

LHDにおける非等方圧力放電の圧力非等方度の評価と
安定特性評価に関する考察 (II)
Study of anisotropic effects on LHD plasmas (II)

渡邊清政¹⁾、關良輔¹⁾、武村勇輝¹⁾、鈴木康浩²⁾、長壁正樹¹⁾、榊原悟¹⁾
WATANABE Kiyomasa^{1),2)}, SEKI Ryouyusuke¹⁾, TAKEMURA Yuki¹⁾ et al.

1)核融合研、2)広島大先進理工
1)NIFS, 2)Hiroshima univ.

LHD では、経済的な核融合炉心に匹敵する体積平均 5%の高ベータ放電がコラプスなどを起こさずに安定的に達成されている。一方、理論的には、LHD 設計時から、高ベータ放電が達成された磁場配位の周辺領域には交換型 MHD 不安定性が存在することが予測[1]されており、3 次元フル MHD 方程式に基づく圧力駆動型不安定性の非線形飽和計算結果でも、最高ベータ放電とほぼ同条件の磁気レイノルズ領域($S \sim 10^6$)で、時間的にはゆっくりであるがコラプスの発生が予測されている[2]。以上のことから、LHD で達成された 5%近辺の高ベータ放電が何故安定に維持できているのか、ということが課題となってきた。上記の課題を説明する候補の一つが、プラズマ圧力の非等方性である。LHD の高ベータ放電は、低磁場、比較的密度で接線 NBI により加熱されている。この条件では、接線入射された NBI に起因する高エネルギー粒子の閉じ込め性能は熱化プラズマのそれに比較して相対的に高く、総蓄積エネルギーに対するビームエネルギーの割合は 30%を超えると見積もられている[3]。さらに、接線 NBI 起因のビーム成分はその多くが接線方向の圧力を持っていると考えられているため、高ベータ LHD プラズマは非等方圧力を持つと考えられている。一方、圧力が非等方な場合、圧力駆動型不安定性の線形成長率が減少することが予測されている[4, 5]。

図1は、高ベータ放電が達成された磁場配位で、体積平均ベータ値として、総ベータ値 1.6%、熱化ベータ値 0.8%、ビームベータ値 0.8%で、圧力非等方度を変化させた場合(ここでは、 $\beta_{\perp}/\beta_{\parallel}$ として、1.75, 1, 0.6 の 3 通り)のメルシエパラメータの変化を示している。ここで、圧力分布は熱化圧力、ビーム圧力とも放物型を仮定しており、計算は 3 次元 MHD 平衡コード ANIMEC[5]と安定性解析コード terpsichore[5]を使って実行されている。Terpsichore コードでは、圧力非等方度の効果のモデルとして、Kruskal-Oberman (KO)モデルと non-interacting hot particle (NI)モデルの 2 つを採用している。前者は、流体の効果だけを考慮したモデルで安定化の程度は低く、後者は、高エネルギー粒子の圧力や電流を不安定の駆動機構として付与させないモデルで、安定化効果が高い。高エネルギー粒子の圧力や電流を無視する理由は、高エネルギー粒子の反磁性ドリフトが支配的な不安定性の成長率より十分大きいからである。

計算結果を見てみると、KO モデルの場合、磁力線平行方向圧力が支配的な場合は等方の場合に比べて安定化、垂直方向圧力が支配的な場合は不安定化と予測される一方、NI モデルでは、磁力線平行方向圧力、垂直方向圧力のいずれが支配的な場合も安定化に寄与することが予想される。これは、NI モデルでは、高エネルギー粒子の圧力や電流が不安定の駆動機構として寄与しないためと考えられる。

講演では、圧力非等方プラズマと等方プラズマで観測される磁場揺動の飽和強度の比較と理論予測の傾向を比較した結果についても議論する。

- [1] K.Y.Watanabe et al., 2005 Nucl. Fusion 45 1247.
[2] M.Sato et al., 2017 Nucl. Fusion 57 126023.
[3] K.Y.Watanabe et al., in Proc. of Joint Conf. of 17th ITC and 16th ISHWS, Toki, 2007, 15-19 Oct. 2007, I-13.
[4] J. Todoroki, 2002 J. Plasma Fusion Res. 78, 287.
[5] W.A.Cooper et al., 2006 Fusion Sci. Technol. 50, 245.

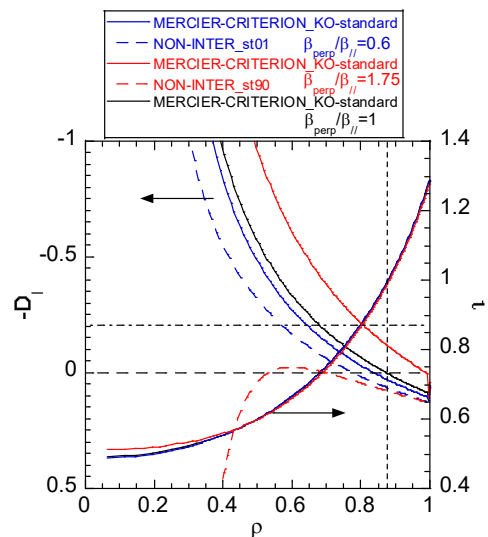


図1 MHD 安定特性の圧力非等方度依存性(LHD 5%放電の磁場配位[R_{ax}3.6m, A_p6.7], $\langle\beta\rangle=1.6\%$, $\langle\beta_{th}\rangle=\langle\beta_{beam}\rangle=0.8\%$.)