

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：34504

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02577

研究課題名（和文）低次元半導体周期構造を有する金属-有機構造体(MOF)の創成

研究課題名（英文）Creation of Metal-Organic Frameworks with Periodic Low-Dimensional Semiconductor Structures

研究代表者

田中 大輔 (Tanaka, Daisuke)

関西学院大学・理学部・教授

研究者番号：60589399

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、MOFの骨格を低次元半導体の周期構造と位置付けて新規材料を開発し、その構造と物性の相関を明らかにすることを目指した。特に、合成が極めて困難な硫黄を配位原子とした新規配位高分子を開発するために機械学習を活用した新たな合成法を開発した。さらに、上記の多様な手法を駆使して、金属-硫黄ネットワーク(-M-S-)nを構造中に有する様々な配位高分子の合成に多数成功した。これらの開発した含硫黄配位を低次元半導体集積構造と見なし、その光半導体特性や電気化学特性を評価して、二酸化炭素還元光触媒特性、二次電池電極材料、光応答デバイスとしての機能を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、MOFはワイドバンドギャップを持つ絶縁体と考えられており、その用途は分離材などの吸着材料に限定されていた。本研究課題では、研究代表者が開発した種々の含硫黄MOFの半導体物性を評価することで、低次元半導体と有機分子の複合周期構造を利用した高機能性材料開発への道を切り開いた。また、研究代表者はMOFのハイスループット合成評価システムと機械学習の手法を融合した、効率的な合成条件探索法を世界に先駆けて確立し、合成が困難とされてきた含硫黄低次元半導体構造を有する新規MOFの合成に既に複数成功した。これにより、従来困難であった難結晶性MOFの結晶化機構解明と合成法確立を実現した。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we consider the MOFs as a periodic structure of low-dimensional semiconductors to develop new materials, and we have revealed the correlation between the structure and physical properties. In particular, we have developed a new synthetic method using machine learning to design new coordination polymers with sulfur as the coordination atom, which is difficult to crystallize. Furthermore, using the developed techniques, we were able to synthesize a series of different coordination polymers with metal-sulfur networks (-M-S-) in their structures. These novel sulfur-containing coordination polymers were considered as low-dimensional semiconductor assembled structures, and their photocatalytic and electrochemical properties were evaluated to find their functions as photocatalytic properties for CO₂ reduction, electrode materials for secondary batteries, and photo-responsive devices.

研究分野：錯体化学

キーワード：MOFs 機械学習 半導体

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属-有機構造体 (Metal Organic Framework: MOF) は、金属イオンと架橋配位子が配位結合でフレームワークを形成する新しい物質群の総称であり、吸着材料として分離などの分野での実用化がすでに始まっている。一方で、これまで MOF は絶縁体と考えられてきたが、近年、MOF 骨格の節を構成する複核金属クラスターやその連結構造が示す電気伝導などの電子物性を活用した各種デバイスや触媒の実現が報告され始めている。しかし、一般的な MOF では、金属に配位する元素は酸素原子か窒素原子に限定されており、MOF の電子物性を設計する際の大きな制約となっていた。もし、硫黄など、金属と共有結合的な配位結合を形成する配位元素からなる MOF を自在に合成できれば、従来の MOF では実現が不可能であった高いキャリア移動度や可視光吸収などの物性発現が期待できる。しかし、硫黄などの重元素を配位原子として含む MOF は結晶化が困難であり、世界中で含硫黄 MOF の合成が試みられていた。世界で初めて鉛 (Pb) と硫黄 (S) が 3 次元的に PbS ネットワークを形成する MOF の合成と結晶構造の決定に成功し、光照射によるキャリア生成を利用した触媒機能などの半導体特性を明らかにした。一方、当時は MOF の構造中に周期的に形成される無機物のナノ構造が示す電子物性についてはいまだ十分な研究がなされているとはいえ、特にキャリアの輸送特性や光物性などの半導体としての機能はほとんど明らかにされていなかった。

