

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	結晶・界面の階層的構造制御による機能顕在化のための研究
研究責任者の氏名・所属・役職	鈴木 達 機能性材料研究拠点
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p>機能材料において、母相となる結晶、及びその表面と異物質との界面が機能発現の場であり、多種多様な機能がそれぞれの状態(表面終端、欠陥濃度、不純物レベル、環境(温度、圧力)など)に応じて発現する。このため、機能の高度化、制御手法を獲得する上では、機能の発現母体となる結晶相、その異種界面(表面)等への深い洞察が必要である。本研究提案では、材料の機能発現の場を司る母相(結晶相)から界面、表面に至る多様な状態・変化を“階層構造”と捉え、これを高度に制御することにより高機能材料を創製することを目的とする。</p> <p>元来、物質・材料研究ではその形態(粒子、薄膜、バルク結晶、焼結体など)に応じて、基本的な合成・評価手法が異なり、先端的な研究であるほど、とすれば先鋭的な、いわば階層別の個別アプローチに特化した展開がなされてきた。本プロジェクトでは、薄膜、バルク結晶質材料、粉体・セラミックス、生体材料における異分野のエキスパートが集合し、材料開発のための階層構造を意識した連携を行う。</p>
研究内容	<p>「機能性薄膜・界面の機能高度化」「結晶質材料の機能顕在化」「粉体・セラミックスの機能高度化」「生体材料・バイオ界面の機能高度化」の4サブテーマにより、電子機能、光学機能、熱・機械機能、生体機能分野の材料開発を行う。</p> <p>機能性薄膜・界面の機能高度化や、単結晶材料の組成探索・プロセス高度化による、高品位センサ応用材料、光学単結晶、固体イオン導電体、パワーデバイス、遠紫外光源等の実現に向けた各種材料の基盤技術開発、生体接着剤等の高機能バイオ材料開発、高品位蛍光体、新規超硬質材料、透光性セラミックス開発等を可能とする、粉体・セラミックスプロセス技術の高度化等を重要な技術目標とする。</p> <p>数値目標は、現在の社会にニーズに即して、基礎的な機能発現・制御から社会実装に向けた応用研究への顕在化を目指して設定した。</p>
ミッションステートメント(具体的な達成目標)	<p>高品位センサ応用材料(500℃で動作し、室温時の応答速度10秒以下の高感度半導体水素センサ)、低燃費エンジン用燃焼圧センサ向け高品位圧電体単結晶(焦電性を持たず、400℃で$10^{10}\Omega\cdot\text{cm}$以上の抵抗率)、高品位光学単結晶(超高輝度白色照明向け蛍光体単結晶(耐30W超のレーザー照射))の開発、YSZを凌駕する高品位固体イオン導電体、高品位絶縁破壊耐圧パワーデバイス(目標絶縁破壊耐圧10 MV/cm)、遠紫外光源(波長220nm、$10\text{mW}/\text{cm}^2$)の実現に向けたワイドバンドギャップ材料、新奇超硬質材料(WC合金越え)、透光性セラミックス(赤外領域)、生体接着剤等の高い機能を持つバイオ材料開発(湿潤組織・臓器等に対して迅速な接着(3分以内)と速やかな吸収(8週間以内)、十分な強度(軟組織に対する接着強度が10Pa以上、耐圧強度$40\text{cmH}_2\text{O}$以上)を有する外科用接着剤)等。</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>電池寿命が数十年となるベータボルタ電池において、精緻なダイヤモンド pn 接合を行うことで世界最高変換効率となる 28%を実現した。また、ダイヤモンド MEMS を用いた超高感度磁気センサにおいて 106 という極めて高い品質因子をもつカンチレバーを作製し、500℃という動作温度においても 10nT/Hz0.5 という高感度であることを実証した。高輝度レーザープロジェクターを想定した 30W の高出力レーザーでの励起でも損傷せずに発光を持続する白色光源蛍光体を実現し、データ科学と単粒子診断法を用いることで、8K 用を含む新規緑色蛍光体を発見した。さらに、従来では単結晶を作製することが出来なかった Ca₃TaAl₃Si₂O₁₄ 圧電体単結晶の育成に成功し、400℃で 1010Ω・cm 以上の抵抗率を達成した。</p> <p>疎水性官能基を導入した疎水化タラゼラチンと生体親和性の高いポリエチレングリコール系架橋剤との 2 成分から構成される外科用接着剤を開発し、5 秒以内で硬化して接着可能で、大動脈、肺などの湿潤環境にある組織・臓器表面に対して優れた接着・シーリング力を示すことを明らかにした。早期消化管がん除去後に適用する組織接着性粒子を開発し、ミニブタ胃潰瘍モデルを用いた実験では、がん除去部の炎症が効果的に抑制されることを明らかにした。</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>単結晶蛍光体は従来では難しかったレーザープロジェクターを想定した高輝度レーザー励起を可能にし、さらに量産化も視野に 2 インチ径の大型化にも成功した。単粒子診断法の高度化とデータ科学も活用することで新規蛍光体のハイスループット解析を可能とし、市販の LED デバイスに搭載される新規物質を発見している。この新規物質探索手法は他の分野への展開も期待される。</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 計画以上の進捗</p> <p>➤ 自己点検・評価 ガスセンサーの高感度選択性の付与、単結晶圧電体やベータボルタ電池特性など、いくつかの課題で当初の予定を上回る特性を得ることができ、また白色 LED に搭載、市販された蛍光体の発見が出来たことは計画以上に進捗が出来たと考えている。</p>
------------------------------------	---

