

ナノテクノロジー・材料科学技術分野に関する 研究開発課題の事後評価結果

令和 8 年 8 月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

第 13 期科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会委員等名簿

相 澤 彰 子	国立情報学研究所コンテンツ科学研究系研究主幹
○五十嵐 仁 一	公益社団法人日本工学アカデミー 副会長
岩 井 一 宏	京都大学プロボスト・理事・副学長
上 田 良 夫	追手門学院大学理工学部教授
岡 本 美津子	東京藝術大学大学院映像研究科 教授
上 村 靖 司	長岡技術科学大学技学研究院機械系教授
川 辺 みどり	東京海洋大学名誉教授
菅 野 了 次※	東京科学大学総合研究院全固体電池研究センター長、特命教授
久保田 孝	明治大学理工学部 特任教授
佐々木 久美子	株式会社 KUMI Lab 代表取締役
田 中 明 子	国立研究開発法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 招聘研究員
土 屋 武 司	東京大学大学院工学系研究科教授
富 田 章 久	国立研究開発法人情報通信研究機構量子 ICT 協創センター主管研究員
永 井 由佳里	北陸先端科学技術大学院大学 理事・副学長
中 北 英 一	京都大学総長特別補佐・名誉教授、日本気象協会常勤顧問
長 根 裕 美	千葉大学 大学院社会科学研究院 教授
原 田 尚 美	東京大学大気海洋研究所 教授
本 郷 尚	株式会社三井物産戦略研究所 国際情報部 シニア研究フェロー
◎水 本 哲 弥	独立行政法人日本学術振興会 上席参与
宮 澤 理 稔	京都大学防災研究所 教授
明 和 政 子※	京都大学大学院教育学研究科 教授
山 崎 直 子	一般社団法人 Space Port Japan 代表理事
山 本 章 夫	名古屋大学大学院工学研究科教授

◎：分科会長、○分科会長代理

(50 音順)

※本評価には参加していない

第13期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員

氏名	所属・職名
伊藤 みほ	株式会社デンソー 先端技術研究所長
折茂 慎一	東北大学材料科学高等研究所 所長
◎菅野 了次※	東京科学大学総合研究院全固体電池研究センター センター長・特命教授
堅達 京子	株式会社 NHK エンタープライズ第1制作センター社会文化部 エグゼクティブ・プロデューサー
○関谷 毅	大阪大学産業科学研究所 教授
塩見 淳一郎	東京大学 工学系研究科総合研究機構 教授
高村(山田) 由起子	北陸先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授
所 千晴	早稲田大学 創造理工学部 学部長・創造理工学研究科長
永次 史※	東北大学多元物質科学研究所 教授
中山 智弘	国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 戦略総括監
平田 裕人	トヨタ自動車株式会社 材料技術領域 主査
藤井 幹也	奈良先端科学技術大学院大学データ駆動型サイエンス創造センター 教授
宝野 和博※	国立研究開発法人物質・材料研究機構 理事長
南谷 英美	大阪大学産業科学研究所附属産業科学ナノテクノロジーセンター 教授
萬 伸一※	国立研究開発法人理化学研究所量子コンピュータ研究センター 副センター長

◎：主査、○：主査代理、敬称略、五十音順

※：本評価には参加していない。

※ 利害関係を有する可能性のある者が評価に加わった場合には、その理由や利害関係の内容を明確に記載すること。

事後評価検討会 委員

氏 名	所属・職名
稲 熊 宜 之	学習院大学 教授
神 谷 秀 博	早稲田大学研究院 教授
神 谷 浩 樹	A G C株式会社 技術アドバイザー
◎ 黒 田 一 幸	早稲田大学 名誉教授
高 橋 真木子	金沢工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科 教授
千 野 靖 正	国立研究開発法人産業技術総合研究所マルチマテリアル研究部門 副研究部門長
中 山 智 弘※	国立研究開発法人科学技術振興機構研究開発戦略センター 戦略総括監
脇 坂 安 顕	株式会社レゾナック モビリティ事業本部 ユニット部品事業部長

◎：主査、敬称略、五十音順

※：第13期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会 委員

材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業 (Materealize)の概要

1. 課題実施期間及び評価実施時期

実施期間：令和元年度～令和7年度

中間評価：令和3年度及び令和5年度

事後評価：令和8年度

2. 研究開発目的・概要

・ 目的

革新的な機能を有するもののプロセス技術の確立していない材料を社会実装につなげるため、①大学等がプロセス上の課題を解決するための学理・サイエンス基盤（以下、「プロセスサイエンス」という。）として構築すること、②構築されたプロセスサイエンスを活用し、企業が社会実装に向けた技術開発を行うための大学等と企業の連携体制（以下、「産学官からの相談先」という。）を構築することを目的としている。

・ 概要

材料の社会実装に向けたプロセスサイエンスの効果的な発展が見込まれる、①ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス分野及び②全固体電池を実現する接合プロセス技術革新分野について、PDの強力なリーダーシップのもと、大学・国立研究開発法人等に、マテリアルの製造プロセスにおける諸現象の解明から、学理・サイエンスに基づく製造プロセスの提案までを一気通貫で取り組む体制を構築する。

構築された体制は、プロセス技術上の課題解決のための産学官からの相談先としても機能し、民間企業等における社会実装に向けた技術開発に貢献するとともに維持・発展し、我が国全体のマテリアル分野の社会実装を加速することに貢献する。

