

Development of Regenerative-Fuel-Cell-System for Microgravity Environment

Shintaro Hamada, Tokyo University of Science

1-3, Kagurazaka, Shinjuku, Tokyo 162-8601, Japan

Yasunari Hashimoto, GK Space Energy Systems

2650-13, Sanga, Imizushi, Toyamaken 939-0341, Japan

Koji Tanaka, Takanobu Shimada, Susumu Sasaki,

Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of space and Astronautical Science

3-1-1 Yoshinodai, Chuoku, Sagamiharashi, Kanagawa 252-5210, Japan

Abstract:

We are developing a water cycle energy system for the microgravity environment. This system that consists of fuel cells and water electrolysis cells is a power supply and storage system.

The features of this system are as follows.

- (1) Water is used as a medium for the energy conversion in this system.
- (2) This system has no notion of depth of discharge or natural discharge unlike the conventional battery systems.
- (3) Power-to-weight ratio of this system will be further improved for the larger power systems.
- (4) This system is expected to be combined with the thruster that utilizes oxygen and hydrogen or the life support system of the spacecraft.

We thought that discharging water and humidity control will affect the performance of the fuel cell. We designed and fabricated a prototype model of the fuel cell with a sintered metal as diffusion electrodes for microgravity environment. A fuel cell with sintered metal can be expected to achieve the proper water management by capillary action. We compared the conventional standard fuel cell and our prototype fuel cell by the experiments. Also, we carried out the experiments in order to conform the effect of the direction of gravitational force.

無重力環境下での使用を目指した循環型燃料電池システムの開発

濱田慎太郎(東京理科大学)、橋本保成(宇宙エネルギーシステムズ)

田中孝治、嶋田貴信、佐々木進(ISAS/JAXA)

1. 概要

我々は燃料電池と水電解装置を用いた無重力環境用の「水サイクルエネルギーシステム」の研究を行っている。更に我々はエネルギーシステムとしてだけではなく、推進系や鉱物採掘時の還元剤としての応用も検討している。このシステムは出力容量が大きくなればなるほど質量エネルギー密度が上昇する特徴があり^[1]、大容量電源装置が求められる大型通信衛星・長期間運用探査機・月面基地などのへの採用が期待される。論文[2]においてある一定以上の出力を持つ循環型燃料電池システムの質量エネルギー密度が同出力のリチウムイオン2次電池電源システムを超える可能性も示唆されている。本システムでは、燃料電池のコアに陽イオン交換膜を持ち常温~90℃の温度域で動作する固体高分子型燃料電池(PEFC)を使用している。

本論文では無重力環境で安定動作させるために試作した新構造セルの実験結果に関して述べる。

2. 水サイクルエネルギーシステム

燃料電池は水素と酸素の結合反応によって流れる電流を電力として取り出す化学電池の一種である。水生成は発熱反応のため放熱も起きる。電池という名前は付いているが通常の化学電池とは異なり、水素・酸素を燃料として供給し発電を行なうため、放電深度という概念が存在しない。

