

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月16日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14457

研究課題名(和文)イリジウム錯体を増感剤とする光酸素発生反応の実現

研究課題名(英文) Realization of photochemical oxygen evolution using iridium complexes as photosensitizers

研究代表者

滝沢 進也 (TAKIZAWA, Shin-ya)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：40571055

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近年、人工光合成技術の社会的要請から水の酸化触媒に関する研究が活発化している。さらに、太陽光エネルギーの利用と結びつけるために、ルテニウム(Ru)錯体を増感剤とする光酸素発生反応も報告されている。しかし、Ru錯体は水溶液中で光分解しやすく、光酸素発生における分子触媒の評価に課題を残していた。そこで本研究では、触媒に対する酸化力が上がるように設計したイリジウム(Ir)錯体を新しい増感剤として合成し、それらを用いた光酸素発生反応を検討した。残念ながら、研究期間内に光酸素発生反応は実現できなかったが、新規増感剤を開発する際に必要な性質を明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工光合成は、“地球上に無尽蔵に降り注ぐ太陽光のエネルギーを、人類が利用可能な化学エネルギーに変換する技術”と一般的には理解され、実用化されればエネルギー問題の解決策になりうる。近年、Ir錯体を増感剤とする光触媒的なプロトン還元や二酸化炭素還元が多数報告されているが、鍵となる水の酸化反応(光酸素発生)については皆無である。その観点から本研究は挑戦的であったが、目標が達成できなかったという結果にも重要な意義はある。何故これまで報告例がなかったのかという“問い”に対する“答え”を当該分野に提示することで、今後の研究の効率化や新規増感剤の開発に貢献できるためである。

研究成果の概要(英文)：Highly active and durable molecular water-oxidation catalysts have been extensively pursued due to the increasing demand for artificial photosynthesis. Photochemical oxygen evolution using these catalysts has also been studied in combination with a ruthenium(Ru) tris-bipyridine photosensitizer in order to effectively utilize solar energy. However, this conventional Ru complex is known to be labile during irradiation, and new photosensitizers are required to further promote scientific researches in this field.

In this context, we for the first time tried to develop a photochemical oxygen-evolution system sensitized by bis-cyclometalated iridium(Ir) complexes. Despite several attempts, we were unable to observe oxygen evolution using new Ir(III)-based photosensitizers even though they displayed reasonable oxidation potentials and excited-state lifetimes. Nevertheless, our results provided valuable guidelines for future photosensitizer design.

研究分野：錯体化学

キーワード：イリジウム錯体 増感剤 リン光 人工光合成 水の酸化 酸素発生 ルテニウム錯体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

化石資源の枯渇、環境・エネルギー問題が社会的な話題として取り上げられてから、人工光合成に関する研究が注目を集めている。人工光合成とは、“地球上に無尽蔵に降り注ぐ太陽光のエネルギーを、人類が利用可能な化学エネルギーに変換する技術”と一般的には理解される。現在、その実現のための基礎研究として、金属錯体を用いた光化学的なプロトン還元やCO<sub>2</sub>還元の研究が盛んに進められている。一方、人工光合成の実現には犠牲的な電子供与体ではなく水から4電子をうまく引き抜いて酸素を発生させる必要があり、そのための優れた触媒の開発と光捕集系との連結も重要課題と認識されている。代表的な研究として、図1に示すRu(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>を増感剤、Ru(bda)(pyMe)を酸化触媒とする光酸素発生系がSunらによって報告されている(引用文献)。ところが、Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>は水溶液中で光分解しやすく、光酸素発生における分子触媒の評価に大きな支障をきたしていた。また、Ce(IV)などの化学試薬または電気化学的手法を用いた報告例に比べて、触媒を光化学過程にまで結びつけて評価している例はまだ圧倒的に少ない。これは、増感剤の候補がRu(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>に限られていることに一つの原因があると考えた。また、触媒開発の目覚ましい進展とは対照的に、1970年代に登場した増感剤に未だ依存せざるを得ない現状には疑問の余地がある。

