

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1972

導電性繊維を用いた自己放電式除電器の 除電効果と安全性

田 島 泰 幸

労働省産業安全研究所

導電性繊維を用いた自己放電式除電器の 除電効果と安全性

田 島 泰 幸*

1. ま え が き

生産現場で発生する静電気は各種の災害、障害をひき起しており¹⁾、その発生頻度は装置の大型化、高速化にともなって、より高くなって来ている。特に高分子フィルム、紙、化学繊維、織布等の製造、加工工程においては、多量の静電気が発生し、作業者に電撃等の不快感を与えたり、巻き付き、不揃い、汚れ等の生産障害をもたらしている。また、可燃性ガス、溶剤、粉体を使用する工程においては、静電気の放電が着火源になって、爆発、火災事故等も発生している²⁾。

これらの静電気災、障害を防止するには、静電気を安全に除去することであり、現在では自己放電式、電圧印加式除電器等が使用されている。このうち、自己放電式除電器については、その効果と安全性を詳細に検討した資料がないため、あまり普及していないのが現状である³⁾。

しかしながら、自己放電式除電器は高圧電源を付属していないため、電圧印加式除電器のように高圧電源からの異常放電は全く発生することがなく、それだけ安全性は高いと考えられる。また取り扱いも後者に比較して非常に簡便である。これより、被除電対象によっては、これらの特長を生かして多大の除電効果を生むことが予想される。したがって、ここでは自己放電式除電器に関する基礎研究と広範囲な現地実験を行ない、その除電性能と安全性について検討した。本報告書はその結果についてまとめたものである。

2. 除電原理の概要

接地した曲率の小さい針状導体を被除電物体（以下帯電物体と記す）に向けて設置すると、これらの間に

* 電気研究部

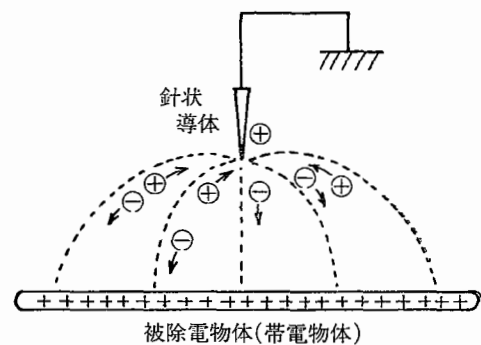


図 1 自己放電式除電器の除電原理

は図1に示すような不平等電界が形成される。その結果、電界強度の高い接地針状導体の近傍には気体の電離が起り、そこに正、負のイオン対が発生する。これらイオン対の内、帯電物体と逆極性のイオン（図1の場合は負イオン）はこれに付着し、そこで帯電物体の静電荷と中和する結果、静電荷は除去されたことになる。以上が除電原理の概要であるが、これは換言すると、帯電物体と接地針状導体との間に放電が発生して、帯電物体の静電荷が除去されたのである。すなわち、接地針状導体が図1に示すような不平等電界を形成したために、帯電物体の静電気エネルギーによって電離が起り、放電という形態を採って静電荷が除去されたのである。したがって、ここではこのような放電を、接地針状導体がエネルギー源を有していないことより、自己放電と呼び、この原理を応用した除電器を自己放電式除電器と定義する。また、自己放電を起す曲率の小さな接地針状導体を以下除電電極と呼ぶ。

3. 除電電極と放電特性

2.の原理で述べたことから明らかなように、自己放電式除電器の心臓部は除電電極であり、その自己放電

を利用したものであるから、自己放電式除電器の除電性能（除電効果）は除電電極の放電開始電圧、放電電流等その放電特性によって定められることになる。したがって、ここでは除電電極とその放電特性について基本的な検討を行なった。

3.1 除電電極

除電電極は曲率の小さな針状導体でなければならない。本実験では、これに帝人株式会社から提供を受けた直径約 50 μ m の導電性繊維 (Electrically Conductive Fiber, 以下単に ECF と記す) を使用した*。それは既に報告したとおり、この ECF が自己放電特性を有しており⁴⁾、これを作業衣等の帯電防止に応用した場合にも、十分な効果と耐久性のあることを確かめているからである⁵⁾。また、図2に示すよう、除電電極に ECF を使用して実験を試みたところ、ECF が振動を起して針のように固定された場合より大きな除電効果のあることが判明した。

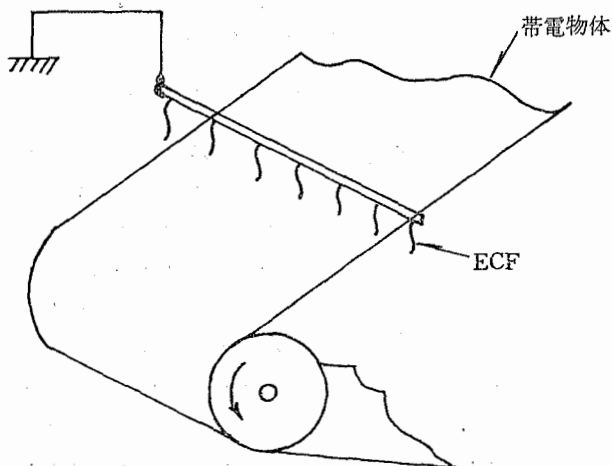


図2 ECF の除電電極への試み

これより、以上の優れた除電効果を出るだけ失わず、しかも ECF が機械的強度にも耐えるように、ここでは ECF を布に織り込み（以下 ECF 入り布と記す）、これを除電電極とすることを試みてみた。

まず、ECF が単体ではなく、ECF を布に織り込んだことによる影響を調べる目的から、ECF 100% の布、および 1mm 間隔の ECF 入り布で、図3に示すような除電電極の1素子を作り**、その放電特性を測

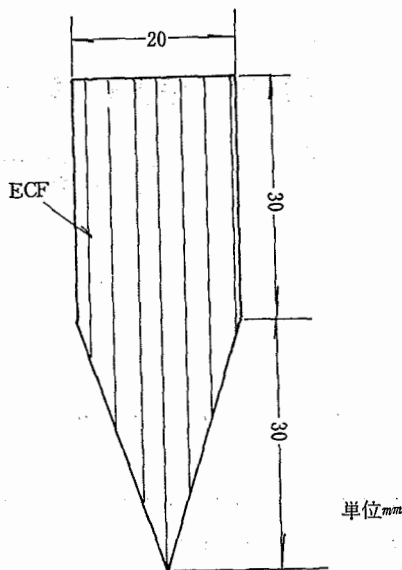


図3 除電電極の1素子

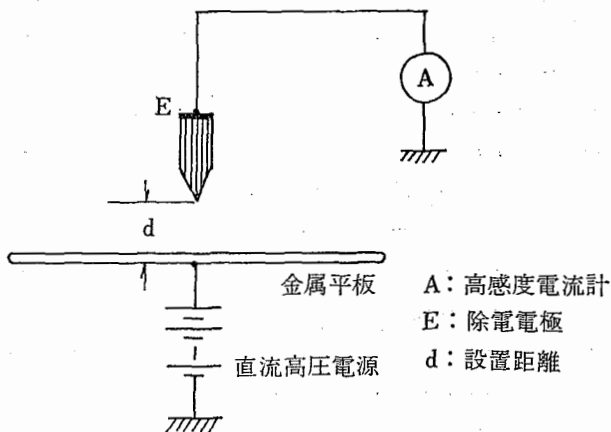


図4 放電電流の測定回路

定した。なお参考のために厚さ 70 μ m のアルミニウム箔によって同形状の除電電極を作り、その放電特性も測定した。測定回路は図4に、測定結果は図5に示すとおりである。

これによると、除電電極を ECF 単体から ECF 入り布に変えた影響が確かに現れている。すなわち、ECF を布に織り込んだため、ECF の振動が抑制され、また電界分布も変化して、放電開始電圧*は高く、放電電流は減少している。しかし、この ECF 入り布も、ECF 単体と比較すれば劣るものの、自己放電式除電器の除電電極として有効であることが判明した。なかでも 1mm 間隔の ECF 入り布が除電電極として望ましい特性を有しているため**、ここでは除電