評価結果

【評価項目・基準】	評価	コメント
<p>研究計画・実施体制・マネジメント・連携活動</p> <p>【評価基準】</p> <ul style="list-style-type: none"> 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。 国や社会のニーズに適合しているか。 進捗に応じ、研究計画の必要な見直しを行ったか。 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。 	<p>s:0 a:2 b:2 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・結晶／界面／表面を共通概念として複数の研究項目をまとめたプロジェクトとなっているが、研究内容や要素技術が多岐にわたっているために各サブテーマ間の連携やシナジー効果が希薄で、界面は単なるキーワードのように見える。 ・使われてこそその材料という考えは NIMS にとって非常に重要であるが、キラーアプリケーションの検討が甘い研究項目もある。 ・運営費交付金を超える外部資金を獲得している点は評価できる。 ・評価委員会でのプレゼン説明の時間が予定されていた25分を10分もオーバーしたため、質疑応答の時間が大幅に短くなった。評価委員会もマネジメント業務の一部なので、説明時間も守っていただきたい。 ・薄膜、結晶、粉体、生体の4つの分野ではそれぞれよい結果が上がっていると思われる。中間評価のときに指摘されたグループ間の連携についても、結晶と生体のグループでの融合研究が意識的に進められたのは評価できる。今後の展開を期待したい。 ・界面・結晶の共通のキーワードのもとに、薄膜・結晶材料、粉体・セラミックス材料、生体材料など、ハードからソフトまで幅広い範囲を対象として材料創製が行われる領域であるがマネジメントは妥当であったと考えられる。当初の目標のハード材料と生体分野の協力についてはまだ十分ではないが、萌芽がみられる。 ・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。
研究開発の進捗状況及び目標の達成状況 【評価基準】 ・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) ・設定された目標以外の成果があるか。	S:0 A:4 B:0 C:0	・個々の研究に関しては、目標が十分達成されたと判断する。 ・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。 ・薄膜、結晶、粉体、生体の4つの分野ではそれぞれよい結果が上がっていると思われる。設定された目標以外の成果としてSnSが挙げられたが、今後のさらなる成果を期待したい。 ・論文などの対外発表は質量が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評価ができる。費用対効果としては妥当なレベルである。また、社会貢献という点では、新規蛍光体が実用化されており評価できる。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。
研究成果の創出等 【評価基準】 <科学的・技術的視点> ・世界トップレベルの研究成果が得られたか。 ・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。 <社会的・経済的視点> ・研究成果は新技術や実用化につながるものであるか。 ・得られた研究成果により、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)	S:0 A:4 B:0 C:0	・十分な成果が得られ、論文、特許としても数量ともに満足できるレベルであろう。 ・筆頭論文数は約1報/人・年を超えており、まずまずのレベル。また、非筆頭の共著論文が非常に多く、外部機関との連携が活発に行われていることが示されている。ただし、高IF雑誌への論文掲載がなく、全般的に小粒な学術的成果という印象を受ける。 ・特許を積極的に出願しており、登録件数も多い。 ・成果は着実に得られ、それに見合う成果発表も活発になされている。ペーパボルタ電池や高輝度蛍光体の開発、高温で動作可能な圧電体など応用に資する成果が得られていると思われる。また生体への技術的実用化は未知の部分が多いので、今後の発展も期待できる。 ・新規蛍光体などが創製されて実際のLEDデバイスに実装されている。この新規蛍光体に関しては探索にデータ科学も活用されている。結晶材料のサブテーマにおいては新規蛍光体が創製された。酸化物半導体なども磁気センサー材料やガスセンサー材料として優れたものが得られた。バイオ材料に関しても、生体適合性の高い外科用接着剤などが開発された。
総合	S:0 A:4 B:0 C:0	・界面の切り口で、かなり異なる材料を扱ったチームであったが、それぞれの研究においては、優れた成果が得られていると感じた、ただ、あえてこのようなチーム構成にしたのであれば、もう一歩進んだ連携(具体的な共同研究テーマの開拓など?)があっても良かったかもしれない。特に生体材料研究においては、NIMSでの歴史が浅いにも関わらず、かなり出口指向のように感じられ、その方向と共に、NIMSオリジナルのバイオ材料開発を見据えたような基礎的なアプローチもあっても良い気がした。 ・結晶/界面/表面を共通概念として複数の研究項目をまとめたプロジェクトとなっているが、研究内容が多岐にわたっているため各サブテーマ間の連携やシナジー効果が希薄に見える。 ・運営費交付金を超える外部資金を獲得している点は評価できる。 ・筆頭論文数は約1報/人・年を超えており、まずまずのレベルにある。非筆頭の共著論文が非常に多く、外部機関との連携が活発に行われていることが示されている。ただし、高IF雑誌への論文掲載をもっと期待したい。 ・特許を積極的に出願しており、登録件数も多い。 ・「使われてこそ材料」ということで、着実に成果が出ている。今後の大学や企業との連携を大いに期待したい。 ・界面・結晶という幅広い共通のキーワードのもとで、無機物、ダイヤモンド、高分子生体材料まで、多様な着実に材料創製の研究がなされ成果が上がっている。論文出版も着実に進められている。実際のLEDデバイスに開発された新規蛍光体が実装されており企業との連携も進められた。次の段階のさらなる発展に期待できる。NIMSは、研究機関であり教育機関ではないが、文

	<p>部科学省関係であり、各大学に連携教授などを務めている研究者も多く、ポスドク研究員や博士学生を受け入れており若手の育成に貢献しているということで評価できる。これら若手の進路が気になったが、それに関する質問にはあまり答えていただけず、若手の進路にあまり興味が無いようにも見受けられた。やはり研究を共にした以上、特に若手の博士のその後の進路などについて関心を持って、応援していただくとありがたい。たとえば、NIMS で研究した若手が大学や産業界で活躍するのも立派な大学や産業界との連携であり貢献と考えられる。</p>
--	--