（※ポンチ絵を参照）

3. 研究開発の必要性等

（1）必要性

ナノテクノロジー・材料科学技術はエレクトロニクスや自動車、ロボット等、我が国の基幹産業を支える要であり、我が国が高い国際競争力を有する分野である。なかでも材料分野は現在でも我が国の輸出総額 20%以上を占める重要な産業基盤であり、今後とも我が国の産業競争力を維持・成長させていくために国としても重点的に推進すべき分野である。しかし、これまでの材料研究開発に関する施策は新たなマテリアル創出にフォーカスされており、「使えるマテリアル」に作り込むために必要となる科学技術への施策が手薄で、ナノテクノロジー・材料分野全体の研究開発のポートフォリオの重要な一角が不足している状況にある。

このような「使えるマテリアル」に作り込むために必要となる科学技術は、材料の構造等をナノレベルで制御することが必要になったり、従来材料で使われてきたプロセスがそのまま適応で

きずより高いレベルの技術が要求されるようになってきている。また、持続可能な開発目標（SDGs）に掲げられているような材料開発が求められており、社会・産業上の課題解決に必要な基礎研究に立ち返ってサイエンスを追求しつつ、技術体系として確立し、「使える技術」とする必要性が出てきている。このような基礎に立ち返ることが求められる科学技術について、それを担う人材育成も含め、産業界のみで取り組むことは難しく、国が積極的に施策を講じる必要がある。

仮に施策を講じなければ、旧来の生産技術が連綿と継承されるにとどまり、新規マテリアルの候補が次々に創出されても、それを社会実装するために必要な新たなプロセス技術が確立しないがために、将来的に我が国が強みを有する材料分野の産業基盤が崩壊する可能性がある。また、「未来投資戦略 2018」（平成 30 年 6 月 15 日閣議決定）や「拡大版 SDGs アクションプラン 2018」（平成 30 年 SDGs 推進本部決定）にも記載されている「ナノテクノロジー・材料分野の研究開発戦略」においても「創出された革新的マテリアルを世に送り出すサイエンス基盤の構築」が重要な取組として位置付けられており、本施策を実施する必要性は高いと考えられる。

（２）有効性

現在までの材料研究開発施策は、マテリアルそのものの研究に重点が置かれており、プロセスとあわせて世に出ていく段階まで作り上げる施策が不足している。それには、新材料そのものを創出する研究開発にとどまらず、材料の作り方にフォーカスを当てたプロセスサイエンスに取り組む施策を実施することが有効であると考えられる。

本事業においては、工学基盤の広範な底上げが見込まれる具体的なターゲット設定の下、産学官が連携した体制を構築し研究開発を推進することで、個別分野の要素理解や技術開発を統合的に理解することが可能になる。

また事業終了後においても、プロジェクトを通じて得られた成果をもとに、産学官が抱える他のマテリアル等の課題解決に資するため、駆け込み寺としての相談先機能を残す仕組みを構築する工夫があり、ナノテクノロジー・材料分野全体の研究開発ポートフォリオを埋めるための施策として有効であると考えられる。

（３）効率性

本事業では各大学や研究者毎に個別に実施されている研究開発活動をつなげ、一連の材料創製プロセスに取り組む事業を構築することによって、個別支援では実施できないレベルの研究開発を推進している。その波及的な効果としてマテリアルを作り上げていく過程全体を把握する人材育成にも資するなど、もって我が国のナノテクノロジー・材料分野におけるプロセスサイエンスの基盤構築に向けて効果的・効率的に取り組むことが可能となる。

また、産学が共通で抱える課題に取り組むための仕掛けを構築することで、多様な人材が集まることが期待でき、従来難しかったタイプの産学交流の機会を持つことにつながり、社会実装に向けて真に必要な課題に取り組むことができる体制が構築される。

事業の運営に当たっては、アカデミア出身のプログラム・ディレクター（PD）と企業出身のサブプログラムディレクター（SPD）に加え、知的財産担当専門委員を含むアカデミア・企業出身者等からなるプログラム運営委員会を設置することで、複数企業との連携の下で社会実装に向けたニーズをとらえた領域のプロセス構築を行うことができる仕組みとなっている。

更に、新たなプロセスに関するサイエンスが構築されることで、従来方法では世に出すことが難しく死蔵してしまっていた研究段階の材料を社会実装に繋げることができると期待される。これにより、今まで我が国の材料研究開発施策によって創出されてきた成果を有効活用することも

見込まれるため、ナノテクノロジー・材料分野に対する研究開発全体の費用対効果の向上に貢献することが考えられる。

4. 予算（執行額）の変遷

年度	R 1 (初年度)	R 2	R 3	R 4	R 5	R 6	R 7	総額
予算額	306	306	305	305	305	305	283	2,115
執行額	304	303	303	304	304	304	278	2,102

(単位：百万円)

5. 課題実施機関・体制

ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス

代表研究者 国立大学法人東北大学 教授 阿尻 雅文

代表機関 国立大学法人東北大学

分担機関 東京大学、産業技術総合研究所、一般財団法人ファインセラミックスセンター、東京農工大学、東北工業大学、早稲田大学、日本大学

全固体電池を実現する接合プロセス技術革新

代表研究者 国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS) フェロー 高田 和典

代表機関 国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)

