

Numerical analysis of locked-mode like phenomena in LHD

渡邊清政^{1*}, 岡本征晃², 武村勇輝¹, 佐藤雅彦¹, 徳沢季彦¹, 榊原悟¹, L.Garcia³WATANABE Kiyomasa¹, OKAMOTO Masaaki², TAKEMURA Yuki¹, SATO Masahiko¹, TOKUZAWA Tokihiko¹, SAKAKIBARA Satoru¹, GARCIA Luis³¹核融研, ²石川高等専門学校, ³カルロス 3 世大学¹NIFS, ²National Inst. Technol. Ishikawa, ³Univ. Carlos III de Madrid

LHDで観測されるロックモード様不安定性[1]発現時のMHD安定性解析結果について報告する。LHDのロックモード不安定性は、高アスペクト比配位や接線NBIを回転変換を大きくする方向に入射する等により磁気シアを低下させた放電で観測される。典型的には図1のようにプラズマ電流の増加とともに、下記の4段階が連続して起こる。(I) MHD揺動がほとんど観測されない段階、(II) 前駆振動と思われるMHD揺動は観測されるが、その強度はプラズマ電流値(時間)にあまり依存しない段階、(III) 時間とともに前駆振動の揺動周波数は減少、揺動強度は増加し、電子温度分布に平坦部が観測され始める段階、(IV) 前駆振動と同じトロイダルモード数(m)/ポロイダルモード数(n)を持つ非回転のB_rが成長し、コア領域の圧力が崩壊する段階。

本研究では、同じ磁場配位、磁場強度でロックモード様不安定性が観測された10ショット程度の放電群に対して、電流(制御パラメータは運転密度)や計測タイミング(温度分布、密度分布、MSEによる回転変換分布計測)を変えて総計20点強の時刻のMHD平衡を再構築して、MHD安定性の解析を行った。図2は共鳴有理面でのメルシエパラメータD_Iを電流値の関数として表示した結果である。ここで、D_Iは理想交換型MHDモードの不安定性の指標で、不安定性の線形成長率と正の相関をもつ。段階(I)~(II)の間、D_Iは電流の増加とともに大まかな傾向として増加している。一方、段階(III)では、電流が増加しても、D_Iは減少するように見える。段階(III)~(IV)では、圧力分布に平坦化が観測され、非線形効果が大きくなっていると推測されるので、線形安定性の指標であるD_Iはこの段階での安定性の指標には使えない可能性が高い。準定常的に圧力分布が維持される放電については、D_Iが0.3を超える観測例はない[2]ので、段階(II)でD_Iが0.2を大きく超えていることが、LHDのロックモード不安定性の大きな特徴となっている。図3は、図2と同じ時刻の抵抗性交換型不安定性のm/n=1/1が支配的な巨視的線形モードの径方向速度の小半径方向のモードの広がり(半値幅)のプラズマ電流値依存性を示したものである。解析は、3次元抵抗性MHD安定性解析コードFAR3D[3]を使って行われた。線形解析が適用可能と考えられる段階(I)~(II)で径方向変位のモード幅の振る舞いは、D_Iとほぼ同じで、モード幅は小半径の0.4倍程度まで広がっていると予測されている。しかしながら、揺動の内部計測結果によると、それほど大きな揺動振幅は観測されておらず、数値予測との差の原因については、計測と数値モデルの両方の観点から解明を進める必要がある。

[1] Y.Takemura 他, Nucl Fusion, 52 (2012) 102001.

[2] K.Y.Watanabe他, Nucl. Fusion, 45 (2005) 1247.

[3] L.Garcia, Proc. 25th EPS Int. Conf. (1998) vol 22A, Part II p 175.

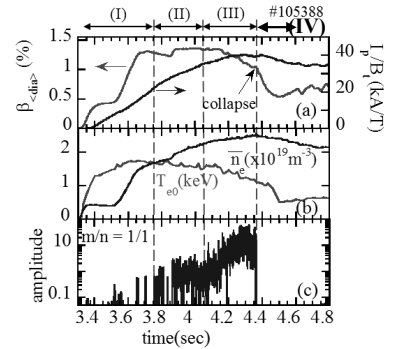


図1 ロックモード様不安定性が観測された典型的な放電の放電波形(β 値、トロイダル電流、中心電子温度、線平均密度、 $m/n=1/1$ の磁場揺動強度)

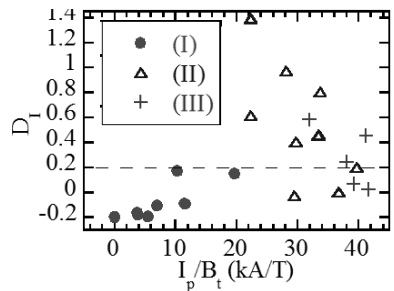


図2 ロックモード様不安定性が観測された放電のD_Iを運転磁場で規格化したプラズマ電流値の関数として表したもの。

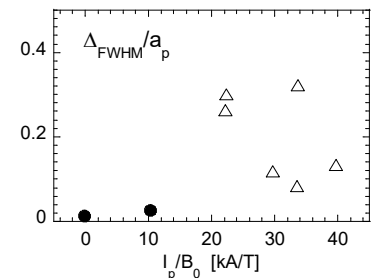


図3 ロックモード様不安定性が観測された放電の成長率の最も大きい抵抗性交換型不安定性の小半径方向のモード幅のプラズマ電流値依存性