

固体高分子形燃料電池の低圧環境動作特性
Polymer Electrolyte Fuel Cells Operation under Low Pressure Condition

総合技術研究本部 電源技術グループ 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 曾根 理嗣、鵜野 将年

Hitoshi Naito, Go Segami, Koichi Kibe(Space Power Engineering Group, IAT)
Yoshitsugu Sone, Masatoshi Uno(Department of Spacecraft Engineering, ISAS)

Abstract

We clarified the criteria for 100 W-class operation of the fuel cell system. We tested the fuel cell performance by the operation under low pressure condition($\sim 3\text{kPa}$). We operated the fuel cell without external humidifier and thermal controller. Though these operations, we confirmed the operational conditions by the passive control of the fuel cell system under low pressure condition.

1. はじめに

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ので、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・知見を得ている[1,2]。

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翔システムの開発」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について昨年度実施し、100W級の出力で安定した動作が行えることを確認した[3]。今年度は更に低圧環境にして試験を実施し、これまで得られた大気圧環境での試験結果との比較を通じて発電性能の圧力環境依存について検討を行ったので報告する。

2. 研究の概要

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。また一般に地上での燃料電池の運用においては、燃料電池スタックを通った後の未反応ガスはそのまま、または処理された後に大気中に放出される。宇宙用や成層圏環境での利用といった閉鎖環境では効率的な運用を考えると未反応ガスを再度ガス供給系に戻し、100%のガス消費を行うことが必要であり、ガス循環型のシステムも製作し、安定した発電が行えることも確認している。

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℃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、1,100時間の運転実績を得ている。（動作条件：温度61℃、電流密度0.37A/cm²。）また、100Wクラスの小出力時においては、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、安定した出力が得られていることも確認し、簡便な運用の可能性を確認できた。

17年度においては、更に宇宙環境や高層大気観測気球の到達する成層圏環境等を模擬した低圧環境下において、外部加湿無し、温度パッシブコントロール下での連続運転を行い、より実環境に近い状態での燃料電池発電システムの発電特性の評価を行った。

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1に示す。燃料電池の発電有効面積は162cm²で、12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1~2x10³cm³/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(1x10⁵Pa)、並びに低圧環境 (3x10³Pa) にて温度制御をかけずに100時間の連続運転試験を実施した。また発電時の電流は10A(0.06A/cm²)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)		10A (0.06A/cm ²)
Operating time		Max. 100hr
Pressure		1x10 ⁵ Pa, 3x10 ³ Pa
Operating temperature		Ambient temperature
Temperature control	Water cooling	None
	Heating	None
External humidification		None

3. 成果の概要

3. 1 成果（実験結果）

水素/酸素の未反応ガスを大気開放する方式と循環して再利用するガス循環方式の2つの試験条件で100時間の連続運転試験を実施した。また低圧環境での発電特性との比較のため、それぞれの方式に

ついて大気圧環境での試験も併せて実施した。試験結果を図2に示す。低圧環境としては $3 \times 10^3 \text{Pa}$ 程度 ($\sim 10^{-2}$ 気圧) であり、この圧力環境は成層圏の圧力とほぼ同等である。どの試験条件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。

温度は大気圧環境よりも低圧環境の方が高めにしており、また大気開放方式よりもガス循環方式の方が高くなっていることがグラフから読み取れる。

3. 2 考察

上述のように、低圧環境においても従来の大気圧環境での試験[3]と同様に温度制御無し (温度パッシブ制御) で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。

大気圧環境における 100W 出力時のスタックの到達温度は $50\text{-}60^\circ\text{C}$ であったが、低圧環境においては $60\text{-}70^\circ\text{C}$ (大気開放方式)、 $70\text{-}80^\circ\text{C}$ (ガス循環方式) と温度が上昇している。これは低圧環境下においては、対流熱伝達による燃料電池スタックの冷却が抑えられるためである。大気開放方式とガス循環方式での温度の差はガス循環方式が燃料電池発電本体において加熱された未反応ガスを再び供給側へ戻しているためである。

温度の変動は約 24 時間周期で生じているが、これは圧力が 3kPa 程度とまだ対流を無視できるほどの高真空ではないこと、真空チャンバ内に設置した燃料電池本体の取り付け治具が熱伝導パスとなり、外気温度の影響を受けることが原因と考えられる。

以上より、低圧環境においても装置を簡素化したパッシブ熱制御方式、閉鎖環境対応の燃料電池システムによる発電が可能であることを実験的に示すことができたと考える。今後更に宇宙環境を模擬できる低圧環境 ($<1\text{Pa}$) での試験により宇宙環境での適用性について検証を進める予定である。

4. まとめ

外部加湿無し、温度制御無しの状態で低圧環境下での燃料電池発電試験を行い、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。

