

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3月7日

プロジェクト名	ケミカル・ナノテクノロジーによる新材料・新機能の創出
研究責任者の氏名・所属・役職	佐々木高義 フェロー/ソフト化学ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>本プロジェクトでは、NIMSがこれまで開発・蓄積してきたユニークな合成技術を活用し、有機から無機にわたる広範な物質系で新規ナノスケール物質を系統的に探索する。ナノメートルレンジのサイズと形状に加えて、これまでほとんど注意が払われてこなかった組成・構造の精密制御（例えばドーピング）といった視点を加味することにより、ナノスケールに由来する機能を増強、高度化した形で引き出すだけでなく、未知物性や新現象の発見（セレンディピティ）を狙う。</p> <p>次にこれらナノスケール物質の持つ優れた機能を活かして、有用材料やデバイスを創製するために、目的とする機能に合致した特性を有するナノスケール物質と機能性物質をパーツとして、室温付近の化学プロセスにより、これらをナノレベルで集積・複合化する「ケミカル・ナノテクノロジー」と呼べる技術を開発・完成させる。これにより電子的・磁氣的・光学的・化学的機能など、多彩な機能開発が可能となるものと考えられ、基礎、応用の両面にわたる広範な展開が期待される。</p> <p>エレクトロニクスや環境・エネルギー技術に代表される現代先端技術社会の革新のスピードは非常に早く、既存材料、技術の延長線上の改善・改良では限界に達しつつある技術課題が数多く存在する。本プロジェクトで追求するような新パラダイムに基づく材料創製こそが、不連続な性能アップ、全く新しい機能の発現をもたらし、大きな技術革新につながる可能性を秘めているといえる。多くの困難が予想されるこのような基礎・基盤的課題に、NIMSがこれまで蓄積してきた先端的材料合成技術を駆使して取り組むことは大きな意義がある。</p>
研究内容	<p>ソフト化学合成、自己組織化技術、電気化学的エピタキシャル成長法など、MANA（国際ナノアーキテクトニクス研究拠点）が有するユニークな合成技術を用いて、セラミックス・金属・有機材料等、種々の材料系について、組成・構造の精密制御を意識した系統的なナノスケール物質探索を行う。これにより、元素置換、欠陥導入・制御、価数制御等を実現した「第二世代ナノスケール物質」としての新規ナノチューブ、ナノシート、ナノ粒子、ナノ細孔材料、超分子材料などを創製するとともに、それらの組成・構造や物性を詳細に解析する。さらに、様々な化学的ナノ操作による配列制御技術を駆使して、これらのナノスケール物質を集積もしくは異種物質と複合化する高次ナノ材料創製プロセスを確立し、次世代エレクトロニクスや環境・エネルギー技術分野に貢献する高度な電子的・磁氣的・光学的・化学的機能の発現、開発を進める。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>(1) 高機能ナノスケール物質の創製：セラミックス・金属・有機系ナノスケール物質を、組成、構造を精密に制御して創製する技術を確立し、優れた電子的・磁氣的・光学的・化学的機能を高度に制御した形で発現させる。</p> <p>(2) 物性開拓：新規ナノスケール物質が示すナノスケール領域での特有の</p>

