

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K05291

研究課題名（和文）真に水素社会に貢献する燃料電池自動車用の革新的な超耐久空気極触媒の創製

研究課題名（英文）Development of innovative cathodic electrocatalyst with ultra high durability for fuel cell vehicles contributing for hydrogen society

研究代表者

松澤 幸一（Matsuzawa, Koichi）

横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80500743

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：燃料電池自動車は今後の普及が期待されているが、今後は生産コストの約半分を触媒材料コストが占める懸念があり、全く新たな超耐久触媒が必要になる。そこで本研究では真に水素社会に貢献する次世代用の燃料電池自動車の革新的で超耐久な空気極触媒の創製を目指し、非貴金属酸化物系触媒及び担体の研究を行った。その結果、チタン酸化物系電極触媒ではFe、Ni、Znなどを混合し、低酸素分圧下で熱処理することで酸化物含有量が36 wt%であり、従来条件にて熱処理した触媒よりも多く、触媒質量基準の酸素還元反応の触媒活性が向上し、本研究の中では最高活性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究期間中に燃料電池自動車用途に関する性能要求が大幅に変更された。具体的には移動用の燃料電池の用途は自動車のみならず、大型トラックや鉄道、船舶、建設機械、農業用機械、産業用機械などの大型・商用モビリティ（HDV）にシフトすることがロードマップでも明らかになったためである。その中で本研究はすぐにHDVには転用できるレベルには達することはできなかったが、真の意味での水素社会に対応できるような安価な原材料（Ti酸化物等）を用いて、触媒や担体の活性や耐久性を評価したことはそのHDV用の次世代以降の燃料電池の基礎研究として重要であり、特にTi酸化物系触媒を高活性化できたのが成果といえる。

研究成果の概要（英文）：Fuel cell vehicles has expected to be widely used in the future, but it is a issue for the cost of electrocatalyst of the system. Thus, a completely new ultra-durable electrocatalyst should be required. In this study, non-precious metal oxide-based electrocatalysts and supports have investigated to develop innovative cathodic electrocatalysts with ultra-high durability for next-generation fuel cell vehicles contributing to the hydrogen society. As a result, titanium oxide-based electrocatalysts with Fe, Ni, Zn were prepared with heat-treatment under low oxygen partial pressure which was higher than that of catalysts heat-treated under conventional conditions, and the catalytic activity of the oxygen reduction reaction has obtained with the highest activity in this research.

研究分野：電気化学

キーワード：燃料電池 固体高分子形燃料電池 空気極 担体 酸化物系触媒 酸化チタン 脱白金

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2014年12月に燃料電池自動車(Fuel Cell Vehicle; FCV)が世界で初めて我が国で市販され、本年は燃料電池バスも販売が開始された。国内の水素市場規模は、2030年には1兆円弱、2050年には8兆円規模になるとの見通し例もあるが、燃料電池自動車はその中核として、今後の普及が期待されている。ただ、アメリカのエネルギー省は現状技術のまま燃料電池を量産すると電極触媒が他の構成要素と比較して、今後、生産コストの約半分を占めるといふ著しい割合となることを予想し、非白金触媒などの今後の材料設計指針が示された。

燃料電池自動車にはカーボン材料に担持した白金ベースのナノ粒子が触媒として使われている。白金が触媒能の役割を果たし、カーボン材料が電子伝導の役割を担っているが、白金にしても炭素にしても80、0.7Vでの作動がギリギリであり、ターゲットする120、0.9Vでの作動に加えて自動車特有の激しい起動停止にさらされると、白金は溶解析出してしまい、炭素は酸化消失してしまって正常に作動することさえ出来ない。以上より、燃料電池自動車の普及が一層拡大し、水素エネルギーシステムの中核デバイスになり得るために抱える課題は非常に厳しい。

### 2. 研究の目的

報告者らはこれまで空気極の環境である酸性・酸化雰囲気中で安定な4及び5族遷移金属酸化物をベースとした非貴金属触媒の開発を行ってきた。近年、4及び5族有機金属錯体を出発物質として、導電パスの形成に錯体由来の析出カーボンを、導電性担体として多層カーボンナノチューブ(Multi-walled carbon nano-tube: MWCNT)を利用することにより、酸素還元活性の飛躍的向上に成功し、セルでは白金触媒の約1/10程度まで近づく性能を有するレベルまで引き上げた。しかし、析出カーボンやMWCNTは主に電子伝導のみの役割を担っているものの、炭素を使用する限り、2035年をターゲットとする真に水素社会に貢献する次世代用の燃料電池自動車の超耐久な空気極触媒とはなりえない。

