

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 20 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550071

研究課題名(和文) 可視光増感性金属触媒による直接的アリレーションを鍵反応とする機能性分子の効率合成

研究課題名(英文) Syntheses of functional molecules through direct arylation by photoactive metal catalysts

研究代表者

高尾 昭子(稲垣昭子)(Takao (Inagaki), Akiko)

首都大学東京・理工学研究科・准教授

研究者番号：00345357

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：可視光エネルギーを利用して、様々な触媒的分子変換反応を達成することをめざし、光を吸収する色素と、反応活性な有機金属ユニットを組み合わせた、光触媒の合成を目指した。分子変換反応の一つとしてクロスカップリング反応や重合反応に着目し、反応サイトにパラジウムモノアセタトユニットをもつ可視光増感触媒を利用して、シンナミルアルコールとアレン類とのカップリング反応や、パラジウムメチルユニットを持つ錯体によるスチレン類の光重合反応を開発した。これらの反応機構を解明するとともに、光触媒反応の光励起状態に関する基礎的知見を解明した。

研究成果の概要(英文)：In order to investigate various molecular transformations by visible light, we focused on synthesizing photoactive complexes composed of visible-light sensitizer and a reactive metal center linked by a bridging ligand. We focused on applying the photocatalysis to cross-coupling reactions and polymerization. The photoactive catalysts such as Ru(II)-polypyridyl-Pd monoacetato and -Pd monomethyl complexes were developed and applied to cross-coupling reaction of cinnamyl alcohol with arenes and styrene polymerization, respectively. We studied the plausible reaction mechanism together with the basic photochemical properties of the photosensitizers and the photocatalysts.

研究分野：organometallics

キーワード：有機金属触媒 光化学 可視光増感 分子変換

### 1. 研究開始当初の背景

錯体化学の分野では光合成活性中心のモデル錯体の合成とそれらの電子・エネルギー移動プロセスの解明を目指した物性研究などが精力的に進められてきた。しかしながら、これらの錯体を用いた化学反応への展開例には、生成した電荷分離錯体の酸化還元能を利用した酸化・還元などの電子移動反応にとどまり、C-H、C-C 結合生成と切断や官能基導入といった結合の活性化を伴う分子変換が光によって達成された例はほとんどない。

申請者はこれまで、「可視光エネルギーを利用した触媒的有機分子変換」を目指し、光エネルギー捕集部位と、基質活性化部位を併せ持つ、光増感性錯体を用いた光触媒反応の研究を進めてきた。その中で、パラジウム上の置換基をより置換活性の高いアセテートへ変更したパラジウムモノアセテートユニットを導入した錯体は、芳香族直接 C-H 活性化を伴う脱アセトキシクロスカップリング反応が触媒的に進行することがわかった。このような様々な分子変換へと応用可能な光増感性錯体への展開するためには、各ユニットの光物性から反応性に至るまで幅広い知見を蓄積する必要がある。

### 2. 研究の目的

様々な光増感性錯体を用いて、それらの基礎的反応性に関する知見を蓄積すると同時に、特にパラジウムアセテート錯体による C-H 結合切断反応に着目した、光を用いた触媒的分子変換を達成することを目指す。

C-H 活性化を伴う触媒的官能基導入には、Pd 触媒を中心に系に適した様々な配位子、添加剤、溶媒を探し出すことによって達成されてきており、比較的高温条件での反応がほとんどである。本申請研究で「光エネルギー」という普遍的な因子を導入することによって、より一般性の高い C-H 結合活性化のプロセスと、それを用いた分子変換を達成することを目指している。

### 3. 研究の方法

(1) Pd アセテートユニットを反応中心とし、光エネルギー捕集ユニットとして  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{bpm})]^{2+}$  を有する光増感性錯体を用いた、シナミルアセテートとアリール類との直接カップリング反応に着目し、その基質適用範囲、反応機構を解明し、他の機能性分子の合成へと展開する。

(2) これまでの研究成果から、用いる錯体触媒の光物性は、触媒活性に大きく影響を与える。光の効果を発現させるためには、光を吸収する色素部位(光増感部位)から、反応中心である金属中心への効果的な電荷あるいは励起エネルギー移動が必要である。可視光増感ユニットをルテニウムポリピリジルユニットへの置換基導入、イリジウムシクロメタレート、亜鉛ポルフィリンユニット

