ドラフト力の検出によるスライバむらの自動制御について*

(第1報) 制御装置の構成とその性能

(昭和37年5月12日受理) 会 員 石 川 章 一**

” 清 水 二 郎

→ 摘 要 ←

目 的

ドラフト力を連続的に測定し、スライバむらを制御する自動制御装置を試作し、その性能を検討する。

成 果

試作した自動制御装置は実験の結果、つぎの一巡伝達関数 $H(s)$ で与えられた。

$$H(s) = \frac{k_1 k_2 k_a e^{-LS}}{(1+T_{as})(1+T_{1s})}$$

T_a : 制御装置の時定数, T_1 : ドラフト プロセスの時定数, L : 制御装置のむだ時間, $k_1 k_2 k_a$: ループ ゲイン
この自動制御装置の性能を検討し、これにより制御されるスライバむらにつき考察した。

1. 結 言

従来、スライバむらの自動制御に関する研究は大きな波長のむらを対象として、工業的にも多大の成果を上げてきたが、¹⁾ドラフト波に近い波長のむらの制御に関しての研究は今後の問題として残されている点が多い。とくに後者のような小さな波長のむらがドラフト制御によりどのような影響をうけるかについてはきわめてデータも少ない。本研究はドラフト力を連続的に測定し、これによりスライバの小さな波長のむらを除去しようとするもので、スライバの太さむらの自動制御の分野では比較的に新しい試みの1つである。²⁾

この自動制御の基本的な方式はフロント ローラ部でドラフト力を測定し、その値をスライバむらの太さに対する信号とし、³⁾その信号に応じてフロント ローラの表速を変え、制御ドラフト比の変化によりむらを除去しようとする閉ループ自動制御である。その特長は

- (a) ドラフト制御部と検出部との間に、むだ時間要素を含まないので、それに対する補償を必要としない。

- (b) 検出部として、とくに測定用ローラなどの検出要素を加えないので、それを入れることにより生ずる問題を考慮する必要がない。

- (c) 紡出スライバのドラフト力がつねに検出されるので、制御結果や制御に必要な紡績上の条件また安定性の条件をはあくしやすい。

などにあると思われる。

しかしながら、小さな波長のむらを制御しようという目的に対しては理論的にも実験的にもまだ検討の余地は残されている。その一つはドラフト プロセスの特性をどのように関数化するかという点である。この点に関しては従来のような単純な仮定を離れて、ドラフトについての定量的な研究がさらに必要である。すなわち制御方程式中でドラフト プロセスの特性をどの程度の近似をもって論ずるかにより理論的検討を異にする。この問題に関しては、佐藤、井原、⁴⁾藤野、川端らの研究があるが、本報ではフロント ローラ部のドラフト プロセスの特性をつぎの伝達関数で近似する。⁶⁾

$$\Delta N_1(s) = \Delta N_2'(s) - \frac{N_1'}{v_0} \left(\frac{1}{1+sT_1} \right) \Delta V_1(s) \cdots (1)$$

* Study on Automatic Control of Sliver Irregularity with Device for Detecting Drafting Force. Part 1: Setup of Automatic Controller and its Performance.

** S. Ishikawa, G. Shimizu, Member. 東京工業大学

ただし

N_1, N_2 : フロント ローラの平均出入力スライバ量

$\Delta N_1(s), \Delta N_2(s)$: 上記 N_1, N_2 の変差量

$v_0, \Delta V_1(s)$: フロント ローラの平均速度とその変差量

T_1 : フロント ローラのプロセス容量についての時定数

そして

$$T_1 = \frac{1}{v_0} \int_0^L f_1(x) dx \dots\dots\dots (2)$$

$f_1(x)$ ははじ繊維長分布

したがって本報では式 (1) をフロント ローラの表速変化 $\Delta V_1(s)$ に対する出力スライバの変化量 $\Delta N_1(s)$ の伝達関数として制御方程式中に入れる。

