

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01996

研究課題名(和文) 高耐久性を有する超分子カプセル内包型錯体触媒の合成と機能評価

研究課題名(英文) Development of Highly Robust Catalytic Systems based on Supramolecular Capsules Encapsulating Metal Complexes

研究代表者

酒井 健 (Sakai, Ken)

九州大学・理学研究院・教授

研究者番号：30235105

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、より高耐久な分子性触媒系の構築を目指し研究を行った。安定度の向上を目指したアプローチの1つとして、錯体触媒の超分子カプセルへの内包挙動を詳細に評価した。さらに、水素生成が有利な水溶液系においても優れた選択性を示す高活性CO<sub>2</sub>還元分子性触媒の開発に成功した。その要因について、本錯体触媒は中心金属はCo(II)状態を維持することが判明し、位相が整合するCo(II)種とCO<sub>2</sub>の活性化が促進される一方、位相が整合することからCo(I)中間種では促進される水素イオンの活性化が抑制されることが示された。さらに、水素生成、並びに酸素発生分子性触媒の開発と機能制御にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

生命現象は高度に組織化された生体高分子やタンパク質などが巧みに組み合わさり、様々な化学的現象によって成り立っている。依然人類が太刀打ちできないほど高精度の物質変換過程が高効率に促進されている。植物の行う窒素固定や炭素固定はその代表例と言え、その全てがいわゆる分子性の反応場によって構成されている。本研究では、人工的に開発した金属錯体が人工光合成反応過程を高効率に触媒することを明らかにした。また、その優れた触媒特性の活性制御因子を明らかにした。さらに、より高耐久な反応系の構築に対する設計指針を得ることも成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to construct durable molecular systems for artificial photosynthetic reactions. As one of the approaches to improve the stability, the encapsulation behaviors of molecular catalysts in supramolecular capsules were evaluated in detail. Furthermore, we succeeded in developing highly active CO<sub>2</sub> reduction molecular catalysts which exhibit excellent selectivity even in aqueous media, where hydrogen evolution is favored. The catalyst was found to drive multi-electron reduction processes over the ligand geometry by maintaining the Co(II) oxidation state. Importantly, the Co(II) center promotes the activation of CO<sub>2</sub> due to its phase matching character, while the activation of H<sup>+</sup> is suppressed because of its phase mismatch. In addition, highly active molecular catalysts for O<sub>2</sub> evolution and H<sub>2</sub> evolution were also developed.

研究分野：錯体化学

キーワード：人工光合成

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

生命現象は高度に組織化された生体高分子やタンパク質などが巧みに組み合わせり、様々な化学的現象によって成り立っている。依然人類が太刀打ちできないほど高精度の物質変換過程が高効率に促進されている。植物の行う窒素固定や炭素固定はその代表例と言える。その全てがいわゆる分子性の反応場によって構成されている。一方、人類は長年そのよう生命現象の解明に取り組み、様々な知見を得ることに成果を上げてきた。しかしながら、分子性化合物は金属単体や酸化物などの純粋無機物に比して安定度が低く、長期的な繰り返し使用に耐え得ないという問題がその実用化への大きな障壁となってきた。特に、本課題が研究対象とする金属錯体を基盤とした人工光合成の研究分野では、これまでに著しい研究の発展が成し遂げられてきた。研究代表者らの研究グループでも同分野の発展に大きく貢献してきたが、可視光照射下や電解電圧印加時に分子性の錯体触媒が徐々に分解する現象を抑制することは一般的に難しいのが実状である。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、より高耐久な分子性触媒系の構築を目指し研究を行った。安定度の向上を目指したアプローチの1つとして、錯体触媒の超分子カプセルへの内包挙動を詳細に評価した。さらに、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)還元、水素生成、並びに酸素発生分子性触媒の開発と機能制御に関する研究にも取り組んだ。

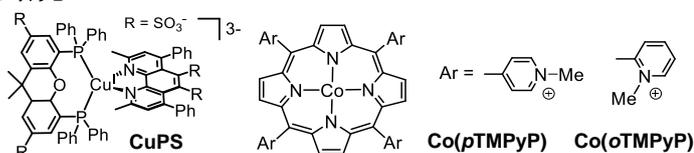
### 3. 研究の方法

種々の金属錯体は、文献法並びに新規の合成法にて合成を行った。合成した化合物は、<sup>1</sup>H NMR、単結晶 X 線構造解析、ESI-MS、元素分析、EDX、XPS などで同定を行った。また、その触媒機能については、全自動光水素・酸素定量システムによるガス定量、電気化学測定、光照射下における紫外可視吸収スペクトル測定などの多角的なアプローチで解析を行った。

