

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：34310

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630414

研究課題名(和文)安価な酸化剤を用いる効率的な酸化反応媒の開発

研究課題名(英文)Development of efficient oxidation catalysts with cheap oxidants

研究代表者

小寺 政人(Kodera, Masahito)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：00183806

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：sMMOはメタン資化細菌に含まれ、酸素分子を活性化してメタンからメタノールへの酸化を触媒する非ヘム二核鉄酸化酵素である。sMMOの機能を再現する高い酸化活性を示す金属錯体の開発が必要である。sMMOの二核鉄に配位する豊富なカルボキシラト基の効果を明らかにするため、それを模倣したモデル研究が注目されている。我々はアルカンの酸化反応において高い触媒能を持つ二核鉄錯体Fe₂Lglyを合成し、それを触媒としたアルカンの高速・高効率・高選択的水酸化反応に成功した。本研究では、Fe₂Lglyなどのカルボン酸含有二核鉄錯体を用いてシクロヘキサンやアダマンタンの高効率・高速水酸化反応に成功した。

研究成果の概要(英文)：Soluble methane monooxygenases (sMMO) are nonheme diiron enzymes that catalyze oxidation of various organic compounds. Diiron centers of sMMO are coordinated by two imidazole donors of His residues and by four carboxylate donors of Glu residues. In this study we synthesized four different carboxylate-rich dinucleating ligands, 1,2-bis(N-benzyl-2-amino-methyl-6-pyridyl)ethane-N,N'-diglycine (H₂Lgly), 1,2-bis(6-aminomethyl-2-pyridyl)ethane-N,N'-di-(norleucine) (H₂Lnle), 1,2-bis(6-aminomethyl-2-pyridyl)ethane-N,N'-di(N-methylnorleucine) (H₂LMenle), 1,2-bis(N-(9-anthracene)-2-aminomethyl-6-pyridyl)ethane (H₂Lanthracenegly). These ligands form diiron complexes, which rapidly and efficiently catalyzed the oxidation of alkanes with m-CPBA as an oxidant to show high A/K ratio, large turnover number, large turnover frequency in the catalytic oxidations. These are attained by the carboxylate-rich coordination environment.

研究分野：生物無機化学 bioinorganic chemistry

 キーワード：可溶性メタンモノオキシゲナーゼ 酸素分子活性化 安価な酸化剤 カルボキシル基含有二核化配位子
 アルカン水酸化 カルボキシラト基の効果 A/K比 触媒回転数

1. 研究開始当初の背景

可溶性メタンモノオキシゲナーゼ(soluble methane monooxygenase, sMMO)はメタン酸化細菌の細胞質に含まれる可溶性の酸化酵素である。メタン酸化細菌はメタンだけをエネルギー源および炭素源として使用して生育する菌であり、このメタンを一原子酸素化するものがsMMOである。メタンはそのC-H結合エネルギーが104 kcal/molと大きく、また双極子モーメントがゼロである為に、C-H結合の接岸による酸化反応が最も困難なアルカンである。sMMOはこのメタンを高速高効率にメタノールへ一原子酸素化する酵素であり、その活性中心には二核鉄を持つ非ヘム二核鉄酸化酵素である。

メタン酸化細菌は様々な炭化水素を水酸化することができるが、メタン以外のアルカンをエネルギー源および炭素源として利用することはない。一方、sMMOは様々な炭化水素の一原子酸素添加反応を効率的に触媒することができるため、合成化学的立場からの応用価値が注目されてきた。sMMOは、酸素分子を酸化剤として用いている為に最も安価な酸化剤を使って、合成化学や工業化学において有用なアルコール、エポキシド、フェノールなどを産出できる高い可能性をもった一原子酸素添加酵素である。はじめにメタン酸化細菌からsMMOを単離せずに、培養した菌そのものを利用する研究が試みられたが、メタンをメタノールに変換しても、これはさらにホルムアルデヒドに変換されて同化する反応経路が速やかに進行する為にメタノールの生産には利用できない。またメタン以外の炭化水素は、特異的な基質ではないので効率的な酸化システムとしては組上げる事ができていない。このような状況から、sMMOを単離してこれを工業化学的に利用する試みが検討された。しかしsMMOは、還元酵素、調節タンパク質、水酸化酵素の3つの酵素からなる複合タンパク質であり、これらが結合開裂を繰り返しながらメタンの酸化反応を効率的に触媒している。従って、これらの複合酵素の活性を制御する事は困難であり、sMMOの取扱いが難しく、酵素自身を用いた反応システムは非効率であるので応用には限界がある。

