スライバむらの連続制御*

(第3報) 多デリベリ連続制御の一考察

(昭和39年10月1日受理) 会 員 村 上 文 男**

〃 正 満 敏 雄

〃 加 瀬 晋

—→ 摘 要 ←—

目 的

1個の制御装置で数個のドラフト部から紡出されるスライバの太さを、連続的に制御する多デリベリ制御系の制御能力を、簡単な数学模型によって理論的に求め、多デリベリ制御系の考え方の一資料とする。

成 果

(1) 多デリベリの閉ループ制御系および開ループ修正系のむら残留率がデリベリ数 n とともに急速に増加して制御能力が劣化する。したがって各デリベリへ供給されるむら波形の間に特定の時間関係が期待されない場合には多デリベリを1個の制御装置で制御する方式は有効でない。

(2) 多デリベリ開ループ修正系から紡出されるスライバをダブリングする場合、同一時刻にドラフトされた各断面が互いに重ね合わされるように行なうのがもっとも好ましく、ダブリング間隔を紡出スライバに含まれている強い周波数成分の波長の $\frac{1}{2}$ に一致させることはもっとも不適当である。

1. ま え が き

第1報¹⁾では単一のドラフト部から紡出されるスライバの太さを閉ループおよび開ループの両方式によって制御する場合を想定し(第1図)、両者の制御能力の比較を

(第1図) 1デリベリ制御系

試みた。元来両方式は制御系のパラメータの変化に対する適応能力という点で本質的に異なるので、両方式の比較評価を行なう場合、単に理想的な稼動状態における制御能力のみによるのでは不十分といわねばならない。と

もかく簡単な数学模型をたてて両制御系の周波数ゲイン特性を計算したところ、できるだけ短周期のむらまで制御効果を及ぼすという点で一応後者の方がすぐれているという結果を得た。

さて制御能力を低下することなく制御装置を減少できないか、またいくつかのデリベリから共通の操作を行って紡出されるスライバの効果的なダブリングを行なう方法がないか、という疑問がわいてくる。

前者に対しては二、三の研究開発が行なわれているが^{2,3)}本文では第1報の推論を n 個のデリベリの場合に拡張しようとするものである。すなわち n 個のドラフト部からの紡出スライバの太さを、それぞれ対応する検出部で検出し、それらの平均値に基づいて n 個の各スライバに対して共通の操作を行なう n デリベリ(n^D と略す)閉ループ制御系、およびこれと対応する n^D 開ループ修正系を取り上げる。(第2図)

* Continuous Control of Sliver Thickness. Part 3: A Study on the Continuous Control of the Sliver from a Multi-delivery Machine. (第1報 12巻 4号, 第2報 13巻 3号に所載)

** F. Murakami, T. Shoman and S. Kase, Members. 東洋紡績株式会社

(第2図) n デリベリ制御系

2. n^D 閉ループ制御系

従来の練条機または2デリベリ高速練条機の各デリベリから紡出されるスライバの太さむらを出口側でそれぞれ検出して、それらの平均値に基づいてフロントローラ速度を変え、全デリベリの太さを調整するモデルを考えてみる。

2.1 制御系の構成

1^D 閉ループ制御系の場合、供給スライバの太さむらの変動率（入力変動率）を y_1 ，紡出スライバの太さむらの変動率（出力変動率）を x_1 ，フロントローラ速度の変動率を v_1 で表わし、一巡伝達関数を $G_{a1}(s)$ とすれば、第3図が得られる。（第1報 第9図b参照）

(第3図) 1^D 閉ループ制御系の入出力変動率の関係

ここで一般に n^D の閉ループ制御系を考える。 y_i, x_i, v_i ($i=1, 2, \dots, n$) をそれぞれ i 番目のデリベリに関する各変動率とし、入力スライバはいずれも同一履歴を有し、したがって y_i の統計的性質は i に関係なく同一と仮定する。また各デリベリは共通のドラフト操作をうけるので v_i も i に関係なく同一である。

n^D 閉ループ制御系の入出力変動率間の関係は、 1^D 系における第3図から第4図が得られる。同図で出力変動率 x_i を求める場合、入力 y_i の同一履歴の仮定から $i=1$ とおいても解の一般性を失わない。 x_1 のラプラス変換は

