

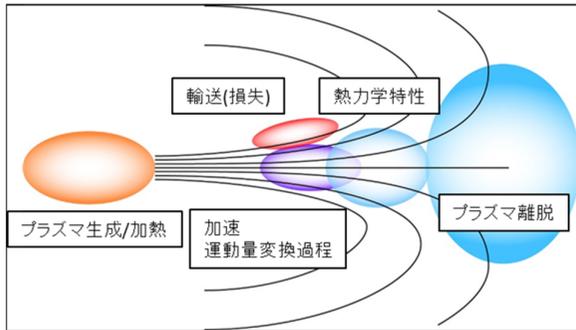
大電力磁気ノズルプラズマ推進機の総合研究

| | | |
|--|--------|--|
|  | 研究代表者 | 東北大学・工学研究科・准教授 高橋 和貴（たかはし かずのり） 研究者番号:80451491 |
| | 研究課題情報 | 課題番号：23H05442 研究期間：2023年度～2027年度 キーワード：プラズマ、電気推進、磁気ノズル、高周波 |

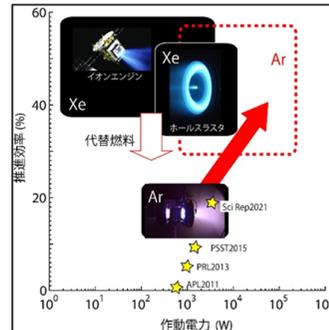
なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

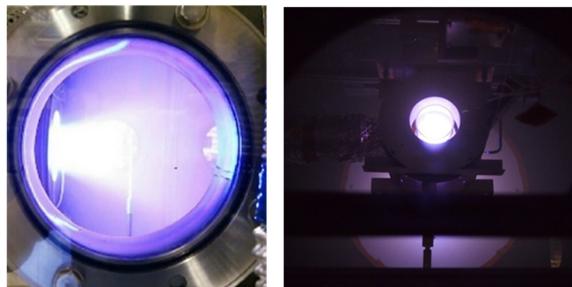
宇宙大量物資輸送技術の低コスト化は、今後の宇宙開発・宇宙利用産業の基幹技術であり、燃料使用効率の良い電気推進機の大電力化が求められている。大電力作動時においても長寿命化が期待される電気推進機として、無電極磁気ノズルプラズマ推進機の重要性が高まっている。本研究ではプラズマ生成・輸送・加速・運動量変換・磁気ノズルからのプラズマ離脱を含めた、磁気ノズルプラズマダイナミクスの総合的理解を進め、10-20kW級の高周波電力帯で作動可能な大電力磁気ノズルプラズマ推進機の開発を行い、推進効率を向上することで、次世代宇宙輸送技術の道を切り拓く。



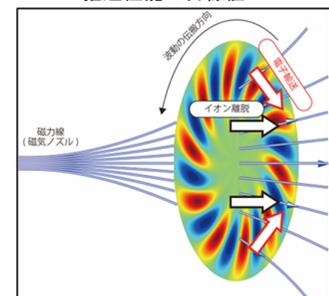
磁気ノズルプラズマ推進機 の概念図



推進性能の目標値



推進機の室内実験の様子



プラズマ離脱の概念図

図1 磁気ノズルプラズマ推進機、性能向上、室内実験、プラズマ離脱現象のイメージ図

●無電極磁気ノズルプラズマ推進機の推進性能

磁気ノズルプラズマ推進機の性能は物理研究に立脚した改良によって着実に向上している一方で、イオンエンジンやホールスラスタに比べると開発途上であるといえる。投入した高周波電力はプラズマ中の電子加熱に大部分が使用されるが、発生したプラズマがプラズマ発生部の固体壁面へと損失することでエネルギー利用率の低下が起きていることが示唆されており、損失抑制が重要な課題となっている。

