

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K05667

研究課題名（和文）含硫アミノ酸錯体を用いた水の完全分解触媒系の構築

研究課題名（英文）Creation of Water Splitting Systems Using Sulfur-containing Amino Acid Coordination Compounds

研究代表者

桑村 直人（Kuamura, Naoto）

工学院大学・教育推進機構（公私立大学の部局等）・准教授

研究者番号：80643791

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：高効率に水を分解して水素ガスと酸素ガスを得るには、水の酸化触媒と還元触媒の電子移動過程のエネルギーロスをゼロにしなければいけない。本研究では、逆電子/ホール移動をおさえつつ効率的なエネルギー移動を最大限獲得するための、“分子接合”の確立を目的として、触媒機能を有する金属錯体の連結様式を検討し、配位ポリマーを用いた高効率な水の完全分解系の構築を検討した。その結果、配位連結に関わる金属イオンの種類が、構造や触媒能に大きく影響を与えることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、有機合成を用いず、金属イオンの種類を変えることのみで、異なる立体構造と電子状態を生み出す「金属イオン先導型分子設計」を指針として、分子触媒を開発した。また、4種以上の金属イオンを含む前例のない分子系にチャレンジし、4種類の金属イオンを分子内にもつ分子性触媒の初めての例を示した。さらには、配位結合をつかっただけの分子連結による水分解触媒の開発を初めて検討し、分子の最大限のポテンシャルを発揮させるための接合技術を開発し、これまでにない機能性材料の開発に着手した。

研究成果の概要（英文）：This project established the water-splitting systems derived from sulfur-containing amino acid coordination compounds. For the purpose of development of efficient catalytic systems, this project focused on the metal linkers between molecular catalyst units in coordination polymers and found that the linkage metal ions strongly affected on not only the polymeric structures but also their water-splitting efficiency.

研究分野：錯体化学

キーワード：金属錯体 水素発生 配位ポリマー 硫黄架橋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化石エネルギー資源、希有金属資源・資材の枯渇は持続的な未来にとって自明の脅威である。水の完全分解は、水のみを基質としてクリーンエネルギーである水素ガスを作り出すため、社会に強く求められている技術の一つである。現在までに、主に金属酸化物などの半導体材料を用いた水の完全分解システムが実験室レベルでの第一線研究となっている。しかしこの場合は、分子の緻密な性能調整は難しく、また分子接合設計の難しさが実用面への障壁になっている。一方で、分子構造を調整可能な金属錯体を用いた研究も展開されている。水の完全分解の素反応のうち、還元側（水素の発生）については多くの金属錯体触媒が報告されている。一方で、酸化側（酸素の発生）については、2012年のMeyerらによる銅(II)錯体の研究 (*Nat. Chem.* **2012**, *4*, 495.) を発端に研究が発展し、半導体材料の性能を凌駕するものも現れ始めた。しかし、未だ十分に実用化の検討ができないのは、この両素過程を接合する十分な分子設計が確立されていないためである。従来の接合方法としては、物理的な接着あるいは特に共有結合を利用した化学結合による分子接合が利用されてきたが、これらの方法では界面抵抗が大きく、またリンカー部位を触媒分子に設計し直す必要が生じるといった弊害があり、そのために効率的な水の完全分解システムは達成されていない。

