

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14641

研究課題名(和文) 孤立空孔と蓋状アタッチメント触媒の協同作用による精密有機合成

研究課題名(英文) Precise organic synthesis by a cooperative system with a cap-like catalyst attachment and a confined cavity

研究代表者

竹澤 浩気 (Takezawa, Hiroki)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・特任講師

研究者番号：60813897

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)：本研究では自己組織化中空錯体とその開口部に特異的に作用する蓋状アニオンの組み合わせによって遷移金属を介した反応を加速・選択性制御することを目的とし、金属イオンを錯体開口部に導入可能な蓋状アニオンを新しく合成し、その効果について検討した。金属イオンと相互作用可能な部位を導入した新規蓋状イオンについて、特定の蓋状イオンを用いた際ランタノイドイオンなど親水的な金属イオン種を中空錯体内部もしくは開口部に導入できた。更に、遷移金属イオンを導入可能な蓋状イオンを新しく設計し、触媒活性を持つ蓋状アニオンを合成できた。特に銅(II)イオンを導入した際、中空錯体と組み合わせた場合にのみ酸化反応が促進した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、単工程で、すなわち低環境負荷で、高機能な分子を合成するための反応場を作り出すための指針を与える研究である。金属酵素のような機能を持つ空間をシンプルな人工系で作りに上げることで、堅牢な合成手法として用いることができるようになる。本研究成果は、その概念実証に成功したと言える内容であり、この手法を用いた精密有機合成が様々な標的について試されるようになると思われる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to control the activity and selectivity of reactions mediated by a transition metal center by using a combination of a self-assembled coordination cage and cap-like anions that specifically interact at the portal of the cage. We synthesized new cap-like anions capable of introducing metal ions into the cage portals and examined their effects. Using the cap-like ions, hydrophilic metal species such as lanthanoid ions were successfully introduced into the interior or the portal of the cage. Furthermore, cap-like ions capable of introducing a transition metal center were synthesized. When a copper(II) ion was introduced into the cap ion, an oxidation reaction was facilitated when combined with the coordination cage.

研究分野：錯体化学

キーワード：自己組織化 ホスト-ゲスト 触媒 金属酵素 非共有結合性相互作用 遷移金属

1. 研究開始当初の背景

ある反応基質について、狙った部位に狙った官能基を自在に修飾できるようになることは、有機合成化学の一つの目標到達点である。自在な化学修飾は合成工程の大幅な短縮や既存の活性分子からの直截的な誘導体化を可能にし、ある共通の基質から多様な構造体を網羅的に作り上げる手段を提供する。これに近い反応を実現しているのが、酵素による、例えばテルペノイドの生合成である。生物は多様なテルペノイド天然物を、共通の直鎖テルペノイドを前駆体として、酵素により制御された環化/酸化反応を使って合成する。狙った部位での反応を高度に制御することで、共通前駆体からの多様な誘導体化が可能になる。一般に酵素は「狙った部位での反応」を、基質を自身の疎水空孔へ内包することで達成する。空孔包接を使うことで基質と触媒活性点との位置関係を明確に定め、基質や反応中間体・遷移状態における特定の構造を安定化させる。特に酵素の触媒活性点として顕著なものは遷移金属中心(金属酵素)であり、高い反応性と選択性を両立することができる。

一般に酵素は巨大な構造を持つが、大部分は触媒機能を持つ空孔を安定化させるための足場である。基質の包接と配座制御が可能な孤立空孔、空孔との位置関係が定まった触媒活性点の二つを満たす空孔を作り反応場とすれば、狙いの反応が進行すると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、高度な選択的反応を進行させるために必要十分な条件は、基質の包接と配座制御が可能な孤立空孔、空孔との位置関係が定まった触媒活性点の二つだと考え、これを達成できるシンプルかつ一般化可能な人工ホスト系を着想し、これを実現することとした。すなわち、人工ホスト化合物の孤立空孔と、非共有結合的相互作用を用いて厳密な位置に近接させた活性中心の両方を持つ人工ホスト系の構築を目指した(図1)。特に、金属酵素様空孔の創出を目指し、人工ホスト開口部に金属イオン中心を可逆的に導入できる系を構築し、その金属中心と空孔の協働的効果を利用した特異的な分子認識、分子変換について探ることを目的とした。本研究は、タンパク質などの生体高分子によってなされる高度な分子認識や、酵素によってなされる高度な分子変換を、人工のシンプルで堅固な系で実現するための端緒となる。