2. 研究の目的

・低次元半導体集積材料の評価

本研究課題では、MOF の骨格を低次元半導体の周期構造と位置付けて新規材料を開発し、その構造と物性の相関を明らかにすることを目指した。特に、硫黄を配位原子とした新規の MOF を種々開発し、硫黄と重金属が形成する低次元半導体集積構造の物性評価を行った。MOF 中に規則的に配列されたドット、ナノワイヤー、ナノレイヤー等における電子の挙動を系統的に評価し、半導体特性を示す MOF の基礎物性に関する知見を集めるとともに、これらの MOF がもつ電子材料としての特性を解明することを目指した。

・難結晶性 MOF の結晶化機構解明と合成法確立

本研究で合成を目指した硫黄を配位元素として含む MOF は、優れたキャリア移動特性や光物性を示すことが期待されているが、硫黄原子の高い反応性のために結晶化が非常に難しく、系統的な合成が困難である事が予想される。本研究課題では、マテリアルズインフォマティクス (MI) に基づく合成手法と各種分析技術を駆使して、効率的な含硫黄 MOF の結晶化条件の探索を行い、従来は合成が困難であると考えられてきた硫黄を含む低次元半導体集積型 MOF の結晶化機構解明と合成法確立を目指した。

3. 研究の方法

・新規半導体 MOF の合成実験

多連反応システムを活用し、効率的に条件探索空間内の実験を行った。その後、数百程度の実験結果をクラスタリングなどの教師なし学習の手法を活用してデータ化し、決定木などの解釈性が高い機械学習の手法により解析した。得られた結果から、合成において支配的となる因子を抽出し、次の合成条件を決定することで効率的な合成条件探索を行った。次の実験条件の最適化では、ベイズ最適化による実験条件の推薦と、実験者の解釈を柔軟に組み合わせることを試みた。さらに、反応系中の生成物の分析を併せて進めることで、低次元半導体集積型 MOF の合成法確立と結晶化機構の解明を行った。

・新規半導体 MOF の物性評価

結晶構造と組成の決定：結晶構造は主に単結晶及び粉末 X 線構造解析により行った。また、組成と純度の評価として SEM-EDX、ICP 発光分析、CHN 元素分析装置などを用いて行った。構造中にマイクロ孔を有する場合、窒素吸着実験により、細孔構造の分布を併せて評価した。

電子状態の精密評価：MOF の電子構造を実験的に決定する。固体拡散反射紫外可視近赤外吸収スペクトルからバンドキャップを、光電子収量分光 (PYS) から価電子帯のエネルギー準位を評価した。また、X 線構造解析より決定した結晶構造を初期構造として第一原理計算によりバンド構造を評価し、各元素が MOF の電子構造にどのように影響するかを計算科学的に評価した。

キャリア輸送特性及び光物性の評価：粉末結晶のキャリア輸送特性の評価として、時間分解マイクロ波分光 (TRMC) 測定、発光スペクトル測定、フェムト秒レーザー過渡吸収測定を行う。また、一部の大きなサイズの単結晶が得られた MOF では、デバイスを作製し、その電気伝導特性をさらに精密に評価した。また、光照射下での水分解反応や二酸化炭素還元反応など、光触媒としての機能を評価した。

