

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01710

研究課題名（和文）前駆体集積法によるペロブスカイトナノ構造体の合成と革新的電解プロセスへの応用

研究課題名（英文）Synthesis of Perovskite Nanostructures by Precursor Accumulation Method and Their Application to Electrolysis Processes

研究代表者

荻原 仁志 (Ogihara, Hitoshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60452009

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、前駆体集積法を用いたペロブスカイトナノ構造体の合成とその応用を検討した。ナノカーボン上に前駆体を均一に集積させる技術を見出し、この技術によって高表面積の種々のペロブスカイトを合成できることがわかった。ナノカーボンの形態により、ペロブスカイトのナノ構造を制御できた。前駆体集積法のメカニズムを解析した結果、異種金属前駆体がナノレベルで炭素表面に集積することが、ペロブスカイト生成の駆動力になることが明らかになった。また、 $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ の電極触媒活性も評価し、この複合水酸化物ではNiとFeが原子レベルで近接しており、その結果、高い酸素発生反応活性を示すことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、前駆体集積法を用いることで高表面積のペロブスカイトナノ構造体を効率的に合成できる新手法を確立した点に学術的意義がある。異種金属前駆体が炭素表面においてナノレベルで均一集積し、このナノ混合状態がペロブスカイト生成を促進するメカニズムを解明したことも成果として強調したい。また、原子レベルで分散した異種金属種（NiとFe）が高い酸素発生反応活性を示すことを実証し、これは電極触媒化学分野に対する新たな知見となる。本研究は、ナノペロブスカイトの簡便な合成法、およびグリーン水素の大量生産に寄与する可能性があり、社会的な波及効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, the synthesis and application of perovskite nanostructures using the precursor accumulation method were investigated. A technique to uniformly accumulate precursors on nanocarbons was developed, and it was found that this technique can synthesize various perovskites with high surface areas. Depending on the morphology of the nanocarbon used, the nanostructure of the perovskites could be controlled, resulting in nanoparticles or nanofibers. Analysis of the mechanism of the precursor accumulation method revealed that the accumulation of heterogeneous metal precursors at the nanolevel on the carbon surface drives perovskite formation. Additionally, the electrocatalytic activity of $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ was evaluated, and it was found that in this composite hydroxide, Ni and Fe are closely positioned at the atomic level, resulting in high oxygen evolution reaction activity.

研究分野：触媒化学

キーワード：ペロブスカイト ナノ材料 電極触媒 酸素発生反応

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーを用いたグリーンプロセスとして、電気化学的な物質転換法が注目を集めている。酸化物、とくにペロブスカイト(ABO_3)などの複合酸化物は高性能なアノード電極触媒として機能する。しかし、典型的なペロブスカイト合成法(固相法)は高温を要するため、粗大な粒子しか得られず、触媒利用するには表面積が小さい。そこで錯化剤を利用した高表面積ペロブスカイトの合成法が開発されてきた。錯化剤が前駆体同士を架橋することで、異種の前駆体を「分子レベルで混合」することが合成法の特徴である。しかし、前駆体の種類によって錯形成プロセスが異なることから、ペロブスカイトの種類毎に合成レシピを設計しなければならない。このような背景から、多様なペロブスカイトナノ物質を容易に合成できる手法が求められている。しかし、シンプルかつ汎用性をもつペロブスカイトナノ物質の合成法はいまだ確立されていない。またペロブスカイトを含む複合酸化物や複合水酸化物は電極触媒として期待されているものの、上記の背景のため複合酸化物ナノ構造体を電極触媒に適用した事例は少ない現状であった。

