

衝突合体 FRC 生成における衝突速度の制御

Control of source plasma collision velocity on collisional merging FRC formation

廣瀬陽介¹, 年木健², 高橋努³, 浅井朋彦³, 関口純一³Yosuke Hirose¹, Takeshi Toshiki², Tsutomu Takahashi³, Tomohiko Asai³, Junichi Sekiguchi³

Abstract: A collision speed will be controlled by a separately driven auxiliary coil installed in a theta pinch coil, on collisional merging FRC formation device (FAT-CM), at Nihon University. The auxiliary coil consists of a pair of one-turn coils flowing in opposite directions to each other. The local magnetic field controls the magnetic pressure by an applied magnetic field of the auxiliary coil. The translation velocity of the colliding plasmoids is controlled by the initiation time of the auxiliary coil, the auxiliary coil current, the direction of the coil current, and so on.

1. はじめに

FRC プラズマは閉じ込め効率を示す β 値が非常に高く、構造が単純のため核融合炉心プラズマとなることが期待されている。しかし、閉じ込め特性に影響与えることなく、配位の崩壊をもたらす巨視的不安定性を抑制する手段がなく、閉じ込め性能の向上が難しかった。近年、逆バイアステータピンチ (FRTP) 法で生成された二つの FRC プラズマを移送し、衝突合体させることで閉じ込め効率を向上できることが TAE テクノロジー社の C-2-/C2-U 装置で報告された^[1]。その際、衝突速度の上昇に伴ってプラズマ温度等の上昇が観測されたが、詳しいメカニズムはまだ解明されていない。

プラズマの衝突合体過程を解明するために FAT-CM 装置が建設された (Fig1)。二つの逆バイアステータピンチ (FRTP) 装置と金属の閉じ込め領域で構成され、FRTP コイル内部に制御コイルが入れている。

2. 制御コイル

制御コイルは一組の一巻きコイルで構成され、バイアス磁場、シータ予備電離磁場、主圧縮磁場が印加された時に発生する誘導起電力が打ち消し合うように逆向きに電流を流すようになっている^[2]。回路は、コンデンサー充放電回路であり、クローバースイッチの動作時間を制御することで様々な電流波形 (磁場強度) を作ることができる^[3]。典型的な放電では、充電電圧 15kV

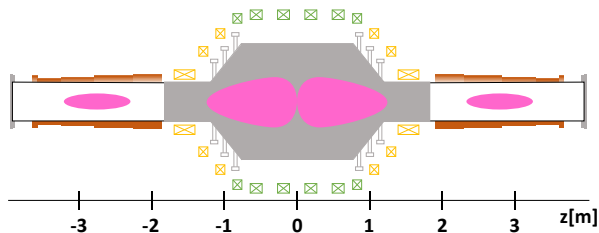


Figure 1 Schematic of FAT-CM Device

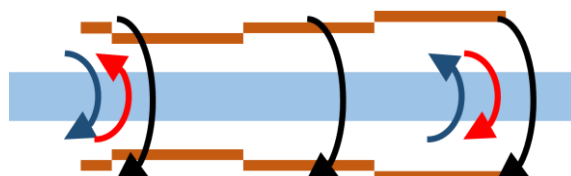


Figure 2-1. Schematic of Current direction of theta pinch coil (black) and auxiliary coil (red (+Aux) and blue (-Aux))

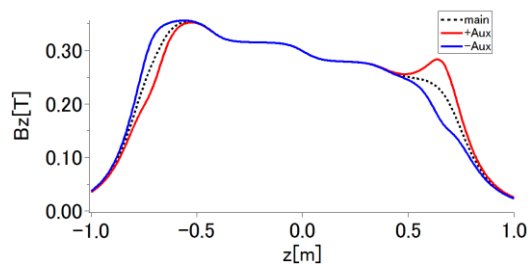


Figure 2-2. Magnetic field profile of the guide field without (dotted black line: main) and with (red (+Aux) and blue (-Aux) line)

でピーク電流値 30kA、立ち上がり時間 $10 \mu\text{s}$ の振動しない電流が得られる。

主圧縮磁場中 (450kA) に制御コイル (30kA) を印加したときの磁束密度 B_z は局所的に変化させる (Fig2)。生成された FRC は閉じ込め磁場の磁気圧差により力を受けるので制御コイルに流す電流の向きを変えることでプラズマ前方へ引く力、後方から押し出す力加える実験を行うことができる。この FRC へ加える力によって移送速度の制御を行い、衝突合体時に与える効果を実験で観測する。

3. FRC 衝突合体実験

逆バイアステータピンチ法で生成された高温高密度のプラズマは $5 \mu\text{s}$ で配位を形成し、磁気勾配により閉じ込め部へ移送が開始される (Fig 3,4)。 $20 \mu\text{s}$ にはミラ

