

01aB19P

LHD における高ベータ SDC プラズマの MHD 特性

MHD Characteristics in High-Beta SDC Plasmas of LHD

柳原 悟, 森崎友宏, 増崎 貴, 大藪修義, 坂本隆一, 宮沢順一, 小林政弘, 渡邊清政, 中島徳嘉,
大館 暁, 成原一途, 山田一博, 田中謙治, 徳沢季彦, 居田克己, 山田弘司, 小森彰夫, LHD 実験グループ
核融合研

S. Sakakibara, T. Morisaki, S. Masuzaki, N. Ohyabu, R. Sakamoto et al.
National Institute for Fusion Science

LHD の LID 配位において, ペレット入射により急峻な密度勾配がコア領域に形成され, 中心密度が 10^{20} m^{-3} を超える高密度プラズマの生成・維持に成功している [1]. このような SDC (Super Dense Core) プラズマは, 尖度の高い圧力分布を持ち, 中心ベータ値が 5% を越えることから, 有限ベータ効果による磁場構造の大きな変化が予想され, 平衡ベータ限界との関係が重要となる. また, 急峻な密度勾配 (IDB, Internal Diffusion Barrier) 形成と平衡変化の関係について明らかにする必要がある. 本講演では, SDC プラズマにおける MHD 平衡および低 n モードの挙動について報告する.

右図に, 典型的な SDC 放電 ($R_{ax} = 3.75 \text{ m}$, $B_t = 2.64 \text{ T}$) を示す. 放電初期にペレットを連続的に入射することにより, 中心密度は $4 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ 以上に到達し, 体積平均ベータ値および中心ベータ値はそれぞれ 1.7%, 5% に達する. シャプラノフシフトは, ビーム圧力が強い低密度領域を除いてほぼ中心ベータ値とともに生じ, ベータ値が最大となる 1.1 秒付近で約 0.35 m となる. プラズマ半径は約 0.54 m であることから, 近似的な平衡ベータ限界 ($\Delta a_{cl} = 1/2$) を超えている. 一方, 通常放電で得られている高ベータプラズマ (体積平均ベータ値 4% 以上) では, シフトは $\Delta a_{cl} \sim 0.25$ 程度である. 回転変換分布は, IDB が形成されるペレット入射後にコア部にて逆シアが形成され, 周辺部は低下し, ベータ値の低下とともに単調増加分布に戻る. $R_{ax} = 3.75 \text{ m}$ 配位では, 磁気井戸領域がベータ値が最大時, IDB の境界位置となる規格化小半径 $\rho \sim 0.7$ まで広がっており, 急峻な圧力勾配は磁気井戸内部で形成されている. 一方, 低 n モードは, LID 配位 (プラズマ領域が $i/2\pi < 1$) となることから $m/n = 3/2, 4/3$ モードが支配的に観測されている. ペレット入射時は圧力勾配の急激な変化により揺動強度が大きく変化するが, その後揺動は一旦消滅している. これは周辺部回転変換の低下により, 共鳴面が外部に移動したためと推測される. 回転変換の変化に伴い, 再びモードが現れている. 揺動は主に IDB 外部にて生じており, 同程度のベータ値を持つ通常放電と比較して揺動強度は低い. 磁気井戸内部で共鳴する揺動は観測されていない.

[1] N. Ohyabu *et al.*, Phys. Rev. Lett. **97**, 055002 (2006).

This work is supported by NIFS under contract No.NIFS05ULHH517.

