

予備電離を適用した低温大気圧プラズマジェットの特性

Characteristics of a low temperature atmospheric pressure plasma jet with pre-ionization method

○渡辺茜¹, 和田悠希¹, 小林大地², 浅井朋彦³*Akane Watanabe¹, Yuuki Wada¹, Daichi Kobayashi², Tomohiko Asai³

Abstract: Recently, applications of a low temperature atmospheric pressure plasma jet have been widely studied in various fields such as medical and material fields. The reproducibility of plasma generation must be improved for wider range of applications of the plasma jet. The pre-ionization (PI) method we have developed for the plasma jet has been demonstrated improved selectivity of discharge gas species and decreasing the breakdown voltage of the plasma jet. In order to evaluate the effects of the PI in detail, the amount of generated ozone was measured in the large chamber. The results indicate that the amount of generated ozone is increased by application of the PI compared with the case without PI.

1. 研究背景・目的

大気圧低温プラズマジェットは、誘電体細管内の低周波によるバリア放電で定常的に低温プラズマを生成できる。がん細胞のアポトーシス誘導^[1]や材料の表面改質^[2]を目的とした応用研究が進められている。大気圧下で安価かつ容易にプラズマを生成できるが、プラズマ生成の遅延やそのジッタなどに起因するプラズマの特性の再現性が低いことなどの課題がある。特に医療分野における基礎研究においては、同条件で試料へ照射できることが重要である。この課題を解決するために本研究では、誘電体バリア放電を用いた予備電離システムを開発し、その効果の評価を行った。

2. 予備電離法^[3]

大気圧低温プラズマジェットは、円筒状の誘電体に希ガスを流し、円環状の電極に低周波 (~10 kHz) 高電圧 (~10 kV) を印加することより、大気圧下で低温プラズマを生成することができる (Figure 1)。低周波

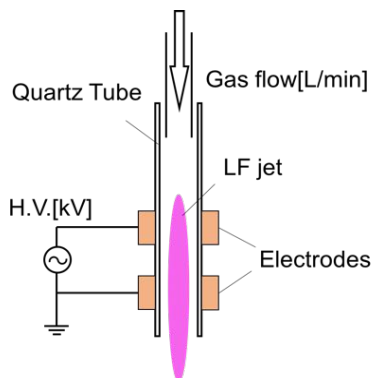


Figure 1. Schematic diagram of the LF jet.

(Low frequency) 電源を使用するため LF ジェットとも呼ばれる。

予備電離法には、平行平板型の誘電体バリア放電^[4]を用いた (Figure 2)。誘電体には石英を用い、LF ジェット生成部の上流に設置する。ここで放電ガスをあらかじめ励起または電離し、これを種プラズマとして LF ジェットを生成する。

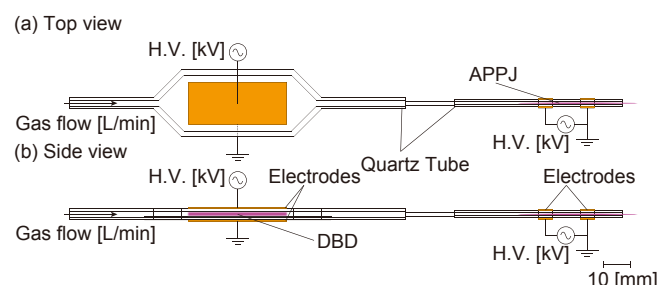


Figure 2. Schematic diagram of the PI electrode.

本手法により通常の生成法では入力電力を増大させないと、LF ジェットを生成できないアルゴンや混合ガスにおいても安定に LF ジェットを生成することが可能になった (Table 1)。また、低電圧、低ガス流量を実

Table 1. Reproducibility of LF jet generation with and without PI.

Gas	w/o PI	w/PI
He	○	○
Ar	△	○
Ar+O ₂	×	△

○ : High reproducibility △ : Low reproducibility × : No discharge

現可能となり，さらに放電開始電圧のばらつきも減少するなどの効果が得られている (Figure 3.).

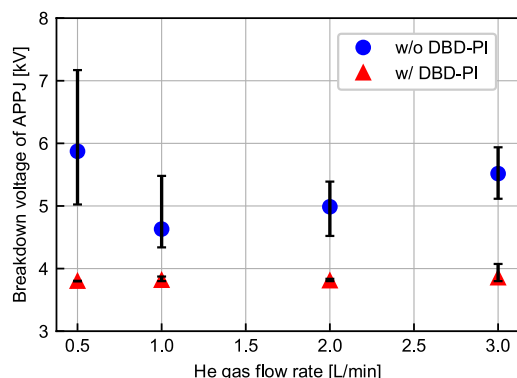


Figure 3. Dependency of breakdown voltage of LF jet on gas flow rate in the cases with and without PI.