分担機関 一般財団法人ファインセラミックスセンター

6. その他

プログラム運営委員会メンバー（令和8年3月現在）

プログラム・ディレクター（PD）

松 原 英一郎 京都大学 名誉教授

サブプログラム・ディレクター（SPD）

伊 藤 忠 元 富士フイルム株式会社 有機合成化学研究所 研究主幹

プログラム・オフィサー（PO）

永 野 智 己 科学技術振興機構 総括ユニットリーダー

森 脇 章 太 東洋紡株式会社 イノベーション戦略部 主席部員

専門委員

大久保 達 也 東京大学 総長特別参与、大学院工学系研究科 教授、
グリーントランスフォーメーション戦略推進センター長

菅 野 了 次 東京科学大学 総合研究所 全固体電池研究センター長、
特命教授

倉 谷 益 功 旭化成株式会社 研究・開発本部 知的財産部長

文部科学省研究振興局参事官（ナノテクノロジー・物質・材料担当）

関係省庁との連携

特になし

研究データの管理・利活用に関する取組

実験、評価解析及び計算によるデータ創出、既存のデータベースや論文・書籍等の取り込みにより、「プロセス・構造・物性」相関データベースを構築し、プロセスサイエンスの学理構築に活用している。

材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業 (Materealize)

令和7年度予算額
(前年度予算額)

283百万円
305百万円)



文部科学省

背景

- マテリアル（物質・材料・デバイス）に関する科学技術は、我が国に必要不可欠な基盤技術。
- 「マテリアル革新力強化戦略」（2021.4）においては、製造プロセス技術は経験とノウハウが蓄積されており、我が国の強みとなっている一方で、製品のニーズ多様化と寿命短縮化の傾向が高まる中、製造プロセスの高度化と開発期間の短縮化の必要性が掲げられているところ。
- また、マテリアル自体の高度化や経済的な制約、持続可能性への対応のためプロセスが達成すべきハードルが高くなっており、プロセスについて改めてサイエンスに立ち返ることが求められている。

【目的】

- 革新的な機能を有するもののプロセス技術の確立していない材料を社会実装に繋げるため、プロセス上の課題を解決するための学理・サイエンス基盤としてプロセスサイエンスの構築を目指す。
- あわせて、構築された学理・サイエンスを活用し、企業が社会実装に向けた技術開発を行うための大学等と企業の連携体制（産学官からの相談先）を構築する。

【概要】

- 研究代表者（PM）を中心に、現象解明、プロセス設計、分析・計算の要素を含んだ、幅広い連携が行われる研究体制を構築。
- 材料を社会実装につなげる明確なビジョンと、具体的なターゲットを設定し、創出される成果が複数種の材料が有するものづくりの課題解決に資する取組を推進。
- 産学官の課題解決のための相談先としても機能し、民間企業等と共に発展し、我が国全体のマテリアルの社会実装の加速に貢献。

【スキーム】

- ✓ 事業規模：1.5億円×2課題
- ✓ 事業期間：7年間（R元年度～）

※ 3年目（R3年度）、5年目（R5年度）でステージゲート評価を実施。



事後評価票

(令和 8 年 7 月現在)

1. 課題名 材料の社会実装に向けたプロセスサイエンスの構築事業 (Materealize)

2. 関係する分野別研究開発プラン名と上位施策との関係

プラン名	ナノテクノロジー・材料科学技術分野研究開発プラン
プランを推進するにあたっての大目標	「未来社会を見据えた先端基盤技術の強化」(施策目標 9-1) 概要: 我が国の未来社会における経済成長とイノベーション創出、ひいては Society 5.0 の実現に向けて、幅広い分野での活用の可能性を秘める先端計測、光・量子技術、ナノテクノロジー・材料科学技術等の共通基盤技術の研究開発等を推進する。
プログラム名	ナノテクノロジー・材料科学技術分野研究開発プログラム 概要: ナノテクノロジー・材料科学技術は、他分野の研究開発を支える基盤となる重要な分野であり、幅広い応用が期待される。望ましい未来社会の実現に向けた中長期的視点での研究開発の戦略的な推進や実用化を展望した技術シーズの展開、最先端の研究基盤の整備強化等に取り組むことにより、ナノテクノロジー・材料科学技術分野の強化を図り、革新的な材料の創製や研究人材の育成、社会実装等につなげる。
上位施策	第 6 期科学技術・イノベーション基本計画 (令和 3 年 3 月 26 日閣議決定)、マテリアル革新力強化戦略 ― 知のバリューチェーンの構築を通じて ― (令和 7 年 6 月 4 日統合イノベーション戦略推進会議決定)

プログラム全体に関連する アウトプット指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
プロセス設計指針(「プロセス・構造・物性」の相関の件数)(※ 1)	72	76	80
連携体制の構築につながったコンソーシアムの設立数	2	2	2

(※ 1) 「プロセス・構造・物性」の相関の件数

- ・ プロセス・構造・物性のうち、2 種以上の相関を得たものを 1 件とする。
- ・ 既に得た相関から、さらに条件範囲を広げて新たな相関が得られた等の場合は、それをもって新たに 1 件とする

プログラム全体に関連する アウトカム指標	過去 3 年程度の状況		
	令和 5 年度	令和 6 年度	令和 7 年度
査読付論文の本数	33	42	31
産学官からの相談件数 (※ 2)	68	85	90

