

令和 6 年 9 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01981

研究課題名（和文）多孔性錯体による高分子認識と高分子インプリント技術の開発

研究課題名（英文）Development of Polymer Recognition and Imprinting Technology by Metal-Organic Frameworks

研究代表者

細野 暢彦（Hosono, Nobuhiko）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・准教授

研究者番号：00612160

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、分子が規則的に配列したナノ細孔を有する多孔性錯体結晶（Metal-Organic Framework: MOF）を利用し、従来の技術では難しかった高分子化合物の構造認識を達成し、その原理に基づいた革新的高分子分離・分析技術の開発を目指した。MOFの細孔内へ高分子が吸着するメカニズムの解明に成功し、更にはMOF細孔内の規則的分子配列により、高分子のモノマー配列の認識が可能であることを実証した。また、本研究を通して知見が蓄積され、様々な高分子をMOFへ吸着させることが可能になった。これらの成果は、新しい高分子分離技術の開発に繋がるだけでなく、新しい材料創製にも貢献するものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高分子化合物の効率的かつ精密に分離し精製する技術は、持続可能性を追求する今後の我々の社会生活に必要な基礎技術となる。しかしこれまで、高分子構造（モノマー配列、立体規則性、末端構造等）のわずかな違いを厳密に認識し、その認識情報をもとに高分子を識別して分離する手法はなかった。本研究により我々は、MOFのナノ細孔を利用することで高分子構造の精密な認識が可能であることを見出した。本発見により、従来の方法では不可能であった高分子のモノマー配列の認識にも成功した。これらの成果は、将来的に様々な高分子の混合物から特定の構造を持った高分子のみを分離することのできる次世代の高分子精製技術の誕生に繋がる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop an innovative polymer separation and analysis technology utilizing metal-organic frameworks (MOFs). MOFs are porous coordination crystals possessing nanopores where molecular components arrange regularly. The mechanism of polymer adsorption into MOF nanopores was successfully elucidated. Building on this achievement, we demonstrated that the ability of MOFs to recognize the monomer sequence of polymers, in which the specific molecular arrangement in the MOF nanopores plays a key role. Through this study, we accumulated technical know-how and found essences enabling the adsorption of various polymers in various MOFs. These outcomes not only advance new polymer separation techniques but also foster the creation of novel materials.

研究分野：高分子化学

キーワード：高分子 多孔性金属錯体 多孔性配位高分子 分子認識 分離 精製

1. 研究開始当初の背景

高分子化合物は低分子化合物とは異なり、高分子鎖全体に渡り完全に分子構造を制御することは極めて難しい。結果的に多くの高分子は、分子量だけでなく組成、モノマー配列、形状、末端基構造や立体規則性等について、その構造的長長の多くが完全に制御されないまま、混合物として用いられているのが現状であった (図1)。

一方、最近ではあらゆる製品の材料となる高分子化合物にも高性能化・高機能化が要求され、モノマー配列や末端構造等が高度に制御された構造的乱れの極めて少ない精密高分子の合成が課題となっている。精密重合法や反応制御法を駆使することで、ある一定の精度で目的の高分子を得ることは可能となってきたが、あらゆる高分子に適用できる原理はこれまでになく、この課題達成のためには全く新しいアプローチが求められる。

