

令和 6 年 6 月 20 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02021

研究課題名（和文）イオン液体をナノ組織化した液晶アクチュエータの創成

研究課題名（英文）Creation of Liquid Crystal Actuators Based on Nanostructured Ionic Liquids

研究代表者

吉尾 正史（YOSHIO, Masafumi）

国立研究開発法人物質・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

研究者番号：60345098

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、イオン液体を液晶ナノ構造に組織化した独自の電解質材料設計戦略により、世界トップレベルの大変位、高周波数応答性、高出力を示すイオン伝導型アクチュエータを創出した。具体的には、光重合性分子とイオン液体からなるカラム状・層状・ミセルキュービック構造を形成する液晶の光架橋高分子フィルムやイオン伝導性低分子液晶とビニル高分子とのマイクロ相分離複合フィルムを設計した。これらのポリマー電解質を導電性高分子で挟んだ三層構造のアクチュエータ素子を作製し、高速大変形と高出力を活かしたソフトグリッパーロボット、屈曲鏡、指輪型触覚提示デバイスなどの新しい応用を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、新しい材料設計戦略に基づくイオン伝導性液晶高分子およびこれを活用した高速変形・高出力を示す電気活性ソフトアクチュエータを実現した。これら成果は、新たな液晶材料の機能性材料としての可能性を大いに広げるものであり、エレクトロニクスや医療分野へのインパクトは大きい。特に、本研究で開発した世界初の指輪型触覚提示アクチュエータは、視覚障がい者歩行支援や遠隔コミュニケーションなどへの応用展開が期待できる。新しい物質を生み出す化学を駆使し、従来材料では成し得なかった高性能アクチュエータを実現した本研究成果は、持続可能な超情報化社会およびウェルビーイング社会の実現に大きな貢献を果たすものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed ion-conductive actuators exhibiting world-class large displacement, high-frequency responsiveness, and high output through an innovative electrolyte material design strategy that organized ionic liquids into liquid crystal nanostructures. Specifically, we designed photocrosslinked polymer films with columnar, lamellar, and micellar cubic structures formed from photopolymerizable molecules and ionic liquids, as well as microphase-separated composite films from ion-conductive low molecular weight liquid crystals and vinyl polymers. We fabricated three-layer actuator devices with these polymer electrolytes sandwiched between conductive polymers and demonstrated novel applications such as soft gripper robots, bending mirrors, and ring-shaped haptic feedback devices utilizing their high-speed large deformation and high output.

研究分野：有機・高分子材料化学

キーワード：アクチュエータ 液晶 イオン伝導 自己組織化 触覚

1. 研究開始当初の背景

電気活性ポリマーを用いたソフトアクチュエータは、医療用カテーテルやソフトロボットなどへの応用が期待されている。中でも、イオン液体ポリマーゲルを用いるアクチュエータは、数ボルトの電圧印加によって大きな変位を示し、大気中で安定駆動するため、世界的に活発に研究が進められている。しかし、イオン液体ポリマーゲルは一般的に低弾性率材料であるため、アクチュエータの出力が小さいことが課題である。もし、イオン液体の高速移動が可能な高弾性率ポリマーを開発することができれば、アクチュエータとしての可能性を大いに広げることができる。長距離的な分子配向性と特異な秩序構造を形成する液晶ポリマーは、汎用ポリマーと比べて破格の高弾性率を示す。イオン伝導性を示す新たな液晶ポリマーを構築できれば、これまで達成できていない高速大变位、高周波数応答、高出力を示す革新的なアクチュエータの実現が期待できる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、イオン液体を液晶ナノ構造に組織化した独自の電解質材料設計戦略により、世界トップレベルの大変位、高周波数応答性、高出力を示すイオン伝導型アクチュエータを創出することである。さらに、アクチュエータのソフトロボットや触覚提示デバイスなどへの応用可能性を示すことも目標とした。

3. 研究の方法

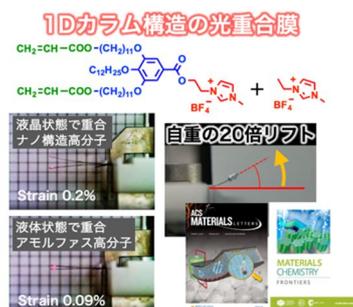
イオン液体を効率的に運ぶナノスケールの一次元から三次元の伝導パスを形成する液晶ポリマーを開発するために、2種類の新しい電解質材料設計戦略を採用した。1つは、重合基を導入したイオン性分子とイオン液体との自己組織化プロセスを利用して液晶構造を形成し、液晶場で紫外線重合を行うことにより架橋高分子フィルムを作製する方法。2つ目は、イオン液体との相互作用部位を有する新しい低分子液晶、イオン液体、汎用高分子を用いた三成分ブレンド法により、液晶と高分子のミクロ相分離構造を形成した複合自立膜を作製する方法である。