芳香族クロモフォアの導入によるバイクロモフォア化することにより大きく光物性を変化させることが可能である。たとえば、芳香族クロモフォアを導入すると励起寿命が著しく伸長することを見いだしており、この触媒を用いると、ポリマー化が進行しやすくなることを見いだしている。目的の反応系に適したクロモフォアを選択することにより、反応性の向上を目指す。

### 4. 研究成果

(1) シナミルアセテートとアレーン類のカップリング反応における基質適用範囲の調査

種々のアレーン類との反応を検討したところ、ベンゼン、トルエン、*n*-プロピルベンゼンなど一置換ベンゼンとの反応では、クロスカップリング反応は進行せず、シナミルアルコール単独のホモカップリングや、フェニルボロン酸とのクロスカップリングなど様々な反応副生成物が混在していた。二置換体である、*p*-キシレン、*p*-シメンとの反応では少量 (<5%) ではあるものの、クロスカップリング体が生成した。一方で、三置換、四置換体であるメシチレン、デユレンとの反応では、カップリング生成物がそれぞれ 68%、29% 生成した。このようにベンゼン環上のアルキル基の数が増加するに従い、カップリング生成物の収率が向上することが分かった (Figure 1)。

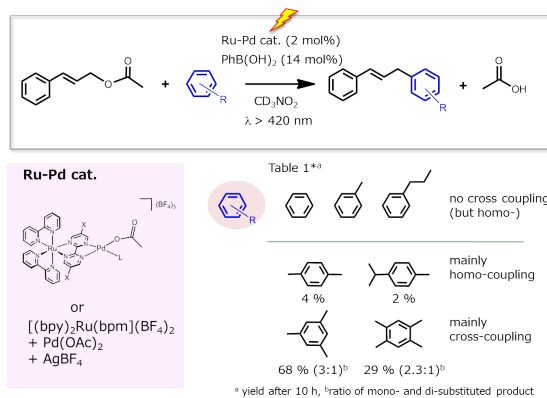
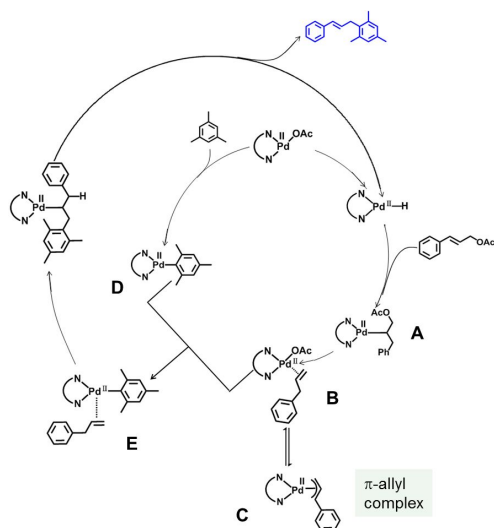


Figure 1. cross-coupling reaction

反応機構に関する情報を得るために、別途対応する  $\pi$ -allyl 錯体 **C** を合成し、これを触媒として用いたところ、モノアセテート錯体を用いるよりも収率は落ちるものの (ca. 10%) 同様にクロスカップリング体が生成した。この結果から、反応機構を以下のように提唱した (Scheme 1)。この反応における律速段階はおそらく、出発のモノアセテート錯体とアレーンとの反応による  $\text{C}(\text{sp}^2\text{-H})$  結合の切断過程だと考えられる。Fagnou らが提唱するように<sup>1</sup>、Pd 上のアセトキシ基が芳香環上の水素と相互作用しつつ C-H 結合切断が進行し、 $\text{Pd}^{\text{II}}(\text{OAc})$  錯体から  $\text{Pd}^{\text{II}}\text{-Ar}$  種 **D** が生成する。**D** と **B** 上の配位子交換により **E** が生成し、配位オレフィンの挿入、 $\beta$ -水素脱離を経てカップ

リング生成物と Pd-OAc 種が再生するサイクルであると考えている。今後は、これらの知見を活かした選択的カップリング反応の開発を進めたい。



Scheme 1. 予想反応機構

(2) DFT 計算を用いた  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{bpm})\text{PdMe}(\text{Me}_2\text{CO})]^{3+}$  の光励起状態と  $\alpha$ -メチルスチレンの触媒的光二量化反応機構の解明

