

# 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9日

評価委員氏名(敬称略, 五十音順)

黒田 一幸	早稲田大学 理工学術院 名誉教授
柴田 直哉	東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 機構長・教授
杉山 正和	東京大学 先端科学技術研究センター 所長・教授
原 正彦	東京工業大学 物質理工学院 教授

確定年月日: 令和5年3月10日

プロジェクト名	システムナノアーキテククスによる機能開発
研究責任者の氏名・所属・役職	寺部 一弥 国際ナノアーキテククス研究拠点(MANA) 主任研究者
実施予定期間	平成28年度～令和4年度
研究目的と意義	本プロジェクトは、MANAが蓄積してきたナノサイエンス、ナノテクノロジー、そしてそれらを基本としたものづくりの基盤技術をさらに発展させて、ナノアーキテククスに基づいた革新的ナノデバイス・革新的ナノシステムの機能開発を目指す。具体的には、コンピュータ・情報通信分野と医療・福祉分野を主要なターゲット分野に据え、超低消費電力、超高速演算、最先端治療、早期診断を実現するための、新機能探索とそのデバイス化・システム化の基盤技術開発、さらにナノアーキテククティックライフシステムの基礎開発を推進する。これらの目的を達成するために、全く異なる分野の科学技術を「システムナノアーキテククス」というキーワードで分野横断的に融合する。本プロジェクトの直接の成果は、革新的デバイスやシステムの提示、革新的病理診断・医療技術の具体化である。これら研究コンセプトやシステムナノアーキテククス技術は、高度情報社会やウエルビーイング社会などの発展に必要な幅広い分野の研究開発へと波及していくものと期待する。
研究内容	従来型の半導体デバイスが利用する電子輸送に囚われず、原子・分子・量子がキャリアの主役となるナノ材料の探索、ナノ界面や表面での新機能の提案と実験的・理論的検証、そこで発現する様々な機能や現象をナノアーキテククティック次世代ナノデバイス・システムに作りこむための技術開拓、このナノアーキテククティックシステムが創発する機能の実験的・理論的解析手法の確立、また、有機分子の機能やメカノバイオロジーを活用したナノアーキテククティック技術に基づくライフシステムの開拓および次世代医療技術への展開を推進する。
ミッションステートメント(具体的な達成目標)	イオンをキャリアとする新規素子、神経細胞機能の模倣素子、ナノプラズモニクス制御による新機能開拓、トポロジカルやカオスの縁や不正抵抗などの効果を活用した新規信号処理、ナノ界面制御・原子膜の制御技術、ナノアーキテククティックシステムに創発する機能の理論解析技術、新原理によって抗がん作用を示すナノ材料創成、血液・尿検査に代わる早期診断用バイオセンサなど、実用性を見据えた先進ナノ材料科学、システムナノアーキテククスを世界に先駆けて提案し実証する。これらを達成するために、NIMSオリジナルの世界を先導する技術、大型コンピュータ施設、ファンドリー施設や産官学連携制度などを有効に活用しつつ、より広範な研究開発活動に貢献する。
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	<p>➤ 主な研究成果(アウトプット)</p> <p>イオンの働きで自ら学習し数理問題を解く意思決定イオニクスデバイス、イオン移動に基づく側方抑制を利用した人工視覚イオニクスデバイス、負性抵抗を活用した再構成可能な有機論理演算デバイス、h-BN ゲート絶縁体を用いた高性能ダイヤモンド電界効果トランジスタ、フィルターレス/アパチャーレスな多波長赤外線マイクロセンサ等の開発、角度非整合二層系の層間トンネリングの基礎理論の整備、極限小サイズ・超低消費電力スイッチのデバイス構築技術の開拓、大規模、オーダー<math>N</math>法第一原理計算プログラム</p>

