

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550045

研究課題名(和文) 高効率な光増幅を実現する三重項増感逆ミセルの開発

研究課題名(英文) Development of triplet-sensitizing reverse micelles that promote highly-efficient upconversion processes

研究代表者

高橋 雅樹 (TAKAHASHI, Masaki)

静岡大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30313935

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000 円

研究成果の概要(和文)：疎水性アントラセンとルテニウム錯体で構成される「両親媒性構造体」を自己組織化させ構築した「三重項増感逆ミセル」における、「光増幅」(アップコンバージョン)機能発現について検討した。「両親媒性構造体」のトルエン溶液サンプルに対し 9,10-ジフェニルアントラセン(DPA)を加え実験を試みた結果、「光増幅」機能が発現しており、「両親媒性構造体」が DPA に対する増感剤として機能することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Upconversion experiments using reverse micelle systems, which were constructed by self-assembly of amphiphilic molecule consisting of lipophilic anthracene and ruthenium complex units, have been performed. When a toluene solution of the amphiphilic sensitizer was exposed by laser irradiation in the presence of 9,10-diphenylanthracene (DPA), prominent evolution of upconversion luminescence from excited DPA could be detected, demonstrating that the amphiphilic molecule works as a triplet sensitizer that promotes efficient upconversion processes.

研究分野：有機光化学

キーワード：アントラセン ルテニウム錯体 逆ミセル アップコンバージョン

## 1. 研究開始当初の背景

「三重項-三重項消滅 (Triplet-Triplet Annihilation-TTA) 機構」に基づく「光増幅」(アップコンバージョン) は、低エネルギーの2光子を使い高エネルギーの励起状態を創出できることから、エネルギー変換効率の良い太陽電池や高輝度発光素子の開発に活用されるなど、光デバイス分野に革新的発展をもたらし得る次世代キーテクノロジーとして位置づけられている。近年になって、ルテニウム錯体と蛍光性色素であるアントラセンとを組み合わせた「三重項増感分子システム」において効果的な「光増幅」が確認され、この設計思想に基づく多くの検討が行われてきた。しかしながら、それらは各構成要素を媒質に分散させた形態を利用するため、これらの間におけるエネルギー授受は拡散律速に支配されることになる。このために、「光増幅」のエネルギー変換効率には理論限界が存在することとなり、実用的な「三重項増感分子システム」の実現が現状では妨げられている。この問題を克服する鍵は、各要素を高密度化し多光子のエネルギーの授受が円滑になるよう設計された「三重項増感分子システム」を開発することであるが、その手掛かりとなるアイデアは未だ提示されておらず、「光増幅」を応用したデバイス開発への隘路となっている。

上記問題解決の鍵となる「三重項増感分子システム」は、三重項増感剤と蛍光性色素で構成される「両親媒性構造体」を合成し、これを逆ミセルに自己組織化することによって構築することができる。この様に構築した「三重項増感逆ミセル」は、各要素のナノスケールレベルでの高密度化を確実に実現することができるため、上記隘路を克服するブレークスルーになると考えられる。

## 2. 研究の目的

過去の研究において、疎水性アントラセンを配したイオン性色素分子が逆ミセルに自己組織化することが明らかにされた。当該申請研究では、この成果を基に、疎水性アントラセンとルテニウム錯体で構成される新たな「両親媒性構造体」を合成し、これらを自己組織化させることによって高効率な「光増幅」を実現する「三重項増感逆ミセル」を創製するとともに、そこに展開される「多光子場科学」の原理を明らかにすることを目的とし研究を行った。

## 3. 研究の方法

イオン性三重項増感剤と疎水性の蛍光性色素とを連結した「両親媒性構造体」を合成し、これらを自己組織化させることで「三重項増感逆ミセル」の構築を試みた。その際、蛍光性色素の導入数が異なる逆ミセルも開発し、それらの「光増幅」についても検討を試みた。

