

令和元年6月20日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04162

研究課題名(和文)グリセリン酸化用高性能電極触媒の開発と直接型グリセリン燃料電池への応用

研究課題名(英文) Development of highly active electrocatalysts for glycerol oxidation reaction and their application to direct glycerol fuel cell

研究代表者

井上 博史 (Inoue, Hiroshi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00213174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：バイオディーゼルの副生物として得られるグリセリンはカーボンニュートラルなアルコールの一つである。グリセリンを有効に活用するため、直接型アルコール燃料電池の燃料として利用することを考案し、グリセリンを高活性に完全に電気化学酸化する触媒の開発を行った。その結果、PtやPd上に1～2層のAg原子層(被覆率50%程度)修飾するとグリセリン酸化活性は向上し、グリセリン分子内のC-C結合の開裂も進みやすくなることが明らかになった。また、グリセリン酸化活性やC-C結合の開裂は結晶面の原子配列の影響を受けることをPdナノ粒子触媒において明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においては、従来から行われている赤外反射分光法に加えて、定電位電解によるグリセリン酸化生成物の液体クロマトグラフィーによる分析を行うことにより、グリセリン酸化生成物の分布と酸化活性についてより定量的に明らかにし、グリセリン酸化反応の機構や触媒の構成成分の役割をより詳細に明らかにすることができた。本研究の結果は、直接型アルコール燃料電池用アノード触媒を設計する上での有用なデータとして活用できる。

研究成果の概要(英文)：Glycerol, which is a byproduct in the biodiesel production, is a carbon-neutral alcohol. Due to effective utilization of glycerol, I had an idea of its utilization as a fuel in direct alcohol fuel cells. For this purpose, I designed highly active anode catalysts for complete glycerol oxidation reaction (GOR). Consequently, I succeeded in preparing Pt and Pd electrodes with a couple of Ag layers whose coverage was about 0.5, and demonstrated that they had higher GOR activity than the bare electrodes and accelerated C-C bond cleavage to produce smaller GOR intermediates. Moreover, I found that the GOR activity and C-C bond cleavage depended on atomic arrangement of facets of Pd nanoparticles.

研究分野：電気化学

キーワード：直接型アルコール燃料電池 グリセリン酸化 触媒活性 バイオアルコール カーボンニュートラル
赤外反射分光法 反応機構 アンダーポテンシャル析出

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バイオディーゼルはカーボンニュートラルで環境にやさしい燃料として知られている。ペトナムなどの新興工業国では、近年、環境汚染が甚だしく、バイオ燃料の実用を目指した研究開発が国を挙げて行われている。バイオディーゼルは、植物由来の油脂などをエステル交換した後、酸で中和することにより、軽油に近い物性をもつ脂肪酸メチルエステルに変換したもので、自動車などのディーゼルエンジンに使用される。この際、原料油脂あたり約 10% のグリセリンが副生する。グリセリンは医薬品原料や不凍液などとしても利用されているが、供給過剰状態にあり、グリセリンの用途開拓は、バイオディーゼルの大量生産するうえでの喫緊の課題になっている。グリセリンを直接電気化学的に酸化する直接型グリセリン燃料電池 (DGFC) を構築することができれば、グリセリンの新たな用途開拓になるだけでなく、発電による電気エネルギーの活用という副次的な効果も得られる。しかも、バイオディーゼルの製造時に副生するグリセリンもカーボンニュートラルであるので、DGFC の燃料極 (負極) でグリセリンが完全酸化されても地球温暖化には寄与しないという利点もある。このように、DGFC の開発は十分検討に値する課題であるが、グリセリン分子中に炭素 - 炭素 (C - C) 結合およびヒドロキシ (OH) 基が複数存在するため、電気化学的に酸化され難い。このため、グリセリン酸化反応に高活性な電極触媒の開発が必須である。本研究の開始時におけるグリセリン酸化触媒の研究は、メタノールやエタノール酸化反応に高活性であった触媒を多価アルコールにも転用するといった経験的な触媒探索に過ぎず、明確な設計指針は無かった。研究代表者は、Pt、Rh、SnO₂ からなる三元系触媒の開発において、個々の金属の役割を理解し、その役割を果たすのに最適な原子配置を設計することによりエタノールの完全酸化反応を実現することに成功した。グリセリン酸化反応はエタノール酸化反応より複雑な反応機構をもつため、各中間体の酸化反応、特に律速段階の速度を改善することが高活性触媒の開発には重要であると考えられるが、そのような観点からの研究、例えば、中間体の酸化速度が評価・比較されたり、それらに基づく律速段階の特定や反応機構解析についての研究例は研究開始時にはほとんど無かった。

