

## 5G 電磁波ロケットの推力生成・効率の定量的計測に成功 ～超低コストなロケット打上げ技術の実現に前進～

### 研究成果のポイント

1. 次世代通信規格 5G (28 GHz)の電磁波(マイクロ波)を使用したロケットの推力生成実験に成功し、ロケットの「ワイヤレス給電効率」を含めた総合推進効率を詳細に測定しました。
2. 電子レンジの約 500 倍の出力(250 kW)で、ロケットに対して 900 mm の距離からのワイヤレス給電効率が 14 %、コンセントから推進機までの効率が約 6 %であることを、定量的に明らかにしました。
3. 電磁波を利用することにより、ロケット搭載燃料を理論上はほぼ 0 にすることが可能なため、従来の化学燃料を使用したロケットの打上げに比べて、コストを 1/100 程度まで抑えることができます。

国立大学法人筑波大学 システム情報系の嶋村耕平助教および同プラズマ研究センターの假家強准教授らの研究グループは、5Gの周波数(28 GHz)の電磁波を用いて電子レンジの約500倍の出力(250 kW)でロケットの推力生成に成功し、ワイヤレス給電効率を含めた総合推進効率を測定しました。

マイクロ波ロケットは化学燃料を用いない全く新しい推進システムであり、ロケット打上げコストを劇的に低下させる技術として国内外で研究が進められています。その最大の利点は、地上から「ワイヤレス」でマイクロ波をロケットに送ることで、ロケット搭載燃料を理論上はほぼ0にすることが可能な点にあります。近年では、民間企業において低コスト打ち上げロケット開発が進められていますが、固体液体燃料を使用する既存のロケット方式では、原理的に質量の9割程度が燃料となります。マイクロ波ロケットは、このような「燃料を飛ばすためにロケットを飛ばす」といわれるほどの非効率さを、解消することが可能です。

これまでの研究により、効率的なロケットデザインやマイクロ波からの推力生成メカニズムについて明らかになりつつあります。一方で、マイクロ波ロケットの最大の利点でもある、マイクロ波を地上から推進機に伝送する「ワイヤレス給電」要素については、研究が始まったばかりです。特に大電力のマイクロ波を瞬時に計測する手法が無く、マイクロ波ロケットへのワイヤレス給電効率を直接的に計測することは困難でした。つまり、「コンセントからロケットまでどれだけの電力が投入されているか」＝「ロケット全体としての推力生成効率」を計測することが難しく、マイクロ波ビームの広がりやを考慮した推定値として扱われてきました。

本研究では、独自に開発した「レクテナ回路」を用いることで、ロケット内部の大電力マイクロ波を計測することが可能となりました。実験により、900 mmの送電距離における、推進機と発振器間の送受電効率は14 %、コンセントから推進機までの効率は約6 %であることなどを、初めて定量的に明らかにしました。

本研究の成果は、2020年3月25日付アメリカ航空宇宙学会(AIAA)の「Journal of Spacecraft and Rockets」で公開されました。

## 研究の背景

一般電化製品や自動車などでは、ワイヤレス給電技術が製品化されつつありますが、ロケットへの応用は「究極のワイヤレス給電」といえます。ワイヤレス給電の利点は、バッテリーや燃料を含めずにデバイスやビークルを設計できる点にあり、電動化が進む自動車や小型航空機、空飛ぶクルマなどにおける、バッテリーの制約を解放することが可能になります。近年では、民間企業において低コスト打ち上げロケット開発が進められていますが、固体液体燃料を使用する既存のロケット方式では、質量の9割程度が燃料となります。マイクロ波ロケットは、このような「燃料を飛ばすためにロケットを飛ばす」といわれるほどの非効率さを、解消することが可能です。マイクロ波やレーザーを利用したロケットや、飛行機への外部エネルギー供給というコンセプトは、ビームエネルギー推進研究と呼ばれ、世界的に見ても日本はこの分野でトップレベルにあります。[1]

これまでの研究で、効率的なロケットデザインやマイクロ波からの推力生成メカニズムについて、明らかになりつつあります。[2] 一方で、マイクロ波ロケットの最大の利点でもある、マイクロ波を地上から推進機に伝送する「ワイヤレス給電」要素については研究が始まったばかりです。特に実験においては、大電力のマイクロ波を瞬時に計測する手法が無く、マイクロ波ロケットへの“ワイヤレス給電効率”を直接的に計測することは困難でした。つまり「コンセントからロケットまでどれだけの電力が投入されているか」＝「ロケット全体としての推力生成効率」を計測することが難しく、マイクロ波ビームの広がりや損失を考慮した推定値として扱われてきました。