(第4図) n^D 閉ループ制御系の入出力変動率の関係

$$X_1(s) = Y_1(s) - \{X_1(s) + X_2(s) + \dots + X_n(s)\} G_{an}(s) \quad (1)$$

ただし $G_{an}(s)$ は一巡伝達関数で

$$G_{an}(s) = K_{an} \frac{G'_{cd}(s)}{1 + T_a s} e^{-\delta T_a s}, \quad \delta = \frac{L_a + L_o}{T_a} \quad (2)$$

とする。ここに K_{an} はゲイン定数 $G'_{cd}(s) = K_{cd}^{-1} G_{cd}(s)$ は制御装置の伝達関数のうちゲイン定数を除く部分、 T_a は操作部の時定数、 L_o は操作部のむだ時間、 L_a はスライバが太さ変換点から出口側検出点まで移動に要する時間である。 $X_2(s), \dots, X_n(s)$ に対して (1) 式と同様な式をたて、 $X_1(s)$ について整理すれば

$$X_1(s) = \frac{1 + (n-1) G_{an}(s)}{1 + n G_{an}(s)} Y_1(s) - \frac{G_{an}(s)}{1 + n G_{an}(s)} \{Y_2(s) + \dots + Y_n(s)\} \quad (3)$$

したがって $y_2, \dots, y_n$ を 0 と仮定すれば $i=1$ の入出力変動率間の伝達関数は (3) 式の第1項から

$$\frac{X_1(s)}{Y_1(s)} = \frac{1}{1 + n G_{an}(s)} + \frac{n-1}{n} \frac{n G_{an}(s)}{1 + n G_{an}(s)} \quad (4)$$

となる。以上の伝達関数に基づいて、入力 y_i が正弦波状に変化する場合、ならびにその統計的性質が与えられている場合について制御能力を計算によって求めてみる。

2.2 むら残留率

n^D 閉ループ制御系のむら残留率 A_{an} を、同一番号のデリベリの入出力変動率間の伝達関数の周波数ゲイン特性と定義すれば、(4) 式で $s = j\omega$ とおいて

$$A_{an}(\omega) = \left| \frac{X_1(j\omega)}{Y_1(j\omega)} \right| = \left| \frac{1}{1 + n G_{an}(j\omega)} + \frac{n-1}{n} \frac{n G_{an}(j\omega)}{1 + n G_{an}(j\omega)} \right| \quad (5)$$

制御装置の動作を簡単のため第1報と同様に1次おくれ

をもった比例動作とすれば

$$G'_{cd}(s) = \frac{1}{1 + T_a(s)} \quad \text{.....(6)}$$

これを(2)式に代入し、ついで角周波数 ω を $u = \omega T_a$ の関係で無次元化し、この u を変数とする一巡伝達関数 $G_{an}(ju)$ を求めれば、(2)、(6)式で $s = ju/T_a$ とおいて

$$G_{an}(ju) = \frac{k_{an}}{n} \frac{1}{(1+ju)(1+j\nu u)} e^{-j\delta u}, \nu = \frac{T_c}{T_a} \quad \text{.....(7)}$$

ただしゲイン定数 K_{an} を

$$K_{an} = \frac{k_{an}}{n} \quad \text{.....(8)}$$

とおく。

各パラメータの値をそれぞれ $\delta = 1$, $k_{an} = 10$, $\nu = 100$ とし、デリベリ数 $n = 1, 2, 4, 8$ に対するむら残留率 $A_{an}(u)$ を計算すれば、第5図実線のようになる。同

角周波数 $u = \omega T_a$
 A_{ad} : 実線は閉ループ制御
 $\delta = 1$, $k_{an} = 10$, $\nu = 100$
 A_{fn} : 点線は開ループ修正
 $\gamma = -0.5$

