

入口衝撃波予備電離をともなう ホール型非平衡 MHD 発電 (続報ファラデー電流の測定)

宮田昌彦*

1. 緒言

本報告は、前報（明星大学研究紀要一理工学部第19号，1983）に次いで、入口衝撃波予備電離をともなうホール型非平衡 MHD 発電の実験結果について、その後にはえられたデータを整理して報告するものである。

主にえられたデータは、1) ホール電極によるホール電圧の測定結果、2) ファラデープローブによるファラデー電圧の測定結果、3) ファラデー電流の測定結果、4) 発電回路内の静圧分布、5) 写真撮影の結果えられた入口衝撃波の形である。

前報、緒言においてのべたように、本研究は、無シードアルゴンプラズマを用いたホール型非平衡 MHD 発電の研究の一環として行なわれたものである。このホール型発電機は、電極に円環状の銅電極を用いることによって、壁面に発生する冷たい境界層中での電流の流れを促進することにより、高いホール電圧発生を期待するものである⁽¹⁾。

一方、シードなしのアルゴンプラズマを用いているため、よどみ点温度は、このアルゴンの電離を行なうに十分な温度とならねばならないが、よどみ点と発電回路入口の磁場作用域の間にはかなりの距離があるため、プラズマの温度は膨張により低下してしまい、それにともなって電子の温度も低下してしまふ。したがって、発電回路からえられたホール電圧はあまり大きくなりなことがわかった⁽¹⁾。

このような損失を回復するには、種々な予備電離法を用いることによってプラズマ内の電子温度の増大をはかればよいが、⁽²⁾いずれも電気的方法によっている。この方法によると、ホール電圧が乱され新しい不安定性が発生するおそれがある。また、一様に放電するのはかなりの技術を要するものと思われる。

我々は、このような電気的方法によらず、気体力学的に入口衝撃波を発生させ、その後流での温度上昇を利用することを試みている。前報でのべたように、この結果、あまり流速をおとすことなくホール電圧や電流を増大せしめることができた。入口衝撃波による圧力損失はかなりの量になるものと思われ、とくによどみ点圧力の高い実際規模の発電機では、この方法が有効かどうか疑問のこのところである。この実験に限っていえば、よどみ点圧力が低い（0.3 気圧）ことが幸いしていると思われる。

* 理工学部機械工学科助教授 流体工学

2. 実験装置および MHD 発電流路

実験装置は、前報にも述べたように、全長 11.81m、内断面積 $70 \times 100 \text{ mm}^2$ の圧力駆動型衝撃風洞と、0.86 T の最大磁界強度をもつ電磁石によって構成されている。

衝撃風洞は、アルゴンを作動ガスとし、ヘリウムを高圧駆動ガスとするもので、付属の真空装置により、0.01 Torr まで排気される。作動アルゴンガスの圧力は、0.13 KPa から 0.39 KPa で、マッハ数 5.4 から 4.8 の衝撃波によって圧縮し、よども点圧力 22 KPa から 34 KPa をえている。アルゴンは、電離されて、電離度約 10^{-4} のプラズマとなる。

このプラズマを 3/100 の勾配をもつ末広型発電流路に噴出し、後述するようなよども点より約 30 cm 後方の衝撃波保持部において、マッハ数約 3.3 のプラズマ流をえる。

MHD 発電流路の構造は、前報と同じであり、25 対の円環状の銅電極を保持する保持板の先端を 30 度に切って、ここに入口衝撃波を発生させている。ホールおよびファラデー電圧を測定するプローブを 5 対そなえている。入口衝撃波発生部の寸法は、 $32 \times 17 \text{ mm}^2$ である。

3. 実験結果とその検討

前報において発表した以外の結果について述べる。

3.1. ホール電圧と磁場

図 1 および図 2 は、電極において測定されたホール電圧の磁場に対する変化である。(図 1 は、よども点圧力が 22 KPa の場合で、図 2 は、34 KPa の場合である)。

いずれの場合も、ホールプローブによる測定結果(前報、図 4 参照)とことなり、磁場に対する変化は線型であり、ダクト後流で増大することがわかる。したがって、電極におけるホール電圧の変化と、プローブによるホール電圧の変化とにかなりの差があることがわかる。この原因は、入口衝撃波の型が二次元的であるため、プローブの方が敏感にこの影響をうけるのではないかと考えられる。

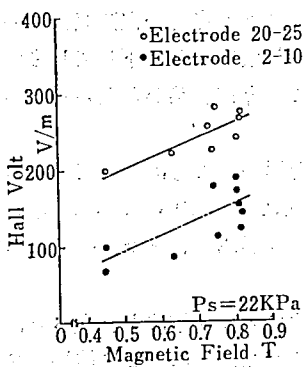


Fig. 1. Hall voltage along the electrodes against the magnetic field in the case of the stagnation pressure 22 KPa.

