	中部イノベネット、産総研中部センター	主催	富山県	富山県民会館
17	28.10.21	第16回産学連携フェア 産総研主催セミナー先端技術を事業にー産総研の「橋渡し」のご紹介ー	産総研九州センター	主催	福岡県	北九州学術研究都市産学連携センター
18	28.10.25	第19回プラズマ技術研究会講演会 第9回ミニマル3DIC ファブ開発研究会講演会	プラズマ技術研究会、ミニマル3DIC ファブ開発研究会	主催	福岡県	リファレンス駅東ビル
19	28.11.1	第9回「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」シンポジウム	光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点、産総研	主催	東京都	秋葉原ダイビル
20	28.11.17	固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム (ASEC) 公開シンポジウム	産総研 固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム (ASEC)	主催	東京都	TKP 東京駅日本橋
22	28.11.21	第8回プラズマ医療・健康産業シンポジウム	産総研、「プラズマ医療・健康産業フォーラム」、文科省・科研費・新学術領域研究「プラズマ医療の創成」	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
23	28.11.22	「風洞技術の開発と応用シンポジウム～風洞シンポジウム2016～」、「風と流れのプラットフォーム・シンポジウム2016」合同シンポジウム	一般社団法人可視化情報学会、文部科学省先端研究基盤共用促進事業「風と流れのプラットフォーム」、産総研	共同主催	茨城県	産総研つくばセンター
24	28.11.24	第26回 Clayteam セミナー	産総研 Clayteam	主催	宮城県	産総研東北センター
25	28.12.8	7th Tsukuba International Coating Symposium 2016 (第7回つくば国際コーティングシンポジウム)	産総研 先進コーティング技術研究センター	主催	茨城県	産総研つくばセンター
26	28.12.9	GIC 平成28年度第49回研修セミナー	産総研 グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム	主催	宮城県	産総研東北センター
27	28.12.9	地圏資源環境研究部門 第15回研究成果報告会	産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門、東京都	主催	東京都	秋葉原ダイビル
28	28.12.9	シンポジウム「新材料で構成する快適建築空間」ー新材料を用いた省エネ改修ー	産総研 構造材料研究部門、環境ハーモニック建築部材研究会、産総研コンソーシアム「低炭素化材料評価システム技術コンソーシアム」	主催	東京都	グランパークカンファレンス
29	29.1.10	ワークショップ第2回「次世代航空機・宇宙産業に資するセラミックス基材料」	産総研 構造材料研究部門	主催	愛知県	名古屋駅前ABC貸会議室
30	29.1.10	第33回 精密加工プロセス研究会講演会 (第13回ワイドバンドギャップ半導体デバイスに関わる超精密加工プロセス研究会講演会)	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」精密加工プロセス研究会	主催	福岡県	リファレンス駅東ビル
31	29.1.25	MathAM-OIL 第1回企業連携ワークショップ	産総研 数理先端材料モデリング オープンイノベーションラボラトリ (MathAM-OIL)	主催	東京都	TKP ガーデンシティ PREMIUM 神保町
32	29.1.26	2016年度計量標準総合センター成果発表会	産総研 計量標準総合センター	主催	茨城県	産総研つくばセンター

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
33	29.1.27	平成28年度 食品・バイオテクノロジー技術研究会講演会	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」食品・バイオテクノロジー技術研究会	主催	佐賀県	産総研九州センター
34	29.1.27	平成28年度 産総研 エネルギー・環境シンポジウムシリーズ安全科学研究部門講演会 「水素社会に向けての評価研究 ～安全で持続可能な社会に向けて～」	産総研 安全科学研究部門	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
35	29.1.30	第22回インスペクション技術研究会講演会「次世代ものづくりと標準化、それらを支える計測評価技術」ービジネスチャンスは大きな変革のときにあるー	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」インスペクション技術研究会	主催	熊本県	熊本県産業技術センター
36	29.1.31	「明日を拓く」日本を元気にする産業技術会議ものことづくりによる製造業のサービス化	産総研/日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	日経カンファレンスルーム
37	29.2.7	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」平成28年度 第1回出前シンポジウム「ミニマルファブでデバイス製造産業を革新する」	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」	主催	沖縄県	那覇第2地方合同庁舎
38	29.2.13	2017年産業技術総合研究所中部センター研究講演会	産総研 中部センター	主催	愛知県	愛知県産業労働センター（ウインクあいち）
39	29.2.17	ナノテクノロジー国際標準化ワークショップ～ナノテクノロジー国際標準化の広がり～	産総研 ナノテクノロジー標準化国内審議委員会	主催	東京都	東京ビッグサイト
40	29.2.21	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」平成28年度 第2回出前シンポジウム「産総研における IoT&AI 活用ものづくり」	産総研コンソーシアム「製造技術イノベーション協議会」	主催	熊本県	ホテルメルパルク熊本
41	29.2.22	スポーツ用義足に関する国際研究フォーラム（IBRSP2017）	産総研 臨海副都心センター	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
42	29.2.27	次世代ナノテクフォーラム2017（新産業を創出するナノファイバー）	産総研 関西センター、産業技術連携推進会議 近畿地域部会 ナノテクノロジー分科会	主催	大阪府	千里ライフサイエンスセンター
43	29.2.27	GIC 平成28年度第50回研修セミナー	産総研 グリーンプロセスインキュベーションコンソーシアム	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
44	29.2.28	第6回電子光技術シンポジウム「光技術の医療・ヘルスケアへの展開」	産総研 電子光技術研究部門	主催	東京都	秋葉原 UDX
45	29.3.18	GSJ シンポジウム「ようこそジオワールドへ」	産総研 地質調査総合センター、産業技術連携推進会議 知的基盤部会 地質地盤情報分科会	主催	東京都	TKP 神田ビジネスセンター
46	29.3.28	「日経社会イノベーションフォーラム」産業技術総合研究所人工知能研究センターシンポジウム	産総研、日本経済新聞社	共同主催	東京都	イイノホール

産業技術総合研究所

主催行事（共同主催を含む）

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	28.4.14	「第2回レジリエント・コミュニティ国際シンポジウム in 郡山」	産総研 福島再生可能エネルギー研究所、郡山市	主催	福島県	郡山市中央公民館
2	28.4.16	第4回 GSJ ジオ・サロン「石が息づく世界」	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
3	28.4.19	産総研福島再生可能エネルギー研究所 スマートシステム研究棟開所式	産総研 福島再生可能エネルギー研究所	主催	福島県	産総研福島再生可能エネルギー研究所
4	28.4.22	産総研福井サイト 開所記念セミナー	産総研、福井県公益財団法人ふくい産業支援センター	主催	福井県	福井県工業技術センター
5	28.4.23	科学技術週間特別イベント	産総研	主催	茨城県	産総研つくばセンター
6	28.5.24	第50回産総研・新技術セミナー	産総研 東北センター仙台青葉サイト	主催	宮城県	TKP ガーデンシティ仙台勾当台
7	28.5.30	「地質の日」記念イベント 第5回 GSJ ジオ・サロン「ウェブカラ地質図」	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
8	28.5.31	平成28年度福島再生可能エネルギー研究所 研究成果報告会	産総研 福島再生可能エネルギー研究所	主催	福島県	郡山ビューホテルアネックス
9	28.6.15	AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2016	産総研 太陽光発電研究センター・再生可能エネルギー研究センター	主催	茨城県	つくば国際会議場
10	28.6.17	第7回産総研プレゼンツサイエンスカフェ in 鳥栖	産総研 九州センター	主催	佐賀県	産総研九州センター
11	28.6.20	産総研 STAR シンポジウム「超省電力データ処理ハードウェアの新潮流と将来像」	産総研/日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	コクヨホール
12	28.6.21	ベンチャー創出支援セミナー	産総研 ベンチャー開発・技術移転センター	主催	茨城県	産総研つくばセンター
13	28.6.29	AIST-FREA セッション	産総研、再生可能エネルギー協議会	主催	福島県	パシフィコ横浜
14	28.7.5	「県の石」臨時展示	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
15	28.7.8	第51回産総研・新技術セミナー	産総研 東北センター 仙台青葉サイト	主催	宮城県	産総研仙台青葉サイト
16	28.7.17	学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2016	特定非営利活動法人 natural science	主催	宮城県	東北大学川内北キャンパス
17	28.7.20	地質標本館 夏の特別展「あの山この山どんな山？」－「山の日」制定記念 日本の山の地質－	産総研地質情報基盤センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
18	28.7.22	G7茨城・つくば科学技術大臣会合開催記念事業第7回 TIA シンポジウム－新たなる連携の「かけはし」－	TIA	主催	茨城県	つくば国際会議場
19	28.7.23	「地震ってなあに？－熊本地震をしらべています－」	産総研 地質情報基盤センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
20	28.7.26	第二回表層型メタンハイドレート資源量調査結果検討委員会	産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門	主催	東京都	経済産業省別館

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都 道府県	会場名
21	28.7.28	つくば産学連携強化プロジェクト 新技術説明会	科学技術振興機構、筑波大 学、産総研	主催	東京都	科学技術振興機構東京 本部別館
22	28.7.30	第4回産総研サイエンスカフェ in 関西&応用物理学会 M&BE 分科会 第7回市民講座 「光がも たらす未来のバイオテクノロジー」	産総研 関西センター、応用 物理学会 有機分子・バイオ エレクトロニクス (M&BE) 分科会	主催	大阪府	池田市商工 会議所
23	28.7.30	FREA 一般公開2016	産総研 福島再生可能エネル ギー研究所	主催	福島県	産総研福島 再生可能エ ネルギー研 究所
24	28.8.1	地質標本館 第6回 GSJ ジオ・サ ロン「富士山を考える」	産総研 地質調査総合研究セ ンター	主催	茨城県	産総研地質 標本館
25	28.8.2	産総研発ベンチャーTODAY - IT 技術が拓く新しいリアリテ ィの社会 -	産総研/日本を元気にする 産業技術会議	主催	東京都	大手門タワ ー・JX ビ ル
26	28.8.3	産総研四国センター一般公開	産総研 四国センター	主催	香川県	産総研四国 センター
28	28.8.19	地質標本館 夏休み化石クリー ニング体験教室2016	産総研 地質調査総合研究セ ンター	主催	茨城県	産総研地質 標本館
29	28.8.20	地質標本館 地球何でも相談	産総研 地質調査総合研究セ ンター	主催	茨城県	産総研地質 標本館
30	28.8.26	FESComm ～ 未来エネルギーシ ステム談話会 ～	FESComm2016実行委員会 (筑波大、産総研)	主催	茨城県	筑波大学
31	28.8.27	2016年度 産総研関西センター研 究所公開	産総研 関西センター	主催	大阪府	産総研関西 センター
32	28.8.29	産総研総合職インターンシップ 【1day】研究マネジメント体験 コース	産総研 人事部人事室 計画 グループ	主催	茨城県	産総研つく ばセンター
33	28.8.31	第三回表層型メタンハイドレート 資源量調査結果検討委員会	産総研 地質調査総合センタ ー 地圏資源環境研究部門	主催	東京都	経済産業省 別館
35	28.9.7	第15回水文学的・地球化学的手法 による地震予知研究についての日 台国際ワークショップ	産総研 地質調査総合センタ ー 活断層・火山研究部門	主催	茨城県	産総研つく ばセンター
36	28.9.17	地質標本館体験学習イベント 「筑波山の模型を作ろう！」ー筑 波山地域ジオパーク構想支援イ ベントー	産総研 地質調査総合センタ ー	主催	茨城県	産総研地質 標本館
37	28.9.29	第2回産総研・人間情報研究部門 シンポジウム (SHI2016) テー マ: R&D とお客様をつなぐ人間 計測技術	産総研 情報・人間工学領域	主催	東京都	産総研臨海 副都心セン ター
38	28.10.3	平成28年度 関東甲信越静地域産 業技術連携推進会議平成28年度 産業技術連携推進会議 関東甲信 越静地域部会総会・製造技術分科 会合同総会	産業技術連携推進会議 関 東甲信越静地域部会、関東 経済産業局、産総研	主催	山梨県	ベルクラシ ック甲府
39	28.10.4	日本ジオパーク認定記念臨時展示 「筑波山地域ジオパークを学ば う！」	産総研 地質調査総合研究セ ンター	主催	茨城県	産総研地質 標本館
40	28.10.5	平成28年度 KANSEI “感性” サ ロン ～オリンピックの感性とス ポーツ科学～	産総研 中国センター、公益 財団法人ちゅうごく産業創 造センター	主催	広島県	ホテルセン チュリー21 広島
41	28.10.7	平成28年度京都法定計量セミナー	産総研	主催	京都府	株式会社島 津製作所

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
42	28.10.11	第8回 TIA シンポジウム ―新たな領域へ―	TIA	主催	東京都	イイノホール
43	28.10.11	技術交流サロン in 東広島	産総研 中国センター、国立大学法人広島大学、近畿大学工学部、東広島市産学金官連携推進協議会	主催	広島県	サンスクエア 東広島アザレアホール
44	28.10.11	第7回 GSJ ジオ・サロン「みんなの地質図」	産総研 地質調査総合研究センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
45	28.10.13	第16回ガスハイドレート産業創出イノベーション講演会（第17回メタンハイドレート研究アライアンス講演会）	産総研 メタンハイドレートプロジェクトユニット	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
46	28.10.16	筑波山地域ジオパーク認定記念講演会「山と平野とジオパーク ―筑波山地域ジオパークの地質―」	産総研 地質調査総合研究センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
47	28.10.25	第52回産総研・新技術セミナー	産総研 東北センター 仙台青葉サイト	主催	宮城県	産総研仙台青葉サイト
48	28.10.26	あおもり産学金官連携 Day2016	イノベーション・ネットワークあおもり	主催	青森県	八戸プラザホテル
49	28.10.29	秋の特別見学ツアー「産総研の歴史的な機器を見に行こう」	産総研 企画本部 広報サービス室	主催	茨城県	産総研サイエンス・スクエア つくば
50	28.10.31	第2回北大―理研―産総研「触媒研究」合同シンポジウム―持続可能社会実現に向けたキャタリストインフォマティクス―	北海道大学、理化学研究所、産総研	主催	北海道	北海道大学学術交流会館
51	28.11.1	第9回「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」シンポジウムテーマ：「光ネットワーク、破壊的創造への道」	産総研	主催	東京都	秋葉原ダイビル
52	28.11.4	セーフティグッズフェア with サイエンスアゴラ2016	東京都、地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター、特定非営利活動法人キッズデザイン協議会、産総研	共同主催	東京都	東京都立産業技術研究センター
53	28.11.8	地質標本館2016年冬の特別展示「首都をささえる大地のしくみ」―地質情報展2016とうきょう―	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
54	28.11.9	テクノブリッジフェア in 関西2016 研究講演会（AIST 関西懇話会 2016年度第2回講演会）「ナノイメージング～先端技術が切り開く明日への展望～」	産総研 関西センター、AIST 関西懇話会	主催	大阪府	シティプラザ大阪
56	28.11.15	2016-CNT25INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CARBON NANOTUBE in Commemoration of its Quarter-Century Anniversary カーボンナノチューブ発見25周年記念シンポジウム	産総研、日本電気株式会社、新エネルギー・産業技術総合開発機構、日本ゼオン株式会社、技術研究組合単層 CNT 融合新材料研究開発機構	共同主催	東京都	イイノホール
57	28.11.17	産総研 技術セミナー ～技術を新たな産業へ！～	産総研、山梨県	主催	山梨県	山梨県工業技術センター

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
58	28.11.18	産総研総合職インターンシップ【5days】「技術を社会へ」施策提案コース	産総研 人事部人事室 計画グループ	主催	茨城県	産総研つくばセンター
59	28.11.21	女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会	産総研 ダイバーシティ推進室	主催	茨城県	産総研つくばセンター
60	28.11.21	第8回 GSJ ジオ・サロン「日本周辺のメタンハイドレート」－なぜそこにあるのか？－	産総研 地質調査総合研究センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
61	28.11.22	東京都立産業技術研究センター、産総研 主催セミナー 炭素材料の現状と未来－ナノカーボン、カーボンファイバー	地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター、産総研	主催	東京都	東京都立産業技術研究センター
62	28.11.29	中国地域産総研技術セミナー in 島根	産総研 中国センター、島根県産業技術センター	主催	島根県	テクノアークしまね
63	28.12.1	産総研 エネルギー・環境シンポジウムシリーズエネルギー技術シンポジウム2016特集 “水素社会に向けての技術開発と展望”	産総研 創エネルギー研究部門、省エネルギー研究部門、再生可能エネルギー研究センター	主催	東京都	東京国際交流館
64	28.12.2	医療機器ガイドライン活用セミナー #12/手術ロボットガイドライン解説	日本医療研究開発機構、産総研	主催	東京都	ソラシティカンファレンスセンター
65	28.12.5	第1回 FlowST シンポジウム	産総研 触媒化学融合研究センター フロー精密合成コンソーシアム (FlowST)	主催	東京都	イイノホール
66	28.12.6	テクノブリッジフェア in 関西2016	産総研 関西センター	主催	大阪府	産総研関西センター
67	28.12.7	平成28年度九州・沖縄産業技術オープンイノベーションデー	産総研 九州センター、九州経済産業局	主催	福岡県	電気ビル共創館
68	28.12.7	産総研エネルギー・環境シンポジウムシリーズ第8回メタンハイドレート総合シンポジウム (CSMH-8)	産総研メタンハイドレートプロジェクトユニット	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
69	28.12.12	中国地域産総研技術セミナーin 米子	産総研 中国センター、地方独立行政法人鳥取県産業技術センター	主催	鳥取県	鳥取県産業技術センター 機械素材研究所
70	28.12.13	第6回次世代フレキシブルエレクトロニクスシンポジウム	産総研 フレキシブルエレクトロニクス研究センター	主催	東京都	秋葉原ダイビル
71	28.12.16	平成28年度産総研国際標準推進戦略/NEDO 出口戦略シンポジウム「世界のエネルギーマネジメントのスマート化を日本から～しなやかな社会の実現に向けた標準化・知財戦略～」	産総研/日本を元気にする産業技術会議、新エネルギー・産業技術総合開発機構	主催	東京都	イイノホール
72	28.12.16	医療機器ガイドライン活用セミナー #13/整形インプラントガイドライン解説Ⅲ	日本医療研究開発機構、産総研	主催	東京都	AP 東京八重洲通り
73	28.12.19	第9回 GSJ ジオ・サロン「金の魅力」	産総研 地質調査総合研究センター	主催	茨城県	産総研地質標本館

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
74	29.1.13	第2回電池技術研究部門フォーラム「全固体型蓄電デバイス実用化への挑戦」—高信頼性・安全性を実現するリチウムイオン蓄電池の最新開発状況—	産総研 関西センター	主催	大阪府	ナレッジキャピタルコングレコンベンションセンター
75	29.1.16	第10回 GSJ ジオ・サロン「沖縄の青い海の下をのぞいてみよう」	産総研 地質調査総合研究センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
76	29.1.17	地質標本館 新春特別展 ふるさとの新たな主役「県の石」	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
77	29.1.20	第2回構造接着研究シンポジウム	産総研 材料・化学領域 接着・界面現象研究ラボ	主催	茨城県	つくば国際会議場
78	29.1.20	産総研発ベンチャーTODAY —ライフ・グリーンのイノベーションで安全・安心な未来を築く—	産総研/日本を元気にする産業技術会議	主催	東京都	3×3 Lab Future コミュニケーションゾーン
79	29.1.30	中国地域産総研技術セミナーin 広島	産総研 中国センター、広島県立総合技術研究所	主催	広島県	ホテルメルパルク広島
80	29.1.31	第16回産総研・産技連 LS-BT 合同研究発表会	産総研、産業技術連携推進会議 ライフサイエンス部会 バイオテクノロジー分科会	主催	茨城県	産総研つくばセンター
81	29.2.3	産総研技術シーズ発表会（医療・福祉機器）	産総研、静岡県	主催	静岡県	ホテルアソシア静岡
82	29.2.4	ジョイントセミナー	産総研、科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構	共同主催	東京都	科学技術振興機構 東京本部別館
83	29.2.7	第12回つくばビジネスマッチング会	株式会社つくば研究支援センター、三井物産株式会社、産総研	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
84	29.2.10	平成28年度 産総研 材料・化学シンポジウム「21世紀の化学反応とプロセス —快適な生活を支える機能性材料の新展開—」	産総研 機能化学研究部門	主催	茨城県	つくば国際会議場
85	29.2.14	研究職5days インターンシップ	産総研 計量標準総合センター (NMIJ)	主催	茨城県	産総研つくばセンター
86	29.2.15	サーマルマネジメント・マテリアルセッション 第27回 Clayteam セミナー	産総研 Clayteam	主催	東京都	東京ビッグサイト
87	29.2.20	Innovation Triad at 関西 (ITK2017)：産総研—大阪市工研—フラウンホーファーIPA 連携シンポジウム	産総研、地方独立行政法人大阪市立工業研究所、フラウンホーファーIPA（生産技術・オートメーション研究所）	主催	大阪府	グランフロント大阪
88	29.2.20	第11回 GSJ ジオ・サロン「見えない水」—地下水の今昔—	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
89	29.2.21	第53回産総研・新技術セミナー	産総研 東北センター 仙台青葉サイト	主催	宮城県	産総研仙台青葉サイト
90	29.2.27	広島リサーチコンプレックス推進協議会発会記念 産総研中国センターシンポジウム ～生命科学の革新的展開～	産総研 中国センター	主催	広島県	ホテルセンチュリー21 広島
91	29.2.28	地質標本館 特別展示 GSJ のピカイチ研究 —2016年のプレスリリース、主な研究成果より—	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
92	29.2.28	中国地域産総研技術セミナーin 岡山	産総研 中国センター、岡山県工業技術センター	主催	岡山県	岡山ロイヤルホテル

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との 関わり	開催地	
					会場都 道府県	会場名
93	29.3.3	【大阪大学 大学院工学研究科・産総研合同シンポジウム】 工学研究科 材料系/アトミックデザイン研究センター・産総研 共同研究シンポジウム	大阪大学 大学院工学研究科、附属アトミックデザイン研究センター、産総研 関西センター・中部センター	主催	大阪府	大阪大学吹田キャンパス
94	29.3.6	Computational Sciences Workshop 2017	産総研 機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	主催	神奈川県	湘南国際村/Shonan Village Center
95	29.3.7	産総研中国センターシンポジウム 21世紀の化学反応とプロセスー快適な生活を支える機能性材料の新展開ー	産総研 中国センター	主催	広島県	ホテルメルパルク広島
96	29.3.7	第8回 NMIJ 法定計量クラブ講演会	産総研 計量標準総合センター 法定計量クラブ	主催	大阪府	CIVI 研修センター新大阪東
97	29.3.9	第二回ガラス先端加工に関するシンポジウム ～新たな製品設計のためのガラスの高機能化と先端加工～ー難加工材料であるガラスの加工についてー	産総研、京都大学大学院工学研究科	主催	大阪府	グランフロント大阪コンベンションセンター
98	29.3.10	つくば発イノベーション第34回講演会/つくば発先端技術発表会「災害に強いまちをつくる」	産総研、つくば市	主催	茨城県	つくば市消防本部
99	29.3.10	第8回サイエンスカフェ in 鳥栖	産総研 九州センター	主催	佐賀県	産総研九州センター
100	29.3.14	中国地域産総研技術セミナーin 山口	産総研 中国センター、地方独立行政法人山口県産業技術センター	主催	山口県	山口県産業技術センター
101	29.3.18	産総研サイエンス・スクエア「春のスペシャルデー」	産総研 企画本部 広報サービス室	主催	茨城県	産総研つくばセンター
102	29.3.21	第17回ガスハイドレート産業創出イノベーション講演会（第18回メタンハイドレート研究アライアンス講演会）	産総研 メタンハイドレートプロジェクトユニット	主催	東京都	産総研臨海副都心センター
103	29.3.27	第12回 GSJ ジオ・サロン「宇宙（そら）から地質」	産総研 地質調査総合センター	主催	茨城県	産総研地質標本館
104	29.3.28	「日経社会イノベーションフォーラム」産総研 人工知能研究センターシンポジウム	産総研、日本経済新聞社	主催	東京都	イイノホール
105	29.3.29	NEDO 委託事業「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」（人工知能分野）中間成果発表会ー人間と相互理解できる人工知能に向けてー	産総研、新エネルギー・産業技術総合開発機構	共同主催	東京都	イイノホール

産業技術総合研究所

その他参加行事

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
1	28.4.5～ 28.4.7	LOPEC2016 (ラージェリア有機並びに印刷エレクトロニクスに関する国際展示会)	OE-A	出展	ドイツ	Messe Munchen,
2	28.4.6～ 28.4.8	第16回光通信技術展 FOE2016	リードエグジビションジャパン	出展	東京都	東京ビッグサイト
3	28.4.11	日本学術振興会のナノプローブテクノロジー第167委員会第82回研究会「先端計測分析技術・機器開発とイノベーション創出」	学術振興会第167委員会(ナノプローブテクノロジー研究会)	後援	東京都	産総研臨海副都心センター
4	28.4.20～ 28.4.22	P-MEC Japan 2016 (医薬品原料機器・装置展)	UBM ジャパン、化学工業日報社	出展	東京都	東京ビックサイト
5	28.4.22	第10回組込み開発企業展示会	組込みシステム産業振興機構	後援	大阪府	西日本電信電話株式会社 曽根崎ビル
6	28.4.25	第1回 次世代の人工知能技術に関する合同シンポジウム	総務省、文部科学省、経済産業省、科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構共催、情報通信研究機構、理化学研究所、産総研	共催	東京都	日本科学未来館
7	28.4.28～ 28.4.30	K-MIX+利活用推進フェア	一般社団法人香川県医師会、NPO 法人 e-HCIK	出展	香川県	かがわプラザ
8	28.5.4	ブリュッセル対日投資セミナー	独立行政法人日本貿易振興機構	後援	ベルギー	Palais d' Egmont
9	28.5.13	精密工学会マイクロ生産機械システム専門委員会	精密工学会マイクロ生産機械システム専門委員会	後援	東京都	産総研臨海副都心センター
10	28.5.18	公開シンポジウム省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発-青からパワーへ 未来への挑戦-	文部科学省	協力	東京都	学術総合センター
11	28.5.18～ 28.5.20	ビジネス創造フェアいしかわ2016	公益財団法人石川県産業創出支援機構	出展	石川県	石川県産業展示館
12	28.5.20～ 28.7.10	土砂災害防止月間特別展 伊豆大島火山	立山カルデラ砂防博物館	共催	富山県	立山カルデラ砂防博物館
13	28.5.26～ 28.5.27	サービスロボット開発技術展2016～サービスロボットの開発に必要な要素技術・システム技術が一堂に出展、来場するロボットメーカーとの商談、開発促進のための展示会～	サービスロボット開発技術展実行委員会	後援	大阪府	インテックス大阪
14	28.6.6	日本ゾル-ゲル学会第13回セミナー [先端ゾル-ゲル技術の応用展開]	日本ゾル-ゲル学会	協賛	東京都	産総研臨海副都心センター
15	28.6.25	Robotics and Semantic Systems for Biology (RSSB)2016	Robotic Biology Consortium (ロボティック・バイオロジー・コンソーシアム)	後援	東京都	日本科学未来館
16	28.6.29～ 28.7.1	第11回再生可能エネルギー世界展示会	再生可能エネルギー協議会	共催	神奈川県	パシフィコ横浜

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
17	28.7.4～ 28.7.6	第21回光エレクトロニクス・光通信国際会議/国際会議フォトニクスをベースとするスイッチング2016 (OECC/PS2016) 展示会	第21回光エレクトロニクス・光通信国際会議/国際会議フォトニクスをベースとするスイッチング2016 (OECC/PS2016) 運営委員会	出展	新潟県	新潟コンベンションセンター
18	28.7.7	平成28年度多元技術融合光プロセス研究会 研究交流会	一般財団法人光産業技術振興協会「多元技術融合光プロセス研究会」	後援	東京都	産総研臨海副都心センター
19	28.7.8	日本磁気学会第59回スピエレクトロニクス専門研究会/第57回化合物新磁性材料専門研究会共催「デバイス応用へ向けた酸化物・化合物磁性薄膜開発の最前線」	公益社団法人日本応用磁気学会	協力	茨城県	産総研つくばセンター
20	28.7.12	第32回産学官交流のつどい	福島県電子機械工業会、福島県中小企業団体中央会	出展	福島県	コラッセふくしま
21	28.7.12	平成28年度 産学官交流のつどい	福島県中小企業団体中央会 福島県電子機械工業会	後援	福島県	コラッセふくしま
22	28.7.13～ 28.7.14	第5回ものづくり岡崎フェア2016	岡崎商工会議所・岡崎市・岡崎ものづくり推進協議会	出展	愛知県	岡崎中央総合公園・体育館他
23	28.7.16～ 28.9.4	『特別展「ロボットと人工知能」』	公益財団法人つくば科学万博記念財団	協力	茨城県	つくばエキスポセンター
24	28.7.21	北洋銀行ものづくりテクノフェア2016	北洋銀行	後援	北海道	アクセスサッポロ
25	28.7.21～ 28.7.22	産総研石川サイト開所記念セミナー（平成28年度石川イノベーション促進セミナー）	石川県工業試験場	共催	石川県	石川県工業試験場
26	28.7.22～ 28.7.23	見られるデー	地方独立行政法人青森県産業技術センター工業総合研究所	出展	青森県	青森県産業技術センター工業総合研究所
27	28.7.25～ 28.9.9	平成28年度学融合レクチャー「大統合自然史1（宇宙・地球編）」	国立大学法人総合研究大学院大学	後援	茨城県	産総研地質標本館
28	28.7.27	JIEP 官能検査システム化研究会第7回公開研究会－IoT 時代を見据えた検査と新事業展開－	エレクトロニクス実装学会（JIEP）官能検査自動化研究会	協賛	東京都	回路会館
29	28.7.28～ 28.7.29	未来展2016	一般社団法人中部産業連盟、中日新聞社	出展	愛知県	名古屋市中小企業振興会館
30	28.8.1～ 28.8.2	深海底資源開発研究セミナー（2016）－安全かつ高効率なメタンハイドレート資源開発を目指して－	深海底資源開発研究 山口大学研究推進体	共催	山口県	山口大学工学部
31	28.8.2	平成28年度福島県ハイテクプラザ研究成果発表会	福島県ハイテクプラザ	出展	福島県	福島県ハイテクプラザ
32	28.8.2	NEDO フォーラム2016in 東北	新エネルギー・産業技術総合開発機構	共催	宮城県	仙台国際センター
33	28.8.5～ 28.8.6	サイエンスフェスタ in 秋葉原	首都圏新都市鉄道株式会社	その他	東京都	つくばエクスプレス秋葉原駅
34	28.8.6	産業技術総合研究所中部センター一般公開（なごや・サイエンス・ひろば）	なごや・サイエンス・ひろば実行委員会	共催	愛知県	産総研中部センター

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
35	28.8.8～ 28.8.9	日本ゾルーゲル学会第14回討論会	日本ゾルーゲル学会	協賛	東京都	早稲田大学 西早稲田キャンパス
36	28.8.30	第3回先端計測・分析サマースクール	筑波大学大学院数理物質科学研究科、高エネルギー加速器研究機構	共催	茨城県	産総研つくばセンター
37	28.9.3～ 28.11.27	平成28年度 秋の企画展 「伊豆大島火山」	磐梯山噴火記念館	共催	福島県	磐梯山噴火記念館
38	28.9.5～ 28.9.6	日本材料試験技術協会創立60周年記念事業讃岐シンポジウム	日本材料試験技術協会	共催	香川県	香川大学工学部および近郊研究施設・企業
39	28.9.6	福島県しらかわ地域企業展示交流会開	一般社団法人産業サポート白河	出展	福島県	グランドエクスンプ那須白河
40	28.9.7～ 28.9.9	JASIS2016 (Japan Analytical&Scientific Instruments Show)	一般社団法人日本分析機器工業会、一般社団法人日本科学機器協会	出展	千葉県	幕張メッセ
41	28.9.15～ 28.9.17	第1回 東日本キャタリシスセミナー	触媒学会 (東日本支部)	後援	福島県	産総研福島再生可能エネルギー研究所
42	28.9.16	NEDO フォーラム2016 in 関東	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構	後援	埼玉県	さいたま新都心合同庁舎
43	28.9.20	電気学会 光・量子デバイス技術研究会、および電気学会 特殊光波・量子発生および利用技術調査専門委員会	一般社団法人電気学会	共催	茨城県	産総研つくばセンター
44	28.9.23	Post ECOC Workshop 2016	光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点、産総研、Institute of Photonics and Quantum Electronics (Germany)、Institute of Microstructure Technology (Germany)	共催	ドイツ	Hector Auditorium, International Department, Karlsruhe Institute of Technology
45	28.9.27	平成28年度 第2回評価技術研究会	一般社団法人ニューガラスフォーラム	後援	大阪府	産総研関西センター
46	28.9.29～ 28.9.30	文部科学省新学術領域研究「原子層科学」第7回領域全体会議	文部科学省新学術領域研究「原子層科学」	後援	茨城県	産総研つくばセンター
47	28.10.6	標準化と品質管理全国大会2016	一般財団法人日本規格協会	後援	東京都	都市センターホール
48	28.10.6～ 28.10.7	NEDO フォーラム2016 in 四国	新エネルギー・産業技術総合開発機構	後援	愛媛県	ひめぎんホール (愛媛県県民文化会館)
49	28.10.11～ 28.10.12	平成28年度 日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会見学会「秋田の鉱工業の歴史と先端電子産業を支える技術に触れる」	日本セラミックス協会 資源・環境関連材料部会見学会	協賛	秋田県	秋田大学他
50	28.10.12～ 28.10.14	BioJapan2016 World Business Forum (バイオジャパン2016)	BioJapan 組織委員会	出展	神奈川県	パシフィコ横浜
51	28.10.13	<テクニカルセミナー>高分子アクチュエータの研究開発動向と応用展開	公益財団法人大阪市都市型産業振興センター	共催	大阪府	大阪産業創造館

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
52	28.10.15～ 28.10.16	おおさき産業フェア2016	おおさき産業フェア実行委員会	後援	宮城県	大崎市古川総合体育館
53	28.10.17	国際標準化から見たバイオメテイクスの国際動向	バイオメテイクス研究会	協力	東京都	産総研臨海副都心センター
54	28.10.19～ 28.10.20	第5回ふくしま復興・再生可能エネルギー産業フェア2016 (REIFふくしま2016)	福島県産業振興センター	後援、 出展	福島県	ビッグパレットふくしま
55	28.10.20	北陸技術交流テクノフェア2016	技術交流テクノフェア実行委員会	後援	福井県	福井県産業会館
56	28.10.22～ 28.10.23	つくば産業フェア&農産物フェア2016	つくば市商工会、つくば市	協力	茨城県	つくばカピオ(産業フェア)、大清水公園(農産物フェア)
57	28.10.24	東北発 素材技術先導プロジェクト 超低摩擦技術領域 産官学連携シンポジウム	東北発 素材技術先導プロジェクト 超低摩擦技術領域	出展	宮城県	仙台国際センター 萩
58	28.10.26～ 28.10.28	J-DESC コアスクール・ロギング基礎コース	日本地球掘削科学コンソーシアム	共催	東京都	東京大学地震研究所
59	28.10.26～ 28.10.28	NEDO 省エネルギー技術フォーラム2016	新エネルギー・産業技術総合開発機構	出展	東京都	東京ビッグサイト
60	28.10.27	つくばものづくりオーケストラ技術展示会 in 産総研	つくばものづくりオーケストラ	協力	茨城県	産総研つくばセンター
61	28.11.1～ 28.11.2	第14回日本糖鎖科学コンソーシアム・シンポジウム	日本糖鎖科学コンソーシアム(JCGG)	共催	東京都	御茶ノ水ソラシティカンファレンスセンター
62	28.11.2	Matching HUB Kanazawa 2016	国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学、公益財団法人北陸先端科学技術大学院大学支援財団、独立行政法人中小企業基盤整備機構北陸支部、産総研 中部センター	共催	石川県	ホテル日航金沢
63	28.11.4～ 28.11.6	第42回筑波大学学園祭「雙峰祭」	平成28年度筑波大学学園祭実行委員会	出展	茨城県	筑波大学
64	28.11.10	NEDO フォーラム2016 in 中部	新エネルギー・産業技術総合開発機構、中部経済産業局、愛知県、産総研 中部センター、他	後援	愛知県	名古屋工業大学ホール
65	28.11.12～ 28.11.13	つくば科学フェスティバル2016	つくば市、つくば市教育委員会	出展	茨城県	つくばカピオ
66	28.11.14～ 28.11.18	2016年度秋季地質調査研修	一般社団法人日本地質学会	共催	千葉県	君津市及びその周辺地域
67	28.11.16～ 28.11.18	第6回 次世代ものづくり基盤技術産業展 - TECH Biz EXPO 2016 -	名古屋国際見本市委員会	出展	愛知県	吹上ホール(名古屋市中小企業振興会館)
68	28.11.16～ 28.11.18	Inter BEE 2016年国際放送機器展	一般社団法人電子情報技術産業協会	出展	千葉県	幕張メッセ
69	28.11.22	郡山市産業クラスターセミナー	福島県郡山市	後援	東京都	ロイヤルパークホテル

産業技術総合研究所

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
70	28.11.24～ 28.11.26	10th International Symposium on Nanomedicine	日本ナノメディシン交流協会	共催	茨城県	産総研つくばセンター
71	28.11.26～ 28.11.27	第5回マンモグラフィ X 線トレーサビリティ講習会	NPO 法人日本乳がん検診精度管理中央機構	協賛	茨城県	産総研つくばセンター
72	28.11.28～ 28.11.29	第35回溶媒抽出討論会	日本溶媒抽出学会	後援	茨城県	産総研つくばセンター
73	28.11.29	産学官連携フェア2016みやぎ	公益財団法人みやぎ産業振興機構	出展	宮城県	仙台国際センター
74	28.11.29	第10回産学官連携交流会	大府市、大府商工会議所	出展	愛知県	大府市役所
75	28.12.1	大生小学校親子ふれあい活動	常総市立大生小学校 PTA	出展	茨城県	常総市立大生小学校
76	28.12.1～ 28.12.2	第49回安全工学研究発表会	特定非営利活動法人安全工学会	共催	茨城県	産総研つくばセンター
77	28.12.5	「熊本産業復興支援プロジェクト協議会」キックオフイベント	熊本産業復興支援プロジェクト協議会	共催	熊本県	熊本県産業技術センター
78	28.12.8～28.12.10	エコプロ2016	一般社団法人産業環境管理協会、日本経済新聞社	出展	東京都	東京ビッグサイト
79	28.12.12～28.12.16	第42回（2016年）感覚代行シンポジウム、および併催研究会	感覚代行研究会発表会	共催	東京都	産総研臨海副都心センター
80	28.12.12	茨城県研究開発支援型企業技術展示会 in 産総研	茨城県いばらき成長産業振興協議会	協力	茨城県	産総研つくばセンター
81	28.12.13	EUV-FEL ワークショップ	EUV-FEL 光源産業化研究会、高エネルギー加速器研究機構	共催	東京都	秋葉原 UDX
82	28.12.14～ 28.12.16	平成28年室内環境学会学術大会	一般社団法人室内環境学会	共催	茨城県	産総研つくばセンター
83	29.1.25	JIEP 官能検査システム化研究会第8回公開研究会－IoT 時代に対応する検査を見据えて－	エレクトロニクス実装学会（JIEP）官能検査自動化研究会	協賛	東京都	回路会館
84	29.2.1～ 29.2.2	彩の国ビジネスアリーナ2017	埼玉県、公益財団法人埼玉県産業振興公社、公益社団法人埼玉県情報サービス産業協会、株式会社埼玉りそな銀行、株式会社武蔵野銀行、埼玉縣信用金庫、飯能信用金庫、川口信用金庫、青木信用金庫	出展	埼玉県	さいたまスーパーアリーナ
85	29.2.1	平成28年度先導技術交流会・シンポジウム：次世代再生医療の基礎と夢～細胞機能制御（臓器形成）への医学、工学的アプローチ～	一般社団法人研究産業・産業技術振興協会	共催	東京都	産総研臨海副都心センター
86	29.2.3	日本顕微鏡学会 走査型プローブ顕微鏡分科会 研究会	公益社団法人日本顕微鏡学会	後援	東京都	産総研臨海副都心センター
87	29.2.9	第10回つくば産学連携促進市 in アキバ	つくば市	共催	東京都	秋葉原ダイビル
88	29.2.10	最新人工知能（AI）シンポジウム	産総研、日刊工業新聞社、モノづくり日本会議	共催	大阪府	大阪科学技術センター

事業組織・本部組織業務

	開催日	名称	主催等名称	産総研との関わり	開催地	
					会場都道府県	会場名
89	29.12.14	OEA・JEITA・JAPER A ジョイントWG 会合	欧州有機印刷エレクトロニクス協会 (OEA)、一般社団法人電子情報技術産業協会 (JEITA) 印刷エレクトロニクス標準化国内専門委員会、次世代印刷エレクトロニクス技術研究組合 (JAPER A)	出展	東京都	JEITA
90	29.2.15～ 29.2.15	nano tech 2017第16回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議	nano tech 実行委員会	後援	東京都	東京ビッグサイト)
91	29.2.25	第41回日本顕微鏡学会関東支部講演会	公益社団法人日本顕微鏡学会 関東支部	後援	東京都	産総研臨海副都心センター
92	29.2.28	くまもと産業復興支援プロジェクトフォーラム2017	国立大学法人熊本大学熊本地方 COC+推進協議会	共催	熊本県	熊本大学黒髪南キャンパス
93	29.3.1～ 29.3.3	日本 LCA 学会第12回研究発表会	日本 LCA 学会	共催	茨城県	産総研つくばセンター
94	29.3.20～ 29.3.24	CeBIT2017 (国際情報通信技術見本市)	ドイツメッセ社	出展	ドイツ	Deutsche Messe, Hannover/G ermany
95	29.3.21～ 29.3.23	Optical Fiber Communications Conference and Exposition 2017 (OFC 2017)	The Optical Society (OSA)	出展	アメリカ	ロサンゼルスコンベンションセンター
96	29.3.25～ 29.6.11	企画展「3次元のかたち～作る技術、感じる技術～」	公益財団法人つくば科学万博記念財団	協力	茨城県	つくばエキスポセンター

3) 見 学

平成28年度見学視察対応件数（所属別）

所属名	件数
創エネルギー研究部門	50
電池技術研究部門	33
省エネルギー研究部門	29
環境管理研究部門	19
安全科学研究部門	9
太陽光発電研究センター	18
再生可能エネルギー研究センター	319
先進パワーエレクトロニクス研究センター	19
創薬基盤研究部門	28
バイオメディカル研究部門	47
健康工学研究部門	19
生物プロセス研究部門	29
創薬分子プロファイリングセンター	14
情報技術研究部門	14
人間情報研究部門	73
知能システム研究部門	51
自動車ヒューマンファクター研究センター	14
ロボットイノベーション研究センター	37
人工知能研究センター	63
機能化学研究部門	21
化学プロセス研究部門	22
ナノ材料研究部門	37
無機機能材料研究部門	24
構造材料研究部門	30
触媒化学融合研究センター	9
ナノチューブ実用化研究センター	24
機能材料コンピューテーショナルデザイン研究センター	5
ナノエレクトロニクス研究部門	60
電子光技術研究部門	31
製造技術研究部門	57
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	23
先進コーティング技術研究センター	8
集積マイクロシステム研究センター	12
活断層・火山研究部門	24
地圏資源環境研究部門	17
地質情報基盤センター	217
工学計測標準研究部門	78
物理計測標準研究部門	55
物質計測標準研究部門	31
分析計測標準研究部門	41
計量標準普及センター	37
エネルギー・環境領域研究企画室	26
生命工学領域研究企画室	10
情報・人間工学領域研究企画室	39
材料・化学領域研究企画室	18
エレクトロニクス・製造領域研究企画室	18

所属名	件数
地質調査総合センター	25
計量標準総合センター	42
企画本部	93
イノベーション推進本部	30
TIA 推進センター	41
環境安全本部	0
総務本部	0
コンプライアンス推進本部	1
評価部	1
北海道センター	30
東北センター	27
つくばセンター	1
東京本部	1
臨海副都心センター	99
中部センター	20
関西センター	17
中国センター	8
四国センター	17
九州センター	8
福島再生可能エネルギー研究所	246
総計	2566

5) 【イノベーション推進本部】

(Research and Innovation Promotion Headquarters)

所在地：つくば中央第1

人員：16名（14名）

概要：

イノベーション推進本部は、産学官連携、知的財産の活用、国際標準の推進、ベンチャー創出・支援、国際連携、地域創生などの業務を一体的かつ密接に連携して実施する体制を敷き、これらのイノベーション推進業務を一元的なマネジメントの下、総合的かつ横断的に執行する。特に、マーケティング力の強化、企業や大学との連携強化、戦略的な知的財産マネジメント、地域イノベーションの推進に重点的に取り組み、橋渡し機能の強化を推進している。

さらに、企業や大学などの外部機関とのインターフェースとなって連携コーディネーションを担う「上席イノベーションコーディネータ」、「イノベーションコーディネータ」あるいは、橋渡し機能の強化にむけて、知的財産アセットの戦略的な構築、そのための知的財産施策、テーマ強化に向けた知的財産支援などを担う「チーフパテントオフィサー」、「パテントオフィサー」を配置し、本部、領域、研究ユニットが一体となって外部との連携を推進する体制をとっている。

本部はこの体制の下、産業技術に関する産業界や社会からの多様なニーズを迅速かつ的確に捉え、有望な技術シーズの発掘と育成、研究開発プロジェクトの企画立案と推進・支援、さらには中小、中堅企業支援や新産業の創出に貢献する。

機構図（2017/3/31現在）

[イノベーション推進本部]

本部長	瀬戸 政宏
副本部長	吉田 康一
研究参与	田中 芳夫 石川 正俊
審議役	五十嵐 光教 高井 一也 国岡 正雄
総括企画主幹	山田 由佳 山本 和弘 森田 直樹 相馬 宣和 鳥村 政基 美濃輪 智朗

上席イノベーションコーディネータ	Granrath Lorenz 綾 信博 黒島 光昭 山田 澄人 渡利 広司 陶山 一雄 樋口 哲也 尾崎 浩一 福井 実 宮崎 芳徳 米田 晴幸 米満 潤
イノベーションコーディネータ	栗津 浩一（兼） 橋本 亮一 佐脇 政孝 神谷 雅己 池上 敬一（兼）
チーフパテントオフィサー	菅生 繁男
パテントオフィサー	桐原 俊夫 小林 秀輝 川畑 透
連携主幹	花井 修次
イノベーション推進企画室	
技術マーケティング室	
ベンチャー開発・技術移転センター	
知的財産・標準化推進部	
産学官・国際連携推進部	
地域連携推進部	

① 【イノベーション推進企画室】

(Research and Innovation promoting planning Office)

所在地：つくば中央第1

人員：11名（7名）

概要：

イノベーション推進本部の各部を統括し、研究所の連携戦略の策定並びにこれに基づいた施策の企画及び立案、総合調整を行う。イノベーション推進企画室の平成28年度における主な活動は、次のとおりである。

- ・所内競争的資金について、企画本部と協力して事務局をつとめ、戦略予算、理研—産総研「チャレンジ研究」の採択等の調整を行った。
- ・連携拡大を目的として、主に経営層を対象とした、「テクノブリッジ事業」の一環であるテクノブリッジフェアを開催した。
- ・日本経済新聞社とタイアップして産業界と議論を行う「日本を元気にする産業技術会議」では、産総研の技術シーズや国際標準化戦略、ベンチャー支援等をテーマとした計8回のシンポジウムを開催した。
- ・産学官連携功労者表彰（内閣府主催）においては、産総研内の事務局を担当した。推薦案件2件が経済産業大臣賞を、1件が選考委員会特別賞を受賞した。
- ・論文数の向上を目的とした産総研論文賞の事務局を運営した。7領域より計15件の推薦があり、その中から受賞論文3件が採択された。
- ・産総研の研究成果を活用して事業を行う民間企業等に、産総研の研究施設等の使用を認め、2事業が実施された。
- ・産総研が参画する22の技術研究組合により、産業界・大学との連携及び外部資金プロジェクトの推進を図った。技術研究組合に関する運営方針の決めや、事務手続きに関する総合調整を行った。

 機構図（2017/3/31現在）

[イノベーション推進企画室]

室長(兼)	美濃輪 智朗
総括主幹	関根 重幸
室長代理	沼山 政彦

②【技術マーケティング室】

(Technology Marketing Office)

 所在地：つくば中央第1

人員：5名（1名）

概要：

産総研の研究成果を社会に普及するため、イノベーションコーディネータとともに領域や地域センターを跨ぐ横断的なマーケティング活動を行い、企業との連携の強化、拡大を推進している。

平成28年度における主な活動は、次のとおりである。

- 1) 産総研の技術ポテンシャルを活かした指導助言等を有償で提供する「技術コンサルティング制度」について275件を実施した。
- 2) イノベーションコーディネータとともに、企業ニーズを分析したうえで、産総研全体として企業に提案する横断的なマーケティング活動を行った。

また、企業連携のケーススタディや領域の収集したマーケティング情報を、技術マーケティング会議等の開催を通じて共有を行った。

 機構図（2017/3/31現在）

[技術マーケティング室]

室長(兼)	渡利 広司
総括企画主幹(兼)	鳥村 政基
総括主幹	北川 由紀子
連携主幹(兼)	花井 修次

③【ベンチャー開発・技術移転センター】

(Innovation Center for Technology Transfer and Startups)

 所在地：つくば中央第1

人員：10名（1名）

概要：

ベンチャー開発・技術移転センターは、産総研の革新的な技術シーズを事業化に繋ぐ「橋渡し」の出口の強化を図ることをミッションとして、産総研技術の事業化支援（ハンズオン支援）及びベンチャー創業とライセンス実績の強化を推進している。

産業界への技術移転においては、技術移転マネージャーを中心に、産業界の技術ニーズや事業化戦略の動向等を把握し、研究現場と連携して、既存企業への知的財産のライセンス等の技術移転を実施している。ベンチャーによる事業化においては、「スタートアップ開発戦略タスクフォース」（以下、タスクフォース）によるベンチャー企業を創出する取組みと産総研ベンチャー技術移転促進措置実施規程に基づく創出後支援を柱に、産総研技術移転ベンチャーの創出推進と、ベンチャーの企業価値及び収益の向上のための支援を実施している。

 機構図（2017/3/31現在）

[ベンチャー開発・技術移転センター]

センター長	高井 一也
総括主幹	小池 英明
スタートアップ・アドバイザー	
技術移転マネージャー	
[事業企画グループ] グループ長	河野 昭宏
[事業化推進グループ] グループ長	宮本 英明
[事業支援グループ] グループ長	小林 光司

 スタートアップ・アドバイザー（Start-up Advisor）

（つくば中央第1）

概要：

産総研内のベンチャー化に適した技術シーズを発掘するとともに、タスクフォースを統括し、ベンチャー創業に向けて必要な研究開発やビジネスモデルの策定・検証、マーケティング、顧客開拓及び資金調達活動等を行っている。必要に応じて、産総研の職を離れ、創業後の企業経営に参画する。また、既存の産総研技術移転ベンチャーの事業支援として、ビジネスモデルのブラッシュアップ、イグジット戦略、販路開拓及び資金調達等に関する支援を行っている。

技術移転マネージャー

(Technology Licensing Manager)

(つくば中央第1)

概要：

産総研の研究成果の社会への普及を推進するため、知財アセット構築に関する知的財産戦略の策定、産業界における技術ニーズおよび事業化戦略の動向等に関する情報の収集、技術移転のマーケティング活動、ライセンス交渉及び契約締結等に関する業務を行っている。

事業企画グループ (Business Planning Group)

(つくば中央第1)

概要：

ベンチャー開発・技術移転センターの活動に係る企画・立案、活動に伴う総合調整、予算の管理及びベンチャー企業創出の支援を行っている。

具体的には、タスクフォースの運営管理に関する業務、有望な産総研技術移転ベンチャー及びタスクフォースを部署横断的に支援する「AIST ハンズオン支援チーム (HOST)」の運営、産総研内部の人材育成や意識改革を図るために、ベンチャー創出に関する職員向け研修やセミナーの企画・運営、さらに、成果の発信のための広報活動を行っている。

事業化推進グループ (Technology Transfer Group)

(つくば中央第1)

概要：

産総研の研究成果を社会に普及するため、技術移転マネージャーと連携し、保有する知的財産のライセンス等の技術移転を推進している。

具体的には、研究成果の産業化に向けた技術移転戦略の構築、産業界における技術ニーズおよび事業化戦略の動向等に関する情報の収集、秘密保持契約等の交渉及び締結事務、マーケティング活動、ライセンス交渉および契約締結、ライセンス収入の徴収・管理、産総研技術移転ベンチャーへの知的財産に関する支援等に関する業務を行っている。

事業支援グループ (Business Support Group)

(つくば中央第1)

概要：

産総研技術移転ベンチャーを対象として、創業を行うおうとする者及び技術移転を受けた者等に対する支援、並びに出資に係る総合調整に関する業務を行っている。

具体的には、産総研の知的財産を用いて起業を希望する者からの事業プラン、資金調達及び販路開拓等、創業前後に関する相談等にグループ員、専門家により対応すると共に、外部機関を活用してベンチャーの企業価値及び収益向上のための支援を行っている。

また、「産総研ベンチャー技術移転促進措置実施規程」に基づく称号付与及び技術移転促進措置の実施に関する事務を行う。併せて、産総研内外と連携し新たな支援策の創出を図っている。

平成 28 年度実績

○技術移転

表1 平成28年度技術移転関連統計

実施契約等件数	1,050件
技術移転収入	469百万円

○スタートアップ開発戦略タスクフォース

- ベンチャー創出・支援研究事業 6件
 - 新規案件 4件
 - 継続案件 2件

○産総研技術移転ベンチャー

- 産総研技術移転ベンチャー企業数
 - 新規 4社 (累計133社)
- 技術移転促進措置対象期間中ベンチャー企業数 18社 (2017年3月31日現在)
- 産総研技術移転ベンチャーのうち、スタートアップ開発戦略タスクフォース発ベンチャー企業数 累計 50社

