

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22360310

研究課題名(和文) 直接形エタノール燃料電池用新規高性能電極触媒の開発

研究課題名(英文) Development of High-performance Electrocatalysts for Direct Ethanol Fuel Cells

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) 14,400,000円、(間接経費) 4,320,000円

研究成果の概要(和文)：安価で毒性が少なく、カーボンニュートラルなバイオエタノールを燃料に用いる直接型エタノール燃料電池は、安全かつ環境にやさしい社会の構築に必須の発電デバイスである。しかしながら、エタノール分子の炭素-炭素結合は切断し難いため、エタノールを二酸化炭素まで完全酸化する活性な燃料極触媒の開発が急務であった。本研究では、白金、ロジウム、酸化スズを、単に混合するのではなく、白金原子と酸化スズ原子の隣接しない白金/ロジウム/酸化スズという原子配列が、エタノールの完全酸化反応を選択的かつ触媒的に進める上で重要であることをモデル電極を用いて明らかにし、このような原子配列を有するナノ粒子触媒の合成にも成功した。

研究成果の概要(英文)：A direct ethanol fuel cell in which cheap, nontoxic and carbon-neutral bioethanol is used as a fuel is a significant power source for realizing a safe and eco-friendly society. However it is hard to break the carbon-carbon bond in an ethanol molecule, and therefore the development of a new active cathode catalyst for complete ethanol oxidation reaction to carbon dioxide is urgent. In this study we clarified with a model electrode that the selective and catalytic complete ethanol oxidation reaction was realized by not simple mixing but the controlled atomic arrangement of platinum/rhodium/tin oxides where platinum and tin oxides were not neighboring. Moreover we succeeded in synthesis of a nanoparticle catalyst with the controlled atomic arrangement.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：直接型エタノール燃料電池 エタノール酸化 電極触媒 アンダーポテンシャル析出 二酸化炭素 白金 ロジウム 酸化スズ

## 1. 研究開始当初の背景

直接型エタノール燃料電池 (DEFC) は、エタノールを燃料とする低温作動の燃料電池である。使用する燃料以外は DEFC と同じ原理の直接形メタノール燃料電池 (DMFC) は、水素を燃料とする固体高分子形燃料電池 (PEFC) が主に家庭用や移動体用を目指しているのに対し、モバイル機器用途を中心に開発が進められていたが、DEFC も DMFC と同じ用途展開が見込まれていた。

DMFC のアノード (負極) では、 $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^-$  で表される酸化反応が起こるため、水のみを生成する PEFC とは異なり、発電中に  $\text{CO}_2$  が発生するという欠点を有する。しかもメタノールは毒性を有し、化石資源から合成されるため、安価であるという利点を差し引いても、資源、環境、安全の面で問題は多い。これに対し、エタノールは、メタノールと同様、安価な液体であるが、毒性はほとんどなく、しかもバイオマスからの合成が可能であり、カーボンニュートラルな燃料である。したがって、DEFC を実用化することができれば、人々が待ち望んでいる「 $\text{CO}_2$  の排出を極力抑え、安全かつ環境にやさしい社会」の構築に少なからず貢献できるであろう。

DEFC に関する研究、中でも高いエタノール酸化 (Ethanol Oxidation Reaction, EOR) 活性をもつ触媒の開発は、DEFC の実用化に向けて最重要課題の一つであり、古くから多くの研究者により行われてきた。その結果、Pt-M (M = Ru, Mo, Sn) 合金ナノ粒子や  $\text{RuO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{SnO}_2$  などの酸化物担体に Pt ナノ粒子を担持させた触媒が高い EOR 活性を示すことが見出された。しかしながら、最終生成物である  $\text{CO}_2$  の生成に必要な、エタノール分子中の C-C 結合を効率的に切断することができる触媒を見つけることができなかった。しかしながら、エタノールの安全面だけでなく、カーボンニュートラルな燃料であるという環境面がクローズアップされるに至って、 $\text{CO}_2$  排出の大幅削減可能な DEFC に関する研究が、再び注目されてきた。研究代表者らも、DEFC のもつ環境的なメリットに着目し、数年前から DEFC 用アノード触媒の開発を行ってきた。エタノール酸化が Pt と第二金属 (Pt 上の  $\text{CO}_{\text{ad}}$  種中間体を酸化するための  $\text{OH}_{\text{ad}}$  が吸着している) との二元機能効果で進むこと

