

論 文

## 接着芯地製造への静電気技術の応用

金 久 俊 伍\*, 平 岡 登\*, 藤 森 雅 之\*

大 石 和 男\*\*, 葛 西 昭 成\*\*

(1983年4月13日受理)

### Application of Electrostatic Techniques to Manufacturing Fusible Interlining

S. KANEHISA,\* N. HIRAOKA,\* M. FUJIMORI,\* K. OISHI\*\*

and A. KASAI\*\*

(Received April 13, 1983)

Acuprint coating system is an application of electrostatic techniques to manufacturing fusible interlinings. It is superior to conventional coating systems in its high coating speed and its ability to change patterns, dot configuration and coating weight quickly, easily and without stopping the coating system. This system was invented by F. Chapman and D. Holt. Charged pattern is printed on cloth with stylus electrodes. The cloth then passes through a cloud of charged resin powder. The pattern is developed and the cloth is then heated to consolidate the resin. Several problems were encountered during industrial operation of the process. The electrostatic mechanisms were therefore studied at each stage. Some problems were solved by changing techniques and others by improving the system.

### 1. まえがき

接着芯地とは、織物、編物または不織布の上に、接着剤としての熱可塑性樹脂を全面に散布するかあるいはドット状またはライン状のパターンとして不連続的に塗布したものである。これを表素材に接着したものを用いて縫製加工することにより、衣服の形態安定性、風合などの調整を行なおうとするものである。接着は熱と圧力を加えるだけできわめて簡単にできるので、従来の芯地の縫いつけという熟練と根気を要する作業は不要である。

接着芯地はStaflex社が1957年<sup>1)</sup>にはじめて工業化したものであり、現在では広く衣料業界に公知のものとなっている。国内での1カ月間の生産高は1982年現在で約1,000万m<sup>2</sup>にものぼっている。その製造方式として現在使用されているのはつぎのものである。

\* ダイニック株式会社技術開発部 (522-03滋賀県犬上郡多賀町)

Research and Development Department, Dynic Corporation, Taga-cho, Inugami-gun, Shiga, 522-03 Japan

\*\* 東京理科大学理学部応用物理学科 (162 東京都新宿区神楽坂 1-3)

Department of Applied Physics, Faculty of Science, Science University of Tokyo, 1-3, Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo, 162 Japan

#### 1) シンタ方式<sup>2)</sup>

基布表面に樹脂粉体を一様に散布、加熱して、樹脂を基布に固着する方式である。

#### 2) ソリドット方式<sup>3,4)</sup>

基布表面に接着用の樹脂をドット状に塗布することに成功した最初の方式であって、ロータリスクリーンを用いて樹脂をプラスチゾルの形で塗布するものである。

#### 3) パウダドット方式<sup>5)</sup>

これには二つの方式がある。その一つは、所定のパターンに彫刻されたロール表面の穴へ樹脂粉体を供給し、これを予熱した基布上へ転写する方式(サラディン方式)で、他の一つは、所定のパターンに多くの孔をもつロータリスクリーンを用いて樹脂粉体を基布へ塗布する方式(シェッティ方式)である。

#### 4) ネットラミネーション方式<sup>6)</sup>

これはプリント方式の一種ではあるが、サラディン方式と異なり、シャツのカラー用接着芯地の製造方式としては特色のあるものであって、高密度ポリエチレンのネットを基布にラミネートすると同時に加熱することにより、ネットのブリッジを破壊し、表面張力により節の部分に吸収させてドットを形成する方式である。

#### 5) ディスページョン方式

樹脂粉体の適当な粘度の分散ペーストをロータリス

クリーンを用いて塗布する方式である。

これらのうち、1) と 4) 以外のプリント方式のものは、製造上つぎのことが要求される。

- a) 芯地としての要求を満たすために必要な樹脂の付着量 ( $5 \sim 30 \text{ g/m}^2$ ) を付与できること。
- b) 塗布速度が速いこと。
- c) 信頼性が高いこと。すなわち、パターンの正確さおよびドットまたはラインの欠落がないこと。
- d) 多様性に富むこと。すなわち、ドットの大きさ、パターン、付着量などを迅速かつ容易に変更できること。

前述の諸方式は、これら製造上の要求のすべてを満足しているとはいえない。たとえば、ソリドットやディスパージョンの方式では、そのペーストの高粘性のため、高速度での塗布はできない。また、どの方式をとっても高速度運転下ではいろいろな不具合がおこり、信頼性の低下をきたす。たとえば、ロータリスクリーンを用いる方式では、スクリーンの孔詰りのためドットの欠落が発生するし、彫刻ロールを用いる方式では、ロールに彫られている多数の孔のすべてからは樹脂粉体が排出されずに粉体の一部またはほとんどが穴の中に残ってしまう場合があり、ドットの欠落または欠損を生じる。そのうえ、公知の方式のほとんどのは、パターンや付着量を変える場合は、機械を停止してスクリーンや彫刻ロールを適当なサイズのものに換えなければならず、部品が高価であるばかりか、機械停止のロスもあり、コストパッショをまねく。

1982年9月に特許公告された“融着性芯地の被覆法と被覆装置”<sup>7,8)</sup>は、これをアキュプリントコーティングシステム (acuprint coating system) と呼び、静電気技術を応用して従来の塗布方式の諸欠点を除去または軽減することを目的としたものである。このシステムは、Chapman および Holt により考案されたもので、パターンの形で静電潜像を付与された基布が、荷電された樹脂粉体のクラウド中を通過することにより現像され、加熱により樹脂が定着されることを原理としている。したがって、静電粉体塗装あるいは静電植毛の一種とも考えられるが、細かいドットやラインを糊を使わずに現像、定着させるという点でこれらと異なる。むしろ静電粉体印刷もしくは静電写真といいたいところであるが、そこには版面もなく、光はいっさい関与していない。こう考えると、塗布あるいは被覆 (coating) というと全面にむらなく塗るという意味になりドットもしくはライン状のパターンの形成と矛盾するが、ここでは慣用に従いドット状またはライン状のパターンに塗布するという言葉を使うことにする。

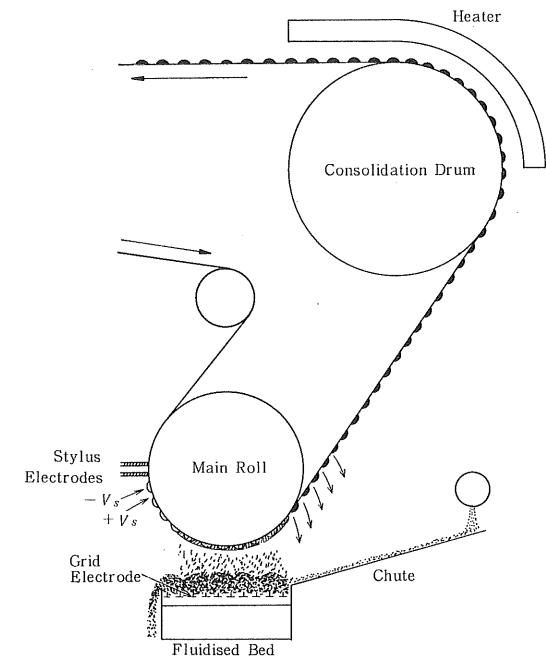


図1 コーティングヘッドの模式図

Fig. 1 Schematic diagram of the coating head.

