

小論文

払子コロナ発生点の顕微鏡観察. II

大倉 昇*, 綱島 功典*, 吉沢 達夫*

(1990年4月6日受理)

Observation of the Points of Streamer Corona Generation Using Microscopes. II

N. OHKURA,* K. TUNASHIMA* and T. YOSHIZAWA*

(Received April 6, 1990)

This paper summarizes a study on how streamer coronas are generated on corona discharge wires, particularly those having a conductive surface, which are used in a charging unit of an electrostatic copying machine. Specifically speaking, streamer corona can be generated within a relatively short period of time on platinum alloy clad corona wires having surface conductivity as compared with carbon-treated tungsten wires referred to in the previous report by the present author. Small cracks and other flaws existent in the surface platinum alloy layer may be responsible for this phenomenon as silicon oxides are deposited on the surface of the wire to produce high potentials locally on those flawed areas in the surface, which in turn cause streamer corona to be generated in a relatively short period of time.

1. まえがき

我々は前報で、電子写真用コロナ放電ワイヤにおいて、いわゆるカーボン処理タングステンワイヤの払子コロナ発生点を顕微鏡観察した結果を報告した¹⁾。すなわち、払子コロナ発生点は表面の比較的抵抗の高い酸化被膜層に直径1~2 μmの小さなクレータ状の穴があき、タングステンの地肌が露出していることが分かった。

このように表面を酸化処理したタングステンワイヤの場合、表面酸化被膜層にクレータ状の穴ができることが払子コロナ発生の原因であることから、表面が導電性のワイヤでは払子コロナが発生しにくいはずである。しかし、実際には環境条件によって大きく異なるものの、今回我々が用いた白金クラッドワイヤではむしろ短い時間で払子コロナが発生した。このことは、表面が比較的高抵抗のワイヤの場合と全く異なる払子コロナ発生プロセスを考える必要がある。

以上の理由から、今回は白金クラッドワイヤを用いて、すでに良く知られているようにシリコンオイル霧囲気中で払子コロナ発生の加速評価実験を行い、発生点の顕微鏡観察及び発生原因の検討を行ったので現在までに得られた結果を、報告する。

キーワード：電子写真、帯電、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

2. 実験方法及び結果

2.1 実験方法

2.1.1 コロナ放電ワイヤ材料

用いたコロナ放電ワイヤは、市販の白金クラッドワイヤである。すなわち、芯線(約65 μmのタングステンワイヤ)の表面に厚さ約7~8 μmで白金がクラッドされており、外径は80 μmである。また、クラッド層の純度は比較的良好、ほぼ白金100%であった。

図1に未使用の白金クラッドワイヤの表面SEM写真を示した。写真から分かるように、表面には白金をクラッドする工程でできた小さなクラックやピンホールなどのキズが全体に多数見られる。

2.1.2 払子コロナの発生

前報で報告したカーボン処理タングステンワイヤでの払子コロナは、実機の中で発生したものである。この場合のコロトロン型帶電器のコロナ放電条件は、定格電圧: +7.3 kV、定格コロナ電流: +2 μA/mm、ケーシング電極(陰極)及びセレン感光体との間隔はいずれも10 mmであった。

一方、今回の加速実験の条件は、Nashimoto^{2,3)}がすでに報告しているシリコンオイル霧囲気中でのストリーマコロナ発生方法と基本的にはほぼ同様である。すなわち、シリコンオイルは複写機で定着部分に使用されているためシリコンオイル蒸気の供給量が問題であるが、いずれにしろ実際の条件に近い霧囲気での実験と言えよ

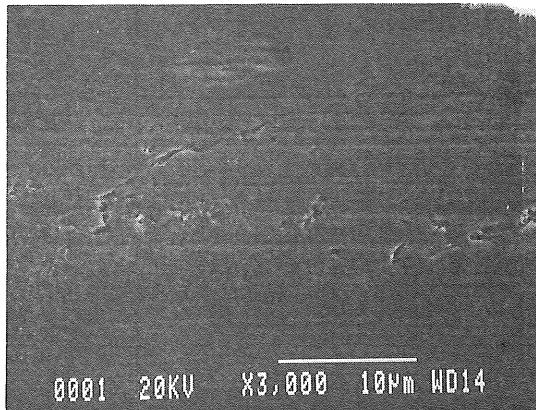


図 1 白金クラッドワイヤの表面 SEM 写真

Fig. 1 SEM Photography on the surface of a platinum clad wire.

