

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24109015

研究課題名(和文) 感応性金属酵素中心モデルの構築と機能発現

研究課題名(英文) Modeling of Reaction Centers of Stimuli-responsive Metalloenzymes and Their Functionality

研究代表者

杉本 秀樹 (Sugimoto, Hideki)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：00315970

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,300,000円

研究成果の概要(和文)：oxy-PHMのモデル錯体合成をおこない、分子状酸素との反応について検討した。生成した単核銅(II)エンドオン型スーパーオキシ錯体は温度を上げると、配位子フェネチル側鎖のベンジル位の水酸化反応を誘起した。モリブデン酵素モデルとして、配位原子を酸素、硫黄、セレンと系統的に変えた錯体を合成し、電子構造や反応性との関連を系統的に調べた。鉄酵素モデル錯体を合成し、触媒能を検討した。過酸化水素を酸化剤として、アルケンのジオール化が進行する系を構築した。アミン存在下ではアミノアルコール化が、1,5-ジエンを用いると、酸化的環化反応が進行し、テトラヒドロフランが生成した。

研究成果の概要(英文)：Model complexes of oxy-PHM were prepared and examined in dioxygen reactivity. The formed mononuclear Cu(II)-end-on-superoxide complexes exhibited C-H bond hydroxylation at the benzylic position of a ligand phenethyl side arm at higher temperature. As model complexes of molybdoenzymes, molybdenum complexes having a terminal oxide, sulfide, and selenide group were prepared and the crystal structure, electronic structures, and reactivities were examined in a systematic way. Model complexes of iron enzymes were synthesized and the reactivities were examined in the oxidation reactions. The complexes were found to catalyze alkene dihydroxylation with hydrogen peroxide as a terminal oxidant. In the presence of amines, the alkenes were converted to aminoalcohols. When 1,5-dienes were employed as the substrate, the oxidative cyclization proceeded to yield the corresponding tetrahydrofurans.

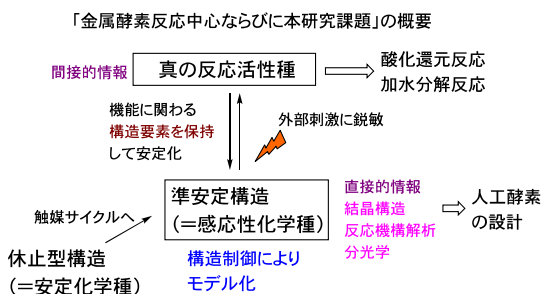
研究分野：錯体化学

キーワード：錯体化学 生物無機化学 金属酵素 バイオインスパイアード触媒

1. 研究開始当初の背景

独創的で機能に優れた物質を創造し続けることによって、我が国の科学と科学技術は発展をとげてきた。これらの基盤原理の一つをつくるのが物質創製化学であるといって過言ではない。今後も持続して物質創製化学を展開していくためには、合目的な分子デザインを可能にする新たな方法論と合成戦略の開発が不可欠である。このことは、新物性や新反応の探索だけあるいは新構造の構築だけでは困難なことであり、構造も明らかにすることができ、物性・反応性をも示す同一分子を創造・合成し、それらを研究することによってこそもたらされるであろう。従って、外場からの物理的・化学的刺激に鋭敏に応答して、機能に関わる構造要因を保持したまま、物質機能の要である高エネルギー化学種に容易に変化する「感応性化学種」を標的とする学術領域の発足が望まれた。

