

論 文

負コロナ放電細線の信頼性に関する一考察

吉澤 達夫*, 大倉 昇*

(1991年1月31日受理)

Observation and Consideration on the Reliability of Negative Corona Discharge Wires

M. YOSHIZAWA and N. OHKURA

(Received January 31, 1991)

The results of an experiment and consideration on the surface degradation of corona discharge wires after successive negative corona discharges are reported in this paper. The results show that the area of discharge marks on a carbon-treated tungsten wire gradually spreads with time in a lateral direction until it reached a saturated site after approximately fifty hours. After approximately twenty hours from the start of discharging, twelve discharge marks were observed within a width of fifty millimeters at the center of the wire, although the number of marks did not remarkably increased thereafter. On a platinum alloy clad wire, each of the crater-like discharge marks on the surface kept on growing in term of both diameter and depth until one hundred and six hours had elapsed from the beginning of the experiment, which was the total duration of the experiment. The discharge marks also increased in number with time along a line. The tendency of adversely modifying the shapes of discharge marks and that of increasing the number of marks on a wire are apparently related with the melting point of the wire and the ease with which marks can be formed on its surface and grow there.

1. はじめに

電子写真を利用した複写機の帶電用正コロナ放電ワイヤについては、払子コロナの発生時点が寿命であると言われている。確かに、正コロナ放電の場合はよく知られているようにワイヤ表面に白色生成物が付着し、放電電流の均一性を悪くするが、これはアルコール等で軽くクリーニングすることによって再度使用できる。そのため、最近では複写機などの機種によっては、ワイヤ表面に付着した生成物や異物を一定コピーごとに自動的にクリーニングしているものも多い。しかし、払子コロナが発生した場合、コピー画像上に白黒の斑点が生じ、これはワイヤ表面のクリーニングによっても再生が効かないため、いわゆる寿命でありワイヤの交換しかない¹⁻⁴⁾。

一方、負コロナ放電用ワイヤとしては一般にカーボン処理タングステンワイヤが広く使用されており、白金クラッドワイヤはほとんど使用されていない。これはコストの問題だけでなく、信頼性の面からも不適であると言われている。しかし、これらに対する明確な議論は比較

的少ない^{5,6)}。この理由は、負コロナ放電の場合、一般にグリッド電極を用いるためワイヤの状態のみで決まるのではなく、そのグリッドあるいはケーシングの形状を含めた帶電ユニットと一体としての要求特性で大きく異なるためであろう。

そこで今回は、主として顕微鏡による観察結果をもとに、特にカーボン処理タングステンワイヤと白金クラッドワイヤの負コロナ放電に対する信頼性についての一考察を試みる。

2. 実験方法

2.1 コロナ放電細線

実験に使用したコロナ放電細線は、カーボン処理タングステンワイヤ(89 μmφ)および白金クラッドワイヤ(90 μmφ)の2種で、いずれも市販されている標準品ワイヤである。白金クラッドワイヤの場合、クラッド層の厚みは5~7 μmで、白金の純度は99.99%であった。また、コロナ放電ワイヤの全長は350 mm、コロナ放電の有効長は300 mmである。

2.2 測定条件

負コロナ放電ワイヤの信頼性に対する測定は、実験のために特に試作した帶電ユニットおよび高圧電源を使用

キーワード：電子写真、帯電、コロナ放電、放電細線

* 株式会社リコー (143 東京都大田区中馬込 1-3-6)

Ricoh Co. Ltd., 3-6, Nakamagome, 1-Chome, Ohta-ku, Tokyo, 143 Japan

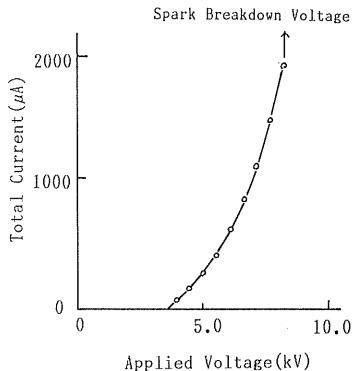


図 1 実験に使用した帶電器の V-I 特性

Fig. 1 V-I characteristics of corona discharging device.

