

論文

電界パネル連続植毛装置の開発

山口忠男*, 国沢英雄*, 加藤賢治*

(1983年11月4日受理)

Development of the Continuous Flocking Machine Using
Electric Curtain Panel

T. YAMAGUCHI,* H. KUNISAWA* and K. KATO*

(Received November 4, 1983)

This study reports developments of the continuous flocking machine. The theory is based on dynamic positioning of flocking pile excited by three-phase ac voltage in an Electric Curtain Panel (ECP), changes a positioning of flocking pile and dc voltage flocks piles on works. This continuous flocking machine is composed of ECP supplied by only three-phase ac voltage superimposed by dc voltage. In this study, simulated calculations of the movement of flocking pile above the ECP are reported. Fundamental experimentations proved this continuous flocking machine to be able to flock on a recess of 80° of work angle with the radius of curvature of 20 mm. On the bases of such primary experimentations, a new type continuous flocking machine has been designed. This continuous flocking machine can flock on a deep recess of pressed moldings (it is impossible to flock continuously on a deep recess of pressed molding by ordinary flocking machine). The cost of the new type flocking machine is 1/3 to 1/5 of that of the ordinary flocking machine. To change color takes only 5 min, and the efficiency of pile flocking attains 95 percent.

1. まえがき

静電植毛はわが国で行なわれるようになって約30年が経過した。衣料、履物用外皮、カーペット、人工芝など用途は広い。自動車関係ではドアガラスランに従来より使われている。近年そのペルベット調の高級感を生かし、高級車の自動車内装材（ドアトリム、ガーニッシュ、オープニングトリム等）として使われている。

静電植毛は、高電圧を利用してあらかじめ接着剤を塗布した基材に、パイ尔（ナイロン繊維などを0.3mm以上に切り、電着処理を施したもの）を植え付ける方法である。一般に行なわれている静電植毛方法はダウント法：下側にある接着剤を塗布した基材にパイ尔を植え付ける方法（図1に実施例を示す）、アップ法：上側にある接着剤を塗布した基材にパイ尔を飛昇させ垂直に植え付ける方法、サイド法その他がある。しかし、これら従来の方法では、深絞り成形品への植毛はむずかしく、ここに

植毛加工技術の限界があった。本報告は増田の考案した電界パネル¹⁾を改良し、植毛に利用できるように開発した世界最初の深絞り成形品への連続植毛技術開発に関する報告である。当技術を応用することにより、多くの製品への植毛が可能となった。

電界パネル植毛装置と従来の方法の利点、欠点を表1に示す。表1に示す深絞り成形品とは幅1,500mm、長さ2,000mm、絞り深さ400mm程度の形状を想定した。完全自動の条件で電界パネル植毛設備費（コンベア、炉、パレットなど除く）を、従来のダウント法で同程度の大きさの平板被植毛体を同時植毛すると仮定して比較すると、均一にパイ尔を被植毛体に落下させる装置および回収パイ尔のメカニカル供給装置などの不要化により、電界パネル植毛方法/従来方法設備費=1/3~1/5の設備費となる。

2. 植毛用パイ尔の移動シミュレーション計算

電界パネル植毛装置の構成と電極断面を図2、3に示す。電界パネルを利用した植毛システムとは、電界パネル上へパイ尔をフィーダより投下する。投下したパイ尔は、電界パネル上を移動し、被植毛体下部に来れば接着剤のついた被植毛体に植毛される。単位面積当たりの植毛

* トヨタ車体株式会社第1技術部 (448 刈谷市一里山町金山100)

The First Technical Department, Toyota Auto Body Co. Ltd., Kanayama 100, Ichiryama-cho, Kariya, 448 Japan

表1 植毛特性比較

Table 1 Comparison of specific character.

Item	Continuous flocking character		Using efficiency of pile	Color change time
	Garnish used in cars	Deep pressed molding		
Electric curtain panel method	○	○	95%	5 min
Usual method			—	—
Up method	○	×		
Down method	○	×	(50% choke in mechanical system)	5 min

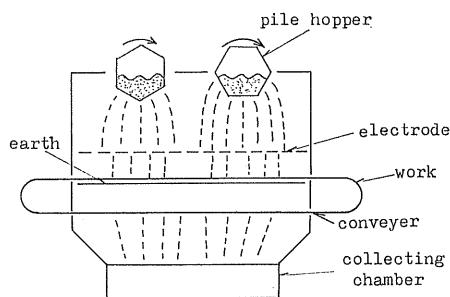


図1 ダウン法自動植毛装置

Fig. 1 Continuous flocking machine using down method.

