

論文

静電植毛技術を活用した帯電防止マットの開発

殿谷保雄* 山本克美* 重松宏志*

Anti-electrostatic mat made using electrostatic flocking technology

Yasuo TONOYA, Katsumi YAMAMOTO and Hiroshi SHIGEMATSU

Abstract Electrostatic flocking is applied to general goods, clothes and to various parts of industrial products. The object of this work is to develop an anti-electrostatic mat using an electrostatic flocking technology. Conductive flock and conductive adhesive are necessary as the flocking materials to make the anti-electrostatic mat. Electrostatic flocking proves to be difficult if the flock has a low resistance, this is because the high-voltage power supply tends to get cut off frequently. Lowering of flocking intensity becomes troublesome if the conductive carbon powder is added to the flocking adhesive, because the carbon powder causes a lowering of the gluing intensity. These two tasks were discussed and solutions were discovered. We made the anti-electrostatic mat using a conductive adhesive which contains carbon powder with a ratio of 25% and a mixed flock which contains a conductive flock with a ratio of 5%. The flocking conditions included a flocking distance of 10cm and a flocking voltage of 25kV. The resistance of the anti-electrostatic flocking mat is $10^5 \Omega$ and the electrostatic potential of the human body employing a walking method is under 1.1kV. These measurement results show that the mat have an anti-electrostatic function.

Keywords Electrostatic flocking, Anti-electrostatic mat, Static electricity

1. はじめに

静電植毛製品は断熱性、保温性、衝撃緩和性、光吸収性等の優れた特性を有しているため、日用雑貨品、衣料品、装飾品の他、各種工業部品の分野に用いられている。しかし、近年、中国や東南アジア等で生産される低価格植毛製品が国内に大量に出回るようになり、植毛業界には、新たな分野への進出を図るために、高付加価値製品の開発が求められている。従って、植毛業界からの製品高付加価値化の要望に応じて、本研究では、導電性繊維を編み込んだ糸を混紡して製造されている帯電防止マットを、静電植毛加工技術を活用して開発することを目的とした。

帯電防止マットを静電植毛技術により作製する場合、①導電性フロックを用いて植毛加工を行うため、フロック同士の連結による電極間連結現象の発生、②フロックを投锚させる接着剤を導電性加工した時の接着力及び導電性の確保が課題となり実用化されていなかった。

従って、本研究ではフロック同士の連結による電極間連結現象及び帯電防止植毛マット用として使用可能な導

電性接着剤の検討の二課題を解決することを主眼とした。

2. 実験方法

植毛実験槽は写真1に示すように、フロックの飛翔状態や植毛状態の観察を容易にするため、透明アクリル板を用いて構成した。植毛方法は、フロックの直立度が良好で優れたマット特性が得られるアップ法（フロックを下方から上方に飛翔させる）を採用した。

植毛手順は、①下部平板電極上にフロックを載せ、電極に直流高電圧を印加してフロックを充電する。②被植毛物体に接着剤を塗布した後、下部電極の上方にアクリル板で両端部を支持して接地する。③上部電極として機



写真1 植毛実験槽

*電気応用技術グループ

能する被植毛物体と下部平板電極の間に直流高電圧を印加する。充電されたフロックは、両電極間に形成された電界中をクーロン力によって飛翔した後に、被植毛物体に塗布された接着剤層に投錨される。④被植毛物体を乾燥処理後、余剰フロックを払い落として植毛試作品が完成する。

2.1 接着剤の導電性機能と接着機能

接着剤には植毛加工に多用されているアクリルエマルジョン接着剤を使用した。なお、本接着剤は非溶剤系のために取り扱いが容易であり、乾燥処理後も柔軟性を有するため、マット作製用に適している。接着剤に導電性機能を付与させるために、カーボン粉末を添加した。カーボン粉末はグラファイトカーボン、粒径は $1\mu\text{m}$ 、抵抗値は $1.3 \times 10^3 \Omega$ である。

