

再生型燃料電池の研究 Fundamental study of Fuel Cells for Space Applications

エレクトロニクス技術グループ

Spacecraft Electrical Engineering Group,

内藤 均、上野三司、桑島三郎

Hitoshi Naito, Mitsushi Ueno and Saburo Kuwajima

宇宙探査工学研究系（宇宙科学研究本部）

Department of Spacecraft Engineering (ISAS)

曽根理嗣 Yoshitsugu Sone

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. We manufactured the 18 cell stack and assembled fuel cell system including the components mentioned above. It showed stable performance for 1,100 hours under various operational conditions.

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

1 はじめに

燃料電池は活物質である水素／酸素を外部に貯蔵し、発電時に電池部に供給する装置であり、活物質を内部に貯蔵した一次電池や二次電池系に比べて高いエネルギー密度を有しており、特に大電力（Wh）を必要とする宇宙機の電源として必須となっている。加えて発電に伴い水が生成するという特徴から閉鎖環境における有人ミッションにおいて極めて有効な発電装置である。

エレクトロニクス技術グループでは宇宙ステーションなどのへの軌道上サービスや、将来の種々のミッションの宇宙機に向け、長時間に亘り電力供給が可能な発電装置として固体高分子形燃料電池の研究を進めている。宇宙機は軌道上において微小重力下（ $10^{-6} \sim 10^{-8}$ G）にあり、かつ閉鎖環境下にあるため、これらの宇宙環境に適応しえる燃料電池とすることが必要である。特に、セルスタック内で生成した水分を微小重力下で分離し、発電を中断することなく系外へ排出する技術、ロケットへの打ち上げ負荷を軽減するための軽量化やコンパクト化が必要である。

平成15年度において、これらの要件を勘案し独自の生成水の分離・排出方式を有し、かつ固体高分子形に固有な加湿を簡略化した方式の燃料電池について検討し、その有効性を検証したので報告する。

2. 研究概要

当グループでは燃料電池本体も研究対象と捉え、セパレータ材料や構造、セル材料、スタック設計などを種々変えて試験を実施し、宇宙用途により適した燃料電池の開発を進めてきた。また自主開発を進めることで、多様な試験を実施することが可能となり、宇宙用としての要件を迅速に把握することができた。Fig.1 に改良を経て製作した 18 セル積層スタック（出力 1kW 級）を示す。

このようなセルスタックを幾つか製作し、無加湿化、閉鎖環境下での連続運転試験等を実施し、各種諸条件における運転特性を評価した。

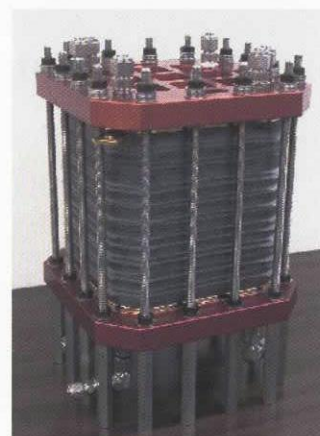


Fig.1 View of 18 cells-stack model of PEFC.

3. 成果概要

3. 1 固体高分子電解質膜への加湿の簡素化

固体高分子形燃料電池では反応を円滑に進めるのに固体高分子膜を含水状態に維持することが必須である。

地上用途の燃料電池では、酸化剤ガスとして空気を一般に使用する。空気の 79%は電池反応に不活性な窒素であることから、純酸素を使用する場合に比べ、セル電圧が低くなると共に水蒸気分圧が低下し高分子電解質膜の含水状態を維持することが困難となり、セル内部に乾燥状態がもたらされる。そのため、高分子電解質膜の乾燥を防止するため 少なくとも一方のガス供給系に加湿器を配置して運転することが一般的となっている。

