

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成24年2月3日

評価委員：（敬称略、五十音順）

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

宮山 勝 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

確定年月日：平成24年4月16日

プロジェクト名	ナノ粒子プロセスの高度化によるイノベイティブセラミックスの創製に関する研究
研究責任者の所属・役職・氏名	先端的共通技術部門 先端材料プロセスユニット長（元ナノセラミックスセンター長） 目 義雄
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究目的と意義	均一な組成、粒径および形態の制御されたナノ粒子の合成、粒径の揃ったナノ粒子配列・集積化、分散制御、マイクロメートルからナノメートルオーダーまでの高次構造制御等のナノ粒子プロセスの高度化を進める。また、局所構造と対象機能の発現との理論的・実験的検討によるナノ構造設計によるプロセスへのフィードバックを行う。これにより、先端産業が求める新機能セラミックスを創製することを目指す。特に、ナノ粒子の合成、配列・集積化、高次構造制御技術および評価・設計技術を開拓し、従来材料を凌駕する機能を有するセラミックスとして、高強度のイオン電導性材料、熱・電磁気物性に異方性をもつ高強度多機能性材料、高機能安全・環境デバイス等の新規イノベイティブセラミックス材料を創製する。
研究内容	IT・半導体、環境、原子力、航空宇宙等の先端産業分野における新デバイス開発と機器の高効率・省エネルギー・低環境負荷化に必要な新機能セラミックスを、ナノ粒子プロセスの開発、高度化およびナノ領域の構造、組成、状態の設計により創製することを目的とする。そのため、それぞれのサブテーマ間に共通する要素技術の開発、先端材料への応用探索に当たっては連携を密にし、次世代多機能セラミックスの創製を目指した先端ナノ粒子プロセスの構築を図る。
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	光、電磁機能、耐熱性や高強度といった基本的特性の先鋭化に加えて、耐酸化・化学侵食性、高あるいは低熱電導性、接合ないし複合化対象の材料との熱膨張や剛性率の整合性、耐プラズマ腐食性、導電特性、光学特性などを意図的に重畳あるいは洗練させた多機能性のイノベイティブセラミックスを創製する。具体的な目標として、ナノ粒子の合成、配列・集積化、高次構造制御技術及び評価・設計技術を10種類以上開拓し、新規なイノベイティブセラミックスを12種類以上創製する。
平成18年度～平成22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>1) 主な研究成果（アウトプット）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱プラズマプロセスの活用により化学組成の均質な高結晶性希土類元素ドーパ酸化チタンナノ粒子を一段プロセスで合成した。Eu単独ドーパナノ粒子は、617nmに鋭いピークをもつ赤色発光が観測された。 ・ 均一なプリカーサーを作製し、高純度SiCナノ粒子を作製することに成功した。また、Al₄SiC₄の粉末を合成するとともにSiCの焼結助剤への適用を検討し、SiCナノ粉末を1400°Cという低温で高密度化することに成功した。 ・ ガス還元窒化法および高圧ガス反応により、サイアロン系新規蛍光体の創製に成功した。また、紫外域において粒子のサイズ制御に基づき発光波長の可変可能なSiナノ粒子を発見した。 ・ プロセス・微構造評価・設計手法の高度化により、高速超塑性（従来超セラミックスの変形速度の100倍以上、10⁻²以上）ジルコニア系セラミックスを創製した。また、パルス通電焼結法の高度化により、高強度・高透光性アルミナ、スピネルの創製に成功した。 ・ 結晶磁気異方性による磁気トルクを利用した配向手法を世界に先駆けて開発し、電気泳動堆積などのコロイドプロセスの高度化を図ることにより、配向積

