

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24350091

研究課題名(和文) 電極触媒スーパーアーキテクチャーの創製による電極反応選択性の深化

研究課題名(英文) Investigation of reaction selectivity at electrocatalyst architectures

研究代表者

梅田 実 (Umeda, Minoru)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20323066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：燃料電池の実用運転においては、燃料と酸素の混合が一部不可避免的に生ずる。この問題を解決する有力技術は反応選択性を有する電極触媒の開発であり、本研究では提案者らが開発した技術を巧妙に組み合わせ、電極触媒スーパーアーキテクチャーを創製し、電極反応の選択性を深化させることを目的とした。具体的には、(1) ナノインデンテーション法による微小触媒の形成と電気化学的評価、(2) 反応選択性ナノ粒子触媒の評価、(3) Pt-Ru-C 同時スパッタ法による反応選択性電極の作製とキャラクタリゼーション、(4) ナノ電極をプローブとした電極反応計測、(5) 燃料電池用膜電極接合体の電極反応について研究を行った。

研究成果の概要(英文)：In a practical operation of fuel cells, a partial mixing of fuel and oxygen will occur unavoidably. To solve this problem, a development of electrocatalyst having a reaction selectivity is a certain way. In order to sophisticate the reaction selectivity, we constructed electrocatalysts by combining techniques previously developed. In addition, electrode reactions using the constructed materials were investigated. The following experiments were carried out: (1) formation and characterization of small-size catalysts prepared by nano-indentation technique, (2) electrochemical evaluation of reaction-selective catalysts, (3) preparation and evaluation of Pt-Ru-C sputtered electrode, (4) electrochemical detection of H₂O₂ generated during O₂ reduction using nano-size electrode, and (5) electrode reaction study at membrane electrode assembly by impedance spectroscopy. Consequently, an investigation of reaction selectivity from a structural viewpoint was progressed.

研究分野：電気化学

キーワード：電極触媒 反応選択性 膜電極接合体 ナノめっき 燃料電池 原子間力顕微鏡 メタノール酸化
酸素還元

1. 研究開始当初の背景

燃料電池に代表されるクリーンエネルギー変換で使用される実用的電極触媒は、担体粒子と不均一なナノ粒子の複合体からなり、二次元平面電極とは異なる挙動を示す。現在の電極触媒技術は、経験的に高機能化されてきたことから、現状と最適化状態との相対関係がほとんど理解されていない。つまり、国際的にも最適化へのアプローチの仕方が確立されていない。このように学術的に価値の高い分野での機能の最適化に向けて、これまでに提案者らは種々の要素研究を行ってきた。本研究は、新規電極触媒の開発に資するところ決して少なくなく、その遂行は国内外の関連研究に大きなインパクトを与えると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、提案者らが開発したナノ電極・マイクロ電極・材料技術を巧妙に組み合わせることで電極触媒スーパーアーキテクチャーを創製し、電極反応の選択性を深化させることにある。学術的にはこれまで経験的に作製されてきた電極触媒の設計指針を明確にできる点に特色を有する。また、本研究を通して開発予定の反応選択性を示す電極触媒を用いる直接メタノール燃料電池は、燃料電池本体の重量低減が可能な超小型軽量化技術として期待される。

本提案の目的は、ナノ加工技術を発展させて、粒子の大きさと位置を制御して電極触媒を形成するとともにそれを使用して電極反応の特異性を研究することにある。別の目的は、複数のマイクロ・ナノ電極技術を組み合わせ、反応中間体の検出から電極触媒の反応機構を解析することにある。また別の目的は、構造制御された電極触媒の電子構造と反応選択性の関係を明らかにすることにある。なお、本研究から派生し、電極触媒が関わる燃料電池セルないし固体高分子形燃料電池の電極反応に関係する研究も本研究の目的に含まれる。

