

令和 6 年 5 月 8 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05082

研究課題名(和文) 第一遷移金属錯体の配位子脱着を利用した高効率二酸化炭素還元光触媒

研究課題名(英文) Efficient photocatalytic CO₂ reduction using reversible complexation of the first-row transition metal complexes

研究代表者

竹田 浩之 (Takeda, Hiroyuki)

群馬大学・大学院理工学府・准教授

研究者番号：70647065

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、地殻中豊富に存在する金属源を用いた金属錯体による高効率なCO₂還元光触媒反応の構築を目的とし、第一遷移金属錯体の弱い錯体生成能を積極的に利用した新奇な触媒反応を開拓した。中酸化状態のFeイオンと芳香族ジイミン配位子、および金属イオン安定化剤とを溶液中で混合した「混合触媒」が、Cu錯体光増感剤、還元剤共存下での可視光照射により、Feイオンと配位子とが解離した状態を維持したまま光触媒的にCO₂還元反応を進行することを見出した。すなわち、金属錯体の構造を維持しなくても効率的なCO₂還元光触媒反応を進行する、第一遷移金属イオン特有の反応系を構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、Feイオンといった金属錯体を触媒として用いようとした場合、金属錯体としての構造を維持することがCO₂還元光触媒反応の向上に大きく寄与していた。これに対し本研究では、金属錯体の構成成分(金属イオンと配位子)が反応溶液中で安定な分解状態のままCO₂還元を進行できる新奇な光触媒反応系を構築した。この原理を用いた光触媒系を設計することにより、地殻中豊富に存在する金属種を有効利用した高効率なCO₂還元光触媒を作り出すことができる。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new catalytic reaction taking advantage of weak formation ability of the first-low transition metal complexes was developed to construct efficient photocatalytic system for CO₂ reduction using metal complexes made from earth-abundant metals. It was found that the "mixed catalyst" consisting of Fe ion with medium oxidation state, aromatic diimine ligands, and stabilizer of metal ions proceeds photocatalytic CO₂ reduction maintaining the dissociated state between the Fe ion and the ligand by visible-light irradiation in the presence of a Cu-complex photosensitizer and a reductant. Thus, the photocatalytic CO₂ reduction characteristic for the first-low metal ions was constructed, in which the reaction proceeds efficiently even in the absence of a defined structure of metal-complexes as a catalyst.

研究分野：金属錯体の光化学

キーワード：CO₂還元 光触媒 第一遷移金属元素 Feイオン ビピリジン フェナントロリン トリエタノールアミン プロトン共役電子移動

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、化石燃料の代替エネルギーとして、クリーンで無尽蔵な太陽光エネルギーの有効利用が望まれている。光エネルギーを用いて CO₂ を還元し、燃料や炭素材料へと変換できれば、地球規模での人工的な炭素サイクルを確立することが可能となる。

金属錯体は、高効率かつ高選択的に CO₂ を還元する光触媒として働く。このため多くの研究がなされてきた。しかしこれまで、光触媒に用いられる金属種は、レニウム(Re)やルテニウム(Ru)といった貴少なものがほとんどであった。金属資源有効利用の観点から地殻中豊富に含まれる Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu といった「第一遷移金属錯体」を用いることが望まれる。しかし、これらの金属種を触媒に用いても CO₂ 還元の効率は一般に低い。その原因の一つとして、これら金属種からなる金属錯体の安定性が低いことがあった。

2. 研究の目的

本研究では、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu といった第一遷移金属イオンにとって安定な「分解された状態」が、光触媒反応中において CO₂ 還元活性種を可逆的に形成する特異な CO₂ 還元触媒反応を開拓し、これら金属種を用いた高効率な触媒反応を構築することを目的とした。すなわち、これまで敬遠されてきた「第一遷移金属錯体の弱い配位能による配位子の脱着」を積極的に利用するという新たな戦略に基づき、中酸化状態の第一遷移金属錯体による特異な高効率 CO₂ 還元光触媒系を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

