

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32661

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17907

研究課題名（和文）超微細液滴を反応場とする多孔性錯体結晶の合成と水質浄化剤としての材料設計

研究課題名（英文）Synthesis of porous coordination polymer using ultrafine droplets and its material design as a water purification agent

研究代表者

今野 大輝（Konno, Hiroki）

東邦大学・理学部・准教授

研究者番号：40825832

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：多孔性錯体結晶の金属有機構造体（Metal-Organic Frameworks, MOFs）は、近年水質浄化剤などの液相吸着分離への応用に向けて期待されている。一方で水質浄化剤として適用するためには、結晶形状や粒子径などの形態制御や、骨格を構成する配位子への官能基導入による機能制御によって、吸着速度・吸着容量・選択性を向上させることが重要となる。そこで本研究では、亜鉛-イミダゾレート錯体のZIF-8とジルコニウム-テレフタレート錯体のUiO-66に焦点を当て、それぞれの水中重金属イオンと水中有機染料に対する吸着性能を検証しながら、結晶サイズの微小化や官能基修飾の効果を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はMOFsの形態制御合成法や官能基修飾法を提案し、水質浄化剤としての応用を目指したものである。例えば界面活性剤による形態制御は常温常圧下の水溶液を合成場として利用しているため、環境負荷の小さな合成方法として期待できる。またソルボサーマル法による官能基修飾法は、基本的に配位子を各種誘導体を入れ替えるだけで合成可能なため、簡便な材料特性制御技術といえる。そのため、MOFsを社会実装する上で重要となる材料合成技術の基礎的な知見を獲得することができた。さらにMOFsの水質浄化剤としての可能性を検討した結果、各種水中汚染物質に対する吸着剤として高い性能を発揮することを明らかにできた。

研究成果の概要（英文）：Metal-Organic Frameworks (MOFs) have recently shown great promise for application in liquid-phase adsorption separation, such as water purification agents. In order to apply MOFs as water purification agents, it is important to improve the adsorption rate, adsorption capacity, and selectivity by controlling the morphology, such as crystal shape and particle size, and by controlling the function by introducing functional groups to the ligands that compose the framework. In this study, the adsorption performance of ZIF-8, a zinc-imidazolate, and UiO-66, a zirconium-terephthalate, on heavy metal ions and organic dyes in water, respectively, was examined. Furthermore, the effects of down-sizing of crystal and functional group modification were clarified.

研究分野：化学工学

キーワード：水質浄化 吸着除去 金属有機構造体 粒径制御 官能基修飾 MOFs ZIF-8 UiO-66

1. 研究開始当初の背景

金属と有機配位子の配位結合によって構成される多孔性錯体結晶の金属有機構造体 (Metal-Organic Frameworks, MOFs, Fig. 1) は、従来のマイクロ細孔材料に比べて分子オーダーで細孔構造を制御可能で様々な物理化学的特性をコントロールできることから、次世代の分子分離材料として大きな注目を集めている^{1,2)}。この MOFs は多くの骨格構造や種類が報告されているが、中でもイミダゾレート錯体の ZIFs や MAFs、テレフタレート錯体の UiOs や MILs は、高い比表面積や熱的・化学的安定性を有することから、学术界だけではなく産業界からも高い期待が寄せられている。これまでに MOFs は高度な分子分離特性を生かした気体分離材料や気体貯蔵材料として注目されてきたが、近年は水質浄化への適用を目指した液相吸着分離に関する報告例も増加している。一方でこれらの水質浄化性能を顕在化させるためには、結晶形状や粒子径などの結晶形態を制御することが求められる。また骨格を構成する配位子に特定の官能基を導入することで吸着速度や吸着容量の向上が期待できる。しかしながら MOFs を活用した水質浄化プロセスの研究は歴史が浅いだけでなく、産業応用の例が極めて少ないため、設計指針に関しては未知な部分も多い。さらには MOFs の合成方法においては、将来的な大規模生産や低コスト利用を想定して、簡易的な結晶形態の制御法や再生利用に関する手法を確立する必要がある。

