

航空宇宙用燃料電池に係る研究の新しい展開  
Development of the Fuel Cell for Aerospace Applications.

宇宙科学研究本部  
Institute of Space and Astronautical Science

報告者代表：曾根理嗣  
Yoshitsugu Sone

### Abstract

Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is now developing polymer electrolyte fuel cell (PEFC) systems that can be applied to the high altitude balloon, transfer vehicle, and space crafts. We designed the fuel cell system for low pressure environment where the working gases were supplied by the counter-flow method and the temperature of the system was passively controlled by the heat generated from the fuel cell stack. We assembled the system and are testing its performance under the thermal vacuum conditions.

Furthermore, we started the development of a fuel cell system which can be operated by the propellants for spacecrafts. We tried to operate the fuel cell using Hydrazine and Nitrogen Tetra Oxide. Through our measurements, stable generation of electricity was observed using PEFC. We also tried to measure the performance of the PEFC using the propellants with additives in order to decrease the melting point of the propellants.

### 1. はじめに

近年、定置型発電用あるいは電気自動車用に固体高分子形燃料電池(PEFC)が注目を集めており、活発な研究開発が進められている。これらの PEFC は大気環境下での運用を前提としているため、空気を酸化剤として使用することが多く、このため燃料電池に供給される空気中の窒素をたえず排気する必要がある。固体高分子形燃料電池では、固体高分子膜内部に存在する水を媒体としてプロトンが伝導されるため、燃料電池内部は常にある程度の水が存在する必要があるが、酸化剤として空気を使用する系においては、排気に伴い燃料電池内に存在する水が系外に排出されるため燃料電池内部は乾燥しやすい状態となる。このため燃料電池へ供給するガスにはたえず加湿を行い、燃料電池スタック内部の湿度環境を維持する必要がある。

一方、高高度を飛翔する気球や、成層圏領域に滞空する飛行船、あるいは宇宙機等においては、周囲が減圧状態になり、断熱真空環境となる。このような隔絶された閉鎖環境で使用される燃料電池では、搭載性を考慮し、受動的制御が可能であるシステム構成が望ましい。われわれは、この観点から、これまで燃料として水素を、酸化剤として酸素を使用する PEFC の系において、ガス流を対向させることで外部加湿を行わずにスタック内に滞留する自己生成水にて連続運転を継続することが可能であることを明らかにし、PEFC の宇宙機への適用可能性に係る知見を得てきた。この中では、燃料電池からの生成水を除去し、かつガスを循環させる機能等を PEFC に付与する検討を進め、報告してきている。

現在では、特に閉鎖環境用燃料電池のシステム構築や気球等への搭載性を考慮した 100W 級燃料電池の設計/試作等を進めている。ここでは、発電時における問題点の抽出/制御上の課題抽出等をすすめて、発電時に燃料電池からの生じる自己発熱によりパッシブな熱制御を行い、連続運転を可能とする

運転手法についての検討をすすめている。

また、深宇宙探査に向けた燃料電池の研究開発も開始している。人工衛星等の宇宙機では太陽電池と組み合わせた二次電池を電源として搭載し、宇宙機が地球等の陰に入る期間（日陰時）の電力確保に使用する。ただし、惑星探査機では軌道上の多くの期間では遮蔽物が存在せず、二次電池は不具合時等の姿勢回復用の電力確保を主たる目的として搭載される。このように運用期間の大部分において電池を保管する場合、電池の凍結防止やコンディショニングに電力を必要とし、電池を管理するための電力確保が課題となる。一方、宇宙機においては姿勢制御用に燃料と酸化剤を搭載している。推進剤は多くの場合ミッション終了時までのマージンを見越して搭載されており、この余剰分を電力に転換可能となれば電池質量を軽減して宇宙機の運用性を向上させることができる。既に、宇宙機に一般的に搭載される推進剤であるヒドラジン系燃料と四酸化二窒素（ $\text{N}_2\text{O}_4$ ）等の酸化剤と反応させることにより燃料電池の発電試験を実施しており、良好な結果が得られつつある。

ここでは、これらの航空宇宙用燃料電池の研究開発にかかる最近の試みについて報告する。

## 2. 研究概要

平成 18 年度は以下の項目について研究を行っている。

### 2.1 水素／酸素を使用した燃料電池について

新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託および科学研究費補助金による研究委託を受け、総合技術研究本部と宇宙科学研究本部の協力のもとで進めている。また本検討においては法政大学やストックホルム王立工科大学等と協力しつつ、宇宙科学研究本部の大学共同利用機関に順ずる機能を生かした研究体制を構築しつつある。

本研究では、ガスを循環させつつ燃料電池からの生成水を除去する機構の開発や、断熱真空環境の下での燃料電池の運転試験等を行なっている。

ガス循環用に、気水分離機能を有するポンプの試作を行なった。燃料電池から排出されるガスを、再度昇圧して燃料電池に再供給する際に遠心力により水を除去する機能を有するポンプであり、小型軽量化を目指した試作を実施している。