金属錯体が「分解された状態」での光触媒反応として、Fe イオンを代表例とした配位子との「混合触媒」の反応性を調べた。Fe イオン源として FeCl₂・4H₂O を用い、さらに配位子(L)および金属イオン安定化剤(P)を室温で反応溶液に混合することで混合触媒とした。光触媒反応は、混合触媒を含む反応溶液に、光増感剤として発光性 Cu(I)錯体、還元剤としてジヒドロベンゾイミダゾール誘導体を溶解させ、室温で可視光を照射することにより行った。生成した CO₂ 還元生成物(CO)の量から混合触媒の触媒能を評価した。

L には、電子プールとして働く芳香族系キレートジイミン配位子を用いた。1,10-フェナントロリン(phen)あるいは2,2'-ビピリジン(bpy)を主骨格とした種々の誘導体を合成し、Lとして混合触媒に用いた。光触媒反応の反応性と、Lの構造および電気化学的特性との比較から、混合触媒で求められるLの要素を抽出した。また、安定化剤(P)の濃度変化、および構造的な特性と、CO₂還元能との相関から、Pの具体的な役割を明らかにした。さらに、第一遷移金属元素の他の金属イオンでも同様の反応が進行するかを調べた。

4. 研究成果

1) phen を L として用いた場合

混合触媒の動作には、phen へ嵩高い置換基を導入することにより金属イオンへの配位を適度に抑制する必要があることがわかった。金属イオンへの配位に対する立体障害としてメチル基といった嵩高い置換基を *o* 位(phen の 2,9 位)に導入した phen を用いると CO₂ 還元光触媒反応が効率的に進行した。置換基として *sec*-ブチル基を導入した場合に CO₂ 還元の効率は最大となり、さらに嵩高い *tert*-ブチル基を導入すると CO₂ 還元反応が進行しなかった。これに対し、無置換の phen を L として混合触媒に用いても CO₂ 還元光触媒反応は進行しなかった。

2) bpy を L として用いた場合

phen で必要だった嵩高い置換基による配位抑制は不要であることがわかった。bpy を L として混合触媒に用いると、無置換のものでも CO₂ 還元光触媒反応が進行した。ただし、CO とほぼ当量の水素も副生成した。一方、メチル基を *o* 位(bpy の 6,6' 位)に導入した bpy を用いると CO 生成量は半減した。実際、bpy と Fe イオンとの生成定数は、phen と Fe イオンとの生成定数に比べ小さい。bpy ではピリジン間でのねじれ運動が、Fe イオンとの生成定数を減少させると考えられる。

3) L の置換基の電子的効果

混合触媒の反応性に対する bpy 上置換基の電子的効果の影響は大きいのに対し、phen 上置換基の電子的効果は弱いことがわかった。phen を L として混合触媒に用いた場合、電子的効果を有する置換基を *p* 位(phen の 4,7 位)に導入しても CO₂ 還元光触媒反応の効率は大きく変化しなかったが、bpy を L として用いると、*p* 位(bpy の 4,4' 位)へ電子求引性置換基導入により CO₂ 還元光触媒反応の効率が低下した。

4) 溶液中における Fe 錯体分解状態の確認

CO₂ 還元光触媒反応を効率的に進行する混合触媒では、Fe イオンと L とが別個に共存する分解状態が安定であることがわかった。P としてトリエタノールアミン(TEOA)が共存すると、Fe イオンは Fe(III)として TEOA と錯体(Fe(III)-TEOA)を形成した。光触媒反応中に Fe(III)-TEOA は Fe(II)-TEOA へと還元されたが、この状態でも L との結合を形成しなかった。TEOA が共存しない場合には Fe(II)と L とが錯体(Fe(II)-L)を形成したことから、共存する TEOA

が、Fe(II)-L の形成をさらに阻害することがわかった。これに対し、無置換の phen では TEOA 共存下でも Fe^{II}(phen)₃²⁺ 錯体を形成した。しかしこの場合、CO₂還元光触媒反応は進行しなかった。

5) L の一電子還元による CO₂還元活性種の形成

Fe イオン、および配位子 L、保護剤 P の 3 成分からなる混合触媒では、遊離の L が一電子還元されることにより CO₂還元光触媒反応を進行することがわかった。混合触媒溶液の酸化還元電位は、遊離の L の一電子還元が、Fe(III)-TEOA の一電子還元よりも負側であったことから、これらの還元反応が順次進行することで生成した L の一電子還元種と Fe(II)-TEOA との相互作用が Fe イオン上での CO₂還元を達成させていることが示唆された。一般に、芳香族性の L は一電子還元を受けやすいものの、可視光増感剤からの一電子移動による還元は受けにくい。これに対し混合触媒では、プロトン共役電子移動 (PCET) を介すことにより可視光増感剤からの一電子移動を受けやすくなっていた。

