

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04165

研究課題名(和文) アンモニアを「エネルギー貯蔵体」とする新システムにおける次世代アルカリ燃料電池

研究課題名(英文) A next-generation alkaline fuel cell for a new energy system using ammonia as energy-carrier

研究代表者

田口 正美 (TAGUCHI, MASAMI)

秋田大学・理工学研究科・教授

研究者番号：90143073

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：次世代型「アルカリ形アンモニア燃料電池」の開発を目的として、Pt blackおよびPt oxide blackのアンモニア酸化活性を調査した。Pt oxide blackのアンモニア酸化活性は、電気化学還元およびPt/アニオン交換樹脂の質量比で改善された。3相界面の増大が活性改善のキーファクターである。H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> およびNH<sub>3</sub>/O<sub>2</sub>燃料電池の両方において、電気化学還元したPt oxide blackを用いた燃料電池が、Pt black や電気化学還元を施さない Pt oxide blackを使用した燃料電池と比較して優れた放電性能を示した。前者の反応メカニズムは後二者のそれとは異なった。

研究成果の概要(英文)：Ammonia has a very important role on energy storage and transport in a new energy system. For the purpose of developing a next-generation alkaline ammonia fuel cell, the ammonia oxidation activity of Pt black and Pt oxide black was investigated. The ammonia oxidation activity of the Pt oxide black was increased by electrochemical reduction. The activity was also improved by changing the mass ratio of Pt/anion-exchange resin in the electrocatalyst layer. The increase of three-phase boundary was interpreted as the key factor in the improvement of ammonia oxidation activity. Both the H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> fuel cells using Pt oxide black electrochemically reduced as anode catalyst showed the superior discharge performance compared with the fuel cells using the Pt black or Pt oxide black without reduction. The reaction mechanism of the ammonia oxidation on the former catalyst was different from those on the two latter catalysts.

研究分野：材料電気化学

キーワード：アルカリ燃料電池 アンモニア エネルギー貯蔵体 アノード触媒 白金酸化物

## 1. 研究開始当初の背景

現在のエネルギー源は火力発電や原子力発電によるものが大部分であり、その原料は枯渇が心配される化石燃料である。そのため、太陽光や風力などの再生可能なエネルギーの利用が強く求められており、その際のエネルギー貯蔵体として広く知られているのが水素  $H_2$  である。しかし、水素の貯蔵・運搬や取扱いには危険が伴うことから、より安全でエネルギー密度の高い「エネルギー貯蔵体」が必要とされる。このような状況下、注目されているのが液体アンモニア  $NH_3$  である。液体アンモニアは、プロパンと同じように室温で保存でき、体積当たりのエネルギー密度はガソリンの同等である。そのため、ガソリン代替の自動車用エネルギー源になり得る。しかも、我が国の年間生産量は1億トンに達し、水素に比べ供給インフラの整備が進んでいる。

アンモニアを効率的に電気エネルギーに変換する方法として「アンモニア燃料電池」がある。アンモニアを直接に供給する燃料電池での放電反応、すなわち、アルカリ溶液中でのアンモニアの電気化学反応は、 $2NH_3 + 6OH^- \rightarrow N_2 + 6H_2O + 6e^-$  となる。ここで、放電生成物は窒素と水のみであり、生体に有害な物質や地球温暖化の原因となる二酸化炭素  $CO_2$  を排出しない。そのため、アルカリ形アンモニア燃料電池は、環境に対する負荷が少ないエネルギー変換システムと言える。研究グループでは、アンモニアを用いた次世代アルカリ燃料電池の基礎研究を行い、電気化学還元処理を施した Pt 酸化物において卓越した触媒活性が発現することを見出した。すなわち、現行のアノード触媒に相当する Pt 薄膜では、アンモニア酸化電流は最大でも  $0.5 \text{ mA cm}^{-2}$  程度に過ぎない。これに対し、Pt 酸化物薄膜のアンモニア酸化電流は、電気化学還元によって大幅に増大し、 $85 \text{ mA cm}^{-2}$  を超えるきわめて高い値が観測できた。そのため、電気化学した Pt 酸化物薄膜は、アンモニア燃料電池の新規アノード触媒として大いに期待ができる。しかし、触媒材料の実用化に際しては、薄膜形状は好ましくなく、微粉末化による比表面積の増大が必須である。さらに、開発したアノード触媒に使用したアンモニア燃料電池を構築し、その放電特性と安定性を長期間にわたり調査する実証試験も重要である。

