

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410063

研究課題名(和文) 発光性配位高分子ナノ結晶の励起エネルギーダイナミクスの研究

研究課題名(英文) A study on the photo-excitation energy dynamics in nanocrystals of luminescent coordination polymers

研究代表者

小林 厚志 (Kobayashi, Atsushi)

北海道大学・理学研究院・准教授

研究者番号：50437753

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、フォトリソグラフィの21世紀において、社会基盤を支える光機能性材料のさらなる高度化を志向し、光励起ダイナミクスの制御法開発を目的に研究を展開した。発光性配位高分子結晶のメゾ結晶化により、バルク結晶とも分子状錯体とも異なる発光挙動を示すことを見出し、メゾ結晶形成が励起ダイナミクスに大きく影響することが分かった。半導体ナノ結晶を用いた太陽光水分解触媒反応においては、増感ナノ結晶表面を覆う配位子が触媒-光増感剤複合体形成に深く関与すること、色素-半導体表面における界面電子移動反応では増感色素の多層化により、電荷分離効率が向上し得ることを見出し、励起ダイナミクス制御法の基盤的知見を得た。

研究成果の概要(英文)：To develop a new methodology to control of photo-excitation energy dynamics in the mesoscopic region, we have investigated the effect of meso-crystallization on the photoluminescence properties of coordination polymers (CPs), and the effect of surface modification of semiconductor nanoparticles on the photosensitization ability. We found that meso-crystallized CP exhibited different luminescence behavior from that of bulk crystals and molecular complexes. In the solar water splitting reaction driven by semiconductor nanoparticles, we found that the ligand covering the surface of the photosensitizing nanoparticle was involved in the formation of the catalyst-photosensitizer complex. In addition, we demonstrate that the efficiency of the interfacial electron transfer reaction on the dye-semiconductor interface was drastically improved by the formation of multilayers of sensitizing dyes. These results indicate the importance of the nanostructure in the photo-generated exciton dynamics.

研究分野：錯体化学、光化学

キーワード：光化学 配位高分子 ナノ粒子 エネルギー移動 電子移動 光触媒

1. 研究開始当初の背景

発光性金属錯体は金属イオンと配位子の選択に応じて多彩な励起状態を形成し、多様な光化学特性を示すことから、21世紀のフォトニクス時代を支える基盤物質と言える。近年ではその特徴的な励起状態を用いて、有機ELなど発光デバイスや光-化学エネルギー変換を目指した光触媒など、多様な分野で活用されているが、これらは基本的に錯体分子由来の性質に立脚しており、光励起エネルギーを利用したい場合積極的に移動(分離)させる手法は多くない。バルクレベルでは、有機ELにおいて発光層で励起電子とホールを閉じ込めて効率的に発光させる手法として、電子移動層と正孔移動層で挟み込む構造が用いられているものの、分子レベルでの界面構造制御が難しく、一方の分子レベルでは電荷分離を目指した超分子が数多く開発され、ミリ秒以上の長寿命電荷分離状態も報告されているものの、その分子構築は多段階合成が必要であり、より簡便かつ低エネルギープロセスの開発が必要とされる。

2. 研究の目的

前述の研究背景を踏まえ、本研究では光照射により生じた励起子を利用したい場合へ移動(および分割)する手法を開発するべく、これまで研究代表者らが見出してきたRu(II)錯体配位子から成る発光性配位高分子を基盤として、1)配位モジュレーション法を用いたメソスコピック領域へのダウンサイジング、2)光アンテナ系の構築と電子正孔対の空間分割を目指した機能性分子の表面固定化、の2戦略を展開した。表面原子数比が高まるメソスコピック領域では、分子ともバルクとも異なる電子構造(表面構造や欠陥等)を形成するため、集積体の粒径制御と結晶表面の化学修飾による機能集積が可能である。従来の半導体-色素界面で知られている「界面光電子移動現象」に加え、さらなる新しい光機能性発現の場としてのポテンシャルを引き出すことが本研究の最大の目的である。

