

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2022～2023

課題番号：22K19004

研究課題名(和文)イオンブースト型有機強誘電体の創製

研究課題名(英文)Ion-Boosted Organic Ferroelectrics

研究代表者

芥川 智行(Akutagawa, Tomoyuki)

東北大学・多元物質科学研究所・教授

研究者番号：60271631

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：電場(E)-分極(P)曲線にヒステリシスを有する強誘電体は、不揮発メモリやスイッチング素子に必要な不可欠な材料である。強誘電体の性能はP-Eヒステリシス曲線における残留分極値(Pr)と抗電場(Ec)により決定され、より大きなPrとより小さなEcを持つ材料がデバイスの安定駆動と省エネルギー化に有利である。本提案では、「イオン輸送+アルキルアミド鎖」の分子設計によりイオン伝導性と強誘電性のハイブリッド化を試み、外部電場によりPrが増幅される「イオンブースト型の有機強誘電体の創製」に挑戦した。イオン変位が可能なチャンネルを設計し、これを強誘電性アルキルアミド誘導体に共存させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無機材料では実現が難しい多様なメカニズムである電荷移動、水素結合、プロトン移動、分子反転などの多様な分極反転メカニズムの設計が有機材料において可能である。今回、新たにイオンチャンネル内のイオン変位を利用した強誘電体パラメータの最適化に成功した。強誘電体ヒステリシスにおける分極値の増加は、オン・オフスイッチング特性を向上し、強誘電体から作られる不揮発性メモリの信頼性を向上させる。有機強誘電体メモリは、軽量化およびそのデバイス構造作成にかかるコスト削減の観点から、次世代の低環境負荷メモリ材料として大きな注目を集め手いることから、多様な動作メカニズムの提唱は、今後のさらなる学術的な発展を可能とする。

研究成果の概要(英文)：Ferroelectrics with hysteresis in the electric field (E)-polarization (P) curve are essential materials for nonvolatile memory and switching devices. The performance of ferroelectrics is determined by the residual polarization value (Pr) and the coercive electric field (Ec) in the P-E hysteresis curve, and materials with larger Pr and smaller Ec are advantageous for stable device operation and energy saving. In this proposal, we attempted to hybridize ionic conductivity and ferroelectricity by molecular design of "ion transport + alkylamide chain," and challenged the creation of "ion-boosted organic ferroelectrics" in which Pr is amplified by an external electric field. I designed a channel capable of ionic displacement and coexisted it with ferroelectric alkylamide derivatives.

研究分野：物性化学

キーワード：強誘電体 ダイナミクス イオン伝導 イオンチャンネル 液晶 アルキルアミド 水素結合 イオン変位

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

電場 (E)-分極 (P) 曲線にヒステリシスを有する強誘電体は、不揮発メモリやスイッチング素子に必要不可欠な材料である。その多くは BaTiO_3 や PZT ($\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3$) などの無機材料であり、レアメタル使用・毒性・コストなどの観点から低エネルギー駆動で SDGs に貢献可能な省エネルギー駆動型の有機強誘電体に注目が集まっている。強誘電体の性能は P - E ヒステリシス曲線における残留分極値 (P_r) と抗電場 (E_c) により決定され、より大きな P_r とより小さな E_c を持つ材料がデバイスの安定駆動と省エネルギー化に有利である (図 1 右上)。有機強誘電体では、有機合成の手法を用いる事で多様な分極反転メカニズムが設計可能である。例えば、分子間プロトン移動・水素結合・電荷移動・分子回転など設計自由度の高さを最大限に利用した材料開発が行える。強誘電体パラメータ P_r はクロコニ酸単結晶で BaTiO_3 に匹敵する値が報告されている。しかしながら、制御パラメータ P_r と E_c を自在に分子設計できるには至っていない。

