

周辺3次元磁場構造におけるプラズマの熱的不安定性と閉じ込めプラズマへの影響

Impact of 3D edge magnetic field structure/topology on thermal instability and core plasma confinement in toroidal magnetic confinement system

小林政弘<sup>1</sup>、關良輔<sup>1</sup>、林祐貴<sup>1</sup>、大石鉄太郎<sup>1</sup>、田中謙治<sup>1</sup>、武村勇輝<sup>1</sup>、M.Z. Tokar<sup>2</sup>、居田克巳<sup>1</sup>、木下稔基<sup>3</sup>、向井清史<sup>1</sup>、森田繁<sup>1</sup>、増崎 貴<sup>1</sup>、LHD実験グループ  
 M. Kobayashi<sup>1</sup>、R. Seki<sup>1</sup>、Y. Hayashi<sup>1</sup>、T. Oishi<sup>1</sup>、K. Tanaka<sup>1</sup>、Y. Takemura<sup>1</sup>、M.Z. Tokar<sup>2</sup>、K. Ida<sup>1</sup>、T. Kinoshita<sup>3</sup>、K. Mukai<sup>1</sup>、S. Morita<sup>1</sup>、S. Masuzaki<sup>1</sup>、the LHD experiment group

1 核融合研、2 デュッセルドルフ大学、3 九州大学  
 2 NIFS, 2 Düsseldorf Univ, 3 Kyusyu Univ.

トロイダル磁場閉じ込め配位では、磁力線のねじれが径方向に変化することにより、有理面と非有理面が交互に存在する。有理面における磁力線と同じねじれを持つ摂動磁場が加えられると磁気島と呼ばれる構造が形成される。このトポロジーの分岐は共鳴現象であるため、極めて小さい摂動磁場 ( $B_1/B_0 \sim 10^{-4}$ ) によって引き起こされる。

形成された磁気島のO点とX点は非線形力学における楕円型不動点(elliptic fixed point)、双曲型不動点 (hyperbolic fixed point) に対応する。この2点においては只一本の磁力線のみがそれぞれの点自身をつなげることができるため、この点以外の場所からの磁力線に沿ったエネルギー輸送が遮断される。従って、不純物による冷却が起こると、この点は選択的に冷却されると考えられる。これは熱的不安定性 (thermal condensation instability) の局所的な線形成長率、

$$r = \frac{2}{5n_e} \left( \frac{2T}{T_e} - \frac{\partial T}{\partial r} - \delta i(k_{\parallel}) \right)$$

によって駆動される。この式の第1項は温度の低下によって断熱的に密度が増加する効果を表している。第2項は不純物による放射冷却で、低温では正となるため、第1項と合わせて不安定化に働く。第3項は磁力線に沿ったエネルギー輸送による安定化項であるが、上述のO点、X点ではこの項が  $k_{\parallel} \rightarrow 0$  によって無効化されるため、最も熱的に不安定な場所となることがわかる (図1)。更に詳細な数値シミュレーションを行った結果、熱的不安定性はX点近傍から駆動されることが明らかになった。また、シミュレーションから、プラズマの低温化が進むにつれてX点に向けて不純物のフローが形成されて蓄積が起これ、これによって正のフィードバックが発達することにより、X点の冷却が進行

することがわかった。

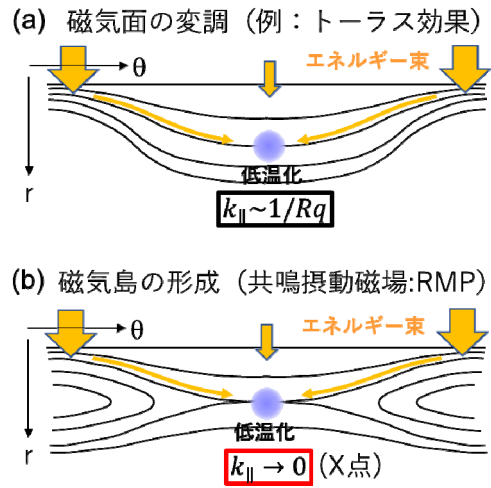


図1 (a)トポロジーの変化を伴わない磁気面の変調 (例: トーラス効果、 $k_{\parallel} \sim 1/Rq$ )。 (b)磁気島形成による磁気面 (トポロジー) の変化。セパトリクスに沿って  $k_{\parallel} \rightarrow 0$  となる。

また、周辺部に形成された磁気島のセパトリクスと閉じ込め領域の境界に急峻な圧力勾配が形成されることが実験的に観測された。いわゆる周辺輸送障壁(ETB)であるが、これによってコアの閉じ込めが改善する現象が観測された (図2)。

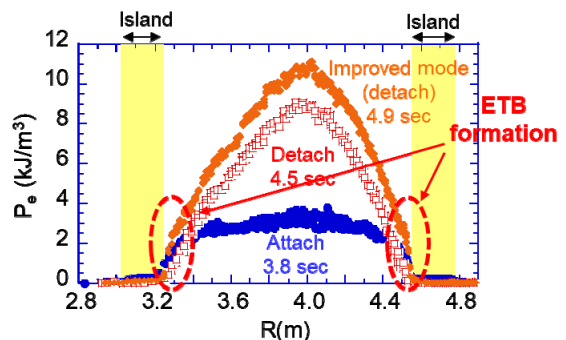


図2 周辺磁気島の内側に形成されるETB。