

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1971

導電性繊維による作業衣の帯電防止

田 畠 泰 幸

労働省産業安全研究所

導電性繊維による作業衣の帯電防止

田 昌 泰 幸*

1. 緒 言

近年、労働環境の改善が急速に進み、作業現場における安全対策が多方面からとられているにもかかわらず、静電気に起因すると考えられる事故はむしろ増加の傾向にある¹⁾。これは化学工業の大型化と高分子化学工業の発達にもとずき、静電気の発生が大きくなったことにも起因しているが、むしろ静電気そのものが非常に捉えにくい存在であり、その対策が立てにくい事情であることを反映していると推察される。

このような実情から当研究所においては、静電気の問題点ならびにその安全対策について種々の立場から検討を進めており、今度はその一環として作業衣の帯電防止について検討を試みた。

従来、作業衣はこれに帯電している静電気が放電した場合、この放電が着火源になることもあり、発火の危険性が特に高い事業場、例えば石油化学工場や有機薬品工場などでは、木綿製の作業衣を着用するのが安全とされていた²⁾。確かに木綿製の作業衣は吸湿性に優れ、高湿度の状態においては帯電しにくい、相対湿度が約 40% 以下になると、その帯電量は大きく、やはり問題となるため、そのような低湿度においても有効な帯電防止効果を持つ作業衣の開発が望まれていた。

以上のような理由から低湿度においても、作業衣として要求される種々の条件下においても帯電防止効果を持つ方法について検討していたところ、帯電防止剤を使用した方法等よりも微弱な自己放電による帯電防止方法が有効な場合が多いことを見出した³⁾。従来微弱な自己放電を起すものとしては、一般に細い金属線等が用いられていたが、作業衣の帯電防止という立場からこれに代るものを調査していたところ、最近帝人株式会社から繊維でしかも電気抵抗の小さなもの

(ここではこの繊維を Electrically Conductive Fiber の頭文字を採り以下 ECF と呼ぶことにする)が開発されたので、これについて基礎研究を行なった。その結果、この ECF が細い金属線と等価な静電気除電能を有していること、またその除電機構が微弱な放電であるため着火源となる危険性も極めて少ないことが明らかになった³⁾。したがってここではこの ECF を作業衣に応用することに着眼し、その静電気帯電防止効果について研究してみた。

先ず基礎研究のデータに基づいて ECF を縫い込んだ、あるいは織り込んだ作業衣(以下 ECF 入り作業衣と記す)を試作し、これの帯電防止効果について試験することは勿論、静電気の産業災害が防止出来る作業衣であるかについても種々の試験、検討を行なった。また実験室だけでなく各業種 11 事業所において現地実験を行ない、静電気が実際に発生している工程での効果について調べ、さらに 25 事業所にモニタを依頼して約 100 名の作業員からアンケートをとり、ECF 入り作業衣の帯電防止効果について評価した。

その結果、この作業衣が各種の条件下においても帯電防止効果をもち、また作業衣として問題となっていた各種の静電気災害を軽減する安全性の高いものであることが確認された。

したがってここでは以上の検討によって明らかになった ECF 入り作業衣の帯電防止効果について報告する。また合せて基礎研究の結果明らかになった ECF の除電機構についても若干の報告をする。

2. 作業衣の静電気帯電防止

2.1 作業衣帯電防止方法

作業衣の静電気帯電は広い意味でこれを着用している作業員自身の帯電に繋がる。したがって作業衣の静電気帯電防止についても、ここではその基本として作

* 電気研究部

業者の静電気帯電を防止する立場から検討した。

まず作業員自身の帯電は低い抵抗値の履物を履き、人体を接地状態にすることによって解決されるが、この条件のもとに作業衣の帯電防止をするには大別して次の2つの方法が考えられる。1つは作業衣の電気伝導率を大きくして、作業衣に帯電している静電気を伝導によって除去する方法であり、他の1つは自己放電式除電器の原理と同様、微弱な放電によって作業衣に帯電している静電気を除去する方法である。

前者の方法は電気伝導を利用したものであるから、接地が完全に行なわれている場合に限り作業衣の静電気はほとんど除去することが出来、作業衣のみの静電気を帯電防止するという狭い意味では非常に有効な方法である。また後者の方法においては自己放電を利用したものであるから、その放電が可燃性混合気の着火源となったり、雑音源とならないならばこれも有効な方法である。

このように両者とも有効な帯電防止方法であるが、作業衣の帯電防止を行う目的を産業安全の立場から考えると、静電気による爆発と電撃の防止が必須条件となるために、ここでは後者の方法を採用することとした。すなわち前者の方法によれば作業衣の帯電防止のみは確かに可能となるが、静電気が発生が大きい工程等において、この作業衣を着用していると、作業員が作業衣以外の他の静電気帯電物体に接近した場合、これは接地体が接近することと等価であるために帯電物体から放電が起り、これが爆発の着火源となるような大きい放電に発展する危険性が考えられるからである。その点後者の方法は放電を利用したものであるから、仮りに微弱な自己放電を起す放電能をもったもの（例えば金属繊維、カーボン繊維、ECF等）を作業衣に入れておけば、帯電物体が作業衣であれ、下着であれ、他のいかなる帯電物体であったとしても、帯電している物体との間で微弱な放電を起して着火源となるような放電にいたらずに静電気が除去されるために*、先のような危険性が軽減されることになるのである。加えてこの方法は湿度依存性が少ないこともあって³⁾、従来問題となっていた湿度の低い場合においても帯電防止効果を持つ利点があるのである。

以上のような理由からここでは作業衣の帯電防止を自己放電による後者の方法によって実現することとした。

* 詳しくは3.2を参照せよ。

2.2 作業衣帯電防止の原理

金属繊維、カーボン繊維、ECF等、電気抵抗の小さな導電性繊維は図1に示しているように帯電物体からの電気力線を集め、その近傍に不平等な強電界を形成する。このためその近傍には空気イオン対が発生、いわゆる放電が起って帯電物体と逆極性のイオンは帯電物体へ、同極性のイオンは接地体へと移動する。その結果帯電物体の静電気は中和されて結果的には除電されることになる。図1では帯電物体が正に帯電しているため負のイオンが帯電物体へ、正のイオンが接地体へ移って除電されることになる。

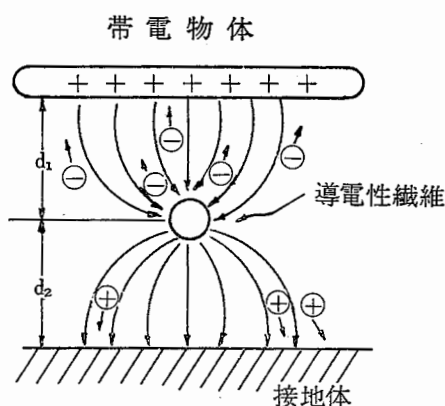


図1 放電による除電原理

このような放電による静電気の除電方法では、帯電物体と導電性繊維との距離 d_1 が小さいほど、また導電性繊維と接地体との距離 d_2 が小さいほど（ $d_2=0$ の場合は導電性繊維が接地された状態）除電効果は大きくなる⁴⁾。

導電性繊維を作業衣の中に入れて作業衣の帯電防止を行う方法もその原理はこれとほぼ同じである。すな

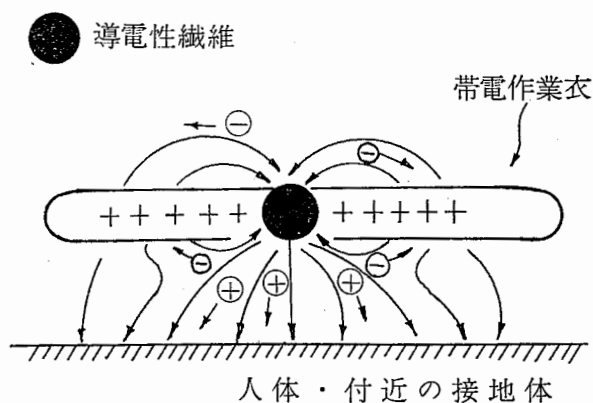


図2 作業衣の静電気帯電防止原理

わちこの場合は図1の導電性繊維が作業衣である帯電物体と近似的に距離零($d_1=0$)の位置にあり、図1の接地体が人体あるいは付近の接地体に相当する場合であるから、電界の分布状態は図2に示すようになり、図1と多少異なるが、原理的には図1と同じ機構によって作業衣の静電気が除去されるのである。したがって導電性繊維を用いた作業衣を着用していると作業衣の帯電防止は勿論、この作業者が帯電物体へ接近した場合にも、その静電気を除去することが出来るのである。

3. ECF と作業衣の帯電防止効果

3.1 ECF の静電気除電能

本実験ならびに試作した帯電防止作業衣に用いた導電性繊維は先にも述べたごとくECFであり、このECFは外観、特性等において普通の合成繊維とほとんど変りない。ただ表面の電気抵抗のみが1cm 当り $10^2 \sim 10^3 \Omega$ と非常に小さく、表面には多少の凹凸があるが、その断面は円形に近い直径約 50μ の繊維である。また ECF は $0.15 \sim 0.20 \text{ W/cm}$ の電気エネルギーによって切断してしまう繊維であるから、動電気が流れた場合には数 10 mA の電流によって瞬時に切れてしまう。しかしこの ECF は表面の電気抵抗が小さいために伝導による静電気除電能の他、図3に示すように図1の原理に基づいて帯電物体との間には $10^{-6} \sim 10^{-5} \text{ A}$ とい