はすでに知られているが、研究代表者らは、この効果をさらに発揮させるため、Pt だけでなく酸化物担体もナノ粒子化した二元触媒 ( $(\text{Pt}/\text{SnO}_2)_{\text{nano}}/\text{CB}$ ) の作製法を新たに開発し、この触媒が従来の Pt と Sn からなる二元触媒 (Pt-Sn 合金ナノ粒子、Pt ナノ粒子担持バルク  $\text{SnO}_2$  触媒など) より 2 倍以上も高いエタノール酸化活性を有することを明らかにした。しかし、この触媒も  $\text{CO}_2$  までの完全酸化は達成できず、酢酸が主生成物であった。最近、Kowal ら (米国) が、Pt(111) 単結晶上に Rh 単原子層、 $\text{SnO}_2$  コロイド層の順に形成させた触媒や Pt と Rh のナノ粒子を担持したバルク  $\text{SnO}_2$  触媒上でエタノールの完全酸化反応が進行し、 $\text{CO}_2$  が高選択率で生成することを分光学的に明らかにした (A. Kowal et al., *Nature Mater.*, 8, 325 (2009))。この論文は、研究代表者らの開発した触媒にも Rh を加えればエタノールの完全酸化反応を効率的に進ませることができると期待を抱かせるものであり、本研究を進める上での強力な推進力となった。

## 2. 研究の目的

本研究では、4 年間の研究期間において、以下の点を明らかにすることを目的とした。

- 1) 三元系  $(\text{Pt-Rh-SnO}_2)_{\text{nano}}/\text{CB}$  触媒を新たに合成し、EOR 活性、 $\text{CO}_2$  選択性、耐久性を評価する。
- 2) Pt、Rh、Sn の役割や原子配列に関する知見を得るためのモデル電極を作製する。
- 3) モデル電極を用いて EOR 活性、 $\text{CO}_2$  選択性を評価し、反応機構を明らかにする。
- 4) エタノールの完全酸化反応を最も促進する (すなわち  $\text{CO}_2$  生成の電流効率の最も高い) 触媒組成を調べる。
- 5) このような配列を有する Pt/Rh/ $\text{SnO}_x$  ナノ粒子担持カーボン触媒の合成法を確立し、この方法で作製した触媒の EOR 活性や  $\text{CO}_2$  選択性を明らかにする。
- 6) エタノールの完全酸化反応に対して最も活性の高かった触媒を用い、DEFC の発電特性が最も高くなる膜-電極接合体 (MEA) の作製法を確立する。

## 3. 研究の方法

### 3. 1 三元系 $(\text{Pt-Rh-SnO}_2)_{\text{nano}}/\text{CB}$ 触媒の合成と触媒電極の作製

(Pt-Rh-SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB の合成は、研究代表者の論文 (*J. Power Sources*, 196, 1730 (2011)) に基づいて作製した。前駆体としての PtCl<sub>2</sub>、RhCl<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O、SnCl<sub>2</sub> を THF 溶液中に加え、50 °C、Ar 雰囲気下で溶解させた。この溶液に還元剤兼安定化剤として作用する N(Oct)<sub>4</sub>BEt<sub>3</sub>H/THF 溶液をゆっくりと滴下し、Ar 雰囲気下 50 °C で 18 時間、攪拌させながら反応させた。その後、アセトンを加えて反応を停止させた。得られた Pt/Rh/SnO<sub>2</sub> コロイド溶液に導電材のケッチェンブラックを加え、超音波処理することにより、70 wt. % となるように Pt/Rh/SnO<sub>2</sub> ナノ粒子をケッチェンブラック上に担持させた (以下、Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CB と記す)。Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CB 触媒は、吸引ろ過した後、2-プロパノールで洗浄し、常温で減圧乾燥した後、250 °C で 30 分間熱処理を行うことにより安定化剤を除去した。このようにして、Pt:Rh:Sn 組成比が 71:4:25、65:10:25、56:19:25 の Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CB 触媒を作製した。各触媒をそれぞれ Pt-56/Rh-19/ SnO<sub>2</sub>/CB、Pt-65/Rh-10/SnO<sub>2</sub>/CB、Pt-71/Rh-4/ SnO<sub>2</sub>/CB と記す。