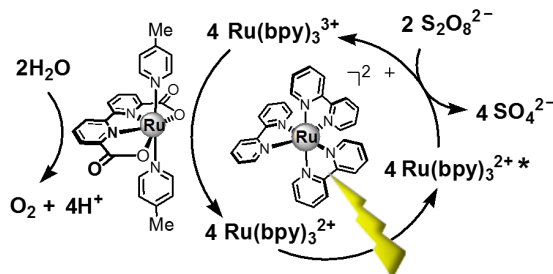


図1 代表的な光酸素発生系の模式図

### 2. 研究の目的

本研究は、我々のこれまでの経験をもとに選択または新しく設計・合成したイリジウム(Ir)錯体をRu(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>の代替となるような増感剤として提案し、それらを用いた光酸素発生反応を世界で初めて実現することを目指した。Ir錯体の特長として、強いスピン-軌道相互作用によって長寿命の三重項励起状態を効率よく生成できる点、様々な配位子の選択や置換基導入が容易で反応系に合わせた物性制御をしやすい点、強いIr-C結合に伴うシクロメタレート型配位構造によって高い安定性が期待される点などが挙げられる。これまで、Ir錯体を増感剤とするプロトンおよびCO<sub>2</sub>光還元反応は盛んに研究されているが、興味深いことに水の酸化反応(光酸素発生反応)は全く報告例がない。その観点から本研究は非常に挑戦的であり、そのネットワークとなっている要因を明らかにすることにも大きな意義がある。

### 3. 研究の方法

(1) 増感剤の候補として図2に示すカチオン性Ir錯体1-6を設計・合成し、吸収および発光スペクトルを測定した。2-(2-ピリジル)ベンゾ[b]チオフェン(btp)と2,2'-ピピリジル(bpy)誘導体を配位子とする錯体1-4は、当研究室で既に開発されていた可視光吸収能を有する錯体を基本骨格としている。錯体1については、光触媒的プロトン還元(光水素発生)の増感剤として機能することが分かっている(引用文献)。錯体6も、光を用いた有機合成など他の用途でよく用いられている既存の増感剤であるが、基本的には電子吸引基を導入し、酸化電位を上げるような設計をすべての錯体に施してある。つまり、光励起状態が犠牲的な電子受容体である過硫酸ナトリウム(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)によって酸化される図1の機構を想定した場合、得られた化学種の酸化力がRu(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>と同等またはそれ以上である必要がある。その評価のために、サイクリックボルタンメトリー(CV)で酸化還元電位を測定した。

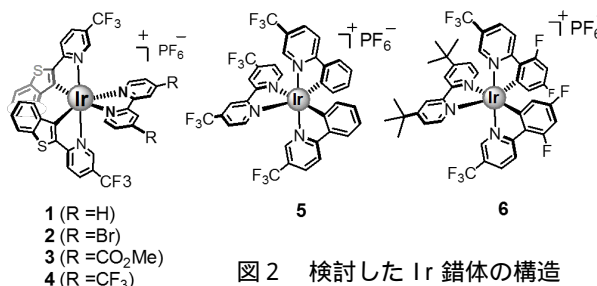


図2 検討したIr錯体の構造

(2) 増感剤として有望なIr錯体を選定し、Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>による消光実験を行った。具体的には、Ir錯体のCH<sub>3</sub>CN-ホウ酸緩衝液(1:1 v/v)に、同濃度のIr錯体を含む消光剤溶液を一定量ずつ加えて発光スペクトルを測定する操作を繰り返した。その後、Stern-Volmer解析により消光定数K<sub>SV</sub>を求めた。また、もうひとつの犠牲的な電子受容体(消光剤)として[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>5</sub>Cl]Cl<sub>2</sub>も検討した。

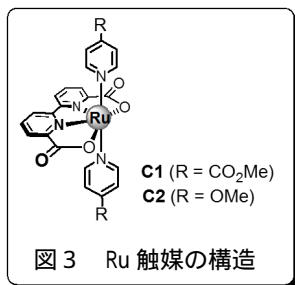


図3 Ru触媒の構造

(3) 上記の検討から最適と考えられる増感剤、犠牲試薬の組み合わせを用いて、次の手順で光酸素発生反応を行った。分子触媒としてはC1,C2の2つを検討した(図3)。増感剤(850 μM)、触媒(17 μM)、電子受容体(5 mM)をCH<sub>3</sub>CN-pH 8.0ホウ酸緩衝液(1:1 v/v)に溶解し、3 mLの反応溶液を調製した。その後、1時間のArバブリングで溶存酸素を除去、光照射を行った(>390 nmまたは>290 nm, 1h)。酸素発生量はガスクロマトグラフィーによって測定した。

