

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H02071

研究課題名(和文)人工光合成を指向した酸素/過酸化水素生成のpH制御光アノードの創製

研究課題名(英文) Development of pH-controlling photoanodes for oxygen / hydrogen peroxide production toward artificial photosynthesis

研究代表者

八木 政行 (Yagi, Masayuki)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：00282971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：金属オキシルラジカル $M(n-1)+\cdot$  ( $Mn+=O$ ) の分子内カップリングによるO-O結合形成機構では、高原子価の $Mn+=O$  (e.g.  $Ru4+$  or  $5+=O$ ) は必ずしも必要とされないにもかかわらず、低原子価の $Mn+=O$  (e.g.  $Ru2+$  or  $3+$ ) でのカップリングO-O結合形成は実証されていない。二核ルテニウム錯体のOH-配位子のプロトンの解離により、2つの $Ru3+-OH$ 間の分子内カップリングが誘起され、O-O結合が形成されることを実証した。これは低原子価 $Ru3+$ でO-O結合形成が観察された世界初の例である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光合成の分野において、酸素発生錯体(OEC)での、O-O結合形成機構の理解は、重要な研究課題である。一方、次世代のエネルギー供給システムとして期待されている人工合成の構築では、高活性な酸素発生触媒の開発が大きな足かせとなっている。酸素発生のためのO-O結合形成の理解は、高活性触媒開発に重要である。本研究では、二核ルテニウム錯体のOH-配位子のプロトンの解離により、2つの $Ru3+-OH$ 間の分子内カップリングが誘起され、O-O結合が形成されることを実証した。これは低原子価 $Ru3+$ でO-O結合形成が観察された世界初の例である。

研究成果の概要(英文)：The understanding of O-O bond formation is of great importance for revealing the mechanism of water oxidation in photosynthesis and for developing efficient catalysts for water oxidation in artificial photosynthesis. The chemical oxidation of the  $RuII_2(OH)(OH_2)$  core with the vicinal OH and  $OH_2$  ligands was spectroscopically and theoretically investigated to provide a mechanistic insight into the O-O bond formation in the core. We demonstrate the first O-O bond formation at the low-valent  $RuIII_2(OH)$  core with the vicinal OH ligands to form the  $RuIII_2(\mu-OOH)$  core with a  $\mu-OOH$  bridge. The O-O bond formation is induced by deprotonation of one of the OH ligands of  $RuIII_2(OH)_2$  via intramolecular coupling of the OH and deprotonated O- ligands, conjugated with 2-electron transfer from two  $RuIII$  centers to their ligands. The intersystem crossing between singlet and triple states of  $RuIII_2(\mu-OOH)$  is easily switched by exchange of  $H^+$  between the  $\mu-OOH$  bridge and the auxiliary back bone ligand.

研究分野：エネルギー関連化学

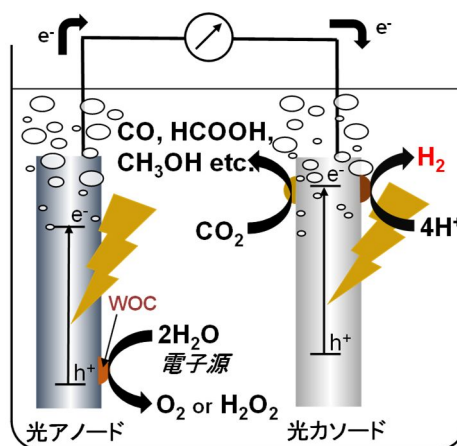
キーワード：水の酸化触媒 酸素発生 光合成 人工光合成 二核ルテニウム錯体 O-O結合形成機構

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。

1. 研究開始当初の背景

< 背景 >

昨今のエネルギー・環境問題を背景として、持続的可能な次世代エネルギー供給システムの開発への関心が高まっている。近年、有望な次世代エネルギー供給システムとして「人工光合成」に大きな期待が寄せられている。人工光合成では、光アノードで、電子源としての「水 ( $H_2O$ )」を太陽光エネルギーにより酸化し(主として生成物は、酸素 ( $O_2$ : 水の四電子酸化過程) または過酸化水素 ( $H_2O_2$ : 水の二電子酸化過程))、光カソードで、水から得られた電子により「プロトン ( $H^+$ )」または「二酸化炭素 ( $CO_2$ )」を還元して高エネルギー還元生成物(燃料)を生成する。(図1) 高エネルギー還元生成物として、(プロトンの還元生成物として) 水素 ( $H_2$ )、(二酸化炭素の還元生成物として、一酸化炭素 ( $CO$ )、ギ酸 ( $HCOOH$ )、メタノール ( $CH_3OH$ ) など) が期待される。人工光合成には、今後解決すべき課題は少なくないが、本申請研究に関連した重要な課題を以下に挙げる。



