

## 固体高分子形燃料電池の低電流無加湿連続運転の研究

## Low Current Density Operations of Polymer Electrolyte Fuel Cells without External Humidification

総合技術研究本部 エレクトロニクス技術グループ 内藤 均、瀬上 剛、岐部 公一  
宇宙科学研究本部 宇宙探査工学系 曽根 理嗣、鶴野 雅年

Hitoshi Naito, Go Segami, Koichi Kibe(Spacecraft Electrical Engineering Group, ISTA)  
Yoshitsugu Sone, Masatoshi Uno(Department of Spacecraft Engineering, ISAS)

## Abstract

The fuel cell(FC) for space applications has special system requirements, such as operational conditions and designs due to its isolated low gravitational and closed environment, which is much different from that for terrestrial use. Polymer electrolyte fuel cell (PEFC) system for space applications has been studying in our group and several subsystems and operating methods were developed such as the closed gas operation subsystem, the counter flow methodology of working gases, and gas/water separation subsystem using wicking material, which enabled the simplification of the FC system under such environment. Usually, the temperature of the cells is controlled about 60°C to make optimum operation. However, to simplify PEFC operation, it should be run under passive heat condition, that is, without temperature control. In this study, conditions of PEFC operation were assessed to operate under passive heat condition, which was achieved by the low current density.

These results could realize the simple and practical PEFC system for space and another applications.

## 1. はじめに (研究の背景・経緯や目的等)

人工衛星、宇宙往還機等の宇宙機に搭載される機器において、小型軽量、高性能は重要なファクターになる。特に電源システムは搭載電子機器作動に不可欠なものであり、小型軽量、高効率の要求が高いため、潜在的に高いエネルギー密度を有し、小型軽量化が可能な固体高分子形燃料電池（以下 PEFC）を宇宙機用電源にすることが出来れば、宇宙機のペイロード能力向上、電源システムの効率向上等に大きく寄与できるものと期待される。そのためには、耐閉鎖環境、微小重力／高真空適合性、生成水処理等の技術課題を克服しつつ小型軽量化を図り宇宙用 PEFC（無加湿／閉鎖型 PEFC）にする必要がある。これまで、閉鎖環境に対応した燃料電池発電システムの試作機を製作し、機能確認ならびに 1kW 級 PEFC を用いた 1,000 時間を越える連続発電試験により、宇宙機への適用のための地上での実績・知見を得てきている。

この宇宙用 PEFC の実用化は、宇宙用途に限らず、産業応用として航空機、閉鎖型運転を必要とされるクリーンルーム内カート、密閉化を必要とする特殊移動体等への適用搭載が期待できる。また高層大気観測気球等においても、夜間の長時間連続運転等においては質量（エネルギー密度）の点においてリチウムイオン電池等のバッテリーよりも軽量化が可能であるため、PEFC の利用が期待されている。これらの観点において、前者については、実利用・民間への技術移転等をめざす NEDO 平成 16 年度産業技術研究助成事業として「宇宙及び民生展開を目指した無加湿/閉鎖環境用固体高分子形燃料電池の開発」に採択され、研究を実施しており、また後者については、科学研究費補助金(A)(2)に「スーパープレッシャー気球による長時間飛行システムの開発」として採択され、気球用電源への適用性について評価・検証を実施している。

本研究では、上述の助成金を受けて、宇宙空間をはじめ、地上での閉鎖空間、高層大気球における使用環境において簡素化した運用、管理下でのPEFC運転の可能性を検証することを目的とする。これまで試作してき装置を利用し、温度制御をかけず（熱管理無し）に外気温に依存したパッシブコントロール下での無加湿運転の実証試験を行い熱管理に対する適用範囲の検討を行ったので報告する。

## 2. 研究概要

## 2. 1 研究概要

宇宙用燃料電池はその搭載性、小型軽量化等を考慮し部品点数をできるだけ減らした構成が望ましい。

そのため、固体高分子形燃料電池を用いて、燃料（水素）、化剤（酸素）のガス流を対向させることで外部加湿器無し（無加湿）で連続運転することが可能であることを明らかにし、宇宙機への適用可能性の知見を得てきた（図 1 参照）。