このシステムにおいても発明から実用化までの段階でいくつかの問題が生じたが、そのほとんどが静電気に関するものであった。本論文では、まず、2章において、Chapman と Holt によるアキュプリントコーティングシステムの原理を紹介し、そこに生じた問題点を掲げる。ついで、3章においてアキュプリントコーティングシステムの実用化として、問題点の原理的見直し、対処の仕方および改良、さらに、これらを通して得られた総合的な最適製造条件について述べる。

## 2. アキュプリントコーティングシステムの原理

アキュプリントコーティングシステムのコーティングヘッドの部分を図1に模式的に示す。芯地用の基布は矢印の方向にメインロールおよびコンソリデーションドラムに沿って一定速度で送られる。潜像形成、現像、定着の行なわれるるのは次の各部分である。すなわちスタイル (針電極) とメインロールが静電潜像を付与する部分、流動床とメインロールが現像を行なう部分 (流動床はそのなかに高電圧を印加するためのグリッド状電極をもつ)、および、コンソリデーションドラムとヒータが定着を行なう部分である。

### 2.1 静電潜像の付与

鋼製のスタイルはメインロール (接地導体) の上の基布表面に適当な圧力 (たとえば、スタイル1本につき

20 g の荷重) で押しつけられている。基布への電荷の付与は、スタイルに電圧  $V_s$  を加えることによって行なわれる。 $V_s$  は一定幅、一定間隔のパルス電圧でその大きさを -1.0 kV から +0.5 kV まで連続的に変化させることができる。電荷の符号と大きさは  $V_s$  の符号と大きさによって変えられる。パターンを自由に変えられるようにスタイルは一定の間隔をもって基布の幅方向に前後 2 列に並んでおり、前後のスタイルは互い違いに配列されている。前後のスタイルに加える一連のパルス列のパルスの数と位相差を変えることによってドットの大きさやパターンを選択することができる。この動作は適当な電子回路を用いボタン操作により瞬時に行なわれる。パターンのバックグラウンドの部分には、コントラストを強くするために、反対極性の電荷を付与する。鮮明なパターンを得るために、パターン状に付与された電荷は少なくともその部位に付着した樹脂粉体が加熱、融着されるまでは漏洩あるいは拡散することなく保持されなければならない。このためには、基布の表面抵抗率は  $10^{12} \Omega$  程度以上なければならない。そのため基布は適当な方法でイオン性物質を除去され、また、含有水分率を減少させるべく乾燥炉を経由して送り込まれる。

この段階で問題となつたのは、基布のスタイルによる摩擦帶電である。一般に、基布を乾燥させ、その表面抵抗率を上げるとスタイルの電圧  $V_s$  による帶電量は増加するが、同時に発生する摩擦帶電量も増加する。潜像は電圧印加による帶電と、この摩擦帶電との重合せによるので摩擦帶電が大きい場合には、パターンが形成されないこともある。

## 2.2 現 像

静電潜像をもった基布は、メインロールに沿って流動床の上を通過するとき、潜像と反対符号に帶電した樹脂粉体によって一様に塗布される。ついで、基布が流動床を出てメインロールから離れると、バックグラウンド部分に付着していた粉体は落下する。これが現像の過程である。流動床は絶縁材料で作られた長方形の箱で、その下部は多孔板になっており、中にグリッド状電極が配置されている。この電極の深さおよび流動床とメインロールとの距離は適当に変えられる。樹脂粉体はホッパ内に蓄えられており、ここから水平パイプに導かれ、その下方に設けられた多孔板でできたシートを経て流動床に供給される。流動床内の余剰の樹脂粉体は箱の一端にある堰を越えてホッパ内へ流下する。流動床およびシートには適当な振動が与えられ、それぞれの多孔板には下から空気が吹き込まれる。この振動と空気流とによって樹脂粉体はシートの上を浮かびながら滑り落ち、流動床内にエアレートされた粉体層を形成する。このとき、



図2 粉体粒子のじゅず玉形成

Fig. 2 Pearl chain formation above the fluidised bed.

グリッド状電極に 10 kV 程度の高電圧を印加すると、樹脂粉体の粒子は電極電圧と同符号に帶電し互いに反発しあい下方からの流動空気の力と電極とメインロールとの間の電界の力とでエアレート層の上方に粉体のクラウドを形成する。クラウドの中を通過する基布は主としてこの大きい電界の力によって飛翔してきた帶電樹脂粉体により一様に塗布される。基布が流動床の上を過ぎメインロールを離れると、電界の力はなくなり、帶電粉体粒子に働く力は基布上の電荷からの力だけになり、バックグラウンド部分に付着していた粒子は同極性の電荷からの反発力を受けて脱落する。基布への粉体の付着量はグリッド状電極に印加する電圧の大きさを変え、粉体クラウドの密度を変えることにより増減される。

このシステムを運転した当初、粉体クラウドが良好な状態であるのは、グリッド状電極に高電圧を印加した直後の数秒間だけで、それ以後はクラウドの密度が希薄になり基布への粉体の付着量が不足するという状況であった。これに対処すべく電圧を上昇させると、流動床中の粉体は流動を止め粉体が電界の方向に糸状に連なりいわゆるじゅず玉現象を生じた(図2)。また、グリッド状電極の網目は粉体によって塞がれ、下部の多孔板からの空気は出口をさがして局所的な吹き上げ(スパウト)を生じた。一度スパウトが生じると空気は集中的にそこから抜けるため、流動はさらに悪化する。製品面から見てもスパウトにより吹き上げられた樹脂が基布を直撃して縦すじ状の付着むらを残してしまう(図3)。また、電界の影響を直接受けないホッパ内においても、粉体の見掛けの粘性が増し流動不良となることがあった。この現象は同一の粉体を長時間、循環使用したときに認められた。これらがこの段階での問題点であった。

## 2.3 定 着

現像の終わった基布は加熱されたコンソリデーション

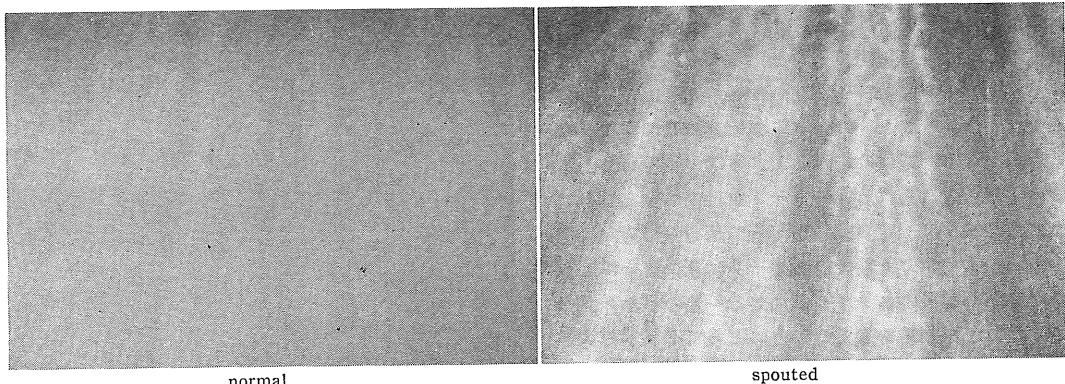


図3 スパウトによるムラ付き現象

Fig. 3 Unevenly coated due to spout in comparison with the normal pattern shown left.