う微弱なコロナ放電を起し、主にこれによって帯電物体の静電気を除去すること、あるいは帯電物体が高電位に帯電しないように抑制することが出来ることを明

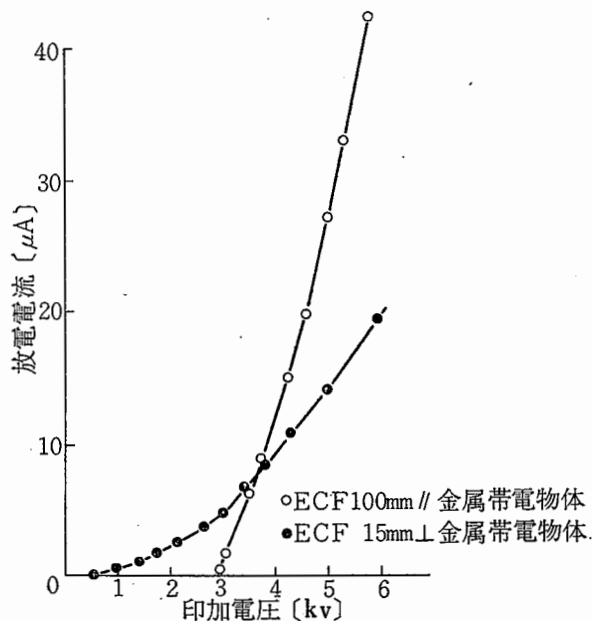


図3 ECF の放電特性

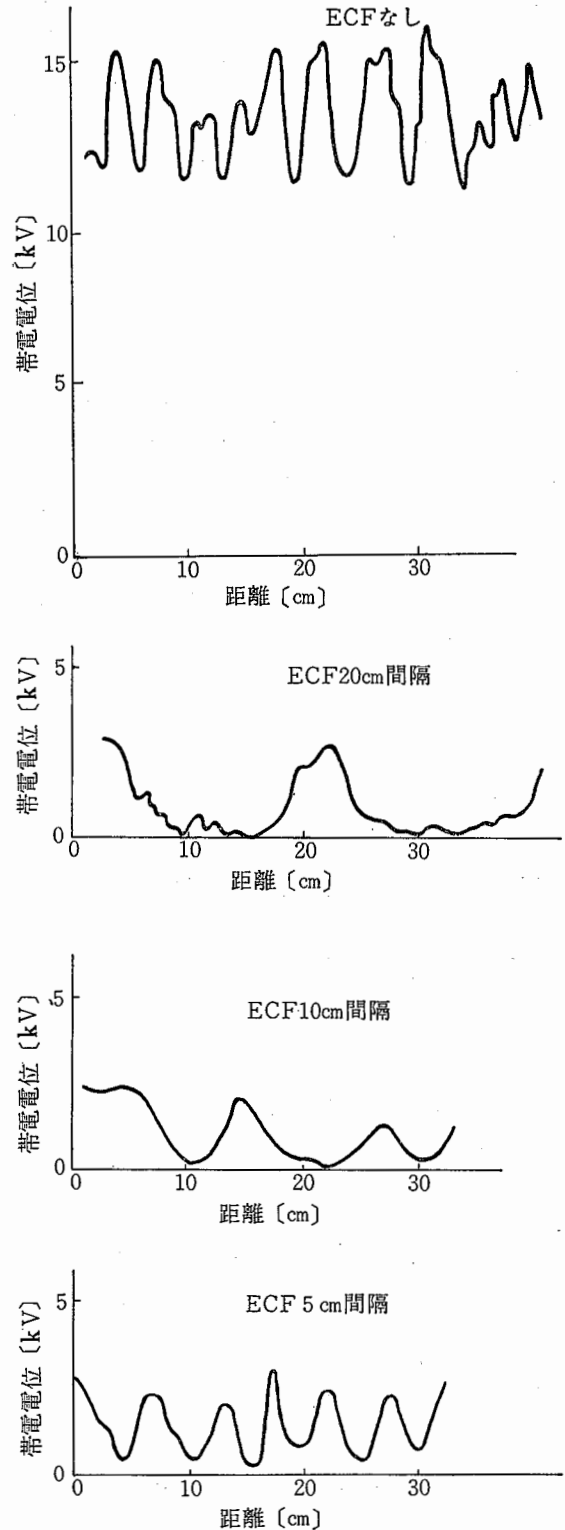


図4 ECF 入り布の電位分布

らかにした⁴⁾。したがってこの ECF を布に縫い込む、または織り込むと、布に発生した静電気がこのコロナ放電によって除去され、布にはほとんど静電気が帯電しなくなる⁵⁾。

図4は ECF を布に縫い込んでその除電能を調べた実験結果である。この実験は実験用試料布として ECF を2, 5, 10, 20 cm の各間隔でポリエステル・レーヨン混紡布に縫い込んだものを作り、これを図5に示しているようなポリ塩化ビニル繊維製の布の上に置き、さらにこれを前記のポリ塩化ビニル繊維製の布で上からはげしく摩擦して試料布に摩擦、剥離による静電気を帯電させた後、試料布の電位分布を測定した実験結果である。この実験結果から明らかなように、ECF が10 cm 間隔に縫い込まれていると、それによって布の帯電電位は最高約2.5 kV に抑えられてしまう。また参考のために各材質の布に同様の方法をもって静電気を帯電させ、その平均帯電電位を測定したところ図6に示す実験結果が得られた。この結果からも ECF 入り布は他の布に比較して低い帯電電位であることが明らかである。

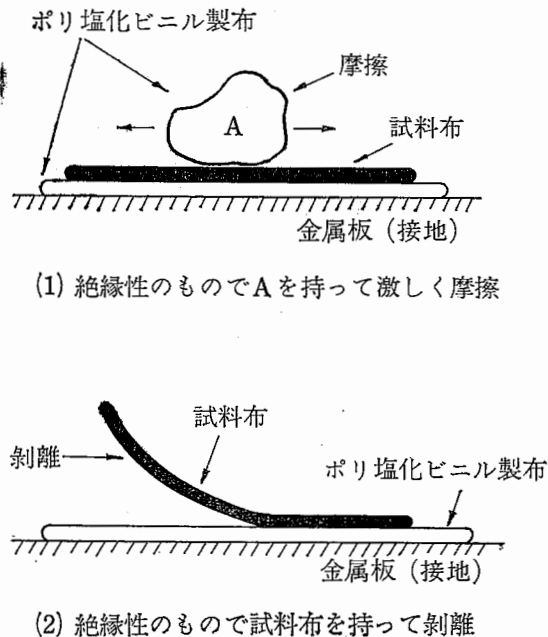
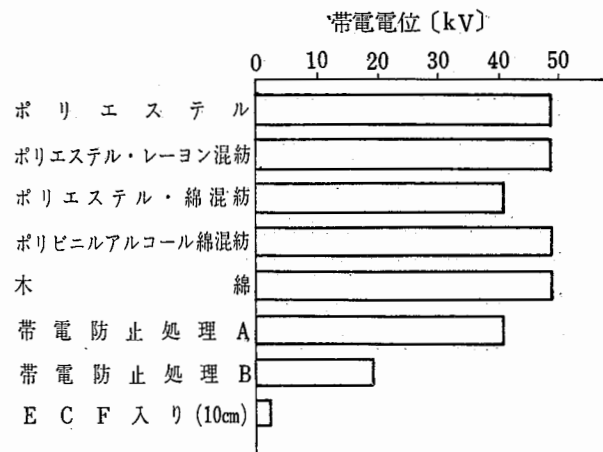


図5 布への静電気帯電方法

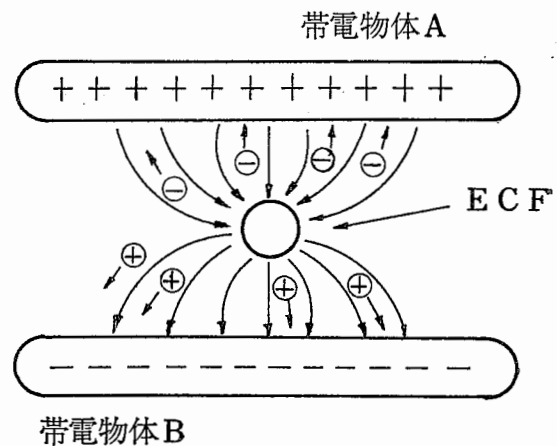
以上は試験用の布を用いて ECF に静電気除電能があることを示した実験結果の1例であるが、このような放電による静電気除電方法を採用すると、以上の他にも次のような静電気除電能のあることが明らかになった。例えば微弱な放電を起す ECF の近傍に正負の帯



注) 20°C 38% r.h

図6 各種布の静電気帯電電位

電物体があると、図7に示すようにこの近傍に正負のイオン対が発生し、これが互いに逆極性の帯電物体へ移動してこれらの電荷を中和する結果、両者の静電気を除電すること（仮りに中和効果と呼ぶ）が実験の結果明らかになった⁵⁾。これも放電を用いた除電方法の大きな特徴の1つであるといえる。したがって例えば下着と作業衣との摩擦によって静電気が発生した場合にも作業衣に ECF に入れておけばこの中和効果によって両者の静電気が除電されることになるのである。



AとBが摩擦して静電気が発生

図7 ECF の中和効果による除電原理

以上のように ECF は帯電物体との間に微弱な放電を起す特性を有しており、これが静電気除電能となって帯電物体の静電気が除去されるのである。

3.2 ECF の放電特性と着火危険性

ECF は以上のように微弱なコロナ放電によって静

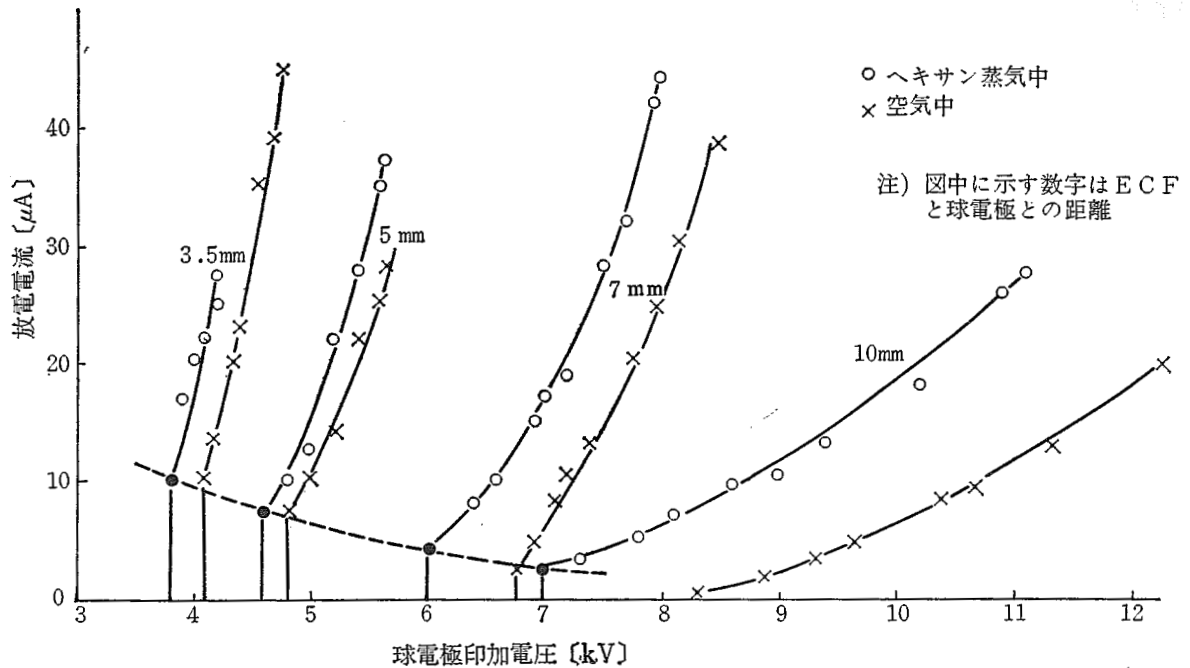


図 8 溶剤蒸気中での ECF 放電特性一例

電気を除去するものである。このように除電機構が放電であると、これによってガス、蒸気、粉じん等の可燃性混合気に着火しないかという問題が生じて来る。したがってここではこれについても検討した。