2. 研究の目的

研究代表者のグループはこれまでに、酸化物前駆体を基板上に集積する技術を開拓し(前駆体集積法)、さまざまな酸化物ナノレイヤーの合成に成功した(Langmuir, 2020 など)。本研究では、この前駆体集積法を発展させ、「ペロブスカイト型複合酸化物の独創的合成プロセス」の構築を目指す。詳細なキャラクタリゼーションに基づき、前駆体集積法によるペロブスカイト型酸化物の合成原理を解き明かす。さらに、前駆体集積法を利用して新規複合酸化物ナノ材料を創製し、これを用いた電解プロセスの開拓を行う。

3. 研究の方法

前駆体集積法によるペロブスカイト合成の一例として、 $LaMnO_3$ の合成手順を以下に示す。

- 1) $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ と $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ をエタノールに溶かして前駆体溶液を調製。
- 2) ナノカーボン(カーボンブラック(KB)またはカーボンナノファイバー(CNFs))をメンブランフィルター上の漏斗に置き、前駆体溶液を炭素粉末に滴下。
- 3) 吸引濾過で過剰な溶媒を除去し、1時間乾燥。
- 4) サンプルを403 Kで一晩乾燥し、乳鉢で粉砕。
- 5) 得られた前駆体と炭素の複合体を873 Kで4時間、空気焼成。
- 6) 焼成により、ナノカーボンが除去され($C + O_2 \rightarrow CO_2$)、 $LaMnO_3$ が生成。

その他のペロブスカイトの合成も同様の手順で行った。

XRD, STEM/EDX, 窒素吸着/脱着測定等により、合成したペロブスカイトの構造および形態を解析した。

$NiFe(OH)_x/C$ は前駆体集積法を応用して調製した。硝酸ニッケル/硝酸鉄/カーボンブラック/Nafionをエタノールに溶解・分散させ、グラッシーカーボン電極上に滴下、乾燥することで、カーボンブラック表面に硝酸ニッケルと硝酸鉄を高分散に展開した。この電極を用いて、0.1 M KOH水溶液における酸素発生反応(OER)を評価した。

4. 研究成果

(1) 前駆体集積法によるペロブスカイトナノ構造体の合成

前駆体集積法で合成した試料のXRDパターンを解析した結果、 $LaMnO_3$, $LaCoO_3$, $LaFeO_3$, $LaNiO_3$, $LaAlO_3$, $LaGaO_3$, $CaMnO_3$, $BaMnO_3$, $SrMnO_3$, $La_{0.7}Sr_{0.3}FeO_3$, $Ca_2Fe_2O_5$, La_2CuO_4 などの明確なペロブスカイト構造のピークが観察された(図1)。合成されたペロブスカイトの結晶サイズは13~48 nmの範囲であり、比表面積は4~44 m^2/g であった。これらの結果は、従来の液相法で合成されたナノペロブスカイトと同等の特性を示している。また、ナノカーボンを使用せずに同様の手順で試料を合成したところ、ペロブスカイト構造が形成されず、不純物相($La(OH)_3$, La_2O_3 , $BaCO_3$, $SrCO_3$ など)が支配的に生成するケー

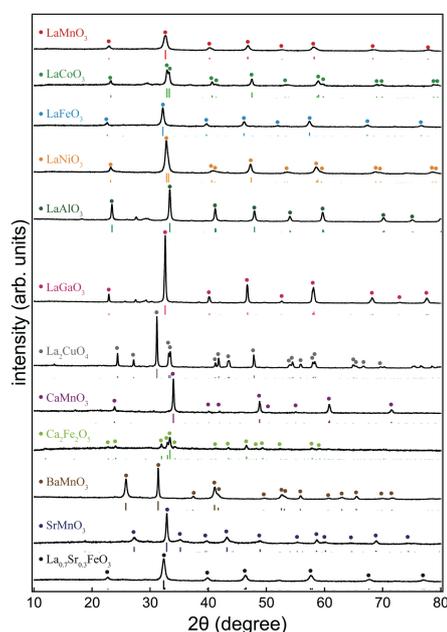


図1 ペロブスカイトのXRDパターン

スも見受けられた。これにより、ナノカーボンがペロブスカイト合成において不可欠であることが示唆された。STEM および EDX 解析により、ナノカーボン上に均一に堆積した前駆体が確認された。このように異種前駆体同士がナノレベルで混じり合うことにより、空気焼成時に不純物相の形成を防ぎ、複合酸化物（ペロブスカイト）の形成を促進することがわかった。また、前駆体がナノレベルで混合していることにより、低温焼成でも複合酸化物が形成しやすくなり、ナノ構造のペロブスカイトが得られたと推察した。