(第5図) n^D 閉ループ制御系および開ループ修正系のむら残留率

図で $n = 1$ の曲線はもちろん第1報 第11図 $\delta = 1$, $k_{an} = 10$, $\beta = 100$ の曲線に一致する。

第5図からまず $A_{an}(u) = 1$ となる角周波数の最小値 u_n は、デリベリ数 n を変えてもあまり変化しない。

つぎに $u = 0$ におけるむら残留率の値 $A_{an}(0)$ はこの場合

$$A_{an}(0) = 1 - \frac{k_{an}}{n(1+k_{an})} = 1 - \frac{10}{11n} \quad \text{.....(9)}$$

一方 i 番目以外のデリベリの入力変動率 y_j ($j \neq i$) を 0 と仮定すれば、 y_i およびこれと番号の異なる j 番目の出力 x_j の間の伝達関数は(3)式より、 $n \geq 2$ に対して

$$\frac{X_j(s)}{Y_i(s)} = -\frac{G_{an}(s)}{1+nG_{an}(s)}, i \neq j \quad \text{.....(10)}$$

(10) 式のゲインの $u = 0$ における値は

$$\left| \frac{X_j(0)}{Y_i(0)} \right| = -\frac{k_{an}}{n(1+k_{an})} = -\frac{10}{11n} \quad \text{.....(11)}$$

となる。

デリベリ数 n と $A_{an}(0)$ および $|X_j(0)/Y_i(0)|$ の関係を求めれば、第1表のようになる。第1表より n の増

(第1表) n と $A_{an}(0)$, $|X_j(0)/Y_i(0)|$ の関係

n^D	1	2	4	8	∞
$A_{an}(0)$	0.09	0.54	0.77	0.89	1.00
$ X_j(0)/Y_i(0) $	0	-0.46	-0.23	-0.11	0

加とともに $|X_j(0)/Y_i(0)|$ は減少するが、 $A_{an}(0)$ が急速に増加して1に近づく。したがってデリベリ数が多くなると、ほかのデリベリへの入力むらからうける影響は減少するが、しかし当デリベリに加わったむらの振幅を減ずる制御能力が急速に劣化する。以上の結果からデリベリ数 n の大きい制御系は入力むらが、各デリベリとも同時にプラス側に変化するというような特別な時間関係のある場合のほかは、あまり有効でないと考えられる。

2.3 入出力変動比

n^D 閉ループ制御系の入力 y_i が定常不規則信号であって、その自己相関関数 $R_{y_i}(\tau)$ が

$$R_{y_i}(\tau) = C e^{-a|\tau|} \cos b|\tau|$$

あるいは

$$R_{y_i}(p) = C e^{-a|p|} \cos b|p|$$

ただし $P = \tau/T_a$, $\alpha = aT_a$, $\beta = bT_a$

で表わされるものと仮定する。 y_i のスペクトル密度 $\phi_{y_i}(u)$ は $R_{y_i}(p)$ をフーリエ変換して

$$\begin{aligned} \phi_{y_i}(u) &= T_a \int_{-\infty}^{\infty} R_{y_i}(p) e^{-jnp} dp \\ &= C T_a \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\beta+u)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\beta-u)^2} \right] \end{aligned} \quad \text{.....(12)}$$

したがって y_i の自乗平均値 (変動とよぶ) は、($< >_{av}$ は平均値を表わす)

$$< y_i^2 >_{av} = R_{y_i}(0) = C \quad \text{.....(14)}$$

つぎに出力 x_i の変動 $< x_i^2 >_{av}$ は(3)式から

$$\begin{aligned} < x_i^2 >_{av} &= < x_i^2 >_{av} \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{1+(n-1)G_{an}(ju)}{1+nG_{an}(ju)} \right|^2 \phi_{y_i}(u) du \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{G_{an}(ju)}{1+nG_{an}(ju)} \right|^2 (n-1) \phi_{y_i}(u) du \end{aligned} \quad \text{.....(15)}$$

(第6図) n^D 閉ループ制御系の入出力変動比

$\phi_{y_i}(u)$ は (13) 式とし, $\alpha = 0 \sim 2$, $\beta = 0$ および $\alpha = 1$, $\beta = 2$, また $G_{fn}(ju)$ は (7) 式とし, $n=1, 2, 4, 8$, $k_{an}=10$, $\nu=100$, $\delta=1$ において $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ を計算した結果を第6図に示す。ただし同図のたて軸は入力および出力の各変動の比 (入出力変動比とよぶ) $\langle x_i^2 \rangle_{av} / \langle y_i^2 \rangle_{av} = \langle x_i^2 \rangle_{av} / C$ である。