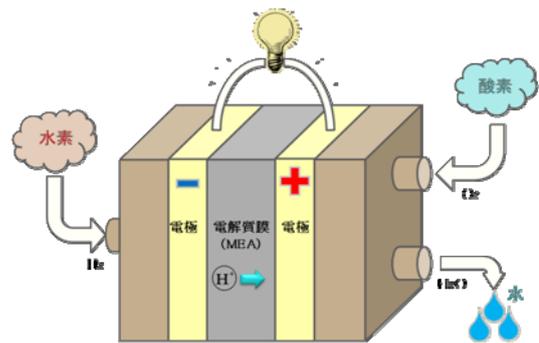


図1 燃料電池の仕組み

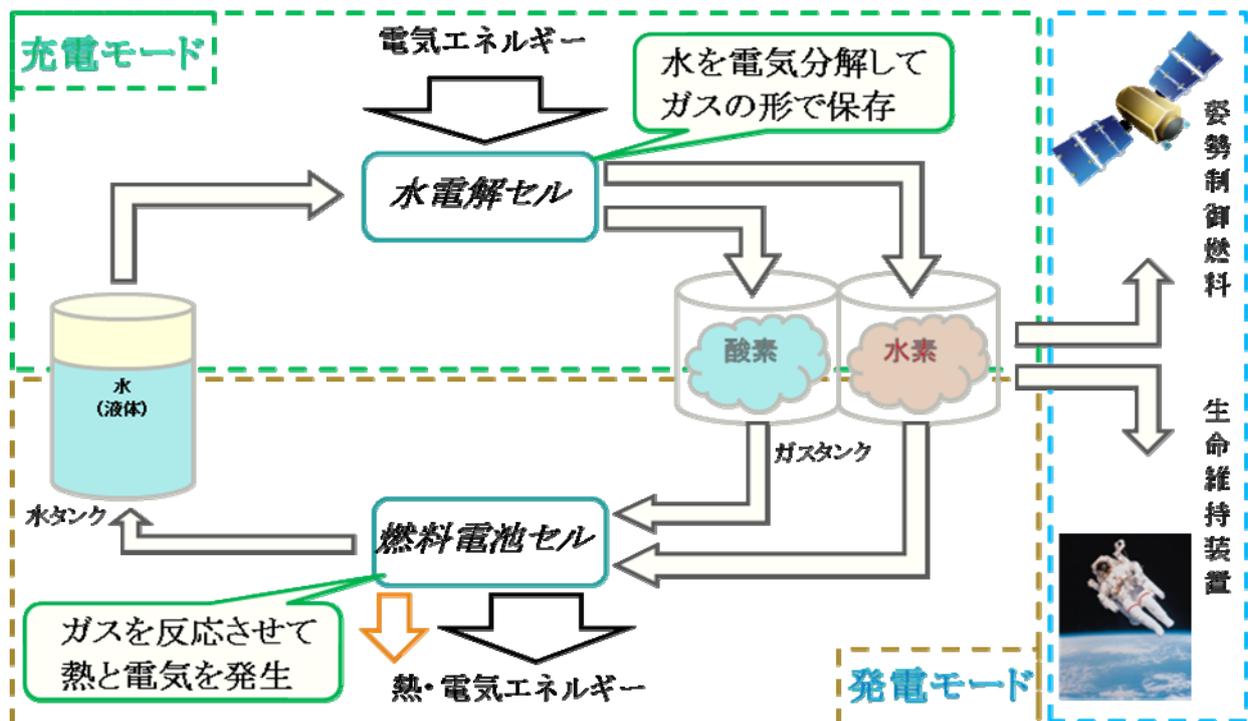


図2 循環型燃料電池(水サイクル)システム

水サイクルエネルギーシステムは、燃料電池と水電解装置を基幹とした充放電電源システムである。システムの

エネルギー媒質は“水”を利用する。太陽電池パドル等で発電した電気エネルギーを水電解セルに与え水の電気分解を行い酸素・水素ガスの状態で保存する。電力が必要となった時は、保存した酸素・水素ガスを燃料電池セルに供給し電気エネルギーを取り出す。発電時、熱も発生するため機体の温度維持に利用可能である。また合成された水は回収され貯蔵される。水電解セルは燃料電池の逆反応を行うセルであり、触媒以外の構造はほぼ同じである。従来の2次電池と異なり放電深度による性能劣

化が無いため貯蔵ガスを使いきっても水電気分解を行いガスの貯蔵を行えば問題はない。また、エネルギーをガスの形状で保存するため自然放電のようなエネルギー減少は起こらない。

水素、酸素ガスを姿勢制御用スラスタの燃料として供給したり、有人探査においては生命維持装置と組み合わせることで探査機のシステム重量を減らすことも可能となる。

3. 燃料電池セルの試作・評価

燃料電池の性能は、反応面の適切な水分管理によって大きく左右される。地上用燃料電池は重力下での運用を前提としており、余分な水分の排出は重力とガス流速で行っている。無重力環境用の燃料電池セルを設計する上で、水分管理部分を再設計する必要がある。

水の排出が適切に行われないと燃料ガスが膜面に十分供給されず性能が低下する。ここで重要となってくるのは拡散電極の選択と考えられたため、標準燃料電池とは異なる材質の拡散電極を組み込んだ試作セルを製作した。無重力環境下においてもガスが均一に拡散し、尚且つMEAを適度に保湿しつつ余分な水を確実に排出する構造として今回は金属焼結体を選択した。

