

静電気防止剤の静電気防止効果に関する研究

小尾 美由紀、松尾 健司、坂口 巧起、山口 悟*

茨城県立日立第一高等学校 〒317-0063 茨城県日立市若葉町 3-15-1

(2023 年 10 月 19 日 受付 ; 2023 年 10 月 28 日 受理)

Abstract

毎冬、静電気の発生を防止するために色々な場面で静電気防止剤が使われている。静電気防止剤の主成分は界面活性剤であり、衣服に塗布することで表面に界面活性剤の膜が形成される。空気中の水分子が界面活性剤と結びつき静電気の帯電が防止される。その結果、静電気を原因とする不快な現象が減る。しかしながら衣服の素材の違いで静電気がどの程度防げるのかの詳細はわかっていない。

そこで本研究では、衣服の素材の違いにより静電気防止剤の帯電防止効果に違いが生じるのかを明らかにすることを目的とした。文献調査より、静電気防止剤は界面活性剤だけでなく親水基を持った帯電防止剤の 2 種類から構成されていることがわかった。さらに、市販の静電気防止剤は、布の種類や布の表面状態が異なっているにもかかわらず、親水性の多層膜を形成することにより、静電気の帯電防止作用を示すことがわかった。

Introduction

毎年、冬になるとドアノブに触れる際や衣服を脱ぎ着する際など、様々な場面で静電気が発生しその放電現象により非常に不快な思いをする。さらに、衣服に静電気が帯電することで衣服に花粉が付着し、花粉を家の中に持ち込んでしまい家族にアレルギー症状をもたらす原因になる可能性もある。多くの人たちが経験するこの静電気による現象を防ぐために、静電気防止剤が利用されている。この主成分は界面活性剤であり、衣服に塗布することで表面に界面活性剤の膜が形成される。空気中の水分子がその界面活性剤の膜の表面に付着し帯電が防止され、結果として静電気の放電による不快な思いが軽減され、花粉等の不要な物質の付着を防止できる。しかしながら、衣服の素材に関わらず静電気の発生が抑えられるのか、どの程度抑えることができるのかの詳細は分かっていない。

そこで本研究では、日立一高製エレキテルを作製し綿とポリエステルに静電気を発生させた。そのときに生じた静電気の放電による電位差を、静電気防止剤を塗布する前後で比較した。その結果から静電気防止剤の静電気防止効果と布の種類との関係性を評価した。

Experimental 器具

オシロスコープ (株式会社テクシオ・テクノロジー DCS-1027B)、箔検電器 (株式会社ナリカ)、10 Ω 、100 Ω 、3.3k Ω 抵抗 (株式会社ナリカ)、ゴム手袋 (株式会社ダンロップホームプロダクツ)、静電気防止剤 (ライオ

ン株式会社 商品名:エレガード)、綿 (白十字株式会社)、ポリエステル (株式会社大創産業)、日立一高製エレキテル

日立一高製エレキテルの作製

参考文献 1 を参考にし、以下の手順で日立一高製エレキテルを作製した。その装置を図 1 に示した。

- (1) 2 つの塩化ビニル管 (塩ビ管) のエンドキャップの中心に穴をあけ M6×50 のねじを通した。図 1 のように左側に取り付けた回転用ハンドルと木の支柱を六角ナットで固定した。
- (2) (1) で作製した 2 つの塩ビ管を接着剤で固定した。
- (3) 200 mm×200 mm のアルミ板を折り曲げ、直径 18 mm 長さ 70 mm の塩ビパイプ 4 本を支柱として木の板に固定した。
- (4) 図 1 のように(2)で作製した塩ビ管を(3)で作製した台の上に固定した。
- (5) 塩ビ管とアルミ板の間に綿またはポリエステルを敷いた。



図 1 日立一高製エレキテル

* Corresponding author. e-mail address: ymgstr@*****
***** = aol.jp

実験操作

図2に、参考文献2を参考とし、日立一高製エレキテルを用いた静電気測定装置の概要図を示した。図3および4に、それぞれポリエステルおよび綿を用いた際の回路図を示した。

