

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18H03852

研究課題名(和文)ポリオキソメタレートを用いたPtフリー燃料電池の開発

研究課題名(英文) Development of Pt-free redox flow fuel cells using polyoxometalates as redox mediators

研究代表者

江口 浩一 (Eguchi, Koichi)

京都大学・工学研究科・名誉教授

研究者番号：00168775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電極反応を酸化還元媒体に媒介させる、Ptを使用しないレドックスフロー型固体高分子形燃料電池の開発を目指した。正極用媒体として、ヘテロポリ酸溶液を選択し、共存する酸や金属イオンがヘテロポリアニオンの還元・再酸化反応へ与える影響を明らかにした。また負極用媒体の還元再生反応では、一酸化炭素含有水素とシュウ酸を燃料として用い、溶液内を懸濁させた炭素担持ロジウムフタロシアン錯体を疑似均一系触媒として使用可能にした。さらに、負極溶液と正極溶液を気相で隔てることにより相互の混合を防ぐ構造を採用し、両電極反応を組み合わせさせた運転を行い、定常状態での電圧・電流関係を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、Ptを両極に使用しない燃料電池という画期的なシステム実現に向けた研究成果を得ることができた。また、利用可能な燃料選択肢が広がることは、燃料電池に利用用途の拡大をもたらす。これらは、資源・エネルギー問題の解決に貢献し、将来的な省エネルギー・脱炭素社会へ寄与する内容である。また、ヘテロポリ酸に燃料電池の電極反応を媒介させるという研究例はほとんどなく、このような燃料電池の開発が進展すると、ヘテロポリ酸の新しい科学が拓くことにもつながる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to develop a Pt-free redox flow polymer electrolyte fuel cell by using redox mediator for the electrode reaction. Heteropolyacid solutions were selected as positive electrode mediators, and the additive effects of acids and metal ions on the reduction and reoxidation reactions of heteropolyanions were clarified. In the reductive regeneration reaction of redox mediator at the negative electrode, carbon monoxide-containing hydrogen and oxalic acid were employed as fuels, and a carbon-supported rhodium phthalocyanine complex suspended in a solution could be used as a pseudo-homogeneous catalyst. Furthermore, we developed a cell system in which a gas phase between both electrodes prevented the mixing of the anode and the cathode solutions. The operation of this system was demonstrated in combination with the reactions of both electrodes, and the voltage-current relationship in the steady state was obtained.

研究分野：無機固体化学

キーワード：ポリオキソメタレート ヘテロポリ酸 酸化還元メディエーター レドックスフロー型PEFC

1. 研究開始当初の背景

固体高分子形燃料電池 (PEFC) は世界的に研究開発が活発に進められ、実用化されている。電極触媒には高価で資源量に限りがあるPtが使用されており、特に正極 (空気極) における酸素還元反応が遅いため使用量が多い。また強酸性電解質膜と接しているため触媒の安定性も問題となっており、酸素還元反応で副生する H_2O_2 による触媒や電解質膜の劣化も観察されている。これらを解決するためには、既存システムの動作原理を大幅に変える必要がある。

そこで本研究では、酸化還元 (Redox) 媒体を含む溶液を活用し、Pt触媒を使わないレドックスフロー型PEFCに注目した。特に、ヘテロポリ酸 (HPA) 溶液をRedox媒体として正極に供給した発電セルにおいては、HPA溶液を再生槽で空気酸化して酸化体に保ちながら、これを酸化剤として正極に供給することで、Pt触媒を用いず炭素電極だけで電気化学的還元反応が可能となり、特許として基本動作原理などが報告されていた。しかし、学術的な観点からの研究例は少なく、その詳細は不明な点が多い。

