

【皮革科学総説】

人体の静電気帯電とその対策

大阪府立産業技術総合研究所
情報電子部

木村 裕和

〒594-1157 大阪府和泉市あゆみ野 2 - 7 - 1

*Static Electrical Propensities and Antistatic-Countermeasures for Human-body
- Contrivance of Antistatic Sheet Materials to Paste on the Back-side of
Footwear -*

*Technology Research Institute of Osaka Prefecture
Department of Information and Electronics Technology*

Hirokazu Kimura

〒594-1157 2-7-1, Ayumino, Izumi, Osaka Prefecture

静電気が様々なトラブルを引き起こすことはよく知られている。最近では、セルフサービス式ガソリンスタンドにおいて、人体帯電を原因とする発火事故が急増しており、改めて静電気帯電の危険性が指摘されている。ここでは、静電気障災害の事例と静電気の特質を簡単に紹介し、人体帯電性に関する試験評価方法について概説する。また、歩行にともない発生する人体帯電量の低減化を目的に、靴の裏面に貼付するタイプの汎用静電気帯電防止シートを考案・実用化したので、その性能についても併せて報告する。

1. はじめに

静電気が様々な障災害を引き起こすことはよく知られている[1,2]。最近では、セルフサービス式ガソリンスタンドにおいて、人体帯電を原因とする発火トラブルが急増しており、改めて静電気帯電の危険性が指摘されている[3]。

著者らは、人体の帯電性に関する調査、研究を行っているが、これまでに歩行による人体帯電量は、床面の種類と履物の材質や歩行動作などによって激しく変化することを報告してきた[4-6]。また、近年の靴底材の多様化にともなって、材質によっては極めて高い帯電圧の生じるケースがあり、従来の制電対策では十分な安全性が確保できない可能性のあることを実験的に示した[7]。

ここでは、まず、静電気障災害事例と静電気の特質、特徴を簡単に紹介し、人体帯電性に関する試験評価方法について具体的な測定結果を交えながら概説する。また、歩行にともない発生する人体帯電量の低減化を目的に、靴の裏面に貼付するタイプの汎用静電気帯電防止シートを考案・実用化[8]したので、その性能についても併せて報告する。

2. 静電気トラブルと静電気の特質

一概に静電気トラブルといっても、自動車の乗降時に感じる放電ショックや脱衣時に発生する不快な放電音、コンピュータディスプレイや高分子フィルム、衣服への塵埃の付着などのように日常的に経験する比較的軽微なものから生産障害、健康被害や爆発・火災の原因となるような深刻な事例に至るまで、実に多くの報告がある[9-11]。図1に静電気障害の種類とその一例を示したが、一般に静電気障害は電気力による障害と放電による障害に大別されることがわかる[12]。

人体帯電に関する比較的最近の話題としては、コンピュータなどのOA機器に対する静電気障害があげられる。これは、1990年前後から顕在化し始めた。すなわち、半導体素子の高集積化や静電気に対する脆弱化[13]から、人体に帯電した静電気の瞬間放電(ESD)がOA機器の誤動作や故障、ICの破壊原因になることが問題視されたのである[14]。特に、空調の完備したオフィスなどでは人体帯電圧が10000Vを超えることもある。このような場合には、人体の帯電レベルを確認し、それに応じたESD対策を講じておく必要がある[15]。

また、上述のセルフ式ガソリンスタンドにおける事故は、2002年頃に頻発しており、話題になった[3]。セルフ式ガソリンスタンドにおける発火事故は、利用者が自動車の給油キャッ

ブを開けた瞬間に発生するケースが圧倒的に多い。したがって、この事故は、利用者に帯びた静電気の瞬間放電時に発生する静電気火花が気化したガソリンに引火することにより発生するものと考えられる。火花放電は人体帯電圧が5000Vを超えると観察される。気温が上昇し、ガソリンが気化しやすい夏場に、特に注意を要する。消防庁や石油、自動車関連業界では、セルフサービス式ガソリンスタンドの静電気安全対策として、人体の静電気除去を目的とした硬質ゴム製の除電シートを各ガソリンスタンドに配布、設置したり、国産自動車の給油口キャップを導電性のものに変更するなどの対策を実施している。さらに、一般の利用者に対する啓蒙活動に取り組み、その危険性と安全な使用方法に関する説明を行っている[3]。

もちろん、これまでも静電気帯電防止の観点から、様々な材料を対象とした帯電防止方法が研究、開発されてきた[16-18]。人体に対する安全策としては、帯電防止剤やカーボンブラックを練り込んだ静電気帯電防止靴や導電性繊維などを交織した静電気帯電防止作業服が広く活用されている。なお、これらについてはJISにより試験方法と基準値が定められている[19,20]。

ところで、物体の静電気対策や人体帯電性について検討する際には、静電気の発生状態や帯電量を正確に把握することが重要となる。しかし、静電気の測定においては電荷を移動させると瞬時に帯電状態が変化したり、接触するだけで電荷が移動が発生するなどの問題がある[21]。また、静電気の発生は表面現象であり、温湿度などの環境条件や取り扱い条件あるいは物体自身の形態や状態に強く影響され、再現性に乏しいという特徴がある[22]。したがって、静電気の測定に際しては、試料の種類や評価の目的に応じて適切な方法を正しく選択した上で、試料の調製および調整を丁寧かつ十分に行うことが重要となる。さらに、静電気の特質をよく理解した上で測定を行い、結果をみるのが大切である。特に、被測定物が人体のような生体であれば、データの再現性、バラツキおよび個体差などについても気を配る必要がある。

