

令和 2 年 6 月 21 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01198

研究課題名(和文)直鎖状及びリング状レニウム(I)多核錯体を中核とする新規光機能物質の創製

研究課題名(英文)Development of novel photofunctional materials with linear and ring-shaped rhenium(I) multinuclear complexes as the central molecules

研究代表者

石谷 治 (Ishitani, Osamu)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：50272282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,600,000円

研究成果の概要(和文)：リング状Re(I)多核錯体(Ring)に様々な金属錯体を導入する方法を確立し、(1) Ru(II)錯体(2) Re(I)錯体(3) もう一つのRingをそれぞれ結合した多核錯体(Ring-Ru、Ring-Re、Ring-Ring)を合成することに成功した。Ring-RuとRing-Ringは高効率な光捕集機能、Ring-Reは高いCO₂還元光触媒能を有することを明らかにした。

Ringとヘテロポリ酸(POM)の1:1超分子複合体(Ring-POM)の高収率合成に成功し、光化学的に多電子を蓄積し、それを段階的に触媒へと供給する機能を有する新たなレドックス光増感剤として機能することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光増感剤や発光材料として機能するRingに、別種の錯体を導入することで、従来に無い光機能性分子へ転換できることを証明した。今後、人工光合成や有機合成などの分野に応用されることが期待される。Ringとヘテロポリ酸の複合体を多電子レドックス光増感剤として用い、錯体触媒によるCO₂還元反応の機構に関する重要な情報を得たことは、より高機能なCO₂還元光触媒系を開発するための新たな分子設計指針を与える。

研究成果の概要(英文)：We developed coupling methods of ring-shaped Re multinuclear complexes (Ring) with another or other metal complex(es). These methods can be applied to introduction of (1) a Ru(II) complex, (2) a Re(I) complex, and (3) another Ring (Ring-Ru, Ring-Re, Ring-Ring): Ring-Ru and Ring-Ring showed high light-harvesting abilities, and Ring-Re worked as an efficient photocatalyst for CO₂ reduction.

We successfully synthesized 1:1 supramolecules of Ring and Keggin-type heteropolyoxometalate (Ring-POM) in good yields. Ring-POM could photochemically accumulate multi electrons in one molecule, and work as a new type of redox photosensitizers, which can mediate stepwise electron transfer.

研究分野：光反応化学

キーワード：リング状レニウム(I)多核錯体 Keggin型ポリ酸 光物性 CO₂還元 光触媒 超分子

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属錯体を集積化することで、電子・プロトン伝導性や磁性の発現、特異な空間の形成など新たな研究分野が開拓されてきた。しかし、発光性を有する金属錯体を集積化した多核錯体は限られたものしか報告されていない。数少ない例も、有機高分子にペンダントとして錯体をぶら下げるか、有機配位子自体を重合したポリマーに金属を配位させたものがほとんどである。高分子骨格自体に発光性金属錯体を組み込むことができれば、金属の d 軌道が関与した新規な光機能を発現できる可能性がある。

我々は、代表的な発光性金属錯体である Re(I)ジイミン錯体を骨格に組み込んだ新規オリゴマー、ポリマーの合成に成功した(図1)。すなわち、当研究室で発見した Re(I)錯体の光配位子置換反応 (*J. Am. Chem. Soc.* 2002, 124, 11448) を活用することで、リン2座配位子で2核-20核の Re(I) 錯体を架橋した鎖状多核錯体 (*J. Am. Chem.*, 2008, 130, 14659) および 2核-10

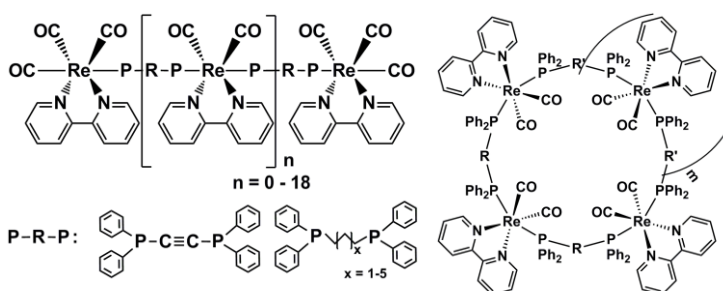


図1. 合成に成功した直鎖状およびリング状 Re(I) 多核錯体

核の Re(I)錯体で形成されるリング状多核錯体 (*J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 13266) を高収率かつ高選択的に合成することができる。鎖状の多核錯体の場合、両末端の錯体が光励起されると内部の錯体へ効率的なエネルギー移動が起こるため光エネルギー集約分子として機能する (*J. Am. Chem. Soc.* 2010, 132, 11743)。