そこで、本研究の目的は、非貴金属(脱白金)酸化物系触媒を作製し、導電性を担う物質として、低次のチタン酸化物である $Ti_4O_7$ に着目して(脱炭素)それらを組み合わせた脱白金・脱炭素空気極触媒を開発し、真に水素社会に貢献する次世代用の燃料電池自動車の革新的な超耐久空気極触媒を創製することを目指し、以下の空気極触媒を構成する担体及び触媒の開発、そしてその安定性について酸化物系材料を用いて行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 酸化物系担体の作製とその評価方法

Nb-TiO<sub>2</sub>は水熱合成法にて合成し、P-SnO<sub>2</sub>は三菱マテリアル電子化成株式会社の市販粉末を用いた。Nb-TiO<sub>2</sub>は、Nb添加量と熱処理温度・時間をパラメータとして実験条件を設定し、100%H<sub>2</sub>雰囲気中で熱処理を行った。P-SnO<sub>2</sub>はAir, Ar, 4%H<sub>2</sub>/Ar雰囲気中で熱処理を行った。両酸化物それぞれのサンプルについて比表面積、導電率を評価した。導電率は圧粉体を用いた抵抗測定により、60 MPa時の抵抗率を測定し、その逆数を導電率として評価した。電気化学測定は三電極式セルを用いて、30、0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で行った。参照極は可逆水素電極 RHE、対極にはGC plateを用いた。起動停止試験を燃料電池実用化推進協議会にて推奨されている条件<sup>[3]</sup>を参考に、具体的には窒素中で500 mV / sec、1.0 V ~1.5 V vs. RHEで15000cycleまで行った。

#### (2) 酸化物系材料の熱力学安定性の評価方法

ベースとなる酸化物ナノ粒子の溶解度評価のために、市販TiO<sub>2</sub>ナノ粉末(平均粒子径6.0 nm、アナターゼ型)を用いた。酸化チタン系ナノ触媒は既報の論文を基に作製した。触媒はカーボンナノチューブ(CNT)を担体として、有機金属錯体由来の析出カーボンでCNT上の酸化チタンナノ粒子が一部覆われた状態になっている。組成を正確に表現するのは困難なため、以後Ti-CNO触媒と表記する。

得られたTi-CNO触媒100 mgは0.10 M過塩素酸100 cm<sup>3</sup>と共に、TiO<sub>2</sub>ナノ粉末600 mgは1.0 M、0.32 M、0.10 M過塩素酸(それぞれpH=0.25、0.61、1.03)各300 cm<sup>3</sup>と共に三角フラスコに投入し、激しく攪拌した。溶液の温度は30、50、70、90 に保持した。所定時間経過後に攪拌を一時停止し、溶液のうち2 cm<sup>3</sup>を採取し、シリジフィルター(孔径0.22 μm)で濾過した。濾液はすぐに希釈して保存し、チタンの濃度をICP-AESで測定した。溶液中のチタン濃度が概ね一定となるまで攪拌、採取、濾過、希釈、ICP-AESによるチタンの濃度測定を繰り返し行った。70でのTi-CNO粉末触媒の溶解試験においては、攪拌を一時停止した際に沈殿したTi-CNO触媒の一部を回収し、溶解試験の終了時にもTi-CNO触媒を回収した。

作製したTi-CNO触媒、及び溶解試験中に回収したTi-CNO触媒はGCロッドに担持して作用極とし電気化学測定を行った。電気化学測定は三電極式セルを用いて温度は30±1、電解質は0.1 M硫酸で行った。参照極は可逆水素電極 RHE、対極にはGC板を用いた。窒素雰囲気下、50 mV s<sup>-1</sup>

1、0.05~1.2 V で Cyclic Voltammetry (CV) を行った後、酸素及び窒素雰囲気中で  $5 \text{ mV s}^{-1}$ 、0.2~1.2 V で CV を行い、酸素還元電流を算出した。酸素還元電流密度  $i_{\text{ORR}}$  は触媒質量で規格化した。

