

# 燃料電池排出水素処理用水素ポンプの研究

学生員 服部 紀公士 (豊橋技術科学大学)

学生員 池田 孝伸 (豊橋技術科学大学)

正員 恩田 和夫 (豊橋技術科学大学)

非会員 寺井 元昭 (東海旅客鉄道株式会社)

非会員 草田 栄久 (東海旅客鉄道株式会社)

非会員 本吉 智行 (東海旅客鉄道株式会社)

非会員 畑井 亜喜良 (東海旅客鉄道株式会社)

## Study on Hydrogen Pump for Processing Exhaust Hydrogen from Fuel Cell

Kikuo Hattori, Student member, Takanobu Ikeda, Student member, Kazuo Onda, Member (Toyohashi University of Technology), Motoaki Terai, Non-member, Shigehisa Kusada, Non-member, Tomoyuki Motoyoshi, Non-member, Akira Hatai, Non-member (Central Japan Railway Company)

### 1 まえがき

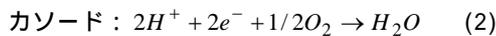
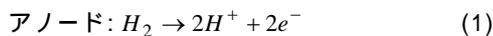
化石燃料の枯渇と地球温暖化の問題解決策として、高効率の固体高分子形燃料電池 (PEFC) が注目され、燃料電池自動車の動力源や家庭用分散電源として世界的に開発されている。PEFC は水素を 100% 反応させることができないので、多少の水素が排燃料に含まれる。この排水素が密閉空間などに排気される場合は問題となるので、この排水素を何らかの方法で処理することが望まれる。

そこで本研究は、PEFC から排出される水素を少なくするために、燃料電池モードで電圧を印加してでも空气中酸素と反応させて水とする、電力を用いて電池化学的水素ポンプ (以下水素ポンプと略記) で回収する、の 2 方式の基本的な実験をしたのでその結果を報告する。

### 2 水素処理の基本的な考え方

#### 2.1 電池反応セルの原理

図 1 の点線部を加えた構成が電池反応セルを示し、燃料電池と同じである。アノードおよびカソードの三相界面でそれぞれ以下の電気化学反応が進む。



このときのセル電圧は次式で表される。

$$V = \frac{G}{2F} + \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_{H_2}(P_{O_2})^{1/2}}{P_{H_2O}} - i \cdot r \quad (3)$$

ここで、F: ファラデー定数、R: 気体定数、T: 温度、 $i \cdot r$ : 抵抗過電圧、 $i$ : 電流密度、 $r$ : 単位面積当りの膜抵抗、 $\quad$ : 反応と拡散過電圧。セル電圧が正であれば発電モード、負であれば電力消費モードとなる。

#### 2.2 水素ポンプの原理

点線部分を除いて図 1 に原理を示す。水素は以下のような反応を通して、アノードからカソードへと搬送される。

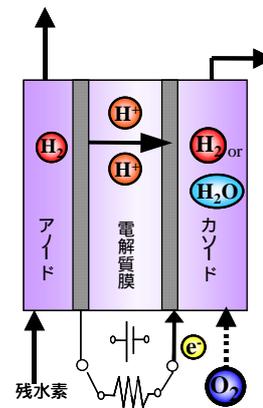
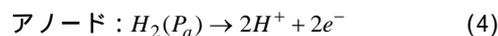
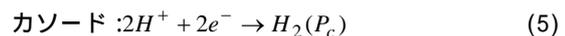


図 1 電池反応、水素ポンプの原理図  
Fig1 Principle diagram of reaction cell and hydrogen pump



この時、水素を圧力  $P_a$  から圧力  $P_c$  まで昇圧する電圧  $V$  は、濃淡電池に従い次式で表され、電力消費モードとなる。

$$V = \frac{RT}{2F} \ln \frac{P_c}{P_a} + i \cdot r + \eta \quad (6)$$

### 3 実験

#### 3.1 電池反応セルの実験

図 2 の点線部を加えた構成が電池反応セルの実験構成である。流量を制御し、加湿器で調湿した水素、空気をセルのアノード、カソードにそれぞれ供給する。そして、パイポラ電源で電流を流すことにより、水素を空气中酸素と反応させ水とする。この時、カソード出口で残った水素をガスクロにより分析する。

#### 3.2 水素ポンプの実験

図 2 に点線部を除いて水素ポンプの実験構成を示す。アノード側に流量を制御し、加湿した水素を供給する。そして、セルに電圧を加え、水素をカソード側に搬送する。この時、気液分離器後に設置した排圧弁でカソード出口水素

