



令和元年度  
研究評価委員会  
(材料・化学領域)  
評価報告書

令和2年6月



## 評価報告書 目次

1. 評価委員会議事次第	1
2. 評価委員	3
3. 評価資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	5
4. 説明資料（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	41
5. 主な指標の情報（委員会開催時 <sup>1</sup> ）	121
6. 評価委員コメント及び評点	123

---

<sup>1</sup> 令和2年3月9日



**国立研究開発法人 産業技術総合研究所**  
**令和元年度 研究評価委員会（材料・化学領域）**  
**議事次第**

日時：令和2年3月9日（月） 10:00-17:35  
 場所：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 つくば中央第五事業所（5-2棟6階 第3、4会議室）

開会挨拶	理事／評価部長	加藤 一実	10:00-10:05
委員等紹介・資料確認	評価部研究評価室	西村 聡	10:05-10:10

領域による説明（質疑含む）（議事進行：高田 雅介 評価委員長）

- |   |               |        |             |
|---|---------------|--------|-------------|
| 1. 領域の概要と研究開発マネジメント<br>（説明30分、質疑・評価記入30分）                           | 理事／材料・化学領域長   |        | 10:10-11:10 |
| ・第4期中長期目標期間の実績・成果   |               |        | 村山 宣光       |
| ・令和元年度の実績・成果  |               |        |             |
| 2. 「橋渡し」のための研究開発<br>（1）「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）<br>（説明35分、質疑・評価記入30分） |               |        | 11:10-12:15 |
| 全体説明（25分）   | 材料・化学領域 研究戦略部 | 研究戦略部長 | 濱川 聡        |
| トピックス紹介①（10分）   | 無機機能材料研究部門    | 研究部門長  | 松原 一郎       |
| ・第4期中長期目標期間の実績・成果   |               |        |             |
| ・令和元年度の実績・成果  |               |        |             |
| 昼食・休憩（45分）  |               |        | 12:15-13:00 |
| 現場見学会（65分）  |               |        | 13:00-14:05 |
| ・「先端化学材料の評価技術」に関する研究  |               |        |             |
| ・「物質吸着・変換用ナノ粒子の開発」に関する研究  |               |        |             |
| ・「砂からテトラアルコキシシランの直接製造プロセス」に関する研究                                    |               |        |             |
| 休憩（5分）  |               |        | 14:05-14:10 |
| （2）「橋渡し」研究前期における研究開発<br>（説明25分、質疑・評価記入30分）                          |               |        | 14:10-15:05 |
| 全体説明（15分）   | 材料・化学領域 研究戦略部 | 研究戦略部長 | 濱川 聡        |
| トピックス紹介②（10分）   | ナノ材料研究部門      | 研究部門長  | 佐々木 毅       |
| ・第4期中長期目標期間の実績・成果   |               |        |             |
| ・令和元年度の実績・成果  |               |        |             |
| （3）「橋渡し」研究後期における研究開発<br>（説明30分、質疑・評価記入30分）                          |               |        | 15:05-16:05 |
| 全体説明（20分）   | 材料・化学領域 研究戦略部 | 研究戦略部長 | 濱川 聡        |
| トピックス紹介③（10分）   | 化学プロセス研究部門    | 首席研究員  | 蛭名 武雄       |
| ・第4期中長期目標期間の実績・成果   |               |        |             |
| ・令和元年度の実績・成果  |               |        |             |
| 休憩（15分）   |               |        | 16:05-16:20 |

総合討論・評価委員討議・講評	(議事進行：高田 雅介 評価委員長)	
総合討論（領域等への質疑を含む）	(25分)	16:20-16:45
評価委員討議（領域等役職員 退席）	(20分)	16:45-17:05
評価記入（領域等役職員 退席）	(20分)	17:05-17:25
・第4期中長期目標期間の実績・成果		
・令和元年度の実績・成果		
委員長講評（領域等役職員 着席）	(5分)	17:25-17:30
閉会挨拶	理事／評価部長 加藤 一実	17:30-17:35

## 評価委員

材料・化学領域

委員長	氏名	所属	役職名
○	高田 雅介	一般社団法人 ファインセラミックスセンター	専務理事
	伊藤 吾朗	茨城大学 工学部 機械システム工学科	教授
	大江田 憲治	公益社団法人 日本工学アカデミー	常務理事
	鷹野 景子 (欠席)	お茶の水女子大学 基幹研究院 自然科学系	教授
	長瀬 公一	東レ株式会社 研究本部	嘱託

所属・役職名は委員会開催時





**国立研究開発法人 産業技術総合研究所**  
**令和元年度 研究評価委員会（材料・化学領域）**  
**評価資料**

**1. 領域の概要と研究開発マネジメント**

**(1) 領域全体の概要・戦略**

**【背景・実績・成果】**

材料・化学領域では、材料技術と化学技術の融合による、部素材のバリューチェーン強化の実現を念頭に、機能性化学品の付加価値を高めるための技術開発、及び新素材を実用化するための技術開発を通じて、素材産業や化学産業への技術的貢献を目指す。

第4期中長期目標期間（第4期）における研究開発においては、最終製品の競争力の源となる革新的部材・素材を提供することを目指し、材料の研究と化学の研究との統合によって、グリーンサステイナブルケミストリーの推進、及び化学プロセスイノベーションの推進に取り組む。また、ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術、新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料、及び省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材を開発する。これら5つの研究開発課題を領域に所属する研究者408名（内、常勤研究職員382名）が以下の5つの研究部門（Research Institute: RI）、4つの研究センター（Research Center: RC）において実施した。

**【課題項目①】 グリーンサステイナブルケミストリーの推進**

- ・機能化学 RI（部門長：北本大、研究職員数：49、拠点：中国、つくば）
- ・触媒化学融合 RC（センター長：佐藤一彦、研究職員数：47、拠点：つくば）

**【課題項目②】 化学プロセスイノベーションの推進**

- ・化学プロセス RI（部門長：古屋武、研究職員数：46、拠点：東北、つくば）

**【課題項目③】 ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発**

- ・ナノ材料 RI（部門長：佐々木毅、研究職員数：47、拠点：つくば）
- ・ナノチューブ実用化 RC（センター長：畠賢治、研究職員数：21、拠点：つくば）
- ・機能材料コンピューショナルデザイン RC（センター長：浅井美博、研究職員数：32、拠点：つくば）

**【課題項目④】 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発**

- ・無機機能材料 RI（部門長：松原一郎、研究職員数：54、拠点：中部、関西）
- ・磁性粉末冶金 RC（センター長：尾崎公洋、研究職員数：22、拠点：中部）

**【課題項目⑤】 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発**

- ・構造材料 RI（部門長：吉澤友一、研究職員数：48、拠点：中部）

材料・化学領域の上記9つの研究部門及び研究センターは、つくばセンター（220名）、東北センター（31名）、中部センター（108名）、関西センター（23名）、中国センター（19名）の5拠点に主に配置され、各拠点が連携して研究課題に取り組んだ。

材料・化学領域では、第4期を通して、大学等のキャンパス内に設置する産学官連携研究拠点「オープンイノベーションラボラトリ」、通称「OIL（オー・アイ・エル）」の整備を行ってきた。平成28年度には産総研・東大 先端オペランド計測技術オープンイノベーションラボラトリ

(OPERANDO-OIL)と、産総研・東北大 数理先端材料モデリングオープンイノベーションラボラトリー(MathAM-OIL)を設立した。加えて令和元年度には産総研・筑波大 食薬資源工学オープンイノベーションラボラトリー(FoodMed-OIL)を設立した。また、OILを通じて、優れた研究開発能力を持った大学院生等をリサーチアシスタント(RA)として雇用し、優秀な若手人材の確保と同時に、効率的な「橋渡し」研究人材の育成と拡充を図った。また、材料・化学領域では第4期を通して、産総研内に設置した企業名を冠したラボ、すなわち「連携研究室/連携研究ラボ」(通称「冠ラボ」)を計8件設立した。平成28年度には「日本ゼオン-産総研 カーボンナノチューブ実用化連携研究ラボ」、「DIC-産総研化学ものづくり連携研究室」の2件を設立し、平成29年度には「日本特殊陶業-産総研ヘルスケア・マテリアル連携研究ラボ」、「日本ゼオン・サンアロー・産総研CNT複合材料研究拠点」、「矢崎総業-産総研 次世代つなぐ技術 連携研究ラボ」の3件を設立した。また平成30年度は「UACJ-産総研アルミニウム先端技術連携研究ラボ」の1件がスタートした。令和元年度も冠ラボによる連携を進めるべくマーケティングを進めた結果、「バルカー-産総研 先端機能材料開発連携研究ラボ」、「DIC-産総研サステナビリティマテリアル連携研究ラボ」の2件を設立した。

領域の運営にあたっては、領域長、研究戦略部長、研究企画室長の領域3役と研究ユニット長(研究部門長及び研究センター長)の間で月2回開催されるユニット長会議を通して情報共有を図り、十分な議論を踏まえて第4期における領域の運営を行った。特に、組織の予算や人材が最大限に活用できるように、予算執行、職員採用、人事異動について、適宜合理的に行った。

領域のビジョン「夢の素材で人を巻き込み、グローバルな価値を創る」の実現に向け、材料・化学領域では上述の課題項目①から⑤で示される5の戦略課題の23のサブテーマを4つのアウトカム、すなわち「環境調和」、「省エネ」、「産業革新」、「快適」に分類し、それぞれのサブテーマがこれら4つのアウトカムのどれを目指すのかを意識したマネジメントを行ってきた。

さらに、将来の社会ニーズに対応した研究を行うための取り組みとして、平成28年6月28日に公表した「産業技術総合研究所の2030年に向けた研究戦略」を踏まえ、(1)環境調和を牽引する新素材・新化学プロセス技術、(2)コンピューテーショナルデザインによる新機能性材料開拓、(3)環境変化にアクティブに応答する高付加価値材料、(4)食糧や水の安定供給を実現する新素材やシステム、の4つの重点化課題を設定した。これらの課題への取り組みとして、平成27～令和元年度の5年間で領域内に5つのワーキンググループ(WG)を立ち上げて、研究戦略等について領域内で議論を行ってきた。また、産業界への「橋渡し」の実現を目的として、技術シーズを創出するための支援制度を制定し、基礎研究力の強化を図ってきた。令和元年度においては、産総研の第5期中長期目標期間(第5期)に向け、材料・化学領域が創出した「橋渡し」を実現するための技術シーズを国家プロジェクトや企業連携プロジェクト、日本学術振興会(JSPS)の科学研究費助成事業(科研費)「新学術領域研究」の提案等に発展させ、研究体制の強化と研究開発の加速を図った。以上により、材料・化学領域の目指す4つのアウトカム(「環境調和」、「省エネ」、「産業革新」、「快適」)を実現し、我が国の素材産業と化学産業の国際競争力の強化に貢献した。

材料・化学領域では、第4期を通して産総研内の他の領域との連携を積極的に進め、各領域が持つ技術や知識の相乗効果が期待できる共同研究を促進した。エネルギー・環境領域とは、平成28年度に共同で設立した「固体酸化物エネルギー変換先端技術コンソーシアム」を通じて、「燃料電池」に関する連携研究を展開した。エレクトロニクス・製造領域とは、平成27年度より科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(CREST)「カルコゲン化合物・超格子のトポロジカル相転移を利用した二次元マルチフェロイック機能デバイスの創製」で「メモリ材料」に関する共同研究を実施した。生命工学領域とは、平成29年度に設立した「日本特殊陶業-産総研ヘルスケア・マテリアル連携研究ラボ」にて、「ヘルスケア・マテリアル」の開発を始めた。情報・人間工学領域とは、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト(以下、超超PJ)」にて、「計算科学-プロセス-計測技術の連携による機能性材料の開発時間短縮に向けた研究」を推進した。平成30年度以降は、上述の他領域との連携を継続すると共に、蓄積された技術シーズを活用して大型企業共同研究の拡充を行い、橋渡しを行った。

材料・化学領域では、第4期の研究ロードマップとロードマップにおけるポートフォリオの位

置づけを定量的に描いてマネジメントを実施した。第4期の時間軸を意識した研究開発の plan-do-check-action (PDCA) マネジメントを徹底化するため、Technology Readiness Level (TRL) を用いた。TRL とは、技術開発研究過程において、重要な要素技術の成熟度を推定するために用いられる方法である。通常、TRL=9 を最も成熟した技術とし、1 から 9 までの値でスケールすることによって、異なるタイプの研究・技術でもそれらの成熟度を均一にチェックすることが可能になる。TRL の数値と研究の位置付けは以下のとおりである。

- TRL 1: 基本現象の発見、原型装置の開発
- TRL 2: 原理・現象の拡張
- TRL 3: 技術コンセプトの確認
- TRL 4: 応用的な開発 (要素技術段階)
- TRL 5: ラボテスト (要素技術段階)
- TRL 6: 実証・プロトタイプ機 (システムレベル)
- TRL 7: トップユーザーテスト (システムレベル)
- TRL 8: パイロットライン導入
- TRL 9: 大量生産開始

(「橋渡し」のための研究開発を TRL に対応させ、「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)は TRL 1-3、「橋渡し」研究前期における研究開発は TRL3-5、「橋渡し」研究後期における研究開発は TRL6 以上に該当する。)

材料・化学領域では、各研究課題が第4期開始時に TRL 上でどのフェーズにあり、第4期終了時にどのフェーズまで進めるのかを目標に定め、この目標と進捗状況を常に比較することで、重点化する研究課題の選択や研究計画の見直しを行ってきた。具体的には、各々の研究部門と研究センターは数名の外部有識者をアドバイザーとして招へいしているが、11月頃に行われるアドバイザーとの研究課題の進展についての意見交換の際や、その結果を踏まえて、12月に行われる領域研究戦略部による各研究部門と研究センターへのヒアリング時の進捗確認の際に、TRL の修正を実施した。

また、研究開発の進め方に関しても、目的基礎研究と「橋渡し」研究前期及び後期を両立させるために、「民間資金を獲得すると目的基礎研究が加速され、それが新たな民間資金の獲得につながる」モデルの構築を目指した。研究者個人だけで対応するのでは共同研究の規模は限定されやすく、このモデルの実現は困難である。そのために、研究グループや研究チームの総合力によって、企業との調整時間の増大への対応及び論文を執筆して掲載されるまでに必要となる時間の短縮や労力の軽減を図った。同時に、民間資金獲得の成功事例から抽出される方法論を職員全員へ徹底して周知することで、職員一人一人の民間資金獲得に対する意識改革を行った。その一方で、「新規材料の創出に繋がる重要な基盤技術に関しては産総研単独で特許を確保し、応用技術分野については、企業との共同研究や技術開発による知財を生み出す」というモデルは維持することにより、産総研技術の社会への普及を図った。

第4期において特筆すべき成果としては、「粘土を用いた機能性材料の創製」と「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法の確立」の2つが挙げられる。材料・化学領域では、産総研が開発した粘土を主成分とする膜「クレスト」が有する高機能性に着目し、これを生かした製品の事例化展開を第4期を通して実施してきた。市販品よりも1,000倍程度の高いガスバリア性を実現できる点がクレストの特徴の一つであり、例えば不燃透明材やガスバリアフィルムなどとして既に8件の製品化を達成した。また、令和2年度には「ガスバリアフィルムに用いる粘土ナノプレートの特性及びその評価法」に関する ISO 規格を発行する予定である。一方、「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法の確立」では、砂などの安価なケイ素源から無機ケイ素材料の原料となるテトラアルコキシシランを合成する方法を第4期を通して開発し、これを世界で初めて確立した。スケールアップを進めることで原料転化率70%以上の実現が見込めるため、その製造方法の省エネルギー・低コスト化は国内市場規模2,000億円のケイ素化学産業全体に与えるインパクトも大きく、日刊工業新聞(平成27年)や化学工業日報(令和元年)などの新聞6

紙にも取り上げられた。

民間資金獲得額の目標達成に向けて、材料・化学領域では領域のマーケティング力を強化すべく、第4期を通して「スポーツ工学プロジェクト」、「食糧・水WG」、「アクティブマテリアルWG」、「環境調和材料WG」、「第5期研究戦略検討WG」、「海洋プラスチックWG」を設立し、産総研の技術を「橋渡し」する企業を新たに開拓するための研究戦略について議論を行ってきた。また、技術コンサルティング制度の広報に努め、技術を「橋渡し」対象となる企業数の拡大を図った。これらの結果、令和元年度はコンサルティング契約成立件数94件、総額1億5,553万円の資金の獲得に繋がった(12月末現在)。また、平成27年度より始められた産総研つくばセンターで年に一度開催される「テクノブリッジフェア in つくば」では、招待した民間企業の幹部と領域長が意見交換を行うことで、冠ラボの設置や包括的な研究連携など大型の資金提供を伴う連携を強く推進した。第4期を通して意見交換を実施した企業は累計85社となった。

組織内の若手雇用・育成については、第4期を通じて、OIL等から優れた大学院生等をRAとして雇用する一方で、イノベーションスクールによる大学院生及びポストドクターに対する人材育成も行った。その結果、第4期当初の平成27年度に11名であったRAとイノベーションスクール生の総数は、令和元年度では73名(12月末現在)となった。また、領域の常勤若手研究者に対しては、平成27年度より、「領域萌芽研究」を公募し、目的基礎研究の充実や科研費獲得のための積極的支援を行った。さらに、令和元年度より、「材料・プロセス研究のメカニズム解明支援」を公募し、独創的な物性発現や新規プロセスについて、領域内融合によるメカニズム解明の支援を行った。加えて、「領域フェロシップ制度」により長期間の海外留学を奨励し、グローバルな共同研究活動を実現する国際ネットワークの構築や拡大を支援した。シニア世代に関しては、各員の知識や経験が最大限に活用できるように適切な業務への異動を適宜行った。例えば、平成30年度には中部センター常勤の研究グループ長を、つくばセンターの patents オフィサー(P0)へと本人の希望に基づき起用し、また令和元年度には研究部門やセンターの副部門長と副センター長それぞれ1名を領域のイノベーションコーディネーター(IC)として起用するなど、新たなキャリアパスへの展開を図った。今後、材料・化学領域においてはP0やICからの提案による新たな研究テーマ創出も積極的に行っていく予定であり、シニア世代における適材適所の人材活用によって知財戦略強化やマーケティング力の強化につながると考えている。

第4期の評価指標に関し、民間資金獲得額は、

平成27年度：9.2億円  
平成28年度：11.6億円  
平成29年度：15.3億円  
平成30年度：18.0億円  
令和元年度：18.8億円(12月末現在)

となった。論文の発表数は、

平成27年度：508報  
平成28年度：497報  
平成29年度：522報  
平成30年度：506報  
令和元年度：354報(12月末現在)

となった。一方、論文の合計被引用数は、

平成27年度：10,351回  
平成28年度：10,767回  
平成29年度：11,506回  
平成30年度：12,337回  
令和元年度：13,161回(12月末現在)

となり、基礎研究の成果の指標となる論文数や論文の合計被引用数は、第4期を通して概ね一定の値を維持しつつ、その一方で民間資金獲得額を着実に増加させてきた。具体的には、令和元年度の民間資金獲得額(12月末現在)は、平成23年度～平成25年度実績の平均額(6.6億円)に

比べ 285%（令和元年度 12 月末）まで着実に増加した。実施契約等件数は、

平成 27 年度：232 件

平成 28 年度：218 件

平成 29 年度：220 件

平成 30 年度：246 件

令和元年度：225 件（12 月末現在）

であり、第 4 期を通じて目標値である 230 件をほぼ達成しており一定の水準を保った。人材育成に関しては RA とイノベーションスクール生の総数は、

平成 27 年度：11 名

平成 28 年度：36 名

平成 29 年度：53 名

平成 30 年度：55 名

令和元年度：73 名（12 月末現在）

となった。

第 4 期中長期目標期間の累計として、1,000 万円以上の橋渡し研究を企業と実施した件数は 89 件（うち令和元年度実施の件数：14 件）であった。また、これらの事業化の実績として、知的財産の譲渡契約及び実施契約は期間中で 13 件（うち令和元年度契約の件数：2 件）、製品化は期間中で 28 件（うち令和元年度製品化の件数：4 件）であった。

#### 【成果の意義・アウトカム】

材料・化学領域が目指す価値造り、すなわちアウトカムは「産業革新」、「省エネ」、「環境調和」、「快適」である。そこで、材料・化学領域では、領域全体で定めた 5 の戦略課題及びそれに含まれる 23 のサブテーマが、これら 4 つのアウトカムのどれを目指すのかを意識したマネジメントを行った。また、技術の橋渡しに向け、各戦略課題の TRL ロードマップを用いることで時間軸を意識したマネジメントを行った。さらに、領域 WG による研究戦略の立案、領域内萌芽研究や PJ による技術シーズの育成、国家プロジェクトによる企業や大学と連携した「橋渡し」研究の推進などについて、領域戦略部が主体となって強力に推し進めることで、4 つのアウトカムに向かって研究開発を着実に進展させた。第 4 期を通して得られた成果において、もっとも特筆すべきものとしては民間資金獲得額の増加である。第 4 期における民間資金獲得額は、

平成 27 年度：9.2 億円

平成 28 年度：11.6 億円

平成 29 年度：15.3 億円

平成 30 年度：18.0 億円

令和元年度：18.8 億円（12 月末現在）

となり、平成 23 年度～平成 25 年度実績の平均額の 6.6 億円と比較して顕著な増加となった。共同研究による民間資金獲得額の増加は、材料・化学領域の持つ技術が企業によって活用されたことを示す。しかしながら民間資金獲得額が目標値に僅かに到達しなかった要因としては、当初に見込まれていたいくつかの大型共同研究が最終的な契約に至らなかったことが挙げられる。これは、当該企業の経営状況の変化によるところが大きい。改善に向けた取組としては、これまで以上にマーケティングの強化を推進することで常に「真の企業ニーズ」の把握に努めると共に、材料・化学領域が有する技術シーズの分析も行い、そのマッチングを図ることで対応する。

一方、論文の発表数は、

平成 27 年度：508 報

平成 28 年度：497 報

平成 29 年度：522 報

平成 30 年度：506 報

令和元年度：354 報（12 月末現在）

となった。また、材料・化学領域の研究者が、平成 27 年度は日本セラミックス協会進歩賞を受

賞をし、平成 28 年度は日本セラミックス協会及び The American Ceramic Society よりフェロー表彰、さらには Nano tech 大賞、平成 29 年度は日本冷凍空調学会学術賞、日本塑性加工学会学術賞、平成 30 年度はケイ素化学協会奨励賞や高分子分析討論会審査委員賞、令和元年度は第 51 回市村賞 市村地球環境学術賞 貢献賞や一般社団法人粉体粉末冶金協会研究進歩賞、無機マテリアル学会学術賞、日本化学会 BCSJ 賞などを受賞しており、社会的インパクトが高く、かつ優れた目的基礎研究として評価された。これらは、橋渡しに向けた共同研究が強く推し進められる中、新しい技術の萌芽となる基礎研究についても一定レベルでの活動が維持されたことを示しており、材料・化学領域が掲げる「民間資金の獲得によって目的基礎研究が加速され、それが新たな民間資金の獲得につながる」という研究の新しい様式が確立されたことを意味する。

#### 【課題と対応】

材料・化学領域では、第 4 期において橋渡しに向けた目的基礎研究、及びそれを基にした応用研究が推進され、着実に研究成果や新規開発技術の蓄積が進められてきた。第 5 期以降もこれを継続するためには、産業界のニーズや課題を的確に反映すると共に、材料・化学領域のリソースの活用、産総研の特徴や今後の方向性、さらには近年の世界的トレンドの変化と社会的課題等を考慮した研究戦略を創出し、研究計画の策定へと展開する必要がある。そこで、材料技術と化学技術に関する研究戦略を策定するための WG を設置し、素材・材料に関連する業界団体へのヒアリング等を通じて産業ニーズや技術動向を分析し、当該技術領域の研究戦略の策定と重点研究課題の抽出を行った。これらの活動を通じて、第 5 期における材料・化学領域の研究開発の方向性としては、資源循環型社会の実現による社会課題の解決を目指した資源の高度利用技術とシステム評価技術の開発、並びに素材・材料産業の競争力の強化に向けた、ナノマテリアル技術、スマート化学生産技術、革新材料技術に関わる技術シーズの創生、大学や企業等との連携を活用した実用化に向けた研究開発、等を中心に取り組むものとする。加えて、海洋プラスチック等の生分解性物質や機能性材料の評価技術等に関する標準化の推進等にも積極的にを行い、国際的な研究拠点としての機能強化に取り組むものとする。これらを強力に推進することで、第 4 期に培った橋渡し機能の一層の深化と拡張を図ると共に、持続可能社会の実現に貢献する。

### (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施

#### 【背景・実績・成果】

領域が掲げたビジョンに則り、「夢の素材」による「産業界、経済界、行政」と連携した「グローバルな価値の創造」に向けて、領域内の各研究部門及び研究センターの持つポテンシャルを活かした技術相談、技術コンサルティングの活動を積極的に行い、受託研究及び共同研究への展開を促進させた。平成 27 年度から令和元年度にかけて、受託研究・共同研究契約数は、

平成 27 年度：大企業（中堅企業を含む）180 件、中小企業 76 件

平成 28 年度：大企業 219 件、中堅・中小企業 90 件

平成 29 年度：大企業 222 件、中堅・中小企業 90 件

平成 30 年度：大企業 224 件、中堅・中小企業 88 件

令和元年度：大企業 189 件、中堅・中小企業 85 件（12 月末現在）

となった。また、第 4 期において新しく創設された技術コンサルティング契約を結んだ企業数は、

平成 27 年度：2 社

平成 28 年度：10 社

平成 29 年度：26 社

平成 30 年度：60 社

令和元年度：92 社（12 月末現在）

となった。コンサルティング収入も、

平成 27 年度：530 万円

平成 28 年度：1,869 万円

平成 29 年度：5,427 万円  
平成 30 年度：9,689 万円  
令和元年度：1 億 5,553 万円

となり、技術コンサルティング制度の導入以来、着実に増加を続けた。

材料・化学領域では積極的に国際標準化活動を進めることによって、研究活動で得られた専門知識を社会に役立てることに努めた。国内外規格・標準化活動における役職者としては、ワーキンググループ議長に該当するコンビーナとプロジェクトリーダー人数は、

平成 27 年度：データ無し  
平成 28 年度：コンビーナ 1 名、プロジェクトリーダー 2 名  
平成 29 年度：コンビーナ 2 名、プロジェクトリーダー 6 名  
平成 30 年度：コンビーナ 2 名、プロジェクトリーダー 8 名  
令和元年度：コンビーナ 2 名、プロジェクトリーダー 6 名

となった。国際標準の新規発行規格件数については、

平成 27 年度：データ無し  
平成 28 年度：2 件  
平成 29 年度：4 件  
平成 30 年度：3 件  
令和元年度：1 件

となった。一方、国際標準の規格提案件数は、

平成 27 年度：データ無し  
平成 28 年度：2 件  
平成 29 年度：5 件  
平成 30 年度：4 件  
令和元年度：3 件

となった。

#### 【成果の意義・アウトカム】

第 4 期において、材料・化学領域は領域が持つ技術を活かした技術相談、技術コンサルティングの活動を積極的に行い、受託研究及び共同研究への展開を促進させた。また国内外規格・標準化活動にも役職者として積極的に貢献し、国際標準策定による公平で合理的な産業発展へ大きく寄与してきた。注目すべき点としては、技術コンサルティング契約件数の増加である。材料・化学領域では平成 27 年度に新しく導入された技術コンサルティング制度において、領域の持つ技術による分析や技術アドバイスを行うことで、企業における新規開発テーマの選定や生産現場での技術的問題の解決策を提供してきた。第 4 期を通して示される技術コンサルティング契約件数の顕著な増加は、いかに技術コンサルティングによるサポートを必要としている企業等が多いかを示唆しており、直接的な収入の増加と共に、コンサルティングを起点として、より大型の共同研究につなげることで、さらなる民間資金獲得へとつながった。

#### 【課題と対応】

技術ポテンシャルを活かした指導助言等の活動では、平成 27 年度の技術コンサルティングの制度新設以来、その件数及び収入は顕著に増加した。第 5 期以降も、この顕著な成果を継続することが課題である。そのためには、知財戦略に基づき、産総研の生み出した発明の権利をしっかりと確保した上で、技術コンサルティング等に真摯に対応する。これにより、材料・化学領域への産業界からの信頼をさらに高め、共同研究等の企業連携に繋げていく。

また、国全体の技術政策の立案への貢献を高めることも課題である。現在、令和元年度に新たに起用した領域の IC が、NEDO 技術戦略研究センター(TSC)のフェローアドバイザーとして、国全体の技術戦略のアドバイスや研究者の選定などを行っている。今後は、このような活動を行っている領域の IC や国の諮問委員会に参画している領域長を中心として、戦略的かつ組織的な意見交換を関係省庁や経済界とより積極的に行うことで、国全体の技術政策の立案へ貢献する。

### (3) マーケティング力の強化

#### 【背景・実績・成果】

材料・化学領域では、第4期を通じて、領域のマーケティング力強化策として、領域内の9つの研究部門及び研究センターの企業相談等の状況報告を毎月集約し、研究戦略部が解析を行い、適宜、研究部門及び研究センターの幹部と情報共有を行った。加えて、技術コンサルティング制度の積極的な広報や、冠ラボの立ち上げに向けた企業との研究推進体制の構築等、企業とのコミュニケーションを円滑に実施することで、マーケティング力を強化した。また、産総研つくばセンターで年に一度開催される「テクノブリッジフェア in つくば」では、招待した民間企業の幹部と領域長が意見交換を行った。第4期を通して意見交換を実施した企業は累計85社となった。

さらに、領域の進むべき方向をより明確に打ち出すために平成27年度から令和元年度にかけて「スポーツ工学プロジェクト」、「食糧・水WG」、「アクティブマテリアルWG」、「環境調和材料WG」、「第5期研究戦略検討WG」、「海洋プラスチックWG」を設立し、技術を展開する新たな企業を開拓するための研究戦略の議論を行ってきた。例えば、平成30年度に設立した第5期研究戦略検討WGでは、材料・化学領域と関連が深い業界団体（新化学技術推進協会、ニューガラスフォーラム、日本化学工業協会、ナノテクノロジービジネス推進協議会、日本ファインセラミックス協会、日本マグネシウム協会、日本アルミニウム協会）並びに企業へのヒアリングによって得られた「社会ニーズ」と、領域の保有する「技術シーズ」を分析し、今後取り組むべき課題及びマーケティング戦略を明確にした。開拓すべき技術及び橋渡し先企業をより明確にするとともに、アピールする技術を明確化することで、マーケティング活動の拡大を図った。また、地域イノベーション創出に向けた地域センターの機能強化を推進するために、例えば、平成30年度から機能化学研究部門部門長が中国センターに常駐し、企業と一緒にセルロースナノファイバー(CNF)を使いこなすことを目標とした「なのセルロース工房」を設立し、その運営を行っている。また、材料診断ネットワークの構築の一環として、広島県との連携・協力協定の締結や、西日本における分析評価拠点設立活動に積極的に取り組んだ。

領域では平成27年から令和元年にかけて国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(nano tech)に出展し、材料・化学領域の最新の技術を企業にアピールしてきた。第18回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(nano tech 2019)では、「産業をつなぐ 産業をつくる ～産総研の物質循環技術～」に関する特別展示15件を含む35件を出展し、材料・化学領域の最新の技術を企業にアピールした。令和元年度の第19回国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(nano tech 2020)では、「健康増進や快適性を高める環境応答型材料 (SMACTIVE マテリアル: Smart + Active Material)」に関する特別展示10件を含む34件を出展した。また、日本化学会が主催する「化学フェスタ」においても、

平成27年度：新たにスタートした、産総研の材料・化学領域に期待するもの

平成28年度：健康・スポーツ工学の発展を加速する機能材料

平成29年度：マルチマテリアル化を可能とする構造接着技術

平成30年度：Sustainable development goals (SDGs)に貢献する環境調和材料・プロセス

令和元年度：持続可能な社会を目指す物質循環技術

といった特別展を開催し、材料・化学領域が有する技術シーズのアピールを行った。平成27年度及び平成30年度には、JASIS (Japan Analytical Scientific Instruments Show: 旧分析展/科学機器展)においては領域の有する材料評価技術のセミナー及び機器展示を行った。それ以外にも、計測・分析フェア、アグリビジネス創出フェア等に出展し、積極的な広報活動を展開した。加えて、令和元年度は領域に新たにICを2名配置し、上記の企業面談・トップセールスの実施や、情報収集、技術動向の調査、さらには面談後のフォローアップ業務を行った。また、令和元年度からは、領域News Letterを発行し、領域からプレスリリースした研究の紹介や、シンポジウム等の開催告知、さらには領域ICの紹介など、領域の活動や成果の紹介について、テクノブリッジ on the Webに登録されている1,000社5,000人以上の関係者にメール配信した。



第4期においては、以上の組織的なマーケティング力強化の取り組みにより、民間資金獲得額を着実に増加させ、

平成27年度：9.2億円

平成28年度：11.6億円

平成29年度：15.3億円

平成30年度：18.0億円

令和元年度：18.8億円（12月末現在）

となった。さらに、WGを通じたマーケティング情報収集により、材料・化学領域において今後さらに大きな受託研究や共同研究が期待される「情報・モビリティ」、「エネルギー・物質循環」、「ヘルスケア」、さらには「衣食住」に分類される産業分野とのマッチングを進めた。一連のマーケティング力の強化が、民間資金獲得額の増加に結びつくとともに、材料・化学領域において未開拓であった研究市場の発見及び開拓に向けた研究体制構築につながった。

#### 【成果の意義・アウトカム】

マーケティング力の強化は、第一に産総研の橋渡し先企業の開拓、第二に企業が潜在的に抱える将来の研究課題の発見、第三に長期的な視点に立った社会的な課題を発掘するために不可欠である。材料・化学領域では、「スポーツ工学プロジェクト」、「食糧・水WG」、「アクティブマテリアルWG」、「環境調和材料WG」、「第5期研究戦略検討WG」、「海洋プラスチックWG」を設立し、技術を展開する新たな企業を開拓することでマーケティング力の強化を図ってきた。この結果、企業のCTOとの議論では企業が抱える「真の企業ニーズ」を得ることができ、民間獲得資金額は第4期を通して増加を示した。とりわけ、技術コンサルティング契約件数に顕著な増加が得られた。具体的には、コンサルティング制度が導入された平成27年度は2件（530万円）であったが、令和元年度は92件（1億5,553万円）まで増加した。領域を上げてのマーケティング力の強化のための取り組みは着実な成果を上げた。

#### 【課題と対応】

材料・化学領域では、第4期は民間資金獲得額の大幅な増加を目標とし、最終目標値である年間民間資金獲得額23.1億円を達成するために、マーケティング力の強化を進めた。マーケティング力の強化によって材料・化学領域の保有する技術の橋渡しが進められ、民間資金獲得額や、とりわけ技術コンサルティング契約件数や収入は顕著な増加を示した。第5期以降は、さらに技術の橋渡しを進めることが課題である。この対策として、第4期で行った取り組みと同様に、WGを通じて企業ニーズを把握し、ニーズにマッチした技術を産業界に売り込む。加えて、材料・化学領域における企業連携推進機能の一層の強化を図り、業界団体との交流やマーケティング情報収集の能力の向上を行うことで、新たな産業分野とのマッチングを図っていく。

### （4）大学や他の研究機関との連携強化

#### 【背景・実績・成果】

材料・化学領域では、平成26年度より導入されたクロスアポイントメント制度を積極的に活用し、人的交流と連携強化に向けたプラットフォーム構築を推進することで、組織を越えた連携による領域の研究開発力強化を進めた。クロスアポイントメント件数は、

平成27年度：9件

平成28年度：15件

平成29年度：15件

平成30年度：16件

令和元年度：17件

となった。また、研究マッチング検討のための研究交流会として、平成28年度から令和元年度にかけて理化学研究所と連携シンポジウム等を開催した。例えば、令和元年度には理化学研究所・

産業技術総合研究所 第2回合同シンポジウムにおいて、「産総研－理研チャレンジ研究（新バイオマス・ニッポン総合戦略）」に関連した講演を、材料・化学領域の研究者が行った。物質・材料研究機構とは、マテリアルズ・インフォマティクスに関する国家プロジェクトの枠組み内で、人材相互協力を行った。その他、高エネルギー加速器研究機構、宇宙航空研究開発機構、国立国際医療研究センターなどの研究機関や、国公立大学（40校）や私立大学（23校）との連携を行った。

海外の研究機関との連携については、これまでにスイス連邦材料試験研究所(Empa)と平成29年5月に第1回ワークショップをスイスで開催し、平成29年10月には第2回ワークショップを産総研関西センターで開催し、連携を進めてきた。平成30年にはEmpaの研究者を短期受入する一方で、領域の研究者がEmpaに短期留学し共同研究を行った。また、平成30年度から平成31年にかけて領域の研究者がEmpaに長期留学し在外研究を行った。令和元年度は持ち帰り型研究として、連携を進める中で生まれた課題に関する5件の研究を、産総研内で実施した。タイのNational Nanotechnology Center (NANOTEC)とは、平成28年度から平成29年度にかけて研究者を受け入れ、共同研究を実施した。これを契機にワークショップを毎年相互に開催し連携を進めてきた。平成30年度にはNANOTECより研究者1名を受け入れ、令和元年度は持ち帰り型研究を3件実施した。フラウンホーファー研究機構(FhG)とは、ワークショップやミニシンポを行い、連携を深めていると共に、令和元年度にはFhG生産技術・オートメーション研究所(IPA)との幹部クラスの相互訪問を開始した。加えて、また、台湾の財団法人工業技術研究院(ITRI)とは、「AIST-ITRI Joint Symposium 2019」(令和元年11月8日)において、個別の研究課題に関して情報交換を行うと共に、連携強化を目的として相互訪問を開始した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

イノベーションを加速させるためには、大学や他の研究機関との連携強化が不可欠である。第4期において得られた大きな成果は、海外の研究機関との連携強化である。平成30年度以降、これまでに交流を続けてきたEmpaとの間で具体的な研究が開始され、領域の研究者3名が在外研究を行うと共に、持ち帰り型研究を5件実施した。NANOTECからも第4期を通して継続的に研究者を受け入れており、さらなる連携強化を目的としたワークショップを毎年相互開催で行った。これらの国際連携は、領域の研究者の国際経験を培うだけでなく、自国だけでなく世界規模での研究動向や世界市場で求められる技術の把握に繋がった。

#### 【課題と対応】

第5期以降においても、産業技術のイノベーションの加速に向けて、大学や他の研究機関との連携強化は大きな課題である。その対応としては、クロスアポイントメント制度や国際連携を活用して、複数の研究機関が集まる場を構築する。そこでは社会的課題に挑戦することを目指す。また、国際的に様々なニーズの把握も課題といえる。この課題に対しては、国外の研究機関との連携をさらに押し進めることで対応する。

### (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

#### 【背景・実績・成果】

産総研では、優れた研究開発能力を持った大学院生等をRAとして雇用し、社会ニーズの高い研究開発プロジェクトに参画させる、産総研RA制度を実施している。材料・化学領域では、第4期を通じて、領域が一元的にRAの雇用予算を管理し、従来の採用だけでなく、クロスアポイントメント制度とRA雇用を組み合わせた採用を推進してきた。この方式により、優秀な若手人材の確保と同時に、効率的な「橋渡し」研究人材の育成と拡充を図った。具体的には、平成28年度に設立された東京大学及び東北大学とのOILを通じて、大学から産総研RAの採用を積極的に推進した。その結果、RA数は、

平成27年度：10名

平成28年度：31名

平成 29 年度：39 名

平成 30 年度：48 名

令和元年度：64 名（12 月末現在）

となり、OIL を活用した研究人材の育成と拡充が進められてきた。また、材料・化学領域の職員を対象とした人材育成の一つとして、産総研フェローシップ制度による若手研究職員の海外在外研究を実施した。第 4 期を通して産総研フェローシップ制度による海外在外研究件数は、

平成 27 年度：5 件

平成 28 年度：3 件

平成 29 年度：4 件

平成 30 年度：5 件

令和元年度：3 件（12 月末現在）

となった。令和元年度は、カリフォルニア大学デービス校（アメリカ）や Empa、マサチューセッツ工科大学（アメリカ）にて海外在外研究を行った。また、研究の現場を牽引するグループ長及びチーム長の育成を目的として、グループ長研修「共鳴塾」を平成 29 年度から毎年開催した。研修では、グループの運営戦略、リーダーシップ、グループ員とのコミュニケーション及びグループ運営等における課題に対して、グループ長間での議論を促すとともに、領域長、研究部門長及び研究センター長が自身の体験談を踏まえて、適切な指導・助言を行った。令和元年度には、この「共鳴塾」での取り組みが、産総研の研修制度として採用された。加えて、領域ビジョンの共有をしっかりと進め、領域が解決すべき課題の共有や連携研究のマインドを形成させるために、領域ワークショップ(WS)を開催し、各研究部門と研究センターによる研究成果報告に加えて、領域長による材料・化学領域の研究戦略の説明や、パテントオフィサーによる領域が進める知財戦略についての解説を行った。本 WS を通じて、各研究部門及び研究センターにおける研究開発の進捗状況を相互理解し、研究部門及び研究センター間の交流を推進させることができた。令和元年度は領域ワークショップ(WS)をテレビ会議システムを用いて関連地域拠点にも中継し、参加者の合計は 289 名であった。このように、材料・化学領域では個々の研究職員の研究開発へのアクティビティをより高めるための活動を、第 4 期を通じて強力に推進した。

材料・化学領域では、平成 29 年度から女性研究員の採用増加に向けて、「女子大学院生・ポストドクと産総研女性研究者との懇談会」に領域を挙げて参加し、ポスター発表による研究紹介、研究室見学、意見交換を実施し、女子学生への広報活動に積極的に取り組んだ。また、外国籍の人材の採用増加に向けても同様に積極的に広報活動を行った。その結果、令和元年度は、新規採用者 17 名のうち、女性研究者は 5 名、外国籍の研究者は 5 名（うち女性研究者 1 名）であった。

人材の流動化については、材料・化学領域が担当する 3 件の技術研究組合から、第 4 期を通して累計 90 名をパートナー研究員として受け入れた。

#### 【成果の意義・アウトカム】

研究人材の拡充、人材の流動化、育成はイノベーションの加速とともに、組織の多様化による技術ポテンシャルの向上、ひいてはマーケティング力の強化をもたらした。平成 28 年度に東京大学及び東北大学との間で OIL を設立したことで RA 数は大きく増加し、多くの人材が研究開発プロジェクトに参画することになった。一方、材料・化学領域では第 4 期を通して領域の優秀な若手研究者には海外での在外研究の機会を提供し、先進技術の習得や国際的なネットワークの構築を促した。さらには民間獲得資金の増加等の領域の掲げる目標を達成するために、領域 WS を通じて領域の方針、戦略の理解を材料・化学領域全体に徹底化させた。加えて、領域の掲げる目標に組織的に取り組んだ結果、研究グループ及び研究チーム、さらには研究部門及び研究センターといった、より大きな集団で企業連携に対応する体制が構築された。これらの結果として、規模の大きな企業連携数の増加と、それに伴う民間資金獲得額の増加や、第 4 期を通して 8 つの冠ラボを設立し、研究部門及び研究センター全体で特定企業との連携を行うことに成功した。

#### 【課題と対応】

第5期以降においても、優れた技術の開発とその橋渡しには、高い研究能力とイノベーションマインドを兼ね備えた人材を育成することが課題である。その対応としては、OIL、RA制度を活用しながら、大学などと連携して、人材の育成に取り組む。また、領域内の職員を対象とする人材育成では、特に組織の要であるグループ長のモチベーション向上に繋がる研修「共鳴塾」の充実を図ることで対応する。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

「橋渡し」機能の強化を推進する上で、材料・化学領域では戦略課題として5つの研究開発課題項目を設定した。それぞれの課題項目における第4期中長期計画は次の通りである。

### 【課題項目①】 グリーンサステイナブルケミストリーの推進

再生可能資源等を用いて、高効率かつ低環境負荷で、各種の基礎及び機能性化学品を製造し、高度利用するための基盤技術を確立する。また、空気を新たな資源として利用可能な触媒技術の開発にも取り組む。

### 【課題項目②】 化学プロセスイノベーションの推進

各種の基礎及び機能性化学品等の製造プロセスの高効率化・省エネルギー化を実現するための化学プロセス技術を開発する。また、高温・高圧等の特異な反応場を積極的に利活用し、精密な制御が可能な新しい化学プロセス技術を開発する。

### 【課題項目③】 ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発

ナノカーボン高効率合成及びナノカーボン複合材料製造技術等、ナノ材料のナノ構造精密制御技術や複合化技術、及び先端計測技術を開発する。また、材料・デバイス開発促進のために、高度な計測技術、理論・計算シミュレーションを利用した材料開発を行う。

### 【課題項目④】 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発

無機系新素材の創製とスケールアップ製造技術及び部材化技術を開発し、資源制約の少ない元素だけを使った高耐熱磁石等の、耐環境性及び信頼性に優れた各種の産業部材を提供する。

### 【課題項目⑤】 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発

省エネルギー社会構築を目指し、軽量構造材料等の設計やプロセス技術の開発によって、輸送機器の軽量化に資する構造部材、並びに広い温度領域を想定し、各温度領域に適した熱制御部材を開発する。

## (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

総括

### 【背景・実績・成果】

材料・化学領域では、材料・化学領域が目指す4つのアウトカム（「環境調和」、「省エネ」、「産業革新」、「快適」）を実現し、我が国の素材産業と化学産業の国際競争力の強化に貢献することを目的として、領域全体で定めた5の戦略課題及びそれに含まれる23のサブテーマに準じて研究を実施した。その中で、将来の橋渡しの基となる革新的技術シーズを生み出す目的基礎研究としては、「樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築（劣化評価パッケージ）」や「配列制御シロキサンのワンポット合成法」、「階層構造を持つキトサンエアロゲル断熱材に関する研究」、「電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化」、「材料機能シミュレーション技術開発（材料インフォマティクス）」、「ガラス複合技術の開発（超低脆性ガラスの開発）」、「ガラス複合技術の開発（アップコンバージョン）」、「リサイクル炭素繊維(ReCF)の高付加価値マテリアルリサイクル材料の開発」、「短いReCFを機械特性に優れたCFRPに再生するための技術開発」などの様々な研究テーマが実施された。その結果、目的基礎研究の評価指標あるいはモニタリング指標である“論文の合計被引用数”と“論文発表数”が、材料・化学領域全体として共に目標値を超える水準を各年で保っていた。個別のテーマとしては、例えば、「電子顕微鏡計測技術の高機能

