

# 静電気場における種々の短繊維の挙動について — 静電植毛に関する基礎的研究 —

加工技術グループ 染色加工チーム 小川 賢

## 要 旨

静電植毛は、高電圧を利用して短繊維（パイル）を飛翔させ、接着剤を塗布した布帛等に投錨する加工である。古くから行われてきた加工ではあるが<sup>1)</sup>、加工業者の多くは経験と勘でこの加工を行っており、技術的問題に直面することが少なくない。そこで本研究では、様々な加工方式に対応した静電植毛試験装置を作製し、種々条件で植毛試験を行うとともに、高速度カメラを用いたパイルの挙動観察を行い、以下の知見を得た。

- ・パイルの水分率の低下は、特にレーヨンパイルの飛翔性に大きな影響を及ぼす。
- ・水分率の低下により飛翔性が低下したパイルは、加湿雰囲気下に放置する等して再度水分を付与すると、飛翔性は回復する。しかし、過剰の水分付与は植毛ムラを発生させる。
- ・水分率の他、パイルの分離性（ほつれやすさ）も飛翔性に影響を与える。
- ・誘導による帯電方式のダウンメソッドでの植毛は、パイルの分離性の影響を小さく抑えられる。

## 1. 緒言

静電植毛は、誘電体であるパイルをクーロン力を利用して飛翔させ、接着剤を塗布した基材の表面に投錨する加工である。

その原理を、図1に示した植毛装置の概略図で説明する。図1はパイルが下方から上方へ飛翔するアップメソッドの植毛装置を示したもので、上部には接地された電極が、下部には高電圧発生装置が接続された電極が配置してある。パイルは下部の電極上に置かれている。ここで電極に直流電圧を印加すると、電極間に電界が形成され、電極上に置かれたパイルは分極し、その両端に分極電荷を生じさせる。そして電界方向へ配向し、更に誘導帯電され、上部電極方向へのクーロン力が作用する。静電植毛は、これらの力を利用してパイルを飛翔させ、基材に投錨するものである<sup>2)</sup>。

静電植毛は、一見容易に見える加工ではあるが、要素技術が電気や機械、化学、繊維といった多岐の分野にわたる。そして、それらの条件を適正にして、はじめて高い品質の加工が可能となる。静電植毛に関する加工品質には、植毛密度やその均一性、植毛強度等が挙げられるが、これらの品質をより高いものとし維持していくためには、パイルの飛翔性を調整、管理することが重要である。

そこで本研究では、様々な方式の植毛試験装置を作製し、種々因子がパイルの飛翔性に及ぼす影響等につ

いて検討を行った。

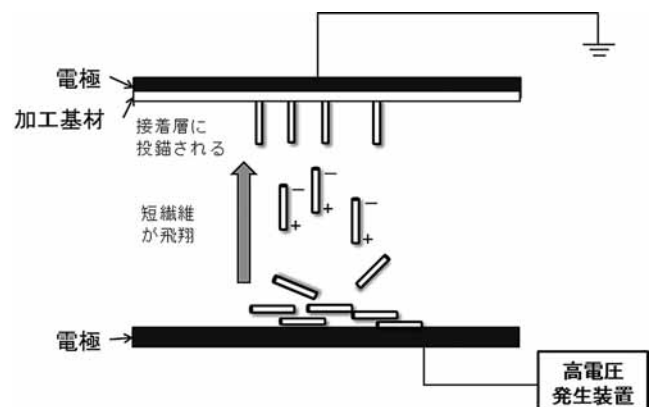


図1 静電植毛装置（アップメソッド）の概略図

## 2. 実験方法

静電植毛には、現在、電極形状やパイルの飛翔方向等が異なる様々な装置が使用されている<sup>3)</sup>。そこで本研究では、図2に示すような4種の試験装置を作製した。

アップメソッドの試験装置は、上述したようにパイルを下方から上方のアース極へ飛翔させるものであり、今回、電極形状の異なる2種類の装置を作製した。ダウンメソッドの試験装置は、逆にパイルを上方から下方のアース極へ飛翔させるものであり、金属製の篩（ふ

るい) にパイルを仕込んで電圧を印加する誘導による帯電法式のもの、電圧を印加した電極の上部からパイルを供給するイオン化(電離)による帯電法式のものを作製した。

パイルの飛翔量の評価は、アップメソッド(基本型)試験装置を用いて行った。上部の極板には両面テープを貼り付けたアルミプレートを、下部の極板には2gのパイルを均一に敷き詰めたアルミ皿を設置し、下部の極板に負の直流電圧を10秒間印加した。そしてプレートに投锚されたパイルの重量を秤量し、これを飛翔量とした<sup>4)</sup>。