Re や Ru といった高効率金属錯体触媒では一般に、金属イオンに配位した L が、可視光増感剤からの一電子移動により一電子還元され、生成した金属錯体還元種が CO₂還元光触媒反応を進行する。このため金属-L 結合を有する金属錯体の維持が必須であった。これに対し、Fe イオンを用いた混合触媒では、こうした金属錯体構造の維持の必要がないことがわかった。

6) プロトン源としての TEOA

PCET を介した L の還元にいられるプロトンが、TEOA から供給されていることがわかった。TEOA は N 原子が塩基性を示すものの、CO₂雰囲気下において TEOA のアルコール(-OH)基が炭酸(-CO₃H)化し、プロトン解離が進行しやすくなる。このように、TEOA は P としてのみならず、光触媒反応においてプロトン源としての役割も担っていることがわかった。TEOA の代わりに N-メチルジエタノールアミン (DEOA) を用いると、CO₂還元光触媒反応の効率は低下した。これは、DEOA の N 原子の比較的強い塩基性が、プロトンをより強く捕捉してしまうためと考えられる。

7) TEOA 濃度依存性

混合触媒での TEOA の最適濃度は 0.1 M 程度であることがわかった。このとき CO₂還元光触媒反応の効率は最大となるとともに、水素の副生成が大幅に抑制された。1 M 程度の高濃度の TEOA を用いた場合、CO 生成量が減少し水素生成が増加したものの、その影響は比較的小さかった。これは、炭酸化された TEOA 量の増加によるプロトン供給過剰の状態となったためと考えられる。これに対し 10 mM 程度の低濃度では CO 生成量の激減と、顕著な水素生成が観測された。さらに TEOA を共存させない場合には、水素とメタンの生成が観測された。これは TEOA による Fe イオンの保護効果が消失したことにより Fe 種が化学変化を進行し、異なる生成物を与える触媒種を形成したためと考えられる。

8) CO₂還元活性種の検出

光触媒反応中における Fe イオンの in situ XAFS (X 線吸収微細構造) スペクトル測定により、CO₂還元活性種の検出を試みた。しかし、定常光照射による光触媒反応条件では、これを観測することができなかった。この結果は、CO₂還元活性種が CO₂と迅速に反応するため短寿命であることが原因と考えられる。検出のためには、CO₂濃度を減少させる、TEOA 以外のプロトン源を用いるといった検証用の反応系を構築し、生成する過渡種をレーザー分光との併用により測定する必要があることが示唆された。

