

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月15日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21350036

研究課題名（和文） 単一分子光水素発生デバイスの合成と機能制御

研究課題名（英文） Syntheses and function controls of single-molecule-based photo-hydrogen-evolving molecular devices

研究代表者

酒井 健（SAKAI KEN）

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：30235105

研究成果の概要（和文）：太陽光エネルギーを水素エネルギーに変換するプロセスの開発を見据え、水の可視光分解反応の研究が広く行われている。本課題では、光増感能と水素生成触媒能を単分子で併せ持つ単一分子光水素発生デバイスに関して、合成と機能制御を目的とし研究を行った。その結果、デバイスの活性を制御する因子を解明することに成功し、今までに例のない、白金錯体のみで水素生成を駆動する2機能複合型光水素発生デバイスの開発にも成功した。

研究成果の概要（英文）：Studies on visible light induced water-splitting reactions are important in order to achieve the systems to convert solar energy into hydrogen energy. In this study, we tackled syntheses and functional controls of single-molecule-based photo-hydrogen-evolving molecular devices, which have both photosensitizing and H₂-evolving abilities. In the result, we could succeed in unveiling the factors controlling the activities of molecular devices. We also succeeded in developing the bifunctional platinum complexes promoting photochemical H₂ production from water in one component.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・無機化学

キーワード：ルテニウム錯体、光水素発生デバイス、光誘起電子移動、太陽光エネルギー変換、水可視光分解、水素エネルギー、水素生成触媒、白金錯体

1. 研究開始当初の背景

本課題の主題である光水素発生デバイスについては、長年様々なデバイスモデルを構築

及び機能評価することより、申請者のグループは、史上初の単一分子光水素発生デバイスの創出に成功した(Sakai et al., *J. Am.*

Chem. Soc. **2006**, *128*, 15799.)。このような試みは長年広く行なわれてきたにも関わらず、成功例は皆無であった。それゆえ、この成果は世界中の研究者の注目を集めると同時に、多くの追従する研究を誘発する結果となった (Rau et al., *Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, *45*, 6215; Brewer et al., *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 10644.)。この他にもこの分野では多数の研究者が競合する時代に突入しており、本課題を加速的に推進する必要があった。

2. 研究の目的

本課題では、過去の研究により得られた光水素発生デバイスについて得られた活性制御因子を基に、より高活性な単一分子光水素発生デバイスの設計、合成、及び機能評価することを目的として研究を行った。

3. 研究の方法

本課題では、白金錯体触媒部の二核化による飛躍的な活性の向上、脱離能を有するクロライドイオンの置換による活性制御、高速分光分析 (レーザーフラッシュフォトリス) による各種モデル錯体の光触媒反応機構の解明、ビオローゲン多量体への多電子貯蔵過程を利用した新しいタイプの光水素発生デバイスの創出、2機能集約型の白金単核及び二核錯体の合成と機能評価、デバイス活性サイトへのプロトン付着サイトの導入と反応制御、光化学的な酸素発生を駆動する錯体触媒の創製について検討した。

4. 研究成果

(1) 分子内に強い白金間相互作用を有する各種の白金二核錯体の合成を試み、幾つかの新規錯体の合成と単離同定に成功したものの、目的とする活性を見出すには至らなかった。今後、異なるスペーサーを有する白金ルテニウム二核骨格を構築すべきと判明した。単核の白金触媒部を有する水素発生デバイスについては、白金側に配位した π 共役系配位子の還元電位の精密制御により、分子内電子移動の駆動力を自在に制御することに成功し、かつ、その制御因子を操作することにより、光水素発生効果を制御できることを突き止めることに成功した。見出した法則は、広く適用することができる重要なものであることが分かった。一方、白金ルテニウム二核の水素発生デバイス二分子をエチレン鎖で連結することにより、分子内の白金-白金相互作用の形成を促進することができ、その結果活性が向上することを突き止めた。さらに興味深い成果として、ビオローゲン多量体を導入した光増感剤として Ru 錯体や水素生成触媒としての白金錯体の合成と同定に成功

し、ビオローゲン多量体への多電子貯蔵過程を利用した新しいタイプの光水素発生デバイスの創出にも成功した。これらの研究では、白金単核錯体が Pt-Pt 結合を有するヒドリド中間体を經由することが初めて明らかとなった。DFT 分子軌道計算、および、電気化学的反応機構解析によっても、数多くの新しく、かつ、有益な知見を得ることができた。

