

平成30年6月7日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03859

研究課題名(和文) Type-I/Type-II ハイブリッド型光増感色素を用いた色素増感太陽電池の開発

研究課題名(英文) Development of Dye-Sensitized Solar Cells Based on Type-I/Type-II Hybrid Dye Sensitizers

研究代表者

大山 陽介 (Ooyama, Yousuke)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：60403581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、酸化チタン電極のブレンステッド酸点とルイス酸点の両方を被覆することができる光増感色素を創製し、広範囲の太陽光を捕集する高効率な色素増感太陽電池(DSSC)の開発を目的として、高い電子注入特性を有するType-I型ピリジル系D-π-A色素骨格と広範囲かつ高い太陽光捕集特性を有するType-II型カテコール系D-π-Cat色素骨格を融合させたType-I/Type-IIハイブリッド型D-π-A光増感色素を分子設計・合成することに成功した。開発した本色素を用いてType-I/Type-IIハイブリッド型DSSCを作製し、電子注入メカニズムと光電変換特性を解明することができた。

研究成果の概要(英文)：Type-I/Type-II hybrid dye sensitizer with pyridyl group and catechol unit as anchoring group possessing the ability to adsorb on TiO₂ electrode through both the coordination bond at Lewis acid sites and the bidentate binuclear bridging linkage at Bronsted acid sites on the TiO₂ surface, which make it possible to inject an electron into the conduction band of the TiO₂ electrode by the intramolecular charge-transfer (ICT) excitation (Type-I pathway) and by the photoexcitation of the dye-to-TiO₂ charge transfer (DTCT) band (Type-II pathway), has been developed and its photovoltaic performance in dye-sensitized solar cells (DSSCs) is investigated. It was found that the Type-I/Type-II hybrid dye sensitizer on TiO₂ film exhibits the broad photoabsorption band originating from ICT and DTCT characteristics. This work revealed the electron injection mechanism from the Type-I/Type-II hybrid dye sensitizer to the conduction band of TiO₂ electrode and photovoltaic performances of DSSCs.

研究分野：化学

キーワード：機能性色素 光電変換 太陽電池 光物性 色素増感

1. 研究開始当初の背景

色素を吸着させた酸化チタン(TiO₂)ナノ粒子電極を用いる色素増感太陽電池(DSSC)は、安価でクリーンな次世代太陽光発電システムとして注目されている。DSSCの実用化を達成するためには、光増感色素、半導体光電極、電解質といった構成材料の新規開発・改良および最適化技術の確立が鍵となる。これまでに開発されたDSSC用色素の構造的特徴として、電子供与性基(D)としてのアミノ基と電子求引性基(A)かつTiO₂表面への吸着基(An)としてのカルボキシル基(COOH)が互いにπ共役で結ばれたD-π-A型であり、光励起に伴い分子内電荷移動(Intramolecular Charge Transfer: ICT)吸収特性を示す(図1)。これらの従来型D-π-A色素は、色素のカルボキシル基とTiO₂電極表面のプレンステッド酸サイト(Ti-OH)間でエステル結合(COO-Ti)を形成して吸着している。色素が太陽光を吸収すると、色素の電子はHOMOからLUMOへと光励起され、その後TiO₂電極の伝導帯(CB)に注入される「Type-I DSSC」である(図2a)。これらのD-π-A色素の中には、Ru錯体色素(光電変換効率11%)に匹敵する性能を有しているものもあるが、ここ数年間においてD-π-A色素の光電変換特性が停滞しているのが現状である。この理由として、1)カルボキシル系D-π-A色素のカルボキシル基は、電子求引性基および吸着基としては優れているが、「電子注入性基」としては不十分である、2)カルボキシル系D-π-A色素のLUMOレベルはTiO₂電極のCBレベル(E_{cb})よりも0.4V以上負でなければ、電子注入が困難であるといった制約から太陽光の利用範囲は~700nmまでに留まっている、ためであると考えられる。このように、Type-I DSSCにおける「電子求引性吸着基=カルボキシル基」という従来型DSSC用D-π-A色素の分子設計指針では、分子構造および合成法の制約から新しいD-π-A色素の創製が非常に困難であり、光電変換特性の飛躍的向上は到底望めない。したがって、世界的に熾烈な開発競争が行われているDSSC用色素においてイニシアチブをとるためには、新しい切り口でDSSC用色素を分子設計する必要がある。