3. 研究の方法

(1) ナノインデンテーション法による微少触媒の形成と電気化学的評価

当研究グループがこれまで検討してきたマスククラッチ法にナノインデンテーション法を適用して、触媒形成の場所と位置を制御した電極触媒の形成を狙う。

また、ナノインデンテーション法にランドマーク形成を付与することで電極触媒劣化前後の ex-situ モルフォロジー解析を行う。

(2) 反応選択性触媒ナノ粒子の評価

Pt 担持カーボン(Pt/C)触媒を数種類準備し、

多孔質マイクロ電極に充填してメタノールと酸素の共存下における反応選択性を調べる。特に、白金の電子状態の違いに着目して電気化学特性との相関性を調べる。

(3) Pt-Ru-C 同時スパッタ法による反応選択性の作製とキャラクタリゼーション

同時スパッタ法により Pt-Ru-C 電極を作製し、メタノールと酸素の共存下でのメタノール選択酸化に対する最適組成を見出す。また、直接メタノール燃料電池においても、反応選択性の発現を評価する。さらに、白金の電子状態の寄与についても調べる。

(4) ナノ電極を探針とした電極反応計測

酸素還元時に副成する H_2O_2 の発生を調べるため、Pt マイクロ電極(生成極)に、またナノ Pt 電極を検出極として用いて、酸素還元反応を研究する。また、生成極上の Nafion 膜厚依存性についても調べる。

(5) 燃料電池および膜電極接合体の電極反応研究

固体高分子形燃料電池中で強制劣化させた Pt/C 電極とモデル劣化電極の水素酸化反応を、電気化学インピーダンススペクトルにより比較する。これより、触媒活性の劣化モードを非破壊検査できる可能性を議論する。

4. 研究成果

(1) ナノインデンテーション法による微少触媒の形成と電気化学的評価

平滑なグラッシーカーボン(GC)基体に、ナノインデンテーション法を用いて Pt めっきを行った。この手法は、GC 上に絶縁性高分子薄膜を設け、走査型プローブ顕微鏡のカンチレバーで高分子薄膜をスクラッチするもので、スクラッチサイズと個数を変えて GC 露出面積を変化させた基体とそれへの Pt めっき電極を得た。これを酸素還元極に使用して、副生する過酸化水素の量を走査型電気化学顕微鏡の使用により、Pt 有効面積と過酸化水素生成量の関係から評価した。

次に、同様に GC 基体に、ナノインデンテーション法を用いて Pt めっきを行った。基体にランドマークを設けることで、劣化前後の Pt を AFM および SEM で直接観測できるようにした。これより、 H_2O_2 に代表される Pt 劣化加速因子の関与について Pt モルフォロジー観察より検討を行った。この Pt 溶解加速因子である H_2O_2 の作用については、蛍光高度計を使用して OH ラジカルが作用因子であると特徴づけた。

(2) 反応選択性触媒ナノ粒子の評価

作製条件が異なる 7 種類の Pt 担持カーボン

(Pt/C)触媒を多孔質マイクロ電極の先端空孔に充填してメタノール酸化と酸素還元反応の反応選択性について調べた。その結果、白金表面の面指数が優性的に反応選択性を支配し、さらにPt4f結合エネルギーと生成物吸着との関係が反応選択性の程度を支配すると考えられた。

(3) Pt-Ru-C 同時スパッタ法による反応選択性の作製とキャラクターゼーション

多元同時スパッタ法により Pt-Ru-C 三元電極を作製し、酸素共存下のメタノール選択酸化反応に対する最適組成を見出した。結果として、カーボン数%を含む Pt-Ru 合金が期待する性能を発現することが明らかになった。この組成の Pt-Ru-C を膜電極接合体のアノードに用いて直接メタノール燃料電池を作製し、発電性能を評価した。その結果、セル内でメタノール酸化選択性が発現することが確認され、メタノール燃料が酸素の共存下においても発電性能が低下しない燃料電池用の反応選択性電極触媒を得た。

Pt-C 二元同時スパッタ電極を作製し、メタノールと酸素が共存した状態で、直接メタノール燃料電池に使用するアノード電極触媒の反応選択性を調べた。平滑な導電基板上に Pt-C 二元ナノ電極触媒をスパッタ成膜し、ポストアニール温度に対するメタノール酸化選択性と XPS スペクトル Pt4f の結合エネルギーシフトとの関係を研究した。その結果、メタノール酸化選択性と Pt4f 結合エネルギーに相関性が認められ、Pt の結合エネルギー状態が反応選択性に寄与することが判明した。

