



HOKKAIDO UNIVERSITY

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_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（理学） 氏名 諏訪 俊一

審査担当者	主査	教授	佐田 和己
	副査	准教授	佐藤 信一郎
	副査	客員教授	吉尾 正史
	副査	客員教授	白幡 直人
	副査	客員教授	増田 卓也

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

高分子電解質膜は、プロトン伝導型燃料電池やイオニックソフトアクチュエータなどのエネルギー変換デバイスにおいて不可欠な基幹材料である。近年、ブロックコポリマー、液晶ポリマー、多孔性共有結合性高分子といった規則的な分子配列を活用し、高効率なイオン伝導を実現しようとする研究が注目を集めている。特に、親疎水性ブロック構造を有する重合性液晶分子が形成する層状やカラム状のナノ相分離構造は、せん断印加などの外部刺激によってマイクロからセンチメートルスケールにわたり配向制御が可能であり、イオン伝導パスとしての応用が期待されている。

これまでに、オリゴエチレンオキシド基やリン酸エステル基などの極性官能基をもつ低分子液晶と、イオン液体やリチウム塩との二成分間におけるイオン-双極子相互作用を活用し、一次元および二次元のイオン伝導パス構造を有する異方的イオン伝導体を世界に先駆けて報告してきた。さらに、重合性基を導入した液晶分子の光架橋により、液晶ナノ構造を固定化した高分子フィルム電解質の作製に成功し、導電性高分子電極を用いたイオン移動駆動型の高速振動・高出力イオニックアクチュエータの構築を報告してきた。しかし、ソフトロボットや触覚提示デバイスへの応用に向けて、アクチュエータのさらなる変形量の増大と応答周波数帯域の拡大が求められており、新たな電解質材料の設計は依然として重要な課題である。

本論文は、超分子化学的手法を用いて、イオン液体やリチウム塩とシアノ基を有する液晶分子とのイオン-双極子相互作用を活用した新規液晶電解質の設計、および液晶電解質とビニルモノマーの光重合によってマイクロ相分離構造を形成した液晶-高分子ゲルフィルム電解質膜の開発、さらに重合性液晶の光架橋によるフィルム電解質膜の作製を行い、アクチュエータ素子の高性能化を目指した研究について述べられおり、以下の5章で構成される。

第1章では、液晶電解質やポリマーアクチュエータの研究背景が示されており、本研究の目的と課題解決に資するシアノ基含有液晶および光架橋を用いる液晶-高分子ゲルフィルムや液晶高分子フィルムに基づく新しい電解質の設計指針が述べられている。

第2章では、イミダゾリウム型イオン液体と長鎖アルキル基を有する扇形構造のベンゾニトリル誘導体によるカチオン-シアノ基双極子相互作用を活用した、新しい二成分系超分子カラムナ-液晶に関する研究成果が示されている。赤外吸収スペクトル、X線回折測定、および分子集合体の計算シミュレーションの結果から、イオン液体の一次元チャンネルを取り囲むようにニトリル誘導体が配置し、ヘキサゴナルカラム構造を形成していることが推定されている。さらに、せん断印加によりカラム構造の均一配向を達成し、カラム軸に沿った方向で高いイオン伝導性が得られている。この異方性の存在から、本系が一次元イオンチャンネルとして機能することが明らかになっている。

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錯形成を利用し、室温で $10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ の高イオン伝導性を示す新しい層状液晶材料の開発について述べている。さらに、液晶電解質とヘキサジアクリレートとの複合体を光架橋することで、液晶と高分子ネットワークがミクロスケールで相分離した自立型ゲルフィルムの作製に成功し、電子顕微鏡観察、X線回折測定、および計算を駆使して、分子集合構造を解析している。また、本複合膜を用いることで、従来のアモルファス高分子電解質を利用したイオニックアクチュエータを凌駕する大変位特性を実現し、30Hzまでの高速振動を達成している。

第4章では、光重合性基を導入した棒状メソゲン基を持つ脂肪族ニトリル化合物を設計し、リチウム塩が配位した層状液晶構造を光重合によって固定化する手法を用いて、フィルム電解質膜を作製している。さらに、この電解質膜を高分子電極で挟んだアクチュエータ素子を作製し、その変位および出力特性を明らかにしている。このアプローチにより、第3章で開発した液晶-高分子ゲルフィルム電解質を用いたアクチュエータと比較して、より高い周波数帯域で動作可能なアクチュエータを実現し、70Hzでの応答性を達成している。

第5章では、研究成果のまとめと位置づけ、ソフトロボットや触覚素子の開発に向けた将来展望が述べられている。

これを要するに、著者は、イオン-シアノ基双極子相互作用を鍵とした液晶性電解質およびイオン伝導型ソフトアクチュエータの開発について、超分子材料化学および効率的な電気-力学変換実現の新知見を提供しており、材料科学の発展に大きく貢献するものである。

よって、著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。