



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Organophosphate-Based Self-Assembled Electrolytes for Electroactive Actuators [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	劉, 成洋
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16140号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93421
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	LIU_Chengyang_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 劉 成洋

	主査	教授	佐田 和己
	副査	教授	佐藤 敏文
審査担当者	副査	客員教授	吉尾 正史
	副査	客員教授	野口 秀典
	副査	客員教授	白幡 直人

学 位 論 文 題 名

Organophosphate-Based Self-Assembled Electrolytes for Electroactive Actuators
(有機リン酸エステル系自己組織化電解質を用いた電気活性アクチュエータ)

固体電解質は、リチウムイオン電池をはじめとする様々な電気化学デバイスへの応用が期待されている。これまでに、セラミックス、ガラス、ポリマーなどの材料が固体電解質として開発されてきたが、高イオン伝導化や安全性に向けた課題が残っている。近年、高効率なイオン伝導を実現するため、分子が規則的に配列してナノスケールのイオン伝導パスを形成する液晶電解質が注目を集めている。リチウム塩やイオン液体と液晶分子の組み合わせや混合比を適切に選択することで、一次元や三次元のイオン伝導パスを構築することが可能である。例えば、我々は光架橋部位を導入したイオン性液晶とごく少量のイオン液体からなるリオトロピック液晶を重合することで、機械的に安定なナノ構造高分子フィルム電解質の構築に成功した。これらの固体電解質を導電性高分子電極で挟んだ三層積層素子に数ボルトの電圧を印加すると、カチオンとアニオンが対向電極に向かって移動し、電気二重層を形成することで屈曲変形を示すソフトアクチュエータが得られた。このアクチュエータの応用として、小さな物体を柔らかく掴むグリッパーロボットとして機能することを実証してきた。しかし、触覚提示素子としての新たな応用に向けては、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必要である。これを実現するためには、新たな電解質設計と電極材料の最適化が重要である。

本論文は、超分子化学的手法からリチウムイオンやイオン液体のイオン拡散を高めるリン酸エステル基を配列した新しい液晶電解質、および高分子と液晶がマイクロ相分離構造を形成した液晶-高分子コンポジット電解質膜を設計し、アクチュエータ素子の高性能化と触覚提示素子の構築を目指した研究に関するもので、以下の6章から構成される。

第1章では、ポリマーアクチュエータや液晶電解質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リン酸エステル液晶および液晶-高分子コンポジット電解質の設計指針が簡潔に述べられている。

第2章では、二次元リチウムイオン伝導パスを形成するジエチルリン酸エステル液晶の構築および液晶-ビニル高分子コンポジット電解質を用いたアクチュエータに関する研究成果が示されている。P=O基とリチウムイオンのイオン-双極子相互作用を利用し、室温で $10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ の高イオン伝導性を実現した。また、ポリ塩化ビニルとフッ化ビニリデン-ヘキサフルオロプロピレン共重合体との複合化により、自立性および自己消火性をもつ新電解質膜を作製し、ポリチオフェン系電極を用いて大気下で安定駆動する高周波数応答性アクチュエータ（AC 2 V, 0.1 Hz で 0.63 % 歪, 最大応答周波数 80 Hz, 0.35 mN 出力）を開発した。

第3章では、ジメチルリン酸エルテル基を導入した液晶分子とリチウム塩およびイオン液体からなる幅広い温度範囲で層状構造を形成する新しい液晶電解質および高分子コンポジット電解質膜が設計されている。また、導電性高分子電極および活性炭電極を用いたアクチュエータ素子の性能比較が行われている。リチウムイオン伝導と導電性高分子との組み合わせでは、電極での速いレドックス反応に基づいて 110 Hz 高速振動アクチュエータが実現することが示されており、指輪型触覚提示デバイスとしての応用を世界に先駆けて提案している。一方、イオン液体と活性炭電極との組み合わせでは、電気二重層形成を駆動力として最大 50 Hz 応答のアクチュエータ素子が得られ、リチウムイオン伝導系で問題となるバックリラクゼーションが抑制されることを明らかにしている。

第4章では、三次元的に連結したリチウムイオン伝導パス構造を有するジメチルリン酸エステルカラムナー液晶の設計、およびポリエチレン製バッテリーセパレータ膜に液晶を埋め込んだ新しい電解質膜によるアクチュエータ機能（AC 2 V, 0.01 Hz で 0.52 % 歪, 最大応答周波数 50 Hz, 0.50 mN 出力）に関する研究成果が示されている。

第5章では、フッ素置換ベンゼンを有する三環メソゲン基を用いたジエチルリン酸エステル層状液晶とイオン液体からなる新しいリオトロピック液晶とその高分子コンポジット電解質を構築し、導電性高分子電極を用いたアクチュエータ素子において高い性能（130 Hz 応答性, 0.70 % 歪, 0.8 mN 出力）を達成している。

第6章では、研究成果のまとめと位置づけ、触覚素子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、リン酸エステル液晶-高分子コンポジットアクチュエータの開発について、高効率な電気-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。