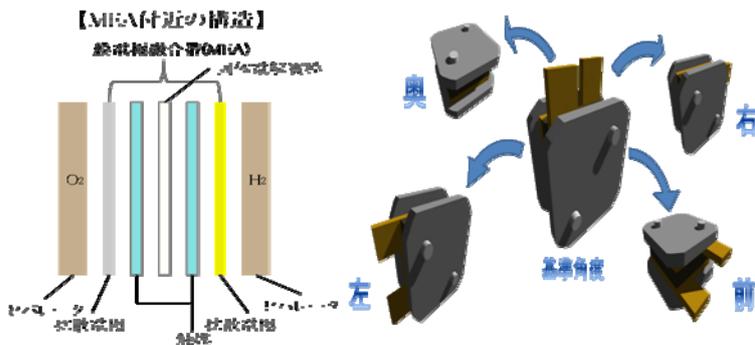


図3 燃料電池セルの構造

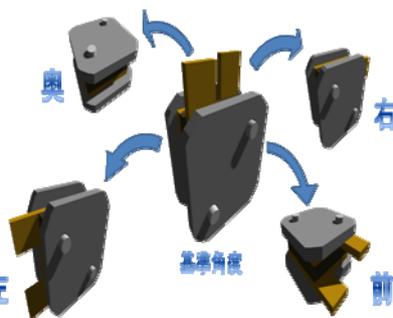


図4 測定パターン

今回の研究においては、標準セル/試作セルとも触媒面積が25cm²でカーボンセパレータタイプのPEFCを使用している。

3.1.1 標準燃料電池セルの重力方向による影響実験

比較データ取得のため拡散電極にカーボンペーパーを使用する標準燃料電池セル(JARIセル)を用い重力方向による性能への影響を測定した。測定条件として角度を図4のように変えた5パターンにガス入出力ポートを入れ替えた3パターンを加え、計8パターンについて出力

特性を測定した。測定条件は、セル内部温度は40~45℃、加湿量は17℃(1.9%)、ガス流量は酸素183sccm、水素183sccmとしている。

3.1.2 実験結果

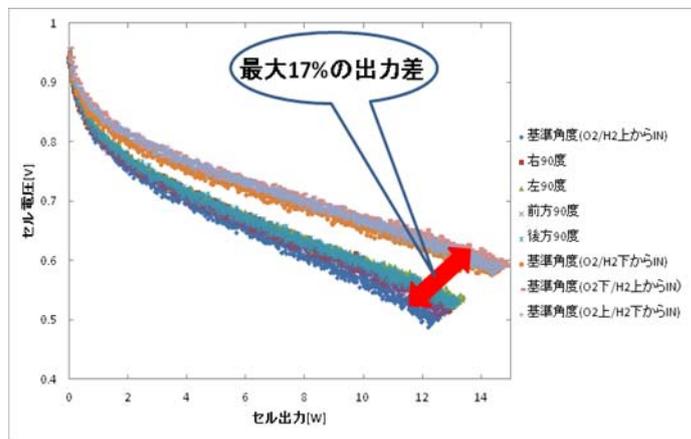


図5 測定パターンごとの電力電圧特性

測定結果を図5に示す。セル出力が大きく2つのグループに分かれた。出力差は最大で17%となった。燃料電池セルの出力が重力方向に対して大きな影響を受けることがわかった。

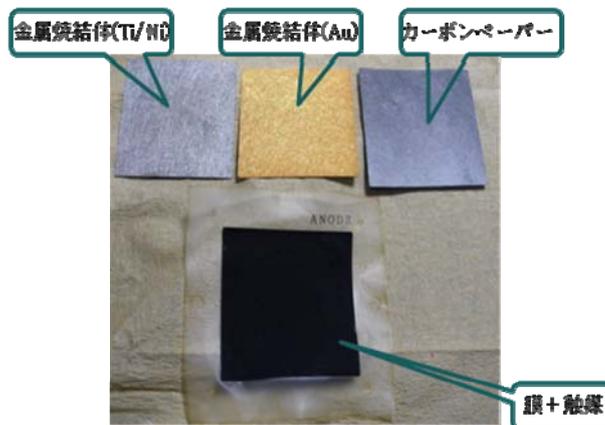


図6 イオン交換膜と拡散電極

3.1.3 試作燃料電池セルの重力方向による影響実験

拡散電極を金属焼結体へ入れ替えた試作燃料電池セルについて同様の測定を行った。図 6 に MEA と拡散電極を示す。

金属焼結体拡散電極の厚みはカーボンペーパーと比較し 3 倍ほどあるためインピーダンスの増加が予想された。図 5 を見るとセル出力が大きく 2 つのグループに分かれている。指標として性能が出ている上のグループから「基準角度(O₂上 /H₂下から IN)」を、下のグループから「左 90 度」の 2 つを選び、この条件について以降の実験を行った。

測定条件は拡散電極が金属焼結体、セル内部温度は 45 ~ 55°C、加湿量は 17°C(1.9%)、ガス流量は酸素 215sccm、水素 215sccm としている。183sccm のガス流量では安定動作しなかったためガス流量を少し増やした。