WOC: 水の酸化触媒

図1 人工光合成のイメージ図。光アノードおよび光カソードでそれぞれ気体生成物による泡が形成されている様子を示す。

- 1) 高効率な水の酸化光アノードの開発が人工光合成研究のボトルネックとなっている。
- 2) 酸化生成物と還元生成物を簡便な方法で分離する必要がある。例えば、酸化生成物として  $O_2$  (気体)、還元生成物として  $H_2$  (気体) が生成する場合、両気体の混合により爆発の危険があるため、気体分離膜等を用いて両気体を分離する必要性が生じる。

2. 研究の目的

本研究では、人工光合成研究のボトルネックといわれている、水の酸化光アノードの開発を探求するとともに、光アノード開発に立脚して、酸化および還元生成物の分離の課題克服に挑戦する。光アノードでの酸化生成物と光カソードでの還元生成物を分離する方法として、それぞれの生成物を液相と気相に分配する方法が簡便である。光アノードでの酸化生成物と

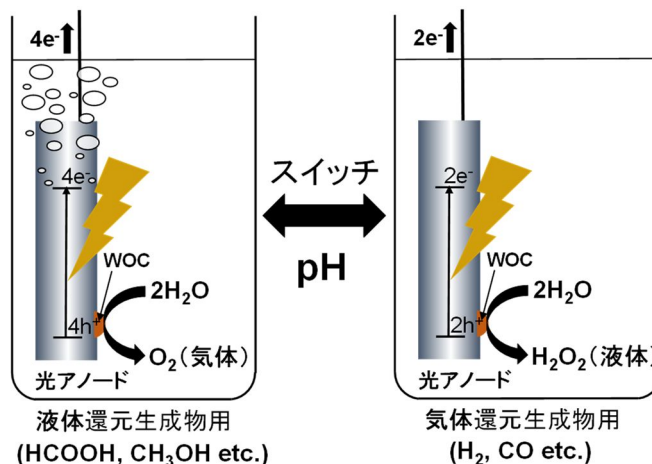


図2  $O_2/H_2O_2$  生成の pH 制御光アノードのイメージ図。左では、 $O_2$  の泡が発生して気相に蓄積される。右では、 $H_2O_2$  が生成するため、液相に蓄積される。

して  $O_2$  (気体) を生成する場合、光カソードでの還元生成物が  $HCOOH$  のような液体であれば、それぞれの生成物を気相と液相に容易に分離できる。しかし、 $H_2$  や  $CO$  の気体の還元生成物であれば、 $O_2$  との分離は困難である。光カソードでの還元生成物に応じて、水からの  $O_2$  生成と  $H_2O_2$  (液体) 生成を制御できる革新的な光アノードを開発できれば、様々な還元生成物を生じる多様な光カソードを使用しても、生成物の分離の問題は解決される。本研究では、申請者らが合成した二核ルテニウム錯体が  $O_2$  生成触媒能と  $H_2O_2$  生成触媒能を pH により制御できる特異的な触媒反応特性 (2-(1) 本研究の着想に至った経緯の項参照) に着目した。人工光合成を指向した、水からの  $O_2$  生成と  $H_2O_2$  生成を pH により制御可能な、 $O_2/H_2O_2$  生成の pH 制御光アノード (図 2) を世界に先駆けて開発する。

### 3. 研究の方法

申請者は、光異性化反応を利用した合成戦略 (*J. Am. Chem. Soc.*, **2011**, 133, 8846-8849.) により、アンチリジンキレート配位子を骨格とし、 $H_2O$  および  $OH$  配位子を有する二核ルテニウム (II) 錯体 (錯体 1 と略記; 図 3 参照) の合成に成功した。 (*Inorg. Chem.*, **2015**, 54, 7627.) 本研究では、錯体 1 の  $O_2$  生成触媒能と  $H_2O_2$  生成触媒能を pH により制御できる特異的な触媒反応特性 (2-(1) 項、図 5 参照) に着目した。錯体 1 誘導体を合成して、 $O_2/H_2O_2$  生成の pH 制御光アノード (図 2) を開発する。具体的には、以下のように研究を推進する。

