

2024 年度年次報告書

物質探索空間の拡大による未来材料の創製

2023 年度採択研究代表者

吉尾 正史

物質・材料研究機構 高分子・バイオ材料研究センター
グループリーダー

液晶分子配列を生かした未来メカトロニクス材料の創出

研究成果の概要

液晶分子配列を利用した高速イオン伝導パスの構築と、それを活用した高効率な電気力学変換素子の開発は、次世代ソフトロボットやウェアラブル触覚デバイスの実現に向けた重要な技術として期待されている。本研究では、これまで設計が極めて困難で未開拓であった「キュービック液晶性イオン伝導体」に着目し、三次元的に連続した伝導パスと高弾性率を兼ね備えた電気力学変換材料の創出、さらにイオン移動に伴う材料変形メカニズムの解明を目的とした。

本年度は、リン酸エステル基 ($\text{O}=\text{P}(\text{OR})_3$) とリチウムイオンとのイオン-双極子相互作用を活用することで、室温で高イオン伝導性を示す新規液晶材料の開発に成功した。また、液晶と高分子とのハイブリッド化によりマイクロ相分離構造を形成し、新たな概念のフィルム型伝導材料の創製にも成功した。特に、液晶相を室温で安定に発現させながら高速イオン伝導を実現することは困難な課題である。本研究ではリン酸エステル基の嵩高さ、導入数、ならびに導入位置を精密に設計した扇形および棒状分子を複数合成し、イオン-双極子相互作用および分子間水素結合を精密に制御した。その結果、三次元的に連結したジャイロドキュービック液晶相および逆カラムナール液晶相の形成に成功し、分子配向に依存しない高速ホッピング型イオン伝導を実現した。さらに、ナノ多孔性ポリエチレン膜への液晶含浸による自立膜作製や、液晶とフッ素系ビニルポリマーの自己組織化によるスポンジ状高分子ネットワーク中への液晶の安定分散にも成功した。これらのイオン伝導膜と導電性高分子や炭素電極との異界面接合技術を融合することで、世界トップレベルの変形歪みと応答速度を有するソフトアクチュエータ素子を開発し、前例のない指輪型触覚提示素子としての機能も実証した。

本研究成果は、液晶材料のイオニクスおよび電気力学変換分野における新たな展開を切り拓くものである。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Ionic Liquid Crystal-Polymer Composite Electromechanical Actuators: Design of Two-Dimensional Molecular Assemblies for Efficient Ion Transport and Effect of Electrodes on Actuator Performance, Liu, C.; **Yoshio, M.**, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **16**, 27750-27760 (2024).
- 2) Electroactive Soft Actuators Utilizing PEDOT:PSS and 3D Lithium-Ion-Conducting Phosphate Columnar Liquid Crystals Embedded in a Porous Polyethylene Membrane, Liu, C.; **Yoshio, M.**, *Sci. Tech. Adv. Mater.*, **26**, 2475738 (2025).