○研修

- 産総研／三井住友銀行・日本総研／NEDO ベンチャー創出セミナー (2016年6月21日)
 - 実施回数：1回 (87名が参加)
- JST による産総研向け事業説明会
 - 「JST の3事業(SUCCESS・START・NexTEP)について」(2016年11月16日)
 - 実施回数：1回 (30名が参加)

表2 平成28年度に称号付与した産総研技術移転ベンチャー一覧

	企業名	称号付与年月日	創出元研究ユニット
1	(株) 計算熱力学研究所	2016/5/19	製造技術研究部門
2	地球科学可視化技術研究所(株)	2016/8/18	地質情報基盤センター
3	(株) モッタイナイ・エナジー	2016/8/18	省エネルギー研究部門
4	(株) FONScore	2016/11/4	創業基盤研究部門

○ベンチャー開発・技術移転センターの主催のイベント

・産総研ベンチャーTODAY

開催期間：2016年8月2日（1回目）
2017年1月20日（2回目）

開催場所：大手門タワー・JXビル1階
3×3 Lab Future

参加者数：54名（1回目）、51名（2回目）

○ベンチャー開発・技術移転センター共催のイベント

・研究成果事業化セミナー

開催期間：2015年9月3日
開催場所：三井住友銀行本店3階大ホール
参加者数：152名

・協創マッチングフォーラム

開催期間：2017年2月1日
開催場所：かながわサイエンスパーク
参加者数：180名

・つくばビジネスマッチング会

開催期間：2017年2月7日
開催場所：産総研臨海副都心センター別館11階会議室
参加者数：176名

○展示会・見本市への出展・参加

・P-MEC Japan 2016

開催期間：2016年4月20日～4月22日
開催場所：東京ビッグサイト

・第4回 TOKYO イノベーションリーダーズサミット

開催期間：2016年10月24日～10月25日
開催場所：虎ノ門ヒルズ

・新価値創造展2016

開催期間：2016年10月31日～11月2日
開催場所：東京ビッグサイト

・未来2017

開催期間：2016年12月20日
開催場所：三井住友銀行本館・東館ライジングスクエア

④【知的財産・標準化推進部】

(Intellectual Property and Standardization Promotion Division)

所在地：つくば中央第1

人員：22名（6名）

概要：

産総研の研究成果を社会に普及させることにより、経済及び産業の発展に貢献していくことは、産総研の大きな使命である。このため、知的財産・標準化推進部においては、幅広い分野において活用が見込まれる研究成果に係る知的財産権の戦略的な取得を支援し、当該知的財産権を適切に維持・管理するとともに、橋渡し機能の強化に向けて、研究戦略と一体化した戦略的知的財産マネジメントの強化を推進している。また、産総研の「知的財産・標準化ポリシー」に沿って、知的財産活用と標準化の一体的推進に取り組みつつ、我が国の産業競争力強化や安心・安全な社会の実現に貢献する標準化活動を支援している。

さらに、職員に対して知的財産や標準化に関する研修や説明会を開催することにより、研究開発やそれにより創製される発明等について、知的財産権及び標準化を強く意識するよう促すとともに、内部弁理士（パテントリエゾン）、技術移転マネージャー、パテントオフィサー、イノベーションコーディネータ及び連携主幹と連携し、産総研内外の知的財産や標準化に関する各種ニーズに対応している。

機構図（2017/3/31現在）

[知的財産・標準化推進部]

部長 内山 隆史
審議役 国岡 正雄
部総括 北川 良一

— [知財・標準化企画室] 室長 川村 大輔
— [知財管理室] 室長 飯竹 秀行
— [国際標準化室] 室長 中田 功一

知財・標準化企画室

(Intellectual Property and Standardization Planning Office)

(つくば中央第1)

概要：

産総研の知的財産及び標準化に関する企画及び立案並びに総合調整を行うとともに、知的財産に係る各種業務や標準化等支援業務を行うことで、産総研職員の知的財産マインドの向上や研究成果の最大化、知的財産活用と標準化の一体的推進を図っている。

具体的には、知的財産や標準化に関する研修企画業務、共同研究契約や技術研究組合の知的財産関連規程等に関する支援業務等、知的財産及び標準化に関する業務を幅広く行っている。

知財管理室

(Intellectual Property Administration Office)

(つくば中央第1)

概要：

産総研の研究成果を戦略的かつ効率的に知的財産権化するため、パテントリエゾン、パテントオフィサー並びに知的財産を共有する企業や大学等と協力し、研究者が創製した発明等を速やかに国内外特許庁に対し出願するとともに、特許権、プログラム著作権、ノウハウ等として適切な知的財産の保護と権利満了までの管理業務を行っている。

出願時には、研究者、パテントオフィサー、パテントリエゾン、技術移転マネージャー等と連携し、速やかな発明相談対応、共有者との知的財産権持分契約の締結、特許明細書等の作成及び出願等手続を行っている。

特許権等の維持管理にあたっては、「知的財産・標準化ポリシー」等を踏まえた、外国への特許出願の要否判断の業務、国内特許出願の審査請求の要否判断の業務、権利維持の要否判断の業務及び当該業務に係る特許審査委員会の事務局業務を行っている。

また、特許権等の登録や製品化に係る発明者補償に関する業務も行っている。

産総研平成28年度特許関連統計

国内特許	出願件数	617件
	登録件数	490件
国外特許	出願件数	253件
	登録件数	287件

国際標準化室 (International Standards Office)

(つくば中央第1)

概要：

研究成果の規格化の推進、知的財産活用・標準化に関する活動の支援、ナノテク標準化活動等の国際標準化活動に関する支援・事務局業務、標準化普及のための広報活動を行っている。

また、標準への適合性評価に関する活動の調査・支援、認証及び認定に関する活動の調査・支援、鉱工業

の科学技術に係る依頼試験等の受付、管理及び立ち上げ支援を行っている。

1) 標準提案

標準化を通じた研究開発成果の普及や社会からの要請への対応のため、標準基盤研究や工業標準化推進事業等の外部制度の活用を通じて、知的財産活用・標準化のために必要な研究を実施している。

平成28年度 標準提案数	計23件
国際標準 (ISO、IEC 等)	16件
国内標準 (JIS、TS)	7件

2) 国際会議の役職者等

産総研の研究者は、ISO 等の国際会議の議長、幹事、コンビーナといった役職者や、技術専門家(エキスパート)として審議に貢献している。役職者及び将来の役職者候補への渡航旅費補助などを行い、国際標準化活動を支援している。

議長、幹事、コンビーナ	のべ 48人
エキスパート	のべ317人

3) 鉱工業の科学技術に係る依頼試験

産総研の研究成果に基づく試験、分析、校正を有料で実施している。

平成28年度	依頼試験実施件数	計14件
材料及び製品の試験	火薬類の試験 (自動車用緊急保安炎筒試験)	9件
糖鎖分析	定量的糖鎖結合特異性評価	1件
基準太陽電池セル校正	一次基準太陽電池セルの校正	4件

産業技術総合研究所

平成28年度ユニット別出願件数（届出時のユニット名）

(2017/3/31 現在)

研究ユニット	28年度国内出願件数			28年度外国出願件数			28年度外国基礎出願件数		
	単	共	計	単	共	計	単	共	計
太陽光発電研究センター	4	3	7	0	3	3	0	0	0
再生可能エネルギー研究センター	3	5	8	0	4	4	0	3	3
先進パワーエレクトロニクス研究センター	22	30	52	4	16	20	3	9	12
創エネルギー研究部門	4	8	12	2	0	2	2	0	2
電池技術研究部門	16	15	31	11	19	30	9	6	15
省エネルギー研究部門	8	2	10	2	1	3	2	1	3
環境管理研究部門	8	9	17	7	2	9	7	2	9
安全科学研究部門	1	0	1	0	1	1	0	1	1
創薬分子プロファイリング研究センター	1	1	2	0	2	2	0	2	2
創薬基盤研究部門	3	12	15	5	8	13	5	8	13
バイオメディカル研究部門	15	15	30	7	2	9	7	2	9
健康工学研究部門	6	5	11	0	0	0	0	0	0
生物プロセス研究部門	5	11	16	6	4	10	6	2	8
自動車ヒューマンファクター研究センター	1	2	3	0	1	1	0	0	0
ロボットイノベーション研究センター	3	0	3	0	0	0	0	0	0
人工知能研究センター	4	0	4	0	0	0	0	0	0
情報技術研究部門	2	1	3	1	0	1	1	0	1
人間情報研究部門	7	4	11	4	0	4	4	0	4
知能システム研究部門	5	3	8	4	1	5	1	1	2
触媒化学融合研究センター	26	22	48	7	9	16	7	7	14
ナノチューブ実用化研究センター	11	2	13	1	0	1	1	0	1
磁性粉末冶金研究センター	4	3	7	3	3	6	3	2	5
機能化学研究部門	14	5	19	5	3	8	4	3	7
化学プロセス研究部門	16	23	39	0	13	13	0	8	8
ナノ材料研究部門	9	7	16	2	1	3	2	1	3
無機機能材料研究部門	15	10	25	5	5	10	5	4	9
構造材料研究部門	9	17	26	6	2	8	5	1	6
スピントロニクス研究センター	6	4	10	2	0	2	2	0	2
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	12	8	20	2	7	9	2	6	8
先進コーティング技術研究センター	5	3	8	7	6	13	5	2	7
集積マイクロシステム研究センター	6	6	12	3	0	3	3	0	3
ナノエレクトロニクス研究部門	8	10	18	8	4	12	6	2	8
電子光技術研究部門	26	9	35	12	3	15	12	3	15
製造技術研究部門	16	9	25	6	3	9	6	3	9
地圏資源環境研究部門	3	1	4	0	1	1	0	1	1
地質情報研究部門	0	1	1	0	0	0	0	0	0
工学計測標準研究部門	6	1	7	1	1	2	1	1	2
物理計測標準研究部門	12	3	15	1	0	1	1	0	1
物質計測標準研究部門	6	9	15	0	2	2	0	2	2
分析計測標準研究部門	7	2	9	2	0	2	2	0	2
ユニット外所属	1	0	1	0	0	0	0	0	0
合計	336	281	617	126	127	253	114	83	197

※外国基礎出願件数：外国出願を行う基礎となった国内出願の件数。

平成 28 年度研究領域別登録件数（登録時の研究領域）

(2017/3/31 現在)

領域	登録件数	国内			外国		
		単願	共願	合計	単願	共願	合計
エネルギー・環境領域	56	71	127	24	35	59	
生命工学領域	43	34	77	14	47	61	
エレクトロニクス・製造領域	67	40	107	35	29	64	
材料・化学領域	71	44	115	33	45	78	
計量標準総合センター	10	10	20	5	5	10	
地質調査総合センター	2	0	2	1	0	1	
情報・人間工学領域	26	14	40	3	11	14	
領域外所属	0	2	2	0	0	0	
合計	275	215	490	115	172	287	

⑤【産学官・国際連携推進部】

(Collaboration Promotion and International Affairs Division)

所在地：つくば中央第1

人員：52名（8名）

概要：

産業界、大学、公的研究機関、海外機関等と産総研の連携推進および人材交流の促進を通して、第四期中長期計画における取組の大きな柱である「橋渡し機能の強化」に貢献することを目的とした活動を行っている。具体的には、産学官が一体となって研究開発や実用化等を推進するために、共同研究や受託研究をはじめとした各種産学官連携制度の企画・立案および各種契約の適切な締結、および執行を行う。また、外部資金に関するコンプライアンスの推進、海外機関との連携に伴う海外活動の支援や、試料や技術の提供を適切に行うための安全保障輸出管理業務を行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[産学官・国際連携推進部]

部長 酒井 夏子
次長 栗津 浩一
 松崎 一秀
審議役 今井 寛
 矢吹 聡一

—[連携企画室]	室長（兼）相馬 宣和
—[国際連携室]	室長（兼）山本 和弘
	総括主幹 橋本 佳三
	総括主幹 村井 保夫
	総括主幹 森本 慎一郎
	総括主幹 森岡 敏博
	総括主幹
	Affeldt Reynald
—[共同研究支援室]	室長 柳堀 昭
—[プロジェクト支援室]	室長 三塚 順
—[連携管理室]	室長 徳田 澄男

連携企画室

(Collaboration Promotion and International Affairs Division Planning Office)

(つくば中央第1)

概要：

産学官連携、国際連携活動全般の企画及び立案を行うとともに、産学官・国際連携推進部全体の業務を円滑に推進するための総合調整を行っている。国内機関、海外機関との連携協定の締結に関する事、産総研コンソーシアムの設立手続に関する事、イノベーションコンソーシアム型などの大型の共同研究実施に係る

調整等の業務を行っている。また、連携大学院協定の締結等の大学連携に関する事、優秀な大学院生をリサーチアシスタントとして研究開発プロジェクトに参画させる等人材受入も推進している。

国際連携室

(Collaboration Promotion and International Affairs Division Global Collaboration Office)

(つくば中央第1)

概要：

海外の主要研究機関等との研究ネットワークを構築・強化し、国際研究協力や人材交流を推進している。具体的には、研究協力覚書等の締結により、組織的連携を強化し、研究者の派遣・招へい制度、事務職員短期人材交流、海外派遣型マーケティング人材育成事業（人事部に協力）等による国際的な人材交流を推進している。また、産総研に来訪する海外要人の視察対応や、産総研幹部の海外研究機関への往訪支援、世界研究機関長会議の開催、ワークショップの企画・運営などを通して、産総研の国際プレゼンス向上および研究連携の推進・拡大に寄与している。

さらに、外国為替及び外国貿易法及び関係法令等を確実に遵守するため、産総研の安全保障輸出管理体制の整備・輸出管理・監査・教育を実施している。

共同研究支援室

(Collaboration Promotion and International Affairs Division Collaborative Research Support Office)

(つくば中央第1)

概要：

産総研における外部機関との連携、技術移転等を図るための共同研究に係る業務を行うとともに、「人」と「場」を活用した産学官連携活動を推進するため、技術研究組合からの研究員等の受入に関する覚書締結及び技術研究組合事業に参加する職員に関する覚書締結等の支援業務を行っている。また、平成27年度より新設した技術コンサルティング契約に係る業務を行っている。

プロジェクト支援室

(Collaboration Promotion and International Affairs Division National Project Support Office)

(つくば中央第1)

概要：

産総研における研究成果の普及、技術移転等を図るための受託研究及び請負研究並びに産総研から他機関への委託研究に係る契約事務等の業務を行うとともに、受託研究及び研究助成金等外部からの研究資金受入のための支援業務を行っている。

連携管理室

(Collaboration Promotion and International Affairs
Division Inspection and Administration Office)

(つくば中央第1)

概 要 :

受託研究、個人助成金等の外部研究資金について、その適正な執行を確保するため、職員説明会の開催、自主点検等の実施を通じ、産総研における外部研究資金のコンプライアンス向上に努めている。また、外部研究資金に係るルールの整備、相談窓口の設置及びマニュアルの整備等により研究者による円滑な事務手続きを支援している。

産業技術総合研究所

1. 国内機関等との連携

1) 共同研究

企業、大学や公設研究所などと産総研が、共通のテーマについて対等な立場で共同して研究を行う制度である。

表1 共同研究ユニット別件数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	総計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	13	5	17	4			39
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	8	2	42	8			60
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	38	5	46	5			94
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	33	6	24	24	5		92
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	14	5	17	9			45
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	21	5	28	7	3	1	65
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	38	6	68	27	3	1	143
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	25	10	59	21			115
生命工学領域	創薬基盤研究部門	45	10	19	15		1	90
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	78	13	63	42	2		198
生命工学領域	健康工学研究部門	44	5	15	26	12		102
生命工学領域	生物プロセス研究部門	45	23	15	21	4		108
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	50	29	30	15			124
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	2	1	17	9			29
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	39	6	53	22			120
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	25	3	25	15	2	1	71
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	10	2	35	2	1	1	51
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	6	7	12	2	1		28
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	18	19	36	9			82
材料・化学領域	機能化学研究部門	39	2	30	6	9	1	87
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	39	5	51	24	2		121
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	29	4	25	13	2	1	74
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	26	3	50	7	1	1	88
材料・化学領域	構造材料研究部門	31	4	35	29	6		105
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	29	4	25	5			63
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター	5		8	1			14
材料・化学領域	機能材料コンピューティショナルデザイン研究センター	4		19	2			25
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター	9		10	5			24
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	46	15	26	12		2	101
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	67	4	36	20	1		128
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	28	5	33	24	8		98
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター	10	3	15				28
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	8	4	13	7	2		34
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	8	1	22	5	5		41
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	5	3	20	11	2		41
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	11	5	3		4		23
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	5	8	22	6	1	3	45
地質調査総合センター	地質情報研究部門	5	9	4	4	2		24
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	13	6	22	12	2		55
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	15	10	20	11	3		59
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	19	8	40	20	2	1	90
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	29	17	25	16	1		88
	小計	1,032	282	1,175	523	86	14	3,112
その他	フェロー、本部・事業組織等	13	3	31	7		1	55
	計	1,045	285	1,206	530	86	15	3,167

※国内案件のみ

※区分の定義

独法等：特殊法人、公益法人を含む

国等：国、自治体、公設試を含む

2) 技術コンサルティング

産総研の技術的なポテンシャルを活かして、有償の指導助言等を行うための制度である。平成28年度より本格的な運用を開始した。

表2 技術コンサルティングユニット別件数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門			4				4
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門							
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門			5				5
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門			1	1			2
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門			4				4
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター			6				6
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター							
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター				1			1
生命工学領域	創薬基盤研究部門							
生命工学領域	バイオメディカル研究部門			14				14
生命工学領域	健康工学研究部門							
生命工学領域	生物プロセス研究部門	1						1
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター			3				3
情報・人間工学領域	情報技術研究部門			1				1
情報・人間工学領域	人間情報研究部門			2	2			4
情報・人間工学領域	知能システム研究部門			2				2
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター			1				1
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	1	3	3				7
情報・人間工学領域	人工知能研究センター			4				4
材料・化学領域	機能化学研究部門			2				2
材料・化学領域	化学プロセス研究部門			1				1
材料・化学領域	ナノ材料研究部門			1				1
材料・化学領域	無機機能材料研究部門			3				3
材料・化学領域	構造材料研究部門							
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター			2	1			3
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター							
材料・化学領域	機能材料コンピュータシミュレーションデザイン研究センター			1				1
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門			1				1
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門			1				1
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門		1	7	3			11
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター			1				1
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター			1				1
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門			1				1
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門			4	1			5
地質調査総合センター	地質情報研究部門				1			1
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門		6	41	16		2	65
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	1	10	30	21		1	63
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門		2	17	2			21
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	1	4	11	2	2		20
	小計	4	26	175	51	2	3	261
その他	フェロー、本部・事業組織等			8	3		1	12
	計	4	26	183	54		4	273

※国内案件のみ

産業技術総合研究所

3) 委託研究

産総研で研究するより、産総研以外の者（大学、企業等）に委託した方が、研究の効率性や経済性が期待出来る場合に、産総研以外の者に委託する制度である。

表3 委託研究ユニット別件数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	14	4	9	3			30
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門							
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	5	2					7
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	1						1
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	1	3		1			5
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	7						7
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	1	1					2
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	8	1					9
生命工学領域	創薬基盤研究部門	7	2		1			10
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	1		1	3			5
生命工学領域	健康工学研究部門	2	1		1			4
生命工学領域	生物プロセス研究部門							
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	2			4			6
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	2						2
情報・人間工学領域	人間情報研究部門							
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	1		4				5
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター							
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	2	1		1			4
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	16	2	1				19
材料・化学領域	機能化学研究部門							
材料・化学領域	化学プロセス研究部門							
材料・化学領域	ナノ材料研究部門				1			1
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	1						1
材料・化学領域	構造材料研究部門							
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	1						1
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター							
材料・化学領域	機能材料コンピュータシミュレーションデザイン研究センター	1						1
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門							
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	3		1	1			5
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門			5	1			6
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター							
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	8				1		9
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	6	2	1		1		10
地質調査総合センター	地質情報研究部門	1						1
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	3						3
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門				1			1
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門							
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	3			1			4
	小計	97	19	22	19	2		159
その他	フェロー、本部・事業組織等	12	2					14
	計	109	21	22	19	2		173

※国内案件のみ

4) 受託研究

企業、法人など他機関から産総研に研究を委託する制度である。その成果は委託元で活用できる。委託元の研究者を外来研究員として受け入れることも可能である。

表4 受託研究ユニット別件数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	1	9	3	2	5		20
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	1	9	1				11
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門		19	6	1	2	1	29
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	1	10	4	6	4	1	26
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	2	6	1	1	5		15
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	2	9	2		2		15
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター		11	3	1	4		19
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	2	8	2		1		13
生命工学領域	創薬基盤研究部門	5	14					19
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	2	12	2	1	3		20
生命工学領域	健康工学研究部門		6	6	1	3		16
生命工学領域	生物プロセス研究部門	1	9	1	1	1		13
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	1	9	2				12
情報・人間工学領域	情報技術研究部門		8	1	1	1		11
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	2	13	1	2	2		20
情報・人間工学領域	知能システム研究部門		9	2	3	3		17
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター					1		1
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター		4		1	1		6
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	1	14		2	2		19
材料・化学領域	機能化学研究部門	1	6	4		1		12
材料・化学領域	化学プロセス研究部門		7	3	3			13
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	1	5	2	2			10
材料・化学領域	無機機能材料研究部門		12					12
材料・化学領域	構造材料研究部門		3	1	1	1		6
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	2	5	1				8
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター							
材料・化学領域	機能材料コンピュータシミュレーションデザイン研究センター	1	3					4
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター		1	1				2
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	1	18	3				22
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門		12		2	4		18
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	1	10	2	2	5		20
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター		3					3
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター		3	1	1	2		7
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター		2					2
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター		6			1		7
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	3	2	2		3		10
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	2	3	3		6	1	15
地質調査総合センター	地質情報研究部門	1	4			4		9
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	1	4	3	9	2		19
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	1	5	7	14	1		28
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	1	8	6	2	1		18
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門		8	6	3	1		18
	小計	37	309	82	62	72	3	565
その他	フェロー、本部・事業組織等	3	5		1			9
	計	40	314	82	63	72	3	574

※国内案件のみ

産業技術総合研究所

5) 請負研究

受託研究によることができない研究を他機関からの依頼に応じて産総研が行うものであり、その経費は依頼者に負担していただく。

表5 請負研究ユニット別件数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門			1				1
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門							
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門			1	1	1		3
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門			1	2			3
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門		1					1
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	1			2			3
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター							
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター							
生命工学領域	創薬基盤研究部門							
生命工学領域	バイオメディカル研究部門			1				1
生命工学領域	健康工学研究部門				1			1
生命工学領域	生物プロセス研究部門		1	2	1	1		5
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	1						1
情報・人間工学領域	情報技術研究部門							
情報・人間工学領域	人間情報研究部門					1		1
情報・人間工学領域	知能システム研究部門		1					1
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター			3				3
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター		1					1
情報・人間工学領域	人工知能研究センター			2	2			4
材料・化学領域	機能化学研究部門		1	2				3
材料・化学領域	化学プロセス研究部門							
材料・化学領域	ナノ材料研究部門							
材料・化学領域	無機機能材料研究部門							
材料・化学領域	構造材料研究部門			2				2
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター							
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター							
材料・化学領域	機能材料コンピュータシミュレーションデザイン研究センター							
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門			2				2
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門							
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門			1				1
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター			1				1
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター							
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門			2	1			3
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門			1		1		2
地質調査総合センター	地質情報研究部門				1			1
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門		2		2			4
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門							
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門							
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門			1				1
	小計	2	7	23	13	4		49
その他	フェロー、本部・事業組織等							
	計	2	7	23	13	4		49

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

6) 技術研修/産総研リサーチアシスタント制度

技術研修は外部機関等の研究者、技術者を産総研が受け入れ、産総研の技術ポテンシャルを基に研修を行う制度である。技術研修のうち、リサーチアシスタント制度は、優れた研究開発能力を持ち、自立的に産総研の研究開発プロジェクトの業務に従事できる大学院生を雇用する制度であり、平成26年度に開始した。

表6 技術研修ユニット別人数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	うちRA	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	33	(1)		6	1			40
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	9			1	2			12
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	51	(5)	1		2			54
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	24	(3)	1	2				27
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	17	(2)	1					18
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	25	(1)		4				29
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	62	(14)						62
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	19	(4)						19
生命工学領域	創薬基盤研究部門	41	(1)		3	1			45
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	105	(6)						105
生命工学領域	健康工学研究部門	39	(8)	1			5		45
生命工学領域	生物プロセス研究部門	53	(2)					14	67
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	8			10				18
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	28	(10)						28
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	55	(11)						55
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	30	(10)	1			1		32
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	11	(5)						11
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	11							11
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	55	(10)		2				57
材料・化学領域	機能化学研究部門	14	(2)	1			1		16
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	32							32
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	26	(7)		2	3			31
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	34	(1)			2			36
材料・化学領域	構造材料研究部門	12	(3)				2		14
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	24	(6)						24
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター	3	(2)				1		4
材料・化学領域	機能材料コンピュータショナルデザイン研究センター	2							2
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター	8	(3)						8
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	36	(5)	1	4	1			42
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	53	(1)	6					59
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	40	(5)		3	3	1		47
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター	6	(3)						6
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	20	(3)				1		21
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	6	(1)						6
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	22	(1)		1				23
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	13	(1)				14		27
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	22	(2)	4	1				27
地質調査総合センター	地質情報研究部門	32	(12)						32
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	7	(1)						7
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	12	(3)	4		1			17
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	24	(1)		2				26
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	16	(4)	5	9				30
	小計	1,140	(160)	26	50	16	26	14	1,272
その他	フェロー、本部・事業組織等	39	(14)	1		2	3	6	51
	計	1,179	(174)	27	50	18	29	20	1,323

※国内案件のみ

産業技術総合研究所

7) 外来研究員

外部機関等の研究者等が産総研において研究を行う際に研究員として受け入れる制度である。

表7 外来研究員ユニット別人数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	総計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	17	2				3	22
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	3				1	1	5
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	11	2	1		1	15	30
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	9	5	2	2	4	10	32
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	9	3		2		10	24
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	8	3	2			6	19
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	6	3	5	1		5	20
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	16	4	5	1		9	35
生命工学領域	創薬基盤研究部門	19	2	4	2	2	2	31
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	26	4	2	2	3	18	55
生命工学領域	健康工学研究部門	27	4	1	3	7	5	47
生命工学領域	生物プロセス研究部門	4	3		2	1	4	14
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	3		3	6		1	13
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	13	1	6	2		1	23
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	34	9	3	2	8	9	65
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	6		1		1	6	14
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	13	1				2	16
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	4				2	2	8
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	61	6	5	1	3	4	80
材料・化学領域	機能化学研究部門	3	2		1	3	5	14
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	8	2		4		3	17
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	12	1	4	1		3	21
材料・化学領域	無機機能材料研究部門			1	1	1	1	4
材料・化学領域	構造材料研究部門	3	1			4	3	11
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	1	3	5			1	10
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター						1	1
材料・化学領域	機能材料コンピューテーショナルデザイン研究センター	3	3				1	7
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	9	3		7		16	35
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	15	5	1	2		9	32
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	21	3	4	4	2	9	43
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター	1	2				2	5
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	6	3	1	3	3	5	21
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	1						1
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	7			1	1	3	12
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	54	10	2		3	16	85
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	12		3	2	1	8	26
地質調査総合センター	地質情報研究部門	38	10	1	3	1	19	72
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	2	1			1	2	6
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	2	1				1	4
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	2					1	3
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	9	2		1	1	1	14
	小計	498	104	62	56	54	223	997
その他	フェロー、本部・事業組織等	18	10	2	5	59	24	118
	計	516	114	64	61	113	247	1,115

※国内案件のみ

8) 連携大学院

大学と産総研が協定を結び、産総研研究者が大学から連携大学院教官の発令を受け、大学院生を技術研修生として受け入れ、研究指導等を行う。この制度による大学院生には被指導者であると同時に研究協力者としての側面があり、産総研にとっても研究促進を図ることができる。

(参考：大学院設置基準「第13条第2項 大学院は、教育上有益と認めるときは、学生が他の大学院又は研究所等において必要な研究指導を受ける事を認めることができる。(後略)」)

表8 連携大学院ユニット別派遣教員数及び受入学生数

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	派遣教員数・受入学生数							教員数計	学生数計
		国公立大学			私立大学					
		教授	准教授他	学生数	教授	准教授他	学生数			
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門				4		1	4	1	
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	2	2	4	1		1	5	5	
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	8	2	17	3		1	13	18	
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	1	2	2				3	2	
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	1	1					2		
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	4	2		1		4	7	4	
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	4	1		1			6		
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	4	1	1	3			8	1	
生命工学領域	創薬基盤研究部門	10	11	11	1	1		23	11	
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	11	9	12	3	3	6	26	18	
生命工学領域	健康工学研究部門	5	4	2	2		2	11	2	
生命工学領域	生物プロセス研究部門	10	6	24	1			17	24	
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	4	4	1	2	1	1	11	2	
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	3	3	1	1			7	1	
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	12	5	14	2			19	14	
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	5	2	13	2		2	9	15	
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	2	1	4				3	4	
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	2	1					3		
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	5	6	10	4	2	5	17	15	
材料・化学領域	機能化学研究部門	4	1					5		
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	6	1		6	1	3	14	3	
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	4		1	1		1	5	2	
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	6	2	3	6		5	14	8	
材料・化学領域	構造材料研究部門	2			3			5		
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	2	3	6	2		4	7	10	
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター		1		1			2		
材料・化学領域	機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	2			1			3		
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター									
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	3			7		1	10	1	
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門		2	4	7	1	4	10	8	
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	8	5	11	2	1	16	11		
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター	1		1	2	1	2	4	3	
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	1			1			2		
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	2			4	1	1	7	1	
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	1			1			2		
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	3	1					4		
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	1			1			2		
地質調査総合センター	地質情報研究部門	2	3	1				5	1	
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門				3	1	1	4	1	
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門				1		1	1	1	
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	1	1		1	2	1	5	1	
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	1			1		2	2	2	
	小計	143	83	141	82	15	49	323	190	
その他	フェロー、本部・事業組織等	9	2		3			14		
	計	152	85	141	85	15	49	337	190	

産業技術総合研究所

表9 連携大学院大学別派遣教員数及び受入学生数

平成29年3月31日現在

					教授	准教授 他	教員数	受入 学生数
1	北海道	国立	北海道大学	情報科学研究科	1	2	3	1
				生命科学院	3	3	6	11
				総合化学院	2		2	
				農学院	4	4	8	6
2	東北	国立	東北大学	理学研究科	3	3	6	
3	東北	国立	山形大学	理工学研究科	6		6	1
4	東北	国立	福島大学	共生システム理工学研究科	7	1	8	
5	関東	国立	茨城大学	理工学研究科	1	1	2	1
6	関東	国立	筑波大学	グローバル教育院	4	2	6	
				システム情報工学研究科	12	7	19	42
				人間総合科学研究科	5	4	9	10
				数理物質科学研究科	11	7	18	7
				生命環境科学研究科	6	2	8	15
7	関東	国立	宇都宮大学	工学研究科	2		2	
8	関東	国立	群馬大学	理工学府	1	1	2	
9	関東	国立	埼玉大学	理工学研究科	8	2	10	2
10	関東	国立	千葉大学	工学研究科	1		1	
				理学研究科	3		3	
11	関東	国立	東京大学	新領域創成科学研究科	4	8	12	15
12	関東	国立	東京工業大学	環境・社会理工学院	1		1	1
				工学院	2		2	
				情報理工学院	3		3	
				物質理工学院	1		1	
13	関東	国立	東京農工大学	工学府	5	3	8	6
14	関東	国立	お茶の水女子大学	人間文化創成科学研究科	1	1	2	
15	関東	国立	横浜国立大学	環境情報研究院		1	1	
16	関東	国立	長岡技術科学大学	工学研究科	1	2	3	
17	関東	公立	首都大学東京	システムデザイン研究科	3	2	5	
				理工学研究科	4	2	6	
18	関東	公立	横浜国立大学	生命医科学研究科	1	1	2	1
19	中部	国立	金沢大学	自然科学研究科	1	1	2	1
20	中部	国立	北陸先端科学技術大学院大学	マテリアルサイエンス研究科	3	1	4	
				情報科学研究科		2	2	4
				知識科学研究科		2	2	
21	中部	国立	岐阜大学	工学研究科	2	1	3	
				連合創薬医療情報研究科	1	1	2	
				連合農学研究科	2	4	6	
22	中部	国立	名古屋工業大学	工学研究科	2		2	3
23	関西	国立	福井大学	工学研究科	1		1	
24	関西	国立	京都工芸繊維大学	工芸科学研究科		1	1	
25	関西	国立	大阪大学	理学研究科	4		4	
26	関西	国立	神戸大学	工学研究科	5	4	9	4
				人間発達環境学研究科	1	1	2	
27	関西	国立	奈良先端科学技術大学院大学	情報科学研究科	4	2	6	1
28	関西	国立	和歌山大学	システム工学研究科	2		2	
29	中国	国立	広島大学	工学研究科	2	1	3	
				生物圏科学研究科	1	1	2	1
				先端物質科学研究科	1		1	
30	四国	国立	香川大学	農学研究科	2	1	3	
31	九州	国立	九州大学	総合理工学研究院	2	1	3	6
32	九州	国立	九州工業大学	生命体工学研究科	2		2	
33	九州	国立	佐賀大学	工学系研究科	4	2	6	1

事業組織・本部組織業務

					教授	准教授 他	教員数	受入 学生数
34	九州	国立	熊本大学	自然科学研究科	1		1	
35	九州	国立	鹿児島大学	理工学研究科	3		3	
				国公立大学小計	152	85	237	141
36	東北	私立	東北学院大学	工学研究科	5		5	
37	関東	私立	東邦大学	理学研究科	7	3	10	3
38	関東	私立	千葉工業大学	工学研究科	1		1	2
39	関東	私立	東京理科大学	基礎工学研究科	4	1	5	6
				理学研究科	4		4	
				理工学研究科	15	2	17	20
40	関東	私立	東京電機大学	工学研究科	4		4	
41	関東	私立	芝浦工業大学	理工学研究科	2	1	3	2
42	関東	私立	日本大学	工学研究科	1		1	1
				理工学研究科	1		1	1
43	関東	私立	上智大学	理工学研究科	1		1	
44	関東	私立	立教大学	理学研究科	3		3	1
45	関東	私立	青山学院大学	理工学研究科	1	2	3	1
46	関東	私立	早稲田大学	理工学術院	2	5	7	4
47	関東	私立	明治大学	理工学研究科	6		6	1
48	関東	私立	中央大学	理工学研究科	4		4	
49	関東	私立	神奈川工科大学	工学研究科	9		9	
50	中部	私立	金沢工業大学	工学研究科	4		4	
51	中部	私立	大同大学	工学研究科	1		1	
52	中部	私立	中部大学	工学研究科	2		2	1
53	中部	私立	愛知工業大学	工学研究科	2		2	
54	関西	私立	関西大学	理工学研究科	4		4	2
55	関西	私立	関西学院大学	理工学研究科	2	1	3	4
				私立大学小計	85	15	100	49
				合計	237	100	337	190

(注) 教授、准教授以外の役職で登録されている場合は准教授とする

産業技術総合研究所

9) 依頼出張・受託出張

外部機関からの要請により、研究打ち合わせ、調査、講演等のために、職員が出張する制度である。

表10 依頼・受託出張ユニット別人数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	2	4			1	3	10
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	2	1		1	5	4	13
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	8	2				3	13
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	4	13	2	2	2	3	26
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	2	3		1	2	2	10
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	6	2			3	1	12
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	8	7			4	2	21
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター		3					3
生命工学領域	創薬基盤研究部門	4	3	2	1		3	13
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	24	3				4	31
生命工学領域	健康工学研究部門	21	4				1	26
生命工学領域	生物プロセス研究部門	13	9				29	51
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	15	1					16
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	9	1	1		1		12
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	4	5		1	2		12
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	2	3		1	1	1	8
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	2	4			1		7
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	2	4		1	8	2	17
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	14	4	3		2	1	24
材料・化学領域	機能化学研究部門	7	6			1		14
材料・化学領域	化学プロセス研究部門		2					2
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	8	2					10
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	2	1			1		4
材料・化学領域	構造材料研究部門	3	2			2	2	9
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター		1					1
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター						11	11
材料・化学領域	機能材料コンピュータシミュレーションデザイン研究センター	4	8		1	1		14
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター		2				1	3
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	9	4				1	14
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	14	3		1			18
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	9	5	1		4	2	21
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター							
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	1	1					2
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	3						3
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	2						2
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	34	13			12	8	67
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	3	3	1			3	10
地質調査総合センター	地質情報研究部門	48	9	1		1	3	62
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	7	4	2		2		15
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	9	8					17
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	2	19	2		8	3	34
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	3	1				5	9
	小計	310	170	15	10	64	98	667
その他	フェロー、本部・事業組織等	10	10		1	12	16	49
	計	320	180	15	11	76	114	716

※国内案件のみ

事業組織・本部組織業務

10) 委員の委嘱

産総研の職員が外部の委員等に就任し、必要とされる情報、アドバイス等の提供を行う。

表11 委員の委嘱ユニット別人数一覧

平成29年3月31日現在

領域	研究ユニット	大学	独法等	大企業	中小企業	国等	その他	計
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	4	35	1			12	52
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	7	75	1		5	1	89
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	4	82			9	10	105
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	8	39			6	10	63
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	4	75	1		14	55	149
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	7	40	1	1	7	18	74
エネルギー・環境領域	再生可能エネルギー研究センター	1	37		2	12	41	93
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	1	12			1	3	17
生命工学領域	創薬基盤研究部門	8	7			3		18
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	14	29		1	4	13	61
生命工学領域	健康工学研究部門	26	53			8	15	102
生命工学領域	生物プロセス研究部門	7	17		1	9	16	50
生命工学領域	創薬分子プロファイリング研究センター	8	1					9
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	11	86	2		8	4	111
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	11	95	5	1	13	27	152
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	5	78	13	3	10	12	121
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	2	19			3	2	26
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	3	31	5	3	11	15	68
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	4	31	8	2	5	2	52
材料・化学領域	機能化学研究部門	4	45	1	1	3	12	66
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	3	27	1		5	7	43
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	10	28				9	47
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	3	86	2		9	20	120
材料・化学領域	構造材料研究部門	3	63	1	1		8	76
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	6	18			2	2	28
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター		8				1	9
材料・化学領域	機能材料コンピューテーショナルデザイン研究センター	6	8				1	15
材料・化学領域	磁性粉末冶金研究センター		12					12
エレクトロニクス・製造領域	ナノエレクトロニクス研究部門	10	81			1	16	108
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	13	53	1		2	2	71
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	3	82		2	5	15	107
エレクトロニクス・製造領域	スピントロニクス研究センター		3					3
エレクトロニクス・製造領域	フレキシブルエレクトロニクス研究センター	2	5				2	9
エレクトロニクス・製造領域	先進コーティング技術研究センター	3	12					15
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	5	19			1	7	32
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	7	61		3	38	37	146
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	3	56	1	3	20	54	137
地質調査総合センター	地質情報研究部門	6	57	2		18	53	136
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	2	193			9	23	227
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門		129	2		15	6	152
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	9	112	2		19	30	172
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	9	113	1		9	37	169
	小計	242	2,113	51	24	284	598	3,312
その他	フェロー、本部・事業組織等	32	170	6	6	100	93	407
	計	274	2,283	57	30	384	691	3,719

※国内案件のみ

2. 海外機関等との連携

1) 海外出張

研究の推進を目的とした職員の海外出張について、平成28年度の出張者総数（国・地域別）は、3606名。実出張者数（組織別）は、3387名。分類のカテゴリーは以下のとおり。

産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）…運営費交付金等により行う出張

外部予算による出張…文部科学省科学研究費補助金等、外部予算により行う出張

依頼出張…外部機関からの依頼による出張。依頼元は、公益法人、民間企業、海外の大学・研究機関等。

表12 平成28年度外国出張者数（国・地域別）

国・地域名	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
アジア・大洋州地域					
インド		56	47	8	1
インドネシア		32	18	5	9
韓国		198	121	63	14
カンボジア		5	2	2	1
シンガポール		72	28	40	4
スリランカ		6	4		2
タイ		152	106	38	8
台湾		91	50	29	12
中国		267	139	95	33
日本（海外在住）		10	7	3	
パキスタン		1			1
フィリピン		6		6	
ベトナム		89	67	18	4
マレーシア		12	6	5	1
ミャンマー		16	4	12	
モンゴル		3	2	1	
ラオス		2	1		1
オーストラリア		86	33	48	5
ニュージーランド		17	5	11	1
パプアニューギニア		2	2		
米州地域					
米国		1027	504	492	31
カナダ		109	42	63	4
アルゼンチン		4	1	3	
キューバ		1		1	
チリ		2		1	1
ドミニカ共和国		1			1
プエルトリコ		2		2	
ブラジル		4	2	2	
メキシコ		31	20	10	1
ヨーロッパ地域					
アイルランド		15	5	10	
イタリア		63	33	27	3
英国		108	53	47	8
エストニア		2	1	1	
オーストリア		70	26	40	4

事業組織・本部組織業務

国・地域名	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
オランダ		59	37	19	3
カザフスタン		1	1		
キプロス		1		1	
ギリシア		29	14	14	1
クロアチア		1		1	
スイス		55	20	29	6
スウェーデン		34	10	17	7
スペイン		47	19	26	2
スロバキア		3		3	
スロベニア		3	2	1	
タジキスタン		1	1		
チェコ		21	10	9	2
デンマーク		18	8	9	1
ドイツ		330	182	124	24
ノルウェー		13	6	5	2
ハンガリー		5	2	3	
フィンランド		47	24	22	1
フランス		165	97	55	13
ブルガリア		3		3	
ベルギー		50	38	8	4
ポーランド		38	22	14	2
ポルトガル		25	15	10	
ルーマニア		2	1	1	
ルクセンブルク		2		2	
ロシア		18	13	4	1
その他					
アラブ首長国連邦		14	10	3	1
イスラエル		5	3	2	
ウガンダ		5	1	4	
エジプト		3		3	
エチオピア		1	1		
オマーン		1		1	
ケニア		7	2	5	
サウジアラビア		6	3	3	
トルコ		1	1		
南極		1	1		
モーリシャス		3	1	2	
ルワンダ		1		1	
南アフリカ		25	12	13	
合 計		3606	1886	1500	220

※1つの出張で数ヶ国にまたがる場合には、それぞれの国にカウントしております。

表13 平成28年度外国出張者数（組織別）

組織別	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
理事長、理事、フェロー、顧問		31	30	1	
エネルギー・環境領域		682	290	340	52
生命工学領域		329	186	129	14
情報・人間工学領域		683	316	341	26
材料・化学領域		392	202	162	28
エレクトロニクス・製造領域		429	210	203	16
地質調査総合センター		280	125	129	26
計量標準総合センター		407	282	96	29
本部組織		106	90	11	5
事業組織		34	14	4	16
特別の組織		14	12	2	
合計		3387	1757	1418	212

表14 平成28年度外国出張者数（目的別）

目的	人数	計	1. 産総研予算による出張（一部外部予算の充当を含む）	2. 外部予算による出張	3. 依頼出張
国際会議		1613	839	646	128
学会等		952	483	456	13
動向調査		213	122	90	1
実地調査		154	74	64	16
在外研究		70	48	22	
共同研究		239	116	114	9
技術協力		47	28	10	9
交渉折衝		48	36	12	
在外研修		14	10	4	
その他		37	1		36
合計		3387	1757	1418	212

【各区分の定義】

- 国際会議・学会等：国際会議や学会への参加
 動向調査：海外の大学・研究所・企業等を訪問し、動向を調査
 実地調査：地質調査等の野外における調査
 在外研究：海外の大学・研究所等における研究
 共同研究：海外の大学・研究所等との共同研究の実施
 技術協力：JICA 専門家等として、海外機関における技術協力
 交渉折衝：海外の大学・研究所等における交渉、折衝
 在外研修：海外の大学・研究所等における研修
 その他：上記に属しないもの

2) 外国人研究者受入

研究の推進を目的として、海外の研究機関、大学等から外国人研究者の受け入れを実施している。平成28年度は、142名を受け入れた。

表15 平成27年度外国人研究者受入実績

受入制度	受入人数
外国人外来研究員 (内 JSPS フェロー13人)	142
合 計	142

※新規受入分、滞在6日以上

【各区分の定義】

- ・外来研究員：産総研以外の者であって、自己の知見、経験等を活かし研究の推進に協力するために行う研究、調査、指導、助言等を行う者で原則として5年以上研究に従事した者をいう。
- ・JSPS フェロー：JSPS フェロースhipにより来日している外国人外来研究員

表16 平成28年度外国人研究者受入実績（国・地域別）

国・地域別	人数	外来研究員
アジア・大洋州地域		
インド		23
インドネシア		3
韓国		10
シンガポール		1
スリランカ		1
タイ		14
台湾		5
中国		31
ベトナム		4
モンゴル		3
オーストラリア		4
米州地域		
米国		8
カナダ		1
アルゼンチン		3
ブラジル		3
メキシコ		1
ヨーロッパ地域		
イタリア		5
英国		2
スイス		2
スロベニア		1
ドイツ		4
フランス		8
ブルガリア		1
ポーランド		1
ロシア		2
その他の地域		
イスラエル		1
合 計		142

表17 平成28年度外国人研究者受入実績（組織別）

領域	研究ユニット	人数
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	8
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	4
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	1
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	5
エネルギー・環境領域	安全科学研究部門	6
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	8
エネルギー・環境領域	先進パワーエレクトロニクス研究センター	1
生命工学領域	創薬基盤研究部門	3
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	27
生命工学領域	健康工学研究部門	1
生命工学領域	生物プロセス研究部門	6
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	2
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	3
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	8
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	5
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	4
材料・化学領域	無機機能材料研究部門	1
材料・化学領域	構造材料研究部門	1
材料・化学領域	機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	2
材料・化学領域	ナノチューブ実用化研究センター	1
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	5
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	2
エレクトロニクス・製造領域	集積マイクロシステム研究センター	1
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	4
地質調査総合センター	地圏資源環境研究部門	7
地質調査総合センター	地質情報研究部門	6
計量標準総合センター	工学計測標準研究部門	3
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	2
計量標準総合センター	物質計測標準研究部門	1
計量標準総合センター	分析計測標準研究部門	9
	TIA 推進センター	5
	計	142

3) 国際技術研修

「国立研究開発法人産業技術総合研究所技術研修規程」（13規程第23号）に則り、外国の大学及び研究機関等から派遣された者に対して研究所が蓄積してきた技術ポテンシャルを基に、産業科学技術の発展及び継承を図るために技術研修を実施している。

また、(独)国際協力機構（JICA）や(独)日本学術振興会（JSPS）からの依頼により、JICA 集団研修、個別研修、JSPS サマープログラム研修を実施している。

平成28年度は、6日以上滞在の技術研修員受入数は69名、5日以下17名の総数86名を受け入れた。

（平成27年度から継続滞在〔6日以上滞在14名〕を含むと、100名となる。）

表18 平成28年度 国際技術研修受入実績（制度別）

制 度	6日以上	5日以下	計
技術研修（JICA／サマー研修以外）	69	17	86
JSPS サマープログラム研修			
JICA 集団研修			
小 計	69	17	86

平成27年度からの継続

技術研修	14		14
小 計	14		14
合 計	83	17	100

表19 平成28年度 国際技術研修受入実績（組織別）（6日以上滞在）

領域	研究ユニット	計	JICA	サマープログラム	技術研修
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	2			2
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	3			3
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	5			5
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	4			4
生命工学領域	創薬基盤研究部門	2			2
生命工学領域	バイオメディカル研究部門	2			2
生命工学領域	生物プロセス研究部門	3			3
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	10			10
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	1			1
情報・人間工学領域	知能システム研究部門	2			2
情報・人間工学領域	自動車ヒューマンファクター研究センター	1			1
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	2			2
情報・人間工学領域	人工知能研究センター	10			10
材料・化学領域	機能化学研究部門	1			1
材料・化学領域	ナノ材料研究部門	1			1
材料・化学領域	構造材料研究部門	1			1
材料・化学領域	触媒化学融合研究センター	1			1
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	10			10
エレクトロニクス・製造領域	製造技術研究部門	2			2
地質調査総合センター	活断層・火山研究部門	5			5
計量標準総合センター	物理計測標準研究部門	1			1
	合計	69			69

表20 平成28年度 国際技術研修 国・地域別受入一覧表 (6日以上滞在)

国・地域別	人数	受入人数計	JICA	サマープログラム	技術研修
アジア・大洋州地域					
インド		2			2
インドネシア		1			1
韓国		17			17
タイ		6			6
中国		12			12
日本		2			2
ブルネイ・ダルサラーム		1			1
ベトナム		1			1
マレーシア		3			3
モンゴル		1			1
オーストラリア		3			3
米州地域					
米国		3			3
カナダ		4			4
コスタリカ		1			1
ヨーロッパ地域					
アイルランド		1			1
英国		2			2
オーストリア		1			1
スウェーデン		1			1
スペイン		1			1
ドイツ		1			1
フランス		3			3
その他の地域					
エジプト		1			1
モロッコ		1			1
	合計	69			69

表21 平成28年度 国際技術研修受入実績 (組織別；平成27年度からの継続；6日以上滞在)

領域	研究ユニット	技術研修
エネルギー・環境領域	創エネルギー研究部門	1
エネルギー・環境領域	電池技術研究部門	1
エネルギー・環境領域	省エネルギー研究部門	2
エネルギー・環境領域	環境管理研究部門	3
エネルギー・環境領域	太陽光発電研究センター	1
情報・人間工学領域	情報技術研究部門	1
情報・人間工学領域	人間情報研究部門	1
情報・人間工学領域	ロボットイノベーション研究センター	1
材料・化学領域	化学プロセス研究部門	1
エレクトロニクス・製造領域	電子光技術研究部門	2
	合計	14

表22 平成28年度 国際技術研修国・地域別受入一覧表 (平成27年度からの継続；6日以上滞在)

国・地域別	人数	技術研修
アジア・大洋州地域		
インド		1
韓国		2
タイ		1
中国		7
ヨーロッパ地域		
英国		1
ハンガリー		1
フランス		1
	合計	14

4) 外国機関等との覚書・契約等

外国機関等との組織的な研究協力を推進するにあたり、研究協力覚書を締結している。研究協力覚書は、産総研全体として諸外国の主要研究機関との連携強化を目指して戦略的に締結する包括研究協力覚書、個別研究分野での研究協力促進を目的とする個別研究協力覚書の2種類がある。有効な包括研究協力覚書、個別研究協力覚書の実績は表23、24のとおりである。

平成28年度は、組織的な研究協力や人材交流の促進、国際共同研究の提案等のための基盤整備を継続して行うために、ドイツ航空宇宙センター（DLR）と包括研究協力覚書の新規締結を行い、インド科学技術省科学産業研究機構（CSIR）、インドネシア技術評価応用庁（BPPT）、台湾工業技術研究院（ITRI）、ノルウェーエネルギー技術研究所（IFE）、ノルウェー産業科学技術研究所（SINTEF）、ノルウェー科学技術大学（NTNU）、フランス国立科学研究センター（CNRS）、米国サンディア国立研究所（SNL）との間で8件の包括研究協力覚書の更新を行った。また研究協力覚書に基づいて、研究機関との間でワークショップ等を実施し、連携成果の確認や新たな研究連携課題の探索等、情報交換の場を設けた。これにより各外国機関等との科学技術分野での連携を実施し、研究協力活動、研究者交流の促進を図っている。

表23 外国機関等との包括研究協力覚書

国・地域名	機関名
アジア・大洋州地域	
インド	科学技術省バイオテクノロジー庁（DBT: Department of Biotechnology, Ministry of Science and Technology）
	科学技術省科学産業研究機構（CSIR: Council of Scientific and Industrial Research）
中国	中国科学院（CAS: Chinese Academy of Sciences）
	上海交通大学（SJTU: Shanghai Jiao Tong University）
台湾	工業技術研究院（ITRI: Industrial Technology Research Institute）
インドネシア	インドネシア技術評価応用庁（BPPT: Agency for the Assessment and Application of Technology）
マレーシア	マレーシア標準・工業研究所（SIRIM Berhad）
ベトナム	ベトナム科学技術院（VAST: Vietnam Academy of Science and Technology）
タイ	国家科学技術開発庁（NSTDA: National Science and Technology Development Agency）
	タイ国科学技術研究所（TISTR: Thailand Institute of Scientific and Technological Research）
オーストラリア	連邦科学産業研究機構（CSIRO: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation）
モンゴル・日本	モンゴル鉱物資源・エネルギー省（MMRE: Ministry of Mineral Resources and Energy in Mongolia）、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC: Japan Oil, Gas and Metals National Corporation）
米州地域	

国・地域名	機関名
米国	国立標準技術研究所 (NIST: National Institute of Standards and Technology)
	ローレンス・バークレー国立研究所 (LBNL: Lawrence Berkeley National Laboratory)
	国立再生可能エネルギー研究所 (NREL: National Renewable Energy Laboratory)
	ロスアラモス国立研究所 (LANL: Los Alamos National Laboratory)
	ローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory)
	サンディア国立研究所 (SNL: Sandia National Laboratories)
	オークリッジ国立研究所 (ORNL: Oak Ridge National Laboratory)
	サバンナリバー国立研究所 (SRNL: Savannah River National Laboratory)
ブルックヘブン国立研究所 (BNL: Brookhaven National Laboratory)	
ヨーロッパ地域	
ノルウェー	ノルウェー科学技術大学 (NTNU: Norwegian University of Science and Technology)
	エネルギー技術研究所 (IFE: Institute for Energy Technology)
	産業科学技術研究所 (SINTEF: The Foundation for Scientific and Industrial Research)
フィンランド	フィンランド技術研究センター (VTT: Technical Research Centre of Finland)
フランス	国立科学研究センター (CNRS: Centre National de la Recherche Scientifique)
	原子力代替エネルギー庁技術研究部門 (CEA-DRT: Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives)
ドイツ	フラウンホーファー研究機構 (FhG: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.)
	ドイツ航空宇宙センター (DLR: German Aerospace Center) *
ベルギー	IMEC インターナショナル (IMEC: IMEC International)