3. 実験結果

本手法のさらなる評価のため，ラジカルの生成量の指標としてオゾンの生成量を計測した．オゾンは各種ラジカルと反応し生成または分解されるため^[5]，オゾンの生成量が増加していれば，他のラジカルの生成量も増加することが予想される．

オゾンが拡散しすぎることなく，かつ大気空間で計測を行うため，3000 L 程度のチャンバー内にプラズマ生成部および計測装置を設置した (Figure 4.).

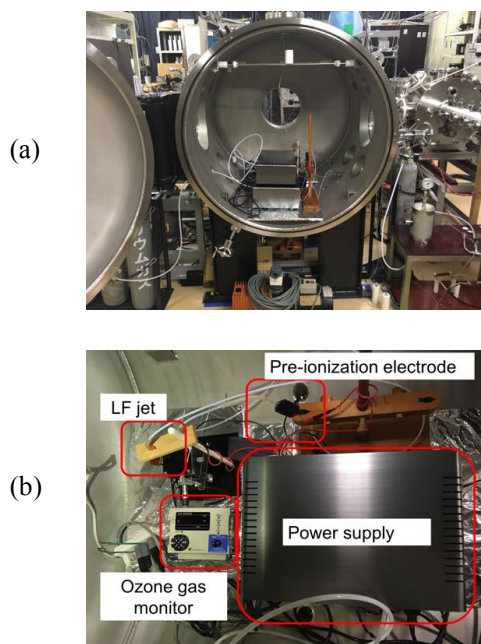


Figure 4. Images of (a) the chamber for ozone concentration measurement and (b) arrangement of experimental apparatuses in the chamber.

放電ガスにはヘリウムを用い，3つの条件 (Case 1: 予備電離なし，Case 2: 計測中常に予備電離を放電，Case 3: LFジェット生成前まで予備電離を放電) について計測した (Figure 5.). このときLFジェットと予備電離の印加電圧は11 kV，ガス流量は3 L/minとし，ガスの供給開始と同時に計測を開始した．予備電離を放電した Case 2, Case 3 ともに計測開始から80 s経過した付近から，Case 1と比較してオゾン生成量が増加した．

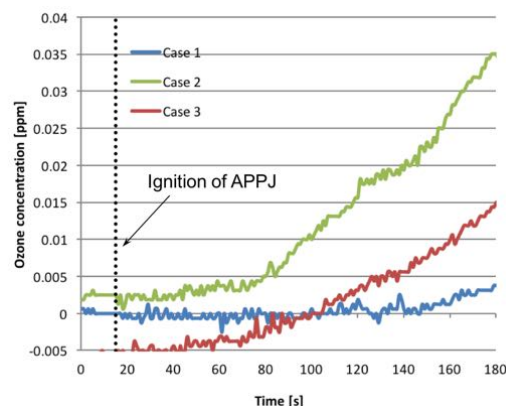


Figure 5. Time evolution of ozone concentration.

4. まとめと今後の展望

開発した予備電離法について，オゾン生成量を指標としてその性能を評価した．

予備電離法の適用によりオゾン生成量が増加し，他のラジカルについてもその生成量の増加が期待される．

今後は予備電離により使用可能となったアルゴンや混合ガスを用いて，オゾン生成量のガス種依存性を評価する．

5. 参考文献

- [1] K. Saito et al., "Tumor-selective mitochondrial network collapse induced by atmospheric gas plasma-activated medium.", *Oncotarget*, **7**, 19910, 2016
- [2] J. Oh et al., "Diamond-like carbon films from CO source gas by RF plasma CVD method", *Diam. Relat. Mater.*, **50**, 91, 2014
- [3] 小林大地 他: 「低温大気圧プラズマジェットへの予備電離法の適用と評価」, 平成 30 年度電気学会全国大会, 1-101, 2018
- [4] 日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会: 「大気圧プラズマ 基礎と応用」, オーム社, 2009
- [5] 神原信志 他: 「大気圧プラズマ反応工学ハンドブック 反応過程の基礎とシミュレーションの実際」, NTS, 2013