

「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

H27 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 (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

§ 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、必要なモノを選択的かつ効率的に輸送・分離する材料や有害物質を高度に除去する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。多孔質高分子膜を利用した分離は省エネルギープロセスによる分離として実用化され、広く利用されているが、従来の材料では、孔構造をナノレベルで制御することはできていない。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化プロセスによる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。

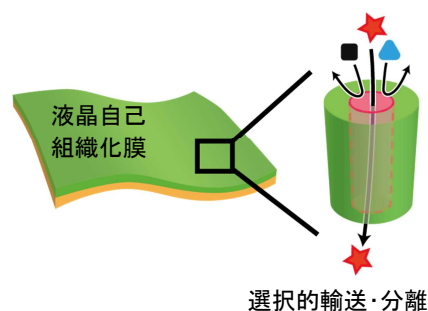


図 1. 自己組織化ナノ液晶高分子による輸送・分離の概念図

平成27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の開発、2) 自己組織化ナノ液晶高分子におけるリチウムイオンの輸送技術の構築の2つのメインテーマとして、自己組織化ナノ液晶高分子開発のためのモノマー分子の設計と合成、得られた分子の集合構造の評価と制御に取り組んだ。さらに、塩除去能やイオン輸送性などの機能を評価した。また、これらの材料に関する市場および技術動向を調査した。

水処理膜材料として、複数種の重合性のイオン性液晶を合成し、これを分離機能層とする膜を作製した。分子構造と、自己組織化する液晶相やその熱力学的安定性の関係性を系統的に調べながら分子構造の最適化を進め、膜作製に適した、安定な液晶相を形成する分子を得た。また、合成手法の改良を進め、中量合成が可能なプロセスを開発した。作製した膜について、機能評価や構造評価を行ない、分子構造や製膜条件が膜性能に与える影響を評価した。さらに、ナノ空間における水分子やイオンの移動・輸送について、計算科学によるシミュレーションを行なった。今後、液晶の集合構造、膜構造および膜機能の関係について、計算科学も利用しながら解明し、液晶および膜の設計に活用していく。

また、イオン輸送材料に関する技術開発を行ない、相転移によって伝導度が大きく変化するイオン性液晶を開発した。この液晶は低温側ではレクタングュラーカラムナー相を形成し、高温側ではヘキサゴナルカラムナー相を示した。昇温・降温操作によるこれらの相間の転移によってイオン伝導度が 1000 倍以上、変化した¹⁾。また、プロトン伝導性²⁾やリチウムイオン伝導性³⁾を示す超分子液晶複合体を開発した。今後、高分子化により、スイッチング特性を示すリチウムイオン輸送膜や水処理膜へ展開する。

1) Bartolome Soberats, Masafumi Yoshio, Takahiro Ichikawa, Xiangbing Zeng, Hiroyuki Ohno, Goran Ungar, and Takashi Kato, "Ionic Switch Induced by a Rectangular-Hexagonal Phase Transition in Benzenammonium Columnar Liquid Crystals", Journal

of the American Chemical Society, vol. 137, Issue 41, pp.13212–13215, 2015.

2) Akihiro Yamashita, Masafumi Yoshio, Bartolome Soberats, Hiroyuki Ohno, and Takashi Kato, "Use of a Protic Salt for the Formation of Liquid-Crystalline Proton-Conductive Complexes with Mesomorphic Diols", *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 3, Issue 45, pp.22656-22662, 2015

3) Bartolome Soberats, Masafumi Yoshio, Takahiro Ichikawa, Hiroyuki Ohno, and Takashi Kato, "Zwitterionic Liquid Crystals as 1D and 3D Lithium Ion Transport Media", *Journal of Materials Chemistry A*, vol. 3, Issue 21, pp. 11232–11238, 2015.