接着剤が導電性機能を発揮するために必要なカーボン粉末の添加量を見いだすために、添加量別接着剤を塗布した試料を作製し、抵抗値を検討した。試料はアルミ板 ($30 \times 230 \times 0.5\text{mm}$) 基材に、添加量別接着剤を刷毛塗り約 0.5mm の厚さで塗布した後に、 80°C の恒温槽内で約 20 分間の乾燥処理を行い作製した。カーボン粉末の添加量は、重量比 0~40% の範囲で変化させた。抵抗測定は試料上に電極 (直径 25mm 、質量 85g) を置き、アルミ板-電極間に、直流 100V の電圧を印加した場合の電流をエレクトロメーターで測定し、抵抗値を算出した。

次に、接着剤中にカーボン粉末を添加することによって、植毛強度の低下が危惧されるので、植毛強度について検討した。植毛材料には、カーボン粉末添加量を重量比 0~25% の範囲で変化させた接着剤及びナイロンフロック (直径 $44\mu\text{m}$ 、長さ 3mm) を用い、植毛最適条件¹⁾ である植毛距離 10cm 、植毛電圧 23kV で植毛して試料を作製した。植毛強度試験は、JIS L 1084「フロック加工生地試験方法」学振型摩擦試験機法に準じて行い、フロックが試料の接着剤層から抜け始めるまでの摩擦回数を測定し、植毛強度とした。

2.2 導電性フロック植毛時の連結現象防止

植毛加工において、抵抗値が $10^3 \Omega$ 以下の静電気導電性フロックを用いた場合、フロックの連結現象が発生して植毛が困難になる。

図1に示すように、下部電極板上に導電性フロックを載せた後に、上部電極となる被植毛物体と下部電極間に直流高電圧を印加すると、導電性フロックは勢いよく飛翔して、フロック同士が空間で連結して両電極が接続されることがある。この時、フロックの抵抗値が低すぎるために、過大な電流が流れて、直流高電圧電源は遮断される結果、植毛が中断される。

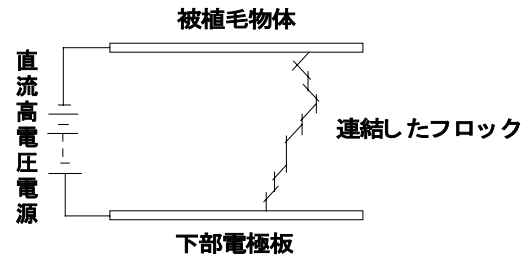


図1 導電性フロック植毛時の連結現象の発生

本研究では導電性フロックを使用するため、植毛時の連結現象防止方法について検討を行った。実験に用いた導電性フロックは、ナイロンフロック表面を導電化処理したもので、長さは 3mm 、直径は $44\mu\text{m}$ 、抵抗値は $5.3 \times 10^2 \Omega$ のストレート形状のものである。

実験方法としては、下部電極板-上部電極板間の距離 (植毛距離) を所定の値に設定し、下部電極板に直流高電圧 (植毛電圧) を印加して、徐々に増加させていった場合、導電性フロックは飛翔し始めるが、電圧をさらに上昇させた時に、フロック同士が連結して両電極を短絡して高電圧電源が遮断されるポイントがあるので、この時の植毛電圧を測定し、これをフロック連結現象発生電圧とする。植毛距離を逐次、変化させた時のフロック連結現象発生電圧を求めることによって、植毛可能な条件を見いだした。

2.3 帯電防止マットの試作

帯電防止マット作製のフロックは、ナイロンフロック (直径 $44\mu\text{m}$ 、長さ 3mm) に前述の導電性フロックを混入して、均一な混ざり具合になるように調整した。抵抗測定用試料としては、導電性接着剤を塗布したアルミ基材に植毛したものをを用いた。抵抗値測定方法は、2.1項と同一であり、導電性フロックの混入量を変化させた時の抵抗値変化を求めた。

