

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：25503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05850

研究課題名(和文)核共鳴非弾性散乱分光によるセンサー蛋白質の気体感知機構の解明

研究課題名(英文)NRVS study of diatomic gas sensing mechanism of hemoproteins

研究代表者

太田 雄大(OHTA, Takehiro)

山陽小野田市立山口東京理科大学・工学部・准教授

研究者番号：70509950

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：気体分子結合型ヘムの分子構造の解析は、各種ヘム蛋白質の分子機構の解明に重要である。本研究では、放射光施設を利用した核共鳴非弾性散乱分光法(NRVS)を用いてミオグロビンの分子構造の解析を行った。NRVSは、核共鳴原理を利用した革新的な振動分光法で、核共鳴した鉄原子近傍の全ての振動モードの観測を可能にする。酸素結合型ミオグロビンの解析では、ヘム鉄-酸素結合の分子振動構造について、従来の見解とは異なる新たな知見を得た。本成果は、酸素もしくは他の2原子気体分子と相互作用し、分子内情報伝達により機能発現する各種ヘム蛋白質の研究に新たな展開をもたらす。

研究成果の学術的意義や社会的意義

気体分子結合型ヘムの分子構造の解析は、各種ヘム蛋白質の分子機構の解明に重要である。本研究では、放射光施設を利用した核共鳴非弾性散乱分光法(NRVS)により、ミオグロビンのヘム鉄近傍の分子振動構造解析を行った。酸素結合型ミオグロビンの解析では、ヘム鉄-酸素結合の分子振動構造について、従来の見解とは異なる新たな知見を得た。本成果は、酸素もしくは他の2原子気体分子と相互作用し、分子内情報伝達により機能発現する各種ヘム蛋白質の研究に新たな展開をもたらす。

研究成果の概要(英文)：Nuclear resonance vibrational spectroscopy (NRVS) was applied to myoglobin. The nature of Fe-O₂ bond in oxy Hb and Mb had been extensively investigated by resonance Raman spectroscopy, which assigned the Fe-O₂ stretching bands at 570 cm⁻¹. However, resonance Raman assignment of the vibrational mode had been elusive due to the spectroscopic selection rule and to the limited information available about the ground-state molecular structure. NRVS analyses in conjunction with DFT calculations gave new insights into the nature of the Fe-O₂ bond of oxy heme by revealing the effect of heme peripheral substitutions on the vibrational dynamics of heme Fe atom, where the main Fe-O₂ stretching band of the native protein was characterized at 420 cm⁻¹. Thus, NRVS shed new light on the molecular mechanism of hemoproteins that function upon binding of diatomic gas molecules.

研究分野：生物無機化学 錯体化学 振動分光学

キーワード：核共鳴非弾性散乱分光 共鳴ラマン分光 ヘム蛋白質 気体センサー蛋白質

1. 研究開始当初の背景

気体分子が結合したヘム鉄の分子構造の解析は、各種ヘム蛋白質の分子機構の理解に重要である。従来、当該分野の研究では、共鳴ラマン分光法が主に用いられ、その発展に貢献してきた。しかし、共鳴ラマン分光法には分光学的選択則があり、観測不可能な分子振動モードが存在する。したがって、ヘム蛋白質のメカニズムの解明において鍵となる分子構造の情報が未だ得られていない可能性がある。一方で、核共鳴非弾性散乱分光法 (**Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopy** もしくは **NRVS**) は、核共鳴原理 (メスバウワー効果) を利用した革新的な振動分光法で、核共鳴した鉄原子近傍の全ての振動モードの観測を可能にする。本研究代表者らは、ヘム蛋白質のモデル化合物について **NRVS** 測定を行い、本手法がヘム鉄近傍の分子構造解析に効果的に利用できることを示してきた。したがって、次の段階の研究として、ヘム蛋白質の気体分子結合と情報伝達機構の解明を目標にした。本手法により、酸素運搬貯蔵蛋白質や、一酸化窒素センサー **sGC** をはじめとする各種気体センサー蛋白質の分子機構の研究に、進展がもたらされると期待される。

