

Application of microwave beam control technology to a Microwave Rocket

— マイクロ波ビーム制御技術のマイクロ波ロケットへの応用 —

学生証番号 086080 氏名 山口 敏和
(指導教員 小紫 公也 教授)

Key Words : Space propulsion, Microwave Rocket, Gyrotron, Energy transmission, Beam profile

今後の宇宙開発の発展のために輸送システム(ロケット)のコスト低減, すなわちペイロード比(ロケット総重量に占める積み荷重量の割合)の向上は最重要課題の一つである. 電磁波ビームの照射により外部からエネルギーを供給し推力を得る「ビーミング推進」は, 使い捨ての機体の内部構造を簡素・軽量化する反面, 使い続ける地上側の設備に費用をかけるため, 従来の化学ロケットでは成しえなかった高いペイロード比を実現するとともに, 打ち上げ頻度を増やすことで一回当たりの打ち上げコストの更なる低減が期待されている.

ビーミング推進ではレーザーやマイクロ波によるビームの利用が想定される. 本研究で扱う「マイクロ波ロケット」とは, 円筒型の胴体と集光器の頭部から成る推進機であり, 核融合のプラズマ加熱・電流駆動を目的として開発されているミリ波帯大電力発振源ジャイロトロンをビーム源としている. マイクロ波ロケットにおいて研究の対象となるのは, ビームと機体の二つである. ビームについては, ビーム源の大電力化・運転の高繰り返し周波数化, そして打ち上げのために長距離空間伝送することなどが挙げられる. 機体側の研究としては単パルス照射時に推力を増大するための筒の長さやパルス幅についての研究, 繰り返しパルス照射時に十分な吸排気ができないことによる推力の低下, およびこれが強制的に吸排気することで回復することが示された. このような結果に基づきながら最終的にはビーミング推進機のメリットを活かすため, 単純な構造でかつ効率良くエネルギー変換をする必要がある.

本研究では, 次に挙げる2つの課題を設定した. 一つ目は, 最適なビームと機体の組み合わせについての基礎研究と位置づけ, ビームプロファイルの変換やビーム長距離伝送といったビーム制御技術をマイクロ波ロケットに応用することである. この際, 電力密度分布に違いが生じることから推進性能への影響も考えられる. 二つ目はジャイロトロンの高繰り返しパルス運転が可能になったことに合わせ, 高繰り返し周波数で投入されるビームによる推進性能の変化について評価することである.

過去の研究において, 電力密度が大きいほどミリ波放電プラズマの電離波面伝播速度が大きくなり, フィラメント構造が見られることが明かされてきた. ビームプロファイルを変更することにより電力密度分布の違いを作り出し, このミリ波プラズマの形状進展について調べた. 位相補正鏡と呼ばれる表面に微細な凹凸のある2枚一組の鏡を用い, 導波管より照射されるガウス分布のビームをリング状およびフラットトップのビームへと変換した. 生成されたプラズマは, リング状のビームでは中心部が開いた形状の進展を, フラットビームではガウス分布に比べてやや太った形状の進展が見られ, 電力密度の分布と構造との関連が示唆された. またフラットビームによる放電の際には, 推力壁を兼ねる集光器部分に設置した圧力素子のデータから, ガウス分布による放電の二倍程度のプラトー圧が計測され, 推力が二倍程度に向上することが考えられるが, 将来的にはいかに簡素な系でこのようなビームプロファイルの自由度を確保するかについても検討する必要がある.

マイクロ波の指向性はレーザーに比べて格段に劣るが, ビーム径を大きくすることで十分な指向性が得られる. 放物鏡面の組み合わせで構成されたミラー系を設計し, ビーム径を元の直径40mmから直径240mmへと変換し, 空間伝送試験を行った. 1~5mの伝送距離において設計通りの性能を得ていることを確認し, 2m伝送した地点においてレーザー変位計を用いて機体の変位量の時間変化を計測し, 推力の測定を行った. 高繰り返しパルス条件での推力測定の結果, 過去の研究で想像された以上に推進性能が低下することが確認された.

また, 高繰り返しパルス運転時の性能実証のため, 109gおよび126gの軽量モデル機の打ち上げ実証実験を行った.