3. 研究の方法

本研究では、発光性配位高分子を活用して光励起子ダイナミクスの制御手法を開発するべく、以下の2戦略を展開した。

戦略1:発光性Ru(II)配位高分子のメゾ結晶化

励起子の拡散距離と同程度のサイズを有するメゾ結晶では、光物理過程が結晶サイズや表面状態に強く影響されると予想され、サイズと表面状態を人為的に制御可能な系の開発が重要となる。そのような観点から配位高分子結晶は有望な物質群と言える。すなわち配位高分子結晶の機能化には、構成要素となる金属イオンの選択や有機配位子の設計に加えて、結晶サイズの制御や結晶表面における機能性分子の固定化など、多様な手法が開発されているためである。そこで本研究では、

これまでに研究代表者らが開発してきた発光性Ru(II)配位高分子結晶に対して、「配位モジュレーション法」と呼ばれる手法を用いてメゾ結晶化を行い、その影響を評価することで、励起子ダイナミクスの制御法開発につながる知見を得る。

戦略2:半導体ナノ結晶表面を活用した光電荷分離過程の解析と高効率化

光電荷分離過程は、太陽電池や光触媒反応における中枢機能であり、近年の世界的エネルギー問題を見れば、その高効率化が重要であることは明白である。半導体界面に形成されるp-n接合や、色素-半導体界面における界面電子移動反応が、重要な役割を果たしているが、本研究ではさらなる高効率化を目指して、電子移動界面に焦点を当てた。具体的には、A:可視光増感剤として有望なCdSeナノ粒子表面に対して、形状の異なる有機分子を導入し、光電子移動過程に対する影響を評価する、B:色素担持体として幅広く用いられているTiO₂ナノ粒子の表面に対して、可視光増感剤として機能するRu(II)錯体色素を配位結合により階層的に固定化した配位高分子ナノ薄膜を形成させた際の電荷分離過程を評価する、の2方針を展開した。

4. 研究成果

戦略1:発光性Ru(II)配位高分子のメゾ結晶化

研究代表者らが開発した発光性Ru(II)錯体を内包する発光性配位高分子M₂[4Ru] ([4Ru] = [Ru(dcbpy)₃]⁺, M = Sr²⁺, Mg²⁺; H₂dcbpy = 4,4'-dicarboxy-2,2'-bipyridine)を、配位モジュレーション法により光の波長(400-800 nm)と同程度のメゾ結晶合成を行った。配位モジュレーション法とは、金属イオンに配位可能かつ架橋構造を形成しない単座配位子を用いて、反応速度を制御することで、配位高分子結晶のサイズを制御する手法であり、多くの配位高分子結晶に対して活用されてきているものである。本研究では、疎水性の高い単座カルボン酸であるラウリン酸を用いると、Sr₂[4Ru]では長さ300 nm、厚さ50 nm程度のメゾ結晶が生成し、赤血球状の特異な集合体を形成することがわかった(図1)。

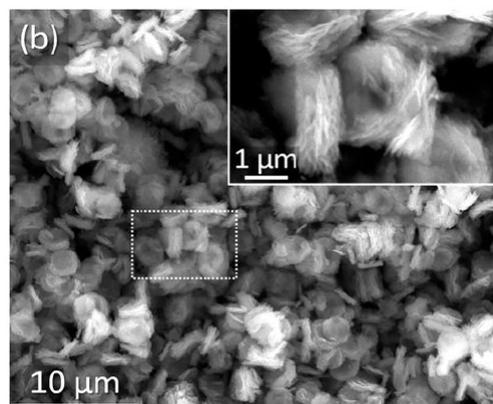


図1. Sr₂[4Ru]配位高分子メゾ結晶のSEM写真

一方、マグネシウムイオンを用いた配位高分子 $Mg_2[4Ru]$ でも、同程度の大きさのメゾ結晶は生成するものの、赤血球状の集合体は形成しないことも明らかとなった。さらに、特異な集合体を形成した $Sr_2[4Ru]$ メゾ結晶は、水蒸気吸着等温線測定において、同じ結晶構造を有するバルク結晶とは著しく異なる振る舞いを示すことを見出した(図2)。このような顕著な違いが $Mg_2[4Ru]$ メゾ結晶では見られなかったことから、配位高分子結晶における配位結合ネットワークの次元性が、メゾ結晶化による吸着特性への影響を大きく変化させていると考えられる。