第6図から $\alpha < 0.1$ の範囲ではデリベリ数 n とともに入出力変動比が急速に増加するが, これはむら残留率の $u=0$ における値の傾向と一致する。一方 $\alpha > 0.5$ の場合入出力変動比がほぼ1で, この範囲の入力に対しては変動を減少する能力が認められない。またデリベリ数 n による差異も少ない。つぎに (15) 式の右辺第2項は注目している i 番目以外の入力 y_j ($j \neq i$) から i 番目の出力にいわばもちこまれる変動分で, $\alpha > 0.5$ ではこの値は 0.01 以下である。したがって $\alpha > 0.5$ の場合出力変動 $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ の大部分が同一デリベリの入力によってもたらされた変動である。

3. n^D 開ループ修正系

本節では入口側検出部でそれぞれ太さの検出をうけた n 個の供給スライバを, 各検出部に対応する n 個のドラフト部へ供給して太さむらの修正を行なう n^D 開ループ修正系について考える。修正動作は n 個の検出信号の平均値に基づいて行なうものとする。また n 個の紡出スライバをダブリングした合計量の変動についてもあわせて考察する。

3.1 制御系の構成

1^D 開ループ修正系のブロック線図は供給スライバの太さむらの変動率 (入力変動率) を z_1 , 出力変動率を x_1 , フロントローラ速度の変動率を v_1 とすれば第7図となる。(第1報 第5図参照) n^D 開ループ修正系のブロック線図は, 第7図を拡張して第8図 (左半分) で表

(第7図) 1^D 開ループ修正系の入出力変動率の関係

(第8図) n^D 開ループ修正系の入出力変動率の関係および紡出スライバのダブリング

わされる。同図から $i=1$ 番目の出力 x_1 のラプラス変換は

$$X_1(s) = Z_1(s) e^{-L_f s} - \{Z_1(s) + Z_2(s) + \dots + Z_n(s)\} G_{fn}(s) \quad (16)$$

ここで n^D 系の修正装置の全体の伝達関数 $G_{fn}(s)$ を第1報 (13) 式と同様に

$$G_{fn}(s) = K_{fn} \frac{e^{-\psi T_a s}}{1 + T_a s}, \quad \psi = \frac{L_h + L_a}{T_a} \quad (17)$$

とし, また

$$\left. \begin{aligned} G_1(s) &= e^{\gamma T_a s} - G_2(s), \quad \gamma = \frac{L_h + L_a - L_f}{T_a} \\ G_2(s) &= \frac{K_{fn}}{1 + T_a(s)} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

とおけば (16) 式は

$$e^{\psi T_a s} X_1(s) = G_1(s) Z_1(s) - G_2(s) \{Z_2(s) + \dots + Z_n(s)\} \quad (19)$$

にかきかえられる。(19) 式より $i=1$ 番目の入出力変動率間の伝達関数は

$$\frac{X_1(s)}{Z_1(s)} = e^{-L_f s} - G_{fn}(s) = \left(1 - K_{fn} \frac{e^{-\gamma T_a s}}{1 + T_a s}\right) e^{-\psi T_a s} \quad (20)$$

となる。ただし $\phi = L_f / T_a$ とする。

3.2 むら残留率

2.2項と同様に n^D 開ループ修正系のむら残留率 A_{fn} を, 同一番号のデリベリの入出力変動率間の伝達関数の周波数ゲイン特性と定義すれば (20) 式より

$$A_{fn}(u) = \left| \frac{X_1(ju)}{Z_1(ju)} \right| = \left| 1 - K_{fn} \frac{e^{-j\gamma u}}{1 + ju} \right| \quad (21)$$

である。ここで修正動作が n 個の検出修号の平均値に基づいていることに注目し、また $n=1$ のとき $K_{f1}=1$ とする¹⁾ようにゲイン定数 K_{fn} の値を

$$K_{fn} = \frac{1}{n} \quad \dots\dots\dots (22)$$

とおけば、 $A_{fn}(u)$ は次式で表わされる。

$$A_{fn}(u) = \left| 1 - \frac{1}{n} \frac{e^{-j\gamma u}}{1+ju} \right| \quad \dots\dots\dots (23)$$