この状態において、可能な限り簡便な運用が行えることが実用化にとってもメリットである。一般に PEFC の最適動作温度は  $60^{\circ}\text{C}$  前後であるが、そのための温度制御が必要である。これまでは温度制御をかけて、最適動作温度における連続運転試験を実施し、図 2 に示すように 1,100 時間の運転実績を得ている。（動作条件：温度  $61^{\circ}\text{C}$ 、電流密度  $0.37\text{A}/\text{cm}^2$ 。）

本試験においては簡便な運用の可能性を見出すため、温度制御をかけずに外気温に依存したパッシブコントロール下での無加湿運転を行い、熱管理の許容性についての検討を実施した。

## 2. 2 実験方法

宇宙用燃料電池としてこれまで使用してきた燃料電池スタックを用いて試験を行った。試験装置の概要を図 3 に示す。燃料電池の発電有効面積は  $162\text{cm}^2$  で、8 セルスタックである。セルスタックはセパレータ、MEA、集電用シートで構成される。それらをエンドプレートではさみ、タイボルトで固定してセルの気密性を保っている。また保温のため断熱材でセルスタックを覆っている。

燃料・酸化剤は水素ガス、酸素ガスを用い流量計で制御する。ガス流量は  $1\sim 2\times 10^3\text{ cm}^3/\text{min}$  である。また両者のガスの圧力差による電解質膜破損等を防ぐため、差圧計でモニタし差圧制御を行っている。試験条件を表 1 にまとめた。

運転環境は大気中、昼夜の気温の変化に依存した周辺温度（外気温と同等、温度制御無し）で行った。また発電時の電流は  $5\sim 30\text{A}$  ( $0.03\sim 0.19\text{A}/\text{cm}^2$ ) の低電流密度の範囲とし、電解質膜のドライアウトの影響等の評価を行った。

Table 1 Operational conditions of PEFC test

Items		Condition
Current(Current density)		5-30A ( $0.03\sim 0.19\text{A}/\text{cm}^2$ )
Operating time		Max. 100hr
Operating temperature		Ambient temperature
Temperature control	Water cooling	None
	Heating	None
External humidification		None

## 3. 成果と考察

### 3. 1 成果（実験結果）

平成 16 年秋から冬にかけて試験を実施した。発電時の電流は 5A (100hr)、7A(80hr)、10A(120hr)、30A(50hr)とし、それぞれカッコ内で示した時間連続で試験を行った。試験結果を図 4 に示す。どの電流においても連続して安定した出力が得られていることが分かる。しかし、30A で試験した状態では、発電時の自己発熱によりセル温度が  $100^{\circ}\text{C}$  程度まで上昇している。また他の電流の時に比べてセル間の電圧にバラつきが見られる。セル温度は発電時の電流に依存し、また昼夜の外気温に依存して変化していることがわかる。

30A での実験では電解質が  $100^{\circ}\text{C}$  で長時間晒されたことによる膜の劣化が原因かと思われたので、試験終了後、約  $60^{\circ}\text{C}$  で温度制御を行いながら、10A で発電実験を改めて実施した。その結果を図 5 に示す。最適動作条件で試験を実施した結果図から分かるように、セル間の電圧のバラつきは無くなり安定して運転していることが分かり、膜の劣化は生じていないことが分かった。尚、図のデータが数時間毎に不連続に変化しているのは、この試験に関しては連続ではなく、断続的に試験を実施したためである。

### 3. 2 考察

上述のように、温度制御を行わずに外部加湿無しの状態で試験を実施しても安定した出力が得られることを確認した。

燃料電池の電解質膜の特性から最適な動作温度は約  $60^{\circ}\text{C}$  であるが、今回試験した  $5\sim 7\text{A}$  ( $0.03\sim 0.04\text{A}/\text{cm}^2$ )

の低電流密度領域においては 30℃程度の温度であった。低電流密度、低温動作の場合は発電時に生成する水の量が少ないため、外部加湿を行っていない本システムでは電解質膜がドライアウトし、燃料/酸化剤ガスのクロスオーバーが生じることが懸念されたが、安定して動作することが明らかとなった。