### 4. 研究成果

#### a) 二酸化炭素還元分子性触媒に関する研究

多電子貯蔵能を有するピリジニウムペンダントを導入したコバルトポルフィリン錯体触媒(**Co(pTMPyP)**)が、水溶液系で優れた CO<sub>2</sub>還元触媒特性を示すことを明らかにした (TON = 2680)。さらに、一般的に水溶液系で

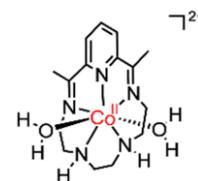


有利となる水素生成反応に対する比較的優れた選択性を示した (Sel<sub>CO</sub> = 77%)。また、本錯体触媒の4電子還元種または5電子還元種の形成をトリガーとして CO<sub>2</sub>還元反応が促進されていることを示した。なお、この反応系は史上初の水溶性銅増感剤 **CuPS** を用い構築された。

さらに、新規コバルトポルフィリン錯体触媒 **Co(oTMPyP)**が、同様に銅増感剤 (**CuPS**) と組み合わせることで水溶液系においても Sel<sub>CO</sub> = 90%という前例にない優れた CO<sub>2</sub>還元選択性を示すことを明らかにした。その要因について、量子化学計算を行い検証したところ、本錯体触媒は配位子中心の多電子還元過程を駆動するものの、中心金属は **Co(II)**状態を維持し、低原子価 **Co(I)**種を形成せず二酸化炭素を活性化することが示された。それに伴い、位相が整合することから **Co(I)**中間種では促進される水素イオン (H<sup>+</sup>) の活性化が抑制され、位相が整合する **Co(II)**種と二酸化炭素の活性化が促進されることが示された。さらに、**CuPS** と **Co(oTMPyP)**が水溶液中で複合体を形成することが示され、超分子触媒系への展開が可能となった。一方で、**CuPS-Co(oTMPyP)**複合体は、光反応サイクルで分解反応を促進する要因であることも見いだされたことから、何らかのアプローチで系の耐久性向上を図る必要性が認識された。

#### b) 水素生成分子性触媒に関する研究

右記に示す環状五座配位子を有するコバルト単核錯体が、極めて高い触媒回転頻度(TOF = 2210 s<sup>-1</sup>)で電気化学的水素生成反応を駆動することを明らかにした。興味深いことに、pH=7において緩衝溶液として用いたリン酸二水素イオン (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>) がプロトンメディエーターとして重要な役割を担うことを見出した。一般に、分子性触媒は酸素や一酸化炭素 (CO) の存在下では触媒機能が著しく低下してしまうが、本分子性触媒は触媒機能がほとんど低下しないことが明らかとなった。本研究では、配位子の立体構造を巧みに利用しコバルトカルボニル不活性中間種を不安定化させることによって、分子性触媒の CO に対する耐久性を劇的に向上させることに初めて成功した。



### c) 酸素生成分子性触媒に関する研究

酸素発生触媒反応の高速化及び、低過電圧化を目指し、植物の光合成系の電子伝達を促進することで知られるチロシン残基を導入にした新規ルテニウム錯体触媒の設計、合成、及び機能評価を行った。本錯体のアセトニトリル溶液に少量の水を添加し、サイクリックボルタモグラム (CV) を計測すると、酸素発生に由来する触媒電流値の増大が観測された(図1)。pH=9において、1.4 V vs. SCE の電位で定電位電解を行い、生成する酸素ガスをガスクロマトグラフで計測したところ、触媒回転数は10時間でTON=9300に到達すると同時に、100%のファラデー変換効率が確認された。

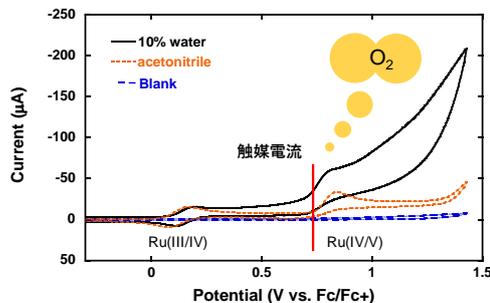


図1. ルテニウム錯体(1.0 mM)の CV (RE: Ag/Ag<sup>+</sup>, WE: GC, CE: Pt wire, solvent: acetonitrile or 10% water containing acetonitrile, electrolyte: 0.1 M TBAClO<sub>4</sub>, scan rate: 100 mV/s)