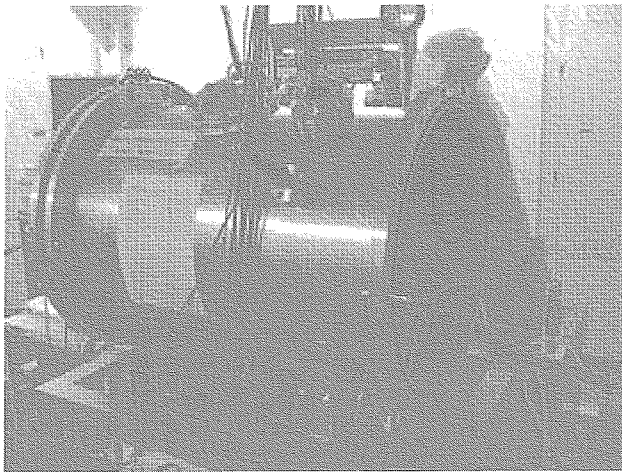
- (1) 10^{-2} 気圧の低圧環境下で 100W クラスでの 100 時間の温度制御無しでの連続運転実績獲得
- (2) 対流熱伝達の抑制により燃料電池温度の上昇を確認
また今後の課題として以下について評価方法を含め検討する。
- (3) 宇宙環境を模擬した高真空環境 (対流の影響を無視しうる環境) での動作確認
- (4) 極低温環境での自己発熱等を利用した保温特性評価

謝辞

本研究を遂行するに当たり、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。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。

参考文献

- [1] Y. Sone, M. Ueno, H. Naito, and S. Kuwajima, 2004 Joint International Meeting of Electrochemical Society in Honolulu, USA (2004)
- [2] Y. Sone, H. Naito, M. Ueno, and S. Kuwajima, 7th European Space Power Conference, Stresa, Italy (2005)
- [3] 内藤均, 曾根理嗣, 瀬上剛, 鶴野将年, 他, 第 46 回電池討論会, 3A-25, p134 名古屋 (2005).

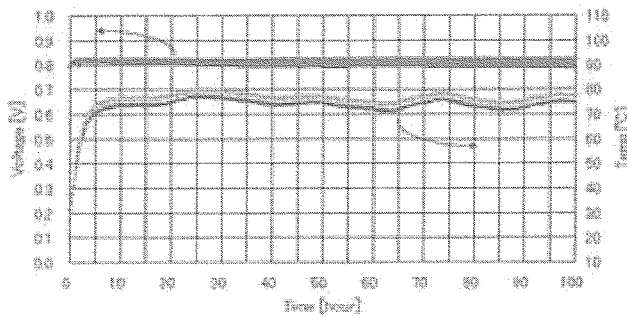


(a) Low pressure chamber

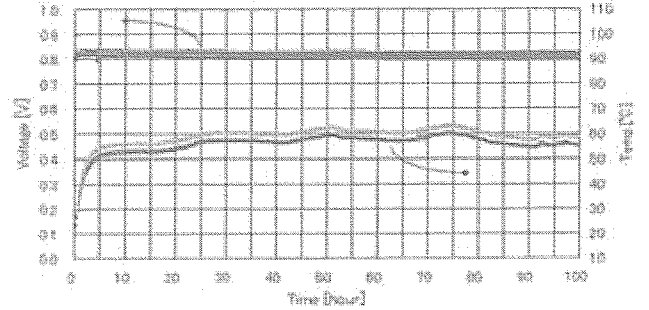


(b) Fuel cell-stack installed in chamber

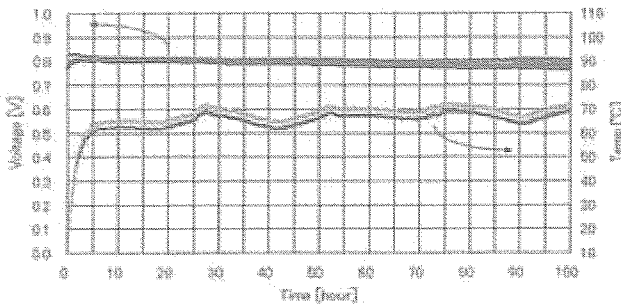
Fig.1 Photographs of the chamber in which fuel cell performance was assessed under atmospheric and low pressure conditions.



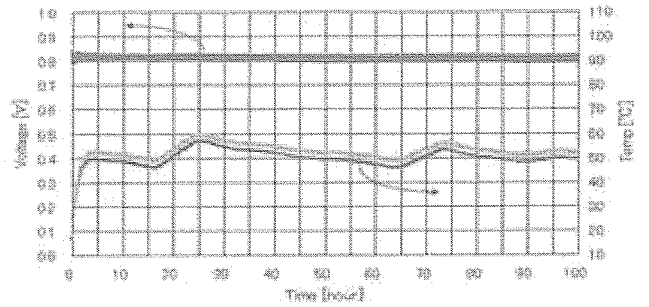
(a) Operation under low pressure and closed environment condition (gas circulation).



(b) Operation under atmospheric pressure and closed environment condition (gas circulation).



(c) Operation under low pressure and open environment condition (gas exhaustion).



(d) Operation under atmospheric pressure and open environment condition (gas exhaustion).

Fig. 2 Electrical performances of PEFC under various operating conditions.