

LHD における圧力駆動型不安定性の
非線形飽和機構に対するイオンの運動論的効果
Ion kinetic effects on nonlinear saturation mechanism
of pressure driven MHD instabilities in LHD

佐藤雅彦, 藤堂泰
Masahiko Sato, Yasushi Todo

核融合科学研究所
National Institute for Fusion Science

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いるが、MHD モデルによる解析では、圧力勾配駆動型 MHD 不安定性が非常に不安定な計算結果が得られる。この実験結果と理論予測との矛盾を解決するため、熱イオンの運動論的効果を取り入れたシミュレーション解析を行ったところ、捕捉熱イオンの歳差ドリフト運動が不安定性の線形成長率を抑制し [1,2]、また、高磁気レイノルズ数領域では飽和レベルも低下するため、高ベータプラズマが維持されることが分かった [3]。これらの研究では低解像度による計算のため、数値粘性の影響が大きい。本研究では、数値粘性の小さい高解像度による計算も実施し、これまでの低解像度による結果と同様に、高ベータプラズマが維持されるか調べた。

本解析では、運動論的 MHD シミュレーションコードである、MEGA コードを用い、熱イオンをドリフト運動論モデル、電子は断熱則を仮定して流体モデルにより取り扱っている。使用した格子点は、これまでの低解像度計算では $(128 \times 128 \times 640)$ を用いているのに対し、高解像度計算では $(256 \times 256 \times 1280)$ を用いた。図 1 は、電子圧力揺動の $1 \leq n \leq 6$ モード成分の振幅の時間発展を示している。低解像度の計算では、 $n = 2$ のインターチェンジモードが最も不安定であるが、高解像度の計算では、 $n = 4 \sim 6$ のインターチェンジモードが最も不安定である。しかしながら、最終的な飽和状態では、両者ともに $(m, n) = (1, 1)$ モードが支配的となる。ここで、 $n(m)$ はトロイダル (ポロイダル) モード数である。図 3 に示すように、飽和状態での $(m, n) = (1, 1)$ モードの振幅は両結果ともにほぼ等しく、また、 $(m, n) = (0, 0)$ 成分の圧力分布もほぼ同じ分布が得られ、高解像度の計算においても高ベータが維持される結果が得られた。

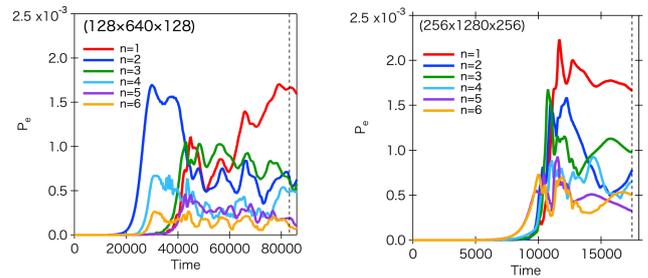


Fig. 1: 電子圧力揺動の $1 \leq n \leq 6$ モード成分の振幅の時間発展。左図は低解像度 ($128 \times 640 \times 128$)、右図は高解像度 ($256 \times 1280 \times 256$) の計算結果。時間はアルフヴェン時間で規格化されている。

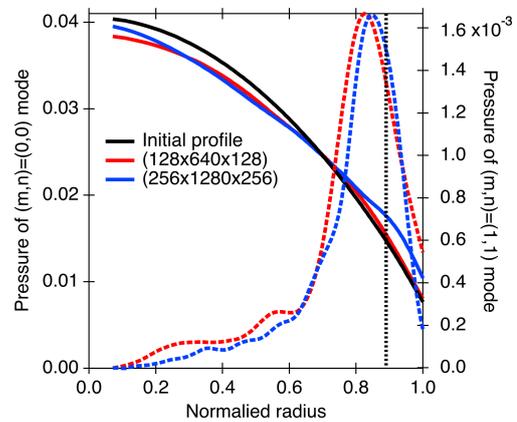


Fig. 2: 飽和状態 (図 1 の波線で示している時刻) での、電子圧力揺動の $(m, n) = (1, 1)$ 成分の径分布 (波線)。実線は、全圧力 $(P_e + (2P_{i\perp} + P_{i\parallel})/3)$ の $(m, n) = (0, 0)$ 成分の径分布を示している。

- [1] M. Sato and Y. Todo, Nucl. Fusion **59** (2019) 094003.
- [2] M. Sato and Y. Todo, J. Plasma Phys. **86** (2020) 815860305.
- [3] 佐藤雅彦, 藤堂泰, 第 36 回プラズマ・核融合学会年会 (2019) 02P44.