

**研究成果展開事業  
研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）  
産業ニーズ対応タイプ**

**技術テーマ「セラミックスの高機能化と  
製造プロセス革新」**

**追跡評価用資料**

**令和5年1月**

## 目 次

1. 技術テーマの詳細 .....	3
(1) 概要 .....	3
(2) プログラムオフィサー (PO) .....	3
(3) アドバイザー .....	4
2. 追跡調査の概要 .....	5
(1) 調査の目的 .....	5
(2) 調査の対象 .....	5
(3) 調査の方法 .....	6
3. 追跡調査結果 .....	7
(1) 研究開発の継続状況 .....	7
(2) 研究開発資金等 .....	10
(3) 研究開発成果 (科学技術や社会・経済への波及効果) .....	12
(4) 主な研究活動 (主要論文、特許、受賞、テレビ、新聞報道等) .....	13
(5) 研究開発成果に対する制度支援の効果等 .....	22
4. 総合所見 .....	23

## 1. 技術テーマの詳細

### (1) 概要

「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」(平成28年度～令和2年度)

セラミックスは軽量で優れた耐熱性・耐久性・耐食性・機械的特性・電気的特性等の特徴を備えており、多くの分野で使われ、様々な産業を支えている。セラミックス部材の2018年の国内生産総額は3.2兆円で、世界の生産額の40%を占める。内訳は、「電磁気・光学用」部材が総額の7割を占め、「熱・半導体関連」部材、「化学・生体」部材も売り上げを伸ばしている。これは、スマートフォンをはじめとする情報通信、自動車の電装化・電子化の進展による電子部品や半導体の需要拡大による。高度な情報化社会、人工知能の発達、環境・エネルギー分野等先端セラミックスの重要性は増していくと予想されている。日本のセラミックス産業が競争力を失うと、日本全体の産業競争力の減退につながりかねない。

セラミックスは様々な優れた特性を持ちながら、高価であることや突然の破壊・割れの発生する場合があること等が、普及を妨げている。これらは、複雑な製造工程や高温焼成によるエネルギー多消費、製品の内部構造の不均一性に起因する。これらの課題を解決するためのプロセス研究は十分に行われてきたとは言えず、革新的なプロセス研究を通してコスト競争力の向上、用途拡大につながる高機能化や新機能創出が求められている。

本技術テーマは、原料粉の合成から後加工までセラミックス製造工程全体を見直して上記欠点を克服する基盤技術を基礎科学に立脚して確立し、製造プロセスのブレークスルーを目指した。これにより、製品の競争力向上や従来品の機能を凌駕するさまざまな特性を実現すると共に、新たな用途の可能性を検討し、優れた特徴を持つセラミックスを社会に広めるための学理構築を目標に掲げた。また、企業での製造に直結することを念頭に、原料粉の製造・成形・焼結・後加工までの製造技術全体を見通し、目視と勤と職人芸に頼る部分を廃し、科学的な観点から生産性の向上と機能向上のための「技術の体系化」に挑戦した。

### (2) プログラムオフィサー (P0)

目 義雄 (国立研究開発法人物質・材料研究機構 特命研究員、現在、グローバル中核部門 参事役)

### (3) アドバイザー

本技術テーマで委嘱したアドバイザーは、表1に示すとおりであり全11名である(なお、社内の人事異動により、1名は途中で交代、1名は中間評価まで)。アドバイザーの人選に当たっては採択課題が多岐にわたることから、それぞれのアドバイザーの専門性と経験を考慮した。学界からの人選においては、粉体の製造、成形、焼結およびTEM等のキャラクタリゼーション技術に深い造詣を有する方を委嘱した。産業界からのアドバイザーに関しては、産学共創の場に参加して頂いた方と同様に、各種セラミックス部材の製造メーカー、自動車や航空宇宙分野の企業でセラミックスの製造工程や機能特性とその活用に造詣の深い方々を委嘱した。

表1 アドバイザー

氏名	所属 役職	任期
伊吹山 正浩	デンカ(株) 新事業開発部 シニアテクニカルアドバイザー	平成28年10月～令和03年03月
加藤 一実	産業技術総合研究所 理事	平成28年10月～令和03年03月
久保寺 紀之	(株)村田製作所 執行役員、技術・事業開発本部 マテリアル技術センター長	平成28年10月～令和03年03月
後藤 孝	東北大学 名誉教授、未来科学技術共同研究センター 客員教授	平成28年10月～令和03年03月
篠崎 和夫	東京工業大学 名誉教授、特命教授(教育・国際連携本部)	平成28年10月～令和03年03月
須山 章子	東芝エネルギーシステムズ(株) エネルギーシステム技術開発センター シニアエキスパート	平成28年10月～令和03年03月
仲川 彰一	京セラ(株) 研究開発本部 デバイス研究開発統括部長 兼 先進マテリアルデバイス研究所長	平成28年10月～令和03年03月
中野 裕美	豊橋技術科学大学 教育研究基盤センター 教授、学長特別補佐(ダイバーシティ推進担当)	平成28年10月～令和03年03月
中村 賢治	トヨタ自動車(株) 第2材料技術部 機能材料室 室長	令和元年07月～令和03年03月
森 信義	(株)IHI 航空・宇宙・防衛事業領域 瑞穂工場修理部修理技術グループ 部長	平成28年10月～平成30年12月
神戸 義隆	トヨタ自動車(株) 基盤材料技術部 企画総括室 室長	平成28年10月～令和元年06月

※所属、役職は技術テーマ終了時の情報に基づく。

## 2. 追跡調査の概要

### (1) 調査の目的

追跡調査は技術テーマ終了後、一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、JST（科学技術振興機構）事業の改善に資することを目的に行うもので、研究終了後から現在までの研究課題の発展状況等を調査した。

### (2) 調査の対象

本追跡調査は、研究成果最適展開支援プログラム（A-STEP）産業ニーズ対応タイプ 技術テーマ「セラミックスの高機能化と製造プロセス革新」（セラミックス）（平成 28 年度～令和 2 年度）の採択課題を対象とした。表 2 に追跡調査対象課題を示す。

表 2 追跡調査対象課題（採択課題）

採択年度	終了年度	項番	プロジェクトリーダー（PL） （所属 役職）		研究課題名
H28	R02	01	多々見 純一	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授	セラミックスプロセスチェーン最適化を目指した構造形成過程のリアルタイム 3 次元 OCT 観察法による理解とその制御因子の科学的解明
H28	R02	02	加納 純也	東北大学 多元物質科学研究所 教授	セラミックス粉体の超微粉碎技術の確立と革新的粉体プロセスの開発
H28	R02	03	舟窪 浩	東京工業大学 物質理工学院 教授	非鉛圧電配向体の焼結しない低温作製法の確立 ～ I o T センサーおよびエネルギーハーベスター応用に向けて～
H28	R02	04	山本 剛久	名古屋大学 大学院工学研究科 教授	フラッシュ焼結の学理構築と革新的焼結技術への展開
H28	R02	05	森 隆昌	法政大学 生命科学部 教授	セラミックススラリーの新規分散評価技術を中心としたスラリー特性の完全定量化による湿式成形プロセスの高度化
H28	R02	06	増田 佳丈	産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 研究グループ長	ナノブロック高次秩序化による配向性ナノ構造体の開発と表面ドーピングによる高機能化
H28	R01.9	07	三村 憲一	産業技術総合研究所 極限機能材料研究部門 主任研究員	単結晶ナノキューブの自己組織化を利用した新成形技術の開発