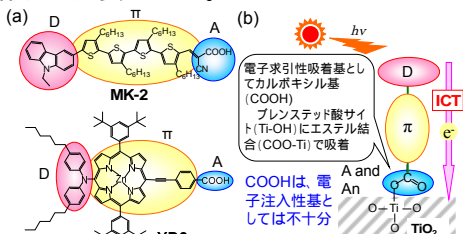


図1. (a)Type-I型カルボキシル系D-π-A色素の (b)TiO₂電極への吸着と電子注入モデル

これまでに、本研究代表者は、停滞しているDSSC用色素開発のブレークスルーを図るために、TiO₂電極のルイス酸サイト(Ti⁴⁺)に配位結合(N-Ti⁴⁺)の形成により吸着できるピリジル基を「電子求引性・注入性吸着基」とし

て導入したType-I型ピリジル系D-π-A色素(図3a)の開発に世界で先駆けて成功している。カルボキシル系D-π-A色素のエステル結合に比べて、ピリジル系D-π-A色素の配位結合は、色素からTiO₂電極への電子注入効率を高める効果があり、ピリジル基は「電子求引性・注入性吸着基」として有望であることを実証した。一方、カテコール基(Cat)を吸着基とするCat色素を用いたDSSCでは、Cat色素のHOMOからTiO₂電極のCBにダイレクトに電子注入する「Type-II DSSC」特性を示す(図3b)。Type-I DSSCに対するType-II DSSCの優位性として、1)色素のLUMOレベルの制約が緩和される、2)Cat色素-TiO₂間での強い電子的相互作用により、Cat色素のHOMOからTiO₂電極のCBへのダイレクトな電子注入(Dye-to-TiO₂ Charge Transfer)に由来するDTCT吸収帯が出現するため、広範囲の太陽光(~1000nm)を利用することができる点にある(図2b)。しかし、Type-II DSSCに関しては、Cat色素の電子注入メカニズムに関する基礎研究に留まっており、Type-II DSSC用色素の開発には注意が払われていなかった。このような研究背景から、高い電子注入特性を有するType-I型ピリジル系D-π-A色素骨格と広範囲かつ高い太陽光捕集特性を有するType-II型カテコール系D-π-Cat色素骨格を融合させたType-I/Type-IIハイブリッド型D-π-A光増感色素を創製し、広範囲の太陽光を捕集する高効率なType-I/Type-IIハイブリッド型DSSCを開発する本研究の着想に至った(図3c)。

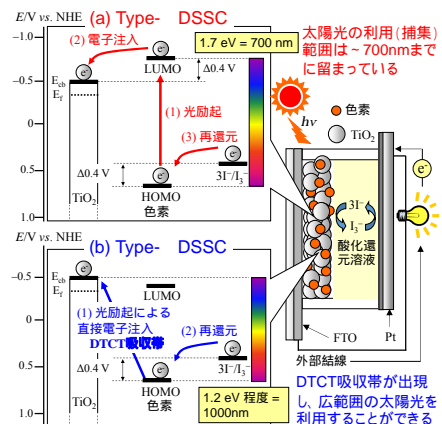


図2. (a)Type-I DSSCと(b)Type-II DSSCの原理

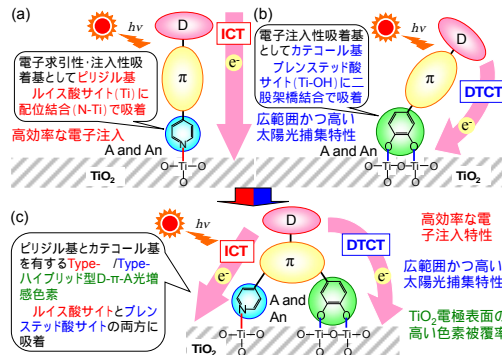


図3. (a)Type-I型ピリジル系D-π-A色素、 (b)Type-II型カテコール系D-π-Cat色素および (c)Type-I/Type-IIハイブリッド型D-π-A色素