* ECF の特性については産業安全研究所研究報告 RIIS-RR-18-5 参照のこと。

** 電極の先端突起部には必ず ECF が位置するように切断、加工した。

* 放電電流が流れ始める電圧を放電開始電圧と呼んだ。

** 除電電極としては放電開始電圧が低く、放電電流の大きいものが望ましい。

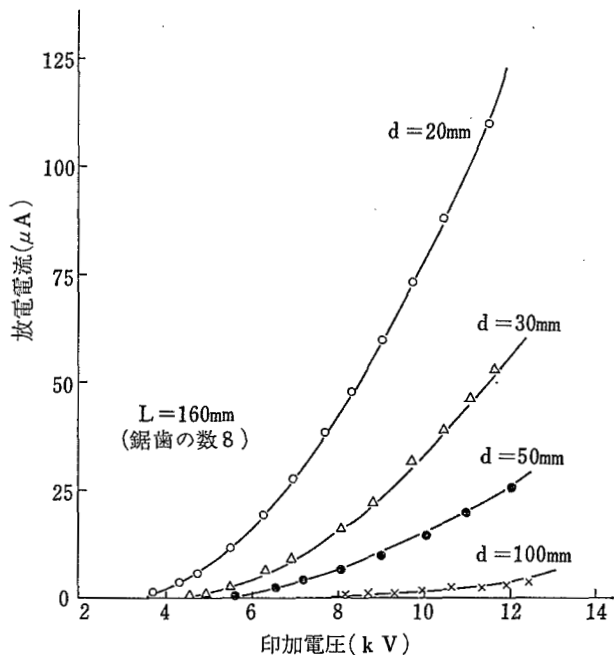
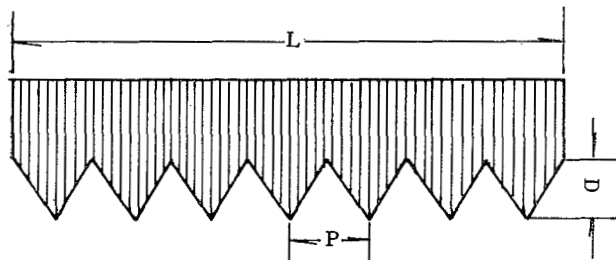


図 5 各種除電電極の放電特性

電極にこれを使用することにした。

3.2 除電電極の形状

ECF 入り布によって、図3に示すような素子が複数個からなる除電電極を作ると、すなわち、鋸歯状の除電電極を作ると、放電特性が先に示した鋸歯1個の場合のそれと異なり、結果的には除電特性が変化することがある。したがって、ここでは鋸歯状除電電極の形状について検討した。具体的には図6に示すように、間隔P、切り込みの深さDをいろいろ変えた鋸歯状の除電電極を作り、その放電特性を測定した。測定に使用した除電電極は全て全長 360mm、測定は図4に示す回路と同じ測定回路によって行なった。測定結果は図7に示すとおりである。



P: 間隔 D: 切り込みの深さ
L: 全長

図 6 除電電極の形状

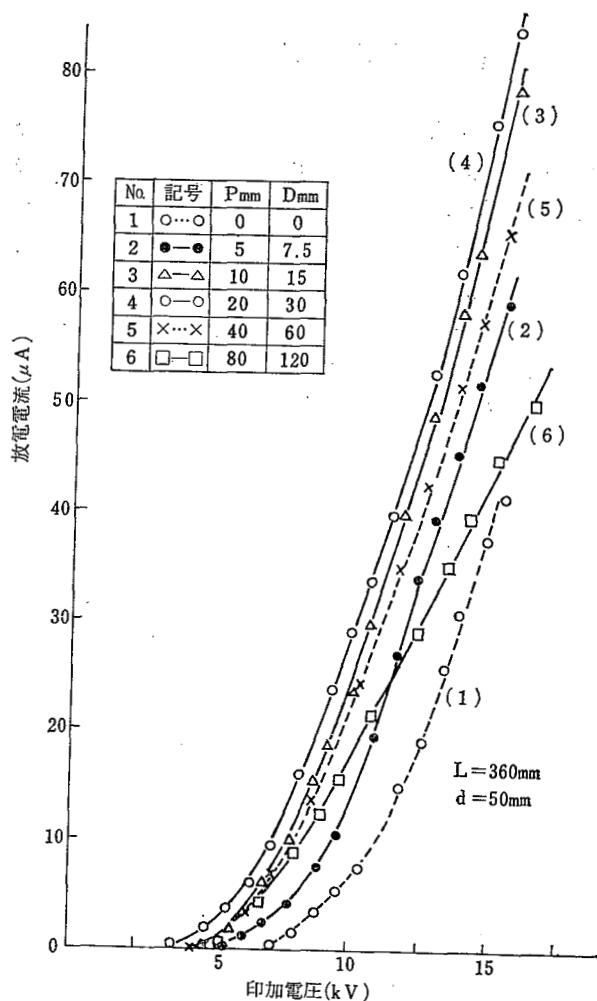


図 7 除電電極の形状と放電電流の関係

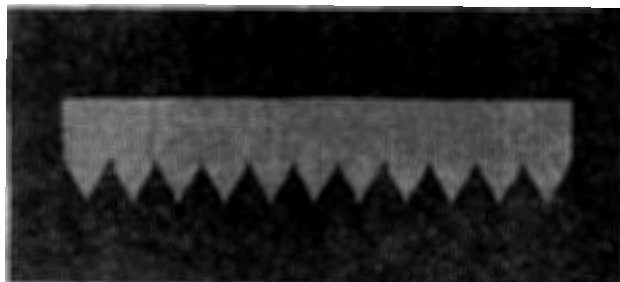


図 8 ECF で試作した除電電極

図7によると、間隔Pが短いと放電開始電圧が高くなり、切り込みの深さDが大きいと放電電流が減少する傾向にある。しかし、これらが極端な場合を除いては、大きな差異が認められなかった。これについては40kVに帯電している誘電体の除電を試みた実験においても、同じような結果が得られた。したがって、除電電極の形状としては間隔P=20mm、切り込みの深さD=25mmの鋸歯状とした(図8参照)。

3.3 基本放電特性

図8に示す除電電極の基本的な特性を検討するため、これと静止帯電物体との放電特性を測定した。静止帯電物体には、直流高電圧を印加した400×700mmの金属平板を使用し、測定は図4に示した回路によって行なった。

図9は帯電物体と20mmの距離に除電電極を設置し、除電電極の鋸歯の数と放電電流との関係を測定したものである。これによると、放電電流は鋸歯の数に

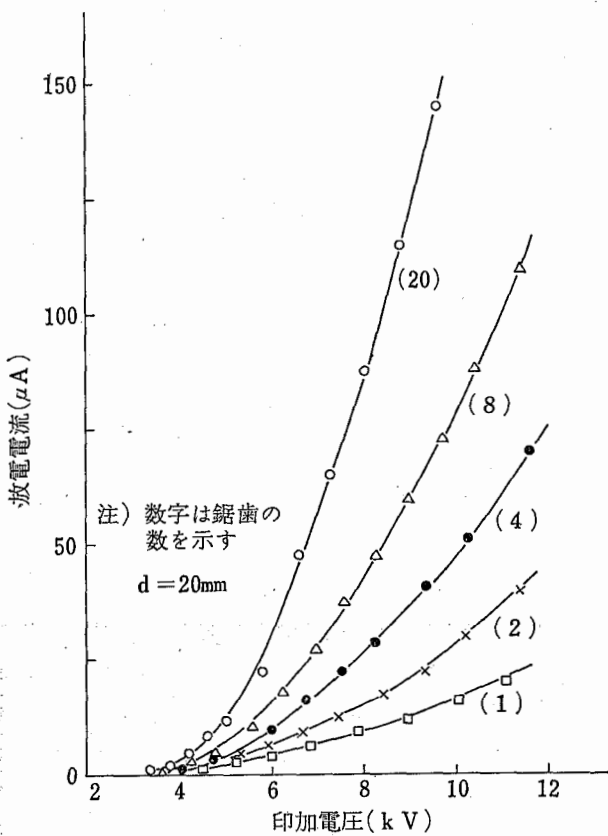


図9 除電電極の鋸歯の数と放電電流の関係

ほぼ比例して増加するが、放電開始電圧によってほとんど変化していない。これは除電電極の各々の素子(各々の鋸歯)がそれぞれ除電に寄与していることを示すものであり、これによっても、本除電電極の形状は適切であることが裏付けられた。

次に図10は帯電物体と除電電極との距離を変えて、放電特性を測定した結果である。ただし、除電電極の鋸歯の数は8個である。これによると、距離の増大とともに、放電電流は減少、放電開始電圧は高くなって

