高周波微小容量測定装置を検出部とする スライバ太さ自動制御の基礎的な研究*

(第5報) 制御対象としてのローラ ドラフト特性の測定

(昭和41年6月15日受理)

井 原 素 三**
佐 藤 文 二

→ 摘 要 ←

目 的

本研究の制御対象であるローラ ドラフトの特性を測定する。

成 果

周波数応答法による測定の結果、制御対象の特性は、20 rad/sec 以下の周波数に対しては

$$G_p(s) = \frac{k_p \omega_{np}^2 (1 + T_p s)}{s^2 + 2\xi_p \omega_{np} s + \omega_{np}^2}$$

なる形で近似することができる。

1. は じ め に

本研究における制御対象はインタセクティング ギル ボックスであるから、制御対象の特性とはドラフトの特性にほかならない。このドラフトの特性については今日まで^{1,2,3,4)}多くの人々によって研究されてそれぞれに成果をおさめている。しかしながらそれらの多くはドラフト比が時間的に変動しない定常の場合の研究であり、またあまりに厳密に扱い過ぎて実際に適用する場合に不確定な要素が存在する。われわれがここで必要とするのはそれほど厳密でなくとも、制御対象の特性が伝達関数の形で表わされ、しかも回路一巡伝達関数の解析のために必要な周波数の範囲で充分な精度の近似が得られればよい。そこで一応必要な周波数範囲を 20 rad/sec 以下と定め、実際のドラフト特性は分布定数型であるが、これを集中定数型として求めた。

2. 制御対象の定義

一般に、スライバのドラフトはバック ローラ とフロント ローラ の相互作用によって行なわれるもので、個

々のローラが別々に作用するわけではないが、便宜上バックローラの伝達関数を $G_{pb}(s)$ 、フロントローラの伝達関数を $G_{pf}(s)$ で表わすことができ、かつ供給スライバ太さと紡出スライバ太さの伝達関数が両者の直列結合で表わされるとすると、ドラフト過程のブロック線図は第1図のように表わされる。ここでオートレベラなどの

(第1図) ドラフト過程のブロック線図

ようないわゆる開ループ修正機構は図のA点でスライバ太さを検出してB点で修正動作を働かせるものであり、いわゆる制御方式(閉ループ方式)はC点で紡出スライバ太さを検出してB点にフィードバックするものであり、両者は原理的に異なるばかりでなく、図から明らかなように修正または制御しようとする対象も異なる。すなわち開ループ方式の修正対象はバックローラ

* Automatic Control of Sliver Thickness by High-Frequency, Small-Capacitance Measuring Principle. Part5: Measuring of Roller-Drafting Property. (第1報 17巻9号, 第2報 17巻10号, 第3, 4報 19巻5号に所載)

** M. Ihara, Member. 静岡大学, B. Sato, Member. 繊維工業試験所

であり、閉ループ方式の制御対象はフロントローラである。したがって、本研究における制御対象はフロントローラであり、供給スライバ太さは外乱としてバックローラを経て B 点に加えられる。しかしさらに厳密に考えれば、本研究の制御対象は第1図のフロントローラとは同じではない。そこでこれを $G_p(s)$ で表わし、またドラフト過程の伝達関数を $G_{pn}(s)$ で表わすと、これらの入出力はつぎのようになる。

$G_p(s)$: 制御対象=紡出スライバ太さ/
フロントローラ表面速度

$G_{pn}(s)$: ドラフト過程=紡出スライバ太さ/
供給スライバ太さ

$G_{pf}(s)$: フロントローラ=紡出スライバ太さ/
バックローラ紡出太さ(仮想)

$G_{pb}(s)$: バックローラ=バックローラ紡出太さ(仮想)/供給スライバ太さ

そしてドラフト過程の伝達関数は

$$G_{pn}(s) = G_{pb}(s) \cdot G_{pf}(s)$$

なおここでバックローラ紡出太さとは現実に存在する太さではなく、ドラフト過程をフロントローラとバックローラの2つに分離したことによって生じた仮想的な太さである。

3. 制御対象の伝達関数の誘導

一般のドラフト過程において、ドラフトゾーン内におけるスライバ太さの変化の様子を模型的に表わすと第2図のようになる。ただしこの図の中に記入した記号は

(第2図) ローラドラフトの模型図

$w_1(t)$: 紡出スライバ太さ

$w_2(t)$: 供給スライバ太さ

$v_f(t)$: フロントローラ表面速度

$v_b(t)$: バックローラ表面速度

x : フロントローラニップ点よりバックローラ方向に測定した距離

l_d : ドラフトゾーン^(注1)の長さ

$w(x, t)$: ドラフトゾーン内の点 x における時刻 t のスライバ太さ

なおギルボックスなどのようにバックローラが存在しない場合には仮想的なバックローラを考える。ここで dt 時間における繊維量のつりあいの条件から微分方程式をたてると