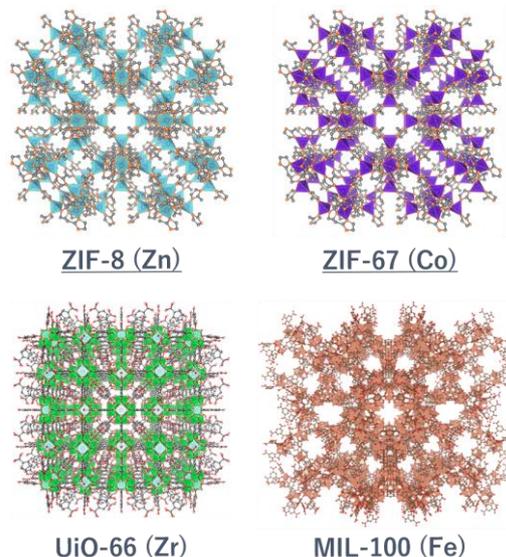


Fig. 1 本研究で対象とした MOFs の一例

2. 研究の目的

水質浄化向け吸着剤を想定して、イミダゾレート系 MOFs とテレフタレート系 MOFs が示す吸着性能を検証した。また吸着速度や吸着容量などの性能向上を目的とし、結晶サイズの微小化と官能基修飾による特性制御を実施した。様々な骨格の MOFs を対象に技術開発を推進してきたが、本研究においては、特に亜鉛-イミダゾレート錯体の ZIF-8 (Zeolitic Imidazolate Framework 8) とジルコニウム-テレフタレート錯体の UiO-66 (Universitetet i Oslo 66) に焦点を当てて検証してきたため、それぞれの水中重金属イオンと水中有機染料に対する吸着性能の検証結果を述べる。

3. 研究の方法

結晶サイズの異なる ZIF-8 の合成

結晶サイズが大小異なる ZIF-8 の合成については、常温常圧下の水溶液合成によって実施した。特に結晶サイズの小さな ZIF-8 については、非イオン性界面活性剤を用いた界面活性剤添加法によって合成した³⁾。金属イオンには硝酸亜鉛六水和物、有機配位子には 2-メチルイミダゾール、界面活性剤にはポリオキシエチレン (20) オレイルエーテル、そして合成溶媒には超純水を用いた。今回の合成溶液の物質質量比は 1:40:0.01:2200 とした。手順は、室温下の 2-メチルイミダゾール水溶液中に硝酸亜鉛水溶液をゆっくり滴下することで ZIF-8 結晶を生成させた。得られた結晶はエタノールを用い

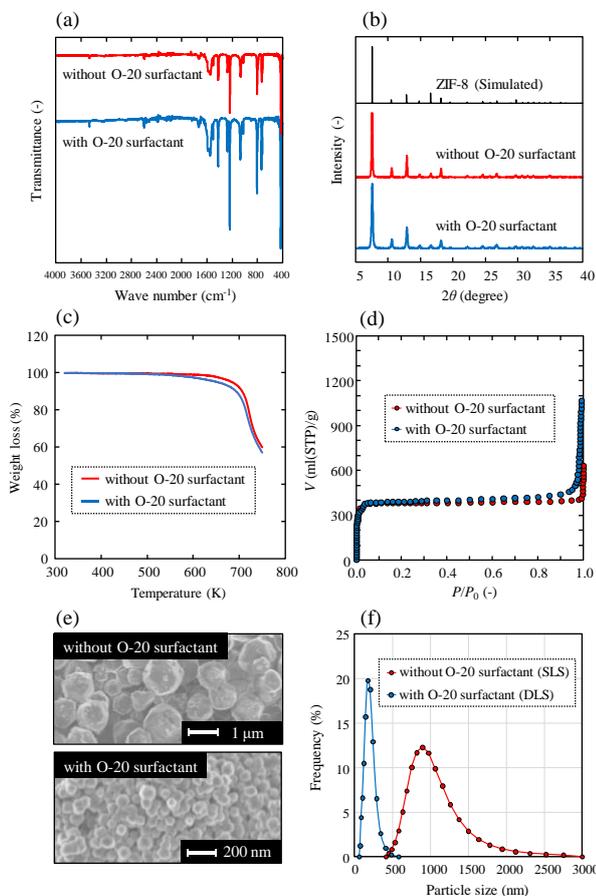


Fig. 2 本研究で合成した ZIF-8. (a) FT-IR スペクトル, (b) X 線回折パターン, (c) TG 曲線, (d) N₂ 吸着等温線, (e) SEM 画像, (f) 粒度分布.