### (3) Ti 酸化物系触媒の作製とその評価方法

2,3-ジシアノピラジン、尿素、チタンイソプロポキシド、酢酸鉄、酢酸亜鉛をキノリンに加えて、240 °C で 8h 還流 を行い、Ti に加えて Fe や Zn を含んだ TiOTPyzPz を合成し、前駆体とした。Fe と Zn は、原子比率で Fe/Ti=0, 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, Zn/Ti=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 と変えて、組み合わせて 25 種類作製した。また、Zn の添加が効果的であることがわかったので、Fe/Ti=0.2 とし、Zn 添加量をさらに増やした Zn/Ti=0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 も合成した。これらの前駆体を低酸素雰囲気下で 900 °C、3 h 熱処理し、Ti 酸化物ベース触媒を得た。熱処理雰囲気は 2 %H<sub>2</sub>+0.05 %O<sub>2</sub>/Ar (従来 雰囲気) とした。また、Fe/Ti=0.2、Zn/Ti=0.9 の場合において、Ti 酸化の促進のため酸素濃度を上げた新たな 2 %H<sub>2</sub>+0.5 %O<sub>2</sub>/Ar 雰囲気での熱処理も行った。この高い酸素濃度にて作製した触媒を Fe<sub>0.2</sub>-Zn<sub>0.9</sub>-0.5%O<sub>2</sub> と呼ぶ。電気化学測定は、三電極式セルにて 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、30 ± 0.5 °C の条件で行った。酸素還元電流密度は、酸素中の電流から窒素中の電流を差し引いて求め、触媒担持量で規格化した。ORR 活性は、0.8 V における電流密度 ( $|i_{\text{ORR}}@0.8 \text{ V}|$ ) を用いて比較した。二重層容量  $C_{\text{dl}}$  は、窒素雰囲気中における CV の 0.8 から 1.0 V の範囲より算出した。

## 4. 研究成果

### (1) 酸化物系担体開発について

Nb ドープ TiO<sub>2</sub> (Nb-TiO<sub>2</sub>) と P ドープ SnO<sub>2</sub> (P-SnO<sub>2</sub>) に着目し、Nb-TiO<sub>2</sub> は担体としての物性評価を、P-SnO<sub>2</sub> は触媒担持工程を模擬した熱処理の影響を調査した。すなわち、Nb-TiO<sub>2</sub> は担体機能向上化を目的として熱処理を行い、P-SnO<sub>2</sub> は物性値への影響を調べることを目的として熱処理を行った。その結果、両サンプルとも 15000 cycle 後もサイクリックボルタモグラムがほとんど変化しないことから、担体として高耐久であることが分かった。また、いくつかの雰囲気下における熱処理温度が P-SnO<sub>2</sub> の比表面積と導電率に及ぼす影響を検討した。P-SnO<sub>2</sub> は、低温での弱還元処理や、Ar 中での熱処理ならば、比表面積、導電率を下げずに触媒を担持できる可能性があることがわかった。最後に本研究で作成した酸化物担体の物性値を検討したところ、Nb-TiO<sub>2</sub> は比表面積と導電率はトレードオフの関係にあることが分かった。酸化物触媒担持を考えると導電率は低いが、Pt 触媒担持用であれば十分な物性値を持つサンプルの合成に成功した。一方、P-SnO<sub>2</sub> に関しては、Ar 中、もしくは低温 4%H<sub>2</sub> 中での熱処理であれば、高比表面積かつ高導電率と触媒担持工程を模擬した熱処理の影響を受けないことが分かった。

### (2) 酸化物系材料の熱力学安定性について

TiO<sub>2</sub> ナノ粒子、Ti-CNO 触媒は共に溶解度が温度の上昇に伴って低下する傾向が見られた。すなわち、酸化チタン系ナノ材料の酸性電解質への溶解反応は発熱反応であり、PEFC の高温作動環境下で有利な材料である。一方、Ti-CNO 触媒の溶解度は TiO<sub>2</sub> ナノ粒子よりも大きくなった。これは溶解平衡後の Ti-CNO 触媒、TiO<sub>2</sub> ナノ粒子の間の粒子径、結晶相の違いによるものと考えられるが、更なる検討が必要である。

Ti-CNO 触媒は酸性電解質への長期間の浸漬により、Ti-CNO 触媒中のブルッカイト型、ピドクロサイト型酸化チタンが溶解し、ルチル型、アナターゼ型酸化チタンが再析出する。この溶解・再析出により、Ti-CNO 触媒は過塩素酸中で特異な溶解挙動を示すことや、浸漬時間とともに Ti-CNO 触媒の酸素還元活性が大幅に低下することが分かった。

