

# 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	機能性材料創出のための基礎・基盤研究
研究責任者の氏名・所属・役職	寺嶋 太一 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点(MANA) 量子物質特性グループ グループリーダー
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	<p>NIMSは発足当時から、物質・材料開発からその実用化研究まで、幅広い分野で多大な貢献をしてきている。この一連の研究の中で、もっとも上流の研究である機能性材料の開発とその特性評価、新物質・新機能の発見によるイノベーションシーズの創出は、国の産業の未来を開くための重要な課題であり、我が国の物質・材料科学の基礎・基盤的な発展をミッションとするNIMSが継続的、かつ組織的に遂行すべき課題である。本プロジェクト「機能性材料創出のための基礎・基盤研究」は、革新的な物質・材料の探索、未来を見据えたシーズの探索を担うプロジェクト研究の一つである。</p> <p>本プロジェクトにおいては、未来の超スマート社会の実現に向け、多大なインパクトをもたらし得る革新的な次世代機能性材料の開発を目指す。特に、機構がすでに先導的地位を保っている「超伝導機能材料」「強相関機能材料」「分子性機能材料」「ナノ構造機能材料」の4つの材料において、新規材料合成、単結晶育成、構造・組成解析、微細加工技術の高度化、伝導・磁性・光学物性評価、デバイス応用など、一連の研究を総合的に遂行する。これによって、各種の革新的センサ・光源や、次世代の省電力コンピューティングなどの量子機能に資する新規機能材料を創出する。</p>
研究内容	<p>超伝導機能材料サブテーマでは、新超伝導物質開発、新機能の探索、超伝導体の電子状態や超伝導メカニズムの解明など、超伝導に関する基礎研究を進める。強相関機能材料サブテーマでは特異な強相関物性が顕著に発現しやすい遷移金属酸化物などを主な研究対象として、電子の強相関性に基づく新たな量子機能を見出し、そのメカニズム解明を行う。分子性機能材料サブテーマでは、分子構造と物性・機能との相関の精査とその精密集積構造を可能とする集積化手法を高度化・確立する。ナノ構造機能材料サブテーマではセンシング、無線通信、情報処理などの要素技術を発展させ、半導体ナノ構造、フォトニック結晶、非線型光学材料等の研究開発を行う。</p>
ミッションステートメント(具体的な達成目標)	<p>超伝導機能材料サブテーマでは、超伝導基礎研究を通し、次世代高速省電力デバイス等に資する研究開発を行う。強相関機能材料サブテーマでは、新たな量子機能を見出し、メカニズム解明を通して、メモリ、センサ等の次世代量子機能性デバイスを目指した研究開発を行う。分子性機能材料サブテーマでは、分子集積化により、優れた光・電子機能性、自己組織化特性を示す革新的分子性機能材料の開発を行う。ナノ構造機能材料サブテーマでは80 K以上の高温で動作し、かつ現行の2倍の高輝度の量子光源の実現に向けた技術開発を行う。また、Hg、Cd等の有毒元素を含まない量子効率10%の赤外検出器や現行の10倍以上の感度を持つセンシング材料の作製技術を確立する。</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	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 主な研究成果(アウトプット)</li><li>● 擬二次元有機導体においてパウリ極限を越える高磁場での超伝導(FFLO状態)を</li></ul>

<p>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>観測し、その空間振動波長を明らかにした。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 鉄系超伝導体母物質CaFeAsFのフェルミ面を量子振動測定により決定し、ディラック電子を実証した。</li> <li>● 磁気光学顕微鏡の高性能化により、Nbの中間混合状態における磁束クラスタの動的観測に成功した。</li> <li>● BiCuMn<sub>6</sub>O<sub>12</sub>において、これまでで最も大きい36%の磁気誘電メモリ効果を観測した。更に、BiCu<sub>0.1</sub>Mn<sub>6.9</sub>O<sub>12</sub>において、史上初の電気双極子のらせん秩序を発見した。</li> <li>● 独自の三重点異相境界機構に基づきPZT圧電材料に匹敵する非鉛圧電材料を創出した。</li> <li>● 紫外用途においては実現不可能と思われていた硫黄原子を含む非線形光学材料を初めて開発した。