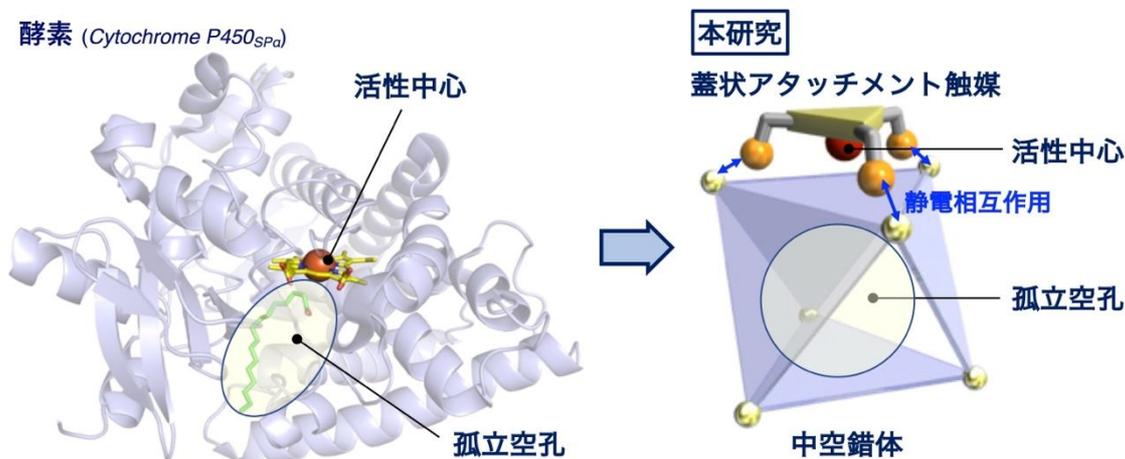


図1. 本研究のコンセプト

3. 研究の方法

前述のとおり、本研究において金属酵素様の空間を作るために必要な要素は、基質の包接と配座制御が可能な孤立空孔、空孔の周縁部に厳密に配置された活性中心の2つと仮定した。として、これまで基質の配座制御と物性・反応性制御への応用がなされてきた自己組織化中空錯体を用い、として、中空錯体のカチオン性頂点との静電相互作用を利用した開口部への活性点固定化を利用した。開口部と相補的な形状のアニオン(=蓋状アニオン)^{1,2}を用いれば、溶液中で混ぜるだけで自発的に静電相互作用により開口部に固定化されると考えられる。この設計により、錯体の空孔を埋めることなく活性点を付与できる。また、蓋状アニオンの設計には自由度があり、目的に応じて設計・使い分けができる。用いる孤立空孔の広さと触媒設計の一般性から、様々な系に適用可能である。

本研究では、主に中空錯体として 2,4,6-tri(4-pyridil)-1,3,5-triazine と(tmeda)Pd(ONO₂)₂ 錯体から自己集合によって組み上がる正八面体型の中空錯体³を用い、この錯体と開口部で効果的な静電相互作用を示しかつ金属中心を担持可能な蓋状イオンを数種類設計、合成した。この蓋状イオンと中空錯体の相互作用を核磁気共鳴(NMR)や単結晶 X 線回折などにより明らかにしながら、中空錯体-蓋状イオン複合体の特異的な分子認識能について調べ、金属イオン認識などに対する特異性を調べた。更に、触媒機能をもつ遷移金属イオンを結合させた蓋状イオンを合成し、中空錯体と組み合わせた際の反応性についてモデル基質を使って調べた。

4. 研究成果

(1) 金属イオンを選択的に包接可能な蓋状イオン・中空錯体複合系

まず、設計された蓋状イオンによって金属イオンを錯体開口部に導入することを狙い、中空錯体 **1** と新しく合成した蓋状イオン **2a, b** の混合系について、水溶液中での挙動と金属イオン認識挙動を調べた(図 2)。蓋状イオン **2a** は既報のイオン **2c** にくらべ配座自由度を下げることににより、**2b** は配位部位(ホスフィンオキシド部位)を中心に導入することにより、金属イオンとの相互作用増強を狙った。

