

「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

H28 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(東レ株式会社、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(国立研究開発法人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(国立研究開発法人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)「栗栖」グループ (「片山」グループ)

- ① 主たる共同研究者:栗栖 太(東京大学大学院工学系研究科、准教授)、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

§ 2. 研究実施の概要

資源やエネルギーを有効に活用し、持続的に発展する社会を作るために、新たな分離・輸送材料の開発が期待されている。このため、本研究では、規則的でソフトなナノ空間を自発的に形成し、かつナノ空間の機能や構造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。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、従来材料はナノレベルの孔構造制御はできていない。本研究は、液晶高分子のナノスケールあるいはサブナノスケールにおける自己組織的な規則的な孔の構造形成・配向・界面機能を制御することにより、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。

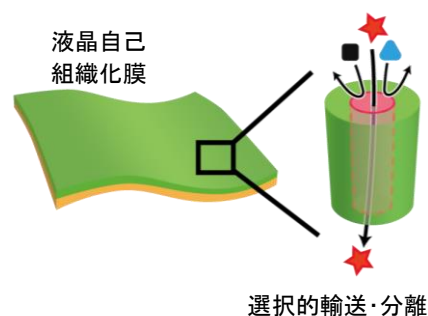


図 1. 自己組織化ナノ液晶高分子による輸送・分離の概念図

平成28年度は、1) 自己組織化ナノ液晶高分子を用いる水処理膜材料、ウイルス除去膜の開発、2) 自己組織化ナノ液晶高分子におけるイオンの高速輸送技術の構築と応用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。

水処理膜材料として用いるため、新規反応性液晶を開発し、これを重合した高分子薄膜を分離層とする水処理膜を作製した。得られた膜について塩や色素に対する除去能、透水性等の評価を行った。また、水処理材料やリチウム輸送材料の開発に貢献する理論的知見を計算機シミュレーションにより得ることを目的とし、ナノ空間における水分子やイオンの輸送・分離効率のシミュレーション解析を実施した。得られた水処理膜の中で、特に高い透水性を示した双連続構造液晶膜について、ウイルス除去試験を行ったところ、直径 25 nm のウイルスに対し、99.9999%以上という高い除去率を示した¹⁾。液晶高分子が欠陥のない緻密な膜を形成しているために、高いウイルス除去膜が達成されたと考えられる。今後、透水性の向上や膜除去の選択性向上を目的として分子構造および製膜プロセスの最適化を進める。

また、イオン輸送能を示す液晶材料に関する技術開発を行ない、液晶電解質のリチウムイオン輸送能を向上させ、それによりリチウムイオン二次電池を構築した。さらに液晶電解質の新たな応用展開として、液晶電解質を用いた色素増感太陽電池を開発した^{2,3)}。従来の色素増感太陽電池に用いられていた有機溶媒に比べ、熱的安定性に優れた液晶電解質を活用することにより、高温での光電変換効率を向上させることに成功した。今後、さらなる安定性向上などの研究を進める。

1) N. Marets, D. Kuo, J. R. Torrey, T. Sakamoto, M. Henmi, H. Katayama, and T. Kato, "Highly Efficient Virus Rejection with Self-Organized Membranes Based on a Cross-linked Bicontinuous Cubic Liquid Crystal". *Advanced Healthcare Materials*, published online. DOI: 10.1002/adhm.201700252.

2) D. Högberg, B. Soberats, M. Yoshio, Y. Mizumura, S. Uchida, L. Kloo, H. Segawa, T. Kato, "Self-Assembled Liquid-Crystalline Ion Conductors in Dye-Sensitized Solar Cells: Effects of Molecular Sensitizers on their Performance", *ChemPlusChem*, DOI: 10.1002/cplu.201700099

3) D. Högberg, B. Soberats, R. Yatagai, S. Uchida, M. Yoshio, L. Kloo, H. Segawa, and T. Kato, "Liquid-Crystalline Dye-Sensitized Solar Cells: Design of Two-Dimensional Molecular Assemblies for Efficient Ion Transport and Thermal Stability", *Chemistry of Materials*, **28**, pp 6493–6500 (2016).