

静電界中における微小物体の挙動に 関する実験的研究

村 瀬 正 義・中 野 行 夫

Experimental Studies on Movements of Small Piles in the Electrostatic Field

Masayoshi MURASE, Yukio NAKANO

In case the small piles are made to soar up by utilizing electrostatic force produced in the electric field by means of polarization, how are they affected and how do they begin to move? We have analyzed their movements by observing films taken by a 8mm high speed camera and wish to present this paper on various phenomena resulted from the above experiments centering on flock coating.

1 ま え が き

電界中に誘電体が存在する場合、電界の作用により誘電体内の電子が、電界と反対方向に押されて原子の中心よりずれてしまい、それにより原子が一つの双極子となり分極をした事になる。

そのためにそこに一種の電荷が生じ誘電体が吸い寄せられていく事はすでに実証されている。

そこで筆者らは、この電界中における分極による静電引力を利用して微小物体を飛昇させた場合、この物体が静電界中でどのような影響を受け、どのような挙動を示すのかを、8mm高速度カメラにより撮影してその挙動を考察し、それによって判明したいろいろな問題を電気植毛加工時に発生するクレーターやブリッジなどの発生原因に焦点をしばって検討を行なったので報告する。

2 実験装置および実験方法

実験装置を図-1に示す。高電圧発生装置は60[kV] 直流高電圧発生装置(0~60[kV]まで可変)で東京変圧器株式会社製を使用した。図で示す平行平板電極は、高圧極にアルミ板(370×330×3mm)を、接地極に鉄板(400×400×3mm)を使用し、電極間隔を任意に変えられる様にした。

また、平等電界中での動作を確保するため電極間で飛昇させるパイルなどは、高圧極アルミ板の中央の200×200mm範囲内に設置する様配慮した。

2-1 各種誘電体の飛昇状態の観測

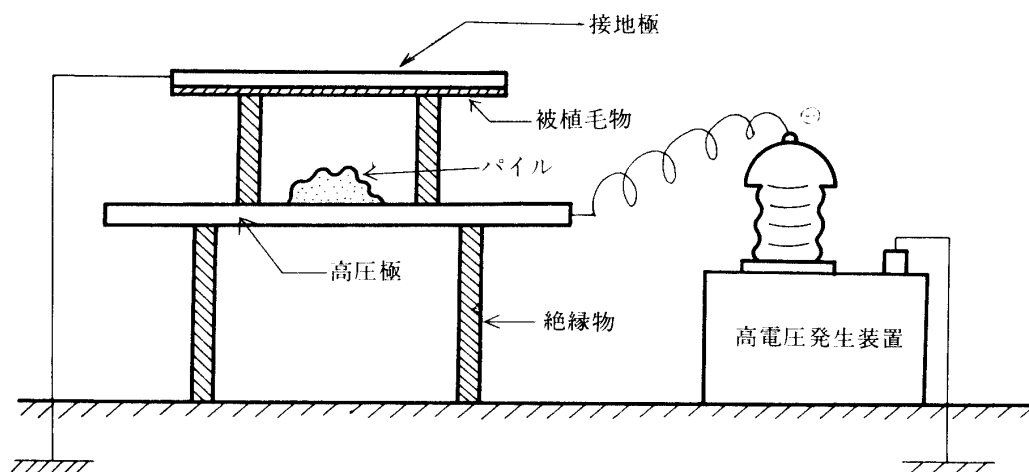


図-1 実験装置

飛昇方式は Up-Method で行ない、高压極上に各種の微小物体(誘電体) [(イ), ナイロンパイル〔長さ 2 mm, 太さ 14 デニール, (註), デニール $T = 9000 \times \text{糸の重量(g)} / \text{糸の長さ(m)}$ 〕 (ロ), 粟玉(直径 1.5 mm) ・ (ハ), 電子計算機用カードパンチ装置から得られる角パンチクズ (1.5 × 3.0 mm), ・ (ニ), 同じく丸パンチクズ(直径 2 mm)] を載せておき, 上部にある接地極間 (10 cm) に負の高電圧 (17 kV ~ 37 kV) を印加して微生物体を飛昇させ, その挙動を 8 mm 高速度カメラ (Fujica Single-8, ZC1000) にて撮影 (撮影速度 72 コマ/秒) し, 観察する。