次に、導電性フロックの混入量を変化させたマットを試作した。各々の条件毎に、 $30 \times 30\text{cm}$ の試料を4枚ずつ作製し、人体帯電試験用とした。これら4枚の試料を使用して、 $60 \times 60\text{cm}$ の模擬帯電防止マットを構成し、マット上を歩行した時の人体帯電電位をストロ

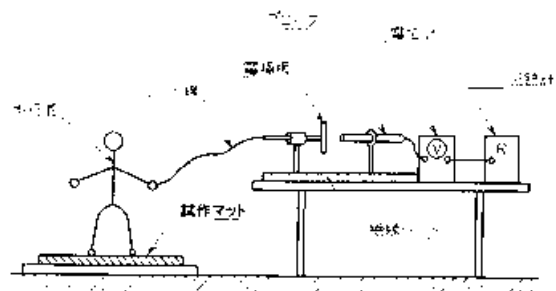


図2 ストロール法による人体帯電電位試験方法

ール法により測定した。測定は、JIS L 1023「繊維製床敷物の性能に関する試験方法」(図2)に準じて行い、歩行経過時間に対する人体帯電電位を測定した。

3. 実験結果

3.1 接着剤の導電性機能と接着機能

カーボン粉末の添加量を変化させた場合の接着剤層の抵抗値測定結果を図3に示す。カーボン粉末無添加の場合、接着剤層の抵抗値は約 $10^{10} \Omega$ であるのに対し、添加比率を約20%以上にした場合、抵抗値は徐々に減少していくことが分かる。接着剤の中にカーボンを添加した場合、ブロック投錨性の低下、成膜性の低下等の障害が発生する可能性がある。これらの物性低下は植毛強度低下の原因にもなるので、極力、回避するためには、カーボン添加量を最小にすることが望ましい。従って、抵抗値が静電気拡散性領域である $10^8 \Omega$ の桁まで確実に減少している、約25%の添加比率を導電性機能付与のための条件とした。

次に、カーボン粉末を添加した接着剤層に、導電性ブロックを植毛して作製した試料について、ブロック層及び接着剤層の合成抵抗値を測定した結果を図4に示す。カーボン粉末未添加の場合の合成抵抗値は約 $10^4 \Omega$ であり、添加比率増加に伴って合成抵抗値は徐々に減少していく。一方、導電性接着剤層の抵抗値測定結果を示した図3において、カーボン粉末未添加の場合の抵抗値は約 $10^{10} \Omega$ であり、添加比率を約25%にした場合の抵抗値は約 $10^8 \Omega$ となる。両者とも、導電性接着剤層に導電性ブロックを植毛した試料の合成抵抗値の方が5桁以上も低

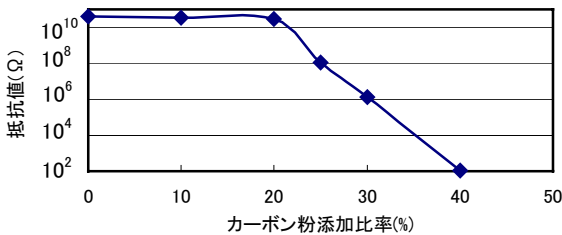


図3 カーボン粉末添加比率に対する接着剤層の抵抗値変化

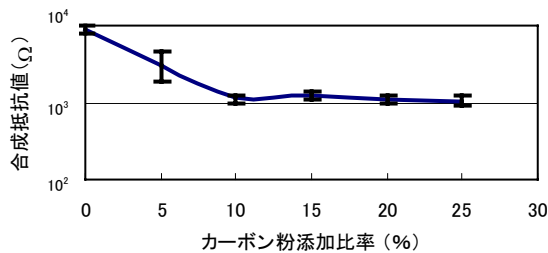


図4 カーボン粉末添加比率に対する導電性ブロック植毛試料の抵抗値変化

表1 カーボン粉末添加比率に対する植毛強度の変化

カーボン粉末添加比率 (%)	摩擦回数 (回)	植毛強度の判定
0	1,500	良
5	1,500	良
10	1,500	良
15	1,500	良
20	1,500	良
25	1,500	良