た洗浄を3度繰り返した後、100°Cの真空下で前処理を行い、各種物理化学特性を評価した後に、水中重金属イオンに対する浄化実験に使用した。

官能基修飾型 UiO-66 の合成

UiO-66 および官能基修飾型 UiO-66 の合成は、塩酸を添加した *N,N*-ジメチルホルムアミド (DMF) を合成溶媒に用いたソルボサーマル法によって実施した⁴⁾。金属イオンには塩化ジルコニウム、有機配位子にはテレフタル酸およびその誘導体(今回は2-アミノテレフタル酸と2-スルホテレフタル酸)、合成溶媒には DMF と結晶生成を促進させるために塩酸を添加剤として使用した。今回の合成溶液の物質比はそれぞれ 1:1:438:67:110 とした。合成手順は、別に調製した塩化ジルコニウム溶液とテレフタル酸溶液を超音波処理後に混合させた後、80°C で所定の時間静置させることで結晶を生成させた。得られた UiO-66 結晶は DMF やエタノールを用いた洗浄を3度繰り返した後、100°Cの真空下で前処理を行い、各種物理化学特性を評価した後に、水中有機染料に対する吸着実験に使用した。

ZIF-8 を用いた重金属吸着実験

水中重金属に対する吸着実験は、恒温振とう機を用いて実施した。溶液温度 $T = 25^\circ\text{C}$ で振とうされた状態の遠沈管中の重金属イオン (鉛イオン or 銅イオン) を含む水溶液に、吸着剤として結晶サイズの異なる ZIF-8 を投入し、所定時間吸着させることで、その濃度変化を確認した。このとき水溶液中重金属イオン濃度と吸着剤の重金属イオン吸着量は、原子吸光分光光度計 (AA-7000, 島津製作所) を用いて測定した。

UiO-66 を用いた有機染料吸着実験

水中有機染料に対する吸着実験は、恒温振とう機を用いて実施した。溶液温度 $T = 25^\circ\text{C}$ で振とうされた状態の遠沈管中の有機染料 (メチレンブルー、メチルオレンジ、ローダミン B、アシッドレッド 52) を含む水溶液に、吸着剤として UiO-66 およびその派生体を投入し、所定時間吸着させることで、その濃度減少量を確認した。このとき水溶液中の有機染料濃度は、紫外可視分光光度計 (V730-ST, 日本分光) を用いて測定した。

4. 研究成果

結晶サイズの大小異なる ZIF-8 の合成と重金属イオン吸着特性評価 (A. Tanihara *et al.*, *Inorganic Chemistry Communications* 2021)

