

機械学習を用いた水素ヘリウム混合再結合プラズマでの 電子温度・密度計測

梶田信¹

¹東大新領域

核融合のダイバータ領域においては、ヘリウムと水素の混合プラズマで、かつ再結合プラズマを含む低温プラズマが支配する。衝突輻射 (CR) モデルを用いたヘリウム線強度比法は、電子密度と温度を測定するために長い間使用されており [1], 核融合プラズマにおける可能性と限界が議論されてきた。CRモデルを使ったアプローチは、きわめて有用で一方で、ヘリウム-水素混合プラズマや再結合プラズマにおいて誤差が生じる可能性があることが報告されてきた [2, 3]。これらを克服する手法の1つとして、近年機械学習を用いた手法が検討されてきた [4, 5]。本発表では、ダイバータシミュレータMagnum-PSIにおけるヘリウム-水素混合再結合プラズマの分光データを利用し、ニューラルネットワークによるLIR法を用いて電子密度と温度を測定した結果を報告する。混合プラズマはスペクトル形状がより複雑であるため、分光データは各線の強度を分離せず、直接学習に利用し、トムソン散乱による温度と密度を利用している。計測精度は密度10%程度、温度は7%程度と極めて高い精度で評価が可能であることが分かった。SHAP (SHapley Additive exPlanations) を使用して感度分析が実施した結果、純ヘリウムプラズマではヘリウム線強度が重要であるのに対し、ヘリウム-水素混合プラズマでは水素バルマー線が大きく寄与することが分かった。機械学習アプローチは、ヘリウム-水素混合プラズマの可視分光計測のデータから電子温度と密度を推定する頑強かつシンプルな分析手法を提供できる可能性を有している。

- [1] S Kajita, D Nishijima, Helium line emission spectroscopy to measure plasma parameters using modeling and machine learning in low-temperature plasmas, *Journal of Physics D: Applied Physics* 57 (2024), 423003. (Topical Review)
- [2] S Kajita, K Suzuki, H Tanaka, N Ohno, Helium line emission spectroscopy in recombining detached plasmas, *Physics of Plasmas* 25, 063303 (2018).
- [3] S. Kajita, G. Akkermans, K. Fujii, H. van der Meiden, and M. C. M. van de Sanden, Emission spectroscopy of He lines in high-density plasmas in magnum-psi, *AIP Advances* 10, 025225 (2020).
- [4] D. Nishijima, S. Kajita, and G. R. Tynan, Machine learning prediction of electron density and temperature from He I line ratios, *Review of Scientific Instruments* 92, 023505 (2021).
- [5] S. Kajita, S. Iwai, H. Tanaka, D. Nishijima, K. Fujii, H. van der Meiden, and N. Ohno, Use of machine learning for a helium line intensity ratio method in magnum-psi, *Nuclear Materials and Energy* 33, 101281 (2022).