ドラムおよび赤外線ヒータにより、また、必要とあればさらに後続のヒータによりその上に樹脂を固着させる。すなわち、パターンを定着させる。

この段階での問題は基布がコンソリデーションドラムに接するときに樹脂粉体が脱落し付着量を減少させることであった。

### 3. アキュプリントコーティングシステムの実用化

前章で述べたように、本システムの実用化にはいくつかの問題点が残されていた。これに対する改善法は大きく分けて、材料、装置およびエアレート用空気の調湿の三つに区別することができる。これらは互いに絡みあい、独立なものではないが、便宜上、分けて取り扱うことにする。

#### 3.1 材 料

接着芯地の材料は基布と樹脂粉体である。理想的にはすべての種類の基布に、あらゆる樹脂を塗布できればよいが、静電気を応用した塗布であるため、いくつかの制約を受けざるをえない。しかしこれも、基布の下加工、樹脂粉体の調湿その他によってかなり緩和することができる。

##### 3.1.1 基布とその SE 曲線

接着芯地用の基布には、100% コットン、100% ポリエステル、ポリエステル・コットン混紡品、ポリノジック等の織物をはじめとして、編物あるいは不織布などが用いられている。本論文では、種々の色の100% コットン平織布と65/35 ポリエステル・コットンを基布として用いた場合について報告する。

本システムにおいて基布に求められることは、基布がスタイルへの電圧印加によって鮮明な潜像の形で帶電し、その電荷を十分長く保持しうることである。これらのうち電荷の保持性を測定するためにクロステスタが開

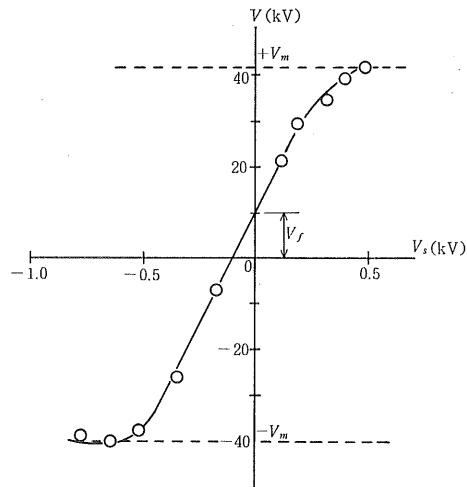


図4 SE 曲線 (100% コットン平織, 71番色)

Fig. 4 Static electrification curve on plain weaved 100% cotton, c/#71.

発された。これは基布の電荷の保持特性をそのつど現場で簡単に読みとれるよう工夫されたものである。ところで、クロステスタの判定で良となっても、基布に希望するパターンで静電潜像が付与されることを保証するものではない。クロステスタでは、2.1節に述べたスタイルによる摩擦帶電の大きさは測定できないからである。

そこで、スタイルに印加する電圧によって基布の帶電はどのように変化するか、また、摩擦がどれだけ基布を帶電させるかを知るために、樹脂粉体を付着させず、帶電電位のみを測定する予備実験を行ない、その結果案出したのが SE 曲線 (static electrification curve) である。スタイルにパルス電圧  $V_s$  を切れ目なく加え、そのときの基布の帶電電位  $V$  を、メインロールから離れた一定の場所で測定する。 $V_s$  を  $-1.0 \text{ kV}$  から  $+0.5 \text{ kV}$  までの範囲で変化させたときの  $V_s$  に対する  $V$  をプロッ

トすると図4のような曲線が得られた。これをSE曲線と名づける。ここで、帯電電位の測定には春日電機(株)製の集電式電位測定器KS-325型を用いた。

SE曲線からはつぎのような情報が得られる。

### 1) 基布の最大帯電電位

これはSE曲線における飽和値 $+V_m$ および $-V_m$ として表現される。

### 2) スタイリと基布との摩擦のみによる帯電電位

これはSE曲線のV軸の切片 $V_f$ として表現される。

### 3) スタイリの電圧による基布の帯電のしやすさ

これはSE曲線の飽和限界内の傾き $K=dV/dV_s$ として表現される。

$V_m$ ,  $V_f$ および $K$ はつぎのような機構によって決められるものと考えられる。基布の抵抗が高く、電荷の漏洩がほとんどない場合、帯電量が十分大きいと、メインロールから離れた基布の電荷はきわめて高い帯電電位を示すようになる。この電位がコロナ放電を生じるに足る値となると、電荷は基布の繊維の先端を通して気中へと放電する。したがって、帯電電位はある値 $V_m$ におさえられる。ここで注意を要するのは、この $V_m$ は帶電粉体を付着させないときの最大帯電電位であり、反対符号に帶電した粉体を付着させたときには放電はずっと起こりにくくなる。 $V_f$ は基布が $V_s=0$ におけるスタイリとの摩擦による帯電電位としたが、厳密にはメインロールによる帯電が加わる。しかし、メインロール面の速度と基布の送り速度は一致するよう調整されているので、この帯電は接触・分離のみによるもので、スタイリとの摩擦によるものよりずっと少ないと考えられる。電圧 $V_s$ を印加したときの帯電については付録において説明してあるが、 $K$ の大きさは $V_s$ のうちどれだけがスタイリと基布との界面に加わるかを表わし、主として、電界分布の不平等性の強さおよび基布の見掛けの誘電率 $\epsilon$ に比例すると考えられる。 $V_f$ および $K$ も基布の電気抵抗が大きく、電荷漏洩が少ないと大きくなる。

実際に基布の素材を変え、色を変えて、SE曲線を求めてみるといろいろな形が得られる。その実例を図5(a)～(f)に示す。この図で、

(a)は $V_f \approx 0$ で $K$ が小さく $V_s$ の可能な変動域では $V_m$ が現われない場合。このような場合、クロスステアでの判定も不合格である。

(b)は $V_f \approx 0$ で $K$ が大きい場合。本システムにおいて望ましいSE曲線の形であり、希望のパターンに樹脂粉体を付着させることができる。

(c)は $V_f > 0$ であり大きくななく $K$ が大きい場合。 $V_f$ があまり大きくなないので $V_s$ を大きくすれば(b)の場合とほとんど同様に希望のパターンを得ること

ができる。

(d)および(e)は $V_f < 0$ できわめて大きく $K$ が大きい場合。これらの図の第3象限に相当する領域では、基布がメインロールから離れると、その表面に強烈なコロナ放電が観測され、測定器の指針はかなりふらついていた。測定値はこのふらつきの平均を読み取っている。放電がないとしたときの $V_f$ は $K$ を表わす直線の延長とV軸の交点にはほぼ等しいと考えられる。図中に記入した $V_f$ はこの値である。これら二つの基布では、正に帶電した樹脂粉体は基布一面に付着するがメインロールを離れると同時に基布上の電荷はコロナ放電を起こし放射状のむらを作る。

(f)は $V_f > 0$ できわめて大きく、 $K$ が大きい場合。

$V_f$ の符号が正である以外は(d)および(e)とまったく同じで第1象限および第2象限の右半分に相当する領域では強烈なコロナ放電が観測された。このような基布では正に帶電した樹脂粉体は反発されほとんどの付着せず、やはり放射状のむらを作る。

