

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15584

研究課題名（和文）金属伝導性を示す多孔性配位高分子の開発

研究課題名（英文）Exploration of Conductive Porous Coordination Polymers

研究代表者

大竹 研一（Otake, Ken-ichi）

京都大学・高等研究院・特定助教

研究者番号：20834823

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、多孔性配位高分子の分野において未開拓であった骨格の電子物性を開拓することで、空間と骨格の機能を連携させた新しい科学の展開を行うことを目的とした。レドックス活性な金属クラスターとレドックス活性配位子から同形構造のPCP群の形成に成功した。系統的な配位子の交換により構造と機能のチューニングを行った。また、従来まで金属イオンと1つの配位子でのみ構成された二次元シート型PCPの化学を拡張し、2種類の配位子で構成された二次元シート型PCPを得ることに成功した。設計が難しかった二次元シート型PCPの更なる展開を可能とした。これらの材料を土台に今後さらなる機能開拓・応用展開を行っていく。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い電気伝導性を有する多孔材料は、バッテリーやスーパーキャパシタ、燃料電池、電気化学触媒など様々な応用に非常に重要である。そうした材料として、ポーラスカーボンやメソポーラス孔を有する金属酸化物が挙げられるが、これらはアモルファスであるか長周期構造を持たないものである。高い電気伝導性と規則的なナノ細孔の両方を同時に有する多孔材料は研究開始当初において報告例がほとんど無かった。本研究で開発された伝導特性と多孔性を両立する多孔材料は、電気触媒やセンサーを含む様々な応用の基盤となりうることから、その学術的・社会的な意義を有している。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research project is to develop a new science that links the functions of porosity and framework by exploring the electronic properties of the framework, which has not been explored in the field of porous coordination polymers (PCPs). The formation of isostructural PCP family from redox-active metal clusters and redox-active ligands was successfully demonstrated, where the structure and function were systematically tuned by ligand exchange. In addition, the chemistry of two-dimensional sheet PCPs, which were previously composed of only one ligand and a metal ion, was extended to obtain two-dimensional sheet PCPs composed of two different ligands. The dual-ligand based PCP nanosheets provided a new design for the modulation of electronic conductivity and porosity. Based on these materials, we will develop further functions and applications in the future.

研究分野：多孔材料

キーワード：多孔性配位高分子 錯体化学 結晶エンジニアリング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高い電気伝導性を有する多孔材料は、バッテリーやスーパーキャパシタ、燃料電池、電気化学触媒など様々な応用に非常に重要である。そうした材料として、ポラスカーボンやメソポーラス孔を有する金属酸化物が挙げられるが、これらはアモルファスであるか長周期構造を持たないものである。高い電気伝導性と規則的なナノ細孔の両方を同時に有する多孔材料は研究開始当初において報告例がほとんど無かった。電気伝導特性と多孔性・高い比表面積と結晶性のすべてを兼ね備えた材料を創出することは、高効率な電気触媒や高機能ガスセンサーなどの様々な応用において非常に有用である。

2. 研究の目的

本研究では、多孔性と高い結晶性の両方を有する多孔性配位高分子(Porous Coordination Polymer: PCP)に着目して、電子物性発現を可能とする多孔材料の創成を目指した。PCP の分野において未開拓であった骨格における電子物性を開拓すること、空間と骨格の機能を連携させた新しい科学の展開を行うことを目的とした。PCP は、規則的なナノ細孔を有し、細孔の大きさに応じたゲスト分子の分離・吸着能、触媒作用、さらには細孔内部における特異的な有機反応などの多彩な物性を示すことにより近年大きな研究領域を形成し注目を集めている。しかし、一般にPCP は金属サイトと有機配位子部分がエネルギー的に近くないことから、絶縁体となるものがほとんどであった。一般的に、電気伝導度(σ)は、 $\sigma = ne\mu$ (n : キャリア濃度, e : 電荷, μ : キャリアの移動度)という式で表すことができるが、これまでの報告例のPCPにおいては n と μ の両方が低いものしかなかった。これは、有機配位子分子と金属サイト間に軌道の重なりがほとんど無いためであり、金属サイトと有機配位子のネットワークがキャリアの伝導パスとしては不適であることが最大の原因であると考えられる。細孔を保持したままPCPに伝導特性を付与することは、基礎科学としての重要性のみならず、様々な応用への展開が期待され、物理・化学・材料科学の全ての観点から非常にインパクトが高く、極めて意義のある研究である。

