

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成28年12月22日

評価委員：（敬称略、五十音順）

岸本 昭 岡山大学大学院自然科学研究科 教授

河本邦仁 豊田理化学研究所 フェロー

芹澤 武 東京工業大学物質理工学院応用化学系 教授

確定年月日：平成29年2月20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
研究責任者の所属・役職・氏名	目義雄 先端材料プロセスユニット長
実施期間	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>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、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、</p>

	<p>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27年度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)： カリウムドーピングによるフラーレンナノウiskアーの超伝導化($T_c=17K$)に初めて成功し T_c は 25K まで上昇し超伝導体積分率もフラーレンより 6 倍以上高くなることを発見した。また、独自に開発したグラフェン・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 200Wh/kg(従来値: 150Wh/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、高強度・高靱性を示す貝殻真珠層類似構造炭窒化物系セラミックスの創製、単結晶に匹敵する各種透光性セラミックスの作製、安定化ジルコニアよりも高い酸素イオン伝導度を示すオキシアパタイト型ランタン・シリケートおよびランタン・ゲルマネート緻密焼結体の作製、高圧合成法による新規の遷移金属窒化物高圧相 TaN 焼結体の創製、高純度 hBN(六方晶窒化ホウ素)単結晶の2次元デバイス材料として国際的な応用展開、に成功した。サイアロン系の微小単結晶粒子を用いた物質探索法を確立し、結晶構造、組成を明らかにすることにより新規蛍光結晶を効率良く発見でき毎年約10個の新規蛍光結晶を発見した。また、磁性ナノ粒子材料ではがん診断用磁性粒子の最適設計を行なうとともに設計上の留意点を明確化、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 ナノ粒子の創製、ナノ Si 結晶中において 30-48%の高量子収率と近赤外域における波長可変発光の両立、に成功した。</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)： 高度に形状・組織制御された微粒子作製技術、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 ナノ粒子の創製、高量子収率と近赤外域における波長可変発光の両立した Si ナノ結晶の作製、高エネルギー密度グラフェン・カーボンナノチューブ複合材料の作製、高圧下での材料創製技術、特に高圧合成法で得られた高純度 hBN 単結晶の2次元デバイス材料としての世界的応用展開、電磁場を利用した高強度・高靱性、高強度・伝導性セラミックスの創製、単結晶に匹敵する透光性セラミックスの作製、など様々な多機能無機材料の創製につながる基盤技術である。また、微小単結晶粒子を用いた効率的な新規蛍光結晶探索技術の確立は、次世代蛍光体イノベーションセンターを設立、多数の企業との共同研究に進展するなど大きな波及効果があった。</p>
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い： 電磁場など外場印加粉体プロセスの進展により、高い酸素イオン伝導度を示すオキシアパタイト型ランタン・シリケートおよびランタン・ゲルマネートを開発し、600℃以下の低温作動(現状は 1000℃)固体電解質としての進展、Ti3AlC2系でセラミックスとしては最高レベルの電高強度・高靱性を達成、さらに、高圧下での材料創製技術が進展し、新規の遷移金属窒化物高圧相 TaN 焼結体を初めて作製し、新規切削工具材料として民間共同研究に進展、高純度 hBN(六方晶窒化ホウ素)単結晶の2次元デバイス材料として国際的な応用展開、など特に顕著な成果が得られたと評価できる。また、新規多機能シリコンナノ結晶の創製と毒性が格段に低く発光効率の良いシリコン蛍光体を使ったバイオイメージングに世界で初めて成功、シミュレーション技術の高度化によるがん診断用磁性粒子の最適設計の明確化、新規低温固相還元法による新規ナノ粒子の創製、微小単結晶粒子を用いた物質探索法を確立し次世代蛍光体イノベーションセンターを設立、多数の企業との共同研究に進展など、技術目標を超えて進捗していると評価できる。</p> <p>自己点検・評価：</p>

