

令和 3 年 6 月 22 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03898

研究課題名(和文)半導体電極に担持された増感色素を用いた光エネルギー変換

研究課題名(英文)Sensitizers Immobilized on Semiconducting Electrodes for Light Energy Conversion

研究代表者

今堀 博 (IMAHORI, Hiroshi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：90243261

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,900,000円

研究成果の概要(和文)：人工光合成は可視光を利用した物質変換を目指す研究であるが、現状では非常に低い性能にとどまっている。本提案では光合成を人工的に模倣し、可視光物質変換機構を詳細に解明することで、人工光合成の高効率化を目指した。具体的には、可視光を捕集可能な酸化力の強い光増感分子を合成し、水酸化触媒分子と共に半導体電極上に固定化し、可視光応答型水分解セルを構築した。また、置換メチレン構造で縮環したプッシュ・プル型のポルフィリン色素を分子設計・合成し、現在知られている最も性能の高いポルフィリン色素GY50を上回る太陽電池性能を達成することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

色素増感太陽電池においては、新規な分子設計で光増感色素を合成し、現在知られている最も性能の高い色素を上回る太陽電池性能を達成できたことは大きな進展である。また、人工光合成に関しては、可視光水分解の機構解明に取り組むための評価系構築原理を明らかにできた。以上の研究成果は、今後の高効率太陽エネルギー変換に向けて重要な基礎的知見となりうる。

研究成果の概要(英文)：Artificial photosynthesis is a research field focusing on material conversion by visible light, but the performance is still poor. In this project we aimed to mimic photosynthetic processes artificially and elucidate the underlying mechanism toward efficient energy conversion. We developed photoelectrochemical cells with a semiconducting electrode modified with water oxidation catalysts and molecular sensitizers with visible light-harvesting and high oxidation ability. A remarkably high power conversion efficiency was also achieved by dye-sensitized solar cells with push-pull type fused porphyrins.

研究分野：有機化学、光化学

キーワード：人工光合成 色素増感太陽電池 ポルフィリン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化抑制のための二酸化炭素排出削減に繋がる科学技術として、クリーンで事実上無尽蔵な太陽光の有効利用に関心が集まっている。特に太陽光発電は、二酸化炭素を排出することなく太陽エネルギーを直接電気エネルギーに変換できることから重要性が増している。一方、人工光合成では太陽エネルギーを直接化学エネルギー(水素などの化学物質)に変換することを目的にしている。現状では人工光合成のエネルギー変換効率(PCE)は太陽電池と比べて圧倒的に低い。しかし、貯蔵に向いていない電気エネルギーとは異なり、化学物質は安定貯蔵が可能なことから、将来の有望なエネルギー変換法として期待されている。植物の光合成では光エネルギー、増感色素、水の酸化触媒によって水から電子を引き抜き、この電子を用いて最終的に二酸化炭素を還元している。従って、光合成の基礎学理を解明し、人工的に光合成を実現するために、分子を利用した人工光合成系を検討する価値がある。その試みの代表的な手法として、半導体電極上に増感色素と水の酸化触媒を固定化し、光駆動による水からの電子引き抜きと水素発生を高効率に行うことが上げられる。しかしながら、I)太陽光は希薄であるために増感色素、一分子が捕集できる光子数はミリ秒から秒のオーダーで1光子程度であること、II)水の酸化には水から4電子を逐次的に引き抜く必要があること、が知られている。従って、i)アノード電極である半導体電極上の増感色素が1光子を吸収し、生成した励起状態から効率良く半導体の伝導帯(CB)に電子注入すること、ii)酸化された増感色素は近接する水の酸化触媒から効率よく電子を引き抜き、水の酸化触媒が1電子酸化された状態を形成すること、iii) i)、ii)を逐次的に効率よく4回繰り返し、水の酸化触媒が4電子酸化された高活性状態を形成すること、が必須である。上記の過程により、水が4電子酸化を起こし、同時に生成したプロトンに対極のカソード電極に伝達された電子により還元することで、水素発生が可能となる。しかしながら、上記の各過程をいかに高効率化するかに関しては未だ目処が立っていない。そこで、本研究では分子を用いた人工光合成を実現するために、上記の各過程を検証し、高効率化のための基礎学理の構築を狙った。