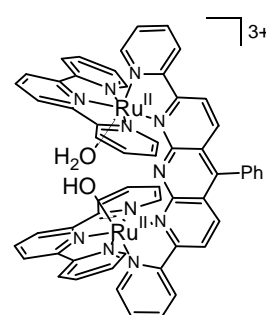


図 3 錯体 1 の構造

#### 1) リンカー部位を有する新規二核ルテニウム錯体の合成

錯体 1 を可視域 n 型半導体電極に吸着させるために、リンカー部位を導入した錯体 1 誘導体を合成する。可視域 n 型半導体電極として、 $BiVO_4$ 、 $WO_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Ta_3N_5$ 、 $TaON$  などの金属酸化物 (または窒化物) 電極をまず検討する。リン酸基が金属酸化物表面に静電的に吸着することが知られているため、錯体 1 の 2,2';6',2''-ターピリジンリン配位子の 4'位にリン酸基を有する錯体 2 (図 4) を合成する。また、Graphitic Carbon Nitride ( $g-C_3N_4$ ) の炭素材料が可視域 n 型半導体として働くことが知られている。 (*Chem. Sci.*, **2016**, 7, 3062.)  $g-C_3N_4$  電極に錯体を導入するために、長鎖アルキル基を有する錯体 3 (図 4) を合成する。 $g-C_3N_4$  と長鎖アルキル基間の疎水性相互作用により、錯体 3 が  $g-C_3N_4$  電極表面に吸着するため、リン酸基を介して吸着する錯体 2 の場合に比べて、電解質水溶液中で錯体 3 が安定に吸着することが期待される。これらの錯体の合成と同定は、平原将也助教 (防衛大学校) と共同で実施する。

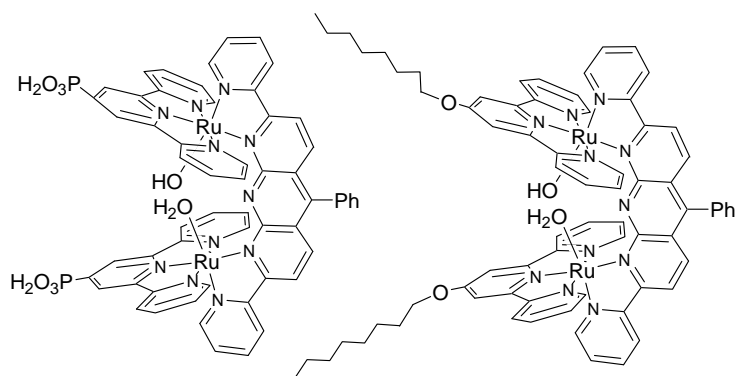


図 4 錯体 2 (左) および 3 (右) の構造

#### 2) 二核ルテニウム錯体修飾可視域 n 型半導体電極の作製

合成した錯体 2 および 3 を、それぞれ金属酸化物電極および  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  電極へ吸着させる。種々の吸着条件で測定した錯体の吸着等温線を解析して錯体の吸着特性を明らかにする。

### 3) 二核ルテニウム錯体修飾半導体電極の水の酸化光アノード特性評価

錯体 2 または 3 を吸着させた半導体電極の水の酸化光アノード特性を研究する。中性条件での  $\text{O}_2$  生成触媒活性、ならびに塩基性条件下での  $\text{H}_2\text{O}_2$  生成触媒活性とその安定性を評価する。さらに、 $\text{O}_2$  生成触媒ならびに  $\text{H}_2\text{O}_2$  生成触媒活性の最適条件を検討し、高効率な  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  生成の pH 制御光アノードを開発する。