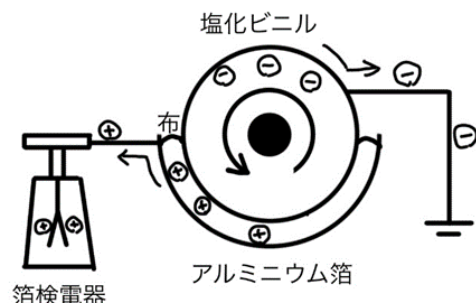


図2 日立一高製エレキテルを用いた静電気測定装置の概要図

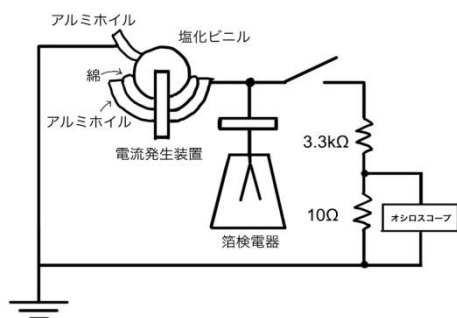


図3 綿を用いた際の回路図

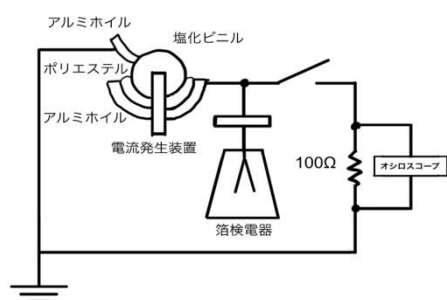


図4 ポリエステルを用いた際の回路図

日立一高製エレキテルを用い、静電気が発生したかどうかを验電器で目視確認した後、スイッチを入れた。静電気により生じるオシロスコープの山形波形の最大強度を求め静電気の電位差とした。また、綿を用いた際の実験において、図4のポリエステル用の回路では綿に帯電した静電気の電位差がオシロスコープの耐圧を超えてしまい測定できなかったため、図3に示したように分圧測定を行った。本実験手順を以下の(1)～(5)に示した。静電気防止剤をそれぞれの布に塗布する前後において、静電気を発生させ放電したときの電

位差を測定し、静電気防止剤の帯電防止効果を評価した。

- (1) 実験に使用した綿およびポリエステルの布に合わせそれぞれ、図3および図4の回路を組んだ。
- (2) 箔検電器が帯電しておらず回路のスイッチが開いていることを確認し、ゴム手袋をつけた状態でエレキテルの回転ハンドルを5回転させた。
- (3) 5回転終了後すぐに、箔検電器で静電気が生じたのを確認し、回路のスイッチを入れオシロスコープで静電気が放電したときの電位差を測定した。
- (4) 布と塩化ビニルの円筒が摩擦される面に静電気防止剤を2秒間、まんべんなく塗布した。
- (5) (4)で塗布した布に対し手順(1)～(3)を行い静電気の電位差を測定した。

Results and Discussion

本実験は、日立一高製エレキテルを用い発生した静電気を箔検電器で目視確認し、その静電気を放電したときの電位差を、オシロスコープを用い測定するものである。実験当初は直流のアナログの電圧計を用い、静電気を放電した際の電位差を測定した。しかしながら、静電気の放電による応答が観測されなかった。そこで、オシロスコープを用い静電気放電による電位差の測定を行った。

図5に、図3に示した回路を用いることで得られた波形の一例を示した。ここで、縦軸は電圧値 V (一目盛り 1.0V)、横軸は時刻 t (一目盛り 4.00ns) を表している。

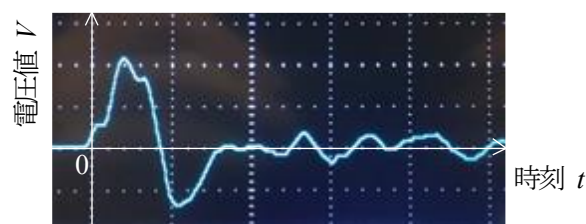


図5 オシロスコープに表示された波形

図5より、山形波形と谷型波形が混在し、その波形が減衰していくような様子が観測された。図5より、静電気の放電現象はナノ秒 ns と非常に短い時間で起こることがわかった。したがって、アナログの電圧計では静電気の放電電圧を検出することができなかった理由を明らかにできた。また、本来ならば CR 回路において、電極の正負を固定したとき、山形波形または谷型波形のどちらか一方のみが観測される。しかしながら、オシロスコープには山形・谷型の両方の位相の波形が観測された。それはオシロスコープの回路の一部にコイルのような構造を有するため、電気振動が起こったためと考えた。そこで、最初に観測される最も

