

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H05478

研究課題名(和文)結晶細孔内での精密分子配列に基づく超分子酵素の開発

研究課題名(英文)Development of supramolecular enzymes based on the precise molecular arrangement in crystalline nano-channels

研究代表者

田代 省平(Tashiro, Shohei)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：80420230

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 18,500,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、優れた分子配列能を持つ多孔性結晶metal-macrocycle framework (MMF)を活用して、その細孔内に異種複数のペプチド等の官能基を精密配列することにより、超分子的なアプローチに基づく酵素様構造「超分子酵素」を結晶細孔内に構築することを目的とした。具体的には、(1) MMF細孔内での酸触媒分子の配列によるサイズ特異的な不均一系触媒の開発や、(2) 細孔内のナノ空間特異効果を活用した光反応経路の制御、(3) キラル細孔内壁におけるプロキラル化合物の面選択的吸着に加え、(4) 特定のアミノ酸残基をアンカーとした異種ペプチドの位置選択的同時配列を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属有機構造体metal-organic framework (MOF)などの既存の多孔性結晶材料では、異種複数の分子を細孔内に位置選択的に精密配列することは極めて困難であるが、本研究ではその課題を実現することにより、超分子酵素構築に向けた大きな一歩を踏み出したことから、高い学術的意義が見込まれる。また、本研究の実現によって多孔性結晶材料の応用可能性が押し広げられることによる社会的意義も期待できる。

研究成果の概要(英文): In this research, we aimed at the construction of "supramolecular enzyme" by precise arrangement of multiple functional groups including peptides in a crystalline channel of metal-macrocycle framework (MMF) with shape sorting capability. Specifically, we have achieved (1) development of a size-specific heterogeneous catalyst by arranging acid compounds in the channel, (2) control of photoreaction pathways based on the specific spatial effect of MMF, (3) face-selective adsorption of a prochiral compound on the chiral channel surface, and (4) simultaneous arrangement of two different peptides in the channel with the aid of specific anchor residues.

研究分野：超分子化学、錯体化学

キーワード：多孔性結晶 分子配列 ペプチド 触媒 単結晶X線回折

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

新たな触媒開発に向けた取り組みとして、金属有機構造体 (metal-organic framework: MOF) や共有結合性有機構造体 (covalent organic framework: COF) などの多孔性結晶を触媒として活用する試みが近年注目を集めている。例えば多孔性結晶 MOF では、構造を構成する有機配位子に触媒反応基を共有結合的に担持することによって、様々な不均一系触媒を自在に設計することが可能となる。さらに、多孔性結晶細孔のサイズや形状、化学的環境を活用することにより、触媒反応に対してサイズ特異性や立体選択性を付与することもできる。このように MOF や COF などの多孔性結晶は不均一系触媒設計の優れたプラットフォームとなり得るが、一方で MOF の構造特性上の理由から実現困難な課題も存在する。例えば、MOF や COF の構造対称性は比較的高いものが多く、また現時点では基本的に一種類、多くても二種類の有機配位子から構成されているため、反応場となる細孔単位構造内に異種複数の触媒官能基を位置選択的に配置することは基本的に不可能である。したがって、MOF や COF 等の多孔性結晶を用いた既存の触媒設計アプローチでは、不均一系触媒の構築やサイズ特異性および立体選択性の改良は実現できるが、酵素のような種々の官能基で精密修飾されたナノポケットを設計して、既存の均一系・不均一系触媒を超える Bio-inspired な革新的触媒設計を実現することはできない。そこで、既存の MOF や COF とは一線を画す新たな多孔性結晶材料の開発と、それを用いた新方法論の提案が必要不可欠となる。

