

令和元年6月4日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06729

研究課題名(和文) バイオガスを燃料とする固体酸化物形燃料電池の性能評価

研究課題名(英文) Evaluation of electric power solid oxide fuel cell using biogas

研究代表者

鮫島 宗一郎 (SOICHO, SAMESHIMA)

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：00274861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：バイオガスを直接燃料とする固体酸化物形燃料電池の発電性能は水素燃料に比べて低かった。アノード側の出口ガスの酸素濃度分析より、アノードのニッケルの酸化が原因と考えられる。電気化学セルにより、バイオガスに空気を添加した系では、水素と一酸化炭素が反応時間24時間中、安定的に生成した。酸素/メタン=0.5(体積比)をアノード材料Ni担持ガドリニウム固溶セラミックス上で700-800℃で反応させるとメタンの部分酸化反応が主反応で水素/一酸化炭素=2が生成した。炭素析出はなく、ニッケルの酸化もなかった。この反応系は燃料電池の燃料生成に適用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーであるバイオガスを固体酸化物形燃料電池の燃料に直接利用する際の問題点を明らかにした。酸化物イオン伝導体で構成される電気化学セルを用いたメタンのドライリフォーミング反応において炭素析出を抑制し、安定的に進行させる酸素の添加効果を示した。固体酸化物形燃料電池の燃料である水素-一酸化炭素系燃料の調製に適用できるメタンの部分酸化反応の反応条件を提唱した。

研究成果の概要(英文)：Cell performance of solid oxide fuel cell using biogas was lower than that using hydrogen. According to the measurement of oxygen partial pressure in outlet gas, this is related to the oxidation of nickel at the anode. In dry reforming of biogas added oxygen through the electrochemical cell, the formation rates of H₂ and CO gases were stable for 24 h at 700-800 °C. The partial oxidation of methane proceeded dominantly in the reaction of methane and oxygen (O₂/CH₄ volume ratio = 0.5) over Ni-gadolinium-doped ceria at 700-800 °C. Carbon deposition and oxidation of Ni did not occur during the reaction. This gas system is suitable for preparing the fuel for a solid oxide fuel cell.

研究分野：無機材料化学

キーワード：固体酸化物形燃料電池 バイオガス ドライリフォーミング 希土類固溶セラミックス

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

1. 研究開始当初の背景

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は、650-900 の高温で作動し、燃料極・空気極とも貴金属触媒が不要である、発電効率が高いという特徴を有する。従来のSOFCの構成材料は、電解質は酸化物イオン伝導体のイットリア安定化ジルコニア(YSZ)燃料極はNi-YSZサーメット、空気極は電子と酸化物イオンの混合伝導体である(La,Sr)MnO₃(LSM)などのペロブスカイト化合物である。燃料として水素の他、一酸化炭素やメタンに代表される炭化水素など多様な燃料が利用可能である。一方、バイオガスは食物残渣、下水汚泥、家畜排泄物、焼酎滓などからメタン発酵により生成するガスで、メタン、二酸化炭素が主成分である。メタンをボイラー燃料として燃焼させてサーマルリサイクルを行っている例がある。しかし、バイオガスの利用は十分ではない。そこで、バイオガスを固体酸化物形燃料電池に直接導入して、燃料極でメタンの二酸化炭素による改質(ドライリフォーミング反応、 $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$ (1))を進行させれば、生成した水素、一酸化炭素は燃料として発電に利用できる。本研究では、焼酎滓のメタン発酵により生成するバイオガスを直接、固体酸化物形燃料電池に供給することを特徴とする。このバイオガスは脱硫処理により、H₂S が除去されている。製造所は異なるが、以前分析した脱硫された焼酎滓由来のバイオガスの成分は、CH₄ 67.4%、CO₂ 30.3%、N₂ 1.4%、O₂ 0.2%であった。H₂、CO、NH₃、H₂S は0.1%以下であった。CH₄/CO₂ 比は2.2で(1)式の量論比1.0より大きく、メタン過剰のため発電後の排ガス中の二酸化炭素をバイオガスに供給する。つまり、二酸化炭素を系外に排出しない閉鎖系が構築される。バイオガス中の二酸化炭素の有効利用となり、二酸化炭素排出の削減に効果的で地球温暖化防止に大いに貢献する。

