



## 恒星間航行ロケットの原理実証に一步前進 -レーザー核融合ロケット実現に向けたプラズマの噴出制御に成功-

九州大学大学院総合理工学研究院の森田太智助教と山本直嗣教授は、大阪大学レーザー科学研究所、パデュー大学、光産業創成大学院大学、広島大学、明石高専と協力して、プラズマロケット磁気ノズルのレーザー生成プラズマ噴出方向の制御に成功しました。

有人火星探査が現実味を帯びる中、従来までの化学ロケットでは火星までの往復に長時間を要し、宇宙船乗務員・乗客には、心理的な負担に加えて宇宙線被曝、骨密度減少など大きな負荷をかけます。そのため化学ロケットに代わる高速の宇宙船・ロケットが求められています。将来の惑星間・恒星間航行の有力候補とされるレーザー核融合ロケットでは、高速で膨張する核融合プラズマを、強力な磁場で制御し排出します。

今回、大阪大学レーザー科学研究所の EUV データベースレーザー（出力エネルギー：6 J）を固体に照射することで高速に膨張するプラズマを生成し、複数の電磁石を組み合わせた磁気ノズルで排出プラズマの方向制御が可能であることをはじめて実験的に実証しました。さらにレーザー照射によって生成されるプラズマとその膨張過程を数値シミュレーションで計算することで、本手法の原理が実証可能であることを確認しました。

本成果は、平成 29 年 8 月 21 日（月）に英国科学誌 *Sprinter Nature* が出版する『*Scientific Reports*』誌に掲載されました。引き続き、10 月 16 日（月）から 20 日（金）にかけて、さらに 100 倍のエネルギーをもつ大阪大学レーザー科学研究所の大型レーザー（激光 XII 号）を利用して、その性能を向上させるための詳細な実験を行い、本手法の実用化を確信する実験データを得ました。今後は実機で想定されるような、さらに 1000 倍のエネルギーを用いたプラズマロケット磁気ノズルの原理実証を目指して、研究を進めていきます。

本研究は JSPS 科研費 若手研究(B) JP15K18283、JP17K14876 および大阪大学レーザー科学研究所の支援を受けて行われました。

参考論文 *Scientific Reports* 7, Article number: 8910 (2017)

<https://www.nature.com/articles/s41598-017-09273-3>

### 研究者からひとこと：

将来の高出力・低燃費ロケットとして有力な候補であるレーザー核融合ロケットは、磁場で核融合プラズマを制御して排出します。今回、磁場でプラズマ排出方向を制御する手法を、実験・シミュレーションで実証しました。この手法を用いると、補助的なエンジンなしで方向制御が簡易に行えるため、画期的な手法といえます。



図 1：レーザー核融合ロケットの概念図（矢沢サイエンスオフィス提供）

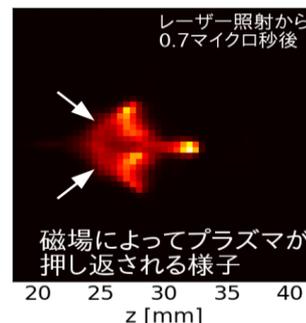


図 2：制御されたプラズマ噴出

（参考図）図 1 はレーザーを用いた核融合反応で生じる高エネルギープラズマを磁場で右向きに排出している概念図を示す。図 2 は今回行った実験を模擬する数値シミュレーション結果を示す。左側から球形のプラスチックターゲットにレーザーを照射すると、左向きに膨張するプラズマが生成される。このプラズマを磁場で制御し、右側に排出する。

## <レーザー核融合ロケットとは？>

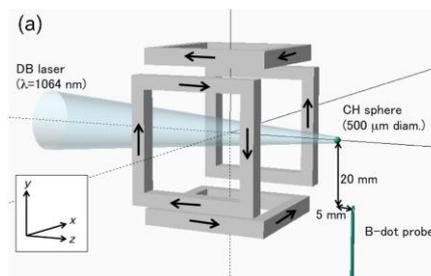
軽い核同士が、融合して発生するエネルギーは、化学反応に比較して、単位質量あたり、7桁ほど大きい。このため、高温・高密度のプラズマが容易に得られる。このプラズマを磁場で制御して高速のプラズマとし、後方に噴出することにより、推力が得られる。