(d), (e)および(f)のようなSE曲線をもつものに對しても救済策がないわけではない。すなわち、基布とスタイリとが接触する直前のところで、摩擦帶電と逆極性のコロナを発生させて帶電を中和する方法である。図6にその実例を示す。 $-27\text{ kV}$ あった $V_f$ が $+5.0\text{ kV}$ にまで補償されている。この方法により基布に対する制約はかなり緩和された。

さて、でき上がった接着芯地の外観品位(パターンの出来具合)およびこの接着芯地を表素材と接着した場合の接着強度をSE曲線の傾き $K$ との関係において調べてみた。ただし、外観品位は5を最高点とした5段階評価で3人の合計点で表わした。 $K$ は基布に対する電荷のりやすさを示すものであるから、 $K$ の大きい基布ほど樹脂が多く付着し、接着強度は強く外観品位もよいと予想される。実際、基布としてポリエチレン・コットン、樹脂としてエチレンとビニール・アセテートの共重合体(EVA)を用いて調べた結果が図7および図8であり、この解釈の正しいことを裏づけている。

### 3.1.2 樹脂粉体

接着芯地用の樹脂には種々のものがあり、本システムにも使用可能である。たとえば、いろいろな密度のポリエチレン、ポリアミド、EVAなどである。ここでは主としてポリアミドおよびEVAについて述べる。

本システムにおいて、均一な塗布を得るための粉体クラウドの形成には粉体の良好な流動が要求される。粉体粒子の形状は流動の点から、あるいは受け取った電荷を気中へ放電することにより失わなければ球形である

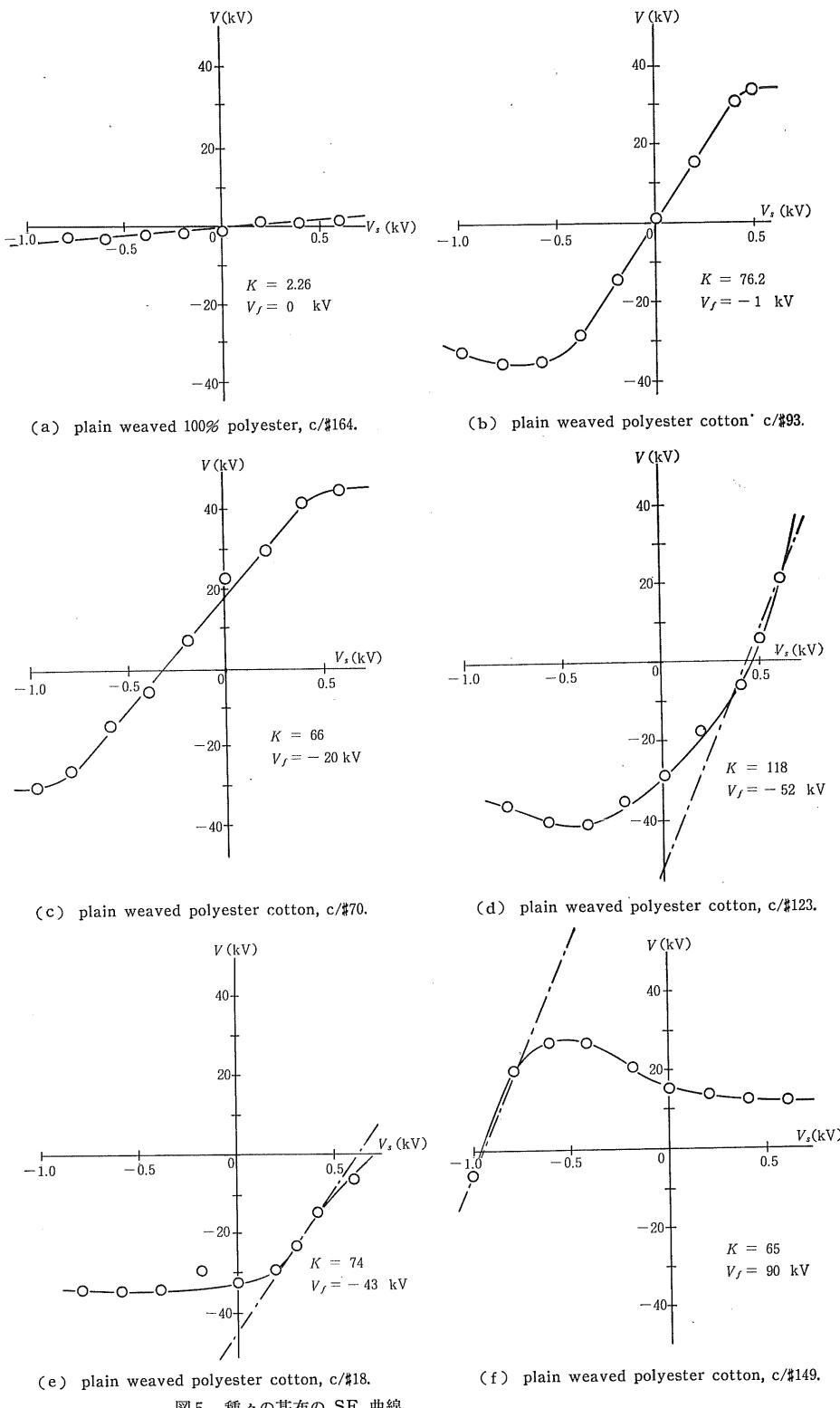


図5 種々の基布の SE 曲線

Fig. 5 Static electrification curves on various cloths.

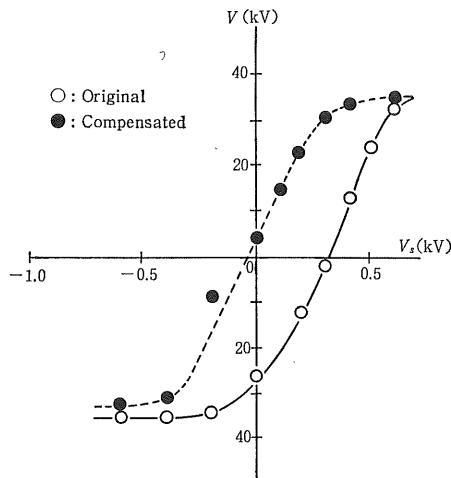


図6 摩擦帶電と補償する前後におけるSE曲線（ポリエスチル・コットン平織、36番色）

Fig. 6 SE-curves before and after compensation of tribo charge on plain woven polyester cotton, c/#36.