2. 研究の目的

グリセリン酸化反応に高活性な電極触媒の開発および直接型グリセリン燃料電池への応用を目的とし、特に電極触媒開発においては、単味金属のグリセリンおよびその中間体の酸化活性やその電位依存性を特徴づけ、体系化し、それに基づいて、異なる特徴をもつ複数の金属を組み合わせ、既存の構造制御技術を用いて新規高性能グリセリン酸化触媒を作製する。

3. 研究の方法

Pt、Pd、Au、Ag 電極 (5 mmφ) はアルミナ研磨、洗浄後、電気化学測定に供した。

Pt および Pd 電極への Ag 原子層の修飾には、Cu アンダーポテンシャル析出法を用いた。Pd 電極の場合、Ar 飽和した (2 mM CuSO₄ + 0.5 M H₂SO₄) 水溶液中、0.55 または 0.27 V vs. RHE の電位を 5 分間印加して Cu 原子層を析出させ、その後、この電極を (5 mM AgClO₄ + 0.01 M HClO₄) 水溶液に 5 分間浸漬することにより Ag 原子層を置換析出させた。この時の反応は $\text{Cu} + 2\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Ag}$ で表される。

in situ 赤外反射吸収分光 (IRAS) 分析は、60° にカットした CaF₂ プリズムの底に電気化学測定用セルを取り付けて、種々の電位を印加させながら行った。

定電位電解生成物の分析には、本研究費で購入した液体クロマトグラフィシステムを用いて行った。カラムには Sugar SH1011 column (Shodex)、溶離液には 5 mM 硫酸を用い、70 ° で分析した。

その他の実験方法については、「5. 主な発表論文等」に挙げた雑誌論文の実験項に記載のとおりである。

4. 研究成果

(1) Pt、Pd、Au、Ag 電極の 1 M KOH 水溶液中でのグリセリン酸化 (GOR) 活性を調べた結果、GOR 電流の立ち上がり電位 (E_{onset}) は $\text{Pt} < \text{Pd} < \text{Au} < \text{Ag}$ の順に正電位側になった。GOR ピーク電流密度 (j_{GOR}) は $\text{Au} > \text{Pt} > \text{Pd} \gg \text{Ag}$ の順になった (図 1)。また、貴金属以外の金属電極として Fe、Ti、Cu 電極の GOR 活性を調べた結果、Fe 電極では、 E_{onset} 値は Pd 電極とほぼ一致したが j_{GOR} 値は非常に小さかった。Ti 電極は GOR 活性をほとんど示さず、Cu 電極では、CuO への酸化電位付近で GOR 電流が観測された。

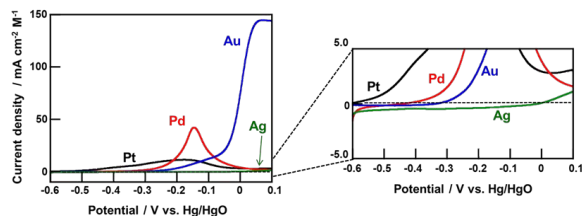


図 1. (1 M KOH+5 mM glycerol) 中での Pt, Pd, Au, Ag 電極のサイクリックボルタモグラム。

(2) コロイド法で作製した Rh、Pt、Pd、Au ナノ粒子担持カーボン (M/C (M= Rh, Pt, Pd, Au)) 電極の GOR 活性を調べた結果、 E_{onset} 値に関しては Rh/C 電極が最も負電位であったが、Rh/C 電極での j_{GOR} 値は 4 種類の触媒の中で最も小さく、Pt/C の約十分の一となった。また、2 種類の合金ナノ粒子触媒 (PdAg/C、PdAu/C) についての GOR 活性を評価したところ、PdAg/C 触媒の E_{onset}