化・高性能化」に関する研究では、第4期期間を通じて、Nature誌（インパクトファクター(IF): 43.070)を含む108報の論文を公表し、公的資金としては15件（総額3億9,000万）を獲得した。加えて、この結果を元に企業共同研究が10件（総額8,879万円）、技術コンサルティングを7件(9,629万円)実施した。

また、別のモニタリング指標である“大学や他の研究機関との連携”に関する成果として、OILの設置が挙げられる。これらのOILを通じて新しい技術シーズの創出を行った結果、OPERANDO-OIL及びMathAM-OILのそれぞれの研究成果として、IFを有する学術論文が毎年20報程度発表され、さらには公的資金をコンスタントに獲得した。例えば令和元年度にはScience誌(IF: 41.037)やNature誌(IF: 43.070)など高いIF値の雑誌に掲載され、公的資金としてはJST CREST「情報計測」やJST さきがけ「指数理論に基づく多様な形状の系のトポロジーの研究と展開」などを取得した。さらに、FoodMed-OILは令和元年度の11月に開始され、その成果や効果は第5期以降に現れる。

材料・化学領域では、目的基礎研究の遂行を目的として、主に2つの支援制度を実施した。その一つが、「萌芽研究」と呼ばれる領域による技術シーズ創出助成制度である。平成27年度から始め、最大で200万円/件の単年での支援を毎年20件程度行った。本制度によって生み出された技術シーズは、次年度以降の科研費等の獲得につながった。例えば、平成29年度「萌芽研究」採択者32人から17件(53%)の課題が2年以内に科研費を獲得しており、萌芽研究費5,300万円に対して、獲得科研費総額1億1,726万円という結果であった。令和元年度には、この「萌芽研究」に関連した新たな取り組みとして、同年の採択者に対してそのフォローアップシンポジウムを7月と8月に2回に分けて開催し、研究実施状況及び方向性の確認と議論、及び参加者同士の情報共有を行うことで、研究の深化を実現した。もう一つの取り組みは、「材料・プロセス研究のメカニズム解明支援事業」であり、領域内融合によって独創的な物性発現や新規プロセスのメカニズムを解明することを目的とした。令和元年度からこの取り組みを始め、最大で100万円/件の単年での支援を10件程度行った。その成果として、ユニットを超えた新たな融合研究の創出に成功した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

領域が目指す価値造り、すなわちアウトカムは「産業革新」、「省エネ」、「環境調和」、「快適」であり、これに沿ったテーマに関する研究を行った結果、目的基礎研究の評価指標あるいはモニタリング指標である論文の合計被引用数と論文発表数について、第4期の各年度の目標値を達成することに成功した。特に、公的な目的基礎研究の支援事業である科研費の採択率が増加した（平成27年度25件、平成28年度38件、平成29年度28件、平成30年度30件、令和元年度52件）ことや、発表した論文の多くが掲載雑誌の表紙や裏表紙を飾っている（第4期累計で65件）ことは、開拓すべき技術として設定した研究テーマから橋渡しの基となる革新的技術シーズを生み出す事に成功したことを意味している。

一方、大学等の基礎研究と産総研の目的基礎研究・応用技術開発の融合による、産業界への技術の「橋渡し」を目的としているOILにおいても、その仕組みの中で論文発表や公的資金の獲得につながること的成功しており、こちらも橋渡しの基となる革新的技術シーズを生み出す事に成功したものと結論付けられる。

さらに特筆すべき点としては、領域で行っている2つの支援制度が、新たな技術シーズの創成に結びついている点であり、これらの支援制度は、目的基礎研究の推進へ繋がる取り組みとして評価される。これは、例えば「萌芽研究」支援事業で行った研究が、科研費に多く採択されたことから明らかである。

課題項目①「樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築(劣化評価パッケージ)」

#### 【背景・実績・成果】

課題項目①の「樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築(劣化評価パッケージ)」において、高分子材料の寿命を「化学構造の変化」を指標として予測する新手法を考案し、所内連携によって研究体制を強化することで、手法の確立を図った。従来の寿命予測は、高

温、高圧、高湿度といった過酷な加速劣化条件での物性（機械的強度など）の変化を指標に行われてきたが、寿命予測の精度や信頼性が低いことが課題であった。高精度な寿命予測の実現には、穏やかな加速劣化条件における化学構造の変化を指標とした解析手法の確立が鍵となっている。平成 29 年度までに、汎用樹脂であるポリプロピレンの熱酸化劣化に影響する各種因子を検証し、樹脂添加物の一つである酸化防止剤の減少がポリプロピレンの熱酸化劣化に大きく寄与することを見出した。その後、酸化防止剤の種類や濃度について解析を進め、平成 30 年度には、酸化防止剤の濃度と物性（引張伸びなど）の低下に相関があることを明らかにした。物性の低下、すなわちポリプロピレンの劣化の引き金となる酸化防止剤の変化を捉えることで、従来の物性試験よりも早い段階で劣化を検出することが可能となった。さらに、令和元年度は、酸化防止剤の定量分析に関して、分析試料の前処理条件や測定条件が分析精度に及ぼす影響を検証し、高精度・高信頼性の分析手順を構築することで、評価者によるばらつきの低減に成功した。この分析手順は、民間企業含む高分子分析に携わる研究者が多く参加する学会で公開すると共に、公設試験研究機関と連携してラウンドロビンテストでその有効性を実証し、加えて技術コンサルティング等により実用樹脂材料評価へ活用を開始した。これにより、企業が原料調達する樹脂中や生産する製品中の酸化防止剤を精確に定量することができ、品質管理効率が改善する成果が得られつつある。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目①「樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築（劣化評価パッケージ）」において、ポリプロピレンの熱酸化劣化による酸化防止剤の減少が、ポリプロピレン自体の化学構造の変化、さらには劣化に繋がることを明らかにした。本成果により、化学構造の変化に基づく高分子材料の寿命予測法の可能性を見出した。この成果は、製品の機械的強度から劣化を評価する従来の方法よりも高精度な方法の確立へと繋がる。また、新材料開発に必要な寿命予測の工程が削減できることから、材料開発のスピードアップをもたらし、結果として企業の製品開発力及び競争力強化に貢献することができる。なお、本技術に関連する成果は学術的評価も高く、平成 27 年度、平成 28 年度、平成 29 年度及び令和元年度のマテリアルライフ学会において、研究奨励賞を受賞した。また、平成 27 年度には高分子分析討論会審査委員賞を受賞した。また、本技術を基軸とする企業連携は、平成 29 年度に共同研究 8 件、技術コンサルティング 3 件、続く平成 30 年度には、共同研究 10 件、技術コンサルティング 8 件、令和元年度には共同研究 7 件、技術コンサルティング 13 件と増加しており、産業界からのニーズは明確化し、当該技術への期待が高まっている。第 4 期累計で、企業共同研究 28 社（1 億 4,675 万円）、コンサルティング 29 件であった。

#### 課題項目①「配列制御シロキサンのワンポット合成法」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目①の「配列制御シロキサンのワンポット合成法」において、配列制御シロキサンの簡便合成を可能にする方法を世界で初めて開発した。シリコンに代表されるシロキサン材料は有機系ポリマー材料よりも優れた耐熱性や耐候性などの物性を有することから、さまざまな産業分野で幅広く使用されている。一方、近年では電子機器の小型化や LED の高輝度化が進むことで、小型機器類の発する局所的な熱量が増大しており、従来法で合成できるシリコン材料では要求される耐熱性を満たせない。この課題を解決するためには、従来法では十分に制御することのできないシリコン材料の構造を精密に制御すること、すなわちシリコン材料の主骨格を成すシロキサン結合（ $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ 、 $\text{Si}$  はケイ素、 $\text{O}$  は酸素）を精密に制御して合成することが鍵となる。この実現を目的として研究を開始し、平成 29 年度にシロキサン結合を一つの反応容器内（ワンポット）で形成できる新規合成法の開発に成功した。平成 30 年度は 2 つの触媒反応をワンポットで逐次的に行うことで、シロキサン結合が数個から 10 個程度に配列したシロキサンを効率的に合成するだけでなく、分岐状や環状などの従来法では合成できなかった構造を持つシロキサンを合成する画期的な合成技術を開発した。令和元年度には、本ワンポット逐次合成技術を基盤として、平成 30 年度までに得られた知見を活かし、規則的な配列構造を有する定序性ポリシロキ

サン（シリコン）の合成に応用した。その結果、「8」の字のように2つの環が1つの原子で結合したスピロ環構造を主骨格に有する新奇な大環状シリコンを世界で初めて合成することに成功した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目①の「配列制御シロキサンのワンポット合成法」において開発されたワンポット逐次合成技術により、従来の合成法では達成できなかったシロキサン構造の精密制御（配列や鎖長、官能基導入など）が可能となった。上記の8の字型スピロ環構造を有する大環状シリコンは、従来の1本鎖構造のシリコンに比べて骨格がスピロ環構造によって固定化されているため、気体分子の透過性が抑制されるものと期待され、ガスバリアフィルムなどへの展開が見込まれる。本技術は、耐熱性などを向上させた高性能なシリコン材料の開発だけでなく、新規な機能性シリコン材料あるいは含シリコン複合材料など、高付加価値シリコン材料全般を合成するための基盤技術となる。また、クロシラン類をシラン原料に用いる従来法とは異なり、本技術はヒドロシラン類を原料に用いるため、金属の腐食の原因となる塩素を含まないという特徴も有しており、電子材料への応用において有利になるものと期待される。シリコンの国内市場は国内出荷額と輸出額を合わせて2,000億円程度の規模があり、今後本技術を基盤にした材料開発を推進することにより、高付加価値領域の開拓が見込まれる。本技術の成果は、ペプチドや核酸、糖鎖のようにシロキサンも配列制御合成が可能となったことを意味していることから学術的評価も高く、本技術に関する論文2報はいずれも平成29年度と平成30年度に化学系トップジャーナルである *Angewandte Chemie International Edition* 誌(IF: 12.102)に掲載されただけでなく、それぞれ Very Important Paper（審査員が新規性、重要性が受理論文中上位5%以内との評価）と Hot Paper（編集部が重要論文と判断）として掲載された。さらに、2報目の受理直後には、姉妹誌の *Chemistry - A European Journal* 誌(IF: 5.16)から総説の寄稿を依頼された。また、本成果を「シロキサン結合のワンポット合成技術を開発 - 高機能・高性能シリコン材料創出の鍵に -」（平成29年2月2日）として産総研・NEDO 共同プレス発表を行った際には、日刊工業新聞と化学工業日報の2紙に報道されている。加えて、本技術の開発を主体的に行った主任研究員は、平成29年度有機合成化学協会研究企画賞、平成30年度ケイ素化学協会奨励賞、令和元年度に石油学会奨励賞を受賞した。

#### 課題項目②「階層構造を持つキトサンエアロゲル断熱材に関する研究」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目②の「階層構造を持つキトサンエアロゲル断熱材に関する研究」においては、カニやエビの殻から得られる天然高分子のキトサンを素材として、柔軟で透明な断熱材となるキトサンエアロゲルを開発した。光透過性と柔軟性を持つ断熱材は、住宅や輸送機器の窓からの熱エネルギーの出入りを抑制する材料として開発が望まれている。キトサンエアロゲルは平成27年度に材料・化学領域の化学プロセス研究部門が世界に先駆けて開発した材料で、軽量、低密度(0.04 g/cm<sup>3</sup>、空隙率で97%)、折り曲げ可能な高い柔軟性と光透過性(800 nmで65%)、極めて小さな熱伝導率(0.016 W/m・K)など光透過性断熱材として高いポテンシャルを持っている。特に、断熱性に関しては、一般的な断熱材であるグラスウールに比べて2倍以上の性能を持つ。平成30年度はスイス連邦材料試験研究所(Empa)との国際共同研究により、キトサン分子からなる太さが数nmのナノファイバーが三次元網目状のナノ構造を形成する過程を解析し、数nmのキトサン繊維間の隙間を形成する際に製造プロセスが及ぼす機構を解明した。これにより二酸化炭素による超臨界乾燥過程で三次元網目構造が形成することを確認し、微細なナノファイバー構造と低密度を両立するよう製造プロセスを制御することで光透過性と断熱性能をさらに向上させることが可能であることが示された。令和元年度はこの知見に基づき、透過性や断熱性能の改善を進めた。また、住宅建材用素材として民間企業（ドイツに本拠地のある国際グループ企業）と共に断熱性能（熱伝導率、熱貫流率）の評価や可視光透過率（明かり窓用の場合800 nmで70%）、耐湿性（高湿度下で収縮が起らないこと）等の向上に関する共同研究の提案を行い、連携に向けた準備を進めた。加えて、東京工業大学との共同研究により、断熱性ととも住宅建材用素材に求められ

る吸音性（音響特性）について評価を行い、2,000-5,000 Hz の領域に、既存材料（グラスウール等）と比較して高い吸収係数を示す周波数があること、細孔構造に依存してその周波数が変化することを明らかにし、吸音の対象によっては効果的な吸音材料として機能する可能性があることを示した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目②では、「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究（キトサンエアロゲル）」で開発したキトサンエアロゲルが、軽量、低密度（0.04 g/cm<sup>3</sup>、空隙率で 97%）、折り曲げ可能な高い柔軟性と光透過性（800 nm で 65%）、極めて小さな熱伝導率（0.016 W/m・K）を持つことを実証した。断熱性能は市販の汎用断熱材（不透明、熱伝導率 0.03W/m・K）の 2 倍以上で、真空断熱窓に近い性能を持ちながら極めて軽量である。熱伝導率は競合する光透過性断熱材の研究の中で世界トップレベルであると共に、大型試料（120 mm 角）の作製により JIS 法（JISA1412-2）に準じた正確で信頼性の高い評価を行うことが出来た。現在、光透過性の断熱には、真空多重ガラス断熱窓などが用いられる。しかし、重量が大きく、厚い、災害時等の危険性が高い、曲面に対応できない等の欠点がある。本材料は真空を用いずに、曲面に対応可能で、真空断熱窓に比べて大幅な軽量化が可能であり、高層ビルや自動車の窓に適用できる次世代断熱材料として期待されている。建材、自動車の分野では、断熱性に加え、室内や車室の静音性に貢献することも期待されているが、令和元年度に行った吸音性の評価によってその機能と特徴が明確になった。また、キトサンエアロゲルは水産廃棄物を原料としたバイオポリマー系の材料であり、材料のライフサイクル全般において高い環境調和性を持つことから、環境への意識の高い海外企業からもコンセプトを高く評価されている。平成 27 年以降、企業からの技術相談 23 件（平成 27 年度 12 件、平成 28 年度 3 件、平成 29 年度 3 件、平成 30 年度 4 件、令和元年度 1 件、のべ 19 社）、新聞等報道 13 件（平成 27 年度 5 件（日刊工業新聞、日本経済新聞(Web)等）、平成 28 年度 2 件、平成 29 年度 6 件（化学工業日報、日刊工業新聞、他）、雑誌取材 5 件（平成 27 年度 1 件（日経アーキテクチャ）、平成 28 年度 3 件（ハウジングトリビューン、日経 BP、他）、令和元年度 1 件（矢野経済研究所：Yano E-plus）など高い関心を集めた。

#### 課題項目③「電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化」に関する研究において、ナノ粒子やナノチューブ、ナノシートなどの低次元物質の原子や分子などの挙動を高速・高感度で捉えることを可能にする最先端計測評価技術を開発した。3次元の構造を持った材料をシート状の2次元、線状やチューブ状の1次元、粒子やドット状の0次元へと低次元化すると、半導体、金属、超電導、発光、スピンなどの新たな機能や特性が発現するものがある。このような低次元材料には、触媒、エネルギー変換、蓄電池、通信など、次世代技術を支えていく上で有望な材料も多く含まれる。第4期においては低次元物質の評価に有用な低加速電子顕微鏡を開発し、特に従来の20倍となる高エネルギー分解能を達成した。これにより試料損傷や分解能低下のために従来の電子顕微鏡では解析が不可能であった低次元物質の原子レベル構造とその電子状態を明らかにすることが可能となり、低次元物質の持つ特異な機能性と構造の相関を見出すことにより、新規なナノ粒子やナノチューブ、ナノシート材料の設計指針を得るなどの貢献が期待できる。この最先端電子顕微鏡計測技術を活用して、国内外の研究機関と共同研究を行い、平成30年度は遷移金属源に塩（NaCl, KI）を添加して溶解させ、キャリアガスで硫黄やセレンなどのカルコゲンを供給すると、シリコン基板上に多種多様な単原子膜が形成されることが、本電子顕微鏡によって世界で初めて発見された。さらにこの発見は、従来の合成法に比較して、低温でかつシリコン基板以外の基材でも可能な新しい二次元単原子膜合成法の開発へと繋がった。令和元年度には、光学特性評価など、これまでナノレベルまでしか実現できなかった分析評価技術を原子レベルに拡張し、電気伝導特性、吸光・発光特性、電荷密度波の空間分布情報などの計測を進めた。特に、モノクロメーターを利用したグラフエン、六方晶窒化ホウ素（h-BN）の格子振動解析では、従来手法よりも2桁以上向上した空間分解能で、物質の最も基本的な性質の一つである原子の振動（格



子振動) を波として計測する手法の開発に世界で初めて成功した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化」において、これまで開発してきた高エネルギー分解能を有する低加速電子顕微鏡を用いて、新炭素材料、二次元材料、ソフトマテリアルなどの電子顕微鏡観察で損傷を受けやすい物質を高空間分解能、高エネルギー分解能で計測評価する技術を開発した。また、従来のエックス線や中性子線を使った分光法では不可能だった、隣り合う原子の種類がすべて同じグラフェンのような非極性物質の格子振動を計測可能にした。今回開発した測定方法では、試料中の原子核の近くを通過し、大きく散乱した電子線だけを選択的に測定することで、一つ一つの原子が作り出す分極を用いて格子振動を計測できるようになった。これらの応用によって、新規なナノ粒子やナノチューブ、ナノシート材料を活用した触媒材料や熱マネージメント材料の設計と実用化に貢献することができる。令和元年度には Nature を含む計 14 報の論文発表、鉄鋼新聞、財経新聞、BIGLOBE ニュース、ライブドアニュースなど計 7 件の報道、中国電子顕微鏡学術年会ポスター賞受賞 1 件、PIC02019 などの国際会議を含めた招待講演 11 件があり、本計測評価技術は高く評価された。

#### 課題項目③「材料機能シミュレーション技術開発 (材料インフォマティクス)」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「材料機能シミュレーション技術開発 (材料インフォマティクス)」に関する研究において、磁石の磁気モーメントを最大化する物質の構造をシミュレーションによって見つけ出す技術を開発した。材料開発の速度を加速させるため、現在、従来の実験に基づく研究に加えて、シミュレーションを用いて、物質の構造と機能との関係を明らかにする手法が求められている。このシミュレーション技術においては物質の機能を発現させる鍵となる構造 (記述子) を数値的に表現することが重要である。平成 29 年度には記述子 (軌道場行列、Orbital Field Matrix (OFM)) を開発し、実際の材料の磁気モーメントとシミュレーションからの予測値との間に 0.93 という重相関値 (予測精度の良さを表す指標。0 から 1 の値をとり、1 に近いほど予測精度が高い) が得られ、シミュレーションから従来より高い精度で磁気モーメントを推定できることが可能となった。平成 30 年度には OFM の改良を行い、上述の重相関値を 0.97 にまで改善することに成功した。本技術は国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) 「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ」プロジェクトと、文科省「元素戦略プロジェクト (磁石材料拠点)」で、材料・化学領域職員主導の下、国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS) との共同研究実施により開発した。

令和元年度には企業との共同研究等において、この高性能磁石材料の候補材料絞り込み技術を提供した。具体的には、学習の試行回数を低減するための手法を開発し、これと昨年開発した機械学習に適した記述子とを併用する事により、材料特性の高速予測を実現した。実際には、高性能磁石材料の候補として注目されている  $RFe_{12}$  型化合物の最適な化学組成を決定する問題に適用し、3630 組成のうち磁化、キュリー温度、生成エネルギーがトップ 10 の組成を 50 回の試行で見つけられる成功確率が、ランダム・サンプリングより圧倒的に高いことを示した。

##### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「材料機能シミュレーション技術開発 (材料インフォマティクス)」において、磁石の磁気モーメント等を予測する記述子を開発し、予測精度  $R^2 = 0.97$  を達成した。それにより所望の磁気モーメントを持つ材料を逆予測する技術を確立した。この技術は高性能磁石材料の候補材料絞り込みを可能にしたため、材料開発の速度を速めるものとして期待される。なお、本成果は平成 30 年度に The Journal of Chemical Physics 誌 (IF: 2.997) において発表された。平成 30 年 9 月 10 日には日本物理学会で招待講演を、平成 30 年 9 月 20 日には日本金属学会で基調講演を行っており、高い学術的関心を集めた。

#### 課題項目④「ガラス複合技術の開発 (アップコンバージョンガラスの開発)」 (関西センター)

### 【背景・実績・成果】

課題項目④の「ガラス複合技術の開発(アップコンバージョンガラスの開発)」(関西センター)においては、ガラスに発光などの機能をもたせるために内部にナノ結晶を有する特殊構造のガラスを開発した。低いエネルギーの光(長い波長の光)を高いエネルギーの光(短い波長の光)に変換する材料(アップコンバージョン材料)は、従来の太陽電池では利用していない赤外域の光の利用を可能にする材料として期待されている。励起・発光波長が太陽電池の用途に適するエルビウム(Er)などの希土類を添加することで、アップコンバージョン特性を示すことが知られており、このためフッ化物結晶を酸化物ガラスの中に析出させたオキシフッ化物ガラスの研究がこれまで行われてきた。しかし、フッ化物結晶を用いることができるのは融点の高いガラスに限られ、汎用性に乏しいという課題があった。また、アップコンバージョンの効率を向上させるためにはErの高濃度化が必要であるが、Er濃度を1 mol%以上にすると分相してガラスが失透するため、Erの高濃度化は困難とされていた。この問題を解決するために、平成30年度は結晶に類似した構造をガラス中に作り出すことで、融点の低いホウ酸系をベースにしてガラス組成において、フッ化物ナノ結晶を分散させたErを1 mol%以上含む透明なガラスを得ることに成功した。令和元年度においては、このガラスのファイバー化やビーズ形状への加工に成功した。さらに、その周囲を広帯域(1,100 nm - 1400 nm)の増感効果が期待される結晶組成でコーティングする技術を確立するための検討も行った。本成果の一部は、Journal of European Ceramic Society誌(IF: 3.794)において発表されており、学術的に高い評価を得ている。

### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目④では、「ガラス複合技術の開発」(関西センター)において、オキシフッ化物ガラスの組成設計の提案により、Erドーパ量を向上させ、良好なアップコンバージョン特性を示す透明なガラスを作製することができた。高いEr濃度と透過率を有するガラスが作製できたことで、太陽電池アップコンバーターなどへの応用が期待できる。さらに令和元年度には、ファイバー化やビーズ化に成功しており、高い光閉じ込め効率が見込まれることから励起効率の更なる向上が期待できる。本研究において太陽電池の高効率化につながる技術を確立することで、企業との連携につながると期待でき、令和元年度は、国内の太陽電池関連企業をアドバイザー企業とした公的資金を獲得した。本技術は、近赤外センサや近赤外励起光源などにも応用できるため、更なる資金提供型共同研究へ発展するものと期待できる。

### 課題項目④「ガラス複合技術の開発(超低脆性ガラスの開発)」(関西センター)

#### 【背景・実績・成果】

課題項目④の「ガラス複合技術の開発」(超低脆性ガラスの開発)においては、ガラスの最大の欠点とされる、もろさを飛躍的に改善するための技術開発を行った。ガラスは「脆く、割れる」ことが素材として最大の欠点である。また、加工を行うと脆さゆえに割れが生じるために、樹脂のようにユーザーが自由に加工できないことも、その用途を制限している。この課題の解決策として、イオン交換により表面に圧縮層を形成する強化法が従来より知られているが、表示機器として薄板化が求められる中で強化できる厚みに限界があるため、これに代わる素材そのものを新たな発想で低脆性化することが求められている。

そこで本研究では、ガラスの構成成分の組成ゆらぎに注目し、これが低脆性化に効果的に機能することを実証するとともに、適したプロセスを検討することで超低脆性なガラスを実現することを目的とした。より具体的な目標として、従来の手法で強化された板ガラスの亀裂発生荷重は50-100 N程度(特許情報)であることから、これを大きく超える亀裂発生荷重100 N以上のガラスの創製を目標として掲げた。

平成30年度までに、光加熱などのプロセスを用いることで構成成分の組成ゆらぎをガラスに導入する手法を確立し、結果として亀裂発生荷重が1 N(市販の板ガラスレベル)から20 Nまで大きく向上したガラスを得た。令和元年度は、さらなるプロセス検討と組成最適化を行い、組成揺らぎのさらなる分布制御を行った。その結果、得られたガラスは亀裂発生荷重が100 N以上であり、さらに条件の最適化を行うことで200 N以上に向上することも見出した。

### 【成果の意義・アウトカム】

素材そのものを低脆性化した研究は既にいくつかあり、例えば東大の井上と増野ら(2015)が報告した  $Al_2O_3-SiO_2$  が挙げられるが、その亀裂発生荷重は 50 N 程度に留まっている。加えて、この例では浮遊法という手法を用いており、大面積の板材などの製造が原理的に困難である。一方、今回得られた成果は従来のものとは一線を画する高い亀裂発生荷重を示しており、また製造法においても制約が無いことから、将来的に薄くて割れにくいガラスにつながることは明確である。

従って、今後において実用化に向けてガラスの透明性を向上させる必要はあるものの、本研究成果により割れにくい安心安全なガラス素材が実現し、例えば薄くて割れにくい情報ディスプレイ用ガラスとしての実用化、将来的には大型透明ディスプレイなどの住宅生活素材としての実用化が、大いに期待できる。

課題項目⑤「リサイクル炭素繊維(ReCF)の高付加価値マテリアルリサイクル材料の開発」、「短い ReCF を機械特性に優れた CFRP に再生するための技術開発」(中部センター)

### 【背景・実績・成果】

課題項目⑤では、「リサイクル炭素繊維(ReCF)の高付加価値マテリアルリサイクル材料の開発」(中部センター)において、「強化繊維としては使用できない粉状の ReCF を高付加価値フィラーとして変換させる技術開発」と、「短い ReCF を機械特性に優れた炭素繊維強化プラスチック(CFRP)に再生するための技術開発」に取り組んだ。CFRP は、軽量かつ機械特性、耐食性、耐摩耗性などに優れた材料としてエネルギー、輸送機器、産業機器の分野で注目され、多様な製品開発が進められている。特に自動車では、電動化に伴う車体重量増の観点から軽量材料として CFRP の適用が急務となっている。一方で、EU の 2030 年における社会・経済のあり方に基づいた環境・資源利用政策(サーキュラー・エコノミー政策)や日本の自動車リサイクル法など国内外の法規制によって、製造工程で排出される端材や廃材の処理方法を考慮する必要があるため、CFRP を輸送機器に展開するためには炭素繊維・CFRP のリサイクル技術、すなわち資源としての循環技術の構築が課題となっている。現状の CFRP から ReCF を回収する技術では、ミルド状 ReCF(長さ 0.2mm 以下)、短い ReCF(0.2 mm~1 mm)、長い ReCF(1 mm 以上)、織物、不織布等のさまざまな形態の ReCF が回収され、リサイクルの回数が増すにつれ短い ReCF や粉状の ReCF になる。そのため、炭素繊維・CFRP の資源循環を実現するためには、短い ReCF や、粉状 ReCF の活用技術の開発が重要となる。以上の背景から、「強化繊維としては使用できない粉状の ReCF を高付加価値フィラーとして変換させる技術開発」においては、平成 30 年には、電気炉を用いて粉状の ReCF は絶縁性と熱伝導性が高い高付加価値フィラーの  $Si_3N_4$  や SiC に変換可能であることを確認した。さらに窒素、あるいは真空下での反応雰囲気や繊維表面状態に依存して、生成物やその形態が異なることを見出し、高付加価値フィラーの作製条件の最適化に向けた指針を得た。令和元年度には、平成 30 年度の成果を元に、セラミックス被覆の均一性の向上及び機能性フィラーとしての評価に向けた量産化に取り組んだが、十分な均一性と量産性を両立する条件を見出すには至らなかった。一方、「短い ReCF を機械特性に優れた CFRP に再生するための技術開発」においては、未使用の短い炭素繊維を一軸配向した CFRP の開発を平成 26 年に実験室規模で実現し、CFRP の強度特性向上に繊維配向が強く寄与することを見出した。その後、短い ReCF を用いた再生 CFRP の製造を実用化レベルまで展開するために製造プロセスの検討を行った。平成 30 年度には、短い ReCF を実用規模の混練押出機で一軸配向させるための口金治具を開発した。開発した口金治具で繊維を配向させることによって、繊維を配向していない CFRP と比較して 2 倍の機械特性と 1,000 倍の耐疲労特性を有する再生 CFRP を実現した。令和元年度には、ReCF の高濃度化プロセスの検討を中心に弾性率の向上に取り組んだが、高濃度化しつつ配向性を保つことが想定よりも困難であったため、引き続きプロセスの改善に取り組んだ。

ReCF を再び強化繊維として活用するためには、ReCF の状態を判断するための評価手法が必要となる。そこで、参画した NEDO「革新的新構造材料等研究開発」において、ReCF に適した、引張強度とマトリックス樹脂との密着強度を同時に測定可能な新たな力学特性評価手法を開発し、ReCF の評価法として活用可能であることを確認した。さらに、より簡便に ReCF の機械特性を評

価する手法として、配向繊維束を用いた試験方法の開発を開始し、適切な試験片の作製方法及び引張試験実施方法を定めるために必要なデータを取得すると共に、強度パラメータの解析手法を確立した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目⑤の「リサイクル炭素繊維の高付加価値マテリアルリサイクル材料の開発」（中部センター）において、強化繊維としては使用できない粉状の ReCF を高付加価値フィラーに変換するプロセスを実現した。さらには、短い ReCF を一軸配向させた再 CFRP を製造するための口金治具を開発し、再 CFRP として自動車用熱交換器として使用可能な機械特性を実現したことから、ReCF を用いた再生 CFRP のさらなる機械物性向上と活用技術の展開が期待できる。加えて、粉状 ReCF のアップサイクル材料への展開や再 CFRP の信頼性向上を達成することで、炭素繊維・CFRP の資源循環の実現の可能性を示した。ReCF の評価技術開発については、将来の標準化を通じて、ReCF の資源循環サイクル構築に貢献することが期待される。本技術に関連する成果は、学術的評価も高く、平成 29 年度のポリマー材料フォーラムにおいて高分子学会広報委員会パブリシティ賞を受賞している。一方で、炭素繊維・CFRP の資源循環の実現を目指して、平成 29 年度、平成 30 年度に自動車関連メーカーと ReCF を用いた再 CFRP の評価技術と製造工程での品質管理技術に関して資金提供型共同研究を実施していることから、社会的、経済的インパクトも大きいことが伺われる。

#### 【課題と対応】

目的基礎研究の評価指標及びモニタリング指標となる論文の合計被引用数と論文発表数は、第 5 期においても引き続き高い水準を保つ必要がある。その対応として、領域の萌芽研究の仕組みを継続し、論文発表の実績を積み上げることを引き続き行う。また、大学等との連携による科研費増額を目指す。さらに、第 4 期中の目的基礎研究によって創出された新しい技術シーズの集大成を図る。

第 5 期以降において、中長期的には、目的基礎研究の「目的」を如何に設定するかが最も重要な課題である。その対応としては、行政・産業界・アカデミアとの意見交換を積極的に行い、持続可能社会実現のための社会課題の抽出に取り組む。次に、真にインパクトのある新しい技術シーズを創出するために相応しい研究組織の構築や研究環境整備に取り組む。

### (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発

#### 総括

##### 【背景・実績・成果】

材料・化学領域では、材料・化学領域が目指す 4 つのアウトカム（「環境調和」、「省エネ」、「産業革新」、「快適」）を実現し、我が国の素材産業と化学産業の国際競争力の強化に貢献することを目的として、領域全体で定めた 5 の戦略課題及びそれに含まれる 23 のサブテーマに準じて研究を実施した。その中で、「橋渡し」研究前期における研究開発としては、「セルロースナノファイバー(CNF)の製造・材料利用技術の開発」や「CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発」、「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究（ナノ発泡ポリマー）」、「物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発」、「接着・界面現象の研究」、「材料機能シミュレーション技術開発（ナノ発泡ポリマー）」、「セラミック電解質シート製造技術開発」、「磁気冷凍材料の開発とシステム化」、「難燃性 Mg 合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性データベース(DB)の構築」、「電磁攪拌を用いたアルミニウム合金の組織微細化」などの様々な研究テーマが実施された。これらの材料・化学領域が有する技術シーズについて、マーケティング活動を通じて企業にアピールした結果、例えば技術コンサルティングは年々増加を続け、令和元年度には 1 億 5,600 万円であった。

また、評価指標である“知的財産創出の質的量的状況”、及び、モニタリング指標である“戦略的な知的財産マネジメントの取り組み状況”に関連したものとしては、例えば国家プロジェクト

やコンソーシアムといった枠組みの中での、課題の戦略的な取り組みが挙げられる。国家プロジェクトとしては、その主なものとして領域長をプロジェクトリーダーとして、平成 27 年度から令和 2 年度までの事業期間で NEDO 超超 PJ を実施中である（令和元年度予算：26.5 億円）。また、令和元年度からは、「機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発」（令和元年度予算：2.0 億円）が実施された。材料・化学領域が関係する NEDO プロジェクトなどの国家プロジェクトの総数は、第 4 期を通じて 22 件であった。また、産総研の業務にかかる産学官連携の支援、成果の利用の促進、情報の収集及び提供等を目的としたコンソーシアムは、材料・化学領域が主導するものとして第 4 期中に 17 件が活動を行ったが、そのうち「電気化学界面シミュレーションコンソーシアム」、「フロー精密合成コンソーシアム」、「接着・接合技術コンソーシアム」、「生物資源と触媒技術に基づく食・薬・材創成コンソーシアム」、「ガラス物性測定コンソーシアム」の 5 件は、第 4 期中に新たに設置したものであった。

#### 【成果の意義・アウトカム】

材料・化学領域では、民間企業への開拓した技術シーズの橋渡しを、着実に実行した。これは技術シーズに基づく技術コンサルティングが第 4 期中に年々増加しており、技術コンサルティング制度が開始された平成 27 年と比較して、令和元年度は金額にして約 30 倍にまで大きくなったことから裏付けられる。また、NEDO プロなどの国家プロジェクトレベルでの受託事業で研究を実施することにより、研究体制並びに関連する知的財産の強化を戦略的に進め、研究開発の加速を図ると共に、「橋渡し」研究を通じて、我が国の素材産業と化学産業の国際競争力強化に貢献した。

一方、コンソーシアムのアウトカムとしては、その活動を通じて産総研の成果の利用の促進などが達成できたことが挙げられる。例えば、平成 27 年に設置された電気化学界面シミュレーションコンソーシアムは、その活動を続ける中で、産総研の技術を基に蓄積された知見をより民間主導で発展させるべく、平成 30 年 4 月より一般社団法人に引き継ぎが行われ、産総研の基盤技術を産業応用に展開するための拠点となっており、戦略的な知的財産のマネジメントに成功したといえる。

以上のことから、材料・化学領域では、民間企業との受託研究等に結びつく研究開発に充分に取り組んだものと結論付けられる。

#### 課題項目①「セルロースナノファイバー(CNF)の製造・材料利用技術の開発」（中国センター）

##### 【背景・実績・成果】

課題項目①の「セルロースナノファイバー(CNF)の製造・材料利用技術の開発」（中国センター）において、木質等から直接製造されるリグニンやヘミセルロース（木材の構成成分である高分子化合物）を含んだ CNF（リグノ CNF）の構造を解明することで、ゴム系複合材料の機械強度の向上に適したリグノ CNF の表面及び形状特性を明らかにした。現在、植物系バイオマスの高度利活用に向け、各種植物材料から利活用性の高いリグノ CNF の製造方法及び特性の評価方法の開発が進められている。樹脂やゴムはナノサイズの無機系補強材を複合化することで機械強度が向上することが知られているが、軽量の CNF やリグノ CNF を活用し、樹脂やゴム等との複合化することで、軽量・高強度材料が開発されるものと期待される。しかしながら現状市場で流通している CNF 及びリグノ CNF は超微細・高純度などに限定されており、補強に最適な形状や組成は未解明であるため、要求を満たす機械特性が未だ発揮されていない。また、CNF 及びリグノ CNF 製造コストの低減など、実用化には課題が多い。これらを解決するためには、CNF 及びリグノ CNF の構造解明を進め、そこから得られた知見を基に、機械強度の向上をもたらす CNF 及びリグノ CNF の設計や、低コストの製造技術を開発する必要がある。リグノ CNF を用いたゴムとの複合材料の開発においては、CNF 表面でのリグニンやヘミセルロース（セルロース以外の木質成分）の積層構造の解明とリグノ CNF の形状・形態の最適化が、ゴム複合材料の優れた機械強度を発現するための鍵となっているため、本課題ではこれに取り組んだ。

平成 29 年度に、リグノ CNF の表面特性を評価できるセンサーを開発するとともに、リグノ CNF

表面の木質成分の積層構造を明らかにした。この知見を利用し、平成 30 年度は、樹種によるリグノ CNF の表面状態の違いを精密に解析すると共に、CNF の社会実装を加速する産学官連携の場として、「なのセルロース工房」を産総研中国センター内に立ち上げ、連携の取り組みを推進した。

令和元年度には、従来よりも 5 分の 1 以下のコストで製造可能な部分ナノ化 CNF を活用することで、樹脂・ゴムを効果的に補強できることを、これまでの特性評価技術を基盤として明らかにした。さらに、溶剤への溶解性が低く凝集性の高い顔料の高機能化を目指し、CNF と顔料分子との分子間相互作用の精密解析手法を構築した。この技術を活用して、CNF による顔料分散メカニズムの解明を進め、企業連携により、プロトタイプ高発色性材料の開発に成功した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目①では、「セルロースナノファイバー(CNF)の製造・材料利用技術の開発」(中国センター)の研究において、木質原料からパルプ化を経ずに直接製造したリグノ CNF の形状特性及び表面特性を明らかにし、CNF によるゴム補強技術の基盤を確立した。本成果により、低コストで製造した部分ナノ化 CNF が、シューズ等ゴム製品の性能を向上できることを明らかにした。また、リグノ CNF 表面の積層構造の解明は、従来よりも優れた強度を持った樹脂やゴム製品を作り出すだけでなく、現在までほとんど産業利用されてこなかった柑橘果皮を資源として活用できることを示した。食品系原料由来 CNF は安全性が高く、化粧品等の高機能化に応用できるため、本技術の産業的価値は極めて高いといえる。本成果に関連する論文は、平成 30 年度の国際誌の表紙に選定されており、学術的評価も高い。また、これまでの CNF に対する取り組み成果を基盤に、CNF の社会実装を加速する産学官連携の場として、産総研中国センター内に「なのセルロース工房」を立ち上げ、産業界へ技術の橋渡しを推し進めた。「なのセルロース工房」には 23 機関が参加していることから、本技術は社会的関心の高い技術であり、異分野の参画企業同士の連携による新技術開発を推進にも繋がっている。令和元年度の実績に関しても、得られた研究成果から生み出した技術シーズが企業連携へと結びついており、このことは本研究課題が企業への「橋渡し」に資するものであることを意味している。

#### 課題項目①「CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目①の「CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発」の研究において、CO<sub>2</sub>を原料としてウレタンを合成する新しい反応プロセスを開発した。ポリウレタンは、建築資材、自動車部品、塗料として幅広く利用される熱硬化性樹脂である。しかしながら、ポリウレタンの原料は猛毒かつ腐食性のホスゲン(COCl<sub>2</sub>)から誘導される化成品であり、反応に伴って発生する塩化水素ガスの副生も課題となっている。一方、大気中に含まれる豊富な CO<sub>2</sub>は安価で毒性が低いため、有機化合物の原料として有望である。しかしながら、CO<sub>2</sub>は熱力学的に安定な物質であるため、これを活性化して有用物質に変換する事は技術的ハードルが高い挑戦的な課題である。

以上の背景から、CO<sub>2</sub>を原料としてウレタンを高収率で合成する反応プロセスに取り組み、平成 30 年度には、60%以上の高収率を世界で初めて実現した。CO<sub>2</sub>を原料とする反応において、適切な触媒及び反応プロセス技術を用いずに反応させた場合のウレタン収率は数%とごくわずかであることから、大幅な効率改善の実現に成功したといえる。さらに、これらの手法が主要ポリウレタン原料に転換可能な芳香族ジウレタン類にも適用可能であることを実証した。

令和元年度には、本技術を基盤とした民間企業との共同研究の推進を継続するとともに、新規ウレタン合成プロセスの反応機構を理解する上で重要な鍵中間体として、ウレタンの基本構造であるカルバメート基が亜鉛に配位した錯体の単離・構造解析に取り組み、これに世界で初めて成功した。我々が開発した本プロセスは反応温度・圧力が高いため、触媒系の改良を行うことで反応の効率化を図る必要がある。本プロセスの反応機構には不明な点が多く、触媒である亜鉛錯体を改良するための指針を立てることが困難であったが、この反応中間体の生成過程や反応過程を実験・理論の両面から調査することで、新規ウレタン合成プロセスの反応機構を明らかにでき、工業化に適した、より効率的に反応が進行するための反応条件の確立や触媒設計が可能となる。

### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目①では、「CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発」の研究において、CO<sub>2</sub>とアミンからの芳香族ウレタン合成が、開発した反応プロセスによって可能になった。芳香族ウレタンは、既存の手法を用いて、大きな市場規模を持ったポリウレタン原料である芳香族イソシアネート（ベンゼン環にイソシアネート基が結合した化合物）へと変換可能であることから、本研究によってホスゲン代替としてCO<sub>2</sub>を利用したポリウレタン原料合成技術を確立したといえる。本技術で用いる脱水剤は反応終了後にアルコールを用いて容易に再生・再利用が可能であり、省エネルギーや環境負荷の低減の面でも優れた特性を持つことも特徴であるが、工業化に適したより高活性な触媒の開発の方向性を定めることができれば、近い将来、CO<sub>2</sub>とアミンからのウレタン合成の実現が期待できる。CO<sub>2</sub>を活用して有用化学品に変換する技術(CCU)は、平成31年1月の世界経済フォーラム年次総会での首相スピーチにおいてもその開発の重要性が取り上げられ、技術的難易度は高いものの、社会的要請の高い開発ターゲットである。

平成30年度において、本技術に関する論文は、我が国の代表的な国際化学ジャーナルであるBulletin of the Chemical Society of Japan誌(IF: 4.431)、グリーンサステイナブルケミストリー分野において著名な国際ジャーナルであるACS Sustainable Chemistry & Engineering誌(IF: 6.97)に掲載された。さらに、本技術の開発で得られた知見を元に、民間企業との共同研究を前提とした競争的研究資金プログラムである「NEDO 先導研究プログラム/未踏チャレンジ2050」(2,000万円/年、期間3~5年間)を獲得しており、学術的、社会的にも大きな注目が得られた。また、令和元年度は、本技術について新聞2誌(化学工業日報、日経産業新聞)に研究紹介記事が掲載され、さらに、第8回JACI/GSCシンポジウムにおいて本技術に関するポスター発表がポスター賞を受賞した。

### 課題項目②「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究(ナノ発泡ポリマー)」

#### 【背景・実績・成果】

課題項目②では、「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究(ナノ発泡ポリマー)」において、発泡ポリマーの発泡の微細化に関する研究を行った。本研究は民間企業とNEDOの超超PJにて実施した。発泡ポリマーにおいて、市販品の10倍以上の高い発泡率(発泡前の何倍の体積になったかを示す指標)を維持したままで、市販品では数10 $\mu\text{m}$ の発泡径を100nm以下に抑制することができれば、熱伝導率の抑制と光透過性の付与が可能になることが理論的に予測されている。しかしながら、高い発泡倍率と微細な発泡径の両立が困難であり、上述のようなナノ発泡ポリマーはこれまで実現していない。そこで小型の圧力容器による発泡実験(バッチプロセス)による新規手法の確立と、押出成形装置を用いた連続製造プロセスによる実用化に向けた取り組みが世界的に行われている。発泡の微細化には高压での製造が有利であることから、本研究では従来にない100MPaの高压で製造を可能にするバッチ発泡装置及び連続製造プロセスを可能とする押出成形装置の開発を行い、平成30年度にはバッチプロセスでは平均発泡径が100-700nm、連続製造プロセスでは5 $\mu\text{m}$ まで微細化できることを確認した。連続製造プロセスでの値は、核剤(発泡の起点となり、発泡径の微細化に有効であるタルク、シリカ等の無機添加物)を使用していないケースとしてはこれまでの研究報告の中でも最小値を示した。同じく、平成30年度には、これまで理論的な検討が少なく、経験的に用いられてきている核剤について、計算科学を用いた設計と製造、評価を行った。その結果、“核剤”とは逆に、発泡の起点にならず、気泡成長の抑制に寄与する新規添加物“アンチ核剤”の概念を見だし、発泡の微細化、均質化に効果があることを実証した。令和元年度には、平成30年度の結果を元に、バッチ発泡において、超高压(100MPa)、急減圧(2GPa/s)、温度制御等を駆使することにより、核剤等を使用しない、汎用ポリマーの系では最小となる、平均発泡径が40nmの光透過性発泡ポリマーの作成に成功した。加えて、連続製造プロセスにおいて、吐出ポリマーの画像計測による解析システムを構築し、発泡ストランドの幅や角度をオンラインで計測することを可能とした。

### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目②では、「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究（ナノ発泡ポリマー）」において、発泡ポリマーの平均発泡径の微細化に取り組み、従来にない高圧（100 MPa）の利用を可能とする装置の開発を行い、バッチプロセスで数 100 nm、連続製造プロセスで 5  $\mu\text{m}$  の平均発泡径を達成した。連続製造での値は、核剤を使用していないケースとしてはこれまでの研究報告の中でも最小値である。また計算科学の活用により、従来の概念と異なる発泡微細化のための添加剤“アンチ核剤”の概念を提案し、実際の発泡ポリマーで実証した。この成果は、勘と経験と多数の実験により行われてきた従来のポリマーの成形加工に関する研究開発について、効率化、迅速化を可能にするものであり、光透過性断熱材料の開発の加速に繋がる。軽量で柔軟性の高い光透過性断熱材料は、窓からの熱放散を防ぐ断熱材として有望であり、住宅や自動車の省エネルギーに貢献が期待できる。本成果の社会的関心も高く、平成 30 年 11 月、日刊工業新聞、化学工業日報にて報道された。加えて、令和元年度の結果として、核剤等を使用しない系において、さらなる発泡径の微小化が実現されたことは、熱伝導率や光透過性の一層の改善に結びつくものと期待される。また、画像計測による解析システムが構築されたことでオンラインでの計測が可能となり、試作→評価→再試作に係る時間が短縮されるため、結果として高速試作・連続製造システムが実現するものと期待される。

### 課題項目③「物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発」

#### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発」においては、廃棄物中の物質を回収し再利用することや、回収した物質を変換して高付加価値品に変換する技術について、排水などの廃棄物を処理する企業・自治体や、リサイクル企業等からの要請に応えることが目的である。近年、情報機器廃棄物からの貴金属回収などは産業化しつつあるが、その幅を広げていく必要がある。具体的には、アンモニア及びアンモニウムイオンを選択的に吸着する吸着材の開発を進め、カラムなどに充填して利用できる造粒体を実現した。選択的に対象物質を吸着する造粒体の開発には、原子スケールでの構造の設計とともに、ナノスケールからミリスケールまでのマルチスケールで空隙構造を設計し、適切に造粒体の中を対象物質が移動できるようにすることが鍵となっている。

平成 29 年度までは、プルシアンブルー（PB）を吸着材とし、ナノメートルスケールでの最適化により、粉末材料として高い吸着能を有する材料を開発した。平成 30 年度には、マイクロ～ミリスケールでの最適化として、企業と共同で造粒体を開発し、養豚場（アンモニア）及び下水処理場（アンモニウムイオン）での実証試験を実施し、それぞれ実環境下で対象物質を吸着回収することに成功した。さらに令和元年度には、実用化に必要な耐久性を有する造粒体を開発し、畜舎内のアンモニアを除去することで、養豚の生産効率を上げることや、養豚場周辺の悪臭低減に貢献した。具体的には、豚舎の実ガス（10 ppm オーダーで  $\text{NH}_3$  が含まれている）から  $\text{NH}_3$  を選択吸着させ、加熱脱離により重炭酸を固体創出することに成功しており、吸着後分解処理していたアンモニアの再利用が実現された。これまで、低濃度の大气中物質を回収し、有価値物質に変換した例は知る限り存在しておらず、窒素循環経済の実現が期待される。最近検討が進められている Carbon Capture and Utilization (CCU) は、 $\text{CO}_2$  濃度が 10% を超える排気ガスなどが対象である。また、大气中の  $\text{CO}_2$  を直接回収する Direct Air Capture (DAC) においても、大气中  $\text{CO}_2$  濃度は約 400ppm である。よって、本技術は世界で初めて 10 ppm レベルの大气中希薄物質を資源化する技術であると考えている。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発」において、アンモニア及びアンモニウムイオンを選択的に吸着する造粒体を開発した。これにより、大气及び汚水中の窒素分除去を実現し、養豚場の畜舎周辺でのアンモニアによる悪臭対策に有効であることを実証した。畜舎周辺の悪臭は、畜産業が事業を拡大し、新規畜舎を建築する際の深刻な課題となっており、その解決が期待される。加えて、本技術はアンモニア及びアンモニウムイオンを無害化だけでなく資源化することでもコスト削減が期待される。なお、本技術は平成 28 年度の国際ナノテクノロジー総合展・技術会議においてプロジェクト賞（ライフナノテクノロジー部門）を受賞した。また、アンモニ



ア関連について平成 28 年度から令和元年度にかけて、テレビ東京での放映、日本経済新聞、読売新聞、朝日新聞などへの掲載など、あわせて 25 件の報道があった。

### 課題項目③「接着・界面現象の研究」

#### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「接着・界面現象の研究」においては、航空機や自動車車体のさらなる軽量化の実現に必須な接着技術に関し、その信頼性を確保するための接合部の評価手法や接合界面特性評価方法及び表面処理法の確立、接合メカニズムの解明等を行い、接着接合の強度や耐久性に影響を及ぼす因子を明らかにした。平成 28 年度に接着・界面現象研究ラボを設立し、異分野の研究者が連携して本研究開発を推進した。また、平成 29 年度より NEDO 革新的構造材料等の開発プロジェクトの中の 1 テーマである、「構造材料用接着技術の開発」を実施している。平成 29 年度には、ポリプロピレン系 CFRTP（炭素繊維強化熱可塑性樹脂）の表面処理効果のメカニズムを明らかにし、最適な表面処理を確立した。平成 30 年度には、接着接合部の力学特性を表す破壊靱性値の正確な評価手法を確立すると共に接合部の評価法に関する国際規格案を提案した。さらに令和元年度には、これまでの初期特性評価から、長期的な接合特性評価への展開を目的として、新規接着剤吸水劣化加速試験方法を確立すると共に、応力発光によるき裂進展モニタリング方法の ISO 新規提案を進めた。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「接着・界面現象の研究」では、接着・界面現象研究ラボを設立し、研究拠点の構築を進めた。自動車や航空機用の構造接着剤の市場規模は、2028 年頃には世界規模で 2 兆円になると予測されている。そこで接着・接合技術コンソーシアムを平成 28 年度に設立し（令和元年 12 月現在 80 社参加）、接着技術に関わる情報交換と共通基盤的な技術課題について議論する場を産業界に提供してきた。現状では、自動車や航空機用の構造接着技術の実用という観点では日本はヨーロッパに遅れているが、本活動を通じて、接着・接合技術の強化を図ることで、当該分野での産業競争力の向上に貢献した。また、平成 29 年度より複数の企業が参画する資金提供型共同研究を開始し、平成 30 年度まではこの枠組みを用いて熱応力変形に関する研究テーマを実施した。令和元年度からは、接着接合の耐久性と接着メカニズムの解析に関する研究テーマを開始した。本研究のアウトカムとして平成 30 年度は、応力発光を用いた接着接合部評価手法に関する研究でヨーロッパの構造接着学会のベストオーラルプレゼンテーション賞を受賞した。さらに令和元年度には、新たに開発した応力発光材料を用いた接合部評価方法が ISO/TC61 で新規規格提案として承認された。一方で、平成 29 年には「国際標準化による樹脂/金属異種材料接合体の海外事業展開」で経済産業大臣賞を受賞しており、学術的及び社会的にも高い関心を得ている。

### 課題項目③「材料機能シミュレーション技術開発（ナノ発泡ポリマー）」

#### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「材料機能シミュレーション技術開発（ナノ発泡ポリマー）」に関する研究において、高分子発泡材料の断熱機能や色合いと密接に関連している発泡サイズやその分散等の、発泡構造の予測を可能にする材料機能シミュレーション技術を開発した。なお、本研究は課題項目②「階層構造を持つナノコンポジットに関する研究（ナノ発泡ポリマー）」と連動して行われた。新規機能性材料の開発を加速させるために、従来の実験と評価による試行錯誤的な工程を、計算科学手法の導入によってより効率化する試みが世界的に行われている。そこで本課題では、大幅な省エネ性能や複合化による多種類の機能の発現といった性能向上が期待されている高分子発泡材料の材料開発について、この試みの適応を行った。

高分子発泡材料の発泡構造を予測するには、発泡プロセスのモデリングと、発泡を促進する核剤と高分子との状態を適切にモデル化するシミュレーション技術が鍵となっている。平成 30 年度に発泡プロセスのモデリングに成功し、小泡が均一分散する望ましい発泡構造を実現するための核剤の材料予測に成功した。その後、先端素材高速開発技術研究組合（ADMAT）と連携してシミ

ュレーション結果の実験検証を行い、モデルの妥当性を確認した。令和元年度には、この技術をベースに、別途開発中の材料の実験画像やAI と組み合わせたシミュレーション技術を併用する事により、発泡構造の予測精度のさらなる向上を得た。加えて、高い断熱性と透明性に優れた高分子発泡材料の予測設計技術を実用化し、企業との共同研究等を通じて、この高分子発泡断熱材料の候補材料絞り込み技術の橋渡しを行った。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「材料機能シミュレーション技術開発（ナノ発泡ポリマー）」において、発泡プロセスのモデリングを達成した。それにより高分子発泡材の発泡構造を予測する技術を確立した。この技術は所望の高分子発泡構造の実現に必要な高分子と核剤の候補材料絞り込みを可能にするため、材料開発に要する時間を大幅に短縮できることが期待できる。なお、本技術は、NEDOの超超PJにおいて、ADMAT と共同で開発したものであり、社会ニーズの関心も高く、平成30年度に化学工業日報などで報じられた。

#### 課題項目④「セラミック電解質シート製造技術開発」（中部センター）

##### 【背景・実績・成果】

課題項目④の「セラミック電解質シート製造技術開発」（中部センター）では、高速充電が可能なモビリティ向けの次世代全固体蓄電池を目指して、領域間連携による「酸化物系全固体電池研究加速化のためのアライアンス」（平成30年度産総研戦略予算）を構築した。自動車等の移動体において、電動化の実現のためには急速充電が可能な安全性の高い次々世代型の酸化物系全固体蓄電池の開発が必要とされている。そこで本研究では、常温付近で作動する「AIST 全固体蓄電池」向けの酸化物セラミックス電解質シートを用いた蓄電池の構造制御や、部材化に不可欠な難焼結性のリチウム伝導性セラミック電解質のシート化、さらには電極との界面制御技術及び低温域での焼結化技術を検討し、次々世代型の酸化物系全固体蓄電池の実現を図った。

平成30年度には、電極材料との接点を数 $\mu\text{m}$ 以下で形成し、かつ、その構造を保持したまま電解質シートを800℃以下で製造するプロセス技術の開発を行った。数cm角のシート部材の試作に成功したことから、作動性能の向上へ貢献できるシート部材を開発できたといえる。また、NEDO革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発(RISING2)にて、カチオン移動型電池(硫化物系電池)の正極材料の量産化技術開発を試みた。硫化物系電池は既存電池よりも高い放電容量(500mAh/g以上)を示すが、正極材料の量産化が困難な点が問題であった。しかし、新規合成技術により、正極材料の合成時間を従来の1/120以下と大幅に短縮すると共に、ワンバッチ当たり、従来の30倍の合成収量を実現した。また橋渡し後期として、平成30年度より実施している「佐賀県リーディング企業創出支援事業」にて、産総研で開発した全固体蓄電池向けの電解質シート製造技術を活用し、全固体電池向けリチウム伝導セラミック電解質シート部材の製造を企業の量産機にて検討した。

令和元年度には、酸化物シート蓄電池の連続製造という難易度の高い課題に挑戦し、その試作技術の確立を企業連携で実現した。また、産総研で開発をしている単結晶では世界トップ性能の高Liイオン伝導性(25℃において1mS/cm)のガーネット構造材料のランタンジルコン酸リチウム( $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ : LLZ)セラミックシート部材化技術を検討した。具体的には、難焼結性であるため、LLZ金属酸化物の粒子制御などで低温焼成でのシート化技術及びコールドシンタリング法での粒子界面接合技術を検討し、セラミックスでも単結晶に近い緻密なシートを製造する技術を開発し、25℃において0.6mS/cmの伝導性を実現した。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目④の「セラミック電解質シート製造技術開発」（中部センター）の研究において、セラミックス全固体蓄電池を製造するのに不可欠な薄い電解質シート部材製造技術として、酸化物リチウムイオン伝導性セラミックスのシート作製技術、大型シートを低温で焼成する技術、急速充放電性能向上に必要なマイクロ～マクロでの界面の形状制御技術に関して、基盤技術を確立した。また、電池試作が進む次世代電池の一つであるカチオン移動型電池(硫黄系)材料について、従

来よりも安全かつ大量に合成可能なプロセス技術を検討し、従来、mg オーダーの少量合成しかできなかった正極材料合成のスケールアップ条件を見出した。電気自動車やモバイル機器向けの蓄電池の市場規模は 16~20 億円とされる。次世代自動車の電動化に向け、世界的に急速充電が可能な全固体電池の開発が加速されており、企業での全固体電池開発に必要な部材供給を可能にする本技術は、市場に与えるインパクトだけでなく、省エネ社会の実現にも大きく貢献するものである。実際、企業の量産機で試作したシート部材を第 3 回及び第 4 回高機能セラミックス展（平成 30 年 12 月 5 日-12 月 7 日、令和元年 12 月 4 日-12 月 6 日、幕張メッセ）にて企業ブースにて展示し、電池製造メーカー等のユーザー企業へ試作品提供に向けた商談や試作品のアピールを行ったところ、多くの企業から強い関心を得た。今後、原料メーカーやユーザー企業と連携し、第 5 期中には高い充放電速度で 600 Wh/L 級の高容量が見込める移動体用の次世代蓄電池試作へ向けた開発を加速する。

#### 課題項目④「磁気冷凍材料の開発とシステム化」（中部センター）

##### 【背景・実績・成果】

課題項目④の「磁気冷凍材料の開発とシステム化」（中部センター）においては、従来の代替フロンガスを利用した冷凍システムに代わり、固体材料による冷凍システムを構築することを目的として、固体材料における材料設計の最適化とシステム化を行った。従来のコンプレッサー式冷凍システムは冷凍性能には優れるものの、冷媒として温室効果の高いフロンやノンフロンを用いるという課題があった。このため、近年、磁気による熱変化を用いたノンフロン、かつ省エネルギーの磁気冷凍技術が期待されている。第 4 期を通して、従来の磁気冷凍材よりも高い磁気熱量効果（磁気による熱変化）を発揮する  $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}\text{H}$  の開発を進めてきた。加えて、 $\text{La}(\text{Fe}, \text{Si})_{13}\text{H}$  は水素添加量によって冷凍材料として機能する温度（転移温度）を制御できることも明らかにしてきた。

平成 27 年度には、焼結プロセスと低酸素処理を組み合わせた手法により、従来の熔融凝固法に比べ、1/10 の短時間で材料合成に成功し、材料製造における熱に対する安定性の向上が実現した。その一方で、この材料を部材化して冷凍システムを構築する際の課題を抽出し、大きな課題の一つである水素スプリット問題の解決に取り組んできた。水素スプリットとは、この材料を転移温度に長時間置いておくと水素が拡散し、材料内で水素濃度が異なる領域ができることにより、冷凍出力が低下する現象であり、これを抑制する必要がある。平成 30 年度には、結晶粒径の制御が可能でかつ冷凍出力の低下を生じない添加元素を発見し、水素スプリットの抑制を可能とした。以上の成果から、本材料を室温近傍の空調・冷蔵用途に用いた際には、従来型のガドリニウム材料などに比べて 3~4 倍以上の冷凍能力が期待でき、また、現行旧来方式（コンプレッサー式）に匹敵する冷凍能力を、数割から数倍高いエネルギー効率で実現できるポテンシャルを有することを明らかとした。令和元年度には、これまで磁気冷凍システムの課題であった低磁場下においても、従来と同等性能を出せる材料の組成や製造方法を確立した。加えて、それらの合金において、粒子制御をさらに追及し水素吸収法を改善したところ、水素スプリットの数週間規模での抑制に成功した。これにより、小型かつ安定な磁気冷凍システムを実現できれば、機器重量あたりの出力密度(W/kg)の面からも有利性が増し、現行旧来方式を置き換えるのに十分な冷凍出力が期待できる。さらに、材料の高性能を現実の冷凍機の高効率化につなげるため、磁性材料そのものによる熱交換機を形成するための部材形態制御の探索も行き、高特性材料の熱交換機形成技術の拡充を図った。

##### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目④の「磁気冷凍材料の開発とシステム化」（中部センター）の研究において、課題となっていた低磁場下において高出力な磁気冷凍部材の開発が可能となるとともに、水素スプリット問題とそれに伴う特性低下を解決する手法を見出した。これらの事により、冷凍システムに使用する磁気回路の小型・軽量化と長期信頼性に繋がる成果が得られた。この技術は、従来の代替フロンによる冷凍システムに代わり得る、磁気冷凍システムの確立へ大きく貢献するものである。本技術の冷凍出力が現行（気体圧縮）技術と同程度のものとなった場合、ノンフロン、静音性、

高効率性などが普及の後押しとなり、市場投入当初で数十から百億円の規模となることが見込まれる。さらに、性能向上と市場認知の高まりを含めて予想すると、将来的には、数千億円規模の市場に発展することが見込まれる。フロンフリー、さらには従来の冷凍システムに比べて省エネルギーという特性が見込まれる磁気冷凍システムの開発は、社会的関心や産業界からのニーズも高く、本技術は民間企業との共同研究によって、外部資金1億300万円（平成27年度-令和元年度）を獲得し、また、公的資金・NEDO・エネルギー・環境新技術先導研究プログラムに採択された（平成30年度-令和元年度総額3,341万円）。また、学術的評価も高く、科研費・基盤B（平成30年度-令和元年度総額1,391万円（間接経費30%含む））を獲得した。加えて、永井財団・学術賞を受賞した（平成27年度）。国際会議の招待講演は10件（平成27年度-令和元年度）であり、うち1件はプレナリー講演（平成30年度）で、1件はキーノート講演（令和元年度）であった。特許出願は4件であり、国内出願2件中1件は登録、2件は特許協力条約(PCT)出願である。

課題項目⑤「難燃性 Mg 合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性データベース(DB)の構築」(中部センター)

**【背景・実績・成果】**

課題項目⑤の「難燃性 Mg 合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性データベース(DB)の構築」(中部センター)において、NEDO 委託事業「革新的新構造材料研究開発」で開発した新たな難燃性 Mg 合金を使用して、当該プロジェクトメンバーの一員として、実寸大断面（長さ1 m）のオール Mg 合金製の高速車両構体の実寸大断面（長さ1 m）の簡易モックアップの作製を完了させた。

輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減は、わが国の部素材産業やユーザー産業の国際競争力強化のために不可欠な課題である。本料を用いた Mg 合金製構体材は Al 合金製構体と比較して30%の軽量化が可能であり、難燃性 Mg 合金構体の適用が高速車両構体の軽量化及びそれに伴うエネルギー消費量削減や高速鉄道の速度向上に資することを確認した。

平成30年度は、難燃性 Mg 合金を用いて構体を設計するために必要となる各種信頼性（疲労特性・耐食性）DBを構築するために、産総研において開発した高強度難燃性マグネシウム合金押出材及び接合継手の疲労特性を系統的に取得した。また、令和元年度には、難燃性マグネシウム合金展伸材の耐食性と組織の関係に及ぼす主要元素濃度の影響を系統的に明らかにし、開発した高強度難燃性マグネシウム合金押出材の良耐食性を確認した。さらに、NEDO「革新的新構造材料等研究開発」に参画し、プロジェクト参画企業と共同で、実寸大断面（長さ5 m）のオールマグネシウム合金製の気密疲労試験用のモックアップ構体の作製に取り組んだ。

**【成果の意義・アウトカム】**

課題項目⑤の「難燃性 Mg 合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性 DB の構築」(中部センター)においては、簡易モックアップ構体の製造や信頼性 DB の構築を通じて、開発した合金のための基礎技術（素形材製造・接合・表面処理・設計）を構築しつつあり、当該合金を高速車両構体の構造部材に適用することで、高速車両構体の抜本的な軽量化が図れるものと期待される。速車両構体の軽量化は、運転時のエネルギー消費量の削減に寄与するだけでなく、高速鉄道の速度向上にも資するものであり、わが国の鉄道を中心とする輸送器機産業の国際競争力強化に大きく貢献することが期待できる。

鉄道車両の市場は世界で約7.8兆円(平成30年-令和元年間の平均値。欧州鉄道産業連盟“WORLDRAIL MARKET study”より)と推定されており、本技術の普及による経済効果は極めて大きい。本技術はプレスリリース(NEDO、平成30年6月12日)後、日本経済新聞等7紙で報道され、その実用化への期待が高いことを伺わせている。

課題項目⑤「電磁攪拌を用いたアルミニウム合金の組織微細化」(中部センター)

**【背景・実績・成果】**

課題項目⑤の「電磁攪拌を用いたアルミニウム合金の組織微細化」(中部センター)においては、微細化剤を使用しない新たな casting 組織微細化技術の開発を行った。アルミニウムをリサイク

ルして二次地金を製造する際に要するエネルギーは、新地金製造に必要なエネルギーの3～5%程度と非常に少なく、省資源・省エネルギーに対する関心が高まる中で、リサイクルアルミニウムの有効利用に対する期待は大きい。しかしながら、微細な構造の発生によるアルミニウム合金の強度向上を目的として、 casting時に微細化剤が添加されているため、リサイクル時にはこれらの分離、除去といった処理が必要となる点が課題である。そこで本研究では、微細化剤添加法に代わる組織微細化技術の開発に取り組んだ。

平成29年度までに円形断面の casting材 ( $\phi 90$  mm) において、電磁攪拌付与で得られた微細構造の粒径は約 50  $\mu\text{m}$  であり、一般的な微細化手法である微細化剤添加 (粒径約 70  $\mu\text{m}$ ) を上回る微細化を実現した。平成30年度には、より生産量の多い矩形断面 casting材への本プロセスの適用を検討し、材料全体を均一微細とするための型条件を明らかにした。これらの結果を受け、プロジェクト内企業 (株式会社 UACJ) において実用化に向けた検討が開始された。令和元年度は、実生産サイズ ( $\phi 300$  mm) への適用に向け、各電磁攪拌パラメータが組織微細化に及ぼす影響を調査し、大型化を行う場合に必要となる装置の仕様を明らかにした。その結果、固体と液体に働く電磁力の大きさの違いにより固液間の速度差が生じ、これがもたらす抵抗力の大小が組織微細化に最も影響することを明らかとし、上記知見に基づき電磁攪拌専用装置の設計・製造を行った。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目⑤の「電磁攪拌を用いたアルミニウム合金の組織微細化」(中部センター)の研究において、微細化剤を使用しない新たな casting組織微細化技術の開発を行い、従来の微細化剤添加法と同等以上の微細化を可能とした。

微細化剤を使用しない本プロセスの開発により、アルミニウム合金の製造コスト・リサイクルコストの低減が可能となるため、当該材料の更なる使用拡大が期待される。産業界においても本技術に関する関心は高く、平成27年度より株式会社 UACJ に技術移転を行い、実用化を進めてきた。平成30年度には、これまでの取り組みが評価され、株式会社 UACJ と冠ラボを設立、共同研究を実施した。

#### 【課題と対応】

橋渡し前期研究においては、橋渡しの評価指標である実施契約件数に関して、第5期以降引き続き高い水準を保つことが課題である。このための取り組みとして、有望な産総研特許の企業へのPRを検討する。また、有償試料提供の実績を上げるために、試作体制の充実を目指す。材料・化学領域の橋渡し前期研究では、国家プロジェクトによる研究開発が中心である。そのため、プロジェクトで定めた目標を達成すべく責任を果たしていく。

中長期的には、領域の知財マネジメントの強化が最大の課題である。そのため、パテントオフィサーが領域の研究課題設定から係わり、真に有効な知財の創出を目指す。また、国家プロジェクトの提案や推進を積極的に行っていく。

### (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

#### 総括

##### 【背景・実績・成果】

材料・化学領域では、材料・化学領域が目指す4つのアウトカム(「環境調和」、「省エネ」、「産業革新」、「快適」)を実現し、我が国の素材産業と化学産業の国際競争力の強化に貢献することを目的として、領域全体で定めた5の戦略課題及びそれに含まれる23のサブテーマに準じて研究を実施した。その中で、「橋渡し」研究後期における研究開発としては、「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法」や「耐熱性ガスバリアフィルムに関する研究」、「ナノ空孔材料を利用した分離システム」、「マイクロ波照射技術の開発」、「スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ(SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧0リングの開発」、「コアシェルナノ粒子の開発と構造色の発現」、「パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価技術開発」など

の様々な研究テーマが実施された。これらの材料・化学領域が有する技術シーズを企業に対して積極的にアピールすることで、連携研究室（冠ラボ）の設置など大型の共同研究に結びついた。その結果、「橋渡し」研究後期における研究開発の評価指標である“民間からの資金獲得額”が年々増加し、令和元年度においては18.8億円（12月末現在）となり、第3期平均の6.6億円と比較して約3倍の顕著な増加となった。またもう一つの評価指標である“具体的な研究開発成果”として、材料・化学領域において「橋渡し」研究により第4期中に製品化されたものは、合計で28件であった。例えば、東北センターで行っている“粘土を用いたナノ材料の産業創成”に関する研究開発では、第4期を通じて8件の製品化に成功した。令和元年度には、当該技術を用いたナノコンポジット玉虫塗が東北楽天イーグルスヘルメットに採用されるなど、顕著な成果を挙げた。

#### 【成果の意義・アウトカム】

材料・化学領域では、5つの戦略課題及びそれに含まれる23のサブテーマに準じて、さまざまな研究を実施した。その結果、着実に技術移転の実績を積み上げることができ、令和元年度には第3期平均の約3倍の民間資金獲得に成功し、また第4期を通じて28件の製品化に成功した。これは、材料・化学領域が有する技術シーズが企業のニーズにマッチしており、またアピールすべき技術として明確化されたことによって、結果として民間企業のコミットメントを最大限高め、研究開発に取り組むことに成功したためと結論付けられる。

#### 課題項目①「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法」

##### 【背景・実績・成果】

課題項目①の「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法」の研究においては、テトラアルコキシシランの新たな合成法を開発した。テトラアルコキシシランは、半導体保護膜や防食塗料基材等に含まれる無機ケイ素材料の原料として幅広く利用されている基幹物質であるため、その製造方法の省エネルギー・低コスト化は、市場に大きなインパクトを与える。

現在の工業的なテトラアルコキシシランの製造では、その第一段階において出発原料である天然のケイ石を高温で炭素と反応させて金属ケイ素に還元する必要があるが、これは金属ケイ素1トンあたり14,000 kWhもの大量の電気エネルギーを消費し、同時に二酸化炭素も大量に排出する事が課題となっている。そこで、本研究では、金属ケイ素を経由しない新たな有機ケイ素化学製品製造方法の開発を目指して、砂などの安価なケイ素源（シリカ）から直接テトラアルコキシシランを合成する技術の開発に取り組み、原料のシリカを基準として70%以上の高い変換率で直接合成可能な反応プロセスの開発に成功した。テトラアルコキシシランをシリカから直接的に高い効率で合成するには、化学平衡の観点から圧倒的に有利となっている原料への逆戻り反応を制御し、目的物であるテトラアルコキシシランが生成する方向に化学平衡をシフトさせることが鍵となっている。平成28年には、化学平衡をシフトさせる手段として、副生成物である水を、無機脱水剤を用いて継続的に除去できるユニットを組み込んだプロセスを反応システムの中に設計し、砂や燃焼灰などの安価なシリカとアルコールを原料として、シリカを基準で70%以上の高い変換率でテトラアルコキシシランを直接製造することに成功した。平成30年度には、反応条件の最適化によって反応効率をさらに向上させるとともに、化学プロセスの反応効率を定量的に評価するためのツールであるプロセスシミュレーターを用いて製造コストやプロセスのエネルギー収支の評価を行い、開発した新製造方法が現状の工業的プロセスに対してコスト優位性を持ち、二酸化炭素排出量を約1/2にできる可能性があることを明らかにした。さらに令和元年度には、工業的実施可能性の検証を視野に、反応の段階的なスケールアップを連携先企業と共同で進め、前年度比で5倍のスケールアップを達成した。

##### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目①の「砂からテトラアルコキシシランを製造する方法」の研究において、砂などの安価なケイ素源（シリカ）から直接テトラアルコキシシランを合成する技術の開発に成功した。この技術が実用化されれば、ケイ素基幹物質の製造プロセスの省エネルギー化と同時に低コスト化

が実現し、市場規模の拡大・新産業分野への応用の可能性が期待される。

ケイ素化学産業は全体として、国内でおよそ 2,000 億円、グローバルではおよそ 1.5 兆円の市場規模を有しており、その基幹物質の一つであるテトラアルコキシシランの製造プロセスの革新は、大きなインパクトを与える。本成果について平成 28 年 10 月 25 日と平成 26 年 5 月 20 日にそれぞれ、産総研・NEDO 共同プレス発表を行った結果、新聞 6 紙に報道され、また Web 版の産経ニュース（平成 27 年 1 月 3 日）において「スゴ技ニッポン」として取り上げられており、本技術は社会的関心の高い技術であることが分かった。さらに令和元年 6 月 5 日の化学工業日報には、本成果が『有機ケイ素材料・革新製法実用化へ加速～21 年度めどに一貫プロセス確立』との大見出し記事で取り上げられ、本成果の実用化に向けた着実な進歩が注目を集めている。

## 課題項目②「耐熱性ガスバリアフィルムに関する研究」（東北センター）

### 【背景・実績・成果】

課題項目②の「耐熱性ガスバリアフィルムに関する研究」（東北センター）において、粘土鉱物と樹脂からなるナノコンポジットフィルム（クレースト®）の開発を進めた。平成 29 年度までに、木材由来のリグニンを耐熱性樹脂として用い、市販の耐熱ガスバリアフィルムよりも 1,000 倍程度高いガスバリア性を有する画期的なフィルムを開発した。加えて、同フィルムの連続生産技術を開発し、高いガスバリア性に起因する残存溶剤の課題を克服することで、電子基板用銅箔積層フィルムの生産に成功した。平成 30 年度には、銅箔積層フィルムを基にした模擬基板を試作した。また、当該基板の回路パターン形成や耐熱性能を評価し、耐熱ガスバリアフィルムが電子基板の基本性能を具備することを確認した。令和元年度には、リグニン粘土膜からなる電子機器用回路基板に対して所定の規格（UL746E 規格）に基づく回路剥離評価に取り組んだ。その結果、当該プリント基板が規格を満たす剥離強度を持つことが明らかとなり、プリント基板製造工程に必要な性能の一つを満たすことを実証した。

また、近年、高温下で動作可能なセンサデバイスの開発が求められており、第 4 期において粘土の自己積層性を利用したオール無機酸化物からなる金属用粘土膜創製と同膜からなるコーティング技術の開発を行ってきた。令和元年度は、ステンレス表面上への粘土膜の形成メカニズムの解明に取り組み、その知見を基に粘土コーティングに最適な粘土分散塗工液の化学組成等を決定した。最適組成により得られた粘土コーティングステンレス基板を共同研究先において CrN 歪みセンサ用として評価し、センサの実用レベルの能力指標となる歪みゲージ率 10 を再現性良く得ることができた。

### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目②の「耐熱性ガスバリアフィルムに関する研究」（東北センター）において、種々のバインダーと粘土鉱物を用いた耐熱ガスバリアフィルムの製品化研究を実施した。耐熱ガスバリアフィルムの代表的な素材であるポリイミドの市場規模は、平成 24 年において 600 億円（「2006 年熱硬化性樹脂と応用製品市場の現状と将来展望」、富士経済、平成 18 年）と推測されていた。また、別のレポートでは、平成 29 年におけるポリイミドの世界市場規模は、約 1,600 億円とも推測されている（「ポリイミドフィルムの世界市場：2022 年に至る用途別、需要家別市場予測」、ResearchStation LLC）。ポリイミドの価格は 8,000 円/kg 程度と言われており、より安価で高バリア性の耐熱ガスバリアフィルムを提供できれば、その経済的波及効果は大きい。

第 4 期においては、非常に高い水蒸気バリア性を有する標準ガスバリアフィルムを開発した。この標準ガスバリアフィルムは、フレキシブル有機 EL ディスプレー用フィルムの開発を後押しするものである。また、耐熱ガスバリアフィルムを振動板に用いたハイレゾスピーカーも製品化した。なお、本技術に関連する成果は、学術的評価も高く、平成 30 年度に耐熱ガスバリアフィルムに関する論文が日本粘土学会の優秀論文賞を受賞した。加えて、粘土を用いた材料の研究開発に対する功績として、河北文化賞を受賞した。さらに、本技術に関する市場規模は 2025 年に約 1.7 兆円との試算が出ていることから（Global Nanocomposites Market Analysis & Trends - Industry Forecast to 2025 [Research and Markets 社]）、国際標準により産業化を加速することにも取り組んでおり、令和 2 年度には、「ガスバリアフィルムに用いる粘土ナノプレートの特性評及びその評価法」に関する ISO 規格を発行予定である。本ガスバリアフィルムの成果は、企

業から高い関心を集め、現在、バリアフィルム材料の開発に係る民間企業との共同研究を複数(共同研究費 1,650 万円)実施している。

#### 課題項目②「ナノ空孔材料を利用した分離システム」(東北センター)

##### 【背景・実績・成果】

課題項目②の「ナノ空孔材料を利用した分離システム」(東北センター)において、規則的ナノ細孔と高い熱的・化学的安定性を有する高シリカチャバザイト型ゼオライト(CHA)を薄膜形成する研究を進め、水及び二酸化炭素に対して高耐久性かつ高分離性を有するゼオライト膜の開発とその大面積化を実現した。ゼオライトを分離膜として用いるためには、高い透過性と分離性に加え、耐久性が必要である。しかしながら、A型ゼオライト膜は耐久性が乏しく、結果としてその実用はアルコール脱水に限られていた。そこで本研究では、ゼオライトを1 nm以上のピンホールのない緻密な薄膜へと合成する技術の開発を行い、高耐久性でかつ高い透過性と分離性を兼ね備えたゼオライト分離膜の実現を目指した。その結果、平成29年度までに従来の1/15の時間でCHA膜を製造できる画期的な膜製造技術の開発に成功し、さらに、二酸化炭素分離膜として機能することを確認した。その後、プロセスで使用可能な膜の製造技術について企業と共同開発を進め、平成30年度には複数のCHA膜を束ねた膜モジュールの開発に成功した。令和元年度には、バイオガス発酵プロセスの副生物が分離機能に与える影響等を明らかにし、バイオガス発酵プロセスでの実証試験を開始するための試験プラントの建設に着手した。

##### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目②の「ナノ空孔材料を利用した分離システム」(東北センター)の研究において、高い二酸化炭素分離性能をもち、熱的・化学的に安定なCHA型ゼオライトの薄膜形成方法を開発した。また、プロセス化に不可欠な大面積化技術について、企業と共同開発を行った。

実プロセスに使用できる大面積ゼオライト膜は、これまでは耐久性に乏しいA型ゼオライトのみであり、結果としてアルコール脱水に限られていた。しかし、本技術により得られたゼオライト膜は耐久性に優れ、ゼオライト膜の利用プロセスをバイオガス分離、酢酸の脱水などに拡大できるため、化学工業等における分離プロセス(蒸留)の刷新と省エネルギー化を可能にする。本技術に対する学術的評価及び企業からの関心は高く、平成27年度～平成30年度における本技術の成果は、獲得研究資金3,852万円(うち企業資金2,220万円)、特許出願2件、誌上发表8報(Journal of Membrane Science, 548, 66-72 (2018) [IF=5.557], Separation and Purification Technology, 199, 298-303 (2018) [IF=3.359]等)、受賞1件、特許実施1件、試料提供1件であった。

#### 課題項目②「マイクロ波照射技術の開発」(東北センター)

##### 【背景・実績・成果】

課題項目②の「マイクロ波照射技術の開発」において、流通式反応器で用いる反応管を均一に加熱可能なマイクロ波照射技術を開発した。マイクロ波照射による物質の加熱は、従来の外部加熱方式と異なり、迅速な加熱及びマイクロ波吸収能の違いによる選択的な加熱を特徴とする。しかしながら、加熱対象物に対して安定かつ均一にマイクロ波を照射する技術が確立できていない点が問題であった。そこで、空洞共振器を用いることで均質な電界を形成させると共に、導入したマイクロ波の反射波と温度をモニタリング・フィードバックしながら連続的に共振周波数を制御する機構を導入することで、反応管全体のムラなく均一な加熱を実現した。加えて、性能の向上を目的として、使用するマイクロ波周波数や反応管径の検討も行った。本マイクロ波照射技術は企業にライセンスしており、平成30年度より理化学品メーカーから試験研究用の汎用装置の販売が開始されている。

令和元年度は、マイクロ波の磁界による加熱に着手し、電界加熱では電界集中による放電のため困難であった、金属のマイクロ波加熱に成功した。その結果、従来、5分を要した電気加熱によるはんだ溶融が、マイクロ波磁界加熱を利用することで3秒で実施できることを明らかにした。



### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目②の「マイクロ波照射技術の開発」において、従来の電子レンジ型のマイクロ波照射では困難であった、対象物を均一にマイクロ加熱する照射技術の開発に成功した。

これにより、従来1日かけていたナノ粒子合成を10秒で実現できる高速生産を可能にした。加えて、周波数や反応管径の最適化を行うことで、大量合成も実現した。令和元年度の成果である、磁界による加熱システムの構築は、加熱による材料のダメージを抑制できるため、例えばプラスチック基板への電子部品の実装が可能なるものと期待される。

本技術を実装した汎用のマイクロ照射装置は、大学などの研究機関のほか、化学品製造メーカーなどに累計10台以上の導入実績を挙げている。液相反応や触媒充填型の気相反応にも適用可能であることから、更なる普及が期待される。本研究は平成27年以降、民間企業との共同研究において12社1.1億円の資金提供を受けるとともに、3件(3社)の技術コンサルティング、52件のライセンス(138万円)、特許出願43件(うち単願26件、PCT出願3件)、及び14件の特許成立などの成果をあげた。このほか、2件のプレスリリースを行い、日刊工業新聞、電波新聞、化学工業日報、繊維ニュース、河北新報で報道された。加えて、本汎用装置は令和2年1月に(一社)宮城工業会から“みやぎ優れMONO”に認定されており、また関連企業から感謝状も受け取っていることから、本技術はアピールすべき技術シーズに資するものであるといえる。

課題項目③「スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ(SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧0リングの開発」

### 【背景・実績・成果】

課題項目③の「スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ(SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧0リングの開発」では、種々のCNT複合化材料の開発技術を行った。NEDOプロジェクト「ナノカーボン応用製品創製プロジェクト(平成4年度～平成6年度)」において、産総研は、平成16年度に高純度、長尺、高比表面積で、分散性に優れた単層カーボンナノチューブ(CNT)の合成法であるスーパーグロース法を開発した。平成27年度には日本ゼオン株式会社(日本ゼオン)が、この合成法による単層CNTの量産化にNEDOの支援を経て成功した。このような背景の元、その後、平成29年度から産総研、日本ゼオン、サンアロー株式会社(サンアロー)の3者で構成される日本ゼオン・サンアロー・産総研CNT複合材料研究拠点において、CNTとさまざまな複合材料の製品化を目指した研究開発が進められてきた。特に、CNTとゴムの複合材料については、窒素雰囲気下420℃で3時間加熱しても形状を維持できる単層CNT含有ゴム複合材料などを、これまでに開発した(平成29年6月8日産総研プレス発表)。

平成30年度には日本ゼオン・サンアロー・産総研CNT複合材料研究拠点において、ゴムに高度なネットワーク構造を保ったままCNTを分散させることで形状維持性を向上させ、かつCNTを添加した際の課題であった圧縮永久ひずみの劣化の課題を解決することで、市販品FKM材料の3.5倍の耐久時間を有する、長寿命・高耐熱・高耐圧に優れたシーリング材を製品化した。本製品は、平成30年10月1日からサンアローから「SGOINT(スゴイン)-0リング」の名称で、FKMと同等の価格帯で販売開始された。令和元年度は、劣化メカニズムの解明と配合最適化を行い、従来配合品比、約2.7倍まで耐圧寿命を伸ばすことに成功した。

### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目③の「スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ(SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧0リングの開発」において、ゴムに高度なネットワーク構造を保ったままCNTを分散させることで形状維持性を向上させ、かつCNTを添加した際の課題であった圧縮永久ひずみの劣化の課題を解決したことで、市販品FKM材料の3.5倍の耐久時間を有する、長寿命・高耐熱・高耐圧の優れた性能を持つシーリング材を製品化した。

本製品は、化学プラント、発電、石油掘削用途などの高温・高圧となる過酷環境下でのシーリング材の交換頻度低減と管理コストの削減に貢献することが期待される。なお、本技術は平成30年9月13日に「長寿命・高耐熱・高耐圧0リング(SGOINT®)を開発、販売開始へー世界初、スーパーグロース法で量産された単層カーボンナノチューブ応用製品ー」というタイトルで、産総

研・サンアロー・NEDO 三機関の共同でプレス発表され、化学工業日報、日刊工業新聞、電波新聞、経済産業省 METI Journal に掲載された。製品は 10 月 1 日から販売が開始された。さらには SGOINT®開発で得た圧縮永久ひずみを向上させる配合技術や製造ノウハウを元に、低温用途向けや水蒸気耐性の向上など新グレード品の開発に取り組み、令和 2 年度に販売を開始する予定である。CNT の国内市場規模は平成 25 年の 32 億円から令和 12 年には 660 億円へと大きく成長する見込み(NEDO TSC 調べ)であり、種々の CNT 複合化材料の開発技術は産業界へも極めて大きなインパクトとなる。

#### 課題項目④「コアシェルナノ粒子の開発と構造色の発現」(中部センター)

##### 【背景・実績・成果】

課題項目④の「コアシェルナノ粒子の開発と構造色の発現」(中部センター)では、構造色(周期構造に起因した光の反射・干渉で現れる色)発現のためのコアシェルナノ粒子の開発を行った。構造色の発現には、光の波長と同程度の間隔で微粒子を並べる手法が主に用いられ、これにより角度依存性のある構造色(青色及び緑色)が発現する。構造体としての強度を保つためには、樹脂中などに得られた構造体を包埋して固定化する必要があるが、シリカやポリマー微粒子の屈折率(約 1.5)と樹脂の屈折率に差が小さいことから、包埋後には構造色が明瞭に発現しないという課題があった。そこで本研究では、金属酸化ナノ粒子の表面をポリマーで覆った粒子(コアシェルナノ粒子)の粒径が揃っていること及び屈折率が大きいこと(約 2.1)を利用して、前記の問題を解決したこれを用いたこれまでにない部材の加飾を目指した。

これまでに、企業との共同研究によりナノ粒子の量産技術を開発すると共に(コアシェル型ナノ粒子の物質や製造方法、その応用などに関する特許の実施契約を締結済)、平成 29 年度は、酸化セリウムナノ粒子(平均粒径 200 nm 及び 250 nm)のコアシェルナノ粒子を用いて、粒子間の均一な短距離秩序に基づく、構造色(紫や緑など)を発現するコロイドアモルファス集合体の作製に成功した。平成 30 年度は、規則配列させた微粒子を樹脂で固定化するプロセスを開発した。開発したコアシェルナノ粒子は、固定化後も角度依存性のある構造色を発現し、モルフォチョウやタマムシの色彩に類似した色を示す塗膜を実現し、耐久性と機能性の両立に成功した。これは、当該粒子の屈折率は約 2.1 であり、従来から構造色発現に用いられてきた粒子の屈折率(約 1.5)よりはるかに大きいために上記課題の解決に繋がった結果である。

平成 30 年度末までに産総研における橋渡し活動を完了(共同研究を終了)させたことから、令和元年度は、産総研所有特許の前記企業に対する実施許諾契約を引き続き維持し、例えば粒径のより大きな粒子を用いた構造発色に関する研究など、更なる研究開発は当該企業単独で検討している。また、当該企業では、これまでの成果を含めてサンプルワーク等を行い、ビジネスに向けた活動も展開中である。

##### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目④では、「コアシェルナノ粒子の開発と構造色の発現」(中部センター)の研究において、平均粒径が 200 nm 及び 250 nm のコアシェルナノ粒子を規則配列させたコロイド結晶を樹脂で固定化する技術を開発した。これにより、十分な膜強度が担保され、これまでのシリカやポリマー微粒子では実現できなかった、耐久性と機能性の両立に成功した。

顔料などによる発色と異なり、構造体による発色は紫外線に晒されても退色しない特徴があることから、化粧品分野、自動車等の加飾分野、樹脂製品の加飾・装飾分野などへの新しい塗料としての応用を可能にする。実際、本技術に関する産業界からの関心も高く、コアシェルナノ粒子に関する知財アセットとして特許 9 件、ノウハウ 1 件を構築し、民間企業と実施契約を締結しており、これまでに 520 万円(平成 22 年度からの通算)の知財収入(情報開示、実施許諾等)を得ている。また、本技術は、学術的にも高い評価を得ており、平成 25 年度の日本ファインセラミックス協会技術振興賞を民間企業と共同で受賞した。さらには、民間企業と当該粒子を使って各種技術開発が行われた結果、企業や大学などの研究者により当該粒子を使った技術開発に関する学会発表なども複数件行われており、新たな展開が開けている。

平成 30 年度末までに企業への橋渡しが完了され、令和元年度から実施許諾契約を結んだまま

企業でのサンプルワーク等のビジネスに向けた活動が実施されていることは、本研究課題が民間企業にアピールすべき技術シーズに資するものであった結果と言える。

課題項目⑤「パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価技術開発」（中部センター）

#### 【背景・実績・成果】

課題項目⑤の「パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価技術開発」（中部センター）において、温度サイクル試験における構成部材の損傷機構の解明と加速劣化試験法としての動的疲労試験法の開発を進めた。これにより対象とする部品を低温槽と高温槽間で移動させる従来の方法に比べて、損傷評価時間を約 1/100 に短縮できる手法を実現した。

メタライズ基板とは、導体回路層とセラミック基板を活性ロウ材に用いて接合させた部材であり、半導体素子から冷却プレートへの高い熱伝達性と絶縁性を実現させている。産業機器や大型白物家電、自動車、鉄道、新エネルギーの分野で電力制御のため用いられるパワーモジュールは、今後ますます高出力化、高電流密度化する傾向にあり、メタライズ放熱基板にはより高い熱的・機械的信頼性が求められる。特に、近年の素子の高出力化、高温動作化や動作環境の高温化に伴い、苛酷な温度サイクル下での部品の劣化損傷機構の解明、さらには、それに基づく加速劣化試験の開発が強く求められていた。

