

各種の発光スペクトル解析による大気圧非平衡Arプラズマの
電子温度・電子密度の計測と比較

**Measurements and Comparison of Electron Temperature and Electron Density
of Atmospheric-pressure Non-equilibrium Ar Plasma Determined
by Analysis of Various Emission**

大西広¹, 根津篤¹, 赤塚洋¹

ONISHI Hiroshi¹, NEZU Atsushi¹, AKATSUKA Hiroshi¹

¹東工大

¹Tokyo Tech

1. はじめに

大気圧プラズマは、現在幅広く応用されている。例えば、材料の表面処理や野菜の成長促進、外傷に対する血液の凝固などが挙げられる。幅広く応用されている一方で、ラジカル密度のシミュレーションを行うために最も必要となるデータの1つで、かつ高精度でラジカル密度を制御するためにも不可欠である「電子温度(T_e)」と「電子密度(N_e)」の計測に関して、報告例が少ない。そこで本研究では発光分光計測(OES)によって、大気圧 Ar 非平衡プラズマの電子温度・電子密度の計測を試みる。

2. 実験装置

本実験においては、図1に示す放電装置(エコデザイン株式会社製)を用いた。装置は電極とそれを覆うガラス管に加え、さらに外側のアルゴン流路となるガラス管、ネオントランスを用いた高圧電源、光ファイバー導入管、及びそれらを支える支持板により構成される。両電極には、二次電圧値で最大9 kV 程度のパルス電圧が印加される。両電極を覆うガラス管内は水で満たされており、1 mm のギャップを設け、ストリーマー状の誘電体バリア放電としての放電プラズマが生じる構造である。

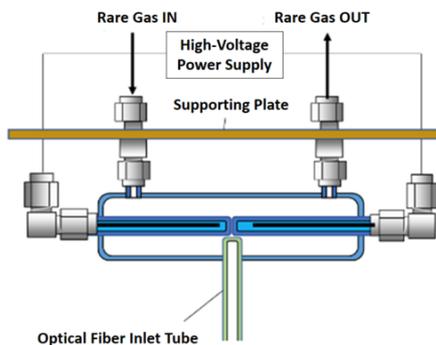


図1 実験装置概略図

3. 解析手法

今回3つの解析手法を用いて、解析を行った。1つ目は、得られたスペクトルに対してボルツマンプロットを行い、励起温度を求める。そして励起状態

生成消滅を正しく記述する衝突輻射モデル(CRモデル)にて、励起温度と電子温度の関係性を求めて、電子温度を求める、線スペクトル解析である⁽¹⁾。2つ目は、電子-原子制動輻射がプラズマ中で支配的であると仮定して、理論式とフィッティングすることによって電子温度と電子密度を求める、連続スペクトル解析である⁽²⁾。この手法に関しては、電子エネルギー分布関数(EEDF)が重要になるが、今回は Maxwellian と Druyvesteynian EEDF の2つを用いた。そして3つ目が、水素のバルマー系列の H_α 線をもとに電子密度を求める、シュタルク拡がり解析である⁽³⁾。

4. 結果と考察

結果を表1に示す。電子温度に関しては、0.29 ~ 0.79 eV とばらつきは大きい、全体的に低温であることが示された。電子密度に関しては、②の手法の結果が他の2つと比べて大きい、かつ現実的な値ではない。④の手法が EEDF に依存しない手法であることも踏まえると、このプラズマは Maxwellian EEDF よりも Druyvesteynian EEDF に従うということが考えられる。

表1 解析結果

	T_e [eV]	N_e [cm ⁻³]
① Line Spectrum with CR model	0.7	
② Continuum Spectrum (Maxwellian EEDF)	0.29	5.0×10^{18}
③ Continuum Spectrum (Druyvesteynian EEDF)	0.79	7.0×10^{16}
④ Stark Broadening		7.2×10^{15}

参考文献

- (1)赤塚洋, 応用物理, **87**, 821 (2018).
 (2)Sangho Park, Wonho Choe, Holak Kim and Joo Young Park, Plasma Sources Sci. Technol., **24**, 034003 (2015).
 (3)A Yu Nikiforov, Ch Leys, M A Gonzalez and J L Walsh, Plasma Sources Sci. Technol., **24**, 034001 (2015).