3. 人体帯電性に関する試験方法と測定に際しての留意点

人体の帯電性評価には、通常、人体帯電圧測定法（Walking Testあるいはストロール法とも呼ばれている）が用いられる[23]。もともと、この試験方法は床敷物や建築床材の帯電性評価方法として確立されたものである。試料上を実際に試験者が歩行し、人体への静電気帯電量を直接測定する方法である。実際的で説得力のあるテスト方法であり、ISOやAATCC、JISなどの工業規格に採用されている[24-26]。

しかし、表1に示すように、それぞれの規格によって試験片のサイズ、温湿度条件、調湿時間、歩行方法および試験結果の分析方法が異なる。この点に十分な注意が要る。

データの分析方法について述べると、図2に示すようにAATCC TM 134では得られた帯電曲線のピーク値、すなわち実線で示した電圧がデータとなる。ISO 6356では、ボトムの高い方から5点の電圧を求め、その平均値で評価する。したがって、データは図に一点鎖線で示したようなレベルになる。JIS L 1023.10にあっては、チャート紙上に描かれた帯電圧の高い方から5点と低い方から5点を抽出し、その平均値を求めることとなっている。結果的にJIS試験方法によって得られるデータは、AATCC法とISO法の間程度になる。これについて10点のカーペットを用い、調査を行ったところAATCC法による結果はISO法のそれに比べ50%

以上高い値となった。

また、試験の性格上、試験者によりデータに相違の生じる可能性がある。これについて、当研究所において4名の試験者により試験者間相違を検討した。2種類の床材を用い、歩行方法および履物を統一・規定して実験を行ったところ、バラツキは平均値を中心に±5%以内であった。さらに、データの再現性を確認するために、2年間にわたり同一の試験者により、同一の試料から得られる測定結果を追跡調査した。その結果、ほぼ同じ結果が得られたものの、ここでも平均値±5%弱の変動が認められた。したがって、人体帯電圧測定においては、±5%程度の測定誤差を許容する必要があると考えられる。なお、人体の各部位から検出される帯電圧について検討するため、試験者の右手、左手、胴体の3ヶ所から同時に帯電圧を測定したところ、どの部位からも同等の帯電圧が検出された。体の部位による有意差は認められず、大雑把に言えば人体帯電圧測定時における人間は一定のレベルに帯電する一つの物体と考えてよいといえる。

なお、静電気の発生量は湿度に対する依存性が高く、湿度が低下するほど増加することが知られている[27]。一例として、カーペット歩行時の人体帯電圧と相対湿度の関係を調べた結果を図3に示した。使用したカーペットは、JISに規定されたナイロン100%のループパイルカーペット（標準カーペット）とこれに導電性繊維を0.3%混入したものの2種類である。履物は、同JISに規定されている甲が革で底が合成ゴム製の靴および底をイソプロピルアルコールで入念に洗浄した革靴ならびに市販されている運動靴の3種類を用いた。標準カーペットでは、履物の種類にかかわらず、相対湿度の低下にともない帯電圧が急激に大きくなり、20%RHでは10000V前後にまで達している。一方、導電性繊維を混入した試料でも相対湿度の低下にしたがい人体帯電圧は上昇する。しかし、その程度は小さく、人が静電気放電ショックを感じる限界であるといわれている[28]3000Vにまでは到達していない。また、両試料間にみられる帯電圧の差は、低湿度側ほど顕著である。逆に言えば、50%RH以上の湿度条件では制電加工効果の比較は困難だといえる。したがって、帯電防止加工品の未加工品に対する性能を比較検討する際には、低湿度環境下において試験・測定を行う方が、その有意差が明確になり、判断が容易になるといえる。

次に、着衣や履物が人体帯電性に及ぼす影響を調べた結果を表2に示した。床材は、JISに規定の標準カーペットである。履物は、未着用、綿の靴下、JISに規定の合成靴、甲底とも革製の靴および一般的なズック靴である。着衣の種類は、未着用から順次重ね着をし、最終的にはウールのズボン、カッターシャツにウールのセータを着込んだ。これにより、無着衣から夏、春秋、冬のスタイルを再現した。ただし、着用物はいずれも制電加工の施されていないものである。無着衣で裸足の場合の帯電圧は約500Vであるが、下着に靴下だけを着用した場合も、冬物のセータを着込んだ場合も履物が同一であれば、帯電レベルに大きな違いは認められない。しかし、試料と直接接触する履物の種類によって帯電圧には、大きな差が現れている。したがって、歩行時に発生する帯電圧は床材と履物に強く依存するが、着衣の種類にはほとんど影響されないといえる。

さらに、履物の影響について調べるために約200点のカーペットを試料として、JISに規定されている靴と上述の革靴の2種類の履物を用い、実験を行った。図4には、得られた全データの中から、電撃ショック限界付近（約3000V）に存在するデータ群を抽出して示した。グラフに網掛けで示した範囲の試料がJISに規定の靴では、3000V以下の範囲に入っているにも

かかわらず革靴では電撃ショックを感じる領域にあり，ここでも履物の影響の大きいことが示された．なお，全部のデータをみれば両履物間に相関性 ($r^2=0.88$) は認められたが，革靴の方が発生帯電圧は高いことがわかった．

一方，最近の靴素材はかなり多様化しており，従来の革底や合成ゴム底などに加え，ウレタンユニットや比重0.5程度の軽量ゴム-EVA樹脂系スポンジ製の靴などが開発，販売されている[29]．ESDトラブルをはじめ静電気安全性の観点からは，これら多様な靴底材が人体帯電に与える影響についても調べておく必要があると考えられる．

