

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05186

研究課題名(和文) 配位高分子ナノ結晶におけるナノサイズ・外形効果の実証

研究課題名(英文) Demonstration of nano-size and morphology effect on a coordination polymer nanocrystal

研究代表者

大谷 政孝(OHTANI, Masataka)

高知工科大学・環境理工学群・准教授

研究者番号：20585004

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)：ナノスケールで結晶サイズ・外形が制御されたPCP/MOF結晶において特異な物性変化が現れることを実証した。具体的には、従来は熱的に安定な結晶相を示すと考えられてきたPCP/MOF結晶について、結晶サイズのナノサイズ化に伴って前例のない熱的結晶相転移が現れることを見出した。また、結晶のナノサイズ化は結晶内部の細孔空間に閉じ込められた分子の物性に与える影響も顕著であった。ゲスト分子として蛍光色素を包接した色素包接ナノ結晶では、固体状態においても高い蛍光量子収率を示すことを明らかにした。さらに、包接された蛍光色素とナノ結晶表面に吸着した色素の間のエネルギー移動効率にもナノサイズ化の影響が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた成果は、PCP/MOF結晶のナノサイズ化に伴う物性の変化を様々な物理化学的な考察から実証するとともに、「精密に結晶サイズ・外形が制御された配位高分子(PCP/MOF)の結晶は、固有の物理的・化学的性質を示すか？」という学術的な問いに対して、前例のない有用な知見を与えている。また、学術的な意義とともに、PCP/MOF結晶の溶融・ガラス転移などの基本的な熱的な物理特性の制御は、新材料としての成形加工性において重要であり、応用的な側面からも今後の発展が期待される成果が得られたと確信している。

研究成果の概要(英文)：We demonstrated that unprecedented property changes appear in PCP/MOF crystals by regulating their crystal size and shape in nanometer scale. Particularly, we found that PCP/MOF crystals, which have been conventionally considered to exhibit thermally stable crystalline phase, undergo an unprecedented thermal crystal phase transition by nanosizing their crystal size. The nanosizing of PCP/MOF crystals also has a remarkable effect on the physical properties of molecules encapsulated in the pore of PCP/MOF crystals. Fluorescent dye-incorporated PCP/MOF nanocrystals, in which fluorescent dyes were encapsulated as guest molecules, showed high quantum yields of fluorescence emission even in the solid state. Furthermore, the fluorescence resonance energy transfer efficiency between an encapsulated fluorescent dye and an adsorbed dye on the nanocrystal surface was also remarkably affected by the nanosizing of the host PCP/MOF crystals.

研究分野：ナノ材料化学

キーワード：配位高分子 金属有機構造体 ナノ結晶 相転移 固体発光 単結晶 電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

多孔性配位高分子 (PCP/MOF) は、金属イオンと有機配位子が3次元的に結合することで、その内部に分子が入り出ることができるほどのナノ空間を形成した多孔質材料である。金属イオンと有機配位子の組み合わせを変えることで様々な3次元立体構造をとるため、ゼオライトやメソポーラスシリカのような無機多孔体などの他の材料にない柔軟な材料設計が可能であることも大きな利点である。近年、PCP/MOFの優れた構造的特徴を利用し、ガスの分離・貯蔵、触媒、薬物輸送などへの応用が期待されている。

これまでに、あらゆる金属イオンと有機配位子が網羅的に検討され、様々なPCP/MOF材料が報告されてきた。その多くは、種々の金属と有機配位子から新たなPCP/MOF結晶を作成し、錯体化学的な結晶構造解析と材料化学的な手法で多孔質空間の特性を明らかにする研究に主眼が置かれている。そのため、数10 μm 以上のマイクロ結晶あるいは同様の条件で合成された粉体状の微結晶が実際の研究で評価されているのが現状である。

このような学術的背景のもと、「精密に結晶サイズ・外形が制御された配位高分子は、固有の物理的・化学的性質を示すか?」という点に着目した。高分子化学では、得られた高分子の平均分子量や分布に応じて、その融点やガラス転移点などの熱物性が異なることは基礎的な事項である。また、その結晶性に比例して力学的な強度も異なることが知られている。無機材料の場合も同様である。金属あるいは金属酸化物は、分子サイズに極めて近くなる100 nm以下の領域において、バルク状の材料と全く異なる性質を示す。特に、20 nm以下の金属ナノ粒子ではその融点や電子的・光学的性質が大きく変化する。そのため、高分子材料や金属ナノ粒子材料のサイズ(分子量)や構造を合成化学的に制御し、それらが示す物性や機能の関係性を探る研究が数多くなされてきた。一方、PCP/MOFの研究例において、PCP/MOF結晶のサイズや外形が物性に与える影響についてはまだ詳細に検討されていない。その理由は、PCP/MOF結晶を良質な結晶性を保ったまま100 nm以下のサイズで精密に構造制御し作り分ける合成方法論が確立されておらず、その物性との関連性が精査されていないためであると考えた。