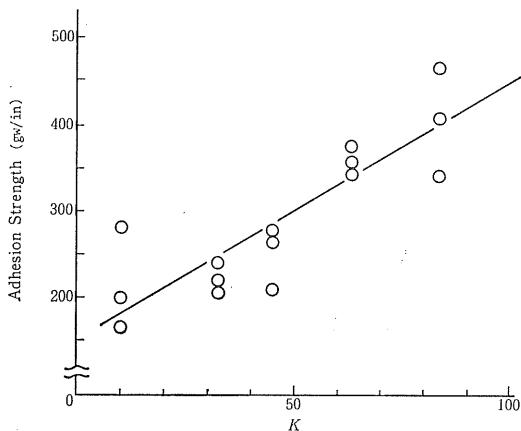


図7 接着強度とKとの関係（ポリテステル・コットン平織）

Fig. 7 Relationship between adhesion strength and  $K$  on plain woven polyester cotton.  
(1 g/in =  $3.467 \times 10^{-2}$  N/m)

ことが望ましい。しかし、その製造方式からは球状に近い粉体粒子を得ることはむずかしく、図9に示すようにかなりとがった形をしている。

流動床の振動と多孔板からの空気流により樹脂粉体が良好な流動を示したからといって、それがグリッド状電極に高電圧を印加した場合の流動性を保証することにはならない。すなわち、2.2節で述べた高電圧印加に由来するじゅず玉現象、グリッド状電極の目詰りおよびスパートを伴う流動不良、さらに、流動床以外での流動不良

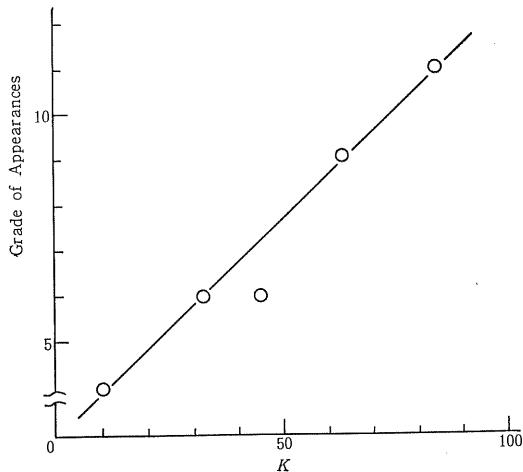


図8 外観品位とKとの関係

Fig. 8 Grade of appearances against  $K$  on plain woven polyester cotton.

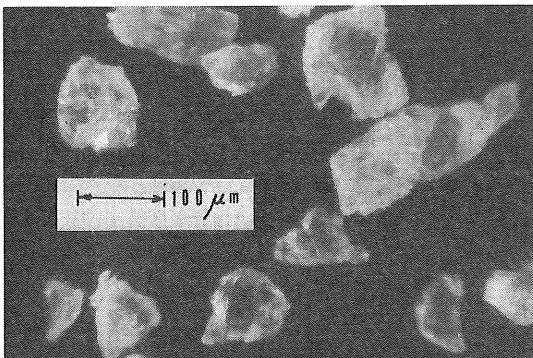


図9 ポリアミド樹脂の粒子形状

Fig. 9 Shape of polyamide powder particles.

化である。流動床中の高電圧印加による流動不良は、主として、グリッド状電極からの強電界によってもたらされる粉体粒子の分極に起因する凝集によるものと考えられる。また、流動床以外で起きるものは、帯電粉体粒子の作る電界による周囲の粉体の分極に起因するものと思われる。このうち後者に対しては新しい樹脂粉体を追加することによって、ある程度の流動性の改善が得られる。前者の解決策としては、後述するように、グリッド状電極の改良とエアレート用空気の調湿を行なった。

つぎに、付着に関与する粉体粒子の大きさについての知見を得るために、ある一定の時間、塗布を行なった前後における流動床内の粉体の粒度分布を測定した。その結果を図10に示す。粒度分布を塗布の前後で比較するとき、塗布後においては粒径の大きい160 μm以上の粒子の比率の増加が見られ、80~160 μmの粒径のものの比率が減少している。この結果、80~160 μmの粒径の

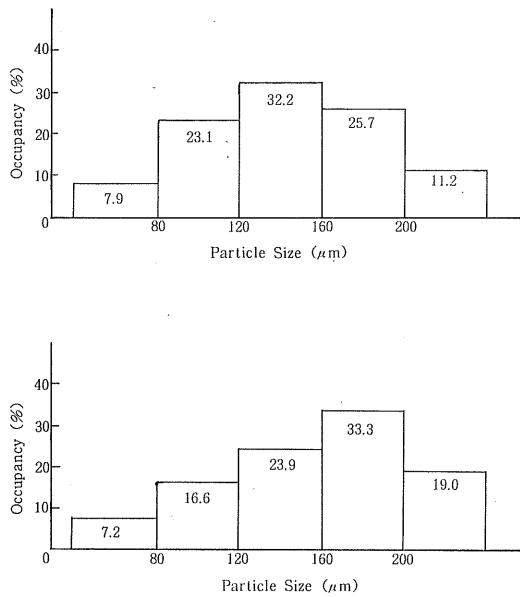


図 10 ポリアミド樹脂粉末の粒度分布—使用前(上)と使用後(下)

Fig. 10 Particle size distribution of polyamide powder particles. Before use (above) and after use (below).

樹脂粉体が最も多く付着に寄与しているものと判断された。

### 3.2 装置

#### 3.2.1 スタイリ

スタイリの基布への荷重を変えると、基布の帶電量が変わると考えられる。実際、ポリエチル・コットン平織布の場合、スタイリの荷重と帶電電位との関係は図11のようになつた。この図において $V_s=0$ の測定値は摩擦のみによる帶電電位 $V_f$ を示し、スタイリへの荷重に対し線形に増加する。また、スタイリに電圧印加したときの帶電電位とこの摩擦帶電による電位との差は点線で示されるが、これはスタイリの電圧印加のみにより基布に与えられる電荷量に対応し、やはり荷重に対して線形な増加を示す。これらの荷重に対しての増加は、基布がスタイリに押されることによる接触面積の増加と、基布の厚さ $t$ の減少と見掛けの誘電率 $\epsilon$ の増加とに起因するスタイリと基布との界面の電位差の増加によるものと理解される(付録参照)。

以上の結果から予想されるように、各スタイリへの荷重が基布の幅方向にわたって不均一であると、基布の帶電電位も変動することになり、その大きさによっては付着むらが生じる。また、帶電に寄与する基布自体の性質(抵抗率、誘電率、仕事関数)も場所による変動の小さいものでなくてはならない(付録参照)。

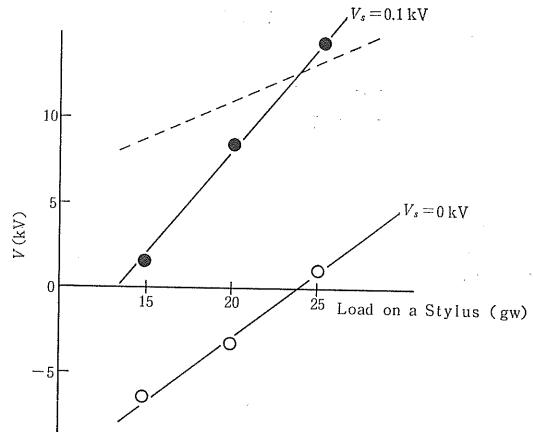


図 11 基布の帶電電位のスタイリ押圧との関係(ポリエチル・コットン平織)

Fig. 11 Potential of charged cloth against load on stylus for plain weaved polyester cotton.  
(1 gw =  $9.807 \times 10^{-3}$  N)

#### 3.2.2 流動床のエアレート

流動床のエアレートの目的は、粉体を攪拌し流動化させ、エアレート層上方に均一な粉体クラウドを形成し、粉体粒子の基布表面への飛翔を助長することである。風量を極端に絞ると粉体はじゅず玉現象を起こし、基布への付着を著しく減少させる。風量が多すぎる場合は、エアレート層の振幅が大きくなり、直接に基布表面に当たって斑点状に付着量が異常に多い部分を作り均一な塗布が得られない(スポット現象)。これらの現象から、エアレート風量はその流動床の構造により適正な範囲があると考えられる。

