

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26708009

研究課題名(和文)複合型分子状金属酸化物の相乗的機能に基づく触媒開発

研究課題名(英文)Catalyst Development by Synergistic Effects of Complex Metal Oxide Clusters

研究代表者

鈴木 康介 (SUZUKI, Kosuke)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40595667

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：分子状金属酸化物と金属多核構造や有機分子等の相乗的機能を基盤として、可視光応答性や電子・プロトン貯蔵特性を合わせ持つ高機能分子触媒を開発した。これらの分子触媒は可視光応答性の分子内電荷移動特性を有し、酸素を酸化剤としたアミンやスルフィドの酸化反応や、アルコールを還元剤としたスルホキンドやピリジンN-オキシドの還元的脱酸素反応に高い選択性と活性を示すことを見出した。

研究成果の概要(英文)：The visible-light-responsive molecular catalysts were successfully developed by utilizing synergistic effects of molecular metal oxide clusters with multinuclear metal cores or organic molecules. These catalysts showed the intramolecular charge transfer properties by irradiation with visible light. In addition, they showed selective, efficient photocatalysis for the oxidation reactions of amines and sulfides using molecular oxygen as the oxidant as well as the reductive deoxygenation reactions of sulfoxides and pyridine N-oxides using alcohols as the reducing agents.

研究分野：錯体化学、触媒化学

キーワード：触媒 ポリオキシメタレート 金属多核構造 光触媒 ナノ材料 構造・機能材料

1. 研究開始当初の背景

可視光を駆動力とした高効率・高選択的な有用化合物の合成やエネルギー変換反応の実現に向けた次世代触媒の開発は、エネルギー問題や資源問題への対応に向けた重要な課題の一つである。このような触媒系の実現には、可視光応答性と多電子/プロトン貯蔵特性に加え、実用化に向けた堅固性を合わせ持つ、新たな設計指針に基づく高次機能分子触媒の開発が求められる。分子状金属酸化物は、構成元素、分子構造、酸化状態等に応じて酸化還元電位、酸性度、光物性等の化学的・物理的性質を容易に設計できる。また、酸化還元反応への高い耐久性を有し、酸化物であることから優れた耐熱性と耐酸化性も有している。さらに、多電子/プロトンを一分子内に同時に貯蔵可能であることに加え、光応答型電荷移動特性を示すことから、有望な光触媒材料の1つであると言える。特に、タングステン酸化物クラスターは、構成元素の酸素原子からタングステンへの分子内電荷移動を利用することで、優れた光触媒特性を示すことが報告されてきた。しかし、酸素に由来するHOMOとタングステンに由来するLUMOのHOMO-LUMO間のエネルギー差が大きいため、高エネルギーの紫外光による励起が必要であった。そのため、エネルギーの効率的利用や、反応選択性等の観点で課題が残されていた。一方、研究代表者らは、配位サイトを有する分子状金属酸化物に様々な金属多核構造を導入することにより、導入金属と分子状金属酸化物の相乗的機能に立脚した高機能触媒や材料開発への展開を進めてきた。これらの研究背景をもとに、分子状金属酸化物と金属酸化物クラスターや有機分子を複合化することにより、上述の特性を有する優れた可視光応答型光触媒を開発できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、分子状金属酸化物と金属多核構造や有機分子等からなる複合材料の相乗的機能・協奏作用に基づいて、可視光応答性、高い設計性と堅固性、多電子/プロトン貯蔵特性を合わせ持つ分子触媒を開発することを目的とする。特に、これらの触媒の可視光応答性や電子/プロトン貯蔵特性を活用し、様々な酸化反応および還元反応に高活性、高選択性を示す環境調和型触媒システムを開発する。

3. 研究の方法

本研究では、分子状金属酸化物であるポリオキシメタレートを利用して、金属多核構造の導入や、有機分子と複合化することにより、これらの材料の相乗的機能を利用した触媒設計を行う。まず、配位サイトを有する欠損型シリコタングステートを用いて、金属多核構造(金属酸化物クラスター)を構築し、金属多核構造からタングステン酸化物への可

