

プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成26年2月13日

評価委員：（敬称略、五十音順）

黒田一幸 早稲田大学大学院先進理工学研究科 教授
 清水敏美 産業技術総合研究所 フェロー
 長谷川修司 東京大学大学院理学系研究科 教授

確定年月日：平成26年2月22日

プロジェクト名	システム・ナノテクノロジーによる材料の機能創出
研究責任者の氏名・所属・役職	青野正和 フェロー/国際ナノアーキテクトニクス研究拠点 (MANA) 長/ナノシステム構築ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>最近の20数年間のナノテクノロジーの進展は、材料開発に2つの面において重要な新展開をもたらした。1つは、特異な性質をもつ未知のナノ物質が次々と発見されたこと、もう1つは、既知の物質でもナノ寸法の構造制御によって特異な未知機能を発現することがよく認識されたことである。これらの新展開は、ナノテクノロジーを用いた材料開発の未来に輝かしい夢を抱かせた。しかし、そのような期待に応えた材料開発の実例はまだ少ない。特に、革新的な実用材料の開発にまで至った例は限られている。これは材料開発を支えるナノテクノロジーに何かが不足しているからである。興味深い特異な性質を持つナノ物質やナノ構造も、それらのユニットを単独あるいは単なる集合体として用いる限り、そこから得られる機能は従来の物性論で予測できるものから大きくは脱せない。特徴的な性質を持つナノ物質やナノ構造を互いに有機的に相互作用するよう適切に組織化し、それによってこれまでの常識を超える革新的な機能を発現する新材料を開発しなければならない。本プロジェクトの目的はそれを実現することにある。</p> <p>本プロジェクトによって、21世紀の持続可能な社会の実現に必要なさまざまな革新技術を可能にする新材料の開発を著しく加速することができ、その意義は極めて大きい。</p>
研究内容	<p>(1) 情報通信技術および(2) 各種センサー技術に革新をもたらす新材料の開発に重点を置く。(1)については、従来の情報通信技術を支えてきたシリコンCMOS(相補型金属酸化膜半導体)デバイスが間もなく限界を迎えることを見据えた“Beyond CMOS”ナノエレクトロニクスの開発に向けた原子スイッチおよび関連するナノイオニクスデバイス、有機/無機複合デバイス、グラフェンデバイス、分子デバイス、超伝導量子情報デバイス、ナノ超伝導デバイス、さらに原子スイッチの学習機能を利用した脳型演算記憶デバイスなどに関わる研究を行う。(2)については、現今の環境の監視と制御の重要性に鑑み、超高感度分子センシング(単分子時空間センシング)、超並列分子センシング、テラヘルツ電磁波の発生と検出、ナノ点光源X線発生によるセンシング、細胞内外の信号伝達の新解析法などの研究を行う。</p>
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<p>重要なミッションは次の2つである：</p> <p>(1) 情報通信技術に革新をもたらす新材料を開発し、かつその具体的な応用を、実例をもって示す。</p> <p>(2) 各種のセンシング技術を革新する新材料を開発し、かつそれを用いた新しいセンシング技術を具体的に示す。</p>