以下第 1 報では制御装置の構成をその性能および制御性能に関する理論的検討について述べ、第 2 報では小さな波長のむらの自動制御の実験結果について述べる。

2. 制御系の構成

制御系のうち制御ドラフト部を示したのが第 1 図であり、A は制御ドラフト部、B はフロントローラを駆動する制御モータ部、C は一定回転をするバックローラ駆動用の誘導電動機とその減速部である。第 2 図は制御装置の前面の制御盤を示したもので、上部は前段の増幅部、下部が磁気増幅器を主体とした電力増幅部である。

第 3 図 (a), (b), (c) は信号の伝達の経路と制御装置の回路図を示したものである。

a) ドラフト力を測定し、制御ドラフトを与えるフロントローラ部とそれを駆動する直流サーボモータならびにバックローラ側を駆動する誘導電動機。

b) ひずみ計の出力信号を、2 mA を中心とした変化電流にして磁気増幅器の入力信号とするためのトランジスタ増幅器とバックローラの連結のための回路。

c) 磁気増幅器で、磁気増幅器に入る電流は 4 系統にわかれる。

i) ドラフト力により変化する制御信号、平均 2 mA の変化電流 I_{Tc}

ii) 上記の制御電流に対して逆方向に入る 2 mA の規準電流 I_{Tr}

iii) 標準回転を与えるための入力電流 I_{NB}

iv) バックローラの回転との同調運転のための信号電流 I_{No}

上記の a), b), c) は外見的にも 3 個のブロックにわかれており、その他に記録などの付属装置がある。

2.1 制御信号の経路について

スライバの太さに応じたドラフト力の変化は 5 kc の搬送波の抱絡線として、ひずみ計の端子からとりだされる。一部の信号は整流、直流増幅された後にペン書きオシロに記録される。この 5 kc の搬送波はトランジスタ増幅器中で目標値に従って設定された電圧により比較され、整流器 2 mA の平均の変化電流になるように増幅される。この制御電流が第 3 図 (c) で I_{Tc} として符号されている。さきにも述べたように制御電流 I_{Tc} は平均 2 mA の変化電流であって、磁気増幅器中で逆方向に供

A : 制御ドラフト部
B : フロントローラを駆動する制御モータ部
C : バックローラ駆動用の誘導電動機と減速部

(第 1 図) 制御ドラフト部

A : 目標値の設定用ダイヤル
B : 目標値 (設定電圧)
C : バック側の速度検出
D : ゲイン調整用ダイヤル
E : 磁気増幅器に入る制御電流
F : 速度検出
G : 磁気増幅器の出力電流
X : 制御切換スイッチ
Y : フロントローラの速度調整
Z : PIDへの端子

(第 2 図) 制御装置

(a) ドラフト力の測定；フロント，第2ローラの駆動と両ローラ間の連結のための信号の引出し方

(b) 目標値の設定のための回路とフロントと第2ローラの連結のための回路

(c) 磁気増幅器

(第3図) ドラフト力によるスライバの太さむらの自動制御装置の回路図

し、スライバは一次容量おくれをもって変化する。たとえばスライバの太い部分がフロントローラに入るとドラフト力は太さに従って増加し(局部的には直線的な関係があると考え)この信号によりさきの経路に従ってフロントローラの回転数が大きくなり、スライバを細くする。すなわち閉ループ制御が行なわれる。

2.2 両ローラの同調のための信号経路について

つぎにバック側のローラの回転数の変化に対してフロントローラの表速が変化してくれることが望まれる。すなわち始動、停止時に両ローラ間に速差を生じるとそのためにスライバの太さに変化が起きる。これを防ぐために、両ローラに第4図に示すような指速発電機を設置し、両ローラ間のドラフト比の変化により生ずる電流の変化を磁気増幅器にフィードバックした。これは設定されたドラフト比に対して第3図(b)の電流 I_{NO} が一定になるように VR_{10} を調節しておく。この結果、たとえばバック側が停止した場合にはフロントローラからの信号電流が増加してサーボモータを停止させる。もしもバックローラからの電流の変化が小さいとき、すなわち定常運転中では電流 I_{NO} はフロントローラの表速変化により生じた変化電流となり、この信号経路は磁気増幅器に対して、1種の小ループを形成したことになる。この VR_{10} の値を変化させるとみかけの時定数とゲ

