

ナノテクノロジー・材料科学技術に関する 研究開発課題の事後評価結果

令和元年 8 月

科学技術・学術審議会

研究計画・評価分科会

第10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
五十嵐正晃	日鉄ケミカル&マテリアル株式会社常務執行役員
射場 英紀※	トヨタ自動車株式会社先端材料技術部 電池材料技術・研究部担当部長
上杉 志成	京都大学化学研究所教授 物質-細胞統合システム拠点連携教授・副拠点長
加藤 隆史	東京大学大学院工学系研究科教授
菅野 了次	東京工業大学科学技術創成研究院教授
栗原 和枝	東北大学未来科学技術共同研究センター教授
瀬戸山 亨	三菱ケミカル株式会社エクゼクティブフェロー Science & Innovation Center, Setoyama Laboratory 所長
高梨 弘毅	東北大学金属材料研究所長・教授
滝田 恭子	読売新聞東京本社編集局次長
武田 志津	株式会社日立製作所専門理事 兼 研究開発グループ技師長 兼 基礎研究センター日立神戸ラボ長
常行 真司	東京大学大学院理学系研究科教授
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企画運営室長・フェロー
納富 雅也	東京工業大学理学院物理学系教授
長谷川美貴	青山学院大学理工学部教授
宝野 和博※	国立研究開発法人物質・材料研究機構理事
馬場 嘉信	名古屋大学大学院工学研究科教授
前田 裕子	株式会社セルバンク取締役 国立研究開発法人海洋研究開発機構監事
主査 三島 良直	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 技術戦略研究センター長
湯浅 新治	国立研究開発法人産業技術総合研究所 スピントロニクス研究センター長
吉江 尚子	東京大学生産技術研究所教授
萬 伸一	国立研究開発法人理化学研究所 創発物性科学研究センターコーディネーター

(敬称略、五十音順)

※本事業の参画者または利害関係者であり、審議には参加しない。

事後評価検討会 委員

氏名	所属・職名
生駒 宗久	パナソニック株式会社 フェロー オートモーティブ&インダストリアルシステムズ社 エナジー担当兼エナジー事業担当 CTO
菅野 了次※	東京工業大学科学技術創成研究院教授
小寺 秀俊	国立研究開発法人理化学研究所理事
主査 小長井 誠	東京都市大学総合研究所特任教授
田中 庸裕	京都大学大学院工学研究科教授
瀬戸山 亨※	三菱ケミカル株式会社エクゼクティブフェロー Science & Innovation Center, Setoyama Laboratory 所長

(敬称略、五十音順)

