

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00385

研究課題名(和文)電子移動型分極制御物質の開発

研究課題名(英文)Development of polarization switching material using electron transfer

研究代表者

佐藤 治 (Sato, Osamu)

九州大学・先導物質化学研究所・教授

研究者番号：80270693

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：分極制御物質はメモリー、センサーをはじめとした幅広い応用を有する。本研究では分子内電子移動をメカニズムとする新しい分極制御物質の開発を行った。分子内電子移動を示す分子としてコバルト原子価異性錯体に着目した。コバルト錯体は極性構造を有し、約190 Kで電子移動に伴う分極スイッチング特性を示した。また、低温で光誘起電子移動を示し、準安定状態が低温でトラップすること(光誘起原子価異性)を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温度、及び光誘起電子移動を利用して電気分極を制御できる新しい物質を開発した。将来のメモリー、センサー、エネルギー変換素子への応用が期待される。これまでの分極制御物質開発は強誘電体開発を中心に研究が行われてきた。本研究では、電子移動機構を積極的に導入することで非強誘電体において強誘電体と同レベルの分極変化を実現できることを明らかにした。本手法を用いることで今後高性能の新しい機能性分極制御物質を開発できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Polarization-switching materials have a wide range of applications including memory and sensors. We developed new polarization-switching cobalt valence tautomeric complexes. The cobalt complexes crystallize in a polar structure and exhibit intramolecular electron transfer at approximately 190 K. They also exhibit photoinduced electron transfer and that the photoinduced metastable state is trapped at low temperatures. These results suggest that the cobalt complexes exhibit thermal- and photo-induced polarization switching, the mechanism of which is electron transfer between Co and ligand.

研究分野：光化学

キーワード：電子移動

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

エネルギー問題・環境問題の解決や、高度情報化社会の構築に向けて高性能デバイスや革新的機能を有する新物質の開発を目指した研究が広範に行われている。物質開発の立場から持続可能な社会の実現や超スマート社会の構築に貢献するためには、斬新な視点に立脚した物質設計に基づき、これまで実現されていない新機能を有する新材料や、現行の物質の機能を凌駕する新材料を生み出し社会に应用する必要がある。

2. 研究の目的

分極制御物質の開発が注目されている。強誘電体、焦電体、圧電体などの分極制御物質の分極特性は電場、温度、圧力等により制御可能であり、記録材料、センシング材料、環境発電素子をはじめとした幅広い応用を有する。このため、新物質開発、基礎物性の解明およびその応用を目指した研究が盛んに行われている。分子性物質においてもイオン変位、分子配向変化、電子移動を分極変化のメカニズムとする様々な新物質が開発されている。我々は最近、分子内電子移動の設計と分子配向制御を組み合わせる物質設計指針を提案し、新しい分極制御物質の開発を進めている。分子レベルでの設計に基づくボトムアップのアプローチであるため、設計の幅が広く多様な分極制御物質の開発が可能である。本研究ではエナンチオピュアな配位子を有する単核および複核原子価互変異性錯体を基盤に、温度、光、磁場等の外場により分極の制御が可能な新しい電子移動型分極制御物質を開発することを旨として研究を行った。

3. 研究の方法

極性構造を形成し電子移動に基づく分極スイッチングを示す物質を開発するために、キラルな四座配位子 (cth)、酸化還元活性二座配位子 (H_2 phendiox)、および中心金属コバルトによって構成される原子価互変異性錯体 $[Co(SS-cth)(phendiox)]PF_6 \cdot 0.5EtOH$ (物質 1 \cdot 0.5EtOH : cth = 5, 5, 7, 12, 12, 14-hexamethyl-1, 4, 8, 11-tetraazacyclotetradecane, H_2 phendiox = 9, 10-dihydroxyphenanthrene) および $[Co(SS-cth)(phendiox)]AsF_6 \cdot 0.5EtOH$ (物質 2 \cdot 0.5EtOH) を開発した (図 1)。また、キラルな四座配位子 (cth) と酸化還元活性なテトラオキソレン配位子を利用して $[CoGa]$ 複核錯体と $[FeCo]$ 複核錯体を開発した。

得られた物質の構造は単結晶 X 線解析により明らかにした。また、磁性測定、紫外・可視・赤外吸収スペクトル、メスバウアースペクトル、焦電流測定等により原子価異性挙動および分極ス