KB および CNFs を用いて合成した SrMnO_3 および LaFeO_3 の SEM 像を図 2 に示す。炭素の形状を反映したナノ粒子状およびファイバー状の生成物が得られたことから、前駆体集積法を用いることでナノカーボンの形状を反映したペロブスカイトの合成が可能であることが示された。

異なる焼成温度で合成した LaMnO_3 の XRD パターンを測定した。823~873 K で焼成した試料ではペロブスカイト相の回折線のみが観測された。793 K で焼成した場合、明確なペロブスカイト相は確認されず、この温度は LaMnO_3 の結晶構造を形成するには不十分であることが明らかとなった。興味深いことに、硝酸ランタンまたは硝酸マンガンのみをナノカーボンに集積して 793 K で焼成すると、オキシ炭酸ランタンと酸化マンガンの鋭い回折線が確認された。これにより、単一の硝酸塩からはオキシ炭酸塩や酸化物が生成されるが、混合して集積することで、これら単一成分相の形成が抑制されることが示された。電子顕微鏡を用いてナノカーボン上での前駆体の集積状態を解析した。硝酸ランタンと硝酸マンガン CNF に集積し、573 K で加熱した試料の STEM 像と EDX 分析を図 3 に示す。この焼成温度では複合酸化物相は形成されないが、STEM 像と EDX による元素マッピングから、CNF 上に La と Mn がナノレベルで均一に分布していることがわかった。先に述べたように、異種前駆体同士がナノレベルで混じり合うことにより、複合酸化物（ペロブスカイト）の形成を促進することが示唆された。

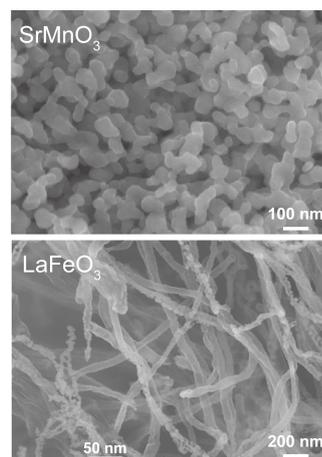


図 2 合成したペロブスカイトの SEM 像

以上の結果から、前駆体集積法によるペロブスカイトの合成プロセスは以下のように推定される（図 4）。まず、前駆体溶液がナノカーボンに浸漬し、その後の乾燥プロセスで前駆体がナノカーボン表面に集積する。ナノカーボン表面における前駆体のナノレベルでの混合により、不純物相（すなわち単一相）の形成が抑制され、複合酸化物相の形成が促進されたと考えられる。熱重量分析によると、ペロブスカイト相の形成温度より低い温度で炭素が完全に燃焼除去されることがわかった。つまり、ペロブスカイト相の形成には炭素の燃焼熱は関与しておらず、ナノカーボン表面に異なる酸化物前駆体をナノレベルで均一に集積させることがペロブスカイト合成において重要であると考えられる。前駆体集積法は化学反応を用いずに、ナノカーボン表面に前駆体を物理的に集積・混合させるプロセスである。ナノカーボン表面を無機合成の反応場とすることで、低温焼成によるペロブスカイトナノ粒子の合成が可能となっている。