2. 研究の目的

本研究では、TiO₂電極のブレンステッド酸点とルイス酸点の両方を被覆することができる Type-I/Type-II 型光増感色素を創製し、広範囲の太陽光を捕集する高効率な Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC の開発を目的とする。本研究を遂行するために、1) 高い電子注入特性を有する Type-I 型ピリジル系 D- π -A 色素骨格と広範囲かつ高い太陽光捕集特性を有する Type-II 型カテコール系 D- π -Cat 色素骨格を融合させた新規な Type-I/Type-II ハイブリッド型 D- π -A 色素を創製する、2) Type-I 型ピリジル系 D- π -A 色素と Type-II 型カテコール系 D- π -Cat 色素を共吸着させた Type-I/Type-II 型色素共吸着 TiO₂ 電極を開発する、3) Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC に適した TiO₂ 電極を開発する、4) Type-I/Type-II ハイブリッド型 D- π -A 光増感色素および Type-I/Type-II 型色素共吸着 TiO₂ 電極を用いて、高効率な Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC の開発を達成する。

3. 研究の方法

(1) 電子求引性・注入性吸着基としてピリジル基とカテコール基の両方を有する新規な Type-I/Type-II ハイブリッド型 D- π -A 光増感色素の分子設計・合成を行う。

(2) 光増感色素の光物性および電気化学的特性を調べるために溶液中、TiO₂ 薄膜上、固体状態での光吸収および励起・蛍光スペクトルや蛍光寿命測定、サイクリックボルタムメトリー測定を行う。

(3) 光増感色素を用いて DSSC を作製し、*I-V* (電流 - 電圧) 測定および IPCE (Incident Photon to Current Conversion Efficiency) スペクトル測定から DSSC の光電変換特性を評価する。

(4) ピリジル系 D- π -A 色素とカテコール系 D- π -Cat 色素を共吸着させた Type-I/Type-II 型色素共吸着 TiO₂ 電極を用いて DSSC を作製し、Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC の性能向上を図る。

(5) TiO₂ 電極の表面を改質することでブレンステッド酸(B)およびルイス酸(L)サイト数を調整し、Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC に適した TiO₂ 電極を作製する。

(6) Type-I/Type-II ハイブリッド型 D- π -A 光増感色素と表面改質を施した TiO₂ 電極との最適な組み合わせによる高効率な Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC の開発を達成する。

4. 研究成果

(1) 高い電子注入特性を有する Type-I 型ピリジル系 D- π -A 色素骨格と広範囲かつ高い太陽

光捕集特性を有する Type-II 型カテコール系 D- π -Cat 色素骨格を融合させた Type-I/Type-II ハイブリッド型 D- π -A 光増感色素 **OF-Py-Cat** を分子設計・合成した。さらに、比較のために Type-I 型ピリジル系 D- π -A 色素 **OF-Py-Py** と Type-II 型ジカテコール系 D- π -Cat 色素 **OF-Cat-Cat** も合成した(図4)。**OF-Py-Cat**、**OF-Py-Py** および **OF-Cat-Cat** を用いた DSSC を作製し、AM1.5, 100 mW/cm² の疑似太陽光照射下で *I-V* 測定および IPCE 測定から光電変換特性の評価を行った。**OF-Py-Py** の IPCE スペクトルは **OF-Py-Cat** と **OF-Cat-Cat** よりも高い値を示した。**OF-Py-Cat** と **OF-Cat-Cat** の DTCT 吸収帯は、IPCE スペクトルにほとんど寄与しておらず、450-650 nm の IPCE は 10% 以下であった。*I-V* 測定から、短絡光電流(J_{sc})と光電変換効率(η)は、**OF-Py-Cat** (0.40 mA cm⁻², 0.06%) \approx **OF-Cat-Cat** (0.47 mA cm⁻², 0.07%) < **OF-Py-Py** (5.88 mA cm⁻², 2.04%) の順に大きくなった。**OF-Cat-Cat** の低い光電変換特性は、TiO₂ 電極に注入された電子と色素間での電荷再結合に起因していることが考えられる。一方、**OF-Py-Cat** の光電変換特性が低い値に留まった理由として、ピリジル基から TiO₂ 電極への高効率な電子注入にもかかわらず、カテコール基に由来する TiO₂ 電極に注入された電子と色素間での速い電荷再結合に起因していることが考えられる。

