

非定常磁気ノズルからのプラズマ離脱過程の検証

Investigation of plasma detachment process in an unsteady magnetic nozzle
using Full Particle-In-Cell simulation

研究代表者：山本 直嗣（九州大学総合理工学研究院）
yamamoto@aces.kyushu-u.ac.jp

研究分担者：桂 直幹（九州大学総合理工学府）
katsura.naoki.186@s.kyushu-u.ac.jp
担当：数値解析コードの開発

研究目的 (Research Objective):

人類の生存圏拡大を目的とした火星移住計画に注目が高まっているが、既存の化学ロケットを使用すると火星までの航行に日程度を要するため、乗員への放射線暴露や閉鎖空間で過ごす精神的負担が問題となる。そこで、火星までの航行を日程度に短縮できる次世代の高速宇宙船が検討されており、候補の一つがレーザー核融合ロケットである。レーザー核融合ロケットは、核融合燃料にレーザーを照射する方式の慣性核融合を利用する宇宙船である。核融合反応では単位質量あたりに発生するエネルギーが化学反応より桁程大きいため、容易に高エネルギープラズマが得られる。その高エネルギープラズマを超電導コイルで生成した磁場の力で機体後方に押し出すことで加速度、即ち推力を得る推進機構が考案されており、磁気スラストチャンバと呼ばれる。先行研究では、磁気スラストチャンバにおいて高温プラズマの内部エネルギーを一方向の運動エネルギーへ変換する原理について理論計算や数値計算等が行われ、多くの知見が得られてきた。しかしながらその過程で、将来の課題として手つかずになっている課題の一つに磁力線からのプラズマ離脱（デタッチメント）がある。磁気スラストチャンバにおいて磁力線は機体の周りを一周しているため、機体後方に排出されたプラズマが磁力線に捕らわれて一周回ってしまうと推力が発生しない。

そこで本研究目的を、磁気スラストチャンバにおけるプラズマデタッチメントの検証とする。磁気スラストチャンバでは、高エネルギーのプラズマが磁場中を膨張していく過程で密度勾配が生じ、プラズマ中に反磁性電流が流れる。反磁性電流の影響で始めに存在した磁場の形状が変わり、プラズマ中の磁場は弱められる一方、プラズマ外部の磁場が強められる。やがて、外部の磁場の圧力がプラズマ圧を上回る時点で、押し返しが始まるため、プラズマ圧と磁気圧の比によって、磁気スラストチャンバ内部の挙動を整理できると考えられている。そこで、本研究でも、プラズマ圧と磁気圧に着目し、デタッチメントとの関連を探る。

計算手法 (Computational Aspects):

Full-Particle in Cell コードである EPOCH を用いて計算をした。計算コスト削減

のために、2次元で計算している。イオンと電子の両方が荷電粒子として扱われ、電磁界は有限差分時間領域法で解析をしている。

研究成果 (Accomplishments) :

得られた電子密度分布の時間変化を図1に示す。x=-0.5 mm に設置したコイルによって、プラズマは+x 方向に排出していく様子が見て取れる。また t = 0.3 ns において、磁気圧とプラズマ圧が釣り合う磁気壁の形成が見て取れる。t = 0.5 ns において、密度分布に縞状の模様が見られ、計算誤差が生じている可能性に加え、何らかの電磁波が生じている可能性も考えられる、

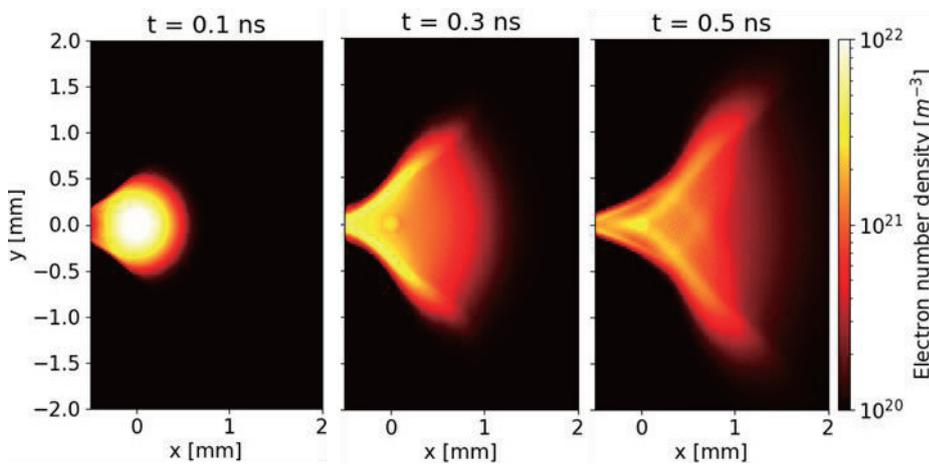


Fig.1 電子密度分布の時間変化

次に、領域内の全電子について磁気モーメントを算出した。初期値で無次元化した値 μ / μ_0 が 0.1 以下または 10 以上であるものを磁力線からデタッチしているとみし、その割合を空間的にプロットした。広範囲でデタッチしていることが確認できる。t = 0.1 ns においても中心軸付近でのデタッチが観測されており、これはどの時間においてもみられる。また時間経過とともに電子が動き、それに伴い様々な位置でデタッチしていることがわかる。

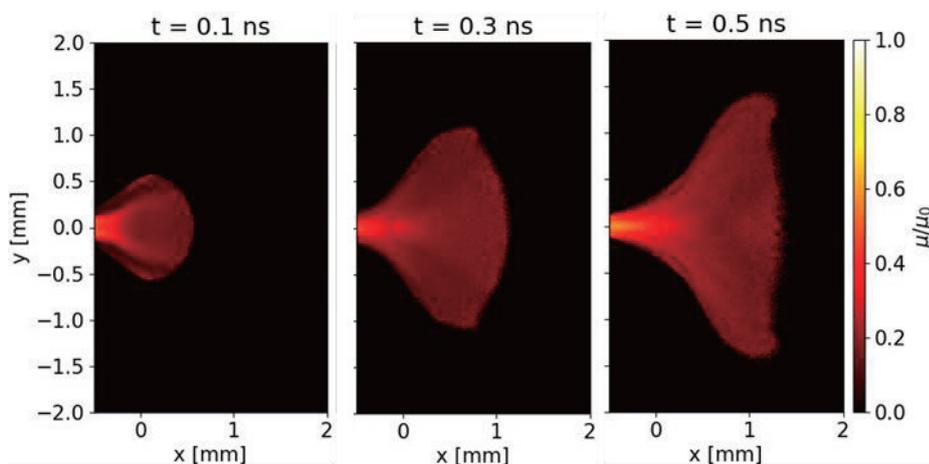


Fig.2 デタッチの割合

公表状況 (Publications) :

(論文)

1. JESA / 34th ISTS に投稿し、現在査読中

Title : Investigation of the Electron Detachment via Electric Field Fluctuation in a Magnetic Thrust Chamber for Laser Fusion Rocket

Authors : Naoki Katsura, Tomihiko Kojima, Naoji Yamamoto, Taichi Morita

(口頭)

1. Naoki Katsura, Tomihiko Kojima, Naoji Yamamoto, and Taichi Morita, Relation between the Electric Field Fluctuation and Electron Detachment in a Magnetic Thrust Chamber for Laser Fusion Rockets, 34th International Symposium on Space Technology and Science, ISTS2023-b-56, Kurume, 2023 年 6 月

2.