2. 研究の目的

NRVS により、気体分子が結合したヘム蛋白質のヘム鉄近傍の分子振動構造を明らかにする。軸配位子と鉄の間の結合の分子振動および 200 cm^{-1} 以下のヘム鉄の低振動数の分子振動モードは、ヘム鉄の反応性をコントロールする重要な分子機構と考えられているが、共鳴ラマン分光法では分光学的選択則のために、それらの性質について十分に明らかにされてこなかった。**NRVS** では鉄の変位を含む全ての振動モードの観測が可能になることから、量子化学計算を併用して基準振動解析を行うことで、分子構造、振動構造、そして電子状態の相関を明らかにすることができる。ヘム鉄蛋白質としてミオグロビンを試料に用いて研究し、**sGC** をはじめとする将来の研究に向けた基盤をつくることを目的とする。

3. 研究の方法

^{57}Fe でエンリッチしたヘム鉄蛋白質試料の **NRVS** 測定は、大型放射光施設 **SPring-8** の **BL09XU** にて行った。また、ヘム鉄の振動構造の解析のために、ヘム鉄近傍の分子構造について密度汎関数法計算を用いた量子化学計算を行い、分子構造の最適化と基準振動モードの解析を行った。本解析をもとに、振動状態密度 ($^{57}\text{FePVDOS}$) をシミュレーションし、実験により得られたものと比較検討した。

4. 研究成果

酸素結合型と一酸化炭素結合型ミオグロビンの **NRVS** 解析を行った。一酸化炭素結合型ミオグロビンの解析では、鉄と一酸化炭素の結合に関していくつかのコンフォメーションが存在し、蛋白質とヘム鉄に結合した一酸化炭素との相互作用が動的であることを明らかにした。このような動的な機構は、ミオグロビンによる一酸化炭素の感知機構に重要な役割をもつと考えられる。酸素結合型ミオグロビンの解析では、これまでの共鳴ラマン分光による研究で **Fe-OO** 伸縮振動モードと帰属されていた 570 cm^{-1} 付近に観測される振動バンドは、**Fe-O-O** 変角モードとして帰属されうること示した。一方、**Fe-OO** 伸縮振動モードは、**NRVS** において、 $\sim 420\text{ cm}^{-1}$ 付近に観測されることを明らかにした (Figure 2 と 3)。これまで、酸素結合型ヘム蛋白質の共鳴ラマン分光解析により $\sim 420\text{ cm}^{-1}$ 付近に酸素同位体感受性を示す振動バンドが観測された例がいくつか報告されてきたが、それらの振動バンドの強度は弱い。一方 **NRVS** では、強い強度で振動バンドが観測されることから、このモードは鉄の面外振動の寄与が大きいことが理解される。ミオグロビンのヘム鉄には、ヒスチジン側鎖のイミダゾールが軸配位しており、ヘム鉄の構造変化を蛋白質骨格に情報伝達する

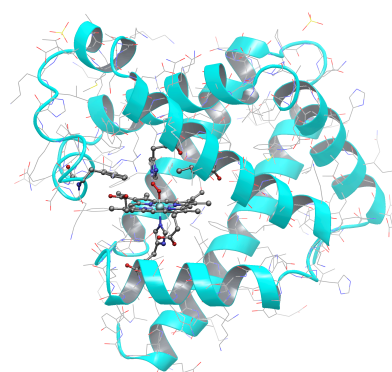


Figure 1. Myoglobin.

ために重要であると考えられている。したがって、NRVSにおいてヘム鉄と酸素の間の結合の伸縮振動が明瞭に観測できることは、今後、ヘモグロビンのアロステリック機構を考察する上でも、有益な情報を与えると期待される。

また、酸素結合型ヘムの電子状態について、Weiss ($\text{Fe}^{3+} (S = 1/2) \cdot \text{O}_2 (S = 1/2)$), Pauling ($\text{Fe}^{2+} (S = 0) \cdot \text{O}_2 (S = 0)$), McCluer-Goddard ($\text{Fe}^{2+} (S = 1) \cdot \text{O}_2 (S = 1)$) モデルによる議論が長年続いているが、Broken-symmetry 法計算で得た鉄3価スーパーオキシド ($\text{Fe}^{3+}\text{-O}_2^-$) 種が酸素結合型ミオグロビンの振動構造をよく再現することを明らかにした (Figure 2)。

