綿スライバむら連続制御に関する実験*

(昭和41年3月1日受理)

松 本 庄 平**

高 田 靖 士

杉 谷 寿 一

→ 摘 要 ←

目 的

スライバむら開回路連続制御において、供給スライバ速度は一般に低速で 20 m/min である。これを 35 m/min の高速にしたとき、むら修正能力を失わないための必要な点を特定の制御装置について実験的に検討する。

成 果

むら修正装置の供給スライバ速度の高速化において、修正効果を実現するには、検出ローラとバックローラの間のローラゲージを適切にすることが肝要である。それは装置の特性、たとえばむだ時間のある一次おくれであれば、時定数、むだ時間（この実験装置では、それぞれ 0.120 sec, 0.015 sec）より決まる全体のおくれ時間に依存する。

良好な修正能力を得るためには、ゲージの長大でないこと、およびむらの修正時には、そのむらの繊維先端密度がちょうどドラフトローラのゲージの中に入っているとき、ローラが変速すること、これらの条件を満足させねばならない。

また検出ローラにスライバを導くガイド（フリクタ）も付加的なむらとして影響を有するので、適切なものを選ぶ必要があることがわかった。

1. ま え が き

スライバむらを開回路比例連続制御により修正することについては、理論的、実験的に充分解明しつくされて^{1,2)}いる。しかしながら、カードおよび練条機^{1,2)}の高速化につれて、むら修正装置の高速化は必然的なものである。この高速化の意味は紡出速度のそれだけでなく、供給スライバ速度の高速化である。供給スライバ速度の高速化は制御装置、すなわちその特性に密接な関係がある。装置の特性が一次、二次おくれ、あるいはその他の形であっても、装置に対して特別に配慮しないと供給スライバ速度の高速化によって、検出ローラと変速ローラ間の距離を増加させなければならない。たとえば、むだ時間 0.7 sec、時定数 0.07 sec のとき、供給スライバ速度を 35 m/min とすると、この距離（以下ゲージと呼ぶ）は 19 cm 以上（3. 参照）となる。このようなときは、たとえ装置が修正動作をしても、ローラゲージ過大のためむ

ら修正能力が低下する。

この研究は供給速度が 35 m/min のような高速のとき、むら修正が可能であることを実験的に証明せんとする。ただし今後高速は 35 m/min（正確には 37.17 m/min）低速は 23 m/min（23.17 m/min）を意味する。

2. 実験装置およびその特性

2.1 実験装置

第1図の実験装置³⁾は従来の装置を改造したものである。検出ローラ B のトップローラ B₁ はむらにより微小変位する。これをレバー L₁, L₂, L₃, L₄ により拡大し、油圧サーボ O の入力となる。サーボにより倍力され、さらにレバー L₅, L₆, ベルトシフタ L₈ により、コーンプリーのベルトを大きく左右に動かす。すなわち O₂, F は同時に変速する。一方 M, B, O₁ は一定回転する。したがってスライバは MF 間でドラフトされ、むらが修正され矢印の方向に紡出される。標準ドラ

* An Experiment on Control of Unevenness of Cotton Slivers (Under Feeding Sliver with High Speed).

** S. Matsumoto, Y. Takada and S. Sugitani, Members. 京都工芸繊維大学 工芸学部

(第1図) 実験装置

フト比 1.31. むら修正能力は18%である.

装置改造の一つは、スライバ供給速度に応じるために、図のDをローラMに対して3~20cm移動可能にした。またレバーL₂を増設し、L₁とL₂との接触点は同一距離移動ができる。他の一つは、おくれ時間を短縮するため、レバーの重量、とくにベルトシフタL₃の重量を軽減し、慣性を低め、かつ剛性を高めてたわみをなくした。これは結果として良好な修正動作を得ることになった。

2.2 装置の特性

偏心ローラによる正弦波を検出ローラへの入力とし、出力をローラFの変速として周波数応答を求めた。

(第2図) ボード線図

a. 高速における伝達関数 $G_h(s)$

コーンプーリの回転数を2500rpmのとき、スライバ供給速度は35.17m/minとなる。ボード線図は第2図で×、○点は実測値である。

いま装置の周波数特性を

$$G_h(j\omega) = \frac{k_h}{1+j\omega T} e^{-j\omega L_h} \dots\dots\dots (1)$$

ただし T ; 時定数, L_h ; むだ時間, k_h ; 比例ゲインとし

$$\left. \begin{aligned} T &= 0.120 \text{ sec} \\ L_h &= 0.015 \text{ sec} \\ k_h &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