う。

我々の実験装置の概要は図 2 に示したとおりで、加熱用ヒータは Barnstead Thermolyne Model-RC2624R、シリコンオイル自体の温度は平衡状態で約 160°C、またシリコンオイルは信越化学製 CS-50 を使用し、一回の実験では約 50 g のオイルを用いた。さらに、ヒータの反対側の位置 (図 2 の A 点) に小さなファンがついており、これによって比較的比重の大きなシリコンオイル中の揮発しやすい蒸気が装置内を全体に流れるようになっている。また、高電圧電源は前回と同じタイプのものを使用したため、放電電圧、電流は前回の場合とほぼ等しい。

以上の実験装置内で、目的とする白金クラッドワイヤを図 2 の charger 位置 1, 3, 5, 7 にセットし、また比較のために前回と同一のカーボン処理タングステンワイヤを charger 位置 2, 4, 6, 8 にセットした。すなわち、合計 8 本のワイヤで実験を行った結果、白金クラッドワイヤはいずれも 3~5 時間で放子コロナが発生したのに対して、カーボン処理のタングステンワイヤでは約 30~50 時間で放子コロナが発生した。

2.2 実験結果

2.2.1 光学顕微鏡観察

放子コロナの発生位置、発生状況を観察するために、オリエンパス製倒立型金属顕微鏡 PMG-3 を用いた。すなわち、図 2 の実験装置の中で連続コロナ放電をさせることによって放子コロナが発生した charger を取出し、顕微鏡の上で再度高電圧を印加して放子コロナを発生させながら観察を行った。その結果、カーボン処理タングステンワイヤでは前報の場合と同様に今回のワイヤでも、放子コロナは微小な点で発生していることが確認された。

これに対して、白金クラッドワイヤでの放子コロナ発

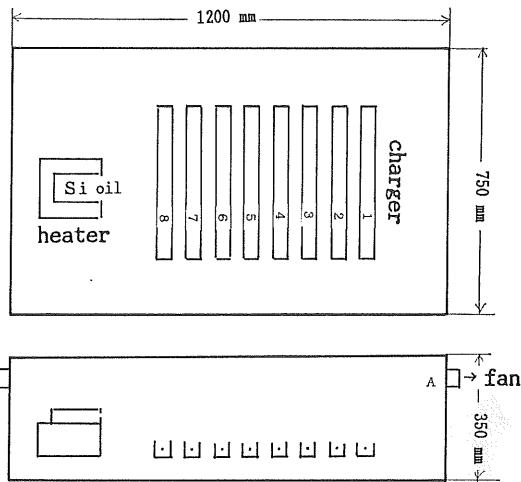


図 2 放子コロナ加速評価実験装置概略図

Fig. 2 Experimental apparatus.

生状況は明らかに異なっており、ワイヤ方向に多少広がりをもつように見えることが分かった。この様子は、コロナ放電の発光が紫外線のため見にくいか、図 3 に針状付着物が付いた状態での写真を示した。

2.2.2 走査型電子顕微鏡観察

光学顕微鏡であらかじめ確認した放子コロナ発生位置を日本電子製走査型電子顕微鏡 JFC-35 (以下 SEM) で観察した。この場合、このままではワイヤ表面上に多数付着した針状結晶のためにワイヤ表面上が観察できないため、イソプロピルアルコールでワイヤ表面を簡単にクリーニングすることによって行った。

その結果、図 4 に示したようにワイヤの長さ方向に幅約 0.3 μm、長さ約 20 μm 程度の極めて小さいクラックが入っていることがわかった。さらに、この状態で放子コロナを発生させ続けると、次第に新しい他の位置に放子コロナ点は不連続に移動して行く。このように、放子コロナが消えたり弱くなったりした部分は図 5 に示したように、ワイヤ表面層に大きなクラック及び剥がれのあとが見られることが多かった。これは、前報で述べたように放子コロナ発生に必要な局所高電界を作るために欠陥が大きすぎて高電界が横方向に広がりをもち、放子コロナに至らないためと考えられる。

