

# 低温水素ガスを用いた固体高分子型燃料電池の性能調査

○新井 郁矢, 佐藤 哲也 (早稲田大学)  
小島 孝之, 岡井 敬一, 田口 秀之 (JAXA)

## Performance research of PEFC using low temperature hydrogen gas

Fumiya ARAI, Tetsuya SATO (Waseda University)  
Takayuki KOJIMA, Keiichi OKAI, Hideyuki TAGUCHI (JAXA)

### 1. 研究背景

地球温暖化の影響を受けて欧米の各機関では航空機の二酸化炭素の排出削減量の目標を設定し、その達成に向けた取り組みを加速させている。

しかし IATA(国際航空運送協会)は、2050年までに排出量を2010年の50%に削減という目標を達成するには既存の技術の延長だけではなく新規技術の導入が必要になると示している。そこで航空機の新たな推進系としてシステムが単純かつ軽量で、他の燃料電池と比較して起動時間が短い固体高分子型燃料電池(PEFC)が有望視されている。

現在では世界各地でPEFCを主動力源とする燃料電池航空機の開発が進められており、ドイツのDLRは2016年にDLR HY4の飛行に成功している。現状ではこれらの航空機に搭載される燃料はガス水素となっている。しかし燃料タンクの軽量化をして航続距離を確保するため、液体水素を燃料として搭載することが検討されている。しかし液体水素を搭載する問題点としてPEFC内部に低温の水素が流入することにより反応で生じた水が内部で凍結し性能に影響を及ぼす可能性があるということが挙げられる。そこで本研究ではPEFCを用いた性能試験及び解析ソフトによる性能解析を行い、ガス水素の冷却温度に対するPEFCの出力比較をして性能変化の調査を行った。

### 2. PEFCについて

#### 2.1 発電の原理

燃料電池とは、水素と酸素を化学反応させて電力を得る。外部から供給された水素分子がアノード(マイナスの電極)内にある触媒に吸着され水素イオンとなり水素原子一個に対して二つの電子を放出する。この電子が外部の回路を通りプラスの電極に流れる。また、電子を失った水素イオンは電解質を伝ってプラスの電極に移動する。カソード(プラスの電極)では、外部から供給された酸素分子が外部回路を流れてきた電子を受け取り酸素イオンとなる。そしてアノードから移動してきた水素イオンと結合して水となる。

#### 2.2 特徴

PEFCは電極の表面に白金触媒を有している。これにより常温~100℃程度の温度での発電が可能となっており、他の燃料電池と比較して起動時や停止時にかかる時間を短くすることができる。また作動温度が600~1000℃のSOFCなどと異なり起動時の予熱が不要となるため、予熱器などの導入が不要となることからシステムを軽量にすることができる。PEFCは電極で電解質膜を挟む構造となっている。この膜は含有水量によってPEFCの性能に影響を及ぼし、湿潤状態の方が乾燥状態よりイオン電導性が増し発電性能が良好となる。

#### 2.3 供試体概要

本試験で用いるPEFCの全体図を

Fig2.1 に示す. セル数は 10 セル, 定格出力は 120W の PEFC である. 本試験では電極に PC で遠隔操作が可能である電子負荷装置 Kikusui PLZ164W を接続し PEFC の負荷電流を任意に変化させることができる. また, 試験装置の全体図を Fig2.2 に示す. 図の左側にある銀色の断熱容器内に水素配管を通し, そこに液体窒素を充填させてガス水素を冷却する. 負荷電流については, 0~7.5A まで 30 秒毎に 0.5A ずつ上昇させ 7.5A で 60 秒保持, そして 7~0A まで 30 秒毎に下降するようにプログラムで制御した.