●プラズマ推進機の大電力作動

作動電力帯を10-20kW級に拡張した場合には、推進機の熱負荷の問題や、新たな物理現象が発現する可能性がある。そこで、熱負荷評価等による大電力定常作動に向けた工学的な課題の明確化と、大電力化によりプラズマパラメータ領域を拡張した際に発現する物理現象に関して注目して、広範な作動電力帯に対応した学術的・物理学的基盤を構築することが求められている。

●不安定性による電子輸送とプラズマ離脱現象

推進機作動の最終ステージである磁気ノズルからのプラズマ離脱、特に磁化状態にある電子の離脱過程を誘発・理解する必要がある。これまでに種々のプラズマ離脱シナリオが提唱されてきたが、その実験的な観測と詳細な物理過程の理解には至っておらず、大きな学術的課題として残されている。予備的な実験で、波動による内向き電子輸送現象が観測され、プラズマ離脱現象に寄与している可能性が示唆されている。この電子の内向き輸送現象の詳細な理解を進め、磁気ノズルプラズマ推進機に関して、プラズマ離脱現象も含めた総合的な学術基盤構築することが求められている。

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●本研究で研究を実施する学術的・技術的課題

大電力磁気ノズルプラズマ推進機の作動実証と高性能化に向けて、下記の研究項目を実施する。

①推進効率向上

下流域の磁気ノズル(発散磁場)構造を維持した状態で、プラズマ発生部に損失を抑制可能な磁場配位を形成し、壁面への損失を抑制することで推進性能向上を進める。また、最終的なシステム効率向上を念頭に置いて、永久磁石群を併用した磁場設計による推進性能向上を実現する。

②推進機の大電力作動

プラズマ発生部に投入する高周波電力を10-20kW級まで拡張し、大電力作動時における熱評価と推進性能評価、および新たに発現する物理現象を明らかにし、これまでのkW級から20kW級の広範な作動電力領域を包括した学術基盤を創生する。

③プラズマ中の乱れによる輸送とプラズマ離脱の検証

非磁化条件にあるイオンに関しては、静電場による加速過程を経て磁気ノズルからの離脱が可能であると予想される。一方で、非磁化状態にある電子の離脱過程について、不安定性・波動・乱流による粒子輸送の観点から、室内実験における揺動計測と解析・PICシミュレーションの両面から解明する。特に、磁気ノズルからのプラズマ離脱に寄与可能な電子の内向き電子輸送現象に注力した研究を実施する。これまでの核融合プラズマに代表されるプラズマ研究では、プラズマ損失につながる不安定性の抑制に注力した研究が進められてきた。一方で、本研究ではプラズマ不安定性の工学的な活用法を見出し、プラズマ波動研究の新たな展開を切り拓く。

一連の実験に関しては、図2および図3のイメージ図と写真に示すような実験装置群を用いて実施し、スペースチャンバーにおける実験と機動性に富んだ小型実験装置群の実験を併用して進める。

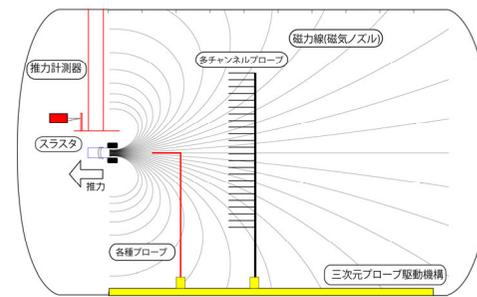


図2 実験装置概略図

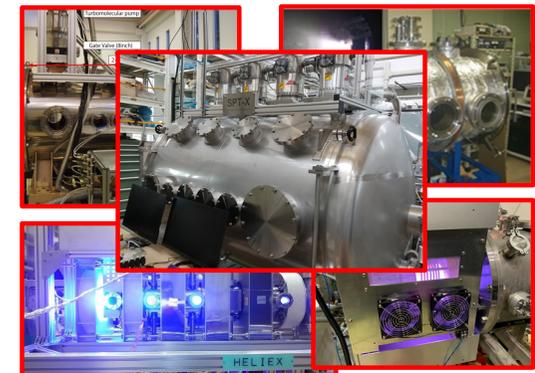


図3 本研究で使用する実験装置群写真の例