コンソーシアム等参画企業数	20	18	20
資金導入機関からの資金導入状況 (%) (※3)	39	25	45

(※2) 産学官からの相談件数

産学官からの相談件数として、以下のABCのうち「B+C」をカウントする。

A：プロジェクトから相談元への情報提供を主体とする相談

B：単なる情報提供だけではない、具体的なディスカッションを経た”助言やコンサルティング”を含む相談

C：双方向の知識提供・ディスカッションによって、互いのフィードバックや、新知見の創出・発見、共同研究など、発展性や新たな活動につながる可能性のある相談

(※3) 資金導入機関

資金導入機関：株式会社、持分会社、有限会社等の民間企業及び一般社団法人、一般財団法人、公益社団法人並びに公益財団法人。

$$\text{資金導入状況(\%)} = \frac{\text{資金導入機関からの資金導入費(※4)}}{\text{年度当たりの総研究費}} \times 100$$

(※4) 資金導入機関からの資金導入費

資金導入機関からの資金導入費は、下記ア～ウと定義する。

(ア) 実施期間（代表機関＋分担機関）に対して資金導入機関がプロジェクトの推進の為に供出する共同研究開発費（間接経費を含む）、寄付金、物品費（設備費、備品費、消耗品費等を含む）、人件費・謝金、旅費 等。

(イ) プロジェクトの推進の為に資金導入機関が直接支出する研究費（物品費（設備費、備品費、消耗品費等を含む）、人件費・謝金、旅費 等）。実施期間に対して資金導入機関が派遣する研究者等に対する支出も含む。

(ウ) 資金導入機関が直接支出する、採択されたプロジェクトの研究開発成果の活用に係る経費。

3. 評価結果

(1) 課題の達成状況

材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築事業（Materealize）（以下、「本事業」という。）は、革新的な機能を有するもののプロセス技術の確立していない材料を社会実装につなげるため、大学等がプロセス上の課題を解決するための学理・サイエンス基盤としてのプロセスサイエンスを構築することを目指した。このように社会実装の最大のハードルとなるプロセス課題に対して個別企業に依存していたプロセス技術の背景にある学理アカデミア主導でサイエンスとして体系化しようとする本事業は、当時としては世界的にも画期的な取組であった。また、ナノテクノロジー・材料分野において、物質・材料創製から製造プロセスまで見通すことは単独の機関では不可能であり、産学官の連携による体制が必要である。本事業では、構築されたプロセスサイエンスを活用し企業が社会実装に向けた技術開発を行うための大学等と企業の連携体制（産学官からの相談先としての機能）を構築することも目的とした。さらに、令和5年度に実施した中間評価結果時の指摘事項を受けて、本事業終了後を見据えた、自立かつ持続的な体制の構築を目指したことも付記して

おく。

本事業では、我が国の産業競争力向上に直結する重要マテリアルである「ナノ材料」、「全固体電池」を対象に、【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】（代表機関：東北大学）及び【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】（代表機関：NIMS）の2つのプロジェクトを採択し推進してきた。両プロジェクトともに、プロセス設計指針にかかる「プロセス」「構造」「物性」の関連の件数が増加し、本事業を通して査読付き論文数が両プロジェクトともに100報を超え、プロセスサイエンスの構築に向けた成果創出が認められる。また、材料の社会実装に向けたプロセスサイエンス構築に向けて成果を挙げるとともに、産学官のプロセス上の課題を解決するための相談先としての機能も構築し、単なる情報提供に留まらない産学官からの相談件数も順調に増加した。さらに、資金導入率も令和3年度及び令和5年度のステージゲートの目標を大幅に超え、事業最終年度においては、本事業の国費予算と同程度の資金導入を達成し、本事業終了後の持続的な相談窓口の構築を達成した。

各々の達成等にかかる具体的な状況は以下の通りである。

【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】（代表機関：東北大学）

本事業開始時から、ナノ材料はバルク材料には見られない新機能発現が得られることから、マテリアル産業で期待されている一方で、ナノ材料を社会実装するためのプロセス設計原理の欠落に課題があった。プロセスサイエンスの構築としてナノプロセス設計基盤の構築を目標に本プロジェクトは取り組み、7年間で以下の成果を挙げた。

- ① プロセス設計のための化学工学ナノ熱力学のサイエンス基礎の構築
ナノ粒子を擬似分子とみなしてプロセス設計のためのナノ粒子系の熱力学を構築し、凝集・分散等の物性、相平衡推算を可能した。
- ② インプット—アウトプット相関式で連結された多階層知識の創出と方法論の確立
上記成果①の物性、相平衡推算により、インプット—アウトプット相関式で連結することで、ナノ粒子の合成、分離、ナノ流体分散、構造形成のプロセスサイエンスを構築した。
- ③ プロセス条件を提示する無次元数マッピングと逆問題を支援するワークフローの作成
上記成果②を種々の無次元数でマッピングすることで、所望の材料構造を得るためのプロセス条件を提示する逆問題を解くための素材設計、プロセス設計基盤を構築した。また、逆問題の解法を支援するワークフローを構築した。
- ④ 産学官からの相談先としての機能を有するコンソーシアムの設置
産学官からの相談窓口や、共同研究を推進するための体制としてコンソーシアムを設置した。その中で、広い分野の産業において企業が共通して抱えるプロセス上の課題を抽出し、新たなサイエンスの構築に繋げた。

このように、ナノ材料のハンドリングに化学工学ナノ熱力学を確立した点は特筆すべき成果である。また、各種無次元数で表現したことにより、他の材料系や異なるプロセス条件への外挿を可能とし、スケールアップにつながる汎用性の高いプロセスサイエンスの構築を達成したことは大いに評価できる。構築したプロセスサイエンスを産業界へ共有することで、実際に装置改良・スケールアップ成功事例を創出したことも特筆に値する。また、構築したプロセスサイエンスが「化学工学便覧 第8版」に掲載されるなど、ナノ粒子系のプロセスの学理として確固たる体系化が達成された点が極めて高く評価する。さらに、NIMS データプラットフォーム MInt (Materials Integration by

