

令和 4 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02799

研究課題名(和文)単分子誘電体性の構造学的解明と新規物質群開拓

研究課題名(英文)Exploration for new single-molecule electret and elucidation of its structural property

研究代表者

西原 禎文(Nishihara, Sadafumi)

広島大学・先進理工系科学研究科(理)・教授

研究者番号：00405341

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：我々はこれまでに、単一分子で強誘電体特有の分極ヒステリシスや自発分極を示す「単分子誘電体」の開発に成功している。しかし、「単分子誘電体性」の起源である「構造」と「分極」の相関が完全に解明されていない為、新規物質群開拓に繋がる分子設計の指針が立たない状況にあった。そこで、本研究では構造学的な見地から「単分子誘電体性」を理解し、この結果を基に新たな物質群の開拓を目指した。その結果、新たに23種類の「単分子誘電体」を発見した。その中には、イオン移動機構を複数有する物質や、イオン移動方向が二次元性をもつ物質など、「単分子誘電体」の可能性を広げる物質群の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的に強誘電体は結晶内の分極が長距離に渡って配向し、それが電場によって反転する物性を指す。従って、強誘電性は結晶構造由来のバルクの物性と考えられてきた。しかし、我々が開発した「単分子誘電体」は、一分子で強誘電体に特徴的な分極ヒステリシスや自発分極を示す新しい物質群と位置付けられる。例えばこの物質をメモリ材料として用いた場合、単一分子メモリに繋がるのが期待され、これが実現した場合、従来の記録密度限界の1000倍以上の記録密度をもつと理論的に見積もられている。従って、当該物質の基礎的な学理構築は学術的な意義に留まらず、産業的にも重要である。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in developing “single-molecule electret” that exhibits electric hysteresis and spontaneous polarization characteristic of ferroelectrics in a single molecule. However, since the correlation between its “structure” and “polarization”, which is the origin of properties of single-molecule electret, has not been completely clarified, we have not been able to establish a guideline for molecular design that leads to the development of new material groups of the single-molecule electrets. Therefore, in this study, we aimed to understand properties of single-molecule electret from a structural viewpoint and to develop new material groups based on the results. As a result, we have newly discovered 23 single-molecule electrets.

研究分野：物性化学

キーワード：単分子誘電体 単分子 強誘電 メモリ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我々はこれまでに、単一分子で強誘電的な物性を示す「単分子誘電体」の存在を世界に先駆けて実証した。「単分子誘電物性」は、かご状の無機分子、Preyssler型ポリオキソメタレートで観測された【図1a】。この分子は内部に筒状の空洞をもち、その中に1つのテルビウムイオン( $Tb^{3+}$ )が格納されている。この分子に格納された $Tb^{3+}$ イオンは、空洞の中心からずれた2箇所安定サイトのどちらか一方に存在している【図1a】。従って、 $Tb^{3+}$ イオンがどちらかの安定サイトに停止すると、分子分極が発現する【図1b】。サイト間のイオン移動(分極反転)にエネルギー障壁が存在するとき、

障壁よりも低い温度域では、イオンの位置は固定され、分子分極が凍結される【図1b】。一方、この温度域で電場を印加すると、イオン移動を強制的に誘起することが可能となり、電場による分極反転が起こる。実際、この物質の誘電率測定の結果、400 K以下で強誘電転移が観測されなかったにも関わらず、290 K以下で強誘電体特有の分極ヒステリシス【図1c】や自発分極【図1d】を示した。以上の結果、本系は単一分子で恰も強誘電体の様な物性を示す「単分子誘電体」であることが明らかになった。【*Angew. Chem. Int. Ed.*, **57**(41), 13429-13432 (2018)】。

室温以上での単分子情報記録に繋がる「単分子誘電体」の発見は、学術的・産業的に大きな注目を集めた【日刊工業新聞(平成30年8月10日)】。しかし、「単分子誘電物性」発現の起源である $Tb^{3+}$ イオンの動的効果(構造物性)と分極との相関は完全には明らかになっておらず、これが原因で「単分子誘電体」の新規物質群開拓に支障をきたしている状況にある。