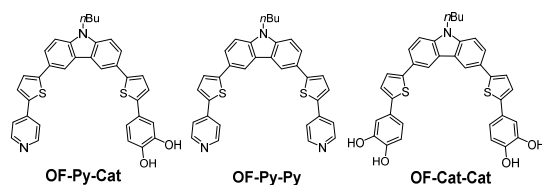


図4. **OF-Py-Cat**、**OF-Py-Py** および **OF-Cat-Cat**

(2) TiO₂ 電極表面の L サイトと B サイトの両方を簡便かつ効率的に色素被覆できる一段階色素共吸着法の確立を目的として、L サイトに配位結合を形成して吸着できるピリジル系 D- π -A 色素 **NI-6** あるいは **YNI-2** と、B サイトに二股架橋結合を形成して吸着できるカテコール系 D- π -Cat 色素 **YM-2** を用いた色素共吸着 TiO₂ 電極を作製し、色素吸着量と色素共吸着 DSSC の電変換特性を評価した(図5)。**NI-6** あるいは **YNI-2** と **YM-2** の 0.1 mM 混合溶液に TiO₂ 電極を浸漬することで、両色素を共吸着させた TiO₂ 電極を作製した。作製した色素共吸着 TiO₂ 電極上の両色素の合計色素吸着量は、それぞれの色素単独での色素吸着量の合計であった。このことから、色素吸着量を低下させることなく、簡便な一段階色素共吸着法の確立を達成することができた。色素共吸着 TiO₂ 電極を用いた co-DSSC を作製し、光電変換特性を評価した。IPCE 測定から、(**NI-6**+**YM-2**)co-DSSC の IPCE スペクトルのオンセットは、(**YNI-2**+**YM-2**)co-DSSC の場合に比べてブロード化しており、色素共吸着 TiO₂ 薄膜の光吸収スペクトルと良い一致を示した。

(NI-6+YM-2)co-DSSC と (YNI-2+YM-2)co-DSSC の最大 IPCE 値は共に、20%@460 nm であり、YM-2 を単独で用いた DSSC と同程度の値を示したが、NI-6 あるいは YNI-2 を単独で用いた DSSC よりも低い値を示した (YM-2 : 23%@460 nm, NI-6 : 64%@422 nm, YNI-2 : 61%@424 nm)。同様に、*I-V* 測定から、(NI-6+YM-2)co-DSSC と (YNI-2+YM-2)co-DSSC の J_{sc} 値と η 値はそれぞれ、(1.00 mA cm⁻², 0.20%)と(1.55 mA cm⁻², 0.40%)であり、YM-2 (1.51 mA cm⁻², 0.31%) を単独で用いた DSSC と同程度の値を示したが、NI-6(4.76 mA cm⁻², 1.47%)あるいは YNI-2(5.64 mA cm⁻², 2.02%)を単独で用いた DSSC よりも低い値を示した。この結果から、NI-6 と YM-2 あるいは YNI-2 と YM-2 を用いた色素共吸着 DSSC の光電変換特性は、YM-2 を単独で用いた場合と同程度であり、NI-6 あるいは YNI-2 を単独で用いた場合よりもやや劣っていることがわかった。この理由として、2 種類の色素間 (ピリジル系色素とカテコール系色素) でのエネルギーおよび電子移動が起こり、色素から TiO₂ 電極への電子注入効率が低下したことが考えられる。本研究から、Type-I/Type-II 型色素共吸着 TiO₂ 電極を用いた Type-I/Type-II ハイブリッド型 DSSC の光電変換特性は、Type-I ピリジル系色素単独吸着の場合に比べて低い特性に留まっていることがわかった。しかしながら、TiO₂ 電極の L サイトに吸着できるピリジル系色素と B サイトに吸着できるカテコール系色素を用いることで、TiO₂ 電極を効率的かつ効果的に色素被覆できる簡便な一段階色素共吸着法を提案することができた。