一方、宇宙用途の燃料電池では貴重な反応ガスを高率利用がはかれるよう純水素、純酸素を用いることを前提としている。純酸素を酸化剤とすると酸素の下流側では水蒸気分圧が高くなり、かつ利用率を変えることで水蒸気分圧を制御することができる。我々は Fig. 2 に示すように水素と酸素の流れを互いに対向する方向に供給することで、酸素側で発生した生成水が高分子電解質膜を介して水素側に移動し、併せて水素側から酸素側への移動も生じ、セル内部の湿度を適度に保つことができることを見出した。Fig. 3 に示すように対向流化することで安定した高いセル性能が得られることがわかった。これに対し、ガス流れ方向を並行化した場合には負荷電流を大きくするとセル性能の著しい低下を示した。これは酸素の下流側近傍で水素側への生成水の拡散・移動が生ずるのみで高分子電解質膜の含水状態が全面に進展しなかったことに

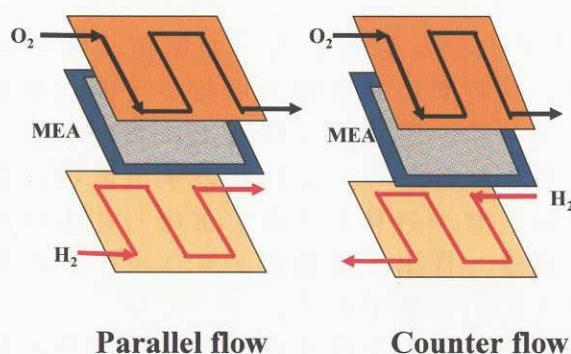


Fig.2 Concept of gas flow direction inside the fuel cell.

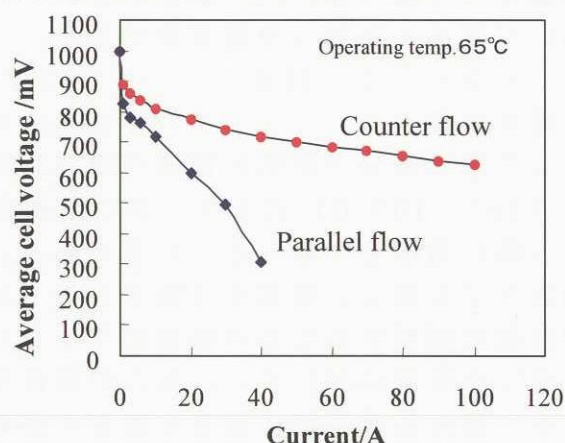


Fig.3 Difference of cell performance with changing gas flow direction

よるものである。

以上のように、セル内自己加湿による外部加湿器の不要化は燃料電池システムのコンパクト化、軽量化、およびシステム制御の簡素化に資するものと考えている。

3. 2 閉鎖・微小重力環境への適応

Fig.4 に示すように活物質として純水素および純酸素を使用し、かつガス排出口を閉塞してガス利用率の100%化を図った。しかし、酸素ラインは単なる閉塞では酸素極に生成水が蓄積・滞留しセル特性の急速な低下が生ずる。そこで酸素側生成水のセル内滞留を抑制するためにスタックの入口と出口を閉ループ化し、その間

にガス循環器を設置して循環酸素の流れで生成水をスタック外へ搬出し、かつループ内に設けたコンデンサーで生成水を凝縮・回収することとした。加えて水素、酸素の流れを先に示したように対向流化し、かつ酸素の循環量を適宜選定することで、セル内部を適正な湿度環境に維持できるよう図った。

さらに発電状態を長時間維持するには閉ループ内のコンデンサーで凝縮した水分を微小重力下で酸素ガスと分離し、発電を中断することなく系外へ排出することが必要である。そこで Fig.5 に示すようにコンデンサーの後段に、吸水性の良好な材料(wick)を収納したシリンダ状の気液分離器(separator)を設けた。これにより発電の際に酸素循環を行ってセル内で発生した生成水を気液分離器で吸収・分離することができ、微小重力下において生成水を浮遊・散逸させることなく補足可能なことがわかった。また、気液分離器は2個並列に設け、各気液分離器端部に設けた搾りだし装置(ピストン)により順次蓄積した生成水を系外へ排出することができる。これにより燃料電池を閉鎖状態で安定に運転できることがわかった。

