

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02732

研究課題名(和文) プロトンと電子を操る超分子構造の構築と多段階プロトン共役電子移動への応用

研究課題名(英文) Construction of Supramolecular Structures to Manipulate Protons and Electrons toward Multiple Proton-Coupled Electron Transfer

研究代表者

桑田 繁樹 (Kuwata, Shigeki)

立命館大学・生命科学部・教授

研究者番号：10292781

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、窒素や二酸化炭素を還元するために必要な多段階プロトン共役電子移動を実現する新たな反応場として、プロトン応答部位となる配位子と電子授受部位となる遷移金属それぞれが集積した超分子構造の構築を目指した。その結果、プロトン応答部位をもつ種々の後周期遷移金属フラグメントが非キレート型ジホスフィンである1,3-ビス(ジフェニルホスフィノ)ベンゼンによって連結された二核錯体を得た。また、これらの錯体が、窒素固定中間体であるジアゼンの取り込み安定化や、アニオンに応答した構造変化などの機能を発現することを見いだした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

化学的に不活性な窒素や二酸化炭素の還元、あるいは光合成における鍵反応の一つである水の酸化による電子の獲得は、地球上に豊富に存在する元素資源の有効活用や効率的なエネルギー変換に広く応用可能である。本研究の結果は、その実現のための基礎的な知見を与えるものである。また、超分子化学や、金属-配位子協働作用に基づく均一系錯体触媒化学、生物無機化学など、関連分野の進展にもつながる成果である。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at construction of supramolecular structures with accumulated proton-responsive sites and redox active metal centers to realize multiple proton-coupled electron transfer for reduction of dinitrogen and carbon dioxide. As the result, we obtained a series of dinuclear complexes, wherein metal fragments furnished with proton-responsive ligands are connected by a non-chelate diphosphine, 1,3-bis(diphenylphosphino)benzene. We also found that these complexes are effective in uptake and stabilization of diazene, a possible intermediate in nitrogen fixation, and in structural deformation triggered by anion exchange.

研究分野：錯体化学

キーワード：超分子化学 プロトン共役電子移動 ホスフィン 窒素 ヒドラジン ルテニウム

1. 研究開始当初の背景

化学的に不活性な窒素や二酸化炭素の還元、あるいは光合成における鍵反応の一つである水の酸化による電子の獲得は、地球上に豊富に存在する元素資源の有効活用や効率的なエネルギー変換に広く応用可能である。これらの重要な反応を円滑に進行させるための有力な方法として、プロトンと電子が連動するプロトン共役電子移動 (PCET) 反応が挙げられる。実際、生体内金属酵素の多くが PCET を巧みに用いて温和な条件下で機能している。窒素分子や二酸化炭素の多電子還元においても PCET の重要性は指摘されていたものの、その実現のための具体的な方法は示されていなかった。

研究代表者らは、金属と配位子が協同的に働く「協奏機能触媒」について長年研究をおこなってきた。その過程で、

(1) 複数のプロトン供与部位をもつ多座キレート配位子が、多プロトン応答型の金属錯体を合成するための有用なテンプレートとなる (*Chem. Asian J.* **2012**, *7*, 1417 ほか)。

(2) 配位子上のプロトンのブレンステッド酸性は金属への配位によって高められ、多段階のプロトン供与が可能になる。また、プロトン移動と電子移動の起こりやすさを配位子上の置換基によって独立に制御できる (*Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 16675; *Chem. Asian J.* **2018**, *13*, 73 ほか)。

(3) 多プロトン応答型の金属錯体がギ酸からの水素発生反応や、ヒドラジンの不均化反応など、2プロトンと電子の移動を鍵とする反応に触媒活性を示す (*J. Am. Chem. Soc.* **2013**)、

ことを明らかにしてきた。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ本研究では、窒素や二酸化炭素を還元するために必要な多段階 PCET を実現するために新たな反応場として、プロトン応答部位となる配位子と電子授受部位となる遷移金属それぞれが集積した超分子構造の構築を目指した。このように不活性小分子の配位活性化と引き続き多段階 PCET に必要な構造要素をもつ金属錯体に用い、窒素、二酸化炭素への多プロトン、多電子の注入を目的とした (図 1)。

