

コーシー条件面 (CCS) 法による磁場反転配位 (FRC) プラズマ位置・形状の再構築 Development of FRC separatrix reconstruction by Cauchy Condition Surface method

星野啓雄, 吉野智哉, 関口純一, 浅井朋彦, 高橋努

Akio Hoshino, Tomoya yoshino, Junichi Sekiguchi, Tomohiko Asai, Tsutomu Takahashi

¹ 日本大学理工学部

¹ College of Science and Technology, Nihon University

1. 序論

磁場反転配位 (FRC) プラズマは、体積平均ベータ： $\beta > \approx 1$ が実現可能な唯一の磁場閉じ込めプラズマである。生成したプラズマの位置・形状を正確に決定することは、プラズマを安全に閉じ込め、能動的に制御をする上で重要である。FRCはポロイダル磁束のみを持った単連結構造であることから、その形状解析には磁気プローブと磁束ループを用いた排除磁束法が専ら用いられる [1]。しかし、排除磁束法は無限長の円柱プラズマを仮定し、一様な磁場分布を有するという前提で計算される。そのため、磁場分布が非一様になるFRC端部では精度が著しく落ちてしまう。このことから、上記問題を解決出来る新たな形状決定法の開発が必要である。本研究では、トカマクプラズマの形状評価などに用いられているコーシー条件面 (CCS) 法をFRCプラズマに適用する [2]。CCS法は、磁束関数を決める Grad-Shafranov 方程式をプラズマ電流以外の電流分布 (コイル電流や導体境界に流れる電流)、ポロイダル磁束、磁束密度などの測定値を用いた境界積分方程式に変換して解き、磁束関数分布を求めることでセパトリクス面 (最外殻磁気面： $\psi = 0$) を同定する方法である。本発表では、CCS法をFAT-CM装置のFRC生成領域に適用することで得られた、FRCプラズマの形状再構築結果について報告する。

2. CCS法

軸対称系 (円筒座標系) の磁束関数 ψ を決める Grad-Shafranov 方程式は、以下ようになる。

$$\nabla \cdot \left[\frac{(\nabla\psi)}{r^2} \right] = -\frac{\mu_0 j_\theta}{r} \quad (1)$$

(1)式を、Green関数を用いた境界積分方程式に変換して解き、磁束関数を求める。

$$\psi(x) = \oint_{\partial\Omega} [\psi(y)\nabla G_{(x,y)} - G_{(x,y)}\nabla\psi(y)] \frac{dL}{r_y} + \int_{\Omega} G_{(x,y)}\mu_0 j_\theta dS \quad (2)$$

$$\text{※ } G_{(x,y)} = \frac{4}{k} \sqrt{r_x r_y} \left\{ \left(1 - \frac{k^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right\}$$

$$k^2 = \frac{4r_x r_y}{\{(r_x + r_y)^2 + (z_x - z_y)^2\}}$$

ここで $G_{(x,y)}$:Green関数, r_x, r_y :計算点, 設定点, $K(k), E(k)$:第1種, 第2種完全楕円積分である。Fig. 1に、FRCプラズマに対する境界積分領域 $\Omega_p, \Omega_s, \Omega_B$ を示す。FRCプラズマは単連結構造であるため、プラズマの対称軸に沿った境界面を取る必要がある。対称軸上は実測困難のため、境界値としての B_z を推定することが重要な課

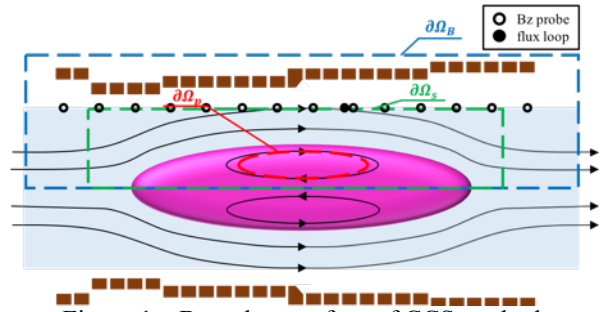


Figure.1 Boundary surface of CCS method

題となる。未知であるプラズマ電流を解析領域の外部に出した穴の開いた解析領域で計算することにより、プラズマ電流が未知のまま位置・形状の再構築を可能にしている。CCS法は(2)式の領域を工夫し、連立方程式として解くことで、センサー設置面 $\partial\Omega_s$ 上の磁束、磁束密度、プラズマ電流以外の電流分布が既知の値であれば、閉曲面内の任意の点の磁束関数を求めることが出来る。

3. 実験結果

上述の方法でCCS法により求めたセパトリクス半径 (最外殻磁気面) を黒実線で、排除磁束半径を赤実線で Fig. 2 に示す。

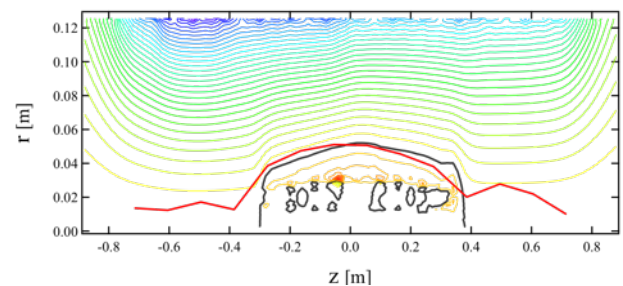


Figure.2 Reconstructed flux function by CCS method

4. まとめ

今回FAT-CM装置のFRCプラズマ生成領域で、CCS法によるFRCプラズマ位置・形状の再構築を、実験値を用いて行うことができた。

今後は、CCS法によるFRCプラズマ形状解析をFAT-CM装置のFRCプラズマ閉じ込め領域でも行えるよう改良し、さらに形状の時間発展を計算することでFRCプラズマの移送過程の形状解析を実施する。

—参考文献—

- [1] M. Tuszewski, et al. RSI Vol.54, 1611(1983)
[2] K. Kurihara, Nucl. Fusion Vol.33, 399(1993)