

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月24日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23655180

研究課題名（和文）

内的電場供給に基づく電気化学的触媒活性効果発現系の構築

研究課題名（英文）

Development of ceramic electrets stimulating electrocatalytic activity

研究代表者

田中 優実 (YUMI TANAKA)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00436619

研究成果の概要（和文）：

酸化還元触媒へのイオン伝導体を介した電圧印加により触媒活性が向上する現象は NEMCA 効果として知られている。しかしこの効果を誘発するためには外部電源が必要となるため、発電を目的とするデバイスへの適用は利が薄い。そこで本研究では、「エレクトレット」の持つ表面電場空間を起源とした内的 NEMCA 効果導入を目指し、イットリア安定化ジルコニア (YSZ) を基材とするエレクトレットを直流分極処理によって作製、これを担体とした場合における、エレクトレット特性と酸素還元触媒活性との相関を調べた。結果、陰極側で分極処理した YSZ エレクトレット上に担持した触媒の酸素還元反応活性が、未処理表面や陽極処理面と比較して高くなる傾向を示すことが分かり、エレクトレットの利用による「ワイアレス NEMCA」実現への可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：

Yttria-stabilized zirconia (YSZ) was polarized into electrets and oxygen reduction reaction on Pt-C composite catalyst was measured using the YSZ electrets as a catalyst carrier in order to confirm an influence of static electrical field of the YSZ electrets on the catalytic activity. Judged by the kinetic current ( $I_k$ ) estimated by the oxygen reduction current measurements, the surface of YSZ electret polarized on negative electrode appeared to have a potential to activate the catalytic reaction of oxygen reduction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3000000	900000	3900000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学、機能材料・デバイス

キーワード：セラミックス、燃料電池、電極触媒、エレクトレット

## 1. 研究開始当初の背景

## 1.1. NEMCA 効果について

NEMCA (Non-faradaic electrochemical modification of catalytic activity: 非ファラデー電気化学的触媒活性化) とは、イオン伝導体を介して電圧を印加した酸化還元触媒系において見られる飛躍的な触媒特性の向上を

意味する言葉である。この現象は、銀触媒下でのエチレン酸化反応に対する、イットリア安定化ジルコニア (YSZ) を介した氧化物イオン供給の影響を調べる中で、1980 年代に Vayenas らによって発見された。YSZ への電圧印加による酸素ポンプ稼働下で、非稼働下に比して  $10^2 \sim 10^5$  倍にもおよぶ飛躍的な触媒反応速度の上昇が起こるといふ当時の発見

は、ファラデー則に従う酸化物イオン供給速度に追従した反応活性化を加味するだけでは到底説明のつかない現象であったことから、「Non-faradaic…」という名前と呼ばれることになった。

その後の継続的な研究の成果により、NEMCA 効果は銀触媒/エチレン酸化系のみならず、気相系、液相系、有機系、無機系を問わない様々な酸化還元系で発揮されることが示され、さらに、目的反応とは無関係なイオンをキャリアとするイオン伝導体を介した電圧印加（例えば白金を触媒するエチレン酸化反応に対する  $\text{Na}^+$ イオン伝導体の利用）によっても導入可能であることが確かめられた。これらの事実は、NEMCA 効果が、単にイオン伝導体から反応場へ向けた物質供給によってもたらされるものではないことを端的に示している。現在、その起源については、電圧印加によって分極したイオン伝導体と触媒の界面に形成された空間電荷層の影響で誘引される、触媒の仕事関数変化によるものであるとの解釈が定着している。

## 1.2. 固体高分子型燃料電池 (PEFC) の酸素還元触媒について

電池における電極/電解質界面での電荷移動反応速度、すなわち酸化還元速度は、電池の出力特性を左右する重要なファクターである。とりわけ、PEFC のように酸素から水を生成するための還元反応が出力密度を律速している系においては、酸素還元触媒の活性を向上させることが電池性能の向上に直結する。このため、「触媒の単分散微粒化」や「担体の高表面積化」、「触媒の電子構造最適化」、「触媒表面における結晶方位制御」といった観点からこれを達成しようとする試みが精力的に行われてきた。しかし、これらの技術はいずれも既に成熟期に到達しつつあり、従来からあるコンセプトの延長線上で飛躍的な触媒活性の向上を望むのは困難な状況にあるといえる。