(2) 従来の光増感部-触媒部の2機能型デバイスに代え、電子供与部-光増感部-触媒部の3機能型デバイスの合成と機能評価に成功した。この研究では、電荷分離状態の延命化には成功したものの、光水素生成効率の高効率化には至らなかった。その要因が、マーズ逆転領域における電子移動速度の低下に由来することを突き止めた。一方、これまでの研究では、単一の光増感部に対して一つの触媒部位を導入した1:1型の系のみについて検討してきたが、本年度は、2つ、または、3つの触媒部を導入した1:2型及び1:3型のデバイスの合成と機能評価にも成功した。興味深いことに、触媒部位数の増加に伴い、水素生成効率が劇的に向上することを見出した。さらに、トリス(ピピリジン)ルテニウム(II)を光増感部に持たない白金錯体触媒部における金属-配位子電荷移動吸収帯に用いた2機能集約型の白金単核及び二核錯体の合成と機能評価にも成功した。[Pt(trpy)Cl]⁺錯体に類似の構造を有する二種の白金錯体に関し、EDTA 共存下における光電子貯蔵挙動ならびに光水素生成挙動が認められた。一つは、[Pt(trpy)Cl]⁺ に N-methylpyridinium 基を導入したメタロビオローゲン白金錯体であり、高い単一分子光水素生成挙動を示すと同時に、助触媒としての白金(II)錯体の添加による光水素生成能の向上が認められた。もう一つの化合物は、Pt(trpy)ユニットをピリジンチオラトで架橋した二核錯体であり、³MMLCT 励起状態からの電子移動過程を經由した水素生成反応が促進されることを明らかにした。

(3) 光増感部位-水素発生触媒部位からなる2機能型光水素発生デバイスにおいて、電子受容サイトとなる触媒部の有機配位子に強い電子吸引力を示す置換基を導入することで、既存のデバイスよりも高い活性を示す新規デバイスを開発することに成功した。この研究では、電子受容サイトの π^* 軌道を安定化させ、光増感部位から触媒部位への円滑な電子移動が活性向上のための鍵因子であることが改めて示された。また、ナノ秒、及びピコ秒の発光減衰測定により、光を駆動力とした電子移動反応の速度定数における pH 依存性や犠牲還元試薬の濃度依存性などを評価することに成功した。水素発生触媒部位に関する研究においては、どのような構造を有する白金錯体が触媒反応中により高い安定

度を示すと期待されるかを評価することにも成功した。その研究では、アミン系配位子を有する白金錯体に比べ、ピリジン系配位子を有する白金錯体の方が格段に高い安定性を持つことを明らかにした。加えて、水素生成の条件下において、各種の白金錯体が分子状水素との相互作用によって分解する反応が無視できることも示した。更に、犠牲還元試薬を必要としない水素発生システムの構築の一環として、光化学的な酸素発生を駆動する錯体触媒の創製にも成功した。その研究では、分解生成物であるコロイド種より錯体触媒種の方が高い活性を有することが示され、コロイド種が活性種であるという懐疑的な見方を否定することに成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計30件)

