

# プロジェクトプレ終了評価報告書



評価委員会開催日: 令和5年2月3日

評価委員氏名(敬称略, 五十音順)

小形 正男	東京大学大学院 理学系研究科 教授
加藤 隆史	東京大学大学院 工学系研究科 教授
浜地 格	京都大学大学院 工学研究科 教授
湯浅 新治	産業技術総合研究所 新原理コンピューティング研究センター 研究センター長

確定年月日: 令和5年3月10日

プロジェクト名	機能性材料のシーズ顕在化に向けたプロセス技術の創出
研究責任者の氏名・所属・役職	一ノ瀬 泉 機能性材料研究拠点 上席研究員
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p>基礎科学に根ざした研究により画期的な新素材が生まれたとしても、プロセス技術が弱ければ、素材の本来の性能を引き出せず、イノベーションの創出には繋がらない。また、製造プロセスが十分に吟味されていない材料は、製造業を営む企業にとってのシーズ価値が低く、ユーザー企業にとっては、更に不確実性を伴うことになる。従って、材料を社会に普及するには、製品としてのクオリティを高め、ユーザー企業に評価されることが不可欠となる。本プロジェクトでは、機能性材料のシーズ顕在化、即ち、新素材としての価値を具現化し、その力量を科学的に担保することを目的とする。特定の用途に応じて材料の信頼性を確保することは、我が国を代表する材料科学の研究機関としても、重要なミッションとなる。</p> <p>プロセス技術という言葉には、生産性や歩留まりの改善といったイメージがあり、一方では、優れた性能を実現するための新しい合成ルートの開拓という意味合いもある。物質・材料の基盤技術開発をミッションとする NIMS においては、特に、後者に軸足を置き、硬さと靱性間のトレードオフを打ち破るような新材料を得るためのプロセス、あるいは、未だ実現されていない複合材料を効率よく得るためのプロセスなど、プロセスとしてのシーズを提供することで、イノベーションの起爆剤を発信することを目指す。特に、基礎学理をベースとした素過程への理解を重視することで、大きな波及効果を生み出すプロセス技術を発信する。また、分離材料や超伝導線材などでは、特定の用途における性能評価を行い、社会実装に向けた企業連携を推進を進める。</p>
研究内容	<p>本プロジェクトは、(1) 高分子・複合材料プロセスの高度化による未踏機能の開拓、(2) 無機プロセスの精巧化による先進的機能設計、(3) 金属材料プロセス技術の高度化と応用基盤の構築、の3つのサブテーマで構成されている。高分子・複合材料プロセスとしては、油田やガス田開発に利用可能な高性能濾過フィルターや吸着材、酸化還元ポリマーを利用したスマートウインドウの開発を目指す。無機プロセス技術としては、電気泳動堆積法による塗布工程の高度化と高品質化を目指し、環境・エネルギー材料や生体材料に適用する。金属材料プロセス技術としては、現在の NbTi 超伝導線材の応用限界を越える高性能超伝導線材の製造プロセスを確立し、超大型加速器や核融合実証炉などの高磁場応用に向けた基盤技術の開発を推進する。</p>
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<p>サブテーマ(1) CVD プロセスによる多孔性硬質カーボン膜の製造とオイル耐性高性能 NF 膜としての社会実装、およびエレクトロクロミック高分子の耐熱性と耐光性の向上と省エネ型調光ガラスとしての応用。</p> <p>サブテーマ(2) 電気泳動堆積法によるセラミックス微粒自立膜の大面积高速成膜技術の確立、および金属と強固に結合する骨形成促進膜の製造と医療応用。</p>