大きい山形波形に着目し、図5の縦軸の静電気放電による電位差のピーク強度を算出した。

図6および図7に、それぞれポリエステルと綿の布に静電防止剤を塗布する前後における電位差 V を示した。実験は20回行い、その平均値および最大

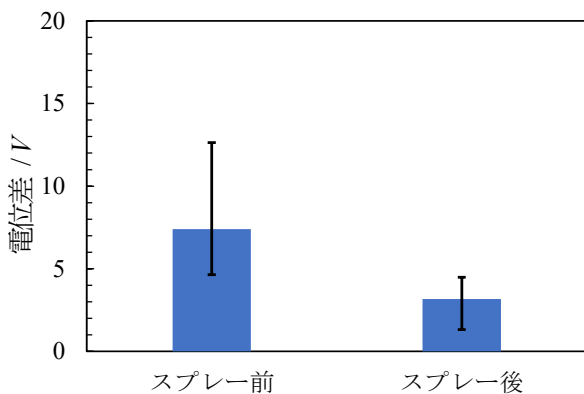


図6 静電防止剤塗布前後のポリエステルにおける静電気の電位差

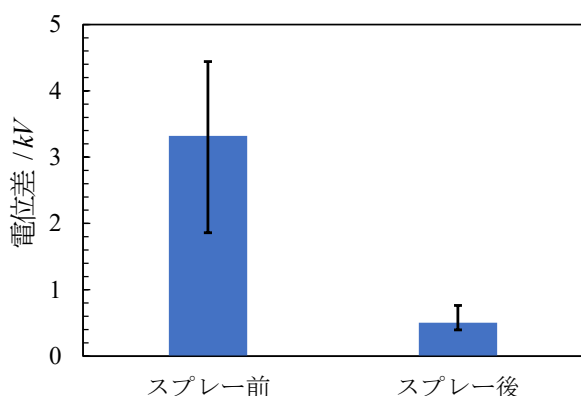


図7 静電防止剤塗布前後の綿における静電気の電位差

値と最小値を示した。図6および図7に示したように、ポリエステルおよび綿に静電気が帯電し放電した際の電位差はそれぞれ7.40 Vおよび3.32 kVであった。

図8に、物質の帯電列（摩擦帯電系列）³⁾を示した。帯電列は各物質の静電気の溜まりやすさを表している。図8において、2つの物質間の距離が離れているほど、静電気の帯電量が大きくなる。塩化ビニルと綿および塩化ビニルとポリエステルの布を摩擦させた場合、塩化ビニルは負に帯電し、綿およびポリエステルは正に

主な物質の帯電列(摩擦帯電系列)



注) 序列は条件によって異なり、厳密なものではありません。

図8 帯電列図

帯電する。また、綿の方がポリエステルよりも塩化ビニルとの帯電列の距離が大きいので、帯電量が大きくなる。したがって、帯電列図も本実験結果を支持している。

図6に示したように、ポリエステルにおいて静電防止剤を塗布する前後の V はそれぞれ、7.40 V と 3.17 V であり、静電防止剤を塗布することにより V の値は約 1/2 になることがわかった。一方、図7の綿において静電防止剤塗布前後の V の値はそれぞれ、3.32 kV と 0.504 kV であり、塗布することにより約 1/6 まで減少した。参考文献4によると静電気の放電により発生する電位差において、不快に感じる値は 1000 V である。したがって、綿とポリエステルのいずれにおいても静電気の放電により生じる電位差は、人が不快に感じる電圧より小さくなることがわかった。したがって、静電防止剤は静電気の帯電防止に非常に有効であるとわかった。

図9、図10、図11、および図12にそれぞれ、ポリエステル⁵⁾、綿⁶⁾、アルキルトリメチルアンモニウム塩⁷⁾、およびポリエチレングリコール⁸⁾の分子構造を示した。参考文献4には、静電防止剤は界面活性剤のアルキルトリメチルアンモニウム塩だけでなく、ポリエ