2. 研究の目的

新規増感色素に関しては、可視・近赤外光の捕集に優れたプッシュ・プル型色素を開発する。プッシュ・プル部位として、中心 骨格(ポルフィリン環、ペリレン環など)と環状構造により共平面になるように固定化されたヘテロ環(チオフェン、ピリジン環など)、ナフトチアジアゾール環など独自性の高い分子構造を導入できる。同時に環状構造および中心 骨格部位に嵩高い置換基を導入し、TiO₂上での色素会合による自己消光、TiO₂・電解質間の電荷再結合によるPCE低下を抑制する。また、増感色素がTiO₂表面に吸着した際に、分子が長くなるほどTiO₂上に傾きすぎる傾向にあるために、より速く再結合が起こり、太陽電池特性が低下することを初めて見出している。そこで望ましくない分子の倒れこみを抑制するために、立体障害で直交した色素ダイマー構造を用いたTiO₂上の2点固定化も検討する。以上の増感色素に関して、理論計算によりHOMO、LUMO準位を見積もり、良好な電子移動過程が期待できるように分子設計する。

一方、TiO₂膜の準位に合った酸化力の強い増感色素を開発する。既に電子吸引性基を導入したポルフィリン、ピロール環数を減らしたサブポルフィリンは酸化力が強いために人工光合成の増感色素として有効であることを見出している。上記の条件に合うように化学修飾により、これらの色素のHOMO、LUMOレベルを調整する。また、酸化力の強い新規増感色素として、窒素原子をポルフィリン骨格に組み込んだモノアザポルフィリン、ジアザポルフィリン、コロールを

合成する。通常の人工光合成に用いられている増感色素は既存分子の改良にとどまっている。本提案の合理的な分子設計による取り組みは創造性が高く、また光機能性色素材料への展開も期待できる。

3．研究の方法

目的の増感色素を合成後、実際に太陽電池を作製し、太陽電池特性を評価した。また、増感色素で修飾された TiO₂ 膜の膜構造解析、時間分解過渡吸収測定により、分子構造、膜構造、光物性、太陽電池特性との相関を検討した。以上より、人工光合成の構築に向けた各電子移動過程に関する基礎的学理を、色素増感太陽電池の研究を通じて明らかにできる。

水の酸化触媒に関しては、L. Sun らが開発した現状で水の酸化活性が最も高いルテニウム触媒を用いた。申請者は L. Sun らと共同で本触媒の適用に成功しているが、上記で記載した各電子移動過程は最適化されていない。そこでルテニウム触媒と TiO₂ 吸着部位(ホスホン酸)間の Spacer 部分であるアルキル鎖長 (n) を系統的に変化させ、光により駆動される触媒活性への効果を検討した。また、電極上における増感色素と触媒との比率を変化させ、電子移動過程への影響を調べた。

4．研究成果

可視光を捕集可能な酸化力の強い光増感分子を合成し、水酸化触媒分子と共に半導体電極上に固定化し、可視光応答型水分解セルを構築した。特に水酸化触媒分子において、触媒活性部位と半導体電極への固定化部位の間の距離を変化させることを試み、予備的ながらもその距離依存性を見出した。

上記の分子を用いた人工光合成は色素増感太陽電池と共通する点が多く、色素増感太陽電池の高効率化から得られる情報は人工光合成においても有用と思われる。すなわち、いずれの系においても、太陽光の効率的な利用は高性能化に必須である。そこで色素増感太陽電池において、可視光・近赤外光の効率的な捕集が原理的に可能なポルフィリンに着目した。具体的には、置換メチレン構造で縮環したプッシュ・プル型のポルフィリン色素を分子設計・合成し、現在知られている最も性能の高いポルフィリン色素 GY50 を上回る太陽電池性能を達成することができた。また、高い開放電圧が期待できる一連の新規な銅レドックス対を分子設計・合成し、光電変換特性との相関を解明することができた。

