

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

2021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

## § 1. 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ている。さらに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す。2021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: 2020年度に続き、大塚グループと巳上グループで連携して、いくつかの新しい力学機能分子の開発に成功した。さらに、巳上グループのシミュレーションにより、構造と反応性の明確な相関関係が明らかとなった。

(研究項目2) 修復性をもつ力学多機能高分子材料の開発: 新しい架橋剤を開発し、その骨格を活用して架橋高分子を合成した。力学的刺激によって切断された架橋剤骨格が再結合する際に、別の架橋剤と再結合することで、より架橋反応が進行して高強度化した。

(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: 2020年度に続き、大塚グループで可視化に利用可能ないくつかの力学多機能高分子を合成し、そのうちの一部は伊藤グループと連携して精密な構造物性評価を行い、幅広い知見を得ることが設計指針の確立につながるという知見を得た。

(研究項目4) エネルギー分散特性をもつ力学多機能高分子材料の開発: 2020年度に続き、大塚グループでエネルギー分散特性をもつ力学多機能高分子を大量合成し、伊藤グループと連携し、精密な構造物性評価を進め、構造物性の相関につながる知見を得た。

## § 2. 研究実施体制

### (1) 大塚グループ

① 研究代表者: 大塚 英幸 (東京工業大学物質理工学院 教授)

② 研究項目

- ・力学機能分子の設計と最適化
- ・修復性をもつ力学多機能高分子材料の開発
- ・可視化に利用可能な力学多機能高分子材料の開発
- ・エネルギー分散特性をもつ力学多機能高分子材料の開発

### (2) 伊藤グループ

① 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)

② 研究項目

- ・修復性をもつ力学多機能高分子材料の開発
- ・可視化に利用可能な力学多機能高分子材料の開発
- ・エネルギー分散特性をもつ力学多機能高分子材料の開発

### (3) 巳上グループ

① 主たる共同研究者: 巳上 幸一郎 (2021.4-2021.9 相模中央化学研究所機能性高分子グループ グループリーダー、2021.9-2022.3 パナソニック株式会社インダストリー社技術本部 主幹技師)

② 研究項目

- ・力学機能分子の設計と最適化
- ・可視化に利用可能な力学多機能高分子材料の開発
- ・エネルギー分散特性をもつ力学多機能高分子材料の開発

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) Y. Lu, H. Sugita, K. Mikami, D. Aoki, H. Otsuka, “Mechanochemical Reactions of Bis(9-methylphenyl-9-fluorenyl) Peroxides and Their Applications in Cross-Linked Polymers”, J. Am. Chem. Soc., 143, 17744-17750 (2021).
- 2) J. Kida, S. Kato, D. Aoki, “Mechanophore Activation Enhanced by Hydrogen Bonding of Diarylurea Motifs: An Efficient Supramolecular Force-transducing System”, Aggregate, 2, e50 (2021).
- 3) S. Kato, D. Aoki, K. Oikawa, K. Tsuchiya, K. Numata, and H. Otsuka, “Visualization of the Necking Initiation and Propagation Processes during Uniaxial Tensile Deformation of Crystalline Polymer Films via the Generation of Fluorescent Radicals”, ACS Macro Lett., 10, 623-627 (2021).
- 4) J. Kida, D. Aoki, H. Otsuka, “Self-Strengthening of Cross-Linked Elastomers via the Use of

- Dynamic Covalent Macrocyclic Mechanophores”, *ACS Macro Lett.*, 10, 558–563 (2021).
- 5) Y. Mao, Y. Kubota, J. Gong, T. Kurose, A. Ishigami, K. Seshimo, T. Watabe, D. Aoki, H. Otsuka, H. Ito, “Mechanical Performance and Visual Fracture Warning Function of Mechanochromic Stimuli-Recovery Polymer Networks”, *Macromolecules*, 54, 8664–8674 (2021).