

# 気球電源としての閉鎖動作型燃料電池システムの可能性

曾根理嗣 (ISAS/JAXA), 佐藤元彦 ((株)ケミックス)

## 1. 緒言

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) では、月・惑星における長期間の滞在や探査の自在性を確保するために、小型軽量な蓄電技術の研究開発を進めている。近年では、小惑星探査機「はやぶさ」や金星探査機「あかつき」等の科学ミッションをはじめ、地球近傍の観測衛星や宇宙ステーションへの補給機ミッションにおいて、リチウムイオン二次電池の適用が図られてきた。

このような中で、更に将来の宇宙探査において有人宇宙活動等を想定した場合には、大電力の供給や貯蔵が必要となると考えられており、燃料電池や再生型燃料電池の研究が進められている。

特に気球を使用した実験としては、2008年8月には成層圏領域近傍を使用した燃料電池発電部の動作試験を実施し、背圧制御のみを行う外部無加湿運転により、高度や気圧等の外部環境に依存しない燃料電池の安定な性能が確認されている。

最終的に、航空宇宙用途に燃料電池の適用を考えた場合には、この性能を長時間にわたり維持するシステム構築が必要になる。上記実証試験では、燃料としての水素と酸化剤としての酸素は、背圧制御弁を経由して外部に排気されていたが、バス機器として燃料電池を使用する際には燃料消費量を低減するために運転手法の改善が必要になる。また、よりコンパクトな構成の中で、部品点数を最小とし、短時間での連続運転や起動停止に耐えることが必要になる。またこの中で、燃料電池反応では必ず生じる水をガスから分離する技術は必須となる。

このような見地から、既に閉鎖環境で未反応ガスを循環させつつ、ガス中に混合している水分を除去するためのポンプの研究も進めており、閉鎖循環用ポンプを使用した燃料電池の動作試験や、ポンプ単体の運転試験が進められてきた。

ここでは、将来の航空機や気球ミッションなどを燃料電池の適用先と想定して実施した、燃料電池の閉鎖循環型運転における試験結果を報告する。

## 2. 設計コンセプト

燃料電池発電部としては、水素イオン伝導性の膜を使用した固体高分子形燃料電池 (PEFC) を採用した。この燃料電池は構造がシンプルであり、酸化剤として酸素/燃料として水素が使用可能であり、また室温から 80°C の比較的低温で動作ができる燃料電池であることから、管理が容易である特徴を有する。

この燃料電池の特徴を生かし、水素/酸素を発電のために供給して発電したさいの発熱を発電部自体の保温に活用する運転条件を割り出し、その状態を定常運転状態と規定することとした。また、燃料電池スタックからの放熱は地球近傍で使用することを前提として放熱フィンから放熱する設計としている。

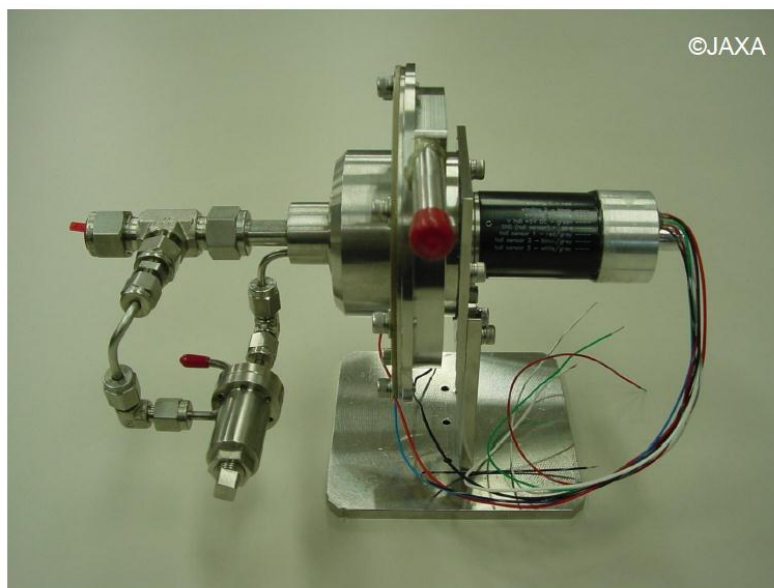


図1 閉鎖系燃料電池システムに使用する気水分離ポンプ

燃料電池では、燃料として供給される水素は発電中にプロトンと電子に分解され、酸素極側で酸素と再結合することにより水を生じる。この間の電子の移動により仕事をするシステムであるが、定常的に動作をさせるためには水を除去し続ける必要がある。