2. 研究の目的

本研究では、我々がこれまでに開発した環状錯体集積型多孔性結晶 metal-macrocyclic framework (MMF) を用いて、その細孔内壁面に備えられた異種複数の結合ポケットにそれぞれ異なる官能基を位置選択的に精密配列させることにより、超分子的なアプローチに基づいて構築される酵素様構造「超分子酵素」を開発することを目的とした。多孔性結晶 MMF は、環状三核パラジウムらせん錯体の四種異性体が水素結合を介して自己組織化することにより構成されていることから、その細孔内には、らせん錯体および錯体間隙に由来する五種類の結合ポケットが鏡像異性体対として存在している (図 1a) ^[1,2]。これまでの研究から、MMF 細孔内における様々なゲスト分子の位置選択的な配列や^[1,3]、最大三種類の異種ゲスト分子の位置選択的同時配列^[4]、光学活性ゲストのジアステレオ選択的配列^[1]を実現するとともに、単結晶 X 線回折法を用いて結晶細孔内での分子配列過程を直接観察することにも成功している^[5]。加えて予備的な知見から、MMF 細孔内壁にセリンやトリプトファンなどのアミノ酸誘導体や、これらの残基を含むペプチドを位置選択的に配列できることも見出している。そこで本研究では、MMF 細孔内を異種複数のペプチドをはじめとする多様な官能基で位置選択的かつ超分子的に化学修飾して、上述した「超分子酵素」を構築することにより、酵素に匹敵する高効率・高選択的な触媒反応を人工設計するとともに、ペプチドの取り替えに基づく超分子的な変異導入によって触媒活性を簡便かつ指向的に最適化できる方法論を確立することを目指した (図 1b)。

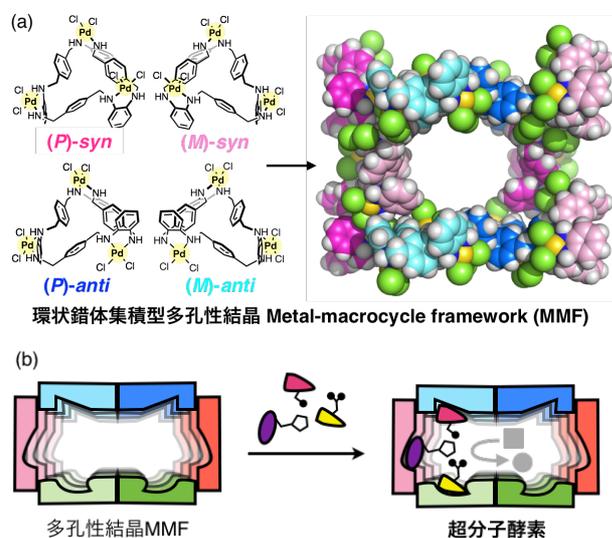


図 1. (a) 環状錯体集積型多孔性結晶 MMF の形成。

(b) MMF による本研究目的「超分子酵素」の構築。

3. 研究の方法

本研究では上記目標を段階的に達成していくことを目指して、以下に示す 5 つの達成目標を設けてそれぞれ研究を進めた。まずゲスト分子となるペプチドの検討と最適化のために目標(1)を設定し、一方で多孔性結晶 MMF の触媒反応場としての特性と利点を詳らかにすることを目的として目標(2)~(4)を設定した。さらに目標(1)~(4)の知見を踏まえつつ最終目標(5)についても並行して研究を進めた。各目標の詳細と成果については次項に記す。

- (1) 細孔内に導入するアミノ酸・ペプチドの設計と合成
- (2) 細孔内への触媒ゲスト吸着に基づく不均一触媒反応場の構築
- (3) ナノ空間特異効果を活用した細孔内での選択的分子変換反応の開発
- (4) キラルゲスト分子の位置選択的配列に基づく非対称触媒反応場の構築
- (5) アミノ酸・ペプチドの位置選択的配列による超分子酵素の構築

4. 研究成果

(1) 細孔内に導入するアミノ酸・ペプチドの設計と合成

多孔性結晶 MMF の細孔内に導入するアミノ酸・ペプチドとして、前述した吸着実績のあるセリンおよびトリプトファン残基を含む化合物を候補としてゲスト分子の選定および合成を行った。加えて本研究では、これら天然アミノ酸に加えて、MMF 細孔内への結合部位を備えた人工アミノ酸として「ビフェニル型 ζ -アミノ酸」を開発した。この人工アミノ酸は、主鎖がビフェニル骨格で構成された剛直な分子であり、主鎖ビフェニル部分が MMF 細孔内への良好な結合部位として機能することが期待された。さらに本研究では、ビフェニル型 ζ -アミノ酸と天然アミノ酸からなる混合ペプチドとして、ビフェニル型 ζ -アミノ酸と L-ロイシン残基を交互に配列した環状ヘキサペプチドを設計・合成し、溶液中での立体配座や発光性、化学修飾について研究を行った (図 2) [6]。