2.2.3 EPMA によるクラック部分の成分分析

クラック周辺及びクラック内部の剥れた部分を上記 SEM により電子線マイクロアナライザ (以下 EPMA) で成分分析を行った。その結果、図 6 に示したようにクラック周辺部分ではシリコンと下地の白金が、クラック部分ではほぼ下地の白金のみが検出された。

ワイヤ表面上にフィルム状酸化シリコンが、厚さ 0.5

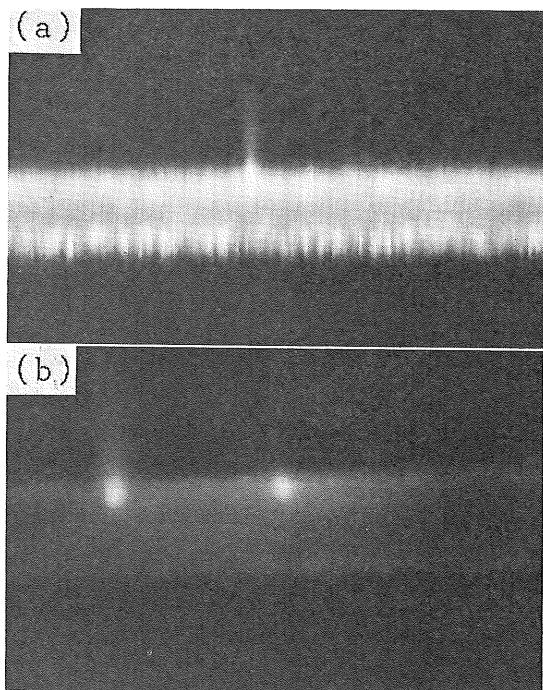


図3 白金クラッドワイヤで発生した払子コロナの光学顕微鏡写真 ($\times 150$)
(a) 可視光を重畳
(b) 扉子コロナによる発光のみ (場所は(a)と異なる)

Fig. 3 Optical-microscopic photography of the point of streamer generation wire. ($\times 150$)

- (a) Photograph with visible light
- (b) Luminescence of corona streamer without visible light: not the same as the location of photograph (a).

$\sim 2 \mu\text{m}$ 程度に付着することはすでに報告されており⁴⁾, また我々も分析の結果から確認している。このことから, クラック部分のシリコンはこのフィルム状酸化シリコンであることが分かる。

3. 考 察

3.1 ワイヤ表面上のシリコン生成物

シリコンオイル雰囲気中での払子コロナ加速評価実験では、前報で報告したように複写機内で払子コロナが発生したワイヤ表面と比較して、格段にシリコン付着物が多い。この付着物は、すでに報告されているものと同様に、まずワイヤ表面にフィルム状の薄い酸化シリコンの生成物が付着し、さらにその上に針状の酸化シリコンが無数に成長している²⁾。

さて、今回の白金クラッドワイヤでの払子コロナ発生点の SEM 観察では、図4 の SEM 写真で見られるように、いずれも極めて小さなクラックが認められた。こ

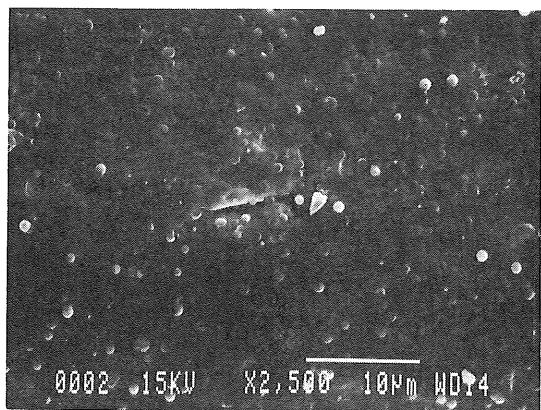


図4 白金クラッドワイヤ表面の SEM 写真

(払子コロナ発生点付近の微小クラック)

Fig. 4 SEM photography on surface of streamer generated wire.