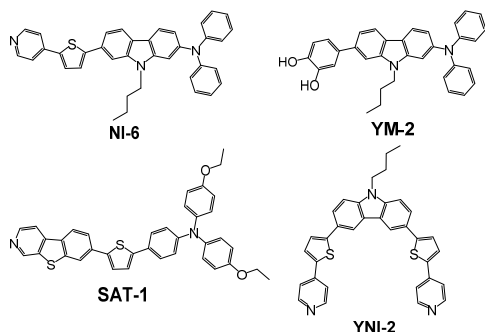


図5. ピリジル系 D- π -A 色素 NI-6, YNI-2, SAT-1 とカテコール系 D- π -Cat 色素 YM-2

(3) TiO₂ 電極の B サイトと L サイトの両方を簡便かつ効率的に色素被覆できる一段階色素共吸着法の確立を目的として、異なる 2 種類のピリジル系 D- π -A 色素の混合溶液を用いる色素共吸着 TiO₂ 電極の開発を考案した。本研究では、SAT-1 と NI-6 あるいは YNI-2(図5)を用いた色素共吸着 TiO₂ 電極を作製し、色素吸着量と色素共吸着 DSSC の電変換特性を評価した。SAT-1 と NI-6 あるいは SAT-1 と YNI-2 の 0.1 mM 色素混合溶液を用いて TiO₂ 電極上に色素共吸着させたところ、SAT-1 と NI-6 の色素吸着量はそれぞれ 6.8×10^{16} 個/cm² と 7.1×10^{16} 個/cm²、SAT-1 と YNI-2 の色素吸

着量はそれぞれ 3.6×10^{16} 個/cm² と 1.0×10^{17} 個/cm² であった。このことから、色素吸着量を低下させること無く、混合溶媒を用いた一段階色素共吸着法により、色素共吸着 TiO₂ 電極を作製することに成功した。色素共吸着 TiO₂ 薄膜の FT-IR 測定から、NI-6, YNI-2 は TiO₂ 表面の L サイトに配位結合を、SAT-1 は TiO₂ 表面の B サイトに水素結合を形成して吸着していた。色素共吸着 TiO₂ 電極を用いた co-DSSC を作製し、光電変換特性を評価した。IPCE 測定から (SAT-1+NI-6)co-DSSC の IPCE スペクトルのオンセットは、(SAT-1+YNI-2)co-DSSC の場合に比べてブロード化しており、色素共吸着 TiO₂ 薄膜の光吸収スペクトルと良い一致を示した。(SAT-1+NI-6)co-DSSC、(SAT-1+YNI-2)co-DSSC の最大 IPCE 値はそれぞれ、52%@424 nm, 59%@425 nm であり、SAT-1 を単独で用いた DSSC よりも高い値を示したが、NI-6 あるいは YNI-2 を単独で用いた DSSC よりも低い値を示した (SAT-1 : 32%@424 nm, NI-6 : 64%@422 nm, YNI-2 : 61%@424 nm)。同様に、*I-V* 測定から、(SAT-1+NI-6)co-DSSC、(SAT-1+YNI-2)co-DSSC の J_{sc} 値と η 値はそれぞれ、(4.52 mA cm⁻², 1.39%)、(5.56 mA cm⁻², 1.99%)であり、SAT-1(2.85 mA cm⁻², 0.79%) を単独で用いた DSSC よりも高い値を示したが、NI-6(4.76 mA cm⁻², 1.47%)あるいは YNI-2(5.64 mA cm⁻², 2.02%)を単独で用いた DSSC よりも低い値あるいは同程度の値を示した。本研究から、TiO₂ 電極の B サイトと L サイトに吸着できる 2 種類のピリジル系 D- π -A 色素を用いることで、TiO₂ 電極を効率的かつ効果的に色素被覆できる簡便な一段階色素共吸着法を提案することができた。