平成 29 年度には温度サイクル試験時の部品の損傷がセラミック部に生じる引張り熱応力に起因することを明らかにした。この知見に基づき、平成 30 年度においては、動的疲労試験時の治具形状、最大荷重、繰り返し応力を印加する周期時間などのパラメータを系統的に検討し、温度サイクル試験におけるメタライズ基板の耐損傷性と高い相関を示す加速劣化試験法を開発した。

パワーモジュールの一層の高出力化、高出力密度化に対応するために、メタライズ基板を構成するセラミック基板の高熱伝導化に加えて、導体層の厚みを増すことも必要となってきた。これは、導体層での発熱を低減させること、及び半導体素子からの熱を一時的に導体層で吸収させるためである。このような背景のもと、令和元年度には、次世代パワーモジュール用基板として期待される、Cu 板の厚みを増した窒化ケイ素メタライズ基板に対して、温度サイクル試験を実施し、従来基板との比較を行うとともに、その加速劣化試験に着手した。Cu 板の厚みの増加とともに、温度サイクルにおけるメタライズ基板のダメージが大きくなることが明らかになりつつある。また、加速劣化試験として、これまでの動的疲労試験に加えて、高温槽と低温冷媒槽（液体窒素）間を繰り返し移動させる装置を開発し、現在、温度サイクル試験との比較検討を行っている。

#### 【成果の意義・アウトカム】

課題項目⑤の「パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価技術開発」（中部センター）において、温度サイクル試験に要する時間を約 1/100 に短縮可能な加速劣化試験法の開発に成功し、「4 点曲げ疲労試験治具及び疲労試験装置ならびに加速劣化試験方法」として特許出願（特願 2017075472）を行なった。本手法では、例えば、従来の方法で約 3 ヶ月の期間を要した 3,000 回の温度サイクル試験（産業機器等の信頼性評価として一般に求められているサイクル数）を 1 日で終わらせることができ、メタライズ基板の信頼性評価及びそれに基づく部品開発の期間を大幅に短縮することが可能となった。これにより、次世代パワーモジュールの開発速度の加速が可能となる。なお、本加速劣化試験法については、実装学会で招待講演を受けるなど産業界から高い注目を集めた。さらに、令和元年から、より簡便な加速劣化法として、部品を高温槽と低温冷媒槽に交互にさらす新規な方法の検討を開始した。本手法は、導体層の厚みを増した開発メタライズ基板の信頼性評価のためのスクリーニング試験として有効と期待される。

#### 【課題と対応】

橋渡し後期研究では、研究成果を事業化まで繋げることが課題である。これに応えるため、領域職員が企業の事業化まで関与する体制を検討する。

第5期以降においても、中長期的には、日本全体のエコイノベーションシステムの中で、産業界とりわけ素材・化学産業界から信頼される研究組織になることが最大の課題である。そのため、技術移転の実績を積み上げるとともに、大学等との連携により、産業界の長期的かつ根源的な課題に応える骨太の研究開発を目指す。

#### 4. 前年度評価コメントへの対応

委員のコメント1（見込） グローバル競争が激化する中での、研究組織としての次の5年10年の発展戦略の提示

対応) 材料・化学領域では、第4期を通して5つのワーキンググループ(WG)を設立して、その中で産総研技術を橋渡しする新たな企業を開拓するための研究戦略の議論を、常に行ってきた。特に、「第5期研究戦略検討WG」では、次の第5期で材料・化学領域として取り組むべき、物質循環技術など8つの課題の抽出し、課題に基づいた研究戦略の立案を行った。

委員のコメント2（見込、年度） 研究者のエフォート管理の適正化（研究テーマ数の適正化）

対応) 研究開発の進め方に関してモデルチェンジを図り、研究者個人だけで対応するのではなく、研究グループや研究チームの総合力によって、企業との調整時間の増大への対応や、論文発表に必要な時間の短縮や労力の軽減を行った。その一方で、「新規材料の創出に繋がる重要な基盤技術に関しては産総研単独で特許を確保し、応用技術分野については企業との共同研究や技術開発による知財を生み出す」、というモデルを維持することにより、エフォート管理に務め、産総研技術の社会への普及を図った。

委員のコメント3（年度） ダイバーシティ推進（女性や外国人の参画）

対応) 令和元年度は、新規採用者17名のうち、女性研究者は5名、外国籍の研究者は5名（うち、女性研究者1名）であり、引き続きダイバーシティの推進に取り組んだ。

委員のコメント4（見込） 社会への見える化（積極的な広報活動）

対応) これまでの展示会での広報活動や、プレス発表/主な研究発表による研究成果の発信に加え、令和元年度から領域 News Letter を発行（年3-4回予定）した。領域の活動や成果の紹介を掲載した News Letter を1,000社5,000人以上の関係者にメール配信し、積極的な広報活動を実施した。

委員のコメント5（見込） （基礎研究の研究評価指標となる） 科研費の獲得増

対応) 材料・化学領域では、技術シーズの創成のために、「領域萌芽研究」を公募し、目的基礎研究の充実や科研費獲得のための積極的支援を行った。さらには令和元年度より、「材料・プロセス研究のメカニズム解明支援」を公募し、独創的な新材料や新規プロセスについて、領域内融合によるメカニズム解明の支援を行った。その結果、令和元年度は科研費取得件数が52件、平成30年度比1.7倍を達成した。

委員のコメント6（見込） 領域と産業界との連携強化

対応) 材料・化学領域では、冠ラボにおいて企業ニーズに特化した研究開発を実施した。第4期期間中に設置した冠ラボは8件であり、そのうち令和元年度は2件であった。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
令和元年度 研究評価委員会  
(材料・化学領域)

## 説明資料

国立研究開発法人 産業技術総合研究所  
材料・化学領域

## 前年度評価委員からの主なコメント

- グローバル競争が激化する中での、研究組織としての次の5年10年の発展戦略の提示
- 研究者のエフォート管理の適正化 (研究テーマ数の適正化)
- ダイバーシティ推進 (女性や外国人の参画)
- 社会への見える化 (積極的な広報活動)
- (基礎研究の研究評価指標となる) 科研費の獲得増
- 領域と産業界との連携強化

## 目次

1. 領域の概要と研究開発マネジメント
2. 「橋渡し」のための研究開発
  - (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
  - (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
  - (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

## 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

- (1) 領域全体の概要・戦略
- (2) 技術的ポテンシャルを活かした指導助言等の実施
- (3) マーケティング力の強化
- (4) 大学や他の研究機関との連携強化
- (5) 研究人材の拡充、流動化、育成

## 材料・化学領域のビジョン

### 夢の素材で人を巻き込み、 グローバルな価値を創る

#### ◆ 夢の素材とは？

- ・ 新たな機能を発現する素材や特性が飛躍的に向上した素材

#### ◆ 人を巻き込むとは？

- ・ 産業界、経済界、行政、海外研究機関の方々との連携を先導すること

#### ◆ グローバルな価値とは？

- ・ 「産業革新」、「省エネ」、「環境調和」、「快適」を支える国際産業競争力
- ・ 新興国の人口爆発と経済的発展に起因する「エネルギー」、「資源」、「食料」、「水」問題の解決のための独自技術
- ・ 「健康」、「家族」、「経済」などの人にとって欠かせない価値

## 材料・化学領域の研究ユニット

研究開発課題項目	研究部門 (RI)	研究センター (RC)
① グリーンサステイナブルケミストリーの推進	機能化学RI (つくば、中国) 部門長: 北本大 研究職員数: 49	触媒化学融合RC (つくば) センター長: 佐藤一彦 研究職員数: 47
② 化学プロセスイノベーションの推進	化学プロセスRI (東北、つくば) 部門長: 古屋武 研究職員数: 46	
③ ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発	ナノ材料RI (つくば) 部門長: 佐々木毅 研究職員数: 47	ナノチューブ実用化RC (つくば) センター長: 畠賢治 研究職員数: 21 機能材料コンピューショナルデザインRC (つくば) センター長: 浅井美博 研究職員数: 32
④ 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発	無機機能材料RI (中部、関西) 部門長: 松原一郎 研究職員数: 54	磁性粉末冶金RC (中部) センター長: 尾崎公洋 研究職員数: 22
⑤ 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発	構造材料RI (中部) 部門長: 吉澤友一 研究職員数: 48	(令和元年12月末現在)

## 材料・化学領域の研究職員数

研究職員数: 408名 (令和元年12月末現在)

つくばセンター 220名

機能化学RI、化学プロセスRI、ナノ材料RI、触媒化学融合RC、  
ナノチューブ実用化RC、機能材料コンピューショナルデザインRC

地域センター 181名

東北センター 31名 化学プロセスRI  
 中部センター 108名 無機機能RI、構造材料RI、磁性粉末冶金RC  
 関西センター 23名 無機機能RI  
 中国センター 19名 機能化学RI

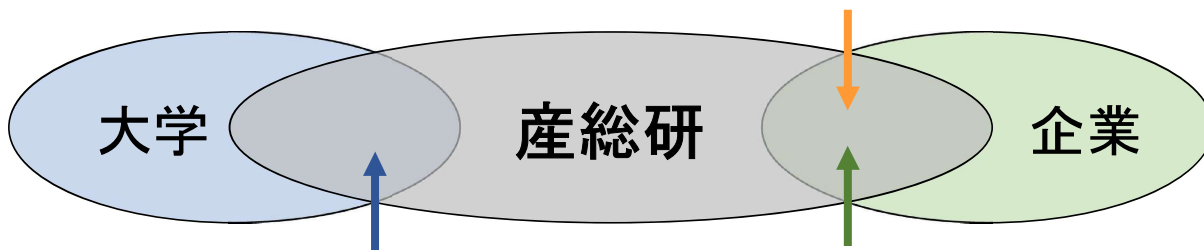
他、九州センター1, 柏OIL6



## 大学・企業との連携

産総研が運営するテーマ別の研究会: **産総研コンソーシアム**

- ◆ フロー精密合成コンソーシアム ◆ 食・触コンソーシアム
- ◆ 接着・接合技術コンソーシアム ◆ ガラス物性測定コンソーシアム など



大学等のキャンパス内に設置する産学官連携研究拠点: **オープンイノベーションラボラトリ (OIL)**

- ◆ 東大OIL
- ◆ 東北大OIL
- ◆ 筑波大OIL **NEW!**

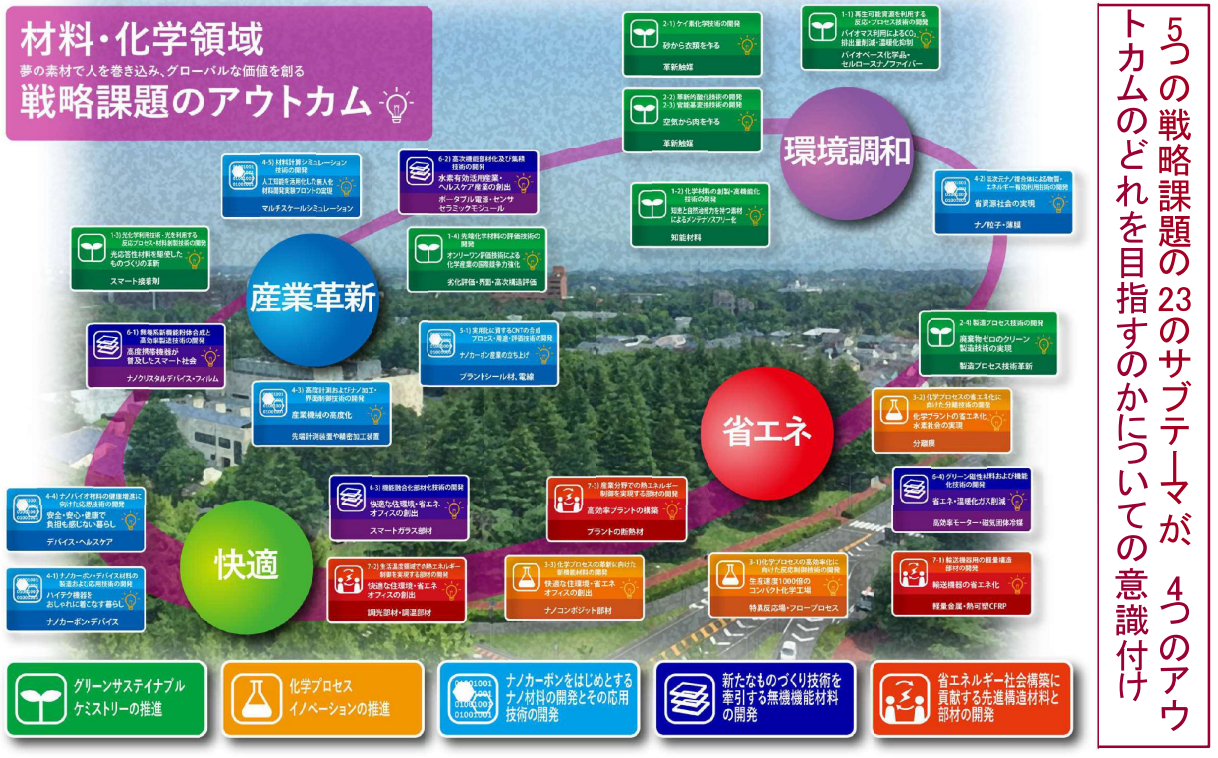
より特化した研究開発を実施するための企業名を冠したラボ: **冠ラボ**

- ◆ 日本特殊陶業-産総研 ヘルスケア・マテリアル連携研究ラボ
- ◆ 矢崎総業-産総研 次世代つなぐ技術 連携研究ラボ
- ◆ UACJ-産総研 アルミニウム先端技術連携研究ラボ
- ◆ バルカー-産総研 先端機能材料開発連携研究ラボ **NEW!**
- ◆ DIC-産総研 サステナビリティマテリアル連携研究ラボ **NEW!**

(令和元年12月末現在)



# 戦略1: 戦略課題の策定



# 戦略1: 戦略課題の策定 (アウトカム例)

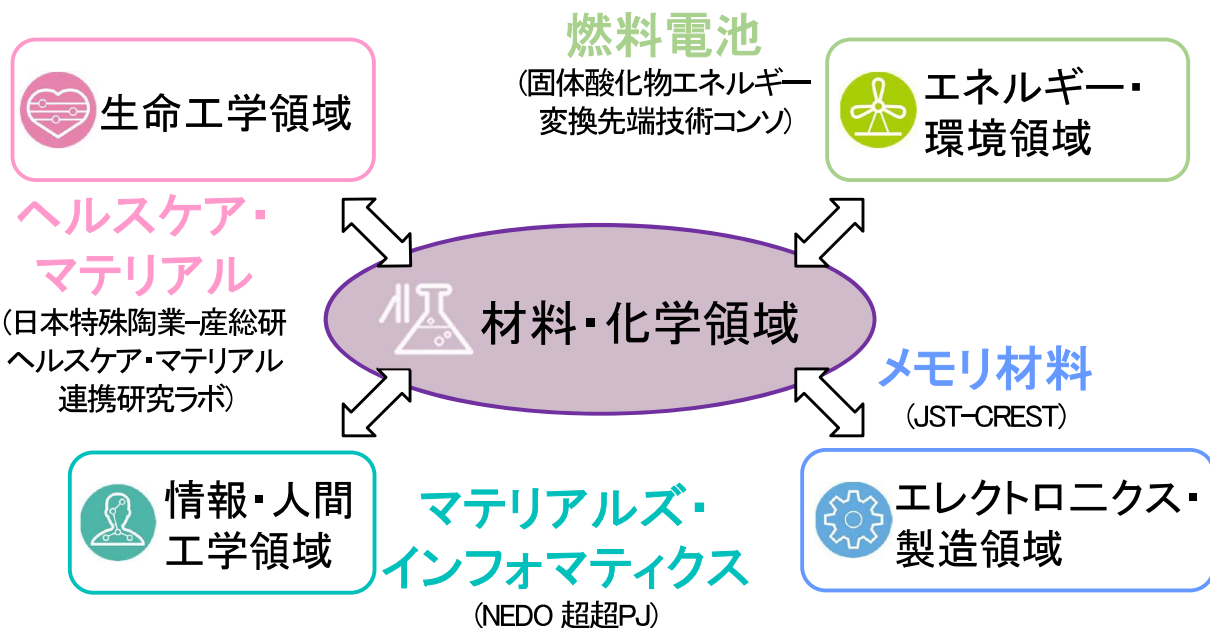


# 戦略2: 社会ニーズに対応した重点化課題の設定

「産総研の2030年に向けた研究戦略」 H28.6.28公表



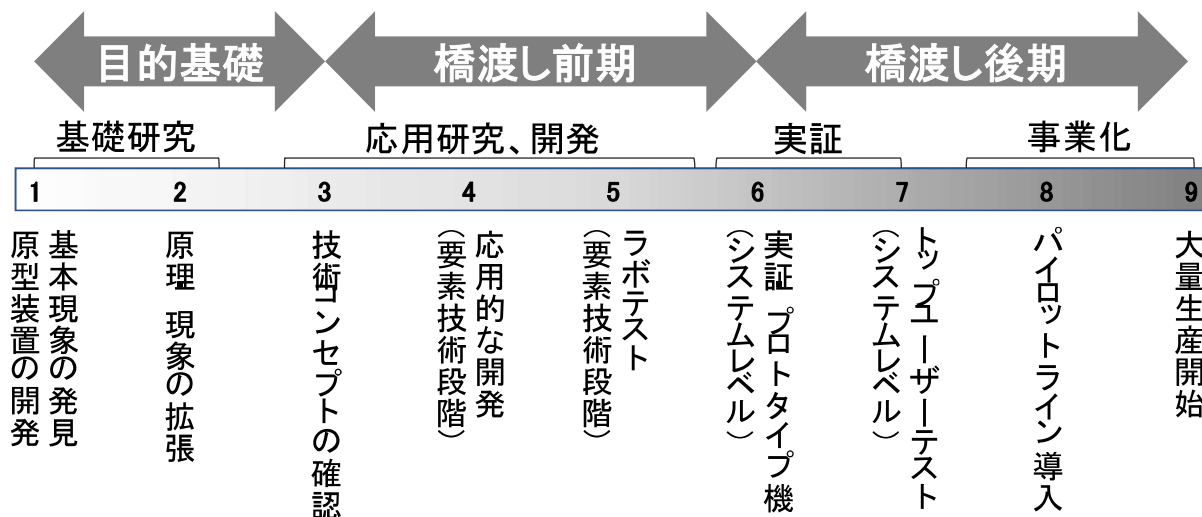
# 戦略3: 他領域との連携



各領域が持つ技術や知識の相乗効果が期待される共同研究の推進

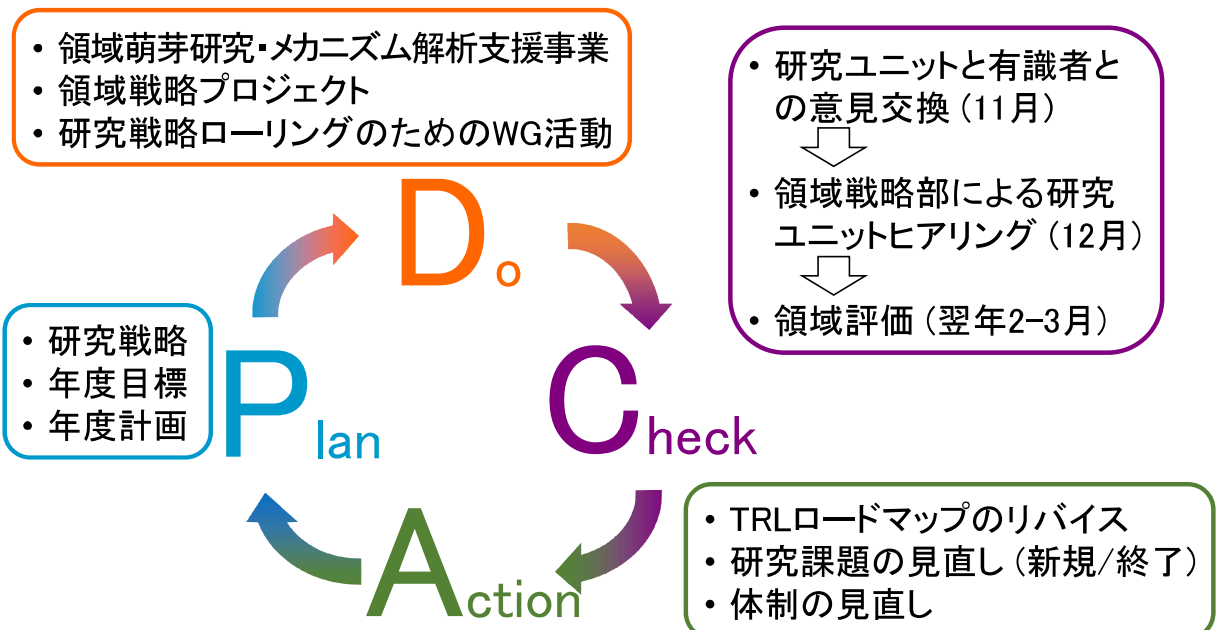
## 戦略4: TRLの導入

Technology Readiness Level (TRL)とは、重要要素技術の成熟度を推定し、異なるタイプの研究や技術の成熟度を均一にチェックする方法



各戦略課題の目標と進捗状況をTRL上で比較することによる、重点化すべき研究課題の選択や研究計画の見直し

## 戦略5: PDCAサイクルの運用

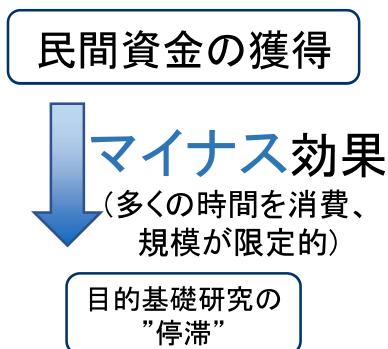


計画の立案と見直しを機動的に繰り返すことによる、研究の着実な遂行

## 戦略6: 研究開発の進め方に関するモデルチェンジ

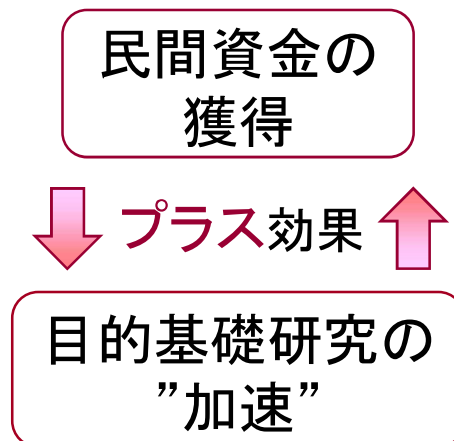
### 従来のモデル

個人単位での対応では・・・



### 新しいモデル

グループ/チーム+産学官やICで対応すること  
で・・・



総合力 (ONE TEAM)による企業との調整時間の確保や、論文執筆などの  
時間の短縮や労力の低減

## 戦略7: 技術シーズの創生に向けた取り組み

(詳しくは、「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)で説明)

### 「萌芽研究」: 領域による 技術シーズ創出助成制度

科研費等の獲得につながる基  
礎データ収集を支援

### 「材料・プロセス研究のメカニ ズム解明支援事業」

領域内融合による、物性やプロセ  
ス発現メカニズムの解明を支援

NEW!

領域の支援による、「新たな研究・技術シーズの創生」や、  
「基礎的な知見の深化」

## 戦略8: 知財マネジメントの強化

### ◆ 領域知財ポリシーの制定



#### 知財強化・戦略構築の支援

- 知財面から研究展開をアドバイス
- 基本特許確保・骨太化の方針検討
- 出願→権利化までのフォローアップ

#### 知財アセット構築強化支援

- 先行技術や技術動向調査の実施
- 基本→応用特許取得のアドバイス
- 企業連携を見据えた知財アセット構築

産総研独自の研究成果を企業連携に繋げることを目的とした、真に有効な知財の創出

## 戦略9: 地域センター強化

### ◆ 中国センターをコアとした材料診断ネットワークの構築

#### (a) 材料診断ネットワークの体制構築

##### (1) 産総研、公設試の研究者同士のネットワーク構築 (後述)

- 第1弾: 鳥取県産業技術センター訪問 (11月実施)
- 以降、山口県産業技術センター等を訪問予定

##### (2) 開放機器をより利用して貰うために

- 機器を材料診断手法で整理し、HPで公開予定
- 劣化分析法のマニュアル化 (計画中)

#### (b) 材料診断ネットワークの拠点整備と立ち上げ

##### (1) 機器の導入と講習会

- GC-TOF MSの導入 (3月納品)
- 分析セミナーの開催 (令和2年度4月以降予定)

##### (2) 企業へのアピール

- ICによる企業訪問
- 材料診断の観点でのニーズ収集・対応

技術コンサルティングを中心として、企業要望に応える。



MALDI-TOF/MS



NMR

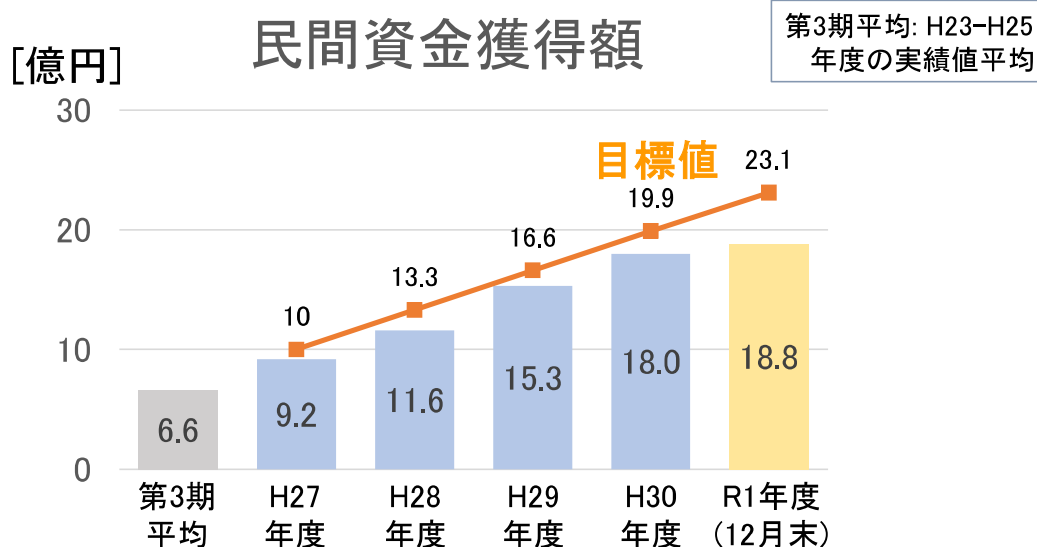


パルス試験機: 薄膜の物性を測定する装置

## 令和元年度 領域目標と実績

	令和元年度 目標値	12月末現在 実績	参考 平成30年度 実績
民間資金獲得額 (億円)	23.1	18.8	18.0
論文の合計 被引用数(回)	11,200	13,161	12,337
論文発表数(報)	500	354	502
実施契約等件数 (件)	230	225	246
人材育成(名) [RA + イノスク生]	40	73	55

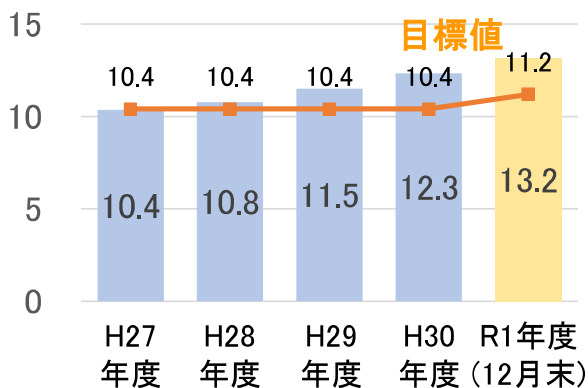
## 第4期中長期目標期間の年度実績の推移



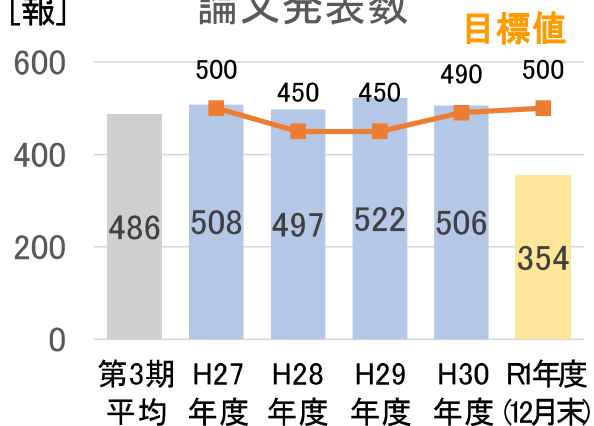
- R1年度は、目標の達成率81.4%、前年同月比115%

## 第4期中長期目標期間の年度実績の推移

[千回] 論文の合計被引用数



[報] 論文発表数



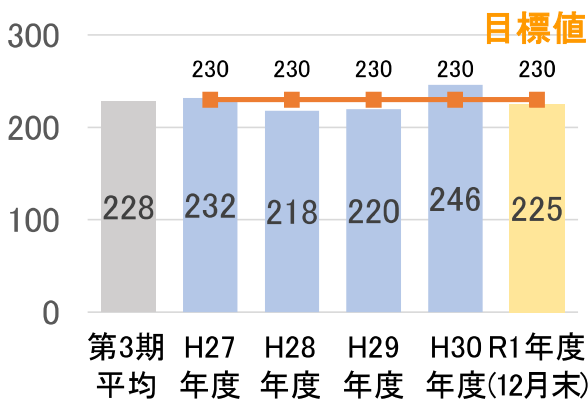
・R1年度は、目標の達成率103%、前年同月比109%

・R1年度は、目標の達成率70.8%、前年同月比106%

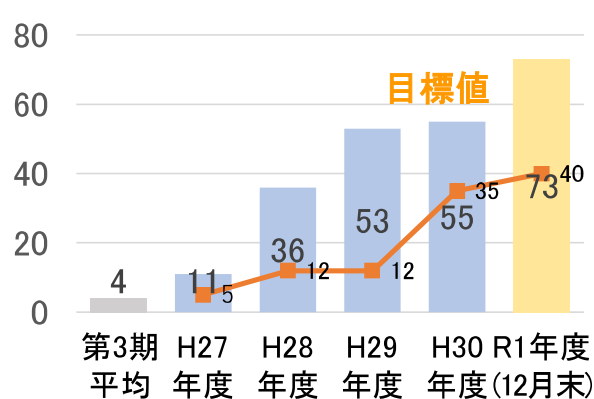
第3期平均のデータ無し

## 第4期中長期目標期間の年度実績の推移

[件] 実施契約等件数



[名] イノベーション人材育成



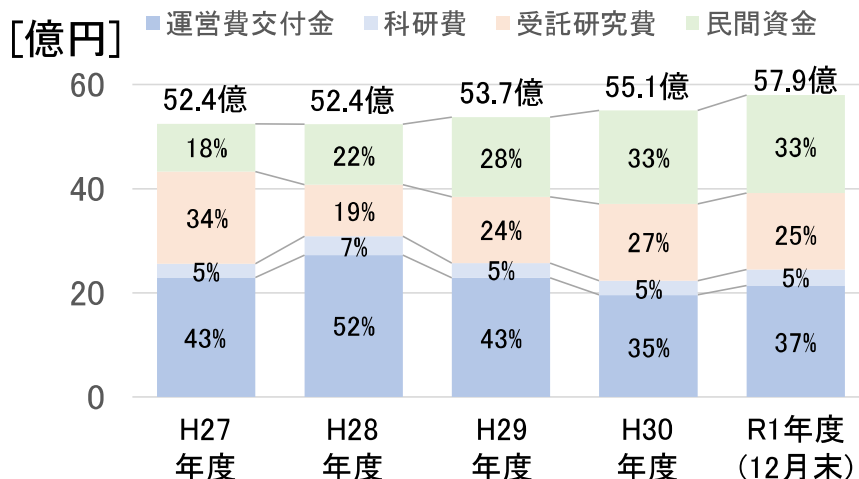
・R1年度は、目標の達成率97.8%、前年同月比99%

・R1年度は、目標の達成率183%、前年同月比138%

## 予算ポートフォリオの年次推移

- 運営費交付金、科研費、助成金など ⇒ 目的基礎
- 受託研究 (NEDO、SIPなど) ⇒ 橋渡し前期
- 民間資金 ⇒ 橋渡し後期

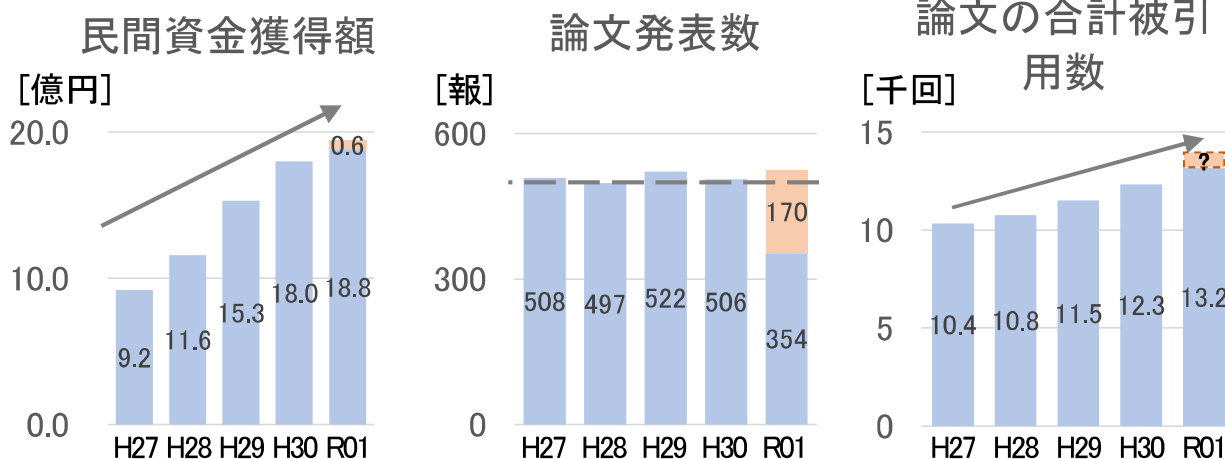
### 予算の内訳



## 成果において特筆すべき点 (1)

### ◆ (戦略6) 研究開発モデルの転換、の結果...

■ 実績 ■ 見込み

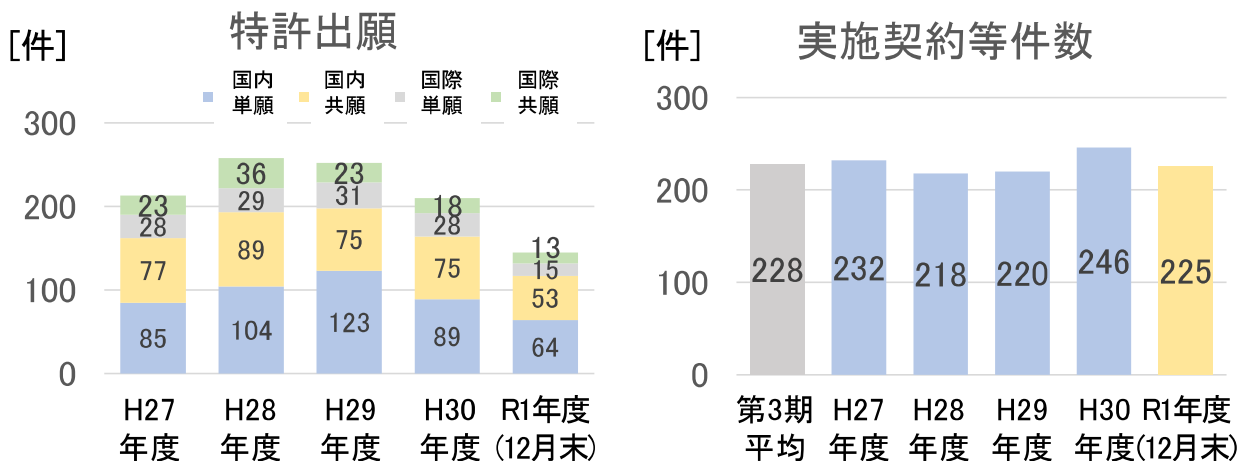


民間資金獲得額の増加を実現しながらも、論文発表数は維持し、かつ被引用数は増加 ⇒ エフォート管理として適正な研究テーマ数であることを実証



## 成果において特筆すべき点 (2)

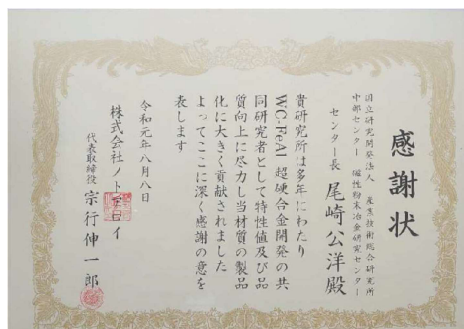
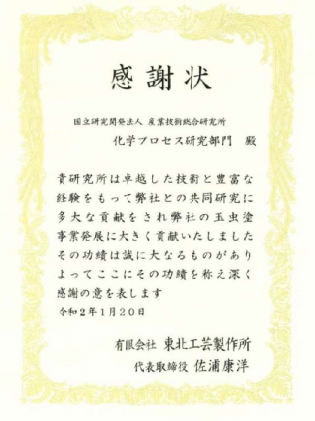
### ◆ (戦略8) 知財マネジメントの強化、の結果・・・



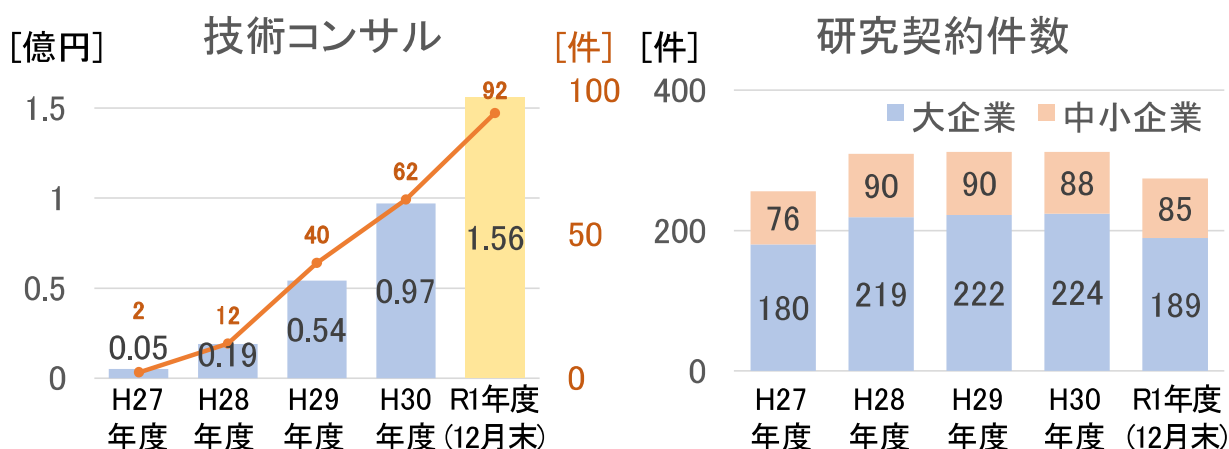
・ 特許出願を抑えつつも、実施契約件数を堅持  
 ⇒ 特に外国特許に関して“とりあえず出願”の事案を大幅に抑制

## 成果において特筆すべき点 (3)

- ◆ 目的基礎研究の成果として、
  - 第4期中に国際論文誌の表紙や裏表紙に選ばれた論文数: 65報
- ◆ 「橋渡し」研究の成果として、
  - 第4期中に製品化されたもの: 28件 (R1年度4件)
  - 第4期中に技術移転に関して企業からの感謝状: 23社 (R1年度4社)



## 技術コンサルティング/研究契約件数の推移



- ・コンサル収入1.5億円超
- ・件数は前年度比145%増

- ・大企業、中小企業併せて274件
- ・中小企業比率は31%

## 業界団体、学会との連携

### ◆ 業界団体との連携: 22件 (R1年度)

- ・ バイオマスリファイナリー 研究フォーラム 会長
- ・ 新化学技術推進協会 先端化学・材料技術部会 副会長
- ・ 日本ファインセラミックス協会 戦略策定委員会 副委員長 など

### ◆ 学会活動: 32件 (R1年度)

- ・ 米国セラミックス学会 会長
- ・ (公社) 日本鑄造工学会 理事
- ・ (公社) 高分子学会 理事
- ・ (公社) 日本油化学会 副会長
- ・ (一社) 軽金属学会 理事
- ・ (一社) 日本計算工学会 理事
- ・ (一社) 日本粘土学会、理事
- ・ (一社) 粉体粉末冶金協会 理事 など

## 公設試（公設試験研究機関）との連携

### ◆ 人員の受け入れ（外来研究員「招へい型」として）（R1年度計9名）

- 名古屋市工業研究所より受け入れ（2名）
- 和歌山県工業技術センターより受け入れ（1名）
- 石川県工業試験場より受け入れ（2名）



### ◆ 技術セミナーの開催（R1年度計9回開催）

- 「公設試訪問型研究交流会 in 鳥取」(25名)
- 地域オープンイノベーション力強化事業第1回研修会・検討交流会（各5名）
- EBISワークショップ（2020年2月予定）



### ◆ 産業技術連携推進会議（産技連）

- （領域職員68人が、延べ173の部会・分科会に参加）
- （活動例）地域オープンイノベーション力強化事業を通じた公設試の“技術向上”や“新技術活用”の支援・促進

## 国際標準化活動

### ◆ 令和元年度 ISO専門委員会Combiner: 2名（H30年度: 2名）

- ISO/TC61（プラスチック）/SC14（環境側面）/WG2（生分解度）
- ISO/TC266（バイオミメティクス）



### ◆ 令和元年度 ISO専門委員会PL: 6名（H30年度: 8名）

- ISO/TC229（ナノテクノロジー）/WG4（材料規格）
- ISO/TC61（プラスチック）/SC13（複合材及び強化繊維）/WG2（積層・複合材料）
- ISO/TC206（ファインセラミックス）/WG6（機械特性）
- ISO/TC229（ナノテクノロジー）/JWC2（計量計測） など

### ◆ 令和元年度 発行規格: 1件（H30年度: 3件）

- ISO/TC229（ナノテクノロジー）: 発行ISO/TS10867:2019 ed.2- id.7533

### ◆ 令和元年度 提案 規格: 3件（H30年度: 4件）

- ISO/DIS19095-5（樹脂-金属接合体の破壊エネルギー）
- ISO/DIS22838（金属-CFRP接合体の破壊靱性）
- ISO/NP14272（金属-CFRP接合体の十字引張り試験）

## 国の技術政策立案への貢献

NEDO技術戦略研究センター (TSC) フェローアドバイザー:  
井上貴仁 (領域IC)

- TSC: 産業技術やエネ・環分野の技術戦略の策定や国家プロジェクトの企画
- フェローのミッション: 戦略策定のアドバイス、研究者の選定など

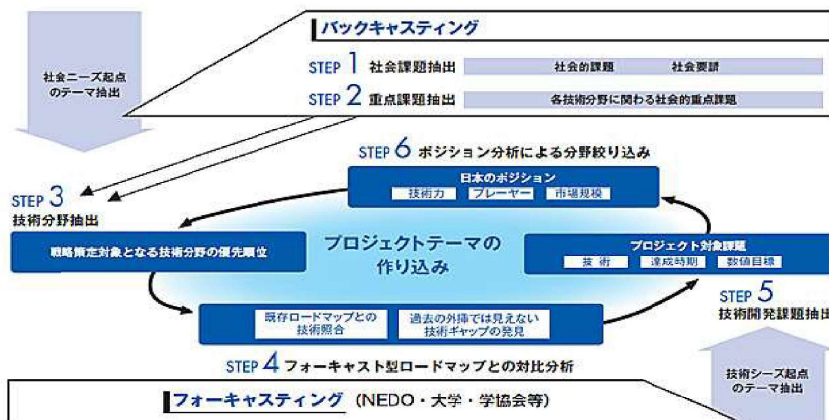


図. TSCのアプローチ

NEDO TSCホームページから抜粋  
[https://www.nedo.go.jp/introducing/tsc\\_index.html](https://www.nedo.go.jp/introducing/tsc_index.html)

## マーケティング強化に向けた取り組み (1)

**NEW!**

領域所属のイノベーション  
コーディネータ (IC)2名の配置

両IC共に領域ユニットの元副部門長/副センター長



井上IC



浅川IC

### 業務内容 (一例)

- ◆ **企業面談・トップセールスの実施**
  - 面談の実施により、領域と企業を繋ぐ
- ◆ **情報収集、技術動向の調査**
  - 国や業界の動向を把握し、新たな研究課題を戦略的に創出
- ◆ **NEDOや海外研究機関との調整**
- ◆ **テクノブリッジフェアのフォローアップ**

## マーケティング強化に向けた取り組み (2)

イノベーションコーディネータ、パテントオフィサー、研究ユニットの3者間の連携を図ることで、領域全体で企業ニーズを把握

### 取り組み例

#### ◆ 領域幹部等と企業CTOとの交流会

- ・ 素材・化学系企業のCTOクラスとのトップセールスを実施  
→ 企業が抱える「真の企業ニーズ」の把握

#### ◆ 業界団体との交流、連携

- ・ 新化学技術推進協会 (JACI)、日本化学工業協会 (JCIA) など  
→ 素材産業、化学産業の「産業界の課題・方向性」の把握

#### ◆ 技術コンサルティングシステムの積極的アピール

- ・ 技術の「橋渡し」対象となる企業数の拡大  
→ 契約締結企業数の増加 (H28年度12件→R1年92件\*)



\*12月末現在

## 広報活動 (1)

#### ◆ 展示会での広報活動

- ・ テクノブリッジフェア in つくば、中部、東北 (2月開催予定)
- ・ Nano tech展
- ・ アグリビジネス創出フェア
- ・ 化学フェスタ など

化学フェスタでの産総研特別企画:  
(上) ポスター、(下) 会場の様子

産総研特別企画  
化学の技術で未来へつなぐ  
~持続可能な社会を目指す物質循環技術~

20世紀の60年代は大規模生産・大量消費による環境問題が発生しました。現代の産業には、膨増加する資源消費の低排出化、回収、再資源化による物質循環を前提とした消費・再生の循環を基盤とする技術が求められます。産業の発展と環境保全を両立させた社会を構築し、現代から未来に渡って人類の繁栄を維持させていく必要があります。本企画では、物質循環のうち、特にC, N, Pの循環に貢献する産総研の化学技術を紹介します。

日時 2019年 10月 15日 (火) 13:00-16:50  
会場 タワーホール船場 2階 福寿 (K会場) 東京都江戸川区船場4-1-1

参加無料

#### ◆ 研究成果の発信

- ・ 令和元年度のプレス発表/主な研究発表数: 17件 (12月末時点)  
→ 前年度比90%



## 広報活動(2)

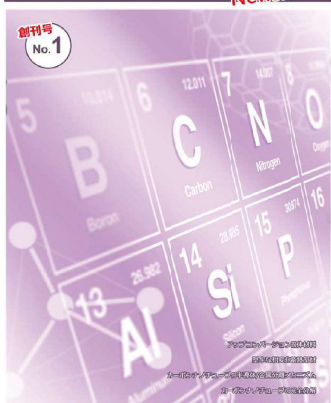
### ◆ 領域Newsletterの発行(年3-4回予定)



- ・ テクノブリッジ on the Web会員(1,075社約5,400名程度)へメール配信
- ・ 領域からプレスリリースした研究の紹介
- ・ シンポジウム等の開催告知

国立研究開発法人産業技術総合研究所

### 材料・化学領域 Newsletter



太陽電池、人工光合成などの太陽光利用技術の効率向上に期待

- ・ 増感剤の凝集を防ぐことで吸収した近赤外光のエネルギーを高効率に発光体分子に移動
- ・ 発光体分子間の再結合が促進され、近赤外からの補助起励度長波長変換を駆動して実効

電子・機械・構造部材内部で融けずに蓄熱や保冷が可能に

- ・ 優れた蓄熱能力を持つ二酸化バナジウム粉末を精密に溶出成型できる技術を開発
- ・ バナジウム酸化物以外に結合剤などを用いないため、蓄熱密度を顕著に向上
- ・ 蓄熱材として積層するため電子機器や構造体への熱対策も可能

2019年11月12日

International Nanotechnology Exhibition & Conference  
**nano tech 2020** に出展決定!

