

コアプラズマにおける突発性輸送の理解 Study of bursty transport events in core plasmas

金 史良
Fumiyoshi Kin

京都大学 エネルギー理工学研究所
Institute of Advanced Energy, Kyoto University

炉心プラズマで自己点火条件を達成するためには、コアプラズマの高性能化が必須である。高性能化で特に重要になるのが、内部輸送障壁(ITB)の形成である[1]。ITBはプラズマ閉じ込めの性能向上に貢献するだけでなく、急峻な圧力勾配により駆動される自発電流は、トカマク炉の定常運転には不可欠な要素となっている。一方でITBは、その自律性の高さからか、移動や成長、構造変化など、様々なダイナミクスが思わぬタイミングで発生することがある[1]。自己燃焼プラズマの定常化のためには、このようなダイナミクスを生み出す背景物理を理解し、制御する必要がある。

本研究は、コアプラズマで突発的に発生する雪崩輸送に焦点を当て、ITBの形成や構造に及ぼす影響について議論する。また本研究は、JT-60Uのプラズマ電流立ち上げ時に形成されるITBについて取り扱う。図1は、NB加熱パワーの異なる放電のITB形成時におけるイオン温度勾配の時空間発展を示す。電流立ち上げ時の負磁気シアプラズマでは、 q_{min} が有理数面を横切ると温度の分岐現象が起こり、温度勾配が増加する[2]。図1では、 $t \sim 4.9s$ 辺りで $q_{min} = 5$ となり、 q_{min} 近傍でイオン温度勾配が増大しITBが形成されている。この分岐現象は、駆動機構は明確になってはいないが(Zonal flow[3]やsawtooth[4]の影響が議論されている)、ITB形成のトリガーとして良く知られている。また q_{min} 近傍では、 $E \times B$ フローシアの増加と微視的乱流強度の低下が確認されており[5]、ITB形成の要因と考えられている。しかし、図1の11MW放電ではITBへの遷移は一時的であり、一方で12MW放電では、温度勾配のピークは $\rho \sim 0.5$ に移動して定常的なITBが形成される。これは、 q_{min} 近傍の微視的乱流の抑制だけでは、ITBは過渡的にしか形成されず、定常的なITB成立の十分条件を満たしていない可能性を示唆する。

雪崩輸送は突発的にかつ信号強度が決して大きくないため、ノイズとの切り分けが難しく、

周辺磁気コイル等には受からない。本研究では、コア領域($\rho \sim 0.4$)にカットオフ層を持つ反射計の揺動強度が、大振幅の雪崩輸送発生時に同期して増大していたため(Bursty Fluctuation: BF)、輸送イベントの指標として用いることができた[6]。図1に示すBFが起こると、雪崩輸送により温度勾配が緩和される。11MW放電では、BFの発生が温度勾配の移動を阻害するような働きを示しており、12MW放電ではBFは消失している。その他の観測結果からも、突発的輸送の抑制がITBの定常的な形成に重要であることが示された[7]。講演では、これらの詳細を紹介すると共に、自己燃焼プラズマの維持に向けた課題について議論する。

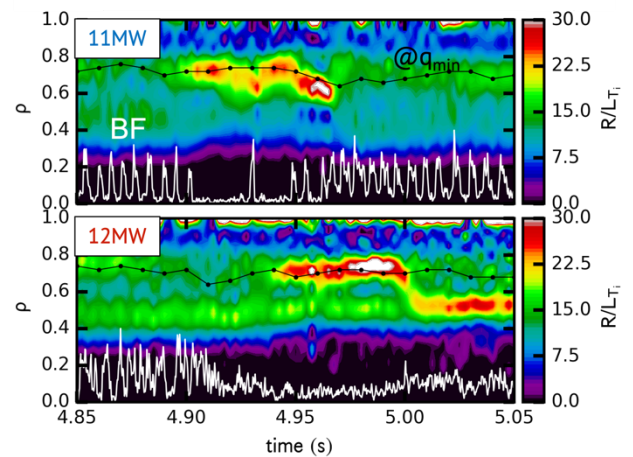


図 1. NB 加熱パワーの異なる放電(11,12MW)の規格化イオン温度勾配の時空間発展と BF

- [1] K. Ida & T. Fujita, PPCF 60, 033001 (2018).
- [2] M. E. Austin et al., PoP 13, 082502 (2006).
- [3] R. E. Waltz et al., PoP 13, 052301 (2006).
- [4] E. Joffrin et al., NF 43, 1167 (2003).
- [5] M. W. Shafer et al., PRL 103, 075004 (2009).
- [6] F. Kin et al., NF 63, 016015 (2023).
- [7] F. Kin et al., Sci. Rep. in press.