10A(0.06A/cm<sup>2</sup>)では、流量を 1x10<sup>3</sup>cm<sup>3</sup>/min. で当初試験を行っていたが一部セルの出力が低下したため、流量を倍にしたところバラつきがおさまることが分かった。このことから、この電流密度においては流量が少ない場合は反応により生成した水の除去が十分に行えないため、フラッディングが生じていると考えられる。流量を十分に保つことでフラッディングを回避することが可能であることが分かった。

30A(0.19A/cm<sup>2</sup>)では発電時の自己発熱によりセル温度が 100℃程度まで上昇し、またセル電圧にバラつきが生じている。フラッディングによる影響並びに高温下での電解質膜の劣化が原因と思われるが、その後の試験により膜自体の性能低下は生じていないと考えられるので、動作条件の最適化を図ることで運用が可能であると思われる。しかしながら温度上昇は避けられないので運転時間の制約が生じる。

#### 4. まとめ

外部加湿無し、温度制御無しの状態で低電流密度並びに低出力での発電においても安定した動作が行えることを明らかにした。以上をまとめると得られた知見は以下の通りである。

- (1) 30-70Wクラスでの100時間の温度制御無しでの連続運転実績獲得
- (2) 低温動作 (5, 7A運転、30℃) でのクロスオーバーが生じないことの確認
- (3) 低温動作時のフラッディングの回避 (10A, 2L/min. に対処)
- (4) 高温動作 (30A運転、100℃) 対応可能 (最大50hr程度)

#### 謝辞

本研究を遂行するに当たり、上野三司氏 (現(財)工業所有権協力センター) に貴重な助言をいただいた。またAES三木祐介氏、栗又浩一氏、木口和博氏の技術支援をいただいた。ここに感謝の意を表する。また、本研究はNEDO平成16年度産業技術研究助成事業、ならびに科学研究費補助金 一般研究(A)(2)の支援の下で実施している。

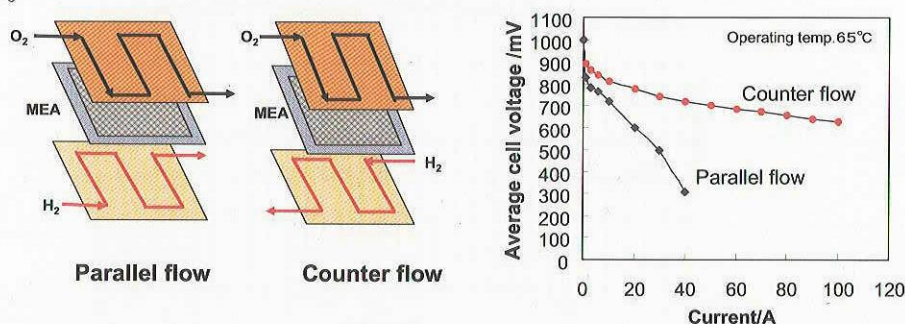


Fig.1 Comparison of gas flow direction inside the fuel cell

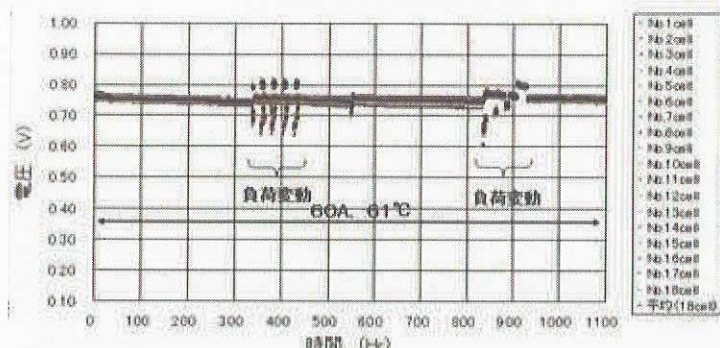
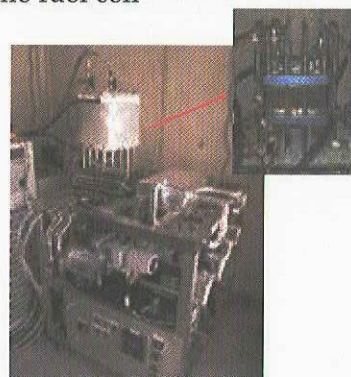


Fig. 2Continuous operation of 18-cell stacked FC system in a simulated closed environment.

