

次世代宇宙開発に向けたヘリコンプラズマスラスタの研究

西田浩之, 中村隆宏, 篠原俊二郎 (東京農工大学)

船木一幸 (JAXA), 羽田亨 (九州大学), 谷川隆夫 (東海大学)

Keywords : 先進プラズマスラスタ, ヘリコンプラズマ, 無電極プラズマ加速

近年, 有人火星探査や小惑星探査が国際協力のもと計画されており, これら次世代宇宙開発ではこれまでにない大規模軌道間輸送が必要となる. それを担う宇宙推進システムには, これまで以上の大推力・高比推力 (燃費に相当する)・長寿命な性能が求められ, 有力な候補の一つが大電力型電気推進システムである. 電気推進システムとは, 推進剤に電力でエネルギーを与え, 高速排気することで推力を得る宇宙推進システムの総称である. その多くは推進剤をプラズマ化し, 電熱・静電・電磁型のいずれかの方式で加速排気するプラズマスラスタである. プラズマスラスタは化学推進と比べ推力は小さい (~数百 mN) が, 比推力が高く (1000 秒以上), 長距離・長時間にわたるミッションに適した推進システムであり, 近年, 宇宙探査機や商業衛星に搭載されその有用性が示されている. 低推力を克服し次世代宇宙開発へと適用するため, プラズマスラスタの大型化・大電力化の研究が日本を含め, 各国で活発に進められているところである.

大電力化で大きな問題になるのが, プラズマの生成・加速の際に生じる電極損耗が深刻になり, 寿命を大きく制限することである. そこで, プラズマと直接接触する電極を持たない, 高周波を利用した無電極型プラズマスラスタが注目を集めている. 特にヘリコンプラズマスラスタは, その可能性から各国で研究がスタートした. ヘリコンプラズマとは, 外部印加磁場中における RF 波放電でヘリコン波が励起され, 高密度プラズマ (10^{19} m^{-3} 以上) が高効率で生成された状態のことである. 幅広い外部制御パラメータにおいて様々なスケールの高密度プラズマを高効率に無電極生成できるため, 大推力を目指した大電力型プラズマスラスタにとって適したプラズマソースであると言える.

スラスタとして実現するには, ヘリコンプラズマをいかに無電極で加速し排気するかが問題となるが, 最も主流な方法は磁気ノズルである. 発散型磁場を通してプラズマを排気することで, 固体ノズルを用いることなく圧力勾配と磁束密度勾配によりプラズマを加速でき, アメリカで開発されている VASIMR が代表的な例である. VASIMR では, イオンサイクロトロン共鳴加熱と超電導コイルを併用したシステムにより, 200 kW の大電力において推進効率 70% 以上, 推力 5N 以上, 比推力 4000s 以上の高い性能を実現している. しかしながら, 超電導コイルの使用など, システムが非常に複雑且つ重量が重いという欠点もある.

日本においても, 我々のグループをはじめ, 東大・東北大・名古屋大などにおいてヘリコンプラズマスラスタの研究が行われている. 特に我々のグループでは, 磁気ノズルと RF 波を併用したプラズマの無電極電磁加速技術を確立し, 小規模なシステムでも高い性能を実現できるヘリコンプラズマスラスタの研究に取り組んでいる. これまで, 回転磁場型・ $m=0$ 加速型・回転電場型・ポンドロモティブ型など, 複数の無電極電磁加速方式を提案し (図 1), その理論的確立に成功した. 更に, 詳細なプラズマ計測・推力計測を用いた実験的実証 (図 2) を通してパラメータを最適化し, より高密度なプラズマ生成と高効率なプラズマ加速を達成することで性能を向上させる研究に取り組んでいる.

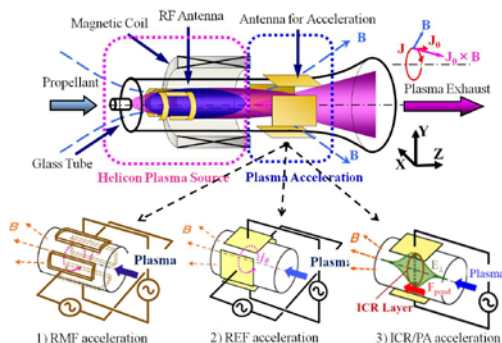


図 1 : 無電極電磁加速型ヘリコンプラズマスラスタ

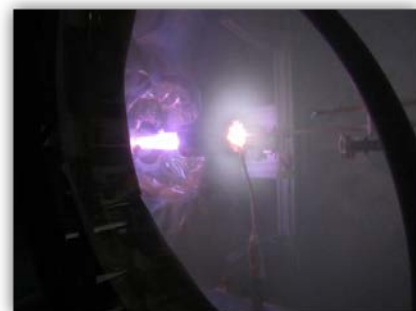


図 2 : 小型実験室モデルを使った性能評価