触媒電極は、エタノールに分散させた各触媒をグラッシーカーボン (GC) 電極上に滴下し、乾燥させた後、Nafion 溶液を適量塗布、乾燥させることにより作製した。対極には Pt 板、参照極には可逆水素電極 (RHE) を用いた。電解液には Ar 飽和した 0.1 M HClO<sub>4</sub> もしくは (0.1 M HClO<sub>4</sub> + 1.0 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) を用いた。

### 3. 2 Pt, Rh, SnO<sub>x</sub> からなるモデル電極の作製

Pt/Rh 電極は、アンダーポテンシャルデポジション (UPD) 法により作製した。用いる Rh<sup>3+</sup> 溶液は、RhCl<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O を 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中に溶解させて調製した。Ar 飽和 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中、Pt 電極を 0.05 V vs. RHE で 15 秒間保持し、吸着水素 (H<sub>ads</sub>) を生成させた。その後、開回路にすると同時に Rh<sup>3+</sup> 溶液を攪拌しながら加え、40 秒後 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液で洗浄し、Pt/Rh 電極を作製した。表面構造を制御したタンデム型 Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極は、Pt-CO と Rh-CO の形成電位の差を利用して作製した。CO 飽和 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中、Pt/Rh 電極を 0.50 V で 60 秒間保持し、吸着 CO を形成した。その後、溶液を Ar 飽和状態に戻して 0.05-0.4 V vs. RHE の範囲を 20 mV s<sup>-1</sup> で走査し、Rh に吸着

した CO の脱離を確認した。続いて H-upd 法により Sn を修飾してタンデム型 Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極を作製した。

エタノール酸化活性の評価および生成物の同定には、リニアスイープボルタメトリー (LSV) および赤外反射吸収分光法 (IRRAS) を用いた。電解液には (0.1 M HClO<sub>4</sub> + 1.0 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) を用いた。IRRAS では CaF<sub>2</sub> プリズム (60°) を使用し、高純度 N<sub>2</sub> 雰囲気下で測定した。電極電位 0.05 V 時のスペクトルをバックグラウンドとし、測定電位にまでステップした後のスペクトルを測定した。

### 3. 3 構造制御した三元系 (Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB 触媒修飾電極の作製

まず、研究代表者らの論文に従って (Pt/SnO<sub>2</sub>(3:1))<sub>nano</sub>/CB を合成した。この触媒を懸濁させたエタノール溶液を GC 電極 (φ 5 mm) 上に適量滴下し、室温で乾燥させた。その後、この電極を Ar 飽和 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液中に浸し、0.05 V vs. RHE に電位を保持したまま CO を 10 分間吹き込み、Pt 上に CO を吸着させた。Ar ガスを 15 分間吹き込んで溶存 CO を除去した後、0.35 V vs. RHE に電位を保持し、SnO<sub>2</sub> に隣接している Pt サイトに吸着している CO のみを脱離させた。その後、Pt 表面に水素 (H<sub>ads</sub>) を吸着させるために 0.05 V の電位を 15 秒間印加した後、攪拌しながら、0.05 mM RhCl<sub>3</sub> 水溶液をマイクロシリンジでセルに加えた。40 秒後、電極を引き揚げながら 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 水溶液で洗浄することにより (Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB/GC 電極を得た。この電極に、さらに 0.05 wt. % Nafion 溶液を適量滴下し、乾燥させた。

