

LATE における ECH による球状トカマク立ち上げ時の
間欠的噴出現象のメカニズム

Mechanism of Intermittent Plasma Ejection Event
During ECH Spherical Tokamak Start-up by ECH on LATE

梶田竜助, 出田雄己, 吉岡慎太郎, 郭星宇, 大高航, 尾崎祥平, 浜口睦宏, 打田正樹, 田中仁
Kajita Ryusuke, Ideta Yuuki, Yoshioka Shintaro, Guo Xingyu,
Otaka Wataru, Ozaki Shohei, Hamaguchi Mutsuhiro, Uchida Masaki and Tanaka Hitoshi

京都大学大学院エネルギー科学研究科
Graduate School of Energy Science, Kyoto University

京都大学 LATE 装置では、電子サイクロトロン加熱・電流駆動 (ECH/ECCD) により無誘導で球状トカマクを生成維持している。これまで、電流が約 5 kA を超えると現れる最外殻磁気面 (LCFS) を横切る間欠的プラズマ噴出現象を報告してきた。この現象により密度の増加が阻害されるため、機構の解明が必要である。

ECH/ECCD により無誘導で上げた球状トカマクでは、バルク電子 ($T_e \sim 100$ eV, $n_e \sim 5 \times 10^{17}$ m $^{-3}$) の数 % 程度的高速電子群 (\sim 数十 keV) がプラズマ電流を運び、プラズマ圧力のほとんどを担っている。また、プラズマ電流の立ち上げ段階であるため、安全係数は極めて高く ($q_a \sim 50$, $q_0 \sim 10$), 通常のトカマクプラズマとは異なる特徴を有する。

本研究では、32ch ポロイダル磁気プローブ (MP) アレイ, 4ch ミリ波干渉計, 重イオンビームプローブ (HIBP), そして今回新たに整備した 4 台の 20ch 軟 X 線ピンホールカメラを用いて、総合的に噴出現象をとらえ、メカニズムを探る。対象とする噴出現象は、典型的には中心線積分密度の鋸歯状波形と MP のスパイク状信号として観測され、崩壊時間が数十から百 μ s という非常に速い変動である。そのため、各計測器は十分な時間分解能を持つように設計し、高速 A/D コンバータ群でデジタル化して収集し、解析を行う。

プラズマ噴出による中心プラズマの崩壊は軟 X 線カメラでも観測された。それと同時に、赤道面上部 ($Z \sim 20$ cm) のセンターポストからと見られる局所的な X 線放射も観測された。この位置は LCFS がセンターポストに接近する位置に対応する。この局所的な放射が増加するフェーズでは、MP アレイで、真空容器上側に電流チャンネルの接近/増加を示す変動が、局所的な放射が減少するフェーズでは離反/減少を示す変動が観測され、電流を担う高速電子が真空容器上側へ向かって損失したことを示している。また、線積分密

度減少の数十 μ s 前から 100 kHz 前後のコヒーレントな磁場・密度揺動が発生し始め、中心密度崩壊の際には振幅が最大となった。HIBP によるポテンシャル測定では、線積分密度減少時の磁場変動に同期して最外殻磁気面内のポテンシャル変動が観測された。これらの観測結果より、ECH によって生成された高速電子の損失がトリガとなって静電ポテンシャル変動が起こり、 $E \times B$ ドリフトによるプラズマの排出が起こった可能性が考えられる。

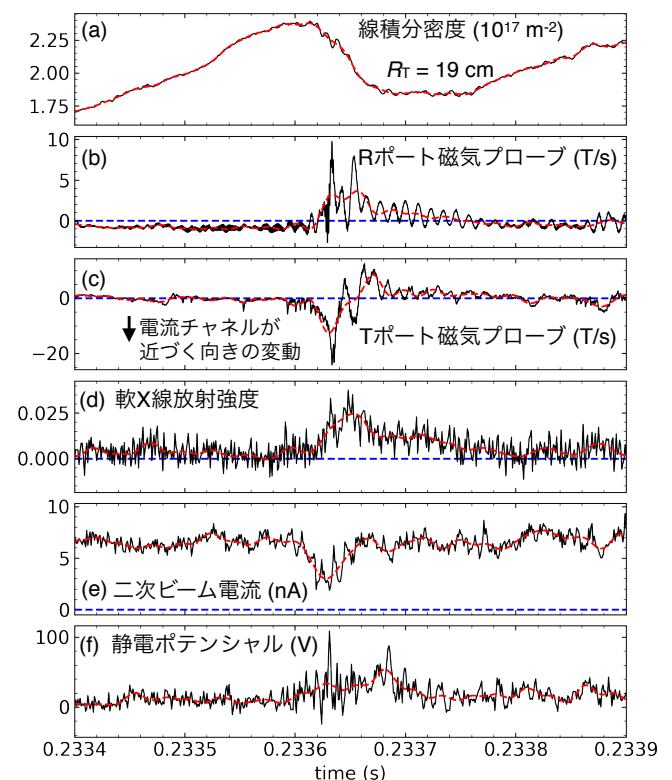


図1 プラズマ噴出時の (a) 中心付近の線積分密度, (b)MP (R port), (c)MP (T port), (d) センターポストからの X 線放射, HIBP で計測した (e) 二次ビーム電流 (\propto 局所密度), (f) 静電ポテンシャル ($R = 27$ cm, $Z = 8$ cm)。赤の破線は $f_{\text{cutoff}} \sim 40$ kHz でローパスフィルタリングした波形。