2-2 強制飛び込みパイルによるクレータの発生状況の観測

接地極側に接着剤を塗布した布地を取り付け, その布地の中央附近に強制飛び込みパイルとして長さ 5 mm, 太さ 0.5 mm ϕ のナイロンパイル 1 本を事前に垂直に植毛しておき, そののち Up 方式により 2 mm パイルを全面植毛し, その時の植毛状況およびクレータの発生状況を観察すると同時に, 高速 8 mm カメラにて撮影する。

2-3 分散性 (さばき) の悪いパイルの植毛状況の観測

互いに絡んでいて分散性の悪い 2 mm ナイロンパイルの植毛状況を観察し, 同時に高速 8 mm カメラにて撮影する。

2-4 パイルの電着処理の有無による飛昇速度および飛昇密集度変化の測定

電着処理 (パイルを電着処理剤の液中に浸したのち乾燥するもので, 電着処理剤としては, 水 1 kg 中にスノーテックス 60 g, けい酸ソーダ 25 g, さく酸 25 g, 塩化アンモニウム 3.5 g, ソフター 4 g, アルミナゾール 7 g をそれぞれ入れて混合したものを使用) の施してあるパイルと, 未処理のパイルが電極間にて印加電圧を変化した時に, どの様に飛昇速度や飛昇密度が変化するかを 8 mm 高速度カメラにて撮影し, そのフィルム上から, パイルが高压極から接地極に達するフィルムのコマ数を求め, コマ数/72 からパイルの飛昇速度を求める。また, このフィルム上から 100 cm 中の上昇パイルの個数を測定する。

3 実験結果および考察

図-2はパイルの飛昇状態を写したものであり、図-3は粟玉の飛昇状況、図-4は高圧極上に粟玉を盛り上げた場合の飛昇状況を写したもので、これから粟玉が放射状に飛昇している様子がよくわかる。

図-5は角パンチクズの飛昇状態、図-6は丸パンチクズの飛昇状態を写したものである。特

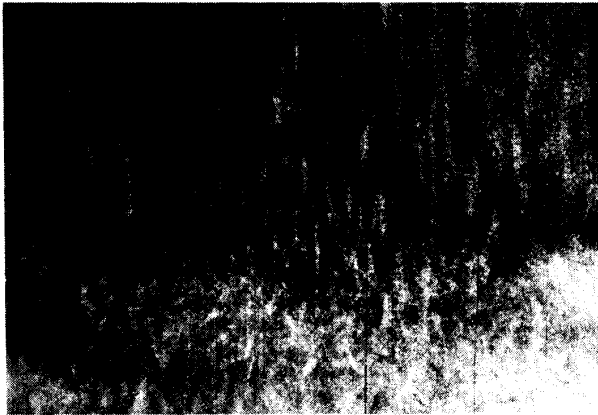


図-2 パイルの飛昇状態
(電極間距離14[cm], 印加電圧17[kV])

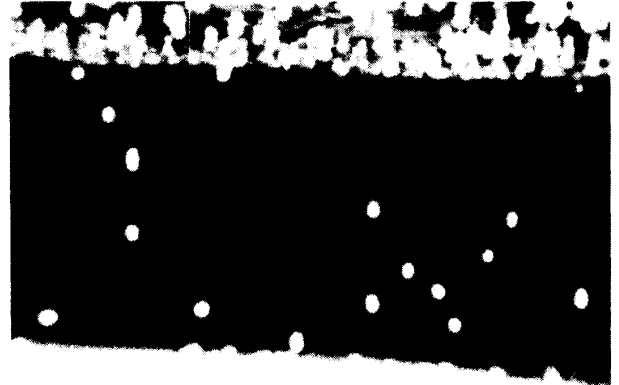


図-3 粟玉の飛昇状態
(電極間距離10[cm], 印加電圧37[kV])