	<p>物性と、元素ドーピング、原子価ならびに欠陥制御などとの相関に関する理解を確立し、既存機能の大幅な向上とともに、全く新しい特性や現象の発見を狙う。</p> <p>(3) 材料創製と機能開発：(1)において創製される高機能ナノスケール物質を精密に集積化、複合化するケミカルプロセス技術を開発し、既存材料・技術では実現できない革新的な機能を発揮する新材料 (high-k (高誘電率ゲート絶縁膜) ナノ薄膜、全固体型リチウム電池、放熱基板、バイオマス変換触媒、光エネルギー変換触媒など)、技術を創製する。</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>	<p>1) 主な研究成果(アウトプット)： 本研究の主眼となる新規ナノ物質の創製研究では、研究期間前半期だけで当初目標に迫る多数の新物質の合成を達成した。これは Chemical blowing 法やトポ酸化法など独自の合成法の開発・活用に加えて、組成、構造の精密制御を意識したナノ物質合成という本提案の狙い・戦略が有効に機能した結果であるといえる。代表例をあげると不純物散乱が大幅に低減され、優れた輸送特性を示す Si/Ge コアシェルナノワイヤー、誘電性や光学機能が顕著に増強・変調されたペロブスカイト型酸化物ナノシート、全て遷移金属イオンからなる水酸化物ナノプレートレット、ナノコーン、ナノシートなどの合成を達成した。また最先端 SPM/TEM (走査型プローブ顕微鏡/透過型電子顕微鏡) 複合システムによるその場観察技術により、他の手法では迫ることができないナノ物質単体が示す様々な特異的な性質、挙動を明らかにした。もう一つの重要な目標であるマテリアル・ナノアーキテクトニクスによる機能開発でも、着々と成果が挙がってきており、BN/ポリマーナノコンポジットでは配合方式の工夫などにより熱伝導度、機械的強度の目標値に迫りつつある。high-k ナノ薄膜の開発では組成をチューニングした Ti/Nb 酸化物ナノシートを稠密・多層累積することにより、目標とした誘電性能をすでにクリアし、実用開発への展開を狙う状況に達している。また超分子化学をベースとした取り組みでは、薬物放出挙動の様々な制御を可能とするシリカ薄片集合中空シェルや、クラウンエーテル分子の設計による土壌中のセシウム塊の可視化検出薬の開発など顕著な進展が見られる。さらに触媒機能を目指した取り組みでは貴金属錯体集積体や BN が極めて高い光電気化学活性を発揮することを見出している。</p> <p>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)： 本研究で創製された新規ナノ物質およびナノ構造材料は、そのユニークさ、新規性などから関連学会・分野で高く評価されている。その一つの表れとして、国内外の多くの学会より講演の招待を受け、また総説の執筆依頼を多く受けている。特に Adv Mater、Chem Rev、Acc Res Chem 誌等の一流誌より Review article の執筆依頼を受けていることは、関連分野を先導する成果を挙げている証左と言えよう。一方、産業界からもシーズ材料として数多くの引き合いを受けており、NIMS の連携メニューである共同研究、業務実施等として正式契約に至ったものだけでも 20 社前後を数えている。その中には NIMS-DENKA 次世代材料研究センターなどの新組織設立や high-k ナノシートの誘電デバイス開発に関する大型資金提供型共同研究など、本格的な開発フェーズに移行しつつあるものも含まれている。</p>
<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： 予定を上回る進捗状況である。</p> <p>自己点検・評価： Chemical blowing 法やトポ酸化法など独自に編み出した合成法を駆使することにより、約 25 種類の多彩なナノ物質・材料(ナノチューブ、ナノワイヤー、ナノコーン、ナノシート、ナノシェルなど)を合成することに成功し、その多くが様々な特異機能を発現することを突き止めた。これらの研究の中で、</p>