H28	R02	08	藤 正督	名古屋工業大学 先進セラミックス研究センター 教授	無焼成セラミックスプロセスの解析とそれに基づく革新的材料の創製
H28	R01.9	09	堀井 滋	京都先端科学大学 工学部機械電気システム工学科 教授	磁気科学プロセスによる単結晶性セラミックスの創出
H28	R02	10	山村 和也	大阪大学 大学院工学研究科 教授	反応性プラズマを援用したセラミックス材料のダメージフリー形状創成・仕上げ加工技術の開発
H28	R02	11	永田 夫久江	産業技術総合研究所 マルチマテリアル研究部門 研究グループ長 → 同 総括研究主幹	レイヤード結晶シェルによる“単一結晶面粒子”の創製とその超精密機能化

### (3) 調査の方法

プロジェクトリーダーに依頼して、研究開発の現状に関する調査票に回答頂いた。回答頂いた 11 課題について本追跡評価用資料をまとめた。回答内容のうち、本追跡評価用資料では、共同研究を実施する企業名、共同研究費等の機密性の高い情報は非公開とした。なお、本追跡評価用資料の公表にあたり、プロジェクトリーダーから記載内容の確認と、公表の許諾を頂いた。

### 3. 追跡調査結果

#### (1) 研究開発の継続状況

##### ①継続状況

本技術テーマで実施した研究開発の現在の継続状況を図1に示す。本技術テーマの研究課題11課題の全てについて、研究が継続されている。全ての研究課題が、当時の研究を継続しており、各研究課題の設定、研究計画は妥当であり、継続的な研究の発展性がある研究課題であったことが窺える。

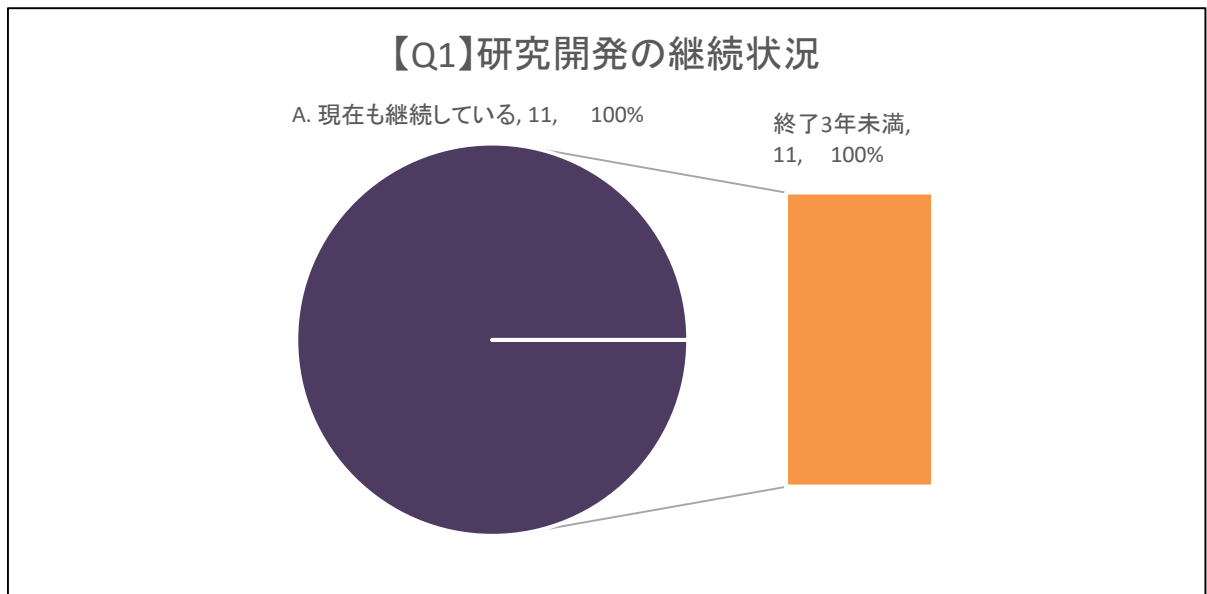


図1 研究開発の継続状況

## ②現在の研究開発体制

①で「A. 現在も継続している」と回答した研究課題の現在の研究開発体制を図2に示す。各回答（複数選択可）の課題数は、下記の通りである。現時点で産業応用、実用化に向けて企業との共同研究開発を実施している（選択肢A, 及びB）との回答は計12課題（計54%）となっている。企業との意見交換を通じて産業界のニーズを把握する場としての産学共創の場が有益であったとの複数のコメントをいただいている。

一方で多くの研究課題（10課題、46%）では、「E. 自機関での基礎研究（大学等との共同研究を含む）」のステージにあり、自機関、大学での基礎研究が継続されている。

回答件数（複数選択可）：

A. 産学共同研究開発（産学共創実施中にマッチングした企業）	: 4 課題（18%）
B. 産学共同研究開発（上記とは別の企業）	: 8 課題（36%）
C. 企業単独での開発（産学共創実施中にマッチングした企業）	: 0 課題（0%）
D. 企業単独での開発（上記とは別の企業）	: 0 課題（0%）
E. 自機関での基礎基盤研究（大学等との共同研究含む）	: 10 課題（46%）
F. その他	: 0 課題（0%）