### 2. 研究の目的

我々はこれまでに、単一分子で強誘電体特有の分極ヒステリシスや自発分極を示す「単分子誘電体」の開発に成功している。しかし、「単分子誘電物性」の起源である「構造」と「分極」の相関が完全に解明されていない為、新規物質群開拓に繋がる分子設計の指針が立たない状況にある。そこで、本研究では構造学的な見地から「単分子誘電物性」を理解し、この結果を基に新たな物質群の開拓を目指した。具体的には、電場印加単結晶X線構造解析、高輝度X線を用いた精密構造解析、ローレンツ透過電子顕微鏡(ローレンツTEM)観測の結果を統合し、「単分子誘電物性」の構造学的解明を図る。更に、得られた知見を基に「単分子誘電体」の新規物質群の創出、を目指した。

### 3. 研究の方法

#### 電場印加単結晶X線構造解析

本段階では、電場印加・温度変調可能な単結晶X線構造解析装置を用い、単分子誘電体の「マクロな構造」と「マクロな分極」の相関の解明を目指した。

#### 高輝度X線を用いた精密構造解析

SPring-8の高輝度X線を用いた時間分解精密構造解析を実施する。具体的には、マキ

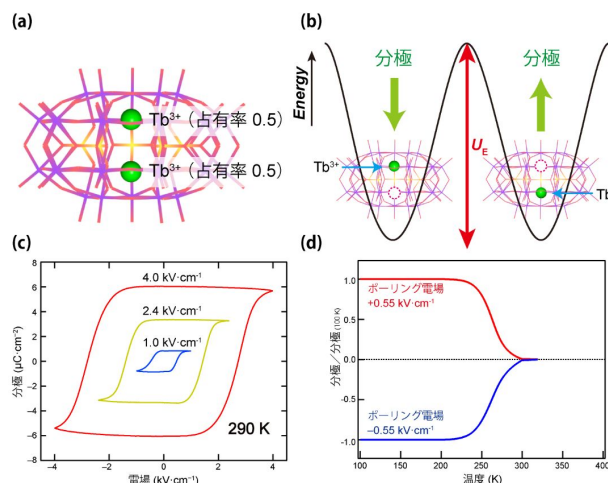


図1. (a)分子内部に2箇所イオン安定サイトを有する「単分子誘電体」と(b)分極エネルギー構造。(c)強誘電秩序を示さないにも関わらず290 Kで分極ヒステリシス、(d)自発分極を示す様子。

シマムエントロピー法を用いた時間分解電子密度解析を行い、「構造-分極」の「時間変位」について追跡した。

ローレンツ透過電子顕微鏡（ローレンツTEM）観測

本段階ではローレンツTEMを用い、「単分子誘電体」の構造評価を行った。

「単分子誘電体」の新規物質群の創出

データベースから「単分子誘電体」の候補物質を絞り込み、構造物性評価グループから得られた解析結果を理論計算に組み込みながら物質を選定し、合成と物性評価を行った。

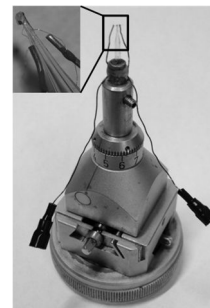


図2. 電場が印加できる様に改良したゴニオメータ

#### 4. 研究成果

電場印加単結晶X線構造解析

本段階では、電場印加・温度変調可能な単結晶X線構造解析装置を用い、単分子誘電体の「マクロな構造」と「マクロな分極」の相関の解明を目指した。具体的には、これまでに開発した電場印加可能なゴニオメータ【図2】を用いて研究を進めた。

我々は、まず、電場印加や温度変調に耐え得るPreyssler型ポリオキシメタレートの開発に着手した。これまで主に研究対象としていた $K_{12}[Tb^{3+} P_5W_{30}O_{110}] \cdot nH_2O$ の結晶は常温・常圧下で直ぐに結晶水の脱離が始まる為、特殊な条件下での構造解析が困難である、という課題が残されていた。そこでこの問題を解決する為に、これまで