(2) コロイド法で作製した Rh、Pt、Pd、Au ナノ粒子担持カーボン (M/C (M= Rh, Pt, Pd, Au)) 電極の GOR 活性を調べた結果、 E_{onset} 値に関しては Rh/C 電極が最も負電位であったが、Rh/C 電極での j_{GOR} 値は 4 種類の触媒の中で最も小さく、Pt/C の約十分の一となった。また、2 種類の合金ナノ粒子触媒 (PdAg/C、PdAu/C) についての GOR 活性を評価したところ、PdAg/C 触媒の E_{onset}

値は Pd 触媒より負電位側になったのに対し、PdAu/C 触媒の E_{onset} 値は Pd 触媒とあまり変わらなかったが、 j_{GOR} 値は PdAg 触媒よりも大きくなった。

(3) グリセリンならびにグリセリン酸化中間体を含む 1 M KOH 水溶液中での Pd 電極のサイクリックボルタモグラム (CV) 測定を行い、グリセリンやグリセリン酸化中間体の酸化活性について評価した (図 2)。Glyceraldehyde (GA) の酸化電流は、dihydroxyacetone (DHA) の酸化電流より負電位側から流れ始め、GA の方が DHA より酸化され易いことが分かった。このことは、GOR の末端の OH 基がより酸化され易いことを示唆している。また、glycerate (GR)、mesoxalate (MX) の酸化電流が最も大きかったが、tartronate (TN) の酸化電流は非常に小さかった。このことより、TN から MX への酸化は非常に起こり難いことが分かった。

(4) Pd 電極表面に Ag を修飾 (被覆率 0.66) したとき、GOR 開始電位は負電位側にシフトし、ピーク電流密度も増大した。このことから、Pd 上でのグリセリン酸化活性は Ag の表面修飾により向上することが明らかになった。また、-0.1 V vs. Hg/HgO での定電位電解において、Pd 電極では GR が主生成物であったが、Ag 修飾 Pd 電極では炭素数 2 の glycolate (GC) が主生成物となった。炭素数が 3 の生成物量に対する炭素数が 1 よび 2 の生成物量の比は約 0.8 から約 3.0 まで増大したことから glycerate 分子の C-C 結合の開裂が促進されることが分かった。

(5) in situ IRAS 分析より、Pd 電極では、-0.2 V vs Hg/HgO で TN、MX、GR、GC に帰属されるピークが検出され、-0.1 V 付近で最大となった。また、-0.1 V 付近では glyoxylate (GO)、formate (FO)、oxalate (OX) に帰属されるピークも出現し、0 V 付近で最大となった。Ag/Pd 電極では、TN と GR に帰属されるピークが -0.3 V 付近から検出され、OX、GO、GC、FO に帰属されるピークも -0.2 V 付近から検出された。これらの結果より、Ag/Pd 電極の方がより低電位側から C-C 結合の開裂が起こることが分かった。

(6) Pt 電極について、グリセリンならびに炭素数 3 のグリセリン酸化中間体を含む 1 M KOH 水溶液中での CV 測定を行い、グリセリンやグリセリン酸化中間体の酸化活性について評価した (図 3)。その結果、DHA、hydroxypyruvate (HP) では 2 つの水素脱離ピークとも消失したのに対し、GA、GR では定電位側の水素吸着ピークのみ消失した。また、TN と MX では水素吸着ピークは消失しなかった。酸化開始電位および酸化電流密度より、HP が最も酸化されやすく、TN はほとんど酸化されなかった。Pt 電極上に Ag 原子層を修飾することにより酸化電流の立ち上がり電位は負電位側にシフトし、酸化電流密度も増大した。このことから Ag 原子層修飾によって GOR に対する触媒活性の向上することが分かった。また、炭素数 3 のグリセリン酸化中間体の酸化活性も Ag 原子層の修飾により向上した。

(7) 炭素数 2 のグリセリン酸化中間体である GC と OX ならびに炭素数 1 の FO の Pt と Ag 修飾 Pt (Ag/Pt) 電極上での CV を図 4 に示す。図 4 より、GC の酸化電流は、Pt 電極上では非常に小さかったが、Ag/Pt 電極上では増大し、Ag は GC 酸化活性を改善することが分かった。これに対して、OX と FO の存在下での Pt と Ag/Pt 電極の CV は非存在下での CV とほぼ等しかったので、両分子とも Pt と Ag/Pt 電極上ではほとんど酸化されないと考えられる。また、両分子ともに Pt 電極上では吸着しなかったのに対し、Ag/Pt 電極上では 2 組の水素吸着ピークが完全に消失していたので、OX と FO 分子は Ag が表面に存在すると Pt 表面上に非常に安定に吸着しうることが示唆された。

