

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02847

研究課題名(和文) 第15属元素が配位した窒化炭素による過酸化水素生成の動作機構解明とシステム開発

研究課題名(英文) Elucidation of Reaction Mechanism and System Development of Hydrogen Peroxide Generation by Carbon Nitride Coordinated with Group 15 Element

研究代表者

横野 照尚 (Ohno, Teruhisa)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：10203887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：過酸化水素(H₂O₂)は、水素にかわる次世代燃料電池の燃料としての利用が期待されているが工業的にはアントラヒドロキノンに触媒とし、エネルギー多消費型反応で合成される。我々の研究室では、太陽光などの光エネルギーのみを用いて水と酸素から常温常圧で過酸化水素を高効率で製造する環境負荷のほとんどない粉末触媒および光電気化学システム開発を行ってきた。その結果、グラファイト型窒化炭素(PCN)の骨格内に原子状でAu, Sb, Kを固定化する技術を世界で初めて確立し、酸素と水から量子収率90%以上でH₂O₂とOHラジカルを生成する世界最高性能の光触媒の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々が開発した原子状でAu, Sb, Kなどをグラファイト型窒化炭素骨格内に固定化した新規な光触媒(SAPC)は、再生可能エネルギーである太陽光を光源として光の利用率が90%以上に達するH₂O₂及びOHラジカル生成能力を達成しました。開発したSAPCは、大量生産が可能な材料であることから社会実装も視野に入っている。そのため触媒の応用範囲としては、1.現在のH₂O₂工業製造プロセスにとって変わる光触媒プロセスの可能性が非常に高いことから、社会的インパクトは非常に大きいと考えている。2.非常に高いOHラジカル生成能力を発揮する光触媒であることから、水処理などのシステム開発できると確信している。

研究成果の概要(英文)：Rcsec2rcsec3Hydrogen peroxide (H₂O₂) is expected to replace hydrogen as a fuel for next-generation fuel cells.

In our laboratory, we have developed an environmentally benign powder catalyst and photoelectrochemical system for highly efficient production of hydrogen peroxide from water and oxygen at room temperature and pressure, using only light energy such as sunlight. As a result, we established for the first time in the world the technology to immobilize Au, Sb, and K atomically in the framework of graphite-type carbon nitride (PCN) and succeeded in developing the world's highest performance photocatalyst that produces H₂O₂ and OH radicals from oxygen and water in a quantum yield of about 90%.

研究分野：光触媒化学、光電気化学

キーワード：グラファイト型窒化炭素 過酸化水素合成 選択的酸素還元 原子状金属イオン固定化 二電子酸素還元

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

分子系半導体の骨格に金属原子サイトを導入すると、高分子系半導体構造の分極に顕著な影響を与え、ドナー・アクセプター対の形成を著しく促進し、半導体中のキャリアの分離効率を向上させる可能性があります。導入された単原子金属サイトは高い活性、選択性、安定性を持ち、電荷分離効率が向上した新規ポリマーベース光触媒を合成するための設計指針を提供します。しかし、光触媒は、基底状態の価電子ではなく、励起状態の電子や正孔が反応に参与するため、光触媒の単一原子サイトを設計する場合、電荷分離、キャリア移動、表面反応の3つの側面を統合的に考慮する必要があります。

2. 研究の目的

水の総合的な分解のためには、有機半導体の結晶性が著しく向上しても、有機高分子半導体の異なる結晶面への助触媒の光電着はまだ困難である。結晶性を高め、ナノ粒子を担持した助触媒を用いることで、有機高分子半導体系の光触媒活性を大幅に高め、水の分解を総合的に行うことができる。しかし、同様の光吸収を持つ無機半導体触媒 (Al:SrTiO_3) の性能に匹敵することはまだ困難である。この場合、高分子系半導体の光触媒反応速度論を促進するために、無機半導体触媒に用いられてきた従来のメソスケールの速度論的調節戦略を容易に適用することはできない。光触媒系における二つの半反応が密接に関連している場合、例えば、水と酸素による過酸化水素の人工光合成のように、一方の半反応の生成物が他方の半反応の基質となり得る場合、二つの半反応の反応活性を顕著に向上させることが可能である。このような観点から、g-C₃N₄ 骨格に原子レベルで分散した Sb(III)-N₄ サイトに導入した Sb-SAPC 光触媒を開発し、水と酸素による過酸化水素の人工光合成に関する研究を推進した。