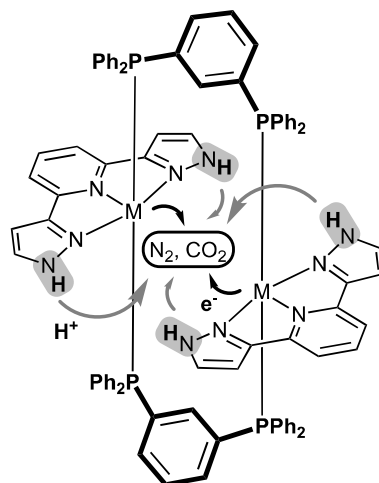


図 1. 本研究で設計した、多プロトン多電子移動のための分子構造

3. 研究の方法

上述の戦略に基づいて窒素や二酸化炭素などの不活性小分子に対する多段階 PCET を実現するためには、プロトン移動を担う配位子や、複数の金属中心を連結するリンカー部位などの機能モジュールを適切に設計する必要がある。そこで以下の研究項目について、核磁気共鳴分光法や単結晶 X 線構造解析などを用いて検討した。

(1) 多プロトン応答型キレート配位子の設計合成

金属の第二配位圏に複数のプロトン供与部位を配置できる配位子として、研究代表者らがこれまでに検討してきた 2,6-ビス(ピラゾール-3-イル)ピリジン (PzH₂Py) だけでなく、より多くのプロトンを供与できる配位子を設計し、その錯形成能力、ならびにプロトン供与能力を評価した。

(2) リンカーとなる非キレート型二官能性配位子の構造および数と、生じる二核錯体の構造相関の解明

二つの金属中心を近接した位置に保持するリンカー配位子として 1,3-ビス(ジフェニルホスフィノ)ベンゼン (DPPBz) に着目し、金属中心を連結する DPPBz の数と、生じる錯体の構造や柔軟性の相関を明らかにした。

4. 研究成果

(1) トリプロティックな新規ピンサー型ピラゾール配位子の合成と錯形成反応

プロトン供与部位として配位子両端に二つのピラゾール環をもつピンサー型配位子 PzH₂Py に対して、さらにプロトン供与部位を配位子背面に追加した 1,3-ビス(ピラゾリルイミノ)イソインドリンを新たに設計した。これを配位子にもつ鉄錯体を合成し、そのプロトン応答性を実証した (図 2)。さらに、銅、金、ニッケルなど他の遷移金属に対する錯形成挙動も明らかにした。