## 2. 研究の目的

上記のような背景を受け、本研究では、NEMCA 効果の利用という新たなコンセプトから PEFC の酸素還元触媒活性向上に取り組むこととした。ただし、元来 NEMCA 効果の発現には外部からの連続的な電圧印加が必要となるため、従来型の NEMCA 効果発現系をそのまま PEFC に持ち込むことはできない。すなわち、本研究の目標達成を目指す上ではまず、外部電源によらない新たな NEMCA 効果発現系を構築する必要がある。ここで、1.1. で記述した NEMCA 効果の起源を思い返せば、この効果による触媒活性化の際に重要なのは、イオン伝導体内における連続的な物質移動状態の確保ではなく、イオン伝導体と触媒

との界面における定常的な空間電荷層の維持であると解釈することができる。そこで本研究では、安定静電気蓄積材料であるエレクトレットを触媒担体に用いることで、触媒反応系に静電場を導入するというコンセプトから「ワイアレス NEMCA 効果」を実現できないかと考えた。

エレクトレットとは、双極子形成に起因する表面正電荷と負電荷を保持することで長期間安定に電場を提供する材料であり、エレクトレットコンデンサマイクロホンや、エレクトレットフィルター（機能性粉塵捕集材）といった形で広く利用されている。ただし、現在市場に出ているエレクトレットのほとんどはポリマー面電荷密度の限界値：数  $10^6 \text{ Ccm}^{-2}$  オーダー、寿命：室温で数年）であり、電荷安定性、分解・劣化耐性の観点から、酸化還元反応環境下における NEMCA 効果誘引のための電場供給源として最適な材料とは言い難い。ところで応募者の前任先である東京医科歯科大学の山下グループでは、イオン伝導性セラミックスに直流電界を印加してイオン分極を誘起した後、この状態を凍結するという手製（表法によって、例えばプロトン伝導を有する水酸アパタイトを基材とした場合、ポリマーエレクトレットより 2~3 桁高い表面電荷密度を計算上最大  $10^8$  年もの長期に渡って保持するエレクトレットを作成することに成功している。そこで本研究では、この手法を踏襲することで、超高密度表面電荷を半永久的に保持し得る「セラミックエレクトレット」を作製し、これを電場供給源とするような完全閉鎖駆動型 NEMCA 効果発現系の導入という切り口から、固体高分子型燃料電池 (PEFC) の酸素還元触媒反応の活性化が可能であるか検証することを目的とした。ここでは、直流電界処理によって表面に安定静電荷を付与したイットリア安定化ジルコニアセラミックス (YSZ エレクトレット) を触媒担体とした系について、触媒活性に及ぼす静電荷の影響について報告する。

## 3. 研究の方法

### 3.1. YSZ エレクトレットの作製

市販の 3 mol%  $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$  粉末 (TZ-3Y、東ソー株式会社) を 180 MPa の一軸加圧および 470 MPa の冷間等方加圧により圧粉体とした後、大気中、1450 °C で 120 分間熱処理することで焼結体ディスク ( $\phi$  10 mm、厚さ 1 mm) を作成した。得られた焼結体の両面には、大気中、850 °C で金電極を焼き付けた。

分極 YSZ は、金電極付き YSZ 焼結体を白金対向電極に矜持した状態で 200~300 °C まで昇温、各温度で 5~720 分間、250~500  $\text{Vcm}^{-1}$  の直流電界を印加して分極状態を誘起し、さらに電界を保持したまま室温まで冷却