Fig. 3 Photograph of Experimental setup



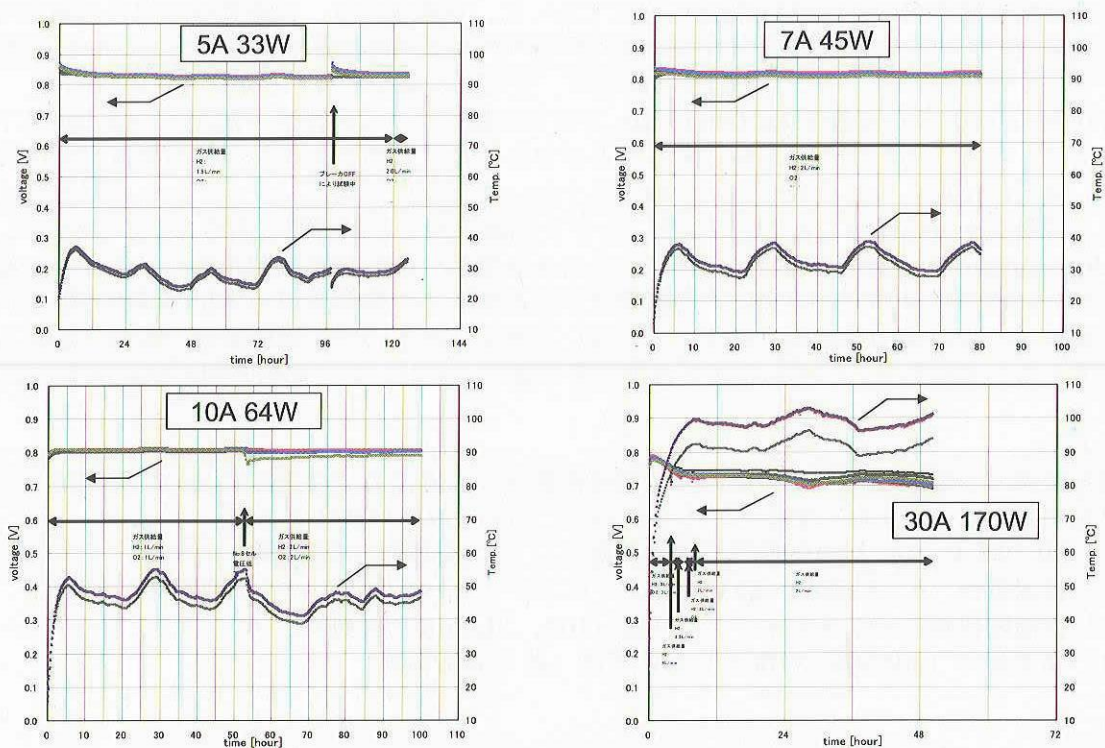


Fig. 4 Low current density operations of PEFC without external humidification.

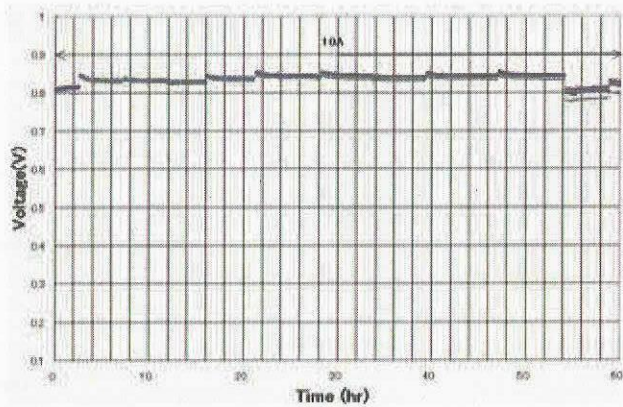


Fig. 5 Electrical performance recovery test of electrolyte after low current density operation.