

JET-ILWにおけるELM安定性に対する プラズマ回転・イオン反磁性ドリフト効果の影響

相羽信行, C.Giroud¹⁾, 本多充, E.Delabie²⁾, S.Saarelma¹⁾, I.Lupelli¹⁾, L.Frassinetti³⁾, C.F.Maggi¹⁾
N.Aiba, C.Giroud¹⁾, M.Honda, E.Delabie²⁾, S.Saarelma¹⁾, I.Lupelli¹⁾, L.Frassinetti³⁾, C.F.Maggi¹⁾

量研機構, 1) CCFE, 2) ORNL, 3) KTH
QST, 1) CCFE, 2) ORNL, 3) KTH

ITER や原型炉などの大型トカマク装置において、type-I エッジローカライズモード (ELM) の発生はダイバータやプラズマ対抗壁への熱負荷の観点から許容できない。そのため、ELM を抑制・制御しつつ、圧力のペデスタル構造を維持した高い閉じ込め性能を確保するための研究が各国で行われている。

ELM の抑制・制御を実現するには、まずその発生条件を正確に把握する必要がある。これまで、type-I ELM の発生条件は理想 MHD 安定性解析によって行われ、世界中のトカマク装置における同条件をかなり高精度に予測することができている。しかし、近年の ITER like wall (ILW) 設置後の JET 装置における type-I ELM は、理想 MHD 安定性解析で予測されるよりも半分程度のペデスタル圧力で発生している[1]。

本研究では、このような実験結果と数値計算結果の違いは、数値解析で考慮すべき物理機構が不足していることで生じていると考え、プラズマ回転およびイオン反磁性ドリフト効果を考慮した MHD 安定性解析を行った。この解析を実現するために、理想 MHD 安定性に対するイオン反磁性ドリフト効果を考慮できる物理モデルとして反磁性ドリフトモデルを導出し、これに基づいた数値解析コード MINERVA-DI を開発した[2]。このコードを用いた数値解析の結果、type-I ELM の原因であるピーリング・バルーニングモードはイオン反磁性ドリフトによって安定化されるが、この安定化効果はプラズマ回転によって無効化されうることを明らかにした。この無効化に必要な回転周波数は、イオン反磁性ドリフト周波数と同程度であり、JET-ILW 実験時でも同程度の回転は一般的に観測される。

そこで、同コードを用いて JET-ILW プラズマの数値安定性解析を行った。実験で観測される回転分布は不純物（炭素）の回転であることから、新古典理論に基づいて不純物のトロイダル回転分布から重水素プラズマのトロイダル・ポロイダル方向回転を評価した[3]。安定性解析の結果（図参照）、プラズマ回転を考慮しない場合には、計

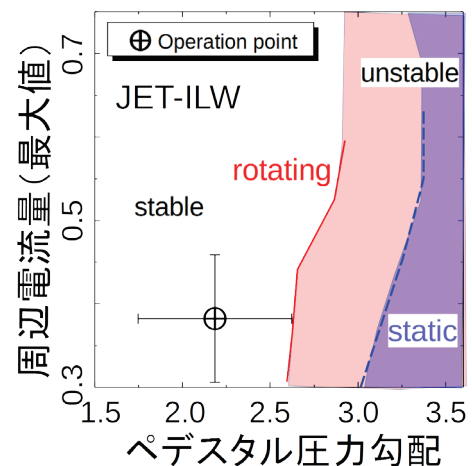
測データから決まる安定性図上の運転点と ELM 発生条件となる MHD モードの安定限界線の距離が非常に大きく、50%以上ペデスタル圧力を高めない限り ELM が発生しない結果となった。しかし、プラズマ回転の効果も考慮して安定性解析を行った結果、安定限界線は運転点に近づき、計測誤差として許容されるエラーバー（ペデスタル圧力の増減 20%以内）の範囲内に収まるところに現れることを明らかにした。この結果は、JET-ILW で発生している type-I ELM は、従来から知られたプラズマ周辺電流・ペデスタル圧力だけでなく、プラズマ回転による影響も受けて不安定化していることを示すものである。

講演では、JET-ILW の解析結果のほか、今回開発したモデルの詳細、プラズマ回転・イオン反磁性ドリフトを考慮した場合の MHD モード安定性の定性的な変化について詳細を述べる。

[1] C. Giroud et al. 2014 *Plasma Phys. Control Fusion* 57 035004 他

[2] N. Aiba 2016 *Plasma Phys. Control Fusion* 58 045020

[3] M. Honda et al. 2013 *Nucl. Fusion* 53 073050



JET-ILW における ELM 安定性図。回転なしの安定限界（青）は運転点から大きく離れているが、回転を考慮した安定限界（赤）はエラーバーの範囲内に位置している。