	<p>サブテーマ(3) 高磁場応用が可能な 16 テスラ級超伝導線材の製造と 10km 級線材へのスケールアップ、および液体窒素温度で運転できる高温超伝導線材のコイル化技術の確立と実用化。</p>
<p>プロジェクト実施期間(平成28年度～令和4年度)の見込みを含む主な研究成果(アウトプット)及び研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>➤ 主な研究成果(アウトプット)</p> <p>CVD プロセスによる多孔性硬質カーボン膜は、COI-STREAM 等での実用化研究を進めたが、基材のオイル耐性が十分でなく、実用化まで至っていない。しかし、2020 年に見出されたプラズマ架橋膜の PTFE 基材との相性が極めて高いため、50cm 幅の Roll-to-Roll プラズマ照射装置を用いて、国内メーカーとの大型化に向けたプロセス研究が進んでいる。エレクトロクロミック(EC)高分子を用いた省エネ型調光ガラスの研究は、耐久性の向上と大型化が着実に進行しており、市役所等の公的機関に設置して、長期耐久性の確認が行われている。また、EC 特性を有するメタロ高分子ポリマーは、東京化成より販売されている。</p> <p>電気泳動堆積法 (EPD)によるセラミックス薄膜の製造では、コロイド結晶膜において 2 桁の高速化を実現し、ひずみ検出センサとして応用された。また、電子-プロトン混合電導性を示すモリブデンクラスター膜では、光や温度などの環境変化を高感度に検出するセンサが開発され、海外メーカーとの共同研究に展開している。また EPD 法で製膜した酸化物イオン伝導体の膜では、プロセス条件の高度化により世界最高レベルの酸素分離膜が開発されている。EPD 技術は、ヒドロキシアパタイト/コラーゲン複合体のペースト・コーティング材料の利用拡大に向けて、歯学部での骨組織反応(骨を隙間なくつける)の迅速化が達成されている。</p> <p>ジェリーロール法による Nb3Al 極細多芯線材では、50μm の細さで 2000m の無断線の試作に成功しており、大型熱間押出技術を適用して、数 10km の長尺極細線の製造が企業とともに進められている。この技術は、Nb3Sn 極細線のための新製法として横展開されており、線材の可とう性及び極低温での安定性を向上させることで、16 テスラ級の高臨海電流密度化が達成されている。MgB2 超伝導線材では、世界最細である直径 15μm の超極細線が開発され、大出力で小型の超電動モーターの研究開発を加速させている。さらに、極細線を利用して三次撚り構造の世界初の Nb3Al ラザフォードケーブルを米国フェルミ国立加速器研究所と共同開発した。</p> <p>➤ 研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p> <p>本プロジェクトでは、優れた基礎研究の成果をベースとして、性能／品質／生産性の3つの要素を満たす高度かつ先進的なプロセス技術を開発し、その社会実装を加速することを目指した。実用化研究では、社会的ニーズや競合技術、歩留まり、生産コストなどの要因によって、方向転換を強いられることも多いが、本プロジェクトでは、高分子材料、無機材料、金属(超電導)材料の3つのサブテーマにおいて、いずれも企業等と協力して製品化が進んでいる。中でも、低温高圧での高分子ラバーによる CO<sub>2</sub> 回収技術、セラミックス膜による酸素分離膜などは、カーボンフリー燃料や水素社会を支える材料として、極めて大きなインパクトを持っている。超伝導線材においても、大出力で小型の超電動モーターは、航空機の脱炭素化を大きく前進させる。本プロジェクトで開発した素材は、製品としてのマーケット価値があるだけでなく、グリーン成長戦略に深く絡んでくると考えられる。今後は、資源・エネルギー、建築、航空産業などの異業種との連携を深めることで、その価値を最大化できると考えている。</p>
<p>プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>➤ プレ終了評価時の見込みを含む進捗状況</p> <p>社会実装の目標を達成できる見込みであり、さらにグリーン社会に向けた産業構造の転換にも対応可能な技術が見出されており、計画以上の進捗と判断している。</p> <p>➤ 自己点検・評価</p>

