力学機能のナノエンジニアリング
2019 年度採択研究者

2021 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

金属ナノ粒子をガラス中に分散析出させることでガラスの破壊靭性を向上させることに取り組んだ。特に添加量の最適化やサイズの最適化、メカニズムの解明に取り組んだ。$SiO_2$ガラス中に Ag ナノ粒子の添加量を 0, 0.7, 1.4, 2.1 vol%と変化させたとき、ヤング率は線形的に微減し、ビッカース硬度も単調に減少するが、破壊靭性は 0.7 vol%添加から大幅に向上するが、1.4vol%添加ではほとんど変化しないことが示唆され、有効な添加量に上限があることが示唆された。また、破壊靭性向上のメカニズムを明らかにするために SEM 観察を詳細に行った結果、き裂にブリッジングを形成していることが明らかになった。

また、様々な粒子分散を試み、Ni ナノ粒子においても同様の効果が得られることを明らかにした。このとき、混合プロセスと熱処理プロセスを変えることでナノ粒子のサイズをコントロールすることに成功した。わずか 0.5 vol%の Ni ナノ粒子分散であっても、適当なサイズでは破壊靭性は 2.8 倍の向上を示した。表面エネルギーを計算した結果、Ni ナノ粒子分散により大幅な向上を示しており、0.5 vol%での添加にもかかわらず 10 倍以上に破壊表面エネルギーが大きく向上した。これは純粋なガラスではほぼゼロである塑性ひずみエネルギーが金属ナノ粒子分散により大幅に増大したこと、すなわち微量の金属粒子の延性により応力集中が緩和されたことを示唆している。実際にクラック先端近傍を FIB にて切り出し薄片化した結果、クラック先端が鈍化していることが確認された。さらに、金属ナノ粒子以外に、MAXen 相を分散させたガラスについても検討した。ソーダライムガラスへの 1 vol%の添加で破壊靭性はおおよそ 2 倍に向上させることに成功した。

【代表的な原著論文情報】

1) Lei Liu, Kenji Shinozaki*, "Fracture toughness enhancement via sub-micro silver-precipitation in silica glass fabricated by spark plasma sintering", Journal of the American Ceramic Society, 105(3), 1980-1991 (2022).
2) Lei Liu, Kenji Shinozaki*, "Fabrication of Ti3C2 MXene/borosilicate glass with enhanced fracture toughness", Journal of the Ceramic Society of Japan (accepted).
3) Lei Liu, Kenji Shinozaki*, "Thermal conductivity and mechanical properties of soda-lime glass with interfacially connected Au layer fabricated via sputtering and spark plasma sintering", Journal of Asian Ceramic Societies, 1-61 (2022).