

2023 年度年次報告書

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明

2019 年度採択研究代表者

大塚 英幸

東京工業大学 物質理工学院
教授

動的共有結合化学に基づく力学多機能高分子材料の創出

主たる共同研究者:

伊藤 浩志 (山形大学 大学院有機材料システム研究科 教授)

已上 幸一郎 (パナソニックインダストリー(株) 技術本部 主幹技師)

研究成果の概要

本研究では動的共有結合化学を基盤として、自己修復性、応力緩和特性、分解性、再成形性、メカノクロミック特性などの力学機能性のうち、複数の機能を示す力学「多機能」高分子材料の創出を目的とし、マルチスケールでの動的な解析に基づく動作原理の解明と材料設計指針の確立を目指している。今年度は4つの研究項目に関して研究を実施したので、成果を以下にまとめた。

(研究項目1) 力学機能分子の設計と最適化: これまでに蓄積したシミュレーションに関する知見を活用して、力学機能分子の構造と反応性の相関関係がより明確となった。特に耐熱性を有するラジカル型メカノフォアの合理的設計戦略が明確となり、開発した分子骨格が期待どおりの反応性を示すことを実験的に検証できた。

(研究項目2) 修復性をもつ力学多機能高分子材料の開発: 新たに開発した力学応答性分子がメカノクロミック特性と修復性の両方の機能を有することを利用して、簡便に架橋高分子を合成でき、しかも修復性やリサイクル性を示すことを明らかにした。

(研究項目3) 可視化に利用可能な力学多機能高分子材料の開発: これまでの一連の研究をまとめ、メカノクロミズムを示す力学機能性分子骨格を高分子に対してどのような形で導入すると力学的な応答性がどのように向上するか、という相関関係を系統的にまとめることができた。

(研究項目4) エネルギー散逸特性をもつ力学多機能高分子材料の開発: これまでに開発したエネルギー散逸特性をもつ力学機能性分子を、別の力学機能性分子とともに高分子中に導入することで、両分子骨格の比較ができるようになり、エネルギー散逸特性の相対評価を実現した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Yamamoto, H. Otsuka, “Efficient Detection of Polymeric Mechanoradicals via Fluorescent Molecular Probes Stabilized by Steric Hindrance”, *Polym. Chem.*, **14**, 2464-2468 (2023).
- 2) Y. Lu, H. Sugita, K. Mikami, D. Aoki, H. Otsuka, “A Rational Design Strategy of Radical-type Mechanophores with Thermal Tolerance”, *Chem. Sci.*, **14**, 8792-8797 (2023).
- 3) H. Yokochi, R. O’Neill, T. Abe, D. Aoki, R. Boulatov, H. Otsuka, “A Sacrificial Mechanical Bond is as Effective as a Sacrificial Covalent Bond in Increasing Cross-Linked Polymers Toughness”, *J. Am. Chem. Soc.*, **145**, 23794-23801 (2023).
- 4) T. Watabe, H. Otsuka, “Enhancing the Reactivity of Mechanically Responsive Units via Macromolecular Design”, *Macromolecules*, **57**, 425-433 (2024).
- 5) T. Yamamoto, A. Takahashi, H. Otsuka, “Visualization of Mechanochemical Polymer-chain Scission in Double-network Elastomers Using a Radical-transfer-type Fluorescent Molecular Probe”, *RSC Mechanochemistry*, **1**, 63-68 (2024).