

O-12

直交ミラー磁場中でのFRC衝突合体実験における内部エネルギーの衝突速度依存性の検証

Dependence of Internal Energy on Collision Velocity in Collisional Merging of FRCs

under an Orthogonal Mirror Magnetic Field

○武内志賢¹, 牧野爽生², 菊池龍之介³, 小林大地³, 高橋努³, 浅井朋彦³*Yukimasa Takeuchi¹, Akira Makino², Ryunosuke Kikuchi³, Daichi Kobayashi³, Tsutomu Takahashi³, Tomohiko Asai³

Abstract : Field-reversed configuration (FRC) merging experiments in an orthogonal mirror magnetic field are explored as a promising alternative to conventional axisymmetric merging. To extend the configuration formation time, a newly implemented acceleration section is employed. This study investigates how the magnetic-field distribution of the acceleration section affects FRC formation by examining the relationship among the momentum of translated plasmoids, the internal energy of the generated FRCs, and their confinement time, using magnetic probes and a laser interferometer. The ultimate objective is to optimize the magnetic field configuration of the acceleration section for improved FRC formation.

1. 研究背景・目的

日本大学のプラズマ理工学研究室では、FAT-CM装置を用いて逆磁場シータピンチ (Field-Reversed Theta-Pinch: FRTP) 法により生成した2つの磁場反転配位 (Field-Reversed Configuration: FRC) 様のプラズモイドを磁気圧で加速し、衝突・合体させることでFRCを生成する、軸対称FRC衝突合体実験を行っている[1]. 従来の軸対称FRC衝突合体に代わる新たなFRCの生成法として、プラズモイドの移送方向と直交する方向のミラー磁場領域内における衝突合体実験が行われた。

先行研究では、相対速度約300 km/sでの衝突合体に成功し、内部磁場計測により生成直後 (約10 μ s) の反転磁場の形成および100 μ s以上の保持時間が確認されている。

現在、配位形成時間の伸長を目的として、Fig. 1に

示す加速部を新たに組み込んだ装置を用いた実験を計画している。加速によりFRCの運動量を増加させることで、直交ミラー磁場中に入射する際の軌道の湾曲抑制や生成FRCの内部エネルギー増大が期待される。

本研究では、この加速部の効果を明らかにすることを目的とし、磁場分布を変化させつつ、移送プラズモイドの直交ミラー磁場中での運動や生成FRCの内部エネルギー・閉じ込め時間と移送速度の関係を調べ、磁場分布の最適化を目指す。

2. 計測機器

2.1. 磁場計測

加速部の磁場分布を正確に計測するため、互いに直交する2成分を計測可能な2ch磁気プローブを用いて加速部の磁束密度を測定する。

また、従来の1chの磁気プローブを用いて外部磁場を計測し排除磁束半径および体積の推定を行う。反転磁場を確認するための内部磁場分布計測には12chの内部磁気プローブを用いる。

2.2. レーザー干渉計

加速部の2点および閉じ込め部中央にレーザー干渉計を設置し、time-of-flight法によって移送速度を評価および各点での線積分電子密度の計測を行う。

先行研究では、閉じ込め部中央においてプラズマ密度が低く、密度計測が困難であった。そこで本研究では、FIG. 2で示すように閉じ込め部に設置する干渉計をシングルパスからダブルパス方式へと変更した。これにより位相差が2倍となり、SN比の改善によって密度計測が容易になると期待される。

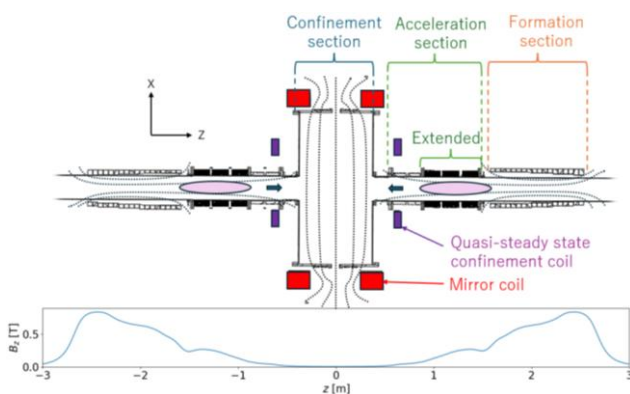


Figure 1. Schematic diagram of the experimental setup

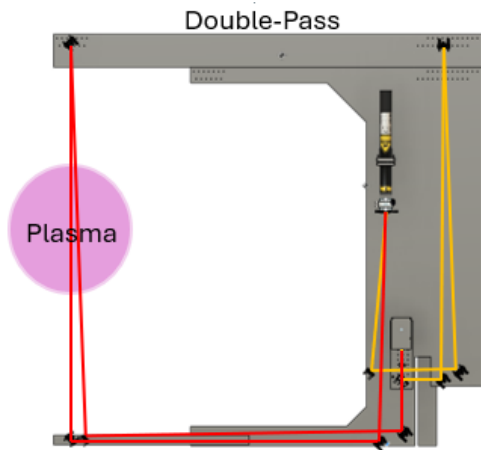


Figure 2. Optical path of the interferometer

3. 実験および解析

本研究ではFIG. 3で示すように加速部の磁場分布を調整し、実験を行う。加速部の磁場分布とFRCの移送速度との関係を測定し、移送プラズモイドの運動量を推定する。また、衝突合体によって生成されるFRCの密度および温度を計測し、その内部エネルギーおよび閉じ込め時間を推定する。