また、スーパープレッシャー気球への燃料電池の応用を想定して、高高度において使用される燃料電池の試作も進めた。ここでは特に 100W 級の燃料電池のシステム製作を実施しつつ、運用手法の習得等をすすめている。

### 2.2 深宇宙探査用燃料電池について

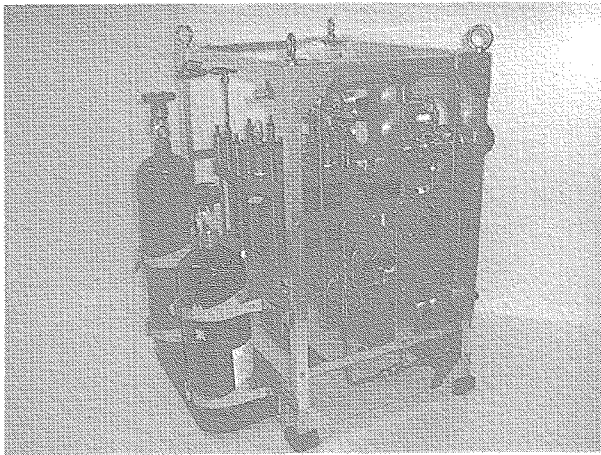
燃料としてヒドラジンあるいはモノメチルヒドラジン等を使用し、酸化剤として  $\text{N}_2\text{O}_4$  系酸化剤を使用した燃料電池の発電試験および材料適合性試験を進めている。

この中では、無水ヒドラジンを使用した、より衛星運用に近い状態での燃料電池の発電試験も試みている。また、特に燃料であるヒドラジンは  $0^\circ\text{C}$  近くで凍結を起こすため、運用性を向上させるためにも凝固点を降下させつつ、燃料電池用燃料として使用可能であるか、検討をすすめた。

## 3. 成果の概要

### 3.1 水素／酸素を使用した燃料電池について

NEDO からの委託研究として、閉鎖環境用燃料電池の試作検討を進めている。スタック部分の熱真試験は既に実施しており、100 W 級燃料電池システムとしての閉鎖環境運転を実施すべく、設備の整備を進



Mass : 80 kg  
 Size : 500 mm × 500 mm × 600 mm

- 12V/100 W-class fuel cell system  
 Polymer electrolyte fuel cell  
 High power density stack
- Operative without external humidification  
 Simple system is realized.
- Passive thermal control  
 Operation with low current density to realize  
 the passive thermal control
- Light weight design  
 CF tanks to realize the weight reduction.

Fig. 1 100 W-class polymer electrolyte fuel cell system without external humidification.

めている。既に燃料電池システム全体を収納可能な熱真空試験設備の準備を終えており、燃料電池からの排気系を含むシステム全体を熱真空環境として、連続運転試験を実施可能な状態となっている。図1には試作された100 W級燃料電池システムを示した。

また、燃料電池に組み込み、閉鎖空間で運転可能な燃料電池とするためのガスの循環ポンプの試作を進めている。このポンプは、特に酸素ガスラインに組み込まれ、燃料電池から排出されるガスを昇圧して燃料電池に再度供給するとともに、その過程で水分を分離除去するためのポンプである。既に一次試作を終了しており、燃料電池システムに組み込んだ運転試験に向けて準備を進めている。

大気球やスーパープレッシャー気球等への応用も想定し、100 W級発電が可能な燃料電池システムの試作を実施した。ここで試作した燃料電池システムは12V/100W級システムである。ここでは特に、これまでの知見を生かして供給ガスとして純水素と純酸素を対向して供給することにより外部から無加湿状態で燃料電池を運転する手法を取り入れている。また、外部環境が断熱真空状態になっても燃料電池スタック内部は圧力が保たれるように燃料電池の入口圧と出口圧を制御し、背圧制御により安定な燃料電池の内部環境が保たれるように設計を進めた。

### 3.2 深宇宙探査用燃料電池について

発電試験にはケミックス製PEM-004DMを使用した。このセルはダイレクトメタノール形燃料電池(DMFC)用に製作されたものであり、一部改修を施すことによりアノードおよびカソードにガス/液を連続供給できるようにしている。極板面積は4 cm<sup>2</sup> (2 cm×2 cm)であり、固体電解質としてNAFION 112を使用した。アノード触媒としてPt/Ru (3 mg/cm<sup>2</sup>)、カソード触媒としてPt (1 mg/cm<sup>2</sup>)とし、ガス拡散層には東レTGP120を使用した。燃料にはモノメチルヒドラジン(MMH)やヒドラジンあるいはそれらの混合物を使用し、酸化剤にはNT0等を使用した。