## 2. 研究の目的

本課題では、アンモニアを「エネルギー貯蔵体」とする新しいエネルギーシステムにおいて重要な役割を果たす「アルカリ形アンモニア燃料電池」の実用化を目指す。具体的には、卓越したアンモニア酸化活性と高い比表面積の両方を有する高性能の新規アノード触媒を実用化する。さらに、 $OH^-$  イオン導電体を電解質膜とする次世代アルカリ形アンモニア燃料電池を開発する。

Pt 酸化物のアンモニア酸化触媒としての実用化：目標とする新規アノード触媒は、(1) 出発材料として微粉末の Pt Oxide Black を採用し、単位質量当たりの反応面積を増大させるとともに、(2) 電気化学還元処理により実効的活性表面積を上昇させ、現行のアノード触媒である Pt Black の 50 倍以上のアンモニア酸化活性を発現させることを目指す。反応性スパッタで作製した Pt 酸化物薄膜では、電気化学還元処理を施すことでアンモニア酸化活性が格段に上昇することが知られている。また、CO ストリッピングボルタメトリーによる活性表面積の測定結果から、高活性発現の原因として原子オーダーの不整合の存在が示唆される。本課題では、高分解 TEM による直接観察により、触媒表面の欠陥生成とアンモニア活性の関係についても解明する。

次世代アルカリ形アンモニア燃料電池の開発：製造するアルカリ形アンモニア燃料電池では、(3) 固体高分子型燃料電池の電解質として近年注目を集めているアニオン交換膜を使用し、新規 MEA (膜・電極接合体) を製造する。そして、(4) アルカリ形アンモニア燃料電池を構成し、既存の水素・酸素燃料電池を凌駕する放電性能を目指す。これまで、電解質には一般に  $H^+$  イオン導電体である Nafion 膜が使用されてきた。ところが、酸性雰囲気においては、耐食性の観点から使用できる触媒が貴金属系に制限され、それが燃料電池のコスト削減の大きな障害となっている。これに対し、アニオン交換膜は  $OH^-$  イオン導電体であり、作動環境を酸性雰囲気からアルカリ雰囲気に変えることができる。アルカリ雰囲気では貴金属以外の材料を触媒として使用できる可能性があり、燃料電池の大幅なコスト削減につながる。また、アルカリ雰囲気におけるアンモニア酸化速度は、酸性雰囲気のものよりも格段に速いことが知られている。そのため、アルカリ形アンモニア燃料電池は、低コスト・高性能の次世代型燃料電池になると期待される。

## 3. 研究の方法

研究目的 「Pt Oxide Black を出発材料として微粉末化を進め、Pt 酸化物をアンモニア酸化反応の高活性電極触媒として実用化する」ため、反応性スパッタで調製した Pt 酸化物薄膜に関して、アンモニア酸化活性に及ぼす電気化学還元の影響を回転ディスク電極法にて系統的に調査する。また、電気化学還元した Pt 酸化物薄膜の化学結合状態と原子レベルでの不整合を、XPS ならびに高分解 TEM で調査して、卓越した触媒活性発現の原因を明確にする。続いて、研究目的 「アニオン交換樹脂を固体電解質とした次世代アルカリ形アンモニア燃料電池を作製し、化学エネルギー (アンモニア) から電気エネルギーへのエネルギー変換」を実証する。すなわち、Pt Oxide Black を出発材料として製造

した高活性アノード触媒と、OH<sup>-</sup>イオン導電体であるアニオン交換膜を用いて、膜・電極接合体 (MEA) を構成する。この MEA を燃料電池評価セルに装着し、得られる電流密度 - 起電力曲線および電流密度 - 出力密度曲線から放電特性を評価する。そして、最終的に、電極反応面積を拡大し、単セルの積層数を上昇させた高起電力・高容量のアルカリ形アンモニア燃料電池システムを構築し、長期間の発電試験を実施する。

具体的には以下の順序で研究を遂行する。(1) 反応性スパッタによる各種組成 Pt 酸化物薄膜の調製、(2) 回転ディスク電極法によるアルカリ溶液中でのアンモニア酸化活性評価、(3) X線光電子分光法による電極触媒の化学結合状態の分析、(4) 高分解能 TEM による原子レベルの不整合性の調査、(5) Pt 酸化物の最適還元条件および高活性発現機構の解明、(6) Pt Oxide Black を出発材料とした微粉末電極触媒の製造、(7) 表面増強赤外分光によるアンモニア酸化反応のその場解析、(8) アニオン交換膜を用いた固体高分子型アンモニア燃料電池の作製、(9) アンモニア燃料電池の電気化学還元処理と電池特性の評価、(10) 大容量アルカリ燃料電池の製造と長期間発電試験。