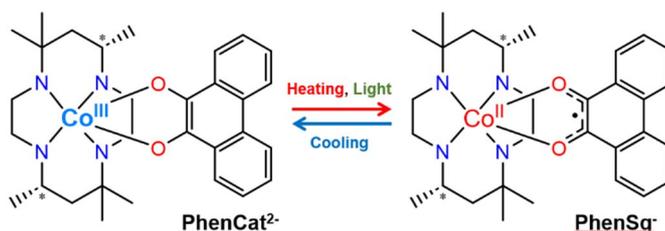


図 1. 分子内電子移動を示す原子価異性コバルト錯体 $[Co(phendiox)(SS-cth)]^+$ の構造と原子価異性挙動。温度及び光照射により可逆なコバルト - 配位子間電子移動が誘起される。 $[Co^{III}(SS-cth)(phenCat)]^+$ と $[Co^{II}(SS-cth)(phenSq)]^+$ の双極子モーメントはそれぞれ 13.26 デバイ、7.47 デバイである。

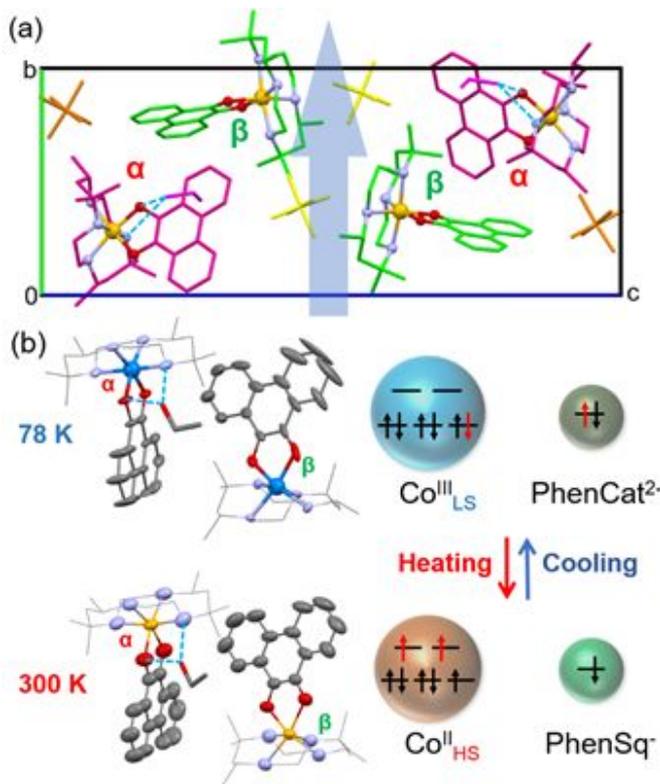


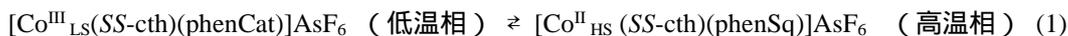
図 2. 原子価異性コバルト錯体 (2 \cdot 0.5EtOH) の結晶構造。(a) a 軸に沿って見た結晶パッキング (b 軸方向が極性軸)。(b) 低温相 (上) と高温相 (下) の結晶構造とコバルト錯体の電子状態。

イッチング挙動を解明した。

4. 研究成果

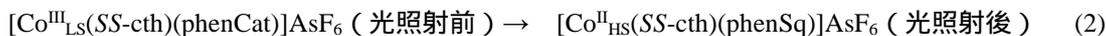
単結晶構造解析により 2·0.5EtOH が極性構造 ($P2_1$) を有することを明らかにした (図 2)。低温 (78 K) では、結晶学的に独立した 2 つの分子があり、Co-O の結合長は 1.898、1.907、2.017 および 1.999 Å であった。このことは、コバルトが三価・低スピン (low spin = LS) 状態であることを示している。一方、室温 (300 K) では Co-O の結合長は 2.064、2.050、2.092 および 2.084 Å であった。このことは、コバルトが二価・高スピン (high spin = HS) 状態であることを示している。すなわち電子移動結合スピン転移が誘起されたことが示された。

磁気特性を図 3 に示した。400 K での $\chi_m T$ 値は $3.0 \text{ cm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$ であり、 $[\text{Co}(\text{SS-cth})(\text{phenS-ct})]\text{AsF}_6 \cdot 0.5\text{EtOH}$ に期待される値 (高スピン Co^{II} イオン ($S = 3/2$) + (phenSq)⁻ラジカル ($S = 1/2$)) に一致した。温度を下げると約 190 K 付近で $\chi_m T$ 値が減少し、約 10 K において $\chi_m T$ 値は約 $0.5 \text{ cm}^3 \cdot \text{K} \cdot \text{mol}^{-1}$ であった。この結果は、温度変化によりコバルトと phenS-ct 配位子の間で電子移動 (原子価異性) が誘起されたことを示している。原子価異性現象は以下のように表せる。



