

発散型磁気ノズル重畳型 MPD スラスタにおけるプラズマ密度計測と周方向電流効果

**Measurement of plasma density and effect of azimuthal current
in an MPD thruster with steady divergent magnetic field**

菅 晃大, 飯島 匠, 高橋 和貴, 安藤 晃

Kodai KAN, Takumi IJIMA, Kazunori TAKAHASHI, and Akira ANDO

東北大院工

Dept. Electrical Eng., Tohoku Univ.

近年、宇宙探査の発展に伴い、高比推力を有する電気推進機開発が精力的に行われている。その中でも高い推力を得られる MPD スラスタが注目され、研究が進められてきたが、MPD スラスタの出口部に発散型磁場を重畳することで性能向上に繋がるため、本研究では、この磁気ノズルの最適化に向け、発散型磁気ノズルによるプラズマ加速効果について実験研究を進めている。

この磁気ノズルによるプラズマ加速機構を明らかにするには、プラズマ内に形成される周方向電流 j_θ の効果について検討を行う必要がある。

一般に、プラズマは $j_r \times B_\theta$ 及び $j_\theta \times B_r$ によって生じる電磁力 F_2 によって下流(z方向)に加速される[1,2]. 周方向電流 j_θ の二流体モデルによれば、この周方向電流は以下の4つの項により表される。

$$j_\theta = j_{D,e} + j_{D,i} + j_{E \times B} + j_{inertia} \quad (1)$$

ここで $j_{D,e}$, $j_{D,i}$ はそれぞれ電子、イオンの反磁性電流、 $j_{E \times B}$ は $E \times B$ ドリフト電流、 $j_{inertia}$ は慣性電流である。

本実験にて用いた MPD スラスタの概略図を図 1 に示す。円筒状陽極と棒状陰極の間に高電圧を印加することで、 10^{21} m^{-3} を超える高密度プラズマを約 1 ms 間準定常に発生させる。放電電圧は約 200 V、放電電流は約 7 kA である。放電領域には発散磁場 0.1 T を印加し、下流域で発散形状を持つ(図 2 青)。このような一様+発散型形状の磁場を用いることで、直流放電に起因する電流成分と磁気ノズル形状における電流とを分離して検討することが出来る。さらに、この磁場配位に定常一様磁場 0.1 T を印加した形状(図 2 赤)についても実験を行っている。

これらの磁場配位においてラングミュアプローブを用いてプラズマの密度分布を測定したところ、 $z = 120 \text{ mm}$ (磁場が発散する直前領域)では約 $1.1 \times$

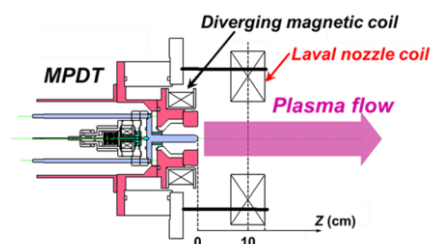


図 1. MPD スラスタの概略図

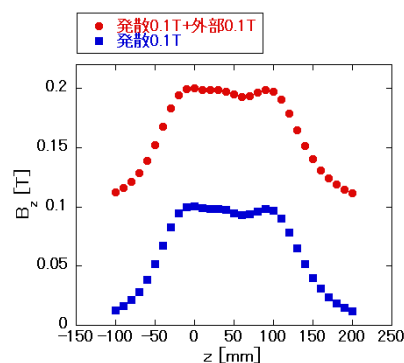


図 2. 本研究で用いた磁場配位

10^{21} m^{-3} , $z = 180 \text{ mm}$ (磁場が発散したあとの領域)では約 $1.0 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ であった。ここで z は MPD 陰極先端部からの距離を表している。

また、磁気プローブを用いて $z = 120 \text{ mm}$ 及び $z = 180 \text{ mm}$ における変動磁場の空間分布を測定した。図 2 青の磁場配位では $z = 180 \text{ mm}$ における j_θ は、理論値よりかなり低い値となっていたが、図 2 赤の配位では測定値は理論値と近い値となった。磁場が弱くなると有限ラーマー半径効果により j_θ が減少し加速力の低下に繋がっていると考えられる。講演ではこれらの詳細について述べる。

References

- [1] E. Ahedo, and M. Merino, Phys. Plasmas 17, 073501 (2010).
[2] A. Fruchtman, Phys. Rev. Lett. 96, 065002 (2006).