注) 平成28年度に有効な包括研究協力覚書。*印は28年度新規締結分。

表24 外国機関等との個別研究協力覚書

国・地域名	機関名	研究ユニット名
アジア・大洋州地域		
タイ	タイ国立計量研究所 (NIMT: National Institute of Metrology, Thailand)	計量標準総合センター
	タイ天然資源環境省鉱物資源局 (DMR: Department of Mineral Resources, Ministry of Natural Resources and Environment)	地質調査総合センター
	アジア工科大学 (AIT: Asian Institute of Technology)	情報技術研究部門
	マヒドン大学情報通信学部 (ICT: Faculty of Information and Communication Technology, Mahidol University) *	情報技術研究部門
インドネシア	インドネシア・エネルギー鉱物資源省地質総局 (GA : Geological Agency of the Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia)	地質調査総合センター
オーストラリア	オーストラリア国立標準研究所 (NMI: National Measurement Institute, Australia) *	計量標準総合センター
ニュージーランド	ニュージーランド GNS サイエンス (GNS: GNS Science)	地質調査総合センター
モンゴル	モンゴル鉱物資源石油管理庁 (MRPAM: Mineral Resources and Petroleum Authority of Mongolia)	地質調査総合センター
ミャンマー	ミャンマー鉱山省地質調査・鉱物資源局 (DGSE: Department of Geological Survey and Mineral Exploration, Ministry of Mines) *	地質調査総合センター
韓国	韓国標準科学研究院 (KRISS: Korea Research Institute of Standards and Science)	計量標準総合センター

国・地域名	機関名	研究ユニット名
	韓国技術標準院 (KATS: Korean Agency for Technology and Standards)	計量標準総合センター
	韓国地質資源研究院 (KIGAM: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources)	地質調査総合センター
	韓国窯業技術院 (KICET: Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology)	無機機能材料研究部門
台湾	国立成功大学防災研究センター (DPRC-NCKU: Disaster Prevention Research Center, National Cheng Kung University)	活断層・火山研究部門
	台湾科学技術部 (MOST: Ministry of Science and Technology) *	イノベーション推進企画部
中国	中国計量科学研究院 (NIM: National Institute of Metrology)	計量標準総合センター
	華東理工大学 (ECUST: East China University of Science and Technology)	機能化学研究部門
中国・韓国	中国計量科学研究院 (NIM: National Institute of Metrology)、 韓国標準科学研究院 (KRISS: Korea Research Institute of Standards and Science)	計量標準総合センター
米州地域		
カナダ	カナダ天然資源省 (NRCan : Department of Natural Resources Canada)	地質調査総合センター
米国	米国地質調査所 (USGS: U.S. Geological Survey)	地質調査総合センター
メキシコ	メキシコ計量センター (CENAM: National Center for Metrology)	計量標準総合センター
	メキシコ国立自治大学 (UNAM: Instituto de Biotecnologia, Universidad Nacional Autónoma de México)	健康工学研究部門
ブラジル	ブラジル国立工業度量衡・品質規格院 (INMETRO: National Institute of Metrology, Quality and Technology)	計量標準総合センター
	ブラジル鉱産局 (DNPM: National Department of Mineral Production)	地質調査総合センター
アルゼンチン	アルゼンチン地質鉱物資源調査所 (SEGEMAR: Argentine Geological and Mining)	地質調査総合センター
ヨーロッパ地域		
オーストリア	オーストリア地質調査所 (GBA: The Geological Survey of Austria)	地質調査総合センター
スイス	スイス連邦材料科学技術研究所 (Empa: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology) *	材料・化学領域
ドイツ	ドイツ連邦物理工学研究所 (PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt)	計量標準総合センター
	パウル・ドルーテ固体電子工学研究所 (PDI: Paul Drude Institute for Solid State Electronics)	ナノエレクトロニクス研究部門
	ドイツ人工知能研究センター (DFKI: German Research Center for Artificial Intelligence) *	情報・人間工学領域
オランダ	オランダ計量研究所 (NMI: NMI Certin B.V the Netherlands Meetinstituut)	計量標準総合センター
スロバキア	スロバキア科学アカデミー (IMS SAS: Institute of Measurement Science, Slovak Academy of Sciences)	電子光技術研究部門
ロシア	ロシア計量試験科学研究所 (VNIIMS : Russian Scientific-Research Institute for Metrological Service of Gosstandart of Russia)	計量標準総合センター
英国	シェフィールド大学 (The University of Sheffield)	省エネルギー研究部門
フランス	国際度量衡局 (BIPM : International Bureau of Weights and Measures)	計量標準総合センター
	フランス地質鉱山研究所 (BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières)	地質調査総合センター

産業技術総合研究所

国・地域名	機関名	研究ユニット名
イタリア	イタリア地球物理学・火山学研究所 (INGV : Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)	地質調査総合センター
その他の地域		
トルコ	トルコ鉱物資源開発調査総局 (MTA: General Directorate of Mineral Research and Exploration of the Republic of Turkey)	地質調査総合センター
南アフリカ	南アフリカ地質調査所 (CGS : Council for Geoscience)	地質調査総合センター
米国・ドイツ	国立再生可能エネルギー研究所 (NREL: National Renewable Energy Laboratory) 、 フラウンホーファー研究機構太陽エネルギーシステム研究所 (Fraunhofer ISE: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.)	太陽光発電研究センター
APMP 加盟国	アジア太平洋計量計画 (APMP: Asia Pacific Metrology Program)	計量標準総合センター
アボガドロ定数協定加盟国	国際度量衡局 (BIPM: Bureau International des Poids et Mesures) 、イタリア計量研究所 (INRIM: Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica) 、オーストラリア国立標準研究所 (NMIA: National Measurement Institute, Australia) 、ドイツ連邦物理工学研究所 (PTB: Physikalisch-Technische Bundesanstalt)	計量標準総合センター

注) 平成28年度に有効な個別研究協力覚書。 *印は28年度新規締結分。

5) その他の連携活動

表25 平成28年度 主な国際シンポジウム等（国際連携室扱い）

国際シンポジウム等名称	開催場所	開催期間	備考
中国上海交通大学とのシンポジウム	上海（中国）	2016年4月19日、20日	共催
台湾科学技術部とのワークショップ	台北（台湾）	2016年6月14日、15日	共催
欧州研究機関人材交流ワークショップ	シュトゥットガルト、ミュンヘン（ドイツ）、ブリュッセル（ベルギー）	2016年7月12日-15日	共催
第5回世界研究機関長会議	京都（日本）	2016年10月1日	共催
米国研究機関人材交流ワークショップ	サンフランシスコ、ロサンゼルス（米国）	2017年1月23日-26日	共催

表26 平成28年度 主な外国要人来訪（時系列順）

国地域名・機関名・役職	来訪者
カナダ科学大臣	カースティ・ダンカン
フランス国民教育・高等教育・研究大臣	ナジャット・ヴァロー・ベルカセム
米国科学技術政策局 科学担当副局長	ジョー・ハンデルスマン
英国政府首席科学顧問	マーク・ウォルポート
ドイツ教育研究大臣	ヨハンナ・ヴァンカ
欧州委員（科学・技術・イノベーション担当）	カルロス・モエダス
タイ工業大臣	アチャカー・シーブンルアン
タイ副首相	ソムキット・チャトウシーピタック
台湾工業技術研究院（ITRI）副院長	段 家瑞
ベトナム科学技術院（VAST）院長	チャウ・ヴァン・ミン
在京米国大使館首席公使	ジェイソン・ハイランド
タイ科学技術大臣	ピチュート・ドゥロンカウエロート
駐日インド大使	スジャン・R・チノイ
台湾科学技術部政務次長（副大臣）	蔡 明祺
タイ国立食品研究所（NFI）所長	ヨンブット・サオワブルック
カンボジア経済財政大臣	オーン・ボンモニラット
タイ国立ナノテクノロジー研究センター（NANOTEC）所長	ワンニー・チンシリクル
フィンランド技術庁（TEKES）理事長	ペッカ・ソイーニ
ドイツ ザクセン州経済労働交通大臣	マルティン・ドゥーリヒ
イスラエル科学技術・宇宙大臣	オフィール・アクニス
駐日イスラエル大使	ルツ・カハノフ

※ 公式訪問 全96件

⑥【地域連携推進部】

(Regional Collaboration Promotion Division)

所在地：つくば中央第1

人 員：14名（7名）

概 要：

地域連携推進部は、地域イノベーション推進のために必要となる施策・事業の推進に積極的に取り組んでいる。地域における「橋渡し」を効果的かつ効率的に行うため、自治体・公設試験研究機関（公設試）等との連携を一層推し進めるとともに、公設試と協調してシームレスな支援サービスを中堅・中小企業に対して行うこと、及び産総研の「橋渡し」の波及効果を最大とするために、特に地域における影響力の大きな企業

（地域中核企業）との関係を強化して、地域連携を拡大することに注力している。

具体的な活動として、以下を行っている。①地域企業のニーズと産総研のシーズを結びつける橋渡し活動の担い手として、地域の産学官連携に十分な知識と経験を有する公設試等の職員またはOBの方を産総研イノベーションコーディネータ（産総研 IC）として委嘱、または雇用している。公設試等との連携を更に密にし、産総研 IC の増強と効果的な活用を図る。②地域中核企業を訪問する、あるいは地域中核企業を産総研に招待することによって産総研との連携強化を図るイベント「テクノブリッジフェア」、ならびに地域中核企業とのコミュニケーションを一層高めることを目的とした連携協議体である「テクノブリッジクラブ」

の2つを柱とする「テクノブリッジ事業」を推進する。各地域センターの「テクノブリッジクラブ」の増強と活用を促すとともに、「テクノブリッジフェア」の開催を積極的にサポートする。③自治体との関係強化、特に新たな連携の枠組みの創出、ならびに既存の連携の枠組みの活用を図る。④中堅・中小企業への直接的な連携事業としてのスタートアップ事業を実施し競争的研究資金への応募を支援するとともに、技術相談等への対応に積極的に取り組む。⑤公設試相互、及び公設試と産総研との協力体制を強化することを目的に組織された産業技術連携推進会議（産技連）のネットワークの活用を進めるとともに、より効果的な事業や制度を検討・運用していく。⑥各地域センターの連携機能の強化を進める。例えば、地域センターのスペース活用や領域との協力体制の強化等に努める。⑦関東甲信越静地域に対しては、関東地域連携室を中心に連携強化に努める。

施している。

②中小企業等との共同研究の推進のため、産業技術指導員によるコーディネート活動、及び中小企業との連携推進事業として、研究開発規模が数千円から億円レベルの競争的研究資金の応募を支援する「中小企業共同研究スタートアップ事業」等を行っている。

③技術相談の総合受付業務等を実施している。

関東地域連携室

(Kanto Collaboration Office)

(つくば中央第1)

概要：

①関東甲信越静地域における、公設試験研究機関・自治体等との連携ネットワークの構築・強化を行うとともに、域内の技術開発力を持つ中堅・中小企業等との共同研究等による技術移転に向け、研究開発に関する情報の収集および発信を行うなど、成果普及活動を行っている。

②産業技術連携推進会議関東甲信越静地域部会事務局として、域内の公設試験研究機関とのネットワークの構築・強化に関する業務を行っている。

③産学官連携共同研究施設（つくば本部・情報技術共同研究棟）の運営に関する業務を行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[地域連携推進部]

部長	谷口 正樹
次長	池上 敬一
審議役	西連地 二郎

— [地域連携企画室] 室長(兼) 森田 直樹

— [中小企業連携室] 室長(兼) 橋本 亮一
室長代理 菅原 敏之

— [関東地域連携室] 室長(兼) 西連地 二郎

地域連携企画室

(Regional Collaboration Planning Office)

(つくば中央第1)

概要：

地域の中堅・中小企業及び公設試験研究機関等との連携強化を通じて、地域イノベーションを推進することを目的とし、産総研の地域における産学官連携戦略の策定及び地域センターの産学官連携活動の支援等を行っている。

中小企業連携室

(SMEs Collaboration Office)

(つくば中央第1)

概要：

①産業技術連携推進会議事務局として、産総研と公設試験研究機関とのネットワークの構築・強化に係る業務、及び公設試験研究機関への各種技術支援事業を

1) 技術相談

産総研が蓄積してきた技術ポテンシャルを基に、民間企業、公設試験研究機関等からの技術相談を受ける。

1) 平成28年度「技術相談届け出システム」に入力された件数： 4,805件 (内、GSJ 780件)

注) GSJ とは、地質調査総合センターに帰属する研究戦略部および研究ユニット、地質調査基盤センター並びに再生可能エネルギー研究センター地熱チームおよび地中熱チームで受け付けた地質相談について、同総合センターの地質相談お問い合わせ窓口にて集約したもの。

2) 拠点別相談件数

拠点名	相談件数
北海道センター	213
東北センター	54
つくばセンター	2,829
東京本部	10
臨海副都心センター	47
中部センター	1,198
関西センター	331
中国センター	73
四国センター	131
九州センター	124
福島再生可能エネルギー研究所	44
上記の合計 (※)	5,054
相談件数 (拠点間重複を除いた件数)	4,805

※一相談で複数拠点にまたがる案件は、複数カウントされるため正味の相談件数より大きくなっている。

3) 相談者の分類別相談件数

相談者の分類	全体件数		GSJ 以外		GSJ	
	件数	割合	件数	割合	件数	割合
大企業	1,745	36.3%	1,698	42.2%	47	6.0%
中小企業	1,844	38.4%	1,699	42.2%	145	18.6%
教育機関	270	5.6%	189	4.7%	81	10.4%
公的機関	415	8.6%	292	7.3%	123	15.8%
放送出版マスコミ	71	1.5%	5	0.1%	66	8.5%
個人	347	7.2%	53	1.3%	294	37.7%
その他	113	2.4%	89	2.2%	24	3.1%
合計	4,805	100.0%	4,025	100.0%	780	100.0%

4) 産業技術連携推進会議

92の公設試験研究機関（支所を含む）並びに産総研との協力体制を強化し、これらの機関が持つ技術開発力及び技術指導力をできる限り有効に発現させることにより、機関相互の試験研究を効果的に推進して、産業技術の向上を図り、我が国の産業の発展に貢献するために、産業技術連携推進会議を設置し運営している。

6技術部会と8地域部会（事務局：地域センター産学官連携推進室）及び、8地域産業技術連携推進会議（事務局：地方経済産業局）を設置し、産業技術関連情報の相互提供、戦略の検討、活動状況及び活動成果の情報発信等を行っている。

産業技術連携推進会議開催実績

平成29年3月31日現在

部会等名称		開催回数
総 会		1
企画調整委員会		1
技 術 部 会	ライフサイエンス部会	9
	情報通信・エレクトロニクス部会	5
	ナノテクノロジー・材料部会	26
	製造プロセス部会	25
	環境・エネルギー部会	14
	知的基盤部会	11
	地域部会	13
地 域 部 会	北海道地域部会	13
	東北地域部会	12
	関東甲信越静地域部会	8
	東海・北陸地域部会	24
	近畿地域部会	26
	中国地域部会	24
	四国地域部会	13
	九州・沖縄地域部会	20
地 域 産 技 連	北海道地域産業技術連携推進会議	1
	東北地域産業技術連携推進会議	1
	関東甲信越静地域産業技術連携推進会議	2
	東海北陸地域産業技術連携推進会議	4
	近畿地域産業技術連携推進会議	6
	中国地域産業技術連携推進会議	3
	四国地域産業技術連携推進会議	4
	九州・沖縄地域産業技術連携推進会議	11
合 計		264

※技術部会・地域部会の開催回数には傘下の分科会・研究会の開催回数を含む。

6) 環境安全本部 (Environment and Safety Headquarters)

①【環境安全企画部】

(Environment and Safety Planning Division)

所在地：つくば中央第1

人員：18名

概要：

環境安全企画部は、安心・安全で良好な研究環境を持続的に提供することを目的として、環境安全本部傘下各部との有機的連携の下に、研究環境安全に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整等を通じて、産総研としてふさわしい研究環境の創出及び環境負荷低減に向けたエネルギーの有効活用の促進に関する業務を行っている。

機構図 (2017/3/31現在)

[環境安全企画部]

部長 鈴木 浩一

次長 小林 良三

[環境安全企画室]

室長(兼) 小林 良三

室長代理 大谷 直人

[施設計画室]

室長 箕輪 克美

施設計画グループ長 皆葉 耕治

施設調達グループ長 吉田 英三

平成28年度の主な活動

1. 省エネルギー及び地球温暖化対策
 - ・夏季のピークカットに貢献するため、下記施策の実施により、契約電力の削減（つくばセンター：約3.5%、関西センター及び四国センター：約8.3%、九州センター：約16.7%）を達成した。
 - i) つくばセンター各事業所及び各地域センターにおいて、拠点毎の節電対策を策定、実施した。
 - ii) 研究廃水処理施設や研究設備等の輪番運転、休日・夜間シフト運転、空調負荷の低減を行った。
 - iii) 使用電力を可視化したページにより節電意識の向上を図った。
2. 施設整備計画の策定と実行
 - ・基本インフラの更新時期や建物の閉鎖時期を示した産総研施設整備計画（平成28年度版）を策定した。計画に基づき、利用率の低い建物について、11棟4,485m²を閉鎖し、閉鎖決定された建物について、3棟1,205m²（付帯するボンベ庫等含む）の解体撤去を完了した。

3. 産総研レポートの作成

・環境配慮の取組及び実績について、SR 報告書「産総研レポート2016社会・環境報告」として公表した。特に、環境に配慮した研究拠点整備事業について、関西センター次世代蓄電池・健康医療研究拠点における実施例をもとに紹介した。

4. スペースの有効活用の推進

・従来のスペース有効活用審査委員会体制から、新たに、スペース利活用推進体制を発足させ、産総研全体のスペース利活用を検討する「産総研スペース利活用委員会」と、事業所等における計画の立案と遂行を担う「事業所等スペース委員会」を新設した。

・また、第4期スペース利活用方針を策定し、この方針に沿って、年2回のスペース巡視などを踏まえて、事業所等スペース委員会にて各々の年度計画を作成した。

・事業所等の計画や課題についてヒアリングを実施しつつ、産総研全体のスペース利活用計画を策定し、事業所等の長の主導による効率的な研究スペースの確保及びスペースの有効活用を推進した。

5. 工事及び工事関連役務の提供等の契約業務

契約業務の実績として、工事及び工事関連役務の提供等の総契約件数は459件、うち入札によるものは67件。

②【安全管理部】

(Safety Management Division)

所在地：つくば中央第1

人員：25名（9名）

概要：

安全管理部は、研究所の安全衛生の管理並びに環境保全、防災対策等に関する業務を行っている。安全管理及び環境保全は、産総研で働く職員のみならず周辺住民の安全及び環境にも関わる重要な事項である。また、産総研の組織にとっても生命線であり、あらゆる種類の事業を実施するにあたって最優先事項であると位置付けている。

安全管理部は、産総研環境安全憲章に記載する基本的活動理念を実現、遂行するために、他の関連部署との密接な連携と協力のもと、安全で快適な研究環境を創出し、これを確保することを最上の活動目的としている。この目的を実現するため、安全ガイドラインやマニュアル等の整備と普及、環境安全関連の施設及び設備整備と改善等のハード及びソフト両面での活動を行うとともに、環境影響低減化に向けた活動及び事故発生数抑制のため全職員の環境安全に対する意識の向上を図る活動を重点的に行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[安全管理部]

部長 上岡 晃
次長 望月 経博
審議役 飯田 光明

[安全衛生室]

室長 青木 一彦
総括主幹 森本 研吾
総括主幹 白波瀬 雅明

[環境保全室]

室長（兼） 望月 経博
室長代理 山中 稔正

[ライフサイエンス実験管理室]

室長 石村 美雪

[放射線管理室]

室長 井坪 信一
室長代理 吉成 幸一
総括主幹 松本 哲一

平成28年度の主な活動

1. 安全衛生管理体制の水準向上及び維持

1) 安全衛生管理の徹底、強化等

- ・安全衛生委員会（各事業所月1回）への出席及びユニット長巡視（年2回）の立会い、指導を行った。
- ・グループ／チーム安全衛生会議（最低月1回）の実施状況の把握及び実施の徹底、指導を行った。
- ・事故、ヒヤリハット報告の原因分析等を行い、再発防止策等の周知及び安全意識の醸成等による事故低減の対策を行った。
- ・安全ガイドラインについて、各種法令改正の反映や実状にあわせた新たな対策の追加等の改定を日本語／英語両方で行った。
- ・高圧ガス及び薬品管理に関し、危険物取扱者等の資格取得の促進措置を講じるとともに、安全講習会（年4回）と高圧ガス保安講習会（年3回）を開催し、危険薬品等に関連する事故等の未然防止に取り組んだ。
- ・上記の他、資格取得講習会や安全教育の企画及び開催を行った。

2) 環境安全マネジメントシステム（ESMS）

- ・各事業所の内部監査に立会い、運用に関するアドバイスを行った。

3) 事故防止活動

- ・全国総括安全衛生管理者補佐会議（月1回）を開催し、事故ヒヤリハット報告及び環境安全に関する各

種情報等の共有及び周知を行った。また、ヒヤリハット報告を促進するため、ヒヤリハット報告の電子申請窓口を新設した。

- ・全国の地域センター所長及び事業所長とTV会議による安全管理報告会（毎朝）を実施した。また、報告事項を毎月取りまとめ、各事業所の事業所会議等を経由して職員等全員へ周知した。
 - ・全国安全衛生管理担当者会議（年2回）を開催し、安全衛生に関する意見交換及び情報共有を行い、実務担当者の意識醸成を図った。
 - ・「安全就業強化月間」を定め、事故防止に係る意識の向上を図った。
2. 環境影響低減化活動
- ・水質汚濁防止法、下水道法、労働安全衛生法等の法令に基づく特定施設等の届出を行った。
 - ・廃棄物処理の委託先の中間処理場及び最終処分場の現地調査を実施し、処理が適正に行われていることを確認した。
 - ・フロン排出抑制法の対象機器の点検を実施した。
 - ・「ポリ塩化ビフェニル廃棄物処理基本計画」の変更にともしない、PCB廃棄物やPCB使用製品等の徹底した掘り起こし調査を行い、早期処理に向けた計画を策定した。
 - ・水質汚濁防止法にかかる特定施設等の点検、下水道法にかかる水質分析、騒音規制法等にかかる環境測定を実施した。また、事業所等の水質汚濁防止法にかかる特定施設等の点検状況を調査、点検した。
 - ・有害物質の漏えい・流出を想定した緊急事態対応訓練を実施した。
3. 個別事項の法令遵守並びに施設、設備及びシステムの整備、運用
- 環境や化学物質等の関連法規を遵守するため、危険物、高圧ガス、ライフサイエンス実験、放射線管理等の個別事項の管理監督、薬品・ボンベのデータベースによる管理を実施した。
- 1) 化学物質管理
- ・薬品ボンベ管理システムを用いて、消防法、建築基準法、高圧ガス保安法等の法令遵守状況を監視し、管理状況について各事業所の総括安全衛生管理者あてに報告を行った。
 - ・各事業所を通して、法改正情報の周知、危険薬品等の減量化等の薬品管理の徹底を推進した。また、研究成果物等の外部提供にかかる申請・承認の手続きを電子化した。
 - ・労働安全衛生法の改正に伴い、化学物質等に関するリスクアセスメントを実施した。
- 2) ライフサイエンス実験管理
- ・ライフサイエンス実験の倫理面及び安全面から、実験計画を審議する7つの委員会の運営を行うとともに、ヒト由来試料実験、組換えDNA実験、動物実

験及び生物剤毒素使用実験現場の实地調査を実施した。

- ・医学系研究の実施に特化した利益相反マネジメントを審査する委員会を設立し、審査体制を整備した。
- ・動物実験の実施に関わる自己点検評価を公開するとともに外部検証を受けた。
- ・組換え DNA 実験、動物実験及び微生物実験並びにヒト由来試料実験、人間工学実験、医工学応用実験の従事者向けの教育訓練を実施した。

3) 放射線管理

- ・放射線業務従事者等の一元管理を継続して実施し、一層の効率化を推進するために管理システムの改修を行った。
- ・放射線業務従事者、エックス線装置の使用者等に対する教育訓練を実施した。
- ・各事業所における放射線管理体制を強化するため、放射性物質の使用及び管理に関する現地調査を行い、法令遵守状況に問題が無いことを確認した。
つくばセンターに集約化した核燃料物質の法的管理を継続して行った。
- ・放射線管理業務の効率化について、つくば東事業所の放射線発生装置関連施設の廃止に関する相談に対応した。また、防護対象核燃料物質の残りについて、国外移管に向けた規制当局への提出書類作成を進めた。
- ・福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質について、帰還困難区域への視察等での立ち入り、採集サンプルの取り扱いに関する相談に対応した。

4) 施設の維持保全

- ・つくばセンターにおける施設設備の維持管理及び定期点検の実施、電力供給施設及び廃水処理施設の運営管理並びに植栽管理を行った。
- ・施設設備の小規模な修繕について、安全と事業継続性の確保の観点、また、品質とコストの調和を考慮して優先順位を判定して実施した。

4. 防災及び地震対策

- ・緊急地震速報の全国訓練への参加とともに地域センター及びつくばセンターにおいて防災訓練を実施した。また、訓練結果等を踏まえ、つくばセンター防災業務マニュアルの見直しを行った。
- ・防災対応マニュアル及び産総研業務継続計画（BCP）で定める安否確認の訓練を各地域センター及び事業所ごとに実施した。
- ・防災用品の備蓄マニュアルに基づく食糧等の一括調達の実施により地域センター及びつくばセンターの備蓄品の標準化を推進した。また、備蓄食料品を年度毎で管理し、賞味期限が迫った備蓄食料品をフードバンクに寄付した。

③【建設部】

(Facilities Division)

所在地：つくば中央第1

人員：13名

概要：

建設部は、産総研が掲げる世界最高水準の研究とその成果の「橋渡し」を施設整備の面から貢献するため、施設整備計画に基づく施設・設備の改修工事等について、ライフサイクルコストの低減、省エネ・省資源を効率的かつ効果的に推進し、安全で良好な研究環境の整備を実施している。また、工物品質の向上、事故・ヒヤリハットの低減に向けた取り組みや、施設整備業務の体制強化を図るため、施設専門人材の育成にも取り組んでいる。

機構図（2017/3/31現在）

[建設部]

部長 五十嵐 直幸

部総括 石川 裕

[建設管理室]

室長(兼) 石川 裕

[建設技術室]

室長 須貝 正秋

平成28年度の主な活動

新たな研究開発新拠点の円滑な整備や老朽化対策を含む施設整備計画を迅速かつ適切に実施するとともに、主に以下の業務を実施した。

1. 「人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業（柏ハブ・臨海ハブ拠点）」（平成28年度施設整備費補助金）
 - ・AI 技術に関する最先端の研究開発・社会実装を、産学官連携で強力に推進するため、国内外の叡智を集めた産学官一体の研究拠点を構築するための新棟建設工事に着手した。
2. 「老朽化施設・設備の緊急更新事業」（平成28年度施設整備費補助金）
 - ・安全な研究環境整備のため、施設維持管理コストの低減、安全確保環境保全に配慮しつつ、特に老朽化が進んでいる研究廃水処理設備、空調設備などの緊急更新工事に着手した。
3. 施設整備計画に基づく老朽化対策工事等の実施
 - ・上記以外の運営費交付金等により予算措置された、施設整備計画に基づく老朽化改修工事、及びユニット依頼工事について、工事中の安全確保、環境保全

に配慮した適切な工法や資材を積極的に採用し、事業所等との連携により事業を効果的、効率的に実施した。

④【情報基盤部】

(Information and Communication Infrastructure Division)

所在地：つくば中央第1

人員：16名（1名）

概要：

情報基盤部は、全所的な情報ネットワークの構築・管理、基幹業務システムの構築・管理・支援、及び情報セキュリティポリシーの運用を実施している。また、産総研の情報基盤の高度化を図り、より生産的な研究活動と円滑で効率的な業務推進を支援する役割を担っている。

機構図（2017/3/31現在）

[情報基盤部]

部長 正木 篤

部総括 吉岡 有二

情報総括グループ長 林 直樹

情報基盤グループ長 久保 真輝

平成28年度の主な活動

情報総括グループ、情報基盤グループの2グループ体制で、下記の業務を実施した。

1. 基幹業務システムの運用、保守、管理
 - ・基幹業務システムについて、安定的かつ安全な運用管理を継続して実施した。
 - ・法改正によるストレスチェック義務化対応に伴う健康管理システムの改修や在宅勤務制度開始に伴う勤務時間管理システムの改修等の業務システムの改修を行った。
2. 情報ネットワークの運用、保守、管理
 - ・つくばセンターにおける基幹ネットワーク機器の更新のための調達を実施した。
 - ・全国の共用会議室に無線 LAN アクセスポイントとTV会議システムの整備を推進した。
 - ・インターネットバックアップ回線、所内ネットワーク、イントラ業務システムについて、震災等の災害時を想定した訓練を行い、確実な稼働を確保した。
3. 情報セキュリティの向上
 - ・高機能ファイアウォール及びリアルタイム不正検知システムによる24時間のセキュリティ監視を行った。
 - ・情報セキュリティ並びに個人情報保護に関する意識

の向上及び確認のためのセルフチェックを実施した。

- ・イントラシステム利用者の全員に対して情報セキュリティ研修（e-ラーニング）を実施した。
- ・メールアカウント利用者の500名を対象として標的型攻撃メール訓練を実施した。
- ・情報セキュリティ対策の PDCA サイクルを確立するため、情報セキュリティ監査及び外部公開サーバに対するセキュリティ診断を実施した。
- ・「政府機関の情報セキュリティ対策のための統一規範」（平成26年度版）に準拠した情報セキュリティポリシー（基本方針、規程、実施要領、実施ガイド）の全面改正を7月に実施し、合わせて職員説明会等にて周知活動を行った。
- ・情報セキュリティ対策の推進に係る企画立案及び総合調整を担うとともに、情報セキュリティインシデントに対処するため CSIRT（Computer Security Incident Response Team）を設置した。
- ・ばらまき型や標的型攻撃メールの対策のために、未知の不正ファイルも検知できるようメールセキュリティ対策を導入し、標的型攻撃メールやランサムウェア等によるインシデントの大幅削減を達成した。

⑤【情報化統括責任者】

(Chief Information Officer)

所在地：つくば中央第1

概要：

情報化統括責任者（CIO）は、産総研の情報化戦略の企画及び立案並びに研究所の情報化に関する業務の統括をミッションとしている。そのため、産総研の情報化戦略委員会を主宰して、情報化戦略及び情報化に関する重要事項を審議すること等を実施している。

機構図（2017/3/31現在）

情報化統括責任者（兼） 島田 広道

情報化統括責任者補佐（兼） 正木 篤

平成28年度の主な活動

- ・情報化戦略委員会を開催（3回）し、基幹業務システムにかかるソフトウェアの更新、次期電話システム、制限付き VPN（外部接続サービス）等について審議した。

7) 総務本部（General Affairs Headquarters）

①【人事部】

(Human Resources Division)

所在地：つくば中央第1、

つくば中央第6

人 員：64名（9名）

概 要：

人事部は、研究所の人事、労務、人材育成、福利厚生に係る業務を実施している。

 機構図（2017/3/31現在）

[人事部]

部 長	野口 聡
審 議 役	菊池 恒男
部 総 括	榊原 修
	狩野 篤
総括企画主幹	神代 暁

— [人事室]	室長 吉成 美智夫 他
— [勤労室]	室長 (兼) 狩野 篤 他
— [人材開発企画室]	室長 吉澤 徳子 他
— [厚生室]	室長 大川 裕之 他
— [健康管理室]	室長 飯島 規子 他

人事室 (Personnel Office)

(つくば中央第1、つくば中央第6)

概 要：

- ①研究所の人事に係る基本方針に関する事
- ②役職員の任用に関する事
- ③個人評価制度の構築、実施に関する事
- ④給与の支給に関する事
- ⑤人件費の把握、見直しに関する事
- ⑥兼業の許可に関する事
- ⑦栄典及び表彰に関する事
- ⑧人事委員会に関する事
- ⑨外部人材受入の事前登録に関する事
- ⑩障害者の雇用の促進に関する事

勤労室 (Staff Office)

(つくば中央第1)

概 要：

- ①職員等の労働条件の基準に関する事
- ②労使関係に係る総合調整に関する事
- ③服務規律に関する事
- ④役職員等の懲戒等に関する事
- ⑤コンプライアンス推進委員会に関する事（ハラスメントに関するものに限る。）

人材開発企画室

(Human Resources Development Planning Office)

(つくば中央第1)

概 要：

- ①キャリアパス開発及び研修企画に関する事
- ②職員等の研修の実施に関する事

③その他人材開発に関する事。

厚生室 (Welfare Office)

(つくば中央第1)

概 要：

- ①役職員等の福利厚生に関する事
- ②役職員等の災害補償に関する事
- ③宿舎に関する事
- ④職員等の退職の相談に関する事
- ⑤経済産業省共済組合に関する事
- ⑥職員等の社会保険事務に関する事

健康管理室 (Healthcare Office)

(つくば中央第1)

概 要：

- ①役職員等の健康診断、健康管理及び保健指導に関する事
- ②職員等のメンタルヘルスに関する事
- ③産業医に係る業務に関する事

 業務報告データ

年度特記事項

1. 平成28年度採用実績

①事務職員	30名
②研究職員 (パーマナント)	22名
③ " (年俸制任期付)	17名
④ " (博士型任期付)	50名
⑤ " (プロジェクト型任期付)	18名
⑥ " (卓越研究員)	8名
	うちパーマナント (6名)
	うち博士型任期付 (2名)
計	145名

2. 平成28年度研修実績

	コース	実施回数	受講者数
①職員等基礎研修 (e-ラーニング)	2	2回	5,826名
②階層別研修	16	16回	713名
③プロフェッショナル研修	11	79回	364名
合 計	29	97回	6,903名

②【経理部】

(Accounting Division)

 所在地：つくば中央第1

人 員：41名

概 要：

経理部は、独立行政法人制度の趣旨に則り、研究支援の高度化及び組織運営の高度化を、財務及び会計に係る諸施策を通じて実現することにより、産総研ミッ

ションの遂行に寄与することとしている。

なお、財務及び会計に係るコンプライアンスとリスク管理を適切に行いつつ支援業務を遂行するため「経理企画室、経理決算室、出納室及び調達室」を配置している。

<平成28年度活動トピックス>

○独立行政法人会計基準等の改訂への対応

「独立行政法人会計基準」の改訂（平成27年1月17日改訂）を踏まえ、セグメント区分を第4期中長期計画における事業等のまとめりとし、情報を正確に開示するとともに透明性の向上に取り組んだ。

○不用備品の有効活用及び適正な会計処理の推進

平成28年度も引き続き、研究機器等の不用備品類の所内リユース、及び所外に対する需要調査の実施により、所内備品類の有効活用を図った。また、他機関から借り受けている研究装置等について、管理ルールを策定するとともに管理台帳を整備し、適切な管理体制を構築した。

○公正性・透明性を確保した適切かつ合理的な調達の推進

民間企業での専門的知識を有する契約審査役を増員し、調達方式、仕様内容、随意契約の審査を強化し、公正性、透明性を確保しつつ適切かつ合理的な調達を実施した。また、外部有識者等による契約監視委員会において点検を実施するとともに、その点検結果や委員からの意見・指導の内容を定例会議により全国の調達担当者に周知・深化させたことで調達事務のより迅速かつ効率化を図った。

機構図（2017/3/31現在）

┌───┐ ├───┐ ├───┐ ├───┐ └───┘	[経理部]	部長	菊地 正寛	
		部総括	屋代 久雄	
	[経理企画室]	室長	関 浩之	他
	[経理決算室]	室長	新井 清和	他
	[出納室]	室長	小林 京子	他
	[調達室]	室長	加藤 信隆	他

経理企画室（Accounting Planning Office）

概要：

財務及び会計に係る業務の企画及び立案並びに総合調整、予算のとりまとめ、予算の領域別情報の管理、余裕金の運用、資金の借入及び償還、年度計画に基づく収入額の確定並びに実行予算の配賦の計画及び示達、予算の執行管理、財務及び会計に係る制度の整備、運用及び推進、財務及び会計に係る業務の審査、財務分析、財務会計システムの管理、財務及び会計に係る業

務であって、他の所掌に属しないものに関する業務を行っている。

○収入件数 約8,700件、収入金額 約929億円。

経理決算室（Accounting Office）

概要：

決算、消費税の確定申告、計算証明、有形固定資産等の管理（他の所掌に属するものを除く。）に関する業務を行っている。

出納室（Treasury Operations Office）

概要：

資金計画、金銭の支払、出納及び保管、有価証券の管理、税務、旅費の支給に関する業務を行っている。

○支払件数 約12万5千件、支払金額 約898億円。

○旅費件数 約9万5千件、支払金額 約26億円。

調達室（Procurement Office）

概要：

物件の調達、物件の売払及び賃貸借等の契約、役務の提供等の契約、調達物品等の市場調査、競争参加者の資格審査、調達業務の調整、政府調達に係る協定に基づく調達公告等の官報掲載、物件の調達等に係る監督及び検査に関する業務を行っている。

○全契約件数 約7.9万件

○政府調達協定の対象案件数 142件、約181億円

○インターネット調達

インターネットによる購入契約を締結している電子購買業者の電子購買サイト上で、商品検索・注文を行い、翌日又は翌々日には指定場所まで納品され、支払は毎月一括というスキームのインターネット調達を運用している。文具・事務用品、理化学用品、電子部品、試薬類、書籍、工具等雑貨の調達が可能。

利用件数約5.7万件、利用金額約11億円

○グリーン購入法の適用

「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律」に基づき、産総研として、平成28年度における「環境物品等の調達の推進を図るための方針」を定め、取り組んでいる。

③【業務推進支援部】

（General Affairs Support Division）

所在地：つくば中央第一

人員：12名

概要：

業務推進支援部は、研究所における研究支援事務及

び庶務等業務の総合的な運用方針の調整及び業務効率化の推進、並びに研究所の情報公開及び個人情報保護に係る基本方針の企画・立案・総合調整を行っている。

また、研究所における法務業務及び法人文書管理、並びに外部機関による監査への対応を担っている。

＜平成28年度活動のトピックス＞

○臨床研究に係る利益相反マネジメントの実施

臨床研究に係る利益相反マネジメント委員会を設立し、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」で求められる利益相反マネジメントを開始した。

○障害者差別解消法への対応

「障害者差別解消法（平成25年法律第65号）」が平成28年4月1日に施行されたことに伴い、全国の研究拠点に障がいのある方やその関係者からの相談を受け付ける窓口を設置。また、本法に対する職員の知識と理解がより一層深まるよう、専門家を招いた所内勉強会を開催。

機構図（2017/3/31現在）

[業務推進支援部]	部長	鈴木 光男
[業務室]	部総括	山口 洋二
[法務室]	室長	小笠原 寿浩 他
[情報公開・個人情報保護推進室]	室長	米山 千佳子 他
	室長(兼)	山口 洋二 他

業務室（General Affairs Office）

（つくば中央第一）

概要：

業務室は、研究所における研究支援事務及び庶務等業務が適正且つ効率的に遂行されることを目的とし、研究支援業務等を担う事業組織と緊密に意思疎通を図り、当該業務に係る統一的な運用方針の企画・立案・総合調整を行っている。また、研究所の法人文書管理及び職員の勤務・サービス管理について、研究所の事務の総括を行っている。この他、会計監査人による会計監査への総括的な対応業務を担っている。

法務室（Legal Office）

（つくば中央第一）

概要：

法務室は、研究所の法務業務を担う部署として、所内規程類及び外部機関との間で締結する契約書等の形式審査、訴訟（他の所掌に属するものを除く。）及び法律相談に関する業務を行っている。また、役職員が安心して産学官連携活動に取り組める環境を整備するとともに、産総研に対する社会的信頼の確保を目的とし、利益相反マネジメントを実施している。

情報公開・個人情報保護推進室

（Disclosure and Personal Information Protection Promotion Office）

（つくば中央第一）

概要：

情報公開・個人情報保護推進室は、情報公開及び個人情報保護に関する法令等に基づいて研究所の業務が適正に遂行されることを目的とし、当該業務に係る基本方針の企画・立案・総合調整を行っている。また、研究所外部からの情報開示請求等への対応及び研究所が保有する情報の公開及び提供に努めている。

業務報告データ

1. 平成28年度法人文書等開示実績

①法人文書開示請求3件*1（うち、開示等決定3件*2）

②保有個人情報開示請求0件

*1 平成28年度に開示請求があり、平成29年度に開示決定する1件を含む。

*2 平成27年度に開示請求があり、平成28年度に開示決定した1件を含む。

2. 法人文書ファイル保有数：114,731件

3. 利益相反マネジメント定期自己申告実施状況

上期（8月）実施状況（申告者/対象者）：

3,206名/3,206名（実施率100%）

下期（3月）実施状況（申告者/対象者）：

3,230名/3,230名（実施率100%）

④【ダイバーシティ推進室】

（AIST Diversity and Equal Opportunity Office）

所在地：つくば中央第1

人員：6名（2名）

概要：

ダイバーシティ推進室は、性別、年齢、国籍などにかかわらず、個人の能力を發揮できる環境の実現を目指し、女性および外国人研究者の積極的な採用と活躍の支援、ワーク・ライフ・バランスの実現、キャリア形成など、多様性の活用（以下ダイバーシティ）を総合的に推進することに係る業務を行う。

【平成28年度の主な活動】

「産業技術総合研究所第4期中長期目標期間（平成27～31年度）におけるダイバーシティの推進策」及び「女性活躍推進法行動計画」（平成28年3月策定）に基づき、職員の多様な属性がもたらす価値・発想を活かす職場環境の整備を目指して、関係部署等と連携して以下の活動を実施した。

●女性研究者の積極的な採用・活躍支援

第4期中長期目標期間における、研究職における累積採用者の女性比率を18%以上とする目標及び「女性活躍推進法行動計画」に基づき、女子大学院生及びポストクと産総研女性研究者との懇談会・ラボツアーの企画・開催、大学・学会の就職関連イベントへの参加、学生に向けたパンフレットの配布などを通じ、産総研が女性にとって働きやすい職場であることを積極的にアピールした。

●外国人研究者支援

外国人研究者の生活や滞在の支援とともに、情報交換や交流の場の提供など支援を広げ、各担当部署と連携し英語による所内業務説明会の開催や、情報発信（英語版メールマガジンの発行）をするなど、外国人研究者の産総研での活躍を支えた。

英語版イントラの整備状況を調査し、関連部署との情報共有を進めた。

●ワーク・ライフ・バランスの実現

例年開催しているワーク・ライフ・バランスセミナーについて、外部専門家による介護及び女性の健康に関連したセミナーを各々開催した。

産総研の育児・介護制度のさらなる普及を目的とし、地域拠点での制度説明会を継続して行った。

職場環境整備の一環として、会議を9時～17時の範囲で開催することを推奨するキャンペーンを実施した。

仕事と育児の両立を促進することを目的とした在宅勤務制度を導入した。

●キャリア形成

全所的な人材育成の取り組みの一環として、産総研職員の多様で柔軟なキャリアを形成できるよう、内部講師によるキャリア形成支援講演会、外部講師によるキャリア形成支援研修を実施し、キャリアパス設計の重要性の提示に努めた。

キャリアカウンセリングを継続して実施し、地域拠点において体験カウンセリングを実施した。

●国、自治体及び他の研究教育機関等との連携

筑波大学及び日本 IBM と連携して平成28年度文部科学省科学技術人材育成費補助事業「ダイバーシティ研究環境イニシアティブ（牽引型）」に採択され、女性活躍をさらに推進する事業を開始した。

国内18の研究教育機関が参画しているダイバーシティ・サポート・オフィス（DSO）の運営に携わり、懇話会等の定期的な情報交換の場を設けて連携を進めた。

つくば市の男女共同参画審議会委員を務める等、連携協力を行った。

●ダイバーシティの総合推進

ダイバーシティ推進委員会を開催し、関連事項の審議を行い、全所的な取り組みを展開した。

平成29年度から3年間を計画期間とする、「次世代育成支援行動計画」を策定した。

公的研究機関で初めて「えるぼし」（女性活躍推進法に基づく厚生労働大臣の認定）を、最上位の「認定段階3」として取得した。

機構図（2017/3/31現在の役職者名）

室長 井出 ゆかり

総括主幹 内丸 祐子

⑤【イノベーションスクール】
(Innovation School)

所在地：つくば中央第1、つくばセンター

人員：3名（3名）

概要：

「産総研イノベーションスクール制度」は、産総研特別研究員および産総研にて技術研修を行う大学院生を対象として、専門分野について科学的・技術的な知見を有しつつ、より広い視野を持ち、異なる分野の専門家と協力するコミュニケーション能力や協調性を有する人材の輩出を目指す事業である。

社会で必要とされる知識や技能を習得するための講義・演習、受入責任者の指導のもと産総研における最先端研究の実践、人材育成にご協力いただける企業にて実施する実践的な長期企業研修など、産総研イノベーションスクール独自のカリキュラムを通じて専門性の高い即戦力として活躍できる人材を輩出し、社会的なニーズと有用な人材とのミスマッチの解消に寄与することを目的としている。

平成28年度の活動の概要

・イノベーションスクールの運営の基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること：

平成28年度は、スクール第10期生として、ポストドクコースの博士研究員18名、博士課程コース等の学生28名、講義専門コースの博士研究員1名の計47名に対して運営した。具体的には、マナー・コミュニケーション、企業が期待する博士人材、知的財産・標準化、秘密保持、ビジネスプロデュース、キャリアデザイン等の講義・演習、及び研究ユニットでの研究を行った。そして、ロールモデルとして就業している修了生を招聘し、「先輩との交流会」を6月に開催した。また、企業研修をポストドクコースの18名に対して実施した。

- ・その他イノベーションスクールの運営等に関すること：

講義・演習に関するスクール生の講義レポートや、企業研修参加報告書を取り纏めた。優秀なレポートを提出したスクール生に対して、今年度より新たに表彰制度を設立した（池田賞）。また、研究の意義を異分野の方々に説明する実践の場として、SAT テクノロジーショーケース2017（2017.1.31）にてスクール生の研究紹介を行った。より大きな効果を得るために、企業・大学等との連携を推進し、筑波大学と「企業と博士人材との交流会」を開催（2016.12.9、約50名参加）した。イノベーションスクール修了生等の交流の場としての、「桜翔クラブ」の設立を支援した。

 機構図（2017/3/31現在）

【イノベーションスクール】

├ イノベーションスクール長 富樫 茂子
 └ 事務局長 長縄 竜一

 出版物・プレス発表等業務報告データ

【広報誌】

- ・産総研は人をつくる（2017年1月発行）

【活動紹介等】

- ・「産総研イノベーションスクールの紹介」日本セラミックス協会（2016.9.7）
- ・「キャリア相談」応用物理学会(2016.9.15)
- ・「産総研の人材受入れ制度」JEITA-IT エレクトロニクス人材育成研究会において事業紹介(2016.9.27)
- ・「産総研イノベーションスクールの紹介」テクノブリッジフェア(2016.10.20-21)
- ・「産総研イノベーションスクールの紹介」センサシンポジウム(2016.10.24-25)
- ・「産総研イノベーションスクールの紹介」産総研女子大学院生・ポストドクと産総研女性研究者との懇談会(2016.11.21)
- ・「企業と博士人材との交流会」、共催：筑波大学、参加企業数：10企業、参加者：約50名（2016.12.9）
- ・「平成27年度第4回エネルギーハーベストコンソーシアム総会」機械振興会館（2016.12.25）
- ・「産総研イノベーションスクールの紹介」御茶ノ水大学（2016.12.26）
- ・「産総研のイノベーションスクール事業・人材受入れ制度説明」大分県産業科学技術センター（2017.3.1）
- ・「産総研イノベーションスクール事業説明」福井大学産学連携推進部(2017.3.16)

8) T I A 推進センター
 (TIA Central Office)

 所在地：つくば中央第1、第2、つくば西

人員：35名（13名）

概要：

T I A 推進センターは、オープンイノベーション拠点 T I A の形成を通じて、産総研のミッションである「21世紀型課題の解決」、「オープンイノベーションのハブ機能の強化」を業務としている。

T I A は、つくば市に立地する公的4機関（産総研、物質・材料研究機構、筑波大学及び高エネルギー加速器研究機構）と東京大学が内閣府、文部科学省及び経済産業省の支援と産業界との連携によって構築する研究開発・教育拠点である。

1. スーパークリーンルーム（SCR）の運営

近年産業化が著しい IoT 分野に利用を拡大するため、3次元実装を中心とした各種新規装置の選定・調達を進めた。また、老朽化した評価装置等の更新も進め、試作能力の向上を図った。

300mm 半導体製造ラインを利用した7つの研究開発プロジェクトを推進するとともに、約款制度により51件の利用申込を受諾し、多くの企業・大学が継続的な施設利用を行っている。これにより研究開発を支援するとともに産総研の保有する技術の普及に貢献した。

2. 共用施設の運営

約款制度によって、SCR、ナノプロセッシング施設（NPF）、先端ナノ計測施設（ANCF）、超伝導アナログ・デジタルデバイス開発施設（CRAVITY）、蓄電池基盤プラットフォーム（BRP）及び MEMS 研究開発拠点（MEMS）を外部に公開している。中小企業を支援するため、一部の施設では利用料金の割引を行っている。割引制度を導入している本年度の中小企業の利用社数は、昨年度に比べ、約2倍になった。パンフレットを整備し、各種展示会にて配布して、共用施設利用の拡大に努めた。

3. パワーエレクトロニクス拠点運営

パワーエレクトロニクス研究拠点の効率的運用のためにインフラ、管理体制及び所内の制度の整備を行った。民活型研究体 TPEC には企業30社が参画し、SiC 素材やデバイスからアプリケーションに渡るオープンイノベーションを推進した。今年度は特に、T I A パワエレ拠点第二ラインの4インチ化とともに、第三ラインとして、スーパークリーンルーム内に新たな6インチラインの構築を行った。

また、超電導技術に関する日本型オープンイノベーション拠点とすべく、産学官30機関からなるつくば応用超電導コンステレーションズ (ASCOT) を設立し、国際超電導シンポジウム (ISS2016) を主催した。

4. TIA 連携プログラム探索推進事業

TIA 中核5機関の研究者が連携し、将来のイノベーションの芽となる研究テーマを探す TIA 連携プログラム探索推進事業「かけはし」をスタートした。今年度は、バイオ、計算物質科学、ビッグデータ解析などの新領域、融合領域を含めて39件が採択された。各テーマの参加研究者が組織の枠を超えて協働し、新領域の開拓や大型研究資金獲得に向けた戦略立案、体制構築等を推進し、TIA はその広報などで支援を行っている。

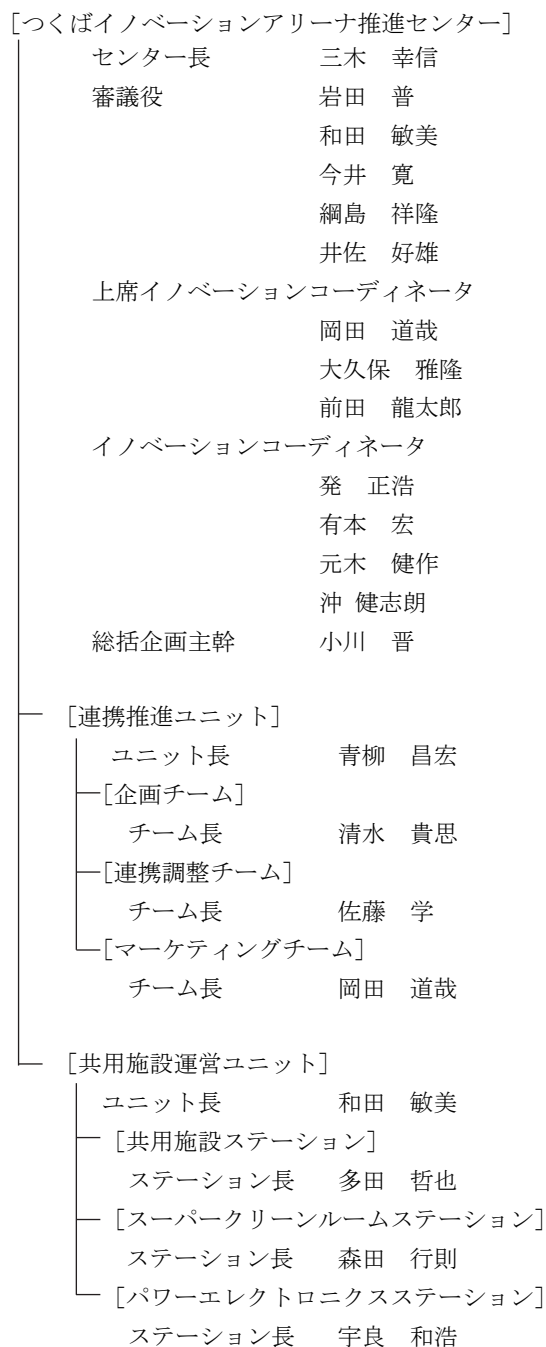
5. 人材育成

TIA 連携棟を中心として開催した「TIA 連携大学院サマー・オープン・フェスティバル2016」(7/29～9/9、参加者：398名、うち当所関連165名)によって人材育成に努めた。人材育成コンソーシアム Nanotech CUPAL を活用し、N.R.P.育成対象者4名を受け入れ、1名を NIMS に派遣するとともに、8つの N.I.P.コース (育成対象者34名 (一般参加者11名)) を実施した。また、JST さくらサイエンスプランによりタイの若手研究者5名を受け入れた。

6. 所外連携と広報

つくば国際戦略総合特区の推進機関、茨城県、つくば市及び TGI との連携を深め、各種展示会への出展、つくばと東京での2回のシンポジウムの開催、パンフレット・ホームページの更新、メールニュースや Facebook による情報発信等、幅広い広報活動を行った。