これまで見出してきた触媒的  $\alpha$ -メチルスチレンの触媒的光二量化反応について、その光の効果は、直接的に解明できていなかった。実験的に明らかにした反応機構を基に、律速段階における中間体の基底状態、最低三重項励起状態構造を最適化し、励起状態における電子構造変化を明らかにした (Figure 2)。その結果、最終的には、反応中心である Pd から架橋配位子への電荷遷移 (MLCT) に伴い、パラジウム上の Pd-C 結合が著しく伸長し、その結果挿入反応が促進され、反応が進行することが見出された。この結果は論文で発表した。

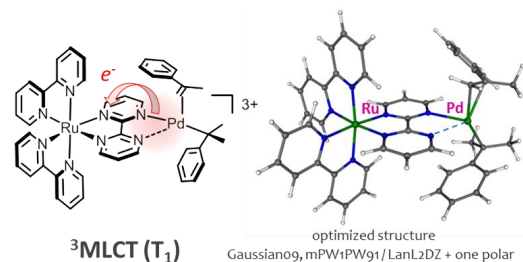


Figure 2. DFT 計算による三重項励起状態の電子構造解明

(3) ナフチル基を導入した Ir(III) - シクロメタレート錯体の合成と二核錯体への誘導とそれを用いた光重合反応制御

これまでの成果の中で、光励起寿命を長くすると、それに付随して光反応に対する活性も向上することが示唆されていた。二種類のクロモフォアを組み合わせることによって、

それぞれ単独の色素とは異なる光物性、特に顕著な励起寿命の伸長が見られることが明らかにされている。<sup>2</sup> この効果を我々の触媒系に適用するために、種々のバイクロモフォアを合成・検討したところ、イリジウム(III) - シクロメタレート中のフェニル基に 2-ナフチル基を結合させたバイクロモフォアが、4 マイクロ秒を超える長い励起寿命を持つことが分かった。これは単独の長寿命色素、たとえば Ru(II)-トリスジイミン錯体に比べても 4 倍程度長い寿命となる。このような長い励起寿命を有する錯体とパラジウムユニットを結合した Ir-Pd 錯体 (Figure 3) は、長寿命を保持しつつ、高い触媒活性を示すことがわかった。

Ir-Pd 触媒は、可視光を励起すると、スチレン類に対する重合反応に高い活性を示す一方で、暗所下では重合反応は進行せず、ゆっくりと二量化反応が進行することから、光による鋭敏なスイッチング特性を示すことが分かった。さらに本反応ではリビング性を示すことを確認した。このような特性を応用し、スチレン ビニルエーテルとの共重合反応に展開し、光の照射時間に応じて、モノマーの含有比率を制御でき、その比率に応じて幅広いガラス転移点を持つ共重合体が合成できることを明らかにした。これらの成果は論文とで発表した。

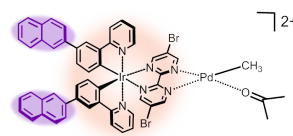


Figure 3. バイクロモフォリック Ir-Pd 錯体

(4) 光増感性ユニット  $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{bpm})]^{2+}$  の励起状態に関する基礎的知見の収集。

シンナミルアセテートとアレーン類とのクロスカップリング反応をはじめ、アルケン類の二量化、重合反応において用いている光増感ユニット ( $[\text{Ru}(\text{bpy})_2(\text{bpm})]^{2+}$ ) の光励起状態は、未だに未解明な部分が多く残されている。様々な高速分光測定を用いて、フェムト、ピコ秒オーダーの比較的早い時間領域における光化学的過程は明らかにされているものの、実際に分子間反応に関連する、マイクロ秒に近い時間領域における励起種の解析は限定的である。架橋配位子であるピピリミジンへの MLCT 遷移が起きているのかに注目し、同位体ラベルした錯体を用い、時間分解 IR, DFT 計算により励起状態のスペクトルを測定した (東工大恩田研究室)。

重水素化体を用いた測定および計算によるシミュレーションに基づき、得られたスペクトルの各ピークを正確に帰属することができた (Figure 4)。その結果、可視光で励起した際の差スペクトルピークのほとんどが架橋配位子であるピピリミジン由来のシグナルであり、どの振動モードであるかも含めて帰属することができた。予想通り、可視光励起状態において、100 ~ 200 ナノ秒オーダー