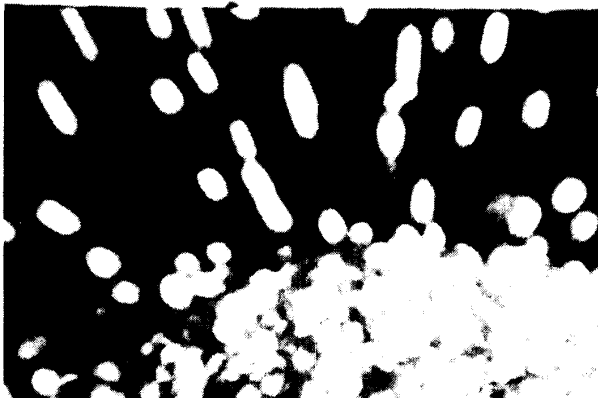


図-4 粟玉の盛り上げによる放射状飛昇状態
(電極間距離10[cm], 印加電圧37[kV])

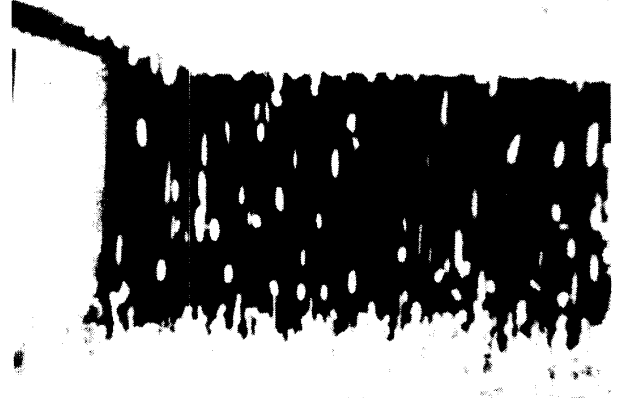


図-5 角パンチクズの飛昇状態
(電極間距離10[cm], 印加電圧37[kV])

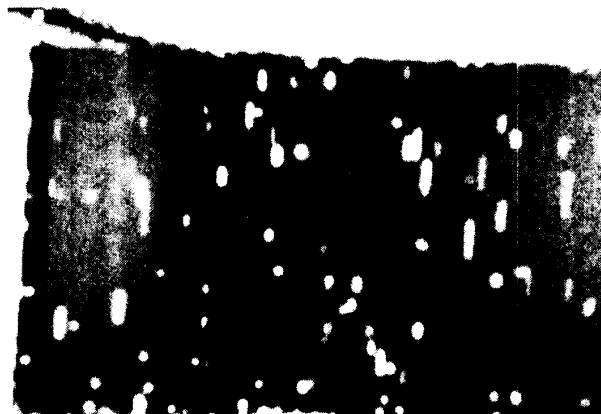


図-6 丸パンチクズの飛昇状態
(電極間距離10[cm], 印加電圧22[kV])

に図-5では、角バンチクズ同志がつながりあうブリッジ状態が、高压極側によく現われているのが観測できる。

ブリッジのできる原因としては、角バンチクズの表面漏えい抵抗が大きいために電荷の放電が十分に行なわれなく、そのためお互にくっつきあうブリッジ現象が現われたものと考えられる。

電界中を微小物体が飛昇するためには、微小物体内で分極が生じ、 $\rho = -\text{div}\mathbf{P}$ で発散した電気力線と、電界の電気力線が作用し、 $F = QQ'/4\pi\epsilon r$ で表わされる力で吸引されなければならない。