国際ナノテクノロジー総合展・技術会議

会期 2020年1月29日(水)~31日(金)  
会場 東京ビッグサイト 西2ホール(物産・公的機関・学校が研究テーマ)

特別展示 **豊かな暮らしを支える未来材料**  
「SMART」+「ACTIVE」からの選抜で、環境変化にアクティブに対応する実行型新素材を展示します。

- ・ 温度により自律的に透明/白濁が切り換わる液晶調光ガラス
- ・ 利用者の安全・安心・快適性を実現する、塗布型ECデバイス
- ・ 付着抑制効果に優れたコーティングの開発
  - 氷雪の付着防止で安心・安全な社会へ
  - 水や湿度に応じて変形・分解する中変ナノファイバゲル
  - 徐放アプセルや多孔質材料の鏡型に活用
  - 湿度に対応するリグニン由来の自己修復材料
  - 樹脂の多様な機能を引出す光応答性添加剤
  - 刺激応答による徐放性を示す有機マイクロカプセル
  - 光でつ外しが可能なスマート接着剤
  - 着用可能な柔らかいセンサ・アクチュエータ

nano tech 2020では、「SMART」+「ACTIVE」に関する特別展示を行うほか、材料・化学領域の材料・プロセス・計測・デバイスに関連する連携可能な22件の技術を一覧展示します。  
nano tech 2020 ウェブサイト: <https://www.nanotechexpo.jp/main/>

## 産総研コンソーシアム

産総研コンソーシアム: 産総研の業務にかかる産学官連携の支援、成果の利用の促進、情報の収集及び提供等のため、産総研が運営するテーマ別の研究会

### ◆ 第4期に設立したコンソーシアム: 5件

コンソーシアム名	参加企業等数
電気化学界面シミュレーションコンソーシアム →産総研の技術を基に蓄積された知見を民間主導で発展させるべく、2018年4月より一般社団法人に引き継ぎ	25
フロー精密合成コンソーシアム	95
接着・接合技術コンソーシアム	78
生物資源と触媒技術に基づく食・薬・材創成コンソーシアム	18
ガラス物性測定コンソーシアム	9

### ◆ その他、現在活動中のコンソーシアム: 12件

## 国内他機関との連携強化

### ◆ 大学や国内の研究機関との連携

大学等: 国公立大学 40校、私立大学 23校

研究機関: 物質・材料研究機構、理化学研究所、高エネルギー加速器研究機構、宇宙航空研究開発機構、国立国際医療研究センター など



### ◆ クロスアポイントメント制度の積極的活用

令和元年度: 受入14名(前年度差+1)、出向3名(前年同数)

## 国内の他大学との連携強化

### ◆ オープンイノベーションラボラトリを通じた大学との人材交流

	<p>産総研・東大 先端オペランド計測技術 オープンイノベーションラボラトリ (OPERANDO-OIL)</p>	<p>東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO</p>
	<p>産総研・東北大 数理先端材料モデリング オープンイノベーションラボラトリ (MathAM-OIL)</p>	<p>東北大学</p>
	<p>産総研・筑波大 食薬資源工学オープン イノベーションラボラトリ (FoodMed-OIL) 2019年11月設置</p>	

令和元年度: 各大学からのリサーチアシスタント 計16名

## 海外研究機関との連携の強化

### ◆ スイス連邦材料試験研究所 (Empa) Empa

Materials Science and Technology

- Empa-AISTワークショップ×2回、相互開催 (2017年5月、10月)
- Empaでの在外研究×3名 (2018-2019年)
- 持ち帰り型研究×5件 (2018-2019年)

MOU締結

### ◆ タイ国立ナノテクノロジー研究センター (NANOTEC) NANOTEC

a member of NSTDA

- NMRI-NANOTECワークショップ、相互開催 (毎年開催、2019年で9回目)
- 研究者の受け入れ×1名 (2016-2017年)
- 持ち帰り型研究×3件 (2019-2020年)

LOI締結

### ◆ フラウンホーファー研究機構 (FhG) Fraunhofer

- FhG生産技術・応用マテリアル研究所 (IFAM)とのワークショップ (2016年10月)
- FhGアルゴリズム・計算科学研究所 (SCAI)とのミニシンポ (2017年3月)
- FhG生産技術・オートメーション研究所 (IPA)での在外研究×1名 (2019年)
- FhG生産技術・オートメーション研究所 (IPA)との、幹部クラスの相互訪問 (2019年)

### ◆ その他の国際共同研究機関

マックス・プランク鉄鋼研究所、The Industrial Technology Research Institute (ITRI: Taiwan)、メルボルン大学、エクス=マルセイユ大学、等

## アジアの研究機関との国際連携例

### ◆ シンポジウムを通じた国際連携の模索



ITRI

Industrial Technology  
Research Institute

財団法人工業技術研究院 (英文略称ITRI)は、台湾新竹県にあり、台湾科学技術の発展における重要拠点

「AIST-ITRI Joint Symposium 2019」(2019.11.08)にて、  
“Material Chemistry for Sustainable Society”のセッションを開催

#### <議論内容>

- 『二酸化炭素の有効活用』
- 『フロー法を用いた物質製造技術』
- 『材料特性解析』

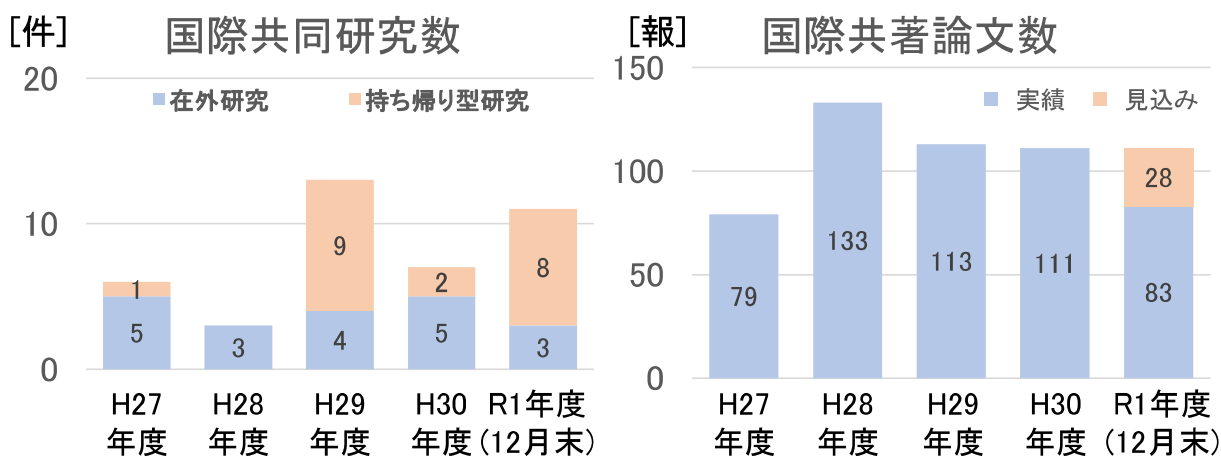


会議の様子





## 国際共同研究数および共著論文数の年次推移



・R1年度は、合計11件の国際共同研究を実施

・R1年度は、発表された論文の約1/5が国際共著論文

複数年度にまたがる共同研究は、初年度にカウント

## 若手研究者の育成

### ◆ 令和元年度 領域の支援による若手研究者の留学（領域フェローシップ：1年間）一覧

- ・ カリフォルニア大学デービス校（アメリカ）  
「コンピューショナルタンパク質設計による高機能プラスチック合成酵素の開発」
- ・ スイス連邦材料試験研究所（スイス）  
「ポリマー系エアロゲルの微細構造形成プロセスの探究」
- ・ マサチューセッツ工科大学（アメリカ）  
「窒素酸化物回収を目指した有機金属構造体に関する研究」



・ グローバルな共同研究活動を実現する国際ネットワークの構築や拡大を支援

## グループ長研修: 共鳴塾

グループ長/チーム長が同じ目標に向かって刺激し合い、材料・化学領域を発展へと結びつける研修、その名は「共鳴塾」

### ◆ 対象者

- ・ 材料・化学領域のグループ長 (56名)

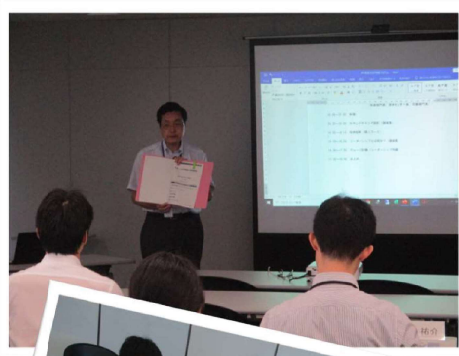
### ◆ 目的

- ・ グループ長のモチベーション向上

### ◆ 内容

- ・ 材料・化学領域の経営戦略の共有
- ・ マネジメントとリーダーシップの理解
- ・ コーチングスキルの理解

全所の研修制度に採り入れ



## 領域ワークショップ

### ◆ 産総研つくばセンターにて開催 (2019.12.18 289名参加)

- ・ 本年度から、関連地域センターにWeb配信
- ・ 各ユニットにおける研究開発の進捗状況を相互理解
- ・ 研究ユニット間の交流を推進



# 女子学生・外国籍人材への広報活動・採用状況

## ◆ 女子大学院生・ポスドクと産総研女性研究者との懇談会

参加者32名（内外国人4名）

## ◆ 学会誌でのPR

領域女性研究者によるダイバーシティ推進活動

## ◆ 令和元年度採用状況（17名中）

女性採用 5名

外国籍人材 5名（うち、女性研究者1名）

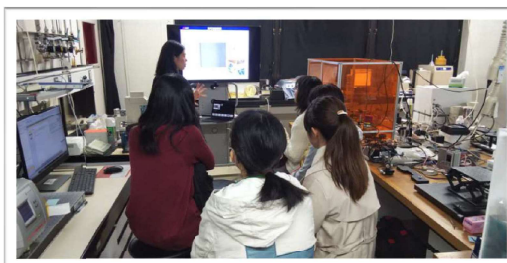
**女子大学院生・ポスドクのための産総研内紹介と在職女性研究者との懇談会**  
Female Graduate Student Laboratory Tours and Round Table Talk with Women Researchers in AIST

産業技術総合研究所（産総研）は、日本最大級の公的研究所です。全編に研究拠点が並び、その中でも特に多くの研究者が働くつくばにおいてイベントを開催します。女子大学院生・ポスドクの方に研究職の具体的なイメージを持ってもらえ、第一線で働く産総研の女性研究者と直接対話できる機会です。是非ご参加ください。

【日 時】 2019年11月18日（月）～19日（火）  
【場 所】 産業技術総合研究所 つくばセンター中央  
【対 象】 女子大学院生・ポスドク等  
【参加費】 無料  
【参加資格】 2020年度卒業者  
【趣 意】 ・人数グループでの女性研究者との懇談会  
・人事・採用・キャリア制度等の説明  
・ラボ見学ツアー（懇談会の全7回はより2つ選択できます）

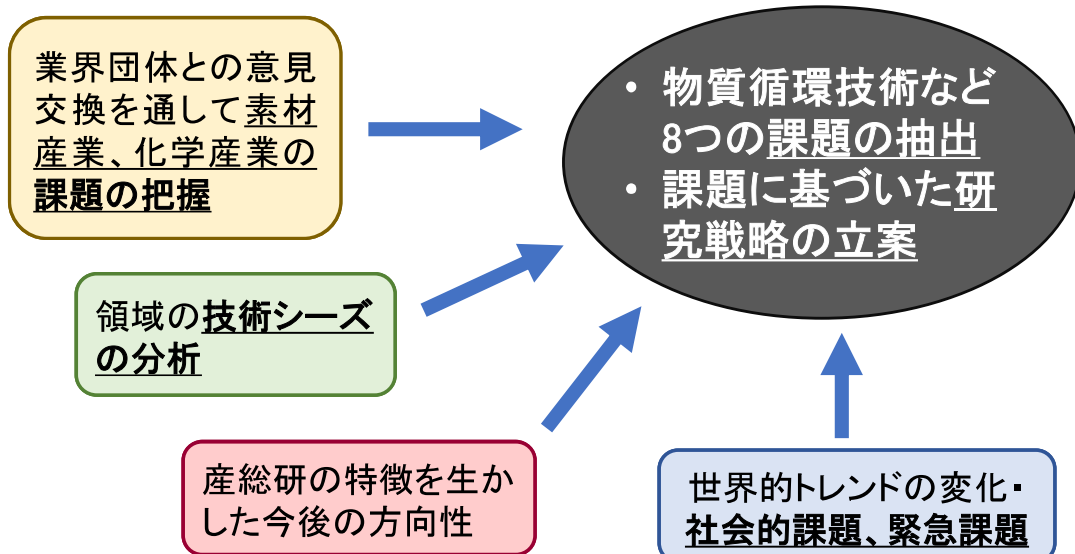
参加申込締切 11月5日（火）15時  
下記必要事項を事務局（2019-1103@ais.ac.jp）までお送りください。お申し込み受付後、つくばツアー等に希望を伝えるアンケートを送付いたします。  
【姓名】 【ご所属】 【本学歴・大学 研究専攻】  
【卒業校】 【研究専攻】 希望する領域（なし）

【お問い合わせ】 イベント事務局 aistevent@ais.ac.jp  
【注】 産業技術総合研究所 総務部 少子化対策推進課  
本イベントは「産業技術総合研究所 外国人材採用推進事業」の一環として実施されています。



# 第5期研究戦略検討WG: 研究戦略の検討

【ワーキンググループ (WG) 活動内容】 将来の社会ニーズに応える技術開発などについて検討し、第5期に向けた研究戦略を立案。領域幹部および各ユニットの副部門長を中心に構成。

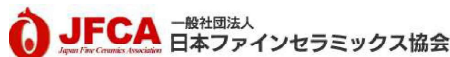


## 第5期研究戦略検討WG: 産業界の課題の把握

新化学技術推進協会



日本ファインセラミックス協会



ニューガラスフォーラム



産業界の  
課題・方向性

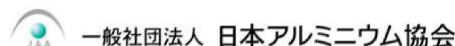
日本マグネシウム協会



日本化学工業協会



日本アルミニウム協会



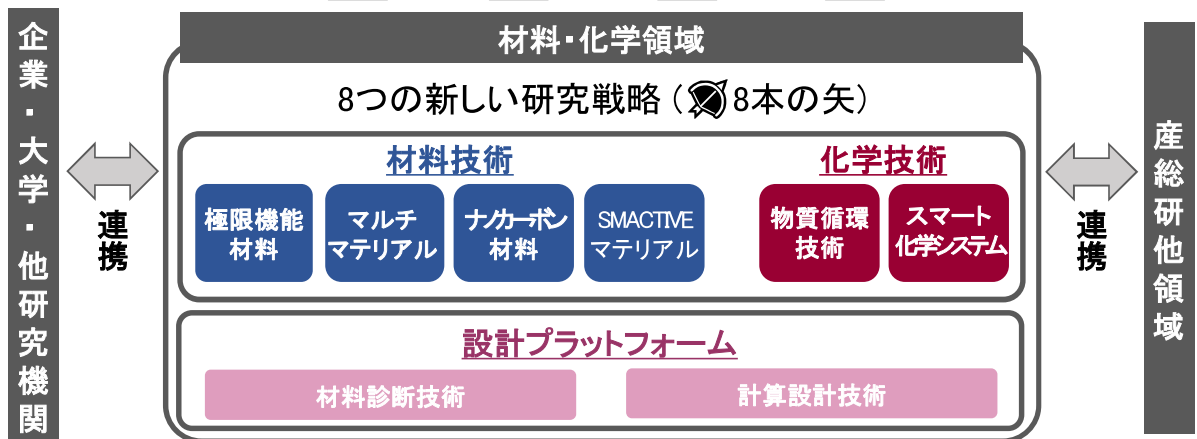
ナノテクノロジービジネス推進協議会



## 第5期研究戦略検討WG: 新しい戦略の創出

持続可能社会の実現に貢献

素材・化学産業の国際競争力強化に貢献



## 第4期の総括

- 研究の質を維持したままでの民間資金獲得額の増加  
(第3期平均と比較して、約3倍)
- 冠ラボでの、企業のニーズに、より特化した研究開発の実施
- 第4期中長期目標期間を通じて、28件の製品化
- 「萌芽研究」や「材料・プロセス研究のメカニズム解明支援事業」など、技術シーズの創生に向けた取り組みの実施
- 領域フェローシップやOILを通じた、国内外研究機関や大学との連携強化と、人材育成の実施

Memo:

Memo:

Memo:

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

- (1) 「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）
- (2) 「橋渡し」研究前期における研究開発
- (3) 「橋渡し」研究後期における研究開発

紺色: 評価委員会で説明  
 赤色: 評価委員会でピックスとして説明  
 黒色: 評価資料のみ記載

## 各戦略課題の位置づけ

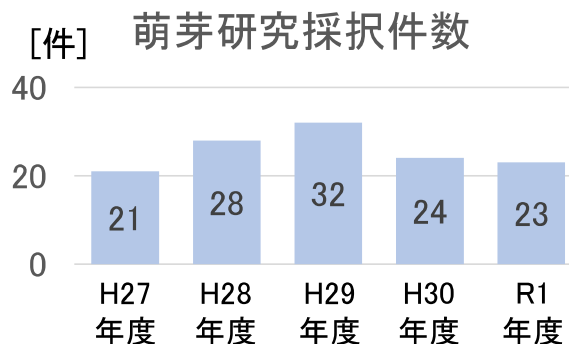
研究項目	目的基礎研究	「橋渡し」研究前期	「橋渡し」研究後期
① グリーンサステイナブルケミストリーの推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築: 「劣化評価パッケージ」</li> <li>配列制御シロキサンワンポット合成法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発</li> <li>セルロースナノファイバー (CNF) の製造・材料利用技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>砂からテトラアルコキシシランを製造する方法</li> </ul>
② 化学プロセスイノベーションの推進	<ul style="list-style-type: none"> <li>階層構造を持つナノコンポジットに関する研究 (キトサンエアロゲル)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>階層構造を持つナノコンポジットに関する研究 (ナノ発泡ポリマー)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐熱性ガスバリアフィルムに関する研究 (クレースト)</li> <li>ナノ多孔材料を利用した分離システム (ゼオライト、炭素膜)</li> <li>マイクロ波照射技術</li> </ul>
③ ナノカーボンをはじめとするナノ材料の開発とその応用技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化</li> <li>材料機能シミュレーション技術開発 (材料インフォマティクス)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物質吸蔵・変換用ナノ粒子の開発</li> <li>接着・界面現象の研究</li> <li>材料機能シミュレーション技術開発 (ナノ発泡ポリマー)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ (SGCNT) を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧 Oリングの開発</li> </ul>
④ 新たなものづくり技術を牽引する無機機能材料の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>ガラス複合化技術の開発 (超低脆性ガラスとアップコンバージョンガラス)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁気冷凍材料の開発とシステム化</li> <li>電気化学デバイス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コアシェルナノ粒子の開発と構造色の発現</li> </ul>
⑤ 省エネルギー社会構築に貢献する先進構造材料と部材の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>リサイクル炭素繊維の高付加価値マテリアルリサイクル材料の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>難燃性 Mg 合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性 DB の構築</li> <li>電磁攪拌を用いたアルミニウム合金の組織微細化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価技術開発</li> </ul>

(1)「橋渡し」につながる基礎研究(目的基礎研究)

## 技術シーズの創生に向けた取り組み(1)

### ◆「萌芽研究」: 領域による技術シーズ創出助成制度

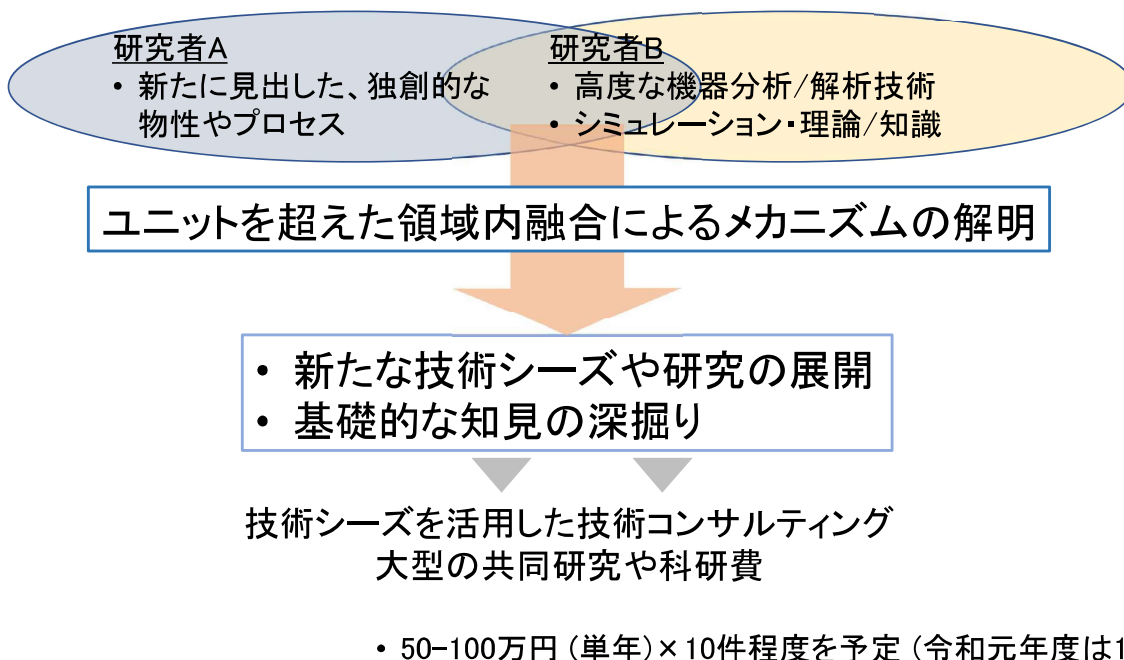
- 科研費等の獲得につながる基礎データ収集を支援  
(最大で200万/件を、20-30件程度)
- フォローアップシンポの開催(採択年度の7-8月) **NEW!**
  - a. 研究実施状況および方向性の確認と議論
  - b. 参加者同士の情報共有
  - c. 領域幹部とのコミュニケーション





## 技術シーズの創生に向けた取り組み(2)

### ◆ 材料・プロセス研究のメカニズム解明支援事業 **NEW!**



## 技術シーズの創生に向けた取り組み(3)(再掲)

### ◆ 令和元年度 領域の支援による若手研究者の留学(領域フェローシップ:1年間)一覧

- ・ カリフォルニア大学デービス校(アメリカ)  
 「コンピューショナルタンパク質設計による高機能プラスチック合成酵素の開発」
- ・ スイス連邦材料試験研究所(スイス)  
 「ポリマー系エアロゲルの微細構造形成プロセスの探究」
- ・ マサチューセッツ工科大学(アメリカ)  
 「窒素酸化物回収を目指した有機金属構造体に関する研究」



・ グローバルな共同研究活動を実現する国際ネットワークの構築や拡大を支援

## 技術シーズの創生→科研費

### ◆「萌芽研究」と科研費

- 平成29年度萌芽研究採択者32人から17件(53%)の課題が、2年以内に科研費獲得
- ⇒ 萌芽研究費5300万円に対して、獲得科研費総額1億1,726万円

【例】ナノ材料研究部門 平野篤主研

**H29年度領域萌芽:** カーボンナノチューブを利用した蛋白質のリフォールディング

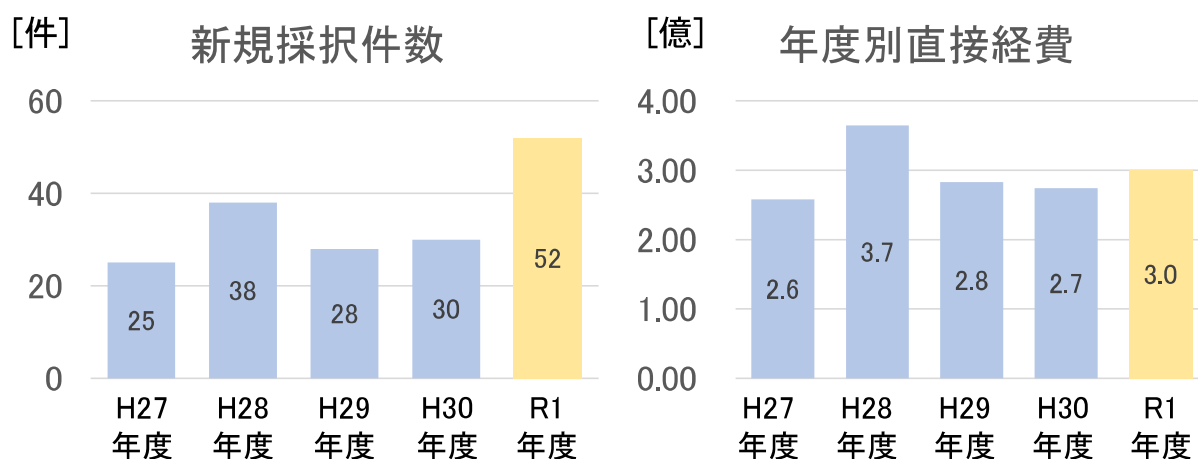
**H30年度挑戦的研究(萌芽):** カーボンナノチューブを活用したタンパク質の高効率リフォールディング

**R1年度基盤研究(B):** 超高純度カーボンナノチューブを用いたタンパク質コロナ形成機構の解明

制度	採択件数
挑戦的研究(萌芽)	2
基盤研究(B)	2
基盤研究(C)	9
若手研究	4







平成29年度萌芽研究担当者の  
科研費採択状況

## 科研費採択件数と直接経費の年次推移



# オープンイノベーションラボラトリ (OIL)


◆ OIL: 大学等の基礎研究と、産総研の目的基礎研究・応用技術開発を融合し、産業界へ技術の「橋渡し」を推進

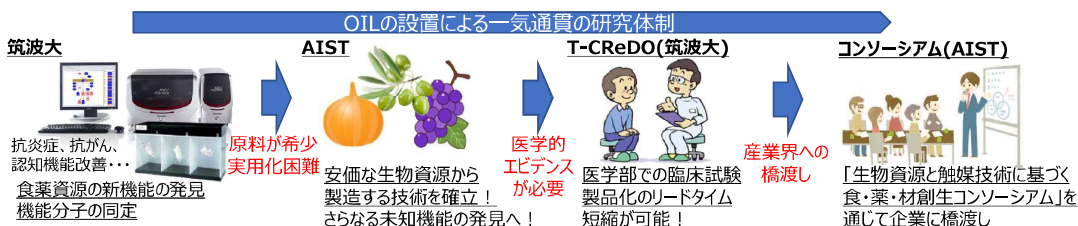
	<p>産総研・東大 先端オペランド計測技術OIL (OPERANDO-OIL: 2016年6月設置) 雨宮慶幸 ラボ長 (東大新領域創成科学研究科 特任教授)</p>	 <p>東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO</p>
	<p>産総研・東北大 数理先端材料モデリングOIL (MathAM-OIL: 2016年6月設置) 中西 毅 ラボ長 (産総研)</p>	 <p>東北大学</p>
	<p>産総研・筑波大 食薬資源工学OIL (FoodMed-OIL: 2019年11月設置) 磯田 博子 ラボ長 (筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授)</p>	

# 筑波大OIL (FoodMed-OIL)

産総研・筑波大 食薬資源工学オープンイノベーションラボラトリ  
2019年11月15日設立

「入手容易なバイオマス为原料とした医薬品/機能性食品用物質生産技術の開発」

<p><b>産総研</b> 物質変換技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・生物資源変換技術</li> <li>・量産化技術</li> <li>・人工知能による機能予測</li> </ul>		<p><b>筑波大</b> 食薬資源利用学</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・COI「食と健康の達人」</li> <li>・バイオアッセイ技術</li> <li>・医学部での臨床研究</li> </ul>
--	---	---



【研究テーマ】(目的基礎)

樹脂・ゴム材料の劣化状態を的確に表す化学構造指標の構築  
(劣化評価パッケージ)

【背景と目的】

背景: 高分子部材の品質管理や高耐久化技術の必要性

目的: 高分子材料の劣化を化学構造レベルで解析する技術の開発

【研究アプローチ】

高分子材料の  
化学構造解析技術



共通基盤技術開発(目的基礎研究)

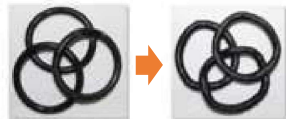
- 要素技術の高度化
- データ解析技術の開発
- 劣化現象の基礎的解明

技術の  
パッケージ化

企業連携(橋渡し研究)

- 劣化対策へフィードバック
- 品質管理技術への応用

事例の  
蓄積

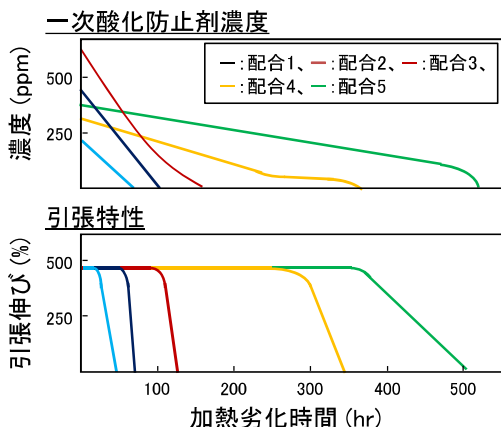


高分子材料メーカーや  
ユーザーにおける  
品質管理や高耐久化  
技術の開発を支援

【平成30年度研究成果】(TRL2 → TRL3)

- ポリプロピレン(PP)の熱酸化劣化について、分子構造、高次構造、添加剤などの化学構造パラメータと機械的強度との相関を解明

物性と酸化防止剤濃度の相関(PP熱酸化)



高精度定量分析法の開発



LCタンデム質量分析装置 (LC-MS/MS)



標準PPダンベル劣化試験

内容の詳細

- 一次酸化防止剤の濃度変化が、引張特性と相関することを解明
- 高精度な寿命予測に必要なLC-MS/MSによる、暫定プロトコルを完成

【特記事項】論文6報、招待・依頼講演6件、公的資金獲得1件、企業共同研究10件

【令和元年度研究成果】(TRL4)

- LC-MS分析法によるPP中の酸化防止剤定量を高度化

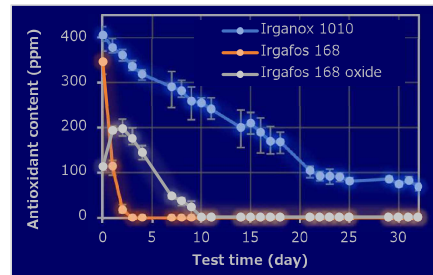
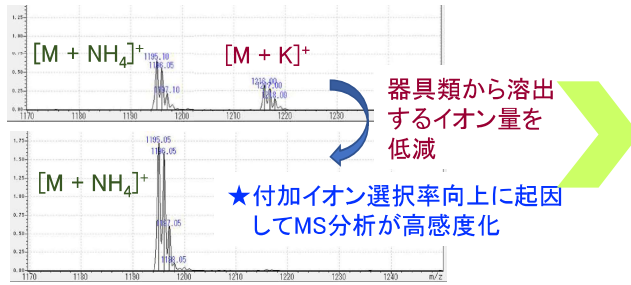
機関により異なる分析プロトコルが用いられており、同一サンプルでも評価がばらつく

サンプル前処理条件やLC-MS測定条件が分析精度に及ぼす影響を検証

- 高精度・高信頼性の分析プロトコルを構築し、公開活用を開始

【検討事例】付加イオンの選択性向上

明文化されていなかった定量分析の最適ノウハウを取得



【特記事項】論文11報、招待・依頼講演7件、受賞1件。公的資金獲得3件、企業共同研究7件(8,140万円)、コンサルティング13件

【第4期中の研究成果の総括】

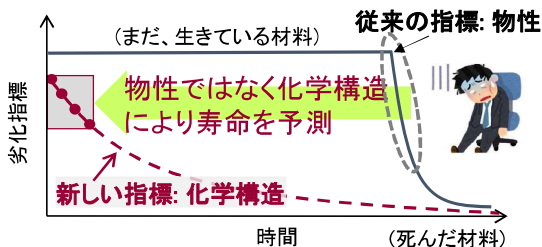
目的

- 高分子材料の劣化を化学構造レベルで解析する技術の開発

期間成果 (TRL2 → TRL4)

- 高分子材料の化学構造解析技術を構築
- 化学構造変化を劣化指標とする新しい寿命予測法を確立

新しい寿命予測法コンセプト



経験と勘に頼っていた材料評価が、より精度の高いものとなった

【特記事項】論文51報、招待・依頼講演35件、受賞6件。公的資金獲得9件、企業共同研究28社(1億4,675万円)、コンサルティング29件

【第5期以降に見込まれる成果】

- 膨大な分析結果から効率的に物性・耐久性を評価する材料診断インフォマティクスの基盤構築
- サプライチェーンにおける共通課題を解決するための材料診断技術の統合・体系化

## 【研究テーマ】(目的基礎)

## 配列制御シロキサンの一ポット合成法

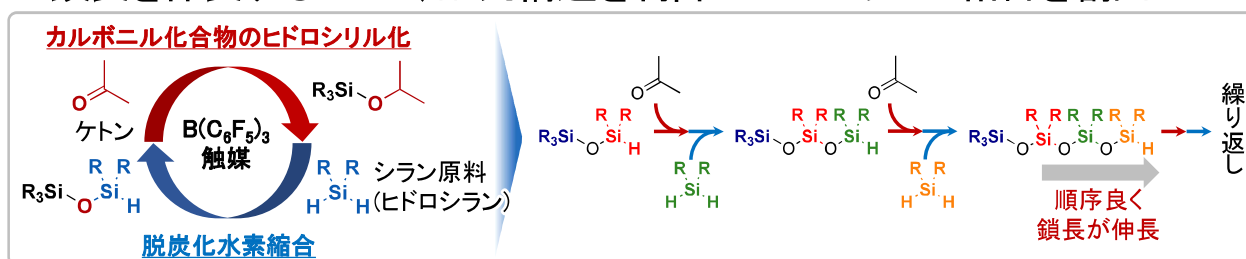
## 【背景と目的】

背景: シリコン材料の主骨格を成しているシロキサン結合 (Si-O-Si) の形成が、現行技術では精密に制御できない

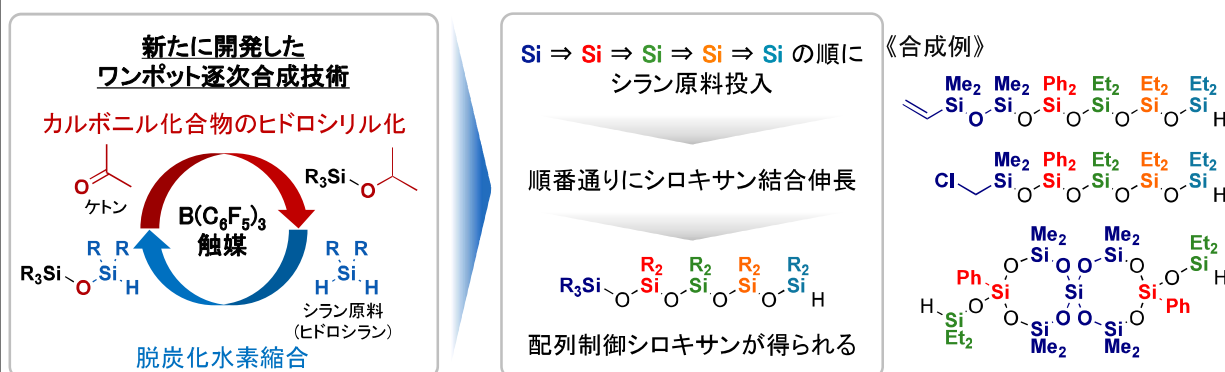
目的: シロキサン結合の精密制御形成による、シリコン材料のさらなる高性能化・高機能化

## 【研究アプローチ】

ペプチド固相合成法のように、2つの反応を逐次的に繰り返し、順序良く鎖長を伸長することで、配列構造を制御したシロキサン結合を創出

【平成30年度研究成果】(TRL2  $\rightarrow$  TRL3)

- 従来法では不可能であった配列制御シロキサンの簡便合成を初めて可能にした



《簡便な操作》

試薬 (ケトンとヒドロシラン) を交互に繰り返し投入するのみ

配列・鎖長を任意に精密制御

## 【特記事項】

- 論文2報: *Angew. Chem. Int. Ed.* **2018**, 57, 4637 (*Hot Paper*), *Chem. Eur. J.* **2019**, 25, 920 (総説)
- 受賞2件: ケイ素化学協会奨励賞・有機合成化学協会研究企画賞



【研究テーマ】(目的基礎)

電子顕微鏡計測技術の高機能化・高性能化

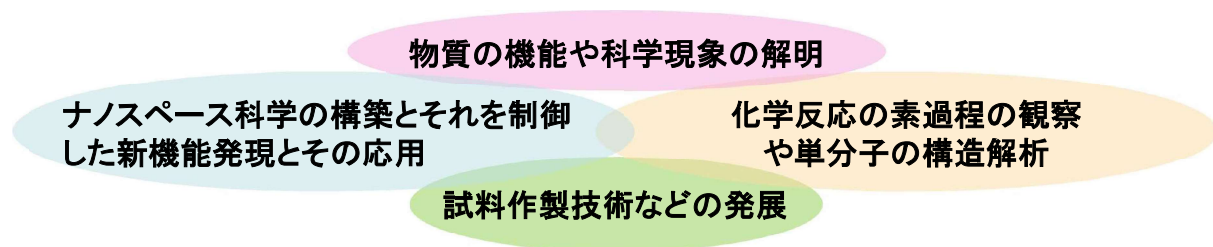
【背景と目的】

背景: 原子・分子レベルの構造解析における電子顕微鏡技術の必要性

目的: 高機能化・高性能化による、最先端計測評価技術の開発

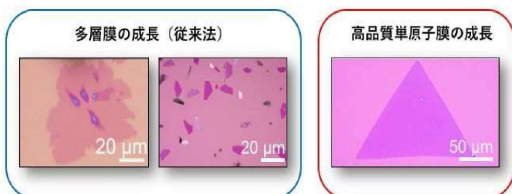
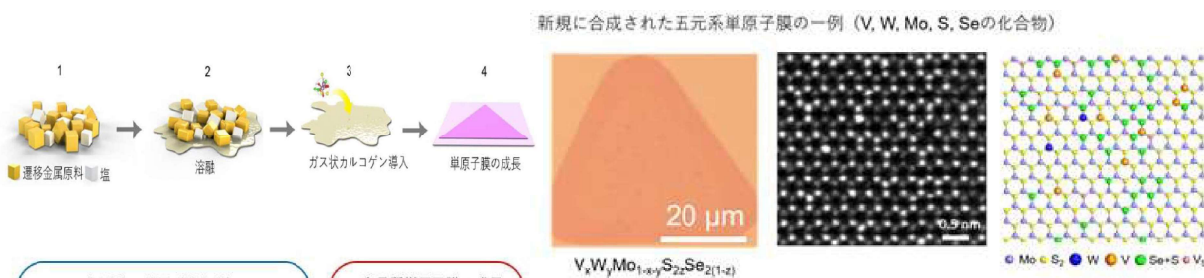
【研究アプローチ】

構造情報(形態、界面、欠陥など)や組成、元素分布、化学結合情報を原子レベルで解析



【平成30年度研究成果】(TRL2 → TRL3)

- 多種多様な単原子膜(1原子の厚みしかない膜)の合成技術を開発  
— 高品質な二次元材料開発に最先端電子顕微鏡技術で貢献 —



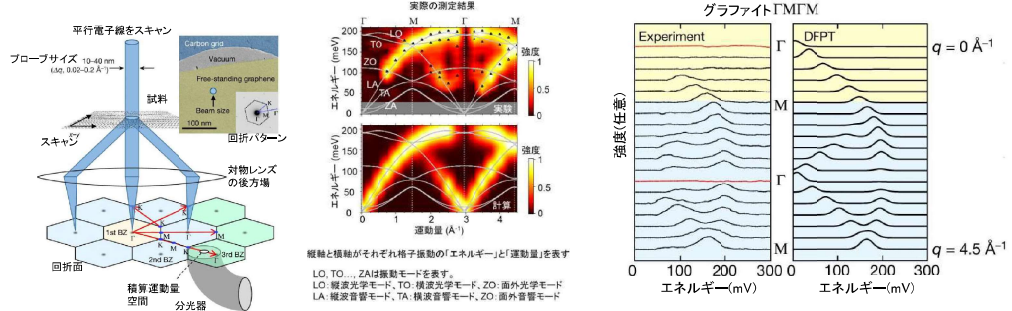
内容の詳細: 遷移金属源に塩 (NaCl, KI) を添加して溶解させ、キャリアガスでカルコゲン源を供給することによって、シリコン基板上に直接二次元単原子膜を合成・成長させる技術を開発

【特記事項】 Natureを含む論文18報、資金提供型共同研究3件、民間受託1件、技術コンサル2件、科研費4件、JST1件



【令和元年度研究成果】(TRL2)

- 原子レベル構造解析を拡張し、物質の最も基本的な性質の一つである原子の振動(格子振動)を波として計測する手法を開発
- その結果、1原子の厚みしかないグラフェン1枚の格子振動を初めて計測



内容の詳細: 空間分解能が従来手法の1 μmから2桁以上大幅に向上し、約10 nmの範囲から格子振動のエネルギーと運動量を計測できるため、材料中の欠陥やエッジ周辺の局所的な格子振動を捉えることに成功

【特記事項】論文Nature を含む計14報、招待・依頼講演数14件、受賞数1件、各種報道7件、プレス発表1件。公的資金獲得9件(5,623万円)、企業共同研究1件、受託1件、技術コンサル4件(2,000万円)

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- 高機能化・高性能化による、最先端計測評価技術の開発

期間成果 (TRL2、3)

- 多種多様な単原子膜(1原子の厚みしかない膜)の合成技術を開発
- 正確な局所構造情報に基づいた、構造由来の特異な物性の予測や検証を実現
- 原子の振動(格子振動)を波として計測する手法を開発

【特記事項】論文Nature を含む計108報、招待・依頼講演数101件、受賞数4件、各種報道58件、プレス発表4件。公的資金獲得15件(3億9,000万円)、企業共同研究10件(8,879万円)、受託1件、技術コンサル7件(9,629万円)。末永首席研究員は、クラリベイト・アナリティクスのHighly Cited Researchers(高被引用論文著者)2019の一人(世界約60カ国から6,216名が選ばれ、日本からは98名)

【第5期以降に見込まれる成果】

- 低加速原子分解能STEMと単色化高エネルギー分解能エネルギー損失分光法(EELS)を用いた、2次元材料等の格子振動計測を含めた精密構造解析および光学特性解析
- 低加速電子顕微鏡計測評価に特化した試料作製・画像解析技術の開発。

【研究テーマ】(目的基礎)

材料機能シミュレーション技術開発 (材料インフォマティクス)

【背景と目的】

背景: 計算シミュレーションとデータ科学/AI 技術の融合

目的: 機械学習を活用した効率的な材料の最適組成予測

【研究アプローチ】

機能性固体化合物を対象とした信頼性の高い順方向予測計算シミュレーション技術の確立

+

計算シミュレーションデータに対して、人工知能技術やデータ科学的手法、情報科学的手法の適用

材料インフォマティクス研究に関して、先行実績が多い



機能を最大化するための材料設計 (逆予測)指針を得るための基盤技術を構築

【平成30年度研究成果】(TRL2 → TRL3)

- 磁気モーメント等を予測する記述子 (OFM1)を開発
- 多数の遷移金属化合物から高性能磁石の候補材料の絞り込みに成功

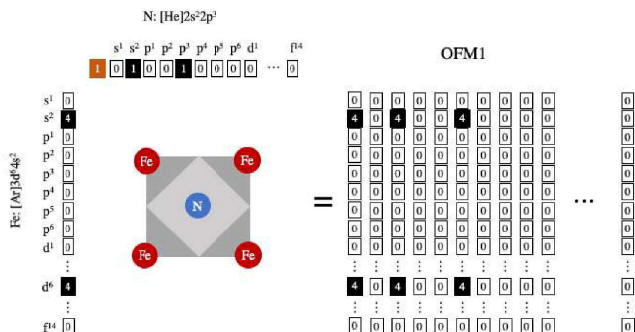


図: OFM1による結晶の局所構造の表現

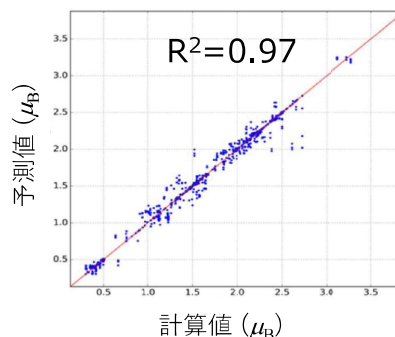


図: カーネル法による遷移金属化合物の局所磁気モーメントの予測

【特記事項】JST「情報統合型物質・材料開発イニシアティブ (MI2I)と文科省「元素戦略プロジェクト (磁石材料拠点)」で、当領域職員主導の下、NIMSとの共同研究実施により開発

## 【令和元年度研究成果】(TRL3)

- 学習の試行回数を低減するための手法を開発  
⇒ これと、昨年開発した機械学習に適した記述子の併用により、材料特性の高速予測が実現
- 磁石材料に対する適用と、手法の検証の実施

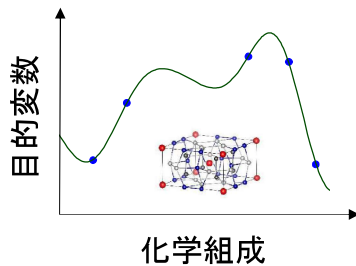


図: 予測値の期待値と不確実性の両方を考慮した、次の試行点の決定

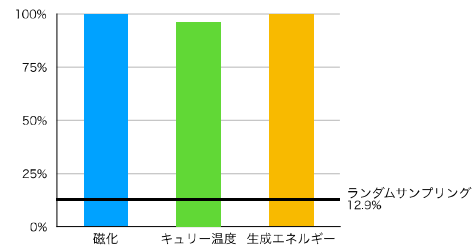


図: ベイズ最適化を用いた組成最適化の成功確率

内容の詳細:  $RFe_{12}$ 型磁石材料に適用して有効性を検証。各目的変数に対して、組成最適化を1,000回行い、3,630組成のうち目的変数がトップ10の組成を50回の試行回数で見つけられる成功確率は、ランダム・サンプリングより圧倒的に効率的だった。

【特記事項】 *Phys. Rev. Mater.* 誌に発表。公的資金獲得2件。関連テーマの企業共研で、特許出願2件。

## 【第4期中の研究成果の総括】

### 目的

- 機械学習を活用した効率的な材料の最適組成予測

### 期間成果 (TRL2 → TRL3)

- 磁石材料の磁化等の計算シミュレーションデータに対する記述子を開発
- 少量の計算シミュレーションデータから最速に組成予測を得る最適化法を開発



### 材料開発期間短縮のための要素技術を開発

【特記事項】 論文34報、招待・依頼講演29件。公的資金獲得3件、企業共同研究2社 (3,200万円: 関連テーマの企業共研で特許出願2件)

## 【第5期以降に見込まれる成果】

- 複数/複合ターゲット(目的変数)を最適化する、化学組成予測技術の開発
- 材料価格などの非物性値もターゲットに加える予測技術の開発
- 材料設計プラットフォームの構築

## ガラス複合化技術の開発 -波長変換ガラスと超低脆性ガラス-

無機機能材料研究部門  
(研究部門長) 松原 一郎

**【第4期期間実績】**

論文19報、招待講演17件。公的資金獲得6件 (JSTさきがけ総額5,200万円、NEDOエネ環先導総額1,200万円を含む)、企業共同研究1件、コンサル1件

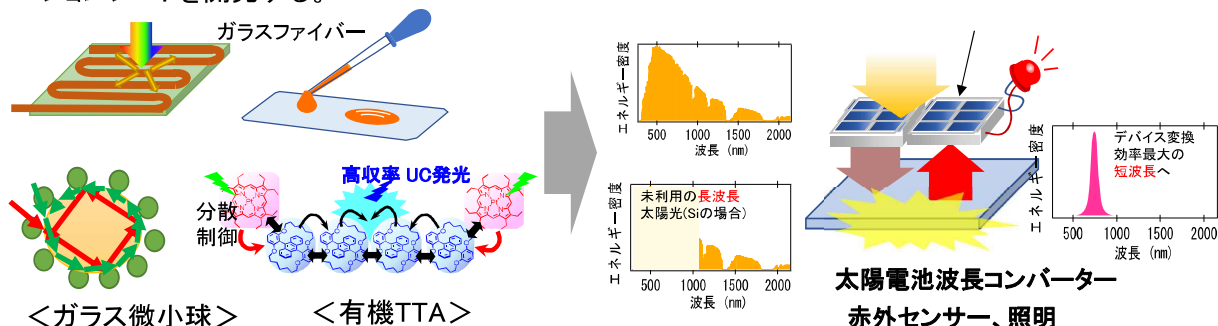
**【研究テーマ】(目的基礎)**  
ガラス複合技術の開発 (アップコンバージョン)

**【目的と計画】**

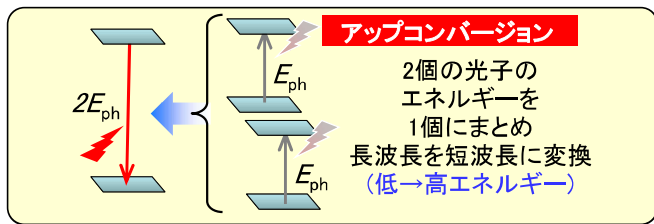
本テーマにおいては、特異な微細構造を内部に有するアップコンバージョンガラスおよびその複合材を開発し、加工・複合化を行うことで、赤外域~近赤外の光を吸収し、近赤外・可視域の広帯域に発光する材料を開発し、太陽電池等への実用化(橋渡し前期)への見通しをつけることを目指す。

**【研究アプローチ】**

成形性に優れ、なおかつ高性能なアップコンバージョン性能を示す透明なガラス素材を開発し、これをファイバー・微小球などの形状にすることで、低エネルギー密度、広帯域の赤外光で励起が可能な部材を得る。さらに三重項-三重項消滅 (TTA)有機色素の塗布膜と組み合わせた広帯域のアップコンバージョンシートを開発する。



# 産総研 フォトンアップコンバージョンとは (原理と有用性)



## ダウンコンバーター

既に開発されているが、Si太陽電池でセル効率2%が限界⇒実用化に障壁

## アップコンバーター

理論効率: Siの場合6%以上 ↑

しかし...