## 4. 研究成果

既知法に基づき調製した両親媒性構造体 (1) (図1) をトルエンに溶解し、凍結脱気を施すことで溶液サンプルとした。

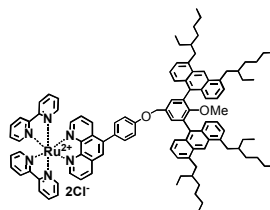


図1. 両親媒性構造体 (1) の構造

これを用い定常スペクトル測定を行ったところ、アントラセンに特徴的な吸収帯が 350 ~ 410 nm の短波長領域に観測されるとともに、ルテニウム錯体由来する MLCT 吸収帯が 470 nm 付近に観測された。アントラセン色素を選択的に励起する ( $\lambda_{\text{ex}}$  380 nm) ことで測定した発光スペクトルには、アントラセンの蛍光発光ピーク (400 ~ 500 nm) に加え、分子内エネルギー移動に起因するルテニウム錯体の燐光発光ピークが 600 nm 付近に観測された (図2)。

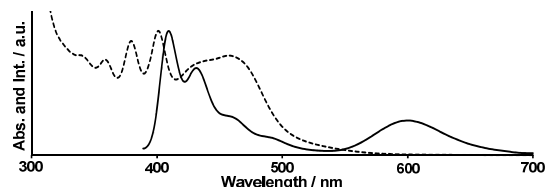


図2. (1) の吸収 (点線)・発光スペクトル (実線)

次に、(1) のトルエン溶液サンプル ( $c$  40  $\mu\text{M}$ ) に対し、固体レーザー ( $\lambda_{\text{ex}}$  473 nm, 出力 10 mW) を照射することで光増幅スペクトルの測定を試みた。得られたスペクトルには、「光増幅」に起因する分子内アントラセンの蛍光発光ピークが観測されなかった (図3)。

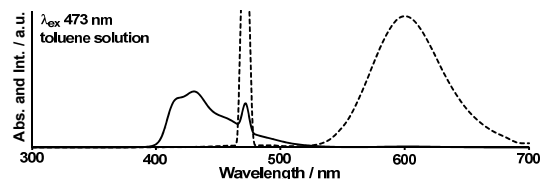


図3. (1) (点線) および (1) と DPA (実線) トルエン溶液の光増幅スペクトル

これより、この化合物単独の溶液では「光増幅」機能が発現しないことが明らかとなった。次に、この溶液サンプルに対し 40 当量の 9,10-ジフェニルアントラセン (DPA) をエミッターとして加え、光増幅スペクトルの測定を試みた。この場合、観測されたスペクトルには DPA 由来の蛍光発光が明確に出現した。この観測結果より、この混合溶液系では「光増幅」機能が発現しており、(1) が DPA に対する増感剤として機能することが明らかとなった。

DPA の代わりに両親媒性アントラセン (2a) (図4) をエミッターとして使用し、同様の実験を行った。(1) と (2a) をモル比 1:30 にて混合したトルエン溶液に凍結脱気処

理を施し、サンプル溶液を調製した。この溶液に対し固体レーザーを照射し光増幅スペクトルの測定を行ったところ、**(2a)** の蛍光発光ピークが 400 ~ 500 nm の波長領域に観測された (図 5)。

