

## 帯電防止型フレキシブルコンテナと絶縁性内袋の併用時に 起こり得る沿面放電の特徴とその対策\*

山隈瑞樹\*\*, 児玉 勉\*\*

### Propagating Brush Discharge Occurring on Insulating Inner-Bag Used with Anti-Static FIBC and Its Countermeasures\*

by Mizuki YAMAGUMA\*\* and Tsutomu KODAMA\*\*

**Abstract:** An energetic form of discharge called the propagating brush discharge (PBD) was studied in view of a hazard assessment during the operation of an anti-static flexible intermediate bulk container (FIBC) with a highly insulating inner-bag. The conditions for producing PBDs were investigated using various kinds of materials of FIBC and insulating films made of polyethylene-terephthalate. The magnitude of PBD greatly depended on the structure and the resistivity of the FIBC materials. A material having fine conductive threads for dissipating static-charges, for example, was possible to produce extremely energetic PBDs due to an ionizing process on its threads. A less conductive, dissipating rubber type, however, produced rather weak discharges. In all conditions experimented, PBDs easily exceeded the critical level above which flammable gas or vapor can be ignited. This means that any level of PBD has to be avoided in the atmosphere where flammable gas/vapor exists. Two countermeasures to prevent the PBD were tried. Pinholes on an insulating sheet mitigated the charge accumulation, and when the interval of the pinholes was 4 cm or less, PBDs were no longer observed. Giving conductivity to the surface of an insulating film was also found to be effective for the prevention of the PBD if the level of static charge was relatively small.

**Keywords;** Flexible intermediate bulk container, Propagating brush discharge, Brush discharge, Corona discharge, Dust explosion, Pinhole

### 1. 緒 言

フレキシブルコンテナ (以下, フレコン) は, 200 kg ~1000 kg 程度の収容力を持ち, 柔軟な素材で作られた袋状の容器であり, 化学工場を中心に粉体やペレット等の不定形原材料の大量保管・輸送に用いられている。通常, 粉体原料等を詰めたフレコンを目的地の化学工場等へ搬入した後は, 内容物を直接フレコンから反応容器等へ移し替える操作を労働者が手作業で行うことが多い。このとき内容物とフレコンの内壁が強く摩擦して静電気が発生し, 労働者が電撃を受けたり, 周囲

の電氣的条件によってはエネルギーの大きな静電気放電を誘発し, 付近の爆発性混合気に着火して爆発・火災を引き起こすこともある<sup>1)</sup>。このような静電気対策として帯電防止機能を有するフレコンが既に開発・市販されている。帯電防止機能を実現するために, ①フレコン生地全体をほぼ均等に導電化する, ②導電性素材で作られた糸状の細線を絶縁性生地に適当な間隔で縫い込む, という二つの手法が主流であり, いずれの手法であっても適切な方法 (特に接地) で用いる限り災害防止には十分効果的のように思われる。

ところが, 製薬, 食品産業においては, 原材料の汚

\* 平成 12 年 9 月 26 日, 第 4 回日米合同静電気シンポジウム (京都) 及び平成 12 年 10 月 10 日, IEEE-IAS 年次会合 (ローマ) において一部口頭発表。

\*\* 物理工学安全研究部 Physical Engineering Safety Research Division

染が厳しく管理されているため、止むを得ずフレコンの内側に合成樹脂製の袋（内袋）を使用している实例が多く見られる。内袋の素材にはポリエチレン等の絶縁性の高いものが多いので、帯電防止型フレコンを使用していたとしても、その効果は減殺されることが予想される。特に、絶縁性のフィルムが接地した金属に密着した場合に、フィルムに大量の電荷が蓄積して発生する沿面放電は、その放電エネルギーが非常に大きく、着火性も極めて高いものであるため、嚴重な注意が必要である。

一般的な沿面放電の発生条件については、既に詳しく調べられている<sup>2)</sup>。しかし、帯電防止型フレコンが接地背板として機能する場合の放電の特性及び発生条件についてはほとんど知られていない。そこで、日本国内及び海外で現在市販されている帯電防止型フレコンを使用して、絶縁性フィルムと組み合わせた場合に、どのような放電が発生するか、また、もし沿面放電が発生する場合には、どのようにして防止すればよいかについて実験的に検討したので報告する。

なお、本論文における『沿面放電』という用語は、英語の“propagating brush discharge”と同意義のものであり、電気以外の分野では別の概念を示す用語として用いられている（例えば、高電圧工学では碍子表面を走るせん絡放電を意味する。）ので注意を要する。

## 2. 実験装置及び方法

### 2.1 フレコンのサンプル及び帯電フィルム

本研究で使用した帯電防止型フレコンは以下の3種類である。それぞれの外観を Fig. 1(a)~(c) に示す。各フレコンから正方形 (30 cm × 30 cm) の領域を切り抜き、その一辺に接地端子用として幅 1 cm のアルミニウムのプレートを取り付けた。

#### (1) 金属系導電性繊維型 (以下, MF と略称)

ポリエチレン製の生地に金属系導電性加工糸 (1m 当たりの電気抵抗  $1.0 \times 10^4 \Omega$ ) を 26 mm 間隔で格子状に縫い込んだもの。厚さは 0.53 mm である。

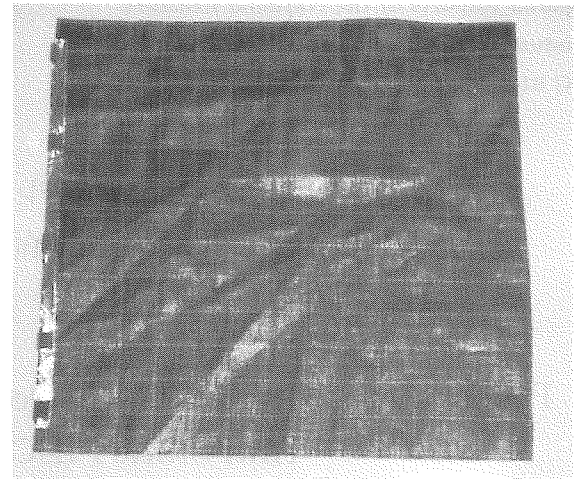
#### (2) 炭素系導電性繊維型 (以下, CF と略称)