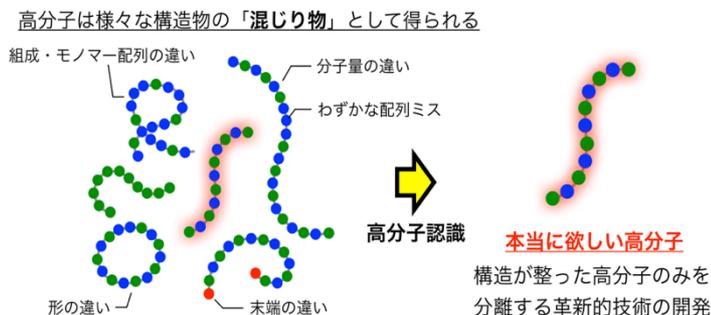


図1. 本研究で提案するコンセプト：高分子認識技術

現在、高分子が持つ構造 (モノマー配列、立体規則性、末端構造等) のわずかな違いを厳密に認識し、その認識情報をもとに高分子を識別して分離する手法はない。本研究では、従来の精密高分子重合というボトムアップ的な合成アプローチとは異なり、多種多様な構造を持つ高分子の混合物から欲しい構造の高分子のみを認識し、精密に分離する技術の開発を行う (図1)。本技術により、様々な機能性高分子の合成だけでなく高純度化や精密構造分析等も可能となり、昨今の高分子合成化学に要求されていた課題が一挙に解決できる。もし、雑多な高分子の混合物から特定の構造を持った高分子のみを分離する技術が実現できれば、従来の高分子化学に大きなパラダイム・シフトが起こると期待される。

2. 研究の目的

本研究では、分子が規則的に配列したナノ細孔を有する多孔性錯体結晶 (Metal-Organic Framework: MOF) を認識場として利用することで従来の技術では難しかった高分子化合物の精密な構造認識を実現させ、革新的高分子分離・分析技術の開発へと繋げることを目的とした。具体的には、MOF 細孔へ高分子を選択的に包接させる手法の開発とメカニズム解明、その原理に基づいたカラムクロマトグラフィー分離法の開発、さらに MOF を用いた高分子のモノマー配列情報の認識および構造情報の MOF への刷り込み (インプリント) の可能性について検討した。

MOF は、金属イオンと有機配位子の錯形成によって構築される多孔性結晶材料である。MOF は内部に周期的な分子配列と細孔 (空間) を有しており、その細孔サイズは配位子や金属イオンの選択により数 Å から数 nm の範囲で自在に設計が可能である (図2)。本研究では、この MOF の長を高分子の認識へ利用する。合目的的に構造を設計した MOF へ高分子を導入することで、高分子一本一本の構造のわずかな違いを精密に認識させ、モノマー配列やモノマー組成といった一次構造の識別や、分岐の識別、折りたたみ構造などの高次構造の識別についても実現可能性を検討した。

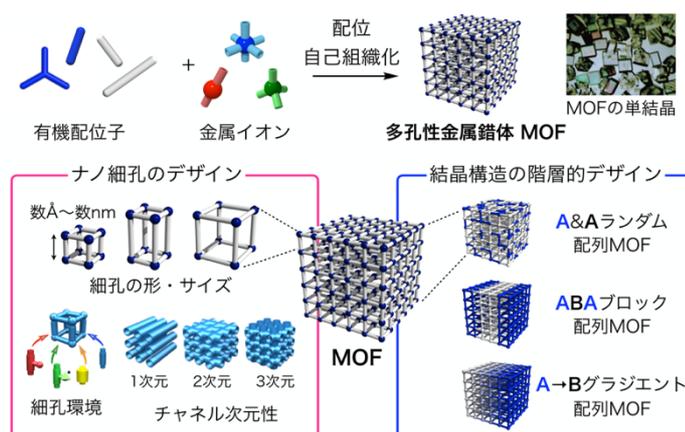


図2. MOF の合成と高い構造デザイン性

3. 研究の方法

高分子は紐状の構造を持つ巨大分子であり、溶液中では糸まり状 (コイル状) にもつれた構造をとる。そのため、その分子構造のわずかな違いを外側から認識することは極めて困難である。本研究では、MOF のナノサイズの細孔内に高分子を一本鎖単位で捕捉し、精緻な構造認識の達成を企図した。その計画的な実現には、高分子を MOF の細孔へ導入する手法およびメカニズムの徹底的な理解も必須である。本研究では以下に示す項目に重点をおいて研究を遂行した。

1. MOF への高分子包接メカニズムの解明
2. 高分子分離技術としての MOF カラムクロマトグラフィーの開発
3. モノマー配列の認識および高分子構造の MOF へのインプリントに関する検討

4. 研究成果

上記のそれぞれの研究項目において顕著な成果を得ることができた。また、MOF への高分子包接現象に関する知見を利用した新材料の創製にも成功し、将来的に分離精製技術だけではなく高分子材料設計への応用にも繋がる興味深い進展があった。代表的な成果について以下に概説する。

