

ニューラルネットワークを用いたノイズの多い静電プローブ特性の解析 Analysis of Noisy Langmuir Probe Characteristics Using Neural Networks

杉本みなみ, 岡本敦, 藤田隆明, 樋口舜也, 矢ヶ崎誇楠, 小池宗生, 佐藤剛貴, 山田悠斗
Minami SUGIMOTO, Atsushi OKAMOTO, Takaaki FUJITA, Shunya HIGUCHI,
Konan YAGASAKI, Muneo KOIKE, Koki SATO, Yuto YAMADA

名大院工
Nagoya Univ.

ラングミュアプローブ計測では、得られる電流-電圧特性を解析することで電子温度・密度を求めることができる。直線型プラズマ実験装置 NUMBER ではシングルプローブによる計測を行なっているが、高温バブルや揺動などによりノイズが乗り、理論的な曲線に乗るようなきれいな I-V 特性が得られない場合も多い。信頼性の高い物理量を得るためには、ノイズの多い I-V 特性しか得られない条件では他の計測を行うべきだが、それができない場合でもプラズマパラメータの参考値を得るためにはノイズの多い I-V 特性も活用する必要がある。NUMBER で得られるノイズの多い I-V 特性の解析を、電圧範囲を決めてフィッティングするなどルールベースの手法で自動化するのは難しく、これまでは人がひとつひとつ解析を行う必要があった。数時間の実験で数千個の I-V 特性が得られ、それをすべて人力で解析するのは非常に労力のいる作業である。この問題を解決するため、これまでに人力で解析したデータを訓練データとしたニューラルネットワークモデルを作成した。

NUMBER は直径 0.2m、長さ 2m の円筒型装置で、軸方向に生成領域と試験領域に分かれる。定常磁場の生成領域において電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成する。パルス磁場が試験領域に印加されると、磁力線に沿って生成領域から試験領域へプラズマが輸送される [1]。シングルプローブは生成領域、試験領域にそれぞれ 1 つずつ設置してあり、径方向位置を変更できる。本研究では、He 放電に限定し、ガス圧力、マイクロ波パワー、磁場強度の条件およびプローブ位置についてデータを収集した。

これまでに解析したデータは約 5000 個しかなく、データ数や実験条件のバリエーションはニューラルネットワーク (NN) の訓練データとして豊富とは言えない。よって少ないデータで NN を訓練できるよう、事前のデータ処理を行った。具体的には、まず I-V 特

性から電子電流が立ち上がり飽和するまでの領域を抽出する。決まったデータ点数になるように抽出した領域の電圧を等分して電流値を内挿することで、電圧の具体的な値を落とした電流値だけのデータにする。電流値は対数を取った後 0-1 に規格化する。この処理により大きく異なる I-V 特性同士を同じようなデータに落とし込むことができ、訓練データのバリエーションの少なさをカバーすることができる。さらに解くべき問題を単純にするため、NN の出力は 4 つだけとした。イオン飽和電流はフィッティングにより比較的正確な値が得られるため、あらかじめ求めることができる。これにより、NN では電子電流、電子飽和電流を表す 2 本の直線を求めればよい。よって直線を表す係数 2×2 本分が NN の出力となる。

作成した NN モデルを用いることで、人による解析と同程度の精度で電子温度・密度が得られた。また、1 回の放電で得られる数十個の I-V 特性の解析にかかる計算時間は数秒程度で、次の放電を待つ間に結果を確認できる速さである。従来のように人が解析を行う場合、実験終了後に特定のショット・特定の時刻の I-V 特性しか解析することができなかった。これに比べて非常に短時間で、これまで解析しきれなかったデータからも電子温度・密度が得られるようになったことで、本装置における様々な研究が加速することが期待される。

本研究は、JSPS 科研費補助金 JP19H01869, JP20H01883 および、名古屋大学及び JST 科学技術イノベーション創出に向けた大学フェローシップ創設事業 JPMJFS2120 による「名古屋大学融合フロンティアフェローシップ」により支援されている。

[1] D. Hamada *et al.*, Plasma Fusion Res. **13**, 3401044 (2018).