### d) 錯体触媒の超分子形成反応に関する研究

以前、研究代表者らは、非水溶性の白金ゲスト錯体が、内部空間を有するカゴ状ホスト錯体の共存下において、非共存下と比較し水中での水素発生反応に対する触媒活性の向上を報告した。本研究では、個々のゲスト錯体の環境が触媒活性に与える影響の評価を行うため、ホスト-ゲスト相互作用による包摂現象を用いた内包されるゲスト錯体数の制御が可能な組み合わせ及び、反応条件の探索を行った。

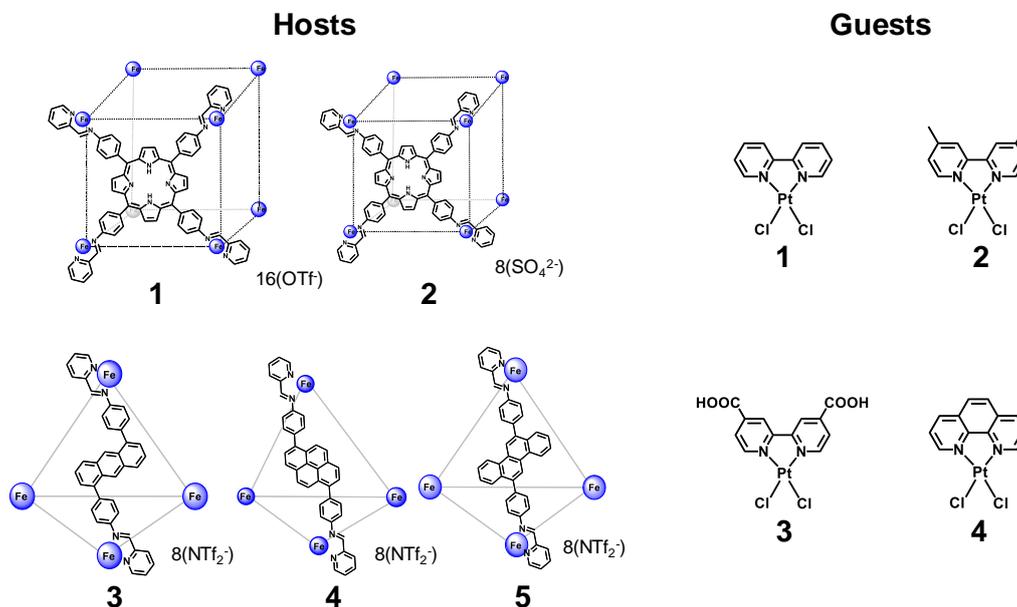


図2. ホスト及びゲスト錯体の分子構造

ホスト錯体・ゲスト錯体の選定は、ホスト錯体の内部空間の体積並びにゲスト錯体分子の体積をもとに、図2に示した5つのホスト錯体と4つのゲスト錯体を選定した。ホスト-ゲスト相互作用による包摂実験は、重溶媒中に溶解させたホスト錯体に対し、既定量のゲストを添加した際の<sup>1</sup>H NMR スペクトルの変化、並びに同サンプルを加熱した際の<sup>1</sup>H NMR スペクトルの経時変化により測定した。

有機溶媒に可溶性ホスト錯体1, 3, 4, 5を用いた場合では、ゲスト錯体の添加による包接体に由来する新たなピークやシフトしたゲスト錯体のピークは観測された。また、温度可変測定を行ったところ、温度低下させてゲスト錯体のピークは室温のものとは変化がなかったことから、ホスト錯体とゲスト錯体の相互作用が低い系であり、包接体の形成に関する平衡がNMRの測定タイムスケールよりも早い速度で進行していることが判明した。

そこで、ホスト錯体とゲスト錯体の相互作用が大きくなりやすいD<sub>2</sub>O中での実験が可能な水溶性ホスト錯体2を用いて同様の実験を行った。ホスト錯体に対して1