4.1 MOF への高分子包接メカニズムの解明

MOF のサブナノサイズの細孔へ高分子鎖が溶液中から自発的に浸入し吸着されるという現象を発見し、そのメカニズムの一端の解明に成功した。これまでの高分子吸着に関する理解は、専ら物質の最表面 (open surface) に対する吸着挙動についてのみであったが、高分子が自らの流体力学的直径よりも遥かに小さい細孔にも末端から浸入するという全く新しい吸着メカニズムを明らかにした。本成果は、*Chemical Science* 誌の裏表紙としてハイライトされた (図 3)。

また、MOF への高分子包接原理を利用した新しいクロマトグラフィーの原理実証にも成功し、その高いポテンシャルを示した。MOF 粒子をクロマトグラフィーの固定相として利用することで、容易に MOF への高分子包接現象を利用した高分子分離が可能となる。また、MOF を充填したカラム (MOF カラム) を用いて高分子を分析することで、その保持時間の温度依存性から自由エネルギー変化等を定量的に評価できることを見出した。これにより MOF への高分子吸着エンタルピーやエントロピー、自由エネルギーの変化等を見積もることができるようになり、本研究を大きく加速させる成果となった。

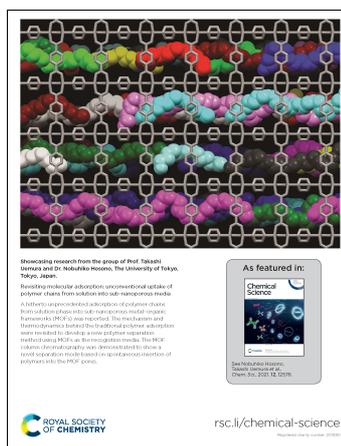


図 3. Back Cover に採用

4.2 高分子分離技術としての MOF カラムクロマトグラフィーの開発

MOF カラムクロマトグラフィーでは MOF が持つ高い構造設計性を活かして機能や分離選択性を柔軟かつ精密に設計できる。しかし従来の MOF カラムに関する研究では、専ら一種類の MOF を固定相として用いたものばかりが検討されてきた。本研究では、複数の異なる MOF を混合して充填したカラムおよび異なる有機配位子を混合して合成した MOF 固溶体を充填したカラムを開発し、これまで無かった混合型 MOF カラムクロマトグラフィーを提案した。そして、通常の MOF カラムでは見られない混合型 MOF カラムの興味深い性質を世界で初めて明らかにした。本成果は、*ACS Nano* 誌へ掲載された。

有機配位子として 1,4-benzenedicarboxylate (bdc) を配位子として用いた MOF ($[\text{Zn}_2(\text{bdc})_2\text{ted}]_n$, ted = triethylenediamine) を充填した MOF カラムはポリエチレングリコール (PEG) に対する保持が弱く、結果 PEG は直ちにカラムから溶出するのに対し、1,4-naphthalenedicarboxylate (ndc) を配位子として用いた MOF ($[\text{Zn}_2(\text{ndc})_2\text{ted}]_n$) を充填した MOF カラムは、中程度の保持を示すことがわかった。ところが興味深いことに、両配位子 (bdc, ndc) が混合された固溶体 MOF を充填したカラムを用いて同様の試験を行ったところ、ある特定の組成の固溶体で両 MOF 単体のカラムを上回る強い保持が観測された (図 4)。詳細な解析の結果、これは固溶体 MOF の細孔と PEG 鎖の親和性 (熱力学的因子) に加え、細孔を PEG が出入りする際の速度 (速度論的因子) が同時に作用した結果によるものであることが結論づけられた。

本メカニズムを更に詳細に調査し、MOF の設計へと応用することで、様々な高分子に対して、目的の構造を有するものに特異的な相互作用を示すカラムをデザインできるようになると期待される。