重合基を有するイオン性分子およびイオン液体との相互作用部位を有する低分子液晶の分子形状は、形成される液晶秩序構造を決める重要な要素である。また、組織化するイオン液体の種類や含量も液晶相を決定する重要因子である。本研究では、扇形状や棒形状の自己組織化分子をデザインし、様々な極性のイオン液体との複合比率を調節することで、カラムナー、ジャイロイドキュービック、ミセルキュービック、層構造などの多様なナノ相分離液晶構造の発現を目指した。

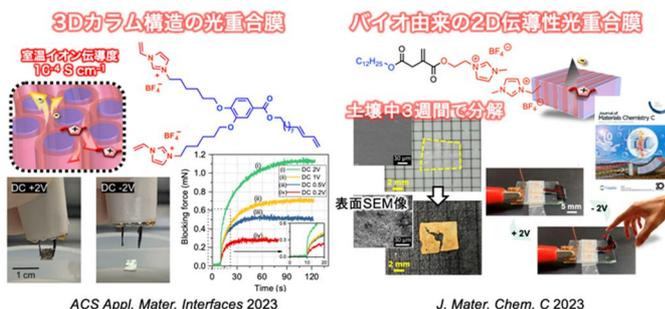
4. 研究成果

一次元イオン伝導性液晶高分子フィルムを用いたアクチュエータを世界に先駆けて開発することに成功した(図1, ACS Mater. Lett. 誌表紙に採用)。光重合性イオン性分子とイオン液体の二成分自己組織化によるカラムナー液晶形成およびその場合光重合固定化によって、イオン液体からなる一次元伝導パス構造を有するフレキシブル高分子フィルムが得られた。この高分子電解質フィルムを2枚のポリチオフェン系導電性高分子電極(PEDOT:PSS)で挟み、圧着することでアクチュエータ素子を作製した。従来型イオンゲルアクチュエータと比べて、破格に少ないイオン液体含量8wt%にも関わらず、電圧2Vの印加において、大気下で安定な屈曲運動を達成した。さらに、自重の20倍の重りを持ち上げられることを実証した。また、同組成の秩序構造をもたない非晶性高分子フィルムと比べて、一次元チャンネル構造高分子フィルムでは、2倍以上の変位量および出力が得られることを明らかにした。本研究では、高分子フィルム内部にナノスケールの一次元伝導パスを形成する新しいアプローチによって、アクチュエータの高効率な電気力学変換の実現に成功した。

さらに、双性イオン部位を有する重合性分子とイオン液体からなる一次元イオンチャンネル構造を有する高分子電解質フィルムを設計



ACS Mater. Lett. 2022; Mater. Chem. Frontiers 2023
図1. 一次元イオンチャンネルを有する光架橋カラムナー液晶高分子アクチュエータ



ACS Appl. Mater. Interfaces 2023 J. Mater. Chem. C 2023
図2. (左)三次元イオン伝導パスを有する光架橋カラムナー液晶高分子アクチュエータ、(右)二次元パスを有する光架橋液晶高分子アクチュエータ

し、さらに高速大変位および高出力を示すアクチュエータを実現した（図1, Mater. Chem. Frontiers 誌表紙に採用）

さらなる高性能化を目指して、カラム外側に三次元に連結した高效率イオン伝導パスを有する光架橋性液晶高分子アクチュエータを開発した。破格の低電圧 0.2V 駆動や電圧による出力精密制御、未踏の形状記憶機能の発現（電圧オフ後に変形維持）に加え、小さな物体を柔らかく掴むグリッパーやクラゲ運動を模倣したソフトロボットとしての応用を実証した（図2左）(ACS Appl. Mater. Interfaces 2023)。また、生体分子由来のイタコン酸を鍵とする新規光重合性イオン液晶を創出し、触覚提示に向けた高性能アクチュエータ機能と微生物分解性特性を両立させることに世界で初めて成功した（図2右）(J. Mater. Chem. C 2023 誌表紙に採用）