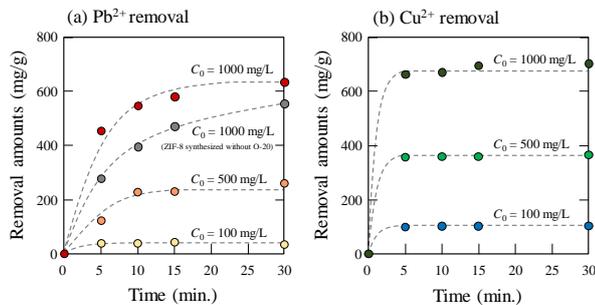


Fig. 3 ZIF-8 による水中重金属吸着実験。

(a) 鉛イオン, (b) 銅イオン。

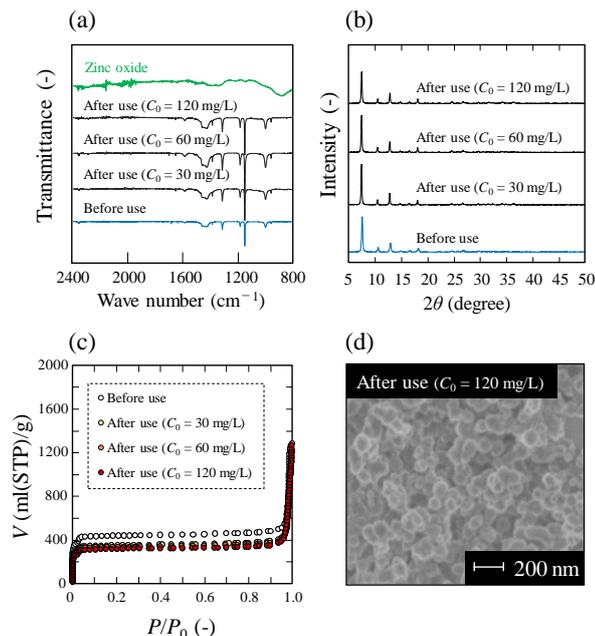


Fig. 4 鉛吸着後の ZIF-8. (a) FT-IR スペクトル, (b) X線回折パターン, (c) N_2 吸着等温線, (d) SEM 画像。

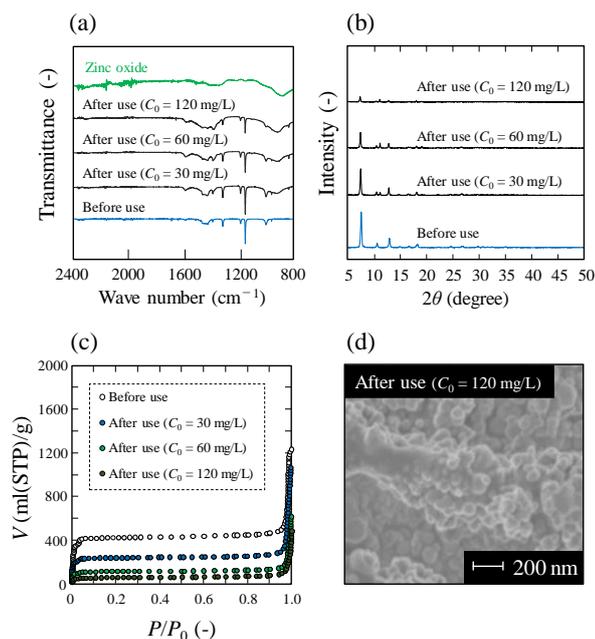


Fig. 5 銅吸着後の ZIF-8. (a) FT-IR スペクトル, (b) X線回折パターン, (c) N_2 吸着等温線, (d) SEM 画像。

合成した結晶サイズの異なる ZIF-8 の特性評価結果を Fig. 2 に示す。FT-IR スペクトルについては例えば 422cm^{-1} (Zn-N の伸縮振動), 995cm^{-1} と 1146cm^{-1} (2-メチルイミダゾール内の C-N の伸縮振動), 1584cm^{-1} (2-メチルイミダゾール内の C=N の伸縮振動), そして 2929cm^{-1} と 3136cm^{-1} (2-メチルイミダゾール内の芳香環と直鎖炭化水素の C-H の伸縮振動) といった ZIF-8 の構造に起因するピークが確認できた。また XRD の結果から ZIF-8 に起因する回折パターンを示していることが確認でき、TG 曲線や N_2 吸着等温線からも、高結晶性の ZIF-8 が得られていることが確認できた。さらに SEM による形態観察とレーザー回折による粒度分布の結果からそれぞれ異なる粒子径の結晶が得られていることが確認できた。本研究では界面活性剤を添加することによってナノ粒子化しているが、これは合成溶液中で形成されたミセルの内部において 2-メチルイミダゾールが高濃度状態となり、結晶成長よりも核発生が支配的だったためと考えられる。

Fig. 3 に ZIF-8 による水中鉛イオンと銅イオンの吸着挙動を示す。水中からの各種重金属イオンの除去挙動は ZIF-8 の投入量と重金属イオン量に依存するが、概ね妥当な数値が得られた。また鉛イオンの場合、サイズの小さい ZIF-8 の方がサイズの大きい ZIF-8 よりも速やかに平衡濃度に達した。これは、細孔内の拡散長が短くなり、結晶サイズが小さくなったことで単位重量あたりの細孔入り口の数が多くなり、効率向上に寄与したためである。また鉛と銅のイオン半径はともに ZIF-8 のマイクロ孔よりも小さいにもかかわらず、銅イオンの除去速度は鉛イオンの除去速度よりも速かった。このことは、拡散抵抗の影響を受けていないと結論付けられ、すなわち吸着ではなく ZIF-8 の骨格を破壊するイオン交換が関与していることを示唆している。この仮説を証明するために、除去実験後の ZIF-8 を解析した結果を Fig. 4 と 5 に示す。FT-IR スペクトルにおいて、銅イオン除去後には酸化亜鉛に起因するピークが現れたが、鉛イオン除去後には現れなかったことから、ZIF-8 の骨格が銅イオンによって破壊されたことが示唆される。これらに対応する X 線回折パターンと N_2 吸着等温線がこの結果を裏付けている。鉛イオンを除去した後は XRD パターンと窒素吸着等温線はほぼ維持された一方で、銅イオンを除去した後は、初期濃度に応じて小さくなることが確認された。さらに FE-SEM の観察結果において、鉛イオンを除去しても ZIF-8 の結晶形態に大きな変化は見られなかったが、銅イオンを除去した後は ZIF-8 結晶の融解と凝集が生じていることが観察された。これらの結果から、ZIF-8 による鉛イオンと銅イオンの除去は異なるメカニズムで進行する

