

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1月7日

評価委員：（敬称略、五十音順）

秋吉一成 京都大学大学院工学研究科 教授
 加藤隆史 東京大学大学院工学系研究科 教授
 河本邦仁 名古屋大学大学院工学研究科 教授

確定年月日：平成26年3月10日

プロジェクト名	新材料創出を可能にする粒子プロセスの開発と応用
研究責任者の氏名・所属・役職	目 義雄 先端材料プロセスユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>ナノ粒子プロセスの高度化を通して、ナノメートルオーダーからマイクロメートルオーダーまでの高次構造制御を行い、ユビキタス元素を利用した地球環境・エネルギー問題の解決に寄与する環境調和型多機能無機材料（特に、光デバイス、燃料電池、二次電池材料、など）の創製を目指す。そのため、（1）ナノ粒子、ナノチューブ、メソ細孔を利用したプロセスの高度化、それによるナノ構造物質の創製と機能化、（2）強磁場、電磁場、超高圧、などの外場の作用を利用した高次構造制御無機材料創製のためのプロセスの高度化、（3）微構造と種々の機能特性との相関の解明、および計算科学手法に基づく結晶構造と機能発現との相関の解明、を図ると同時に相互にフィードバックする。</p> <p>本提案で創製を目指す IT、環境・エネルギー等に関する材料は非常に先端的なものである。我が国はこの分野のセラミックスで強い競争力を持ち、例えば、半導体製造機器は世界のトップシェアを獲得し、排ガス処理の環境浄化用セラミックスは日本が独占的に製造している。本提案は、このような開発競争力を維持・発展させる研究としても位置づけられる。これらは、今後の社会を担う重要産業であり、将来までの発展を視野に入れた基礎技術開発が必要である。機能発現を目指したナノ粒子プロセスの開発・高度化、ナノ構造の設計と特性解析、機能探索を一貫して総合的に行うことが必須であり、本研究体制に比肩できる大学、研究機関は見当たらない。単機能の先鋭化された物質・材料、多機能物質・材料の開発には、本プロジェクトが有する一貫体制が威力を発揮するものと期待される。</p>
研究内容	<p>研究期間前半の約3年間に、目標特性の実現に必要なプロセス要素技術の開発、機能探査を行う。すなわち、外場印加によるナノ粒子、ナノチューブなどの配列・集積化、電場と強磁場を印加したコロイドプロセス、積層化や反応焼結による配向制御、超高圧利用技術、を開発し、発展させる。このうち、研究開発が進んでいるカーボンナノチューブ系に関しては、電子源、センサー、太陽電池への応用研究を先行して実施し、応用研究体制を整えていく。後半の約2年間には、前半3年間で得られるプロセス要素技術とナノ構造設計に基づいた材料合成を行い、単一機能や重畳機能のピークを得るための局所構造や組成の最適化設計を進め、IT、環境・エネルギー等の産業分野における次世代精密デバイスや機器への応用探査を行う。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>本プロジェクトは、外場制御プロセスの高度化により作製したナノ粒子、メソ細孔材料の機能化、高次構造制御技術および評価・設計技術の高度化、外場として特に超高圧技術の高度化を掲げており、そのための新規プロセス技術、シミュレーション技術を10種類以上開拓することを目標とする。また、ノベルカーボン材料を対象を絞った合成法の開発、開発が先行しているカーボンナノチューブの応用展開、また、未開拓構造の多い非酸化物系の機能探査を通して、新規な環境調和型多機能無機材料を10種類以上創製することを目標とする。</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）： 半導体ナノ粒子では、可視～近赤外波長域で発光する結晶ナノ粒子の高効率湿式合成法の開発に成功し、350～1280nmの広い波長域において、発光色を連続的に制御することを初めて実現した。また、発光色の加成性の成立を従来Siナノ粒子では未達成の疑似白色発光の実現により実証した。 フラーレンナノウィスカーの超伝導転移温度 T_c を平成23年度の17K（K添加）から約25K（Rb添加）へと大幅に上昇、フラーレンナノマテリアルを用いた有機薄膜太陽電池の作製、グラフェン・カーボンナノチューブ複合材料を用いた電極材料の高エネルギー密度化（世界最高レベルの200 Wh/kg（従来値：150 Wh/kg））、力学特性の優れたカーボンナノチューブ分散電気伝導性アルミナ高密度焼結体（アルミナ基としては最高の5,000 S/m（従来値：500 S/m））の創製、に成功した。また、高圧流体相制御による新物質合成・探索、衝撃圧縮下その場観測等の超高压技術、電場と強磁場を印加したコロイドプロセス、先端焼結技術、焼結過程の理論解析などの高度化を進め、新規水素化物、高酸素イオン導電体、透光性セラミックスの開発、高強度・高靱性セラミックスの創製、等を進めた。 さらに、微小1粒子からの組成・構造解析、および光学測定技術を開発した。合成した粉末から1粒子を取り出し、その組成・構造解析を行い、光学測定を行うことにより、単一物質の組成・構造解析、光学測定が可能になった。</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）： 半導体ナノ粒子に関して、自己組織化に基づくコア・シェル構造のテーラメイド技術の確立は、光源デバイス創出をはじめ格別の波及効果が期待される。ナノカーボン素材の秘めたるポテンシャルは、環境・エネルギー問題の有効な解決策になることが期待される。超高压力、微粒子プロセスの高度化は、多機能セラミックスなどの創製に繋がることが期待される。微小1粒子からの組成・構造解析、及び光学測定技術は、高特性新規物質の探索を促進する。 $LiSi_2N_3$ は固体電解質、電極材料としての応用が考えられ、全固体リチウムイオン二次電池の実現に寄与しうると考えられる。</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： 高度に形状・組成制御されたナノ粒子、フラーレンナノウィスカーの超伝導化、電場と強磁場を印加したコロイドプロセス、先端焼結技術、超高压利用技術、の高度化、微小1粒子からの組成・構造解析及び光学測定技術を開発など、研究計画を超えて進展している。</p> <p>自己点検・評価： 高度に形状・組成制御された微粒子の作製研究は大きく進展し、特にフラーレンナノウィスカーの超伝導化、有機薄膜太陽電池の作製など顕著な成果が得られた。技術目標に関しては、発光波長を「近紫外～可視～近赤外」において連続的に制御できるGeやSiナノ粒子の創製、さらにパルス通電焼結による高強度の透光性セラミックス、高強度・高靱性セラミックスなどの多機能セラミックス創製、窒化物系新規物質探索法を確立し10件の新規結晶の発見、など大きな進展があった。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>