微小物体が分極により Q' なる電荷を持つためには、 $\mathbf{P} = \epsilon_0(\epsilon_s - 1)\mathbf{E}$ より $\epsilon = \epsilon_s\epsilon_0$ で表わされる誘電率によって左右される事がわかる。しかるに、電荷 Q を得るためには分極により生じた電荷のどちらか一方を速やかに放電する事が不可欠であると考えられる。

どちらか一方の電荷を放電するためには、最初に微小物体がどちらかの極に接していれば、分極後その極と同じ電荷を有することになる。例えば、図-7(1)のように初め正電極に接していた微小物体内には、分極により正負両電荷が生じるが電荷が先端部に集中する性質により、図-7(2)のように直立する。

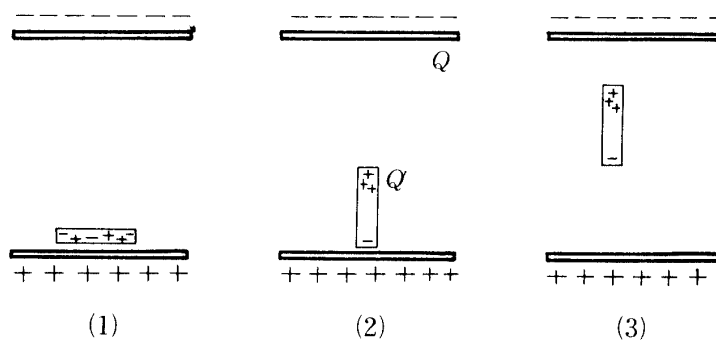


図-7 微小物体の飛昇原理図

更に分極によって生じた負電荷は、正電極によって中和され正電荷を多く有する状態、すなわち、正に帯電した事となり図-7(3)のように飛昇を開始する。この時、負電荷が速やかに中和されなければ十分な飛昇効果が得られない。極端な場合には、負極に近づくにつれて減速運動を呈する事すら生じて来る。

この様に、微小物体の電界中での飛昇は、いかに速く電荷を放電するかによって飛昇状態の良否が決定され、この事により微小物体の電気伝導度の良否により飛昇状態の良し悪しが決定されることが考えられる。

図-4の粟玉の飛昇状態については、これは $\rho = \text{div}\mathbf{D}$ で表わされる様に等電位面もその物体の形と同じ様な形で発散された電気力線に垂直に交叉するので、盛り上げた面が電界を屈折させ、それによって放射状の電気力線が平等電界中に生じたものと考えられる。従って盛り上げた真上に当たる部分は、電気力線が粗となり、ほとんど粟玉が飛来せず斑となった。

この事はパイルに関しても同様と考えられ、パイルが部分的にでも高く盛り上げられているところがあれば、その部分の真上に当る所は植毛斑が生ずると考えられる。

これらの対策としては、誘電体表面から出る電気力線は平行平板電極から出る電気力線より微小物体の誘電率 ϵ_s だけ弱い訳けであるから、電極間電圧を十分に高くすれば、電束密度 D が大きくなり、ベクトルの合成などである程度の植毛斑は防止されるが、実際問題としてはパイルの盛り上りを作らない様に篩などを用いて出来るだけパイルを平坦にする事が望ましい。

次に図-8は強制飛び込みパイルによりクレーターが発生している状態を示したものであるが、これの発生する原因としては、平行平板電極によって作られる平等電界中に他のパイルより長い

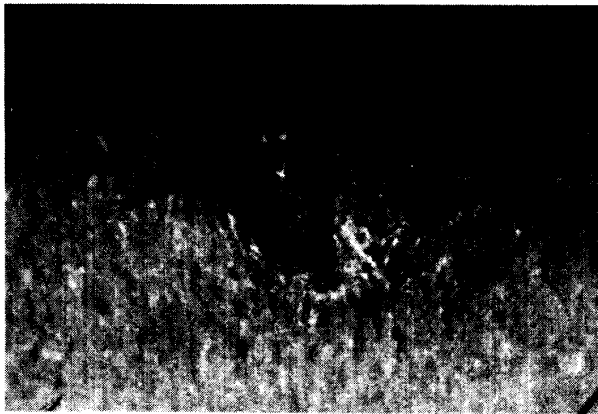


図-8 強制飛び込みパイルによるクレーターの発生
(電極間距離10[cm], 印加電圧17[kV])