とすれば、第2図の実線となり実測値とよく一致する。レバー比を変えて $k_h=0.877$ としたときもあわせて図示する。

b. 低速における伝達関数 $G_l(s)$

コーンプーリの回転数を1430rpmのとき、スライバ供給速度は23.17m/minとなる。ボード線図は第2図で*, ○点は実測値を示す。

いま

$$G_l(j\omega) = \frac{k_l}{\left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right)^2 + 2\xi\left(\frac{j\omega}{\omega_n}\right) + 1} e^{-j\omega L_l} \dots\dots\dots (3)$$

ただし ω_n ; 折点周波数, ξ ; 減衰係数
 k_l ; 比例ゲイン, L_l ; むだ時間

とし

$$\left. \begin{aligned} \omega_n &= 9 \text{ rad/sec} \\ L_l &= 0.02 \text{ sec} \\ \xi &= 0.85 \\ k_l &= 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

とすれば、第2図の実線となる。 $k_l=0.877$ の場合もあわせて図示した。

以上のようにコーンプーリを高速および低速回転にしてスライバ供給速度を変化させると、高速は一次おくれ、低速は二次おくれとなる。この実験装置の回転モーメントは比較的小で、ベルトの移動の難易が主役を占めるようである。

3. ローラゲージについて

実験装置のローラ配置を第3図に示す。また図の R_h , R_l は次式で表わされる。

$$\begin{aligned} R_h &= L_{xh} V_h + \left\{ S + \frac{\bar{I}}{2} (1 + CV^2) \right\} = L_{xh} V_h + \bar{I} \\ R_l &= L_{xl} V_l + \left\{ S + \frac{\bar{I}}{2} (1 + CV^2) \right\} = L_{xl} V_l + \bar{I} \end{aligned} \dots\dots\dots (5)$$

(第3図) ローラゲージ

ただし

L_x ; むらが検出されてからドラフトされるまでの
おくれ時間

V ; 供給スライバ速度

$\bar{l}$; 平均繊維長

CV ; 繊維長の変動係数

S ; フロント ローラから変速点までの距離

$\frac{\bar{l}}{2}(1+CV^2)$; むらに対する 繊維先端密度の 位相す
み距離⁴⁾

添字 h , l は高速, 低速を示す

(5) 式の $\{ \}$ は第3図の $\overline{QF}$ に相当する。実験
に用いたスライバに対しては

$$\overline{QF} = 2.16 \text{ cm} \div \bar{l} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。

またドラフト ローラのゲージ $\overline{MF}$ は低ドラフトであるから、文献によると 45~50 mm が適当である。この装置では 47 mm を採用した。そこで V に対する L_{xh} , L_{xl} を求めれば R_h , R_l が決まり、すべてのローラゲージが定まる。ここに L_{xh} , L_{xl} を決めるについては、とくに最適条件を理論的に計算することは行わず実験的に定めることにする。またむらの修正はドラフトゾーン内で行なわなければならないという条件が必要である。

この装置の特性は (1), (3) 式, 数値は (2), (4)

(第1表) 高速におけるおくれ時間

ω rad/sec	$\angle G_h$ (deg)	$\angle G_h$ (rad)	$\angle G_h/\omega = L_{xh}$ (sec)
1.5	11°57'	0.2036	0.1391
2	15°46'	0.2752	0.1376
4	30°00'	0.5236	0.1309
7	47°12'	0.8238	0.1077
10	59°56'	1.0460	0.1046
15	74°49'	1.3058	0.0871

(第2表) 低速におけるおくれ時間

ω rad/sec	$\angle G_l$ (deg)	$\angle G_l$ (rad)	$\angle G_l/\omega = L_{xl}$ (sec)
1	11°58'	0.2089	0.2089
3	35°55'	0.6269	0.2089
6	70°43'	1.2342	0.2057
8	91°15'	1.5926	0.1991
10	108°26'	1.8925	0.1893
20	159°08'	2.7774	0.1384

式に示した。したがって位相おくれは (1)~(4) 式より導き出され、かつ ω の値, すなわちむら波長に対してそれぞれの値は異なり一定でない。第1, 2表はその位相おくれ, またそれより算出されるおくれ時間を示す。