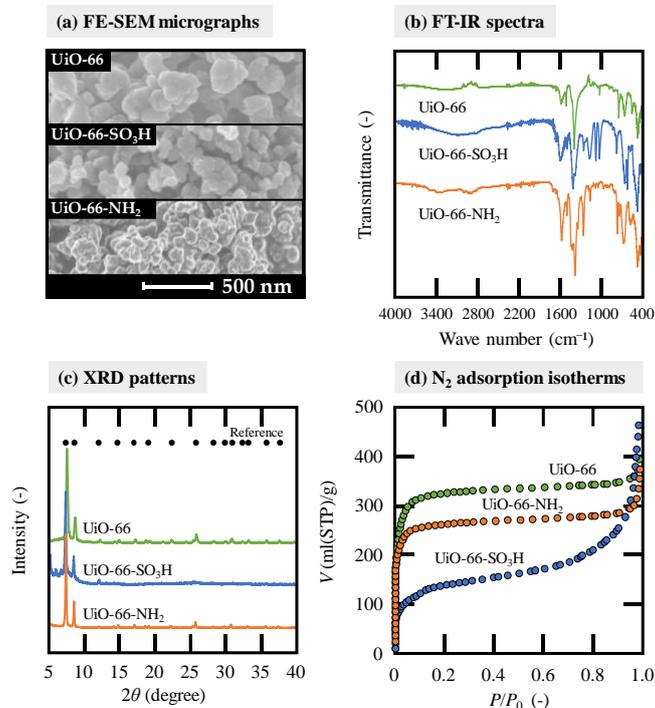


Fig. 6 合成した UiO-66. (a) SEM 画像, (b) FT-IR スペクトル, (c) X 線回折パターン, (d) N_2 吸着等温線.

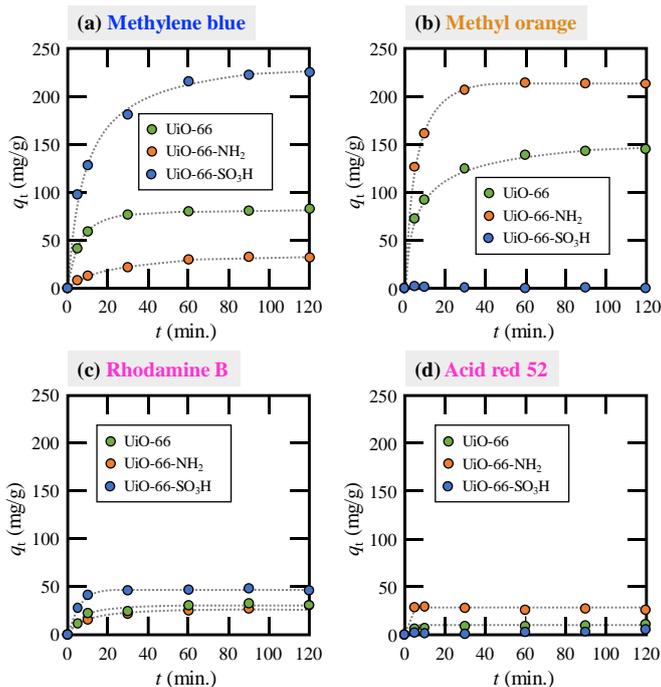


Fig. 7 UiO-66 の吸着挙動. (a) メチレンブルー, (b) メチルオレンジ, (c) ローダミン B, (d) アシッドレッド 52.