2. 研究の目的

本申請研究では、以下の2点を明らかにすることを目的とした。

- ① 数 nm から 100 nm の領域でサイズ・外形が精密に制御可能な、PCP/MOF 結晶の簡便で汎用的な合成方法論の確立
- ② 分子レベルで緻密にサイズ・外形制御された一連の PCP/MOF ナノ結晶について、その物理的・化学的特性へのサイズ・外形効果の解明

従来のPCP/MOF研究では、マイクロ結晶あるいは粉体様の微結晶が主な研究対象となっており、ナノスケールの極微細PCP/MOF結晶の物性については未解明な点が多い。本研究の学術的独自性は、ナノメートルスケールの結晶サイズ・外形制御がもたらすPCP/MOFナノ結晶固有の物性解明に挑戦する点にある。特に、PCP/MOF結晶の新しい応用の一つとしてガラス転移現象が近年注目を集めており、その熱物性のさらなる解明が望まれている (T. D. Bennett et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 3484–3492.; A. Qiao et al. *Sci. Adv.* **2018**, *4*, eaao6827.)。一般的な高分子材料と同様に、熱物性の制御には分子構造と分子サイズの観点からの理解が必要不可欠であり、本研究で着目する合成化学的なアプローチは鍵となると考えられる。本研究により、PCP/MOFナノ結晶の示す物性の解明およびナノ結晶状態での新たな物性制御手法へと繋がり、PCP/MOF研究に新たな道筋を切り拓くこととなると期待した。

3. 研究の方法

本研究課題では「PCP/MOFナノ結晶の精密構造合成手法の開発」と「それにより得られた構造制御されたPCP/MOFナノ結晶の固有の物理的・化学的性質」を系統的に検討し、ナノサイズ・外形効果を解明することを目指した。具体的な研究方法を以下に示す。

- ① PCP/MOF ナノ結晶のサイズ・構造制御合成法の開拓

PCP/MOF結晶は金属イオンと有機配位子が交互に配位結合することでつくられる。そのため、結晶のサイズ・外形を制御するには、結晶核の生成および結晶成長における化学反応速度を精密に制御しなくてはならない。反応速度に直接影響を与える因子として、反応溶媒、反応温度、架橋配位子の脱プロトン化(塩基効果)の3つが重要であり、系統的な合成条件の検討が必須である。これら3つの観点からPCP/MOF結晶の基本的な合成方法の開発に着手した。亜鉛系PCP/MOFを例にすると、亜鉛塩と有機配位子をそれぞれ同体積の有機溶媒に溶解し、それらを混合するという単純な溶液混合法を検討した。得られたPCP/MOF結晶の構造・結晶サイズ・結晶性については、走査型電子顕微鏡(SEM)観察、X線回折(XRD)測定を用いて系統的に検討した。また、PCP/MOF結晶を形成する架橋配位子あるいは金属イオンに対して競争的に作用する(競争作用分子)を添加することで、結晶成長のより精密な制御を目指した。

- ② サイズ制御されたPCP/MOFナノ結晶の物性測定とナノサイズ・外形効果の実証

次に、作成した種々のサイズ・外形制御された PCP/MOF 結晶についてその物性評価を行った。評価方法としては、構造解析には粉末及び単結晶 X 線回折 (PXRD、SXR)、走査型電子顕微鏡 (SEM)、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用い、物性評価には熱化学分析法 (熱重量・示差熱分析: TG/DTA、示差走査熱分析: DSC) を使用した。さらに、サイズ制御された PCP/MOF ナノ結晶の本質的な物理的・化学的性質の違いを解明するため、ガス吸脱着測定や触媒反応よりサイズ・外形効果について精査した。

4. 研究成果

本研究課題で実施した研究により、以下の成果を論文としてまとめた。

- (1) PCP/MOF 結晶のナノサイズ化に伴う熱的構造相転移現象 (*Chem. Commun.*, **2022**, 58, 4588–4591)