一方、レドックスフロー型 PEFC のアイデアは当初正極での白金使用を不要にすることを目的としたものであり、負極側にも Redox 媒体を用いるものはなかった。これは、正極・負極ともに Redox 媒体を用いようとすると、媒体の混合が生じることが問題となることが自明であったことによるものと思われる。正極・負極 Redox 媒体の混合は、レドックスフロー型 PEFC に限らず通常のレドックスフロー電池全般の課題であり、実用化に至っているレドックスフロー電池であるバナジウムレドックスフロー電池のように同一の酸化還元媒体を用いるか、混合した溶液を再生する分離過程が必要と考えられていた。また、レドックスフロー型 PEFC に限らず高分子電解質膜を用いる低温型燃料電池全般において、水素以外の燃料を用いることは大きな課題であり、市販に至ったものはメタノールのみであった。燃料が違えば、それに応じてそれぞれ負極の電極触媒を開発する必要があり、このような触媒開発が水素以外の燃料を用いる場合の最大の課題であるが、これに加え、種々の燃料を適用するにあたり、負極触媒だけでなく、セル全体を燃料に最適化する必要があった。従って、仮に有効な電極触媒が開発されたとしても、水素燃料電池の電極触媒を置き換えるだけでは有効な電池にならないという問題があった。レドックスフロー型 PEFC に限っていえば、燃料として水素以外は事実上提案されていなかった。

レドックスフロー型 PEFC のセル構造としては、正極・負極ともレドックスフロー型にする場合、溶液の混合が問題となるが、我々はこれを原理的に避ける方法として、負極溶液と正極溶液を気相で隔てる構造のセルの提案と実証を示してきた。

2. 研究の目的

本研究では、Ptを使用しないレドックスフロー型PEFCの開発を目指す (図1)。正極・負極 Redox媒体として、それぞれ最適なRedox媒体の設計を試みるとともに、負極Redox媒体の還元再生反応のための触媒の援用など、レドックスフロー型PEFCの可能性を追求し有効性を明らかにする。

正極Redox媒体として、ポリオキソメタレートの一つであるHPAを選択し、その構成元素、構造などの最適化に着手する。正極Redox媒体に要求される反応は、還元されたポリアニオンの空気酸化と高酸化状態のポリアニオンの電極内電子による電気化学的な還元反応から成る。したがって、使用するHPAは、酸素還元電位に近い貴な電位で可逆的に酸化還元できる必要がある。Keggin型HPAに対し、ポリ原子 (配位原子) やヘテロ原子 (中心原子)、対イオンや共存イオンの効果を明確にする。異なる温度、濃度、pHによる酸化還元反応の可逆性や作動電圧など動作条件の影響について検討する。候補材料について正極Redox媒体循環式のレドックスフロー型PEFCを構築し、各構成元素による有効性の序列を明確にする。

また、負極側にも Redox 媒体の適用を展開する。このため、負極の電位に適したポリオキソメタレートを開発する。負極側での Redox 媒体の使用が有効であるのは、水素以外の燃料を利用する場合であり、水素以外の燃料が適用可能であることを立証する。このとき、電極触媒は不要であっても Redox 媒体と燃料の反応を進行させるための化学触媒の使用が必要になる場合があると考えられる。ただし反応場が3次元であるので均一触媒の使用が可能であり、活性が低くても単純に触媒の使用量を増やせば、それに比例した反応速度が期待できることから、均一系の触媒を開発する。

負極側にも Redox 媒体を用いるセルの具体的な設計を行う。既に原理を提示している、気相によって正極・負極溶液を分離する構造を採用し、本研究で選択した Redox 媒体、燃料、触媒の

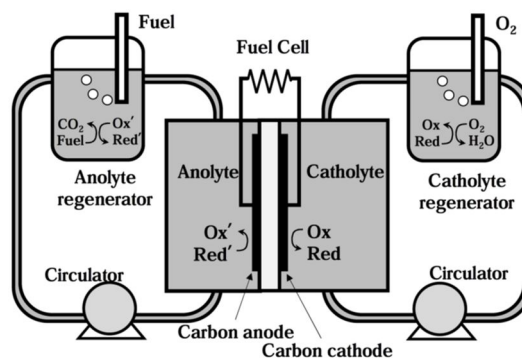


図1 両極に Redox 媒体を用いた場合のレドックスフロー型 PEFC の概略図

組み合わせで実現する。このとき、本構造では負極ハーフセルと正極ハーフセルを独立に開発できる特徴を生かし、負極ハーフセルのレドックスフロー電池としての充放電と Redox 媒体の還元再生反応をそれぞれ確認できる実験系をまず構築し、その結果を基にセルの定常状態運転を実現する。