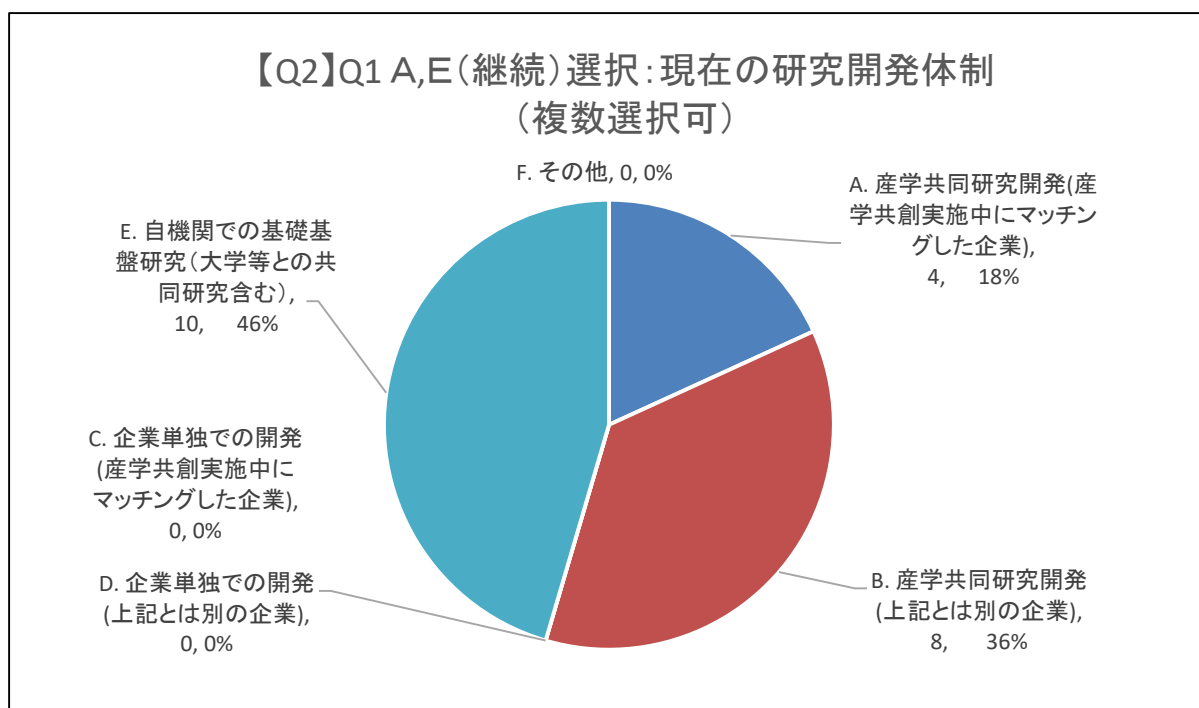


図2 現在の研究開発体制

## ③派生的に創出された成果

研究課題ごとに「(3) 研究開発成果（科学技術や社会・経済への波及効果）」で記載する。

## ④研究の中断・中止の理由

①で「C. 一旦中断しているが、条件が揃えば再開する予定である」もしくは「D. 中止した（課題のシーズについて研究開発を断念した）」と回答した研究課題はなく、すべて研究を継続しているため、該当する回答はない。



### ⑤進捗状況（技術成熟度）

実用化開発の一手手前である「6. 応用研究・開発研究(生産技術開発：実用環境での生産検証)」のステージに到達している研究課題が1課題(8%)、実用環境での技術検証に到達している「4. 応用研究・開発研究(可能性検証：実験室レベルでのプロトタイプ評価)」の研究課題が3課題(25%)となっている。全体の33%の研究課題が応用研究のステージにある。一方で、8課題(67%)は、基礎研究のステージにとどまっている。

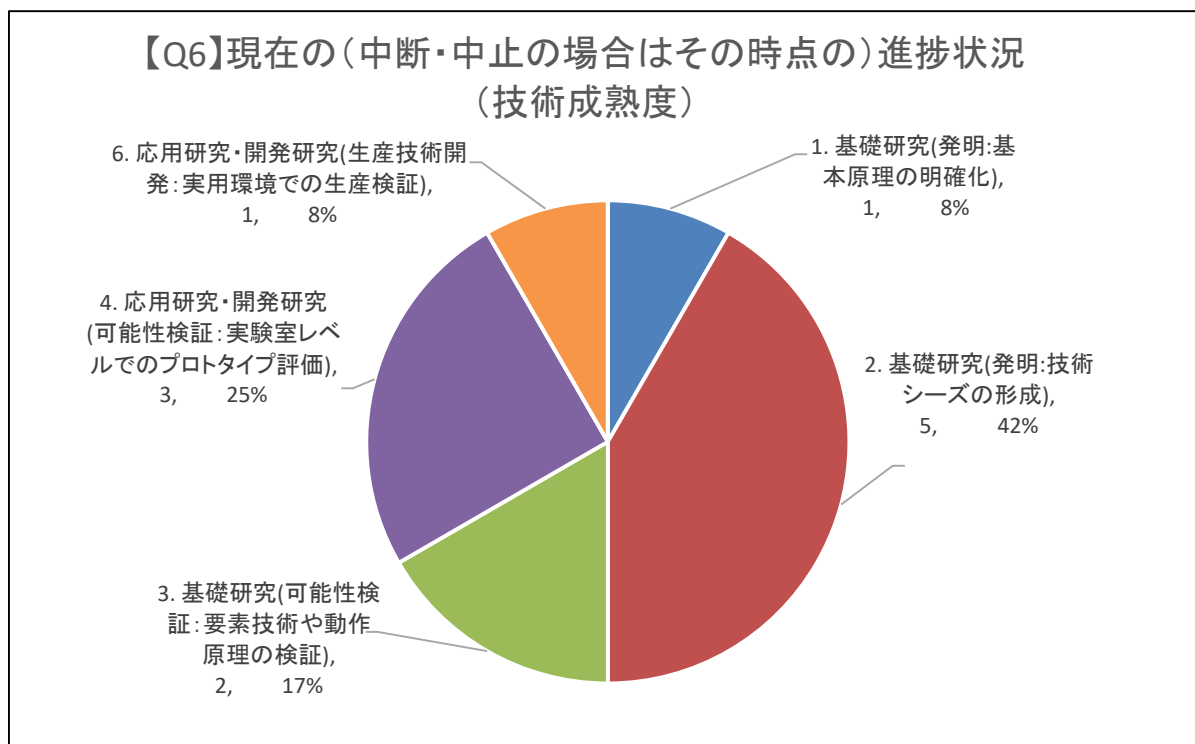


図3 技術成熟度

## (2) 研究開発資金等

### ①資金の種別

「(1) 研究開発の継続状況 ①継続状況」で「A. 現在も継続している」、「B. 実用化の目処が付いたため終了した」もしくは「E. 研究開発は断念したが、派生的に創出された成果について研究開発が継続している」と回答した研究課題の、本技術テーマにおける研究開発終了後から現在までの研究開発資金を図5に示す。各回答の課題数は以下の通りである。

回答（複数選択可）：

- A. 企業の自己資金で実施：7 課題（35%）
- B. JSTの競争的資金等で実施：3 課題（15%）
- C. JST以外の競争的資金・公的資金で実施：6 課題（30%）
- D. その他の資金で実施(他社からの投融資など)：4 課題（20%）

研究課題の終了後は、企業からの資金提供（企業の自己資金）、競争的資金（JST、他の公的資金）により、研究開発を進めている課題が多く80%を占めている。研究の継続には、企業の資金提供、または、競争的資金等の確保が、基本的に重要な要素であることが覗える。

