

ss有限ラーマー半径効果を考慮した運動論的MHDモデルに基づく  
LHDでのバルーニングモードのシミュレーション研究

Simulation study of ballooning modes in LHD based on kinetic MHD model  
with finite Larmor radius effects

佐藤雅彦, 藤堂泰  
SATO Masahiko, TODO Yasushi

核融合研  
NIFS

大型ヘリカル装置 (LHD) の内寄せ配位では、周辺部に磁気丘が存在するため、理論的には常にMHD不安定である。しかしながら、LHD実験では体積平均ベータ値が約5%の高ベータプラズマが得られており、MHD不安定性の非線形飽和レベルは閉じ込め性能に大きな影響を与えていないと考えられる。一方、MHDモデルに基づく高ベータLHDプラズマに対するMHDシミュレーションでは、プラズマ中心部の圧力が大幅に減少する結果が得られており、実験結果を再現するにいたっていない[1]。これは、実験結果の再現のためには、二流体効果、運動論的効果等の計算モデルの拡張の必要性を示唆している。そこで本研究では、イオンの運動論的効果に着目し、運動論的MHDモデルに基づいたシミュレーション研究を行った。

本研究では熱イオンをドリフト運動論で、電子は流体モデルで取り扱う、拡張されたMEGAコードを用いて解析を行った[2]。解析に用いたMHD平衡は、文献[1]の解析で使用した中心ベータ値が7.5%のMHD平衡と同一である。このMHD平衡は、入れ子状の磁気面の存在を仮定しないHINTコードにより構築している。

シミュレーションの結果から、運動論的MHDモデルから得られた抵抗性バルーニングモードの線形成長率は、MHDモデルにより得られた線形成長率よりも小さくなることがわかった。図1に $n=10$ の抵抗性バルーニングモードの電子圧力およびイオン圧力の固有関数を示す。各モードの振幅は、電子圧力の $(m,n)=(13,10)$ モードの最大振幅で規格化している。ここで、 $m$ ,  $n$ はポロイダルモード数、トロイダルモード数である。図1より、イオンの圧力の振幅は電子の圧力の振幅よりも小さい。これは、イオンの有限軌道幅効果により、イオンのMHD不安定性に対

する応答が弱くなったためである。図2では、非線形飽和状態での $(m,n)=(0,0)$ 成分の圧力分布を示している。MHDモデル、運動論的MHDモデル共に中心圧力の低下が見られるが、運動論的MHDモデルの場合の方がその低下は小さく、イオンの運動論的効果は抵抗性バルーニングモードに対して安定化効果を持っていることを示している。講演では有限軌道幅効果の他、有限ラーマー半径効果の影響についても議論する。

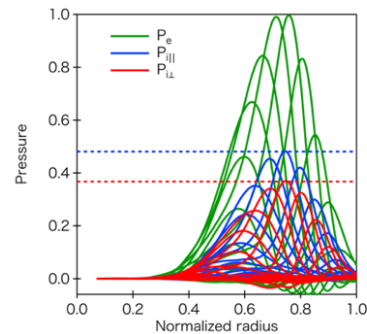


図1.  $n=10$ のバルーニングモードの電子圧力( $P_e$ )、磁力線方向のイオン圧力( $P_{||}$ )と磁力線垂直方向のイオン圧力( $P_{\perp}$ )の径分布。

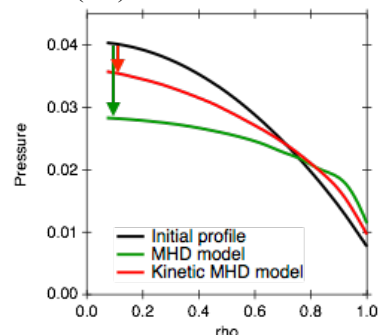


図2. 飽和状態における全圧力の $(m,n)=(0,0)$ 成分の径分布。

[1] M. Sato et al., Nucl. Fusion **57** 126023 (2017).

[2] Y. Todo et al., The 26th International Toki Conference, (2017) O9.