理論むら修正能力は検出ローラと変速点あるいは変速ローラとの時間的關係, 装置の伝達関数 ω , 供給速度 V , および波長 λ の関係より³⁾

$$|G_{sh}(\lambda)| = \left[1 + \frac{k_h^2}{1 + (2\pi V_h T/\lambda)^2} - \frac{2k_h \sin \{(L_{xh} - L_h) 2\pi V_h/\lambda + \phi_h\}}{\{1 + (2\pi V_h T/\lambda)^2\}^{1/2}} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\phi_h = \tan^{-1} \frac{1}{2\pi V_h T/\lambda}$$

$$|G_{sl}(\lambda)| = \left[1 + \frac{k_l^2}{\{1 - (2\pi V_l/\omega_n \lambda)^2\}^2 + (2\xi \cdot 2\pi V_l/\lambda \omega_n)^2} - \frac{2k_l \sin \{(L_{xl} - L_l) 2\pi V_l/\lambda + \phi_l\}}{\{[1 - (2\pi V_l/\omega_n \lambda)^2]^2 + (2\xi \cdot 2\pi V_l/\lambda \omega_n)^2\}^{1/2}} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\phi_l = \tan^{-1} \frac{1 - (2\pi V_l/\lambda \omega_n)^2}{2\xi \cdot 2\pi V_l/\lambda \omega_n}$$

となる。

いまかりに第1表では $\omega = 1.5 \sim 4$, 第2表では $\omega = 1 \sim 8$ までのおくれ時間を算術平均して, 高速では $L_{xh} = 0.136 \text{ sec}$, 低速では $L_{xl} = 0.206 \text{ sec}$ を代表的おくれ時間とする。この場合高速のときむら波長約 14 in ($\omega = 10$), 低速のとき約 10 in ($\omega = 10$) より以上の長いむら波長に対して前記条件を満足する。

つぎに $k = 1$, (2), (4) 式の数値, V および前記代表的おくれ時間を (7), (8) 式に代入すると, 修正能力は第4図に示される。つまり良好な修正能力であることがわかる。

(5) 式に代表的おくれ時間と (6) 式を代入すると

$$R_h = 10.13 \text{ cm} \quad R_l = 10.14 \text{ cm}$$

よって

$R=5.4\text{ cm}$

となりゲージは長大にならない。

よっておくれ時間を $L_{xh}=0.136\text{ sec}$, $L_{xl}=0.206\text{ sec}$ と決定しても、むら修正に不都合は起こらない。

また第4図より高速に対してむら波長が6 in, 低速では4 in 以下は修正不能, 20 in (高速), 14 in (低速) 以上のむら波長に対して修正可能, その中間波長は図の傾斜に応じた修正を受けることがわかる。しかし前述の条件によると高速のとき約 14 in, 低速では約 10 in 以下の短いむら波長は修正不能である。

(第4図) 理論むら修正能力曲線

もしV一定として最適制御をするならば、装置の各部分、歯車、コーンプーリ回転数を変えて、すなわち L_x , L を変えて第4図のような図上より最適のむら修正をする L_x-L ((7), (8)式参照)を見出せばよい。記憶装置があれば、むだ時間 L' を任意に調整できるから、最適制御は容易である。しかし必ず存在する装置のむだ時間 L とそのむだ時間 L' の和が大きいとローラゲージも大きくなる。

たとえば供給速度Vに対して、むだ時間、時定数が適当でないと第3図の R' の値がいちじるしく過大になる(第3表)。

(第3表) ゲージ R' の数値

	スライバ 供給速度 (m/min)	むだ時間 (sec)	時定数 (sec)	S (cm)
1	12	0.055	0.071	5.7
2	23	0.055	0.071	10.9
3	35	0.055	0.071	19.0
4	23	0.022	0.111	5.4
5	35	0.015	0.125	5.4

4. フリクタの実験について

装置にむら修正能力を充分に発揮させるためには、むらに影響する要素をできるだけ最良の条件に置かねばならない。その一つはローラゲージであり、他の一つはスライバを検出ローラに案内するフリクタである。

(第5図) フリクタと検出ローラの関係

第5図に検出ローラとフリクタの関係およびフリクタの出口寸法を示す。フリクタの幅 l と検出ローラのスライバが通る幅とはそれぞれ同一寸法である。

(第6図) フリクタにおける応力変動

第6図はフリクタを固定するブラケットにひずみゲージをはりつけ、スライバによる曲げの応力変動および無負荷時をフリクタ1, 2, 3それぞれについて記録したものである。 I_h は高速, I_l は低速で、後者は応力の値、およびその変動が大きいことがわかる。2, 3は高速, 低速による応力変動に差異は認められない。応力の値については3は2よりやや小さい。