3. 研究の方法

本研究では上記の目的を達成するために、次の研究方法をもとに研究を行った。(A)レドックス活性な金属クラスターとレドックス活性配位子の組み合わせから電荷キャリアの導電パスを内包しうる多孔性配位高分子の構造開拓 小スケールでのソルボサーマル法等により、新規PCPの単結晶が得られる合成条件(金属塩や金属酸化物、リガンド、溶媒、反応温度、反応時間)を精査する。単結晶が得られたら、まず単結晶X線構造解析から構造を調べる。骨格に目的とする金属酸化物ネットワークを有していれば、バンド構造計算を通し基本的な電子状態を調べ、バンド分散状態からキャリアドーピングによる金属化の可能性を検討する。また、IR、拡散反射UV、Raman、XPS測定を含む光学スペクトル測定とガス吸着特性測定を行うことで、基本的な化学特性や物性についての知見を得る。(B)新規PCPへのキャリアドーブ及び物性測定: [A]で電荷キャリアの伝導パスが見込まれた場合に得られた新規PCPにキャリアドーピングをすることにより、PCPにおける高伝導性の発現に挑む。キャリアドーピングの手法としては、酸化または還元能を有するゲスト分子を用いる手法や、酸素雰囲気下での加熱やX線照射、または電気化学的手法等を考えている。キャリアドーブ後に関してもIR、拡散反射UV、Raman、XPS測定を含む光学スペクトル測定とガス吸着特性測定を行うことで、基本的な化学特性や物性についての詳細に調べる。

4. 研究成果

本研究課題では、多孔性配位高分子の分野において未開拓であった骨格における電子物性を開拓することで、空間と骨格の機能を連携させた新しい科学の展開を行うことを目的とした。特に、レドックス活性な金属クラスターとレドックス活性配位子の組み合わせから電荷キャリアの導電パスを内包しうる多孔性配位高分子の構造開拓を行った。

まず、レドックス活性配位子として、トリアリルアミンに着目した。トリルアリルアミンは、中心の窒素原子(N)から3つのアリル基が結合した構造をもつ一連の化合物の名称である。Nと結合するアリル基の炭素原子(C)は、 sp^2 混成によりNと結合しており、平面構造をとっている。トリアリルアミンは、その酸化種においてホールが分子中で非局在化することによって、低いイオン化エネルギーを示し、強いドナー性を有する。こうした特徴からも、

トリアリルアミンは有機発光ダイオードや有機太陽電池の材料としても注目を集めている。トリアリルアミンの高いドナー性や電子の輸送特性は、PCPにおける伝導特性の開拓にも有効と考え、トリアリルアミンをベースとした新規配位子の合成を行った(図1)。