機構図 (2017/3/31現在)



連携推進ユニット

(Collaboration Promotion Unit)

(つくば中央第1)

概要:

担当業務は次のとおりである。

1. つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の施策とプロジェクトの企画・立案・調整に関すること。
2. つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の情報収集・分析及び調査に関すること。

- つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の運営に関すること。

企画チーム

(Planning Team)

(つくば中央第1)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の施策の推進（以下「つくばイノベーションアリーナ推進」という。）に係る基本方針の企画及び立案並びに総合調整に関すること。
- つくばイノベーションアリーナ推進におけるプロジェクトの企画、立案及び総合調整に関すること。
- つくばイノベーションアリーナ推進に関する情報の収集、分析及び調査に関すること。
- つくばイノベーションアリーナ推進に関する業務であって、他の所掌に属しないものに関すること。

連携調整チーム

(Collaboration Team)

(つくば西)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- つくばイノベーションアリーナ推進に関する外部機関との調整等の総括に関すること。
- つくばイノベーションアリーナ推進に関する研究所の関係部署との調整に関すること。
- TIA 連携棟見学視察対応。
- 「科学技術人材育成のコンソーシアムの構築事業」(Nanotech CUPAL) の企画運営。

マーケティングチーム

(Marketing Team)

(つくば中央第1)

概要：

- つくばイノベーションアリーナナノテクノロジー拠点の全般に係るマーケティング戦略の企画・立案・実行に関すること。
- 魅力ある拠点形成のための各種施策の企画と実行に関すること。
- 共同研究体 TPEC の事務局業務。
- TIA パワーエレクトロニクス MG と SG の事務局業務。
- つくば応用超伝導コンステレーションズ (ASCOT) の事務局業務。

共用施設運営ユニット

(Open Research Platform Unit)

(つくば西、つくば中央第2)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- 共用施設ステーション (IBEC, SCR, MEMS) に係る制度整備、運用、総合調整。
- イノベーション創出機器共用プラットフォーム (IBEC)、スーパークリーンルーム (SCR)、パワーエレクトロニクス拠点の運営。

共用施設ステーション

(Open Research Facilities Station)

(つくば中央第2他)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- 共用施設ステーションに登録された施設、機器及び装置の利用（技術指導を含む。）に係る制度の整備及び運用並びに総合調整に関すること。
- 共用施設ステーションに登録された施設、機器及び装置を利用した依頼分析並びに研究用品の依頼試作及び工作に関すること。
- 微細加工プラットフォーム事業の運営・実施。

スーパークリーンルームステーション

(Super Clean Room Station)

(つくば西)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等の設計、試作、評価及び実証に係る研究開発支援に関すること（イノベーション推進本部の所掌に属するものを除く）。
- スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等の設計、試作、評価及び実証に係る技術基盤の整備及び高度化に関すること。
- スーパークリーンルーム等を利用したデバイス等に係る技術指導又は成果の普及に関すること（企画本部の所掌に属するものを除く）。
- スーパークリーンルームの運営に関すること。

パワーエレクトロニクスステーション

(Power Electronics Station)

(つくば西、つくば中央第2)

概要：

担当業務は次のとおりである。

- つくばイノベーションアリーナ推進のうち、パワーエレクトロニクス拠点の運営に関すること。
- つくばイノベーションアリーナ推進のうち、パワーエレクトロニクスに係るイノベーションの推進の支援に関すること。
- パワーエレクトロニクスに係る人材の育成に関すること。

(2) 事業組織

「事業組織」のトップ（「事業所長」、「地域センター所長」）の下に、「研究業務推進部」又は「研究業務推進室」を配置するとともに、地域センターにおいては、所長の下に第4期から「産学官連携センター」に替わり「産学官連携推進室」を配置している。

平成28年度は事業組織の再編として以下を実施している。

- ・関西センター尼崎支所の関西センター本所への移転・集約化のため、「尼崎支所」を廃止。
- ・政府のまち・ひと・しごと創生本部の「政府関係機関移転基本方針（平成28年3月22日決定）」を踏まえ、中部センターに「石川サイト」、関西センターに「福井サイト」を設置。
- ・また、平成28年度から新たに大学等内に産総研の研究組織「オープンイノベーションラボラトリ（OIL）」等を設置するため、既存の事業組織下に「連携研究サイト」を設置。

【事業組織】

- ・東京本部
- ・北海道センター
- ・東北センター
- ・つくばセンター（つくば中央第一事業所、つくば中央第二事業所、つくば中央第三事業所、つくば中央第五事業所、つくば中央第六事業所、つくば中央第七事業所、つくば西事業所、つくば東事業所）
- ・臨海副都心センター
- ・中部センター
- ・関西センター
- ・中国センター
- ・四国センター
- ・九州センター
- ・福島再生可能エネルギー研究所

<凡 例>

地域拠点名（English Name）

所在地：住所

代表窓口：TEL：、FAX：

人 員：常勤職員数（研究職員数）

概 要：部門概要

機構図

（2017/3/31現在の役職者名）

1) 東京本部 (AIST Tokyo Headquarters)

所在地：〒100-8921 東京都千代田区霞が関1-3-1
 代表窓口：TEL：03-5501-0900
 人員：53名 (29名)

概要：

産業技術総合研究所は、それぞれの地理的な特長を生かした活動を行い効率的な運営を行っている。東京本部を行政との接点、情報収集、広報活動の拠点として産総研の機動的な活動に有効に活用するとともに、研究現場と隣接して配置され、産学官連携、国際、研究業務推進等の効率的な組織運営を行っているつくばセンターをはじめとする他の事業組織等とテレビ会議システムの活用等により、有機的・効率的連携を図っている。

機構図 (2017/3/31現在)

[東京本部] 事業所長 山崎 知巳
 └─ [企画本部]

2) つくばセンター (AIST Tsukuba)

所在地：〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1
 人員：2,238名 (1,730名)

概要：

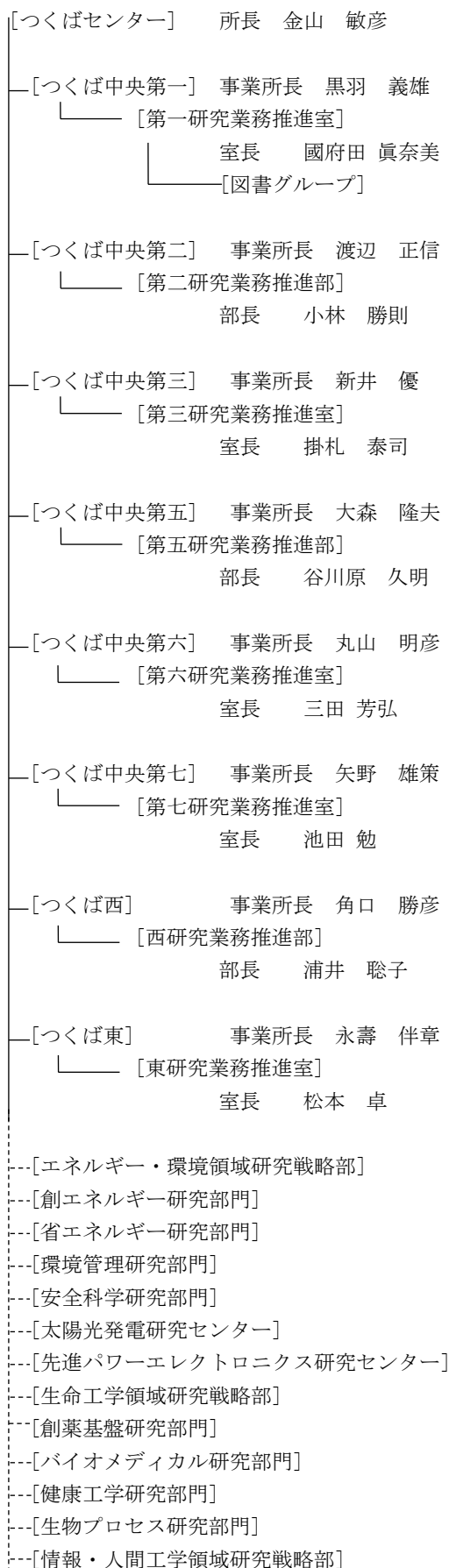
産総研つくばセンターは、産総研全体の研究機能の中核としておよそ70パーセントの研究者や施設が集積した大規模研究拠点である。つくばセンターでは、グリーン・イノベーションやライフ・イノベーションにかかわる幅広い研究分野をカバーするとともに、分野を融合したこれまでにない新しい研究成果を目指している。

さらに、基礎的・基盤的研究から実用に供されるような製品化の研究までを一貫して行い、我が国の産業技術を革新する「オープンイノベーションハブ」の役割を果たすことを目指している。

つくばセンターは、立地するつくば市や茨城県、さらには全国の大学・研究機関・民間企業とも密接な連携を進め、研究人材の供給や研究成果の移転を促進する役割を果たしている。地域の各種の取り組みにも積極的に参画し、共同研究の推進、技術相談や科学技術の普及活動を進めている。

また、つくばセンターは、つくば地域に展開する最大規模の研究所の一つとして、地域の環境と安全への取り組みも行っている。

機構図 (2017/3/31現在)



---[情報技術研究部門]
 ---[人間情報研究部門]
 ---[知能システム研究部門]
 ---[自動車ヒューマンファクター研究センター]
 ---[ロボットイノベーション研究センター]
 ---[人工知能研究センター]
 ---[材料・化学領域研究戦略部]
 ---[機能化学研究部門]
 ---[化学プロセス研究部門]
 ---[ナノ材料研究部門]
 ---[触媒化学融合研究センター]
 ---[ナノチューブ実用化研究センター]
 ---[機能材料コンピューショナルデザイン研究センター]
 ---[磁性粉末冶金研究センター]
 ---[エレクトロニクス・製造領域研究戦略部]
 ---[ナノエレクトロニクス研究部門]
 ---[電子光技術研究部門]
 ---[製造技術研究部門]
 ---[スピントロニクス研究センター]
 ---[フレキシブルエレクトロニクス研究センター]
 ---[先進コーティング技術研究センター]
 ---[集積マイクロシステム研究センター]
 ---[地質調査総合センター研究戦略部]
 ---[活断層・火山研究部門]
 ---[地圏資源環境研究部門]
 ---[地質情報研究部門]
 ---[計量標準総合センター研究戦略部]
 ---[工学計測標準研究部門]
 ---[物理計測標準研究部門]
 ---[物質計測標準研究部門]
 ---[分析計測標準研究部門]
 ---[企画本部]
 [総合企画室]
 [経営改革推進室]
 [報道室]
 [広報サービス室]
 [人工知能グローバル研究拠点整備準備室]
 ---[コンプライアンス推進本部]
 ---[イノベーション推進本部]
 [イノベーション推進企画部]
 [技術マーケティング室]
 [ベンチャー開発・技術移転センター]
 [知的財産・標準化推進部]
 [産学官・国際連携推進部]
 [地域連携推進部]
 ---[環境安全本部]
 [環境安全企画部]
 [安全管理部]
 [建設部]

[情報基盤部]
 ---[総務本部]
 [人事部]
 [経理部]
 [業務推進支援部]
 [ダイバーシティ推進室]
 [イノベーションスクール]
 ---[評価部]
 ---[監査室]

 研究業務推進部室 (General Affairs Division/Office)

(つくば中央第一、つくば中央第二、つくば中央第三、つくば中央第五、つくば中央第六、つくば中央第七、つくば西、つくば東)

概要:

つくばセンターの各事業所研究業務推進部室は、研究支援業務、職員等の勤務及び服務管理、物件の調達業務、施設及び設備等の管理等の業務、環境及び安全衛生の業務等を行っている。

これらの業務を迅速に行うことにより、効率的な組織運営を図っている。

図書グループ (Library Office)

つくば中央第七 (図書室: つくば中央第二、つくば中央第三、つくば中央第五、つくば中央第六、つくば中央第七、つくば西、つくば東)

概要:

研究活動を行うために不可欠な情報源である学術雑誌の収集・管理、文献情報の提供、各図書室の運営、各図書室からの図書情報の一元管理を行っている。

オンラインジャーナルによるサービスの提供、文献データベースの利用促進並びに所蔵データの整理・統一を推進している。

3) 福島再生可能エネルギー研究所
 (Fukushima Renewable Energy Institute, AIST)

 所在地: 〒963-0298 郡山市待池台2-2-9

代表窓口: TEL: 024-963-1805、FAX: 024-963-0824

人員: 55名 (38名)

概要:

福島再生可能エネルギー研究所は、東日本大震災復興基本法第3条に基づき制定された「東日本大震災からの復興の基本方針」および「福島復興再生基本方針」などを受けて、産総研が「再生可能エネルギー先駆けの地、福島」に設立することを決定した新たな研究拠

点であり、福島県郡山市において平成26年4月1日に開所した。

福島再生可能エネルギー研究所は「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」をミッションとする、再生可能エネルギーに関する研究開発に特化した拠点である。研究実施ユニットとして再生可能エネルギー研究センターを擁し、再生可能エネルギーの大量導入を支えるための、導入制約解消のためのシステム開発、一層のコスト低減、環境負荷低減や社会受容のための適切なデータ提供等の研究を実施する。また、当所の施設の一部を使用して文部科学省の「革新的エネルギー研究開発拠点形成事業」が実施されている。

連携活動として、当所の掲げるミッションの一つである「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」の実現に向けて、平成25年度より「被災地企業のシーズ支援プログラム」を実施している。この事業は、東日本大震災により甚大な被害を受けた被災地（福島県、宮城県、岩手県）に所在する企業が開発した再生可能エネルギーに関連した技術やノウハウに対する技術支援を産総研が経費を負担して実施し、その成果の当該企業への移転を通じて、地域における新産業の創出を支援する事業である。平成28年度末までに累計82件の支援を実施した。平成29年度事業は平成29年1月に募集を行った（4月に採択課題決定予定）。平成26年度より、「再生可能エネルギー分野の産業人材育成事業」を実施し、地元の大学等から様々な制度で学生を受け入れ、最先端の設備や知見を活用した研究開発への参画を通じて、将来の再生可能エネルギー分野を担う産業人材の育成に取り組んでいる。平成28年度は90名（平成26年度から延べ222名）の受入、育成を実施した。

その他の連携・広報活動として、福島再生可能エネルギー研究所成果報告講演会（5月）、福島再生可能エネルギー研究所一般公開（7月）の開催、第11回再生可能エネルギー世界展示会（6月、7月）、ふくしま復興・再生可能エネルギー産業フェア2016（10月）、エコプロ2016（12月）への出展、等を実施した。

自治体との連携においては、産総研として、5月に東京都、福島県および東京都環境公社とCO₂フリー水素の活用と水素社会の実現に向けた連携・協力の協定を締結した。また、東日本大震災からの復興再生を目的とし福島大学（平成24年2月）、郡山市（平成24年11月）東北大学（平成26年2月）、福島県（平成26年3月）と包括連携協定を締結している。

大学との連携においては、福島再生可能エネルギー研究所として、平成27年2月に福島県内の4つの高等教育機関（会津大学、いわき明星大学、日本大学工学部、福島工業高等専門学校）と再生可能エネルギー分野の研究開発、人材育成の推進を目的として、連携・協力

に関する協定を締結している。

4月には大型パワーコンディショナ等の分散電源システムに関する研究開発及び試験評価用の「スマートシステム研究棟」がオープンした。

機構図（2017/3/31現在）

[福島再生可能エネルギー研究所]

所長：大和田野 芳郎
 所長代理：中岩 勝
 所長代理：坂西 欣也
 上席イノベーションコーディネータ：近藤 道雄
 イノベーションコーディネータ： 阪口 圭一

----- [産学官連携推進室]

室長：安田 進

----- [研究業務推進室]

室長：小林 昭彦
 室長代理：中澤 新吾
 山口 雄一

----- [分散電源施設運営室]

室長：(兼) 坂西 欣也
 室長代理：庭野 和明

----- [再生可能エネルギー研究センター]

4) 臨海副都心センター (AIST Tokyo Waterfront)

所在地：〒135-0064東京都江東区青海二丁目3番地26号
人員：128名（102名）

概要：

産業技術総合研究所臨海副都心センターは、文部科学省及び経済産業省の連携協力によって整備された国際研究交流大学村に、産学官連携の役割を担う研究拠点として、平成13年4月1日に設置された。当センターは国内外産学官各分野の一線級研究者による多様な研究に対応できるフレキシビリティの高い空間を設けている。

平成17年4月からは、産学官連携の研究拠点を拡張し、新たにバイオテクノロジーと情報工学の融合研究のための施設として、パイオ・IT 融合研究施設の運用を開始し、技術者等の人材育成から最先端の研究開発まで積極的な事業活動を展開している。

そして5つの研究ユニット（創薬分子プロファイリング研究センター、人工知能研究センター、創薬基盤研究部門、人間情報研究部門、情報技術研究部門）が、

新産業の創出や市場拡大につながる独創的かつ先端的技術シーズの研究開発とともに国内外の研究者との交流や研究成果の情報交換を行っている。

当センターへは、平成28年度に内外の大学・企業・政府関係者等約370名が視察に訪れており、国際的な産学官による研究交流拠点としての役割を果たしている。

平成28年度における外部機関と行った連携研究は、共同研究241件、受託研究39件である。

また、平成27年3月リニューアルしたライフ・テクノロジー・スタジオ、臨海副都心を平日に公開（来訪者約840名）するとともに、東京都立産業技術研究センターの一般公開開催に合わせて臨海副都心センターの一般公開を実施するなどの広報活動を行っている。

機構図（2017/3/31現在）

[臨海副都心センター]	所長	宇都 浩三
	所長代理	湯本 勲
—	[研究業務推進部]	
	部長	田崎 英弘
—	[産学官連携推進室]	
	室長	中井川 浩司
----	[創薬分子プロファイリング研究センター]	
----	[人工知能研究センター]	
----	[創薬基盤研究部門]	
----	[人間情報研究部門]	
----	[情報技術研究部門]	

5) 北海道センター（AIST Hokkaido）

所在地：〒062-8517 札幌市豊平区月寒東2条17丁目2-1

代表窓口：TEL：011-857-8400、FAX：011-857-8900

サイト：札幌大通りサイト

（住所：〒060-0042 札幌市中央区大通西5丁目8

TEL：011-219-3359、FAX：011-219-3351）

人員：53名（38名）

概要：

北海道センターは北海道の中核研究機関として、「バイオものづくり」をテーマにした戦略的研究拠点の構築とともに、新産業創出に資するための地域連携拠点の構築を目指している。

生物プロセス研究部門では、植物工場を活用した農工商連携、微生物による物質生産プラットフォームの開発などバイオテクノロジーを応用した研究を推進している。植物工場の研究では、既に実用化したイヌインターフェロン α 生産遺伝子組換えイチゴ果実を原薬とした動物用医薬品に続き、ヒト・動物用の医薬品を植物で効率的に生産させる研究を展開している。また、

ヒト核内受容体を利用してさまざまな農水産素材や加工品の機能性を分析している他、低温に順応した極地の微生物を利用して寒冷地における排水処理を効率化する技術を企業と共同で開発するなど、地域の企業と協力しながら地域性のある課題を解決するための研究を進めている。

また、創エネルギー研究部門メタンハイドレートプロジェクトユニットは、メタンハイドレート資源の実用化を目指すナショナルプロジェクトの中心的な役割を担っている。

地域連携拠点の強化として、道内3国立大学法人、4高専、市立大、公設・独法研究機関、北海道経済産業局、自治体、経済団体等21機関で組織するR&Bパーク札幌大通サテライトの事務局を運営し、企業の技術開発・新事業創出のための各種相談に対するワンストップサービス、セミナー・交流会等の人的交流を促進する場の提供、新規ビジネスのためのファシリティ提供など、産業界、行政と産総研との連携強化を進めてきた。平成28年度のサテライトの利用者数は2,842人、技術相談の件数は200件であった。

北海道センター独自の活動として平成15年度より「バイオテクニシャン育成事業」を実施し、専門学校生を受け入れ、バイオ技術者としての人材育成支援を推進してきた。平成28度は12名を受け入れ、これまでに総数60名のバイオテクニシャンを輩出している。

広報活動として、産総研北海道センター講演会（全5回）等の開催、ビジネス交流会等のイベント出展（全4件）、近隣住民を対象にした一般公開、中高生の職場体験、見学者（284名）の受入などを行った。

機構図（2017/3/31現在）

[北海道センター]	所長	八木 康之
	所長代理	扇谷 悟
	イノベーションコーディネータ	
	(兼)扇谷 悟、永石 博志	
	谷田 昌稔、後町 光夫	
—	[北海道センター産学官連携推進室]	
	室長	(兼)扇谷 悟
	総括主幹	中川 充
—	[北海道センター研究業務推進室]	
	室長	坂本 修
----	[生物プロセス研究部門]	
----	[創エネルギー研究部門]	

6) 東北センター (AIST Tohoku)

所在地：〒983-8551 仙台市宮城野区苦竹4-2-1
 代表窓口：TEL:022-237-5211、FAX：022-236-6839
 (サイト) 仙台青葉サイト
 〒980-0811 仙台市青葉区一番町4-7-17
 TEL：022-726-6030、FAX：022-224-3425
 東北大学連携研究サイト
 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1
 東北大学 原子分子材料科学高等研究
 機構内
 TEL：022-237-8195
 人 員：46名 (35名)

概 要：

東北センターは、東北地域における研究拠点および連携拠点として、先端的な低環境負荷型化学ものづくりのイノベーションを目指すとともに、東北6県の公設試験研究機関との連携を基軸にした広域連携のハブ機能としての役割を果たしている。

当センターには、化学プロセスイノベーションの推進、すなわち、材料・プロセスの機能化による化学ものづくりへの貢献を目指す「化学プロセス研究部門」が置かれている。当研究部門の研究成果を基に、ものづくり産業におけるエネルギー多消費型化学プロセスから省エネルギー・省資源・低環境負荷型化学プロセスへの革新的転換を目指した技術開発と、実用化及び新しい産業創出を目的として企業会員46社が参加する「グリーンプロセスイノベーションコンソーシアム (GIC)」では、研修セミナーを開催するなど研究情報の交流促進に努めている。その結果、平成28年度は会員企業との共同研究を15件実施し、研究ユニットのシーズを核とした連携強化が図られている。また、当研究部門が独自開発した粘土膜系新素材「クレースト®」の実用化に向けた取り組みを促進するコンソーシアム「Clayteam」では、企業会員50社のうち9件の共同受託研究により具体的な製品づくりを積極的に進めている。

また、平成28年6月には、産総研・東北大学理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリ (MathAM-OIL) が東北大学連携研究サイトに開所し、29年1月には第1回企業連携ワークショップを東京で開催した。産総研で培った計算科学による部素材の機能向上等の産業利用に関わる橋渡し研究と、東北大の強みである数理活用材料解析での世界に先駆けた卓越研究シーズの融合により、超先端材料設計を促進し、新たな市場の創出により日本の産業競争力を高める基盤の構築を目指している。

高温高圧実験室、防塵室、除振室を備えた東北産学官連携研究棟 (とうほく OSL) では、平成28年度末

で、27実験・研究室が使用され、東北地域における新たな産業技術創生のための研究開発が行われている。

主な成果普及活動として、地域の方々に産総研の研究活動への理解を深めていただくことを目的に、7月に産総研東北センター一般公開を開催し、406名の来場があった。また、7月に学都「仙台・宮城」サイエンス・デイ2016に共催・出展した。11月には産学官連携フェア2016みやぎを経済団体等と共催し、研究成果の紹介や技術相談を通して成果普及に努めた。また、10月には東北6県の7新聞社で構成する東北七新聞社協議会が主催する「とうほく創生 Genki プロジェクト」のシンポジウムで、産総研を紹介する機会を得、また、各新聞に特集記事として取り上げてもらうことで、東北地域全域に産総研の活動を発信した。

1月には、公益財団法人東北活性化研究センターと共催で、「オンリーワン企業-次世代産業技術マッチングフェスタ」を開催した。企業から64社、総勢278名の来場があり、産総研、東北6県公設試の技術シーズの紹介を行った。また、理事長訪問型テクノブリッジフェア (TBF) として、宮城県 (4月)、青森県 (7月)、秋田県 (12月) の企業等を訪問した他、連携担当者が東北地域の研究開発型企業訪問を行い、連携活動を推進した。

市内に連携オフィスとして設置している仙台青葉サイトでは、産技連東北地域部会事務局、東北航空宇宙産業研究会事務局、東北再生可能エネルギー研究会事務局として、公設試験研究機関・大学・企業との連携業務の中核として活動している。産総研全体の新しい研究成果を東北地域産業界に発信する「産総研・新技術セミナー」を公設試等と協働して4回開催した。

業務報告データ：

○刊行物

名 称 (Vol. No.)	刊行区分	発行部数
産総研東北 Newsletter No.43	年2回 9月発行	900部
産総研東北 Newsletter No.44	年2回 3月発行	1250部

○主な行事 (主催・共催・協賛)

開催年月日	名 称
28.4.5	理事長訪問型 TBF@宮城県
28.4.13	DIC-産総研化学ものづくり連携研究室オープニングセレモニー
28.5.24	第50回産総研・新技術セミナー
28.5.25	GIC 平成28年度総会および特別講演会(第46回研修セミナー)
28.5.30	東北大学多元研一産総研東北センタージョイントセミナー(平成28年度 Clayteam 総会 / 第25回)

	Clayteam セミナー
28.6.15	産技連東北地域部会総会
28.6.30	MathAM-OIL 開所式
28.7.5	産総研・東北大マッチングファンド 審査会
28.7.8	第51回産総研・新技術セミナー
28.7.11-13	訪問型 TBF@青森県
28.7.12	福島県中小企業団体中央会、福島 県電子機械工業会主催「平成28年 度 産学官交流のつどい」出展
28.7.14	GIC 平成28年度第47回研修セミナ ー
28.7.17	学都「仙台・宮城」サイエンス・ デイ2016
28.7.22-23	青森県産業技術センター主催「見 られるデー」出展
28.7.30	産総研東北センター一般公開
28.8.2	NEDO フォーラム2016 in 東北 出展・講演
28.8.23	第3回東北6県産総研 IC 合同会議
28.9.5	産技連東北地域部会東北再生可能 エネルギー研究会見学会
28.9.13	第2回 Clayteam アカデミックシ ンポジウム
28.9.28-29	産技連東北地域部会秋季合同分科 会 会議（28日）見学会（29日）
28.9.27	GIC 平成28年度第48回研修セミナ ー
28.10.11-12	平成28年度 日本セラミックス協 会 資源・環境関連材料部会見学 会 「秋田の鉱工業の歴史と先端電子 産業を支える技術に触れる」協賛
28.10.15-16	おおさき産業フェア2016
28.10.24	東北発 素材技術先導プロジェクト 超低摩擦技術領域 産学官連携 シンポジウム 出展
28.10.25	第52回産総研・新技術セミナー
28.10.26	あおもり産学官金連携 Day2016 出展
28.10.26-27	産技連東北地域部会 EMC 勉強会 （講習会・見学会・意見交換会）
28.10.26-27	産技連東北地域部会プラスチック 成形加工技術研究会講演会
28.10.30	とうほく創生Genkiプロジェ クト とうほくをみがく 講演
28.11.14	みやぎ工業会30周年記念事業式典 出展
28.11.24	第26回 Clayteam セミナー
28.11.29	「産学官連携フェア2016みやぎ」 ビジネスマッチング展示会・商談 会 出展
28.12.7	産技連東北地域部会東北航空宇宙

	産業研究会 総会・講演会・見学 会
28.12.9	GIC 平成28年度第49回研修セミナ ー
28.12.20-21	訪問型 TBF@秋田県
29.1.13	オンリーワン企業・次世代産業技術 マッチングフェスタ
29.1.13	海輪東北活性化研究センター会長・ 中鉢理事長対談
29.1.14-2.26	東北歴史博物館 特別展「工芸継 承-現在から捉え直す国立工芸指導 所-」 後援・開会式挨拶等
29.1.18	産技連東北地域部会東北再生可能 エネルギー研究会運営委員会・講 演会
29.1.25	MathAM-OIL 第1回企業連携ワ ークショップ
29.2.6	東北大学との包括連携協定に基 づく連携協議会
29.2.15	サーマルマネジメント・マテリア ルセッション 第27回 Clayteam セミナー
29.2.15-17	Clayteam 新機能性材料展出展
29.2.21	第53回産総研・新技術セミナー
29.2.27	GIC 平成28年度第50回研修セミナ ー
29.3.15	東北センター連携推進懇談会

機構図（2017/3/31現在）

所 長：松田 宏雄

所長代理：南條 弘

上席イノベーションコーディネータ：伊藤 努

イノベーションコーディネータ：

（兼）南條 弘

— [東北センター産学官連携推進室]

室 長：（兼）南條 弘

— [東北センター研究業務推進室]

室 長：長山 信一

----- [化学プロセス研究部門]

[産総研・東北大数理先端材料モデリング

オープンイノベーションラボラトリ

（MathAM-OIL）]

7) 中部センター (AIST Chubu)

所在地：〒463-8560

名古屋市守山区大字下志段味字穴ヶ洞2266-98

代表窓口：TEL:052-736-7000、FAX:052-736-7400

サイト：名古屋駅前サイト：

〒450-0002 名古屋市中村区名駅4丁目4-38

TEL：052-583-6454

名古屋大学連携研究サイト：

〒464-8601 愛知県名古屋市中種区不老町

TEL：052-736-7611

石川サイト：

〒920-8203 石川県金沢市鞍月2丁目1番地

TEL：076-268-3383

人員：138名 (114名)

概要：

産業技術総合研究所中部センターは、ものづくり産業が高度に集積した中部地域において、機能部材技術を核とした「材料系ものづくりの総合的な研究拠点化」を目指しており、材料・化学領域に属する無機機能材料研究部門、構造材料研究部門及び磁性粉末冶金研究センター並びに、エネルギー・環境領域に属する窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリが、材料・プロセス・計測評価技術に関わる高度な研究を展開している。また、中部地域の産業界、大学、公設試や行政機関との緊密な連携により、広範な産業・社会ニーズに応える連携拠点として活動している。特に、中部センターだけでなく全産総研が有する革新的な技術シーズを、中部地域を中心とした企業による事業化に繋ぐ「橋渡し」の役割を果たしている。平成28年度に実施した主な研究成果発信、産学官連携等の活動を以下に示す。

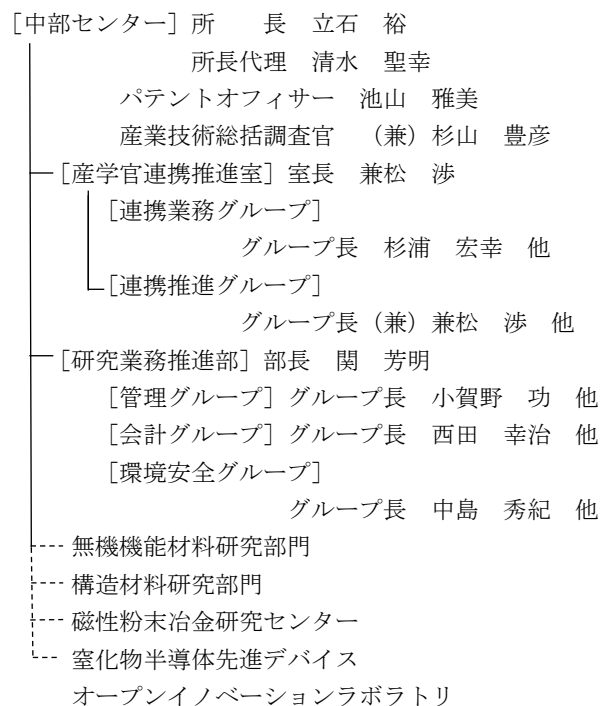
- ①研究成果発信：中部センター所属の4研究ユニットと合同で中部センター研究発表会・オープンラボ及び中部センター研究講演会を開催し、研究発表会では29件の研究発表、オープンラボでは12件の研究現場紹介、研究講演会では4件の研究講演を行った。研究発表会・オープンラボには延べ人数で68名の参加者、研究講演会には111名の参加者があり、中部センターの研究活動と成果をアピールした。また「TECH Biz EXPO 2016」(来場者17,891名)において、他地域センターならびに中部地域の2公設試と合同で、成果等の展示を行った。北陸地域でのシーズ発信活動として富山市で技術普及講演会(参加者56名)を開催した。その他、本年度の延べ見学者数は369名に達している。
- ②知的財産権取得状況：知的財産権の取得を積極的に推進し、国内特許51件、外国特許38件を出願した。技術相談件数は1,198件あった。

- ③連携拠点、連携活動：連携・協力提携協定を締結している名古屋大学および名古屋工業大学それぞれと連携協議会を開催すると共に、連携強化のため技術交流会や共同研究構築のためのFS調査研究を実施した。特に名古屋大学とは、平成27年度から対象となる領域を拡大し、全産総研の事業として実施している。中部地域の公設試験研究機関とは、産業技術連携推進会議東海・北陸地域部会の活動を通じ、産総研を中核とした連携を構築するための活動を展開した。特に、石川県内の企業との連携を強化するために石川県工業試験場内に平成28年4月1日に石川サイトを開設した。6公設試の職員(OBを含む)を産総研イノベーションコーディネータに委嘱し、地域企業との連携の強化に努めた。産業界をはじめとする外部機関との連携も積極的に展開し、共同研究180件、受託研究19件を行った。

中部地域の産学官連携に携わる7機関(現在は8機関)が活動拠点を共同で運営し、当地域のイノベーション創出基盤を強化することを目的として設置した「名古屋駅前イノベーションハブ」を活用し、ワンストップサービスが可能な企業向けの技術相談事業を実施するとともに、各種イベントを開催した。

- ④人材育成等：連携大学院の拡充強化に努め、8大学(名古屋工業大学、岐阜大学、大同大学、中部大学、愛知工業大学、長岡技術科学大学、上智大学、北海道大学)に13名が就任している。また、地域住民へのアウトリーチ活動として、8月に一般公開を開催した(参加者2,478名)。

機構図 (2017/3/31現在)



8) 関西センター (AIST Kansai)

所在地：〒563-8577 大阪府池田市緑丘1-8-31
 代表窓口：TEL：072-751-9601、FAX：072-754-1939
 サイト：
 福井サイト：〒910-0102 福井市川合鷺塚町61字北稲田
 10 福井県工業技術センター内
 TEL：0776-55-0152 (2016/4/1設置)
 人 員：149名 (122名)

概 要：

産業技術総合研究所関西センターは、旧大阪工業技術研究所、旧電子技術総合研究所大阪ライフエレクトロニクス研究センター、旧計量研究所大阪計測システムセンター、旧地質調査所大阪地域地質センターの4所を母体としている。

現在、当センターには、4研究部門・1研究センター（電池技術研究部門、バイオメディカル研究部門、情報技術研究部門、無機機能材料研究部門、先進パワーエレクトロニクス研究センター）が置かれている。

関西センターは、持続的発展可能な社会の実現、産業競争力の強化、地域産業の発展への貢献を目指し、健康な暮らしを支える技術、豊かな暮らしを創る技術、安心・安全な暮らしを守る技術の生活に密着する研究開発を推進している。

関西地域は、産業界とアカデミアが集積し産学官連携が組みやすい構造にある。この特徴を活かし、産総研の研究ポテンシャルを地域産業の振興に役立たせる連携活動も積極的に展開している。

近畿経済産業局をはじめ、企業、大学、公的研究機関、自治体、企業団体や研究開発支援団体などとの交流・連携を深めている。

産総研の研究活動を紹介するため、「産総研福井サイト 開所記念セミナー」（福井市）、「産業技術総合研究所—広島大学合同シンポジウム：広がるゲノム編集技術とその応用展開」（池田市）、「AIST 関西懇話会講演会」（2回、大阪市）、「分子複合医薬研究会講演会」（池田市）、「テクノブリッジフェア福井」（福井市）、「テクノブリッジフェア in 関西 2016」（大阪市、池田市）、「第2回電池技術研究部門フォーラム：全固体型蓄電デバイス実用化への挑戦」（大阪市）、「最新人工知能（AI）シンポジウム」（大阪市）、「Innovation Triad at 関西：産総研×大阪市工研×フラウンホーファーIPA 連携シンポジウム」（大阪市）、「次世代ナノテクノフォーラム2017：新産業を創出するナノファイバー」（豊中市）、「第2回ガラス先端加工に関するシンポジウム」（大阪市）、「関西バイオ医療研究会講演会」（2回、池田市）等を開催した。

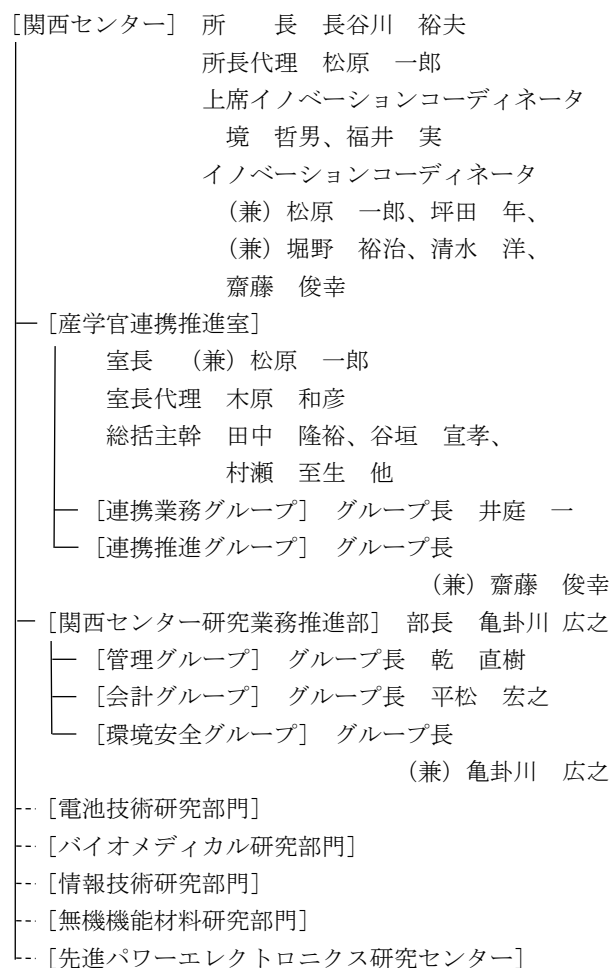
連携業務の平成28年度実績（共同研究216件、技術研修74件、受託研究33件、国内特許出願（単願39件、

共願26件）、外国特許出願（単願50件、共願51件）には活発な産学官連携の実態が表われている。

また、科学技術の啓蒙普及を主眼に開催した研究所公開（8月27日：622名）、サイエンスカフェ（2回：54名）を実施した。毎回多数の参加者を得ており関西センターに寄せられている期待は大きい。

情報技術研究部門と協力して組込みシステム産業との連携活動を進めている。人材高度化プログラムである「組込み適塾」（大阪、愛知、神奈川、宮城で延べ145名の技術者が受講）、国内各地域の組込み関連団体との連携強化を図る「全国組込み産業フォーラム」、製品開発の現場で技術展示を行う「出張展示会」などを組込みシステム産業振興機構と開催した。

機構図（2017/3/31現在）



9) 中国センター (AIST Chugoku)

所在地：〒739-0046 広島県東広島市鏡山3-11-32
 代表窓口：TEL：082-420-8230、FAX：082-423-7820
 人 員：28名 (20名)

概要：

産業技術総合研究所中国センターは、中国地域における中核的な研究拠点として活動を展開しており、機能化学研究部門では再生可能資源から高効率かつ低環境負荷で各種の基礎・機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術開発を進めている。また産総研の中国地域におけるイノベーションハブとして、企業の技術相談・支援に注力するとともに、大学、公設試との連携を推進している。

機能化学研究部門では、バイオマスからの機能性化学品製造において、その収率に大きく影響するセルロース、ヘミセルロース、リグニンの主要3成分の高効率分離技術の研究開発、リグニンから機能化学品への変換技術の研究開発、発酵による機能化学品の生産に適した宿主微生物の研究開発を行っている。また、バイオマスの主要成分であるセルロースをターゲットとして、物理的・化学的手法により、ナノセルロースやバイオマスファイバーを製造し、その高い強度等のポテンシャルを生かして、樹脂複合材料や高性能材料の研究開発を行っている。さらに、ナノセルロースを高度利用するための特性評価技術の開発にも取り組んでいる。

中国センター産学官連携推進室は、地域企業の技術課題と産総研の研究成果のマッチングの強化等を目的に創設した産総研中国センター友の会（産友会）の活動として、会員企業訪問、メルマガ発信等を継続して行っている。また、産総研中国センターシンポジウム、産業技術連携推進会議中国地域部会、中国地域産総研技術セミナー、中国四国地域公設試験研究機関研究者合同研修会等を開催した。平成27年度には、地域の中小企業、公設試験研究機関、知能システム研究部門との連携による産総研戦略予算「中小企業支援のためのランダムピッキングロボットシステムの開発」を継続してコーディネートしている。広報活動として、広島中央サイエンスパーク施設公開の一環として「産総研中国センター 施設公開」を8月に実施した（来場者：940名）。

機構図（2017/3/31現在）

[中国センター]	所長	柳下 宏
	所長代理	仲山 賢一
	所長補佐	田原誠一郎
	上席イノベーションコーディネーター	中村 修
[中国センター産学官連携推進室]	室長	山崎 宗広
[中国センター研究業務推進室]	室長	石塚 徹
[機能化学研究部門]	研究副部門長	吉田 勝

バイオベース材料化学グループ

バイオ変換グループ

セルロース材料グループ

10) 四国センター（AIST Shikoku）

所在地：〒761-0395 香川県高松市林町2217番地14号

代表窓口：TEL(087)869-3511、FAX(087)869-3553

人員：31名（21名）

概要：

産業技術総合研究所四国センターは、'94.7月に香川県が技術・情報・文化の複合拠点として旧高松空港跡地に整備した「香川インテリジェントパーク」内に立地し、「研究拠点」として健康工学研究部門の研究成果や技術を活用した「健康関連産業の創生」に取り組むとともに、「連携拠点」として産総研のポテンシャルを活用したものづくり基盤技術力の向上および先端技術の導入による「ものづくり産業の競争力強化」に取り組んでいる。

健康工学研究部門は「人間の健康状態を計測・評価し、その活動を支援するため、先端的なバイオ技術と材料システム開発技術を融合し、健康な生活の実現に寄与する技術を確立する」ことをミッションとし、四国センターでは、特に、1)健康状態の可視化、2)生活環境における健康増進を戦略課題として、糖尿病などの予知診断のためのバイオマーカー測定・診断デバイス開発、感染症の超早期診断機器の開発、および飲料水中の有害物質の選択的除去や抗菌成分の長期間放出が可能な材料の開発などに取り組んでいる。

四国地域の企業を中心に組織化した「四国工業研究会」への研究成果の発信や普及、イノベーションコーディネーターを中心とした個別企業との対話や技術相談、テクノブリッジ in 四国の開催等、四国地域における工業技術の振興、産業の発展を目指した活動を実施した。また、公設試職員に産総研 IC を委嘱して公設試との連携を強化し、さらに香川県と産総研との包括協定に基づく、先端技術活用型研究開発支援事業を開始し、自治体とも共同で産業振興に取り組む体制とした。

「四国地域イノベーション創出協議会」の副事務局として、産総研と経済局・自治体との情報共有を主とした連絡会議の開催に加え、産業支援機関などの支援ツールを活用することで企業の多様なニーズに応える活動を実施、特に近年注目の集まっているセルロースナノファイバー（CNF）の産業活用を目指す「四国 CNF プラットフォーム」の設立に貢献した。また“四国産業技術大賞・革新技術賞”として、技術開発成果が特に優秀であった四国内企業2社の表彰を実施した。

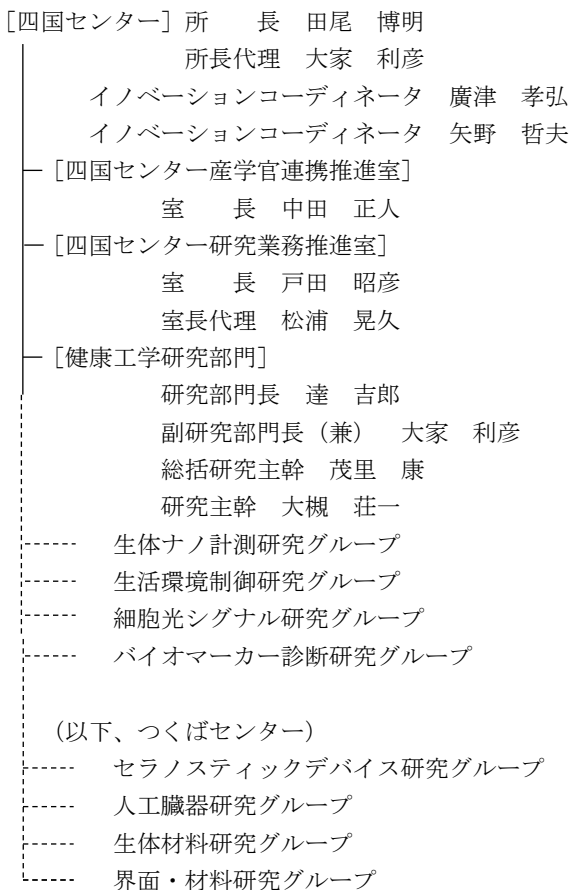
「産業技術連携推進会議四国地域部会食品分析フォ

ーラム分科会」は、今年度時点で20の公設試を含む29会員で構成されている。本分科会は、地域特産食品の機能性成分の分析法を標準化し、食品商品への機能性成分表示を図り、我が国の地域食品関連産業の振興を期することを目的としている。今年度は、フォーラム標準化2件を達成した。

11月には、組織や県の枠を越えて、四国内の大学、国研、公設試、高専、企業、産業支援機関などの研究・開発に携わる人々が一堂に会し、「健康・介護」と「食」を中心とする多様な技術シーズを学ぶとともに、今後の交流のための人的ネットワークを形成することを旨とした、「四国オープンイノベーションワークショップ」を松山市で開催した。

その他、産業界向けの講演会として、四国4県の公設試や産業支援機関の協力のもと「新技術セミナー」を計2回開催した。また、青少年に科学技術のおもしろさを体験する機会を提供し、理解増進を図ることを目的に一般公開を開催、約666名の参加があった。

 機構図 (2017/3/31現在)



11) 九州センター (AIST Kyushu)

所在地：〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1

代表窓口：TEL：0942-81-3600、FAX：0942-81-3690

福岡サト：〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東

2-13-24 (一財)九州産業技術センター内 2F

TEL：092-292-5051、FAX：092-292-5998

人 員：38名 (27名)

概 要：

産業技術総合研究所九州センターは、九州地域におけるオール産総研の窓口として、「研究拠点」と「連携拠点」の二つの機能を活用した研究開発に取り組んでいる。

「研究拠点」としては、「製造技術研究部門」を設置し、生産システムの高度化や維持管理のための様々なセンシングシステム、センサネットワーク技術、データ利用技術開発を推進している。また、「太陽光発電研究センター」を設置し、世界で例を見ない30種類以上の太陽電池の屋外曝露施設の運営により、実環境性能や長期信頼性評価技術の開発を推進している。

「連携拠点」としては、「九州センター産学官連携推進室」を設置し、関係機関と連携して行う事業では、産学連九州・沖縄地域部会等が一体となって地域企業等へ技術情報提供、情報交換等を行う交流の場として「平成28年度九州・沖縄 産業技術オープンイノベーションデー」を福岡市にて12月に開催し、企業等から多数の参加者を得た(来場者：315名)。また、九州経済産業局、中小機構九州本部、九州産業技術センターおよび九州ニュービジネス協議会との5者共同主催による「産学官交流研究会 博多セミナー」を中小機構九州本部において原則毎月第一金曜日に開催し、産学官の出会いと交流・相談の場を提供している(参加者：延べ915名)。

研究成果の橋渡し加速に向けた企業との連携拡大の場として、「産総研テクノブリッジフェア in 九州 (ミニマルファブエグゼクティブフェア)」を11月に福岡市にて開催した。ここでは産総研や企業が開発したミニマルファブの成果展示、関連の講演会、ならびに招待企業トップと産総研理事長との面談会を開催した。これにあわせて、理事長と出展企業との意見交換会も行った。

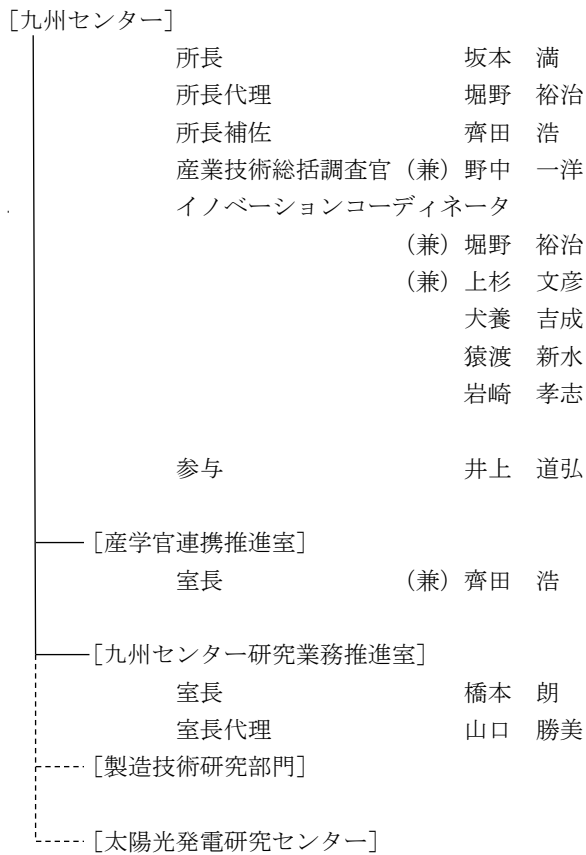
自治体、大学との連携では、佐賀県と平成24年5月に締結した連携・協力に関する協定に基づき、県内中小企業を中心に「御用聞き型企業訪問」を実施し、連携につなげた。さらに、委託費の「佐賀県リーディング企業創出支援事業」を開始した。九州工業大学および北九州市とは、平成24年2月に締結した連携・協力に関する協定に基づく連携事業として、環境エレクトロニクスの研究を推進するとともに、10月の「北九

州学術研究都市第15回産学連携フェア」において合同セミナー「先端技術を事業に～産総研の橋渡しのご紹介～」を開催した（参加者：36名）。

地域において産総研に対する理解を深めてもらうことを目的とした「産総研九州センター一般公開」を9月に開催した（来場者：455名）。

また、産総研コンソーシアムである「製造技術イノベーション協議会（5研究会、会員数99）」を運営し、総会講演会を含む9回の講演会（参加者:延べ583名）を開催した。（注：他の研究会、学会等との共催開催を含む）

機構図（2017/3/31現在）



◆図書蔵書数

蔵書

平成28年度末

センター・事業所	区分	単行本				雑誌						
		28年度受入数(冊)				蔵書数 (冊)	28年度受入数(冊)				製本冊数 (冊)	蔵書数 (冊)
		購入	寄贈	除籍・移動	計		購入	寄贈	除籍・移動	計		
北海道センター	外国	0	79	0	79	646	0	0	△ 18	△ 18	0	321
	国内	0	0	0	0	1,744	0	40	0	40	40	3,067
	計	0	79	0	79	2,390	0	40	△ 18	22	40	3,388
東北センター	外国	0	0	0	0	321	6	0	0	6	6	201
	国内	0	6	0	6	1,209	0	0	0	0	0	26
	計	0	6	0	6	1,530	6	0	0	6	6	227
つくばセンター 第2事業所	外国	0	1	0	1	72	0	0	0	0	0	0
	国内	4	31	△ 3	32	403	0	0	0	0	0	0
	計	4	32	△ 3	33	475	0	0	0	0	0	0
第3事業所	外国	0	441	0	441	1,463	0	6	0	6	0	437
	国内	0	1	0	1	211	0	0	0	0	0	74
	計	0	442	0	442	1,674	0	6	0	6	0	511
第5事業所	外国	0	0	0	0	168	0	0	0	0	0	0
	国内	1	2	0	3	812	0	0	0	0	0	0
	計	1	2	0	3	980	0	0	0	0	0	0
第6事業所	外国	0	0	0	0	149	0	16	△ 4	12	321	15,594
	国内	1	0	0	1	576	0	0	0	0	23	2,119
	計	1	0	0	1	725	0	16	△ 4	12	344	17,713
第7事業所	外国	126	2,110	△ 49	2,187	84,613	162	159	△ 218	103	794	145,286
	国内	166	2,664	△ 99	2,731	72,331	111	228	△ 32	307	575	42,119
	計	292	4,774	△ 148	4,918	156,944	273	387	△ 250	410	1,369	187,405
東事業所	外国	224	26	△ 5	245	17,955	32	0	△ 1	31	33	37,250
	国内	0	103	0	103	14,578	120	5	0	125	121	10,085
	計	224	129	△ 5	348	32,533	152	5	△ 1	156	154	47,335
西事業所	外国	0	77	0	77	8,748	7	0	0	7	7	23,236
	国内	9	285	△ 2	292	11,058	56	0	0	56	56	11,304
	計	9	362	△ 2	369	19,806	63	0	0	63	63	34,540
中部センター	外国	7	34	0	41	7,340	11	0	0	11	0	44,518
	国内	0	47	0	47	9,911	15	16	0	31	42	12,140
	計	7	81	0	88	17,251	26	16	0	42	42	56,658
関西センター	外国	8	169	0	177	11,506	0	269	0	269	89	26,404
	国内	0	279	0	279	9,271	8	114	0	122	104	6,977
	計	8	448	0	456	20,777	8	383	0	391	193	33,381
中国センター	外国	0	0	0	0	1,508	0	0	0	0	0	5,825
	国内	0	32	0	32	3,818	0	8	0	8	8	3,059
	計	0	32	0	32	5,326	0	8	0	8	8	8,884
四国センター	外国	0	1	0	1	1,566	0	0	0	0	0	6,609
	国内	0	18	△ 4	14	3,771	0	0	0	0	0	2,663
	計	0	19	△ 4	15	5,337	0	0	0	0	0	9,272
九州センター	外国	0	0	△ 689	△ 689	1,492	0	0	0	0	0	15,004
	国内	0	16	△ 1,941	△ 1,925	3,147	3	0	0	3	3	7,270
	計	0	16	△ 2,630	△ 2,614	4,639	3	0	0	3	3	22,274
産総研 合計	外国	365	2,938	△ 743	2,560	137,547	218	450	△ 241	427	1,250	320,685
	国内	181	3,484	△ 2,049	1,616	132,840	313	411	△ 32	692	972	100,903
	計	546	6,422	△ 2,792	4,176	270,387	531	861	△ 273	1,119	2,222	421,588