イオン伝導性棒状分子と高分子との超分子形成を活用して三次元イオンチャンネルを構築する革新的な材料設計戦略により、伸縮性エラストマー膜の開発に成功し、高速で大変形するアクチュエータやアルミ蒸着膜と接合した電気変形する屈曲鏡を創製した（図3）(ACS Appl. Mater. Interfaces 2023 誌表紙に採用）。一方で、室温高速リチウムイオン伝導性（ $10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ ）を示す低分子液晶を開発し、導電性高分子電極で挟むだけで高速振動するアクチュエータが得られることを見出した（ACS Mater. Au 2022）

二次元リチウムイオン伝導性を示すリン酸エステル液晶とビニル高分子からなる革新的なマイクロ相分離膜を活用したアクチュエータを創製し、世界最高レベルの 80 Hz 振動および自己消火機能の発現に成功した（図4）(Adv. Funct. Mater. 2023)。さらに、構造の異なるリン酸エステル液晶分子とリチウム塩またはイオン液体との複合液晶を設計し、高速イオン伝導化を達成し、最高で 110 Hz 振動を示すアクチュエータを実現した。さらに、液晶/高分子複合膜アクチュエータ素子を用いた世界初の指輪型触覚提示デバイスを提案した（図4, ACS Appl. Mater. Interfaces 2024）

ミセルキュービック液晶構造を有する高弾性高分子電解質を創出し、相反する高周波応答と高出力を両立する初めてのイオン伝導型アクチュエータを実現した（図5, Adv. Funct. Mater. 2024）。疎水性ミセルの外表面及び隙間に僅かなイオン液体（13 wt%）を組織化することにより、三次元的に連結した高速イオン伝導パスを構築した。膜厚 300 μm の極薄素子において、自重 70 倍もの破格の出力発生（1 円玉 4 枚の持ち上げ：4gf）および 70Hz までの高速振動を達成し、ソフトグリッパーロボットとしての応用を実証した。