図2には、種々の燃料および酸化剤による発電結果を示した。また、これらの図には比較のために当該セルを使用し、アノードにメタノールを、カソードに空気を使用した発電時の特性を合わせて示している。燃料としてMMHを使用した場合、十分なI-V性能を得ることはできず、発電を維持することも困

難であった。一方、MMHにヒドラジンを混合した場合、発電性能の向上がみられた。ここで得られた結果は、当該セルを使用してDMFCとして使用した場合と比べても発電電圧が高く、また十分な出力が得られることを示唆するものであり、衛星推進剤を使用した燃料電池発電の妥当性を示すものであった。

反応に使用した燃料のうち、モノメチルヒドラジンは凝固点が低く、低温での保管が可能であることから燃料としては有利であるが、その一方で腐食性が高く、また燃料電池反応では反応活性が低いという

欠点があった。一方、ヒドラジンはモノメチルヒドラジンに比べると燃料電池反応の活性は高いものの0℃付近で凝固することから、実運用においては燃料の凍結防止のための電力を必要とする。

更に、より実運用に近い試験とするため、アノード側にヒドラジン無水物を供給し、カソード側にNTOを供給して燃料電池の発電を試みた。図3には発電時のI-V特性および出力特性を示した。発電開始時の開放状態において、セルは1.8V近い高い出力電圧を示した。これは、ヒドラジンの高い反応活性と、NTOの強い酸化力によるものであると考えられる。このように高い開放電圧を示す一方で、発電時の電流密度を高くすると電圧は直線的に低下した。ただし、初期電圧が高いことから、良好な出力密度が維持されている。

この燃料電池反応を電流密度1.2 mA/cm<sup>2</sup>に維持する試験を実施した。試験は大気環境下において実施しており、試験開始時のセル温度は32℃程度であった。その後、通電時に燃料電池温度は徐々に上昇したが、25分程度試験を実施した際の温度上昇幅は2℃程度と軽微であった。この間、出力電圧としては、1.65V程度が常に維持されており、出力としては、2.0 mW/cm<sup>2</sup>程度が常に得られていた。この出力は試験を継続実施した25分間程度では、常に一定の値を維持しており、ヒドラジン/NTO系の衛星推進剤による発電が継続的に可能であることを示唆する結果が得られている。

既に、ヒドラジン系燃料やNTO系酸化剤に対する燃料電池材料の適合性試験を実施している。この試験により選定された材料を使用した燃料電池スタックの製作も終了しており、現在連続運転試験に向けた準備を進めている。また、ヒドラジンに対して凝固点を降下させるための添加剤を加え、燃料としての凝固点を降下させつつ燃料電池反応に使用する検討を進めている。

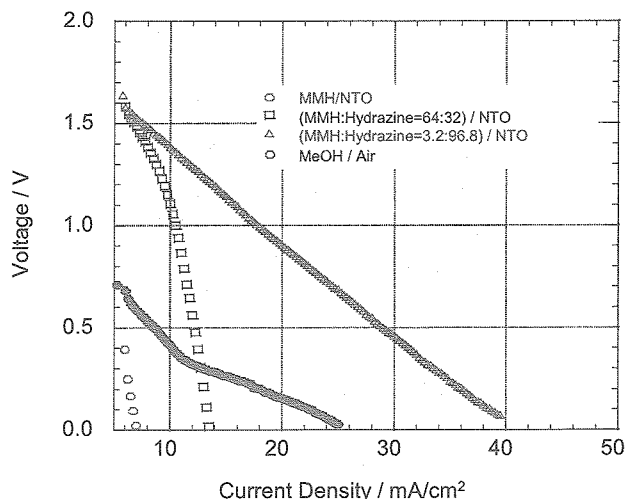


Fig. 2 Fuel cell operation using spacecraft propellants.

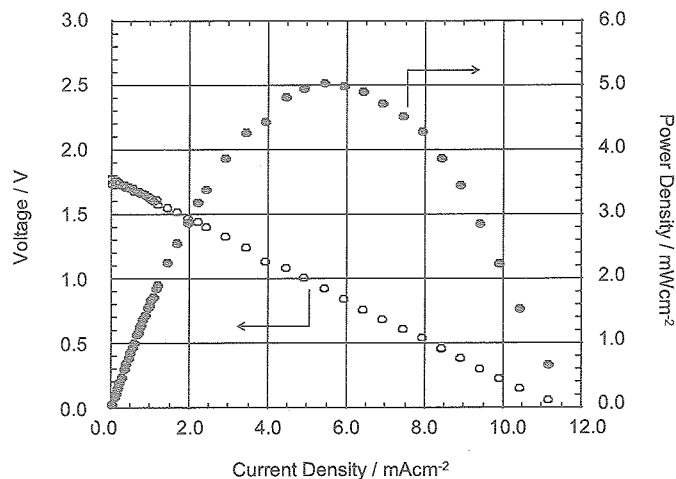


Fig. 3 Operation of the Fuel cell using hydrazine and NTO.