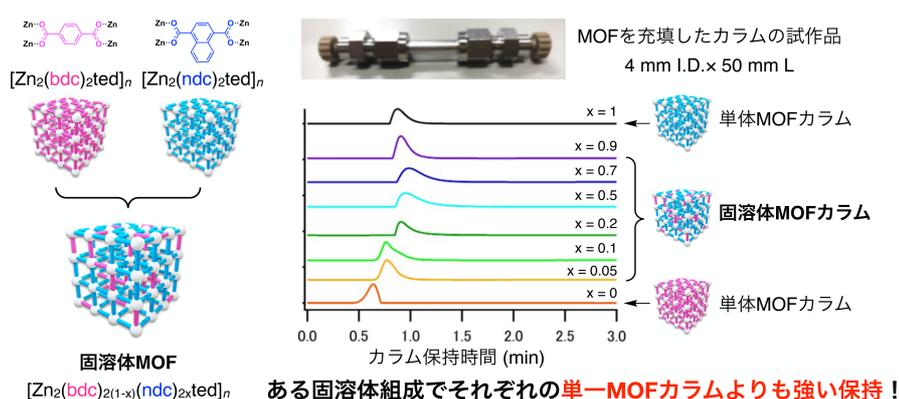


図 4. 固溶体 MOF カラムによるクロマトグラフィーの試験結果

4.3 モノマー配列の認識および高分子構造の MOF へのインプリントに関する検討

MOF の細孔内に存在する周期的な金属サイトの配列を利用することで、世界で初めて高分子のモノマー配列が認識できることを示した。MOF のトンネル状の細孔内に周期的に配置された配位不飽和金属サイトの配列が、スチレン/ビニルピリジンのランダム共重合体のモノマー組成やモノマー配列を認識し、ある特定の構造の共重合体のみを選択的に細孔内へ取り込むことを見出した。さらにブロック共重合体とランダム共重合体の識別や、ブロックセグメントの長さの識別など、これまでの手法では困難であったビニルポリマーの様々な構造の識別および分離にも成功した。本成果は、*Chem* 誌の表紙としてハイライトされた (図 5)。

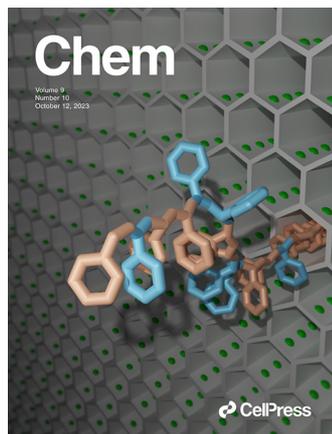


図 5. Front Cover に採用

本研究で利用した MOF は細孔の中にゲスト分子が取り込まれると格子構造が close 構造から open 構造へと変化することが知られており、この性質を利用することで高分子の認識結果が極めて容易かつ迅速に評価できるようになった。スチレンとビニルピリジンモノマーの組成を変えた数種類のランダム共重合体を用意し、MOF へ導入しようとしたところ、スチレンの割合が高いと MOF へ全く取り込まれないのに対し、ビニルピリジンの割合が 60%を超えた点で急激に MOF が open 構造となり、MOF へ取り込まれることが明らかとなった (図 6)。核磁気共鳴分光法や X 線光電子分光法、分子モデル計算などを用いた詳細な解析の結果、MOF の細孔内部に存在する金属イオン部位の周期的配列により、ビニルピリジンモノマーの特定の配列構造が認識された結果によるものであることが示された。これは、MOF のナノ細孔によって合成高分子のモノマー配列が認識できることを世界で初めて実証した重要な成果である。

また、本 MOF と高分子の組み合わせを用いてインプリントの実現可能性についても検討した。スチレン/ビニルピリジン共重合体存在下で本 MOF を合成したところ、細孔内部に共重合体が包接された状態で MOF が得られることがわかった。この MOF には共重合体の構造情報が刷り込まれている可能性があり、現在詳細な MOF の構造解析を進めているところである。

