

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05203

研究課題名（和文）d0電子金属酸化物多孔結晶触媒の開発

研究課題名（英文）Synthesis of porous crystal catalyst of d0 transition metal oxide

研究代表者

齊藤 健二（Saito, Kenji）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：60397669

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：無孔性の酸化物中の特定の金属イオンを最小のプロトンへと化学置換し、新しい多孔結晶材料を合成した。Cu₅Ta₁₁O₃₀を原料として用いた系では、硝酸中でのソルボサーマル処理によりH₅Ta₁₁O₃₀を得た。固体表面には水酸基が確認され、加熱による水素生成との関与が示唆された。D₂O中で反応させるとH-D交換も進行することから、D₂生成のための触媒として機能することも期待される。一方、KNb₅O₁₃中のKサイトをプロトンへと置換することで、大口径多孔結晶の合成も試みた。熔融AgNO₃を用いてAg置換を行った後、プロトンへと置換できることがわかった。得られた物質の多孔性および光触媒機能を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

産業上有用なゼオライトは、主骨格元素の種類がSiとAlしかない。本研究では、元素範囲の拡大による用途の多様化を目指し、TaまたはNbを骨格元素とする多孔結晶を得る方法を開発しており、学術的に重要な取り組みの一つと考えられる。開発した物質はゼオライトにはない光触媒機能も示しており、社会的意義も大きいと想定される。

研究成果の概要（英文）：A particular metal ion included as a constituent in a nonporous inorganic solid was chemically substituted with the smallest proton for forging a new path to obtain a new porous functional crystal. Cu₅Ta₁₁O₃₀, one of two synthetic precursors, was subjected to the solvothermal treatment to form Cu-free H₅Ta₁₁O₃₀. The hydroxyl groups on its surface are suggested to be involved in hydrogen generation observed when heating in a vacuum. As the H-D exchange of the group occurs in D₂O, H₅Ta₁₁O₃₀ will be the catalyst for D₂ generation. On the other hand, we synthesized another functional solid with larger crystalline pores, K_{1-x}H_xNb₅O₁₃, which is obtained by substituting the K site of KNb₅O₁₃ with proton via the Ag-substituted intermediate. The porosity and photocatalytic ability were assessed.

研究分野：無機化学

キーワード：多孔結晶

1. 研究開始当初の背景

ゼオライトは、規則的ナノ空間と高い化学的安定性を兼ね備え、化学工業を始めとした幅広い分野で実用化されている無機結晶である。一方、その主骨格構成元素は Si や Al に限られ、大きなバンドギャップを有するため、水分解光触媒等の次世代テクノロジーに応用することは大変困難である。骨格元素選択性の高い無機多孔結晶を合成するための汎用的手法が開発されれば、新産業創出のための技術シーズになると期待される。

2. 研究の目的

先行研究では、無孔性の無機固体である $\text{Ag}_2\text{Ta}_4\text{O}_{11}$ 中の Ag^+ イオンを最小の H^+ へと化学的に置換し、Ta 系多孔結晶 $\text{H}_2\text{Ta}_4\text{O}_{11}$ を得る方法を見いだした。 d^0 電子系 (Ta^{5+}) 酸化物がもつ光触媒能に加え、結晶構造内に創出された面内ハニカム空間中でのユニークな特性を示すこともわかった。本研究では、新しい結晶性ナノ空間が示す特異性の知見を深化させ、独創的かつ高性能な多孔結晶触媒を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ および $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の合成

Ta_2O_5 、 Cu_2O 、および CuCl フラックスを窒素雰囲気中で粉砕混合し、真空下、 900°C で焼成した。得られた粉末を塩酸、アンモニア水、および脱イオン水で洗浄してフラックスを除去し、合成前駆体となる $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を得た。 $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を硝酸中、 230°C でソルボサーマル処理し、目的とする $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を得た。

(2) $\text{KNb}_5\text{O}_{13}$ 、 $\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ 、および $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ の合成