sMMOを利用した効率的な酸化反応システムを組上げる為には、sMMOの酸素活性化機構を明らかにする事が重要であり、これまでに多くの研究が行われてきた。sMMOの酸素活性化は、その還元体である二核鉄(II)が酸素分子と反応してパーオキシ中間体Pとなり、このO-O結合が壊裂する事によって活性化されて酸化活性種Qが生成し、この活性種Qがメタンの一原子酸素化を引き起こしていると考えられている。しかし、活性種Qは反応性が高く、非常に不安定であるため、メスバウアースペクトルやEXAFSなどの様々な分光学的手法を用いても十分には同定されてい

い。

研究代表者は、sMMOに注目し、その高い酸化活性を再現する金属錯体の開発を目指してきた。sMMOは二核鉄の活性部位で効率的に酸素分子を活性化し、これにより生じる酸化活性種はメタンをメタノールに水酸化することができる高い酸化能力と高い選択性を示す。sMMOそのものを用いた研究には限界があるので、sMMOの配位環境を模倣した低分子量のモデル化合物を用いた研究が盛んに行われてきた。低分子量で単純な構造を持つモデル化合物は不安定な生体酵素と比較して扱いやすいという利点がある。

今回はsMMOのモデル化合物を設計するにあたって、その構造に注目した。sMMOはX線結晶構造解析により活性中心は4つのGluのカルボキシラト基と2つのHisのイミダゾール基が配位した二核鉄からなり、それぞれの鉄イオンは6配位構造をとっていることが分かっている。この鉄に配位しているカルボキシル基は、配向を変化し位置を僅かに変えることで酸素活性化機構におけるFe-Fe間の距離や酸化還元電位を変化させる。これはカルボキシルシフトと呼ばれている。このようにsMMOの豊富なカルボキシラト基は酸素分子の活性化に重要な役割を果たしている。

sMMOの構造を模倣したカルボン酸含有二核鉄(III)錯体が以前にも報告されているが、モデル研究としてくつかの問題があった。具体的には、単核化配位子を用いた集積型錯体の研究では、溶液中において二核鉄構造の安定性が低いために単核錯体と二核錯体の混合物として存在し、二核鉄酵素であるsMMOの機能モデルとしては問題があった。二核構造を溶液中で安定化する事ができる内因性アルコール架橋基を持つ二核化配位子を持つ研究が報告されているが、この内因性架橋基が鉄-鉄間距離を固定するため、パーオキシ中間体や酸化活性種において鉄-鉄間距離が変化するsMMOの機能モデルにはなりにくい。

研究代表者は内因性架橋基を持たないヘキサピリジン二核化配位子を用いた安定な二核鉄錯体 $[\text{Fe}_2(\text{O})(\text{AcO})_2(\text{hexpy})](\text{ClO}_4)_2$ (1)を開発し、*m*-CPBAを用いたアルカンの水酸化反応において高い触媒能力を持つことを報告している。

2. 研究の目的

sMMOは、水素原子の引抜きが最も困難なアルカンであるメタンを高速高効率にメタノールへと一原子酸素化する反応を触媒する非ヘム二核鉄酸化酵素である。その高い酸化能力は様々な有機化合物の酸化反応にも適用でき、応用価値は非常に高いと考えられる。しかし、sMMOそのものを用いた実用触媒の開発には限界があり、その配位環境を模倣した錯体触媒の研究が注目されている。

しかし sMMO の二核鉄の carboxylate-rich な配位環境を模倣した錯体の研究は遅れている。本研究では、carboxylate-rich な配位環境を再現した二核化配位子の二核鉄錯体を開発して、そのアルカン酸化触媒の開発を目指した。