※産業技術総合研究所全センターで利用可能な電子ジャーナルタイトルは約3,300誌、電子ブックタイトルは約30,000冊

Ⅲ. 資 料

Ⅲ. 資 料

従来の工業技術院年報で大部分を占めていた研究発表、特許登録などのデータは、産業技術総合研究所年報からは、研究ユニット別の成果等にて記載している。これらのデータは、産業技術総合研究所公式ホームページ (www.aist.go.jp/) データベースにて提供されている。

資料

1. 研究発表

	誌上 発表	口頭 発表	著書・ 刊行 物・調 査報告	地球科 学情報	計量技 術情 報・工 業標 準化	デー タ ベ ー ス	イベ ン ト 出 展	プレ ス 発 表	合計
フェロー	2	3					1		6
理事		2							2
エネルギー・環境領域		1			6				7
エネルギー・環境領域研究戦略部	13	2							15
創エネルギー研究部門	102	165	5		1		2		275
電池技術研究部門	79	220	11				15	2	327
省エネルギー研究部門	157	279	12				9	4	461
環境管理研究部門	127	300	9		3		12	2	453
安全科学研究部門	85	220	22				5	2	334
太陽光発電研究センター	94	255	9		3		3	1	365
再生可能エネルギー研究センター	116	209	11	1		1		2	340
先進パワーエレクトロニクス研究センター	69	185	1		2		1	2	260
窒化物半導体先進デバイスオープンイノベーションラボラトリー	2	15					1		18
生命工学領域研究戦略部	3	16	1						20
創薬基盤研究部門	78	174	12				8	2	274
バイオメディカル研究部門	188	377	24				24	3	616
健康工学研究部門	111	228	6		2		6		353
生物プロセス研究部門	116	274	11				9	2	412
創薬分子プロファイリング研究センター	40	43	1				1		85
生体システムビッグデータ解析オープンイノベーションラボラトリー	4								4
先端フォトニクス・バイオセンシングオープンイノベーションラボラトリー	2	3	1						6
情報・人間工学領域研究戦略部	1	2	1						4
情報技術研究部門	148	185	6		1		3	1	344
人間情報研究部門	255	370	20		11		21	3	680
知能システム研究部門	100	184	6		1		9	1	301
自動車ヒューマンファクター研究センター	32	66	3						101
ロボットイノベーション研究センター	44	72	1				5		122
人工知能研究センター	200	268	7		1		14	1	491
材料・化学領域			1						1
材料・化学領域研究戦略部	7	3	1				1		12
機能化学研究部門	109	224	14		1		7	3	358
化学プロセス研究部門	88	225	22				15	1	351
ナノ材料研究部門	132	239	11				8	3	393
無機機能材料研究部門	124	268	9				19	4	424
構造材料研究部門	89	233	19		1		12	2	356
触媒化学融合研究センター	72	117	6				1	3	199
ナノチューブ実用化研究センター	17	68	8				3	1	97
機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	63	152	1				5	2	223
磁性粉末冶金研究センター	13	51	1						65
先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリー	1	10							11
数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリー	2	16							18
エレクトロニクス・製造領域		2							2
エレクトロニクス・製造領域研究戦略部	1	9			1		1		12
ナノエレクトロニクス研究部門	202	357	8				4	3	574
電子光技術研究部門	235	412	10				31	2	690
製造技術研究部門	116	292	5				10	1	424
スピントロニクス研究センター	44	88						4	136
フレキシブルエレクトロニクス研究センター	58	138	9				10	3	218
先進コーティング技術研究センター	25	71	3				7	2	108
集積マイクロシステム研究センター	66	98	3				4	1	172
地質調査総合センター研究戦略部	4	9	4	3			6		26
活断層・火山研究部門	105	263	44	13			30	1	456
地圏資源環境研究部門	122	239	30	3			12	4	410
地質情報研究部門	126	316	32	82		2	25	5	588

産業技術総合研究所

	誌上 発表	口頭 発表	著書・ 刊行 物・調 査報告	地球科 学情報	計量技 術情 報・工 業標準 化	デー タ ベース	イベ ン ト出 展	プレ ス 発表	合計
地質情報基盤センター	2	10	4	4			47		67
計量標準総合センター研究戦略部	8	11	7		1		4		31
工学計測標準研究部門	107	148	1		33		21		310
物理計測標準研究部門	156	247	8		24		9	5	449
物質計測標準研究部門	124	254	18		36		6	2	440
分析計測標準研究部門	128	269	8		15		7	5	432
計量標準普及センター					4		4		8
コンプライアンス推進本部	1								1
評価部		12							12
企画本部	1	3		9					13
イノベーション推進本部	192	4	4						200
知的財産・標準化推進部					17				17
地域連携推進部		1							1
総務本部	1								1
共用施設運営ユニット	4	2	1				2		9
福島再生可能エネルギー研究所	2	2							4
東北センター		1							1
中部センター	1	5	2						8
関西センター		10							10
中国センター	1								1
四国センター	2	11					2		15
九州センター							1		1
合計	4,719	9,008	474	115	164	3	463	85	15,031

資 料

2. 兼 業

平成28年度兼業一覧

0内は役員兼業の数を示している

所属/依頼元	高等教育機関	公的機関	公益法人	民間企業等	総計
創エネルギー研究部門	7		18	3	28
電池技術研究部門	4	7	14	2	27
省エネルギー研究部門	2	2	27	8	39
環境管理研究部門	12	9	46	3	70
安全科学研究部門	18	10	29	23(1)	80(1)
太陽光発電研究センター	4	1	5		10
再生可能エネルギー研究センター	8	1	4	3	16
先進パワーエレクトロニクス研究センター				1	1
創薬基盤研究部門	16	1	19	6(1)	42(1)
バイオメディカル研究部門	27	6	22	10(3)	65(3)
健康工学研究部門	8	3	13	4(2)	28(2)
生物プロセス研究部門	8	5	9	1	23
創薬分子プロファイリング研究センター		1	2	1(1)	4(1)
情報技術研究部門	10	3	11	6(1)	30(1)
人間情報研究部門	29	6	27	16(9)	78(9)
知能システム研究部門	28	7	14	7(3)	56(3)
自動車ヒューマンファクター研究センター	3		6	3(1)	12(1)
ロボットイノベーション研究センター	12		6	1	19
人工知能研究センター	18	6	14	9(2)	47(2)
機能化学研究部門	8		6		14
化学プロセス研究部門	3		5		8
ナノ材料研究部門	4	2	4	1	11
無機機能材料研究部門	10	1	5	2(2)	18(2)
構造材料研究部門	5		2		7
触媒化学融合研究センター	9	2	4		15
機能材料コンピュータシミュレーション研究センター	5		5		10
磁性粉末冶金研究センター			1	1	2
ナノエレクトロニクス研究部門	4		8	2	14
電子光技術研究部門	7	3	14	4(4)	28(4)
製造技術研究部門	12	4	10	9	35
スピントロニクス研究センター		2			2
フレキシブルエレクトロニクス研究センター				1(1)	1(1)
先進コーティング技術研究センター	1	2	4		7
集積マイクロシステム研究センター	1				1
活断層・火山研究部門	5	6	1		12
地圏資源環境研究部門	7	3	3		13
地質情報研究部門	1	1	4		6
地質情報基盤センター	3				3
工学計測標準研究部門	9	2	8		19
物理計測標準研究部門	8	3	3		14
物質計測標準研究部門	4	1	6		11
分析計測標準研究部門	1	1	10	5(4)	17(4)
計量標準普及センター	1	1	1		3
地域センター	4	12	29	2	47
本部組織・事業組織・その他	18	23	34	10(1)	85(1)
総計	344	137	453	144(36)	1078(36)

3. 中長期目標

1. 政策体系における法人の位置付け及び役割（ミッション）

1. 政策体系における産総研の位置付け

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」という。）は、鉱工業の科学技術に関する研究開発等の業務を総合的に行う国立研究開発法人として、経済産業省がその所掌事務である「民間における技術の開発に係る環境の整備に関すること」、「鉱工業の科学技術の進歩及び改良並びにこれらに関する事業の発達、改善及び調整に関すること」、「地質の調査及びこれに関連する業務を行うこと」、「計量の標準の整備及び適正な計量の実施の確保に関すること」を遂行する上で、中核的な役割を担っている。

産総研は、この役割を果たすため、①鉱工業の科学技術に関する研究開発、②地質の調査、③計量の標準の設定並びに計量器の検定、検査、研究開発、計量に関する教習、④これらに係る技術指導及び成果普及、⑤技術経営力の強化に資する人材の養成等の業務を行うこととされている。

現下の産業技術・イノベーションを巡る状況を見ると、これまで我が国企業は世界最高水準の品質の製品を製造・販売することで世界をリードしてきたが、近年、大企業においても基礎研究から応用研究・開発、事業化の全てを自前で対応することは一層難しくなっている。他方で、我が国には、まだ事業化に至っていない優れた技術シーズが数多くある。イノベーションは、技術シーズが企業や研究機関など様々な主体の取り組みにより、事業化に「橋渡し」されることで、初めて生み出されるものである。その意味で、革新的な技術シーズを迅速に事業化につなげていくための「橋渡し」機能の強化によるイノベーション・ナショナルシステムの構築が、我が国の産業競争力を決定づける非常に重要な要素となっている。

こうした状況認識の下、経済産業省の産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会の「中間とりまとめ」（平成26年6月）において我が国のイノベーション・システム構築に向けての提言がなされ、「日本再興戦略」改訂2014（平成26年6月24日）及び「科学技術イノベーション総合戦略2014」（平成26年6月24日）においては、産総研及び新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において「橋渡し」機能強化に先行的に取り組み、これらの先行的な取組について、適切に進捗状況の把握・評価を行い、その結果を受け、「橋渡し」機能を担うべき他の研究開発法人に対し、対象分野や各機関等の業務の特性等を踏まえ展開することとされた。

加えて、「まち・ひと・しごと創生総合戦略」（平成26年12月27日閣議決定）においては、地域イノベーションの推進に向けて、公設試験研究機関（公設試）と産

総研の連携による全国レベルでの「橋渡し」機能の強化を行うこと等を通じて中堅・中小企業が先端技術活用による製品や生産方法の革新等を実現する仕組みを構築することとされた。

また、地質情報や計量標準等の知的基盤は、国民生活・社会経済活動を支える重要かつ不可欠な基盤であり、国の公共財として国民生活の安全・安心の確保やイノベーション促進、中堅・中小企業のものづくり基盤等、国民生活や社会経済活動を幅広く支えており、社会資本と同様に国の責務として整備すべきソフトインフラである。

現下において、地質情報については、東日本大震災以降レジリエントな防災・減災機能の強化の必要性が高まる中、その重要性が再認識されているところである。また、計量標準については、イノベーション創出の基盤であり、昨今の高度化する利用者ニーズへの対応を図ることが求められている。

さらに、産総研は、「特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法」（平成28年法律第43号）により、平成28年10月1日から特定国立研究開発法人（以下「特定法人」という。）に指定されることとなった。このため、特定法人として、同法の目的である「世界最高水準の研究開発の成果の創出並びにその普及及び活用の促進を図り、もって国民経済の発展及び国民生活の向上に寄与する」ことが期待されており、具体的には、同法に基づき策定された「基本方針」により、以下を基本的な方向とする取り組み等を特定法人として進めることが求められている。

- ・国家戦略に基づき世界最高水準の研究成果を創出、普及及び活用の促進、国家的課題の解決を先導
- ・我が国全体のイノベーションシステムを強力に牽引する中核機関として、産学官の人材、知、資金等の結集する場の形成を先導
- ・制度改革等に先駆的に取り組み、他の国立研究開発法人をはじめとする研究開発等への波及・展開を先導
- ・法人の長の明確な責任の下、迅速、柔軟かつ自主的・自律的なマネジメントの確保

2. 本中長期目標期間における産総研のミッション

こうした現下の状況や政府方針を踏まえ、平成27年度から始まる新たな中長期目標期間における産総研のミッションは以下のとおりとする。

第一に、産業技術政策の中核の実施機関として、革新的な技術シーズを事業化につなぐ「橋渡し」の役割を果たすものとする。この「橋渡し」については、これまでの産総研における取組方法の変革が求められること、我が国のイノベーション・システムの帰趨にも影響を与えること、所内でも多くのリソースを投入し取り組むことが不可欠であることから、最重要の経営課題と位置づけて取り組むべきものである。また、地域イノベーションの推進に向けて、公設試等とも連携し、全国レベルで

の「橋渡し」を行うものとする。さらに、産総研が長期的に「橋渡し」の役割を果たしていくため、将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出す目的基礎研究にも取り組むものとする。

第二に、地質調査及び計量標準に関する我が国における責任機関として、今時の多様な利用者ニーズに応えるべく、当該分野における知的基盤の整備と高度化を、国の知的基盤整備計画に沿って実施するものとする。また、新規技術の性能・安全性の評価技術や標準化等、民間の技術開発を補完する基盤的な研究開発等を実施するものとする。

第三に、これらのミッションの達成に当たって、研究人材の拡充と流動化、育成に努めるとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図るものとする。

II. 中長期目標の期間

産総研の平成27年度から始まる第4期における中長期目標の期間は、5年（平成27年4月～平成32年3月）とする。

III. 研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する事項

第4期中長期目標期間においては、研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上のため、以下のとおり、「橋渡し」機能の強化及び地質調査、計量標準等の知的基盤の整備を推進するとともに、これらの実現のため業務横断的に研究人材の拡充、流動化、育成及び組織の見直しに取り組むものとする。

また、産総研の強み等も踏まえ、同期間に重点的に推進すべき研究開発の方針は、別紙1に掲げるとおりとするとともに、研究領域を一定の事業等のまとまりと捉え、評価に当たっては、別紙2に掲げる評価軸等に基づいて実施することとする。

1. 「橋渡し」機能の強化

「橋渡し」機能については、将来の産業ニーズを踏まえた目的基礎研究を通じて革新的な技術シーズを次々と生みだし、これを磨き上げ、さらに橋渡し先として最適な企業と連携して、コミットメントを得た上で共に研究開発を進めて事業化にまで繋げることが求められるものであり、当該機能は、広範な産業技術の各分野に関して深い専門的知見と基礎研究から製品化に至る幅広いリソース、産業界をはじめとした関係者との広範なネットワーク、さらに大規模な先端設備等を有する我が国を代表する総合的な国立研究開発法人である産総研が、我が国の中核機関となって果たすべき役割である。

産総研は、これまででも、基礎研究段階の技術シーズを民間企業等による事業化が可能な段階にまで発展させる「橋渡し」の役割を、様々な分野で行ってきたところであるが、第4期中長期目標期間中にこの「橋渡し」機能

を抜本的に強化することを促すため、同目標期間の終了時（平成32年3月）までに、受託研究収入等、民間企業からの資金獲得額を、現行の3倍以上とすることを目標として掲げ、以下の取り組みを行うものとする。なお、当該目標の達成に当たっては、大企業と中堅・中小企業の件数の比率に配慮するものとする。

民間からの資金獲得目標の達成に向けては、年度計画に各研究領域の目標として設定するとともに、産総研全体として目標を達成するためのPDCAサイクル等の方法について、中長期計画に記載するものとする。

【目標】

本目標期間の終了時（平成32年3月）までに、民間企業からの資金獲得額として、受託研究収入等を、現行（46億円/年）の3倍（138億円/年）以上とすること、及び、産総研が認定した産総研技術移転ベンチャーに対する民間からの出資額を、現行（3億円/年）の3倍（9億円/年）以上とすることを最も重要な目標とする。

【重要度：高】 【優先度：高】

本目標期間における最重要の経営課題である「橋渡し」に係るものであり、また、我が国のイノベーション・システムの帰趨にも影響を与えうるものであるため。

【難易度：高】

マーケティング力の強化、大学や他の研究機関との連携強化、戦略的な知的財産マネジメント等を図ることが必要であり、これまでの産総研における取組方法の変革が求められるため。

併せて、一定金額規模以上の橋渡し研究を企業と実施した案件については、正確な事実を把握し、PDCAサイクルの推進を図るため、その後の事業化の状況（件数等）の把握を行うものとする。

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

「橋渡し」機能を持続的に発揮するには、革新的な技術シーズを継続的に創出することが重要である。このための目的基礎研究について、将来の産業ニーズや内外の研究動向を的確に踏まえ、産総研が優先的に取り組むべきものとなっているかを十分精査して研究テーマを設定した上で、外部からの技術シーズの取り込みや外部人材の活用等も図りつつ、積極的に取り組むものとする。また、従来から行ってきた研究テーマについては、これまで世界トップレベルの成果を生み出したかという観点から分析・検証して世界トップレベルを担う研究分野に特化するものとする。

これにより、将来の「橋渡し」研究に繋がる革新的な技術シーズを創出するとともに、特定法人の目指す世界トップレベルの研究機関としての機能の強化を図るものとする。

目的基礎研究の評価に当たっては、研究テーマ設定の適切性に加え、優れた論文や強い知財の創出（質及び量）を評価指標とする。

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

将来の産業ニーズや技術動向等を予測し、企業からの受託研究に結び付くよう研究テーマを設定し、研究開発を実施するものとする。

「橋渡し」研究前期の評価に当たっては、研究テーマ設定の適切性に加え、強い知財の創出（質及び量）等を評価指標として設定するものとする。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

「橋渡し」研究後期においては、事業化に向けた企業のコミットメントを最大限高める観点から、企業からの受託研究等の資金を獲得した研究開発を基本とするものとする。

「橋渡し」研究後期の評価に当たっては、産業界からの資金獲得額を評価指標として設定するものとする。

(4) 産総研技術移転ベンチャー支援の強化

先端的な研究成果をスピーディーに社会に出していくため、産総研技術移転ベンチャーの創出・支援を進めるものとする。評価に当たっては産総研技術移転ベンチャーに対する民間からの出資額を評価指標として設定するものとする。

(5) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

企業からの技術的な相談に対して、研究開発の実施による対応のみならず、産総研の技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施についても、適切な対価を得つつ積極的に推進するものとする。

(6) マーケティング力の強化

橋渡し機能の強化に当たっては、①目的基礎研究を行う際に、将来の産業や社会ニーズ、技術動向等を予想して研究テーマを設定する、②「橋渡し」研究前期を行う際に、企業からの受託に繋がるレベルまで行うことを目指して研究内容を設定する、③「橋渡し」研究後期で橋渡し先を決定する際に、法人全体での企業からの資金獲得額の目標達成に留意しつつ、事業化の可能性も含め最も経済的効果の高い相手を見つけ出し事業化に繋げる、④保有する技術について幅広い事業において活用を進める、という4つの異なるフェーズでのマーケティング力を強化する必要がある。

これら4フェーズにおけるマーケティング力を強化するためには、マーケティングの専門部署による取組に加え、各研究者による企業との意見交換を通しての取組、さらには、研究所や研究ユニットの幹部による潜在的な顧客企業経営幹部との意見交換を通しての取組が考えられるが、これらを重層的に組合せ、組織的に、計画的な取組を推進するものとする。

(7) 大学や他の研究機関との連携強化

産総研が自ら生み出した技術シーズのみならず、大学や他の研究機関（大学等）の基礎研究から生まれた優れた技術シーズを汲み上げ、その「橋渡し」を進めるべく、優秀な研究者が大学と公的研究機関等、複数の機関と雇用契約関係を結び、どちらの機関において

も正式な職員として活躍できるクロスアポイントメント制度の導入・活用や、大学等の研究室単位での産総研への受け入れ、産総研の研究室の大学等への設置により、大学等との連携強化を図るものとする。

こうしたクロスアポイントメント制度の活用については、「橋渡し」機能の強化を図る観点に加え、高度研究人材の流動性を高める観点から重要であることを踏まえ、積極的な推進を図るものとする。

(8) 戦略的な知的財産マネジメント

「橋渡し」機能の強化に当たっては、研究開発によって得られた知的財産が死蔵されることがなく幅広く活用され、新製品や新市場の創出に繋がっていくことが重要であり、戦略的な知的財産マネジメントが鍵を握っている。

このため、まず優れた研究成果について、特許化するか営業秘密とするかも含め、戦略的に取り扱うこととし、いたずらに申請件数に拘ることなく、質と数の双方に留意して、「強く広い」知財を取得するものとする。

また、積極的かつ幅広い活用を促進する観点から、受託研究の成果も含め、原則として研究を実施した産総研が知的財産権を所有し、委託元企業に対しては当該企業の事業化分野における独占的実施権を付与することを基本とする。なお、企業からの受託研究の成果ではない共通基盤的な技術については非独占実施権を付与するなどにより活用を図るものとする。

さらに、知的財産マネジメントや知的財産権を活用した事業化に向けた体制整備等、戦略的なマネジメントの実現に向けた組織的な取組を行うものとする。

(9) 地域イノベーションの推進等

① 地域イノベーションの推進

産総研のつくばセンター及び全国8カ所の地域センターにおいて、公設試等と密接に連携し、地域における「橋渡し」を推進するものとする。特に、各都道府県に所在する公設試に産総研の併任職員を配置することなどにより、公設試と産総研の連携を強化し、橋渡しを全国レベルで行う体制の整備を行うものとする。

また、第4期中長期目標期間の早期の段階で、地域センターごとに「橋渡し」機能の進捗状況の把握・評価を行った上で、別紙に掲げる重点的に推進すべき具体の研究開発も踏まえつつ、橋渡し機能が発揮できない地域センターについては、他地域からの人材の異動と併せて地域の優れた技術シーズや人材を他機関から補強することにより研究内容の強化を図るものとする。その上で、将来的に効果の発揮が期待されない研究部門等を縮小若しくは廃止するものとする。

② 福島再生可能エネルギー研究所の機能強化

平成26年4月に開所した福島再生可能エネルギー研究所については、これまで国や福島県の震災復興の基本方針に基づいて整備が行われてきたところ、エネル

ギー産業・技術の拠点として福島の発展に貢献するため、再生可能エネルギー分野における世界最先端で、世界に開かれた研究拠点を目指し、引き続き当該分野に関する研究開発に注力するものとする。また、地元企業が有する技術シーズ評価を通じた技術支援及び地元大学等との連携による産業人材育成に取り組むことにより、地元企業等への「橋渡し」を着実に実施するとともに、全国レベルでの「橋渡し」を推進するものとする。さらに、発電効率の極めて高い太陽電池や世界第3位の地熱ポテンシャル国であることを活かした大規模地熱発電、再生可能エネルギーの変動を大幅緩和するエネルギー貯蔵システム等の再生可能エネルギーに関する世界最先端の研究開発・実証拠点を目指し強化を図るものとする。強化に当たっては、東日本大震災復興関連施策の動向等を踏まえつつ、それまでの取組の成果を評価した上で、平成27年度中にその具体的な強化内容を明らかとし、残りの中長期目標期間において取り組むものとする。

(10) 世界的な産学官連携拠点の形成

世界的な競争が激しく、大規模な投資が不可欠となる最先端の設備環境下での研究が重要な戦略分野については、国内の産学官の知を糾合し、事業化への「橋渡し」機能を有する世界的な産学官連携拠点の形成を、産総研を中核として進め、国全体として効果的かつ効率的な研究開発を推進するものとする。

特に、オープンイノベーションに繋がる研究開発の推進拠点である TIA については、融合領域における取組や産業界への橋渡し機能の強化等により、一層の強化を図るものとする。

(11) 「橋渡し」機能強化を念頭に置いた研究領域・研究者の評価基準の導入

「橋渡し」研究では事業化に向けた企業のコミットメント獲得が重要であることから、「橋渡し」研究を担う研究領域の評価を産総研内で行う場合には、産業界からの資金獲得の増加目標の達成状況を最重視して評価し、資金獲得金額や受託件数によって、研究資金の配分を厚くするなどのインセンティブを付けるものとする。但し、公的研究機関としてのバランスや長期的な研究開発の実施を確保する観点から、インセンティブが付与される産業界からの資金獲得金額や受託件数に一定の限度を設けることも必要である。また、具体的な評価方法を定めるにあたっては、一般に一社当たりの資金獲得金額は小さい一方、事業化に関しては大企業以上に積極的である中堅・中小企業からの受託研究等の取り扱いや、研究分野毎の特性に対する考慮などを勘案した評価方法とすることが必要である。

他方、研究領域内の各研究者の評価については、目的基礎研究や「橋渡し」研究前期で革新的な技術シーズの創出やその磨き上げに取り組む研究者と、「橋渡し」研究後期で個別企業との緊密な関係の下で研究開

発に従事する研究者がおり、研究段階によっては論文や特許が出せない場合もあること等を踏まえる必要がある。このため、目的基礎研究は優れた論文や強い知財の創出（質及び量）、「橋渡し」研究前期は強い知財の創出（質及び量）等、「橋渡し」研究後期は産業界からの資金獲得を基本として評価を行うなど、各研究者が意欲的に取り組めるよう、各研究者の携わる研究段階・研究特性を踏まえて適切な評価軸の設定等を通じてインセンティブ付与を行い、結果として、研究領域全体として効果的な「橋渡し」が継続的に実施されるよう努めるものとする。

2. 地質調査、計量標準等の知的基盤の整備

我が国の経済活動の知的基盤である地質調査や計量標準等は、資源確保に資する探査・情報提供や産業立地に際しての地質情報の提供、より正確な計測基盤を産業活動に提供する等の重要な役割を担っており、我が国における当該分野の責任機関として、これらの整備と高度化を通じて我が国の産業基盤を引き続き強化するものとする。

その際、他の研究機関等との連携も積極的に図るとともに、国の知的基盤整備計画に基づいて知的基盤の整備を進め、その取組状況等を評価する。その評価に当たっては、PDCA サイクル等の方法について、中長期計画に記載するものとする。

こうした業務への貢献を産総研内で評価する場合には、「橋渡し」とは異なる評価をしていくことが必要かつ重要であり、各ミッションに鑑み、最適な評価基準を適用するものとする。

【目標】

国の知的基盤整備計画に基づき知的基盤の整備を進める。

【重要度：高】【優先度：高】【難易度：中】

地質情報や計量標準等の知的基盤は、国民生活・社会経済活動を支える重要かつ不可欠な基盤であり、産総研は我が国における責任機関として知的基盤整備計画に基づく着実な取組が求められているため。

3. 業務横断的な取組

(1) 研究人材の拡充、流動化、育成

上記1. 及び2. に掲げる事項を実現するとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図るため、以下の取り組みにより、研究人材の拡充と流動化、育成に努めるものとする。

第一に、橋渡し研究の実施はもとより、目的基礎研究の強化の観点からも、優秀かつ多様な若手研究者の確保・活用は極めて重要であり、クロスアポイント制度や大学院生等を研究者として雇用するリサーチアシスタント（RA）制度の積極的かつ効果的な活用を図ることとする。また、現在、新規研究者採用において

は、原則として任期付研究員として採用し、一定の研究経験の後に、いわゆるテニュア審査を経て定年制研究員とするとの運用がなされているが、採用制度の検討・見直しを行い、優秀かつ多様な若手研究者の一層の確保・活用に向けた仕組みの構築を進めるものとする。

さらに、産総研における研究活動の活性化に資するだけでなく、民間企業等への人材供給を目指し、実践的な博士人材等の育成に積極的に取り組むものとする。具体的には、産総研イノベーションスクールの実施やリサーチアシスタント（RA）制度の積極活用等を通して、産業界が関与するプロジェクト等の実践的な研究開発現場を経験させるとともに、事業化に係る人材育成プログラムなどを活用することによって、イノベーションマインドを有する実践的で高度な博士研究人材等の育成を進めるものとする。

第二に、特に、「橋渡し」機能の強化に向けたマーケティング機能強化に当たっては、内部人材の育成に加え、企業等外部人材を積極的に登用するものとする。

第三に、「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員の重要性が増大する中、こうした職員の将来のキャリアパス構築も重要であり、優れた「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員については、60歳を超えても大学教員になる場合と比べ遜色なく、その能力と役割を正当に評価した上で処遇を確保する人事制度等の環境整備を進めるものとする。

第四に、ワーク・ライフ・バランスを推進し、男女がともに育児や家事負担と研究を両立するための具体的な方策、女性の登用目標や必要に応じた託児施設等の整備等を含む具体的なプログラムの策定等を行い、女性のロールモデルの確立と活用を飛躍的に増大させるための環境整備に取り組むものとする。

(2) 組織の見直し

上記に掲げる事項を実現するため、本部組織と各研究領域等との役割・責任関係のあり方も含め、現在の組織・制度をゼロベースで見直し、目的基礎研究から実用化までの「橋渡し」を円滑かつ切れ目無く実施するため、研究領域を中心とした最適な研究組織を構築する。

「橋渡し」機能を強化するには、中核となる研究者を中心に、チームとして取り組む体制づくりも重要であり、支援体制の拡充を図るとともに的確なマネジメントが発揮できる環境を整備するものとする。

また、産学官連携や知財管理等に係るイノベーション推進本部等の本部組織についても、研究領域との適切な分担をし、産総研全体として「橋渡し」機能の強化に適した体制に見直すこととする。「橋渡し」の一環で実施する産学官連携等については、産業界のニーズ把握と大学等の有する技術シーズの分析を行い、それらのマッチングにより課題解決方策の検討と研究推

進組織に対して、研究計画の設計まで関与できる専門人材を強化するものとする。

(3) 特定法人として特に体制整備等を進めるべき事項

- ① 法人の長のマネジメントの裁量の確保・尊重
法人の長が国内外の諸情勢を踏まえて法人全体の見地から迅速かつ柔軟に運営・管理することが可能な体制を確保するものとする。
- ② 世界最高水準の研究開発等を実施するための体制の強化
 - 国際的に卓越した能力を有する人材を確保・育成するための体制
優れた若手、女性、外国人研究者を積極的に登用し、世界最高水準で挑戦的な研究開発を担う体制を整備するものとする。
 - 研究者が研究開発等の実施に注力するための体制
研究者の研究上の定型作業、施設・整備の維持管理、各種事務作業に係る負担を軽減し、研究に専念できる環境を確保するための体制を整えるものとする。
 - 国内外機関との産学官連携・協力の体制や企画力の強化
世界最高水準の研究開発成果の創出、成果の「橋渡し」の実現に向け、大学、産業界及び海外の研究開発機関等との連携・協力を推進するものとする。また、外部との連携や技術マーケティング等にも総合的に取り組むための企画・立案機能の強化等を図るものとする。
 - 国際標準化活動を積極的に推進するための体制
技術的知見が活用できるテーマであり、かつ、戦略的に重要な研究開発テーマや産業横断的なテーマについて、民間企業等と連携して国際標準化活動を推進するための体制を整備するものとする。
- ③ 適正な研究開発等の実施を確保するための体制の充実

国民の負託を受けて信頼ある研究開発を実施していくために、国の指針等を踏まえ、適切な法令遵守・リスク管理体制を適切に構築し、その実施状況について適切な方法により社会に発信するものとする。

IV. 業務運営の改善及び効率化に関する事項

1. 研究施設の効果的な整備と効率的な運営

我が国のオープンイノベーションを推進する観点、さらには「橋渡し」機能の強化を図る観点から、産学官が一体となって研究開発を行うための施設や仕組み等を含め戦略的に整備・構築するとともに、それら施設等の最大限の活用を推進するものとする。

2. PDCA サイクルの徹底

各事業については厳格な評価を行い、不断の業務改善を行うものとする。評価に当たっては、外部の専門家・

有識者を活用するなど適切な体制を構築するものとする。また、評価結果をその後の事業改善にフィードバックするなど、PDCA サイクルを徹底するものとする。

3. 適切な調達の実施

調達案件については、主務大臣や契約監視委員会によるチェックの下、一般競争入札を原則としつつも、随意契約できる事由を会計規程等において明確化し、公正性・透明性を確保しつつ、合理的な調達を実施するものとする。

4. 業務の電子化に関する事項

電子化の促進等により事務手続きの簡素化・迅速化を図るとともに、利便性の向上に努めることとする。また、幅広い ICT 需要に対応できる産総研内情報ネットワークの充実を図ることとする。情報システム、重要情報への不正アクセスに対する十分な強度を確保するとともに、震災等の災害時への対策を確実にを行うことにより、業務の安全性、信頼性を確保することとする。

5. 業務の効率化

運営費交付金を充当して行う事業は、新規に追加されるもの、拡充分等は除外した上で、一般管理費（人件費を除く。）及び業務経費（人件費を除く。）の合計について前年度比1.36%以上の効率化を図るものとする。ただし、平成27年度及び平成28年度においては、平成27年4月に定めた業務の効率化「一般管理費は毎年度3%以上を削減し、業務費は毎年度1%以上を削減するものとする。」に基づく。

なお、人件費の効率化については、政府の方針に従い、必要な措置を講じるものとする。給与水準については、ラスパレイス指数、役員報酬、給与規定、俸給表及び総人件費を公表するとともに、国民に対する説明責任を果たすこととする。

V. 財務内容の改善に関する事項

運営費交付金を充当して行う事業については、本中長期目標で定めた事項に配慮した中長期計画の予算を作成し、効率的に運営するものとし、各年度期末における運営費交付金債務に関し、その発生要因等を厳格に分析し、減少に向けた努力を行うこととする。また、保有する資産については、有効活用を推進するとともに、不断の見直しを行い保有する必要がなくなったものについては廃止等を行う。

さらに、適正な調達・資産管理を確保するための取組を推進することとし、「平成25年度決算報告」（平成26年11月7日会計検査院）の指摘を踏まえた見直しを行うほか、「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」（平成25年12月24日閣議決定）等既往の閣議決定等に示された政府方針に基づく取組について、着実に実施す

るものとする。特に、「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」において、「法人の増収意欲を増加させるため、自己収入の増加が見込まれる場合には、運営費交付金の要求時に、自己収入の増加見込額を充てて行う新規業務の経費を見込んで要求できるものとし、これにより、当該経費に充てる額を運営費交付金の要求額の算定に当たり減額しないこととする。」とされていることを踏まえ、本中長期目標の考え方に従って、民間企業等からの外部資金の獲得を積極的に行う。

VI. その他業務運営に関する重要事項

上記のほか、産総研の運営を一層効果的かつ効率的にするとともに、適切な運営の確保に向けた見直しとして、以下等の取組を行うものとする。

1. 広報業務の強化

産総研の研究成果の効率的な「橋渡し」を行うためにも、産総研の主要なパートナーである産業界に対して、活動内容や研究成果等の「見える化」を的確に図ることが重要であり、広報業務の強化に向けた取組を行うものとする。また、「橋渡し」のための技術シーズの発掘や産学官の連携強化等の観点からも、大企業、中小企業、大学・研究機関、一般国民等の様々なセクターに対して産総研の一層の「見える化」につながる取組を強化するものとする。

2. 業務運営全般の適正性確保及びコンプライアンスの推進

産総研が、その力を十分発揮し、ミッションを遂行するに当たっては、調達・資産管理、研究情報管理、労務管理、安全管理などを含む業務全般や公正な研究の実施について、その適正性が常に確保されることも必要かつ重要である。このため、研究者中心の組織において業務が適正に執行されるよう、業務執行ルールの不断の見直しに加え、当該ルールの周知徹底、事務職員による研究者への支援・チェックの充実、包括的な内部監査等を効率的・効果的に実施するものとする。

また、コンプライアンスは、産総研の社会的な信頼性の維持・向上、研究開発業務等の円滑な実施の観点から継続的に確保されていくことが不可欠であり、昨今その重要性が急速に高まっている。こうした背景やこれまでの反省点等も踏まえ、コンプライアンス本部長たる理事長の指揮の下、予算執行及び研究不正防止を含む産総研における業務全般の一層の適正性確保に向け、厳正かつ着実にコンプライアンス業務を推進するものとする。

さらに、「橋渡し」機能を抜本的に強化していくに当たっても、適切な理由もなく特定企業に過度に傾注・依存することは避ける必要がある。このため、国内で事業化する可能性が最も高い企業をパートナーとして判断できるような適切なプロセスを内部に構築するとともに、

コンプライアンス遵守に向けた体制整備等、ガバナンスの強化を図るものとする。

3. 情報セキュリティ対策等の徹底による研究情報の保護

これまでと同様に電子化による業務効率化を推進することとするが、「サイバーセキュリティ戦略について」（平成27年9月4日閣議決定）を踏まえ、研究情報等の重要情報を保護する観点から、外部の専門家の知見を活用しつつ、情報セキュリティの確保のための対策を徹底するものとする。また、営業秘密の特定及び管理を徹底するものとする。

4. 内部統制に係る体制の整備

内部統制については、法人の長によるマネジメントを強化するための有効な手段の一つであることから、「独立行政法人の業務の適性を確保するための体制等の整備」（平成26年11月28日付け総務省行政管理局長通知）等に通知した事項を参考にしつつ、必要な取組を推進するものとする。

5. 情報公開の推進等

適正な業務運営及び国民からの信頼を確保するため、適切かつ積極的に情報の公開を行うとともに、個人情報の適切な保護を図る取組を推進するものとする。具体的には、「独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律」（平成13年12月5日法律第140号）及び「個人情報の保護に関する法律」（平成15年5月30日法律第57号）に基づき、適切に対応するとともに、職員への周知徹底を行うものとする。

（別紙1）第4期中長期目標期間において重点的に推進すべき具体の研究開発の方針

【エネルギー・環境領域】

○新エネルギーの導入を促進する技術の開発

太陽光についてはコスト低減と信頼性向上を実現するとともに、複合化や新概念に基づく革新太陽電池の創出を図るものとする。また、再生可能エネルギー大量導入のためのエネルギーネットワーク技術、さらには大規模地熱利用技術等にも取り組むものとする。

○エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発

再生可能エネルギー等を効率良く水素等の化学エネルギー源に変換し貯蔵・利用する技術を開発すると共に、電源の多様化にむけた車載用、住宅用、産業用の蓄電技術を開発するものとする。

○エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発

省エネルギー社会を実現するために、ワイドギャップ

半導体パワーエレクトロニクス技術、熱エネルギーの利用技術、自動車用エンジンの高効率燃焼技術等を開発するものとする。

○エネルギー資源を有効活用する技術の開発

メタンハイドレート等のエネルギー資源の有効利用にかかわる技術を開発するものとする。

○環境リスクを評価・低減する技術の開発

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、ナノ材料等の環境リスクを分析、評価する技術、レアメタル等の資源循環を進める技術並びに、産業保安を確保するための技術を開発するものとする。

【生命工学領域】

○創薬基盤技術の開発

創薬のリードタイムを短縮するために、古典的新薬探索から脱却し、短時間に低コストで成功率の高い創薬プロセスを実現する創薬最適化技術、ゲノム情報解析技術、バイオマーカーによる疾病の定量評価技術などの新しい創薬の基盤となる技術を開発するものとする。

○医療基盤・ヘルスケア技術の開発

豊かで健康なライフスタイル実現のために、再生医療等の基盤となる細胞操作技術と幹細胞の標準化を行うものとする。また、健康状態を簡便に評価できる技術の開発を行うとともに、生体適合性の高い医療材料や医療機器の研究開発を行うものとする。

○生物機能活用による医薬原材料等の物質生産技術の開発

遺伝子組換え技術を用いて微生物や植物の物質生産機能を高度化し、医薬原材料等の有用物質を効率的に生産する技術を開発するものとする。

【情報・人間工学領域】

○ビッグデータから価値を創造する人工知能技術の開発

ビッグデータの分析・試験・評価による知的なサービス設計等を支援するため、脳のモデルに基づく人工知能技術や人工知能の活用を促進するプラットフォーム技術など、人工知能が効率良く新たな価値を共創する技術を開発するものとする。

○産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステム技術の開発

ひと、もの、サービスから得られる情報を融合し、産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステムを実現する統合クラウド技術や軽量でスケラブルなセキュリティ技術、そこから得られるデータをサービスの価値に繋げる技術などを開発するものとする。

○快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発

人間の生理・認知・運動機能などのヒューマンファクターを明らかにし、安全で快適な社会生活を実現するため、自動車運転状態をはじめとする人間活動の測定評価技術を開発するものとする。また、人間の運動や感覚機能を向上させる訓練技術の研究開発を行うものとする。

○産業と生活に革命の変革を実現するロボット技術の開発

介護サービス、屋内外の移動支援サービス、製造業など様々な産業においてロボットによるイノベーションの実現をめざし、人間共存型産業用等のロボットや評価基準・評価技術などの関連技術を開発するものとする。また、環境変化に強く自律的な作業を実現するロボット中核基盤技術を開発するものとする。

【材料・化学領域】

○グリーンサステイナブルケミストリーの推進

再生可能資源等を用いて、高効率かつ低環境負荷で、各種の基礎及び機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術を確認するものとする。また、空気を新たな資源として利用可能な触媒技術の開発にも取り組むものとする。

○化学プロセスイノベーションの推進

各種の基礎及び機能性化学品等の製造プロセスの高効率化・省エネルギー化を実現するための化学プロセス技術を開発するものとする。また、高温・高圧等の特異な反応場を積極的に活用し、精密な制御が可能な新しい化学プロセス技術を開発するものとする。

○ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発

ナノカーボン高効率合成およびナノカーボン複合材料製造技術等、ナノ材料のナノ構造精密制御技術や複合化技術、及び先端計測技術を開発するものとする。また、材料・デバイス開発促進のために、高度な計測技術、理論・計算シミュレーションを利用した材料開発を行うものとする。

○新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発

無機系新素材の創製とスケールアップ製造技術及び部材化技術を開発し、資源制約の少ない元素だけを使った高耐熱磁石等の、耐環境性および信頼性に優れた各種の産業部材を提供するものとする。

○省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発

省エネルギー社会構築を目指し、軽量構造材料などの

設計やプロセス技術の開発によって、輸送機器の軽量化に資する構造部材、ならびに広い温度領域を想定し、各温度領域に適した熱制御部材を開発するものとする。

【エレクトロニクス・製造領域】

○情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発

情報データの処理量や通信量の増加に対応するため、省電力で高性能な IT 機器を実現する情報処理・記憶デバイス技術とその集積化技術、あるいはフォトニクス関連技術等を開発するものとする。更なる高性能化に向けたポストスケール集積化技術の確立や新しい情報処理技術の創出を目指すものとする。

○もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発

社会インフラや生産設備の維持管理を効率化・高度化させるために、あるいは安全な社会生活を実現するために、新たなセンシング技術、センサネットワーク技術、収集データ利用技術などを開発するものとする。

○ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発

産業や社会の多様なニーズに対応した製品を省エネ、省資源、低コストで製造するために、設計マネジメント技術、印刷デバイス技術、ミニマルファブ技術、複合加工技術などを開発するものとする。製品の更なる高付加価値化を目指し、高機能フレキシブル電子材料等の新材料、機能発現形成型技術等を開発するものとする。

○多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発

パワーモジュール、燃料電池、構造材料等、種々の産業用部材、基材に対し自在なコーティングを可能とするために、コーティング技術を高度化するものとする。

【地質調査】

○地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備

我が国の知的基盤整備計画に基づいて、国土およびその周辺海域の地質図、地球科学基本図のための地質調査を系統的に実施し、地質情報を整備するものとする。

○レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価

国および地域の防災等の施策策定に役立てるために、地震・火山活動および長期地質変動に関する調査と解明を行い、地質災害リスクの予測精度向上のための技術を開発するものとする。

○地圏の資源と環境に関する評価と技術の開発

国の資源エネルギー施策立案や産業の持続的発展に役

立てるために、地下資源のポテンシャル評価および地圏環境の利用と保全のための調査を行い、そのための技術を開発するものとする。

○地質情報の管理と社会利用促進

国土の適切な利用と保全などを目指して、地質情報や地質標本を体系的に管理するとともに、効果的に成果を発信することにより、地質情報の社会利用を促進するものとする。

【計量標準】

○計量標準の整備と利活用促進

知的基盤整備計画に基づき、物理標準と標準物質の整備を行うとともに、計量標準の利活用を促進するため、計量標準トレーサビリティシステムの高度化を進めるものとする。さらに、単位の定義改訂に対応するなどの次世代計量標準の開発を推進するものとする。

○法定計量業務の実施と人材の育成

計量法の適切な執行のため、特定計量器の基準器検査、型式承認試験等の試験検査・承認業務を着実に実施するとともに、計量教習などにより人材育成に取り組むものとする。さらに、新しい技術に基づく計量器の規格策定等にも積極的な貢献を図るものとする。

○計量標準の普及活動

中小企業なども計量標準の利活用ができるよう環境を整備し、情報提供や相談などにより計量標準の普及に取り組むものとする。また、計量標準の管理・供給、国際計量標準と工業標準への貢献及び計量標準供給制度への技術支援を行うものとする。

○計量標準に関連した計測技術の開発

計量標準に関連した計測・分析・解析手法及び計測機器、分析装置の開発、高度化を行うものとする。また、計量に係るデータベースの整備、高度化に取り組むものとする。

資料

(別紙2) 国立研究開発法人産業技術総合研究所における評価軸

	研究領域等	評価軸	関連する評価指標、モニタリング指標
「橋渡し」機能の強化	エネルギー・環境領域	○革新的技術シーズを事業化につなげる橋渡し研究が実施できているか。	<ul style="list-style-type: none"> ・民間からの資金獲得額（評価指標） ・大企業と中堅・中小企業の研究契約件数の比率（モニタリング指標） ・技術的指導助言等の取組状況（モニタリング指標） ・マーケティングの取組状況（モニタリング指標） ・研究人材の育成等の取組状況（モニタリング指標） ・国際標準化活動の取組状況（モニタリング指標）
	生命工学領域	（目的基礎研究） ○将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出す目的基礎研究に取り組んでいるか。	（目的基礎研究） <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ設定の適切性（モニタリング指標） ・具体的な研究開発成果（評価指標） ・論文の合計被引用数（評価指標） ・論文数（モニタリング指標） ・大学や他の研究機関との連携状況（モニタリング指標）等
	情報・人間工学領域	（「橋渡し」研究前期） ○民間企業との受託研究等につなぐ研究開発に取り組んでいるか。	（「橋渡し」研究前期） <ul style="list-style-type: none"> ・テーマ設定の適切性（モニタリング指標） ・具体的な研究開発成果（評価指標） ・知的財産創出の質的量的状況（評価指標） ・戦略的な知的財産マネジメントの取組状況（モニタリング指標）等
	材料・化学領域	（「橋渡し」研究後期） ○民間企業のコミットメントを最大限高めて研究開発に取り組んでいるか。	（「橋渡し」研究後期） <ul style="list-style-type: none"> ・民間からの資金獲得額（評価指標）【再掲】 ・具体的な研究開発成果（評価指標）等
	エレクトロニクス・製造領域		
	地質調査		
	計量標準		
	（その他本部機能等）	<ul style="list-style-type: none"> ○戦略的な知的財産マネジメントに取り組んでいるか。 ○公設試等と密接に連携し、地域における「橋渡し」機能の強化に取り組んでいるか。 ○世界的な産学官連携拠点の形成及び活用がなされているか。 ○優秀かつ多様な研究者の確保が図られているか。 ○産総研技術移転ベンチャーへの支援強化が図られているか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・戦略的な知的財産マネジメントの取組状況（モニタリング指標） ・公設試等との連携の取組状況（モニタリング指標） ・産学官連携拠点の形成の取組状況（モニタリング指標） ・採用及び処遇等に係る人事制度の整備状況（モニタリング指標） ・民間からの出資額（評価指標）等
地質調査、計量標準等の知的基盤の整備	地質調査	○国の知的基盤整備計画に基づいて着実に知的基盤の整備に取り組んでいるか。	<ul style="list-style-type: none"> ・地質図・地球科学図等の整備状況（評価指標） ・地質情報の普及活動の取組状況（モニタリング指標）
	計量標準	○国の知的基盤整備計画に基づいて着実に知的基盤の整備に取り組んでいるか。 ○計量法に係る業務を着実に実施しているか。	<ul style="list-style-type: none"> ・計量標準及び標準物質の整備状況（評価指標） ・計量標準の普及活動の取組状況（モニタリング指標） ・計量法に係る業務の実施状況（評価指標）

業務横断的な取組	○技術経営力の強化に資する人材の養成に取り組んでいるか。 ※この他の事項については、「橋渡し」機能の強化において評価を実施するものとする。	・産総研イノベーションスクール及びリサーチアシスタント制度の活用等による人材育成人数（評価指標）
----------	--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------

4. 中長期計画、年度計画

【第4期中長期計画】

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、「産総研」という。）は、平成13年4月の発足以来、基礎的研究の成果を「製品化」に繋ぐ役割を担い、基礎的研究から実用化研究まで一体的かつ連続的に取り組んできた。同時に、研究分野や研究拠点の枠にとらわれることなく全産総研の視点から人材、施設・設備、予算等の研究資源を最適化し、社会的・政策的課題に応じて研究実施体制を見直すなど、イノベーション創出と業務の効率化を進めてきた。結果として、産総研の技術シーズに基づいた社会インパクトのあるいくつかの実用化事例も創出してきているが、数多くの革新的技術シーズを事業化にまでつなげるため、更なる強化を図る必要がある。

現下の産業技術・イノベーションを巡る状況を見ると、これまで我が国企業は世界最高水準の品質の製品を製造・販売することで世界をリードしてきたが、近年、大企業においても基礎研究から応用研究・開発、事業化の全てを自前で対応することは一層難しくなっている。さらに技術の複雑化、高度化、短サイクル化が加わるなど、産業技術・イノベーションを取り巻く世界的潮流は大きく変化している。他方で、我が国にはまだ事業化に至っていない優れた技術シーズが数多くある。イノベーションは、技術シーズが企業や研究機関など様々な主体の取り組みにより、事業化に「橋渡し」されることで、初めて生み出されるものである。その意味で、革新的な技術シーズを迅速に事業化につなげていくための「橋渡し」機能の強化によるイノベーション・ナショナルシステムの構築が、我が国の産業競争力を決定づける非常に重要な要素となっている。

こうした中、我が国としても「橋渡し」機能の抜本的強化が必要との認識の下、経済産業省の産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・評価小委員会の「中間とりまとめ」（平成26年6月）において我が国のイノベーションシステム構築に向けての提言がなされ、「日本再興戦略」改訂2014（平成26年6月24日）及び「科学技術イノベーション総合戦略2014」（平成26年6月24日）においては、産総研及び新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）において「橋渡し」機能強化に先行的に取り組む、これらの先行的な取り組みについて、適切に進捗状況の把握・評価を行い、その結果を受け、「橋渡し」機能を担うべき他の研究開発法人に対し、対象分野や各機関等の業務の特性等を踏まえ展開することとされている。

加えて、「まち・ひと・しごと創生総合戦略」（平成26年12月27日閣議決定）においては、地域イノベーションの推進に向けて、公設試験研究機関（公設試）と産総研の連携による全国レベルでの「橋渡し」機能の強化を行うこと等を通じて中堅・中小企業が先端技術活用による製品や生産方法の革新等を実現する仕組みを構築す

ることとされている。

また、地質情報や計量標準等の知的基盤は、国民生活・社会経済活動を支える重要かつ不可欠な基盤であり、国の公共財として国民生活の安全・安心の確保やイノベーション促進、中堅・中小企業のものづくり基盤等、国民生活や社会経済活動を幅広く支えており、社会資本と同様に国の責務として整備すべきソフトインフラである。

中でも地質情報については、東日本大震災以降レジリエントな防災・減災機能の強化の必要性が高まる中、その重要性が再認識されているところである。また、計量標準については、イノベーション創出の基盤であり、昨今の高度化する利用者ニーズへの対応を図ることが求められている。

さらに、産総研は、「特定国立研究開発法人による研究開発等の促進に関する特別措置法」（平成28年法律第43号）により、平成28年10月1日から特定国立研究開発法人（以下「特定法人」という。）に指定されることとなった。このため、特定法人として、同法の目的である「世界最高水準の研究開発の成果の創出並びにその普及及び活用の促進を図り、もって国民経済の発展及び国民生活の向上に寄与する」ことが期待されており、具体的には、同法に基づき策定された「基本方針」により、以下を基本的な方向とする取り組み等を特定法人として進めることが求められている。

- ・ 国家戦略に基づき世界最高水準の研究成果を創出、普及及び活用の促進、国家的課題の解決を先導
- ・ 我が国全体のイノベーションシステムを強力に牽引する中核機関として、産学官の人材、知、資金等の結集する場の形成を先導
- ・ 制度改革等に先駆的に取り組み、他の国立研究開発法人をはじめとする研究機関等への波及・展開を先導
- ・ 法人の長の明確な責任の下、迅速、柔軟かつ主体的・自律的なマネジメントの確保

こうしたイノベーションを巡る世界的潮流や国家戦略等を踏まえ、産総研の平成27年度から平成31年度までの新たな中長期目標期間においては、以下の通り取り組む。

第一に、産業技術政策の中核の実施機関として、革新的な技術シーズを事業化に繋ぐ「橋渡し」の役割を果たすことを目指す。このため、技術シーズを目的に応じて骨太にする「橋渡し」研究前期及び実用化や社会での活用のための「橋渡し」研究後期に取り組むとともに、「橋渡し」研究の中で必要となった基礎研究及び将来の「橋渡し」の芽を生み出す基礎研究を目的基礎研究として推進する。この「橋渡し」については、これまでの産総研における取り組み方法の変革が求められること、我が国のイノベーションシステムの帰趨にも影響を与えること、所内でも多くのリソースを投入し取り組むことが不可欠であることから、最重要の経営課題と位置づけて取り組む。また、地域イノベーションの推進に向けて、

公設試等とも連携し、全国レベルでの「橋渡し」を行うものとする。さらに、産総研が長期的に「橋渡し」の役割を果たしていくため、将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出す目的基礎研究にも取り組む。

第二に、地質調査及び計量標準に関する我が国における責任機関として、今時の多様な利用者ニーズに応えるべく、当該分野における知的基盤の整備と高度化を国の知的基盤整備計画に沿って実施する。また、新規技術の性能・安全性の評価技術や標準化等、民間の技術開発を補完する基盤的な研究開発等を実施する。