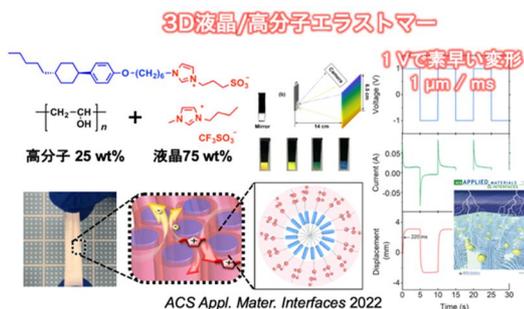


図3. 三次元イオン伝導パスを形成する超分子カラムナール液晶高分子エラストマーアクチュエータ

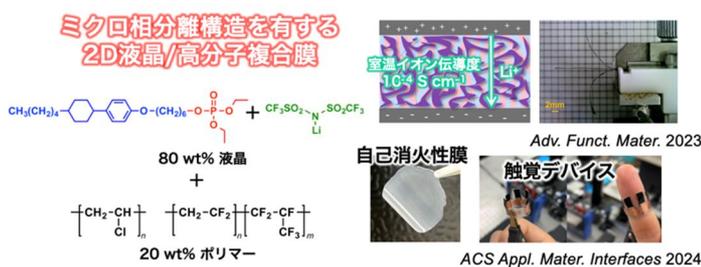


図4. 二次元イオン伝導性液晶/高分子複合膜を用いる高速振動アクチュエータおよび触覚提示デバイス

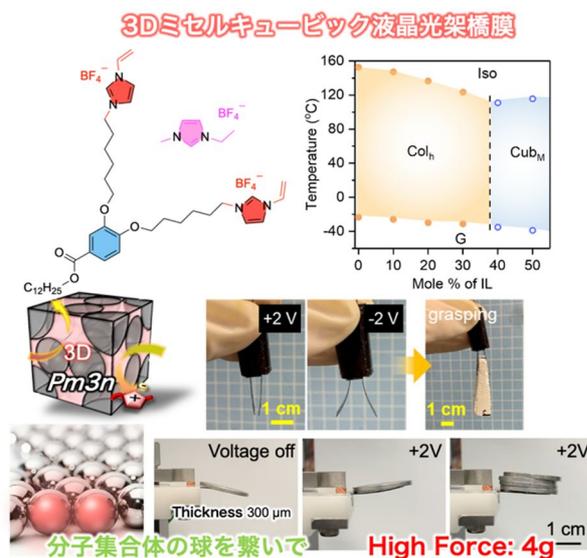


図5. 三次元イオン伝導性を示すミセルキュービック液晶光架橋高分子を用いる高出力アクチュエータ

Adv. Funct. Mater., 34, 2314087 (2024)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Konstantin Iakoubovskii, Masafumi Yoshio	4. 巻 2
2. 論文標題 Room-temperature zwitterionic liquid crystals for mechanical actuators	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Mater. Au	6. 最初と最後の頁 686-689
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsmaterialsau.2c00053	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Siyu Cao, Junko Aimi, Masafumi Yoshio	4. 巻 14
2. 論文標題 Electroactive soft actuators based on columnar ionic liquid crystal/polymer composite membrane electrolytes forming 3D continuous ionic channels	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 43701-43710
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acсами.2c11029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Che-Hao Wu, Wenjing Meng, Konstantin Iakoubovskii, Masafumi Yoshio	4. 巻 15
2. 論文標題 Photocured liquid-crystalline polymer electrolytes with 3D ion transport pathways for electromechanical actuators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 4995-4504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acсами.2c19382	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wu Che-Hao, Meng Wenjing, Yoshio Masafumi	4. 巻 4
2. 論文標題 Low-Voltage-Driven Actuators Using Photo-Cross-Linked Ionic Columnar Liquid-Crystalline Polymer Films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Materials Letters	6. 最初と最後の頁 153 ~ 158
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsmaterialslett.1c00565	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakanishi Waka, Yamauchi Yoshihiro, Nishina Yuta, Yoshio Masafumi, Takeuchi Masayuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Oxidation-degree-dependent moisture-induced actuation of a graphene oxide film	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 3372 ~ 3379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra07773b	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Chengyang, Cao Siyu, Yoshio Masafumi	4. 巻 33
2. 論文標題 Ion Conducting Non Flammable Liquid Crystal-Polymer Composites for High Frequency Soft Actuators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2300538 (1~9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202300538	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Cao Siyu, Liu Chengyang, Yoshio Masafumi	4. 巻 7
2. 論文標題 Ionic electroactive PEDOT:PSS/liquid-crystalline polymer electrolyte actuators: photopolymerization of zwitterionic columnar liquid crystals complexed with a protic ionic liquid	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 2828 ~ 2838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3qm00192j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Suwa Shunichi, Liu Chengyang, Yoshio Masafumi	4. 巻 34
2. 論文標題 Anisotropic ion-conductive supramolecular columnar liquid crystals composed of a benzonitrile derivative and ionic liquids	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Materials Today Chemistry	6. 最初と最後の頁 101829 ~ 101829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mtchem.2023.101829	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshio Masafumi、Wu Che Hao、Liu Chengyang	4. 巻 34
2. 論文標題 Mechanically Tough Micellar Cubic Liquid Crystalline Polymer Electrolytes for Electromechanical Actuators	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2314087 (1-7)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202314087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Wu Che-Hao、Yoshio Masafumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Nanostructured liquid-crystalline polymer films for ionic actuators: self-assembly of photopolymerizable ionic itaconate with an ionic liquid	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10154 ~ 10162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3tc01441j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Chengyang、Yoshio Masafumi	4. 巻 16
2. 論文標題 Ionic Liquid Crystal-Polymer Composite Electromechanical Actuators: Design of Two-Dimensional Molecular Assemblies for Efficient Ion Transport and Effect of Electrodes on Actuator Performance	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 27750 ~ 27760
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.4c03821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Alaasar Mohamed、Darweesh Ahmed F.、Cao Yu、Iakoubovskii Konstantin、Yoshio Masafumi	4. 巻 12