<p>平成23年度～平成25年度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>	<ul style="list-style-type: none"> ・自己組織化単分子膜において、その任意の位置に走査型トンネル顕微鏡（STM）の探針によって電氣的刺激を与え、そこから連鎖重合反応を誘起し、導電性高分子鎖を任意の位置に形成する我々の技術を、1個の機能性分子への電気配線に用いて単分子ダイオードを実現しようとする研究が進展を見た。 ・酸化物高温超伝導体の電子状態はさまざまな異常な振る舞いをするが、その原因が不明であったところ、モット転移近傍の電子状態を理論的に詳しく検討することによって、それらの異常な振る舞いを説明することができた。これは、酸化物高温超伝導体の超伝導発現機構の解明に近づく成果である。 ・我々が開発した新しい原子スイッチは、ON/OFF スイッチングの機能だけでなく、脳の中で重要な役割を果たしているシナプスに酷似した機能をもつことが見出され、この特徴を生かして、原子スイッチを用いた脳神経回路網の実現に進んだ。 ・固体表面 [Si(111) 表面を微量の In で修飾した表面] において巨視的な超伝導電流が流れ得ることを初めて見出した。 ・電子の片割れとも言えるマヨラナ粒子を操ることによる新しい量子ビットを理論的に考案した。これはディコヒーレンス（量子力学的な重ね合わせ状態の乱れ）が起こらない新しい量子計算を実現する可能性を開くものである。 ・走査型プローブ顕微鏡（SPM）の多探針化を世界に先駆けて進めてきた中で、4探針の原子間力顕微鏡（AFM）とケルビンフォース顕微鏡（KFM）機能を兼ね備えた顕微鏡を完成することができた。
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況： 計画を超えて進展している。</p> <p>自己点検・評価： 本プロジェクトは、材料の性能や機能の数値を何割か向上せしめるという研究よりもむしろ全く新しい機能を開拓するという研究を目標としている。それゆえ研究の進捗状況を当初目標の達成度との比較において自己評価することは必ずしも容易でないが、予期しなかった独創的な成果が数多く得られており、研究は計画を超えて進展していると判断する。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 （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>	<ul style="list-style-type: none"> ・ナノテクノロジー研究を10年刻みで振り返れば、現在は第二世代の研究フェーズに入り、まさに、ナノメートルスケールの特異的な極限構造や特異的機能に特徴付けられるナノ物質の統合化、システム化の時代である。本プロジェクトはこの本流に合致するフロンティア研究であり、方向性に関しては特に大きな問題点はない。 ・本プロジェクトの目的・目標は、NIMS が取り組むべき極めて重要なものと評価できる。その意味で方向性を見直す必要はないと判断される。 ・従来のナノテクノロジーを超えた「システム・ナノテクノロジー」に挑戦するという極めて野心的なプロジェクトであり、その大きな方向性に沿って、それぞれのサブグループが多様な戦略と得意技をもって研究を進め、しかも大変興味深い成果を挙げていることは高く評価できる。特に、原子スイッチを応用して、学習機能のある神経回路網を模した回路を作ったという成果は特筆に値する。 ・当初より計画・ロードマップはやや過大な目標設定であったように思われるが、個々のサブテーマにおいて、世界レベルの成果が続けて発信されており、高く評価できる。 ・多様なサブグループを大きく括りながら、しかもサブグループの独自性を失わせない当プロジェクトのマネジメントは成功しているといえる。 ・サブテーマ間の連携とその結実には今後期待すべき点があるように思

	<p>われる。これまでの業績が、サブグループ個々の研究者の創意により展開されてきたように受け取れるので、連携のあり方、進め方については工夫の余地があるように思われる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現状のロードマップでは各サブテーマの独立並行の感じが強い。トップマネジメントによる現状の進捗を踏まえたサブグループ間の連携も取り入れた共存協調のロードマップも検討してほしい。 ・装置開発、物質開発、物性計測、そして理論手法など、極めて多様な側面を持つチームなので、サブグループ間の連携を強めれば、さらに成果が挙げると期待できる。例えば、サブテーマ1やサブテーマ5で開発した新規SPMを、サブテーマ2やサブテーマ3で開発した各種デバイスの特性計測に有効活用できると思うので、連携を強めて欲しい。 ・挑戦的な研究の継続性は重要である一方、想定外に生まれた成果に関しても、その技術的意義や関連動向を精査し、今後の計画において必要に応じたフォローアップが重要である。 ・プロジェクトタイプが目的基礎研究、応用研究、実用化研究、装置開発研究までを含むものとされているので、今後の研究スタンスの位置づけについてはよりきめ細かな配慮が必要であろう。
<p>②研究開発の進捗状況及び進め方 (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>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究はロードマップに沿って進捗していると判断できるが、最終ターゲットが新ナノシステムデバイス創出や実用化への道筋であるので、ハードルが非常に高い。個々のサブテーマでは世界レベルの成果が多数報告されているので、今後はそれらをどのようにインテグレートさせていくかではないかと思われる。 ・我が国の次世代の国際産業競争力の源泉は物質・材料に関する技術力であることは間違いない。本プロジェクトで取り扱われているシステム・ナノテクノロジーを源泉とする技術が近い将来、日本の国際競争力を支える部素材になっていることを期待する。 ・アカデミックインパクトだけでなく、ステークホルダー(利害関係者)である国民、社会、産業界などに向けた社会的な説明責任をより一層考慮してほしい。特に、常識を超える革新的な機能が具現化された場合、国民に対する分かりやすい、具体的な事例紹介、さらには近未来のストーリーについてもTPO(時間、場所、場合)に応じた成果発信が必要と考える。 ・この研究プロジェクトで扱う課題は、極めて挑戦的であり、この5年間では閉じないテーマであると予想されるので、継続的な努力を望みたい。 ・毎年、運営費交付金を超える外部資金を獲得して研究を進めていることは評価できる。しかも、外部資金プロジェクトの代表者が中堅・若手研究者であり、人材が育っていることを示している(⇒ヒアリングでは、まだ不十分との答えだったが)。 ・CREST代表や分担をはじめ外部資金の獲得状況も十分で、今後研究資源が適切に増強されることにより、更なる進捗が期待できる。 ・自己点検・評価において、進捗が計画より遅れているという課題もあるが、それを率直に認識し、改善に努めようとする姿勢が伺える。 ・研究責任者の自己点検・評価は妥当で、今後進捗させるべき点も明示されている。 ・「プロジェクト事前評価報告書及び事前評価結果に対する対応」資料の1ページ目の研究内容に、「ナノ点光源X線発生によるセンシング」「テラヘルツ電磁波の発生と検出」「細胞内外の信号伝達」という記述があるが、それに関する成果や経過報告の記述が見当たらない。この課題はどうなっているのか(⇒ヒアリングで事情が分かった)。サブテーマの最終ゴールのイメージの明確化と、現在の状況の位置づけをもっと明確

