

小論文

針對平板電極におけるコロナ放電のオゾン生成特性

—コロナ電流とオゾン濃度との関係—

増井典明^{*,1}, 八島健^{*}, 浜口拓也^{**}
村田雄司^{**}, 谷辰夫^{*}

(1997年5月2日受理)

Ozone Generation by Needle-to-Plane Coronas

—Relationship between Corona Current and Ozone Concentration—

Noriaki MASUI,^{*,1} Takeshi YASHIMA,^{*} Takuya HAMAGUCHI,^{**}
Yuji MURATA^{**} and Tatsuo TANI^{*}

(Received May 2, 1997)

The ozone concentration generated in needle-to-plane corona depends on needle tip radius, at the constant corona current. For a positive corona, the ozone concentration decreases with decrease in the needle tip radius. When the needle tip radius was 5 μm , however, extremely high ozone concentration was obtained. With 5 μm tip radius, streamer corona was observed. For a negative corona, the ozone concentration decreases with decrease in the needle tip radius. Except for 5 μm tip radius, the ozone concentration was higher than that generated in positive corona. Trichel pulses were observed within the range of needle tip radius used in this experiment.

1. はじめに

物体の帶電および除電に用いられているコロナ放電を利用したイオン発生器(除電器)は、イオンを生成すると同時にオゾンを生成する。発生したオゾンによって、被除電物が酸化劣化することや、生成されるオゾンがたとえ微量であっても、人体に悪影響を及ぼす等の問題が指摘されている。

イオン生成を目的としてコロナ放電を用いる場合には、オゾンの生成ができる限り抑える必要がある。放電電極を加熱することによって、オゾンの生成を抑制した例が増田ら¹⁾や大久保ら²⁾によって報告されている。

コロナ放電によるイオンおよびオゾン生成特性はその放電形態に依存する。ここでは、放電電極として針對平板電

極を使用し、放電形態に影響を及ぼす因子の一つである、電極の形状、特に針電極先端の曲率半径を変化させた場合の、正負コロナ放電によるコロナ電流とオゾン発生量の関係を検討した結果を報告する。

2. 装置および測定方法

図1に本実験に使用した測定系の概略を示す。平板電極には直径0.2 m、厚さ0.01 mのクロムメッキした真鍮製円板、針電極には先端部の曲率半径が5, 36, 103, 178 μm の4種類の木綿針を用いた。針電極は、平板電極の中心軸上0.02 m上方に置いた。走査電子顕微鏡で針先端部を写真撮影し、先端部の形状に最も近い円の半径を曲率半径とした。

この電極を $0.37 \times 0.3 \times 0.5 \text{ m}^3$ の直方体容器に収め、相対湿度8~12%の空気流(1.0~1.5 L/min)を容器内に供給した。1本の針電極によるコロナ放電のオゾン生成量が少ないことから、本実験では、容器内に蓄積されたオゾンの一部を、平板電極の端から0.01 m上部に設けた吸い込み口から吸引する方法を用いた。この位置からの吸引によるオゾン濃度の測定値が、最も早く飽和値に達することをあらかじめ確認している。オゾン濃度は、放電開始から8~10分後に飽和値に達することから、本実験では、放電開始10分後のオゾン濃度を測定値とした。紫外線吸収方式のオゾン

キーワード：オゾン、コロナ放電、イオン発生器、除電

* 東京理科大学工学部電気工学科 (162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Science University of Tokyo, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162, Japan

** 東京理科大学理工学部電気工学科 (278-8510 千葉県野田市山崎2641)

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, 2641 Yamazaki, Noda 278-8510, Japan

¹ masu3269@rs.kagu.sut.ac.jp

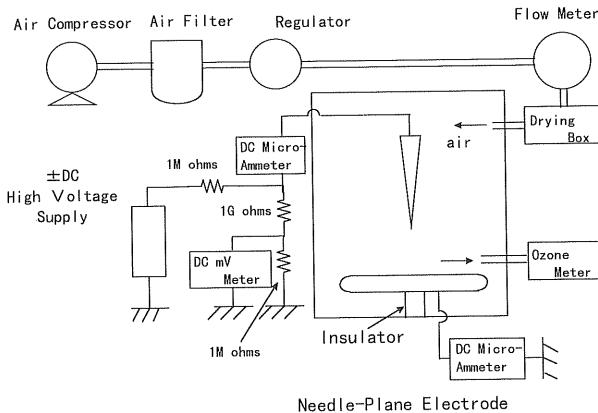


図 1 測定装置の概略図

Fig. 1 Schematic diagram of experiment.