3. 研究の方法

(1) 正極 Redox 媒体の開発

負極にカーボン担持 Pt 触媒 (Pt/C)、正極に炭素、電解質に Nafion® 117 膜を使用した膜・電極接合体 (MEA) を作製した。HPA として、リンバナドモリブデン酸、リンタングステン酸、リンタングストモリブデン酸を選択した。HPA 水溶液に支持電解質として Na₂SO₄、また添加成分として種々の酸や金属塩を加え、正極 Redox 媒体を調製した。作製した MEA をガス拡散層およびカーボンセパレータで挟み込み、正極には調製した Redox 媒体を、負極には加湿 H₂ ガスを供給し、運転温度 80 °C において電流 - 電圧測定、開回路電圧 (OCV) 保持試験を実施した。

(2) 負極 Redox 媒体の開発

燃料として、改質ガスを念頭に置いたものと、アルコール等 C-C 結合の切断を伴う反応を念頭に置いたものを選択した。選択した各燃料を酸化できる触媒として、均一系触媒またはそれに類するものを選択した。選択した燃料と触媒で還元できるメディエーターを含む Redox 媒体還元再生反応を確認した。還元再生反応に先立ち、メディエーターの還元・酸化サイクルを行い、レドックスフロー電池としての充電・放電反応を確認した。以上の実験を、正極・負極を備えたフルセルを構築することなく実施できるよう、正極側に相当する反応の影響を分離できるピーカーセル実験系を構築した。

(3) Pt 不使用のレドックスフロー型 PEFC の開発

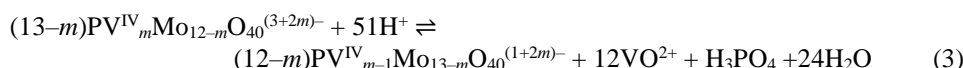
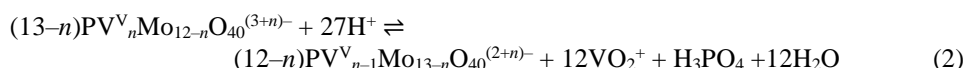
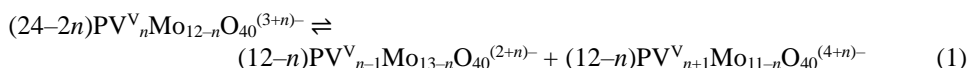
セル構造の開発として、負極溶液と正極溶液を気相で隔てることにより相互の混合を防ぐ構造のセルを製作した。負極ハーフセルを完成し、これが単独でも正極ハーフセルとの組み合わせでも定常運転できることを確認した。

4. 研究成果

(1) 正極 Redox 媒体の開発

リンバナドモリブデン酸溶液へのリン酸添加効果

リンバナドモリブデン酸 H₅PV₂Mo₁₀O₄₀ (PV2)、H₆PV₃Mo₉O₄₀ (PV3)、H₇PV₄Mo₈O₄₀ (PV4) を使用して、ヘテロポリアニオン組成が Redox 媒体の酸化還元特性に与える影響を検討した。なお、リンバナドモリブデン酸水溶液には、原料と同じバナジウム置換数のヘテロポリアニオンのみが溶液中に存在するのではなく、複数の V 置換体の混合溶液となることが知られている¹⁾。これは、下記の不均化反応 (式(1)) やバナジン酸イオンの脱離反応 (式(2), (3))²⁾ に起因する。



PV2-Na₂SO₄ 溶液、PV3-Na₂SO₄ 溶液、PV4-Na₂SO₄ 溶液を正極 Redox 媒体として供給した。このとき、再生槽内で O₂ バブリングを行いながら Redox 媒体を供給し、還元体の再酸化を進行させた。得られた OCV は PV2 < PV3 < PV4 となった。リンバナドモリブデン酸において V に由来する還元電位は、Mo に由来する還元電位と比較して高いことが知られている。そのため、V の置換数が多い HPA ほど、高い V の還元電位の影響を受けた結果、OCV が上記の序列になったと考えられる。また、得られた電流密度についても、OCV 同様にその序列は PV2 < PV3 < PV4 となったが、これは溶液中において還元反応に高活性なヘテロポリアニオン種の割合が増加することに起因すると考えられる。また、バナジウム置換数の多い HPA 溶液中ほどバナジウム多置換ヘテロポリアニオン種の割合が多いことから、バナジウムの置換数の多いヘテロポリアニオン種ほど還元反応に高活性であることが示唆された。

