

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

玉手 亮多

物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター
独立研究者

超高分子量ポリマーに基づく新奇機能開拓

研究成果の概要

超高分子量ゲルが示す非自明な自己修復機能のメカニズム解明を進める中で、引張試験で評価する自己修復性は引張速度に大きく依存することを明らかにした。この原因として、低ひずみ速度では変形に対して高分子鎖の緩和が間に合うため、応力が均等に分配され、全体が高ひずみまで変形して最も弱い部分で破断する。一方、高ひずみ速度では高分子鎖の緩和が間に合わず、不均一な応力分配が発生する。その結果、非線形性(伸びきりの発生)により、他の部分で低いひずみ量で破断する。すなわち、ある引張速度で見かけ上応力-ひずみ曲線が回復していても、切断界面は構造的に平衡化されていないことを明らかにした。

超高分子量ゲルにおいて力学強度と自己修復性のトレードオフを解消するために、短いタイムスケールで緩和する剛直な微粒子ネットワークを導入した超高分子量ゲルを創製した。微粒子ネットワークの導入により、粘弾性マスターカーブの周波数依存性は変化することなく貯蔵弾性率と損失弾性率の増加がみられた。さらに、引張試験を用いた自己修復性評価において、微粒子添加によって自己修復性を維持しつつ、弾性率・破断応力・機械靱性などの力学挙動が大きく向上することを明らかにした。

超高分子量体の絡み合いと水素結合の協奏的效果により、超高分子量ゲルの繰り返し引張試験における残留ひずみの増加・応力低下が大幅に抑制されることを見出した。これは、超高分子量ポリマー間に水素結合が働くことで、引張変形時の高分子鎖の引き抜けを大きく抑制するためであると考えられる。従来の化学架橋ゲルでは、残留ひずみの増加や応力低下は抑制でき一方で、リサイクル性や自己修復性・高強度性といった力学機能が喪失する。今回見出した超高分子量体の絡み合いと水素結合からなるゲルは、リサイクル性・自己修復性・高強度性に加えて耐疲労性を向上可能な新しい材料コンセプトとして有用であると考えられる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) ***R. Tamate, *T. Ueki** “Adaptive Ion-Gel: Stimuli-responsive, and Self-healing Ion Gels” *Chem. Rec.* **2023**, 23, e202300043. Front cover に採択