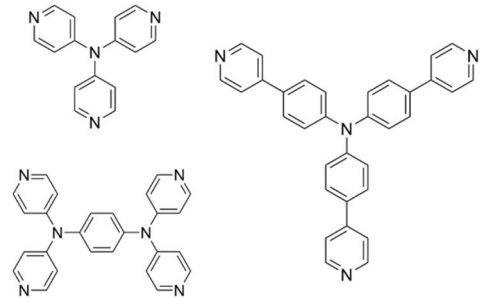


図1 本研究で合成したトリアリルをベースとする配位子

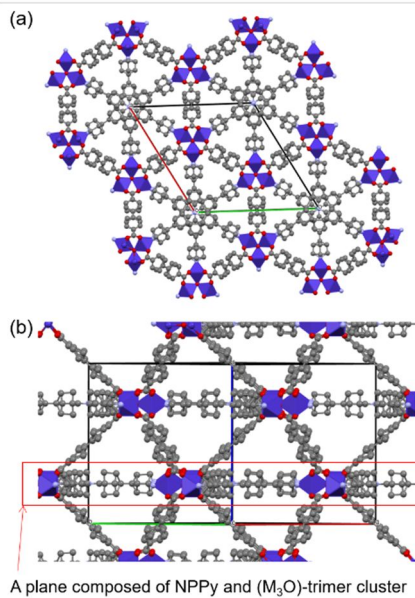


図2 本研究で合成したトリアリルをベースとするPCPの一例。100 Kにおける結晶構造 (a) top view (b) side view

アミン配位子と、レドックス活性の金属種の組み合わせから、新規のPCPの開発を行った。その結果、 M_3O 型金属三核クラスターとプロペラ型レドックス活性配位子とピラー配位子からは、同形構造のPCP群を構築できることが分かった。単結晶構造解析の結果から、これらのPCP群がプロペラ型トリアリルアミン配位子と M_3O 型金属三核クラスターからなる二次元シートが、ジカルボン酸によって上下に架橋された三次元構造をとっていることがわかった(図2)。また、金属クラスター部分(Fe, Co, Ni)とピラー配位子部分(benzenedicarboxylate, 4,4'-biphenyldicarboxylate, 1,1'-binaphthyl-4,4'-dicarboxylate, etc.)は置換可能であり、12種類の同形構造のPCPの結晶を得ることに成功している。金属クラスターとピラー配位子の組み合わせにより、ガス吸着特性およびバンドギャップの制御が可能であることが分かった(論文投稿準備中)。さらに、これらが比較的強固な骨格を持っており、ヨウ素による骨格の部分酸化も可能であり、光学スペクトルの変化から酸化前後でバンドギャップが1 eV以上小さくできることも示唆された。現時点では、金属的な伝導挙動の発現は見られていないが、半導体的な特性と比較的大きな多孔性を生かして電気触媒としての応用も検討している(論文投稿準備中)。

さらに、本研究課題の目的を達成するために、近年注目を集めている二次元シート型の伝導性PCPにも着目して研究を行った。従来まで金属イオンと1つの配位子でのみ構成されていた二次元シート型のPCPを拡張して、2種類の配位子で構成された二次元シート型のPCPの構築が

可能であることを初めて実証した。二次元シート型の PCP の選択性配位子の選択の幅を広げることができるため、設計が難しかった幅広い二次元シート型 PCP の更なる展開を可能とした。開発した二次元シート型の PCP は半導体的な電気伝導特性と多孔性及びゲスト選択能を有しており、ゲストの選択的な吸着に伴う電気伝導特性の変化をすることがわかった。

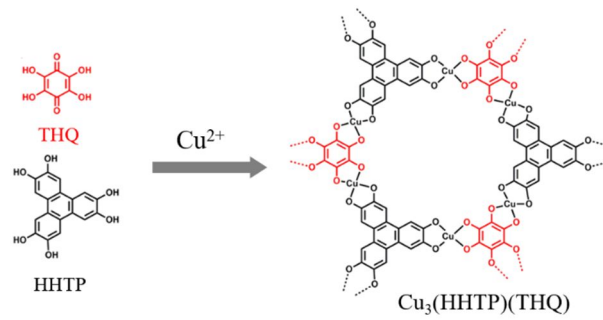


図3 .本研究で開発した二元配位子型の二次元シート型伝導性 PCP

そのため高選択性かつ高効率なケミレジスタ型ガスセンサーへの応用が可能であることを実証した (*Angew.Chem.Int.Ed.* 2020)。また、ケミレジスタ特性のさらなる選択制の付与を目的として、開発した PCP ナノシートを他の材料と組み合わせる研究への展開も行った。非常に興味深いことに、ゲスト選択制だけでなく、センサー特性が非常に大きくなる材料の組み合わせがあることを発見した。この現象は SPring-8 の放射光を用いた operando 測定を実施することにより、現象の解明に取り組んだ (論文投稿準備中)。