そこで，異なる材質の靴を十数種類準備し，靴底材と人体帯電の関係について実験を行った．人体帯電圧測定は，ストロール法およびすり足隔離法で行った．ストロール法はJIS試験方法にしたがった．すり足隔離法は，絶縁された事務椅子に腰掛け，一定時間床材の上を靴底で摩擦した後，そのままの姿勢ですばやく足裏を20cm程度持ち上げ，そのときに発生する帯電圧を測定する方法である[23]．この方法は，もともとコンピュータ関連機器の製造企業で考案されたもので，OA機器に対するESD障害を意識したものである．なお，この実験では相対湿度の影響についても考察するため，20%，20%RHおよび20%，50%RHの2条件で実験を行った．床材は，JISに規定の標準カーペットおよび導電性繊維混ナイロンカーペットを用いた．履物は，靴底素材の異なる市販の靴12種類を用いた．なお，靴の電気抵抗値をJIS T 8103に準拠して測定した．

図5に20%，20%RHおよび20%，50%RHの条件下で行ったストロール法の結果を，図6にはすり足隔離法から得られた結果を示した．実験に用いた靴を試料Noとして表したが，No.1がJISに規定された靴と同等の帯電性を示したサンプルである．JIS相当の靴よりも高い帯電圧を示すものが数点見受けられる．また，すり足隔離法の方が，ストロール法に比べ湿度依存性が低い．つまり，すり足隔離法では高湿度条件下であっても低湿度時と大差のない静電気が帯びる可能性がある．図7にはストロール法とすり足隔離法の関係を示したが，相関性は低い．したがって，履物の種類やすり足隔離など，動作[30]によってはJISの試験方法から得られた数値をはるかに超えるレベルの帯電圧が発生する可能性があることが明らかになった．

さらに，図8には靴の電気抵抗値とストロール法によって得られた人体帯電圧の関係を示したが，かなりのバラツキが認められる．したがって，靴の電気抵抗値だけで人体に対する帯電性を判断することは非常に危険である[31]．

最後に，畳表材に化繊を用いた人造畳の帯電性測定の事例を紹介する．人造畳の帯電性をJISに規定の方法，すなわち甲が革で底が合成ゴムの靴で調べたところ，人体帯電圧は-4000V程度であった．次に，畳の実用実態を考慮して数種類の市販の靴下を着用し，同様に測定を行った結果，+600V～+750V程度の帯電圧であり，電撃ショックの点からは心配のない数値であった．JISの規定通りに評価すれば，この畳は相当の静電気が人体に帯び，電撃ショックを受ける可能性が高いと判断される．しかし，畳の実際の使用状況から考えれば，この場合，靴を履いての評価は適当ではなく，当該試料の帯電レベルは危険なものではないと結論付けるのが妥当であろう．

当然のことではあるが，標準化された規格類では，歩行方法や試料の調整方法，試験時の温湿度条件などとともに履物についても一律に規定されている．しかし，以上のように，使用実態や状況を考慮に入れない評価は，場合によっては適切ではなく，判断を間違える．特

に、OA関連の機器部品などのような精密機器を扱う場合や静電的安全性に特に配慮を要する作業現場では、標準化された試験方法に加え、使用する履物や作業動作も含め、より実際的な状況において発生する帯電量を調べ、必要に応じた制電対策を施す必要がある[32]。なお、人造畳の例では靴と靴下で人体帯電圧の極性が変化したが、これは靴と人造畳および靴下の帯電列によるものと考えられる。極性も含めて議論する場合は、この点にも注意を要する。

4. 人体帯電防止用靴底裏面貼付シートの考案とその性能

一般に、静電気帯電は、物質間に接触や摩擦など何らかの物理的作用があったときに電荷が移動し、発現する現象と説明されており、これは物質の特性の一つであると理解されている[33]。人の歩行動作の場合は、床面や地面と履物の裏面が物体同志の接触部分、すなわち接触界面となる。実際、上で述べたように歩行による人体帯電性は、履物と床面の材質に大きな影響を受ける。

そこで、著者らの研究グループでは、歩行にともない発生する人体帯電量の低減化を目的に、履物の裏面に対する工夫を検討した。具体的には、靴の裏面に貼付するタイプの汎用静電気帯電防止シートを考案し、その制電性について検討を加えた。以下にその内容を報告する。

まず、最初に帯電防止用靴底裏面貼付シートの材料として、硫化銅系有機導電性繊維100%の不織布、炭素系導電性繊維100%の平織物、圧延銅箔および樹脂コーティングの施された圧延銅箔の4種類を検討した。図9に、4種類の帯電防止シートから得られた人体帯電圧を示した。測定は、ISOの試験方法によったが、床材や履物はJISに規定されたものを用いた。なお、帯電防止シートの寸法は5cm×5cmで、貼付箇所は靴裏面の前部である。

図9から、硫化銅系有機導電性繊維不織布製シートの制電効果が最も優れていることがわかる。ブランク（帯電防止シートを貼付していない場合）に対する帯電圧の低減率は84%である。次に、炭素系導電性繊維平織物の成績が良好で、人が静電気放電ショックを感じるといわれている3000Vの水準[28]以下に抑制されている。しかし、圧延銅箔および樹脂コーティング圧延銅箔の性能は低い。電気抵抗率の観点からは、最も効果があると思われた銅箔でも、低減率は26%である。これは、シート表面の形態の差によるものと考えられる。顕著な効果の認められた2種類の繊維状シートの表面には多数の毛羽が存在しており、この形態によって、歩行時に履物裏面と床面間に不平等電界が形成され、自続放電（コロナ放電）が発生し[34]、結果的に帯電圧の上昇が制限されたものと考えられる。