※第10期ナノテクノロジー・材料科学技術委員会委員

「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発（統合型材料開発プロジェクト）」の概要

1. 課題実施期間及び評価時期

平成 21 年度～平成 30 年度（＊）

中間評価 平成 23 年度、平成 26 年度、事後評価 平成 31 年度

＊平成 21～27 年度まで「ナノテクノロジーを活用した環境技術開発」、平成 28～30 年度は「統合型材料開発プロジェクト」として実施。

2. 研究開発概要・目的

ナノテクノロジーを活用した環境技術開発（統合型材料開発プロジェクト）

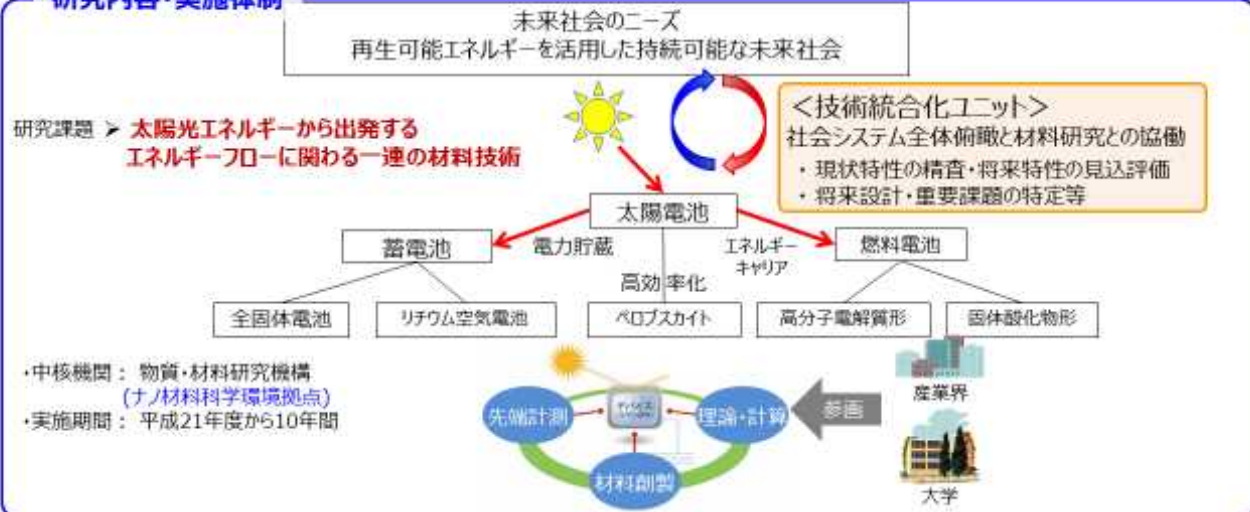
背景

- 地球温暖化問題の解決に向けたCO₂排出量削減のためには、太陽光発電に代表される再生可能エネルギーの導入・拡大が求められている。
- 時間・空間に大きく左右される太陽光の特性を克服し、安定的にエネルギーを供給するため重要な材料技術として、**太陽光発電**などの発電技術に加えて、発電した電力を貯蔵する**蓄電池**、発電した電力を水素等のエネルギーキャリアへ変換して貯蔵・輸送したうえで電力へ再変換する**燃料電池**等が挙げられている。

概要

- 太陽光エネルギーから出発するエネルギーフローに関わる一連の材料技術**である太陽光発電、蓄電池、燃料電池等を対象に、技術シーズの源泉となる基礎基盤研究を強化し、実用化に向けた研究開発を推進。
- 研究開発に当たっては、社会システム全体を俯瞰し、研究者独自の視点に基づく材料研究との協働をはかる「**技術統合化ユニット**」が常に側面支援。未来社会のニーズと材料シーズのマッチングを図りながら進めることで、社会からの要請に応える研究開発を実現し、スムーズな社会実装を目指す。

研究内容・実施体制



3. 研究開発の必要性等

（必要性）

環境技術に関し、産業界のニーズ・課題の解決を強く意識して基礎・基盤研究課題に取り組むことを目的とした、産学官の研究者が課題を共有できる場としての研究拠点が構築されている。平成 23 年度に行われた中間評価における指摘事項を踏まえ、拠点機能の更なる強化を目的として、拠点長及び副拠点長を交代し、新拠点長のリーダーシップにより組織改変及び課題設定を行うことで、異分野の研究者を集めつつも明確な方向性を定めた研究を推進している。特に、蓄電池分野・太陽電池分野については特別推進

チームを設立し、計測・解析、シミュレーション、ものづくりの研究者が一体となって、課題解決に向けた研究に取り組んでいる。また、拠点長自ら日常的に研究者と対話を行い、本拠点が追求する研究のあり方及び進むべき方向性を共有するマネジメントを実施している。

(有効性)

産業界との議論を通じて産業界が抱える技術課題を理解し、それを基礎・基盤研究を通じて解決を目指す課題として明確化するとともに、環境セルを活用した電池材料の計測・解析や、固体電解質のLiイオン拡散機構を解明するシミュレーションの高度化が図られており、有効に研究活動が推進されている。

また、若手研究者育成のため、高等専門学校や大学・大学院と連携したオープンラボ制度を実施する等、効果的な人材育成が実施されている。

(効率性)