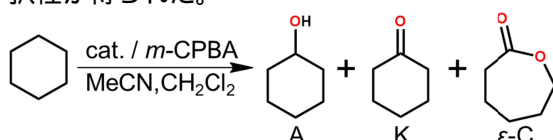
3. 研究の方法

本研究では 1,2-bis(2-pyridyl)ethane 部位の両側に α -アミノ酸を導入したカルボン酸含有の様々な新規二核化配位子 1,2-bis(*N*-benzyl-2-aminomethyl-6-pyridyl)ethane-*N,N'*-diglycine (H_2L_{gly}), 1,2-bis(6-aminomethyl-2-pyridyl)ethane-*N,N'*-dinorleucine (H_2L_{nle}), 1,2-bis(*N*-methyl-6-aminomethyl-2-pyridyl)ethane-*N,N'*-di-norleucine ($H_2L_{nle}^{Me}$), 1,2-bis(*N*-methylantracene-2-amino-methyl-6-pyridyl)ethane-*N,N'*-diglycine ($H_2L_{gly}^{Ant}$) を合成した。さらに、これらを用いてカルボキシラトリッチな二核鉄錯体 $[Fe_2(O)(AcO)_2(L_{gly})]$ (Fe_2L_{gly}), $[Fe_2(O)(AcO)_2(L_{nle})]$ (Fe_2L_{nle}), $[Fe_2(O)(AcO)_2(L_{nle}^{Me})]$ ($Fe_2L_{nle}^{Me}$), $[Fe_2(O)(AcO)_2(L_{gly}^{Ant})]$ ($Fe_2L_{gly}^{Ant}$) (Figure 1-3) を合成した。本研究では、これらの錯体を触媒として用いて、*m*-CPBA を酸化剤とするアルカン類の酸化反応を検討した。これにより、これらのカルボキシラトリッチな配位環境を持つ二核鉄錯体は、様々なアルカンの水酸化反応に対して高い酸化活性を示す事が明らかになった。これらの結果から、カルボキシラトリッチな配位環境だけでなく、これらの配位子によって提供される疎水性側鎖による触媒の高い疎水性がアルカンの水酸化反応に重要な役割を持つことを明らかにすることを目的とした。

4. 研究成果

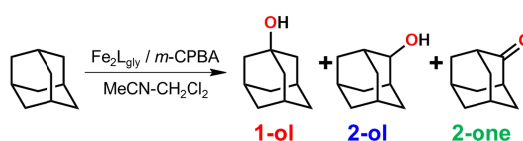
(1) 基質酸化反応

アミノ酸としてベンジルグリシンを導入した錯体 Fe_2L_{gly} を触媒として用いた水酸化反応では、主生成物としてシクロヘキサノール、副生成物としてシクロヘキサノンや ϵ -カプロラクトンなどが生成した。これらの生成物は順に逐次的に生成し、シクロヘキサノールとシクロヘキサノンは触媒反応によるものだが ϵ -カプロラクトンは触媒の関与しないバイヤー・ビリガー酸化によるものである。反応開始後 20 分では、シクロヘキサノールの収率は 57%、酸化生成物の全収率は 71% と非常に高かった。また 1 分後では、TOF は 329 と非常に速い反応であり、A/K 比は 32 と高い選択性が得られた。



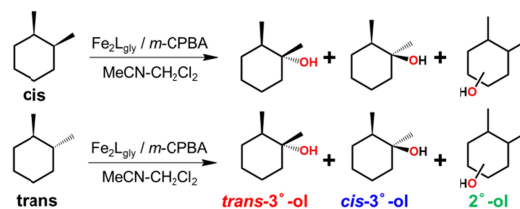
Scheme 1 Hydroxylation of cyclohexane catalyzed by Fe_2L_{gly}