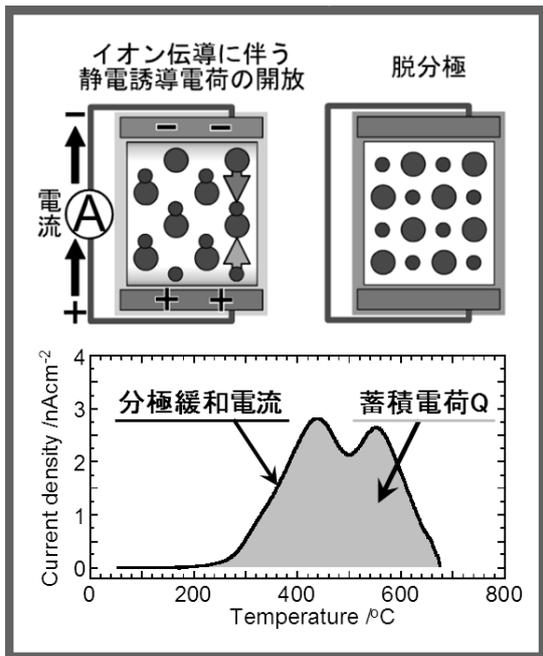


図1 熱誘起脱分極電流 (TSDC) 測定の原理

することで作成した。この際、分極処理試料と同様の熱履歴をかけた未分極試料も用意した。以降、未分極 YSZ 試料の表面を 0 面、分極処理時に陰極に接していた表面 (正電荷の蓄積が期待された面) を P 面、陽極に接していた表面 (負電荷の蓄積が期待された面) を N 面とそれぞれ称する。分極試料の帯電状態は、室温から 850 °C の温度範囲における熱誘起脱分極電流 (TSDC) 測定により評価した。なお TSDC 測定とは、電極を配した分極試料を短絡回路に接続することで電極内に十分な静電誘導を誘起した後、これを昇温することにより、分極の熱的緩和に伴って外部回路に流れる電流を計測する手法である。(図1)

### 3.2. 酸素還元反応 (ORR) 触媒の活性評価

作成した金電極付き未分極/分極 YSZ、ならびに、比較として用意した金ペレット (φ 10 mm、厚さ 1 mm) 上に、白金-カーボン系 ORR 触媒 (TEC10E50E、田中貴金属株式会社) のイソプロパノール水溶液懸濁液を滴下し、蒸発乾固させることにより触媒層を形成した。得られた触媒/金電極付き YSZ ディスクは、回転ディスク電極 (RDE) 測定用の専用ホルダー (HR2-D32-Bs7F、北斗電工株式会社) にセットしたのち、窒素バブリング下の 0.1 mol/l HClO<sub>4</sub> 水溶液中、0.05~1.4 V の範囲において 50 回、0.1 V/sec の速度で電位を繰返し掃印することにより電気化学的に洗浄した。また、洗浄後の触媒層に占める電気化学的活性面積 (ECA) は、0.05 V/sec の掃印速度で行った CV 測定結果より見積もった水素脱離電流量  $I_d$  (算出範囲= 0.05~0.4 V) を用いて、

以下の 1 式より算出した。

$$ECA = I_d / I_{ds} \quad (1)$$

ここで、 $I_{ds}$  ( $= 210 \mu\text{Ccm}^{-2}$ ) は単位活性白金面積あたりの水素脱着電荷量である。触媒層の ORR 活性は、酸素バブリング下の 0.1 mol/l HClO<sub>4</sub> 水溶液中で行った LSV 測定 (測定範囲= 0.2~1.2 V、測定回転数= 300、500、800、1000、1200 および 1500 rpm) 結果に基づいて作成した Koutecky-Levich プロット ( $I^l$  vs.  $\omega^{-1/2}$ 、2 式参照) から見積もった単位活性化支配電流  $I_s$  に (3 式参照) より評価した。

$$I^l = 1/I_k + 1/(0.62nFACD^{2/3}v^{-1/6})\omega^{-1/2} \quad (2)$$

$$I_s = I_k/ECA \quad (3)$$

ここで、 $I$  は LSV 測定により得られる電流値、 $n$  は反応電子数、 $F$  はファラデー定数、 $A$  は電極幾何面積、 $c$  は触媒のバルク密度、 $D$  は活物質の拡散係数、 $v$  は電解液の動粘度、および  $\omega$  は回転電極の角振動数、ECA は電気化学的活性面積である。

## 4. 研究成果

### 4.1. YSZ の分極条件と帯電状態の関係

図 2 は、200~300 °C で 120 分間、および 300 °C で 480 分間、250 Vcm<sup>-1</sup> で分極処理することで得られた YSZ 試料の N 面、P 面、および断面のスキヤナ像である。分極処理前の YSZ 焼結体は白色であったが、上記の条件で分極処理を行った後の YSZ は、部分的、または全体的に黒色化していた。YSZ 焼結体を分極処理するにあたって我々が当初期待したのは、酸化物イオン O<sup>2-</sup> の移動と移動先でのトラッピングに起因するマイナス電荷の発現、および酸化物イオン空孔 Vo<sup>•</sup> の相対的な移動と局在によるプラス電荷の発現である。しかし、黒色化が見られた試料においては、分極処理時の過剰なエネルギー投入が、O<sup>2-</sup> と Vo<sup>•</sup> の分極のみならず、電極から試料への電荷注入 (P 面の場合には電子 e<sup>-</sup> の注入、N 面の場合にはホール h<sup>+</sup> の注入) につながった可能性も考えられた。すなわち、電荷注入により YSZ のバンドギャップ間にドナー/アクセプター準位が多数形成され、この準位間、またはこれらの準位と価電子帯や伝導帯間