$$\left\{ v_b(t)w_2(t) - v_f(t)w_1(t) \right\} dt = d \left[\int_0^{l_d} w(x, t) dx \right] \quad \dots\dots\dots (1)$$

一般にドラフトゾーン内の繊維はバックローラ⁵⁾の速度かフロントローラの速度かどちらか⁵⁾の速度で移動していると考えられているから、ドラフトゾーン内の繊維を速度によって分けると

$$\begin{aligned} \int_0^{l_d} w(x, t) dx &= \int_0^{l_d} w_1(t) f_1(x, t) dx \\ &+ \int_0^{l_d} w_2(t) f_2(x, t) dx \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

(ドラフトゾーン内) / (フロントローラ表面速度)
(の全繊維量) で移動している繊維量

(バックローラ表面速度で)
移動している繊維量

ただし式中の $f_1(x, t)$ および $f_2(x, t)$ は時刻 t における x 点の両速度の繊維群の割合を表わすものとする。したがって両者の関係は⁵⁾

$$f_1(x, t) = 1 - f_2(x, t) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(2) 式を (1) 式に代入すると

$$\begin{aligned} v_b(t)w_2(t) - v_f(t)w_1(t) &= \frac{d}{dt} \left[w_1(t) \int_0^{l_d} f_1(x, t) dx \right] \\ &+ \frac{d}{dt} \left[w_2(t) \int_0^{l_d} f_2(x, t) dx \right] \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

ここで供給スライバ太さおよびバックローラ表面速度は変化しないものとして、フロントローラ表面速度と紡出スライバ太さが平衡状態から微小量変化した場合すなわち

$$v_b(t) = v_b \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$w_2(t) = w_2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$v_f(t) = v_f - \Delta v_f(t) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$w_1(t) = w_1 + \Delta w_1(t) \quad \dots\dots\dots (8)$$

の場合について $\Delta v_f(t)$ と $\Delta w_1(t)$ の関係を調べてみる。この場合に

$$\int_0^{l_d} f_1(x, t) dx = c_1(t) = c_1 - \Delta c_1(t) \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\int_0^{l_d} f_2(x, t) dx = c_2(t) = l_d - \left\{ c_1 - \Delta c_1(t) \right\} \quad \dots\dots (10)$$

とにおいて (5)~(10) 式を (4) 式に代入し、 Δ の二次

の項を省略して整理すると

$$w_1 \Delta v_f(t) = v_f \Delta w_1(t) + (w_2 - w_1) \frac{d \Delta c_1(t)}{dt} + c_1 \frac{d \Delta w_1(t)}{dt} \quad (11)$$

を得る。ここでフロントローラの表面速度で移動している繊維量の（紡出スライバの単位太さ当り）時間的変動分である $\Delta c_1(t)$ は、紡出スライバ太さの変化速度とフロントローラ表面速度の変化 $\Delta v_f(t)$ に比例するものとして、それぞれの比例定数を α および β とすると

$$\Delta c_1(t) = \alpha \frac{d \Delta w_1(t)}{dt} - \beta \Delta v_f(t) \quad (12)$$

ただしここで α および β は正とし、 $\beta \Delta v_f(t)$ に負号をつけたのは $\Delta v_f(t)$ が増加すれば $\Delta c_1(t)$ は減少する関係にあるからである。（12）式を（11）式に代入すると

$$w_1 \cdot \Delta v_f(t) + (w_2 - w_1) \beta \frac{d \Delta v_f(t)}{dt} = v_f \Delta w_1(t) + c_1 \frac{d \Delta w_1(t)}{dt} + (w_2 - w_1) \alpha \frac{d^2 \Delta w_1(t)}{dt^2} \quad (13)$$

