

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

2022 年度  
年次報告書

加藤 和明

東京大学 大学院新領域創成科学研究科  
講師

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。主成分である環状分子が応力を担い、既存の高分子樹脂と同様のヤング率を示すが、非常に高い延性を併せ持っている。昨年度の研究では、系統的に環状分子の化学構造を変化させたポリロタキサンガラスを合成し、それらの力学物性を調査した。その結果、ガラス状態における高分子鎖の運動性が高いほど延性を示し、運動性が低いものは脆性になることが示された。このことから、副成分である高分子鎖が環状分子と強く結合しないことで、延性を発現するために有利な構造変化を変形に応じて起こしやすいと推察されるが、その変形・破壊プロセスの詳細は未解明であった。本年度は、まず走査型電子顕微鏡内での延伸下における構造観察と放射光 X 線散乱を用いたマルチスケールでのその場構造解析により、ポリロタキサンガラスの一軸延伸破壊プロセスを明らかにした。弾性領域では環状分子間の相互作用が応力を支えていたのが、降伏と同時に環どうしの相互作用が弱まり構造が崩壊する。そして、それまで応力をほとんど発生していなかった高分子鎖にひずみに移り、クレイズ周辺で大きくひずんでフィブリルが形成する。フィブリル内では高分子鎖だけでなく環状分子も延伸方向に配向し、さらに環どうしの距離が接近して分子間相互作用が強くなる。こうして、フィブリルは硬化し、ひずみの非局在化が起こることで延性となることがわかった。また、切欠き材を用いたき裂進展試験下での破壊プロセスの観測を、光学顕微鏡、電子顕微鏡および放射光 X 線マイクロビームによる散乱測定により行うための実験系の構築を行った。その結果、き裂先端周辺でのクレイズの発生や成長過程、そして局所的なひずみの分布を解析することが可能になった。

### 【代表的な原著論文情報】

1) Kazuaki Kato et al., Tough Glass with Mechanical Bonding Network Anchored by High-Mobility Polymers, *Macromolecules* **2023**, 56, 1810–1817.