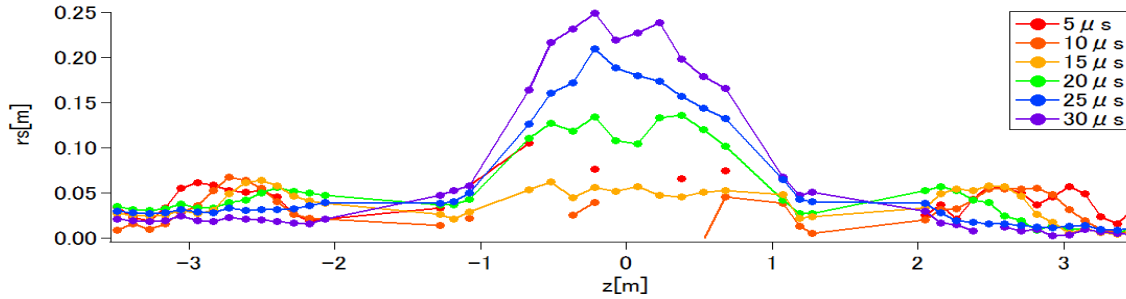


Figure 3 Time evolution of separator radius profile in confinement region

一磁場下を通過し一気に加速される。移送速度は、約 120km/s になり、閉じ込め部中央で二つのプラズマが衝突する。このとき磁力線がつなぎ変わる磁気再結合によって磁気エネルギーが熱エネルギーへ、プラズマの運動エネルギー衝突時熱化が起り熱エネルギーへ変換される。Figure 3 は排除磁束半径から求めた閉じ込め部移送過程のプラズマ半径の時間発展である。両生成部から閉じ込め部への移送速度は磁場・制動放射光の信号と計測器の位置から飛行時間法で導出する^{[3],[4]}

4. 実験結果

実験から速度を求めたが制御コイル使用の有無に関わらず移送速度はおおよそ 120~130km/s となっており変化が見られなかった。

また FRC 中心位置半径 r_{smax} の 1/2 倍になる位置 z_{\pm} をプラズマ端部とし、各測定位置間のプラズマ半径を台形則を用いて体積を $V_p = \pi \int_{z_-}^{z_+} r_s^2(z) dt$ で求める (Fig 5-1)。実験では、制御コイルの印加の有無に関わらず体積、形状に変化は見られなかったが、レーザー干渉計によるプラズマ線積分密度計測では線積分密度の上昇が確認された (Fig 5-2)。体積・形状に変化がなく線

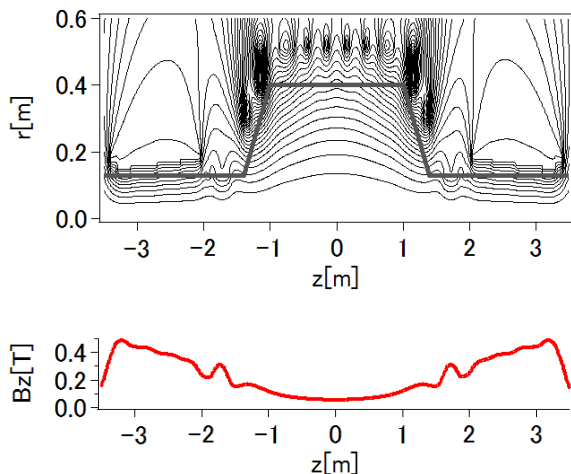


Figure 4 Magnetic field of FAT-CM Device

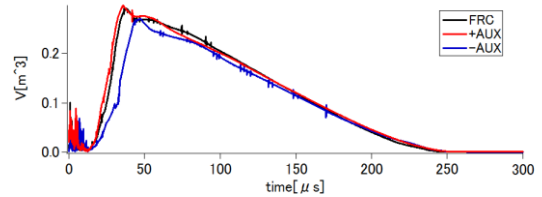


Figure 5-1 plasma Volume

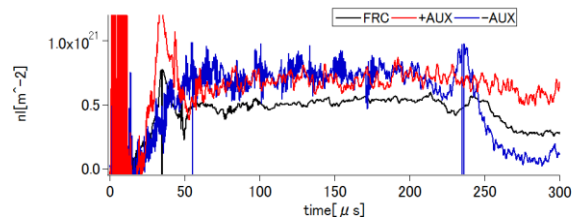


Figure 5-2 Line integrated density

積分密度が増えているということは、装置内の総粒子数が増加していると考えられる。

5. まとめ

FRC 衝突合体実験において制御コイルを用いて移送速度の制御を試みたが効果は確認できなかった。しかし閉じ込め部の線積分密度、総粒子数の増加が見られ、制御コイル周辺のプラズマが減衰前に移送されやすくなっているのではと考えられる。

今後、本来の移送速度の制御が行えるように改良、検証を行う予定である。

6. 参考文献

- [1]H. Y. Guo, and TAE Team, et al: “Formation of a long-lived hot field reversed configuration by dynamically merging two colliding high- β compact toroids”, Phys. Plasmas **18**, 056110, (2011).
- [2]M. Fujino, et al: “Control of translating velocity using pulse field on field-reversed configuration plasmas”, Phys. Plasmas **13**, 012511, (2006).
- [3]Y. Matsuzawa, et al: “Effects of background neutral particles on a field-reversed configuration plasma in the translation process”, Plasmas **15**, 082504, (2008).
- [4]T. Takahashi, et al: “Multichannel optical diagnostic system for field-reversed configuration plasmas”, Rev. Sci. Instrum **75**, 5205 (2004).