### (3) Ti 酸化物系触媒の開発について

これまで、含窒素有機 Ti 錯体 TiOTPyzPz (チチアピラジン) を多層カーボンナノチューブ (MWCNT) と混合し、低酸素分圧下で熱処理して作製した Ti 酸化物と析出カーボンが混在して MWCNT 上に分散した触媒が、優れた ORR 活性を有することを見出した。本研究では、TiOTPyzPz に Fe、Ni、Zn などを混合し、低酸素分圧下で熱処理して得られた異元素添加 Ti ベース酸化物触媒作製を試み、ORR 活性向上に効果的な Fe、Zn の添加原子比率の最適化を試みた。その結果、ORR 活性は、Fe の無添加 (Fe/Ti = 0) の条件では、Zn/Ti によらず Fe 及び Zr の無添加 (Fe/Ti=Zn/Ti=0) に比べて ORR 活性は向上しない。一方、Zn 無添加 (Zn/Ti = 0) の条件では、Fe 添加による ORR 活性向上効果が見られた。すなわち、Fe 添加は活性サイトの形成に関与していると推定された。

そこで、さらなる ORR 活性の向上を目指し、Fe/Ti=0.2 に固定し、Zn 添加量を増やした Zn/Ti=0.6-1.0 の触媒を検討した。Zn/Ti=0.9 で最大値となり、Zn/Ti=1.0 で大きく低下した。Zn は熱処理により酸化し、触媒中に残存せず、触媒に隙間構造を形成し、有効表面積を増大することで、Fe の ORR 活性向上効果をより促進する役割を持つ可能性を指摘した。従って、Zn の酸化に伴う有効表面積の増大が ORR 活性向上に寄与したと考えられる。

最後に、Fe/Ti=0.2、Zn/Ti=0.9 の場合において、Ti の酸化を促進する新条件 2 %H<sub>2</sub>+0.5 %O<sub>2</sub>/Ar での熱処理を行った。得られた触媒は、酸化物含有量が 36 wt% であり、従来条件にて熱処理し