以前、固体酸化物形燃料電池による発電を検討した。燃料極Ni-GDC(Ce_{0.8}Gd_{0.2}O_{1.9}、ガドリニウム固溶セリア)、電解質GDC、空気極La-Sr-Co-Fe-O系ペロブスカイト酸化物のSOFCを作製して、燃料としてCH₄-CO₂系燃料を供給し発電性能を調べた。GDC電解質薄膜を用いた800 の発電では燃料ガス中のCH₄濃度を30から60 vol%に増加させると最大出力密度は増加し、CH₄濃度60 vol%で334 mW/cm²に達した。出力は50hまで安定で、CH₄濃度増加とともに出力は増加した。アノード出口ガスには、CH₄、CO₂の他H₂、CO、O₂も検出され、CO₂よりCH₄のドライリフォーミング反応が進行していることを示唆した。電解質とアノードの界面に炭素の析出が認められたが、出力の低下は見られなかった。これは次式の通り、炭素がO²⁻と反応してCOとして除去される可能性がある。 $\text{C} + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{CO} + 2\text{e}^-$ (2) この実験で電解質及び燃料極に用いたGDCは、YSZやScSZに比べ酸化物イオン伝導が高く、電子導電性も有する。そのため、(2)式による炭素除去を促進する。本研究では、焼酎滓のメタン発酵で生成する実際のバイオガスを直接、固体酸化物形燃料電池に導入してその発電性能を評価する。この結果を模擬バイオガスの結果と比較し、バイオガス中に含まれる窒素、酸素、水分および微量の硫化水素、アンモニア等の影響を明らかにする。発電中の出口ガスの分析、発電後のセルの解析から炭素析出状況を解析する。微量成分の影響および炭素析出の抑制の指針を示し、耐久性の向上を目指す。前述のように実際のバイオガスを固体酸化物形燃料電池に導入した例はほとんど報告されていない。模擬バイオガスとの比較により、微量成分である窒素、酸素、硫化水素の発電性能に及ぼす影響を明らかできる。これにより、燃料ガスとしての精製法を提案することができる。また、電解質および燃料極に従来のYSZ、ScSZに替わり、電子伝導性を有するGDCを用いることで析出した炭素の除去効果が期待できる。これらの結果より、バイオガスの有効利用を促進し、二酸化炭素の排出抑制に大いに貢献する。

2. 研究の目的

焼酎滓由来のバイオガス(主成分:メタン、二酸化炭素)を燃料ガスとして直接、固体酸化物形燃料電池へ導入して発電性能を評価する。(1)バイオガス中のメタンと二酸化炭素のドライリフォーミングで生成する水素および一酸化炭素による発電を確認する。(2)副反応であるメタンの熱分解による炭素析出の抑制法を検討する。(3)硫化水素などの微量成分が発電性能に及ぼす影響を確認する。(4)固体酸化物形燃料電池の耐久性を検討する。以上の結果より、実際のバイオガスを固体酸化物形燃料電池の燃料ガスに利用することの可能性について評価する。未利用資源であるバイオガスの有効活用および二酸化炭素の排出抑制に大いに寄与する。