(4) ナノ電極をプローブとした電極反応計測

電極触媒の劣化因子となる H₂O₂ の発生を調べるため、Pt マイクロ電極に Nafion イオンマーを塗布して走査型電気化学顕微鏡の生成極とした。また、別の Pt ナノ電極を検出極として用い生成極に最接近させて、生成極での酸素還元の際に検出極で観測される H₂O₂ の量を計測した。その結果、H₂O₂ 発生量は生成極上の Nafion 膜厚とともに増加するが、さらに膜厚が増加すると減少した。これは、Pt 電極上の H₂O₂ 発生サイト数の変化と Nafion 膜中の H₂O₂ 拡散係数により説明された。

(5) 燃料電池および膜電極接合体の電極反応研究

固体高分子形燃料電池を強制劣化させた場合の Pt/C アノードにおける水素酸化反応の測定を行い、多孔質マイクロ電極に劣化 Pt/C を強制的に組み込んだ作用電極のアノード水素酸化測定結果と比較した。後者の多孔質マイクロ電極を用いて測定した電気化学インピーダンススペクトルは、モデル的な

Pt/C 劣化を水素酸化反応の各プロセスにおける反応速度の違いで説明できた。これを固体高分子形燃料電池の電気化学インピーダンススペクトル測定結果に適用して Pt/C 触媒活性の劣化モードを非破壊検査できる可能性を見出した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計18件)

Mitsuhiro Inoue, Kazuhiro Nagai, Sayoko Shironita, Takayuki Abe, Minoru Umeda, "Post-annealing Effects on Reaction Selectivity of Methanol Oxidation at Carbon-based Platinum Co-sputtered Electrocatalyst", *Electrochemistry*, **83**, 368-371 (2015).

DOI: 10.5796/electrochemistry.83.368

Weiqi Zhang, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, "Three-phase interphase modeling of anode in membrane electrode assembly using a porous microelectrode", *International Journal of Hydrogen Energy*, **40**, 4349-4356 (2015).

DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.01.127

Hayato Itaya, Sayoko Shironita, Akira Nakazawa, Mitsuhiro Inoue, Minoru Umeda, "Effects of metal ions on Pt electrode dissolution in H₂SO₄ solution enhanced by the presence of H₂O₂", *Journal of Renewable and Sustainable Energy* **6**, 043112 (2014)

DOI: 10.1063/1.4891641 (7.28.2014)

Weiqi Zhang, Takahiro Maruta, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, "Anode and cathode degradation in a PEFC single cell investigated by electrochemical impedance spectroscopy", *Electrochimica Acta*, **131**, 245-249 (2014).

DOI: 10.1016/j.electacta.2014.02.054

高橋勇太, 白仁田沙代子, 梅田 実「メタノールと酸素共存下における Pt-Ru-C 同時スパッタリング電極の反応選択性」燃料電池, Vol.14, No.3, 74-78 (2015).

Sayoko Shironita, Weiqi Zhang, Tsukasa Sakai, Minoru Umeda, "Evaluation of reaction selectivity at various Pt/C electrocatalysts using a porous microelectrode in the presence of methanol and oxygen", *Electrochimica Acta*, **128**, 265-270 (2014).

DOI: 10.1016/j.electacta.2013.10.139

Minoru Umeda, Sayoko Shironita, Tsukasa Sakai, Masahiro Ide, Hironosuke Ikeda, "Ex-situ microelectrode study of cathode catalyst degraded by long-term endurance test in polymer electrolyte fuel cell" *Electrochimica Acta*, **128**, 259-264 (2014).

DOI: 10.1016/j.electacta.2013.10.026

Weiqi Zhang, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, "Low Pt Loading and High Hydrogen

