

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00750

研究課題名(和文)人体帯電圧による着衣の静電気帯電量測定法の開発

研究課題名(英文)Development of determination method for clothes using human body voltage

研究代表者

木村 裕和(Kimura, Hirokazu)

信州大学・学術研究院繊維学系・教授

研究者番号：80359372

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：作業服を中心に人体帯電圧による着衣の静電気帯電性測定方法を考案した。考案した試技は2種類である。着衣とインナーウェア間で一定時間摩擦動作を行った後、直ちに脱衣する動作と椅子に着座した実験者が着衣の背中部と椅子の背もたれ部間で一定時間摩擦動作を行った後に素早く立ち上がる動作である。帯電防止未加工の作業服と帯電防止加工作業服、合計10種類を試料として実験を行った結果、脱衣試技では帯電防止作業服の人体帯電圧は安全なレベルにあることが確認された。しかし、椅子からの立ち上がり試技においては帯電防止作業服であっても70%以上の試料が3kVを超過し、50%が火花放電が懸念される5kV以上の帯電圧を記録した。

研究成果の概要(英文)：Safety-assessment on the static electrical propensities of work clothes in Japan is carried out by electric charge level. In practical use, we consider that the hazard related to static electrical charge is dependent on human body voltage. We thought up two trial movements for determination of human body voltage: one is taking off movement after performing frictional action between work clothes and inner wear, the other is standing up from the seat of popular use chair quickly after performing frictional action between the back part of work clothes and the back of a chair. Experimental works were performed by using four types of unprotected commercial work clothes and six types of static protected commercial work clothes. Standing up movements from the seat of chair were recorded higher human body voltages than taking off movement. And, it was found that some work clothes including several static protected work clothes exceeded 5kV which occurred spark discharge from human body.

研究分野：繊維工学

キーワード：静電的安全性 人体帯電圧 帯電防止作業服

1. 研究開始当初の背景

研究対象とする測定法は、主に作業服あるいは静電気帯電防止作業服とするが、一般的な衣料にも適用できるものとする。実際のヒトの行動や動作によって発生する静電気帯電現象を正確に把握し、帯電メカニズムを解明した上で、再現性の高い測定・評価方法を提案する。

現在、JIS に規定されている着衣の静電気安全性に関する試験方法としては、JIS T 8118 がある。しかし、これは対象物が静電気帯電防止作業服のみに限定されており、静電気帯電防止作業服に使用される生地と静電気帯電防止作業服 1 点を試料として用い、摩擦帯電電荷量による基準が設定されているのみである。基準値は生地の摩擦帯電電荷量が $7 \mu\text{C}/\text{m}^2$ であり、作業服 1 点で $0.6 \mu\text{C}/\text{m}^2$ と規定されているが、一般的な着衣や通常の作業服に関する規定はない。しかし、現実にはこの JIS に合致した静電気安全作業服を着て作業をしていたにもかかわらず、人体からの静電気放電による人身死亡事故が発生している [平成 18 年 1 月 18 日毎日新聞朝刊社会面記事 (2006 年)]。本研究では、このような静電気放電による深刻な災害発生はもちろん、2000 年頃に話題となったセルフサービス式ガソリンスタンドなどにおける静電気障災害 [平成 14 年 7 月 12 日毎日新聞夕刊一面記事 (2002 年)] を未然に防ぐという観点からヒトの動作にともなう静電気帯電現象を究明した上で、人体帯電測定法による新規試験方法を開発することを目的としている。

これまでに研究代表者らは、長年にわたり繊維および繊維製品の静電気帯電現象に関する研究に取り組んでおり、特に静電気の人体帯電現象については詳細な研究を進めてきた。また、現在、実用化されている導電性繊維の性能についても調査研究を行っており、静電気障災害などについて記述した論文、著作もある [木村裕和、総説・人体の静電気帯電とその対策、皮革科学、50, 2, pp.67-76 (2004)]、[木村裕和ほか、帯電の測定方法と静電気障対策、pp.214-216、サイエンス&テクノロジー社 (2008)]、[木村裕和ほか、【複合・電子材料、フィルム、粉体、液体、有機デバイス】正しい電気特性の測定と評価 pp.304-333、技術情報協会 (2005)]。さらに、人体帯電圧と相関の高い動的荷重試験機を援用した帯電性試験方法の提案も行っている [木村裕和ほか、動的荷重試験機を

用いたカーペットの帯電性評価、静電気学会誌、35, 1, pp.38-39 (2011)]。また、歩行にともなう静電気人体帯電発生を抑制できる研究にも取り組み、その研究プロセスにおいて、静電気帯電防止には導電性繊維の表面露出状態が問題であることや突出単繊維がコロナ放電のトリガーとなり、これが豊富であるほど高い制電性が発現することを見出している [木村裕和ほか、導電性不織布を貼付した履物による歩行人体帯電防止、静電気学会誌、35 A, pp.183-188 (2011)]。