所望の性能を満たすアップコンバージョン材料がない

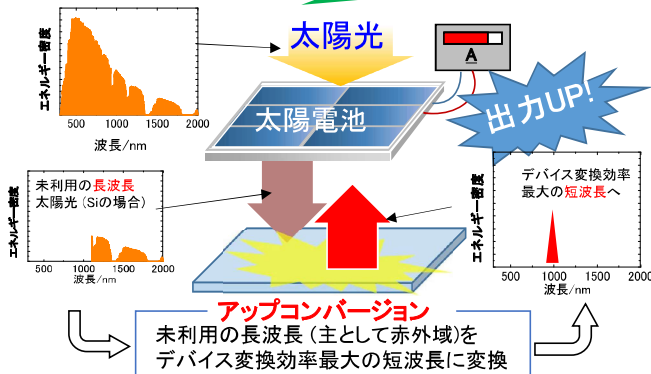
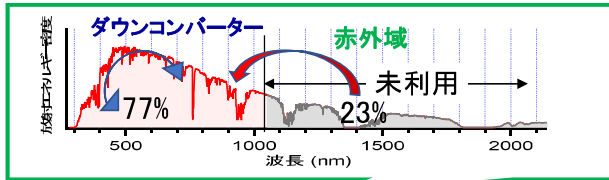
無機系 (希土類ドープ型)

- × 高強度の光が必要
- × 励起帯が狭い

有機系 (三重項-三重項消滅)

- × 励起波長 (赤外) が困難

それぞれの課題を解決



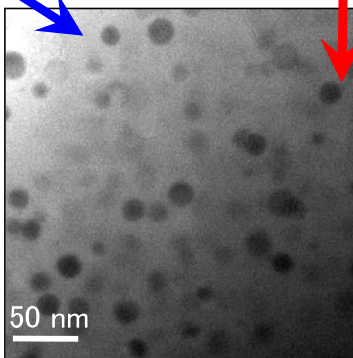
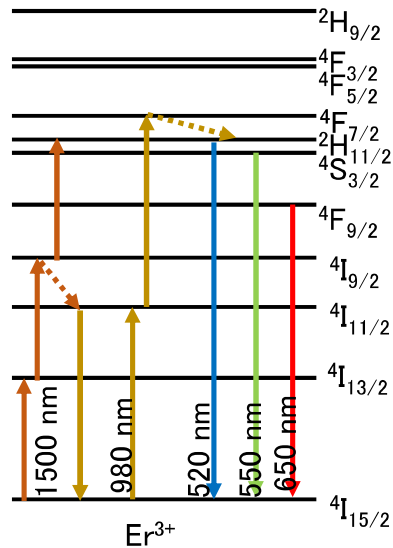
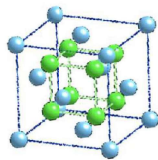
# 産総研 酸フッ化物透明ナノ結晶化ガラス

## フッ化物ナノ結晶 (Er<sup>3+</sup>ドープ)

- 低フォノンエネルギー
- 高い希土類固溶性
- ▶ 優れた蛍光ホスト

## 酸化物マトリックス

- 優れた成形性、機械特性

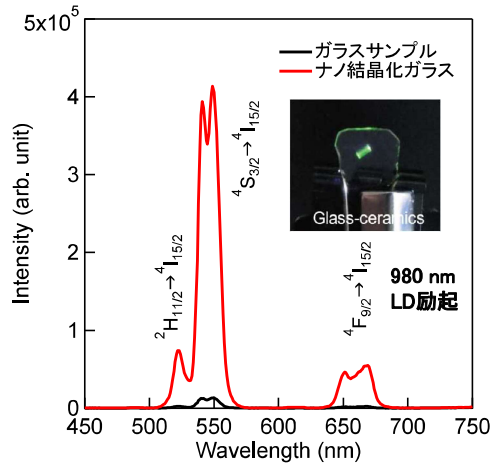
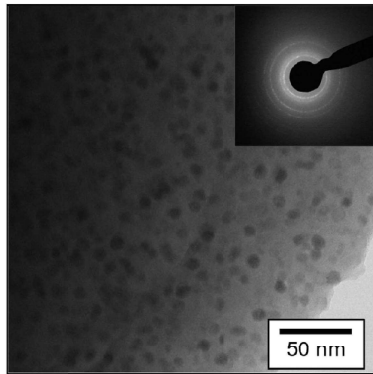


CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>ガラスを熱処理して得られるCaF<sub>2</sub> ナノ結晶析出ガラス (粒径~30 nm)

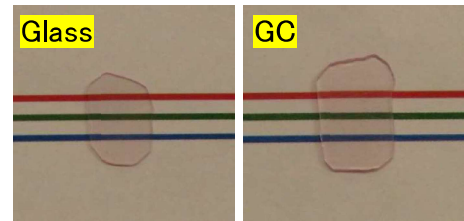
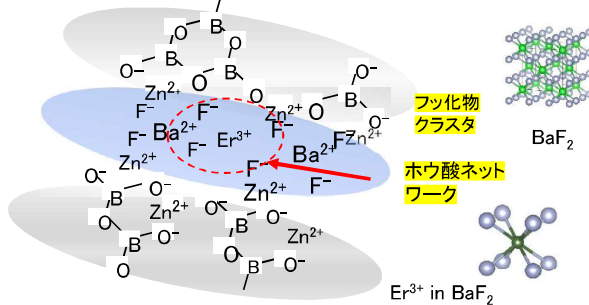
### <問題点>

- アルミン酸系のガラスのほとんどが熔融温度が高い (1400 °C以上)
- 発光中心である希土類イオン添加により失透しやすい
- 結晶析出には長時間の熱処理 (例えば20 h) を要する

# 低融性 Erドーブ BaF<sub>2</sub>-ZnO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ガラスの開発

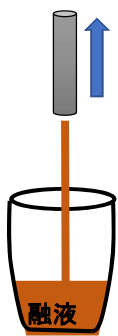


希土類 (Er<sup>3+</sup>) を添加すると相分離して失透する問題を、Znを添加して結晶類似の組成ゆらぎを内部に生成させてフッ化物ナノ結晶を生成させることで解決



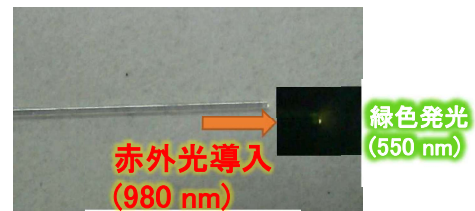
K. Shinozaki, A. Konaka, and T. Akai, *J. Euro. Ceram. Soc.*, 2019, 特願2018-113179: 篠崎健二、赤井智子

# アップコンバージョンガラスの部材化 (成型、複合化)

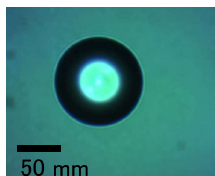


融液の引き上げ過程でのナノ結晶化に初めて成功 (通常は20時間など長時間熱処理)

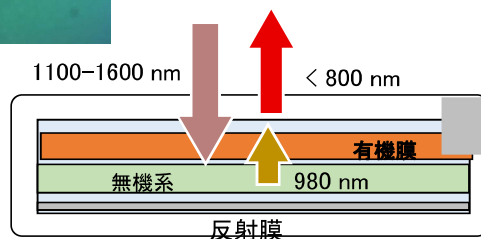
熱処理不要の革新的なナノ結晶化の新規プロセス (形状保持容易、高生産性)



日板硝子材料工学助成 (2019) で実施



- 励起効率の向上を目的とした微小球による光増幅
- 増感剤の複合による広帯域化

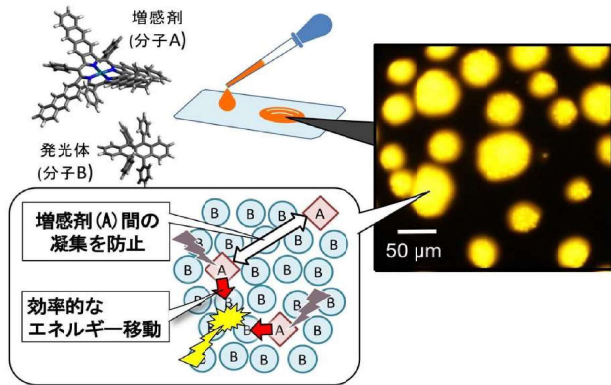
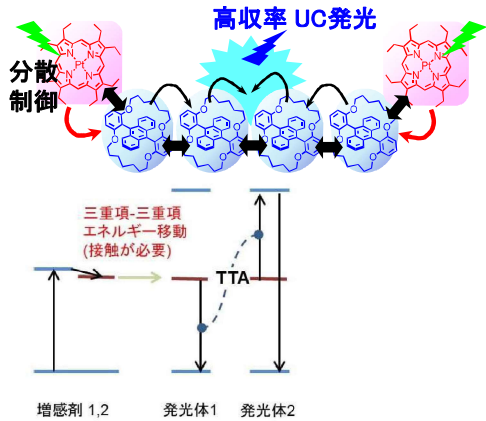


1100-1600 nm の光  
⇒ 980 nm 以下の任意の波長への超広帯域変換

- Si太陽電池、
- ペロブスカイト太陽電池
- 人工光合成

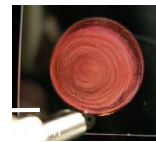
NEDOエネ環先導 (2019-) で実施

# TTA型有機色素によるアップコンバージョン

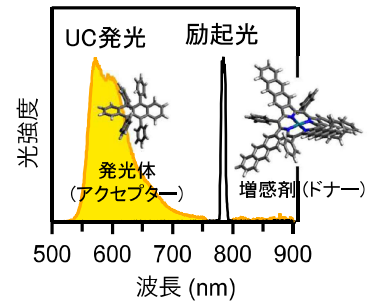


近赤外からの変換 (785 nm → 黄色)

可視光内での変換 (緑532 nm → 青)



量子収率  
~0.25%



*ACS Appl. Mater. & Interf.* 2019, DOI 10.1021/acsami.9b04148

# 革新的な“超”性能を有する機能性ガラス・プロセスの開発



<建材・情報の一体化>



<未来都市>

セメントのように  
その場で成型が  
できるガラス

- ・ ニーズの高い性能
- ・ 表面改質では達成できない性能
- ・ 溶融法ではできないパルク構造

超低脆性ガラス    超熱伝導ガラス

超軽量ガラス    超断熱ガラス

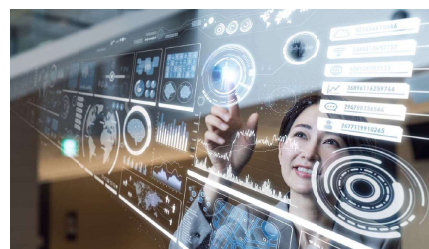
## 長期的に目指す方向

- ① 溶融法 (熱力学的平衡状態)では作ることのできない機能性ガラスの製造プロセス
- ② ユーザーがその場で樹脂、セメントのように成型・加工できるプロセス

【研究テーマ】(目的基礎)  
ガラス複合技術の開発(超低脆性ガラス)

【背景】

ガラス: 透明、硬い、高耐候性  
触感、高級感  
⇒”観る”、“触れる”に最適



情報と人間をつなぐ素材

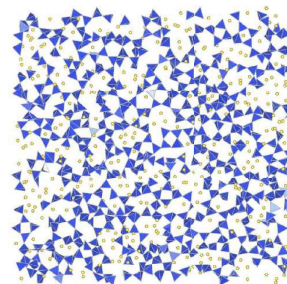
ガラス材料の最大の課題 **脆い**

【目的】

耐亀裂荷重が100 N以上の超低脆性ガラスを開発する。

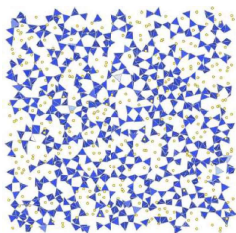
【研究アプローチ】

ガラスを低脆性化させるための「組成ゆらぎ」を利用した新規アプローチの原理検証と、それを実現するプロセスの検討を行い、超低脆性ガラスを開発する。

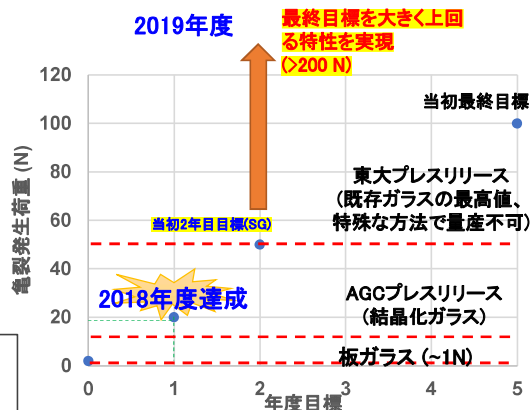


＜産総研エッジランナーズで実施＞

超低脆性ガラスの開発(成果)



20 Nでも亀裂阻止



亀裂発生荷重 (N)のベンチマークと現状値

脆性低減に効果的に働くガラスの組成ゆらぎをガラス中に作り込んだ、従来にない低脆性ガラスを開発

- 組成ゆらぎのあるガラスを作製し、大きく低脆性化することを実証
- さらなるプロセス検討と組成最適化により、亀裂発生荷重100 N超 (~200 N)を実現 (現在の世界最高値)

産総研エッジランナーズで実施、JSTさきがけ「ナノカ学」に採択

新しいガラスの強化方法の確立と大型連携による産業化の開始



Memo:

Memo:

Memo:

(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

## NEDO国プロジェクト

## ◆ 令和元年度開始 (5件)

- 機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発
- CO<sub>2</sub>有効利用技術の先導研究 (CO<sub>2</sub>直接分解) など

## ◆ 令和元年度継続 (8件)

- 超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト
- 次世代ヒートポンプ実現のための高感度メタ磁性材料の研究開発
- 省エネ製品開発の加速化に向けた複合計測分析システム研究開発事業
- 有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発
- 省エネ化・低温室効果を達成できる次世代冷凍空調技術の最適化及び評価手法の開発 など

第4期実施件数合計: 22件

## NEDOプロジェクトの一例

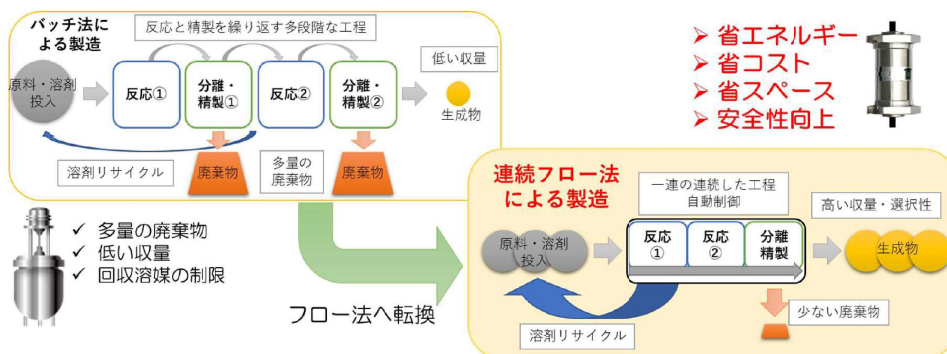
NEW!

## (NEDO) 機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発

提案代表者: 小林 修 触媒化学融合研究センター [特定フェロー]

期間: 2019 - 2025年 (2019年度予算: 2億円)

「“必要なものを、必要なときに、必要な場所で、必要な量だけ”  
生産することが可能なオンデマンド型製造プロセスの確立」



省エネルギーで低環境負荷な革新的製造プロセスの実現

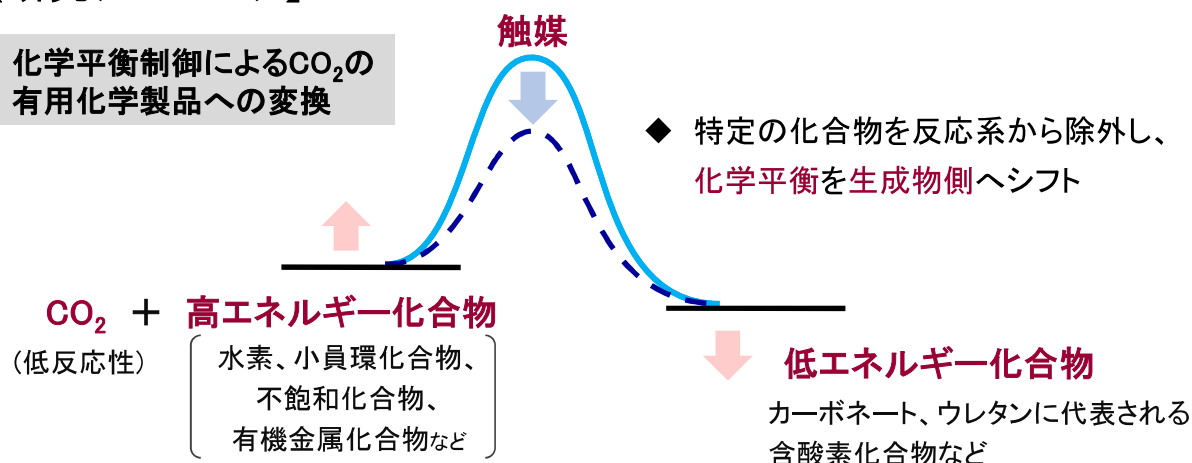
## 【研究テーマ】(橋渡し前期)

CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術の開発

## 【背景と目的】

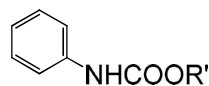
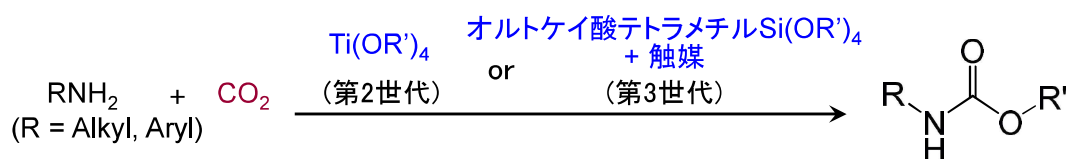
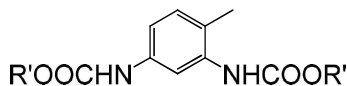
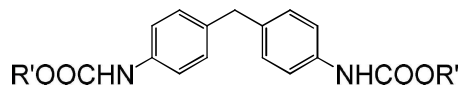
背景: 安価・安全・豊富なCO<sub>2</sub>の有効活用の必要性目的: CO<sub>2</sub>をC1源とした高効率な有用化学品合成技術の開発

## 【研究アプローチ】

化学平衡制御によるCO<sub>2</sub>の  
有用化学製品への変換

## 【平成30年度研究成果】(TRL3 → TRL4)

- CO<sub>2</sub>とアミンから、芳香族や脂肪族ウレタンを高収率で合成

83% (R' = Me)  
84% (R' = <sup>n</sup>Bu)60% (R' = Me)  
64% (R' = <sup>n</sup>Bu)82% (R' = Me)  
92% (R' = <sup>n</sup>Bu)

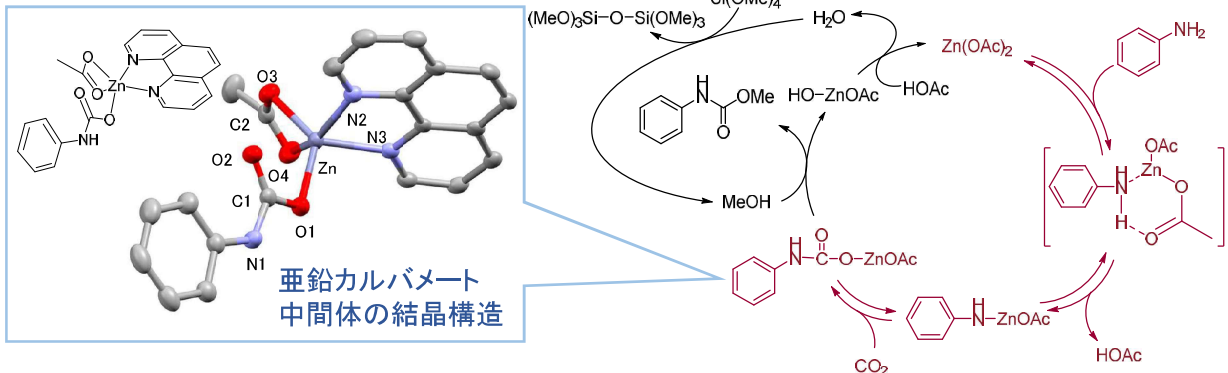
芳香族ウレタンは、ポリウレタンの原料

## 【特記事項】

- 論文: *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **2018**, 91, 1481. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, **2018**, 6, 6675.
- プロジェクト: NEDO先導研究プログラム/未踏チャレンジ2050 (2千万円/年, 3-5年間)

【令和元年度研究成果】(TRL3)

- ・ オルトケイ酸テトラメチルSi(OMe)<sub>4</sub>と亜鉛触媒を用いたCO<sub>2</sub>からのウレタン合成反応における反応機構解明



内容の詳細

- ・ H30年度研究成果に示した第3世代カルバメート合成反応について、新規触媒開発の足がかりとなる中間体の単離と反応機構の一部解明を達成
- ・ 比較的不安定とされる亜鉛カルバメート錯体中間体の単離・構造解析に成功
- ・ 理論計算により、反応機構の一部を解明 (赤色部分)

【特記事項】論文2報、受賞1件、各種報道2件

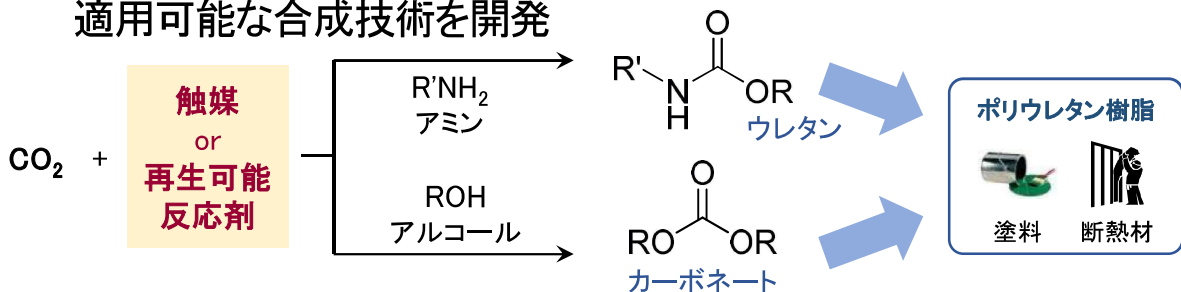
【第4期中の研究成果の総括】

目的

- ・ CO<sub>2</sub>をC1源とした高効率な有用化学品合成技術の開発

期間成果 (TRL2 → TRL4)

- ・ 工業的に重要な非環状カーボネート類、ジウレタン類にも適用可能な合成技術を開発



【特記事項】論文14報、招待・依頼講演5件、受賞1件、各種報道2件。公的資金獲得数3件、企業共同研究3件。

【第5期以降に見込まれる成果】

- ・ LCAによる環境負荷の評価と、それを踏まえた反応プロセスの最適化
- ・ 反応中間体単離と理論計算による反応機構の解明と、それを活かした新触媒の開発

【研究テーマ】(橋渡し前期)  
接着・界面現象の研究

【背景と目的】

背景: マルチマテリアル構造の実現には、接着技術の確立が不可欠  
目的: 信頼性実証のための、接合界面の接合メカニズム解明

【研究アプローチ】

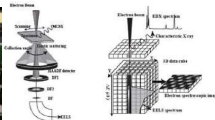
構造材料用接着技術の実用に向け重要度が高い5課題

- ・ 接着メカニズムの解明
- ・ 新規接着剤の開発
- ・ 強度・耐久性評価法の開発
- ・ 表面処理法の開発
- ・ 接合部検査手法の開発

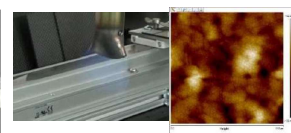
産学官連携による、基礎から応用、さらに実用化までを効果的に網羅した、研究開発の推進を、接着研究拠点で実施



SFG分光法および電子顕微鏡観察



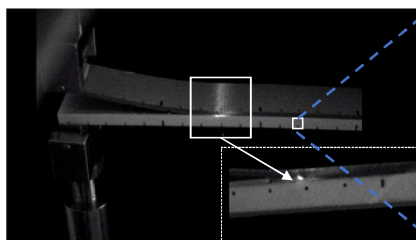
異種材接合の破壊靱性



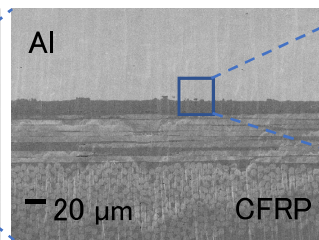
難接着材の表面処理

【平成30年度研究成果】(TRL3 → TRL4)

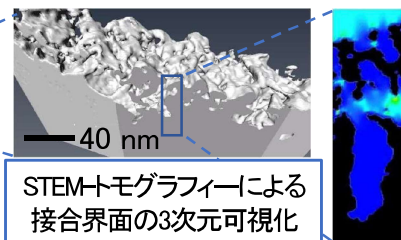
- ・ 金属/CFRP接合界面特性評価方法の開発と接合メカニズム解明



応力発光による接合界面き裂進展の可視化・精密測定



SEMによるAl/CFRP断面観察

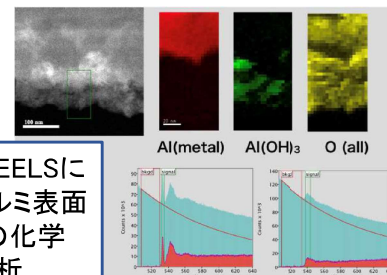


シミュレーション(OCTA)による応力解析

異種材接合界面の破壊靱性評価DCB (Double Cantilever Beam)試験のISO標準化: ISO/DIC22838

接着界面のナノレベルの凹凸構造を変化させることで、接着強度を制御できることを実験的・理論的に実証

STEM-EELSによるアルミ表面/界面の化学構造解析



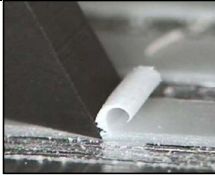
【特記事項】EURAD2018 (欧州接着学会)ベストオーラルプレゼンテーション賞 (寺崎、秋山、堀内)

## 【令和元年度研究成果】(TRL3)

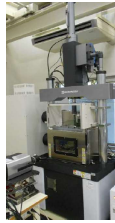
昨年度の初期特性評価から、長期的な接合特性評価へ展開

- 接着界面の吸水劣化加速試験の確立 (ISMA)
- 衝撃強度、疲労試験機を用いた疲労強度評価の実施 (ABC-U)
- 応力発光材料を用いた接合部評価方法の規格提案 (ISO/TC61)

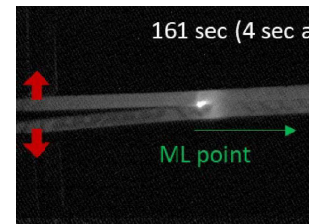
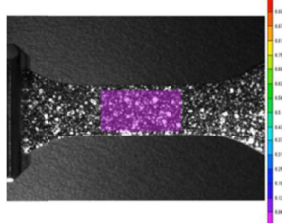
切削箇  
吸水後、SAICASにより  
接着界面の強度を測定



SAICASを用いた接着界面  
の接着強度試験



高速試験機を用いた接着剤の  
高速引張試験



応力発光材料を用いた接着接合部の  
応力可視化

【特記事項】論文7報、招待・依頼講演8件。公的資金獲得数4件、企業共同研究19社 (9,563万円: 接着接合基盤技術共同研究体 (ABC-U)において、C型共同研究2件)、コンサル8件

## 【第4期中の研究成果の総括】

### 目的

- 信頼性実証のための、接合界面の接合メカニズム解明

### 期間成果 (TRL3, 4)

- 接合部の評価手法や接合界面特性評価方法及び表面処理法の確立
- 実測定データを反映したモデル界面を用いてシミュレーションを行い、接合における界面階層構造の寄与を解明
- 界面破壊靱性評価方法のISO提案、FDISに進展

接合メカニズムに基づく評価手法であるため、実用材料の  
材料設計に有用

【特記事項】論文26報、招待・依頼講演47件、受賞3件 (H29年内閣府産学連携功労社表彰経済産業大臣賞)、各種報道5件。公的資金獲得5件、企業共同研究36社 (1.5億円)、コンサルティング9件

## 【第5期以降に見込まれる成果】

- 接着接合の長期信頼性確保のための技術の確立
- 接合・接着技術の研究推進のための国際オープンラボ (Open Hybrid Labo)の設立

【研究テーマ】(橋渡し前期)  
セラミック電解質シート製造技術の開発

【背景と目的】

背景: 次世代モビリティの実現に向け全固体電池の開発が加速

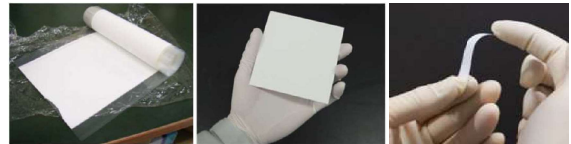
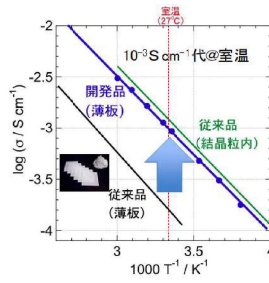
目的: 産総研開発の高性能電解質部材の産業利用への開発を推進

【研究アプローチ】

自動車向けの全固体電池開発に必要な部材供給量確保の為、酸化物系リチウムイオン電導セラミックス電解質の合成スケールアップ手法及び高効率化について、製造メーカーとの共同研究で実施



次世代自動車の電動化に向け、世界的に急速充電が可能な全固体電池の開発が加速



LiTAP (Li-Ti-Al-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)等セラミックシート

従来のリチウムイオン電解質シート材料(ガラス電解質)と比較して、室温で約10倍のイオン伝導率、かつ焼結性の高いシート部材

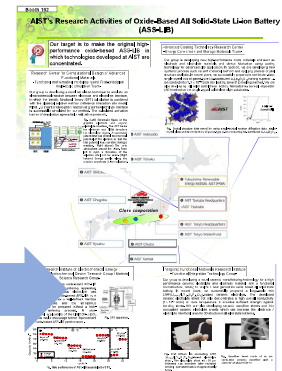
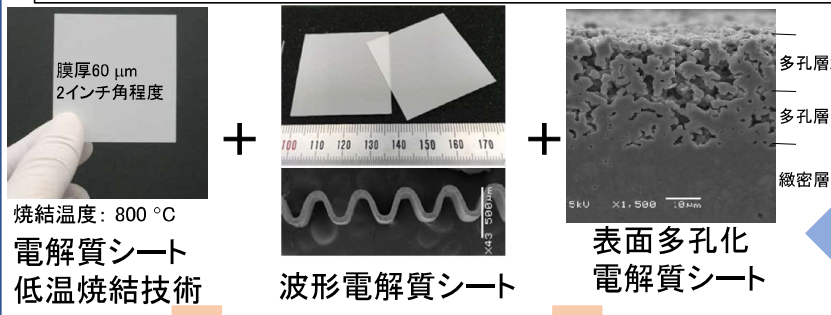
【平成30年度研究成果】(TRL4 → TRL5)

- 波型電解質シート形成技術の確立
- 表面多孔化電解質シートの製造プロセス技術の確立

内容の詳細

- 焼結制御により電池の内部抵抗が低減されたシートが得られ、高速充放電が可能な全固体電池の電解質として機能

全固体蓄電池セラミック電解質シート製造技術の開発



JST-ALCA- SPRING

民間企業への技術移転

領域間連携 氧化物全固体電池  
AIST研究アライアンス (H30-)

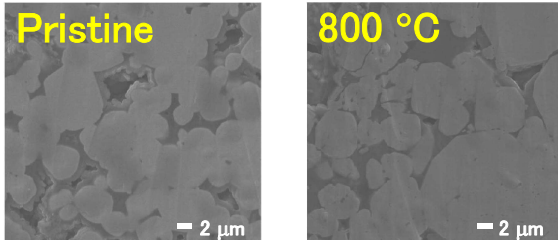
【特記事項】 高機能セラミックス展 企業ブースで展示・商談を展開 (平成30年12月5日-7日@幕張)



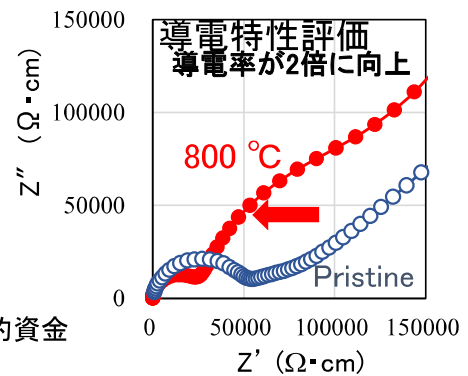
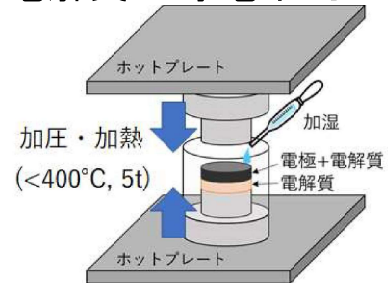
【令和元年度研究成果】(TRL2 → TRL3)

- ・ コールドシンタリング条件の最適化による、難焼結性電解質  $\text{Li}_7\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$  (LLZ)などの難焼結性セラミックス電解質の導電率向上

断面形態



- ・ 800 °Cのポストアニールをすることで、粒界の空隙が減少
- ・ バルクの抵抗は減少するが粒界抵抗が増加



【特記事項】論文1報、招待・依頼講演1件、各種報道5件。公的資金獲得2件(共に分担)、企業共同研究1社(250万円)

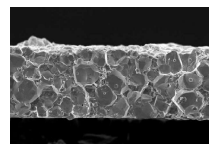
【第4期中の研究成果の総括】

目的

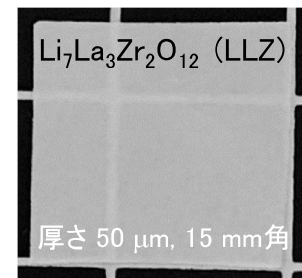
- ・ 高イオン伝導性を有する大型電解質シート部材作製技術の確立
- ・ 600 Wh/L級の蓄電池を目指した固体電解質シート部材を開発
- ・ 電極/電解質間の副反応を抑制した接合プロセス等、高速充放電界面の創生技術をJST ALCA-SPRINGプロジェクト内で、外部連携により展開

特長

- ・ 高いイオン導電率 (1 mS/cm)
- ・ Li金属耐還元耐性



緻密焼結構造



【特記事項】論文1報、招待・依頼講演2件。公的資金獲得2件(共に分担)、企業共同研究2社(1,948万円)

【第5期以降に見込まれる成果】

- ・ 600 Wh/L級、1 Cの充電レートが可能な、酸化物全固体電池の製造プロセスの実現
- ・ 高いイオン伝導LLZ系難焼結性固体電解質シートの高品質化および大型化

【研究テーマ】(橋渡し前期)

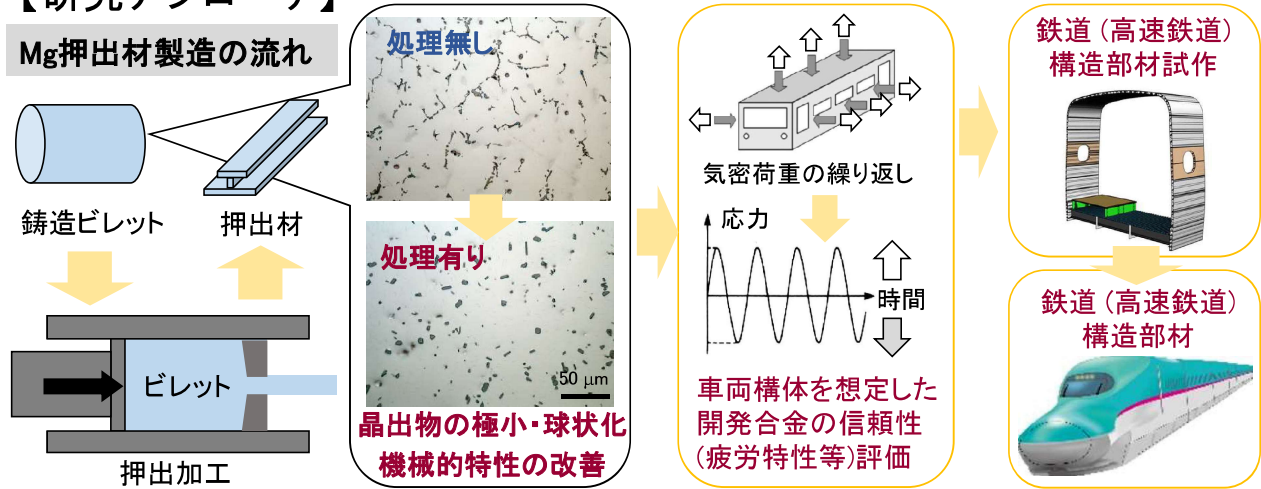
難燃性Mg合金による高速鉄道車両部分構体の試作・信頼性データベース(DB)の構築

【背景と目的】

背景: 高速車両構体の高速化に資する新規材料開発ニーズ

目的: 難燃性Mg合金の高速車両構体部材への適用

【研究アプローチ】



【平成30年度研究成果】(TRL5 → TRL6)

- PJ企業と共同で1/1簡易モックアップ構体を試作
- 開発合金の信頼性DBを構築中 (PJ企業と共同実施)

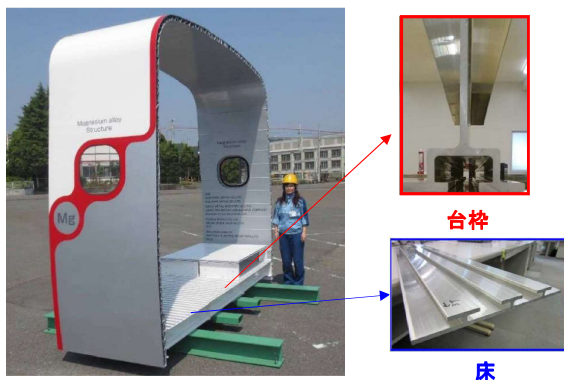


図. 完成した1/1簡易モックアップ構体の外観

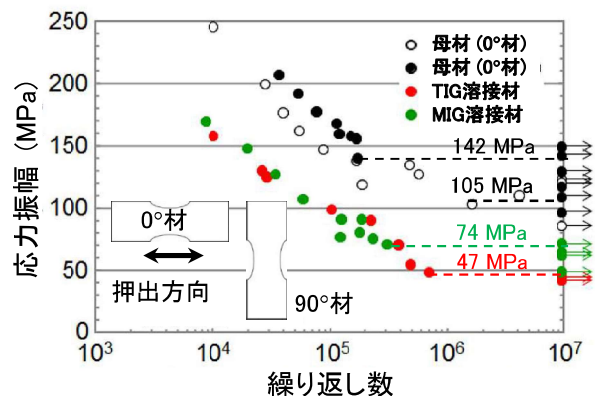


図. AX92合金押出材の疲労特性 (応力比: -1)

【特記事項】NEDO「革新的新構造材料等研究開発」に参画、2018/06/12 NEDOプレスリリース

【令和元年度研究成果】(TRL5 → TRL6)

- PJ企業と共同で1/1気密疲労試験構体（長さ5 m）の試作を推進。開発合金の実装
- 難燃性Mg合金展伸材の組成と腐食特性の関係解明。開発合金の良耐食性を確認

