

## 超音速ガスパフを利用した高周波プラズマスラスタの研究 Study of radio-frequency plasma thruster using supersonic gas puffing

桑原大介<sup>1</sup>, 服部公央亮<sup>1</sup>, 石上雄一<sup>2</sup>, 篠原俊二郎<sup>2</sup>, 村瀬尊則<sup>3</sup>, 宮澤順一<sup>3</sup>,  
坂本隆一<sup>3</sup>, 小林進二<sup>4</sup>, 竹田陽平<sup>5</sup>, 吉川正志<sup>5</sup>, 中嶋洋介<sup>5</sup>  
D. Kuwahara<sup>1</sup>, K. Hattori<sup>1</sup>, Y. Ishigami<sup>2</sup>, S. Shunjiro<sup>2</sup>, T. Murase<sup>3</sup>, J. Miyazawa<sup>3</sup>,  
R. Sakamoto<sup>3</sup>, S. Kobayashi<sup>4</sup>, Y. Takeda<sup>5</sup>, M. Yoshikawa<sup>5</sup>, Y. Nakashima<sup>5</sup>

中部大<sup>1</sup>, 農工大<sup>2</sup>, 核融合研<sup>3</sup>, 京大<sup>4</sup>, 筑波大<sup>5</sup>  
Chubu Univ.<sup>1</sup>, TUAT<sup>2</sup>, NIFS<sup>3</sup>, Kyoto Univ.<sup>4</sup>, Tsukuba Univ.<sup>5</sup>

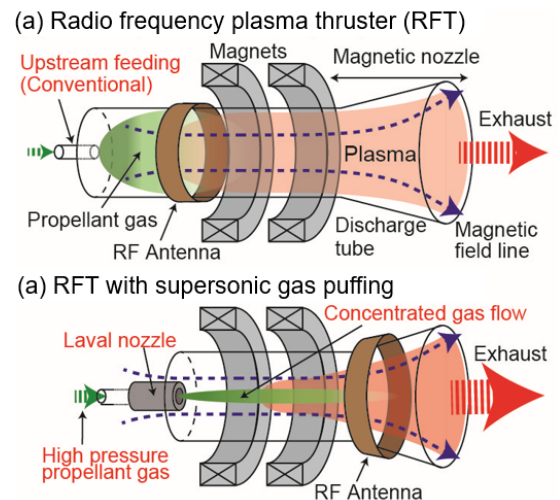
高周波プラズマスラスタはアンテナからの高周波電力によりプラズマと非接触で高密度プラズマを生成・加速して排気することで推力を得る宇宙用電気推進機であり、実用化されているホールスラスタやイオンエンジンで問題となっている電極損耗の問題がなく、長寿命・大推力化が可能な方式である。実用化に向け推力や比推力、推力電力比などの性能を向上させる必要があり、磁場形状やアンテナ方式の最適化や、追加電磁加速法など様々な試みが行われている[1]。中性粒子供給位置が推力・比推力に大きく影響を与えることが近年明らかになってきている[2,3]。

図1(a)は従来の高周波(ヘリコン)プラズマスラスタの原理図で、中性粒子供給位置は高周波アンテナや磁場源よりも上流の放電管端となっている。図1(b)は本研究グループが提案している超音速ガスパフ法であり、ラバールノズルから高圧ガスを噴射することで得られる、発散角の小さい集束ガスビームとして中性粒子を供給する、元は磁場閉じ込め核融合プラズマにおいて開発された方法である[4]。プラズマ中心軸のみに中性粒子を供給することで1) プラズマ中心の密度向上による推力増加、2) 放電管壁周辺のプラズマ密度を抑制することによる管壁損耗の低減、および3) 壁面損失低減による推力電力比の向上が可能と考えている。加えて、放電アンテナを発散磁場下流とすることで上流への推力に寄与しないプラズマ流の抑制も併せて行うことを検討している。

これまでの研究により、高周波プラズマスラスタ用に開発したラバールノズルを用いた集束ガスビームの生成、これを用いたプラズマ放電に成功している。集束ガスビームは圧力と

しては0.1~10 Pa程度の圧力範囲を持つため、この領域で感度を持つ小型ピラニゲージを開発し発散角などの計測に成功し、集束条件の把握がなされたが、シュリーレン法による画像計測を導入し、空間分布のより詳細な観測を行っている。また、超音速ガスパフを用いたプラズマ放電実験ではラングミュアプローブによる電子密度空間分布計測、マッハプローブによるイオン流速計測を行い、従来のガス供給法と比較して中心部の電子密度が向上する結果が得られている。

上記のほか、ノズルやガス圧計測法などを含



め開発状況について発表する。

図1 高周波プラズマスラスタとガス供給法

- [1] S. Shinohara, et al., *Rev. Sci. Instrum.* **91** (2020) 073507.
- [2] K. Takahashi et al., *Appl. Phys. Lett.* **108** (2016) 074103.
- [3] S. Shinohara, D. Kuwahara et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* **61** (2019) 014017.

- [4] A. Murakami *et al.*, *Plasma Fusion Res.* **5**  
(2010) S1032.