<p>用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>(CONQUEST)の開発と一般公開、早期診断バイオセンサのための機械学習パターン認識による新たな固体材料評価手法の開発、細胞内シグナルのナノ拘束による抗がん作用の発現 など</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>これらの新規デバイスや理論解析に関する研究成果は、従来型半導体集積回路の省エネルギー化や極微細化、パワーエレクトロニクス素子の高性能化、新型コンピュータとして期待される脳型コンピュータ用のニューロモルフィックデバイス利用、人工知能システム用の物質認知センサや人工知覚デバイス利用、最適な量子マテリアルの探索技術などとして、次世代の情報通信技術の発展に貢献すると思われる。また、バイオ・ライフシステムに関する研究成果は、血液・尿検査に代わる新たな早期診断用のバイオセンサ利用、患部に直接貼り付ける新しいモダリティの抗がん剤としての低侵襲皮膚がん治療技術などとして展開され、今後のウエルビーイング社会への発展に寄与すると期待される。</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</p> <p>・計画以上の進捗</p> <p>物質をナノサイズで形状や現象を制御することにより先鋭化されて現れる機能制御・解析技術を開発し、ナノアーキテクニクスシステムをベースとした研究展開を目指した。その結果、意思決定素子などの脳型人工知能素子、プラズモンポラリトン共振による世界最高分解能赤外線センサや最高レベル正孔移動度のダイヤモンド FET の創製、原子スケールハイブリッド膜素子の技術開発、蜂の巣トポロジカルフォトリソグラフィの提案、大規模オーダーN法第一原理計算プログラムの開発などを行った。これらの成果の中には、当初計画では予測できなかったが研究を進める途中で見出された興味深い成果が幾つか含まれており、今後は新規プロジェクトである量子材料研究へと展開される。また、抗がん作用やウイルス感染抑制などのバイオ材料の成果についても、新規のバイオアダプティブ材料研究へと更に展開される。</p> <p>➤ 自己点検・評価</p> <p>本プロジェクトでは、NIMS-MANA 研究拠点が蓄積してきた、ナノスケール、さらには原子スケールでの物質・材料の創製と、そこから発現するユニークなナノ現象や相互作用を巧みに制御・変調して、多様な新機能を発現させる技術であるナノアーキテクニクスを基盤として、その知識や技術を発展させる成果を得ることができた。さらに、サブテーマ内、サブテーマ間、産官学間との連携研究も積極的に推進し、世界レベルで研究成果の論文発表を行い、実用化のための応用研究や技術開発も着実に実施することができた。特に、新しい原理で動作するデバイスの創製、原子スケール薄膜デバイスの構築、大規模第一原理計算プログラムの開発などの研究成果は第五期プロジェクトの量子材料研究への発展に繋がり、抗がん作用やウイルス感染抑制などのバイオ材料の創製はバイオアダプティブ研究への発展に繋がった。本プロジェクトで得られた興味深い研究成果は、次期プロジェクトにおいても中心的な研究テーマとして更に発展することが期待できます。</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> <p>・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</p>	<p>s:1 a:2 b:1 c:0</p>	<p>・「ケミカルナノアーキテクニクス」のシーズをよりデバイス・システムに結びつけるためのテーマ設定がなされている。個々の取り組みは先鋭的で大変興味深いのが、TRL としては低いレベルに留まっている(組織の位置づけを鑑みると、これは非難されるべきことではない)。社会のニーズに照合して、見出されたシーズを社会課題の解決に結びつけるために今後とるべき道程がさらに明確化されると良い。</p> <p>・マネジメントという観点からは、妥当であったと評価出来るが、参加者リストの構成からも、サブテーマ1の報告が多いことは分かるので、今後は、今までの成果をもとに、サブテーマグループを再構成されても良いかと思う。</p> <p>例えば、機械学習を活用したパターン認識によるガス・臭覚センサなどは、非常</p>