#### 3.2.3 流動床の振動

流動床の振動はエアレートした粉体が一様に分散するのを助け、エアレート層の高さを均一にすると同時に、粉体の分離に起因する凝集を振動によって破壊する働きをする。振動の程度は、エアレート状態を乱さない限り強いものであることが望ましい。

#### 3.2.4 グリッド状電極の構造

当初のグリッド状電極は一重の簡単なものであったがさきに述べたように、高電圧印加後きわめて短時間でクラウド密度が低下したり、また、スパウトが発生し流動不良を起こすなど、とても実用に堪えられるものではなかった。そこで、グリッドに適当な間隔でスパイクを立てたところ比較的低電圧で良好な粉体クラウドを形成するようになり、スパウトの発生も少なくなった。本システムの実用化に際しての重要な改良点の一つは、このグリッド状電極についてのものであった。現在ではさらに多重グリッド構造をしている。改良にあたっての考え方

および電極構造の詳細はつぎのとおりである。

たんなるグリッド状電極を用いた場合、樹脂粉体粒子への荷電の付与は、主として、粉体粒子の電極への接触によるものと考えられる（接触荷電）。これに対しスペイクをもつ電極ではスペイクの先端でコロナ放電が生じ、粉体粒子への荷電は生じたイオンの付着が支配的と考えられる（コロナ荷電）。コロナ荷電方式は静電粉体塗装用流動床においてよく用いられているが、接触荷電方式に比べて荷電効率ははるかに高い。したがって電極への印加は比較的低電圧ですみ、粒子を分極させる電界は弱く、その結果粉体粒子の分極も小さく、じゅず玉現象やスパウトは起りにくくなる。

現在用いているグリッド状電極は多重構造をもつステンレス製のもので、いちばん上のグリッドにスペイクが適当な間隔で植えつけられている。流動床全体に均一なコロナを発生させるためには、スペイクの間隔は狭いほうが望ましいと考えられるが、ある距離以下に近づけると隣り合うコロナ同士が相互に干渉して寄り合う現象を起こし、かえって不均一になる。グリッドの網目はエアレートによる粉体の波を細かく碎き、エアレート層の高さを均一にする。このためには網目の細かいものが好ましいと考えられるが、実際にはあまり細かくすると分極に起因する粉体の凝集による目詰りを生じる。グリッドを多段にしたものは、こうすることによりスポット現象が起りにくくなりグリッドの位置をよりメインロールに近づけることができ、より多くの付着量の確保と均一な塗布が得られるからである。

グリッド状電極は樹脂粉体への荷電効率を上げるために、当然のことではあるがエアレート層中に沈んでいることが望ましい。グリッド状電極とメインロールとの距離は荷電粉体粒子を基布表面へ運ぶ電界を大きくする意味では、より小さいほうが望ましいが、3.2.2 項で述べたスポット現象のためこれにも限度がある。

### 3.3 エアレート用空気の調湿

エアレート用空気中の水分率は樹脂粉体の付着量とスパウト現象とに大きな影響を与える。実際の観測によると、水分率が高いと樹脂の付着量が少なくなり、低いと付着量は多くなるが、一方、スパウトが起りやすくなる。また、グリッド状電極の電圧を高くすると付着量は増すが、あまり高いとスパウトが発生するようになる。

このような現象のおもな原因是樹脂粉体粒子の表面抵抗率の湿度による変化と考えられる。すなわち、空気中の水分率が高いと粉体粒子は吸湿してその表面抵抗率を下げる。このとき、粒子と粒子が接触すると粒子間の電荷移動が容易になり分極電荷も中和されやすくなる。したがって、じゅず玉は壊れやすく粒子の凝集、スパウト

は起りにくくなる。一方、粒子が基布に付着した場合においても粒子の電荷は基布上の電荷との間で中和しやすく、基布がメインロールを離れてからの両電荷間の吸引力は減少し、現像の際に脱落する量も多くなり付着量は少なくなる。

流動床に関する諸設定条件が定められると、付着量の制御はエアレート用の空気の調湿とグリッド状電極に印加する電圧によって行なわれる。このときスパウトを起さないためには空気中の水分率と電圧との間に適正なバランスが必要である。樹脂粉体にはそれぞれに固有な誘電率、表面抵抗率および吸湿性と吸湿によるそれらの変化が考えられるので水分率の調整は使用する樹脂粉体および目標付着量などによって決められるべきものである。

#### 3.3.1 スパウト曲線

特定の樹脂粉体を用いグリッド状電極の電圧とエアレート用空気の絶対湿度とを変えて、一定時間内におけるスパウトの発生の有無を調べる。スパウトの発生は数人で目視判定する。この結果を、縦軸にエアレート用空気の絶対湿度を横軸に電極電圧をとってスパウトが発生した座標を×、そうでないところを○とし、○領域と×領域との間に境界線をひくと図 12, 13 のようになる。これをスパウト曲線と名づける。同じ領域でも絶対湿度が高くなると前述の理由から付着量の減少をまねくので、スパウト曲線の近傍の条件をとるのが望ましい。

#### 3.3.2 脱落曲線

2.3 節で述べたように、現像を終了した基布がコンソリデーションドラムに接触するとき、樹脂粉体は多かれ少なかれ脱落する。実際に塗布試験を行ない、この脱落をていねいに目視観測したところ、エアレート用空気の水分率が高いほど、また、樹脂粉体の付着量が多いほど脱落が顕著であった。この現象は製品の外観品位を著しく低下させるものである。

脱落現象は基布が接地導体であるコンソリデーションドラムに接触するときに起きることから、このときの樹脂粉体の基布への付着および基布からの脱落にはつぎのような力が関与しているものと考えられる。

- 1) 粉体粒子の電荷と基布の潜像電荷との間の吸引力。
- 2) 粉体粒子の電荷とこれによってドラム内に生じる鏡像電荷との間の吸引力。
- 3) 粉体粒子の電荷と、基布潜像電荷によってドラム内に生じる鏡像電荷との間の反発力。
- 4) 粉体粒子に働く重力。
- 5) 基布がドラムに接触し進行方向が曲げられることによって生じる遠心力。

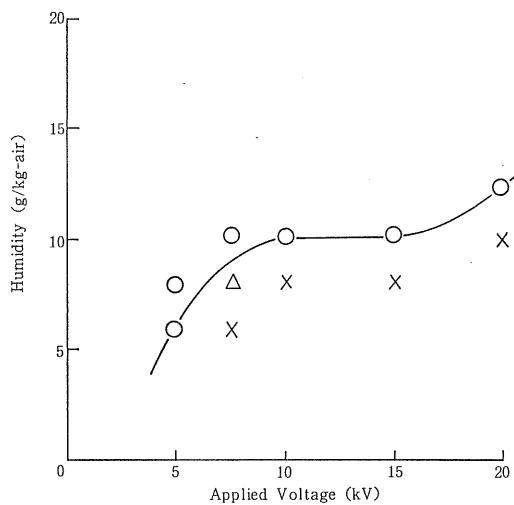


図 12 スパウト曲線 (ポリアミド A/100% コットン平織)

Fig. 12 Spout-curve on polyamide A/100% cotton fabric.