以上、色素増感太陽電池においては、新規な分子設計で光増感色素を合成し、現在知られている最も性能の高い色素の一つであるGY50を上回る太陽電池性能を達成できたことは大きな進展である。また、高効率化に向けて、電圧損失を最小限にできる可能性を秘めた新規な銅レドックス対を分子設計・合成し、光電変換特性との相関を解明する端緒が得られつつある。一方、人工光合成に関しては、可視光水分解の機構解明に取り組むための評価系構築のための原理を明らかにすることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 T. Higashino, K. Ishida, T. Sakurai, S. Seki, T. Konishi, K. Kamada, K. Kamada, and H. Imahori	4. 巻 25
2. 論文標題 Pluripotent Features of Doubly Thiophene-Fused Benzodiphospholes as Organic Functional Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 6425-6438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201900661	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 Y. Kurumisawa, T. Higashino, S. Nimura, Y. Tsuji, H. Iiyama, and H. Imahori	4. 巻 141
2. 論文標題 Renaissance of Fused Porphyrins: Substituted Methylene-bridged Thiophene-Fused Strategy for High-Performance Dye-Sensitized Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Am. Chem. Soc.	6. 最初と最後の頁 9910-9919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b03302	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 T. Umeyama, T. Hanaoka, H. Yamada, Y. Namura, S. Mizuno, T. Ohara, J. Baek, J. Park, Y. Takano, K. Stranius, N. V. Tkachenko, and H. Imahori	4. 巻 10
2. 論文標題 Exclusive Occurrence of Photoinduced Energy Transfer and Switching Its Direction by Rectangular-Extension of Nanographenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 6642-6650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9sc01538h	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 X. Liu, M. Kozłowska, T. Okkali, D. Wagner, T. Higashino, G. Brenner-Weis, S. Marschner, Z. Fu, Q. Zhang, H. Imahori, S. Brase, W. Wenzel, C. Woll, and L. Heinke	4. 巻 58
2. 論文標題 Photoconductivity in Metal-Organic Framework (MOF) Thin Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 9590-9595
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201904475	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 T. Higashino, H. Iiyama, Y. Kurumisawa, and H. Imahori	4. 巻 20
2. 論文標題 Thiazolocatechol: Electron-withdrawing Catechol Anchoring Group for Dye-Sensitized Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemPhysChem	6. 最初と最後の頁 2689-2695
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cphc.201900342	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 T. Umeyama and H. Imahori	4. 巻 52
2. 論文標題 Isomer Effects of Fullerene Derivatives on Organic Photovoltaics and Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acc. Chem. Res.	6. 最初と最後の頁 2046-2055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.9b00159	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 X.-G. Li, Y.-B. Xie, M.-R. Huang, T. Umeyama, T. Ohara and H. Imahori	4. 巻 237
2. 論文標題 Effective Role of Eco-Friendly Acetyl Tributyl Citrate in Large-Scale Catalyst-Free Synthesis of Waterborne Polyurethanes Without Volatile Organic Compounds	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Clean. Prod.	6. 最初と最後の頁 117543-1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2019.07.018	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 T. Umeyama, Y. Okawada, T. Ohara, and H. Imahori	4. 巻 14
2. 論文標題 Spontaneous Complexation of Fullerenes on Nanodiamond Aggregates and Their Enhanced Photocurrent Generation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 4042-4047
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201900835	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 T. Higashino, I. Nishimura, and H. Imahori	4. 巻 25
2. 論文標題 Phosphole-Fused Dehydropurpurins via Titanium-Mediated [2+2+1] Cyclization Strategy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 13816-13823
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201903269	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 T. Higashino, H. Iiyama, S. Nimura, Y. Kurumisawa, and H. Imahori	4. 巻 59
2. 論文標題 Effect of Ligand Structures of Copper Redox Shuttles on Photovoltaic Performance of Dye-Sensitized Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Inorg. Chem.	6. 最初と最後の頁 452-459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b02740	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 T. Higashino, K. Ishida, and H. Imahori	4. 巻 49
2. 論文標題 Modulation of Frontier Molecular Orbitals on Dithieno[3,4-b:3',4'-d]phosphole Derivatives by Donor- π -Acceptor Interaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 272-275
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190879	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 R. Fukuda, T. Umeyama, M. Tsujimoto, F. Ishidate, T. Tanaka, H. Kataura, H. Imahori, and T. Murakami	4. 巻 161