Network Technology) システムとの連携による AI for Process に向けた AI が連動した設計基盤プラットフォームへの展開は、時期を得た今後につながるものと評価できる。

産学官からの相談先としては、コンソーシアムを構築し、産学官からの課題を抽出する体制が整っている。産学官からの相談件数が本事業期間に 300 件以上にのぼり、また、本プロジェクトの国費予算と同程度の資金導入機関からの資金導入を達成しており、自立的かつ持続的な相談窓口を構築した。さらに、本事業終了後の体制として、多様な産学官のユーザーからの相談に対応すべく、本事業で構築したコンソーシアムに加え、東北大学に設置された実用プロセス開発イノベーションセンター、化学工学便覧に対応する化学工学会の 3 者による多面的な相談窓口体制を構築し、産学連携、プロセス開発の幅広い支援体制を確立している。

人材育成においては、5 名の准教授職の教授職への昇進を含む 12 名が昇進し、3 名の研究者が助教職に着任するなど、新たなリーダー育成につながっている。

【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】(代表機関：NIMS)

本事業開始時から、低コストかつ安全性に優れた次々世代蓄電池として酸化物型全固体電池の実現が渴望される中、焼結プロセスにおける焼結体の稠密化と電極－固体電解質界面における異相形成抑制という相反する課題があった。本プロジェクトでは、焼結プロセスにおける粒界抵抗の低減と電極界面での異相生成の抑制のジレンマを解消に導くプロセスサイエンスの構築を目標に取り組み、7 年間で以下の成果を挙げた。

- ① セラミックス材料焼結接合プロセスの反応予測の実現
固相焼結プロセスについて、プロセス（反応条件）－構造（反応生成物）－特性（イオン電導度）の相関の網羅的な評価により焼結接合プロセス下の反応データベースを構築し、熱力学計算に基づく実用電極・電解質系の反応予測ツールを開発した。
- ② 系統的評価技術確立による接合界面反応の効率的理解の実現
接合界面の構造をマルチスケールで評価する多様な解析ツールと、実験的に困難な微視的構造・現象を評価する計算科学的解析ツールを整備した。
- ③ 低温稠密化・難焼結材料の接合プロセスの開発
上記成果①と成果②を組み合わせた界面接合プロセスサイエンスワークフローの作成し、低温稠密化・難焼結材料の接合を可能とする焼結プロセスを開発した。
- ④ 全固体電池 MOP を活用した産学官からの相談先としての機能の構築
電池メーカーに加え、化学・材料メーカー、電池ユーザー企業の参画するオープンイノベーションを推進するコンソーシアム「全固体電池 Materials Open Platform (MOP)」にて、全社が共通に取り組む協調領域と各社の個別課題に取り組む個別領域を設けた体制を構築した。

このように、低温稠密化、難焼結材料の接合プロセスなどプロセスサイエンスの中核技術開発や界面接合プロセスサイエンスワークフローの提示、各種接合課題で顕著な成果、ソリューションを創出したことは評価される。一方で、全固体電池のプロセスサイエンス、データベースの構築や個別の課題解決に留まらず、他材料系にも適用できる普遍的な学理・基盤技術として当該研究領域を包括するプロセスサイエンスの体系化、学理創造の深化に繋げていただきたい。

産学官からの相談先としては、全固体電池 MOP にて、多様な企業が参画する体制を構築し、協調領域と競争領域の二階建て構造による企業ニーズに沿った相談システムを構築したことは評価される。産学官からの相談件数も順調に伸び、本事業期間で 140 件に達し、材料メーカーのみならず

電池メーカーや装置メーカー、電池ユーザー企業からの資金導入を見せており、オープンで多様なエコシステムへと成長した点は評価できる。

人材育成においては、取組としては弱い部分があるものの、ポスドク研究員が研究開発推進を担っており、彼らのキャリアパスにも配慮し、総合的に優れ、将来の研究開発を牽引するリーダーとなるような人材を育成するための取組や環境整備がなされている。

<必要性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
科学的・技術的意義、社会的・経済的意義、産業競争力向上、国費を用いた研究開発としての意義	定量的	—	—
	定性的	・ 本事業における取組が、ナノテクノロジー・材料分野における将来の我が国の産業競争力につながるものであるか。 ・ 我が国の材料科学技術基盤の強化に資する施策内容になっているか。	前 (※5)
事業目標の妥当性	定量的	—	—
	定性的	・ 我が国のナノテクノロジー・材料分野における研究力及び産業競争力を維持・向上させていくため、魅力的な機能を持つ物質・材料・デバイス（マテリアル）を創出するための研究開発のみならず、マテリアルを社会実装に繋げるために必要な、基盤となる学理・プロセスサイエンスを構築するための事業目標となっているか。 ・ 構築するプロジェクト体制は、産学官の課題解決のための相談先としても機能し、民間企業等と共に維持・発展する計画を有し、我が国全体のマテリアルの社会実装を加速することに貢献する事業目標となっているか。	中・後 (※6)

(※5) 前

評価項目・評価基準の適用時期が事前評価時。

(※6) 中・後

評価項目・評価基準の適用時期が中間評価・事後評価時。

本事業は、我が国のマテリアル技術基盤の中で「強み」を有しているナノ材料、全固体電池を社会実装へ繋げ、我が国のナノテクノロジー・材料分野の研究力・産業競争力を強化させていくための重要な取組であり、極めて妥当な事業目標である。材料の社会実装に繋げる障壁となるプロセス