給される規準電流 I_{TB} により原理的には O を中心とした変化電流を加えたと同じ状態になる。この規準電流とともに標準回転数を与えるための電流 I_{NB} が供給される。電流 I_{NB} によりフロントローラの回転数は自由に設定される。制御しないときは I_{TC} 、 I_{TB} の回路は開かれ、 I_{NB} のみが磁気増幅器に加えられる。

これらの信号電流が磁気増幅器で増幅され I_{MA} として直流サーボモータを操作する。この電流変化に対するフロントローラの表速変化によりドラフト比が変化

(第 4 図)
フロント ローラとバック ローラの同調運転
(TG_1 , TG_2 : 両ローラの指速発電機)

イン定数とが大きく変る。これについては後に述べる。
これらの信号の伝達経路をブロック線図に示したのが
第 5 図である。

3. ドラフト力の検出部とその伝達関数

ドラフト力は制御ドラフト部のフロント ローラ部よ

(第 6 図 a) ドラフト力の検出部(表面)

(第 5 図) ドラフト力によるスライバの太さむらの自動
制御装置のブロック線図

UG: 測定用ゲージ
(第 6 図 b) ドラフト力の検出部(側面)

り検出される。さきに述べたようにサーボ モータによ
りフロント ローラの回転数を変化させる関係上、測定
系外より駆動する振動タイプの測定方式を用いた。

その概略は第 6 図 (a), (b) に示すとおりである。
すなわちトップ ローラをゴム ローラ, ボトム ローラ
をフリーテッド ローラとし, これらを納めたフレーム
F の軸 S がベアリング ローラを介して軸受により
支えられる。軸 S に固定した荷重 W によりフレームは垂
直に維持される。この軸の軸心がフロント ローラ部の
回転の中心になるから, 第 6 図 (a) の歯車列 X, Y,
Z の歯車 Y と Z の噛み合せ点を軸の中心に一致させ,
ここから系外の駆動力を入れ, 駆動による回転モーメ
ントの影響をなくす。したがってフロント ローラにかか
るドラフト力のみが軸を中心とした回転モーメントとし
て現われるから, 第 6 図 (b) に示すように軸からレバ
ー L を出し, レバーの先端を U ゲージに固定する。ドラ
フト力によりこの測定用ゲージに生じたひずみが第 3 図
(a) のひずみ計より電圧変化として採り出される。

第 6 図 (a), (b) に示した試作装置の固有振動数は
30 c/s であった。

本報に関する実験では紡糸速度を 8 m/min 以下とし

たため、予想されるドラフト波による信号の周波数(1~2 c/s 程度) および制御装置の性能に比較して、この固有振動数ははるかに高かったので、信号の引き出し点でのスライバの太さ、すなわちドラフト力とひずみの出力信号との間にはゲイン定数 k_2 のみを考慮した。したがって式(1)を考慮すると検出部と制御ドラフト部の付近のブロック線図は第7図のように想定することができる。

(第7図) 検出部と制御ドラフト部の関係を示すブロック線図

4. 制御装置の伝達関数

制御装置の性能はほとんど磁気増幅器の性能でまわってしまい、それに比較するとトランジスタ増幅器の応答速度に対する特性は問題にならぬほど影響が小さい。したがって制御系としてはドラフト力の測定(すなわちスライバの太さ)からストレンメータまでのゲイン定数を k_2 とし、トランジスタ増幅器以降、フロントローラの回転変化までの特性を制御装置の伝達関数 $G_a(s)$ として実験的に求める。

この制御装置は第5図の VR_{10} を変えることにより、伝達関数のみかけのゲイン定数と時定数をかなり広範囲に変化させる。

さて一般に自己帰還型の磁気増幅器はその性能にもよるが、一般には

$$\frac{k_m}{(1+T_m s)} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{k_m}{(1+T_n s)(1+T_m s)}$$

