

原子力機構におけるジャイロトロンの開発と応用研究

日本原子力研究開発機構では、高周波加熱技術の中でも特にITERの主加熱装置として計画されている周波数170ギガヘルツの電子サイクロトロン波帯(ミリ波帯)の大電力発振源であるジャイロトロンの開発に力を入れ、これまでにITERの実現に向け目覚ましい成果をあげてきました。

ジャイロトロンの開発により、これを応用した様々な分野での研究開発が期待されています。その一つとして、高出力のマイクロ波を利用したマイクロ波ロケットの研究を、原子力機構の施設利用型共同研究として実施してきました。

マイクロ波ロケットは、核融合研究を通じて開発された非常に高い出力のマイクロ波源を必要としており、核融合研究の成果が利用されるスピノフ研究といえます。

高性能イオン源

- 多価・大電流
重イオン源
- ・素粒子研究用加速器
- ・医療用加速器

高性能レーダー

- ・高分解能
- ・地球物理応用
- ミリ波レーダーによる
気流観測

核磁気共鳴(NMR)

- NMRとミリ波ESRの
組み合わせで感度の大幅向上
(Dynamic Nuclear Polarization)

高速材料加熱

- ・高速溶融
- ・材料科学



プラズマ プロセッシング

- ・人工ダイヤモンド生成
(高成長率)