3. 研究の方法

(1) 発電実験

電解質粉体及び電解質膜、アノード粉体、カソード粉体の作製

出発原料には硝酸塩(Ce(NO₃)₃・6H₂O, Gd(NO₃)₃・6H₂O)を用いた。再蒸留水を用いて0.2 Mに調製した。硝酸塩水溶液をCe : Gd=9 : 1(モル比)に混合した。これをシュウ酸溶液(0.4 M)に30 ml/minで滴下し、共沈させた。100 で24時間乾燥後に粉碎し、空气中800 で1時間仮焼した。得られた粉体はボールミルにより乾式粉碎しGDC(Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{1.95})粉体を得た。電解質薄膜(厚さ120 μm)はドクターブレード法により作製した。GDC粉体を1.0 Mの硝酸ニッケル水溶液にNi : GDC = 30 : 70(体積比)となるように混合し6時間攪拌し、脱泡及び凍結乾燥した。得られた粉体を空气中800 で1時間仮焼しNiO-GDCとした。次にそれぞれ0.2 MのLa(NO₃)₃、Sr(NO₃)₂、Co(NO₃)₃、Fe(NO₃)₃水溶液をLa : Sr : Co : Fe = 8 : 2 : 8 : 2(モル比)となるよう混合した。その後凍結乾燥を行い空气中900 で1時

間仮焼を行い $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_3$ (LSCF8282) を得た。

発電セルの作製および発電実験

得られた NiO-GDC 粉体 (2.8 g) を加圧容器に敷き詰め GDC 薄膜 (22 mm, 厚さ 120 μm) を乗せ一軸成形により 50 MPa で 1 分間、一軸成形を行った。さらに等方加圧成形により 300 MPa で 1 分間、加圧した。その後、空气中 1450 で 4 時間共焼結した。次に LSCF8282 粉体 15 vol% を含むサスペンションを調製し、これを電解質上にスクリーン印刷した。その後、空气中、900 で 1 時間焼付けた。得られた発電セルのサイズはアノード極 16 mm, 厚さ 2 mm、電解質 16 mm, 厚さ 60 μm 、カソード極 4 mm, 厚さ 50 μm であった。発電装置に組み込み発電性能を評価した。

初めに、アノード極の NiO を 800、 $\text{H}_2 + 3 \text{ vol}\% \text{ H}_2\text{O}$ 中で Ni に還元した。燃料極に $\text{H}_2 + 3 \text{ vol}\% \text{ H}_2\text{O}$ を 50 ml/min、空気極に Air を 200 ml/min 導入し、800 の条件で発電を行った。次に実 Biogas (CH_4 60.0%, CO_2 37.5%, N_2 2.5%, O_2 0.1%, H_2S 2.1 ppm) を 50 ml/min 導入し、800 の条件で発電した。さらに H_2 と Biogas を 100, 80, 60, 40, 20, 0 % の体積比で混合し 800 で発電を行った。アノードの酸素分圧はイットリア安定化ジルコニア (YSZ) センサで、ガス濃度はガスクロマトグラフィーで測定した。

(2) バイオガス

実験に用いるバイオガスは鹿児島県いちき串木野市西薩クリーンサンセット事業協同組合製で、脱硫処理をしたものである。下水汚泥由来のバイオガスに含まれるシリカケールの原因となるシロキサンはほとんど含まれていなかった。バイオガスの成分は、メタン 60.0%、二酸化炭素 37.5%、水素 <0.1%、一酸化炭素 <0.1%、アンモニア <0.1%、硫化水素 2.1 ppm、窒素 2.5%、酸素 0.1% であった。

(3) 多孔質電気化学セルによるドライリフォーミング

多孔質電気化学セルは Ni-GDC 粉体、ドクターブレード法で製膜した GDC 多孔質膜、Ru-GDC 粉体を直径 10 mm の成形器中で積層し、100 MPa で一軸加圧し、さらに 298 MPa で等方加圧成形した。成形体を空气中、1200、2h 共焼結した。焼結体を水素中、800、24h 還元処理した。前述のバイオガス 40 ml/min に CO_2 10 ml/min を添加して、化学量論比 ($\text{CH}_4:\text{CO}_2=1:1$) でドライリフォーミング反応を 800 で行った。バイオガス-空気系ではバイオガス (biogas No.2: CH_4 55.6%, CO_2 37.7%, O_2 0.7%, N_2 5.7%, H_2S 1.1 ppm) 40 ml/min に 10-50 ml/mi の空気を添加して ($\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{O}_2=3/2.034/(0.320-1.451)$)、700 と 800 で反応させた。ファンクションジェネレータで 0.5 V を周波数 0.1, 1.0, 10, 100 Hz のパルスで印加した。通電の ON/OFF 時間比は 1 とした。