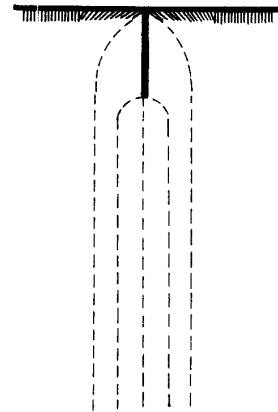


図-9 飛び込みパイルによる電気力線の集中とそれにより生じるクレーターエフェクト

パイルが飛来して突き刺した場合、電荷はこのパイルの先端に集中し、平等電界を乱し電気力線は図-9の様になると考えられる。すると、この近傍には強い電界が生じその近くに飛来して来るパイルは、この作用を受け、進路を曲げられ、吸引されるのである。この結果、飛び込みパイルの植付き部分周辺は、本来ならば飛来するはずのパイルが飛び込みパイルに吸引せられ接着剤まで飛昇できず、飛び込みパイルに吸着したり、また、飛昇して来ているパイルの中には電界の影響を受けながらも、比較的離れていたために傾きながら接着面に突き刺り、その結果飛び込みパイルを中心とした植毛斑点（クレーター）が発生するのである。

また、飛び込みパイルに吸着させられたパイルは、そこで持っている電荷を放電し新たに逆の電荷に帯電して元の電極へ再び飛昇を行なうのである。

また、植毛中に飛び込みパイルが無い場合でもクレーターが発生する場合がある。

その規模は、直径1[cm]以上の大きなものから3mm程度の小さなものまで多種であり、大きなクレーターの発生と小さなクレーターの場合とでは起因そのものにも異なる要素があると思われる。例えば、大規模なクレーターの発生原因として考えられる事は、前述の斑のように盛り上げパイルによる放射状の飛昇などに代表されるところの電界の大きな乱れによるものや、分散性の悪いパイルが束になって付着し(図10-1参照)、乾燥後に抜け落ちるためにクレーターが生じ

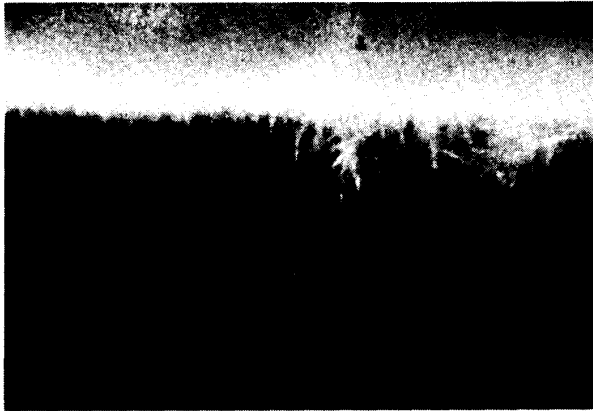


図10-1 分散性の悪いパイルの植毛状態
(電極間距離10[cm], 印加電圧17[kV])