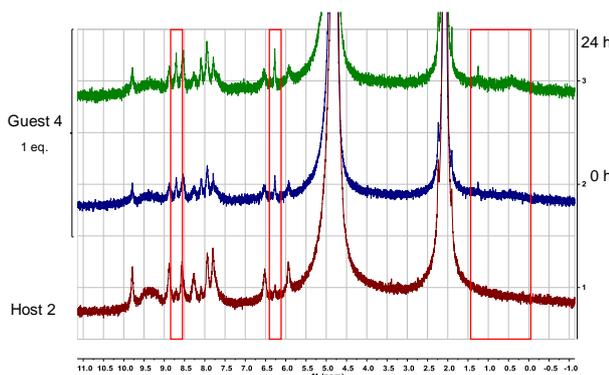


図3. D<sub>2</sub>O中での包摂実験の<sup>1</sup>H NMR、及び加熱前後でのNMRスペクトルの変化

当量のゲスト錯体 **4** を添加すると、有機溶媒中での実験と同様に、包接体の形成を示す新たなピークが観測されている(図 3.0 h)。更に、この溶液を 50°C で加熱し、加熱前後でのスペクトルを比較すると、これらのピーク強度の増大が観測されたことから、この組み合わせでゲスト錯体 **4** の包摂を加熱により制御が可能であることを見出した。

以上より、今回挙げたホスト錯体・ゲスト錯体の組み合わせにおいて、包接数を制御可能にするためには、ホスト-ゲスト間の相互作用を増大させる系を選択する必要があることを今回初めて明らかにするなど超分子触媒系に関しても一定の成果を得たといえる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hamaguchi Tomohiko, Kai Keisuke, Ando Isao, Kawano Ken, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 505
2. 論文標題 A dinuclear nickel catalyst based on metal-metal cooperation for electrochemical hydrogen production	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorganica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 119498 ~ 119498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ica.2020.119498	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 Akamine Katsuhiko, Morita Kohei, Sakai Ken, Ozawa Hironobu	4. 巻 3
2. 論文標題 A Molecular-Based Water Electrolyzer Consisting of Two Mesoporous TiO <sub>2</sub> Electrodes Modified with Metalloporphyrin Molecular Catalysts Showing a Quantitative Faradaic Efficiency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4860 ~ 4866
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00443	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 El-Ghamry Hoda A., Yamauchi Kosei, Sakai Ken, Farghaly Thoraya A.	4. 巻 516
2. 論文標題 Unexpected structure of enamione Pd(II) complex in comparison with Cu(II) complex: Synthesis, characterization, DNA binding and antitumor activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganica Chimica Acta	6. 最初と最後の頁 120117 ~ 120117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ica.2020.120117	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 Yatsuzuka Koichi, Yamauchi Kosei, Kawano Ken, Ozawa Hironobu, Sakai Ken	4. 巻 5
2. 論文標題 Improving the overall performance of photochemical H <sub>2</sub> evolution catalyzed by the Co-NHC complex via the redox tuning of electron relays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 740 ~ 749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SE01597K	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 Yatsuzuka Koichi, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 57
2. 論文標題 Redox tuning in Pt(bpy)-viologen catalyst-acceptor dyads enabling photocatalytic hydrogen evolution from water	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 5183 ~ 5186
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1CC00903F	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 Zhang Xian, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 11
2. 論文標題 Earth-Abundant Photocatalytic CO <sub>2</sub> Reduction by Multielectron Chargeable Cobalt Porphyrin Catalysts: High CO/H <sub>2</sub> Selectivity in Water Based on Phase Mismatch in Frontier MO Association	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 10436 ~ 10449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.1c02475	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 Call Arnau, Cibian Mihaela, Yamamoto Keiya, Nakazono Takashi, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 9
2. 論文標題 Highly Efficient and Selective Photocatalytic CO <sub>2</sub> Reduction to CO in Water by a Cobalt Porphyrin Molecular Catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 4867 ~ 4874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b04975	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 Parent Alexander Rene, Nakazono Takashi, Tsubonouchi Yuta, Taira Natsuki, Sakai Ken	4. 巻 74