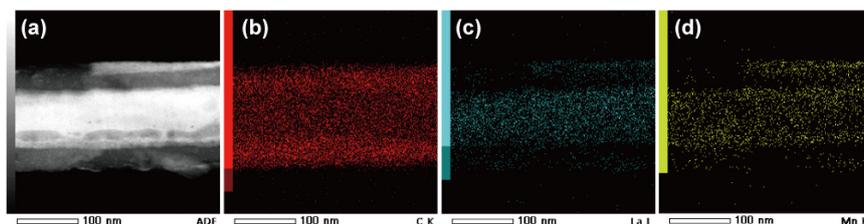


図 3 CNFs に集積した硝酸ランタンと硝酸マンガン（573 K 焼成後）の STEM 像と EDX マッピング

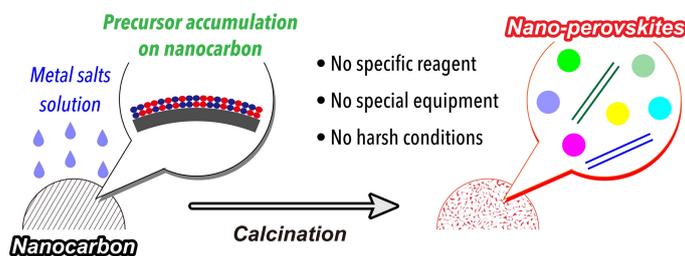


図 4 前駆体集積法によるペロブスカイトナノ構造体合成のイメージ図

前駆体集積法には、従来の液相法と比較していくつかの利点がある。例えば、ソルゲル法ではキレート剤や多価アルコールを使用して前駆体を均一に混合し、低温で焼成することが一般的であるが、前駆体集積法ではナノカーボンを使用することで、これらの化学試薬を使用せずに同様の効果を得ることができる。さらに、前駆体集積法は特定の前駆体だけでなく、さまざまな金属塩を均一に堆積させることが可能であるため、広範なペロブスカイトを合成することができる。また、ナノカーボンを使用することで、焼成時の熱分布が均一になり、前駆体の焼成プロセスが効率化される。これにより、ペロブスカイトの結晶成長が均一に進行し、高品質なナノペロブスカイトが得られる。さらに、ナノカーボンが焼成中に完全に燃焼することで、生成されたペロブスカイトには不純物が残らず、高い純度が保たれる。これらの結果から、前駆体集積法はナノペロブスカイトの合成において有効であることが示された。前駆体集積法を用いることで、さまざまな形態と高い比表面積を持つペロブスカイトを効率的に合成できるため、将来的には多岐にわたる応用が期待される。

また前駆体集積法とは異なるアプローチとして、水溶性チタン錯体を用いたペロブスカイト合成にも成功した。水溶性のチタン複合体と金属酢酸塩を水に溶解し、乾燥させて固体沈殿物を得た。この沈殿物を低温焼成すると、 MTiO_3 ($M = \text{Ba}, \text{Sr}, \text{Ca}, \text{Zn}, \text{Mg}$) が得られた。このシンプルなアプローチで合成した MTiO_3 は、これまでに液相法等で合成されたナノサイズの MTiO_3 と同等の比表面積を示した。

(2) $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ の電極触媒活性

前駆体集積法を応用して、高い電極触媒活性を示す NiFe 系複合酸化物を調製した。ニッケルと鉄の硝酸塩および KB を含む触媒インクをグラッシーカーボン電極に滴下し、乾燥させることで $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ 複合触媒を調製した。この $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ 触媒は、従来の Ir/C 触媒よりも高い OER 活性を示した (図 5)。また $\text{Ni}(\text{OH})_x/\text{C}$ および $\text{Fe}(\text{OH})_x/\text{C}$ を大きく上回る OER 活性を示したことから、 Ni と Fe のシナジー効果が観測された。KB が存在しない場合、 $\text{NiFe}(\text{OH})_x$ は低い OER 活性しか示さず、ナノカーボン上に存在する $\text{NiFe}(\text{OH})_x$ 種が、OER を促進することが示唆された。