生体内の反応に目を向けると、複雑な有機化合物の位置および立体選択的酸素化反応が、また、無駄のない電子移動反応やシグナルセンシングが、常温・常圧の穏和な条件下で達成されている。近年の生物物理分野の発展により、酵素の約半数は遷移金属イオンを含み、多くの場合、単核や二核の金属中心が反応中心として働いていることが明らかとされている。そのような金属酵素に含まれる“真の反応活性種”の構造や物性・反応性については多くの関心が寄せられており、これらは錯体化学、特に、生物無機化学分野の重要な研究課題、“酵素モデル化学”として展開されてきた。しかし、これまでの多くの研究は反応中心に鉄ポルフィリンを含むヘム酵素に関するものであり、ポルフィリンのような強い発色団を持たない非ヘム酵素に関する情報は少なく、酵素触媒サイクルに含まれる化学種のモデル化は遅れている。このため、これまでのモデル化の対象は触媒サイクルに含まれない休止型構造が多かった。しかしながら、近年の量子化学計算などから、酵素触媒サイクルや酵素反応に直接含まれる化学種は、物理的（温度、電子や光）・化学的（基質認識や pH）刺激に応答して働く準安定種であることがわかってきた。この準安定種はまさに、本領域が追求する感応性化学種である（下図）。このような状況の中、本研究代表者ならびに連携研究者は世界に先駆けていち早く酵素反応金属中心がとる準安定化構造のモデル化に着手してきた



(*Acc. Chem. Res.* **2007**, 40, 592-600 および *Chem. Soc. Rev.* **2008**, 37, 2609-2619)

2. 研究の目的

本計画研究では、「感応性金属酵素中心モデルの構築と機能発現」と題して、酵素触媒サイクル中に存在する準安定化学種を感応性化学種として積極的にとらえる。構造面および反応面から設計することにより、合成化学的に感応性金属酵素をモデル化し、外部刺激応答性を解明するとともに、その機能と構造・電子状態との相関関係を調べて、酵素反応機構などを解明する。特に、分子状酸素 (O_2) を還元的に活性化する鉄や銅酵素、過酸化水素 (H_2O_2) を酸化剤に利用する鉄や銅酵素、水 (H_2O) を酸化的に活性化するモリブデンやタングステン錯体中に含まれる感応性構造を標的とする。さらには、感応性モデルから得た直接的情報を基に人工酵素の構築をおこなう。

3. 研究の方法

これまでも本計画班員らは精力的に酵素中心のモデル化をおこい、魅力あるモデル錯体を発表してきたが、現研究室体制では方法論などが特化されてしまうことも否めない。感応性酵素モデルのより高精密化、あるいは未到達な感応性酵素中心構造にアプローチするために、A01 班と連携し、これまでとは異なる配位子を用いて分子設計する。また、A04 班の計算化学者、構造生物化学者が提唱、発見した感応性酵素中心構造をいち早くモデル化することにより、世界に先駆けて感応性モデルを発表する。さらに、合成した感応性モデルに、領域内の計算化学や専門的な分光測定からの考察を加え、次の分子設計指針を得る。次のステージとして挙げられる感応性モデルを基盤とする人工酵素開発に関しては、A03 班からの協力を得ておこなう。加えて、準安定な感応性酵素モデル化合物は、化学的反応性だけでなく、特異な電子構造・磁性・近赤外領域の吸収などをしめすと期待されるため、A02 班との共同研究により、化学的反応性のみならず合成化合物の新物性面も引き出す。このようにして、感応性化学種の研究を通じて金属錯体を基盤とする物質創製化学の分野に新しい概念を提供する。

4. 研究成果

銅含有感応性酵素中心モデル

いままで、モデル化が成功していない銅含有の感応性酵素中心をモデル化する。ペプチジルグリシン α -ヒドロキシレーティングモノオキシゲナーゼ (PHM) は分子状酸素を活性化し、脂肪族化合物の酸素化反応を触媒する酵素である。その酸素付加体の活性中心は、2つのヒスチジンと1つのメチオニン硫黄および分子状酸素が単座 end-on 様式で銅 (II) に配位した歪んだ四面体構造を有する。

本計画班員らは歪んだ構造とC-H活性化能を有するモデル錯体の合成に取り組み、比較的硬い構造を有する1,5-ジアザシクロオクタン環骨格に2-ピリジルエチル基を導入した配位子の銅(I)錯体を調整し、分子状酸素との反応について検討した。

