

ヘリウム混合プラズモイドによるFRC衝突合体生成過程の可視化 Visualization of collisional merging FRC formation process by Helium doped plasmoid

櫻田凌介, 小林大地, 関太一, 山中拓人, 田村康明, 染谷紘希, 高橋努, 浅井朋彦
SAKURADA Ryosuke, KOBAYASHI Daichi, SEKI Taichi, YAMANAKA Takuto, TAMURA Yasuaki,
SOMEYA Hiroki, TAKAHASHI Tsutomu, ASAI Tomohiko

日大
Nihon Univ.

磁場反転配位 (FRC) プラズマは、体積平均 β が1と極限的に高く、また装置と鎖交しないため軸方向への移送が可能である。日本大学のFAT-CM装置では、2つのFRC様の初期プラズモイドを磁気圧差で加速、アルヴェン速度を超える相対速度^[1]で衝突・合体させることで単一のFRCを生成する実験が行われている^[2]。磁気リコネクションを介して2つのプラズモイドが合体している可能性があるが、その大域的な観測例は報告されていない。また、実験から想定されるプラズマ抵抗を条件としたMHDシミュレーション^[3]では衝突後にFRC様の磁場構造が再形成されるまでの時間スケール^[4]が実験と一致しないことから、移送時の運動エネルギーによって駆動される高速な磁気リコネクションが生じている可能性がある。

磁気リコネクション過程の観測のため、片側の初期プラズモイドの放電ガス (重水素) に分光観測のためのトレーサ元素として微量のヘリウムを混合し、衝突合体過程におけるプラズモイドの振る舞いの可視化を試みた。予備実験において混合比が10%以下の時、プラズマの温度や密度、体積にほとんど影響を与えないことが示された。ヘリウムイオンの線スペクトルの観測のための中心波長470 nmのバンドパスフィルターを備えた高速度カメラ (撮影間隔: 2 μ s) を使用して装置中央部にて観測を行なった。

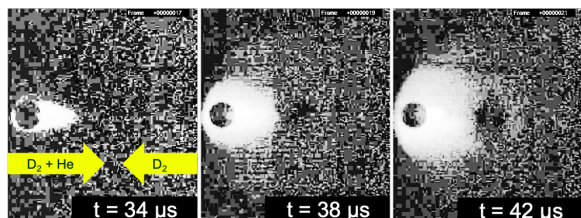


図1 衝突合体前後のプラズマの時間発展

ヘリウムの混合比率が10%の場合の観測結果を図1に示す。衝突時 ($t = 38 \mu\text{s}$) から前後4 μs を切り出した画像である。ヘリウムを10%混合した場合には片側 (図の左側) で発光強度が強

くなっており、プラズモイドの振る舞いを観測するために十分な光量が得られた。また、この結果から発光領域が時間経過により拡大している様子がみられ、径方向の拡大は磁気リコネクションに伴うアウトフローであると考えられる。以上の結果からヘリウムをトレーサとして用いた場合でも、FRCの衝突合体過程において、プラズモイドの振る舞いに大きな影響は与えていないと考えられる。

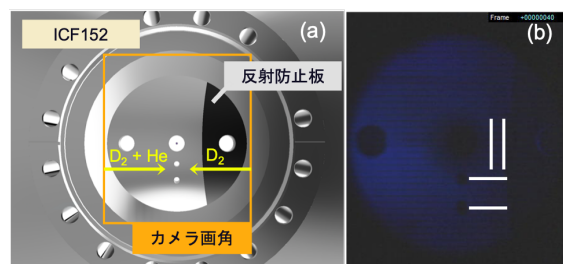


図2 (a)計測状況と(b)フローの計測位置

また観測結果から、磁気リコネクションは少なくとも30 – 40 μs 程度の時間スケールで生じていると考えられる。さらに図2 (b) に示すように平行な2線分を選択し、発光量の線積分値立ち上がり時間の差と、線分間の距離から軸方向と径方向のフロー速度を見積もった。衝突後では ($t \sim 50 \mu\text{s}$) 径方向の速度は9 km/s 程度、軸方向の速度は8 km/s 程度であった。

ヘリウム混合FRCと高速度カメラの観測により、磁気リコネクションや合体過程を可視化に成功した。本手法を用いて、初期プラズモイドのパラメータや境界条件などとのFRCの衝突合体時におけるリコネクション過程や緩和過程の関係性の検証を試みる。

参考文献

- [1] D. Kobayashi *et al.*, *Phys. Plasmas* **28**, 022101 (2021).
- [2] T. Asai *et al.*, *Nucl. Fusion* **59**, 056024 (2019).
- [3] T. Asai *et al.*, *Nucl. Fusion* **61**, 096032 (2021).
- [4] D. Kobayashi *et al.*, *Rev. Sci. Instrum.* **92**, 053515 (2021).