

表面電流ポテンシャルを用いたLHDプラズマの磁場再構成

Reconstruction of LHD magnetic field profile based on surface current potential

宮浦崇¹、筒井広明²、飯尾俊二²、嶋田隆一²、渡邊清政³、鈴木康浩³
 Takashi MIYAURA¹, Hiroaki TSUTSUI², Shunji TSUJI-IIO², Ryuichi SHIMADA²,
 Kiyomasa WATANABE³, Yasuhiro SUZUKI³

東工大総理工¹、東工大原子炉研²、核融合研³
 Tokyo Tech^{1,2}, NIFS³

1. はじめに

LHDに代表される非軸対称プラズマの最外殻磁気面を決定するために、コア部を除く全領域の磁場分布を磁気計測のみから再構成する手法を開発している。本手法では渦電流解析等に用いられる表面電流ポテンシャルの概念を応用する。

2. LHD磁場再構成手法

まずプラズマの内側に

$$h = \rho - \left\{ \frac{p - q \cos(\alpha\phi) + b}{2} + \frac{p - q \cos(\alpha\phi) - b}{2} \cos(2\theta) \right\} = 0$$

((ρ, ϕ, θ) は準トロイダル座標系で、 p, q, b, α は定数。LHDの場合 $\alpha = 10$)

で表される仮想的なトーラス面を設置し、次に有限個の磁場データを満たすように、仮想面上にのみ流れる電流分布を逆算する。ここで電流分布は、 ϕ, θ でフーリエ級数展開された表面電流ポテンシャル

$$V(\phi, \theta) = \sum_m \sum_n V_{m,n} e^{i(m\theta + n\phi)} + \tilde{I}_\phi \theta + \tilde{I}_\theta \phi$$

を用いて、

$$\mathbf{j}(\rho, \phi, \theta) = \delta(h) \nabla V \times \nabla h$$

で記述している。(\tilde{I}_ϕ はトロイダル電流、 \tilde{I}_θ はポロイダル電流に寄与する。) つまりビオ・サバールの法則により磁場とフーリエ係数(未知数)を関連付ける行列方程式が得られるため、有限個の磁場データからフーリエ係数を計算することができる。最後に、計算されたフーリエ係数を再度行列方程式に適用することで、仮想面の外側の任意の点における磁場を求める(再構成する)ことができる。

3. 検証例

磁場再構成の一例を以下に示す。HINTコードによって計算されたLHDにおける有限ベータ平衡磁場配位のデータをもとに(これを基準磁場とする)、本手法を用いてこれの再構成をおこなった。仮想面の形状のパラメータと表面電流ポテンシャルのモード数はそれぞれ $p = 0.4, q = 0.1, b = 0.2$ 、 $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, n = 0, \pm 10, \pm 20$ に設定した。図1に仮想面の形状と磁場データをピックアップしたプローブ位置(LHD真空容器壁面に沿う計80個の点)を示す。図2は、再構成した磁場と基準磁場の差ベクトルの大きさを基準磁場の大きさを割った相対誤差を表わす。これより最外殻磁気面付近では再構成の精度が十分に良いことがわかる。これは本手法が磁力線追跡等による最外殻磁気面の同定に適性をもつことを意味している。

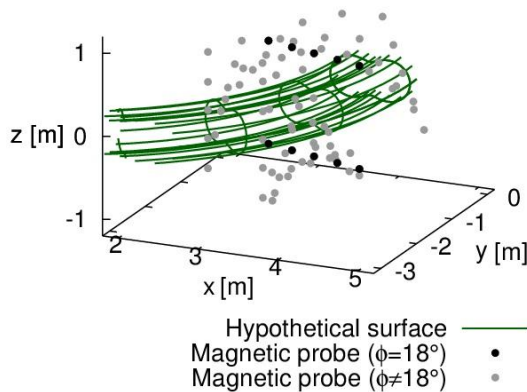


図1 仮想面形状とプローブ位置

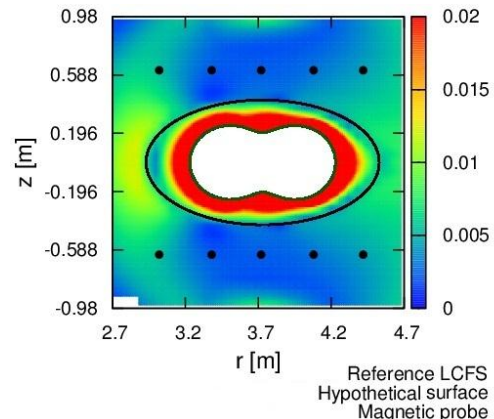


図2 基準磁場と再構成磁場の相対誤差分布 ($\phi = 18^\circ$)