	<p>層状結晶の巨大水和現象、BNの貴金属を上回る触媒活性など当初の計画では予想していなかった新現象・新機能の発見にもつながってきている。一方、得られたシーズの実用展開に向けた検討も、酸化ナノシートの誘電体応用などにおいて順調に進捗しており、セシウム検出用試薬では市販化にまでこぎ着けることができた。以上を総合して、本研究の期間前半期は計画を上回る進捗、成果を得ていると判断している。</p>
【評価項目】	コメント
<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"> ・新機能物質探索・創製を基本の方向性に置き、ナノスケール物質の組成構造精密制御とその集積化による新材料・新機能創出を目的としており、我が国の他機関では成し得ないNIMSの強みを存分に生かしたプロジェクトであり、これまでの実績に基づく確かな計画と、各サブテーマを引っ張る研究陣とその実施体制も大変充実している。 ・セラミックス、金属、無機材料、有機材料といった多様な材料種のナノスケール物質を対象にして、その組成や構造の制御だけでなく、欠陥構造の制御も取り入れた挑戦的な研究課題に挑んでおり高く評価できる。 ・当初目標に向けて、機能性ナノシート、ナノチューブ、超分子などの形態に特徴づけられる興味ある構築単位が着実に創製されていることは非常に頼もしい。 ・それぞれが得意とする合成法を駆使して新しいナノスケール物質が次々と開発されているのは驚嘆に値する。 ・個々のサブテーマの研究は、無機ナノスケール物質からドラッグデリバリーまで多岐にわたって順調に進んでおり、質、量ともに極めてすぐれた成果が挙げられている。 ・CREST、「さきがけ」をはじめ外部資金の獲得も十分である。 ・ロードマップ上はナノスケール物質の機能化に今後力点が置かれることになっているが、今後も最先端基礎科学に立脚した世界レベルの物質創製研究も継続して展開されるべきと考える。 ・ロードマップの記述が一般的で具体性に欠けているのが残念である。研究開発も中間期を迎えた以上、ロードマップもより具体的なマイルストーンの記述や数値目標の導入も検討する必要がある。また、サブグループ間の連携も考慮したロードマップも検討の余地がある。 ・ロードマップについては中間評価を踏まえ、現行版で散見される記述上の若干の不整合を修正してほしい。 ・サブテーマ間の連携についてはすでになんらか進んでいるが、欲を言えば連携ならではの画期的成果がこれまで以上に生まれることを期待したい。 ・下記の点で改善する余地があると思われる。 <ol style="list-style-type: none"> (1) サブグループ間の共同・連携による成果があまり感じられない。グループリーダーミーティングやグループ横断セミナー・打ち合わせなどどの程度の頻度で行われているのか。たとえば、サブテーマ2とサブテーマ5の両方でBNナノシートを扱っているが連携はあるのか不明である(⇒ヒアリングでは、その努力を行っていることが判明した)。 (2) それぞれのサブテーマでの最終ゴールと、現状の位置づけの関係が分かりにくいので、サブテーマによっては研究の方向性が見えづらい。ミッションステートメントとロードマップの記述が一貫していなかったり、平成26・27年度以降の研究計画概要が、それまでの研究目標に触れられていない全く新しいテーマを出してきたりしており、一貫性に欠けるように感じられる。

<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"> ・各サブテーマから多くの成果が生まれており、本プロジェクト全体では予想をはるかに上回る極めて多数の成果が得られている。 ・現在までの研究進捗状況は極めて優れており、計画以上の成果が挙げられているサブテーマもあるのは高く評価できる。 ・それぞれのサブグループが長所と得意技を活かして成果を出しているのはすばらしいし、自己点検・評価も妥当といえる。 ・新規ナノスケール物質の創製や集積化、機能化・材料化も順調に進展しており、また当初計画になかった成果(巨大水和膨潤現象、機能性ヒドロゲルの創製)も得られており、自己点検・評価は妥当であると判断される。よって本プロジェクトはこれまでの方向性と勢いを保ちつつ進展させるべきと考える。 ・研究責任者自身が認めているように新物質発掘は世界トップレベルを維持しているが、応用展開に関しては相対的にやや弱いので、資金・人材をさらに充実させれば、NIMSの成果をより強く世界に発信できるものと期待される。 ・運営費交付金を上回る外部資金を獲得して研究を進めていることも極めて高く評価できる。ただし、今後の進め方のうち、サブテーマ5がフェムト秒時間分解測定を計画しているとのことだが、当初の目標やミッションステートメントには全く記述の無い新規事項であり、その位置づけが不明である(⇒ヒアリングでの質疑応答で疑問はある程度解消した)。 ・サブテーマ個々の進捗が個別的で、サブテーマ間で少し温度差が感じられる。特にサブテーマ5は固体表面をナノアーキテクトニクス場としており、他のサブテーマが特徴的に有するナノスケール素材を活用した電極触媒への応用などの連携が望まれる。 ・研究計画に対する自己点検・評価においては、ミッションステートメントで記載された達成目標(値)を反映したものでなく、かなり感覚的な自己点検・評価となっており、記載された計画目標を反映した達成度を第三者が評価することが少し困難となっている。
<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>	<ul style="list-style-type: none"> ・定年制職員総勢で20名程度のプロジェクトで1年間に200報を超える論文を出したことは驚嘆せざるを得ない。これは、外部とのコラボレーションを多数行っている成果だろうと想像するが、その点でも高く評価できる。総説記事や招待講演も極めて多数に上っており、当該分野での注目度が高い証左といえよう。 ・研究成果の質は明らかに世界トップレベルにある。波及効果の大きい成果が各サブグループから連続して発信されており、質、量の両面で圧倒的で、非常にハイレベルのアウトプットを示している。総説数、招待講演数も数多く、インパクトのある成果の証左となっている。 ・レベルの高いジャーナルに数多く掲載されるのみならず、総説も高IF(インパクトファクター)の雑誌に掲載され、被引用回数も多く、世界的な注目度も高い。 ・世界のナノテクノロジー・材料研究開発を先導する独創性の高い革新的な学術的成果が発信されており、アウトプットに関しては顕著で高い評価ができる。一方では、プロジェクトの中間時期であり今後の期待が大であるが、アウトカムやインパクトに関してはもう少し説明責任の必要がある。 ・本プロジェクトのタイプは基礎研究と目的基礎研究であるが、特許も数多く登録され、産業界との大型共同研究契約などデバイス開発につながる波及効果も生まれている。 ・20社程度の民間企業との連携を進めているとのことで、研究成果が単に学術的成果としてだけでなく、実用化に向けた成果としても波及効果が