高効率に水を分解して水素ガスと酸素ガスを得るには、まずは水の酸化触媒電位と還元触媒電位の差を理想的な 1.23 V に近づける必要がある。すなわち、酸化・還元それぞれの過電圧をゼロにし、かつ電子移動過程にエネルギーロスを生んではいけない。金属錯体触媒は、個々の過電圧や触媒回転率では金属酸化物触媒を上回る性能を誇るものの、酸化サイトと還元サイトの間の界面での電子移動が極めて非効率なため、総合した水の完全分解系にはそのポテンシャルを発揮できていない。これは、歴史的に、錯体研究が個々の反応研究として発展したためではあるが、これらを統合する“分子界面研究”は喫緊の課題である。界面電子移動のエネルギー（相間電位差）ロスを生む最も大きな原因は、酸化サイトと還元サイトとの間に生じる電子抵抗と逆電子移動である。天然の光合成では、鉄-硫黄クラスターとキノンが、自身が酸化還元を繰り返して酸化/還元サイト間の電子移動を仲介することで、逆電子移動を効率的に抑えている。これを参考にすると、効率的かつ最もシンプルな方法は、酸化サイトと還元サイトを酸化還元活性なリンカーで分子接合することであるが、既存の酸化/還元錯体は互いに異なる分子構造をもつため、これは極めて困難である。すなわち、同様の分子構造をもつ酸化触媒・還元触媒を開発し、それらを単純な配位結合で組み合わせることが一つの解決策になると考えた。

2. 研究の目的

以上のことを踏まえて、本研究では、金属錯体を用いた高効率な水の完全分解系の構築のため、新たな分子接合設計の確立とその実証を目的とする。最終的には、相間電位差をゼロに実現する水分解系を構築し、この分野を席巻する半導体材料以上の効率を実現する。

3. 研究の方法

錯体の合成は既存の方法に従って行った。新規の金属錯体については、IR、吸収スペクトル、CD スペクトル、NMR スペクトル、蛍光 X 線分析、粉末 X 線分析、単結晶 X 線分析、元素分析により組成と構造を明らかにした。また、一部の化合物については、SPring-8 および韓国 Pohang Accelerator Laboratory での放射光を用いて、単結晶構造解析を行った。金属錯体の電気化学挙動については、三電極方式のサイクリックボルタメトリおよびバルク電解法によって調査した。水溶液の CV 測定では支持電解質として 0.1 M 硝酸ナトリウムを用い、水-アセトニトリル混合溶液の CV 測定では、0.1 M 過塩素酸リチウムを用いた。溶媒は、Merck Millipore 社の Elix 水 (10 MΩ·cm 以上) とアセトニトリル (99.8%) を使用した。作用電極として、グラッシーカーボンディスク電極を、参照電極として、銀/塩化銀電極を、対極として、白金線を用いた。バルク電解は多孔性グラッシーカーボン電極を作用電極として使い、ナフィオン膜を隔離膜とした 2 槽式で行った。ヘッドスペースに発生した気体の定量は、SHIMADZU 社のガスクロマトグラフによって同定をおこなった。不均一触媒能の検討には、錯体をナフィオン溶液 (5% in propanol) に懸濁させ (0.1 mg / 0.1 mL)、グラッシーカーボン電極ヘッドロップキャストした後 30 °C で真空乾燥させて担持した修飾電極を作用電極として、三電極式の CV 測定による評価した。走査速度は、特に明記しない限り、10 mV/sec とした。

4. 研究成果

既存の方法に従って、D-ペニシラミン(D-H₂pen)をもつ白金(II)錯体配位子([Pt(NH₃)₂(D-pen)₂]²⁻、1 と略す)に、パラジウム(II)イオンおよび銅(II)イオンを反応させることで、それぞれパラジウム(II)錯体([Pd₂(1)₂])および銅(II)錯体([Cu₂(1)₂])を得た。(1) まず、これらの錯体を連結金属イオンと混合し、複合化について試みた。(2) 次に、電気化学的な評価により複合化した材料の水分解触媒機能を明らかにした。(3) 最後に、異なる連結金属イオンを用いて、連結金属イオンの効果を調べた。