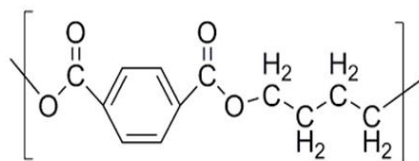


図9 ポリエステルの分子構造⁵⁾

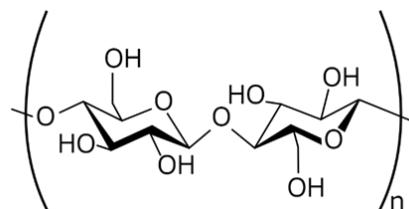


図10 綿の分子構造⁶⁾

アルキルトリメチルアンモニウム塩化物

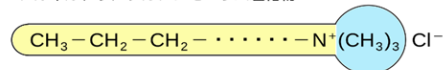


図11 アルキルトリメチルアンモニウム塩の分子構造⁷⁾

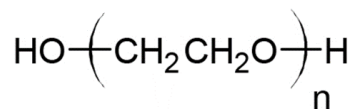


図12 ポリエチレングリコールの分子構造⁸⁾

チレングリコールもまた静電防止剤に含まれ、帯電防止剤として機能すると書かれていた。界面活性剤の

静電気防止効果は、界面活性剤が布の表面に付着する際に図 11 の親水基が空気側を向いて親水性の膜を形成する。その結果として、空気中の水が界面活性剤の親水基と結びつき水の膜を形成し、それが導電層となり帯電を防止する。参考文献 9 によるとポリエチレングリコールは分子内に多数の酸素“O”原子を持つため水分子が結合しやすく水溶性が高い。したがって、ポリエチレングリコールもまた布の表面に塗布されると空気中の水と結びつき、水の導電層を形成すると考えられる。本研究では、普段、衣服に静電気防止剤を塗布する状況を再現するために、その製品の説明にあったように、布に対して十分な量の静電気防止剤を塗布した。したがって、界面活性剤や帯電防止剤であるアルキルトリメチルアンモニウム塩やポリエチレングリコール分子は布の表面において単分子膜でなく、それらの分子がランダムな多層の膜を形成していると考えられる。その結果、布の表面状態が異なっているにもかかわらず、界面活性剤と帯電防止剤の多層膜の表面における親水基と疎水基の割合が均一となる。したがって、綿およびポリエステルのいずれにおいても静電気による帯電が十分に防止されたと考えられる。

また、本実験では時間の都合上、用いた綿とポリエステルの表面の構造を統一することができなかったため、静電気の放電による電位差に大きな差が出てしまった。表面構造を同じものにして実験を行うことで、静電気が帯電し放電した際の電位差に顕著な差は現れないと考えられる。さらに、ポリエステルと綿を塩化ビニルと摩擦させたが、塩化ビニルを衣服としてよく使われる素材に変えることで、より実用的なデータが得られると考えられる。

Conclusions

本研究よりポリエステルと綿のいずれにおいても静電気防止剤を塗布した後の静電気が放電したときの電位差は、人が不快に感じる電位差である 1000 V より小さくなることがわかった。したがって、静電気防止剤は布の素材に関わらず発生した静電気の帯電を十分に防止する効果があることがわかった。

References

- 1) 科学クラブ 日記
<http://zwischen.web.fc2.com/machines/elek/elek.htm>
(2023 年 10 月現在)
- 2) 雑科学ノート 静電気の話 <https://hr-inoue.net/zscience/topics/staticelec/staticelec.html>
(2023 年 10 月現在)
- 3) TDK 株式会社エレクトロニクスとコンデンサ | コンデンサ・ワールド <https://www.tdk.com/ja/tech-mag/condenser/001>
- 4) 株式会社ベッセル 【基礎知識】 静電気とは <https://www.vessel.co.jp/btob/knowledge/2941.html>
- 5) エレガード | 衣類のお手入れ | ライオン株式会社 <https://www.lion.co.jp/ja/products/271>
- 6) ポリエステルの種類と特徴 【構造式の比較】 <http://fashionlabie.blog.fc2.com/blog-entry-8.html>
(2023 年 10 月現在)
- 7) ウィキペディア <https://ja.wikipedia.org> キーワード：セルロース
- 8) ウィキメディア・コモンズ <https://commons.wikimedia.org> キーワード：アルキルトリメチルアンモニウム塩化物
- 9) 三洋化成工業株式会社 製品詳細 | PEG-400 | <https://www.sanyo-chemical.co.jp/products/391/>