

# LHDにおけるイオン内部輸送障壁の閉じ込め改善度の定義 Confinement improvement factor for ion internal transport barrier in LHD

小林達哉<sup>1,2</sup>, 高橋裕己<sup>1,2</sup>, 永岡賢一<sup>1</sup>, 佐々木真<sup>3,4</sup>, 横山雅之<sup>1,2</sup>, 關良輔<sup>1,2</sup>, 吉沼幹朗<sup>1</sup>, 居田克己<sup>1,4</sup>

T. Kobayashi<sup>1</sup>, H. Takahashi<sup>1,2</sup>, K. Nagaoka<sup>1</sup>, M. Sasaki<sup>3,4</sup>, M. Yokoyama<sup>1,2</sup>, R. Seki<sup>1,2</sup>, M. Yoshinuma<sup>1</sup> and K. Ida<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>核融合研, <sup>2</sup>総研大, <sup>3</sup>九大応力研, <sup>4</sup>九大極限プラズマ研究連携セ

<sup>1</sup>NIFS, <sup>2</sup>SOKENDAI, <sup>3</sup>RIAM Kyushu U., <sup>4</sup>Center for Plasma Turb. Kyushu U.

LHDにおいて重水素実験が開始され, 中心イオン温度10keVが達成された[1]. イオン内部輸送障壁(ITB)は高イオン温度プラズマ生成における重要な物理プロセスである. 内部輸送障壁はHモードと異なり, その定義に統一見解がない. このことが, 水素同位体効果を含む基礎物理過程の解明を困難にしている. 本研究では, 周辺の温度プロファイルからLモード閉じ込め特性を持つ全体のプロファイルを求め, 実際のプロファイルとの比を取ることで, 「プロファイルゲインファクター」を定義した. 典型的なITB放電では, プロファイルゲインファクターは1を有意に超えることが示された.

定常Lモードの温度分布は多くの場合, 温度 $T$ のべき乗に比例する拡散定数をもつ拡散方程式で表される. すなわち, 拡散係数は

$$\chi = kT^\alpha \quad (1)$$

と与えられる. ここで $k$ と $\alpha$ は定数である. この拡散係数を定常の拡散方程式に代入し, 得られた非線形微分方程式を与えられた密度分布 $n$ と入力パワー分布 $P$ のもとで数値的に解くことで, 定数 $k$ と $\alpha$ で特徴づけられる温度分布 $T=T(k, \alpha | n, P)$ が得られる. この関数 $T$ を用いて, 計測された実際の温度分布を非線形最小自乗フィッティングすることができる. 特に, このフィッティングを周辺付近のデータのみを用いて行い, 得られたプロファイルを中心まで外挿すると, 全体の閉じ込めがLモードスケリング(式(1))に従う場合の温度プロファイルを得ることができる.

図1はLHDのITB遷移前(左)と遷移後(右)のイオン温度プロファイルである. 四角シンボルが荷電交換分光計測で計測されたイオン温度, 実線がLモードスケリングに従う場合のプロファイルである. 遷移前は両者が近い分布となっているのに対し, 遷移後は大きくかけ離れた分布となっていることが示されている. この差, 即ち分布のLモードスケリングからの乖離度を用いて, 以下

の式で「プロファイルゲインファクター」を定義した.

$$G_\alpha = \frac{\int_{r_1}^{r_2} n_e T(r) dV}{\int_{r_1}^{r_2} n_e T_L(r) dV} \quad (2)$$

ここで $T$ は実際のプロファイル,  $T_L$ は外装されたプロファイルである.

図2はプロファイルゲインファクターの線平均密度依存性を示す. 密度が高い場合プロファイルゲインファクターは1に近い値をとる. また $1 \times 10^{19} \text{m}^{-3}$ 付近で急激に増加している. 即ち, ITB形成は線平均密度に対して遷移的な特性を示す. この遷移密度は, LHDの磁場配位を打ち寄せ磁気軸配位に変更すると増加した. また, イオン粒子種を重水素から水素に変えると増加した.

本研究は, 科研費(17K14898)の支援を得た.

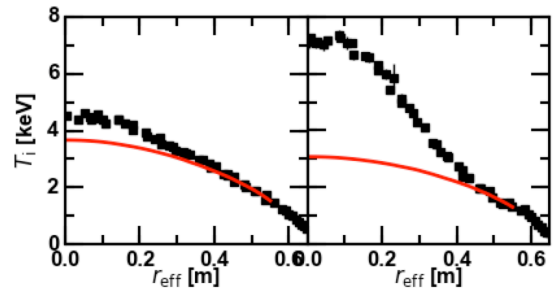


図1: ITB遷移前(左)と遷移後(右)のイオン温度プロファイル

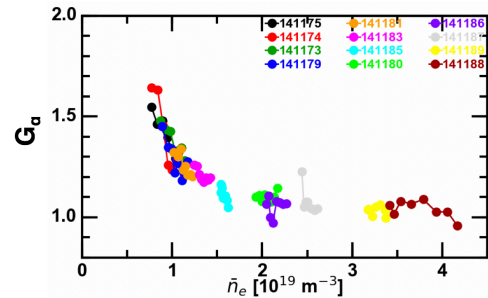


図2: プロファイルゲインファクターの線平均密度依存性

[1] H. Takahashi, et al, Nucl. Fusion 55 (2018) 106028