

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

Study of anisotropic effects on LHD plasmas

渡邊清政¹⁾²⁾、關良輔¹⁾、武村勇輝¹⁾、鈴木康浩¹⁾、伊藤秀²⁾、榊原悟¹⁾
WATANABE Kiyomasa^{1),2)}, SEKI Ryousuke¹⁾, TAKEMURA Yuki¹⁾ et al.

1)核融合研、2)名大工

1)NIFS, 2)Nagoya univ.

LHD では、平均 5%の高ベータ放電がコラプス無しに安定的に達成されている[1]。高ベータが達成された放電は、MHD 不安定性の発生により圧力勾配の崩壊が理論的に予測されている配位である。参考文献[2]では、3次元フル MHD 方程式に基づき圧力駆動型不安定性の非線形飽和過程が評価されており、磁気レイノルズ数 $S \sim 10^5$ の時、周辺付近で高 n のバルーニングモードが現れ、その後中心部の圧力勾配のコラプスが引き起こされることを予測した。更に、高ベータ実験とほぼ同条件の $S \sim 10^6$ でも、時間的にはゆっくりであるがコラプスを予測している。また、高ベータ放電の理想交換型不安定性の解析では、ポロイダルモード数が $m=4$ 以下のモードが不安定な時は圧力勾配が維持できないと仮定した時の圧力勾配と実験で得られた圧力勾配が一致し、 $m=5$ 以上のモードも不安定と仮定すると、到達できる圧力勾配が実験値をかなり下回ることが示されている[3]。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いる。

最近、MHD モデルに熱化イオンの運動論効果を取り入れると、高 S 領域で抵抗性バルーニングモードの線形成長率が減少することが示され[4]、この効果が LHD の高ベータ放電では重要である可能性が指摘されているが、この効果の他に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 の高ベータプラズマは、低磁場、比較的低密度で接線 NBI により加熱されている。この条件では、接線 NBI に起因する高エネルギー粒子の閉じ込め性能が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[5]。さらに、接線 NBI 起因のビーム圧力成分はその多くが接線方向の成分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[6,7]。

本論では LHD における圧力非等方度の MHD 安定性への影響を評価する手法について議論する。手法として以下の 2 つを想定している。第一は、圧力非等方度の異なる実験プラズマに対して、不安定特性の違い(磁場揺動強度の違い)を比較する方法である。第二は、高ベータ放電に対して、非等方圧力に対応した 3次元 MHD 安定解析コード *terpsichore*[7]を用い、安定特性を解析する方法である。LHD は加熱方法として、ECH、接線 NBI、垂直 NBI を持っており、加熱方法の違いにより圧力非等方度の異なるプラズマの生成でき、その安定特性を比較するのが第一の方法である。ただ、圧力駆動型不安定性の不安定度はまず、ベータ値やその分布に強く影響を受けるので、実験におけるベータ値、圧力分布、非等方度を評価する必要がある。圧力非等方度は反磁性計測とサドル磁束ループ計測の比で同定可能なことが知られているが、この比は圧力分布にも大きく影響を受ける。我々は、非等方圧力に対応した 3次元 MHD 平衡解析コードの数値解析結果から、反磁性計測、サドル磁束ループ計測に電子温度分布計測等に基づく磁気軸位置計測を組み合わせることにより、ベータ値、圧力分布、非等方度を同時に評価する方法を発見した[8]。この方法や第二の方法の初期的結果について年会では報告する。

[1] A.Komori et al., 2009 Nucl. Fusion 49 104015.

[2] M.Sato et al., 2017 Nucl. Fusion 57 126023.

[3] M.Sato et al., 22nd IAEA Fusion Energy Conf., Geneva(Switzerland), Oct. 2008, TH/P9-18.

[4] M.Sato and Y.Todo, 2020 J. Plasma Phys. 815860305.

[5] K.Y.Watanabe et al., in Proc. of Joint Conf. of 17th ITC and 16th ISHWS, Toki, 2007, 15-19 Oct. 2007, I-13.

[6] J. Todoroki, 2002 J. Plasma Fusion Res. 78, 287.

[7] W.A.Cooper et al., 2006 Fusion Sci. Technol. 50, 245.

[8] Y.Asahi, Doctor thesis, 2012 SOUKENDAI.