第4表はスライバをフリクタと検出ローラを通す前後のU%を測定した結果の一例である。

(第4表) フリクタによるスライバむらの変化

フリクタ	速 度	試 料	U %	
			実 験 前	実 験 後
1	高 速	a	4.3	3.7
		b	3.7	2.5
	低 速	c	5.2	5.7
		d	6.3	7.0
2	高 速	e	4.8	3.3
		f	3.2	3.0
	低 速	g	5.5	4.2
		h	4.8	4.0
3	高 速	i	5.4	4.3
		j	3.4	2.8
	低 速	k	5.2	3.4
		l	3.6	3.0

感 度 : $\pm 25\%$ 速 度 : 8 m/min

フリクタ1について

低速のとき応力変動が大きくU%は増大し、小むらが増加する。高速では応力変動は減少し、U%も良好で小むらは増加しない傾向がある。これはフリクタとスライバの動摩擦係数が軽減するためであろう。また応力変動がはげしくないとスライバの小むらは増大しないことが判る。しかしフリクタ1は高、低速に対しておおむね不安定で、ときには良好あるいは悪い結果になる。この実験には採用しない。

フリクタ2および3について

いずれも応力変動はない。フリクタ3は適当にブレーキドラフトが効いて、U%は低減し、つねに小むらの減少がウスタのノーマルテストで認められた。フリクタ2はときにはU%の増大はあるが、フリクタ3と同一傾向があると断定してさしつかえない。

さてこの実験装置は検出ローラにおけるスライバむらの厚さの $\pm 18\%$ を修正制御できる。すなわち偏心ローラの偏心量 0.247 mm, いいかえれば ± 0.247 mm に対して変速ローラは $\pm 18\%$ 変速する。そのときのスライバ厚さは 1.37 mm となる。フリクタ2のとき検出部の厚さは平均 1.2 mm 近傍である。ゆえに装置の比例ゲイン $k=1.4$, フリクタ3に対しては平均厚さ 0.9 mm で $k=1.52$ にせねばならない。

一方周波数応答の第2, 3図において, レバー比を変えて比例ゲイン k の値を変更しても, ゲインの平行移動が起こるのみで位相角に変化はない。この点から見ればフリクタ2, 3のいずれでもよい。しかし検出部の厚さが減少し変化割合が少なくなると, 不感帯, 誤差の問題が起こる。

以上を総合してフリクタ2が最適であると結論される。

5. スライバむら修正実験

5.1 U%について

フリクタ2 ($h=8$ mm, $l=5$ mm) が決定されたので, つぎに検出ローラとミドルローラ間にむらが発生するかどうかを調べる。その結果は高速では 2.20 U% が 2.50 U%, 低速では 2.71 U% は 2.73 U% となりチャートでも見分けることができない。また標準ドラフトに設定してスライバをドラフトすると高速ではスライバ長は 1.29 倍, 低速では 1.31 倍になる。このことは装置の計画値と実際とは一致し, スリップは生じていない。つまりローラ荷重が適当である。

上記および 3, 4により 280 ゲレン/6 yd のスライバを2本ダブルリングしたものに対して, ローラゲージ, ローラ荷重, ドラフト, フリクタなどすべて適切である。

(第5表) 実験結果 (U%)

試 料	速 度	アンプ セ ッ ト	U %	
			制 御 前	制 御 後
A	高 速	13.1	3.2	2.6
B	高 速	11.0	2.8	2.1
C	低 速	16.8	4.0	2.7

感 度 : $\pm 25\%$ A : 50 yd/min
B } : 25 yd/min
C }

第5表はむら修正のU%についての実験結果の一例である。試料Aは供給速度 35.17 m/min で装置に投入する前のU%は3.2, 投入して修正後のU%は2.6となる。

5.2 スペクトラムについて

試 料 A

第7図は 300 m 以上のスライバを修正前にスライバ速度 50 yd/min でむらの分布をウスタにより測定し, 修正後ふたびむらを測定したものである。図によると 6 in 以下の小むらは増大しているのは理論の示すとおりである。約 6~14 in のむらに対しては, フリクタとドラフトローラにおけるブレーキドラフトの効果である。14~20 in むらにおいては, それと装置のある程度の修正能力とが重畳している。20 in 以上のむらには修