2. 論文標題 Electric field- and light-responsive oxadiazole bent-core polycatenar liquid crystals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1523 ~ 1532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3tc04349e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Alaasar Mohamed、Darweesh Ahmed F.、Anders Christian、Iakoubovskii Konstantin、Yoshio Masafumi	4. 巻 5
2. 論文標題 Luminescent and photoconductive liquid crystalline lamellar and helical network phases of achiral polycatenars	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 561 ~ 569
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3ma00841j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Iakoubovskii Konstantin、Yoshio Masafumi	4. 巻 59
2. 論文標題 Highly luminescent and photoconductive columnar liquid crystals with a thiophene-oxadiazole backbone	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7443 ~ 7446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cc01797d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 吉尾正史	4. 巻 27
2. 論文標題 液晶性イオン伝導体を用いた電気駆動ソフトアクチュエータの開発	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 液晶	6. 最初と最後の頁 190 ~ 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 吉尾正史
2. 発表標題 イオン伝導パスを有する電気駆動液晶アクチュエータ
3. 学会等名 第10回ソフトマター研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masafumi Yoshio
2. 発表標題 Dimension control of ion transport pathways for electromechanical actuators
3. 学会等名 4th International symposium on nanoarchitectronics for mechanobiology Mechano-X Bio&Chem (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chengyang Liu, Masafumi Yoshio
2. 発表標題 Electroactive soft actuators based on liquid-crystalline polymer composite membranes composed of phosphate esters, lithium salts, polyvinyl chloride, and poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene)
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉尾正史, ウー チェ ハオ, 曹 思雨, リュウ チェンヤン
2. 発表標題 ナノ相分離液晶電解質を用いる電気活性ソフトアクチュエータ
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 末嶋紗理, 稲富 巧, 吉尾正史, 宮元展義
2. 発表標題 垂直配向ナノシート/PEO/イオン液体複合型ゲルアクチュエータの開発
3. 学会等名 第59回化学関連支部合同九州大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Che-Hao Wu, Masafumi Yoshio
2. 発表標題 Development of ionic liquid-crystalline polymer membrane actuators
3. 学会等名 第71回高分子年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 末嶋紗理, 稲富 巧, 吉尾正史, 宮元展義
2. 発表標題 垂直配向ナノシート/ポリエチレンオキsid/イオン液体複合型ゲルアクチュエータの開発
3. 学会等名 西日本ナノシート研究会春季会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉尾正史、曹思雨
2. 発表標題 光重合性イオン液晶によるナノ構造プロトン伝導高分子の設計
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 CAO Siyu, YOSHIO Masafumi
2. 発表標題 Construction of Nanostructured Soft Actuators Based on Ionic Liquid Crystal/Polymer Composite Electrolytes
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 WU Che-Hao, YOSHIO Masafumi
2. 発表標題 Development of Ionically-Active Columnar Liquid-Crystalline Polymer Film Actuators
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉尾 正史, ウー チェ ハオ
2. 発表標題 両親媒性液晶高分子膜を生かしたソフトアクチュエータ創製
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉尾 正史, ウー チェ ハオ
2. 発表標題 液晶性イタコン酸誘導体の光重合によるイオン性ポリマーアクチュエータ
3. 学会等名 2023年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 WU Che-Hao, YOSHIO Masafumi
2. 発表標題 Mechanically Tough Micellar Cubic Liquid-Crystalline Polymer Electrolytes for Electromechanical Actuators
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 諏訪 俊一, 吉尾 正史
2. 発表標題 イオン-ニトリル双極子相互作用を利用したカラムナー液晶性イオン伝導材料の開発
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 LIU Chengyang, YOSHIO Masafumi
2. 発表標題 Ion-Conducting Non-Flammable Liquid Crystal-Polymer Composites for High-Frequency Soft Actuators
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉尾 正史
2. 発表標題 共役カラムナー液晶性フォトダイオード
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 諏訪 俊一, 吉尾 正史
2. 発表標題 ミクロ相分離構造を有する二次元イオン伝導液晶/ポリマー複合フィルムの構築と電気駆動アクチュエータ機能
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉尾 正史
2. 発表標題 高速振動と高出力を両立させた液晶高分子アクチュエータの開発と触覚提示デバイスへの展開
3. 学会等名 第8回材料相模セミナー(公益財団法人相模中央化学研究所)(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉尾 正史
2. 発表標題 液晶分子配列を生かした機能性ソフトマテリアルの創出
3. 学会等名 上智大学物質生命工学科コロキウム(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉尾 正史
2. 発表標題 イオンを伝導する液晶高分子の新設計概念とアクチュエータ応用
3. 学会等名 第二回未来材料ワークショップ(JST)(招待講演)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 液晶電解質膜、並びにアクチュエータ、圧電素子及び応力センサ	発明者 吉尾正史、曹思雨	権利者 物質・材料研究 機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-79821	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

高分子・バイオ材料研究センター内の分子メカトロニクスグループホームページ
<https://www.nims.go.jp/research/group/molecular-mechatronics/>
分子メカトロニクスグループホームページ
<https://www.nims.go.jp/group/molmechatro/index.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Martin Luther University			
エジプト	Cairo University			
中国	Xi ' an Jiaotong University			