## 4. 研究成果

### 4. 1 三元系 (Pt-Rh-SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB 触媒のエタノール酸化活性、CO<sub>2</sub> 選択性、耐久性

EDX を用いて解析した 3 種類の Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CB 触媒のバルク組成は、すべて仕込み組成にはほぼ一致した。また、各触媒には、安定化剤に含まれる Cl によるピークが観察されなかったことから、安定化剤は完全に除去されたと考えられる。また、TG-DTA 測定により触媒の担持率を算出した結果、いずれの触媒も仕込み値である 70 wt. % に近い値が得られた。

XRD より、いずれの触媒においても Pt に起因するピークが観察された。このピーク

はシフトしていないことから、合金化はしていないと考えられる。また、TEM 観察より、Pt は 3.8~4.2 nm の粒径をもつナノ粒子として CB 上に分散していることが分かった。また、SnO<sub>2</sub> や Rh もナノ粒子として存在していることがわかった。これら 3 種類の粒子が合い接しているだけでなく、2 種類の粒子が接しているものや単粒子として存在するものも観察された。

XPS 解析の結果、Pt と Rh は金属、Sn は SnO<sub>2</sub> として存在することが明らかになった。また、N や Cl のピークは検出されなかった。

3 種類の Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CB あるいは Pt/CB を修飾した GC 電極の (1.0 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + 0.1 M HClO<sub>4</sub>) 中での EOR 活性を図 1 に示す。いずれの電極も EOR 開始電位は Pt/CB よりもおよそ 0.2 V 低電位側にシフトし、高い EOR 活性を示すことが分かった。

3 種類の Pt/Rh/SnO<sub>2</sub>/CBGC および Pt/CB/GC 電極について、1.0 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + 0.1 M HClO<sub>4</sub> 水溶液中、0.6 V vs. RHE で定電位電解したときの EOR 電流の経時変化を調べたところ、EOR 電流の減少率は、Rh の含有率によらず約 2 % h<sup>-1</sup> となり、Pt-75/SnO<sub>2</sub>/CB/GC 電極 (約 5 % h<sup>-1</sup>) よりも小さいことが分かった。また、0.6 V での定電位電解後、生成物の分析をした結果、酢酸と CO<sub>2</sub> 生成の電流効率は、それぞれ 80~90 %、約 10 % であり、予想に反して CO<sub>2</sub> の選択性は改善されていないことが分かった。この結果は、CO<sub>2</sub> を選択的に生成させるためには、Pt、Rh、Sn 元素の配列を制御する必要があることを示唆している。

#### 4. 2 Pt、Rh、SnO<sub>x</sub> からなるモデル電極のエタノール酸化活性、CO<sub>2</sub> 選択性

タンデム型 Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極のサイクリックボルタモグラム (CV) を図 2 に示す。元素の右下の数字は、その元素の被覆率 (SnO<sub>x</sub> は

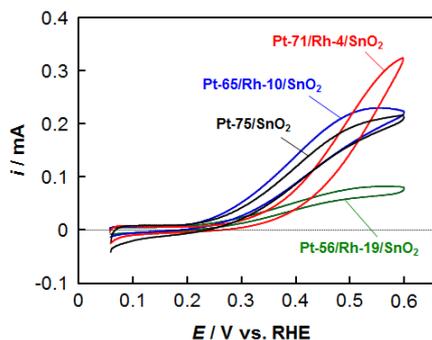


図 1. エタノール酸化活性

Sn と簡略化) を示す。Pt 上に Rh を修飾すると 0.05~0.1 V の水素脱着による酸化電流値が増加した。0.50 V で CO を吸着させると水素吸脱着電流量は大きく減少し、90 % 以上 CO で被覆されることが分かった。Ar 下 0.05~0.4 V の範囲を電位走査後、Pt/Rh 上に SnO<sub>x</sub> を修飾すると、0.26 V にある Pt-H のピークには変化が無かったが、0.05~0.1 V の Rh-H の脱着電流値が減少した。このことから、SnO<sub>x</sub> は Rh 上にのみ修飾されたと考えられ、その構造は図 3 のように、Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> の順に積み上げられたタンデム構造をとると考えられる。このように、Pt、Rh、SnO<sub>x</sub> の配列をコントロールすることに成功した。