視光応答型電荷移動特性を有する新たな分子材料を開発する。また、アルコール等の配位により、アルコールからタングステン酸化物への効率的な電荷移動が可能な可視光応答型触媒システムを開発する。これらの材料を用いて、酸素を酸化剤とした選択酸化反応、アルコールを還元剤とした選択還元反応・脱酸素反応に向けた高機能触媒の開発を行う。さらに、種々の分光学的手法、電気化学的手法、計算化学的手法を用いて、分子構造と物性や触媒特性との関係を明らかにするとともに、新たな分子状金属酸化物の合成や構造設計法の開発も行うことにより、優れた触媒材料の開発へと展開することを目指す。

4. 研究成果

(1) セリウム四核構造を導入した可視光応答型分子状タングステン酸化物触媒の開発

まず、分子状タングステン酸化物を基盤とする可視光応答型分子触媒の開発を目指し、セリウム四核クラスターを内包した分子状タングステン酸化物触媒(Ce4)を開発した(図1)。二原子欠損型シリコタングステートTBA₄H₄[γ -SiW₁₀O₃₆] (TBA = [(n-C₄H₉)₄N]⁺)とセリウム(III)アセチルアセトナトを有機溶媒中で1:2の物質質量比で反応させることにより、Ce4を合成することに成功した。単結晶X線構造解析と質量分析より、4つセリウム(III)イオンが2つの[γ -SiW₁₀O₃₆]⁸⁻ユニットに挟まれた構造体が生成したことを明らかにした。紫外可視吸収スペクトルおよび量子化学計算より、可視光領域にセリウム(III)からタングステン(VI)への分子内電荷移動遷移に帰属される吸収帯が観測された。可視光照射実験より、本触媒が分子内電荷移動特性を示し、酸化還元触媒として機能することを見出した。本触媒の存在下、可視光を照射することで、一気圧の酸素を酸化剤とした第一級アミンおよび第二級アミンの酸化反応に高い活性を示すことを明らかにした。本触媒は反応後に容易に回収可能であり、顕著な活性の低下なく少なくとも3回の再使用が可能であった。質量分析およびIRスペクトルより、回収した触媒は元の構造を保持していることが示唆された。また、本触媒は第三級アミンの酸化的 α -シアノ化反応にも高い活性を示した。シアノ基が2つまたは3つ導入された生成物は観測されず、様々なトリアルキルアミンから対応する α -アミノニトリルが位置選択的に得られた。さらに、一気圧の酸素を酸化剤としたスルフィドの選択酸化反応にも高い活性を示すことを見出した。

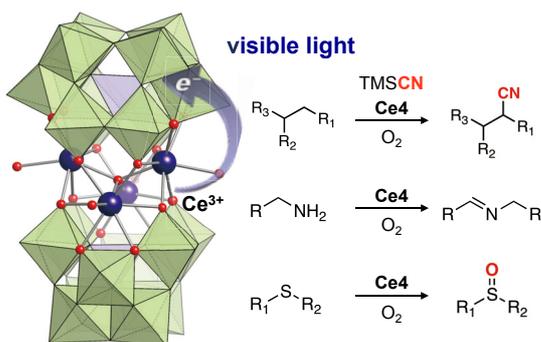


図1. セリウム四核構造を導入した可視光応答型分子状タングステン酸化物触媒

(2) スズ六核構造を導入した分子状タングステン酸化物の開発

分子状タングステン酸化物にスズ(II)六核構造および混合原子価スズ(II)/スズ(IV)六核構造を導入することにより、可視光応答性を有する構造体の合成に成功した(図2)。二原子欠損型シリコタングステート $TbA_4H_6[\alpha-SiW_9O_{34}]$ と酢酸スズ(II)を有機溶媒中で反応させることにより、スズ(II)六核構造を有する分子状タングステン酸化物を合成した。この構造の6つのスズ(II)のうち3つを選択的に酸化することにより、混合原子価スズ(II)/スズ(IV)六核構造を合成することにも成功した。スズ(II)上の孤立電子対が六核構造の内側および外側に配向し、特異構造を安定化に寄与していることが示唆された。これらの構造体ではスズ(II)による新たな HOMO が形成され、主にタングステン(VI)の軌道からなる LUMO との HOMO-LUMO 間のエネルギー差が顕著に小さくなることを見出した。紫外可視吸収スペクトルより、スズ(II)からタングステン(VI)への分子内電荷移動遷移遷移に由来する吸収帯を有することを確認し、可視光応答型光触媒として機能することを見出した。