マイクロ波推進

- ・衝撃波発生による推進力

医療

高機能セラミック

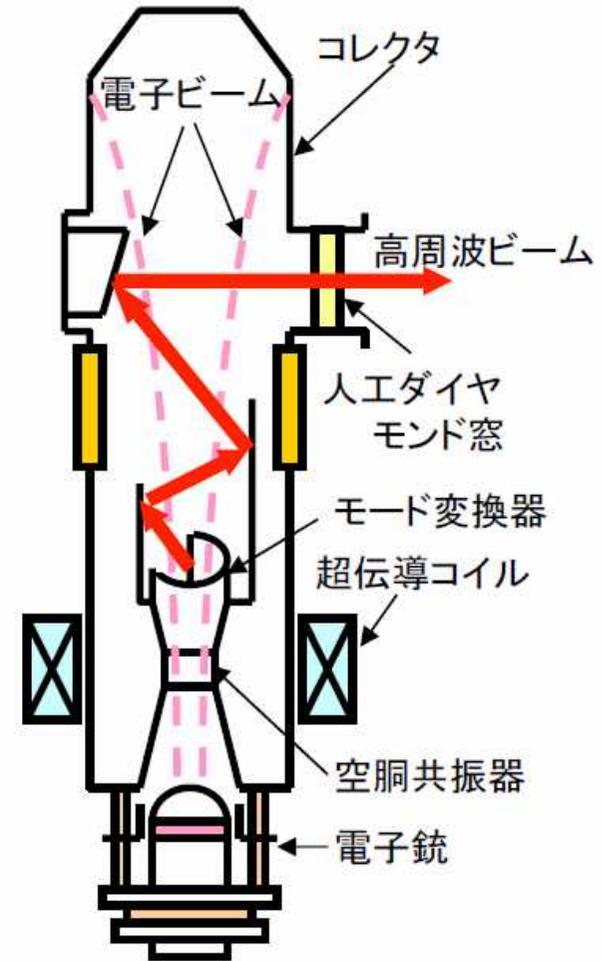
- ・セラミックシンタリング
- ・セラミック接合

マイクロ波化学

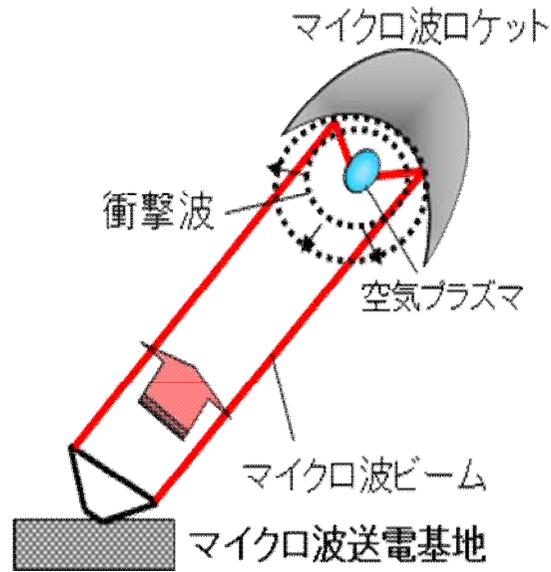
ジャイロトロン

磁場にそって高速で回転する電子の運動をエネルギー源として、波長の短い大電力のマイクロ波を発振させることを特徴とした大型の電子管です。ジャイロトロンは磁場中の回転運動(ジャイロ運動)に由来します。

その原理は、電子銃に高い電圧をかけると強いパワーを持った電子ビームが生じます。この電子ビームは、磁場に沿ってらせん運動をしながら高周波発振部(空洞共振器)に入ります。すると、電子ビームの回転パワーが高周波となり、電子レンジの1000倍以上のマイクロ波パワーが発生します。エネルギーを失った電子ビームはコレクタに吸収されます。このマイクロ波をモード変換器で高周波ビームに変え、内部の鏡で反射させながら人工ダイヤモンド窓を通して外部に取り出します。



マイクロ波によるロケット推進力の発生



マイクロ波ロケットでは、地上から照射される高出力マイクロ波のパルスビームをロケット内部で集光し、空気中に温度約1万度のプラズマを発生させます。このとき、付近の空気はプラズマにより強く熱せられて爆発的に膨張します。マイクロ波ロケットは、プラズマで生じた高温の空気をロケット後方に排気することにより推進力を発生させることができるのです。

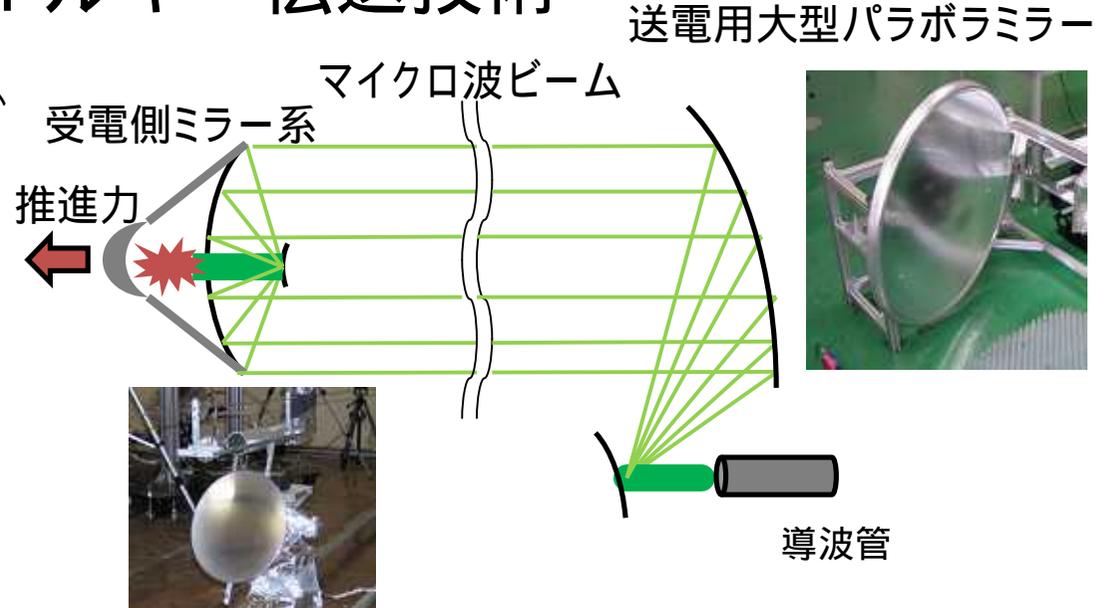
マイクロ波ロケットの高推力化実験の様子

今回の実験では、重量126グラムの金属製ロケットに、ITER用ジャイロトロンから高出力のマイクロ波パルスを繰り返し0.5秒間照射して、ロケットモデルを1.2mの高さまで連続的に推進力を発生させることに成功しました。