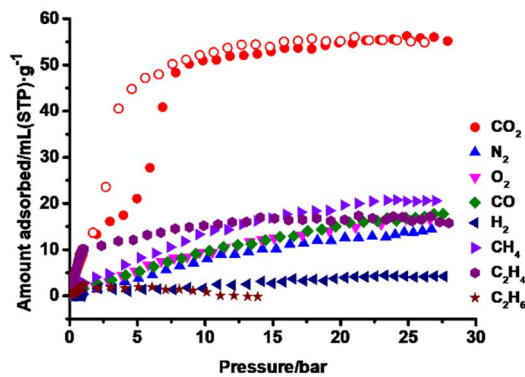


図4 .二酸化炭素のみに対してゲート型吸着特性を示す高ガス選択性の新規 PCP の各種ガスに対する吸着等温線 (298 K)

また、レドックス活性な構成要素の導入によって、それが電子ドナー/アクセプターサイトとなることに起因して、多孔性配位高分子の内空間における様々な興味深い物性を副次的に得ることが出来た (*Inorg.Chem.* 2021, *Angew.Chem.Int.Ed.*2021 など)。また、二酸化炭素のみに対してゲート型吸着特性を示すような非常に珍しい挙動を示す PCP 材料の発見にもつながった (図4、論文投稿準備中)。今後、ここで得られた知見を基に、物性・応用開拓に取り組む、空間と骨格の機能を連携させた新しい科学を追求する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名 Yao Ming Shui, Zheng Jia Jia, Wu Ai Qian, Xu Gang, Nagarkar Sanjog S., Zhang Gen, Tsujimoto Masahiko, Sakaki Shigeyoshi, Horike Satoshi, Otake Kenichi, Kitagawa Susumu | 4. 巻 59 |
| 2. 論文標題 A Dual Ligand Porous Coordination Polymer Chemiresistor with Modulated Conductivity and Porosity | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition | 6. 最初と最後の頁 172 ~ 176 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201909096 | 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 Yifan Gu Jia-Jia Zheng Ken-ichi Otake Kunihisa Sugimoto Nobuhiko Hosono Shigeyoshi Sakaki Fengting Li Susumu Kitagawa | 4. 巻 0 |
| 2. 論文標題 Structural Deformation Energy Modulation Strategy in a Soft Porous Coordination Polymer with Interpenetrated Framework | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition | 6. 最初と最後の頁 0-0 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/anie.202003186 | 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 Wu Pengyan, Li Yang, Zheng Jia-Jia, Hosono Nobuhiko, Otake Ken-ichi, Wang Jian, Liu Yanhong, Xia Lingling, Jiang Min, Sakaki Shigeyoshi, Kitagawa Susumu | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Carbon dioxide capture and efficient fixation in a dynamic porous coordination polymer | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 1 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12414-z | 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 Ping Wang, Ken-ichi Otake, Susumu Kitagawa | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Photocleavage Synthesis of Hydroxy Group Bearing Porous Coordination Polymers | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 CHEMNANOMAT | 6. 最初と最後の頁 1-6 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/cnma.202000069 | 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 Bonneau Mickaele, Lavenn Christophe, Ginet Patrick, Otake Ken-ichi, Kitagawa Susumu | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 Upscale synthesis of a binary pillared layered MOF for hydrocarbon gas storage and separation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Green Chemistry | 6. 最初と最後の頁 718 ~ 724 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9gc03561c | 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 Maity Dilip Kumar, Ghosh Saheli, Otake Ken-ichi, Kitagawa Hiroshi, Ghoshal Debajyoti | 4. 巻 58 |
| 2. 論文標題 Proton Conductivity and Sorption Study in Three Sulfonic Group Functionalized Mixed Ligand Coordination Polymers and the Impact of Structural Dynamicity on Their Property | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 12943 ~ 12953 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b01897 | 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 Chen Yu-Chuan, Chiang Wei-Hung, Kurniawan Darwin, Yeh Pei-Chun, Otake Ken-ichi, Kung Chung-Wei | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Impregnation of Graphene Quantum Dots into a Metal/Organic Framework to Render Increased Electrical Conductivity and Activity for Electrochemical Sensing | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces | 6. 最初と最後の頁 35319 ~ 35326 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b11447 | 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 Gu Yifan, Zheng Jia Jia, Otake Ken ichi, Shivanna Mohana, Sakaki Shigeyoshi, Yoshino Haruka, Ohba Masaaki, Kawaguchi Shogo, Wang Ying, Li Fengting, Kitagawa Susumu | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Host/Guest Interaction Modulation in Porous Coordination Polymers for Inverse Selective CO ₂ Separation | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition | 6. 最初と最後の頁 11688 ~ 11694 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202016673 | 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 Wang Ping, Otake Ken ichi, Hosono Nobuhiko, Kitagawa Susumu | 4. 巻 133 |
