

## FRC プラズマの衝突合体過程における混合ヘリウムスペクトルの空間分布

### Time evolution of mixed helium spectrum during the collisional merging of FRC plasmas

○櫻田凌介<sup>1</sup>, 川崎晃<sup>2</sup>, 関太一<sup>3</sup>, 小林大地<sup>4</sup>, 高橋努<sup>4</sup>, 浅井朋彦<sup>4</sup>

\*Ryosuke Sakurada<sup>1</sup>, Hikaru Kawasaki<sup>2</sup>, Taichi Seki<sup>3</sup>, Daichi Kobayashi<sup>4</sup>, Tsutomu Takahashi<sup>4</sup>, Tomohiko Asai<sup>4</sup>

Abstract: Experiments on collisional merging formation of field-reversed configurations (FRCs) at supersonic/Alfvénic velocities are conducted in the FAT-CM device at Nihon University. Helium is mixed into one of the FRCs before the collision/merging as a tracer. Observations of this process are carried out with a high-speed camera equipped with a bandpass filter for the tracer ion spectrum, mounted at the mid-plane of the device. The observed emission distribution is influenced by reflections from the device's inner walls, making it difficult to distinguish the behavior of FRCs. Image processing techniques are applied to extract the temporal evolution of the behavior of FRCs.

磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration : FRC) は、開いた磁力線とポロイダル方向に閉じた磁力線のみから形成される閉じ込め磁場配位である。ポロイダル磁場はプラズマ自身に流れるトロイダル電流により形成されている。また、プラズマの閉じ込め効率を表す  $\beta$  値 (≡プラズマ圧力/磁気圧力) が極限的に高い ( $\beta \gg 1$ ) 特徴をもつ。日本大学 FAT-CM 装置<sup>[1]</sup>では、FRC プラズマを2つ生成、加速し、Alfvén 速度を超える速度で衝突・合体させ、単一の FRC プラズマを生成する実験が行われている。

衝突合体過程では磁気リコネクションが生じていると考えられるが、磁場散逸に Spitzer/Chodura 抵抗<sup>[2]</sup>を用いた抵抗性磁気流体力学 (Magnetohydro Dynamics : MHD) シミュレーションでは、磁気リコネクションの完了にかかる時間は実際より長いことが示された。実験から推定される抵抗の数倍から 10 倍程度の抵抗値にした時、実際の時間スケール程度で合体が完了した。この計算で前提としている MHD 近似はラーモア半径が磁力線の揺動に対して十分に小さく、プラズマの運動エネルギーが磁気エネルギーに対して無視できる条件で成立するが、FRC の超 Alfvén 速度での衝突合体過程では、MHD 近似を用いた従来の理論は適用できないと考えられる。

本研究では、FRC の合体が完了するまでの時間スケールと FRC の構造の大域的変化観測を目的に、一方の

FRC にトレーサを混合し、高速度カメラでその発光分布の時間発展を観測する実験を行なっている<sup>[3]</sup>。衝突合体過程において磁気リコネクションが生じるまで、FRC の閉じた磁力線に捕捉されたトレーサイオンがもう一方の FRC に拡散しないと仮定し、一価のヘリウムイオンのスペクトル (He II : 468.2 nm) をトレーサとして観測する。Figure 1 に衝突合体後 8  $\mu$ s における He II の発光分布を示す。カラーバーは発光強度である。装置壁に設置された観測窓付近で反射によるものと考えられる光強度の高い領域が見られ、実際のプラズマの発光分布との区別が困難であった。よって、プラズマの発光の時間発展を区別するため、主成分分析やモード分解等<sup>[4]</sup>の手法を用いた発光分布の画像解析により、背景成分と動的成分への分離を試みる。

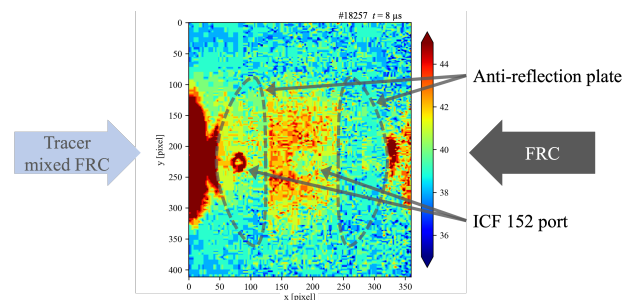


Figure 1. Helium emission distribution at  $t = 8 \mu$ s observed with a high-speed camera

#### 参考文献

- [1] T. Asai *et al.*: “Observation of self-organized FRC formation in a collisional-merging experiment”, Nuclear Fusion, Vol.61, 09603, 2021.
- [2] M. Onofri *et al.*: “Magnetohydrodynamic transport characterization of a field reversed configuration”, Phys. Plasmas, Vol.24, 092518, 2017.
- [3] D. Kobayashi *et al.*: “Spectroscopic observation of super-Alfvénic field-reversed configuration merging process by mixing of tracer ions”, Review of Scientific Instruments, Vol.93, 103526, 2022.
- [4] M. Sasaki *et al.*: “データ駆動アプローチを用いた動的乱流現象の解析”, J. Plasma Fusion Res. Vol.97, 79, 2021.