この式をラプラス変換すると

$$\{w_1 + (w_2 - w_1) \beta s\} \Delta V_f(s) = \{v_f + c_1 s + (w_2 - w_1) \alpha s^2\} \Delta W_1(s) \quad (14)$$

したがってフロントローラ表面速度と紡出スライバ太さの伝達関数 $G_p(s)$ は

$$G_p(s) = \frac{\frac{w_1}{\alpha(w_2 - w_1)} \left(1 + \frac{w_2 - w_1}{w_1} \beta s\right)}{s^2 + \frac{c_1}{\alpha(w_2 - w_1)} s + \frac{v_f}{\alpha(w_2 - w_1)}} \quad (15)$$

ここで

$$k_p = w_1 / v_f \quad (16)$$

$$\omega_{np} = \sqrt{\frac{v_f}{\alpha(w_2 - w_1)}} \quad (17)$$

$$\xi_p = \frac{c_1}{2\sqrt{\alpha(w_2 - w_1)} v_f} \quad (18)$$

$$T_p = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \beta \quad (19)$$

とおけば（15）式は

$$G_p(s) = \frac{k_p \omega_{np}^2 (1 + T_p s)}{s^2 + 2\xi_p \omega_{np} s + \omega_{np}^2} \quad (20)$$

となり、比例微分要素と二次振動要素の積となる。

もしも（12）式で $\alpha = \beta = 0$ であれば $\Delta c_1(t) = 0$ となり（14）式は

$$w_1 \Delta V_f(s) = (v_f + c_1 s) \Delta W_1(s) \quad (21)$$

したがってそのときの伝達関数 $G_p(s)$ は

$$G_p(s) = \frac{k_p}{1 + T_r s} \quad (22)$$

ただし

$$T_r = c_1 / v_f \quad (23)$$

このような状態におけるフロントローラ表面速度と紡出スライバ太さの伝達関数は一次比例要素となり振動的な性質がなくなる。これは浮遊繊維が完全にコントロールされた場合に相当するから、これを理想ドラフトの状態と呼ぶことにする。

さて（23）式の c_1 は定義から明らかなように、ドラフトゾーン内の繊維群のうち、フロントローラ表面速度で移動している繊維群の平均繊維長（広い意味でのフロントローラに把持されている繊維の把持端の平均繊維長）を表わす量で、これを把持繊維容量と定義すると $1/v_f$ は抵抗となり（23）式の T_r は時間のディメンションをもついわゆる時定数となる。このようなスライバのドラフト糸をかりにドラフト糸と名づけて、この糸と他の糸との抵抗、容量、ポテンシャルなどの対応関係を求めると第1表のようになる。

なお（17）、（18）および（19）式において

$$\alpha = L_1 \frac{c_1 v_f}{(w_2 - w_1)} \quad (24)$$

（第1表）ドラフト糸と他の糸との対応関係

	熱 糸	圧 力 糸	液 面 糸	電 気 糸	ドラフト糸
量 (Q)	熱 量 (Kcal)	気 体 量 (m ³)	液 量 (m ³)	電 気 量 (クーロン)	繊 維 量 (g)
ポテンシャル (P)	温 度 (°C)	圧 力 (at)	レ ベ ル (m)	電 圧 (ボルト)	スライバ太さ (g/cm)
容 量 (C=Q/P)	熱 容 量 (Kcal/°C)	容 量 (m ³ /at)	液 面 積 (m ² /m)	静 電 容 量 (ファラッド)	ローラ把持容量 (g/g/cm)
流 量 (F=Q/t)	熱 流 量 (Kcal/mn)	気 体 流 量 (m ³ /sec)	液 体 流 量 (m ³ /mn)	電 流 (アンペア)	繊 維 流 量 (g/sec)
抵 抗 (K=P/F)	熱 抵 抗 (°C/Kcal/mn)	流 動 抵 抗 (m/m ³ /sec)	流 動 抵 抗 (m/m ³ /mn)	電 気 抵 抗 (オーム)	ドラフト抵抗 (g/cm/g/sec)

ーラ表面速度と紡出スライパ太さ)の伝達関数を求めると、20 rad/sec 以下の周波数範囲では、つぎの式で近似される。

$$G_p(s) = \frac{k_p \omega_{np}^2 (1 + T_p s)}{s^2 + 2 \xi_p \omega_{np} s + \omega_{np}^2} \dots\dots\dots (29)$$