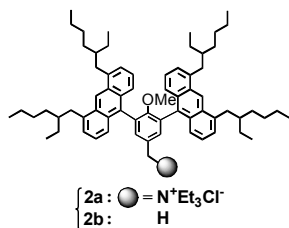


図 4. エミッター **(2a)** と **(2b)** の分子構造

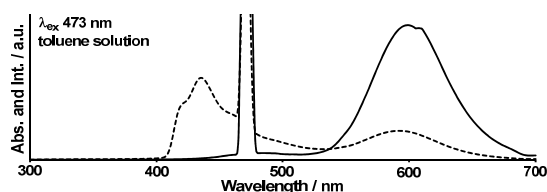


図 5. **(1)** と **(2a)** (点線) および **(2b)** (実線) トルエン溶液の光増幅スペクトル

一方、両親媒性構造をもたない **(2b)** を用いた場合、先程観測された蛍光発光ピークはほとんど観測されず、代わりにルテニウム錯体由来の燐光発光ピークが観測された。これら対照的な観測結果から、**(2a)** を用いた場合、トルエン媒体中において親水性イオン部の露出が最小限となるよう **(1)** と **(2a)** が近接しつつ混和した逆ミセル系を形成したため、高効率な「光増幅」機能が発現したとの結論が得られた。次に、**(1)** の代わりに分子構造内にアントラセンを含まない **(3)** (図 6) を増感剤とし、DPA をエミッターとして利用した「光増幅」実験を行った。

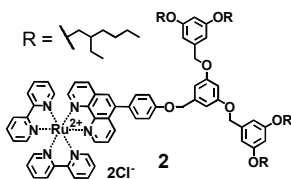


図 6. 両親媒性構造体 **(3)** の分子構造

この場合、**(1)** 用いた場合と異なり、DPA 由来の蛍光発光ピークはほとんど観測されず、ルテニウム錯体の燐光発光ピークのみが観測された (図 7)。

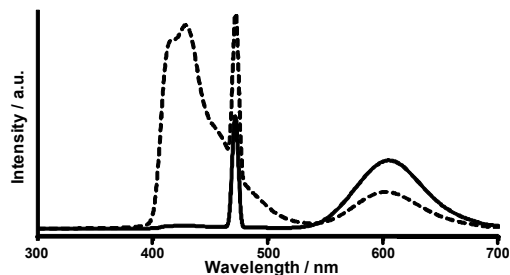


図 7. **(1)** (点線) および **(3)** と DPA (実線) トルエン溶液の光増幅スペクトル

これらの対照的な観測結果から、**(1)** に置換

されたアントラセン部位は、「光増幅」におけるエネルギー相互作用を促進する中継部位として機能していることが証明された。

## 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 11 件)

- (1) Takahashi, M.; Numata, Y.; Ui, M.; Inuzuka, T.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Gap-filling functionality of energy transmitter on cascade energy transfer in a unimolecular anthracene/perylene/rhodamine system”, *Tetrahedron Letters*, 56 巻, 430-433, (2015), 査読有.
- (2) Takahashi, M.; Ui, M.; Inuzuka, T.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Synthesis and spectral properties of perylene-rhodamine dyads with lipophilic dendritic auxiliaries”, *Tetrahedron*, 70 巻, 9175-9182, (2014), 査読有.
- (3) Takahashi, M.; Murata, Y.; Ishida, M.; Yagishita, F.; Sakamoto, M.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Catalytic amide allylation of  $\alpha$ -ketoester: extremely high enantioselective synthesis of ester functionalised  $\alpha$ -methylene- $\gamma$ -butyrolactones”, *Organic & Biomolecular Chemistry*, 12 巻, 7686-7689, (2014), 査読有.
- (4) Sengoku, T.; Suzuki, K.; Nakayama, K.; Yagishita, F.; Sakamoto, M.; Takahashi, M.; Yoda, H. “Novel chiral tetramic acid-derived diols: organocatalytic facile synthesis and unique structural properties”, *RSC Advances*, 4 巻, 30775-30779, (2014), 査読有.
- (5) Takahashi, M.; Murata, Y.; Yagishita, F.; Sakamoto, M.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Catalytic enantioselective amide allylation of isatins and its application to the synthesis of 2-oxindole derivatives spiro-fused to  $\alpha$ -methylene- $\gamma$ -butyrolactone functionality”, *Chemistry - A European Journal*, 20 巻, 30775-30779, (2014), 査読有.
- (6) Murata, Y.; Takahashi, M.; Yagishita, F.; Sakamoto, M.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Construction of spiro-fused 2-oxindole/ $\alpha$ -methylene- $\gamma$ -butyrolactone systems with extremely high enantioselectivity via indium-catalyzed amide allylation of *N*-methyl isatin”, *Organic Letters*, 15 巻, 6182-6185, (2013), 査読有.
- (7) Takahashi, M.; Sudo, T.; Murata, Y.; Sengoku, T.; Yoda, H. “Synthetic approach toward  $\alpha$ -aminomethyl- $\gamma$ -butyrolactones from  $\beta$ -lactam synthons elaborated by  $\text{SmI}_2$ -mediated reductive coupling reactions”, *Natural Product Communications*, 8 巻, 889-896, (2013), 査読有.
- (8) Sengoku, T.; Wierzejska, J.; Takahashi, M.;