(1) 水の酸化還元触媒の複合化の試行

パラジウム(II)錯体 ($[\text{Pd}_2(1)_2]$) および銅(II)錯体 ($[\text{Cu}_2(1)_2]$) を 1 : 1 の比で混合し、そこに過剰量の Cu^{II} イオンを架橋金属イオンとして反応させた結果、濃い緑色の結晶が得られた。単結晶 X 線構造解析の結果、この結晶は、 $[\text{Pd}_2(1)_2]$ と銅(II)イオンを含む PdPtCu の三種金属混合錯体フレームワーク (2 と略す) であることが分かった。 $[\text{Pd}_2(1)_2]$ 中の 4 つのカルボキシ基はそれぞれ別の銅(II)イオンに配位結合していた。銅(II)イオンを中心に見ると、異なる 4 つの $[\text{Pd}_2(1)_2]$ のカルボキシ基から配位を受け、4 配位平面構造をもっていた。結果的に、2 は 3 次元方向に拡張した錯体フレームワークであることが分かった。2 には、 $[\text{Cu}_2(1)_2]$ が取り込まれていなかった。これは、 $[\text{Cu}_2(1)_2]$ のカルボキシ基の配位能が、 $[\text{Pd}_2(1)_2]$ のものに比べて弱いことを示す。

(2) 電気化学的水分解触媒機能の評価

得られた 2 が水分解触媒として作用するかを調べるため、2 の結晶を電極に担持して固体電極触媒機能を調査した。グラッシーカーボン電極上に担持された 2 は、水アセトニトリル混合溶媒中の LSV 測定において、オンセット電位約 -1.0 V に触媒電流が観測された。この電流上昇はアセトニトリルのみを溶媒とした時には観測されず、水を還元していることが分かった。 -1.2 V 定電位での BE 測定では、2 を担持した電極表面上からの泡の発生を確認した。GC を用いて気泡を分析したところ、これは水素ガスであることが分かった。LSV では、水還元のオンセット電位 (-1.0 V) は、1 より約 0.2 V 高く、過電圧が軽減された。このことは、銅(II)イオンとの相互作用で活性中心であるパラジウム(II)上のルイス酸性が上がり電子密度が軽減されたことを示す。一方で、LSV の酸化側に着目すると、水の酸化触媒に由来する電流上昇がみられなかった。定電位での BE と GC の同時測定を行い、触媒頻度 (TOF) を算出したところ、水の還元について、 0.04 s^{-1} となり、2 は水の還元触媒機能を有することが分かった。

(3) 連結金属イオンの効果の調査

連結金属イオンの効果を調べるため、 Cu^{II} イオンの代わりに Co^{II} 、 Mn^{II} についても同様の検討を行った。パラジウム(II)錯体 ($[\text{Pd}_2(1)_2]$) を溶かした水溶液に、 Co^{II} または Mn^{II} イオンを過剰量加えて結晶化を行った。 Co^{II} イオンとの反応では、 Cu^{II} イオンの時と同様に、三次元錯体フレームワークが得られたが、その構造は Cu^{II} イオンの時 (2) とは異なり、 $[\text{Pd}_2(1)_2]$ と 2 分子のコバルト(II)イオンからなる PdPtCo の三種金属混合錯体フレームワーク (3 と略す) であることが分かった。 $[\text{Pd}_2(1)_2]$ 中の 4 つのカルボキシ基のうち 3 つはそれぞれ別のコバルト(II)イオンに配位結合していた。コバルト(II)イオンは、もう 1 つのコバルト(II)イオンと水分子で架橋連結しており、さらにそれら 2 つのコバルト(II)イオンを異なる 2 つの $[\text{Pd}_2(1)_2]$ のカルボキシ基が架橋連結して、コバルト(II) 2 核ユニットを形成していた。このコバルト(II) 2 核ユニットは、もう 1 つの $[\text{Pd}_2(1)_2]$ のカルボキシ基と水分子からの配位により、コバルト(II)イオンは八面体構造をもつ。結果的に、3 は 3 次元方向に拡張した錯体フレームワークであることが分かった。

一方で、 Mn^{II} イオンを架橋金属イオンとした場合は、用いる対イオンの種類 (塩化物イオン、臭化物イオン) に応じて、異なる結晶が得られた。臭化物イオンを用いた場合には、 Co^{II} イオンを用いた 3 と同様の構造をもつ 3 次元錯体フレームワーク (4_{br} と略す) として結晶化した。一方で、塩化物イオンを用いた場合には、塩化物イオンが架橋 Mn^{II} イオンに配位することで、2 次元シート状の構造 (4_{cl} と略す) を作る事が分かった。これらの構造の違いは、用いる金属イオンのイオン半径の違いと水和エンタルピーの違いによるものと考えている。