下している。この理由としては前者は、約 $10^2 \Omega$ の抵抗値を有する導電性ブロックが接着剤層に投錨された場合、ブロック投錨先端部分が接着剤層に深く入り込む結果、合成抵抗に占める接着剤層の割合が大きく減少するためであり、後者は、それに加えて導電性ブロックとカーボン粒子との接触機会が増加するためと考えられる。

接着剤中に添加するカーボン粉末の量を0~25%の範囲で変化させた場合の植毛強度試験結果を表1に示す。植毛強度については、日本ブロック工業会が1975年に業界規格として作成した「植毛強さ等級表示」がある。これは、植毛加工品をJIS L 1084「ブロック加工生地試験方法」学振型摩擦試験機法に基づいて植毛強度試験を行った時、ブロックが植毛加工品の接着剤層から抜け始めるまでの摩擦回数によって、品質をクラス分けしたものであり、ブロックにナイロンまたはレーヨンを用いた時の植毛品について、衣料、履き物、建材等の用途別に植毛強さ（摩擦回数）に応じたクラスを5段階に分けて提示している。

本研究で用いたナイロンブロックを植毛した建材（カーペット）に関しては、フラット法により試験した場合、摩擦強度が1,500回をクリアしたものを植毛品質クラス5として位置付け、植毛製品としての最高位の耐久性を保証している。この規格を参考にして、摩擦強度が1,500回をクリアしたものはブロックの植毛強度が良であると判定することになると、表1の試験結果から、カーボン粉末添加による植毛強度の低下は認められない。

3.2 導電性ブロック植毛時の連結現象防止

植毛条件を変化させた場合のブロック連結現象発生の有無について検討した結果を図5に示す。植毛電圧を所定の値に固定し、植毛距離を変化させて導電性ブロックを飛翔させた時、植毛距離が短い場合にはブロック連結現象が発生するが、ある範囲を超えた場合には連結現象は発生しない。また、植毛電圧を増加させるに従って、ブロック連結現象の発生が収まる植毛距離は増加していくことが分かる。このように、植毛電圧と植毛距離との組み合わせ条件は、連結現象発生領域または連結現象非発生領域のどちらかに属している。従って、導電性ブロックを植毛する場合には、図5におけるブロック連結現

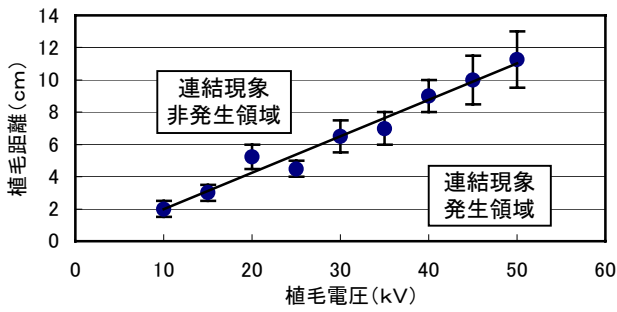


図5 フロック連結現象発生領域及び非発生領域

象非発生領域において植毛条件を設定すればよい。本研究では、植毛距離を10cm、植毛電圧を23kVに設定して、導電性フロックの植毛を行った。

3.3 帯電防止マットの試作

従来使用されているナイロンフロックだけを用いて作製した試料の抵抗値測定結果は、 $1.7 \times 10^{12} \Omega$ であり、静電気絶縁性領域の性質を有しているため、帯電防止機能は全く発揮されない。これに対して導電性フロックの添加比率を変化させた植毛フロックを用いて作製した試料の抵抗値測定結果を図6に示す。