銅(I)錯体はT字型の配位構造をとることが単結晶構造解析によって確認された。これらと分子状酸素との反応を低温(アセトン溶媒、-80 °C)でおこない、生成する錯体の共鳴ラマンスペクトルやESRスペクトルを測定した結果、生成した錯体は三重項の単核銅(II)エンドオン型スーパーオキシ錯体であることが明らかとなった。この酸素付加錯体は歪んだ四面体構造を有しoxy-PHMの幾何構造を良く再現している。さらに、この酸素付加錯体は温度を上げると徐々に分解し、配位子フェネチル側鎖のベンジル位の水酸化反応を誘起した。速度論的同位体効果やX置換基によるハメットプロットから、この水酸化は分子内反応で、水素の引き抜きを鍵段階とするラジカル的な反応機構で進行することを提唱した。計算化学による反応機構とも一致する。

次の段階では、水素原子ドナーや電子移動還元剤との反応により、スーパーオキシ錯体1からペルオキシ状態へ還元し、銅-(ヒドロ)ペルオキシ錯体の合成、およびその反応挙動について検討した。-85 °C、アセトン溶液中で酸素付加体1にTEMPOH(4-hydroxy-2,2,6,6-tetramethyl-piperidine)を加えると、基質から錯体1への水素原子移動反応が進行し、単核銅(II)-ヒドロペルオキシ錯体2が生成した。同条件下で錯体1にフェノール誘導体を加えると、単核銅(II)フェノレート錯体3が生成した。また、反応系中から過酸化水素が約50%の収率で得られたことから、本反応はプロトン移動反応を律速段階として進行していることが示唆された。また、フェロセン誘導体などの反応により、錯体1の一電子還元電位を見積もるとともに(0.2 V vs. SCE)、ペルオキシ錯体を生成させた。錯体1とホスフィン類との反応を調べ、錯体1の求電子性も明らかとした。酵素中心の配位原子を再現するため、環状配位子の一つの窒素原子を硫黄原子で置き換えた配位子を新たに合成し、その銅(I)錯体合成した。銅(I)中心は、歪んだT字型の三配位構造であることを単結晶構造解析により明らかにした。一方、錯体の酸化電位は硫黄導入により0.10Vほど正電位側に現れ、銅(I)がより安定化されていた。

モリブデン・タングステン含有感応性酵素中心モデル

モリブデンやタングステン酵素は16族カルコゲンの原子移動を触媒している。中心金属には、二つのジチオレン配位子の他にXとして酸素や硫黄、セレンなどが配位し、酵素活性は $0 < S < Se$ の順に高くなる。ここでは、配位原子を酸素、硫黄、セレンと系統的

に変えた錯体を合成し、電子構造や反応性との関連を調べた。置換基にカルボン酸メチルを持つジチオレンを用いて、等構造をとるジオキソ-, オキソ-スルフィド-, オキソ-セレニド-モリブデン(VI)錯体を合成した(それぞれ1, 2, 3)。1は室温でも安定だが、2は-20 °C、3は-70 °C以下でのみ安定であった。錯体2および3は三級リンへの選択的な硫黄あるいはセレン原子移動反応を示した。原子移動速度は $Se > S \gg 0$ の順で速くなり、酸素とセレンの原子移動では 10^4 倍違っていた。分光学的性質や軌道計算の結果から、錯体2と3のLUMOの成分に硫黄とセレンの寄与が34%、35%程度含まれるのに対し、1では9%しか酸素は寄与せず、このことが原子移動反応性を支配していると結論した。また、等構造のタングステン錯体も合成し、中心金属の効果なども考察した。