濃度計 (SOZ-1023 セキエレクトロニクス(株), 吸引流量 1.5 L/min) を用いて吸引空気に含まれるオゾン濃度を測定した。オゾン濃度計を通過した残留オゾンはオゾン吸収剤で処理した。

コロナ電流の時間平均値は、平板電極とアースとの間に挿入した直流電流計で測定した。また、平板電極とアースとの間に電流計の代わりに、抵抗 1,000 Ω を挿入し、両端の電位変化をデジタルオシロスコープ (100 MHz, 100 Ms/s, 岩崎通信機) で調べることにより、トリニティルパルスの周波数を求めた。

3. 結果および考察

3.1 正コロナ放電

正コロナ放電において、針電極先端の曲率半径を変化させ、コロナ電流一定でオゾン濃度を測定した結果を図 2 に示す。針電極先端の曲率半径が 5 μm のとき、オゾン濃度に急激な増加が認められる。このときの放電形態を写真撮影した結果を図 3 に示す。図中上部の輝点が針電極の先端を示す。印加電圧は 11 kV、コロナ電流は 20 μA である。ストリーマコロナの発生が認められる。本実験で使用した針電極の中では、先端の曲率半径が 5 μm のときにのみ、この現象が認められた。他の曲率半径の針電極では、針先端部のみが発光している膜状コロナが認められた。正ストリーマコロナの先端には非常に強い電界が形成され、そこでは酸素分子等の電離が活発に行われ、オゾンおよびイオンが活発に生成されているものと考えられる。この特性をオゾナイザに利用する研究もなされている^{3,4)}。

このようなストリーマコロナの発生が、曲率半径が 5 μm の針電極を用いたときのオゾン濃度値を、他の針電極に比べ著しく高くしたものと考えられる。

今までに提案されている棒電極先端の電界強度を表す理論式のうちの一つである (1) 式によると、針先端付近の電

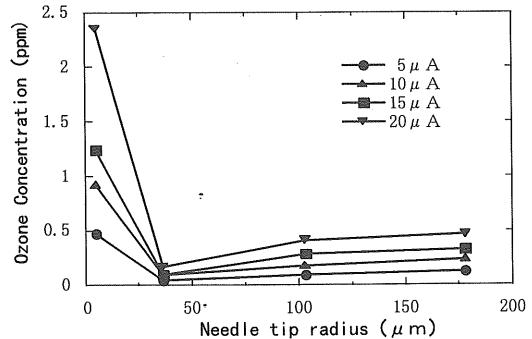


図 2 直流正コロナ放電における針電極先端の曲率半径とオゾン濃度の関係

Fig. 2 Needle tip radius-ozone concentration characteristic of DC positive coronas.

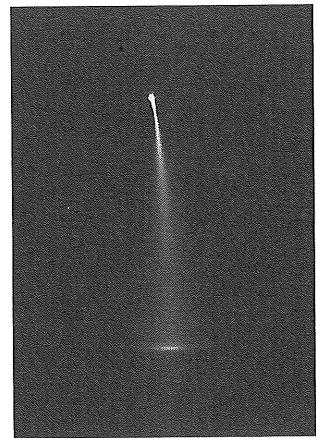


図 3 直流正コロナ放電の外観 (針電極先端の曲率半径 = 5 μm, 印加電圧 = +11 kV, コロナ電流 = +20 μA)

Fig. 3 External appearance of positive streamer corona discharge. (Needle tip radius=5 μm, Applied Voltage=+11 kV, Corona Current=+20 μA)

界強度は、印加電圧および電極間隔が一定のとき、針先端の曲率半径の減少とともに大きくなる⁵⁾。

$$E_x = \frac{1}{x} \frac{V}{\log_e \left(1 + \frac{2l}{r} \right)} \quad (1)$$

ここで、 x : 針先端の曲率中心からの距離, E_x : x の点における電界強度, V : 印加電圧, l : 極板間距離, r : 針先端の曲率半径である。

本実験のようにコロナ電流一定の条件では、針先端の曲率半径が増加すれば、コロナ電流を一定にするための放電電圧も増加する (曲率半径 178 μm のときコロナ電流を 20 μA にするための放電電圧は 13.6 kV)。しかし、本実験におけるコロナ電流を一定にするための放電電圧の範囲内では、針先端付近の電界強度には、放電電圧の変化よりも曲率半径の変化が及ぼす影響が大きくなることが (1) 式から導かれる。このことが曲率半径が 5 μm の針電極の場合、