(第7図) 実験結果 (高速)

正作用が効いている。とくにむらの大きい波長に対して充分な修正能力を示している。

試料 B

第8図は試料Aと同一条件、ただし 25 yd/min でむらを解析したものである。むら修正についてはAと全く同一で再現性が認められる。

(第8図) 実験結果 (高速)

試料 C

第9図はスライバ供給速度は低速の場合である。理論の示すように 4 in 以下の小むらには修正能力はない。4～10 in のむらに対してはブレーキドラフトの効果、10～14 in ではそれと修正能力との重畳効果、14 in 以上のむらに対して装置は修正能力を示す。

(第9図) 実験結果 (低速)

6. 考察 および むすび

装置の制御部分が正常に作動している場合、むらを修正するための第1の課題は検出ローラの位置を決めることである。ドラフトローラゲージは低ドラフトであるから 40～50 mm 程度に選んでさしかえない。検出ローラとフロントローラの距離は(5)式に示すように V , $L_x(h \text{ or } l)$ および $\bar{t}$ などにより決まる。スライバ供給速度 V をあらかじめ定めると、全体のおくれ時間によりその距離は決定される。

装置を制作し V を定め周波数応答の実験をすると、伝達関数が求まり、その係数、時定数、むだ時間、位相おくれが必然的に決まる。またその実験によると、むら波長によりむだ時間を含む全体のおくれ時間 $L_x(h \text{ or } l)$ は異なり、決して同一時間でない。したがって仮定的に、ある波長のおくれ時間を $L_x(h \text{ or } l)$ として選ばねばならない(この報文の3に示した平均値もある波長のおくれ時間に相当する)そうしてそのおくれ時間は、そのむら波長を基準として、ある範囲のむら波長に対してそれらのむらおよびその繊維先端密度がちょうどドラフトローラの中に来ているときにローラが変速するという条件を満足せねばならない。

つぎに(7), (8)式に各数値を代入し、計算修正能力を図示し、それが充分良好であると判断すれば、仮に決めたおくれ時間を L_{xh} , L_{xl} としてよい。したがってゲージ R_h , R_l は(5)式により求められる。

もし V 一定として、 R_h , R_l が非常に長すぎるかあるいは(7), (8)式の $L_{xh}-L_h$, $L_{xl}-L_l$ が不適当であるため修正能力が良好でなければ適当なむだ時間、位相おくれを持つように装置を改造せねばならない(コンプリー回転数、歯車、レバーなどを改変する)。また $L_{xh}-L_h$ の最適値を第4図のような理論修正能力の図より見出せば最適制御となる。しかしそれのみでは実際に最良の成果は得られない。たとえばむだ時間、おくれ時間がともに大きいとき、その差は理論的に最適制御を実現する値であっても、 R_h , R_l が長くなるから、とくにスライバ供給速度が高速のとき良好なむら修正は期待できない。

この実験では $L_{xh}-L_h$, $L_{xl}-L_l$ は最適値でないが、装置は良好な修正能力を持ち、むだ時間が適度に小で、そのため検出ローラとミドルローラのゲージを 50 cm 程度にすることができた。その結果スライバ供給速度の高速に対してむら修正が可能となったと考えている。

第2の課題はスライバに適したフリクタ、それに応ずる比例ゲインおよびローラ荷重を選ぶことである。第10図は不適当なフリクタローラ荷重のもとに実験した結果である。

(第10図) 実験結果 (フリクタローラ荷重不良)

以上を総括すると、供給速度が高速でも低速でもむらを修正するためには、それぞれに対して適当なローラゲージを選ぶことがもっとも肝要である。装置の特性、たとえば一次おくれであれば時定数、むだ時間より全体のおくれ時間が定まる。そしてそれはローラゲージに影響を及ぼす。とくに高速のときむだ時間を適度に僅少に選ばねばならない。

またローラ荷重、フリクタおよびそれに関係する比例ゲインの選定も大切なものである。それらすべてのものは相互に有機的関係があり、その平衡を乱さないことも肝要である。

文 献

- 1) 野崎長二ほか; 本誌, 17, 35～53 (1964-11)
- 2) 堀内竜男ほか; 本誌, 13, 59～64 (1960-6)
- 3) 松本庄平; 本誌, 14, 16～23 (1961-8)
- 4) 田畑昌頓, 石川章一; 本誌, 9, 7～11 (1956-4)
- 5) 本会編; 『ドラフト理論と実際』, 314