カウンターカチオンとして用いてきたカリウムイオン( $K^+$ )を他のイオンに変えることで、特殊な条件下での構造解析に耐え得るPreyssler型ポリオキシメタレートを探索した。種々のカチオンと交換して、その性質を調査した結果、カウンターカチオンの一部をアンモニウムイオン( $NH_4^+$ )に変えた結晶、 $(NH_4^+)x(H^+)_{(12-x)}[Tb^{3+} P_5W_{30}O_{110}] \cdot nH_2O$  (以降、アンモニウム塩とする)が常温・常圧下において安定に存在できることを見出した。そこでまず、アンモニウム塩を用いてこれまで困難であった単結晶を用いた物性評価を行った。具体的には、 $Tb^{3+}$ イオンの移動方向に対して平行、垂直方向それぞれに電場を印加し、誘電率の温度依存性及び分極の電場依存性を調査した。その結果、 $Tb^{3+}$ イオンの移動方向に対して平行方向に電場を加えた場合において、垂直方向に電場を加えた場合と比較して顕著な誘電応答【図3a, b】及び分極ヒステリシス【図3c, d】を示した。

そこで、このアンモニウム塩を用い、 $Tb^{3+}$ イオンの移動方向に対して垂直方向に電場を印加した状態での単結晶構造解析とその温度依存性を調査した。その結果、暫定的な結果ではあるものの、電場印加によって $Tb^{3+}$ イオンの偏りが観測され、電場を切って昇温することで $Tb^{3+}$ イオンの量サイトの占有率

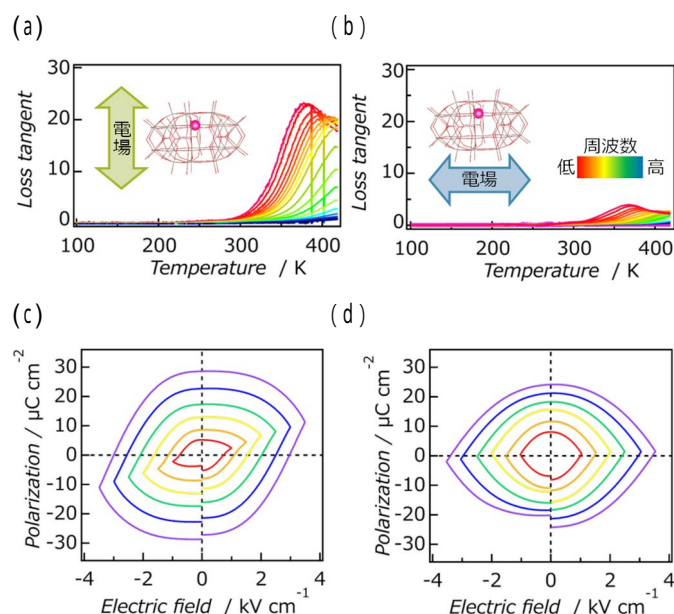


図3. (a)  $Tb^{3+}$ イオンの移動方向と平行に電場を印加した場合の誘電率温度依存性、及び、(b) 平行に電場を印加した場合の誘電率温度依存性。(c)  $Tb^{3+}$ イオンの移動方向と平行に電場を印加した場合の分極の電場依存性、及び、(d) 平行に電場を印加した場合の分極の電場依存性。

が等価に近づくことを明らかにした。

#### 高輝度X線を用いた精密構造解析

本段階では、Spring-8の高輝度X線を用いた時間分解精密構造解析を実施した。具体的には、マキシマムエントロピー法を用いた時間分解電子密度解析を行い、「構造-分極」の「時間変位」について追跡することを目指した。しかし、アンモニウム塩を用いた場合であっても、現時点で粉末X線のリートベルト解析で構造決定するに至っておらず、今後も引き続き研究を継続していく。

#### ローレンツ透過電子顕微鏡（ローレンツTEM）観測

本段階ではローレンツTEMを用い、「単分子誘電体」の構造評価を行った。具体的には、単分子誘電体薄膜を作製し、アニール処理によって分子配向性を有する薄膜の成膜条件最適化を目指した。カウンターカチオンの候補として、金属イオン、

共役系カチオン、アルキルアンモニウムカチオンなどを選択した。それぞれのカチオンに対して塩を作製し、結晶粉末および薄膜の配向性、熱安定性について評価した。特に、

カウンターカチオンにテトラブチルアンモニウムを用いた結晶粉末を用いて、200 °Cでアニール処理を実施したところ、分子構造の変化を伴わず加熱時間に応じて結晶性が向上することを粉末X線構造解析から明らかにした。次段階として、上記の塩を薄膜化し、透過型電子顕微鏡より薄膜の配向性について評価した。その結果、アニール処理前後で薄膜の電子顕微鏡図に顕著な変化が観察され、アニール処理後でのみ干渉縞が観測され高配向の単分子誘電体薄膜の成膜に成功した【図4】。本成果は、単分子誘電体薄膜の結晶性を向上させる有用な手法および材料であり、特許出願するに至った（特願2020-128339）。