ポリエチレン製の生地に炭素系導電性加工糸 (1m 当たりの電気抵抗  $1.0 \times 10^6 \Omega$ ) を 45 mm 間隔で格子状に縫い込んだもの。厚さは 0.48 mm である。

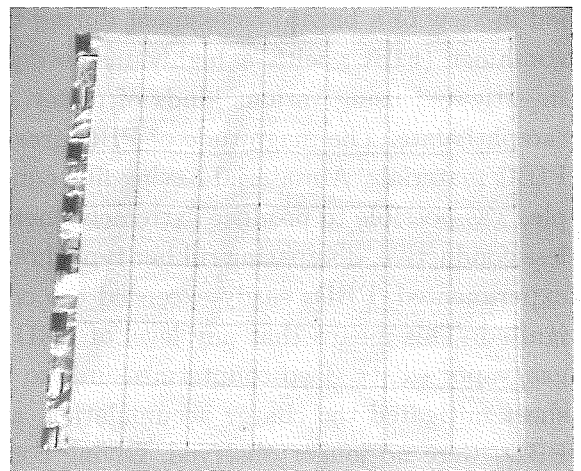
#### (3) 導電性ゴム型 (以下, DR と略称)

導電性ゴム引の生地で作られたもの。厚み方向の体積抵抗率及び表面抵抗率は、それぞれ  $1.8 \times 10^8 \Omega \cdot m$  及び  $2.8 \times 10^8 \Omega$  である。厚さは 0.85 mm である。

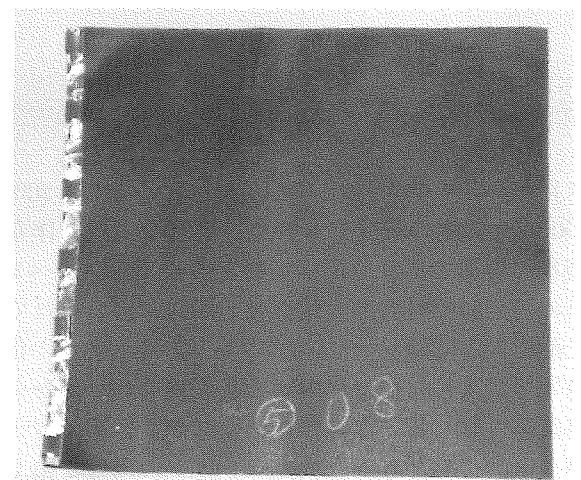
また、帯電用絶縁フィルムとして厚さ 0.10 mm のポリエチレンテレフタレート (PET) フィルムを 35



(a) Conducting metallic fiber type (MF)  
金属系導電性繊維型



(b) Dissipating carbon fiber type (CF)  
炭素系導電性繊維型



(c) Dissipating rubber type (DR)  
導電性ゴム型

Fig. 1 Photographs of anti-static FIBC samples.  
帯電防止型フレコンのサンプル

cm×35 cm に切り抜いたものを用いた。厚み方向の体積抵抗率及び表面抵抗率は、それぞれ  $1.4 \times 10^{14} \Omega \cdot \text{m}$  及び  $7.5 \times 10^{14} \Omega$  である。なお、実験はすべて  $22^\circ\text{C}$ 、50%RH の室内環境で実施した。

## 2.2 帯電及び放電方法

実験装置の構成を Fig. 2 に示す。アルミニウム製プレートを手水平に保持し、その上に幅 50 cm×50 cm、厚さ 5 mm のテフロン製シートを置いた。更にその上に、Fig. 3 に示すように、フレコンのサンプル (実験中常時接地)、PET フィルムの順に重ねた。なお、ここでテフロン製シートを用いたのは、アルミニウム製プレートとフレコンのサンプルを電気的に絶縁するためであり、後述する実験結果から判断する限り、テフロン製シートが本研究の目的に照らして何らかの重大な影響を及ぼしたとは思われない。

PET フィルムの帯電は、負極性直流コロナ放電によって発生したイオンを吹き付けることにより行った。コロナ放電用電極は、ステンレス製の針を 10 mm 間隔で 11 本を直列に埋め込んだ構造となっており (Fig. 3)、針先と PET フィルム表面の間隔が 10 mm となるよう水平にホルダーで固定した。このホルダーは更に水平方向に二次元的な移動が可能な電動ステージに取り付けられており、任意の範囲を任意の時間でスキャンすることができる。本実験では、PET フィルムのほぼ中央部分で 20 cm×20 cm の領域を約 17 sec でスキャンして帯電させた。帯電作業完了後速やかに、Fig. 4 に示すように、接地した金属球電極 (直径 12.7 mm) を帯電領域のほぼ中央付近に徐々に接近させ、放電を発生させた。放電前後の PET フィルムの帯電電位は表面電位計 (Kasuga KSD-0103) を用いて測定した。また、放電時の電流波形をカレントプローブ (Textronix A6302) でピックアップし、これをデジタルオシロスコープ (Textronix TDS520) に取り込んで観測するとともに、パーソナルコンピュータでデータ処理を行うことにより電荷量等を計算した。

## 2.3 沿面放電の防止対策

本研究では、沿面放電の防止対策として、①帯電電荷量を制限する、②フィルムの表面の導電率を変化させて沿面放電の発生確率又は放電時のエネルギーを制限する、という二つの方法を試みた。

### (1) ピンホールによる帯電量の制限

Fig. 5(a) に示すように、PET フィルムに予め所定の間隔でピンホールを作り、荷電時に同ピンホールから発生するコロナ放電による電荷の中和作用を利用して帯電量を制限する。