</li> <li>● 単一成分有機分子で有機材料トップクラスの伝導度と電子・光機能の長期耐久性を実現した。</li> <li>● 高分子イオン導電体の機能を向上し、イオン輸送による変位の大きなアクチュエータ(振動子)を実現した。</li> <li>● 独自のリビング超分子ポリマー合成を2次元に展開し、サイズ、アスペクト比が制御された新たな高次集積化手法を確立した。</li> <li>● メタマテリアルによりMCT検出器と同等以上の感度を有するHg, Cdフリー赤外線検出器を実現した。</li> <li>● 独自のメタ表面バイオセンサにより抗原、抗体、核酸などバイオ分子の高感度検出を実現した。</li> <li>● 液滴エピタキシーにより、70Kで単一光子を発生可能なGaAs量子ドットLEDを実現した。</li> </ul> <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>鉄系超伝導体母物質のディラック電子実証、有機超伝導体の FFLO 観察、電気双極子らせん秩序発見などで基礎科学に大きく貢献した。MO 顕微鏡高度化、酸硫化物非線形光学材料、リビング超分子ポリマー合成法、単一成分有機金属、高分子フィルムアクチュエータ、LED 量子光源においては新たな技術、機能性材料のシーズを提案した。更に、PZT 代替鉛フリー圧電材料、Hg, Cdフリー赤外線検出器、メタ表面バイオセンサなどにおいては、社会実装も見えてきつつある。いずれも大きなインパクトを有する。</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</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 波長よりも微細な幾何学的構造を高精度な微細加工技術により作製したメタマテリアルで、極めて高い量子効率 61%(当初数値目標:10%)の赤外線検出を達成。さらに、高感度バイオセンサの実現など、メタマテリアルの優位性を実証した。</li> <li>● 鉄系超伝導体でのディラックコーンの実験的検証、電気双極子に螺旋秩序をもつ物質の発見など、基礎科学において、想定以上の成果を得た。</li> <li>● III-V 族半導体の量子ドットの高機能化を進め、GaAs 量子ドットで70 Kという高温で、単一光子発生を実現した。更に、InAs 量子ドットで通信波長帯での量子もつれ光源の可能性も飛躍的に拡大した。</li> <li>● 液晶分子の利用やイオン液体の合成ルート開拓により、高分子イオン導電体の機能を向上、イオン輸送による変位の大きなアクチュエータ(振動子)動作を実現した。</li> </ul>

評価結果		
【評価項目・基準】	評価	コメント
<b>研究計画・実施体制・マネジメント・連携活動</b>  <b>【評価基準】</b> ・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。	s:3 a:0 b:1 c:0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能性材料の基礎、基盤研究として、NIMS の特徴を活かすような的確な取り組みとマネジメントが行われた。</li> <li>・NIMS の中では最も物性基礎研究寄りの研究を行っている。産業応用から離れた基礎研究であってもよいが、その分もっとハイリスク・ハイリターン of 挑戦的な研究要素がほしい。</li> <li>・運営費交付金より多い外部資金を獲得しているが、少額の外部資金プロジェクトが多い。</li> <li>・各サブテーマ間の連携が実質的に少ないようにみえる。</li> <li>・超伝導、強相関、分子性物質、ナノの4つの分野はそれぞれよい成果が上がっている。一方、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、いくつか試みられて成功していると思われる。ただ欲を言えば(難しいが)分野間の掛け算による画期的な展開をもっと期待したい。基礎研究に近いので大学との連携はうまくいっている。</li> <li>・無機超伝導材料から有機分子材料まで幅広い分野にわたりプロジェクトが実施された。国内大学および海外の研究機関、さらには企業との共同研究が活発に行われて、さらに多くのワークショップ・シンポジウムの企画が実施され、優れたマネジメントが行われたと考えられる。</li> </ul>