- ① "Hitoshi Sakai (1930-2008)"
Ken Sakai, *Applied Geochemistry*, **2012**, in press. 査読無
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.02.004>
- ② "Synthesis, crystal structure, spectroscopic and electrochemical properties, and H₂-evolving activity of a new [PtCl(terpyridine)]⁺ derivative with viologen-like redox properties", Masayuki Kobayashi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2012**, *41*, 4903-4911. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/C2DT12209J>
- ③ "Synthesis and characterization of self-assembled coordination polymers of *N*-diaminomethylene-4-(3-formyl-4-hydroxy-phenylazo)-benzenesulfonamide", Hoda El-Ghamrya, Ken Sakai, Shigeyuki Masaoka, Kamal El-Baradiea, and Raafat Issaa, *J. Coord. Chem.*, **2012**, *65*, 780-794. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1080/00958972.2012.661418>
- ④ "Tuning of Redox Potentials by Introducing a Cyclometalated Bond to Bis-tridentate Ruthenium(II) Complexes Bearing Bis(Nmethylbenzimidazolyl)benzene or -pyridine Ligands", Wen-Wen Yang, Yu-Wu Zhong, Shinpei Yoshikawa, Jiang-Yang Shao, Shigeyuki Masaoka, Ken Sakai, Jiannian Yao, and Masa-aki Haga, *Inorg. Chem.*, **2012**, *51*, 890-899. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1021/ic2016885>
- ⑤ "Visible Light-induced Water Oxidation Catalyzed by Molybdenum-based Polyoxometalates with Mono- and Dicobalt(III) Cores as Oxygen-Evolving Centers", Saya Tanaka, Masahiko Annaka and Ken Sakai, *Chem. Commun.*, **2012**, *48*, 1653-1655. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c2cc16821a>
- ⑥ "Self-assembly of Tubular Microstructures from Mixed-valence Metal Complexes and their Reversible Transformation via External Stimuli", Keita Kuroiwa, Masaki Yoshida, Shigeyuki Masaoka, Kenji Kaneko, Ken Sakai, and Nobuo Kimizuka, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2012**, *51*, 656-659. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/anie.201105080>
- ⑦ "Kinetics and DFT Studies on Water Oxidation by Ce⁴⁺ Catalyzed by [Ru(terpy)(bpy)(OH₂)]²⁺", Ayano Kimoto, Kosei Yamauchi, Masaki Yoshida, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Chem. Commun.*, **2012**, *48*, 239-241. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c1cc15109f>
- ⑧ "Stability of Pt(II)-Based H₂-Evolving Catalysts against H₂ in Aqueous Solution", Kosei Yamauchi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2011**, *40*, 12447-12449. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c1dt11217a>
- ⑨ "Proton-Induced Tuning of Metal-Metal Communication in Rack-Type Dinuclear Ru Complexes Containing Benzimidazolyl Moieties", Katsuaki Kobayashi, Masamichi Ishikubo, Katsuhiko Kanaizuka, Keiko Kosuge, Shigeyuki Masaoka, Ken Sakai, Koichi Nozaki, and Masa-aki Haga, *Chem. Eur. J.*, **2011**, *17*, 6954-6963. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/chem.201100074>
- ⑩ "Syntheses, Characterization, and Photochemical Properties of Amidate-Bridged Pt(bpy) Dimers Tethered to Ru(bpy)₃²⁺ Derivatives", Masanari Hirahara, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2011**, *40*, 3967-3978. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0dt01548b>

- ⑪ "Light-Induced Charge Separation and Photocatalytic Hydrogen Evolution from Water using Ru^{II}Pt^{II}-Based Molecular Devices: Effects of Introducing Additional Donor and/or Acceptor Sites", Gopalakrishnan Ajayakumar, Masayuki Kobayashi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2011**, *40*, 3955-3966. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0dt01673j>
- ⑫ "Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Devices Driving Visible-Light-Induced Water Reduction into Molecular Hydrogen: Structure-Activity Relationship and Reaction Mechanism", Hironobu Ozawa and Ken Sakai, *Chem. Commun.*, **2011**, *47*, 2227-2242 (*Feature Article, invited, Hydrogen Issue*). 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0cc04708b>
- ⑬ "Aggregation of [Au(CN)₄]⁻ Anions: Detection by ¹⁵N CP-MAS NMR and the Structural Factors Influencing Intermolecular Au...N Interactions", Andrew Geisheimer, John Wren, Vladimir Michaelis, Masayuki Kobayashi, Ken Sakai, Scott Kroeker, and Daniel Leznoff, *Inorg. Chem.*, **2011**, *50*, 1265-1274. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1021/ic101782v>
- ⑭ "Platinum(II)-Based Hydrogen-Evolving Catalysts Linked to Multipendant Viologen Acceptors: Experimental and DFT Indications for Bimolecular Pathways", Makoto Ogawa, Gopalakrishnan Ajayakumar, Shigeyuki Masaoka, Heinz-Bernhard Kraatz, and Ken Sakai, *Chem. Eur. J.*, **2011**, *17*, 1148-1162. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/chem.201002470>
- ⑮ "Photocatalytic Hydrogen Production from Water in Self-assembled Supramolecular Iridium-cobalt Systems", Sk. Jasimuddin, Tomoko Yamada, Kazunori Fukuju, Joe Otsuki, and Ken Sakai, *Chem. Commun.*, **2010**, *46*, 8466-8468. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0cc02486d>
- ⑯ "Photochemical and Thermal Hydrogen Production from Water Catalyzed by Carboxylate-Bridged Dirhodium(II) Complexes", Saya Tanaka, Shigeyuki Masaoka, Kosei Yamauchi, Masahiko Annaka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2010**, *39*, 11218-11226. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0dt00741b>
- ⑰ "Electrocatalytic Oxygen Evolution from Water at an ITO Electrode Modified with [Ru(terpy){4,4'-(CH₂PO₃H₂)₂-2,2'-bpy}(OH₂)²⁺]: Evidence for a Unimolecular Pathway", Josaku Kiyota, Junpei Yokoyama, Masaki Yoshida, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Chem. Lett.*, **2010**, *39*, 1146-1148. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1246/cl.2010.1146>
- ⑱ "Unprecedented Radical-Radical Reaction of a [2.2]Paracyclophane Derivative Containing Imidazolyl Radical Moiety", Sayaka Hatano, Ken Sakai, and Jiro Abe, *Org. Lett.*, **2010**, *12*, 4152-4155. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1021/ol1017933>
- ⑲ "Catalysis of Mononuclear Aquaruthenium Complexes in Oxygen Evolution from Water: A New Radical Coupling Path using Hydroxocerium(IV) Species", Masaki Yoshida, Shigeyuki Masaoka, Jiro Abe, and Ken Sakai, *Chem. Asian J.*, **2010**, *5*, 2369-2378. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/asia.201000323>
- ⑳ "Syntheses, Characterization, and Photo-Hydrogen-Evolving Properties of Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II) Derivatives Tethered to an H₂-Evolving (2-phenylpyridinato)platinum(II) Unit", Masayuki Kobayashi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Molecules*, **2010**, *15*, 4908-4923. 査読有
<http://dx.doi.org/10.3390/molecules15074908>
- ㉑ "Frontier Orbital Engineering of Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Devices: a Clear Relationship Between the H₂-Evolving Activity and the Energy Level of the LUMO", Shigeyuki Masaoka, Yuichiro Mukawa, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2010**, *39*, 5868-5876. (*Selected as a Hot Article*). 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/c0dt00077a>
- ㉒ "Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Catalysts Consisting of Polypyridyl Ruthenium(II) Photosensitizers and Platinum(II) Catalysts: Insights into the Reaction Mechanism", Hironobu Ozawa, Masayuki Kobayashi, Bijitha