一方リング状 Re(I)多核錯体は、リング内部の空孔サイズや価数を様々に変えることが可能で、その形状に応じて吸収波長や発光強度が変化するという特異な光物性を示す (*Inorg. Chem.* 2015, 54, 8769)。また、リング状多核錯体は、光化学的に 2-4 電子を分子内に蓄積する電子プール分子として機能する (*Inorg. Chem.* 2014, 53, 7170)。これらの光レドックス機能を光増感剤として活用し、種々の触媒と併用することで、これまで報告された中で最も高い効率で CO₂ を還元する光触媒を開発することに成功している (*Chem. Sci.* 2016, 7, 6728)。

本申請研究では、ユニークで優れた光物理・光化学特性を示す鎖状およびリング状 Re(I)多核錯体を誘導体化、集積化することで、その光機能の飛躍的向上を図った。また、メソポーラス有機シリカ(PMO: 高い光捕集機能と規則的なナノサイズ細孔を有する)や、ヘテロポリ酸(POM: 多価のアニオンであり、それ自身も多電子蓄積能を有することが知られている)と、我々が開発してきた Re(I)多核錯体を融合した複合体を構築することで、新たな光機能の発現を目指した。

2. 研究の目的

申請者らが世界に先駆けて合成に成功した鎖状及びリング状 Re(I)多核錯体は、それ自身ユニークで優れた光物理・光化学特性を示す。本申請研究では、これら発光性 Re 多核錯体を、誘導体化・集積化、さらに他の機能性物質と複合化する新たな方法を開発し、これまで達成が困難であった新たな光機能の発現を目指した。具体的には、Re(I)多核錯体と、1) ヘテロポリ酸やメソポーラス有機シリカとのハイブリッドの合成法、および2) Ru(II)や Os(II), Ir(III)などの金属錯体光増感剤との連結法を新たに開発し、3) 光合成の光アンテナに匹敵する 2 段階光エネルギー集約系の構築を目指した。さらに、様々な光エネルギーの化学エネルギーへの変換反応において希求されている4) 多様な還元力を有する電子を分子内に多数蓄積できる超分子系を構築することを目指した。

3. 研究の方法

まず、鎖状およびリング状 Re(I)多核錯体を誘導体化する手法、および多核錯体自体を集積化する新たな合成法を確立した。多核錯体を複数結合することで高い光捕集機能を有する巨大分子構造体や、多核錯体の特性を生かした新規光触媒を構築した。また、ヘテロポリ酸とリング状多核錯体の超分子複合体を合成し、その物性、電気化学特性や光化学特性を検討することで、多数の電子を授受できる複合系を開発した。

(1) 多様な分子を結合したリング状 Re(I)多核錯体の創成と光捕集系および光触媒への展開

①リング状 Re(I)錯体と種々の光機能性金属錯体の複合系

電子移動を駆動する光増感錯体と触媒を連結した超分子光触媒は、水の酸化や還元、CO₂の還元などにすぐれた性能を示す。これらの光増感剤や触媒錯体と、リング状 Re(I)多核錯体をヘック反応等により連結する情報を開発した。得られたハイブリッド多核錯体の光物性および光触媒能を調べることで、リング状 Re(I)多核錯体を光捕集部位とする光触媒としての性能を明らか

にする事を目指した。

②リング状 Re(I) 4核錯体を複数結合した眼鏡型 Re(I)多核錯体

ジイミン配位子に、オレフィンもしくはハライドを導入したリング状4核錯体を、ヘック反応を用いて2分子結合させる。これにより合成される眼鏡型 Re(I)多核錯体は、各構成ユニットであるリング状4核錯体が可視光を強く吸収し、しかも長い励起寿命を有する多核錯体であるため、光捕集・集約系として機能する可能性が高く、光合成における光捕集系の新たなモデルとなる。

