様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成 ２８ 年 １０ 月 　３ 日現在

機関番号：１７１０２
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2013～2015
課題番号：２５２８９２５０

研究課題名（和文）紙の燃料電池の創出

研究課題名（英文）Creation of paper-like fuel cell

研究代表者
白鳥　祐介（Shiratori, Yusuke）

九州大学・工学（系）研究科（研究院）・准教授

研究者番号：００４２０５９７

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　14,300,000円

研究成果の概要（和文）：DIR-SOFCの信頼性向上とSOFCの用途拡大を目指して提案した“紙の燃料電池”の開発を目的として材料開発を行い、以下の成果を得た。高靭性酸化物フィルムを作製し、当フィルム上にドット電極を適用することで“曲がるSOFC”を開発した。無機繊維からなるフレキシブル触媒上に当セルを適用することで、柔軟性の高い材料のみで構成された改質機能を有するセルを得て、模擬バイオガスを供給して“紙の燃料電池”の実証に成功した。さらに、触媒構成材料の化学的両立性の維持および触媒表面炭素種の改質の促進に取り組み、燃料多様性の向上に資する知見を得た。

研究成果の概要（英文）：Aiming at reliability improvement of direct internal reforming SOFC (DIR-SOFC) and expansion of SOFC application, concept of “paper-like fuel cell” to increase mechanical- and fuel-flexibility of SOFC was proposed. For realizing this concept, material developments were conducted. “Bendable SOFC” could be developed based on high toughness oxide film with ionic conductivity on which dotted electrodes were formed. By applying the bendable SOFC on the flexible catalyst material formed by inorganic fiber network, a cell composed only of flexible materials having reforming activity was created, and the operation of “paper-like fuel cell” was successfully demonstrated by feeding simulated biogas. Moreover, chemical compatibility of the component materials of the flexible catalyst and promotion of reforming of carbonaceous species chemisorbed on catalyst surfaces were studied, and important findings for further enhancement of fuel-flexibility were obtained.

研究分野：工学

キーワード：燃料電池材料　固体酸化物形燃料電池　触媒材料　バイオ燃料　バイオガス　化石燃料有効利用技術

１．研究開始当初の背景

次世代の分散型電源として注目されている高温作動（600～900 ºC）の固体酸化物形燃料電池（SOFC）は、1 kW クラスの家庭用定置型で 50 %に迫る発電効率を示すシステムが市販化されている。都市ガスを供給し、セルスタック前段の改質器で水素を製造して発電を行うのが一般的だが、燃料改質温度が SOFC の作動温度領域と一致していることから、SOFC においては、燃料極に改質機能を担わせることで改質器を必要としない発電が原理的に可能である（これを直接内部改質型 SOFC（DIR-SOFC）と呼ぶ。）。

DIR-SOFC では、都市ガス、バイオガス、液体燃料等の炭化水素系燃料を直接セル部に供給でき、発電反応で発生した熱エネルギーをその場で燃料改質に利用できるので、燃料電池システムの高効率化およびコンパクト化が期待できる。このような利点がある一方で、セラミックス材料を焼き固めて得られる従来型のセル構成では、その機械的脆弱性から、DIR-SOFC の用途は定置型に限られてしまう。かかる中、機械的柔軟性を高めた新しいセルが開発されれば、システムの信頼性向上だけでなく、移動用や携帯用等、SOFC 技術の用途拡大が大いに進展すると期待される。この際、燃料多様性のさらなる向上も不可欠となる。

２．研究の目的

機械的柔軟性および燃料多様性を併せ持つ DIR-SOFC の実現には、すべての SOFC 構成材料をフレキシブル材料に転換するだけでなく、各材料の接合にも工夫が必要である。研究代表者は、無機繊維ネットワークからなる空間自由度の極めて高いフレキシブル触媒構造体（紙形状触媒）が SOFC に適用可能であることを示しており、本研究では、高靭性電解質フィルムを支持体とする新コンセプトのセルを開発するとともに上記触媒材料の高機能化を図り、これら技術の融合により、炭化水素の直接供給で発電する“フレキシブル SOFC（紙の燃料電池）”を創出することを目的とする。