これらの研究経験から実際に発生する静電気障災害原因として人体に発生、帯電した静電気の瞬間放電による危険性も熟知しており、静電気帯電防止に関する知見を有している。それゆえ、着衣あるいは静電気帯電防止作業服によって実際のヒトの行動によって発生する静電気帯電量を正確に把握することが安全性確保の観点から極めて重要であることを認識しており、人体帯電圧測定法による着衣や作業服の試験方法ならびに基準値が未確立であることに危惧を覚えている。

以上が研究の背景であり、本研究に取り組む社会的必要性である。なお、本研究から得られた成果は JIS 化や ISO 国際会議での提案などの工業標準化への展開も図ってゆく。

2. 研究の目的

一般的な着衣および各種作業服着用時におけるヒトの動作にともなう静電気帯電現象を明らかにした上で、新規静電気人体帯電測定法を開発する。現在、着衣関係の静電気帯電に関する試験方法は、静電気帯電防止服に限定されており、電気抵抗値または摩擦帯電電荷量による基準値が設定されているのみである。一般的な着衣や通常の作業服に関する規定はない。また、現状では実際のヒトの行動や動作により人体に生じる静電気帯電量を知ることはできない。

本研究では、着衣の種類とヒトの諸動作によって人体に帯電する静電気発生量を正確に評価できる人体帯電測定法を開発し、人体からの静電気放電による障災害を抑制することを目的に JIS 化や ISO への提案も視野に入れ、実施するものである。

3. 研究の方法

一般的な着衣および作業服あるいは静電気帯電防止作業服着用時におけるヒトの行動や動作にともなう接触・摩擦帯電現象を

明らかにする．具体的には紳士用スーツ，作業服を研究対象とする．紳士用スーツについては，一般的なものとそれに制電加工を施したものをを用い，作業服には，一般作業服と静電気帯電防止作業服を用いる．接触・摩擦帯電は，繊維素材，組織構造，表面状態により変化し，再現性に乏しい難解な物理現象であるが帯電性を主に支配する要因を追跡，分析し，人体帯電量を正確かつ定量的に検出できる測定法を開発する．

安全性の評価基準としては，ヒトが静電気放電ショックを感じる 3,000V および静電気放電現象が観察される 5,000V を中心に検討を進める．

平成 27 年度には以下の実験的検討を実施する．

- ・紳士用スーツおよび制電加工紳士用スーツを用いて人体帯電圧検出方法と測定条件の探索的調査実験を実施する．

- ・労働安全，作業安全のリスクを最大限考慮した条件（例えば，実験温湿度条件や最も人体帯電圧が高く検出される動作）を確定する．椅子張り生地と着衣とを約 20° の角度で一定時間摩擦させた後，動作椅子からの立ち上がり動作にともなう人体帯電圧を予備的に調べるが，その他の動作や行動についても実験的に検討を進めてゆく．

平成 28 年度以降は以下の実験的検討を実施する．

- ・平成 27 年度に考案した新規人体帯電圧測定法について制電加工事務服，各種作業服および静電気帯電防止作業服を用いて実験を行い，考案した試験方法の妥当性と普遍性に関するエビデンスを収集する．

- ・人体帯電圧と電気抵抗値などとの関連性について検討を加え，実際の作業安全を確保するという観点から最も合理的な試験方法を構築，提案する．

4．研究成果

人体帯電圧による衣服の静電気帯電性評価の可能性を探索する目的ならびに市販の衣服から実際にどの程度の人体帯電圧が生じるのかを確認する目的から脱衣動作試技および椅子からの立ち上がり動作試技の 2 通りの試技を考案した．ここでは作業服に関する研究結果について述べる．

実験には市販の帯電防止未加工作業服 4 点および帯電防止作業服 6 点の合計 10 点を用い，作業服の下に着用するインナーウェアには素材の異なる 5 種類の衣服を選定した．

脱衣動作試技は，次の手順で行った．ま

ず，試料作業服上下一対を着用した実験者が人体帯電圧測定器に接続されているプローブを作業ズボンのポケットに入れ，恒温恒湿実験室内の床面に設置した床材上に起立状態で静止する．その後，試料作業服を脱ぐ動作を行うが，その際，試料作業服とインナーウェア間を速さ 90 回/min. で 20 秒間摩擦運動を行う．所定時間の摩擦運動が終了後，直ちに素早く試料作業服を脱衣し，床面に放置する動作を行った．実験は 1 試料作業服につき 3 回行い，メモリーハイログに記録された人体帯電圧の最大値を測定データとし，その平均値を求めた．なお，実験終了後，1 回ごとに除電装置を用いて試料作業服上下一対およびインナーウェアを入念に除電した．

椅子からの立ち上がり動作試技は，次の手順で行った．試料作業服の上下一対を着用した実験者が人体帯電圧測定器に接続されているプローブを握り，静かに市販の事務椅子に深く座る．その後，椅子の背もたれ部を試料作業服の背中部で実験者の座骨結節部を中心に左右約 20° の角度となるように速さ 90 回/min. で 60 秒間往復摩擦運動を行う．所定時間の摩擦運動が終了後，直ちに素早く椅子から立ち上がる動作を行った．実験は 1 試料作業服につき 3 回行い，立ち上がり直後にメモリーハイログに記録された人体帯電圧の最大値を測定データとし，その平均値を求めた．なお，実験終了後，1 回ごとに試料作業服上下一対および椅子の背もたれ部ならびに座面を入念に除電した．