- Balan, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Chem. Asian J.*, **2010**, *5*, 1860-1869. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/asia.201000083>
- ②③ "Photoinduced Electron Transfer in Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-Violagen Dyads with Peptide Backbones Leading to Long-Lived Charge Separation and Hydrogen Evolution", Makoto Ogawa, Bijitha Balan, Gopalakrishnan Ajayakumar, Shigeyuki Masaoka, Heinz-Bernhard Kraatz, Masayasu Muramatsu, Syoji Ito, Yutaka Nagasawa, Hiroshi Miyasaka, and Ken Sakai, *Dalton Trans.*, **2010**, *39*, 4421-4434. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/b922689c>
- ②④ "Dibromido(2,3,9,10-tetramethyl-1,4,8,11-tetraazacyclotetradeca-1,3,8,10-tetraene)cobalt(III) bromide", Hoda El-Ghamry, Raafat Issa, Kamal El-Baradie, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Acta Cryst.*, **2009**, *E65*, m1378-m1379. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1107/S160053680904166X>
- ②⑤ "Kinetic Resolution of P-Chirogenic Compounds by Pd-catalyzed Alcoholysis of Vinyl Ethers", Hisashi Itoh, Eiji Yamamoto, Shigeyuki Masaoka, Ken Sakai, and Makoto Tokunaga, *Adv. Synth. Cat.*, **2009**, *351*, 1796-1800. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1002/adsc.200900304>
- ②⑥ "Evidence for Pt(II)-Based Molecular Catalysis in the Thermal Reduction of Water into Molecular Hydrogen", Kosei Yamauchi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 8404-8406. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1021/ja902245e>
- ②⑦ "Oxygen Evolution from Water Catalyzed by Mononuclear Ruthenium Complexes with a Triazamacrocyclic Ligand in a Facial Fashion", Masaki Yoshida, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Chem. Lett.*, **2009**, *38*, 702-703. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1246/cl.2009.702>
- ②⑧ "Hydrogen Production from Water Catalyzed by an Air-stable Di-iron Complex with a Bio-relevant Fe₂(μ-S)₂ Core", Toshiki Yamaguchi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Chem. Lett.*, **2009**, *38*, 434-435. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1246/cl.2009.434>
- ②⑨ "Bis(2,2'-bipyridine){ethyl4'-[N-(4-carbamoylphenyl)carbamoyl]-2,2'-bipyridine-4-carboxylate}ruthenium(II) bis[hexafluoridophosphate(V)]", Masanari Hirahara, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Acta Cryst.*, **2009**, *E65*, m228-m229. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1107/s1600536809002360>
- ③⑩ "Synthesis, Crystal Structure, Solution and Spectroscopic Properties, and Hydrogen-Evolving Activity of [K(18-Crown-6)][Pt(II)(2-phenylpyridinato)Cl₂]", Masayuki Kobayashi, Shigeyuki Masaoka, and Ken Sakai, *Photochem. Photobiol. Sci.*, **2009**, *8*, 196-203. 査読有
<http://dx.doi.org/10.1039/b814939a>
- [学会発表] (計 126 件)
- ① "Charge Storage over Multiviologen Tethers and Application to Pt(II)-Catalyzed Hydrogen Evolution from Water", Ken Sakai, *The 3rd Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC-3)*, the India Habitat Centre, New Delhi, India, October 17-20, 2011
- ② "Photoinduced Charge Storage in Supramolecular Photocatalysts with Multiviologen Tethers and Applications to Hydrogen Evolution from Water", Ken Sakai, *The 94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition in Montreal*, Montreal, Canada, June 5-9, 2011
- ③ "RuPt-based Photo-hydrogen-evolving Molecular Devices towards the Development of Artificial Photosynthesis", Ken Sakai, *The 94th Canadian Chemistry Conference and Exhibition in Montreal*, Montreal, Canada, June 5-9, 2011
- ④ "Toward the Development of Artificial Photosynthesis Generating Hydrogen Energy from Water and Sunlight", Ken Sakai, *the 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PacifiChem 2010)*, Honolulu, Hawaii, USA, December 19, 2010
- ⑤ "Hydrogen Production from Water using the Pt(II)-Based Molecular Catalysts", Ken Sakai, *the 2010 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PacifiChem 2010)*, Honolulu, Hawaii, USA,