３．研究の方法

(1) 紙の燃料電池のデザイン

DIR-SOFC の信頼性向上および用途拡大を目指し、紙形状改質触媒を適用した超フレキシブルセルのデザインを行った。

(2) フレキシブルセルの開発

酸化物焼成体の柔軟性は、その結晶構造に左右される。本研究では、ジルコニア（ZrO_2）をベースとし、ドーパントの種類および濃度がジルコニア系酸化物フィルムの機械的性質に及ぼす影響について実験的知見を得て、イオン伝導性を損なうことなく柔軟性を高めた緻密電解質フィルムの開発を試み、得られたフィルムを用いて、曲げに対する自由度を最大限高めたフレキシブル SOFC 単セルの開発を行った。

(3) 紙の燃料電池の創出

(1)のコンセプトを具現化するセルを試作し、発電特性の評価を行った。

(4) 燃料多様性の向上

DIR-SOFC のさらなる燃料多様性の向上を目指して、触媒/炭化水素界面での原子・分子レベルの現象を考慮し、炭素析出の抑制に効果的なフレキシブル触媒を開発した。当触媒を用いて高級炭化水素（バイオオイル）の水蒸気改質試験を行い、従来型 SOFC 燃料極との比較を行った。

４．研究成果

(1) 紙の燃料電池のデザイン

無機繊維からなるフレキシブル触媒は、望みの形状に自在に加工できる不織布状の触媒材料であり、図 1 のように、改質機能を有する当触媒材料に柔軟性を高めたセラミックス発電材料を重ね合わせれば、DIR-SOFC の信頼性向上および用途拡大につながる超フレキシブルセルが得られる。本研究では当コンセプトを“紙の燃料電池”と呼び、その実現に向けた研究を行った。

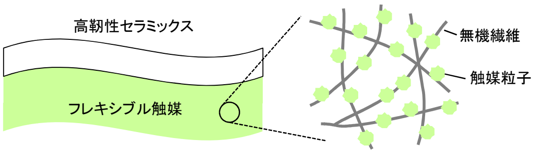


図 1：紙の燃料電池のコンセプト

高靭性固体電解質フィルムが得られれば、原理的に“曲がる SOFC”を得ることが可能である。しかしながら、焼成プロセスにより多孔質燃料極および空気極を電解質上に形成する際、電解質/電極界面が機械的に拘束されるため、従来型のセル構成では曲がるセルを得ることは難しい。

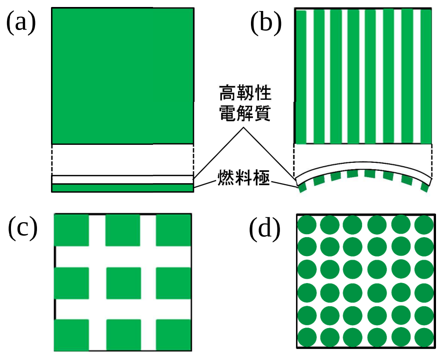


図 2：フレキシブルセルを得るための燃料極パターン（曲げに対する自由度 (a) < (b) < (c) < (d)）

図 2-(a)は、従来型ハーフセル（電解質/燃料極積層体）を示しているが、機械的自由度は 0 である。図のように、(b)ストライプ状、

(c)格子状および(d)ドット状の燃料極を形成することで、曲げに対する自由度を 1、2 および 3 と高めることができる。本研究では、図 1 のコンセプトを具現化するフレキシブルセルおよび触媒材料の開発に取り組んだので、以下に結果を示す。

(2) フレキシブルセルの開発

ジルコニア系酸化物固溶体粉末をミリング後、溶媒、バインダーを混合して得られたスラリーから電解質生シートを成型し、1500 °C で 2 時間焼成して厚さ 20 µm の酸化物フィルムを得た。作製したフィルムの破壊靭性値（K_{IC}）、曲げ強度および大気中 800 °C における導電率を表 1 に示す。YSZ、ScSZ および CEZ は、それぞれイットリア安定化ジルコニア（0.3 mol%アルミナ添加）、スカンジア安定化ジルコニア（1.0 mol%セリア添加）およびセリアドープジルコニア（0.3 mol%アルミナ添加）を示しており、YSZ、ScSZ および CEZ の前の数字は、それぞれ、Y_2O_3、Sc_2O_3 および CeO_2 の ZrO_2 への固溶濃度を示している。

表 1：本研究で作製したジルコニアベース酸化物フィルムの機械特性および導電率

	破壊靭性値 K_{IC} / MPa $m^{0.5}$	曲げ強度 / MPa	導電率 at 800 °C / S cm^{-1}
3YSZ	4.3	1068	0.014
8YSZ	1.3	638	0.042
10ScSZ	3.3	99	0.11
10CEZ	- (no crack)	176	0.0016
12CEZ	- (no crack)	520	0.00053
14CEZ	4.9	426	0.00038
12CEZ-1Sc	5.4	878	0.0044