次に、異なる濃度のリン酸を添加した PV3-Na₂SO₄ 溶液を用いて発電試験を行った。その結果、リン酸濃度の高い HPA 溶液を使用すると、高い開回路電圧と電流密度が得られた。これはプロトン濃度が増加したことに起因すると考えられる。プロトン濃度の変化が電池特性に影響を与えるという考えは一般的である。一方で、式(2), (3)に示す通り、リン酸の存在が溶液内のヘテロポリアニオン組成に影響を及ぼす可能性が考えられる。そこでプロトン濃度 (pH) による影響を除き、リン酸添加によるヘテロポリアニオン組成変化がもたらす電池特性への影響に着目するために、リン酸以外の酸である塩酸または硫酸を添加して、H₃PO₄-PV3-Na₂SO₄ 溶液と同 pH を有する PV3-HCl-Na₂SO₄ 溶液、PV3-H₂SO₄-Na₂SO₄ 溶液を用いて発電試験を行った。その結果を図 2 に示す。いずれの酸を添加しても、酸を添加していない場合に比べ、高い OCV および電流密度が得られた。しかし、pH が等しいにも関わらず、リン酸添加溶液でこの傾向は顕著であ

り、塩酸・硫酸添加溶液に比べ、さらに高い OCV と電流密度を示した。この電池特性の違いは、塩酸添加溶液と硫酸添加溶液で電池特性に大きな差が見られなかったことから、添加した酸の価数によるものではなく、溶液内のヘテロポリアニオン組成の違いに起因することが示唆された。具体的には、リン酸を添加することで溶液内にオルトリン酸が増加する。それとともに、式(2)、(3)の平衡が左に傾きバナジウム多置換ヘテロポリアニオン種の割合が増加したことで、より高い電流密度が得られたと考えられる。

次に、外部の再生槽で HPA 溶液に Ar ガスを供給しながら定電流通電を行い、 V^{5+} を V^{4+} に還元した。その後、通電を止めて再生槽への供給ガスを O_2 に切り換え、再酸化を行いながら OCV の経時変化を測定した。正極 Redox 媒体として、濃度の異なるリン酸添加 PV3 溶液を使用すると、HPA の再酸化速度はリン酸添加量の多い溶液ほど低下し、リン酸の添加が HPA の再酸化反応を抑制することがわかった。また上記と同様に、PV3 溶液に硫酸を添加して pH を揃えた溶液についても同様に評価したところ、同 pH のリン酸添加 PV3 溶液よりも高い再酸化速度が得られた。

各リンバナドモリブデン酸アニオンの再酸化反応活性において、 $PV^{IV}Mo_{11}O_{40}^{5-}$ 、 $PV^{IV}_2Mo_{10}O_{40}^{7-}$ は不活性であり、 $PV^{IV}_3Mo_9O_{40}^{9-} > PV^{IV}_4Mo_8O_{40}^{11-}$ である。したがって、上記の結果の理由としては、式(2)、(3)からリン酸添加によりバナジウム多置換ヘテロポリアニオンの割合が増加したが、再酸化反応に不活性なヘテロポリアニオン種($PV^{IV}Mo_{11}O_{40}^{5-}$ 、 $PV^{IV}_2Mo_{10}O_{40}^{7-}$)が活性のあるアニオン種($PV^{IV}_3Mo_9O_{40}^{9-}$ 、 $PV^{IV}_4Mo_8O_{40}^{11-}$)に変化して活性が上昇する影響より、 $PV^{IV}_3Mo_9O_{40}^{9-}$ が $PV^{IV}_4Mo_8O_{40}^{11-}$ に変化することで活性が低下する影響の方が大きいことが考えられる。

リンバナドモリブデン酸溶液への金属カチオン添加効果

リンタングステン酸やシリコタングステン酸溶液に Cu や Fe の金属カチオン種を添加すると、ヘテロポリアニオン種の再酸化反応速度を向上することが報告されている^{3,4)}。そこで、リンモリブデン酸溶液への金属カチオンの添加が電池性能に及ぼす影響について検討を行った。