### (2) 表面導電率の変化による放電エネルギー等の制限

Fig. 5(b) に示すように、PET フィルムの荷電領域に予め帯電防止剤を塗布してその表面導電率を大きくし、荷電帯電後に放電を発生させ、その放電状態 (種類及びエネルギー) を測定する。

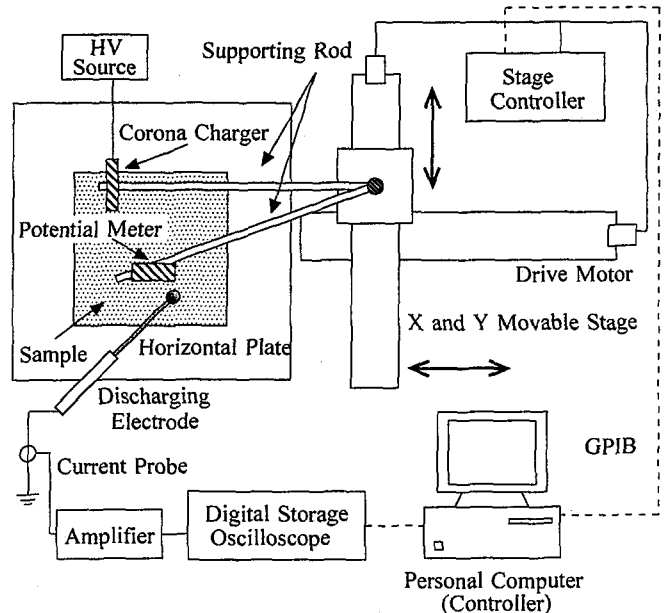


Fig. 2 Schematic diagram of testing apparatus.  
沿面放電実験装置の構成

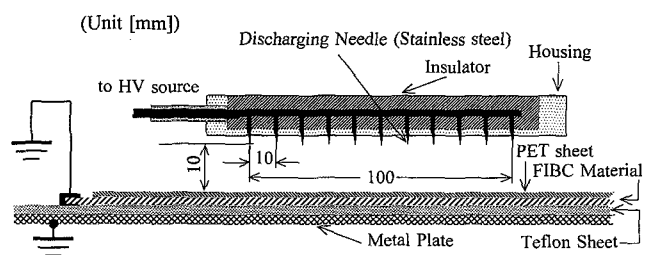


Fig. 3 Structure of corona charger and arrangement of materials.  
コロナ荷電装置及び試料の配置方法