し、所定のコロナ放電細線をセットした帶電ユニットを一般の実験室内で連続コロナ放電をさせ評価を行った。コロナ放電ワイヤとケーシングの上面電極および両サイドの電極との間隔はいずれも 10 mm、負コロナ放電による劣化状態を観察しやすくするためにグリッドは特に用いずにワイヤと対向平板電極との間隔も 10 mm とした。また、ケーシングおよび対向平板電極の材質はいずれもステンレスを用いた。

用いた帶電器の V-I 特性を図 1 に示した。図からわかるように、コロナ放電開始電圧は約 -3.3 kV、全路破壊移行(火花放電)電圧は約 -8.2~ -8.7 kV であった。さらに、以下の信頼性評価実験に用いた負コロナ放電電圧は -5.6 kV で、このときのコロナ放電電流は約 -1.5 μ A/mm である。

2.3 火花放電跡の個数の計測

本実験における信頼性評価時の連続放電電圧は -5.6 kV であるにもかかわらず、放電を長時間継続すると次第に全路破壊による火花放電が発生する。これは考察でも述べるように、ワイヤ加工時の欠陥が連続放電により進行あるいは大気中の各種の異物が付着して異常火花放電開始電圧が低下し、このような低い電圧でも火花放電が見られるようになると考えられる。いずれにしろ、ワイヤの信頼性に最も影響のある、ワイヤ表面上に発生した火花放電跡の個数を連続コロナ放電時間に対して計測した。この計測方法は、所定の各測定時間ごとにコロナ放電を止めて帶電ユニットを光学顕微鏡(オリノパス製倒立型金属顕微鏡 PMG-3)のもとに移動し、コロナ放電ワイヤの中央部の幅 50 mm に発生した火花放電跡の数を計測することによって行った。

3. 実験結果

3.1 カーボン処理タングステンワイヤでの火花放電跡の発生

図 2 にカーボン処理タングステンワイヤで、負の連続コロナ放電を行った場合の 0 h, 20 h および 54 h 各時間での劣化部分の代表的な光学顕微鏡写真を示した。写真(b)の全体に付着している生成物質は、Nashimoto⁶⁾ がジメチルポリシリコサン霧潤気中で負コロナ放電をさせることによってタングステンワイヤ表面上に成長した酸化シリコンの粒状物質に相当するとみてよい。このことは、後の図 6(a)に示した SEM 写真の火花電跡周辺の粒状物質の付着状態からも分かる。

つぎに、図 2(b)の写真からは明確ではないが中央部に

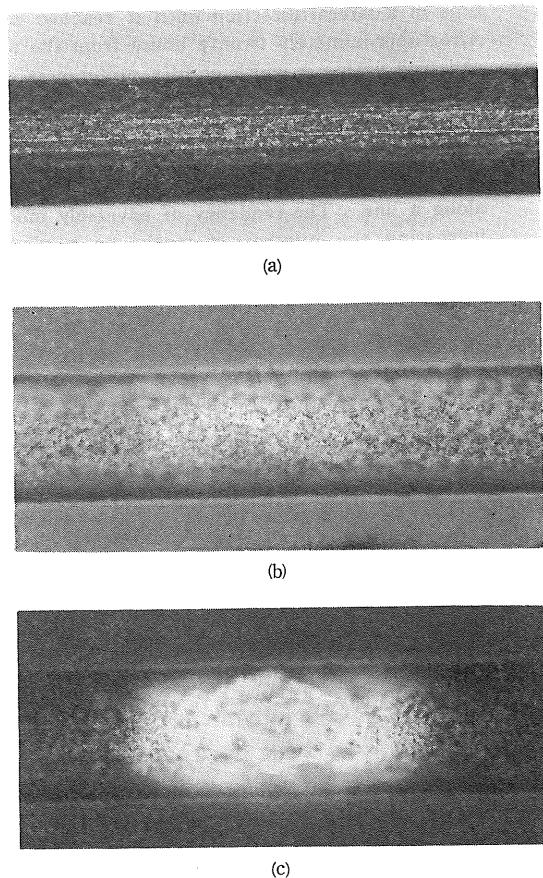


図 2 カーボン処理タングステンワイヤの負コロナ放電に対する表面状態の写真、(a) 0 h, (b) 20 h, (c) 54 h. ($\times 180$)

Fig. 2 Optical-microscopic photographies on the surface degradation of carbon-treated tungsten wire by negative corona discharge, (a) 0 h, (b) 20 h, (c) 54 h. ($\times 180$)