$H_6PV_3Mo_9O_{40}$ (PV3)- $Fe_2(SO_4)_3$ - $CuSO_4$ - Na_2SO_4 水溶液を正極に供給し、電流-電圧特性を評価した。金属カチオン添加溶液を用いると、金属カチオン無添加溶液の場合と比較して高い OCV が得られた。さらに、OCV の上昇に伴って出力密度も向上した。このことから PV3 中の V 原子に加えて、添加した金属カチオンが還元反応を起こす活性種となりうることを示唆された。また両溶液の還元挙動について検討したところ、定電流通電終了時において、金属カチオン添加溶液内の V 種の還元反応は、無添加溶液と比較して、あまり進行していないことが明らかとなった。したがって、添加された金属カチオン種が還元反応活性種となり、 $H_6PV_3Mo_9O_{40}$ 骨格中の V に代わって還元されていることが示唆された。

次に電池性能の安定性に寄与する PV3 の再酸化反応特性に対し、金属カチオンの添加が与える影響を評価した。還元処理を行った溶液に対し、 O_2 ガスを供給し再酸化反応を進行させた際の OCV の経時変化を調べた(図3)。金属カチオン添加溶液では、金属カチオン無添加溶液に比べ OCV の回復の度合いは遅かった。このことから添加した金属カチオンは PV3 溶液の再酸化反応を抑制している可能性がある。この原因の一つとして、金属カチオン添加によりヘテロポリアニオン骨格が破壊されたことが考えられた。そこで、両溶液に対して ^{51}V NMR 測定を行い、溶液中のバナジウム組成を確認した。その結果、得られたスペクトルにおいて、ピークの数や概形に大きな違いが見られなかったことから、金属カチオン種の添加によりヘテロポリアニオンの骨格は壊れていないことが示唆された。

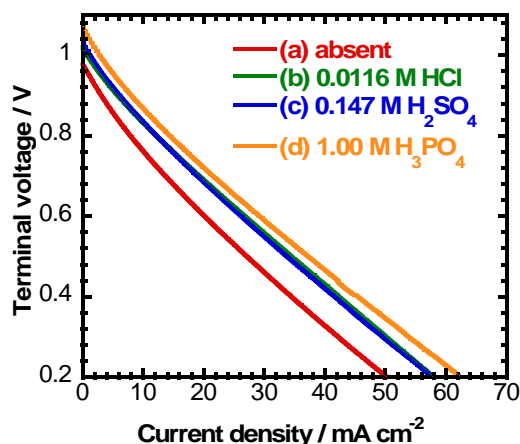


図2 正極 Redox 媒体に HPA を使用した PEFC の電流 - 電圧特性。運転温度: 80 °C; Redox 媒体: PV3 溶液、PV3-HCl-Na₂SO₄ 溶液、PV3-H₂SO₄-Na₂SO₄、H₃PO₄-PV3-Na₂SO₄ 溶液; 負極ガス: 加湿水素(相対湿度: 100%); HPA 再生槽内ガス: 酸素。

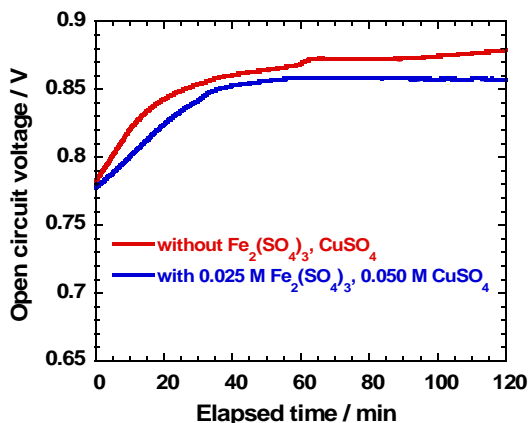


図3 正極 Redox 媒体に HPA を使用した PEFC の開回路電圧の経時変化。運転温度: 80 °C; Redox 媒体: PV3-Na₂SO₄ 溶液、PV3- $Fe_2(SO_4)_3$ - $CuSO_4$ -Na₂SO₄ 溶液; 負極ガス: 加湿水素(相対湿度: 100%); HPA 再生槽内ガス: 酸素。

