

事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年8月9日

評価委員：（敬称略、順不同）

齋藤 弥八 名古屋大学大学院工学研究科 教授 （主査）

組頭 広志 東京大学大学院工学系研究科 講師

塩原 融 超電導工学研究所 副所長・部長

楠 美智子 ファインセラミックスセンター材料技術研究所 マネジャー

記入年月日：平成18年11月24日

課題名	ナノスケール環境エネルギー物質に関する研究
研究責任者名及び所属・役職	板東義雄 物質研究所 フェロー、超微細構造解析グループ ディレクター （現在：フェロー、若手国際研究拠点 拠点長）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成13年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：693百万円、外部資金：183百万円 参加人数：（平成17年度）32人（専任：10人、併任：1人、ポスドク：10人、外来：8人、技術補助：1人、事務補助等：2人）
【研究全体の目的、目標、要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>材料ナノテクノロジーは21世紀の産業革命をリードする基盤技術として最も重要であり、我が国が緊急に取り組むべき戦略的な研究課題である。ナノチューブやナノシートなどのナノスケール物質はバルクには見られない新しい機能を発現させることから、次世代の新材料として特に注目されている。物質をナノスケール化すると、従来にない新規な特性が現れ、さらにそれらをナノレベルで組織化すると、機能の高度化や新デバイスの創製が実現できる。ナノスケール物質は革新的な半導体、触媒、発光、電子放射、高強度材料などとして、エネルギーや環境分野での利用が可能である。</p> <p>板東らは高度な電子顕微鏡観察技術を駆使して、これまでBNのナノチューブやコーンを発見するなど優れた成果を挙げてきた。また、佐々木らは剥離技術を用いた酸化物ナノシートの合成に世界で初めて成功するなど、ナノスケール物質の創成と評価研究で世界をリードしてきた。本研究では、提案者のこれまでの実績をもとに、酸化物や非酸化物など無機系物質において新しいナノチューブ、ナノワイヤー、ナノ剥離シート、ナノ複合粒子などの特異な形態を持つナノスケール新物質を創製し、その構造を解明し、さらに新機能の発現を目指す。また、ナノシートなどのナノスケール物質を組織化し、各々の素材の持つ機能の集積や混成効果を利用して複合的な新規機能を発現させる。さらに、エネルギー貯蔵素子への応用が可能な新デバイスを創製する。</p> <p>研究計画概要：</p> <p><u>サブテーマ（1）：ナノスケール物質</u></p> <p>1. 新規なナノチューブの探索・創製に関する研究 高度な電子顕微鏡観察技術を活用して、CVD法や水熱合成法などの合成法を用いて、これまでにその存在が知られていない新規なナノチューブを10種類以上探索・創製を行う。</p> <p>2. BNナノチューブの高純度合成と機能発現 MgO やB-N-O系の新しいプリカーサーを探索し、高純度なBNナノチューブの創製を行う。また、水素吸蔵や元素ドーピングによる機能発現を行う。</p> <p><u>サブテーマ（2）：光エネルギー材料</u></p> <p>1. 新規ナノシートの探索・創製とそのナノ集積化技術の開発 ソフト化学反応を活用し、遷移金属層状酸化物の単層剥離によるナノシート化を図る。ナノシートの集積化技術を開発し、新機能発現を行う。</p> <p>2. 光エネルギー貯蔵素子の研究</p>

