

ジャイロ運動論的マイクロティアリングモードに関するベンチマーク

Benchmark for gyrokinetic micro-tearing modes

前山伸也, 渡邊智彦, 仲田資季¹, 石澤明宏²

Shinya MAEYAMA, Tomo-Hiko WATANABE, Motoki NAKATA¹, Akihiro ISHIZAWA²

名大理, 核融合研¹, 京大エネ科²

Nagoya Univ., NIFS¹, Kyoto Univ.²

高ベータプラズマでは、微視的不安定性や乱流輸送においても磁場揺動効果が重要となり、運動論的バルーニングモードやマイクロティアリングモードといった電磁的モードが不安定化される。その物理はしばしばモデル磁場の下で解析されてきたが、成長率や輸送レベルの定量的評価には、平衡磁場配位や多粒子種衝突を正確に取り扱う数値シミュレーションが必要となる。こうした問題に取り組むには、コード間ベンチマークに基づく検証が不可欠である。

本研究では、電磁的ジャイロ運動論コードGKV[1]とGENE[2]を用い、ASDEX UpgradeのH-mode放電データ[3]に基づいたマイクロティアリングモードのベンチマークを行った。磁気座標構築、線形分散関係、乱流輸送レベルのいずれの比較においても、両者の良い一致を確認した。

これらのコード間検証を通して、マイクロティアリングモードにおける磁場ドリフト (grad B, 曲率ドリフト) の影響を調べた。これまで、マイクロティアリングモードの理論解析ではスラブモデルあるいはトロイダルでも捕捉電子効果のみを評価した解析が行われてきたが[4]、最近のジャイロ運動論に基づくシミュレーション研究では磁場ドリフトがMTMの不安定化に大きく影響することが報告されている[5]。そこで、シミュレーションにおいてミラー力を人為的に無視した場合、あるいは磁場ドリフトを無視した場合との比較を行った。今回のASDEX Upgradeの解析では、ミラー力は成長率にあまり影響を与えないこと、一方、磁場ドリフトを無視した場合には成長率が半減することが確認された。これは、文献[4]で述べられているような捕捉電子による不安定化効果は支配的ではなく、文献[5]で報告されているような磁場ドリフトによる不安定化が効いていることを意味している。また、図1に示すように、磁場ドリフトの有無はマイクロティアリングモードの線形モード構造にも大きく影響を与えることが確認された。軌道解析から、図1(a)の電流シートに見られるO型の構造は、非捕捉電子の磁場ドリフトによる有限軌道幅と一致することが示された。

[1] T.-H. Watanabe, H. Sugama, Nucl. Fusion **46**, 24 (2006).

[2] F. Jenko, et al., Phys. Plasmas **7**, 1904 (2000).

[3] H. Doerk, et al., Phys. Plasmas **22**, 042503 (2015).

[4] J. W. Connor, S. C. Cowley, R. J. Hastie, Plasma Phys. Control. Fusion **32**, 799 (1990).

[5] D. Dickinson, et al., Plasma Phys. Control. Fusion **55** 074006 (2013).

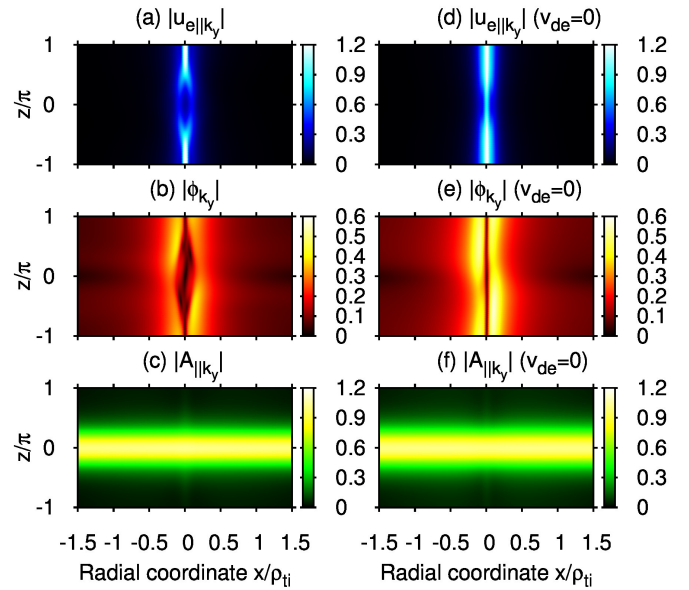


図 1: マイクロティアリングモードの線形モード構造に対する磁場ドリフトの影響。規格化された電子電流 $|\tilde{u}_{e||k_y}|$ 、静電ポテンシャル $|\tilde{\phi}_{k_y}|$ 、ベクトルポテンシャル $|\tilde{A}_{||k_y}|$ を半径方向 x 、磁力線方向 z 空間で示しており、左列 (a) - (c) は電磁的ジャイロ運動論方程式を無矛盾に解いた結果、右列 (d) - (f) は磁場ドリフトの項を人為的に無視した結果である。