

歯科応用を目的とした窒素による低温大気圧プラズマの生成

Generation of low-temperature atmospheric pressure plasma with nitrogen for dental applications

○三本松清貴¹, 牛島海人², 小林大地³, 浅井朋彦³

*Kiyotaka Sambommatsu¹, Kaito Ushijima², Daichi Kobayashi³, Tomohiko Asai³

Abstract: Low-temperature atmospheric pressure plasmas can be generated under atmospheric pressure and have high reactivity even at low temperatures. Therefore, in recent years, it has been applied to various fields including the medical applications. We are interested in NO production by nitrogen plasma because the function of NO attracts attention in the medical field. Therefore, application of nitrogen onto the low-temperature atmospheric pressure plasma generation has been attempted. Spectroscopic measurement on the generated plasma indicates that nitrogen plasma/radicals were successfully generated.

1. 背景

近年、医療分野ではプラズマを利用した技術の開発が精力的に行われている。すでに実用化されているプラズマ医療技術は大きく以下の3つに分類できる^[1]。

1 つ目は、医療材料の表面改質・表面処理である。具体的には、シャーレを酸素プラズマ処理することで親水性を高めたり、金属製人工関節の表面にハイドロキシアパタイトを溶接するなどの手法が実用化されている。

2 つ目に、プラズマによる滅菌技術がある。大気圧プラズマから発生する紫外線や活性種によって滅菌効果が確認されている^[2]。これを利用した滅菌技術はすでに実用化されており、滅菌器として製品化されている。

3 つ目は、プラズマによる生体組織の直接的な処理を行う医療技術がある。一例として、アルゴンプラズマ凝固 (Argon Plasma Coagulation: APC) 法^[3]と呼ばれるプラズマのジュール熱を利用した焼灼が保健治療として導入されている。

一方で、プラズマの熱的な作用を使うのではなく、低温大気圧プラズマによって得られる反応性を利用することで、止血や血管新生、細胞増殖などの治療効果が得られることがわかってきた^[4]。大気圧プラズマによる組織の活性化と医療応用の研究における火傷治療の実験結果から、プラズマ照射による火傷患部の殺菌・滅菌により治療が促進されるだけでなく、プラズマ源から発生したイオンやラジカル種、活性窒素 (RNS)、活性酸素 (ROS) などの活性種が成長因子を活性化し血管新生を促進し、火傷の治療を促進させている可能性が指摘されている^[5]。例えば、ラジカル種の1つである一酸化窒素 (NO) は血管の拡張や血圧の抑制、記憶の維持、侵入外敵の攻撃など多岐にわたる

はたらきを持つことが知られている^[6]。NOの生成には窒素と酸素の混合ガスである空気のプラズマがよいと言われている^[7]。しかし空気でのプラズマ生成では、空気に含まれる窒素や酸素、二酸化炭素、アルゴンなど複数種のガスが活性化・イオン化されるため、どの活性種が医療応用において有効な効果を及ぼしているかを調べることは困難である。したがって、単一ガスのプラズマによる検証が必要である。

本研究では、空気中に最も多く含まれている窒素およびその活性種に着目し、窒素ガスを用いて誘電体バリア放電 (Dielectric Barrier Discharge: DBD) ^[8]により低温大気圧プラズマを生成した。生成されたプラズマの発光を分光器によってスペクトル強度分布を観測することで、窒素プラズマ及び窒素の活性種が生成されていることを確認した。

2. 実験装置・手順

本研究で使用した低温大気圧プラズマ生成装置 (Figure 1) は石英管の途中に扁平な六角形状の部分があり、その両面に短辺 10mm、長辺 35mm の銅テープで作成した平行平板電極が設置されているものである。これに窒素と空気の混合ガスを流し、電極に 10kV、10kHz 程度の低周波高電圧を印加してプラズマを生成する。

観測される光が窒素由来であるかを推定するために、窒素と空気の混合比率を変えながら計測範囲 200-800nm、波長分解能 0.3-0.5nm、Czerny-Turner 型の電子冷却 CCD 分光器を用いて分光計測を行う。

窒素と空気のガス混合比率は 3:0 (case1), 2:1 (case2), 1:2 (case3), 0:3 (case4) の 4 通りで合計ガス流量は 3L/min とする。各波長での光強度の変化から窒素プラズマが生成されたことを確認する。