リンバドモリブデン酸 PV3 への Fe および Cu カチオンの添加が再酸化反応速度向上に寄与しなかった要因を明らかにするため、Mo と W を構成元素に持つ $H_3PW_nMo_{12-n}O_{40}$ 溶液への $Fe_2(SO_4)_3$ および $CuSO_4$ 添加効果を検討した。その結果、 $H_3PW_{12}O_{40}$ の場合には再酸化反応速度が向上したのに対し、 $H_3PW_{11}MoO_{40}$ 、 $H_3PW_3Mo_9O_{40}$ 、 $H_3PMo_{12}O_{40}$ のいずれの場合においても、そのような挙動は観察されなかった。

HPA では構成金属元素の電気陰性度の偏りによる影響を受けて、分子中の電子が局在化する。電子の偏りから Mo を含む HPA では Mo-O の結合が比較的不安定であるため、ポリ原子が W のみからなる HPA とは、酸素との反応経路が異なることが報告されている^{2,4)}。このような反応経路の違いにより、Mo を含む HPA では、 $Fe_2(SO_4)_3$ および $CuSO_4$ を添加しても HPA の再酸化反応速度が向上しなかった可能性があると考えられる。

(2)負極 Redox 媒体の開発

Redox 媒体を用いる Pt フリー燃料電池の負極側の開発では、燃料によって負極側メディエーターを還元させる Redox 媒体再生反応の検討において、燃料として、改質ガスを想定した一酸化炭素含有水素と、C-C 結合切断の最も単純なモデルとみなすことができるシュウ酸を用いた。メディエーターの反応速度の測定として、定常状態に至ったセルにおける電極でのメディエーター酸化電流を測定する直接的な方法と、開回路状態のセルにおける平衡電位の変化速度から算出する間接的な方法の 2 種類を用いた。負極側の半セルの反応のみを検討できるよう、コンパクトに作製した筒状ガス拡散電極を対極に用いる方法と、イオン交換膜を隔てて水素イオンを供給する 2 種類のビーカーセル実験を行った。負極メディエーターとしては、予備検討として可逆性に優れていることが分かっているキノン/ヒドロキノン類を検討したのち、ポリオキソメタレート一種である 12 モリブドリン酸を使用した。メディエーターを用いる燃料電池が Pt 等の電極触媒が不要となる特徴を有する理由のひとつは、反応場が 2 次元である電極触媒の代わりに、反応場が 3 次元であるメディエーター再生反応槽内での化学反応のための均一系触媒を用いることができることにあり、本研究では負極メディエーター再生反応の触媒として、ロジウムフタロシアニン錯体を用いた。ロジウムフタロシアニン錯体は水溶性でないため、炭素粉末に担持し、溶液内を懸濁させることで、疑均一系触媒として使用可能にした。負極 Redox 媒体の酸化還元サイクルと、燃料ガスとの反応による開回路電位の変化の測定例を図 4 に示す。

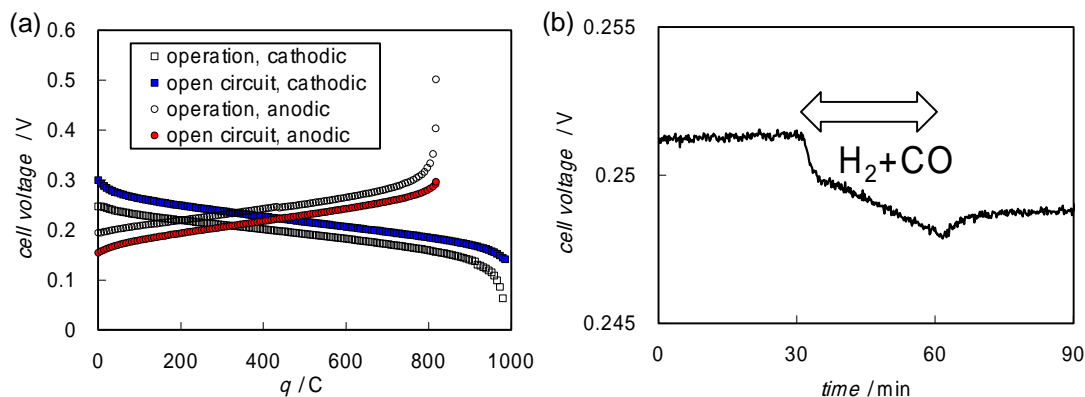


図 4 (a)負極 Redox 媒体の酸化還元サイクル時の作動時の電圧と開回路電圧、(b)酸化状態での Redox 媒体還元再生槽での反応速度測定のために CO 含有 H₂ ガスを供給した時の開回路電位の変化。