次に、基質にアダマンタンを用いて酸化反応を行ったところ主生成物に 1-アダマンタノール、副生成物として 2-アダマンタノールや 2-アダマンタノンなどが生成した。反応開始後 60 分では、1-アダマンタノールの収率は 57%、3°/2° 比は 11 であった。反応速度ではシクロヘキサンの反応と比べて少しだけ低下していた。これはアダマンタンの溶解度が低く、反応溶液中の濃度が低いため、錯体と基質の衝突頻度が小さいことが原因と考えられる。しかし実際には TOF は 289 と速い反応であり、 Fe_2L_{gly} はアダマンタンに対しても高選択的、高効率に反応を触媒することが示された。



Scheme 2 Hydroxylation of adamantane catalyzed by Fe_2L_{gly}

同様に、*cis*-および *trans*-1,2-ジメチルシクロヘキサンの酸化反応を行ったところ、主生成物として *trans*-1,2-ジメチルシクロヘキサノール、*cis*-1,2-ジメチルシクロヘキサノールが生成し、高速、高収率な触媒能力が見られた。しかし、生成物は立体保持でなく、*cis* 体のアルコールの収率が *trans* 体のアルコールの収率より大きかった。この結果は C-H 結合の水素を引き抜いた後で起こる酸素のリバウンドが遅く、生じた炭素ラジカルの反転が起こり、より立体障害の少ない *cis*-1,2-ジメチル構造から酸素原子のリバウンドが起こったことを示唆している。



Scheme 3 Hydroxylation of dimethylcyclohexane catalyzed by Fe_2L_{gly}

次にアミノ酸としてノルロイシンを導入した錯体 Fe_2L_{nle} を触媒としてシクロヘキサンの反応では、TOF は 271、A/K 比は 20 となり、 Fe_2L_{gly} を触媒とした時と比べて、TOF も選択性も低下した。反応開始後 20 分で反応が完了し、シクロヘキサノールの収率は 34%、Total の収率は 59% となり、 Fe_2L_{gly} を触媒とした方が高かった。ここで、2つの錯体 Fe_2L_{gly} と

$\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}$ の側鎖アルキル基の炭素数は、 $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{gly}}$ は両側にベンジル基がついているので 12 個、 $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}$ は両側にブチル基がついているので 8 個となり、 $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{gly}}$ の方が側鎖アルキル基の疎水性が高い。このことから側鎖アルキル基の疎水性が高いほどアルコールの収率、選択性が上がったといえる。これは基質であるシクロヘキサンの近づきやすい環境となり、反応性が上がったことが原因と考えられる。

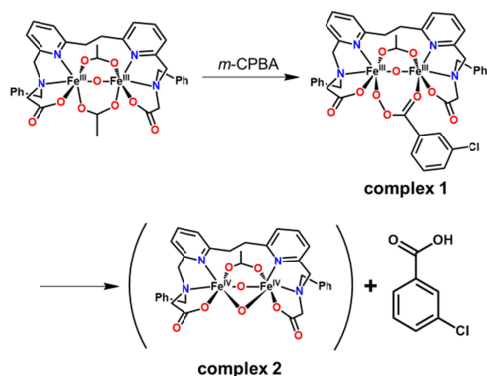
続いて $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}^{\text{Me}}$ を触媒としてシクロヘキサンの水酸化反応を行った。始めは $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}$ と同条件で水酸化反応を行ったが、 $\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}$ を用いた場合とあまり収率に差が見られなかった。しかし、メチル基を導入していることで錯体の疎水性があがり、基質を今までの倍の 30 mmol まで溶かすことができた。それによりシクロヘキサノールの収率の増加が確認された。これは基質濃度の増加により錯体と基質の衝突頻度が増えたことが原因だと考えられる。

Table 1 The oxidation of cyclohexane with *m*-CPBA catalyzed by various complexes

complex	A (%)	K (%)	ϵ -C (%)	Total (%)	TON
$\text{Fe}_2\text{L}_{\text{gly}}$	57	3.6 (1.8)	7.3 (2.4)	71	1500(2400)
$\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}^{\text{Me}}$	50	15 (7.5)	7.2 (2.4)	73	838(1200)
$\text{Fe}_2\text{L}_{\text{nle}}$	34	13 (6.5)	11 (3.6)	59	650(1200)

