

3 電極型電気集塵装置の逆電離現象 (I)

直流荷電の場合

増田 閃一*, 小畑 貞二**

(1980年2月8日受理)

Back Discharge in Trielectrode System (I)

DC-charging Case

S. MASUDA* and S. OBATA**

(Received February 8, 1980)

The back discharge in TEP (trielectrode electrostatic precipitator) has a remarkable characteristic, as compared to that in EP (conventional electrostatic precipitator). It can be classified into two modes; one which occurs between the discharge electrode and the counter electrode is called PBD (primary back discharge) and the other which occurs between the third electrode and the counter electrode is called SBD (secondary back discharge). The characteristic of PBD is similar to that of the back discharge in EP, but SBD is proper to TEP. In this paper we mainly show many phenomena about SBD; its onset, its appearance, the critical electrical field strength under which SBD cannot exist, its streamer current pulse form and its average current density. The above specifications change greatly according to the conditions of high resistivity material on the electrode. Such conditions are resistivity, density, width of material and whether the both electrodes of the third and the counter electrode are covered with it. At the end of this paper, we discuss about the way to prevent SBD.

1. ま え が き

われわれは3電極型電気集塵装置(以後TEPと略記)における逆電離現象について研究し、それが従来の2電極型電気集塵装置(以後EPと略記)における逆電離現象と多くの共通性を有する反面、相当異なった面を有することを見いだした。その中でもっとも著しい現象は、コロナ放電によって放電極と対向する対向電極上にいったん逆電離(一次逆電離という)が発生すると、ある条件のもとでこれが横方向に伝播し、本来コロナ電流の存在しない第3電極と対向電極間の非コロナ領域にも持続的な逆電離(二次逆電離という)を生ずる現象で、われ

われはこれを逆電離の伝播現象(lateral propagation of back discharge)と名付けた。その現象はたんにTEPのみでなく、EPにおいても放電支持棒と集塵極間で発生することがみとめられ、その防止はTEP、EPを問わず電気集塵装置の運転上きわめて重要な問題であることが明らかとなった。すなわち伝播した二次逆電離は持続性を有するので、逆電離を完全に防止するには一次逆電離の防止条件とともに二次逆電離の防止条件の両方を満たす方策を実施せねばならないからである。この二次逆電離はきわめて複雑な特性を有しているが、われわれはその外観、発生限界、電流パルス波形、平均電流密度について直流荷電とパルス荷電の両方の場合に対して詳細な研究を行ない、その実体を明らかにした¹⁻³⁾ので、以下に直流荷電の場合の結果を報告する。なおパルス荷電の場合については別に報告する。

2. 実 験 方 法

実験に用いた電極は本質的にTEPの基本構造を有したもので、その断面は図1に示すような形状をしている。対向電極は円板状、第3電極は中央に穴のある円板

* 東京大学工学部電気工学科 (113 東京都文京区本郷7-3-1) Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

** 石川島播磨重工業株式会社技術研究所基礎技術部 (135-91 東京都江東区豊洲 3-1-15) Fundamental Technology Department, Research Institute, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., 3-1-15, Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-91, Japan

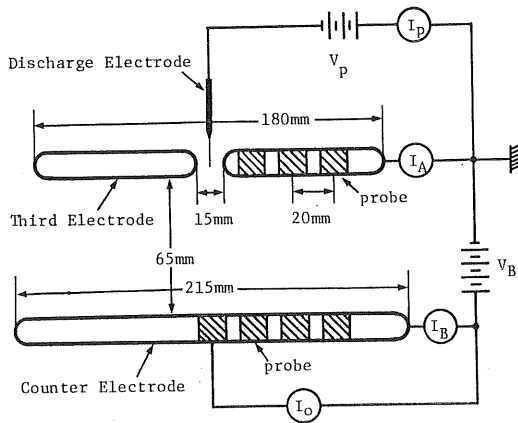
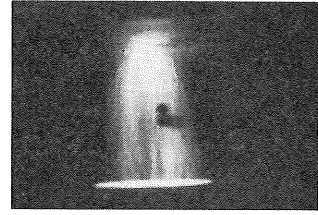


図1 実験装置
Fig. 1 Experimental apparatus.

ドーナツ状の円板からなり、放電極は針状でこの穴の中心に位置している。それぞれの電極には図1に示すような方法により二つの直流電圧、 V_p (放電極電圧)、 V_B (主電圧)が印加されている。対向電極と第3電極には多数のプロブ電極(斜線)を設置し、各部の局部電流密度の測定、および平行平板法による試料の抵抗率測定を行なうことができる。この実験では高抵抗試料としてダストの代りに市販のペーパータオルを用いた。これはダストに比較して取扱いが簡単で抵抗率が安定しており、かつ、周囲の空気の湿度を調整することにより容易に抵抗率を所望の値に設定できる利点がある。図1の装置を恒湿槽内に入れ常温常圧の空气中でその湿度を变化することにより試料の抵抗率 ρ_d を $10^{10} \sim 10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ の間の任意の値に設定することができた。この試料の欠点の一つはその密度が小さ過ぎることで、もとの状態のままでの充填率は2.4%と実在のダスト層にくらべてあまりにも低い。そこで実験にはもとの状態のものほかに、プレスで5倍の充填率に圧縮したものも利用した。本論文では前者を試料A、後者を試料Bと称する。厚さはともに1.2mmである。逆電離現象の観察にはイメージインテンシファイア(EMI A9912)を使用し、電流パルス波形の観察にはシンクロスコープ(TEKTRONIX-7844; 挿入抵抗 50 Ω)を用いた。以下試料抵抗率は ρ_d で示す。

3. TEP において発生する逆電離現象の概況

すでに述べたように TEP の逆電離には2種類の形態が存在する。一つは従来から知られているように放電極の針直下に発生する一次逆電離(primary back discharge; PBD)であり、もう一つは一次逆電離の伝播に



$E_1' = 4.9 \text{ kV/cm}$, $E_2 = 8 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$
Sample sheet B: Pressed towel papers with dense packing

図2 PBD ストリーマの外観
Fig. 2 Streamers of PBD.

よって対向電極と第3電極の間の非コロナ空間に発生する従来知られていなかった二次逆電離(secondary back discharge; SBD)である。PBDの外観の代表例として対向電極に試料Bを付着させたときの逆電離を図2に示す。PBDは試料密度、試料抵抗率、およびコロナ電流密度によりその外観が変化する。試料Aの場合には図2のものよりも発生するストリーマの束は細いものとなる。 $\rho_d < 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ の範囲では図2に示されるようなストリーマモードの逆電離が発生するが、 $\rho_d > 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ の範囲では電流密度を上げてストリーマの発生は弱く、主として低圧空气中で発生する定常グローモードの逆電離と類似の逆電離が発生する。一方、 $\rho_d < 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ の範囲でも電流密度が小さいときにはグローモードの逆電離が発生するが、これはオンセットグローモードの逆電離に相当する。

今まで述べてきた PBD は本質的に EP において発生する逆電離と異なるところが無いのに対し、次に述べる SBD は今までに知られていなかった新しい型の逆電離であり、非常に特異な性質を有している。その特徴を掲げると次のようになる。

- (i) SBD の発生域は本来コロナ放電によるイオン供給のない第3電極と対向電極間の非コロナ空間領域である。
- (ii) SBD は一般に PBD の発生によって引き起こされる。ただし例外として対向電極と第3電極の間でスパークを数回くり返した場合、あるいは SBD を1分以上の長さで継続して発生させたのち、電圧をいったん下げて SBD を消滅させ、その後短い時間内(1~数 min)で再び電圧を上昇させた場合には、PBD の助けなしにも SBD が発生しうる。これらの例外が起きるのは試料の抵抗率が $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上のときに限られる。
- (iii) SBD は対向電極のみに試料を付着させた場合にも対向電極と第3電極の両面に試料を付着させた

場合にも発生しうるが、その外観はまったく異なる。また、試料抵抗率 ρ_d によってもその外観は大きく変化する。

(iv) SBD の始発は主電界強度に対する依存性が非常に大きく、両電極間の主電界の値がある臨界値 E_c 以上にならないと発生しない。しかも、 E_c の値は試料付着場所、試料密度、試料抵抗率などにより大きく変化する。これに対し、PBD の始発はコロナ電流密度に依存し、その大きさにより PBD のモードも定まる傾向がある。

4. SBD の始発条件

PBD は放電極-対向電極間の平均主電界強度

$$E_1 = V_B / l_1 \quad (\text{kV/cm}) \quad (1)$$

と放電極から供給されるコロナ電流の電流密度 i_1 によって左右される。ここに V_B : 主電圧 (kV), l_1 : 放電極-対向電極間距離 (cm)。

ところで i_1 は通常かなり変動するので、ここでは i_1 の代わりに i_1 を支配する別のパラメータとして、放電極-第3電極間の平均電界強度 (以下電流パラメータと呼ぶことにする)

$$E_2 = V_p / l_2 \quad (\text{kV/cm}) \quad (2)$$

をとることにした。ただし V_p : 放電極電圧 (kV), l_2 : 放電極-第3電極間距離 (cm)。

次に SBD はすでに述べたように第3電極-対向電極間の平均電界強度で左右されるが、これは次式で定義される。

$$E_1' = V_B / l_1' \quad (\text{kV/cm}) \quad (3)$$

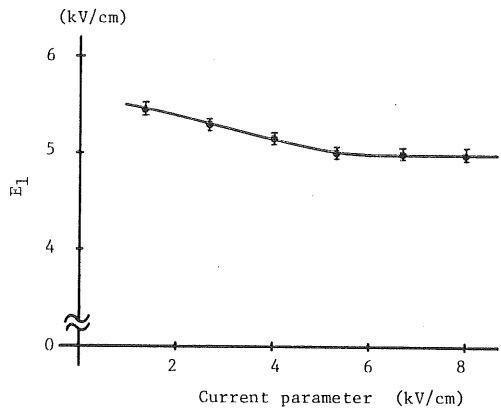
ここで、 l_1' : 第3電極-対向電極間距離 (cm)。

さて、すでに述べた二つの例外的な場合を除き、SBD を発生させるためには必ず PBD の存在下で主電界強度 E_1' をある臨界値 E_c 以上に上げる必要がある。 E_c の値は ρ_d の変化によっても、対向電極のみに試料を付着させた場合と、対向電極、第3電極の両方に試料を付着さ

せた場合とでも大差がないが、電流パラメータ E_2 により若干変化し、図3に示すような傾向を有する。この図に示す対向電極と第3電極の間の始発電界強度 E_c は、常温常圧の大気中で、ほぼ 5 kV/cm とストリーマ伝播条件に一致している。しかし E_c の値は後に示す SBD が消滅するための臨界電界強度 E_c' よりも高い値となる。上述の二つの例外的な SBD の発生条件についてはあまり再現性が良くなかったので数量的な検討は省略する。

5. SBD の 外 観

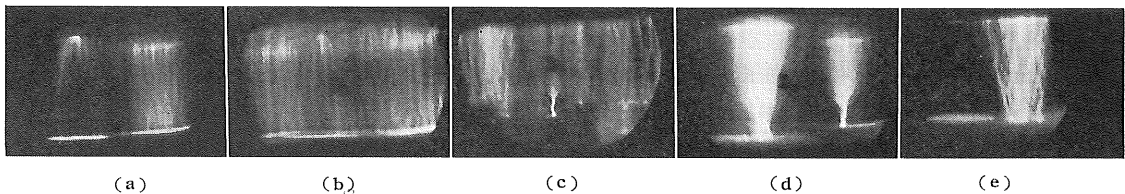
図4(a)~(e)に試料Aを対向電極のみに付着させた場合の各条件における SBD の外観を示す。試料Bの場合には、同一の外観を有する逆電離現象が1桁高い試料抵抗率において現われる。図4に示す SBD は第1にそのモードがストリーマモードであること、第2にそのストリーマは対向電極と第3電極の間を必ず橋絡していること、の二つの特徴を有する。このことから対向電極のみ



$\rho_d = 1.4 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$, Sample sheet A: Towel paper with large porosities

図3 SBD の始発電界強度

Fig. 3 Onset field strength of SBD.

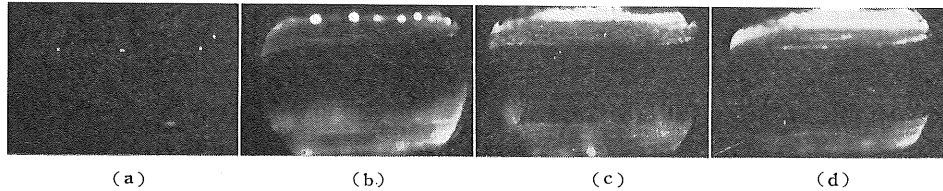


Sample sheet A, Covered electrode: Counter electrode only

図4 SBD ストリーマの外観

Fig. 4 Streamers of SBD.

- (a) $E_1' = 5.5 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$, (b) $E_1' = 5.1 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$,
- (c) $E_1' = 5.1 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$, (d) $E_1' = 5.4 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$,
- (e) $E_1' = 5.2 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.0 \times 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$.



Sample sheet B, Covered electrode: Both electrodes

図5 SBD ストリーマの外観

Fig. 5 Streamers of SBD.

(a) $E_1' = 6.9 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$, (b) $E_1' = 5.2 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$,
 (c) $E_1' = 5.2 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$, (d) $E_1' = 5.2 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$.

に試料を付着させた際に生ずる逆電離伝播の機構としては (ストリーマモードの一次逆電離→ストリーマ中に生じた負イオンの横方向への拡散→本来負コロナ電流の来ない領域にある対向電極上の試料上への上記負イオンの堆積→この部分の絶縁破壊による新しいストリーマモードの二次逆電離の発生→これにより生じた負イオンの横方向拡散→非コロナ領域全体への二次逆電離の伝播) というシナリオが考えられる。

図4(a) ($\rho_d \approx 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$) では, SBD のストリーマはまだ空間中には十分広がらず, 空間の一部にのみ発生する。しかもまだその持続性はなく, V_p を下げて PBD を消滅させると SBD も消滅する。また発生場所もかなり不安定で, 局部的に発生したストリーマは空間中を激しく動き回り 1カ所に止まることがない。

それより 1桁高い $\rho_d \approx 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ のもとでは図4(b)に示すような安定した SBD ストリーマが空間全体を覆うようになる。図にみられるように 1本 1本のストリーマは細い線状の外観を有し, 1本のストリーマの存在期間は非常に短い, 無数のストリーマが発生と消滅をくり返しているため, 空間は一見すると連続した淡い光を発生しているように見える。このようなストリーマは完全に持続性を有し, PBD の発生を止めてもストリーマは安定に持続する。

さらに ρ_d を上昇させると図4(c) ($\rho_d \approx 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$) にみられるように線状ストリーマとともにリーダー状の太い幹が現われるようになる。

さらに試料抵抗率を上昇させて $\rho_d > 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ にすると, SBD の外観は今までのものと一変し, 図4(d)にみられるように線状ストリーマが太い幹から分岐して生ずるものが今までよりも頻りに現われるようになる。その発生頻度は線状ストリーマにくらべると少なくなり, 一見すると間欠的に発生しているように見えるが周期は一定していない。

さらに $\rho_d \approx 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 付近にすると再び SBD の外観は一変し, 図4(e)のようにストリーマの発生点である

対向電極面上においてすでに多数の分岐を有するストリーマが発生するようになる。また, このときにはストリーマの発生頻度はさらに少なくなり, その発生周期は 5~10s 程度になる。

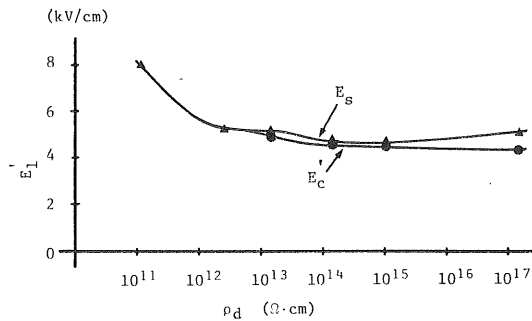
以上のように対向電極のみに試料を付着させた際に生ずる SBD は現象としてはきわめて興味が深い, 実際の TEP や EP ではたんに対向電極のみでなく第3電極や放電極支持枠もダストで覆われているのが普通である。その意味では対向電極と第3電極の両方に試料を付着させた場合の SBD の伝播現象のほうが実用上より大きな意味を持つ。この場合の逆電離の伝播機構は必ずしもストリーマの形成を必要とせず, (一次逆電離により発生した正イオンの第3電極上試料表面への堆積→この部分の絶縁破壊による第3電極上の二次逆電離の発生→これにより生じた負イオンの横方向への拡散と対向電極上の試料表面への堆積→この部分の絶縁破壊による対向電極上の逆電離の発生→非コロナ領域全体への二次逆電離の伝播) というプロセスが考えられる。

そこで図5(a)~(d)に試料Bを対向電極と第3電極の両面に付着させたときの SBD の外観を示す。このように試料を両面に付着させたときには SBD の外観は試料の密度により大きな影響を受けるようになる。試料Aのときの SBD の外観は試料を対向電極のみに付着させたときと大差なく, 同じストリーマが現われることが確かめられた。

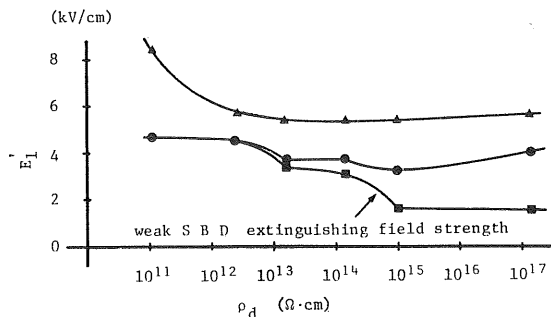
試料Bのときの外観は図5にみられるように対向電極のみに試料を付着させたとき(図4)の外観とまったく異なる様相を示す。全般的にストリーマはその長さが短くなり, 対向電極と第3電極の間を橋絡しなくなる。

図5(a) ($\rho_d \approx 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$) のときは電界強度を高くしないと SBD は発生しない。しかもストリーマが発達せず, 点状の光のみが両電極の試料表面上に観察される。

ρ_d を上げていくと図5(b) ($\rho_d \approx 10^{12} \Omega$) および(c) ($\rho_d \approx 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$) のときには対向電極面上においてストリーマが発生しているのがみられる。ただし, 第3電極面



(a) Sample B covering counter electrode.



(b) Sample B covering both electrodes.

図6 SBDの持続電界強度

Fig. 6 Self-sustaining threshold of SBD.

ではストリーマの発生はみられず、グローモードの逆電離が現われている。

ρ_d をさらに上げると図5(d)のような外観となり、第3電極面だけでなく対向電極面においてもグローモードの逆電離が現われ、ストリーマの発生は非常に弱くなる。さらに抵抗率を高くするとこのような傾向はますます顕著になり、逆電離の発光自身も非常に弱いものとなることが確認されている。

6. SBDの消滅する電界強度

前にも触れたようにSBDの始発条件のみでなく消滅条件に関しても主電界強度 E_1' が非常に重要な役割を果たしており、 E_1' をある臨界電界強度 E_c' 以下に下げるとSBDは消滅する。この E_c' は試料密度、試料抵抗率 ρ_d 、試料付着場所によりかなり大きく変化する。この E_c' は一般に E_c より若干低い値をとるのでTEPないしEPの運転に際してSBDの発生を完全に防止するには E_1' を E_c よりもむしろ E_c' 以下に保つ必要がある。というのは $E_1 < E_c$ として運転していても広大な集塵空間のどこかでPBDが偶発的に起こると、これが漸次に電極全体に伝播する可能性があるからである。したがって E_c' の傾向を詳細に把握することが重要となる。

図6(a),(b)に試料Bにおける E_c' と ρ_d の関係を示す。図中上の曲線は火花主電界強度 E_s であり、下の曲線は臨界主電界強度 E_c' である。図6(a)は試料を対向電極のみに付着した場合で、全般的に E_c' と E_s の間の範囲はかなり狭くなっている。同一条件のもとで試料密度のみを変化させた試料Aの場合にはこの範囲はもっと広くなり、とくに $10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗領域において E_s が上昇する傾向がみられた。

図6(b)では試料を対向電極と第3電極の両面に付着したときの E_c' と E_s の ρ_d との関係を示す。図6(a)と

比較すると E_s は高く、 E_c' は低くなって E_c' と E_s の間の範囲は大きく広がっている。このように E_c' が低下することはSBD防止上運転主電界強度を大きく下げる必要のあることを意味するので集塵性能上きわめて好ましくない傾向である。とくに ρ_d が $10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上になると、より低い E_1' の値で新たな非常に弱いSBDが発生することが確認された。この弱いSBDはその電流密度は非常に小さく(0.03 mA/m^2 以下)、発生する光もイメージインテンシファイアでしか見えない程度に弱いものであるが、試料抵抗率が $10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗領域になると E_1' がわずか 1.5 kV/cm 程度でも発生するようになる。ただし、このような高抵抗領域は実際の電気集塵装置において問題となる可能性は少ない。

同一の条件のもとにおける試料Aに対する E_c' と E_s の ρ_d に対する特性は試料Bの場合とまったく異なり、試料Aを対向電極のみに付着したとき(図6(b))と類似の結果が得られる。また、試料Aの場合には弱いSBDは発生しなかった。

7. PBDおよびSBDの電流パルス波形

次に、今まで述べてきたTEPの逆電離について、電流波形を観察した。PBDおよびSBDの電流パルス波形はその外観と同じく試料条件によってさまざまに変化する。しかし、同一の外観の逆電離についてはそれぞれに固有の電流波形が現われることが確認された。したがって、以下では電流パルス波形を外観と対応づけながら見ていくことにする。

最初に逆電離の伝播が生ずる条件下でのPBDの電流パルス波形を図7に示す。これは図2の外観に対応するものである。この場合の電流パルス波形は波高値、パルス幅ともに非常に再現性の良いものであった。これと同一の電流パルス波形はEPにおける逆電離ストリーマに

対しても現われることが確認されており、両者は同一モードのストリーマであるといえる。

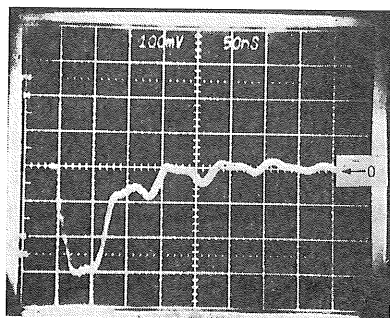
次に試料 A を対向電極のみに付着させたときの SBD の対向電極全体で検出した単一電流パルス波形を図 8 (a)~(c)に示す。図 8 (a)は図 4 (b)に示された線状ストリーマに対応する電流パルス波形で、パルス幅と波高値の再現性は非常に良いものであった。このときのパルス幅は図 7 の場合と比較すると大分長くなっている。興味あるのは、このときのストリーマ電流パルス波形は、電極上に試料を付着させないクリーンな状態における針対平板電極において、針電極にプラス電圧を印加したときに発生するプラスストリーマの電流パルス波形と、形状、パルス幅もほぼ一致していることで、両者はほぼ同一のモードのストリーマであると考えられることができる。図 8 (b)は図 4 (d)と同じ条件において観察された電流パルス波形である。しかしながら、この場合に観察される電流パルス波形は再現性が非常に悪く、ここに示すもの以外にも多くの形状の波形を観察することができたので、図 8 (b)の

電流パルス波形と図 4 (d)の外観を一義的に対応づけることは困難である。試料抵抗率 ρ_d がさらに高くなると図 8 (c)に示すようなパルス幅、波高値ともに非常に大きな電流パルス波形が観察されるようになる。このときに発生するストリーマの外観は、試料抵抗率、電界強度が異なっているが図 4 (e)に示されているものとはほぼ同一のものであった。

以上のように、試料を対向電極のみに付着させたときに観察されるストリーマ電流パルス波形の大きな特徴はパルス幅と波高値が大きく、それらが試料抵抗率 ρ_d の上昇につれてさらに大きくなることである。

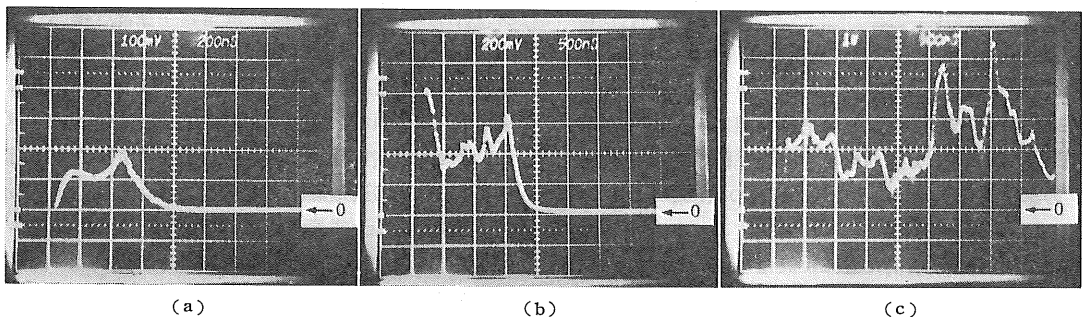
次に試料 B を対向電極と第 3 電極の両面に付着させたときの SBD の電流波形を図 9 (a), (b)に示す。この二つの波形は同一条件において観察したもので時間軸の大きさのみを異にしている。このときの外観は図 5 (b)に相当する。この条件において発生する SBD の電流波形の特徴は、パルス幅と波高値が今まで述べてきたものに比較してきわめて小さくなっていること、直流成分が含まれていること、図 9 (b)において周期的なくぼみ (正電流パルス) がみられること、の 3 点である。前の二つの特徴は試料抵抗率を変化しても共通に現われた。最後の特徴は試料抵抗率を $10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度にすると消えてしまうことが確認された。われわれは、このくぼみが発生するのは、このときに同時に発生している PBD が原因しているものと考えている。この条件における SBD では直流成分の占める割合が大きくなっているため、後に述べるようにこのときの平均電流密度は非常に大きいものとなる。

試料 A を対向電極と第 3 電極の両面に付着させたときの電流パルス波形ではあまり再現性のある結果は得られなかったが、代表的なものを図 10 に示す。この条件に



2 mA/div, 50 ns/div, $E_1' = 4.9 \text{ kV/cm}$, $E_2 = 6 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$, Sample sheet B

図 7 PBD ストリーマの電流パルス波形
Fig. 7 Current wave form of PBD.

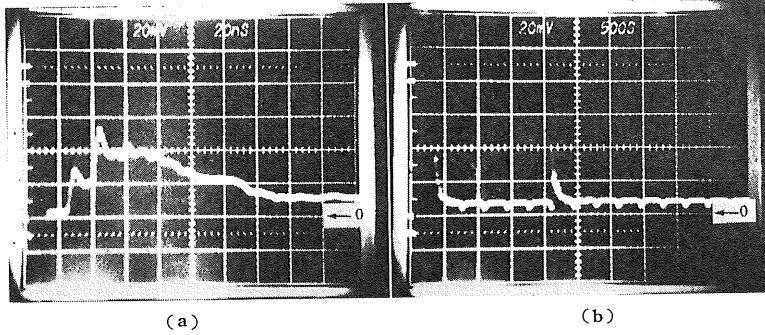


Sample sheet A covering counter electrode

図 8 SBD ストリーマの電流パルス波形

Fig. 8 Current wave form of SBD.

- (a) $E_1' = 5.1 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ (2 mA/div, 200 ns/div),
 (b) $E_1' = 5.5 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ (4 mA/div, 500 ns/div),
 (c) $E_1' = 6.9 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 2.9 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ (20 mA/div, 500 ns/div).



Sample sheet B covering both electrodes

図9 SBD ストリーマの電流パルス波形

Fig. 9 Current wave form of SBD.

- (a) $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ (0.4 mA/div, 20 ns/div),
 (b) $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ (0.4 mA/div, 500 ns/div).

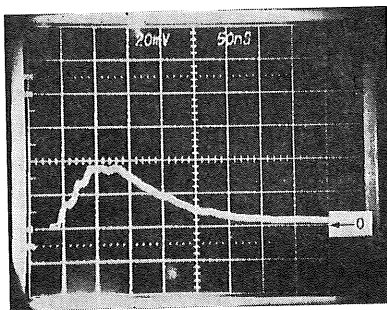
Sample sheet A covering both electrodes, $E_1' = 5.5 \text{ kV/cm}$, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$

図10 SBD ストリーマの電流パルス波形

Fig. 10 Current wave form of SBD.

において発生する SBD の外観はほとんど図4 (b)と同一のものであったが、図4 (b)の電流パルス波形 (図8 (a)) は図10の波形とまったく異なるものであった。

8. SBD の平均電流密度

SBD の発生による平均電流密度 i の増大は技術的に大きな意味をもつ。そこでこの i を種々のレベル ρ_d について第3電極から測定した結果を図11(a), (b)に示す。SBD の平均電流は対向電極と第3電極の間の電界強度 E_1' の影響を強く受けるうに、試料の抵抗率 ρ_d が異なると E_0' と E_s の値がそれぞれ変化するため、同一の電界強度でもその実質的な意味が異なってくる。したがって、電界強度についてはそれぞれの抵抗率における最大の値、つまりスパーク直前の電界強度を採用した。図6についていえば、上のスパーク電界強度 E_s の曲線よりも 0.2 kV/cm 程度低い電界強度における SBD の平均電流を示した。ただし放電極と第3電極の間の電界強度はゼロとした。

図11(a)は試料を対向電極のみに付着させたときの結果である。試料Cは試料Aを2枚重ねて使用したもので、このときの試料厚さは試料AおよびBの2倍の 2.4 mm である。また、 ρ_d が $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ の場合には SBD が十分な持続性を有しないのでその i は測定することができなかった。図に示されているように試料密度が大きくなるかまたは試料厚さが大きくなると、 i が大きくなる傾向がみられる。また、 ρ_d が高くなると i は極度に小さくなる。

図11(b)は試料を対向電極と第3電極の両面に付着させたときの結果である。試料A, Cの場合には図11(a)の場合と i にあまり大きな差は現われていないが、試料Bの場合には非常に大きな i が流れている。これは前の電流波形の節で述べたように i に多くの直流成分が含まれているためである。試料を両面に付着した場合にも高抵抗領域において i が減少する傾向がみられる。

9. 結 言

以上3電極型電気集塵装置の逆電離の特徴については次のようにまとめることができる。

- (i) 3電極型の場合には試料抵抗率 ρ_d が $1 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 程度を越えると一次逆電離および二次逆電離の2種類の逆電離が発生する。前者は放電極から発生するコロナ電流に起因するもので、その特性は空間の電界強度と電流密度に依存する。一方、後者は本来非コロナ空間であるべき第3電極と対向電極の間の空間に発生するもので、その発生と消滅は電界強度に依存する。
- (ii) 二次逆電離は対向電極と第3電極の間の電界強度 E_1' がある臨界値 E_c 以上の値にあるとき一次逆電離から供給される負イオンにより始発する。 $\rho_d >$

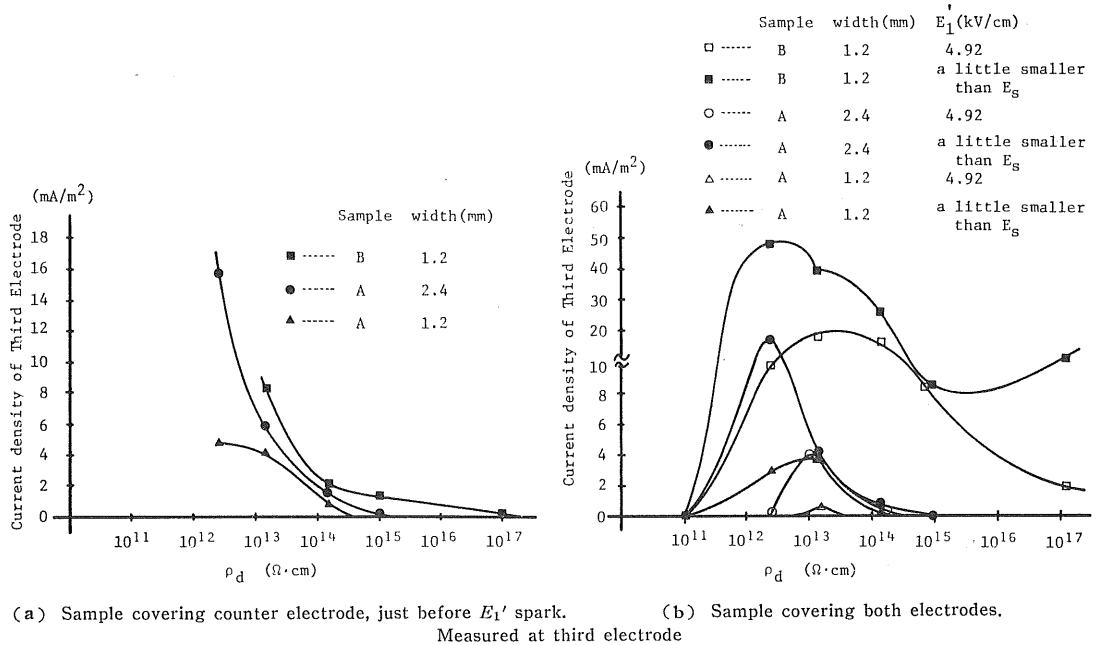


図 11 SBD の平均電流密度

Fig. 11 Average current density of SBD.

2.5×10¹²Ω·cm のときには一度二次逆電離が始発したあとは、その持続性のために一次逆電離が発生していなくても二次逆電離は存続する。このときに二次逆電離を消滅させるためには E_1' を E_c よりやや低い臨界値 E_c' 以下に低下させる必要がある。

- (iii) 二次逆電離コロナの様態は試料の付着場所、試料抵抗率などにより大きく変化する。
- (iv) 二次逆電離コロナの様態の変化に従って、そのときの電流パルス波形も特異な変化を示す。
- (v) 二次逆電離コロナの発生時にコロナ電流を第3電極から測定すると $\rho_d = 10^{12} \sim 10^{13}$ Ω·cm の付近において電流は最大となる。

最近 $\rho_d = 10^{11}$ Ω·cm 程度の抵抗率ダストを捕集中の大型2電極型電気集塵装置においても、上述の二次逆電離が放電極フレームと集塵極の間に発生するのがイメージインテンシファイアによる内部観察により見いだされた。したがって、上述の二次逆電離の防止はたんに3電極型のみならず従来型の2電極型電気集塵装置でも重要な問題となりうる。すなわち、一般に電気集塵装置の逆電離防止に当たっては、たんに一次逆電離の防止条件、 $i_d \times \rho_d < E_{ds}$ (E_{ds} :ダスト層の破壊電界強度) を満足するだけでなく、二次逆電離の防止条件達成にも努めなければならない。二次逆電離を防止するには主電界強度 E_1' を二次逆電離始発電界強度 E_c 以下にするのでは不

十分で、消滅臨界電界強度 E_c' 以下に保つ必要がある。というのは、たとえ主電界強度を E_c 以下に保つても、広大な電極面上の不整現象や運転条件の変動等により、どこかでいったん二次逆電極が偶発すればそれが持続する。これに反し、主電界強度を E_c' 以下にする限りいかなる電流パラメータのもとにおいても二次逆電離の伝播を防止することができるからである。もちろんこの場合、主電界強度 E_1' は若干下げざるをえない。しかしながらこの場合でも、集塵性能を維持するのに必要な最小限度の電界強度は保持できると考えられる。

最後に本研究は文部省科学研究費補助金(一般研究(A)-No. 342026)により行なわれた。本研究の遂行には文部技官阿久津頭右氏および当時学生の小倉良夫君より多大の助力を得た。これらに対しここに深甚の謝意を表明する次第である。

参 考 文 献

- 1) 増田閃一, 小畑貞二: 静電気学会講演論文集 '78, p. 91 (1978).
- 2) 増田閃一, 小畑貞二: 静電気学会講演論文集 '79, p. 35 (1979).
- 3) S. Masuda, S. Obata, and Y. Ogura: *Electrostatics 1979*, p. 9, London Conference Series No. 48, Institute of Physics (1979).