10CEZ および 12CEZ においては、圧子押し込み強さ 20 kgf のビッカース硬さ試験において亀裂が観察されず、極めて高い靭性を示した。靭性値が高いフィルムほど単斜晶の割合が高く、応力誘起変態により柔軟性が増したが、曲げ強度は YSZ 系電解質には及ばず、CeO_2 濃度 12 mol%で 8YSZ に近い値を示した。Zr と同じ価数の Ce をドープした CEZ の導電率は、YSZ および ScSZ に比べ 1～2 桁低く、実用レベルの出力を示す“曲がる SOFC”を得るには、特に電気特性の改善が必要である。本研究におけるコンセプトを実用レベルにすべく、12CEZ に 1 mol%の Sc_2O_3 を添加したところ、3YSZ 以上の靭性を示し、SOFC に適用可能な電気特性を有する材料が得られた（12CEZ-1Sc）。

厚さ約 20 µm の 12CEZ フィルム（2 x 4.5 cm^2）を用い、図 2 のコンセプトに従って、曲げに対する自由度を最大限高めたセルを開発した（図 3 参照）。以下にその作製方法を示す。12CEZ あるいは 12CEZ-1Sc フィルムの片面に燃料極ペースト（NiO:ScSZ = 56wt%:44wt%）をドット状に塗布（φ = 2 mm x 32 個）し、白金メッシュを取り付けた。反対面には燃料極と同形状の空気極（LSM $((La_{0.80}Sr_{0.20})_{0.95}MnO_{3-x})$:ScSZ = 50wt%:50wt%）を燃料極と対称の位置に形成し、白金メッシュを取り付けた後、1200 °C で焼成し、フレキシブルセルを得た。

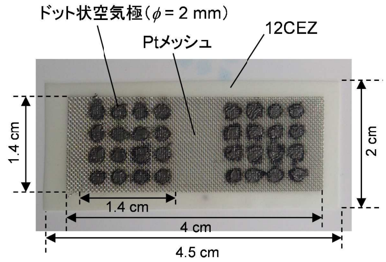


図 3：試作したフレキシブル SOFC

(3) 紙の燃料電池の創出

無機繊維（SiO_2:Al_2O_3= 52wt%:48wt%）および層状複水酸化物（$[Mg_6Al_2(OH)_{16}CO_3]4H_2O$）粉末を水に分散し、高分子凝集剤、ジルコニアゾル（繊維を結合する無機バインダー）およびパルプを加えて得られたスラリーを抄紙装置に注ぎ込み、生シートを得た。これを 800 °C で 5 時間焼成後、含浸法により 3wt% Ni 担持フレキシブル触媒を得た。この際、粒子径の異なる 2 種類の水酸化物粉末（粉末 A：100 nm、粉末 B：50 nm）を用いて触媒 A および B を作製した。図 4 に触媒 A および B の 800 °C における還元処理後の EDX マッピング像を示す。

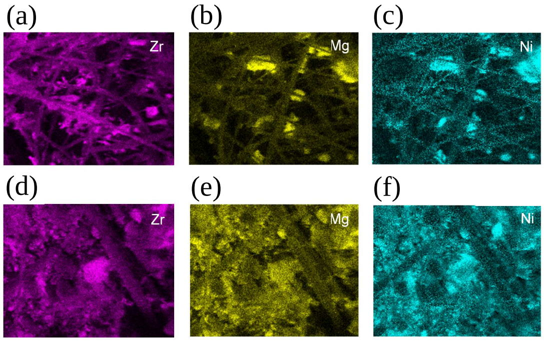


図 4：Ni 担持フレキシブル触媒の EDX マッピング像；(a-c) 触媒 A、(d-f) 触媒 B

粉末 A を分散させた場合は、Ni が粉末 A 由来の Mg 含有複合酸化物上に選択的に担持されていたのに対して（(b,c)）、粒子径の小さい粉末 B を分散させた場合は、ジルコニアゾルと粉末 B の反応が進行し（(d,e)）、反応生成物上（Zr および Mg が重なって分布している箇所）に Ni が担持されていた（(f)）。