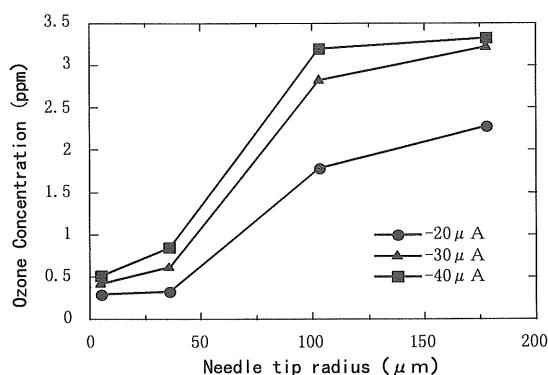


図 4 直流負コロナ放電における針電極先端の曲率半径とオゾン濃度の関係

Fig. 4 Needle tip radius-ozone concentration characteristic of DC negative coronas.

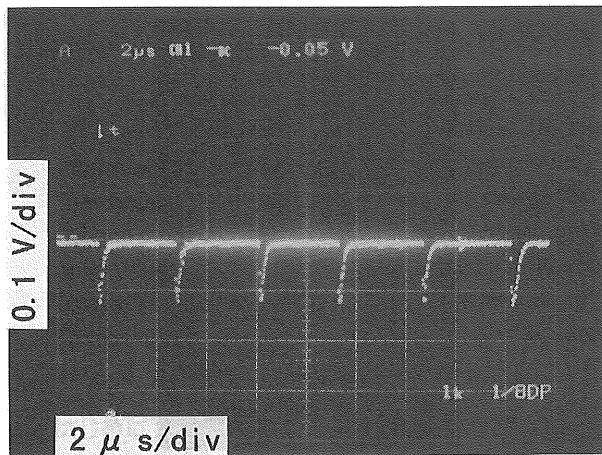


図 5 トリチエルパルス (針電極の曲率半径=5 μm, 印加電圧=-9.65 kV, コロナ電流=-20 μA)

Fig. 5 Trichel pulse. (Needle tip radius=5 μm, Applied Voltage=-9.65 kV, Corona Current=-20 μA)

他の曲率半径の針電極に比べ、ストリーマが発生しやすくなつた理由の一つと考えられる。

このような現象が発生し始める針先端の曲率半径は、本実験の範囲内では 5 μm と 36 μm との間にあるといふことができる。本実験で使用した針電極では、針先端の曲率半径が 36 μm 以上で、オゾン濃度が曲率半径の増加とともに増加する傾向を示している。これは、針先端の曲率半径の増加により、電離領域が広がつたことによるものと考えられる。

3.2 負コロナ放電

負コロナ放電において、針電極先端の曲率半径を変化させ、コロナ電流一定でオゾン濃度を測定した結果を図 4 に示す。本実験で使用した針電極すべてについて、オシロスコープで放電電流波形を観察したところ、本実験におけるすべてのコロナ電流領域にわたって、トリチエルパルスコロナに基づく電流パルスが認められた。

図 5 および図 6 に針先端の曲率半径がそれぞれ 5 μm お

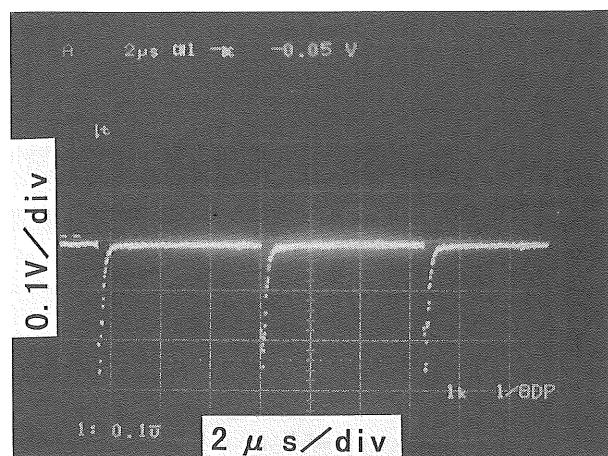


図 6 トリチエルパルス (針電極の曲率半径=178 μm, 印加電圧=-12.33 kV, コロナ電流=-20 μA)

Fig. 6 Trichel pulse. (Needle tip radius=178 μm, Applied Voltage=-12.33 kV, Corona Current=-20 μA)