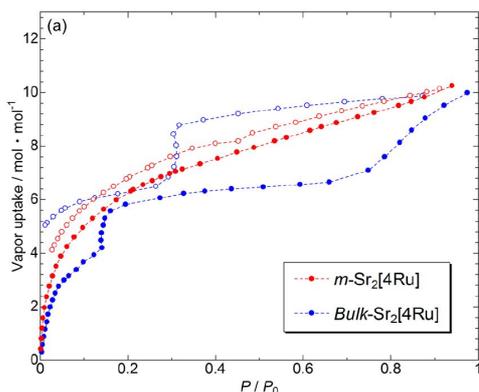


図2. $Sr_2[4Ru]$ 配位高分子の水蒸気吸着等温線。(298K, 青: バルク結晶、赤: メゾ結晶)。

興味深いことに、得られたメゾ結晶はバルク結晶よりも短波長側に [4Ru] 由来の 3MLCT 発光が観測された一方、その発光極大波長は、[4Ru] 水溶液よりも長波長側に位置していた。粉末 X 線回折や元素分析結果から、これらのメゾ結晶はバルク結晶と同等の結晶構造と組成を有することが確認されていることを考慮すると、発光極大波長の変化はメゾ結晶化に由来するものと考えられる。本結果の詳細についてはさらなる検討が必要であるが、メゾ結晶化により結晶内部で生成した励起子が結晶表面まで到達し、表面構造の影響を強く受けたことが一つの原因として考えられる。

戦略 2: 半導体ナノ結晶表面を活用した光電荷分離過程の解析と高効率化

量子ドットとも呼ばれる半導体ナノ結晶は、量子サイズ効果によりバンドギャップ制御が可能であり、有望な可視光増感剤として期待される。太陽光と水から水素を創り出す光触媒反応を考えた場合には、光吸収により生じた励起電子-正孔対を如何に分離し、水の酸化還元反応に導くか? が高効率化の鍵となる。これらのキャリア移動には必ずナノ結晶表面を通過する必要があり、その界面構造が大きな影響を与えると予想された。そこで本研究では、優れた可視光増感能が報告されている CdSe 量子ドットの表面に形状の異なる 3 種類の有機配位子 (MPA = 3-メルカプトプロピオン酸, MBA = 4-メル

カプト安息香酸, MMBA = 4-メルカプトメチル安息香酸) を導入し、犠牲試薬存在下における光水素発生反応を詳細に評価することで、量子ドット表面構造が電子移動過程に対してどのような影響を与えるかを検討した。興味深いことに、同じ粒径を有する CdSe 量子ドットと Pt コロイドを用いたにもかかわらず、光水素発生触媒活性は CdSe 表面へ導入した有機配位子に強く影響され、MPA > MBA > MMBA の順に低下することが明らかとなった(図3)。

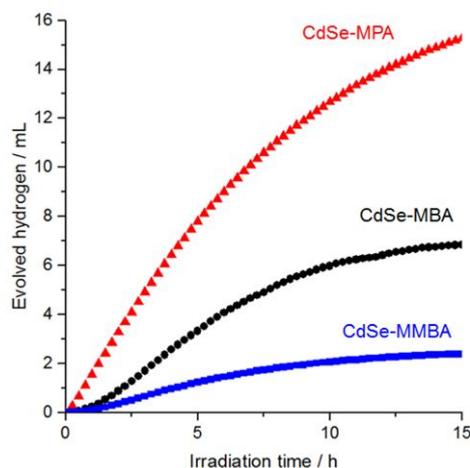


図3. CdSe 量子ドットを光増感剤、Pt コロイドを水素発生触媒とした光水素発生触媒反応 (pH = 6, 0.5M アスコルビン酸水溶液)