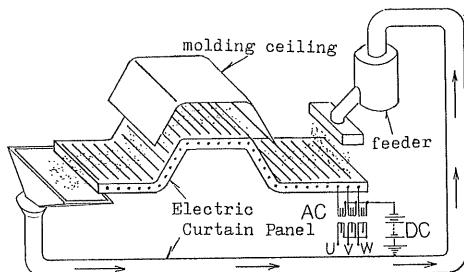


図2 電界パネル植毛装置の構成

Fig. 2 Construction of the flocking machine using ECP.

量は一定であるため、パイルの進行方向手前より順番に植毛が完成していく。余剰のパイルは回収され、電界パネルを使って再びフィーダに回収する構造である。電界パネル上のパイルがどのように移動するか計算により求めることは電界パネルのパイル輸送能力や、植毛条件を設定するために有用である。植毛用パイルの移動シミュレーション計算を行なったのでその結果を以下に報告する。

植毛用パイルは電界パネル上に落下し、正または負に帶電する。帶電したパイルは電界パネルの電極に印加された電圧により形成された電界の変化により、位置が変わる。電極には三相交流電圧が印加され、パイルは輸送

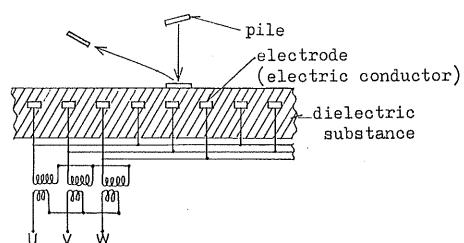


図3 電界パネル電極断面

Fig. 3 Electrodes in ECP.

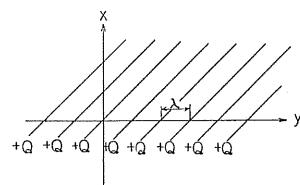


図4 線電荷列

Fig. 4 Arrangement of line-charges.

されることとなる。もしパイル移動時、粘性抵抗の項が無視しえるほど小さければ、パイル移動速度は次式で示される。

$$v = 3fp \quad (1)$$

ただし、 v ：パイル移動速度、 f ：周波数、 p ：電極間ピッチ。

2.1 電界パネル上の電位計算

2.1.1 計算方法

電界パネル上のパイル移動のエネルギー源となる電位の計算方法と計算結果を以下に示す。代用電荷法²⁾を用い電位計算を行なう。図4に示すように電極間ピッチ λ 、 $+Q$ の線電荷が無限個平行に配列されている場合、座標変換を行ない、点P(X, Y)の電位を求めれば次式となる。

$$V = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \ln \{2 \exp(k|X|) (\cosh kX + \cos Y)\} \quad (2)$$

ただし、 $k = 2\pi/\lambda$ 、 $q = \sum_{n=1}^{\infty} nQ$

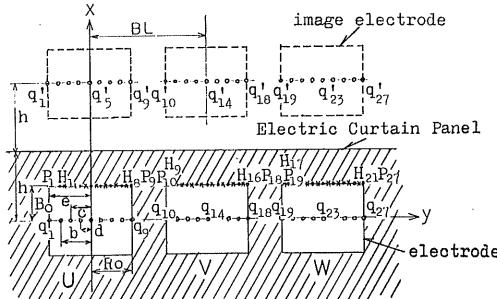


図5 電界パネルに代用電荷法の適用

Fig. 5 The application of the substitute-charge method to the ECP.

実際に三相電界パネルに代用電荷法を適用する場合はU極, V極, W極おののに9個の代用線電荷密度, つまり合計 $q_1 \sim q_{27}$ を配置する。電荷は誘導体内に挿入されているため影像電極を考え、影像代用線電荷密度 $q'_1 \sim q'_{27}$ を考慮する。なお図5では、U極, V極, W極おのの1個しか電極を図示していないが、y軸方向にはU極, V極, W極が無限に配置されていて、それらには同様な代用電荷密度 $q_1 \sim q_{27}$, 影像代用線電荷密度 $q'_1 \sim q'_{27}$ を考える。

このように線電荷が配置されている場合の誘導体内的電位は次式で示される。

$$V = -\frac{1}{4\pi\varepsilon} \sum_{i=1}^{27} q_i \ln 2 \exp(k|X-x_i|) \\ \times \{\cosh k(X-x_i) - \cos k(Y-y_i)\} \\ - \frac{1}{4\pi\varepsilon} \sum_{i=1}^{27} q'_i \ln 2 \exp(k|X-x_i|) \\ \times \{\cosh k(X-x_i) - \cos k(Y-y_i)\} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_s, \quad q'_i = (\varepsilon_s - 1) q_i / (\varepsilon_s + 1)$$