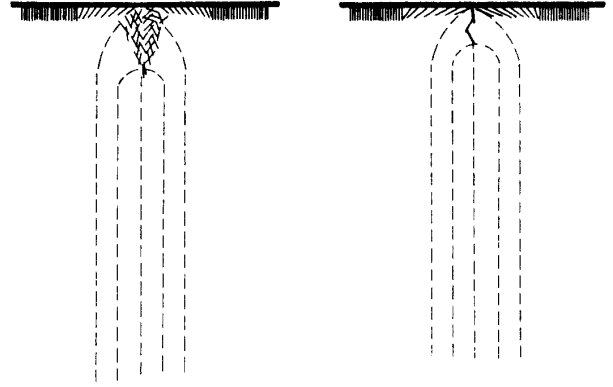


図10-2

- (1) 分散性の悪いパイルが束になって付着した場合の電気力線の集中とクレーターの発生
(2) 導電率の悪いパイルの連りによる電気力線の集中とクレーターの発生

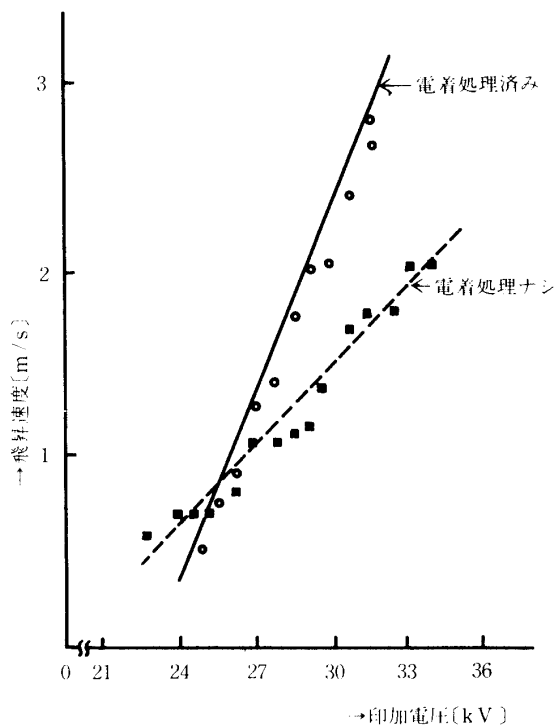


図-11 微小物体の電着処理の有無による印加電圧と飛昇速度

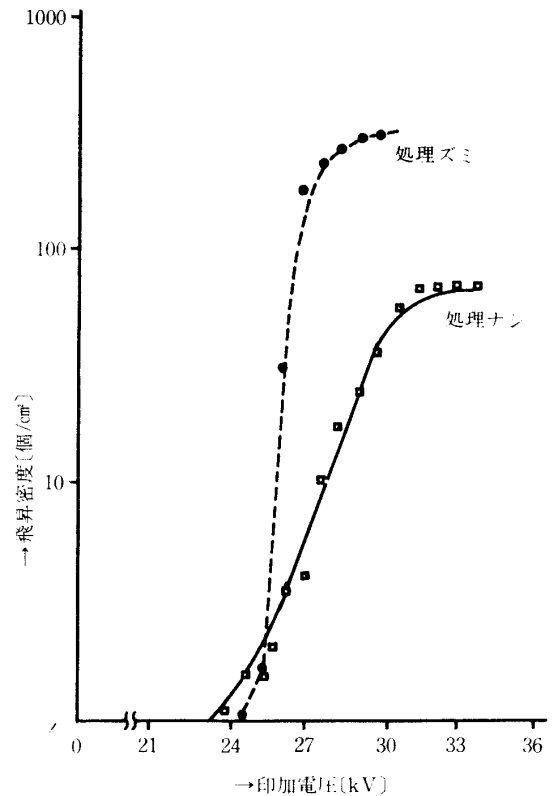


図-12 微小物体の電着処理の有無による印加電圧と平均飛昇密度

ると云った事が考えられるが、小さなクレーターの場合は導電率の悪いパイルの上付き現象による連りが図10-2(2)のように、飛び込みパイルと同じような電界の乱れを生じさせクレーターが発生すると考えられる。

この場合、導電率の良いパイルだと上付いた瞬間に持っていた電荷を放電し、新たに接した電荷に帯電するため、連りは生じないが、導電率が他のパイルより劣るパイルが上付きとして付着