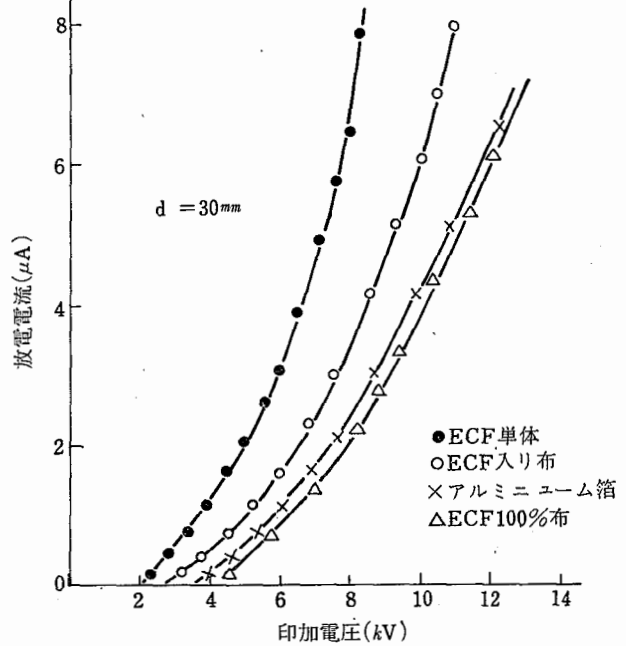


図10 除電電極の設置距離と放電電流の関係

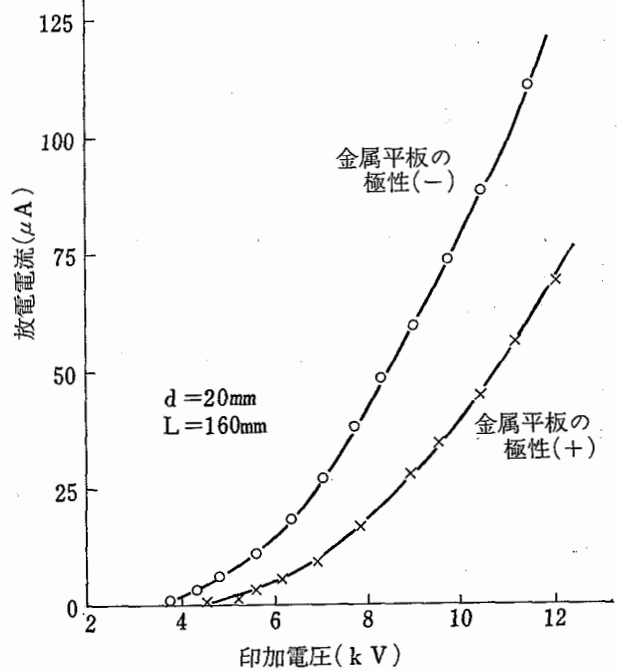


図11 金属平板の極性と放電電流の関係

おり、自己放電式除電器は設置距離によって除電性能が大きく変化することを示している。

同じく鋸歯の数8個から成る除電電極を用いて、帯電物体の極性が放電特性に及ぼす影響を測定した。測定結果は図11に示すとおりである。これによると除電効果は極性負の帯電物体の方が多少優れている。

以上、除電電極の放電特性について検討したが、放

電電流をシンクロスコープで測定した結果、これらはいずれもパルス状の微弱な放電電流であって*、除電電極が不平等電界を形成したために発生したコロナ放電であることが確められた。なお、除電電極からの自己放電は1気圧中で発生し易いコロナ放電であることから、気圧と放電特性の影響についても検討した。そ

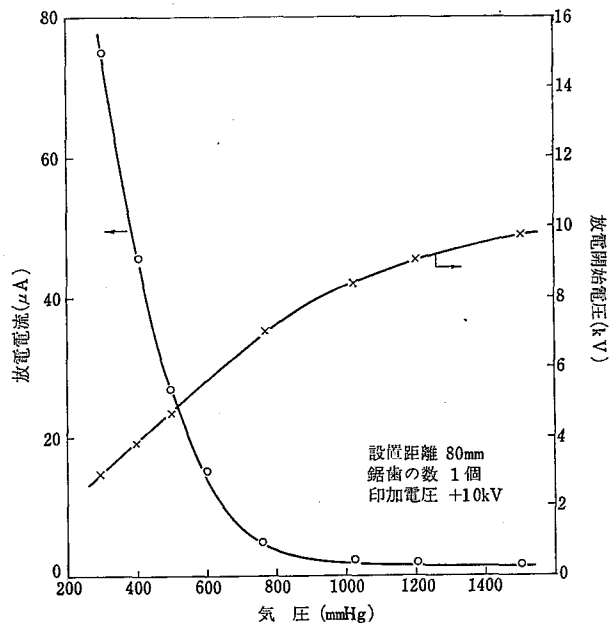


図 12 気圧と放電特性の実験結果 1 例

の結果、気圧の増加とともに放電電流は減少、放電開始電圧は高くなる、いわゆる一般的なコロナ放電特性を示し⁶⁾、気圧 300mmHg 以下になるとグロー放電に移行した。参考のため、帯電物体 10kV、鋸歯の数 1 個、設置距離 80mm の場合の気圧に対する放電電流と放電開始電圧を 図 12 に記す。

4. 除電効果

除電対象となる帯電物体には、形状、材質、帯電状態等で各種のものが考えられる。しかし、ここでは除電効果の基本的な特性について検討することを目的としたため、除電対象には静電気が表面のみに帯電している平面状の帯電物体を選び、その除電効果について実験した。なお、この実験、ならびに以下の実験で使用した自己放電式除電器は図13に示すものである。その構造は 3. の実験によって形状、特性が明らかにされた除電電極 A とこれを接地するため、またこれを支

* 詳細については 5. で述べる。

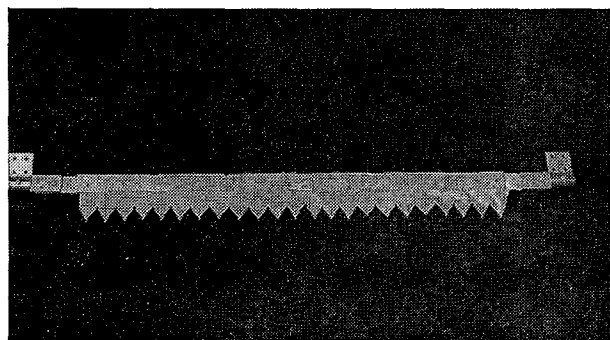


図 13 自己放電式除電器

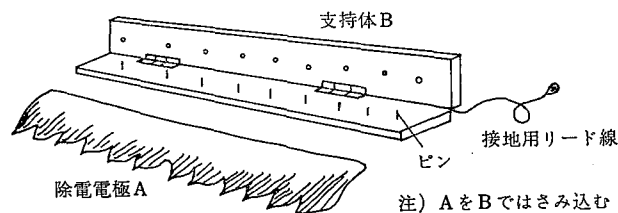


図 14 自己放電式除電器の構造

持するための金属製支持体 B よりなっている (図14参照)。このとき、除電電極の鋸歯状先端に入っている ECF と支持体との抵抗* は $10^4 \Omega$ 以下とした。

まず、帯電物体が静止している場合であるが、これは 3. の実験結果からも明らかのように、帯電物体の電位が高いと自己放電が発生して除電される。例えば帯電物体が金属平板のように静電的に導体である場合には、除電電極の放電開始電圧まで除電され⁴⁾、それ以上の電位に帯電することはない。また帯電物体が誘電体の場合には交叉現象が起こって、放電開始電圧

表 1 除電効果の実験結果

設置距離 (mm)	初期電位 (kV)	除電後電位 (kV)
10	+50	-1.0
20	+50	0
30	+50	0~1.0
50	+50	+2
100	+50	+3.0~4.0
150	+50	+4.0~6.0

注) 帯電物体は静止したプラスチックフィルム

以下まで除電されることがある⁷⁾。参考のためにプラスチックフィルムの除電効果について調べた実験結果を示せば、表 1 のようである。ここで、この実験での

* 接触抵抗も含む総合抵抗

設置距離とは自己放電式除電器を帯電物体に接近させたときの最終距離である。

次に、帯電物体が移動している場合の除電効果について検討した。実験方法は図15に示すとおりである。帯電物体は表面固有抵抗 $10^{14} \Omega \square$ 以上のエンドレス・プラスチックフィルム（幅 400mm, 周囲長 2,200mm, 厚さ 90 μ m）で、これの帯電はコロナ放電によるイオン注加法を採用した。なおプラスチックフィルムはローラによって定速度（5, 10, 20m/min）で移動させた。