γ の値を -0.5 とし、 $n=1, 2, 4, 8$ について $A_{fn}(u)$ を計算すれば第5図点線のようになる。同図の $n=1$ の曲線はもちろん第1報 第7図 $\gamma=-0.5$ の曲線と一致すべきものである。

第5図で点線（開ループ修正）および実線（閉ループ制御）の各群を比較すると、むら残留率の値が1に達する周波数 u_n の値がデリベリ数 n によってあまり変わらないこと、および $u=0$ におけるむら残留率の値がデリベリ数 n とともに急速に増加することの2点が共通している。したがってデリベリ数を多くすることの可否については開ループ系、閉ループ系ともにほぼ共通した評価がなされるものと考えられる。

3.3 入出力変動比

出力 x_i の変動 $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ は (18), (19) 式から

$$\begin{aligned} \langle x_i^2 \rangle_{av} &= \langle x_1^2 \rangle_{av} \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G_1(ju)|^2 \Phi_{z_1}(u) du \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |G_2(ju)|^2 (n-1) \Phi_{z_i}(u) du \quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

ただし $\Phi_{z_i}(u) = \dots\dots\dots \Phi_{z_1}(u)$ を (13) 式と同形とする。(24) 式を計算して $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ を求め、同一番号のデリベリの入力 z_i および出力 x_i の変動の比 $\langle x_i^2 \rangle_{av} / \langle z_i^2 \rangle_{av} = \langle x_i^2 \rangle_{av} / C$ を求めれば、 $K_{fn}=1/n$ において

(i) $\gamma \geq 0$: $L_h + L_a \geq L_f$ の場合

$$\begin{aligned} \frac{\langle x_i^2 \rangle_{av}}{C} &= 1 + \frac{1}{n} \left\{ -\frac{1}{2} A(\alpha, \beta) \right. \\ &\quad + \frac{1 - \alpha^2 + \beta^2}{(1 - \alpha^2 + \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2} \\ &\quad - \frac{2e^{-\gamma\alpha}}{(1 - \alpha)^2 + \beta^2} \{ (1 + \alpha) \cos \gamma\beta \\ &\quad \left. - \beta \sin \gamma\beta \} \right\} \quad \dots\dots\dots (25-1) \end{aligned}$$

(ii) $\gamma \leq 0$: $L_h + L_a \leq L_f$ の場合

$$\begin{aligned} \frac{\langle x_i^2 \rangle_{av}}{C} &= 1 + \frac{1}{n} \left\{ \left(-\frac{1}{2} - 2e^\gamma \right) A(\alpha, \beta) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1 - \alpha^2 + \beta^2}{(1 - \alpha^2 + \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \frac{2e^{\gamma\alpha}}{(1 - \alpha)^2 + \beta^2} \{ (1 - \alpha) \cos \gamma\beta \\ & - \beta \sin \gamma\beta \} \} \quad \dots\dots\dots (25-2) \end{aligned}$$

ただし

$$A(\alpha, \beta) = \frac{1 + \alpha}{(1 + \alpha)^2 + \beta^2} - \frac{1 - \alpha}{(1 - \alpha)^2 + \beta^2} \quad \dots\dots\dots (25-3)$$

$\langle x_i^2 \rangle_{av} / C$ を極小にする γ (γ_{min} で表わす) は (25-2) 式から

$$\begin{aligned} A(\alpha, \beta) - \frac{e^{-(1-\alpha)\gamma}}{(1-\alpha)^2 + \beta^2} \{ \beta \sin \gamma\beta + (\beta^2 + \alpha^2 \\ - \alpha) \cos \gamma\beta \} = 0 \quad \dots\dots\dots (26) \end{aligned}$$

を解いて得られる。この γ_{min} は n および K_{fn} の値に無関係で入力¹⁾の統計的性質を表わすパラメータ α, β によって定まる。 γ_{min} は第9図のようになる。同図の範囲では γ_{min} が -0.4 ないし -0.7 の近傍にあるが、これはむら残留率曲線の形状から直観的に求めた $\gamma = -0.6$ の値にはほぼ一致している。