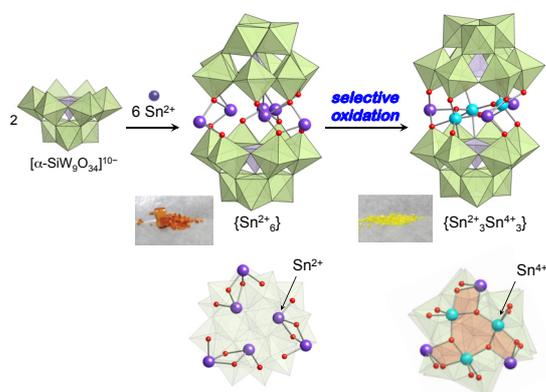


図2. スズ(II)六核および混合原子価スズ(II)/スズ(IV)六核構造を導入した分子状タングステン酸化物

(3) 欠損型分子状タングステン酸化物を用いた可視光応答型触媒の開発

欠損型分子状タングステン酸化物の配位部位(欠損部位)にアルコールを導入することにより、多電子貯蔵が可能な可視光応答型酸化還元触媒を開発した(図3)。 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ にアルコール(4-メトキシベンジルアルコール等)を添加すると、紫外可視吸収スペクトルにおいて紫外光領域のみに観測されていた吸収帯が長波長側に顕著にシフトし、可視光領域に吸収帯が現れた。質量分析より、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の欠損部位にアルコールが配位していることが確認された。アルゴン雰囲気下においてこの溶液に紫外光を照射すると、溶液の色は1分以内に淡黄色から濃青色へと変化し、650 nm 付近に新たな吸収帯が観測された。この吸収帯は、タングステン(V)/タングステン(VI)の原子価間電荷移動遷移に帰属され、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の二電子還元体が生成したことを明らかにした。また、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ と等量のアニソアルデヒドが生成した。これらの結果より、可視光照射により、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の欠損部位に配位したアルコールからタングステン(VI)への電荷移動が効率的に進行し、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の二電子還元体が生成したことが分かった。この濃青色溶液にニトロベンゼンを加えると、溶液は直ちに元の淡黄色に戻った。以上より、 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ へのアルコールの配位により可視光応答型電荷移動特性が発現し、酸化還元触媒として機能することが示唆された。

本触媒系は、可視光照射により様々な有機基質の選択還元反応に高い活性を示すことを見出した。触媒量の $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の存在下、アルコールを還元剤として可視光を照射することにより、ニトロベンゼンの六電子還元反応が進行した。ニトロベンゼンからアニリンが選択的に生成し、アルコールから生成したアルデヒドと反応することで、 *N*-アリアルイミンをワンポットで合成することができた。特に、 $C=C$ 、 $C\equiv C$ 、 Cl 、 $C=O$ 等の還元されうる官能基を有する基質を用いた場合においてもニトロ基が選択的に還元され、対応する *N*-アリアルイミンが高収率・高選択的に生成した。

また、本触媒系を用いて、アルコールを還元剤としたスルホキシドやピリジン *N*-オキシドの還元的脱酸素反応にも高い活性を示すことを見出した。 $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ の欠損部位は、配位したアルコールから $TbA_4H_4[\gamma-SiW_{10}O_{36}]$ への電荷移動部位としてだけでなく、スルホキシドやピリジン *N*-オキシドの配位部位として機能することにより、これらの基質への効率的な電荷移動を可能にしていることを見出した。