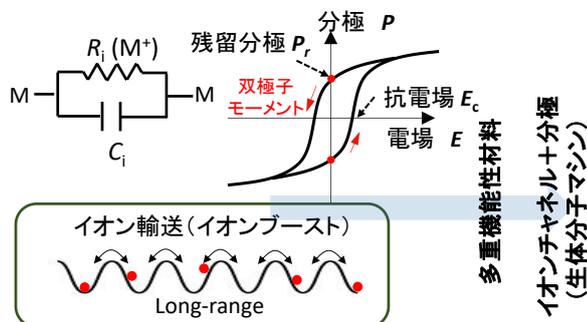


図 1 金属電極に接合された R - C 等価回路。強誘電体の P - E ヒステリシス曲線。イオン輸送による分極ブースト。

2. 研究の目的

申請者は「機能性 π 電子骨格+アルキルアミド鎖」の分子設計アプローチから、アミド鎖の協奏的な分極反転に起因する強誘電性の実現と発光特性・光応答性・熱安定性などがハイブリッド化した機能性有機材料の開発に取り組んできた。本提案では研究のさらなる飛躍のため、新たな分子設計による P_r の自在制御に挑戦する。「イオン輸送+アルキルアミド鎖」の分子設計によりイオン伝導性と強誘電性のハイブリッド化を試み、外部電場により P_r が増幅される「イオンブースト型の有機強誘電体の創製」に挑戦する (図 1 左下と図 2)。

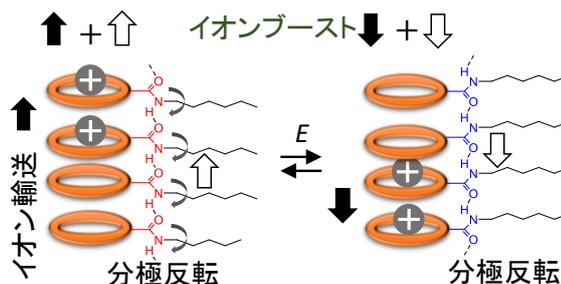


図 2 イオンチャンネル内のイオン変位によりブーストされた強誘電性。アルキルアミド水素結合の反転による強誘電性 (白の矢印) にイオン変位分 (黒矢印) が加わる。

3. 研究の方法

イオン変位 (輸送) が可能なイオンチャンネル構造を有機合成化学の手法から設計する。これを強誘電性の発現が可能なアルキルアミド鎖を導入した分子系に共存させる。抵抗 (R) とコンデンサ (C) の並列回路で記述される物質の電気的特性では、誘電特性と伝導特性が互いに相反する性質となる (図 1 左上)。強誘電体における小さな R 成分の存在は、誘電損失 (リーク電流) を増加させ分極反転に必要な E の印加を阻害する。金属電極 (M) を用いたときの電子伝導成分 (R_e) はリーク電流を増加させるが、イオン伝導成分 (R_i) は電極界面での電子移動を伴わない事から、単なる電荷変位 (分極) として寄与する。従って、イオンチャンネル内のイオン変位は強誘電体のマクロ分極値をブーストすると期待できる。

イオンチャンネル内にサイズの異なるアルカリ金属イオン ($\text{Li}^+ < \text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+$) を導入し、チャンネル内におけるイオン運動自由度を設計することでイオン変位による分極 P_{ion} が制御可能である。 $E=0\text{V}$ の時にチャンネル内でランダムに存在するイオン (M^+) は、 E の印加によりその安定位置に偏りを生じさせ、新たなイオン分極が発生する (図 2)。アルキルアミド鎖に由来する強誘電体分極 (黒 P_s) にイオン変位によりブーストされた分極 (白 P_{ion}) が加わった $P_s + P_{\text{ion}}$ がマクロ分極として P - E 曲線に反映される。これは有機材料の小さな P_r 値を一時的に増幅し、スイッチング特性を向上させる。イオン変位 P_{ion} は電場を切る事で徐々に減衰し、本来の強誘電体成分である P_s に減衰する。イオン伝導体のイオン変位を、強誘電体の分極反転に対するブースターユニットとして着目した挑戦的な研究を実施する。

