

## プロジェクト中間評価報告書（研究責任者記入部分）

評価委員会開催日：2020年1月7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 教授
湯浅 新治	産業技術総合研究所 スピントロニクス研究センター センター長

確定年月日：令和2年3月24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	谷口 尚 フェロー
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(バルク結晶、薄膜、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、ともすれば先鋭的な、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。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<math>10^{10}\Omega \cdot \text{cm}</math>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、高品位絶縁破壊耐压パワーデバイス(目標絶縁破壊耐压10 MV/cm)、遠紫外光源（波長220nm、10mW/cm<sup>2</sup>）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100kPa以上、耐压強度40cmH<sub>2</sub>O以上）を有する外科用接着剤）等。</p>

<p>平成23年度～平成25年中間評価時までの主な研究成果（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><b>1) 主な研究成果（アウトプット）</b>          白色照明の高輝度化に応じた蛍光体が望まれている。従来のセラミックス蛍光体における温度消光の問題を克服し、高輝度の青色光を照射しても温度消光を起こしにくいYAG 蛍光体単結晶を開発した。更に、この粉末状単結晶を、バインダーフリーで固体化し、300°Cまで温度消光を起こさず、切断・研磨に耐える強度も実現した。光学単結晶、セラミックス研究チーム相互の連携による成果である。          8Kテレビで求められる色純度が良い緑色を発色する蛍光体を発見した。<math>\gamma</math>-AION（酸化アルミニウムセラミックス）にマンガンを添加した蛍光体の青色励起により、従来より鋭い緑色発光（ピーク波長525nm、半値幅は40nm）が可能となった。液晶テレビの色再現範囲の拡大に成功した。          呼吸器外科手術における臨床上の課題（①湿潤環境での組織接着性、②組織治癒を阻害しない生体親和性、③呼吸に伴う肺の大きな形状変化に対応する追従性）を解決するため「疎水化タラゼラチン」と「ポリエチレングリコール架橋剤」から構成される2成分系接着剤を開発した。得られた接着剤をブタ摘出肺に形成した欠損部に塗布すると、タラゼラチン分子中に導入した疎水基が肺表面の胸膜に浸透することで界面強度が増加し、肺組織が破壊し始める強度に匹敵する50cmH<sub>2</sub>O以上の耐圧強度を示すことが明らかになった。</p> <p><b>2) 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）：</b>          高輝度白色照明用に単結晶蛍光体は、板状単結晶蛍光体として実用化された。従来の白色光源の青色LEDから青色LD対応が可能となり、高輝度照明に適する。色純度が高い蛍光体の開発により、8Kテレビの色域を拡大、照明の演色性の向上が可能となる。          創部へ噴霧することで、組織上で微粒子を膨潤・ゲル化し、創部を保護することができる疎水化微粒子は、高い生体接着性、血液凝固能、シグナル誘導、血管新生、再上皮化の促進などの様々な機能を発現し、創傷治癒を促進すると期待される。ブタ胃人工潰瘍モデルによる実験で、材料が組織表面に強く接着し、組織表面を保護することで、組織の炎症を抑制可能であった。手術後の消化管穿孔の閉鎖、消化管潰瘍への適用、虚血性疾患治療など様々な応用展開が期待される。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p><b>中間評価時の進捗状況</b>          プロジェクト全体としての予定通りの目標を達成していると自己評価する。</p> <p><b>自己点検・評価</b>          酸化亜鉛及びデバイス型ガスセンサ（Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GaN）開発、高品質ダイヤモンド結晶成長とMEMS開発、新半導体物質合成、hBN単結晶の2次元系光・電子デバイス向け国際連携(200機関)、8Kテレビ向け高品位緑色発光蛍光体（Mn添加<math>\gamma</math>-AION）開発、磁場配向焼結によるYSZ越えイオン導電体開発など、各サブテーマにおいて計画通りに進捗している。更に外科用接着剤は既に大学、企業と連携しAMED橋渡し研究の大型資金を獲得、単結晶蛍光体は高輝度化（50W超達成）、1.5インチ大型化と透明領域の拡大、板状単結晶蛍光体は実用化されるなど、目標を越えた進捗を示している。高品位バインダーレス光学多結晶体の創製、高機能hBN/ダイヤモンド二次元伝導FETなど、サブテーマ間連携による成果も上がっている。</p>
<p>プロジェクト名</p>	<p>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</p>
<p>研究責任者の氏名・所属・役職</p>	<p>谷口 尚 フェロー</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p><b>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携</b>  (研究開発の方向性  ・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制  ・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか)</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・階層構造とその制御ということで、それまでの NIMS での成果をいくつか合わせて1つのプロジェクトとすることで成功しつつあると言える。</li> <li>・「トップデータを目指すだけでなく、サブテーマの間の相互連携を意識する」とあって、これが成功したと思われる。</li> <li>・薄膜・界面、結晶、粉体・セラミクス、生体という4つのサブテーマはバラバラ感があったが、うまく連携を取る努力が高く評価できる。</li> <li>・評価資料の「具体的な達成目標」は具体的に設定されていて大変よい。しかし、中間評価の現時点までどこまで達成したかが明確ではなかった。</li> <li>・応用を考える過程で、新しい基礎学理的な問題点も意識されているようである。</li> <li>・サブテーマ3の「目的」では特異点という概念を強調しているが、具体的な達成目標や研究成果とまだ繋がっていないようである。今後基礎学理とともに期待したい。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・機能性薄膜、結晶質、粉体・セラミックス、生体材料4つのサブグループからできており、それぞれにおいて優れた研究がなされている。</li> <li>・体制として、全体的な統一的な具体的な目標や、バイオグループと他の3つのグループの関係が見えにくいところも若干ある。</li> <li>・しかしバイオでは、高圧という共通の切り口を用いて、食品の殺菌処理など、これらの分野融合の努力も進んでいる。</li> <li>・全体としては、それぞれに研究が着実に進んでいる。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・特にサブグループ1、2、3の間の連携が進んでいて、全体的にも順調に進捗していると評価できる。マネジメントの成果と判断される。</li> </ul> <p><b>【D】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・研究開発の方向性やロードマップ・目標の設定は適切である。</li> <li>・各グループの特技を活かしたサブテーマが設定されており、グループ間の連携とシナジー効果も積極的に図られている。</li> </ul>
<p><b>②研究開発の進捗状況及び進め方</b>  (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検  ・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・評価資料の「プロジェクトの競争力」におけるベンチマークとしての比較は明確であり、大きな成果があがっている。</li> <li>・高輝度蛍光体の開発は、サブテーマ2の令和1年度の計画だったが、非常に早期に実現しており大きな成果であると思われる。これに対応して、ロードマップの変更などを考える必要があるのではないか。</li> <li>・人材、とくに若手が足りないという点が心配であるが、今後 NIMS として人数を増やすことは可能だろうか。</li> <li>・またこれまでも、他のプロジェクトと比べてポスドクの人数が少なかったようである。大学院生などを惹きつける方策とともに、ポスドクも拡充することはできないだろうか。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・全体の融合部分を持つなどについて配慮しながら、このまま進めても良いと思われる。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・どのサブグループも研究進捗は順調に進んでいるようだ。</li> </ul>