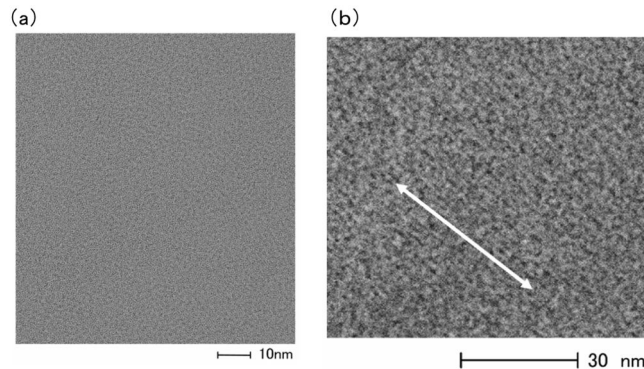


図4. (a)アニール処理前、および(b)アニール処理後の透過型電子顕微鏡図。アニール処理後でのみ結晶格子の干渉によってみられる干渉縞を観測した(図中、矢印)。

#### 「単分子誘電体」の新規物質群の創出

物質群開拓グループは、データベースから「単分子誘電体」の候補物質を絞り込み、構造物性評価グループから得られた解析結果を理論計算に組み込むことで、物質を選定し、合成・物性評価を行った。当該手法によって、新たに23種類の「単分子誘電体」を発見した【図5】。その中には、イオン移動機構を複数有する $[K^+{}_4 H_7 P_8 W_{48} O_{184}]^{29-}$ や、イオン移動方向が二次元性をもつ $[K^+{}_2 \{Sn(CH_3)_2\}_4 (H_2 P_4 W_{24} O_{92})_2]^{26-}$ など、「単分子誘電体」の可能性を広げる分子開発に成功した。