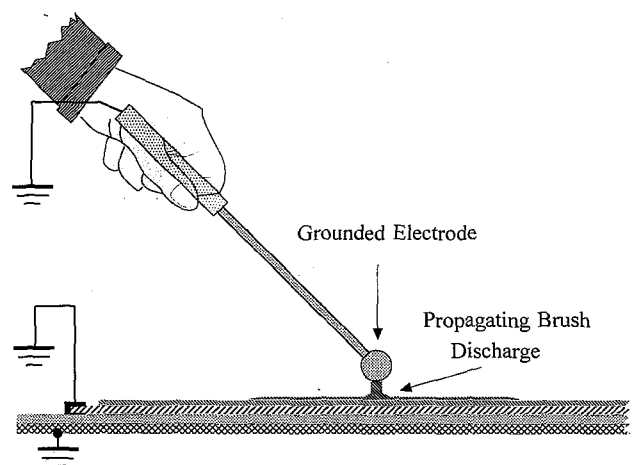


Fig. 4 How to produce propagating brush discharge.  
沿面放電の発生方法

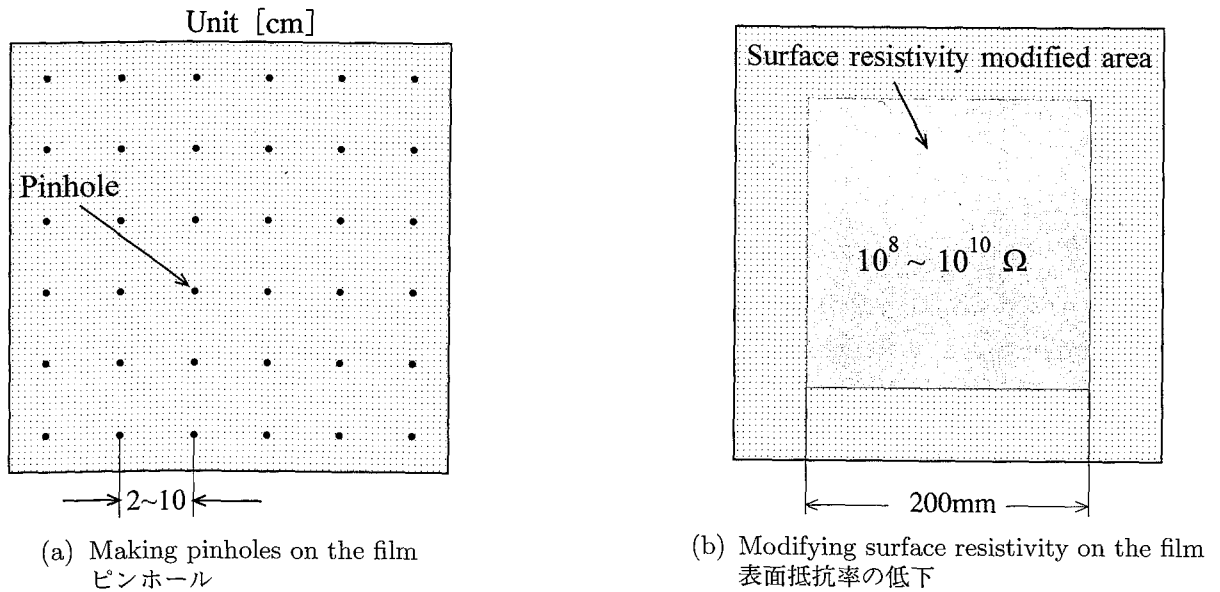


Fig. 5 Two countermeasures to avoid or mitigate PBD.  
沿面放電を防止または軽減するための方法

### 3. 実験結果

#### 3.1 各サンプルにおける沿面放電の特徴

(1) PET フィルムを接地金属板に直に置いた場合  
フレコンのサンプルを用いた場合の沿面放電と比較・参照するために、PET フィルムを接地金属板上に直接置いて帯電させ、沿面放電を発生させた。その時の放電光のパターンを Fig. 6(a) に示す。この模様は、リヒテンベルク図 (Lichtenberg figure) として知られているものであり、典型的な沿面放電の発光パターンであるが、Fig. 6(a) では特に放電光が中心から外側へ向かってほぼ対称的に樹枝状に広がっていること、及び荷電領域 (20 cm×20 cm) と非荷電領域の境界が明瞭に識別できることが注目される。これは、帯電密度が所定の領域内でほぼ均等であったことを意味している。十分な帯電量であれば、通常の室内光の下であっても肉眼で明瞭に観測でき、かつ、放電に伴い発生する破裂音も体感的に非常に大きい。

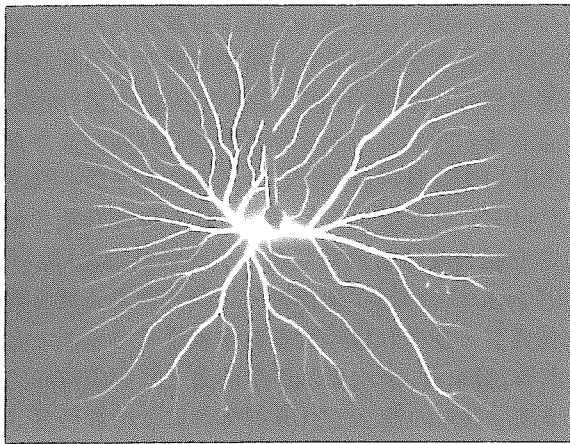
Fig. 7(a) は、沿面放電の電流波形の一例である。放電開始とともに電流が急激に増加 (負極性方向へ) し、ピークに達した後急激に減少するというパルス的な変化をしている。同図の波形は、最初のパルスの放電が終了しても零に戻ることなく極性が変化し、更に比較的長い放電時間を経て零になっている。このような極性変化は、PET フィルムがあるレベル以上 (本研究では -11 kV) の帯電電位となった場合のみ観測されたものであり、それ以下の帯電電位ではただ一つのパルスの放電波形であった。このような極性の逆転現象は、

振動的なものではないので等価的な放電回路のインダクタンス成分の影響とは考えにくい。定性的には、放電によって正負のイオンが生じ、負イオンが電極へ流れ込んで負のパルスをつくり、その後、フィルム上に残留していた正イオンが電極へ流れ込んだために生じたものと考えられるが、本研究の目的とは異なるので、これ以上言及しないこととする。主パルスの放電持続時間 (duration time) は 2~3 μs であり、後述のように表面電位との関連性が認められる。

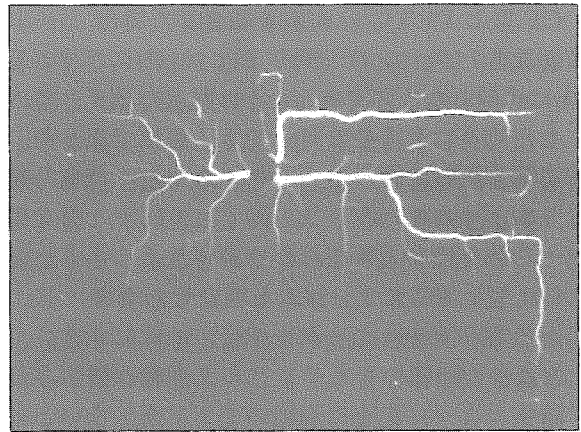
なお、本論文では沿面放電の判定にあたり、オシロスコープで得られた放電電流波形が Fig. 7(a) のように単一のパルス状 (後続の反極性の成分は考慮しない) となるか否かを基準とした。困みに、沿面放電に至らない場合の放電波形は Fig. 7(b) に示すように零ボルトを中心とした振動的なものであり、本論文ではこれを「ブラシ放電 (Brush discharge)」と呼称し、沿面放電と区別している。

#### (2) MF 型と PET フィルムを組合せた場合

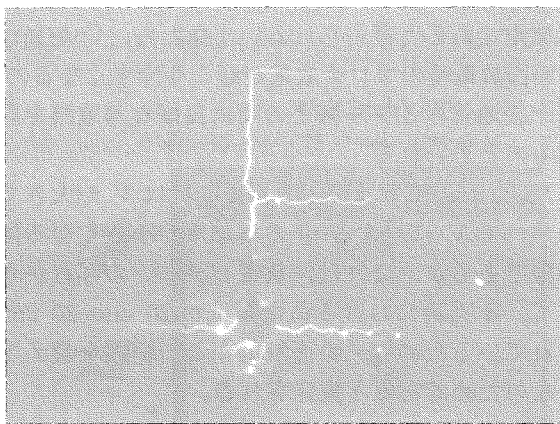
MF 型のフレコンサンプルの上に PET フィルムを乗せた場合に得られた沿面放電の観測例を Fig. 6(b) に示す。放電光は放射状ではなく、導電性糸の縫い込みに沿うように走った。前述の金属板に直置きした場合と同様に、放電は室内光の下でも明瞭に目視可能であり、音響も非常に大きいものであった。放電電流波形も Fig. 7(a) に酷似したものであったが、放電持続時間は 2~6 μs とやや長めであった。逆極性波形は表面電位が -16 kV を超えたあたりから観測されるようになった。