た触媒よりも多かった。これは、高い酸素濃度での熱処理によってより多量の炭素が酸化・焼失し、カーボン析出量が減少したと考えられる。その結果、触媒質量基準の ORR 活性が向上し、本研究の中では最高活性を示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6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 Matsuzawa Koichi, Obata Momo, Takeuchi Yuu, Ohgi Yoshiro, Ikegami Kaoru, Nagai Takaaki, Monden Ryuji, Ishihara Akimitsu	4. 巻 108
2. 論文標題 Effects of Foreign Elements Added Oxide-Based Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction as Non-Precious Metal Cathodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 181 ~ 188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10807.0181ecst	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 Matsuzawa K, Obata M, Takeuchi Y, Ohgi Y, Ikegami K, Nagai T, Monden R, Ishihara A	4. 巻 108
2. 論文標題 Corrigendum: Effects of Foreign Elements Added Oxide-Based Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction as Non-Precious Metal Cathodes [ECS Trans. 108 (7) 181-188 (2022)]	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 189 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/10807.0189ecst	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 井上裕太、永井崇昭、大城善郎、黒田義之、松澤幸一、石原顕光	4. 巻 22
2. 論文標題 PEFCカソード用酸化物担体としてのPドーブSnO <sub>2</sub> の適用性評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 燃料電池	6. 最初と最後の頁 79-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Inoue Yuta, Matsuzawa Koichi, MA Yongbing, Ohgi Yoshiro, Nagai Takaaki, Kuroda Yoshiyuki, Yamamoto Shunya, Ishihara Akimitsu	4. 巻 98
2. 論文標題 P-Doped SnO <sub>2</sub> Powder as a Support for PEFC Cathode	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 565 ~ 572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/09809.0565ecst	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 Matsuzawa Koichi, Obata Momo, Takeuchi Yuu, Ohgi Yoshiro, Nagai Takaaki, Monden Ryuji, Ishihara Akimitsu	4. 巻 111
2. 論文標題 Fe and Zn Addition Effects of Ti Oxide-Based Electrocatalyst on Catalytic Activity for Oxygen Reduction Reaction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ECS Transactions	6. 最初と最後の頁 29 ~ 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/11105.0029ecst	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 小幡もも、松澤幸一、竹内悠、商磊、原賢二、石原晋次、伊澤和祥、永井崇昭、門田隆二、石原顕光	4. 巻 23
2. 論文標題 チタン酸化物ベース触媒への鉄、亜鉛添加による酸性電解質中における酸素還元活性の向上	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 燃料電池	6. 最初と最後の頁 83-94
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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36件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 小幡もも、松澤幸一、竹内悠、大城善郎、池上芳、永井崇昭、門田隆二、石原顕光
2. 発表標題 酸性電解質中における4族酸化物ベース触媒への鉄添加による酸素還元活性の向
3. 学会等名 第29回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺啓太、松澤幸一、竹内悠、池上芳、大城善郎、永井崇昭、門田隆二、石原顕光
2. 発表標題 PEFC白金代替カソードのためのピラジンカルボン酸を用いた炭素含有4族酸化物への異元素添加が酸素還元活性に及ぼす影響
3. 学会等名 第29回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 酸性電解質中における4族酸化物ベース触媒の酸素還元能に影響する因子の検討
3. 学会等名 第31回電極材料研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 大城善郎, 石原晋次, 池上芳, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用カソード触媒としてのTi酸化物ベース触媒の酸素還元活性に対する影響因子の検討
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 大城善郎, 池上芳, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 硫酸溶液中におけるTi酸化物ベース触媒の酸素還元活性に対するFe, Zn添加の効果
3. 学会等名 第 13 回新電極触媒シンポジウム&宿泊セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 酸素還元触媒としてのTi酸化物ベース触媒の電気化学的特性
3. 学会等名 電気化学会第90回大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 K. Matsuzawa, M. Obata, Y. Takeuchi, Y. Ohgi, K. Ikegami, T. Nagai, R. Monden, A. Ishihara
2. 発表標題 Effects of Foreign Elements Added Oxide-based Electrocatalyst for Oxygen Reduction Reaction as Non-precious Metal Cathodes
3. 学会等名 241st ECS Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡辺啓太, 松澤幸一, 足立吉徳, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 カーボン担体を用いたPEFCカソード用チタン酸化物系ナノ粒子触媒の高活性化
3. 学会等名 第28回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太, 松澤幸一, 竹内悠, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 酸性溶液中での4,5族酸化物系触媒への異元素添加が酸素還元触媒能に及ぼす影響
3. 学会等名 第30回電極材料研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太, 松澤幸一, 竹内悠, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 PEFCカソード用4,5族遷移金属酸化物触媒の異元素添加による高活性化の検討
3. 学会等名 2021年電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太, 松澤幸一, 竹内悠, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池の非白金カソード触媒のための炭窒素含有4,5族酸化物の異元素添加による酸素還元触媒能の向上
3. 学会等名 第41回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 大城善郎, 池上芳, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池の非白金カソードとしてのFe, Ni, Zn添加酸化チタン酸素還元触媒の開発
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太, 松澤幸一, 竹内悠, 池上芳, 大城善郎, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 PEFC白金代替カソード触媒のためのピラジンカルボン酸を用いた炭窒素含有4族酸化物への異元素添加が酸素還元触媒能に及ぼす影響