電界パネルの上の空気中電位は、次式で示される。

$$V = -\frac{1}{4\pi\varepsilon} \sum_{i=1}^{27} q''_i \ln 2 \exp(k|X-x_i|) \\ \times \{\cosh k(X-x_i) - \cos k(Y-y_i)\} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_s, \quad q''_i = 2 q_i / (1 + \varepsilon_s)$$

いま代用電荷の位置(図5のb~e)を任意に決め、線電荷密度を未知数と考えその値を境界条件、すなわち各相電極の表面における(3)式のVの値が交流周波数すべての瞬間において、それぞれの相電圧に一致せねばならないという条件から決定する。そのため図5に示す各相電極の中心にそれぞれ9個、合計27個の未知数 q_i に対し、(3)式の各瞬間での相電圧に等置することにより、27個の連立方程式を解き、それぞれのステージの

q_i を求める。次にこの q_i を(3), (4)式に代入すれば、そのステージの任意の位置の電位が近似的に得られる。代用電荷密度 $q_1 \sim q_{27}$ を求める場合、図5に示すように各電極上端部に規準点 P_i を置き、そこを基準に8等分しU極電極上端に $P_1 \sim P_9$, V極に $P_{10} \sim P_{18}$, W極に $P_{19} \sim P_{27}$ を配置する。 ωt の1周期 2π を60等分した各ステージ $2\pi N/60 (N=0, 1, 2, \dots, 59)$ おののに27個の連立方程式を解き q_i を求める。次に規準点 P_i 以外の種々の場所に検査点をとり、その位置で各ステージごとに計算で求めた q_i を使って電圧を計算する。その電圧と電極印加電圧からの偏差を計算し、各検査点、各ステージごとの最大偏差 (ε_{\max}) を求め判定する。

偏差 (ε) = (用いた検査点電圧

- 印加電圧) / 印加電圧

今回は検査点 H_i を基準点の中間点にとった。よって、U極には $H_1 \sim H_8$, V極には $H_9 \sim H_{16}$, W極には $H_{17} \sim H_{24}$ を配置した。ただし(3), (4)式で (x_i, y_i) は代用線電荷 q_i が配置されている位置、 (X_i, Y_i) は規準点または検査点またはその他電位を求めたい位置を示す。

2.1.2 計算結果

代用電荷の位置は下記条件で実施した。

$$\begin{aligned} b &= e (k/11) & k &= 1, 2, \dots, 10 \\ c &= b (l/11) & l &= 1, 2, \dots, 10 \\ d &= c (m/11) & m &= 1, 2, \dots, 10 \\ e &= R_0 (n/11) & n &= 1, 2, \dots, 11 \end{aligned} \quad (5)$$

以上の条件で計算した結果を表2に示す。表2から明らかなように、最適代用電荷位置は電極条件によりほとんど変化がない。電極幅/電極間ピッチが大きければ最大偏差が大きくなる。最大偏差が発生するステージは $N=4$ 、つまり $8\pi/60$ である。

電界パネル内部(誘導体内部)は(3)式、電界パネルの上の空気中電位は(4)式で示される。計算により求めた電位分布を図6に示す。これは電極間ピッチ 20 mm、電極幅 10 mm、印加電圧 10 kV で、ステージは $8\pi/60$ の条件の電位分布である。なお、図6の等電位線は 500 V ごとに描いた。この図より、電界パネル内部(誘導体内部)の電圧と、電界パネル表面上の空気中の電圧は、あまり急激な電圧差がないことがわかる。なお上記報告は、電極当りの代用電荷数は9個であるが、実際は45個まで増し、最大偏差を出したが、ほとんど値が変わらないため9個とした。

2.2 電界パネル上のパイル移動シミュレーション

2.2.1 理論式

電界パネル上の帶電したパイルが、電界の影響を受け、どのような移動をするかを計算するため、パイルを n 等分し、パイルの中心点の移動とパイルの角度につい

表2 最適代用電荷位置
Table 2 Optimum position of the substitute charges.