#### 4. 研究成果

(1) 反応性スパッタによる各種組成 Pt 酸化物薄膜の調製：反応ガスの組成を変化させることで、Pt 酸化物薄膜の O/Pt 原子比を任意に調整できることから、アンモニア酸化活性に及ぼす Pt 酸化物薄膜の組成の影響を解明できた。(2) 回転ディスク電極法によるアルカリ溶液中でのアンモニア酸化活性評価：Pt 酸化物薄膜においては、電気化学還元処理を施すことによりメタノールやエタノールの酸化反応と同様に、アンモニアの酸化反応においても卓越した触媒活性が発現することが確認できた (図 1 参照)。

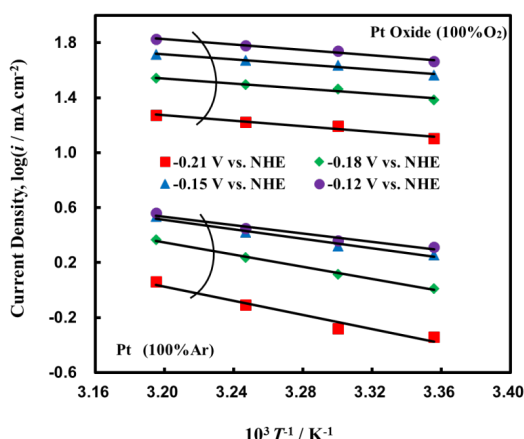


図 1 Pt 薄膜および -0.4 C で電気化学還元された Pt 酸化物薄膜のアンモニア酸化電流の温度依存性

(3) X線光電子分光法による電極触媒の化学結合状態の分析：XPS によりアンモニア酸化活性に及ぼす化学結合状態の影響を明らかにした。また、EPMA や ICP による化学組成の分析、CO ストリッピングボルタメトリーによる触媒材料の活性表面積の算出し、電気化学還元した Pt 酸化物における卓越した高活性の発現メカニズムを考察した。(4) 高分解能 TEM による原子レベルの不整合性の調査：電気化学還元前後の Pt 酸化物薄膜の欠陥構造を調査した。電気化学還元によって Pt 酸化物薄膜が直径 5 ~ 10 nm の結晶子に分割され、活性表面積が急激に増大する現象を明らかにした。(5) Pt 酸化物の最適還元条件および高活性発現機構の解明：Pt 酸化物のアンモニア酸化活性を最大化する反応ガスの組成および電気化学処理の最適条件を決定した。また、XPS による化学結合状態の分析および高分解 TEM による原子レベルの不整合の観察結果を総合し、アンモニア酸化反応に及ぼす Pt 酸化物触媒の原子欠陥の役割を考察した。そして、電気化学還元に伴う Pt 酸化物の触媒活性の急激な上昇のメカニズムを推定できた。(6) Pt Oxide Black を出発材料とした微粉末電極触媒の製造：出発材料として微粉末の Pt Oxide Black を採用し、電気化学還元処理により現行のアノード触媒である Pt Black を大幅に上回るアンモニア酸化電流を発現できた。(7) 表面増強赤外分光によるアンモニア酸化反応のその場解析：表面増強赤外分光法 (SEIRAS) では、電気化学反応が起こっている電極と溶液の界面において、触媒表面の吸着種に関する情報をその場測定できる。Pt Oxide Black を出発材料として、新たに調製した電極触媒のアンモニア酸化反応における表面吸着種のその場測定を行い、卓越した触媒活性の原因となる素過程を解析した。(8) アニオン交換膜を用いた固体高分子型アンモニア燃料電池の作製：新規に開発したアンモニア酸化触媒を用いたアルカリ形アンモニア燃料電池を製造し、発電特性を調査できた。すなわち、Pt Oxide Black を出発材料として作製したアノード触媒、カーボン粉末およびアニオン交換樹脂を混合し、OH<sup>-</sup>イオン導電体であるアニオン交換膜に塗布して、膜・電極接合体 (MEA) を構成した。この MEA を燃料電池評価セルに装着し、計測される電流密度 - 起電力曲線および電流密度 - 出力密度曲線から放電特性を評価できた。(9) アンモニア燃料電池の電気化学還元処理と特性評価：本課題の電極触媒では、MEA を装着した状態においても、適切な電気化学還元処理を施すことで電極触媒のアンモニア酸化活性の向上、ひいては、アンモニア燃料電池の特性改善が見込めることが分かった (図 2 参照)。