(4) Type-II DSSC 用カテコール系色素の DTCT 特性の増大のみならず、逆電子移動の遅延を図ることを目的として、光誘起電子移動(Photo-induced Electron Transfer: PET)特性を有する CAT-PET(図6)を分子設計・合成した。すなわち、CAT-PET の電子供与部(アミノ基)から DTCT により生じた酸化状態の CAT-PET へと速やかに電子移動が起こること、逆電子移動を抑制できると期待できる。CAT および CAT-PET を吸着させた TiO₂ 薄膜の光吸収スペクトル測定から、350 ~ 550 nm に色素-TiO₂ 間相互作用に起因する DTCT に由来するブロードな吸収帯が出現した。この結果から、CAT と CAT-PET は、色素の HOMO から TiO₂ 電極の CB へのダイレクトな電子注入が可能であることがわかった。CAT および CAT-PET を用いた DSSC を作製し、IPCE 測定と *I-V* 測定から光電変換特性の評価を行った。CAT および CAT-PET の IPCE スペクトルは、TiO₂ 薄膜に吸着した CAT および CAT-PET の光吸収スペクトルと良い一致を示していることから、CAT および CAT-PET の HOMO から TiO₂ 電極の CB へのダイレク

トな電子注入(Type-II 型)により光電流が発生していることがわかった。電子求引性基を有する **CAT-CHO** (42%)と **CAT-PET-CHO** (45%)の最大 IPCE は、無置換の **CAT-H** (12 %), **CAT-PET-H** (21%)および **CAT-Me** (10%)よりも高い値を示した。*I-V* 測定から、**CAT-PET-NO₂**以外の **CAT-PET** の *J_{sc}* 値と η 値は、**CAT** よりも高い値を示した。以上の結果に基づいて、本研究において、カテコールへの PET 特性の付与は、DTCT 特性の増大と逆電子移動の遅延に導く Type-II DSSC 用 Cat 色素の効果的な分子設計指針であることを示すことができた。

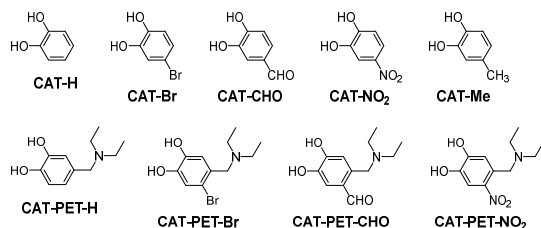


図 6.カテコール系色素 **CAT** と **CAT-PET**

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 12 件)

Y. Ooyama, K. Yamaji and J. Ohshita; Photovoltaic performances of type-II dye-sensitized solar cells based on catechol dye sensitizers: suppression of back-electron transfer by PET (Photo-induced Electron Transfer); *Mater. Chem. Front.*, 査読有 **2017**, *1*, 2243-2255 (Cover Picture).

Y. Ooyama, T. Enoki, S. Aoyama, and J. Ohshita; Synthesis and optical and electrochemical properties of phenanthrothiophene (fused-bibenzo[*c*]thiophene) derivative; *Org. Biomol. Chem.*, 査読有 **2017**, *15*, 7302-7307.

Y. Ooyama, M. Kanda, T. Enoki, Y. Adachi and J. Ohshita; Synthesis, optical and electrochemical properties, and photovoltaic performance of panchromatic and near-infrared (D)₂- π -A type BODIPY dye with pyridyl group or cyanoacrylic acid; *RSC Adv.*, 査読有 **2017**, *7*, 13072-13081.