| 2. 論文標題 Crystal Flexibility Design through Local and Global Motility Cooperation | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Angewandte Chemie | 6. 最初と最後の頁 7106 ~ 7111 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ange.202015257 | 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 Otake Ken ichi, Kitagawa Hiroshi | 4. 巻 17 |
| 2. 論文標題 Control of Proton Conductive Behavior with Nanoenvironment within Metal?Organic Materials | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Small | 6. 最初と最後の頁 2006189 ~ 2006189 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.202006189 | 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 Otake Ken-ichi, Ahn Sol, Knapp Julia, Hupp Joseph T., Notestein Justin M., Farha Omar K. | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Vapor-Phase Cyclohexene Epoxidation by Single-Ion Fe(III) Sites in Metal?Organic Frameworks | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 2457 ~ 2463 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03364 | 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 Afrin Unjila, Mian Mohammad Raseel, Otake Ken-ichi, Drout Riki J., Redfern Louis R., Horike Satoshi, Islamoglu Timur, Farha Omar K. | 4. 巻 60 |
| 2. 論文標題 Proton Conductivity via Trapped Water in Phosphonate-Based Metal?Organic Frameworks Synthesized in Aqueous Media | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 1086 ~ 1091 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03206 | 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 Otake Ken-ichi, Otsubo Kazuya, Kitagawa Hiroshi | 4. 巻 33 |
| 2. 論文標題 A mixed-valent metal?organic ladder linked by pyrazine | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter | 6. 最初と最後の頁 034002 ~ 034002 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/abbbc7 | 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 Lee Jet-Sing M., Otake Ken-ichi, Kitagawa Susumu | 4. 巻 421 |
| 2. 論文標題 Transport properties in porous coordination polymers | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews | 6. 最初と最後の頁 213447 ~ 213447 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2020.213447 | 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 Wasson Megan C., Zhang Xuan, Otake Ken-ichi, Rosen Andrew S., Alayoglu Selim, Krzyaniak Matthew D., Chen Zhijie, Redfern Louis R., Robison Lee, Son Florencia A., Chen Yongwei, Islamoglu Timur, Notestein Justin M., Snurr Randall Q., Wasielewski Michael R., Farha Omar K. | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Supramolecular Porous Assemblies of Atomically Precise Catalytically Active Cerium-Based Clusters | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry of Materials | 6. 最初と最後の頁 8522 ~ 8529 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c02740 | 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 Kabtamu Daniel Manaye, Wu Yi-nan, Chen Qian, Zheng Lu, Otake Ken-ichi, Matovi? Ljiljana, Li Fengting | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Facile Upcycling of Hazardous Cr-Containing Electroplating Sludge into Value-Added Metal?Organic Frameworks for Efficient Adsorptive Desulfurization | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering | 6. 最初と最後の頁 12443 ~ 12452 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.0c03110 | 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 Otake Ken-ichi, Otsubo Kazuya, Komatsu Tokutaro, Dekura Shun, Taylor Jared M., Ikeda Ryuichi, Sugimoto Kuniyoshi, Fujiwara Akihiko, Chou Chien-Pin, Sakti Aditya Wibawa, Nishimura Yoshifumi, Nakai Hiromi, Kitagawa Hiroshi | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Confined water-mediated high proton conduction in hydrophobic channel of a synthetic nanotube | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 843 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-14627-z | 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 Sakaida Shun, Otsubo Kazuya, Otake Ken-ichi, Kawaguchi Shogo, Maesato Mitsuhiko, Kitagawa Susumu, Kitagawa Hiroshi | 4. 巻 57 |
| 2. 論文標題 Surface morphology-induced spin-crossover-inactive high-spin state in a coordination framework | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Chemical Communications | 6. 最初と最後の頁 1462 ~ 1465 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC06682F | 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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|