靴の裏面に貼付する帯電防止シートの材質としては、硫化銅系有機導電性繊維不織布と炭素系導電性繊維平織物が効果的であることがわかったので、次に、制電性と面積の関係を調べた。図10に、硫化銅系有機導電性繊維不織布製シートの大きさと人体帯電圧との関係を示した。この実験には、甲・底とも革製の紳士靴を用いた。図10から人体帯電圧は、5cm²程度までに急激かつ直線的に低下し、比較的安全なレベルにまで達していることがわかる。しかし、10cm²前後から制電効果は鈍り始め、20cm²以上のものを貼付しても大きな変化は認められない。これは、導電性繊維による制電挙動の一般的な傾向[35]とよく一致している。ただし、同じ面積のシートであっても、貼付箇所によってその効果には相違があり、床面に直接

接触する部分に貼付する方が良好な結果が得られた。

さらに、様々な種類や形状の履物を用いて実験を行った。その結果を表3に示した。帯電防止シートの使用面積が著しく制限される婦人用のピンヒール靴でも、58%の低減率が得られ、人体帯電圧は1600Vであった。また、いずれの履物から得られたデータも3000V未満であり、この帯電防止シートは多くの履物に対して有効であることが確認された。次に、各種の床材などに対する制電性能を確認するため、履物をJISに規定の靴に固定し、数種類の床材を使用して実験を実施した。この実験には、表4に示したようにカーマットを含め13種類の床材または敷物を用いた。blankでも400V程度にしか帯電しない木質系床材の低減率だけが50%であったが、その外の床材やムートンからは、十分な制電性が認められた。また、自動車用マットについても相当の効果を発揮しており、この程度の数値であれば降車時などに静電気の放電ショックが発生する危険性はない。したがって、この帯電防止シートは、大多数の履物にも、また床材に対しても制電効果を発現するものと考えられる。

そこで、これらの帯電防止シートの使用耐久性や制電性能の維持性を確認するため、日常使用している市販の靴の裏面に硫化銅系有機導電性繊維不織布と炭素系導電性繊維製のシートを貼付し、実用試験（試履テスト）を実施した。試験の期間は最長3ヶ月とした。

硫化銅系有機導電性繊維不織布を貼付した紳士靴の場合、試験開始から二週間後でも50%程度の制電性を維持したが、帯電防止シートには激しい損傷や一部に脱落が認められた。約1ヶ月後には、低減率は30%台に悪化した。婦人靴の場合は、靴のデザインも多様で、靴裏面の意匠も様々で、裏面の形状によって帯電防止性能に大きな差があり、良好なものでは、使用期間約90日で75%の低減率を維持したが、試履後10日程度でシートが完全に脱落するものもあった。一方、炭素系導電性繊維製シートは、硫化銅系有機導電性繊維のものよりはるかに耐久性が低く、紳士靴の場合は、20日程度でその効果が消滅した。

そこで、帯電防止シートが地面から直接受ける衝撃や摩擦作用を緩和させることによって物理的・形態的損傷を防ぎ、耐久性を向上させることを考え、硫化銅系有機導電性繊維不織布シートにはSBR製の、炭素系導電性繊維製シートには熱可塑性ポリウレタン製のプロテクターを作製した（図11）。図12には硫化銅系有機導電性繊維不織布シートの結果を、図13には炭素系導電性繊維製シートにおける結果を示したが、いずれのシートでもプロテクターの効果によって耐久性が向上しており、帯電防止性能の持続期間が大幅に延びていることが確認された。

5. おわりに

ここでは、最初に静電気が関係するトラブルや障害、災害事例について触れたが、静電気の性質を積極的かつ有効に活用した技術も数多く開発されている。例えば、日常的に活用している複写機（コピー機）は、静電気に関する研究の成果から誕生したものであり、静電塗装、静電選別や分級・分離技術なども静電気の特性を礎とする技術である。また、エレクトレットフィルターは、低圧損で集塵効率の高い素材である[36,37]。このフィルターは、アレルギーや風邪ウイルスなどの空気感染から身を守るためのマスクなど、われわれの身近なところでも広く利用されている。

次に、静電気測定方法の中でも人体帯電性の評価方法と測定に際しての留意点を中心に述

べた。しかし、試験評価方法の種類としては、むしろプラスチックや繊維材料、繊維素材を対象としたものが多い。また、粉体や液体の静電的性質を調べる方法も研究、開発されており、この分野においても興味ある報告が多数見受けられる[38-46]。

そして、最後に「人体帯電防止用靴底裏面貼付シート」について紹介したが、これはモリト（株）からの受託研究によって開発したものであり、同社CS事業部の長谷川正博氏の尽力によって実用化されたものである。現在、このシートは、図14に示すような形で商品化されている。

