

# 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小田 靖久

修士 (科学) 小田靖久提出の論文は「Application of Atmospheric Millimeter Wave Plasma to Rocket Propulsion」(和訳:ミリ波放電大気プラズマのロケット推進への応用)と題し、本文7章から成っている。

大電力ミリ波ビームによって生じる放電現象を多様に分析し、またそれを利用した宇宙機用推進器に関して推力発生メカニズムを明らかにしつつ設計指針を導いている。電磁ビームによってエネルギーを供給するビーミング推進は、空気を推進剤として利用することにより、搭載推進剤の重量を大幅に軽減し宇宙機に占めるペイロードの割合を向上させることができるとされている。本研究では、大電力ミリ波ビームの供給源として、日本原子力研究開発機構で近年開発が進んでいる1MW級出力の170GHz帯ジャイロトロンを用い、ミリ波ビームによる放電現象と推進器の推進性能に関する実験を行った。

第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べている。

第2章では、大気圧ミリ波放電とそのエネルギー変換過程について論じている。まず、大気圧においてミリ波ビームを放物面鏡によって集光し、焦点近傍の自由空間で絶縁破壊が発生することを確認している。また、ミリ波放電によって生じる電離波面が一定速度でビーム中を遡上し、ビームの電力密度がある閾値以上において伝播速度が超音速になることを示し、同時に電離波面と衝撃波の伝播速度が一致することを示している。さらに、これらの衝撃波駆動メカニズムに関して、垂直衝撃波がその背後の等圧的な加熱により駆動されるマイクロ波支持燃焼波型エネルギー変換過程を提案している。この提案に基づき、実測された電離波面伝播速度を使って得られる変換効率と、推進器モデルを用いた打ち上げ実験の結果より推算される効率の比較によりその妥当性を示している。

第3章では、数ミリ秒のパルス幅のビームにより形成される円柱状プラズマでの圧力波生成を有効に推力に変換するため、円筒胴体部を特徴とするマイクロ波ロケットを提案し、その推進性能を論じている。打ち上げ実験により、あるパルス幅に対して最適な推進器長があること、電離波面の伝播速度が超音速となる条件でさらに高い推進性能が得られることを確認している。また上述のエネルギー変換過程に基づいたエンジンサイクルモデルを提案している。このモデルにより予測される運動量結合係数は、打ち上げ実験の結果とよく一致し、有効なエンジンサイクルモデルあることを示している。

第4章では、繰り返しパルス作動における吸排気過程と推進性能の関係を評価している。第一パルスで生じる高温の空気の残留による性能低下を防ぐには、パルス間での吸排気を促進する必要がある。そこで、宇宙機が大気中を飛行する際の前方吸気モードを想定した強制吸気システムを開発し、空気の充填を十分に行うことで第二パルス以降の推進性能が回復し各パルスで発生する力積を一定に維持できることを実験で示している。また、推進器内の空気充填率が1以上の場合、すなわちパルス間で推進器内の空気が完全に吸排気される場合、単パルス運転で得られる性能と同一の性能が得られることを確認している。ま

た1秒間の繰り返しパルス運転を実施し、定常的に推力を発生させている。

第5章では、マイクロ波ロケットの高高度飛行時の推進性能を評価する為、推進性能の雰囲気圧力への依存性を議論している。0.2気圧までの減圧雰囲気下では推力性能は雰囲気圧力に寄らずほぼ一定維持されることを確認し、その理由として、電離波面の伝播速度が減圧環境で上昇することにより強い衝撃波が生じ、雰囲気圧力の低下を補うことが主因であると指摘している。一方で、0.1気圧以下ではミリ波放電の構造に大きな変化が生じ、推力が急激に低下することを示している。すなわち高高度飛行時でもミリ波放電によって推力を発生させることができることを確認し、マイクロ波ロケットの設計に必要な条件を明らかにしている。

第6章では、第2章から5章までの実験および解析結果を基に、マイクロ波ロケットの設計手法について議論している。

第7章は結論であり、本研究の成果を要約している。

以上要するに、本論文は、大電力ミリ波ビームによって大気中に生じる放電現象を多様に分析し、それを利用した宇宙機用推進器を提案して、その推力発生メカニズムを明らかにしつつ設計指針を導いたものであり、その結果は独創的で、先端エネルギー工学、特に宇宙推進工学上貢献するところが大きい。

なお、本論文第2・3章は、柴田鉄平、小紫公也、高橋幸司、春日井敦、今井剛、坂本慶司との共同研究、第5章は、小紫公也、高橋幸司、春日井敦、坂本慶司との共同研究であるが、いずれも論文提出者が主体となって実験ならびに解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。