

環境適合型・超高効率プラズマMHD発電機の連続運転下での 発電特性の解明

Study on Performance of Environmentally Benign and High
Efficiency Plasma MHD Generator under Continuous Operation

山岬 裕之 (Yamasaki Hiroyuki)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授



研究の概要

将来の環境適合型の高効率発電の実現に資するため、本研究ではプラズマMHD発電に着目し、その連続運転を目的として超音速クローズドループを用いた研究を行った。その結果、超音速クローズドループ内に1900Kの高温アルゴンガスを連続2時間20分運転させることに成功すると共に、発電も行い、またループに固有の新しい知見を得ることができた。

研究分野：工学(直接エネルギー変換, プラズマMHD発電)

科研費の分科・細目：電気電子工学, 電力工学・電気機器工学

キーワード：プラズマMHD発電, 超音速クローズドループ, 高温アルゴン循環

1. 研究開始当初の背景・動機

本研究では、超高効率の発電が期待できるプラズマMHD発電を研究対象とし、その研究成果により、次世代の二酸化炭素排出削減/省エネルギー型のエネルギー利用高度化技術の構築に資することを目的としている。

2. 研究の目的

プラズマMHD発電機を連続的に運転するためには、高温の希ガスをループ内に循環させるクローズドループの運転が重要になる。そこで、本研究では

- 1) 超音速クローズドループを研究対象とし、その作動気体であるアルゴンの加熱特性、ループのエネルギーバランス、圧力損失などについて明らかにすることを目的とした。
- 2) また、将来の発電プラント用のクローズドループの設計に資する工学的な課題を指摘するとともに、超音速クローズドループで初めて試みた発電性能について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、高温アルゴン加熱器、MHD発電機、再生熱交換器、クーラ、圧縮機などで構成される大型の超音速クローズドループ実験装置を用いて実験を行った。作動気体はアルゴンとし、また発電には超伝導磁石による磁場を印加した。

4. 研究の主な成果

1) 高温アルゴンの連続循環に成功

本研究成果で最も誇ることができるのは、超音速クローズドループでは世界で初めて1900K以上の高温でアルゴンを連続循環できたことである。将来の商用プラントを実現するためには、何よりもこの連続循環が重要になるため、大きな成果と言える。下の図1には、アルゴン温度の時間変化を示した。この図より、45.4時間から47.8時間まで、輻射補正したアルゴン温度は1910Kから1970Kを示しており、本クローズドループを1900K以上の高い温度で約2時間20分連続的に運転できたことが分かる。

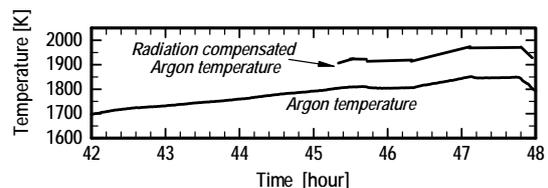


図1 アルゴン温度の時間変化

2) ディフューザ部での熱伝達促進の発見

ディスク型MHD発電機の下流部分には、超音速流れを亜音速まで減速して圧力回復を行うディフューザがある。また、その下流には6本の排気ダクトがある。本研究ではこれらの部分の熱損失を計測した結果、ディフューザでの熱損失は136kWと非常に大きく、また排気ダクトでの熱損失も52kWと大きかった。このように予想外

の大きな熱損失が計測されたが、これを考察するために、準一次元の計算を行い、実験で計測した温度との比較を行った。その結果を図2に示す。図2より、通常の管内乱流熱伝達率 α を4倍にした温度の計算結果は実験とも良く一致しており、実験では熱伝達率が大きく促進されていたことが示唆される。このようにMHD発電機用のディフューザと排気ダクトでの熱伝達の促進が、本研究により初めて明らかにされた。