#### 4. 研究成果

(1) 錯体 2-4 の吸収スペクトルは bpy に置換基を導入していない 1 のスペクトルと概形は類似しており、可視光領域の 450 nm 付近に吸収帯が観測された。錯体 1 は室温において 610 nm を発光極大とするりん光を示す(引用文献)。錯体 2-4 は発光が微弱であり、発光スペクトルが正確に測定できなかった。

我々は最近、この Ir 錯体系の励起状態には、「btp 配位子中心の発光性  $^3LC$  状態」および「配位子間電荷移動(btp-bpy)に基づく非発光性かつ短寿命の  $^3LLCT$  状態」の 2 つの状態が存在することを提案している(引用文献)。さらに、btp 配位子に電子求引性の  $CF_3$  基を導入することで、 $^3LC$  状態が選択的に安定化され、失活に至る  $^3LLCT$  状態への経路が抑制され、発光寿命・発光量子収率ともに著しく向上することも明らかにした(引用文献)つまり、今回合成した錯体 2-4 で発光が微弱になった原因として、bpy に電子求引基を導入しているために、btp 配位子への  $CF_3$  基導入による  $^3LC$  状態の安定化の効果よりも、 $^3LLCT$  状態の安定化の効果が大きくなり、失活過程である  $^3LLCT$  状態への経路が有利になってしまったことが考えられる。このように、錯体 2-4 の励起状態寿命は短く、増感剤の性質としては望ましくないことが分かった。しかしこの結果は、我々が提案している励起状態失活機構を補強する重要な情報でもある。2-フェニルピリジン配位子とする錯体 5, 6 については、可視光領域の吸収は非常に弱いが、強いりん光が観測されている。

CV 測定の結果、1 に比べて 2-4 は第一酸化電位が約 0.05 V 正側へとシフトし、第一還元電位は 1 に比べて 2 は約 0.2 V、3, 4 は約 0.4 V 正側へとシフトした。先行研究により 1 は btp 配位子と Ir 中心に HOMO が分布し、bpy 配位子に LUMO が局在化することが分かっている(引用文献)。そのため、bpy 配位子に電子求引基を導入した効果は LUMO に大きく表れ、還元電位が大きく正側へシフトしたと考えられる。一方、HOMO にはあまり大きな影響を与えないために、酸化電位の正側へのシフトはわずかだったと考えられる。しかし、 $Ru(bpy)_3^{2+}$  と比較すると錯体 2-4 は同等の値を示し、Ir 錯体における酸化電位の制御は充分達成できた。5, 6 については、1 (0.86 V vs  $Fc/Fc^+$ ) と比較して非常に強い酸化力(5: 1.20 V, 6: 1.31 V)を持つことが分かった。

(2) 発光が観測された錯体 1, 5, 6 について、項目 3-(2)の方法で消光実験を行った(Table 1)。 $Na_2S_2O_8$  を消光剤とする増感剤 1, 5 の消光定数  $K_{SV}$  として、それぞれ  $12.0 M^{-1}$ 、 $8.20 M^{-1}$  が得られた。これらの値は  $Ru(bpy)_3^{2+}$  の  $K_{SV}$   $18.7 M^{-1}$  と比べるとやや小さいものの、Ir 錯体の励起状態が、 $Na_2S_2O_8$  によって酸化的消光を受けることが確認された。しかし、錯体 6 の励起状態は  $Na_2S_2O_8$  によって消光されなかった。一方、 $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$  を消光剤に用いた場合には、錯体 1 では消光がほとんど観測されず、錯体 5 ( $K_{SV} = 197.0 M^{-1}$ )、6 ( $K_{SV} = 162.6 M^{-1}$ ) では大きな消光定数が得られた。これらの結果から、2 種類の何れかの犠牲的電子受容体を用いれば、錯体 1, 5, 6 の 1 電子酸化種  $Ir(IV)$  を光化学的に生成できることが示された。