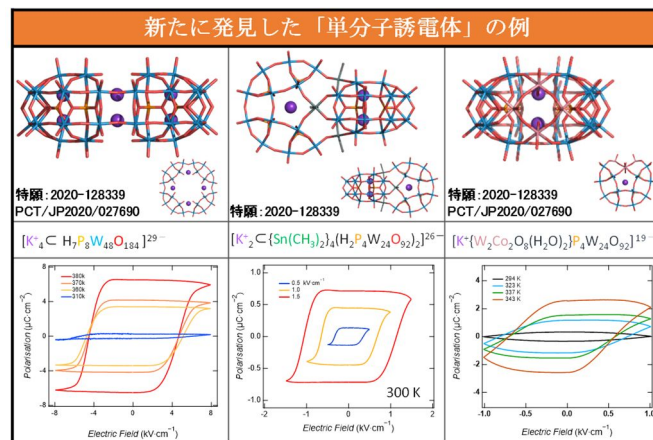


図5. 新たに発見した「単分子誘電体」の例。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Gao Yan-Li, Nishihara Sadafumi, Suzuki Takashi, Umeo Kazunori, Inoue Katsuya, Kurmoo Mohamedally	4. 巻 51
2. 論文標題 Ferroelastic-like transition and solvents affect the magnetism of a copper-organic radical one-dimensional coordination polymer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 6682 ~ 6686
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2DT00135G	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 Kobukai Chisato, Tadaï Momo, Nishimura Tamaki, Hattori Kohei, Nishihara Sadafumi, Okada Shuji, Tatewaki Yoko	4. 巻 61
2. 論文標題 Fluorescent properties of a cage-shaped molecule composed of tetrakis[4-(4-pyridylphenyl)]ethylene moieties	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SE1004 ~ SE1004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac5531	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 Kaushik Reetam, Khan Imran, Das Vivek, Hussain Firasat, Manabe Jun, Nishihara Sadafumi, Teillout Anne-Lucie, Mbomekall Isral-Martyr, de Oliveira Pedro	4. 巻 216
2. 論文標題 A tetrameric praseodymium substituted arsenotungstate (III)- Synthesis & characterization, electrochemistry, catalytic and its magnetic applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polyhedron	6. 最初と最後の頁 115698 ~ 115698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.poly.2022.115698	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 Shimono Seiya, Ishibashi Hiroki, Nagayoshi Yusuke, Ikeno Hidekazu, Kawaguchi Shogo, Hagihala Masato, Torii Shuki, Kamiyama Takashi, Ichihashi Katsuya, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya, Ishii Yui, Kubota Yoshiki	4. 巻 163
2. 論文標題 Structural phase transition in cobalt oxyfluoride Co3Sb4O6F6 observed by high-resolution synchrotron and neutron diffraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics and Chemistry of Solids	6. 最初と最後の頁 110568 ~ 110568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jpccs.2021.110568	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 Das Vivek, Khan Imran, Hussain Firasat, Sadakane Masahiro, Tsunoji Nao, Ichihashi Katsuya, Kato Chisato, Inoue Katsuya, Nishihara Sadafumi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Single Molecule Magnetic, Catalytic and Photoluminescence Properties of Heterometallic 3d4f [Ln{PZn2W10O38(H2O)2}2]11- Tungstophosphate Nanoclusters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3819 ~ 3831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202100528	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 Nishihara Sadafumi	4. 巻 15
2. 論文標題 Welcome to the single-molecule electret device	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 966 ~ 967
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41565-020-00780-5	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 Manabe Jun, Nishida Kazuki, Zhang Xiao, Nakano Yuki, Fujibayashi Masaru, Cosquer Goulven, Inoue Katsuya, Shimono Seiya, Ishibashi Hiroki, Kubota Yoshiki, Shiga Misaki, Tsunashima Ryo, Tatewaki Yoko, Nishihara Sadafumi	4. 巻 10
2. 論文標題 Gas-Dependent Reversible Structural and Magnetic Transformation between Two Ladder Compounds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 841 ~ 841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10090841	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 Romanenko G. V., Letyagin G. A., Maryunina K. Yu., Bogomyakov A. S., Nishihara S., Inoue K., Ovcharenko V. I.	4. 巻 69
2. 論文標題 Effect of increasing pressure on the structure and temperature-induced changes in magnetic properties of heterospin complexes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Russian Chemical Bulletin	6. 最初と最後の頁 1530 ~ 1536
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11172-020-2932-2	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 Uezu Yuta, Tsunashima Ryo, Tanaka Chiaki, Fujibayashi Masaru, Manabe Jun, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya	4. 巻 93
2. 論文標題 Spin Crossover between the High-Spin and Low-Spin States and Dielectric Switching in the Ionic Crystals of a Fe(II) [2 × 2] Molecular Grid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1583 ~ 1587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20200207	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 Fujibayashi Masaru, Watari Yu, Tsunashima Ryo, Nishihara Sadafumi, Noro Shin ichiro, Lin Chang Gen, Song Yu Fei, Takahashi Kiyonori, Nakamura Takayoshi, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 59
2. 論文標題 Structural Phase Transitions of a Molecular Metal Oxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 22446 ~ 22450
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202010748	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 藤林将, 西原禎文	4. 巻 32
2. 論文標題 「単分子誘電体」の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MRS-J NEWS	6. 最初と最後の頁 4 ~ 5
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 無
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 Maryunina Kseniya, Yamaguchi Koyo, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya, Letyagin Gleb, Romanenko Galina, Barskaya Irina, Veber Sergey, Fedin Matvey, Bogomyakov Artem, Petrova Marina, Morozov Vitaly, Ovcharenko Victor	4. 巻 20