	<p>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、および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の当初目標を大幅に超える成果を達成した。特に、高純度 hBN 単結晶の2次元デバイス材料として国際的な応用展開、新規多機能シリコンナノ結晶の創製と毒性が格段に低く発光効率の良いシリコン蛍光体への展開、次世代蛍光体イノベーションセンターを設立、多数の企業との共同研究に進展した成果は特筆される顕著な成果である。</p>
【評価項目】	コメント
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 (事前・中間評価の結果を受けて、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・設定されたロードマップに問題はなく、十分な実施体制と評価できる。 ・ロードマップ、実施体制、マネージメントはすべて問題ない。 ・国内外と多くの共同研究が行われ、良好なマネージメント体勢が構築されている。 ・内外の連携も十分で速やかに論文発表がなされている。 ・サブテーマ間の連携も十分に行われており、研究成果が得られている。 ・国内外の研究機関や民間企業との連携・共同研究も積極的に行われ、多くの成果に繋がっている。 ・ただし、内部研究者が筆頭著者の高 IF ジャーナル掲載論文が少なく、連携先からの論文に若干頼っている印象を持つ。
<p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・当初の目標を十分に達成している。 ・目標はほぼ達成できている。 ・粒子プロセスについての技術レベルの向上に大きくつながっている。 ・光機能材料を中心に、多くの新規な材料が生み出されている。 ・それぞれの粒子材料について得られた成果は高い学術的価値が認められる。 ・原理を公開しているにも関わらず他の機関では実現できないなどオンリーワンの成果と言える。 ・全体として学術的価値・経済的価値の創造および技術レベルの向上に繋がったと見なせるが、社会的価値については今後の行方を見なければ判断できない。
<p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・粒子プロセスに特徴がある研究であり、世界レベルの成果と評価できる。 ・予算に見合った成果と言える。 ・運営費交付金の2倍に上る外部資金を獲得しており、外部の評価を得て中長期的な視野で研究が進められる。 ・研究成果についてはサブテーマ間で多少の温度差はあるものの、総じて高い成果が上がっている。 ・蛍光体をはじめ無機系ナノ構造体に関する新たな研究シーズが得られており評価できる。 ・世界的にユニークな蛍光体の開発が次世代蛍光体イノベーションセンター (ICAP) の設立に繋がったことは、特筆に値する。
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・質の高い論文が数多く出ており、粒子プロセスに関する新技術および関連する実用材料の創製につながる成果である。 ・新物質が合成できた場合は、内外の研究者と連携して特性評価するなどを通じてインパクトの高い論文としてまとめられている。 ・ユニークな研究について多くの特許の実施例があり、産業界の発展にも貢献している。 ・それぞれの材料で予想以上のインパクトの高い成果が得られており、他分野への波及効果も期待できる。 ・フラーレンナノワイヤ、ナノシート等の新しいナノカーボン材料、層状カルコゲン化合物 (TMDC)、六方晶窒化ホウ素 (hBN) などの2Dナノ材料の研究が進んでおり、将来は超伝導体、太陽電池、光・電子デバイス等への応用

	につながる波及効果の大きな成果が上がっている。
総合評価点平均 (10点満点)	9.3点 (小数第二位四捨五入)
その他 研究全体に対する総合的な 所見、①～④に入らない所 見、問題点、あるいはプロジ ェクトに対する印象など自 由にご記入ください	<ul style="list-style-type: none"> ・高次構造制御といっても次元性を下げた1D、2D構造を制御する方向に行っているが、全体として「粒子プロセス工学」としてまとまった体系ができつつある。 ・この方面の研究はNIMSが高い優位性をもっているので、今後さらに継続発展させるべきである。

第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

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た。
9		多くの点において模範的に優れていた。
8	A	総合的に優れていた。
7		顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。
6		
5	B	平均的なプロジェクトであった。
4		一部の計画の見直しが必要であった。
3		
2	C	期待されたほどではなかった。
1		計画を大幅に見直して実施すべきであった。