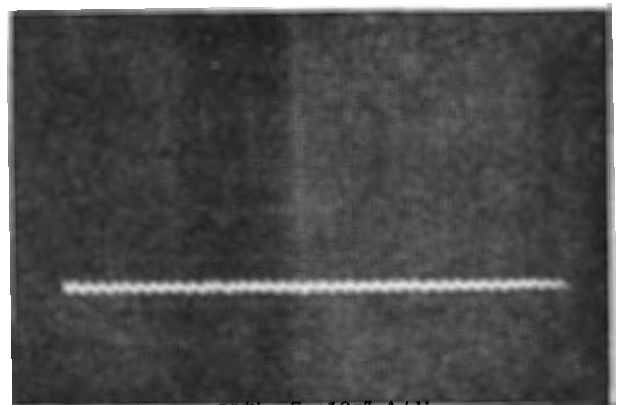
まず ECF の放電電流であるが、これを各種溶剤蒸気の雰囲気中で測定したところ、図 8 にその 1 例を示すように空気中と大差なく、やはり微弱な放電電流であることが確認された。またこの放電特性をシンクロスコップで観測したところ、これもまた基礎研究³⁻⁵⁾で確認された空気中の放電特性と大差ないパルス状の微弱なコロナ放電⁹⁾であった。

そこでこのような放電が可燃性混合気の着火源となり得るかどうかであるが、これをモデル実験によって検討することにした。実験方法は出来るだけ着火しやすい条件のもとで検討、確認しておく意味から、装置は着火確率の高い最小着火エネルギー測定装置^{6,7)}を用い、帯電物体には 10mm の金属球にキャパシタを接続したものをを用いて行なった。

以上のような実験条件のもとで、放電電極にも同じく 10mm の接地された金属球を選んだところ、この場合は放電した瞬間にエネルギーを放出する火花放電となって、最小着火エネルギーで着火した。しかし放電電極に接地された ECF を選んだ場合は微少なパルス状の放電となって最小着火エネルギーでは着火しなかつ

た。ECF の場合には結果的に微弱なコロナ放電となることが多く、この実験方法では ECF と帯電物体である金属球との距離を 1mm 以内に接近させたときのみ、瞬時にエネルギーを放出する火花放電となって着火することがあった。しかしこのときの着火エネルギーは最小着火エネルギーの約 30 倍以上を必要とすることが測定によって明らかになった。

次に帯電物体として布を選び、この静電気を ECF によって除電する場合の放電特性、着火危険性を調べてみた。その結果帯電布に ECF が接近する過程で起



スケール Y軸 5×10^{-7} A/div
X軸 10^{-3} s/div

注) 零レベルは Y 軸 -2div の位置

図 9 ECF と帯電布との間で起る放電電流

る放電は常に図9に示すような微少な放電であり、火花放電は発生しなかった。また着火についても実験を繰り返し行なったが、この場合には一度も着火することがなかった。

以上 ECF の着火危険性について検討したが、最も大きな放電が起って着火し易い条件のもとでも、ECF の放電によって着火するには、帯電物体と1mm 以内の距離に ECF が接近しなければならず、最小着火エネルギーの約 30 倍のエネルギーを必要とするという実験結果が得られた。したがってこの実験結果と、ECF は帯電物体へ接近する過程においてもその静電気を除去するという事実から推察するとき、ECF の放電が着火源になる危険性は極めて少ないと考えられる。

3.3 ECF 入り作業衣の帯電防止効果

ECF が以上に述べたような放電による静電気除電機能をもつこと、ならびにその放電が可燃性混合気の着火源となるような放電に発展することも極めて少ないことが実験によって明らかになった。したがってここでは実際に ECF 入り作業衣を試作し、これの帯電防止効果について検討した。また作業衣は種々の苛酷な条件、雰囲気のもとで着用されるため、このような条件のもとでの帯電防止効果についても合わせて検討した。この実験に使用した ECF 入り作業衣はポリエステル・レーヨン混紡製の布に ECF を 1cm, 3cm, 5cm の間隔でそれぞれ縫い込みあるいは織り込んで試作したものである。

3.3.1 作業衣の帯電電位

作業衣に発生する静電気としては人体の動作によって作業衣と下着との間に摩擦が起り、これによって発生する場合と、作業衣が壁とか機械等の第三者と接触、摩擦した結果発生する場合の2つが考えられる。したがって ECF 入り作業衣の帯電防止効果についてもここでは上記の2つの場合についてそれぞれ評価した。

先ず前者の場合については評価する方法として、検討の結果下着には静電気の発生が比較的大きなポリ塩化ビニル製のセーターを着用し、この上に ECF 入り作業衣を着用することにした。また静電気を発生させるには以上の着用状態で、腕を前後に5回まわす、あるいは下着と激しく摩擦するの2動作によって行うことを標準動作と定めた。なお測定は以上のようにして静電気を発生させた後、着用中あるいは脱衣後の作業

衣を、場合によっては人体の帯電電位を、それぞれ静電場測定器によって測定し、これによって定量的な評価を行なった。

実験では比較のために、化学繊維製の代表としてポリエステル・レーヨン混紡製の作業衣、天然繊維製の代表として木綿製の作業衣についても同様な評価を行なった。その結果 ECF 入り作業衣を着用した場合、作業衣または下着に静電気が発生、帯電しても ECF の除電効果によってそれぞれの静電気が除去され、作業衣ならびに下着の電位は一定の電位以上に上昇しないことが確認された。またこの除電現象は ECF 入り作業衣の着用中であっても脱衣中であってもそれに関係なく起るが、脱衣中は着用中よりも一般に作業衣の電位が高くなるため、より一層 ECF の自己放電作用が起って低い電位まで除電されることが確認された。

表1はその実験結果の1例を示すものであるが、他の作業衣に比較すると ECF 入り作業衣の電位は低くなっていることが明らかである。なお3.1図7で説明した中和効果を確認する意味で、作業衣を脱衣して作業衣と下着の電位をそれぞれ測定した。下着の電位は

表1 着用中作業衣の最高帯電電位

作業衣	腕を5回まわす		下着と激しく摩擦する	
	着用中	下着より10cm 離す	着用中	下着より10cm 離す
	kV	kV	kV	kV
ポリエステル・レーヨン混紡	10	28	10	42
木綿	5.5	16	10	20
ECF入り(5cm)	3	6	5	7
ECF入り(3cm)	2	4	4	5
ECF入り(1cm)	1.5	3	2	4

注) 20~25°C 30~40% r.h.

表2 脱衣後の作業衣、人体帯電電位

作業衣	作業衣の帯電(kV)		人体の帯電(kV)	
	腕を5回まわした後脱衣	下着とはげしく摩擦した後脱衣	腕を5回まわした後脱衣	下着とはげしく摩擦した後脱衣
ポリエステル・レーヨン混紡	75	80	14	18
木綿	45	50	11	10
ECF入り(5cm)	8	8	0.5	0.5
ECF入り(3cm)	6	6	0.5	0.5
ECF入り(1cm)	4	4	0.5	0.5

注) 20~25°C 30~40% r.h. 人体浮遊

結果的に人体を浮遊状態とし、その電位を測定した。その結果は表 2 に示されるよう、ECF 入り作業衣では作業衣、人体ともに他の作業衣に比較して帯電電位が低くなっており、ECF による中和効果が確認された。

次に後者の場合であるが、この場合も着用状態は同じで図 10 に示すような実験を行ったところ、作業衣に静電気が帯電すると ECF が自己放電を行って作業衣の静電気が除去されることが明らかになった。すなわちシンクロスコープには図 11 に示すような微少なパルス状の放電電流が観測され、作業衣に帯電している静電気が ECF の自己放電作用によって人体、接地体へと漏洩していることが裏づけられた。なおこの場合作業衣の電位を下着より 10cm 離して測定したところ 2~4kV の帯電電位であった。

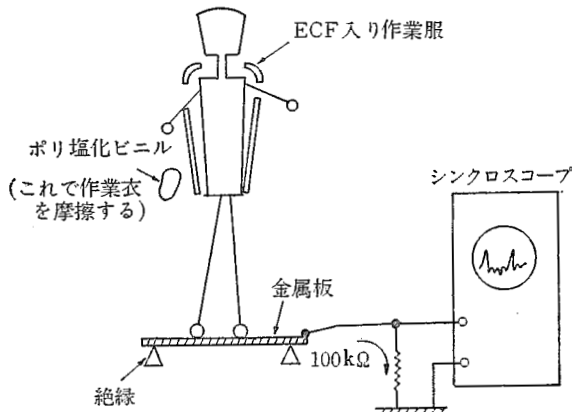


図 10 ECF 入り作業衣の除電特性



図 11 除電過程における放電電流の一例

また後者の例に近い場合であるが、作業者が静電気の発生、帯電しているものに接近することは避けられぬことであり、このときこれらに発生、帯電していた静電気が作業衣に移って、結果的に作業衣が帯電することがある。したがってこの場合の帯電防止効果についても評価してみた。その結果、ECF 入り作業衣を

着用すると、この場合にも作業衣の電位は 500V と低く^{*}、ECF 入り作業衣に帯電防止効果のあることが確認された。

3.3.2 環境と帯電防止効果

先にも述べたように作業環境には非常に多種多様性があると同時に、その要因の変化量も非常に大きい。例えばその中の湿度 1 つ採り上げてみても、夏期と冬期ではその差が大変大きいと考えられる。したがってここでは ECF 入り作業衣の帯電防止効果がそれらの環境によってどう変るか、実験室内で可能な範囲の環境変化をいろいろ与えて検討してみた。

先ず湿度と帯電防止効果の関係について検討した。これについては基礎実験の結果から低湿度においても除電効果のあることは明らかになっているが³⁾、確認のために ECF 入り作業衣を種々の湿度に空調した実験室内に 1 週間放置して調湿した後、その帯電電位を測定した。その結果表 3 に示す実験結果が得られ、ECF 入り作業衣があらゆる湿度においても帯電防止効果をもつことが確認された。