2. 論文標題 Intermolecular Spin-Crossover-like Phenomenon Sensitive to Applied External Pressure in Heterospin Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 2796 ~ 2802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.0c00240	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 Morita Hagino, Tsunashima Ryo, Nishihara Sadafumi, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 22
2. 論文標題 Doping of metal-free molecular perovskite with hexamethylenetetramine to create non-centrosymmetric defects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 2279 ~ 2282
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ce00173b	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 Wihadi Muh. Nur Khoiru, Hayashi Akio, Ozeki Tomoji, Ichihashi Katsuya, Ota Hiromi, Fujibayashi Masaru, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya, Tsunoji Nao, Sano Tsuneji, Sadakane Masahiro	4. 巻 93
2. 論文標題 Synthesis of Preyssler-Type Phosphotungstate with Sodium Cation in the Central Cavity through Migration of the Ion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 461 ~ 466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190326	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 Nakamura Shota, Takei Tsubasa, Nishihara Sadafumi, Okada Shuji, Akutagawa Tomoyuki, Nakamura Takayoshi, Tatewaki Yoko	4. 巻 59
2. 論文標題 One-dimensional molecular nano-branched structures of tetrathiafulvalene derivative with crown ether	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDA10 ~ SDDA10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab5914	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 Sherstobitova Tatiana, Maryunina Kseniya, Tolstikov Svyatoslav, Letyagin Gleb, Romanenko Galina, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya	4. 巻 4
2. 論文標題 Ligand Structure Effects on Molecular Assembly and Magnetic Properties of Copper(II) Complexes with 3-Pyridyl-Substituted Nitronyl Nitroxide Derivatives	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 17160 ~ 17170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01575	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 Ovcharenko Victor, Romanenko Galina, Polushkin Alexey, Letyagin Gleb, Bogomyakov Artem, Fedin Matvey, Maryunina Kseniya, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya, Petrova Marina, Morozov Vitaly, Zueva Ekaterina	4. 巻 58
2. 論文標題 Pressure-Controlled Migration of Paramagnetic Centers in a Heterospin Crystal	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 9187 ~ 9194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b00815	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 Morita Hagino, Tsunashima Ryo, Nishihara Sadafumi, Inoue Katsuya, Omura Yuriko, Suzuki Yasutaka, Kawamata Jun, Hoshino Norihisa, Akutagawa Tomoyuki	4. 巻 58
2. 論文標題 Ferroelectric Behavior of a Hexamethylenetetramine Based Molecular Perovskite Structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9184 ~ 9187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201905087	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 Ichihashi Katsuya, Nishimura Takumi, Konno Daisuke, Inoue Katsuya, Nakaya Toshimi, Akutagawa Tomoyuki, Nakamura Takayoshi, Nishihara Sadafumi	4. 巻 48
2. 論文標題 Magnetic Switching by Desorption/Adsorption of an Organic Solvent Molecule from/on [Ni(dmit) <sub>2</sub> ]-Salt	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 329 ~ 332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.181031	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 Ichihashi Katsuya, Konno Daisuke, Maryunina Kseniya Yu., Inoue Katsuya, Toyoda Kazuhiro, Kawaguchi Shogo, Kubota Yoshiki, Tatewaki Yoko, Akutagawa Tomoyuki, Nakamura Takayoshi, Nishihara Sadafumi	4. 巻 58
2. 論文標題 Selective Ion Exchange in Supramolecular Channels in the Crystalline State	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 4169 ~ 4172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201813709	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 帯刀陽子, 西原禎文, 岡田修司	4. 巻 64
2. 論文標題 導電性分子からなるゲルの創製と物性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 57~62
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 無
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 西原禎文	4. 巻 117
2. 論文標題 単分子で強誘電性を示す「単分子誘電体」の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ナノ学会会報	6. 最初と最後の頁 37~41
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 無
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33件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 単一分子で強誘電体のように振る舞う「単分子誘電体」の開発
3. 学会等名 新化学技術推進協会 (JACI) 電子情報技術部会ナノフォトニクスエレクトロニクス交流会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 単一分子で強誘電体の様な挙動を示す「単分子誘電体」の開発
3. 学会等名 東京大学 物性研究所 短期研究会「分子性固体研究の拡がり：新物質と新現象」 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 室温で駆動する単分子不揮発性メモリの開発
3. 学会等名 タングステン・モリブデン工業会 (JTMIA) 第33回タンモリ工業会セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 室温で駆動する単分子不揮発性メモリの開発
3. 学会等名 第71回中国四国産学連携化学フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Nishihara
2. 発表標題 Development and application of Single-Molecule Electret (SME) based on polyoxometalate
3. 学会等名 70th Conference of Japan Society of Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 単一分子で強誘電的な性質を示す「単分子誘電体」の開発
3. 学会等名 分子性固体オンラインセミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞邊 潤, 西原 禎文
2. 発表標題 分子性結晶におけるイオン交換キャリアドーピング法の確立
