

2024 年度年次報告書

分解・劣化・安定化の精密材料科学

2023 年度採択研究代表者

杉安 和憲

京都大学 大学院工学研究科
教授

階層性超分子材料の物性制御と機能開拓

主たる共同研究者：

梶谷 孝（東京科学大学 リサーチインフラ・マネジメント機構 上席技術専門員）

片島 拓弥（東京大学 大学院工学系研究科 講師）

佐光 貞樹（物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター 主幹研究員）

高見澤 聡（横浜市立大学 大学院生命ナノシステム科学研究科 教授）

研究成果の概要

本研究は、超分子ポリマーのポテンシャルを最大限に活用し、既存の高分子からは作り出すことが困難な『階層性超分子材料』を創出することを目的とする。低分子～中分子のみからバルク材料を創出する点が挑戦的であり、分子間相互作用の多様性と協同性を精密に設計することによって、以下のふたつの観点から新物質を創出する。

・**分解性と安定性の両立**: 低分子～中分子のみから力学特性に優れた物質を合成する。高分子に匹敵する力学特性を有しながら、分子レベルまで容易に分解できる材料を創出する。

・**ポリマーの概念拡張**: 既存の高分子材料には見られない、特異な粘弾性挙動を実現する。分解や変形の挙動における異方性や協同性、スイッチング性などを制御し、新用途を開拓する。

2024年度は、ひとつの研究の柱(以下2)が立ったという意味で大きな進展があった。

(1) 超分子ポリマーをバルク状態で扱うためには、その側鎖の設計が重要であることをすでに見出している(杉安: Chem. Sci. 2023)。側鎖の構造や置換位置が異なるモノマーを新たに合成した(杉安グループ)。この超分子ポリマーの溶液粘弾性を評価したところ、高分子の溶液と類似した粘弾性スペクトルが得られた(片島グループ)。また、側鎖の置換位置によって、超分子ポリマーの絡み合いや分岐の形成などが制御され得ることを見出した。論文の執筆を進めている。

(2) 天然由来の分子をベースとした『階層性超分子材料』の開発を狙って、コレステロール誘導体を多数合成した(杉安グループ)。これらの熱特性や、材料内部の高次構造の評価した(梶谷グループ・佐光グループ)。誘導体のひとつが準安定な液晶状態となること、そしてこの準安定状態を利用して力学特性に異方性を有する自立フィルムを作製できることを明らかにした。また、別のコレステロール誘導体がガラス化することを見出した。ナノインデンテーション測定によって、ガラスの力学特性を評価した(佐光グループ)。

(3) 高分子材料の設計に学んで、可塑剤やフィラー、ブレンド等の可能性を模索している。超分子ポリマーに 10~30%程度の可塑剤を添加することで、透明な自立フィルムを作製することができた。フィラーとして高見澤グループによって開発された超弾性結晶の利用も検討している。

以上の通り、杉安グループの物質合成を起点とし、5つのグループが協働して『階層性超分子材料』の開発が進んでいる。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Nakamura, S. Michida, M. Naito, U. Chung, T. Katashima* “Relationship between heterogeneity in particle dynamics and network topology in transient network via a microrheological study” *Polymer Journal*, **2025**, 57, 427.
DOI: 10.1038/s41428-024-01000-w)
- 2) Y. Yamamoto, Y. Yamagata, T. Sato, K. Nakamura, R. Sato, M. Naito, U. Chung, T. Katashima* “Elucidating Nonlinear Stress Relaxation in Transient Networks through Two-Dimensional Rheo-Optics” *ACS Macro Letters*, **2024**, 13, 1171. (Highlighted in Supplementary Cover art)
DOI: 10.1021/acsmacrolett.4c00338