		<p>実用化研究のプロジェクトとしては、論文等の研究成果も着実に上がっており、外部資金の獲得額も極めて多く、知財やノウハウを確保しつつ、企業連携も極めて活発である。リスクの高いプロセス研究を7年間続けても、各研究者が高い研究力を維持し、かつ企業と協働できる開発力を得ていることは、驚くべきことである。</p>
評価結果		
【評価項目・基準】	評価	コメント
<p><b>研究計画・実施体制・マネジメント・連携活動</b></p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究成果の最大化のための研究実施体制や研究開発の進め方(マネジメント)は妥当であったか。</li> <li>国や社会のニーズに適合しているか。</li> <li>進捗に応じ、研究計画の必要な見直しを行ったか。</li> <li>機構内連携や大学・産業界との連携の取組は十分であったか。</li> </ul>	<p>s:0 a:3 b:1 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>社会情勢の変化によるニーズの変化にも柔軟に対応して、研究の方向性を適応させるようなマネジメントは、高く評価できる。ただ、3つの領域の間の融合や連携が現在進行形とのことで、これからの期待したい。</li> <li>製品化に向けたプロセスの概念実証は地味目だが重要なテーマである。</li> <li>各サブテーマの目標設定およびマネジメントは概ね適切といえる。ただし、各サブテーマが独立して進められているように見え、プロジェクト内のサブテーマ間の連携やシナジー効果が見えにくい。</li> <li>運営費交付金の約2倍の外部資金を獲得している点は評価できるが、民間資金は全般的に小ぶり。</li> <li>有機・無機・金属と無理のないグループ構成になっていて、マネジメントもうまくいったと思われる。応用を見据えたプロジェクトなので社会のニーズに十分適合している。中間評価の時に指摘された基礎学理についても、熱力学を応用した吸着の理論ということで努力が実っている。若手人材についても連携大学院や外国からの学生、ポスドクを受け入れる努力がなされた。</li> <li>おおむね妥当であったと考えられる。しかしながら、異分野間の共同研究を積極的に促進させるなどの特徴的な研究実施のための積極的なマネジメントはあまり感じられなかった。企業や大学などとの共同研究はいくつかのプロジェクトで進んでいる。</li> <li>最終ヒアリングにおいてプレゼンテーションの時間が守られず大幅に時間超過した。マネジメントとして緊張感が無く、準備不足が感じられた。</li> </ul>
<p><b>研究開発の進捗状況及び目標の達成状況</b></p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>設定した目標は達成されたか(または当初目標以上の成果が得られたか)</li> <li>設定された目標以外の成果があるか。</li> </ul>	<p>s:0 a:4 b:0 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>当初の目標は達成されており、いくつかの想定以外の成果もPDMS エラストマーでの二酸化炭素吸着剤への展開などで見られている。</li> <li>各サブテーマで着実な進捗があり、総じて目標が達成されている。</li> <li>有機、高分子・無機・金属(超伝導)の分野で、応用を見据えたよい成果が上がっていると思われる。CO2回収は重要な問題で、今後が期待できると思われた。</li> <li>分離膜の研究に関しては、当初の目標達成に関してはかなりの紆余曲折があったが、最終的にはCO2の回収プロセスに到達したということであり、2022年にJST-STARTに採用された。今後のさらなる展開に期待する。</li> <li>調光ガラスについては、地道に発展を続けている。</li> <li>超電導線の製造プロセスの発展や、世界最細のフレキシブル超伝導線材の開発などがなされ、こちらも今後期待できる。全体としての進捗としては計画通りであり、一部計画以上と考えられる。</li> </ul>
<p><b>研究成果の創出等</b></p> <p>【評価基準】</p> <p>&lt;科学的・技術的視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>世界トップレベルの研究成果が得られたか。</li> <li>対外発表(論文・学会等)の量や質について費用対効果は十分なものであるか。</li> </ul> <p>&lt;社会的・経済的視点&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>研究成果は新技術や実用化につながるものであるか。</li> <li>得られた研究成果によ</li> </ul>	<p>s:0 a:3 b:1 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセス研究が主体のため、インパクトファクターの高いジャーナルへ少ないが、着実に良質な論文が十分な量、発表されている。実用化の期待を持たせる新技術も見出されている。</li> <li>筆頭論文数は約1報/人・年であり平均的といえる。</li> <li>プロセス分野では高IF雑誌に論文を出しにくいのは理解しているが、被引用回数などをみても小粒な論文が多い。</li> <li>超伝導線材の研究開発では、産業化に向けて着実な進捗が得られている。</li> <li>PDMS ソフトエラストマーでは優れたCO2回収性能が実現されており、今後の大きな民間資金の獲得と産業化を期待したい。</li> <li>材料の実用化をメインに据えているだけあって、数多くの材料について実用化や応用に向くように非常に努力されていることがよく分かった。社会のニーズや産業界との連携も進められている。とくに超伝導線材は大きな進歩だと思われるので、今後の企業との連携を期待したい。</li> </ul>



<p>り、優れた効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト)が得られたか(期待されるか)</p>		<p>・論文などの対外発表は群を抜くというわけではないが、専門誌に着実に論文が出されており一定の評価ができる。費用対効果としては妥当なレベルである。分離膜の研究は、紆余曲折がありながら新しい展開を見出している。調光ガラスについては社会実装への展開が期待できる。</p>
<p>総合</p>	<p>S:0 A:4 B:0 C:0</p>	<p>・高分子のようなソフトマテリアルから無機、金属材料まで、かなり異なる性質を持った材料の製造、評価のプロセス化に向けた統合プロジェクトは、NIMSの将来展望としてとても重要な観点であり、その意味で、十分な成果が得られていると判断した。それぞれの材料の社会実装に向けては、ベンチャー企業の役割が今後一層重要であり、今始められているコンサルなどの視点での評価や資金調達とともに、人材(特に若手中堅)の流入や確保が鍵になると考えられる。そのような観点からのNIMSの新しい取り組みが創出されると、さらに素晴らしいと感じる。</p> <p>・製品化に向けたプロセスの概念実証という重要なテーマを担っている。</p> <p>・各サブテーマの目標設定およびマネジメントは概ね適切といえるが、各サブテーマが独立して進められているようにも見え、プロジェクト内のサブテーマ間の連携やシナジー効果が見えにくい。</p> <p>・運営費交付金の約2倍の外部資金を獲得している点は評価できるが、民間資金をもっと増やしてほしい。</p> <p>・筆頭論文数は約1報/人・年であり平均的といえる。</p> <p>・超伝導線材の研究開発では、産業化に向けて着実な進捗が得られている。</p> <p>・PDMSソフトエラストマーでは優れたCO2回収性能が実現されており、今後の大きな民間資金の獲得と産業化を期待したい。</p> <p>・企業からの外部資金がまだ少し小さいということだが、十分応用に資する材料がそろっていると思われるので今後が期待できる。</p> <p>・研究開発においては、分離膜は応用を探索していく過程で、気体分離に方向性を見出している。フレキシブルな超伝導線材の開発にも成功している。また、調光ガラスにも着実な発展がみられ、社会実装も期待されている。研究報告は専門誌に着実に論文が出されている。全体としては、進捗としては計画通りであり、一部計画以上と考えられ、今後期待できる結果が得られている。</p>