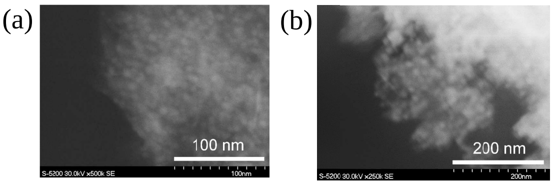


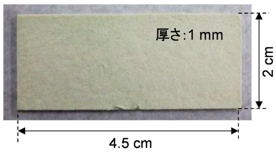
図 5：触媒 A（(a)）および触媒 B（(b)）内の Mg 含有複合酸化物上に担持された Ni の FESEM 像

図 5 に、触媒 A および触媒 B 内の Mg 含有複合酸化物上に担持された Ni の微細構造を示す。水酸化物粉末とジルコニアゾルの化学的両立性が保たれていた触媒 A の場合は、10 nm 以下の Ni 粒子が析出していた。一方、化学的両立性の保たれていなかった触媒 B の場合は、Ni の粗大化が進み、10 nm を超える粒子が多く見られた。

触媒 A 調製時には、焼成後の含浸プロセスにおいて、Ni^{2+}水溶液中で、無機繊維ネットワーク内に存在する Mg 含有複合酸化物から層状複水酸化物が再生し、当水酸化物中の Mg^{2+}と Ni^{2+}の交換機能が働き、水酸化物内部に Ni が取り込まれたのに対して、触媒 B の場合は、Ni 担持前の熱処理中にジルコニアゾルと層状複水酸化物の反応が進行し、これに起因して Ni 含浸溶液中における層状複水酸化物の再構築および Mg^{2+}と Ni^{2+}の交換が効果的に進行せず、構造内に取り込まれなかった Ni が複合酸化物表面で凝集したことが推測される。この結果は、複数の無機材料で構成されるフレキシブル触媒の機能を高めるためには、構成材料の化学的両立性の維持が重要であることを示している。

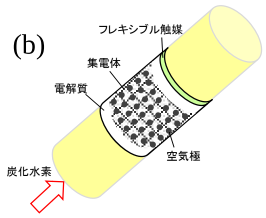
本研究では、粉末 A を用いて作製した Ni 担持フレキシブル触媒（9 wt% Ni 担持）を図 6-(a)のように 2 x 4.5 cm^2 に加工し、これを図 3 のセルの燃料極側に積層し、(b)のように空気極側を上にして外径 48 mm のアルミナ円筒管上（燃料通過孔付）の円周方向に沿って取り付けた（(c)は取り付け後の写真。）。アルミナ管内部に水素（無加湿）あるいは模擬バイオガス（CH_4/CO_2 = 1）を 40-80 ml min^{-1} の流量で、外側には空気を 1 L min^{-1} の流量で供給し、発電特性を評価した。この際、フレキシブルセルの柔軟性が損なわれないようシールは行わなかった。

(a)



Ni loading / wt%	9
BET 表面積/ m^2g^{-1}	16
Ni 表面積/ m^2g^{-1}	21
Ni 粒子径/ nm	32

(b)



(c)

図 6：紙の燃料電池の実証；(a)炭化水素を水素に変換するフレキシブル触媒、(b)紙の燃料電池の適用コンセプト、(c)アルミナ円筒管に取り付けた紙の燃料電池

12CEZ（厚さ 150 μm）、12CEZ-1Sc（厚さ 180 μm）および 10ScSZ（厚さ 200 μm）を支持体としたボタンセルに対して、3 %加湿水素供給時、800 ºC、シール条件下における開回路電圧（OCV）を測定し、理論起電力の値から 12CEZ、12CEZ-1Sc および 10ScSZ のイオン輸率を求めたところ、それぞれ 0.78、0.92 および 0.97 であった。12CEZ の導電率は 10ScSZ の約 1/200 であり（表 1 参照）、電子伝導の寄与も大きいことから、電解質材料としての要件を満たしているとは言えないが、20 μm 程度に薄膜化したフィルムを開発し、当高靭性酸化物フィルムを支持体として得られたフレキシブルセルに対して電気化学評価を行った。一方、12CEZ-1Sc はイオン輸率が高く、10ScSZ の 1/25 の導電率を有することから、これをフィルム化して適用することでフレキシブルセルの性能向上が期待できる。