文献

- 1.田嶋泰幸：静電気学会誌，25，2，65（2001）
- 2.武田豊，中村貴子，大森栄，北田光一，小河剛史：医薬ジャーナル，30，p.436（1994）
- 3.毎日新聞夕刊：2002.07.12
- 4.木村裕和，稲次俊敬，小河宏：繊維機械学会誌，55，3，p.102(2002)
- 5.木村裕和：大阪府立産業技術総合研究所報告，14，43（2000）
- 6.木村裕和，小河宏，稲次俊敬：平成13年度大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集，120（2001）
- 7.稲次俊敬，中村蔭，木村裕和：第47回皮革研究発表会講演要旨集，p.6(2000)
- 8.木村裕和：商工振興，648，20（2004）
- 9.Carstesen E.L.，J.Electrostatics，39，p.157（1997）
- 10.小野哲章：静電気学会誌，24，2，88（2000）
- 11.黒田英司：静電気学会誌，27，1，8（2003）
- 12.小野輝道：化繊月報，1980-03，p.35（1980）
- 13.二澤正行：プラスチックスエージ，1998-11，p.144（1998）
- 14.本田昌実：エレクトロニクス，1990-01，p.30（1990）
- 15.丸治彦，杉本泰彦，五月女清孝，市川和男：静電気学会誌，26，1，23（2002）
- 16.山本雅晴，永安直人：繊維機械学会誌，41，p.109（1988）
- 17.船津実：表面，16，11（1978）
- 18.岡崎薫：高分子，21，245，p.403（1972）
- 19.JIS T 8103（2001）
- 20.JIS T 8118（2001）
- 21.森田清三，菅原康弘：静電気学会誌，24，1，8（2000）
- 22.静電気学会編：新版静電気ハンドブック，p.130，オーム社（1998）
- 23.内藤武七郎：繊維機械学会誌，41，6，P336（1988）
- 24.ISO 6356（2000）
- 25.JIS L 1023（1992）
- 26.AATCC TM 134（1996）
- 27.P.R.Wilkinson：Modern Textiles，51，P.35（1970）
- 28.田嶋泰幸：静電気の災害防止対策（静電気安全専門講習会資料）p.23（1970）
- 29.秋葉光雄：皮革科学，42，2，83（1996）
- 30.永田秀由記：ゆかmonthly，34，2，52（1991）

31. M.T.Pailthorpe, *Text.Res.J.*, 58, 335 (1988)
32. 村上俊郎, 藤江明雄, 二澤正行: *プラスチックスエージ*, 6, p.142 (1999)
33. 堤井信力: *静電気のABC*, pp.24-33, 講談社 (1998)
34. 静電気学会編: *新版静電気ハンドブック*, p.175, オーム社(1998)
35. 木村裕和: *大阪繊維NEWS*, 18, 3, p.3 (1985)
36. 安藤勝俊: *繊維学会誌*, 47, 6, P-344 (1991)
37. 安藤勝敏, 菅埜幸治: *静電気学会誌*, 19, 5, 388 (1995)
38. 轡田昇: *粉碎*, 35, 109, (1991)
39. 竹内学: *2003年度第1回静電気学会研究会*, 1 (2002)
40. 浅野一明: *静電気学会誌*, 24, 1, 15 (2003)
41. 東山禎夫, 杉本俊之: *静電気学会誌*, 27, 5, 211 (2003)
42. 江間秋彦, 杉山聡, 田之上健一郎, 増田弘昭: *静電気学会誌*, 26, 3, 130 (2003)
43. 柳田和彦: *表面科学*, 15, 560 (1994)
44. 横山敦士, 村田雄司: *静電気学会誌*, 26, 5, 226 (2002)
45. 周広斌, 今村学, 末廣純也, 原雅則: *静電気学会誌*, 27, 1, 26 (2003)
46. 北林宏佳, 辻孝誠, 伊藤恵一: *静電気学会誌*, 27, 4, 183 (2003)



図1 静電気障害の分類とその一例

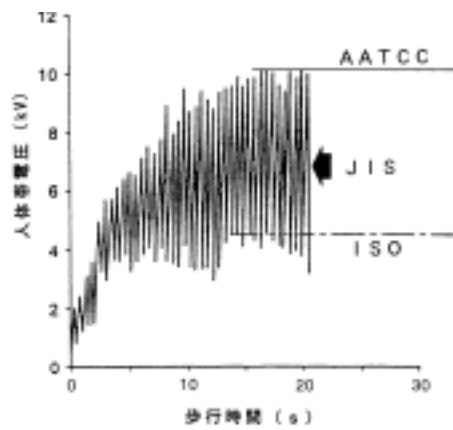


図2 人体帯電圧データの採取方法
(ISO/TC38/SC12/WG5/N39(1996)より抜粋。一部加筆)