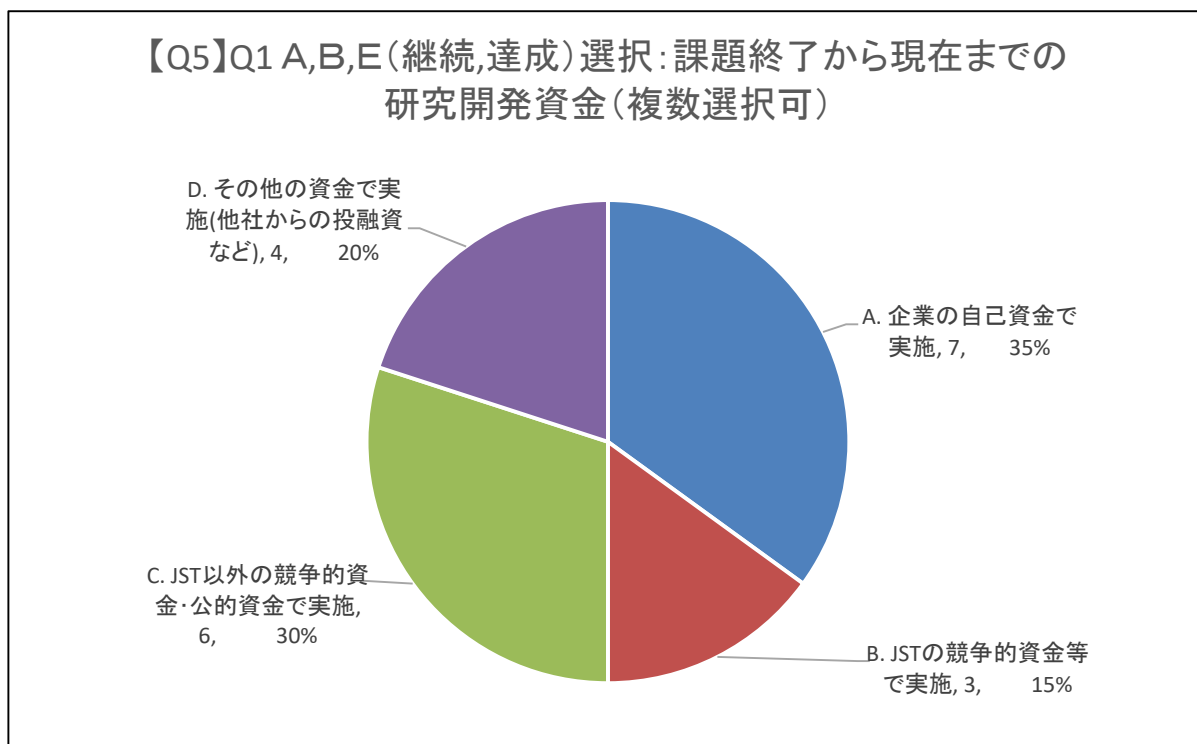


図4 研究開発資金の種別

## ②資金の獲得状況（公的研究資金）

本技術テーマにおける研究開発終了後に獲得した公的研究資金のうち現在実施中のものを表3に示す。NEDOの先導研究、中小企業庁の戦略的基盤技術高度化支援事業などにより、実用化をめざし基盤技術の研究開発が進められている。一方、基礎研究については、JSPS 科研費基盤研究や JST 戦略的創造研究推進事業 CREST などの公的競争資金により研究が継続されている。

表3 公的研究資金リスト

項番	PL	資金の詳細（制度名「課題名」、実施期間、代表者）
01	多々見純一	<p>(i) 中小企業庁戦略的基盤技術高度化支援事業「高機能ファインセラミックス用噴霧凍結造粒乾燥装置の研究開発」(2020~2022) 川口晋也、株式会社プリス</p> <p>(ii) NEDO2021年度「マテリアル革新技術先導研究プログラム「B. 超高品質・超高信頼性・超耐久性を有するスーパーファインセラミックスを実現する基盤技術の開発」</p> <p>(iii) NEDO 次世代ファインセラミックス製造プロセスの基盤構築・応用開発 (2022~2026)</p>
04	山本剛久	(i) JST 戦略的創造研究推進事業 CREST「セラミックス粒界・界面における強電界ナノダイナミクス」(2019-2025) 吉田英弘
05	森隆昌	<p>(i) 中小企業庁戦略的基盤技術高度化支援事業（令和3年度）「マグネタイト複合ニッケルめっきの開発及びナノ粒子分散技術の最適化による分散度測定装置の開発」 豊橋鍍金工業（株）</p> <p>(ii) NEDO 課題設定型産業技術開発費助成事業「低コスト分散型燃料レドックスフロー電池を用いた定置用電源の開発」 ARM Technologies 株式会社 (2021-2023)</p>
07	三村憲一	<p>(i) JSPS 科研費基盤研究 B (2020-2022) 三村憲一「次世代コンデンサ用誘電体ナノキューブ単層膜の高効率開発」</p> <p>(ii) JSPS 科研費基盤研究 B (2021-2023) 寺西貴志「界面ポテンシャル制御による高性能酸化物系全固体電池の実現」</p>
09	堀井滋	<p>(i) JSPS 科研費基盤研究 B (2017-2021) 堀井 滋「高 Ic 高温超伝導線材の創出のための磁気科学的材料エンジニアリング」</p>
10	山村和也	(i) JSPS 科研費基盤研究 S (2021-2025) 山村和也「プラズマナノ製造プロセスによる完全無歪加工の実現とその学理の探究」
11	永田夫久江	<p>(i) NEDO 官民による若手研究者発掘支援事業（第3回）／マッチングサポートフェーズ (2022~2024)「合成エラストチンの開発」鳴瀧彩絵</p> <p>(ii) JSPS 科研費基盤研究 C (2022-2024)「感染免疫応答制御を目的とした薬剤送達ナノキャリア粒子の開発」永田夫久江</p>

### (3) 研究開発成果（科学技術や社会・経済への波及効果）

研究課題ごとに、研究開発成果の科学技術や社会・経済への貢献についての事例を示す。

・01 多々見は、本研究課題の終了後、開発した掃引光源光コヒーレンストモグラフィー（OCT）観察技術を適用し、焼結中の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  グリーンボディの内部構造の変化の観察、フローカーブ測定中の高濃度  $\text{SiO}_2$  懸濁液のその場観察による高分子分散剤の構造と表面相互作用の関係の研究などを進めている。セラミックスプロセスチェーンを科学的・総合的に最適化するための有力な解析技術として展開が期待できる。なお、成形体、スラリーへの OCT 応用について複数の企業との共同研究を進めている。

・02 加納は、リチウムイオン電池（LIB）の小型化につながる電極の製造プロセスとして、湿式メカノケミカル反応による前駆体材料の粉末合成、集電体をコーティングするための電気泳動堆積 および最終的な電極活物質を得るための thermal conversion を組み合わせた新しい製造プロセスを提案している。

・03 舟窪は、焼結プロセスが不要な水熱法により形成した非鉛の圧電セラミック ( $\text{K, Na, Li}$ ) $\text{NbO}_3$  エピタキシャル厚膜の研究を継続している。また、水熱法により形成した他の圧電材料組成について企業と特許を共同出願した。センサーおよびエネルギーハーベスターアプリケーションなどへの応用展開が期待できる。

・04 山本は、 $\text{Y}_2\text{O}_3$  ドープ  $\text{ZrO}_2$  セラミックスを対象にフラッシュ焼結時の収縮率制御の研究を進めている。収縮率制御法を用いて短時間での高密度化が可能となり、その焼結体のビッカース硬さと圧痕破壊靱性は、一般的な無電界下での焼結体と同程度の特性を達成している。さらにこの技法の進展が期待される。なお、企業とフラッシュ焼結について共同研究を進めている。

・05 森は、リチウムイオン電池の正極スラリーについて研究を進め、最適な調製ガイドラインを提案した。バインダーの混合シーケンスにより、バインダーの吸着状態を制御することで体積抵抗率の低い電極を得ている。また、スラリー全般について、複数の企業との共同研究を進めている。

・06 増田は、開発した高感度センサーの感応膜である酸化スズ・ナノシート集積型ナノ構造体について、液相での形成メカニズムを明らかにした。特に、ナノ構造体が、酸化スズ・ナノシートを基本構成ユニットとするデンドライト構造であること、また、樹枝状構造を形成する酸化スズ・ナノシートの分岐が  $90^\circ$  または  $46.48^\circ$  の角度を持つ2つのタイプの分岐構造からなることを明らかにした。

・07 三村と岡山大学の研究グループは、リチウムイオン電池のハイレート性能を大幅に向上させることを目指し、誘電体  $\text{BaTiO}_3$  ベースのナノキューブを活物質と電解質の界面に組み込むことで、誘電体層を介した超高速の電荷移動経路ができることを示した。超高速な充放電を可能とする次世代電池の実現に貢献すると期待される。

[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/new\\_research/2022/nr20220221/nr20220221.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/new_research/2022/nr20220221/nr20220221.html)

・08 藤は、無焼成セラミックスプロセスの研究として、無焼成固化のための摩砕プロセスをモデル化したシリカ界面の分子動力学解析の研究結果をまとめ、論文として報告した。また、