K_2CO_3 と Nb_2O_5 を用いて固相合成した $\text{KNb}_5\text{O}_{13}$ を AgNO_3 と混合し、 350°C に加熱した。得られた粉末を水と硝酸で洗浄し、 $\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ を得た。 $\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ を 450°C で H_2 還元した後、硝酸中でソルボサーマル処理し、金属銀を除去した。空気下で焼成し、目的とする $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ を得た。

(3) キャラクターゼーションと特性評価

粉末のキャラクターゼーションは、XRD、DRS、ICP、XPS、Raman、FT-IR (ATR 法)、SEM-EDS、およびガス吸着量測定を用いた。光触媒反応は、閉鎖循環型反応装置を用いた。

4. 研究成果

(1) 面内籠目空間をもつ $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の合成と性質

$\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ は、 TaO_6 のブロック構造と TaO_7 で構成される二次元シートが c 軸方向に交互積層し、骨格を形成している (図 1)。Cu は、 TaO_7 層と平行な面内で籠目状に配列している。

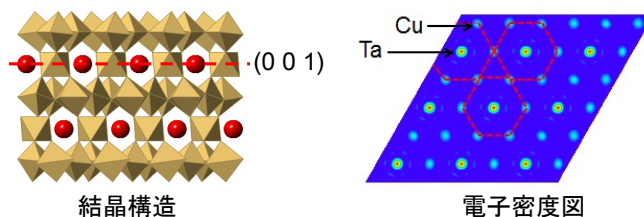


図 1 $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の結晶構造および (0 0 1) における電子密度図。

$\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を硝酸中でソルボサーマル処理したところ、粉末の色は淡黄色から白色へと変化した。DRS より観測されるホストの吸収端 (約 460 nm) は、 Ta_2O_5 のものと近い位置までブルーシフトすることがわかった (図 2)。よって本生成物の電子遷移は、O 2p 軌道で主に形成される価電子帯と、Ta 5d 軌道で主に形成される伝導帯との間で起こるものと考えられる。ICP を使い、ソルボサーマル後の Cu を含む溶液を分析すると、理論値の 92% の Cu が水溶液中から検出された。これは DRS の結果とも矛盾がなく、 $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ が合成できたと考えられる。 $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の XPS を測定したところ、 Ta^{4+} のピークが反応前後で確認された。

種々のコントロール実験および関連研究 (Sullivan, I. *et al. Chem. Mater.* **2014**, *26*, 6711-6721.) の結果から、予想される $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の生成機構は次の通りである。 $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ は空気下で酸化され、粒子表面に CuO が析出する (Cu 欠陥の生成)。電荷補償のために酸素欠陥も生成するが、 Cu^+ と O^{2-} 間の価数の差により、 Ta^{5+} の Ta^{4+} への還元も伴う。結晶内の Cu^+ は、 HNO_3 により $\text{Cu}(\text{NO}_3)$ または $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ として溶出する。Cu の HNO_3 中への溶出が進むと、 H^+ は結晶内部まで浸透する。

$\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ の Raman スペクトルは、 3567 cm^{-1} にピークを示した。これは、FT-IR 測定でも確認されたことから、粒子表面には水酸基が生じていることがわかった。水酸基の存在は $\text{H}_2\text{Ta}_4\text{O}_{11}$ でも確認されている。 D_2O 中でソルボサーマル処理すると、本ピークは 2632 cm^{-1} にシフトした。

フックの法則より、OH が OD に変換されたと考えられる。一方、 $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を加熱すると H_2 が生成し、 $\text{H}_2\text{Ta}_4\text{O}_{11}$ のものとは異なる量だった。着色する、ひいては低原子価の Ta も生じていることから、水素源は水酸基であると想定される。現在、各成分の定量を行い、水素生成の機構の調査を進めている。