(2) 酸化反応メカニズム

二核鉄錯体を触媒とするアルカンの酸化反応において、副生成物として *m*-クロロ安息香酸の生成が GC で確認された。これは *m*-CPBA の O-O 結合がヘテロリティックに開裂したことを示している。*m*-クロロ安息香酸の生成から Scheme 4 のような酸化反応メカニズムを考察した。まず錯体のアセテート部位が *m*-CPBA が交換し complex 1 のような構造をとり、その後、*m*-CPBA の O-O 結合がヘテロリティックに開裂して complex 2 のような構造をとると考えられ、これがアルカンの水素の引き抜きを起こしていると考えられる。



Scheme 4 Structure of the active site diiron center of sMMO

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 19 件)

- (1) Specific Enhancement of Catalytic Activity by a Dicopper Core: Selective Hydroxylation of Benzene to Phenol with Hydrogen Peroxide, Tomokazu Tsuji, Antonius Andre Zaoputra, Yutaka Hitomi, Kaoru Mieda, Takashi Ogura, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa, Hiroyasu Sato, Masahito Kodera, *Angew. Chem. Int. Ed.*, in press, (2017) 査読有
- (2) DNA Cleavage through Reductive Dioxigen Activation by Iron-Bleomycin Mimics with Carboxamido Ligation: Correlation between DNA Cleavage Efficacy and Redox Potential, Akiko Nomura, Yuji Iwamoto, Kengo Arakawa, Akihiro Kashida, Masahito Kodera, Yutaka Hitomi, *Chem. Lett.*, in press, (2017). 査読有
- (3) Cellular Application of Cell-membrane Permeable Fluorescent Zinc Probe Having a Cationic Peptide Tail, Akiko Nomura, Akihiro Kashida, Masahito Kodera, Yutaka Hitomi, *Peptide Science*, 173-174, (2017). 査読有
- (4) Formation and High Reactivity of the anti-Dioxo Form of High-Spin μ -Oxodioxodiiron(IV) as the Active Species That Cleaves Strong C-H Bonds, Masahito Kodera, Shin Ishiga, Tomokazu Tsuji, Katsutoshi Sakurai, Yutaka Hitomi, Yoshihito Shiota, P. K. Sajith, Kazunari Yoshizawa, Kaoru Mieda, Takashi Ogura, *Chem. Euro. J. (Hot Paper)*, **22**, 5924-5936, (2016). 査読有
- (5) Effect of central metal ions on the cytotoxicity of metalloporphyrins having a cationic peptide tail, Akiko Nomura, Natsumi Ohashi, Ryosuke Miyachi, Masahito Kodera, Yutaka Hitomi, *Peptide Science*, 261-265, (2015). 査読有
- (6) Uncaging a Catalytic Hydrogen Peroxide Generator through the Photo-Induced Release of Nitric Oxide from a $\{\text{MnNO}\}^6$ Complex, Yuji Iwamoto, Masahito Kodera, Yutaka Hitomi, *Chem. Commun.*, **51**, 9539-9542, (2015) 査読有
- (7) Mononuclear Nonheme Iron(III) Complexes that Show Superoxide Dismutase-like Activity and Antioxidant Effects against Menadione-Mediated Oxidative Stress, Yutaka Hitomi, Yuji Iwamoto, Akihiko Kashida, Masahito Kodera, *Chem. Commun.*, **51**, 8702-8704, (2015) 査読有
- (8) Gold Nanoparticles Coated with Manganese-Porphyrin that Effectively Shorten the Longitudinal Relaxation Time of Water Molecules Depending on the Particle Size,