T. Enoki, K. Matsuo, J. Ohshita, and Y. Ooyama; Synthesis, and optical and electrochemical properties of julolidine-structured pyrido[3,4-*b*]indole dye; *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有 **2017**, *19*, 3565-3574.

Y. Ooyama, N. Yamaguchi, J. Ohshita and Y. Harima; Impacts of molecular structure and adsorption mode of D- π -A dye sensitizers with pyridyl group for dye-sensitized solar cells on adsorption equilibrium constant for dye-adsorption to TiO₂ surface; *Phys. Chem.*

Chem. Phys., 査読有 **2016**, *18*, 32992-32998.

Y. Ooyama, K. Furue, T. Enoki, Y. Adachi, M. Kanda, and J. Ohshita; Development of Type-I/Type-II hybrid dye sensitizer with both pyridyl group and catechol unit as anchoring group for Type-I/Type-II dye-sensitized solar cell; *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有 **2016**, *18*, 30662-30676.

大山陽介、大下浄治; アジン環を電子求引性吸着基として有する D- π -A 光増感色素の開発と色素増感太陽電池特性 (Development of D- π -A Dye Sensitizers with Azine Ring and Their Photovoltaic Performances of Dye-Sensitized Solar Cells); 有機合成化学協会誌, 査読有 **2016** 年, Vol. 74 (8), p760-780.

Y. Ooyama, K. Uenaka, T. Kamimura, S. Ozako, M. Kanda, T. Koide, and F. Tani; Dye-sensitized solar cell based on inclusion complex of cyclic porphyrin dimer bearing four 4-pyridyl groups and fullerene C₆₀; *RSC Adv.*, 査読有 **2016**, *6*, 16150-16158.

Y. Ooyama, T. Enoki, and J. Ohshita; Development of D- π -A pyrazinium photosensitizer possessing singlet oxygen generation; *RSC Adv.*, 査読有 **2016**, *6*, 5428-5435.

Y. Ooyama, M. Kanda, K. Uenaka, and J. Ohshita; Substituent effect in catechol dye sensitizers on photovoltaic performances of type-II dye-sensitized solar cells; *ChemPhysChem*, 査読有 **2015**, *16*, 3049-3057.

Y. Ooyama, T. Sato, T. Enoki, and J. Ohshita; Development of D- π -A dye with (pyridiniumyl)alkanesulfonate as electron-withdrawing anchoring group for dye-sensitized solar cell; *Dyes Pigm.*, 査読有 **2015**, *123*, 349-354.

Y. Ooyama, K. Uenaka, M. Kanda, T. Yamada, N. Shibayama, and J. Ohshita; A new co-sensitization method employing D- π -A dye with pyridyl group and D- π -Cat dye with catechol unit for dye-sensitized solar cells; *Dyes Pigm.*, 査読有 **2015**, *122*, 40-45.

[学会発表](計 11 件)

大山陽介; Type-II 色素増感太陽電池の光電変換特性の向上を目指して; 2017 年日本化学会中国四国支部大会 若手セッション「サステイナブル・機能レドックス化学」, 2017 年 11 月 12 日, 鳥取大学, 鳥取. 招待講演

大山陽介; 機能性色素のレドックス制御とオプトエレクトロニクスデバイスへの展開; 日本化学会 第 97 春季年会 特別企画「サステイナブル・機能レドックス化学」, 2017 年 3 月 16 日, 慶応義塾大