または

$$\frac{k_m e^{-Lms}}{(1+T_m s)} \dots\dots\dots (4)$$

のいずれかの型で近似される。その目的によっては(3)の近似で充分間に合う場合が多い。第5図のブロック線図でバックローラからの信号電流が不変であるとして VR_{10} を変化させた場合、第5図の磁気増幅器、サーボモータ、タコジェネレータ、微分器を含む回路を1次容量おくれ

$$k_a''/1+T_a'' s \dots\dots\dots (5)$$

k_a'', T_a'' : 上記の1次容量おくれのゲイン定数と時定数とし、第5図のトランジスタ増幅器と減速歯車の特性を k_a', k_a''' とすると制御装置の伝達関数 $G_a(s)$ は

$$G_a(s) = \frac{k_a' k_a'' k_a''' / (1+R k_a'')}{1 + (T_a'' / (1+R k_a'')) s} \dots\dots\dots (6)$$

$R: VR_{10}$ によって定まるフィードバック回路のゲイン定数

となり

$$k_a = k_a' k_a'' k_a''' / (1+R k_a'')$$

$$T_a = T_a'' / (1+R k_a'')$$

みかけのゲイン定数 k_a 、時定数 T_a が VR_{10} を変えることにより変化することがわかる。すなわち R が大きくなると速応性が向上し、ゲインは減少する。

(第8図) 制御系のブロック線図(a)

第7図のブロック線図に式(6)の結果を考慮して第5図のブロック線図を簡略化すると第8図のブロック線図がえられる。

いま k_2, k_a', k_a''' を一定として R の値を変化させて過渡応答を調べ、ゲイン定数と時定数を求めた結果を第1表に示す。

(第1表)

VR_{10} を調整した際の見掛けの時定数とゲイン定数

ゲイン調整目盛	T_a (sec)	k_a
10	0.6	6 (15.6 db)
8	0.5	4 (12 db)
6	0.3	2.8 (9 db)
4	0.2	1.6 (4 db)

しかしながら、ループを開いた状態で過渡応答を詳細に調べると、0.07 sec 程度のむだ時間 L が存在することがわかる。これを厳密な意味でむだ時間と定めることはできないが、 $L=0.07$ sec のむだ時間を入れた制御装置の近似が可能かどうかを制御装置を開いた状態で周波数応答特性から求めた。

第9図はゲイン調整目盛を最大にして求めた周波数応答線図である。この結果は完全な1次容量おくれの状態を示し、折点周波数 $\omega_a=1.4$ rad/sec、すなわち時定数

(第 9 図)

ゲイン調整目盛を最大にして求めたボード線図

(第 10 図)

ゲイン調整目盛を最大にして求めた位相線図

にして 0.7 sec になることを示す。1 次容量おくれの位相線図は高周波側で -90° になるが、実験結果によると位相が高周波側で激しくおくれしていることが判明した。これを図示したのが第 10 図である。この結果から、位相おくれのみに関係する伝達要素が存在することがわかる。実験値と 1 次容量おくれの位相線図との差を求めたのが、図中の鎖線の曲線である。この曲線から $\omega_L = 14$ rad/sec すなわちむだ時間 $L = 0.07$ sec が制御装置の中に存在することがわかった。このむだ時間は式 (4) に示したように磁気増幅器から生じたものと思われる。

第 11 図はゲイン調整目盛 3.5、すなわち折点周波数 $\omega_a = 5.6$ rad/sec の場合の位相線図である。前と同様にむだ時間要素を想定して求めた結果は理論値との間に多少のずれが存在するが、第 10、11 図の結果から制御装

(第 11 図)

ゲイン調整目盛 3.5 にして求めた位相線図

置の伝達関数 $G_a(s)$ は式 (6) にむだ時間要素を考慮することにより

$$G_a(s) = \frac{k_a e^{-LS}}{(1 + T_a s)} \dots\dots\dots (7)$$

L : むだ時間 ($L = 0.07$ sec)

k_a, T_a : みかけのゲイン定数と時定数

として近似される。

上記のような伝達関数を考慮することにより第 8 図のブロック線図は第 12 図のごとくなる。このむだ時間は制御装置の時定数に比較するとかなり小さいので、本研究の制御実験に影響するとは思われないが、その理論的な検討は後節において行なう。