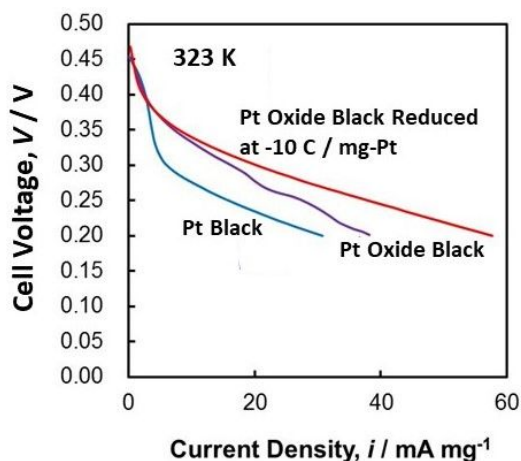


図2 Pt Black, Pt Oxide Black および電気化学還元した Pt Oxide Black をアノード触媒とした際の NH<sub>3</sub>/O<sub>2</sub> 燃料電池の放電電流起電力曲線

このように, Pt 酸化物触媒では, 燃料電池構成後の電気化学的な処理によっても活性向上が見込めることから, 従来とは異なる燃料電池の製造プロセスを提案できると期待された。加えて, 劣化した燃料電池の性能回復など, メンテナンスに関する重要な知見が得られた。(10) 電極触媒層における触媒とアニオン交換樹脂の質量比の最適化: 放電反応は, 触媒 Pt, アニオン交換樹脂およびアンモニア溶液中で形成される 3 相界面で進行する。本研究では, 電極触媒層における Pt Oxide Black とアニオン交換樹脂の質量比を変えることで 3 相界面を増大させ, アンモニア酸化活性の改善を図った(図3参照)。

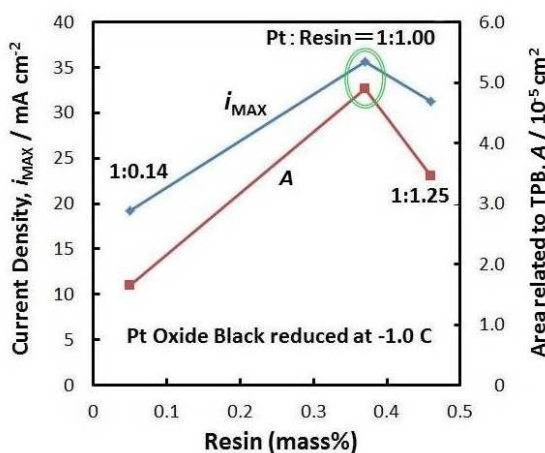


図3 -1.0 C で電気化学還元された Pt Oxide Black のアンモニア酸化電流ならびに 3 相界面に関係する面積と触媒層中のアニオン交換樹脂含有量の関係

(11) 大容量アルカリ燃料電池の製造と長期間発電試験: 開発したアルカリ形アンモニア燃料電池の高起電力・大容量化を図った。ま

た, 1 ヶ月程度の長期間発電試験を実施し, 発電性能の安定性など実用化に向けた問題を把握した。(12) 学会発表および特許申請: 以上の研究成果に基づき, 特許申請を行うとともに, 国内外の学協会での口頭発表と論文投稿を行うことができた。

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計9件)