金属イオン共存下、中空錯体 **1** と蓋状イオン **2** の相互作用を NMR および単結晶 X 線回折により調べた。中空錯体 **1** は蓋状イオン **2a** 存在下、ランタノイド(III)イオン、特に前期ランタノイドイオンを選択的に包接することが分かった⁴。単結晶構造において、蓋状イオン **2a** が中空錯体の空孔内に 1 分子、開口部に 1 分子配置され、ランタノイドイオンの 9 水和物を挟み込むように包接していることが分かった(図 2 左下)。開口部に配置されたイオンは三つのパラジウム(II)イオンと近い距離にあり、静電相互作用によりこの位置に配置されていることが示された。2 つの蓋状イオンはランタノイドイオン水和物の水和水と綿密な水素結合ネットワーク(合計 12 箇所)を形成していた。この多点での相互作用により極めて親水的なイオンも水中で包接できると考えられる。

この多点相互作用のため、イオン認識においてイオン半径に対して鋭敏な応答を示した。例えば、ランタン(III)イオンはイッテルビウム(III)イオンよりも錯体 **1** に包接されやすく、再結晶による分離と組み合わせることでランタン-イッテルビウムの混合水溶液からランタンイオンのみを分離できることが分かった。ランタノイドイオンはそれぞれ似たイオン半径・物性を持つために、通常はランタノイドイオンの種類に応じた選択的認識は難しい。本研究における複合系では、中空錯体、蓋状イオンの協働的な相互作用を使うことによりイオン半径の僅かな違いを識別することができる。

さらに、中心に配位部位であるホスフィンオキシド部位を組み込んだ蓋状アニオン **2b** を用いた際には、開口部近辺にランタノイドイオンまたは銅イオンを配置した上で、錯体空孔に包接させた有機ゲスト分子と相互作用させられることも分かった。錯体 **1**、蓋状アニオン **2b**、硝酸ユウロピウム(III)、有機ゲスト分子 **3c** または **3d** を水溶液中で混合すると、ブロードな NMR シグナルを与えた。結晶化の後単結晶 X 線構造解析を行ったところ、蓋状アニオン **2b** が錯体 **1** 開口部に位置し、ユウロピウムイオンがホスフィンオキシド部位および脚部のスルホナート部位と配位結合を形成し、更に空孔内に取り込まれた 2 分子のゲスト **3c** または **3d** と配位結合を形成している構造が得られた(図 2 中央下)。一方、小さなゲスト分子 **3a** または **3b** を用いた場合には NMR 上の変化は見られず単結晶構造も得られなかった。したがって、この系において金属イオンの開口部への導入、空孔の特異的な分子認識、空孔に包接された分子への特異的配位結合形成が同時に働いたといえる。対照的に、蓋状イオン **2c** を用いた際には、ゲスト分子 **3a** または **3b** との特異的な配位結合形成が見られた。すなわち、金属イオンの位置を調整することによって、その金属イオンと相互作用可能なゲスト分子の大きさを調整することができる。

