

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

2022年度  
年次報告書

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。特に力学機能分子の熱安定性や酸素安定性を予測できるようになり、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: これまでに開発した力学応答性分子を含む架橋剤を活用し、一連の架橋高分子を合成した。架橋設計が動的挙動に与える影響について検討した結果、得られた架橋高分子において、強度の向上、応力可視化特性、形状復元性などの特性を示す力学多機能高分子材料の作製に成功した。

(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: 前年度に開発した異なる色に着色する二種類のメカノクロミック分子をハイブリッド化した非対称メカノクロミック分子骨格を含む架橋剤を開発し、架橋高分子を合成した。フィルム延伸によって、二色の中間色を示すメカノクロミックエラストマーの開発に成功した。

(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: 力学機能分子をマルチネットワークポリマー中の第一ネットワークに導入することで、エネルギー散逸特性をもつ新たな力学多機能高分子の開発に成功した。精密な構造および物性評価を進めることで、力学機能分子が効率的な可視化と高強度化の両方に寄与していることを明らかにした。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Yanada, D. Aoki, H. Otsuka, "Mechanochromic Elastomers with Different Thermo- and Mechano-responsive Radical-type Mechanophores", *Soft Matter*, **18**, 3218-3225 (2022).
- 2) Y. Mao, Y. Kubota, R. Feng, J. Gong, A. Ishigami, Y. Kobayashi, T. Watabe, D. Aoki, H. Otsuka, H. Ito, "Structure Reconfigurable Mechanochromic Polymer with Shape Memory and Strain-Monitored Function Enabled by a Covalent Adaptable Network", *Macromolecules* **55**, 3948-3975 (2022).
- 3) T. Watabe, D. Aoki, H. Otsuka, "Polymer-Network Toughening and Highly Sensitive Mechanochromism via a Dynamic Covalent Mechanophore and a Multinetwork Strategy", *Macromolecules* **55**, 5795-5802 (2022).
- 4) T. Watabe, H. Otsuka, "Swelling-induced Mechanochromism in Multinetwork Polymers", *Angew. Chem. Int. Ed.* **62**, e202216469 (2023).
- 5) H. Sugita, Y. Lu, D. Aoki, H. Otsuka, K. Mikami, "Theoretical and Experimental Investigations of Stable Arylfluorene-based Radical-type Mechanophores", *Chem. Eur. J.* **29**, 22022032 (2023).