パラメータ α, β
(第9図) α, β と γ_{min} の関係

(第10図) n^D 開ループ修正系の入出力変動比

(25) 式で $\alpha = 1, \beta = 0$ および 2, デリベリ数 $n = 1, 2, 4, 8$ とおいた場合の入出力変動比 $\langle x_i^2 \rangle_{av}/C$ を計算すれば第 10 図になる。同図において変動比を極小にする $\gamma \min$ の値が 0 と -1 の中間にあり、第 9 図の結果と一致している。また γ が $\gamma \min$ からはなれると急速に入出力変動比が増加し 1 をこえるが、これは γ が $\gamma \min$ から遠ざかるにしたがって $A_{f1}(u)$ の最大値が大きくなり、また $A_{f1}(u) = 1$ となる u の最小値 u_n が小さい方へ移行するためと考えられる。

$\gamma \min$ における $\langle x_i^2 \rangle_{av}/C$ の最小値を図示すれば第 11 図になる。同図より同一入力に対する入出力変動

(第 11 図) 入出力変動比の最小値 $\gamma = -0.5$

比の最小値が n の増加とともに急速に増加し、したがって修正能力の劣化することがわかる。これは $A_{fn}(0)$ の値が n とともに大きくなることから推定されることである。

3.4 紡出スライバのダブリング

n^D 開ループ修正系出力スライバをたとえば練糸工程のように次工程で適宜ダブリングして使用する場合、一般には n 個のスライバの同一時刻に、ドラフトされた各断面が互いに重ね合わされることはありえなく、 n 個の出力がランダムなむだ時間を経過したのちに合計されるものと考えられる。同一時刻にドラフトされた各断面が重ね合わされる場合を“直接ダブリング”，また任意の断面が重ね合わされる場合を“ランダムダブリング”とよぶことにする。以下 n^D 開ループ系によって修正された紡出スライバを直接またはランダムに、あるいは各デリベリごとに一定（時間）間隔ずつずらしてダブリングする場合の、ダブリング合計量の太さ変動率 x_0 について考察する。

ダブリングする際の各スライバのずらし間隔を表わす

ために、ドラフトの出口側に仮想的にむだ時間要素を設けて考察をすすめる。（第 8 図） x_0 は個々の出力変動率 x_i およびむだ時間 τ_i を用いてつぎのように表わされる。

$$x_0(t) = \frac{1}{n} \left\{ x_1(t-\tau_1)u(t-\tau_1) + \dots + x_n(t-\tau_n)u(t-\tau_n) \right\} \quad (27)$$

ただし $u(t-\tau)$ は $t > \tau$ で 1 となる単位階段関数を表わす。（16）式を参照して $x_i(t-\tau_i)u(t-\tau_i)$ のラプラス変換は

$$X_i(s)e^{-\tau_i s} = Z_i(s)e^{-(\tau_i + L_f)s} - \{Z_1(s) + \dots + Z_n(s)\}G_{fn}(s)e^{-\tau_i s} \quad (28)$$

いま相隣るデリベリから紡出されるスライバのダブリング時間間隔を一定とし、これを ΔT_a で表わすとき、ダブリング合計量の変動 $\langle x_0^2 \rangle_{av}$ を求めると

$$\langle x_0^2 \rangle_{av} = \frac{1}{n^2} \left\{ \begin{aligned} &n R_{z_i}(0) + n^2 R_{v_i}(0) - 2n R_{z_i v_i}(\phi) \\ &+ 2 \sum_{m=1}^{n-1} (n-m) \{R_{x_i}(m\Delta) - R_{z_i}(m\Delta)\} \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

たとえば $n = 1$ のとき

$$\langle x_0^2(n=1) \rangle_{av} = R_{z_i}(0) + R_{v_i}(0) - 2R_{z_i v_i}(\phi) \quad (29-1)$$

$n = 2$ のとき

$$\langle x_0^2(n=2) \rangle_{av} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} &R_{z_i}(0) + R_{v_i}(0) \\ &- 2R_{z_i v_i}(\phi) + R_{x_i}(\Delta) - R_{z_i}(\Delta) \end{aligned} \right\} \quad (29-2)$$

