

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

2020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、セラミックスにおける強電界下での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。

2年次にはマクロスコピックな強電界下高温機械試験による基礎データの収集を進めると共に、メゾスコピックその場観察システムおよびナノインデンターを用いた高温力学応答計測のシステム構築、また強電界処理試料や力学試験後の試料における先端ナノ計測の手法確立に務めた。強電界下高温引張り、圧縮および三点曲げ試験をYSZ系セラミックスで実施した結果、強電界による変形促進には非熱的効果が存在することが確定し、かつ、その強電界効果は変形の活性化エネルギーの減少という形で現れることが明らかとなった。また本知見に基づき、強電界修復にも成功した(特許出願予定)。さらに、強電界処理セラミックスにおける蛍光分光分析が進展し、強電界の印加によって独特な点欠陥配位構造が生成することが示された。STEMによる先端ナノ計測によっても、粒界を中心として強電界誘起点欠陥に起因すると思われる特徴的なひずみが見出された。点欠陥の導入は、強電界下でのセラミックスの特異な力学応答に合致するものであり、強電界ナノダイナミクスの機構というパズルを解くピースが揃いつつある。

一方で、強電界の高温変形への影響に波形依存性が存在する等、当初には予想していなかった新たな現象も見出された。こうした新たな現象も含め、強電界ナノダイナミクスの機構を解明するためには、強電界下で誘起された点欠陥の素性を明らかにすることが最重要課題である。3年次には、当初の研究計画に加えて、強電界下での電荷生成・消滅および電荷・物質輸送の素過程解明、電極における電圧損失などを排除した有効電力の評価など電気化学応答解析を取り込み、強電界下の諸現象の把握を目指す。

## § 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 in-situ XRD・XAFS 測定
  - ・強電界下接合試験

### (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

【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Sasaki, K. Morita, T. Yamamoto, K. Soga, H. Masuda, H. Yoshida, “Electric current dependence of plastic flow behavior with large tensile elongation in tetragonal zirconia polycrystal under a DC field”, *Scripta Mater.*, **194** (2021) 113659.
- 2) C. Cao, Y. Sasaki, R. Mücke, K. Morita, O. Guillon, “Experimental confirmation of the symmetric sintering behavior under compressive/tensile loading combined with electrical field”, *Scripta Mater.*, **187** (2020) 137-141.
- 3) Y. Yamashita, A. Itoh, T. Tokunaga, H. Yoshida, T. Yamamoto, “Blue photoluminescence at room temperature from Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped ZrO<sub>2</sub> polycrystals sintered by flash sintering”, *Appl. Phys. Exp.*, **13** (2020) 035506.
- 4) Y. Yamashita, T. Kurachi, T. Tokunaga, H. Yoshida, T. Yamamoto, “Blue photo luminescence from 3 mol%Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-doped ZrO<sub>2</sub> polycrystals sintered by flash sintering under an alternating current electric field”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **40** (2020) 2072-2076.
- 5) K. Taguchi, Y. Ishino, T. Tokunaga, T. Yamamoto, “Near complete densification of flash sintered 8YSZ: controlled shrinkage rate effects”, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **41** (2021) 4567-4571.  
<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.03.005>