- Yutaka Hitomi, Kazuki Aoki, Ryosuke Miyachi, Junya Ohyama, Masahito Kodera, Tsunehiro Tanaka, and Fuminori Sugihara, *Chem. Lett.*, **12**, 1901-1903 (2014) 査読有
- (9) Synthesis, Stability and Reactivity of the First Mononuclear Nonheme Oxidation(IV) Species with Monoamido Ligation: A Putative Reactive Species Generated from Iron-Bleomycin, Yutaka Hitomi, Kengo Arakawa, Masahito Kodera, *Chem. Commun.*, **50**, 7485-7487, (2014). 査読有
- (10) Development of Green-Emitting Iron Complex-Based Fluorescent Probes for Intracellular Hydrogen Peroxide Imaging, Yutaka Hitomi, Toshiyuki Takeyasu, Masahito Kodera, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **87**, 819-824 (2014). 査読有
- (11) Nucleophilic Ring-opening of meso-Substituted 5-Oxaporphyrin by Oxygen, Nitrogen, Sulfur, and Carbon Nucleophiles, Kazuhisa Kakeya, Masakatsu Aozasa, Tadashi Mizutani, Yutaka Hitomi, Masahito Kodera, Yuka Kawahara, Yutaka Hitomi, Takashi Nomura, Takashi Ogura, Yoshio Kobayashi *J. Org. Chem.*, **79**, 2591-2600 (2014). 査読有
- (12) Roles of carboxylate donors in O-O bond scission of peroxodiiron(III) to high-spin oxodiiron(IV) with a new carboxylate-containing dinucleating ligand, Masahito Kodera, Tomokazu Tsuji, Tomohiro Yasunaga, Yuka Kawahara, Tomoya Hirano, Yutaka Hitomi, Takashi Nomura, Takashi Ogura, Yoshio Kobayashi, P. K. Sajith, Yoshihito Shiota, Kazunari Yoshizawa, *Chem. Sci.*, **5**, 2282-2292 (2014). 査読有
- (13) Electronic Tuning of Nitric Oxide Release from Manganese Nitrosyl Complexes by Visible Light Irradiation: Enhancement of Nitric Oxide Release Efficiency by Nitro-Substituted Quinoline Ligand, Yutaka Hitomi, Yuji Iwamoto, Masahito Kodera, *Dalton Trans.*, **43**, 2161-2167 (2014). 査読有

〔学会発表〕招待講演（計 14 件）

- (1) Masahito Kodera, Bioinspired dimetal complexes: extremely high catalytic activity for the oxidation of benzene with hydrogen peroxide, 8th Asian Biological Inorganic Chemistry, December 4-9, 2016, Auckland (New Zealand). (Invited lecture)
- (2) Masahito Kodera, Formation and high reactivity of anti-dioxo form of high-spin μ -oxodioxo-iron(IV) that cleaves a strong C-H bond, 42st International Conference on Coordination Chemistry, July 2-8, 2016, Brest (France). (Invited lecture)
- (3) Masahito Kodera, Formation and High Reactivity of High-Spin Anti-Dioxo Diiron(IV) as the Real Active Species to

- Cleave a Strong C-H Bond, 2nd Japan-Singapore-Taiwan Trilateral Symposium in Coordination Chemistry, Golden Jubilee Chemistry Conference on August 6-8 2015, NUSS Kent Ridge Guild House, Singapore. (Invited lecture)
- (4) Masahito Kodera, Highly reactive anti-dioxo high-spin diiron(IV), 19th International Conference of Cytochrome P450, Jun 12-15, 2015, National Olympics Memorial Youth Center, Tokyo (Japan). (Invited lecture)
- (5) 小寺政人, sMMO の高い酸化力を再現する二核鉄錯体触媒の開発, 分子研研究会, 2015 年 1 月 6-7 日, 自然科学研究機構岡崎コンファレンスセンター(愛知県・岡崎市)(招待講演)
- (6) Masahito Kodera, High-Spin Oxodiiron(IV) Active Species $[O=Fe(IV)]_2O$ that Cleaves Strong C-H Bond: Formation Mechanism and Efficient Alkane Oxidation with H_2O_2 , 7th Asian Biological Inorganic Chemistry Conference, 30 November-5 December, 2014, Gold Coast (Australia). (Invited lecture)
- (7) 小寺政人, 非ヘム二核鉄酵素の酸素活性化を再現する二核鉄錯体, 第 5 1 回錯体化学若手の会近畿支部勉強会, 2014 年 12 月 9 日, 大阪大学(大阪府・大阪市)(招待講演)
- (8) 小寺政人, 高いアルカン酸化活性をもつ高スピン二核鉄(IV)オキシの生成, 第 45 回中化連秋季大会, 2014 年 11 月 29, 30, 中部大学(愛知県・春日井市)(招待講演)
- (9) Masahito Kodera, Formation and Reactivity of Anti-Dioxo High-Spin Diiron(IV) Active Species $[O=Fe(IV)]_2O$, 2nd Japan-UK Joint Symposium on Coordination Chemistry, September 16-19, 2014, Tokyo (Japan). (Invited lecture)
- (10) Masahito Kodera, Role of Carboxylate Donors in O-O Bond Scission of Peroxodiiron(III) to High-Spin Oxodiiron(IV) with a New Carboxylate-containing Dinucleating Ligand, 41st International Conference on Coordination Chemistry, July 21-25, 2014, Singapore. (Invited lecture)