第三に、これらのミッションの達成に当たって、新たな人事制度の導入と積極的な活用等を通じて研究人材の拡充と流動化、育成に努めるとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図る。

I. 研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上に関する事項

第4期中長期目標期間においては、研究開発の成果の最大化その他の業務の質の向上のため、以下のとおり、「橋渡し」機能の強化及び地質調査、計量標準等の知的基盤の整備を推進するとともに、これらの実現のため業務横断的に研究人材の拡充、流動化、育成及び組織の見直しに取り組む。

特に研究組織に関しては、①融合的研究を促進し、産業界が将来を見据えて産総研に期待する研究ニーズに応えられるよう、また、②産業界が自らの事業との関係で産総研の研究内容を分かり易くし、活用につながるよう、次の7つの領域を設ける。領域の下には研究ユニット（研究部門および研究センター）を配置し、研究開発等の業務は各研究ユニットにおいて実施する。

また、産総研の強み等も踏まえ、同期間に重点的に推進する研究開発等は、別表1に掲げるとおりとともに、領域を一定の事業等のまとまりと捉え、評価を実施する。（評価軸や評価指標については本文中項目ごとに記載）

(1) エネルギー・環境領域

エネルギー・環境問題の解決に欠かせない技術を提供することを目指し、新エネルギーの導入を促進する技術、エネルギーを高密度で貯蔵する技術、エネルギーを効率的に変換・利用する技術、エネルギー資源を有効活用する技術、及び環境リスクを評価・低減する技術を開発する。

(2) 生命工学領域

健康長寿社会を実現するための技術を開発することを目指し、創薬基盤技術、医療基盤・ヘルスケア技術、及び生物機能活用による医薬原材料等の物質生産技術を開発する。

(3) 情報・人間工学領域

産業競争力の強化と豊かで快適な社会の実現に繋がる人間に配慮した情報技術を提供することを目指し、情報技術の研究と人間工学の研究を統合し、ビッグデータから価値を創造する人工知能技術、産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステム技術、快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術、産業と生活に革新的変革を実現するロボット技術を開発する。

(4) 材料・化学領域

最終製品の競争力の源となる革新的部材・素材を提供することを目指し、材料の研究と化学の研究を統合し、グリーンサステイナブルケミストリーの推進及び化学プロセスイノベーションの推進に取り組むとともに、ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術、新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料、及び省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材を開発する。

(5) エレクトロニクス・製造領域

世界をリードする電子・光デバイス技術と革新的な製造技術を開発することを目指し、エレクトロニクスの研究と製造技術の研究を統合し、情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術、もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術、ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術、及び多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術を開発する。

(6) 地質調査総合センター

地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備、レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価、地圏の資源と環境に関する評価と技術の開発、及び地質情報の管理と社会利用促進を行う。

(7) 計量標準総合センター

計量標準の整備と利活用促進、法定計量業務の実施と人材の育成、計量標準の普及活動、及び計量標準に関連した計測技術の開発を行う。

1. 「橋渡し」機能の強化

「橋渡し」機能については、将来の産業ニーズを踏まえた目的基礎研究を通じて革新的な技術シーズを次々と生みだし、これを磨き上げ、さらに橋渡し先として最適な企業と連携して、コミットメントを得た上で共に研究開発を進めて事業化にまで繋げることが求められるものであり、当該機能は、広範な産業技術の各分野に関して深い専門的知見と基礎研究から製品化に至る幅広いリソース、産業界をはじめとした関係者との広範なネットワ

ーク、さらに大規模な先端設備等を有する我が国を代表する総合的な国立研究開発法人である産総研が、我が国の中核機関となって果たすべき役割である。

産総研は、これまでも、基礎研究段階の技術シーズを民間企業等による事業化が可能な段階にまで発展させる「橋渡し」の役割を、様々な分野で行ってきたところであるが、第4期中長期目標期間中にこの「橋渡し」機能を抜本的に強化することを促すため、同目標期間の終了時（平成32年3月）までに、受託研究収入等に伴う民間資金獲得額を、現行の3倍以上とすることを目標として掲げ、以下の取り組みを行う。なお、当該目標の達成に当たっては、大企業と中堅・中小企業の件数の比率に配慮する。

民間からの資金獲得目標の達成に向けては、年度計画に各領域の目標として設定するとともに、目標達成度を領域への予算配分額に反映させること等を通じて産総研全体として目標を達成するためのPDCAサイクルを働かせる。さらに、領域においては、領域長の下で目的基礎研究、「橋渡し」研究前期、「橋渡し」研究後期、及びマーケティングを一体的かつ連続的に行うことで目標達成に向けた最適化を図る。

【目標】

本目標期間の終了時（平成32年3月）までに、民間企業からの資金獲得額として、受託研究収入等を、現行（46億円／年）の3倍（138億円／年）以上とすること、及び、産総研が認定した産総研技術移転ベンチャーに対する民間からの出資額を、現行（3億円／年）の3倍（9億円／年）以上とすることを最も重要な目標とする。

【重要度：高】【優先度：高】

本目標期間における最重要の経営課題である「橋渡し」に係るものであり、また、我が国のイノベーションシステムの帰趨にも影響を与えるものであるため。

【難易度：高】

マーケティング力の強化、大学や他の研究機関との連携強化、戦略的な知的財産マネジメント等を図ることが必要であり、これまでの産総研における取り組み方法の変革が求められるため。

併せて、一定金額規模以上の橋渡し研究を企業と実施した案件については、正確な事実を把握し、PDCAサイクルの推進を図るため、その後の事業化の状況（件数等）の把握を行う。

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

「橋渡し」機能を持続的に発揮するには、革新的な技術シーズを継続的に創出することが重要である。このための目的基礎研究について、将来の産業ニーズや内外の研究動向を的確に踏まえ、産総研が優先的に取り組むべきものとなっているかを十分精査して研究テーマを設定した上で、外部からの技術シーズの取り込

みや外部人材の活用等も図りつつ、積極的に取り組む。また、従来から行ってきた研究テーマについては、これまで世界トップレベルの成果を生み出したかという観点から分析・検証して世界トップレベルを担う研究分野に特化する。

これにより、将来の「橋渡し」研究に繋がる革新的な技術シーズを創出するとともに、特定法人の目指す世界トップレベルの研究機関としての機能の強化を図る。

目的基礎研究の評価においては、将来の橋渡しの基となる革新的な技術シーズを生み出しているかを評価軸とし、具体的な研究開発成果及び論文の合計被引用数を評価指標とする。さらに、研究テーマ設定の適切性、論文発表数及び大学や他研究機関との連携状況を評価の際のモニタリング指標として用いる。また、知的財産創出の質的量的状況も考慮する。

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

将来の産業ニーズや技術動向を予測し、企業からの受託研究に結びつくよう研究テーマを設定し、必要な場合には国際連携も行いつつ、国家プロジェクト等の外部資金も活用して研究開発を実施する。

「橋渡し」研究前期の評価においては、民間企業からの受託研究等に将来結びつく研究開発に取り組んでいるかを評価軸とし、具体的な研究開発成果及び知的財産創出の質的量的状況を評価指標とする。さらに、テーマ設定の適切性及び戦略的な知的財産マネジメントの取り組み状況等を評価の際のモニタリング指標として用いる。

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

「橋渡し」研究後期においては、事業化に向けた企業のコミットメントを最大限高める観点から、企業からの受託研究等の資金を獲得した研究開発を基本とする。

産総研全体の目標として前述の通り民間資金獲得額138億円／年以上を掲げる。「橋渡し」研究後期の評価においては、民間企業のコミットメントを最大限に高めて研究開発に取り組んでいるかを評価軸とし、民間資金獲得額及び具体的な研究開発成果を評価指標とする。さらに、戦略的な知的財産マネジメントの取り組み状況を評価の際のモニタリング指標として用いる。

(4) 産総研技術移転ベンチャー支援の強化

先端的な研究成果をスピーディーに社会に出していくため、産総研技術移転ベンチャーの創出・支援を進める。評価に当たっては産総研技術移転ベンチャーに対する民間からの出資額を評価指標とする。

(5) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

企業からの技術的な相談に対して、研究開発の実施による対応のみならず、産総研の技術的なポテンシャルを活かした指導助言等の実施についても、適切な対価を得つつ積極的に推進する。具体的には、受託研究等に加えて、産総研が有する技術の強みを活かした指導助言等を実施する制度を拡充し、技術面からのコンサルティングを通じて適切な対価を得つつ民間企業への「橋渡し」を支援する。これにより、研究開発から事業化に至るまで切れ目のない連続的な技術支援に資する「橋渡し」機能の一層の強化を目指す。評価に当たっては、コンサルティングが産総研の「橋渡し」機能の一部として重要な役割が期待されることから、得られた収入は評価指標である民間資金獲得額の一部として取り扱う。

(6) マーケティング力の強化

橋渡し機能の強化に当たっては、①目的基礎研究を行う際に、将来の産業や社会ニーズ、技術動向等を予想して研究テーマを設定する、②「橋渡し」研究前期を行う際に、企業からの受託に繋がるレベルまで行うことを目指して研究内容を設定する、③「橋渡し」研究後期で橋渡し先を決定する際に、法人全体での企業からの資金獲得額の目標達成に留意しつつ、事業化の可能性も含め最も経済的効果の高い相手を見つけ出し事業化に繋げる、④保有する技術について幅広い事業において活用を進める、という4つの異なるフェーズでのマーケティング力を強化する必要がある。

これら4フェーズにおけるマーケティング力を強化するためには、マーケティングの専門部署による取り組みに加え、各研究者による企業との意見交換を通じたの取り組み、さらには、研究所や研究ユニットの幹部による潜在的な顧客企業経営幹部との意見交換を通じたの取り組みが考えられるが、これらを重層的に組合せ、組織的に、計画的な取り組みを推進する。すなわち、マーケティングの中核たる研究ユニットの研究職員は、上記①～④を念頭に置き、学会活動、各種委員会活動、展示会等あらゆる機会を捉えて技術動向、産業動向、企業ニーズ、社会ニーズ等の情報を収集し、普段から自分自身の研究をどのように進めれば事業化に繋がるかを考えつつ研究活動を行う。さらに、マーケティングを担う専門人材（イノベーションコーディネータ）と連携したチームを構成し、企業との意見交換等を通じて、民間企業の個別ニーズ、世界的な技術動向や地域の産業動向などを踏まえた潜在ニーズ等の把握に取り組む。収集したマーケティング情報は各領域がとりまとめ、領域の研究戦略に反映する。また、領域や地域センターを跨ぐ横断的なマーケティング活動を行う専門部署を設置し、マーケティング情報を領域間で共有する。さらに、マーケティング情報に基づき、領域をまたぐ研究課題に関する研究戦略や連携戦

略の方向性に反映する仕組みを構築する。加えて、産総研と民間企業の経営幹部間の意見交換を通じたマーケティングも行い、研究戦略の立案に役立てるとともに、包括的な契約締結等への展開を図る。

なお、イノベーションコーディネータは研究職員のマーケティング活動に協力して、民間企業のニーズと産総研のポテンシャルのマッチングによる共同プロジェクトの企画、調整を行い、民間資金による研究開発事業の大型化を担う者として位置づける。マッチングの成功率を上げるため、研究ユニットや領域といった研究推進組織内へのイノベーションコーディネータの配置を進めるとともに、それぞれが担当する民間企業を定めて相手からの信頼を高める。イノベーションコーディネータに要求される資質として、民間企業、外部研究機関等の多様なステークホルダーに対応できる経験や、人的ネットワークなどを有することが求められることから、内部人材の育成に加え、外部人材を積極的に登用して、その専門性に適した人材の強化を図る。

(7) 大学や他の研究機関との連携強化

産総研が自ら生み出した技術シーズのみならず、大学や他の研究機関（大学等）の基礎研究から生まれた優れた技術シーズを汲み上げ、その「橋渡し」を進める。これまで大学や他の研究機関との共同研究や兼業等の制度を用いて連携に取り組んできたが、さらに平成26年度に導入したクロスアポイントメント制度等も積極的に活用し、基礎研究、応用研究・開発、実証、事業化といった各段階において他の機関に所属する優秀な人材を取り込んで最大限に活用する。これにより、組織間の連携推進を実効的に進めるとともに、多様な連携の方策から最適な仕組みを選びつつ推進する。これに加えて大学等との連携強化を図るため、大学等の研究室単位での産総研への受け入れ、産総研の研究室の大学内もしくは隣接地域等へする「オープンイノベーションアリーナ（OIA）」を平成28年度からの5年間で10拠点形成することを目指し、本目標期間中に積極的に形成に取り組む。

クロスアポイントメント制度の活用については、「橋渡し」機能の強化を図る観点に加え、高度研究人材の流動性を高める観点から重要であることを踏まえ、積極的な推進を図る。

(8) 戦略的な知的財産マネジメント

「橋渡し」機能の強化に当たっては、研究開発によって得られた知的財産が死蔵されることがなく幅広く活用され、新製品や新市場の創出に繋がっていくことが重要であり、戦略的な知的財産マネジメントが鍵を握っている。

このため、まず優れた研究成果について、特許化す

るか営業秘密とするかも含め、戦略的に取り扱うこととし、いたずらに申請件数に拘ることなく、質と数の双方に留意して、「強く広い」知財を取得する。

また、積極的かつ幅広い活用を促進する観点から、受託研究の成果も含め、原則として研究を実施した産総研が知的財産権を所有し、委託元企業に対しては当該企業の事業化分野における独占の実施権を付与することを基本とする。具体的には、民間企業等のニーズを踏まえて民間企業が活用したい革新的技術や産業技術基盤に資する技術を創出するために、マーケティングにより把握した産業動向や技術動向に加えて特許動向などの知的財産情報を活用し、オープン&クローズ戦略に基づいた研究の実施と研究成果の戦略的な権利化を進める。なお、企業からの受託研究の成果ではない共通基盤的な技術については非独占的な知的財産権の実施許諾や国際標準への組み込みによる成果普及を目指す等、知的財産の戦略的活用を図る。

さらに、これらの取り組みのため、知的財産や標準化の知見と研究開発に関する知見の双方を有するパテントオフィサーを、領域およびイノベーション推進本部に配置し、知的財産活用化に向けた体制の強化を図る。パテントオフィサーは、知的財産情報の分析支援や、それに基づく領域の知的財産戦略の策定に取り組む。また、パテントオフィサーを中心とした会議体を設置し、知的財産の創出、活用、並びに技術移転を連続的・一体的にマネジメントすることにより、民間企業への「橋渡し」の最大化を目指す。

(9) 地域イノベーションの推進等

① 地域イノベーションの推進

産総研のつくばセンター及び全国8カ所の地域センターにおいて、公設試等と密接に連携し、地域における「橋渡し」を推進する。特に、各都道府県に所在する公設試に産総研の併任職員を配置することなどにより、公設試と産総研の連携を強化し、橋渡しを全国レベルで行う体制の整備を行う。具体的には、産総研職員による公設試への出向、公設試職員へのイノベーションコーディネータの委嘱等の人事交流を活かした技術協力を推進し、所在地域にこだわることなく関係する技術シーズを有した研究ユニットと連携して、地域中堅・中小企業への「橋渡し」等を行う。加えて、公設試の協力の下、産総研の技術ポテンシャルとネットワークを活かした研修等を実施し、地域を活性化するために必要な人材の育成に取り組む。

さらに、第4期中長期目標期間の早期の段階で、地域センターごとに「橋渡し」機能の進捗状況の把握・評価を行った上で、橋渡し機能が発揮できない地域センターについては、他地域からの人材の異動と併せて地域の優れた技術シーズや人材を他機関から補強することにより研究内容の強化を図る。その上で、将来的

に効果の発揮が期待されない研究部門等を縮小若しくは廃止する。

② 福島再生可能エネルギー研究所の機能強化

平成26年4月に開所した福島再生可能エネルギー研究所については、これまで国や福島県の震災復興の基本方針に基づいて整備が行われてきたところ、エネルギー産業・技術の拠点として福島の発展に貢献するため、再生可能エネルギー分野における世界最先端で、世界に開かれた研究拠点を目指し、引き続き、当該分野に関する研究開発に注力する。また、地元企業が有する技術シーズ評価を通じた技術支援及び地元大学等との連携による産業人材育成に取り組むことにより、地元企業等への「橋渡し」を着実に実施するとともに、全国レベルでの「橋渡し」を推進する。さらに、発電効率の極めて高い太陽電池や世界第3位の地熱ポテンシャル国であることを活かした大規模地熱発電、再生可能エネルギーの変動を大幅緩和するエネルギー貯蔵システム等の再生可能エネルギーに関する世界最先端の研究開発・実証拠点を目指し強化を図る。強化に当たっては、東日本大震災復興関連施策の動向等を踏まえつつ、それまでの取り組みの成果を評価した上で、平成27年度中にその具体的な強化内容を明らかとし、残りの中長期目標期間において取り組む。

(10) 世界的な産学官連携拠点の形成

世界的な競争が激しく、大規模な投資が不可欠となる最先端の設備環境下での研究が重要な戦略分野については、国内の産学官の知を糾合し、事業化への「橋渡し」機能を有する世界的な産学官連携拠点の形成を、産総研を中核として進め、国全体として効果的かつ効率的な研究開発を推進する。

特に、オープンイノベーションに繋がる研究開発の推進拠点である TIA については、融合領域における取り組み、産業界への橋渡し機能の強化等により、一層の強化を図る。具体的には、①TIA でこれまでに作った技術シーズの「橋渡し」、②新たな次世代技術シーズの創生、③オープンイノベーション推進のためのプラットフォーム機能の強化に取り組む。このため、他の TIA 中核機関（物質・材料研究機構、筑波大学、高エネルギー加速器研究機構）や大学等と連携して、材料研究からシステム開発に至る総合的なナノテクノロジー研究開発プラットフォームを整備して、これを外部ユーザーにワンストップで提供し、拠点の利便性を向上させる。また、拠点運営機能にマーケティング機能を付加し、拠点を活用する産学官連携プロジェクトや事業化開発を企画提案することにより、研究分野間・異業種間の融合を促進してイノベーションシステムを駆動させる。さらに、上記のプラットフォームを活用する人材育成の仕組みを強化し、これを国内外に

提供して国際的な人材流動の拠点を目指す。

(11)「橋渡し」機能強化を念頭に置いた領域・研究者の評価基準の導入

「橋渡し」研究では事業化に向けた企業のコミットメント獲得が重要であることから、「橋渡し」研究を担う領域の評価を産総研内で行う場合には、産業界からの資金獲得の増加目標の達成状況を最重視して評価し、資金獲得金額や受託件数によって、研究資金の配分を厚くするなどのインセンティブを付ける。但し、公的研究機関としてのバランスや長期的な研究開発の実施を確保する観点から、インセンティブが付与される産業界からの資金獲得金額や受託件数に一定の限度を設ける。また、具体的な評価方法を定めるにあたっては、一般に一社当たりの資金獲得金額は小さい一方、事業化に関しては大企業以上に積極的である中堅・中小企業からの受託研究等の取り扱いや、研究分野毎の特性に対する考慮などを勘案した評価方法とする。

他方、領域内の各研究者の評価については、目的基礎研究や「橋渡し」研究前期で革新的な技術シーズの創出やその磨き上げに取り組む研究者と、「橋渡し」研究後期で個別企業との緊密な関係の下で研究開発に従事する研究者がおり、研究段階によっては論文や特許が出せない場合もあること等を踏まえる必要がある。このため、目的基礎研究は優れた論文や強い知財の創出（質及び量）、「橋渡し」研究前期は強い知財の創出（質及び量）等、「橋渡し」研究後期は産業界からの資金獲得を基本として評価を行うなど、各研究者が研究開発に必要な多様な業務に意欲的に取り組めるよう、研究職員の個人評価においては各研究者の携わる研究段階・研究特性を踏まえて適切な評価軸を設定して行う。こうした評価の結果に対しては研究職員の人事や業績手当への反映等の適正なインセンティブ付与を行い、結果として、研究職員が互いに連携し、領域全体として効果的な「橋渡し」が継続的に実施されるよう努める。さらに、個人の業績に加えて、研究ユニット、研究グループ等に対する支援業務、他の研究職員への協力等の貢献、マーケティングに関わる貢献も重視する。こうして領域全体として効果的な「橋渡し」が継続的に実施されるよう取り組む。

(12)追加的に措置された交付金

平成27年度補正予算（第1号）により追加的に措置された交付金については、「一億総活躍社会の実現に向けて緊急に実施すべき対策」の生産性改革の実現及び「総合的な TPP 関連政策大綱」のイノベーション等による生産性向上促進のために措置されたことを認識し、IoT 等先端技術の研究開発環境整備事業のために活用する。

平成28年度補正予算（第2号）により追加的に措置

された交付金については、「未来への投資を実現する経済対策」の21世紀型のインフラ整備のために措置されたことを認識し、人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業のために活用する。

2. 地質調査、計量標準等の知的基盤の整備

我が国の経済活動の知的基盤である地質調査や計量標準等は、資源確保に資する探査・情報提供や産業立地に際しての地質情報の提供、より正確な計測基盤を産業活動に提供する等の重要な役割を担っており、我が国における当該分野の責任機関として、これらの整備と高度化を通じて我が国の産業基盤を引き続き強化する。その際、他の研究機関等との連携も積極的に図るとともに、国の知的基盤整備計画に基づいて知的基盤の整備を進め、その取り組み状況等を評価する。こうした業務への貢献を産総研内で評価する場合には、「橋渡し」とは異なる評価をしていくことが必要かつ重要であり、各ミッションに鑑み、最適な評価基準を適用する。知的基盤整備の評価においては、国の知的基盤整備計画に基づいて着実に知的基盤の整備に取り組んでいるか、及び計量法に関わる業務を着実に実施しているかを評価軸とし、地質図・地球科学図等の整備状況、計量標準及び標準物質の整備状況、及び計量法に係る業務の実施状況を指標とする。さらに、地質情報の普及活動の取り組み状況、計量標準の普及活動の取り組み状況を評価の際のモニタリング指標として用いる。さらに、国が主導して平成26年度から毎年定期的に行うことになった知的基盤整備計画の見直しとも連動し、PDCA サイクルを働かせる。

【目標】

国の知的基盤整備計画に基づき知的基盤の整備を進める。

【重要度：高】【優先度：高】【難易度：中】

地質情報や計量標準等の知的基盤は、国民生活・社会経済活動を支える重要かつ不可欠な基盤であり、産総研は我が国における責任機関として知的基盤整備計画に基づく着実な取り組みが求められているため。

3. 業務横断的な取り組み

(1) 研究人材の拡充、流動化、育成

上記1. 及び2. に掲げる事項を実現するとともに、技術経営力の強化に資する人材の養成を図るため、以下の取り組みにより、研究人材の拡充と流動化、育成に努める。

第一に、橋渡し研究の実施はもとより、目的基礎研究の強化の観点からも、優秀かつ多様な若手研究者の確保・活用は極めて重要であり、クロスアポイント制度や大学院生等を研究者として雇用するリサーチアシスタント制度の積極的かつ効果的な活用を図る。また、現在、新規研究者採用においては、原則として任期付

研究員として採用し、一定の研究経験の後に、いわゆるテニユア審査を経て定年制研究員とするとの運用がなされているが、採用制度の検討・見直しを行い、優秀かつ多様な若手研究者の一層の確保・活用に向けた仕組みの構築を進める。例えば産総研においてリサーチアシスタントやポスドクを経験して既に高い評価を得ている者、極めて優れた研究成果を既に有している者、及び極めて高い研究能力を有すると判断できる者については、テニユア化までの任期を短縮する、もしくは直ちにテニユア職員として採用するなど、優秀な若手研究者の確保・活用の観点から柔軟性を高めた採用制度を検討し、平成27年秋の新入職員採用試験から導入する。

また、研究者の育成においては、Eラーニングを含む研修等により、研究者倫理、コンプライアンス、安全管理などの基礎知識や、職責により求められるマネジメントや人材育成の能力の取得、連携マネジメント等の多様なキャリアパスの選択を支援する。

さらに、産総研における研究活動の活性化に資するだけでなく、民間企業等への人材供給を目指し、実践的な博士人材等の育成に積極的に取り組む。具体的には、産総研イノベーションスクールの実施やリサーチアシスタント制度の積極活用等を通して、産業界が関与するプロジェクト等の実践的な研究開発現場を経験させるとともに、事業化に係る人材育成プログラムなどを活用することによって、イノベーションマインドを有する実践的で高度な博士研究人材等の育成を進める。産総研イノベーションスクールにおいては、広い視野とコミュニケーション能力を身につけるための講義と演習、産総研での研究実践研修、民間企業インターンシップ等の人材育成を実施し、民間企業等にイノベティブな若手博士研究者等を輩出する。

第二に、特に、「橋渡し」機能の強化に向けたマーケティング機能強化に当たっては、内部人材の育成に加え、企業等外部人材を積極的に登用する。

第三に、「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員の重要性が増大する中、こうした職員の将来のキャリアパス構築も重要であり、優れた「橋渡し」研究能力やマーケティング能力を有する職員については、60歳を超えても大学教員になる場合と比べ遜色なく、その能力と役割を正当に評価した上で処遇を確保する人事制度（報酬・給与制度を含む）等の環境整備を進める。

第四に、ワーク・ライフ・バランスを推進し、男女がともに育児や家事負担と研究を両立するための具体的な方策、女性の登用目標や必要に応じた託児施設等の整備、在宅勤務制度の試行的導入等を含む具体的なプログラムの策定等を行い、女性のロールモデル確立と活用を増大させるための環境整備・改善に継続的に取り組む。

(2) 組織の見直し

上記に掲げる事項を実現するため、本部組織と各領域等との役割・責任関係のあり方も含め、現在の組織・制度をゼロベースで見直し、目的基礎研究から実用化までの「橋渡し」を円滑かつ切れ目無く実施する。具体的には、研究組織をI.の冒頭に示した7領域に再編したうえで各領域を統括する領域長には「1.『橋渡し』機能の強化」を踏まえた目標を課すとともに、人事、予算、研究テーマの設定等に関わる責任と権限を与えることで領域長が主導する研究実施体制とする。領域内には領域長の指揮の下で研究方針、民間企業連携など運営全般に係る戦略を策定する組織を設ける。戦略策定に必要なマーケティング情報を効果的かつ効率的に収集・活用するため、この組織内にイノベーションコーディネータを配置し、研究ユニットの研究職員と協力して当該領域が関係する国内外の技術動向、産業界の動向、民間企業ニーズ等の把握を行う。領域の下に研究開発を実施する研究ユニットとして研究部門及び研究センターを配置する。このうち研究センターは「橋渡し」研究後期推進の主軸となり得る研究ユニットとして位置づけを明確にし、研究センター長を中核として強力なリーダーシップと的確なマネジメントの下で研究ユニットや領域を超えて必要な人材を結集し、チームとして「橋渡し」研究に取り組める制度を整備する。また、研究センターにおいては、「橋渡し」研究に加え、将来の「橋渡し」につながるポテンシャルを有するものについては、目的基礎研究も実施する。

また、産学官連携や知財管理等に係るイノベーション推進本部等の本部組織についても、領域との適切な分担をし、産総研全体として「橋渡し」機能の強化に適した体制に見直す。「橋渡し」の一環で実施する産学官連携等については、産業界のニーズ把握と大学等の有する技術シーズの分析を行い、それらのマッチングにより課題解決方策の検討と研究推進組織に対して、研究計画の設計まで関与できる専門人材を強化するため、内部人材を育成するとともに、外部人材を積極的に登用する。

さらに、機動的に融合領域の研究開発を推進するための予算を本部組織が領域に一定程度配分できるようにするとともに、研究立案を行うために必要に応じて本部組織にタスクフォースを設置できるようにする。

(3) 特定法人として特に体制整備等を進めるべき事項

① 理事長のマネジメントの裁量の確保・尊重

理事長が国内外の諸情勢を踏まえて産総研全体の見地から迅速かつ柔軟に運営・管理することが可能な体制を確保する。

② 世界最高水準の研究開発等を実施するための体制の強化

- ・国際的に卓越した能力を有する人材を確保・育成するための体制

特に世界的な競争の激しい研究領域を中心として、世界最高水準で挑戦的な研究開発を実施するため、若手、女性、外国人研究者を含む国内外の多様なトップ・新進気鋭の研究者や優れた技術を集結させる体制を整備する。

- ・研究者が研究開発等の実施に注力するための体制

研究者の研究上の定型作業、施設・整備の維持管理、事務作業に係る負担を軽減するため、これらの作業の効率化や改善を一層進めるとともに、研究者が研究に専念できる環境を確保するための仕組みや体制を整える。

- ・国内外機関との産学官連携・協力の体制や企画力の強化

世界最高水準の研究開発成果の創出、成果の「橋渡し」の実現に向け、大学、産業界及び海外の研究開発機関等との連携・協力を推進する。また、内部人材の育成に加え、企業等外部人材を積極的に登用するなど、外部との連携や技術マーケティング等にも総合的に取り組むための企画・立案機能の強化等を図る。

- ・国際標準化活動を積極的に推進するための体制

技術的知見が活用できるテーマであり、かつ、戦略的に重要な研究開発テーマや産業横断的なテーマについて、標準化を通して産業競争力を強化する「橋渡し」役を担うべく、民間企業等と連携して国際標準化活動を推進するための体制を整備する。

- ③適正な研究開発等の実施を確保するための体制の充実

国民の負託を受けて信頼ある研究開発を実施していくために、国の指針等を踏まえ、適切な法令遵守・リスク管理体制を適切に構築し、その実施状況について適切な方法により社会に発信する。

II. 業務運営の改善及び効率化に関する事項

1. 研究施設の効果的な整備と効率的な運営

我が国のオープンイノベーションを推進する観点、さらには「橋渡し」機能の強化を図る観点から、産学官が一体となって研究開発を行うための施設や仕組み等を戦略的に整備・構築するとともに、それら施設等の最大限の活用を推進する。

2. PDCA サイクルの徹底

各事業については厳格な評価を行い、不断の業務改善を行う。評価に当たっては、外部の専門家・有識者を活用するなど適切な体制を構築する。また、評価結果をその後の事業改善にフィードバックするなど、PDCA サイクルを徹底する。

3. 適切な調達の実施

調達案件については、一般競争入札等（競争入札及び企画競争・公募をいい、競争性のない随意契約は含まない。）について、真に競争性が確保されているか、主務大臣や契約監視委員会によるチェックの下、契約の適正化を推進する。「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」（平成25年12月24日閣議決定）を踏まえ、一般競争入札を原則としつつも、研究開発型の法人としての特性を踏まえ、契約の相手方が特定される場合など、随意契約できる事由を会計規程等において明確化し、「調達等合理化計画」に基づき公正性・透明性を確保しつつ合理的な調達を実施する。

第3期から継続して契約審査体制のより一層の厳格化を図るため、産総研外から採用する技術の専門家を契約審査に関与させ、調達請求者が要求する仕様内容・調達手段についての技術的妥当性を引き続き検討するとともに、契約審査の対象範囲の拡大に向けた取り組みを行う。

4. 業務の電子化に関する事項

電子化の促進等により事務手続きの簡素化・迅速化を図るとともに、利便性の向上に努める。また、幅広いICT 需要に対応できる産総研内情報ネットワークの充実を図る。情報システム、重要情報への不正アクセスに対する十分な強度を確保するとともに、震災等の災害時への対策を確実にを行うことにより、業務の安全性、信頼性を確保する。

5. 業務の効率化

運営費交付金を充当して行う事業は、新規に追加されるもの、拡充分等は除外した上で、一般管理費（人件費を除く。）及び業務費（人件費を除く。）の合計については前年度比1.36%以上の効率化を図るものとする。ただし、平成27年度及び28年度においては、平成27年4月作成における業務の効率化「一般管理費は毎年度3%以上を削減し、業務経費は毎年度1%以上を削減するものとする。」に基づく。

なお、人件費の効率化については、政府の方針に従い、必要な措置を講じるものとする。給与水準については、ラスパイレス指数、役員報酬、給与規程、俸給表及び総人件費を公表するとともに、国民に対する説明責任を果たすこととする。

III. 財務内容の改善に関する事項

運営費交付金を充当して行う事業については、本中長期目標で定めた事項に配慮した中長期計画の予算を作成し、効率的に運営するものとし、各年度期末における運営費交付金債務に関し、その発生要因等を厳格に分析し、翌年度の事業計画に反映させる。

目標と評価の単位である事業等のまとまりごとにセグメント区分を見直し、財務諸表にセグメント情報として開示する。また、事業等のまとまりごとに予算計画及び

執行実績を明らかにし、著しい乖離がある場合にはその理由を決算書にて説明する。

保有する資産については有効活用を推進するとともに、所定の手続きにより不用と判断したものについては、適時適切に減損等の会計処理を行い財務諸表に反映させる。さらに、適正な調達・資産管理を確保するための取り組みを推進することとし、「平成25年度決算検査報告」（平成26年11月7日）会計検査院）の指摘を踏まえ、関連規程の見直し、研究用備品等の管理の適正化を図るために整備した制度・体制について、フォローアップを実施するとともに、必要に応じて見直しを行う。

「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」（平成25年12月24日閣議決定）等既往の閣議決定等に示された政府方針に基づく取り組みについて、着実に実施する。特に、「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」において、「法人の増収意欲を増加させるため、自己収入の増加が見込まれる場合には、運営費交付金の要求時に、自己収入の増加見込額を充てて行う新規業務の経費を見込んで要求できるものとし、これにより、当該経費に充てる額を運営費交付金の要求額の算定に当たり減額しないこととする。」とされていることを踏まえ、経済産業省から指示された第4期中長期目標の考え方に従って、民間企業等からの外部資金の獲得を積極的に行う。

1. 予算（人件費の見積もりを含む）【別表2】 （参考）

[運営費交付金の算定ルール]

毎年度の運営費交付金（G(y)）については、以下の数式により決定する。

G(y)（運営費交付金）

$$= \{A(y-1) - \delta(y-1)\} \times \alpha \times \beta + B(y-1) \times \varepsilon \} \times \gamma + \delta(y) - C$$

- ・ G(y)は当該年度における運営費交付金額。
- ・ A(y-1)は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費（一般管理費相当分及び業務経費相当分）※のうち人件費相当分以外の分。
- ・ B(y-1)は直前の年度における運営費交付金対象事業に係る経費（一般管理費相当分及び業務経費相当分）※のうち人件費相当分。
- ・ Cは、当該年度における自己収入（受取利息等）見込額。

※運営費交付金対象事業に係る経費とは、運営費交付金及び自己収入（受取利息等）によりまかなわれる事業である。

- ・ α 、 β 、 γ 、 ε については、以下の諸点を勘案した上で、各年度の予算編成過程において、当該年度における具体的な係数値を決定する。

α （効率化係数）：毎年度、前年度比1.36%以上の効率化を達成する。

β （消費者物価指数）：前年度における実績値を使用する。

γ （政策係数）：法人の研究進捗状況や財務状況、新たな政策ニーズや技術シーズへの対応の必要性、経済産業大臣による評価等を総合的に勘案し、具体的な伸び率を決定する。

- ・ $\delta(y)$ については、新規施設の竣工に伴う移転、法令改正に伴い必要となる措置、事故の発生等の事由により、特定の年度に一時的に発生する資金需要について必要に応じ計上する。 $\delta(y-1)$ は、直前の年度における $\delta(y)$ 。
- ・ ε （人件費調整係数）

2. 収支計画【別表3】

3. 資金計画【別表4】

IV. 短期借入金の限度額

（第4期：15,716,781,000円）

想定される理由：年度当初における国からの運営費交付金の受け入れが最大3ヶ月遅延した場合における産総研職員への人件費の遅配及び産総研の事業費支払い遅延を回避する。

V. 不要財産となることが見込まれる財産の処分に関する計画

関西センター尼崎支所の土地（兵庫県尼崎市、16,936.45m²）及び建物について、国庫納付に向け土壌汚染調査など所要の手続きを行う。

VI. 剰余金の使途

剰余金が発生した時の使途は以下の通りとする。

- ・ 重点的に実施すべき研究開発に係る経費
- ・ 知的財産管理、技術移転に係る経費
- ・ 職員の資質の向上に係る経費
- ・ 広報に係る経費
- ・ 事務手続きの一層の簡素化、迅速化を図るための電子化の推進に係る経費
- ・ 用地の取得に係る経費
- ・ 施設の新営、増改築及び改修、廃止に係る経費
- ・ 任期付職員の新規雇用に係る経費 等

VII. その他業務運営に関する重要事項

上記のほか、産総研の運営を一層効果的かつ効率的にするとともに、適切な運営の確保に向けた見直しとして、以下等の取り組みを行う。

1. 広報業務の強化

産総研の研究成果の効率的な「橋渡し」を行うためにも、産総研の主要なパートナーである産業界に対して、

活動内容や研究成果等の「見える化」を的確に図ることが重要であり、広報業務の強化に向けた取り組みを行う。また、「橋渡し」のための技術シーズの発掘や産学官の連携強化等の観点からも、大企業、中小企業、大学・研究機関、一般国民等の様々なセクターに対して産総研の一層の「見える化」につながる取り組みを強化する。

2. 業務運営全般の適正性確保及びコンプライアンスの推進

産総研が、その力を十分発揮し、ミッションを遂行するに当たっては、調達・資産管理、研究情報管理、労務管理、安全管理などを含む業務全般や公正な研究の実施について、その適正性が常に確保されることも必要かつ重要である。このため、研究者中心の組織において業務が適正に執行されるよう、業務執行ルールの不断の見直しに加え、当該ルールの周知徹底、事務職員による研究者への支援・チェックの充実、包括的な内部監査等を効率的・効果的に実施する。

また、コンプライアンスは、産総研の社会的な信頼性の維持・向上、研究開発業務等の円滑な実施の観点から継続的に確保されていくことが不可欠であり、昨今その重要性が急速に高まっている。こうした背景やこれまでの反省点等も踏まえ、コンプライアンス本部長たる理事長の指揮の下、予算執行及び研究不正防止を含む産総研における業務全般の一層の適正性確保に向け、厳正かつ着実にコンプライアンス業務を推進する。

さらに、「橋渡し」機能を抜本的に強化していくに当たっても、適切な理由もなく特定企業に過度に傾注・依存することは避ける必要がある。このため、国内で事業化する可能性が最も高い企業をパートナーとして判断できるような適切なプロセスを内部に構築する。

加えて、コンプライアンス遵守に向けた体制整備等、ガバナンスの強化を図る。具体的には次の措置を講ずるとともに、必要に応じて不断の見直しを行う。

業務執行については、調達・資産管理、委託研究、共同研究、旅費に係るルールを平成26年度に厳格化したところ、毎年度、そのルールを全職員に対し周知徹底する。また、研究ユニットにおける事務手続に対応する支援事務職員を配置する等のサポート体制を維持するとともに、毎年度、その執行状況をチェックする。

同時に、内部監査においても、テーマごとの監査に加え、研究ユニットごとの包括的監査を実施する。

また、研究不正の防止のための研修を毎年度実施するとともに、研究記録の作成、その定期的な確認及びその保存を確実にを行う。

3. 情報セキュリティ対策等の徹底による研究情報の保護

これまでと同様に電子化による業務効率化を推進するが、「サイバーセキュリティ戦略について」（平成27年9

月4日閣議決定）を踏まえ、研究情報等の重要情報を保護する観点から、「政府機関の情報セキュリティ対策のための統一基準」に準拠した情報セキュリティ関連規程類の改訂等を行うとともに、情報セキュリティ委員会に外部の専門家を加えるほか、外部専門家に依頼してチェックを行うなど、情報セキュリティ対策を一層強化する。さらに、これに関わる研修やセルフチェックを通じて情報セキュリティの確保のための対策を職員に徹底する。また、営業秘密の特定及び管理を徹底する。

第4期の早期に情報セキュリティ規程等に基づき情報セキュリティ対策を十分に施した信頼性及び堅牢性の高い情報システム基盤を構築し、維持・向上を図る。

4. 内部統制に係る体制の整備

内部統制については、法人の長によるマネジメントを強化するための有効な手段の一つであることから、「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」（平成26年11月28日付け総務省行政管理局長通知）等に通知した事項を参考にしつつ、内部統制に係る体制の整備を進める。

5. 情報公開の推進等

適正な業務運営及び国民からの信頼を確保するため、適切かつ積極的に情報の公開を行うとともに、個人情報の適切な保護を図る取り組みを推進する。具体的には、「独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律」（平成13年12月5日法律第140号）及び「個人情報の保護に関する法律」（平成15年5月30日法律第57号）に基づき、適切に対応するとともに、職員への周知徹底を行う。

6. 施設及び設備に関する計画

下表に基づき、施設及び設備の効率的かつ効果的な維持・整備を行う。また、老朽化によって不要となった施設等について、閉鎖・解体を計画的に進める。

エネルギー効率の高い機器を積極的に導入するとともに、安全にも配慮して整備を進める。

施設・設備の内容	予定額	財源
<ul style="list-style-type: none"> ・外壁・屋根改修 ・エレベーター改修 ・電力関連設備改修 ・給排水関連設備改修 ・空調関連設備改修 ・研究廃水処理施設改修 ・その他の鉱工業の科学技術に関する研究及び開発、地質の調査、計量の標準、技術の指導、成果の普及等の推進に必要な施設・設備 	総額 41,001百万円	施設整備 費補助金

(注) 中長期目標期間を越える債務負担については、当該債務負担行為の必要性及び資金計画への影響を勘案し、合理的と判断されるものについて行う。

7. 人事に関する計画

(参考1)

期初の常勤役職員数 3,006人

期末の常勤役職員数の見積もり：期初と同程度の範囲を基本としながら、受託業務の規模や専門人材等の必要性等に応じて増員する可能性がある。

(参考2)

第4期中長期目標期間中の人件費総額

中長期目標期間中の常勤役職員の人件費総額見込み
：133,095百万円

(受託業務の獲得状況に応じて増加する可能性がある。)

ただし、上記の額は、役員報酬並びに職員基本給、職員諸手当、超過勤務手当、退職者給与及び国際機関派遣職員給与に相当する範囲の費用である。

8. 積立金の処分に関する事項

なし

《別表1》 第4期中長期目標期間において重点的に推進する研究開発等

1. エネルギー・環境領域

1- (1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発

太陽光についてはコスト低減と信頼性向上を実現するとともに、複合化や新概念に基づく革新太陽電池の創出を図る。また、再生可能エネルギー大量導入のためのエネルギーネットワーク技術、さらには大規模地熱利用技術等にも取り組む。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・国内産業振興に向けて、Si、CIGS等の太陽光発電システムにおける発電コスト低減と信頼性向上を達成する技術を開発する。また、スマートスタック等の先進多接合技術や新概念による発電効率の極めて高い太陽電池を創出し、国際競争力の向上に資する。
- ・再生可能エネルギーの変動を大規模で緩和するための大型パワーコンディショナーの制御技術やエネルギーネットワーク技術を開発する。また、深部超臨界水利用ギガワット級地熱発電等の地熱・地中熱資源の利用技術開発を行う。

1- (2) エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発

再生可能エネルギー等を効率良く水素等の化学エネルギー源に変換し貯蔵・利用する技術を開発すると共に、電源の多様化にむけた車載用、住宅用、産業用の蓄電技

術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・再生可能エネルギー等の長時間貯蔵や海外の未利用エネルギーの輸送に資するエネルギー貯蔵・輸送技術として、メチルシクロヘキサン (MCH)、アンモニア、ギ酸等の水素・エネルギーキャリア高効率利用技術を開発する。また、化学エネルギーの有効利用のための高効率燃料電池や液体燃料利用によるダイレクト燃料電池技術を開発する。
- ・次世代リチウムイオン電池のためのレアメタルフリーの高性能材料を開発すると共に、リチウムイオン電池を越える硫化物電池や全固体型電池等の新概念蓄電技術を開発し、国際競争力の向上に資する。

1- (3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発

省エネルギー社会を実現するために、ワイドギャップ半導体パワーエレクトロニクス技術、熱エネルギーの有効利用技術、自動車用エンジンの高効率燃焼技術、高温超電導コイル化技術等を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・先進的なパワーエレクトロニクス技術確立に向けて、SiCのウェハ高機能化技術、デバイス技術/モジュール化技術とその量産化技術等を開発する。また、パワーエレクトロニクス産業の幅を広げるGa₂N、ダイヤモンドなどポストSiC半導体の材料基盤及びパワーデバイス化技術等を開発する。
- ・未利用熱を有効活用する高効率熱電変換等の排熱利用技術、蓄熱、断熱、ヒートポンプ等を活用した熱マネジメント技術を開発する。また、自動車産業に資するクリーンディーゼル車向け高効率エンジン燃焼のための基盤技術を開発する。省エネルギー電力機器を実現する、高温超電導コイルを開発する。

1- (4) エネルギー資源を有効活用する技術の開発

メタンハイドレート等のエネルギー資源の有効利用にかかわる技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・未利用エネルギー資源の開発・利用を目指して、メタンハイドレート資源からの天然ガス商用生産に必要な基盤技術や、流動層燃焼プロセスを基盤とする褐炭等の低品位炭や非在来型資源等の環境調和型利用技術を開発する。

1- (5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発

産業と環境が共生する社会の実現に向けて、ナノ材料等の環境リスクを分析、評価する技術、レアメタル等の資源循環を進める技術並びに、産業保安を確保するため

の技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・環境の変化を検出するための分析・モニタリング技術を開発するとともに、環境負荷を低減するための水処理監視・制御技術や都市鉱山技術によるレアメタルリサイクル等、資源循環等対策技術の開発を行う。
- ・化学物質や材料、エネルギーを適切に利用するためのリスク評価・管理手法を開発するとともに、産業事故の防止及び被害低減化に向けた技術開発を行う。

2. 生命工学領域

2 - (1) 創薬基盤技術の開発

創薬のリードタイムを短縮するために、古典的新薬探索から脱却し、短時間に低コストで成功率の高い創薬プロセスを実現する創薬最適化技術、ゲノム情報解析技術、バイオマーカーによる疾病の定量評価技術などの新しい創薬の基盤となる技術を開発する。さらに、創薬支援ネットワークにおける技術支援にも取り組む。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・産総研が優位性を有しているバイオと IT を統合した医薬リード化合物最適化技術の高度化・高速化を進め、新薬開発の加速および開発コストの低減に資する創薬基盤技術を開発する。
- ・産総研がもつ優れた糖鎖解析技術や天然物ライブラリー等を用いた解析技術を応用して、疾患に特異的に反応する分子標的薬の開発に資する基盤技術の開発を行う。
- ・生体分子の構造、機能を理解するとともに、得られた知見を活用し、新しい創薬技術基盤、医療技術基盤を開発する。

2 - (2) 医療基盤・ヘルスケア技術の開発

豊かで健康なライフスタイル実現のために、再生医療等の基盤となる細胞操作技術と幹細胞の標準化を行う。また、健康状態を簡便に評価できる技術の開発を行うとともに、生体適合性の高い医療材料や医療機器の研究開発を行う。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・先進医療技術を確立するための基盤となる幹細胞等の細胞操作技術と医療機器・システムの技術開発。さらにガイドライン策定と標準化による幹細胞ならびに医療機器等の実用化支援。
- ・健康状態を簡便に評価する技術や感染症等の検知デバイスの開発を目指して、健康にかかわる分子マーカーや細胞の計測技術、生理状態の計測技術、そのデバイス化技術の研究開発を行う。

2 - (3) 生物機能活用による医薬原材料等の物質生産技

術の開発

遺伝子組換え技術を用いて微生物や植物の物質生産機能を高度化し、医薬原材料等の有用物質を効率的に生産する技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・産総研が有する完全密閉型植物工場やロドコッカス属細菌等を用いたバイオプロセスによる高効率な物質生産技術の開発を進め、医薬原材料、有用タンパク質、生物資材、新機能植物品種、化石燃料代替物質、化成品原料などの有用物質の高効率生産技術開発を行う。

3. 情報・人間工学領域

3 - (1) ビッグデータから価値を創造する人工知能技術の開発

ビッグデータの分析・試験・評価による知的なサービス設計等を支援するため、脳のモデルに基づく人工知能技術や人工知能の活用を促進するプラットフォーム技術など、人工知能が効率良く新たな価値を共創する技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・大量のデータを解析し意味のある情報を引き出して活用する、ビッグデータを用いた人工知能の要素技術に関する研究開発を行う。脳のモデルに基づく脳型人工知能や静的データから得られる知識と動的に得られるデータを融合して学習・理解するデータ知識融合人工知能などの基礎技術の研究を行う。
- ・実世界のビッグデータを収集・蓄積・解析する要素技術の研究を行うとともに、これらをシステム化して人工知能プラットフォームを構築する技術の研究開発を行う。

3 - (2) 産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステム技術の開発

ひと、もの、サービスから得られる情報を融合し、産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステムを実現する統合クラウド技術や軽量でスケラブルなセキュリティ技術、そこから得られるデータをサービスの価値に繋げる技術などを開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・遍在するセンサやロボットなどのエッジデバイスをネットワークして得られる生活や生産の膨大なデータや情報の流通と処理を円滑にすることで、ひと、もの、サービスから新たな価値を創造する統合クラウドを研究開発する。
- ・安心して利用できるサイバーフィジカルシステムを実現するためのセキュリティ基盤として、ソフトウェア工学や暗号技術を用いてシステムの品質と安全性を向上する技術の研究開発する。

3 - (3) 快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発

人間の生理・認知・運動機能などのヒューマンファクターを明らかにし、安全で快適な社会生活を実現するため、自動車運転状態をはじめとする人間活動の測定評価技術を開発する。また、人間の運動や感覚機能を向上させる訓練技術の研究開発を行う。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・ひとの活動の基盤となる様々な状況の認識プロセスを、ひとの感覚やこころの状態、ひとのからだの機能やその状態として測定し、測定結果からひとのこころやからだの状態を評価する技術を開発する。
- ・障がい者や高齢者などが、自らの残存機能を活かして人や社会とのコミュニケーションを実現し、向上させるための機能訓練・機能支援技術の研究開発を行う。

3 - (4) 産業と生活に革新的変革を実現するロボット技術の開発

介護サービス、屋内外の移動支援サービス、製造業など様々な産業においてロボットによるイノベーションの実現をめざし、人間共存型産業用等のロボットや評価基準・評価技術などの関連技術を開発する。また、環境変化に強く自律的な作業を実現するロボット中核基盤技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・高齢者の機能と活動を向上させるため、高齢者の運動・コミュニケーション機能を支援するロボット技術、介護者を支援するロボット技術と生活機能モデルに基づく介入効果の定量評価技術・高齢者支援ロボット技術の基準作成等を行う。
- ・ロボットの空間計測、動作計画、過酷環境移動などのロボットの基盤技術の研究と、生活支援ロボット等における応用研究を行う。

4. 材料・化学領域

4 - (1) グリーンサステイナブルケミストリーの推進

再生可能資源等を用いて、高効率かつ低環境負荷で、各種の基礎及び機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術を確立する。また、空気を新たな資源として利用可能な触媒技術の開発にも取り組む。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・シェールガス等の非在来型資源や、バイオマス等の再生可能資源から、高効率かつ低環境負荷で、各種の基礎及び機能性化学品を製造するため、原料処理、微生物・酵素によるバイオ変換、触媒による精密合成などに関わる技術開発に取り組む。
- ・化学品の高付加価値化や高度利用を目指し、分子や界面の制御、素材の形成・機能化、材料特性評価・標準

化などに関わる技術開発を一体的に進め、機能性化学材料の多様な産業分野への展開に資する。

4 - (2) 化学プロセスイノベーションの推進

各種の基礎及び機能性化学品等の製造プロセスの高効率化・省エネルギー化を実現するための化学プロセス技術を開発する。また、高温・高圧等の特異な反応場を積極的に利活用し、精密な制御が可能な新しい化学プロセス技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・高い効率で機能性化学品などを開発・製造するために、特異空間や特異反応場を利用した高温・高圧技術、マイクロリアクター技術などの開発や、これを支える流体や物性制御の技術開発を通じ、低環境負荷型の反応プロセス技術の基盤を構築する。
- ・基礎及び機能性化学品の製造プロセスの省エネルギー化に貢献するため、高い性能の膜分離や吸着吸収分離などに係る材料・プロセスの開発に取り組み、高機能な分離技術の基盤を構築する。

4 - (3) ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発

ナノカーボン高効率合成及びナノカーボン複合材料製造技術等、ナノ材料のナノ構造精密制御技術や複合化技術、及び先端計測技術を開発する。また、材料・デバイス開発促進のために、高度な計測技術、理論・計算シミュレーションを利用した材料開発を行う。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・CNT 及びグラフェンなどのナノカーボン材料の構造を精密に制御するスーパーグロース法、e-DIPS 法等の製造技術や、CNT の各種分離技術、CNT の複合材料化技術など、省エネルギーに貢献する新素材やフレキシブルデバイス等の新デバイス創出等に資する研究を遂行する。
- ・物質回収や効率的エネルギー利用等に資する材料やデバイス開発のためにナノ粒子やナノ薄膜の微細構造制御や複合化ならびに積層技術、及び先端計測技術を開発する。また、高度な理論・計算シミュレーションを展開し、環境やエネルギーに貢献する次世代材料の開発を加速する。

4 - (4) 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発

無機系新素材の創製とスケールアップ製造技術及び部材化技術を開発し、資源制約の少ない元素だけを使った高耐熱磁石等の、耐環境性及び信頼性に優れた各種の産業部材を提供する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

れる。

- ・新機能粉体の創成及びそのスケールアップ製造技術を開発する。それにより、新機能粉体の実用化を実現する。
- ・新素材のバルク組織化技術を開発する。それにより、耐環境性及び信頼性に優れたエネルギー・環境部材やヘルスケア部材を提供する。

4 - (5) 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発

省エネルギー社会構築を目指し、軽量構造材料などの設計やプロセス技術の開発によって、輸送機器の軽量化に資する構造部材、ならびに広い温度領域を想定し、各温度領域に適した熱制御部材を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・輸送機器の軽量化などで輸送エネルギーの削減に貢献するために、材料創生・加工・評価技術を活用し、信頼性の高い軽量構造材料の開発を行うとともに、実用化に向けた部材化技術、プロセス技術の開発を行う。これをもって省エネルギー社会構築への貢献を目指す。
- ・材料の組織や相、構造を制御することによって、生活環境から工場までの広い温度領域において熱エネルギーを制御する材料を開発するとともに、実用化に向けた部材化技術、高信頼性化技術、プロセス技術の開発を行う。これをもって省エネルギー社会構築への貢献を目指す。

