

# 高ベータLHDプラズマに対するMHDシミュレーション研究 MHD Simulation Study of High Beta Plasmas in LHD

佐藤雅彦, 中島徳嘉, 渡邊清政, 藤堂泰, 鈴木康浩  
Masahiko SATO, Noriyoshi NAKAJIMA, Kiyomasa WATANABE,  
Yasushi TODO, Yasuhiro SUZUKI

核融合研  
NIFS

高ベータプラズマでは、圧力勾配駆動型の磁気流体力学(MHD)不安定性の抑制が重要である。大型ヘリカル装置(LHD)の高ベータ領域では、プラズマ周辺部が常に磁気丘のためメルシエ不安定であることが理論的に示されている。しかしながら、近年のLHD実験においては体積平均ベータ値が5%の安定な高ベータプラズマが得られており、MHD不安定性が閉じ込め性能に大きな影響を与えていないことが示唆されている。そこで本研究では、高ベータLHDプラズマにおけるMHD不安定性の非線形挙動及び飽和状態を非線形シミュレーションにより調べ、プラズマ閉じ込め性能への影響を明らかにする。

本研究では非線形MHDシミュレーションコード(MIPSコード[1])を用いて解析を行った。MIPSコードは円柱座標系のもとで一流体MHD方程式を解く計算コードであり、空間微分は4次精度の有限差分法により離散化し、時間積分は4次精度のルンゲクッタ法で行っている。MHD平衡は、入れ子状の磁気面を仮定せずに計算を行うHINT2コード[2,3]により求めている。高ベータLHDプラズマにおいては、磁力線がカオス的な領域が最外殻磁気面の外側に存在している。非線形シミュレーションでは、磁力線がカオス的な領域も含めて計算を行っている。

非線形MHDシミュレーションではベータ値が異なる3種類のMHD平衡に対して実施した。磁気レイノルズ数 $S$ は、 $S=10^6$ 及び $10^7$ の2つの場合に対してそれぞれ行った。図1に全運動エネルギーの線形成長率の中心ベータ値に対する依存性を示している。中心ベータ値 $\beta_0$ が7.4%と9.4%の成長率には大きな違いはみられない。しかしながら、 $\beta_0=11\%$ とすると成長率の低下がみられ、ベータ値を大きくすると安定化傾向があることがわかる。図2では $S=10^7$ のときの圧力の(m,n)=(0,0)成分の初期分布及び飽和状態に

おける分布を示している。非線形の初期段階ではMHD不安定性の影響はプラズマ周辺部に限定されるが、最終的にはプラズマ中心部までMHD不安定性の影響がおよぶため、中心圧力の低下がみられる。しかしながら、中心圧力の低下するものの、平衡時のベータ値が高いほど高い圧力は維持されていることがシミュレーションよりわかった。

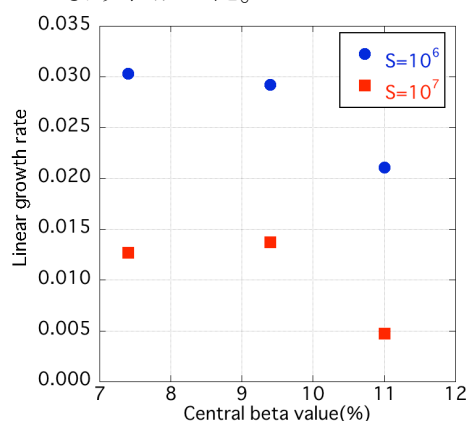


図1.全運動エネルギーの線形成長率と中心ベータ値の関係

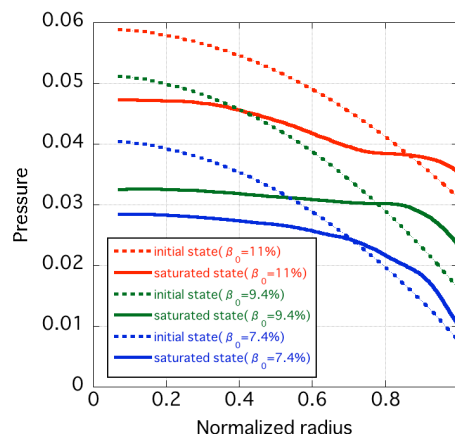


図2. $S=10^7$ の場合に対する圧力の初期分布と飽和状態における分布の比較

- [1] Y. Todo et al., Plasma Fus. Res. **5**, S2062 (2010).  
[2] K. Harafuji et al., J. Comp. Phys. **81**, 169-192 (1989).  
[3] Y. Suzuki et al., Nucl. Fusion **46**, L19-L24 (2006).