原子価異性挙動は、赤外吸収スペクトルおよび可視紫外吸収スペクトルによっても確かめられた。すなわち、加熱により、phenCat²⁻の振動に対応する約 1354 cm^{-1} と約 1378 cm^{-1} の吸収ピークが減少し、phenSq⁻の振動に対応する約 1458 cm^{-1} の吸収ピークが増大した。また、phenSq⁻に特徴的な π - π^* バンドが加熱とともに増加した。

さらに、 $[\text{Co}(\text{SS-cth})(\text{phenS-ct})]\text{AsF}_6 \cdot 0.5\text{EtOH}$ の光応答性を調べた。5 K での光照射により phenS-ct 配位子からコバルト(III)への電子移動が誘起され、光誘起準安定状態が低温でトラップされることが分かった。コバルト錯体の変化は次のように表せる。



この結果は、光により分極の大きさを制御できることを示している。準安定状態の寿命は 5 K で約 4000 s であった。

DFT 計算により、 $[\text{Co}^{\text{III}}(\text{SS-cth})(\text{phenCat})]^+$ の双極子モーメントは 13.26 デバイ、 $[\text{Co}^{\text{II}}(\text{SS-cth})(\text{phenSq})]^+$ の双極子モーメントは 7.47 デバイであると見積もった。従って、原子価異性に伴って極性軸方向に誘起される双極子モーメントの変化は単位セルあたり約 3.64 デバイであり、 353 nC cm^{-2} の分極変化に相当することがわかった。

これらの結果は、コバルト錯体が熱および光誘起電子移動に基づく分極スイッチング特性を有することを示している。

上記コバルト単核錯体以外にも、いくつかの分極制御物質の開発に成功した。キラル配位子を用いて極性構造を有する

[CoGa]錯体 $[(\text{Co}(\text{RR-cth})(\text{Ga}(\text{SS-cth}))(\mu\text{-dqb}))](\text{PF}_6)_3$ (dqb = deprotonated di-hydroxy benzoquinone) を合成し、約 220 K で温度誘起コバルト - 配位子間電子移動 (原子価異性) に基づき分極が変化することを示した。電子状態は $[\text{Co}^{3+}_{\text{LS}}\text{-dqb}^{3-}\text{-Ga}^{3+}]$ (低温相) から $[\text{Co}^{2+}_{\text{HS}}\text{-dqb}^{2-}\text{-Ga}^{3+}]$ (高温相) に変化した。DFT 計算により $[\text{Co}^{3+}_{\text{LS}}\text{-dqb}^{3-}\text{-Ga}^{3+}]$ と $[\text{Co}^{2+}_{\text{HS}}\text{-dqb}^{2-}\text{-Ga}^{3+}]$ の双極子モーメントが 0.05 デバイと 9.39 デバイであることを示した。また、光誘起準安定相が基底状態に緩和する温度で分極変化に伴う電流を検出することに成功し、[CoGa]錯体が熱及び光エネルギーを電気エネルギーに変換できる物質であることを明らかにした。

同様にキラル配位子を用いて極性構造を有する [FeCo] 錯体 $[(\text{Fe}(\text{RR-cth}))(\text{Co}(\text{SS-cth}))(\mu\text{-dqb})](\text{PF}_6)_3$ を合成し、スピン転移に伴い分極が変化することを示した。電子状態は $[\text{Fe}^{3+}_{\text{LS}}\text{-dqb}^{3-}\text{-Co}^{3+}_{\text{LS}}]$ (低温相: 双極子モーメント 2.04 デバイ) から $[\text{Fe}^{3+}_{\text{HS}}\text{-dqb}^{3-}\text{-Co}^{3+}_{\text{LS}}]$ (高温相: 双極子モーメント 3.92 デバイ) に変化した。さらに $[(\text{Fe}(\text{RR-cth}))(\text{Co}(\text{SS-cth}))(\mu\text{-dqb})](\text{AsF}_6)_3$ を合成し、磁場誘起スピン転移により電気分極を磁場で制御できることを示した。現在までに報告されている分極制御物質との比較により $0.45 \mu\text{C cm}^{-2}$ の磁場誘起電気分極変化は分子性物質で最大の値であることを明らかにした。[FeCo]錯体および上記の[CoGa]錯体は強誘電体ではないために分極ドメイン構造が形成されず外場 (温度、光、磁場) に対して可逆な分極スイッチング特性を示すことを明らかにした。