次にこれらの結晶についても、2 と同様にして水分解触媒機能を調べた。グラッシーカーボン電極上に担持された 3 は、水アセトニトリル混合溶媒中の LSV 測定において、オンセット電位約 -1.0 V に触媒電流を示した。これはアセトニトリルのみを溶媒とした場合には観測されない。 -1.2 V 定電位での BE 測定で生じた気泡を、GC を用いて分析したところ、これは水素ガスであることが分かった。水還元のオンセット電位 (-1.0 V) は、2 と同程度である。一方で、LSV の酸化側に着目すると、触媒電流による電流上昇がみられた。これはアセトニトリルのみを溶媒とした際には見られず、水の酸化触媒に由来すると考えられる。定電位での BE と GC の同時測定を行い、触媒頻度 (TOF) を算出したところ、水の酸化および還元について、それぞれ 0.004 s^{-1} および 0.026 s^{-1} となり、3 は水の酸化も還元も触媒する二元機能触媒であることが分かった。これまでに水の酸化や還元を触媒する多くの金属錯体が報告されているが、水の酸化も還元も触媒する二元機能性を有する金属錯体の例はなく、これが初めての例となる。次に、 4_{cl} と 4_{br} についても同様に調査したところ、3 と同様の結晶構造をもつ 4_{br} は、3 と同様に水の酸化も還元も触媒する一方で、 4_{cl} は水の還元のみ触媒能を示した。このことは、連結する金属イオンの種類のみならず、錯体フレームワークの次元性と連結金属イオンの幾何構造が水の酸化触媒機能を引き出す上で重要であることを示している。

これらの結果から、用いる連結金属イオンの種類と組み合わせる対イオンの種類に応じて、フレームワークの次元性、安定性、水分解触媒機能性、連結金属イオンの幾何構造が異なる物質群が得られることが分かった。さらに、それぞれの過電圧は、原料となる 4 核錯体単体と比較して同程度であり、連結によって酸化および還元におけるエネルギーロスが生じないことを示した。TOF の値は、半導体材料を凌駕するわけではないが、原料となる 1 と比較して向上されており、錯体フレームワークの構築が、効率的な水分解触媒機能性を引き出す上で重要であることを初