となる。ただし $R_{z_i}(p)$, $R_{x_i}(p)$, $R_{v_i}(p)$ はそれぞれ入力変動率 z_i , 出力変動率 x_i , フロントローラ速度変動率 v_i の各自己相関関数、また $R_{z_i v_i}(p)$ は z_i と v_i の相互相関関数である。（注参照）

ダブリング時間間隔 ΔT_a を $(0 \sim 3)T_a$ の範囲にとって合計量の変動の n/C 倍、 $n \langle x_0^2 \rangle_{av}/C$ を計算すれば第 12 図となる。ただし $(\alpha = 0.5, 1, 2, \beta = 0)$ および $(\alpha = 1, \beta = 2)$ 。また $\gamma = -0.5$ とする。同図から入力が同一の場合、各デリベリ数の曲線が $\Delta = 0$ において一致することがわかる。この $\Delta = 0$ におけるダブリング合計量の変動は 1^D 系の出力変動（29-1）式の $1/n$ に一致する。したがって n 個の紡出スライバの直接ダブリングを行なえば、その合計量の変動は n 個の検出部に供給される全スライバを 1 個の検出部へ通して、 1^D 開ループ修正を行なう場合の変動の $1/n$ に一致するわけである。いいかえれば紡出側で直接ダブリングを行なう場合と等しい修正効果が得られる。

(第12図) ダブリング合計量の変動 $\gamma = -0.5$

つぎに $\Delta = \infty$ においては、ダブリング合計量の変動 $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ は n^D 開ループ系の個々の出力変動 ($\langle x_i^2 (n=n) \rangle_{av}$ で表わす) の $1/n$ に一致する。したがってダブリング間隔 ΔT_a が、自己相関関数 $R_{xi}(p)$, $R_{xi}(p)$ で $p = \Delta$ とおいたときともに 0 とみなし得る場合 (ダブリングを行なうスライバ間の相関関数の期待値が 0 であるということからランダム ダブリングをこれに含めることができる), ダブリング合計量の変動の期待値は n^D 系の個々の出力変動の $1/n$ に等しい。

Δ を増加するとき $\beta = 0$ の入力に対して $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ は非振動的に $\langle x_i^2 (n=n) \rangle_{av}/n$ に近づく。この近づき方は α の大きいほど速い。これは α が大きいほど p の増加に対する $R_{xi}(p)$, $R_{xi}(p)$ の 0 への近づき方が速くなるためである。

つぎに $\alpha = 1$, $\beta = 2$ の入力の場合、 $\langle x_i^2 \rangle_{av}$ が $\langle x_i^2 (n=n) \rangle_{av}/n$ の上下に振動しながらこれに近づき、途中 $\Delta = 1.5$ の近傍で $n \langle x_i^2 \rangle_{av}$ が極大値をとる。この Δ の値は入力 z_i , 出力 x_i ともに周波数成分のもっとも強い周波数 $p_m(z_i)$ については (30) 式, x_i については (31-1) 式から $p_m = 2\pi/\beta = \pi$ の $1/2$ にほぼ一致する。ダブリング合計量の変動が極大値をとる理由として、 Δ が上記の値のとき、ある時刻にドラフトの変化をうけた紡出スライバの断面と、そのドラフト変化をひき起こしたほかのデリベリからのスライバの断面とが、互いに変動率を強めあうように出口側で重ね合わされることが多いためと考えられる。

4. む す び

1 個の制御装置でいくつかのデリベリから紡出される

スライバの太さを制御する方式において、デリベリ数を増加すると、a) 低周波域におけるむら残留率の値が急速に増加して 1 に近づき、b) 入出力変動比も増加する。したがって各デリベリに供給されるスライバの太さの変化が統計的に互いに独立ではなく、スライバの履歴によるなどの理由で共通の特定な変化をする場合のほかは、デリベリ数の増加は制御能力の低下をまねくものと考えられる。

また開ループ修正系で紡出されるスライバをたとえばコマのテーブル上における方式でダブリングする場合には、隣接デリベリの間隔を紡出スライバに含まれる強いむら成分の波長に比べてできるだけ小さくすることが変動を小さく抑える点から望ましく、これを同波長の $1/2$ に近づけることは避ける必要がある。