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 幡もも, 松澤幸一, 竹内悠, 大城善郎, 池上芳, 永井崇昭, 門田隆二, 石原顕光
2. 発表標題 PEFC非白金カソード触媒としてのCNT担持炭窒素含有4族酸化物の酸素還元活性の向上
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Inoue , K. Matsuzawa , Y. Ma , Y. Ohgi , T. Nagai , Y. Kuroda , S. Yamamoto , and A. Ishihara
2. 発表標題 P-Doped SnO <sub>2</sub> Powder as a Support for PEFC Cathode
3. 学会等名 PRiME2020 ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Kitamura, K. Matsuzawa, T. Nagai, K. Ota, A. Ishihara
2. 発表標題 Stability of TiO <sub>2</sub> -based materials under PEFC operation condition for non-platinum cathodes
3. 学会等名 PRiME2020 ( 国際学会 )
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北村祐仁、松澤幸一、永井崇昭、大城 善郎、冨中悟史、石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用非白金カソード触媒の実用化に向けた酸化チタン系ナノ材料の安定性評価
3. 学会等名 第40回水素エネルギー協会 (HESS) 大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹内悠、松澤幸一、永井崇昭、池上芳、黒田義之、門田隆二、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用カソード触媒としての貴金属添加チタン酸ナノシート
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺啓太、松澤幸一、足立吉徳、池上芳、大城善郎、永井崇昭、門田隆二、石原顕光
2. 発表標題 カーボン担体を用いたPEFC用異元素添加酸化チタンナノ粒子酸素還元触媒の合成
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鳥袋航、富中悟史、永井崇昭、荒尾正純、松本匡史、黒田義之、松澤幸一、今井英人、光島重徳、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 アークプラズマ蒸着法によるPEFC用脱白金酸化物系酸素還元粉末触媒の開発
3. 学会等名 第26回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立吉徳、永井崇昭、黒田義之、松澤幸一、光島重徳、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 カーボンを用いたPEFC用4族金属酸化物カソード触媒の開発
3. 学会等名 第26回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上裕太、松澤幸一、永井崇昭、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用酸化物担体のための異元素ドーパ酸化チタンの物性制御因子の解明
3. 学会等名 第26回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村祐仁、松澤幸一、永井崇昭、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用非白金カソード開発に向けた酸化チタン系材料の酸性電解質中での安定性評価
3. 学会等名 第26回燃料電池シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上裕太、松澤幸一、馬永炳、大城善郎、永井崇昭、黒田義之、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 貴金属触媒用のTiO <sub>x</sub> 担体の高機能化
3. 学会等名 第29回電極材料研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立吉徳、永井崇昭、大城善郎、黒田義之、松澤幸一、光島重徳、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用非貴金属カソードのためのTiO <sub>x</sub> ベース触媒の開発
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島袋航、富中悟史、永井崇昭、荒尾正純、松本匡史、黒田義之、松澤幸一、今井英人、光島重徳、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用ジルコニア系酸素還元粉末触媒の開発
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Inoue, K. Matsuzawa, Y-b Ma, T. Nagai, Y. Kuroda, K. Ota, A. Ishihara
2 . 発表標題 Development of Nb-doped TiO <sub>2</sub> Supports using SiO <sub>2</sub> Coating as Non-carbon Supports for PEFC
3 . 学会等名 IUMRS-ICA 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Adachi, T. Nagai, Y. Kuroda, K. Matsuzawa, S. Mitsushima, K. Ota, A. Ishihara
2 . 発表標題 Factors affecting ORR activity of Carbon Nanotubes covered with Nb doped Titanium Oxide for PEFC cathodes
3 . 学会等名 IUMRS-ICA 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Kitamura, K. Matsuzawa, T. Nagai, Y. Kuroda, K. Ota, A. Ishihara
2 . 発表標題 Stability of 4 metal oxide-based nanoparticles in acidic electrolytes for non-platinum cathode in PEFC
3 . 学会等名 IUMRS-ICA 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 W. Shimabukuro, S. Tominaka, T. Nagai, M. Arao, Y. Kuroda, K. Matsuzawa, H. Imai, S. Mitsushima, K. Ota, A. Ishihara
2 . 発表標題 Oxygen Reduction Activity of Group 4 Metal Oxide-based Compounds Prepared by Arc Plasma Deposition
3 . 学会等名 IUMRS-ICA 2019 ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 中内篤、永井崇昭、大城善郎、黒田義之、松澤幸一、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 有機錯体を前駆体とした4族酸化物触媒の酸性溶液中における酸素還元活性
3. 学会等名 第39回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田惇二、永井崇昭、黒田義之、大城善郎、松澤幸一、光島重徳、太田健一郎、高須芳雄、石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用酸化物酸素還元触媒の低温焼成による活性発現の検討
3. 学会等名 第39回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村祐仁、松澤幸一、永井崇昭、大城善郎、黒田義之、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池酸化カソード開発のための電池作動模擬環境での酸化チタンナノ粒子の安定性評価
3. 学会等名 第39回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上裕太、松澤幸一、馬永炳、永井崇昭、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFCカソード用脱炭素触媒のための金属酸化物担体の開発
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 足立吉徳、永井崇昭、黒田義之、松澤幸一、光島重徳1、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用非貴金属カソードのための、カーボンを用いた4族酸化物の酸素還元影響因子の解明
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村祐仁、松澤幸一、太田健一郎、石原顕光
2. 発表標題 PEFC用酸化物カソード開発のための酸化チタンナノ粒子の酸性電解質中での安定性評価
3. 学会等名 電気化学会第86回大会
4. 発表年 2019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
研究 分担 者	石原 顕光  (Ishihara Akimitsu)  (30754006)	横浜国立大学・先端科学高等研究院・特任教員(教授)   (12701)	

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