他 4 件

〔学会発表〕(計 80 件)

- (1) Antonius Andre Zaoputra, Tomokazu Tsuji, Yutaka Hitomi, Masahito Kodera, Direct Oxidation of Benzene to Phenol with H_2O_2 Catalyzed by Dinickel Complexes Stabilized by Dinucleating Ligands, 42st International Conference on Coordination Chemistry, July 2-8, 2016, Brest (France).
- (2) Yuki Kadoya, Kenta Aso, Katsuki Fukui, Yutaka Hitomi, Masahito Kodera, DNA cleavage activity and Cell Insertion of Dinuclear Metal Complexes as Ant-Cancer

Drugs, 42st International Conference on Coordination Chemistry, July 2-8, 2016, Brest (France).

- (3) Shinya Hachigata, Kou Kitayama, Tomokazu Tsuji, Yutaka Hitomi, Masahito Kodera, Development of Dicopper Complexes as a Cathode Catalyst for Polymer Electrolyte Fuel Cell: Control of the Redox Potential, 42st International Conference on Coordination Chemistry, July 2-8, 2016, Brest (France).
- (4) Katsutoshi Sakurai, Masahito Kodera, Electronic effect of ligand on high-spin μ -oxodioxodiiron(IV), 42st International Conference on Coordination Chemistry, July 2-8, 2016, Brest (France).

他 76 件

〔図書〕(計 2 件)

- (1) 小寺政人、「フロンティア生物無機化学」(伊東忍、青野重利、林高史 編著) 527 (80-169)、三共出版、2016 年 12 月 1 日
- (2) 小寺政人、「クライトン生物無機化学」(Robert R. Crichton 著、塩谷光彦 監訳) 354 (228-238)、東京化学同人、2016 年 3 月 30 日

〔産業財産権〕

出願状況(計 4 件)

名称: 二核化配位子又は二核金属錯体
発明者: 小寺政人、福井克樹、角谷優樹
権利者: 学校法人同志社
種類: 特許
番号: 特願 2017-031307
出願年月日: 2017 年 2 月 22 日
国内外の別: 国内

名称: フェノール系化合物の製造方法
発明者: 小寺政人、辻朋和
権利者: 学校法人同志社
種類: 特許
番号: 特願 2016-087637
出願年月日: 2016 年 4 月 26 日
国内外の別: 国内

名称: フェノール系化合物の製造方法
発明者: 小寺政人、アントニウスアンドレザ オプトラ、辻朋和
権利者: 学校法人同志社
種類: 特許
番号: 特願 2015-184828
出願年月日: 2015 年 9 月 18 日
国内外の別: 国内

名称: 燃料電池用電極触媒およびそれを用いた燃料電池用電極並びに燃料電池
発明者: 小寺政人、辻朋和、北山航
権利者: 学校法人同志社
種類: 特許

番号: 特願 2015-060382
出願年月日: 2015 年 3 月 24 日
国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等
<http://www1.doshisha.ac.jp/~mkodera1/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
小寺 政人 (KODERA MASAHIITO)
同志社大学・理工学部・教授

研究者番号: 00183806