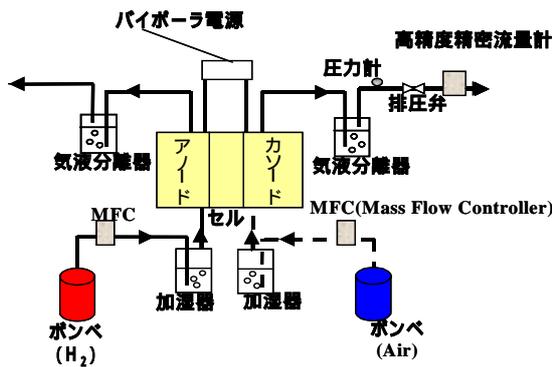


図2 実験構成図

Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus

圧力を一定に調整し、大気圧に減圧した水素を石鹼膜流量計で測定する。

### 3.3 試験した膜・電極接合体(MEA)

MEAとしては、燃料電池用のGore-Select膜と無電解鍍金により触媒を担持した水電界用Nafion膜を用いた。

## 4 実験結果

### 4.1 電池反応セルの実験結果

燃料電池用MEA、水電界用MEAでのV-I特性を図3に示す。燃料電池用MEAでは、加湿温度を上げるとV-I特性が改善されていることが分かる。加湿温度が50、60ではV-I特性の違いは見られず、加湿エネルギーを考慮すれば、カソード加湿温度はセル温度より10低い50で充分と考えられる。また、セル温度、加湿温度が適切であれば、排水素処理率が測定誤差限界である98%まで、セル電圧は約0.5Vと発電モードで運転できることが分かった。水電界用MEAでは、すぐに電圧がマイナスとなり、その後は直線的に電圧を加えるという結果となった。

### 4.2 水素ポンプの実験結果

図4にセル圧力が大気圧の時のV-I特性を示す。セル温度と加湿温度が60よりも70と高い方が水素を回収するセル電圧が小さいことが分かる。また、全ての実験において、測定誤差限界である排水素回収率98%まで電圧はほ

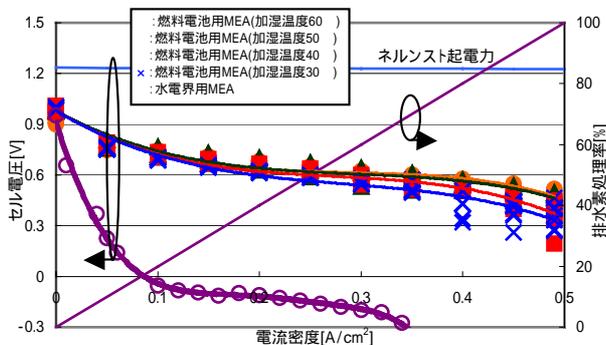


図3 電池反応セルのV-I特性

Fig3 V-I characteristics of reaction cell

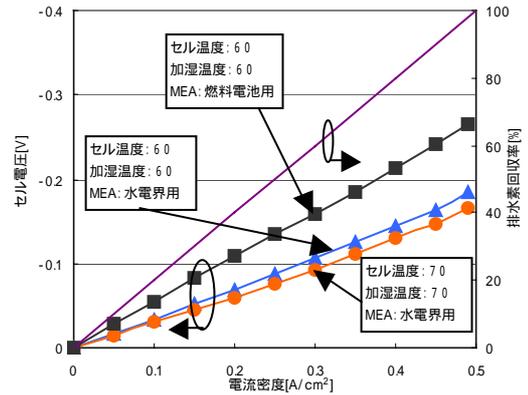


図4 セル圧力が大気圧の水素ポンプのV-I特性

Fig.4 Atmospheric V-I characteristics of hydrogen pump

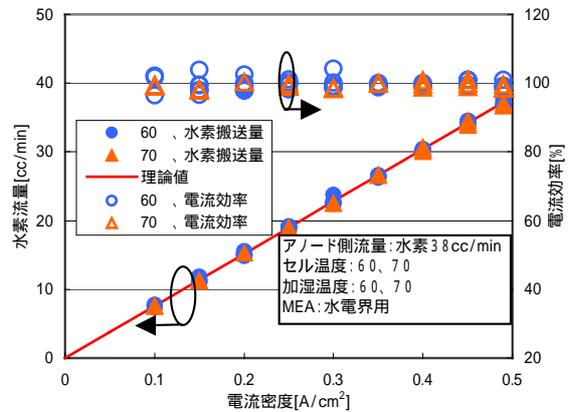


図5 大気圧セルでのカソード出口水素流量

Fig.5 Flow rate cathode exit hydrogen at atmospheric pump

ぼ直線的に増加した。燃料電池用MEAより優れた水素ポンプ特性を持つ水電界用MEAは、セル温度と加湿温度を70に設定すると電流密度0.49A/cm<sup>2</sup>で165mVのセル電圧で98%の水素を回収することが分かった。電池反応セルと同様に、水素処理率100%の0.5A/cm<sup>2</sup>まで実験をしたが、0.49A/cm<sup>2</sup>以上では計器の測定誤差内となり、セル電圧が急上昇したり、急降下するので、図には示さなかった。

カソード出口における水素流量の測定結果を図5に示す。カソード出口でほぼ印加電流に相当する水素が搬送されていることが分かる。つまり、搬送水素量から求めた電流効率ほぼ100%と理論どおりであることが分かる。

## 5 まとめ

電池反応セルでは、燃料電池用MEAの方が特性は良く、水素処理率98%まで発電モードであった。また、水素ポンプでは、水電界用MEAの方が燃料電池用MEAより特性はわずかに良く、98%まで水素を回収することができた。両者を比較すると、電池反応セルが発電モードであったので、本実験範囲では、発電する電池反応セルが有利であると分かった。水電界用MEAは(独)産総研関西センターの西村靖雄氏、藤原直子氏のご指導により作製したことを付記し、感謝の意を表す。