動的光散乱による粒径分散を検討した結果、CdSe 量子ドットへ導入されたこれらの有機配位子に依存して、Pt コロイドとの凝集状態が大きく変化することが確認され、MPA の場合に最も効率よく CdSe-Pt 複合体が形成されることが明らかとなった。以上の結果から、光電荷分離効率の向上には、ナノ粒子内部における励起子生成-分離のみならず、水素発生触媒へ至る電子の移動経路までを含めた、総合的な光触媒設計が必要なることを示唆するものであり、半導体ナノ結晶表面における界面構造構築の重要性を再確認するものと言える。

量子ドットを光増感剤にした場合には、光吸収によって生じる励起子(電子-正孔対)は同一粒子表面で異なる酸化還元反応を駆動させる必要があり、常に逆反応のリスクが生じる。このような状況を打破するには、電子と正孔を異なる方向へ導く異方的な電子構造が必要不可欠であり、その一つの方策として研究代表者らは TiO_2 などの半導体表面に対して可視光増感剤を担持させた色素増感型光触媒に着目した。色素-半導体界面においては、励起色素から半導体基板の伝導帯に対する光電子注入現象が古くから知られており、その有用性は現在の色素増感太陽電池においても幅広く活用されていることから確認できる。研究代表者らは、この界面電子注入反応を水分解反

応へ適応させつつ、より高効率に電荷分離可能なナノ薄膜構造の構築を検討した。可視光増感剤として幅広く用いられている $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ (bpy = 2,2'-bipyridine) に対して、表面固定用官能基としてホスホン酸を導入した RuCP^2 増感剤を TiO_2 ナノ粒子へ固定化すると、電子移動消光による $^3\text{MLCT}$ 発光の著しい消光が確認された。この Ru 錯体担持 TiO_2 を不均一系光増感剤に、Co(II)含有プルシアンブルー類縁体を酸素発生触媒に、光酸素発生触媒反応を検討した結果、興味深いことに RuCP^2 を均一系光増感剤として用いた場合よりも酸素発生反応が効率よく進行することが確認された(図4)。

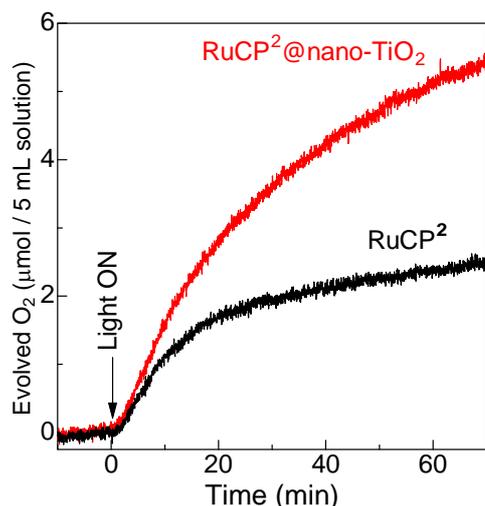


図4. RuCP^2 @nano- TiO_2 と Co(II)含有プルシアンブルー類縁体触媒による光酸素発生触媒反応(pH = 7, $[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8] = 5 \text{ mM}$)

TiO_2 ナノ粒子への固定化により、 RuCP^2 光増感剤の溶液中における拡散速度は遅くなると想定されるにもかかわらず、高い光増感効率を示したことから、 TiO_2 ナノ粒子への界面電子注入により速やかに生じた Ru(III)種が酸素発生反応に寄与していると考えられる。さらに最近、水素発生助触媒として Pt コロイドを担持した TiO_2 ナノ粒子表面に対して、 $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ 類縁体を配位結合により多分子層として固定化すると、単分子層で固定化したものよりも光水素発生触媒効率が3倍以上に増強されることを見出している(論文審査中)。詳細はさらなる検討が必要であるが、光増感多層膜中におけるエネルギー移動および色素-半導体界面における界面電子移動反応の協奏効果が重要と考えられ、さらなる発展が望まれる成果と言えよう。