ことが示唆された。つまり鉛イオンの除去には ZIF-8 骨格が維持される吸着が主要なプロセスであり、銅イオンの場合イミダゾールと錯体を形成しやすいため、ZIF-8 骨格中の亜鉛イオンとのイオン交換が生じていることが明らかとなった。

官能基修飾 UiO-66 の合成と水中有機染料に対する吸着特性評価

(H. Konno *et al.*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 2022)

合成した UiO-66、スルホ基を修飾させた UiO-66 (UiO-66-SO₃H)、アミノ基を修飾させた UiO-66 (UiO-66-SO₃H) の特性評価結果を Fig. 6 に示す。FT-IR スペクトル、X 線回折パターン、N₂ 吸着等温線の結果から、高結晶性の UiO-66、UiO-66-SO₃H、UiO-66-NH₂ が得られたことが確認できたため、これらを水中有機染料吸着実験に使用した。水中有機染料に対する UiO-66、UiO-66-SO₃H、UiO-66-NH₂ の吸着量経時変化を Fig. 7 に示す。官能基修飾の有無に依らず、UiO-66 は分子サイズの大きなローダミン B とアシッドレッド 52 には吸着作用をほとんど示さず、分子サイズの小さなメチレンブルーとメチルオレンジには十分な吸着作用を示す結果となった。また UiO-66 にスルホ基を修飾させた場合はメチレンブルーに対する吸着容量が、アミノ基を修飾させた場合はメチルオレンジに対する吸着容量が向上する結果となった。これは UiO-66 がスルホ基修飾によって負に帯電し、アミノ基修飾によって正に帯電すること

ことで、カチオン性のメチレンブルーとアニオン性のメチルオレンジとの相互作用がそれぞれ強まり、結果として吸着作用が高まるためである。逆にスルホ基修飾によってメチルオレンジに対する吸着容量が、アミノ基修飾によってメチレンブルーに対する吸着容量が低下しているが、これは静電的に反発し合うためである。そして官能基修飾の有無によって吸着速度に大きな違いは見られず、いずれも短時間で吸着平衡に達する結果となった。これは修飾した官能基が細孔内拡散を阻害していないことを示唆しており、官能基修飾で吸着速度は低下しないことが明らかとなった。さらに吸着機構を明らかにするため、吸着等温線を解析したところ、どちらも均一表面への単分子層吸着を仮定した Langmuir 吸着モデルに適合する結果となった (Fig. 8)。マイクロ細孔材料における吸着現象が Langmuir モデルに適合する場合、細孔内での吸着が進行していると判断できることから、UiO-66 の規則的な細孔空間が吸着場として活用できていることが明らかとなった。一方でこれらの官能基を修飾させた UiO-66 は、吸着剤として使用した後の再生方法の最適化には至っていない (Fig. 9)。今後の産業応用に向けて、引き続き繰り返し利用可能な吸着剤の設計および再生方法の確立を目指して検討を続けていく。

<参考文献>

- 1) S. Kitagawa, R. Kitaura, S. Noro, *Angew. Chemie Int. Ed.* 2004, 43, 2334–2375
- 2) O. M. Yaghi, M. O’Keeffe, N. W. Ockwig, H. Chae, M. Eddaoudi, J. Kim, *Nature* 2003, 423, 705–714
- 3) H. Konno, Y. Nakasaka, K. Yasuda, M. Omata, T. Masuda, *Catal. Today* 2020, 352, 220–226
- 4) M. Endoh, H. Konno, *Chem. Lett.* 2021, 50, 1592–1596