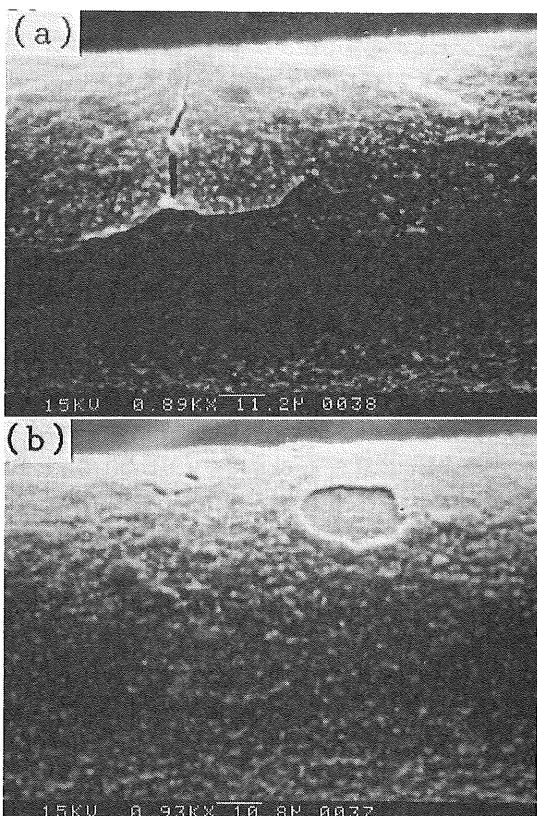


図5 白金クラッドワイヤ表面の SEM 写真

(払子コロナ発生部以外での大きなクラック (a) 及びハクリ部分 (b))

Fig. 5 SEM photographies of the point of streamer corona generation.

- (a) larger crack, (b) exfoliation point

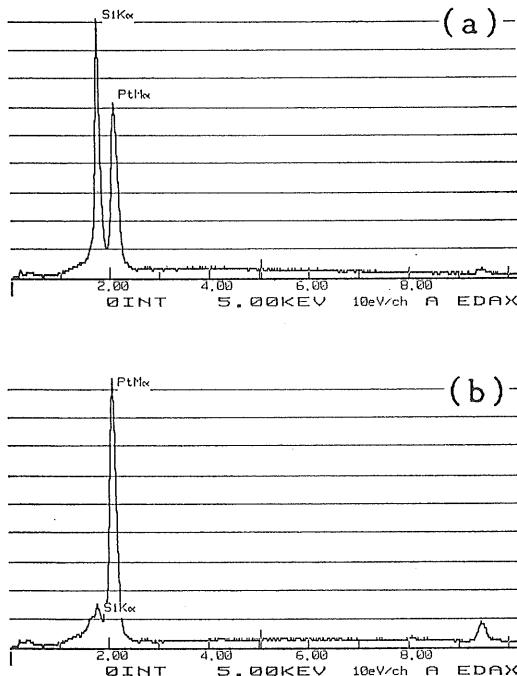


図 6 白金クラッドワイヤのクラック付近の EPMA 分析
(a) クラックの周辺部分, (b) クラック部分

Fig. 6 EPMA analysis of the point of streamer corona generation.
(a) neighbourhood of the crack, (b) crack point

のクラックは、EPMAによる成分分析の結果から白金クラッド表面層自体のクラックではなく、フィムル状の

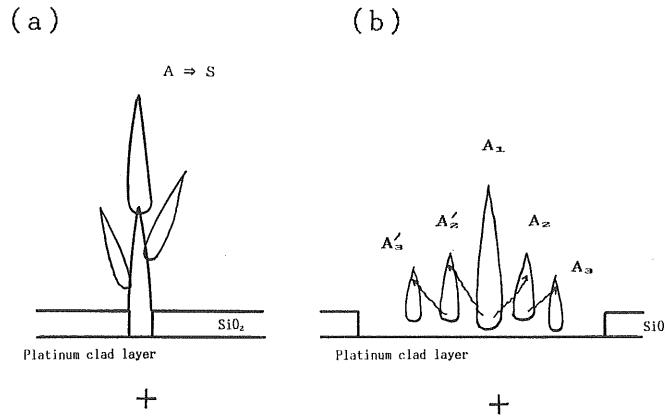


図 7 白金クラッドワイヤにおける拠子コロナ発生モデル図

- (a) 微小クラック部の拠子コロナに至るモデル (A は電子なだれ, S は拠子コロナを示す)
- (b) 大きなクラック部の横広がり状態のモデル (A₁, A₂, A₃ は一次, 二次, 三次の電子なだれを示す)

Fig. 7 Generation model of streamer corona on a platinum clad wire.