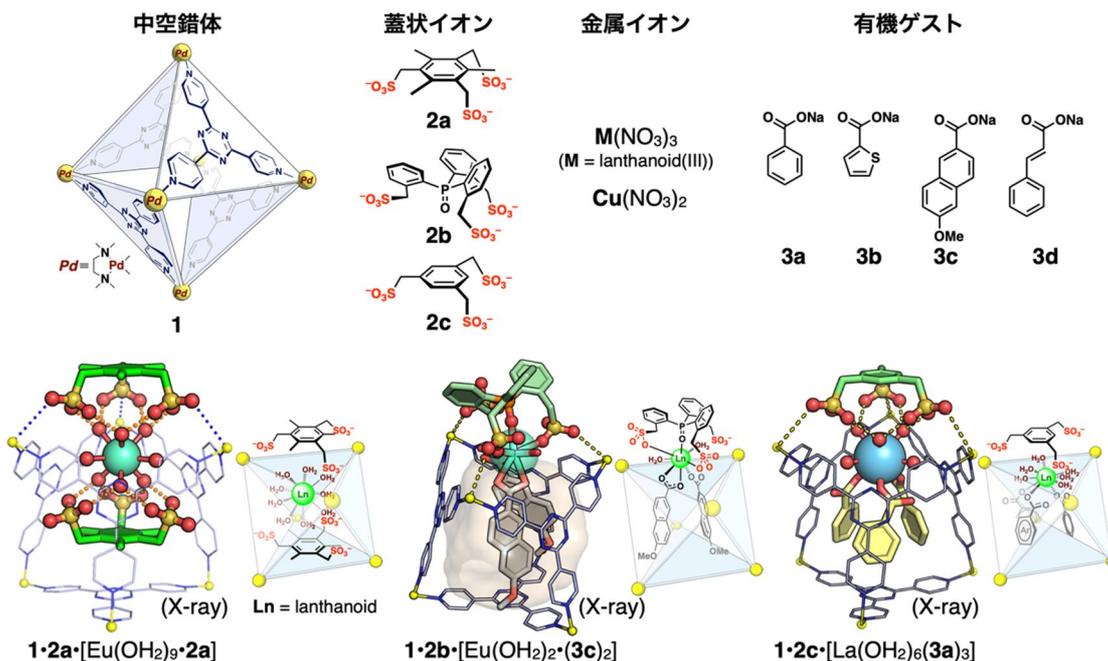


図 2. 蓋状イオンと中空錯体の協働による水溶液中での金属イオン包接と特異的分子認識。

(2) 遷移金属の開口部への導入と反応制御

蓋状イオンによる中空錯体開口部への金属イオン導入を実際の有機反応へと結びつけるべく、触媒活性を持つ遷移金属イオンを蓋状イオンへ導入するための系を設計した。遷移金属イオンを強固に捉えられる骨格としてTPMA骨格を有するアニオン **2d** を新たに設計・合成した(図3)。

TPMAは遷移金属触媒によく使われる配位子であり、実際にアニオン **2d** も各種金属塩と錯体を形成した。ここでは亜鉛(II)イオン、マンガン(II)イオン、銅(II)イオンと錯体形成したもの **2d-Zn²⁺**, **2d-Mn²⁺**, **2d-Cu²⁺** をそれぞれ合成し、特に **2d-Cu²⁺** について中空錯体との混合系の反応性を調べた(図3b,c)。

モデル反応として1-naphthylmethanol(**4**)の酸化反応を選び、中空錯体 **1** と **2d-Cu²⁺** の混合水溶液を用いた場合と各種対照条件との比較により、中空錯体-アニオン複合体の活性を明らかにした(図3c)。その結果、水溶液中、60 °C、空気下の条件において、**1** と **2d-Cu²⁺** の混合物のみで酸化反応が顕著に進行し生成物 **5** を与え、どちらかがない場合には反応がほぼ進行しないことが分かった。また、配位子 **2d** を加えず銅塩 Cu(OTf)₂ (OTf = triflate) と **1** の混合物を用いた場合にも反応は進行せず、配位子 **2d**, 銅(II)中心、中空錯体 **1** が協働することで反応が促進される事が分かった。また、立体環境の異なる9-anthracenylmethanolでは反応が進行しなかった。錯体 **1** の内部空孔から **2d-Cu²⁺** の活性中心への近接によってこの反応が促進されることが示唆された。基質 **4** から生成物 **5** の酸化反応について、最適化条件での収率は26%だった。これはNMR実験によって求められた基質 **4** の錯体 **1** への包接数4から、錯体 **1** 一分子あたり1分子の基質 **4** が反応したことを意味する。今後この反応を触媒回転させるために、反応後に生成物から基質への置換が進行する仕組み・条件を見つける必要があるものの、当初のコンセプト通りの金属酵素様の空孔を構築できたと言える。

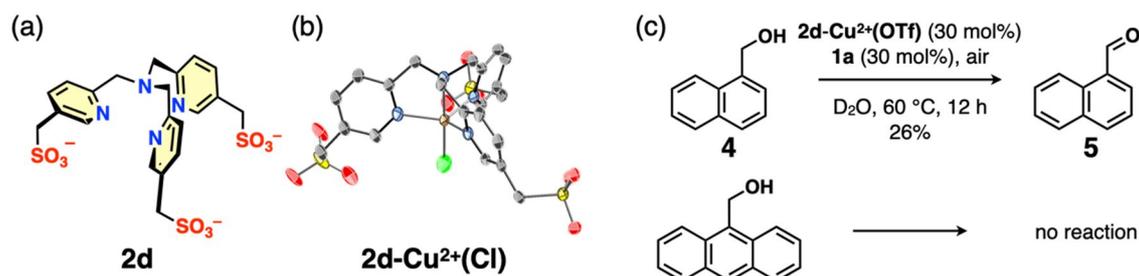


図3. 遷移金属イオンを導入可能な蓋状イオンと酸化反応の促進。(a) TPMA骨格を有する蓋状アニオン **2d** の化学構造と(b)銅(II)イオンとの錯体形成後の単結晶構造。(c) **1**・**2d-Cu²⁺**(OTf)複合系による基質選択的酸化反応。

