

ヘリコンMPDスラスタにおける  
中性粒子枯渇に伴う超音速プラズマ流誘起と制御  
**Neutral-depletion effect on a generation of a supersonic plasma flow  
in a helicon MPD thruster**

橋詰太一郎, 高橋和貴, 小室淳史, 安藤晃  
Taichiro Hashizume, Kazunori Takahashi, Atsushi Komuro and Akira Ando

東北大院工  
Dept. Electrical Eng., Tohoku Univ.

磁気ノズルを用いた宇宙探査用電気推進機的方式において、低ガス領域で高密度プラズマ( $>10^{18} \text{ m}^{-3}$ )が生成可能な無電極ヘリコンスラスタや、大推力が生み出せる外部磁場印加型MPDスラスタがこれまでに報告されている。近年ヘリコンスラスタの動作にMPD放電を重畳したヘリコンMPDスラスタが提案されており、低ガス流量領域( $<6 \text{ mg/s}$ )で数100 kW以上の大電力が投入可能であることが示されている[1]。

筆者らはこれまでに、ヘリコンMPDプラズマ源におけるMPD放電用回路を改良し投入エネルギーを0.1 kJから1.2 kJまで増加させたところ、軸方向イオンマッハ数2を超える超音速プラズマ流が準定常的に誘起されることを観測してきた。MPD電流が誘起される時間を $t_{\text{MPD}} = 0$ とすると、図1(a)の $r = 0 \text{ mm}$ におけるマッハ数の時間発展を見ると、 $t_{\text{MPD}} > 50 \mu\text{s}$ の時間領域において0.5~1.0 msにわたってマッハ数2~3が準定常的に維持され、投入電力の増加に従って流速と維持時間が増加する現象が確認されている。

今回、プラズマ源の下流20 cmの位置で中性粒子相対密度時間発展の測定を行ったところ、超音速プラズマ流が誘起される時間領域において中性粒子の枯渇が起きていることを示唆するデータが得られたので報告する。

相対的な中性粒子密度 $N_{\text{Ar}}$ は、中性粒子が電子衝突により励起された時に発する発光強度 $N_{\text{ArI}}$ とラングミュアプローブから得られるイオン飽和電流 $I_{\text{is}}$ を用いて $N_{\text{Ar}} = I_{\text{ArI}}/I_{\text{is}}$ の関係から推定している[2]。図1(b)における $t_{\text{MPD}} = 0.1 \sim 0.7 \text{ ms}$ において相対的な中性粒子密度は大きく減少しており、この領域において、イオンと中性粒子の衝突が軽減されたことによりプラズマ流速が維持されていると考えられる。

また、中性粒子制御を目的としてパルスガスバルブを導入し、ガスを定常状態で導入した際におけるプラズマ流速と比較検討した。図1(c)は、 $V_{\text{MPD}} = 340 \text{ V}$ におけるイオンマッハ数の時間発展を、 $r = -30 \text{ mm}$ において計測した結果

を示す。ガスを定常で導入した際に比べてパルスのガスを導入した方が、チャンバー内の残留中性ガスとイオンとの衝突が軽減され、マッハ数が増加していることが確認された。以上の結果を統合すると、大電力投入時には中性粒子枯渇が起こるため、中性粒子との衝突に起因する平均イオン流速の減少効果が抑制されたと考えられる。詳細については講演にて報告する。

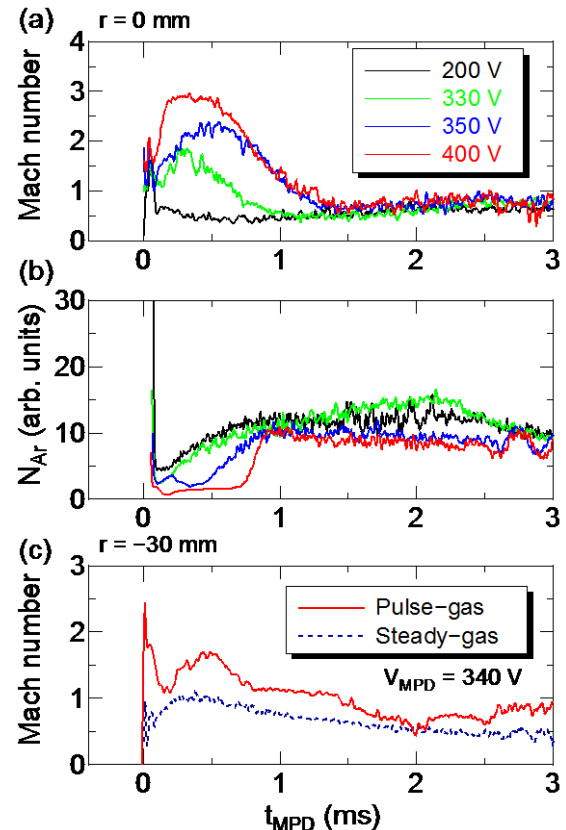


図1: (a)  $r = 0 \text{ mm}$ における各電圧印加時のマッハ数時間発展, (b) 中性粒子相対密度の時間発展, (c)  $r = -30 \text{ mm}$ ,  $V_{\text{MPD}} = 340 \text{ V}$ におけるガス導入方法別のマッハ数時間発展。

[1] K. Takahashi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **105**, 193503 (2014).

[2] K. Takahashi, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **108**, 074103 (2016).