

TERPSICHOREコードを用いた局所コイルによる垂直位置化効果の解析

Analysis of vertical position stabilizing effect by local coils using TERPSICHORE code

内藤晋¹⁾、鈴木康浩²⁾、筒井広明³⁾
 Shin Naito¹⁾, Yasuhiro Suzuki²⁾, Hiroaki Tsutsui³⁾,

¹⁾東工大融合系、²⁾広大先進理工、³⁾東工大研究院
¹⁾TSE, Tokyo Tech., ²⁾Hiroshima Univ., ³⁾IIR, Tokyo Tech.

トカマクプラズマはプラズマ断面の楕円度 κ を増大させることで高閉じ込め・高 β を実現することができる。しかし κ の増大に伴いプラズマの垂直位置は不安定化する。プラズマ垂直位置を安定化する一般的な手法として、プラズマ位置のフィードバック制御やプラズマ近傍へ導体壁の設置が挙げられる。これら手法に加え、ヘリカルコイル等を用いて非軸対称磁場をトカマクプラズマに印加することで、その垂直位置を安定化できることが知られている。また近年、設置や製作が容易な小型で単純形状の局所コイルを複数用いることで、大型かつ複雑形状のコイルを用いずともプラズマ垂直位置を安定化できることが、小型トカマク装置TOKASTAR-2とPHiXにおいて実験的に確かめられた[1, 2]。上記装置ではそれぞれ異なる種類の局所コイルを用いている。両コイルはともに局所コイルとトロイダル磁場コイルが生成する合成磁場中で、磁力線に沿ってポロイダル磁場を平均した際、プラズマ垂直位置を安定化させるような磁力線平均水平磁場 B_r^{ave} を生成可能であることを基準とし、設計された。磁力線平均磁場 \mathbf{B}^{ave} は $\nabla \times \mathbf{B}^{ave} \neq 0$ であり、通常の磁場と単純な比較ができない。従って B_r^{ave} の大きさや分布からこれら局所コイルが垂直位置安定化効果を持つことは推測できても、どれだけの垂直位置安定化効果をもたらすかを数値計算で評価することはできていなかった。

本研究では3次元理想MHD安定性解析コードTERPSICHORE [3]を用いて、3次元平衡計算コードVMECで求めた平衡を入力とし、PHiXに設置された局所コイルである複数のサドルコイルがトカマクプラズマにもたらす垂直位置安定化効果を数値的に調べた。我々はまず、縦長断面で、局所コイルを用いていない垂直位置不安定な平衡を入力として計算を行い、TERPSICHOREが垂直位置の安定性解析を行えるか確認した。図1にTERPSICHOREによって計算された、 I_{PF34} がそれぞれ異なる各平衡で計算された固有値 λ を示す。 I_{PF34} はn-indexを負にし、磁気面形状を縦長にするためのダイバーターコイルの電流値である。値が大きくなるほどプラズマ断面は縦長になり、垂直位置はより不安定化する。固有値 λ は $\lambda < 0$ のときプラズマが不安定になる。図1で $I_{PF34} = 0$ のとき、n-index > 0 , $\kappa \sim 1.0$ で垂直位置は安定である

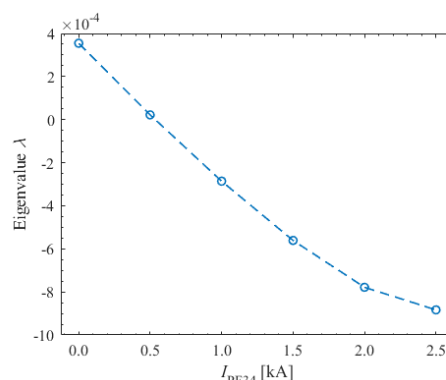


図1: ダイバーターコイル電流 I_{PF34} の増加に対する固有値 λ

が、それに対応して $I_{PF34} = 0$ での固有値も垂直位置安定を示す $\lambda > 0$ になっている。また I_{PF34} が増加するにつれ、 λ が減少し $\lambda < 0$ になることから、TERPSICHORE上で垂直位置不安定性を再現できていることが確認できた。次に垂直位置不安定な平衡で、垂直位置をそれぞれ安定化・不安定化する向きにサドルコイル電流 I_{SC} を増加したとき、 λ がどのように変化するか調べた。結果、図2に示すように、垂直位置が安定化する向きに電流を増加させた際は λ が増大し(SC_{normal})、不安定化する向きでは λ が減少していくことが確認できた(SC_{inverted})。発表では実験結果とTERPSICHORE計算結果との比較についても報告する。

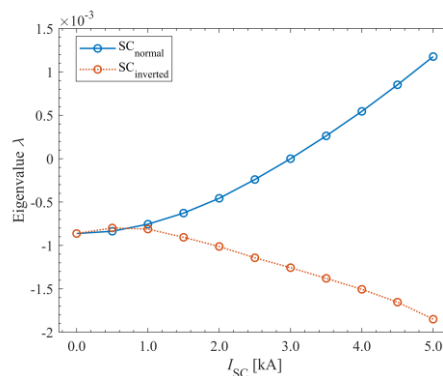


図2: サドルコイル電流 I_{SC} の増加に対する固有値 λ

[1] K. Yasuda *et al.*, Phys. Plasmas **28**, 082108 (2021).

[2] S. Naito *et al.*, Nucl. Fusion **61**, 116035 (2021).

[3] D.V. Anderson, *et al.*, Int. J. Supercomput. Appl. **4** 34 (1990).