1. 田口正美, 早坂浩二, 戸田秀夫: 固体高分子形燃料電池のアノード触媒の開発, Nanotech Japan Bulletin, 査読無, Vol.8, 2016, pp.1-5.
2. 田口正美, 高橋弘樹, 高橋知也: 反応性スパッタで作製した Pb 酸化物および Ru 酸化物の酸素過電圧, Journal of MMIJ, 査読有, Vol.131, 2016, pp.59-65.
3. Sumio Kato, Ryunosuke Kawashima, Masataka Ogasawara: Oxygen storage-release behavior of delafossite-type CuCr<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (M = Fe, Ga), Journal of Materials Science, 査読有, Vol.50, 2016, pp.2876-2883.
4. Sumio Kato, Tomoyuki Endo, Masataka Ogasawara: Reversible Incorporation/Deposition Behavior of Cu on Hydroxyl Apatites by Heat Treatment at Elevated Temperatures, Chemistry Letters, 査読有, Vol.44, 2016, pp.1518-1520.
5. 村上翔太, 高橋弘樹, 田口正美: Pt Black および Pt Oxide Black のアルカリ溶液中でのアンモニア酸化活性, 査読有, 日本素材物性学会誌, Vol.28, 2017, pp.11-18.
6. Hiroki Takahashi, Tomoya Hiromoto, Masami Taguchi: Preparation of Pt-Ni Alloy Thin Films with Various Compositions by Sputtering and their Activity for Oxygen Reduction Reaction, Int. J. Soc. Mater. Eng. Resour., 査読有, Vol.22, 2017, pp.1-7.
7. Sumio Kato, Tomoyuki Endo, Masataka Ogasawara: Synthesis, Cu incorporation, and deposition of the apatite-type silicates, (La,Ca)<sub>10</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>6-x</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>x</sub>Cu<sub>y</sub>O<sub>z</sub>, J. Mater. Sci., 査読有, Vol.51, 2016, pp.6509-6516.
8. Hiroki Takahashi, Keisuke Ohkubo, Masami Taguchi: Methanol oxidation activity and CO adsorption/desorption behavior of electrochemically reduced Pt oxide, Proceedings of ICMR 2017 AKITA, 査読有, 2017, pp.468-472.
9. Keisuke Ohkubo, Hiroki Takahashi, Masami Taguchi: Electrochemical reduction of carbon dioxide and synthesis of methanol on Pt oxide film, Proceedings of ICMR 2017 AKITA, 査読有, 2017, pp.473-478.

〔学会発表〕(計 57 件)

1. 名波和貴, 高橋弘樹, 田口正美: Pt-Me (Me: Ni, Cu, Fe) 酸化物薄膜のアルカリ溶液中でのエタノール酸化活性, 日本素材物性学会平成 27 年度(第 25 回)年会, 2015 年 6 月 25 日, 秋田ビュ - ホテル.
2. 廣本智也, 高橋弘樹, 田口正美: 反応性スパッタで作製した各種組成 Pt-Ni 薄膜の酸素還元特性, 日本素材物性学会平成 27 年度(第 25 回)年会, 2015 年 6 月 25 日, 秋田ビュ - ホテル.
3. 戸丸雅道, 高橋弘樹, 田口正美: 反応性スパッタで作製した Pt 酸化物薄膜のアンモニア酸化活性, 日本素材物性学会平成 27 年度(第 25 回)年会, 2015 年 6 月 25 日, 秋田ビュ - ホテル.
4. 村上翔太, 高橋弘樹, 田口正美: Pt Black ならびに Pt Oxide Black のアルカリ溶液中でのアンモニア酸化活性, 日本素材物性学会平成 27 年度(第 25 回)年会, 2015 年 6 月 25 日, 秋田ビュ - ホテル.
5. 大井賢汰, 高橋弘樹, 田口正美: Ammonia oxidation activity of Pt-Me (Me; Fe, Ni, Cu) oxide thin films, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年 9 月 12 日 - 13 日, 弘前大学.
6. 佐藤雅人, 高橋弘樹, 田口正美: In-site measurement of adsorbed CO during methanol oxidation reaction on Pt-based catalyst by infrared spectroscopy, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年 9 月 12 日 - 13 日, 弘前大学.
7. 大久保敬祐, 高橋弘樹, 田口正美: Ethanol oxidation activity of the electrochemically reduced PtO<sub>2</sub> and its application to fuel cell anode catalysts, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年 9 月 12 日 - 13 日, 弘前大学.
8. 佐藤敏郎, 高橋弘樹, 田口正美: Oxygen reduction property of electrochemically reduced Pt oxide thin film, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年 9 月 12 日 - 13 日, 弘前大学.
9. 廣本智也, 高橋弘樹, 田口正美: 反応性スパッタで作製した各種組成 Pt-Ni 薄膜の酸素還元特性, 日本金属学会 2015 年秋季講演大会, 2015 年 9 月 16 日 - 18 日, 九州大学.
10. 戸丸雅道, 高橋弘樹, 田口正美: 反応性スパッタで作製した Pt 酸化物薄膜のアンモニア酸化活性, 日本金属学会 2015 年秋季講演大会, 2015 年 9 月 16 日 - 18 日, 九州大学.
11. 名波和貴, 高橋弘樹, 田口正美: アルカリ溶液中における Pt-Me (Me: Ni, Cu, Fe) 酸化物薄膜のエタノール酸化活性, 2015 年 9 月 16 日 - 18 日, 三重大学.
12. 村上翔太, 高橋弘樹, 田口正美: 電気化学還元された Pt Oxide Black のアルカリ溶液中でのアンモニア酸化活性, 2015 年 9 月 16 日 - 18 日, 三重大学.
13. 田口正美, 高橋弘樹: アルカリ形アンモニ