	<p><b>【D】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・蛍光体の研究開発は民間企業と共同で積極的に進められており、産業界への波及効果が大きいと期待できる。</li> <li>・研究計画が前倒しで進んでいる。</li> <li>・その他のサブテーマも概ね計画通りに進捗している。</li> </ul>
<p><b>③論文・特許等の直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）</b>  （研究成果の質は世界レベルか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果はどうか、セレンドイビティ、ほか）</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでに大きな成果があがっている。</li> <li>・応用の分野に関しても大きな波及効果があると期待できる。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの論文が、各分野のしっかりとした専門ジャーナルに掲載されている。</li> <li>・特許も多くの出願がなされている。</li> <li>・着実に進んでおり、波及効果も大きいと考えられる。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発表論文の量は十分すぎるくらいであろう。</li> </ul> <p><b>【D】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・論文数、特許出願・登録・実施許諾数など、優秀な成果エビデンスがバランス良く得られている。</li> </ul>
<p><b>④見込まれる直接の成果（アウトプット）、効果・効用（アウトカム）や波及効果（インパクト）</b>  （質の高い成果は期待できるか、論文・特許数は十分出そうか、新技術や実用材料につながるか、多くの外部資金獲得・共同研究につながるか、他分野への波及効果は、ほか）</p>	<p><b>【A】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・酸化亜鉛のナノ粒子、ダイヤモンド、蛍光体、ハイブリッドなどについて成果があり、将来も楽しみな分野である。</li> <li>・今後は企業との連携も拡充していくことが期待される。</li> </ul> <p><b>【B】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・論文や特許は着実に出ていくことが期待される。</li> <li>・産業界と連携できそうな成果も出ている。</li> </ul> <p><b>【C】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・企業との連携によって社会実装できそうなテーマの種も見られ、評価できる。</li> <li>・生体材料サブグループは、この中ではちょっと特異な位置付けのように感じられるが、成果が挙がって来ているようであり、独自性を意識しつつ進めて欲しい。</li> </ul> <p><b>【D】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・蛍光体の研究開発は産業応用に非常に近い。単結晶成長技術と粉体・セラミック技術のシナジー効果が得られている。</li> <li>・ダイヤモンド薄膜の気相成長は旧無機材研時代の代表的な成果であり、研究開発を継続することは重要である。</li> <li>・磁気センシング等でキラーアプリを見つけてほしい。</li> </ul>

<b>⑤総合評価</b> (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイント、問題点等があれば追加してコメント)		<b>【A】</b> ・ 全体的な成果は申し分ない。 ・ 中間評価資料の「主な研究成果」における成果は、もっと簡潔にまとめてほしい。  <b>【B】</b> ・ 高いレベルの材料に関する基礎研究として進めていただきたい。 ・ サブグループの融合的研究の展開や、外部との積極的な連携をさらに進めていただきたい。  <b>【D】</b> ・ 研究計画、マネージメント、論文および特許出願・登録、外部資金の獲得、民間企業との連携など、総じて申し分ないレベルにある。
委員の評価点 (10点満点)		8, 9, 9, 10
総合評価点平均 (10点満点)		9.0点
評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れている。 計画を変更することなく継続すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある  平均的なプロジェクトである。 継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。
7		
6		
5	B	期待されたほどではない。 計画を見直して継続すべきである。
4		
3		
2	C	プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。
1		