9) 他の第一遷移金属元素を用いた混合触媒

Fe イオンの他に、混合触媒として CO₂還元反応を進行したのは Cr、Mn、Co、Ni、Cu の中では Co イオンのみであった。しかし、この場合では大量の水素が副生成した。これらの金属種を用いると、混合触媒の最適条件が Fe イオンとは大きく異なる可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Takeda Hiroyuki, Irimajiri Mina, Mizutani Toshihide, Nozawa Shunsuke, Matsuura Yuna, Kurosu Masao, Ishitani Osamu	4. 巻 63
2. 論文標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Mixed Catalytic Systems Comprising an Iron Cation with Bulky Phenanthroline Ligands	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 7343 ~ 7355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.4c00247	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 Sanga Masashi, Nakamura Kosuke, Iwamura Munetaka, Nozaki Koichi, Takeda Hiroyuki, Monma Yu, Ishitani Osamu	4. 巻 25
2. 論文標題 Structural change dynamics of heteroleptic Cu(I) complexes observed by ultrafast emission spectroscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 15873 ~ 15884
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d3cp01473h	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 Takeda Hiroyuki, Takahashi Kohei, Namiki Yui, Ito Akitaka, Kurosu Masao, Muraoka Takako, Asano Motoko S	4. 巻 96
2. 論文標題 Heteroleptic Cu(I) Bipyridine Complexes as Redox Photosensitizers for Photocatalytic CO ₂ Reduction	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 519 ~ 528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20230076	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 Takeda Hiroyuki, Kobayashi Atsushi, Tsuge Kiyoshi	4. 巻 470
2. 論文標題 Recent developments of photoactive Cu(I) and Ag(I) complexes with diphosphine and related ligands	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coordination Chemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 214700 ~ 214700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccr.2022.214700	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 Takeda Hiroyuki, Shimo Makoto, Yasuhara Gai, Kobori Ken, Asano Motoko S., Amai Yutaka	4. 巻 51
2. 論文標題 Heteroleptic Cu(I) Phenanthroline Complexes Bearing Benzoxazole and Benzothiazole Moieties for Visible Light Absorption	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 69 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210583	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 Takeda Hiroyuki, Monma Yu, Ishitani Osamu	4. 巻 11
2. 論文標題 Highly Functional Dinuclear Cu(I)-Complex Photosensitizers for Photocatalytic CO ₂ Reduction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 11973 ~ 11984
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.1c03336	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29件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 竹田 浩之
2. 発表標題 Cu(I)錯体の可視光増感特性を利用したCO ₂ 還元光触媒反応
3. 学会等名 Group Otsuki Informal Seminar (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 浅野 素子, 鈴木 智大, 藤田 峻介, 竹田 浩之, 倉持 悠輔, 鈴木 勇斗, 佐竹 彰治
2. 発表標題 レニウム(I)錯体を連結した亜鉛(II)ポルフィリンの時間分解 ESR スペクトル
3. 学会等名 第62回電子スピンサイエンス学会年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木 智大, 藤田 俊介, 竹田 浩之, 浅野 素子, 鈴木 勇斗, 倉持 悠輔, 佐竹 彰治
2. 発表標題 亜鉛(II)ポルフィリン-レニウム(I)連結錯体の系間交差の連結位置依存性と時間分解ESR
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 黒須 雅雄, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 ピピリジン誘導体とFeイオンとの混合触媒によるCO ₂ 還元光触媒反応: 立体障害と電子的効果
3. 学会等名 第34回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹田 浩之, 廣坂 夏光, 高橋 昂平, 並木 優衣, 伊藤 亮孝, 黒須 雅雄, 村岡 貴子, 浅野 素子
2. 発表標題 ピピリジン系配位子を用いたヘテロレプティック型 Cu(I)錯体の可視光吸収化
3. 学会等名 第34回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 細谷 亮輔, 下 真, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 電子供与性の異なるフェナントロリン誘導体をもつヘテロレプティックCu(I)錯体の励起構造の解析
3. 学会等名 第34回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 咲間 隆也, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 嵩高いフェナントロリンを有するCu(I)ヘテロレプティック錯体の励起構造のジホスフィン配位子依存性
3. 学会等名 第34回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroyuki Takeda, Natsumi Hirosaka, Kohei Takahashi, Yui Namiki, Akitaka Ito, Masao Kurosu, Takako Muraoka, Motoko S. Asano
2. 発表標題 Visible-light absorption of heteroleptic Cu(I)-bipyridine complexes as photosensitizers for photocatalytic CO ₂ reduction
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masao Kurosu, Hiroyuki Takeda, Motoko S. Asano