PCP/MOF 結晶の熱物性は、通常用いる金属種と配位子の組み合わせに左右される。本研究では、熱的に安定な結晶相を示す金属イオン-イミダゾレート系 PCP/MOF 結晶 (ZIF-8、ZIF-67、MAF-6) について、結晶サイズのナノサイズ化に伴う熱物性の変化について検証した。初めに、平均結晶サイズ 20 nm ~ 2 μ m で作り分けた ZIF-8 (図 1) について、その結晶構造の熱的变化について調べた。DSC 測定の結果、平均サイズ 20 nm の ZIF-8 ナノ結晶の場合においてのみ、通常は変化が見られない温度領域で発熱ピークを捉えた (図 2 a, V)。

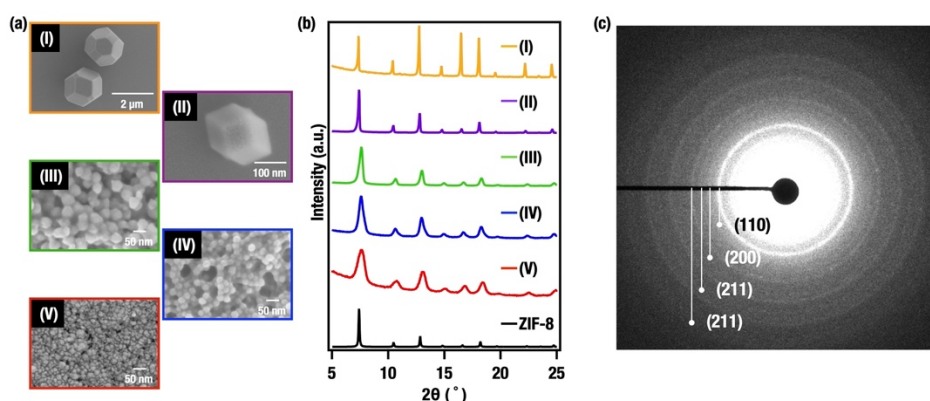


図 1. 様々な結晶サイズに作り分けた ZIF-8 結晶の (a) SEM 画像、(b) PXRD パターン、(c) 平均結晶サイズ 20 nm の ZIF-8 ナノ結晶の低線量照射電子線回折図形

DSC 測定の昇温過程後の急冷サンプルについて、再度 PXRD により結晶構造を確認したところ、発熱ピークが見られたサンプルのみ、その結晶構造は明確に異なる構造へと転移していることを明らかにした (図 2 b, V)。同じ ZIF-8 ナノ結晶サンプルについて、昇温速度のみを変更した系統的な DSC 分析を行ったところ、結晶相転移ピークは昇温速度に応じて高温シフトする様子が確認できた。確認されたピーク温度 (T_p) のシフトより、Kissinger プロットを用いて結晶相転移の活性化エネルギーを決定した (図 2c)。同様の熱的結晶相転移は、類似した PCP/MOF 結晶である ZIF-67、MAF-6 のナノ結晶においても観測された。系統的な DSC 分析の結果、ZIF-8 ナノ結晶の場合と同様に DSC ピークの昇温速度依存性より、ZIF-67、MAF-6 ナノ結晶の結晶相転移の活性化エネルギーを決定した (図 2c)。一連の結果より、熱的に安定な結晶相と考えられてきた PCP/MOF ナノ結晶において前例のない熱的結晶相転移を見出し、その熱力学的パラメータより構造転移メカニズムを明らかにした。

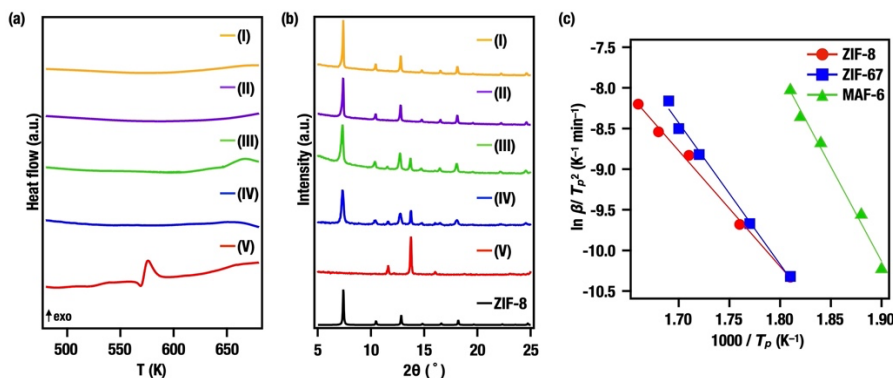


図 2. 様々な結晶サイズに作り分けた ZIF-8 結晶の (a) DSC 昇温プロファイル、(b) DSC 昇温スキャン後の PXRD 回折パターン、(c) Kissinger プロット