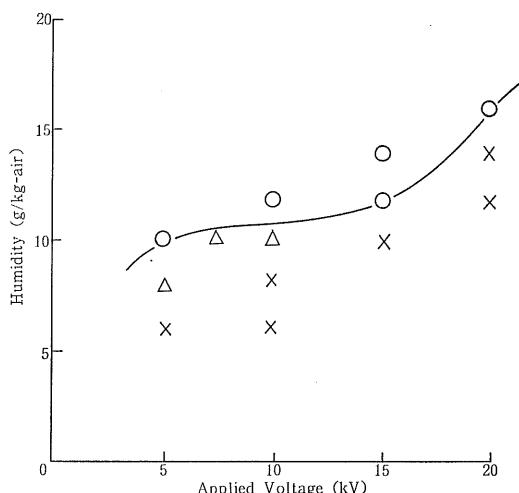


図 13 スパウト曲線 (ポリアミド B/100% コットン平織)

Fig. 13 Spout-curve on polyamide B/100% cotton fabric.

6) 基布がドラムに接触し基布表面が延伸させられることによって生じる、粒子を脱落させようとする力。

空気の湿度が十分に高くて粉体粒子が吸湿していくとすでに述べたように粉体粒子の電荷と基布の潜像電荷とは互いに中和しやすくなっているとも考えられる。基布がコンソリデーションドラムに達するまでの間にこの中和はかなり進行し 1) の電荷間の吸引力はほとんどなくなり、また、2) および 3) の鏡像力もほとんどなくなって接触のち新たに加わる 5) および 6) のわずか

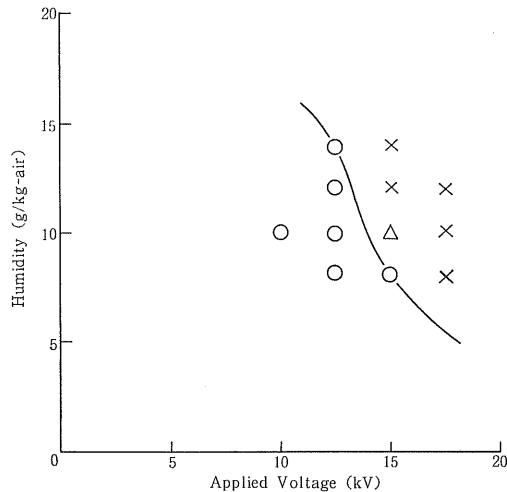


図 14 脱落曲線 (ポリアミド B/100% コットン平織)

Fig. 14 Fall-off curve on polyamide B/100% cotton fabric.

な力に負けて脱落を生じるものと考えられる。つぎに、付着量が大きいほど脱落が多いのは、一つには付着量が多いほど脱落が目立つともいえるが、荷電粉体粒子と基布潜像電荷との間に働く電界が強くなり、これらの間の中和を促進するものと考えられる。

スパウト曲線の場合と類似の条件で塗布を行ない、脱落現象を目視判定した結果、図 14 のような境界線が存在することが判明した。これを脱落曲線と呼ぶ。この結果も、エアレート用空気の絶対湿度とグリッド状電極の電圧との間に適正なバランスをとる必要性を示している。

以上のことから総合すると、エアレート用空気の絶対湿度はスパウトおよび脱落の二つの現象を起こさない領域になるように調整することが必要である。たとえば、基布が 100% コットン、樹脂がポリアミド B の場合については図 13 と図 14 を合成して図 15 が得られる。この図において双方の条件を満たすのは斜線の重なりの部分であるが、前述のことを考慮すると最適条件は太線の部分になる。この場合は絶対湿度 10~12 g/kg-air の範囲である。

当初、このエアレート用空気の調湿に関しての配慮はなく塗布結果は霧潤気条件に左右され再現性に乏しかった。実際、夏季によい塗布が得られたものに対して、冬季にはまったく塗布不可能であるという場合も生じた。これは製造面からみても非常なネックである。基布は乾燥炉を経て送り込まれるので条件は一定しているとみなされるから問題は樹脂粉体にあるとしか考えられない。樹脂粉体の電気的特性は湿度によりかなり左右されると

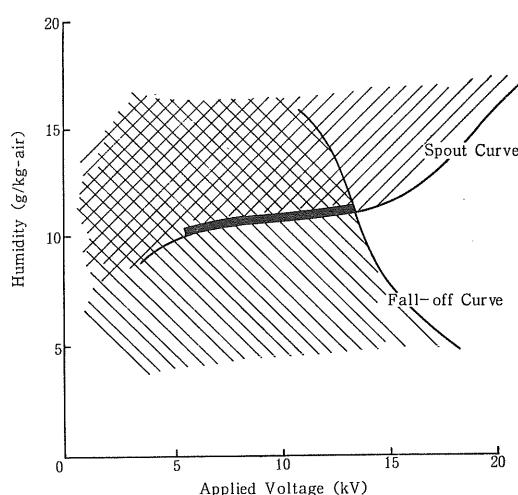


図 15 スパウトおよび脱落曲線の合成図（ポリアミド B/100% コットン平織）

Fig. 15 Optimum condition for coating polyamide B on 100% cotton fabric.

考えられるのでわれわれはエアレート用空気の調湿を行ない樹脂粉体の電気的特性の安定化をはかった。これにより実験の再現性は著しく向上し、本システム実用化のうえで大きな役割を果たした。

#### 4. ま と め

静電気技術を応用して基布上に粉体を多様なパターンとして塗布し衣料用の接着芯地を製造する方法の実用改良研究を行なった結果について述べてきたが、これを要約すれば以下のようになる。

- 1) 基布の特性が塗布結果におよぼす影響をあらかじめ知るために有効な手段となる SE 曲線を案出した。SE 曲線に基づいて本システムに適合するよう基布の持すべき条件が明らかにされた。
- 2) 基布の摩擦帶電電位が大きすぎる場合、これを補償するためにコロナ電極が用いられた。これにより SE 曲線を矯正でき、基布に対する制限が緩和された。
- 3) 使用したポリアミド樹脂粉末の使用前後の粒度分布の測定から、本システムにおいて付着に関与する粒径範囲は  $80 \sim 160 \mu\text{m}$  が優勢であることがわかった。
- 4) スタイリへの荷重、流動床のエアレートの空気量、振動およびグリッド状電極とメインロール間の距離にはそれぞれ最適値があることがわかった。したがってシステムを最適化するためには全体がバランスしていかなければならない。

5) 樹脂粉体の流動状態をあらわすスパウト曲線および付着した樹脂の脱落に関する脱落曲線を作成し、この両曲線の重合せにより電極への印加電圧とエアレート用空気の絶対湿度との間には良好な流動が確保され、かつ脱落が生じない領域があることを明らかにした。

これらの事実を製造時の適正な条件設定に役立たせている。

以上の知見を応用することにより、本キュプリントコーティングシステムは次の諸特長を完全に機能させることができとなり、従来の方式と比較して次のような多くの特色を有するものとなった。