(4) Ni-GDC によるメタンの部分酸化反応

$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液中の Ni と GDC ($\text{Ce}_{0.9}\text{Gd}_{0.1}\text{O}_{1.95}$) の体積比が 30:70 になるよう混合し、24 h 攪拌した。その後凍結乾燥し、空气中 600 で 1 h 仮焼して、NiO-GDC 粉体を得た。直径 10 mm の錠剤成形器で NiO-GDC 粉体を 80 MPa で一軸加圧した。成形後、200 MPa で 1 min 等方加圧を行い、空气中 1200 で 4 h 焼結し、NiO-GDC を得た。磁製管内に NiO-GDC 多孔体を設置し、ガラスで密封した。800 で 12 h、50 ml/min の H_2 (3 vol% H_2O を含む) を流し、NiO を Ni へ還元した。還元処理後、500~800 で CH_4 66 ml/min、 O_2 34 ml/min ($\text{O}_2/\text{CH}_4=0.5$, 体積比) を供給した。反応後の出口ガス流量を石ケン膜流量計で、ガス組成をガスクロマトグラフで測定した。 O_2 は酸素ポンペ (純度 99.7%) から供給した。

4. 研究成果

(1) バイオガスを燃料とした発電

図 1 に燃料に水素あるいはバイオガスを用いた場合の開放起電力と最大出力密度の経時変化を示す。800 で水素を燃料とした場合、開放起電力は 0.44~0.54V、最大出力密度は 106~161 mW/cm² であった。バイオガスを直接導入した場合、開放起電力 0.17V、3 mW/cm² と著しく性能が低下した。そこで、水素とバイオガスを混合して、水素およびバイオガスの発電評価を行った。結果を図 2 に示す。水素割合が 40% 以下になると開放起電力および最大出力密度は低下し、バイオガス 100% ではほとんど出力を示さなかった。

発電後の燃料ガスのガスクロマトグラフィーによる分析では、メタンの二酸化炭素による改質 (ドライリフォーミング) による水素と一酸化炭素がほとんど含まれておらずドライリフォーミングが進行していなかった。図 2 に燃料に水素あるいはバイオガス、水素-バイオガス混合燃料を用いたときの YSZ 酸素センサの測定電圧と開放起電力 (図 3 (a,b)) および測定電圧から計算される発電後の燃料ガス中の酸素濃度 (図 3 (c)) を示す。バイオガスを導入すると開放起電力は低下し、それに伴い酸素分圧が上昇することが分かった。図 3 (c) 中の破線はニッケルと酸化ニッケルの平衡酸素分圧 (800 で 3.58×10^{-10} Pa) を示す。この値より、高い酸素分圧ではニッケルは酸化され酸化ニッケルに変化する。この酸素分圧の上昇は、バイオガス中に含まれる酸素 0.1% である。したがって、バイオガス中に含まれる酸素により燃料極中の Ni が酸化され、発電性能が低下し、燃料極でのドライリフォーミングが進行しなかったことが考えられる。

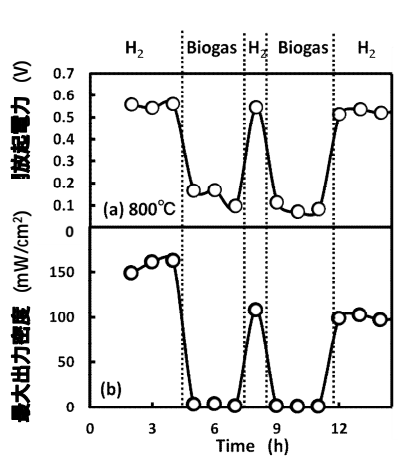


図1 水素およびバイオガスを燃料としたときの開放起電力(a)と最大出力密度(b)