## 4. 研究成果

### (1) 酸化チタン電極に担持した二核ルテニウム錯体による O-O 結合形成

ルテニウム錯体は高い水の酸化触媒活性を示すことから盛んに研究されている。当研究室では、アンチリジン骨格キレート配位子 L を有する二核ルテニウム錯体 (*proximal,proximal*- $[\text{Ru}_2(\text{tpy})_2\text{L}(\text{OH})(\text{OH}_2)]^{3+}$  ( $\text{Ru}^{\text{II}}_2(\text{OH})(\text{OH}_2)$ , tpy = 2,2',6',2''-terpyridine and L = 5-phenyl-2,8-bis(2-pyridyl)-1,9,10-anthridine) を合成した。(*Inorg. Chem.*, **2015**, 54, 7627-7635) この錯体は隣接する  $\text{OH}_2$  と  $\text{OH}$  配位子に由来するオキソ間の分子内カップリング O-O 結合形成を介して酸素発生することを報告している。分子内カップリング O-O 結合形成機構をもつ電極触媒による水の酸化の成功例はわずかしかない。本研究では電極表面における水の酸化のメカニズムの重要な洞察を与えることを目的とした。tpy 配位子に 4-carboxyphenyl リンカー部位を導入した新規二核ルテニウム錯体  $[\text{Ru}_2(\text{cptpy})_2\text{L}(\text{OH})(\text{OH}_2)]^{3+}$  (Hcptpy = 4-carboxyphenyl-tpy) を合成し、リンカーを介してナノポーラス酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) 電極に化学的に吸着させた。(図 5) pH 7.0, 1.6 V vs. SCE で  $5.1 \text{ mA cm}^{-2}$  と高い触媒活性を有していることを見出した。(図 5) 一般的なルテニウム錯体が  $\text{Ru}^{\text{V}}=\text{O}$  が活性種であるのに対して、本錯体は活性な  $\text{Ru}^{\text{IV}}_2(\text{O})(\text{OH})$  が電極表面でオキソの分子内カップリングにより O-O 結合形成をする反応機構を提案した。

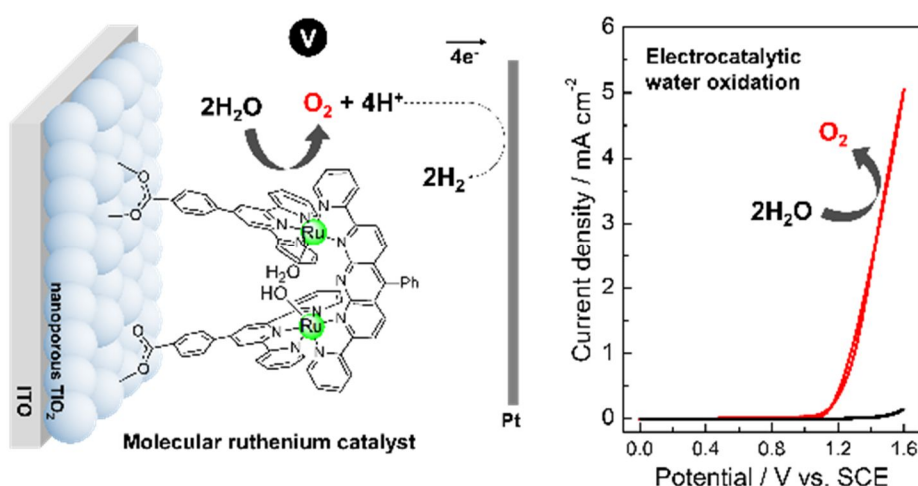


図 5  $[\text{Ru}_2(\text{cptpy})_2\text{L}(\text{OH})(\text{OH}_2)]^{3+}$  による電気触媒化学的水の酸化