図16は 45kV に帯電しているプラスチックフィルムの除電効果について、自己放電式除電器とフィルムとの距離、ならびにフィルムの移動速度を変化させて

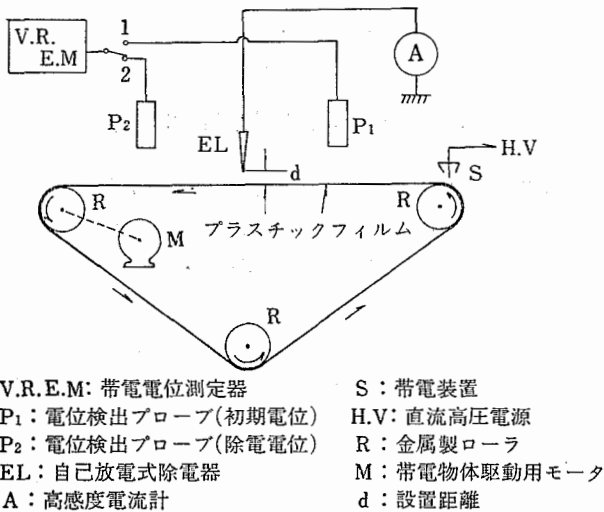


図 15 除電効果の実験装置概要

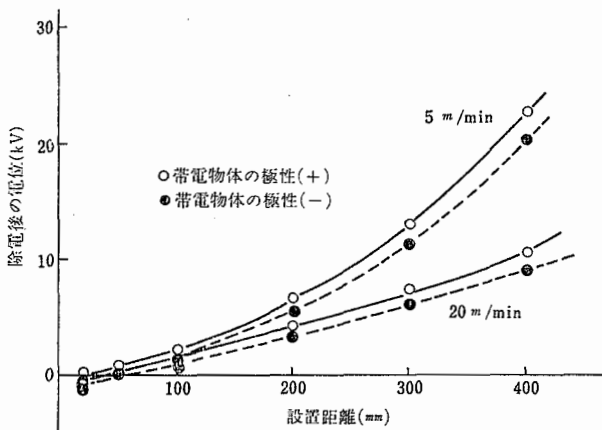


図 16 除電効果の実験結果（初期帯電電位 45kV 零以下のプロットは逆帯電を示す）

調べた実験結果である。これによると距離が小さいほど、また速度が速いほど、除電後の電位は低くなり、除電効果に移動速度が影響することを示している。さらに、帯電物体が正に帯電しているときより、負に帯電しているときの方が除電後の電位はやや低い傾向にあり、3. で検討した静止状態の放電特性から予想される結果と一致している。なお、このときの放電電流について測定したところ、図17に示す結果が得られ、放電

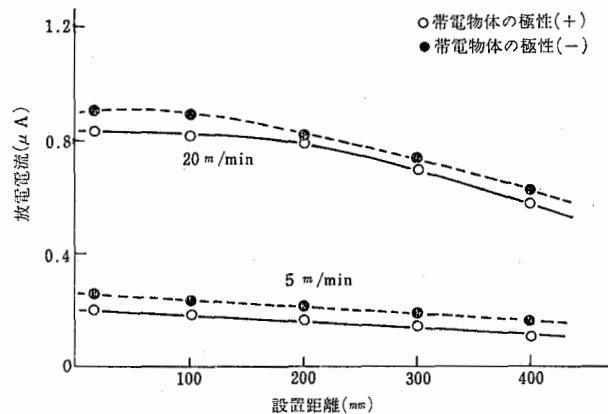


図 17 帯電物体からの放電電流測定結果（初期帯電電位 45kV のとき）

電流は速度および除電の電位差（初期帯電電位と除電後の電位との差）が増大するにつれて大きくなっている。これは、自己放電式除電器が帯電物体の静電荷を確かに除電していることを裏付けるものである。

以上の実験結果から、自己放電式除電器は帯電物体との設置距離が 20mm 以下であると、帯電物体の静電荷をほぼ完全に除電することが判明した。すなわち、帯電物体が移動している誘電体の除電に際しては、除電後の電位が必ずしも放電開始電圧によって定まらず、移動速度、初期帯電電位によっては、その電圧よりも低い電位まで除電されることが明らかになった。

なお、本実験で使用した除電電極の鋸歯の数は20個であるため、幅 400mm のプラスチックフィルムの除電にあたって、鋸歯 1 個に流れた最大平均放電電流の値を図17から求めてみると、移動速度が 5m/min のとき約 0.01 μ A, 20m/min のとき約 0.04 μ A となる。この値は 3. で調べた放電電流の値と比較するとかなり小さな値であって、この自己放電式除電器はこの値より少なくとも約 1桁大きな放電電流を流す能力を有している。したがって、帯電量あるいは移動速度

が仮りに1桁大きくなっても、この自己放電式除電器によって充分除電されることが予想される*。

5. 自己放電と着火危険性

自己放電式除電器は除電電極の自己放電によって静電気を除去するものであるが、これら自己放電も含めて、一般に静電気の放電は可燃性混合気の着火源になることがある⁸⁾。したがって、ここでは自己放電式除電器の放電と着火危険性の関係について調べ、この自己放電式除電器が可燃性混合気の雰囲気で使用出来るかどうか検討した。

なお、このような放電と着火源の問題は、放電特性と放電エネルギー、あるいは放電電荷量の問題に帰せられるため、ここでも放電特性、放電電荷量について詳細に調べ、着火との関係を実験的に検討した。

5.1 接地金属球への放電特性

帯電物体と接地導体（除電電極も含む）との間で発生する静電気放電にも、種々の放電があり、その放電特性を定める1要因に接地導体の形状がある⁹⁻¹⁰⁾。結果的には接地導体の曲率が放電特性を定める1要因となる。したがって、ここで着火という立場から、自己放電式除電器の放電特性を調べるにあたり、この問題を少し拡大し、ここでは種々の直径を持った接地金属球と帯電物体との放電特性について調べてみた。

測定回路は図18に示すとおりであり、接地金属球を接近させたときに発生する放電をシンクロスコープによって測定した。ここで、キャパシタCは放電特性の立上りを緩和させ、放電電荷量を正確に求めるために用いたものである。帯電物体は4. の実験で用いたプラスチックフィルムであり、45kVに帯電している。

接地金属球と帯電物体との間で起る放電は、帯電物体を固定して接地金属球を接近させた場合も、接地金属球を一定の距離に固定して帯電物体を走行させた場合も、あるいは両者を接近、走行させた場合も大きな差異が認められなかった。したがって、ここでは第3番目の方法で以下の実験を行なった。実験結果によると、接地金属球への放電はその直径によって放電の電

* これについては実験室で確かめることが出来なかったが、6. の現場実験によって除電効果のあることを確かめている。

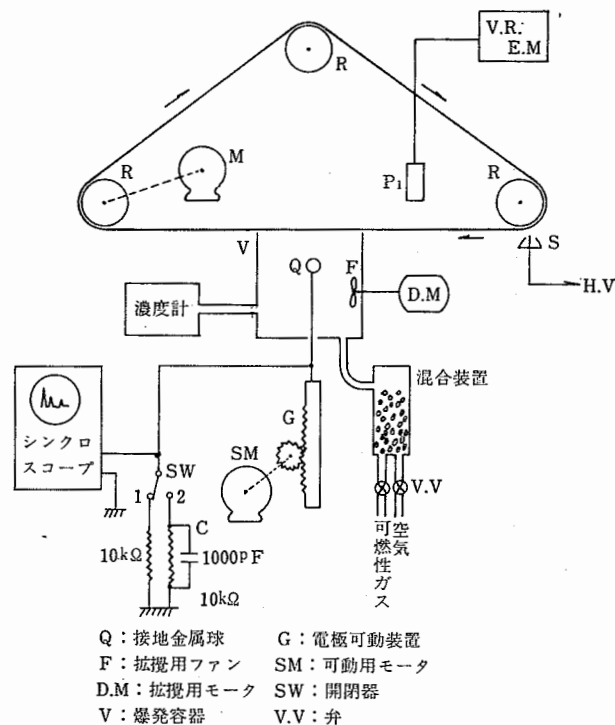


図 18 放電特性および着火実験装置の概要

流値は変わるが、いずれもパルス状の断続放電が発生した。すなわち、直径が大きい10~20mmの場合には、尖頭電流値の大きなパルス放電が数回発生し、直径が10mmよりも小さくなるにしたがって、尖頭電流値もしたいに小さくなるパルス放電が数多く発生した。参考のために、シンクロスコープで観測した放電の概要を*、直径20mmと3mmの接地金属球の場合について図19に示す。以上のように、放電特性は接地金属球の直径によって異なり、放電形態としては、直径が大きいと発光、破壊音をともなう火花、ストリマー放電がパルスの、直径が小さいとコロナ放電がパルスのに発生した。直径50μmのECFから成る除電電極の場合は、図20に示すように尖頭電流値約10⁻⁷Aのパルス放電が数多く発生するコロナ放電であった。

次に、以上のパルス放電の放電電荷量をシンクロスコープを用いて測定した**。実験は各種の直径を持った接地金属球に対して、パルス放電1個当りの放電電荷量を測定した。放電電荷量はシンクロスコープの放電電流波形、例えば図21のようなパルス電流波形1個