事業推進の中核的機関である物質・材料研究機構構内に新棟が建設され、大部屋仕様の研究室やオープンな交流スペースの設置により研究者間の緊密な相互交流を促す等、「Under One Roof」の拠点として機能する「場」が設けられている。また、拠点研究者に対する同機構の先端研究設備の積極的な共用も進められている等、効率的な研究開発の推進に向けた環境整備が行われている。

4. 予算（執行額）の変遷

単位：億円

年度	H21 (初年度)	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	総額
執行額	2.0	4.0	3.3	3.8	4.0	3.7	3.4	3.8	3.8	3.2	35.0

5. 課題実施機関・体制

研究代表者 物質・材料研究機構理事長 潮田資勝（平成24年まで）
 物質・材料研究機構ナノ材料科学環境拠点拠点長 魚崎浩平（平成25年から）
 主管研究機関 物質・材料研究機構
 共同研究機関 北海道大学、名古屋大学、トヨタ自動車株式会社

6. その他

PD 東京大学大学院工学研究科教授 橋本和仁（平成25年まで）
 PO 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企画運営室長・フェロー 中山智弘
 国立研究開発法人科学技術振興機構研究プロジェクト推進部 古川雅士

事後評価票

(令和元年5月現在)

1. 課題名 ナノテクノロジーを活用した環境技術開発（統合型材料開発プロジェクト）

2. 研究開発計画との関係

施策目標：未来社会を見据えた先端基盤技術の強化

大目標（概要）：

ICTを最大限に活用し、サイバー空間とフィジカル空間（現実世界）とを融合させた取組により、人々に豊かさをもたらす「超スマート社会」を未来社会の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を更に深化させつつ「Society 5.0」として強力に推進し、世界に先駆けて超スマート社会を実現していく。このため、国は、超スマート社会サービスプラットフォームの構築に必要となる基盤技術及び個別システムにおいて新たな価値創出のコアとなり現実世界で機能する基盤技術について強化を図る。

中目標（概要）：

ナノテクノロジー・材料科学技術分野は我が国が高い競争力を有する分野であるとともに、広範で多様な研究領域・応用分野を支える基盤であり、その横串的な性格から、異分野融合・技術融合により不連続なイノベーションをもたらす鍵として広範な社会的課題の解決に資するとともに、未来の社会における新たな価値創出のコアとなる基盤技術である。また、革新的な技術の実現や新たな科学の創出に向けては、社会実装に向けた開発と基礎研究が相互に刺激し合いスパイラル的に研究開発を進めることが重要である。

これらを踏まえ、未来社会の実現に向けた中長期的視点での研究開発の推進や社会ニーズを踏まえた技術シーズの展開、最先端の研究基盤の整備等に取り組むことにより、本分野の強化を図り、革新的な材料を創出する。

重点的に推進すべき研究開発の取組（概要）：

再生可能エネルギーの活用と、エネルギー貯蔵、輸送システムの革新によるエネルギー利用の効率化は、資源の少ない我が国にとってエネルギー安全保障上重要であるとともに、地球温暖化抑止に向けた低炭素社会の実現と持続可能な社会の構築にも大きく貢献する。そのため、多様なエネルギー利用を実現するための研究開発として、システム化・デバイス化を念頭に、太陽電池や燃料電池、エネルギー変換・貯蔵等のための材料開発を行うものとする。また、最終システムを意識しつつ、エネルギーの高効率変換等に関わる大きなブレークスルーに繋（つな）がる次世代の技術シーズを探索する。