3.1.4 実験結果

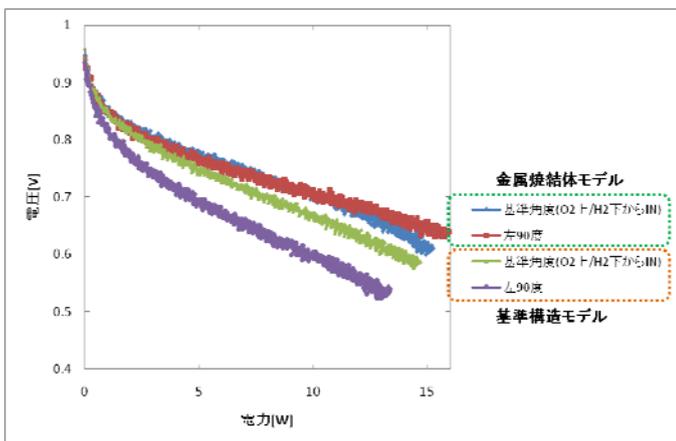


図 7 試作セルと標準セルの電力電圧特性

図 7 に測定結果を示す。金属焼結体を拡散電極に採用したモデルにおいて、角度パターンにより確認された性能差は最大 4% となりカーボンペーパーを使用したモデルと比較し、重力方法依存の減少が確認された。基準構造モデルの結果は実験 1 を比較用にプロットした。

3.2.1 長時間稼働による影響実験

拡散電極を変更したことによる、より詳細な効果を観察するため長時間稼働による性能測定を行った。また測定条件の変更(加湿量増加、供給ガス比率増加)を行った。これは、標準セル・試作セルを同条件で稼働させるためである。供給水分量による性能を比較することによって拡散電極の水分保持性を比較する。起動直後(30 分間のソフトスタート)後と 25A 出力で 6 時間経過後について電流電圧特性と周波数インピーダンス特性の測定を行った。

測定条件は拡散電極が金属焼結体とカーボンペーパー、セル内部温度は 50~55°C、加湿量は 43°C(8.7%)、ガス流量は酸素 219sccm、水素 227sccm としている。コールコールプロットは 10%変動による値を測定した。

3.2.2 起動直後の測定結果

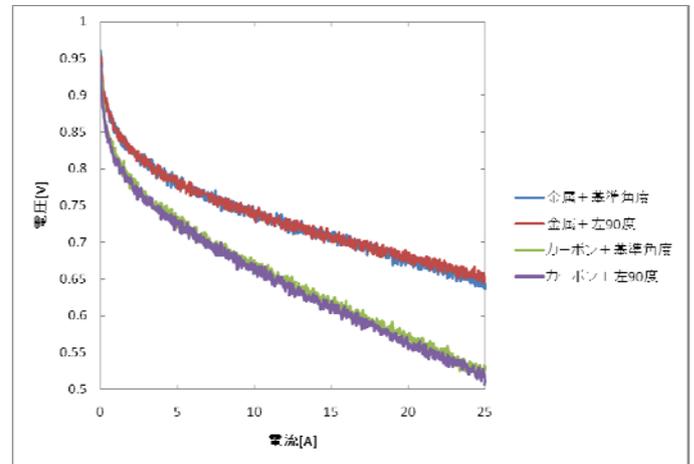


図 8 起動直後の電流電圧特性

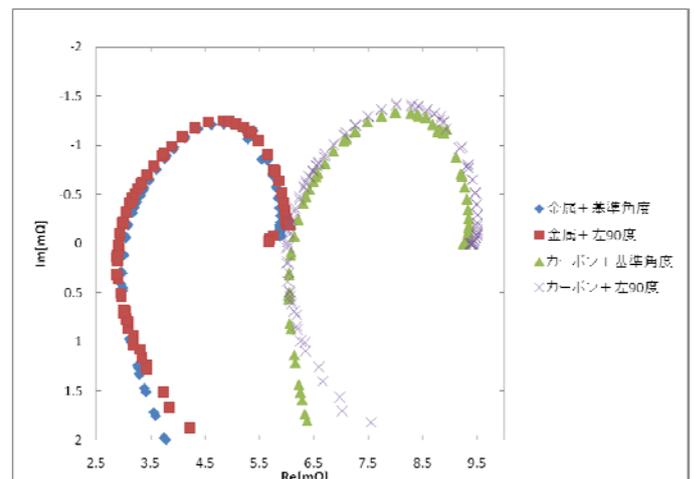


図 9 起動直後のコールコールプロット

図 8、9 に測定結果を示す。試作セルを「金属」、標準セルを「カーボン」と表記している。

加湿量を増やしているため角度毎の性能差はどちらも縮小しているが、懸念されていた内部インピーダンスの増加はコールコールプロットの結果からも解るように構造による抵抗を含む溶液抵抗が標準セルに対し試作セルは 48%程度に減少した。そのため、ジュール損が減少し、I-V 特性では 26%(@25A)の出力性能差が確認できる。