- Yoda, H., “Evolution of the total syntheses of batzellases, the first marine piperidine iminosugar”, *Natural Product Communications*, 8 巻, pp. 1011-1019, (2013), 査読有.
- (9) Wierzejska, J., Motogoe, S., Makino, Y., Sengoku, T., Takahashi, M., Yoda, H. “A new approach toward total synthesis of (+)-batzellaside B”, *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 8 巻, 1831-1838, (2012), 査読有.
- (10) Ujihara, Y., Nakayama, K., Sengoku, T., Takahashi, M., Yoda, H. “First total synthesis of epicoccarine A via *O*- to *C*-acyl rearrangement strategy”, *Organic Letters*, 14 巻, 5142-5145, (2012), 査読有.
- (11) Takahashi, M., Murata, Y., Hakamata, Y., Suzuki, K., Sengoku, T., Yoda, H. “First total synthesis and absolute stereochemical assignment of vittarilide-A, an antioxidant extractive component isolated from *Vittaria anguste-elongata* Hayata”, *Tetrahedron*, 68 巻, 7997-8002, (2012), 査読有.
- (12) Sengoku, T., Nagae, Y., Ujihara, Y., Takahashi, M., Yoda, H. “A synthetic approach to diverse 3-acyltetramic acids via *O*- to *C*-acyl rearrangement and application to the total synthesis of penicillenol series”, *The Journal of Organic Chemistry*, 77 巻, 4391-4401, (2012), 査読有.
- 〔学会発表〕（計 5 2 件）
- (1) 仙石哲也, 鈴木千尋, 中村祐貴, 高橋雅樹, 依田秀実, キラルテトラミン酸を利用した多置換ピリジンの合成研究, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 28 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (2) 高橋雅樹, 石田真啓, 小久保佳奈, 村田優介, 仙石哲也, 依田秀実, 鎖状  $\alpha$ -イミノカルボニル化合物に対する触媒的不斉アミドアリル化反応の開発, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 28 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (3) 高橋雅樹, 小松由季, 川上 愛, 村田優介, 仙石哲也, 依田秀実, イミノイサチンに対する触媒的不斉アミドアリル化反応の開発, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 28 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (4) 村田優介, 麻生悠和, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, マレイミド誘導体への触媒的アミドアリル化反応を利用した新規スピロ型不飽和ラクトン骨格の構築, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 28 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (5) 仙石哲也, 百瀬直登, 藁科卓也, 高橋雅樹, 依田秀実, 抗 MRSA 物質 marinolic acid A の立体選択的合成法の開発, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 27 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (6) 高橋雅樹, 森 俊裕, 竹下 光, 仙石哲也, 依田秀実, アントラセン/ルテニウム錯体混合コロイド系のアップコンバージョン特性, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 26 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (7) 高橋雅樹, 宇井迪樹, 浅羽恭平, 仙石哲也, 依田秀実, 高効率なカスケード型エネルギー移動を実現する三色素光捕集系の開発, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年 3 月 26 日, 日本大学（千葉県船橋市）
- (8) 高橋雅樹, 宇井迪樹, 仙石哲也, 依田秀実, 三色素マルチクロモフォアデンドリマーにおける光エネルギー移動機構の検討, 第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2014 年 11 月 30 日, 中部大学（愛知県春日井市）
- (9) 高橋雅樹, 石田真啓, 村田優介, 仙石哲也, 依田秀実, 鎖状ケトエステルに対する触媒的不斉アミドアリル化反応の開発, 第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2014 年 11 月 30 日, 中部大学（愛知県春日井市）
- (10) 仙石哲也, 鈴木千尋, 高橋雅樹, 依田秀実, テトラミン酸由来のキラルジオールを利用する含窒素複素環誘導体の合成研究, 第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2014 年 11 月 30 日, 中部大学（愛知県春日井市）
- (11) 仙石哲也, 藁科卓也, 百瀬直登, 高橋雅樹, 依田秀実, 抗生物質 marinolic acid 類の収束型合成の検討, 第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2014 年 11 月 30 日, 中部大学（愛知県春日井市）
- (12) 高橋雅樹, 森 俊裕, 仙石哲也, 依田秀実, 両親媒性構造を有するアントラセンとルテニウム錯体混合系に発現する低出力アップコンバージョン特性の検討, 第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2014 年 11 月 30 日, 中部大学（愛知県春日井市）
- (13) 村田優介, 石田真啓, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, 隣接ジカルボニル化合物類に対する触媒的不斉アミドアリル化反応の開発, 第 106 回有機合成シンポジウム, 2014 年 11 月 6 日, 早稲田大学（東京都新宿区）
- (14) 仙石哲也, 藁科卓也, 百瀬直登, 高橋雅樹, 依田秀実, 抗 MRSA 抗生物質 marinolic acid A の合成研究, 第 44 回複素環化学討論会, 2014 年 9 月 11 日, 札幌市民ホール（北海道札幌市）
- (15) 村田優介, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, イサチンに対する触媒的不斉アミドアリル化の開発とスピロ型 2-オキシインドールラクトン合成への応用, 第 44 回複素環化学討論会, 2014 年 9 月 11 日, 札幌市民ホール（北海道札幌市）
- (16) 仙石哲也, 百瀬直登, 運天碧美, 高橋雅樹, 依田秀実, 糖類を出発物質とした抗 MRSA 物質 Marinolic amide 類の合成研究,