パイルの挙動観察には、アップメソッド(円形極板型)試験装置を用いた。上記同様の操作にてパイルを飛翔させ、その様子をマクロレンズを取り付けたカシオ計算機(株)製ハイスピード・カメラEXILIM EX-F1で撮影した。

パイルの水分率は、(株)エー・アンド・デイ製加熱乾燥式水分計MX-50を用いて測定した。またパイルの漏洩抵抗は、秤量瓶にパイルを充填し、プローブ先端に注射針を装置した横河・ヒューレット・パカード(株)製ハイ・レジスタンス・メータ4329Aを用いて測定した。

なお、パイルは、静電植毛を行うための前処理(電着処理)が施されたナイロン及びレーヨンパイルを使用した。

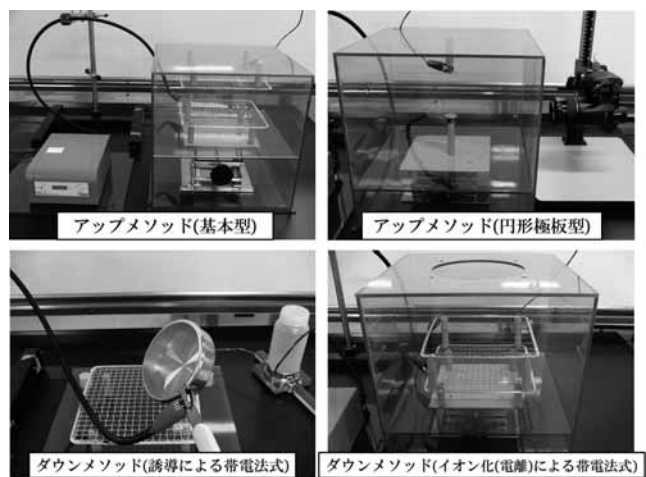


図2 試験装置

### 3. 結果及び考察

#### 3. 1 印加電圧並びに電極間距離がパイルの飛翔に及ぼす影響

ナイロンパイルを用いて、印加電圧並びに電極間距離を様々に変えて植毛試験を行った。その結果を図3に示す。電極間距離が短ければ短いほど、また印加電圧が高ければ高いほど飛翔量は増加する傾向を示した。レーヨンパイルも同様の傾向を示し、またパイルの長さ(カット長)並びに太さの差異によって、この傾向が大きく変わることは無かった。極板間に形成される電界の強さは、印加電圧に比例し電極間距離に反比例する。これらの結果は、電界の強さがパイルの飛翔に強く影響を及ぼすことを示したものと考える。

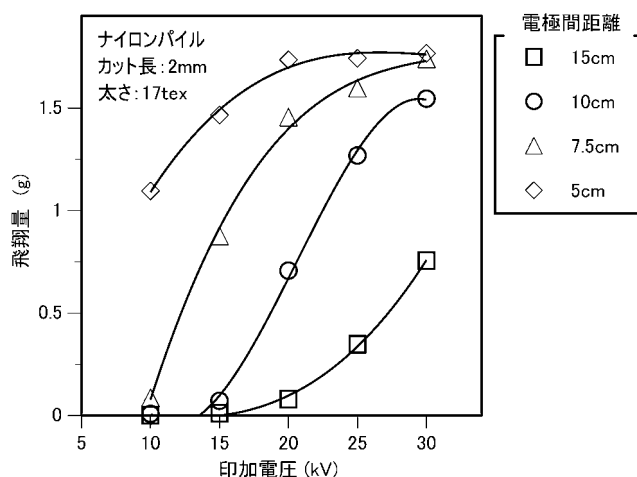


図3 印加電圧並びに電極間距離がパイルの飛翔量に及ぼす影響

#### 3. 2 パイルの飛翔性に及ぼす水分率の影響

パイルを加湿雰囲気下並びにデシケーター中に放置して水分率を変化させた後、電極間距離を10cmに固定して植毛試験を行った。ナイロンの結果を図4に、レーヨンの結果を図5に示す。

ナイロンの飛翔性に及ぼす水分率の影響がごく僅かなものであるのに対して、レーヨンの飛翔性に及ぼす水分率の影響は大きく、水分率の低下によりレーヨンの飛翔性は大きく低下した。カット長並びに太さが異なるナイロン及びレーヨンパイルでも試験を行ったが、結果は同様であった。

そこでパイルの漏洩抵抗を測定し、抵抗値に及ぼす水分率の影響について検討を行った。試験に使用したパイルの乾燥処理前の抵抗値は、 $2 \times 10^8 \sim 2 \times 10^9 \Omega$ で