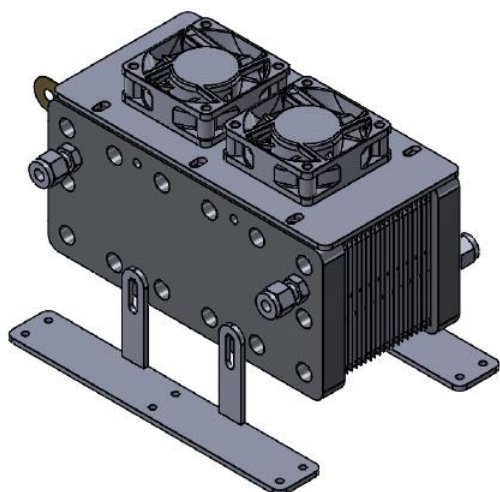


Fig2.1 供試体全体図



Fig2.2 装置全体図

### 3. 性能試験

#### 3.1 試験概要・目的

本試験ではガス水素の冷却温度に対する PEFC の性能取得を目的としている. 本試験ではガス水素を 14.3, 0, -11.2, -39.1, -47.9, -50.3°C に冷却して試験を行った. また空気は常温である. 水素配管の燃料電池入口および出口と酸素配管の燃料電池入口で圧力および温度計測を行い, 空気配管の燃料電池出口で温度計測を行う. さらに供試体の側面部に溝を設けてあり, 熱電対を挿してセル温度を計測する.

#### 3.2 試験結果

ガス水素温度が 14.3°C の結果と -50.3°C の IV 線図を Fig3.1 に示す.

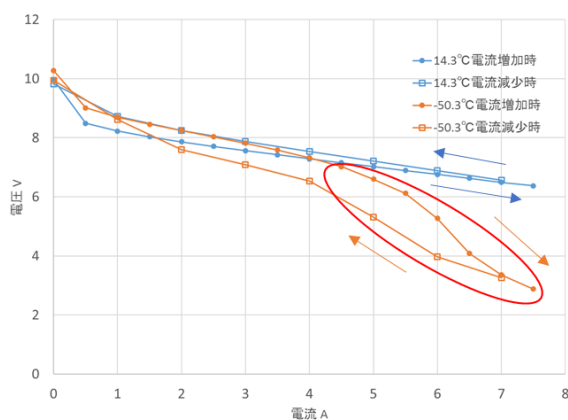


Fig3.1 ガス水素温度 14.3°C と -50.3°C の IV 線図

横軸は電流値, 縦軸は電圧値を表す. ガス水素温度が 14.3°C の時, 負荷電流を上昇させると電圧降下が発生する. また電流を下降させると上昇時よりもわずかに電圧値が大きくなった状態で上昇していく. ガス水素温度が -50.3°C の時, 電流上昇時では負荷電流が 5A を超えたところで

電圧値が大きく低下していることが分かる。また電流を下降させた際にはガス温度が 14.3℃の時とは異なった挙動で電圧が上昇していることが確認できる。

#### 4. 性能低下の原因調査

##### 4.1 水素流量による調査

ここでは水素流量に着目して発電性能が低下した原因を調査する。Fig4.1 にガス水素温度が 14.3℃の時と-50.3℃の時の水素流量を比較したグラフを示す。

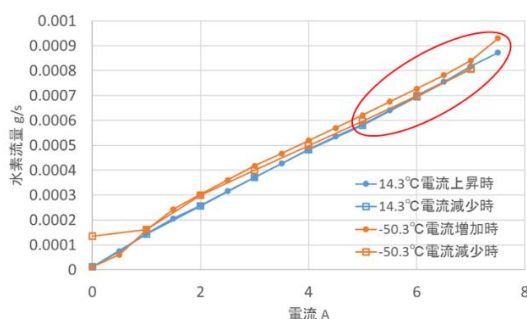


Fig4.1 ガス水素温度 14.3℃と-50.3℃の水素流量比較

赤く囲った範囲が PEFC の性能が低下した箇所であるが、流入する水素量に大きな変化は見られない。PEFC 内で凍結が発生すると、反応面積が減少し消費される水素量も低下する。それに伴い水素流量も低下する現象が起こる。つまり本試験での発電性能が低下した原因はセル内部で生成水が凍結したことではないことが考えられる。

##### 4.2 発電効率による調査

そこでここでは発電効率による調査を行う。発電効率は以下の式を用いて算出する。

$$E = \frac{I \times V}{Q \times LHV} \times 100 \quad (4.1)$$

E: 発電効率 %

I: 電流 A

V: 電圧 V

Q: 水素流量 g/s

LHV: 低位発熱量 kJ/kg

算出した発電効率を比較したグラフを Fig4.2 に示す。

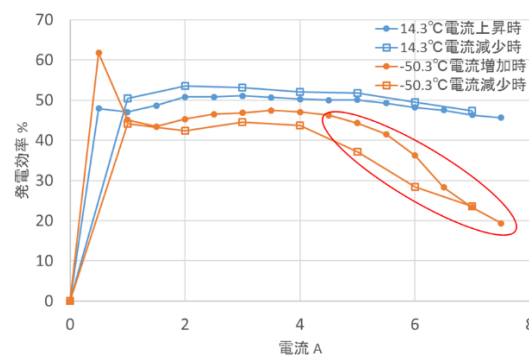


Fig4.2 ガス水素温度 14.3℃と-50.3℃の発電効率比較

ガス水素温度が-50.3℃の時、ガス水素温度 14.3℃と比較して 5A 以降で発電効率が大きく低下していることが分かる。これより PEFC の発電性能が低下した原因は発電効率が低下したことによるものと考えられる。