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Mixed Catalyst of an Fe ion with Bipyridine Derivatives
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (ICP2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroyuki Takeda
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Cu(I) Complexes as a Redox Photosensitizer
3. 学会等名 St. Joseph 's College, One day International webinar on Recent Trends in Photochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒須 雅雄, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 置換基導入したピピリジンとFeイオンの混合触媒を用いたCO ₂ 還元光触媒反応
3. 学会等名 第33回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 咲間 隆也, 下 真, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 高いn-Bu基を導入したフェナントロリン・ジホスフィンCu(I)錯体の発光の温度変化と緩和過程
3. 学会等名 第33回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田 峻介, 竹田 浩之, 浅野 素子, 鈴木 勇斗, 倉持 悠輔, 佐竹 彰治
2. 発表標題 Znポルフィリン-Re連結錯体の近赤外時間分解発光と最低励起三重項状態
3. 学会等名 第33回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江原 巧, 岡林 隆太, 宮田 潔志, 竹田 浩之, 石谷 治, 恩田 健
2. 発表標題 時間分解赤外分光を用いたホモレプティック銅(I)錯体の構造ダイナミクスの観測
3. 学会等名 第33回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Takeda, Kohei Takahashi, Yui Namiki, Motoko S. Asano
2. 発表標題 Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Heteroleptic Cu(I) Bipyridine Complexes As a Photosensitizer
3. 学会等名 8th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC8) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野 素子, 藤田 峻介, 鈴木 智大, 浅井 聡明, 竹田 浩之, 鈴木 勇斗, 倉持 祐輔, 佐竹 彰治
2. 発表標題 亜鉛(II)ポルフィリン-レニウム(I)カルボニル錯体二元系の項間交差増強と近赤外発光
3. 学会等名 2022年 光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅井 聡明, 鈴木 智大, 竹田 浩之, 浅野 素子, 鈴木 勇斗, 倉持 悠輔, 佐竹 彰治
2. 発表標題 Znポルフィリン-Reジイミン連結錯体の系間交差増強による蛍光寿命減少と近赤外リン光発光
3. 学会等名 令和4年度 日本化学会関東支部 群馬地区研究交流発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下 真, 安原 凱, 藤田 峻介, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 ヘテロ芳香環置換Cu(I)ヘテロレプティック錯体の最低励起三重項状態 時間分解ESRによるMLCT性と(, *)性
3. 学会等名 第61回電子スピンスイエンズ学会年会 (SEST2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒須 雅雄, 門司 泰征, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 ビビリジン誘導体とFeイオンとの混合触媒を用いたCO ₂ 還元光触媒反応 配位立体障害としてのメチル基の影響
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会(2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松浦 祐奈, 黒須 雅雄, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 Cu錯体光増感剤とFeイオン混合触媒を用いたCO ₂ 還元光触媒反応におけるトリエタノールアミン濃度の依存性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会(2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 咲間 隆也, 下 真, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 n-Bu基をもつフェナントロリンCu(I)ヘテロレプティック錯体における発光温度変化のジホスフィン配位子依存性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会(2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 下 真, 佐藤 那哉, 竹田 浩之, 浅川 直紀, 浅野 素子
2. 発表標題 発光の温度変化によるヘテロレプティックCu(I)錯体溶液中と薄膜の励起電子構造の比較
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会(2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 黒須 雅雄, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 Feイオンとピリジン系配位子の混合触媒を用いたCO ₂ 還元光触媒反応
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 竹田 浩之, 高橋 昂平, 並木 優衣, 浅野 素子
2. 発表標題 ヘテロレプティック型Cu(I)ピリジン錯体を光増感剤としたCO ₂ 還元光触媒反応
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroyuki Takeda, Kazuhide Koike, Osamu Ishitani
2. 発表標題 Efficient Photocatalytic CO ₂ Reduction Using Abundant Metal Complexes
3. 学会等名 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PACIFICHEM2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下 真, 安原 凱, 藤田 峻介, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 時間分解ESRから見たCu(I)錯体の最低励起状態の(, *)性
3. 学会等名 令和3年度 日本化学会関東支部 群馬地区研究交流発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安原 凱, 小堀 健, 竹田 浩之, 浅野 素子, Xue Zhang, Jianzhang Zhao
2. 発表標題 Pt(II)ビス-ナフタリイミド錯体の発光状態のスイッチングと時間分解ESRスペクトル
3. 学会等名 第32回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下 真, 竹田 浩之, 浅野 素子
2. 発表標題 電子求引基を導入したフェナントロリンCu(I)錯体の発光の温度依存性
3. 学会等名 第32回配位化合物の光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹田 浩之, 下 真, 安原 凱, 小堀 健, 浅野 素子, 天尾 豊
2. 発表標題 チアゾール誘導体を導入した発光性ヘテロレプティック型Cu(I)フェナントロリン錯体光増感剤の可視光吸収
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 竹田 浩之(分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 情報機構	5. 総ページ数 270
3. 書名 第5項 CO2還元を駆動する人工光合成技術, 二酸化炭素利活用技術~CO2削減に向けた最新研究~	

〔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
---------	---------