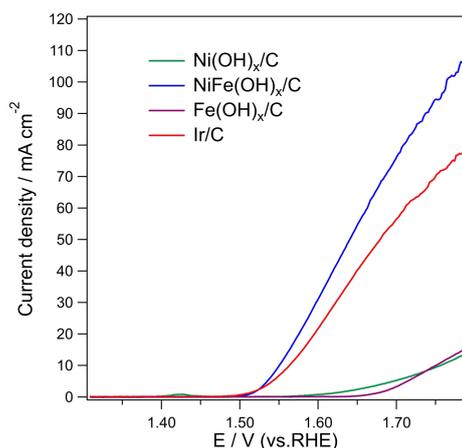


図 5 各種触媒の酸素発生反応 (OER) 活性

サイクリックボルタンメトリー測定から、KB が Ni と Fe 種の高分散化に寄与していることが示された。KB 上で Ni と Fe 種は隣接して存在し、相互作用を及ぼしている。この特異なナノ構造が高い OER 活性に寄与していると推測した。 $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ は OER に対して安定であり、その TOF (触媒回転頻度) は既報の NiFe 系触媒と同程度であった。

ナノカーボン上への金属前駆体集積手法を応用することで、極めて簡便に一段階プロセスで $\text{NiFe}(\text{OH})_x/\text{C}$ を電極上に形成できた。本法は大規模化も容易であることから、グリーン水素の大量生産を可能にすると期待される。

