

敵対的生成ネットワークを用いたプラズマ計測・加熱制御手法の開発 Development of plasma diagnostics and heating control methods with generative adversarial networks

釘持尚輝¹、西浦正樹^{1,2}、吉田善章²、辻村亨¹、LHD実験グループ¹
KENMOCHI Naoki¹, NISHIURA Masaki^{1,2}, YOSHIDA Zensho², TSUJIMURA Ii Toru¹,
the LHD Experimental Group¹

核融合研¹、東大²
NIFS¹, Univ. of Tokyo²

プラズマ研究において対象とする物理現象・機構の複雑化や高性能プラズマ生成の重要度が増している。これに伴い、計測の詳細化や加熱制御の高精度化が求められる中で対象とする情報の大きさや複雑さが増しており、データ駆動科学の果たす役割は大きくなっている。これらの課題に対し、データ変換や予測に畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた手法が報告され成果を上げている[1]。一方で、CNNでは適用する問題ごとに学習の際の効率的な損失関数の設計が必要であるため、CNN最適化に時間や技術を有し、汎用性に欠けるといった課題がある。近年、この損失関数の設計を含めて学習する、敵対的生成ネットワーク(GAN)が開発され注目されている[2]。GANは特に画像変換の分野での進展が目覚ましく、自動運転、超解像、及び異常検知などに応用され大きな成果を上げている。本研究では多次元データの変換を高精度かつ汎用的なGANの特徴を活かし、一般的な実験システムにおいて適用可能な、プラズマ計測および加熱制御手法を開発することを目的としている。

【計測手法の開発】磁気圏型装置RT-1においてイメージング分光計測でのHeII発光量の局所値を得るため本手法を適用し、その有効性を実証した[3]。イオンサイクロトロン共鳴加熱プラズマの計測像に逆変換則を適用しその局所分布を推定することで、加熱に伴う共鳴面近傍の発光量の増大を明らかにした。本手法では、視線積分型のイメージング計測において、計測データの制限や、真空容器内部構造による反射の影響などのために、局所分布から視線積分画像への変換がその逆変換よりも数値計算上容易であることに着目した。この着想から、「局所分布モデル(A)」と「反射の影響などを考慮したAの視線積分画像(B)」の組み合わせを用意し、BからAへの変換モデルを深層学習により生

成することで、従来法では困難な問題に対しても適用可能なモグラフィー手法を開発した。

【加熱制御手法の開発】高性能プラズマ生成を行うため、プラズマ加熱制御の高精度化及びリアルタイム化が求められており、プラズマの分布や磁場配位などを考慮した加熱の最適化が必要である。本研究ではLHDにおける豊富な実験解析データを学習に用いるとともに、実時間でプラズマ分布情報を得る計測器開発を行うことで、高度な加熱分布制御手法を開発した。LHDにおけるEC波軌道追跡コードLHDGauss[4]によるこれまでのプラズマ実験に対する解析データベースを用いて、ECH吸収分布、電子温度・密度分布、磁場情報を入力として、ECH入射条件を出力する生成モデルを学習させた。ECH入射条件の生成モデルは実用上十分な精度で生成できていることを確認した。学習により得られた生成モデルはGPUボードに組み込み、ECH制御信号を生成する。プラズマ放電により得られた電子温度・密度分布、磁場情報を用いて、実時間で制御信号を出力する試験を行った。プラズマ分布変化に応じて任意の加熱分布を実現するフィードバック制御信号が生成できていることを確認した。本手法では、多次元情報を画像形式で取り扱うことでGANの特徴を生かした高精度の生成モデルの学習を行っている。近年開発されたGANを取り入れることで、従来のニューラルネットワーク等による手法よりも、汎用的かつ適用が容易な手法である。

Reference

- [1] D.R. Ferreira *et al.*, Fusion Scie. Technol. **74** (2018) 47
- [2] I. Goodfellow *et al.*, NIPS (2014) 2672
- [3] N. Kenmochi *et al.*, Plasma Fus. Res., **14** (2019) 1202117
- [4] T. I. Tsujimura *et al.*, Nuclear Fusion, **55** (2015) 123019