表 3 各湿度における作業衣の帯電電位

温度・湿度	帯電電位 (kV)		
	ECF 入り (5cm 間隔)	木 綿	ポリエステル レーヨン混紡
24°C20% RH	5~10	52~60	50~57
35% RH	4~7	42~50	42~50
51% RH	3~6	18~20	36~42
60% RH	2~3	1~3	20~30

注) 腕を前後に 5 回まわした後脱衣して測定

次にガス、溶剤蒸気、粉じん等が存在している作業環境を想定してこれについて検討した。実験ではこれらに対する最も苛酷な条件のもとで効果を調べる意味と、これらの存在量が大きな環境で作業衣を着用して実験することは、衛生上好ましくない意味から、作業衣ではなく ECF を直接そのような雰囲気の中へ長時間暴露、あるいは溶剤の中へ 24 時間浸漬してその後における ECF の放電特性（除電能）と抵抗値を測定し、これによって評価してみた。その結果図 12、図 13 にその例を示すとく ECF はそのような雰囲気、浸漬に対しても放電特性が差程変わらず静電気除電能をもっていることが確認された。また ECF の抵抗値についても表 4 に示すとおり 24 時間の薬剤浸漬、ガス暴露によってはそれが変化しなかった。ただ長期間の屋外暴露試験では抵抗値が大きくなった。しかしこれ

* 帯電物体の電位、帯電状態によってさまざまであった。

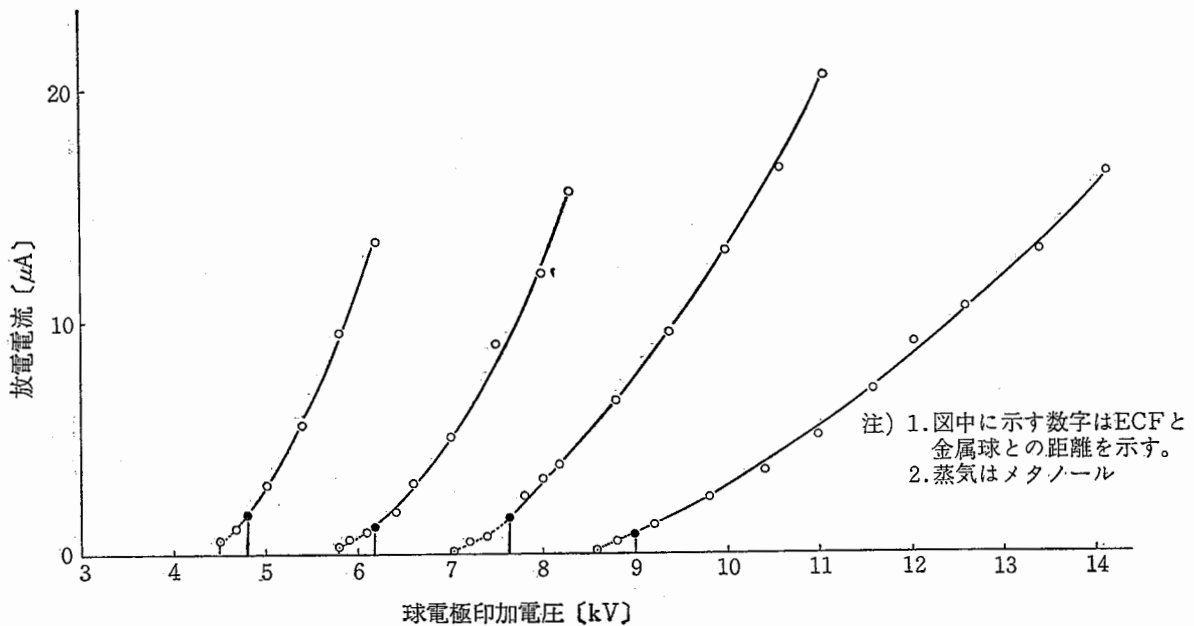


図 12 溶剤蒸気暴露と ECF の放電特性の一例*

表 4 ECF の耐久性試験結果

試験項目	暴露・浸漬条件	ECF の電気抵抗 (5cm の抵抗) (Ω)
耐薬品性	酸浸漬 25°C 24 時間 (10% H ₂ SO ₄ , 10% HCl, 3% HNO ₃ , 20% HNO ₃ , 20% CH ₃ COOH, 20% HCOOH)	10 ² ~10 ³
	アルカリ浸漬 25°C 24 時間 (40% NaOH, 28% NH ₃)	10 ² ~10 ³
	還元剤浸漬 25°C 24 時間 (2% Na ₂ S ₂ O ₄ , 37% HCHO)	10 ² ~10 ³
	酸化剤浸漬 25°C 24 時間 (3% H ₂ O ₂ , 0.5% NaClO, 0.5% NaClO ₂)	10 ² ~10 ⁵
	有機溶剤浸漬 25°C 24 時間 (リグロイン, パークレン, トリクレン, トルエン, クロルベンゼン, ジオキサン, エタノール, 酢酸エチル, メチルエチルケトン)	10 ² ~10 ³
耐ガス性	ガス暴露 24 時間 (NO ₂ , SO ₂ , H ₂ S, NH ₃ , プロパン燃焼ガス)	10 ² ~10 ³
耐候性	キセノンウエザメータ照射 100 時間	10 ² ~10 ³
	300 時間	10 ² ~10 ³
	屋外暴露 1 ケ月	10 ² ~10 ³
	3 ケ月	10 ² ~10 ⁵
	12 ケ月	10 ⁷ ~10 ⁸

* ECF と金属球との距離は左の曲線から 4, 5, 7, 10mm である。

も基礎研究の結果明らかになっている除電能をもつ抵抗値の範囲内であることが確認された⁸⁾。なお粉じんに対しても検討したが空気中と変えることはなかった。これによりガス、溶剤、粉じん等の存在する環境においても ECF の帯電防止効果はほとんど変わらないと推察出来る。

一方、温度の影響については改めて検討しなかったが、冬期、夏期に渡っての本研究期間から判断するとき、通常の作業環境で起る温度変化程度では、温度が ECF の除電能に大きな影響を及ぼすことはないと考えられる。

3.3.3 汚れと帯電防止効果

作業衣には着用者の汗、ほこり、油等を始めとして、その他もろもろの汚れが当然のことながら付着している。したがってここではこの汚れと帯電防止効果の関係について検討してみた。

汚れも分析すれば非常に複雑であるが⁹⁾、これが ECF 入り作業衣の帯電防止効果に及ぼす影響を基本から調べる意味で、この汚れを次のように ECF の汚れと、布の汚れの 2 つに分けて検討してみた。

先ず前者 ECF の汚れは、放電能をもつ ECF の表面が空気以外の誘電率の大きな物体 ($\epsilon_s > 1$) で覆れることと等価であるから、油、ペイント等で ECF の表面を完全に覆い、その放電特性を調べた。図 14 はこの実験結果を示したものであるが、汚れたものと汚れない