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部 合同学術講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 土屋 直人, 石貫 達也, 青木 沙耶, 中山 祐輝, 西原 禎文, 井上 克也
2. 発表標題 有機無機ペロブスカイト型化合物の強弾性-磁性の相関
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞邊潤, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 イオン交換キャリアドーピング法を用いた[Ni(dmit) <sub>2</sub> ]塩の電子状態制御
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 みづき, 市橋 克哉, 今野 大輔, 井上 克也, 芥川 智行, 中村 貴義, 西原 禎文
2. 発表標題 結晶中チャンネル構造における有機アンモニウムイオン交換
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤 みづき, 西原 禎文
2. 発表標題 結晶内チャンネル構造を利用した水中有機アンモニウムイオンの捕獲
3. 学会等名 応用物理・物理系学会中国四国支部合同学術講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤みづき, 市橋克哉, 今野大輔, 藤林将, COSQUER Goulven, 井上克也, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 結晶内の超分子チャンネル構造を利用した固相有機アンモニウムイオン交換
3. 学会等名 第14回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川 大輔, 西村 拓巳, 藤林 将, Goulven Cosquer, 井上 克也, 下山 大輔, 灰野 岳晴, 芥川 智行, 中村 貴義, 西原 禎文
2. 発表標題 Na+([24]crown-8)超分子カチオンを含む[Ni(dmit)2]塩の電気・磁気物性評価
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 単一分子で強誘電的性質を示す単分子誘電体の開発と応用
3. 学会等名 電情報通信学会 高速通信ネットワーク時代を共創する磁性技術、ストレージ技術(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 単分子強誘電メモリの実現を目指して
3. 学会等名 電子情報通信学会 磁気記録・情報ストレージ研究会 (MRIS) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西原禎文
2. 発表標題 テラヘルツESRを用いた低次元分子性磁性体の磁気構造解明に関する研究
3. 学会等名 平成30年度神戸大学分子フォトサイエンス研究センター共同研究成果報告会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Tsuchiya, Saya Aoki, Yuki Nakayama, Sadafumi Nishihara, Takashi Suzuki, Katsuya Inoue
2. 発表標題 Magnetoelastic Effect in Organic-Inorganic Perovskite-Like Material (2-Phenylethylamine) <sub>2</sub> FeCl <sub>4</sub>
3. 学会等名 JSPS Core-to-Core 【S3】 Core-to-Core Final Meeting in Jaca (2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 anabe, J., Nishida, K., Zhang, X., Nakano Y., Inoue, K., Shimono, S., Kubota, Y., Nishihara, S
2. 発表標題 Magnetic anomaly in the molecular spin ladder based on Oxygen Bridging copper(II) complex
3. 学会等名 JSPS Core-to-Core 【S3】 Core-to-Core Final Meeting in Jaca (2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuuta Izumi, Lecort Constance, Kseniya Maryunina, Sadafumi Nishihara, Luneau Dominique, Katsuya Inoue
2. 発表標題 Physical Properties Controlled by Counter Anion Variation in a Layered Manganese-Radical Coordination Framework
3. 学会等名 JSPS Core-to-Core 【S3】 Core-to-Core Final Meeting in Jaca (2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Tsuchiya, Saya Aoki, Yuki Nakayama, Sadafumi Nishihara, Takashi Suzuki, Katsuya Inoue
2. 発表標題 Magneto-elastic coupling in Organic-Inorganic Materials having Ferroelasticity and Magnetic Long Range Order
3. 学会等名 V International Workshop Dzyaloshinskii-Moriya Interaction and Exotic Spin Structures (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村拓巳, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 下山大輔, 灰野岳晴, 芥川智行, 中村 貴義, 西原 禎文
2. 発表標題 ( [24]crown-8 ) - ( アリールアンモニウムイオン ) または ( アルカリ金属イオン ) からなる超分子カチオンを含む [Ni(dmit) <sub>2</sub> ] 結晶の構造と物性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞瀨潤, 西田一輝, 張笑, 中野佑紀, 井上克也, 下野聖矢, 石橋広記, 志賀美咲, 久保田佳基, 網島亮, 西原禎文
2. 発表標題 気体雰囲気依存して構造が変化する Cu(II)-C032-系錯体
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊藤みづき, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 チャンネル構造を有するLi <sub>2</sub> ([18]crown-6) <sub>3</sub> [Ni(dmit) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> 塩を用いた固相アンモニウムイオン交換
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣野恵大, Dmitrii Smirnykh, 一樂陽司, 西原禎文, 井上克也
2. 発表標題 ギ酸とコバルトイオンからなるキラル磁性体の単結晶育成と物性評価
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 眞遼潤, 西田一輝, 張笑, 中野祐樹, 井上克也, 下野聖矢, 久保田佳基, 西原禎文
2. 発表標題 Cu(II)-C032-系スピンラダー錯体の気体雰囲気依存した構造変化と物性評価
3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村拓巳, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 下山大輔, 灰野岳晴, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 アルカリ金属イオンと [24]crown-8からなる超分子カチオンを含む[Ni(dmit) <sub>2</sub> ]-塩の構造と物性
3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 伊藤みづき, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 チャンネル構造を有するLi <sub>2</sub> ([18]crown-6) <sub>3</sub> Ni(dmit) <sub>2</sub> ·2(H <sub>2</sub> O) <sub>4</sub> 塩におけるアンモニウムイオン交換
3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 真貴, 加藤 智佐都, 丸山 莉央, 早瀬友葉, 井上 克也, 網島 亮, 西原 禎文
2. 発表標題 単分子で磁気及び誘電ヒステリシスを示す材料開発
3. 学会等名 日本化学会秋季事業第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 真貴, 加藤 智佐都, 丸山 莉央, 早瀬友葉, 井上 克也, 網島 亮, 西原 禎文
2. 発表標題 単分子で磁気及び誘電ヒステリシスを示す材料開発
3. 学会等名 日本化学会秋季事業第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村 真貴, 加藤 智佐都, 丸山 莉央, 井上 克也, 網島 亮, 西原 禎文
2. 発表標題 Ho <sup>3+</sup> を内包したPreyssler型Polyoxometalateの誘電評価及び有機化合物への展開
3. 学会等名 第80回応用物理学会 秋季学術講演会討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西村拓巳, 市橋克哉, 今野大輔, 井上克也, 下山大輔, 灰野岳晴, 芥川智行, 中村貴義, 西原禎文
2. 発表標題 金属イオン - ([21]crown-7, [24]crown-8) 超分子カチオンを含む[Ni(dmit)2] - 塩の構造と物性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 眞邊潤, 西田一輝, 張笑, 中野佑紀, 井上克也, 下野聖矢, 久保田佳基, 西原禎文
2. 発表標題 分子性スピンラダー-Cu <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> )(ClO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> における低温磁気異常の調査
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石貫達也, 土屋直人, 青木沙耶, 中山祐輝, 西原禎文, 井上克也
2. 発表標題 逐次相転移を示す有機無機ペロブスカイト型化合物の磁気弾性評価
3. 学会等名 第13回分子科学討論会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計7件