ここで k_p はゲイン定数で、 $\omega_{np} \cdot \xi_p$ および T_p は、与えられた条件によって決定される定数で、まずフロントローラの表面速度によってこれらの定数がどのように変わるかを求めたのが、第5図および第6図である。第5

(第5図) フロントローラ表面速度と共振周波数および減衰係数の関係

(第6図) フロントローラ表面速度と時定数 T_p の関係

図の上方が ω_{np} の値を、下方が ξ_p を示し、第6図は T_p の値を示す。なおこれらの定数は測定時の温湿度によって変わるが、第5図および第6図は温度 28°C 湿度 62 % 前後における測定の実値である。このような状態は夏季の測定結果で、以後このような状態を高温湿度とよび、これに対して冬期(温度 11°C、湿度 62 % 前後)の状態を低温湿度とよぶことにする。このような温湿度の変化によって制御対象の伝達関数中の定数がどのように変わるかを示したのが第7図である。なおこの実

(第7図) 湿度の変化による ω_{np} , ξ_p および T_p の変化

験を行なった場所は、温度と湿度を分離して、そのおのおのがどのように影響するかを調べることができなかった。温度と湿度がどのように影響するかを正確に調べることはできなかったが、定数に影響を与えるのは主として湿度であると考えられるので、よこ軸に湿度をとって図示した。測定時の温度は図のかっこ内に示してある。なお、低温湿度および高温湿度の測定値は多いが中間の測定値がきわめて少なかったため、あまり正確ではないが、この結果から湿度が 60 % より小さくなると伝達関数の定数が非常に大きく変わることがわかる。

4.3 測定結果の考察

測定結果および微分方程式から求めた結果とともに、制御対象としてのローラドラフトの特性は、近似的に(20)式で表わされることがわかったが、この特性を決定するものとして、レジスタンス、キャパシタンスおよびインダクタンスの3種類の量があり、それらの量によって特性が変わる。そこで実測結果から c_1 , L_1 および L_2 の値を

(26), (27), (28)式を用いて計算してみると第8図のようになる。図から明かなようにフロントローラ表面速度（レジスタンスの逆数に相当）が大きくなると L_1 , L_2 および c_1 は減少するが、表面速度が70 cm/sec程度以上になるとそれからの変化は小さくなる。

(第8図) フロントローラ表面速度とインダクタンスおよび容量の関係（高温湿度の場合）

ここでキャパシタンス c_1 はフロントローラの挾持容量で、もしもすべての繊維がフロントローラに挾持されるまではバックローラの表面速度で移動しているいわゆる理想的ドラフトの場合を考え、さらにスライバ中の繊維長分布がどこでも均一であるとする(9)式の $f_1(x, t)$ は x のみの関数で、ローラ挾持曲線となるから繊維長分布の密度関数を $f(l)$ とすれば^{8,9)}

$$f_1(x) = \frac{1}{l} \int_x^{l_{\max}} (l-x)f(l)dl \quad \dots\dots\dots (30)$$

となる。ただしここで l は繊維長 $l_{\max}$ が最長繊維長、 $\bar{l}$ は平均繊維長である。したがって c_1 は

$$c_1 = \frac{1}{\bar{l}} \int_0^{l_{\max}} dx \int_x^{l_{\max}} (l-x)f(l)dl \quad \dots\dots (31)$$

したがって繊維長分布の密度関数 $f(l)$ がわかれば c_1 を求めることができる。そこで第4図のステープルダイヤグラムを下底8 cm、上底2 cmの台形であると考えて⁸⁾ c_1 および c_2 を計算すると第5表のようになる。この結

(第5表) ローラ容量計算値（理想ドラフト）

フロントローラ容量 c_1 (cm)	バックローラ容量 c_2 (cm)
2.8	5.1

果と第8図を比較すると、実際の c_1 は第5表の計算結果よりも大きな値となり、またフロントローラ表面速度が小さくなると大きくなるのがわかる。これは繊維相互間の摩擦などの影響により、フロントローラ表面速度で移動している繊維量が多くなるためと思われる。