(0.1 M HClO<sub>4</sub> + 1.0 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) 中での各電極の LSV を図 4 に示す。この図の電流密度は Pt 実面積あたりの値である。Pt や Pt/Rh<sub>0.35</sub> 電極上での EOR 開始電位は 0.4 V であったが、Pt/Sn<sub>0.35</sub> 電極や Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極ではそれぞれ約 30 mV、100 mV 負電位側から始まった。Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極において EOR 電流密度が顕著に増大したのは、Rh に吸着した CO などの中間生成物が SnO<sub>x</sub> の二元機能効果により除去されたためであると考えられる。また、0.6 V での電流密度は、Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極が Pt 電極の約 5 倍となった。Rh の被覆率を高くした Pt/Rh<sub>0.51</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極も、Pt 電極に比べて約 3 倍の EOR 電流を示した。

種々の電極を用い、0.5 V でエタノール酸化したときの IR スペクトルを図 5 に示す。

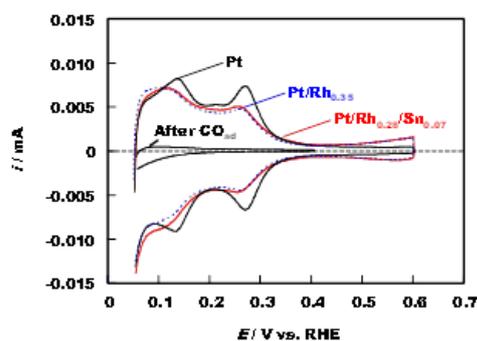


図 2. Pt、Pt/Rh<sub>0.35</sub>、Pt/Rh<sub>0.35</sub> (CO<sub>2</sub> 吸着後)、Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極の CV

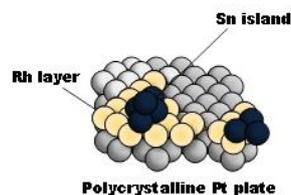


図 3. タンデム型 Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> の構造

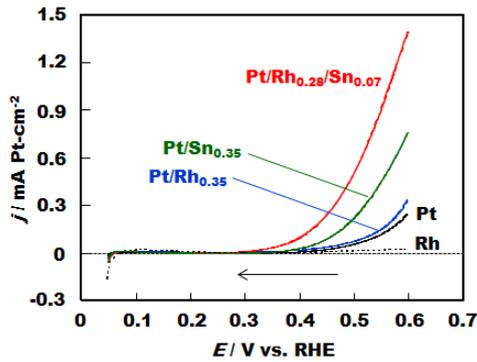


図 4. Pt, Rh, Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub>, Pt/Sn<sub>0.35</sub>, Pt/Rh<sub>0.35</sub> 電極の LSV (EOR 活性)

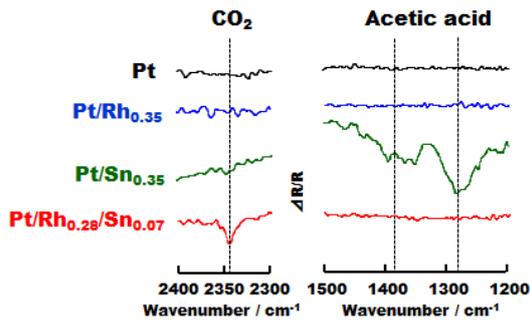


図 5. Pt, Rh, Pt/Rh<sub>0.35</sub>, Pt/Sn<sub>0.35</sub>, Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極の 0.5 V における IR スペクトル