本課題が関係するアウトプット指標：オープンラボ実施件数

オープンラボ実施件数：平成 28 年度 12 件、平成 29 年度 10 件、平成 30 年度 5 件

本課題が関係するアウトカム指標：査読付論文数、研究発表数、特許出願数、拠点の研究者が招待された講演数、民間共同研究費

査読付論文数：平成 28 年度 32 件、平成 29 年度 91 件、平成 30 年度 77 件

研究発表数：平成 28 年度 137 件、平成 29 年度 147 件、平成 30 年度 134 件

特許出願数：平成 28 年度 3 件、平成 29 年度 1 件、平成 30 年度 2 件

拠点の研究者が招待された講演数：平成 28 年度 32 件、平成 29 年度 39 件、平成 30 年度 69 件

民間共同研究費：平成 28 年度 80.5 百万円、平成 29 年度 112.4 百万円、平成 30 年度 847.5 百万円

3. 評価結果

(1) 課題の達成状況

<必要性>

評価項目

拠点形成についての取組

評価基準

設定した目標に対する適切な拠点形成がなされたか（マネジメント、外部機関との連携体制、人材育成等）。

本事業では、環境技術に関する産業界のニーズ・課題の解決を強く意識して基礎・基盤研究に取り組む研究拠点形成を目標とし、ナノ材料科学環境拠点（GREEN）を設置した。10年プロジェクトの過程で、拠点機能の更なる強化を目的として、体制や研究課題の見直しを不断に行いつつ、目標に沿った拠点運営がなされたことは高く評価できる。特に、テーマの重点化と基盤力の強化、目標の明確化などにおいて、拠点長の強いリーダーシップが発揮された。また、大テーマである太陽電池、燃料電池、蓄電池などを横串で結びつける界面現象の理解という共通基盤研究を軸に据えた拠点形成により、世界的にも優れたレベルに成長したことは評価できる。さらに、事業後半では、蓄電池分野・太陽電池分野において特別推進チームを設立するなど、先端研究を加速させるとともに、統合型材料開発プロジェクトとして発展させ、社会システム全体を俯瞰したシステム工学的取組も推進し一定の成果が得られている。これらの取組みは、物質・材料研究機構における出口を意識した技術的特色の強化にも貢献したものと言える。

産業界をはじめとする外部機関との連携強化に取り組んだ結果、外部研究者との連携・

協力による、出口を意識した目標設定や出口側の技術課題から抽出された基礎研究の課題設定にも貢献し、結果として多額の民間からの外部資金導入にもつながり（特に、平成30年度には847.5百万円）、事業終了後の更なる発展も見据えて終了できたことは高く評価できる。拠点長の強いリーダーシップによるマネジメントの成果と言える。

優秀な若手研究者を国内外から雇用し、給与における優遇策や表彰制度などによって研究意欲を高めるための試みがなされた。結果として、若手の競争的資金獲得に貢献し、キャリアパスを開く一助として産官学に広く人材を供給したことも評価に値する。

一方で、拠点形成に関する数値目標の明瞭性、出口にどのように結びついたかを具体的に示す評価方法には今後も工夫が必要との指摘があり、これらは今後の拠点形成型プロジェクト形成に向けての重要な示唆となるものである。

<有効性>

評価項目

研究開発の質の向上、産業界との連携についての取組

評価基準

新しい分析・解析手法の導入や異分野融合した先端的研究が行われていたか。産業界との実質的な協働作業を伴う課題解決のための研究が行われていたか。

従来の経験的材料開発では見られなかった、アンダーワンルーフのもとで、材料・計測・理論計算を融合して実施する先進的な拠点形成の取組により、合理的材料設計を可能とし、高い独創性、優位性を示す多数の研究成果を創出した。これは、計算・計測・材料創製を三位一体とした技術ノウハウが無形資産として物質・材料研究機構に培われたことを意味し、高く評価できる。特に、窒化ホウ素（BN）触媒開発事例は、理論計算予測が先導して材料開発につながった好例であり、計算科学の今後の方向性を示す重要な成果として評価できる。また、特別推進チームを発足させ実施した全固体電池、リチウム空気電池、ペロブスカイト太陽電池研究においては、質の高い論文を多数発表しており、他機関と比べ突出した世界トップレベルの先端的研究へと進展した。一方で、特許出願数は多いとは言えないが、戦略的に数を絞り重要な特許を押さえている。加えて、事業の途中でNEDO事業へと橋渡すことができた事例や産業界とのきわめて多額の共同研究に発展した事例もあり、これらも出口を見据えた課題解決型研究成果として評価できる。また、全固体電池や、リチウム空気電池では、モデルデバイスの作成とともに、今後のスケール化を考慮したプロセス課題の抽出や理論解明にも取り組んできた。事業終了後においても、出口を見据えた産業界との連携を進めるとともに、原理原則を解明する基盤プロセスについての研究の進展を期待する。