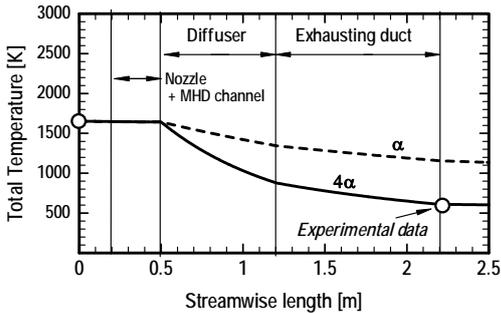


図2 実験と計算での全温の比較

3) 発電実験の結果

本研究ではアルゴン温度を最高1974Kまで高めることができ、また、発電機の性能を劣化させる原因となるアルゴン中の水分については、40ppm以下に、また酸素や窒素についても、20ppmと150ppm以下にそれぞれ抑えることができた。そこで、初めて発電を試みる事ができた。その結果を図3に示した。出力電圧であるホール電圧は負荷抵抗を1k Ω , 3 Ω , 1k Ω , 2 Ω , 1k Ω と順次切換えるとステップ状に変化し、またホール電流もステップ状に変化している。このように負荷切換えによる発電機からの出力の変化が見られ、超音速クローズドループでの初めての発電が確認できた。しかし、出力の最大値は0.7Wから1Wという極めて小さいものであった。これは、発電チャンネル内の一部分でしか超音速流れが実現せず、起電力が小さくなったこと、またシード率も低く十分な電気伝導度が得られなかったことにもよると考えられる。

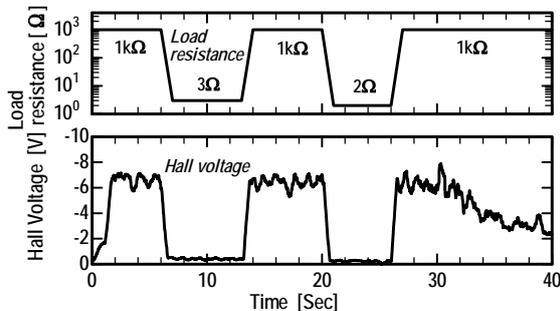


図3 ホール電圧と負荷抵抗の関係

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

本研究で得られた知見とデータは、将来の高温を利用した環境適合型の高効率エネルギー変換システムの構築に資すると考えられる。本研究は、国内では初めてのクローズドサイクルMHD発電用のクローズドループに挑戦したものであり、また、世界的にも超音速のクローズドループでの実験は初めてであり、挑戦的な研究であったと考えている。さらに、将来の高温を利用した地上用の発電プラントの構築や、宇宙用の原子炉と組み合わせた発電プラントの構築に対しても、本研究結果は大きく貢献できることを期待している。また、近未来の高温エネルギー変換技術への波及効果も大きいと考えられる。

6. 主な発表論文

(研究代表者は太字、研究分担者には下線)

1. A. Liberati, T. Murakami, Y. Okuno, and **H. Yamasaki**, “Numerical Simulation of MHD Flow Behavior and Performance in the Disk MHD Generator of Closed Loop Experimental Facility”, IEEJ Trans. on Power and Energy, Vol. 126, No. 9, pp. 933 – 939, (2006)
2. 高奈 秀匡, 奥野喜裕, 山岬裕之, 「クローズドループMHD発電装置の運転特性シミュレーション」電気学会論文誌B, 124巻, 5号, pp.785-790 (2004)
3. T. Ota, Y. Ogura, T. Murakami, Y. Okuno and **H. Yamasaki**, “Fluid-dynamical and Thermal Performance of CLEF for CCMHD Power Generation”, AIAA Paper, 38th Plasmadynamics and Lasers Conference, Miami, AIAA-2007-4020, pp.1-9 (2007)
4. T. Nakahora, M. Tamura, T. Murakami, Y. Okuno and **H. Yamasaki**, “Experimental Results on Impurity Behavior in CLEF for CCMHD Power Generation”, AIAA Paper, 38th Plasmadynamics and Lasers Conference, Miami, AIAA-2007-4017, pp.1-7 (2007)
5. Y. Ogura, Tamura, R. Hombo, R. Tanaka, D.Hoya, T. Murakami, Y. Okuno and **H. Yamasaki**, “Results of High Temperature Gas Circulation in Supersonic Closed Loop Experimental Facility for CCMHD Power Generation”, AIAA Paper, 37th Plasmadynamics and Lasers Conference, San Francisco, AIAA-2006-3081, pp.1-11 (2006)