この図より、Pt/Sn<sub>0.35</sub> 電極では、これまでの報告通り、酢酸が主生成物として生成したのに対し、Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極では、酢酸の生成は認められず、CO<sub>2</sub> が選択的に生成していることが分かった。また、カルボニル基、Pt-CO<sub>ad</sub>、Rh-CO<sub>ad</sub> に基づくピークも検出されたことから、アセトアルデヒドが中間体として生成していることが示唆された。アセトアルデヒドの C-C 結合は、Pt-Rh サイトにおいて切断され、酸化されて Pt-CO<sub>ad</sub> や Rh-CO<sub>ad</sub> に変化し、Rh-CO<sub>ad</sub> は隣接した SnO<sub>x</sub> との二元機能効果で触媒的に CO<sub>2</sub> を生成したと考えられる。Pt/Rh<sub>0.28</sub>/Sn<sub>0.07</sub> 電極において、アセトアルデヒドから酢酸への酸化反応が進まなかったのは、その吸着サイトである Pt と二元機能効果を示す SnO<sub>x</sub> が離れた構造をとっているためと考えられる。

#### 4. 3 構造制御した三元系 (Pt-Rh-SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB 触媒修飾電極の作製

(Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB/GC 電極および (Pt/SnO<sub>2</sub>(3:1))<sub>nano</sub>/CB/GC 電極の Ar 飽和 0.1 M HClO<sub>4</sub> 水溶液中での CV を図 6 に示す。(Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB/GC 電極での 0.05~0.35 V の水素吸脱着波は、(Pt/SnO<sub>2</sub>3:1)<sub>nano</sub>/CB/GC

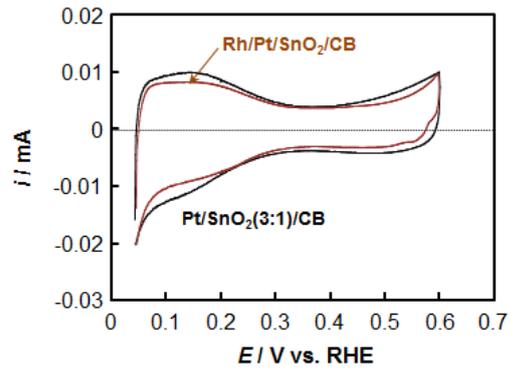


図 6. Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>/CB/GC および Pt/SnO<sub>2</sub>(3:1)/GC の CV

電極のそれよりも小さくなった。これは、SnO<sub>2</sub> 近傍の Pt 上に Rh が析出した結果、Pt の露出割合が減少したためであると考えられる。

Ar 飽和 (1 M C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH + 0.1 M HClO<sub>4</sub>) 中での (Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB/GC 電極の LSV を図 7 に示す。(Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB/GC 電極の EOR 酸化開始電位は、約 0.25 V であり、Pt 電極より約 150 mV 負電位側にシフトし、より実用的な触媒を用いた場合にも高い EOR 活性を示すことが明らかになった。IRRAS 測定による生成物の同定が今後の課題であるが、モデル電極のコンセプトを実用触媒にも応用できることを明らかにしたことは、MEA や DEFC の作製に大きな期待がもてる。今後、(Rh/Pt/SnO<sub>2</sub>)<sub>nano</sub>/CB 触媒を用いた MEA の作製法を確立し、DEFC の特性評価を進めたい。

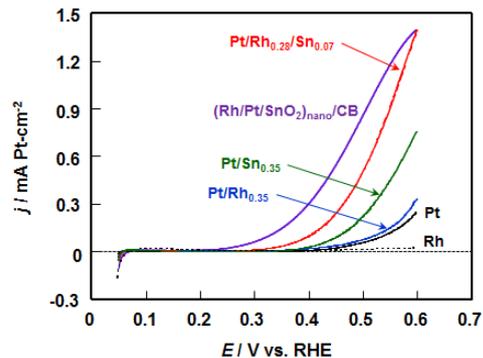


図 7. Rh/Pt/SnO<sub>2</sub> 電極の LSV (EOR 活性)

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Eiji Higuchi, Tomonori Takase, Masanobu Chiku, Hiroshi Inoue, Preparation of Ternary Anode Catalysts for Use in Direct Ethanol Fuel Cells and Their Electrocatalytic Activity for Ethanol Oxidation Reaction, J.

