

磁場閉じ込め核融合プラズマの非接触条件に関するデータ駆動型研究 Data-drive study on occurrence condition of detached fusion plasma in magnetic confinement

磯部有吾¹, 山田弘司¹, 横山達也², 小林政弘³, 成嶋吉朗³, 武村勇輝³, 坂本隆一³
ISOBE Yugo¹, YAMADA Hiroshi¹, YOKOYAMA Tatsuya², KOBAYASHI Masahiro³,
NARUSHIMA Yoshiro³, TAKEMURA Yuki³, SAKAMOTO Ryuichi³
東大¹, 量研², 核融合研³
Univ. Tokyo¹, QST², NIFS³

1 はじめに

本研究では大型ヘリカル装置 (LHD) においてダイバータプラズマの非接触化発現条件を明らかにすることを目的とし、機械学習を用いて、状態分類と特徴パラメータ抽出を実施した。

磁場閉じ込め核融合炉開発においてダイバータへの過大な熱負荷の軽減は重要課題である。このため、ダイバータに対してプラズマが非接触となる運転が期待されている。LHDでは共鳴摂動磁場 (RMP) を印加することによって非接触プラズマを安定に実現することに成功している。どのようなプラズマパラメータがどう非接触化の発現に寄与するかを評価することは、安定な運転制御の確立および背景物理の解明することにつながる。

2 データ駆動型研究手法

状態分類器には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、実験のデータを使用して訓練・評価を行なった。密度・放射パワー・ベータ値・軽元素不純物イオンの発光強度、共鳴磁束、RMP強度などの13個のパラメータから非接触化発現条件を特徴づけるパラメータを抽出するために、全状態探索を用いた。これは、与えられたパラメータからなる全ての組み合わせを比較して評価する、スパースモデリングの手法である。

3 結果

全状態探索の結果、密度、磁場、加熱パワーで規格化した放射パワー、酸素発光強度 (OVI)、プラズマによる共鳴磁束 $\Delta\Phi_{eff}$ が重要なパラメータとして抽出された。接触状態と非接触状態の分類境界を表す式は以下となる。

$$e^{21.61}\bar{n}_e B^{-4.37} \left(\frac{P_{rad}}{P_{input}} \right)^{4.56} OVI^{-1.44} \Delta\Phi_{eff}^{2.42} = 1$$

図1に示すように、実際に発生している磁気島幅の指標となる $\Delta\Phi_{eff}$ と他のパラメータの組み合わせによって接触・非接触を分類できる。一方、非接触化に重要と考えられていたRMPコイルの電流値は選ばれなかった。これは外部からのRMPだけではなくプラズマの応答によって生じる磁気島の幅が非接触化において重要であるためと考えられる。また、接触と非接触の分類は $\Delta\Phi_{eff}$ だけでは行えず、パラメータの組み合わせによって分離境界が表現されることから、非接触化には $\bar{n}_e, B, P_{rad}/P_{input}, OVI, \Delta\Phi_{eff}$ の5パラメータが関連しあって寄与していると考えられる。

講演では、特異値分解による異常検知の観点からの非接触遷移時の各パラメータ変化の前後関係についての初期結果も報告する。

図1

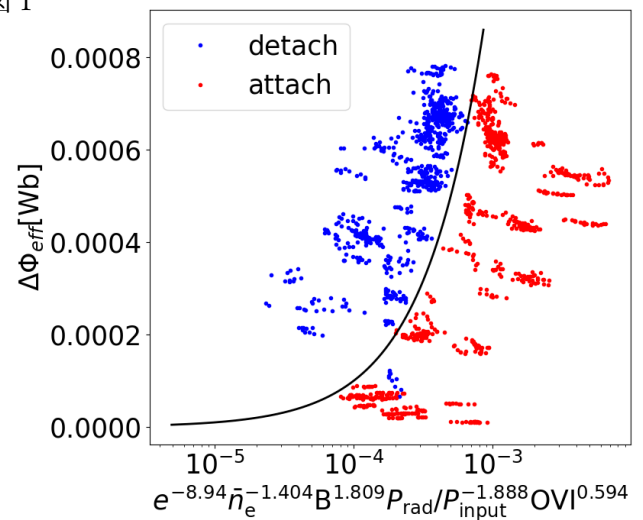


図1 分類境界の方程式に基づく接触 (赤) と非接触 (青) のデータ分布及び分類境界。