

LATE 装置におけるマイクロ波球状トカマクプラズマの軟 X 線 CT 計測 II Soft X-ray CT diagnostic of microwave spherical tokamak plasmas in the LATE device II

浜口睦宏、大高航、梶田竜助、尾崎祥平、小林良輔、米田元樹、安井優太、打田正樹、田中仁
HAMAGUCHI mutsuhiko, et al.

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

1 背景と目的

LATE のマイクロ波球状トカマクプラズマでは、約 $100\mu\text{s}$ の時間スケールでプラズマが最外殻磁気面の中から外へ噴出する現象が観測されており、これが間欠的に繰り返されることでプラズマの高電流化や高密度化を妨げている。プラズマ噴出を引き起こす不安定性の機構を解明するために、20ch AXUV 検出器列を用いたピンホールカメラ 4 台で構成された軟 X 線 CT システムを構築した (図 1)。前回、Wiener フィルタによるノイズ除去、Phillips-Thikonov 正則化、一般交差検証 (GCV) の手法を用いて図 2(a) に示すような再構成像を得た。軟 X 線制動放射は電流を担う高速電子によるものと考えられるが、再構成像が磁気計測から得られた電流分布 (図 2(b)) に合致し、最外殻磁気面の内側に主な分布があることから全体的な構造は再生できていると考えられる。今回は、細部構造に着目する。細部構造は再構成時の正則化パラメータに敏感であり、像の物理的な妥当性やノイズの影響を考慮する必要がある。また、高速電子が中心柱に衝突して放射したと考えられる軟 X 線を受けている一部の検出器の信号を解析から除外している。本講演では、正則化パラメータに関する検討と、中心柱からの発光を受けている一部の検出器信号を除外することが再生像に及ぼす影響の評価、及びその対策について報告する。

2 結果

噴出現象が起きている時間帯で GCV 法で選択された正則化パラメータ γ の変化を調べた (図 3)。図 3(a) に示すように、赤道面付近を見ている RB カメラ ch3 の信号は時刻 $t = 0.20440\text{s}$ まで増大し、その後噴出に伴い減少する。 γ は噴出の起こる前 (ramp 中) は小さい値で推移しているが、Over Fitting を起こして不自然な像 (図 4) が得られる時刻もある。また、 $t = 0.20450\text{s}$ 付近 (crash 直後) には激しい変化が見られ、時間発展を追うためには不都合である (図 3(b))。これらを回避するため、One Standard Error Rule を適用した正則化パラメータ選択法の改良を行った (図 3(c))。その結果、GCV 法で起きていた問題は改善されたが、やや大きな正則化パラメータを選択するので細部構造を見るときには不都合であり、S/N 比の向上が必要であることが分かった。

また、中心柱からの発光を受けている一部の検出器信号を除外することの影響を、細部構造を与えた模擬

信号 (図 5(a)) を用いて評価した。発光を見ている信号を計算から除外する (図 5(c)) と、しない場合 (図 5(b)) より細部構造が見えにくくなっていることがわかる。そこで、中心柱の検出器の視野外に Mo リミタを取り付けて (図 6)、発光の原因と考えられる高速電子の衝突を視野外で起こし、視野内での発光を防止する。現在 LATE 装置へのリミタ取り付けが完了し、次回の放電より使用予定である。

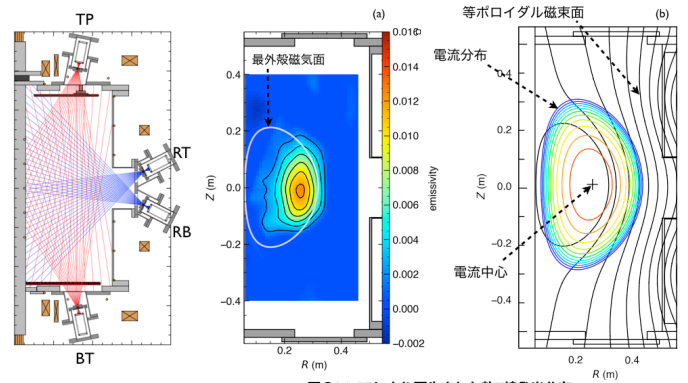


図 1 軟 X 線 CT システムの概観
図 2 (a) CT により再生された軟 X 線発光分布、
(b) 磁気計測による電流分布、ポロイダル磁束分布

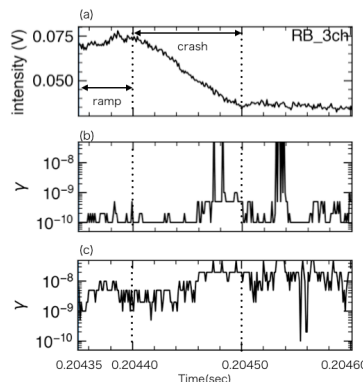


図 3 (a) 噴出現象が起きている時間帯前後の代表的 RB3 検出器出力波形と (b) GCV, (c) GCV+one standard error rule による正則化パラメータの時間変化

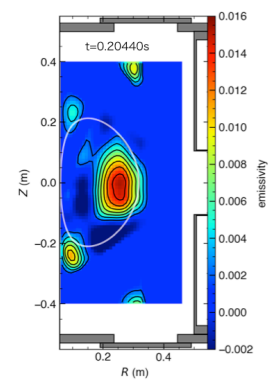


図 4 Over fitting が起きている時刻 ($t=0.20440\text{s}$) の CT 再生像 (GCV 法)

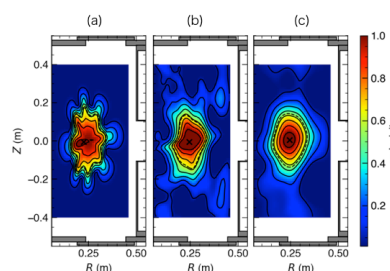


図 5 (a) 模擬した発光分布、(b) 全検出器を用いて得た再生像、(c) 中心柱からの発光を受けている一部の検出器を除外して得た再生像

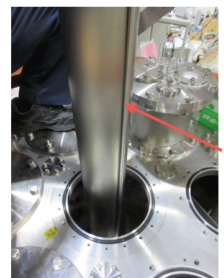


図 6 発光対策のための内側リミタの設置