	<p>高いことを物語っている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・巨大水和膨潤現象の発見はセレンディピティーによるものと判断できる。 ・ナノテクノロジー・材料の研究開発には、基礎・基盤研究の深掘りと課題解決型の材料研究の大きく2要素がある。材料開発と機能開発の宿命であるが、基礎的な深掘りの研究だけではなく、課題解決の視点も求めたい。 	
<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"> ・東日本大震災以降、科学技術に対する国民（産業ではない）の期待や要請が急激に高くなり、研究所の社会的責任としてその成果を国民と共有し、還元する必要がある。総合科学技術会議の科学技術イノベーション総合戦略にも、科学技術基本計画のグリーンイノベーションやライフイノベーションとともに、国民生活と直結する地域資源の活用、次世代インフラ、震災再生・復興が謳われている。我々の生活の身の回りの先端製品は我が国が国際的な技術力を有する材料、素材が基盤となっている。したがって、基礎的な材料開発といえども、アウトカムに加えてインパクトとして、材料が創る近未来の世界を説明する必要がある。 ・非常に高レベルの成果が数多く生まれているので、今後もこのアクティビティを継続すべきであり、また十分可能であろう。 ・プロジェクト期間後半では、機能化・材料化を一段と意識するとともに、より高品質のナノシート作製につながる基礎研究・基盤研究にも注力することにより極めて優れたプロジェクトとして展開するものと評価できる。 ・民間企業との大型研究契約、市販試薬への結実など、新機能・新材料創製への着実な展開がみられる。 ・非常に価値の高い材料ポテンシャルを生み出しているだけに、イノベーションの確立にとって欠かせない産業界や関連研究機関と効果的に連携し、我が国の国際競争力をさらに高めることを期待する。 ・合成された新規物質を実用化までもってゆくための戦略、たとえば企業等との共同研究をシステムティックに行う方策など、さらなる工夫も期待される。 ・総合的には、それぞれのサブグループの得意技で世界最高水準の研究成果が出されており、高く評価できる。惜しむらくはサブグループ間の連携強化によるシナジー効果が見えないので、それが出るとさらにすばらしい。 ・サブテーマ4（評価）および5（電極触媒）とサブテーマ1、2、3との連携協力がより進むことによって更なる展開も期待できる。 	
各委員の総合評価点 (10点満点)	8、9、8（順不同）	
総合評価点平均 (10点満点)	8.3（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 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		

4	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。
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		