

データ駆動アプローチを用いた

LHD における放射崩壊の発生予知と発生過程の研究

Data-driven approach on the prediction and the study of mechanism of radiative collapse in Large Helical Device

横山達也^{1,2}, 山田弘司¹, 増崎貴^{3,4,5}, 宮澤順一^{3,5}, 向井清史^{3,5},Byron J. Peterson^{3,5}, 田村直樹^{3,5}, 坂本隆一^{3,5}, 本島巖^{3,5}, 居田克巳³,後藤基志^{3,5}, 大石鉄太郎^{3,5}, 河村学思^{3,5}, 小林政弘^{3,5}, LHD 実験グループ³Tatsuya Yokoyama^{1,2}, Hiroshi Yamada¹, Suguru Masuzaki^{3,4,5}, Junichi Miyazawa^{3,5}, et al.東大新領域¹, 学振特別研究員², NIFS³, 九大応力研⁴, 総研大⁵GSFS, UTokyo¹, JSPS Research Fellow², NIFS³, Kyushu Univ.⁴, SOKENDAI⁵

1 序論

放射崩壊は 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。密度限界の指標としては、磁場強度と入射パワーの比に基づく Sudo スケーリング [1] がよく知られている。放射崩壊には不純物や壁の条件などの様々な運転条件が関係していると考えられているものの、その定量的な理解やそれらを反映したスケール表現などは未だ確立されていない。本研究では、LHD における放射崩壊を対象として、崩壊が発生しつつある状態と安定な状態を区別することを目指し、機械学習モデルを用いた状態分類器を作成した。また、スパースモデリングによる特徴抽出を実施して放射崩壊に関連するパラメータを選択し、その結果を用いて放射崩壊の発生可能性を定量評価した。さらに、プラズマが崩壊に近づいていく時間帯に着目し、放射崩壊の発生に関わる物理機構について議論した。

2 放射崩壊のデータ駆動型研究

状態分類器には、線形サポートベクターマシン (SVM) が 2 値分類器として用いられ、LHD における高密度プラズマ生成実験のデータを使用して訓練・評価を行った。全状態探索によるスパースモデリング [2] の結果、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。図 1 (a) に示すように放射崩壊発生の前に発生可能性が上昇している。

EMC3-EIRENE コード [3, 4, 5] によるシミュレーションを用いて、崩壊発生可能性が上昇していく時刻について、プラズマ周辺部での炭素・酸素不純物の挙動を調査した。プラズマが崩壊に近づくにつれて、図

1 (b) に示すような、放射パワーの局所的な増加が確認された。シミュレーション結果に基づき、放射崩壊の発生過程について議論した。

3 結論

放射崩壊の予知に重要なパラメータを抽出し、発生可能性を定量評価した。抽出されたパラメータとシミュレーションを用いて、崩壊の物理背景を議論する。

本研究は核融合科学研究所一般共同研究 NIFS18KLPP051 として実施されました。本研究は JSPS 科研費 19J20641 及び 19H05498 の助成を受けたものです。

- [1] S. Sudo *et al.* Nuclear Fusion, **30**(1):11–21 (1990).
- [2] Y. Igarashi *et al.* Journal of Physics: Conference Series, **1036**:012001 (2018).
- [3] Y. Feng *et al.* Contributions to Plasma Physics, **44**(1-3):57–69 (2004).
- [4] D. Reiter, M. Baelmans, P. Börner. Fusion Science and Technology, **47**(2):172–186 (2005).
- [5] G. Kawamura *et al.* Plasma Physics and Controlled Fusion, **60**(8):084005 (2018).

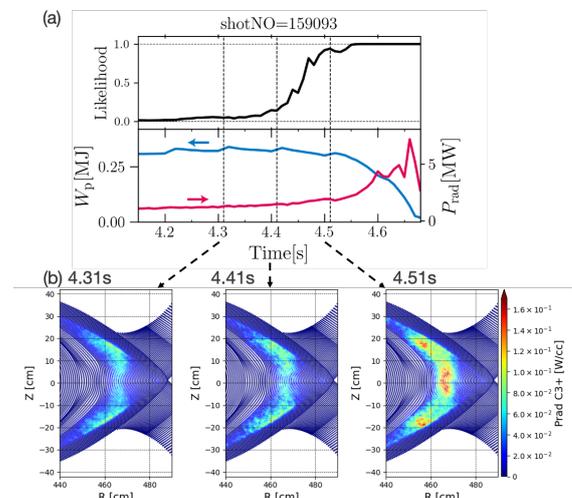


図 1: (a) 放射崩壊の発生した放電の波形. (b) EMC3-EIRENE で計算された各時刻における C3+ イオンによる放射パワーの分布.