その他の成果について

本研究では主に燐光性 Ru(II)錯体を用いた配位高分子系の開発と半導体ナノ粒子表面への展開に注力してきたが、そのエネルギー移動過程は、長距離移動に適さないデクスター機構に基づくという問題点も抱えていたことから、他の発光性金属錯体の開

発も並行して検討してきた。その中でも、プロトン化によりクロミック挙動を大きく変化させる Pt(II)錯体や、蒸気暴露により大きく発光色を変化させる Cu(I)錯体などの開発にも成功してきており、本研究で得られた「励起子ダイナミクスの制御法開発」に関わる基礎的知見を、更に発展させる萌芽的な結果も得られていることは強調しておきたい。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計15件)

K. Sawaguchi-Sato, A. Kobayashi, M. Yoshida, M. Kato, Aggregation-Enhanced Photocatalytic H_2 Evolution Activity of Photosensitizing Cadmium Selenide Quantum Dots and Platinum Colloidal Catalysts, *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* Vol. 335, 2017, pp.182–189 査読有, DOI: 10.1016/j.jphotochem.2016.11.028

A. Watanabe, A. Kobayashi, E. Saitoh, Y. Nagao, S. Omagari, T. Nakanishi, Y. Hasegawa, W. M. C. Sameera, M. Yoshida, M. Kato, Development of Ion-Conductive and Vapoluminescent Porous Coordination Polymers Composed of Ruthenium(II) Metalloligand, *Inorg. Chem.* Vol. 56, 2017, pp.3005–3013 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b03123

T. Hasegawa, A. Kobayashi, H. Ohara, M. Yoshida, M. Kato, Emission Tuning of Luminescent Copper(I) Complexes by Vapor-induced Ligand Exchange Reactions, *Inorg. Chem.* Vol. 56, 2017, pp.4928–4936. 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b03122

H. Ohara, T. Ogawa, M. Yoshida, A. Kobayashi, M. Kato, Reversible Luminescent Colour Changes of Mononuclear Copper(I) Complexes Based on Ligand Exchange Reactions by N-heteroaromatic Vapours, *Dalton Trans.* Vol. 46, 2017, pp.3755–3760. 査読有, DOI: 10.1039/C7DT00532F

A. Kobayashi, S. Furugori, M. Yoshida, M. Kato, Photocatalytic Water Oxidation Driven by Functionalized Ru(II) Photosensitizers: Effects of Molecular Charge and Immobilization of Molecular Photosensitizer, *Chem. Lett.* Vol. 120, 2016, pp.16002–16011 査読有, DOI: 10.1246/cl.160146

E. Saitoh, A. Kobayashi, M. Yoshida, M. Kato, Reduction in Crystal Size of Flexible Porous Coordination Polymers Built from Luminescent Ru(II)-metalloligands, *Cryst. Growth Des.* Vol. 16, 2016, pp.7051–7057 査読有, DOI: 10.1021/acs.cgd.6b01266

A. Kobayashi, S. Oizumi, Y. Shigeta, M. Yoshida, M. Kato, Proton-Switchable

Vapochromic Behaviour of a Platinum(II)-Carboxy-Terpyridine Complex, *Dalton Trans.* Vol. 45, 2016, 17485–17494. 査読有, DOI: 10.1039/C6DT03189G

Y. Shigeta, A. Kobayashi, T. Ohba, M. Yoshida, T. Matsumoto, H.-C. Chang, M. Kato, Shape-memory Platinum(II) Complexes: Intelligent Vapor-History Sensor with ON-OFF Switching Function, *Chem. Eur. J.* Vol. 22, 2016, pp.2682–2690 査読有, DOI: 10.1002/chem.201503247

Y. Okano, H. Ohara, A. Kobayashi, M. Yoshida, M. Kato, Systematic Introduction of Aromatic Rings to Diphosphine Ligands for Emission Color Tuning of Dinuclear Copper(I) Iodide Complexes, *Inorg. Chem.* Vol. 55, 2016, 1978–1985. 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.6b00161