4. 研究成果

(1) 機械学習を活用した新規 MOF の合成法確立

一般に、チオールは金属と共有結合的に強い結合を形成するため、不可逆的な結合形成が進行しその結晶性は低くなる傾向がある。このため、硫黄を含んだ MOF の合成は一般的には困難であると考えられてきた。本研究では、銀イオンとトリチオシアヌル酸 (trithiocyanuric acid : H_3ttc) からなる新規 MOF の合成を目指した実験を行った。硝酸銀などの銀イオン源と H_3ttc を各種溶媒に溶かし、様々な温度、混合比、濃度や反応容器でソルボサーマル合成を行い、最終的に 326 の合成条件を試した。すべての反応条件で固体沈殿を得ることができたため、何かしらの配位高分子が合成できていることが期待された。しかしながら、これだけの合成条件を試したにもかかわらず、単結晶を合成することができなかったため得られた固体がどのような構造を有する物質なのか、確認することができなかった。新規 MOF の合成研究では、単結晶を合成して構造決定を行う事が出来なかった場合、その実験は失敗とみなして、それ以上実験結果を解釈することはあきらめてしまう事が一般的である。しかし、この研究では我々は、失敗実験を機械学習の手法を活用して解析することで、化学的な情報を抽出することを試みた。具体的には、すべての沈殿物について粉末 X 線回折 (PXRD) 測定を行い、教師なし学習の一種であるクラスタリング解析により、PXRD パターンの自動分類を行い、それに基づいて合成の成否を自動判定することに成功とした。この結果をもとに、新規 S-CP を合成する際に重要となる反応条件を抽出するために、教師あり学習である決定木学習による合成条件の可視化を試みた。その結果を図 1 に示す。決定木の結果は、新規相の選択的な合成に、酸及び塩基の添加、すなわちプロトン濃度の制御が重要な役割を果たしていることを明確に示していた。様々なパラメータを変化させながら合成実験を行っていたため、人間が 326 通りの合成条件と回折パターンを眺めていても、プロトン濃度が合成の選択性を支配しているという事に気づくことはできず、決定木学習により、合成結果の支配因子を初めて抽出することが可能となった¹。同省の手法で、希土類 MOF の合成条件の最適化にも成功しており、本手法の汎用性の高さを実証した^{2,3}。またベイズ最適化などの機械学習に基づく手法を活用することで、合成条件の最適化を行う際の有用なツールのみならず、目的とする物性の実現のための手法としても有用であることも報告している⁴。

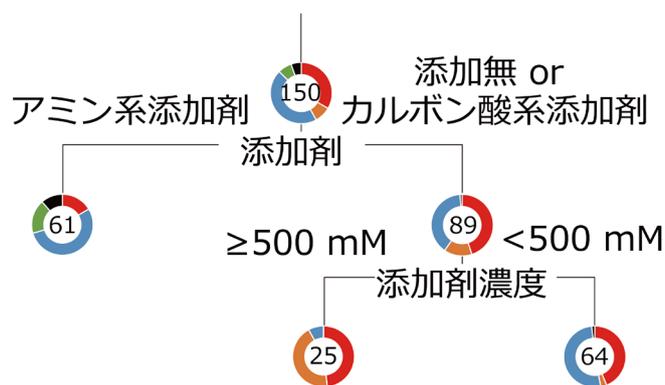


図 1. 作成した決定木の一部。酸と塩基の添加が生成物

(2) 含硫黄 MOF の半導体特性評価

機械学習を利用して合成条件を最適化した銀と H_3ttc からなる KGF-6 は、結晶構造中に AgS ネットワークが三次元的に拡がっており、高いキャリア輸送能を示した。第一原理計算より、一般に AgS 無機構造が正孔輸送を担うのに対し⁵、有機骨格部位であるトリアジン環はカラムナー構造を形成し、電子輸送経路を形成していることがわかった。KGF-6 のように正孔と電子の伝導経路が分離した物質は、光電変換材料として優れた特性を示すことが予想されるため、触媒や太陽電池等への応用が期待される。また、1,3,4-チアジアゾール-2,5-ジチオール (H_2tadt) を配位子として、金属イオンとして鉛を含む KGF-9 は、二次元 PbS 無機構造を持つ半導体であることを明らかにした。単結晶デバイスを作製して光伝導度を測定したところ、光によって電流の ON/OFF が可能な光半導体として機能することを明らかにした⁶。

(3) 含硫黄 MOF の光触媒特性の評価

KGF-9 のバンドギャップは 2.50 eV と可視光吸収を示す半導体材料であり、伝導帯下端の準位を考慮すると、 CO_2 還元光触媒としても利用することが期待された。実際に、KGF-9 を光触媒として用いると、 CO_2 還元生成物としてギ酸のみが選択的に得られた。一般に CO_2 還元反応では、ギ酸に加えて CO やメタノール等が副生成物として得られるが、KGF-9 におけるギ酸生成の選択性は 99% 以上であり、みかけの量子収率も 5.9% に達した⁷。