- 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 28 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (17) 仙石哲也, 橘川静香, 鈴木康平, 板倉佑耶, 高橋雅樹, 依田秀実, D-リンゴ酸をキラルプールとした新規抗菌物質 Toussaintine D の合成研究, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 28 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (18) 仙石哲也, 鈴木千尋, 鈴木康資, 高橋雅樹, 依田秀実, タンデム型有機分子触媒反応による新規キラルテトラミン酸誘導体の合成と応用, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 28 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (19) 高橋雅樹, 森 俊裕, 仙石哲也, 依田秀実, アントラセンールテニウム連結分子のアップコンバージョン増感特性, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 28 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (20) 高橋雅樹, 宇井迪樹, 仙石哲也, 依田秀実, マルチクロモフォアデンドリマーに発現するカスケード型光捕集機能の評価, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 28 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (21) 仙石哲也, 藁科卓也, 牧野有都, 高橋雅樹, 依田秀実, L-ピログルタミン酸をキラルプールとした新規殺虫性アルカロイド Stemaphylline の合成研究, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (22) 高橋雅樹, 石田真啓, 村田優介, 仙石哲也, 依田秀実, 隣接ジカルボニル化合物の触媒的不斉アミドアリル化反応の開発, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (23) 村田優介, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, 触媒的不斉アミドアリル化によるキラルスピロラクトン型オキシインドール合成, 日本化学会第 94 春季年会, 2014 年 3 月 27 日, 名古屋大学 (愛知県名古屋市)
- (24) 村田優介, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, 新規抗癌剤への応用を志向したキラルスピロラクトン型オキシインドール合成法の開発, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (25) 仙石哲也, 運天碧美, 藁科卓也, 百瀬直登, 高橋雅樹, 依田秀実, 抗 MRSA 分子 Marinolic acid 類の合成研究, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (26) 仙石哲也, 牧野有都, 磯崎友也, 麻生悠和, 高橋雅樹, 依田秀実, 殺虫性ステモナルカロイド Stemaphylline の合成研究, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (27) 仙石哲也, 鈴木康平, 橘川静香, 板倉佑耶, Jolanta Wierzejska, 高橋雅樹, 依田秀実, 希少植物由来の抗菌性物質 Toussaintine 類の合成研究, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (28) 仙石哲也, 鈴木康資, 鈴木千尋, 氏原保明, 高橋雅樹, 依田秀実, 有機分子触媒による新規キラルテトラミン酸誘導体のタンデム合成法の開発, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (29) 高橋雅樹, 石田真啓, 村田優介, 小松由季, 仙石哲也, 依田秀実, イサチンへの触媒的アリル化を用いたスピロラクトン型オキシインドール類の合成, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (30) 高橋雅樹, 竹川浩平, 宇井迪樹, 竹下 光, 仙石哲也, 依田秀実, 高効率カスケード光捕集を実現するマルチクロモフォアデンドリマーの開発, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (31) 高橋雅樹, 石田光太郎, 高田幸佳, 仙石哲也, 依田秀実, ビスアントラセン分子をビルディングブロックとしたマルチアントラセン分子の合成, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (32) 高橋雅樹, 森 俊裕, 永井 司, 仙石哲也, 依田秀実, アントラセンールテニウム複合錯体の合成とアップコンバージョン増感特性の検討, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (33) 高橋雅樹, 山田紗希, 渡邊祥子, 仙石哲也, 依田秀実, フルオラスルテニウム錯体の合成とアップコンバージョン増感特性の検討, 第 44 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2013 年 11 月 3 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (34) 村田優介, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, イサチン誘導体への触媒的アミドアリル化反応によるキラルスピロラクトン合成法の開発, 第 43 回複素環化学討論会, 2013 年 10 月 18 日, 岐阜大学 (岐阜県岐阜市)
- (35) 仙石哲也, 鈴木康資, 中山 健, 高橋雅樹, 依田秀実, 有機分子触媒によるキラルテトラミン酸とアルデヒドとの三分子タンデム反応の開発, 第 43 回複素環化学討論会, 2013 年 10 月 19 日, 岐阜大学 (岐阜県岐阜市)
- (36) 高橋雅樹, 釧持和洋, 森 俊裕, 仙石哲也, 依田秀実, 疎水性アントラセンを配した両親媒性ルテニウム錯体の光機能特性, 2013 年光化学討論会, 2013 年 9 月 12 日, 愛媛大学 (愛媛県松山市)

- (37) 高橋雅樹, 沼田祐紀, 竹川浩平, 仙石哲也, 依田秀実, マルチクロモフォアデンドリマーに発現するカスケード型光捕集機構の解明, 2013 年光化学討論会, 2013 年 9 月 11 日, 愛媛大学 (愛媛県松山市)
- (38) Jolanta Wierzejska, 鈴木千尋, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, L-ピログルタミン酸を利用した (+)-Batzellaside B の立体選択的合成, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 25 日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- (39) 仙石哲也, 牧野有都, 磯崎友也, 高橋雅樹, 依田秀実, 新規な殺虫性ステモナルカロイド stemaphylline の合成研究, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 25 日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- (40) 村田優介, 石田真啓, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, イサチンへの触媒的アミドアリル化反応によるキラルスピロラクトン型オキシインドール合成法の開発, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 25 日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- (41) 高橋雅樹, 鈴木康資, 村田優介, 仙石哲也, 依田秀実, ヨウ化サマリウムを用いたイサチン誘導体とアルデヒドとのラジカルカップリング反応, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 24 日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- (42) 高橋雅樹, 沼田祐紀, 竹川浩平, 仙石哲也, 依田秀実, アントラセン、ペリレン、ローダミンを組み込んだマルチクロモフォアデンドリマーのカスケード型光捕集機能, 日本化学会第 93 春季年会, 2013 年 3 月 22 日, 立命館大学 (滋賀県草津市)
- (43) 仙石哲也, 中山 健, 氏原保明, 高橋雅樹, 依田秀実, 高純度キラリティーを実現したテトラミン酸系抗生物質 Epicoccarine A の全合成, 第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2012 年 11 月 11 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- (44) 高橋雅樹, 鈴木将之, 仙石哲也, 依田秀実, Gemini 型両親媒性色素分子を用いた色素-金属複合ナノ粒子への開発, 第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2012 年 11 月 11 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- (45) 高橋雅樹, 釦持和洋, 仙石哲也, 依田秀実, 疎水性アントラセンを配した両親媒性ルテニウム錯体の合成と光機能特性評価, 第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2012 年 11 月 10 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- (46) 高橋雅樹, 須藤貴大, 氏原保明, 仙石哲也, 依田秀実, ヨウ化サマリウムを用いたアミノラクトン合成法の開発, 第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会, 2012 年 11 月 10 日, 名古屋工業大学 (愛知県名古屋市)
- (47) 仙石哲也, 中山 健, 氏原保明, 長江雄太, 高橋雅樹, 依田秀実,  $O \rightarrow C$ -アシル転位反応を鍵反応とする抗菌性テトラミン酸

