

K7-72

擬火花放電を応用した電磁加速型電気推進機における推進特性のノズル長依存性 Nozzle length dependence of propulsion characteristics in electromagnetic thruster using pseudo-spark discharge

○中嶋杏奈¹, 高木優次², 渡部政行³*Anna Nakajima¹, Yoji Takaki², Masayuki Watanabe³

With the rapid progress of a space development project, missions in outer space have been diversified in recent years. Electric propulsion is one of the most important technologies for such space developments. It has a higher performance of a specific impulse than chemical propulsion. In this research, the electro-magnetic acceleration type electric thruster applying pseudo-spark discharge has been developed as a high thrust, a high specific impulse and a long electrode durability electric thruster. In the poster, the nozzle length dependence of propulsion characteristics is presented.

1. 研究背景

電気推進機は宇宙空間で用いられる推進源の一つである。地上から打ち上げられるロケットに搭載された化学推進と比較し、低推力ではあるが高比推力という特徴を有する。宇宙開発の急速な発展に伴い、近年、宇宙におけるミッションも多様化してきている。その中でも火星への有人探査など、大規模なミッションには推力・比推力共に優れた電気推進機の開発が重要であると考えられている。図 1 にそれぞれの電気推進機における比推力と推力を比較した図を示す。電気推進機の中で、高推力および高比推力等の条件を満たす電気推進機の一つとして電磁加速型電気推進機が挙げられる。本研究では電極部の耐久性等を考慮した電磁加速型電気推進機として、擬火花放電を応用した電気推進機を開発を行っている。現在、推力の向上を目的として推進特性の陽極ノズル長依存性について調べている。本講演ではその実験結果の詳細を報告する。

2. 電気推進機とは

電気推進とは電気エネルギーを用いて推進剤を加熱・電離させ、様々な形で加速し、その反作用によって推力を得る推進機である。その加速原理は、プラズマをクーロン力によって加速する静電加速型、プラズマを熱的に噴出させる電熱加速型、プラズマ化させた推進剤をローレンツ力によって加速する電磁加速型に分類される(図 1 参照)。はやぶさ等での運用が開始されているイオンスラスタは静電加速型であり、比推力に優れていることがわかる。またアークジェットスラスタは電熱加速型であり、電気推進機の中では推力に優れていることも図中に示されている。本研究で用いる電磁プラズマ加速(Magneto Plasma Dynamic: 以下 MPD)スラスタは、電磁加速型であり、推力、比推力

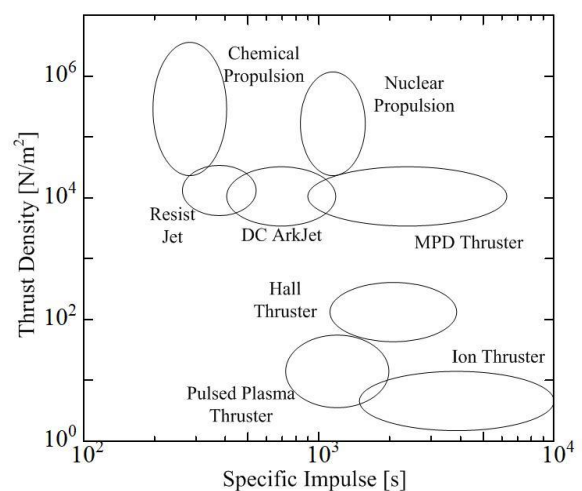


Fig. 1 Relationship between thrust density and specific thrust

共に優れた推進源であることが確認できる。

3. MPD スラスタとは

MPD スラスタとは電磁加速型の電気推進機の一つである。放電に伴う電流とその自己磁場によるローレンツ力を用いて推進剤であるプラズマの加速・噴射を行う。図 2 に MPD スラスタのプラズマ加速機構についてその概略図を示す。

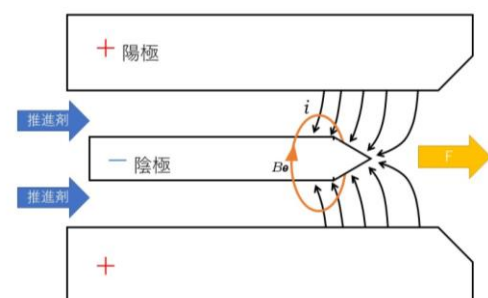


Fig. 2 Acceleration force of a MPD thruster

1 : 日大理工・学部・航宇 : Department of Aerospace Engineering, CST., Nihon-U.

2 : 日大理工・院(前)・量子 : Graduate School of Quantum Science and Technology, CST., Nihon-U.

3 : 日大理工・教員・量科研 : Institute of Quantum Science, Nihon-U.