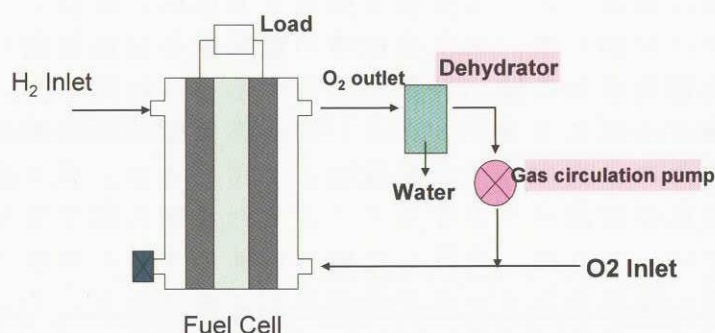


Fig.4 Concept design of the fuel cell system in a closed environment

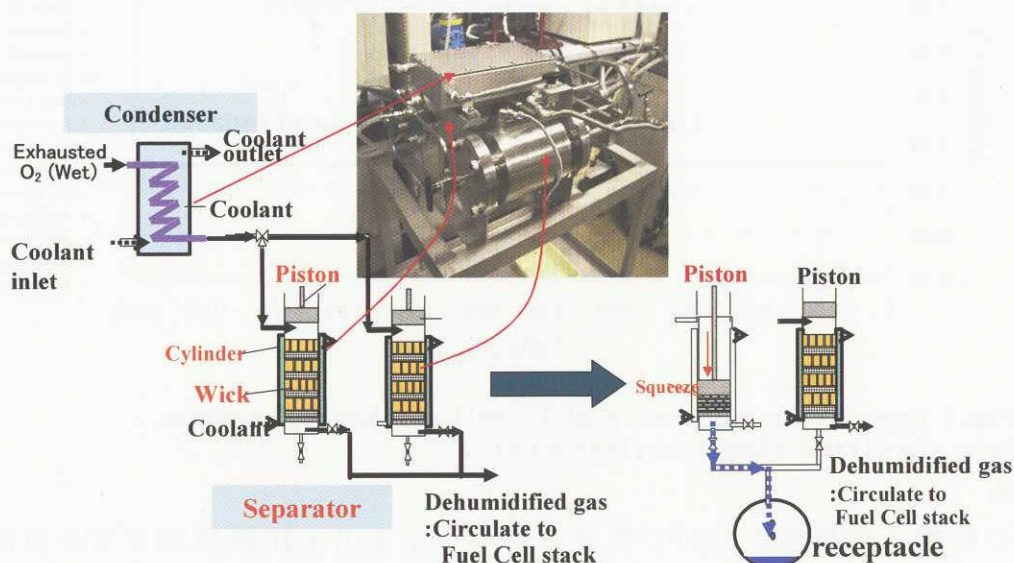


Fig.5 Schematic view of water-separation equipment for a fuel cell system in a closed environment.

3. 3 システム化による総合検証

これらの要素技術の成果を基に Fig.6 に示した BBM レベルの燃料電池システムを製作した。本システムでは燃料電池スタック、酸素循環ポンプ、コンデンサー、気水分離器、排出装置などの主要構成機器を有機的に連結し一つのラックに収納した。また発電時の電気量を自動計測し、一定の総電気量毎に排出装置が作動するように制御した。さらに試験セルは 18 スタックとした。燃料電池は高電圧化をはかるために複数のセルを積層して用いるが、ガス配流や冷却媒体の配流バラツキなどによりセル間の電圧変化が生じやすい。それ故、設計した燃料電池の良否の判断にはある程度の積層化スタックでの評価が必要である。そこで、積層効果の評価も可能で、かつ 1kW 以上の出力の取得も可能な 18 セルスタックを積層した (Fig.1 参照)。

