

MHD 平衡計算コードと磁気計測を用いた LHD における圧力非等方度の解析 Pressure anisotropy analyses based on MHD equilibrium calculations and magnetic diagnostics in LHD

上田亮介¹, 鈴木康浩^{1,2}, 渡邊清政¹, W.A. Cooper³

Ryosuke UEDA¹, Yasuhiro SUZUKI^{1,2}, Kiyomasa WATANABE¹, W.A. Cooper³

核融合研¹, 総研大^{1,2}, EPFL CRPP³

NIFS¹, SOKENDAI^{1,2}, EPFL CRPP³

大型ヘリカル装置 (LHD) はヘリオトロン型プラズマ閉じ込め実験装置であり、体積平均ベータ値 5% を達成している。このようなプラズマは、低磁場かつ低密度において接線方向の中性粒子ビーム入射装置 (NBI) による加熱を行うことで得られている。低密度条件下では、NBI のビーム圧力によって磁力線に平行方向のプラズマ圧力が強められ、プラズマ圧力に非等方性が生じると予測される。非等方圧力下では磁気面形状と圧力分布の等位面が一致せず、輸送や安定性などのプラズマ特性に影響を与えられている。一方、将来実現が期待される核融合炉装置の主な加熱機構は α 加熱である。 α 加熱では速度分布は等方となるため、核融合炉プラズマでは LHD と異なり等方圧力と予測される。したがって、LHD の高ベータプラズマで得られた知見を将来の装置設計に役立てるには、LHD 実験における非等方度を調べるのが重要である。

これまで、圧力非等方度に対しては ANIMEC コード [2] を用いた研究が行われており、サドルループ磁束 Φ_{SL} 、反磁性磁束 Φ_{dia} 、磁気軸位置 R_{ax} から磁力線に平行な成分のベータ値 $\beta_{||}$ および垂直成分ベータ値 β_{\perp} を推定できることが示されている [3]。図 1 は ANIMEC により様々な平衡を得ることで求めた β_{\perp} - Φ_{dia} 曲線である。ここでは圧力分布の尖塔度 $p.f = p_{ax} / \int_0^1 p(\rho) d\rho^2$ が 1.5, 1.85, 2.0 の場合を示している。 p_{ax} は磁気軸位置の圧力、 ρ は規格化小半径である。いずれの曲線も Φ_{dia} に依存する 2 次関数として表せられ、これらを用いて β_{\perp} を (Φ_{dia} , p.f.) から求めることができる。また同様に R_{ax} - Φ_{SL} 曲線および β_{eq} - Φ_{SL} 曲線を用いれば、p.f を (Φ_{SL} , R_{ax}) から、等加重平均ベータ β_{eq} を (Φ_{SL} , p.f.) から求めることができ、 β_{\perp} と $\beta_{||} = 2\beta_{eq} - \beta_{\perp}$ から非等方度 $\beta_{||}/\beta_{\perp}$ が得られる。

本研究では、以上の手法と LHD 実験における磁気計測結果を用いて、LHD プラズマの非等方度解析を行った。図 2 はその結果の 1 例であり、ショット番号 102218 における非等方度 $\beta_{||}/\beta_{\perp}$ の解析結果と NBI パワーおよび電子密度の時間経過を示している。非等方度は NBI によって大きくなり磁力線に平行な成分の圧力が高まっていることがわかる。NBI が継続中であっても電子密度の上昇とともに非等方度は下がる。これは高密度では非等方度が下がるという従来

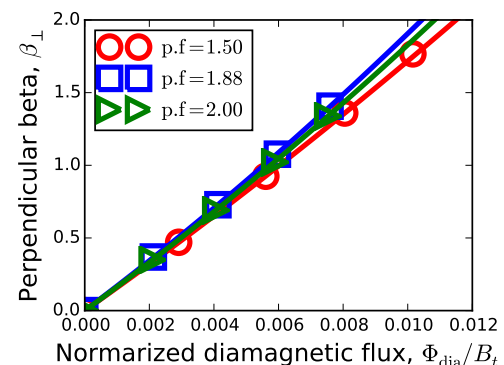


図 1 ANIMEC により得られる様々な平衡から求めた β_{\perp} - Φ_{dia} 曲線。実線は 2 次関数による回帰曲線で、それぞれの圧力分布尖塔度は 1.5 (赤), 1.85 (青), 2.0 (緑)。

の予測と一致する。

本講演では他の様々な LHD 実験における磁気計測結果を用いて、圧力非等方度と圧力分布に注目した平衡解析を行った成果を報告する。

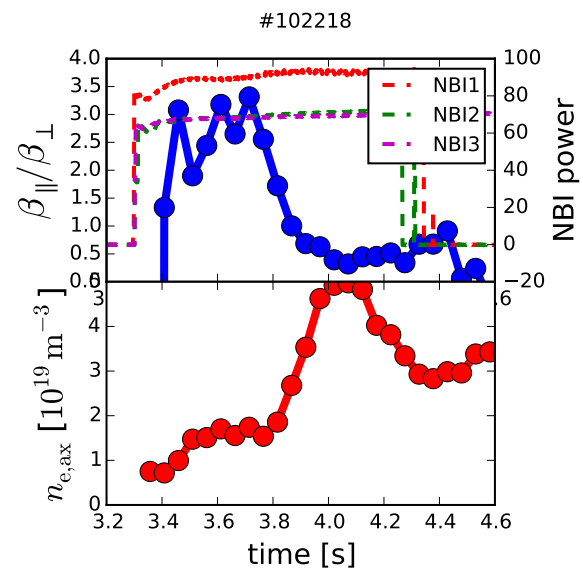


図 2 LHD 実験のショット番号 102218 における非等方度 $\beta_{||}/\beta_{\perp}$, NBI パワーおよび電子密度 n_e の時間経過。

- [1] A. Komori *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 104015.
- [2] W. A. Cooper *et al.*, Comput. Phys. Commun. **180** (2009) 1524.
- [3] Y. Asahi *et al.*, Phys. Plasmas **20** (2013) 022503.