(a) Metal plate +PET film (-16 kV)  
金属板



(b) Conducting metallic fiber +PET film (-18 kV)  
金属系導電性繊維型

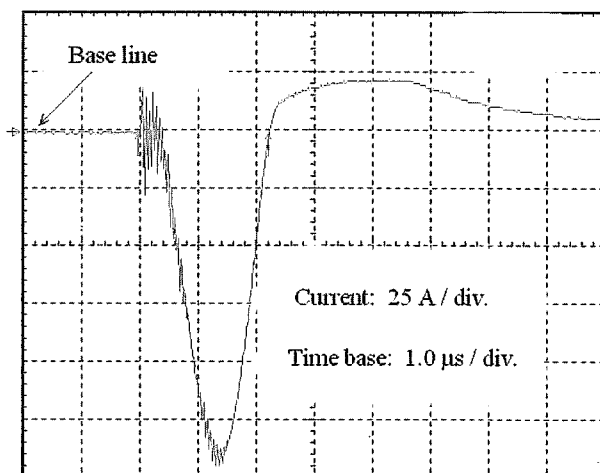


(c) Dissipating carbon fiber +PET film (-21 kV)  
炭素系導電性繊維型

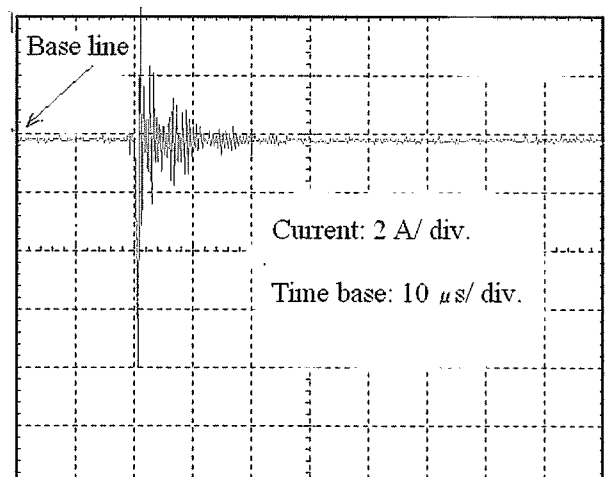


(d) Dissipating rubber +PET film  
導電性ゴム型

Fig. 6 Examples of PBD on PET film.  
帯電防止材料別 PET フィルムの沿面放電の例 (カッコ内は放電前の表面電位)



(a) Propagating brush discharge  
沿面放電



(b) Brush discharge  
ブラシ放電

Fig. 7 Typical discharge current waveform of PBD and brush discharge.  
沿面放電とブラシ放電の電流波形の例

**(3) CF型とPETフィルムを組合せた場合**

沿面放電パターンの一例を Fig. 6(c) に示す。Fig. 6(b) に類似したものであったが、発光は弱く、室内を暗くした場合にようやく目視できる程度であった。また、音響も明瞭だが小さいものであった。放電持続時間は  $4.4 \mu\text{s}$  ( $-10.4 \text{ kV}$ ) $\sim 55 \mu\text{s}$  ( $-16 \text{ kV}$ ) と帯電電位に対する依存性が大きなものであった。

**(4) DR型とPETフィルムを組合せた場合**

沿面放電パターンの一例を Fig. 6(d) に示す。上記(1)の場合と同様のリヒテンベルク模様が観測されたが、暗室のように完全に周囲の光を遮断しないと目視できない程度に弱い発光であった。放電音も周囲が静粛なときに聞き取れる程度の大きさであった。

**3.2 放電電荷量**

一回の沿面放電で発生する放電電流  $i[\text{A}]$  を時間  $t[\text{s}]$  について積分することにより放電電荷量  $Q[\text{C}]$  を求めた。その電荷量を放電前の表面電位  $V[\text{kV}]$  についてプロットしたグラフが Fig. 8 である。ただし、電荷量の計算にあたっては、前述のようにPETフィルムを接地金属板に直置きした場合及びMF型フレコンサンプルに置いた場合には放電電流に極性の反転が生じることがあったので、この場合には逆極性成分を無視して計算した。

放電開始電圧を比較するとPETフィルムを接地金属板に直置きした場合(MP+PET)では約  $-8 \text{ kV}$  であるのに対し、MF型とPETフィルムの組合せ(MF+PET)、CF型とPETフィルムの組合せ(CF+PET)及びDR型とPETフィルムの組合せ(DR+PET)では約  $-10 \text{ kV}$  であった。この理由として、フィルムの背板への密着性(MP以外のものはたわみがありフィルムとの間に隙間ができやすい)、並びに、特にMF型及びCF型

は導電性糸の縫い込み場所以外では絶縁性が高いため電位が上昇しやすいという点が指摘できる。

表面電位  $V$  が増加するにつれて、いずれの場合にも放電電荷量は増加するが、ほぼ同様の放電パターンであるMP+PET及びDR+PET、ならびにMF+PET及びCF+PETを比較すると、いずれも接地背板の抵抗が大きな組合せほど放電電荷が小さい。これは、キャパシタンス  $C$  と抵抗  $R$  の直列接続回路から成る等価回路をイメージすれば予想される結果である。ところが、 $V$  に対する  $Q$  の増加率をみると、導電性糸タイプであるMF+PET及びCF+PETは他のタイプよりも大きい。これは、 $V$  に対して  $R$  が非線形に変化することを意味している。この非線形性をもたらすものは、沿面放電の際に発生する導電性糸から発生するコロナ放電であると考えられる。すなわち、 $V$  が高いほど、沿面放電時のコロナ放電が起こりやすくなるので、これが接地背板とアースとの間に良好な導電路を形成するものと思われる。

また、MP+PET及びMF+PETでは  $V$  が大きくなるにつれて  $V$  に対する  $Q$  の増加率が小さくなる傾向が明瞭であるが、これは、放電パターンの写真から判断して、本実験における荷電領域が  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$  に限られているために、沿面放電がこの範囲を超えて拡大しないためであると推定される。

