

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

2021 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書

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

§ 1. 研究成果の概要

2021年度は、本研究で必要となる材料の作製および入手を行い、室温・大気中でのメソスケール力学特性評価を行い、以下の研究成果が得られた。まず、粒子径と単斜相量が異なる Y-TZP (イットリア安定化正方晶ジルコニア) 試料を作製してマイクロカンチレバー試験を行った。その結果、Y-TZP の焼成温度によらず、水熱処理により粒界の力学特性が低下することが確認された。特に、低温焼成して作製した試料では、単斜相への相転移がほとんど起こっていないにもかかわらず、水熱処理表面の強度が低下することが明らかとなった。固体酸化物形燃料電池 (SOFC) 用材料である、8YSZ (イットリア安定化ジルコニア) セラミックスのメソスケール力学特性評価を行い、バルクセラミックスだけでなく、積層体でも強度とヤング率の測定が可能であることが確認された。得られた強度とヤング率は試料ごとに異なっており、メソスケールにおいて結晶方位や粒界、粒径といった微構造因子が重要な役割を果たすことがわかった。単結晶を用いたモデル実験の結果、8YSZ の強度とヤング率は結晶方位に依存することがわかった。これらのメソスケール力学特性とナノおよびマクロの現象との関連を理解するための、第一原理計算や FE² についても検討を行い、これらの課題を抽出した。また、高熱伝導 Si₃N₄ セラミックス中の結晶粒内に作製したマイクロカンチレバー試験片は非線形な応力ひずみ曲線を示した。結晶粒内のヤング率、強度、降伏応力はマイクロカンチレバー試験片の長手方向と c 軸のなす角に依存して変化することを見出した。TEM で観察された格子の乱れと応力ひずみ線図から、室温で共有結合性の高い Si₃N₄ であっても、メソスケールでは、転位による塑性変形が生じていることが示唆された。このような塑性変形は、材料のマクロな劣化の原因になり得ると考えられる。Si₃N₄ の粒界のヤング率と強度は粒内よりも低いことが確認された。

§ 2. 研究実施体制

(1) 多々見グループ

① 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)

② 研究項目

- 環境・時空間拡張したメソスケール力学特性評価
 - ・時空間スケール拡張したメソスケール力学特性評価法の確立
 - ・測定環境拡張したメソスケール力学特性評価法の確立
 - ・対象材料の作製と劣化試験、および、メソスケールの劣化挙動の実測
- ナノ構造変化とメソスケール力学特性との相関解明
 - ・マイクロカンチレバー試験片の SPM によるナノフラクトグラフィー
- メソスケール力学特性を基軸としたマクロ特性予測
 - ・マクロスケールからの理論的・計算科学的手法による接続法の開発
- 劣化の学理の構築と高信頼性セラミックスの設計指針の提案

(2) 高橋グループ

① 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)

② 研究項目

- 環境・時空間拡張したメソスケール力学特性評価
 - ・対象材料の作製と劣化試験、および、メソスケールの劣化挙動の実測
- ナノ構造変化とメソスケール力学特性との相関解明
 - ・第一原理計算と機械学習による応力下・環境下でのナノ構造変化予測
- メソスケールの劣化挙動からのマクロ特性予測
 - ・材料の力学特性評価の OCT その場内部構造観察による劣化の可視化

(3) 中野グループ

① 主たる共同研究者: 中野裕美 (豊橋技術科学大学教育研究基盤センター 教授)

② 研究項目

- ナノ構造変化とメソスケール力学特性との相関解明
 - ・透過電子顕微鏡を駆使したマイクロカンチレバー試験片の高分解能観察