ア燃料電池における高性能アノード触媒の開発, 秋田産学官共同研究拠点センター新技術説明会, 2015 年 10 月 27 日, JST 東京本部別館.

14. 高橋弘樹, 戸丸雅道, 田口正美: Pt 酸化物のアルカリ溶液中におけるアンモニア酸化活性, 平成 27 年度秋田大学 VBL 研究成果発表会, 2016 年 2 月 19 日, 秋田ビュ - ホテル.

15. 高橋弘樹: 電気化学還元された Pt 酸化物のエタノール酸化特性, 第 46 回セミコンファレンス, 第 28 回東北若手の会, 2015 年 12 月 4 日 - 5 日, 花巻温泉.

16. 高橋弘樹, 佐藤雅人, 田口正美: 電気化学還元した Pt 酸化物のメタノール酸化活性と CO の吸着・脱離挙動, 日本素材物性学会平成 28 年度(第 26 回)年会, 2016 年 6 月 23 日, 秋田ビュ - ホテル.

17. 大久保敬祐, 高橋弘樹, 田口正美: Pt 酸化物による CO<sub>2</sub> の電解還元, 日本素材物性学会平成 28 年度(第 26 回)年会, 2016 年 6 月 23 日, 秋田ビュ - ホテル.

18. 村上翔太, 高橋弘樹, 田口正美: Pt Oxide Black のアンモニア酸化活性とアンモニア燃料電池の作製, 第 115 回触媒討論会, 2016 年 9 月 21 日 - 23 日, 岩手大学.

19. 千葉一輝, 佐藤敏郎, 高橋弘樹, 田口正美: Pt 酸化物の酸素還元活性に及ぼす組成ならびに電気化学還元の影響, 第 115 回触媒討論会, 2016 年 9 月 21 日 - 23 日, 岩手大学.

20. 戸丸雅道, 高橋弘樹, 田口正美: 電気化学還元した Pt 酸化物のアルカリ溶液中におけるアンモニア酸化活性, 日本金属学会 2016 年秋季講演大会, 2016 年 9 月 21 日 - 23 日, 大阪大学.

21. 大久保敬祐, 高橋弘樹, 田口正美: Pt 酸化物による CO<sub>2</sub> 電解還元と CH<sub>3</sub>OH 生成, 日本金属学会 2016 年秋季講演大会, 2016 年 9 月 21 日 - 23 日, 大阪大学.

22. 佐藤敏郎, 高橋弘樹, 田口正美: 反応性スパッタで作製した Mo 酸窒化物の酸素還元活性, 日本金属学会 2016 年秋季講演大会, 2016 年 9 月 21 日 - 23 日, 大阪大学.

23. 佐藤敏郎, 高橋弘樹, 田口正美: Mo-O-N 薄膜の作製と酸素還元活性の評価, 第 15 回日本金属学会東北支部研究発表会, 2016 年 11 月 25 日, 秋田大学.

24. HIROKI TAKAHASHI, KEISUKE OOKUBO, MASAMI TAGUCHI: Electroreduction of CO<sub>2</sub> on Pt Oxide Thin Film, INTERNATIONAL CONFERENCE ON MATERIALS PROCESSING AND APPLICATIONS (ICMPA-2016), 14-16 December 2016, VIT University, Vellore, Chennai, India.

25. 大久保敬祐, 高橋弘樹, 田口正美: Pt 酸化物の CO<sub>2</sub> 電解還元と赤外光を用いたその場解析, 日本素材物性学会平成 29 年度(第 27 回)年会, 2017 年 6 月 27 日, 秋田ビュ - ホテル.