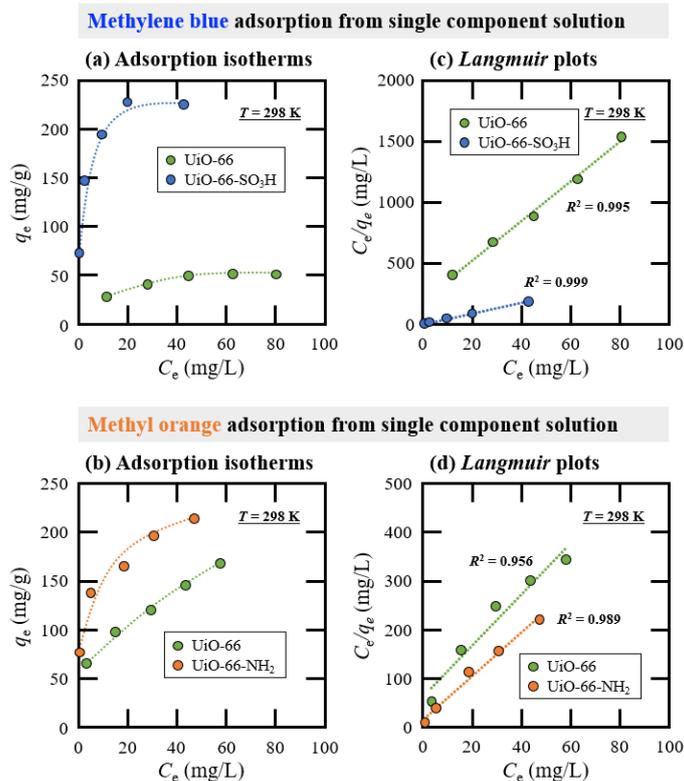


Fig. 8 吸着等温線と Langmuir プロット

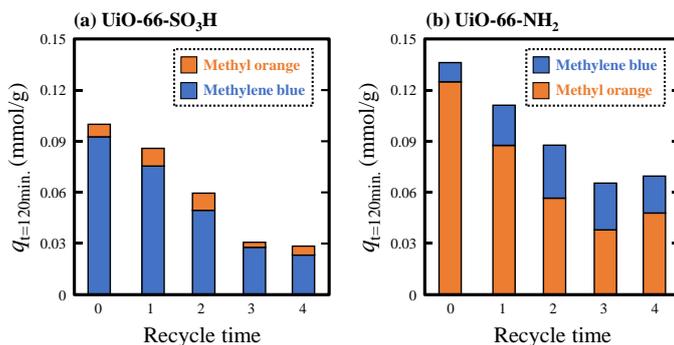


Fig. 9 二成分系水溶液に対する繰り返し利用耐性

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 0件）

1. 著者名 Konno Hiroki, Tsukada Ayu	4. 巻 651
2. 論文標題 Size- and ion-selective adsorption of organic dyes from aqueous solutions using functionalized UiO-66 frameworks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 129749 ~ 129749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2022.129749	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 Tanihara Ayane, Kikuchi Kouhei, Konno Hiroki	4. 巻 131
2. 論文標題 Insight into the mechanism of heavy metal removal from water by monodisperse ZIF-8 fine particles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry Communications	6. 最初と最後の頁 108782 ~ 108782
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.inoche.2021.108782	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 Endoh Misaki, Konno Hiroki	4. 巻 50
2. 論文標題 Amino-functionalized UiO-66 as a Novel Adsorbent for Removal of Perfluorooctane Sulfonate from Aqueous Solution	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1592 ~ 1596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210233	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32件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩谷 伸太郎、綱島 倅子、今野 大輝
2. 発表標題 廃棄物溶融炉スラグを出発原料とする新規多孔性吸着剤の合成
3. 学会等名 資源・素材2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 宏基、岩谷 伸太郎、今野 大輝
2. 発表標題 PETボトルを出発原料とする多孔性錯体結晶の合成と水質浄化性能評価
3. 学会等名 資源・素材2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷原 彩音、今野 大輝
2. 発表標題 多孔性錯体結晶を用いた酸性重金属汚染水に対する新規浄化技術の開発
3. 学会等名 資源・素材2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花香 有祐、小川 三雛、今野 大輝
2. 発表標題 MOFs 由来ポラスカーボンの合成と水質浄化剤としての吸着特性評価
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川 三雛、花香 有祐、今野 大輝
2. 発表標題 ZIF-8由来ポラスカーボンを用いた水中テトラサイクリン吸着除去の検討
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷原 彩音、今野 大輝
2. 発表標題 水中重金属イオン除去に向けたZIF-8の吸着特性と繊維担持効果の検証
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田 彩友、今野 大輝
2. 発表標題 水中イオン性化合物の選択吸着に向けたUiO-66結晶の官能基修飾
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷 伸太郎・佐藤 宏基・今野 大輝
2. 発表標題 PET由来UiO-66の合成と水中オキシベンゾン吸着剤としての応用
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 宏基、岩谷 伸太郎、今野 大輝
2. 発表標題 水中汚染物質の浄化に向けたPET由来MIL-53(AI)結晶の適用検討
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花香 有祐、今野 大輝
2. 発表標題 ZIF-8由来ポラスカーボンの水質浄化特性に及ぼす粒子径と焼成温度の影響
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川 三雛、花香 有祐、今野 大輝
2. 発表標題 水中テトラサイクリン吸着除去に向けたMOFs由来ポラスカーボンの適用検討
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塚田 彩友、今野 大輝
2. 発表標題 UiO-66結晶がもつ水質浄化性能の評価と官能基修飾の効果