あった。そして乾燥処理後は、 $1\sim 2\times 10^{10}\Omega$ まで上昇した。しかし、抵抗値の上昇の程度に、試験した範囲内ではあるが、ナイロンとレーヨンの間に顕著な差は見られなかった。

電圧を印加した際にパイルに加わる力は、分極した際にパイル両末端に生じる電荷量と電界の強さの積である。また誘電率の高い水を多く含む親水性のレーヨンと疎水性のナイロンとでは、施される電着処理は異なる<sup>5)</sup>。これらのことを考慮すると、以上の結果は、電着処理の差によって生じたものと推察される。

水分率の減少により飛翔性の低下したレーヨンパイルは、加湿雰囲気下に放置する等して再度水分を付与すると、飛翔性は回復する傾向を示した。しかしながら、過剰の水分付与はパイルを凝集させ、図6に示すような植毛ムラを発生させた。そのため、次に電圧を

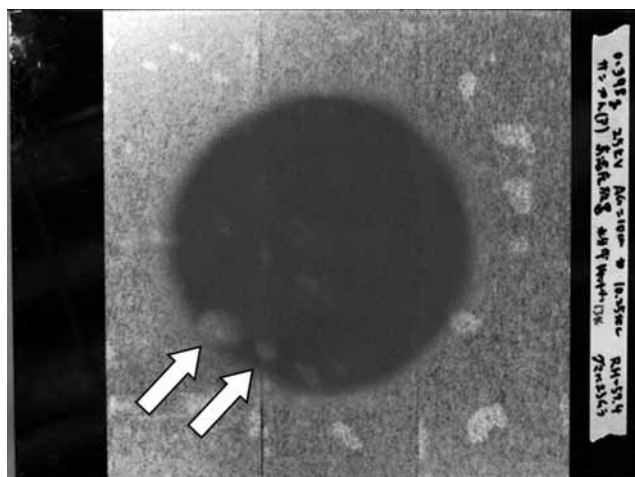


図6 パイルに水分を付与した際に生じた植毛ムラ

印加した際のパイルの挙動を高速度カメラで撮影・観察し、パイルの飛翔性に及ぼす分離性の影響について検討を行った。

### 3. 3 高速度カメラを用いたパイルの挙動観察

電圧を印加した際のナイロンパイル（カット長1mm，太さ3.3tex）の挙動を、高速度カメラを用いて撮影した。得られた画像を図7に示す。図は左上から右下に時系列に並べている。

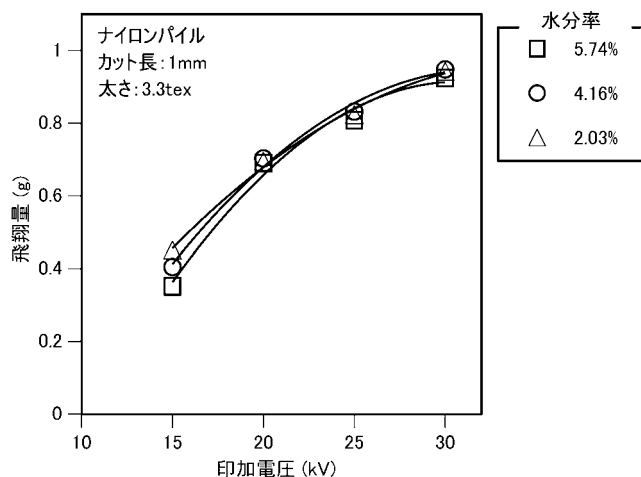


図4 ナイロンパイルの飛翔性に及ぼす水分率の影響

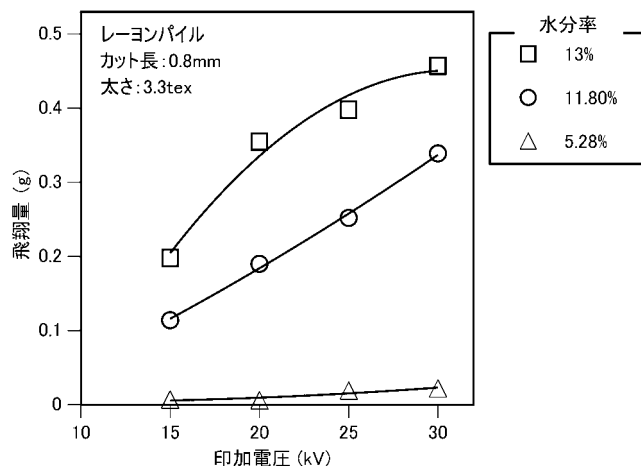


図5 レーヨンパイルの飛翔性に及ぼす水分率の影響



図7 高速度カメラを用いたナイロンパイルの挙動観察

最上段の列では、パイルが上部電極に配向する様子が確認出来る。そして、3コマ目以降の画像からは、配向したパイルが即座に飛翔し始めるのではなく、配向したパイルの周辺に存在するパイルが更に配向すると同時に、或いはその後、飛翔している様子が伺える。図には配向と飛翔がパイルの山の頂上付近から始まり、その周辺に広がるまでの様子を示したが、この後、時間の経過に伴って、これらの挙動はパイルの山の裾野まで広がり、ついには観察視野全体で観察されるようになった。