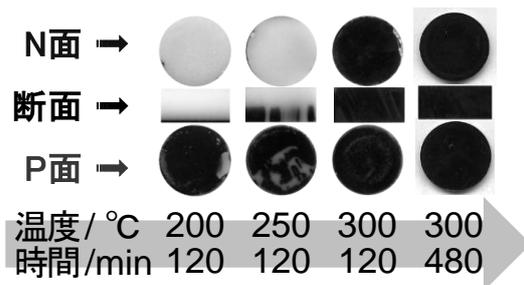


図2 分極 YSZ の色に及ぼす分極温度の影響

で電子遷移が生じることが、光吸収（黒色化）の原因であると考えられる。なお、この現象を分極温度の上昇に対して追跡すると、黒色部はまず P 面側に現れた後、分極温度の上昇に伴って N 面側に向けてその領域を拡張してゆくことが分かる。これは、光吸収に寄与する準位の形成が、主に陰極からの e 注入によって生じること、また、注入された e や h<sup>+</sup> が、分極処理の継続により電場に呼応して試料内で拡散してゆくことを示唆している。このことを考慮すると、黒色化初期段階にある試料の場合、P 面側においては Vo<sup>•</sup>の局在に加えて電極から注入された e が、N 面側においては O<sup>2</sup>の局在に加えて、おそらく電極から注入された h<sup>+</sup>がそれぞれ共存する状態であり、また、完全に黒色化した試料の場合には、P 面側に局在 Vo<sup>•</sup>と注入 e および N 面から拡散した h<sup>+</sup>が、N 面側に局在 O<sup>2</sup>と注入 h<sup>+</sup> および N 面から拡散した e が、それぞれ外部電界とつり合う形で共存する状態であるものと考えられた。ただし、黒色化試料を含めた全試料において、分極処理に伴う結晶相変化は認められず、また、TSDC 測定後には黒色部分の消滅が見られることから、今回対象とした試料内での分極形成と脱分極の間には可逆性が成立しているものと予想される。

図 3 に、各条件で分極処理した YSZ の典型的な TSDC 曲線を示す。全ての試料において電流が検出されたことにより、この分極条件で処理した試料はいずれも電荷を保持した状態であることが確かめられた。ただし、分極処理条件がより過酷になると、例えば 300 °C、480 分間処理した試料に見られるように、TSDC 電流の極性が逆転する現象を示すことが分かった。これは、分極処理時に YSZ 表面に注入された e および h<sup>+</sup>の固体内再結合、あるいは、YSZ に注入されたのち対向表面まで固体内拡散した e および h<sup>+</sup>の電極側への再放出に起因するものと考えている。

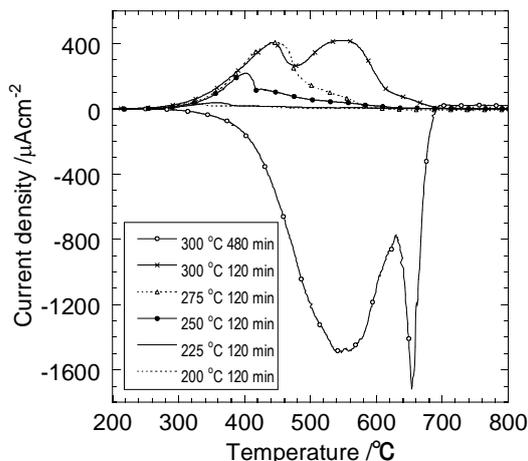


図 3 分極 YSZ の TSDC 曲線に及ぼす分極処理温度の影響 (処理条件: 200~300 °C、120~480 分、250 Vcm<sup>-1</sup>)