Table 1 Ir 錯体 1, 5, 6 の酸化電位および消光実験の結果

	消光剤	$K_{SV} (M^{-1})^1)$	$Ir^{IV} / Ir^{III} (V \text{ vs. } Fc / Fc^+)^2)$	$Ir^{IV} / Ir^{III*} (V \text{ vs. } Fc / Fc^+)^3)$
1	$Na_2S_2O_8$	12.0	0.86	-1.18
	$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	< 4.0		
5	$Na_2S_2O_8$	8.2	1.2	-0.89
	$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	197.0		
6	$Na_2S_2O_8$	< 1.0	1.31 <sup>4)</sup>	-1.31
	$[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$	162.6		

<sup>1)</sup> 消光定数, <sup>2)</sup> 増感剤の酸化電位, <sup>3)</sup> 励起状態の酸化電位, <sup>4)</sup> 引用文献

(3) 項目 3-(3)に記述した方法で Ir 錯体 1-6 を増感剤とする光酸素発生反応を試みた。その結果、いずれの Ir 錯体を用いた場合でも、1 時間照射後の酸素発生量の測定結果は 2  $\mu L$  以下であり、酸素の発生を確認することが出来なかった(図 4)。対照実験として  $Ru(bpy)_3^{2+}$  を増感剤とする実験も行ったところ、十分な酸素発生が確認されたため、C1, C2 の触媒性能や反応条件に問題はない。

錯体 2-4 については、励起状態の寿命が著しく短く、 $S_2O_8^{2-}$  による酸化的消光が起

こる前に励起状態が失活してしまった可能性が高い。錯体 1, 5, 6 の酸化電位は  $Ru(bpy)_3^{2+}$  の酸化電位と同程度か、それよりもかなり大きいため、それらの 1 電子酸化種  $Ir(IV)$  は触媒 C1, C2 を酸化するに十分な酸化力を持つ。さらに、 $Na_2S_2O_8$  または  $[Co(NH_3)_5Cl]Cl_2$  による酸化的消光も受けるところから、光酸素発生の増感剤として機能することが期待された。しかし残念ながら、これらの錯体も増感剤として機能しなかった。

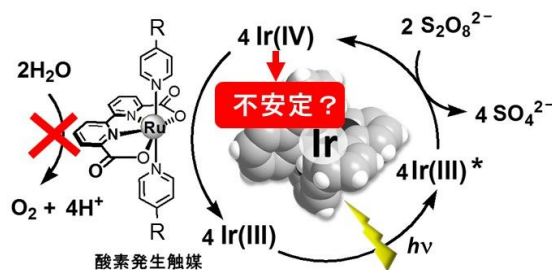


図 4 Ir 錯体を増感剤とする光酸素発生系



なお、増感剤に錯体 1、触媒に C1 を用いた場合について、光照射に伴う吸収スペクトルの変化を測定したところ、光照射とともに 670 nm 付近に幅広い吸収が現れ、光照射を継続すると減少した。この吸収帯は触媒 C1 の Ru(III)に由来することが先行研究で分かっている（引用文献）。つまりこの結果は、C1 を 1 電子酸化する過程までは反応が進行している可能性を示唆している。

(4) Ir(IV)の酸化力は Ru 触媒を酸化するのに充分であるにも関わらず酸素が発生しないのは、Ir(IV)の一般的な安定性に問題があるためではないかと推測した。それが妥当な考察かどうかを検証するために、まずは、[Ru(bpy)<sub>3</sub>]Cl<sub>2</sub> を用いて実験方法を確立することにした。

157 μM の [Ru(bpy)<sub>3</sub>]Cl<sub>2</sub>、犠牲的電子受容体として 12.2 mM の 4-プロモベンゼンジアゾニウム塩 (ArN<sub>2</sub>BF<sub>4</sub>) を含む CH<sub>3</sub>CN 溶液 (2 mL) から酸素を除き、390 nm 以上の光を照射した。吸収スペクトルにより反応を追跡したところ、速やかに Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>3+</sup> に由来すると考えられる吸収スペクトルに変化した (図 5 右)。その後、アスコルビン酸ナトリウム (AscNa, 100 mM) の CH<sub>3</sub>CN-H<sub>2</sub>O (1:1) 溶液を 1 mL 添加すると、Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> が再生した。すなわち、Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> の一電子酸化種 Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>3+</sup> は CH<sub>3</sub>CN 中で安定に存在できることが分かった。