**3.3 放電持続時間**

放電前の帯電電位と沿面放電の放電持続時間  $\tau$  の関係を Fig. 9 に示す。ここでもMF+PETにおける  $\tau$  は他の型に比のものに比べて非常に短く、オーダ的にMP+PETと同等である。また、帯電電位の変化に対しては放電開始電圧を過ぎてピークを迎えた後また低下するという傾向が見られるが、これもMP+PETと

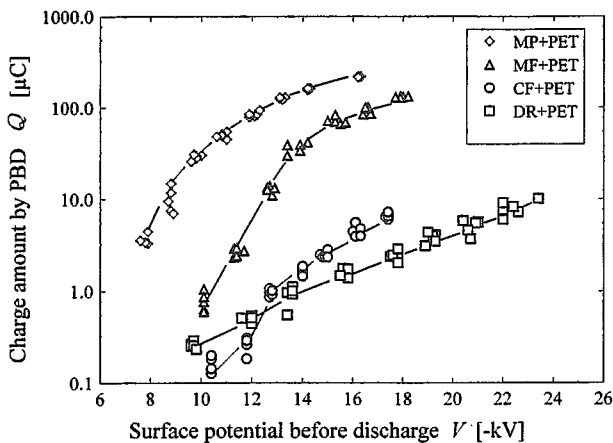


Fig. 8 Charge amount released by PBD.  
沿面放電によって放出された電荷量

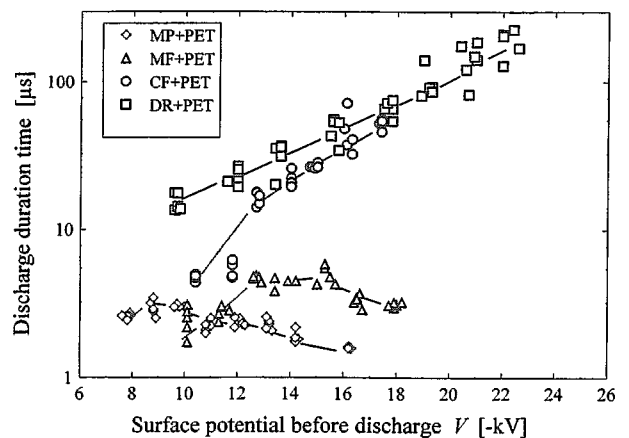


Fig. 9 Duration time of PBD.  
沿面放電の持続時間

同様である。低電位領域では放電路の進展に伴い、電荷の移動に要する時間がより多く必要となるが、高電位領域では放電範囲がほぼ定まっており、その範囲内で放電電流のキャリアであるイオンの密度が増加するために放電空間の実効的な電気抵抗が低くなったためと考えられる。

一方、CF及びDRでは、MP及びMFと比べて $\tau$ は非常に大きく、かつ、表面電位が増加するほど $\tau$ も増加するという傾向が顕著に現れている。これは、実験の範囲内では、表面電位の増加とともに放電路が進展し続けるので、電荷移動により長い時間を要するためと考えられる。

### 3.4 放電開始位置の影響

DR型のように接地背板の抵抗が大きいものでは、放

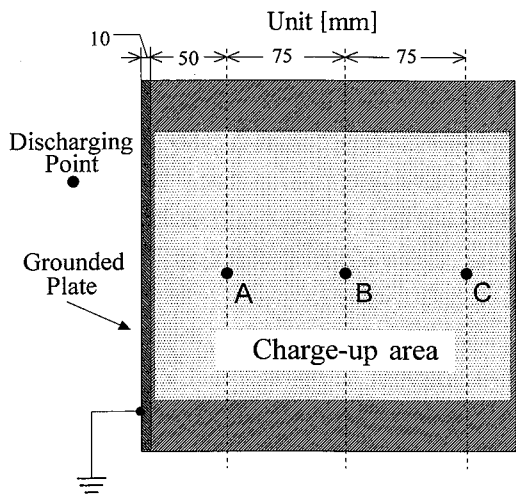


Fig. 10 Approaching points of the spherical electrode to examine the effect of resistance of backing plate.  
接地背板の抵抗の影響を調べるための放電位置

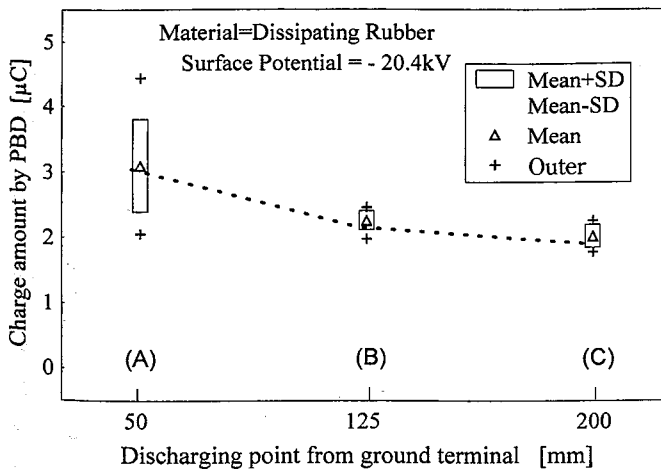


Fig. 11 Effect of fabric resistance on energy of PBD.  
沿面放電のエネルギーへの接地背板の抵抗の影響

電場所によって大地間の抵抗が変化する。そこで、DR型を用いて、Fig. 10に示すように接地用金属板から距離の異なる3点を選択し、表面電位をほぼ一定(-20.4 kV)となるようにして沿面放電を発生させた。その結果を、Fig. 11に示す。ばらつきは若干あるが、接地用金属板からの距離が大きくなるほど放電電荷量の平均値は小さくなるという傾向が得られた。このことは、この種の導電性フレコンを設計するにあたり、接地端子の位置を可燃性雰囲気から極力離れた場所となるようにすることが望ましいことを示唆するものである。