## 研究内容と成果

本研究では、5Gの周波数(28 GHz)のマイクロ波を用いて、電子レンジの約500倍の出力(250 kW)でロケットの推力生成に成功し、ワイヤレス給電効率を含めた総合推進効率を測定しました(図参照)。筑波大学プラズマ研究センターが所有するマイクロ波源である500kW級ジャイロトロンを使用し、直径200 mm・長さ600 mm程度の円柱型の推進機に向けてマイクロ波を照射しました。整流器とアンテナで構成されるレクテナ回路[3]を用いることでロケット内部の大電力マイクロ波を計測し、ワイヤレス給電効率を求めました。推進機を中心電力密度13.9 MW/m<sup>2</sup>で推進機への投入電力は35.2 kWでした。この結果「900 mmの送電距離で推進機と送電アンテナ間の送受電効率」は14%、「コンセントからロケットまでの効率」が約6%であることを定量的に明らかにしました。

## 今後の展開

本研究は、当該研究分野を実現するにあたってはロケットを含めた航空宇宙機の設計概念を大きく変えることが予想されます。マイクロ波ロケットは、電離層の影響を受けない高度100 kmまでで加速しきることが想定されています。このため今後の研究では、時々刻々と姿勢や位置の変化するロケットに、いかに効率よくマイクロ波をワイヤレス給電できるかが、大きな課題となります。これに関連して、本研究グループは、ドローンをマイクロ波のワイヤレス給電だけで飛翔させる研究を進めており、位置や姿勢を特定し、地上から1mの距離でマイクロ波を送ることに成功しています。[4] 現在ではマイクロ波の電力だけでドローンを飛翔させることは出来ませんが、送電距離や電力を増やすことで、ビームエネルギー推進技術の実現、ロケット打ち上げのコスト削減を目指します。現状の宇宙開発で大きなネックとなっている打ち上げコストの削減は、将来的には小型な人工衛星や惑星探査機打ち上げの敷居を下げることにつながります。

参考図

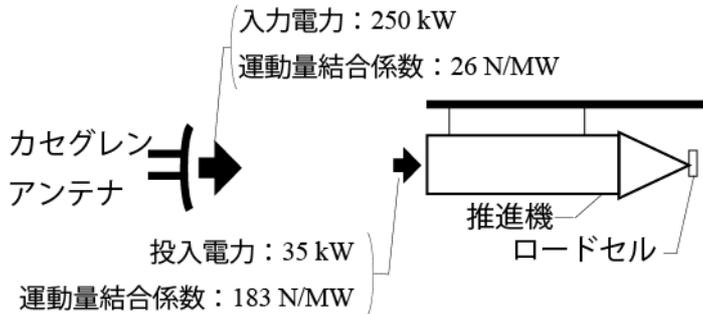
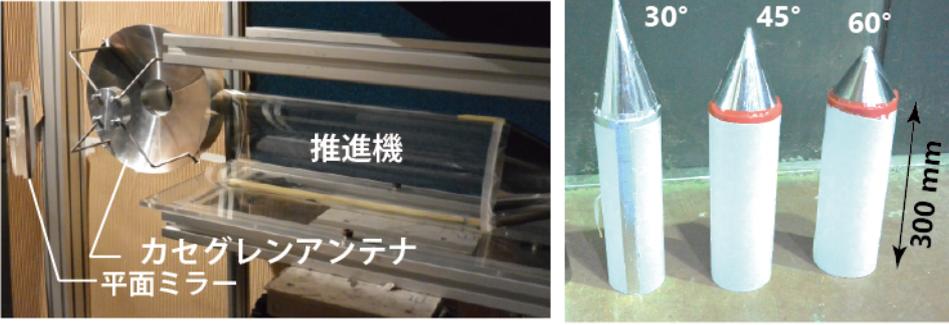


図 電波シールドルーム内でのマイクロ波ロケット推力測定実験(左上)、使用したマイクロ波ロケット(右上)、推力測定実験模式図と測定結果(下)

参考文献

- [1] 日本経済新聞「無燃料ロケット、電磁波で飛ばす 東大グループ考案」2019/5/24
- [2] 嶋村耕平, 福成雅史, 小紫公也他, プラズマ核融合学会誌, Vol. 93, pp.467-,(2017)
- [3] 松倉真帆, 嶋村耕平, 假家強他, 信学技報, vol. 117, no. 318, WPT2017-52, pp. 45-48, (2017)
- [4] 菅沼悟, 嶋村耕平他, 宇宙太陽発電, Vol4, p20-23(2019)

掲載論文

- 【題名】 Wireless Power Transmission Efficiency for Microwave Rocket using 28 GHz Gyrotron (28GHz マイクロ波ロケットのワイヤレス給電効率)
- 【著者名】 Kohei Shimamura, Maho Matsukura, Naoto Ozaki, Kaisei Miyawaki, Shigeru Yokota, Ryutaro Minami, Tsuyoshi Kariya, Tsuyoshi Imai
- 【掲載誌】 AIAA, Journal of Spacecraft and Rockets (DOI: 10.2514/1.A34726)

問い合わせ先

嶋村 耕平 (しまむら こうへい)  
筑波大学 システム情報系 助教