では、三重項励起状態において、ルテニウム中心からピリジンへの電荷遷移が起きることに伴い、対応する振動モードが観測されている。これまで、精密な帰属がされた時間分解 IR、ラマンスペクトルはなく、今後様々な錯体の帰属に有用であると考えられる。この結果は論文 で報告している。

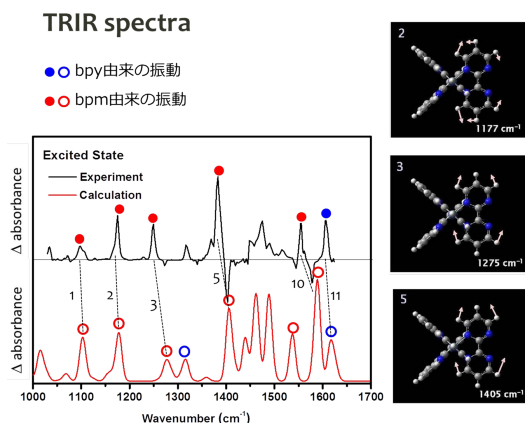


Figure 4. [Ru(bpy)<sub>2</sub>(bpm)]<sup>2+</sup> の時間分解 IR スペクトル

#### < 引用文献 >

- S.I. Gorelsky, D. Lapointe, K. Fagnou, *J. Am. Chem. Soc.*, **2008**, *130*, 10848.  
 (a) S. Campagna et al. *J. Phys. Chem. A* **2003**, *107*, 447. (b) . N. Castellano et al. *J. Phys. Chem. A* **2001**, *105*, 8154.

#### 5 . 主な発表論文等

##### [ 雑誌論文 ] ( 計 15 件 )

- K. Murata, K. Saito, S. Kikuchi, M. Akita, A. Inagaki, "Visible-Light-Controlled Homo- and Copolymerization of Styrenes by Bichromophoric Ir-Pd Catalyst" *Chem. Commun.*, **2015**, *51*, 5717-5720. 査読あり DOI:10.1039/C5CC00611B.  
 Y. Yasu, A. Inagaki, M. Akita, "Synthesis of Trinuclear Pd-Ru-Pd Porphyrin Complexes with Axially Ligated Pd Centers. Prominent Metal-to-Ligand Charge Transfer Band in the Visible Region" *J. Organomet. Chem.*, **2014**, *753*, 48-54. 査読あり DOI: 10.1016/j.jorganchem.2013.12.008.  
 K. Kozawa, A. Inagaki, M. Akita, "Synthesis of Highly Conjugated Dinuclear Ru Complexes Bridged by a Novel N2-N3 Ligand and their Application in Photocatalytic Oxygenation of Sulfides," *Chem. Lett.*, **2014**, *43*, 290-292. 査読あり DOI: 10.1246/cl.130966.  
 T. Mukuta, N. Fukazawa, K. Murata, A. Inagaki, M. Akita, S. Tanaka, S. Koshihara, K. Onda, "Vibrational Spectroscopy at the Excited Triplet State in [Ru(bpy)<sub>2</sub>(bpm)]<sup>2+</sup> and [Ru(bpy)<sub>3</sub>]<sup>2+</sup>", *Inorg. Chem.*, **2014**, *53*,

2481-2490. 査読あり DOI: 10.1021/ic402474t. adopted as one of the "highlight module" in the journal toppage  
 Y. Takii, A. Inagaki, K. Nomura, "Synthesis, structural analysis of the hetero-bimetallic complexes MMe[(O-2,4-tBu<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>-6-CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(μ<sub>2</sub>-O-2,4-tBu<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>-6-CH<sub>2</sub>)N][Me<sub>2</sub>Al(μ<sub>2</sub>-OiPr)] [M = Zr, Hf] and their use in catalysis for ethylene polymerization," *Dalton Trans.*, **2013**, *42*, 11632-11639. 査読あり DOI:10.1039/c3dt51172c.