さらに、酸素結合型ミオグロビンの振動構造と電子状態の相関について詳しく調べるために、側鎖を改変したヘムを含む蛋白質の解析を行った (Figure 4)。フッ素原子をヘム側鎖のメチル基に導入した 7-PF と、側鎖の sp^2 炭素を sp^3 炭素にした Meso においては、天然型 (Proto) と振動構造が顕著に異なることを明らかにした。7-PF においては、ヘム鉄に結合した酸素と遠位ヒスチジンの水素結合によりコントロールされると考えられる、鉄3価スーパーオキシド ($\text{Fe}^{3+}\text{-O}_2^-$) と鉄2価酸素 ($\text{Fe}^{2+}\text{-O}_2$) 体との間の平衡が、天然型と比べてより鉄2価酸素体側に移動していることを見出した。また、天然型 (Proto) においては Fe-OO 伸縮振動バンド幅が広いことから、蛋白質とヘム鉄に結合した酸素との相互作用が動的であり、いくつかのコンフォメーションが存在することが示唆された。

100 cm^{-1} 以下の ^{57}Fe PVDOS の強度は、ヘム鉄の変位の大きさを反映するが、天然型蛋白質は改変したヘムを含むものよりも大きな強度を示す。したがって、天然型タンパク質の方が化学修飾をほどこしたヘムをもつタンパク質より“やわらかな”分子構造を有していることが示唆された。また、ヘム鉄と第一配位圏との相互作用の強さは、250 – 450 cm^{-1} の ^{57}Fe PVDOS から見積もることができ、Proto, Meso, 7-PF の力の定数は、それぞれ 369 ± 7 , 374 ± 14 , 400 ± 36 pN/pm と計算された。本研究で得られた成果は、ミオグロビンの酸素結合機構について洞察を与え、今後、各種酸素結合型ヘム蛋白質の研究に新たな展開をもたらすことが期待される。

参考文献

- 「核共鳴非弾性散乱分光法による鉄含有生体分子の振動構造解析」, 太田雄大, 瀬戸誠, 日本結晶学会誌, 56, 329-335 (2014).
- “A Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic Study of Oxy Myoglobins Reconstituted with Chemically Modified Heme Cofactors: Insights into the Fe-O_2 Bonding and Internal Dynamics of the Protein”, T. Ohta, T. Shibata, Y. Kobayashi, Y. Yoda, T. Ogura, S. Neya, A. Suzuki, M. Seto, and Y. Yamamoto, *Biochemistry* **2018**, 57, 6649-6652.

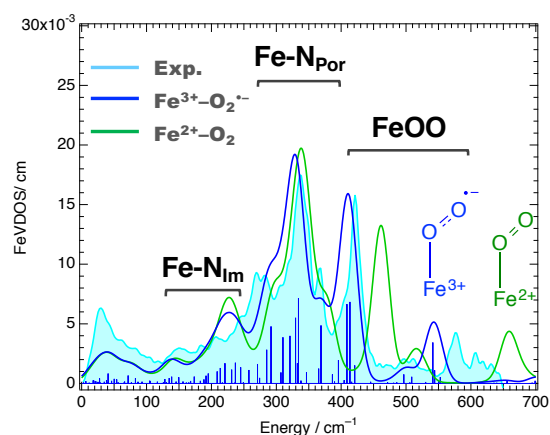


Figure 2. NRVS of wild-type myoglobin.

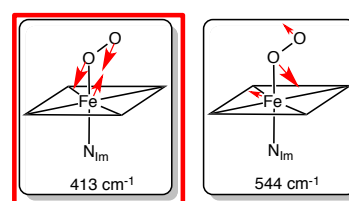


Figure 3. Fe-O_2 vibrational modes.