以上簡単な数学模型によってではあるが、1 制御装置による多デリベリ系の連続制御に関する制御能力の傾向を知り得たものと思う。

文 献

- 1) 村上, 正満, 加瀬; 本誌, 12, 237 (1959)
- 2) 松本庄平; 本誌, 15, 795 (1962), 16, 667 (1963), 17, 654 (1964)
- 3) 青木朗, 北尾謙一; 本誌, 11, 793 (1959)
- 4) 村上, 正満; 本誌, 15, 42 (1962)
- 5) 村上, 加瀬, 正満; 本誌, 15, 728 (1962)
- 6) 三平和雄; 本誌, 13, 13 (1960)

注

- a) $R_{xi}(p)$ は (12) 式と同じく
$$R_{xi}(p) = C e^{-\alpha|p|} \cos \beta|p| \quad \dots\dots\dots (30)$$

- b) $R_{xi}(p)$ は
$$R_{xi}(p) = h_1 + h_2 + h_3 \quad \dots\dots\dots (31)$$

とおいて、まず h_1 は
$$h_1 = C e^{-\alpha|p|} \cos \beta|p|$$

$$+ \frac{C}{n} \left\{ \frac{e^{-|p|}}{2} A(\alpha, \beta) + \frac{e^{-\alpha|p|}}{(1-\alpha^2+\beta^2)^2+4\alpha^2\beta^2} \right.$$

$$\times \left. \left\{ (1-\alpha^2+\beta^2) \cos \beta|p| + 2\alpha\beta \sin \beta|p| \right\} \right\} \quad \dots\dots\dots (31-1)$$

- h_2 については、 $p \geq \gamma$ のとき
$$h_2 = -\frac{C}{n} \left\{ A(\alpha, \beta) e^{-(p-\gamma)} \right.$$

$$+ \frac{e^{-\alpha(p-\gamma)}}{(1-\alpha)^2+\beta^2} \left\{ (1-\alpha) \cos \beta(p-\gamma) \right.$$

$$+ \beta \sin \beta(p-\gamma) \left. \right\} \left. \right\} \quad \dots\dots\dots (31-2)$$

$p \leq \gamma$ のとき

$$h_2 = -\frac{C}{n} \frac{e^{\alpha(p-\gamma)}}{(1+\alpha)^2 + \beta^2} \left\{ (1+\alpha) \cos \beta(p-\gamma) + \beta \sin \beta(p-\gamma) \right\} \quad \dots\dots\dots (31-3)$$

h_3 については $p \geq -\gamma$ のとき

$$h_3 = -\frac{C}{n} \frac{e^{-\alpha(p+\gamma)}}{(1+\alpha)^2 + \beta^2} \left\{ (1+\alpha) \cos \beta(p+\gamma) - \beta \sin \beta(p+\gamma) \right\} \quad \dots\dots\dots (31-4)$$

$p \leq -\gamma$ のとき

$$h_3 = -\frac{C}{n} \left\{ A(\alpha, \beta) e^{p+\gamma} + \frac{e^{\alpha(p+\gamma)}}{(1-\alpha)^2 + \beta^2} \left\{ (1-\alpha) \cos \beta(p+\gamma) \right. \right.$$

$$\left. \left. - \beta \sin \beta(p+\gamma) \right\} \right\} \quad \dots\dots\dots (31-5)$$

ただし $A(\alpha, \beta)$ は (25-3) 式で与えられる.

c) $R_{v_i}(0)$ は

$$R_{v_i}(0) = \frac{C}{2n^2} \left\{ A(\alpha, \beta) + \frac{2(1-\alpha^2 + \beta^2)}{(1+\alpha^2 + \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (32)$$

d) $R_{z_i v_i}(\phi)$ は

$$R_{z_i v_i}(\phi) = \frac{C}{n} \frac{e^{-\alpha\gamma}}{(1+\alpha)^2 + \beta^2} \left\{ (1+\alpha) \cos \beta\gamma - \beta \sin \beta\gamma \right\} \quad \dots\dots\dots (33)$$