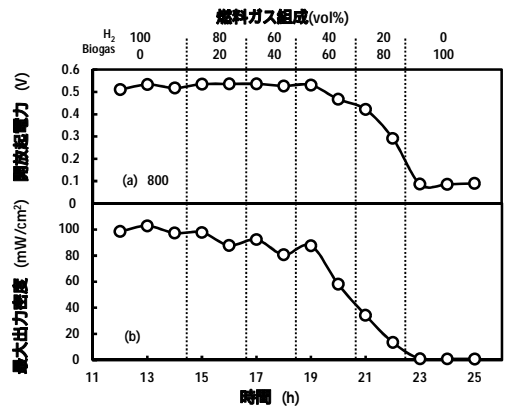


図2 開放起電力(a)と最大出力密度(b)に対する水素とバイオガスの混合割合の影響

また、バイオガスと模擬バイオガス(60%市販ボンベCH₄, 40%市販ボンベCO₂)をそれぞれ変量ガスとして800で発電の比較を行った。実バイオガス発電の開放起電力は0.11V、最大出力密度は1.5mW/cm²で模擬バイオガス発電の開放起電力は0.07V、最大出力密度は0.7mW/cm²であった。バイオガスに含まれると模擬バイオガスでは、微量な酸素、硫化水素の存在から模擬バイオガス発電の方が有利であると予測されたこの実験ではバイオガス発電を先に行ったことからバイオガス中の酸素によってアノード電極が酸化された可能性がある。

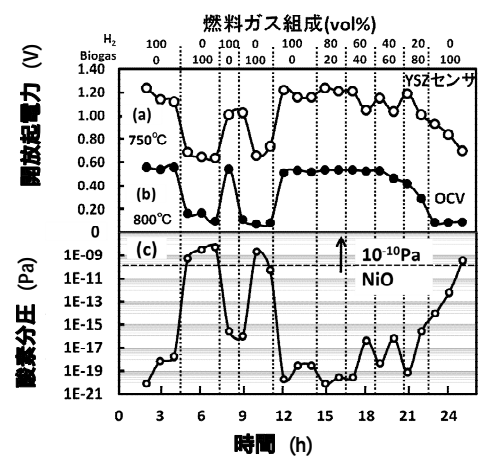


図3 酸素センサ起電力(a)、開放起電力(b)と酸素分圧(c)に対する水素とバイオガスの混合割合の影響

(2)電気化学セルによるバイオガスの改質

ドライリフォーミングの触媒であるNiがバイオガス中の酸素により、酸化されることが原因の一つと予想される。そのため、バイオガスを当研究室で開発した電気化学セルを用いて、予備改質して水素、一酸化炭素の生成を促進することを検討した。改質後ガス中の水素、一酸化炭素の割合は30%、33%であり、ドライリフォーミング反応が進行した。しかし、反応時間とともに割合は低下し、12時間後には9%、17%となった。反応後セルに炭素が析出していった。これはメタンの熱分解

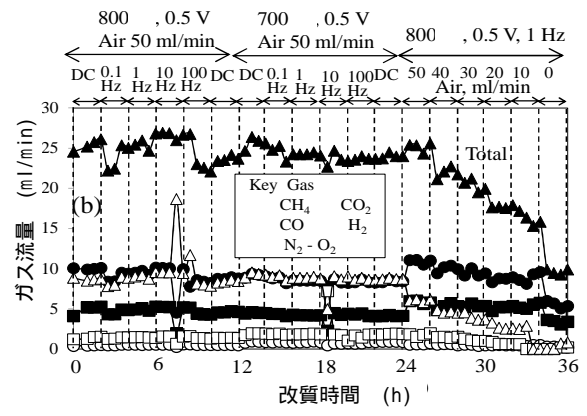


図4 電気化学セルによるバイオガスに空気を添加したドライリフォーミング反応

(CH₄ → C + 2H₂ (3))、生成した一酸化炭素の不均化反応(2CO → C + CO₂ (4))によるものである。次に空気を添加したドライリフォーミング反応を行った。結果を図4に示す。反応後の水素および一酸化炭素の割合は700-800でそれぞれ35-41%、17-21%であった。反応時間24時間後もガス流量は安定して、炭素析出による流量の低下は見られなかった。空気中の酸素により析出した炭素が除去されたためである。このように炭素析出抑制には酸素の添加が有効であることが分かった。燃料中の酸素が発電性能および改質反応に及ぼす影響が重要である。