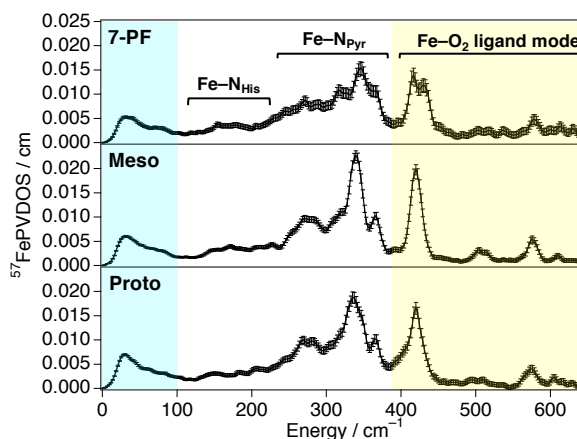


Figure 4. NRVS of Proto, Meso, 7-PF myoglobin.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 T. Abe, Y. Hori, Y. Shiota, T. Ohta, Y. Morimoto, H. Sugimoto, T. Ogura, K. Yoshizawa, and S. Itoh	4. 巻 2
2. 論文標題 Cupric-superoxide complex that induces a catalytic aldol reaction-type C-C bond formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s42004-019-0115-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Kawahara Nakagawa, K. Nishikawa, S. Nakashima, S. Inoue, T. Ohta, T. Ogura, Y. Shigeta, K. Fukutani, T. Yagi, and Y. Higuchi	4. 巻 28
2. 論文標題 New Assay Method Based on Raman Spectroscopy for Enzymes Reacting with Gaseous Substrates	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Protein Science	6. 最初と最後の頁 663-670
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/pro.3569	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Nagakubo, T. Kumano, T. Ohta, Y. Hashimoto, and M. Kobayashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Copper amine oxidases catalyze the oxidative deamination and hydrolysis of cyclic imines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 413
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-018-08280-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Y. Ohki, K. Uchida, M. Tada, R. E. Cramer, T. Ogura, and T. Ohta	4. 巻 9
2. 論文標題 N ₂ Activation on a Molybdenum-Titanium-Sulfur Cluster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-018-05630-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Ohta, T. Shibata, Y. Kobayashi, Y. Yoda, T. Ogura, S. Neya, A. Suzuki, M. Seto, and Y. Yamamoto	4. 巻 57
2. 論文標題 A Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic Study of Oxy Myoglobins Reconstituted with Chemically Modified Heme Cofactors: Insights into the Fe-O ₂ Bonding and Internal Dynamics of the Protein	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Biochemistry	6. 最初と最後の頁 6649-6652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.biochem.8b00829	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 2.M. Guo, Y.-M. Lee, M. S. Seo, Y.-J. Kwon, X.-X. Li, T. Ohta, W.-S. Kim, R. Sarangi, S. Fukuzumi, and W. Nam	4. 巻 57
2. 論文標題 Mn(III)-Iodosylarene Porphyrins as an Active Oxidant in Oxidation Reactions: Synthesis, Characterization, and Reactivity Studies	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 10232-10240
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.8b01426	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Morimoto, Y. Takagi, T. Saito, T. Ohta, T. Ogura, N. Tohrai, M. Nakano, and S. Itoh	4. 巻 57
2. 論文標題 A Bis(mu-oxido)dinickel(III) Complex with a Triplet Ground State	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 7640-7643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201802779	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Paria, T. Ohta, Y. Morimoto, H. Sugimoto, T. Ogura, and S. Itoh	4. 巻 644
2. 論文標題 Structure and Reactivity of Copper Complexes Supported by a Bulky Tripodal N ₄ Ligand: Copper(I)/Dioxygen Reactivity and Formation of a Hydroperoxide Copper(II) Complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie	6. 最初と最後の頁 780-790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/zaac.201800083	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Paria, Y. Morimoto, T. Ohta, S. Okabe, H. Sugimoto, T. Ogura, and S. Itoh	4. 巻 19
2. 論文標題 Copper(I)-Dioxygen Reactivity in the Isolated Cavity of a Nanoscale Molecular Architecture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1976-1983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201800029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kitagishi, D. Shimoji, T. Ohta, R. Kamiya, Y. Kudo, A. Onoda, T. Hayashi, J. Weiss, J. A. Wytko, K. Kano	4. 巻 9
2. 論文標題 A water-soluble supramolecular complex that mimics the heme/copper hetero-binuclear site of cytochrome c oxidase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 1989 ~ 1995
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7SC04732K	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Guo, Y.-M. Lee, R. Gupta, M. S. Seo, T. Ohta, H.-H. Wang, H.-Y. Liu, S. N. Dhuri, R. Sarangi, S. Fukuzumi, W. Nam	4. 巻 139
2. 論文標題 Dioxygen Activation and O ₂ O Bond Formation Reactions by Manganese Corroles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 15858 ~ 15867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b08678	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 S. Hong, X. Lu, Y.-M. Lee, M. S. Seo, T. Ohta, T. Ogura, M. Clemancey, P. Maldivi, J.-M. Latour, R. Sarangi, W. Nam	4. 巻 139