図 7 に、図 6-(c)のフレキシブルセルの発電特性を示す。図のように、12CEZ の場合は、OCV はいずれの条件においても約 0.7 V を示した。12CEZ ボタンセルでのシール時の OCV が 0.86 V であったことから、当 OCV は、シールレス条件下での試験であることと 12CEZ の電子伝導性を反映している。

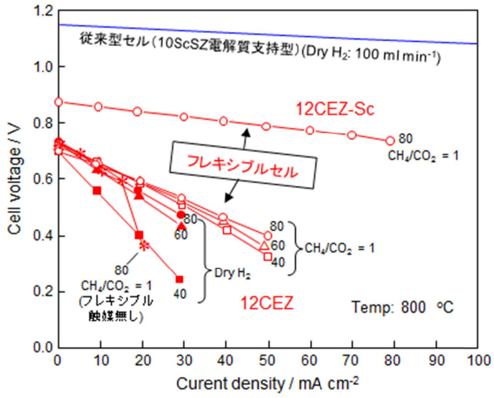


図 7：図 6 に示したフレキシブル SOFC のドライ水素および模擬バイオガス（CH_4/CO_2 = 1）供給時の 800 ºC における電流電圧特性

12CEZ フィルムを用いたフレキシブルセルに対して発電性能の燃料種依存性および燃料流量依存性を測定したところ、CH_4/CO_2 の混合ガス供給時に、水素供給時に比較して高い電圧を示した。水素供給時は、流速の低下に伴いセル電圧が大きく低下したが、CH_4/CO_2 の場合は顕著な電圧の低下は見られなかった。フレキシブルセルの柔軟性を維持するためにはシールレスでの作動が必要になるが、この結果は、拡散性の高い水素の供給は燃料リークによる化学エネルギーのロスが大きく、本研究のコンセプトに適していないことを示している。一方、CH_4/CO_2 の結果は、燃料極反応に寄与する水素が燃料極下部に隣接するフレキシブル触媒上でドライリフォーミング反応（$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2H_2 + 2CO$）により生成するため、水素が効率的に電気化学反応の活性サイト（燃料極/電解質界面）に供給され、発電反応に利用できていることを示している。図 7 には、フレキシブル

触媒を適用しなかった場合の結果も示しているが、15 mA cm^{-2} 以上で大きな電圧降下が生じた。これは、燃料極の改質活性が不十分であることに起因して電極反応場で水素枯れが生じたことを示しおり、フレキシブル触媒が“曲がる SOFC”の実現に不可欠なキーマテリアルであることを意味している。12CEZ-1Sc フィルムを適用した場合の模擬バイオガス供給時の電流電圧曲線の傾きは、10ScSZ 電解質支持型セルの水素供給時に匹敵し、これらの性能差のほとんどは、フレキシブルセルのシールレス条件下における作動による OCV の低下に起因している。

本研究で実証した紙の燃料電池の CH_4/CO_2 混合ガス直接供給時の性能と、市販システムに採用されている 10ScSZ 電解質支持型セルの性能（水素供給時）には、図 7 に示したように依然隔たりがあるが、現在、さらなる性能の向上を目指し、開発に取り組んでいる。

(4) 燃料多様性の向上

DIR-SOFC の用途の拡大に向けては、燃料多様性のさらなる向上が不可欠であり、液体燃料等、高級炭化水素の直接供給を許容するセルの開発が望まれる。バイオオイルは、木質バイオマスの熱分解時に副生するタール状液体燃料（飽和系、不飽和直鎖系、不飽和環状系、芳香族等、数百の有機化合物からなる。）であり、電気化学プロセスにより直接電気を得ることができれば、利用価値の高いカーボンニュートラルな可搬型燃料として普及する可能性がある。

バイオオイルの SOFC への直接供給は、燃料極上で生じる激しい炭素析出のため現状では難しい。これは、燃料極に用いられている粒径約 1 µm 程度の Ni の活性が不十分であることと、燃料極の幾何学的構造（気孔率約 30 %、気孔直径約 1 µm（図 8-(a)）が、高級炭化水素の改質反応場として適していないことに起因する。一方、無機繊維ネットワークからなるフレキシブル触媒の気孔率と気孔直径は約 80 %以上および 20 µm 程度であり（図 8-(b)）、高級炭化水素分子由来反応ガスの拡散がスムーズに行われる。また、無機繊維ネットワーク内には様々な機能性材料を容易に分散させることができるが、本研究では、ペロブスカイト型酸化物である $BaTiO_3$ の表面が炭化水素と相互作用し、炭素析出抑制効果を発揮することに着目し、これを分散させたフレキシブル触媒を開発した。