プラズマの加速原理としては、放電電流により周方向の磁場が誘発され、その自己誘起磁場とそれを横切る電流によって軸方向のローレンツ力が発生する。この電磁力でプラズマが加速・噴出され、宇宙機等の推力となる。

MPD スラスタは、宇宙空間における電力の制限やアーク放電に起因する電極耐久性の低さなどを理由として、未だ課題の多い電気推進機であるが、今後の宇宙開発ミッションにおいて有望な電気推進機の一つと言える。現在の MPD スラスタの電気推進効率は約 10-40% 程度である。今後、電気推進効率の向上、また電極部における耐久性の向上が実現すれば最も魅力的な電気推進機の一つであると思われる。

4. 実験装置と実験内容

本研究で開発している擬火花放電を応用した電磁加速型電気推進機の電極部概略図を図 3 に示す。左側からガスを中空陰極内に流入させ、右端の陽極ノズル部からプラズマを噴出する構造になっている。円筒型の

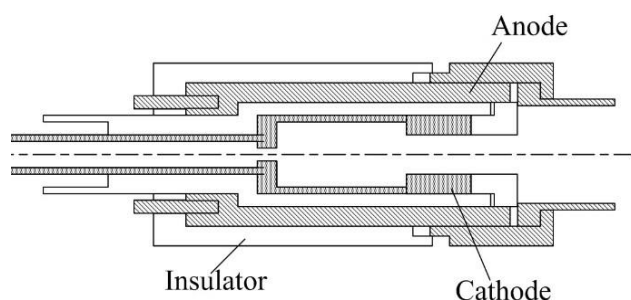


Fig. 3 Schematic drawing of the thruster

陽極内 (Anode) に絶縁体を挟んで中空型の陰極 (Cathode) が配置されており、中空陰極が推進ガスを流入するガス管に接続している設計となっている。プラズマを噴射する陽極の先端には長さを変更できるノズル部が取り付けられている。実験では陽極を接地した状態で中空陰極に高電圧を印加する。この状態で中空陰極内部にガス管を介してガスを挿入する。実験で使用するガスは水素である。挿入された水素ガスは電極間で電離され、プラズマ状態となる。その放電で生じた放電電流と自己磁場によるローレンツ力でプラズマは加速・噴出される。本実験では陽極ノズル長 L を変化させることで、推進特性のノズル依存性を計測する。実験ではオシロスコープを用いて放電時の電流および電圧値を測定する。また MPD スラスタから撃ち出されたプラズマの推力をひずみセンサを用いて測定する。

5. MPD スラスタ内の静電ポテンシャル分布

本研究では実際にプラズマの噴射実験を行う前に、シミュレーションソフトを用いて MPD スラスタ内の静電ポテンシャル分布を計算・確認した。今回のシミュレーションには、数値計算ソフト CST STUDIO を用いた。陽極ノズル長 L を 5,10mm と変化させた場合の静電ポテンシャル分布を図 4 に示す。

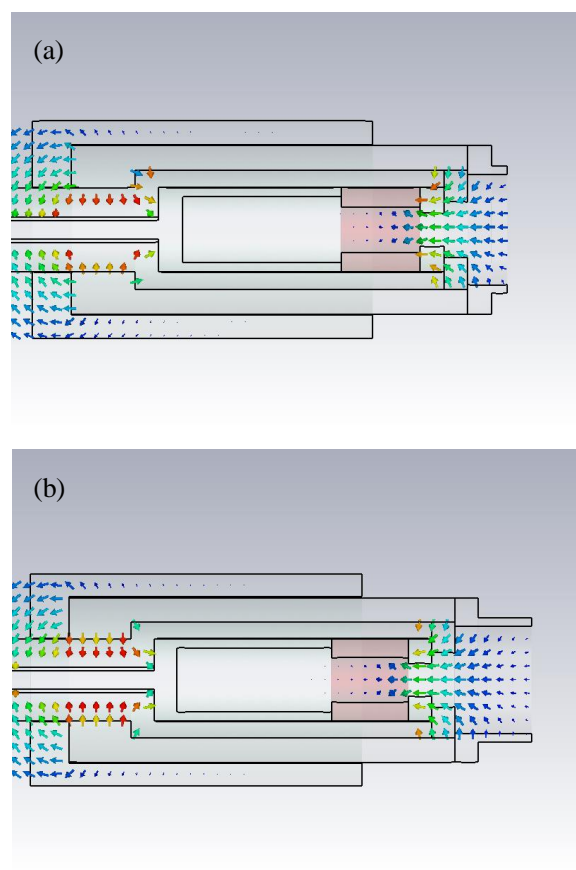


Fig. 4 Electrostatic potential distribution in MPD thruster
(a) $L=5\text{mm}$, (b) $L=10\text{mm}$

陽極ノズル長の変化に対して電極間の静電ポテンシャルも変化することが確認できる。実際の実験では $L=5,10,15,20\text{mm}$ の陰極を用意し実験を行った。これまでの基礎的な研究では放電に伴う放電光の増加を確認している。本講演では陽極ノズル長の増加に伴う推力の変化など、その結果について報告する予定である。

6. 参考文献

- [1] 栗田恭一・荒川義博:「電気推進ロケット入門」,2003
- [2] 前原隼太「擬火花放電を応用した電磁加速型電気推進の性能評価」日本大学大学院理工学研究科修士論文, 2017