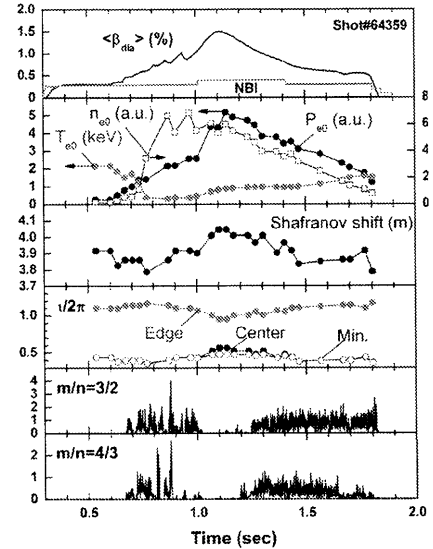


図 典型的な SDC 放電

01aB20P

n/m=1/1 の磁気島を含む LHD プラズマの MHD 平衡解析

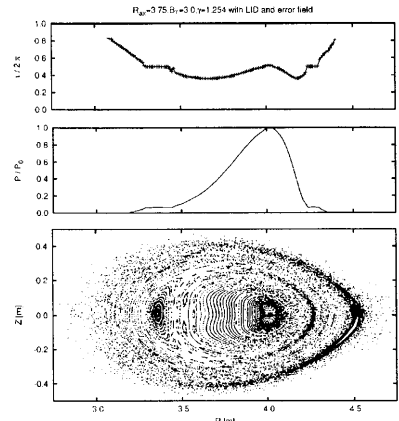
MHD Equilibrium Analyses of LHD plasmas with n/m=1/1 island

鈴木康浩, 森崎友宏, 渡邊清政, 菅野龍太郎, 中島徳嘉, 大藪修義
核融合科学研究所

Y. Suzuki, T. Morisaki, K. Y. Watanabe, R. Kanno, N. Nakajima and N. Ohyabu
National Institute for Fusion Science

LHD 装置では外部摂動磁場コイルより, 閉じ込め磁場中に真空中で大きな磁気島を作ることが可能である. 特に, $n/m=1/1$ の大きな磁気島を持つ配位は LID (Local Island Divertor) 実験の基本配位として理論的・実験的に解析が行われてきた. LHD 実験第 9 サイクル, LID 実験においてコア領域に内部拡散障壁をもつ SDC (Super Dense Core) プラズマが発見された. SDC プラズマは磁気軸位置が $R_{ax}=3.75 \text{ m}$, $\gamma=1.254$ の配位にてもっとも高い性能が観測されている. SDC プラズマ形成の物理を理論的・実験的に考察するため, SDC プラズマ実験で得られた実験データを解析する上で, $n/m=1/1$ の磁気島を持つ LHD プラズマの MHD 平衡解析を行うことは重要である. 一方, LID 実験を進めるに当たり, LID 配位の最適化も重要な課題である. LID 装置の先端が $n/m=1/1$ の磁気島の O 点に位置することが望ましいが, 実際にプラズマがある状態で $n/m=1/1$ の磁気島がどのような状態にあるか分からない. そこで, LID 装置の位置を変化させながら実験を繰り返すことにより最適な位置を割り出している. また, 外部摂動磁場コイルが作る共鳴成分は $n/m=1/1$ だけではなく, $n/m=1/2$ や $2/3$ といった他の低次共鳴成分が存在し, これらの共鳴で生成される低次の磁気島がどのように成長するかは閉じ込め配位の性能に直接影響する. このような問題を解決するために, 有限ベータ効果が $n/m=1/1$ の磁気島に与える影響, また他の低次の共鳴 ($n/m=1/2$, $n/m=2/3$) と与える影響を考察し, $n/m=1/1$ の内側で決まる実効的な閉じ込め配位の境界形状の変化や磁気島幅の増減を解析することが重要である.

本研究では入れ子状の磁気面を仮定しない 3 次元 MHD 平衡計算コード HINT2 [1] を用いて, $n/m=1/1$ の磁気島を持つ LHD プラズマの MHD 平衡解析を行う. $n/m=1/1$ のような低次の磁気島の振る舞いを考察するために, 計算はフルトーラスで行う. 右図は $R_{ax}=3.75 \text{ m}$, $\gamma=1.254$ の配位にて, 第 9 サイクルに得られた SDC プラズマの典型的放電を HINT2 コードにより再構築した結果である. ピークベータ値は約 2.7%, 体積平均ベータ値は約 0.7% である. LID 装置が挿入されているポロイダル断面にて, 回転変換, 規格化圧力, 磁力線のポワンカレ図を示した. 回転変換, 規格化圧力図の横軸はポワンカレ図に一致する (大半径 R 方向). 図によると, $n/m=1/2$ の磁気島が成長し, その内側で圧力の急峻なピークが形成される. この急峻な圧力のピークは大きなシャプラノフシフトを生む. 一方, $n/m=1/1$ の磁気島の O 点は外側へシフトし, 幅が小さくなった. 講演では, この結果の詳細な議論に加え, 典型的圧力プロファイルを仮定した場合の有限ベータ効果に対する $n/m=1/1$ の磁気島や境界形状の変化を報告する.



[1] Y. Suzuki *et al.*, Nucl. Fusion **46** (2006) L19-24