### 3.5 沿面放電の防止対策

#### (1) ピンホールによる帯電の抑制効果

絶縁性フィルムにピンホールがある場合、帯電に伴いフィルムの電位が上昇するとピンホールの周囲の電界が高くなり帯電電位とは逆極性のコロナ放電が生じるために中和作用が生じ、電位が低く抑えられると期

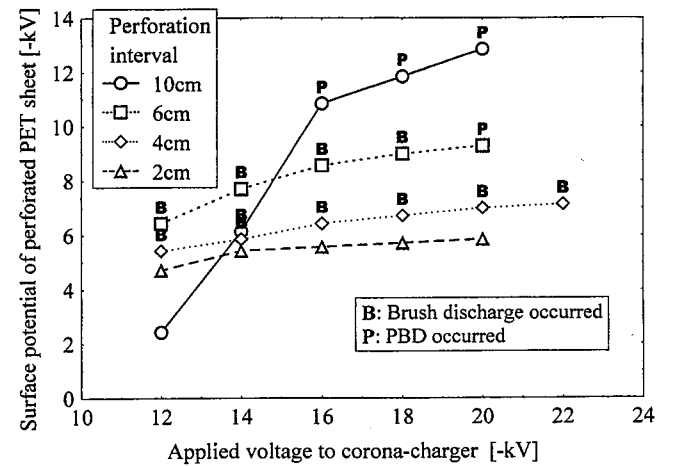


Fig. 12 Effectiveness of pin holes to avoid PBD.  
ピンホールの沿面放電抑制効果

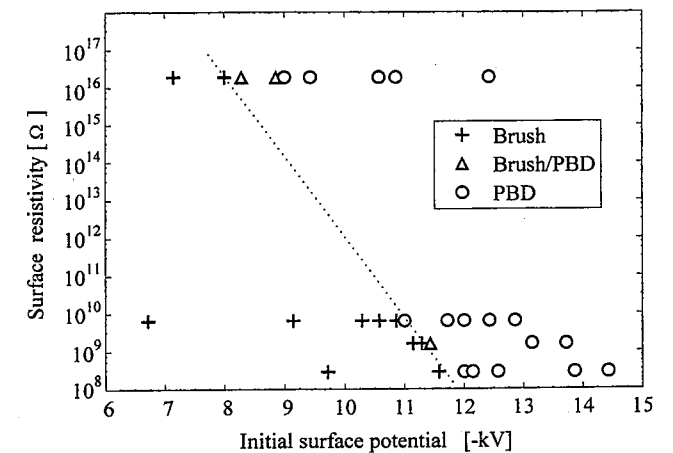


Fig. 13 Suppression of PBD by modifying the surface resistivity.  
表面抵抗率の変化による沿面放電の抑制効果 (斜線は、沿面放電の発生限界を示す)

待される。これを確認し、沿面放電の抑制に必要な条件を求めるために、PET フィルムに予め所定の間隔でピンホールを穿ち、これを接地金属板上に直に置いて帯電させた。このときの荷電用コロナ放電電極への印加電圧とスキャン後の表面電位の関係を Fig. 12 に示す。同図には、B 又は P のマークが記されているが、これらは接地電極を帯電領域に接近させたとき、それぞれブラシ放電又は沿面放電が発生したことを示している。この結果から明らかなように、ピンホールのピッチが小さいほど荷電操作後の帯電電位が低く抑えられた。特に、間隔 4 cm の場合には、実験範囲内ではブラシ放電のみが発生し、沿面放電には至らなかった。更に、間隔 2 cm の場合には全く放電が生じなかった。この結果から、4 cm 程度以下の間隔でピンホールがあれば沿面放電は防止可能であると結論できる。

(2) 表面抵抗率の増加による沿面放電の抑制効果

帯電物体の表面抵抗率が小さくなるにつれ、沿面放電からブラシ放電、火花放電へと移行する。このうち火花放電は、着火性が高い放電形態であるので、回避すべきである。一方、ブラシ放電は着火性が比較的低く、特に一般の粉じん（穀物、プラスチック等）の着火源になる確率は低いと考えられている<sup>3)</sup>。

そこで、帯電防止剤等を用いて PET フィルムの表面抵抗率を低下させ、ブラシ放電及び沿面放電の発生条件を調べた。その結果を Fig. 13 に示す。同図の横軸は放電前の PET フィルムの表面電位を、縦軸は表面抵抗率を表している。また、+ はブラシ放電、○ は沿面放電がそれぞれ発生したことを意味しており、△ は、ブラシ放電とも沿面放電とも明確に区別できなかったことを意味している。この結果から、表面抵抗率が低いほど沿面放電の開始電位は高くなっており、沿面放電の抑制に効果があると判断できる。しかしながら、完全に防止することは困難であり、また、表面抵抗率が  $1.0 \times 10^{10} \Omega$  程度以下であれば、接地の効果が期待できるから、接地を確実に実施することにより全ての放電の防止を計るべきである。

4. 考 察

(1) 導電性糸型帯電防止フレコンのコロナ放電の効果

沿面放電は、等価的な C 及び R の直列閉回路が完成したときに発生すると考えられるが、通常の CR 電気回路と異なる点は、C を形成するフィルムの片側表面が気相に開放されているため、この開放面側では電荷が移動しにくいという点である。開放面で電荷が移動することが、即ち沿面放電を含む放電現象である。沿面放電をより広い領域に進展させるためには、接地背板と大地間及び放電電極と大地間の等価的な R が小さいほど