<p><u>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携</u> (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"> ・ ナノ微粒子プロセスの高度化を通して、ナノメートルオーダーからマイクロメートルオーダーまでの高次構造制御を行い、ユビキタス元素を利用した次世代環境調和型多機能無機材料の創製を行うという研究の目的と方向性は、地球環境問題、エネルギー問題とも関連し、緊急性があり意義あるものである。 ・ 構造系セラミックス新材料を目指すもので、新しい材料が生み出されており、目標も十分に達成されてきている。 ・ 研究開発も構造と物性の相関をしっかりと押さえながら進んでおり評価できる。 ・ 全般的に当初計画に従って順調に研究が進められている。 ・ 比較的大きな規模のプロジェクトは機能的によくマネジメントされている。 ・ 優れたマネジメントが行われている。実施体制も問題はない。 ・ マネジメント、機構内連携も研究進展に着実に寄与している。 ・ 国内外との共同研究が積極的に推進され、サブテーマ間の連携もよくなされている。 ・ 目標達成の評価基準をよりクリアに厳しく設定して、研究促進に役立ててほしい。
<p><u>②研究開発の進捗状況及び進め方</u> (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"> ・ 独自に開発した多くの基盤技術をもとに、粒子作製、構造体化、設計、評価まで一貫した研究体制は世界に類をみない研究体制であることとそれを生かし、多くの NIMS 発の新規材料が生まれているのは高く評価し得る。 ・ 具体的に掲げられた数値目標を達成しているサブテーマも多く、研究開発は予想を超えて順調に進行している。 ・ 高いレベルの材料のナノ構造と物性に対する理解を基盤として新しい材料がいくつか開発されており、今後の展開も期待できる。 ・ 新材料創製、プロセス技術開発に置かれているカ点を物性・機能開発へ少しシフトして、真に役に立つ材料技術の開発へ繋げていくことを望む。
<p><u>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)</u> (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"> ・ 優れたフラーレンナノウィスカー超伝導体の開発や新規太陽電池への応用は大きな波及効果も期待できる優れた成果である。その他のノベルナノカーボンの開発と機能化においても更なる研究展開を期待したい。 ・ 論文も専門誌にしっかりと掲載されており、研究成果も十分にレベルが高いと考えられる。 ・ 材料科学系の高IF(インパクトファクター)専門誌へ多数の論文発表がなされている。また、特許出願も積極的に行われており、高水準の成果が挙げられているとみなせる。 ・ 掲載論文数も多く、また特許の登録数や実施許諾数も数多くなされていることは特筆に値する。 ・ 他分野等への波及効果の点で若干物足りなさを感じる。今後はアウトプットからアウトカムへ視点を移して自己点検・評価する姿勢が求められる。

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)		<ul style="list-style-type: none"> ・本プロジェクトからこれまでに次世代最先端材料がいくつも見出されており、世界を先導する基礎研究は今後も成果が期待できる。 ・構造系セラミックスにおける優れた材料が、構造を精密に制御する試みにより生み出されてきており、今後のさらなる展開が期待できる。マネジメントも適切と考えられる。 ・世界的に競争が激しい分野での優位性を保ちつつ、実用化を目指した産学独連携をより一層推進してほしい。 ・専門的には新物質合成や新機能発現、高度なプロセス技術の開発で見るべき研究が行われているが、他分野に対してビックリあるいは感心させるような成果になっていないのは何故かを良く考える必要がある。次のプロジェクトを発展的に立案していくためにも、前向きな反省をしつつ他分野と連携して新しいアイデア、発想で世界を先導するセラミックCOE (center of excellence) を考えてほしい。
各委員の総合評価点 (10点満点)		8、9、10 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		9.0
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	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。
4		
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		