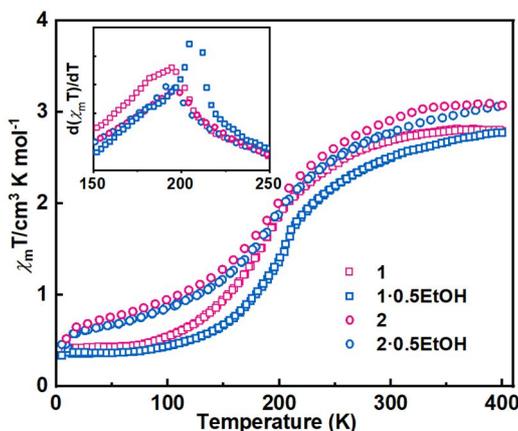


図 3. 原子価異性コバルト錯体の磁気特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yu-Bo Huang, Jun-Qiu Li, Wen-Huang Xu, Wenwei Zheng, Xiaopeng Zhang, Kai-Ge Gao, Tianchi Ji, Taisuke Ikeda, Takumi Nakanishi, Shinji Kanegawa, Shu-Qi Wu, Sheng-Qun Su, and Osamu Sato	4. 巻 146
2. 論文標題 Electrically Detectable Photoinduced Polarization Switching in a Molecular Prussian Blue Analogue	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 201 - 209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c07545	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 該当する
1. 著者名 Wen-Huang Xu, Yu-Bo Huang, Wen-Wei Zheng, Sheng-Qun Su, Shinji Kanegawa, Shu-Qi Wu and Osamu Sato	4. 巻 53
2. 論文標題 Photo-induced Valence Tautomerism and Polarization Switching in Mononuclear Cobalt Complexes with Enantiopure Chiral Ligand	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 2512 - 2516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3DT03915C	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 Sheng-Qun Su, Shu-Qi Wu, Akira Sakamoto, Shinji Kanegawa, Osamu Sato	4. 巻 14
2. 論文標題 Control of electronic polarization via charge ordering and electron transfer: electronic ferroelectrics and electronic pyroelectrics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 10631-10643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3SC03432A	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 Xiaopeng Zhang, Wen-Huang Xu, Wenwei Zheng, Sheng-Qun Su, Yu-Bo Huang, Qirui Shui, Tianchi Ji, Mikoto Uematsu, Qian Chen, Masashi Tokunaga, Kaige Gao, Atsushi Okazawa, Shinji Kanegawa, Shu-Qi Wu, Osamu Sato	4. 巻 145
2. 論文標題 Magnetoelectricity Enhanced by Electron Redistribution in a Spin Crossover [FeCo] Complex	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 15647-15651
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c02977	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 Pritam Sadhukhan, Shu-Qi Wu, Shinji Kanegawa, Sheng-Qun Su, Xiaopeng Zhang, Takumi Nakanishi, Jeremy Ian Long, Kaige Gao, Rintaro Shimada, Hajime Okajima, Akira Sakamoto, Joy G. Chiappella, Myron S. Huzan, Thomas Kroll, Dimosthenis Sokaras, Michael L. Baker, Osamu Sato	4. 巻 14
2. 論文標題 Energy conversion and storage via photoinduced polarization change in non-ferroelectric molecular [CoGa] crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 3394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-39127-8	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 Sheng-Qun Su, Shu-Qi Wu, Yu-Bo Huang, Wen-Huang Xu, Kai-Ge Gao, Atsushi Okazawa, Hajime Okajima, Akira Sakamoto, Shinji Kanegawa, Osamu Sato	4. 巻 61
2. 論文標題 Photoinduced Persistent Polarization Change in a Spin Transition Crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed., 61	6. 最初と最後の頁 e20220877
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202208771	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 該当する

1. 著者名 Feng Cheng, Shuqi Wu, Wenwei Zheng, Shengqun Su, Takumi Nakanishi, Wenhua Xu, Pritam Sadhukhan, Hibiki Sejima, Shimon Ikenaga, Kaoru Yamamoto, Kaige Gao, Shinji Kanegawa, Osamu Sato	4. 巻 28
2. 論文標題 Macroscopic Polarization Change of Mononuclear Valence Tautomeric Cobalt Complexes Through the Use of Enantiopure Ligand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chem.-Eur. J.	6. 最初と最後の頁 e202202161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202202161	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 該当する