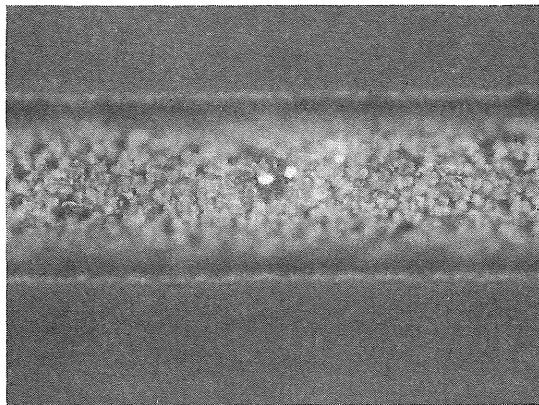


図 3 カーボン処理タングステンワイヤの火花放電部の写真, 25 時間後. ($\times 240$)

Fig. 3 Optical-microscopic photograph of generated discharge marks by spark breakdown, 25 h. ($\times 240$)

みられる白いいくつかの点は、さらに進行した他の部分の写真(図 3)からみられるように明らかに火花放電の跡であり、このままさらには負コロナ放電を継続すると次第に写真(c)のようになる。考察の項で述べるように、写真(c)の状態になるとさらにコロナ放電を継続しても火花放電跡を白色生成物が覆ってしまうため、これ以上ほとんど進行しないという大きな特長をもつ。

さらに、ワイヤ方向にそって放電電流分布を測定した結果、この白色生成物の付着部分は常にコロナ放電電流の谷に相当することから、この白色付着物は比較的高抵抗であるといえる。

図 4 は、負の連続コロナ放電をさせ、ワイヤの中心部

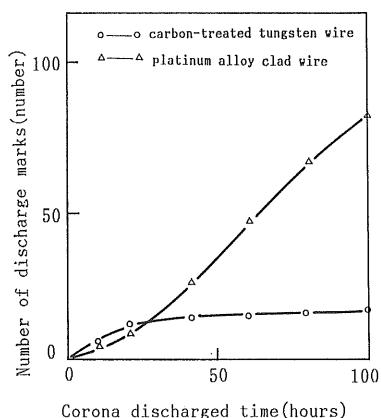
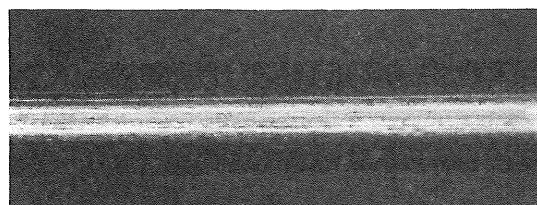


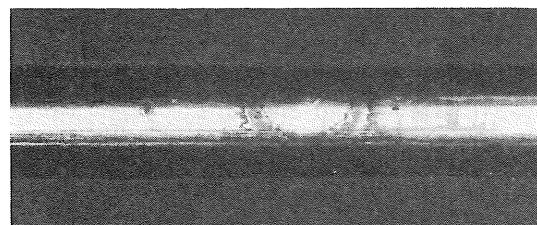
図 4 負コロナ放電時間に対する発生欠陥数(ワイヤ中央部 50 mm 幅内)

Fig. 4 Number of generated discharge marks by spark breakdown as a function of negative corona discharge time (within a width of fifty milimeters at the center of the wire).

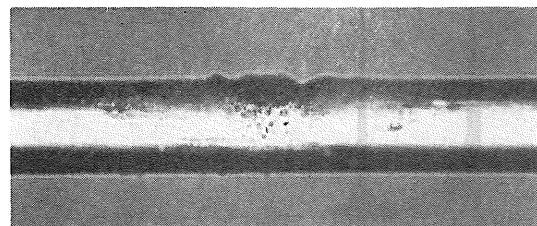
50 mm 幅に発生した火花放電跡の数を計測した結果である。図のカーボン処理タングステンワイヤの曲線から分かるように、最初の約 20 時間は時間と共に増加するが、それ以後はほとんど増加しないという興味ある結果を示した。すなわち、20 時間の連続コロナ放電で約 12 個の火花放電跡が発生しているが、その後飽和の傾向を示し 100 時間後にも約 16 個しか見られない。