- Power Sources, 査読有, 2014, in press.  
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.04.056
2. Akinori Haze, Masanobu Chiku, Eiji Higuchi, Hiroshi Inoue, Electro-catalytic Ethanol Oxidation Reaction at Rh and SnO<sub>2</sub> Monolayer-Modified Pt Electrodes, ECS Transactions, 査読有, Vol. 41, No. 1, 2011, pp. 2277-2282,  
DOI: 10.1149/1.3635760

[学会発表] (計 13 件)

- (1) Hiroshi Inoue, Structure-controlled Ternary Electrocatalysts for Selective Ethanol Oxidation to CO<sub>2</sub>, The 224th ECS Meeting, October 30, 2013, Hilton San Francisco, USA
- (2) 井上博史 (代表), 表面構造を制御した Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極のエタノール酸化活性の評価および反応機構の解析, 電気化学会関西支部第 3 回関西電気化学研究会, 2012 年 12 月 1 日, 京大
- (3) 井上博史 (代表), タンデム型 Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極触媒のエタノール酸化活性ならびに反応機構, 第 53 回電池討論会, 2012 年 11 月 15 日, ヒルトン福岡シーホーク
- (4) 井上博史 (代表), 表面構造を制御した Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> 電極上でのエタノール酸化反応生成物の赤外反射吸収分光法による解析, 第 36 回電解技術討論会, 2012 年 10 月 26 日, 滋賀県立大
- (5) 井上博史 (代表), 構造制御した電極触媒を用いるエタノールの完全酸化, 第 2 回 CSJ 化学フェスタ, 2012 年 10 月 15 日, 東工大
- (6) Hiroshi Inoue, Ethanol Oxidation Reaction on Tandem-type Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> Electrocatalysts, Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (PRIME2012), October 10, 2012, Honolulu, USA
- (7) Hiroshi Inoue, Mechanism of Ethanol Oxidation Reaction on Pt/Rh/SnO<sub>x</sub> Electrocatalysts, The 6th Kyoto International Forum for Environmental and Energy (KIFEE), September 11, 2012, NTNU, Norway
- (8) Hiroshi Inoue, Mechanism of Ethanol Oxidation Reaction at Rh and/or SnO<sub>x</sub> Monolayers-Modified Pt Electrodes, 10th Spring Meeting of the ISE, April 18, 2012, University of Western Australia, Australia
- (9) 井上博史 (代表), 赤外反射吸収分光法による Pt/Rh/Sn 電極上でのエタノール酸化反応機構の解析, 電気化学会第 79 回大会, 2012 年 3 月 29 日, アクトシティ浜松
- (10) 井上博史 (代表), アンダーポテンシャルデポジション法を用いて Rh および Sn を修飾した Pt/Rh/Sn 電極のエタノール酸化活性, 第 35 回電解技術討論会, 2011 年 11 月 15 日, 京大会館
- (11) Hiroshi Inoue (代表), Electro-catalytic Ethanol Oxidation Reaction at Ru and SnO<sub>2</sub> Monolayer-Modified Pt Electrodes, The 220th ECS Meeting, October 12, 2011, Boston, USA
- (12) 井上博史 (代表), アンダーポテンシャルデポジション法を用いる新規エタノール酸化触媒の作製およびキャラクタリゼーション, 電気化学会第 78 回大会, 2011 年 3 月 31 日, 横浜国大
- (13) 井上博史 (代表), Pt/Rh/SnO<sub>2</sub> ナノ粒子担持カーボンプラック触媒のエタノール電解酸化活性, 第 34 回電解技術討論会, 2010 年 11 月 19 日, 横浜国大

[その他]

ホームページ等

<http://www.chem.osakafu-u.ac.jp/ohka/ohka4/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井上 博史 (INOUE Hiroshi)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00213174

### (2) 研究分担者

樋口 栄次 (HIGUCHI Eiji)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 80402022

### (3) 連携研究者

知久 昌信 (CHIKU Masanobu)  
大阪府立大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号: 20582399