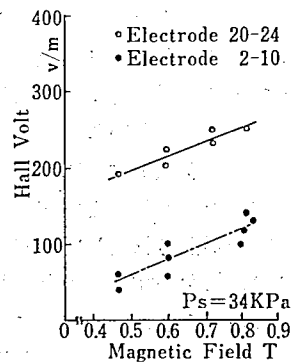


Fig. 2. Hall voltage along the electrodes against the magnetic field in the case of the stagnation pressure 34 KPa.

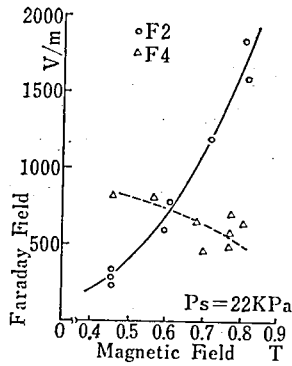


Fig. 3. Faraday field measured by the probes against the magnetic field. F2 is the probe set in the upstream part and F4 is set in the downstream part of the duct.

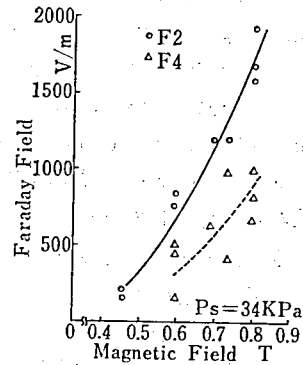


Fig. 4. Faraday field measured by the probes against the magnetic field for the stagnation pressure 34 KPa.

3.2. ファラデー電圧と磁場

図3と4は、発電流路内におかれたプローブによって測定されたファラデー電圧の磁場に対する変化を示している。図のF2は、発電流路上流のプローブで測定した結果、F4は下流のプローブで測定した結果である。

図3に示すように22 KPaのよどみ点圧力では、F4つまり下流側のプローブにおいて磁場増大とともにファラデー電圧が降下する現象がみられた。これは、 $\mathbf{j} \times \mathbf{B}$ 力によって、プラズマの減速が行なわれたため、生ずるものと思われる。34 KPaの場合は、そのようなことはみられず、磁場に対してはほぼ線型に増加している。

ファラデー電圧の発電流路内分布については、すでに前報にのべたとおりである。(前報、図6参照) 図4のデータと比較すると、プローブの発電流路内の位置によってファラデー電圧が顕著に変化することはないことがわかる。

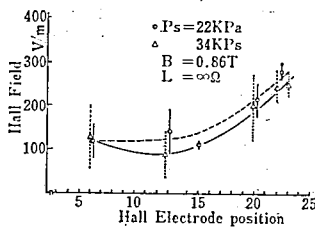


Fig. 5. Distribution of the Hall field measured along the electrodes.

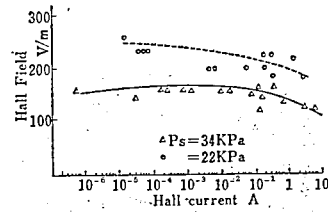


Fig. 6. Hall voltage current characteristics measured by the electrodes for the stagnation pressure of 34 KPa and 22 KPa.

3.3. ホール電圧の分布

図5は、電極において測定されたホール電圧の分布を示している。ホール電圧は、よどみ点圧力が 34KPa の場合、第 10 番目の電極付近で一度低下し、その後、ダクト下流にいくに従って増加している。第 10 番目付近での減少は、後述するファラデー電流分布や圧力分布と対応した挙動であり、入口衝撃波の存在による圧力増加、流速減少のためである。ダクト下流でのホール電圧の増大は、我々の予期したものであり、入口衝撃波による予備電離の効果を示している。

3.4. ホール電圧電流特性

図6は、電極において測定されたホール電圧電流特性である。二つの曲線は、それぞれ上からよどみ点圧力が 22 KPa と 34 KPa の場合に相当し、いずれも典型的な非平衡 V-I 特性を示している。この曲線を単純に外挿すると、34 KPa では 100 A, 22 KPa では 1000 A の短絡ホール電流がえられることになる。一方、ホール電圧は、ホール係数が、不安定性のため減少するので、比較的小さい値にとどまっている。