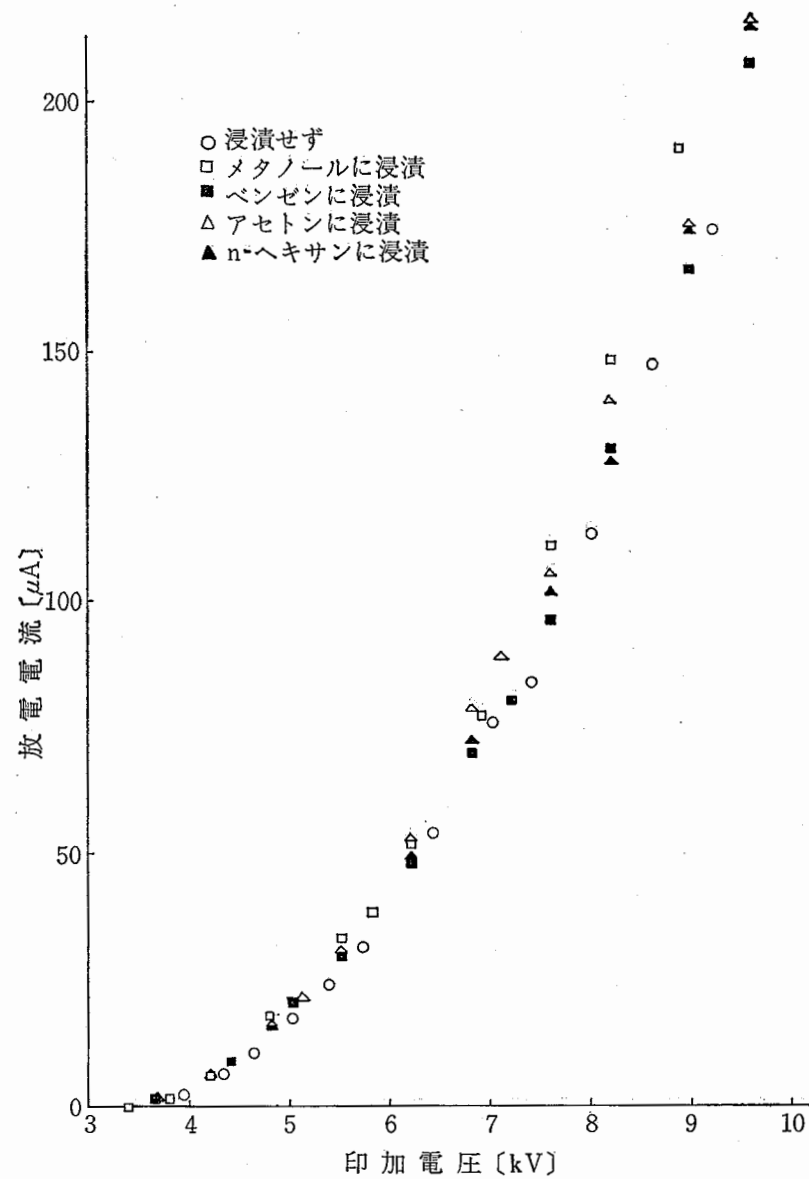


図 14 汚れと ECF の放電電流

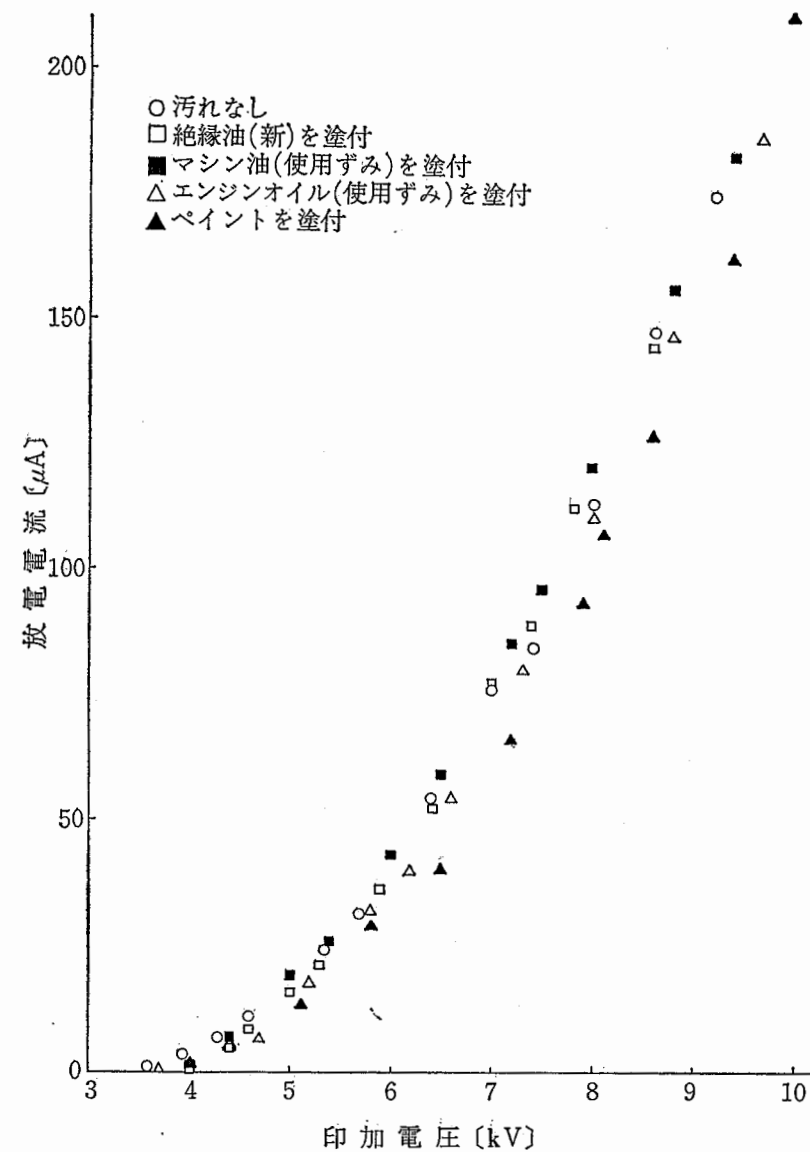


図 13 溶剤浸漬と ECF の放電電流

導電性繊維による作業衣の帯電防止

いものとは放電特性に大きな差がなく、ECF はこれ等によって汚れてもその除電能に大きな変化のないことが確認された。

次に布のみの汚れについて検討するため、着用した各種の作業衣から汚れた部分を切り取り、これについて調べてみた。試みとしてこの汚れた布の表面固有抵抗と摩擦帯電電位との関係を調べたところ、その関係は図 15 に示すような 1 次的相関関係になっていることが判明した。またこの汚れた布を洗濯して、その表面固有抵抗と帯電電位を測定したところこれも先と同じ 1 次的な相関関係になっており、布は汚れるとその表面固有抵抗が減少する傾向にあることが明らかになった。したがって布が汚れると一般にはその帯電電位が低くなる傾向にあり、この傾向は汚れた布に限らず、新しい布についても図 15 にその実験結果を示すごとく同じであった。

以上の検討結果を総合して判断すると、作業衣は汚れることによってその帯電電位が低くなると推察されるが、これを ECF 入り作業衣についても確認するため、汚れたものの帯電電位を測定した。その結果、表 5 の実験結果が示すように、汚れたものの方が確かに帯電電位は低くなった。これは ECF の除電作用にさらに布の伝導効果が加わったためであると判断される。なお ECF 入り作業衣の一部が極端に汚れその部分の電気抵抗が小さくなった場合にも、汚れないものの除電特性と大きな差異はなかった。したがって汚れによ

表 5 汚れと作業衣の帯電電位

作 業 衣	作業衣の電位 (kV)	
	汚れた状態	洗濯後
ポリエステル・レーヨン混紡	2	38
木 綿	2	38
ECF 入り (5cm)	0	4
ECF 入り (3cm)	0	2
ECF 入り (1cm)	0	2

注) 20°C 30~40% r.h.

腕を前後に 5 回まわした後脱衣して測定

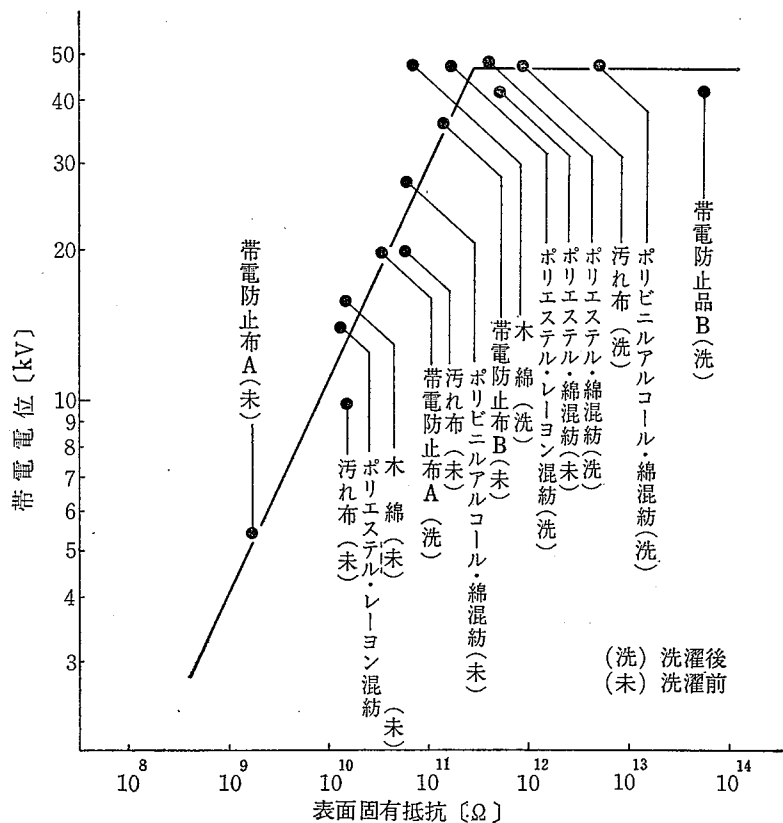


図 15 表面固有抵抗と帯電電位

って ECF 入り作業衣の帯電防止効果が減少するようなどことはなく、大部分は多少良くなる傾向すらあることが判明した。

3.3.4 帯電防止効果の耐久性

作業衣は苛酷な条件の下で使用されるものであるから、これに対する検討としてここでは洗濯と長期間の着用試験を行い、これによって帯電防止効果がどのように変るかを検討してみた。

洗濯に対しては表 6 に示す条件で家庭用洗濯機および業務用ウォッシャを使用して 100 回までの洗濯を試み、作業衣の帯電電位を測定した。各洗濯回数に対す

表 6 洗濯条件と乾燥条件

	家庭用洗濯機	業務用ウォッシャ
機 種	東芝製 VH-7000	旭製作所製 BM-1
洗 剤	中性洗剤 (ザブ)	中性洗剤 (マルセル)
洗 剤 濃 度	水 10l に洗剤 8g	水 10l に洗剤 10g
洗 濯 時 間	20°C 5 分	60°C 20 分
すすぎ時間	20°C 15 分	40°C 10 分
乾 燥	30% r.h 室にて自然乾燥	30% r.h 室にて自然乾燥

表 7 ECF 入り作業衣の洗濯試験

洗濯回数 (回)	作業衣の電位 (kV)	
	家庭用洗濯機	業務用ウォッシャ
0	3 ~ 5	3 ~ 5
5	3 ~ 6	—
20	3 ~ 4	3 ~ 4
40	—	4 ~ 5
50	3 ~ 5	—
60	—	4 ~ 5
100	4 ~ 7	4 ~ 5

注) 20~25℃ 30~40% r.h.

腕を前後に 5 回まわした後脱衣して測定

る帯電電位の測定結果を表 7 に示す。家庭用、業務用いずれの洗濯方法によっても、100 回までの洗濯では ECF 入り作業衣の帯電防止効果に大きな変化はなかった。

次に長期間着用の影響を検討するため、機械器具修理、粉体袋詰め、フィルム巻き取り等の作業を行っている作業者に実際の作業場において約 12 ヶ月間着用していただき、その間定期的に作業衣の帯電電位を測定した。その結果は表 8 に示すとおりであり、ECF 入り作業衣の帯電防止効果がこれらの長期間の着用によっても低下しないことが確認された。

表 8 長期間着用による各種作業衣の帯電電位

作業衣	作業衣の電位 (kV)				
	着用前	着用 1 ヶ月後	着用 3 ヶ月後	着用 5 ヶ月後	着用 12 ヶ月後
テترون・レーヨン混紡	42~50	40~50	47~55	47~53	47~55
ポリビニルアルコール・綿混紡	43~52	40~50	45~50	50~60	50~60
木綿	42~50	43~47	45~55	50~60	50~57
ECF 入り (5cm)	4~7	4~7	4~8	4~7	5~7
ECF 入り (3cm)	2~3	2~3	2~4	2~4	2~4
ECF 入り (1cm)	0~2	1~3	3~4	2~3	2~3

注) 20~25℃ 30~40% r.h.