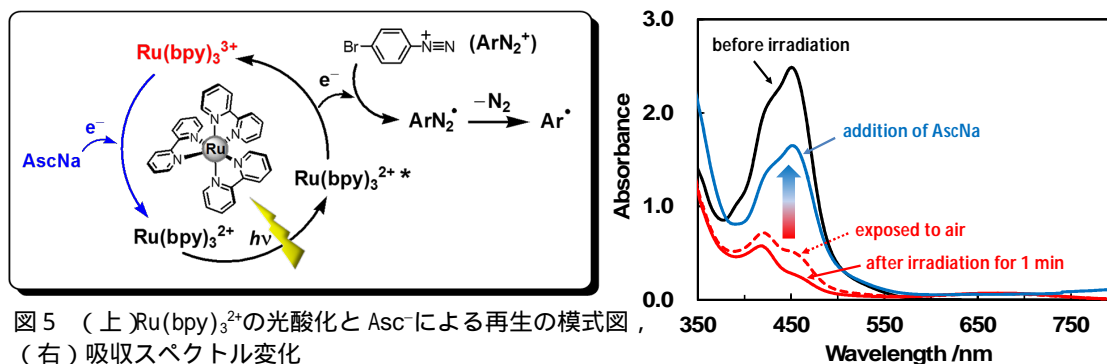


図 5 (上) Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> の光酸化と Asc による再生の模式図、(右) 吸収スペクトル変化

次に、Ir 錯体を用いて同様の実験を行った。可視光領域に特徴的な吸収帯を持ち、かつ酸化電位が異なる Ir 錯体 1 と 7 を選び (図 6 上) ArN<sub>2</sub>BF<sub>4</sub> によって効率よく消光されることを確認した後に、光酸化反応を行った。その結果、光照射によって Ir 錯体由来の吸収帯が変化したが、何れも AscNa 添加後に元のスペクトル形状に戻らず Ir(IV) は分解していることが示唆された。Ir 錯体の 1 電子酸化種は懸念していたとおり不安定であり、それが光化学的な水の酸化反応を困難にしていると考えられる。Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup> の HOMO は金属中心に局在化しているのに対し、錯体 1, 7 の HOMO は Ir と bpy 配位子に広がって存在していることが量子化学計算から明らかとなっている。つまり、有機配位子部位で 1 電子酸化が起こってしまうことが、1 電子酸化種が不安定である 1 つの要因だと考えられる。なお、錯体 1 のサイクリックボルタモグラムに着目すると、第 1 酸化過程は可逆であり (図 6 下) CV 測定条件下では Ir(IV) が直ちに分解してしまうわけではないことが分かる。

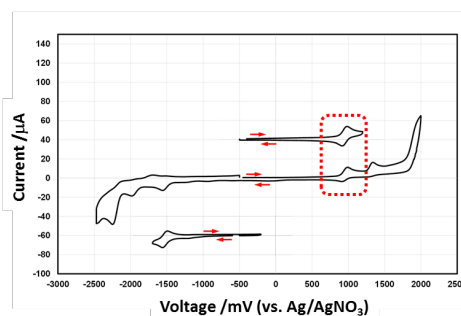
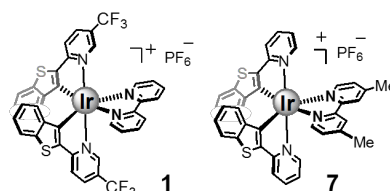
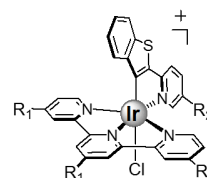


図 6 (上) Ir 錯体 1, 7 の構造、(下) 異なる掃引電圧における錯体 1 のサイクリックボルタモグラム (CH<sub>3</sub>CN 中)

(5) 以上の結果を踏まえ、Ir(IV)に酸化されうる化合物を溶液中に共存させればその分解は抑制されて、電子移動反応の増感剤として機能するのではないかと考えた。そこで、AscNa ではなく 1.16 mM のトリス(4-プロモフェニル)アミン (tBrTPA) を予め加えて光照射を行ったところ、tBrTPA ラジカルカチオンに特徴的な吸収帯が 703 nm に現れ、tBrTPA の光酸化反応が進行した。また、この時に錯体 1 由来の吸収帯の概形は維持され、分解しないことが確認された。つまり水の酸化に必要な多電子酸化でなく、より単純な 1 電子光酸化反応であれば、Ir 錯体は増感剤として充分機能することが判明した。一方、錯体 7 の場合は分解している様子が観測された。錯体 1 よりも 1 電子酸化種の酸化力が弱いため、tBrTPA の酸化と分解過程が競争したものと推測している。