26.大久保敬祐, 高橋弘樹, 田口正美: Pt 酸化物の CO<sub>2</sub> 電解還元と赤外光を用いた中間体その場解析, 日本金属学会 2017 年秋期講演大会, 2017 年 9 月 6 日-8 日, 北海道大学 .  
27.Keisuke Ohkubo, Hiroki Takahashi, Masami Taguchi : Electrochemical reduction of carbon dioxide and synthesis of methanol on Pt oxide film , ICMR 2017 Akita , 25-27 October 2017 , Akita View Hotel, Akita city, Japan .  
28.Hiroki Takahashi, Masato Sato, Keisuke Ohkubo, Masami Taguchi : Methanol oxidation activity and CO adsorption/desorption behavior of electrochemically reduced Pt oxide , ICMR 2017 Akita , 25-27 October 2017 , Akita View Hotel, Akita city, Japan .  
29.Keisuke Ohkubo, Hiroki Takahashi, Masami Taguchi : Analysis of CO<sub>2</sub> Electroreduction on Pt oxide catalyst ,第 15 回 GREEN シンポジウム, 2017 年 6 月 29 日, 物質・材料研究機構 (NIMS) .  
他 28 件

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 8 件)

1. 名称:アンモニア燃料電池用電極触媒の製造法, アンモニア燃料電池用電極触媒, およびアンモニア燃料電池, 発明者: 田口正美, 高橋弘樹, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 種類: 特許, 番号: 特願 2015-125933, 出願年月日: 2015 年 6 月 23 日, 国内外の別: 国内 .  
2. 名称: 排気ガス浄化用触媒, 発明者: 加藤純雄, 小笠原正剛, 岩倉大典, 山口道隆, 若林誉, 中原祐之輔, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 三井金属鉱業株式会社, 種類: 特許, 番号: 特願 2015-141916, 出願年月日 2015 年 7 月 16 日, 国内外の別: 国内 .  
3. 名称: 非鉄金属の電解採取方法およびそれに用いるアノード並びにアノードの製造方法, 発明者: 田口正美, 高橋弘樹, 権利者: 国立大学法人秋田大学, DOWA ホールディングス株式会社, 種類: 特許, 番号: 特願 2016-100439, 出願年月日: 2016 年 5 月 19 日, 国内外の別: 国内 .  
4. 名称: 大規模な二酸化炭素排出源(火力発電所等)で貯留した二酸化炭素の電解還元・メタノール同時合成のための二酸化炭素電解処理システム, 発明者: 田口正美, 高橋弘樹, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 種類: 特許, 番号: 特願 2016-115452, 出願年月日: 2016 年 6 月 9 日, 国内外の別: 国内 .  
5. 名称: 排気ガス浄化用触媒, 発明者: 加藤純雄, 小笠原正剛, 岩倉大典, 他, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 三井金属鉱業株式会社, 種類: 特許, 番号: 特願 2016-129226, 出願年月日 2016 年 6 月 29 日, 国内外の別:

国内 .

6. 名称: 排気ガス浄化用触媒, 発明者: 加藤純雄, 小笠原正剛, 守屋利春, 岩品克哉, 岩倉大典, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 三井金属鉱業株式会社, 種類: 特許, 番号: 特願 2016-252336, 出願年月日 2016 年 12 月 27 日, 国内外の別: 国内 .

7. 名称: 排気ガス浄化用デラフォサイト型酸化物及びこれを用いた排気ガス浄化触媒, 発明者: 加藤純雄, 小笠原正剛, 守屋利春, 岩品克哉, 岩倉大典, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 三井金属鉱業株式会社, 種類: 特許, 番号: 特願 2016-252337, 出願年月日 2016 年 12 月 27 日, 国内外の別: 国内 .

8. 名称: 二酸化炭素電解セル用電極, 二酸化炭素電解セル及び電解装置, 発明者: 細野秀雄, 横山壽治, 戸田喜文, 石山新太郎, 田口正美, 高橋弘樹, 権利者: 国立大学法人秋田大学, 東京工業大学, 弘前大学, 種類: 特許, 番号: 特願 2018-066164, 出願年月日: 2018 年 3 月 29 日, 国内外の別: 国内 .

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田口正美 (TAGUCHI, Masami)

秋田大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 90143073

(2) 研究分担者

齋藤嘉一 (SAITO, Kaichi)

秋田大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 10302259

加藤純雄 (KATO, Sumio)

秋田大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 50233797

高橋弘樹 (TAKAHASHI, Hiroki)

秋田大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 60632809