むら測定の実際*

会 員 風 間 健**

1. ま え が き

むら試験機は種類が多いので、購入に当って選択に迷う。「どの試験機が良いでしょう」と相談を受けた場合、私は「むら測定をどこに置かれますか」と逆におたずねすることになっている。それは むら測定には2つの異なる目的があり、測定機に対する要請がかなり異なるからである。第1は工程の太さ制御の目的、第2は糸質評価の目的である。太さ制御の場合は工程中またはその近辺で測定するため、どうしても温湿度、張力、密度等の外乱を受けやすいので、測定に当ってはこれらが試験機に及ぼす効果を十分に把握する必要がある。糸質評価は試験室に持ち込んで測定できるから、試験機の問題は外乱よりも評価装置にある。これらの目的を達するために、検出部で太さむらは何かの信号の むら に変えられ、これを変換部で増幅されたり必要な形に変形されたりし、演算装置、記録計、制御操作部、評価部のいずれかへ送られる。このうち検出部、変換部、記録部を本稿の範囲とし、まず測定の原理を述べ、つぎに特長と問題点を明らかにした。

2. むら測定の原理

2.1 検 出 部

検出部は、むら を何かの信号に変え、後段で取扱いやすい形にするのが任務である。検出部を原理別に分類すると、電気、機械、光、空気、放射線等になる。本節では各原理の代表的なものを抜き出して述べ、他は補足的にこれに付け加える。

(a) 静 電 容 量 法

平行板蓄電器の間に糸を通す。

$$C = \frac{\epsilon A}{4\pi L} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに C は静電容量、 ϵ は誘電率、 A は極板の面積、 L は極板間隔である。むら検知の際は、 A 、 L を一定にして糸を通し、 ϵ を変化させて、 ϵ と線型に変化する C

(第 1 図)

を求める。この場合、糸の容積 V と容量 C は線型関係になる。³⁾ すなわち、平行板蓄電器上の小さい面積を考え、縦横長さをそれぞれ dx 、 dy とし、極板間に誘電率 K の太さ u の糸が通ったとすれば (第1図)、空気の誘電率は1であるから、微少部分の静電容量 δC は (1) 式より

$$\delta C = \frac{dx \cdot dy}{4\pi \left(L - u + \frac{u}{K} \right)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。 $\rho = 1 - (1/K)$ と置き換えて不定積分を行なえば

$$C = \frac{A}{4\pi L} + \frac{\rho V}{4\pi L^2} + R \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに A は極板の面積、 V は極板中における試料の容積である。 R は残余項で

$$R = \frac{1}{4\pi L} \iint \sum_{i=2}^{\infty} \rho^i \left(\frac{u}{L} \right)^i dx \cdot dy \quad \dots\dots\dots (4)$$

と表わされる。 R は u が L に比べて十分小さければ、すなわち糸の太さが極板間隔より十分に小さければ、省略できる。試験機ではこのように設計するのが普通で、この場合、(3) 式は第3項がなくなる。かくて C は V と線型関係を持つことが知られる。(3) 式において、試料の誘電率 K が試料の容積 V の効果よりもきわめて小さい点に注目されたい。

電氣的検出法には、静電容量法のほかに電気抵抗法が試みられている。

長さ l 、断面積 A 、導電率 λ の試料の抵抗 R は、一般に次の式で表わされる。

* Practice in Measuring Yarn or Sliver Irregularity.

** K. Kazama, Member. 日本化学繊維検査協会

$$R = \frac{l}{\lambda A} \dots\dots\dots (4)$$

太さむら を電気抵抗法により求めることは原理的に困難な面が多いので、まだ製品化されていない。すなわち、抵抗は温度、水分率により変化すること、油剤等の影響がきわめて大きいこと、繊維の導電率自体が小さいので抵抗が大きく、微小な太さ変化を取り出せないこと、測定電極との接触状態の影響が大きいこと、糸の構造のむらが表われること等である。これらの難点を解決するため、試料を電解質溶液に漬け、溶液を一定の率だけ糸に含ませ、その状態で測定する方法が試みられた³²⁾。しかし糸に対する液の吸着、浸透の状況がはっきりと掴めないで、測定された量の意味が明らかでないのが欠点である。

(b) ローラ変位法

ローラの間に試料を通す。上部ローラのみを上下に移動できるように設計しておく、試料の太さ変化は上部ローラの上下移動量として表われる。その上下移動量は、てこを用いて機械的に拡大したり、インダクションゲージを用いて電氣量に変換されたりする。後者は Pacific evenness tester が有名である。また紙やセルロイドの厚み計として、電磁コイルをローラとして用いたものがある³⁶⁾。第2図は変位法の原理を示すものである。

(第 2 図)

固定の駆動ローラ R_f の上を試料が通り、可動ローラ R_m を上下動させ、その変位が可動鉄片 P の動きとなり、コイル L_1 と L_2 のインダクタンスを変える。このインダクタンス変化が交流ブリッジによりメータ M に取り出される。原理的には測定感度は 1μ 、測定範囲は $0 \sim 18\text{ mm}$ 程度とされている³⁶⁾。

このほか機械的測定法は、振動法が実用化の域にある^{37,49)}。

2本のガイドを経て、張力 T で移動する糸があるとき、ガイドの一方は静止せしめ、他方を糸に横波を与えるように振動させると、その一次の共振を起すときの周

波数 f を求めれば、試料の単位長当り質量 m は

$$m = \frac{T}{4l^2 f^2} \dots\dots\dots (5)$$

より求められる。ここに l はガイド間の長さである。ただしこの式が成立するための仮定として、糸の断面形やかたさは同一試料では一定であることが必要である。

(c) 光電法

糸を光に当てて糸の影を作り、これを光電管に入れて電氣量に変換する方法である^{15,17,18,20)}。他の方法が糸の実質的な体積または質量を求めているのに対し、光学法では見かけの太さを求める点に大きな相違がある。

原理的に分類すると、糸に光を当てるときに、光の焦点部分を糸に当てるか、平行光線部分を当てるかでまず分けられ、つぎに光を糸に直角に一方から当てるか多方向から当てるかまたは糸軸方向に当てるかで分けられる。これら当て方について、その特長を考えてみよう。

焦点部分と平行部分のいずれを利用するかは、感度を上げるか精度を上げるかの違いである。すなわち、焦点部は光束が最も絞られた個所であるから、同じ試料でも光束の遮へい度は高く、光束が発散すると共に試料の影も発散し、拡大された状態で光電管に入る。これに対して平行光線はレンズを経て収束状態で光電管へ入るためむしろ影は縮小される。しかし焦点においては試料の前後左右の変位はいずれも大きな影響を結果に与えるが、平行部を利用すれば、このような誤差は全く起らず、高精度の測定が可能である。したがって前者は計数の目的に(例：ネップテル)、後者は計量の目的に(例：見かけ太さの測定)用いられる。

一方からのみ当てる方法は、変動の検出のみを目的とするネップテル等に用いられる。計量を目的とする場合は、平衡用光電管を別に備え、この光量と測定光量との差を測定値とする方法が多い。SERC³⁹⁾、見かけ太さ測定器⁴⁰⁾、欠点検出器等が例である。また富士電子工業は光を糸軸方向から当て、焦点距離の短いレンズで焦点部の糸の太さ断面を扁平の影響なしに調べた。

(d) 空気マイクロ法

第3図において、 $A \sim F$ は圧縮空気の製造過程である。ゲージ G に表われる圧力 P_0 の圧縮空気が、流入ノズル H を経て、流出ノズル I から流出する。このとき流出ノズルの中に試料 Y を通すと、空気の流出を妨害するから、そのときの試料の太さに応じて流出ノズル中の圧力 P_1 が変化する。この P_1 をペロー J の伸縮から読み取って、試料の太さを知るのが空気マイクロメータである^{23~25)}。この方法は、ほかの分野でも長さ、幅、径、厚

(第 3 図)

さ、形状、力、速度、流量等の測定に広く用いられている。流出ノズル面積と指示圧の関係は、特性曲線により示される。流入ノズルの面積を a_1 、流出ノズルの面積を a_2 とし、横軸に a_2/a_1 、縦軸に P_1 をとり、種々の P_0 について特性曲線を描くと第 4 図を得る。図中の○印はこう配最大の点で、これを最大倍率点と呼ぶ。最大倍率

(第 4 図)

点の付近は曲線がまっすぐになるので、流出ノズル面積が指示圧と線型になるから、この範囲を測定に用いる。初圧 P_0 が 2.67 より大きい場合と、1.08 より小さい場合とでは種々の性質が違うので、前者を高圧式、後者を低圧式と呼んで区別する。両者の間を中圧式と呼び、すべての性質が両者の中間である。両者の比較を第 1 表に示す。

倍率 0.033 とは、 a_2/a_1 が 1 だけ変化すると、 P_1 が 0.033 kg/cm^2 絶対だけ変化するという意味で、 1 kg/cm^2 絶対は、水銀柱の 10000 mm である。たとえば、 a_1 を 0.5 mm^2 、 a_2 を 0.5 mm^2 、倍率 0.033 のとき、流出ノズルが試料によりふさがれて 0.4 mm^2 に変化したとすれば、 $a_2/a_1 = (0.5 - 0.4)/0.5 = 0.2$ となり、指示を水銀柱で行なうとすれば、その変化高さは

$$0.033 \times 10000 \times 0.2 = 66 \text{ mm}$$

である。すなわち、 0.1 mm^2 の変化を、 66 mm の変化に拡大するという意味である。この拡大倍率は、初圧 P_0 とともに増加する。

実数表示の島津製と、百分率表示のコッス製とがあり、その性能を第 2 表に比較した。

(e) 放射線法

放射線源—スリット—試料—検出部の順に配列する。第 5 図はその説明図である。放射線源としては β 線が

(第 5 図)

最も適している。繊維の場合、 α 線は吸収され過ぎ、 γ 線や X 線は透過し過ぎて、いずれも微小なむらの検出が困難である。β線源のうち、とくに繊維製品の厚み計（むら試験機）には、 ^{204}Tl が適すとされ、またスライバには ^{45}Ca 、 ^{90}Sr 、 ^{36}Cl 等がよくロービングや糸には ^{35}S 、 ^{14}C がよいといわれている。よい線源とは試料の最大太さの場合に、試料を経た β 線の back-ground が最小になるように吸収されることで、この場合に最高感度を得ることができる。さらに半減期が長く、価格が安く、エネルギー分布や混合物にも注意が必要である。スリットは細いほど感度が良いが、遮へいが過ぎると検出が困難になる。試料に応じて適当な寸法のスリットを用いて行けば、測定範囲を糸からスライバに広げられる。つぎに計算部は、イオン箱やガイガ計数管が用いられて来た。いずれも価格が安く、取扱いは容易であるが、試料

(第1表) 低圧式と高圧式の各種特性

a_1 : 流入ノズル面積, a_2 : 流出ノズル面積, K : 空気の比熱の比 ($=C_p/C_v$), P_0 : 初圧,
 P_1 : 指示圧, P_2 : 大気圧 (1.03)
 圧力はいずれも kg/cm^2 絶対で表わす

項 目	低 圧 式	高 圧 式
1. 範 囲	$P_0 < 1.08$	$P_0 > 2.67$
2. 特 性 式	ベルヌーイの定理より $a_1 \sqrt{P_0 - P_1} = a_2 \sqrt{P_1 - P_2}$	圧縮性流体のベルヌーイの定理より $a_1 P_0 \sqrt{(P_2/P_0)^{2/K} - (P_1/P_0)^{K/K+1}}$ $= a_2 P_1 \sqrt{(P_2/P_1)^{2/K} - (P_2/P_1)^{K/K+1}}$
3. 最 大 倍 率	$\frac{3\sqrt{3}}{8} (P_0 - 1.03)$ 倍率は 0.033 より小	$0.325 P_0$ 倍率は 0.87 より大
4. 最 大 倍 率 点 の P_1	$0.75 P_0 + 0.27$	$0.73 P_0$
5. 最 大 倍 率 点 の a_2/a_1	$1/\sqrt{3}$	1.24
6. 測定に利用できる範囲 完 全 直 線 域 実 用 域 測 定 可 能 域	$a_2/a_1 =$ 0.48 ~ 0.68 0.4 ~ 1.1 0.2 ~ 1.4	$a_2/a_1 =$ 1.08 ~ 1.4 0.8 ~ 2.2 0.4 ~ 2.8
7. 初 圧 制 御 部	水 柱	バネとダイヤフラムかベロー
8. 指 示 装 置	水柱, ゴム膜, 光てこ	弾性膜, ブルドン管, ベロー, 浮子
9. 粘 性 の 影 響	大きい, そのため測定長の効果が大きい	少ない, 流出部面積のみによる
10. 応 答 速 度	遅 い	早い可能性がある
11. 特 長	自家製可能, 低い測定圧でよい	高倍率, 応答速度が大

(第2表) 空 気 マ イ ク ロ 型 試 験 機

名 称		コ ッ ス 糸 む ら 試 験 機	糸 し の む ら 試 験 機
メ ー カ		富 士 機 器	島 津 製 作 所
初 圧		0.5 kg/cm ² ゲージ (中圧式)	1.0 kg/cm ² ゲージ (中圧式)
測 定 範 囲	太	0.006 s	0.5 s
	細	40 s	20 s
ノ ズ ル 孔 径 (mm φ)		0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 1.0 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0 計 19 組	0.5, 0.8, 1.0 1.5, 2.5, 5.0 計 6 組
検 出 方 法		対抗ペローズ式	単一ペロー方式
大 む ら 試 験		切換ロックによる付加容量	な し
試 料 速 度		3 m/min	1.8 m/min
記 録 速 度		試料速度の1/10, 1/20, 1/40, 1/60	試料速度の 1/50, 1/10, 1/5
記 録 表 示 方 式		百分率表示	30 種類の針金による実数表示
フ ル ス ケ ー ル		100 ~ 25 % まで連続に変化可能	標準ゲージにより, 実長を設定
評 価 部		U % 積 算 計	13 個のカウンタ方式
圧 縮 機 動 力		½ HP	½ HP
備 考		ローラにより搬送容易	所定の測定長を得るタイマ付き
概 算 価 格		9 0 万 円	5 0 万 円
取 扱 社		コ ッ ス 商 事	島 津 製 作 所

を高速で通して細かいむらを検知するには、シンチレーションカウンタがよい。

2.2 変換部

前節の各種原理により検出された量を、後段の記録計、演算器、制御器等に適した形に変換する装置を変換部という。

静電容量を電圧に換えるのが第6図に示した4例の回路である。(a)は周波数変調法¹¹⁾、(b)、(c)は共振法^{2,13,50)}、(d)は交流ブリッジ法⁵⁾である。変位を電圧に換えるにはインダクタンスゲージ法が、光量を電圧に換えるに

ために、種々の方法が試みられている。

(a) 時定数回路⁴⁾

コンデンサと抵抗を直列に結んだ回路に、直流電圧 e_3 を加えて充電する。このとき、コンデンサの両端の電圧 e を、電圧計により求める。すると飽和電圧 e_3 に達するのにかかる時間の長いものと短いものとができる。これらの充放電曲線は次式で表わされる。

$$\text{充電} \quad e = e_3(1 - e^{-t/RC}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{放電} \quad e = e_3 e^{-t/RC} \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここに e は自然対数の底、 R と C は回路中の抵抗と容量である。充放電の遅速は RC により定まるので、 RC を時定数と呼び、 R を $M\Omega$ 、 C を μF で表わすと、 RC は Sec になる。この RC を十分に大きく定めれば、短いむら または小さいむらは埋没して現われず、また各測定値は時定数に応じた区間の太さの平均値(正確には(7)式による時間の重みつき平均値)になる。この原理による大むら試験は、切換えによって大きな容量の蓄電器を回路に入れるように設計され、イナータ、ダンプ、ペンアベレージ等と呼ばれている。空気マイクロ回路においても、同じ原理で大むら試験が行なわれる。すなわち、抵抗と容量を増加すればよく、切換えコックでタンクに短絡して時定数を大きくする方法が採用された例もある。²⁶⁾ 一般にこうして得られた結果は、測定電極やスリット長さを実際より長くした場合の結果と等しくなるという考えから、そのような長さを equivalent cut length と呼ぶ。これは時定数 t (sec) と試料の送り速度 v (m/sec) の積 tv の約2~3倍とするのが普通である。

(b) 共振回路

共振周波数の異なる共振回路を用意しておき、切換装置によりそのいずれかを用いる。この両者は共振点の違いにより裾の高さが変わるから、低い周波数に高いものと、高い周波数に高いものとを、具合よく組み合わせるよ

(第7図)

(第6図)

は光電管が用いられる。放射線の量を電圧に換えるにはガイガ計数管かシンチレーションカウンタが普通である。前者は 5×10^3 個/sec、後者は 1×10^6 個/sec まで数えられるから、精密または高速な測定には後者が適している。さらに簡単には、放射線によるイオン生成量を求める電離箱を用いてもよい。

測定されるむらの個々の数値は、検知部の長さ中の太さの平均値である。すなわち、静電容量法ならば電極の長さ、光電法や放射線法ならばスリット長さ、振動法ならばつかみエッジの間隔、空気法ならばノズル間隔である。これらは最大でも数 cm までなので、その10倍、100倍の長い距離にわたる大きなむらを調べるには不適當である。そこでこれらの長区間変動のむらを見る

(第3表) 静電容量型試験機

名 称		Uster Evenness Tester		Fielden-Walker Evenness Recorder	Brush Uniformity Analyzer	島津ユニバーサル イブンネステスト
メーカ		Zellweger Ltd (スイス)		Fielden Electronics	Brush Electronics	島津製作所 (日)
		B 型	C 型	Limited (イギリス)	Co. (アメリカ)	
測定範囲	太	0.02 s	10 000 d	0.006 s	0.008 s	電極間隔 6.0mm まで
	細	150 s	10 d	350 s	80 s	—
電極の形状		並置式	並置式	差換式	差換式	並置式
電極数		8 組	6 組	4 組	3 組	6 組
変換方法		第6図 (a) 法	第6図 (a) 法	第6図 (d) 法	第6図 (b) 法	第6図 (c) 法
電極長		スライバ 24,16 mm ローピング 10 mm 糸 8 mm		10 mm	—	—
試料速度		2, 4, 8, 25, 50, 100 yd/min	2, 4, 8, 25, 50, 100 yd/min	サイクルによる 6.60 または 5.50 ft/min	5 ft/sec 6 in/sec	2, 5, 10 m/min
記録紙速度		2.5, 5, 10, 25, 50, 100 cm/sec	1, 2.5, 5, 10, 25 cm/sec	50 サイクルで 12, 6, 3.1 in/min	5, 25, 125 mm/sec	4, 10, 20 cm/min
大むら 試験	名称	(half inert) inert	inert	damp	Pen average	むら帯域分離
	時間	(1sec) 1.6 sec	1.6 sec	不 明	0.1, 0.2, 0.5 sec	2 c/s, 1 c/s
フルスケール (%)		100, 50, 25, 12.5	100, 50, 25, 12.5	100, 50	100, 50, 25	50
評価部		U%積算計ほか	U%積算計ほか	U%積算計	範囲 Evaluator	平均むら率 (U%)
備考		計測器工業製あり 記録ペンは 25 cps まで	化 織 用 仮ねん機構あり	ポータブル電極 あり	番手測定可能	平均むら率の 記録可能
概算価格 (円)		1 6 0 万	2 8 0 万	8 0 万	1 8 0 万	4 0 万
取扱社		安宅産業	安宅産業	日綿実業	日米自動車	島津製作所

うに選べば、切換えにより周波数の分離を行なうことができる。第7図において f_0, f_0' に共振周波数を持つ回路の特性が、曲線 A, B であるとき、電圧 V_0 でカットすれば、周波数 f_0 を境界として全周波数を2つに分離できる。この f_0 を大むらと小むらの境界にとれば、A に切換えて小むらのみを、B に切換えて大むらのみを測定することになる。

2.3 記録装置

記録計は、一般にペン書きオシロと呼ばれている、可動線輪型の記録計が用いられる。高湿度に耐え、高速で通過する試料のむらに追従でき、取扱いが容易で、記録紙速度が数段に切換えられるという点が必要である。代表的に、ウースタの記録計の性能をつぎに挙げるが、むらの測定には、この程度の性能で十分と思われる。すなわち糸むらの最短波長を繊維長の2倍とすると、たとえば平均繊維長 1 in の場合、試料が 100 yd/min で走っても最大周波数は 30 cps で、これはもちろんフルスケールで現われない。

フルスケール電圧：-100%……6 mA
+100%……24 mA

内部抵抗：5000 $\Omega \pm 5\%$

振れ時間：14~18 msec, フルスケール 25 cps

チャート記録幅：2 in

ペン半径：90 mm

記録紙速度：2.5, 5, 10, 25, 50, 100 cm/min
の6段切換え

3. 各検出法の長所と問題点

(a) 静電容量法

水分の影響

水の誘電率は、繊維の誘電率の数倍から数10倍になるので、水分のむらが繊維の少量のむらを消去してしまうのではないかといわれる。たしかに繊維の誘電率は^{3,5)}その水分率により大きく変化するが、この誘電率変化が容量変化に影響を与えないように、試験機を設計することができ、この場合、容量は糸の太さのみによって変化する。実際のむら試験機の設計はこのように行なわれている。^{6,30)}その理論はつぎの通りである。

第8図のように、極板間隔 L の平行板蓄電器の中に、一方の極板に接して太さ u 、誘電率 ε の糸が入ったとする。糸がないときの容量を C_0 、入ったときの容量を C とし、両者の容量の差を $\Delta C (= C - C_0)$ で表わす。さて第8図の蓄電器は、 $(L - u)$ の空気のみを含む蓄電

(第8図)

器と、 u の糸のみを満した蓄電器とを直列に結んだと考え直してもよく、その場合、空気の方の容量を C_1 、糸の方の容量を C_2 とする。 C_1 と C_2 の C_0 に対する比は、空気の誘電率を1とすれば、(1)式より、それぞれ

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{L}{L-u}, \quad \frac{C_2}{C_0} = \frac{\varepsilon L}{u} \quad \dots\dots\dots (8)$$

である。また直列蓄電器の和の容量 C は

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \dots\dots\dots (9)$$

である。(8), (9)式から C_1 と C_2 を消去して(10)式を得る。

$$C = \frac{C_0 \varepsilon L}{\varepsilon(L-u) + u} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ΔC の定義より

$$\Delta C = \left(\frac{\varepsilon L}{\varepsilon(L-u) + u} - 1 \right) \times C_0 \quad \dots\dots\dots (11)$$

となる。この演算の目的は、糸の太さと誘電率との関係を求めることであつた。そこで糸が極板中に占める割合を $\lambda (\equiv u/L)$ とし、この項で(11)式を置換し、糸のそう入による容量の変化率で表わせば

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon(1-\lambda) + \lambda} - 1 = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon(1/\lambda - 1) + 1} \quad \dots\dots\dots (12)$$

となる。 λ が1, 0.5, 0.2, 0.1, 0.05 の各場合につき、

(12)式を描いたのが第9図である。 λ が大きいと、誘電率の変化が容量変化として敏感に表われるが、 λ が小さくなるにつれて、誘電率の変化は容量変化に与える影響が次第に減って来て、斜線部ではほとんど影響を与えない。すなわち、 λ が0.1以下で試験機が動作するように設計されれば、水分率や大気条件がいくら変化しても、全く影響はなく、糸の太さのみの関数として容量が変化する。実際、斜線部では $\varepsilon \gg 1$, $\lambda \ll 1$ であるから

$$\frac{\Delta C}{C} \approx \frac{\varepsilon}{\varepsilon/\lambda} = \lambda = \frac{u}{L} \quad \dots\dots\dots (13)$$

と(12)式は変形され、容量変化は u と線型関係にある

ことが知られる。一般に λ は 0.4 以下ならば、むら試験機として実用に耐えたとされている。⁵⁾ スライバやローピングは、一見電極に充満しているようであるが、空気量と繊維質との比はやはり小さい。

誤解してならないことは、ここで言う水分とは繊維に吸着されたものを言い、水分が水滴となって繊維の外側に付着している場合を意味しないことである。水滴は、それだけ測定対象が増えたことになるから、容量が増えるのも当然である。スライバをケンスに収めて一晩置くと、温度が下ってケンスに水滴が生じ、ケンスに接していたスライバ部に水滴が付着するという。この場合は、容量式の むら試験器に、⁸⁾ 水分の影響が周期的に表われるのも当然である。

しかしこれ以外の因子も試験機には作用するらしく（たとえば水分による電極の漏えい抵抗等）実際の測定においては、水分率によって容量が変化するという報告もある。⁵¹⁾

電極内の位置の影響

電極内で電場が一樣に分布していないと、電力線の密な個所では太く評価され、疎な個所では細く評価される。初期のウースタでは、電極を 1 枚おきにアース板とし、高圧電極の周囲にもアース板を置いて端の効果をなくすように設計されていた。（第 10 図 A）ところが高圧電極とアース側との電力線分布を比較した場合、前者は収束し、後者は発散するので、非常に大きな電場密度の差が生じて、高圧側電極に接したら +40% を示す同じものが、アース側電極に接すると -40% を示すくらい異なる。この場合、電場密度は第 10 図 A のように大きく変化しており、容量変化量 ΔC もこれと一致する。^{10, 31)}

(第 10 図)

方、この蓄電器の一端を接地せず、たとえば蓄電器の両端に交互に正負の電位が加わるような状態を作れば、第 10 図 B の状態になる。この場合は極板間の中央が最も電力線密度が疎となるが、その変化は非常にわずかである。現在の装置は、ほとんどが B の型であるから電極内の試料の位置による変動は考えないでよい。しかし試料の密度が高い場合、³⁴⁾ 電極間隔が広い場合には、この効果は重要である。

温度の影響

測定室の温度は試験機の回路素子、特に抵抗と測定用空気蓄電器の定数に変化を与える。ウースタむら試験機の場合、大気温度が 10°C 上昇すると $U\%$ の値が 10% 増加するとされている。¹¹⁾

試料の性質の影響

まずよりが甘いと、扁平性⁷⁾の影響やよりむら、密度むらの影響が現われる。

対策は仮よりを与えるのが普通で、Rotafil と呼ばれる仮より装置や、ウースタむら試験機 C 型の付属装置がすでに製品化されている。

逆によりが強過ぎる場合は、測定中に試料にビリが生じ、スナール状で電極に入って、ネップのように記録される。この現象は標準より数でも綿糸の場合 40 s 以上の細いものには起るから、張力調整に注意が必要である。また繊維の軸方向と幅方向の誘電率が異なるから（軸方向は長さ方向の約半分）、より角度が増すと糸の誘電率も増加する。その影響はより角度が 45° になると、平行な場合の約 1 割増と計算された。⁷⁾ これはよりむらが糸むらに影響を与える原因のひとつであるが、実際のよりむらはより角度の差がわずかであるから、このより角度の問題はあまり重要でない。

つぎに異なる繊維を混紡した糸の場合、太さの測定値に混紡むらの影響が入らないかという疑問がしばしば出される。これは(12)式で知ったように試料の太さに及ぼす試料の誘電率の影響は、きわめて小さいから混紡繊維が何であろうと、その影響の小さいことは明らかである。影響の度合は、つぎの式から求められる。^{6,30)}

$$CV_I = \sqrt{CV_R^2 + \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right) CV_B^2} \dots\dots\dots (14)$$

ここに CV_I は試験機の積算計の読み ($CV\%$)、 CV_R は試料の単位長当たり重さの変動率 ($\%$)、 CV_B は糸軸方向の混紡むらの変動率 ($\%$)、 C_1 、 C_2 はそれぞれ混紡繊維により定まる係数 (たとえば羊毛 1.0、ナイロン 0.9)。この式から計算すると、混紡むらの影響は、最悪の条件でも $CV\%$ で 0.3% である。したがって混紡の影響は考慮する必要がない。もし混紡品の指示値にどうしても納得できない結果が現われたとすれば、その理由は混紡むらではなく、この試料に静電気が発生したためと考えられる。合成繊維およびその混紡糸の静電気発生は、試験室が乾燥していたり、ガイドを何段も通したり、試料速度が速かったりした場合は非常に顕著で、容量に与える影響はきわめて大きい。したがって高速測定の場合には、ガイドを用いないか、³³⁾ 電極に入る前に静電除去装置を用いるかが必要である。³⁴⁾

さて試料の密度の影響を検討してみよう。スライバの同じ個所を数回むら試験機にかけると、その積算値は次第に減少する。(第 11 図)¹⁰⁾ これは疲労によりスライバがゆるんで、密度が低下したために、静電容量が減少したのではないかと考えられるが、理論的には説明されていない。すなわち、質量一定で体積が異なる試料に対する電力線の効果は、いまだに明らかでない。この問題は、糸の場合もケバやバルキの効果に関係するから重要である。

(第 11 図)

最後に油剤の影響があるが、筆者の実験の範囲では、つぎの通り結論された。紡績油剤のうち、繊維の摩擦係数を改善するオイリング用のものは、ほとんど影響がない。一方、静電気防止用の油剤の一部には、極端にむらを拡大する作用を示す油剤がある。油剤を加える以前は、 $U\%$ が 12% のものが、油剤添加後は 21% に上昇した例さえある。このほか、油剤が極板に付着すると、どんな油剤でも影響が大きいから注意を要する。なお、油剤以外に極板に付着して結果に影響を与えるものとして、綿繊維の油脂分、のり付糸の粉末状のり、合成繊維の表面からはく離される低分子粉末等があるので、念のために付け加えておく。

(b) ローラ変位法

この方法の長所は、検知部がローラ間距離という意味の明瞭なものである。得られた結果に対する疑問が少ないことである。ローラ間隔は、付属のマイクロメータにより正確にキャリブレーションができ、ゼロ点設定、感度の吟味、指示の線型性の検討等が容易に行なえる。とくに試験室の湿度や試料の水分の影響が全くないことは、現場向きに強味である。

短所は検出ローラ面の仕上に精度が要求されることである。また保全の面でも、たとえば試料が金属や鉱物質等の硬い異物を含んでいて検出ローラ面を傷つけると、次からその傷が仮想のむらとして記録されることになる。また摩擦も起る。このため、この方法の精度が制約され、原理的に考えられる精度より 1 桁程度低いのが普通である。たとえば Cogest の場合、最大感度が 1/1000 in である。³⁵⁾ また、試料のつぶれの影響を少なくするために、試料よりわずかに幅の広い溝が固定ローラに刻んであり、ここに可動ローラの凸部が噛み合うように設計されているが、この溝に試料を圧着するためのウェイトがむらに対する応答速度を遅くする。ウェイトは試料の太さにより加減され、糸の場合はアームの自重のみであるが、いずれにしても急激な太さ変化に対しては慣性が大きくて追従できない。そのため試料速度も制約を受けることになる。

つぎに振動法について述べる。

この方法の長所は、とにかく周波数だけを求めればよいので、構造上の精度を上げる必要はなく、アンプや光電池の安定性が不要で、したがって価格も安いことである。また試料の質量に忠実で、繊維の種類や水分率の影響も受けにくい。短所は、ガイド間の試料全部の平均値が求められておらず、ガイドに近い部分ほど振動に関与

せず、中央が最も大きく振動して強く指示値に影響することである。このため、ガイド間隔の約6割の長さを有効ゲージ長と呼び、指示値に関与する長さとする。その他、糸を高速に導くと、糸が走ることに伴う振動が発生すること、張力を一定に保つのが困難であること、ガイドとの摩擦のために張力に変化が生じること、振幅の大きさが振動数に影響を及ぼすこと、(5)式が成立するための仮定が必ずしも正しくないために試料によってはかなり誤差を生じること等も欠点である。

(c) 光電法

光学的方法の特長は、眼にうつる太さに近い表示を行ない、ふくらんだ糸や紡糸の工程等における太さの工程管理⁴¹⁾にも適する。この場合のように、水分の影響を受けず、しかも非接触の測定が可能で最も特色を発揮する。また測定部のスリットにマイクロメータを用いて、簡単に絶対値を得ることができる。測定に際しては、スリット長を0.1~0.05 mm程度まで細くでき、糸の断面に近い数値を得られるのも、ほかの方法にない特色である。欠点は、振動法や抵抗法と同じく、糸のみしか測定できず、スライバやロービングに用いるには、織物の定位置制御の場合のように、2組の光源と光電池とが必要である。またケバの影響が大きく、眼に感じる以上に試験機では大きく評価し、見かけ太さの変動率はケバの量の変動率にほかならないとする実験もある¹⁶⁾。ケバの影響を除くために、非常に強い光線を当てる工夫も行なわれた²¹⁾。透過率の高い赤外線を使うのもおもしろいであろう。赤外線は試料の色の影響を除くにも有効である。試料は着色すると白の場合より細く指示され、5%程度の誤差を生じる³⁹⁾。そのため絶対値を求めたり、霜降り糸のむら¹⁶⁾を求めたりするのに具合が悪い。そのほか、張力^{14,19)}の影響を受けやすいのが欠点であり、とくにバルキ等の低い張力を必要とするものは、一定張力に保つのがきわめて困難である。現在まだ8 g以下で一定の張力に保てる簡単な装置はない。よりの影響はスリット長が短いほど大きく、これは糸のよりによる「くびれ」を検出するためである¹⁶⁾。

(d) 空気マイクロ法

i) 特長

空気の検知方式の特長は、一般的につぎのように言われる⁴³⁾。

(1) 耐久性に富み、狂いも生じない。(2) 測定者の熟練を要せず、個人誤差もない。(3) 試料の形状を変えずに測定できる。(4) 異物の付着を除去し、保存

時の変形を修正する。(5) 感度調節が容易。(6) 増幅度大。(7) 指示が容易。(8) 遠隔測定可能。(9) 取扱いに特別な注意心得が不要。(10) 補修が容易。

(11) 製造が簡単。(12) 用途が広い。(13) 自動制御系に組込める。(14) 経済的である。

ii) 問題点

応答速度が電気的な方法に比べて遅い。これはノズルの抵抗と、ベローの容量により、信号をダンプする回路が形成されてしまうためである。感度を上げるためにノズルの面積を小さくするほど、また指示を圧力に忠実にするためにベローの容積を増すほど、応答速度は遅くなる。応答速度が遅いとは、小さいむらやネップは平均されてしまい、チャートがなめらかになることを意味する。しかし一般に応答速度と感度とは矛盾する要求なので、広い範囲の太さを同一機械で求めること自体に困難がある。一般に空気式むら試験機の試料速度が遅いのも、応答速度に原因がある。

さて流出ノズルに試料が入るときと出るとき²⁸⁾の2回とも、太さによる指示圧が影響を与える。すなわち1個のネップが2回現われ、また常に2個所の平均値が指示されていることで、これを2回検知の問題と呼び、空気式の欠点とされている。この対策として、片側のノズル厚さをきわめて大にしたり、片側にラビリンスと呼ぶ空気抵抗羽根を数枚取付けたり、片側に空気溜めを作ったりする工夫が行なわれ、良好な結果を得た²⁸⁾。

このほか、大気²⁹⁾の圧力、温湿度の影響、試料のノズル中における位置の影響、試料の断面形やケバ等の表面状態の影響等が研究されたが、いずれも大きな影響は見られなかった。

また調整の面では空気式はかなり熟練を要し、とくに空気洩れが生じた場合には簡単なリークの検知法がないので、発見や対策が困難である。測定時に試料をノズルに通す操作が面倒なものも欠点である。

(e) 放射線法

放射線法は質量に対して比較的忠実な指示を与える長所がある。質量 m の試料の場合、測定された計数値 N はつぎの式で表わされる⁴⁵⁾。

$$\log_e N = \log_e N_0 - \frac{\mu}{\rho b} \cdot \frac{m}{a} \dots\dots\dots (17)$$

ここに N_0 は試料がないときの計数値、 a はスリットの縦幅、 μ/ρ は質量吸収係数である。ところが川上⁴⁶⁾はつぎのような問題点を指摘している。すなわち測定箇所における試料の位置の変動、同一密度で体積が変化した場合の影響、実際に測定に関与している面積の確認、試料

または大気中の静電気の影響, 大気温度や気圧の影響, 電源変動の影響, スリットおよびガイドの形状等である。とくに試料の位置の変動は, 体積変化の場合を重心位置の変化と見なせば, 全く同じ現象なので, スライバのような疎な物質にはきわめて重要であり, (17) 式もその補正が必要であるとした。

引用文献

- 1) W. Wegener, H. Bechlenberg; Textil-Praxis, **14**, p. 35 (1959), p. 129 (1959), 海外繊維技術文献集, **10**, p. 446 (1960)
- 2) G. N. Boyd; J. Text. Inst., **40**, T407 (1949)
- 3) J. W. S. Hearle; Text. Res. J., **24**, p. 307 (1954)
- 4) W. C. Elmore, M. Sand; p. 249, Electronics, Mc Graw Hill (1949)
- 5) P. H. Walker; J. Text. Inst., **41**, P 446 (1950)
- 6) H. Rocher; J. Text. Inst., **44**, P 698 (1953)
- 7) C. Mack; J. Text. Inst., **46**, T 500 (1955)
- 8) J. Kanira; Text. Praxis, **10**, p. 998 (1955)
- 9) J. A. Truitt; Rayon Synth. Text., p. 40 (1951-2)
- 10) C. J. Von Zwet, W. A. Nienhuis; J. Text. Inst., **46**, P 790 (1955)
- 11) Zellweger; Manual for the Uster evenness tester and integrator (1954)
- 12) W. T. Waters; Text. Res. J., **25**, p. 686 (1955)
- 13) W. C. Harris etc.; Text. Res. J., **26**, p. 569 (1956)
- 14) A. Barella; Ann. Sci. Text. Belges, p. 58 (1955-12)
- 15) F. Maillard etc.; Bull. Inst. Text. France, p. 7 (1955-4)
- 16) W. J. Onions; J. Text. Inst., **41**, P 480 (1950)
- 17) J. L. Spencer-Smith etc.; J. Text. Inst., **41**, P 486 (1950)
- 18) B. L. Banerjee, M. K. Sen; J. Text. Inst., **46**, P 742 (1955)
- 19) よりの研究, 海外繊維技術文献集, **6**, p. 18 (1956-7)
- 20) 糸の見かけ直径測定用の新型糸むら試験機, 海外繊維技術文献集, **6**, p. 14 (1956-2)
- 21) 糸のケバの新しい考え方, 海外繊維技術文献集, **6**, p. 1 (1956-5)
- 22) 石原誠一郎; 空気マイクロメータ, p. 22 (規格協会)
- 23) 森平三郎; 織工誌, **2**, p. 373, p. 629 (1936)
- 24) W. L. Balls; J. Text. Inst., **39**, T 225~231 (1948)
- 25) 白樫 侃, 山口正隆; 繊維学会誌, **6**, p. 141 (1950)
- 26) 小林恵吾, 倉林 昭; 繊維機械学会誌, **9**, p. 40 (1956)
- 27) 磯部 孝; 工業測定便覧, p. 123 (1954)
- 28) 小林 昭; Engineering, p. 278 (1953-6)
- 29) 塚原鶴夫; 精密機械, p. 387 (1951-12)
- 30) H. Löcher; Textil Rundschau, No. 2 (1953-2)
- 31) J. Grignet; Ann. Sci. Text. Belges, p. 78 (1956-9)
- 32) 加藤三千夫, 坂奥喜一郎, 吉田幸吉; 繊維機械学会誌, **7**, p. 44 (1954-7)
- 33) 繊維機械学会誌, **11**, p. 500 (1958)
- 34) Rayon Revue, p. 34 (1959-11)
- 35) S. Rehlein; Der Spinner und Weber, No. 14, p. 766 (1959)
- 36) 寺尾 満, 木村 磐; エレクトロクロス講座, 応用篇第3巻, p. 47, 共立出版 (1958)
- 37) J. G. Downes, B. G. Leary; Text. Res. J., **28**, p. 497 (1958)
- 38) L'Industrie Textile, No. 876, p. 20 (1960)
- 39) 岸本忠次郎, 風間 健, 藤森岩男; 中央検査所彙報, 第75号 (1959)
- 40) B. J. Mathew, J. L. Spencer-Smith; J. Text. Inst., **44**, T 77 (1953)
- 41) L. Duillet; L'Industrie Textile, No. 878, p. 177 (1960)
- 42) 島津製作所; 島津式篠斑試験機取扱説明書(1957)
- 43) 塚原鶴夫; “空気マイクロメータ”, 科学技術社 (1954)
- 44) P. R. Ewald, C. B. Landstreet, Text. Res. J., **27**, p. 493 (1957)
- 45) 久田太郎, 野崎長二ほか; 名工試報, **2**, p. 1 (1953)
- 46) 川上達也; 繊維機械学会誌, **13**, p. 33 (1960)
- 47) A. Barella; L'Industrie Textile, No. 874, p. 753 (1959)
- 48) 野崎長二, 愛野 彰; 繊維機械学会誌, **8**, p. 9 (1955)
- 49) 京工織大繊維物理教室; 繊維機械学会誌, **14**, p. 60 (1961)
- 50) むら 測定と評価の実地講習会テキスト, 資料 p. 111, 繊維機械学会 (1961)
- 51) G. A. R. Foster; J. Text. Inst., **48**, T 109 (1957) 海外繊維技術文献集, **18**, 1 (1958)