Item	1	2	3	4	5	6	7	8
Space of electrode (mm)	10	10	7.5	5	20	15	10	5
Width of electrode (mm)	5	7.5	5	2.2	10	7.5	2.5	0.3
Supplying voltage (kV)	7	5	5	5	10	9	9	9
Width of electrode	0.5	0.75	0.66	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
Space of electrode								
Optimum position of the substitute charges								
<i>b</i>	<i>k</i> = 9	9	9	9	9	9	9	8
<i>c</i>	<i>l</i> = 8	8	8	8	8	8	8	9
<i>d</i>	<i>m</i> = 6	6	6	6	6	6	6	6
<i>e</i>	<i>n</i> = 10	10	10	10	10	10	10	10
Stage 2 $\pi n/60$	4	4	4	4	4	4	4	4
Maximum errors % (ε_{\max})	9.4	21.4	14.6	7.6	10.8	10.0	3.5	0.2

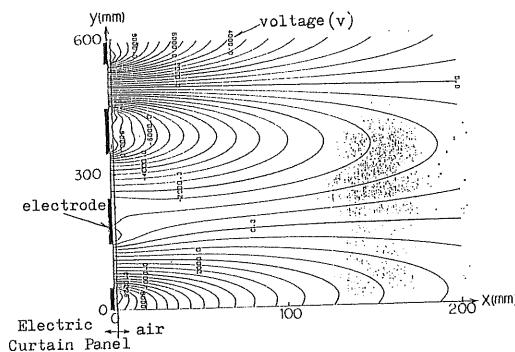


図6 電位分布

Fig. 6 Equi-potential lines.

て求める。

パイル中心点の移動は次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} m \cdot d^2x/dt^2 + 6\pi\eta a \cdot dx/dt &= qE_x - mg \\ m \cdot d^2y/dt^2 + 6\pi\eta a \cdot dy/dt &= qE_y \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ただし、

$$E_x = \sum_{i=1}^n E_{xi}, \quad E_y = \sum_{i=1}^n E_{yi} \quad (7)$$

m はパイルの質量、 a はパイルの球体換算半径、 E_x は x 軸方向の電界強度である。これら電界強度は、前述電位計算結果より即座に求められる。 n 等分したパイルのおのおの位置で電界強度が違うため、おのおのを(7)式で計算する。

パイル角度は、(8), (9)式で示される。

$$d^2\theta/dt^2 = r \cdot F_z/I \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} r \cdot F_z &= \sum_{i=1}^n r_i \cdot F_{zi} \\ I &= \sum_{i=1}^n r_i^2 \cdot m/n \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

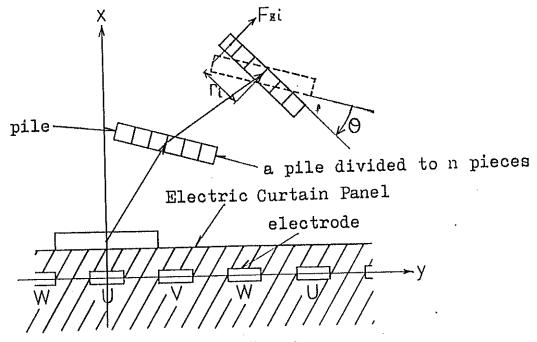


図7 パイル移動モデル

Fig. 7 Movement of model pile.

なお F_{zi} は(6)式より求める。つまり、

$$\begin{aligned} F_{zi}^2 &= F_{xi}^2 + F_{yi}^2 \\ F_{xi} &= m \cdot d^2x/dt^2 = qE_x - mg - 6\pi\eta a \cdot dx/dt \\ F_{yi} &= m \cdot d^2y/dt^2 = qE_y - 6\pi\eta a \cdot dy/dt \end{aligned}$$

2.2.2 予備試験

パイルの空気中移動時の球体換算有効径は、パイルを一定の長さ落下させ、そのときの落下時間を測定しストークスの式(10式)より球体換算有効径を求める。

$$2a = \sqrt{18uL}/\sqrt{(P_p - P_t)gt} \quad (10)$$

ただし、 P_p : パイル比重、 P_t : 空気比重、 L : 落下距離、 t : 落下時間、 a : 換算半径。

落下距離 1m で繰り返し 10 回の実験を行なった。これよりパイル長さ 1mm、パイル太さ 3 デニールのパイルは、半径 $31 \mu\text{m}$ に換算されるとの結果を得た。

パイル帶電量は、電界パネル表面より約 150 mm 上方に水溶性接着剤を塗布した基板を置き、基板を通じ放出した電荷量およびパネルに付着したパイル量により帶電量/個を求めた。パイル長さ 1mm、パイル太さ 3 デニ

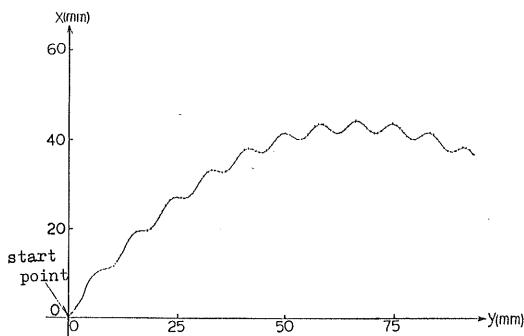


図 8 パイル移動シミュレーション計算 (1 mm, 1.5 デニール)

Fig. 8 Simulation of pile movement.