K. Murata, M. Araki, A. Inagaki, M. Akita, "Syntheses, Photophysical Properties, and Reactivities of Novel Bichromophoric Pd Complexes Composed of Ru(II)-Polypyridyl and Naphthyl Moieties," *Dalton Trans.*, **2013**, *42*(19), 6989-7001. 査読あり DOI: 10.1039/c3dt50266j

K. Murata, A. Inagaki, M. Akita, J.-F. Halet, K. Costuas, "Revelation of the Photoactive Species in the Photocatalytic Dimerization of  $\alpha$ -Methylstyrene by a Dinuclear Ruthenium-Palladium Complex," *Inorg. Chem.*, **2013**, *52*, 8030-8039. 査読あり DOI: 10.1021/ic400666v

Hiroyuki Nitadori, Takeshi Takahashi, Akiko Inagaki, Munetaka Akita, "Enhanced Photocatalytic Activity of  $\alpha$ -Methylstyrene Oligomerization through Effective Metal-to-Ligand Charge-Transfer Localization on the Bridging Ligand" *Inorg. Chem.*, **2012**, *51*, 51-62. 査読あり DOI: 10.1021/ic200291t

##### [ 学会発表 ] ( 計 36 件 )

- 孫 昌洙, 野村琴広, 稲垣昭子 「BINAP ユニットを光増感性配位子とするパラジウム錯体の開発」日本化学会第 95 春季年会, 2015/3/27 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県・船橋市)  
 松阪裕子, 野村琴広, 稲垣昭子 「フルオレンを壁状分子として含む二座ホスフィン配位子とするロジウム錯体の合成」日本化学会第 95 春季年会 2015/3/28 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県・船橋市)  
 ○丹野 恭平・恩田 健・腰原 伸也・田中 誠一・稲垣 昭子・菊池 信之介「時間分解赤外光法を用いた Ir 錯体の光励起ダイナミクス」日本化学会第 95 春季年会 2015/3/26 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県・船橋市)  
 ○稲垣 昭子, "Development of visible-light-driven catalytic transformation system of organic molecules," 日本化学会第 95 春季年会 2015/3/27 日本大学理工学部船橋キャンパス (千葉県・船橋市)  
 S. Phungsripheng, K. Nomura, A. Inagaki, "Photocatalytic oxygenation of sulfides and

alkenes by trinuclear ruthenium complexes in neutral aqueous media," The Global Human Resource Program Bridging Across Physics and Chemistry, 2015/1/30 首都大学東京(東京都・八王子市)

Y. Matsusaka, K. Nomura, A. Inagaki, "Synthesis and photophysical properties of metal complexes having fluorene-based diphosphine ligands," The Global Human Resource Program Bridging Across Physics and Chemistry, 2015/1/30 首都大学東京(東京都・八王子市)

S. Kikuchi, K. Nomura, A. Inagaki, "Controlled photopolymerization of styrenes by palladium catalyst containing naphthyl-Ir(III) bichromophore," The Global Human Resource Program Bridging Across Physics and Chemistry, 2015/1/30 首都大学東京(東京都・八王子市)

A. Inagaki, K. Kozawa, S. Phungsripheng, K. Nomura, M. Akita, "Photocatalytic Oxygenation of Sulfides and Alkenes by Di- and Trinuclear Ruthenium Complexes in Aqueous Media," 2014 International Conference on Artificial Photosynthesis (ICARP 2014), 2014/11/26 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県・淡路市)

孫 昌洙, 野村琴広, 稲垣昭子「ナフチル基で置換した BINAP 配位子を有する遷移金属錯体の合成と物性」第 64 回錯体化学討論会 2014/9/15 中央大学(東京都・文京区)

松阪裕子, 野村琴広, 稲垣昭子「フルオレンを壁状分子として含む二座ホスフィン配位子とする金属錯体の開発」第 64 回錯体化学討論会 2014/9/15 中央大学(東京都・文京区)

孫 昌洙, 野村琴広, 稲垣昭子「ナフチル基で置換した BINAP 配位子を有するパラジウム錯体の合成とアルケン類との光反応」第 26 回配位化合物の光化学討論会 2014/8/7 首都大学東京(東京都・八王子市)

S. Phungsripheng, K. Nomura, A. Inagaki, "Trinuclear Ruthenium Complex for Visible-Light-Induced Oxygenation of Organic Compounds in Water," 第 26 回配位化合物の光化学討論会 2014/8/6 首都大学東京(東京都・八王子市)