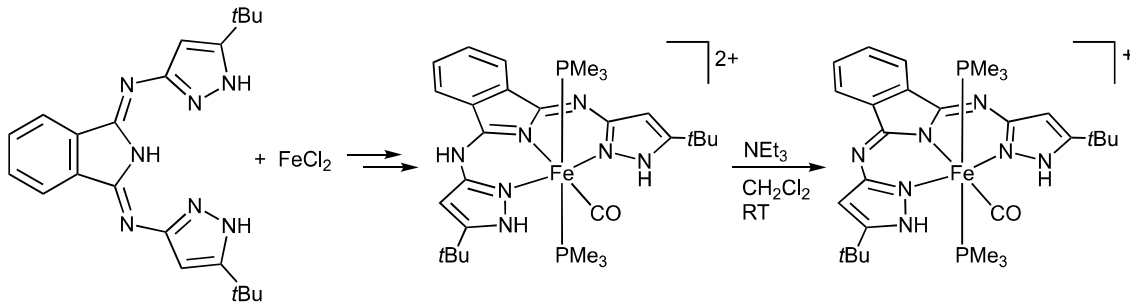


図2. イソインドリン型ピンサー配位子をもつ鉄錯体の合成とプロトン応答

(2) 一分子の DPPBz をテンプレートとする二核錯体の合成とゲスト包摂挙動

非キレート型ジホスフィンである DPPBz 一分子によって、ルテニウム、ロジウム、イリジウムなど、広範な後周期遷移金属のハーフサンドイッチ型錯体が連結された構造をもつ二核錯体が得られることを明らかにした。これらの錯体は立体反発が最小となるように、金属間および配位座が離れた構造を取っている。その中で Cp^{*}Ru 錯体に対してヒドラジンを加えたところ、Ru^{III} から Ru^{II} への還元とともに生じたジアゼン (HN=NH) が金属間に挟まれた構造をもつ二核錯体が得られることを見いだした (図3)。窒素固定と関連した不安定分子であるジアゼンが、ルテニウム上の塩素配位子と分子内水素結合を形成することによって安定化を受けている。DPPBz の代わりに単座ホスフィンを支持配位子とする錯体も合成できるものの、その安定性は著しく低い。DPPBz による「緩やかな構造規制」が、反応性中間体の生成と安定化に有効であることを示す成果である。

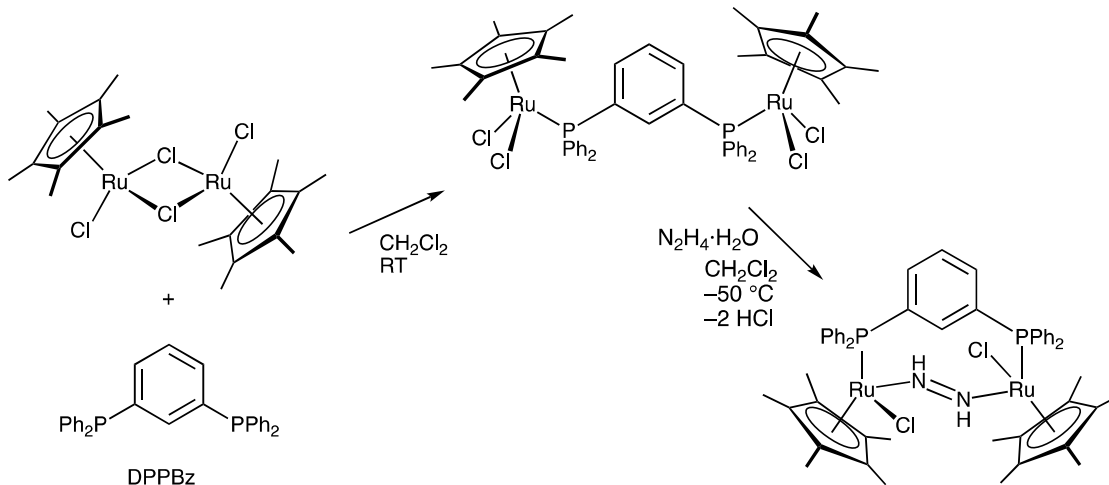


図3. DPPBz一つによるルテニウム錯体の連結と、ジアゼンの取り込み

(3) 二つの DPPBz テンプレートとする二核錯体の合成と外部刺激への応答

図4左に示すような、二つの架橋 DPPBz 配位子が U 字型のコンフォメーションをとるジカチオン性二核錯体を合成した。水素結合によって対アニオンの塩化物イオンの一つをピラゾール環が向き合った空間に取り込んだ形をもつこの錯体に対して過剰量のヘキサフルオロリン酸カリウムを加えると、アニオン交換にともなって DPPBz のコンフォメーションが大きく開き、図4右の構造へと変化することを見いだした。逆に右の錯体に塩化物イオンを加えると左の構造を再生した。このような、水素結合形成に基づく可逆的な構造変化は、円滑な多段階 PCET を実現する上で重要な知見を与えるものと考えている。

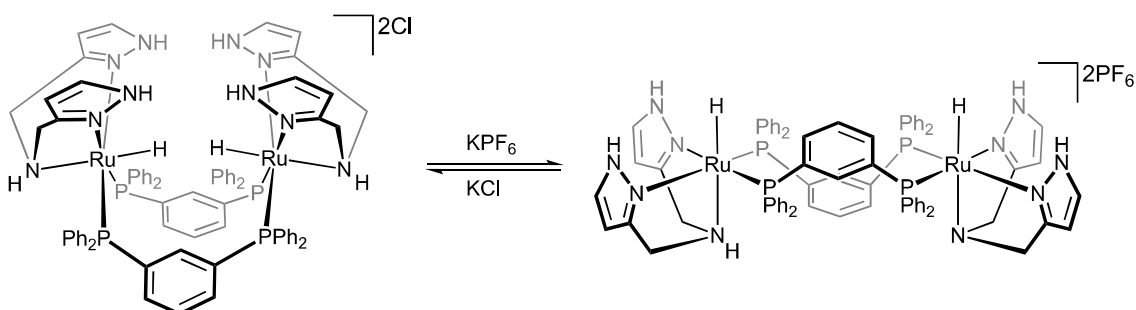


図4. DPPBz二つをもつルテニウム錯体のアニオン応答

(4) 三つの DPPBz テンプレートとする二核錯体の合成

単核ルテニウム錯体 $[\text{RuCl}_2(\text{dmsO})_4]$ を塩基存在下、2-プロパノール中で DPPBz と加熱すると、二つのルテニウム原子が三つの DPPBz で連結された構造をもつ二核錯体 $[(\text{RuHCl})_2(\mu_2\text{-dppbz})_3]$ が収率よく得られることを見いだした。図 3 や図 4 に示す錯体とは異なり、ルテニウム原子間の距離が三つの DPPBz 配位子で固定された構造をもつことを明らかにした。