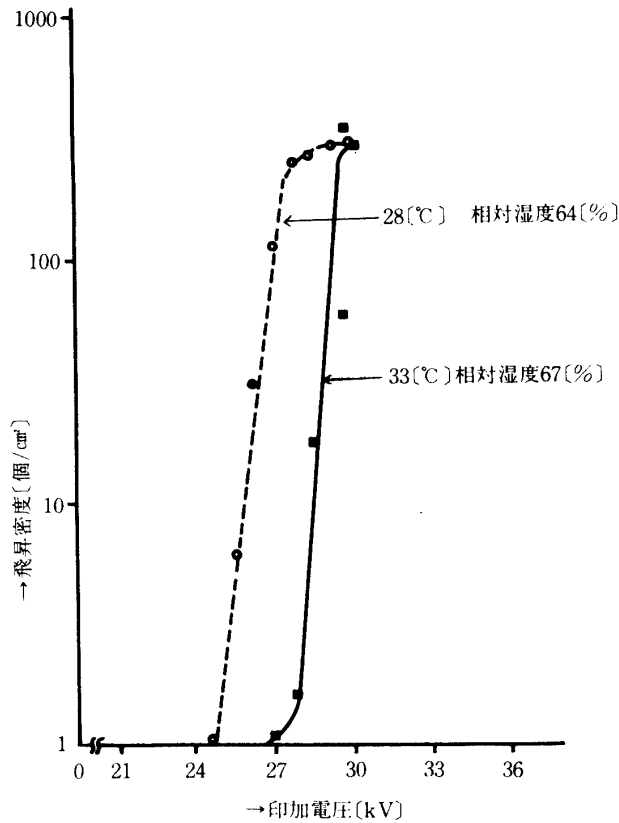


図-13 外部環境の変化による印加電圧と微小物体の飛昇密度（電着処理済み）

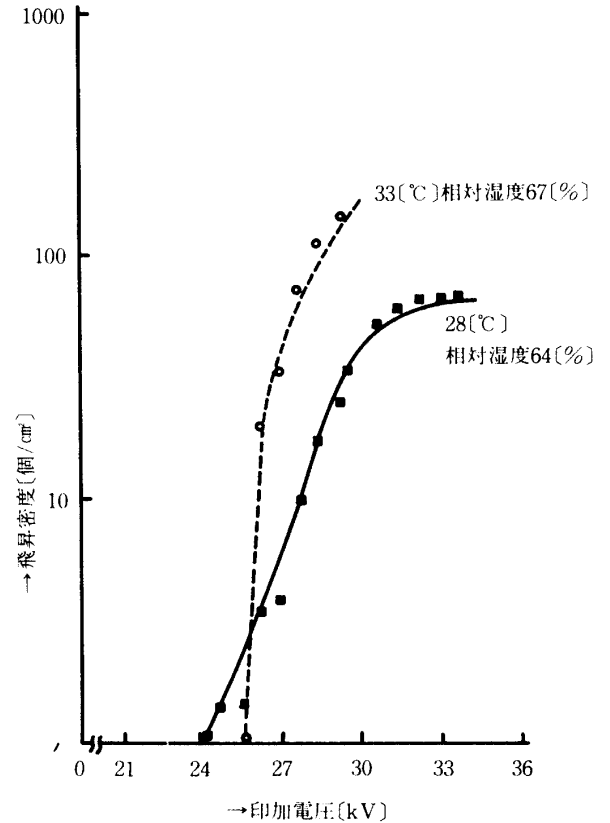


図-14 外部環境による印加電圧と微小物体の飛昇密度（電着処理ナシ）

すると、クレータが生ずる確率が高くなる可能性があると考えられ、この上付きパイルは乾燥後抜け落ちるため、クレータのみがはっきりと残るのである。

図-11は、微小物体の電着処理の有無による飛昇速度の関係を測定したグラフであり、図-12は、微小物体の電着処理の有無によるパイル密集度の変化を測定したグラフである。これ等から電着処理を施した微小物体は電着処理を施していないものより飛昇開始電圧は少し高くなっているが、飛昇速度はほぼ直線的に上昇しグラフの傾きも急であり、速度のバラツキも少ないのに対して、未処理のものは速度にバラツキがあり、グラフの傾斜もゆるやかである。次に図-12で判る様に飛昇密度についても、電着処理の効果が大きく飛昇数が急激に増加している。

