

自動繰糸機と信頼性技術

日産テクシス株式会社 監査役 瀬木秀保

目 次

	頁
1. はじめに	2
2. 自動繰糸機構に係る繭糸特性	2
3. 生糸織度の自動制御とその条件	5
4. 織度感知器構成コンポーネントとその条件	8
5. 給繭システムの信頼性設計	13
6. 生糸織度検出間隔の信頼性設計	16
7. 織度検出間隔と糸むら	19
8. 織度感知器の検出点の分散と生糸の織度偏差	22
9. 解じょ率と生糸の織度偏差	26
10. 自動繰糸機構の生産能力に関する信頼性設計	28
11. 制御システムと外乱（糸故障等）	32
12. 生糸生産財としての自動繰糸機	35
13. おわりに	36
14. 参考文献	37

1. はじめに

生糸製造原材料としての繭糸は、多くの不確実な特性を有する。このような繭糸の加工機械の機構構成上は、所定の機能を実実に果し続ける技術が要求される。

与えられた原材料を加工処理する自動機械は数多くあるが、生糸製造用機械のように、天然の原料繭を破砕もせず、そのままの状態で品質上均一な生糸として製品に加工するという機械は稀である。

繭糸が有する不確実特性としては、太さ、長さ、不時の切断、不時の繭糸上の欠点、その他生糸製造のシステムに負の影響を与えるような外乱（糸故障原因等）等があげられる。

自動繰糸機に要求される機構（システム）条件としては、このような不確実特性を前提として、繭群がそのシステム系を通過することによって、確実に均一な品質の生糸が製造されることを保証することである。なおかつ、このような信頼性のあるシステムの構成をもちながら、生産設備としての経済性を保たなければならないことである。すなわち、モデル的に整理すれば、次表のとおりである。

第1.1表 自動繰糸機構と信頼性の概念

項 目 \ 区 分	原 材 料	機 構	製 品
品質（ Q ）および生産性（ P ）各特性	繭糸の不確実特性（不信頼性）	システムの信頼性（信頼性技術）	生産結果の確実性（信頼性）
記 号	$F[Q, P]$	$R[M]$	$R[Q, P]$

註 [] は信頼性技術上の概念を示す。 F は不信頼性、 R は信頼性を示す。

上表から、

$$F[Q, R] + R[M] = R[Q, R] \quad (1.1)$$

の関係が考えられる。

自動繰糸機の信頼性技術の頭初において考察された概念であって、この $R[M]$ の内容について、理論的な裏付けをすることが必要とされる。

ここでは、上記の概念式において、生糸製造結果としての生糸の品質および生産性 $R[Q, R]$ を保証するための、システムの信頼性技術 $R[M]$ に関する主要な課題について整理し報告する。

2. 自動繰糸機構に係る繭糸特性

自動繰糸機構構成上必要な織度特性としては、繭糸織度、繭糸織度標準偏差（以下繭糸織度偏差という）ならびに生糸織度標準偏差（以下生糸織度偏差という）があげられる。

さらに、生産機構に係る特性として解じょ特性に係る解じょ糸長、解じょ率があげられる。

ここでは、従来のこれらの特性に関する代表的研究を簡略に要約し、機構設計と繭糸長、解じょ糸長さらには接緒要求間隔等について信頼性寿命解析の見方からまとめておく。

2.1 繭糸、生糸の織度および織度偏差について

(1) 生糸の織度 (d)

$$D = k\sqrt{d} \quad (2.1)$$

ただし d : 織度 (デニール), D : 生糸の直径 μm

$k = 11.90138/\sqrt{P}$, P は密度で g/cm^3

式 (2.1) の k 値は標準温湿度状態で $k = 12.82$ (鈴木³³⁾, 1949) などが報告されている。

(2) 繭糸、生糸織度とそれぞれの織度分散 (k 粒付生糸)

$$\sigma^2 = k S^2 \quad (2.2)$$

ただし, σ^2 : k 粒付生糸の織度の分散

S^2 : 繭糸織度の分散

式 (2.2) は、三戸森⁸⁾ (1931) が報告し、嶋崎³²⁾ (1973) が織度時系列論から、一般化した。

(3) 混合粒付生糸 (k_1 粒付および k_2 粒付) の生糸の織度分散 (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\lambda k_1 + \mu k_2}{\lambda + \mu} S^2 + \frac{\lambda \delta_1^2 + \mu \delta_2^2}{\lambda + \mu} \quad (2.3)$$

ただし, λ, μ : 粒付出現率, δ : 平均織度との差

式 (2.3) は、三戸森⁸⁾ (同上) が報告し、小野¹⁷⁾ (1955, 1956) によって工務技術の上で生糸織度管理に導入された。

(4) 定織度繰糸における生糸織度^{31), 32)}

$$E[Z] = C + \frac{E[\delta]}{2} \left[1 + \left(\frac{\sigma}{E[\delta]} \right)^2 \right] \quad (2.4)$$

$$D[Z] = \sqrt{\frac{E[\delta^3]}{3E[\delta]} - \frac{E[\delta^2]^2}{4E[\delta]^2}} \quad (2.5)$$

ただし, $E[Z]$: 生糸の平均織度, $D[Z]$: 生糸の織度偏差

C : 細限織度接緒点織度 (以下細限織度という)

σ^2 : 接緒時繭糸織度分布の分散

$E[\delta]$: 接緒時繭糸織度分布の平均値

また, 式 (2.4) で $(\sigma/E[\delta])^2$ の値を無視すれば,

$$E[Z] = C + \frac{E[\delta]}{2} \quad (2.6)$$

式 (2.4), (2.5) および (2.6) は嶋崎 (1961) によって報告されたが、これは定織度制御におけるロジック・コントロールの基礎式となる。

なお、細限織度接緒方式については、中川¹³⁾ (1933)が細限接緒繰糸法として最初に発表した。

2.2 解じょ糸長について²²⁾

通常使用されている解じょ糸長とは平均解じょ糸長のことであって、本来的解じょ糸長を意味しない。

繭糸の解じょ糸長は、繭糸の繰り始めから繰り終りに至るまでの長さで定義づけられる、いわば繭糸の寿命長 (LTB) としての定義づけが可能である。

繭糸は、その最も弱い部分で切断し、その繭糸の寿命長が決定され、その分布特性は、繭糸質の有する長さ方向における信頼性寿命と考えられる。

解じょ糸長に関しては、橋本³⁾ (1954)、嶋崎³¹⁾ (1956)、三浦ら¹²⁾ (1992)などの研究がある。ここでは解じょ糸長を寿命長としてとらえ、その信頼性解析について概括する。

(1) 解じょ糸長分布²²⁾ (1粒繰り)

繭糸の寿命長 (繭糸の繰り始めを基点として繰りとり機能が正常に続行される区間) を LTB m として $LTB = x$ とすれば、 x の確率密度関数 $f(x)$ は次式で示される Weibull 分布に従うものと考えてよい。

$$f(x) = \frac{m(x-r)^{m-1}}{x_0} e^{-(x-r)^m/x_0} \quad (2.7)$$

ただし、 m, x_0, r はそれぞれ形状、尺度、位置のパラメータ

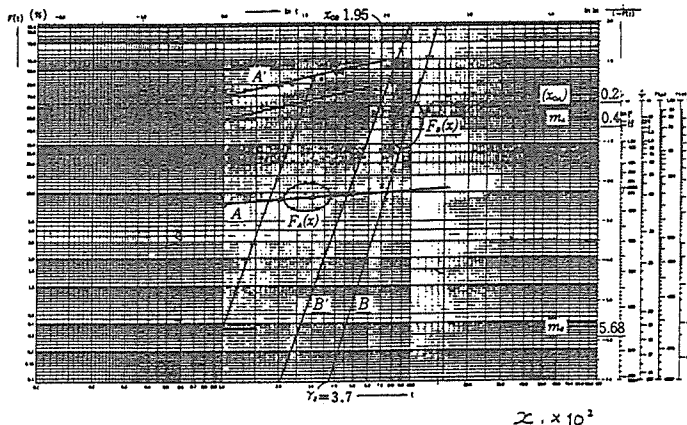
(2) 混合繭糸の解じょ糸長の分布²³⁾

混合繭群 A 区および B 区の解じょ糸長の分布がそれぞれ Weibull 分布に従う場合に、両者の総合分布は次のような混合ワイブル分布関数¹⁴⁾ $F(x)$ および密度関数 $f(x)$ に従う。

$$F(x) = p_A F_A(x) + p_B F_B(x) \quad (2.8)$$

$$f(x) = p_A f_A(x) + p_B f_B(x) \quad (2.9)$$

ただし、 p_A, p_B は、各分布の出現比率



第2.1図 2つの異なるLTB (tをxと読みかえ) 群を含むワイブルプロット
図 (日科技連, ワイブル確率紙使用)