4. 研究成果

イオンチャンネル型ハイブリッド有機誘電体を設計し、その分子集合体構造、相転移挙動、誘電応答および P - E ヒステリシス曲線の評価から、イオン変位の有無及び大きさと残留分極値の大きさに相関があることを確認した。イオンチャンネルを形成するクラウンエーテル分子のポアサ

イズに対して、包接イオンサイズを段階的に大きくすることで、その運動自由度を制御した。

テトラデシルアミド置換ジベンゾ 18 クラウン 6 エーテル (1) を研究対象とし、分子中心にあるイオンチャンネル内にアルカリ金属イオン Na^+ 、 K^+ 、 Cs^+ を導入した。同時に、強誘電性の形成を実現するディスコティックヘキサゴナルカラム液晶性分子である 1,3,5 トリアルキルアミド置換ベンゼン誘導体 (3BC) との混晶液晶を作成した。その際、カウンターアニオンをハロゲン、 PF_6^- 、 BF_4^- 、 SCN^- などに変化させ、最適な液晶混和状態が出現する条件を検討した (図 3)。結果、I および SCN^- 塩が最適である事を見出した。液晶中における 3BC のアミド基の回転運動が強誘電性を実現し、18 クラウン 6 エーテル内に導入したイオンの変位が、隣接カラムにおける分極値の総和に摂動を与え、イオン運動を自由度として加味した P - E ヒステリシスの絶対値変化が観測された (図 4)。

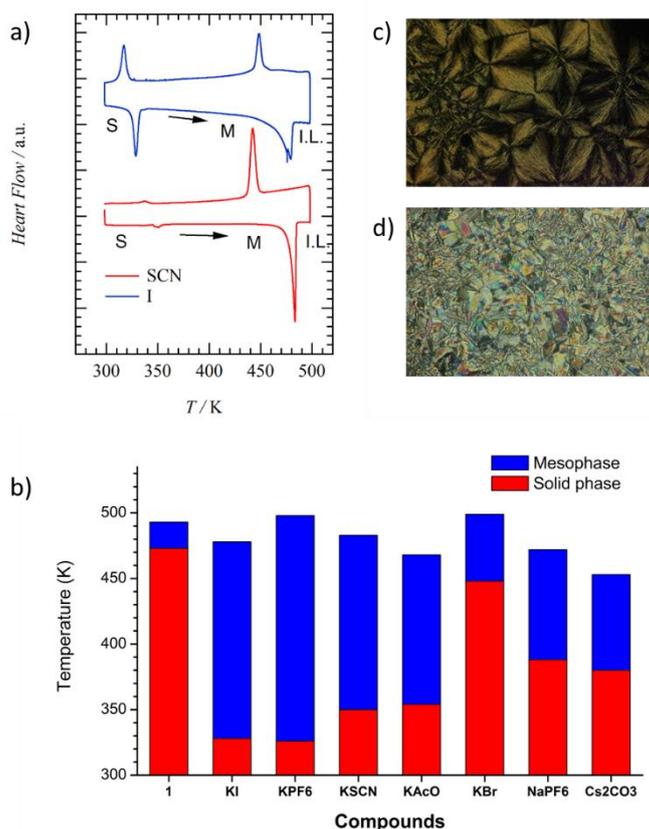


図 3. $\text{M}^+(\text{1})\text{-X}^-$ 塩の相転移挙動と Col_h 相の形成。a) $\text{K}^+(\text{1})\text{-SCN}^-$ (赤) と $\text{K}^+(\text{1})\text{-I}^-$ (青) の DSC プロファイル。c) 483K における $\text{K}^+(\text{1})\text{-I}^-$ と d) 473K における $\text{K}^+(\text{1})\text{-SCN}^-$ の Col_h 相の POM 画像。