	<p>半導体や固体電解質等のナノレベルにおける接合を活用して、電気エネルギーとして取り出すことができる、約20%の光エネルギー貯蔵素子を開発する。</p>
【全研究期間の成果等（研究全体）】	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <p>当初の計画の約10種類以上の新規なナノチューブ・ナノシートの探索・創製や約20%に相当した光蓄電貯蔵素子の開発などすべて数値目標を達成した。主な成果として、</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ナノ温度計を発見(Natureに2002年、ギネスブックに世界最小温度計 2004) 2. 酸化物ナノチューブを用いたナノ温度計の創製(APL 2003, Adv Mater 2003) 3. 炭素を含まない高純度BNナノチューブの合成法に成功 (Chem Commun 2002) 4. BNナノチューブの水素吸蔵特性を発見(JACS 2002) 5. 元素ドーピングによるBNナノチューブの半導体化に成功(JACS 2005) 6. 新型BNナノチューブ(コニカル型)を発見(JACS 2003) 7. ZnS、Si、GaN、InN、MgO、In₂O₃など15種類以上の新規な単結晶状ナノチューブを世界に先駆けて創製することに成功(Angew Chem 2003, 2004, 2005, Adv Mater 2005など) 8. 層状コバルト酸化物の超伝導性を発見 (Nature 2003, Adv Mater 2004) 9. 酸化マンガンのナノシートの創製と光電流特性 (JACS 2003, JPCB 2005) 10. 層状複酸化物の単層剥離に成功(Chem Mater 2005 JACS 2006) 11. 酸化チタンナノシートの光触媒性や光誘起超親水性特性解明(JACS 2004) 12. ナノシートのレイヤーバイレイヤー累積法の開発に成功(Adv Mater 2004) 13. ナノシートを用いたナノ形態制御法の開発 (Chem Commun 2004) 14. 高効率光エネルギー変換素子の開発に成功(J Electrochem Soc 2005など) <p>ナノ温度計、BNナノチューブ、酸化チタンナノシートなどは民間企業との共同研究が実施され、それらの実用材料としての展開が始まりつつあり、社会・経済への波及効果が十分に見込まれる。また、ナノ温度計の発見はNew York Timesなどに掲載され、世界的な大きな反響を起こした。さらに、層状コバルト酸化物の発見は多くの超伝導研究者の関心を引き、最も被引用回数が多い論文（発表後3年間で380）の一つとして世界的に注目を集めるなどの大きな波及効果を与えた。</p> <p>論文：55+178、55件*、プロシーディングス：3+11、6件*、解説・総説：2+25、55件*、招待講演数：18+71、25件*（*：+の前の数値は平成13年以前の数値、+の後ろは研究の寄与率を考慮した平成14-17年の値）</p> <p>特許出願：143件、登録：12件、実施許諾：0件</p>
【評価項目】	コメ ン ト お よ び 評 価 点
マネジメント 実施体制 (サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性)	<p>コメント：</p> <p>積極的に実用化を目指した企業や外部機関との連携が、有効に働いたと高く評価できる。サブテーマ間の連携も良かった。しかし、他のナノ関連プロジェクトとの連携が見えないのが残念であった。ナノスケール材料特性の研究では分野間の連携が有効であることが多く、他プロジェクトとの交流も積極的に進めることが重要である。また、セレンディピティーな成果（ナノ温度計、水和コバルト酸化物）を基にしてスタートした共同研究が多く、始めに明確なスキームがあっても良かった。</p>
<p>*評価点（10点満点）：9 評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している 7点：よく考えられている 5点：平均的な体制</p>	

3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった	
アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)	コメント： Nature や Adv. Mater. などのトップジャーナルに多数の論文が発表され、質・量の両面で非常に高いアウトプットが出ている。基礎研究として国際的に注目される研究成果が得られており、非常に高く評価できる。また、新材料の特許も数多く出願されている。今後は、ナノ材料のデータベース化にも期待したい。
* 評価点 (10点満点) : 10 評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている 7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準 3点：少ない 1点：問題がある	
目標の達成度 その他アウトカム、波及効果	コメント： このような基礎研究では、目標達成にあまり重点をおく必要はないとも考えるが、物質探索という研究目的に沿って、ナノシート、ナノチューブといった当初の目標を大きく上回る新物質が多数発見され、またセレンディピティーな興味深い結果も出ており、ナノスケール材料の基礎研究として大いに評価できる。また、産業応用への展開などの点でも高く評価する。この他、高度な電子顕微鏡技術を駆使したこともこのプロジェクトの特徴で、この技術があったことによって世界に向けたより強いインパクトとして発信でき、大いに波及効果があったと思われる。今後は理論的手法による展開、たとえば、現在数ナノレベルのチューブを製作するプロセスはトライアンドエラーが主体であるが、理論的アプローチは不明で、今後は理論的手法の導入も必要と考える。第2期中期計画における発展が期待できる。
* 評価点 (10点満点) : 9 評価基準 9点：一つの分野を形成した 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 5点：目標はなんとか達成された 3点：目標の部分的な達成 1点：目標達成にはほど遠い	
総合評価 研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。	コメント： ハイブリッド材料における最小単位となるナノシート、ナノチューブを新しく発見し、この分野の基礎研究を推進した点で高く評価する。物質の合成技術とその評価技術ともに優れており、これらがうまくかみ合い、成果が生み出されている。すべての点において、優れた成果が挙がっており、ナノマテリアル研究にまだ多くの夢があることを示した点でも意義がある。ナノのものづくりはNIMSが誇る技術・研究ということを、広く世界に示したと評価する。まだまだ応用を意識し過ぎずに大いに新物質の探索に挑戦してほしい。 第2期中期計画でのプロジェクトでは、理論計算や先端分析など他のNIMS内プロジェクトや他グループとの共同研究体制スキームを構築すれば、より研究がスムーズに進むと思われる。また、実用化に向けたメーカー（ユーザー）との連携も、今後は重要になると思われるが、それに向けて量産化の課題抽出も積極的に行ってほしい。
* 総合評価点 (10点満点) : 9 評価基準 9点：すべての点において模範的に優れている 7点：総合的に優れている 5点：平均的 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

9、10 S
8 A+
6、7 A

5 A-
3、4 B
0~2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
S	S	S	S