混合繭糸の解じょ糸長のワイブルプロット図（日科技連確率紙使用）を例示すれば、第2.1図のようになる。これにより、各パラメータ m, x_0, σ 値を算定してWeibull 理論値と実際値を対比すれば第2.2図のようになり、よく一致することが知られる。

(3) 繭糸の瞬間落緒率²³⁾

ある時点まで正常に繰糸されてきた繭糸が、次の単位区間に切断し落緒する割合を落緒率 $\lambda(x)$ とすれば $\lambda(x)$ は一般に次式で定義される。

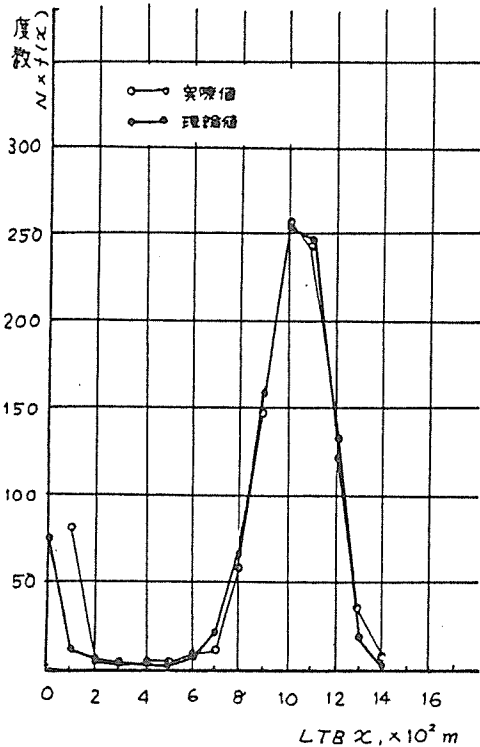
$$\begin{aligned}\lambda(x) &= \frac{f(x)}{1 - F(x)} \\ &= \frac{p_A f_A(x) + p_B f_B(x)}{1 - \{p_A F_A(x) + p_B F_B(x)\}}\end{aligned}\quad (2.10)$$

前項の第2.1図の実際値を式(2.10)の $\lambda(x)$ 値に適用して $LTB\ x$ 値に対応させて作図すれば、第2.3図を得る。

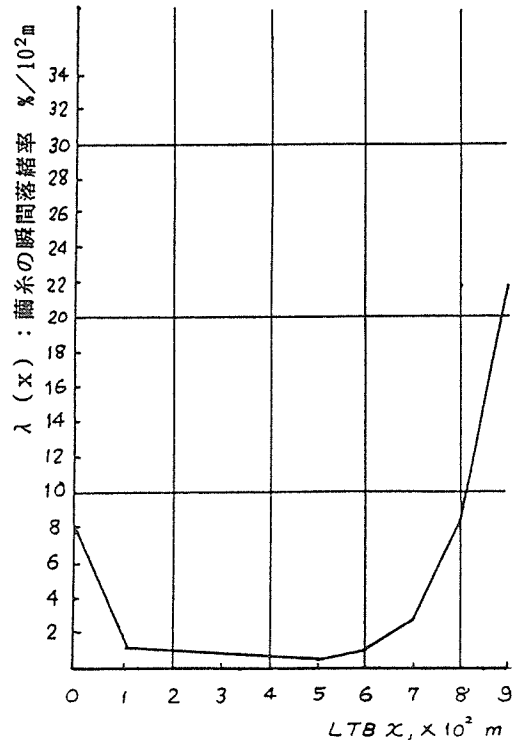
同図によれば、 $x = 0 \sim 1 \times 10^2 m$ の区間では、 $\lambda(x)$ は減少し、 $x = 1 \sim 7 \times 10^2 m$ の区間ではほぼ一定、 $x = 8 \times 10^2 m$ 以降では増加型の曲線を示す。

3. 生糸織度の自動制御とその条件

生糸織度の自動制御のための制御回路における制御要素の定義づけ、信号の連続性、再現性、



第2.2図 解じょ糸長の分布の
Weibull理論値と実際値

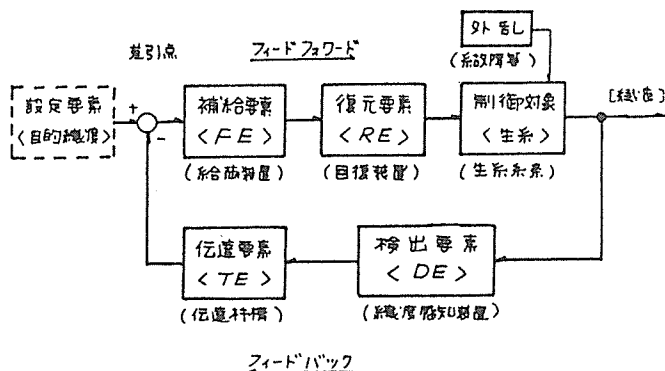


第2.3図 繭糸の瞬間落緒率 $\lambda(x)$

制御系内の自己点検機能、所定時間内における信号数の限定による信頼性の維持ならびに Weibull 分布の適用による瞬間接緒率について総括する。

3.1 生糸織度の自動制御の構成とその条件^{19),21)}

(1) 織度制御のブロックダイアグラム



第3.1図 織度制御のブロック・ダイアグラムのモデル図

(2) 織度制御の条件

ある比較的短い時間間隔内において、 x 回の接緒要求現象が発生する確率 $P(x)$ は、Poisson 分布に従う(嶋崎³¹⁾, 1955 ほか)。すなわち、

$$P(x) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \quad (3.1)$$

ただし、 λ は x の平均値、 $x = 0, 1, 2, \dots$

である。

自動繰糸における織度制御の条件としては、式(3.1)より、単位時間内に接緒要求現象が $x \geq 2$ 回発生する確率 $P(x \geq 2)$ を規制することである。

すなわち、

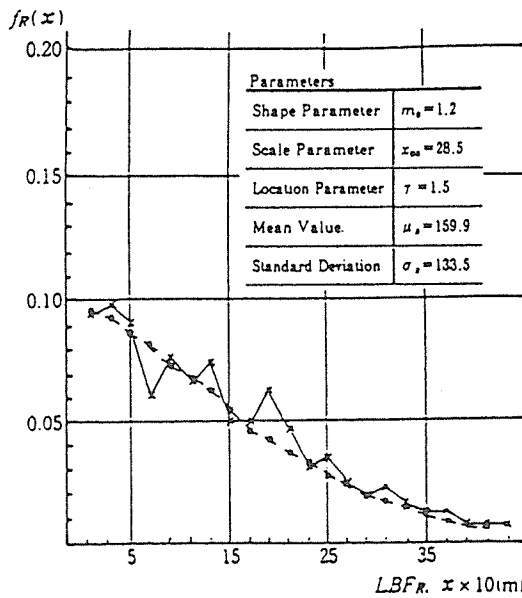
$$\begin{aligned} P(x) &= \sum_{x=2}^{\infty} e^{-\lambda} \frac{\lambda^x}{x!} \\ &= 1 - e^{-\lambda} (1 + \lambda) \end{aligned} \quad (3.2)$$