1. 著者名 Pritam Sadhukhan, Shu-Qi Wu, Jeremy Ian Long, Takumi Nakanishi, Shinji Kanegawa, Kaige Gao, Kaoru Yamamoto, Hajime Okajima, Akira Sakamoto, Michael L. Baker, Thomas Kroll, Dimosthenis Sokaras, Atsushi Okazawa, Norimichi Kojima, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa & Osamu Sato	4. 巻 12
2. 論文標題 Manipulating electron redistribution to achieve electronic pyroelectricity in molecular [FeCo] crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4836
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-25041-4	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 該当する

1. 著者名 SQ. Su, SQ. Wu, M. Hagihala, P. Miao, Z. Tan, S. Torii, T. Kamiyama, T. Xiao, Z. Wang, Z. Ouyang, Y. Miyazaki, M. Nakano, T. Nakanishi, JQ. Li, S. Kanegawa, O. Sato	4. 巻 12
2. 論文標題 Water-oriented magnetic anisotropy transition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-23057-4	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 該当する

1. 著者名 W. Huang, X. Ma, O. Sato, DY Wu	4. 巻 50
2. 論文標題 Controlling dynamic magnetic properties of coordination clusters via switchable electronic configuration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chem. Soc. Rev.	6. 最初と最後の頁 6832-6870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CS00101A	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 該当する

1. 著者名 Shu-Qi Wu, Meijiao Liu, Kaige Gao, Shinji Kanegawa, Yusuke Horie, Genki Aoyama, Hajime Okajima, Akira Sakamoto, Michael L. Baker, Myron S. Huzan, Peter Bencok, Tsukasa Abe, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa, Wenhua Xu, Hui-Zhong Kou, Osamu Sato	4. 巻 11
2. 論文標題 Macroscopic Polarization Change via Electron Transfer in a Valence Tautomeric Cobalt Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nat. Commun.	6. 最初と最後の頁 1992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-15988-1	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 該当する

1. 著者名 Hikaru Kuramochi, Genki Aoyama, Hajime Okajima, Akira Sakamoto, Shinji Kanegawa, Osamu Sato, Satoshi Takeuchi, Tahei Tahara	4. 巻 59
2. 論文標題 Femtosecond Polarization Switching in the Crystal of a [CrCo] Dinuclear Complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 15865-15869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202004583	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15件(うち招待講演 14件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization via Electron Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The 13th Japan-China Joint Symposium on Metal Cluster Compounds (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization in Molecular Crystals through External Stimuli
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC9) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization via Electron Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The International Conference on Spin Transition as Post PDSTM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization via Electron Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The 18th International Conference on Molecule-based Magnets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization via Electron Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The 8th International Conference on Superconductivity and Magnetism (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization in Molecular Crystals through External Stimuli
3. 学会等名 Modern Trends in Molecular Magnetism (MTMM 3) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization in Molecular Crystals through External Stimuli
3. 学会等名 2nd Asian Conference on Molecular Magnetism (ACMM2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Osamu Sato
2. 発表標題 Control of Magnetic and Electric Polarization via Electron Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The 73rd Yamada Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤治
2. 発表標題 電子移動による準安定状態を利用した分子結晶の分極制御
3. 学会等名 日本物理学会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤治
2. 発表標題 分子内電子移動を利用した金属錯体結晶の分極制御
3. 学会等名 分子性固体オンラインセミナー（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 O. Sato
2. 発表標題 Polarization and Magnetization Switching via Charge Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 Pacifichem（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 O. Sato
2. 発表標題 Proton Transfer Coupled Spin Transition and Trapping of Photoinduced Metastable Proton Transfer State in an Fe(II) Complex
3. 学会等名 Pacifichem（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 0. Sato
2. 発表標題 Magnetization and Polarization Switching via Electron Transfer in a Valence Tautomeric Cobalt Complex
3. 学会等名 The 14th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 0. Sato
2. 発表標題 Polarization and Magnetization Switching via Charge Transfer in Molecular Crystals
3. 学会等名 The 17th International Conference on Molecule-based Magnets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuqi Wu, Osamu Sato
2. 発表標題 Macroscopic Polarization Change via Electron Transfer in a Valence Tautomeric Cobalt Comple
3. 学会等名 The 1st Asian Conference on Molecular Magnetism (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------