- 1) 毎分 50 m 以上の高速度で塗布ができる。
- 2) パターン変更は機械を停止し、部品交換することなく高速運転のまま瞬時に完了させることができる。
- 3) 付着量も機械を停止することなく高速運転のまま 1 ~ 2 秒で変更することができる。
- 4) 広範囲の種類の基布および接着用樹脂粉体の使用が可能である。
- 5) ドットの欠落のない均一な塗布製品が得られる。
- 6) ソフトな風合の接着芯地が得られる。

最後に、本システムの開発実用化を決定し強力なバックアップをいただいたダイニック株式会社坂部三次郎社長に謝意を表します。

#### 付 錄

##### 電圧印加による基布の帶電

帶電は二つの物体の電気化学ボテンシャルの差による電子の移動の結果生じるものと考えると、基布の電圧印加時における帶電を次のように説明することができる。この説明はおおむね Nordhage と Bäckström のもの<sup>9)</sup>に従ったが、基布の両面に電極との間隙を考え、両面の帶電を説明している点が彼らのものと異なる。

簡単のために、スタイリとメインロールは同一金属の平行平板電極とし、基布は両電極との間に  $1 \text{ nm}$  程度の間隙  $d$  をもって接しているものとする。また、基布はそれぞれスタイリおよびメインロールに接触する結果、表面から  $1 \sim 10 \text{ nm}$  程度の厚さ  $\lambda$  だけそれぞれ一様な電荷密度  $\rho_1$  および  $\rho_2$  で帶電しているとする。基布の誘電率を  $\epsilon$ 、基布と両電極との間の間隙の誘電率を  $\epsilon_0$ 、スタイリの表面を  $x=0$ 、電位を  $U(0)=V_s$ 、メインロールの表面を  $x=t$ 、電位を  $U(t)=0$  とすると、電位  $U(x)$  は次のそれぞれの区間で、

$$0 \leq x \leq d, \quad U(x) = V_s + A_1 x \quad (\text{A } 1)$$

$$d \leq x \leq d + \lambda, \quad U(x) = -(\rho_1/2\epsilon)x^2 + P_1x + Q_1 \quad (A 2)$$

$$t - d - \lambda \leq x \leq t - d, \quad U(x) = -(\rho_2/2\epsilon)x^2 + P_2x + Q_2 \quad (A 3)$$

$$t - d \leq x \leq t \quad U(x) = A_2(t-x) \quad (A 4)$$

と表わせる。ここで、 $A_1, A_2, P_1, P_2$  および  $Q_1, Q_2$  は定数で、 $x=d$ ,  $x=t-d$  における電位の連続、 $x=d$ ,  $x=d+\lambda$  および  $x=t-d$ ,  $x=t-d-\lambda$  における電束密度の連続、さらに、 $x=d+\lambda$  と  $x=t-d-\lambda$  における電束密度が等しいという条件から求めることができる。

電気化学ポテンシャル  $\mu(x)$  については、深さ  $\lambda$  まで電子の授受があるとしたから、

$$\mu(0) = \mu(d+\lambda) \quad (A 5)$$

すなわち、

$$V_s + \frac{1}{e} \phi_M = \frac{1}{e} \phi_I - \frac{1}{e} \Delta E_1 - \frac{\rho_1}{2\epsilon} (d+\lambda)^2 + P_1(d+\lambda) + Q_1 \quad (A 6)$$

$$\mu(t) = \mu(t-d-\lambda) \quad (A 7)$$

すなわち、

$$\frac{1}{e} \phi_M = \frac{1}{e} \phi_I - \frac{1}{e} \Delta E_2 - \frac{\rho_2}{2\epsilon} (t-d-\lambda)^2 + P_2(t-d-\lambda) + Q_2 \quad (A 8)$$

ここで、 $\phi_M$  および  $\phi_I$  はそれぞれ両電極および基布の仕事関数、 $-e$  は電子電荷、 $\Delta E_1$  および  $\Delta E_2$  はそれぞれ  $x=d \sim d+\lambda$  および  $x=t-d-\lambda \sim t-d$  における帶電前後のフェルミ準位の変化で、フェルミ準位がより浅く（より負電位に）なるほうを正とする。トラップ密度がエネルギーおよび空間について一様な密度  $D_V$  で分布すると考えると、

$$\rho_1 = -eD_V \Delta E_1 \quad (A 9)$$

$$\rho_2 = -eD_V \Delta E_2 \quad (A 10)$$

となる。

基布の厚さ  $t$  は 0.1 mm 程度であるので、 $d, \lambda \ll t$  である。この条件を用いて解くと、表面電荷密度  $\sigma_1$  および  $\sigma_2$  は

$$\sigma_1 = \rho_1 \lambda = \frac{(1/e)(\phi_M - \phi_I) + (\lambda/t + \epsilon d/\epsilon_0 t) V_s}{1/e^2 \lambda D_V + \lambda/2\epsilon + d/\epsilon_0} \quad (A 11)$$

$$\sigma_2 = \rho_2 \lambda = \frac{(1/e)(\phi_M - \phi_I) - (\lambda/t + \epsilon d/\epsilon_0 t) V_s}{1/e^2 \lambda D_V + \lambda/2\epsilon + d/\epsilon_0} \quad (A 12)$$

となる。観測される全表面電荷密度  $\sigma$  は、

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = \frac{(2/e)(\phi_M - \phi_I)}{1/e^2 \lambda D_V + \lambda/2\epsilon + d/\epsilon_0} \quad (A 13)$$

となって、電圧印加による帶電電荷密度は基布の表と裏とで相殺されてしまう。これは、スタイリおよびメインロールを両方とも平行平板電極としたため、 $x=0 \sim d+\lambda$  および  $x=t-d-\lambda \sim t$  に加わる電圧が同じ値で逆向きになるからである。実際にはスタイリは直径 0.5 mm の針、メインロールは直径 30 cm の円筒であるので、電気力線はスタイリ側ではより集中し、そこに加わる電圧はメインロール側のそれに比べて大きいと考えられる。よって、式(A11)および(A12)の  $V_s$  の前にこの不平等性を表わす係数  $k_1$  および  $k_2$  を掛けると、

$$k_1 > 1 > k_2 > 0 \quad (A 14)$$

であって、

$$\sigma = \frac{(2/e)(\phi_M - \phi_I) + (k_1 - k_2)(\lambda/t + \epsilon d/\epsilon_0 t) V_s}{1/e^2 \lambda D_V + \lambda/2\epsilon + d/\epsilon_0} \quad (A 15)$$

となって、 $V_s$  と同符号で、その大きさに比例した電荷密度変化を得る。本文における  $K$  は

$$K \propto (k_1 - k_2)(\lambda/t + \epsilon d/\epsilon_0 t) \quad (A 16)$$

と考えられる。

## 参考文献

- 1) H. Rose : *Fusing Interlining, Origin & Technology*, p. 119, Higate Publication, London (1979)
- 2) H. Rose : British Patent No. 886746 (1957)
- 3) U.S. Rubber Company : French Patent No. 1135860 (1955)
- 4) H. Rose : French Patent No. 1156033 (1956)
- 5) Saladin AG. : British Patent No. 1232650 (1967)
- 6) W.G. Darb : British Patent No. 1125279 (1964)
- 7) F. Chapman and D. Holt : British Patent No. 1573106 (1980)
- 8) ダイニック(株) : 特公昭 57-42113 (登録査定済)
- 9) F. Nordhage and G. Bäckström : Proc. 4th Conf. on Static Electrification, p. 84, London (1975)