において $P(x \geq 2) \approx 0$ とすることである。

3.2 接緒要求間隔について²⁵⁾

自動繰糸機構の訂正操作能力の設定上検討しなければならない課題として、接緒要求間隔の分布がある。

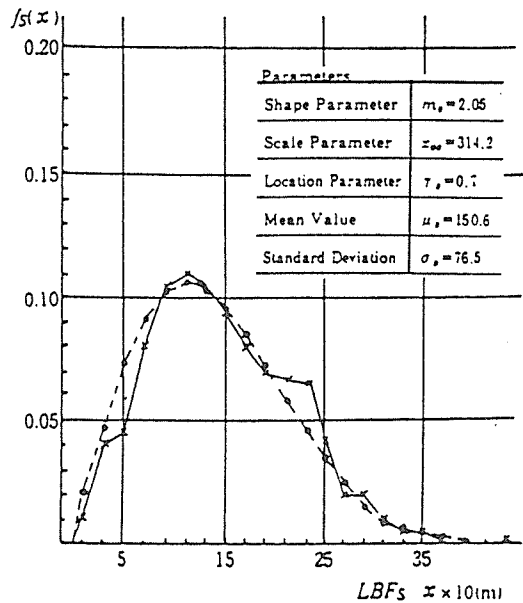
接緒要求間隔の分布については三浦¹⁰⁾ (1982)がGamma分布の適合性について報告している。ここでは、さらに簡易な方法(確率紙の利用)による分布形態の把握の可能性について示す。繰糸過程において、接緒要求現象が発生し、次に同現象が発生する間隔 x 内は定常繰糸状



第3.2図 確率密度関数 $f_R(x)$

x 実際値例 (三浦: 1982)

● Weibull分布による値



第3.3図 確率密度関数 $f_S(x)$

x 実際値例 (三浦: 1982)

● Weibull分布による値

態であり、接緒要求現象がランダムに発生するものであると考えれば、定常繰糸区間は寿命区間 x と考えてよく、信頼性の課題として、Weibull 分布の適用できる。

すなわち、接緒要求間隔 x_m について、ワイブル確率紙上でワイブルプロットを行えば、直線回帰性が認められるが、繰糸方法 (定粒、定織) によって異なる Weibull 分布 $f_R(x)$: (定粒付), $f_S(x)$: (定織度) に従うものと考えてよい。

式 (2.7) における各パラメータ値を求め、図示すれば、第3.2図、第3.3図のとおりである。

$f_R(x)$ および $f_S(x)$ 値すなわち、

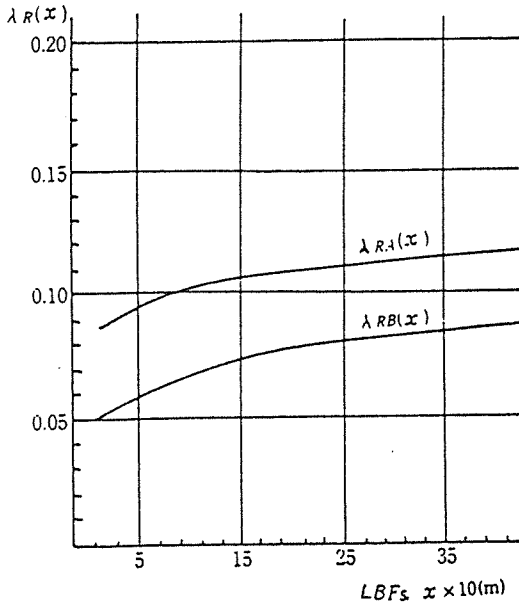
$$f_R(x) = \frac{m_R(x - \delta_R)^{m_R-1}}{x_{0R}} e^{-(x - \delta_R)^{m_R}/x_{0R}} \quad (3.3)$$

$$f_S(x) = \frac{m_S(x - \delta_S)^{m_S-1}}{x_{0S}} e^{-(x - \delta_S)^{m_S}/x_{0S}} \quad (3.4)$$

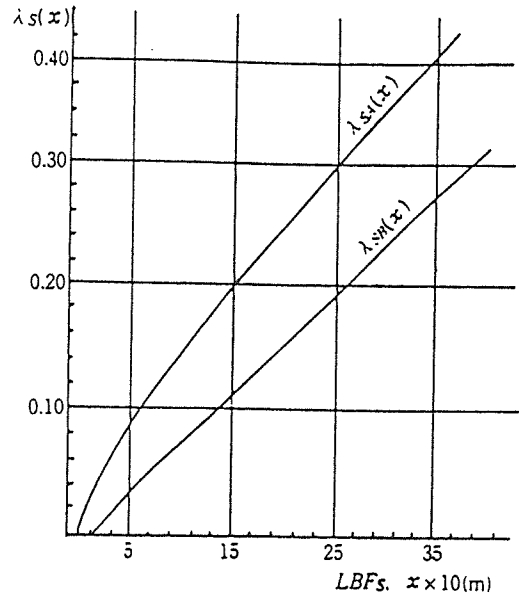
による理論値と $K-S$ 検定の結果は適合性を示している。

3.3 繰糸方法による瞬間接緒率の相違

ある時点まで正常に繰糸されてきた繭糸群 (または生糸) において、次の単位繰糸区間で接緒要求現象が発生する割合を、 $\lambda_R(x)$: 定粒付、および $\lambda_S(x)$: 定織度として次式で定義する。



第3.4図 接緒要求間隔LBFsと瞬間
接緒率(定粒付) $\lambda_R(x)$



第3.5図 接緒要求間隔LBFsと瞬間
接緒率(定織度) $\lambda_S(x)$

$$\lambda_R = \frac{f_R(x)}{1 - F_R(x)} \quad (3.5)$$

$$\lambda_S = \frac{f_S(x)}{1 - F_S(x)} \quad (3.6)$$

いま、各接緒要求間隔 $L T B x$ に対して、 $\lambda_R(x)$ 、 $\lambda_S(x)$ を求めれば第3.4図および第3.5図のようになる。

これらによれば、 $\lambda_R(x)$ は比較的一定の、 $\lambda_S(x)$ は増加型の曲線を示すことがわかる。

また、2.2(3)項に示した $\lambda(x)$ は、いわば1粒繰りにおける接緒要求現象(落緒)に相当し、この場合の瞬間接緒率(=落緒率)は、第2.3図に示したとおりである。

4. 織度感知器構成コンポーネントとその条件^{27),29)}

4.1 ゲージ型織度感知器の生産特性

円型ゲージ型織度感知器の力学的研究については、三戸森⁹⁾(1961)の報告がある。その後、矩形型、その変形型等が開発されてきたので、ここではそれらの応答特性、力学的機能特性について相互の関連性について示す。

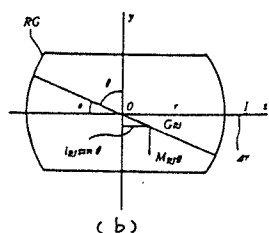
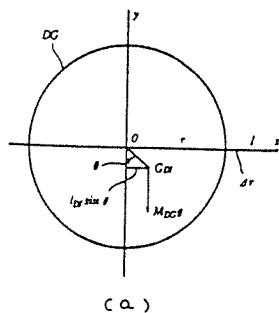
(1) ゲージ体の回転モーメント

円形ゲージ型、矩形型について、第4.1図(a, b)に示すようなモデルを考える。この場合には、剛体の複振子の式^{2),6),9)}から、回転モーメント N について、円形型 N_{Dr} 、矩形型 N_{Rz} とすれば、次式で規定できる。