腕を前後に 5 回まわした後脱衣して測定

4. 現地実験

ECF 入り作業衣は以上の検討結果に示されるとおり、種々の条件のもとでも良好な帯電防止効果をもつ

ことが明らかになった。しかし以上の検討は主として実験室で行なったものであり、実際の作業現場では実験室で実現出来ない、あるいは想定出来ないような環境、条件も存在すると考えられるのでこれについて検討する意味から、また新しい問題点を探索する意味からも ECF 入り作業衣の現地実験を試みた。

現地実験は出来るだけ作業内容、環境の異なる所で実施する目的からも、各業種 11 事業場の協力を得、次の工程によって ECF 入り作業衣の帯電防止効果、着用感、その他を検討した。

原料投入工程、フィルム巻き取り工程、タイヤ製造工程、紙製造工程、紙巻取り工程、繊維製造工程、印刷工程、石油精製工程、溶剤による洗浄工程、粉体収じん工程、薬製造工程

なおこの現地実験では主として 1cm、あるいは 5cm 間隔に ECF が入った 2 種類の作業衣、履物は静電靴を使用して実施した。

現地実験から得られた結果の概要を各工程別に示すと次のとおりである。

原料投入工程

図 16 に示すように高分子の粉体、顆粒を袋から出してホoppaあるいは原料タンクへ投入する工程で、この場合粉体は最大 20kV、袋は約 30kV に帯電していた。このように静電気の発生が大きな工程では作業者にも静電気が帯電しており、その帯電電位は 5kV 以上であったため、作業者は当然電撃を受けていた⁹⁾。以上のような環境においても ECF 入り作業衣が帯電



図 16 高分子粉体の投入作業

防止効果を持つかどうか、これについて調べてみた。その結果、ECF 入り作業衣を着用すると電撃、不快感ともなくなった。

フィルム巻き取り工程

高分子フィルムを巻き取ったり、巻き返している工程で、ここでは巻き取っているフィルムには約 40kV の電位が検出された。また作業者が指先、工具等を近づけると放電音、発光を伴った放電が観察され痛みを訴えていた。したがってこの工程では 1cm 間隔の ECF 入り作業衣を着用、人体へ放電する電流をシンクロスコープで観察したところ、フィルムに接近する過程で放電電流は着用しない場合の約 $1/10^4$ 程度に減少し、電撃による痛みはなくなることが明らかになった。

タイヤ製造工程

この工程はプレート状のゴムを張り合せてエンドレスバンドに成型するのであるが、その際成型機からバンドを抜き出すと、バンドは約 40kV に帯電していた。ここでは作業者がすべて静電靴をはいていたがそれでも手、足等に電撃による痛みを受けていた。したがってこれもフィルム巻き取り工程と同様な実験を試みたところ、作業者の受ける痛みはかなり軽減した。

紙製造工程

抄紙した紙を巻き返して紙に塗布、接着材などをつける加工工程では、時おり紙が約 40~60kV の高電位に帯電することがあった。このような高電位に帯電した場合は帯電物体に接近するだけで髪の毛、体毛等がクーロン力によって引きつけられ非常な不快感をきたした。またこれに触れると指先がしびれる程度の強い電撃を受けるため、素手で作業している人はいなかった。帯電物体がこのような高電位になる場合は、当然これを除電すべきであるが、ここでも ECF 入り作業衣の効果調べる意味で、人体へ放電する電流、電撃の軽減される程度を測定した。その結果 60kV 近くに帯電したものに接近した場合は、接近する過程で 1, 2 度 100 μ A 程度の電流が作業衣を通して人体に流れ、電撃による痛みを完全になくすことは出来なかった。しかし帯電物体を除電してその電位を 40kV 程度まで減少させると、ECF 入り作業衣の着用によって電撃は完全に除去された。

繊維製造工程

合成繊維の糸を製造しているこの工程では、1 人の作業者が数台の機械を担当し、しかもその動作が非常

に激しい作業であった。したがってここでは激しい人体動作によって発生する静電気が ECF 入り作業衣の着用によって除去出来るかどうかこれについて実験してみた。その結果化繊の作業衣では約 10kV に帯電することがあったのに対し、ECF 入り作業衣では最高 500V の帯電電位におさえることが出来た。

印刷工程

グラビア印刷している工程では印刷物が高速で動くために、紙製造工程と同様 10kV 以上に帯電していた。したがって印刷したものがそろいにくいことも理由の 1 つで、印刷物をそろえるため作業者がこれに触れると電撃を受けたり、作業衣あるいは人体に静電気が帯電していた。またこの工程では印刷インキによって作業衣が汚れるため、ECF 入り作業衣がそうした状態でも帯電防止効果を有するかどうか、これについて調べてみた。その結果汚れに関係なく帯電防止効果をもっていること、電撃が軽減されることが判明した。

石油精製工程

ここでは木綿製の作業衣を着用しており通常の動作によっては作業衣に静電気がほとんど帯電していなかった。しかし屋外の作業が多いことと、汚れも激しいことから、そのような面で ECF 入り作業衣の帯電防止効果を調べるためこれを着用していただき、標準動作による帯電防止効果を調べてみた。その結果実験室で検討した結果と同じく帯電防止効果のあることが明らかになった。

溶剤による洗浄工程

ここは溶剤蒸気が充満している所で作業する工程であったため、このような雰囲気においても ECF 入り作業衣の静電気除電能が劣化しないか、また帯電防止特性に変化がないか調べてみた。実験は標準動作によって作業衣に静電気を発生させ、除電能に関する放電特性をシンクロスコープで、作業衣の帯電電位を静電場測定器で測定した。その結果ここでも実験室と同様の帯電防止効果のあることが確認された。

粉体集じん工程

バグフィルタによって集じんした粉体を作業者が回収する工程であるが、粉体に静電気が帯電していることと作業動作によって作業衣に静電気が帯電しているため、これらは互いのクーロン力によって作業衣にかなりの粉体が付着していた。したがって ECF 入り作業衣を着用すると粉体の付着量が減少するか、あるいは粉体が付着した状態でも帯電防止効果があるか、

主としてこれについて調べてみた。その結果粉体の付着量は定量的でないが確かに少なくなることが観察され、帯電防止効果も粉体の付着に関係しないことが確認された。

薬製造工程

粉薬の混合、篩い等を行って袋詰めする工程であるが、ここでは製品である粉薬、作業衣ともあまり静電気は帯電していなかった。しかし作業床が絶縁性のリノリュームであったため、ここで標準動作を行って ECF 入り作業衣の帯電防止効果があるか調べてみた。その結果ここでも ECF の中和効果によって作業衣、下着（人体）の静電気とも、実験室で得られたと同様除電されることが明らかになった。

次に現地実験を行いながら作業衣の着用感についても検討した。これは実際の作業に従事されている方に ECF 入り作業衣を着用していただき、口答または文書で着用感についての感想をうかがった。

回答いただいた感想にはいろいろな内容があったが、この中から静電気に関係したものを上げると、まず電撃による痛みの問題があり、これは ECF 入り作業衣を着用することによって、従来よりも痛みが

軽減した	16 名
変らない	16 名
ひどくなった	3 名

という結果であった。このうち「変らない」と答えられた作業員 16 名について調べたところ、9 名は従来から全く電撃を感じないということであった。したがって痛みを感じていた作業員のうち約 6 割の作業員は軽減したと答えられたことになる。また「ひどくなった」と回答された作業員 3 名についても調べたところ、この回答を寄せられた作業員が従事されている工程では、作業衣以外の帯電が特に著しく、60~70kV 近くの高電位に帯電していることが明らかになった。ここでは作業衣以前にこれ等の除電を行うことが先決であろうが、これについても 1cm 間隔の ECF 入り作業衣を着用していただき、感想をうかがったところ 5 cm 間隔のものよりもかなり軽減されるという結果であった。

一方寄せられた回答の中には作業衣脱衣時に起る不快感の問題が比較的多く、これについて集計すると、ECF 入り作業衣を着用することによって、従来よりも不快感が

軽減した	11 名
変らない	3 名
ひどくなった	0 名

という結果であった。

以上各事業場の御協力のもとに現地実験を種々の工程において行った結果、ECF 入り作業衣は多種多様な環境である現地においても実験室と同様に帯電防止効果のあることが明らかになった。また同時に着用感についても検討したところ上記のごとくほぼ満足のゆく結果が得られた。

5. モニタ集計結果

ECF 入り作業衣の帯電防止効果については実験室においても現地実験においても良好な結果が得られ、帯電防止作業衣として明るい見通しを得た。そこでこの作業衣の帯電防止効果をさらに確認するため、各業種にわたる 25 事業所の御協力を得て ECF 入り作業衣のモニタを依頼した。モニタは付録に示すようなチェック・シート（アンケート）を安全担当者と着用者に記入していただき、これを集計することによって ECF 入り作業衣の帯電防止効果を評価した。また着用して汚れた ECF 入り作業衣と各事業場で従来より着用していられた汚れた作業衣を送付していただき、汚れと帯電防止効果の関係についても調べた。モニタの期間は昭和 45 年 6 月 20 日および 27 日を初日とする 2 週間とした。この時期はモニタの期間として比較的湿度が高いためその効果を評価するには必ずしも好ましくなかったが、最近では年間を通じて静電気の問題が起こっている傾向にあるため実施に踏み切り、一応チェックシートの回答をそのまま集計した。なおこのモニタに御協力いただいた方は延約 100 名、使用した作業衣は ECF がそれぞれ 1cm、または 5cm 間隔に入ったものである。

5.1 チェック・シートの集計結果

各事業場ごとに 1 人の安全担当者和その事業場でモニタに御協力いただいた数名の着用者から本研究所に寄せられたアンケートを集計したところ、表 9 に示すような結果が得られた。これによると従来各事業所で起こっていた静電気の問題としては電撃が最も多く、全体の約 60% 近くを占めていることが明らかになった。またこのような障害となる静電気が作業衣に原因

表9 モニタのチェック

業 種	作 業 工 程	安 全 担 当 者 用 ア ン														
		従 来 の 障 害					障 害 の 原 因				ECF 入 り 作 業 衣					
											1cm 間 隔			5cm 間 隔		
		a 電 撃	b 放 電 火 花	c 生 産 障 害	d 能 率 低 下	e 障 害 な し	a 製 品	b 装 置	c 作 業 衣	d そ の 他	a 軽 減	b 変 ら な い	c 障 害 悪 化	a 軽 減	b 変 ら な い	c 障 害 悪 化
石 油 精 製 業	石 油 精 製					○										
	石 油 精 製					○										
	石 油 精 製					○										
ガ ス 製 造 業	ベンゼン製造					○										
	ベンゼン運搬					○										
化 学 工 業	アルコール製造					○										
	ポリマー原料製造					○										
	ポリマー原料製造	○						○				○				○
	原料運搬					○		○								
	ポリマー製造	○					○					○				○
	ポリマー製造															
	フィルム巻取加工	○						○			○			○		
	ポリマー加工	○	○	○	○			○			○			○		
	半導体製造	○									○			○		
樹脂板剥離	○	○		○								○		○		
織 維 工 業	合成皮革製造	○					○					○			○	
医 薬 品 製 造 業	医薬カプセル製造	○	○				○		○		○			○		
塗 料 製 造 業	塗料原料仕入	○								○		○				○
	塗料原料仕入					○		○								
	顔料分散	○							○	○		○				
運 輸 工 業	吹付塗装					○										
	吹付塗装					○										
	鑄造					○										
機 械 工 業	電気補修					○										
	荷卸し、保守				○		○		○			○			○	
合 計		10	3	1	3	13	4	5	3	2	4	6	1	4	6	0

