

LHDにおける乱流遷移と閉じ込めへの寄与

Turbulence transition and its contribution to confinement in LHD

木下稔基¹, 田中謙治^{1,2}, 沼波政倫^{2,3}, 石澤明宏⁴, 酒井彦那¹KINOSHITA Toshiki¹, TANAKA Kenji^{1,2}, NUNAMI Masanori^{2,3}, ISHIZAWA Akihiro⁴, SAKAI Hikona¹九大総理工¹, 核融合研², 名大³, 京大⁴IGSES Kyushu Univ.¹, NIFS², Nagoya Univ.³, Kyoto Univ.⁴

磁場閉じ込め高温プラズマにおいてイオンのラーモア半径程度の揺動スケールを持つイオンスケールの乱流はプラズマのパラメータによりその特性が異なり, 結果として閉じ込めが大きく変化する. LHDにおける輸送の同位体効果の研究過程において同位体効果が明確でない比較的 low density 領域と明確である比較的高密度領域では乱流揺動のパラメータ依存性が大きく異なり, ある特定の密度で乱流のモードが遷移することがわかった.

本実験では軽水素(H)および重水素(D)プラズマを一定の ECRH 条件にて加熱し, ガスパフにより電子密度をスキャンした. 図1(a)はエネルギー閉じ込め時間(τ_E)の電子密度依存性である. ここで τ_E は kinetic stored energy と deposition power の比から評価した. エネルギー閉じ込め時間は密度増加に伴い, 増加するが, Hプラズマでは $n_{e\text{ bar}} \sim 1.5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ で, Dプラズマでは $1.8 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ で電子密度依存性が変化する. 本講演ではこれらの密度を遷移密度($n_{e\text{ ts}}$)と定義し, $n_{e\text{ bar}} < n_{e\text{ ts}}$ を低密度領域, $n_{e\text{ bar}} > n_{e\text{ ts}}$ を高密度領域と呼ぶ. 高密度領域では明確に Dプラズマにて閉じ込め時間が伸長しており, これはプラズマの閉じ込め特性が $n_{e\text{ ts}}$ 前後で変化することを示唆している. これら異なる閉じ込め領域における乱流揺動のふるまいを確認するため, 図1(b)に位相コントラストイメージ (PCI) で計測したイオンスケール ($k\rho_i \sim 0.3 - 0.5$) の乱流揺動レベルの電子密度依存性を示す. ここでは揺動振幅がピーク位置周辺である $\rho = 0.5 \sim 0.7$ の平均値を示す. 低密度領域では揺動レベルに明確な同位体効果はなく, 密度上昇に伴い減少する. 一方, 高密度領域では電子密度の増加に伴い, 揺動レベルは増加し, Dプラズマにて明確に抑制される. このDプラズマの高密度領域における乱流揺動レベルの抑制は図1(a)に示したDプラズマにおける閉じ込め時間の伸長と定性的に一致する.

これら異なる閉じ込め領域における乱流揺

動のモードを特定するために GKV を用いた線形シミュレーションを行った. その結果, ion temperature gradient mode (ITG) の線形成長率は密度領域にかかわらず電子密度の増加に伴い減少する結果が得られ, これは低密度領域における乱流揺動レベルの密度依存性と定性的に一致する. 一方, 高密度領域では実験で得られた乱流揺動レベルの電子密度依存性とは異なり, この領域で計測された乱流揺動は ITG のみでは説明できない. そこで resistive interchange mode (RIC) の線形成長率の解析式を適用したところ, 高密度領域にて線形成長率が明確に増加し, Dプラズマにて抑制される結果が得られた. 以上より, LHD の ECRH プラズマでは $n_{e\text{ ts}}$ において支配的な揺動が ITG から RIC に遷移することでプラズマの閉じ込め特性が変化し, RIC が支配する高密度領域において同位体効果が明確に表れることがわかった.

本講演ではこれら揺動の同定に加えて各密度領域における揺動の輸送係数への寄与について説明し, 生じる各物理パラメータへの影響についても報告する.

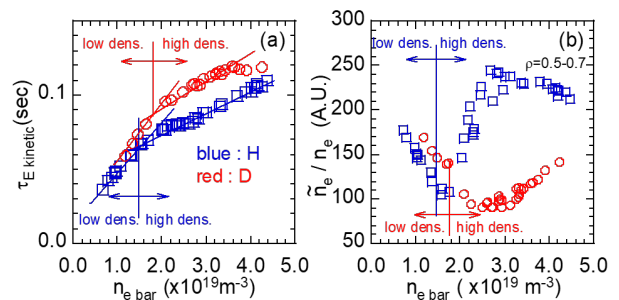


図1 (a)エネルギー閉じ込め時間および(b)イオンスケールの揺動レベルの電子密度依存性 青: 軽水素, 赤: 重水素