* 図18に示す開閉器を1へ倒して測定。

** 図18に示す開閉器を2へ倒して測定。

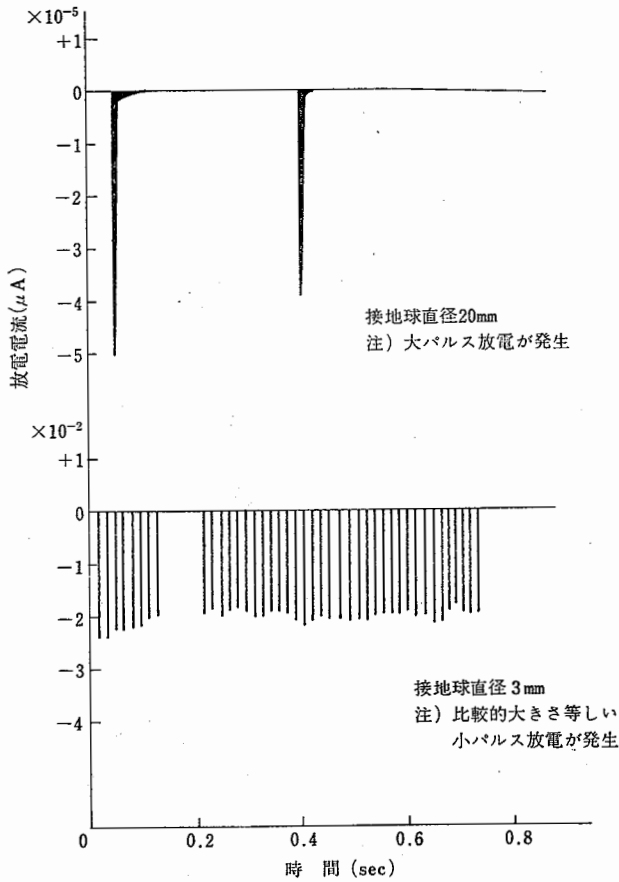
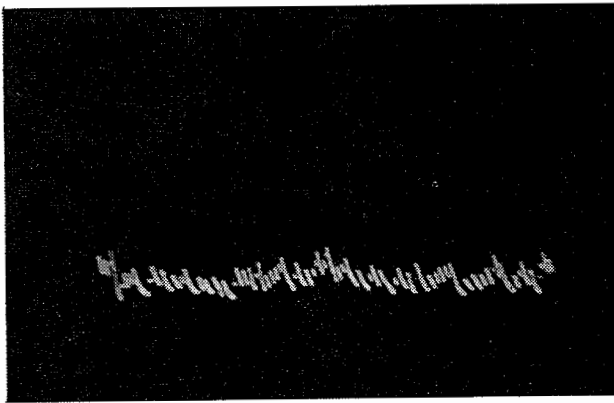


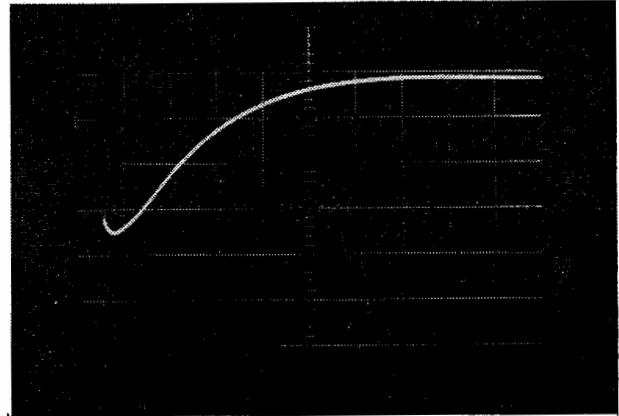
図 19 接地金属球へのパルス放電の概要



(尖頭電流値 約 10^{-7} A, パルスくり返し周波数 約 10^4 sec)

図 20 除電電極への放電電流波形

について、これを時間で積分して求めた。図22は接地金属球の直径に対する、この放電電荷量の最大値を示したものである。このように、放電電荷量は直径が小さくなるにしたがって減少し、帯電物体の極性では、



(Y軸: 10^{-5} A/div, X軸: 10^{-8} sec/div)

図 21 帯電物体 (-) から接地金属球 (直径 20 mm) への放電

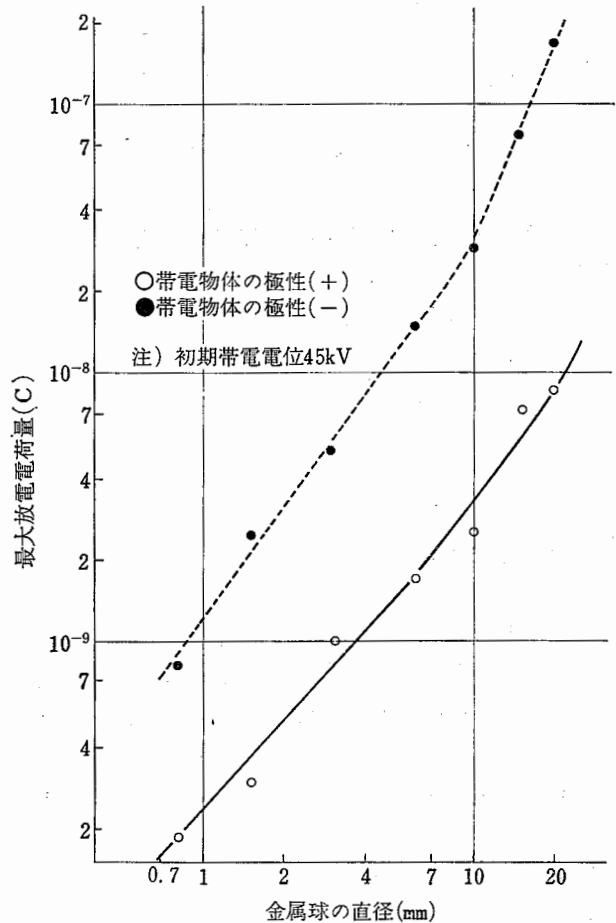


図 22 接地金属球の直径と最大放電電荷量の関係

正よりも負の方が約1桁大きな値であった。しかし、この結果を用いて、表面帯電している帯電物体からの放電エネルギーは計算出来ない。すなわ

ち、この場合の放電電位差、放電面積等は実験によって求められず、仮りに従来の実験データ¹¹⁾を利用したとしても、パルス放電1個当りのエネルギーはかなり複雑で、計算によって求めることは不可能である。このように、放電エネルギーは求められないが、以上の実験結果から、着火源という意味での放電特性の概要は明らかになった。すなわち、着火源という意味からは、直径が大きな接地金属球ほど、また帯電物体の極性は正よりも負の方が、火花、ストリーマ放電となり易く、しかも放電電荷量も大きいため、着火源となる確率は高いと推察される。

5.2 放電と着火危険性

5.1 で述べた意味では、パルス1個当りの最大放電電荷量を測定した実験結果図22は、着火危険性について検討する場合の1つの定量的な目安を与えるものである。したがって、ここではこれを1つの基準として着火危険性について検討した。

実験は先に使用した実験装置図18の容器V（直径250mm、高さ250mmの円筒形）の中に、可燃性混

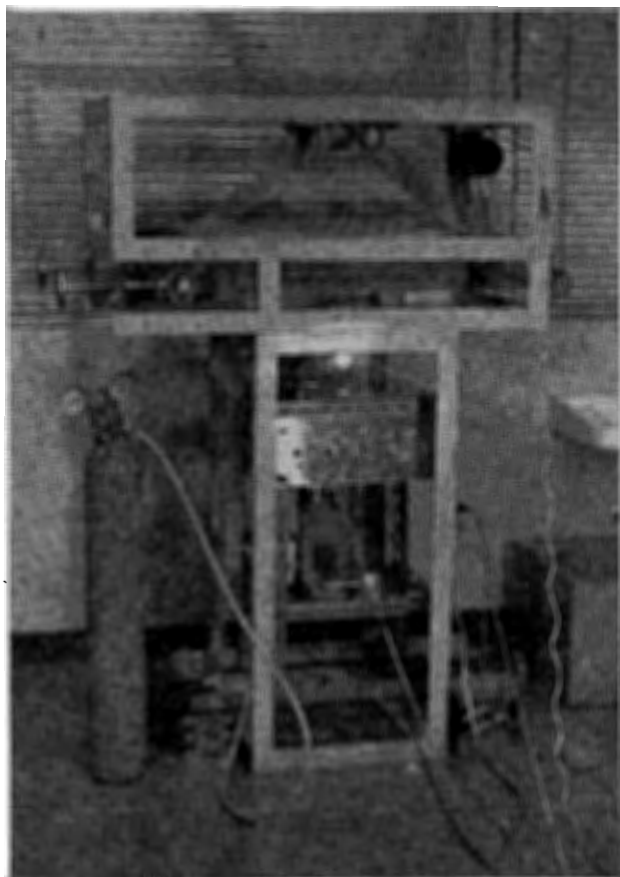


図 23 着火実験装置の概要

合ガスを入れ、この中で先と同じく放電を起こして着火するかどうかを調べた。実験装置の全景を図23に示す。実験では、帯電物体を放電電荷量の大きな負の極性に帯電させ、可燃性ガスに高純度プロパンを用いて実験したところ、直径15mm以上の接地金属球との放電によって着火、爆発が発生した。ただし、プロパンと空気との混合比は4.6~4.8%であった。また、高純度水素を用いて実験した結果では、直径3mm以上の接地金属球との放電によって着火、爆発が発生した。ただし、このときの水素と空気との混合比は28~30%であった。ここで、以上の着火実験では放電エネルギー、放電電荷量とも求められていないが、この結果と空気中における放電電荷量の測定結果図22とを対応させてみると、水素では空気中での放電電荷量が $5 \times 10^{-9} \text{C}$ 以上であったとき、プロパンでは $8 \times 10^{-8} \text{C}$ 以上であったとき、それらの放電が着火源になったと判断される。すなわち、最小着火エネルギー0.019mJの水素では¹²⁾、空気中における放電電荷量が $5 \times 10^{-9} \text{C}$ 以上、0.26mJのプロパンでは¹²⁾、 $8 \times 10^{-8} \text{C}$ 以上の放電によって着火するという結果である。