(第 12 図) 制御系のブロック線図 (b)

5. 時定数と制御効率との関係

制御装置の時定数とゲイン定数とは式 (6) から、 R を変えることにより変化させることができることがわかっている。そこで時定数を 1~0.2 sec の間に变化させた場合の制御効率を求めて試みる。(具体的には第 3 図 (b) の VR_{10} を整調し、時定数 T_a を変化させる。それにより減少したゲインはひずみ計のゲイン調整などでさらに調整される)

すなわち、第 12 図のブロック線図において、目標値 $r(t)$ 、外乱となる入力スライバのむらを $n_2(t)$ 、制御量

となる出力スライバのむらを $n_1(t)$ とすると、制御方程式は

$$N_1(s) = \frac{H(s)}{1+H(s)} R(s) / k_2 + \frac{1}{1+H(s)} \cdot N_2(s) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$R(s), N_1(s), N_2(s):$
 $r(t), n_1(t), n_2(t)$ のラプラス変換値

$$H(s) = k_2 G_a(s) G_a(s)$$

$$G_a(s) = k_a e^{-LS} / (1 + T_a s)$$

$$G_a(s) = k_1 / (1 + T_1 s)$$

$$T_a = 1/\omega_a \quad \omega_a = 1, 2, 3, 5 \text{ rad/sec}$$

$$L = 1/\omega_L \quad \omega_L = 14 \text{ rad/sec}$$

$$K = k_1 k_2 k_a$$

となる。

いま等長繊維 (2 ¼ in, 2 d) のレーヨンスライバを
3 m/min の速度で紡績したとすると

$$T_1 = 0.5 \text{ sec}$$

となる。

5.1 目標値に対する検討

ここで制御系の特性を理論的に考察するために式(8)の第1項について目標値を変化させ、その際の諸効果を検討する。

しかしながら式(8)のループゲイン K は未知定数であるから、本報ではあらかじめ $K=0 \text{ db}$ として一巡伝達関数 $H(s)$ をボード線図上で求め、 $|H(s)| \text{ db}, < H(s)$ をニコルズ線図に移し、安定条件 ($PM=1.3$ とした) 範囲内でゲイン定数を定め (制御装置のゲイン定数の選定が比較的楽なため、このような便法を採った) その上で調整後の諸効果を検討し、一応の目安とした。

第13図は $\omega_a = 1, 2, 3, 5 \text{ rad/sec}$ の場合の一巡伝達

$$\omega_a = 1/T_a = 1, 2, 3, 5 \text{ rad/sec}$$

$$L = 0.07 \text{ sec}, \quad T_1 = 0.5 \text{ sec}$$

(第13図) $e^{-LS}/(1+sT_1)(1+sT_a)$ のボード線図

(第2表)

$\omega_a = 1, 2, 3, 5 \text{ rad/sec}$ の調整後の効果の比較

ω_a	1	2	3	5
ゲイン定数	12	11	10	9.5
位相余有	49 (deg)	50	51	52
ゲイン余有	14 (db)	13	12	11
M_p	1.25	1.25	1.25	1.25
ω_p	3 (rad/sec)	3.4	4	5.4
減衰係数	0.68	0.65	0.63	0.59
ω_0	4.2 (rad/sec)	5	6.5	8
φ_0	158 (2.76 rad)	161 (2.81)	163 (2.85)	165 (2.88)
$t_H \text{ sec}$	0.66	0.56	0.44	0.36
$t_i \text{ sec}$	1.41	1.19	0.92	0.75

(注) 理想フィルタ (ω_0, φ_0) は $M=0.5$ に対してニコルズ線図より求めた

関数 $H(s)$ (ただし $K=0 \text{ db}$) のボード線図である。第2表は同じく $\omega_a = 1, 2, 3, 5 \text{ rad/sec}$ に対してニコルズ線図上で $M_p=1.25$ に調整後の効果の比較である。