1 : 日大理工・院(前)・物理 2 : 日大理工・学部・物理 3 : 日大理工・教員・物理

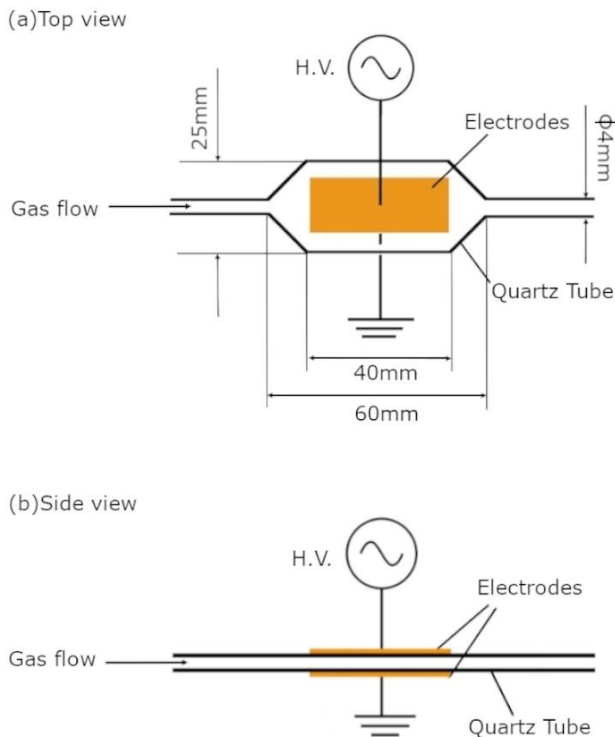


Figure 1. Schematic diagram of the low-temperature atmospheric pressure plasma generator

3. 実験結果

case1-case4 のガス混合比率で生成されたプラズマの発光をそれぞれ分光器で分光計測をしたところ、すべてのガス混合比率で共通する波長の輝線が 8 つ観測できた (Figure 2)。

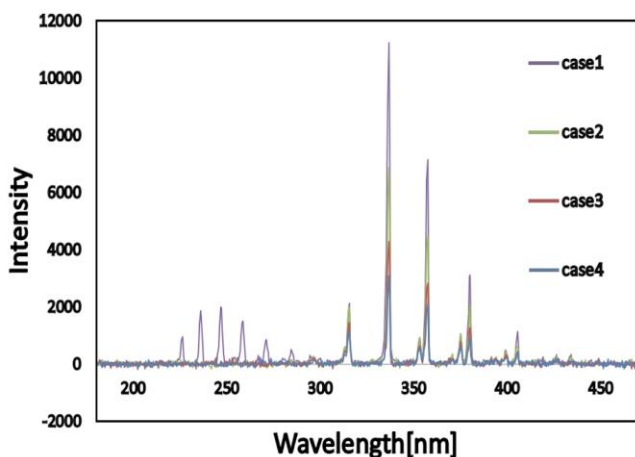


Figure 2. Spectral distribution of nitrogen plasma

輝線スペクトルが見られた各波長において case1 の発光強度を基準にした case2-case4 の発光強度を Table 1 に示す。その結果、混合ガス中の窒素の割合に依存して窒素由来と考えられるスペクトルの発光強度は低下していることが確認された。

Table 1. Normalized emission intensity for each wavelength

Wavelength(nm)	Estimated particles	case1	case2	case3	case4
226.24	N ₃	100	-	-	-
235.96	N ₃	100	-	-	-
246.61	N ₃	100	-	-	-
258.66	N ₂ , N ₅	100	-	-	-
271.12	N ₂ , N ₃	100	-	-	-
284.45	N ₂ , N ₅	100	-	-	-
315.58	N ₅	100	93.6	68.1	50.4
336.55	N ₃	100	61.1	38.1	27.4
353.17	N ₅	100	96.3	68.8	61.2
357.30	N ₂	100	63.0	39.7	29.4
375.11	N ₃	100	99.8	76.6	60.5
380.11	N, N ₃	100	65.5	40.6	28.0
399.06	N ₂	100	87.0	47.9	42.2
405.34	N ₂ , N ₄	100	54.6	41.0	38.3

4. まとめ

混合ガス中の窒素の割合が減少するとともに発光強度が弱まったことから各波長は窒素に由来するものと推定できる。したがって、窒素プラズマ及び窒素の活性種が生成できていると考えられる。

5. 今後の展望

今後は、今回使用した窒素プラズマ生成装置を基に歯科応用を目的とした細胞や培地への照射実験を行う上で適した装置の改造を行う。そして歯学部と連携し、窒素プラズマを細胞や培地に照射した際に滅菌や細胞増殖の効果があるかを調べる。

6. 参考文献

- [1] 浜口智志：「プラズマ医療におけるプラズマ生体相互作用」, J. Plasma Fusion Res, Vol.87, No.10, pp696-703, 2011
- [2] 永津雅章：「プラズマ滅菌」, J. Plasma Fusion Res, Vol.83, No.7, pp601-606, 2007
- [3] 深澤啓次郎 他：「アルゴンプラズマ凝固法による下甲介焼灼術」, 耳鼻咽喉科臨床, Vol.92, No.10, pp1063-1069, 1999
- [4] 筒井千尋 他：「マイクロスポット大気圧プラズマ源による細胞および生体組織の活性化」, 静電気学会誌, Vol.35, No.1, pp20-24, 2011
- [5] 平田孝道 他：「大気圧プラズマによる組織の活性化と医療応用」, J. Plasma Fusion Res, Vol.91, No.12, pp771-775, 2015
- [6] 松本明郎：「一酸化窒素 (NO) による生理機能調整とその破綻」, 基礎老化研究, Vol.38, No3, pp11-18, 2014
- [7] 浪平隆男 他：「パルスアーク放電プラズマによる NO 生成と医療への応用」, J. Plasma Fusion Res, Vol.79, No.1, pp35-38, 2003
- [8] 大澤直樹 他：「誘電体バリア放電装置における大気圧空気中での均一放電の発生」, 電気学会論文誌 A, Vol130, No.4, pp306-312, 2010