(5) 多段階 PCET の理論的考察

二塩基酸である PzH_2Py 配位子をもつピンサー型鉄錯体を触媒とする、ヒドラジンからアンモニア、窒素ガスへの不均化反応について、その反応機構を DFT 計算によって考察し、鉄- PzH_2Py フラグメントとヒドラジンの間の多段階 PCET によってアンモニアを生じる反応機構の妥当性を裏付ける結果を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12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 Harada Takuya, Ando Shinji, Kuwata Shigeki	4. 巻 2022
2. 論文標題 Redox Non Innocence of ortho Benzoquinone Dioximate Dianion in Ligand Exchange on Ruthenium	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202200293	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 Lin Wei-Syuan, Kuwata Shigeki	4. 巻 28
2. 論文標題 Recent Developments in Reactions and Catalysis of Protic Pyrazole Complexes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 3529 ~ 3529
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules28083529	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 Toda Tatsuro, Kuwata Shigeki	4. 巻 647
2. 論文標題 Synthesis, Structures, and Reactivities of Iron Complexes Bearing an Isoindoline Based, Polyprotic Pincer Type Pyrazole Ligand	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zeitschrift fuer Anorganische und Allgemeine Chemie	6. 最初と最後の頁 1471 ~ 1477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/zaac.202100103	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 Toda Tatsuro, Kuwata Shigeki	4. 巻 917
2. 論文標題 Central N-heterocyclic carbene moieties in protic pincer-type bis(pyrazole) ligands: Perturbation on steric and electronic properties of ruthenium center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Organometallic Chemistry	6. 最初と最後の頁 121270 ~ 121270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jorganchem.2020.121270	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 Kuwata Shigeki	4. 巻 76
2. 論文標題 Coordination Chemistry of Protic Pincer-Type Bis(pyrazolyl)pyridines and Related Compounds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of Japan Society of Coordination Chemistry	6. 最初と最後の頁 21 ~ 30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4019/bjscc.76.21	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 Kashiwame Yohei, Ikariya Takao, Kuwata Shigeki	4. 巻 197
2. 論文標題 Synthesis, structures, and reactivities of six-membered C N chelate protic pyrazole complexes of iridium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polyhedron	6. 最初と最後の頁 115036 ~ 115036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.poly.2021.115036	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 Suzuki Satoshi, Toda Tatsuro, Kuwata Shigeki	4. 巻 50
2. 論文標題 A diazene-bridged diruthenium complex with structural restraint defined by single meta-diphosphinobenzene	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 4789 ~ 4795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0DT04398B	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 Tashima Naoto, Sawazaki Taka, Kayaki Yoshihito, Kuwata Shigeki	4. 巻 48
2. 論文標題 A P-C Chelate, Protic 1,2-Dihydropyridin-2-ylidene Ruthenium Complex: Synthesis, Structure, and Reversible Deprotonation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 787 ~ 790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190253	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 Tashima Naoto, Ohta Satomi, Kuwata Shigeki	4. 巻 220
2. 論文標題 Metal-ligand cooperative C?O bond cleavage of propargylic alcohol with protic pyrazole complexes of ruthenium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Faraday Discussions	6. 最初と最後の頁 364 ~ 375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9FD00040B	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 Tanaka Kouichi, Miki Takashi, Murata Kunihiko, Yamaguchi Ayumi, Kayaki Yoshihito, Kuwata Shigeki, Ikariya Takao, Watanabe Masahito	4. 巻 84
2. 論文標題 Reductive Amination of Ketonic Compounds Catalyzed by Cp*Ir(III) Complexes Bearing a Picolinamidato Ligand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 10962 ~ 10977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.9b01565	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 Takamura Taishin, Harada Takuya, Furuta Tatsuro, Ikariya Takao, Kuwata Shigeki	4. 巻 15
2. 論文標題 Half Sandwich Iridium Complexes Bearing a Diprotic Glyoxime Ligand: Structural Diversity Induced by Reversible Deprotonation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 72 ~ 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201901276	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 Tanaka Hiromasa, Hitaoka Seiji, Umehara Kazuki, Yoshizawa Kazunari, Kuwata Shigeki	4. 巻 2020
2. 論文標題 Mechanistic Study on Catalytic Disproportionation of Hydrazine by a Protic Pincer-Type Iron Complex through Proton-Coupled Electron Transfer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1472 ~ 1482