GREEN シンポジウム、電池材料解析ワークショップ、合同セミナーなどを通じ、外部発信を通じた産業界等との連携強化に努めた。その結果、多くの共同研究が始まり、外部資

金を積極的に利用して拠点の研究課題の推進に努めたことも評価できる。

<効率性>

評価項目

計画・実施体制の妥当性

評価基準

中核機関、参画機関の連携体制や拠点研究者の先端装置利用への支援体制など責任ある体制が確保されていたか。

オープンラボの充実により、外部研究者の先端装置利用への技術的支援を行い、協力・連携体制を築いた。特に、長期滞在や継続訪問型を重視するなど、独自の取組を行ったことは評価できる。この取組は物質・材料研究機構の連携拠点推進制度の形成に役立ったものとして評価できる。同様に、平成26年に運用を開始した物質・材料研究機構蓄電池基盤プラットフォームを活用し、産業界を含む外部研究者への教育支援、研究支援に大きく貢献した。

物質・材料研究機構に新たに建設された新棟では、居室・実験室の大部屋化を推進し、アンダーワルーフのオープンスペースが設置されるなど、異なるセクターの研究者による緊密なコミュニケーションを促す「場」として効率的に機能し、多くの研究成果を生み出す原動力になったことは評価できる。

(2) 総合評価

①総合評価

本事業では、所期の目標に沿った研究拠点形成および運営が適切になされ、拠点長の強いリーダーシップのもと、産業界からの課題を意識しつつ研究テーマを設定し、高い獨創性、優位性を示す多数の研究成果をあげている。計算・計測・材料創製を三位一体とした技術ノウハウは無形資産として認知され、元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>など他の事業においても取り入れられるなど大きな波及効果があった。

特別推進チームを発足させ実施した全固体電池、リチウム空気電池、ペロブスカイト太陽電池分野では、高被引用論文を含め世界トップレベルの研究成果を生んだ。特に、産業界との連携強化による協働や、きわめて多額の共同研究に結実した例などは今後の進展に期待がもたれる。これらに共通する界面現象の理解と制御という基礎基盤研究を軸に据えた材料開発研究拠点を確立し、物質・材料研究機構内外の研究・教育支援にも大きく貢献したことは高く評価できる。

これらの成果を踏まえると、本事業の目標は十分に達成されたと考えられる。

②評価概要

拠点長の強いリーダーシップのもと、強固な拠点形成および産業界との連携体制が構築され、また拠点内外の研究・教育支援にも大きな貢献が認められる。計算・計測・材料創製という技術ノウハウは無形資産として認知され、他の事業においても取り入れられるなど大きな波及効果があった。全固体電池、リチウム空気電池、ペロブスカイト太陽電池分野などにおいて世界トップレベルの研究成果を生みながら、これらに共通する界面現象の理解と制御という基礎基盤研究を軸に据えた材料開発研究拠点を確立したことは高く評価できる。

(3) 今後の展望

今後、物質・材料研究機構としては本研究拠点をエネルギー・環境材料に関する恒久的な世界のハブ機関としての研究拠点に発展させることを目指すとのことであり、これまでに得られた代表的な研究成果は移管先がよく考慮されていることから、無形のノウハウ活用を含め新たな体制下でさらなる発展を期待する。また、出口を見据えた産業界との連携を進めるとともに、原理原則を解明する基盤プロセスについての研究の進展を期待する。なお、基礎研究に携わる研究者であっても、将来の実用化のイメージ、応用システムを念頭に置きながら研究を進めることは重要であり、研究者自身が基礎からデバイス、システムへと意識を変えていく必要がある。我が国の科学技術の基盤を支える機関として、萌芽研究の中から将来的なニーズを見据え、新たな課題へと発展させる方策も今後期待される。