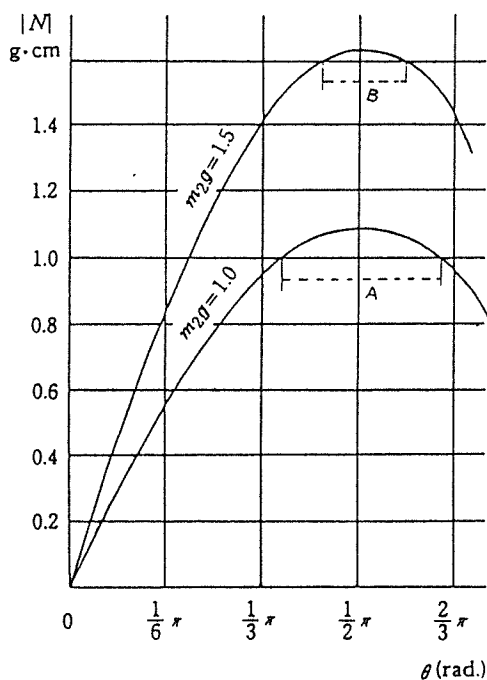
$$N_{DI} = -M_{DI} g l_{DI} \sin \theta \quad (4.1)$$

$$N_{RI} = -M_{RI} g l_{RI} \sin \theta \quad (4.2)$$

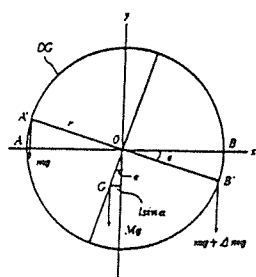
ただし、 M はそれぞれの質量、 g は重力の加速度 (980 cm/sec^2)



第4.1図 織度感知器のゲージ体例
(円形および矩形)



第4.3図 織度感知器の回転角 θ と回転モーメント $g \cdot \text{cm}$



第4.2図 織度感知感度 $\phi = \alpha / \Delta m$

(2) 織度感知感度

第4.2図に示すことから、ゲージ質量 M それに mg が両端に加えられて均衡を保っている場合に、一方に Δmg が加えられて角度 α だけ変位したものとする。

この場合に、

$$m g r \cos \theta + M g l \sin \alpha = (m + \Delta m) g r \cos \alpha \quad (4.3)$$

が成立し、

感度 ϕ を

$$\phi = \frac{\alpha}{\Delta m}$$

で定義すれば、 α が小なるとき、 $\sin \alpha \approx \alpha$ 、 $\cos \alpha \approx 1$ であるから、式 (4.3) から、

$$\alpha = \frac{r}{M l} \quad (4.4)$$

を得る。

$M_{DI} > M_{RI}$ 、 $r_D \approx r_R$ 、 $l_D \approx l_R$ であれば、 $\alpha_D < \alpha_R$ (D : 円形、

R : 矩形を示す) となる。

(3) 織度感知器の回転モーメント

第 4.1 図 (a) および式 (4.1) において、円形ゲージの質量 m_1 、指示棒の長さ $r + \Delta r$ 、質量を m_2 とすれば、織度感知器の回転モーメント N_{DI} は、

$$N_{DI} = -\frac{1}{2} m_2 g (r + \Delta r) \sin \theta \quad (4.5)$$

を得る。

式 (4.5) において、 $m_2 g = 1 \sim 2 \text{ gr}$ 、 $r = 2 \text{ cm}$ 、 $\Delta r = 0.2 \text{ cm}$ 、 $\theta = 0 \sim 0.666 \pi$ として、 N_{DI} の絶対値を求めれば、第 4.3 図を得る。

同図において、 A および B の範囲が実用上、ゲージ体回転モーメントの安定域と考えてよい。

(4) 織度感知器の慣性モーメント

円形ゲージおよび矩形ゲージの慣性モーメント I_D および I_R は、それぞれの回転モーメントを T_D 、 T_R 、角加速度を α_D 、 α_R とする場合に、

$$T_D = \alpha_D I_D, \quad T_R = \alpha_R I_R \quad (4.6)$$

で規定される。線糸張力による摩擦抵抗が与えられれば I_D 、 I_R の増大は α_D 、 α_R の減少となる。

両形の慣性モーメント比 $R_I = R_I / R_D$ は、円形ゲージ半径 R 、質量 M_D 、矩形ゲージの長辺 a 、短辺 b 、質量 M_R 、 $R_M = M_R / M_D$ となるとき、

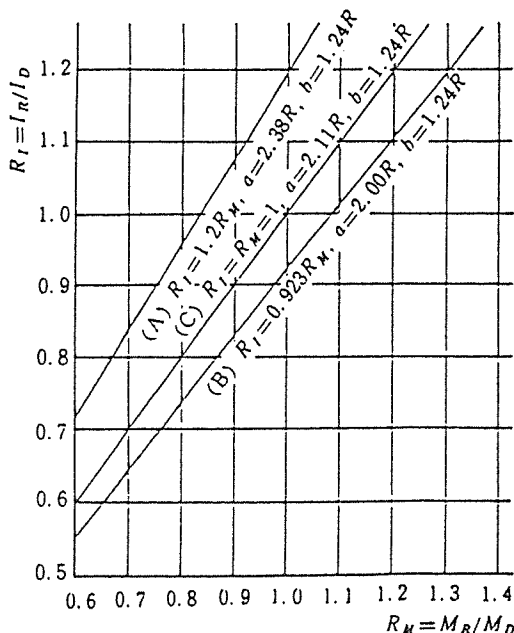
$$R_I = \frac{1}{6} \times R_M \times \frac{a^2 + b^2}{R^2} \quad (4.7)$$

で示される。これらの関係を第 4.4 図に示す。

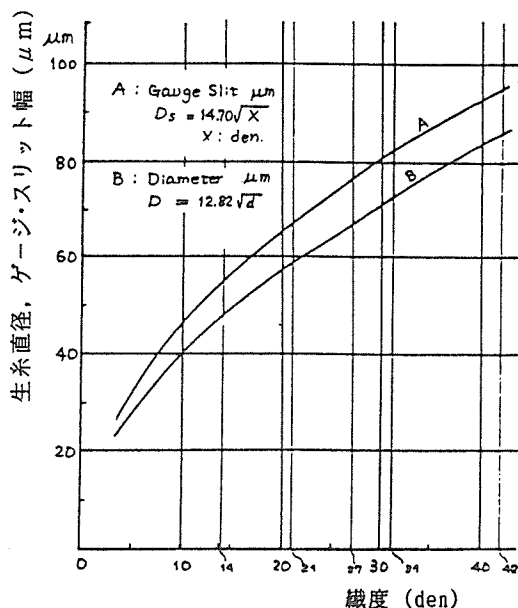
4.2 ゲージ型織度感知器の実用特性の例示

(1) 生糸の太さ (直径) と織度 (デニール) の実用値

生糸の太さ (直径) と織度 (デニール) との関係は式 (2.1) に示した。制御過程での生糸は



第4.4図 織度感知器の慣性モーメント比 R_I



第4.5図 生糸織度と直径の関係例示
($v=130\text{m/min}$)

湿潤状態にあり、同次の k 値は $k \approx 14.70$ 内外である。目的織度 X den になるとき、湿潤生糸の直径 D_s μm は、

$$D_s = 14.70 \sqrt{X} \quad (4.8)$$

式 (2.1) の D 値と式 (4.8) の D_s 値を対比すれば第4.5図のような傾向値を得る。

(2) 織度感知器の回転モーメントと生糸の織度

織度感知器の回転モーメントと生糸織度との関係について、実験的に求めた例を示せば第4.6図のとおりである。

全体的には非一次的な増加型であるが、部分的には一次的关系を示す範囲がある。この範囲を設計上の基準とすれば、機構上の単純化が可能となる。

(3) 繰糸速度と生糸の織度

所定の目的織度に対応する、式 (4.8) にもとづく織度感知器について、同一速度により、繰糸速度の10rpmの変化に対する織度の変化を $I_{SV} = \Delta S / 10\text{rpm}$ のように織度勾配として表わせば、第4.7図のような傾向を示す。 I_{SV} は負の値を示す。