(2) PCP/MOF ナノ結晶内に閉じ込められた有機色素の高効率な蛍光発光と蛍光共鳴エネルギー移動
(*Mater. Adv.*, **2022**, 3, 2011–2017)

固体状態での発光効率の向上、励起エネルギー移動過程の制御は発光性有機材料の開発において重要な課題である。本研究では、ナノサイズ化された PCP/MOF 結晶をホストとする有機色素包接結晶において、ナノ結晶の内外で起こる蛍光発光効率および共鳴エネルギー移動効率に与える結晶サイズ効果を検証した。平均サイズ 20 nm 以下でナノ結晶化された ZIF-8 をホストとし、1-アニリノナフタレン-8-スルホン酸 (ANS) を発光色素として包接したナノ結晶を作成した。ANS 包接 ZIF-8 ナノ結晶の構造は SEM 観察、PXRD パターンより確認し、色素包接による結晶性の低下などは見られなかった (図 3a,b)。包接された有機色素の固体蛍光発光を検証したところ、ナノ結晶内に包接された色素は溶液状態と同程度の強い蛍光発光を示すことを見出した (図 3c)。

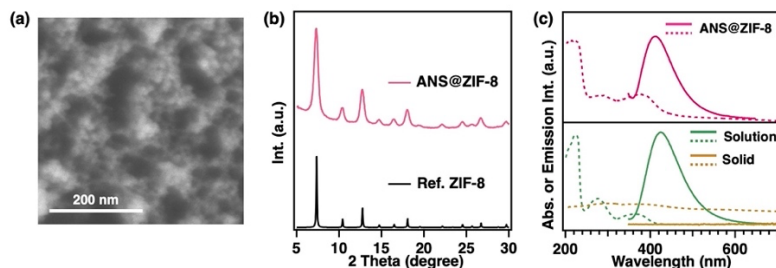


図 3. ANS 包接 ZIF-8 結晶 (ANS@ZIF-8) の(a)SEM 画像、(b)PXRD パターン、(c) 固体発光スペクトル

結晶内に異なる濃度で色素を包接した際には、発光量子収率に顕著な差が見られた。このことは、狭いナノ結晶内部に閉じ込められた色素間でも高濃度溶液において見られる濃度消光の影響が現れていることを示している (図 4a,b)。また、同程度に低濃度で色素を包接した結晶においても約 10 倍の結晶サイズ (平均結晶サイズ: 130 nm) を有する色素包接結晶の場合では、その発光量子収率は著しく低下したことから、ホストとなる PCP/MOF 結晶の結晶サイズが発光効率に大きな影響を与えていることが示された (図 4c)。また、ナノ結晶内に包接された色素と結晶表面に吸着された色素との間の励起エネルギー移動においても、ホストとなる PCP/MOF 結晶のサイズが強く影響することも明らかにした。

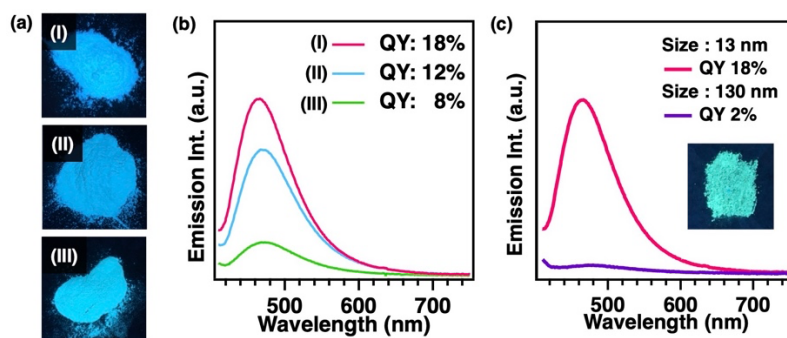


図 4. 異なる色素濃度で作成した ANS 包接 ZIF-8 結晶 (ANS@ZIF-8) の(a)UV 照射下の固体発光の様子、(b) 固体発光スペクトル、(c) 異なる結晶サイズで作成した ANS 包接 ZIF-8 結晶の固体発光スペクトル