3. 研究の方法

Sb-SAPC は、NaSbF₆ とメラミンを前駆体として用いた湿式化学法により調製した。また、参考のために Na⁺が添加された PCN と PCN を含む対照試料も調製した。4g のメラミンに添加した金属塩の量 ($x = 0.5, 1, 3, 5, 10, 15$ または 20mmol の NaF または NaSbF₆) に応じて、試料をそれぞれ PCN_Nax または Sb-SAPCx と表記した。調製した Sb-SAPC は、1 バッチで 100 グラムに達し、量産プロセスの構築も可能である。

4. 研究成果

図 1a-b に示すサイズ分布から、99.6% の Sb 種が 0.2 nm 以下であり、Sb が孤立した単原子としてのみ存在することがわかる。さらに、Sb K-edge X 線吸収端近傍構造 (XANES) の吸収端は Sb0 箔の吸収端より 2.2eV 高く、Sb⁺⁵205 の吸収端より 1.5eV 低く、Sb-SAPC15 中の Sb 原子は +3 価付近であることが示唆された。光触媒反応の中間体を同定するために、オペランド条件下でラマン分光測定 (図 1d) を行った。PCN では、可視光照射下で電子供与体である 2-プロパノールと反応させた後、896cm⁻¹ に新しいバンドが現れ、これはメレム上の C-O 振動と O-O 伸縮に割り当てられることがわかった。一方、Sb-SAPC では、855cm⁻¹ に新しい吸収帯が試料中の Sb 含有量とともに増加し、これはエンドオン吸着配置の Sb-OOH 種の O-O 伸縮モードに割り当てることができる。Sb-OOH は電子供与体を添加しなくても存在することから、Sb-SAPC の光触媒作用はサイドオン配置ではなく、Sb-OOH の形成が支配的であることが示唆された。水酸化反応によって生成した酸素分子は、Sb(III)-N₄ によって速やかに消費された。Sb(III)-N₄ 系の高濃度電子と隣接

するヘプタジン環の高濃度正孔により、2つの半反応間の微視的物質移動過程が促進され、全体の反応効率が大きく向上した。有機半導体の長寿命キャリアと短いキャリア移動半径は、合理的な反応経路と材料構造設計を活用することで、従来の連続反応系に新しい設計アイデアを提供することができる。

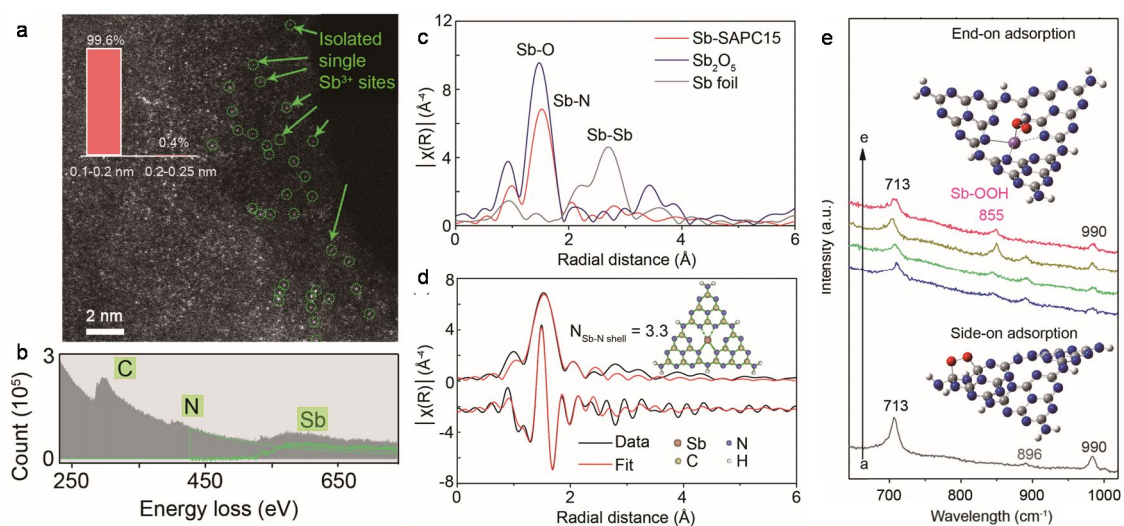


Fig. 1. Sb-SAPC for artificial synthesis of H₂O₂. a. High-magnification HAADF-STEM image of Sb-SAPC15. Inset is the size distribution of the bright spots. b. EELS spectrum of Sb-SAPC15. c. Fourier transform-extended X-ray absorption fine structure (FT-EXAFS) spectra of the Sb foil, Sb₂O₅ and Sb-SAPC15. d, Fitting of the EXAFS data of the Sb-SAPC15 based on the model obtained from DFT optimization. Inserted figures: optimized molecular models based on DFT for EXAFS fitting. e. Experimental Raman spectra recorded during photoreaction in a 2-propanol aqueous solution with saturated oxygen. Spectrum a, b, c and d: PCN, Sb-SAPC1, Sb-SAPC5 and Sb-SAPC15 in 10% (v/v) 2-propanol aqueous solution. Spectrum e: Sb-SAPC15 in pure water.