マイクロ波の長距離エネルギー伝送技術

マイクロ波を長距離伝送するには、そのビーム径を拡大する必要があります。そのために、送電側で大型のパラボラミラーなどを用いてビーム径を大きく広げ、受電側でもビームを再収束させるためのミラー系を使用することにより、遠く離れた場所にもプラズマが着火する程度の強力なマイクロ波ビームを伝送させることができます。

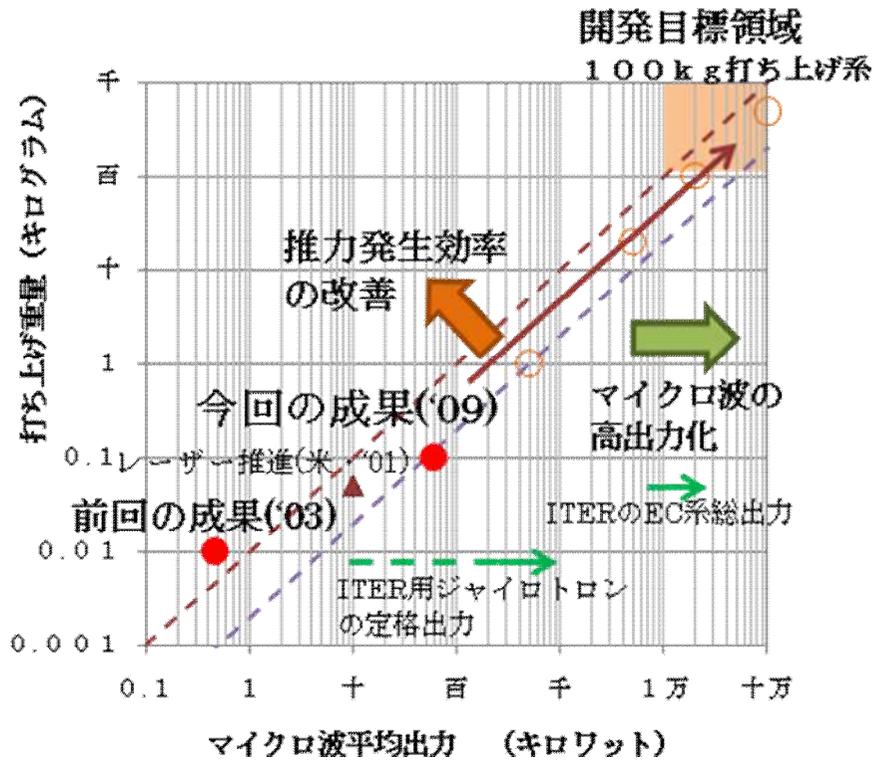


マイクロ波エネルギー伝送の実証実験

軽量ミラーを搭載したロケットの水平滑走試験により、5メートルの滑走中、ロケットにマイクロ波エネルギーを供給して推進力を発生させることに成功しました。



マイクロ波ロケットの開発進展と今後の展開



2003年の実験では、マイクロ波パルスの単発での照射により、9.5グラムのロケットを約2mの高度まで打ち上げました。今回の実験では、マイクロ波パルスの繰り返し照射により、入射パワーを大幅に増大させ126グラムの金属製ロケットを上昇させる推力を発生させています。

今後は、複数のジャイロトロンの使用によるマイクロ波の高出力化と、推力発生効率の改善によって、より重い機体をより高い高度まで打ち上げる試験を進め、最終的には100キログラム程度の物資を軌道に投入することを目標としています。