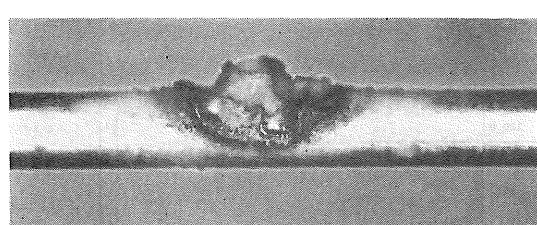
(a)



(b)



(c)



(d)

図 5 白金クラッドワイヤの負コロナ放電に対する表面状態の写真, (a) 0 h, (b) 20 h, (c) 54 h, (d) 106 h.
(a, b : $\times 180$, c : $\times 145$, d : $\times 110$)

Fig. 5 Optical-microscopic photographies on the surface degradation of platinum alloy clad wire by negative corona discharge, (a) 0 h, (b) 20 h, (c) 54 h, (d) 106 h. (a, b : $\times 180$, c : $\times 145$, d : $\times 110$)

3.2 白金クラッドワイヤでの欠陥の発生

図5に白金クラッドワイヤでの0 h, 20 h, 54 hおよび106 h各コロナ放電時間におけるワイヤ表面上の劣化の代表的な光学顕微鏡写真を示した。写真から分かるように、火花放電跡とみられる表面欠陥の形状および劣化の進行状況がカーボン処理タングステンワイヤとは大きく異なる。すなわち、カーボン処理タングステンワイヤでみられた粒子状付着物の成長はほとんどみられない。また、図4の白金クラッドワイヤの曲線から分かるように、少なくとも測定を行った106時間までは放電時間と

ともに火花放電跡の数もほぼ直線的に増加し、放電106時間後での数は約80個に増加した。

3.3 劣化部分の付着物のEPMA分析

カーボン処理タングステンワイヤの劣化部分上に付着している白色生成物は、X線マイクロアナライザ SX50 (CAMECA社製)による波長分散型スペクトロメータ(以下WDS)での分析の結果、図6からみられるように主成分は酸化タングステンと酸化シリコンであることが分かった。

一方、白金クラッドワイヤの場合、火花放電跡の中心に必ずみられる小さな突起状の物質は、やはりWDSで分析した結果酸化シリコンが主成分であることが分かった。なお、図7に両ワイヤのEPMA分析を行った箇所のSEM写真を示した。

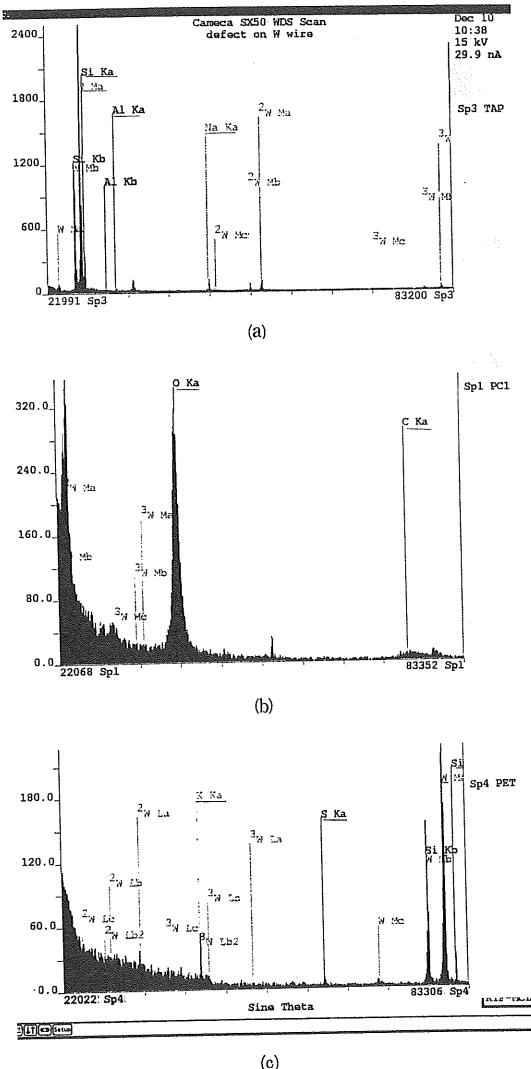


図6 カーボン処理タングステンワイヤの欠陥上の付着物のWDS分析スペクトル

Fig. 6 WDS spectra from materials grown on the surface degradation of carbon-treated tungsten wire by negative corona discharge.

