

データ駆動型アプローチを用いた
大型ヘリカル装置における放射崩壊の予知と回避
Prediction and avoidance of radiative collapse
in Large Helical Device by data-driven approach

横山達也^{1,2}, 山田弘司¹, 増崎貴^{3,4,5}, Byron J. Peterson^{3,4}, 坂本隆一^{1,3},
後藤基志^{3,4}, 大石鉄太郎^{3,4}, 河村学思^{3,4}, 小林政弘^{3,4}, 辻村亨³, 水野嘉識³,
宮澤順一^{3,4}, 向井清史^{3,4}, 田村直樹^{3,4}, 本島巖^{3,4}, 居田克巳³

Tatsuya Yokoyama^{1,2}, Hiroshi Yamada¹, Suguru Masuzaki^{3,4,5}, Byron J. Peterson^{3,4}, et al.

東大新領域¹, 学振特別研究員², NIFS³, 総研大⁴, 九大応力研⁵
GSFS, UTokyo¹, JSPS Research Fellow², NIFS³, SOKENDAI⁴, Kyushu Univ.⁵

1 序論

放射崩壊は大型ヘリカル装置 (LHD) をはじめとするヘリカル系プラズマの密度限界を決定する崩壊現象である。高密度運転はヘリカルプラズマの利点であり、放射崩壊の回避・密度限界の改善が求められている。本研究では、LHD の実験データを用いて放射崩壊の発生を予知する機械学習モデルを構築した。スパースモデリングによって抽出した放射崩壊の特徴パラメータに基づくモデルを用いて実時間制御系を構築し、高密度プラズマ生成実験で崩壊を回避する実験を行った。また、制御中のプラズマの挙動について考察し、制御の効果・改善法について議論した。

2 放射崩壊の予知と制御

線形サポートベクターマシン (SVM) を2値分類器として用いて、LHD の実験データが崩壊に近い状態と安定な状態のどちらに属するかを分類するモデルを構築した。全状態探索によるスパースモデリング [1] を行ったところ、線平均電子密度・不純物発光強度 (CIV・OV)・周辺部での電子温度が重要なパラメータとして抽出された。これらのパラメータを用いて崩壊の発生可能性 (likelihood) を評価した [2]。

小型コンピュータ Raspberry Pi を用いて放射崩壊発生可能性を計測データに基づいて実時間で計算し、崩壊可能性がしきい値を超えた際にガスパフによる燃料供給の遮断と ECH による追加熱を行う制御系を構築した。図 1 に、制御実験の結果を示した。制御を行わない放電では密度ランプアップ時に崩壊が起こっているが、制御を行った場合はその崩壊を回避することができた。また、放電後半では、ガスパフ制御によって崩壊を回避しながら、 $n_e > 1.2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ という高い密度を達成した。

3 結論

本研究では、機械学習の手法を用いて放射崩壊の発生を予知し、崩壊を回避する制御実験を行った。また、崩壊に向かうプラズマの挙動から、放射崩壊の物理背景を議論する。

本研究は LHD 実験グループの協力により実施されました。本研究は核融合科学研究所一般共同研究 NIFS21KLPP068 として実施されました。本研究は JSPS 科研費 17H01368, 19J20641, 及び 20K20426 の助成を受けたものです。

- [1] Y. Igarashi *et al.* Journal of Physics: Conference Series, **1036**:012001 (2018).
[2] T. Yokoyama *et al.* Journal of Fusion Energy, **39**(6):500–511 (2020).

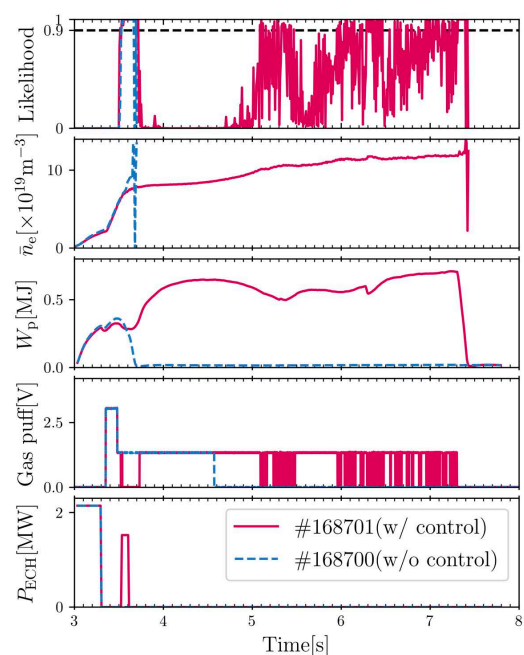


図 1: 放射崩壊回避制御実験の結果。青線が制御なしの放電、赤線が制御あり放電の波形を示す。