(3) Ni-GDCによるメタンの部分酸化反応

空気中の酸素はメタンと反応して、次式で示されるメタンの部分酸化反応($\text{CH}_4 + 2\text{H}_2 + \text{CO}$ (5)) により、水素 - 一酸化炭素系燃料を生成する。一方、一酸化炭素の不均化反応やメタンの熱分解で生成する炭素を除去する酸化剤として働く。そこで、メタン + 酸素系での部分酸化反応をアノード材料である Ni-GDC を用いて 500-800 °C、酸素 / メタン (モル比) = 0.5 の条件で検討した。図 5 に反応温度の上昇とともに水素、一酸化炭素の生成速度は増加した。800 °C での水素、一酸化炭素の割合は、各々約 65%、30%であった。二酸化炭素の生成も認められたが、反応温度の上昇とともに減少し、800 °C では数%であった。生成ガス中の水素 / 一酸化炭素比は、反応温度の上昇とともに減少して、800 °C ではほぼ 2 となった。800 °C ではメタンの部分酸化((5) 式) が主反応であった。予想される 4 つの反応式と生成ガス割合から計算するとメタンの部分酸化反応の割合は約 80% であった。反応時間 8 時間で流量の低下はなく、反応後の触媒には目視で炭素の析出は認められなかった。元素分析では炭素量 0.57mass%であった。また、X 線回折ではニッケルの酸化は認められなかった。したがって、メタンの熱分解あるいは一酸化炭素の不均化反応による炭素析出はわずかであり、この系は燃料電池の燃料調製に適していると言える。また、バイオガス - 空気系を燃料電池に適用できる可能性が示唆された。

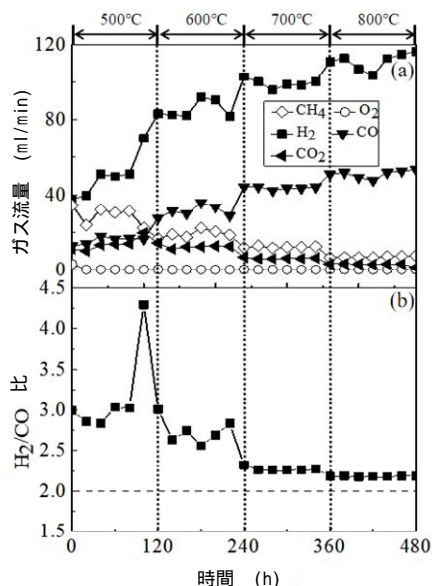


図 5 酸素 / メタン (= 0.5 (モル比)) 系の部分酸化反応 生成ガス流量(a)、生成した水素 / 一酸化炭素比(b)

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6件)

KORISANO Aprilia Lystea Oce, SAMESHIMA Soichiro, SHIMONOSONO Taro, HIRATA Yoshihiro, YAMAJI, Reforming of biogas through oxide ion conductive porous cell: effects of pulsed current method and mixing of air with biogas, Journal of the Ceramic Society of Japan, 126, 766-776, 2018, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.18057>, 査読有

KITAZAKI Yoshinobu, SHIMONOSONO Taro, HIRATA Yoshihiro, SAMESHIMA Soichiro, YAMAJI Katsuhiko, Solid oxide fuel cell using CO-H₂ mixed gas fuel, Journal of the Ceramic Society of Japan, 126, 794-800, 2018, <https://doi.org/10.2109/jcersj2.18062>, 査読有

MIYAZAKI Yuta, SHIMONOSONO Taro, HIRATA Yoshihiro, SAMESHIMA Soichiro, YAMAJI Katsuhiko, Solid oxide fuel cell using a H₂ fuel/CO₂ oxidant gas system, Journal of the Ceramic Society of Japan, 126, 777-783(2018), <https://doi.org/10.2109/jcersj2.18073>, 査読有