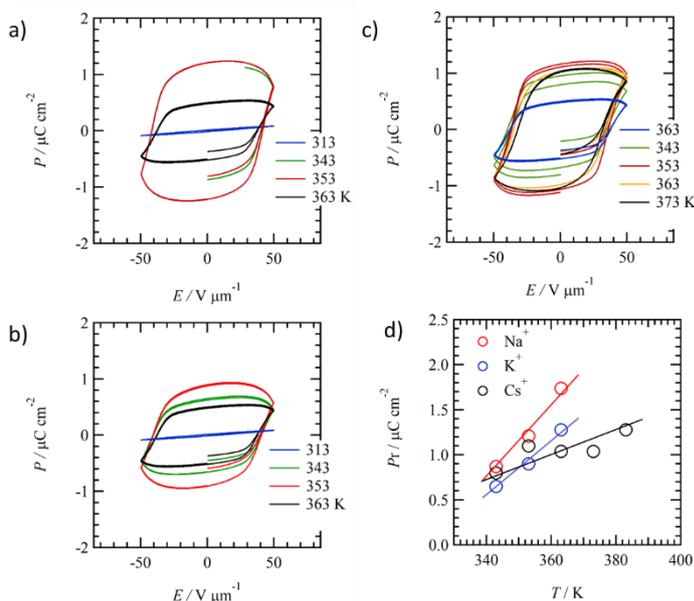


図 4. イオンドーブした混晶の P - E ヒステリシス曲線の温度依存性。a) $(\text{3BC})_{0.9}[(\text{Na}^+)_{0.5}(\text{1})\cdot(\text{PF}_6^-)_{0.5}]_{0.1}$, b) $(\text{3BC})_{0.9}[(\text{K}^+)_{0.5}(\text{1})\cdot(\text{PF}_6^-)_{0.5}]_{0.1}$ と c) $(\text{3BC})_{0.9}[(\text{Cs}^+)_{0.5}(\text{1})\cdot(\text{CO}_3^{2-})_{0.25}]_{0.1}$ 。c) Na^+ 、 K^+ 、および Cs^+ をドーブした $(\text{3BC})_{0.9}(\text{1})_{0.1}$ の P_r 値の温度依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahashi Kiyonori, Nakamura Takayoshi, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 475
2. 論文標題 Dynamic supramolecular cations in conductive and magnetic [Ni(dmit) ₂] crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 214881 ~ 214881
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214881	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 Takahashi Kiyonori, Shirakawa Yuki, Sakai Hiroki, Hisaki Ichiro, Noro Shin-ichiro, Akutagawa Tomoyuki, Nakano Motohiro, Nakamura Takayoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Uniaxial negative thermal expansion induced by molecular rotation in a one-dimensional supramolecular assembly with associated peculiar magnetic behavior	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1891 ~ 1898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2tc04874d	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 Kawasaki Ayumi, Takeda Takashi, Hoshino Norihisa, Matsuda Wakana, Seki Shu, Shimizu George K. H., Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Structural Transformable Coulomb Lattice of n-Type Semiconductors for Guest Sorption	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 1661 ~ 1674
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscami.2c17979	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 Mizoue Ryohei, Kawana Moeko, Takeda Takashi, Hoshino Norihisa, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Ferroelectricity and Phase Change Memory of Bis(tetradecylamide)-Substituted Benzene Derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1981 ~ 1991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c07343	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 Sato Chisato, Takeda Takashi, Dekura Shun, Suzuki Yasutaka, Kawamata Jun, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 23
2. 論文標題 Chiral Plastic Crystal of Solid-State Dual Rotators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 5889 ~ 5898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00495	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 Ide Ryo, Kawasaki Ayumi, Takeda Takashi, Dekura Shun, Hoshino Norihisa, Matsuda Wakana, Seki Shu, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 127
2. 論文標題 Proton Conduction Crossover and Pyrophosphate Bond Formation of -P03H- Substituted Naphtalenediimide Salts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 16709 ~ 16720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c03931	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 Abe Haruka, Takeda Takashi, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 23
2. 論文標題 Hydrophilic and Hydrophobic Channels of Flexible Crystal Lattice: (Guanidinium) ₂ (Benzene-1,4-disulfonate) _n (XC6H5)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 8147 ~ 8155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.3c00860	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 Sambe Kohei, Takeda Takashi, Hoshino Norihisa, Matsuda Wakana, Miura Riku, Tsujita Kanae, Maruyama Shingo, Yamamoto Shunsuke, Seki Shu, Matsumoto Yuji, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 15