- December 15, 2010
- ⑥ “Photoinduced Charge Storage in Multipendant Viologen Tethers Leading to Hydrogen Evolution from Water Catalyzed by Platinum(II) Complexes”, Ken Sakai, *11th Eurasia Conference on Chemical Sciences*, The Dead Sea, Jordan, October 6-10, 2010
- ⑦ “Photoinduced Hydrogen Evolution from Water Driven by Pt(II)-Based Molecular Photocatalysts”, Ken Sakai, *Inaugural (1st) International Conference on Molecular and Functional Catalysis*, Resort Worlds Sentosa, Singapore, July 11-15, 2010
- ⑧ “Photo-Hydrogen-Evolving Molecular Devices Consisting of Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-based Photosensitizers and Pt(II)-based Molecular Catalysts”, Ken Sakai, *2nd ACCC*, Jinling Riverside Conference Hotel, Nanjing, China, November 3, 2009
- ⑨ “Hydrogen Production from Water Catalyzed by Bio-relevant and Non-bio-relevant Multinuclear Metal Complexes”, Ken Sakai, *ICBIC 14*, Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan, July 25-30, 2009
- ⑩ “Tris(2,2'-bipyridine)ruthenium(II)-based Photo-hydrogen-evolving Molecular Devices Using Platinum(II)-based Hydrogenic Activation”, Ken Sakai, *18th ISPPCC*, Gateaux Kingdom Sapporo, Sapporo, Japan, July 5, 2009

[図書] (計 5 件)

- ① 山内幸正、酒井 健、シーエムシー出版、機能材料 1 月号特集人工光合成、**2012**, *32(1)*, 38-46.
- ② 吉田将己、正岡重行、酒井 健、社団法人有機合成化学協会、有機合成化学協会誌 Vol. 69, No. 4, **2011**, *69*, 370-378.
- ③ 小澤弘宜、酒井 健、化学同人、「人工光合成と有機系太陽電池」、日本化学会編、**2011**, 88-95.
- ④ 正岡重行、小林真之、酒井 健、光化学協会、「単一分子光水素発生デバイスの化学」、光化学、**2009**, *40*, 118-121.
- ⑤ 酒井 健、シーエムシー出版、「配位空間の化学」、北川進編、**2009**, 214-222.

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

- ① 名称：白金多核錯体触媒およびそれを用いた人工光合成方法

発明者：酒井 健・今野陽介・正岡重行
権利者：九州大学

種類：特許

番号：PCT/JP2011/78480

出願年月日：2011年12月8日

国内外の別：国外

- ② 名称：白金多核錯体触媒およびそれを用いた人工光合成方法

発明者：酒井 健・今野陽介・正岡重行
権利者：九州大学

種類：特許

番号：特願 2010-273727

出願年月日：2010年12月8日

国内外の別：国内

- ③ 名称：新規有機配位子、キレート錯体および多電子貯蔵型光電荷分離分子装置

発明者：酒井 健・小川 誠

権利者：九州大学

種類：特許

番号：特願 2010-151367

出願年月日：2010年7月1日

国内外の別：国内

- ④

○取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.scc.kyushu-u.ac.jp/Sakutai/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 健 (SAKAI KEN)

九州大学・大学院理学研究院・教授

研究者番号：30235105

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：