- 8 (R<sub>1</sub> = H, R<sub>2</sub> = H)
- 9 (R<sub>1</sub> = t-Bu, R<sub>2</sub> = H)
- 10 (R<sub>1</sub> = H, R<sub>2</sub> = CF<sub>3</sub>)
- 11 (R<sub>1</sub> = t-Bu, R<sub>2</sub> = CF<sub>3</sub>)

図 7 Ir 錯体 8-11 の構造

(6) 本研究では、増感剤の候補として bpy とターピリジン配位子とする新規 Ir 錯体 8-11 も合成した (図 7)。物性を調査した結果、光酸素発生を増感剤としては有効でないことが分かったが、次のような興味深い光機能を示すことが明らかとなった。

置換基の有無または組み合わせに依存して、光励起状態の性質が変化した。特に、発光量子収率と発光寿命の値を、無置換体 **8** に比べて顕著に増大できることが分かった。さらに、光触媒的プロトン還元反応の増感剤として適用したところ、その増感機能と光物性に明確な相関があることが判明した。

新規 Ir 錯体 **8-11** は CO<sub>2</sub> 還元における光触媒としても働き、その中で錯体 **8** が最も優れた性能を示すことが分かった。

以上のように、研究期間内に最終目標は達成できなかったが、「Ir 錯体を増感剤とする光酸素発生反応」が世界で全く報告されていなかった本質的な理由と新規増感剤を開発する際に必要な性質を提示することができた。同じ目標をこれから掲げようとしている研究グループへの有用情報となりうる点で本研究は十分な意義があり、投稿論文として発表するに値する成果とも考えている。一方で、Ir 錯体を増感剤とする光酸素発生を今後実現するには、まずは Ir(IV)の不安定さを解消する必要がある。そこで、Ir(IV)がより素早く電子を Ru 触媒から奪い、不安定化する前に元に戻る事が出来るように、Ru(bpy)<sub>3</sub><sup>2+</sup>のように HOMO が金属中心により局在化している Ir 錯体の合成、触媒と増感剤の距離を縮めることで増感剤が電子を奪いやすくする反応場の改良、の 2 点を引き続き行いたいと考えている。

## 引用文献

L. Duan, Y. Xu, P. Zhang, M. Wang, L. Sun, Visible light-driven water oxidation by a molecular ruthenium catalyst in homogeneous system, *Inorg. Chem.* **2010**, 49, 209–215

S. Takizawa, K. Shimada, Y. Sato, S. Murata, Controlling the excited state and photosensitizing property of a 2-(2-pyridyl)benzo[*b*]thiophene-based cationic iridium complex through simple chemical modification, *Inorg. Chem.* **2014**, 53, 2983–2995

曾 凡洋, 滝沢進也, 村田 滋, ピリジルベンゾチオフェン配位子を有するイリジウム錯体を増感剤とする光水素発生, 2014 光化学討論会 講演予稿集, 3P095

S. Takizawa, N. Ikuta, F. Zeng, S. Komaru, S. Sebata, S. Murata, Impact of substituents on excited-state and photosensitizing properties in cationic iridium(III) complexes with ligands of coumarin 6, *Inorg. Chem.*, **2016**, 55, 8723–8735

M. S. Lowry, J. I. Goldsmith, J. D. Slinker, R. Rohl, R. A. Pascal, Jr., G. G. Malliaras, S. Bernhard, Single-layer electroluminescent devices and photoinduced hydrogen production from an ionic iridium(III) complex, *Chem. Mater.*, **2005**, 17, 5712–5719

J. L. Dempsey, J. R. Winkler, H. B. Gray, Kinetics of electron transfer reactions of H<sub>2</sub>-evolving cobalt diglyoxime catalysts, *J. Am. Chem. Soc.*, **2005**, 127, 1060–1065

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Shin-ya Takizawa, Ryoto Kano, Naoya Ikuta, Shigeru Murata, An anionic iridium(III) complex as a visible-light absorbing photosensitizer, *Dalton Trans.*, **2018**, 47, 11041–11046. 査読有  
DOI: 10.1039/c8dt02477d

[学会発表](計 19 件)

