

## 磁気ノズルヘリコンスラストの運動量輸送・変換過程へのガス種の効果 Effect of gas species on the plasma momentum transport and conversion process in a magnetic nozzle helicon thruster

千葉愛貴, 高橋和貴, 小室淳史, 安藤晃  
Aiki Chiba, Kazunori Takahashi, Atsushi Komuro, and Akira Ando

東北大院工  
Department of Electrical Engineering, Tohoku University

MPD スラスト, 比推力可変型推進機 (VASIMR), ヘリコンスラストなどの電気推進機には, 性能向上のために磁気ノズルが利用されている. 磁気ノズルは, プラズマの内部エネルギーを軸方向の運動エネルギーに変換させる役割を担っているが, その際のプラズマ流と磁気ノズルの相互作用は複雑なものであり, その解明が求められている.

ヘリコンスラストの推力は, ①プラズマ源の軸方向壁が受ける力( $T_s$ ), ②プラズマ源の径方向壁が受ける力( $T_w$ ), ③磁気ノズルが受ける力( $T_B$ )の和で表される[1]. これまでに著者らは, 推進剤に電離度が高いガス(Kr, Xe)を用いた際の推力成分の分解測定を行い, プラズマ密度の増加により $T_s$ が上昇する一方,  $T_w$ が負の値, すなわち軸方向運動量の損失が起こることを明らかにしてきた[2]. これは中性粒子枯渇に起因するプラズマ構造によって運動量輸送が起きているためであると考えている. また,  $T_B$ は径方向磁場 $B_r$ と周方向電流 $j_\theta$ によるローレンツ力で表されるが[3], 磁気ノズル中ではイオンが磁化領域から非磁化領域へと遷移すると考えられるため, 周方向電流を担う反磁性電流成分の寄与など詳細が未だ明確になっていない.

そこで本研究では推進剤ガス種をAr, Kr, Xeとした際の $T_B$ の実験的な評価を行った. ここでは,  $T_B$ の推力分解測定およびプラズマ内の誘起磁場の計測による $j_\theta$ の評価を行った. 図1に示した $T_B$ の推力測定結果を見ると, 推進剤ガス種による大きな違いは見られなかった. また, プラズマ内の誘起磁場から見積もった $j_\theta$ についても大きな違いは見られなかった.

$j_\theta$ としては電子の反磁性ドリフト電流と電子及びイオンの $E \times B$ ドリフト電流が挙げられるが, これまでのモデルでは, 電子とイオンはともに磁化しており, それぞれの $E \times B$ ドリフト電流が相殺され,  $j_\theta$ としては電子の反磁性ドリフト電流の

みが流れると考えられている. 今回, プラズマパラメータ計測を行い, 反磁性電流及び $E \times B$ ドリフト電流を求め前述の $j_\theta$ の測定結果との比較も行った. 磁場強度の大きさに寄らず, 周方向電流は電子の反磁性電流と電子の $E \times B$ ドリフト電流で表されることが分かった. しかしながら, 強磁場条件では $E \times B$ ドリフト電流が小さくなり,  $j_\theta$ としては電子の反磁性電流のみで描写されることが分かった.

この結果についてはガス種による大きな違いは見られず, ヘリコンスラストにおける磁気ノズル起因の推力には反磁性ドリフト電流(電子圧力分布)が大きく影響しており, イオン種の影響は小さいことが示された. 従ってヘリコンスラストの推力源は電子であり, あらゆる推進剤で動作できることが示された. 詳細は講演にて述べる.

- [1]K. Takahashi, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **107** 235001 (2011).  
[2]K. Takahashi, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **114** 195001 (2015).  
[3]K. Takahashi, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **110** 195003 (2013).

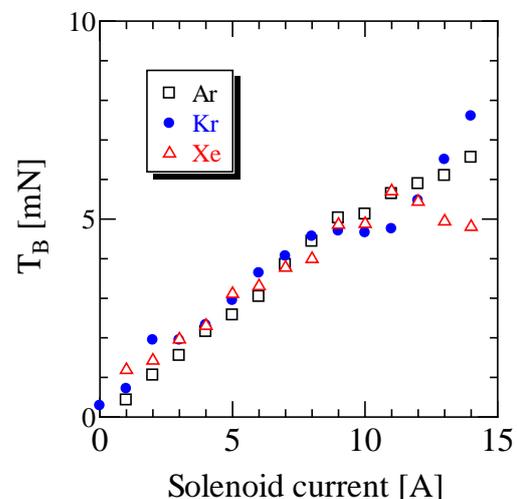


図1.  $T_B$ の推進剤ガス種依存性.