

「革新的高信頼性セラミックス創製」プロジェクト  
事後評価報告書

日 時：令和3年9月10日(金)10:00～12:00

場 所：WEBによる委員会

委 員：岡田 清 東京工業大学名誉教授

加藤 一実 国立研究開発法人 産業技術総合研究所理事/執行役員

清原 正勝 TOTO株式会社総合研究所副所長兼フェロー

安富 義幸 一般財団法人 ファインセラミックスセンター参与

報告者：「革新的高信頼性セラミックス創製」プロジェクト プロジェクトリーダー 多々見 純一

標記プロジェクトは、横浜国立大学の多々見純一教授をリーダーとし、横浜国立大学と(地独)神奈川県立産業技術総合研究所(KISTEC)の協力体制のもとで、平成29年度より令和3年度までの4年間活動した。このプロジェクトでは、地球上における人類社会の持続的発展に必要な不可欠かつ喫緊の課題である、低炭素社会の実現に貢献する革新的な機能と信頼性を有するセラミックス材料の開発を目指し、次の4つの研究課題に取り組んでいる：①透明蛍光サイアロンセラミックスバルク体の開発、②低磁場中成形法による高熱伝導配向材料の開発、③メソスケール破壊特性評価法の確立と高信頼性材料設計の研究、④光コヒーレンストモグラフィによるセラミックス内部構造観察。

まず、本プロジェクトの目指している研究課題の全体的な方向性として、エコマテリアルを目的とした革新的高信頼性セラミックスの創製を取り上げていることは、国連が推進し、我が国の科学技術基本計画でも取り上げられているSDGsおよび最近特に重視されているカーボンニュートラルにそった研究テーマであり、また、具体的に取り組んでいる透明蛍光セラミックス、絶縁基板用高熱伝導セラミックスなどは、新産業創出につながることを期待でき、高く評価できる。4年間の研究期間において、研究成果の学術的な面での貢献は顕著であり、学術論文もかなり報告されているが、研究成果を反映させるには更なる論文発表が望まれる。研究の広報については、国内外の学会などでの多数の発表に務めており、十分なレベルと言える。企業との共同研究などの活動については、十分に実施されており、実用化に向けた進展が期待できる。外部資金については、多くの競争的研究資金を獲得しており、高く評価できる。また、研究人員に多数の女性研究員や外国人研究員が含まれるなど、多様な人員構成にしていることも高評価ポイントと言える。

以下に4つの研究課題に対する、より具体的な評価意見を記述する。

①透明蛍光サイアロンセラミックスバルク体の開発

次世代半導体照明の波長変換部材など高出力光照射に伴う部材の高熱化により、既存の蛍光体を樹脂マトリックスに分散させた材料では発熱に伴う樹脂の劣化などが問題視されている。これに対して、本プロジェクトでは、全セラミックス型材料の必要性を提案し、SiAlON 蛍光粒子を透光性 SiAlON バルク体に分散させた新材料を開発し、既存材料を凌駕する優れた特性を実現している。また、耐熱性向上に必要な熱伝導特性をより向上するための材料探索を進め、透光性 AlN をマトリックスとした新規蛍光材料の開発に成功している。さらに、プロセス温度の低減による省エネルギー化と高熱伝導性の両立を目指した新規材料の開発にも着手するなど、大きな成果を上げている。今後、これらの新規材料の産業界での実用化への進展が期待される。



## ②低磁場中成形法による高熱伝導配向材料の開発

従来からセラミックスバルク体中の異形状粒子を超伝導マグネットによる超強磁場中で磁気配向させ、高熱伝導性セラミックスを作製する試みなどが研究されてきた。しかしこの方法では超伝導マグネットのような特殊な装置を必要とし、さらに作製できる部材のサイズも限定的で、産業界への応用は困難であった。これに対して本プロジェクトでは、大きな異方性反磁性を有するグラフェン粒子を異形状の $\text{Si}_3\text{N}_4$ 粒子表面に被覆して磁気配向させたバルク体を作製するという、これまでにない新しいプロセスの導入を提案している。その上で、希土類磁石程度の低磁場中(例えば、0.5T)で一軸配向 $\text{Si}_3\text{N}_4$ バルク体を作製し、無配向試料と比べて30%も熱伝導率の向上に成功している。この成果は、産業界にも展開可能なプロセスで配向セラミックスバルク体が作製できる可能性を示したもので、将来への可能性を開くものと評価できる。今後、このプロセスの可能性をさらに大きく展開させていくためには、グラフェンの磁性の劣化を低減して配向度を制御できるようにするなど、プロセスの基礎段階に立ち返った検討が必要と思われる。

## ③メソスケール破壊特性評価法の確立と高信頼性材料設計の研究

セラミックス材料をさらに広く社会実装していくためには、材料の機械的特性、信頼性を向上させる必要があり、そのためには破壊現象を基礎学理的な見地から究明することが求められている。本プロジェクトでは、セラミックス材料の破壊現象を支配しているメソスケールで起きる諸現象に着目し、その理解を通して高信頼性材料の設計と創製を目指している。このため、数 $\mu\text{m}$ 程度の微小なカンチレバー試験片をFIB加工法により作製し、モデル試料としてSi単結晶を用いて詳細に検討している。その結果、得られた測定値が第一原理計算法により算出した計算値と良く一致したことから、この手法の有用性を確認している。その上で、バルク体、多孔体、表面処理材、コーティング材など多様な材料の破壊挙動の解明に有効なことを明らかにしている。また、プロジェクト内のKISTECおよび横浜国立大学においてラウンドロビンテストを実施し、良い結果を得ている。今後、この手法の普及には、より広く様々な研究機関に参画を呼びかけ、日本発の国際標準化を目指していくことが強く期待される。

## ④光コヒーレンストモグラフィーによるセラミックス内部構造観察

セラミックスのような脆性材料では、材料中の欠陥などが信頼性の低下に強く結びついていることは広く知られている。しかし、これまでは材料の内部構造を3次元的に、かつ、動的に観察する適切な手法が無いため、製造過程において成形体、焼成体および焼結体中で構造欠陥や微構造の不均質化がどのように発生しているかについては、ブラックボックス状態であった。これに対して本プロジェクトでは、光の干渉を利用した観察法である光コヒーレンストモグラフィー(OCT)法をセラミックス材料の内部微構造の観察に初めて適用し、様々なモデル試料を用いた観察と機械学習手法を取り入れた画像処理法を併用することにより、鋳込み成形プロセスにおける凝集体形成の様子、焼成中における脱脂挙動および焼結挙動などを十分な解像度で動的に観察することに成功している。このように、OCTによる内部微構造観察法はセラミックス材料の製造時における様々なトラブルの解明に有用な手法となるポテンシャルを有しており、産業界で要望の強いプロセスチェーンの最適化にも寄与しうるものと考えられ、今後の研究の進展が大いに期待される。

令和3年9月13日

委員長 岡田 清