(8) in situ IRAS 分析より、Pt 電極では、-0.4 V

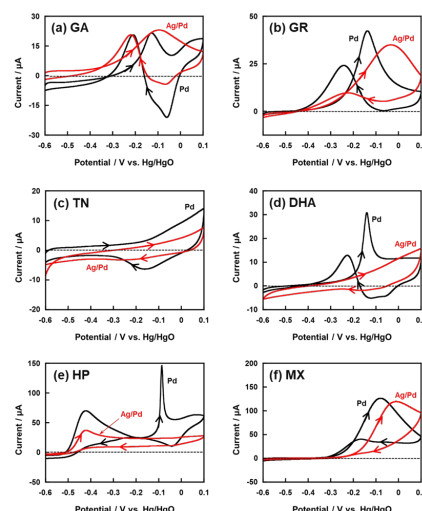


図 2. (1 M KOH+5 mM グリセリン酸化中間体) 中の Pd 電極の CV.

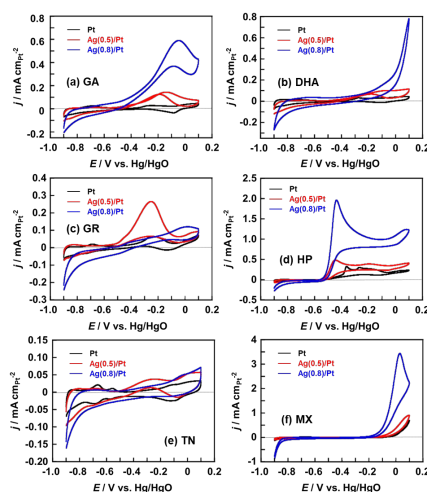


図 3. (1 M KOH+5 mM C3 グリセリン酸化中間体) 中の Pt 電極の CV.

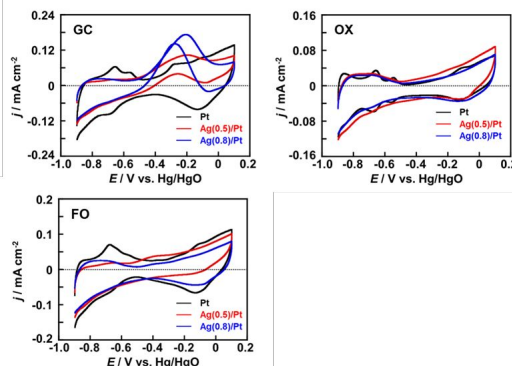


図 4. (1 M KOH+5 mM C1, C2 グリセリン酸化中間体) 中の Pt 電極の CV.

付近から TN、MX、GR、GC、OX、FO に帰属されるピークが検出され始め、0 V 付近で最大となった。また、高電位になるにつれて OX のピーク強度が増大した。Ag/Pt 電極では、TN、MX、GR、GC に帰属されるピークが -0.5 V 付近から検出され、OX、FO に帰属されるピークも -0.2 V 付近から検出され、Pt 電極の場合より強度が強くなった。これらの結果より、Ag 修飾により C2 および C1 中間体の選択率が增大することが示唆された。グリセリン酸化中間体であり C - C 結合開裂が起こると考えられている MX および GR の Pt 電極上での酸化生成物を in situ IRAS 分析で調べた結果、MX の場合、-0.1 V 付近から C - C 結合開裂が起こり、OX や炭酸イオンなどの炭素数が 1 および 2 の酸化生成物の吸収バンドが観察され、吸光度も電位の増加とともに増大した。これに対して、GR の場合、-0.5 V 付近から酸化反応が開始して TN や MX の生成量が増大し、-0.2 V より正電位側では、TN や MX が消費され、炭素数が 1 および 2 の酸化生成物が生成した。Ag/Pt 電極では、MX、GR ともに酸化生成物は似ていたが、生成開始電位やピーク強度の点で Pt 電極より優れていた。