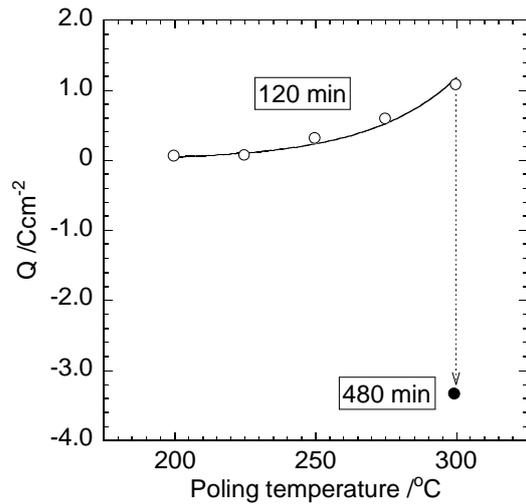


図 4 分極 YSZ の表面蓄積電荷量に及ぼす分極処理温度の影響 (処理条件: 200~300 °C、120~720 分、250 Vcm<sup>-1</sup>)

図 4 には、各温度で分極処理した YSZ の TSDC 曲線から見積もった表面蓄積電荷量  $Q$  を示した。分極時間を 120 分に固定した場合、約 0.1 Ccm<sup>2</sup> (200 °C) から 1.0 Ccm<sup>2</sup> (300 °C) まで、2 桁に上る  $Q$  値の増大が見られた。増大傾向が指数関数であるのは、分極形成キャリアの導電率が温度上昇と共に指数関数的に増大してゆくためであると考えられる。一方、300 °C で 480 分間処理した試料についても、符号は逆転するものの、約 3.5 Ccm<sup>2</sup> におよぶ高密度な電荷を保持するエレクトレットとなっていることが分かる。そこで以降、代表試料として、200 °C で 120 分間処理した YSZ エレクトレット (陰極、陽極処理面をそれぞれ Pw 面、Nw 面と称する) と 300 °C で 480 分間処理した YSZ エレクトレット (陰極、陽極処理面をそれぞれ Ps 面、Ns 面と称する) を取り上げ、ORR 触媒の違いを評価してゆくこととした。

#### 4.2. YSZ エレクトレットの電荷極性と電荷密度の違いが ORR 触媒の活性に与える影響

図 5 は、金ペレットと未処理 YSZ (0 面; 金電極被覆)、および Pw、Nw、Ps、Ns 面 (いずれも金電極被覆) に形成した触媒層の ECA 測定結果 (代表値) である。いずれも 0.4~0.5 cm<sup>2</sup> 付近の値を示しており、試料間における差異は認められなかった。

図 6 には、ECA 測定結果および、各触媒担持試料の ORR に対する RDE 測定結果より見積もった  $I_k$  を用いて算出した  $I_s$  値と電圧の関係 (代表値) を示した。金ペレット、未分極面及び陽極分極面上の触媒は同程度の活性を示したのに対し、陰極分極面では、他の担体を用いた場合と比較して、酸素還元触媒活性が高くなる傾向を示しているように見える。再現性を調べるために、同様の測定を各

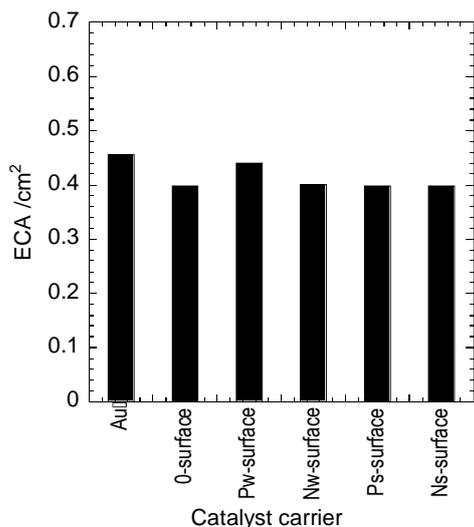


図5 金電極付き未分極/分極YSZ、および金ペレット上に塗布した白金触媒のECA(分極処理条件/Pw、Nw: 200 °C、120分、250 Vcm<sup>-1</sup>、Ps、Ns: 300 °C、480分、250 Vcm<sup>-1</sup>)

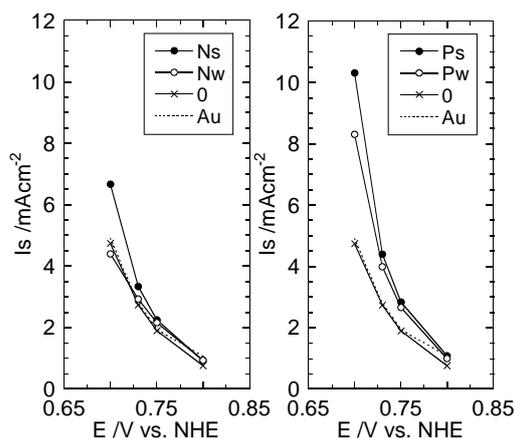


図6 金電極付き未分極/分極YSZ、および金ペレット上に塗布した炭素担持白金触媒のIs値(分極処理条件/Pw、Nw: 200 °C、120分、250 Vcm<sup>-1</sup>、Ps、Ns: 300 °C、480分、250 Vcm<sup>-1</sup>)

