



Title	イオン-シアノ基双極子相互作用を利用した機能性液晶材料の研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	諏訪, 俊一
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16367号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94942
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	SUWA_Shunichi_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理学） 氏名 諏訪 俊一

学 位 論 文 題 名

イオン-シアノ基双極子相互作用を利用した機能性液晶材料の研究

持続可能な社会発展に向けて、電気-物質エネルギー変換技術の高度化と多様化が進んでいる。特に、電池や電気化学アクチュエータの高性能化において、固体電解質の開発は重要な課題である。過去数十年間、セラミックス、ガラス、ポリマーが固体電解質の候補として精力的に研究開発されてきた。その中で、両親媒性のナノ相分離構造を持つ液晶や液晶性ポリマーが、固体電解質の新たな候補として注目を集めている。液晶はナノメートルからセンチメートルスケールの規則的な配列を持ち、柔軟性に富むため、応力、電場、光といった外部刺激に応じて動的に挙動を変えするというユニークな特性を有する。この特性を活用してイオン伝導パス構造を設計することで、熱的および力学的安定性と効率的なイオン伝導性を兼ね備えた新しい電解質が開発可能である。これにより、高温作動型リチウムイオン電池や高速振動・高出力ソフトアクチュエータの応用が進展している。このような液晶電解質のさらなる高性能化を実現するためには、新たな材料設計指針の構築が重要である。

本研究の目的は、超分子化学的な視点に立ち、イオン-シアノ基双極子相互作用を利用する新しい液晶性電解質材料を構築することである。特に、低電圧駆動のイオン伝導型アクチュエータを実現する固体電解質への応用を目指した。本研究では、イオン液体を内包するカラムナー液晶、リチウムイオン伝導性層状液晶、光重合を活用した液晶-ポリマーコンポジットや液晶架橋ポリマーフィルム電解質の作製、構造解析、イオン伝導性評価、ならびにアクチュエータへの応用に取り組み、それらの構造と物性の相関について基礎研究を行った。

本論文は、以下の5章から構成される。

第1章では、液晶や液晶電解質、ポリマーアクチュエータの研究背景を示し、本研究の目的と課題解決に資する材料設計指針について説明した。

第2章では、扇型ニトリル化合物とイオン液体との自己組織化により異方的一次元イオン伝導性を発現するカラムナー液晶電解質の構築について述べた。イオン液体として異なるカチオンサイズを持つイミダゾリウムブロミドを用い、ベンゾニトリル化合物との自己組織化を研究した結果、液晶相の発現にカチオン-シアノ基双極子相互作用とアミド基 NH-ブロモアニオン間の水素結合が重要であることを示した。また、機械的せん断によってカラム構造の均一水平配向を達成し、異方的な伝導度測定から一次元チャンネル構造の形成を確認した。さらに、カチオンサイズが大きなイオン液体を内包するカラム構造が高イオン伝導性と高異

方性を示すことを明らかにした。

第3章では、棒状メソゲン構造を有する脂肪族ニトリル化合物とリチウム塩のイオン-シアノ基双極子相互作用に基づく層状液晶電解質および光重合を利用した液晶-ポリマーコンポジットフィルム電解質を開発した。液晶構造について、X線回折測定、赤外吸収スペクトル測定、構造計算シミュレーションを実施した結果、シアノ基とビス（トリフルオロメタンスルホニル）イミドアニオンがリチウムイオンと四配位構造を形成すること、およびメソゲンがバイレイヤー構造を形成することを明らかにした。さらに、1,6-ヘキサンジオールジアクリレート（HDDA）と液晶電解質の光重合から得られる自立性コンポジットフィルムを利用し、ドーブポリチオフェン系導電性高分子電極（PEDOT:PSS）からなる三層構造のアクチュエータ素子を作製した。この素子は、2 V の交流電圧下で最大 30 Hz の周波数で曲げ応答を示し、0.1 Hz、2 V の条件下で高い曲げ歪み (0.50%) および高い出力 (0.22 mN) を実現した。

第4章では、メソゲン基を有する脂肪族ニトリル化合物にアクリレート基を導入した光重合性液晶を設計・合成した。この液晶モノマー、リチウム塩、HDDA からなるイオン-シアノ基双極子相互作用を働かせた複合体において、層状液晶構造を形成させ、光重合することにより柔軟性を有する新しい自立フィルムポリマー電解質の開発に成功した。電極に PEDOT:PSS を用いたアクチュエータ素子は、室温で低いイオン伝導性ながら (10^{-6} S cm^{-1})、2 V の交流電圧で最大 70 Hz の周波数において曲げ応答を示した。さらに、このアクチュエータは 0.1 Hz、2 V の条件下で高い曲げ歪み (0.50%) を示した。本研究では、イオンや液晶電解質の漏れという課題を克服しただけでなく、ニトリル系液晶電解質を用いたアクチュエータの性能をさらに向上させることに成功した。

第5章では、本研究の総括と、ニトリル化合物を利用した超分子液晶とアクチュエータの将来展望を述べた。本研究で提唱したイオン-シアノ基双極子相互作用を基盤とする材料設計戦略は、ソフトロボティクスや次世代蓄電池の分野で新たな発展をもたらす可能性がある。