

2023 年度年次報告書
力学機能のナノエンジニアリング
2021 年度採択研究代表者

加藤 和明

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
准教授

緩やかな拘束を用いた高分子樹脂の強靱化

研究成果の概要

新しい高分子樹脂群として研究代表者が 2015 年に初めて合成に成功したポリロタキサンガラスは、樹脂を構成する異なる成分が幾何学的に拘束し合うことで、既存の高分子樹脂にはない材料物性を示すことが近年明らかになってきている。その中で、材料の延伸に伴い環状分子と軸高分子が相分離を起こすという特異な現象が、材料の高い延性と関係があることが示唆されていた。2022 年度までに、電子顕微鏡観察及び放射光 X 線散乱を用いたマルチスケールでのその場構造解析法を確立することで、一軸延伸による変形破壊プロセスを明らかにしてきた。

2023 年度は、環状分子の化学構造が異なるポリロタキサンガラスを合成して同様の解析を行い、ネッキングとともに発生するクレイズの密度が異なる材料間を比較した。解析の結果、ナノボイドが発生してそれがネッキングとともに引き延ばされ、形成されたフィブリル内に環状分子と軸高分子の相分離が起きることでフィブリルが硬化することで、本来は破壊の起点となるクレイズが強化されネッキングが隣接部分に伝搬して高い延性を示すことが明らかとなった。また、相分離により環状分子が配向し、分子間距離が延伸前よりも短くなっていたことから、相分離後の構造の方が、分子間相互作用が強いことも示唆された。

このようにポリロタキサンガラスは均質無配向の初期状態から、延伸により配向相分離したより高い弾性率を持つ構造へと変化することでひずみの集中を回避する機構を内在しており、金属材料や無機材料で知られる変態誘起塑性とのアナロジーを見出した。この成果は学会および学術論文¹⁾で発表した。また、系統的に分子構造の異なるポリロタキサンから材料化したサンプルを用いて、その剛性と靱性を正しく評価し比較する手法について検討を行い、昨年度までに確立したき裂進展試験下での構造解析と組み合わせ、剛性と靱性それぞれの支配因子の解明を試みた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Kazuaki Kato et al., Fracture Process of Mechanically Interlocked Ductile Glass Under Uniaxial Tension, *Macromolecules* **2023**, 56, 7358–7365.