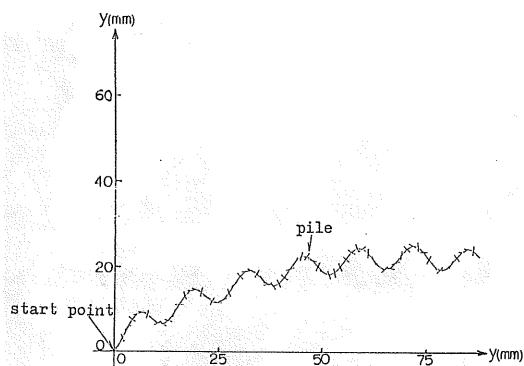


図 9 パイル移動シミュレーション計算 (4 mm, 18 デニール)

Fig. 9 Simulation of long pile movement.

ールのパイルで約 $1 \times 10^{-13} \text{ C}/\text{個}$ であった。パイル抵抗 $1 \sim 100 \text{ M}\Omega$ の間で帶電量を測定し、25% 程度の差があるが、それらの平均値をとった。

2.2.3 パイル移動シミュレーション計算

方程式(6)～(9)にルンゲ・クッタ法を用い、コンピュータで解いた。計算結果を図 8, 9 に示す。パイルスタート点は $x=0$, $y=0$ の地点、パイルの分割数は 5, 表示時間間隔は $1/600$ 秒、ルンゲ・クッタ法の分割は $1/1,200$ 秒で行なう。パイルの分割数、表示時間間隔、ルンゲ・クッタ法の分割は、これ以上精度を上げても結果が変わらない状態に固定した。電界パネルは、電極幅 10 mm, 電極間ピッチ 20 mm の形式の場合である。図 8, 9 より明らかなように、 x 軸方向の速度はパイル長さ 1 mm で約 430 mm/s, パイル長さ 4 mm で約 670 mm/s である。 y 軸方向への飛行高さは、パイル長さ 1 mm で約 40 mm で、パイル長さ 4 mm で 20 mm である。また、パイルは大きく振動しながら、しかもパイル自身回転しながら移動することが計算より明らかとなった。

Movement appraisement

- : 2.5g pile was moved in 20 s
- △ : 2.5g pile was moved in 59 s
- × : 2.5g pile was moved over 1 min

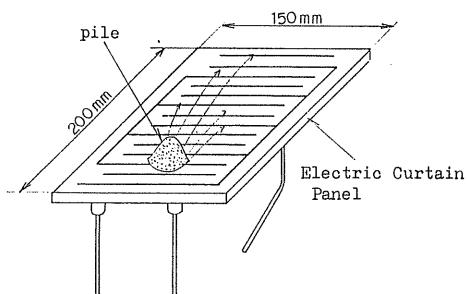


図 10 基礎実験装置

Fig. 10 Fundamental experimental equipment.

表 3 輸送特性の比較

Table 3 Comparison of movement character.

	Width of electrode (mm)				
	0.3	2.5	5	7.5	10
5	△	●			
7.5		●			
10	○	○	●		
12.5					
15				○	
20					○

○ : Pattern A, ● : Pattern B, △ : Others

3. 実用化実験

3.1 基礎実験

図 10 に示す装置で、パイルを 2.5 g 電界パネル上に置き、完全に電界パネルより輸送される時間を測定する。電界パネルは幅 150 mm, 長さ 200 mm である。

試験結果を図 11～13 に示した。パイル抵抗は、直径 100 mm のプラスチックス円筒体の上下に金属円板を取りつけたもののなかに 15.5 g のパイルを挿入し、メガオーム計で抵抗値を計る。図 11 より明らかなように、パイル抵抗と輸送特性の関係は二つのパターンに分けられる。つまり、パイル抵抗 $1 \sim 10 \text{ M}\Omega$ 程度が最も輸送特性がよい電界パネルをパターン A、パイル抵抗 $100 \text{ M}\Omega$ 以上が輸送特性がよい電界パネルをパターン B と呼ぶ。それらを表 3 に示す。電界パネルの電極ピッチ：電極幅 = 2 : 1 で、しかも電極ピッチ、電極幅が比較的広いタイプがパターン A の条件である。静電植毛を行な