5. エレクトロニクス・製造領域

5 - (1) 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発

情報データの処理量や通信量の増加に対応するため、省電力で高性能な IT 機器を実現する情報処理・記憶デバイス技術とその集積化技術、あるいはフォトニクス関連技術等を開発する。更なる高性能化に向けたポストスケール集積化技術の確立や新しい情報処理技術の創出を目指す。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・大規模化するデータに対応して高性能な情報処理を高エネルギー効率で行うための技術として、ギガバイトクラスの集積度を持つ相変化メモリ技術、シリコン MOSFET の駆動力省エネ性を超えるロジックデバイス技術、これらを三次元集積する技術を開発する。
- ・揮発性メモリ STT-MRAM の大容量化と省電力化の実用化技術、およびさらなる低消費電力で動作する電圧トルク MRAM、スピン演算素子の基盤技術を開発する。
- ・シリコンフォトニクス技術の中核として、ネットワークのエネルギー効率を3-4桁高める光パスネットワーク技術の開発と普及、これとチップ間、チップ内の光

インターコネクトを利用した高性能集積デバイス技術を開発する。

- ・通常の CMOS 集積回路では実現できない新規の情報処理技術を創出するために必要となる新材料技術および新原理デバイス技術を開発する。

5 - (2) もののインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発

製造レジリエンス強化と産業競争力強化を目指した製造網 (Web of Manufacturing) の実現と社会インフラの維持管理を効率化・高度化を可能とする新たなセンシング技術、センサネットワーク技術、収集データ利用技術などを開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・生産ラインの予防保全や障害対応、設備総合効率向上のために、過酷環境下等、定常的モニタリングが困難とされてきた状況でも適用可能な計測技術や、設備へのセンサ後付けなどによる比較的簡便に収集したデータ群から設備状況に関わる情報を導出する間接モニタリング技術を開発する。また、それらの情報に基づいて生産性やメンテナンス性などの生産システム評価を行えるデータモデル構成技術及び分析技術を開発する。
- ・社会インフラや産業インフラの保守や点検等に資するため、ひずみ、振動、温度など複数のセンシングと通信機能を集積化したネットワーク MEMS システムを開発し、大規模社会実験を行う。さらに、構造物をその場・非破壊でかつ簡便に検査診断するために、高エネルギー分解能の超伝導検出器の多画素・多重化技術や過酷環境計測デバイス、光イメージング技術や生体非侵襲センサを開発する。

5 - (3) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発

産業や社会の多様なニーズに対応した製品を省エネ、省資源、低コストで製造するために、設計マネジメント技術、印刷デバイス技術、ミニマルファブ技術、複合加工技術などを開発する。製品の更なる高付加価値化を目指し、高機能フレキシブル電子材料等の新材料、機能発現形成型技術等を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・顧客価値の高い製品・システムの開発を可能にするために、複数業種の製造民間企業における共通問題を抽出し、デライト設計の質向上を実現する上流設計マネジメント環境を構築する。
- ・エレクトロニクス・MEMS の変量多品種オンデマンド生産技術として印刷デバイス製造技術およびミニマルファブ技術、フレキシブルで高効率なマイクロナノレベルの製造技術の開発を行う。また、それらの技術

を活用して、大面積フィルムデバイス、MEMS センサ等の開発を行う。

- ・付加製造の高度化と、切削、プレス、電解加工などの加工技術の深化と体系化を進めるとともに、これらの複合化により、加工物に合わせた高効率な加工を行うことが可能な複合加工プロセス技術を開発する。積層造形に関しては、レーザー、電子ビーム、インクジェット技術を活用した高速化、高精度化、傾斜構造化などプロセスの高度化の研究を行う。複合加工に関しては、電解加工とレーザー加工の複合化による医療用脳血管用極細管ステント等の医療機器やエネルギーデバイスなどを想定し、そのために必要な材料・形状を低コスト・高能率で製造する。

5 - (4) 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発

パワーモジュール、燃料電池、構造材料等、種々の産業用部材、基材に対し自在なコーティングを可能とするために、コーティング技術を高度化する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・AD (エアロゾルデポジション) 法や、光 MOD (金属有機化合物分解) 法、LIJ (レーザー援用インクジェット) 法などの産総研が世界を先導するポテンシャルを有する先進コーティング技術を核に、産総研の基礎研究ポテンシャルを活かし成膜メカニズム解明に基づくプロセスの高度化と、それを基にした多事業分野での民間企業への橋渡しを実現する。

6. 地質調査総合センター

6 - (1) 地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備

我が国の知的基盤整備計画に基づいて、国土およびその周辺海域の地質図、地球科学基本図のための地質調査を系統的に実施し、地質情報を整備する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の地質の調査が見込まれる。

- ・知的基盤整備計画に沿った地質図幅・地球科学図等の系統的な整備、及び1/20万シームレス地質図の改訂を行う。日本の陸域の地質情報を整備するとともに、地質情報としての衛星データの整備と活用を行う。
- ・南西諸島周辺地域の地質調査を着実に実施し、日本周辺の海洋地質情報の整備を行う。
- ・沿岸域の海陸シームレス地質情報の整備を行う。ボーリングデータを活用した都市域の地質・地盤情報を整備する。
- ・地質調査の人材育成を行う。

6 - (2) レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価

国および地域の防災等の施策策定に役立てるために、地震・火山活動および長期地質変動に関する調査と解明を行い、地質災害リスクの予測精度向上のための技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の地質の調査が見込まれる。

- ・地震・津波の痕跡調査、過去の巨大地震の復元、活断層の評価手法の高度化ならびに海溝型地震に係わる地殻深部の高精度変動モニタリング技術の開発を行う。
- ・火山地質調査、年代測定技術による過去の火山噴火履歴の系統的解明、火山地質図の整備ならびに噴火推移評価手法の開発を行う。
- ・地下深部の長期安定性に関する予測・評価手法の開発のため、10万年オーダーの地震・断層活動、火山・マグマ活動、隆起・侵食活動ならびに地下水流動に関する長期地質変動情報を整備する。

6 - (3) 地圏の資源と環境に関する評価と技術の開発

国の資源エネルギー施策立案や産業の持続的発展に役立てるために、地下資源のポテンシャル評価および地圏環境の利用と保全のための調査を行い、そのための技術を開発する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の地質の調査が見込まれる。

- ・地下資源評価として、燃料資源、鉱物資源ならびに地熱・地中熱に関するポテンシャル評価と調査を実施する。
- ・地下環境利用評価として、二酸化炭素地中貯留等に関する地質モデリング技術の開発と調査を実施する。
- ・地下環境保全評価として、資源開発や各種産業活動等に起因する土壌・地下水に関する評価手法の開発と調査を実施する。

6 - (4) 地質情報の管理と社会利用促進

国土の適切な利用と保全などを目指して、地質情報や地質標本を体系的に管理するとともに、効果的に成果を発信することにより、地質情報の社会利用を促進する。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の地質の調査が見込まれる。

- ・整備された地質情報や地質標本を体系的に管理する。
- ・信頼性の高い公正な地質・地球科学情報を、出版物やWEB、地質標本館等を通じて国民へ提供する。
- ・国や自治体、民間企業、研究機関や一般社会での地質情報の利用を促進する。

7. 計量標準総合センター

7 - (1) 計量標準の整備と利活用促進

知的基盤整備計画に基づき、物理標準と標準物質の整備を行うとともに、計量標準の利活用を促進するため、計量標準トレーサビリティシステムの高度化を進める。さらに、単位の定義改訂に対応するなどの次世代計量標準の開発を推進する。今後のマーケティングにより変更

される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・ユーザーニーズ、規制対応など緊急度の高さ、グリーン・ライフ・震災対応等の優先分野を勘案し定期的に更新される知的基盤整備計画に基づいて、長さ、質量、時間などの物理標準と高純度、組成系などの標準物質の開発・範囲拡張・高度化等、整備を行う。
- ・計量標準の利活用を促進するため、定量 NMR、計測計量に係るセンサや参照標準器等の開発を通じ、計量標準トレーサビリティの高度化を進める。
- ・アボガドロ定数精密測定や光格子時計の開発を含め、単位の定義改定や関連する国際勧告値に関わる物理定数の精密測定、および新たな定義に基づき計量標準を実現する現示技術など、次世代計量標準の開発を推進する。

7 - (2) 法定計量業務の実施と人材の育成

計量法の適切な執行のため、特定計量器の基準器検査、型式承認試験等の試験検査・承認業務を着実に実施するとともに、計量教習などにより人材育成に取り組む。さらに、新しい技術に基づく計量器の規格策定等にも積極的な貢献を図る。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の業務が見込まれる。

- ・特定計量器の基準器検査、型式承認試験等を実施する。また、当該業務の現状を把握し、現行の国内技術基準の国際基準への移行、新しい技術に基づく計量器の規格策定等にも積極的な貢献を図る。
- ・法定計量技術を教習して、国内の法定計量技術者の計量技術レベルの向上を図る。

7 - (3) 計量標準の普及活動

中小企業なども計量標準の利活用ができるよう環境を整備し、情報提供や相談などにより計量標準の普及に取り組む。また、計量標準の管理・供給、国際計量標準と工業標準への貢献及び計量標準供給制度への技術支援を行う。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の業務が見込まれる。

- ・中小企業なども含むより広いユーザーに計量標準の利用を促進するため、情報提供及び講習・技能研修活動の拡充を図る。工業標準化、国際標準化へ貢献する。
- ・計量標準の管理・供給を行う。製品の認証に必要な計量標準の国際同等性を確保する。計量法の運用に係る技術的な業務と審査、およびそれに関連する支援を行う。

7 - (4) 計量標準に関連した計測技術の開発

計量標準に関連した計測・分析・解析手法及び計測機器、分析装置の開発、高度化を行う。また、計量に係るデータベースの整備、高度化に取り組む。今後のマーケティングにより変更される可能性はあるが、現時点では次の研究開発が見込まれる。

- ・計量標準に関連した計測・分析・解析手法及び計測機器、分析装置の開発、高度化を行う。工業標準化や国際標準化を推進し、開発した機器・技術、コンサルティング業務により、ユーザーが期待するソリューションを提供する。
- ・研究開発の基盤強化に資する信頼性の高い物質のスペクトルデータや熱物性データ、国内外の計量標準サービスに関する情報を更新・拡充し、ウェブサイトを通じて広く提供する。

資 料

《別表2》予算

中長期目標期間：平成27～31年度予算

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
収入					
運営費交付金	50,462	32,878	28,425	38,686	35,614
施設整備費補助金	0	0	0	0	0
受託収入	39,210	4,607	8,715	2,298	1,113
うち国からの受託収入	15,750	1,851	3,501	923	447
その他からの受託収入	23,460	2,757	5,214	1,375	666
その他収入	8,481	6,758	5,534	8,028	7,132
計	98,153	44,243	42,673	49,011	43,859
支出					
業務経費	58,943	39,636	33,959	46,714	42,746
うちエネルギー・環境領域	58,943	0	0	0	0
生命工学領域	0	39,636	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	33,959	0	0
材料・化学領域	0	0	0	46,714	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	42,746
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
施設整備費	0	0	0	0	0
受託経費	39,210	4,607	8,715	2,298	1,113
うち国からの受託	15,750	1,851	3,501	923	447
その他受託	23,460	2,757	5,214	1,375	666
間接経費	0	0	0	0	0
計	98,153	44,243	42,673	49,011	43,859

産業技術総合研究所

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
収入					
運営費交付金	26,984	32,981	34,425	29,101	309,556
施設整備費補助金	0	0	0	41,001	41,001
受託収入	5,411	3,124	104	8,470	73,052
うち国からの受託収入	2,173	1,255	42	2,209	28,151
その他からの受託収入	3,237	1,869	63	6,261	44,901
その他収入	5,213	8,591	10,747	13,507	73,991
計	37,608	44,696	45,227	92,080	497,601
支出					
業務経費	32,197	41,572	45,173	0	340,939
うちエネルギー・環境領域	0	0	0	0	58,943
生命工学領域	0	0	0	0	39,636
情報・人間工学領域	0	0	0	0	33,959
材料・化学領域	0	0	0	0	46,714
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	42,746
地質調査総合センター	32,197	0	0	0	32,197
計量標準総合センター	0	41,572	0	0	41,572
その他本部機能	0	0	45,173	0	45,173
施設整備費	0	0	0	41,001	41,001
受託経費	5,411	3,124	104	0	64,582
うち国からの受託	2,173	1,255	42	0	25,942
その他受託	3,237	1,869	63	0	38,640
間接経費	0	0	0	51,078	51,078
計	37,608	44,696	45,277	92,080	497,601

資 料

《別表3》収支計画

中長期目標期間：平成27～31年度収支計画

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
費用の部	104,642	43,634	46,167	51,150	39,628
経常費用	104,642	43,634	46,167	51,150	39,628
エネルギー・環境領域	51,825	0	0	0	0
生命工学領域	0	34,849	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	29,858	0	0
材料・化学領域	0	0	0	41,072	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	37,584
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
受託業務費	34,475	4,051	7,662	2,020	979
間接経費	0	0	0	0	0
減価償却費	18,343	4,734	8,647	8,057	1,065
財務費用	0	0	0	0	0
支払利息	0	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0	0
固定資産除却損	0	0	0	0	0
収益の部	105,029	43,620	45,383	50,042	40,348
運営費交付金収益	44,368	28,907	24,992	34,014	31,314
国からの受託収入	15,750	1,851	3,501	923	447
その他の受託収入	23,460	2,757	5,214	1,375	666
その他の収入	8,738	6,825	5,654	8,140	7,145
資産見返負債戻入	12,713	3,281	6,022	5,590	776
財務収益	0	0	0	0	0
受取利息	0	0	0	0	0
臨時利益	0	0	0	0	0
固定資産売却益	0	0	0	0	0
純利益（△純損失）	386	(14)	(784)	(1,108)	720
前中期目標期間繰越積立金取崩額	0	0	0	0	0
総利益（△総損失）	386	(14)	(784)	(1,108)	720

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
費用の部	35,050	44,894	40,152	45,307	450,625
經常費用	35,050	44,894	40,152	45,307	450,625
エネルギー・環境領域	0	0	0	0	51,825
生命工学領域	0	0	0	0	34,849
情報・人間工学領域	0	0	0	0	29,858
材料・化学領域	0	0	0	0	41,072
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	37,584
地質調査総合センター	28,309	0	0	0	28,309
計量標準総合センター	0	36,551	0	0	36,551
その他本部機能	0	0	39,718	0	39,718
受託業務費	4,757	2,747	92	0	56,783
間接経費	0	0	0	44,910	44,910
減価償却費	1,983	5,596	343	397	49,165
財務費用	0	0	0	0	0
支払利息	0	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0	0
固定資産除却損	0	0	0	0	0
収益の部	35,752	44,670	41,362	47,845	454,051
運営費交付金収益	23,726	28,998	30,268	25,587	272,174
国からの受託収入	2,173	1,255	42	2,209	28,151
その他の受託収入	3,237	1,869	63	6,261	44,901
その他の収入	5,241	8,669	10,752	13,513	74,677
資産見返負債戻入	1,375	3,879	237	275	34,148
財務収益	0	0	0	0	0
受取利息	0	0	0	0	0
臨時利益	0	0	0	0	0
固定資産売却益	0	0	0	0	0
純利益（△純損失）	702	(225)	1,210	2,538	3,425
前中期目標期間繰越積立金取崩額	0	0	0	0	0
総利益（△総損失）	702	(225)	1,210	2,538	3,425

資 料

《別表4》資金計画

中長期目標期間：平成27～31年度資金計画

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
資金支出	98,153	44,243	42,673	49,011	43,859
業務活動による支出	86,300	38,900	37,520	43,093	38,563
エネルギー・環境領域	51,825	0	0	0	0
生命工学領域	0	34,849	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	29,858	0	0
材料・化学領域	0	0	0	41,072	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	37,584
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
受託業務費	34,475	4,051	7,662	2,020	979
その他の支出	0	0	0	0	0
投資活動による支出	11,853	5,343	5,153	5,919	5,296
有形固定資産の取得による支出	11,853	5,343	5,153	5,919	5,296
施設費の精算による返還金の支出	0	0	0	0	0
財務活動による支出	0	0	0	0	0
短期借入金の返済による支出	0	0	0	0	0
次期中期目標期間繰越金	0	0	0	0	0
資金収入	98,153	44,243	42,673	49,011	43,859
業務活動による収入	98,153	44,243	42,673	49,011	43,859
運営費交付金による収入	50,462	32,878	28,425	38,686	35,614
国からの受託収入	15,750	1,851	3,501	923	447
その他の受託収入	23,460	2,757	5,214	1,375	666
その他の収入	8,481	6,758	5,534	8,028	7,132
投資活動による収入	0	0	0	0	0
有形固定資産の売却による収入	0	0	0	0	0
施設費による収入	0	0	0	0	0
その他の収入	0	0	0	0	0
財務活動による収入	0	0	0	0	0
短期借り入れによる収入	0	0	0	0	0
前年度よりの繰越金	0	0	0	0	0

産業技術総合研究所

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
資金支出	37,608	44,696	45,277	92,080	497,601
業務活動による支出	33,067	39,298	39,809	44,910	401,460
エネルギー・環境領域	0	0	0	0	51,825
生命工学領域	0	0	0	0	34,849
情報・人間工学領域	0	0	0	0	29,858
材料・化学領域	0	0	0	0	41,072
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	37,584
地質調査総合センター	28,309	0	0	0	28,309
計量標準総合センター	0	36,551	0	0	36,551
その他本部機能	0	0	39,718	0	39,718
受託業務費	4,757	2,747	92	0	56,783
その他の支出	0	0	0	44,910	44,910
投資活動による支出	4,542	5,397	5,468	47,170	96,141
有形固定資産の取得による支出	4,542	5,397	5,468	47,170	96,141
施設費の精算による返還金の支出	0	0	0	0	0
財務活動による支出	0	0	0	0	0
短期借入金の返済による支出	0	0	0	0	0
次期中期目標期間繰越金	0	0	0	0	0
資金収入	37,608	44,696	45,277	92,080	497,601
業務活動による収入	37,608	44,696	45,277	51,078	456,599
運営費交付金による収入	26,984	32,981	34,425	29,101	309,556
国からの受託収入	2,173	1,255	42	2,209	28,151
その他の受託収入	3,237	1,869	63	6,261	44,901
その他の収入	5,213	8,591	10,747	13,507	73,991
投資活動による収入	0	0	0	41,001	41,001
有形固定資産の売却による収入	0	0	0	0	0
施設費による収入	0	0	0	41,001	41,001
その他の収入	0	0	0	0	0
財務活動による収入	0	0	0	0	0
短期借入れによる収入	0	0	0	0	0
前年度よりの繰越金	0	0	0	0	0

【平成28年度計画】

独立行政法人通則法第31条第1項及び第35条の8に基づき、国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下、産総研）の平成28年度の事業運営に関する計画（以下、年度計画）を次のように定める。

1. 「橋渡し」機能の強化

- ・第4期中長期目標期間終了までに民間資金獲得額を138億円/年以上にすることを旨とし、平成28年度は第4期中長期目標策定時点から80%増である82.8億円/年を産総研全体の目標として掲げる。
- ・各領域においては、領域長の下で目的基礎研究、「橋渡し」研究前期、「橋渡し」研究後期、及びマーケティングを一体的かつ連続的に行う。領域ごとの数値目標を表1の通り定める。
- ・民間資金獲得額の増加とともに大企業との研究契約に偏ることのないよう、中堅・中小企業の資金提供を伴う研究契約件数の大企業に対する比率は第4期中長期目標策定時点の水準（約35%）を維持するよう努める。
- ・各領域は一定金額規模以上の「橋渡し」研究を企業と実施した案件について、その後の事業化の状況（件数等）の把握を行う。

表1 領域ごとの民間資金獲得額の目標（億円）

	平成28年度目標	(参考) 平成23年度～平成25年度実績の平均
エネルギー・環境領域	30.2	19.0
生命工学領域	10.2	5.0
情報・人間工学領域	9.7	4.8
材料・化学領域	13.3	6.6
エレクトロニクス・製造領域	12.7	6.3
地質調査総合センター	2.0	1.0
計量標準総合センター	4.8	2.4

(1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

(2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

(3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

- ・産総研発シーズの事業化に関し、強いコミットメントを示す企業との間で共同研究を推進する「冠ラボ（仮称）」の設立を進める。

(1)～(3)に関わる研究開発等の年度計画については領域ごとに別表1に記載する。

(4) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

- ・多様な民間企業ニーズに応えるために、「技術コンサルティング制度」を活用し、産総研の技術的なポテンシャルを活かした指導助言等を実施する。
- ・コンサルティング制度に関する職員への周知やコンサルティング実施の事前相談への対応によって職員の理解の促進を図るほか、産学官／国際システムによる業務の効率化などを進め、技術コンサルティング制度の本格運用を開始するとともに、顧客満足度のサンプリング調査を実施し、業務品質の更なる向上を図る。

(5) マーケティング力の強化

- ・各研究領域において、領域の特性に応じた技術マーケティング活動を実施する。
- ・異なる領域や地域センターをまたがる横断的なマーケティング活動を行う機能の充実及び効率的な運用を図る。
- ・多様な経験、資質、人的ネットワーク等を有する人材として、研修や企業連携活動への参加を通じた内部人材の育成を引き続き行うとともに、外部人材を積極的に登用して、その専門性に基づいた人材の強化を行う。それぞれのミッションに応じて個人評価手法を適切に運用する。
- ・現在の研究成果に基づくシーズプッシュ型のセールス活動から、長期的な産業の方向性に基づく戦略からのマーケティングを指向する。

(6) 大学や他の研究機関との連携強化

- ・クロスアポイントメント制度と従来の連携制度を併用することで、基礎研究、応用研究・開発、実証、事業化といった各段階において他の機関に所属する優秀な人材を取り込んで最大限に活用する。これにより、組織間の連携推進を実効的に進めるとともに、多様な連携の方策から最適な仕組みを選びつつ推進する。これに加えて大学等の研究室単位での産総研への受け入れや、産総研の研究室の大学内もしくは隣接地域等への設置を通じて、大学等との一層の連携強化を図る。
- ・革新的基礎研究力を有する大学等から生まれた優れた技術シーズや優秀な研究人材を活用し、産総研における「橋渡し」機能の強化を加速させるため、大学等外部機関の構内に連携研究を行うための拠点「オープンイノベーションラボラトリー」を、積極的に整備する。

(7) 戦略的な知的財産マネジメント

- ・知財の戦略的・効果的な取得、管理、活用に向けた体制強化のために、パテントオフィサーとして新たな外部人材をイノベーション推進本部に配置するとともに、各部署に所属する全パテントオフィサー等による会議体を新たに設置する。
- ・平成28年4月に施行予定の職務発明に関する改正特許

法に対応した、産総研の職務発明規程の改訂、企業連携促進のための知財ルール改訂の検討等を行う。

- ・知財戦略、標準化戦略、研究開発戦略及び産業界との連携戦略の発展とともに知財アセットの質の向上を図るために、特許事務所を中心とした知財有識者による領域・地域センターの支援の強化、戦略的な知財アセット構築の支援、研究職員の知財マインドの一層の醸成、知財活用と標準化の一体的推進等を実施する。
- ・標準化の質の向上を図るために、公的研究機関として担うべき標準化及び産業界における標準化活動の先導、並びに知財の有効活用のための標準化を推進するとともに、成功事例の抽出・分析に基づく戦略的な標準化活動の支援の強化を実施する。
- ・優れた研究成果の橋渡しの推進とそのための人材育成を支援するため、セミナー・シンポジウムの開催等による知財・標準化に関する普及・啓発活動を実施する。
- ・知財を活用した事業化を推進するため、産業界への技術移転及びベンチャーによる事業化の取組みを強化する。産業界への技術移転においては、技術移転マネージャーを中心にして、産業界のニーズ把握と研究現場と連携した活動を強化する。ベンチャーによる事業化においては、金融機関等との包括協定を活用して、ビジネスモデルの構築及び事業支援を強化する。

(8) 地域イノベーションの推進等

① 地域イノベーションの推進

- ・地域ニーズの把握やグローバルニッチトップ（GNT）企業等の地域中核企業の発掘等を行うため、公設試と密接に連携して地域における「橋渡し」を推進する。平成28年度においては、公設試職員またはその経験者から委嘱または雇用した「産総研イノベーションコーディネータ」を活用し、地域中核企業への橋渡しを全国レベルで行う。また、公設試の求めに応じ、産総研の職員を外向させ、人事交流を活かした技術協力を推進する。結果として20件以上の中堅・中小企業との受託研究等に結びつける。
- ・平成27年度に各地域センターが所在する地域ごとに創設した、地域中核企業からなる「テクノブリッジクラブ」を活用し、地域中核企業における技術開発ニーズと産総研技術シーズとのマッチング事業を推進する。当該年度は、「テクノブリッジクラブ」加盟企業が200社以上となるよう拡充を図るとともに、「テクノブリッジクラブ」加盟企業との100件以上の受託研究等の獲得を目指す。
- ・地域中核企業による革新的技術の実用化推進のため、地域中核企業と外部研究資金獲得に向けた予備研究、および産総研と企業がマッチングファンドを用いて研究開発を加速する資金提供型共同研究を10件以上行う。

- ・産業技術連携推進会議の技術部会と地域部会を通じて、公設試の技術レベル向上を図るための研究会や研修、地域経済の現状を踏まえたプロジェクトの共同提案等の取組みを積極的に実施する。
- ・地域センターごとに「橋渡し」機能の進捗状況を把握し、オール産総研としての活動の最適化に向けて、企画・調整を行う。
- ・まち・ひと・しごと創生本部決定の「政府関係機関移転基本方針」を踏まえ、石川県、福井県、愛知県及び福岡県との研究連携体制の構築を進める。

② 福島再生可能エネルギー研究所の機能強化

- ・福島再生可能エネルギー研究所については、エネルギー産業・技術の拠点として福島の発展に貢献し、再生可能エネルギー分野における世界最先端かつ世界に開かれた研究拠点の形成を目指した活動を加速する。
- ・平成27年度の外部評価において高い評価をうけた太陽光、風力、地熱、地中熱、水素エネルギーキャリア、エネルギーネットワークの6つの研究課題については、ほぼ確立した技術については民間企業への確実な橋渡しを進めると共に、新たな技術シーズ作りを目指して、更なる研究資源の充実と、産総研内および、国内外の研究機関や企業との連携強化をはかっていく。
- ・結晶シリコンをベースにした積層型スマートスタック太陽電池の大面积化と高性能化、スマートシステム研究棟をベースにした国内最大級の大容量PCS試験、独自の水素吸蔵合金や新たな水素キャリア等により社会システムとして再エネの大量導入を実現する技術の検討を開始する。スマートスタックおよび超臨界地熱資源の開発において、太陽光発電研究センターおよび地質調査総合センターとの連携およびFREAへの成果の統合・集約化を検討し、体制を整備する。これらの研究を実現するために、人材および研究費の確保に積極的に務める。特に人材確保については、これまでの採用プロセスによる新人・中堅の増員に加え、FREA特別枠等を検討する。
- ・引き続き復興支援を目的として、地元民間企業の技術シーズへの技術支援を17件以上、及び地元大学等との連携を10件以上実施し、産業人材育成に取り組むことにより、地元民間企業等への「橋渡し」も着実に実施する。復興支援関連の事業については、復興予算終了後においても産業・人材育成を継続することが重要であり、そのための検討を開始する。

(9) 世界的な産学官連携拠点の形成

- ・オープンイノベーションを推進して事業化への「橋渡し」を加速させる世界的な産学官連携拠点の形成を目指し、高度な半導体製造装置等の最先端の設備環境を新たに整備する。また、新たに東京大学が加わった「TIA」において、各機関の多様な技術を融合させる

- とともに、産学官の知を糾合して複数の領域での研究プロジェクトの立案や国内外の企業及び他のイノベーション拠点との連携を企画・推進する。
- ・窓口となる常設事務局の設置や共同研究契約手続きの一本化を進めることで、ワンストップサービスを企業に提供できる機能を強化する。また、他の TIA 中核機関と共に構成する各マネジメントグループでオープンプラットフォーム機能の強化を図り、産業界と連携して技術開発に取り組むことで、橋渡しや新たなシーズ創出を加速する。
 - ・SCR に新たに導入することとなった SiC ウエハの6インチラインを確実に稼働させ、外部からの資金や人材の受け入れを加速することにより、パワー半導体のイノベーション拠点としての価値を更に高める。
 - ・人材育成では、引き続きナノテクキャリアアップアライアンスでの若手研究者育成を推進すると共に、TIA 連携棟を活用した TIA 連携大学院のサマースクール等も強化し、TIA の人材育成機能を一つのブランドとして国内外に示す。
- (10)「橋渡し」機能強化を念頭に置いた領域・研究者の評価基準の導入
- ・「橋渡し」研究では事業化に向けた企業のコミットメント獲得が重要であることから、平成28年度も引き続き「橋渡し」研究を担う領域への研究予算は民間資金獲得実績を最重視して行う。
 - ・各領域の評価に際しては、数値目標を掲げた民間資金獲得額、論文発表数、論文の合計被引用数、実施契約等件数、イノベーション人材育成人数の達成状況に加え、具体的な研究成果や知的基盤の整備状況等、上述の評価軸、評価指標及びモニタリング指標に基づいて行う。評価結果については平成29年度の研究予算の予算配分に反映させる。
 - ・平成27年度に実施した人事評価制度の見直しについて、以下の取り組みを行う。
- 1) 「橋渡し」の具体的な評価事例が職員に理解されるように、毎年、職員に公表する。
 - 2) 研究段階・研究特性を踏まえた評価、組織的な貢献への評価等の現状について、研究現場等へアンケート等を実施し、運用状況を把握する。
 - 3) 評価結果を賞与に一層反映させる制度変更をシステム化し、査定作業の効率化を図る。
- (11)追加的に措置された交付金
- ・平成28年度補正予算（第2号）により追加的に措置された交付金については、「未来への投資を実現する経済対策」の21世紀型のインフラ整備のために措置されたことを認識し、人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業のために活用する。

2. 地質調査、計量標準等の知的基盤の整備

- ・我が国の経済活動の知的基盤である地質調査や計量標準等については、我が国における当該分野の責任機関として、これらの整備と高度化を通じて我が国の産業基盤を引き続き強化する。平成28年度は特に以下の業務に取り組む。詳細については別表1に記載する。
- ・知的基盤整備の評価においては、国の知的基盤整備計画に基づいて着実に知的基盤の整備に取り組んでいるか、及び計量法に関わる業務を着実に実施しているかを評価軸とし、地質図・地球科学図等の整備状況、計量標準及び標準物質の整備状況、及び計量法に係る業務の実施状況を指標とする。さらに、地質情報の普及活動の取り組み状況、計量標準の普及活動の取り組み状況を評価の際のモニタリング指標として取り扱う。

【地質調査総合センター】

- ・国民生活・社会経済活動を支える地質情報の着実な整備のために、関東平野北部の桐生及び足利地域等の調査を開始するとともに、重要地域の5万分の1地質図幅4図幅を出版する。
- ・日本周辺海域の海洋利用促進のため、宮古島周辺海域の海洋地質調査を実施し、知的基盤情報の整備を行う。
- ・安心安全な社会活動を支えるため、相模湾から房総半島沿岸域の陸域及び海域の地質・活断層調査を行う。また、千葉県湾岸低地及び谷埋め堆積物分布域の3次元地質地盤モデルの作成、および3次元モデル・各種データの表示・閲覧手法の開発を行う。
- ・地質災害に強い社会を構築するために、陸域・沿岸海域の5地域以上の活断層調査や沿岸部5地域以上の地震・津波履歴調査、3火山以上についての地質調査を行い、政府機関等へ情報を提供する。
- ・地下環境保全のための、高知県地域表層土壌評価基本図を整備・出版するとともに、大阪平野の水文環境図の編集を進める。

【計量標準総合センター】

- ・物理標準については、非ニュートン粘性、変流器、照度応答度等の物理標準の開発・範囲拡張・高度化等の整備を知的基盤整備計画に沿って行う。
- ・標準物質については、既存標準物質の安定性評価を行い供給を継続するとともに、知的基盤整備計画に沿って、水道法等の規制に対応した標準物質の開発並びに特定標準物質の濃度校正方法の開発を行う。
- ・計量法に係る業務については、特定計量器の基準器検査、型式承認試験等の効率的な実施に取り組む。また、計量教習、計量講習、計量研修を実施し、法定計量技術に関わる人材育成を行う。
- ・計量標準の利用を促進するため、情報提供及び講習・技能研修活動の拡充を図り、計量標準に関連する工業標準化、国際標準化へ貢献する。また、国際比較等を

通じて計量標準の管理を行い、計量法トレーサビリティ制度に定められた参照標準等の供給を行う。

3. 業務横断的な取り組み

(1) 研究人材の拡充、流動化、育成

・優秀かつ多様な研究人材の獲得のため、以下の制度の活用を進めるとともに、制度の一層の活用に向けて必要に応じ制度改善を図る。

1) クロスアポイントメント制度の活用により、大学等の優れた研究人材の受け入れと同時に、産総研の研究室の大学等への設置を通じて組織の枠組みを超えた研究体制を構築する。

2) リサーチアシスタント制度を活用し、優秀な若手人材を確保する。

・極めて優れた研究成果を上げている者、極めて高い研究能力を有すると判断できる者のテニユア化までの任期の短縮及び直ちにテニユア化する採用を積極的に適用し、本制度のさらなる定着を目指す。

・研究者の育成において、以下の取り組みを行う。

1) 職員が必要な基礎知識を取得するよう、e-ラーニング等の研修を徹底するとともに、外国人等へ向けた改良を行う。

2) 引き続き、職責により求められるマネジメントや人材育成能力取得を研修を通じて支援する。特に、中堅のリーダー層育成に向けた研修を新たに企画、実施する。

3) 多様なキャリアパス選択支援のための研修等を実施するとともに、連携マネジメント等に関する研修内容を必要に応じて見直し、対象の拡大と効率化を図る。

・産総研イノベーションスクールにおいては、民間企業等にイノベティブな若手博士研究者等を輩出することを目的として、第10期生として公募選考した若手博士人材を対象とし、講義及び演習、産総研の研究現場で一年間の研究実践、企業等へのインターンシップ実施を組み合わせたカリキュラムによる人材育成プログラムを実施する。さらに技術研修生等に対する育成制度の拡充を図る。

・マーケティング機能体制強化のため、内部人材の育成、研修等を行う。

・「橋渡し」機能強化につながる多様な外部人材の登用を行う。

・職員の定年後の適切な雇用について、優れた研究能力、マーケティング能力等を有する者に加え、研究所の適切な運営管理に必要な人材の積極的な登用を推進する。

・平成27年度に試行を開始した在宅勤務の導入に取り組む。

・平成27年度に策定した産総研「女性活躍推進法行動計画」に基づく取り組みを推進する。

・産総研「第4期中長期目標期間におけるダイバーシティの推進策」に基づくアクションプランに継続的に取

り組む。

(2) 組織の見直し

・更なる業務の適正化及び効率化を目指し、継続的に組織・制度の見直しを実施する。研究推進組織は産業界の動向や民間企業、社会ニーズへ対応するため、柔軟な見直しを実施する。

・産学官連携や知財管理等に係るイノベーション推進本部等の本部組織についても、領域との間で適切に役割を分担し、産総研全体として「橋渡し」機能の強化を図る体制を維持するとともに、必要に応じて柔軟に見直す。「橋渡し」の一環で実施する産学官連携等では、産業界のニーズ把握と大学等の有する技術シーズの分析を継続し、それらのマッチングによる課題解決方策の検討を推進する。研究推進組織に対しては、研究計画の設計まで関与できる専門人材を強化するため、内部人材の育成と外部人材の積極的な登用を行う。

・機動的に融合領域の研究開発を推進するための予算を本部組織が領域に一定程度配分できるようにするとともに、研究立案を行うために必要に応じて本部組織にタスクフォースを設置する。

(3) 特定法人として特に体制整備等を進めるべき事項

<理事長のマネジメントの裁量の確保・尊重>

・各界の有識者である外部委員で構成される経営戦略会議を開催し、会議で出された研究所の進むべき方向についての提言を、理事長による組織マネジメントに反映する。

・理事長戦略予算の位置づけを明確化し、当該予算で実施する課題については、各領域からの提案及び理事長等からのトップダウンの提案の中から選定する。

<国際的に卓越した能力を有する人材を確保・育成するための体制>

・人工知能研究センターにおいて、クロスアポイントメント等の制度を活用し、国内外の大学・企業から卓越した人材を確保して、世界的な人工知能研究の拠点化を進める。また、同センターに産学官の連携の核となる交流の場を開設し、これを活用して獲得した人材の育成に努める。

・平成27年度に導入した年俸制について、さらに柔軟な給与設定を可能とすることにより、重点研究課題における優れた研究実績又は高いマネジメント能力を有する研究人材を機動的に確保できる環境を整備する。

<研究者が研究開発等の実施に注力するための体制>

・研究の活性化や効率化に資する環境・仕組み・体制を整備するため、研究者との交流を通じて研究実施の負担となる課題の共有や方策の検討を行う。さらに、企業連携に係る交渉や契約条文調整等を関係部署間で連携して行うとともに、競争的資金の公募情報の提供や応募書類の作成支援を行う。

・施設・設備の維持管理については、中長期的な研究スペースの利活用方針を策定するとともに、老朽化対策

に計画的に取り組み、その効率化等を図る。

- ・研究開発等を効率的・効果的に実施するための支援人材を確保する仕組みを構築する。

＜国内外機関との産学官連携・協力の体制や企画力の強化＞

- ・特に「橋渡し」研究において、企業のコミットメントを明確にしつつ、パートナー企業のニーズにより特化した研究開発を実施するため、「冠研究室」を積極的に設置する。
- ・革新的基礎研究力を有する大学等から生まれた優れた技術シーズや優秀な研究人材を活用し、産総研における「橋渡し」機能の強化を加速させるため、大学等外部機関の構内に連携研究を行うための「オープンイノベーションラボラトリ」を積極的に整備する。
- ・企業等との研究開発プロジェクト経験や産業界・学界とのネットワークを有する人材を、イノベーションコーディネータ等として内部登用するために、連携技能向上のための研修や OJT を通じた育成を行う。さらに、企業における研究開発や事業化経験等を有する外部人材を積極的に採用する。
- ・技術コンサルティングや情報検索ツール等を活用して企業のニーズ分析を行い、領域や地域センターを限定することなく産総研の総合力を発揮するための連携と研究課題の提案を行う。また、効果的な技術移転に向けた研究成果（シーズ）の出口シナリオを検討し、知的財産情報の発信や企業のニーズ収集などのマーケティング活動を実践する。
- ・ビジネスインキュベーション機関やベンチャーキャピタル等とのネットワークを活用して、ベンチャー企業の新規創出及び事業支援を促進する。
- ・イノベーション推進本部及び各領域に所属する全パテントオフィサー等による会議体を新たに設置し、所内知財専門家の連携強化や知的財産活動の一層の推進を図る。

＜国際標準化活動を積極的に推進するための体制＞

- ・産総研全体の標準化戦略や所内の専門家の活動支援及び育成について検討する標準化戦略会議を設置する等、国際標準化活動を推進するための体制の整備を進める。

＜適正な研究開発等の実施を確保するための体制の充実＞

- ・文部科学省・厚生労働省の「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を踏まえて、臨床研究の研究者等による報告及び機関の管理についてより厳格に利益相反状態を確認するため、生命倫理委員会の下に新たに外部有識者を含む臨床利益相反委員会を設置する。
- ・適正な研究開発等の実施を確保する体制の充実とその実施状況については、毎年発行している「産総研レポート 社会・環境報告」の中に「コンプライアンスの推進」等の項目を設けて記載し、冊子やホームページで社会へ発信する。

II. 業務運営の効率化に関する事項

1. 研究施設の効果的な整備と効率的な運営

- ・産学官が一体となって行う研究開発（コンソーシアム型の共同研究等）を行うための施設・仕組み等の整備、構築、見直しを進めるとともに、関連機関との包括協定等を戦略的に締結し、産総研施設・装置を活用した共同研究の他、企業による分析、計測、サンプル供給等により、引き続き橋渡し機能の強化を図る。

2. PDCA サイクルの徹底

- ・平成27年度に構築した評価制度・体制を維持、運用するとともに、必要な改善を行った上で評価を充実させる。
- ・評価委員からの指摘事項、評価結果の反映状況を確認するなど、PDCA サイクルを徹底する。
- ・評価結果を領域への予算配分額に反映させること等を通じて産総研全体として目標を達成するためのPDCA サイクルを働かせる。

3. 適切な調達の実施

- ・契約監視委員会を開催し、委員会点検による意見・指導等については、全国会計担当者会議等において共有し、改善に向けた取り組みを行う。
- ・競争入札を行う調達案件については、事業内容に応じた適切な公告期間を設けるとともに、必要に応じた説明会を実施し、公告日から入札日までの期間を十分に確保する取り組みを実施する。
- ・「独立行政法人改革等に関する基本的な方針」（平成25年12月24日閣議決定）を踏まえ、一般競争入札を原則としつつも、研究開発業務を考慮し規定した随意契約によることができる事由につき、適切かつ合理的な調達を実施する。
- ・民間企業での技術的な専門知識を有する契約審査役を引き続き雇用し、請求者が要求する仕様内容・調達手段について適切な仕様や条件となっているかにつき審査を実施する。
- ・地域センターの契約案件については、前年度の競争入札等手続きによる契約のうち、契約額が上位から数えて10%にあたる契約案件の契約額を平成28年度の契約審査役が行う技術審査の基準額とする。

4. 業務の電子化に関する事項

- ・共用会議室について、平成26年度28箇所、平成27年度36箇所に続いて、平成28年度も45箇所に高機能無線 LAN を整備し、所内の情報ネットワークの充実を図る。
- ・ファイアーウォールによる24時間のセキュリティ監視を徹底する。
- ・平成27年度に関西センターに設置したインターネットバックアップ回線について、震災等の災害時を想定

した訓練を行う等、確実な稼働を確保する。

5. 業務の効率化

- ・運営費交付金を充当して行う事業は、新規に追加されるもの、拡充分等は除外した上で、平成28年度においては、一般管理費は3%以上を削減し、業務費は1%以上を削減する。
- ・給与水準については、ラスパイレス指数、役員報酬、給与規程、俸給表及び総人件費を公表し、国民に対する説明責任を果たす。

III. 財務内容の改善に関する事項

- ・運営費交付金を充当して行う事業について、セグメント毎、ユニット毎等の執行状況を定期的に調査し、早期執行を促す。
- ・運営費交付金債務については、その発生要因等を厳格に分析し、翌年度の事業計画に反映させる。
- ・平成28年度財務諸表において、事業等のまとめりごとである5領域、2総合センター、その他本部機能、法人共通の区分でセグメント情報を開示する。
- ・資産使用者及び資産管理者が、自らは使用しないと判断した資産について、引き続き、所内でのリユース活用を図るほか、所定の手続きにより不用と判断した資産については、他機関等に開示する等により不用資産の有効利用を図る。また適時適切に減損・除却等の会計処理を行う。
- ・研究用備品等の管理の適正化を図るため整備した制度・体制について、引き続きフォローアップを実施し、適正な管理体制の継続を図る。
- ・第4期中長期目標期間終了までに民間資金獲得額を138億円／年以上にすることを目指し、平成28年度は中長期目標策定時点から80%増である82.8億円/年を産総研全体の目標として掲げる。

1. 予算（人件費の見積もりを含む）【別表2】

2. 収支計画【別表3】

3. 資金計画【別表4】

IV. 短期借入金の限度額

- ・なし

V. 不要財産となることが見込まれる財産の処分に関する計画

- ・関西センター尼崎支所については、引き続き自治体及び関係機関と協議を行い、国庫納付に向けた手続きを進める。

VI. 剰余金の使途

- ・剰余金が発生した時の使途は以下の通りとする。
 - ・重点的に実施すべき研究開発に係る経費
 - ・知的財産管理、技術移転に係る経費
 - ・職員の資質の向上に係る経費
 - ・広報に係る経費
 - ・事務手続きの一層の簡素化、迅速化を図るための電子化の推進に係る経費
 - ・用地の取得に係る経費
 - ・施設の新営、増改築及び改修、廃止に係る経費
 - ・任期付職員の新規雇用に係る経費 等

VII. その他業務運営に関する重要事項

1. 広報業務の強化

- ・プレス発表、取材対応などを通して、報道機関への研究成果や組織経営に関する情報を提供することにより、産総研の成果、活動の記事化に努める。また、産総研と企業との連携事例の紹介、記者との懇談会の開催、理事長からのトップメッセージの発信に引き続き取り組む。
- ・常設展示施設「サイエンス・スクエア つくば」では、多様な見学者が研究テーマへの理解を深めやすくするための工夫を続け、来場者の声を取り上げ運営改善に努める。
- ・実験や科学工作などを通して青少年が科学技術に接する機会となる「実験教室」やイベントへの出展などを行っていく。地域住民への研究紹介と、子供たちに科学の面白さを伝える機会として、つくばセンターをはじめとする各地域センターにおいて「一般公開」を開催する。
- ・広報誌「産総研 LINK」を引き続き定期発行して、橋渡しの成功事例や連携につなげる研究成果などを伝える。産総研レポートは、社会的責任に関する活動などの取り組みを紹介して、ステークホルダーの理解促進に努める。総合パンフレットなどの印刷物は、最新の主な研究成果などを掲載し発行する。
- ・動画配信やソーシャルメディアネットワークを使用して、産業界及び一般国民などへの研究成果などの情報発信を拡大する。また、外国人利用者の利便性向上のため、英語版 HP の充実化を検討する。

2. 業務運営全般の適正性確保及びコンプライアンスの推進

- ・リスク情報を現場から収集し、役員による情報の共有及び対応方針の現場への指示を迅速かつ着実に実施する体制を通して、より一層強力にリスク管理及びコンプライアンス推進の取り組みを実施する。
- ・e-ラーニング研修の実施の他、コンプライアンスの向上をより一層強化することに重点に置いた研修等の開催その他の普及啓発の取り組みを実施する。

- ・研究記録の適切な管理・運用等を通じた職員の意識醸成により研究不正の防止に取り組む。
- ・事業組織が行う研究支援業務について、当該業務を遂行する職員等から意見聴取等を行うとともに、マニュアルを充実する等により効率化を図る。
- ・役職員が安心して「橋渡し」となる産学官連携活動等に取り組めるよう、国等の動向を把握しつつ、効率のかつ効果的で、時宜にあった利益相反マネジメントを実施する。
- ・内部監査として、研究ユニットごとの包括的な監査及び個別業務等に着目したテーマごとの監査を効率的・効果的に実施する。
- ・監事監査が効率的・効果的に行えるよう監事への情報の提供等必要な支援を行う。
- ・平成27年度に導入した研究記録の作成、確認、保存に係る制度の確実な運用を図るとともに、不断に制度の改善・見直しを講じる。

3. 情報セキュリティ対策等の徹底による研究情報の保護

- ・外部の専門家を情報セキュリティ委員会の委員として委嘱し、その知見を活用し、情報セキュリティ対策を検討する。
- ・平成28年4月1日に改訂予定の情報セキュリティ実施ガイドについて役職員等への普及を図る。
- ・全役職員等を対象として情報セキュリティ研修及び定期セルフチェックを実施し、情報セキュリティの脅威と対策方法を周知徹底する。
- ・情報セキュリティ監査企業による各部署に対して情報セキュリティ監査を実施し、各部署が実施している情報セキュリティ確保のための取り組み等について改善を図る。
- ・平成27年度に検討した情報ネットワーク改修計画に基づき、アクセス制御システムの導入もしくは所内ネットワークのアクセスレイヤの多段化による信頼性と堅牢性の高い情報システム基盤を構築し、重要な機密情報の保護を図る。

4. 内部統制に係る体制の整備

- ・「独立行政法人の業務の適正を確保するための体制等の整備」（平成26年11月28日付け総務省行政管理局長通知）等に通知した事項を参考にしつつ、内部統制に係る体制の整備を進める。

5. 情報公開の推進等

- ・情報公開窓口及び個人情報保護窓口並びに個人情報の取扱いに関する苦情相談窓口の円滑な運用を行い、開示請求及び問い合わせ等に対し法令等に基づき、適切に対応する。
- ・個人情報の適切な保護を図るため、部門等に対する点

検等を確実に実施する。

- ・マイナンバーを含む個人情報等の取り扱いについて、e-ラーニングを活用した研修により、職員への周知徹底を図る。

6. 施設及び設備に関する計画

- ・産総研施設整備計画（平成28年度版）を策定し、同計画に基づき施設及び設備の整備と、老朽化した施設の閉鎖・解体を進める。
- ・空調設備等の電力多消費設備を整備する際には、エネルギー効率の高い機器を採用する。

【平成28年度施設整備費補助金（2次補正）】

- ・新営棟建設として、人工知能に関するグローバル研究拠点整備事業を実施する。170億円
臨海副都心センター他

7. 人事に関する計画

8. 積立金の処分に関する事項

《別表1》 第4期中長期目標期間において重点的に推進する研究開発等

1. エネルギー・環境領域

1-(1) 新エネルギーの導入を促進する技術の開発

- ・国際的なコスト競争力の向上に向けて、Si、CIGS等の太陽光発電システムにおける発電コスト低減と信頼性向上を達成する技術を開発する。平成28年度においても企業・大学との連携によって高性能化やプロセス高度化を進め、発電コストの低減に不可欠な要素技術の開発を進める。Si型太陽電池については本研究開発を通じてイオン注入技術等を用いた高効率化プロセスの開発を進めるとともに、モジュールの長期信頼性に係る要素技術および評価手法の開発を行う。CIGS系太陽電池については高性能化とともに信頼性向上に向けた研究に取り組む。
- ・発電コスト7円/kWhを目指し、革新的太陽電池の要素技術を確立する。平成28年度は、スマートスタック技術を利用した多接合太陽電池について、変換効率向上と合わせて大面積化や高耐久性の検証等、コスト低減を実現するためのプロセス指針を明確にする。また、装置メーカーと協力してⅢ-V族化合物半導体超高速製膜装置の開発を進め、低コストⅢ-V族化合物トップセル作製の課題を抽出する。
- ・大型パワーコンディショナー（PCS）の制御技術については、スマートシステム研究棟において、国内最大級の大容量PCSの試験、海外認証向けのPCSの試験を開始する。また、エネルギーネットワーク技術として、前年度までに開発した太陽光、風力に関するモニタリング技術を改良し、変動平滑化の検討に必要

な分単位のモニタリング技術の開発を進める。

- ・深部超臨界地熱資源利用ギガワット級発電技術の開発に関して、超臨界岩体内で発生する破壊現象の支配方程式を導出し、シミュレーションを可能にするとともに超過酷地熱環境下で使用可能な素材の評価と開発を行う。東北主要地域において高精度な地中熱ポテンシャルマップを作成するために、水文地質データのコンパイルおよびデータの評価・解析を行う。また、郡山市のポテンシャルマップ（暫定版）を作成する。

1 - (2) エネルギーを高密度で貯蔵する技術の開発

- ・再生可能エネルギーシステム構築に寄与する、変動電力を使用した水電解予測モデルを開発する。また、再エネ由来水素を用いた MCH 製造を領域内連携を強化して挑戦し、基礎データを蓄積する。MCH 利用では、実証へ向けた FS を行う。アンモニア合成プロセス開発では、プラント建設準備を進めるとともに、プラントで使用する触媒の選定と大量合成に向けた調製法の最適化を行う。またアンモニアガスタービン技術では、燃焼器内の可視化計測等により現象把握とスケラビリティを確認する。ギ酸について、ギ酸からの水素発生の効率を上げ、CO₂分離は高压化での耐久性を向上する。
- ・ガソリン車並みの走行距離となる電気自動車のために、500 Wh/kg のエネルギー密度の二次電池開発が不可欠でバルク型全固体型電池への期待は大きい。その実現のため、電極活物質/固体電解質間に良好な界面を構築する技術開発が求められている。そこで、硫化物型全固体電池について、電池製造プロセスの最適化による電極/電解質の界面構造制御及び界面での反応メカニズムの解明を通して、高容量な全固体電池デバイスを実現するとともに、従来120℃で動作可能であった酸化物型全固体電池の室温近傍での駆動を実証する。

1 - (3) エネルギーを効率的に変換・利用する技術の開発

- ・先進的なパワーエレクトロニクス技術の確立に向けて、SiC デバイス/パワーモジュールの量産技術について民間企業と共同研究を行う。平成28年度は、西事業所 SCR 棟において6インチ対応最先端 SiC パワーデバイス量産試作ラインを整備し、第1次試作レシピを確定する。1.2 kV・30A 級の世界最高水準の低オン抵抗トレンチ型電界効果トランジスタの量産技術を確立し外部提供を開始する。パワーモジュールにおいても、世界最高水準のスイッチング損失性能を持つ50 kHz 級高速動作の2 in 1モジュールを150 A 級まで大容量化すると共に、応用企業との共同研究において高性能パワーモジュールを提供し、新たな次世代パワー機器応用の開拓を進める。