<引用文献>

- (1) Takezawa, H.; Tabuchi, R.; Sunohara, H.; Fujita, M. Confinement of Water-Soluble Cationic Substrates in a Cationic Molecular Cage by Capping the Portals with Tripodal Anions. *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 17919–17922.
- (2) Tay, G.; Wayama, T.; Takezawa, H.; Yoshida, S.; Sato, S.; Fujita, M.; Oguri, H. Synthetic Modulation of an Unstable Dehydrosecodine-type Intermediate and Its Encapsulation into a Confined Cavity Enable Its X-ray Crystallographic Observation. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2023**, *62*, e202305122.
- (3) Takezawa, H.; Fujita, M. Molecular Confinement Effects by Self-Assembled Coordination Cages. *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2021**, *94*, 2351–2369.
- (4) Tabuchi, R.; Takezawa, H.; Fujita, M. Selective Confinement of Rare-Earth-Metal Hydrates by a Capped Metallo-Cage under Aqueous Conditions. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61* (37), e202208866.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7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 Tabuchi Ryosuke、Takezawa Hiroki、Fujita Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Selective Confinement of Rare Earth Metal Hydrates by a Capped Metallo Cage under Aqueous Conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202208866
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/anie.202208866	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 Tamura Hiroyuki、Takezawa Hiroki、Fujita Makoto、Ishikita Hiroshi	4. 巻 24
2. 論文標題 A self-assembled coordination cage enhances the reactivity of confined amides <i>via</i> mechanical bond-twisting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 21367 ~ 21371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2CP03126D	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 Sunohara Haruka、Koyamada Kenta、Takezawa Hiroki、Fujita Makoto	4. 巻 57
2. 論文標題 An Ir ₃ L ₂ complex with anion binding pockets: photocatalytic <i>E</i> / <i>Z</i> isomerization <i>via</i> molecular recognition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9300 ~ 9302
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D1CC03620C	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 Takezawa Hiroki、Fujita Makoto	4. 巻 94
2. 論文標題 Molecular Confinement Effects by Self-Assembled Coordination Cages	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 2351 ~ 2369
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1246/bcsj.20210273	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 Takezawa Hiroki, Fujii Yuya, Murase Takashi, Fujita Makoto	4. 巻 61
2. 論文標題 Electrophilic Spirocyclization of a 2 Biphenylacetylene via Conformational Fixing within a Hollow Cage Host	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202203970
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202203970	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 Kenta, Takezawa Hiroki, Fujita Makoto	4. 巻 145
2. 論文標題 Chemical Site-Differentiation of Calix[4]arenes through Enforced Conformations by Confinement in a Cage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 25971 ~ 25975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c10720	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 Tay Gavin, Wayama Toshiaki, Takezawa Hiroki, Yoshida Satoshi, Sato Sota, Fujita Makoto, Oguri Hiroki	4. 巻 62
2. 論文標題 Synthetic Modulation of an Unstable Dehydrosecodine type Intermediate and Its Encapsulation into a Confined Cavity Enable Its X ray Crystallographic Observation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 e202305122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202305122	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35件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 飯塚健太、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 かご型錯体の内部空孔を利用したカリックス[4]アレーン類の配座制御と反応制御
3. 学会等名 第19回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹澤浩気、田淵凌輔、谷口旺、藤田誠
2. 発表標題 中空錯体空孔と三脚型蓋状アニオンの協働による特異的分子認識と構造制御
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹澤浩気
2. 発表標題 Molecular Manipulation by Confinement in a Coordination Cage for Precise Molecular Conversion
3. 学会等名 錯体化学第72回討論会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 谷口旺、田淵凌輔、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 Non-Covalent Introduction of a Metal Site to a Portal on a Coordination Cage by a Tripodal Capping Anion
3. 学会等名 錯体化学第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田中陸也、春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 金属頂点を有する可視光応答性ホスト錯体の自己集合構築
3. 学会等名 錯体化学第72回討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Georgi R. Genov, Hiroki Takezawa, Harumi Hayakawa, Makoto Fujita
2. 発表標題 Thermal Cyclization of Linear Arylalkynes Facilitated by Folding inside a Molecular Cage
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei He, Hiroki Takezawa, Makoto Fujita
2. 発表標題 Substrate-Specific Oxidation in a Coordination Cage by Capping the Portal with a Tripodal Copper Catalyst