### (2) ヒドロキソ配位子のプロトン解離に誘起された分子内カップリング O-O 結合形成

分子内カップリング O-O 結合形成機構では 2 つの金属オキシルラジカル  $\text{M}^{(n-1)+}\cdot\text{O}\cdot$



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 M. Hirahara, H. Goto, R. Yamamoto, M. Yagi, and Y. Umemura	4. 巻 9
2. 論文標題 Photoisomerization and thermal isomerization of ruthenium aqua complexes with chloro-substituted asymmetric bidentate ligands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 2002-2010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8RA08943D	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 S. Watabe, Y. Tanahashi, M. Hirahara, H. Yamazaki, K. Takahashi, E. A. Mohamed, Y. Tsubonouchi, Z. N. Zahran, K. Saito, T. Yui, M. Yagi	4. 巻 58
2. 論文標題 Critical Hammett electron-donating ability of substituent groups for efficient water oxidation catalysis by mononuclear ruthenium aquo complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 12716-12723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b01623	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 D. Chandra, T. Sato, N. Abe, K. Saito, T. Yui, M. Yagi	4. 巻 3
2. 論文標題 Facile and sustainable fabrication of transparent mesoporous IrOx films formed by nanoparticles assembly for efficient electrocatalytic water oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainable Energy Fuels	6. 最初と最後の頁 3489-3497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SE00731H	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 D. Chandra, L. Dong, T. Sato, Y. Tanahashi, T. Togashi, M. Ishizaki, M. Kurihara, E. A. Mohamed, Y. Tsubonouchi, Z. N. Zahran, K. Saito, T. Yui, M. Yagi	4. 巻 7
2. 論文標題 Characterization and mechanism of efficient visible-light-driven water oxidation on an in situ N2-intercalated WO3 nanorod photoanode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 17896-17906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.9b04467	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 Y. Tsubonouchi, J. Honta, T. Sato, E. A. Mohamed, Z. N. Zahran, K. Saito, T. Yui, M. Yagi	4. 巻 49
2. 論文標題 Multi-potential-step chronocoulometry for electrocatalytic water oxidation by a mononuclear ruthenium aquo complex immobilized on a mesoporous ITO electrode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Trans.	6. 最初と最後の頁 1416-1423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9DT04442F	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 D. Chandra, T. Sato, Y. Tanahashi, R. Takeuchi, M. Yagi	4. 巻 173
2. 論文標題 Facile fabrication and nanostructure control of mesoporous iridium oxide films for efficient electrocatalytic water oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Energy	6. 最初と最後の頁 278-289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.energy.2019.02.072	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 Z. N. Zahran, Y. Tsubonouchi, E. A. Mohamed, M. Yagi	4. 巻 12
2. 論文標題 Recent advances in the development of molecular catalyst-based anodes for water oxidation toward artificial photosynthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 1775-1793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201802795	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 Z. N. Zahran, Y. Tsubonouchi, E. A. Mohamed, M. Yagi	4. 巻 12
2. 論文標題 Recent advances in the development of molecular catalyst-based anodes for water oxidation toward artificial photosynthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 1775-1793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.201802795	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

