

FAT-CM 装置におけるプラズマ合体実験時の プラズマ性能の統計解析

日大生産工(学部) ○三橋 直弥 日大生産工 佐々木 真 日大理工 関 太一
日大理工 小林 大地 日大理工 浅井 朋彦

1. 背景

逆転磁場配位プラズマ (Field-Reversed Configuration, FRC) は、単連結な磁場閉じ込めトラスプラズマであり、安定的に高ベータなプラズマを維持することが可能である¹⁾。FRCプラズマは、二つのFRC様プラズモイドを超アルヴェン速度で衝突・合体させることで形成させることが出来る。テイラー状態にないFRCが衝突合体における激しい擾乱を受けても堅固にその配位を維持、あるいは再形成するかが未解明である。

本研究では、日本大学理工学部にあるFAT-CM装置における観測データに対して、多数の実験ショットについて多変量解析を行うことで、高性能プラズマ実現のための重要パラメータを見出し、物理過程の理解を推進することを目指す。特に、本予稿では、初期結果として、FRCの衝突合体時の2つの磁化プラズモイドの移送速度²⁾と、生成されるプラズマの緒パラメータの関係に着目した解析結果を示す。

2. 実験装置

本研究で使用する装置は、日本大学理工学部 に建設されたFAT-CM装置を使用する。Fig. 1 に本実験で使用するFAT-CM装置の概略図を示す。この装置は、FRCプラズマを実現する装置であり、閉じ込め容器の両端でプラズモイドを生成し、相対速度300-600 [km/s]程度のア ルヴェン速度を超える相対速度で衝突合体させ、単一FRCを生成する¹⁾。

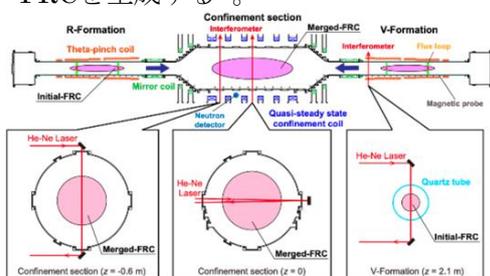


Fig.1 FAT-CM 装置の概略図³⁾

3. 観測量の時間発展

本研究では、多数の実験結果を一気に多変量解析にかけることを目指す。まず、実験結果を自動表示し、必要な緒パラメータを抽出するためのスクリプトの作成を行なった。

Fig. 2上図に、プラズマ衝突合体後の装置中央の閉じ込め部のプラズマの排除磁束半径(磁気計測信号より推定した実効的なプラズマ半径)を示す。時刻 $t=15[\mu\text{s}]$ 近傍において、 z 方向の正負それぞれの方向より加速された二つのプラズモイドが $z=0$ 近傍で衝突して、ひとつのプラズマが生成される様子が見てとれる。

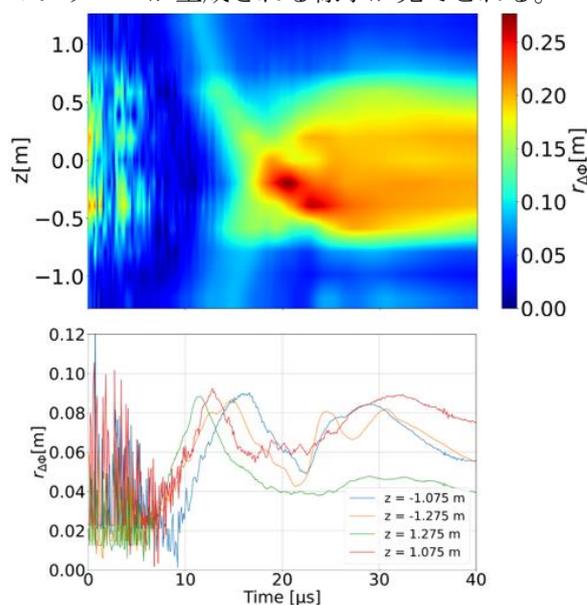


Fig. 2 排除磁束半径の時間発展の様子

上図: z 方向分布の発展

下図: $\pm 1.0[\text{m}] \sim \pm 1.275[\text{m}]$ に設置されたプローブで得られた信号

Fig.2下図では、異なる z の位置における排除磁束半径の発展を示している。時刻 t が、10~20 $[\mu\text{s}]$ に見られるピークがプラズモイドが通過している時間帯に対応し、その時間差とプローブ間隔から、合体衝突前のプラズモイド

Statistical analysis of plasma performance during
plasma merging experiments in the FAT-CM device

Naoya MITSUHASHI, Makoto SASAKI, Taichi SEKI,
Daichi KOBAYASHI and Tomohiko ASAI

の速度を評価することが可能である。今回は磁気プローブの設置間隔が、1.275[m]と1.075[m]、-1.275[m]と-1.075[m]の組み合わせで評価した。