より 178 μm のときの、本実験で得られた電流パルスを示す。電流パルスの周波数は、それぞれ約 333 kHz (5 μm) および約 167 kHz (178 μm) である。このようにトリチエルパルスの周波数は、コロナ電流が一定の場合、針先端の曲率半径の減少とともに高くなる⁶⁾。このことは、針先端の曲率半径の減少とともに、微小放電が頻繁に発生するようになることを示しているものと考えられる。無声放電でオゾンを生成する場合、電極間に発生する微細な放電がオゾン生成に適していると言われている。しかし、今回の測定では、針先端の曲率半径の増加とともに、放電の発生頻度が減少しているにも関わらず、オゾン濃度は増加するという結果が得られている。

トリチエルパルスコロナの放電パルスは、図 5 および図 6 に示されるように、針先端の曲率半径の増加とともに大きくなる。針先端の発光状態を観察したところ、トリチエルにより報告されているように⁷⁾、針先端部にトリチエルコロナパルスに基づく、扇形に近い広がりをもつた発光が認められ、針先端の曲率半径の増加とともにその広がりは大きくなつた。これらの結果は、針先端の曲率半径の増加とともに電離領域が広がつてることに対応しているものと考えられ、これが曲率半径の増加とともにオゾン濃度が高くなつた理由と考えられる。

3.3 正負コロナ放電によるオゾン濃度の違い

正負コロナ放電において、正コロナ放電における針電極先端の曲率半径が 5 μm の場合を除き、オゾン濃度は針先端の曲率半径の増加とともに増加する傾向を示し、負コロナ放電の方がオゾン濃度が高くなっている。

針先端における発光状態を正負コロナ放電で比較すると、負コロナ放電では、前述したように、本実験で使用し

た針電極すべてにおいて、針先端部にトリチエルコロナパルスに基づく、扇形に近い広がりをもった発光が認められた。一方、正コロナ放電では、曲率半径 $5 \mu\text{m}$ 以外では、前述したように針先端部のみが発光している膜状コロナであった。

一般に、負コロナ放電の方が電離領域が広いことから、オゾン発生量が多くなることが報告されている⁸⁾。このような電離領域の広がりの違いが、本実験で見られたような、正負コロナ放電におけるオゾン濃度の違いの原因と考えられる。

直流放電式のイオン発生器を考えた場合、負コロナ放電では、同じ量のイオンを得るのに、先端の曲率半径の小さい針電極を用いた方が、オゾンの発生量を少なくすることができます。一方、正コロナ放電では、針電極先端の曲率半径が小さくなると、ストリーマコロナが発生しやすくなり、同じ量のイオンを得るのにオゾン発生量が極端に多くなる場合がある。

針對平板電極で発生するコロナ放電の、オゾン生成特性と針電極先端の曲率半径との関係について調べたが、この関係が、実際に使用されている対向電極を有するイオン発生器において見られるかどうかは、今後の検討課題である。

4. まとめ

コロナ電流値を一定とし、針電極先端の曲率半径とオゾ

ン濃度の関係を調べた結果、本実験で使用した針電極において、以下の事柄が明らかとなった。

(1) 正コロナ放電では、針先端の曲率半径の減少とともにオゾン濃度は減少するが、 $5 \mu\text{m}$ のときに急激な増加を示し、それぞれのコロナ電流において、最大濃度を示した。今回の測定では、針先端の曲率半径が $36 \mu\text{m}$ 以上になると、曲率半径の増加とともにオゾン濃度は増加するが、その増加量はわずかである。

(2) 負コロナ放電では、オゾン濃度は針先端の曲率半径の減少とともに減少する。

(3) 針先端の曲率半径が $5 \mu\text{m}$ のときを除き、負コロナ放電の方がオゾン濃度は高くなつた。

参考文献

- 1) 増田閃一, 阿久津頤右, 石田光広: 静電気学会講演論文集'79, p. 150, 静電気学会 (1979)
- 2) 大久保利一, 浜崎俊作, 赤峰修一, 野本幸治, 足立宜良: 静電気学会講演論文集'87, p. 9, 静電気学会 (1987)
- 3) 前園一郎: 電学論 C, 111 (1991) 176
- 4) 前園一郎: 電学論 A, 113 (1993) 566
- 5) 今西周蔵, 鶯見篤, 京兼純: 改訂高電圧工学, p. 30, コロナ社 (1991)
- 6) W.F. Lama and C.F. Gallo: J. Appl. Phys., 45 (1974) 103
- 7) G.W. Trichel: Phys. Rev., 54 (1938) 1078
- 8) 山崎憲明: 静電気学会誌, 12 (1988) 418