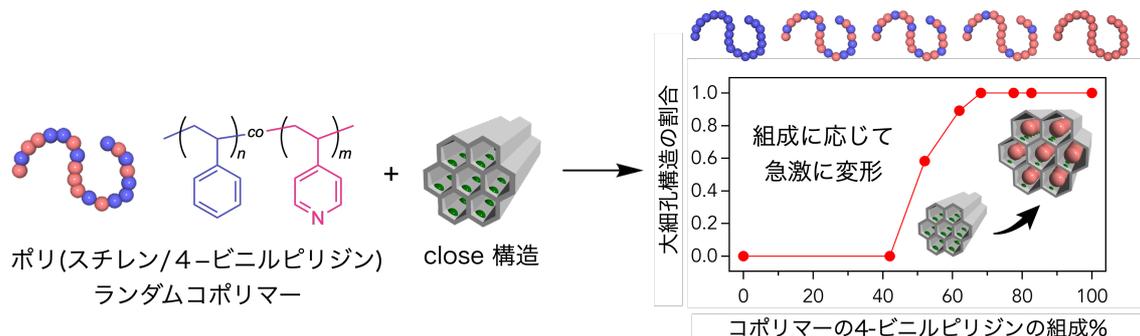


図 6. MOF による高分子の一次構造の認識

4.4 新しい展開：高分子材料設計への応用

MOF の細孔へ高分子鎖が取り込まれる現象を研究するにあたり、MOF へ導入する高分子鎖の長さを極めて長く (分子量を大きく) すると、ホストである MOF 結晶を貫通するという興味深い現象を発見した。このようにして得られる物質は、高分子が複数の MOF 粒子を貫通した構造、すなわちポリロタキサンに類似の構造をしていることを突き止め、本材料を新たにポリモファキサン (polyMOFaxane) と名付けた (図 7)。ポリロタキサン類似の貫通構造に起因したユニークな力学物性の発現が期待される。また、ポリモファキサンは MOF と高分子を混合するだけで合成することができるため複雑な合成工程を必要とせず、産業用高分子素材への応用についても検討の価値がある。本研究を通して得た MOF への高分子吸着に関する知見は、高分子の認識/分離用途だけでなく材料化学分野へも波及する重要な成果をもたらした。本成果は *Nature Communications* 誌へ掲載された。

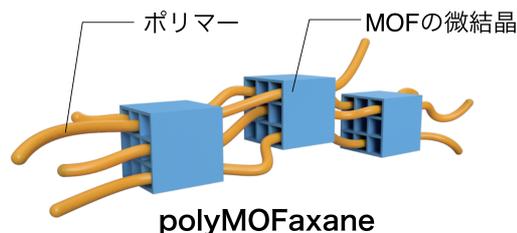


図 7. polyMOFaxane の概念図

以上、本研究では MOF のナノ細孔内部へ高分子を導入・吸着させる方法の発見とメカニズムの解明に始まり、その原理を用いた新しい MOF カラムクロマトグラフィーによる高分子分離法の開発、そして未踏のモノマー配列認識を達成した。更にこれらの知見を用いた新しい MOF/高分子複合材料の開発にも成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Taketomi Hiroataka, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 57
2. 論文標題 Controlled Polymer Orientation via Metal?Organic Framework Nanomolding	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 217 ~ 225
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.3c02070	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 Ye Siyuan, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 34
2. 論文標題 Polymer Grafting from MOF Nanosheets for the Fabrication of Versatile 2D Materials	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Functional Materials	6. 最初と最後の頁 2312265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adfm.202312265	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 Manna Biplab, Asami Mizuki, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Decoding polymer chains via gated inclusion into flexible nanoporous crystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chem	6. 最初と最後の頁 2817 ~ 2829
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chempr.2023.05.041	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 Iizuka Tomoya, Sano Hiroyuki, Le Ouay Benjamin, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 14
2. 論文標題 An approach to MOFaxes by threading ultralong polymers through metal?organic framework microcrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-023-38835-5	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 Nishijima Ami, Hayashi Yuki, Mayumi Koichi, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 56
2. 論文標題 Fabrication of Polyelectrolyte Sheets of Unimolecular Thickness via MOF-Templated Polymerization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 3141 ~ 3148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.3c00275	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 Hung Han-Lun, Iizuka Tomoya, Deng Xuepeng, Lyu Qiang, Hsu Cheng-Hsun, Oe Noriyoshi, Lin Li-Chiang, Hosono Nobuhiko, Kang Dun-Yen	4. 巻 310
2. 論文標題 Engineering gas separation property of metal-organic framework membranes via polymer insertion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 123115 ~ 123115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2023.123115	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 Iizuka Tomoya, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 51
2. 論文標題 Toughening and stabilizing MOF crystals via polymeric guest inclusion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 13204 ~ 13209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2DT01425D	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 Mizutani Nagi, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 59
2. 論文標題 Topological entrapment of macromolecules during the formation of metal-organic framework	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1293 ~ 1296
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC06330A	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 Oe Noriyoshi, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 12
2. 論文標題 Revisiting molecular adsorption: unconventional uptake of polymer chains from solution into sub-nanoporous media	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 12576 ~ 12586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC03770F	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 Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 54
2. 論文標題 Metal-Organic Frameworks as Versatile Media for Polymer Adsorption and Separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 3593 ~ 3603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.1c00377	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 Kioka Kaoru, Mizutani Nagi, Hosono Nobuhiko, Uemura Takashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Mixed Metal-Organic Framework Stationary Phases for Liquid Chromatography	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 6771 ~ 6780
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.2c01592	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56件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 14件)