2. 論文標題 Mechanisms of water oxidation using ruthenium, cobalt, copper, and iron molecular catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 197 ~ 240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/bs.adioch.2019.04.001	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 Kuwano Ryoichi, Yokogi Masashi, Sakai Ken, Masaoka Shigeyuki, Miura Takashi, Won Sungyong	4. 巻 23
2. 論文標題 Room-Temperature Benzylic Alkylation of Benzylic Carbonates: Improvement of Palladium Catalyst and Mechanistic Study	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Process Research & Development	6. 最初と最後の頁 1568 ~ 1579
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.oprd.9b00210	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 Wang Jia Wei, Yamauchi Kosei, Huang Hai Hua, Sun Jia Kai, Luo Zhi Mei, Zhong Di Chang, Lu Tong Bu, Sakai Ken	4. 巻 58
2. 論文標題 A Molecular Cobalt Hydrogen Evolution Catalyst Showing High Activity and Outstanding Tolerance to CO and O <sub>2</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 10923 ~ 10927
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201904578	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 Sakaguchi Yuto, Call Arnau, Cibian Mihaela, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 55
2. 論文標題 An earth-abundant system for light-driven CO <sub>2</sub> reduction to CO using a pyridinophane iron catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 8552 ~ 8555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC04191E	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 Zhang Xian, Cibian Mihaela, Call Arnau, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 9
2. 論文標題 Photochemical CO <sub>2</sub> Reduction Driven by Water-Soluble Copper(I) Photosensitizer with the Catalysis Accelerated by Multi-Electron Chargeable Cobalt Porphyrin	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 11263 ~ 11273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.9b04023	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 Yamamoto Keiya, Call Arnau, Sakai Ken	4. 巻 24
2. 論文標題 Photocatalytic H <sub>2</sub> Evolution Using a Ru Chromophore Tethered to Six Viologen Acceptors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 16620 ~ 16629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201803662	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 Aimoto Yutaro, Koshiba Keita, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 54
2. 論文標題 A family of molecular nickel hydrogen evolution catalysts providing tunable overpotentials using ligand-centered proton-coupled electron transfer paths	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 12820 ~ 12823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC07467D	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 Koshiba Keita, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 48
2. 論文標題 Consecutive ligand-based PCET processes affording a doubly reduced nickel pyrazinedithiolate which transforms into a metal hydride required to evolve H <sub>2</sub>	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 635 ~ 640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8DT04497J	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 Morita Kohei, Sakai Ken, Ozawa Hironobu	4. 巻 2
2. 論文標題 A New Class of Molecular-Based Photoelectrochemical Cell for Solar Hydrogen Production Consisting of Two Mesoporous TiO <sub>2</sub> Electrodes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 987 ~ 992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.8b01992	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 Koshiba Keita, Yamauchi Kosei, Sakai Ken	4. 巻 -
2. 論文標題 Ligand based PCET Reduction in a Heteroleptic Ni(bpy)(dithiolene) Electrocatalyst Giving Rise to Higher Metal Basicity Required for Hydrogen Evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201900400	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30件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 18件)