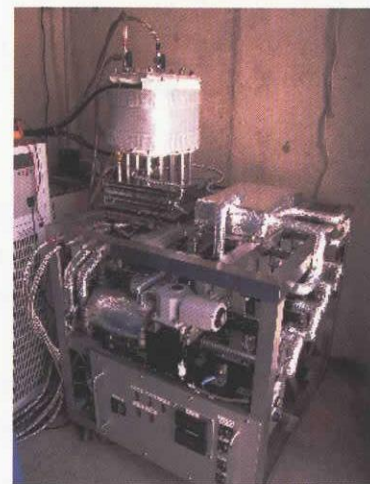


Fig.6 Photograph of fuel cell system with water-separation equipment.

Fig.7 に示すように定格電流 60A 負荷で連続試験を行い 1100 時間に亘って安定した運転特性が得られた。この間負荷変動試験、運転温度試験、ガス循環量変化などセル特性に及ぼす運転パラメータの影響についても評価した。スタック出力は 60A (0.37cm^2) で 0.8kW、150A (0.93cm^2) で 1.8kW が得られ所期の出力目標を達成すると共に、今後の大出力化の見通しが得られた。また 18 セルの電圧のバラツキは小さく、かつ 1100 時間の連続運転中においても安定していた。燃料電池の特性は電池本体のみならずガス循環系、生成水凝縮・分離・排出系、ガス配流、冷却系などの構成要素の特性を踏まえた総体的な特性である。本研究の良好な結果は各要素技術及びそれらのシステム化技術の妥当性を反映しているものと考えている。

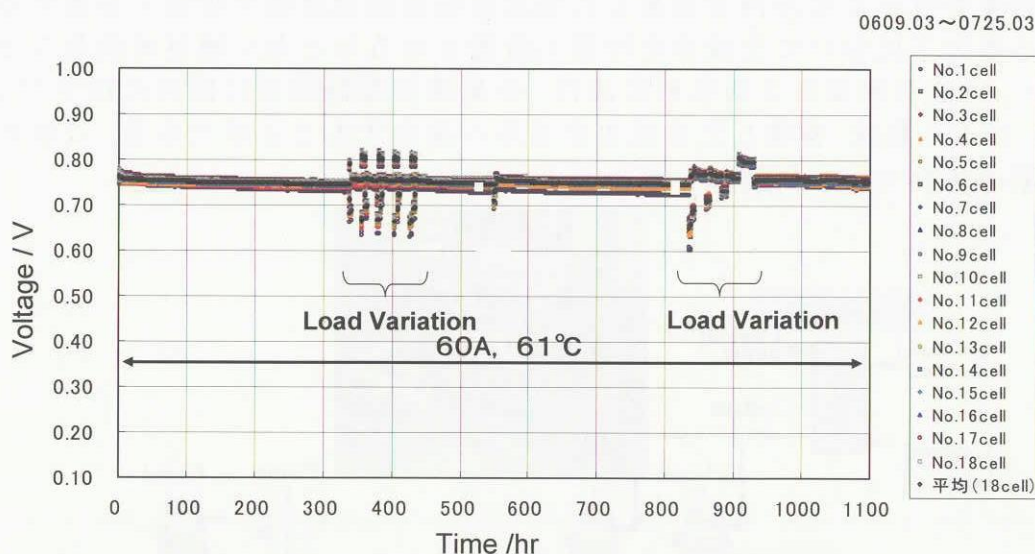


Fig.7 Continuous operation of 18-cell stacked FC system in a simulated closed environment.

4. まとめ

本研究の結果、宇宙機において想定される微小重力・閉鎖環境下で長時間 発電可能な燃料電池の基本設計指針が得られた。今後、実機搭載を目指した開発を進めたいと考えている。