	<p>層体、一軸配向体等の高次構造制御セラミックスの創製プロセスを開発した。また、この手法により、高強度・高靱性セラミックス、高熱伝導性セラミックス、等の創製に成功した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・インテリジェント陽極酸化装置の機能評価、層状構造陽極酸化技術の高度化および細孔内化合物導入によるナノ構造作製を行い、機能発現を実現した。 <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）：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本研究の成果を活用し蛍光体のナノサイズ化に成功すれば、可視光散乱が減少するため一層の高効率化が達成され、サイアロン蛍光体の高性能化に寄与する。また、SiCなど非酸化物セラミックスの低温・短時間焼結に繋がる。 ・SPS（放電焼結）ならびに粒界へのカチオン微量ドーピングによる焼結の低温化、短時間化、さらには透明・高強度の多結晶酸化物材料の創製は、プロセスの高度化による機能重畳への基礎ならびに有カツールを提供するとともに、多結晶材料で複雑形状・大型のレーザー材料、耐熱窓、半導体製造用の耐プラズマチャンバーなどへの応用展開が期待される。さらに、配向の付与は、種々の機能セラミックスの高性能化に繋がる。
<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：</p> <p>プラズマ、気相法および溶液法による種々の新規なナノ粒子を合成し、優れた光学特性であることを見出した。また、微量添加、特殊焼結法により、低温・短時間焼結に成功し、透光性高強度セラミックス、高速超塑性セラミックスなどの創製に成功した。さらに、磁場中電気泳動法、回転磁場中コロイドプロセス、インテリジェント陽極酸化による規則配列多孔体の作製と細孔内化合物導入により、高次構造制御セラミックスの創製に成功し、評価・設計技術と融合することにより、新規イノベティブセラミックスの創製に繋がった。これらの成果は、目標を十分上回った。</p> <p>自己点検・評価：</p> <p>それぞれのサブテーマ間に共通する要素技術の開発、先端材料への応用探査に当たっては連携を密にした。その結果、ナノ粒子の合成、配列・集積化、高次構造制御技術および評価・設計技術を10種類以上開拓し、新規なイノベティブセラミックスを12種類以上創製するという目標を達成した。なかでも、他の手法では困難な配向方向が異なる積層バルク体の作製プロセスの開発、世界最高の高強度・高靱性セラミックスの創製、など目標以上の成果につながった。さらに、一部は企業との本格的な共同研究に発展している。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 （計画はきめ細かったか、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、どこが問題なのか、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・計画、ロードマップに問題はない。 ・ナノ粒子プロセスの高度化という目標のもとに、よく整理されたサブテーマが計画されている。 ・他機関との連携を積極的に進め、効果的な研究推進を行っている。 ・国際的に、多くの機関と連携がとられている。 ・国内外の多くの大学・研究機関との共同研究等を通じて、互いに補い合って成果を挙げている。 ・インターンシップはユニークである。

<p>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度 (研究責任者の自己点検・評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されたか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> セラミックスのプロセッシングでは世界をリードする成果を得ており、目標を上回る成果を達成している。 プロセス10種類以上の開拓、新規セラミックス12種類以上の創製という目標はクリアされたが、個々の目標レベルが曖昧なため評価基準が一定しておらず、自己評価を信じるしかない。 各サブテーマ間で温度差があるが、全体的には順調に進捗して成果が挙がっている。 新しいナノ粒子、ナノ構造、高次構造の形成と制御技術を数多く開拓している。 様々なプロセスにより、多様な構造制御によるセラミックスが得られている。 積層構造や配向制御を精密に行った構造のセラミックスなど、興味深いものが得られている。 	
<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） (世界レベルの質の成果が出たか、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、問題点は何か、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> 成果は、論文に十分に表れていると考えられる。 論文・特許ともに多くの成果を挙げている。 セラミックス分野で評価の高い雑誌への発表論文数は多いが、いわゆる一流国際ジャーナルの掲載論文が少ない。材料科学全般への波及効果という点で少し物足りない気がする。 特許実施許諾が多くなされており、成果の実用化への展開が進んでいる。 プロ好みの成果が挙がっているため、目立たないが産業界への波及効果は大きいと思われる。 材料ごとにその構造制御の高度化による、高い性質が示されているものがあり、今後の元素戦略としても有効と考えられる。 	
<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があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> セラミックスの新しいプロセス技術により、より精密に構造制御されたセラミックスが得られている。 先端産業が求める新機能セラミックスの創製という（全体）目的を、十分に達成している。産業の発展への寄与が見られつつある。 プロセス開発と新しいセラミックスの創出がテーマで、多くの成果が挙がっている。しかし、これらがセラミックスの分野でどの程度貢献する技術、材料になったかという観点から見ると、必ずしもクリアでない印象を持つ。 今後のステップアップにおいては、本プロジェクトの結果からナノ粒子プロセスの高度化のために解決すべき共通の科学的課題を慎重に抽出して、これを基礎科学的に研究するグループをつくって基礎固めをするとともに、それを踏まえた研究展開を進めていくことを考えてほしい。 セラミックプロセス科学の教科書を将来是非作ってほしい。 	
<p>各委員の総合評価点 (10点満点)</p>	<p>8、9、9（順不同）</p>	
<p>総合評価点平均 (10点満点)</p>	<p>8.7（小数第二位以下四捨五入）</p>	
<p>総合評価点</p>	<p>評価</p>	<p>評価基準</p>
<p>10</p>	<p>S</p>	<p>全ての点において模範的に優れていた。</p>
<p>9</p>	<p>S</p>	<p>多くの点において非常に優れていた。</p>
<p>8</p>	<p>A</p>	<p>総合的に優れていた。</p>
<p>7</p>	<p>A</p>	<p>優れたプロジェクトであった。</p>
<p>6</p>	<p>A</p>	<p>平均的なプロジェクトであった。</p>
<p>5</p>	<p>A</p>	<p>一部の計画の見直しが必要であった。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではなかった。</p>
<p>3</p>	<p>B</p>	<p>計画を見直して継続すべきであった。</p>

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った。
1		大きな問題があり、プロジェクトを中止すべきであった。