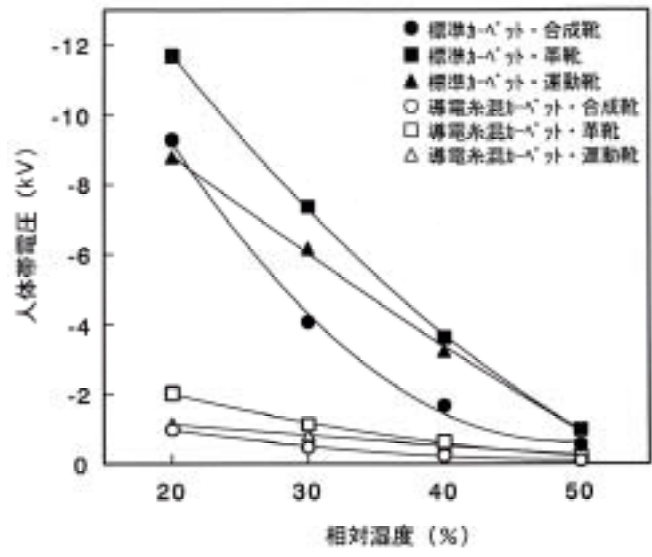


図3 相対湿度と人体帯電圧との関係

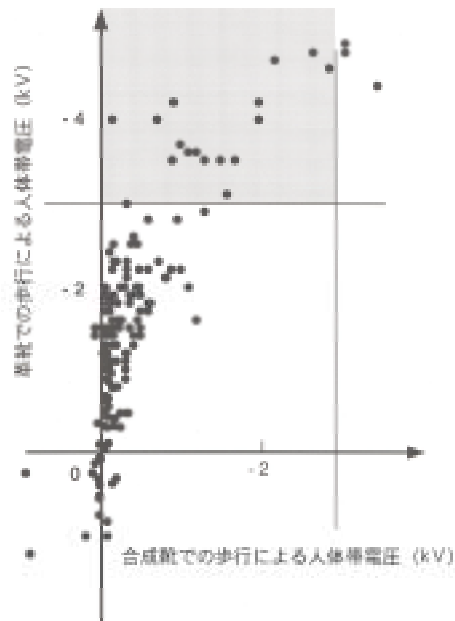


図4 合成靴と革靴による歩行人体帯電圧の関係

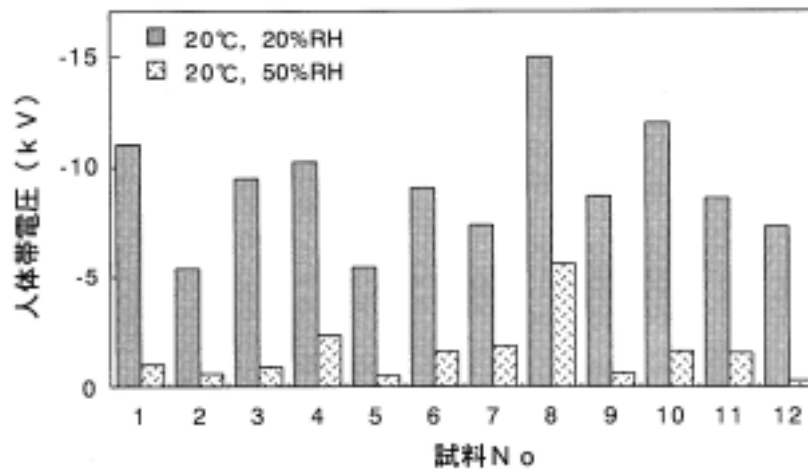


図5 20、20%RHおよび50%RHで測定した人体帯電電圧(すり足隔離法)

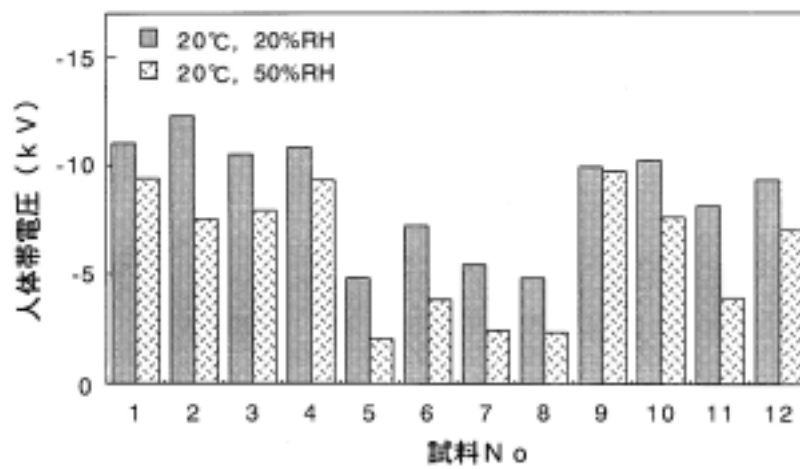


図6 20、20%RHおよび50%RHで測定した人体帯電電圧(ストロール法)