また発電効率が低下した原因についてであるが、Fig4.3 に示した各条件下でのセル温度推移を調査すると、ガス水素温度が 14.3℃の時は開始時から最大負荷電流値までにセル温度が 8.04℃上昇した。一方、ガス水素温度が-50.3℃の時はセル温度が 10.23℃と 14.3℃の時よりも上昇幅が大きいことが分かる。これよりガス温度が低温のほど内部で発熱し損失が

大きくなり、発電効率が低下する原因であると推測される。

## 5. 解析ソフトによる性能解析

連成解析ソフト COMSOL による PEFC の性能解析を行った。このソフトは PEFC のアノードおよびカソードの流路内における物質の濃度分布および電極における電流密度分布を計算することが可能である。

### 5.1 解析条件

解析の対象は試験で使用した PEFC の単セル中の流路一本である。温度条件については以下の表に示す。

表 1 温度条件

	①	②
セル温度	30	30
ガス水素温度	14.3	-50.3
流入空気温度	14	14

### 5.2 解析結果

各解析条件における結果と性能試験の結果を比較した IV 線図を Fig5.1, Fig5.2 に示す。

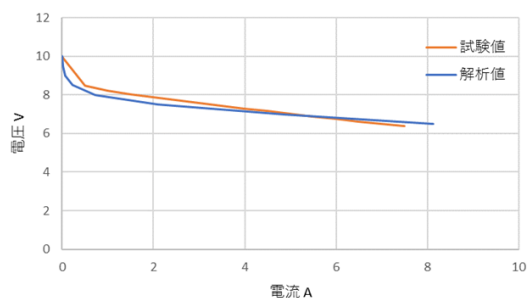


Fig5.1 ガス水素温度 14.3°Cにおける解析結果と試験結果の IV 比較

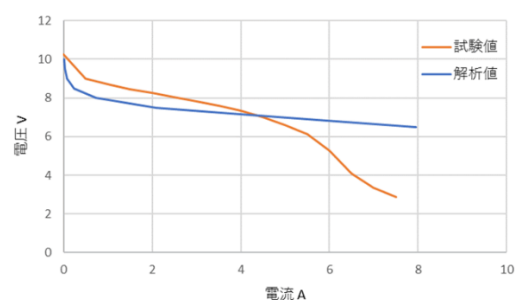


Fig5.2 ガス水素温度 -50.3°Cにおける解析結果と試験結果の IV 比較

橙の線が試験結果、青の線が解析結果を表す。以上の図からガス水素温度が 14.3°Cでは解析結果を試験結果と同じ挙動で示すことができた。-50.3°Cの際に大きく挙動が異なる原因であるが、計算する際にセル温度を 30°Cに固定しているためガス水素の温度に依存することなく電流、電圧の値が算出されることが挙げられる。

## 6. 結論

本研究では低温水素ガスを用いた PEFC の性能調査を行うため、PEFC を用いた性能試験および連成解析ソフト COMSOL を用いた性能解析を行った。

性能試験ではガス水素温度を -50.3°C に冷却すると発電性能が大きく低下することが分かった。セル内部での生成水の凍結によるものではなく、内部での発熱により損失が発生し発電効率が低下していることが性能低下の原因であると考えられる。

性能解析ではガス水素温度を 14.3°C に設定して計算を行うと試験結果と挙動が一致することが分かった。一方で -50.3°Cの際には大きく計算結果が試験結

果と異なった。これはセル温度を 30℃に固定して計算を行っており、ガス水素温度の影響を受けずに電流および電圧値を算出していることが原因であると考えられる。

## 7. 今後の展望

性能試験において熱バランスの計算を行い発電性能低下の原因を調査する。また調査を詳細に行うためセル温度計測点を追加し内部の発熱状況のより詳細な計測を試みる。

また、性能解析においてセル温度がガス水素温度に影響される計算が可能であるかの検討を行う。