

LCFS estimation of ST reconnection process by Modified Cauchy Conditional Surface method

金子 健一郎¹⁾, 井 通暁¹⁾, 篠原 淳¹⁾, 前田 陽平¹⁾, JIN Hailin¹⁾, 鈴木 大樹¹⁾
 Kaneko Kenichiro¹⁾, Inomoto Michiaki¹⁾, Shinohara Atsushi¹⁾, Maeda Yohei¹⁾, JIN Hailin¹⁾, Suzuki Taiju¹⁾
¹⁾東京大学

¹⁾The University of Tokyo

1. 序論

本研究で用いるUTSTプラズマ合体装置では、上下に生成した2つのプラズマを中央で衝突させ、1つの球状トカマクを合体生成する。合体生成時には、磁気リコネクションという現象が発生し、X点と呼ばれる位置で磁力線が繋ぎ変わる。リコネクションの際には、磁場エネルギーがプラズマの熱・運動エネルギーに変換されるが、この過程をプラズマの初期加熱として利用している。

トカマクなどの磁場閉じ込めプラズマでは、解析や制御のためにプラズマ内部の磁場・電流・圧力分布を知ることが重要である。非接触計測を用いて内部構造を知るためには、(1) プラズマ外部の磁場・磁束センサ情報から真空磁場分布に基づいてプラズマ表面(最外殻磁気面:LCFS)形状を推定し、(2) その内部の二次元構造をプラズマ圧力平衡に基づいて再構成するという手法が用いられている。UTST装置で採用しているプラズマ合体法の性能向上のためには、合体前の2つのプラズマの最外殻磁気面を推定し、その情報に基づいて制御を行うことが望ましいため、本研究では合体前のプラズマの最外殻磁気面を推定することを目的としている。

2. 修正コーシー条件面法

プラズマに非接触でプラズマより外側の磁束の構造を推定する方法の1つにコーシー条件面法という方法がある。真空容器壁上に設置した磁場・磁束センサの情報に基づいて、プラズマ内部に仮定したCCS面という領域の境界上のCCSノード点における磁束と磁束の法線方向微分値(ディリクレ条件とノイマン条件)を推定するという手法であり、いわゆる逆問題解析に相当する。特にUTST実験ではプラズマ合体生成時、容器壁に大きな渦電流が生じるため、この渦電流による影響を考慮した修正コーシー条件面法が開発された(eq. 1)。

$$X_i - W_i \psi = \oint \left(\frac{X^*}{r} \frac{\partial \psi}{\partial n} - \frac{\psi}{r} \frac{\partial X^*}{\partial n} \right) d\Gamma_{CCS} + \mu_0 \oint j_{\text{eddy}} X^* d\Gamma_{\text{shell}} \quad (\text{eq.1})$$

$$Dp = q \quad (\text{eq.2})$$

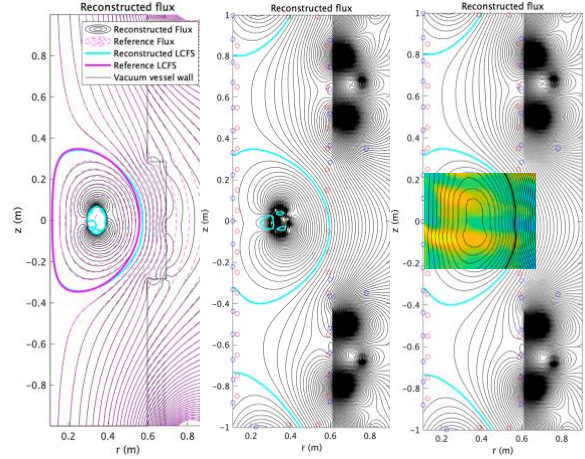


Fig.1 磁気面再構成結果

(eq.1)は境界要素法により離散化することで、(eq.2)のように行列形式で表すことができる。 D はCCSノード点と各センサを結びつける行列、 p は未知数のベクトル、 q は磁束センサ、磁場センサの値のベクトルである。したがって逆問題を解き、 p を求めることで磁気面を再構成することが可能である。正則化については様々な方法が提案されているが、現時点では打ち切り特異値分解を採用した。

修正コーシー条件面法による磁気面再構成を実現するにあたり、Grad-Shafranov方程式を利用して合体前のプラズマの数値解を求める手法を開発した。

3. 結果・考察

Fig.1に数値解に基づいた磁気面再構成結果(左)と実験値を用いた打ち切り項数が11の磁気面再構成結果(中)と2次元磁気プローブセンサーで測定した磁束のプロット(右の中央部)を示す。

Fig.1(左)より、ReferenceのLCFSと再構成結果のLCFSがおおよそ一致していることが分かる。

実験値を用いた磁気面再構成では、真空容器外側のLCFSがプラズマ内部に挿入した磁気プローブ計測によって算出したLCFSとおおまかに一致した。今後は、容器壁に流れる渦電流の再構成の改善や、打ち切り項数の最適化をする予定である。