産業財産権の名称 圧電材料及び圧電素子	発明者 西原禎文、藤林将	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-032652	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 クラウンエーテルの供給及び回収方法並びにイオン伝導性結晶	発明者 西原禎文、伊藤みづき、眞邊潤、藤林将	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2022-032649	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 単分子誘電体膜および単分子誘電体膜の製造方法	発明者 西原禎文、藤林将、井上克也、定金正洋	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、F19039-US	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 単分子誘電体膜および単分子誘電体膜の製造方法	発明者 西原禎文、藤林将	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020 128339	出願年 2020年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 分子性金属酸化物クラスター、電子デバイス、揮発性メモリ、揮発性メモリ用又は不揮発性メモリ用単分子誘電体層、及び記憶装置	発明者 西原禎文、藤林将、井上克也、定金正洋	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-159643	出願年 2020年	国内・外国の別 外国
産業財産権の名称 電磁材料、並びに、それを含むシールド材、導電シート及び給電部材	発明者 帯刀陽子、西原禎文	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-126158	出願年 2019年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 電界効果トランジスタ及びメモリ装置	発明者 西原禎文、藤林将、井上克也、定金正洋	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2019-118917	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究分担者	戸川 欣彦 (Togawa Yoshihiko) (00415241)	大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授  (24403)	
研究分担者	帯刀 陽子 (Tatewaki Yoko) (30435763)	東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・講師  (12605)	
研究分担者	久保田 佳基 (Kubota Yoshiki) (50254371)	大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・教授  (24403)	
研究分担者	石橋 広記 (Ishibashi Hiroki) (70285310)	大阪府立大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授  (24403)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	網島 亮  (Tsunashima Ryo)  (70466431)	山口大学・大学院創成科学研究科 ・准教授    (15501)	

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			
英国	The University of Glasgow	The University of Edinburgh		
中国	東南大学	南京工業大学		
インド	University of Delhi			