

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

2019年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書
-----------------

吉田英弘

東京大学 大学院工学系研究科  
教授

セラミックス粒界・界面における強電界ナノダイナミクス

## § 1. 研究成果の概要

本研究では、強電界下でセラミックス材料が示す特異な力学応答をナノ・メゾ・マクロスケールで系統的に調査すると共に、その支配要因となっている粒界・界面での強電界ナノダイナミクスを明らかにすることを目的とする。

3年次には強電界処理イットリア安定化ジルコニア(YSZ)における室温擬弾性の発見、AC強電界によるセラミックス動的挙動加速効果の実証、強電界による欠陥構造の導入と化学結合状態の検証、強電界下動的挙動の定量的解析、ならびに先端ナノ計測技術を駆使した微構造解析および各種分光計測が着実に進展し、強電界ナノダイナミクスのメカニズムの根幹として①粒界・界面における酸素関連欠陥の導入、ならびに②カチオン拡散の加速という二つの要素が明確化した。特に高温塑性流動や亀裂修復挙動から具体的な物質移動とその活性化エネルギーに及ぼす強電界効果が実験的に抽出されたことは基礎学問としては非常に重要な結果である。さらにこれらの成果を受け、当初の計画には無かった強電界下での拡散対実験という新たなアプローチが提唱され、この実験手法も3年次において急ピッチで確立された。電気化学計測についても基礎理論の構築と実験的検証、さらに有効電力の計測に向けた実験手法の検討と技術的・解析理論上の問題点の洗い出しが進んだ。一方、強電界ナノダイナミクスの素過程解明へのアプローチとして理論計算の重要性も明確になり、理論計算へ展開するための足掛かりとすべく、予備的な第一原理計算も進められた。本研究の成果は国内外でも高く評価され、国内・国際会議での多数の招待講演や受賞、また海外研究機関との本格的な共同研究の着手に繋がった。加えて、強電界の印加によって非熱的な効果により構造セラミックスの亀裂の修復、および高速加工・接合が実験的に初めて実証されるなど、強電界修復や強電界接合について予想以上の成果が挙げられた。擬弾性と合わせて、これらの知見の産業分野への展開も進めた。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 吉田グループ

- ① 研究代表者: 吉田 英弘 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・強電界下曲げ試験
  - ・高温ナノインデンテーション試験
  - ・強電界下接合試験
  - ・拡散対実験

### (2) 森田グループ

- ① 主たる共同研究者: 森田 孝治 (物質・材料研究機構機能性材料研究拠点 主席研究員)
- ② 研究項目
  - ・各種力学応答評価用試料の作製
  - ・強電界下引張り試験
  - ・通電下高温変形挙動および微細組織形成過程その場評価試験
  - ・強電界下修復試験

### (3) 山本グループ

- ① 主たる共同研究者: 山本 剛久 (名古屋大学工学研究科 教授)
- ② 研究項目
  - ・TEM/HRTEM/STEM ex-situ 先端ナノ計測
  - ・各種分光分析

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) H. Masuda, K. Morita, T. Tokunaga, T. Yamamoto, H. Yoshida, “Anelasticity induced by AC flash processing of cubic zirconia”, *Acta Mater.*, 227 (2022) 117704.
- 2) K. Morita, B.-N. Kim, “Effect of electric current on high temperature flow behavior of 8Y-CSZ ceramics”, *J. Euro. Ceram. Soc.*, 42 [5] (2022) 2341-2348.
- 3) K. Morita, F. Naito, D. Terada, “Microcrack Healing in Zirconia Ceramics under a DC Electric Field/Current”, *J. Euro. Ceram. Soc.*, 41 [16] (2021) 282-289.
- 4) 内藤楓貴、森田孝治、寺田大将, 「フラッシュ現象を利用した正方晶ジルコニア (8Y-CSZ) の微視き裂の修復」, *日本金属学会誌*, 86 [2] (2022) 23-29.
- 5) K. Kobayashi, T. Yamamoto, K. Morita, T. S. Suzuki, “Electrode overvoltage model for a flash state of yttria-stabilized zirconia: validity, limitation, and open new issue”, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 130, (2022) 172-179.