また，実験に用いた 10 種類の試料作業服および 5 種類のインナーウェアの表面電気抵抗率を高抵抗計を用いて測定した．

実験は，温度 20 ± 2 ，湿度 $(20 \pm 2)\%R.H.$ の環境に調整した恒温恒湿実験室内で行った．

実験結果と考察である．脱衣動作試技においては試料作業服とインナーウェア間で摩擦を行っている 20 秒間にわずかな人体帯電圧が検出されたが，試料作業服を脱いだ瞬間に人体帯電圧の急激な上昇が認められ，最大値を記録した，その後，60 秒間の静止起立状態時において人体帯電圧の減衰が認められた．これは椅子からの立ち上がり動作試技においても同様の結果であった．図 1 は，よこ軸に表面電気抵抗率，たて軸に椅子からの立ち上がり動作試技から得られた人体帯電圧のデータをプロットした結果である．表面電気抵抗率が低いほど人体

帯電圧が小さくなるという明確な傾向は認められず、両者間に関連性はみられない。したがって、実際の動作時に人体に発生する静電気帯電量を電気抵抗の観点からだけで推測することは困難であると考えられる。

図2には、よこ軸に椅子からの立ち上がり動作試技から得られた人体帯電圧を、たて軸に脱衣動作試技から得られた人体帯電圧をとり、各データをプロットした結果を示した。○で示したデータが帯電防止加工作業服、●が帯電防止未加工作業服から得られたデータである。また、破線は人が静電気の放電ショックを感じる限界域の3kVを示しており、一点破線が静電気の放電火花が発生する限界に相当する5kVである。これをみると脱衣動作試技においてはすべての帯電防止作業服が3kV未満の範囲内に収まっていることがわかる。また、帯電防止未加工作業服であっても5点が3kV未満、11点が5kV未満の領域にある。5kV以上の人体帯電圧を示した帯電防止未加工作業服は9点であった。一方、よこ軸方向にプロ

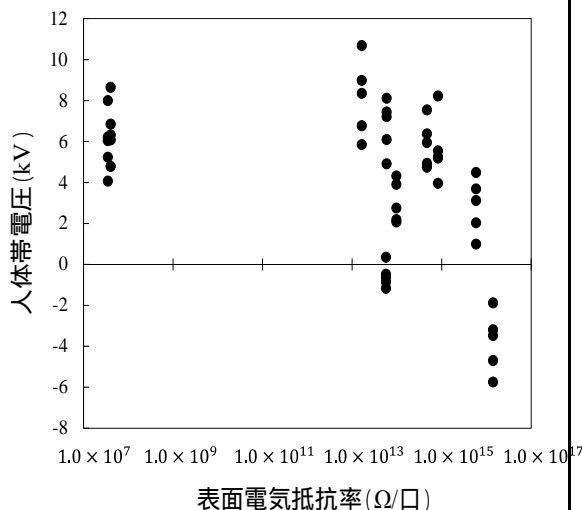


図1 表面電気抵抗値と人体帯電圧の関係

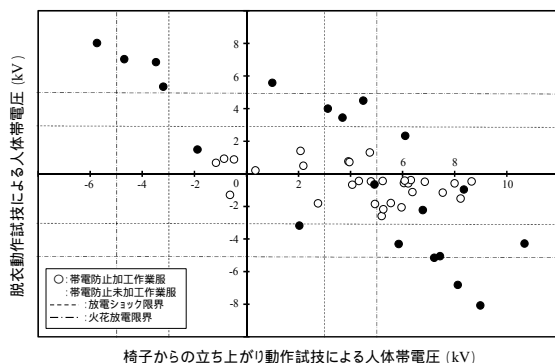


図2 2試技から得られた人体帯電圧

ットした椅子からの立ち上がり動作試技から得られた人体帯電圧では、帯電防止加工作業服であっても30点中22点が3kV以上の人体帯電圧を示しており、5kV以上の人体帯電圧が検出された試料作業服も15点存在している。実に、帯電防止作業服の50%が静電気による火花放電の危険性がある。したがって、帯電防止作業服を着用していても激しい摩擦をとまなうような運動の後に、急激に立ち上がるような動作は相当危険な所作であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

山本涼太郎, 坂口明男, 木村裕和, 人体帯電圧による作業服の静電気帯電性評価, 日本繊維機械学会第71回年次大会研究発表論文集, C2-11, pp.171-172 (2018)

石飛孝, 坂口明男, 木村裕和, 柴田清弘, 人体帯電圧による着衣の静電気帯電性評価に関する研究, 平成27年度繊維学会年次大会研究発表会, 繊維学会予稿集, CD-ROM (2015)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 裕和 (KIMURA, Hirokazu)
信州大学・学術研究院繊維学系・教授
研究者番号: 80359372

(2) 研究分担者

西松 豊典 (NISHIMATSU, Toyonori)
信州大学・学術研究院繊維学系・教授
研究者番号: 40252069