

2次元分光マッピングによる磁気ノズルを通過するレーザープラズマ流の挙動解析 Analysis by two-dimensional spectroscopic mapping of the behavior of a laser plasma passing through a magnetic nozzle

谷 亮太郎¹, 臼井智哉¹, 長谷川 純²
Ryotaro TANI¹, Tomoya USUI¹, Jun HASEGAWA²

¹東工大工学院, ²東工大先導原子力研
¹Dept. of Mech. Eng., Tokyo Tech, ²LANE, Tokyo Tech

深宇宙探査のための推進器としてレーザー推進器が注目されている。レーザー推進器に利用されるレーザープラズマには、高密度で生成量が多いという特徴があり、高比推力の実現が期待されている。深宇宙探査では、宇宙機のペイロード比を大きくするために高効率な推進器が必要とされており、推進剤を大幅に削減できるレーザー推進器に期待が寄せられている。

レーザープラズマは、発生直後は高温高密度状態にあり、固体標的（推進剤）との間に生じる圧力勾配により標的に垂直な方向（縦方向）に流体的加速を受けると同時に標的と平行な方向（横方向）にも急速に膨張する。このことは、プラズマ粒子の運動量の一部は宇宙機の推進に寄与していないことを意味する。この課題を解決するために、本研究ではレーザープラズマに磁気ノズル（発散磁場配位）を適用することを考える。磁気ノズルの位置や磁場強度を変えて、磁気ノズルを通過したレーザープラズマを2次元的に分光計測することで、磁気ノズルがプラズマの各粒子の挙動に与える影響について検証する。またイオン電流密度によっても議論する。

図1に示した実験装置は、プラズマ生成チャンバー、磁気ノズルコイル、Nd:YAG レーザー、モノクロメータ、モノクロメータ移動用ステージ、光電子増倍管、ファラデーカップにより構成される。プラズマ生成チャンバー内に設置された銅の平板ターゲットにNd:YAG レーザーを集光することで、アブレーションプラズマを生成する。ターゲットはXY自動精密ステージ上に設置されており、レーザーの照射4回ごとに0.1 mm移動する。これによってレーザーの照射でスポットが変形し再現性が低下することを防いでいる。ターゲット近傍にはソレノイドコイルが設置されており、LCR回路からの最大1.4 kAのパルス電流によって励磁することで、

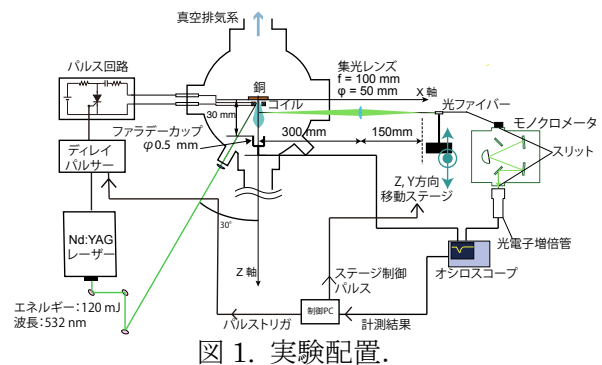


図1. 実験配置.

コイルの中心軸上で最大900 mTの磁場を発生し、磁気ノズルを形成する。コイル位置はターゲットから2~5 mmで可変である。生成したプラズマは磁気ノズルを通過する。そして、特定の地点からの発光を集光し、発光スペクトル線強度の時間変化を計測する。これを複数地点で行い、各地点での発光スペクトル線強度の時間変化をつなぎ合わせることで、各時刻におけるプラズマ全体の発光スペクトル線強度分布を再構成しプラズマの挙動を可視化する。2次元スペクトル線強度分布の一例を図2に示す。図2のように、磁気ノズルでプラズマが半径方向に圧縮され、進展方向に引き伸ばされている様子を観測できた。この2次元分光マッピングで磁気ノズルの様々な動作条件のもとでのプラズマの挙動を詳細に調べた。また、ファラデーカップによりプラズマイオン電流を測定することでプラズマの挙動についてさらに議論する。

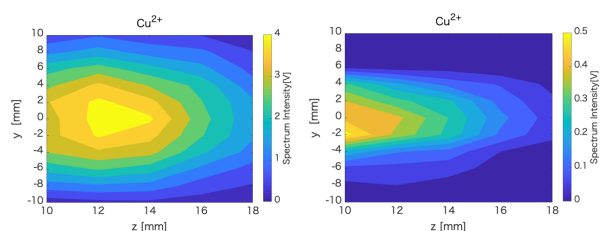


図2. 発光スペクトル線強度分布. (a) 0 mT, (b) 900 mT