これより、誘電体からの放電エネルギーが求められなくても、以上の着火エネルギーと放電電荷量の実験結果、ならびに図22の測定結果とを利用すれば、接地金属球に向っての放電が着火源になるかどうかの目安は与えられることになる。

5.3 自己放電式除電器の着火危険性

直径 $50 \mu\text{m}$ のECFから成る除電電極は、5.1の実験結果でも微弱なコロナ放電であり、パルス放電1個当りの放電電荷量も、実験したところ 10^{-11}C 以下であることが確かめられている。また、5.2の実験結果からも、除電電極からの自己放電が着火源になることは極めて少ないと判断される。すなわち、誘電体の除電にこの自己放電式除電器を使用した場合、誘電体に帯電している静電荷はこれによって安全に除電されると判断される。しかし、安全性をさらに確認するため、ここでは高純度水素ガスの雰囲気の中で自己放電式除電器の着火危険性について実験した。

実験は考えられる最も着火し易い条件として、直流高電圧を印加した金属平板を帯電物体に選び、これと自己放電式除電器との間で放電を起こさせた。その結果、放電電流は水素の濃度が高くなるにつれて増大したが、いずれも微弱なコロナ放電であって、着火源と

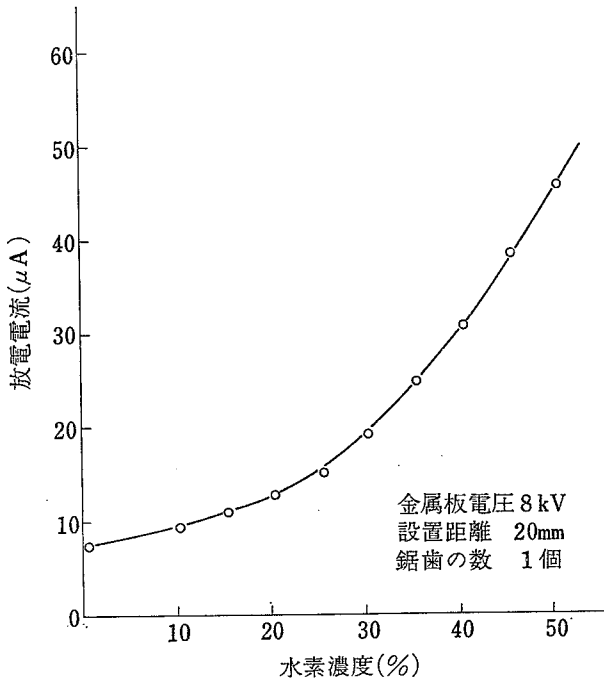


図 24 水素濃度と放電電流の関係

なるような放電は発生しなかった、参考のために、金属平板との距離 20mm, 印加電圧 8kV, 除電電極の鋸歯の数 1個の場合、水素の濃度と平均放電電流の実験結果を示せば、図24のようである。

以上の実験から、この ECF を用いた自己放電式除電器は着火源となる危険性がなく、可燃性混合気の雰囲気でも使用可能な除電器であることが確認された。ただし、金属平板に直接 100kV 以上の直流高電圧を接続し、この金属平板と直径 100μm の接地導体との間で放電を起こすと、水素ガスに着火したという報告があるが^{13~14)}、自己放電式除電器の使用状態として、以上のようなことは考えられない。

6. 現地実験

実験室における実験結果から、この自己放電式除電器は表面帯電物体の除電に対して、有効な除電効果と高い安全性を持っていることが確認された。したがって、ここでは実際の生産現場において現地実験を行ない、実験室での実験結果の確認と新しい問題点の探索を行なった。

現地実験は静電気の発生が大きな工程、可燃性混合気のある工程等を選んで行なった。以下その結果

について概要を述べる。

6.1 除電効果

フィルム成形工程—高分子フィルムを射出成形した後、10m/min の走行速度で送り、最後にこれを巻き取る工程では、巻き取り部分において大きな帯電をしていた。帯電電位は 20kV であったが、作業者の指先に発光をともなり火花放電が発生することもあった。そこで図25に示すように、巻き取り部分の直前に自己放電式除電器を設置したところ、20kV から 3kV まで除電され、作業者への電撃は全く無くなった。この



図 25 フィルム成形工程での実験例

工程では設置距離を小さくすることが出来ず、8cm であったが十分な除電効果が認められた。なお、自己放電式除電器の放電電流は最大 0.5μA (除電電極の

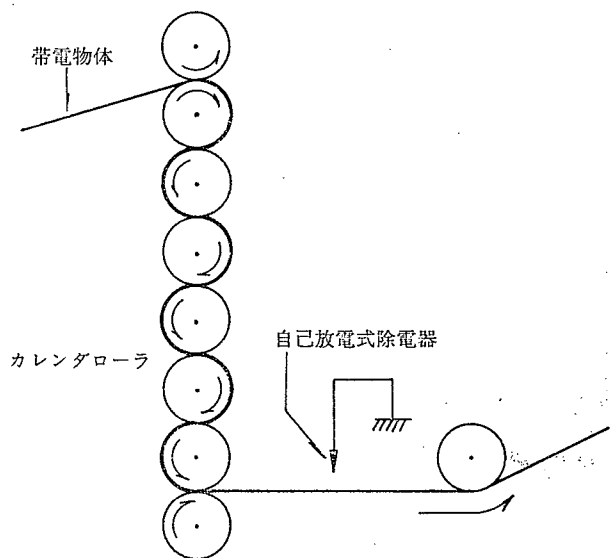


図 26 抄紙工程での実験例

長さ 1,900mm) であった。

抄紙工程—幅 2,800mm の紙が 140~160m/min という高速で、図26に示すカレンダーローラーから出ると、紙はほぼ均一に 60kV の帯電をしていた。この工程では単位時間当りに発生する静電気が約 10 μ c/sec という、実験室における実験と比較すると約 1桁大きい値であった。しかし、この工程でもカレンダーローラーの出口に自己放電式除電器を距離 5cm で設置すると、ほぼ 0V まで除電出来、発光をともなっていた放電がみられなくなった。

圧延工程—基布にゴムを圧延コーティングしたものは非常に大きな帯電をしており、これの巻き取り部分では 100kV 以上の帯電をしていた。したがって、作業者がこれに接近すると放電火花が飛び、大きな電撃を受けていた。この工程で図27に示すように自己放電

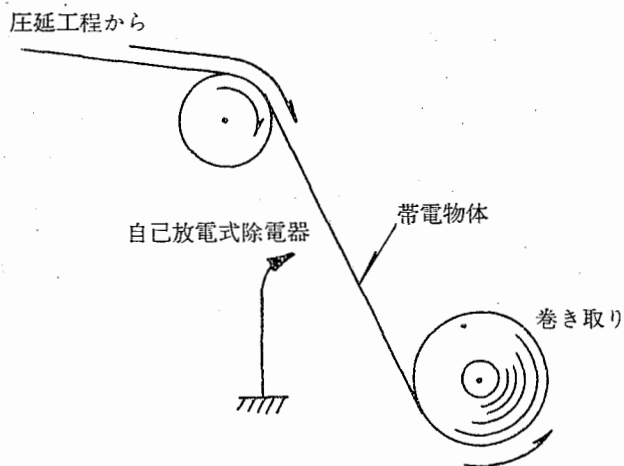


図 27 圧延工程での実験例

式除電器を設置したところ、設置距離が 5cm 以下の場合にわずかではあるが逆帯電し、これ以上の設置距離では良好な除電効果が認められ*、電撃を感じることもなくなった。