一方、凝集した分離性の低いパイルは、電圧を印加しても、配向が部分的なものに留まり、飛翔は殆ど観察されなかった。

これらの結果は、積み重なり絡み合ったパイルが配向挙動によって解きほぐされること、また配向により充分解きほぐされなければ、パイルは飛翔しないことを示していると考えられる。

### 3. 4 ダウンメソッドによる静電植毛

アップメソッドでは植毛することが出来なかった分離性の低い凝集した塊状のパイルに対して、ダウンメソッドによる植毛試験を行った。

図8は誘導による帯電方式で試験した結果であり、パイルが均一に投錨されている。篩を振りながら植毛を行うこの方式では、パイルが力学的に解きほぐされる。そのため、分離性が飛翔性に及ぼす影響が比較的小さく抑えられるものと思われる。

一方、イオン化（電離）による帯電方式では、パイルは力学的に解きほぐされることは無く、パイルの殆どは塊状のまま下方の電極へ飛翔（落下）した。

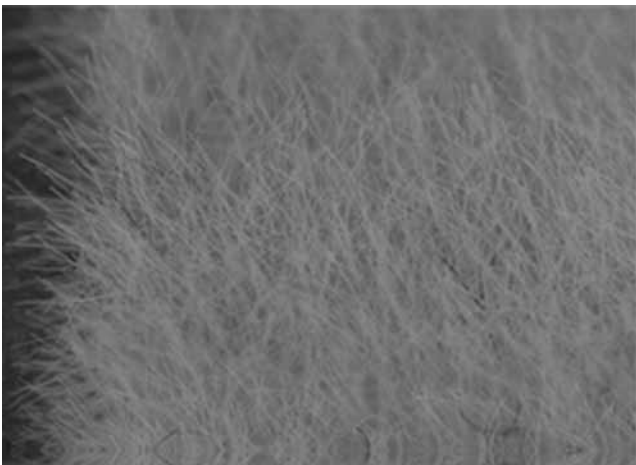


図8 誘導による帯電方式の結果

## 4. 結言

静電植毛を施した加工品には、他の加工品には無い独特の意匠性や手触り、機能性がある。

前述したように、古くから行われてきた加工ではあるが、昨今、植毛プリントを施したT-シャツ等がその意匠性の高さから市場に受け、現在再注目されている。また、保温や遮光、吸音など、静電植毛により得られる機能性は、精密機器や建築資材など様々な分野で利用されており、更なる応用が検討されている<sup>2,6-9)</sup>。

本研究では、種々因子がパイルの飛翔性に及ぼす影響に焦点を当てたが、加工品質には、使用する接着剤や基材なども関係してくる。また、現在業界で使用されている植毛用パイルの殆どがレーヨン若しくはナイロンであり、新たな素材を用いた植毛用パイルの開発が望まれている。

今後、更に研究を進め、加工品質の向上並びに新規植毛加工品の開発に寄与したい。

## 付 記

本研究は、知恵産業融合センター研究開発事業（課題研究）において実施したものである。

## 謝 辞

本研究を遂行するに当たり、ウエッジ（株）山本憲夫様から試験装置の作製に関するご助言を頂きました。また（株）中部パイル工業所、（株）ニッセン、（株）ティーヘッドからは、植毛用パイルの提供を受けました。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 飯沼憲政: 電気植毛 (植毛加工の技術と実際) (繊維技術研究社, 1963) p.2.
- 2) Bong-Jo SUNG他: 静電気学会誌, 30, 89 (2006) .
- 3) 豊原和夫: 月刊高分子加工 (別冊4) 最近のフロック加工, 14, 25 (1965) .
- 4) 栗原秀樹他: 東京都立産業技術研究センター研究報告, No.3, p.76 (2008) .
- 5) 飯沼憲政: 新高分子文庫17フロック加工の実際 (高分子刊行会, 1979) p.136.
- 6) 小笠原博: 静電気学会誌, 16, 373 (1992) .
- 7) 安彦俱明: 静電気学会誌, 16, 380 (1992) .

- 8) 林好正：静電気学会誌，16，384（1992）．
- 9) 殿谷保雄他：東京都立産業技術研究センター研究報告，No.6，p.49（2003）．