

力学機能のナノエンジニアリング  
2019年度採択研究者

2020年度 年次報告書
-----------------

篠崎 健二

産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門  
主任研究員

ナノスケールの組成ゆらぎ設計による超低脆性ガラスの創製

## § 1. 研究成果の概要

本研究では、ガラスの脆さを低減する新しいアプローチとして、ガラスのゆらぎを材料設計の軸に取り入れた新規アプローチを行っている。本年度は、ガラス中に不均質性を導入し、ガラスの脆さを低減することに取り組んだ。ガラスの脆さの起源はその変形挙動が極めて弾性的であるために応力集中が大きいことに起因しており、延性の付与により延性付与することを検討した。SPS を用いてシリカガラス中に微量の Ag ナノ粒子 (300–500 nm) を析出させることで破壊靱性を大幅に向上させることに成功し、析出量 1.4vol% で破壊靱性を 2.5 倍に向上させることに成功した。このメカニズムをナノインデンテーション法や破面の解析などにより検討した。微量の Ag 析出でもその大きな延性に由来して、塑性変形エネルギーおよび弾性変形エネルギーが減少し、クリープも大きくなったことをナノインデンテーションにより明らかにした。また、破面解析では Ag が延性的な破壊を示すことを明らかにした。この破壊靱性の向上に対する寄与は従来報告のある  $ZrO_2$  や CNT、BN などに比べても顕著であり、延性の不均質性導入が破壊靱性向上に大きく貢献することを明らかにした。

さらに、不均質性の分布の形態制御も試みた。ソーダライムガラスに Ag イオン交換したガラス粉末を熱処理し、表面近傍に Ag の粗大な粒子を析出させたのちに焼結することで、粒界のような形態で粗大な Ag 粒子が多量に析出した領域を形成させることに成功した。これにより延性を付与するとともに、顕著な亀裂のブリッジングを形成することに成功し、破壊靱性を高めることに成功した。

また、ガラス構造による拡散過程や圧密化過程での構造変化への効果を明らかにするために、分子動力学シミュレーションを行った。いくつかのガラスについて拡散過程や圧密化過程をそれぞれ古典分子動力学法および第一原理分子動力学法により評価する指針を得た。

### 【代表的な原著論文情報】

1) Lei Liu, Kenji Shinozaki\*,

“Interfacial Heterogeneous Precipitation of Ag Nanoparticles in Soda-lime Silicate Glass for Improved Toughness and Conductivity” *Ceramic International* (accepted).

2) Lei Liu, Kenji Shinozaki\*,

“Toughening silica glass by imparting ductility using a small amount of silver nanoparticles” *Materials Science and Engineering: A* 817, 141372 (2021).