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Masayuki Yagi
2. 発表標題 New development of efficient catalyst for water splitting
3. 学会等名 International Conference on Photocatalysis and Photoenergy 2019 (ICOPP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Yagi
2. 発表標題 C1 化学触媒システムのための酸素発生電極触媒
3. 学会等名 ゼロエミッションを目指したC1 化学触媒システム開発研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Yagi
2. 発表標題 酸素発生電極触媒の現状と新展開
3. 学会等名 光機能材料研究会第74回講演会、「電極触媒によるエネルギー変換と有用化学品製造」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masayuki Yagi
2. 発表標題 A highly efficient transparent water oxidation catalyst toward artificial photosynthesis
3. 学会等名 3rd International Solar Fuels Conference (ISF-3) and International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (ICARP2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名	Yuta Tsubonouchi, Taichi Hayasaka, Yuki Wakai, Eman A. Mohamed, Zaki N. Zahran, Kenji Saito, Yui Tatsuto, Masayuki Yagi
2. 発表標題	Immobilization of a Molecular Ruthenium Catalyst on Carbon Electrodes for Efficient and Stable Electrochemical Water Oxidation
3. 学会等名	3rd International Solar Fuels Conference (ISF-3) and International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (ICARP2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Zaki. N. Zahran, Eman A. Mohamed, Yuta Tsubonouchi, Kenji Saito, Tatsuto Yui and Masayuki Yagi
2. 発表標題	Oxides, phosphides, and sulfides of mixed iron/nickel/tungsten as bifunctional water splitting catalysts
3. 学会等名	3rd International Solar Fuels Conference (ISF-3) and International Conference on Artificial Photosynthesis-2019 (ICARP2019) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Masayuki Yagi
2. 発表標題	Highly efficient transparent water oxidation catalysts toward artificial photosynthesis
3. 学会等名	The Second International Conference of Polymeric and Organic Materials in Yamagata University (IPOMY) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	八木 政行
2. 発表標題	ナノ構造制御された酸化タングステンの光・電子機能
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 ザフラン ザキ, モハマド エマン, 坪ノ内優太, 齊藤健二, 由井 樹人, 八木政行
2. 発表標題 光透過性混合金属酸化物の低過電圧酸素発生
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 曽根 和哉, 立垣 優子, 佐藤 太哉, 棚橋 祐樹, モハマド エマン, 坪ノ内 優太, ザハラン ザキ, 齊藤 健二, 由井 樹人, 八木 政行
2. 発表標題 水の酸化光触媒活性に及ぼすナノワイヤーおよび六角柱酸化タングステンの臨界転移効果
3. 学会等名 2019 年光化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 園川 大樹, 坪ノ内 優太, モハメド エマン, ザハラン ザキ, 齋藤 健二, 由井 樹人, 八木 政行
2. 発表標題 二核ルテニウム錯体の不可逆的架橋変換と水の酸化触媒活性に及ぼすその影響
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 Yuta Tsubonouchi, Taichi Hayasaka, Yuki Wakai, Eman A. Mohamed, Zaki N. Zahran, Kenji Saito, Yui Tatsuto, Masayuki Yagi
2. 発表標題 Remarkably stable electrocatalysis for water oxidation by a dinuclear ruthenium complex immobilized on carbon electrodes
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	吉田万葉、金子慶太郎、佐藤大成、モハメド エマン、坪ノ内優太、ザハラン ザキ、齊藤健二、由井樹人、八木政行
2. 発表標題	高活性酸素発生触媒開発に向けた二核ルテニウムアコ錯体群のOne-pot光異性化戦略
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	江尾達矢、佐藤大成、モハメド エマン、坪ノ内優太、ザハラン ザキ、齊藤健二、由井樹人、八木政行
2. 発表標題	BiVO <sub>4</sub> 光アノードの簡便合成と高効率可視光駆動酸素発生反応
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	勝木友洋、佐藤大成、モハメド エマン、坪ノ内優太、ザハラン ザキ、齊藤健二、由井樹人、八木政行
2. 発表標題	Fe(III)イオンの錯形成反応を用いて合成した -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 光アノードによる高効率可視光駆動酸素発生反応
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	早坂太智、佐藤大成、坪ノ内優太、モハメド エマン、ザハラン ザキ、齊藤健二、由井樹人、八木政行
2. 発表標題	高平面型N <sub>4</sub> 配位子鉄錯体修飾多孔性金属電極による高効率水の酸化触媒反応
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	Yuta Tsubonouchi, Taichi Hayasaka, Yuki Wakai, Taisei Sato, Eman A. Mohamed, Zaki N. Zahran, Kenji Saito, Yui Tatsuto, Masayuki Yag
2. 発表標題	Mechanisms of pH-dependent activity for water oxidation by dinuclear ruthenium catalysts on carbon electrodes
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	Yuta Tsubonouchi, Hiroki Sonokawa, Kenji Saito, Tatsuto Yui, Tsubasa Hatanaka, Yasuhiro Funahashi, Koichi Nozaki, Masayuki Yagi
2. 発表標題	Physicochemical properties and thermal isomerization of homoleptic ruthenium complexes with asymmetric ligands
3. 学会等名	日本化学会第99春季年会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	Hiroki Sonokawa, Yuta Tsubonouchi, Kenji Saito, Tatsuto Yui, Masayuki Yagi
2. 発表標題	Electrochemical water oxidation catalyzed by a dinuclear ruthenium complex having a carboxylate-anthyridine ligand
3. 学会等名	日本化学会第99春季年会
4. 発表年	2019年

1. 発表者名	高橋 大生、坪ノ内 優太、齊藤 健二、由井 樹人、八木 政行
2. 発表標題	共役大環状配位子を有する卑金属錯体の合成と酸素発生触媒機能
3. 学会等名	日本化学会第99春季年会
4. 発表年	2019年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Y. Tanahashi, S. Watabe, E. A. Mohamed, Y. Tsubonouchi, Z. N. Zahran, M. Hirahara, M. Yagi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 29
3. 書名 Photoisomerization: Causes, Behavior and Effects	

1. 著者名 錯体化学会	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 1000
3. 書名 錯体化合物事典	

1. 著者名 Y. Tanahashi, S. Watabe, E. A. Mohamed, Y. Tsubonouchi, Z. N. Zahran, M. Hirahara, M. Yagi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Nova Science Publishers	5. 総ページ数 未定
3. 書名 Photoisomerization: Causes, Behavior and Effects	

〔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
---------	---------