

CCS 法を適応した FRC プラズマの形状決定法の開発

小林 汰輔, 岩坂 純平, 関口 純一, 浅井 朋彦, 高橋 努
日大理工

1. 概要

磁場反転配位プラズマ(FRC : Field Reversed Configuration)は単連結構造となっており, トロイダル電流により作られる磁場によって閉じ込められるという特徴を持つ. 近年多様化した FRC 生成, 超音速移送や衝突合体実験などでは, これまで主に用いられてきた排除磁束法^[1]によるプラズマ形状測定が困難となる場合があり, 様々な実験的境界条件で利用できる新しい形状決定法の開発が必要となっている. トカマク方式の閉じ込め実験などで最外殻磁気面の推定に用いられる CCS 法^{[2][3]}が FRC プラズマのセパトリックス形状 (最外殻磁気面) の推定に用いることが可能かどうかを検証するために, 解析プログラムを独自に作成した. その作成したプログラムを用いて FRC プラズマの形状測定に利用する場合の問題点や工夫しなければならない点を明らかにすることが研究の目的となる.

2. FRC プラズマへの適用

CCS 法ではマクスウェル方程式から得られる磁場と電流の関係式を境界積分方程式に変形し, 境界値を得ることで領域内の磁束関数を計算することができ, それよりプラズマ表面と近似的に等しい最外殻磁気面を求める方法である. この方法では境界の設定が重要になっており, 計測器を設置している面(計測面 : $\partial\Omega_S$), プラズマ中に十分含まれた領域(仮想プラズマ面 : $\partial\Omega_P$), 無限遠(境界面 : $\partial\Omega_B$)の3つを選び, 行列計算により仮想プラズマ面の境界値を最小二乗法により計算している. FRC プラズマに適用するにあたって直面する問題は計測器の設置条件から計測面を閉じることができないという点である. FRC プラズマの場合単連結構造であるためトカマクプラズマのような二重連結構造のように閉曲線を作ることが困難である. 今回の解析では Fig.1 のように計測面を十分に伸ばし境界面 $\partial\Omega_B$ と接続し, 放電管表面の計測値のみ使ってプラズマ面 $\partial\Omega_P$ の境界値を求めた. この境界条件はプラズマ面から十分離れたところまで計測面を伸ばすことで遠くでの境界値がプラズマ面の境界値の数値解に与える影響が少なくなることと, 軸上では $\psi, \mathbf{G}_{(x,y)}$ が 0 となることから考えられ, 真空容器内に計測器を入れずに解析を行うことができる.

計算した磁束関数分布を Fig.2 に示した. 実線が CCS 法による計算結果, 点線がガウスザイデル法による数値解であり, 黒線が $\psi = 0$ の等高線になっている. 結果が大きくなっていることから, Fig.1 の計測面の条件におけるプラズマ面の最適化を調べる必要があり, 現在その検証解析を行っている.

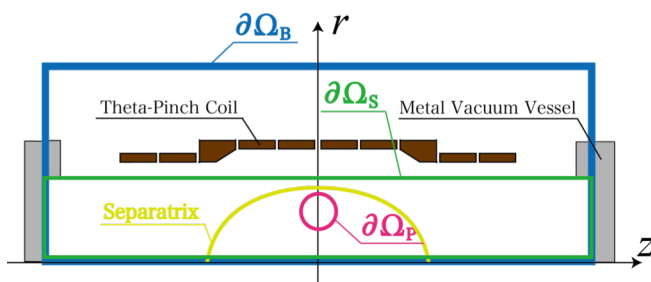


図 1: FRC プラズマのトポロジーに合わせた境界条件. 真空容器表面にのみ計測器を設置した場合にこのような積分領域を考える必要がある.

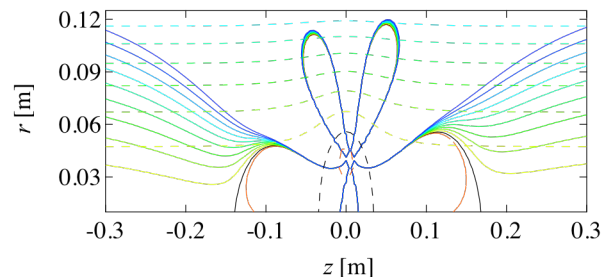


図 2: FRC の境界条件における CCS 法による数値計算結果. 黒線が $\psi = 0$ の等高線であり, 正解(点線)と大きく異なっていることがわかる.

3. 参考文献

- [1] M. Tuszewski, W. T. Armstrong, Rev. Sci. Instrum, Vol. 54, 1611 (1983)
- [2] K. Kurihara, Nucl. Fusion, Vol. 33, 399 (1993)
- [3] K. Kurihara, Fusion Eng. Des, Vol. 51-52, 1049 (2000)