2. 論文標題 Ferroelectric Organic Semiconductor: [1]Benzothieno[3,2-b][1]benzothiophene-Bearing Hydrogen-Bonding -CONHC14H29 Chain	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 58711 ~ 58722
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.3c14476	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 Ide Ryo, Kawasaki Ayumi, Takeda Takashi, Dekura Shun, Hoshino Norihisa, Matsuda Wakana, Seki Shu, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Condensed -molecular arrangement for C ₂ H ₄ S ₀ 3- armed naphthalenediimide	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3185 ~ 3195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TC04231F	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 Moeko Kawana, Ryohei Mizoue, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, and Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 10
2. 論文標題 Simple Molecular Ferroelectrics: N,N'-Dialkyl-terephthalamide Derivatives in Solid Phase	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Mater. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 4208-4217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC05001J	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 Jianyun Wu, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 126
2. 論文標題 Ferroelectrics Coupled with Uni-Directional Rotation in Liquid Crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 3864-871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c10313	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 Yuta Shimizu, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, and Tomoyuki Akutagawa,	4. 巻 24
2. 論文標題 etranitro- and Tetraamino- dibenzo[18]crown-6-ether Derivatives: Complexes for Alkali Metal Ions, Redox Potentials, Crystal Structures, Molecular Sorption, and Proton Conducting Behaviors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngCom.	6. 最初と最後の頁 5570-5579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CE00582	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 Takashi Takeda, Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 58
2. 論文標題 Chemical Design of Organic Ferroelectrics Using Dynamics of Alkylamide Chains	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 11898-11912
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC04120K	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 Ryohei Mizoue, Moeko Kawana, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa	4. 巻 127
2. 論文標題 Ferroelectricity and Phase Change Memory of Bis(tetradecylamide)-Substituted Benzene Derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C.	6. 最初と最後の頁 1981-1991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.2c07343	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25件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 芥川智行
2. 発表標題 機能性分子集合体の相転移と物性制御
3. 学会等名 STARE InfoDay 2023 熱分析オンラインセミナー 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 芥川智行
2. 発表標題 強誘電性有機半導体の開発
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 芥川 智行
2. 発表標題 分子集合体ダイナミックの設計から機能性有機材料の創製へ
3. 学会等名 第17回分子科学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 千慧, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
2. 発表標題 デュアルローター型スルホンアミド誘導体の構造と物性
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三部 宏平, 武田 貴志, 出倉 駿, 松田 若菜, 辻田 香奈瑛, 丸山 伸伍, 山本 俊介, 関 修平, 松本 祐司, 芥川 智行
2. 発表標題 テトラエチレングリコールおよびキラルアルキルアミド鎖を導入したBTBT誘導体の物性制御
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤 千慧, 武田 貴志, 出倉 駿, 芥川 智行
2. 発表標題 デュアルローター型スルホンアミド誘導体による分子ダイナミクスと柔粘性結晶相の形成
3. 学会等名 第31回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Sambe, T. Takeda, S. Dekura, N. Hoshino, W. Matsuda, K. Tsujita, S. Maruyama, S. Yamamoto, S. Seki, Y. Matsumoto, T. Akutagawa