これらの研究で、鉛を主とする含硫黄 MOF は光触媒特性を始め優れた半導体材料として機能することを実証した。一方で、鉛は毒性が高い有害な金属であり、低毒性の異なる金属へ置き換えることが求められる。錫は鉛と同族の元素でありながら、毒性のない金属であるため、鉛の代替金属として用いられる。研究代表者らは H_3ttc と Sn(II) から KGF-10 を合成した⁸。さらに、KGF-10 は CO_2 還元光触媒として機能し、 CO_2 を生成選択率 99% 以上、見かけの量子収率 9.8% でギ酸に変換できることを明らかとした⁹。

<引用文献>

- 1 T. Wakiya, Y. Kamakura, H. Shibahara, K. Ogasawara, A. Saeki, R. Nishikubo, A. Inokuchi, H. Yoshikawa, D. Tanaka*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 23217-23224.
- 2 Y. Kitamura, E. Terado, Z. Zhang, H. Yoshikawa, T. Inose, H. Uji-i, M. Tanimizu, A. Inokuchi, Y. Kamakura, D. Tanaka*, *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 16347-16353.
- 3 Y. Kitamura, Y. Nakamura, K. Sugimoto, H. Yoshikawa, D. Tanaka *, *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 11426-11429.
- 4 Y. Kitamura, H. Toshima, A. Inokuchi, D. Tanaka*, *Mol. Syst. Des. Eng.* **2023**, *8*, 431-435.
- 5 R. Akiyoshi, A. Saeki, K. Ogasawara, H. Yoshikawa, Y. Nakamura, D. Tanaka*, *CrystEngComm* **2023**, *25*, 2990-2994.
- 6 Y. Kamakura, C. Sakura, A. Saeki, S. Masaoka, A. Fukui, D. Kiriya, K. Ogasawara, H. Yoshikawa, D. Tanaka*, *Inorg. Chem.* **2021**, *60*, 5436-5441.
- 7 Y. Kamakura, S. Yasuda, N. Hosokawa, S. Nishioka, S. Hongo, T. Yokoi, D. Tanaka*, K. Maeda*, *ACS Catal.* **2022**, *12*, 10172-10178.
- 8 Y. Kamakura, S. Fujisawa, K. Takahashi, H. Toshima, Y. Nakatani, H. Yoshikawa, A. Saeki, K. Ogasawara, D. Tanaka*, *Inorg. Chem.* **2021**, *60*, 12691-12695.
- 9 Y. Kamakura, C. Suppasso, I. Yamamoto, R. Mizuochi, Y. Asai, T. Motohashi, D. Tanaka*, K. Maeda*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202305923.