この水の除去のためには、水素／酸素それぞれの流路に水を除くための装備を設置することが一般的ではあるが、我々の系では特に部品点数の削減の観点から、水素流れは燃料電池出口で閉塞させつつ、酸素流れの経路に気液分離器を装備させ、酸素側のみで水を除去する手法を採ることとした。

この手法では、適切な手法により酸素流れ側で水を除去し続けないと、酸素側で生成する水が膜内部を拡散して水素極側に進入し、恒常的な発電を阻害する可能性があるため、酸素ガスの流速管理や水除去機能の適正化が重要になる。

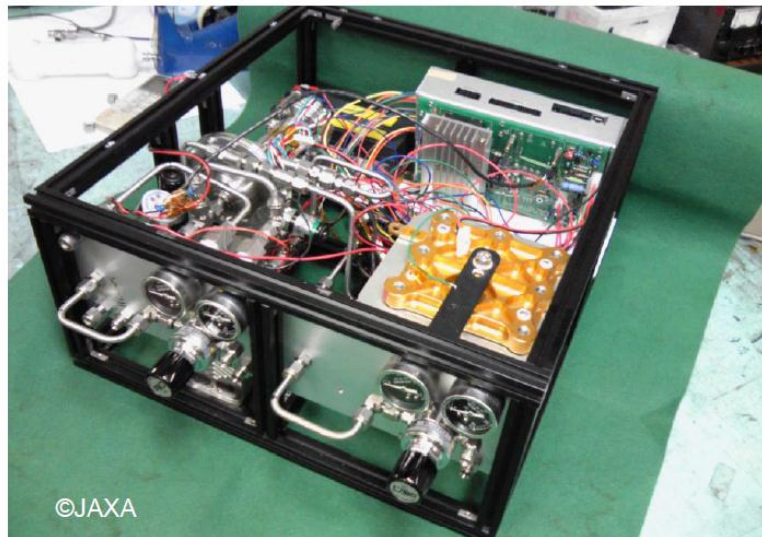


図2 100W級閉鎖系燃料電池システム デモンストレーションモデル

### 3. 閉鎖系燃料電池運転

図1には、NEDO 若手 Grant 予算の支援を受けて開発した気水分離ポンプを示した。このポンプは気液混合物を吸引し、遠心加速により水が壁面を押しつけつつ外部に排出させ、更に未反応ガスの加圧が図られつつ循環系に戻される装置となっている。

図2には、閉鎖系燃料電池システムのデモンストレーションモデルを示した。100 W 級スタックを使用し、閉鎖運転を行っている。ここでは、12 V / 100 W 級の連続運転を行いながら、気水分離ポンプから回収された水を、燃料電池反応による理論的な水の生成量と比較することとした。

実際には連続運転中の気液分離ポンプの動作電力自体を燃料電池が生成させる必要がある。ポンプの定常動作に必要な電力は 20W 程度であることが計測されており、120W 発電を行いつつ、ポンプ動作電力を確保し、余剰電力を負荷に供給することになる。

このポンプの特徴としては、低昇圧／高速循環を特徴とするポンプであり、燃料電池発電により消費される圧損を補填する機能しか無い。その状態で、酸素極側のみで水を除去し続け、水素側に水が浸入して消費される水素ガスの補填を阻害するようなことが内容に、供給される酸素量は大過剰であることが運転の大事な前提となる。ただし、水素／酸素間に差圧が 50 kPa 以上存在すると使用している固体高分子膜が破損する恐れがあるため、差圧が立たない運用をしつつ、入力圧は 150 kPa をノミナルとして運用を行うこととした。

また、実運用では大切になる自律動作機能を付与するために、当該システムはマイコンによる制御を可能にし、あらかじめインプットされている動作手順に従い起動し、連続運転中には電圧をモニターして必要に応じてパージ等の安全策が講じられるように設定した。また、この機能にはプログラマブルな要素を持たせており、必要に応じてパージ条件などは変更が可能になっている。

更に重要な点としては停止手順の確立であった。

燃料電池は停止期間中に特に酸素極側の触媒である白金が酸化され、性能が低下することが知られている。これを防ぐために適切なパージと停止手順が必要であるが、内蔵されている機能に