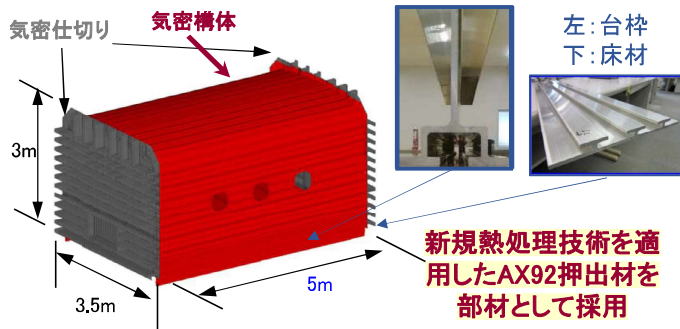


図. 作製予定の1/1断面（長さ5 m）の気密疲労試験用モックアップモデル

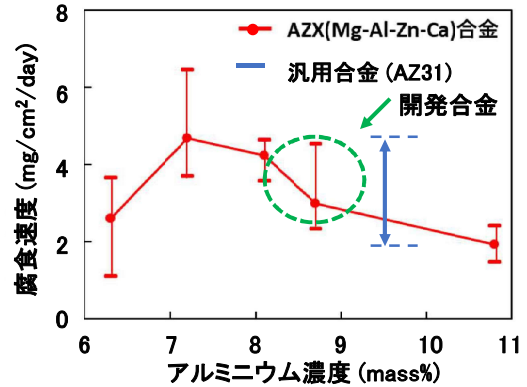


図. Mg-Al-(Zn)-Ca合金圧延材の腐食速度と材料組成の関係

【特記事項】論文4報、招待・依頼講演5件、各種報道2件。公的資金獲得3件（NEDO「革新的新構造材料等研究開発」に参画）、企業共同研究3件（600万円）

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- 難燃性Mg合金の高速車両構体部材への適用

期間成果 (TRL5 → TRL6)

- 高強度難燃性Mg合金押出材のための新熱処理技術(素形材製造・接合・表面処理・設計)の開発
- PJ企業と共同で1/1スケールで各種高速車両構体の試作。開発合金部材の実装
- 疲労・耐食性DBの構築

【特記事項】論文21報、招待・依頼講演数25件、受賞2件、各種報道13件、プレス1件（新聞掲載7誌）。公的資金獲得5件（NEDO「革新的新構造材料等研究開発」（9年総額1.8億円））、企業共同研究4件（750万円）

【第5期以降に見込まれる成果】

- 難燃性Mg合金による高速車両構体実用化に向けた**各種評価技術の構築**
- Mg合金展伸材の自動車部材への適用に向けた**合金設計技術・製造技術の構築**

「橋渡し」研究前期  
研究トピックス紹介

## 物質吸着・変換用ナノ粒子の開発

ナノ材料研究部門  
(研究部門長) 佐々木 毅

**【第4期期間実績】**

論文45報 (*J. Am. Chem. Soc.* (2016), *Green Chem.* (2015), *Chem. Eng. J.* (2015)を含む)、招待講演19件、受賞4件 (ナノテク大賞プロジェクト賞など)、各種報道31件 (日経、読売新聞など)。公的資金獲得5件 (計2億3,500万円)、企業共同研究17社 (計1億4,800万)

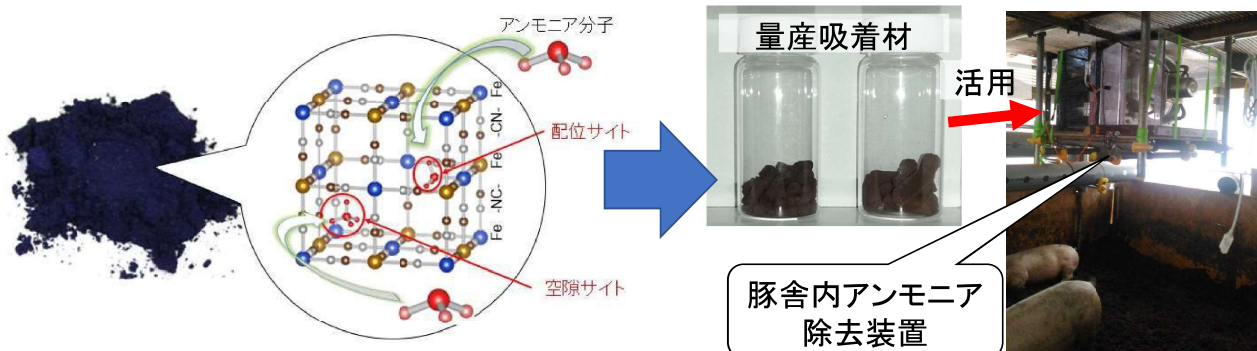
## アンモニア吸着材の発見から研究開発への流れ

**【2015年～2016年】**

顔料**プルシアンブルー (PB)**が高性能アンモニア吸着材であることを世界で初めて発見、*J. Am. Chem. Soc.* (IF=14.7)にて発表

**【2016～2019年】**

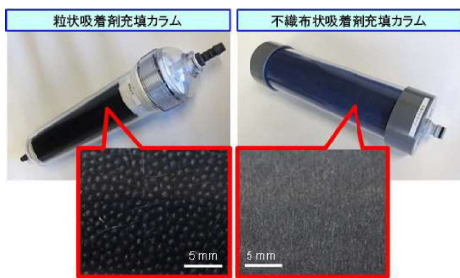
材料最適化により、さらに高性能化、その吸着材を活用し、養豚生産性向上に貢献 (悪臭除去、生育促進)



*J. Am. Chem. Soc.* (IF=14.7)に掲載

**第4期中期計画の5年間で新発見から実用化レベルへ  
(2020年度販売開始予定)**

## PBによるCs除染技術 (第3期)からアンモニア吸着材へ



吸着カラム (関東化学、日本バイリン)



灰除染実証プラント (2012-2013)



ため池汚染対策事業 (2014-2015)

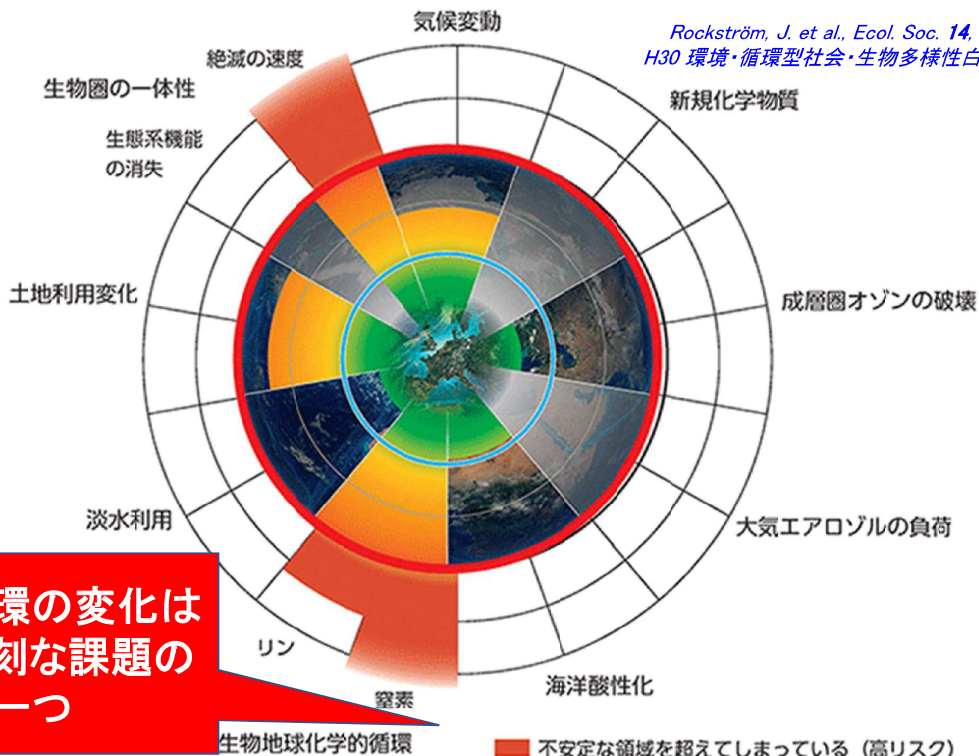


河川水Cs分析用前処理装置 (2012-2016)

**Cs吸着材開発で培った技術をベースに、新たに発見したアンモニア吸着能の開発を加速**

## NH<sub>3</sub>をはじめとする窒素化合物の問題

Rockström, J. et al., *Ecol. Soc.* **14**, art32 (2009)  
H30 環境・循環型社会・生物多様性白書 (環境省)

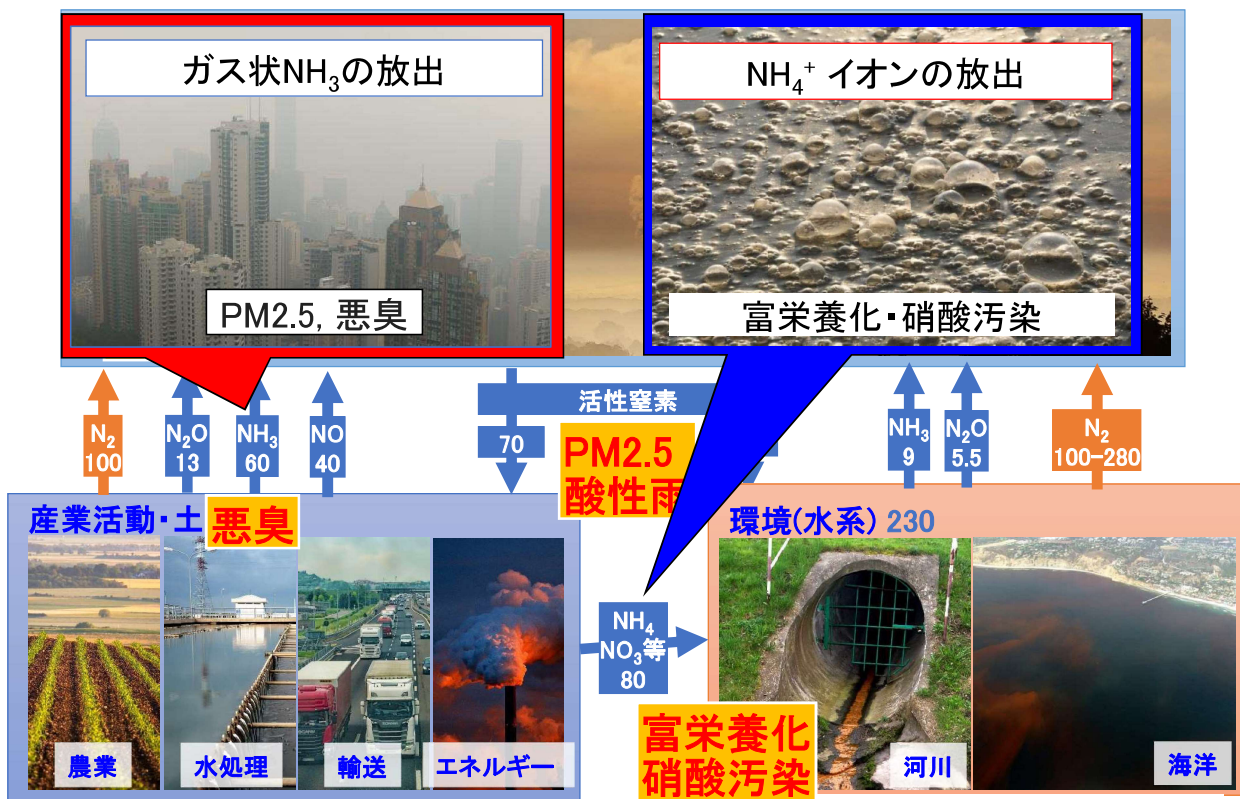


**窒素循環の変化は最も深刻な課題の一つ**

生物地球化学的循環

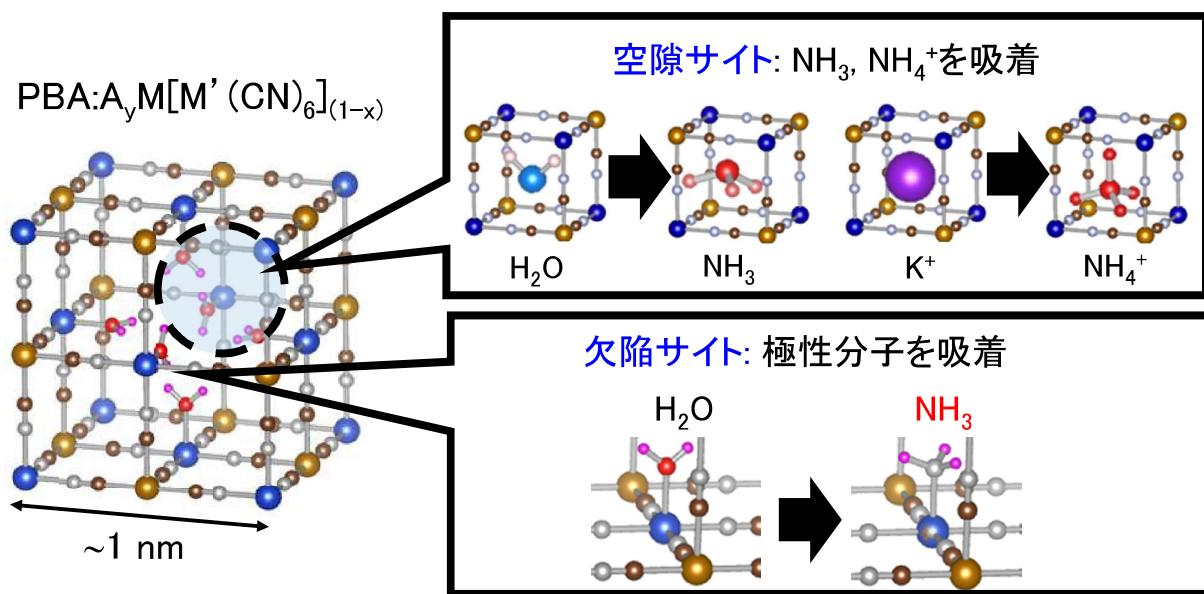
- 不安定な領域を超えてしまっている (高リスク)
- 不安定な領域 (リスク増大)
- 地球の限界の領域内 (安全)

# 産業活動・環境中の活性窒素フロー (Tg/年)



Phil. Trans. R. Soc. B 368:20130164を参考に作成

# PB型錯体の吸着サイト

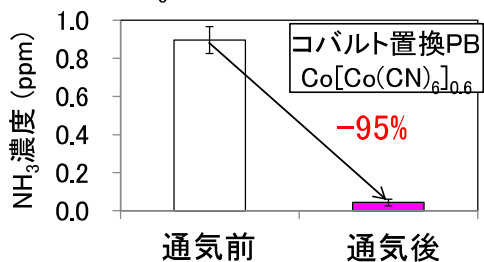


例: Cu<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>2</sub> (1 nm × 1 nm × 1 nm)  
8 欠陥サイト + 2 × 6 空隙サイト = 20 sites / nm<sup>3</sup> (= 29.5 mmol/g)

## PB型錯体のNH<sub>3</sub>吸着材としての特徴

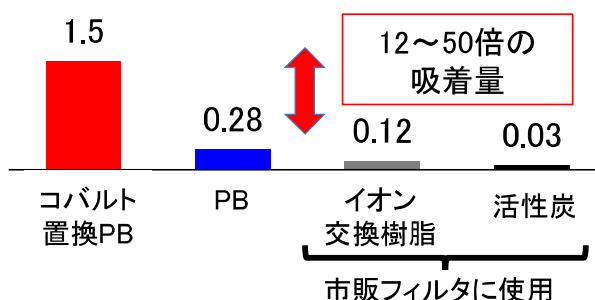
### 1. 高速で吸着

粉末へのNH<sub>3</sub>含有ガス通気 (接触時間2ミリ秒)



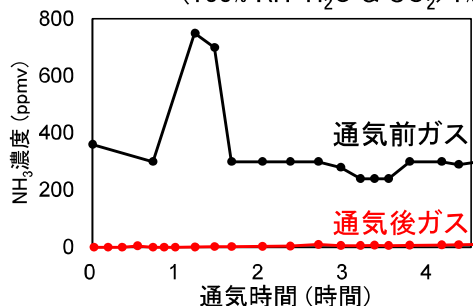
### 2. 低濃度でも吸着

NH<sub>3</sub>濃度30 ppmでの理論吸着容量



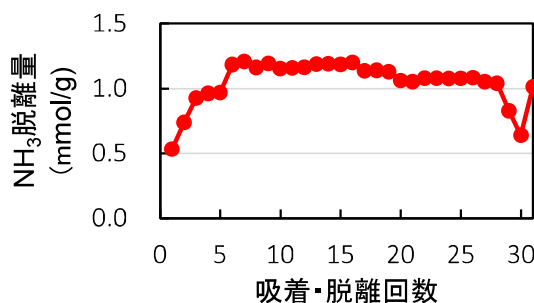
### 3. 高選択に吸着

堆肥化装置排ガスからのNH<sub>3</sub>除去  
(100% RH-H<sub>2</sub>O & CO<sub>2</sub>>1%)



### 4. 再生により繰り返し吸着

10 ppm-NH<sub>3</sub>ガス通気後水洗による再生



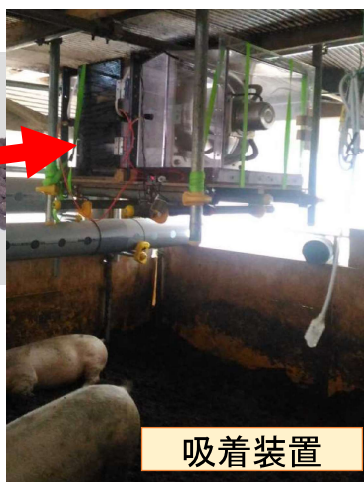
## NH<sub>3</sub>吸着装置による畜舎内アンモニア制御

畜産から発生するアンモニア→成育の障害、周辺での悪臭問題

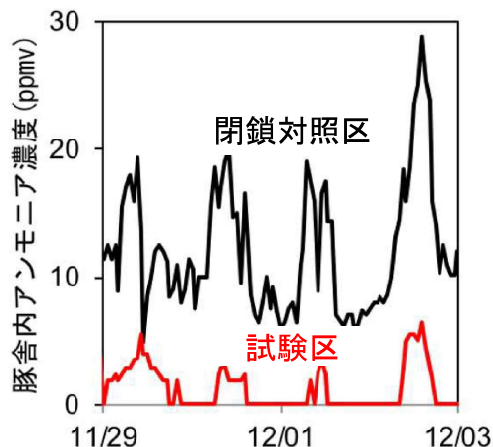
開発した吸着材による畜舎内アンモニアの除去

- アンモニア吸着材を造粒し、圧力損失を低減、電力コスト削減
- 吸着材充填カートリッジとファンからなる簡便な構造
- 豚舎内に設置、アンモニアを除去

造粒体



吸着装置



- 畜舎内アンモニア濃度70%減を達成
- 9か月の実証試験の間、吸着・再生を繰り返して利用も、吸着材劣化なし

## 今後 (第5期)の展開: 窒素循環経済



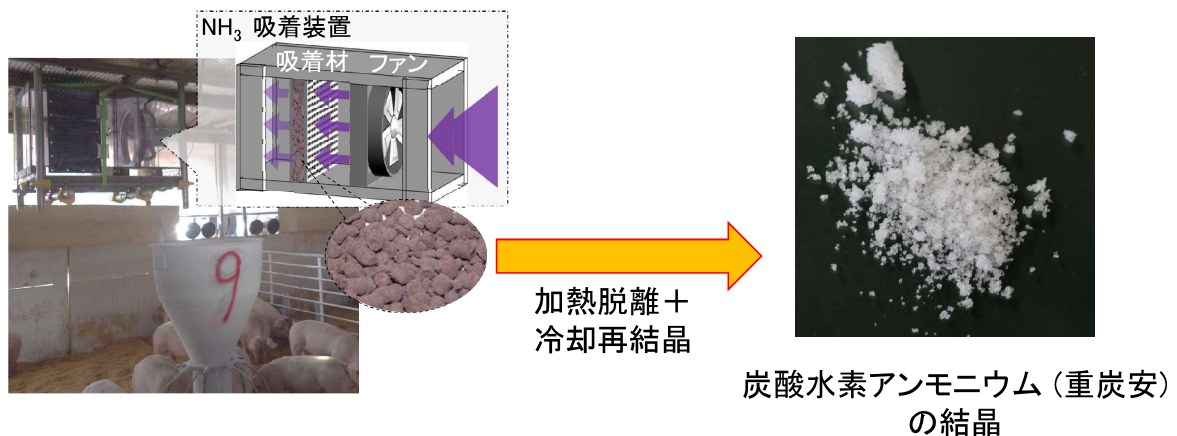
吸着後分解処理していたアンモニアを再利用し、窒素循環経済を実現

## 窒素循環技術の一例

— 令和元年度理事長戦略予算の成果 —

◆開発技術◆

豚舎10 ppm~NH<sub>3</sub>含有実ガスからNH<sub>3</sub>を選択吸着、加熱脱離により重炭安の固体創出



元のガス濃度に比べ、NH<sub>3</sub>濃度を10<sup>7</sup>倍以上に濃縮  
100 ppm以下の低濃度ガスから有価物を創出した最初の例!?

「霞を食って生きる」を実現し、完全な物質循環社会を目指す!



Memo:

(3)「橋渡し」研究後期における研究開発

## 企業名を冠した連携研究室

◆ **連携研究室 (冠研究室・冠ラボ):** パートナー企業と共に産総研の目的基礎研究・応用研究の事業化を加速 (第4期合計7室)

冠研究室・冠ラボ名	設置期間
DIC-産総研 化学ものづくり連携研究室	2016. 4 - 2019. 3
日本ゼオン-産総研 カーボンナノチューブ 実用化連携研究ラボ	2016. 7 - 2019. 3
日本特殊陶業-産総研 ヘルスケア ・マテリアル連携研究ラボ	2017. 4 -
矢崎総業-産総研 次世代つなぐ技術 連携研究ラボ	2017.10 -
UACJ-産総研 アルミニウム 先端技術連携研究ラボ	2018. 6 -
<b>NEW!</b> バルカー-産総研 先端機能材料 開発連携研究ラボ	2019. 6 -
<b>NEW!</b> DIC-産総研サステナビリティ マテリアル連携研究ラボ	2019.10 -



## バルカー冠ラボ

**NEW!**



バルカー-産総研 先端機能材料開発連携研究ラボ

2019年6月1日設立

「開発機能のエコシステム化による商品開発の加速/強化」



# DIC冠ラボ

**NEW!**



DIC-産総研サステナビリティマテリアル連携研究ラボ

2019年10月15日設立

## 「サステナビリティに資する資源循環型 機能材料の開発」

### 産総研

- ・触媒化学技術
- ・バイオ材料創出技術
- ・生分解性ポリマー技術
- ・評価/解析技術

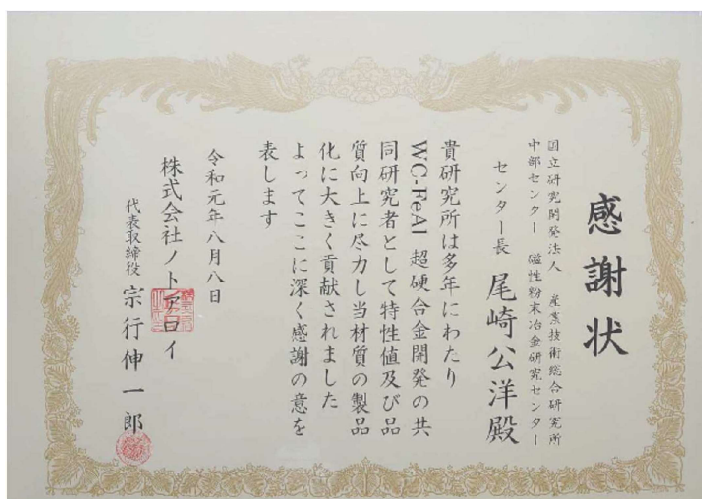
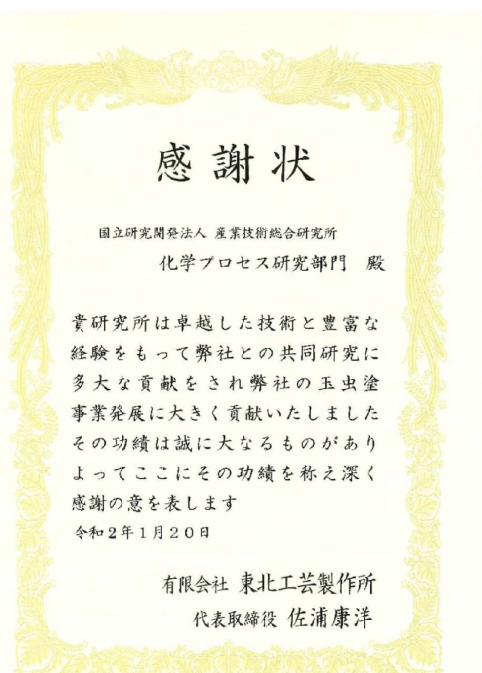


### DIC

- ・有機分子設計技術
- ・高分子設計技術
- ・光学、色彩技術
- ・応用評価技術

サステナビリティマテリアル創出による、環境低負荷型社会の実現

## 技術移転の成果等（再掲）



第4期中に製品化されたもの: 28件  
(令和元年度4件)

技術移転に関して企業からの感謝状:  
第4期合計23社 (令和元年度4社)

## 【研究テーマ】(橋渡し後期)

## 砂からテトラアルコキシシランを製造する方法



## 【背景と目的】

背景: ケイ素化学産業の基幹原料として重要な $\text{Si}(\text{OR})_4$ は、金属ケイ素を經由する製造工程のため、エネルギー多消費かつ高コスト

目的: 安価で豊富に存在する砂や燃焼灰をケイ素源とした、 $\text{Si}(\text{OR})_4$ を直接製造可能なプロセスの確立

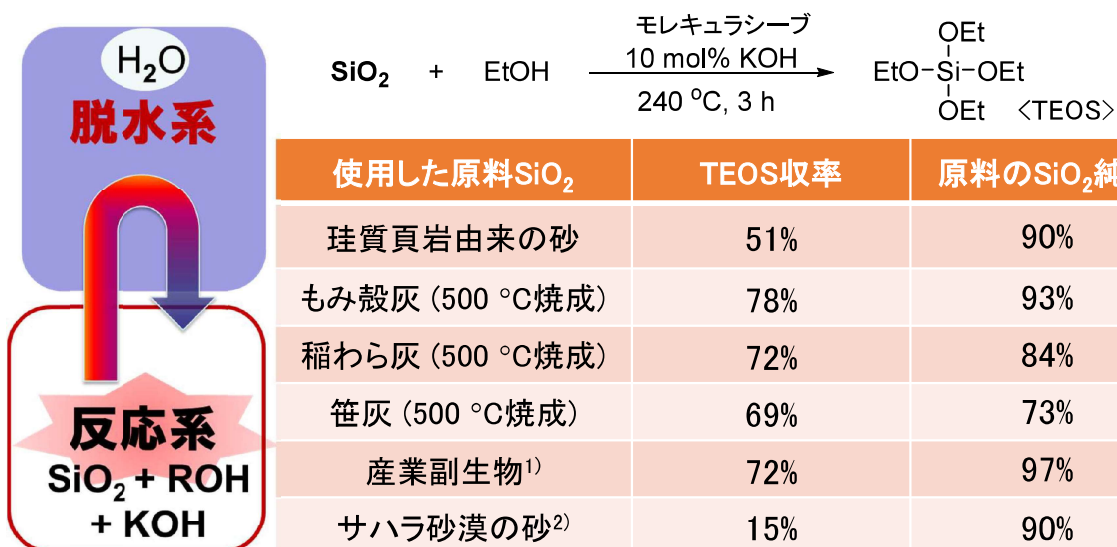
## 【研究アプローチ】

副生成物である水を系から除去する反応システムにより化学平衡を制御し、目的物を高効率に合成



## 【平成30年度研究成果】(TRL5 → TRL6)

- 反応条件の最適化によって、 $\text{Si}(\text{OEt})_4$ の生成効率が2倍向上
- 様々なケイ素源を利用し、ケイ素化学基幹原料に直接変換



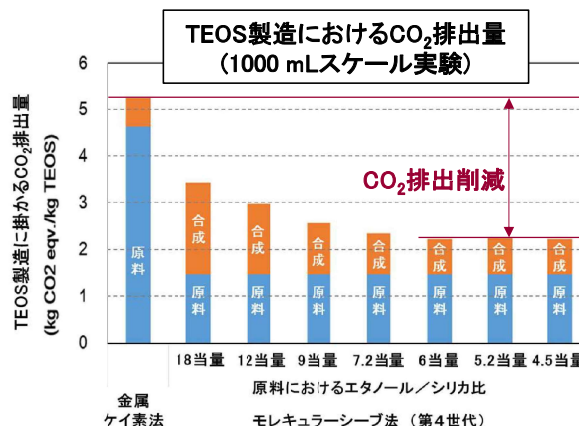
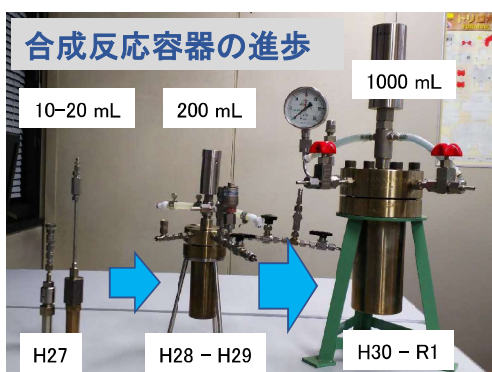
## 【特記事項】

1) 合成石英製造時の副産物、2) 粉碎処理品

- PCT/JP2018/047645「テトラアルコキシシランの製造方法」
- Ind. Eng. Chem. Res., 2018, 57, 2192-2199.

【令和元年度研究成果】(TRL5 → TRL6)

- 反応の段階的なスケールアップに成功し(前年度比5倍)、
- 安価なケイ素源で反応率70%以上を達成
- 二酸化炭素排出量低減効果を定量化し、現行法の半分以下にできる可能性を明示



【特記事項】論文1報、招待・依頼講演2件、各種報道1件。公的資金獲得1件 (NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」)、共同研究4社 (2,650万円)、コンサル2件

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- 砂や燃焼灰をケイ素源とした、Si(OR)<sub>4</sub>の直接製造プロセスの確立

期間成果 (TRL2 → TRL6)

- 無機脱水剤を利用する新たな反応システムを開発し、高効率に直接製造を実現
- 安価で豊富に存在する様々なケイ素源を活用可能



【特記事項】論文5報、招待・依頼講演3件、各種報道6件。公的資金獲得1件 (NEDO「有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発」10年、総額20億円)、企業共同研究4件 (2,650万円)、コンサル2件

【第5期以降に見込まれる成果】

- NEDOプロジェクト共同実施先企業での、**実証スケールでの検証**
- 本成果のケイ素循環技術を鍵とする、**物質循環社会への貢献**

【研究テーマ】(橋渡し後期) マイクロ波照射技術の開発

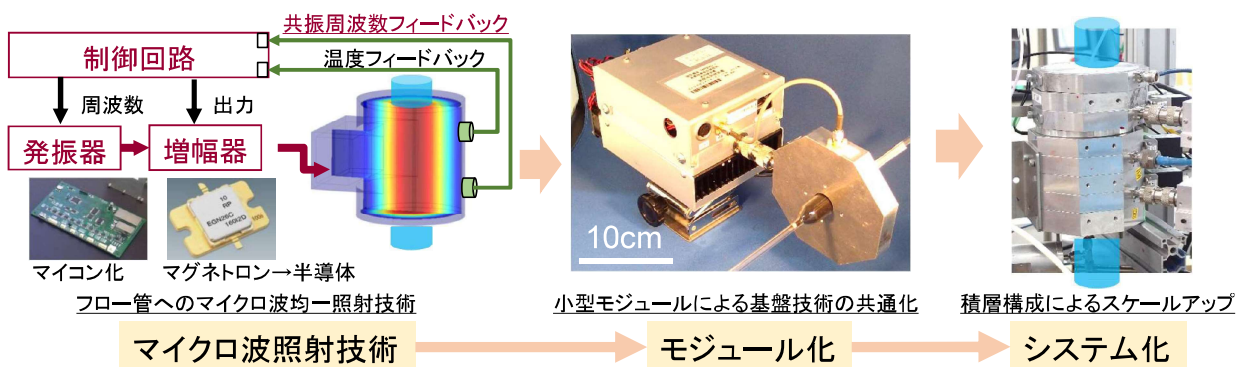
【背景と目的】

背景: 反応プロセスの時間短縮と省エネ化の要望

目的: フロー反応に適したマイクロ波化学プロセスの開発

【研究アプローチ】

再現性のあるマイクロ波均一照射技術をコアに、基盤技術の共通化とモジュール化、さらにはシステム化を進める



【平成30年度研究成果】(TRL3 → 4)\*

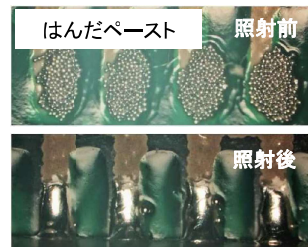
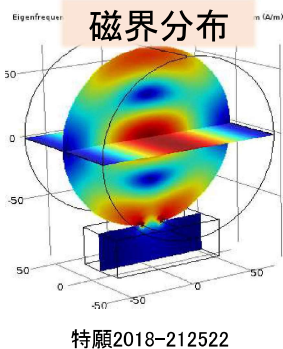
\* TRL 5技術から派生

- 新しい定在波技術の確立 (TM<sub>110</sub>モードによる磁界集中照射)  
→従来はスパーク発生で不適だった、金属素材や導電性材料のマイクロ波処理を実現

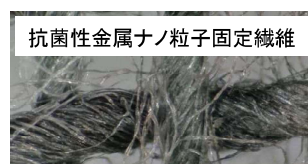
現象の確認・拡張  
TRL 2

コンセプト実証装置  
TRL 3

応用的な開発  
TRL 4



特許出願3件、共同研究1社

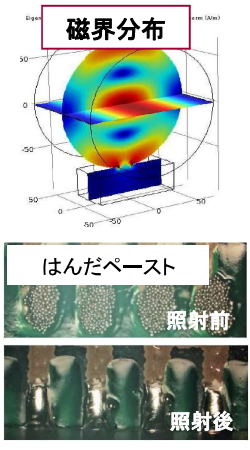


特許出願1件、共同研究1社

【特記事項】特許出願6件、依頼記事1件(化学工学会)、依頼公演3件

【令和元年度研究成果】(TRL4 → TRL5)

- ・ マイクロ波磁界加熱の有効性を明確にし、リフロー炉、リード線接合への展開を目指して、企業内ラボテスト装置を設計



**磁界分布**

はんだペースト  
照射前  
照射後

S社 (はんだトップシェア)  
マイクロ波リフロー炉の開発

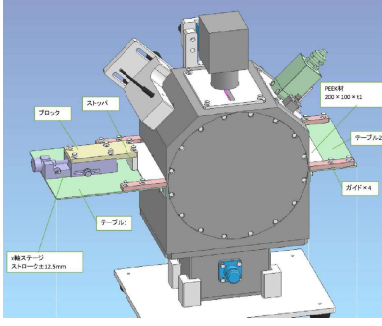
3.6~6.8 m

電気炉:  
180 °C 5分

マイクロ波:  
3秒で実装完了

- ・ 熱ダメージ小
- ・ 省エネ
- ・ 時間短縮

企業内ラボテスト装置設計



Y社 (産業ロボットトップシェア)  
モータの製品寿命: リード線圧着部分の耐熱性が支配

- ・ 「第12回みやぎ優れMONO (一般社団法人みやぎ工業会)」に認定
- ・ 凌和電子株式会社より感謝状

【特記事項】論文3報、招待・依頼講演3件。企業共同研究7件 (5,000万円)、コンサル3件、特許出願11件

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- ・ フロー反応に適したマイクロ波化学プロセスの開発

期間成果 (TRL2 → TRL6)

- ・ 顔料のマイクロ波熱処理プロセスの開発 (液相反応)

<p><b>基盤技術</b> H26 (TRL3)</p>  <p>10 cm</p> <p>マイクロ波均一照射 技術の確立と装置化</p>	<p><b>要素研究</b> H27 (TRL4)</p>  <p>現行 1日 マイクロ波 10秒</p> <p>ナノ粒子の高速合成</p>	<p><b>スケールアップ</b> H28 (TRL5)</p>  <p>2.45 GHz 915 MHz</p> <p>ナンバリング アップ</p> <p>915MHz帯を利用した量産装置 (1→500L/day)へと展開</p>	<p><b>技術移転</b> H29 (TRL6)</p>  <p>共同研究先に導入し 生産プロセス研究を実施中</p>	<p><b>新技術創出</b> H30, R1 (TRL3)</p>  <p>磁界分布</p> <p>磁界を利用した 金属加熱を実現</p>
---	---	---	--	---

【特記事項】論文5報、招待・依頼講演4件、受賞2件。企業共同研究12社 (1.1億円)、ライセンス収入等 52件、コンサル3件、特許出願43件 (うちPCT3件)

【第5期以降に見込まれる成果】

- ・ **生産設備**として、金属加熱応用装置を民間企業に導入

【研究テーマ】(橋渡し後期)

スーパーグロス法単層カーボンナノチューブ (SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧リングの開発

【背景と目的】

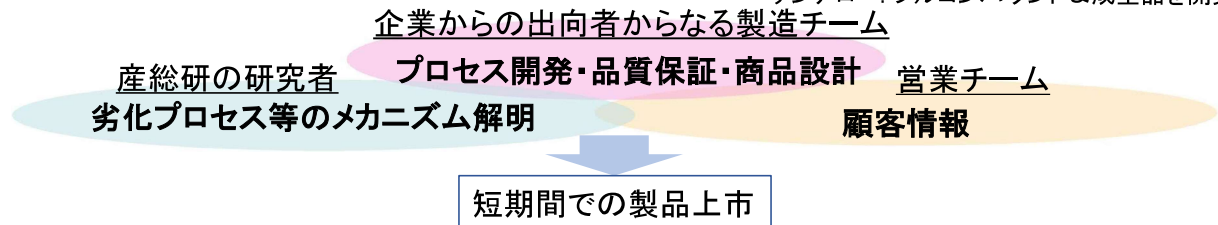
背景: 技術シーズとなる耐熱CNT複合材の開発の必要性 (NEDO, TASC)

目的: CNTの特長を抽出し、CNT成形体の商品を上市

【研究アプローチ】

産総研の「日本ゼオンーサンアロー産総研CNT複合材料研究拠点」における、“UNDER ONE ROOF”での研究開発

日本ゼオン: CNTおよびCNTゴムマスターバッチを開発  
サンアロー: フルコンパウンド & 成型品を開発



【平成30年度研究成果】(TRL7 → 8)

・ 長寿命・高耐熱・高耐圧リングを開発、販売開始

内容の詳細

- ・ ゴムの高度なネットワーク構造を保ったままCNTを分散させることで、形状維持性を向上させ、かつ高温での力学特性を向上
- ・ CNT添加による圧縮永久ひずみ劣化のメカニズムを解明し、材料設計にフィードバックすることで、長寿命化を達成

開発品のポイント

- ・ 市販品FKM製品の3.5倍の耐久時間
- ・ FKMよりも高い連続使用温度
- ・ FKMよりも優れた高温での強度特性

【特記事項】2018年9月13日プレス発表、各種報道4件

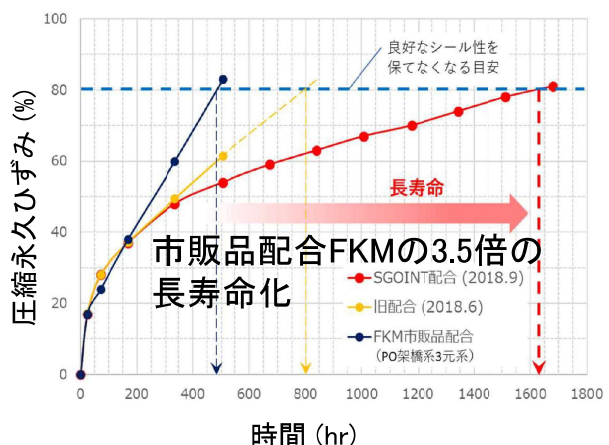


図. 230 °Cでの圧縮永久ひずみの経時変化 (シール性寿命の目安)

FKM: フッ化ビニリデン系ゴム (フッ素ゴム)



【令和元年度研究成果】(TRL7 → TRL9)

- 配合最適化により、圧縮応力緩和特性 (耐圧寿命) の大幅な向上を達成 (一般配合品比で約2.7倍)

内容の詳細

- 劣化メカニズムに基づき配合を最適化した圧縮応力緩和特性 (CSR) 向上モデル (TACC配合) を設計
- パーオキサイド (PO) 架橋系でありながら、ポリオール架橋系を凌ぐ耐圧寿命を達成。



CNTの添加による高強度化と併せて適用範囲の拡大が期待

PO架橋: 耐熱性や耐酸化性などに優れるものの耐圧性では劣る  
 ポリオール架橋: ビスフェノールAを使用。受酸剤 (金属酸化物) が必要

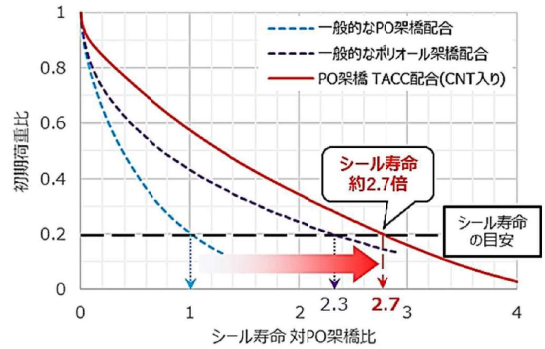


図 230 °Cでのリングの応力緩和試験結果

本成果を元に、**リング新グレードが2020年春ごろ販売予定**

【特記事項】HP成果発信1件 (2019/10/30)、関連成果の展示会出展3件。企業共同研究1件

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- CNTの特長を抽出し、CNT成形体の商品を上市

期間成果 (TRL7 → TRL9)

- CNT入りフッ素ゴムリングを開発し、2018年10月にサンアロー (株) からSGOINT®の名称で販売開始 (拠点設立から18か月後)
- 形状維持性を向上させ、高温での力学特性を向上
- 劣化メカニズムを解明することで、長寿命化を達成
- 2020年春より、改良グレードを販売開始予定



【特記事項】プレス発表1件、各種報道4件。企業共同研究1件

【第5期以降に見込まれる成果】

- CNT複合材料研究拠点が、第二期へと発展的展開
- マスターバッチの低コスト化技術及び耐湿グレード等の水平展開で売り上げ増

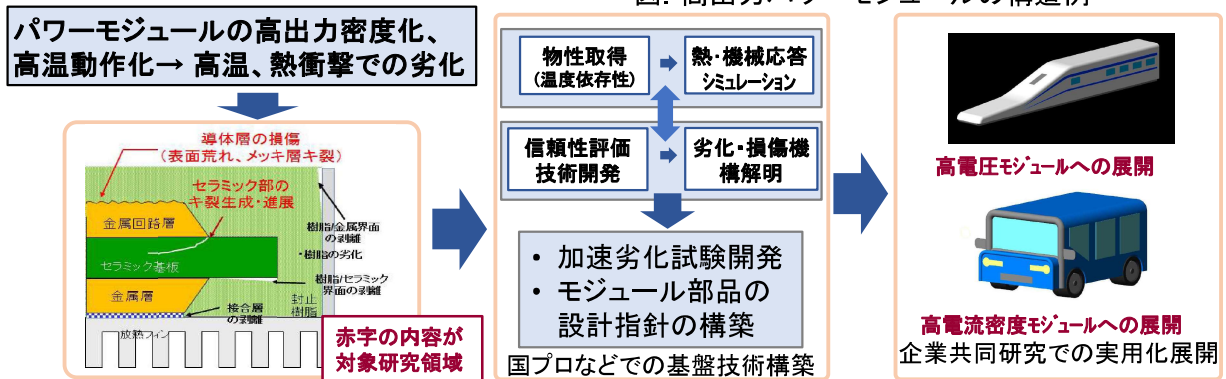
【研究テーマ】(橋渡し後期)

パワーモジュール用窒化ケイ素メタライズ基板の信頼性評価  
技術の開発

【背景と目的】

背景: より高い熱的・機械的信頼性を有したメタライズ放熱基板の開発  
目的: 高熱伝導窒化ケイ素メタライズ基板の高出力パワージュールへの展開

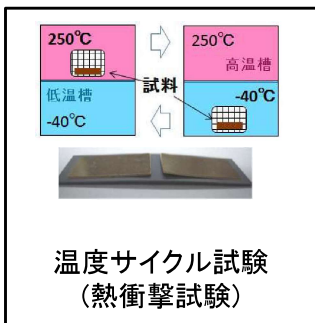
【研究アプローチ】



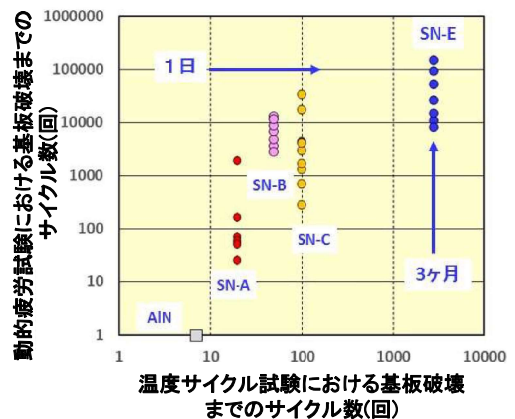
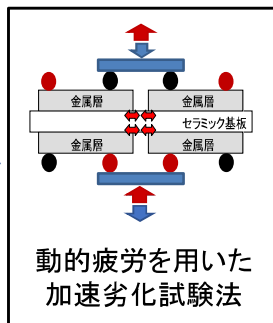
【平成30年度研究成果】(TRL5 → 6)