(3) PCP/MOF 結晶の配位歪みに起因する配位子置換反応 (*CrystEngComm*, **2022**, 24, 1690–1694)

PCP/MOF 結晶内の配位ネットワークの安定性は、金属-配位子間の配位環境によって大きく変わる。本研究では、オルトフタル酸配位子と亜鉛イオンにより形成される PCP/MOF 結晶の内部には歪んだ配位構造が存在する点に着目し、過渡的な結晶構造の変化を追跡した (図 5)。その結果、異なる配位子を含む溶液に結晶を浸すだけで、配位子置換反応に伴って結晶構造が様々に変化することを見出した。構造変化前後の PXRD パターンの時間変化及び SXRD 構造解析の結果、オルトフタレート形成する歪んだ配位構造が、配位子置換反応の過程で特定部分の配位結合の組換えを促していることを明らかにした。

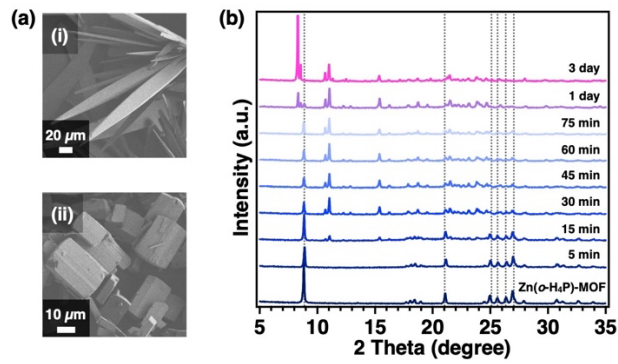


図5. 亜鉛-オルトフタレート PCP/MOF 結晶の(a)SEM 画像 (i: 配位子置換前、ii: 配位子置換後)、(b) 配位子置換反応に伴う PXRD パターンの経時変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kaneshige Takaya, Sakamoto Hikaru, Ohtani Masataka	4. 巻 58
2. 論文標題 Thermal crystal phase transition in zeolitic imidazolate frameworks induced by nanosizing the crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4588 ~ 4591
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC00486K	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 Sakamoto Hikaru, Ito Akitaka, Ohtani Masataka	4. 巻 3
2. 論文標題 Impact of nanosizing a host matrix based on a metal-organic framework on solid-state fluorescence emission and energy transfer	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 2011 ~ 2017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1MA01056E	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 Sakamoto Hikaru, Ito Akitaka, Ohtani Masataka	4. 巻 24
2. 論文標題 Unusual ligand substitution of a metal-organic framework with distorted metal-ligand coordination	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 1690 ~ 1694
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CE00060A	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41件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 金重 貴也、大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機構造体の結晶相転移に与える構造因子の解明
3. 学会等名 2021年日本化学会中国四国支部大会 高知大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岸大路 英佑、大谷 政孝
2. 発表標題 相転移を示す金属有機構造体の構造制御合成
3. 学会等名 2021年日本化学会中国四国支部大会 高知大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂本 ひかる、大谷 政孝
2. 発表標題 オルトフタル酸で架橋された金属有機構造体の結晶構造変化
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本 ひかる、大谷 政孝
2. 発表標題 オルトフタル酸でつなぐ準安定な金属有機結晶の配位置換反応
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金重 貴也、大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機構造体のマクロ・ミクロな構造制御により現れる熱誘起相転移挙動
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大宮 俊亮、大谷 政孝
2. 発表標題 細孔サイズ可変金属有機ナノ結晶による異性体混合物の分離
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会 島根大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎 千穂・大谷 政孝
2. 発表標題 次世代ガラス材料を目指した金属有機ナノ結晶の熱的挙動評価
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 ひかる・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機ナノ結晶をホストとした分子間光エネルギー移動効率のサイズ依存性
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸口 瑤花・大谷 政孝
2. 発表標題 多孔性結晶のナノ階層化に基づく高活性触媒材料の創製
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 埜本 真友華・大谷 政孝
2. 発表標題 水応答性を示す亜鉛-カルボン酸系金属有機構造体の結晶構造転移メカニズムの解明
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 真子・大谷 政孝
2. 発表標題 ジルコニウム系金属有機構造体の構造欠陥制御合成とガス吸着能評価
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大宮 俊亮・大谷 政孝
2. 発表標題 細孔サイズ可変金属有機ナノ結晶による物質吸着・分離
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 健史・大谷 政孝
2. 発表標題 銅系ホウ素架橋金属有機構造体の構造制御とCO ₂ 吸着能評価
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小椋 雄大・大谷 政孝
