

# 大気圧非平衡 Ar プラズマの制動輻射と衝突輻射モデルに基づいた解析

## Analysis of Atomospheric-pressure Non-eqirilibrium Ar Plasma Based on Bremsstrahlung and Collisional-radiative Model

東工大<sup>1</sup>, ○(M2) 菊地 航行<sup>1</sup>, 榎本 純<sup>1</sup>, 山下 航平<sup>1</sup>, 山下 雄也<sup>1</sup>, 根津 篤<sup>1</sup>, 赤塚 洋<sup>1</sup>

Tokyo Tech.<sup>1</sup>, ○Wataru kikuchi<sup>1</sup>, Jun Enomoto<sup>1</sup>, Kohei Yamashita<sup>1</sup>, Yuya Yamashita<sup>1</sup>,

Atsushi Nezu<sup>1</sup>, Hiroshi Akatsuka<sup>1</sup>

E-mail: kikuchi.w.ab@m.titech.ac.jp

### 1 はじめに

大気圧非平衡プラズマに関する研究が盛んに行われている。しかし、それらの電子温度  $T_e$ 、電子密度  $n_e$ 、電子エネルギー分布関数 (EEDF) を決定できる、簡便で実用的な手法はまだ確立されていない。そこで、本研究では、分光計測によって得られた連続スペクトルと線スペクトルを解析し、EEDF を推定する手法を提案する。また、一般化 EEDF の二温度分布を仮定し、制動輻射 [1, 2] と衝突輻射モデル (Collisional-radiative model, CRM)[3] に基づいて、それらのパラメータを求めることを目的とする。

### 2 解析手法

本研究では以下の三つの手法により EEDF を推定した。制動輻射によって生じる連続スペクトルを実験値にフィッティングする制動輻射解析、衝突輻射モデルによって計算される励起状態数密度を線スペクトルから求めた実験値にフィッティングする CRM 解析、制動輻射解析で平均二乗対数誤差 (MSLE) が小さくなる  $T_e$ 、 $n_e$  を一般化 EEDF のパラメータ  $\gamma$ (1-Maxwell, 2-Druyvesteyn) の関数として表し、制約条件下で CRM 解析を行うハイブリッド解析である。いずれのフィッティングにおいても、最小化すべき目的関数は MSLE とした。

### 3 実験

図 1 に示す誘電体バリア放電 (DBD) の大気圧非平衡 Ar プラズマを用いて実験を行った。二重のガラス管の構造で、最内部に蒸留水で満たされた電極があり、電極間の間隔は 1mm である。また、その外側に 4L/min の流量で Ar ガスを流した。計測用の視線は電極の間隔の中央に位置し、視線が通る所は石英ガラスによって覆われている。本実験では、印加電圧  $V_{in}$  を 2.7kV-8.1kV の範囲で変化させて計測を行った。使用した分光器は MS3504i(SOL instrument inc.) である [2]。

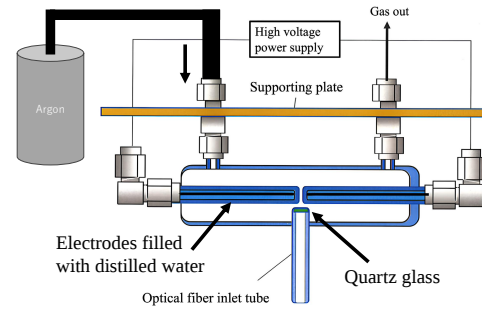


図 1: 実験装置概要図 [2]

### 4 結果と考察

三つの解析手法による結果を図 2 に示す。制動輻射解析では  $T_e = 0.2-0.4\text{eV}$ ,  $n_e = 2 \times 10^{14}-3 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$  となり、CRM 解析では  $T_e = 1.5-3.8\text{eV}$ ,  $n_e = 10^8-10^{14}\text{cm}^{-3}$  となった。いずれも  $V_{in}$  に対して一貫した傾向を示さなかったが、今回行ったハイブリッド解析では  $T_e = 0.7-0.8\text{eV}$ ,  $n_e = 6 \times 10^{11}-2 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$  となり、 $V_{in}$  に対して  $T_e$  はほぼ一定で  $n_e$  が増加する傾向が確認された。これらの結果から、連続スペクトルと線スペクトルの両方を用いた解析によって、より信頼できる EEDF の推定が可能であることが示唆された。

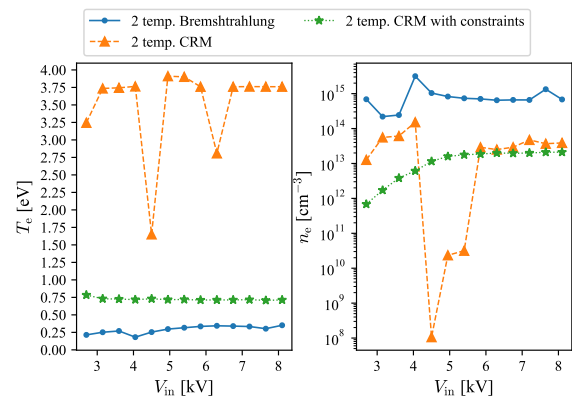


図 2: 各手法の  $T_e$  と  $n_e$  の解析結果

- [1] S. Park, et al.: Appl. Phys. Lett., **104**, 8 (2014). 084103.
- [2] H. Onishi, et al.: Jpn. J Appl. Phys., **60**, 2, p. 026002 (2021).
- [3] J. Vlcek: J. Phys. D, **22**, 5, p. 623 (1989).