また図-13、図-14のグラフの様に外部環境の変化に対しても変動が少なく、また安定した飛昇効果が得られている。

また電着処理の効果は、パイルの分離性にも大きく作用し、ブリッジなどの発生を少なくするため、植毛面の良質化にもつながり、従って植毛速度の高速度化や、植毛製品の良質安定化の要素になると考えられる。

4 結 言

平行平板電極の場合、電界は $E = V/d$ [V/m] で表わされ、この電圧は電極間に飛昇する微小物体がない場合には時間的な変動はあり得ないはずである。

しかし、電気植毛の様に電界中に物体を飛昇せしめた場合、時間により接地極側の状態が変化するため、部分的に $E = V/d$ [V/m] で表わされない所がある。

その一つの例は、飛び込みバイルの場合で他のバイルより長いバイルが飛来し布地に接着すると、その先端に電荷が集中しその近傍の電束密度が密になり、等電位面も曲げられ部分的ではあるが、平等電界ではなくなる。

したがって考察でのべた様な状態を呈し、クレーターやブリッジがここに発生し成長すると考えられる。また飛び込みバイルほど明確な現象を呈する事は少ないが、クレーターの原因と思われる所の導電率の悪いバイルの連りなども、電界を乱す原因となると考えられる。しかも、これらの現象は接地極の被植毛面のごく一部の小さな範囲で生ずるので見逃され易いが、電気植毛面の均一化を研究する上では、特に重要な問題を含んでいる様に思われる。

さらに、電界を大きく変化させてしまう要因には微小物体の盛り上げや、分散性の悪いバイルの束などがあり、これらは植毛面の密集度の斑や、大きなクレーターエフェクト、あるいはブリッジなど電気植毛の製品不良の原因の多くを占めているのである。

しかし、これらを電界の問題としてだけで解決するのは難しく、実際問題としては飛昇する物体の導電率や分散性の向上で、これらの諸問題を改善する方法を研究することの方がより確実である。

さらに電気植毛の製品の良質化を図るには、密集度の問題が大きな要素となって来る。

電気植毛では、バイルが長くなる程密集度が悪くなるという事実がある。これは長いバイル程接着面とバイルの先端の距離が遠くなり電界を乱す割合が高くなるからで、乱れた電界の吸引力による上付き現象などで、さらに電界は大きく乱れる事になる。

この問題を解決する手段としては、バイルの導電率を良くする事、電極間隔を広くする事などが考えられる。すなわち、平行平板電極間においては、電気力線は全て垂直方向に平行して走り、決して交わる事はないのであるから電界内の微小物体の加速度も、平板電極に対して垂直方向にのみ働く事になる。

そして植付いたバイルによって乱される電界は、植付いたバイルの先端部近傍だけで、電界内全体からみればわずかな部分でしかないので、バイルの導電率を上げて、上付き余剰バイルが速やかに植毛面を離れ、ブリッジの発生率を極力小さくし、かつ飛昇するバイルが十分に垂直方向に加速されていれば、乱れた電界の場におけるひずみのベクトルと合成されても、なお、接着面まで飛昇する事が可能と考えられる。

したがって、バイルの長さに応じて電極間隔を広くして接着剤面近傍の植付きバイルや余剰バイルによる電界の乱れにも比較的影響される事が少ない様に、より大きな電界中で十分な加速度を与える必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 二村忠元, 電磁気学, 丸善,

- 2) 山田直平, 電気磁気学, 電気学会
- 3) 飯沼憲政, 植毛加工特集, 『繊維』第30巻第2号(1978-2), 繊維技術研究社
- 4) 飯沼憲政, 電気植毛加工の技術と実際, 第1部), 繊維技術研究社
- 5) 鶴見, 河村, 近藤, 山本, 高電圧工学, 電気学会
- 6) 成田賢仁, 大重力, 電気材料, 森北出版