

超空間制御に基づく高度な特性を有する革新的機能素材等の創製
平成 26 年度採択研究代表者

2018 年度 実績報告書

加藤 隆史

東京大学大学院工学系研究科
教授

ソフトナノ空間を形成する自己組織化液晶高分子を基盤とする
革新的輸送材料の創製

§ 1. 研究成果の概要

資源やエネルギーを有効に活用するために、新たな分離・輸送材料の開発が期待されている。多孔質高分子膜による輸送・分離は広く利用されているが、本研究では、規則的なソフトナノ空間を自発的に形成し、かつナノ空間を制御できる材料として「自己組織化ナノ液晶高分子」(図 1)を開発する。液晶高分子の自己組織的な規則的な孔を活用することにより、従来は不可能であった、物質を高選択的に輸送・分離する革新的素材を開発することを目的とする。

2018年度は、1) 自己組織化ナノ液晶高分子を用いる新たな水処理膜材料の開発とウイルス除去膜としての展開、2) 電池電解質となる新たなイオン輸送性液晶分子の開発をメインテーマとして、新たな分子の設計と合成、液晶高分子の材料化とナノ構造の評価に取り組んだ。

ナノ液晶高分子を用いる水処理膜材料の開発においては、新規の重合性カラムナー液晶を開発し、これを用いた水処理膜を作製した。作製した水処理膜のウイルス除去性能および透水性を評価したところ、以前に報告したナノ高分子液晶に比べ、ウイルス除去率はほぼ変わらないものの、透水性が 30 倍以上、向上した^[1]。カラム中心に非重合性のイオン液体が取り込まれる

ことにより透水パスが拡大し、透水性が向上したと考えられる。また、現用の逆浸透 (RO) 膜を用いた研究において、水処理に伴う加圧の繰り返しはウイルス除去率を大きく低下させることを明らかにした^[2]。この成果は、RO 膜を一般家庭用の水処理に用いる場合には、膜交換の頻度を決定する上で、従来から用いられてきた総ろ過量などの指標に加えて、「全加圧時間」のような独自の指標が重要となることを示した。

またイオン輸送液晶について、扇型分子や棒状分子について分子構造と液晶性、イオン伝導度の関係について検証を進めた。イオン伝導性が液晶相の相転移によって大きく変化するフェニルアンモニウム系液晶電解質について、アンモニウム部位やアニオン性、疎水性部位の構造が、イオンチャネルの構造やイオン伝導性に与える効果を明らかにし^[3]、今後の分子設計における重要な知見を得た。さらに、これまで液晶への適用例がほとんどないプロトン伝導部位を有するホスホン酸骨格を有する新しい液晶分子の開発にも成功した。

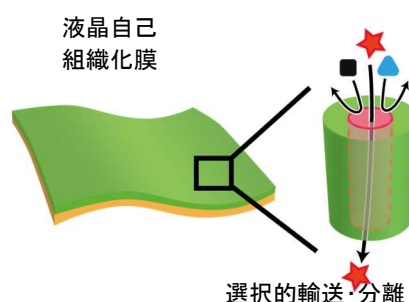


図 1. 自己組織化ナノ液晶高分子による輸送・分離の概念図

【代表的な原著論文】

1. K. Hamaguchi, D. Kuo, M. Liu, T. Sakamoto, M. Yoshio, H. Katayama, T. Kato, "Nanostructured Virus Filtration Membranes Based on Two-Component Columnar Liquid Crystals", *ACS Macro Lett.*, vol. 8, No. 1, pp. 24-30 (2019).
2. S. Torii, T. Hashimoto, A. T. Do, H. Furumai, H. Katayama, "Impact of Repeated Pressurization on Virus Removal by Reverse Osmosis Membranes for Household Water Treatment", *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, vol. 5, pp. 910-919 (2019).
3. D. Kuo, B. Soberats, K. R. S. Kumar, M. Yoshio, T. Ichikawa, H. Ohno, X. Zeng, G. Ungar,

T. Kato, "Switching of Ionic Conductivities in Columnar Liquid-Crystalline Anilinium Salts: Effects of Alkyl Chains, Ammonium Cations and Counter Anions on Thermal Properties and Switching Temperatures", *Mol. Syst. Des. Eng.*, vol. 4, pp. 342-347 (2019).

§ 2. 研究実施体制

(1) 加藤グループ

- ① 研究代表者:加藤隆史(東京大学大学院工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・自己組織化ナノ液晶高分子の開発と合成・ナノ空間界面制御・配向制御
 - ・所望の輸送・分離を行なう材料を開発するための学理の構築
 - ・研究全体の総括

(2) 辺見グループ

- ① 主たる共同研究者:辺見昌弘(東レ(株) 理事)
- ② 研究項目
 - ・液晶モノマーから所望の自己組織化ナノ高分子薄膜を形成する技術の確立
 - ・得られた薄膜の機能評価・構造評価の実施と手法の確立

(3) 細野グループ

- ① 主たる共同研究者:細野英司(産業技術総合研究所省エネルギー研究部門 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・自己組織化ナノ液晶高分子の精密構造評価と二次電池電解質への応用

(4) 灘グループ

- ① 主たる共同研究者:灘 浩樹 (産業技術総合研究所環境管理研究部門 主任研究員)
- ② 研究項目
 - ・自己組織化ナノ液晶高分子によるイオン・分子の輸送・分離の計算機シミュレーション

(5) 片山グループ

- ① 主たる共同研究者:片山浩之(東京大学大学院工学系研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・自己組織化ナノ液晶高分子によるウイルス除去テストの実施と評価
 - ・既存の水浄化方法の問題点の明確化