織布精練工程—織布の精練、染色工程においては、布を乾燥した後の帯電が大きく、これを図28に示すよ

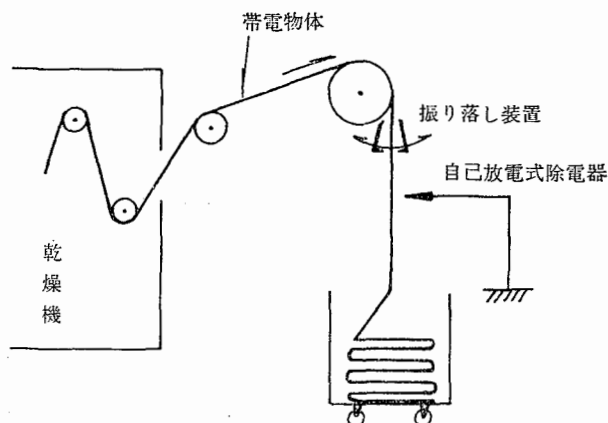


図 28 織布精練工程での実験例

うに連続的に振り落としながら折りたたむ場合に、静電気によって折り姿が乱れる障害があった。そこでこの振り落し装置に自己放電式除電器を設置すると、帯電電位が 50~60kV から 3~4kV に除電され、折り姿の乱れが解消した。

以上、現地実験についてその一部を述べたが、この他の各種工程においても除電効果について実験した。その結果を表2にまとめて示しておく。

なお、現地実験では一部自己放電式除電器の設置距

* 距離と除電効果の関係は図29参照

表 2 現地における除電効果の実験結果

工 程	帯 電 物 体	初期電位 (kV)	除電後電位 (kV)	設置距離 (cm)
フィルム成形	プラスチックフィルム	-20	-3	8.0
フィルム加工	プラスチックフィルム	-40	-3	10.0
フィルム裁断	プラスチックフィルム	+60	+2	2~5
紙 加 工	ラ ミ ネ ー ト 紙	+50~60	+2	6.0
紙 加 工	貼 着 紙	-20~30	-2	4.0
紙 加 工	クラフト貼着テープ	-20	-2	3.0
抄 紙	紙	-60	0	5.0
圧 延	ゴムラミネート基布	-100<	0	10.0
印 刷	プラスチックフィルム	-50	0	5.0
印 刷	ク ラ フ ト 紙	-20~50	-2	5.0
プラスチック成形	プ ラ ス チ ッ ク 板	+100<	0	10~15
織 布 精 練	布	+50~60	+4	2~10

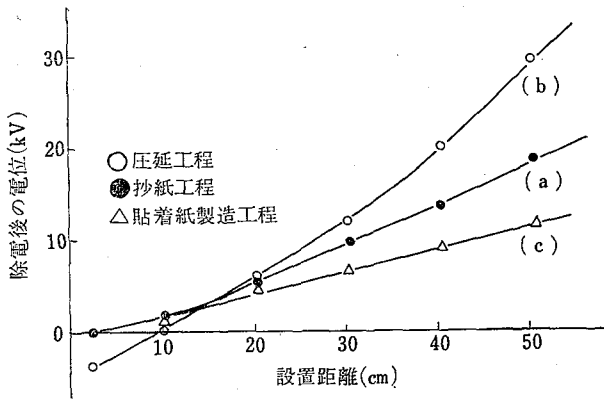


図 29 現地における除電効果の実験結果 (零以下は逆帯電を示す)

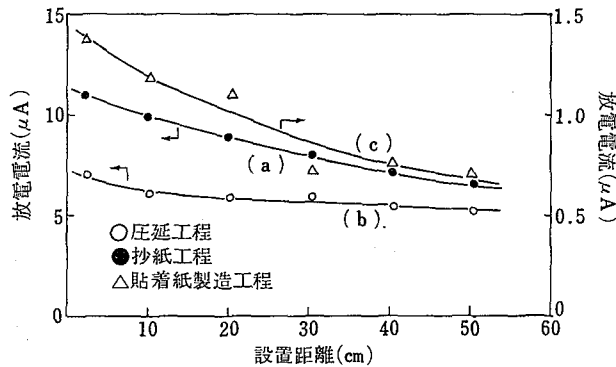


図 30 現地における放電電流測定結果

表 3 実験条件一覧表

工 程	初期電位 (kV)	移動速度 (m/min)	除電器有効長 (cm)
(a) 抄紙工程	60	140~160	280
(b) 圧延工程	100<	約60	120
(c) 貼着紙製造工程	25~30	90	120

離を変え、除電効果ならびに放電電流を測定した、その結果を図29、図30に示す。ここで、(a)は抄紙工程、(b)は圧延工程、(c)は貼着紙の製造工程における実験結果であり、それぞれの実験条件は表3に示すとおりである。

以上、実際の生産現場において現地実験を行なった結果、生産現場においては帯電電荷量、移動速度等が非常に大きな場合もあった。しかし、いずれの場合もこの自己放電式除電器によって除電され、これが有効な除電効果を有していることが確かめられた。

6.2 着火危険性

生産現場においては、先にも述べたように非常に大きな帯電をしている場合がある。したがって、ここでは特に大きな静電荷が帯電している、前記の抄紙工程と圧延工程を選び、自己放電式除電器の着火危険性についてさらに検討を行なった。

まず、帯電物体から自己放電式除電器への放電特性を測定した。その結果、これは抄紙工程のように正に帯電している場合も、圧延工程のように負に帯電している場合も、実験室での結果と同様、微弱なパルス状の電流が流れるコロナ放電であることが確かめられた。また、放電電荷量もパルス1個当たり約 $10^{-11}C$ で、大きな静電荷が放電していなかった。除電電極の鋸歯1個当たりの最大平均放電電流も約 $0.2\mu A$ で、実験室での結果と比較すれば約1桁大きい、この電流では水素ガス中で調べた実験結果から判断すると、着火源になる放電ではないと結論される。

一方、可燃性蒸気 (n-ヘキサン) が存在する接着テープの製造工程で、その巻き取り部分に図31のように自己放電式除電器を取り付け、放電特性と除電効果を測定したところ、ここでもコロナ放電によって安全に除電されていることが確認された。同様な結果がオフセットの印刷工程においても確かめられた。

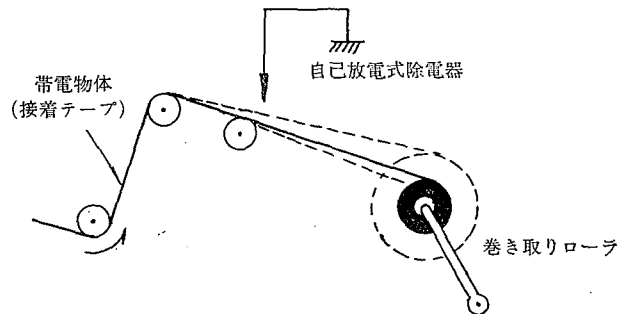


図 31 溶剤蒸気の中での実験例

これより、自己放電式除電器は生産現場においても着火危険性の極めて少ない除電器であり、可燃性混合気存在する雰囲気中使用可能なことが、この現地実験によっても確認された。

なお、参考のために、この現地実験でも図32に示すように直径 15mm の接地金属球を帯電物体に接近させて、その放電特性をシンクロスコープで測定した。その結果、放電特性は実験室での結果と同様、ここでもパルス放電が発生した。しかし、パルスの尖頭電流

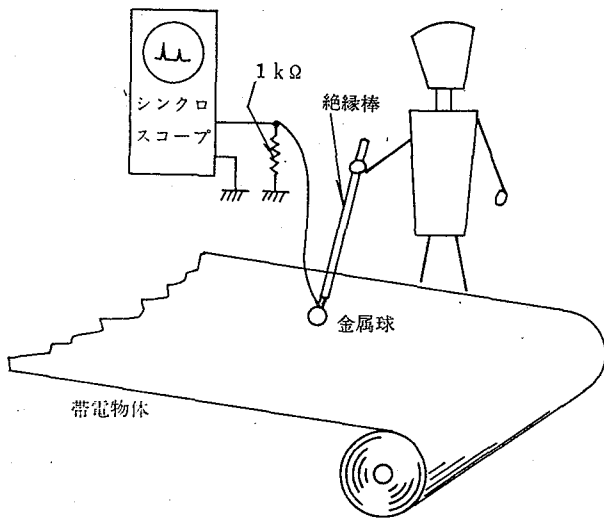


図 32 現地における放電特性の実験（実験者が金属球を接近させる）

値は非常に大きく、パルス 1 個当りの放電電荷量を測定すると、 $1\sim 5 \times 10^{-5} \text{C}$ という値が得られた。これは実験室の結果と比較して約 3 桁大きく、仮りに可燃性混合気が存在すると充分着火源になる放電であることが判明した。これより、静電気を安全に除電しないと、現地では着火源になる放電がかなり高い確率で発生すると推察される。

7. 耐久試験

自己放電式除電器の除電効果ならびに安全性が実験室と現地との双方から確かめられたので、実際の使用にあたって問題となる耐久性について検討した。

まず、除電電極に現地実験によって明らかにされた最大平均放電電流（鋸歯 1 個当たり $0.2 \mu\text{A}$ ）より大きな放電電流を一定期間連続して与え、その後の放電特性を測定してみた。すなわち、図 4 に示す測定回路によって、除電電極の鋸歯 1 個に 4 ケ月間、 $10 \mu\text{A}$ および $40 \mu\text{A}$ の電流を連続して流し、その後の放電特性を測定してみた。実験結果は図 33 に示すとおりである。これによると除電電極の ECF 先端が放電によって浸食され、多少放電電流が減少、放電開始電圧が高くなった。しかし、この除電電極を使用してプラスチックフィルムを除電を試みたところ、新しいものと有意差は認められなかった。また、除電電極を 120°C 、 140°C の空気浴中に 2 ケ月間放置した後、同じく空気浴中で放電特性を測定してみたが、この方は図 34 に示すようにほとんど変化が認められず、高温中で使用可