1. 発表者名 細野 暢彦、水谷 凧、古賀 大地、植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーによる高分子の微細構造変異の識別
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鳥本 明大、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーによる脂肪酸メチルエステルの高精度分離
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 樋口 陽介、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーによるオリゴペプチドの分離
3. 学会等名 第83回分析化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細野 暢彦・Biplab Manna・浅見 美月・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体の結晶性ナノ空間による共重合体のモノマー配列認識
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武富 大空・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体を用いた変性タンパク質の選択的除去
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高島 優・澤山 拓・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体を用いたポリアルキルチオフェンのレジオ規則性の識別と分離
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野 悠生・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔に包接した高分子のAFMフォースカーブ測定による一本鎖構造解析
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nagi Mizutani, Kaoru Kioka, Daichi Koga, Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Recognition of Microstructural Difference in Polymers by MOF Column Chromatography
3. 学会等名 The 13th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Macromolecular Adsorption and Separation Applications
3. 学会等名 The 13th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Siyuan Ye, Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Polymer-Grafting from Ultrathin MOF Nanosheets for Fabrication of Versatile 2D Materials
3. 学会等名 The 13th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野 悠生・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔からの引き抜きによる高分子一本鎖構造解析
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 晴陽・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体のナノ細孔に対するビニルポリマー鎖の包接
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高島 優・澤山 拓・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体を用いたポリアルキルチオフェンの頭尾結合の識別と分離
3. 学会等名 第72回高分子討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細野 暢彦
2. 発表標題 多孔性結晶を利用した高分子の精密分離技術
3. 学会等名 第32回ポリマー材料フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細野 暢彦
2. 発表標題 多孔性結晶を利用した高分子の構造認識と分離
3. 学会等名 第16回超分子若手懇談会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高島 優、澤山 拓、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体を用いたポリアルキルチオフェンの頭尾結合の識別と分離
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 篠原 航、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔からの放出によるタンパク質のリフォールディング
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 樋口 陽介、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーにおけるオリゴペプチドの保持挙動
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鳥本 明大、樋口 陽介、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 ケモインフォマティクスを用いたMOFカラムクロマトグラフィーの保持挙動解析
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 松村 俊明、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 高分子の高精度分離を志向したMOF 修飾シリカ固定相の開発
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 武富 大空、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔への選択的吸着による変性タンパク質の除去
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 葉 思遠、細野 暢彦、植村 卓史
2. 発表標題 二次元COFの積層構造変形による蛍光スイッチング
3. 学会等名 日本化学会 第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Precise Recognition and Separation of Polymers
3. 学会等名 International Conference on Low-Carbon Energy and Chemical Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-organic frameworks for ultimate polymer recognition and separation technology
3. 学会等名 The 2nd Kyoto Advanced Porous Science (KAPS) Symposium - Multiscale functions in molecular architectures - (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Polymer Adsorption in Metal-Organic Frameworks for High-Precision Separation Applications
3. 学会等名 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9IDMRCS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Polymer Recognition and Separation Technology
3. 学会等名 Frontier of Chemistry Lecture Series, The University of Hong Kong (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Polymer Recognition and Separation Technology
3. 学会等名 Long Feng Science Forum Seminar Series, The Chinese University of Hong Kong, Shenzhen (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 A MOFaxane: Threading ultralong polymers through metal-organic frameworks