無焼成セラミックスの具体的な製品開発に向けた共同研究を企業と進めている。

・09 堀井は、静磁場配向技術等について企業との共同研究などを進めている。

・10 山村は、単結晶ダイヤモンドやファインセラミックス等の硬脆機能材料に対してスラリーを用いない革新的な高能率完全無歪加工プロセスの実現を目指し研究を進めている。またプラズマ援用研磨技術の応用について、複数の企業と共同研究を進めている。

・11 永田は、材料試験法、機能性粒子などについて企業との共同研究を実施している。

#### (4) 主な研究活動 (主要論文、特許、受賞、テレビ、新聞報道等)

##### ①主要論文

本技術テーマにおける研究開発終了後に発表した論文のうち、研究代表者から回答のあった主要な査読付き論文(10報程度まで)を示す。【 】内の記載は、研究代表者が主要論文として選定した理由等である。

##### ・01 多々見

①Takuma Takahashi and Fumika Sakamoto and Junichi Tatami and Motoyuki Iijima, In situ observation of evolution of internal structure of alumina during sintering by swept - source OCT, International Journal of Applied Ceramic Technology, 19, 2, 1171-1179 (2021) 【セラミックスの焼結中の内部構造を初めてその場観察した論文】  
<https://doi.org/10.1111/ijac.13909>

②Iijima Motoyuki, Taki Naoya, Tatami Junichi, Operando observation of concentrated SiO<sub>2</sub> suspensions by optical coherent tomography during flow curve measurements: The relationship between polymer dispersant structures and surface interactions, JOURNAL OF COLLOID AND INTERFACE SCIENCE, 607, 290-297 (2022) 【スラリーの内部構造変化と粒子界面の相関を初めて明らかにした論文】  
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2021.08.125>

##### ・02 加納

①Takahiro Kozawa, Chenning Zhang, Tetsuo Uchikoshi, Kayo Fukuyama, Akira Kondo, Makio Naito, Solution-Based Approach for the Continuous Fabrication of Thin Lithium-Ion Battery Electrodes by Wet Mechanochemical Synthesis and Electrophoretic Deposition, Advanced Engineering Materials, 23, 2100524 (2021.12) 【IF:3.8】  
<https://doi.org/10.1002/adem.202100524>

##### ・03 舟窪

① Masaki Okura, Yoshiharu Ito, Takahisa Shiraishi, Takanori Kiguchi, Toyohiko J. Konno, Hiroshi Funakubo, and Hiroshi Uchida, Lower-Temperature Processing of Potassium Niobate Films by Microwave-Assisted Hydrothermal Deposition Technique, J. Ceram. Soc. Jpn., 130(1), 123-130 (2022) 【マイクロ波加熱を用いた低温合成に関する研究】

<http://doi.org/10.2109/jcersj2.21115>

② Yoshiharu Ito, Akinori Tateyama, Rurika Kubota, Takahisa Shiraishi, Takao Shimizu, Osami Sakata, Jaemyung Kim, Minoru Kurosawa, and Hiroshi Funakubo, Polar-axis oriented epitaxial tetragonal (Bi,K)TiO<sub>3</sub> films deposited below Curie temperature by hydrothermal method, *Appl. Phys. Lett.*, 120, 022903(2022) 【企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1063/5.0075014>

③ Rurika Kubota, Akinori Tateyama, Takahisa Shiraishi, Yoshiharu Ito, Minoru Kurosawa, and Hiroshi Funakubo, Film thickness dependence of ferroelectric properties in polar-axis oriented epitaxial (Bi,K)TiO<sub>3</sub> films prepared by Hydrothermal method, *AIP Advances* 12, 035241-1-7(2022) 【企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1063/5.0084170>

④ Takahisa Shiraishi, Akinori Tateyama, Hiroshi Uchida, and Hiroshi Funakubo, Crystal structure and piezoelectric properties of hydrothermally deposited (K,Na,Li)NbO<sub>3</sub> epitaxial thick films, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 130(8), 621-626 (2022) 【日本セラミックス協会進歩賞受賞記念論文】  
<https://doi.org/10.2109/jcersj2.22029>

⑤ Akinori Tateyama, Yoshiharu Ito, Takahisa Shiraishi, Minoru Kurosawa, and Hiroshi Funakubo, Effect of film thickness on output power of piezoelectric vibration energy harvester using hydrothermally synthesized (K,Na)NbO<sub>3</sub> film, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 61, SN1016-1-10 (2022) 【水熱合成で作成した配向体の発電特性に関する研究】  
<https://doi.org/10.35848/1347-4065/ac8046>

⑥ Rurika Kubota, Akinori Tateyama, Yoshiharu Ito, Takahisa Shiraishi, Minoru Kurosawa, and Hiroshi Funakubo, Process window for growth of polar-axis-oriented tetragonal (Bi,K)TiO<sub>3</sub> epitaxial films on (100)cSrRuO<sub>3</sub>/(100)SrTiO<sub>3</sub> substrates by hydrothermal method, *J. Mater. Sci.*, (2022) 57:14003-14014(2022) 【企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1007/s10853-022-07484-2>

・ 04 山本

① K. TAGUCHI, Y. ISHINO, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, Near complete densification of flash sintered 8YSZ: controlled shrinkage rate effects, *Journal of the European Ceramic Society* 41 (2021) 4567-4571 【IF 5.6】  
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.03.005>

② Y. ISHINO, K. TAGUCHI, M. KOIKE, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, Shrinkage rate control during a flash state by current-ramping for 3mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped ZrO<sub>2</sub> polycrystals, *Journal of the American Ceramic Society*, 2021;104:4960-4967. 【IF 3.7, フラッシュ焼結法の新規技術開発】  
<https://doi.org/10.1111/jace.17912>

③Y. ISHINO, K. TAGUCHI, A. KODAIRA, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO, Rapid sintering of 3 mol%  $Y_2O_3$ -doped  $ZrO_2$  by a combined rapid furnace heating and shrinkage-controlled flash sintering protocol, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 129 [8] 551–554 (2021) 【論文賞】  
<http://doi.org/10.2109/jcersj2.21066>

④ N. MORISAKI, T. TOKUNAGA, K. KOBAYASHI, A. KODAIRA, T. YAMAMOTO, Estimation of excess oxygen-vacancy formed by direct-current electric field during flash sintering for 3 mol%-10 mol%  $Y_2O_3$ -doped  $ZrO_2$ , *Ceramic International*, Volume 48, Issue 9, 1 May 2022, Pages 12091–12097. 【IF 4.5】  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.01.069>

・ 05 森

①Kitamura, K., Tanaka M., Mori T., Effects of the mixing sequence on the graphite dispersion and resistance of lithium-ion battery anodes, *J Colloid Interface Sci.* 2022 Jun 7:625:136–144. 【IF 8.128】  
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.06.006>

②Satone, H., Iimura, K., Suzuki, M., Effect of Impact Angle on Particle Fracture Phenomenon. *Aerosol Air Qual. Res.* 22, 220022, 2022/3, 【IF 5.9、その他（企業との協同研究成果）】  
<https://doi.org/10.4209/aaqr.220022>

③佐藤根大士, 今井田直樹, 毛利奈緒, 飯村健次, 那須昭夫, 非水溶媒中粒子の可逆的分散状態制御, *粉体工学会誌*, 2022年59巻6号. 291–296. 【その他（企業との協同研究成果）】  
<https://doi.org/10.4164/sptj.59.291>