エチルベンゼンデヒドロゲナーゼや硝酸イオン還元酵素のモデルとなるオキソ-チオラト-モリブデン(VI)錯体の合成を-40 °Cでおこなうことで成功した。錯体の結晶構造や電子構造を明らかとし、モリブデンへの硫黄の配位が錯体の還元を用意にすることを明らかとした。

人工酵素・高性能触媒

金属酵素の金属置換型モデル錯体を合成して、触媒能を追求した。まずは、アルケンのシスジオール化を触媒するRieske dioxygenaseのオスミウム置換モデル錯体を合成し、触媒能を検討した。過酸化水素を酸化剤とすることにより、原子効率100%でジオール化が進行する系を構築し、酸化活性種の構造や反応機構などを明らかにした。様々な構造・電子状態のアルケンを高収率でジオール化するばかりか、高ターンオーバーも示すため、猛毒性四酸化オスミウム代替触媒としての可能性を有する。アミン存在下ではシス選択的アミノアルコール化が進行することも見出した。さらに、基質として1,5-ジエンを用いると、酸化的環化反応がsyn選択的に進行し、テトラヒドロフランが生成することも報告した。

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 30件)

Y. Kobayashi, K. Okubo, T. Nomura, M. Kubo, N. Fujieda, H. Sugimoto, S. Fukuzumi, K. Goto, T. Ogura, and S. Itoh, "Copper(I)-Dioxygen Reactivity in a Sterically Demanding Tripodal Tetradentate tren Ligand. Formation and Reactivity of a Mononuclear Copper(II) End-on Superoxo Complex", *Eur. Inorg. Chem.*, 査読有, 2012, 4574-4578 (2012).

A. Kunishita, M. Z. Ertem, Y. Okubo, T. Tano, H. Sugimoto, K. Ohkubo, N. Fujieda,

S. Fukuzumi, C. J. Cramer, and S. Itoh "Active Site Models for the Cu_A Site of PHM and D_βM", *Inorg. Chem.*, 査読有、 51, 9465-9480 (2012).

T. Tano, H. Sugimoto, N. Fujieda, S. Itoh, "Heterolytic O-O Bond Cleavage of Alkylhydroperoxide by Copper(II) Complexes", *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有、 2012, 4099-4103 (2012).

H. Sugimoto, K. Kitayama, S. Mori, and S. Itoh, "An Osmium(III)/Osmium(V) Redox Couple Generating Os^V(O)(OH) Center for *cis*-1,2-Hydroxylation of Alkenes with H₂O₂: Os Complex with a Nitrogen-based Tetradentate Ligand", *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有、 134, 19270-19280 (2012).

H. Sugimoto, S. Tatemoto, K. Toyota, K. Ashikari, M. Kubo, T. Ogura, and S. Itoh, "Oxo-Sulfido- and Oxo-Selenido-Molybdenum(VI) Complexes Possessing Olefinic Dithiolene Ligand Related to the Active Sites of Hydroxylases of Molybdoenzymes: Low Temperature Preparation and Characterisation", *Chem. Comm.*, 査読有、 49, 4358-4360 (2013).

J. Takaichi, K. Ohkubo, H. Sugimoto, M. Nakano, D. Usa, H. Maekawa, N., Fujieda, N. Nishiwaki, S. Seki, S. Fukuzumi, and S. Itoh, "Copper Complexes of Non-innocent β-Diketimate Ligand containing Phenol Groups", *Dalton Trans.*, 査読有、 42, 2438-2444 (2013).

H. Sugimoto, K. Hatakeda, K. Toyota, S. Tatemoto, M. Kubo, T. Ogura, and S. Itoh, "A New Series of Bis(ene-1,2-dithiolato)tungsten(IV), -(V), -(VI) Complexes as Reaction Centre Models of Tungsten Enzymes: Preparation, Crystal Structures and Spectroscopic Properties", *Dalton Trans.*, 査読有、 42, 3059-3070 (2013).