(3) アルコール電解酸化

酸化物ナノ粒子および複合酸化物ナノ粒子を電極触媒に用いて各種アルコールの電解酸化を行ったところ、カルボン酸を高選択的に合成可能であることを明らかにした。たとえば Ni 系複合酸化物ナノ粒子を用いて、ブタノールから酪酸、グリセロールからギ酸を合成できた。さらに派生する研究として、膜/電極接合体を用いた電解酸化系を開拓し、各種アルコールをエステル、アルデヒド、アセタール等に高付加価値化できる反応系を見出した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nanako Kuramochi, Miru Yoshida-Hirahara, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 7
2. 論文標題 Proton Exchange Membrane Electrolysis of Methanol for Simultaneously Synthesizing Formaldehyde and Hydrogen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 778-785
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SE01472F	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 Shady Abdelnasser, Takumi Hakamata, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 928
2. 論文標題 Electrochemical Oxidation of 1-Propanol through Proton Exchange Membrane Electrolysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 117009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2022.117009	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 Shady Abdelnasser, Hibiki Matsushita, Hideki Kurokawa, Hitoshi Ogihara	4. 巻 52
2. 論文標題 Effect of Nafion Ionomer on Proton Exchange Membrane Electrolysis of Benzyl Alcohol	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 560-563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230178	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 Seito Kawai, Mai Higuchi, Miru Yoshida-Hirahara, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 52
2. 論文標題 General Synthesis of MTiO ₃ (M = Ba, Sr, Ca, Zn, and Mg) Using Water-soluble Ti complexes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 492-495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230132	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 Aoi Sakamaki, Miru Yoshida-Hirahara, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 38
2. 論文標題 One-Step Synthesis of Highly Active NiFe Electrocatalysts for the Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 5525-5531
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.2c00097	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 Mai Higuchi, Mizuri Yaguchi, Miru Yoshida-Hirahara, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 12
2. 論文標題 Facile synthesis of nanostructured perovskites by precursor accumulation on nanocarbons	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 6186-6191
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA08357K	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 Mizuri Yaguchi, Miru Yoshida-Hirahara, Hitoshi Ogihara, Hideki Kurokawa	4. 巻 46
2. 論文標題 Simple Solution Route to Synthesize NiFe Oxide/Nanocarbon Composite Catalysts for the Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 9312-9321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2NJ00947A	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 Aoi Sakamaki, Hitoshi Ogihara, Miru Yoshida-Hirahara, and Hideki Kurokawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Precursor Accumulation on Nanocarbons for the Synthesis of LaCoO ₃ Nanoparticles as Electrocatalysts for Oxygen Evolution Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 20313-20321
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1RA03762E	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 Daisuke Kawaguchi, Hitoshi Ogihara, and Hideki Kurokawa	4. 巻 20
2. 論文標題 Upgrading of Ethanol to 1,1-Diethoxyethane by Proton Exchange Membrane Electrolysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemSusChem	6. 最初と最後の頁 4431-4438
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cssc.202101188	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 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 電気化学的なアルコール部分酸化反応
3. 学会等名 2023年度 高難度選択酸化反応研究会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 荻原仁志
2. 発表標題 脱水素的な分子転換のための電極触媒場の設計
3. 学会等名 第132回触媒討論会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福田亮子, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 酸化ナノ粒子触媒を用いた直鎖アルコールの電解酸化
3. 学会等名 第53回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荻原仁志
2. 発表標題 アルコール類をアップグレードする電解酸化プロセス
3. 学会等名 石油学会中国・四国支部 第41回支部講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 荻原仁志
2. 発表標題 アルコールを高付加価値物質と水素に転換する電解プロセスの開拓
3. 学会等名 水素エネルギー協会（HESS）第170回定例研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福田亮子，矢口美寿里，平原実留，荻原仁志，黒川秀樹
2. 発表標題 ペロブスカイトナノ粒子触媒によるグリセロール電解酸化
3. 学会等名 第26回 石油学会JPIJSポスターセッション
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitoshi OGIHARA, Ryoji KISHI, Nanako KURAMOCHI, Miru YOSHIDA-HIRAHARA, Ichiro YAMANAKA, Hideki KUROKAWA
2. 発表標題 Electroconversion of lower alcohols into value-added chemicals
3. 学会等名 TOCAT 9
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitoshi OGIHARA, Ryoji KISHI, Nanako KURAMOCHI, Miru YOSHIDA-HIRAHARA, Ichiro YAMANAKA, Hideki KUROKAWA
2. 発表標題 Catalytic conversion of methanol to methyl formate via proton-exchange membrane electrolysis
3. 学会等名 TOCAT 9
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 倉持那奈子, 平原実留, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 膜-電極接合体を用いたメタノール電解酸化によるホルムアルデヒド合成
3. 学会等名 2022年 電気化学会秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 袴田 拓海, 平原 実留, 荻原 仁志, 黒川 秀樹
2. 発表標題 膜-電極接合体を用いた2級アルコールの電解脱水素反応によるケトン類の合成
3. 学会等名 第130回 触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荻原 仁志, 岸 怜児, 川口 大輔, 袴田 拓, 倉持 那奈子, 黒川 秀樹
2. 発表標題 PEM 型電解ユニットを用いた低級アルコールのアップグレーディング
3. 学会等名 第10回 次世代天然ガス利用を考える若手勉強会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 矢口美寿里, 平原実留, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 ナノカーボン上に形成したNi-Fe系酸化物の酸素発生反応活性
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉持那奈子, 岸怜児, 平原実留, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 電解脱水素法によるメタノールの部分酸化
3. 学会等名 第25回石油学会JPIJSポスターセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 袴田拓海, 川口大輔, 岸怜児, 平原実留, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 プロトン交換膜を利用したアルコールの電解酸化
3. 学会等名 第25回石油学会JPIJSポスターセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻原仁志
2. 発表標題 脱水素反応を基軸とする小分子のアップグレーディング -アルコール電解とメタン転換を例に-
3. 学会等名 石油学会北海道支部 札幌地区講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川口大輔, 平原実留, 荻原仁志, 黒川秀樹
2. 発表標題 電解脱水素法によるアルコールの転換
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荻原仁志
2. 発表標題 脱水素的な分子転換プロセスの開発 -アルコール電解からメタン多量化まで-
3. 学会等名 第51回石油・石油化学討論会(招待講演)
4. 発表年 2021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