Taro Shimonosono, Yoshihiro Hirata, Mubin Changan, Syohei Kamei, Rina Tokaiya, Soichiro Sameshima, Toshifumi Yoshidome, Katsuhiko Yamaji, Hydrogen production through dry reforming of biogas using a porous electrochemical cell: Effects of a cobalt catalyst in the electrode and mixing of air with biogas, Ceramics International, 44, 8904-8912(2018), <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.082>, 査読有

Yoshihiro Hirata, Taro Shimonosono, Koki Ueda, Soichiro Sameshima, Katsuhiko Yamaji, Hydrogen formation a real biogas using electrochemical cell with gadolinium-doped ceria porous electrolyte, Ceramics International, 43, 3639-3646 (2017). <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.11.203>, 査読有

Yoshihiro Hirata, Shinji Daio, Ayaka Kai, Taro Shimonosono, Reiji Yano, Soichiro Sameshima, Katsuhiko Yamaji, Performance of Yttria-stabilized Zirconia Fuel Cell Using H₂-CO₂ Gas System and CO-O₂ Gas System, Ceramics International, 42, 18373-18379 (2016). <http://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.08.170>, 査読有

[学会発表](計 7件)

コリスノ アプリア リステア オチェ, 鮫島宗一郎, 下之園太郎, 平田好洋, 山地克彦, 酸化物イオン導電性多孔質セルを用いたパルス通電法によるバイオガス改質, 日本セラミックス協会 2018 年会, 2018 年

北崎敬将, 下之園太郎, 平田好洋, 鮫島宗一郎, 一酸化炭素の水蒸気改質を利用した燃料電池発電, 第 56 回セラミックス基礎科学討論会, つくば国際会議場, 2G-12, 2018 年 1 月 12 日

コリスノ アプリア リステア オチェ, 鮫島宗一郎, 下之園太郎, 平田好洋, 山地克彦, 酸化物イオン導電性多孔質セルを用いたパルス通電法によるバイオガスの改質, 化学工学会第 49 回秋季大会, 2017 年

下之園太郎, 平田好洋, 大尾真司, 甲斐綾香, 矢野零士, 鮫島宗一郎, 山地克彦, 二酸化炭

素を酸化剤とした固体酸化物形燃料電池の発電性能、2017年電気化学秋季大会、2017年

Yoshihiro Hirata, Taro Shimonosono, Koki Ueda, Soichiro Sameshima, Katsuhiko Yamaji, Hydrogen formation from biogas using electrochemical cell with gadolinium-doped ceria porous electrolyte, The 12th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology, 2017

Yoshihiro Hirata, Shinji Daio, Ayaka Kai, Taro Shimonosono, Reiji Yano, Soichiro Sameshima, Katsuhiko Yamaji, Performance of Yttria-Stabilized Zirconia Fuel Cell Using H₂-CO₂ Gas System The 33rd International Korea-Japan Seminar on Ceramics (K-J Ceramics 33), Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea, Nov. 18 2016

Yoshihiro Hirata, Shinji Daio, Ayaka Kai, Taro Shimonosono, Reiji Yano, Soichiro Sameshima, Katsuhiko Yamaji, Performance of Yttria-Stabilized Zirconia fuel cell using CO-O₂ gas system and H₂O gas as an oxidant, The 33rd International Korea-Japan Seminar on Ceramics, Daejeon, Korea, Nov. 17 2016, The 33rd International Korea-Japan Seminar on Ceramics (K-J Ceramics 33) Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：平田 好洋
ローマ字氏名：HIRATA Yoshihiro
所属研究機関名：鹿児島大学
部局名：理工学域工学系
職名：教授
研究者番号(8桁)：80145458

研究分担者氏名：下之園 太郎
ローマ字氏名：SHIMONOSONO Taro
所属研究機関名：鹿児島大学
部局名：理工学域工学系
職名：助教
研究者番号(8桁)：80586610

(2) 研究協力者

研究協力者なし

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。