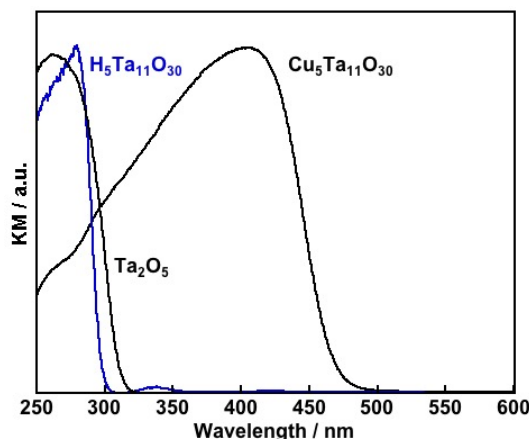


図 2 $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ 、 $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ 、および Ta_2O_5 の DRS。

以上のように、 $\text{Cu}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ をソルボサーマル処理することで、面内籠目空間を有する $\text{H}_5\text{Ta}_{11}\text{O}_{30}$ を合成すると共に、その生成機構を推定した。本物質には $\text{H}_2\text{Ta}_4\text{O}_{11}$ と同様、水酸基が含まれていることがわかった。さらに、加熱によって水素を生じることもわかった。水素源は水酸基と想定されるため、H-D 交換により、貴金属フリーで D_2 を製造する触媒として機能する可能性が示された。

(2) 大口径多孔結晶 $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ ($x = 0 \sim 1$) の合成と性質

多くの酸化物中に含まれ、イオン半径の大きなアルカリ金属イオンを H^+ へと置換することで、大口径多孔結晶の創製を試みた。具体的には、ホストとなる $\text{KNb}_5\text{O}_{13}$ の K^+ サイトをレドックス活性な Ag^+ に置換した後、 H^+ へと変換した。

Ag 置換した $\text{KNb}_5\text{O}_{13}$ ($\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$) は、固相法等の一般的な方法により直接合成することはできなかった。しかし、熔融 AgNO_3 処理を行うことで目的物が得られた。 Ag の置換率は合成時間に依存し、約 30% で最大となった。XRD のリートベルト解析を行った結果、格子体積の減少率は、イオン半径のものから想定されるよりも小さかった。格子定数が一様に減少していることを考慮すると、残留する K^+ がマクロな構造変化を抑制していると考えられる。

$\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ は、 $\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ を H_2 還元することで生じた銀を硝酸中でソルボサーマル処理することで得た。SEM-EDS で元素分析を行ったところ、銀の成分は一切検出されなかった。しかし、酸素欠陥と想定されるブロードな吸収が可視光領域に確認された。本粉末を空気焼成すると、灰色から白色へ変化し、可視光域の吸収も消失した。ハメット指示薬を用い、 $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ 中の H^+ の存在を確認した $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ の XRD パターンをリートベルト解析すると、 $\text{K}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ に比べて格子体積は増加した。これは、 Ag^+ を H^+ に置換したため、 a, b 軸方向に格子が縮小し、その歪みを c 軸方向の伸長により緩和したためと考えられる。 N_2 と H_2O を吸着ガスとし、等温線を得た。動的分子径の小さな H_2O の吸着量は、全相対圧で N_2 を上回った (図 3)。

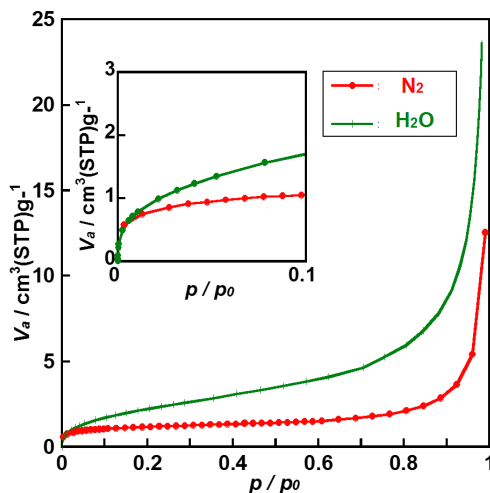


図 3 $\text{K}_{1-x}\text{H}_x\text{Nb}_5\text{O}_{13}$ の N_2 および H_2O の吸着等温線。挿入図は、低相対圧領域の拡大を示す。