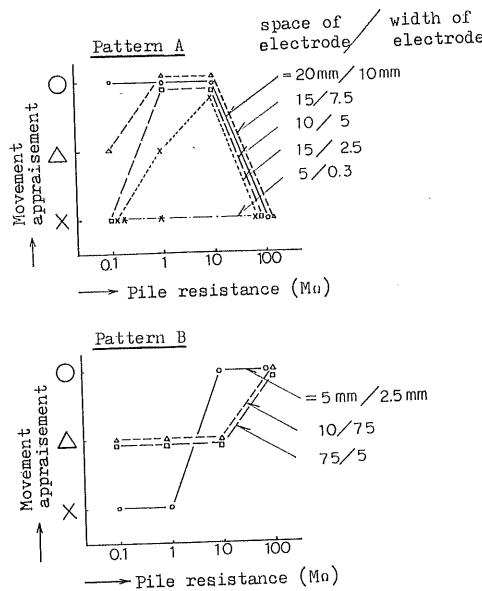


図 11 パイル抵抗の輸送特性への影響
Fig. 11 Influence of pile resistance to the movement appraisal.

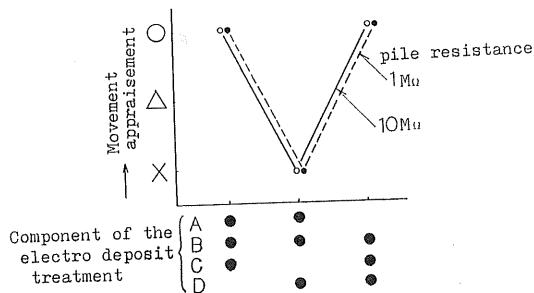


図 12 電着処理剤の輸送特性への影響
Fig. 12 Influence of the electro deposit treatment to the movement appraisal.

う場合、パイル抵抗が低いほど基材に塗布された接着剤への投錨効果（接着剤層への突き刺さり効果）がよいため、植毛用電界パネルとして使用する場合は、パターンAの電界パネルを使用すべきである。なお以上の試験は、パイル長さ 1 mm、パイル太さ 1.5 デニールを使用した。図 12 にパイルの電着処理剤と輸送特性の関係を示した。この試験より、電着処理剤Cを含有しておれば、輸送特性は確保される。

以上の基礎実験より、下記条件の電界パネルを選定した。電界パネルはパターンA、そのなかでも電極ピッチ 20 mm、電極幅 10 mm の電界パネルは、パイル抵抗 0.1 MΩ でも輸送特性がよいため、静電植毛特性も最もよいと考えられ、この電界パネルを今後使う。パイル抵抗の管理幅は 0.1~10 MΩ である。パイルの電着処理

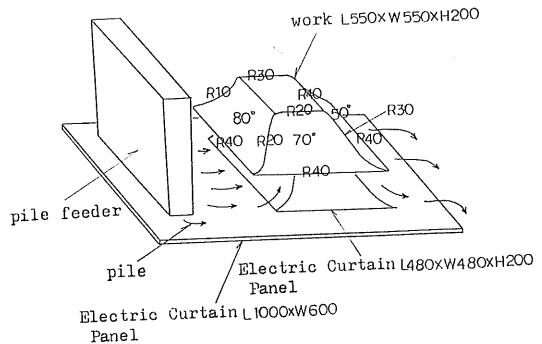


図 13 深絞り成形品の電界パネル植毛（単位 mm）
Fig. 13 Flocking using ECP on deep recess of pressed molding.

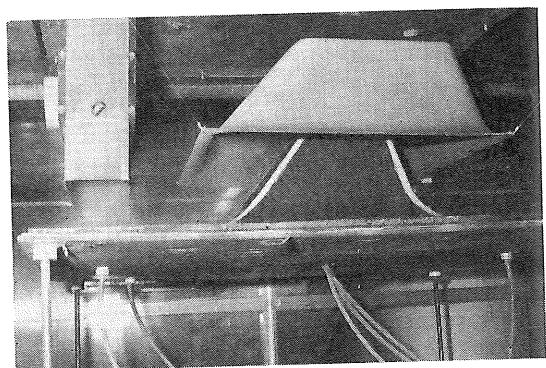


図 14 深絞り成形品の電界パネル植毛
Fig. 14 Flocking using ECP on deep recess of pressed molding.