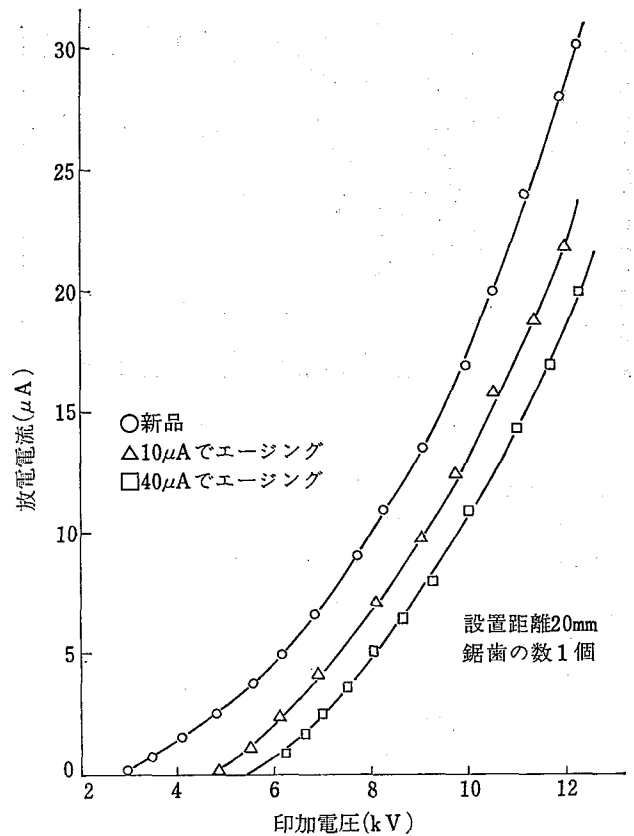


図 33 放電電流による耐久試験の結果

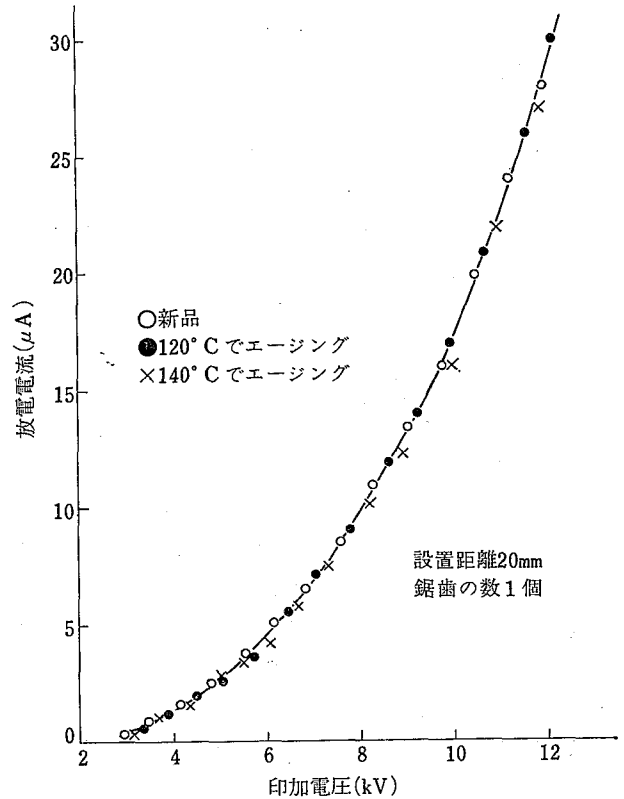


図 34 空気浴中における耐久試験の結果

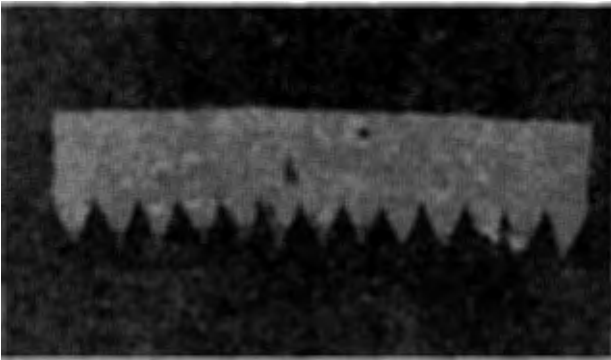


図 35 現地で耐久試験に使用した除電電極

能なことを裏付けている。

次に、実際の生産現場で自己放電式除電器を6ヶ月間使用した結果、図35に示すように除電電極の外観は汚れ、形状も多少いたむが、その間、作業者の電撃災害等も発生することなく、除電効果のあることが確認された。この場合、除電電極の ECF は実験室で行なった結果のように、先端が浸蝕されることもなく、放電特性は新しいものと変らなかつた。

8. ま と め

自己放電式除電器の特性を調べる目的から、ECFを用いた自己放電式除電器を試作し、種々の検討を行なった結果、次のことが明らかになった。

- (1) 表面帯電物体の除電に使用すると大きな除電効果が期待される。
- (2) 除電電極の自己放電は着火源になる危険性がなく、自己放電式除電器は可燃性混合気が存在する雰囲気でも使用出来る。
- (3) 一般の生産現場においても、耐久性の高い除電器で、長期の使用に耐える。

また、自己放電式除電器の使用にあたっては次の点に留意することが望ましい。

- (1) 帯電物体の走行方向とほぼ直角に取り付け、設置距離は近いほど望ましい。一般的には2~5cmの設置距離が基準と考えられる。
 - (2) 自己放電式除電器はローラ、その他の機器等と出来るだけ離し、帯電物体の電位の高い位置に取り付けることである。
 - (3) 除電電極は接触抵抗の小さくなる金属製支持体で支持し、これを必ず接地することである。
- 以上、ECFを用いた自己放電式除電器について報

告したが、この他、針電極、金属繊維電極、金属モール電極を用いた自己放電式除電器も現象的には同様な結果が得られることを確かめている。しかし、着火危険性、耐久性については現在検討中であり、現在の段階では必ずしも同様な結果が得られる保証がない。

なお、ECFを用いた自己放電式除電器の適用については表面帯電物体のみではなく、体積帯電物体の除電に対しても検討したいと考えている。これについては、粉体の除電を試みたところ、使用法と災害防止の目的によっては適用出来る見通しを得ている。

最後に、本研究を行なうにあたり、御指導、御鞭撻いただいた上智大学、大滝善太郎教授、本研究所、上月三郎所長、坂主勝弘主任研究官、実験に御協力いただいた帝人中央研究所、平川董氏、資料の御提供を受けた帝人株式会社、現地実験に御協力いただいた事業場の方々に心から深謝する。

参 考 文 献

- 1) 田島, 児玉, 上月, “産業安全研究所技術資料” RIIS-TN-70-3, (1970)
- 2) F. Hughes, “Nature”, 381~383, February, (1972)
- 3) 高分子学会編, “静電気ハンドブック”, 298, 地人書館, (1967)
- 4) 田島, “産業安全研究所研究報告” RIIS-RR-18-5, (1970)
- 5) 田島, “産業安全研究所技術資料”, RIIS-TN-71-1, (1971)
- 6) L. B. Loeb, “Electrical Coronas”, University of California Press, (1965)
- 7) 家田, 沢, 森田, 篠原, “第13回静電気研究発表会講演要旨”, 19~20, 高分子学会, (1968)
- 8) J. T. Leonard and H. W. Carhart, “Static Electrification”, 100~111, Institute of Physics and Physical Society, London, (1967)
- 9) S. Whitehead, “Electrical Discharge in Gases”, Benn, London, (1928)
- 10) L. B. Loeb, “Basic Processes of Gaseous Electronics” 647~748, University of California Press, (1955)
- 11) N. Gibson and F. C. Lloyd, “Brit. J. of Appl. Phys.” 1619~1631, 16, (1965)
- 12) B. Lewis and G. Von Elbe, “Combustion, Flame and Explosions of Gases”, 332~333, Academic Press Inc. New York and London, (1961)
- 13) E. Heidelberg, “PTB-Mitterlungen Nr. 1/1964”, S. 27, (1964)
- 14) 増田, “静電気の基礎”, 191~192, 朝倉書店, (1971) (昭和47年4月20日受理)

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-72-1

昭和47年10月20日

発行 労働省産業安全研究所

〒108 東京都港区芝5丁目35番1号

電話 (03) 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社