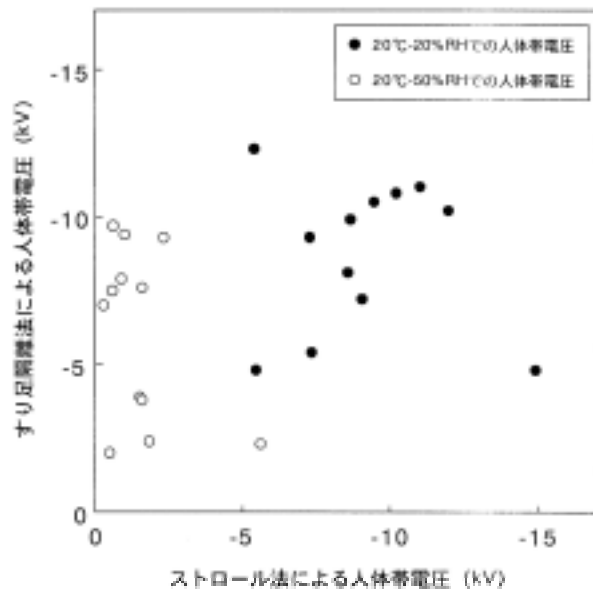


図7 ストロール法とすり足隔離法の関係

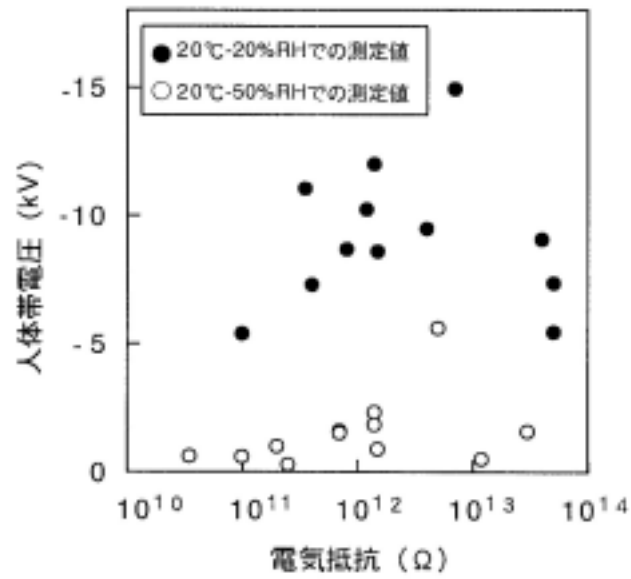


図8 電気抵抗値と人体帯電電圧の関係

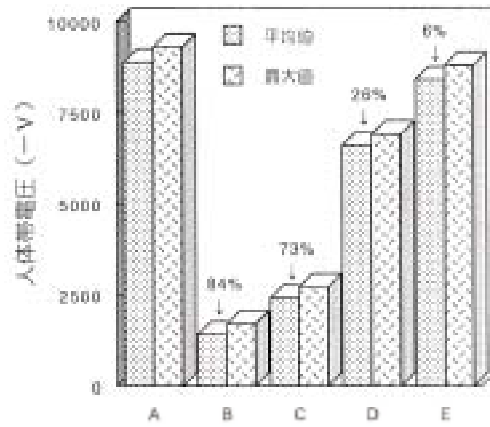


図9 各帯電防止シートの制電性能
 A: ブランク(無貼付)
 B: 硫化銅系有機導電性繊維不織布
 C: 炭素系導電性繊維平織物
 D: 圧延銅箔
 E: 樹脂コーティング圧延銅箔

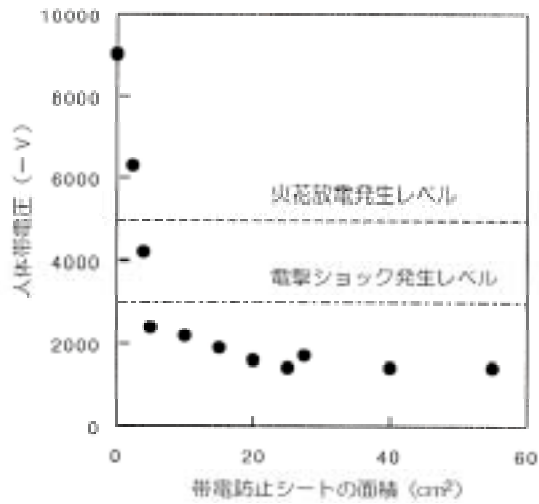


図10 人体帯電防止シートの面積効果
 (革靴、硫化銅系有機導電性繊維不織布シート)

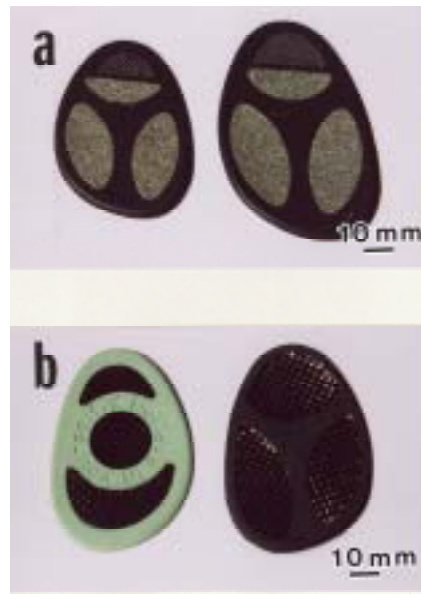


図11 人体帯電防止シートのプロテクター
 a: 硫化銅系有機導電性繊維不織布シート
 b: 炭素系導電性繊維平織物シート

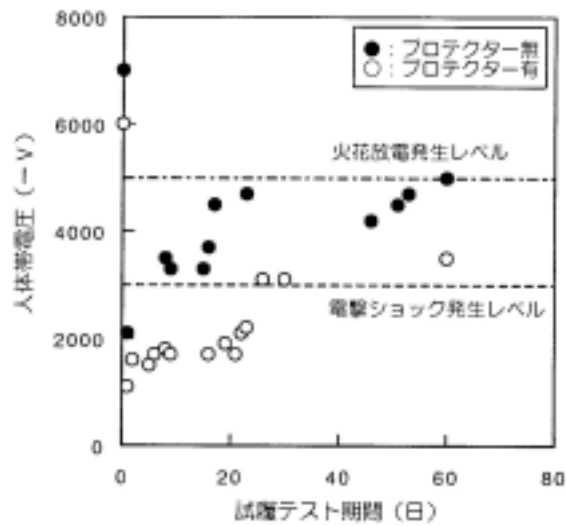


図12 プロテクターの効果
 (硫化銅系有機導電性繊維不織布シート)

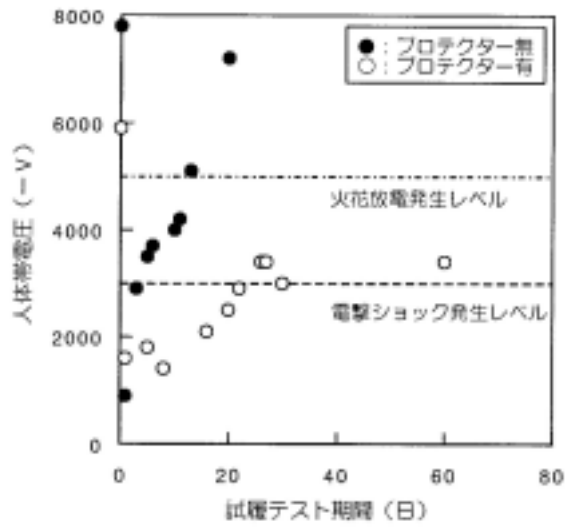


図13 プロテクターの効果
(炭素系導電性繊維平織物シート)