3.5. ファラデー電流の分布

図7は、発電機の流れ方向にそってファラデー電流の分布を示している。ファラデー電流は、 0.1Ω の負荷を各環状電極の外部回路につないで測定してある。この方法では、ファラデー電流の絶対値を測定することは、ほとんどのファラデー電流が電極内を流れてしまうので困難であるが、ほぼプラズマ内を流れるファラデー電流に比例した電流値がえられるものと思われる。

図7のデータによると、ファラデー電流は第 10 番目の電極で減少し発電機の下流で増加することがわかる。我々は、このデータおよび図5のデータより、入口衝撃波の影響は、10 番目の電極において、ファラデー電流およびホール電圧の減少となってあらわれることを結論できる。

10 番目の電極の後流においては、入口衝撃波による予備電離効果がかいてきて、ホール電圧とファラデー電流が増加するものと考えられる。よどみ点圧力が小さい場合は、 $J \times B$ 力の効果によって、ファラデー電圧は、図3のように減少するがファラデー電流は予備電離の効果によってあまり減少しない。

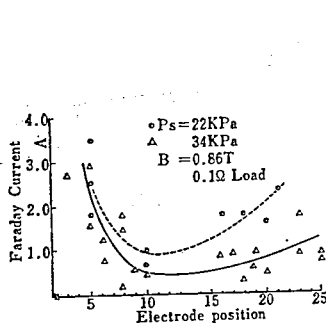


Fig. 7. Faraday current distribution along the generator.

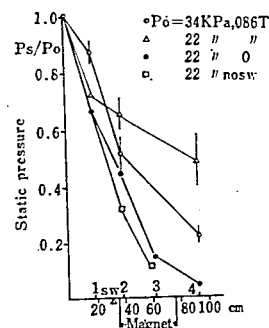


Fig. 8. Static pressure distribution in the generator.

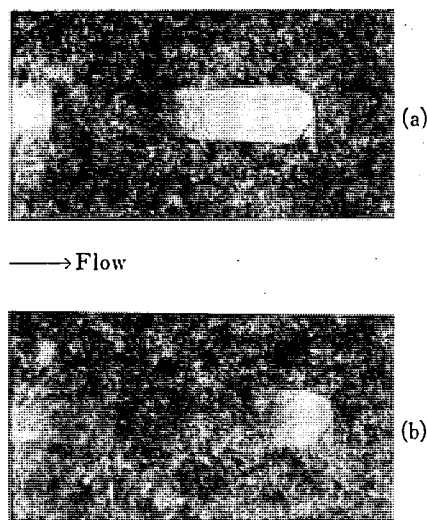


Fig. 9. Photos of the inlet shock waves in front of the wedge for the stagnation pressure of 34 KPa (a) and 22 KPa (b) respectively.

3.6. 静圧力の分布

図8は、発電機内の静圧力の分布を示している。これは、前報の図10に置きかわるもので、その後の測定の結果、この図のように修正する。

入口衝撃波が観測された場合および磁場がかけられた場合は、静圧力は発電機の作動部分で増大する。よどみ点圧力が高い場合は、入口衝撃波の影響が顕著にあらわれる。

3.7. 衝撃波の形

図9は、衝撃波保持板のくさびの前面に発生した入口衝撃波の写真で、(a)は、よどみ点圧力が34 KPa、(b)は22 KPaの場合である。(a)では、くさびの前面に電離して発光するプラズマの部分がかなり大きく見えている。衝撃波はくさびの先端に帽子状に広がって、ダクト全面をおおっている。(b)と比較すると、34 KPaの場合の方が予備電離の効果が大きいようである。

4. 結 論

前報においても述べたように、我々は、入口衝撃波予備電離をともなうホール型非平衡MHD発電の実験をシードなしのアルゴンプラズマによって行なった。入口衝撃波の影響は発電流路内のほぼ中央にある電極付近で、ホール電圧、ファラデー電流が減少するという形になってあらわれるが、それらは一方、予備電離の効果により発電機の下流で上昇することがわかった。衝撃波の形の二次元性により、流れに垂直方向におかれたプローブによって測定されたホール電圧は、入口衝撃波の位置や形にきわめて敏感に影響されると思われる。

謝 辞

本研究の過程において、明星大学特別研究助成費の援助をうけた。付記して謝意を表わ

す。また、本研究は、大学院修士課程学生 坪井秀夫との共同研究である。

参考文献

- 1) 坪井, 宮田, 日本機械学会講演論文集 No. 830-4 (1983).
- 2) Rosa, R. J. MHD Energy Conversion, McGraw-Hill (1968).