この結果、減衰係数には大きな変化は見られなかったが、時定数が小さくなるに従って、即応性が著しく向上し、最高値に達する時間 t_i 、その $1/2$ の高さに達する時間 t_H (ともに過渡特性について) は $1/3 \sim 1/2$ 程度までになる。これらの点を考慮すると比較的小さなむらの制御には時定数の小さなところに VR_{10} の調整目盛を合せ少し大きなむらの制御にはむしろ時定数のある程度大きくして、残留偏差が小さくなるように操作すべきことがわかる。

5.2 外乱に対する検討

スライバむらの自動制御装置は外乱に対して自動制御を行なう一種の regulator であると考えられる。したがって外乱に対する特性を一応検討し、自動制御することにより外乱すなわち入力スライバむらの波長に対してどのような効果を示すかを考察する。

式(8)の第2項は外乱 (フロントローラに入るスライバむら、すなわちドラフト力) に対する出力スライバの応答を示すから、この外乱を正弦波入力信号として、その応答すなわち出力信号との振幅比をスライバのむら波長に対して求める。そのボード線図をむら残留率にならない制御効率と呼び第14図に示す。

第14図はニコルズ線図から求めた制御効率の曲線であり、制御効率 100% とは具体的に制御しない場合と制御した場合において差のない状態を示す。

(第14図) 制御装置の性能と制御効率の関係

第14図から $\omega_a = 1 \text{ rad/sec}$ の場合にはむら波長 15 cm 以下ではかえってむらを増幅する。この位置は ω_a を大きくすると、小さな波長のむらの方向に移る。たとえば $\omega_a = 5 \text{ rad/sec}$ の場合には 8 cm 程度の波長のむらまで制御しうることがわかる。第5節の T_1 に対して与えられた繊維長 5 cm については、この場合には完全にドラフト波まで制御の対象となるが、さらに制御によって高周波側に小さな波長のむらが増幅されることが図から示される。本報ではこれを制御波と名付ける。

本研究の実験では制御装置の $\omega_a = 1 \sim 5$ を変化させることにより小さな波長のむらが制御されるとともに、制御波がまたさらに増幅される状態を問題とする。

6. 総括

スライバむらの自動制御装置として、ドラフト力を連続的に測定して、その信号により制御ドラフトを与える

ような制御装置として、磁気増幅器を主体とする閉ループ制御系を試作し、その性能の概要を述べた。

本研究の目的はドラフト力により検出を行なうならばどの程度の波長のむらまで制御できるかという点であるが、制御ドラフト部と検出部との間のむだ時間要素を含まないような理想的な閉ループ制御系の1ケースとして実験の上から将来スライバむらが制御されうる限界を明らかにしようとする目的をも含めている。そのような意味から紡糸速度も低速にし、制御装置も多様性を目標にして電子的なものにした。またループゲインに対する検討は不充分であったが、これは使用される繊維に依存するので、将来は個々に論ずべき問題となるので、前記の程度にとどめた。

なお第5節第2項で結論したように、この制御装置で 3 m/min 程度の紡糸速度で繊維長 5 cm のスライバで制御した場合にはむら波長 8 cm 程度まで完全に制御すること、さらに制御装置の折点周波数 $\omega_a = 1 \text{ rad/sec}$ 程度ではドラフト波に近い波長のむらを増幅するなどの結果をえた。これは第2報で実験に対比して報告する。

参考文献

- 1) 青野, 村上, 新井; 本誌, 14, 160 (1961)
- 2) W. Wegener; Textile Praxis, 6, 394, 471
- 3) 清水; 本誌, 12, 12 (1952-12)
- 4) 佐藤, 井原, 宮下; 織工試験報, No. 47
- 5) 藤野, 川端, 吉田, 藤本; 本誌, 14, (1961)
- 6) 清水; 本誌, 12, 12 (1952-12)