つぎにインダクタンスについて考察してみると、まず上記の理想的ドラフトの場合には、 $\Delta c_1(t) \equiv 0$ すなわち(12)式において $\alpha = \beta = 0$ であり、結局(24), (25)式より $L_1 = L_2 = 0$ の場合で、このときにはローラドラフトには振動的な性格がなくなって一次比例要素となる。ところが L_1 および L_2 は0でない場合には $\Delta c_1(t) \neq 0$ となって、制御対象は振動的となるが(27), (28)式から明かなように c_1 および v_f が一定の値とすれば L_1 および L_2 が大きいほど振動的性格は強くなる。いま高温湿度と低温湿度の場合の L_1 および L_2 を実測結果から計算すると第6表のようになる。この結果から低温湿度

(第6表) インダクタンスの実測値
(フロントローラ表面速度 80 cm/sec)

温湿度 (記号)	インダクタンス (sec ² /cm)	
	L_1	L_2
高	1.27×10^{-3}	1.25×10^{-3}
低	1.75×10^{-3}	1.72×10^{-3}

の場合には高温湿度の場合に比較して L_1 および L_2 が約1.4倍の大きさであるから、低温湿度の場合の方が制御対象は振動的であることがわかる。このようにして、定数インダクタンスを用いて振動的性格の大小を比較することができる。このドラフトにおけるインダクタンスは繊維や紡機のどのような性質によって決定されるかについては現在までのところ必ずしも明らかでないが、二、

(第9図) 制御対象のボード線図

三の実験結果から判断して、繊維相互間の摩擦に深い関係があることは明らかで、そのために繊維の種類や巻縮の度合、ギル密度などによって変化する。また温湿度の変化によって大きく変わるのは繊維の摩擦係数が変化するためインダクタンスが変わるものと思われる。ここで実測値に基づいて制御対象の特性をボード線図で表わすと第9図のようになる。ただし図中の理想ドラフトの場合は第4表の結果を用いて計算したものである。なお第8図および第6表の結果から判断すると、本研究の紡機と原料の場合には $L_1=L_2$ であることが推定される。

5. ドラフト進程の特性についての考察

つぎにフロントローラ表面速度、供給スライバ太さともに時間的に変動する場合について考察すると、まず

$$v_b(t) = v_b \quad (\text{一定}) \quad (32)$$

$$v_f(t) = v_f + \Delta v_f(t) \quad (33)$$

$$w_1(t) = w_1 + \Delta w_1(t) \quad (34)$$

$$w_2(t) = w_2 + \Delta w_2(t) \quad (35)$$

とおき、これらの式と α , β の値を (4) 式に代入して Δ の高次の項を省略すると

$$\begin{aligned} & L_1 c_1 v_f \frac{d^2 \Delta w_1(t)}{dt^2} + c_1 \frac{d \Delta w_1(t)}{dt} + v_f \Delta w_1(t) \\ &= v_b \Delta w_2(t) - (ld - c_1) \frac{d \Delta w_2(t)}{dt} + w_1 \Delta v_f(t) \\ &+ L_2 w_1 v_f \frac{d \Delta v_f(t)}{dt} \quad (36) \end{aligned}$$

上式をラプラス変換すると

$$\begin{aligned} & (L_1 c_1 v_f s^2 + c_1 s + v_f) \Delta W_1(s) \\ &= \{v_b - (ld - c_1)s\} \Delta W_2(s) + w_1(1 + L_2 v_f s) \Delta V_f(s) \quad (37) \end{aligned}$$

したがって紡出スライバ太さ $\Delta W_1(s)$ は

$$\begin{aligned} \Delta W_1(s) &= \frac{\{v_b - (ld - c_1)s\}}{(L_1 c_1 v_f s^2 + c_1 s + v_f)} \Delta W_2(s) \\ &+ \frac{w_1(1 + L_2 v_f s)}{(L_1 c_1 v_f s^2 + c_1 s + v_f)} \Delta V_f(s) \quad (38) \end{aligned}$$

これをブロック線図で表わすと第10図のようになる。ここでドラフトむらは、ドラフトの過程でバックローラとフロントローラの間で生ずるから、図の位置で供給スライバむらとは別に加えられるものとして扱った。

ここで (38) 式において、フロントローラの表面速度が変わらない一般のドラフトの場合には、 $\Delta V_f(s) = 0$ とおけば

$$\Delta W_1(s) = \frac{v_b - (ld - c_1)s}{L_1 c_1 v_f s^2 + c_1 s + v_f} \Delta W_2(s) \quad (39)$$