2. 論文標題 Achieving One-Electron Oxidation of a Mononuclear Nonheme Iron(V)-Imido Complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14372 ~ 14375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b08161	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Noh, D. Jeong, T. Ohta, T. Ogura, J. S. Valentine, J. Cho	4. 巻 139
2. 論文標題 Distinct Reactivity of a Mononuclear Peroxocobalt(III) Species toward Activation of Nitriles	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 10960 ~ 10963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b04479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. Sekino, H. Furutachi, R. Tojo, A. Hishi, H. Kajikawa, T. Suzuki, K. Suzuki, S. Fujinami, S. Akine, Y. Sakata, T. Ohta, S. Hayami, M. Suzuki	4. 巻 53
2. 論文標題 New mechanistic insights into intramolecular aromatic ligand hydroxylation and benzyl alcohol oxidation initiated by the well-defined (μ -peroxo)diiron(III) complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 8838 ~ 8841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CC04382A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Hong, K. D. Sutherlin, A. K. Vardhaman, J. J. Yan, S. Park, Y.-M. Lee, S. Jang, X. Lu, T. Ohta, T. Ogura, E. I. Solomon, W. Nam	4. 巻 139
2. 論文標題 A Mononuclear Nonheme Iron(V)-Imido Complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 8800 ~ 8803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.7b04695	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 B. Wang, Y.-M. Lee, W.-Y. Tcho, S. Tussupbayev, S.-T. Kim, Y. Kim, M. S. Seo, K.-B. Cho, Y. Dede, B. C. Keegan, T. Ogura, S. H. Kim, T. Ohta, M.-H. Baik, K. Ray, J. Shearer, W. Nam	4. 巻 8
2. 論文標題 Synthesis and Reactivity of a Mononuclear Nonheme Cobalt(IV)-oxo Complex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/ncomms14839	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 B. Shin, K. D. Sutherlin, T. Ohta, T. Ogura, E. I. Solomon, J Cho	4. 巻 55
2. 論文標題 Reactivity of a Cobalt(III)-Hydroperoxo Complex in Electrophilic Reactions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12391-12399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.6b02288	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Ohta, P. Nagaraju, J.-G. Liu, T. Ogura, and Y. Naruta	4. 巻 21
2. 論文標題 The Secondary Coordination Sphere and Axial Ligand Effects on Oxygen Reduction Reaction by Iron Porphyrins: a DFT Computational Study	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Biological Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 745-755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00775-016-1380-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 P. Nagaraju, T. Ohta, J.-G. Liu, T. Ogura, and Y. Naruta	4. 巻 52
2. 論文標題 The Secondary Coordination Sphere Controlled Reactivity of a Ferric-Superoxo Heme: Unexpected Conversion to a Ferric Hydroperoxo Intermediate by Reaction with a High-spin Ferrous Heme	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 7213-7216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c6cc02162j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 Structural Basis and Dynamics for Gas Recognition of Myoglobin: A Nuclear Resonance Vibrational Spectroscopic Study
3. 学会等名 International Workshop on New Developments and Prospects for the Future Mossbauer Spectroscopy (IWMS2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 太田雄大
2. 発表標題 核共鳴非弾性散乱分光による鉄蛋白質活性中心の構造化学とダイナミックス
3. 学会等名 第11回 SPRUC 核共鳴散乱研究会 (名古屋工業大学) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 Structural basis and dynamics for gas recognition of myoglobin: A nuclear resonance vibrational spectroscopic study
3. 学会等名 Ewha Bioinorganic Chemistry Symposium 2017 (Seoul, Korea) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 太田雄大
2. 発表標題 核共鳴非弾性散乱分光により解き明かす鉄蛋白質活性点の構造化学とダイナミックス
3. 学会等名 第55回日本生物物理学会年会 (熊本大学) (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 Nuclear resonance vibrational spectroscopic study of diatomic gas sensing mechanism of myoglobin
3. 学会等名 The 254th American Chemical Society National Meeting (Washington DC, USA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 Efficient Oxygen Reduction Catalysis of Fe-Porphyrins
3. 学会等名 Symposium on Advanced Biological Inorganic Chemistry 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 Studies of O ₂ and NO Reductions of Bio-inspired Iron Porphyrin Complexes and Heme-Copper Oxidases
3. 学会等名 The 3rd International Bioinorganic Chemistry Conference on Small Molecule Activation in Biomimetic Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Ohta
2. 発表標題 2nd Coordination Sphere Controlled Oxygen Reduction Reaction Catalyzed by a Bio-inspired Iron Porphyrin
3. 学会等名 The 9th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (Nanjing, China) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----