## <研究の背景>

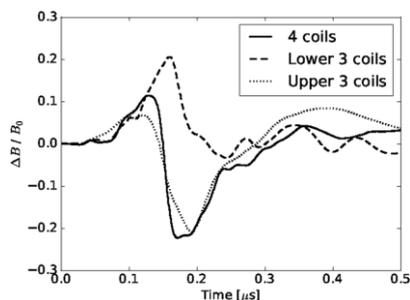
有人火星探査が、現実味を帯びる中で、その課題も明らかになってきた。従来までの化学ロケットでは、火星までの往復に、長時間を要する。このため、宇宙船乗務員・乗客に多大な負荷をかける。例えば、宇宙線による被曝、狭い空間に長時間閉じ込められるための心理的な負担、骨密度の減少などである。そのため、化学ロケットに代わる、高速の宇宙船・ロケットが求められている。この要望に応えられる高速の宇宙船が、レーザー核融合ロケットである。当研究室では、中島秀紀教授（現名誉教授）のもとに30年ほど前から、主にシミュレーション・設計を通して実用化を研究してきた。ここ数年は、大阪大学と共同研究で、実験的に、核融合ロケットの原理・実証試験が可能になった。

## <研究成果の概要>

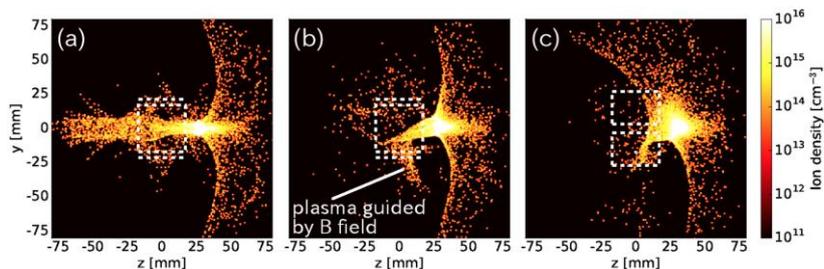
円形のコイルで発生する磁場は、コイル中心軸に対して対称で距離とともに発散する形状になるが、今回、右図のように4つのコイルを組み合わせて磁気ノズルを形成した。レーザーを左側から直径500 $\mu\text{m}$ のプラスチック球に照射することで、左向きに膨張するプラズマを生成し、磁場で右向きに押し出す。4つのコイルに流す電流強度を制御し、非対称な磁場構造を作っておくことで、排出されるプラズマの伝搬方向を制御した。



プラズマは反磁性であるため、プラズマ内部の磁場は減少する。レーザー照射ターゲット下方に置いたピックアップコイル(B-dot probe)での誘導起電力を計測することで、プラズマ膨張の様子を計測したものが右図である。4コイルすべてを駆動した場合、または上側3コイルを駆動した場合、プラズマはピックアップコイルまで到達したため磁場の減少を計測したが、下側3コイルのみ駆動した場合は、プラズマが主に上方に膨張したため、磁場の減少は計測されていない。



さらに、レーザーを固体に照射することで得られるプラズマと、印加した磁場中のプラズマ膨張の様子を数値シミュレーションで計算した。右図のように、(a)4コイル駆動（ほぼ対称な磁場配位）、(b)下部3コイル駆動、(c)下部2コイル駆動を比較すると、磁場配位を制御することで、プラズマ膨張方向を制御できることがわかる。



## 核融合ロケットの実践的な運用

においては、航行の前半は目的地に向けて加速し、後半は減速が必要となる。（加速のままでは、目的地を通り過ぎてしまう。）このために、航行の中頃では、推力の方向を変化させる必要がある。当研究室では、宇宙船の推力の方向を変化させ、宇宙船を回転させる手法を提案しているが、そのためにはプラズマの噴出方向を制御する必要がある。本研究は、この推力方向制御を新たに提案し、世界で最初の実験的に実証したものであり、今後の核融合ロケットの実用化への重要な第一歩である。