ク シ ー ト 集 計 結 果

ク ー ト							作 業 者 用 ア ン ケ ー ト															
従来の作業衣の問題点							従来の作業衣				ECF入 り 作 業 衣											
											痛 み			電 撃			不 快 感			着 心 地		
a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
静電気多発生	作業性悪い	着心地悪い	スタイル悪い	しわ縮み	その他	問題なし	軽い痛み	電撃感	不快感	問題なし	軽減	変らない	悪化	軽減	変らない	悪化	軽減	変らない	悪化	よい	変らない	わるい
				○		○				6										5	1	
						○				2										2		
						○				2										2		
○						○				3										1	2	1
						○				3										1	2	
		○		○		○				2										1	2	
						○				2										2	2	
○										2										2	2	
○							5	4		4	5			4						4	5	
							2	1		1	2			1							3	
							3		8	3	3						8			6	2	
								8							7						5	
○							2	3	1		1	1		1	2			1		1	1	
								12	12					11	1		12					
							1		4	1							3			2	2	
									2	1										1	1	
				○						2											2	2
										2										2		
										2										2		
4	0	1	0	3	0	6	13	28	24	50	12	1	0	17	10	0	23	1	0	39	27	3

していると考えられるものは全体の約 20% 程度であるという結果が出ており、装置等に発生する静電気に比較すると、作業衣は左程障害を起こす原因になっていないと判断出来る。しかしこの結果は裏返すと、装置等に発生している静電気が作業者に放電するために電撃を受けていることが多いという事実を示すものであり、これは現地実験の場合にもこの傾向が強く現れていた。このような意味からは装置に発生している静電気の除去を行うことが先決であるが、現状ではこれによって受ける電撃も防止出来るような、あるいは軽減するような作業衣が望まれていると推察される。

次に作業衣に注目すると、この集計結果では作業衣の問題点として静電気が最も多く全体の 50% も占めている。また作業衣の材質としては次の 5.2 に示す表 11 と合せて検討するとき、化学繊維のものも木綿のものも共に問題であることを示しており、静電気に対して問題のない帯電防止作業衣の必要性はこの集計結果だけでも充分推定出来る。

一方この集計結果を今回のモニタの目的である ECF 入り作業衣の帯電防止効果にしばらく、従来の作業衣では上記のような問題点があったが、ECF 入り作業衣によってこの点もかなり解決されたという結果が得られた。すなわち安全担当者からの回答によれば従来障害の発生していた事業場の内、その約 36% は ECF 入り作業衣の着用によってその障害が軽減されたとしている。また着用者からの回答によると ECF 入り作業衣の着用によって、チクチク痛む痛みに対しては約 93% が、作業中に受ける電撃に対しては約 62% が、作業衣に発生した静電気による不快感に対しては約 96% が軽減されたという報告を寄せて来た。

さらにこの集計結果を 1cm 間隔のものと 5cm 間隔の作業衣別、あるいは履物別に分析してみると表 10 に示すような結果となる。これは痛み、電撃、不快感に対してどのような効果があったか分析したものであるが、この結果によると 1cm 間隔の作業衣の方が 5

表 10 帯電防止効果の作業衣、
履物別集計結果(モニタ)

ECF入り作業衣 の帯電防止効果	ECF 入り作業衣		履 物	
	1cm 間隔	5cm 間隔	静電靴	絶縁靴
軽 減 さ れ た	33 ^名	19 ^名	20 ^名	24 ^名
変 ら な い	9	0	5	9
ひ ど く な っ た	0	0	0	0

cm 間隔の作業衣よりもその効果は大きいことが明らかである。また静電的に導電性と考えられる静電靴を履いた場合と、絶縁性と考えられるゴム底靴、運動靴等を履いた場合で ECF 入り作業衣の効果が異なるか、これについて比較すると、このモニタの結果では靴によってその効果があまり変わらないという結果が得られ、ここにも ECF を用いて作業衣の帯電防止を行う特徴がはっきりと現われている。

次に ECF 入り作業衣の着用感について寄せられた結果を分析してみると、約 56% は「良いと思われる」という回答であった。今回のモニタ集計結果では着用感が必ずしも作業衣の静電気と直接の関係を持っているとは考えられないため、この結果は ECF 入り作業衣の帯電防止効果を評価する参考程度であるが、少くとも従来の作業衣では問題のあったことは事実であろう。なお参考のためにこの機会に寄せられた ECF 入り作業衣に関する御意見を列記すると以下のようなものである。

軽く、着心地がよい。
作業性がよい。
肌ざわりがよい。
汚れが目立たない。
洗濯後の乾きが速い。
洗濯後シワがよらない。
折目がつかない。
丈夫そうである。
着衣しやすい。
色が明るい。
デザインがスマートである。
スタイルよい。
少し重い。
生地が厚手、長袖のため夏に向かない。
汚れが落ちにくいように思う。
汚れが目立つ。
通気性がよくない。
吸湿性がよくないので汗を吸わない。
汗を出すとかたくなる。
熱に対して従来より弱い。
ホルマリンの臭いがする。
色調が暗い。
デザインが悪い。
ボタンの取り付けが悪い。
ズボンの前開きをチャックにして欲しい。

上衣ポケットを斜めにつけて欲しい。

5.2 作業衣の帯電電位

先のようにチェック、シートの集計結果を分析しただけでは人体に感じられる現象のみが探索されるので、ECF 入り作業衣の帯電防止効果を評価するには不十分である。またこの集計結果は ECF 入り作業衣が実際に着用されている状態での安全評価と必ずしも一致するものではない。したがって今回のモニタではこれ等の一端を評価することと、汚れと帯電防止効果の関係を評価する意味で、モニタ終了後返送された ECF 入り作業衣の帯電電位を統一条件のもとで測定した。その測定結果は表 11 に示すとおりである。

この実験結果によると ECF 入り作業衣の帯電電位は汚れた状態では非常に低く洗濯後でも最大 4kV であった。これにより現地の着用状態においても ECF 入り作業衣の帯電防止効果は失われていなかったことが推察されると共に、実験室、現地実験の結果とも一致した。

なお参考のためにモニタ依頼先から提供を受けた作業衣についても同様な測定を行ったところ、表 11 に示すような結果であった。ここで洗濯前の帯電電位が非常に低いものは汚れの激しいものであり、作業衣の導電率が非常に高くなっていた。しかし洗濯をしたものについてはいずれも帯電電位が非常に高くなり、某事業所から提供を受けたもののみが洗濯においても電位が低かった。これは帯電防止をしたものでないかと考えられる。

6. 軽減される静電気災障害とその安全性

基礎研究、実験室での実験、現地実験、モニタによってあらゆる立場から、ECF 入り作業衣の帯電防止効果を検討した結果、これが優れた帯電防止効果を有していること、またその除電機構が基礎研究で明らかにされたように微弱な放電によっていることも確認された。したがってここでは以上の結果をもとにして、従来問題となっていた静電気の災障害がこの作業衣の着用によってどの程度軽減されるか、これについて検討してみる。ただしここで検討する内容はあくまでも作業衣に関する静電気災障害の問題であり、これだけでも着火、電撃、汚れ、雑音等を始めとしているいろいろあるが、ここではその中でも安全性に関係する着火と

電撃の 2 つの問題について検討することにとどめる。

6.1 着火の危険性

高電位に帯電している作業衣から静電気の放電が起きますと、これが可燃性混合気（ガス、蒸気、粉じん）の着火源になることがあるが、試作した ECF 入り作業衣にその危険性があるか検討してみると以下のような結論に達する。

先ず着火源となり易い静電気の放電は、3.2 から静電気放電エネルギーが可燃性混合気の最小着火エネルギー以上であること、次にその放電が時間的に集中して大きなエネルギーを放出する火花放電であることが確かめられている。この点 ECF 入り作業衣は表 1、表 2 から、明らかなように、その帯電防止効果によってこの作業衣に帯電している電荷は非常に少く、すなわち ECF 入り作業衣の有している静電気エネルギーは他の作業衣に比較して 1/10 程度以下である。また放電特性についても基礎実験によって種々な立場から調べたところ、除電過程で起きる ECF 入り作業衣からの放電は図 11 にその 1 例が示されているように微弱な放電であった。

次に作業衣から起こる放電として、比較的大きな放電が起こる脱衣時の放電特性について調べた結果においても、ECF 入り作業衣からの放電は帯電防止を行わない作業衣からの放電に比較して電流値で $1/10^6$ 程度、時間的集中度で 1/10 程度であり ECF 入り作業衣では火花放電の起こることが皆無であったのに対し、帯電防止を行わない作業衣ではかなり大きな放電音も聞かれる火花放電であった。以上の結果は作業衣に汚れが付着したり、雰囲気溶剤蒸気中でも同様であることが現地実験によって確認されている。

一方着用者が第 3 者の静電気帯電物体へ接近する場合にもこれと ECF 入り作業衣との間で起こる放電は、実験を行った範囲では先と同じく微弱なものであることが確かめられており、以上の現象を総合的に検討する意味から帯電布と ECF との間で、あるいは帯電物体と ECF 入り布との間で放電を起して、ヘキサン蒸気に着火するか実験室で調べたが、この実験によっては着火はしなかった。

したがって以上の点から、現在のところでは ECF 入り作業衣を着用すると他の作業衣に比較してエネルギーの点からも放電特性の点からも着火の危険性は極めて少なく、安全性の高い作業衣であるという結論に達

表 11 作業衣の帯電電位測定結果

業 種	作 業 工 程	帯 電 電 位 (kV)						現 場 作 業 衣 の 材 質
		現場作業衣		ECF 入 り 作 業 衣				
				1cm 間 隔		5cm 間 隔		
		洗濯前	洗濯後	洗濯前	洗濯後	洗濯前	洗濯後	
石 油 精 製 業	石 油 精 製	0	50	0	2	0	4	ポリビニルアルコール・綿混紡
	石 油 精 製			0	2	0	4	
	石 油 精 製	6	35	0	2	1	4	ポリビニルアルコール・綿混紡
ガ ス 製 造 業	ベンゼン製造	0	45	0	2	0	4	ポリビニルアルコール・綿混紡
	ベンゼン運搬	0	35	0	2	0	3	ポリビニルアルコール・綿混紡
化 学 工 業	アルコール製造			0	2	0	3	
	ポリマー原料製製	0	38	0	1	0	4	ポリエステル・レーヨン混紡
	ポリマー原料製造	28	38			1	3	ポリビニルアルコール・綿混紡
	原料運搬	0	40	0	1	0	2	ポリエステル・綿混紡
	ポリマー製造	0	38	0	1	0	0	ポリエステル・綿混紡
	ポリマー製造	0	52	0	1	0	1	ポリエステル・綿混紡
	フィルム巻取加工	2	55	0	1	0	5	ポリビニルアルコール・綿混紡
	ポリマー加工			0	1	0	4	
	半導体製造	0	42	0	1	0	2	ポリエステル・綿混紡
	樹脂板剥離	0	29	0	1	1	4	木 綿
織 維 工 業	合成皮革製造	2	48	0	2	3	2	ポリエステル・ポリビニルアルコール・レーヨン混紡
医薬品製造業	医薬カプセル製造	20	41	0	1	3	2	ポリエステル・綿混紡
塗 料 製 造 業	塗料原料仕入	0	48	0	1	0	2	木 綿
	塗料原料仕入	0	25	0	1	0	3	木 綿
	顔料分散	2	38	0	1	0	1	木 綿
運 輸 工 業	吹付塗装			0	1	0	4	
	吹付塗装	0	3	0	1	0	2	木 綿
	吹付塗装			0	1	0	3	
機 械 工 業	電気補修			0	0	0	2	
	荷卸し、保守			0	1	0	3	

注) 25℃ 30~40% r.h.