<p>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） （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、セレンディピティー、ほか）</p>	<p>に示してくれたら分かりやすかった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高レベルの論文が多数発表されており、世界的にも高水準であると判断される。2013年の発表論文数がやや少ないのは評価資料作成時期の問題であろうが、今後、より充実した成果発信が見込まれる。招待講演数も非常に多く、本プロジェクトからインパクトのある成果が得られていることが確認できる。特許出願・登録も順調に推移している。 ・毎年100報程度の論文を生み出し、100回近い招待講演を行っていることからみて、本プロジェクトは高いレベルの成果を十分な量、出していると判断できる。 ・世界のナノテクノロジー・材料研究開発を先導し、かつ国際的水準を十分に満足する独創性の高い学術的成果が発信されており、アウトプットは顕著で高く評価できる。 ・主な成果概要に記載されているトピックスはいずれも最先端の内容で、本プロジェクトの革新性をみることができる。例えば超高感度分子センサーの開発など、将来の診断技術の飛躍的進歩に貢献することが期待される波及効果の高いテーマであり、今後も大きな展開が期待できる。またトンネルダイオードの原理実証など未達ではあるが、今後も全力で取り組むとされており、その実現に期待したい。 ・擬似神経回路網や単分子デバイス、単原子層・分子層トランジスタ、各種高感度センサーなど、可能性の広がるテーマのもとで着実に成果を出しており、それらは本プロジェクト終了後も内外に大きな影響を与える重要な成果であることは容易に想像がつく。 ・大学等では不可能な MANA ならではの息の長い研究であるので、是非継続して努力して欲しい。
<p>④総合評価 （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）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・世界トップレベルの成果が出ており、今後もインパクトのある研究成果が期待できる。 ・強力な外部資金獲得力と豊富で緻密な国際連携ネットワークを持つ卓越した研究者集団が強力な研究責任者の下に集結し、新たなナノテクノロジー・材料分野の世界を牽引していると評価できる。 ・総合的に判断して、極めて良好な研究プロジェクトである。多様なサブグループを取りまとめつつ、しかもサブグループの独自性も尊重し、そのなかから中堅・若手研究者が育っているのが分かる。 ・数値目標達成、機能や物性値の改善といった従来の研究開発推進型とは一線を画してマネジメントする挑戦型の研究は、拘束されない自由発想型で、セレンディピティーに基づく新発見につながっている。だからこそ、得られた新発見や新技術に対する優位性の説明を「競争比較対象が無い」ではなく、例えば、新たなデバイス試作でどれほどの低消費電力、超高速操作などが現在の普及デバイスと比較して優位性があるのか、将来の夢を語る社会責任的な説明責任をさらに求めてほしい。 ・本プロジェクトは非常に挑戦的・革新的な材料・デバイス・システム創製であるので、プロジェクト期間後半ではサブグループ間の連携をより密に相乗効果を発揮し、目的とするデバイス創製に繋がる成果創出を目指すことで、NIMS を代表するトップクラスの成果が生まれるものと十分期待できる。 ・物質開発、物性測定、装置開発、理論と、多様な側面をカバーしているチームなので、願わくは、サブグループ間の連携を強化して相乗効果を出せば、さらにすばらしい成果が得られると期待できる（⇒ヒアリングでその努力・工夫をしているとのことを了解した）。

各委員の総合評価点 (10点満点)		9、8、9 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		8.7 (小数第二位四捨五入)
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
7		
6		
5	B	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。
4		
3		
2		
1	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。