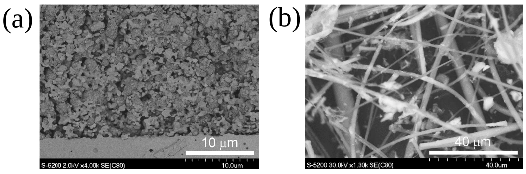


図 8：SOFC 燃料極（(a)）と無機繊維ネットワークからなるフレキシブル触媒（(b)）の典型的な微細構造

図 9 は、Ru あるいは Ni を含浸法により担持した酸化物（TiO_2 あるいは $BaTiO_3$）粉末に対して、500 °C において CH_4 を流通後、He 流中、50～900 °C の温度範囲で CH_4-TPD 測定を行った結果である。図に見られるピークは、CO の脱離を示しており、触媒表面上に存在する CH_4 由来炭素種が酸化物担体中の酸素と反応して生成したと考えられるが、Ru を担持した場合は酸化物担体によらず、$BaTiO_3$ を担体として用いた場合は金属触媒種によらずピークが低減されており、Ru-$BaTiO_3$ が良好な炭素析出耐性を有することが示唆された。そのため、Ru-$BaTiO_3$ を無機繊維ネットワーク内に分散させたフレキシブル触媒を作製し（7.3 wt% Ru（図 10 参照））、バイオオイル水蒸気改質試験に供した。

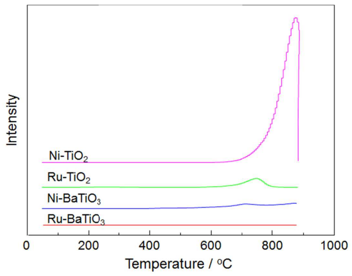


図 9：CH_4-TPD プロファイル（He 中）

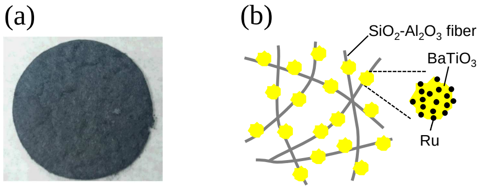


図 10：7.3 wt%Ru 担持 $BaTiO_3$ 分散フレキシブル触媒；(a)外観写真、(b)微細構造の模式図

本研究では、杉チップの急速熱分解で得られたバイオオイル（$CH_{2.3}O_{1.4}$；炭素数 5～35）の水蒸気改質試験を、800 °C、S/C = 1 の条件下で、多孔質 Ni-8YSZ 燃料極支持体および 7.3 wt% Ru 担持 $BaTiO_3$ 分散フレキシブル触媒に対して行った。用いたバイオオイルの組成を表 2 に、バイオオイル供給開始から 2 時間後の改質ガスの組成を表 3 に示す。

バイオオイルの SOFC 燃料極上改質はメタンとエチレンの生成を伴い、短時間の内に炭素析出による劣化が生じるため、技術的に困難であるが、開発したフレキシブル触媒を適用することで、炭素析出の前駆体となるエチレンの生成を抑制し、シフト反応を大きく促進させられることが明らかとなった。

表 2：水蒸気改質試験に用いたバイオオイルの組成

C / wt%	33.3
H / wt%	6.4
N / wt%	0.2
O / wt%	60.1
H_2O / wt%	34.0

表 3：800 ºC、S/C = 1 の条件下におけるバイオオイル水蒸気改質試験の結果

	SOFC 燃料極	フレキシブル触媒
Contact time / $g_{cat}\ g_{bio\text{-}oil}^{-1}$ h	0.434	0.039
H_2	40.0	61.9
CO	38.8	19.5
CO_2	3.5	18.3
CH_4	12.6	0.24
C_2H_4	3.2	0.0

まとめ

DIR-SOFC の信頼性向上と SOFC の用途拡大を目指して提案した"紙の燃料電池"の開発を目的とし、I. 高靭性電解質フィルムの開発、II. セルの機械的自由度を高める電極/電解質界面の構築、III. 提案コンセプトの実証、IV. 当コンセプトのキーとなるフレキシブル触媒の高機能化による燃料多様性の向上に取り組み、以下の成果を得た。高靭性酸化物フィルム上にドット状電極を適用した"曲がる SOFC"を開発した（I および II）。無機繊維からなるフレキシブル触媒上に当セルを適用することで、柔軟性の高い材料のみで構成された改質機能を有するセルを得て、模擬バイオガスを供給して "紙の燃料電池"の実証に成功した（III）。さらに、フレキシブル触媒構成材料の化学的両立性の維持および触媒表面炭素種の改質の促進に取り組み、燃料多様性の向上に資する知見を得た（IV）。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 3 件）