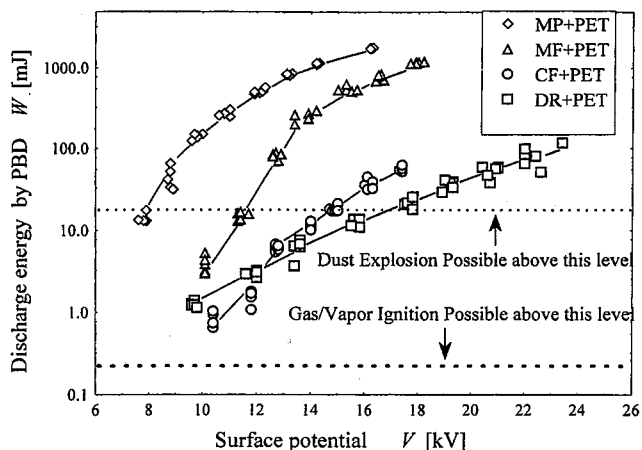


Fig. 14 Estimated discharge energy by PBD. 沿面放電の放電エネルギーの見積値

よい (3.3 参照)。ところが、MF 型及び CF 型の場合には、帯電時に繊維からコロナ放電が発生し、これがフィルム表裏間に電気二重層を形成するための電荷の供給源となり、糸の見かけの面積から推定される以上に電荷を蓄積することとなる (MF 型では荷電時のコロナ放電は目視観測可能)。また、放電に際しても、コロナ放電によるイオンの流れが導電路の一部を形成するために、等価的な R を減少させ、放電の進展を助長するものと考えられる。

以上のように、コロナ放電の影響は非常に大きいものがあり、沿面放電を抑制するために導電性糸の太さや抵抗値等十分考慮に入れるべきである。

(2) 沿面放電の着火性

沿面放電によって放電空間を流れる電荷量は Fig. 8 に示されているが、放電エネルギーを求めることは容易ではない。なぜなら、放電エネルギーを求めるためには放電前後のフィルム上の電位分布を正確に知る必要があるが、本研究の測定システムではそれが不可能だからである。それでも、一応の目安とするために、放電前の平均電位 V と放電電荷量 Q を利用して、 $1/2 QV$  という式を用いて計算すると、その値は Fig. 14 のようになる。実際の放電エネルギーよりも大きめの値であるので、安全側の評価といえよう。

さて、Fig. 14 には、0.2 mJ 及び 20 mJ を示すバーが記されているが、前者は可燃性ガス・蒸気、後者は可燃性粉じんを対象とした場合の火花放電での平均的な最小着火エネルギーである。これをもとに判定すると、MF 型では 20 mJ ラインを遥かに超えるレベルとなるので、可燃性粉じんへの着火は十分可能と考えられる。しかし、CF 型及び DR 型では、20 mJ ラインを超えるものの、これだけでは着火性の判断が下せない。なぜなら、これらの放電は前述のように火花放電



と比較して放電領域が広く、かつ、放電持続時間が長いために、エネルギー密度で比較すると火花放電よりもかなり小さくなると推定されるからである。少なくとも現時点では、MF型よりは、粉じんに対しては着火性が低いと言えるだろう。可燃性ガス・蒸気に対しては、0.2 mJ ラインを遥かに凌駕するので、いずれのタイプでも十分着火性があると考えられる。

### (3) 沿面放電の防止対策

絶縁性の高い内袋を使用した場合には、沿面放電が発生する可能性があることが、本研究で明らかとなったが、既に一般的な絶縁性フレコンに関しては沿面放電防止のための電氣的基準が提案されており<sup>2)</sup>、それによれば4 kV以下で絶縁破壊する材質であれば沿面放電を生じないとされている。したがって、帯電防止フレコンと併用する内袋の場合にもこの基準を援用して差し支えないと思われる。更に、この基準を満たしていない素材の場合には、本研究で示されているように、4 cm 程度以下の間隔でピンホールを設けていけば、沿面放電を防止可能である。

なお、本研究の結果によれば、内袋の表面抵抗のみを調整して沿面放電を防止することは實際上困難であると考えられるから、接地の効果が十分期待できる程度に表面または体積抵抗率を下げたものを、確実に接地可能な方法で取り扱うことで対処すべきである。

## 5. 結 言

帯電防止型フレキシブルコンテナが絶縁性内袋と併用された場合における着火性の沿面放電の発生条件を検討するために、広く流通しているタイプのものをサンプルとして実験的に調査を行い、併せて沿面放電の防止対策についても検討を行った。その結果をまとめると以下の通りである。

(1) 抵抗が低く、かつ細い導電性糸を格子状に縫い込んだタイプでは、金属板を接地背板とした場合に匹敵するほどの強力な沿面放電が発生した。帯電

条件によっては、可燃性ガス・蒸気のみならず可燃性粉じんへの着火も可能と考えられるので、内袋の選択及び使用は慎重に行うべきである。

- (2) 抵抗が高く、太い導電性糸を格子状に縫い込んだタイプ並びに比較的高抵抗率のゴム製タイプでは、沿面放電の電荷及びエネルギーは比較的小さいものであった。しかし、可燃性ガス・粉じんへの着火性は十分にあると思われるので、やはり慎重に取り扱う必要がある。
- (3) 導電性糸を有するタイプは、コロナ放電が発生しやすく、これが沿面放電の発生条件である電気二重層の形成及び放電時の導電路の形成に寄与しているため、見かけの面積から予想される以上に強力な放電となりやすい。
- (4) あらかじめ4 cm 程度以下の間隔で内袋にピンホールを作っておくことにより、沿面放電を防止することが可能である。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、帯電防止型フレキシブルコンテナの素材を提供いただいたシバタ工業株式会社に謝意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) G. Lüttgens, Collection of accidents caused by static electricity, J. Electrostatics, Vol.16, pp. 247-255 (1985).
- 2) B. Maurer, M. Glor, G. Lüttgens and L. Post, Electrostatics 1987, Institute of Physics, Bristle and Philadelphia, p. 226 (1987).
- 3) M. Glor, Electrostatic hazards in powder handling, Research studies press Ltd., p. 65 (1988).

(平成13年2月1日受理)