<b>研究開発の進捗状況及び目標の達成状況</b>  <b>【評価基準】</b> ・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:2 a:1 b:1 c:0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・多くの優れた成果が、得られており、目標は十分達成されている。</li> <li>・各サブテーマで目標は概ね達成されている。ただし、「次世代のコンピューティングに資する新機能材料」に至るまで、まだかなりの距離があり道筋が見えにくい。</li> <li>・超伝導、強相関、分子性物質、ナノの4つの分野はそれぞれ基礎研究としてよい成果が上がっている。さらに、鉛フリーの圧電材料や超分子集合体の精密合成、メタマテリアルなど応用にも使えそうな成果も上がっている。</li> <li>・超伝導特性を示す無機および有機材料に関して、新材料創製や新しい現象の確認、高度な分析を行うことに成功している。また分子材料では、新しい超分子材料や刺激応答性材料を創製している。</li> <li>・研究開発について全体としての進捗としては計画が十分に達成されており、さらに計画以上の進捗も見られる。</li> </ul>
<b>研究成果の創出等</b> <b>【評価基準】</b> <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:2 a:2 b:0 c:0	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究として、世界レベルで高いクオリティの成果が、着実にトップジャーナルに公表されている。新技術の実用化に関しては、メタマテリアル表面を活用したセンサは、IR も抗原センサも期待が持てる。</li> <li>・基礎研究であることを考慮すると筆頭論文数はそれほど多くないが、高IF雑誌の論文が多い。</li> <li>・メタマテリアルや量子光源の開発など優れた成果が幾つか創出されている。</li> <li>・鉛フリーの新圧電材料については、圧電係数だけでなく他の実用特性についてもベンチマークを示してもらわないと、その価値を判断できない。</li> <li>・メタマテリアル IR センサや単一光子光源で優れた特性が実現されているので、今後は実用化研究のフェーズに進んでほしい。</li> <li>・基礎研究として着実に研究が進められた。またそれに見合う成果発表も活発になされた。実用化につながるようないくつかの結果も得られている。</li> <li>・超伝導材料の創出や超伝導機構の解明、有機伝導体のトップレベルの伝導性の実現、リビング超分子ポリマーの新しい展開などの成果が得られており、分野を代表するジャーナルに多くの論文が発表されており質量ともに成果は出ていると考えられる。費用対効果も十分なものであったと考えられる。</li> </ul>

<p>総合</p>	<p>S:3 A:1 B:0 C:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機能性材料の基礎、基盤を拡張し、強めるためのチームとして、NIMS の次世代を見据えた中核研究の種となる成果が、複数芽生えているように感じられた。その意味で十分に機能したと判断できる。今後はこの種となる研究を次期プロジェクトでさらに強化、拡張することによって、真の中核研究／材料となるような取り組みを期待したい。また、機能性材料の基礎研究を担う人材育成に関しても、良好に進んだように思われるが、今後予想される優秀な人材の不足を想定した、NIMS ならではの広い視野を持った若手人材要請に関して、より積極的な取り組みも期待したい。</li> <li>・NIMS としてはかなり物性基礎研究寄りの研究を担当している。基礎研究なので、もっとハイリスク・ハイリターンの挑戦的な研究要素がほしい。</li> <li>・各サブテーマ間の連携が実質的に少ないようにみえる。</li> <li>・運営費交付金より多い外部資金を獲得しているが、少額の外部資金プロジェクトが多い。</li> <li>・基礎研究であることを考慮すると筆頭論文数はそれほど多くないが、高 IF 雑誌の論文が多い。</li> <li>・メタマテリアル IR センサや単一光子光源で優れた特性が実現されているので、今後は実用化研究のフェーズに進んでほしい。</li> <li>・基礎研究のみならず、応用にも使えそうな結果を出しており、基礎・応用両面について成果が上がった。</li> <li>・無機超電導材料から有機分子材料まで幅広い分野にわたり世界トップレベルの多くの成果が出ている。今後も大きな発展が期待できる。NIMS は、研究機関であり教育機関ではないが、文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、その後も研究の世界で活躍している若手がいるということで、若手の育成に貢献しているということで評価できる。</li> </ul>
-----------	------------------------------------	--