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷原 彩音、今野 大輝
2. 発表標題 ZIF-8を用いた重金属汚染水に対する新規浄化技術の提案
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉 大生、今野 大輝
2. 発表標題 MOFs結晶のVOC吸着特性に与える粒子径と細孔構造の影響
3. 学会等名 CSJ化学フェスタ2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉 大生、今野 大輝
2. 発表標題 イミダゾレート錯体結晶の炭化水素吸着における速度解析
3. 学会等名 化学工学会 新潟大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花香 有祐、今野 大輝
2. 発表標題 Zn系MOFsを出発原料とする多孔性炭素材料の合成と評価
3. 学会等名 化学工学会 新潟大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 宏基、今野 大輝
2. 発表標題 PETを出発原料とするMIL-53(Al)の合成とその液相吸着特性
3. 学会等名 化学工学会 新潟大会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 立石 新、今野 大輝
2. 発表標題 水質浄化剤を指向した使い捨てカイロを出発原料とする新規多孔性材料の合成
3. 学会等名 廃棄物資源循環学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷 伸太郎、今野 大輝
2. 発表標題 使用済みPETを出発原料とする多孔性材料の合成と水質浄化剤への応用
3. 学会等名 廃棄物資源循環学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小泉 大生、今野 大輝
2. 発表標題 細孔構造の異なるイミダゾレート錯体におけるガソリンペーパー吸着特性
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花香 有祐、今野 大輝
2. 発表標題 水中PFOS吸着性能の高度化に向けたMOFsの材料設計指針
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷原 彩音, 菊地紘平, 今野 大輝
2. 発表標題 休廃止鉱山由来汚染水の浄化に向けたZIF-8の適用可能性
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤宏基, 今野大輝
2. 発表標題 使用済PETボトルを出発原料とするMIL-53(AI)の合成とその水質浄化性能
3. 学会等名 第32回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 花香有祐, 遠藤海咲, 今野大輝
2. 発表標題 水環境中に排出されたPFOSの吸着回収に向けたMOFs結晶の適用検討
3. 学会等名 第32回廃棄物資源循環学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤宏基, 今野大輝
2. 発表標題 使用済PETボトルのMIL-53(AI)へのワンポット変換と水中フェノール吸着特性評価
3. 学会等名 第51回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷原彩音, 菊地紘平, 今野大輝
2. 発表標題 ZIF-8を用いた休廃止鉱山由来汚染水の浄化検討とメカニズムの考察
3. 学会等名 第51回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小泉大生, 今野大輝
2. 発表標題 イミダゾレート錯体のガソリンペーパー吸着特性に与える細孔構造の影響
3. 学会等名 第51回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤宏基, 今野大輝
2. 発表標題 使用済みPETボトルを出発原料とする水質浄化用多孔質吸着剤の開発
3. 学会等名 廃棄物資源循環学会関東支部 令和3年度研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 綱島 倅子, 今野 大輝
2. 発表標題 廃棄物溶融スラグを出発原料とする新規多孔質吸着剤の合成
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩谷 伸太郎, 佐藤 宏基, 今野 大輝
2. 発表標題 アセトンを反応場とするPETボトル由来UiO-66の一段階合成
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花香有祐, 今野大輝
2. 発表標題 ZIF-8由来ポラスカーボンの合成とスルファメトキサゾール吸着への応用
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 宏基, 岩谷 伸太郎, 今野 大輝
2. 発表標題 PETボトル由来MIL-53(AI)結晶を用いた水中メトロニダゾール吸着除去
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 今野 大輝, 塚田 彩友	4. 発行年 2023年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 336
3. 書名 脱炭素と環境浄化に向けた吸着剤・吸着技術の最新動向 第17章「官能基修飾UiO-66結晶がもつ水質浄化剤としての吸着作用」	

〔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
---------	---------