であるから、供給スライバむらと紡出スライバむらの伝達関数すなわちドラフトプロセスの伝達関数を $G_{pn}(s)$

(第10図) 供給スライバと紡出スライバの伝達関数の特性を示すボード線図 (位相は省略)

すれば

$$G_{pn}(s) = \frac{\Delta W_1(s)}{\Delta W_2(s)} = \frac{1}{D} \frac{\omega_{np}^2 (1 - T_n s)}{s^2 + 2\xi_p \omega_{np} s + \omega_{np}^2} \quad (40)$$

また理想ドラフトの場合には

$$G_{pn}(s) = \frac{1}{D} \frac{1 - T_n s}{1 + T_r s} \quad (41)$$

となり、非常に簡単となる。ただし (40), (41) 式で

D : ドラフト比 (v_f/v_b)

T_n : バックローラ時定数 $\{(ld - c_1)/v_b\}$

T_r : フロントローラ時定数 (c_1/v_f)

(40), (41)式に実測値を代入してその特性をボード線図で表わすと第11図のようになる。ただし、式中の T_n お

(第11図) ドラフト過程のブロック線図

および T_r は実測値ではなくて第5表の結果を用い、また理想的ドラフトの場合も計算結果である。同様にしてドラフトむらと紡出スライバ太さの伝達関数も求められるから、これをボード線図で表わすと第12図のようになる。図の太線が高温湿度の場合で、中線が低温湿度、細線が理想的ドラフトの場合である。ただしここではドラフトむらと供給スライバむらは無関係として扱ったが、実際にはある程度の相関があるものと思われる。

(第12図) フロントローラ伝達関数のボード線図

6. む す び

以上のようにして、本研究の制御対象の特性を、周波数応答法によって測定した結果、20 rad/sec 以下の周波数範囲では

$$G_p(s) = \frac{k_p \omega_{np}^2 (1 + T_p s)}{s^2 + 2\xi_p \omega_{np} s + \omega_{np}^2}$$

なる形で表わすことができる。そしてこのドラフトプロセスには、抵抗、容量およびインダクタンスの3つの量が存在し、インダクタンスは、ドラフトやローラの表面速度はもちろん、スライバの原料繊維の種類や繊維長、巻縮の度合などによっても変わり、また同一原料でも、ドラフト時の温湿度によっても変化し、この過程の振動的性格の目安とすることができる。

このようにして制御対象の特性を表わすと、20 rad/

sec 以下の周波数範囲での特性を充分近似することができ、制御系の特性の解析も可能になる。

終わりにこの実験に当って種々のご援助と便宜をいただいた繊維工業試験所 成田前所長をはじめ試験所の諸氏、東京工業大学清水氏、ならびに、静岡大学鳴海教授、さらに研究に協力していただいた静岡大学機械工学科卒業生国岡、柴田の諸氏に厚く感謝の意を表します。

注1) ここでドラフトゾーンとは、フロントローラとバックローラの間ではなくて、繊維相互間に相対運動が存在する範囲に限定する。

注2) 電気糸のインダクタンスは電流が変化した場合にその瞬間にそれをさまたげる方向に逆の起電力が働くとき電流の時間的变化 $\frac{di}{dt}$ で逆起電力 l を割った値であるが、ドラフト糸の場合には繊維流量の変化（スライバ太さの変化した場合とローラ表面速度が変化した場合の両方）したときその瞬間流量変化をさまたげる事柄が生ずる。そしてそれはローラ把持容量の変化という形で現われるが、インダクタンスが具体的にどのような量でまたどのような因子に支配されるかは現在のところ必ずしも明らかでない。

文 献

- 1) Goodings, A. G.; J. Text. Inst., **22**, T 1 (1931)
- 2) 石川, 田畑; 織学誌, **10**, 8 (1954)
- 3) 一野, 黒崎, 後藤; 織学誌, **12**, 19 (1956)
- 4) その他多数
- 5) 井原, 赤見, 高木; 織学誌, **16**, 8 (1960)
- 6) 井原, 佐藤; 本誌, **19**, T 5 (1966)
- 7) 白樫ほか; 繊維工業の計測と制御 P 98
- 8) 井原, 高木; 織学誌, **17**, 9, (1961)
- 9) 田畑, 石川; 同上, **10**, 8 (1954)