A. Kobayashi, T. Hasegawa, M. Yoshida, M. Kato, Environmentally-Friendly Mechanochemical Syntheses and Conversions of Highly Luminescent Cu(I) Dinuclear Complexes, *Inorg. Chem.* Vol. 55, 2016, 1978–1985. 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b02160

K. Shimada, A. Kobayashi, Y. Ono, H. Ohara, T. Hasegawa, T. Taketsugu, E. Sakuda, S. Akagi, N. Kitamura, M. Kato, Core-Structure-Dependent Luminescence of Thiolato-Bridged Copper(I) Cluster Complexes, *J. Phys. Chem. C* Vol. 120, 2016, 16002–16011. 査読有, DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12688

A. Watanabe, A. Kobayashi, E. Saitoh, Y. Nagao, M. Yoshida, M. Kato, Visualization of Ion-conductivity: Vapochromic Luminescence of an Ion-conductive Ru(II)-metallo-ligand-based Porous Coordination Polymer, *Inorg. Chem.* Vol. 54, 2015, pp.11058–11060 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b02077

M. Ebina, A. Kobayashi, T. Ogawa, M. Yoshida, M. Kato, Impact of Carboxyl Group on Cyclometalated Ligand: Hydrogen-Bond- and Coordination-Driven Self-Assembly of Luminescent Pt(II) Complex, *Inorg. Chem.* Vol. 54, 2015, pp.8878–88800 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b01343

T. Hayashi, A. Kobayashi, H. Ohara, M. Yoshida, T. Matsumoto, H.-C. Chang, M. Kato, Vapochromic Luminescence and Flexibility Control of Porous Coordination Polymers by Substitution of Luminescent Multinuclear Cu(I)-cluster Nodes, *Inorg. Chem.* Vol. 54, 2015, 8905–8913. 査読有, DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b00578

A. Kobayashi, T. Ohba, E. Saitoh, Y. Suzuki, S. Noro, H.-C. Chang, M. Kato, Flexible Coordination Polymers Composed of

Luminescent Ru(II)-Metallo-ligands: Importance of Position of Coordination Site in Metallo-ligands, *Inorg. Chem.* Vol. 53, 2014, pp.2910–2921 査読有, DOI: 10.1021/ic402683j

[学会発表](計20件)

A. Kobayashi, S. Furugori, M. Yoshida, M. Kato, Photocatalytic H₂ and O₂ evolution reactions driven by Ru(II)-complex-immobilized TiO₂ nanoparticles, *2017 International Conference on Artificial Photosynthesis*, 2017/3/2-5, 立命館大学(京都府・京都市)

K. Sawaguchi, A. Kobayashi, M. Yoshida, M. Kato, Construction of inorganic-organic hybrid systems for efficient photo-hydrogen evolution, *2017 International Conference on Artificial Photosynthesis*, 2017/3/2-5, 立命館大学(京都府・京都市)

山本 尚孝・重田 泰宏・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, ホスホン酸基を有するジイミン白金(II)錯体の合成と光物性, *化学系学協会北海道支部 2017年冬季研究発表会*, 2017/1/17-18, 北海道大学(北海道・札幌市)

大塚 滉喜・古郡 想悟・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, 触媒捕捉を指向したピリジルアンカー修飾型ルテニウム(II)錯体の光酸素発生反応, *化学系学協会北海道支部 2017年冬季研究発表会*, 2017/1/17-18, 北海道大学(北海道・札幌市)

古郡 想悟・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, 光増感膜を固定化したナノ光触媒による水の光酸化・還元触媒反応, *錯体化学会第66回討論会*, 2016/9/10-12, 福岡大学(福岡県・福岡市)

Y. Shigeta, M. Yoshida, A. Kobayashi, M. Kato, Vapochromic Behavior of a Luminescent Pt(II) Complex Having a Porous Hydrogen-bonded Crystal Structure, *錯体化学会第66回討論会*, 2016/9/10-12, 福岡大学(福岡県・福岡市)

