

ジャイロ運動論コードを用いた電子エネルギー閉じ込め改善に関する乱流輸送研究

阪大院工 成田絵美

核燃焼プラズマではアルファ粒子による強電子加熱が行われる。そのため電子温度 T_e はイオン温度 T_i に近づく、もしくは T_i を上回ることが予想される。これまでの研究では、イオン加熱を主体とした実験が多く、 $T_e/T_i < 1$ の領域において、 T_e/T_i の増加によって閉じ込め性能が劣化することが報告されている [1]。また輸送シミュレーションでは、イオン温度勾配/捕捉電子モード (ITG/TEM) に起因する乱流輸送が T_e/T_i の増加によって促進され、閉じ込め性能が劣化することが分かっている [2]。しかしながら、 $T_e/T_i > 1$ において閉じ込め時間改善度 $H_{H98(y,2)} > 1$ となるデータの存在が確認されている [2]。本研究では、それらの閉じ込めが改善されたデータの特徴を調べ、改善される条件について乱流輸送の観点からフラックスチューブ配位を用いたジャイロ運動論コード GS2[3, 4] を用いて乱流輸送解析を行った。

国際データベース”International Global H-mode Confinement Database”[1, 5] から、磁気軸での温度比 T_{e0}/T_{i0} が 1 を超える放電を多く含む JET のデータの内、中性粒子入射 (NBI) 加熱のデータを選択した。 $T_{e0}/T_{i0} > 1$ となる放電の中でも、 $H_{H98(y,2)} > 1$ が得られているデータでは、イオンに比べて電子の方が閉じ込めが改善されており、電子の蓄積エネルギー W_e はイオンのそれ W_i の 2 倍近くになっていることがわかった。したがって、 $H_{H98(y,2)}$ の増加は主に電子輸送の閉じ込め改善に起因すると考えられる。また、蓄積エネルギーの比 W_e/W_i は T_{e0}/T_{i0} よりも大きいことから、電子温度は磁気軸付近だけでなく、広い領域で高くなっており、その分布はイオンに比べて広がりがあると予想できる。そこで、GS2 を用いて電子とイオンの温度勾配長の関係が熱輸送に与える影響を調べる。さらに、閉じ込め性能に強く影響を与える電流分布にも着目する。

GS2 を用いた線形計算によって乱流輸送解析を行った。静電揺動に加え電磁揺動の効果も考慮している。 $T_e/T_i > 1$ において促進される ITG/TEM を対象とするため、計算する波数の範囲は $0.1 < k_\theta \rho_i < 1.0$ とした。拡散係数の計算には準線形モデル [6] を用いた。ここでは規格化小半径 $\rho = 0.5$ において温度比 $T_e/T_i = 1.2$ として計算を行い、他のプラズマパラメータには、実験データセットでの特徴的な値を用いた。まず、電子とイオンの温度勾配長の関係として、規格化電子温度勾配長 R/L_{Te} は 6 に固定し、図 1(a) に示すように規格化イオン温度勾配長 R/L_{Ti} の値を変化させた。 R/L_{Ti} の増加によって、モード周波数 ω ($\omega > 0$: 電子、 $\omega < 0$: イオンの反磁性ドリフト方向) が正から負に変わることから、最も不安定なモードは TEM から ITG に変化することがわかる。ITG が優勢なとき、電子の拡散係数 χ_e はイオンのそれ χ_i と比べて低くなる。一方 TEM が優勢になると、 χ_e は増大し、 χ_i を上回る。データセットでの予測より、イオンよりも電子の温度勾配長が長い ($R/L_{Ti} > R/L_{Te}$) と考えられ、この条件は ITG が優勢となる範囲である。このとき電子の閉じ込め性能は改善されると考えられる。次に電流分布として、それと相関のある磁気シア s の熱輸送への影響を調べた (図 1(b))。 $R/L_{Te} = 6.0$ 、 $R/L_{Ti} = 7.5$ としており、ITG が最も不安定なモードである。 $0.6 < s < 1.4$ の範囲では、 s の増加によって χ_e 、 χ_i ともに減少するが、 χ_e/χ_i も減少している。したがって、 s の増加は特に電子の輸送低減に有効であると言える。

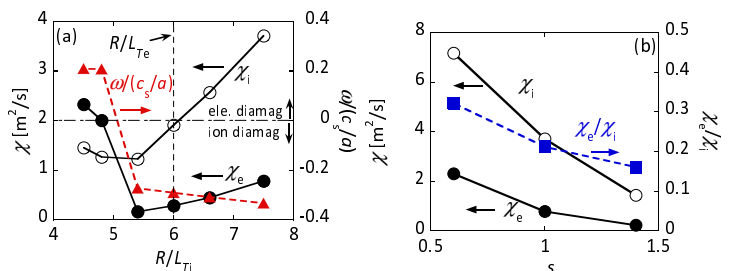


図 1: (a) 準線形モデルによる電子とイオンの拡散係数と線形計算による $k_\theta \rho_i = 0.3$ におけるモード周波数のイオン温度勾配依存性 (b) 準線形モデルによる電子とイオンの拡散係数と線形計算による拡散係数比の磁気シア依存性

参考文献

[1] Progress in the ITER Physics Basis, Chapter2: Plasma confinement and transport, Nucl. Fusion **47**, S18 (2007).
 [2] E. Narita *et al*, Plasma Fusion Res. **7**, 2403102 (2012).
 [3] M. Kotschenreuther *et al*, Comput. Phys. Commun. **88**, 128 (1995). Source program is downloaded from <http://www.gs2.sourceforge.net/>
 [4] W. Dorland *et al*, Phys. Rev. Lett. **85**, 5579 (2000).
 [5] The International Global H-mode Confinement Database <http://efdasql.ipp.mpg.de/hmodepublic/>
 [6] F. Jenko *et al*, Plasma Phys. Control. Fusion **47** B195 (2005).