A. Inagaki, K. Saito, K. Murata, M. Akita, "Visible-light promoted olefin polymerization by bichromophoric Ir-Pd catalyst," XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014), 2014/7/15, Royton Sapporo (北海道・札幌市)

S. Phungsripheng, K. Kozawa, K. Nomura, M. Akita, A. Inagaki, "Photocatalytic oxygenation of sulfides by trinuclear ruthenium complexes in neutral aqueous media," XXVI International Conference on Organometallic Chemistry (ICOMC 2014)

2014/7/15, Royton Sapporo (北海道・札幌市)

稲垣昭子「光増感性触媒を用いた可視光で制御する重合反応の開発」物質・デバイス領域共同研究拠点「革新的グリーン化学システム構築へ向けたマテリアルサイエンス」研究集会 2013/12/10 東京工業大学すずかけ台キャンパス(東京都・緑区)

齊藤和磨・村田慧・稲垣昭子・穂田宗隆「バイクロモフォリックイリジウム-パラジウム二核錯体による可視光を利用したオレフィン共重合体の合成」第 63 回錯体化学討論会 2013/11/4 琉球大学(沖縄県・中頭郡)

向田 達彦, 村田 慧, 稲垣昭子, 穂田宗隆, 腰原伸也, 恩田健「時間分解赤外振動分光法を用いたルテニウムポリピリジル錯体の 3(d-d)励起状態の観測」2013 年光化学討論会 2013/9/1 愛媛大学(愛媛県・松山市)

Tatsuhiko Mukuta, Naoto Fukazawa, Kei Murata, Akiko Inagaki, Munetaka Akita, Shin-ya Koshihara, Ken Onda, "Excited State Dynamics of Ruthenium Polypyridyl Complexes Studied by Time-Resolved Infrared Spectroscopy," 第 7 回 ICAVS, 神戸国際会議場 2013/8/1 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市)

稲垣昭子「光エネルギーを使った有機合成反応」第 112 回触媒討論会(招待講演) 2013/9/1 秋田大学(秋田県・秋田市)

齊藤和磨・村田慧・稲垣昭子・穂田宗隆「可視光増感性イリジウム-パラジウム錯体を用いた光によるオレフィン重合制御」第 25 回配位化合物の光化学討論会 2013/8/1 唐津ロイヤルホテル(佐賀県・唐津市)

②① 恩田健, 向田達彦, 田中誠一, 村田慧, 稲垣昭子「ルテニウムポリピリジル錯体における 3(d-d)状態の時間分解赤外分光」第 25 回配位化合物の光化学討論会 2013/8/1 唐津ロイヤルホテル(佐賀県・唐津市)

②② 稲垣昭子「可視光エネルギーを利用した触媒的有機分子変換色素、触媒のデザインと励起状態特性」第 67 回白鷺セミナー 2013/7/12 大阪府立大中百舌鳥キャンパス(大阪府・堺市)

②③ 村田慧・K. Costuas・J.-F. Halet・稲垣昭子・穂田宗隆「可視光増感性ルテニウム-パラジウム二核錯体によるスチレン類の光触媒的二量化反応に関する理論的研究:励起状態における電子構造と光促進効果」日本化学会第 93 春季年会 2013/3/24 立命館大学びわこ草津キャンパス(滋賀県・草津市)

②④ 齊藤和磨・村田慧・稲垣昭子・穂田宗隆「ナフチル基を導入したバイクロモフォリックイリジウム-パラジウム錯体によるオレフィン類の触媒的光反応」日本化学会第 93 春季年会 2013/3/24 立命館大学びわこ草津キャンパス(滋賀県・草津市)

