

O-12

アシストコイルによる磁場反転配位プラズマ生成における磁気再結合・軸方向圧縮の制御 Control of magnetic reconnection and axial contraction by an auxiliary coil on the formation process of field-reversed configuration plasmas

○前原至裕¹, 廣瀬陽介¹, 高橋努²*Yoshihiro Maehara¹, Yousuke Hirose¹, Tsutomu Takahashi²

Abstract: Field-reversed configurations (called FRC) is one of a number of plasma confinement methods. The FRC which are compact-toroidal magnetic systems with little or no toroidal field and very high β (β is ratio of plasma pressure to magnetic pressure). Although FRC research has been conducted so far, advanced experiments such as collision coalescence experiments of FRC plasma that will be undertaken will need to understand the movement of the plasma. Prediction of parameters such as plasma velocity can be expected by knowing the change of the magnetic field by the assist coil and the influence on the movement of the plasma. Finally, we investigate the change of plasma motion due to cusp magnetic field and magnetic reconnection.

1. はじめに

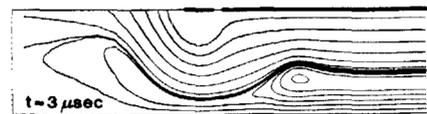
昨今のエネルギー問題を解決すべく様々な技術が日々研究されており, このような技術の一つとして核融合技術がある. 核融合技術もいくつかあり, 現在主流となっている手法では強い磁場を用いて高温のプラズマを閉じ込める手法が知られている. 例として磁場を環状に形成してプラズマを閉じ込めるトカマク型が実用的な炉に一番近いものとして現在, 国際協力のもと ITER (国際熱核融合実験炉) の建設が進められている. 一方, 開放端 (開いた磁力線構造) とプラズマ自身の電流による閉じた磁力線構造が自己形成されることで高効率なプラズマの閉じ込めが可能である逆転磁場配位(Field-reversed configuration: FRC)がある. FRC は高い β 値 (プラズマ圧力と閉じ込め磁気圧の比) を持ちトロイダル磁場を微小ないしは持たないという特徴がある磁場配位である.

2. FRC の生成と磁気再結合

FRC プラズマはバイアス磁場中に予備電離プラズマを生成し, バイアス磁場中に凍結する. そこへ立ち上がりの速い逆向きの磁場 (主圧縮磁場) を印加する. 急激な磁気圧の発生による衝撃波や径方向圧縮によりプラズマ加熱されるとともに, プラズマ端部では磁気再結合が起こり, 閉じた磁力線構造が形成される. このとき発生する閉じた磁場の張力により軸方向に収縮して加熱が起こり平衡状態となる. このような生成法を FRTP 法(Field-reversed Theta pinch)という.

FRTP 法で発生する磁気再結合にはバイアス磁場の構造に注目すると大きく二つに大きく分類される.

(a) Tearing reconnection



(b) Non Tearing reconnection

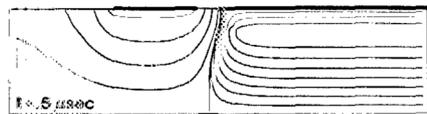


Figure 1. tearing and non-tearing reconnection [1]

直線およびミラー形状のバイアス磁場に主圧縮磁場を印加する場合, バイアス磁場と主圧縮磁場の間にあるプラズマが関与して磁気再結合(tearing reconnection: Fig.1 (a))が発生し, プラズマの温度 (電気抵抗), 密度, 分布などに依存し磁気再結合の速度が決まる. そのため, 外部からの能動的な制御は困難となる.

Table 1. Characteristics of magnetic reconnection

	Tearing reconnection	Non-tearing reconnection
再結合時間	長い (存在するプラズマパラメータに依存)	短い
能動的制御	困難	容易
再結合の対称性の制御	困難	容易
軸方向圧縮の制御	困難	容易

一方, カusp形状のバイアス磁場に主圧縮磁場を印加する場合は磁場がゼロになる領域が存在するため,

必ずこの真空領域で磁気再結合(Non-tearing reconnection: Fig.1(b))が起こる. このためプラズマの影響を受けることなく主圧縮磁場の印加と同時に磁気再結合が起きる. 外部からの能動的制御が容易となる. FRC プラズマ生成時に起こる磁気再結合の特徴を Table 1 にまとめる.

本研究ではアシストコイルとテータピンチコイルを用いて生成時の磁気再結合とそれに伴って発生方向圧縮を能動制御可能な方法の開発を行う.

