

JT-60におけるプラズマ加熱と制御

日本原子力研究開発機構 小島 有志、小林 貴之

ITER や核融合炉における燃焼プラズマでは、DT 反応の α 粒子による自己加熱とプラズマの粒子や熱の輸送により圧力分布が決まり、その圧力勾配に依存するブーツラップ電流によりプラズマの電流分布が支配される。それら圧力や電流、回転の分布がプラズマの自律性に左右される中、MHD 安定性を確保してプラズマを定常維持する事が核融合炉では要求される。そこで、限られた外部加熱で自律性の高いプラズマを定常維持するための手段の一つとして、臨界プラズマ試験装置 JT-60 ではプラズマ加熱を用いた実時間のプラズマ制御手法を開発している。

今回特に、中性粒子入射加熱装置(NBI)を用いたイオン温度の実時間制御及び、新古典ティアリングモード(NTM)発生時に出力変調した電子サイクロトロン電流駆動(ECCD)を用いて実時間で抑制する制御法について進展を得た。

【イオン温度勾配の実時間制御】

プラズマを安定に維持するためには、MHD 不安定性の駆動源となる圧力勾配を制御する必要がある。そこで、今回荷電交換分光計測の時間分解能をエネルギー閉じ込め時間より十分速い時間 (2.5 ms) に改良し、実時間のイオン温度・トロイダル回転速度制御に発展させて、イオン温度勾配の実時間制御の実験を行った。その結果、圧力勾配が非線形に変化する内部輸送障壁を有する高ベータ値プラズマの応答特性を調べて制御ゲインを最適化することで、内部輸送障壁の強さの制御に成功した(図 1)。また、負から正への広い領域におけるトロイダル回転速度の実時間制御を実証した。

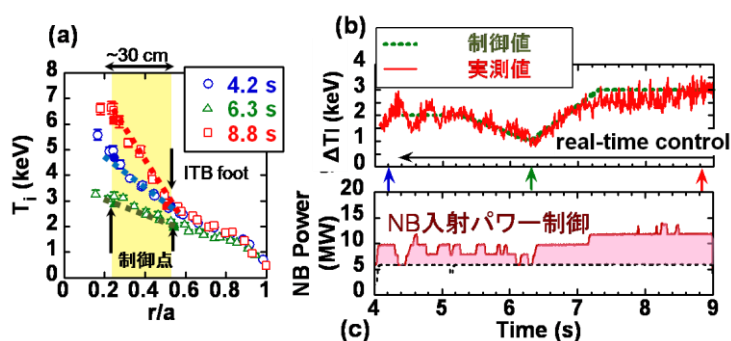


図 1: (a)空間 2 点間のイオン温度勾配を制御し、内部輸送障壁の制御に成功した。(b)イオン温度勾配の制御値と実測値(c) 帰還制御されている NB 入射パワー波形、点線はベースとなる NB 入射パワー。

Ref. M. Yoshida et al., *Fusion Eng. Des.* **84** (2009) 2206.

【NTM 不安定性の抑制】

JT-60 高周波加熱装置の実時間制御機能開発の進展に伴い、プラズマ計測信号をもとにフィードバック制御した加熱、電流駆動等、制御性を高めた実験が行われ、その有効性を実証してきた。今回、ITER においても電子サイクロトロン加熱装置の重要な役割の一つであるが、これまでその効果の定量的な実証が不十分であった、出力変調 ECCD による NTM 不安定性の抑制効果を明らかにすることを目的に、実験を行った(図 2)。その結果、ECCD 変調タイミングを自動的に制御し、4~6kHz で時間変動しながら回転する磁気島の中に電流駆動を行い、高効率 NTM 抑制を実証した。また、位相差を 180 度ずらした場合 NTM が成長すること等を示し、シミュレーション予測と矛盾しない結果を世界で初めて示した。

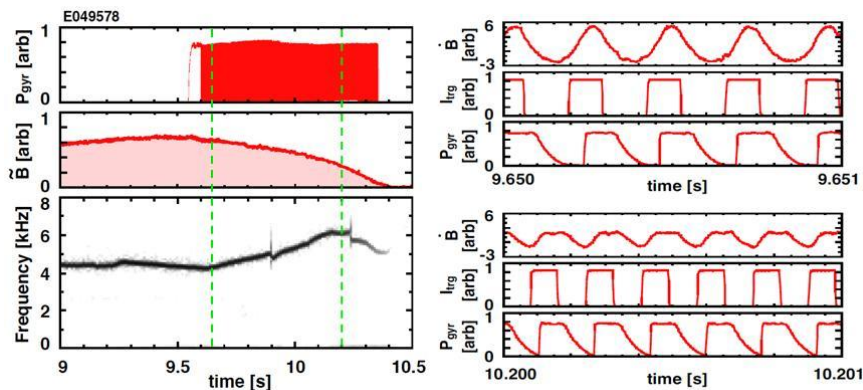


図 2: 出力変調 ECCD による NTM 抑制実験結果。t~9.65s では NTM 周波数は約 4.3kHz であるが、t~10.2s では約 6.2kHz に変化している。

右図の ECCD 入射タイミング (P_{gyr})は自動的に磁気プローブ信号(B)の山に同期され、磁気島中に ECCD を行い、高効率抑制を実現した。

Ref. A. Isayama et al., *Nucl. Fusion* **49** (2009) 055006.