腕を前後に5回まわした後脱衣して測定

する。

ただし以上の考察は、可燃性粉じん、可燃性蒸気の中で実施した実験によって得られた結果であり、可燃性ガスに対してはまだ未検討である。しかし可燃性ガスも特に着火エネルギーの小さいものは別として、可燃性蒸気と同程度の着火エネルギーのガスに対しては適用出来ると考えられる。

6.2 電撃と不快感

電撃とか痛みあるいはパチパチという放電音による不快感等は非常に個人差の大きいものであるが、従来このような障害は作業衣に発生している静電気が人体に放電したときに多く、特に着用中よりも脱衣時に頻発する現象であった。この点 ECF 入り作業衣を着用すると、4.5 の実験結果から明らかなように、作業衣に発生した静電気を除去する過程では、電撃による痛みも放電音も全くないことが確められている。

一方作業者が静電気帯電物体へ接近したとき、比較的大きな電撃を受ける場合があるが、これについても実験によって調べたところ第3者に帯電していた静電気が人体の一部へ集中して放電し、約 $60\mu\text{A}$ 以上流れたときに電撃を感じることが判明した。したがって静電気の帯電電位が 50kV という非常に大きい第3者の帯電物体へ接近する場合には、放電電流を分散させる意味で 1cm 間隔に ECF が入った作業衣を、また帯電電位がそれ以下である場合には 5cm 間隔に ECF が入っている作業衣を着用すると、電撃による痛みもなくなることを明らかにした。これについては静電気の発生が非常に大きいフィルム、紙の巻取り、ゴムシートの張り付け、粉の袋詰め工程等を選んで行った現地実験によっても確認されている。

以上の結果より、静電気に原因した電撃はこの ECF 入り作業衣を着用することによって軽減あるいは解消されると考えてよい。

7. 結 言

作業衣の帯電防止について研究した結果、ECF 入り作業衣が優れた帯電防止効果を持ち、安全性の高いことも基礎研究を出発点とした種々の検討によって明らかになった。したがって以上に述べたことをまとめる意味で以下 ECF 入り作業衣の特長を列挙すると次のようである。

- (1) ECF 入り作業衣は ECF の微弱な放電によって静電気を除去するものであり、この帯電防止効果によって、静電気に原因した従来の災害が防止出来る。
- (2) 高湿度においては勿論、低湿度においても帯電防止効果は低減しない。
- (3) 作業環境や汚れによっても帯電防止効果が低下しない。
- (4) 耐洗濯性、耐久性に優れている。
- (5) この作業衣を着用すると作業衣以外の静電気も除電される。
- (6) 下着の種類に関係なく帯電防止効果があると同時に、下着に発生した静電気も除電することが出来る。
- (7) 安全性の問題ではないが静電気の帯電が少ないため、これに原因した汚れが軽減される。
- (8) 除電過程で起こる微弱な放電が特殊なものを除いて雑音源となるようなことはない。

このように ECF 入り作業衣には優れた帯電防止効果と数々の特長があるが、次にこの ECF 入り作業衣を着用するに際しての留意事項を挙げると以下のようである。

- (1) 帯電防止作業衣の着用は広い意味での人体帯電防止を目的としたものであるから、着用にあたっては人体を静電的に接地状態とする静電靴を使用することを基本とする。ECF 入り作業衣の着用にあたってこれを基本原則とする。
- (2) ECF 入り作業衣は作業衣のみならず第3者の静電気も除去するため、第3者の帯電電位が 50kV 以上という極端に帯電している場合は、電撃を防止する意味で 1cm 間隔の作業衣、これ以外は 5cm 間隔の作業衣を着用するものとする。しかし第3者の帯電が大きい場合は作業衣によって除電しようとするよりも先ずそのものを除電することが安全の基本であることを付記しておく。

以上 ECF 入り作業衣の特長と着用に際しての留意事項を列記したが、これらはすべて ECF あるいは ECF 入り作業衣を用いて得られた検討結果である。ECF 以外の他の導電性繊維についてもそれらに静電気除電能のあること、作業衣の帯電防止に応用出来ることは確めているが、帯電防止効果の詳細については現在検討中である。

最後に、本研究にあたり御指導、御協力いただいた本研究所、上月三郎所長、坂主勝弘主任研究官、上智大学、大滝善太郎教授、帝人株式会社中央研究所、平川董氏、ECF の提供を受けた帝人株式会社中央研究所、静電靴の提供を受けたミドリ安全株式会社、現地実験、モニタに心よく御協力いただいた事業場ならびに安全担当者と作業の方々々に心から深謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 田畠，児玉，上月“産業安全研究所技術資料” RIIS-TN-70-3 (1970)
- 2) 例えば桜井他“産業と電気” 4 (115) p. p. 2~35 (1962)
- 3) 田畠“産業安全研究所研究報告” RIIS-RR-18-5 (1970)
- 4) 田畠，坂主“帯電布の除電について” 静電気研究発表会，(1969)
- 5) 田畠，坂主，“帯電布の除電についてⅡ” 静電気研究発表会，(1970)
- 6) N. Gibson, F. C. Lloyd, Brit. J. Apply. Phys. 16 (9) p. p. 1619~1631 (1965)
- 7) B. Lewis, G. V. Elbe, “Combustion, Flames and Explosions of Gases” Academic Press, p. 323 (1961)
- 8) 丸茂，高井，荻田，“合成繊維の帯電防止，ポリプロピレンの汚染防止” 静電気研究発表会，(1968)
- 9) 田畠，“OHM” 58 (2) p. p. 85~87 (1971)
(昭和 46 年 3 月 10 日 受付)

付録 1. ECF 入り作業衣チェックシート

<安全担当者用>

事業所名〔 〕 担当者 所属〔 〕 氏名〔 〕

貴事業所における静電気の問題ならびに ECF 入り作業衣の効用について、次のアンケートに答えて下さい。
(該当する記号に○印をつけ、〔 〕内に記入して下さい。)

1. 従来、貴事業所における障害には、どのようなことがありましたか。
 - a. 作業者が電撃を受けた。
 - b. 作業者から、あるいは作業者へ放電火花が発生した。
 - c. 静電気による生産障害があった。
 - d. 作業者が静電気による電撃をおそれ、生産能率に影響した。
 - e. ほとんどなかった。
2. 1. a～d の場合、原因はどこにあると考えますか。
 - a. 製品 (例、フィルム、タイヤ、石油等)
 - b. 生産工程の各種装置
 - c. 作業衣
 - d. その他〔 〕
3. 1. a～d の場合、ECF 入り作業衣を着用することによって障害が軽減されましたか。

A (濃色) 作業衣では

 - a. 軽減された。
 - b. 変らない。
 - c. かえってひどくなった。

B (淡色) 作業衣では

 - a. 軽減された。
 - b. 変らない。
 - c. かえってひどくなった。

具体的には、どのような障害が軽減、あるいはひどくなりましたか。
〔 〕
4. 従来の作業衣には、どのような問題点がありましたか。
 - a. 静電気の発生が大きい。
 - b. 作業性が悪い。
 - c. 着心地が悪い。
 - d. スタイルが悪い。
 - e. 洗濯すると、しわになったり、縮んだりする。
 - f. その他の問題があった。(例えば、ボタンでは危い等)
 - g. 特に問題点はなかった。
5. 帯電防止作業衣として、どのような作業衣が望ましいと考えますか。
〔 〕
6. 返却した作業衣には、どのような汚れが付着していると考えられますか。(差支えなければ具体的に書いて下さい)。
〔 〕

付録 2. ECF 入り作業衣チェックシート

<着用者用>

事業所名 []	着用者 所属 []	氏名 []
作業工程 (作業内容) []					
着用期間 []	洗濯回数 []	回	
作業衣	A (濃色)	B (淡色)	No. []	
靴	従来の靴 (a. 革靴, b. 運動靴, c. ゴム長靴, d. 静電靴)				
	e. 貸与した静電靴				

貴作業場における静電気の問題, ならびに ECF 入り作業衣の効用について, 次のアンケートに答えて下さい。
(該当する記号に○印をつけ [] 内に記入して下さい。)

- 従来の作業衣には, どのような問題点がありましたか。
 - 作業中, 軽い痛みを感じた。
 - 作業中, 電撃を感じた。
 - 脱衣中, パチパチという音を聞くなど, 不快感があった。
 - 静電気に対する問題はなかったと考える。
1. a の場合, ECF 入り作業衣を着用すると, どう変わりましたか。
 - 痛みが軽減された。
 - 変らない。
 - 痛みがかえってひどくなった。
1. b の場合, ECF 入り作業衣を着用すると, どう変わりましたか。
 - 電撃が少なくなった。
 - 変らない。
 - 電撃がかえって多くなった。
1. c の場合, ECF 入り作業衣を着用すると, どう変わりましたか。
 - 不快感が軽減された。
 - 変らない。
 - かえって不快になった。
- ECF 入り作業衣の着心地はどうでしたか。
 - よいと思われる。
 - 変らない。
 - 悪くなった。(お気付きの点がありましたら書いて下さい。)
- その他, 気の付いたことを書いて下さい。

産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-71-1

昭和 46 年 4 月 30 日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
東京都港区芝 5 丁目 35 番 1 号
電 話 453-8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

郵便番号 108