3. アシストコイルによる磁気再結合の制御法

Figure2(a)に示すようにシータピンチコイル内に別駆動のアシストコイルを配置する. バイアス磁場強度(バイアス電流 35kA)を固定してアシストコイルの電流値を変化させた場合 (b) 10kA, (c)30kA の等磁束面を示す. アシストコイルはシータピンチコイルの磁束変化によって発生する誘導起電力を避けるために, 互いに反対巻のコイルを一組にして配置する. コイル左端では, アシストコイルの電流が 10kA の時に一部の磁力線が, 30kA の時にすべての磁力線が反転してカサブ磁場分布をなしている. 一方, 右端ではより強いミラー磁場配位となっている. (c) のような磁気面で

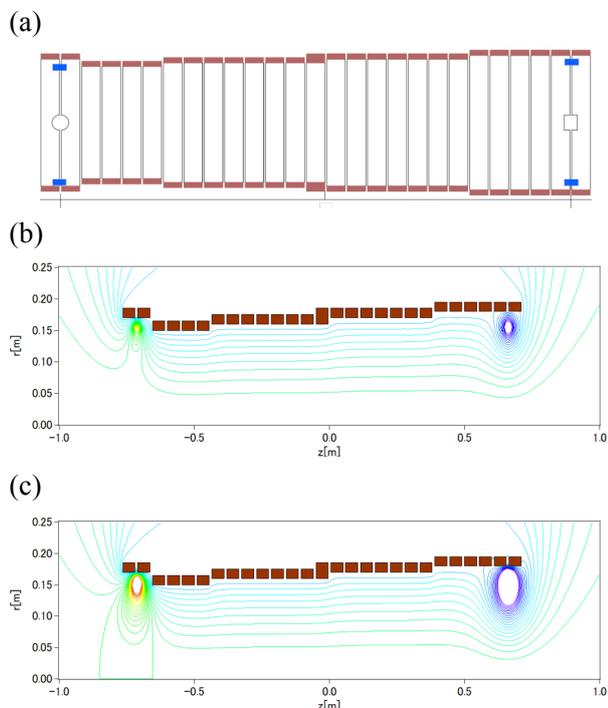


Figure 2. Schematic of auxiliary coil and theta pinch coil and magnetic flux function profile of (b)10kA and (c)20kA of auxiliary coil current and bias current of 35kA

主圧縮磁場を印加すると, 装置左端では Non-tearing

再結合が発生し右端では強いミラー磁場での tearing 再結合が発生するものと思われる. これらにより左右で異なった磁気再結合が発生し, その後の軸方向圧縮の強度も異なる状態を作ることが可能になる.

また Fig.2 に示すようにアシストコイルは, シータピンチコイルに流れる電流 (電流値 200kA) が増加す

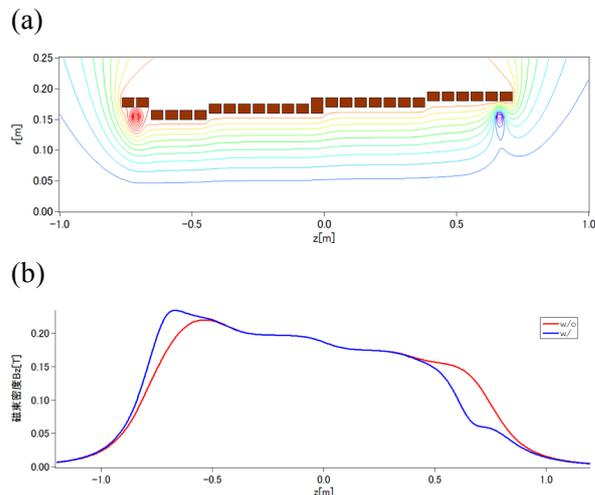


Figure 3. magnetic flux function profile and magnetic field strength profile. Red line is no theta current and blue line is theta current of 200kA

ると磁場閉じ込めの勾配を制御できるようになる. その結果 Fig.2(b)のように順方向 (シータピンチ電流と同方向) では磁束密度を強めミラー磁場の形成, 逆方向では磁束密度で弱めることにより軸方向運動を局所的に制御することができる.

4. まとめ

現在, FAT-CM 装置の両生成部(R-, V-Formation)に Fig.2(a)のように設置するとともに, 立ち上がり時間十数 μ s, 最大電流 40kA 電源を製作している. これらの電源のテスト後本格的なアシストコイルを用いた磁気再結合制御や軸方向圧縮の制御実験並びに Fig.2(a)のようなコイルにでも適用できる Snowplow-model

$$[2] \quad \frac{d}{dt} \left(m \frac{dr}{dt} \right) = - \left(\frac{B^2}{2\mu_0} - P - \frac{B_b^2}{2\mu_0} \right) 2\pi r$$

の 2次元拡張モデル開発などを行い, 生成過程の物理的なモデルの構築を目指す.

参考文献

- [1] R.D. Milroy and J.U. Brackbill, Phys of Fluids 29, 1184, (1986)
- [2] 宮本健郎:核融合のためのプラズマ物理 (改訂版) ,pp.394-396, 1987. 岩波書店