温度サイクル試験に対する加速劣化試験方法の開発

従来



開発手法



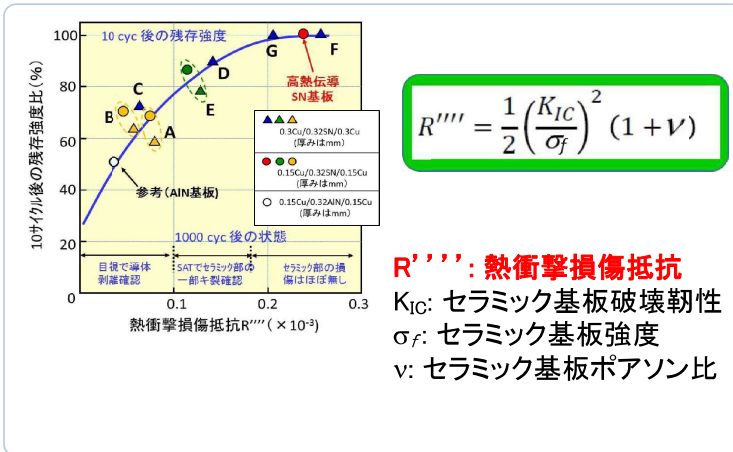
開発した加速劣化試験により、損傷評価時間を約1/100に短縮

【特記事項】

論文: Miyazaki et al., *Ceram. Int.*, 2018, 44, 8870-8876  
特許: 特願2017-075472「4点曲げ疲労試験治具および疲労試験装置ならびに加速劣化試験方法」  
プロジェクト: SIP「SiCに関する拠点形共通基盤技術開発: ③次世代SiCモジュールの技術開発: 高耐熱部品技術開発」

【令和元年度研究成果】(TRL5 → TRL6)

- 耐温度サイクル性の指標として熱衝撃損傷抵抗 ( $R''''$ ) を提示  
→ 高信頼性メタライズ基板の設計指針として活用
- 高温、高周波領域での誘電特性評価技術の整備と確立  
→ 高周波帯域の絶縁放熱基板の評価への取り組み

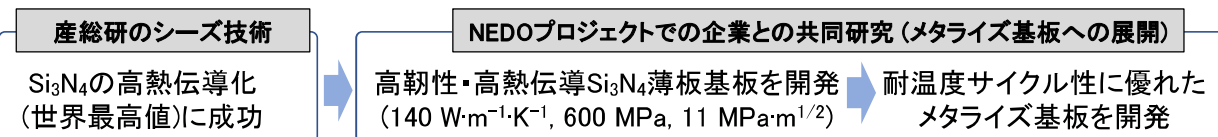


【特記事項】論文1報、招待・依頼講演2件。企業共同研究4件 (1,800万円)、コンサル2件

【第4期中の研究成果の総括】

目的

- 高熱伝導窒化ケイ素メタライズ基板の高出力パワーモジュールへの展開  
期間成果 (TRL7 → TRL9)
- 産総研のシーズ技術を基に、高靱性・高熱伝導窒化ケイ素薄板基板を開発 ⇒ 共同研究先企業にて量産が決定
- 高熱伝導薄板基板を用いて、耐温度サイクル性に優れたメタライズ基板を開発



【特記事項】論文25報、招待・依頼講演22件、受賞2件、各種報道2件、プレス発表2件。公的資金獲得1件 (SIP, 分担)、企業共同研究4件 (5,930万円)、コンサル2件、特許実施許諾契約を締結 (2019年)

【第5期以降に見込まれる成果】

- 次世代高速鉄道、HV、EV向け高出力パワーモジュール用放熱基板への展開
- モジュール部品としての長期信頼性評価、及び加速劣化試験方法の開発

「橋渡し」研究後期  
研究トピックス紹介

## 粘土を用いたナノ材料の産業創成

化学プロセス研究部門  
(首席研究員) 蛭名 武雄



### 【第4期期間実績】

Adv. Mater. (2017)を含む論文6報、招待講演29件、受賞4件(粘土学会論文賞を含む)、各種報道120件(日経、朝日新聞、NHKおはよう日本、など)。公的資金獲得3件(SIPプロジェクト5年、総額1億1,053万円を含む)、企業共同研究4社(計8,641万円)、コンサル3件

## ＜目的基礎から橋渡しへの事例＞ 粘土を用いたナノ材料の産業創成 ガスバリア性・耐熱性・透明性を生かした製品展開

### ＜目的基礎研究＞

- 粘土を主成分とする膜「クレースト」を開発 ⇒ 論文発表  
Adv. Mater. 2007, 19, 2450
- 基本特許群の構築 ⇒ 約40件の産総研単独出願

### ＜橋渡し研究前期＞

- 2007年に非アスベストガスケットの製品化
- 2010年に粘土膜コンソーシアム立ち上げ(36社でスタート)
- 共同研究53件、5.4億円
- (2005-2016fy)

### ＜橋渡し研究後期＞

- 粘土原料の商用化
- 多数の製品化事例  
(不燃透明材、ガスバリアフィルム、高耐久性漆器、ハイレゾスピーカー等)
- 国際標準の開発

### 耐熱ガスバリア膜の開発



ロールフィルム  
40 μm厚、300 mm幅



透明フィルム



厚さ1 nmの粘土結晶の配向積層構造

1000 °Cの耐熱性、検出限界値以下のガス透過性(2004年)

### 非アスベストガスケットの製品化



第2回ものづくり日本大賞  
優秀賞受賞

### コンソーシアムによる連携



ピラミッド型産業創成

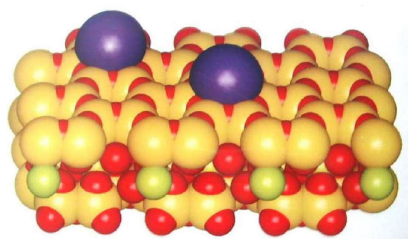
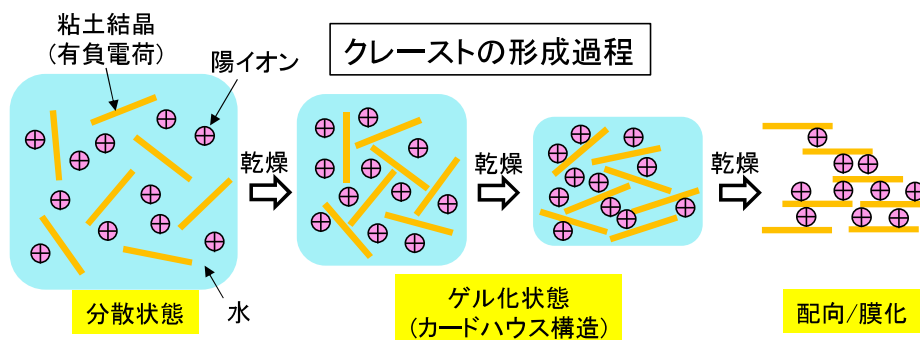
### 更なる産業拡大に向けて

ISO規格「ガスバリアフィルム用粘土」  
2020年発行予定



新機能性材料展出展  
(来訪者3,000名)

# 粘土膜「クレースト」の構造



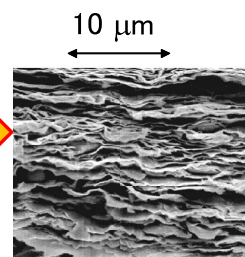
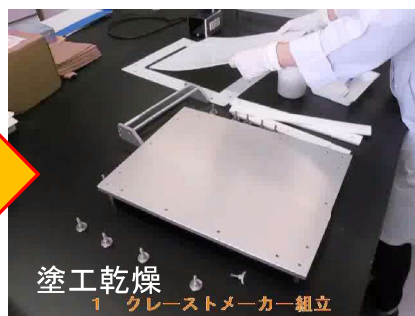
モンモリロナイトの結晶構造と化学組成  
 $\text{Na}_{0.33}[(\text{Al}_{1.67}\text{Mg}_{0.33})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$



粘土結晶

バインダー

# 粘土膜「クレースト」の作製方法



## 被塗布材料

- プラスチック (塗装面)
- ガラス
- 金属
- 複合材料

## 塗布方法

- 刷毛塗
- スプレー
- ディップ
- 印刷

## 焼付け方法

- 紫外線
- 加熱 (80 - 600 °C)

## 乾燥厚

0.4 - 50 μm

# 産総研の独自技術「加熱耐水化粘土」

	精製ベントナイト (スメクタイト)	有機化スメクタイト	加熱耐水化粘土 (加熱後)
耐熱性	600 - 700 °C	200 - 400 °C	600 - 700 °C
ドライガスバリア性	高	中	高
水蒸気バリア性	低	中	高
耐水性	なし	あり	あり
膜のモデル図 (バインダーは省略)	<p>層間イオン 粘土結晶</p>	<p>界面活性剤 粘土結晶</p>	<p>粘土結晶</p>

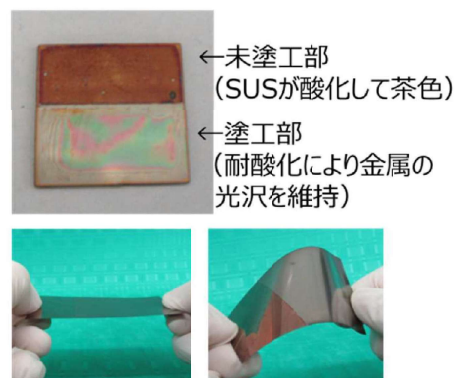
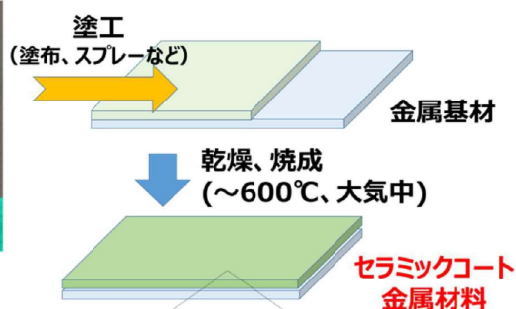
# 金属用耐熱絶縁コーティング

株式会社イチネンケミカルズ

成分：粘土、水、界面活性剤、減粘剤

様々な金属素材に適用可能  
(SUS、銅、アルミ、など)

粘土分散液を塗布して600°Cで  
焼成したステンレス板



・曲げても大丈夫

粘土膜特有の機能を  
金属表面に容易に付与

保護

絶縁

ガスバ  
リア

## 応用例

- 歪センサ用絶縁基板

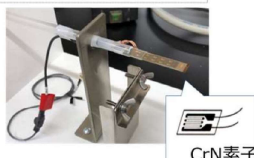
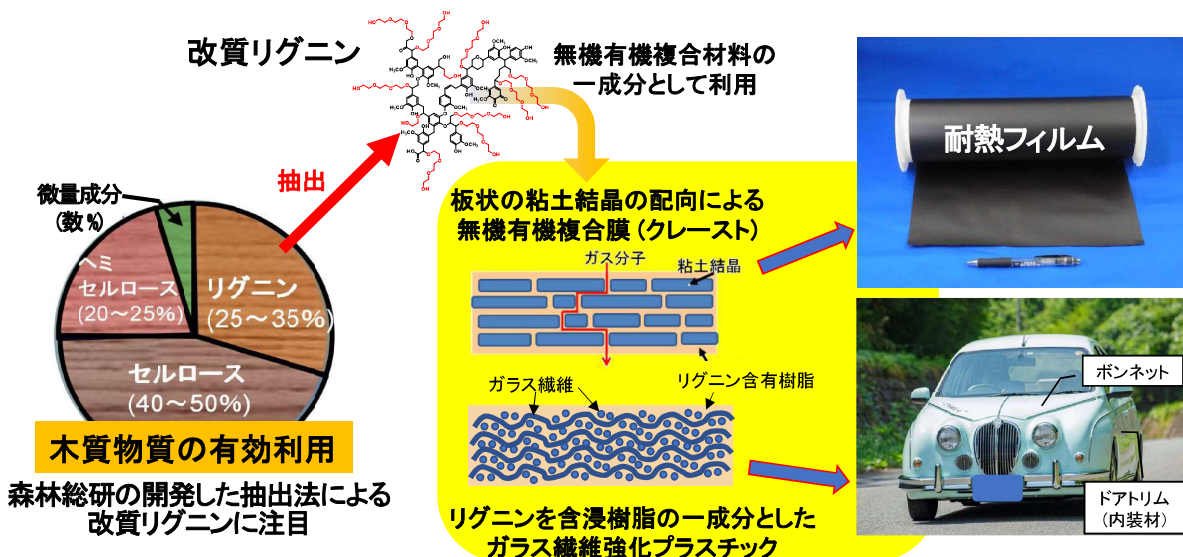


写真: (財)電磁材料研究所

# バイオマス利用無機有機複合材料

森林総合研究所、等

- 粘土と改質リグニンをコンポジット化した膜材料
- 改質リグニンをを用いた繊維強化複合材料



SIP (次世代農林水産業創造技術)「地域のリグニン資源が先導するバイオマス利用システムの技術革新」

# 改質リグニン使用スピーカー

森林総合研究所、オオアサ電子株式会社、宮城化成株式会社

## ワイドレンジ周波数特性と高音質化の追求

- コンパクトながら高能率、広帯域、高音質化を実現した3Wayスピーカー
- ポリマークレイ・コンポジットをトウィーターユニット振動板へ採用
- スギ由来新素材「改質リグニン」をウーファーユニット振動板へ採用



デスクトップ全方位スピーカー



トウィーターユニット (ハイルドライバー)



ウーファーユニット

オオアサ電子株式会社 令和元年11月27日プレスリリース

# 東北楽天イーグルスヘルメットに ナノコンポジット玉虫塗が採用

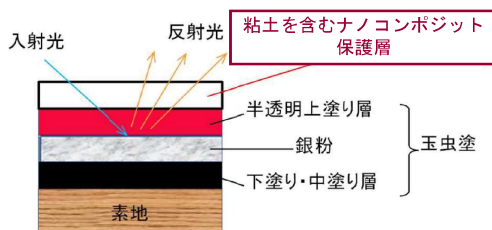
- 粘土を含むナノコンポジット層を玉虫塗保護層として使用
- スプレー塗工により付与可能で、焼付け処理が不要
- 2020シーズンから正式採用

宮城県指定伝統的工芸品「玉虫塗」を製作する東北工芸製作所は、漆器の耐擦過性、耐紫外線性を向上させるため、産業技術総合研究所と粘土プラスチックナノコンポジット技術を用いた保護層を共同開発しました。保護層つき玉虫塗はヘルメットとして十分な外観・性能を有していることが確認され、東北楽天ゴールデンイーグルスの選手用ヘルメットとして2020シーズンより正式採用が決定しました。

特願2015-227476「粘土と樹脂と有機溶剤を含むコーティング剤、それを用いた保護膜、及び製品」

JST復興促進プログラムシーズ顕在化タイプ、ハイリスク挑戦タイプ（復興促進型）、ものづくり中小企業製品開発補助金（仙台市）

令和2年1月24日産総研プレスリリース



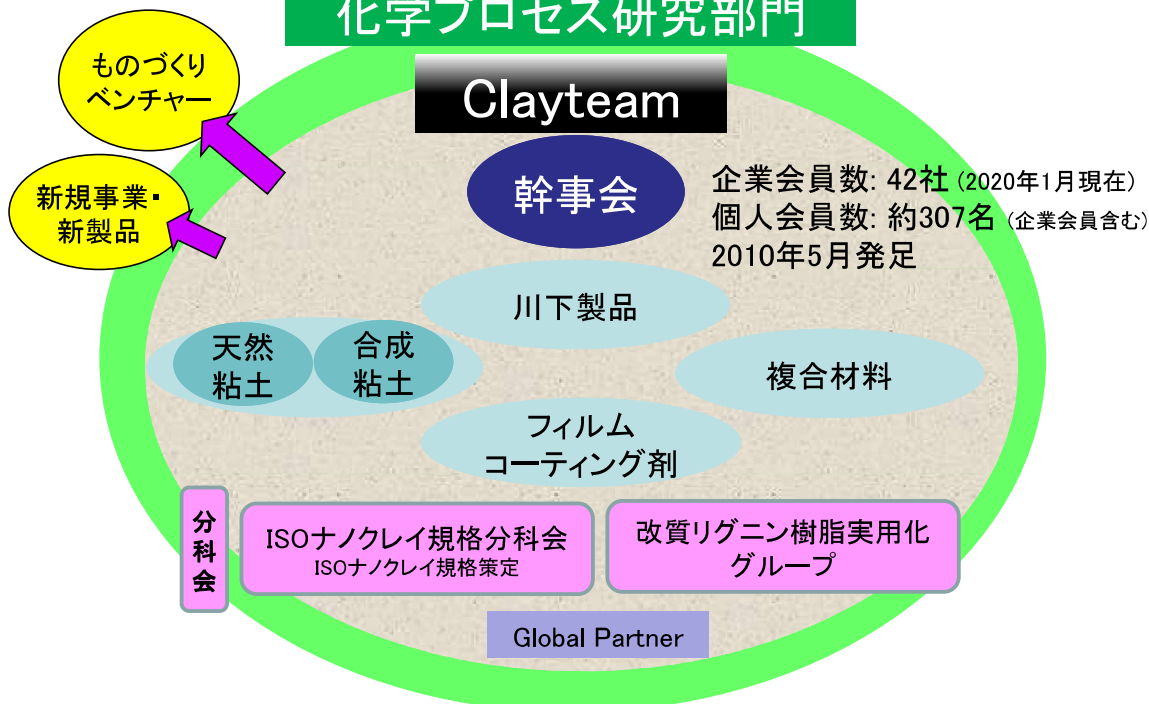
ナノコンポジット玉虫塗の構成



ナノコンポジット保護層付き  
玉虫塗ヘルメット

## 産総研コンソClayteam

### 化学プロセス研究部門





# 国際標準により産業化を加速

## 【標準化ニーズ】



**ナノの特性**  
組成  
陽イオン交換容量  
アスペクト比  
メチレンブルー吸着量  
...

粘土（クレイ）には、ハイガスバリアフィルム製造に、  
・利用できる高品質な粘土  
・利用できない安価な粘土 ⇒ 大きな価格差がある。

← 価格の根拠

特性データの項目や取得方法を標準化

ISO/TS 21236-2 Nanotechnologies – Clay nanomaterials – Part 2: Specification of characteristics and measurements for clay nanoplates used for gas barrier film applications (2020年発行予定)

## 【社会的・経済的効果】

クレイナノプレートを利用した最終製品



電子機器



食品包装



医薬品包装



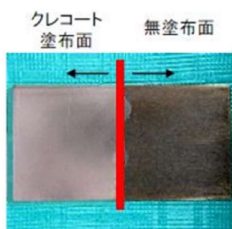
水素技術、航空宇宙など

市場規模：2025年に約1.7兆円（172億USDドル）

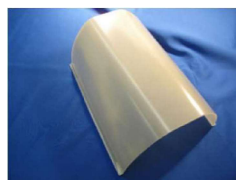
Global Nanocomposites Market Analysis & Trends – Industry Forecast to 2025 (Research and Markets社)



【クニピアM】  
ガスバリア膜用粘土  
(クニミネ工業株式会社)



【クレコート】  
水系粘土ペースト  
(イチネンケミカルズ)



【エクスビュー】  
不燃化した照明カバー  
(株式会社宮城化成)



【エグレッタTS1000F】  
ハイレゾスピーカー  
(オオアサ電子株式会社)



【タフクレスト】  
不燃スーパーエンジニア  
リングフィルム  
(住友精化株式会社)



ナノコンポジット保護層付き  
玉虫塗ヘルメット  
(有限会社東北工芸製作所)



食洗器対応漆器  
(有限会社東北工芸製作所)



【エグレッタTS-A200】  
コンパクトハイレゾスピーカー  
(オオアサ電子株式会社)

第4期中に製品化されたもの一覧: 計8つ

## (A) 第4期中長期目標期間での特筆すべき成果

### 【目的基礎】

- 戦略課題: 1-4) 「先端化学材料の評価技術」において、材料の劣化を化学構造の解析によって診断する分析技術を開発した。この技術を基に**第4期累計(平成27年4月から令和元年12月末時点まで)で、企業共同研究28社(1億4,675万円)、コンサルティング29件を実施**した。
- 戦略課題: 4-3) 「高度計測およびナノ加工・界面制御技術の開発」において、高機能化・高性能化による最先端計測評価技術の開発を行い、**原子の振動(格子振動)を波として計測する手法の確立**や、構造由来の特異な物性の予測や検証を実現した。論文: Nature を含む計108報、公的資金15件(3億9,000万円)、民間資金(1億円8,508万円)の実績を達成した。
- 戦略課題: 4-5) 「材料計算シミュレーション技術の開発」において、機械学習を活用した効率的な材料の最適組成予測手法の確立を行った。計算シミュレーションデータに対する記述子の開発及び少量の計算シミュレーションデータから最速に組成予測を得る最適化法の開発を行い、**材料開発期間短縮のための要素技術の確立**を実現した。
- 戦略課題: 6-3) 「機能融合化部材の開発」において、ガラス複合化技術として、**波長変換ガラスと超低脆性ガラスの開発**を行い、未利用光である赤外光を可視光に変換するガラスや、耐亀裂荷重が100 N以上の超低脆性ガラスを実現した。(関西センター)

### 【橋渡し前期】

- 戦略課題: 4-2) 「低次元ナノ複合体による物質・エネルギー有効利用技術の開発」において、アンモニアおよびアンモニウムイオンを選択吸着し、さらには加熱脱離により重炭安の固体創出する造粒体を開発した。これにより、**吸着後分解処理していたアンモニアを再利用することができ、窒素循環経済の実現が期待**される。
- 戦略課題: 6-2) 「高次機能部材化及び集積技術」において、電解質部材としての酸化リチウムイオン伝導性セラミックスのシート作製技術や高速充放電界面の創生技術を開発した。これらの技術によって**急速充電が可能な次々世代型の酸化物系全固体蓄電池の実現が加速**される。(中部センター)
- 戦略課題: 7-1) 「輸送機器用の軽量構造部材の開発」において、**高強度難燃性Mg合金押出材のための新熱処理技術を確立し、PJ企業と共同で1/1スケールで高速車両構体の試作を完了**させた。また、構体設計に必要な信頼性(疲労特性・耐食性)DBを構築した。(中部センター)

### 【橋渡し後期】

- 戦略課題: 2-1) 「ケイ素化学技術の開発」において、砂などの安価な**ケイ素源(シリカ)から直接テトラアルコキシシランを合成する技術の開発に成功**した。
- 戦略課題: 3-3) 「化学プロセスの革新に向けた新機能材料の開発」において、天然素材である**リグニンと粘土鉱物を用いた、さまざまな製品を上市**した(第4期合計8つ)。加えて、国際標準により産業化を加速(2020年発行予定)。
- 戦略課題: 5-1) 「実用化に資するCNTの合成プロセス・用途・評価技術の開発」において**市販品フッ化ビニリデン系(FKM)材料の3.5倍の耐久時間を有する、長寿命・高耐熱・高耐圧シーリング材などを製品化**した。
- 第4期を通して合計**7つの冠ラボを産総研内に設置**することで、企業のニーズにより特化した基礎及び応用研究開発を遂行した。

### 【マーケティング力の強化】

- 第4期を通して**マーケティング力の強化を進め、民間資金獲得額の大幅な増加を達成**した(第3期の平均額に比べて**約3倍**)。

## (B) 令和元年度の代表的成果と特筆すべき成果

### 物質吸着・変換用ナノ粒子の開発

窒素循環経済を実現しうる、NH<sub>3</sub>の再利用に成功



NH<sub>3</sub>/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 吸着剤



炭酸水素アンモニウム(重炭安)の結晶

加熱脱離 + 冷却再結晶

低濃度実ガスからNH<sub>3</sub>を選択吸着、加熱脱離により重炭安の固体を創出

### 粘土成分由来の機能性フィルムの製品化

産総研が開発した膜「クレスト」を用いた製品化の実現



CrN歪みセンサ用絶縁基板



ナノコンジット保護層付き玉虫塗ヘルメット

粘土膜が有する機能(ガスバリア性・耐熱性・透明性)を生かした製品の事例化展開を実施

### 【目的基礎】

- 第51回市村賞 市村地球環境学術賞 貢献賞(化学プロセス研究部門: 姫田、川波上級主任研究員ら)、無機マテリアル学会 学術賞(構造材料研究部門: 穂積GL)、日本化学会BCSJ賞(ナノ材料研究部門: 亀田主任研究員ら)等を受賞した。
- IF10以上の論文誌に掲載された論文は**18報**である。例えば、電子顕微鏡計測技術の研究結果がNature誌 [IF:41.577] に掲載された。

### 【橋渡し前期】

- 戦略課題: 4-2) 「低次元ナノ複合体による物質・エネルギー有効利用技術の開発」において、これまでの吸着技術だけでなく、加熱脱離により重炭安の固体創出する造粒体を開発し、アンモニアの回収・再利用を可能とした。

### 【橋渡し後期】

- 戦略課題: 2-1) 「ケイ素化学技術の開発」において、砂などの安価なケイ素源(シリカ)から、反応率70%以上で直接テトラアルコキシシランを合成する技術の開発に成功した。
- 戦略課題: 3-3) 「化学プロセスの革新に向けた新機能材料の開発」において、天然素材であるリグニンと粘土鉱物を用いて、粘土を含む**ナノコンジット層を玉虫塗保護層とした塗膜の作製に成功**した。(東北センター)
- 戦略課題: 5-1) 「実用化に資するCNTの合成プロセス・用途・評価技術の開発」において、パーオキシド系で一般配合品比で約2.7倍の圧縮応力緩和特性(耐圧寿命)を有する、長寿命・高耐熱・高耐圧シーリング材を製品化した。

### 【マーケティング力の強化】

- 第5期研究戦略検討ワーキンググループによる領域の技術シーズ分析や、技術コンサルティング制度を宣伝、活用することでマーケティング力の強化を図った。この結果、**民間資金獲得額は平成30年度を上回る約18.8億円**(12月末時点)となった。

Memo:

Memo:



## 主な指標の情報

	平成 27年度 実績	平成 28年度 実績	平成 29年度 実績	平成 30年度 実績	令和元年度 12月末 実績	令和元年度	
						3月末 見込	目標値
民間資金獲得 額（億円）	9.2	11.6	15.3	18.0	18.8	19.8	23.1
論文の合計被 引用数（回）	10,351	10,767	11,506	12,337	13,161	13,420	11,200
論文発表数 （報）	508	497	522	506	354	500	500
リサーチアシ スタント採用 数（名）	10	31	39	48	64	65	40
イノベーション スクール採用 数（名）	1	5	14	7	9	9	
知的財産の実 施契約等件数 （件）	232	218	220	246	225	232	230



## 評価委員コメント及び評点

### 1. 領域の概要と研究開発マネジメント

#### 【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- 論文発表数を維持しながら、民間資金獲得額が第3期平均の6.6億円と比較して顕著な増加（たとえば令和元年度12月末現在で18.8億円）となっているのは評価できる。
- 5つの研究課題項目について、28件の製品化という十分な成果が出ており、PDCAサイクルの運用ができている。OIL、冠ラボも十分機能している。
- 民間資金獲得額が第3期と比べて、2.85倍となった。第4期の期間を通して28件の製品化を達成した。海外留学やOILを通じて、国内外研究機関との連携強化、人材育成が進んだ。
- OIL、冠ラボ等の設置により、橋渡し機能を果たしている。その表れとして、民間資金獲得額が、第3期に比べ、3倍となっている。また、技術コンサルティングについても急増しており、一つの柱となっておりつつある。
- 目的基礎研究を維持しながら、民間資金の獲得を増やしたことは、素晴らしい成果と考える。
- 運営費交付金減少傾向にある状況の中で民間資金獲得を第3期平均の3倍に伸ばしたことは大いに評価できる。
- 第4期のスタートで領域名称をクラシックな材料・化学に決めたことにより民間資金が集まりやすくなったという点、マーケティング強化としてトップセールスを実施している点、TRLを導入し研究カテゴリーを目的基礎・橋渡し前期・橋渡し後期とに分けている点も大いに評価できる。
- 論文の質やメカニズム解明研究にも、またダイバーシティについてもケアしている点、グループ長研修や領域ワークショップを継続的に実施している点は、長期的に見て評価できる。
- 国内他機関(他領域、大学、旧国研、公設試、企業、業界団体、学会)、海外研究機関との連携も順調に進めている。

(改善すべき点及び助言)

- 材料・化学領域における企業連携推進機能の一層の強化を図り、業界団体との交流やマーケティング情報収集の能力の向上を行うことで、新たな産業分野とのマッチングを図り、さらに技術の橋渡しを進めていただきたい。
- 女性、若手、外国籍の研究者の参画を一層、促進すべきである。
- TRL上での進捗を俯瞰できるチャートを作製することで、テーマが進展しているか、遅滞しているかが、よくわかるのではないか。
- グローバルな視点から、海外ベンチマークを一層、明確にした方がよいのではないか。
- グローバル化への取り組みをどのようにするのか？資源、食料等は日本で考えていたのでは、世界の流れを失う可能性があり、海外研究機関、ゼロエミッションセンター等と連携を取りながら進めて欲しい。
- 民間資金の獲得の増大は、素晴らしいことであるが、運営資金減少の補填という考え方では限界がある。これ以上民間資金を増やすと領域の独自の研究能力の枯渇に繋がる可能性がある。フランホーファーのように民間資金の増大と共に、運営交付金も増えるといったような仕組みを産総研全体で、国に提案していったら良いのではないか。
- 第4期は民間資金を伸ばしたが、科研費が横ばいとどまっているのが懸念される。民間資金はこれ以上増やすのは厳しいと考えられる。第5期は科研費が予算の伸ばし代になるだろう。個人的な経験であるが、NEDOや地方経済局からの受託研究に比べて、科研費の方が事務的に簡素に使うことができ、額の割に事務方の業務負担をあまり増やさないことが期待される。第5期は例えば、各年度に全予算比率5%増を図り、最終年度で、全体の25%程度までもっていったらどうか。つまり第5期末に、運営費交付金、科研費、受託研究費、民間資金をそれぞれバランスよく約1/4になるようにするのが理想ではないか。

#### 【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- 筑波大OIL、バルカー産総研先端機能材料開発連携研究ラボ、DIC産総研サステナビリティマテリアル連携研究ラボを新設している。

- ・バルカーやDICとの冠ラボを新しくスタートした。領域内グループ長研修（共鳴塾）が全所の研修制度に取り入れられた。
- ・地域センター強化として、材料診断ネットワークの体制構築等評価できる。
- ・材料・プロセス研究のメカニズム解明支援事業は、大いに期待したい。企業の取り組みが難しい研究であり、産総研の真価が発揮できるのではないかな。
- ・平成30年度もそうであるが、論文数を落とさずに技術コンサルティング収入を前年度比1.5倍に伸ばした点は特筆に値する。
- ・地域センター強化の取り組みは、ともすれば個別に活動しがちな地方公設試を、産総研が音頭を取って束ね、連携を強化しようとするものであり、大いに評価できる。これによりどの県も同じ設備をそろえるのではなく、それぞれが強みを持って活動（企業からの問題解決）できることになるので、中国地方以外へも展開する計画があると聞いたが、是非第5期も継続・発展させてほしい。
- ・第5期研究戦略検討WGがしっかり（実質的に）活動している点は、評価できる。

（改善すべき点及び助言）

- ・NIMS、理研、筑波大学、東大などとの連携が進んでいるが、関西、九州、北海道などの研究機関との連携も進めるべきでは。
- ・特許出願を絞って、有効な知財に集中するという考え方は分かるが、今後の実施契約数（数年後に影響があるかもしれない）を見ながら慎重に対応してほしい。
- ・強いて言えば、特許の出願件数が減少したことが懸念されるが、質を重視しているが、今後の実施契約件数を注視することなので、第5期にはその通り注視し、場合によっては期の途中でも柔軟に状況変化に対応してほしい。

## 2. 「橋渡し」のための研究開発

### （1）「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）

【第4期全体に対して：期間実績評価】

（評価できる点）

- ・領域が目指す価値造り、すなわち「産業革新」、「省エネ」、「環境調和」、「快適」に沿ったテーマに関する研究を行った結果、目的基礎研究の評価指標あるいはモニタリング指標である論文の合計被引用数と論文発表数について、第4期の各年度の目標値を達成することに成功している。
- ・科研費の採択率が増加したことや、発表した論文の多くが掲載雑誌の表紙や裏表紙を飾っている（第4期累計で65件）ことは、開拓すべき技術として設定した研究テーマから橋渡しの基となる革新的技術シーズを生み出す事に成功したことを意味していると思われる。
- ・萌芽研究採択者32人から17件の課題が2年以内に科研費を獲得。萌芽研究費の2倍強の科研費を獲得している。
- ・ガラス複合化技術の開発では、超低脆性ガラスの開発に成功した。
- ・萌芽研究制度による科研費獲得の仕掛けは、成果が出ているように思える。
- ・劣化評価パッケージ、電子顕微鏡計測技術については、民間資金獲得、技術コンサルティングにも繋がっており高く評価できる。
- ・フォローアップシンポジウムを含めた「萌芽研究」の制度が奏功しつつあり、今後科研費の額を増やすためにはよい取り組みである。
- ・各種取り組みが奏功し、質・量とも申し分ない研究成果を上げている。

（改善すべき点及び助言）

- ・階層構造を持つナノコンポジットに関する研究（キトサンエアロゾル）は、進捗はあるものの、平成27年からスタートしている。もう一段の進捗が必要では。
- ・目的基礎、橋渡し前期、後期といった区分けが正しいのだろうか？生産しているような事業でも基礎的な研究が必要であり、劣化評価パッケージは、まさに具現化している。研究課題の取り扱いとしては、柔軟に対処しているようだが、TRLでの硬直的な取り扱い等に繋がらないように注意して欲しい。
- ・MEXTは(METIも)、日本の研究の国際競争力が低下しつつあることを懸念している。科研費には、国際共同研究強化、帰国発展研究という種目があるので、産総研には、第5期以降是非これらに応募し、研究費獲得、研究進めていただきたい。



【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・令和元年度の科研費の採択数は第4期の中で最高の52件であり、前年度の1.7倍になったことは高く評価される。
- ・オープンイノベーションラボラトリーでは、筑波大学と食薬資源利用の共同研究をスタートした。樹脂・ゴム材料の劣化状態のインディケーターとなる化学構造指標の構築に成功した。
- ・材料・プロセス研究のメカニズム支援事業を始めたことは、期待したい。
- ・配列制御シロキサンワンポット合成法、材料インフォマティクス、ガラス複合化技術等紹介されて、それぞれのテーマが着実に成果をあげている。
- ・筑波大とのOILは大いに評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・リサイクル炭素繊維の高付加価値マテリアル材料開発は、重要なテーマであるが、難易度も高い。また、エネルギー収支、ライフサイクルアセスメントの観点も重要では。
- ・特許戦略として、基本特許をしっかりと取るということであり、その考え方は正しいように思える。ただ、周辺特許を取りにくい状況なので、特許とノウハウの使い方を工夫して欲しい。
- ・科研費の額を増やすには大学等との共同研究で、基盤Sや基盤Aなどの大型の種目に申請するのがよいが、その路線で行けば、頻繁に打合せができるつくば地区なら近隣の筑波大とのOILを積極的に活用するのがよいと思う。つくば地区なら筑波大以外にNIMS、中部なら名古屋大などといったように連携で、同じ地区でBig Nameを揃えて、十分な打合せのもとに戦略を練れば、大型の種目でも獲得の可能性は高くなると思う。

(2)「橋渡し」研究前期における研究開発

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・超先端材料超高速開発基盤技術プロジェクト、次世代ヒートポンプ実現のための高感度メタ磁性材料の研究開発、省エネ製品開発の加速化に向けた複合計測分析システム研究開発事業、有機ケイ素機能性化学品製造プロセス技術開発など、第4期全体でNEDO国プロの実施件数が22件と非常に多いのは評価できる。
- ・この第4期間に、PBが高性能アンモニア吸着材として利用できることを発見し、製品開発まで至っている。吸着後分解して得るアンモニアの再利用も視野に研究開発を進めており、評価に値する。接着・界面現象の研究では、公的資金を獲得し、企業との連携でも順調な進展をみせている。
- ・セラミック電解質シート製造技術や難燃性Mg合金による高速鉄道車両部分機体の試作研究でも、順調に公的資金獲得と企業連携が進んでいる。
- ・接着・界面現象の研究については、コンソーシアムを通して企業から高い評価を受けている。
- ・アンモニア吸着剤については、実用化レベルに達した。
- ・紹介していただいた研究成果は、質・量ともどれも申し分ないものである。TRLのスコアにやや疑問があったが、迅速に修正していただいた。全体的には、目的基礎と橋渡し後期の間を取り持つカテゴリーの役割をしっかりと踏まえて、研究を進めていることが十分理解でき、評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・このステージが重要のように見えるが、このステージにどのくらいの割合の研究者が張り付いているのでしょうか。セラミック電解質シート製造研究は、橋渡し前期であるが、難焼結性セラミックは(TL2)、目的基礎の扱いということで、よいか。
- ・橋渡し後期に移るための課題を明確にして欲しい。
- ・一つのテーマの中でも幾つかのレベルにあるサブテーマが入っているので、それぞれの性格に合わせて運営して欲しい。
- ・第5期以降、国際オープンラボ等の国際共同研究が盛んになることを期待する。MEXT、METIとも、日本の研究の国際競争力が低下しつつあることを懸念している。産総研は、先頭に立ってそれを払しょくする役割を果たしていただきたいと願う。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・機能性化学品の連続精密生産プロセス技術の開発、CO<sub>2</sub>有効利用技術の先導研究(CO<sub>2</sub>直接分解)など、令和元年度に5件のNEDO国プロが開始された。
- ・CNF研究は、日本のバイオマス利用研究の中心課題の一つである。材料・化学領域としてもバイオ材料に一層の力を入れるべきと思われる。
- ・吸着剤の実用化レベルの達成
- ・令和元年度開始のNEDOや国プロジェクトが5件あったことは特筆に値する。

(改善すべき点及び助言)

- ・CO<sub>2</sub>からの有用化学品製造技術開発は今のトレンドであるが、化学的に極めて安定なCO<sub>2</sub>からの製品開発は、LCAの観点から間尺に合うのか、考えておくべき。

### (3)「橋渡し」研究後期における研究開発

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・目的基礎から橋渡しへの事例として評価されるものとして、粘土を用いたナノ材料の産業創成において、国際標準により産業化を加速し、ガスバリア性・耐熱性・透明性を生かした製品展開を行ったことが挙げられる。
- ・製品化に至ったものが、合計28件となった。
- ・冠ラボは着実に増加している。
- ・砂などのケイ素源からSi(OR)<sub>4</sub>を製造するプロセスを確立した。
- ・マイクロ波照射技術では、企業内ラボテスト装置を設計し、企業共同研究12社(1.1億円)は高く評価される。
- ・SGCNTを用いた耐熱性Oリングの開発に成功し、販売を開始できた。
- ・高温伝導窒化ケイ素メタライズ基板プロジェクトでは、企業連携4社(5930万円)を獲得した。
- ・粘土を用いたナノ材料の産業創成では、ものづくり日本大賞優秀賞を受賞し、粘土膜コンソーシアム立ち上げ(共同研究53件、5.4億円)、ISO規格「ガスバリアフィルム用粘土」2020発行予定で、国際標準化を進めている。
- ・継続的な冠ラボの設立は、大きな成果である。
- ・スーパーグロース法の開発については日本ゼオンでの工場設立に結び付いた。
- ・粘土を用いたナノ材料による製品化等、コンソーシアムを中心とした展開は注目できる。
- ・企業からの感謝状は、先方に経済的負担を掛けずに、成果をアピールできてよい取り組みだと思う。
- ・TRL9に達した研究成果があることは特筆に値する。プレス発表、受賞、招待講演等もそつなく行っている点も評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・Si(OR)<sub>4</sub>生産技術では、実証スケールでの検証を急ぐ必要がある。思わぬボトルネックが出てくる可能性もある。
- ・マイクロ波技術は国内に限らず、海外企業へもアプローチしてはどうか。
- ・産総研コンソーシアムClayteamも設立して10年であり、更なる開発加速が求められる。
- ・橋渡し前期、後期の区分、TRLの区分が分かり難い。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・スーパーグロース法単層カーボンナノチューブ(SGCNT)を用いた長寿命・高耐熱・高耐圧Oリングの開発において、配合最適化により、圧縮応力緩和特性(耐圧寿命)の大幅な向上を達成(一般配合品比で約2.7倍)することにより、Oリング新グレードが2020年春ごろ販売予定である。
- ・シール材エンジニアリングのバルカー社の冠ラボを設立した。また、第2期のDIC冠ラボをスタートした。CNT入りフッ素ゴムOリングを開発し、サンアロー(株)から販売を開始した。
- ・粘土ナノ材料では、改質リグニンを加えた製品化(耐熱フィルム、スピーカー)や玉虫塗ヘルメットへの応用など、進展した。
- ・テトラアルコキシシラン製造については、1Lスケールアップに成功し、実用化が視野に入ってきた。

- ・冠ラボを2つもスタートさせたことは特筆に値する。

(改善すべき点及び助言)

- ・粘土とリグニンとの組み合わせは、一層の加速が必要ではないか、海外と比べて優位性はキープできているのか？

### 3. 領域全体の総合評価

【第4期全体に対して：期間実績評価】

(評価できる点)

- ・「スポーツ工学プロジェクト」、「食糧・水 WG」、「アクティブマテリアル WG」、「環境調和材料 WG」、「第5期研究戦略検討 WG」、「海洋プラスチック WG」を設立し、技術を展開する新たな企業を開拓することでマーケティング力の強化を図ってきた。この結果、民間獲得資金額は第4期を通して増加を示した。とりわけ、技術コンサルティング契約件数に顕著な増加が得られた。制度が導入された平成27年度は2件(530万円)であったが、令和元年度は92件(1億5,553万円)まで増加した。領域を上げてのマーケティング力の強化のための取り組みは着実な成果を上げた。
- ・民間資金(年間)が20億円を超えており、3期の3倍以上に伸びたことは特筆すべきである。技術コンサルティング収入も1億5千万を超えた。これは、企業連携の拡大や研究シーズの掘り起こしにも繋がるので、更なる進展を期待したい。ISO、国内連携、国際連携、若手育成でも着実な進展があった。
- ・目的基礎では、ガラス複合化技術の開発で超低脆性ガラスの開発に成功した。
- ・原子の振動を波として計測する手法を開発した。
- ・橋渡し前期では、新たな高性能アンモニア吸着材を発見し、製品開発まで至っている。
- ・セラミック電解質シート製造技術や難燃性Mg合金による高速鉄道車両部分機体の試作研究でも、順調に公的資金獲得と企業連携が進んでいる。
- ・橋渡し後期では、マイクロ波照射技術を用いた企業内ラボテスト装置の設計、SGCNTを用いた耐熱性0リングの販売開始、高温伝導窒化ケイ素メタライズ基板プロジェクトの進捗、さらには、粘土を用いたナノ材料の産業創成では、ISO規格「ガスバリアフィルム用粘土」2020発行予定で、国際標準化を進めている。
- ・民間資金が前期に比べ3倍に増え、一方で論文発表数等の研究能力を維持していることは、素晴らしい成果である。そのための冠ラボ、コンサルティングといった資金獲得のための仕組み、一方で基礎研究を促進するためのOIL、萌芽研究制度といった仕組みを作ることで、バランスの取れた仕組みを作った。
- ・研究者個人の能力も優れていると思われるが、「1. 領域の概要と研究開発マネジメント」でコメントしたように、研究者の能力を十二分に引き出しているマネジメントの種々の手法は大いに評価できる。

(改善すべき点及び助言)

- ・企業連携推進機能の一層の強化を図り、業界団体との交流やマーケティング情報収集の能力の向上を行うことで、新たな産業分野とのマッチングを図り、さらなる技術の橋渡しを期待したい。
- ・モデルとする世界のTOP研究所を選定し、その経営手法を解析し、参考とし、貴研究領域の一層のレベルアップにつなげる必要がある。グローバルカンパニーを含め産業界との連携、地方自治体との連携、アジアを含めた国際連携、女性参画、などが重要である。
- ・ベンチャーの起業が課題と思えるので領域あるいは産総研で検討してはどうであろうか。イノベーションコーディネーターの充実が必要とも思える。
- ・産総研の見える化にもヒト、モノ、カネをかけ、一層の工夫が必要である。
- ・研究資金中の民間資金の割合を増やすことには限界があるため、領域の研究資金全体の増大を務めて欲しい。
- ・TRL、橋渡し前期、後期といった分類が混乱しているようにも見える。測定技術、メカニズム解明等は、ものづくり、製品づくりと違っているので、同じような基準で管理するのが適切か考えて欲しい。
- ・今後、研究の国際化やクロスアポイントメントなど、研究人材の流動化が進む中で、事務方と研究者の間を繋ぐ役割が重要となると考える。残念ながら、日本ではそのような人材を育成してこなかったため、中で育てる必要があると考える。

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

(評価できる点)

- ・技術シーズの創生に向けた取り組みとして、材料・プロセス研究のメカニズム解明支援事業を展開し、ユニットを超えた領域内融合によるメカニズムの解明を試みている。
- ・オープンイノベーションラボラトリーでは、筑波大学と食薬資源利用の共同研究をスタートした。
- ・前年度の評価委員からのコメントに真摯に対応している点は十分に評価に値する。

(改善すべき点及び助言)

#### 4. 評点一覧

【第4期全体に対して：期間実績評価】

評価委員 (P, Q, S, T) による評価

評価項目	P	Q	S	T
領域の概要と研究開発マネジメント	S/A	S/A	S	S/A
「橋渡し」のための研究開発				
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	S/A	A	S	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	S/A	A	A	S/A
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	S/A	S/A
領域全体の総合評価	S/A	A	S	S/A

【とくに令和元年度に対して：令和元年度評価】

評価委員 (P, Q, S, T) による評価

評価項目	P	Q	S	T
領域の概要と研究開発マネジメント	S/A	S/A	S/A	S/A
「橋渡し」のための研究開発				
「橋渡し」につながる基礎研究（目的基礎研究）	S/A	A	S/A	S/A
「橋渡し」研究前期における研究開発	S/A	A	A/B	S/A
「橋渡し」研究後期における研究開発	S/A	A	A	S/A
領域全体の総合評価	S/A	A	A	S/A

## 令和元年度 研究評価委員会（材料・化学領域） 評価報告書

令和2年6月26日

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 評価部

〒305-8561 茨城県つくば市東1-1-1 中央第1

つくば中央1-2棟

電話 029-862-6096

<https://unit.aist.go.jp/eval/ci/>

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

AIST16-X00004-5