- ・SiC 次世代パワーエレクトロニクス実現に向けて、SiC ウェハ、SiC デバイス、SiC モジュールの各技術領域で各要素技術の高度化を行う。ウェハでは、積層欠陥のない n 型 (10 mΩcm)、p 型 (100 mΩcm) の低抵抗バルクウェハ実現とデバイス TEG 試作による性能検証、高耐圧デバイス用ウェハとして低基底面転位密度 (<1個/cm²) の250 μm 厚、及び0.1~5 μs (均一性±10%) の活性層キャリア寿命制御技術の実証を行う。デバイスでは、6 kV 級スーパージャンクション構造で18 mW/cm²の特性オン抵抗、自立型バイポーラデバイスで20 kV 耐圧の実現、ボディダイオードの順方向劣化対策手法とその検証を行う。モジュールとしては、1 kA/cm²級のチップ電流密度に対応可能な1.2 kV 級高温 (250℃) 動作モジュール構造および必要なモジュール化要素技術を決定すると共に、200 A 級の電流容量を見通せる駆動技術を実証する。
- ・ダイヤモンド、GaN 等、将来実用化普及が期待されるワイドギャップ半導体の材料・デバイス化技術を開発する。ダイヤモンドでは、実用的ダイヤモンドウェハ実現に向け、CVD 合成中の結晶内温度勾配を低減させてクラックのないサイズ1 cm²、厚さ1 cm 級のバルク単結晶を作製する。1 cm²級内製ウェハを用いてダイオード要素構造を作製し、その特性均一性等の評価を通じてウェハ作製技術およびデバイス化プロセス技術における問題抽出を行う。GaN では、縦型デバイス用高純度 (不純物濃度10¹⁵ cm⁻³台) 結晶の成長技術開発、横型デバイス用 GaN-on-Si ウェハの歪制御、転位密度低減を進める。デバイス動作特性と不純物プロファイルの関連解明や、絶縁膜・半導体界面トラップのデバイス動作特性への影響を測定する手法を開発する。
- ・国内自動車業界の産業競争力強化に向けて、クリーンディーゼル車向け等、高効率エンジン燃焼及び排気制御の基盤技術を開発し、民間企業への橋渡しを推進する。平成28年度は、自動車用内燃機関技術研究組合事業として、経済産業省の「エネルギー使用合理化先進的技術開発 (クリーンディーゼルエンジン技術の高度化に関する研究開発)」最終年度の研究開発を実施し、成果をまとめる。具体的には、EGR (排気ガス再循環) デポジット生成機構解明では、各社のデバイス開発に利用可能な、模擬デポジット生成手法および EGR デバイス評価手法を確立する。DPF (ディーゼルパティキュレートフィルタ) 酸化触媒の機能評価では、高沸点炭化水素 (2成分系) までの酸化触媒上での吸着および酸化反応特性等を明らかにする。また、燃料噴霧・着火・燃焼に関する高度解析技術の開発を、戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の「革新的燃焼技術」や、民間共同研究等での推進を継続し、理論に基づく噴霧の数値モデル化に向けた定量的噴霧

計測データの蓄積と、プラズマ支援着火燃焼の基礎データ収集を進める。

- 国内産業振興に向けて、省エネルギー化に資する未利用熱有効利用のための熱マネジメント技術を開発する。平成28年度は、NEDOの「未利用熱エネルギーの革新的活用技術研究開発」の下で、熱利用量の多い鉄鋼、化学等9業種の工場の高温固体、温水からの排熱量を調査、モデル解析するとともに、電力、清掃等新たな6業種の工場の未利用排ガス熱量の排出傾向を調査分析する。また、熱電発電については、より耐久性に優れたモジュール製造技術の検討をおこない、電極接合面や材料の機械強度等の課題の解決を行うとともに、耐久性検証のための、モジュール評価の高度化を行う。

1 - (4) エネルギー資源を有効活用する技術の開発

- メタンハイドレート資源からの天然ガス商用生産に向けて、試験時の坑井仕上げ案を参考に条件設定を行い出砂現象に関する室内実験や解析評価を実施する。さらに、現場での圧力コア解析等を反映した貯留層モデルを構築し、試験の予測評価等を通してモデル開発技術の高度化等を行う。また、褐炭等の未利用炭化水素資源を水素や化学基幹原料へ転換するガス化等のプロセス技術を開発するため、化学原料であるベンゼンをメタンから製造する流動層プロセスに関して、800°Cにおいて、従来よりも2倍のガスを処理しても平衡転化率に到達できるような効率向上に向けた条件の最適化を行う。

1 - (5) 環境リスクを評価・低減する技術の開発

- 微生物を利用した水処理システムを用いて、産業・環境ニーズの特に高い廃水種や有害化学物質に対して、その分解に関与する微生物群や微生物間相互作用を明らかにし、高効率処理に向けた提言・道筋を示す。さらに特に膜分離を融合した水処理システムの最大の問題である膜閉塞に関してその立体構造と関連微生物種の同定から、膜閉塞モニタリングおよび制御に向けた基盤的知見を得る。また、水循環に関わる水質監視技術に関して、微生物群、生理活性物質、有害化学物質等の迅速検出を行うためのセンサおよび測定技術の開発を進めるとともに、分析結果の情報を共有するためのデータ伝送システムの開発を行う。
- 都市鉱山技術によるレアメタルリサイクル等、資源循環等対策技術を開発する。物理選別プロセスでは、JOGMEC事業で開発した技術を核に、複数電子素子回収技術のプラント化を目指したシステム設計を実施する。また、NEDO先導研究において、廃製品認識技術として、製品データベースの試験的構築を行うとともに製品選別装置に実装すべき検出機構を明らかにし、高速で実行するプログラムを開発する。化学分離プロセスでは、合金隔膜と溶融塩を用いた元素分離法

について連続電解が可能な隔膜保持方法を確立するとともに、新規沈殿法及び吸着分離法の開発を行い、希土類元素間の相互分離効率を向上させる。また有機ハロゲン化合物含有樹脂を熱分解して残留ハロゲン濃度を低減させた生成物を得ると共に、反応器周りのエネルギー収支の理論モデルの構築と収支の改善により熱分解の高効率化を行う。

- 化学物質のリスク評価研究では、ナノ材料のリスク評価手法と化審法で問題となっている石油由来炭化水素の評価単位を同定する手法を確立し、室内製品暴露評価ツールを完成する。爆発安全評価研究では、エネルギー物質や高圧ガスによる産業事故防止と被害低減化のために、複数の爆発影響因子について、評価技術の高度化や低減化技術を開発する。また、産業リスク評価管理技術研究では、水素サプライチェーンを対象として評価手法を開発する。さらに、地球規模の評価技術研究では、地域エネルギーDB構築、インベントリDBの拡充と影響評価手法を構築する。

2. 生命工学領域

2 - (1) 創薬基盤技術の開発

- 創薬リードタイムを短縮するために、効率的なターゲット探索、ゲノム情報解析技術の開発を行う。平成28年度は、引き続きこれまでに開発を進めてきたロボット創薬支援技術とITによる計算創薬支援技術の高度化を進め産総研ベンチャーを通じて産業界への導入を図る。
- がんや自己免疫疾患等の診断薬・治療薬の開発を目指して、糖鎖、糖タンパク質、ペプチド等を活用した創薬技術の開発を行う。平成28年度は、胆管がん、卵巣がん等の疾病に対する糖鎖マーカー等の探索を行い、得られたマーカーの臨床的有效性を確認する。また創薬支援ネットワークの一員として、次世代天然物化学技術研究組合等を介して産業界での創薬開発の支援を行う。
- 生体分子の構造と機能を明らかにすることにより、効果的な薬剤開発を支援する基盤技術の開発を行う。平成28年度は、疾患関連タンパク質の構造機能解析結果に基づくに高効率な新たな低分子化合物合成法の確立や抗体医薬品製造の標準化を推進する。

2 - (2) 医療基盤・ヘルスケア技術の開発

- 幹細胞等を用いた再生医療技術の基盤技術開発を目指して、幹細胞等操作技術とそのための医療機器技術の開発を行う。平成28年度も引き続きRNAベクター、細胞の安定供給のための技術及び機器開発に取り組み、試料提供等を推進し、産業界への技術移転を図る。
- 健康状態や疾病の早期・簡便な評価法の開発を目指して、健康評価のためのバイオマーカー探索と評価デバイスの開発を行う。平成28年度は、一細胞計測技術

によるマラリアチップの改良を進め、マラリアの感染タイプを区別できるような健康診断デバイスの試作に取り組み課題抽出を行う。また、引き続き医療機器等の品質・有効性・安全性等に関する標準化・ガイドライン化を進めるとともに、医療機器支援ネットワークの一員として産業界での医療機器開発の支援を行う。

2 - (3) 生物機能活用による医薬原材料等の物質生産技術の開発

- ・効率的な物質生産技術の構築を目指して、遺伝子組換え技術を活用した生物による物質生産技術の開発を行う。平成28年度は、遺伝子組換え植物を用いた完全密閉型植物工場による医薬品等、高付加価値物質の植物生産技術開発に取り組む。また、遺伝子組換え植物を用いた木質を作ることでできない植物を利用し、エタノール等の有用物質生産性向上の新規植物開発を行う。さらに、遺伝子組換え微生物による物質生産に資する有用遺伝子の探索・評価を行う。

3. 情報・人間工学領域

3 - (1) ビッグデータから価値を創造する人工知能技術の開発

- ・現在は神経科学的現象を説明する自然科学的モデルにとどまっている脳型人工知能については、工学応用可能な機械学習アルゴリズムの形に統合した情報処理技術として完成するとともに、有用性を実証することを目指す。平成28年度は脳型人工知能機構の基本原理解に基づく人工視覚野及び人工言語野の実現を目指して、プロトタイプを構築する。
- ・データ知識融合人工知能については、連続値と離散値の組み合わせや時間的変化をとともなう実世界のデータと知識を融合するための新しい確率モデリング技術の研究開発を実施する。平成28年度には多様なデータを統合した確率モデリングのための実世界データ収集基盤を整備し、人工知能技術や機械学習手法を大規模実問題に適用するために必要不可欠なデータ・知識融合環境を構築する。さらに人工知能研究開発環境の利用を進め、基礎的な手法を実問題に適用する場合の評価・検証が容易になることを示す。
- ・点検者の技術に左右されず熟練者並の質の高い点検業務を可能とする、人工知能によるインフラ診断支援技術の研究開発を実施する。各種センサデータに対する診断事例を収集し、機械学習に基づく手法で解析し、異常検知やその要因を推定できるシステムを開発する。平成28年度は戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において、高速道路管理社、装置メーカー等とともに「学習型打音解析技術の研究開発」を行い、橋梁、道路等の実構造物において実証試験を開始し、その結果をシステム開発にフィードバックし改良を進める。

3 - (2) 産業や社会システムの高度化に資するサイバーフィジカルシステム技術の開発

- ・生産現場、生活場面での人間行動センシング技術と、それを通じて得られる実世界ビッグデータを集約、分析し、製品の価値向上、サービスの生産性向上に繋げる統合クラウド技術を開発する。平成28年度は昨年度までに省電力化、小型化したセンサを活用し、3社以上の企業との資金提供型共同研究を通じて、生産現場、生活場面でのサービス応用技術を研究する。多人数の行動データと属性、環境データを統合して可視化し、サービス生産性を向上させるためのツール群を整備する。これらの技術を基盤とし、2~3年後に、文脈に応じた製品カスタマイズ、サービスプロセス改善を支援する統合クラウド技術を実現し、企業へのライセンス提供に繋げることを目指す。
- ・安全なサイバーフィジカルシステムの実現を目指し、演算性能や電力に制約のある大量のエッジデバイス上でも実用的な速度で処理が可能な暗号技術と、それを用いたプライバシー保護や認証技術に関する研究開発を実施する。RSA暗号等の従来技術では、効率性、機能性、安全性のいずれも不十分であり、格子問題等の数学的構造に基づき、エッジデバイスに適した軽量で高機能な暗号・認証技術の実現を目指す。平成28年度は、前年度の成果を発展させ、関数暗号等の高機能暗号について一層の効率化・高安全化と安全性評価手法の構築を進める。たとえば、格子問題に基づくIDベース暗号の効率的な設計やその安全性証明等を行う。また、プライバシー保護を目的とした匿名認証技術の安全で効率的な設計を目指す。

3 - (3) 快適で安全な社会生活を実現する人間計測評価技術の開発

- ・(1)高齢ドライバー支援、(2)自動運転、(3)ドライビングプレジャー(DP)に関わるヒューマンファクターを、ドライバーの行動、認知(脳活動)、生理計測によって理解し、より安全で楽しいクルマの設計指針を構築する。平成28年度計画としては、(1)については、主に高齢者の補償行動の理解、(2)については、ドライバー状態定義と安全なモード遷移設計要件の検討、(3)については、DP評価構造の理解と客観的評価指標の導出を行う。研究実施に加え、自動運転のヒューマンファクター領域の日本企業・大学連合のリーディングおよび米欧との連携を行う。
- ・高齢者が自らの残存機能を維持、増進して自立移動ができるようにするために、装着型センサで歩行・走行機能を計測、評価して可視化する技術を開発する。平成28年度は、高齢者の歩行機能データベースをさらに20例以上拡充するとともに、そのデータベースを用いることで多様なセンサデバイスに共通基盤的に対応できる歩行評価指標の計算、提示クラウド技術を開

発する。3社以上の企業と資金提供型共同研究を通じて、実用化を図る。これらの計測評価技術を、下肢切断者の義足走行機能評価に適用し、大型の公的資金ならびに企業との資金提供型共同研究を通じて、義足の適合評価方法を開発する。

3 - (4) 産業と生活に革新的変革を実現するロボット技術の開発

- ・ 動力学シミュレーション技術を用いてロボット介護機器の効果評価を行う手法を開発し、機器設計に適用してその有効性を検証する。介護施設等でも利用可能なコストで実現可能な簡易モーションキャプチャシステムのプロトタイプの開発を完了する。コミュニケーションロボットの大規模実証評価を実施し、ロボット介護機器としての有効性を見極める。高齢者移動支援ロボットに外界センサを用いた自律走行機能を実装し、市街地における自律走行を実現する。
- ・ 画像センシングおよびパターン認識に関する技術をコアコンピタンスとし、高度な空間情報取得・理解技術を構築するための目的基礎研究を行う。平成28年度は、空間情報をより積極的に取得するための次世代センサアレイ技術として、多眼カメラによる多次元空間センシング技術の構築と、その較正技術、更には取得した多次元情報のパターン認識による解析技術の開発を行う。またこれらの技術を、社会の重要課題を解決するための中核技術とするために、様々な実用フィールドでの有効性の検証を行う。
- ・ 災害や、社会・産業インフラの老朽化への対応は喫緊の課題であり、人手不足や危険作業の低減のために、これらを支援するためのロボットの基盤技術の研究開発を行う。平成28年度は、非整備環境における移動や作業の能力を拡大するための多点接触動作制御技術について開発に着手する。光源の存在によって発生する影や霧、雨、雪等の災害現場で想定される自然現象がロボットの視覚に与える影響を模擬可能なシミュレータを開発する。過酷環境下での通信維持による情報収集技術を、実ロボットシステムで検証する。ひび割れ自動検出精度のさらなる高精度化に取り組むとともに、断片画像からの俯瞰的な損傷図生成技術、劣化損傷の経年変化モニタリング技術の研究開発を行う。
- ・ 多品種少量生産のロボット化を目指し、これに必要な把持・動作計画技術、力覚・触覚技術、ならびに視覚認識技術の開発を行う。主な取り組みとしては、自動車部品に特化した比較的低コストな視覚認識システムや把持・動作計画システムの開発を行うことで、組み付け作業の自動化を可能とする。平成28年度は、自動車部品に対応した視覚認識システムや把持・動作計画システムを構成する基盤技術である視覚キャリブレーション、歪補正、バラ積み物品検出、ロボット動作計画等を企業へ技術移転し、それらを統合した中核シ

ステムを用いて機能検証を行う。

4. 材料・化学領域

4 - (1) グリーンサステイナブルケミストリーの推進

- ・ 企業ニーズに基づいたエポキシ化合物合成のハロゲンフリー化を推進する。過酸化水素酸化法に限ることなく、エポキシ前駆体合成段階でのハロゲンフリー化を検討し、出発原料から製品までトータルでのハロゲンフリー化を達成する。
- ・ 酵素の耐熱性・基質特異性の改変等を実施するとともに、微生物生産での検証を進め、バイオベース化学品（高機能界面活性剤等）の合成の高効率化に取り組む。複合材料の高性能化に向け、樹脂やゴム等へのセルローズナノファイバーの添加効果（構造や物性への影響）を明らかにする。また、高機能な有機ケイ素部材の製造プロセスを実現するための触媒技術及び触媒プロセス技術に関し、主要部材（シリコン）のビルディングブロックであるシラノール類の効率的な製造法を見出す。
- ・ リグノセルロースを直接レブリン酸エステルに変換する、平成27年度に見出した新規アルミニウム系触媒の高効率化のために、反応機構を解明する。また、レブリン酸エステルを有用化学品に変換するための触媒開発に着手し、有望な触媒系を見出す。
- ・ 化学材料の多様化・高付加価値化に向け、徐放性を有するナノカプセル材料や、繰り返し利用可能な粘接着剤、液晶を基盤とするセンサー、光応答性に優れた機能材料等を創製する。また、評価技術の確立に向け、分光学的手法をベースに、各種モデル素材の劣化機構に関する知見を蓄積する。

4 - (2) 化学プロセスイノベーションの推進

- ・ 低環境負荷な化学・材料産業の振興に向けて、高効率で精密制御を可能とするマイクロ化学プロセスの構築を目指し、平成28年度は、昨年度に得られた指針のもとに、マイクロ波加熱技術において、従来よりも大きな容積を均一にマイクロ波照射する技術を開発し、スケールアップのための設計指針を得る。
- ・ 粘土膜等との材料複合化技術に基づいた分離・遮蔽特性を制御する技術開発を目指し、昨年度、従来のプラスチック材料の透湿度等の性能を上回る材料複合化の指針を得たことから、平成28年度は、耐熱性ガスバリア膜材料の長尺膜の作製を検討し、連続生産プロセスの設計指針を得る。
- ・ 高機能な分離膜の開発を目指し、昨年度得られた無機物質の膜化に関する設計指針を踏まえて、平成28年度は、高シリカチャバザイト長尺膜については、企業と共同で支持基材、合成条件等の最適化を図り、歩留りの向上を行う。また、水素精製用炭素膜については、水素純度のスペックを満たしたまま、透過速度を向上

させる製造方法の検討と膜メーカーへの技術移転を実施する。

- 物質の吸着と移動特性を利用する高機能相界面の創成による新しい分離プロセスの提案を目指し、昨年度得られた界面活性や触媒性能等の評価手法を用いて、新規界面活性剤の構造を拡充することにより、構築される相界面の精密制御と分離機能向上を行う。
- 4 - (3) ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発
- 平成27年度に開発したビーズ基材上に触媒を塗布する技術、単層 CNT を合成する技術を開発する。新規合成方式のスケラビリティを検討する。
 - 高品質な大面積グラフェンを合成可能なハイスループット製造技術を開発する。有機基材とグラフェンの積層デバイスでの内部欠陥を低減するプロセス技術での素子化検証を行う。さらに、カーボンナノチューブ (CNT) のカラムクロマト法による単一構造分離の高度化ならびに ELF 法を用いた半金分離の低コスト化技術を開発するとともに、導電性に優れる二層カーボンナノチューブの eDIPS 法合成および精製技術を開発する。また、CNT 分散体、分散液の評価技術のデータを集積で情報をタグ付けして情報資産として CLOUD 上に乗せ、CNT ビッグデータを構築する。検索エンジンソフトウェアを開発して、分散体と分散液の状態を解析、分析できるようにする。
 - ナノカーボンの複合化技術や集積技術等のさらなる高度化により、従来の部材では実現できなかった特性を有するデバイスが作成可能なインク材料やゴム等の新材料を開発する。具体的には、柔軟性と頑丈性を兼ね備えた CNT キャパシター、400度以上の耐熱性を有する樹脂、分散剤が不要な塗布用分散液を開発する。
 - 低次元ナノ複合体粒子の最適な構造設計技術を明らかにし、水中のイオンもしくは気体分子を吸着する、高い選択性を示す化合物を見出す。さらに、導電性高分子系材料の熱電性能の機構を解明するとともに、薄膜モジュール素子等の単位面積当たりの出力を向上させる。また、電池材料、ゴム・エラストマー・高分子材料、エレクトロニクス材料、磁石材料等の実用材料やマクロな流動・変形が関与する問題に対して、計算シミュレーションを活用した順問題的な予測研究を多く行い、模索探索的な実験研究に対してスクリーニング情報を与える。
 - 産総研独自の電子顕微鏡技術を活用し、グラフェンの成長機構や単原子の化学反応、単原子金属のスピン状態の同定等を可能にする手法を見出す。また、工業利用で重要な有機材料の構造を可視化し、材料設計での有用な情報を見出し、異種材料の接着機能の解明やその新規評価手法を提案する。また、材料機能、デバイス機能、反応プロセス、固・流体のマクロ特性等に対

して、高い予測性能を持つ計算シミュレーションの基盤技術を開発すると同時に、小さな系に対する精度の高い計算シミュレーションの恩恵を、より大きな長さスケールにつなぐ為のマルチスケールスキームを開拓する。

4 - (4) 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発

- チタン酸バリウムナノキューブの量産技術を企業と共同開発するとともに、これまでに開発したナノクリスタルの応用部材サイズへ展開可能な三次元配列技術を見出す。さらに、材料の新たな特性発現等を詳細に検証する。また、ナノ無機系粒子については、生体へ安全な生分解性ポリマーとの界面を活用した合成技術、溶媒や高分子へ均一に分散可能なシェル改質技術を開発する。
- 産総研で開発したマイクロ SOFC 技術を応用し、水素やメタン等のエネルギーキャリアに変換するセル・スタック技術のさらなる高効率化を進め、エネルギーキャリア合成モジュール部材等の試作を行う。さらに、独自のセラミックセンサ素子技術を応用し、ヘルスケアデバイスへの実装による検証を行う。
- 平成27年度に開発した耐熱性・耐候性の Sm-Fe-N 異方性焼結磁石の磁気特性をさらに向上させ、民間企業と協力して、高性能モーター用磁石として実用させるための課題を抽出する。
- 新原理の水電解とセラミックスコンプレッサを組み合わせた高圧水素を、安全かつ低電力で製造する素子技術を見出す。また、フロンフリー冷凍の実現に向けた磁気熱量材料の高性能化と磁気冷凍モジュールの試作、ならびに圧力や電圧などで吸放熱が制御できるエントロピクス材料の駆動を検証する。

4 - (5) 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発

- 難燃性マグネシウム合金を中心とする展伸材の高強度化と易成形性を両立するラボスケールの材料設計手法を見出す。また、アルミニウム合金鋳物の品質向上に向けた溶解鋳造技術を開発し、その有用性を検証する。炭素繊維強化プラスチックの高速成形プロセスにマイクロ波を適応する条件を明らかにする。
- 木質材料の流動成形技術を活用した自動車部品等の開発においては、実部材形状の成形体を試作する。さらに、実用化に不可欠な耐久性を向上させるための添加剤、及び成型プロセスを見出す。
- 工業用炉の耐熱性を有するファイバーレス断熱材作製にあたり、最適な原料と微細組織を明らかにする。また、高い放熱性と信頼性を兼ね備えたメタライズ放熱基板の加速劣化試験法を開発する。さらに、セラミックス3D 造形法については、各種形状を持つモデル部

材焼結体を試作する。

- ・遮熱性、断熱性等のダイナミックな制御が生活温度領域での熱エネルギー制御に与える影響の解析や熱移動制御が可能な新規材料の性能向上、並びに窓部材化プロセス技術を見出す。

5. エレクトロニクス・製造領域

5 - (1) 情報通信システムの高性能化および超低消費電力化技術の開発

- ・相変化メモリについては、集積性に優れるクロスポイント構造を想定した最適化と成膜技術の改良を行うとともに、相変化材料を用いたトポロジカルデバイスの設計と動作検証へと展開する。ロジックデバイスについては、フィン FET に Ge を導入することによる性能指数改善を検証するとともに、MOSFET の限界を超える省エネが期待できる Si トンネル FET へ電流駆動性能を向上する新構造・新原理を導入する。3次元集積については、積層の接続方法と性能との関係を試作とシミュレーションにより明らかにする。
- ・国内半導体産業の振興に向けて、不揮発性メモリ MRAM の高度化のための研究開発を行う。平成28年度は、15 nm 技術世代の STT-MRAM に対応可能な超高磁気異方性をもつ薄膜材料を開発するとともに、ImPACT プログラムの枠組みで電圧トルク MRAM の基盤技術として500 fJ/Vm を超える電圧磁気異方性変化および 10^{-4} 以下の書き込みエラー率を実現する。また、スピントロニクス技術を用いた高周波発振素子の基盤技術開発も行い、発振出力1マイクロワット以上かつ Q 値2000以上を実現するとともに、外部回路による周波数高安定化に取り組む。これらの技術開発により、国内企業の事業化に向けた研究開発を支援する。
- ・民間企業等と連携しながらシリコンフォトニクス技術の開発を進める。平成28年度は、文部科学省のイノベーション推進事業「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」の下で、ダイナミック光パスネットワークの実運用を開始する。シリコンフォトニクススイッチは、ダイナミック光パスネットワークでの実使用試験を行い、波長選択スイッチは、通信以外の応用も見据えた事業化の検討を行う。産総研コンソーシアム「PHOENICS」では、民間企業と連携してハイブリッド集積デバイスの試作を行う。NEDO「超低消費電力型光エレクトロニクス実装システム技術開発」プロジェクトの下で、シリコン及びポリマー導波路による光エレ実装基板の試作を進める。
- ・非ノイマン型情報処理技術として、量子アニーリングおよび脳型情報処理に関する研究開発を行う。量子アニーリングに関して、2ビットの超伝導アニーリング機械の試作と特性評価を実施する。また、量子アニーリングチップを大規模集積化するための設計指針を

確立するとともに、大規模アーキテクチャ設計のための超伝導回路シミュレータを開発し、数ビット程度の小規模回路設計を行う。脳型情報処理に関しては、機能性酸化物を用いた不揮発性アナログ型抵抗変化素子（メモリスタ）の開発を行う。より具体的に、素子作製プロセスを構築するとともに、脳型情報処理に必要な性能として抵抗変化ダイナミックレンジを3桁以上にすることを目標とする。

- ・昨年度までに開発した積層型固体ゲート絶縁層と強相関酸化物チャンネルを組み合わせた強相関電界効果素子を開発し、電界による強相関酸化物の電子相転移制御を実証する。また、強誘電体をトンネル障壁とする不揮発性抵抗変化素子について、1000万回以上の抵抗変化繰り返し特性と、抵抗値の高安定性を実現するとともに、神経模倣デバイスへの応用に向け、パルス電圧制御による連続的抵抗変化を実現する。

5 - (2) ものインターネット化に対応する製造およびセンシング技術の開発

- ・データモデルに関する研究課題については、平成27年度に明確化した各種モデルにおける共通データ・流通データについて分析を進め、機能モデル、構造モデル、生産管理モデルといった各種モデル間の関係を構造化する。これにより、不具合原因の早期発見や推論結果を用いたメンテナンスプラン作成、レジリエントな生産ネットワーク構築の提言を行うための基本フレームを提示する。一方、生産計測技術については、間接モニタリングの技術拡充を行うと共に、昨年度検討した計測技術導入可能性の結果を受け、工場において事例検討を実施する。
- ・平成28年度は、社会インフラや生産設備の維持管理・更新等の社会課題に対応する NEDO プロジェクトを中心に、圧電 MEMS 技術を用いた自立発電振動検出デバイスおよび極薄 MEMS 微細加工フレキシブル基板集積化技術を用いたひずみセンサアレイシートデバイスを試作し、これらを用いてセンサネットワークを構築した実証実験に適用可能な社会インフラ IoT システムのプロトタイプを開発する。また、構造物の非破壊検査のため、500画素規模の超伝導検出器システムの構築、多重読出回路による画素間漏話抑制法の開発や、計測困難な過酷環境に置かれているモノの評価に利用できる高温用圧電デバイス開発を行う。さらに、遠隔からのコンクリート構造物表面における劣化因子の分布状況観測及び、非侵襲での血中成分測定を実現するために、インラインフーリエ分光法の高感度化及び高精度化を実施する。

5 - (3) ものづくりにおける産業競争力強化のための設計・製造技術の開発

- ・構想設計プロセスの可視化と制御の目的のために産総

研独自開発の関係性記述ソフトであるデザインブレインマッピングツールを進化させると共に、設計検討の場の可視化と制御の目的のためにブレインストーミングシステムのプロトタイプを開発し、構想設計コンソーシアムの企業を中心に試行としての導入およびプロセスの検証を行う。

- ・任意箇所設置型の次世代情報端末機器として期待の高いフレキシブルデバイスを、高効率・高生産性、カスタマイズ生産する技術として、印刷法を駆使してデバイスを製造する印刷デバイス製造技術を開発する。平成28年度は、印刷パターン低温高速焼結技術、高信頼性有版印刷技術、フレキシブル封止技術、フレキシブルセンサー・発電素子技術などの開発に取り組み、高生産性のための1分以内の高速焼成、50ppmの精度の高信頼性印刷アライメントなどの実現を目指す。また、これらを評価する微視的評価解析技術の開発を行う。
 - ・多品種少量生産向けの技術として産総研が提唱しているミニマルファブ技術につき、平成27年度にプロセスを実証した小型のイオン注入装置とCVD装置の性能高度化を進めつつ、これまでに開発した装置群をシステムとして統合する開発を進める。また、ミニマルファブを用いたデバイス開発の普及に向けて、CMOSなどトランジスタ系の標準プロセスに加えて、センサ等に活用できるMEMSプロセスや光デバイスを中心とした標準レシピの整備を進める。
 - ・積層造形技術について、高速化、高精度化、傾斜構造化等プロセスの高度化を行うとともに、原料粉末特性と造形物特性の関連を明らかにし、適用材料の多様化及び積層造形の応用分野拡大に寄与する。現在既に進行している国プロでの開発及び企業との橋渡し共同研究について実用化を進めるとともに、新たな応用展開を図る。
 - ・実証した複合加工において、専用複合加工装置の開発、及び最適加工条件の導出など加工技術の高度化を行う。また加工技術の性能を有効に活用出来る具体的応用デバイス製品例について検討する。逐次成形と衝撃液圧成形の複合加工に関しては、スピニング加工により成形した3D曲面形状の薄板への複数穴の打抜き加工の実証を行う。逐次成形と電磁成形の複合加工に関しては、加工用金型と電磁成形コイルを一体化した複合金型を用いて、スピニング加工体の電磁張出し成形を試み、加工形状と加工条件の評価検討を行う。
- 5 - (4) 多様な産業用部材に適用可能な表面機能付与技術の開発
- ・エアロゾルデポジション法では、昨年度得られたプラズマ援用による成膜速度向上の結果をもとに、Li 蓄電池用負極材料などのエネルギー部材や、構造部材応用での膜性能の評価、原料粉末利用率の評価を行い

実用レベルの生産性と低コスト化を実現を目指す。光MOD、光化学修飾法では、高感度センサ、電子部品及び発光部材の事業化に向けて大面積化、低コスト化のため、先駆体溶液や照射システムの高度化を図るとともに新規分野へ展開する。

6. 地質調査総合センター

- 6 - (1) 地質調査のナショナルセンターとしての地質情報の整備
- ・国民生活・社会経済活動を支えるため、地質図幅・地球科学図等の系統的調査研究を行い、5万分の1地質図幅4区画の完成、次世代シームレス地質図の公開を行う。衛星リモートセンシング ASTER センサを運用し、衛星情報の配信提供サービスを強化する。
 - ・日本周辺海域の海洋利用促進のため、宮古島周辺海域の海洋地質調査の実施、及び海洋地質の知的基盤情報の整備を行う。また、日本周辺海域の海底鉱物資源調査による鉱物資源の成因及び賦存資源ポテンシャルの情報整備を行う。
 - ・安心安全な社会活動を支えるため、相模湾から房総半島沿岸域の陸域及び海域の地質・活断層調査を行う。主に、陸域では、地下地質把握のためのボーリング調査・活断層調査や地震反射法調査、海域では音波探査・堆積物調査や海底重力調査を行う。また、千葉県湾岸低地および谷埋め堆積物分布域を対象に、3次元地質地盤モデルの作成を行うとともに、3次元モデル・各種データの表示・閲覧手法の開発を行う。
 - ・昨年目標（15人）と同数以上のリサーチアシスタントを採用し、「地質の調査」ができる人材に育成する。イノベーションスクールでは、関連業界とも連携しつつ、社会で即戦力となる地質技術者を1名以上育成する。
- 6 - (2) レジリエントな社会基盤の構築に資する地質の評価
- ・地質災害に強い社会を構築するために、陸域・沿岸海域の5地域以上の活断層調査、南海トラフ・千島・日本海溝の5地域以上で地震・津波履歴調査を行い、政府関係機関へ情報を提供する。関東地域のテクトニックマップの試作版のウェブ公開、関東地域東部の基盤構造の解明、活断層の変形予測手法の3次元化を継続する。また、南海トラフの深部すべり等のモニタリングおよび深部すべり履歴データ整備の継続と高度化を行う。
 - ・地質災害リスクの軽減のために、八丈島火山の地質図を完成し、また防災上重要な3火山以上で調査を進め、噴火履歴解明に関わる年代測定を実施する。大規模噴火に関わる噴火履歴情報整備のため、阿蘇、始良カルデラ等を調査し、活動履歴の解明、構造調査などを進める。噴火推移評価手法開発のため、2火山以上で火

山ガス観測を行い、また無人航空機を用いて輸送設置可能な火山ガス連続観測装置を試作する。

- ・原発廃炉および地層処分に関する安全規制において、今後規制当局が備えるべき地球科学的知見、特に超長期（100万年）の将来にわたる地質変動および地下水・深部流体が処分場に及ぼす影響の将来予測・評価手法の開発に必要となる研究課題を整理する。具体的には、隆起・侵食活動の定量化手法の改良、力学解析による断層活動性評価手法の改良、深部流体活動の原因と上昇メカニズムの解明、および、沿岸域の長期地下水変動予測のための水文地質学的モデルの試作を行う。

6 - (3) 地圏の資源と環境に関する評価と技術の開発

- ・米国・南ア等の希土類等レアメタル資源について、探査段階においてさらに選鉱学的視点も加えた開発可能性を評価する。また非金属鉱物資源について窯業原料枯渇対策に向けた地元企業と連携した調査・研究の実施、さらに粘土鉱物等の機能性鉱物材料の吸着性能評価および工業的利用に関する実用的な技術開発を継続し、民間企業への知財実施許諾に向けた検討を実施する。日本海等のメタンハイドレート調査の探査データおよび採取サンプルの分析・解析と資源量評価の実施、および非在来型を含む燃料資源鉱床の成因解析、資源量評価手法の開発を行う。また、炭層微生物のメタン生成ポテンシャル評価を行う。温泉情報を付加した地熱資源量マップ作成、東北における1地域以上での地中熱ポテンシャルマップ作成等を行う。
- ・モニタリング技術の開発では、苫小牧 CCS 実証試験サイトにおいて圧入時の高精度重力モニタリングを開始するとともに、実用化に向けた並行観測法の検討を開始し、信号抽出に有効と期待される鉛直配置並行観測の FS としての室内実験を実施する。また、CO₂長期挙動予測のための地化学的評価技術、および地層安定性評価のためのジオメカニクモデリング技術の開発を開始する。幌延沿岸域におけるボーリング調査や海底湧出地下水調査の結果を総合的に取りまとめ、陸域から海域へ連続する地下水流動解析や長期安定領域判定等を通じた沿岸域地下水環境の評価を行う。
- ・土壌汚染に係る計測・対策およびリスク評価技術の高度化と国際展開を促進し、低コスト浄化剤の開発と評価、建設発生土の処理・利用技術の開発等を行う。さらに高知県地域表層土壌評価基本図1図を整備・出版する。水循環基本計画を視野に入れたデータベースの整備、工業用地下水資源の確保と安定供給に資する調査・情報発信、ならびに大阪平野の水文環境図の編集を進める。

6 - (4) 地質情報の管理と社会利用促進

- ・地質の調査業務において取得・整備された地質情報や

地質標本について、組織成果物としての体系化の下で標準化を含めた品質管理を行うとともに、成果の1次データのアーカイブ管理を研究記録管理の一環として進める。

- ・体系化した研究成果を組織出版物として発行するとともに、電子化・標準化を計画的に推進する。地図系データベースへのコンテンツの追加・更新を進め、オープンデータとしての配信を促進する。地質標本館の展示改修を行い、幅広いユーザー層に向けた展示の最適化を実現するとともに、企業等との連携の場としても整備する。
- ・地質情報の利活用に関するユーザー層の把握とニーズ調査を行うとともに、公式ウェブサイトや地質標本館、ならびに所外の地質情報展等のアウトリーチ業務を通じ、社会における地質情報二次利用促進を進める。

7. 計量標準総合センター

7 - (1) 計量標準の整備と利活用促進

- ・物理標準については、非ニュートン粘性、変流器、照度応答度等の物理標準の開発・範囲拡張・高度化等の整備を知的基盤整備計画に沿って行う。
- ・標準物質については、既存標準物質の安定性評価を行い供給を継続するとともに、知的基盤整備計画に沿って、水道法等の規制に対応した基準物質の開発並びに特定標準物質の濃度校正方法の開発を行う。
- ・定量 NMR については、一次標準測定法（primary method）としての確立を目指した検討を継続し、国際度量衡局（BIPM）と、有機化合物の主たる純度評価手法としての発展を目指した共同研究を行うとともに、国際同等性確立に向け、国際度量衡委員会物質質量諮問委員会（CCQM）における国際比較を幹事として実施する。
- ・キログラムの定義改定のために、新たに合成されたシリコン28同位体濃縮結晶球の直径・表面等の計測からその質量を求め、従来の結晶から求めた質量との整合性を検証する。光格子時計の長期運転化を目指し、狭幅線レーザーおよび線幅転送用光周波数コム連続運転を実現する。

7 - (2) 法定計量業務の実施と人材の育成

- ・特定計量器の基準器検査、型式承認試験等を実施については、効率的な実施に取り組む。また、現行の国内技術基準である JIS を ISO/IEC を基本とする国際基準に整合するよう、改正作業を行う。
- ・計量教習、計量講習、計量研修を計20回以上実施し、法定計量技術に関わる人材育成を行う。

7 - (3) 計量標準の普及活動

- ・計量標準の利用を促進するため、情報提供及び講習・技能研修活動の拡充を図る。計量標準に関連する工業

標準化、国際標準化へ貢献する。大豆中の農薬残留分析技能向上のために、分析機関の比較試験プログラムを実施する。

- ・国際比較等を通じて計量標準の管理を行い、計量法トレーサビリティ制度に定められた参照標準等の供給を行う。計量標準の国際同等性を向上させるため、特にアジア・太平洋地域に技術協力をを行い、連携を強化する。計量法の運用に係る技術的な審査に関連する支援を行う。

7 - (4) 計量標準に関連した計測技術の開発

- ・ユーザーが抱える計測課題を解決するため、開発、高度化した計測・分析・解析手法及び計測機器、分析装置を利用して、技術指導や機器公開による計測支援等を行う。
- ・目的基礎研究の研究課題に取り組む。特に単一光子分光イメージング技術、物質の高感度定量評価技術等の研究に注力する。単一光子分光イメージング技術の開発については、既存イメージング装置を上回る感度での単一光子分光計測を実証する。高感度定量評価技術については、質量分析法を活用し、抗体分子等タンパク質関連物質を対象とした評価技術の開発を行う。
- ・「橋渡し」研究前期の研究課題に取り組む。特にガスバリア性、電磁波利用センシング、非破壊検査等の研究に注力する。ガスバリア性については、開発した絶対評価装置による標準ガスバリアフィルムの安定性評

価を行うとともに、評価方法の妥当性を検証する。電磁波を利用したセンシング技術の開発については、医薬錠剤・粉末等の水分含有量の動的検出技術を開発し実証する。非破壊検査については、小型 X 線3D スキャナーのプロトタイプを試作し、プラント配管等の3D イメージを撮ることができるようにする。

- ・「橋渡し」研究後期の研究課題に取り組む。特に液体水素用温度センサ、アミノ酸混合標準液、積算型線量計等の研究に注力する。液体水素用温度センサの開発については、試作センサの性能評価を行い、 -253°C 近傍での信頼性を検証する。アミノ酸混合標準液については、当所で開発した調製方法と品質管理方法を試薬メーカーに技術移転し、がんリスク・スクリーニング検査等に用いるアミノ酸混合標準液の供給を実現する。積算線量計については、特性評価に必要な線量当量の評価された放射線標準場を開発し、線量計の製品化に貢献する。
- ・スペクトルデータや熱物性データ、国内外の計量標準サービスに関する情報を更新する。特に、日本国内で入手可能な標準物質のデータベースに関して、掲載データの信頼性を向上するための審査体制を構築する。また標準物質の利活用方法に関する日本語の情報提供を充実させる。

別表2

平成28年度予算

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
収入					
運営費交付金	9,771	5,922	6,593	8,551	7,933
施設整備費補助金	0	0	0	0	0
受託収入	8,047	946	1,789	472	228
うち国からの受託収入	3,870	455	860	227	110
その他からの受託収入	4,177	491	928	245	119
その他収入	1,393	1,009	928	1,319	1,107
計	19,211	7,876	9,310	10,342	9,269
支出					
業務経費	11,164	6,931	7,522	9,870	9,040
うちエネルギー・環境領域	11,164	0	0	0	0
生命工学領域	0	6,931	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	7,522	0	0
材料・化学領域	0	0	0	9,870	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	9,040
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
施設整備費	0	0	0	0	0
受託経費	8,047	946	1,789	472	228
うち国からの受託	3,870	455	860	227	110
その他受託	4,177	491	928	245	119
間接経費	0	0	0	0	0
計	19,211	7,876	9,310	10,342	9,269

産業技術総合研究所

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
収入					
運営費交付金	5,630	7,114	7,807	7,106	66,428
施設整備費補助金	0	0	0	24,998	24,998
受託収入	1,110	641	21	1,576	14,830
うち国からの受託収入	534	308	10	505	6,880
その他からの受託収入	576	333	11	1,071	7,950
その他収入	826	1,433	2,288	2,460	12,763
計	7,566	9,189	10,116	36,141	119,019
支出					
業務経費	6,455	8,548	10,095	0	69,624
うちエネルギー・環境領域	0	0	0	0	11,164
生命工学領域	0	0	0	0	6,931
情報・人間工学領域	0	0	0	0	7,522
材料・化学領域	0	0	0	0	9,870
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	9,040
地質調査総合センター	6,455	0	0	0	6,455
計量標準総合センター	0	8,548	0	0	8,548
その他本部機能	0	0	10,095	0	10,095
施設整備費	0	0	0	24,998	24,998
受託経費	1,110	641	21	0	13,254
うち国からの受託	534	308	10	0	6,375
その他受託	576	333	11	0	6,879
間接経費	0	0	0	11,143	11,143
計	7,566	9,189	10,116	36,141	119,019

資料

別表 3

平成 28 年度収支計画

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
費用の部	21,002	7,911	9,857	10,001	8,458
經常費用	21,002	7,911	9,857	10,001	8,458
エネルギー・環境領域	9,840	0	0	0	0
生命工学領域	0	6,109	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	6,629	0	0
材料・化学領域	0	0	0	8,699	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	7,968
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
受託業務費	7,093	833	1,576	416	201
間接経費	0	0	0	0	0
減価償却費	4,070	969	1,651	886	288
財務費用	0	0	0	0	0
支払利息	0	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0	0
固定資産除却損	0	0	0	0	0
収益の部	20,951	7,864	9,708	9,960	8,538
運営費交付金収益	8,612	5,220	5,811	7,537	6,992
国からの受託収入	3,870	455	860	227	110
その他の受託収入	4,177	491	928	245	119
その他の収入	1,393	1,009	928	1,319	1,107
資産見返負債戻入	2,899	690	1,180	632	210
財務収益	0	0	0	0	0
受取利息	0	0	0	0	0
臨時利益	0	0	0	0	0
固定資産売却益	0	0	0	0	0
純利益（△純損失）	△ 51	△ 47	△ 149	△ 42	80
前中期目標期間繰越積立金取崩額	0	0	0	0	0
総利益（△総損失）	△ 51	△ 47	△ 149	△ 42	80

産業技術総合研究所

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
費用の部	7,052	9,345	9,093	9,878	92,596
経常費用	7,052	9,345	9,093	9,878	92,596
エネルギー・環境領域	0	0	0	0	9,840
生命工学領域	0	0	0	0	6,109
情報・人間工学領域	0	0	0	0	6,629
材料・化学領域	0	0	0	0	8,699
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	7,968
地質調査総合センター	5,690	0	0	0	5,690
計量標準総合センター	0	7,534	0	0	7,534
その他本部機能	0	0	8,897	0	8,897
受託業務費	979	565	19	0	11,682
間接経費	0	0	0	9,821	9,821
減価償却費	384	1,246	177	57	9,728
財務費用	0	0	0	0	0
支払利息	0	0	0	0	0
臨時損失	0	0	0	0	0
固定資産除却損	0	0	0	0	0
収益の部	7,171	9,233	9,316	10,340	93,081
運営費交付金収益	4,962	6,270	6,881	6,263	58,548
国からの受託収入	534	308	10	505	6,880
その他の受託収入	576	333	11	1,071	7,950
その他の収入	826	1,433	2,288	2,460	12,763
資産見返負債戻入	273	888	126	40	6,939
財務収益	0	0	0	0	0
受取利息	0	0	0	0	0
臨時利益	0	0	0	0	0
固定資産売却益	0	0	0	0	0
純利益（△純損失）	119	△ 112	223	463	484
前中期目標期間繰越積立金取崩額	0	0	0	0	0
総利益（△総損失）	119	△ 112	223	463	484

別表 4

平成 28 年度資金計画

(単位：百万円)

区 別	エネルギー・環境領域	生命工学領域	情報・人間工学領域	材料・化学領域	エレクトロニクス・製造領域
資金支出	19,211	7,876	9,310	10,342	9,269
業務活動による支出	16,932	6,942	8,206	9,115	8,169
エネルギー・環境領域	9,840	0	0	0	0
生命工学領域	0	6,109	0	0	0
情報・人間工学領域	0	0	6,629	0	0
材料・化学領域	0	0	0	8,699	0
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	7,968
地質調査総合センター	0	0	0	0	0
計量標準総合センター	0	0	0	0	0
その他本部機能	0	0	0	0	0
受託業務費	7,093	833	1,576	416	201
その他の支出	0	0	0	0	0
投資活動による支出	2,279	934	1,104	1,227	1099
有形固定資産の取得による支出	2,279	934	1,104	1,227	1099
施設費の精算による返還金の支出	0	0	0	0	0
財務活動による支出	0	0	0	0	0
短期借入金の返済による支出	0	0	0	0	0
次期中期目標期間繰越金	0	0	0	0	0
資金収入	19,211	7,876	9,310	10,342	9,269
業務活動による収入	19,211	7,876	9,310	10,342	9,269
運営費交付金による収入	9,771	5,922	6,593	8,551	7,933
国からの受託収入	3,870	455	860	227	110
その他の受託収入	4,177	491	928	245	119
その他の収入	1,393	1,009	928	1,319	1,107
投資活動による収入	0	0	0	0	0
有形固定資産の売却による収入	0	0	0	0	0
施設費による収入	0	0	0	0	0
その他の収入	0	0	0	0	0
財務活動による収入	0	0	0	0	0
短期借り入れによる収入	0	0	0	0	0
前年度よりの繰越金	0	0	0	0	0

産業技術総合研究所

(単位：百万円)

区 別	地質調査総合センター	計量標準総合センター	その他本部機能	法人共通	合計
資金支出	7,566	9,189	10,116	36,141	119,019
業務活動による支出	6,668	8,099	8,916	9,821	82,868
エネルギー・環境領域	0	0	0	0	9,840
生命工学領域	0	0	0	0	6,109
情報・人間工学領域	0	0	0	0	6,629
材料・化学領域	0	0	0	0	8,699
エレクトロニクス・製造領域	0	0	0	0	7,968
地質調査総合センター	5,690	0	0	0	5,690
計量標準総合センター	0	7,534	0	0	7,534
その他本部機能	0	0	8,897	0	8,897
受託業務費	979	565	19	0	11,682
その他の支出	0	0	0	9,821	9,821
投資活動による支出	897	1,090	1,200	26,320	36,151
有形固定資産の取得による支出	897	1,090	1,200	26,320	36,151
施設費の精算による返還金の支出	0	0	0	0	0
財務活動による支出	0	0	0	0	0
短期借入金の返済による支出	0	0	0	0	0
次期中期目標期間繰越金	0	0	0	0	0
資金収入	7,566	9,189	10,116	36,141	119,019
業務活動による収入	7,566	9,189	10,116	11,143	94,021
運営費交付金による収入	5,630	7,114	7,807	7,106	66,428
国からの受託収入	534	308	10	505	6,880
その他の受託収入	576	333	11	1,071	7,950
その他の収入	826	1,433	2,288	2,460	12,763
投資活動による収入	0	0	0	24,998	24,998
有形固定資産の売却による収入	0	0	0	0	0
施設費による収入	0	0	0	24,998	24,998
その他の収入	0	0	0	0	0
財務活動による収入	0	0	0	0	0
短期借り入れによる収入	0	0	0	0	0
前年度よりの繰越金	0	0	0	0	0

資料

5. 職員

平成28年度形態別・機能別職員数

所属名称	役員	職員								事務職等	総計
			研究職	(内)パーマ ナメント	(内)招へい 型任期付	(内)プロジ ェクト 型任期付	(内)研究テ ーマ型 任期付	(内)博士型 任期付	(内)産業技 術人材 育成型 任期付		
理事	11										11
監事	2										2
エネルギー・環境領域研究戦略部		17	15	13		2				2	17
創エネルギー研究部門		54	54	41		1	4	8			54
電池技術研究部門		45	45	39				6			45
省エネルギー研究部門		46	46	39		1		6			46
環境管理研究部門		53	53	43				10			53
安全科学研究部門		43	43	39				4			43
太陽光発電研究センター		39	39	35		2	1	1			39
再生可能エネルギー研究センター		35	35	16		1	1	17			35
先進パワーエレクトロニクス研究センター		33	33	27				1	5		33
生命工学領域研究戦略部		15	14	14						1	15
創薬基盤研究部門		32	32	28				4			32
バイオメディカル研究部門		101	101	85		1		15			101
健康工学研究部門		45	45	39		1		5			45
生物プロセス研究部門		55	55	45				10			55
創薬分子プロファイリング研究センター		14	14	10		1		3			14
情報・人間工学領域研究戦略部		16	15	14		1				1	16
情報技術研究部門		46	46	33	1	1		11			46
人間情報研究部門		73	73	63				10			73
知能システム研究部門		47	47	40		1		6			47
自動車ヒューマンファクター研究センター		15	14	10		2		2		1	15
ロボットイノベーション研究センター		24	24	22				2			24
人工知能研究センター		64	63	36		18		9		1	64
材料・化学領域研究戦略部		19	18	18						1	19
機能化学研究部門		61	61	51			1	9			61
化学プロセス研究部門		46	46	38				8			46
ナノ材料研究部門		46	46	40				6			46
無機機能材料研究部門		50	50	43				7			50
構造材料研究部門		53	53	44				9			53
触媒化学融合研究センター		37	37	26		4		7			37
ナノチューブ実用化研究センター		12	12	10		1		1			12
機能材料コンピューショナルデザイン研究センター		29	29	25		1		3			29
磁性粉末冶金研究センター		20	20	16		1		3			20
エレクトロニクス・製造領域研究戦略部		16	15	15						1	16
ナノエレクトロニクス研究部門		59	59	48		1		10			59
電子光技術研究部門		84	84	70		2		12			84
製造技術研究部門		66	66	55		1		10			66
スピントロニクス研究センター		18	18	9	1			8			18
フレキシブルエレクトロニクス研究センター		24	24	16		1		7			24
先進コーティング技術研究センター		16	16	15				1			16
集積マイクロシステム研究センター		21	21	14				7			21
地質調査総合センター研究戦略部		10	9	9						1	10
活断層・火山研究部門		63	63	47	1		1	13	1		63
地圏資源環境研究部門		56	56	47				9			56
地質情報研究部門		71	71	62				9			71
地質情報基盤センター		28	8	8						20	28
計量標準総合センター研究戦略部		18	15	15						3	18
工学計測標準研究部門		77	77	75				2			77
物理計測標準研究部門		72	72	65				5			72

産業技術総合研究所

所属名称	役員	職員								事務職等	総計
			研究職	(内)パーマ ネット	(内)招へい 型任期付	(内)プロジ エクト 型任期付	(内)研究テ ーマ型 任期付	(内)博士型 任期付	(内)産業技 術人材 育成型 任期付		
物質計測標準研究部門		75	75	70					5		75
分析計測標準研究部門		58	58	51			1		6		58
計量標準普及センター		18	13	13						5	18
コンプライアンス推進本部		9	3	3						6	9
監査室		5								5	5
評価部		9	6	6						3	9
企画本部		72	33	32			1			39	72
イノベーション推進本部		16	14	13		1				2	16
イノベーション推進企画室		11	7	7						4	11
技術マーケティング室		5	1	1						4	5
ベンチャー開発・技術移転センター		10	1	1						9	10
産学官・国際連携推進部		52	8	8						44	52
知的財産・標準化推進部		22	6	6						16	22
地域連携推進部		14	7	7						7	14
TIA 推進センター		35	13	9		1	3			22	35
環境安全本部											
環境安全企画部		18								18	18
安全管理部		25	9	9						16	25
建設部		13								13	13
情報基盤部		16	1	1						15	16
総務本部		1						1		1	1
人事部		64	9	9						55	64
経理部		41								41	41
業務推進支援部		12								12	12
ダイバーシティ推進部		6	2	1				1		4	6
イノベーションスクール		3	3	3							3
つくばセンター		3	1	1						2	3
つくばセンターつくば中央第一事業所		20								20	20
つくばセンターつくば中央第二事業所		33								33	33
つくばセンターつくば中央第三事業所		16	1	1						15	16
つくばセンターつくば中央第五事業所		29	1	1						28	29
つくばセンターつくば中央第六事業所		13	1	1						12	13
つくばセンターつくば中央第七事業所		16								16	16
つくばセンターつくば西事業所		23								23	23
つくばセンターつくば東事業所		12								12	12
福島再生可能エネルギー研究所		20	3	2			1			17	20
臨海副都心センター		29	4	3			1			25	29
北海道センター		20	5	4			1			15	20
東北センター		16	5	5						11	16
中部センター		30	7	6			1			23	30
関西センター		38	11	10			1			27	38
中国センター		11	3	3						8	11
四国センター		12	2	2						10	12
九州センター		15	4	4						11	15
職員合計	13	2950	2269	1905	5	55	9	295	1	681	2963

