



Title	Study on Electroactive Soft Actuators Based on Nanostructured Columnar Liquid-Crystalline Polymer Electrolytes [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	曹, 思雨
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14899号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85506
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Siyu_CA0_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 曹 思雨

	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	増田 卓也
	副査	客員教授	山浦 一成

学位論文題名

Study on Electroactive Soft Actuators Based on Nanostructured Columnar
Liquid-Crystalline Polymer Electrolytes
(ナノ構造カラムナー液晶性高分子電解質に基づく電気活性ソフトアクチュエータに関する研究)

イオン導電性高分子アクチュエータは、低電圧駆動で変形量が大きく、生き物のように柔らかく動くことから、ロボットハンドや触覚デバイスなどへの応用が期待されている。イオンが流れる高分子を二枚の電極層で挟んだ構造が基本構造であり、電圧を加えると、イオン導電性高分子内のイオンがそれぞれ電極に引き寄せられることで、三層構造の構造体が屈曲変形する。アクチュエータ特性を高めるためには、しなやかでかつ強靱で高イオン伝導性を示す高分子の設計が重要である。これまでに空中で駆動できるアクチュエータの開発を目的として、イオン液体を溶媒として高分子網目に閉じ込めたイオンゲルを用いたアクチュエータ研究が盛んに行われている。しかし、高含有イオン液体の漏出に伴う使用環境の制限や機械的強度の面で問題を抱えている。高イオン伝導化と高靱性を実現する材料設計の一つとして、イオン液体の液晶秩序構造への自己組織化が注目を集めている。著者所属研究室では、世界に先駆けて液晶電解質の開発および電池応用に関する研究を展開しているが、アクチュエータへの展開は未開拓な分野で、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文は、このような現況にあるアクチュエータ研究において、超分子化学的アプローチから、革新的な一次元および三次元のイオン伝導パスを形成するカラムナー液晶性高分子を設計し、これを用いたアクチュエータ素子に関して学術上の有益な電解質ナノ構造と電気・力学機能の相関を明らかにすることを目的として研究したもので、以下の5章から構成されている。

第1章では、高分子アクチュエータおよびイオン伝導性液晶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液晶高分子アクチュエータの設計指針が簡潔に述べられている。

第2章では、一次元プロトン伝導チャンネル構造を形成したカラムナー液晶高分子の作製とイオン伝導に関する研究成果が示されている。光重合性基を有する楔形構造のイミダゾリルスルホベタイン型双性イオン分子が合成され、プロトン性イオン液体との自己組織化により、水溶媒を含むリオトロピックカラムナー液晶およびサーモトロピックカラムナー液晶の開発に成功している。液晶状態および加熱して液体状態にした試料に紫外線を照射することにより、構造が固定化された自立性高分子フィルムが得られており、X線回折測定により詳細に構造解析がなされている。ランダム配向のカラムナー液晶高分子が、非晶性高分子と比べて100–1000倍高いプロトン伝導度を示すことを明らかにしたことは、イオン伝導性高分子研究の発展に資する重要成果である。

第3章では、一次元カラムナー液晶高分子を用いたアクチュエータ作製および変形・力学機能が示されている。高電気伝導性を示すフレキシブル電極材料として、ポリスチレンスルホン酸をドーブしたポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)の自立フィルムを作製し、液晶高分子膜と圧着することで、力学・電氣的に安定な界面接合を有するアクチュエータが作製されている。イオン液体含有率18wt%のドライな液晶アクチュエータ素子に交流2V、周波数0.01Hzを印加した場合、高い屈曲歪0.65%と発生力1.2mNが達成されている。一方、相対湿度70%、15wt%含水液晶高分子アクチュエータでは、高イオン伝導化に伴って、さらに高い屈曲歪0.84%が実現されている。また、イオン含有量の増大およびカチオンとアニオンの体積差が大きいほど、変位量と発生力が増大すること、高分子フィルムを厚くすることで発生力が増大することが明示されており、数式を用いて理論的に結果を考察している。

第4章では、三次元的にイオン伝導パスが連結するカラムナー液晶高分子膜の創製とアクチュエータ機能が述べられている。双性イオン部位をもつ棒状の低分子液晶分子を設計し、イオン液体と極性高分子であるポリビニルアルコールと複合化することで、伸縮性を示すカラムナー液晶高分子膜が得られている。せん断応力による液晶配向とイオン伝導性の解析から、前例のないイオン液体で囲まれた疎水性ヘキサゴナルカラム構造の形成を明らかにしている。アクチュエータ素子の変形に及ぼす電圧、周波数の効果が調べられており、一次元カラムナー液晶高分子アクチュエータよりも高周波 1.0Hz で高い変形歪 1.0% を示すこと、ポリビニルアルコールイオンゲルよりも高速変形することが実証されている。

第5章では、研究成果のまとめと位置づけ、並びに将来展望が述べられている。

これを要するに、著者は、液晶高分子アクチュエータの開発について、イオンのナノ組織化による高効率な電気-力学変換実現の新知見を得たものであり、マテリアル革新に対して貢献するところ大なるものがある。

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。