導電性フロックの添加比率が僅か0.5%の場合でも、抵抗値は $10^6 \Omega$ の桁となって、静電気拡散性領域の性質を有し、帯電防止機能を発揮することが分かる。しかし、導電性フロックの添加比率が0.5%程度の少量の場合には、ナイロンフロック中に均一に混合させる際に、混合ムラが発生しやすい。従って、導電性フロックと非導電性フロックの混合の均一性を考慮した場合、導電性フロックの添加比率を0.5%以上に設定することが望ましい。

導電性フロックの添加比率をさらに増加させるに従って抵抗値は減少していき、約10%以上の場合には $10^5 \Omega$ の桁を下回るようになる。帯電防止作業床の指針²⁾では、作業者が400V以下の配電線による感電事故を防止するために、 $10^5 \Omega$ の下限値設定を推奨している。以上の2条件を満足させるためには、 $1.2 \times 10^5 \Omega$

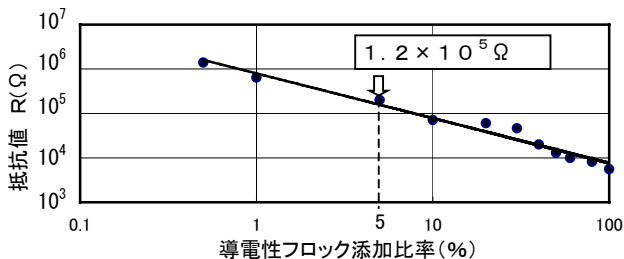


図6 導電性フロックの添加比率に対する抵抗値変化

$10^5 \Omega$ の抵抗値が得られる5%の添加比率に設定すればよい。次に、試作マット上を歩行した時の人体帯電電位をストロール法により測定した結果の代表例として、ナイロンフロック100%の試料と導電性フロック添加比率5%の試料について得られたものを図7に示す。なお、被験者は絶縁靴(抵抗値 $1.5 \times 10^{14} \Omega$)を着用し、測定は温度23°C、湿度32%RHの低湿度環境下で行った。ナイロンフロック100%の試料の場合には、人体は約5kVに帯電しているが、導電性フロック添加比率5%の試料の場合には、人体帯電電位は1.1kV以下に抑制されていることが分かる。人体帯電による静電気ショックの閾値は、 $2.0kV$ ³⁾とされている。従って、導電性フロック添加比率が5%程度のマットは帯電防止機能を発揮する結果、人体帯電による静電気ショックを受けないことが分かる。

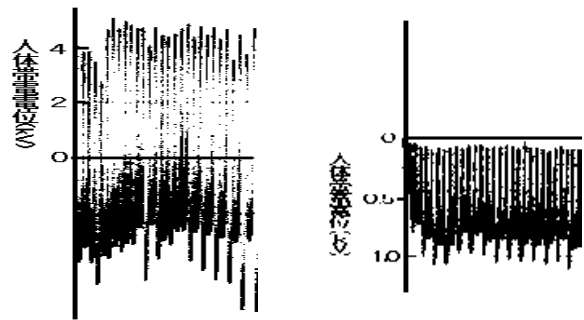


図7 ストロール法による人体帯電電位測定結果

4. まとめ

本研究において、導電性フロック連結現象防止条件、カーボン粉末添加導電性接着剤等の検討を行った結果、導電性機能を有する植毛加工製品の開発を可能にした。また、カーボン粉末添加比率25%のアクリルエマルジョン接着剤、ナイロンフロックに導電性フロックを5%の添加比率で均一混合した植毛フロックを用いて、植毛距離10cm、植毛電圧23kVで帯電防止マットを試作した。試作品の抵抗値は $10^5 \Omega$ 、ストロール法による人体帯電電位測定結果は1.1kV以下となり、帯電防止機能が発揮されていることが確認できた。

参考文献

- 1) 中村, 殿谷他: 静電気学会講演論文集, 89, 90 (1981).
- 2) 労働省産業安全研究所 静電気安全指針, 8 (1988).
- 3) G.W.Brundrett: Journal of Electrostatics, 2, 295-315 (1976/1977).

(原稿受付 平成15年7月30日)