3.1. 磁場分布の計測

新たに作成した磁気プローブの計測精度および再現性を確認するために、加速部のコイル巻き数やコイルに流れる電流値を調整し、ガスを導入せずに放電を行う。2ch磁気プローブで磁束密度を計測し、コイル電流値から算出される磁場分布と比較する。

3.2. 磁場分布と移送速度の関係

加速部の磁場分布と装置中央におけるプラズモイドの移送速度との関係を調べるため、片側の生成部にのみガスを導入して放電を行う。移送速度は、加速部の2点および閉じ込め部中央付近に設置したレーザー干渉計による線積分電子密度を用い、time-of-flight法によって推定する。

3.3. 移送速度と内部エネルギーの関係

プラズモイドの移送速度と生成FRCの内部エネルギーおよび合体プラズマの閉じ込め時間の関係を明らかにするため、衝突合体実験を行う。FRCの生成有無は、反転磁場構造の形成や、特徴的な不安定性である $n = 2$ 回転不安定性 [3] の発生を指標とする。

Fig. 3に加速部の拡大図を示す。加速部のコイルは位置①～④で独立に巻き数を変更でき、これにより磁場勾配を制御できる。Fig. 4は巻き数を変化させた

際の B_z および B_x の z 方向分布を示しており、図中の N はFig. 3に対応する各位置のコイル巻き数を表す。

FRC内部エネルギーは、生成FRCを x 軸方向に偏長な円柱状と仮定し、全粒子数と全温度から算出する。これらはセパトリティクス外部の磁束密度とプラズマの平均電子密度から推定する。

さらに、各条件で移送速度とFRCの内部エネルギーの関係を調べ、排除磁束半径・内部磁場分布・線積分電子密度の時間発展から閉じ込め時間を求め、移送速度との相関を評価する。

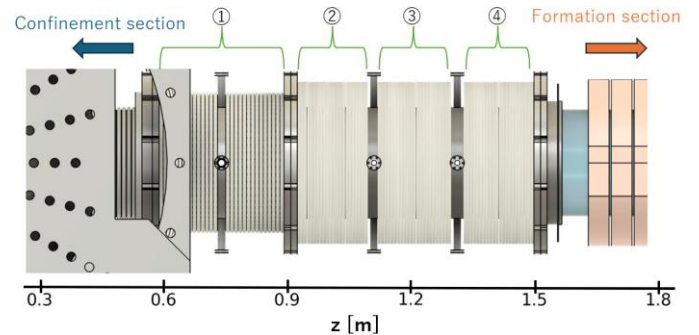


Figure 3. Detailed view of the acceleration section

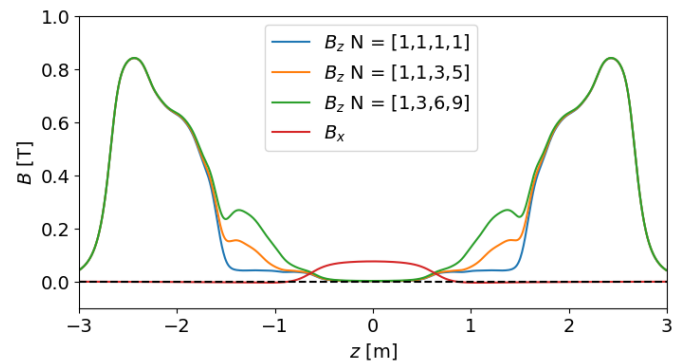


Figure 4. Comparison of magnetic field distributions

参考文献

- [1] T. Asai et al. : “Observation of self-organized FRC formation in a collisional-merging experiment”, Nuclear Fusion, Vol. 61, 096032, 2021.
- [2] D. Kobayashi et al. : “Experimental evidence for super-Alfvénic acceleration of the field-reversed configuration due to a magnetic pressure gradient”, Physics of Plasmas, Vol.28, No.8, 022101, 2021.
- [3] T. Asai et al. : “極限の高ベータ配位：FRC の閉じ込め・安定性をどう理解するか?”, J. Plasma Fusion Res. Vol.96, No.4 , pp165-173, 2020.