2. 発表標題 ホウ素架橋構造によるMn系金属有機構造体の配位空間の安定化
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 愛州加・丸山 みさき・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機ナノ結晶の界面構造に基づく結晶配列様式の制御
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金重 貴也・大谷 政孝
2. 発表標題 多孔性ナノ結晶から構成される次世代ガラス材料の創製
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 文香・大谷 政孝
2. 発表標題 ホウ素架橋構造を有する亜鉛系金属有機構造体の合成とCO ₂ 吸着特性
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 みさき・吉田 愛州加・大谷 政孝
2. 発表標題 サイズ・外形制御された金属有機構造体のコロイド結晶化過程の検証
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸大路 英佑・木村 恵美・中田 晋也・星原 瑠・吉田 奈々瀬・大谷 政孝
2. 発表標題 ポリオキシメタレート構造を有する多孔性結晶触媒の創製
3. 学会等名 ナノテク研シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 埜本 真友華・大谷 政孝
2. 発表標題 亜鉛-カルボン酸系金属有機構造体の結晶構造転移過程の解明
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 ひかる・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機ナノ結晶がもたらすホスト-ゲスト相互作用
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸口 瑠花・大谷 政孝
2. 発表標題 金属化合物を鋳型とした階層構造ナノ結晶の合成
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大谷 政孝
2. 発表標題 多孔性結晶のナノ構造制御合成と機能発現
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大宮 俊亮・大谷 政孝
2. 発表標題 鉄-カルボン酸系金属有機ナノ結晶の室温合成
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金重 貴也・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機構造体のナノサイズ化による物性制御
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 愛州加・丸山 みさき・大谷 政孝
2. 発表標題 亜鉛系金属有機ナノ結晶の自己組織化制御
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小椋 雄大・大谷 政孝
2. 発表標題 ホウ素架橋構造を有するマンガン系金属有機構造体
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 健史・大谷 政孝
2. 発表標題 ホウ素架橋構造を有する銅系金属有機構造体
3. 学会等名 日本化学会中四国支部徳島大会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石田 真子・大谷 政孝
2. 発表標題 ジルコニウム系金属有機ナノ結晶のガス吸着特性に対する結晶サイズと構造内欠陥の影響
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大宮 俊亮・大谷 政孝
2. 発表標題 鉄系金属有機ナノ結晶とその誘導体の新規合成法の開発
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小椋 雄大・大谷 政孝
2. 発表標題 ホウ素中心を有するイミダゾレート系配位子を用いた配位空間の安定化
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾崎 千穂・大谷 政孝
2. 発表標題 結晶多形を示す金属有機構造体の作り分けとその分子吸着特性
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤 健史・大谷 政孝
2. 発表標題 含ホウ素金属有機ナノ結晶の構造制御合成とその特性
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金重 貴也・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機ナノ結晶のメソスケール凝集形態制御
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 ひかる・大谷 政孝
2. 発表標題 金属有機構造体のナノ空間を介した光エネルギー移動
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 瀬戸口 瑶花・大谷 政孝
2. 発表標題 多孔性結晶のナノ階層化
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 埜本 真友華・大谷 政孝
2. 発表標題 亜鉛-カルボン酸系金属有機構造体の配位空間変化
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 丸山 みさき・吉田 愛州加・大谷 政孝
2. 発表標題 Zn 系金属有機ナノ結晶の配列制御:自己組織化過程の検討
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森 文香・大谷 政孝
2. 発表標題 Zn 系ホウ素架橋金属有機構造体の合成
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 愛州加・丸山 みさき・大谷 政孝
2. 発表標題 Zn 系金属有機ナノ結晶の配列制御:競争配位子の効果
3. 学会等名 高知化学シンポジウム 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大谷 政孝
2. 発表標題 多孔性ナノ結晶の構造制御と機能開拓
3. 学会等名 油化学関連シンポジウム in 高知 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大谷政孝（分担執筆）他97名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 639
3. 書名 PCP / MOFおよび各種多孔質材料の作り方，使い方，評価解析	

〔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
---------	---------