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯塚健太、竹澤 浩気、藤田 誠
2. 発表標題 中空錯体への包接による配座制御を介したカリックス[4]アレン類の非対称修飾
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 谷口旺、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 ルイス塩基性蓋状アニオンによるかご型錯体への金属イオン導入
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田中陸也、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 シクロメタル化白金(II)中空錯体を用いた触媒的可視光反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村 直己、Wei He、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 かご型錯体の空孔を用いた金属クラスターの合成と包接
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹澤浩気
2. 発表標題 孤立空間への閉じ込めによる分子操作と精密反応
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯塚健太、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 かご型錯体の空孔を利用した柔軟なオリゴアレーン類の選択的合成と配座制御
3. 学会等名 第18回ホスト - ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 Self-Assembly of Ruthenium- and Iridium-Based Multinuclear Hollow Complexes for Effective Photocatalytic Reactions in their Cavities
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田淵凌輔、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 Inclusion and structure control of cationic substrates by the cooperation of a cationic cage and an anionic cap
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 谷口旺、春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 プロペラ型アニオンキャップによるかご型錯体の機能拡張
3. 学会等名 錯体化学会第71回討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田村 有佳梨、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 二重壁構造を有する自己組織化錯体の逐次的構造変化
3. 学会等名 第31回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takezawa Hiroki、Fujita Makoto
2. 発表標題 Molecular Twisting by Confinement in a Coordination Cage toward Reactivity Control
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹澤浩気
2. 発表標題 中空錯体内孤立空間への閉じ込めによる分子操作と精密反応
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 可視光反応の効率化と制御に向けた含イリジウム多核ホスト錯体の構築
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 田淵凌輔、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 かご型錯体と蓋状アニオンの協働によるランタノイドイオンの選択的包接
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 川口悠伍、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 カルバゾール積層構造を有するかご型錯体の自己集合構築
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 飯塚健太、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 中空錯体への包接によるメチレン架橋芳香族オリゴマーの配座制御と反応制御
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 谷口旺、春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 ルイス塩基部位を持つ蓋状アニオンを用いたかご型錯体開口部への金属サイト導入
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 田中陸也、春原晴香、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 水溶性シクロメタル化白金錯体を用いた中空ホスト錯体の迅速合成
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 Matthew Wootten、Hiroki Takezawa、Makoto Fujita
2. 発表標題 Introducing reactive metal centres into coordination cage cavities via a hexaanionic capping ligand
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 Wei He、Hiroki Takezawa、Makoto Fujita
2. 発表標題 A Coordination Cage as a Crystalline Sponge
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 飯塚健太、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 大環状分子を配座固定できる拡張中空錯体の固相テンプレート合成
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 田中陸也、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 可視光応答性Pt(II)中空錯体による基質の包接状態制御に基づく選択的光反応
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 中川崇弘、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 空孔包接による柔軟分子の折りたたみ配座を利用した相互作用点の集積とイオン認識
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 木村 直己、竹澤浩気、藤田誠
2. 発表標題 かご型錯体への無機クラスターの特異的包接と安定化
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 Georgi R. Genov, Hiroki Takezawa, Harumi Hayakawa, Makoto Fujita
2. 発表標題 Tetrahydro-Diels-Alder Reactions of Flexible Arylalkynes via Folding inside a Molecular Cage
3. 学会等名 錯体化学会第73回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kenta Iizuka, Hiroki Takezawa, Makoto Fujita
2. 発表標題 Solid-State Self-Assembly of Expanded Hollow Cages for Conformational Manipulation of Organic Macrocycles in Water
3. 学会等名 錯体化学会第73回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Wei He, Hiroki Takezawa, Makoto Fujita
2. 発表標題 Visuallization of Host-Guest Chemistry: Facile Crystallization of Cage Hosts with Sticker Anions
3. 学会等名 錯体化学会第73回討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroki Takezawa
2. 発表標題 Visualization of Confinement Effects in Coordination Cages via Sticker-Induced Crystallization
3. 学会等名 ICPAC Bali 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 結晶構造解析用試料、結晶構造解析用試料前駆体、結晶構造解析用試料の製造方法、及び結晶構造解析用試料作製キット	発明者 藤田誠、竹澤浩気	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-088535	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
研究協力者	ゲノフ ゲオルギ (Genov Georgi)		
研究協力者	ウートン マシュー (Wootten Matthew)		

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
研究協力者	和 ウェイ (He Wei)		
研究協力者	飯塚 健太 (Iizuka Kenta)		
研究協力者	田中 陸也 (Tanaka Rikuya)		
研究協力者	于 毅寛 (Yu Yikuan)		

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