上の課題を解決するための学理・サイエンス基盤としてのプロセスサイエンスの構築を目指すことは、我が国の産業競争力強化に不可欠な取組である。プロセスサイエンスという概念を取り入れた事業を我が国が先んじて行ったことは重要であり、Horizon Europe 等の諸外国の情勢を見ても必要な取組であった。

産学官の問題解決のための相談先としても機能しており、単なる情報提供に留まらない相談件数も順調に伸びている。また、本事業の国家予算と同程度の民間企業等からの資金導入を達成しており、産学官連携のコンソーシアム等を通じて、事業終了後も見据えた自立かつ持続的な相談窓口を形成する計画を明確に有しており、我が国のマテリアル基盤強化に不可欠な事業目標である。

以上のことから、本事業の進捗・成果が冒頭に掲げた評価基準を満たしていると判断できる。

<有効性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
新しい知の創出への貢献、直接・間接の成果・効果やその他波及効果の内容	定量的	—	—
	定性的	・ 従来手薄になっていたプロセスサイエンスの構築に資する事業になっているか。 ・ 事業終了後においても、プロジェクトで培った成果が産学官が抱える他のマテリアルにも波及する仕組みになっているか。 ・ 材料創製の全体像を把握できる人材が育成され得るスキームになっているか。	前
事業全体の進捗・成果	定量的	—	—
	定性的	・ 工学基盤の広範な底上げが見込まれる具体的なターゲット設定の下、産学官が連携した体制を構築し、個別分野の要素理解や技術開発を統合的に理解するための、材料の作り方にフォーカスを当てたプロセスサイエンスの構築が進んでいるか。 ・ 産学官が交流する仕組みを構築し、マテリアル創製フローの全体像を理解して有効なプロセスを考案できる人材の育成につながる取り組みが進んでいるか。 ・ 特許・ノウハウ等の知的財産や関連するプロセスデータを適切に取り扱う体制が構築されているか。	中・後

本事業では、我が国のマテリアル技術基盤の中で「強み」を有しているナノ材料、全固体電池を対象とし、材料の作り方にフォーカスを当てたプロセスサイエンスの構築が進んだ。【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】では、構造化するプロセス技術に欠落していた設計基盤をナノ熱力学として構築した点やスケールアップや外挿問題にも対応できる無次元数により体系化した点は、様々なナノ材料の製造の基盤となるものであり、広い分野でのプロセスサイエンスの発展に資するため、その有効性は非常に高い。【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】では、焼結反応の予測から構造評価、新たなプロセス開発に至る接合プロセスサイエンスフローが提示され、他材料への展開などセラミックス接合の普遍的な学理に展開が期待される成果であり、有効性が高い。

人材育成についても、一部弱い部分はあるものの、若手が本事業に深く関与し総合力に優れた人材の育成を意識した取組がなされている。実際に、両プロジェクトで、若手人材が研究開発推進を担っており、昇任も数多く見られ、将来の研究開発を牽引するリーダーとなるような人材を育成する取組であると評価できる。

特許・ノウハウ等の知的財産や関連するプロセスデータを取り扱う体制は、【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】（代表機関：東北大学）の場合、コンソーシアム・東北大学実用プロセス開発イノベーションセンター・化学工学会の3者による多面的な相談窓口の構築により、匿名データ管理を含む戦略的な知的財産マネジメント体制が構築されている。特に、知的財産権、データの管理運用を適切に行うために、コンソーシアム運営会議の下に知的財産運営委員会を設置している。【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】（代表機関：NIMS）の場合、知的財産権やデータを広く活用できる方針についてはさらなる検討が必要であるものの、NIMS 知的財産室による知財マネジメントの下、戦略的知財管理体制が構築されている。両プロジェクトともに、「(3) 中間評価結果時の指摘事項とその対応状況」で後述するように、事業終了後も維持・管理される広義の知的財産マネジメント体制が構築されている。

以上のことから、本事業の進捗・成果が冒頭に掲げた評価基準を満たしていると判断できる。

<効率性>

評価項目	評価基準		評価項目・評価基準の適用時期
費用構造や費用対効果向上方策の妥当性	定量的	—	—
	定性的	・ 目的の達成に向けて、効率的な研究を推進するための適切な実施計画と体制が形成されるスキームになっているか。	前
実施体制及び運営の妥当性	定量的	—	—
	定性的	・ 事業全体の実施計画、運営体制、資源配分は妥当か。プログラム運営委員会メンバー(PD、SPD、PO、専門委員)はプロジェクトの状況を把握できているか。 ・ 得られたプロセスサイエンスに関する知見が、より汎用的なプロセス	中・後