2. 発表標題 Structural and physical properties of R-BTBT-CONHC14H29 (R = H, C8H17)
3. 学会等名 26TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C. Sato, T. Takeda, S. Dekura, T. Akutagawa
2. 発表標題 Plastic Crystalline Dual Rotator of Sulfonamide Derivative
3. 学会等名 6TH CONGRESS AND GENERAL ASSEMBLY OF THE INTERNATIONAL UNION OF CRYSTALLOGRAPHY (IUCr 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoyuki Akutagawa, Ayumi Kawasaki, Haruka Abe, Ryo Ide
2. 発表標題 Molecular Arrangement and Physical Properties of Dianionic Organic Semiconductors
3. 学会等名 The 14th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Dynamic Molecular Assemblies toward Functional Organic Ferroelectrics
3. 学会等名 Forth International Conference on Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 芥川智行、武田貴志
2. 発表標題 アルキルアミド鎖のダイナミクスを利用した液晶性有機強誘電体
3. 学会等名 2022年日本液晶学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 裕太、武田 貴志、星野 哲久、芥川 智行
2. 発表標題 テトラアミノジベンゾ[18]クラウン-6とスルホン酸誘導体が形成する塩の構造と物性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 張 雲雅、武田 貴志、芥川 智行
2. 発表標題 光固相反応性を有するスチルベンジカルボキシレートと $C_nH_{2n+1}NH_3^+$ ($n = 1-3$)から成る塩の構造と物性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 千慧、三部 宏平、武田 貴志、星野 哲久、芥川 智行
2. 発表標題 イミダゾールおよびトリアゾールとキラルなカンファースルホン酸が形成する分子集合体の結晶構造と物性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 溝上 諒平、武田 貴志、嘉藤 幹也、庄子 良晃、福島 孝典、星野 哲久、芥川 智行
2. 発表標題 トリブチセントリカルボキサミド誘導体の分子集合体構造と強誘電性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芥川智行
2. 発表標題 有機結晶中のプロトンダイナミクスと機能発現
3. 学会等名 ハイドロジェノミクス研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Shimizu, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Proton-transferred Salts between o-Phenylenediamine-fused Crown Ether and Aromatic Sulfonic Acid
3. 学会等名 化学系学協会東北大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤千慧、三部宏平、武田貴志、星野哲久、芥川智行
2. 発表標題 キラルなCamphorsulfonate塩中の分子ダイナミクスとプロトン伝導性に及ぼすカチオン依存性
3. 学会等名 第30回有機結晶シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 芥川智行
2. 発表標題 ダイナミックな分子集合体を用いた機能性超分子材料の開発
3. 学会等名 第18回バイオオプティクス研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuta Shimizu, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Ion Conducting Channels of Hydrogen-Bonding Array of Crown Ether Derivatives
3. 学会等名 KJF-International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2022)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Dynamic Molecular Assemblies toward Ferroelectric Molecular Assemblies
3. 学会等名 KJF-International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOME2022)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyuki Akutagawa, Haruka Abe, Ayumi Kawasaki, Takashi Takeda
2. 発表標題 Crystal Lattices of H ₂ O-Adsorption n-type Semiconductor of Anionic Naphthalenediimide
3. 学会等名 International Symposium on Crystalline Organic Metals, Superconductors and Magnets (ISCOM 2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Dynamic Molecular Assemblies toward Ferroelectricity
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC KK) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chisato Satoa, Kohei Sambea, Takashi Takeda, Norihisa Hoshino, Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Cation Exchange Effect for Molecular Dynamics and Proton Conductivity of Chiral Camphorsulfonate Salts
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry (ICPAC KK)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Genki Saito, Takashi Takeda, Tomoyuki Akutagawa
2. 発表標題 Hydrogen-bonded organic Framework consisting of piexpanded tetrathienylenehe
3. 学会等名 China-Japan Bilateral Symposium on Material Science 2022
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------