

CRモデル/機械学習を用いたヘリウムプラズマ発光解析 Helium plasma emission analysis using CR model/machine learning

榊原武寛¹、螺澤英樹¹、夏目祥揮¹、田中宏彦¹、梶田信²、大野哲靖¹

Takehiro Sakakibara¹, Hideki Kaizawa¹, Hiroki Natsume¹, Hirohiko Tanaka¹, Shin Kajita¹ and Noriyasu Ohno¹

¹名大、²東大

¹Nagoya Univ., ²Univ. Tokyo

1. はじめに

ITERをはじめとした核燃焼プラズマ装置では、膨大なプラズマ熱負荷がかかるダイバータ板の損傷を避けるために、熱負荷を低減することが不可欠とされている[1,2]。

ダイバータプラズマを模擬生成可能な直線型装置NAGDIS-IIでは、原型炉環境に近づけるためのプラズマ高密度化を目的として、放電部の改造が行われている。そのため、改造後の放電特性を理解することが重要な課題の1つとなっている。

本研究では、放電領域に近い上流プラズマについて、擾乱を与えない電子温度・電子密度のリアルタイム計測実現のために、CRモデル/機械学習を用いたNAGDIS-IIにおけるHeプラズマの発光線解析を行った。各手法のパラメータ予測精度と、放電条件依存性について調べた。

2. CRモデルを用いた発光線解析

衝突放射(Collisional Radiative: CR)モデルとは、励起・脱励起、電離、体積再結合などの素過程を励起原子ごとの連立微分方程式により記述するモデルであり、与えられたパラメータ条件における各発光線強度を評価することが可能である。これを用いて、特定の発光線の強度比を利用することで、電子温度・電子密度を評価することが行われている。

放電電流 I_d を変化させたいくつかの条件において、発光線強度計測を行なった。使用した発光線は667.8 nm ($3^1D - 2^1P$), 706.5 nm ($3^3S - 2^3P$), 728.1 nm ($3^1S - 2^1P$), 501.6 nm ($3^1P - 2^1S$)である。CRモデルと計測結果から誤差関数 f_{err} [3]を求め、 f_{err} が最小となる電子温度・電子密度を評価した。図1に f_{err} の分布の例を示す。表1に、 f_{err} から求められた T_e, n_e と、同条件において静電プローブから得られた電子温度 T_{epro} と電子密度 n_{epro} を示す。

図1から、 f_{err} の分布がほとんど変わらず、CR

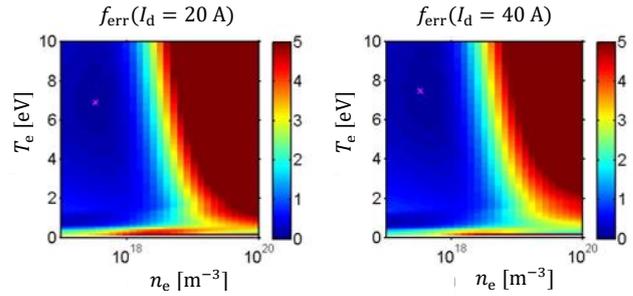


図1. $I_d = 20, 40$ Aにおける f_{err} の分布

表1. 各手法から得られた電子温度・電子密度

	$I_d = 20$ A		$I_d = 40$ A
T_e	6.9 eV	T_e	7.5 eV
n_e	$3.3 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$	n_e	$3.3 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$
T_{epro}	6.4 eV	T_{epro}	5.1 eV
n_{epro}	$5.5 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$	n_{epro}	$1.4 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$

モデルから求めた電子温度・電子密度は使用した発光線に対する感度が低いことがわかる。

3. 機械学習を用いた発光線解析

近年、発光線強度に対して機械学習の適用が行われ、パラメータ予測への有用性が示されつつある[4]。本研究では、SVM (Support-Vector Machine)を用いた解析を行なった。

放電電力、磁場、ガス流量を変化させた計64条件において、発光スペクトル(300~750 nm)および電子密度・電子温度を計測した。

講演では、上記解析の評価や、解析に用いる発光線数と予測精度の依存性について議論する。

参考文献

- [1] TOBITA, K. *et al.*, Nucl. Fusion **49** (2009) 075029.
- [2] KALLENBACH, A. *et al.*, Journal of Nuclear Materials **415** (2011) S19.
- [3] KAJITA, S. *et al.*, AIP Advances **10** (2020) 025225.
- [4] NISHIJIMA, D. *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **92** (2011) 023505.