(9) Pt と Ag 修飾 Pt (Ag/Pt) 電極を用いるグリセリンを含むアルカリ水溶液の定電位電解酸化の結果、Ag/Pt 電極の方が GOR 電流の時間による低下が抑えられ、優れた耐被毒性を有することが分かった。また、液体クロマトグラフィーによる GOR 生成物の定性・定量の結果、Pt および Ag/Pt 電極とも、主生成物として GR、Lactate (LA) が検出され、Ag 修飾により LA の選択率が増大した。GR は Glyceraldehyde (GA) の酸化生成物であることから、グリセリンの末端の水酸基がまず酸化されることが分かった。また、LA は GA や DHA の加水分解生成物であり、グリセリンの中間酸化生成物ではない。in situ IRAS 分析では、印加電位によらず LA の生成は認められなかった。また、アルカリ水溶液中に GA ならびに DHA を溶かすと、すぐに加水分解反応が開始し、LA が生成した。この結果と IRAS の結果から、グリセリンの電解酸化反応により生成した GA が攪拌により電極からすばやく離れることによって、GR への酸化反応が起こり難くなり、代わりに LA への加水分解反応が進行したのではないかと考えられる。電解時に溶液を攪拌するのを止めたところ、GR の選択率が増大し、LA の選択性が低下することが分かった。

(10) C - C 結合の開裂が起こりうる GR と MX の Pt と Ag/Pt 電極での酸化活性と生成物分布に関する知見を得るため、GR あるいは MX を含む 1 M KOH 水溶液の定電位電解 (60°C) を行った結果、両分子とも Ag/Pt 電極の方が Pt 電極より同じ電解時間での酸化電流量が大きくなり、Ag を修飾すると GR および MX の酸化活性が向上することが分かった。GR の定電位電解では、Pt 電極での主生成物は TN で、OX と FO も副生した。TN 生成の電流効率(CE(TN))は OX 生成のそれの約 6 倍であった。Ag/Pt 電極でも生成物分布は似ていたが、CE(TN)はやや減少し、CE(OX)がやや増加した。以上の結果より GR 分子内の C - C 結合の開裂が起こることは分かったが、TN、OX、FO のいずれも Pt および Ag/Pt 電極上でほとんど酸化されなかったことから、これ以上の酸化は難しいことが予想された。これに対して、MX の定電位電解では、Pt 電極での主生成物は OX で、少量の FO が副生した。この結果より MX 分子内の C - C 結合の開裂が起こっていることが明らかになった。OX と FO 生成の電流効率の合計は約 67% であったが、残りは OX とともに生成する炭酸イオンであると考えられる。

(11) ポリビニルアルコール (PVA) あるいはポリビニルピロリドン (PVP) を安定化剤として用いて、表面が (100)面からなる立方体あるいは直方体構造をもつ Pd ナノ粒子の作製に成功した (図 5)。これらの Pd ナノ粒子を 0.1 M HClO₄ 水溶液中、1.2 V vs. RHE で電位保持すると、頂点や稜から Pd が酸化溶解し、(110)面が出現した。このとき、GOR 酸化電流はより負電位側から流れ始め、GOR 活性が向上した。

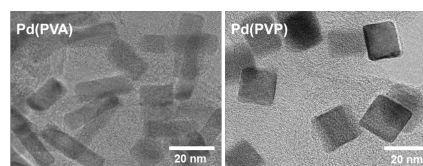


図 5. 立方体構造をもつ Pd(PVA)、立方体構造をもつ Pd(PVP)ナノ粒子。

(12) (1 M KOH+0.5 M グリセリン) 水溶液中での Pd(PVA)、Pd(PVP)、Pd 多結晶ナノ粒子修飾電極の CV 測定を行い、GOR 活性について評価した結果、Pd(PVA)、Pd(PVP)電極の GOR 酸化開始電位は Pd 多結晶ナノ粒子電極より正電位側であったが、GOR 酸化電流は大幅に増大した (図 6)。(1 M KOH+0.5 M グリセリン) 水溶液中、-0.1 V での定電位電解の結果、形状制御しない Pd ナノ粒子を用いた場合のグリセリン酸化の主生成物は GR であったが、表面が(100)面からなる立方体あるいは直方体構造をもつ Pd ナノ粒子を用いた場合には GR の選択率は減少し、GC、OX、FO などの炭素数が 1 あるいは 2 の酸化生成物の選択率が増大した。このことより(100)面で囲まれた Pd ナノ粒子の方が C - C 結合開裂反応を起こしやすいことが分かった。

