

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構  
の解明

2022 年度  
年次報告書

2021 年度採択研究代表者

多々見 純一

横浜国立大学 大学院環境情報研究院  
教授

劣化の学理に基づくセラミックスの信頼性革新

主たる共同研究者:

高橋 拓実 (神奈川県立産業技術総合研究所 機械・材料技術部 研究員)

中野 裕美 (豊橋技術科学大学 教育研究基盤センター 教授)

## 研究成果の概要

2022年度は、主に高熱伝導基板や軸受用に用いられる  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスと SOFC や歯科材料などに応用されている YSZ セラミックスを対象として研究を行い、以下の研究成果が得られた。まず、高熱伝導  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスについて、結晶粒子内部にマイクロカンチレバー試験片を作製し、その力学特性を測定した。その結果、共有結合性が高く六方晶の  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  が室温にもかかわらず転位に起因した塑性変形を示すことを見出した。その挙動は、結晶方位に依存し、試験片の長手方向と  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の  $c$  軸のなす角の増加とともに降伏応力は低下した。TEM 観察から確認された主すべり系での塑性変形を考えて求めた臨界分解せん断応力は結晶方位に依存せず一定となっていたことから、 $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  の塑性変形は主すべり系での転位の生成と移動が支配していることが明らかとなった。また、軸受に適用されている  $\text{TiO}_2$  と  $\text{AlN}$  を添加して作製される  $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの粒界強度について実測した。その結果、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  セラミックスの粒界強度は  $\text{TiO}_2$  と  $\text{AlN}$  の添加量の増加とともに増加した。その増加量は熱膨張係数差から見積もられたものよりも遙かに大きく、粒界ガラス相の変化に起因して粒界強度が向上したことが示唆された。立方晶である 8YSZ セラミックスについてマイクロカンチレバー試験片を用いたメソスケール力学特性評価を行ったところ、粒界の強度は結晶粒子の強度よりも低いことがわかった。結晶粒子の力学特性をより深く知るために、理想的な結晶粒子である単結晶を用いて実験を行った結果、単結晶 8YSZ は曲げ応力下で塑性変形を示すこと、その降伏応力と曲げ強度は転位に起因したすべりと関係して結晶方位依存性を示すこと、結晶方位に依存した降伏現象は複数のすべり系が応力状態に依存して活動することに起因すること、曲げ強度の結晶方位依存性はヤング率と転位の集積に起因した応力集中の結果表れることを見出した。粒界に関する第一原理計算に基づく安定性評価も進めており、結晶粒子および粒界の両面のメソスケール力学特性とナノ構造変化に関する知見を蓄積した。マクロな劣化挙動の評価として医療用として発達してきた光コヒーレンストモグラフィーを活用して評価する手法を試みた。また、セラミックスの力学特性に関する FEM シミュレーションとして、まず、メソスケールでのマイクロカンチレバー試験片の変形挙動に関する検討を行い、異方性と塑性変形を導入したシミュレーションの妥当性を示した。以上のように、メソスケールの力学特性を中核としてセラミックスの劣化の学理を構築する上での基礎的知見を得ることができた。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Tanabe, J. Tatami, M. Iijima, T. Yahagi, T. Takahashi, H. Nakano, T. Ohji, Deformation behaviors and fracture strength of  $\beta$ - $\text{Si}_3\text{N}_4$  single crystals, *J. Am. Ceram. Soc.*, in press  
<https://doi.org/10.1111/jace.19167>