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysis Relevant to Solar Energy Conversion and Storage
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on the Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds (ISPPCC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuto Sakaguchi, Arnau Call, Mihaela Cibin, Kosei Yamauchi, Ken Sakai
2. 発表標題 An Earth-abundant System for the Photocatalytic CO <sub>2</sub> Reduction to CO Using an Iron Complex Based on the Pyridinophane Ligand
3. 学会等名 The 23rd International Symposium on the Photochemistry and Photophysics of Coordination Compounds (ISPPCC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八束孝一, 山内幸正, Robin G. Hicks, 酒井健
2. 発表標題 酸化還元活性な配位子Nindigoを配位させた水溶性白金錯体による光水素触媒反応
3. 学会等名 錯体化学若手の会夏の学校2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口雄人, Arnau Call, Mihaela Cibian, 山内幸正, 酒井健
2. 発表標題 ジアザピリジノファン錯体を触媒とした光化学的CO <sub>2</sub> 還元反応系の開発
3. 学会等名 錯体化学若手の会夏の学校2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八束孝一, 山内幸正, Robin G. Hicks, 酒井健
2. 発表標題 電子・プロトン受容能を有するNindigo誘導体を配位子として用いた白金錯体触媒による光水素生成反応
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 坂口雄人, Arnau Call, Mihaela Cibian, 山内幸正, 酒井健
2. 発表標題 ジアザピリジノファン錯体を用いた光化学的CO <sub>2</sub> 還元触媒反応とその機構的研究
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 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysis Towards Artificial Solar Generation of Fuels
3. 学会等名 19th International Conference on Biological Inorganic Chemistry (ICBIC-19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Photocatalysis Towards Solar Water Splitting and CO2 Reduction
3. 学会等名 2019 ESP-IUPB World Congress (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂口雄人, Arnau Call, Mihaela Cibian, 山内幸正, 酒井健
2. 発表標題 ジアザピリジノファン錯体を触媒とした光化学的CO2還元反応の機構的研究
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 山川和馬, 脇山史彬, 山内幸正, 酒井健
2. 発表標題 分子内白金間相互作用による触媒活性向上を目指した新規白金二核錯体の合成と水素生成触媒機能
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 Yutaro Aimoto, Alexander Parent, Kosei Yamauchi, Ken Sakai
2. 発表標題 Mechanistic insights into water oxidation catalysis by a mononuclear polypyridyl ruthenium complex
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 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysis for Water Splitting and CO2 Reduction
3. 学会等名 7th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC7) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysis and Photocatalysis for Water Splitting and CO2 Reduction
3. 学会等名 12th China-Japan Joint Symposium on metal Cluster Compounds (CJSMCC2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysis and Photocatalysis for Water Splitting and CO2 Reduction
3. 学会等名 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 Yuto Sakaguchi, Arnau Call, Kosei Yamauchi, Ken Sakai
2. 発表標題 Mechanistic Studies on the Photocatalytic CO2 Reduction Promoted by Diazapyridinophane Metal Complexes
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 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysts and Photocatalysts for Water Splitting Reactions and their Applications in Surface Modified TiO <sub>2</sub> Electrodes
3. 学会等名 I2CNER-UGo, IRTG Proposal Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Hybrid Molecular Catalysts and Photocatalysts for Solar Water Splitting Reactions
3. 学会等名 3rd Japan - UK Joint Symposium on Coordination Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Catalytic Hydrogen Evolution Reactions Coupled with Proton-Coupled Electron Transfer Processes
3. 学会等名 3rd International Conference on Proton Coupled Electron Transfer (PCET2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Water Oxidation and CO <sub>2</sub> Reduction Catalyzed by Co-, Cu- and Ru-Centered Catalysts including Cobalt Porphyrins
3. 学会等名 Tenth International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines(ICPP-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Coordination Chemistry focused on Photochemical Water Splitting Molecular Devices
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry(ICCC2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Catalysis of metals and metal complexes
3. 学会等名 Summer Shool 2018 on Young Coordination Chemist's Association Japan (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Solar Energy Conversion and Storage using Transition Metal Molecular Systems
3. 学会等名 CSOM Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysts and Photocatalysts towards Artificial Photosynthesis
3. 学会等名 Department Seminar at School of Science, The University of Tokyo (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakai
2. 発表標題 Molecular Catalysts and Photocatalysts for Solar Energy Conversion and Storage
3. 学会等名 2nd Kyushu-Mainz Joint Chemistry Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kosuke Sakota, Yuta Tsubonouchi, Kosei Yamauchi, and Ken Sakai
2. 発表標題 Syntheses and Catalytic Water Oxidation Activities of Trinuclear Ruthenium Clusters
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry(ICCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Sakaguchi, Arnau Call, Mihaela Cibian, and Ken Sakai
2. 発表標題 Catalytic of Dizapyridinophane First-row Metal Complexes for CO <sub>2</sub> Reduction
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry(ICCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xinyi Cheng, Keiya Yamamoto, Mihaela Cibian, Arnau Call, and Ken Sakai
2. 発表標題 Catalytic Activity of Some Water-soluble Metal Porphyrins for CO <sub>2</sub> Reduction in Aqueous Media
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry(ICCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Xian Zhang, Mihaela Cibian, Arnau Call, and Ken Sakai
2. 発表標題 Toward Metal Complexes with Phosphine Donors as Photosensitizers for Photocatalysis in Aqueous Media
3. 学会等名 43rd International Conference on Coordination Chemistry(ICCC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuto Sakaguchi, Arnau Call, Mihaela Cibian, and Ken Sakai
2. 発表標題 ジアザピリジノファン配位子を有する第一遷移金属錯体を用いた光化学的CO2還元触媒反応
3. 学会等名 錯体化学若手の会夏の学校2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaro Tsuji, Kosei Yamauchi, and Ken Sakai
2. 発表標題 近赤外光により水素生成を駆動する新規ルテニウム三核光増感錯体
3. 学会等名 錯体化学若手の会夏の学校2018
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 森田浩平、小澤弘宣、酒井健 日本化学会編	4. 発行年 2020年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 224
3. 書名 CSJカレントレビュー38 光エネルギー変換における分子触媒の新展開 天然光合成を凌駕する反応系の構築を目指して	

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州大学大学院理学研究院化学部門 錯体化学研究室  
<http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Sakutai/jp/index.html>

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