(4) ガラスゲージ体の平面度の基準化

ガラスゲージ体の平面度の計測はOptical Flatによる干渉縞により、 $2\delta = n\lambda$ (ただし、 δ は隙間で μm 、 n は干渉縞数、 λ は使用光線の波長で μm) にもとづき、次式を誘導して設定するのが適当である。

$$\Delta d = 0.0816 \sqrt{d_1} n - 0.000166 n^2 \quad (4.9)$$

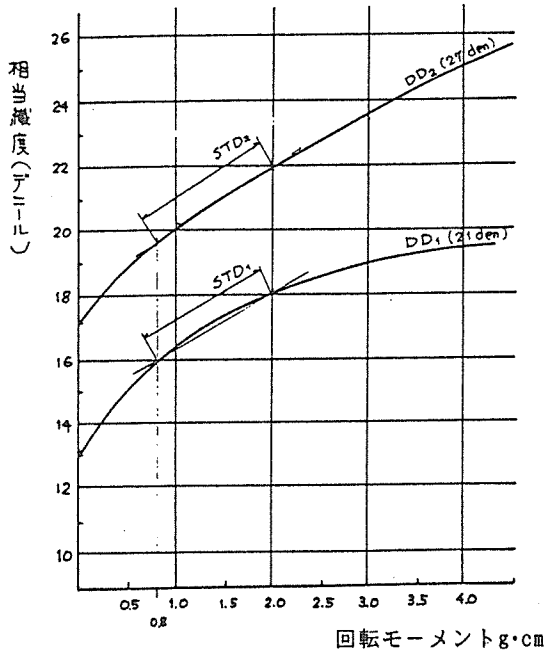
ただし、 $\Delta d = d_1 - d_2$ で目的織度 d_1 との差を示す。

$\Delta d = d_1 - d_2 < 1.0\text{den}$ であれば、 $n \leq 2$ となる。

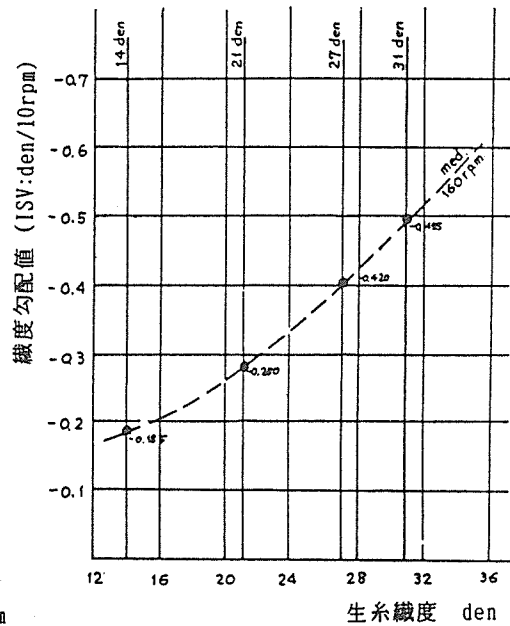
これらの関係を第4.8図に示す。

(5) ゲージ体表面の時経変化例

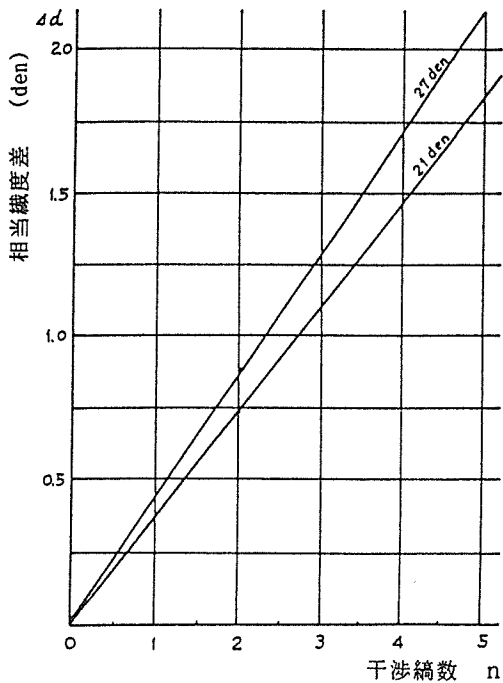
第4.9図にゲージ体表面の時経変化の1例を示す。



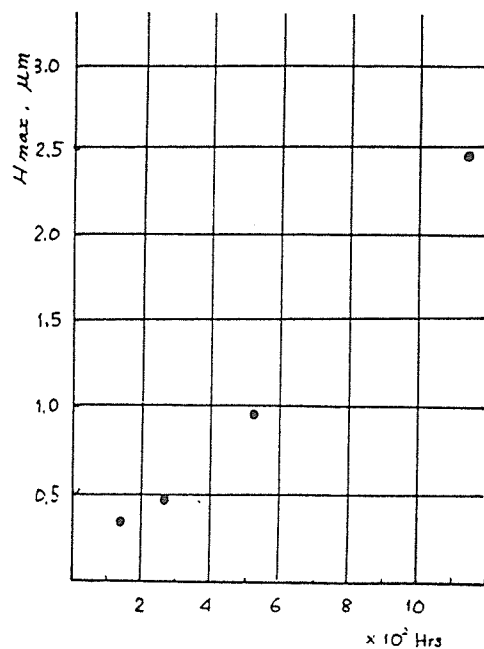
第4.6図 回転モーメント $g \cdot cm$ と相当織度
($v=130m/min$)



第4.7図 生糸織度と織度勾配値
(ISV:den/10rpm)の例示



第4.8図 干渉縞数 n と相当織度差 Δd den



第4.9図 ゲージ体表面の時経変化例
(表面あらさ H_{max} , μm)

5. 給餌システムの信頼性設計^{20),21),34),16)}

繰系システム系内の繰系系（被補給系）と給餌系（補給繰）の対応関係について可能性のあるシステム分類を行い、信頼性ブロック・ダイアグラムを設定、システム構成要素の信頼度を仮設定して、これらの信頼度に基づく全体の繰系システム信頼度を求めて対比し、最適な信頼度が得られるような給餌システムについて考える。

5.1 補給系と被補給系の対応

第3.1図に示した、制御のブロック・ダイアグラムにおいて、制御要素（ $FE+RE$ ）と制御対象としての生系との対応関係についての組み合わせについて、第5.1表に示すように4種類が考えられる。

第5.1表 制御要素（ $FE+RE$ ）と制御対象の生系

要素 \ システム系	系 1	系 2	系 3	系 4
検出 DE	S	S	R	S
伝達 TE	S	S	S	S
補給 FE	S	S	S	R
復元 RE	S	S	R	S
対象 CO	S	S	R	S
冗 長 性	直 列	並 列	待機冗長	待機冗長
補 給 対 生 系	単純固定	デュアル固定	待機固定	待機移動

註 S : その系が固定, R : その系が移動または循環

第3.1図と第5.1表に基づき、信頼性ブロック・ダイアグラムを作れば第5.1図のようになる。

5.2 給餌システムの信頼度

(1) 給餌システムの信頼度の考え方

第5.1図において、 DE 、 TE 、 FE および RE の各要素の信頼度をそれぞれ、 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 とし、各系の各要素とも同一値をとり得るものとする。

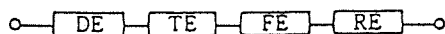
また、系1～系4のシステム全体の信頼度すなわち、その系が所定の時間内において、本来の機能を発揮しつづける確率を R_s 、 R_p 、 R'_{sb} 、 R_{sb} とすれば、各信頼度は次のようになる。ただし、信頼度上は $R'_{sb} = R_{sb}$ と考える。

$$1. \text{ 系 1, } R_s = R_1 R_2 R_3 R_4 \quad (5.1)$$

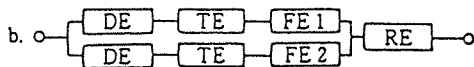
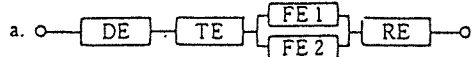
$$2. \text{ 系 2, } R_p = R_1 R_2 \{ R_3 + R_3 (1 - R_3) \} R_4 \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ 系 4 } R_{sb} &= R_1 R_2 \{ 1 - (1 - R_3)(1 - R_0 R_3) \} R_4 \\
 &= R_1 R_2 \{ R_3 + R_0 R_3 (1 - R_3) \} R_4
 \end{aligned} \quad (5.3)$$