<引用文献> _

1. Z. Teng, T. Ohno et al., Nature Catalysis 4 (5), 374-384 (2021)
2. Z. Teng, T. Ohno et al., Nature Chemistry in press (2024)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 19件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yang, H., Jia, L., Zhang, Z., Xu, B., Zhang, Q., Yuan, S., Xiao, Y., Nan, Z., Zhang, M., Zhang, Y., Ohno, T.	4. 巻 29
2. 論文標題 Enhanced photocatalytic VOCs degradation performance on Fe-doped ceria under visible light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Materials Today	6. 最初と最後の頁 101651-101662
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apmt.2022.101651	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 Zheng, A.L.T., Ohno, T., Andou, Y.	4. 巻 65
2. 論文標題 Recent Progress in Photocatalytic Efficiency of Hybrid Three-Dimensional (3D) Graphene Architectures for Pollution Remediation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Topics in Catalysis	6. 最初と最後の頁 1634-1647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11244-022-01610-9	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 Chen, C., Teng, Z., Yasugi, M., Yang, H., Cao, Y., Yu, L., Ohno, T.	4. 巻 325
2. 論文標題 A homogeneous copper bismuth sulfide photocathode prepared by spray pyrolysis deposition for efficient photoelectrochemical hydrogen generation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 132801-132804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matlet.2022.132801	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 Teng, Z., Yang, H., Zhang, Q., Ohno, T.	4. 巻 38
2. 論文標題 Carrier Dynamics and Surface Reaction Boosted by Polymer-based Single-atom Photocatalysts	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Research in Chinese Universities	6. 最初と最後の頁 1207-1218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s40242-022-2215-6	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 Yang, H., Jia, L., Haraguchi, J., Wang, Y., Xu, B., Zhang, Q., Nan, Z., Zhang, M., Ohno, T.	4. 巻 12
2. 論文標題 Nitrogen and sulfur co-doped CeO ₂ nanorods for efficient photocatalytic VOCs degradation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysis Science and Technology	6. 最初と最後の頁 5203-5209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2cy00934j	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 Chen, C., Yasugi, M., Yu, L., Teng, Z., Ohno, T.	4. 巻 307
2. 論文標題 Visible light-driven H ₂ O ₂ synthesis by a Cu ₃ BiS ₃ photocathode via a photoelectrochemical indirect two-electron oxygen reduction reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 121152-121161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2022.121152	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 Mohamad Idris, N.H., Cheong, K.Y., Kennedy, B.J., Ohno, T., Lee, H.L.	4. 巻 10
2. 論文標題 Buoyant titanium dioxide (TiO ₂) as high performance photocatalyst and peroxide activator: A critical review on fabrication, mechanism and application	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 107549-107574
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jece.2022.107549	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 Cao, Y., Lou, S.N., Wang, S., Yang, H., Zhang, Q., Wang, C., Murakami, N., Ohno, T.	4. 巻 634
2. 論文標題 Fe(III)-Pt(II) oxide-co-sensitized brookite TiO ₂ nanorods for photocatalytic degradation of acetaldehyde under visible light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Catalysis A: General	6. 最初と最後の頁 118539-118548
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcata.2022.118539	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 Yang, H., Jia, L., Zhang, Z., Xu, B., Liu, Z., Zhang, Q., Cao, Y., Nan, Z., Zhang, M., Ohno, T.	4. 巻 405
2. 論文標題 Novel cerium-based MOFs photocatalyst for photocarrier collaborative performance under visible light	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Catalysis	6. 最初と最後の頁 74-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcat.2021.11.017	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 Zheng, A.L.T., Sabidi, S., Ohno, T., Maeda, T., Andou, Y.	4. 巻 286
2. 論文標題 Cu2O/TiO2 decorated on cellulose nanofiber/reduced graphene hydrogel for enhanced photocatalytic activity and its antibacterial applications	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemosphere	6. 最初と最後の頁 131731-131746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.chemosphere.2021.131731	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 Mohamed Fouad, Mohamed Gar Alalm, Hisham Kh El-Etriby, Daria Camilla Boffito, Shinichi Ookawara, Teruhisa Ohno, Manabu Fujii	4. 巻 402