低相対圧領域でも同じ傾向であることから、 $K_{1-x}H_xNb_5O_{13}$ は H_2O の分子径よりも大きな空孔を有していることが示された。さらに、紫外光照射下、メタノール水溶液を用いて H_2 生成反応を検討したところ、 $K_{1-x}H_xNb_5O_{13}$ は無孔体の KNb_5O_{13} より高い水素生成活性を示した。これは、ナノ空孔の存在により、正味の表面積が向上したためと考えられる。

一方、結晶内におけるチャンネル構築にはさらなる高濃度置換が望まれる。そこで、 KNb_5O_{13} の K サイトの全置換も試みた。溶融 $AgNO_3$ の合成条件を変更しても、Ag の置換率に大きな変化は見られなかった。それに対し、約 30% 置換された Ag^+ を H^+ へと置換した後、再び $AgNO_3$ と反応させると、Ag の置換率は飛躍的に向上した。これは、結晶内における Ag の拡散速度が非常に遅いことを示唆している。Ag の置換率は約 80% で頭打ちとなったが、その後の硝酸処理および空気焼成により、生成物中の K の成分が一切検出されなくなった。このように、Ag 置換を複数回行うと、 KNb_5O_{13} の母構造を維持したまま、K を全置換できることがわかった (HNb_5O_{13})。 HNb_5O_{13} の XRD のリートベルト解析を行い、格子定数を精密化したところ、その格子体積は KNb_5O_{13} のものに比べて 1.2% 増加した。これは、構成元素のイオン半径が縮小したことによる格子の収縮と膨張（緩和）の兼ね合いによるものと考えられる。 HNb_5O_{13} の固体酸性は、 KNb_5O_{13} よりも増加したが、約 30% の H 置換体と同様だった。よって、 H^+ の置換量は酸強度によらないことを確認した。 HNb_5O_{13} のマイクロ孔やチャンネルの存在を検証するため、常温の $AgNO_3$ 水溶液に本物質を加え、数日間放置した。反応後の粉末の元素分析を行うと、H サイトの 20% に相当する Ag が検出された。

以上のように、熔融塩処理と H^+ 変換を組み合わせることで、 KNb_5O_{13} の K^+ サイトを H^+ に置換した新しい多孔結晶を合成した。中間構造中に存在する Ag^+ の拡散速度を物理的にコントロールすることで、 H^+ への全置換体 (HNb_5O_{13}) も合成できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Tsubonouchi Yuta, Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Highly Efficient and Selective Electrocatalytic CO ₂ -to-CO Conversion by a Non-heme Iron Complex with an In-Plane N ₄ Ligand in Heterogeneous Aqueous Media	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4114 ~ 4120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b02548	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 Tanahashi Yuki, Nagai Sho, Tsubonouchi Yuta, Hirahara Masanari, Sato Taisei, Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Efficient Electrocatalytic Water Oxidation by a Dinuclear Ruthenium(II) Complex with Vicinal Aquo and Hydroxo Groups Adsorbed on a TiO ₂ Electrode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12172 ~ 12184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c02242	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 Tsubonouchi Yuta, Eo Tatsuya, Honta Junichiro, Sato Taisei, Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 400
2. 論文標題 Molecular aspects, electrochemical properties and water oxidation catalysis on a nanoporous TiO ₂ electrode anchoring a mononuclear ruthenium(II) aquo complex	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry	6. 最初と最後の頁 112696 ~ 112696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochem.2020.112696	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 Tsubonouchi Yuta, Honta Junichiro, Sato Taisei, Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 49
2. 論文標題 Multi-potential-step chronocoulometry for electrocatalytic water oxidation by a mononuclear ruthenium aquo complex immobilized on a mesoporous ITO electrode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1416 ~ 1423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c9dt04442f	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 Tsubonouchi Yuta, Honta Junichiro, Sato Taisei, Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 49
2. 論文標題 Multi-potential-step chronocoulometry for electrocatalytic water oxidation by a mononuclear ruthenium aquo complex immobilized on a mesoporous ITO electrode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Dalton Transactions	6. 最初と最後の頁 1416 ~ 1423
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9DT04442F	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 Chandra Debraj, Li Dong, Sato Tetsuya, Tanahashi Yuki, Togashi Takanari, Ishizaki Manabu, Kurihara Masato, Mohamed Eman A., Tsubonouchi Yuta, Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 7
2. 論文標題 Characterization and Mechanism of Efficient Visible-Light-Driven Water Oxidation on an in Situ N ₂ -Intercalated WO ₃ Nanorod Photoanode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 17896 ~ 17906
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.9b04467	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 Watabe Shunsuke, Tanahashi Yuki, Hirahara Masanari, Yamazaki Hiroshiro, Takahashi Kosuke, Mohamed Eman A., Tsubonouchi Yuta, Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 58
2. 論文標題 Critical Hammett Electron-Donating Ability of Substituent Groups for Efficient Water Oxidation Catalysis by Mononuclear Ruthenium Aquo Complexes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 12716 ~ 12723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.9b01623	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 Chandra Debraj, Sato Tsubasa, Abe Naoto, Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 3
2. 論文標題 Facile and sustainable fabrication of transparent mesoporous IrO _x films formed by nanoparticle assembly for efficient electrocatalytic water oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 3489 ~ 3497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SE00731H	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 Chandra Debraj, Katsuki Tomohiro, Masaki Takeshi, Abe Naoto, Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Highly Efficient Electrocatalytic Water Oxidation by a Transparent Ordered Mesoporous Film of Intermediate IrO _x (OH) _y	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4355 ~ 4364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c03125	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 -

1. 著者名 Zahran Zaki N., Mohamed Eman A., Tsubonouchi Yuta, Ishizaki Manabu, Togashi Takanari, Kurihara Masato, Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 4
2. 論文標題 Concisely Synthesized FeNiWO _x Film as a Highly Efficient and Robust Catalyst for Electrochemical Water Oxidation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1410 ~ 1420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c02628	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 -

1. 著者名 Zahran Zaki N., Mohamed Eman A., Tsubonouchi Yuta, Ishizaki Manabu, Togashi Takanari, Kurihara Masato, Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 14
2. 論文標題 Electrocatalytic water splitting with unprecedentedly low overpotentials by nickel sulfide nanowires stuffed into carbon nitride scabbards	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 5358 ~ 5365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ee00509j	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 -

1. 著者名 Tanahashi Yuki, Takahashi Kosuke, Tsubonouchi Yuta, Nozawa Shunsuke, Adachi Shin-ichi, Hirahara Masanari, Mohamed Eman A., Zahran Zaki N., Saito Kenji, Yui Tatsuto, Yagi Masayuki	4. 巻 118
2. 論文標題 Mechanism of H ⁺ dissociation-induced O ₂ bond formation via intramolecular coupling of vicinal hydroxo ligands on low-valent Ru(III) centers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2113910118	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4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山田美悠、由井樹人、八木政行、齊藤健二
2. 発表標題 金属Nb板を用いたNaNbO ₃ の自己触媒的一次元成長と機能
3. 学会等名 日本金属学会2020年春季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋悠真、由井樹人、八木政行、齊藤健二
2. 発表標題 面内ハニカム空間を有するタンタル系酸化物の合成と性質
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 地主貴博、由井樹人、八木政行、齊藤健二
2. 発表標題 バナジウムを炭素キャリアとする炭化ニオブのクリーン合成
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 仲嶋竜之介、由井樹人、八木政行、齊藤健二
2. 発表標題 炭酸カルシウムへの遷移金属ドーブと光熱変換特性評価
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 第35回秋季シンポジウム
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------