試料3回ずつ行ってIs値を比較したところ、陰極分極面上におけるORR触媒の活性向上に有意差が認められた。ただし現時点では、触媒活性効果と陰極分極面上に形成された正味の電荷量、および極性との間に明確な相関関係は得られていない。YSZを分極処理する場合、その表面においては、イオンの移動による分極形成に加えて、電極からの電荷注入によるイオン分極の打消し、さらには、注入電荷の固体内拡散による分極形成が生じているものと考えられる。YSZ上の触媒活性は、これら各分極形成/打消し効果のバランスによって決定されるものと考えられ、今後より詳細な表面解析を行ってゆく必要がある。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

(1) W. Yang, J. Hojo, N. Enomoto, Y. Tanaka, M. Inada, "Near Infrared Transmittance of Translucent Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Sintered Ceramics", *Materials Letters* **196** 155-157 (2013)

(2) W. Yang, M. Inada, Y. Tanaka, N. Enomoto, J. Hojo, "Fabrication of Translucent Silicon Nitride Ceramics with Various Sintering Aids", *Int. J. Nanotechnol.*, **10**[1/2] 119-125 (2013)

(3) H. Miyazaki, Y. Iiguni, Y. Tanaka, H. Suzuki, T. Ota, "Fabrication of VO<sub>2</sub> nanopowder via direct reaction of metal vanadium and hydrogen peroxide", *J. Ceram. Soc. Jpn.*, **121**[1] 100-102 (2013)

(4) J. Hojo, H. Tong, S. Shintani, M. Inada, Y. Tanaka, N. Enomoto, "Photovoltaic Properties of TiO<sub>2</sub>-ZnO Composite Electrodes for Dye-Sensitized Solar Cells", *J. Jpn. Soc. Powder. Metall.*, **59**[11] 621-625 (2012)

(5) 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, 山下仁大, "イオン伝導性セラミックス表面における電荷固定", *スマートプロセス学会誌*, **1**[4] 167-178 (2012.7) (査読付解説記事)

(6) W. Yang, M. Inada, Y. Tanaka, N. Enomoto, J. Hojo, "Effects of Sintering Conditions and Additives on Translucent Silicon Nitride Ceramics", *Materials Science Forum, Eco-Materials Processing and Design*, **XIII 724** 282-286 (2012)

(7) H. Tong, M. Inada, Y. Tanaka, N. Enomoto, J. Hojo, "Dye Sensitized Solar Cells Based on ZnO Nanorod/TiO<sub>2</sub> Nanoparticle Composite Films", *Materials Science Forum Eco-Materials, Processing and Design*, **XIII 724** 397-403 (2012)

(8) H. Tong, M. Inada, Y. Tanaka, N. Enomoto, J. Hojo, "Preparation of Nanocrystalline ZnO/TiO<sub>2</sub> Film and Its Application to Dye-Sensitized Solar Cells", *Functional Material Letters*, **5**[2] 1260006/1-5 (2012)

(9) A. Nagai, K. Tanaka, Y. Tanaka, M. Nakamura, K. Hashimoto, K. Yamashita, "Electric polarization and mechanism of B-type carbonated apatite ceramics", *J. Biomed. Mater. Res. A*, **99A**[1] 116-124 (2011)

[学会発表] (計19件)

(1) 川地麻里奈, 田中優実, 久貫悠美, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, "フッ素含有炭酸アパタイトの脱炭酸挙動とイオン伝導特性", 日本セラミックス協会, 2013年年会, 2013.3

(2) 田中優実, "アパタイト型化合物の構造と電気化学的機能", 東北大学多元物質科学研究センター第2回新機能無機物質探索研究センターシンポジウム, 2013.2 (招待)

(3) 宮本泰晃, 稲田幹, 田中優実, 榎本尚也,

北條純一, “高表面電位アパタイトセラミックエレクトレットの開発”, 第 51 回セラミックス基礎科学討論会, 2013.1

(4) 田中優実, 松本孝平, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, “欠陥過剰型ジルコニアセラミックスの誘電分散特性”, 第 51 回セラミックス基礎科学討論会, 2013.1