Oxidation Reaction Performance at Pt/TiO₂-SiO₂ Investigated by a Porous Microelectrode” *Catalysis Letters*, **144**, 112-116 (2014).
DOI: 10.1007/s10562-013-1105-4
Weiqi Zhang, Sayoko Shironita, Tsukasa Sakai, Minoru Umeda “Factors controlling the methanol oxidation and oxygen reduction reaction at Pt/C electrocatalysts”, *State-of-the-art Fuel Cells and Hydrogen Technology in Japan* p.175-180 (2014).
Sayoko Shironita, Tsukasa Sakai, Minoru Umeda, “Nafion thickness dependence of H₂O₂ yield during O₂ reduction at Nafion/Pt microelectrode studied by scanning electrochemical microscopy”, *Electrochimica Acta*, **113**, 773-778 (2013).
DOI: 10.1016/j.electacta.2013.07.046
Sayoko Shironita, Masafumi Ueda, Yosuke Matsumoto, Minoru Umeda, “Novel O₂-enhanced methanol oxidation performance at Pt-Ru-C sputtered anode in direct methanol fuel cell”, *Journal of Power Sources*, **243**, 635-640 (2013).
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.06.054
Mitsuhiro Inoue, Tatsuya Iwasaki, Minoru Umeda, “Two-step conditioning method for high power-generating direct methanol fuel cells”, *International Journal of Hydrogen Energy*, **38**, 8992-8999 (2013).
DOI: 10.1016/j.ijhydene.2013.05.006
Sayoko Shironita, Ko Karasuda, Kazutaka Sato, Minoru Umeda, “Methanol generation by CO₂ reduction at a Pt-Ru/C electrocatalyst using a membrane electrode assembly”, *Journal of Power Sources*, **240**, 404-410(2013)
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2013.04.034
Akira Kishi, Mitsuhiro Inoue, Minoru Umeda, “Evaluation of H₂O₂-generation during oxygen reduction at electrodeposited Pt particles on mask scratched electrodes”, *Applied Surface Science*, **279**, 245-249 (2013).
DOI: 10.1016/j.apsusc.2013.04.074
Sayoko Shironita, Ko Karasuda, Masatoshi Sato, Minoru Umeda, “Feasibility investigation of methanol generation by CO₂ reduction using Pt/C-based membrane electrode assembly for a reversible fuel cell”, *Journal of Power Sources*, **228**, 68-74, (2013).
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2012.11.097
Minoru Umeda, Yosuke Matsumoto, Mitsuhiro Inoue, Sayoko Shironita, “O₂-enhanced methanol oxidation reaction at novel Pt-Ru-C co-sputtered electrodes”, *Electrochimica Acta*, **101**, 142-150 (2013).
DOI: 10.1016/j.electacta.2012.09.066
Minoru Umeda, Kazuya Sayama, Takahiro Maruta, Mitsuhiro Inoue, “Proton activity of Nafion 117 membrane measured from potential difference of hydrogen electrodes”,

IONICS, **19**, 623-627 (2012).

DOI: 10.1007/s11581-012-0791-z

Akira Kishi, Mitsuhiro Inoue, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, “Electrochemical degradation of electrodeposited Pt particles on mask scratched substrate using a landmark for ex situ scanning electron microscopy”, *Applied Surface Science*, **258**, 7497-7502 (2012).

DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.04.071

[学会発表](計33件)

白仁田沙代子, 高橋勇太, 井上光浩, 阿部孝之, 梅田 実 「メタノール酸化選択性を有する Pt-C 同時スパッタリング電極の熱処理効果」電気化学会第 82 回大会, 3.15 (2015) 横浜国立大学 (神奈川県・横浜市).
高橋勇太, 白仁田沙代子, 梅田 実, 井上光浩, 阿部孝之 「混合反応物燃料電池のための Pt-Ru-C 同時スパッタ電極の作製および特性評価」第 5 5 回電池討論会 11.20 (2014) 国立京都国際会館 (京都府・京都市).

白仁田沙代子, 板屋隼人, 梅田 実 「過酸化水素存在下において Pt 溶解に及ぼす Fe²⁺ の添加効果」第 5 5 回電池討論会 11.20 (2014) 国立京都国際会館 (京都府・京都市).

張 瑋琦, 佐藤和生, 山下慶倫, 賈 思遠, 白仁田沙代子, 梅田 実 「参照電極付固体高分子形燃料電池の正極および負極劣化の電気化学インピーダンス測定」第 5 5 回電池討論会 11.19 (2014) 国立京都国際会館 (京都府・京都市).

Minoru Umeda, “Reaction Selectivity at Pt-Ru-C CO-Sputtered Electrodes in The Presence of Methanol and Oxygen”, ECAT (International Symposium on Electrocatalysis 2014), 10.28 (2014) Whistler, Canada.

白仁田沙代子, 華 勝男, 中津山國雄, 相馬憲一, 梅田 実 「Cr-N イオンプレATING処理した PEFC セパレータ材料の電気化学特性」2014 年電気化学秋季大会 9.27 (2014) 北海道大学 (北海道・札幌市).