H. Sugimoto, Kenji Ashikari, and S. Itoh, "C-H Activation of the Supporting Ligand in an Osmium(III) Complex with H₂O₂: Formation of Organometallic Os(IV) Complex", *Inorg. Chem.*, 査読有、 52, 543-545 (2013).

H. Sugimoto, K. Ashikari, and S. Itoh, "Osmium(III) and Osmium(V) Complexes Bearing a Macrocyclic Ligand: A Simple and Efficient Catalytic System for *cis*-Dihydroxylation of Alkenes with Hydrogen Peroxide", *Chem. Asian J.*, 査読有、 8, 2154-2160 (2013).

T. Tano, Y. Ohkubo, A. Kunishita, M. Kubo, H. Sugimoto, N. Fujieda, T. Ogura, and S. Itoh, "Redox Properties of Mononuclear Copper(II)-Superoxide Complex Having a Distorted Tetrahedral

Geometry", *Inorg. Chem.*, 査読有、 52, 10431-10437 (2013).

H. Sugimoto, M. Sato, L. J. Giles, K. Asano, T. Suzuki, M. L. Kirk, and S. Itoh, "Oxo-carboxylato-molybdenum(VI) Complexes possessing Dithiolene Ligand Related to the Active Site of TypeII Class of DMSOR Family of Molybdoenzymes", *Dalton Trans.*, 査読有、 42, 15927-15930 (2013).

T. Tano, K. Mieda, H. Sugimoto, T. Ogura, and S. Itoh, "A copper complex supported by an N₂S-tridentate ligand inducing efficient heterolytic O-O bond cleavage of alkylhydroperoxide", *Dalton Trans.*, 査読有、 43, 4871-4877 (2014).

J. Takaichi, Y. Morimoto, K. Ohkubo, C. Shimokawa, T. Hojo, S. Mori, H. Asahara, H. Sugimoto, N. Fujieda, N. Nishiwaki, S. Fukuzumi, and S. Itoh, "Redox Chemistry of Nickel(II)-Complexes Supported by a Series of Non-innocent β-Diketimate Ligands", *Inorg. Chem.*, 査読有、 53, 6159-6169 (2014).

T. Abe, Y. Morimoto, T. Tano, K. Mieda, H. Sugimoto, N. Fujieda, T. Ogura, and S. Itoh, "Geometric Control of Nuclearity in Copper(I)/Dioxygen Chemistry", *Inorg. Chem.*, 査読有、 53, 8786-8794 (2014).

H. Sugimoto, A. Mikami, K. Kai, P. K. Sajith, Y. Shiota, K. Yoshizawa, K. Asano, T. Suzuki, and S. Itoh, "*cis*-1,2-Aminohydroxylation of Alkenes Involving a Catalytic Cycle of Osmium(III) and Osmium(V) Centers: Os^V(O)(NHTs) Active Oxidant with a Macrocyclic Tetradentate Ligand", *Inorg. Chem.*, 査読有、 54, 7073-7082 (2015).

Y. Morimoto, J. Takaichi, S. Hanada, K. Ohkubo, H. Sugimoto, N. Fujieda, S. Fukuzumi, and S. Itoh, "Redox behavior of novel nickel and palladium complexes supported by trianionic non-innocent ligand containing β-diketimate and phenol groups", *Journal of Porphyrins and Phthalocyanines*, 2015, 査読有、 19, 377-387 (2015).

Y. Morimoto, S. Bunno, H. Sugimoto, F. Nobutaka, and S. Itoh, "Direct Hydroxylation of Benzene to Phenol Using Hydrogen Peroxide Catalyzed by Nickel Complexes Supported by Pyridylalkylamine Ligands", *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有、 137, 5867-5870 (2015).

S. Paria, T. Ohta, Y. Morimoto, T. Ogura, H. Sugimoto, N. Fujieda, K. Goto, K. Asano, T. Suzuki, and S. Itoh, "Generation, Characterization, and Reactivity of a Cu(II)-alkylperoxide/aniline-radical

Complex: Insight into the O-O Bond Cleavage Mechanism”, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有、137, 19870-19873 (2015).