		サイエンスへ展開し、広範なターゲットでの活用を想定しての、産学官からの相談先構築へ向けた活動が行われているか。	
プログラム運営委員会メンバーは両プロジェクトの状況を把握し、効率的にプロジェクトが推進されている。プログラム運営委員会メンバーのイニシアチブのもと、研究資源が極めて効率的に運用され、最大限の費用対効果を生み出したと評価できる。また、PD、SPD 及び P0 の促進のもと、両プロジェクトの研究代表者や主要参画者による情報交換の会議体が設けられ、プロセスサイエンスの構築手法、データベース整備、計算・データ活用の方法論、産学官連携の相談窓口の運営に関する知見の共有が行われた。こうしたプロジェクト横断的な連携と相互学習の取組は、各プロジェクトの推進を加速するとともに、本事業全体の効率的な運営と成果創出に寄与した。特に、【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】（代表機関：東北大学）は、多様な研究者が参加し、極めて効率的に学理の体系化されたと考えられる。また、複数の企業相談窓口を設置し、分野横断的な課題を対処する体制として効率的に機能していることは高く評価される。一方、【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】（代表機関：NIMS）は、プロセスサイエンスの構築の趣旨や目的の理解を深め展開していれば、さらに効率性が向上したと思われる点もあるものの、本プロジェクトで開発した反応予測ツールや解析ツールを活用したナノ構造評価技術が、全固体電池 MOP を通じて効率的に還元される体制が構築されていることは大いに評価される。 以上のことから、本事業の進捗・成果が冒頭に掲げた評価基準を満たしていると判断できる。			
（２）科学技術・イノベーション基本計画等の上位施策への貢献状況 第６期科学技術・イノベーション基本計画では、第５期科学技術・イノベーション基本計画に引き続き、マテリアルは基盤分野として、分野別戦略である「マテリアル革新力強化戦略」に掲げられた取組を強力に推進すると記載されている。 本事業の目標であるプロセスサイエンスの構築は、「マテリアル革新力強化戦略」において「４．取り組むべきアクション」の中で「（１）重点分野に対応した、革新的マテリアルの研究開発及び社会実装」の１つとして記載されており、本事業はその中核として、極めて大きな貢献を果たした。本事業で得られた成果は、マテリアルデータとプロセス技術を活用したデータ駆動型研究開発基盤の構築に直接的に寄与するものと期待され、同戦略「４．取り組むべきアクション」の中で「（２）マテリアル・イノベーションの加速」への重要な貢献をしていると評価できる。 また、本事業の目標②である、構築されたプロセスサイエンスを活用し企業が社会実装に向けた技術開発を行うための大学等と企業の連携体制（産学官からの相談先としての機能）の構築は、研究成果と産業課題をつなぐ、同戦略「３．基本方針」で掲げる「知のバリューチェーンの構築」に大きく貢献する取組であると言える。 さらに、本事業で行った若手人材育成を通じて将来にわたって基礎力を維持し、価値創造の源泉となる研究力の強化につながるという点でも貢献が見られる。 上記内容から、第６期科学技術・イノベーション基本計画にも貢献していると判断できる。			
（３）中間評価結果時の指摘事項とその対応状況 <指摘事項>			

【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】(代表機関：東北大学)は、事業終了後も含め構築した拠点としての求心力を持って維持・運営するために、企業から提供されたデータの取扱いを含む広義の知的財産マネジメント、その取扱い体制、運営コストについて検討すること。

【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】(代表機関：NIMS)は、接合プロセスの体系化等、構築しようとする新しいプロセスサイエンスの思想やその全体像、方向性が十分提示できておらず、今回のプロジェクトによって生まれつつあるとされる新しい学理・サイエンスが、どこに象徴的に顕現されているかを明示する必要がある。また、事業終了後にこの活動母体が維持運営されるための、データを含む広義の知的財産の取扱いなどを含めたルール設計とその運用体制が今後の課題である。

これらの点について、PD、SPD、P0、プログラム運営委員会による更なる主体的な検討及び各課題への積極的な関与が必要と判断される。

<対応状況>

【ナノ材料の界面・構造制御プロセスサイエンス】(代表機関：東北大学)は、本事業で構築したコンソーシアムに加え、東北大学実用プロセス開発イノベーションセンター、化学工学会の3者による多用な産学官のユーザーに配慮した多面的な相談窓口を構築し、匿名データ管理を含む戦略的な知的財産マネジメント体制が構築されており、十分に継続的な発展が期待できる。運営コストについては、当該課題の国費予算を上回る民間等からの資金導入の体制を築いており、事業終了後も持続可能なエコシステムを構築している。また、データ活用型研究開発への展開構想など、データ活用と拠点の求心力を維持し続ける強固な仕組みが整えられており、指摘事項は適切に検討されている。

【全固体電池を実現する接合プロセス技術革新】(代表機関：NIMS)は、全固体電池という対象が競争領域であり、学理構築の困難さがある中、反応データベースの構築とそれを活用したセラミックス材料焼結接合プロセスの反応予測、焼結接合界面の理解、これらを紐づけた界面接合プロセスサイエンスフローの提示は、全固体電池設計の羅針盤となり得る成果と言える。一方で、当該研究領域を包括するプロセスサイエンスの思想やその全体像が今回提示できたとは評価できない。今後最先端研究成果の学術的整理と展開に注力し、技術革新実績とノウハウの蓄積を整理し、接合プロセスの学理創造を深化させるとともに、他材料への展開など、体系化されたプロセスサイエンスへの展開に引き続き取り組んでいただきたい。

事業終了後は国の研究開発プロジェクト(JST K Program)へ引き継がれるとともに、知的財産戦略はNIMS 知的財産室が中心となって取扱い維持・管理される体制が構築されている。K-Programにのみ集約するのではなく、JST COI-NEXT や JST GteX 等の他の国の研究開発プロジェクトも活用し、広範に利用する体制を構築することが望まれる。一方、本事業の成果の利活用に関する方針・体制については、本事業終了時点では必ずしも十分に構築できたとは評価できない。今後、本事業の成果が国の研究開発プロジェクト等へと引き継がれる中で、知的財産権やデータ、ノウハウ等を広く活用できるよう、明確な利活用方針の策定と実効性のある推進体制の構築に繋げていただきたい。