(3)Pt 不使用のレドックスフロー型 PEFC の開発

セル構造の開発として、負極溶液と正極溶液を気相で隔てることにより相互の混合を防ぐ構造のセルとすることができるというアイデアを有していたため、この原理に基づくセルを製作した。このアイデアは、負極ハーフセルと正極ハーフセルを水素ガスで結合して見かけ上ひとつのセルとして運転するものである。本研究での負極反応と水素電極の組み合わせによるハーフセルを運転し、定常状態での電圧・電流関係を測定するとともに、酸素還元の正極反応と組み合わせたセルでの定常運転が可能であることを確認した。この実験における正極ハーフセルでは触媒として Pt を用いたが、気相水素で隔てる構造であることから、任意の負極・正極の組み合わせが原理的に可能なセルとなった。

< 引用文献 >

- 1) E. G. Zhizhina, V. F. Odyakov, M. V. Simonova, and K. I. Matveev, *Kinet. Catal.*, **46** (2005) 354–363.
- 2) E. G. Weinstock, *Chem. Rev.*, **98** (1998) 113–170.
- 3) M. Kim, I. A. Weinstock, Y. V. Geletii, C. L. Hill, *Inorg. Chem.*, **57** (2018) 311–318.
- 4) Y. V. Geletii, C. L. Hill, r. H. Atalla, I. A. Weinstock, *J. Am. Chem. Soc.*, **128** (2006) 17033–17042.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Siroma Zyun, Maruyama Jun, Yamazaki Shin-ichi, Fujiwara Naoko, Asahi Masafumi, Nagai Tsukasa, Irooi Tsutomu	4. 巻 44
2. 論文標題 Indirect fuel cell based on a redox-flow battery with a new structure to avoid cross-contamination toward the non-use of noble metals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 27046 ~ 27055
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijhydene.2019.08.135	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 成瀬農司、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 31P NMR測定によるヘテロポリアニオン酸化還元種の組成評価
3. 学会等名 第62回電池討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 N. Yamamoto, H. Muroyama, T. Matsui, K. Eguchi
2. 発表標題 Additive Effect of Iron and Copper Sulfates in Heteropolyacid Solution As a Cathode Reaction Mediator on the Performance of Redox Flow PEFCs
3. 学会等名 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Naruse, H. Muroyama, T. Matsui, K. Eguchi
2. 発表標題 Power Generation Characteristics of PEFCs Using Heteropolyacids As Anode Redox Mediators
3. 学会等名 Pacific Rim Meeting on Electrochemical and Solid-State Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 成瀬農司、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 ヘテロポリ酸を燃料極反応媒体に用いたPEFCにおける燃料種の検討
3. 学会等名 第61回電池討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 成瀬農司、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 ヘテロポリ酸を燃料極反応媒体に用いたPEFCの発電特性評価
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本直生、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 カソード反応媒体であるヘテロポリアニオンの組成変化が レドックスフローPEFC性能に及ぼす影響
3. 学会等名 第60回電池討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大城悠希、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 還元媒体としてのポリオキソメタレート組成がレドックスフローPEFC性能に及ぼす影響
3. 学会等名 2018年電気化学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大城悠希、室山広樹、松井敏明、江口浩一
2. 発表標題 レドックスフロー-PEFCにおける還元媒体としてのポリオキソメタレートの酸化還元特性
3. 学会等名 第59回電池討論会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 松井敏明、室山広樹、江口浩一	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 8
3. 書名 月刊ファインケミカル	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	城間 純 (Siroma Zyun) (00357245)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員 (82626)	
研究分担者	松井 敏明 (Matsui Toshiaki) (90378802)	京都大学・工学研究科・准教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------