剤は、成分Cを必ず含有しなければならない。電極ピッチ 10 mm、電極幅 5 mm の電界パネルを使った実験では、パイルは電界パネルより 30~40 mm 浮上した状態で移動する。また、移動時パイルは波動運動をしているのが目視で観測された。波動運動の振幅、移動速度は測定していない。また、シミュレーション計算では、パイル長さ 1.5 mm 以上でも問題なく移動できるとの結果であるが、実験では移動に問題がある。つまりシミュレーション計算と一致した結果が得られた事項、未確認事項、不一致事項がある。今後さらに基礎検討を行ない、これらの原因を解明する。

3.2 深絞り成形品の電界パネル植毛実験

図 13 は深絞り成形品への電界パネル植毛実験装置の構成である。図 14 は同じ構成で、電界パネル植毛を実施している状態を示す。図 13 に示すように、被植毛体は長さ 550 mm、幅 550 mm、高さ 200 mm であるが、登り口のコーナーは四方とも曲率半径 40 mm とした。登り角度は 80°、70°、60°、50° とした。その上部のコーナーは、曲率半径 10, 20, 30, 40 mm とした。登り角度

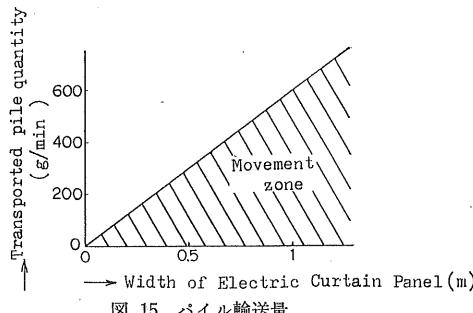


図 15 パイル輸送量

Fig. 15 Pile transportation.

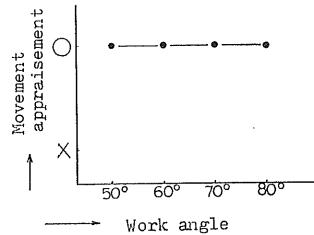


図 16 植毛用パイルと登り角度

Fig. 16 Work angle and movement appraisement.

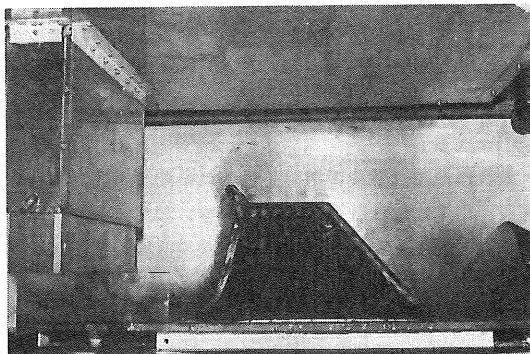


図 17 植毛用パイルと登り角度

Fig. 17 Flocking pile motion and work angle.

80° と 60° の合せ部は、曲率半径 10 mm , 80° と 70° の合せ部は、 20 mm , 70° と 50° の合せ部は、 30 mm , 50° と 60° の合せ部は、 40 mm とした。それに相対する電界パネルは、被植毛体との距離を 150 mm となるよう製作した。電界パネルは、長さ 480 mm , 幅 480 mm , 高さ 200 mm で、登り口のコーナは、四方とも曲率半径 10 mm 、登り角度、その他のコーナは被植毛体と同じ条件とした。また、その電界パネルを支える平板電界パネルは、長さ $1,000\text{ mm}$, 幅 600 mm であり、この二つの電界パネルは取りはずし可能である。そして、この山型電界パネルは、いずれの面も登り面にすることができる。

電界パネル輸送特性の試験結果を図 15, 16 に示す。

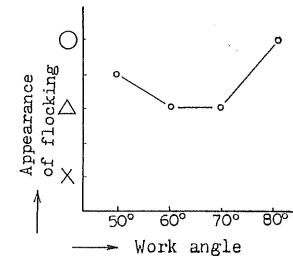


図 18 登り角度と植毛外観

Fig. 18 Work angle and appearance of flocking.

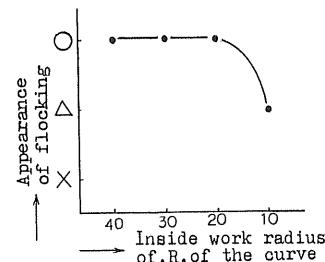


図 19 被植毛体コーナへの植毛特性

Fig. 19 Flocking appearance on recess of a work with radius of, R , of the curve.

幅 1 m の電界パネルであれば、 600 g/min 程度以下の輸送が可能である（図 15）。登り角度 80° までは、電界パネルで移動させることができる（図 16）。登り角度とは、パイルフィーダに面する側の角度で、植毛用パイルが電界パネル上を登らなければならない角度である。次にこれら電界パネルを使った植毛特性試験の一部を以下に示す。成形品の登り角度と、植毛外観の試験結果を図 18 に示す。電界パネルと成形品の角度は、登り角度と常に同一にセットし試験した。図 18 より明らかなように、登り角度 80° が最もよい植毛外観を与える。これは、パイルが電界パネルを登った後に広く飛び散り、これが均一植毛に有効であるためと考えられる。被植毛体コーナ R への植毛特性を図 19 に示した。曲率半径 10 mm 以下の R では植毛できない。この場合は、補助電極を付ける対策をとれば植毛可能である。印加電圧と植毛外観の関係を図 20 に示す。良好な植毛外観を得る条件は、AC 7 kV と DC 40 kV , AC 8 kV で DC 30 kV 以上である。なお標準印加電圧は AC 7.5 kV , DC 40 kV とし、他の試験を行なった。以上より、最も登り角度が大きい面をパイルフィーダ側として、成形品の曲率半径が 20 mm 以上では、補助極不要である。

3.3 電界パネル連続植毛装置への応用

以上の実験をもとに設計した連続植毛装置を図 21 と図 22 に示す。オーバースプレイしたパイルを回収し

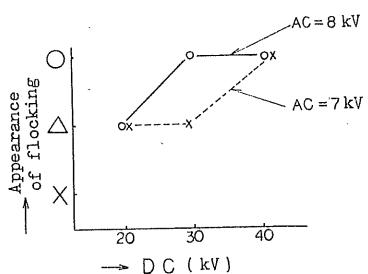


図 20 印加電圧と植毛外観

Fig. 20 Applied voltage and appearance of flocking.

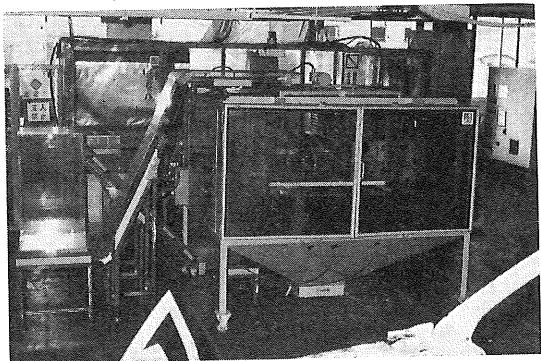


図 22 電界パネル連続植毛装置

Fig. 22 Photograph of continuous flocking machine using ECP.

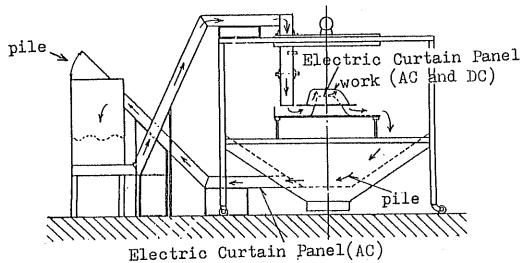


図 21 電界パネル連続植毛装置

Fig. 21 Continuous flocking machine using ECP.

てパイルタンクに輸送する電界パネルを利用した通路(以下電界通路と呼ぶ), パイルタンクからフィーダにパイルを送る電界通路は, その角度を 80° 以下にすれば問題ない. この連続植毛装置ではパイルの利用効率 95%, 色替え時間 5 分との良好な結果を得た. この報告では, 一部項目の検討結果を示した. その他の検討項目は, 別途報告予定である.

4. 結 び

1) 世界最初の深絞り成形品の連続植毛装置を開発し

た. この装置は深絞り成形品の均一植毛能力があることを確認した. そして, 電界パネルを使った輸送システムを使うため, 植毛設備費は従来に比べ $1/3 \sim 1/5$ となる. さらに, 閉路システムであるため, パイルの漏れがなく, 環境衛生の点でも優れる.

2) 電界パネル上のパイルの移動シミュレーション計算を行ない, 理論的な最適電界パネルの設計を試みた. 飛行軌道推定などの知識も得られたが, 完全な軌道シミュレーションとはいはず, 今後さらに基礎検討, 基礎理論の充実を図り, 合理的な電界パネルの設計を行なう.

最後に理論計算のご指導をいただいた, 当社元専務取締役西田光雄氏, 計算機のご指導をいただいた, 当社伊久美慎二氏に感謝いたします.

参 考 文 献

- 1) 増田閃一, 藤林宏一, 石田謙吾, 稲葉裕俊: 電気学会論文誌 B, 92 (1972) 9
- 2) 増田閃一, 上村 努: 電気学会論文誌 A, 96 (1975) 39