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 0件）

1. 著者名 Kamakura Yoshinobu, Suppasso Chomponoot, Yamamoto Issei, Mizuochi Ryusuke, Asai Yusuke, Motohashi Teruki, Tanaka Daisuke, Maeda Kazuhiko	4. 巻 62
2. 論文標題 Tin(II) Based Metal-Organic Frameworks Enabling Efficient, Selective Reduction of CO ₂ to Formate under Visible Light	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202305923	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 Akiyoshi Ryohei, Saeki Akinori, Ogasawara Kazuyoshi, Yoshikawa Hirofumi, Nakamura Yuiga, Tanaka Daisuke	4. 巻 25
2. 論文標題 Selective synthesis of two-dimensional semiconductive coordination polymers with silver/sulfur network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 2990 ~ 2994
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CE00106G	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 Kitamura Yu, Toshima Hiroki, Inokuchi Akihiro, Tanaka Daisuke	4. 巻 8
2. 論文標題 Bayesian optimization of the composition of the lanthanide metal-organic framework MIL-103 for white-light emission	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 431 ~ 435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2ME00277A	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 Kitamura Yu, Nakamura Yuiga, Sugimoto Kunihisa, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 58
2. 論文標題 Data-driven efficient synthetic exploration of anionic lanthanide-based metal-organic frameworks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11426 ~ 11429
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC04985F	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 Akiyoshi Ryohei, Fujiwara Makoto, Kamakura Yoshinobu, Shimizu Takeshi, Inoue Ryo, Morisaki Yasuhiro, Saeki Akinori, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 5
2. 論文標題 Effect of a One-Dimensional Columnar Structure on the Cathode Active Material Performance of Single-Component Hexaazatriphenylene Derivatives	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12760 ~ 12767
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c02377	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 Kamakura Yoshinobu, Yasuda Shuhei, Hosokawa Naoki, Nishioka Shunta, Hongo Sawa, Yokoi Toshiyuki, Tanaka Daisuke, Maeda Kazuhiko	4. 巻 12
2. 論文標題 Selective CO ₂ -to-Formate Conversion Driven by Visible Light over a Precious-Metal-Free Nonporous Coordination Polymer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 10172 ~ 10178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.2c02177	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 Yamada Saki, Hirano Ayumi, Tanaka Yoko, Akiyoshi Ryohei, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of Mixed-Metal MIL-68 under Mild Conditions by Controlling Nucleation Using a Microfluidic System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4139 ~ 4145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.2c00140	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 Kamakura Yoshinobu, Fujisawa Satoshi, Takahashi Koki, Toshima Hiroki, Nakatani Yuka, Yoshikawa Hirofumi, Saeki Akinori, Ogasawara Kazuyoshi, Tanaka Daisuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Redox-Active Tin Metal-Organic Framework with a Thiolate-Based Ligand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12691 ~ 12695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.1c01725	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 Wakiya Takuma, Kamakura Yoshinobu, Shibahara Hiroki, Ogasawara Kazuyoshi, Saeki Akinori, Nishikubo Ryoosuke, Inokuchi Akihiro, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Machine Learning Assisted Selective Synthesis of a Semiconductive Silver Thiolate Coordination Polymer with Segregated Paths for Holes and Electrons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 23217 ~ 23224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202110629	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 Nakao Keisuke, Kamakura Yoshinobu, Fujiwara Makoto, Shimizu Takeshi, Yoshida Yukihiro, Kitagawa Hiroshi, Yoshikawa Hirofumi, Kitagawa Yasutaka, Tanaka Daisuke	4. 巻 22
2. 論文標題 Synthesis of Hexaazatriphenylene Charge-Transfer Complexes and Their Application in Cathode Active Materials for Lithium-Ion Batteries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 26 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.1c00793	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 Kamakura Yoshinobu, Hikawa Arata, Yoshikawa Hirofumi, Kosaka Wataru, Miyasaka Hitoshi, Tanaka Daisuke	4. 巻 56
2. 論文標題 Coordination distortion induced water adsorption in hydrophobic flexible metal-organic frameworks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9106 ~ 9109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC03772A	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 Kamakura Yoshinobu, Hamano Ryo, Nakamura Yuiga, Sugimoto Kunihisa, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 50
2. 論文標題 Thiolate-based One-dimensional Flexible Pb-MOFs Exhibiting a Large Sorption Hysteresis Phenomenon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1053 ~ 1056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210054	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 Okada Keito, Tanaka Yoko, Inose Tomoko, Ujii Hiroshi, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 50
2. 論文標題 Electrolytic synthesis of porphyrinic Zr-metal-organic frameworks with selective crystal topologies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 5411 ~ 5415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1DT00491C	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 Kamakura Yoshinobu, Sakura Chinatsu, Saeki Akinori, Masaoka Shigeyuki, Fukui Akito, Kiriya Daisuke, Ogasawara Kazuyoshi, Yoshikawa Hirofumi, Tanaka Daisuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Photoconductive Coordination Polymer with a Lead-Sulfur Two-Dimensional Coordination Sheet Structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5436 ~ 5441
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03801	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 Kitamura Yu, Terado Emi, Zhang Zechen, Yoshikawa Hirofumi, Inose Tomoko, Ujii Hiroshi, Tanimizu Masaharu, Inokuchi Akihiro, Kamakura Yoshinobu, Tanaka Daisuke	4. 巻 27
2. 論文標題 Failure Experiment Supported Optimization of Poorly Reproducible Synthetic Conditions for Novel Lanthanide Metal Organic Frameworks with Two Dimensional Secondary Building Units	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 16347 ~ 16353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202102404	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0件

〔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
研究分担者	猪口 明博 (Akihiro Inokuchi) (70452456)	関西学院大学・工学部・教授 (34504)	

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	桐谷 乃輔 (Kiriya Daisuke) (80568030)	東京大学・大学院総合文化研究科・准教授 (12601)	

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