めて見出した。今後は、光エネルギーを用いた水分解触媒システムの構築への発展に向けて、光増感材との複合化を検討していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 San Esteban Anna Carissa M., Kuwamura Naoto, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 58
2. 論文標題 Serendipitous formation of oxygen-bridged CuII ₆ M (M = Mn ^{II} , Co ^{II}) double cubanes showing electrocatalytic water oxidation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4192 ~ 4195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC07199H	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 Somsri Supattra, Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Yoshinari Nobuto, Rujiwatra Apinpus, Konno Takumi	4. 巻 24
2. 論文標題 Inclusion of cyclodextrins in a metallosupramolecular framework via structural transformations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 33 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CE01416A	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 San Esteban Anna Carissa M., Kuwamura Naoto, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 50
2. 論文標題 A chromotropic PtII PdII CoII coordination polymer with dual electrocatalytic activity for water reduction and oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 14730 ~ 14737
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1DT02587B	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 Surinwong Sireenart, Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Yoshinari Nobuto, Rujiwatra Apinpus, Konno Takumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Highly Porous Ionic Solids Consisting of Au ^I ₃ Co ^{III} ₂ Complex Anions and Aqua Metal Cations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12555 ~ 12564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.1c01877	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 Itai Takuma, Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Yoshinari Nobuto, Rujiwatra Apinpus, Konno Takumi	4. 巻 94
2. 論文標題 Photoluminescent Ionic Solids of S-Bridged Gold(I)-Gallium(III) and Gold(I)-Indium(III) Hexanuclear Complexes	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 2076 ~ 2078
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210180	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 Kuwamura Naoto, Konno Takumi	4. 巻 8
2. 論文標題 Heterometallic coordination polymers as heterogeneous electrocatalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 2634 ~ 2649
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1QI00112D	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 Uno Masashi, Kojima Tatsuhiro, Kuwamura Naoto, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 27
2. 論文標題 Racemic Tartrate/Malate Anions Combine with Racemic Complex Cations to Form Optically Active Ionic Crystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 8358 ~ 8364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202100576	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 Somsri Supattra, Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 11
2. 論文標題 Self-assembly of cyclic hexamers of α -cyclodextrin in a metallocsupramolecular framework with D-penicillamine	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 9246 ~ 9253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC03925J	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 San Esteban Anna Carissa M., Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Konno Takumi	4. 巻 59
2. 論文標題 Dimensional Structures and Electrocatalytic Activities of Platinum(II)-Palladium(II)-Manganese(II) Coordination Polymers Controlled by Chloride versus Bromide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 14847 ~ 14851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c01775	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 Kouno Masahiro, Kuwamura Naoto, Konno Takumi	4. 巻 57
2. 論文標題 Interconversion between square-planar palladium(ii) and octahedral palladium(iv) centres in a sulfur-bridged trinuclear structure	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1336 ~ 1339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC07490J	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 Minami Katsue, Kuwamura Naoto, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 14
2. 論文標題 Controlled Formation of Thiol Thiolate Hydrogen versus Disulfide Bonds between Two Iridium(III) Centers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 3291 ~ 3294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201901032	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 Somsri Supattra, Kuwamura Naoto, Yoshinari Nobuto, Konno Takumi	4. 巻 59
2. 論文標題 Heterochiral-to-Homochiral Structural Transformation in Metallosupramolecular Ionic Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 5610 ~ 5615
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c00308	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 Yoshinari Nobuto, Kuwamura Naoto, Kojima Tatsuhiro, Konno Takumi	4. 巻 474
2. 論文標題 Development of coordination chemistry with thiol-containing amino acids	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 214857 ~ 214857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214857	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 Kuwamura Naoto, Igashira-Kamiyama Asako	4. 巻 96
2. 論文標題 Creation of a Tetranuclear Mn ^{III} ₂ Mn ^{II} ₂ Metalloring Structure Supported by a Penicillamine-Derived Schiff-Base Ligand	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 398 ~ 400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230048	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7件(うち招待講演 1件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Naoto Kuwamura, Anna Carissa M. San Esteban, Takumi Konno
2. 発表標題 Heterotrimetallic PtII PdIICoII Coordination Polymers with Electrocatalytic Water Splitting Activity
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 桑村 直人, 南 克枝, 吉成 信人, 今野 巧
2. 発表標題 イリジウム(III)錯体におけるチオレート水素結合およびジスルフィド結合の制御
3. 学会等名 錯体化学会第70討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Kuwamura, Yoshinari Kurioka, Takumi Konno
2. 発表標題 Water Splitting Catalysts Based on Pt-M Complexes with Thiol-Containing Amino Acid
3. 学会等名 The 18th Asian Chemical Congress (18ACC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Kuwamura, Yoshinari Kurioka, Takumi Konno
2. 発表標題 Heterogeneous Electrocatalysis of Heterotrimetallic Coordination Polymers with Sulfur-Containing Amino Acid
3. 学会等名 The 26th International SPACC Symposium (SPACC26) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Naoto Kuwamura
2. 発表標題 Water Splitting Systems Based on Amino-acid Coordination Compounds
3. 学会等名 The 3rd Japan-Thailand Chemistry Mini Symposium in Osaka University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Kuwamura, Masahiro Kouno, Takumi Konno
2. 発表標題 Synthesis and Electrochemistry of an S-Bridged Trinuclear Complex with a PdIV Center
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoto Kuwamura
2. 発表標題 Heterometallic coordination compounds with thiolate amino acid as water splitting electrocatalysts
3. 学会等名 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2022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

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