J. Gregolinski, M. Hikita, T. Sakamoto, H. Sugimoto, H. Tsukube, and H. Miyake “Redox-Triggered Helicity Inversion in Chiral Cobalt Complexes in Combination with H⁺ and NO₃⁻ Stimuli”, *Inorg. Chem.*, 査読有、55, 633-643 (2016).

H. Sugimoto, M. Sato, K. Asano, T. Suzuki, K. Mieda, T. Ogura, T. Matsumoto, L. J. Giles, A. Pokhrel, M. L. Kirk, S. Itoh, “A Model for the Active Site Formation in DMSO Reductase Family Molybdenum Enzymes Involving Oxido-alcoholato- and Oxido-thiolato-molybdenum(VI) Complexes” *Inorg. Chem.*, 査読有、55, 1542-1550 (2016).

⑳ H. Sugimoto, T. Kanetake, K. Maeda, and S. Itoh, “Oxidative Cyclization of 1,5-Dienes with Hydrogen Peroxide Catalyzed by an Osmium(III) Complex: Synthesis of *cis*-Tetrahydrofurans”, *Org. Lett.*, 査読有、18, 1246-1249 (2016).

㉑ N. Fujieda, T. Nakano, Y. Taniguchi, H. Ichihashi, H. Sugimoto, Y. Morimoto, Y. Nishikawa, G. Kurisu, S. Itoh, “A Well-Defined Osmium-Cupin Complex: Hyperstable Artificial Osmium Peroxygenase”, *J. Am. Chem. Soc.*, 査読有、139, 5149-5155 (2017).

㉒ D. Fujita, H. Sugimoto, Y. Shiota, Y. Morimoto, K. Yoshizawa, and S. Itoh, “Catalytic C-H amination driven by intramolecular ligand-to-nitrene one-electron transfer through a rhodium(III) centre”, *Chem. Commun.*, 査読有、53, 4849-4852 (2017).

㉓ A. Parrot, Y. Morimoto, S. Paria, H. Sugimoto, N. Fujieda, and S. Itoh, “Generation and characterization of a stable nickel(II)-aminoxy radical complex”, *Dalton. Trans.*, 査読有、46, 8013-8016 (2017).

㉔ I. Shimizu, Y. Morimoto, D. Faltermeier, M. Kerscher, S. Paria, T. Abe, H. Sugimoto, N. Fujieda, K. Asano, T. Suzuki, P. Comba, S. Itoh, “Tetrahedral Copper(II) Complexes with a Labile Coordination Site Supported by a Tris-tetramethylguanidinate Ligand”, *Inorg. Chem.*, 査読有、56, 9634-9645 (2017).

㉕ T. Abe, Y. Morimoto, K. Mieda, H. Sugimoto, N. Fujieda, T. Ogura, and S. Itoh, “Geometric Effects on O-O Bond Scission of Copper(II)-alkylperoxide Complexes”, *J. Inorg. Biochem.*, 177, 375-383 (2017).

㉖ 杉本秀樹、伊東忍、“生体模倣型オスミウム錯体を触媒とするアルケンの酸化的変

換反応”有機合成化学協会誌、査読有、75, 929-940 (2017).

㉗ H. Sugimoto, K. Kiriyama, S. Itoh, “Osmium(III) Complexes Coordinated with Polypyridylmethylamine-based Hexadentate Ligands: Reactivity toward External Anions”, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有、178-185 (2018).

㉘ S. Paria, Y. Morimoto, T. Ohta, S. Okabe, H. Sugimoto, T. Ogura, S. Itoh, “Copper(I)-Dioxygen Reactivity in the Isolated Cavity of a Nanoscale Molecular Architecture”, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 査読有、1976-1983 (2018).