実験で得られるプラズマの緒パラメタの時間発展の例をFig.3に示す。Fig.3より、(a)は装置中央部の閉じ込め部の全温度、(b)は線積分電子密度、(c)はプラズマ体積、(d)プラズマ長である。計測器から直接得られる物理量は線積分電子密度である。プラズマ長は排除磁束半径の軸方向分布から推定したものである。プラズマ体積は、プラズマ長と排除磁束半径から求めたものである。全温度は平均電子密度と装置中央断面における排除磁束半径を使用して推定したものである。プラズモイドが衝突すると、圧縮によりプラズマ長が短くなり、その後排除磁束半径の増加によってプラズマ体積が増加する。また、衝突後に温度の急激な上昇が見られる。特徴的には10数マイクロ秒程度と、非常に短い時間で温度や密度が変化する。今後、背景プラズマの変化を決める時間スケールとMHD的な時間スケールや閉じ込め時間との関係を調査する必要がある。

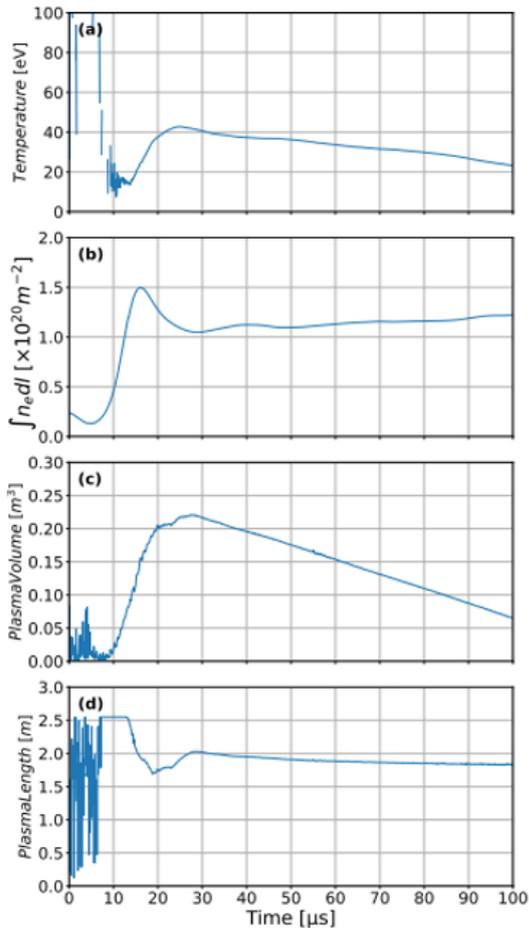


Fig.3 プラズマ衝突合体の物理量の時間発展

4. 統計解析の例

実験の各ショット毎に前節で述べたような物理量の時間発展を得ることが出来る。温度上昇が始まる前の温度が極小となる付近の時間帯における磁気プローブデータから衝突前のプラズモイドの速度を評価し、衝突後の物理量のピーク値との対応づけを行なった。これらを自動的に行うスクリプトを作成し、多数のショット情報をもとに、プラズモイドの速度と全温度との相関を調査した。Fig.4に結果を示す。速度と全温度の間に弱い正の相関が見られる。今後は、多変量解析を導入することで、衝突前後の緒パラメタ間の多変量間の相関関係を明らかにする。

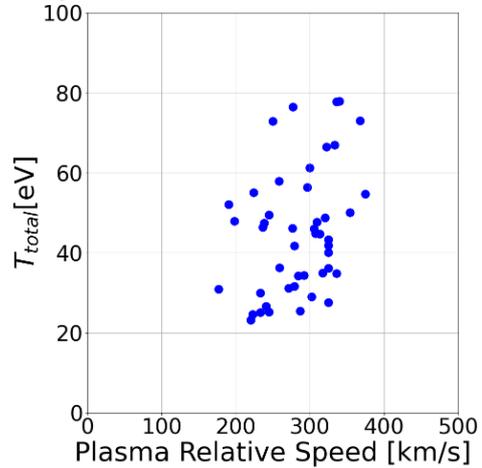


Fig.4 ショット毎のプラズマ速度と全温度

5. まとめ

FAT-CM 装置におけるプラズマの衝突・合体実験において、プラズマの衝突前情報と衝突後のプラズマ特性の関係を統計的に調査すべく、データの自動処理スクリプトの開発を行なった。実験で得られる時系列データから衝突前後を自動で切り分け、プラズモイドの速度と衝突後のプラズマ緒パラメタとの対応を調査した。全温度と衝突速度の間には、弱い正の相関が見られたが、今後は多変量解析を導入することで、より詳細な因果関係の調査を行う。

参考文献

- 1) 関 太一, 磁場反転配位プラズマ合体における高速磁気リコネクション現象に関する研究, 日本大学院理工学研究科博士論文 p.1-72. (2024)
- 2) Daichi K. et. AL. et. Physics of Plasmas 28.2 (2021): 022101.
- 3) Daichi K. et. AL. Plasma and Fusion Research 16 (2021): 2402050.