上記の点に対して、PD、SPD、P0、プログラム運営委員会は、両プロジェクトへの関与を深め、本質的な成果創出を推進した。特に、知財マネジメントへの積極的な関与により、知財情報の拡充・整理に大きく寄与し、各プロジェクトのコアコンピテンス維持発展に向けた適切な指導力を発揮した。

（４）総合評価

① 総合評価

社会実装の最大のハードルとなるプロセス課題に対して個別企業に依存していたプロセス技術の背景にある学理を、プロセス上の課題を解決するための学理・サイエンス基盤としてのプロセスサイエンスとして扱う概念を先んじて我が国に導入し、成功事例を残した功績は大きい。一方、マテリアル産業におけるプロセスサイエンスの構築は、幅広いマテリアル分野のほぼ全域に必要な取組である。本事業は非常に多くの応募があったにもかかわらず（採択率約８％）、予算規模の制約により、「ナノ材料」と「全固体電池」の２分野で実施された。この結果、個別プロジェクトにおいては本事業の有効性を示す一定の成果が得られ、高く評価できるものの、事業全体としては対象分野が限定的であったため、マテリアル分野全体に通ずる普遍的な学理の構築の観点では有効性は限定的であった。今後は、構築された基盤の継続的な発展と他の材料系への成果の横展開等を支援していくことが、プロセスサイエンスの有効性を高める上で重要である。

マテリアル分野においては、物質・材料の創製から製造プロセスまで見通すことは単独の機関では困難であり、産学官の連携による体制が必要である。本事業では、構築されたプロセスサイエンスを活用し企業が社会実装に向けた技術開発を行う際の産学官からの相談先としての機能を構築した。単なる情報提供に留まらない、社会実装に向けた産学官連携の共同研究の促進に繋がっており、本事業のマテリアル産業界への波及効果は大きいと言える。また、この相談窓口機能を通じて、データやノウハウ等を含む広義の知的財産マネジメント体制が構築され、各プロジェクトのコアコンピテンスの維持・発展にも寄与している。さらに、限られた研究資源を極めて効率的に運用し、本事業の国費予算と同程度の資金導入を達成し、事業終了後も自立的かつ持続的なエコシステムが構築されており、最大限の費用対効果を生み出した事業であると評価できる。

人材育成においては、両プロジェクトともに参画した若手人材が研究開発推進を担っており、多くの昇任実績も見られるなど、将来の研究開発を牽引するリーダーとなるような人材を輩出してきた。本事業を通じて育成された分野横断的な視野とプロセス設計の両者を有する若手研究者たちが、次世代の日本のマテリアル産業を牽引するリーダーとして活躍することが期待される。

② 評価概要

本事業は、プロセス技術の背景にある学理をサイエンスとして体系化する「プロセスサイエンス」の概念を我が国に先導的に導入し、社会実装上の課題解決に向けた有効な成功事例を創出した点で高く評価できる。特に、産学官からの相談先としての機能を核とした共同研究の促進や知財マネジメント体制の構築、産業界からの本事業の国費予算と同規模の資金導入等により、大きな波及効果と高い費用対効果を実現した。一方で、対象分野がナノ材料及び全固体電池に限定されていたことから、個別プロジェクトとしての成果は一定程度認められ、高く評価できるものの、マテリアル分野全体に通ずる普遍的な学理の構築という観点では有効性は限定的であった。今後は、他材料系への展開も視野に入れた、より一層体系化されたプロセスサイエンスの学理創造の深化に繋げていくことが期待される。

③ 指摘事項

プロセスサイエンスの概念は一定程度広まったが、幅広いマテリアル分野において普遍的な学理として体系化する方策を考えることが望まれる。また、本事業開始時には、現在の AI 技術の進展を十分に見通すことが困難であった。今後のプロセスサイエンスプロジェクトの推進に当たっては、

AI の活用や連携の関係を意識して立ち上げることが不可避である。

さらに、本事業では、コンソーシアムや MOP などを通じて産学官から非常に多くの相談を受け付け、共同研究や技術移転へ発展させる有機的な産学官からの相談窓口体制が構築された。こうした相談対応の仕組みや運営ノウハウ、成功事例は本事業の重要な成果であり、公開可能な範囲を積極的に整理・発信し、その知見を他分野や他機関へ共有することが望まれる。これにより、今後のマテリアル分野における産学官連携体制の構築や、プロセスサイエンスの横展開を推進するための基盤として活用されることが期待される。

（５）今後の展望

本事業を通じて、プロセス技術の背景にある学理をサイエンスとして体系化する「プロセスサイエンス」という概念を我が国に導入し、その有効性が一定程度実証された点は大きな成果である。一方で、対象分野が限定的であったことから、多様な材料系を対象とする中で、プロセスサイエンスの目標設定が定まりにくいという課題はあるものの、今後も本事業で得られた成果と枠組みを基盤としつつ、マテリアル分野全体に通ずる普遍的な学理としての体系化に向けた更なる方策・取組を考えることが望まれる。

また、産学官からの相談先の機能を通して、企業との連携体制構築、研究課題に即した効率的な運営により、本事業は、極めて高い費用対効果を実現しており、評価できる。今後は、本事業の知見を生かし、より一層ナショナル・イノベーション・システムの効率的活動事例が積み重なることを期待したい。