図14 人体帯電防止用靴底裏面貼付シート

表1 ISO, AATCC, JIS の歩行試験方法とデータの取り方

規格	ISO 6356	AATCC TM 134	JIS L 1023.10
試験片サイズ	200 × 100cm	約 70 × 90cm	90 × 90cm
試験条件	23 , 25%RH	21 , 20%RH	23 , 25%RH
調湿時間	最低 7 日間	最低 48 時間	最低 24 時間
歩行方法	両足を平行に揃え、足の裏をそのまま垂直に上げ、体の方向を変えずに前進・後退を繰り返す。横に移動する際も平行・垂直の歩行動作を保持したまま行う。すり足、回転は厳禁。	ステップテスト（同左）&すり足テストを行う。	並足法（通常の歩行動作）で試料上を 8 の字状または円形に歩行する。歩行は 30 秒以上とし、帯電圧が平衡になるまで続ける。
歩行速度	歩行時間は 60 秒間	2 歩 / 1 秒	100 歩 / 1 分
データの取り方	チャート紙に記録された曲線のボトムの高い方から 5 点を読み、平均する。	異常値を除き、チャートに記録されたピークをとる。	チャート紙に記録された曲線から高い方 5 点、低い方 5 点を選び、平均する。

表2 着衣や履物が人体帯電性に与える影響

着衣の種類	履物	帯電圧 (V)
なし	なし	- 5 2 0
下着	綿靴下	- 7 5 0
下着 + 綿靴下... (a)	合成靴	- 9 2 0 0
(a) + シャツ	"	- 9 0 0 0
(a) + 綿ズボン	"	- 8 9 0 0
(a) + ウールズボン	"	- 9 0 0 0
(a) + カッターシャツ + ウールセーター	"	- 9 0 0 0
作業着	"	- 8 9 0 0
下着 + 綿靴下	革靴	- 1 1 3 0 0
作業着	"	- 1 1 4 0 0
"	ズック靴	- 7 9 0 0
"	綿靴下	- 7 0 0
"	なし	- 4 8 0

注) 作業着は、下着、綿靴下、シャツ、カッターシャツ、レーヨン・PET 混ズボン着用である。試験室の温湿度は20 , 20%RHとした。

表3 数種の履物に対する人体帯電防止シートの制電性

紳士靴 履物	甲の材質	底の材質	人体帯電圧 (V)		帯電圧低減率 (%)
			ブランク	シート貼付後	
JISに規定の靴	革	加硫ゴム	- 8 9 0 0	- 1 4 0 0	8 4
革靴	革	革	- 9 0 0 0	- 2 4 0 0	7 3
紳士靴A	革	発泡ゴム	- 7 2 0 0	- 2 1 0 0	7 1
紳士靴B	革	発泡ゴム	- 4 5 0 0	- 1 1 0 0	7 6
紳士靴C	革	発泡ゴム	- 9 0 0 0	- 2 3 0 0	7 1
ゴルフ用シューズ	革	発泡ウレタン	- 9 0 0 0	- 1 4 0 0	8 4
運動靴	布	加硫ゴム	- 8 5 0 0	- 1 2 0 0	8 6

婦人靴 履物	甲の材質	底の材質	人体帯電圧 (V)		帯電圧低減率 (%)
			ブランク	シート貼付後	
スリッポン	布	加硫ゴム	- 8 7 0 0	- 2 4 0 0	7 2
ハイヒール	合成皮革	加硫ゴム	- 7 0 0 0	- 2 4 0 0	6 6
ピンヒール	革	加硫ゴム	- 3 8 0 0	- 1 6 0 0	5 8
パンプス	革	加硫ゴム	- 5 7 0 0	- 1 3 0 0	7 7

男女兼用靴 履物	甲の材質	底の材質	人体帯電圧 (V)		帯電圧低減率 (%)
			ブランク	シート貼付後	
家庭用スリッパA	布	ウレタン	- 9 3 0 0	- 2 6 0 0	7 2
家庭用スリッパB	布	EVA	- 6 4 0 0	- 1 5 0 0	7 7
サンダル	PVC	PVC	- 7 8 0 0	- 1 3 0 0	8 3

(硫化銅系有機導電性繊維不織布)

表4 各種床材等に対する人体帯電防止シートの制電性

床材等	人体帯電圧 (V)		人体帯電圧 低減率(%)
	ブランク	帯電防止シート貼付後	
Ny標準カーペット	- 8 9 0 0	- 1 4 0 0	8 4
導電性繊維混Ny-C	- 8 4 0	- 1 5 0	8 2
ウールカーペット	- 7 2 0 0	- 1 5 0 0	7 9
タイルカーペットA	- 1 7 0 0	- 3 3 0	8 1
タイルカーペットB	- 5 7 0	- 9 0	8 4
P-タイル	- 3 6 0	- 7 5	7 9
木質系床材	- 4 2 0	- 2 1 0	5 0
SBRゴムマット	- 3 3 0	- 6 0	8 2
ムートン	- 1 2 0 0 0	- 2 4 0 0	8 0
自動車用マットA	- 6 1 0 0	- 1 5 0 0	7 5
自動車用マットB	- 1 3 0 0	- 2 7 0	7 9
自動車用マットC	- 3 0 0	- 9 0	7 0
自動車用マットD	- 1 1 0	- 3 0	7 3

履物：JISに規定された靴

帯電防止シート：硫化銅系有機導電性繊維100%不織布 (50×50mm)

試験条件：20℃, 20%RH