平成 28 年度 日本大学理工学部 学術講演会予稿集

0-8

磁場測定による移送・衝突 FRC の大域的振る舞いの評価 Assessment of Global Behavior of the Translated FRC in the Collisional Merging Process by Magnetic Field Measurement.

○齋藤秀峻¹, 石渡淳平¹, 片山晴理¹, 小野直人¹, 松井圭祐¹, 高橋努², 関口純一², 浅井朋彦² *H. Saitoh¹, J. Ishiwata¹, S. Katayama¹, N. Ono¹, K. Matui¹, T. Takahashi², J. Sekiguchi², T. Asai²

Abstract: A field-reversed configuration (FRC) is a compact toroid dominantly with poloidal magnetic field. Because of its simply-connected configuration, an FRC can be translated axially along a gradient of external magnetic field and trapped in a confinement region with quasi-static external magnetic field. A long-lived FRC, produced through the process that collisional merging of two FRCs, has been studied on the C-2/C-2U experiments at Tri Alpha Energy. To achieve an FRC with improved confinement compared with conventional one, the technique of collisional merging would be effective. However, the details of merging process have not been understood. In this work, global behavior of translated and collided FRC is verified by diamagnetic measurement.

1. はじめに

磁場反転配位(FRC: Field-Reversed Configuration) は理想的にはポロイダル磁場のみを有しており,閉じ 込められたプラズマの圧力とプラズマ外部の磁気圧 が釣り合うことが特徴である^[1].また,FRCは配位を 形成するために必要なコイルなどの構造物がプラズ マと鎖交しないことから外部磁気圧分布を制御する ことにより,移送させることが可能である.

近年,米国 Tri Alpha Energy, Inc.による C-2U 装置を 用いた FRC 衝突合体実験において従来の FRC と比較 して圧倒的に長い 5ms 以上の配位維持時間を持つ FRC が報告されている.ただし,衝突合体法による FRC 生成の詳細なメカニズムの検証が不十分のため, 本研究では FRC 衝突合体実験をおこない,衝突後の FRC の振る舞いを磁場測定により評価する^[2]. FRC プラズマの挙動を観測する. 磁場の計測は金属チ エンバー内に設置した磁気プローブでおこない, 排除 磁束法を用いてセパラトリクス半径: r_sを導出する. また準定常磁場を計算し比較することで衝突 FRC プ ラズマの大域的振る舞いの評価を目的とする.

2. 実験装置

2.1. FRC 生成・衝突装置 FAT-CM

Figure 1に FAT-CM の概略図を示す.実験装置は2 つの領域に分けられ,両端の生成領域と中央の閉じ込 め領域で構成される.両端の生成領域で生成された FRC は磁気圧差により軸方向に移送され,中央の閉じ 込め領域で衝突する.

FRC 生成時には立ち上がり時間 4 μs の磁場が必要 なため真空容器は石英製であり、その容器を覆うシー タピンチコイルで構成される.





Figure 1. Schematic view of the FAT-CM.

^{1:}日大理工・院(前)・物理 2:日大理工・教員・物理

閉じ込め領域では移送 FRC を準定常磁場に入射さ せ、捕捉する.肉厚 6mm の金属チェンバーを使用す ることから、磁場の浸み込み時間を考慮して立ち上が り時間が 50ms の磁場を形成する.Table 1 に示される 閉じ込めコイルにより金属チェンバー内部に軸方向 にほぼ一様な閉じ込め磁場が発生させられる.

Coil Name	Ф(mm)	Z-position(m)	Turns
Mirror Coil	267	±1.71	124
	600	± 1.35	88
Center Coil	1030	±0.75	29
	wide		
	1030	± 0.15	30
		± 0.45	30

 Table 1. Parameters of confinement field coils.

2.2. 計測器



Figure 2. Magnetic field with or without plasma.

磁場は閉じ込め領域の金属チェンバー内側に設置 された石英管内の中の磁気プローブによって計測さ れる.プローブは7箇所に設置され、それぞれ閉じ込 め領域の中心から、ほぼ等間隔で一列に並んでいる. 準定常磁場中に侵入したFRCにより磁束が排除され、 磁場強度の変化が磁気ブローブで測定される.





磁気プローブによる金属チェンバー内部の磁場測 定によって, FRC プラズマのセパラトリクス形状を見 積もることができる.

3. 解析原理

ここでは、排除磁束法を用いたプラズマのセパラト リクス半径の導出を説明する^[3]. 放電管内の磁束密度 B_Z はコイル内部で一様な径方向分布を持つと仮定す る. この場合放電管内が真空の場合の磁束密度 B_{ZV} と 磁束量 Φ_V の関係は

 $\Phi_V = \int B_{ZV} \, dS = \pi r_t^2 B_{ZV} \qquad (1)$

となる.ただし、 r_t は放電管半径である.また、FRC プラズマがある場合、FRC内部では磁力線が閉じるた め、FRC外部の磁束密度 B_{ZP} と磁束量 Φ_P の関係は

 $\Phi_P = \int B_{ZP} dS = \pi (r_t^2 - r_s^2) B_{ZP}$ (2) となる.ただし、FRC のセパラトリクス半径を r_s とする.この2式よりセパラトリクス半径は

$$r_s = r_t \sqrt{1 - \frac{\Phi_p B_{ZV}}{\Phi_V B_{ZP}}} \qquad (3)$$

と求めることができる.閉じ込め領域の金属チェンバ 一内部の磁束の総量が保存されるので、 $\Phi_{P} = \Phi_{V}$ より

$$r_s = r_t \sqrt{1 - \frac{B_{ZV}}{B_{ZP}}} \qquad (4)$$

と表される.

セパラトリクス半径を導出し,その時間発展を観測 することで,プラズマの形状や衝突時の相対速度を評 価することが可能になる.

4. まとめ

FRC 衝突合体過程について検証するために金属チェンバーへ FRC の移送実験が開始された.磁気プローブを用いた計測により FRC の大域的な振る舞いを評価する.

5. 参考文献

[1] M. Tuszewski : "Field reversed configurations", Nucl. Fusion, Vol.28, No. 11, pp. 2033, 1988.

[2] M. C. Thompson, H. Gota, S. Putvinski, M. Tuszewski, and M. Binderbauer : "Diagnostic suite of the C-2U advanced beam-driven field-reversed configuration plasma experiment", Review of Scientific Instruments, Vol. 87, No.11, pp. 435, 2016.

[3] 井口一輝:「超音速移送による磁場反転配位プラズ マの形状遷移」,日本大学大学院理工学研究科 修士 論文,2010.