- ⑳ 柴雄一郎・稲垣昭子・穂田宗隆「光増感性イリジウム-白金二核錯体の合成と光誘起電子移動で促進される還元的脱離反応」日本化学会第 93 春季年会 2013/3/25 立命館大学びわこ草津キャンパス(滋賀県・草津市)
- ㉑ 小澤和幸・稲垣昭子・穂田宗隆「新規な架橋配位子を有する可視光増感性多核ルテニウム錯体による水を酸素源とするスルフィド及びブチレン類の光触媒的酸素添加反応」日本化学会第 93 春季年会 2013/3/25 立命館大学びわこ草津キャンパス(滋賀県・草津市)
- ㉒ 稲垣昭子「光エネルギーと物質変換」研究領域第 1 期採択研究者研究成果「可視光エネルギーを駆動力とする触媒的有機分子変換システムの開発」「光エネルギーと物質変換」研究領域第 1 期採択研究者研究成果 2013/3/22 立命館大学びわこ草津キャンパス(滋賀県・草津市)
- ㉓ 小澤和幸・稲垣昭子・穂田宗隆「可視光増感性ルテニウム二核錯体を用いたスルフィド類の触媒的光酸化反応」科研費新学術領域研究「人工光合成による太陽光エネルギーの物質変換:実用化に向けての異分野融合」第 1 回公開シンポジウム 2012/12/17 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都・目黒区)
- ㉔ 稲垣昭子・似鳥広幸・村田慧・穂田宗隆,"Modification of Visible-Light Sensitizing Moiety of Ru-Pd(Methyl) Complex Toward Efficient Catalyzed Photolysis," XXV International Conference on Organometallic Chemistry (XXV ICOMC), 2012/9/5, Lisbon (Portugal)
- ㉕ 村田慧・稲垣昭子・穂田宗隆, "Bichromophoric Palladium Complexes Bearing Ru(II) / Ir(III) and Naphthyl Chromophores: Reactivity Photoswitching of Styrene Polymerization," XXV International Conference on Organometallic Chemistry (XXV ICOMC), 2012/9/6, Lisbon, (Portugal)
- ㉖ 稲垣昭子・小池隆司・穂田宗隆, "Visible-Light-Driven Organometallic catalysis," XXV International Conference on Organometallic Chemistry (XXV ICOMC), 2012/9/3, Lisbon (Portugal)
- ㉗ 小澤和幸・稲垣昭子・穂田宗隆「架橋二座 三座配位子を有する可視光増感性ルテニウム二核錯体の合成、物性とスルフィド類の光酸化反応」第 2 4 回配位化合物の光化学討論会 2012/8/7 東京大学 駒場リサーチキャンパス(東京都・目黒区)
- ㉘ 柴雄一郎・稲垣昭子・穂田宗隆「シクロメタル化イリジウム錯体を光増感部位として含むメチルおよびアリアル白金錯体の合成、光物性とアルケン類との反応」第 2 4 回配位化合物の光化学討論会 2012/8/7 東京大学 駒場リサーチキャンパス(東京都・目黒区)

- ㉙ 恩田健・深澤直人・村田慧・稲垣昭子・穂田宗隆「時間分解赤外分光による(bpy)<sub>2</sub>Ru(bpm)錯体の電荷移動過程の解明」第 2 4 回配位化合物の光化学討論会 2012/8/7 東京大学 駒場リサーチキャンパス(東京都・目黒区)
- ㉚ 小澤和幸・稲垣昭子・穂田宗隆「架橋二座 三座窒素配位子を有する可視光増感性ルテニウム二核錯体の合成と水を酸素源とする光酸化反応」第 6 2 回錯体化学討論会 2012/9/21 富山大学五福キャンパス(富山県・富山市)
- ㉛ 柴雄一郎・稲垣昭子・穂田宗隆「シクロメタル化イリジウム錯体を光増感部位として含むメチルおよびアリアル白金錯体の合成、光物性、および光反応性」第 6 2 回錯体化学討論会 2012/9/21 富山大学五福キャンパス(富山県・富山市)

〔図書〕(計 3 件)

穂田宗隆、小池隆司、稲垣昭子, 有機合成化学協会誌 2014, 72 (5), 538-547. 「可視光(太陽光)促進有機金属触媒反応: フォトリドックス触媒と機能分担型二核錯体触媒系」  
 稲垣昭子, 触媒の設計・反応制御 事例集, 株式会社技術情報協会「第 5 章 第 8 節 可視光下での活性向上に向けた有機金属触媒の設計. 触媒反応の(超)高活性化」発行 2013 年 4 月 体裁 A 4 判 827 頁  
 Akiko Inagaki, Munetaka Akita 「可視光で動作する触媒的有機分子変換」触媒(特集) 光触媒による物質変換反応の新展開 2012, 54 (5), 321-326.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://tmu-orgchem-lab.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高尾(稲垣) 昭子(TAKAO (INAGAKI), Akiko)

首都大学東京・理工学研究科・准教授  
 研究者番号: 00345357

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし