摩擦帯電評価システムの開発

(第5報) 試験片の大きさ及び周辺の金属等の帯電圧及び減衰速度に及ぼす影響

鐘紡(株)合繊研究所 松 井 雅 男 (会員)
鐘紡(株)開発研究所 柏 村 隆 光
" 岡 本 種 男

Development of A New Frictional Static Charge Evaluation System

Part 5 : A Study on the Influence of Testpiece-Size and Surrounding Metallic Substance onto the Frictional Charge (Voltage) and Decay Rate

Masao Matsui*, Kazuo Okamoto** and Takamitsu Kashiwamura**

*Research Center for Synthetic Fibers, Kanebo, Ltd, Kanebo-cho, Hofu

**Research and Development Center, Kanebo, Ltd, Miyakojima, Osaka

Abstract

It was proved, in part 1 and 2, that the reproducibility and accuracy of newly developed KANEBO SYSTEM (KBS) are better than those of Rotary Static Tester and Faraday's Cage Method described in JIS L 1094 (1980).

The experiments to see the influence of testpiece-size and surrounding metallic substance onto frictional charge (voltage) and decay rate of fabrics was carried out. And, following facts have been found : (1) The voltage of nonantistatic and antistatic fabrics made of mix-spun antistatic fibers increase with the increase of the testpiece-size, besides the voltage of Electric Conductive Fiber (ECF) contained antistatic fabrics do not change with the increase of testpiece size. (2) The decay rate of antistatic fabrics made of mix-spun antistatic fibers decrease with increase of testpiece size, besides the decay rate of the ECF contained antistatic fabrics do not change with the increase of the testpiece size. (3) The optimum size of testpiece may be 7 to 10cm in diameter from the viewpoint of accuracy and easy operation.

(Received July 17, 1989)

1. 序 論

筆者等は、制電性繊維、導電性繊維及びその応用製品の開発に当たり、従来の各種制電性測定法が正確さ、再現性、及び取り扱いやすさ等の点で極めて不満足なものであることを痛感し、新しい方式の「鐘紡摩擦帯電圧評価システム」を開発した。鐘紡システムは摩擦帯電圧とその減衰曲線を自記記録するもので、第1報¹⁾及び第2報²⁾において現存の回転型

摩擦帯電圧測定器及びファラデーケージによる摩擦帯電電荷密度測定法と正確さ、再現性、個人差などを比較し、鐘紡法がそれら既存法よりも優れていることを確認した。なお、編織物の制電性(帯電性)の測定法は1980年 JIS L 1094 (1980) として初めて制定されたが、最近見直し作業が行われ、改訂版 JIS L 1094 (1988) が1988年8月に刊行された。新 JIS では従来参考法であった上記電荷密度測定法が正式規格となり、さらに鐘紡法が新しく参考法とし

て記載されている。

一般に電位（電圧） V と電気量（電荷） Q とは $Q=CV$ という関係にあり，両者は静電容量 C を介して相互に換算可能である．帯電圧測定法は自然放電（漏洩）により減衰する状況をリアルタイムで容易に連続測定できるという大きなメリットがあり，制電剤の混合紡糸や後加工による制電製品の評価には，不可欠である．摩擦帯電圧とその減衰を測定する鐘紡システムは，すべての制電品（導電糸混用品，制電剤混合紡糸，制電後加工）の総合の評価が可能という大きな特長を有する．しかし，帯電圧は試験片の静電（浮遊）容量 C ，即ち，試験片の大きさ，周辺物体の大きさと距離等によってかなり変わるので，それらの影響を知っておく必要がある．

本報告は，試料片の大きさ，周辺物体等が鐘紡法における摩擦帯電圧及びその減衰速度に及ぼす影響についての検討結果を述べる．

2. 実験方法

測定装置—鐘紡システム KBS-2 型（改良型）を用いた．試料は摩擦台上で手動摩擦し，そのまま摩擦台と一体で検出器前に移動した後，摩擦台を下方へ剥離する．剥離直後の摩擦帯電圧（最大値）及び減衰曲線が自記記録される．詳細は第3報³⁾参照．

金属製試料ホルダーの窓（試料取付用の円孔）の直径を4 cm，7 cm，10 cm，13 cm，16 cmと変え，それに対応して摩擦台の直径を窓直径－2 mm，さらに較正用電極の直径を窓直径－1 cm（3 cm，6 cm，9 cm，12 cm，15 cm）と変え，帯電圧（最大値）や減衰速度への試験片サイズの影響を調査する．その他の若干の基礎実験は KBS-1 型（第1報参照）を用いた．

試料—表1に示す6種の試料，即ち，非制電のポリエステル編織物（B），導電糸混用品3種（B10，B20，C），制電ポリエステル交織織物2種（A，A2）を用いた．

試料は十分に洗濯，水洗し，活性剤等を完全に取り除いた後，充分調湿して測定する．洗濯及び調湿条件は第1報と同じ．

摩擦布及び摩擦回数—ウール添付白布（JIS L

Table 1. Samples

Sample	Material and Construction
A	Twill, Warp; Textured polyester filament. Filler; Textured antistatic polyester filament
A 2	Taffeta, Warp; polyester filament, Filler; Antistatic polyester "Soielise-P" filament (Kanebo)
B	Knitted fabric, Polyester textured filament
B10	Knitted fabric, Polyester and ECF "Belltron" (Kanebo), ECF interval 10mm
B20	Knitted fabric, Polyester and ECF "Belltron", ECF interval 20mm
C	Twill, Warp and filler; Polyester/cotton = 65/35 blend-spun yarn, ECF "Belltron" is mixed in warp, interval 20mm

ECF; Electric Conductive Fiber

0803)を同様に洗濯，調湿して使用，摩擦回数は12回．

温 湿 度—20℃，40% RH

測定繰り返し回数—それぞれの測定は同一試料片について原則として5回繰り返し，その平均値及び変動率を求める．

2.1 結果及び考察

図1に測定系の制電浮遊容量を示す．浮遊容量 C は，検出器/試料片間の $C1$ ，背後板/試料片間の $C2$ ，及びホルダー/試験片間の $C3$ の合計 $C1+C2+C3$ である． $C1\sim C3$ の影響を調査すること及び若干の基礎的検討を行った．

Fig. 1 Electric Capacity of the Measuring System

2.1.1 検出器/試験片間距離の影響

試料 C を用い、試験片と静電気検出器間の距離 (X) を 2 cm から 10 cm の範囲で 1 cm きざみで変化させ、摩擦帯電圧を測定した。測定器は KBS-1 型、ホルダー③の円孔 (窓) は 70 mm、検出器④は、回転セクター型で回転子の直径 28 cm、金属保護筒の外径は 32 mm である。

図 2 に摩擦帯電圧の検出器/試験片間距離依存性を示す。図に見るように、帯電圧は距離 X が 3~4 cm で最大となり、それ以上距離が大きくなると徐々に低下する。静電容量 C1 は距離 X に逆比例的と思われる、距離の増大で帯電圧は増大し、X が非常に大きい領域では容量 C1 が C2 や C3 と比べて無視できるほど小さくなり、距離依存性が消失すると予想される。図 2 では、距離 X が 3~5 cm で上記の距離依存性が消失したと見なされるが、それ以上の領域での帯電圧の低下理由は不明である。この現象は、試料片内に電位分布があり中央付近が高く周辺が低いこと及び検出器の感度が中心部が高く、その検出角度がある程度狭いと仮定すれば説明されよう。即ち、検出器が近いときは試料中心付近を主として検出するため、高い帯電圧が観測され、距離が大きくなると周辺の低電位部をも検知し、平均してやや低い帯電圧が観測されるのである。

いずれにせよ、金属製試料ホルダーで窓が直径 7 cm のときは、検出器距離 3~5 cm で最高感度を示し、かつ帯電圧の距離依存性がほとんどないから、我々は実用的見地から検出器距離として 5 cm を選んだ。

Fig. 2 Change of Frictional Charge by the Distance between Detector and Testpiece

2.1.2 背後板/試験片距離の影響

帯電圧の減衰が極めて遅い試料 B を用い、KBS-1 型機で摩擦帯電圧を測定しながら金属製の背後板⑤と試験片の距離 Y を種々変えて、試料電位の距離依存性を調べた。結果を図 3 に示す。距離 Y が 2 cm 以下では電位は急激に変わるが、距離 3 cm 以上ではその変化はわずかとなり 8 cm 以上で、距離依存性がほぼ消失する。鐘紡システムでは試験片と摩擦テーブルの台板①との距離約 10 cm であるが、それが充分大きいといえる。

電位が 1/2 になる背後板距離は約 0.75 cm である。このときの静電容量 C2 は、(1) 式の平行板コンデンサーの静電容量の式で計算し、距離 $d = 0.75$ cm、窓の有効面積を 28 cm^2 (直径 6 cm) と仮定して、 3.3 pF (ピコファラド) となる。

$$\text{静電容量 } C (\text{ファラド}) = 8.76 \times 10^{-14} S / d \quad (1)$$

ここで d ; 極板間距離 cm, S ; 極板面積 cm^2

電位が 1/2 になることは、静電容量が 2 倍になったことを意味するから、 $C1 + C3 = C2 = 3.3 \text{ pF}$ と近似し得る。

2.1.3 試験片寸法の帯電圧への影響

前述のように鐘紡システム (KBS-1 型) においては標準のホルダー孔 (窓) は直径 7 cm であり、ホルダー (接地金属)/試験片間の静電浮遊容量 C が最も大きい。KBS-2 型を用いホルダー孔の直径を 4 cm, 7 cm, 10 cm, 13 cm, 16 cm と変え (それに対応して摩擦台、較正電極の大きさ及び試料/検出器間距離も大きくなる)、摩擦帯電圧とその減衰曲線を測定した。帯電・放電曲線の代表例を図 4 及び図 5 に示し、全試料の帯電圧 (摩擦直後の最大値)

Fig. 3 Change of Frictional Charge by the Distance between Backside Plate and Testpiece

Fig. 4 Change of Frictional Charge and Decay Curve by the Testpiece Size

Fig. 5 Change of Frictional Charge and Decay Curve by the Testpiece Size

の試験片サイズ依存性を表2及び図6に示す。

表2及び図6から次のことが明らかである。

- (1) 非制電試料B及び制電剤混合紡糸型の制電試料A, A2の帯電率は、試験片サイズ(直径)の増大とともに、直線的に増大する。
- (2) 一方、導電糸(ECF)が混用された制電性試料B10, B20, Cの帯電率は試験片サイズの大小に無関係にほぼ一定である。

Fig. 6 Testpiece-size Dependence of Frictional Charge

きさに無関係にほぼ一定である。

即ち、導電糸を含む試料と含まない試料とは、全く異なる挙動を示す。導電糸を含まない試料では、試料が大きくなると試料の金属製のホルダーからの平均距離が大きくなり浮遊容量 C_2 (単位面積当たり)が減少する。その結果、前述の $Q=CV$ の式に従って電位 V が高くなると推定される。

一方、導電糸を含む試料では、帯電率の試験片サイズ依存性がほとんど見られない理由は次のように説明されよう。即ち、これらの編織物には導電糸(連続フィラメント)が一定間隔で交編織されており、金属ホルダー部において導電糸は電氣的に接地されていると推定される。その結果、試料の接地導体からの平均距離は導電糸間隔で一義的に決まり、試験片の大きさに無関係となる。試料B20とCとは導電糸間隔がともに2cmで、母体繊維及び織構造が異なるにもかかわらず、ほぼ同じ帯電率を示している。このことは主として導電糸間隔によって帯電率が決まるという上記説明を裏付けるものである。

導電糸が接地されていない場合(枠が絶縁されている場合)については次報で検討する予定である。

2.1.4 試料寸法の減衰速度への影響

減衰速度は、帯電率が摩擦直後の最大値から、その1/2に減衰するまでの半減期(HDT; Half Decay Time)で表すことが多い。しかし減衰の遅いものは半減期では表現困難なので、一定時間(ここでは1分間)後の帯電率(電荷でも同じ)の残留率(ROC;

Table 2 . Change of Frictional Charge by Testpiece Size
polarity ; negative n= 5

Sample	Measurement	Diameter of The Window (cm)				
		4	7	10	13	16
A Antistatic Polyester	Ave. (KV)	9.9	12.2	19.8	23.6	26.1
	CV (%)	9.9	6.4	5.0	5.9	3.2
	LF	$V=3.72+1.46D$ (CC=98%)				
A 2 Antistatic Polyester	Ave. (KV)	10.3	14.4	18.8	22.2	26.0
	CV (%)	9.9	6.4	5.0	5.9	3.2
	LF	$V=5.27+1.31D$ (CC=99.9%)				
B Polyester	Ave. (KV)	14.7	22.5	24.9	27.4	28.9
	CV (%)	2.1	4.8	5.5	8.3	2.5
	LF	$V=12.58+1.11D$ (CC=94%)				
B10 Polyester/ECF 10mm	Ave. (KV)	3.87	3.54	3.70	3.50	3.24
	CV (%)	3.5	1.2	1.2	2.0	2.7
	LF	$V=3.57$ (CV=6.4%)				
B20 Polyester/Cotton /ECF 20mm	Ave. (KV)	5.38	4.59	4.61	5.23	5.11
	CV (%)	1.9	1.8	2.0	0.9	0.9
	LF	$V=4.98$ (CV=7.3%)				
C Polyester /ECF 20mm	Ave. (KV)	5.94	5.26	5.34	5.19	5.54
	CV (%)	1.8	1.0	0.3	0.9	3.2
	LF	$V=5.45$ (CV=5.5%)				

CV ; Coefficient of variation
LF ; Linear function
CC ; Coefficient of co-relation

Remains of Charge), 即ち, 最大値に対する比率を併用する.

各試料の半減期及び電荷残留率の試験片寸法依存性を表 3 及び図 7 ~ 9 に示す. 試料 B, B 10, B 20 は減衰が遅く半減期では表現できない. 減衰のやや遅い試料 A, 減衰の早い A 2 及び C の半減期の試験片寸法依存性を図 7 に示す. 図 7 及び表 3 に見るように, 導電糸を含む試料 C (綿/ポリエステル) では半減期の寸法依存性が見られないが, 練込制電糸 A 及び A 2 では試験片寸法とともに半減期が顕著に (ほぼ直線的に) 増大する.

一般に, 電気容量 C と電気抵抗 R の回路の放電速度を示す時定数 (電圧が初期の 0.368 倍になる時間, 秒) は RC で示される. 金属枠 (窓) が大きいほど, アースに対する試料片の見掛けの (平均的) R が大きくなると思われ, その結果時定数及び半減期が増大するのであろう. しかし導電糸混用品で導電糸が接地されている場合は, R も C も導電糸間隔で主として定まっており, 窓寸法に無関係となるので

Fig. 7 Change of Decay Rate by Testpiece Size

あろう.
今回の実験では同一試験片で測定を 5 回繰り返し

Table 3. Change of Decay Rate by Testpiece Size

Sample	Measurement		Diameter of The Window (cm)				
			4	7	10	13	16
A Antistatic Polyester 6750	HDT	1st measurement (sec.)	6.5	11.0	16.0	25.9	33.2
	ROC	1st measurement (%)	24.0	30.0	31.0	35.8	40.7
A 2 Antistatic Polyester	HDT	1st measurement (sec.)	0.6	0.7	1.1	1.9	2.9
	ROC	1st measurement (%)	5.6	4.7	5.4	4.7	5.3
B Polyester	HDT						
	ROC	Ave. (Sec.) CV (%)	73.3 6.3	96.7 4.8	87.1 6.7	88.8 9.2	88.6 3.2
B10 Polyester/ECF 10mm	HDT						
	ROC	Ave. (%) CV (%)	95.5 2.3	96.6 1.1	95.4 0.8	97.7 1.7	97.2 2.4
B20 Polyester/ECF 20mm	HDT						
	ROC	Ave. (%) CV (%)	96.1 2.2	98.9 2.1	97.1 1.8	95.8 1.1	91.4 0.7
C Polyester/Cotton /ECF 20mm	HDT	1st measurement (sec.)	1.1	0.7	0.9	0.9	0.9
	ROC	1st measurement (%)	5.0	3.8	2.8	2.5	3.0

たが、減衰速度は測定の繰り返しによって少しずつ低下する傾向が認められるために、5回の平均値で示すのは適当でない。図8に試料Aの半減期の測定繰り返しによる変化を示す。かなりバラツキが大きいが測定繰り返しにより半減期が増大している。従って、減衰性試料の減衰速度の測定は、複数回の測定値から回帰直線を求め、測定回数0の点に外挿して求めるのが良いかも知れない。しかし今回は1回目の測定値を用いた。このような減衰型(漏洩型)試料での摩擦帯電・放電の繰り返しによる減衰速度低下は今回初めて気が付いたもので、その原因は不明である。しかし我々は他の実験でもこの現象を確認しており、かなり普遍的な現象と思われる。

2.1.5 最適試験片サイズの検討

前述のように、摩擦帯電圧(最大値)及びその減衰性は、試験片寸法によってかなり大幅に変わるこ

とがあり、最適寸法を選ぶ必要がある。選定に当たっては、1) 実際の使用状態に近いこと、2) 測定の信頼性、3) 測定操作の容易さ等を考慮する必要がある。現行JISの試料寸法を表4に示す。

摩擦帯電圧測定に関しては、実際の使用状態との比較及び安定な摩擦の見地からJIS B法の試験片サイズは第1報に述べたようにあまりにも小さい。サイズ依存性のない導電糸混用品においても、導電糸間隔が12.5 mm以上のものは、窓寸法25 mm×30 mmのJIS B法では評価が無意味である。導電糸間隔が20～30 mmの製品も実際に多く使用されており、枠(窓)の幅又は直径は40～60 mm以上が必要である。逆に、サイズが大きすぎると測定操作が困難で誤差も大きくなる傾向があり、帯電圧も数十KVと高く校正も困難になる。図6に見るように鐘紡法において、帯電圧と窓直径はかなり良い直線

Table 4. Testpiece Size of JIS L 1094 (1988)

Method	Testpiece Size	Window Size
A. Half Decay Time	45mm×45mm	32mm×32mm=10.2cm ²
B. Frictional Charge	50mm×80mm	25mm×30mm=7.5cm ² effective area 15mm×20mm=3.0cm ²
C. Charge Density	25cm×35cm	effective area 25cm×26cm=650cm ²
R1. Electric Resistance	50mm×80mm	effective area 5 cm × 5 cm=25cm ²
R2. Clinging Test	75mm×230mm	effective area 7.5cm×20cm=150cm ²
R3. Frictional Charge and Decay Curve (Kanebo System)	120mm×100mm	Diameter 7 cm area 38cm ² effective area 28cm ²

Fig. 8 Change of Decay Rate by Repeat of Measurement

関係にあるから、標準の直径 7 cm のデータから、直径がもっと大きい場合の帯電圧も推定し得る。

減衰速度測定に関しては、実際の対応及び導電糸混用品評価の見地から上記と同じく窓の幅又は直径は 40 ～ 60 mm 以上が必要であり、JIS A 法の 32 mm は小さすぎる。又、小さすぎる試料では半減期が短くなるので測定系の追従速度に問題を生じ誤差

Fig. 9 Change of "Remains of Charge" by Test-piece Size

も大きくなる恐れがある。

一方、JIS C 法（電気量測定）では、試験片寸法は 25 cm × 35 cm と非常に大きい。そのため試料の洗濯、乾燥、調湿、保存などに非常に不便であり、しかも測定操作が困難で、第 2 報で述べたように誤差も大きい。

以上のように JIS A 法、B 法は試験片寸法があまりにも小さすぎ、JIS C 法では大きすぎる。従って筆者等は、信頼性の面から必要十分な大きさで、し

かも操作性の面でできるだけ小さい範囲として、窓(枠)直径7~10 cm 程度が最適と考えている。

3. 結 論

非制電品、導電系混用品、制電剤練込品計6種の試料について摩擦帯電圧及びその減衰速度に対する試験片ホルダー(金属枠)の窓直径を4~16 cm に変えてその影響を調査し次の結果を得た。

- (1) 非制電品、練込制電品の摩擦帯電圧は、窓の直径の増大とともにほぼ直線的に増大する。これは試料の単位面積当たりの静電浮遊容量の減少による電位上昇を示すものと思われる。
- (2) 導電系混用品の摩擦帯電圧は窓の寸法に無関係にほぼ一定である。即ち、導電系は金属ホルダー部に接地されるため、帯電圧は導電系間隔によって一義的に定まり、窓枠の大きさの影響は無視し得る。
- (3) 練込制電系の帯電圧の減衰の半減期は、窓直径の増大とともにほぼ直線的に増大する。これは試料全体の(平均的)電気抵抗 R が増大するためと思われる。
- (4) 導電系混用品の半減期は窓直径に無関係に一定である。これは、上記(2)と同じく導電系の間

隔によって主として減衰特性を支配する因子(静電容量 C と抵抗 R) が定まるためと思われる。

- (5) 摩擦帯電圧及びその減衰性の測定にとって、試験片(窓)寸法は大きな影響を与える。窓寸法が小さすぎると誤差が大きく、信頼度が小さい。大きすぎても誤差が大きく、操作にも不便である。
必要充分でかつ最も小さい窓寸法は直径7~10 cm であると考える。
- (6) 本システムの標準型である窓寸法直径7 cm においては、検出器/試験片間距離 X は5 cm が適当であり、背後板/試験片間距離 Y は10 cm で充分である。

参考文献

- 1) 松井他; 摩擦帯電評価システムの開発(第1報) 開発した装置の概要、測定値及びバラツキの従来法との比較, 繊維誌, 40 No. 4 (1987-4)
- 2) 松井他; 摩擦帯電評価システムの開発(第2報) 開発した装置の測定値個人差の従来法との比較及び2, 3の基礎的事項の検討, 繊維誌, 40, No. 10 (1987-10)
- 3) 松井他; 摩擦帯電評価システムの開発(第2報) 摩擦後の剝離方法及び測定前の電荷の減衰の検討, 繊維誌, 42, No. 4 (1989-4)

＜投稿歓迎＞

繊維工学編集委員会では、下記のような種類の高稿の投稿を歓迎します。学問的、技術的知見、経験などで、公開できるものはできるだけ多く「繊維工学」誌上にご発表いただき、会員の相互啓発、我国の学界、産業界の発展に寄与されることを希望します。

総 説：提案、意見、批評等の論説及び研究、技術、経済などの総合的な記事

解 説：繊維工業分野に直接あるいは間接に関係する最新の内外の技術、重要トピックス等の平易な解説記事

講 義：系統的でまとまった知識を与える記事

資 料：調査、解説等の技術的に価値ある資料で、他のどの種類にも該当しないもの

製品紹介：技術的に優れた製品の紹介

見学記：学校、研究所、会社等の見学記録

座談会：対談、てい談、座談会の記事

その他：学校、研究所、会社等の見学記録、対談、

てい談、座談会及び委員会、研究会等の報告記事と記録

投稿後の原稿の取扱い

1. 原稿の採否、分類等については繊維工学編集委員会で決定します(依頼あるいは投稿された原稿は専門分野の査読委員が査読し訂正を求めることがあります)。
2. 校正は原則として初校1回お願いします。
3. 抜刷は30部に限り進呈します。
4. 版權は本会に属します。