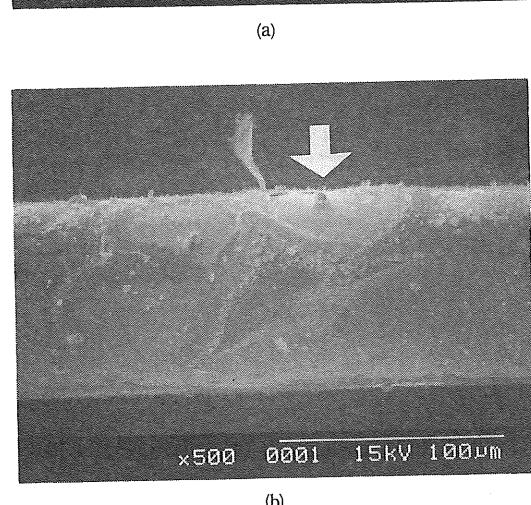


図7 WDS分析を行った箇所のSEM写真

(a) カーボン処理タングステンワイヤ, (b) 白金クラッドワイヤ

Fig. 7 SEM-photographies of the points of WDS analysis (a) carbon-treated tungsten wire, (b) platinum alloy clad wire.

4. 考 察

4.1 負コロナ放電の特長

よく知られているように、コロナ放電細線に負電圧を印加すると電子なだれはワイヤ（陰極）からケーシングおよび対向電極（感光体）に向かう。また、その過程で生じた正イオンが陰極であるワイヤ表面に衝突し、二次電子を生成するのでコロナ放電が安定に自続可能となる。すなわち、負電圧では固体表面反応が主な二次電子供給源となる。しかも、グロー放電の基本性質として正コロナのように放電が一様に広がらずに、ワイヤ上の γ 作用の大きい箇所に多数の光点が分散したような外観を呈している。

さらに、この二次電子放出係数は表面のミクロな形状、酸化状態や汚染状態によっても異なるため、場所による放電状態はいっそう不均一になり、コロナ放電細線表面はいわゆるグロー放電によるスパッタリングによって徐々に破壊されていく⁷⁻¹⁰。

その一方で、コロナ放電自体が比較的安定であるといえ、もともと空気の部分的絶縁破壊であるため、ワイヤ表面のグロー放電による破壊、あるいはワイヤやケーシングへの付着物、環境条件などわずかな周囲状況の変化で全路破壊、すなわち火花放電に至ることはある意味では避けられないことであろう。しかし、ここでは火花放電に至る発生プロセスを議論するのではなく、以下火花放電により発生した欠陥の観察結果から、コロナ放電細線の信頼性に関する考察を行う。

4.2 カーボン処理タンクステンワイヤの信頼性に関する考察

カーボン処理タンクステンワイヤの場合、初期状態では表面が酸化され比較的抵抗の高い酸化タンクステン(WO_x)になっている。このように、表面に高抵抗層をつけた場合の効果は、タンクステン金属が酸化しやすいためワイヤ表面を安定化することである¹¹。しかし、上にも述べたようにスパッタリングや汚染物の付着、また絶縁性の酸化シリコンの成長などによりその部分が絶縁耐圧を越えて、火花放電により表面層が破壊されると考えられる。

このように、カーボン処理タンクステンワイヤの場合、図2に写真で示したように火花放電による欠陥部の面積的な広がりは見られるものの、後に述べる白金クラッドワイヤに比較して、深さ方向への欠陥の進展は比較的小さい。これは、こうした欠陥の成因が火花放電による局部的な温度上昇に関係していると考えると、タンクステンメタルの融点が 3410°C であることから説明がつけられる。

また、負コロナ放電の場合、正コロナ放電に比較して白色生成物が付着しにくいとはいえる、カーボン処理タンクステンワイヤでは表面が酸化処理されているため、白金クラッドワイヤに比べかなり酸化シリコンが付着し、成長しやすい。特に火花放電跡は酸化皮膜がとんでもないタンクステンの地がでているため、何らかの原因でいったん火花放電が止まれば酸化皮膜で覆われた部分や酸化シリコンが付着した部分より格段にコロナ放電が発生しやすく、選択的にプラズマ領域が発生して酸化シリコンが成長しやすくなると考えられる。このようにして、火花放電跡の表面を酸化シリコンが覆ってしまうため、この部分は火花放電が起こりにくくなりこれ以上劣化は進行しにくいとみてよいだろう。