<p>たか。</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>に優れた観点で、応用にも近く、そこに示されていないさらなる可能性を秘めており、少人数ながらもオリジナリティの高い、持続可能な社会ニーズに答える重要な研究であると評価出来る。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国や社会のニーズを的確にとらえ、サブテーマ毎に最終ターゲットを明示し、新機能からデバイス開発までを担う形でプロジェクトが設計されている点は評価できる。ともすれば発散しがちな研究内容の方向性を明示してプロジェクト推進が図られたと評価できる。一方、本プロジェクトは項目ごとに基礎研究から実用化までの幅広いスペクトルに分散しており、内在的に多くの因子を抱えていることから統一した形で成果を提示することが難しいことはやむを得ない。国内外の連携は活発に展開されており、NIMS 発ベンチャーを含め国や社会のニーズに即した展開もなされており高く評価できる。</li> <li>・無機からバイオとプロジェクト全体としては非常に広い分野をカバーしているため、マネジメントはかなり難しかったであろうと想像する。しかし、テーマごとに一定の成果をあげており、評価できる。</li> <li>・国や社会ニーズにマッチした研究内容である。</li> <li>・研究グループの統廃合なども行い、適宜対応している。</li> <li>・連携の取り組みは十分行われていると判断する。</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:1 a:2 b:1 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・計画通り、もしくは計画以上に達成されている。</li> <li>・設定された目標はおおむね達成されており、目標以外の展開の中に興味深い成果が見受けられた。それもまた、このようなプロジェクト研究の展開の中で生まれる新しい成果であると評価出来る。</li> <li>・サブテーマ1では種々のデバイス開発が計画以上の進捗を示している。サブテーマ2および3では一部計画以上の進捗はあるものの概ね計画取りに進捗したと評価される。サブテーマ4においてもほぼ計画通りの進捗を示したと判断される。尚、全ての成果においてベンチマークを記載した点は極めて高く評価できる。一方やむを得ないところではあるが、表現が一部我田引水的にみえるところがあり、必要以上にポジティブな表現を用いるまでもないように受け止めた。</li> <li>・世界を先導する NIMS オリジナルの研究成果が出ており、概ね当初目標を達成していると判断できる。しかし、即社会実装を期待されるような優れた開発までには至っていない。</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)</li> </ul>	<p>s:0 a:3 b:1 c:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・FWCI、トップ10%論文の両観点で国際的なトップ機関に伍しており、日本の研究機関としては突出した成果である。ただし、シーズ思考で応用よりは新規性を重視した研究展開の成果が注目度の高い学術論文として結実しているともいえる。社会への波及効果をより強力に打ち出すことが期待される。</li> <li>・非常に興味深い成果を挙げられているが、一方で、同様な研究が他機関でも見受けられる内容もあり(先行研究もあり)報告されている内容の中で、NIMS が初めて示した独自のオリジナリティがどこにあるのかの立ち位置などを整理されて報告されるとより良かった。</li> <li>・なお、成果として示された論文の共著者で NIMS の参加者として示されている中で、資料5-2のリストにない研究者がいるようである。</li> <li>・総じて世界トップレベルの論文発表は認められる。一方サブテーマ間の代表的業績の量についてはばらつきがある。また発表年が2017、2018年発表も比較的数量多く、2022年の代表業績がやや少ないように受け取れるので、今後の充実した成果発表があることを期待する。いずれにしても社会的なインパクトの高い成果に直結するプロジェクトであるので、最終まともに向けて一層の注力を望みたい。</li> <li>・NIMS オリジナルなデバイスが複数開発されていることは評価できる。</li> <li>・参加研究者の人数や予算、分野から言えば、もっとハイインパクト論文が数多く出版されても良い。また、論文の量としても他のプロジェクトと比較すると少ない印象である。</li> <li>・具体的な社会実装やどの既存デバイスを置き換えて、社会の発展に貢献するのかに関するビジョンが明確ではない。性能の良いデバイスを開発することはもちろん重要であるが、それがどのような場所で実際に使われ、未来技術の一翼を担うのかに関する道筋をもっと明確に示してほしい。</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>・基礎研究的に非常に優れた特性を示すデバイスの開発には成功しているものの、そこからどのように社会実装に向かうのかに関しては必ずしも明確ではない。</li> </ul>
総合	<p>S:1 A:2 B:1 C:0</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・傑出した成果を出しており、プレゼンスが大きい。ただし、学術論文として「ウケる」テーマを選択的に推進しているように見え、産業界などとの対話・連携を通して社会課題の解決につながる成果の応用展開をより意識する必要性も感じられる。</li> <li>・総じて、優れた成果を挙げているので、「高集積化に寄与できる」「素子開発につながる」「応用への展開」などの部分で、実際の社会実装として見えてくる展開を期待したい。</li> <li>・最先端微細加工や医療技術への展開など種々のデバイス開発を通じた大きな貢献を期待できるプロジェクトであるので、インパクトの高い研究テーマをさらに推進できるよう今後の展開に期待したい。本プロジェクトの性格上プロジェクトとして統一した視点で展開し難い部分がある。次期プロジェクトではその課題が克服され、より方向の定まったプロジェクトとして再編成されることを期待したい。</li> <li>・ナノアーキテクトの概念に基づいてデバイスを開発する本プロジェクトは、基礎研究的な要素を必要とするものの、実際に利用されるデバイスとして社会実装を意識すべき分野であると考えられる。その観点に立てば、7年間の間に次世代デバイスの芽となるものと、社会実装を実現した成果や社会実装一步手前のデバイスが、成果として混在すべきと考えられるが、現状はほぼ基礎研究的な成果に留まっている。大学と異なり、国研での研究開発においては基礎に立脚した課題解決や実用化が求められる。今後はその観点で、今回得られたデバイスの芽を発展させて頂きたい。</li> </ul>