3.2.7 6 時間経過後の測定結果

測定結果を図 10、11 に示す。試作セルを「金属」、標準セルを「カーボン」と表記している。

基準構造モデルの 25A における性能差は 5.1%である

のに対し金属焼結体モデルの性能差は約 1.8%と減少が確認された。コールコールプロット測定の結果は起動直後のものと同様に試作セルの溶液抵抗が標準セルに比べ 50%程度に減少している。

3.2.8 考察

6 時間以上の安定運転が確認でき、発電特性について基準構造のモデルより高い出力が得られた。起動直後と 6 時間経過後の I-V 特性を比較すると標準セルの出力が上昇していることがわかる。これに対し、試作セルの出力はほとんど変化がない。これは起動直後から金属焼結体が膜面へ安定した水分供給を行っていたためと考えられる。また、コールコールプロットの結果を比較すると、6 時間経過後の標準セル角度毎の反応抵抗に起動直後より開きが確認できる。これに対し、試作セルの反応抵抗に大きな変化は見られない。これは金属焼結体が膜面からの適度な排水を行えているためと考えられる。

4. まとめ

無重力環境下向けの水サイクルエネルギーシステムで使用する燃料電池セルについて、金属焼結体拡散電極を採用したセルの試作を行った。また試作セルにおいて長時間運転試験を行い、金属焼結体拡散電極による内部インピーダンス低下及び適度な水分管理により重力方向による性能差を標準セル比較して縮小できたことを確認した。

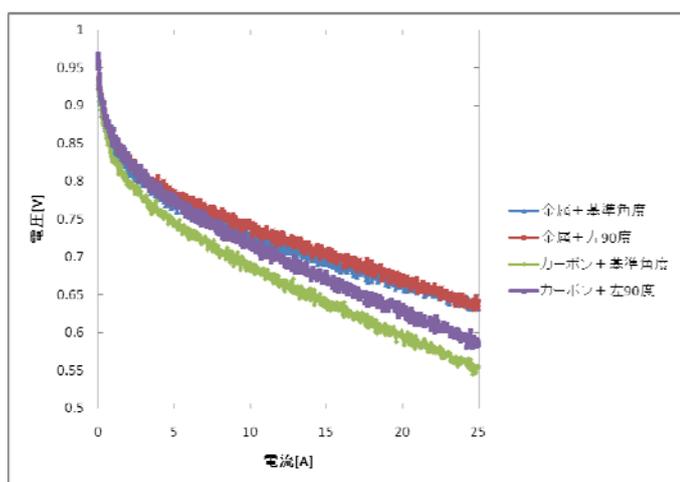


図 10 6 時間経過後の電流電圧特性

参考文献

[1] Y. Hashimoto, et al. AIAA2007-5438, 43rd AIAA/ASME/SAE/AES Joint Propulsion Conference, 2007

[2] J. Lucas, K. Bockstahler, et al, "REGENERATIVE FUEL CELL SYSTEM AS ALTERNATIVE ENERGY STORAGE FOR SPACE" ESPC2011 Ref.2102107

[3] 本間卓也 「燃料電池入門講座」 電波新聞社 2005

[4] 電気化学会 「電気化学測定マニュアル」 丸善 2002

[5] 板垣昌幸 「電気化学インピーダンス法」 丸善 2008

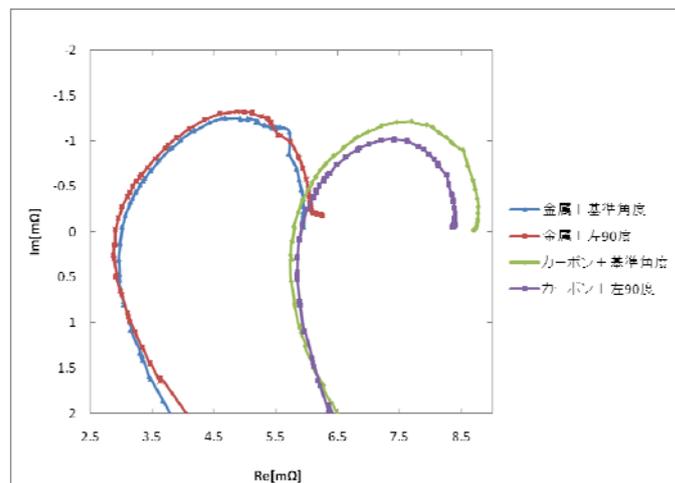


図 11 6 時間経過後のコールコールプロット