Epicoccarine A の全合成, 第 42 回複素環化学討論会, 2012 年 10 月 13 日, 京都テルサ (京都府京都市)

- (48) 仙石哲也, 村田優介, 高橋雅樹, 依田秀実, キラルプール方を利用した新規なポリヒドロキシ  $\gamma$ -ラクトン誘導体の全合成, 第 42 回複素環化学討論会, 2012 年 10 月 12 日, 京都テルサ (京都府京都市)
- (49) 高橋雅樹, 山田紗希, 仙石哲也, 依田秀実, パーフルオロ炭素を置換したルテニウム錯体の合成と自己組織化特性の検討, 2012 年光化学討論会, 2012 年 9 月 13 日, 東京工業大学 (東京都目黒区)
- (50) 高橋雅樹, 仙石哲也, 依田秀実, 有機色素を組み合わせたナノスケール分子システムの構築と光捕集機能, 第 23 回東海地区光電気化学研究会, 2012 年 8 月 1 日, 静岡大学 (静岡県浜松市)
- (51) Jolanta Wierzejska, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, Synthetic studies on (+)-batzellaside B, a new class of piperidine alkaloids, 13th Tetrahedron Symposium, 2012 年 6 月 26 日, NH Grand Krasnapolsky Hotel (オランダ国アムステルダム市)
- (52) 氏原保明, 中山 健, 仙石哲也, 高橋雅樹, 依田秀実, First total synthesis of antibacterial epicoccarine A via  $O$ - to  $C$ -acyl rearrangement, 13th Tetrahedron Symposium, 2012 年 6 月 26 日, NH Grand Krasnapolsky Hotel (オランダ国アムステルダム市)

〔図書〕 (計 1 件)

- (1) Yoda, H.; Takahashi, M.; Sengoku, T., "Developments in the synthesis of 3-acyltetramic acid natural products", In "Studies in natural products chemistry (bioactive natural products)", Ed. Atta-ur-Rahman, Elsevier, 46 巻, pp. 99-131, (2015).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~tchyoda/>

<http://www.ipc.shizuoka.ac.jp/~tmtakah/tmtakah/home.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高橋 雅樹 (TAKAHASHI MASAKI)  
静岡大学大学院・工学研究科・准教授  
研究者番号: 30313935

### (2) 研究分担者

依田 秀実 (YODA HIDEMI)  
静岡大学大学院・工学研究科・教授  
研究者番号: 20201072

仙石 哲也 (SENGOKU TETSUYA)  
静岡大学大学院・工学研究科・助教  
研究者番号: 70451680