(2) リング状 Re(I)多核錯体とヘテロポリ酸の超分子複合体構築と光機能性の解明

Re(I)多核錯体は、核数とおなじ複数の正電荷を分子内に分散して持つ。さらにリング状多核錯体は、核数と架橋リン配位子の長さを変えることで、内部空間の大きさを自在に制御することが可能である。一方、ヘテロポリ酸は、球状の多価アニオンであり、1分子内に2電子を蓄積でき、電子プール分子として機能することが知られている。すでに我々は、4価のカチオンであるリング状4核錯体を、4価のアニオンであるヘテロポリ酸[SiW₁₂O₄₀]⁴⁻と有機溶媒中混合することで、それらが1:1で結合した複合体を合成することを目指した。この方法を用いることで、SiおよびGeをヘテロ原子として有するヘテロポリ酸[XW₁₂O₄₀]⁴⁻ (X = Si, Ge)で構成された複合体(Ring-XPOM)を合成し、その構造と光物理的、光化学的性質を精査した。これら2種の超分子を還元剤共存下光照射することで多電子蓄積能を有するかを検討した。

(3) Ring-XPOM を多電子レドックス光増感剤として用いた CO₂ 光触媒還元反応

Ring-XPOM を、各種錯体触媒と合わせ用いることで、新たな CO₂ 還元光触媒系の構築を試みた。光電子移動を駆動する Ring 部と、多電子を蓄積する電子プールとして働く POM が錯体触媒に2電子を順次的に効率よく渡すことができれば、これまで報告例のない機構と効率で進行する光触媒となる。また、ポリ酸のヘテロ元素(X)を変えた Ring-SiPOM おおおよび Ring-GePOM では、POM 部に蓄積された電子の還元力が大きく異なる。これを用いて、CO₂ 還元触媒反応においてまだ明らかにされていない触媒の反応中間体の還元電位を特定することを目指した。

4. 研究成果

(1) 多様な分子を結合したリング状 Re(I)多核錯体の創成と光捕集系および光触媒への展開

Re(I)ジイミンカルボニル錯体を多核化、多様化するために必要な3種の合成経路を新たに開発した。この合成経路を活用することで、これまで報告例のない以下のリング状 Re(I)多核錯体の合成に成功した。

① 異種のジイミン配位子を分子内に有するリング状 Re(I)多核錯体

直鎖状 Re(I)多核錯体の両端の CO 配位子を選択的に置換する方法を確立した。この方法を用いることにより、電子吸引性の置換基を有するレニウム錯体ユニットを一つだけ有し、他の複数のユニットは置換基を導入していないリング状 Re(I)3核および4核錯体の合成に成功した。

この多核錯体におけるどのユニットを光励起しても、電子吸引性の置換基を有するレニウム錯体ユニットに励起エネルギーが集約されることが分かった(図2)。

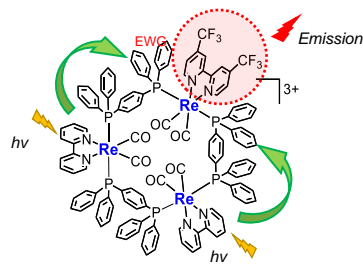


図2. 異種のジイミン配位子を有するリング状 Re(I)三核錯体

② 2つのリング状 Re(I)多核錯体を共有結合で連結した「眼鏡状」Re(I)6核錯体

リング状 Re(I)3核錯体の一つのジイミン配位子にブロモ基を導入し、Pd錯体を触媒としたホモカップリング反応を駆動することで2つのリング状 Re(I)多核錯体を共有結合で連結した「眼鏡状」Re(I)6核錯体を高収率で得ることに成功した(図3)。この錯体のどの部分を光励起しても分子内エネルギー移動が効率よく進行し、連結部のレニウム錯体に励起エネルギーが集約された。

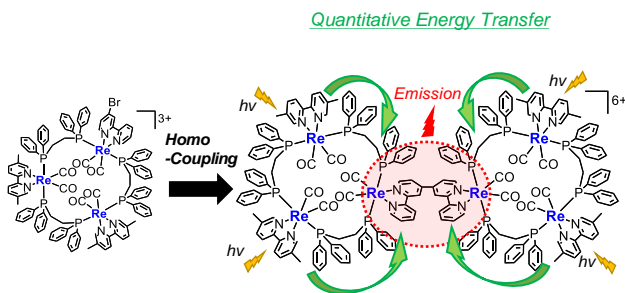


図3. 「眼鏡状」Re(I)6核錯体の合成と光エネルギー集約機能

③ Ru(II)錯体を共有結合で連結したリング状 Re(I)3核錯体

溝呂木—ヘック反応をリング状 Re(I) 多核錯体に適用する方法を確立した。それにより、光増感剤として高い機能を有する Ru(II) トリスジイミン型錯体を一つのユニットに結合したリング状 Re(I) 3 核錯体の合成に成功した。リング状 Re(I) 3 核錯体部の何れのユニットを光励起しても、ほぼ全ての励起エネルギーがルテニウム錯体部に集約することが明らかになった。

④ 触媒機能を有する金属錯体とリング状 Re(I) 多核錯体を結合した超分子光触媒

菌頭クロスカップリング反応を用いることで、フリーなジイミン配位子がエチニル基でリング状 Re(I) 三核錯体に結合した錯体の合成法を確立した。比較的温和な反応条件で、この多核錯体に、CO₂ を CO へと選択的に還元する触媒として機能することが知られている Re(I) ジイミントリカルボニル錯体を触媒部として導入することができた(図 4)。具体的には、Ring と触媒部がエチニル鎖で連結した Re(I) 四核錯体 (**Re≡Ring1**, **Re≡Ring2**) を比較的良い収率で得ることができた。**Re≡Ring1** のエチニル基を光化学的に還元し、選択的にエチレン基に変換する方法を確立した。

このようにして得られた **Re-Ring1** と **Re≡Ring1** を光触媒として用いた CO₂ 還元反応を試みた。その結果、何れの錯体も CO₂ を CO へと選択的に還元する光触媒として高い機能を有することがわかった。光触媒反応の経時変化および光触媒反応溶液の各種スペクトル測定により、**Re≡Ring1** のエチニル基は光触媒反応初期においてエチレン基に還元されることが明らかになった。すなわち、真の光触媒は、何れの錯体から始めても **Re-Ring1** である。超分子光触媒 **Re-Ring1** は、対応するリング状 Re(I) 三核錯体と単核 Re(I) 錯体触媒を用いた混合光触媒系と比べ、光触媒機能の耐久性、CO 生成の量子収率共に約 1.4 倍向上した。

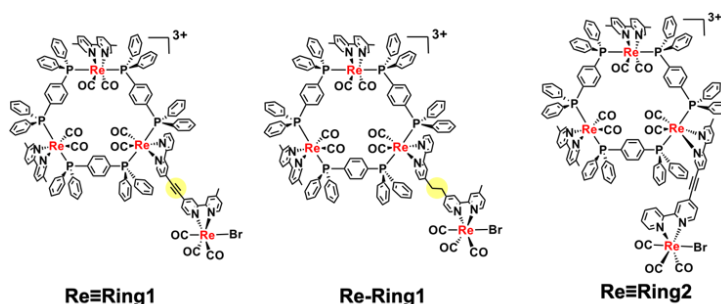


図 4. 高い CO₂ 還元光触媒機能を有する Re(I) 四核錯体

(2) リング状 Re(I) 多核錯体とヘテロポリ酸の超分子複合体構築と光機能性の解明

リング状 Re(I) 四核錯体と、Si および Ge を中心に持つ Keggin 型ポリ酸 (SiPOM および GePOM) の超分子複合体 (**Ring-XPOM**) の有機溶媒 (DMSO) 中での構造を各種分光および粒径測定により詳細に検討した。その結果、何れの複合体も DMSO に溶解し、しかもリング状 Re(I) 四核錯体とポリ酸が 1 : 1 のイオンペアとして超分子を形成したまま存在していることが明らかとなった(図 5)。

Ring-XPOM は、DMSO 溶液に還元剤 (BIH) を共存させ可視光を照射すると合計で 3 電子を 1 超分子内に蓄積することが分かった。この光多電子還元反応は、励起されたリング状 Re(I) 四核錯体内で光励起された Re 錯体部が、超分子内のポリ酸により酸化的消光を受けることによって開始される。酸化された Re 錯体部が素早く BIH により再還元されることでポリ酸部が 1 電子還元された超分子の 1 電子還元種が高効率かつ安定に生成する。さらにリング部の Re 錯体が励起されることで、ポリ酸部の 2 電子還元が進行した。この後の光還元によって超分子内に取り込まれる 3 つ目の電子は、SiPOM の場合は Re 錯体部に蓄積されるが、GePOM の場合、溶液中に発生したプロトンを取り込みながら GePOM にさらに蓄積されることが明らかとなった。

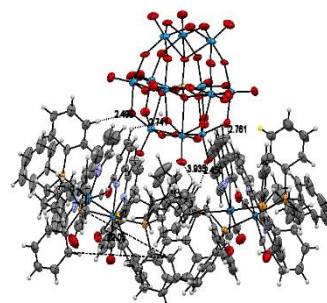


図 5. 合成に成功したリング状 Re(I) 4 核錯体とヘテロポリ酸複合体 (**Ring-XPOM**)

(3) **Ring-XPOM** を多電子レドックス光増感剤として用いた CO₂ 光触媒還元反応

リング状 Re(I) 四核錯体と Si および Ge を中心に持つ Keggin 型ヘテロポリ酸 (SiPOM および GePOM) の超分子複合体 (**Ring-XPOM**) を光増感剤、Re(I) 錯体もしくは Ru(II) 錯体を触媒とした CO₂ 還元反応を試みたところ、4 種の組み合わせ何れも光触媒的に CO₂ 還元が進行した。主生成物は、Re(I) 錯体を触媒とした場合 CO であり、一方 Ru(II) 錯体を用いるとギ酸となった。

光触媒反応中における溶液の紫外可視吸収スペクトルを測定した。この反応条件下で、触媒を共存させず光照射を行うと、**Ring-SiPOM** では一分子あたり 3 電子が蓄積され、**Ring-GePOM** では、主に 3 電子が蓄積され、さらに長時間光照射を続けると一部 4 電子蓄積が観測された。Re(I) 錯体触媒 (構造を図 6 に示す) を共存させると、**Ring-SiPOM** を光増感剤に用いる反応では 1 電子のみが蓄積された。このことは、**Ring-SiPOM** が 2 電子を供与する新しいタイプのレドックス光増感剤として機能したことを示している。一方、**Ring-GePOM** を用いると 2 電子が蓄積され **Ring-GePOM** の 2 電子還元種は、Re(I) 錯体触媒のみならず、反応中間体にも電子を供与できないこと

が分かった。すなわち、光励起されることで1電子移動を駆動する通常の光増感剤としてのみ機能する。これらの結果と、電気化学的に評価した SiPOM および GePOM の還元種の還元力の比較から、Re(I) 錯体触媒を用いた CO₂ 還元反応における反応中間体は、 $-1.40 \text{ V} < E < -1.33 \text{ V}$ vs. Ag/AgNO₃ の還元電位を有することが明らかになった(図6)。この中間体に関しては長年研究が行われて来たが、その構造や性質は明らかになっておらず、本研究で始めて還元電位が特定されたことになる。同様の方法を用いることで、Ru(II) 錯体触媒 (Ru(bpy)(CO)₂Cl₂) を用いた CO₂ 還元反応における触媒反応中間体の2電子目の還元電位を $-1.33 \text{ V} < E$ と特定することに初めて成功した。

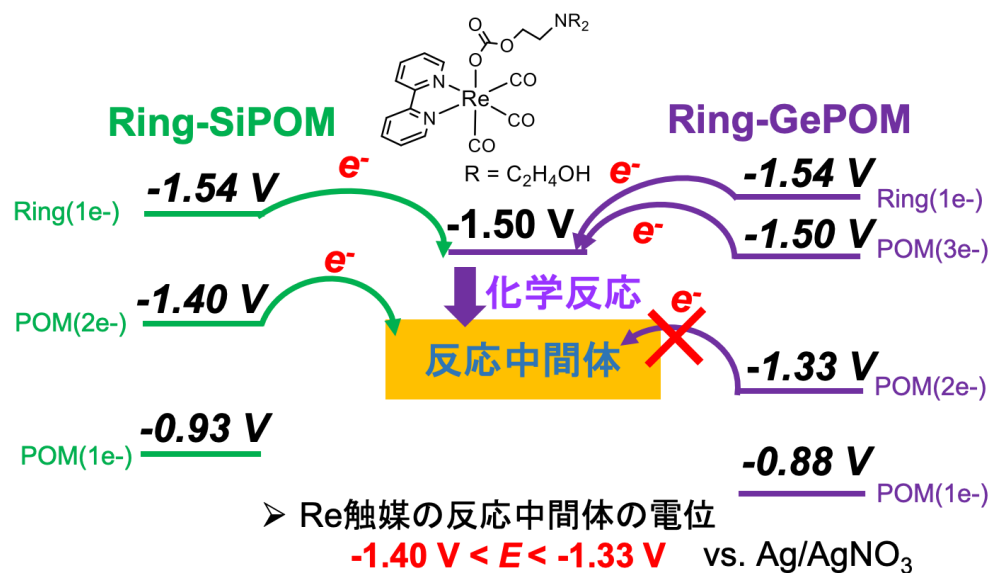


図6. Ring-XPOM と Re(I)単核錯体触媒による CO₂還元反応における中間体の還元電位を決定することに成功

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 Yamazaki Yasuomi, Ishitani Osamu	4. 巻 58
2. 論文標題 Synthesis of an Emissive Spectacle-Shaped Hexanuclear Rhenium(I) Complex	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12905 ~ 12910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b01856	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 Matsubara Yasuo, Kosaka Tatsumi, Nagasawa Akira, Yoshida Yukino, Sakuma Ryuji, Masano Nana, Ishitani Osamu	4. 巻 49
2. 論文標題 Theoretical Insight into the Importance of a Carbamoyl Group in the Hydride Transfer from a Ruthenium Complex to a Pyridinium	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 364 ~ 367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190937	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 Yamazaki Yasuomi, Rohacova Jana, Ohtsu Hiroyoshi, Kawano Masaki, Ishitani Osamu	4. 巻 57
2. 論文標題 Synthesis of Re(I) Rings Comprising Different Re(I) Units and Their Light-Harvesting Abilities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 15158 ~ 15171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b02421	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 17件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 D.C. Fabry, H. Koizumi, D. Ghosh, Y. Yamazaki, H. Takeda, Y. Tamaki, O. Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ reduction with novel supramolecular Mn(I) complexes
3. 学会等名 257th ACS National Meeting & Exposition (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction
3. 学会等名 UK-IT Joint Meeting on Photochemistry 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Development of photocatalytic CO ₂ reduction systems using water as a reductant
3. 学会等名 IUPAC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Maria Takahashi, Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photochemical Multi-Electron Accumulation and Photocatalytic CO ₂ Reduction Using a Hybrid Consisting of a Ring-Shaped Re(I) Tetranuclear Complex and Polyoxometalate
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on the Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds (ISPPCC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋麻璃亜, 山崎康臣, 淺谷剛, 森本樹, 石谷治
2. 発表標題 リング状Re(I)四核錯体とポリ酸からなる光化学的多電子蓄積系を光増感剤として用いたCO ₂ 還元反応
3. 学会等名 第31回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic and Electrocatalytic Reduction of Low Concentration of CO ₂
3. 学会等名 nanoGe Fall Meeting19 "Solar Fuel Synthesis: From Bio-inspired Design to Devices" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic and Electrocatalytic Reduction of Low Concentration of CO ₂
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference and International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (ISF-3/ICARP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石谷 治
2. 発表標題 低濃度二酸化炭素の直接資源化
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020) (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 麻璃亜・山崎 康臣・浅谷 剛・森本 樹・石谷 治
2. 発表標題 リング状Re(I)四核錯体とポリ酸ハイブリッドによる光化学的多電子蓄積系を用いたCO ₂ 還元触媒中間体の還元電位測定
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 David C. FABRY, Kenji OHASHI, Tomoji OZEKI, Osamu ISHITANI
2. 発表標題 Design of Novel Mn(I) Catalysts for High Performance Photocatalytic CO ₂ Reduction
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会 (2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷口貴史, Fabry David, 石谷治
2. 発表標題 環状Re(I)三核錯体光増感部を有する超分子光触媒の開発
3. 学会等名 錯体化学会第69回討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口貴史, Fabry David, 石谷治
2. 発表標題 リング状Re(I)三核錯体光増感部を有するCO ₂ 還元超分子光触媒の開発
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 谷口貴史, Fabry David, 石谷治
2. 発表標題 環状Re(I)三核錯体光増感部を有する超分子光触媒の開発
3. 学会等名 第40回 光化学若手の会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 CO2資源化を目指した人工光合成の開発：現状と将来展望
3. 学会等名 石油化学部会シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 New Directions to Development of Photocatalytic CO2 Reduction
3. 学会等名 RSC Symposium: Frontiers of Catalysis and Photocatalysis for Energy Chemistry（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 金属錯体、有機金属を中核としたCO2還元光触媒の開発
3. 学会等名 有機金属部会平成30年度第2回例会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 二酸化炭素の変換反応
3. 学会等名 三井化学株式会社講演会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic and Electrocatalytic Reduction of Low Concentration of CO ₂
3. 学会等名 I2CNER INTERNATIONAL WORKSHOP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic and Electrocatalytic Reduction of Low Concentration of CO
3. 学会等名 the 6th International Symposium on Solar Fuels and Solar Cells (the 6th SFSC) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 玉置悠祐・石谷治
2. 発表標題 一重項 - 三重項遷移を利用したルテニウム(II)光増感錯体の高機能化
3. 学会等名 第30回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 麻璃亜, 山崎 康臣, 石谷 治
2. 発表標題 リング状ルテニウム(I)四核錯体-ポリ酸ハイブリッドによる多電子蓄積と光触媒反応
3. 学会等名 錯体化学会第68回討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 FABRY, David Christoph; KOIZUMI, Hiroki; GHOSH, Debashis; YAMAZAKI, Yasuomi; TAKEDA, Hiroyuki; TAMAKI, Yusuke; ISHITANI, Osamu
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction with Novel Supramolecular Mn(I) Complexes
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 麻璃亜・山崎 康臣・浅谷 剛・森本 樹・石谷 治
2. 発表標題 リング状Re()四核錯体とポリ酸の複合体による光化学的多電子蓄積反応とその光触媒特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 David C. Fabry, Hiroki Koizumi, Yasuomi Yamazaki, Hiroyuki Takeda, Yusuke Tamaki, Osamu Ishitani
2. 発表標題 Novel Supramolecular Mn(I) Complexes for Selective Photocatalytic CO ₂ Reduction
3. 学会等名 the 27th IUPAC International Symposium in Photochemistry (PhotoIUPAC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Maria TAKAHASHI, Yasuomi YAMAZAKI, Osamu ISHITANI
2. 発表標題 Photochemical Multi-electron Accumulation and Photocatalytic Reaction Using a Hybrid Consisting of a Ring-shaped Re(I) Tetranuclear Complex and Polyoxometalate??
3. 学会等名 2018年光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Maria Takahashi, Tsuyoshi Asatani, Yasuomi Yamazaki, Tatsuki Morimoto, Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photochemical Multi-electron Accumulation and Photocatalytic Reaction Using a Hybrid Consisting of a Ring-shaped Re(I) Tetranuclear Complex and Polyoxomethalate
3. 学会等名 10th Asia Photochemistry Conference (APC 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 可視光を用いた二酸化炭素還元反応の研究最前線
3. 学会等名 独立行政法人日本学術振興会 電磁波励起反応場第 188 委員会 第 1 回ワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic reduction of low concentration of CO ₂
3. 学会等名 INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHOTOCHEMISTRY AND ITS APPLICATION (ICPA 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Osamu Ishitani
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Metal Complexes as Key Players
3. 学会等名 the 24 th International SPACC Symposium (SPACC24) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 遷移金属錯体光触媒の光励起状態と二酸化炭素還元能
3. 学会等名 Raman Fest Japan 2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 人工光合成系構築を目指した二酸化炭素還元光触媒の高機能化
3. 学会等名 第36回エレクトロセラミックスセミナー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石谷治
2. 発表標題 太陽光の化学エネルギーへの変換を可能にする分子技術の確立
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会 (2018年) (招待講演)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

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