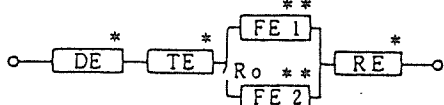
(1) 単独固定



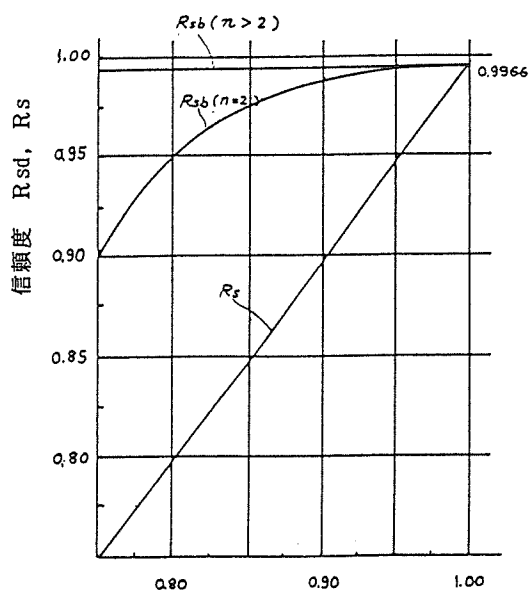
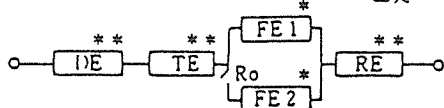
(2) デュアル固定



(3) 待機固定



(4) 待機移動



第5.1図 織度制御方式別信頼性ブロック・ダイアグラム (補給要素FEを中心としてみる場合)

第5.2図 信頼度R3及びRsd, Rsの関係

ただし, R_o : 切替係合機構の信頼度

給薬要素FEが n 箇装備される場合には, 系2, 系4の各FEの部分信頼度 $R_{FE(p)}$, $R_{FE(sb)}$ はそれぞれ一般的に次のようになる。

$$\begin{aligned} R_{FE(p)} &= 1 - (1 - R_3)^n \\ &= R_3 + R_3(1 - R_3) + R_3(1 - R_3)^2 \\ &\quad + \dots + R_3(1 - R_3)^{n-1} \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} R_{FE(sb)} &= 1 - (1 - R_3)(1 - R_o R_3)^{n-1} \\ &= R_3 + (1 - R_3) \{ 1 - (1 - R_o R_3)^{n-1} \} \end{aligned}$$

従って, R_{sb} についてみれば一般的に,

$$R_{sb} = R_1 R_2 [R_3 + (1 - R_3) \{ 1 - (1 - R_o R_3)^{n-1} \}] R_4 \quad (5.5)$$

(2) 各給薬システムの信頼度の比較

給薬要素FEが n 箇装備される場合に, R_s , R_p , R_{sb} の相互の差をとり, それぞれの系の信頼度について対比すれば次のとおりである。

(1) R_p と R_s について対比すれば,

$$\begin{aligned} R_p - R_s &= R_1 R_2 R_4 \{ 1 - (1 - R_3)^n - R_3 \} \\ &= R_1 R_2 R_4 (1 - R_3) \{ 1 - (1 - R_3)^{n-1} \} \end{aligned} \quad (5.6)$$

(2) R_{sb} と R_s について対比すれば,

$$\begin{aligned}
 R_{sb} - R_s &= R_1 R_2 R_4 \left[\left\{ 1 - (1 - R_3)(1 - R_0 R_3)^n \right\} - R_3 \right] \\
 &= R_1 R_2 R_4 (1 - R_3) \left\{ 1 - (1 - R_0 R_3)^{n-1} \right\} \quad (5.7)
 \end{aligned}$$

(3) R_p と R_{sb} について対比すれば,

$$\begin{aligned}
 R_p - R_{sb} &= R_1 R_2 R_4 (1 - R_3) \left\{ (1 - R_0 R_3)^{n-1} \right. \\
 &\quad \left. - (1 - R_3)^{n-1} \right\} \quad (5.8)
 \end{aligned}$$

すなわち, 式 (5.6), (5.7), (5.8) の右辺はいずれも正の値となる。

従って次の関係にあることがわかる。

$$R_s < R_{sb} < R_p \quad (5.9)$$

以上のことから, 系1 (単純固定) < 系4 (待機移動) < 系2 (デュアル固定) の関係が成り立つ。

(3) 給餌システムの信頼性とその可能性

システムの選択上は, 信頼度に加えて, 技術上の可能性, スペースの許容度, コンポーネント数の大小, コストの多少等についても検討しなければならない。

これらの諸点について整理して示せば第5.2表のとおりである。

第5.2表 制御要素による各系毎の対比

系	制 御 要 素	冗長度	技術的可能性	スペースコンポ数	コスト上
1	単 純 固 定	○	○	△	○
2	デュアル固定	$+ R_1 R_2 R_4 (1 - R_3) \{ 1 - (1 - R_3)^{n-1} \}$	○	△	×
3	待 機 固 定	4と同じ	○	×	×
4	待 機 移 動	$+ R_1 R_2 R_4 (1 - R_3) \{ 1 - (1 - R_0 R_3)^{n-1} \}$	○	○	○

(4) 繰糸系の重畳とその信頼度

j 箇の繰糸緒によって構成される自動繰糸機1セットの信頼度 (第5.1図(4)の1緒が全体で j 箇ある場合) をあらためて R とし, j 緒の中で, 0 緒から x 緒故障する確率は二項分野で示される。これを $F(x \geq 0)$ で示せば,

$$F(x \geq 0) = \sum_{x=0}^j \binom{j}{x} F^x (1 - F)^{j-x} \quad (5.10)$$

故障緒数は, j 緒のうち, $x=e$ 緒まで許容されるものとすれば,

$$F(x \geq e+1) = \sum_{x=e+1}^j \binom{j}{x} F^x (1 - F)^{j-x} \quad (5.11)$$

となる。従って, 1セットの信頼度 R を各要素の信頼度で表示すれば,

$$\begin{aligned}
 R &= 1 - F(x \geq e+1) = 1 - \sum_{x=e+1}^j \binom{j}{x} F^x (1 - R_{sb})^x R_{sb}^{j-x} \\
 &= 1 - \sum_{x=e+1}^j \binom{j}{x} \left[1 - R_1 R_2 \left\{ 1 - (1 - R_3)(1 - R_0 R_3)^n \right\} R_4 \right] \\
 &\quad \times \left[R_1 R_2 \left\{ 1 - (1 - R_3)(1 - R_0 R_3)^n \right\} R_4 \right]^{j-x} \quad (5.12)
 \end{aligned}$$

のようになる。

(5) 自動繰糸系の信頼度の対比

各要素の信頼度について、120回の接緒回数あたり、Failure Rateとして $F_{DE} = 0.0010$ 、 $F_{TE} = 0.0020$ 、 $F_{FE} = 0.03000$ 、 $F_{RE} = 0.00210$ と設定するような場合に、式 (5.1)、(5.2)、(5.3)の各 R_s 、 R_p 、 R_{sb} 値は、同一の R_3 の値に対して異なる値を示す。これらの関係を第5.2図に示す。

6. 生糸織度検出間隔の信頼性設計²⁴⁾

6.1 繰糸状態の信頼度

ある一定時間内に発生する接緒要求現象 (FD 現象) は、その時間が十分短い場合には Poisson 分布で近似できる。

いま、この一定の時間を織度検出 (TD) の1サイクル相当と考え、 τ sec とし、 x 回の FD 現象の発生する確率について考える。すなわち、単位時間に単位緒数あたり、平均 m 回 (m を接緒率または繰糸状態指数と呼ぶことにする) の FD 現象が現われるような繰糸状態について考えれば、

$$P(x) = e^{-m\tau} \frac{(m\tau)^x}{x!} \quad (6.1)$$

ただし、 $x = 0, 1, 2, \dots$

$m\tau$: 平均接緒回数

となる。

繰糸状態の信頼度について、第一義的に、時間 τ 内で FD 現象が発生しない確率を $R_1(\tau)$ と定義し、第二義的に、給繭要素からみて、時間 τ 内に1回までの FD 現象の発生を許容するような場合の確率を $R_2(\tau)$ と定義づければ、 $R_1(\tau)$ および $R_2(\tau)$ はそれぞれ、

$$R_1(\tau) = e^{-m\tau} \quad (6.2)$$

$$R_2(\tau) = e^{-m\tau} (1 + m\tau) \quad (6.3)$$

で示される。

これら $R_1(\tau)$ 、 $R_2(\tau)$ の関係を、接緒率 m 、織度検出間隔 τ (sec) を基準に図示すれば、第6.1図および第6.2図のとおりとなる。