学, 日吉キャンパス. 招待講演
大山陽介; エネルギー変換・環境・医療
用色素設計の新展開; 第 47 回 中部化学
関係学協会支部連合秋季大会, 2016 年 11
月 5 日, 豊橋技術科学大学. 招待講演
Y. Ooyama; Photovoltaic Performance of
Dye-Sensitized Solar Cells Based on
Diphenylamino-Carbazole Substituted
BODIPY Dyes; Collaborative Conference on
3D & Materials Research (CC3DMR) 2016;
Songdo Convensia, Incheon/Seoul, South
Korea (20 June 2016). 招待講演
Y. Ooyama; Molecular design and synthesis
of D- π -A dye sensitizers with pyridyl group
for high-performance dye-sensitized solar
cells, The 2015 International Chemical
Congress of Pacific Basin Societies
(PACIFICHEM 2015) in Hawaii, USA,
Abstract Number 1432, (December 17,
2015).
T. Enoki, Y. Ooyama, K. Komaguchi, and J.
Ohshita; Molecular design and synthesis of
D- π -A pyrazinium dyes for photodynamic
therapy, The 2015 International Chemical
Congress of Pacific Basin Societies
(PACIFICHEM 2015) in Hawaii, USA,
Abstract Number 749, (December 17, 2015).
K. Furue, Y. Ooyama, and J. Ohshita;
Development of Type-I and Type-II Dye
Sensitizers with Two Anchoring Groups for
Dye-Sensitized Solar Cells; The 13th
International Kyoto Conference on New
Aspects of Organic Chemistry, in Kyoto,
Japan, Abstract Number PB(C)-17, (11
November, 2015).
Y. Ooyama, T. Yamada, and J. Ohshita;
Type-II Dye-Sensitized Solar Cells Based on
D- π -Catechol Dye Sensitizers, The 13th
International Kyoto Conference on New
Aspects of Organic Chemistry, in Kyoto,
Japan, Abstract Number OP-02, (10
November, 2015).
Y. Ooyama; Molecular Design and Synthesis
of D- π -A Photosensitizers with Pyridyl
Group for Dye-Sensitized Solar Cells; The
Seventh East Asia Symposium on Functional
Dyes and Advanced Materials (EAS7);
Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka,
Japan (4 September 2015). 招待講演
K. Furue, Y. Ooyama, and J. Ohshita;
Influences of Anchoring Groups for
D-(π -A)₂ Dyes on Photovoltaic
Performances of Dye Sensitized Solar Cells;
The 7th East Asia Symposium on Functional
Dyes and Advanced Materials (EAS7);
Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka,
Japan (2 September 2015).
M. Kanda, Y. Ooyama, and J. Ohshita;
Molecular Design of Catechol Dyes with
Various Substituents for Type-II

Dye-Sensitized Solar Cell Based on
Dye-to-TiO₂ Charge Transfer; The 7th East
Asia Symposium on Functional Dyes and
Advanced Materials (EAS7); Osaka
Prefecture University, Sakai, Osaka, Japan (2
September 2015).

〔図書〕(計 1 件)

大山陽介、榎 俊昭(分筆); 実用化動向
編 第 3 章 光線力学的療法用色素の開
発; 機能性色素の新規合成・実用化動向
(監修: 松居正樹), p208-230、シーエム
シー出版、2016 年 10 月出版。

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)

名称: 色素増感太陽電池、色素増感太陽
電池用電極、および、色素増感太陽電池
用電極の製造方法
発明者: 大山陽介、大下浄治、山田雄大、
柴山直之
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 出願番号 2015-164863
出願年月日: 2015 年 8 月 24 日
国内外の別: 国内

取得状況(計 2 件)

名称: ドナー - π - アクセプター型化合物
及び色素増感太陽電池用色素
発明者: 大山陽介、大下浄治、播磨 裕
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 特許第 5939573 号
取得年月日: 2016 年 5 月 27 日
国内外の別: 国内

名称: ドナー - π - アクセプター型化合物、
蛍光色素化合物及び色素増感太陽電池用
蛍光色素化合物
発明者: 大山陽介、大下浄治、播磨 裕
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 特許第 5757609 号
取得年月日: 2015 年 6 月 12 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
広島大学 大学院工学研究科 応用化学専攻
材料物性化学研究室
http://ooyama-lab.hiroshima-u.ac.jp/hp/Ooyama_Group-Home.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大山 陽介 (OOYAMA, Yousuke)
広島大学・大学院工学研科・教授
研究者番号: 60403581