3. 学会等名 9th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC9) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Precision Polymer Separation Technology
3. 学会等名 13th Japan-China Joint Symposium on Metal Cluster Compounds (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 水谷 凧・細野 暢彦・Benjamin Le Ouay・北尾 岳史・植村 卓史
2. 発表標題 MOFによる高分子末端の認識と液体クロマトグラフィー分離法への応用
3. 学会等名 第82回分析化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Structure Recognition and Separation of Polymers
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古賀大地・細野暢彦・植村卓史
2. 発表標題 MOFによる高分子主鎖上の微小構造変異の識別
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体MOFへの高分子吸着と分離技術への応用
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河野悠生・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔に包接した高分子のAFMフォースカーブ測定による構造解析
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木岡 薫・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOF固溶体を固定相に用いた液体クロマトグラフィー
3. 学会等名 日本分析化学会第71回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 多孔性金属錯体MOFによる高分子の構造認識と分離
3. 学会等名 日本分析化学会第71回年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥本 明大・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFを用いた脂肪酸メチルエステルの高精度分離法の開発
3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoya Iizuka, Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Enhanced toughness and stability of MOF crystals via polymer introduction
3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Macromolecular Recognition and Separation
3. 学会等名 錯体化学会第72回討論会 シンポジウム(S2) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 細野 暢彦
2. 発表標題 多孔性結晶による高分子の認識と分離
3. 学会等名 第6回 東工大応用化学系 次世代を担う若手シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高島 優・澤山 拓・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFを用いたポリアルキルチオフェンのレジオ規則性の識別と分離
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 河野 悠生・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 ナノ細孔に包接した高分子のAFMフォースカーブ測定による一本鎖構造解析
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鳥本 明大・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーによる脂肪酸メチルエステルの高精度分離
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 武富 大空・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFを用いた変性タンパク質の選択的除去
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 樋口 陽介・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーによるオリゴペプチドの分離
3. 学会等名 第103回日本化学会春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono
2. 発表標題 Metal-Organic Frameworks for Polymer Adsorption and Separation
3. 学会等名 the 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC8 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nagi MIZUTANI, Nobuhiko HOSONO, Benjamin LE OUAY, Takashi UEMURA
2. 発表標題 RECOGNITION OF POLYMER TERMINI BY METAL-ORGANIC FRAMEWORKS AND APPLICATION TO LIQUID CHROMATOGRAPHY
3. 学会等名 the 44th International Conference of Coordination Chemistry (ICCC2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅見 美月・Biplab Manna・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFナノ空間における配位相互作用を利用した高分子の構造認識
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大江 功能・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFナノ細孔への高分子浸入機構の解明とその応用
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木岡 薫・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFカラムクロマトグラフィーにおける高分子化合物の保持挙動
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大江 功能・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 サブナノ細孔を有する金属錯体結晶への高分子吸着現象
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大江 功能・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFへの高分子吸着メカニズム
3. 学会等名 錯体化学会第70回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細野 暢彦
2. 発表標題 MOFによる高分子化合物の認識と分離
3. 学会等名 第102回日本化学会春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鳥本 明大・細野 暢彦・植村 卓史
2. 発表標題 MOFを用いた脂肪酸メチルエステルの精密分離
3. 学会等名 第102回日本化学会春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Noriyoshi Oe, Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Polymer Intercalation into Metal-Organic Frameworks
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nobuhiko Hosono, Takashi Uemura
2. 発表標題 Polymer Recognition and Separation by Metal-Organic Frameworks
3. 学会等名 Pacifichem2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Nobuhiko Hosono's Homepage https://www.nhosono.com

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			
その他の国・地域(台湾)	National Taiwan University			
米国	Stanford University			
中国	Xi'an Jiaotong University			
フランス	CNRS			