一方、カーボン処理タンクステンワイヤ全体の正常な部分も次第に酸化シリコンで覆われるため、コロナ放電を継続させても、これ以上欠陥の新たな発生も抑えられると考えられる。いずれにしろ、これは信頼性の面からみると大きな特長であるといえよう。

しかし、当然のことながら白色生成物の付着に伴い、次第にワイヤの長さ方向にそったコロナ放電電流分布における乱れは大きくなることは避けられない。

4.3 白金クラッドワイヤに関する信頼性の考察

白金クラッドワイヤの場合、ワイヤ表面が導電性であり、しかも白金そのものの性質からワイヤ表面に酸化シリコンなどが付着しにくく、また粒状結晶が成長しにくいためカーボン処理タンクステンワイヤと大きく様相を異にする。

すなわち、火花放電跡の中心にある小さな突起がWDSスペクトルによる分析結果から酸化シリコンであることが分かった。これは白金の表面がクラッド時にできた小さなキズのために、ミクロにみるとコロナ放電の輝点すなわちプラズマ領域のむらが生じ、全体的には成長しにくいか局部的にみるといくつかの小さな酸化シリコンが成長する。その絶縁性酸化シリコンの付着物が原因で、周囲の電界に歪ができる、遂には絶縁耐圧を越えて火花放電に至ったとみてよいだろう。このようにして、図5の写真から分かるように火花放電による劣化が、酸化シリコンの付着した点を中心にして周辺に進行し、あるところでまた別の新たな酸化シリコンの核を中心にして火花放電が起こり、これを繰り返して行く。このため、図4の白金クラッドワイヤの曲線から分かるように、欠陥の数も時間とともに直線的に増加していくと考えられる。

さらに、酸化シリコンの突起物の周辺は火花放電による局部的温度上昇のために、膜状の酸化シリコン層は蒸発してしまう。こうした中で、ある部分はどんどん火花

放電が進行してしまい、図5の写真(d)に示したように極めて大きなクレータに進んでしまうものがある。この原因については、さらに今後検討を続けていく予定である。

また、白金クラッドワイヤで特にこのような火花放電による局部的温度上昇で大きなクレータにまで進むことは、白金メタルの融点がタングステンと比較して低いためとみてよい。

5. ま と め

負コロナ放電における放電細線の信頼性について、以上の結果を要約すると次のとくである。

1) カーボン処理タングステンワイヤにおいては、

火花放電により発生した欠陥は、次第に表面が高抵抗の白色付着物で覆われるため、あるところで進行が止まる傾向を示す。また、正常な部分も次第に酸化シリコンで覆われるため、新たな火花放電による欠陥の発生も抑えられる。

これは、タングステンワイヤの表面が酸化処理されているために酸化シリコンが付着しやすく、また火花放電が起こってもタングステンメタルの融点が高いため、大きなクレータに進まないと考えられる。

2) 白金クラッドワイヤにおいては、

火花放電による欠陥は、その形状においてもまたその数においても少なくとも測定を行った範囲では時間とともにほぼ直線的に増加する傾向にある。

このような進行は、白色生成物の付着にくいためにかえって、それを中心に電界の歪が起こりやすく、また白金の融点がタングステンワイヤに比較して低いことと関係しているとみてよい。

なお、この詳細な発生機構は今後明確にしていく予定である。

参 考 文 献

- 1) 小暮雅明：電子写真学会誌，26 (1987) 55
- 2) 大倉 昇、網島功典、吉沢達夫：静電気学会誌，14 (1990) 164
- 3) 梨本恵一：電子写真学会誌，25 (1986) 12
- 4) 山崎憲明：静電気学会誌，12 (1988) 418
- 5) 細川辰三：電子写真学会誌，27 (1988) 561
- 6) K. Nashimoto : Jpn. J. Appl. Phys., 27 (1988) 892
- 7) 本多侃士：気体放電現象，p. 93，東京電機大学出版局 (1964)
- 8) 三好保憲：電子写真学会誌，12 (1977) 86
- 9) 原 雅則：静電気学会誌，7 (1983) 130
- 10) L.B. Loeb : *Electrical Coronas*, p.132, University of California Press (1965)
- 11) T.H. Di Stefano, R.B. Laibowitz and R. Rosenberg : U.S. Patent No. 3813549 (1974)