Shin-ya Takizawa, Shunta Kokatsu, Naoya Ikuta, Shigeru Murata, Photooxidation of iridium complexes by 4-bromobenzenediazonium salt, 日本化学会第 99 春季年会, 2019 年 3 月

榎本貴允, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, ピレンが置換した 2,2'-ピピリジン配位子とするカチオン性イリジウム錯体の光化学的挙動と光水素発生における増感機能, 日本化学会第 99 春季年会, 2019 年 3 月

富永将弘, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, 2-(2-ピリジル)ベンゾ[*b*]チオフェンを配位子とする新規トリスシクロメタレート型イリジウム錯体の合成と光物性, 日本化学会第 99 春季年会, 2019 年 3 月

宮岸優奈, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, クマリン誘導体を配位子とするイリジウム錯体の合成と水中における光増感一重項酸素発生, 光化学討論会, 2018 年 9 月

加藤 天, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, 2-フェニルイミダゾピリジンおよびターピリジンを配位子に有する Ir 錯体の合成と光化学的挙動, 光化学討論会, 2018 年 9 月

榎本貴允, 瀬端 凌, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, ピレンが置換した 2,2'-ピピリジンを配位子とするカチオン性イリジウム錯体の合成と光化学的挙動, 光化学討論会, 2018 年 9 月

富永将弘, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, ピリジル部位をもつトリスシクロメタレート型イリジウム錯体の合成と光化学的挙動, 光化学討論会, 2018 年 9 月

Shin-ya Takizawa, Shinogu Sebata, Naoya Ikuta, Shigeru Murata, Photocatalytic hydrogen generation sensitized by iridium complexes in vesicles, *International Conference on Coordination Chemistry (ICCC2018)*, 2018 年 8 月

Shin-ya Takizawa, Shinogu Sebata, Naoya Ikuta, Shigeru Murata, Visible light-driven hydrogen

generation using Ir(III) photosensitizers incorporated in vesicles, *International Congress on Pure and Applied Chemistry (ICPAC) 2018*, 2018 年 3 月

滝沢進也, 瀬端 凌, 生田直也, 村田 滋, ベシクル膜を活用した Ir 錯体の光機能：水溶液中における長寿命励起状態と光増感特性, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月

加藤 天, 生田直也, 岡澤 厚, 滝沢進也, 村田 滋, ターピリジン誘導体を配位子とする Ir 錯体の光水素発生反応における増感特性, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月

宮岸優奈, 生田直也, 岡澤 厚, 滝沢進也, 村田 滋, クマリン誘導体を配位子とするイリジウム錯体の合成と光増感一重項酸素発生への応用, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月

生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, カチオン性イリジウム錯体を増感剤としたアニオン性コバルト錯体触媒による光水素発生, 錯体化学会第 67 回討論会, 2017 年 9 月

瀬端 凌, 滝沢進也, 村田 滋, クマリン 6 を配位子とするイリジウム錯体の光化学的挙動およびベシクル系への展開, 錯体化学会第 67 回討論会, 2017 年 9 月

宮岸優奈, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, クマリン 545T を配位子とする新規イリジウム錯体の合成と光化学的挙動, 錯体化学会第 67 回討論会, 2017 年 9 月

古山 啓, 滝沢進也, 村田 滋, カチオン性置換基を有するイリジウム錯体のベシクル中における光化学的挙動と増感特性, 光化学討論会, 2017 年 9 月

加藤 天, 生田直也, 滝沢進也, 村田 滋, ターピリジン誘導体を配位子とする新規イリジウム錯体の物性と光触媒作用, 光化学討論会, 2017 年 9 月

滝沢進也, 加藤 天, 生田直也, 村田 滋, 三座配位子を有する新規 Ir 錯体の物性と光触媒機能における置換基効果, 第 29 回 配位化合物の光化学討論会, 2017 年 8 月

Shin-ya Takizawa, Shinogu Sebata, Naoya Ikuta, Shigeru Murata, Long-lived triplet excited states of iridium(III) complexes in aqueous solution, *Applications of Photoactive Coordination Compounds (APCC2017): A Preconference of the 22<sup>nd</sup> ISPPCC*, 2017 年 7 月

〔その他〕

ホームページ等

<http://webpark1866.sakura.ne.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者 なし

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、研究者個人に帰属されます。