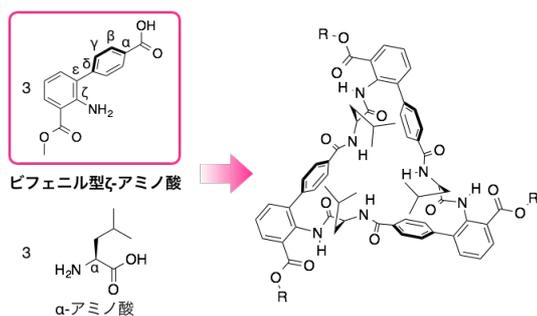


図 2. ビフェニル型 ζ -アミノ酸と α/ζ -混合型環状ヘキサペプチドの化学構造式。

(2) 細孔内への触媒ゲスト吸着に基づく不均一触媒反応場の構築

触媒分子を細孔内に吸着した多孔性結晶 MMF が不均一性反応場として活用できるかを実証することを目的として、一般的なブレンステッド酸触媒分子である *p*-トルエンスルホン酸をゲストとして MMF 細孔内に吸着させ、その酸触媒能を評価した。まず *p*-トルエンスルホン酸のアセトニトリル溶液に MMF 結晶を浸漬し、単結晶 X 線回折によって構造解析を行ったところ、細孔内壁に *p*-トルエンスルホン酸が位置選択的に吸着していることが明らかとなった。次に、得られた結晶を適切な溶媒で何度か洗浄したのちに *p*-トルエンスルホン酸の吸着量を NMR 測定から評価したところ、単位細孔あたり数分子の酸触媒が安定的に吸着していることが分かった。そこで得られた酸吸着 MMF 結晶をトリチル基の脱保護反応に用いたところ、ゆっくりと細孔内に基質が入っていったのちに脱保護反応が進行することが明らかとなった。さらに、分子サイズが MMF の細孔サイズ (1.4 nm × 1.9 nm) よりも大きな基質分子の場合では脱保護反応は全く進行しなかったことから、*p*-トルエンスルホン酸を吸着した MMF はサイズ特異的な不均一系酸触媒として機能することが明らかとなった (図 3) [7]。この知見は、アミノ酸・ペプチドの吸着に基づいて MMF 細孔内に触媒反応場を構築できることを強く支持している。

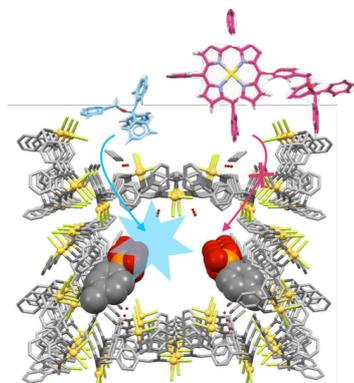


図 3. *p*-トルエンスルホン酸を吸着した MMF によるサイズ特異的触媒反応。

(3) ナノ空間特異効果を活用した細孔内での選択的分子変換反応の開発

次に、種々の触媒反応における MMF 細孔のナノ空間特異効果を検証することを目的として、すでに報告されているキノリノン骨格を有する 1,6-ジエン化合物の光環化付加反応を試験反応として、MMF 細孔内における光反応性について検討を行った。1,6-ジエンが位置選択的に吸着した MMF 結晶に対して光照射を行ったところ、光環化付加反応は全く進行せず、代わりにオレフィン移動反応が進行することが明らかとなった。いくつかの参照実験から、MMF 細孔内における光環化付加反応の抑制は、MMF 骨格による光遮蔽効果に加えて、細孔構造が有するナノ空間特異効果に基づく 1,6-ジエンの配座変換の制限が寄与していることが示唆された。一方で光照射によるオレフィン移動反応の進行について検討を進めたところ、MMF 細孔内壁に露出した PdCl₂ 部位が光照射によって活性化され、塩化物配位子が一部解離することによって生じた Pd 中心がオレフィン移動反応を触媒していることが示唆された (図 4) [8]。今回のナノ空間特異効果は、本来進行する反応を完全に遮断して別の反応経路を促進した結果であり、この知見は MMF を基盤とする超分子酵素での触媒反応の合理設計に有用である。

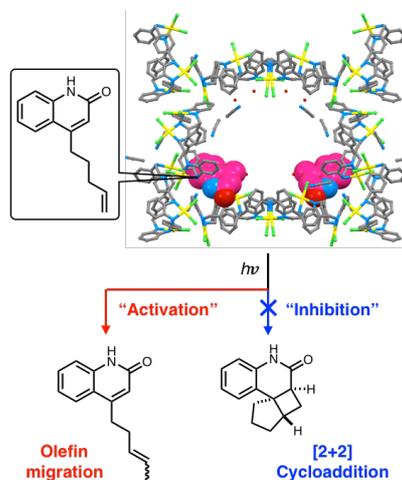


図 4. MMF 細孔内における光環化付加反応の抑制とオレフィン移動反応の促進。

(4) キラルゲスト分子の位置選択的配列に基づく非対称触媒反応場の構築

多孔性結晶 MMF は、単位細孔構造の中心にある映進面を挟んで細孔両面が鏡像異性体対の関係にあるラセミ化合物であることから、キラルゲスト分子のジアステレオ選択的吸着によってその一面のみがブロックされることにより、残されたもう一面をホモキラルな分子吸着場として活用することが可能となる。さらに、生じたホモキラル面にプロキラル化合物を面選択的に吸着することによって、反応点の *Re* 面、*Si* 面の一方のみを保護することが可能となり、立体選択的な触媒反応場の設計に活用できる。そこで本研究では、適切なキラル分子の検討に基づいて、プロキラル分子の面選択的吸着現象の実証実験を行った。具体的には、生体関連分子を含むいくつかの光学活性化合物を検討して適切なキラル分子を選定したのち、カルボニル基を含むプロキラル化合物と同時に MMF 細孔内に導入したところ、目的通りにプロキラル化合物が細孔片面のみに面選択的に吸着されることが単結晶 X 線回折測定より明らかとなった (図 5) [9]。本知見により、MMF 細孔内での立体選択的触媒反応の設計ポテンシャルを広げることができた。

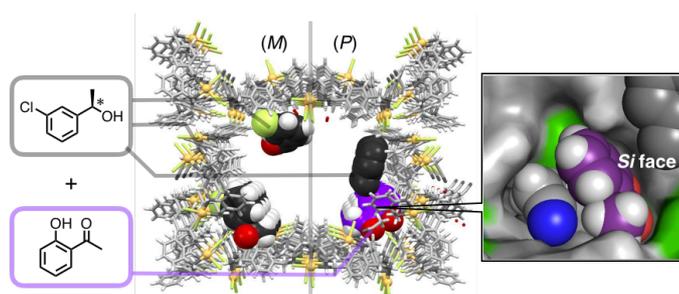


図 5. 光学活性ゲストで修飾された MMF 細孔壁面におけるプロキラル化合物の面選択的吸着。

ことにより、反応点の *Re* 面、*Si* 面の一方のみを保護することが可能となり、立体選択的な触媒反応場の設計に活用できる。そこで本研究では、適切なキラル分子の検討に基づいて、プロキラル分子の面選択的吸着現象の実証実験を行った。具体的には、生体関連分子を含むいくつかの光学活性化合物を検討して適切なキラル分子を選定したのち、カルボニル基を含むプロキラル化合物と同時に MMF 細孔内に導入したところ、目的通りにプロキラル化合物が細孔片面のみに面選択的に吸着されることが単結晶 X 線回折測定より明らかとなった (図 5) [9]。本知見により、MMF 細孔内での立体選択的触媒反応の設計ポテンシャルを広げることができた。

(5) アミノ酸・ペプチドの位置選択的配列による超分子酵素の構築

上述した(2)~(4)における MMF 細孔の活用可能性の検討とともに、本研究課題の最終目的である超分子酵素の構築についても並行して研究を進めた。まず基礎的な知見として、MMF 細孔内へのアミノ酸・ペプチドの位置選択的吸着における残基特異性を明らかにするとともに、吸着過程の熱力学および速度論的側面についても検証を行った。その結果、セリン残基が MMF 細孔の天井ポケット、トリプトファン残基が細孔の下隅ポケットに位置選択的に吸着することが分かった。次に、得られた知見に基づいてセリン、トリプトファン残基を含むアミノ酸・ペプチドを同時に添加したところ、二種の異なるアミノ酸・ペプチドが細孔内に同時に吸着されることが単結晶 X 線回折測定より明らかとなった (図 6)。さらに、これらのアミノ酸・ペプチドの末端に反応基を導入して、細孔内での同時吸着に基づく反応促進や選択性向上についても検討を進めた。本研究で示した Bio-inspired な触媒設計は既存の多孔性結晶では不可能であり、高い学術的インパクトが期待されることから、これらの成果の論文投稿を準備している。

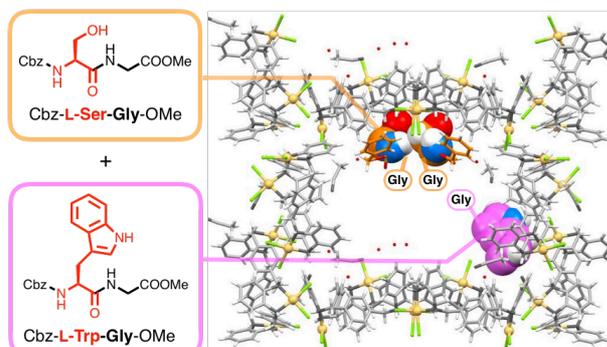


図 6. セリンおよびトリプトファン残基を含む異種ペプチドの位置選択的同時配列。

上述した(1)~(5)の成果に加え、本研究を含む MMF に関する成果を取りまとめた総説を論文発表したとともに [10]、MMF 類似構造の合成検討時に予定外に発見した新規大環状化合物 benzimidazole[3]arene の簡便合成法についても論文発表を行った [11]。

<引用文献>

- [1] S. Tashiro, R. Kubota, M. Shionoya, *J. Am. Chem. Soc.* 134, 2461–2464 (2012).
- [2] S. Tashiro, M. Shionoya, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* 87, 643–654 (2014).
- [3] R. Kubota, S. Tashiro, T. Umeki, M. Shionoya, *Supramol. Chem.* 24, 867–877 (2012).
- [4] S. Tashiro, T. Umeki, R. Kubota, M. Shionoya, *Angew. Chem. Int. Ed.* 53, 8310–8315 (2014).
- [5] R. Kubota, S. Tashiro, M. Shiro, M. Shionoya, *Nat. Chem.* 6, 913–918 (2014).
- [6] S. Tashiro, M. Chiba, M. Shionoya, *Chem. Asian J.* 12, 1087–1094 (2017).
- [7] S. Tashiro, H. Yonezawa, R. Kubota, T. Umeki, M. Shionoya, *Chem. Commun.* 52, 7657–7660 (2016).
- [8] H. Yonezawa, S. Tashiro, T. Shiraogawa, M. Ehara, R. Shimada, T. Ozawa, M. Shionoya, *J. Am. Chem. Soc.* 140, 16610–16614 (2018).
- [9] S. Tashiro, T. Umeki, R. Kubota, M. Shionoya, *Faraday Discuss.* accepted.
- [10] S. Tashiro, M. Shionoya, *Acc. Chem. Res.* 53, 632–643 (2020).
- [11] S. Tashiro, T. Umeki, R. Kubota, M. Shionoya, *Chem. Sci.* 9, 7614–7619 (2018).

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 0件）

1. 著者名 H. Yonezawa, S. Tashiro, T. Shiraogawa, M. Ehara, R. Shimada, T. Ozawa, and M. Shionoya	4. 巻 140
2. 論文標題 Preferential Photoreaction in a Porous Crystal, Metal-Macrocyclic Framework: PdII-Mediated Olefin Migration over [2+2] Cycloaddition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 16610-16614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b08534	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 S. Tashiro, T. Umeki, R. Kubota, and M. Shionoya	4. 巻 9
2. 論文標題 Rational Synthesis of Benzimidazole[3]arenes by CuI-catalyzed Post-macrocyclization Transformation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 7614-7619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc03086c	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 S. Tashiro, and M. Shionoya	4. 巻 53
2. 論文標題 Novel Porous Crystals with Macrocyclic-Based Well-Defined Molecular Recognition Sites	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Acc. Chem. Res.	6. 最初と最後の頁 632-643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.9b00566	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 S. Tashiro, T. Umeki, R. Kubota, and M. Shionoya	4. 巻 -
2. 論文標題 Face-selective adsorption of a prochiral compound on the chiral pore-surface of metal-macrocyclic framework (MMF) directed towards stereoselective reactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Faraday Discuss.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	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 S. Tashiro, M. Chiba, and M. Shionoya	4. 巻 12
2. 論文標題 Arrangement of Proteinogenic α -Amino Acids on a Cyclic Peptide Comprising Alternate Biphenyl-Cored α -Amino Acids	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 1087-1094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201700203	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 S. Tashiro, H. Yonezawa, R. Kubota, T. Umeki, and M. Shionoya	4. 巻 52
2. 論文標題 3.Non-Covalent Immobilisation of p-Toluenesulfonic Acid in a Porous Molecular Crystal for Size-Specific Acid-Catalysed Reactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 7657-7660
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6cc02621d	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21件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 田代 省平
2. 発表標題 超分子酵素を志向した環状錯体集積型多孔性結晶の機能化
3. 学会等名 第17回リング・チューブ超分子研究会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shohei Tashiro
2. 発表標題 Metallomacrocyclic-assembled Porous Crystal: Dissymmetric Chemical Modification for Designing Precise Nano-reactors
3. 学会等名 Japan-China Joint Interdisciplinary Symposium on Coordination-based Hybrid Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroataka Yonezawa, Takafumi Shiraogawa, Shohei Tashiro, Masahiro Ehara, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Development and Mechanistic Study of Olefin Migration Reaction with Photo-Activated Pd-Species in Metal-Macrocyclic Framework
3. 学会等名 第64回有機金属化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shohei Tashiro, Kousuke Nakata, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Site-selective recognition of peptides within a metallomacrocyclic-assembled porous crystal
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田代 省平
2. 発表標題 環状多核金属錯体の自己組織化による多孔性機能材料の創製
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 優太郎・田代 省平・関根 良輔・原野 幸治・中村 栄一・塩谷 光彦
2. 発表標題 光還元反応による環状金属錯体集積型多孔性結晶-金ナノ粒子複合体の合成と構造・機能解析
3. 学会等名 錯体化学会第67回討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山下 優太郎・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 環状Pd(II)錯体集積型多孔性結晶-金ナノ粒子複合体の構築
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuheii Nakajima, Shohei Tashiro, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Development of cycloaddition reactions in chiral porous crystals composed of helical trinuclear Pd(II)-macrocyclic complexes
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 米澤 拓孝・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 多孔性結晶Metal-Macrocyclic Framework(MMF)の内部空間における光誘起オレフィン移動反応の反応機構解析
3. 学会等名 第27回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田代 省平・米澤 拓孝・中田 光祐・塩谷 光彦
2. 発表標題 環状らせん錯体集積型ポラス結晶による精密反応場の構築
3. 学会等名 第65回高分子討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroataka Yonezawa, Shohei Tashiro, Ryou Kubota, Tsutomu Umeki, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Non-covalent immobilization of acid catalysts in Metal-Macrocyclic Framework (MMF) for size-specific reactions
3. 学会等名 2nd International Symposium on Center of Excellence for Innovative Material Sciences Based on Supramolecules
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shohei Tashiro
2. 発表標題 Metal-macrocyclic frameworks (MMFs): molecular arrangement, transformations, and in situ X-ray observations
3. 学会等名 ETHZ-UTokyo Joint Symposium of Frontier Chemistry
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 米澤 拓孝・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 Pd錯体集積型多孔性結晶MMFの内部空間における光反応様式の転換現象とその機構解析
3. 学会等名 第6回CSJ化学フェスタ2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中田 光祐・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 チャンネル型分子結晶内におけるアミノ酸の精密配列に基づく機能性ナノ空間の構築
3. 学会等名 日本化学会第97春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中田 光佑・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 チャンネル型分子結晶の細孔内における残基特異的アミノ酸認識
3. 学会等名 錯体化学会第65回討論会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 米澤 拓孝・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 多孔性超分子錯体結晶Metal-Macrocycle Framework (MMF) の内部空間におけるキノリノン誘導体の光反応選択性の制御
3. 学会等名 錯体化学会第65回討論会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Shohei Tashiro, Ryou Kubota, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Dynamic aspects of molecular arrangement in a porous crystal with multiple binding pockets
3. 学会等名 PACIFICHEM 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hirotaka Yonezawa, Shohei Tashiro, Ryou Kubota, Tsutomu Umeki, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Size-specific catalytic recognitions based on immobilization of acids in metal-macrocycle framework
3. 学会等名 PACIFICHEM 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Shohei Tashiro, Ryoma Ishii, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Halogen elimination reaction of an Au(III) complex included in a Pd(II)-macrocycle-assembled porous crystal
3. 学会等名 日本化学会第96春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirotaka Yonezawa, Shohei Tashiro, Mitsuhiko Shionoya
2. 発表標題 Construction of size-specific and reaction-selective reaction fields with a porous crystal Metal-Macrocycle Framework (MMF)
3. 学会等名 日本化学会第96春季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 中田 光祐・田代 省平・塩谷 光彦
2. 発表標題 チャンネル型分子結晶の細孔内における異種アミノ酸の位置選択的集積化
3. 学会等名 日本化学会第96春季年会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 塩谷 光彦・田代 省平	4. 発行年 2016年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 10
3. 書名 ナノ空間材料ハンドブック	

1. 著者名 窪田 亮・田代 省平・塩谷 光彦	4. 発行年 2015年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 5
3. 書名 化学	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----