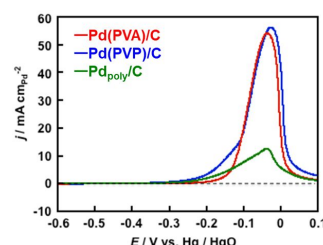


図 6. (1 M KOH+0.5 M グリセリン) 水溶液中での各電極の CV.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- (1) Hiroshi Inoue, Shohei Kimura, Yuki Teraoka, Masanobu Chiku, Eiji Higuchi, Binh Thi Xuan Lam, Mechanism of Glycerol Oxidation Reaction on the Silver-modified Palladium Electrodes in Alkaline Medium, Int. J. Hydrogen Energy, 査読有, Vol. 43, No.40, 2018, pp. 18664-18671
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.05.076
- (2) Binh Thi Xuan Lam, Masanobu Chiku, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, PtAg Nanoparticle Electrocatalysts for the Glycerol Oxidation Reaction in Alkaline Medium, Adv. Nanoparticles, 査読有, Vol. 5, 2016, pp. 167-175
DOI: 10.4236/anp.2016.53018
- (3) Binh Thi Xuan Lam, Masanobu Chiku, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, Rhodium Nanoparticle-loaded Carbon Black Electrocatalyst for the Glycerol Oxidation Reaction in Alkaline Medium, Adv. Nanoparticles, 査読有, Vol. 5, 2016, pp. 60-66
DOI: 10.4236/anp.2016.51007
- (4) Binh Thi Xuan Lam, Masanobu Chiku, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, Preparation of PdAg and PdAu Nanoparticle-loaded Carbon Black Catalysts and Their Electrocatalytic Activity for the Glycerol Oxidation Reaction in Alkaline Medium, J. Power Sources, 査読有, Vol. 297, 2015, pp. 149-157
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2015.07.086

〔学会発表〕(計29件)

- (1) Hiroshi Inoue 他, Development of Electrocatalysts for Alcohol Oxidation Reaction toward Application to Direct Alcohol Fuel Cells (Invited), Sino-Japanese Symposium on Catalytic Systems for Fuel Cells, 2018
- (2) Takuya Hamada, Hiroshi Inoue 他, Effect of Ag-modification on Mechanism for glycerol Oxidation Reaction on Pt Electrode, Sino-Japanese Symposium on Catalytic Systems for Fuel Cells, 2018
- (3) Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue 他, Effect of Silver Modification on Glycerol Oxidation Reaction Activity and Mechanism of Platinum Electrode in Alkaline Medium, 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry, 2018
- (4) 越智晃久, 井上博史 他, *in situ* 赤外反射吸収分光法を用いた Ag 修飾 Pt 電極上でのグリセリン酸化反応機構の解析, 2017 年度電気化学会関西支部第3回関西電気化学研究会, 2017
- (5) Hiroshi Inoue 他, Anode Catalysts for Use in Direct Glycerol Fuel Cells (Invited), The 2nd International Symposium on Materials for Energy Storage and Conversion (mECS-IS2017), 2017
- (6) 越智晃久, 井上博史 他, 多結晶 Pt 電極上でのグリセリン酸化反応機構に及ぼす Ag 修飾の影響, 第41回電解技術討論会, 2017
- (7) Akihisa Ochi, Hiroshi Inoue 他, Analysis of Glycerol Oxidation Reaction Mechanism on Ag-modified Pt Electrodes by *in Situ* Infrared Reflection-Absorption Spectroscopy, The 9th Asian Conference on Electrochemical Power Sources 2017 (ACEPS-9), 2017
- (8) 越智晃久, 井上博史 他, Ag 修飾多結晶 Pt 電極上でのグリセリン酸化反応機構の解析, 電気化学会第84回大会, 2017
- (9) 寺岡夕希, 井上博史 他, Ag 修飾 Pd 電極でのグリセリン酸化反応機構, 2016 年度電気化学会関西支部第3回関西電気化学研究会, 2016
- (10) 九澤昌弘, 井上博史 他, 形状制御した Pd ナノ粒子のグリセリン酸化触媒としての応用, 2016 年度電気化学会関西支部第3回関西電気化学研究会, 2016
- (11) 寺岡夕希, 井上博史 他, Pd 電極上でのグリセリン酸化反応機構に及ぼす Ag 修飾の影響, 第40回電解技術討論会, 2016
- (12) 九澤昌弘, 井上博史 他, 形状制御した Pd ナノ粒子のグリセリン酸化活性および反応機構解析, 第57回電池討論会, 2016
- (13) 越智晃久, 井上博史 他, アルカリ水溶液中での Ag 修飾 Pt 電極のグリセリン酸化活性ならびに酸化機構, 第40回電解技術討論会, 2016
- (14) 九澤昌宏, 井上博史 他, 形状制御した Pd ナノ粒子触媒のグリセリン酸化活性に及ぼすアノード溶解の影響, 電気化学会電解科学技術委員会第26回電極材料研究会, 2016
- (15) 越智晃久, 井上博史 他, 直接型グリセリン燃料電池用アノード触媒の開発, 第5回 JACI/GSC シンポジウム, 2016
- (16) Akihisa Ochi, Hiroshi Inoue 他, Analysis of Glycerol Oxidation Reaction on Ag-Modified Polycrystalline Pt Electrodes by *in-situ* Spectroelectrochemistry, 9th KIFEE Symposium, 2016
- (17) Hiroshi Inoue 他, Effect of Silver Modification on Glycerol Oxidation Reaction Activity on the Palladium Electrode in Alkaline Medium, PRiME 2016/230th ECS Meeting, 2016
- (18) Akihisa Ochi, Hiroshi Inoue 他, Glycerol Oxidation Reaction Mechanism on Ag-modified Pt Electrode in Alkaline Medium, PRiME 2016/230th ECS Meeting, 2016
- (19) Hiroshi Inoue 他, Effect of Surface Modification of the Palladium Electrode on Glycerol Oxidation Reaction in Alkaline Medium, International Symposium on Electrocatalysis (ECAT2016), 2016
- (20) Akihisa Ochi, Hiroshi Inoue 他, Electrochemical Oxidation Activity of Glycerol and Its Oxidation