6.2 正常な最大無接緒時間間隔の推定

ある時点で FD 現象を検出し、次に FD 現象が発生するまでの糸長を L_{BF} (Length Between Feeding) とすれば、 L_{BF} の分布は Weibull 分布で近似することができる。

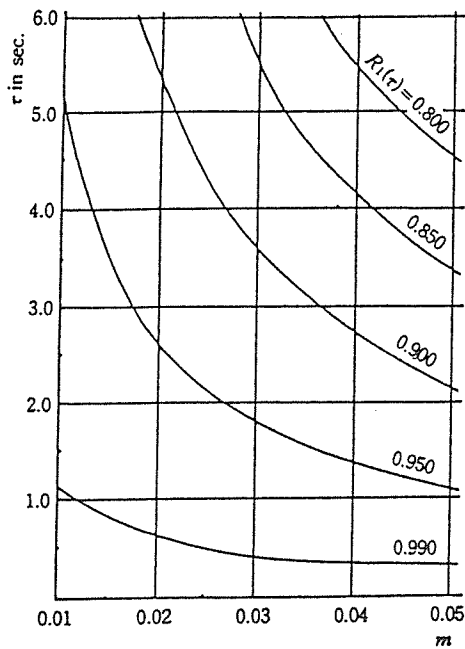
すなわち、 $L_{BF} = x$ を変数とする Weibull 累積分布関数 $F(x)$ とすれば、

$$F(x) = 1 - e^{-(x-x_0)^m/x_0} \quad (6.4)$$

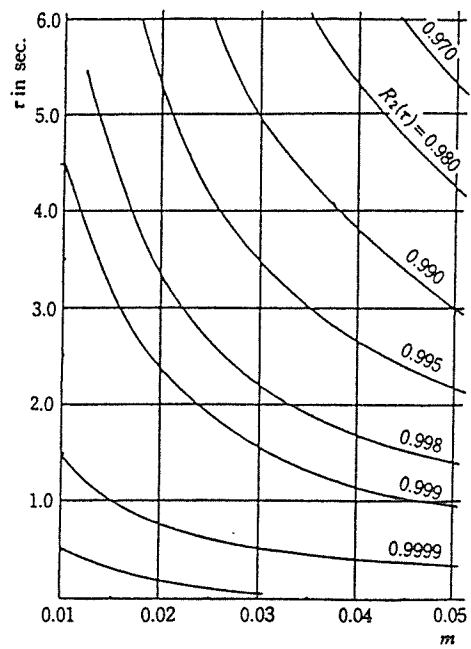
ただし、 m 、 x_0 、 δ はそれぞれ、尺度、形状、位置パラメータ

である。

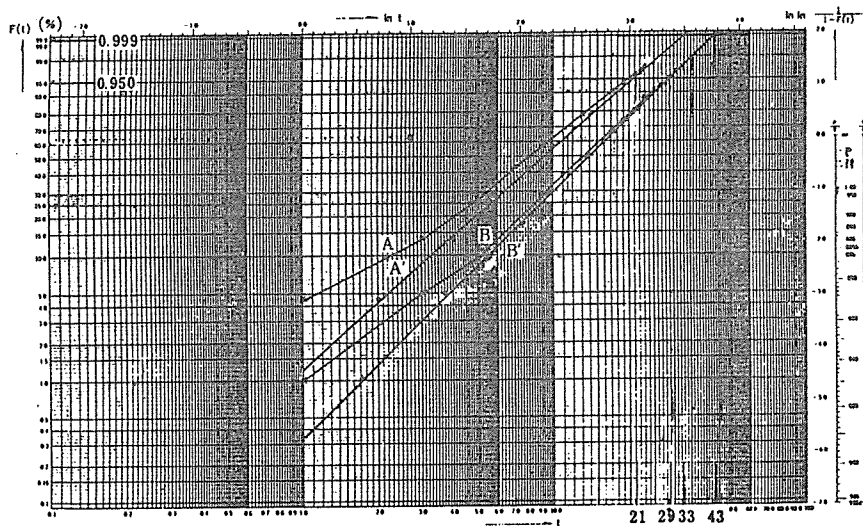
第6.3図に時間間隔 $L_{BF}(m)$ によるワイブルプロット $F(x)$ 値例 A, B を例示



第6. 1図 平均接緒率 m 、織度検出周期 τ および
線系状態の信頼度 $R_1(\tau)$ の関係



第6. 2図 平均接緒率 m 、織度検出周期 τ および
線系状態の信頼度 $R_2(\tau)$ の関係



第6. 3図 接緒間隔 $LBF(m)$ のワイブルプロット $F(x)$
(日科技連、ワイブル確率紙、図中 t を x に読みかえのこと)

する（同実際値例は三浦，1982による）。

第6.3図によれば， L_{BF} のプロット線 A, B は，適当な δ_A, δ_B 値の設定により， A', B' のように直線回帰され，Weibull 分布で近似できる（日科技速ワイブル確率紙使用）。

いま，式（6.4）の第2項を関数 $R(x)$ として， $F(x) + R(x) = 1$ の条件のもとに，

$$R(x) = e^{-(x-\delta)^m/x_0} \quad (6.5)$$

とすれば，上式は $x = x_{max}$ を設定した場合に，正常な長い無接緒状態の続く接緒要求間隔 $L_{BF}(max)$ が， $R(x \cong x_{max})$ だけ含まれる確率を示すものとなる。

たとえば， $R(x) = 0.001$ の水準をとる場合には， A' においては， $L_{BF} = 33 \times 10m$ ， B' の場合には $L_{BF} = 43 \times 10m$ が得られ，繰糸速度を $v \text{ m/min}$ とすれば， T_{BF} （Time Between Feeding）はそれぞれ $T_{BF} = 60 \times 33 \times 10 / v \text{ (sec)}$ ， $T_{BF} = 60 \times 43 \times 10 / v \text{ (sec)}$ の値が得られる。

このように， $L_{BF} = x$ の点における，正常な長い無接緒間隔 $L_{BF}(max)$ について， $R(x)$ を前提とする，図による推計値を得ることができる。

6.3 織度検出間隔 τ の平均織度への影響度

ある繰糸長 L_m に対し，織度検出間隔 τ_{SD} ，繰糸速度 $v \text{ m/min}$ になるとき，この τ_{SD} 値と対応する給繭接緒間隔を τ_{PR} として $\tau_{SD} = \tau_{PR} = \tau$ なる場合について考える。

いま，式（2.6）にもとづき，目的織度 $D \text{ den}$ ，細限織度 $C \text{ den}$ ，平均繭糸織度の $1/2$ の値で式（2.6）の右辺の第2項にかえれば，

$$D = C + \delta \quad (6.6)$$

となり，織度の訂正が行われない場合には，目的織度 D はその分だけ減少する。そのときの目的織度をあらためて Y_D とすれば， $Y_D = D - \delta$ である。ここでは D および δ は $450m$ 基準糸長とする。

検出間隔 τ 間に繰りとられる糸長は， $v\tau/60 \text{ (m)}$ であり，その間の繭糸 $\delta \text{ den}$ の重量は， $0.05 \delta v\tau/450 \times 60 \text{ g}$ に相当する。一方，織度 $D \text{ den}$ の生糸の重量は $0.05 Dg$ であって，このような区間の重量 Y_q は，

$$Y_q = 0.05 \left\{ D - \frac{\delta v \tau}{60 \times 450} \right\} \quad (6.7)$$

