新実験 TS-3U における超解像 2 次元画像診断を用いた 合体・リコネクション加熱輸送過程の研究

Investigation of ion heat transport process during merging/ reconnection startup of spherical tokamak using ultra-high resolution ion Doppler tomography in TS-3U

田辺博士, 田中遥暁, 曹慶紅¹, 秋光萌, 澤田明日香, Setthivoine You, 井通暁, 小野靖 Hiroshi Tanabe, Haruaki Tanaka, Qinghong Cao, Michiaki Inomoto, Yasushi Ono et al.

> 東大新領域,東大工¹ Univ.Tokyo

2017 年 11 月、東京大学プラズマ合体実験装置 TS-3 のシャットダウン、新装置 TS-3U(TS-6) への真空容器 総入れ替えを伴う大型アップグレードが開始された。近年 MAST の成功を受け、磁気リコネクションの爆発 的なエネルギー解放現象を応用した高ベータ球状トカマク合体生成実験が、球状トカマクのソレノイドフリー 立ち上げ問題に関する解決策の一つとして注目を集めている。トカマク合体型のリコネクション実験は、一般 に加熱効率の劣化が危惧される高ガイド磁場条件に該当するが、MAST における *B_t* ~0.6T での最大 1.2keV の合体加熱の達成、高ガイド磁場極限 *B_t/B_{rec}* > 3 (*B_{rec}* ~ *B_p*) におけるガイド磁場の加熱効率低減効果の飽 和、100ms を越える長時間運転への連結、H モード達成などの成果を受けて、東京大学の新装置 TS-3U(TS-6) および、ポスト MAST 実験となる ST40(トカマクエナジー) では、旧来のスフェロマックや FRC ベースの合 体加熱効率優先の実験から転換し、トカマク合体型実験を主眼にアップグレードが進められている。

本研究では、MASTではリコネクション中の磁場計測不在のために十分に議論できなかった課題として、1) 高ガイド磁場条件のリコネクションで観測される X 点近傍の微細構造形成過程、2) 合体加熱の大部分を占め るイオン加熱が拡散領域を出た後の輸送過程、の2点に焦点を当て研究を実施した。図1に MAST 共同研究 で得られた代表的な加熱分布、図2に TS-3 装置で得られた X 点近傍の微細構造、図3に新装置 TS-3U で初 めて可能となった合体プラズマの磁気面全体を網羅した2次元イオン温度測定結果を示す。高ガイド磁場リコ ネクションでは、電子は X 点近傍の局在化した領域で加熱される一方、イオンは合体下流のアウトフロー領 域においてグローバルに加熱される。合体下流の高温領域がそのまま排出される X 点近傍のみを扱う開放系 リコネクションと異なり、2つのフラックスチューブが合体するシステム全体が扱われるリコネクション実験 では、再結合磁場が2つの合体プラズマ全体を取り囲む閉じた磁気面を形成するため、トロイダル配位におけ る磁場閉じ込めの効果が加わり、合体下流の加熱領域が磁力線方向(紙面 z 方向)に伝搬する。磁力線方向・ 磁力線垂直方向の熱輸送係数の比 $\chi_{\parallel}/\chi_{\perp} ~ 2(\omega_{ci}\tau_{ii})^2 >> 10 のトカマク合体では、ガイド磁場 0 で同比率が$ ~1 程度となってしまうような MRX 実験などとは異なり、磁気面垂直方向への損失が抑えられるため、最終的にはポロイダル平面内において特徴的なダブルリング型の加熱構造が形成されることが分かった。本年会では同効果をはじめとした、合体・リコネクション加熱による特徴的な構造形成過程について講演を行う。



図1 MAST の高ガイド磁場リコネク 図2 マルチスリット分光法による TS-3 図3 新装置 TS-3U 実験でとらえられ ションにおける電子・イオン加熱 96CH ドップラートモグラフィ計測 た磁気面全体へのイオン加熱輸送過程

- [1] H. Tanabe et al., Phy. Rev. Lett. **115**, 215004 (2015).
- [2] H. Tanabe et al., Nucl. Fusion **57**, 056037 (2017).