2. 論文標題 Sustained Photodynamic Effect of Single Chirality-Enriched Single-Walled Carbon Nanotubes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 718-725
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2020.02.002	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 T. Higashino, Y. Fujimori, I. Nishimura, and H. Imahori	4. 巻 24
2. 論文標題 Effects of meso-Diarylamino Group of Porphyrins on Optical and Electrochemical Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Porphyrins Phthalocyanines	6. 最初と最後の頁 67-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S1088424619500652	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 T. Umeyama, K. Igarashi, D. Sasada, Y. Tamai, K. Ishida, T. Koganezawa, S. Ohtani, K. Tanaka, H. Ohkita, and H. Imahori	4. 巻 11
2. 論文標題 Efficient Light-Harvesting, Energy Migration, and Charge Transfer by Nanographene-Based Nonfullerene Acceptor Small-Molecule Exhibiting Unusually Long Excited-State Lifetime in Film State	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 3250-3257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC06456G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Umeyama, S. Takahara, S. Shibata, K. Igarashi, T. Higashino, K. Mishima, K. Yamashita, and H. Imahori	4. 巻 8
2. 論文標題 cis-1 Isomers of Tethered Bismethano[70]fullerene as Electron Acceptors in Organic Photovoltaics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 RSC Adv.	6. 最初と最後の頁 18316-18326
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8RA02896F	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Higashino, Y. Kurumisawa, S. Nimura, H. Iiyama, and H. Imahori	4. 巻 2018
2. 論文標題 Enhanced Donor-Acceptor Character of A Porphyrin Dye Incorporating Naphthobisthiadiazole for Efficient Near Infrared Light Absorption	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Eur. J. Org. Chem.	6. 最初と最後の頁 2537-2547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejoc.201701736	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 J. Baek, T. Umeyama, S. Mizuno, N. V. Tkachenko, and H. Imahori	4. 巻 122
2. 論文標題 Photophysical Properties of Porphyrin Dimer-Single-Walled Carbon Nanotube Linked Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Phys. Chem. C	6. 最初と最後の頁 13285-13293
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.7b08594	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 K. Miki, K. Saiki, T. Umeyama, J. Baek, T. Noda, H. Imahori, Y. Sato, K. Suenaga, and K. Ohe	4. 巻 14
2. 論文標題 Unique Tube-Ring Interactions: Complexation of Single-Walled Carbon Nanotubes with Cycloparaphenyleneacetylenes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Small	6. 最初と最後の頁 1800720-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/smll.201800720	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 T. Higashino, A. Kumagai, and H. Imahori	4. 巻 13
2. 論文標題 Calix[5]phyrin for Fluoride Ion Sensing with Visible and Near Infrared Optical Responses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Asian J.	6. 最初と最後の頁 2019-2022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201800856	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 T. Higashino, A. Kumagai, S. Sakaki, and H. Imahori	4. 巻 9
2. 論文標題 Reversible -System Switching of Thiophene-fused Thiahexaphyrins by Solvent and Oxidation/Reduction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Sci.	6. 最初と最後の頁 7528-7539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8SC02448K	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H. Kanda, N. Shibayama, A. Uzum, T. Umeyama, H. Imahori, K. Ibi, and S. Ito	4. 巻 10
2. 論文標題 Effect of Silicon Surface for Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells: Flat or Textured?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 35016-35024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.8b08701	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 X.-G. Ki, G. Song, M.-R. Huang, T. Ohara, H. Yamada, T. Umeyama, T. Higashino, and H. Imahori	4. 巻 206
2. 論文標題 Cleaner Synthesis and Systematical Characterization of Sustainable Poly(isosorbide-co-ethylene terephthalate) by Environ-Benign and Highly Active Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Clean. Prod.	6. 最初と最後の頁 483-497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jclepro.2018.09.046	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 T. Higashino, Y. Kurumisawa, H. Iiyama, and H. Imahori	4. 巻 25