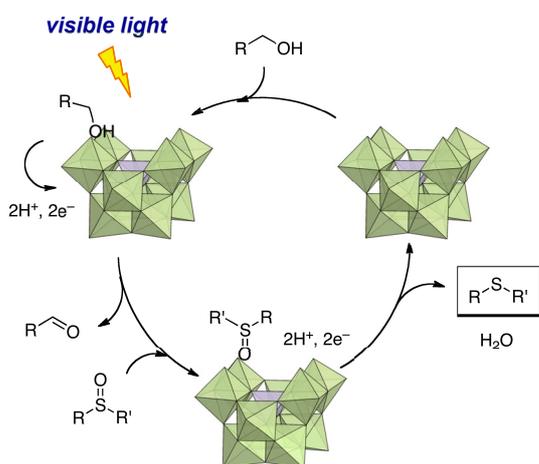


図3. 欠損型分子状タングステン酸化物を用いた可視光応答型触媒によるスルホキシドの還元的脱酸素反応

(4) 六欠損型タングステン酸化物の開発と多量体構造の合成

二種類の配位部位を有する新規六欠損型タングステン酸化物 $\text{TBA}_{3.75}\text{H}_{10.25}[\text{P}_2\text{W}_{12}\text{O}_{48}]$ を合成し、マンガンイオンとの複合化により大環状構造を合成することに成功した(図4)。 $\text{TBA}_{3.75}\text{H}_{10.25}[\text{P}_2\text{W}_{12}\text{O}_{48}]$ と四当量のマンガンイオンを反応させることにより、大環状構造を合成した。単結晶 X 線構造解析より、生成物は $[\text{P}_2\text{W}_{12}\text{O}_{48}\text{Mn}_4]$ ユニットからなる環状六量体構造であることを明らかにした。その内径はこれまでに報告されているポリオキソタングステートの中で最も大きいことを明らかにした(内径 $19.6 \text{ \AA} \times 14.4 \text{ \AA}$) また、マンガン(III)イオンに配位している有機配位子を脱離させることにより、アニオン構造の再構築が進行し、より内径の小さい環状四量体構造が生成した。劇的な構造再構築にも関わらず、 $[\text{P}_2\text{W}_{12}\text{O}_{48}\text{Mn}_4]$ ユニット構造が保持されており、分解や異性化を伴わずに複数種の相互作用点を有する多量体構造を再構築することに初めて成功した。これらの新規欠損型分子状酸化物の合成やそれを用いた構造構築手法の開発に関する成果は、今後新たな触媒システムの開発に向けた重要な知見になると考えられる。

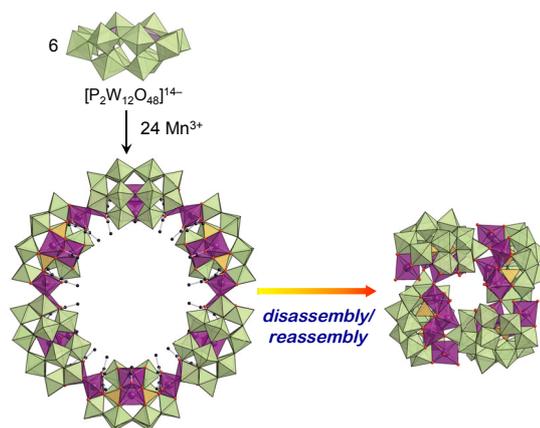


図4. 六欠損型タングステン酸化物とマンガンイオンを用いた大環状六量体の合成と四量体への構造再構築反応

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 14 件)

- ① “Synthesis of bismuth–tungsten oxide nanoclusters using lacunary polyoxometalates”, T. Hanaya, K. Suzuki, R. Sato, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *Dalton Trans.* *in press*. DOI: 10.1039/C7DT01587A, 査読有
- ② “Phosphovanadomolybdic acid catalyzed direct C–H trifluoromethylation of (hetero)arenes using NaSO_2CF_3 as the CF_3 source and O_2 as the terminal oxidant”, C. Li, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *New J. Chem.* **2017**, *41*, 1417–1420. DOI: 10.1039/C6NJ03654F, 査読有
- ③ “Selective Deoxygenation of Pyridine N-Oxides through Photoredox Catalysis of a Dilacunary Silicotungstate”, J. Jeong, K. Suzuki, M. Hibino, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *ChemistrySelect* **2016**, *1*, 5042–5048. DOI: 10.1002/slct.201601146, 査読有
- ④ “Hexanuclear tin(II) and mixed valence tin(II,IV) oxide clusters within polyoxometalates”, K. Suzuki, T. Hanaya, R. Sato, T. Minato, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *Chem. Commun.* **2016**, *51*, 10688–10691. DOI: 10.1039/C6CC05284C, 査読有
- ⑤ “Synthesis and Disassembly/Reassembly of Giant Ring-Shaped Polyoxotungstate Oligomers”, T. Minato, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2016**, *55*, 9630–9633. DOI: 10.1002/anie.201604094, 査読有
- ⑥ “Water- and Temperature-Triggered Reversible Structural Transformation of

Tetranuclear Cobalt(II) Cores Sandwiched by Polyoxometalates”,
Y. Kuriyama, Y. Kikukawa, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Chem. Eur. J. **2016**, *22*, 3962–3966.
DOI: 10.1002/chem.201600139, 査読有