・ 06 増田

①Y. Masuda, Recent advances in  $SnO_2$  nanostructure based gas sensors, *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 364, 131876/27 pages (2022). 【IF 7.460, Q1 (2020)】  
DOI: 10.1016/j.snb.2022.131876

②K. S. Kim, P. Pornaroontham, P.G. Choi, T. Itoh, Y. Masuda, Self-Adaptive Gas Sensor System Based on Operating Conditions Using Data Prediction, *ACS Sens.*, 7, 142–150 (2022). 【IF 7.711, Q1 (2021)】  
DOI: 10.1021/acssensors.1c01864

③K. S. Kim, P. G. Choi, T. Itoh, Y. Masuda, Effect of oxygen vacancy sites in exposed crystal facet on the gas sensing performance of  $ZnO$  nanomaterial, *J Am Ceram Soc.*, 105, 2150–2160 (2022). 【IF 3.784, Q1 (2021)】  
DOI: 10.1111/jace.18240

④Y. Masuda, Facet controlled growth mechanism of  $SnO_2$  (101) nanosheet assembled film via cold crystallization, *Scientific Reports*, 11, 11304/15 pages (2021). 【IF

4.380, Q1 (2020)】

DOI: 10.1038/s41598-021-90939-4

⑤ P.G. Choi, K.S. Kim, T. Itoh, Y. Masuda, Tin Oxide Nanosheets on Microelectromechanical System Devices for Improved Gas Discrimination, *ACS Appl. Nano Mater.*, 4(12), 14285–14291 (2021). 【IF 5.097, Q2 (2020)】

DOI: 10.1021/acsanm.1c03778

⑥ K.S. Kim, S. Chae, P.G. Choi, T. Itoh, N. Saito, Y. Masuda, Facile synthesis of ZnO nanobullets by solution plasma without chemical additives, *RSC Adv.*, 11, 26785–26790 (2021). 【IF 3.361, Q2 (2020)】

DOI: 10.1039/d1ra05008g

⑦ K.S. Kim, P.G. Choi, T. Itoh, Y. Masuda, Effect of Coordinatively Unsaturated Sites in MOF-Derived Highly Porous CuO for Catalyst-Free ppb-Level Gas Sensors, *Advanced Materials Interfaces*, 11, 26785–26790 (2021). 【IF 6.147, Q2 (2020)】

DOI: 10.1002/admi.202100283

・ 07 三村

① T. Teranishi, R. Yamanaka, K. Mimura, M. Yoneda, S. Kondo, K. Kato, A. Kishimoto, Ultrafast Ion Transport via Dielectric Nanocube Interface, *Adv. Mater. Interfaces*, Vol. 9, Issue 4, 2101682 (2022).

【Inside back cover 採用 : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/admi.202270021>

IF 6.147, プレスリリース】

<https://doi.org/10.1002/admi.202101682>

・ 08 藤

① 高井 (山下) 千加、馬淵裕也、池田純子、藤 正督、仙名保、大矢豊、遊星ボールミルがセルロースナノファイバーズルに与える物理化学的影響と表面活性、*粉体工学会誌*、58、4、164–169 (2021)

<https://doi.org/10.4164/sptj.58.164>

② 佐藤知宏、久保田敦斗、齋藤賢一、藤 正督、高井千加、瀬名ハヂ、宅間正則、高橋可昌、無焼成固化のための摩砕プロセスをモデル化したシリカ界面の分子動力学解析、*材料*、71、2、167–174 (2022)

<https://doi.org/10.2472/jsms.71.167>

・ 09 堀井

① 堀井滋、三軸結晶配向手法としての磁場配向法の最近の進展、*応用物理* 89 (2020) 715–718. 【招待、学会誌の解説論文】

[https://doi.org/10.11470/oubutsu.89.12\\_715](https://doi.org/10.11470/oubutsu.89.12_715)

② 堀井滋、実用的3次元結晶配向法としての回転変調磁場配向への取り組みの現状、*粉体および粉末冶金* 67 (2020) 213–219. 【招待、学会誌の解説論文】

<https://doi.org/10.2497/jjspm.67.213>



・ 10 山村

①R. Sun, et, al., Novel highly-efficient and dress-free polishing technique with plasma-assisted surface modification and dressing, Precision Engineering 72, pp. 224-236 (2021). 【特許出願、企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2021.05.003>

②N. Liu, et. al., Comparison of surface and subsurface damage of mosaic single-crystal diamond substrate processed by mechanical and plasma-assisted polishing, Diamond & Related Materials 119, p. 108555 (2021). 【企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108555>

③N. Liu, et. al., Effects of polishing pressure and sliding speed on the material removal mechanism of single crystal diamond in plasma-assisted polishing, Diamond & Related Materials 124, p.108899 (2022). 【特許出願、企業との共同研究成果】  
<https://doi.org/10.1016/j.diamond.2022.108899>

・ 11 永田

① Seiya Suzuki, Sungho Lee, Tatsuya Miyajima, Katsuya Kato, Ayae Sugawara-Narutaki, Makoto Sakurai, Fukue Nagata, Evaluation of Drug-Loading Ability of Poly(Lactic Acid)/Hydroxyapatite Core-Shell Particles, Materials, 14, 1959 (2021). 【IF 3.623】  
<https://doi.org/10.3390/ma14081959>

②特許

本技術テーマにおける研究開発終了後の特許出願、特許登録を示す。

・ 03 舟窪

(i) 未公開国内出願 1 件

・ 04 山本

(i), (ii) 未公開国内出願 2 件

・ 05 森

(i) 【発明の名称】 接触角測定方法及び接触角測定装置

【特許番号】 特許第 7079394 号 (P7079394)

【登録日】 令和 4 年 5 月 25 日 (2022. 5. 25)

【発行日】 令和 4 年 6 月 2 日 (2022. 6. 2)

【出願番号】 特願 2018-28908 (P2018-28908)

【出願日】 平成 30 年 2 月 21 日 (2018. 2. 21)

【公開番号】 特開 2019-144130 (P2019-144130A)

【公開日】 令和 1 年 8 月 29 日 (2019. 8. 29)

【審査請求日】 令和 3 年 2 月 15 日 (2021. 2. 15)

【特許権者】 学校法人法政大学、「企業」

・ 06 増田

( i ), ( ii ) 未公開国内出願 2 件

( iii ) 【発明の名称 EN】 MATERIAL FOR ELECTRONIC DEVICE, ELECTRONIC DEVICE, SENSOR ELEMENT, AND GAS SENSOR

【発明の名称 JA】 電子デバイス用材料、電子デバイス、センサー素子、およびガスセンサー

【国際出願番号】 PCT/JP2021/022188

【国際出願日】 2021. 06. 10

【国際公開番号】 WO/2021/256384

【国際公開日】 2021. 12. 23.

【優先権情報】 2020-103337 (2020. 06. 15) JP  
2021-054191 (2021. 03. 26) JP

【出願人】 国立研究開発法人産業技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY)  
「企業」

( IV ) 【発明の名称】 複合構造体およびその製造方法ならびに該複合構造体を利用したセンサ

【公開番号】 特開 2021-81273 (P2021-81273A)

【公開日】 令和 3 年 5 月 27 日 (2021. 5. 27)

【出願番号】 特願 2019-207996 (P2019-207996)

【出願日】 令和 1 年 11 月 18 日 (2019. 11. 18)

【出願人】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

( v ) 【発明の名称】 複合構造体およびその製造方法ならびに該複合構造体を用いたセンサ

【公開番号】 特開 2021-15069 (P2021-15069A)

【公開日】 令和 3 年 2 月 12 日 (2021. 2. 12)

【出願番号】 特願 2019-130588 (P2019-130588)

【出願日】 令和 1 年 7 月 12 日 (2019. 7. 12)

【出願人】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

( vi ) 【発明の名称】 神経伝達物質の計測方法

【公開番号】 特開 2021-9141 (P2021-9141A)

【公開日】 令和 3 年 1 月 28 日 (2021. 1. 28)

【出願番号】 特願 2020-108775 (P2020-108775)

【出願日】 令和 2 年 6 月 24 日 (2020. 6. 24)

【優先権主張番号】 特願 2019-120746 (P2019-120746)

【優先日】 令和 1 年 6 月 28 日 (2019. 6. 28)

【優先権主張国・地域又は機関】 日本国 (JP)

【出願人】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

・ 10 山村

( i ) 未公開国内出願 1 件

・ 11 永田

(i), (ii) 未公開国内出願 2 件

(iii) 【発明の名称】 セラミックス結晶の被覆層を有する複合体とその製造方法

【特許番号】 特許第 6967294 号 (P6967294)

【登録日】 令和 3 年 10 月 27 日 (2021. 10. 27)

【発行日】 令和 3 年 11 月 17 日 (2021. 11. 17)

【出願番号】 特願 2018-565526 (P2018-565526)

【出願日】 平成 30 年 1 月 29 日 (2018. 1. 29)

【国際出願番号】 PCT/JP2018/002683

【国際公開番号】 W02018/143120

【国際公開日】 平成 30 年 8 月 9 日 (2018. 8. 9)

【審査請求日】 令和 1 年 7 月 23 日 (2019. 7. 23)

【優先権主張番号】 特願 2017-17898 (P2017-17898)

【特許権者】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

(iv) 【発明の名称】 力学特性試験方法

【特許番号】 特許第 6856229 号 (P6856229)

【公告日】 令和 3 年 3 月 22 日 (2021. 3. 22)

【発行日】 令和 3 年 4 月 7 日 (2021. 4. 7)

【出願番号】 特願 2019-554287 (P2019-554287)

【出願日】 平成 30 年 11 月 15 日 (2018. 11. 15)

【国際出願番号】 PCT/JP2018/042343

【国際公開番号】 W02019/098293

【国際公開日】 令和 1 年 5 月 23 日 (2019. 5. 23)

【審査請求日】 令和 2 年 6 月 30 日 (2020. 6. 30)

【優先権主張番号】 特願 2017-219816 (P2017-219816)

【優先日】 平成 29 年 11 月 15 日 (2017. 11. 15)

【優先権主張国・地域又は機関】 日本国 (JP)

【特許権者】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

(v) 【発明の名称 EN】 COMPOSITE BODY HAVING COATING LAYER OF CERAMIC CRYSTAL, AND METHOD FOR PRODUCING SAME

【発明の名称 JA】 セラミックス結晶の被覆層を有する複合体とその製造方法

【特許番号】 CN110248991 (B)

【公告日】 令和 3 年 10 月 27 日 (2022-05-10)

【国際出願番号】 PCT/JP2018/002683

【国際公開番号】 W02018/143120

【特許権者】 国立研究開発法人産業技術総合研究所

③受賞

本技術テーマにおける研究開発終了後の受賞歴を表 4 に示す。

表 4 受賞リスト

項番	PL	受賞者	賞の名称（授与機関）	受賞年月
01	多々見純一	高橋拓実, 多々見純一	粉体粉末冶金協会 論文賞「光コーヒレンストモグラフィによる Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 顆粒の一軸加圧下における粉体層中の空隙の形態変化過程のその場観察」	2021.06
01	多々見純一	多々見純一	World Academy of Ceramics, Academician	2022.6
03	舟窪浩	白石貴久	第76回(2021年度)日本セラミックス協会進歩賞「水熱法を駆使したニオブ酸系非鉛圧電体の低温成膜と機能発現」	2021.11
03	舟窪浩	伊東良晴, 館山明紀, 窪田るりか, 白石 貴久, 黒澤実, 舟窪浩	第50回(2021年春季)応用物理学会講演奨励賞「100℃以下で作製した(Bi,K)TiO <sub>3</sub> 薄膜の圧電特性評価」	2021.5
04	山本剛久	Y. ISHINO, K. TAGUCHI, A. KODAIRA, T. TOKUNAGA, T. YAMAMOTO,	CS-JAPAN 優秀論文賞・優秀総説賞 Rapid sintering of 3 mol % Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -doped ZrO <sub>2</sub> by a combined rapid furnace heating and shrinkage-controlled flash sintering protocol	2022.4
04	山本剛久	倉地剛志, 小林清, 徳永智春, 山本剛久	粉体粉末冶金協会 論文賞 Cross-sectional Area Dependency of Shrinkages and Grain Sizes of Flash-sintered 3mol%Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> Polycrystals with a Circular Truncated Cone-shape at High Frequency Alternating Electric Current Fields	2022.5
05	森 隆昌	佐藤根大士	日本粉体工業技術協会奨励賞技術シーズ賞	2021.11
05	森 隆昌	佐藤根大士	日本エアロゾル学会 井伊谷賞「ナノ粒子塗布によるエアロゾル付着防止とその応用」	2021.8
06	増田佳丈	Kyusung Kim, 崔弼圭, 伊藤敏雄, 増田佳丈	Best Presentation Award, The American Ceramic Society, Japan Chapter, International Session, 60th Symposium on Basic Science of Ceramics	2022.1

			“Fabrication of Porous ZnO Nanobelt with Atomic Step for Ultra-sensitive Gas Sensor”	
06	増田佳丈	増田佳丈	Award of the Outstanding Reviews Published in the JCS-Japan in 2020 “Ceramic nanostructures of SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , and ZnO via aqueous crystal growth: cold crystallization and morphology control”	2021.6
06	増田佳丈	増田佳丈	IAAM Scientist Award “Cold Crystallization and Morphology Control of SnO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , and ZnO Ceramic Nanostructures During Aqueous Crystal Growth”	2020.8
06	増田佳丈	増田佳丈	第74回 日本セラミックス協会 学術賞	2020.6
09	堀井滋	堀井滋	粉体粉末冶金協会 研究進歩賞 「リニア駆動型回転変調磁場発生装置の開発」	2021.6
10	山村和也	赤羽優子, 佐藤幸男, 菅原宏輝, 山村和也, 山田英明	第41回精密工学会技術賞「プラズマを援用した大面積単結晶ダイヤモンド基板の高エネルギーダメージフリー研磨技術の開発」	2021.9
10	山村和也	北田勝信, 山村和也, 深野徹, 宮崎史朗, 渡辺啓一郎	文部科学大臣表彰科学技術賞 開発部門「超小型水晶振動子を実現した超精密プラズマ加工技術の開発」	2021.4
11	永田 夫久 江	鳴瀧彩絵	2021 新化学技術研究奨励賞ステップアップ賞「チクソトロピックゲルによる細胞三次元培養基材の開発と創傷治療への応用」	2021.6

#### ④報道

本技術テーマにおける研究開発終了後の取材実績を表5に示す。

表5 取材リスト

項番	PL	取材対応者	内容	公開年月
07	三村憲一	三村憲一	日刊工業新聞 電子版 (WEB)、日刊工業新聞 22面 「充放電、大幅に時短 岡山大など、リチウムイオン電池にナノキューブ添	2021/12/30

			加」 2021. 12. 24 岡山大学プレスリリース <a href="https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id909.html">https://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id909.html</a>	
--	--	--	---	--

### (5) 研究開発成果に対する制度支援の効果等

今回の追跡調査では、産学共創の場で、企業、産業界、アドバイザーからの要望や意見を直接に聞き取ることができたことは、産業界のニーズを知り基礎研究から応用研究へ展開する上で有用であったとの意見が多かった。また、技術テーマ終了後も多くの企業と共同研究等が進められており、産業界との連携の促進に産学共創の場が有効であったことが窺われる。また高機能セラミックス展への出展の取り組みも研究成果を広く企業に紹介する機会として有用であった。

具体的な回答例を以下に示す。

- ・ 企業の方と交流する機会を多くいただいたので、研究を行うにあたり、企業の方の意見を取り入れることができ、非常に有意義であった。
- ・ アドバイザーから意見をいただき、基礎研究から応用研究の方向へつながった。
- ・ 産学共創の場で産業界の方と活発に議論できたことが最も良かったと考える。その成果で、現在も多くの企業と共同研究等に向けた取組に至っている。
- ・ 産学共創の場を設けていただいたことで、産業ニーズを知ることができた点が良かった。
- ・ 産学共創の場で関連企業の技術者、研究者に成果報告を行ったこと。現在も、学会等で会ったときに情報交換している。
- ・ 産学共創の場の発表は秘密保持の観点から基本的な成果の紹介以外はしにくかったが、そこを起点に企業側から色々なアプローチをいただき現在があると思う。
- ・ 産学共創の場および高機能セラミックス展への出展を通して研究成果を広く企業に紹介できたことが良かった。

一方で、技術テーマ実施期間中、もしくは今後に望まれる点として、特許出願への支援の充実、運用の柔軟化、他の技術テーマで実施していた新技術説明会の開催の要望などがあった。

- ・ 国際特許出願支援。他機関と共同で特許を出願したが、その場合 JST からの国際特許の支援を受けることができず、大学としては国際出願に踏み切ることができない。JST で支援した事業については、その例外とし、国際特許出願を進めるような施策を講じて欲しかった。
- ・ 期間中雇用したポスドクをプロジェクト後も数年継続雇用することが可能なら、技術的な谷ができずに良いと思う。
- ・ 新技術説明会を実施していただき良かった。

#### 4. 総合所見

本技術テーマは、セラミックスの複雑な製造工程や高温焼成によるエネルギー多消費、製品の内部構造の不均一性に起因する課題の抜本的な解決と更なる高機能化を目指し、原料粉の合成から後加工までセラミックス製造工程全体を見直して、これらの課題を克服する基盤技術を基礎科学に立脚して確立し、製造プロセスのブレークスルー、技術の体系化に挑戦する研究開発であった。技術テーマ終了後1年を経過した現時点では、セラミック内部構造の均一化を実現する統一的な技術の体系化の点では未だ道半ばだが、個々のプロセス技術については、技術テーマ終了後、以下のように研究の発展、展開が進んでいる。

- ・製造工程の可視化と解析技術では、掃引光源光コヒーレンストモグラフィー（OCT）観察技術を深化させ、焼結中のグリーンボディの内部構造の変化の観察やフローカーブ測定中の懸濁液のその場観察による高分子分散剤の構造と表面相互作用の関係の研究などが進められており、セラミックスプロセスチェーンを科学的・総合的に最適化するための有力な解析技術となりつつある。

- ・リチウムイオン電池の電極形成等への応用については、正極スラリーについての最適な調製ガイドラインの提案がなされており、企業との共同研究も進行中である。シミュレーション技術を適用した湿式メカノケミカル反応による前駆体材料の粉末合成と電気泳動堆積を組み合わせた新プロセスも提案されている。また、電極界面については、誘電体 BaTiO<sub>3</sub> ベースのナノキューブを活物質と電解質の界面に組み込むことで、誘電体層を介した超高速の電荷移動経路ができることを実証している。

- ・フラッシュ焼結法、焼結プロセスが不要な水熱法などの無焼成プロセス、静磁場配向技術などの製造プロセス技術については、技術テーマ終了後も実用化を目指し企業との共同研究が継続中である。また、材料試験法、機能性粒子などについても企業との共同研究が進行中である。

- ・加工プロセスについては、硬脆機能材料に対してスラリーを用いない革新的な高能率完全無歪加工プロセスの実現を目指し研究が進められている。また、プラズマ援用研磨技術の応用について、複数の企業と共同研究が進行中である。

各研究課題の現在の研究体制については、全研究課題 11 課題の全てが当該研究課題の研究を継続している。現時点での企業との共同研究の実施は 12 件（複数回答あり）である。自機関（及び他大学との共同研究）での研究を継続は 10 件となっている。また、研究課題の終了後は、企業の自己資金及び競争的研究費（JST、他の公的資金）により、研究開発を進めている課題が多く全体（複数回答可）の 80%を占めている。

研究開発のその後の進展に対する本プログラムの効果については、調査の回答から、本プログラムの特徴である産学共創の場が、研究者にとっては産業界や企業のニーズを知る機会となり、その後の共同研究に繋がったなど、よい機会となったことがわかる。研究開発課題の終了後も企業との共同研究に取り組む上でこれらの経験、知見は研究者にとって有益であったと推察される。

2020 年の年初を起点とする COVID-19 感染拡大による影響については、一部の研究者から、研究の現場での企業との協議など、企業とのコミュニケーションが取りにくくなった、装置・資料などの納期が遅れ研究に支障があったなどの回答があった。現在では、オンライン会議も普及し、感染対策の状況も改善しつつあるものの、企業との研究の現場での打合せには引き続き不自由な状況が続いている。対面だからこそ得られる研究や実験の情報交換や共同研究に向けた協議、交渉をどのように進めるかが、今後の課題である。

COVID-19 に関する具体的な回答例を以下に示す。

・装置を見てもらい企業に理解してもらって、共同研究に進めることが多かったが、COVID-

19で企業が大学に来ることができなくなったために、十分な説明が難しかった。

- ・会議がオンラインに切り替わったことにより、対面だからこそ得られる研究や実験、情報交換の機会が減少した。

- ・実験ができなくなったり、共同研究を計画していた会社とのコミュニケーションを取るのが難しくなったりした。

- ・装置、試料の納入が遅れた。

- ・研究室における学生の研究活動が大きく低下した。一方、国内出張が減りオンライン会議が増え、研究時間の確保につながった。

- ・しばらくの間、企業からの訪問が制限され、Web会議のみのコミュニケーションとなり研究が進まなかった。

- ・成果に関連する学会発表等もオンラインだと終了後に名刺交換、意見交換する場がなく、共同研究へとつなげる機会がかなり制限されたと感じる。

- ・研究相談や打合がWebとなり、物を見ながらの議論が減り開発速度が落ちた。学会等が中止になり、公表の場が失われた。

最後に、今回の追跡調査にご協力をいただきましたプロジェクトリーダー、共同研究者の先生方へ感謝を申し上げます。研究者の先生方のご研究が益々発展されますことを祈念いたします。

以上