A. Kobayashi, Ru(II)-Photosensitizer-Immobilized TiO₂ Photocatalyst: Interfacial Charge Separation for Water Oxidation and Reduction, *The 1st Japan-Australia Joint Symposium on Coordination Chemistry*, 2016/9/9-10, 福岡大学(福岡県・福岡市)

古郡 想悟・小林 厚志・吉田 将己・加藤 昌子, 光増感分子固定化型ナノ粒子光触媒による水の光触媒的酸化・還元反応, *2016年光化学討論会*, 2016/9/6-8, 東京大学(東京都・目黒区)

K. Sawaguchi, M. Yoshida, A. Kobayashi, M. Kato, Important effect of the surface defect level on CdSe quantum dot for photocatalytic hydrogen evolution, *International Symposium on Pure and*

Applied Chemistry 2016, 2016/8/15-18, クチン (マレーシア)

北野 裕嗣・澤口 加奈・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, レドックス活性鉄錯体を正孔伝達剤として利用した Pt 担持 CdS ナノロッドの光水素発生反応, 第28回配位化合物の光化学討論会, 2016/8/8-10, 京都工芸繊維大学(京都府・京都市)

渡辺 周平・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, シクロメタレート型イリジウム錯体を用いたリンカー修飾位置の違いによる光水素発生反応の検討, 第28回配位化合物の光化学討論会, 2016/8/8-10, 京都工芸繊維大学(京都府・京都市)

A. Watanabe, E. Saitoh, M. Yoshida, A. Kobayashi, M. Kato, Synthesis of Luminescent and Ion-conductive Porous Coordination Polymer, 12th Hokkaido University-Nanjing University Joint Symposium, 2016/7/29-30, 北海道大学(北海道・札幌市)

澤口 加奈・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, 量子ドット表面保護配位子に起因する表面状態と光水素発生反応, 日本化学会第96春季年会, 2016/3/24-27, 同志社大学(京都府・京田辺)

長谷川 達哉・小林 厚志・吉田 将己・加藤 昌子, 強発光性 Cu(I)二核錯体のすりつぶし合成と発光色変換, 日本化学会第96春季年会, 2016/3/24-27, 同志社大学(京都府・京田辺)

吉田 優也・阿良田 龍哉・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, 多配位性架橋配位子を用いたヨウ化銅(I)クラスター配位高分子の構造と発光特性, 化学系学協会北海道支部 2016年冬季研究発表会, 2016/1/19-20, 北海道大学(北海道・札幌市)

A. Kobayashi, K. Sawaguchi, E. Saitoh, M. Yoshida, M. Kato, Photoinduced electron transfer reaction at the solid-liquid interface: The importance of surface of nanoparticle-based photosensitizers, *Pacificchem 2015*, 2015/12/15-20, ホノルル(米国)

A. Kobayashi, T. Hayashi, M. Yoshida, M. Kato, Development of intelligent sensors based on Cu(I)-cluster luminophore, *Pacificchem 2015*, 2015/12/15-20, ホノルル(米国)

K. Sawaguchi, M. Yoshida, A. Kobayashi, M. Kato, Importance of the surface passivating ligand of CdSe quantum dots for photocatalytic hydrogen evolution, *Pacificchem 2015*, 2015/12/15-20, ホノルル(米国)

齋藤 英里佳・吉田 将己・小林 厚志・加藤 昌子, Ru(II)錯体配位子から成る PCP の結晶サイズ縮小による吸着挙動への影

響, 第5回 CSJ 化学フェスタ 2015, 2015/10/13-15, 北海道大学(北海道・札幌市)

古郡 想悟・小林 厚志・吉田 将己・加藤 昌子, リンカー部位を有する発光性ルテニウム(II)錯体の合成と光酸素発生反応, 錯体化学会第65回討論会, 2015/9/21-23, 奈良女子大学(奈良県・奈良市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 厚志 (KOBAYASHI, Atsushi)

北海道大学・大学院理学研究院・准教授

研究者番号: 50437753