⑦ “Sequential Synthesis of 3d-3d'-4f Heterometallic Heptanuclear Clusters in between Lacunary Polyoxometalates”,
R. Sato, K. Suzuki, T. Minato, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Inorg. Chem. **2016**, *55*, 2023–2029.
DOI: 10.1021/acs.inorgchem.5b02358, 査読有

⑧ “Photoredox catalysis for oxygenation/deoxygenation between sulfides and sulfoxides by visible-light-responsive polyoxometalates”,
K. Suzuki, J. Jeong, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
New J. Chem. **2016**, *40*, 1014–1021.
DOI: 10.1039/C5NJ01045D, 査読有

⑨ “A cascade approach to hetero-pentanuclear manganese-oxide clusters in polyoxometalates and their single-molecule magnet properties”,
K. Suzuki, R. Sato, T. Minato, M. Shinoe, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Dalton Trans. **2015**, *44*, 14220–14226.
DOI: 10.1039/C5DT01363A, 査読有

⑩ “Field-Induced Slow Magnetic Relaxation of Octahedrally Coordinated Mononuclear Fe(III)-, Co(II)-, and Mn(III)-Containing Polyoxometalates”,
R. Sato, K. Suzuki, T. Minato, M. Shinoe, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Chem. Commun. **2015**, *51*, 4081–4084.
DOI: 10.1039/C4CC09435B, 査読有

⑪ “Visible-Light-Responsive Multielectron Redox Catalysis of Lacunary Polyoxometalates Induced by Substrate Coordination to Their Lacuna”,
K. Suzuki, J. Jeong, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Chem. Asian J. **2015**, *10*, 144–148.
DOI: 10.1002/asia.201403072, 査読有

⑫ “Hydrogen Evolution Using the Visible-Light-Induced Metal-to-Polyoxometalate Multiple Electron Transfer”,
K. Suzuki, F. Tang, Y. Kikukawa, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Chem. Lett. **2014**, *43*, 1429–1431.
DOI: 10.1246/cl.140450, 査読有

⑬ “Visible-Light-Induced Photoredox Catalysis with a Tetracerium-Containing Silicotungstate”,
K. Suzuki, F. Tang, Y. Kikukawa, K. Yamaguchi, N. Mizuno,
Angew. Chem. Int. Ed. **2014**, *53*, 5356–5360.
DOI: 10.1002/anie.201403215, 査読有

⑭ “Synthesis of α -Dawson-Type Silicotungstate $[\text{Si}_2\text{W}_{18}\text{O}_{62}]^{8-}$ and Protonation and Deprotonation Inside the Aperture via Intramolecular Hydrogen Bonds”,
T. Minato, K. Suzuki, K. Kamata, N. Mizuno,
Chem. Eur. J. **2014**, *20*, 5946–5952.

DOI: 10.1002/chem.201400390, 査読有

[学会発表] (計 29 件)

- ① C. Li, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Phosphovanadomolybdic Acid Catalyzed Trifluoromethylation of Arenes”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市)
- ② T. Minato, Y. Ohata, R. Sato, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Sequential Synthesis of Heterometallic Nonanuclear Clusters by Utilizing Lacunary Polyoxometalates”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市)
- ③ 鄭進宇, 鈴木康介, 山口和也, 水野哲孝, “二欠損型シリコタングステート可視光応答型光触媒によるピリジン N-オキシドの選択的脱酸素反応”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市)
- ④ 鈴木康介, 花屋巧, 佐藤林太, 山口和也, 水野哲孝, “p-ブロック元素を導入したシリコタングステートの合成と特性”, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶応義塾大学 (神奈川県・横浜市)
- ⑤ 鈴木康介, 鄭進宇, 山口和也, 水野哲孝, “可視光応答型シリコタングステートを用いた有機硫黄化合物の選択的光酸化還元反応”, 第 118 回触媒討論会, 2016 年 9 月 22 日, 岩手大学 (岩手県・盛岡市)
- ⑥ T. Minato, Y. Ohata, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Syntheses and Single-Molecule Magnet Properties of Hetero-Multinuclear Manganese-Oxide Clusters Possessing Large Spin Ground State”, 錯体化学会第 66 回討論会, 2016 年 9 月 10 日, 福岡大学 (福岡県・博多市)
- ⑦ 花屋巧, 鈴木康介, 佐藤林太, 湊拓生, 山口和也, 水野哲孝, “混合原子価スズ酸化物を有するポリオキシメタレート合成と光触媒特性”, 錯体化学会第 66 回討論会, 2016 年 9 月 10 日, 福岡大学 (福岡県・博多市)
- ⑧ K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Visible-light-responsive photoredox catalysis of polyoxometalates”, International Symposium on Pure & Applied Chemistry 2016, August 17, 2016, Kuching (Malaysia)
- ⑨ K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Stimuli-Responsive Reversible Structural Transformation of Multinuclear Metal Cores Sandwiched by Polyoxometalates”, 42nd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2016), July 4, 2016, Brest (France)
- ⑩ T. Minato, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Synthesis and Rearrangement of Ring-Shaped Manganese-Substituted Phosphotungstates”, 42nd International Conference on Coordination Chemistry (ICCC 2016), July 4, 2016, Brest (France)