Weiqi Zhang, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, “Anode and Cathode Degradation Modeling of Polymer Electrolyte Fuel Cell Using a Porous Microelectrode” ISE 65th Annual Meeting, 9.1 (2014) Lausanne, Switzerland.

Sayoko Shironita, Shengnan Hua, Minoru Umeda, Kazuma Miura, Kunio Nakatsuyama, Kenichi Souma, “Heat Treatment Conditions on Nitriding Stainless Steel as Bipolar Plate in Polymer Electrolyte Fuel Cell”, ISE 65th Annual Meeting, 9.1 (2014) Lausanne, Switzerland.

Weiqi Zhang, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, “Mor and Orr Selectivity At Pt/C Electrocatalyst Investigated By Porous Microelectrode, IGCN 2014, 6.21 (2014),

Nagaoka, Japan.

白仁田沙代子, 板屋隼人, 梅田 実「過酸化水素と Fe^{2+} が誘起するPt高速溶解のEQCM評価」第21回燃料電池シンポジウム, 5.30 (2014) タワーホール船堀 (東京都・江戸川区).

高橋勇太, 白仁田沙代子, 梅田 実「メタノールと酸素共存下におけるPt-Ru-C同時スパッタ電極の反応選択性」第21回燃料電池シンポジウム, 5.29 (2014) タワーホール船堀 (東京都・江戸川区).

張 璋琦, 白仁田沙代子, 梅田 実「EIS法によるPEFC単セル経時変化のマイクロ電極によるモデル化」第21回燃料電池シンポジウム, 5.29 (2014) タワーホール船堀 (東京都・江戸川区).

Sayoko Shironita, Takayuki Abe, Mitsuhiro Inoue, Yuta Takahashi, Minoru Umeda “Oxidation and Reduction Selectivity at Pt-Ru-C Sputtered Electrodes in the Presence of Methanol and Oxygen”, 4. 30 (2014) Niagara Falls, Ontario, Canada.

Minoru Umeda, Hayato Itaya, Sayoko Shironita “ H_2O_2 and Fe^{2+} -Induced Pt Electrode Dissolution in H_2SO_4 Solution”, 15th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 4.28 (2014) Niagara Falls, Ontario, Canada.

高橋勇太, 白仁田沙代子, 梅田 実, 井上光浩, 阿部孝之「Pt-Ru-C 同時スパッタ電極のメタノールと酸素共存下における反応選択性」電気化学会第81回大会, 3.31 (2014) 関西大学 (大阪府・吹田市).

Zhang Weiqi, 白仁田沙代子, 梅田 実「多孔質マイクロ電極を用いたPEFC電極劣化の電気化学インピーダンス解析」電気化学会第81回大会, 3.30 (2014) 関西大学 (大阪府・吹田市).

板屋隼人, 白仁田沙代子, 梅田 実「過酸化水素と Fe^{2+} 共存下におけるPt溶解の高速化に関する研究」電気化学会第81回大会, 3.30 (2014) 関西大学 (大阪府・吹田市).

板屋隼人, 白仁田沙代子, 梅田 実, “Study of Pt dissolution in acidic solution containing H_2O_2 and Fe^{2+} ” 電気化学会北陸支部秋季大会, 10.17 (2013) 金沢工業大学 (石川県・野々市市).

Weiqi Zhang, 丸田剛広, 白仁田沙代子, 梅田 実, 「電気化学インピーダンス法を用いたPEFC アノードとカソード劣化の模擬電極による研究」第54回電池討論会, 10.9 (2013) 大阪国際会議場 (大阪府・大阪市).

白仁田沙代子, 梅田 実, 坂井 司, 井出正裕, 池田宏之助, 「PEFC 長時間耐久試験後の劣化カソード触媒のex-situ マイクロ電極測定」第54回電池討論会, 10.9 (2013) 大阪国際会議場 (大阪府・大阪市).

②①板屋隼人, 白仁田沙代子, 梅田 実, 「EQCMを用いた過酸化水素水溶液中のPt溶解における金属イオンの影響」第54回電池討

論会, 10.9 (2013) 大阪国際会議場 (大阪府・大阪市).