- Intermediates at Ag-Modified Pt Electrode in Alkaline Medium, International Symposium on Electrocatalysis (ECAT2016), 2016
- (21) Masahiro Kuzawa, Hiroshi Inoue 他, Glycerol Oxidation Reaction on Shape-Controlled Pd Nanoparticles, International Symposium on Electrocatalysis (ECAT2016), 2016
 - (22) 寺岡夕希, 井上博史 他, Ag 修飾 Pd 電極上でのグリセリン酸化反応機構の解析, 電気化学会第 83 回大会, 2016
 - (23) 越智晃久, 井上博史 他, アルカリ水溶液中での Pt 電極のグリセリン酸化活性に及ぼす Ag 修飾の影響, 電気化学会第 83 回大会, 2016
 - (24) 川口大地, 井上博史 他, パラジウム担持銀触媒を用いるアルカリ水溶液中でのグリセリン酸化反応, 電気化学会関西支部第 3 回関西電気化学研究会, 2015
 - (25) Yuki Teraoka, Hiroshi Inoue 他, Electrochemical Glycerol Oxidation Reaction with Various Metal Electrodes, 3rd OPU-TKU International Symposium on Frontier Chemistry and Materials for the 21st Century, 2015
 - (26) 川口大地, 井上博史 他, 担持量の異なるパラジウム担持銀触媒の作製およびアルコール酸化反応への応用, 第 39 回電解技術討論会, 2015
 - (27) Masahiro Kuzawa, Hiroshi Inoue 他, Electrochemical Glycerol Oxidation Activity of Shape-Controlled Pd Nanoparticles, 3rd OPU-TKU International Symposium on Frontier Chemistry and Materials for the 21st Century, 2015
 - (28) Hiroshi Inoue 他, Development of Highly Active Electrocatalysts for Glycerol Oxidation Reaction, 8th KIFEE Symposium on Environmental, Energy & Materials, 2015
 - (29) 九澤昌宏, 井上博史 他, 形状制御した Pd ナノ粒子修飾電極を用いるグリセリン酸化反応, 2015 年電気化学秋季大会, 2015

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www2.chem.osakafu-u.ac.jp/ohka/ohka4/>

6 . 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：樋口 栄次

ローマ字氏名：(HIGUCHI, eiji)

所属機関名：大阪府立大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁) : 80402022

研究協力者氏名：知久 昌信

ローマ字氏名：(CHIKU, masanobu)

所属機関名：大阪府立大学

部局名：大学院工学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁) : 20582399

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。