㉙ D. Fujita, H. Sugimoto, Y. Morimoto, S. Itoh, “Non-innocent Ligand in Rhodium(III) Complex Catalyzed C-H Bond Amination with Tosyl Azide”, *Inorg. Chem.*, 査読有、DOI: 10.1021/acs.inorgchem.8b00289.

〔学会発表〕(計 件)

杉本秀樹、第 43 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、名古屋工業大学、2012 年
杉本秀樹、芦刈健治、三上明音、伊東忍、第 46 回酸化反応討論会、筑波大学、2013 年
Hideki Sugimoto, Kazuhiro Kitayama, Kenji Ashikari, Shinobu Itoh, The 2nd Japan-France Coordination Chemistry Symposium, Nara, 2013 年.

杉本秀樹、三上明音、伊東忍、日本化学会第 94 回春季年会、名古屋大学、2014 年

杉本秀樹、建元奨、豊田和男、伊東忍、第 24 回金属の関与する生体関連反応シンポジウム、京都薬科大学、2014 年

Hideki Sugimoto, Kenji Ashikari, Kazuhiro Kitayama, Shinobu Itoh, The 64th Conference of Japan Society of Coordination Chemistry, Chuo University, 2014 年

Hideki Sugimoto, Kenji Ashikari, Kazuhiro Kitayama, Shinobu Itoh, Asian Biological Inorganic Chemistry Conference, Australia, 2014 年

杉本秀樹、三上明音、甲斐賢一郎、P. K. Sajith、塩田淑仁、吉澤一成、朝野薫、鈴木健之、伊東忍、第 48 回酸化反応討論会、同志社大学、2015 年

Hideki Sugimoto, Kenji Ashikari, Kazuhiro Kitayama, Akine Mikami, Shinobu Itoh, Pacificchem, 2015 年

Hideki Sugimoto, Kenichiro Kai, Shinobu Itoh, 日本化学会第 96 回春季年会、Doshisha University, 2016 年

Hideki Sugimoto, Kenichiro Kai, Mayuko Miyanishi, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa, Shinobu Itoh, The 66th Conference of Japan Society of Coordination Chemistry, Fukuoka University, 2016 年

Hideki Sugimoto, The 4th International Symposium for Young Chemists on Stimuli-Responsive Chemical Species for Creation of Functional Molecules, Osaka University, 2016 年

Hideki Sugimoto, Department Seminar, Wuhan University, 2017 年

〔図書〕(計 2 件)

H. Sugimoto, Synthesis of mono- and bisdithiolene Mo and W model compounds. *In Molybdenum and Tungsten Enzymes: Bioinorganic Chemistry-RSC Metallobiology Series No. 5*, 166-193; R. Hille, C. Schulzke, and M. L. Kirk., Eds.; The Royal Society of Chemistry, 2017.

杉本秀樹, “モリブデン・タンゲステン含有酵素” 新生物無機化学, 214-232; 監修伊東忍、青野利一、林高史 共編、三共出版、2017

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 秀樹 (SUGIMOTO Hideki)
大阪大学大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00315970

(2) 研究分担者

なし ()

(3) 連携研究者

伊東 忍 (IOTH Shinobu)
大阪大学大学院工学研究科・教授
研究者番号: 30184659

(4) 研究協力者

北山和寛 (KITAYAMA Kazuhiro)
建元奨 (TATEMOTO Susumu)
畠田康平 (HATAKEDA Kohei)
芦刈健治 (ASHIKARI Kenji)
三上明音 (MIKAMI Akine)
前田和紀 (MAEDA Kazuki)
佐藤正典 (SATO Masanori)
金武孝幸 (KANETAKE Takayuki)
桐山佳保里 (KIRIYAMA Kahori)
甲斐賢一郎 (KAI Kenichiro)
平田優香 (HIRATA Yuka)
青木くるみ (AOKI Kurumi)
藤本智弘 (FUJIMOTO Tomohiro)