

機械学習を用いたディスラプション予知の評価手法に関する研究

Study on evaluation method of disruption prediction by machine learning

今川直人¹, 横山達也², 三善悠矢³, 日渡良爾³, 諫山明彦⁴, 松永剛⁴,
大山直幸⁴, 五十嵐康彦⁵, 岡田真人², 小川雄一²

1. 東大工学部, 2. 東大院新領域, 3. QST 六ヶ所, 4. QST 那珂, 5. PRESTO

1. 序論

トカマク炉では、プラズマが急速に崩壊するディスラプションという現象が起こる場合がある。ディスラプションが発生するとプラズマ対向機器に高温のプラズマによる熱負荷を与える。そのため、ディスラプションを回避する必要があるが、その物理機構には不明な点も多い [1,2]。そこで、機械学習を用いたディスラプション予知の研究が行われている。

機械学習モデルを用いたディスラプションの予知には、予知に用いるプラズマパラメータの選択が重要である。本研究では、求められる性能に応じたパラメータ選択が可能な評価手法を開発し、モデルを3つの手法で評価した結果を比較した。

2. 予知モデルの作成

機械学習モデルの1つであるSVMは、 n 次元データベクトル $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ の集合を2つのクラスに分類するために最適な分離境界を計算するアルゴリズムである [3]。本研究では線形SVMを使用してディスラプション予知モデルを作成した。

SVMの訓練と評価に用いるデータセットは、JT-60Uで行われた高ベータプラズマ実験のデータを用いて作成した [4]。

本研究では、変数選択の手法である全状態探索法(ES)を用いてプラズマパラメータの選択を行った。ESは、全ての変数の組み合わせを試行することで最適な組み合わせを求める手法である [5]。

3. 評価手法

予知モデルの評価指標として、以下の式で表され

るPSRとFARを用いた、

$$\text{PSR}(\%) = \frac{\text{正しく disruptive と判定した放電の数}}{\text{ディスラプション放電の総数}} \quad (2)$$

$$\text{FAR}(\%) = \frac{\text{誤って disruptive と判定した放電の数}}{\text{非ディスラプション放電の総数}} \quad (3)$$

以下の3つの手法でモデルの評価を行い、結果を比較した。3つの手法はFig. 1にまとめた。

- distance
PSR=100%, FAR=0%の理想的なモデルからの距離であり、以下の式で表される。小さい方が評価が高いと言える。

$$\text{distance} = \sqrt{(100 - \text{PSR})^2 + \text{FAR}^2} \quad (4)$$

- AUC (Area under the curve)
ROC (Receiver operating characteristic) 曲線の下部分の面積を表す。ROC曲線とは、SVMが0としている2つのクラスの閾値を変えた場合のPSRとFARの変化を表す曲線である。AUCが大きいほどモデルの評価が高い。
- FAR_{top}
ROC曲線上でPSR=100%となる最小のFARである。ディスラプションが発生した放電を全て正しく判定できる場合の最小のFARであり、小さい方がモデルの評価が高いことを意味する。

4. 結論

評価手法によって上位となる組み合わせが変わり、抽出されたパラメータも異なった。ROC曲線を描くと、閾値を変えることで1つのモデルが様々な性能をとることが分かった。評価手法によって結果が異なることを理解した上で、目的に合わせて評価手法を使い分けることが必要となる。

参考文献

- [1] A. H. Boozer, Physics of Plasmas 19, 058101 (2012)
- [2] T. C. Hender et al., 2007 Nucl. Fusion 47 S128.
- [3] V. Vapnik, C. Cortes, Machine Learning, Vol. 20, pp. 273-297 (1995).
- [4] G. Matsunaga, K. Shinohara, N. Aiba et al., Nuclear Fusion, Vol. 50, No. 8, p. 084003 (2010).
- [5] Y. Igarashi et al., 2018 J. Phys.: Conf. Ser. 1036 012001

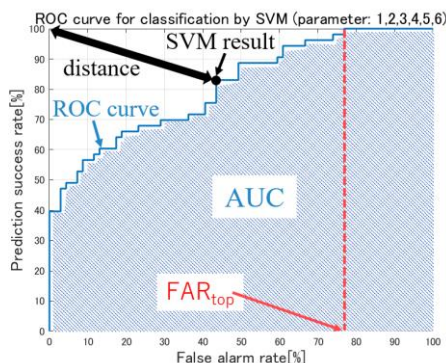


Fig. 1 An example of ROC curve, distance, AUC, and FAR_{top}.