2. 論文標題 Visible-light-driven photocatalytic disinfection of raw surface waters using reusable coated Ru/WO3/ZrO2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Hazardous Materials	6. 最初と最後の頁 123514-123522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jhazmat.2020.123514	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 Zhenyuan Teng, Wenan Cai, Wenwen Sim, Qitao Zhang, Chengyin Wang, Chenliang Su, Teruhisa Ohno	4. 巻 282
2. 論文標題 Photoexcited single metal atom catalysts for heterogeneous photocatalytic H2O2 production: pragmatic guidelines for predicting charge separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 119589-119599
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2020.119589	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 Zhenyuan Teng, Qitao Zhang, Hongbin Yang, Kosaku Kato, Wenjuan Yang, Ying-Rui Lu, Sixiao Liu, Chengyin Wang, Akira Yamakata, Chenliang Su, Bin Liu, Teruhisa Ohno	4. 巻 4
2. 論文標題 Atomically dispersed antimony on carbon nitride for the artificial photosynthesis of hydrogen peroxide	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Catalysis	6. 最初と最後の頁 374-384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41929-021-00605-1	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 Hui Yang, Bin Xu, Qitao Zhang, Saisai Yuan, Zhipeng Zhang, Yiting Liu, Zhaodong Nan, Ming Zhang, Teruhisa Ohno	4. 巻 286
2. 論文標題 Boosting visible-light-driven photocatalytic performance of waxberry-like CeO ₂ by samarium doping and silver QDs anchoring	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 119845-119853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcat.2021.11.017	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 Katsuichiro Kobayashi, Shi Nee Lou, Yoshiyuki Takatsuji, Tetsuya Haruyama, Youichi Shimizu, Teruhisa Ohno	4. 巻 338
2. 論文標題 Photoelectrochemical reduction of CO ₂ using a TiO ₂ photoanode and a gas diffusion electrode modified with a metal phthalocyanine catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 135805-135818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.135805	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 Bin Xu, Hui Yang, Qitao Zhang, Saisai Yuan, An Xie, Ming Zhang, Teruhisa Ohno	4. 巻 12
2. 論文標題 Design and Synthesis of Sm, Y, La and Nd doped CeO ₂ with a broom like hierarchical structure: a photocatalyst with enhanced oxidation performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 2538-2646
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.201902309	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 Lei Yang, Takumi Igarashi, Yu Cao, Eero Holmstr, Kaito Hirata, Hitoshi Asakawa, Teruhisa Ohno, Takeshi Fukuma, Adam S Foster	4. 巻 124
2. 論文標題 Photo-sensitive 2D Arrangement of -OH/H ₂ O on Brookite TiO ₂ (210)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 19091-19100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c05151	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 Zhi Zheng, Naoya Murakami, Jingjing Liu, Zhenyuan Teng, Qitao Zhang, Yu Cao, Honghui Cheng, Teruhisa Ohno	4. 巻 12
2. 論文標題 Development of Plasmonic Photocatalyst by Site selective Loading of Bimetallic Nanoparticles of Au and Ag on Titanium (IV) Oxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 3783-3792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/CCTC.202000366	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 Zhenyuan Teng, Wenan Cai, Sixiao Liu, Chengyin Wang, Qitao Zhang, Su Chenliang, Teruhisa Ohno	4. 巻 271
2. 論文標題 Bandgap engineering of polymetric carbon nitride copolymerized by 2,5,8-triamino-tri-s-triazine (melem) and barbituric acid for efficient nonsacrificial photocatalytic H ₂ O ₂ production	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 118917-118929
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2020.118917	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 Zhengyuan Jin, Xiantao Jiang, Qitao Zhang, Shaolong Huang, Luhong Zhang, Lili Huang, Tingchao He, Han Zhang, Teruhisa Ohno, Shuangchen Ruan, Yu-Jia Zeng	4. 巻 1
2. 論文標題 Infrared response in photocatalytic polymeric carbon nitride for water splitting via an upconversion mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Materials	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/s43246-020-00093-z	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 Tatsuki Shinoda, Yuichi Yamaguchi, Akihiko Kudo, Naoya Murakami	4. 巻 56
2. 論文標題 In situ photoacoustic analysis of near-infrared absorption of rhodium-doped strontium titanate photocatalyst powde	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 14255-14258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC06414A	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 Naoya Murakami, Ryo Watanabe	4. 巻 22
2. 論文標題 Simultaneous Measurements of Photoabsorption and Photoelectrochemical Performance for Thickness Optimization of a Semiconductor Photoelectrode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Combinatorial Science	6. 最初と最後の頁 791-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscobsc.0c00113	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計20件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 室内光による殺菌、抗ウイルス機能をもつ光触媒の開発と商品化
3. 学会等名 第25回FiaS Monthly Cafe (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 過酸化水素生成を指向した金属イオンを原子状に固定化した窒化炭素光触媒の開発と反応機構
3. 学会等名 表面真空学会九州支部セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Cao Yu・横野照尚
2. 発表標題 Fe(III)-Pt(II)-Oxide-Co-Sensitized Brookite TiO ₂ Nanorods for Photocatalytic Degradation of Acetaldehyde under Visible Light
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Cai Wenan・横野照尚
2. 発表標題 可視光および赤外光でH ₂ O ₂ を生成する共有結合性有機構造体(COFs)光触媒の開発
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Chen Chao・横野照尚
2. 発表標題 Visible light-driven H ₂ O ₂ synthesis by a Cu ₃ BiS ₃ photocathode via a photoelectrochemical indirect two-electron oxygen reduction reaction
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Ohno
2. 発表標題 Atomically Dispersed Metal ions on Carbon Nitride for the Artificial Photosynthesis of Hydrogen Peroxide
3. 学会等名 11th European Conference on Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Ohno
2. 発表標題 Artificial Photosynthesis of Hydrogen Peroxide by using Atomically Dispersed Metal Ions on Carbon Nitride and p-type Cu ₃ BiS ₃ Photocathode under Visible Light using Water and Oxygen
3. 学会等名 73rd Annual ISE Meeting, International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Sun Xiaoyu・横野照尚
2. 発表標題 Photocatalytic H ₂ O ₂ production using TiO ₂ /Au/MXen
3. 学会等名 10th International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Cai wenan・横野照尚
2. 発表標題 Development of covalent organic framework (COF) photocatalysts generating H ₂ O ₂ under visible and infrared light
3. 学会等名 10th International Symposium on Applied Engineering and Sciences (SAES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 過酸化水素生成を指向した金属イオンを原子状に固定化した窒化炭素光触媒の開発と反応機構
3. 学会等名 東京都立大学水素エネルギー社会構築推進研究センター講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 過酸化水素生成を指向した金属イオンを原子状に固定化した窒化炭素光触媒の開発と反応機構
3. 学会等名 日本化学会CSJ化学フェスタ(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 室内光による殺菌、抗ウイルス機能をもつ光触媒の開発と商品化
3. 学会等名 HOSPEX 2021(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen Chao・横野照尚
2. 発表標題 Visible light-driven H ₂ and H ₂ O ₂ synthesis by a Cu ₃ BiS ₃ photocathode via a photoelectrocatalytic system
3. 学会等名 Pacifichem 2021 Congress(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Cai Wengan・横野照尚
2. 発表標題 Au-SAPC光触媒とAu-KSAPC光触媒による過酸化水素の合成
3. 学会等名 Pacifichem 2021 Congress(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清田薫、横野照尚
2. 発表標題 SiC光触媒を用いた可視光照射による水素生成反応
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Cao Yu、横野照尚
2. 発表標題 The preparation of Fe ³⁺ ion/ Pt site-selectively co-loaded brookite TiO ₂ used for VOCs degradation under visible light
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横野照尚
2. 発表標題 アンチモン単一原子光触媒の合成と過酸化水素生成機構
3. 学会等名 第25回光触媒シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Cao Yu・横野照尚
2. 発表標題 The preparation of Fe ³⁺ ions/ Pt co-modified brookite TiO ₂ used for VOCs degradation under visible light high-efficiently
3. 学会等名 第39回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Chao Chen・横野照尚
2. 発表標題 Visible light driven water splitting reaction and oxygen reduction reaction by Cu ₃ BiS ₃ photocathode
3. 学会等名 第39回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Teng Zhenyuan・横野照尚
2. 発表標題 アンチモン単一原子光触媒の合成と過酸化水素生成機構
3. 学会等名 第39回光がかかわる触媒化学シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者情報 https://hyokadb02.jimu.kyutech.ac.jp/html/98_ja.html</p>

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
研究分担者	村上 直也 (Murakami Naoya) (10452822)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------