

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

|                  |
|------------------|
| 2020 年度<br>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

近年、物質に作用するマクロスケールの力学的刺激(圧縮、延伸、せん断、曲げ、衝撃、摩擦など)が起源となって機能を発揮する材料は「力学機能材料」と呼ばれている。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行うことを目指している。

今年度は昨年度に得られた基礎的知見をもとに、いくつかの力学多機能高分子材料の開発に成功した。具体的には、二色の異なるラジカル種を同時あるいは逐次的に生成する力学多機能高分子、高分子結晶化時の微小応力を検知できるメカノクロミック高分子、汎用高分子との混合のみで高分子鎖の切断に伴うメカノラジカルを検出できる分子プローブ、色彩変化と高強度化を同時に実現できる高分子材料、などの開発に成功した。伊藤グループ、已上グループ、大塚グループが緊密に連携することで、当初の計画以上に研究が進展した。

力学多機能高分子材料の開発は、材料の応力検知、破壊機構の解明、危険予知、延いては寿命予測にも繋がる重要な研究課題である。今年度にも得られた研究成果のうち、例えば微小応力を検知できるメカノクロミック高分子や色彩変化と高強度化を同時に実現できる高分子は、多数の新聞報道もされており、社会的な注目度も高い。安心・安全な社会の実現などに貢献が可能で、大きな波及効果が期待できる。

## § 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 ((公財)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)

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) K. Yanada, S. Kato, D. Aoki, K. Mikami, H. Sugita, H. Otsuka, “Non-symmetric Daughter Mechanochromophores from the Molecular Crossing of Radical-type Parent Mechanochromophores: Bespoke Mechanofunctional Polymers”, *Chem. Commun.*, **57**, 2899–2902 (2021).
- 2) S. Kato, S. Furukawa, D. Aoki, R. Goseki, K. Oikawa, K. Tsuchiya, N. Shimada, A. Maruyama, K. Numata, H. Otsuka, “Crystallization-induced Mechanofluorescence for Visualization of Polymer Crystallization”, *Nat. Commun.*, **12**, 126 (2021).
- 3) H. Sakai, D. Aoki, K. Seshimo, K. Mayumi, S. Nishitsuji, T. Kurose, H. Ito, H. Otsuka, “Visualization and Quantitative Evaluation of Toughening Polymer Networks by a Sacrificial Dynamic Cross-linker with Mechanochromic Properties”, *ACS Macro Lett.*, **9**, 1108–1113 (2020).
- 4) Y. Mao, T. Kubota, T. Kurose, A. Ishigami, K. Seshimo, D. Aoki, H. Otsuka, H. Ito, “Energy Dissipation and Mechanoresponsive Color Evaluation of a Poly(*n*-hexyl Methacrylate) Soft Material Enhanced by a Mechanochromic Cross-Linker with Dynamic Covalent Bonds”, *Macromolecules*, **53**, 9313–9324 (2020).
- 5) K. Seshimo, H. Sakai, T. Watabe, D. Aoki, H. Sugita, K. Mikami, Y. Mao, A. Ishigami, S. Nishitsuji, T. Kurose, H. Ito, H. Otsuka, “Segmented Polyurethane Elastomers with Mechanochromic and Self-strengthening Functions”, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **60**, 8406–8409 (2021).