①白鳥 祐介、SOFC 用ペーパー触媒の開発とその適用例、触媒 57 巻 3 号特集（固体酸化物形燃料電池（SOFC）におけるアノード触媒上での燃料直接改質技術）、(2015) 143-147. NDL Article ID: 026562489, ISSN: 0559-8958

②D. S. Rivera, T. Ishimoto, Y. Shiratori, T. Quang-Tuyen, M. Koyama, Theoretical Study of Inorganic Carbonaceous Species Reaction with the Surfaces of $BaTiO_3$(001), ECS Trans. 68(1) (2015) 3177-3185.（査読有） doi:10.1149/06801.3177ecst

③Y. Shiratori, M. Sakamoto, T. Uchida, H. Le, T. Quang-Tuyen, K. Sasaki, Hydrotalcite-dispersed paper-structured catalyst for the dry reforming of methane, Int. J. Hydrogen Energy 40 (2015) 10807-10815.（査読有） doi:10.1016/j.ijhydene.2015.07.016

〔学会発表〕（計 8 件）

①甲斐田 拓、楽 豪、坂本 美緒、Tran Quang-Tuyen、白鳥 祐介、高級炭化水素の SOFC への供給を可能にするフレキシブル触媒材料の開発、電気化学会第 83 回大会、大阪、2016 年 3 月 29 日

②楽 豪、甲斐田 拓、坂本 美緒、Tran Quang-Tuyen、白鳥 祐介、SOFC を適用した希薄ガスおよび副生油からのエネルギー回収、第 24 回 SOFC 研究発表会、東京、2015 年 12 月 16 日

③Y. Shiratori, M. Sakamoto, T. Uchida, H. Le, T. Kaida, T. Quang-Tuyen, Flexible Structured-Catalyst for Solid Oxide Fuel Cell Technology, 5th International Workshop on Nanotechnology and Application (IWNA 2015), Vung Tau, Vietnam, 2015/11/13.

④D. S. Rivera, T. Ishimoto, Y. Shiratori, T. Quang-Tuyen, M. Koyama, Theoretical Study of Inorganic Carbonaceous Species Reaction with the Surfaces of $BaTiO_3$(001), 14th International Symposium on Solid Oxide Fuel Cells (SOFC-XIV) , Glasgow, 2015/7/28.

⑤楽 豪、内田 友美、坂本 美緒、白鳥 祐介、佐々木 一成、改質機能を有したフレキシブル SOFC の開発、第 23 回 SOFC 研究発表会、東京、2014 年 12 月 16 日

⑥楽 豪、白鳥 祐介、内田 友美、坂本 美緒、佐々木 一成、フレキシブル SOFC の模擬バイオガス直接供給時の発電特性、電気化学会第 82 回大会、横浜、2015 年 3 月 15 日

⑦楽 豪、内田 友美、坂本 美緒、白鳥 祐介、佐々木 一成、紙形状触媒の改質活性に及ぼす複合酸化物の添加効果、第 51 回化学関連支部合同九州大会、北九州、2014 年 6 月 28 日

⑧楽 豪、内田 友美、坂本 美緒、白鳥 祐介、佐々木 一成、SOFC への適用を目指した紙形状構造体触媒の改質性能評価、電気化学会第 81 回大会、大阪、2014 年 3 月 29 日

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：酸化セリウム安定化酸化ジルコニウム系組成物及びその製造方法
発明者：白鳥 祐介他
出願人：九州大学、第一稀元素化学工業
種類：特許
番号：2016-193162
出願年月日：2016 年 9 月 30 日
国内外の別：国内

６．研究組織

(1)研究代表者
白鳥 祐介（SHIRATORI, Yusuke）
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：00420597

(2)研究分担者
古山 通久（KOYAMA, Michihisa）
九州大学・稲盛フロンティア研究センター・教授
研究者番号：60372306

(3)研究分担者
北岡 卓也（KITAOKA, Takuya）
九州大学・大学院農学研究院・教授
研究者番号：90304766