より、安定化が図られる設計となっている。

図3には、上記燃料電池システムを使用し、この試験においては、カソード（酸素）側に気水分離ポンプを取り付け、アノード（水素）側は閉塞しての運転を行った際の、電圧と温度の変動を示した。

この試験では特に水素極側への水の進入状態を知るために、30分を目途に水素極側の排気ポートを開き、パージを行った。このときのパージ時間は、十分な排水が可能のように2秒としている。更にはこの間に回収される酸素極側の気液分離ポンプによる回収水分量を定量し、理論的に生成する水の量と比較しつつ、ポンプの動作妥当性や設計コンセプトの妥当性評価を行った。

図4には、それぞれの極側の排気ラインから回収された水分量をしめしている。当初起動時には、燃料電池温度が低いこともあり、水が凝縮しやすく、水素極側からもある程度の水が回収されたが、1時間を経た後にはこの量は定量できる下限界に近く、ほぼ全量の水が酸素極側から回収されていることがわかる。

上述のようにこれらの動作は定められたシーケンスにより自動立ち上げおよびコマンド送信後の自動立ち下げが可能な状態となっており、早期の飛翔体への適用が可能な状況にある。

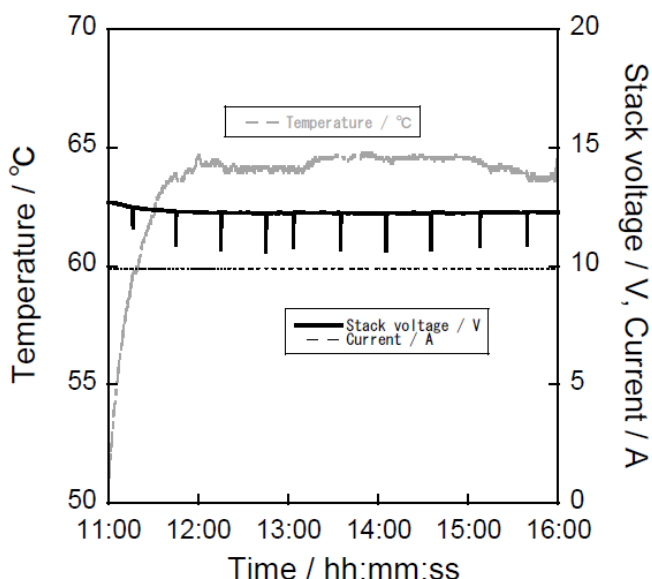


図3 燃料電池連続発電中の水回収状況

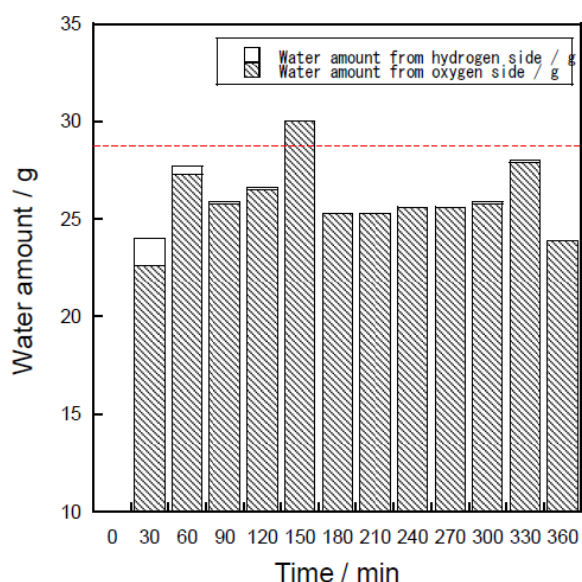


図4 燃料電池連続発電中の水回収状況

## 5. まとめ

JAXA では、月惑星探査や有人宇宙活動にむけた閉鎖系燃料電池や水電解手法、更にはこれらを組み合わせた再生型燃料電池の研究を進めてきた。特に、これらの系を循環制御するコンポーネントとして、気水分離ポンプの試作や運転試験を行い、システムの成立を実現すべく研究を進めている。

特に燃料電池システムについては、部品点数の絞り込みや、自動制御化が図られた状態になっており、早期の飛翔体への適用が可能な状況にある。

## 謝辞

これらの研究を実施するにあたり、その一部は、JST A-STEP 予算「研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム フィージビリティスタディ【F S】ステージ」における探索タイプ「閉鎖循環型燃料電池の実用化検討」の支援を受けて実施されました。

関係各位に深く御礼申し上げます。