(5) 田中優実, “超高密度な表面拘束電荷により触媒活性を発現するセラミックセレクトレット”, 九州大学新技術説明会, 2012.11 (招待)

(6) 松本孝平, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, “欠陥導入ジルコニアの酸素還元特性”, セラミックス協会第 25 回秋季シンポジウム, 2012.9

(7) 蔣喆, 稲田幹, 田中優実, 榎本尚也, 北條純一, “セリア焼結体の粒界、粒内イオン伝導特性の解析”, セラミックス基礎科学討論会第 50 回記念大会, 2012.1

(8) 原浩之, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 永井亜希子, 山下仁大, 北條純一, “Y-TZP の低温劣化に及ぼす表面蓄積電荷の影響”, セラミックス基礎科学討論会第 50 回記念大会, 2012.1

(9) 田中優実, 久貫悠美, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, “フッ素添加炭酸アパタイトのイオン電導特性”, セラミックス基礎科学討論会第 50 回記念大会, 2012.1

(10) 田中優実, 久貫悠美, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, “炭酸アパタイト系化合物の固体電解質特性”, 第 37 回固体イオニクス討論会, 2011.12

(11) 田中優実, “イオン伝導性セラミックスの新たな可能性～エレクトレットの創製とその活用～”, 第 4 回固体材料合成および評価技術の新展開ワークショップ, 2011.9 (招待)

(12) 田中優実, 原浩之, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, “酸素還元触媒反応活系に及ぼす静電場導入効果”, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011.9

(13) 蔣喆, 稲田幹, 田中優実, 榎本尚也, 北條純一, “セリア焼結体のイオン伝導に及ぼす微構造の影響”, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011.9

(14) 久貫悠美, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 永井亜希子, 山下仁大, 北條純一, “B 型炭酸アパタイトの熱安定性とイオン伝導性に及ぼすフッ素添加の影響”, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011.9

(15) 宮本泰晃, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 永井亜希子, 山下仁大, 北條純一, “オキシハイドロキシアパタイトの分極特性”, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011.9

(16) 原浩之, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 永井亜希子, 山下仁大, 北條純一, “ジルコニアセラミックスの低温劣化に及ぼす電荷注

入効果”, 日本セラミックス協会第 24 回秋季シンポジウム, 2011.9

(17) 田中優実, “イオン伝導体の新たな活用法～エレクトレットの可能性～”, 電気化学会九州支部トークショー・イン・九州, 2011.9 (招待)

(18) 宮本泰晃, 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 永井亜希子, 山下仁大, 北條純一, “ハイドロキシアパタイトの欠陥構造と分極特性”, 電気化学会九州支部トークショー・イン・九州, 2011.9

(19) Y. Tanaka, H. Hara, A. Nagai, M. Inada, N. Enomoto, K. Yamashita, J. Hojo, “Electrically induced charge storage on zirconia ceramic electrets”, 18th International Conference on Solid State Ionics, 2011.7

[図書] (計 1 件)

田中優実, “環境発電ハンドブック 第 3 章 9. イオン電導を利用したセラミックエレクトレット材料”, 47-65, 株式会社 NTS (2012.11) 部分執筆/編集委員長: 鈴木雄二

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

名称: 触媒担体、触媒担体用エレクトレット、触媒反応系の製造方法、及び、触媒担体用エレクトレットの製造方法

発明者: 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一  
権利者: 国立大学法人 九州大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2012-196205

出願年月日: 2012 年 9 月 6 日

国内外の別: 国内

名称: 低温劣化の抑制された安定化ジルコニア  
発明者: 田中優実, 稲田幹, 榎本尚也, 北條純一, 原浩之, 山下仁大

権利者: 国立大学法人 九州大学, 国立大学法人 東京医科歯科大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2011-203796

出願年月日: 2011 年 9 月 16 日

国内外の別: 国内

名称: Catalyst Carrier, Electret for Catalyst and Manufacturing Method Thereof

発明者: Y. Tanaka, H. Hara, M. Inada, N. Enomoto, J. Hojo

権利者: 国立大学法人 九州大学

種類: 米国仮出願特許

番号: P126517-A

出願年月日: 2011 年 9 月 6 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 優実 (YUMI TANAKA)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号: 00436619