②②白仁田沙代子, Zhang Weiqi, 梅田 実「多孔質マイクロ電極を用いた低Pt担持 TiO_2 - SiO_2 粉末触媒の水素酸化評価」, 電気化学秋季大会, 9.27 (2013) 東京工業大学 (東京都・目黒区).

②③板屋隼人, 白仁田 沙代子, 梅田 実「EQCMを用いた過酸化水素水溶液中のPt溶解における Fe^{2+} イオンの影響」, 電気化学秋季大会, 9.27 (2013) 東京工業大学 (東京都・目黒区).

②④Sayoko Shironita, Hiroshi Kuboyama, Weiqi Zhang, Minoru Umeda, “Hydrogen electrooxidation at small amount Pt loading on TiO_2 - SiO_2 thin film”, ISE 64th Annual Meeting, 9.10 (2013) Queretaro, Mexico.

②⑤Weiqi Zhang, Tsukasa Sakai, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, “Investigation of MOR and ORR selectivity at Pt Electrocatalysts in the coexistence of methanol and oxygen”, ISE 64th Annual Meeting, 9.9 (2013) Queretaro, Mexico

②⑥ Weiqi Zhang, Takahiro Maruta, Sayoko Shironita, Minoru Umeda, “Anode and Cathode Degradation in PEFC Single Cell Investigated by Electrochemical Impedance Spectroscopy” EIS 2013, 6.18 (2013) Okinawa, Japan.

②⑦ Sayoko Shironita, Tsukasa Sakai, Minoru Umeda, Weiqi Zhang, “Reaction Selectivity of Methanol and Oxygen at Pt/C Electrocatalysts Studied by Porous Microelectrode”, 4.8 (2013) Pretoria, South Africa.

②⑧ Minoru Umeda, Masahiro Ide, Hironosuke Ikeda, Sayoko Shironita “Scanning Electrochemical Microscopy Study of PEFC Cathode Catalyst after Long-Term Endurance Test”, 13th Topical Meeting of the International Society of Electrochemistry, 4.10 (2013) Pretoria South Africa.

②⑨Zhang Weiqi, 坂井 司, 白仁田沙代子, 梅田 実, 「Pt/C電極触媒を用いたメタノールと酸素共存下における反応選択性の検討」電気化学会 第80回大会, 3.31(2013) 東北大学 (宮城県・仙台市).

③⑩Zhang Weiqi, 坂井 司, 白仁田沙代子, 梅田 実, 「Pt/C電極触媒を用いたメタノール酸化と酸素還元における反応選択性の検討」第53回電池討論会, 11.15 (2012) ヒルトン福岡シーホーク (福岡県・福岡市).

③⑪ Sayoko Shironita, Masafumi Ueda, and Minoru Umeda, O_2 -Enhanced Methanol Oxidation at Pt-Ru-C Ternary Sputtered Electrode”, PRiM 2012, Oct.10.(2012) Hawaii, USA.

③⑫ Minoru Umeda, Tsukasa Sakai, Sayoko Shironita, “Nafion thickness dependence of H_2O_2 generation during O_2 reduction at Nafion/Pt microelectrode: scanning electrochemical microscopy study”, EMNT 2012, 8.16 (2012) Linz, Austria.

- ③③ 白仁田沙代子, 梅田 実 「酸素増感型の Pt-Ru-C メタノール酸化触媒を用いた DMFC 単セル特性評価」第 19 回燃料電池シンポジウム, 5,16 (2012)タワーホール船堀 (東京都・江戸川区).

〔図書〕(計 1 件)

梅田 実 図解「燃料電池技術」本格普及のための材料・応用・インフラ開発 燃料電池開発情報センター編 日刊工業新聞社 第3章 実用技術 「いろいろな小型燃料電池」 p.118-121 (総ページ数 151) 11.27 (2014).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅田 実 (UMEDA Minoru)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号：20323066

(2) 研究分担者

白仁田 沙代子 (SHIRONITA Sayoko)
長岡技術科学大学・工学部・助教
研究者番号：90580994

(3) 連携研究者

松原 浩 (MATSUBARA Hiroshi)
長岡技術科学大学・工学部・教授
研究者番号：00202325

齊藤 信雄 (SAITO Nobuo)
長岡技術科学大学・工学部・准教授
研究者番号：40313572

李 忠坤 (LEE Choong-Gon)
Hanbat 国立大学工学部化学工学科・教授