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201901135	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31件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 篠崎和樹、鈴木智之、榎木啓人、安藤慎治、桑田繁樹
2. 発表標題 プロトン応答部位をもつジホスフィン架橋ルテニウム二核錯体の骨格異性化学動
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 堀口源太、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 0-アルキル/N-アルキル-3-ヒドロキシピラゾール配位子をもつCp*イリジウム錯体の合成と性質
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 LIN Wei-Syuan、桑田繁樹
2. 発表標題 プロテックなピンサー型イソインドリン-ピス（ピラゾール）配位子を有するニッケル錯体の合成と反応性
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 桑田繁樹
2. 発表標題 金属遠隔位にプロトン応答部位をもつ錯体の合成と金属-配位子協奏機能の開発
3. 学会等名 第53回有機金属若手の会夏の学校（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原田卓弥、桑田繁樹
2. 発表標題 ルテニウムに配位したo-ジニトロベンゼンの電子/プロトン応答
3. 学会等名 第67回有機金属化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 杉山傑、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 イソインドリン-ピス(ピラゾール)骨格をもつピンサー型銅錯体の合成
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 篠崎和樹、鈴木智之、桑田繁樹
2. 発表標題 プロテック配位子をもつ1,3-ジホスフィノベンゼン架橋ルテニウム二核錯体の合成と反応性
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 杉山傑、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 イソインドリン-ピス(ピラゾール)骨格をもつピンサー型銅錯体の合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠崎和樹、鈴木智之、桑田繁樹
2. 発表標題 1,3-ビス(ジフェニルホスフィノ)ベンゼンで架橋されたルテニウム二核錯体とプロテック配位子の反応
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigeki Kuwata
2. 発表標題 Metal-Ligand Cooperation in Protic Pyrazole Complexes
3. 学会等名 PacifiChem2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本恭平、川崎健太郎、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 ビス(ピラゾリルメチル)アミン配位子を有するイリジウム錯体の合成および構造
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 堀口源太、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 ヒドロキシピラゾール配位子をもつハーフサンドイッチ型イリジウム錯体の合成と反応性
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 杉山傑、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 プロティックなピンサー型イソインドリン-ビス(ピラゾール)配位子をもつ11族金属錯体の合成
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 篠崎和樹、鈴木智之、桑田繁樹
2. 発表標題 非キレート性ジホスフィン架橋ルテニウム二核錯体の構造異性
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 原田卓弥、桑田繁樹
2. 発表標題 置換ベンゾキノンジオキシム配位子をもつ錯体の合成と反応性
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 原田卓弥、桑田繁樹
2. 発表標題 酸化還元活性なベンゾキノンジオキシム配位子をもつ6配位ルテニウム錯体の合成と反応性
3. 学会等名 錯体化学会第70回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎健太郎、斎藤研人、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 プロテックな facial-三座型ビス(ピラゾール)配位子をもつルテニウム錯体の合成と反応
3. 学会等名 錯体化学会第70回討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川崎健太郎、斎藤研人、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 プロテックな facial-三座型ビス(ピラゾール)配 位子をもつルテニウム錯体の合成と反応
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋尚吾、鈴木智之、戸田達朗、桑田繁樹
2. 発表標題 イソインドリンを骨格中心にもつプロテックなル テニウムピンサー型錯体の合成と反応性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原田卓弥、桑田繁樹
2. 発表標題 ベンゾキノンジオキシム配位子をもつ6配位ルテニウム錯体の合成と反応性
3. 学会等名 第10回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原田卓弥、桑田繁樹
2. 発表標題 ベンゾキノンジオキシム配位子をもつジメチルスルホキシド-ルテニウム錯体の脱プロトン化反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川崎健太郎、斎藤研人、榎木啓人、桑田繁樹
2. 発表標題 ジプロティックな facial-三座型ビス(ピラゾール)配位子をもつルテニウム錯体の配位子交換反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋尚吾、鈴木智之、戸田達朗、桑田繁樹
2. 発表標題 プロティックなピラゾール-イソインドリン型ピンサー配位子をもつルテニウム錯体の軸配位子交換反応
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoto Tashima, Satomi Ohta, Shigeki Kuwata
2. 発表標題 Metal-ligand cooperative C-O bond cleavage of allylic and propargylic alcohols with η^5 -protic pyrazole complexes of ruthenium
3. 学会等名 Mechanistic processes in organometallic chemistry Faraday Discussion (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田卓弥, 桑田繁樹
2. 発表標題 ベンゾキノンジオキシム配位子をもつルテニウム錯体の合成と反応性
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 鈴木智之, 戸田達朗, 桑田繁樹
2. 発表標題 架橋1,3-ジホスフィノベンゼン配位子をもつルテニウム二核錯体の合成と反応性
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 原田卓弥, 桑田繁樹
2. 発表標題 ベンゾキノンジオキマト配位子をもつハーフサンドウィッチ型ルテニウム錯体の合成と反応性
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川崎健太郎, 斎藤研人, 榎木啓人, 桑田繁樹
2. 発表標題 プロテックなfacial三座型ピス(ピラゾール)配位子をもつルテニウム錯体の合成と反応
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 高橋尚吾, 鈴木智之, 戸田達朗, 桑田繁樹
2. 発表標題 軸位にアセトニトリル配位子をもつプロテックなピンサー型ピラゾールルテニウム錯体の合成と反応性
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 鈴木智之, 戸田達朗, 桑田繁樹
2. 発表標題 プロテックなキレート配位子をもつジホスフィン架橋ルテニウム二核錯体の合成と反応性
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 原田卓弥, 桑田繁樹
2. 発表標題 ベンゾキノンジオキシム配位子をもつ6配位ルテニウム錯体の合成と反応性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 銅錯体、及び二酸化炭素の水素化触媒	発明者 巨理龍、榎木啓人、 桑田繁樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-025280	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

桑田研究室ホームページ
<https://www.ritsumeai.ac.jp/lifescience/achem/skuwata/>

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
---------	---------