2. 論文標題 ABC-ABC-Type meso-meso Directly Linked Porphyrin Dimers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Eur. J.	6. 最初と最後の頁 538-547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201805405	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 T. Higashino, I. Nishimura, and H. Imahori	4. 巻 48
2. 論文標題 Synthesis of Phosphole-bridged Porphyrin Dimers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 257-259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180943	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 T. Umeyama and H. Imahori	4. 巻 3
2. 論文標題 Electron Transfer and Exciplex Chemistry of Functionalized Nanocarbons: Effects of Electronic Coupling and Donor Dimerization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nanoscale Horiz.	6. 最初と最後の頁 352-366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8NH00024G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計17件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Model Systems and Organic Solar Cells for Solar Energy Conversion
3. 学会等名 Pre-ECS Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Isomer Effects of Nanocarbons in Organic Solar Cells
3. 学会等名 235th Meeting of The Electrochemical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Porphyrins as Excellent Sensitizers and Electron and Energy Donors
3. 学会等名 The First Asian Conference on Porphyrins, Phthalocyanines, and Related Materials (ACPP-1) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Model Systems and Organic Solar Cells toward Highly Efficient Solar Energy Conversion
3. 学会等名 The 9th East Asia Symposium on Functional Dyes and Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Donor-Acceptor Interaction for Solar Energy Conversion
3. 学会等名 The 1st Kyoto University -UNIST Joint Symposium on Chemistry and Materials Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Donor-Acceptor Interactions for Solar Energy Conversion
3. 学会等名 2019 National Chung Hsing University-Kyoto University Symposium on Advanced Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Model Systems and Organic Photovoltaics
3. 学会等名 The 10th Asian Conference on Electrochemical Power Sources 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Model Systems for Photosynthesis and Organic Photovoltaics
3. 学会等名 The 18th Asian Chemical Congress (ACC) and 20th General Assembly of the Federation of Asian Chemical Societies (FACS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Donor-Acceptor Interactions for Energy and Biological Applications
3. 学会等名 86th Annual Meeting of the Chemical Society of Japan (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Visible Light-Driven Water Oxidation with Porphyrin Sensitizers and Water Oxidation Catalysts
3. 学会等名 233rd Meeting of The Electrochemical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Exciplex Formation and Decay in Porphyrin-Carbon Nanotube Ensembles
3. 学会等名 233rd Meeting of The Electrochemical Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Porphyrins as Excellent Sensitizers for Energy and Biological Applications
3. 学会等名 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 H. Imahori
2. 発表標題 Mimicking Photosynthesis for Photoinduced Charge Separation and Solar Energy Conversion
3. 学会等名 The 22nd International Conference on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-22) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Molecular Engineering for Bulk Heterojunction and Dye-Sensitized Organic Solar Cells
3. 学会等名 International Conference on Energy and Environmental Materials (ICEEM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Porphyrins for Photoinduced Charge Separation and Solar Energy Conversion
3. 学会等名 Asian Workshop on Frontiers of Porphyrins and Phthalocyanines (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Molecular Engineering for Photoinduced Charge Separation and Solar Energy Conversion
3. 学会等名 10th Asian Photochemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Imahori
2. 発表標題 Molecular Engineering of Organic Photovoltaics and Solar Fuels
3. 学会等名 28th Inter-American Photochemical Society (I-APS) Winter Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>最近の論文から http://www.moleng.kyoto-u.ac.jp/~moleng_05/research_paper.html 新規色素設計指針を開発 - 世界最高の太陽光エネルギー変換効率の実現に向けて - http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2019/190613_2.html 新しい電子受容性材料の設計指針を開発 - 有機薄膜太陽電池をより高効率により簡便に - http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2019/200306_1.html</p>
--

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			
フィンランド	Tampere University of Technology			
中国	Tongji University			
ドイツ	Karlsruhe Institute of Technology			