- ⑪ 鈴木康介, 栗山陽介, 菊川雄司, 山口和也, 水野哲孝, “水および温度応答性コバルト多核構造を有するポリオキシメタレートの合成と可逆構造変換”, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年 3 月 26 日, 同志社大学(京都府・京都市)
- ⑫ 湊拓生, 鈴木康介, 山口和也, 水野哲孝, “リング状 Mn 置換ホスホタングステートの合成とアニオン構造の再構築”, 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年 3 月 26 日, 同志社大学(京都府・京都市)
- ⑬ T. Minato, K. Suzuki, K. Kamata, N. Mizuno, “Inorganic anionic cage $[\alpha\text{-Si}_2\text{W}_{18}\text{O}_{62}]^{8-}$ with reversible proton capturing inside the aperture via intramolecular hydrogen bonds”, *Pacificchem* 2015, December 17, 2015, Honolulu (USA)
- ⑭ J. Jeong, K. Suzuki, K. Yamaguchi, N. Mizuno, “Visible-light-responsive multielectron redox catalysis utilizing electron transfer from coordinated alcohols to lacunary polyoxometalates”, *Pacificchem* 2015, December 18, 2015, Honolulu (USA)
- ⑮ K. Suzuki, N. Mizuno, “Visible-light-responsive photoredox catalysis of silicotungstates”, *Pacificchem* 2015, December 17, 2015, Honolulu (USA)
- ⑯ 鈴木康介, 鄭進宇, 山口和也, 水野哲孝, “欠損型シリコタングステートを用いた可視光応答型酸化還元触媒反応”, 第 48 回酸化反応討論会, 2015 年 10 月 23 日, 同志社大学(京都府・京都市)
- ⑰ 湊拓生, 鈴木康介, 佐藤林太, 篠江真広, 山口和也, 水野哲孝, “欠損型ポリオキシメタレートを用いた異種金属五核構造の逐次合成と単分子磁石特性”, 錯体化学会第 65 回討論会, 2015 年 9 月 21 日, 奈良女子大学(奈良県・奈良市)
- ⑱ 鄭進宇, 鈴木康介, 山口和也, 水野哲孝, “Visible-light-responsive multielectron redox catalysis of lacunary polyoxometalates utilizing their lacuna”, 錯体化学会第 65 回討論会, 2015 年 9 月 22 日, 奈良女子大学(奈良県・奈良市)
- ⑲ 鈴木康介, “金属酸化物クラスターを用いた触媒および高機能材料の開発”, 触媒学会若手会第 26 回フレッシュマンゼミナール, 2015 年 5 月 9 日, 早稲田大学(東京都・新宿区)
- ⑳ 鄭進宇, 鈴木康介, 山口和也, 水野哲孝, “欠損型ポリオキシメタレートへの基質の配位による可視光応答型多電子酸化還元光触媒の開発”, 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)
- ㉑ 鈴木康介, 湯飛, 菊川雄司, 山口和也, 水野哲孝, “セリウム四核構造を導入したシリコタングステートの合成と可視光応答型酸化還元触媒特性”, 第 114 回触媒討論会, 2014 年 9 月 25 日, 広島大学(広島県・東広島市)

[図書] (計 0 件)

[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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 康介 (SUZUKI, KOSUKE)
 東京大学・大学院工学系研究科・助教

研究者番号 : 4 0 5 9 5 6 6 7

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし