

論 文

3 電極型電気集塵装置の逆電離現象（II） パルス印加の場合

増田 閃一*, 小畠 貞二**

(1980年5月19日受理)

Back Discharge in Trielectrode System (II)

Pulse Charging Case

S. MASUDA* and S. OBATA**

(Received May 19, 1980)

In this paper is reported the back discharge at the trielectrode electrostatic precipitator (TEP) in which pulse voltage is applied. It has already been found that when DC voltage is applied, two different modes of back discharge occur: one is primary back discharge (PBD) and another is secondary back discharge (SBD), and these can not be easily prevented when DC voltage applied. When pulse voltage is applied, PBD can be much more easily prevented, although not completely. Whether SBD occurs or not depends mainly on the electrical field strength of the collecting space. And even if pulse voltage is applied, it is difficult to operate TEP above a critical field strength at which SBD extinguishes. On the other hand, the activity of PBD depends upon a current density on the collecting electrode. So, it is possible to inhibit PBD by applying pulse voltage which can easily lower the current density. Many phenomena concerning to PBD and mechanism to suppress the current density by applying pulse voltage are shown.

1. まえがき

先の論文においてわれわれは、3電極型電気集塵装置（以後 TEP と略称する）に直流電圧を印加したときの逆電離現象について詳細に報告し、それが2電極型電気集塵装置（以後 EP と略称する）において発生する逆電離現象と異なるきわめて特異な性質を有することを述べた。そのなかでとくに顕著な特徴は、TEPにおいては、放電極に直接向き合った対向電極上に発生する通常の逆電離（一次逆電離、PBD と略称する）のほか、その横方向への伝播によって第3電極と対向電極の間に発生する新たな逆電離（二次逆電離、SBD と略称する）が発生することで^{1,2)}、前者は電流依存性が大きく、後者は電

界依存性が大きい。本論文では、TEP の放電極にパルス電圧を印加したとき PBD および SBD の2種類の逆電離に対してどのような効果が現われるかについて報告する。なお、実験方法については前報²⁾に詳述したとおりであるので、本論文では省略する。また、本論文では次の記号を用いる。

- E'_1 : 第3電極-対向電極間の平均電界強度
- E_{2p} : 放電極に印加したパルス電圧のピーク値に対応する放電極-第3電極間の平均電界強度
- E_c : SBD 始発臨界電界強度 (E'_1 の値)
- E'_c : SBD 消滅臨界電界強度 (E'_1 の値)
- i_1 : 対向電極の平均電流密度
- i_{10} : 放電極直下に設けた直径 10 mm のプローブにより測定した対向電極の局部平均電流密度
- f_p : パルス繰返し周波数
- τ_p : パルス幅
- ρ_d : 試料抵抗率

2. パルス電圧印加時の TEP の逆電離の概況

TEPにおいて発生する上記2種類の逆電離のうち、PBD は EP において発生する逆電離と同一の種類に属

* 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 (135-91 東京都江東区豊洲 3-1-15)

Research Institute, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., 3-1-15, Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-91, Japan

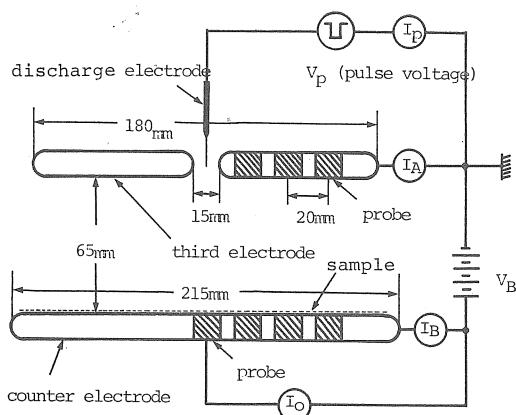


図 1 実験装置

Fig. 1 Experimental apparatus.

し、その発生と消滅、あるいはオンセットグローモードとストリーマモード相互間の移行は電流密度の大きさに依存する。それに対して、TEP に固有の逆電離である SBD が発生するためにはあらかじめその引き金の役目をもつ PBD が発生していることと、 E'_1 をある臨界値 E_c 以上に上げることが必要である。ただし、一度 SBD が始発し、安定な発生域に落ち着けば、その後は SBD は自続性を有し PBD をとり除いても存続するようになる。ただし、 E'_1 を E_c よりもやや低い臨界値 E'_c 以下に下げる SBD は自動的に消滅する。

TEP にパルス電圧を印加する際には図 1 に示されているように、対向電極と第 3 電極の間には集塵電界形成のために直流主電圧を印加し、第 3 電極と放電極の間にパルス電圧を印加する。したがって、SBD の始発をもたらす第 3 電極と対向電極間の電圧条件はパルス電圧の代りに直流電圧を印加した前報の場合と変化がない。事実、放電極と第 3 電極の間にパルス電圧を印加しても E'_1 が前報の発生条件を満足していれば SBD は前報とまったく同一の形態で発生する。つまり、SBD の始発後は SBD は放電極と第 3 電極の間の電圧条件の影響をまったく受けず、したがって、パルス電圧を印加してもいったん発生した SBD の自続を防止することはできない。ただし、放電極にパルス電圧を印加すると、後に述べるように SBD の始発の引金役となる PBD の発生が抑制されるという効果が現われる。そのため、パルス電圧印加方式を採用すれば SBD の始発も大幅に遅延するようになる。しかしながら、このような遅延効果は一時的なものであり、条件さえ整えば時間の経過とともにいずれは PBD が発生し SBD を誘発する可能性がある。前報でも述べたように E'_1 が E_c 以上であれば一部で

始発した SBD が全面に伝播する。したがってパルス電圧を印加しても $E'_1 > E_c'$ である限り SBD を完全に防止することはできない。

次に、パルス電圧印加時の PBD の発生状況をみてみると、直流電圧印加時と異なり、パルス条件 (f_p , τ_p , E_{2p}) の値を適当に選定することにより、PBD の直接的な発生要因となる放電極直下における電流密度を任意に減少させることができるので、パルス電圧を印加することによる PBD 発生の防止効果は非常に大きくなる。本稿ではこのときに発生する現象を中心にして、以下に詳細に述べる。

3. パルス電圧印加時の PBD の外観

パルス電圧印加時に発生する PBD の外観は、試料の付着場所、試料密度、 E'_1 , E_{2p} , i_1 , i_{10} , f_p , τ_p , ρ_d などに支配される。試料についてはこの実験では 2 種類のものを使用した。一つは市販のペーパタオルで、充填率 2.4%，厚さ 1.2 mm のものであり、もう一つは同じペーパタオル 5 枚をプレスにより 1.2 mm 厚に圧縮したもので、充填率は 12% である。本稿では前者を試料 A、後者を試料 B と称する。これらの試料を対向電極および第 3 電極の表面に付着させて実験を行なった。

PBD コロナはオンセットグローモード、ストリーマモードの二つの形態を有し、さらにある条件のもとでは逆電離そのものが発生しなくなる。この三つの場合のパラメータ E'_1 , E_{2p} , f_p , τ_p に対する発生領域を調べると表 1 に示すようになる。このときに用いた試料は B, ρ_d は $2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ である。表に示されているように、 f_p が高くなると（このときにはパルス電源の特性から τ_p が短くなる）ストリーマモード、またはグローモードの PBD が発生しやすくなる。 f_p が高くなると i_1 および i_{10} が上昇するので、上記のこととは電流密度が上昇すればグローモード、さらにストリーマモードの PBD が発生しやすくなることを示していると考えられる。同じ抵抗率で試料を B から A に変化させるとストリーマモードの PBD が発生しやすくなる。この理由についてはあるとて論じる。試料 Bにおいて ρ_d を $1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ に変化させると大部分の電圧印加条件でストリーマが発生するようになり、このような高抵抗の範囲ではパルス電圧による逆電離防止効果はなくなると考えられる。

次に、図 2 (1~19) に試料 B を用いたときの $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ における PBD ストリーマの外観写真を示す。ただし、各写真的ストリーマの実験条件は表 2 に示すとおりである。グローモードの逆電離は光の強度が弱く、イメージインテンシファイアを用いても写真撮影

表 1 PBD の発生様態と電圧印加条件の関係
Table 1 Modes of PBD and conditions of applied voltages.

Pulse frequency (Hz)	Pulse width (μs)	Duty factor	E_1' (kV/cm)	1.54		3.08		4.62	
			E_{2p} (kV/cm)	5.3	10.7	5.3	10.7	5.3	10.7
1,000	100	0.1		G	G	G	S	S	S
	50	0.05		G	G	G	S	S	S
	20	0.02		G	G	G	S	S	S
500	200	0.1		G	G	G	S	S	S
	100	0.05		G	G	G	G	G	S
	40	0.02		N	G	G	G	G	S
200	500	0.1		G	G	G	G	G	S
	250	0.05		N	G	G	G	G	S
	100	0.02		N	G	N	G	G	G
100	1,000	0.1		N	G	G	G	G	S
	500	0.05		N	G	G	G	G	G
	200	0.02		N	G	N	G	G	G
50	2,000	0.1		N	G	G	G	G	S
	1,000	0.05		N	G	N	G	G	G
	400	0.02		N	G	N	G	N	G
20	5,000	0.1		N	G	G	G	G	S
	2,500	0.05		N	G	N	G	G	G
	1,000	0.02		N	G	N	G	N	G

N : No back discharge, G : Glow mode, S : Streamer mode, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (covering counter electrode).

することができなかった。

図2からPBDストリーマは、パルス条件 (E_{2p} , τ_p , f_p) および主電界 E_1' に対して次のような依存性のあることがわかる。

(i) 一般的に周波数 f_p が高いほうが第3電極の放電極直下部平均電流密度 i_{10} が増加するため、ストリーマの発生は激しくなる。

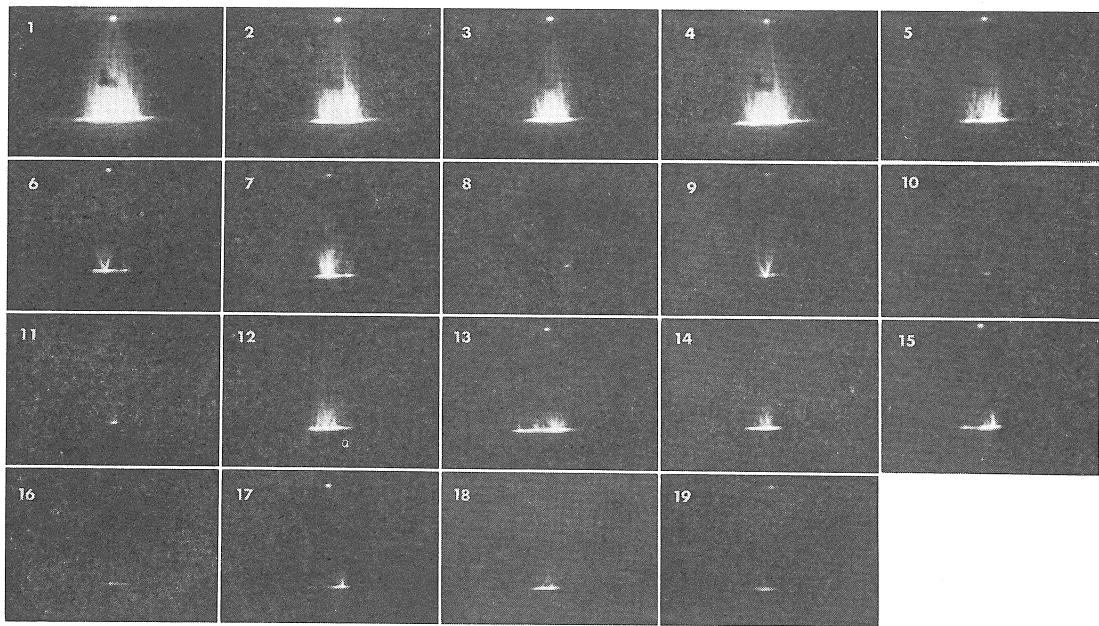
(ii) 一定の周波数 f_p のもとで τ_p が減少した場合、図2の1→3, または4→6においてみられるようにストリーマの発生域は放電極直下である第3電極の中央部に狭められる傾向にある。このときの第3電極面の電流密度変化をみてみると τ_p の減少に伴う i_1 の低下率は i_{10} の低下率よりも大きくなっている。これはストリーマ電流が外観と同じく第3電極の中央部に集中しようとする傾向の現れとみることができる。

(iii) E_{2p} が低下するとストリーマの発生域が第3電極の中央部に狭められるとともにストリーマの発生そのものが弱くなる傾向が出てくる。このことは図2の1と12を比較すると明瞭に現われている。こ

のときの i_1 , i_{10} を比較すると電流についても同じことがいえることがわかる。

(iv) E_1' が低下するとストリーマの発生が弱くなる。このことは図2の1と13を比較すると確認できる。12と13を比較すると、 i_1 の値が同一であるにもかかわらず12のほうが i_{10} の値が大きくなっている。このことは E_1' を大きくして E_{2p} を小さくすると放電極から発生したコロナ電流が第3電極の中央部に集中し、中央部で逆電離が発生しやすくなる傾向があるためと考えられる。

このPBDの観察において見いだされた重要な事実は、グローモードおよびストリーマモードの逆電離コロナの発生する臨界電流密度が存在するということである。試料B, $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ の場合には、パルス条件および主電界によらずグローモードのPBDは i_{10} の値で 0.17 mA/m^2 以上, 0.76 mA/m^2 以下の範囲で発生することが判明した。 0.17 mA/m^2 以下では逆電離は発生せず、 0.76 mA/m^2 以上ではストリーマモードの逆電離が発生する。試料層内の電界強度が i_{10} と ρ_d の積により与えられると仮定すると、グローモードの発生



$\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (counter electrode covering), Condition of applied voltage is same as Table 2.

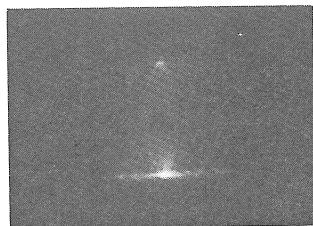
図 2 PBD ストリーマの外観 (I)

Fig. 2 Photographs of PBD streamers (I).

表 2 図 2 における実験条件

Table 2 Experimental conditions in Fig. 2.

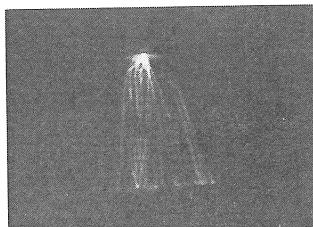
No.	f_p (Hz)	τ_p (μs)	E_1' (kV/cm)	E_{2p} (kV/cm)	i_1 (mA/m ²)	i_{10} (mA/m ²)
1	1,000	100	4.6	10.7	0.23	14.0
2	1,000	50	4.6	10.7	0.15	11.5
3	1,000	20	4.6	10.7	0.11	11.5
4	500	200	4.6	10.7	0.13	7.0
5	500	100	4.6	10.7	0.08	5.1
6	500	40	4.6	10.7	0.05	5.3
7	200	500	4.6	10.7	0.07	7.0
8	200	250	4.6	10.7	0.04	1.9
9	100	1,000	4.6	10.7	0.05	4.2
10	50	2,000	4.6	10.7	0.04	0.8
11	20	5,000	4.6	10.7	0.04	0.9
12	1,000	100	4.6	5.3	0.09	7.0
13	1,000	100	3.1	10.7	0.09	4.2
14	1,000	50	4.6	5.3	0.06	3.8
15	1,000	50	3.1	10.7	0.07	3.8
16	1,000	20	4.6	5.3	0.03	1.9
17	1,000	20	3.1	10.7	0.06	1.0
18	500	200	4.6	5.3	0.04	1.9
19	500	200	3.1	10.7	0.05	1.5



$\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (covering counter electrode), $f_p = 100 \text{ Hz}$, $\tau_p = 1 \text{ ms}$, $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $E_{2p} = 10.7 \text{ kV/cm}$, $i_1 = 0.18 \text{ mA/m}^2$, $i_{10} = 2.9 \text{ mA/m}^2$.

図 3 PBD ストリーマの外観 (II)

Fig. 3 Photographs of PBD streamer (II).



$\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen A (covering counter electrode), $f_p = 100 \text{ Hz}$, $\tau_p = 1 \text{ ms}$, $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $E_{2p} = 10.7 \text{ kV/cm}$, $i_1 = 0.13 \text{ mA}$, $i_{10} = 2.6 \text{ mA/m}^2$.

図 4 PBD ストリーマの外観 (III)

Fig. 4 Photographs of PBD streamer (III).

する最小電流密度における試料層内の見掛け電界強度は 42.5 kV/cm となる。この値は他の文献において述べられている破壊電界強度よりも高い値である。ただし、 $f_p = 20 \text{ Hz}$ の場合には 0.04 mA/m^2 以上の電流密度においてグローモードの逆電離が発生し、さらにストリーマモードにおいてもストリーマがとくに激しく発生することが確認された。このことは、 $f_p = 20 \text{ Hz}$ の場合 τ_p が大きくなることに起因するもので、この点については後で再び論じる。

次に試料Bにおいて ρ_d を $1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ に変化させるとストリーマの形態に変化が生じ、対向電極で発生したストリーマが放電極のみでなく第3電極のほうへも向かう傾向が出てくる。その代表例を図3に示す。この試料条件の場合にも前に述べた(i)~(iv)の関係は成り立っている。しかし、逆電離の発生する臨界電流密度は非常に小さくなり、ストリーマモードの発生する最小電流密度は 0.03 mA/m^2 、グローモードのそれは 0.03 mA/m^2 となる。逆電離の発生を防止するためには i_{10} をグローモードの最小電流密度以下の値にしなければならず、このような値は達成困難であるとともにたとえ達成できても電流密度が低すぎてダストの荷電に要する時間が大きくなりすぎ実用上あまり意味をなさなくなる。

試料A、 $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ の場合のストリーマの外観の代表例を図4に示す。この場合にはストリーマの密度が試料Bよりも粗になる。ただし、電流印加条件を同一としたときの試料Aと試料Bにおけるストリーマの外観を比較すると(図4と図2の9の比較)，明らかに試料Aのほうがストリーマは発生しやすくなっている。このことは試料Aにおいてストリーマモードの逆電離が発生する最小電流密度が試料Bのときよりも低下して 0.51 mA/m^2 になると関係があると考えられる。グローモードの逆電離の発生する最小電流密度は試料Bの場合と同じであった。

4. PBD コロナの電流密度特性

PBDコロナ発生時の電流密度 i_{10} と E_{2p} の間の関係を図5に示す。参考のため図5(a)に電極表面に試料を付着しないクリーン状態の特性を示す。これらの特性には次のような特徴がみられる。

- (i) 前の論文で報告した直流電圧印加時の電流密度特性と比較すると、パルス電圧を印加した場合にはPBDコロナ発生時の電流密度が低下し、パルス電圧には逆電離を抑制する効果がある。
- (ii) 試料Aと試料Bとでは特性が大きく変化する。試料Bの場合にはクリーン状態よりも電流密度が低下する傾向があるのに対して、試料Aの場合にはそのような傾向がみられない。これは試料の密度が大きくなると試料そのものに電流を抑制する効果が出てくるためと考えられる。このことは実際の電気集塵装置においてもしばしば経験することである。前の論文でも述べたように直流電圧を印加したときは電流が流れ始めると同時にストリーマモードのPBDコロナが始発し、高密度試料が電流を抑制する効果は現われてこない。
- (iii) 試料Bの電流抑制効果が現われるのは逆電離が発生しない場合、およびグローモードの逆電離が発生する場合で、ストリーマモードの逆電離が発生すると電流は急激に上昇し、この効果が解消する傾向にある。

図5では試料を対向電極のみに付着させた場合の特性を示すが、試料を対向電極と第3電極の両面に付着させると電流密度はさらに低下する傾向にある。このような傾向は電気集塵装置の特性上あまり好ましくないので、実際の電気集塵装置の場合には槌打により第3電極に付着したダストを落とすようにしなければならない。

以上の結果から、実際の電気集塵装置にパルス電圧を印加したとき、どの程度逆電離を防止することができるかが問題となる。このときには図5(b)の特性からダス

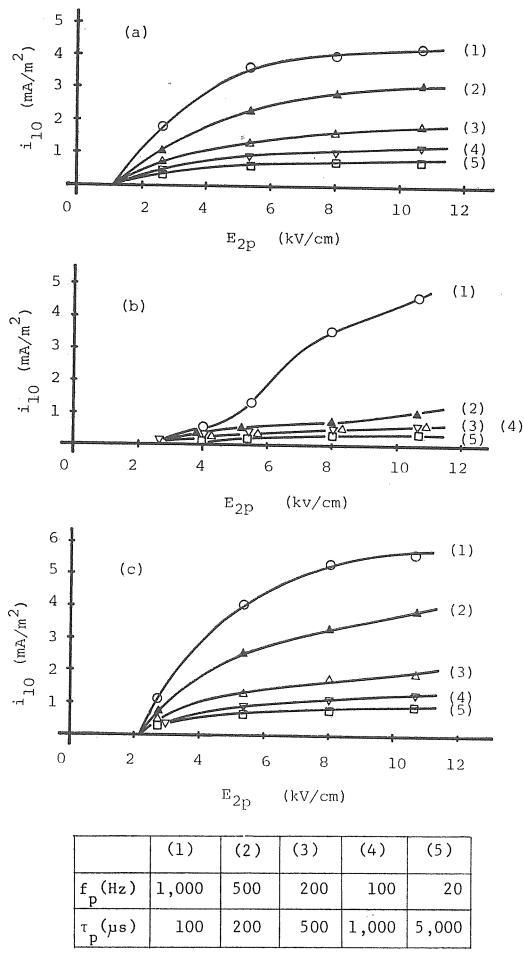


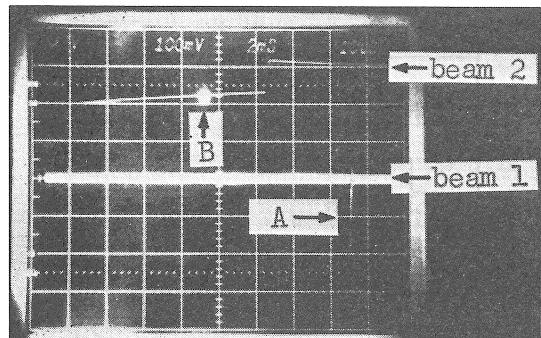
図 5 PBD 発生時のパルス電界強度-電流密度特性
Fig. 5 Relationship between current density and pulse field strength for PBD.

(a) : No sample, (b) : Specimen B, (c) : Specimen A,
(b), (c) : $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, counter electrode covered.

ト自身の充填率が問題となるが、電気集塵装置のダスト層の充填率は 20~50% といわれており、試料 B の充填率よりも大きい。したがって、ダストを対象とする場合にもパルス電圧によるコロナ電流の抑制効果は現われ、逆電離をかなり抑制することができると考えられる。

5. 印加パルス電圧波形と PBD ストリーマ発生時期の関係

パルス電圧を印加したときの PBD ストリーマの発生時期を詳細に観察した結果、それがパルス電圧の立ち上がりよりも遅れることがわかった。この観察には 2 ビームのシンクロスコープを用いた。このときに観察された波形の例を図 6 に示す。ビーム 1 は電流波形を示し A でスト



$\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (covering counter electrode), $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $E_2p = 10.7 \text{ kV/cm}$.

図 6 パルス電圧波形と PBD ストリーマ電流波形

Fig. 6 Wave forms of pulse voltage and PBD streamer current.

Beam 1 : Current waveform (streamer occurs at point A),
10 $\mu\text{s}/\text{div}$, 2 mA/div.

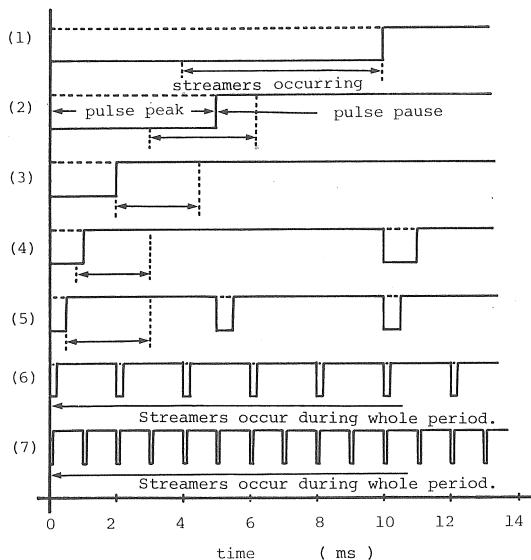
Beam 2 : Pulse voltage waveform (point B is start of sweep of beam 1), $f_p = 10 \text{ Hz}$, $\tau_p = 10 \text{ ms}$, 2 ms/div,
8 kV/div.

リーマが発生している。ビーム 2 は印加パルス電圧の波形を示す。B はビーム 1 の掃引開始時点を示す。重要なのは、印加パルス電圧のどの位相でビーム 1 を掃引するとストリーマパルスが現われるかということである。観察によると印加パルス電圧の周波数およびパルス幅の値によりストリーマの発生する時期が異なってくる。図 7 にそれぞれの印加パルス電圧波形とストリーマ発生時期の関係を示す。図においてストリーマは矢印で示す時間範囲内で発生した。この測定は $\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ におけるものであるが、 $\rho_d = 1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$ の場合にもほとんど同じ結果が得られた。

図 7 の特徴を要約すると次のようになる。

- (i) 10~20 Hz の場合にはストリーマの発生時期は印加パルス電圧と一部またはすべての範囲で重なっている。
- (ii) 50~200 Hz の場合にはストリーマの発生時期と印加パルス電圧との重なり時間はほとんどなくなる。
- (iii) 500~1,000 Hz の場合にはストリーマは印加パルス電圧よりも遅れて発生し、かつその発生時期は印加パルス電圧の位相とは無関係となりランダムに発生するようになる。

10~20 Hz における (i) のような傾向は、ストリーマの外観のところで述べたように、20 Hz においてグローモードおよびストリーマモードの逆電離が発生しやすくなったことと関係があると考えられる。つまり PBD ストリーマの発生時期と印加パルス電圧が重なるとスト



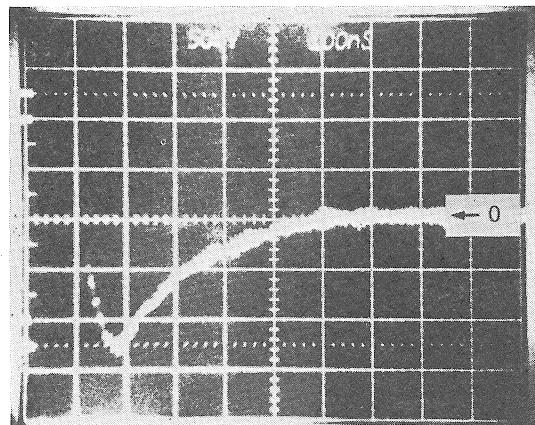
$\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (counter electrode covering).

図 7 印加パルス電圧波形と PBD ストリーマ発生時期
Fig. 7 Time lag of PBD streamer from pulse voltage.

リーマの進展する空間の電界強度が強くなり、ストリーマの進展は強められ、ひいてはスパーク電圧の低下をもたらす。このことは電気集塵装置にとって好ましくない現象であるのでパルス周波数を下げパルス幅をむやみに長くすることは避けなければならない。

50~200 Hz における(ii)のような傾向は上記の問題が少ないので非常に好ましい。ただし、印加パルス電圧が下がり放電極からマイナスイオンの放出が休止したあとストリーマが発生するまでに最大 2.5 ms の遅れがある。この条件下でマイナスイオンの放電極から対向電極までの移動時間が約 600~700 μs であることを考えると、この遅れ時間にはイオン走行時間以外の要因も原因をなしていると考えられる。この原因について推察することは困難であるが、ここでとりあげた条件だけでなく別の条件においても逆電離の遅れ時間とイオン走行時間との間には同様な時間のずれが存在することがすでに確かめられている^{3,4)}。

500~1,000 Hz の場合には(iii)で述べたような傾向があるためストリーマの発生時期を印加パルス電圧により制御することはできなくなる。このようなパルス条件のもとでは、(1)パルスごとに発生するイオンの量が多く



$\rho_d = 2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$, Specimen B (covering counter electrode), $f_p = 10 \text{ Hz}$, $\tau_p = 10 \text{ ms}$, $E_1' = 4.6 \text{ kV/cm}$, $E_{2p} = 10.7 \text{ kV/cm}$, 100 ms/div, 1 mA/div.

図 8 PBD ストリーマパルス電流波形

Fig. 8 Wave form of PBD streamer current.

なること、(2)その量を減らすためパルス幅を小さくすると電流の集中が起きることの二つの理由で逆電離が発生しやすくなる。

図 8 にパルス電圧を印加したときの PBD ストリーマの電流波形を示す。この波形は前の論文で報告した直流電圧印加時の PBD ストリーマの電流波形と同一のモードにあると考えられる。

6. 結 言

本論文で述べたパルス電圧印加方式には逆電離を防止するうえで、次のような長所があるものと考えられる。

- (i) 放電極にパルス電圧を印加すれば直流電圧を印加するときよりも SBD の始発を大幅に遅らせることができる。しかしこれを完全に防止することは不可能であり、かついったん SBD が始発するとその後の経過はパルス電圧の使用に無関係となって伝播し、自続性を示す。
- (ii) パルス条件 (E_{2p} , f_p , τ_p) を適当に設定すれば放電極から発生するコロナ電流を制御することができる。PBD の発生を抑制することができる。
- (iii) ダストに近い密度を有する試料 B の場合、パルス電圧印加時には試料自体による電流抑制効果も出てくる。
- (iv) 放電極から発生したイオンが試料面に到達し、ストリーマを誘起するまでに最大 2 ms 程度の遅れがある。そのためパルス幅を適当に選定すればパルス電圧とストリーマの発生時期をずらすことができる。これにより発生したストリーマは弱くなると

ともに、スパークへの移行を防止できる。
ここに挙げた四つの点以外にパルス電圧によるコロナ電流の分散効果も逆電離を防止するうえで重要な要素と考えられている。しかしながら、この研究で用いた電極では電極間隔が小さいためにその効果を十分に確かめることができなかった。

なお、3電極型電気集塵装置にパルス電圧(パルス幅10 ms および 1 ms)を印加し、実ガス条件のもとで運動したときの性能については文献 5) を参照されることを希望する。

最後に本研究を実施するに当り実験を担当した卒論生小倉良夫君に深甚の謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) S. Masuda, S. Obata and Y. Ogura : *Electrostatics 1979*, Conference Series No. 48, p. 9, Institute of Physics, London (1979).
- 2) 増田閃一, 小畠貞二: 静電気学会誌, 4, 6 (1980), 372.
- 3) S. Masuda and A. Mizuno : *J. Electrostatics*, 2 (1976/1977), 375.
- 4) 増田閃一, 水野 彰: 静電気学会誌, 2, 2 (1978), 114.
- 5) S. Masuda, I. Doi, I. Hattori and A. Shibuya: *IEEE/IAS 1977 Annual Meeting*, p. 875 (1977).