- (a) Generation model of streamer corona at a tiny crack (A shows electron avalanches and S shows the streamer corona).
- (b) Process of the widely glow corona at large crack (A₁, A₂ and A₃ show the primary secondary and third electron avalanches).

薄い酸化シリコン層の亀裂とみてよい。これは結果として、ちょうどカーボン処理タンゲステンワイヤの場合の表面酸化高抵抗層にできた $1\sim2 \mu\text{m}\phi$ のクレータと対応する。

このように考えると、白金クラッドワイヤで拠子コロナが比較的短時間で発生するのは、もともとワイヤ表面にあるミクロな欠陥が拠子コロナ発生を促進させていると考えられる。すなわち、付着物は局所高電界の発生が起りやすくなる効果をもつと考えてよい⁵⁾。

3.2 拠子コロナ発生メカニズム

前報でも述べたように、拠子コロナが発生するためにはコロナワイヤ表面近傍に局所高電界の発生が必要である。すなわち、一次電子なだれの成長に伴って発生した正イオン空間電荷による局所高電界のために、そこに後続の電子なだれが流入する結果、電子なだれ群は横広がりをせず陰極に向かって縦に伸び、拠子コロナ発生に至ると考えられる⁶⁾。図 7(a)にこの場合のモデル図を示した。今回の実験からも、白金クラッドワイヤ表面上の小さなクラックが局所高電界を作り、明らかに拠子コロナの発生点になっているとみてよい。

一方、比較的大きなクラック部分は正空間電荷が横広がりをもち局所高電界領域が広がるために、グロー放電になりやすく拠子コロナに移行しないと考えられる。この様子を図 7(b)に示した。

以上のように考えると、前にも述べたようにカーボン処理タンゲステンワイヤと白金クラッドワイヤで、拠子コロナ発生に至るプロセスは全く異なるものの、拠子コ

ロナ発生のメカニズムは同一のモデルで説明できる。

3.3 その他の考察

以上の実験は、環境条件やシリコンオイル蒸気の供給量及びコロナ放電条件によって大きく変わるもの、少なくとも図1に示したようなクラッド時の小さなキズがあるワイヤを使用する限り、カーボン処理タンクステンワイヤと比較して正コロナ放電における払子コロナが発生しやすいと考える。

もし、以上の考え方が正しければ電解研磨で表面を平滑にしたあと金メッキを $1\text{ }\mu\text{m}$ 程度の厚さで付けたいわゆる金メッキワイヤでは、少なくとも払子コロナが発生しにくいはずである。そこで、実際に金メッキワイヤで確認実験を行った結果、白金クラッドワイヤに比較して格段に払子コロナが発生しにくく、少なくとも 30 時間の連続コロナ放電においても払子コロナがみられなかつた。

なお、さらに詳細なメカニズムの検討については、今後実験を重ねて明確にして行きたい。

終わりに、本研究を進めるにあたって SEM 写真・EPMA 分析に協力いただいた(株)リコー・品質管理本部・門田靖主任に深く感謝します。

参考文献

- 1) 大倉 昇, 綱島功典, 吉沢達夫: 静電気学会誌, 14 (1990) 164
- 2) K. Nashimoto : Jpn. J. Appl. Phys., 26 (1987) L1138
- 3) K. Nashimoto : Jpn. J. Appl. Phys., 27 (1988) 892
- 4) 山崎憲明: 静電気学会誌, 12 (1988) 418
- 5) L.B. Loeb : *Electrical Coronas*, p.132, University of California Press (1965)
- 6) 細川辰三: 電子写真学会誌, 27 (1988) 561