となって，これに相当する織度 Y_D は， $Y_D = D - \{\delta v \tau / 60 \times 450\}$ となる。

上式の τ 間に接緒要求回数 x が発生する確率は，接緒率 m なる場合に，式（6.1）によるPoisson 分布 $P(x, m\tau)$ で近似される。

τ 内における接緒要求回数 x のうち，何れも給繭接緒が行われなかったものと仮定すれば，そのときの織度 Y は，

$$Y = D - \frac{\sigma v \tau}{60 \times 450} x$$

となり、この場合の平均織度 $E[Y]$ は、

$$\begin{aligned} E[Y] &= \sum_{x=0}^{\infty} \left\{ D - \frac{\sigma v \tau}{60 \times 450} x \right\} \{ P(x, m\tau) \} \\ &= D - \frac{\sigma v \tau}{60 \times 450} (m\tau) \end{aligned} \quad (6.8)$$

となる。

式 (6.8) は、接緒率 m により規定される所定の繰糸状態において、織度検出間隔（または給繭接緒間隔） τ sec と生糸の平均織度との関係を示すものである。

これらを図示すれば、第 6.4 図のとおりである。ただし $v = 160$ m/min, $m = 0.04$, $\sigma = 1.4$ である。ここでは、 $\tau = 1 \sim 6$ sec に対し、接緒要求回数 $x = 0, 1, 2, \dots$ による生糸織度の減少状態を示すものである。

この場合に、式 (6.3) による信頼度 $R_2(x)$ の値は $0.9992 \sim 0.9975$ であり、不信頼度すなわち、 $x \geq 2$ の発生する確率は、 $F_2(\tau) = 1 - e^{-m\tau}(1 + m\tau)$ であって、 $F_2(\tau) = 0.0008 \sim 0.0025$ となる。

また、同図から、 τ の $E[Y]$ に与える影響は、目的織度に対し、約 $1/1,000$ 程度である。

7. 織度検出間隔と糸むら¹⁸⁾

今回官報告示となっている、生糸検査基準の改正においては、節検査の強化、織度偏差検査の精度向上（検査糸長の短縮化、織度最大偏差の主要項目化）、糸むら検査の「依頼検査項目」化等があげられ、6 A 格の設定や、B～D 格クラスにかえての B 格化による新 7 格付などが盛り込まれている。

糸むら検査の位置づけの変化がみられるものの、ここでは、糸むらに関する基本事項としてのむら幅、むら深さおよびむら数について示しておく。

7.1 糸むらの幅

織度の検出間隔（SDC）と訂正間隔（PRC）は、同一サイクル内で完結するように設定され、 τ で規定することは、先に述べたとおりである。

このような τ とその間に繰りとられる生糸糸長とセリブレン上の糸むら幅について示せば次のとおりである。

セリブレンのパネルには、25.4mm（1 インチ）間に糸条本 a 本（目的織度によって異り、17～26den $a = 80$, 27～36den $a = 66$ とされているとすれば、 w mm 間に巻きとられる糸長 L_m は、

$$L = \frac{1}{25.4} a \omega \quad (7.1)$$

であり、繰糸速度 v m/min, 時間間隔 τ sec の場合には,

$$\omega = \frac{25.4}{60} \times \frac{\tau v}{a} \quad (7.2)$$

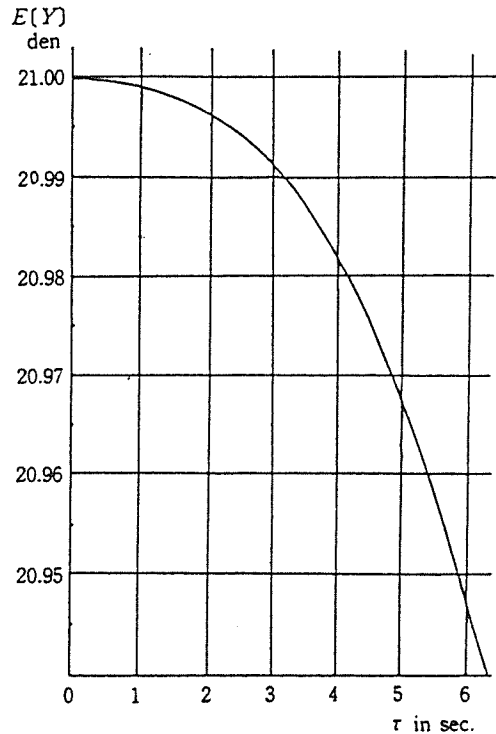
となる。

もし、 $\omega_{21} \leq 4 \text{ mm}$, $\omega_{31} \leq 5 \text{ mm}$ を限界とすれば、それぞれ、上式より、

$$\tau \leq \frac{755.9}{v},$$

$$\tau \leq \frac{779.5}{v},$$

となる。かりに、 $\tau = 3.8 \text{ sec}$ のような場合には、 v の値は、それぞれ、 198.9 m/min あるいは 205.1 m/min までが許容されることになる。



第6.4図 繰度検出周期または給繭接緒間隔 τ sec と接緒遅れ (1回) および生糸繰度との関係

7.2 糸むらの深さ

糸むら変化標準写真は、糸むらの変化程度の判定の基準を示すものであり、変化程度を V_0 , V_1 および V_2 の3種類によって示している。すなわち、糸むら1類 (実際には検査項目としてはあげられていないが、糸むら変化写真の V_0 相当)、糸むら2類 (変化標準写真の V_1 を超え V_2 までのもの)、糸むら3類 (変化標準写真の V_2 を超えるもの) である。

いま、生糸の繰度を $D_n \text{ den}$, そのときの直径を $R_n \mu\text{m}$, 密度を $\rho \text{ g/cm}^3$, とし、

長さ L_m なるときの重量を $W_n \text{ g}$ であるとすれば、

$$W_n = \left(\frac{R_n}{2} \right)^2 \pi \rho L \quad (7.3)$$

となる。上式から、 D_n は、次のようになる。

$$D_n = 9 \times 10^{-3} \frac{W}{L} = \frac{9}{4} \times 10^{-3} \pi \rho R_n^2 \quad (7.4)$$

ここで $9 \times 10^{-3} \frac{\pi \rho}{4} = k$ とおけば、細むらおよび太むらについて、次のような考え

方が成り立つ。

(1) 細むらの場合

平均織度 D_o 、そのときの生糸の直径 $R_o \mu m$ として、織度開差 $D_o - D_n$ を考え、
 $D_o > D_n$ の場合を fD_n とする。

変化標準写真の変化程度 V_n (n は 0, 1, 2) とする場合に、 V_n なる変化は、生糸の直径 R_n のある基準係数 α の n 倍相当を示すものとする。ただし α は、 $0 < \alpha < 1$ とする。

このようにすれば、

$$fD_n = D_o - D_n = k(R_o^2 - R_n^2) \quad (7.5)$$

一方、 $R_n = R_o - \alpha n R_o = R_o(1 - \alpha n)$ であることから、上式に代入して、

$$\begin{aligned} fD_n &= k \{ R_o^2 - R_o^2(1 - \alpha n)^2 \} = k R_o^2 \{ 1 - (1 - \alpha n)^2 \} \\ &= D_o \{ 2\alpha n - \alpha^2 n^2 \} \end{aligned} \quad (7.6)$$

を得る。

(2) 太むらの場合

(1) と同様に考えて、 $D_o < D_n$ の場合の開差を cD_n den とすれば、

$$\begin{aligned} cD_n &= k \{ R_o^2(1 + \alpha n)^2 - R_o^2 \} = k R_o^2 \{ (1 + \alpha n)^2 - 1 \} \\ &= D_o \{ 2\alpha n + \alpha^2 n^2 \} \end{aligned} \quad (7.7)$$

を得る。

式 (7.6) および式 (7.7) で、 $\alpha = 0.13$ とする場合には、

$$fD_n = D_o (0.26n - 0.0169n^2) \quad (7.8)$$

$$cD_n = D_o (0.26n + 0.0169n^2) \quad (7.9)$$

となる。

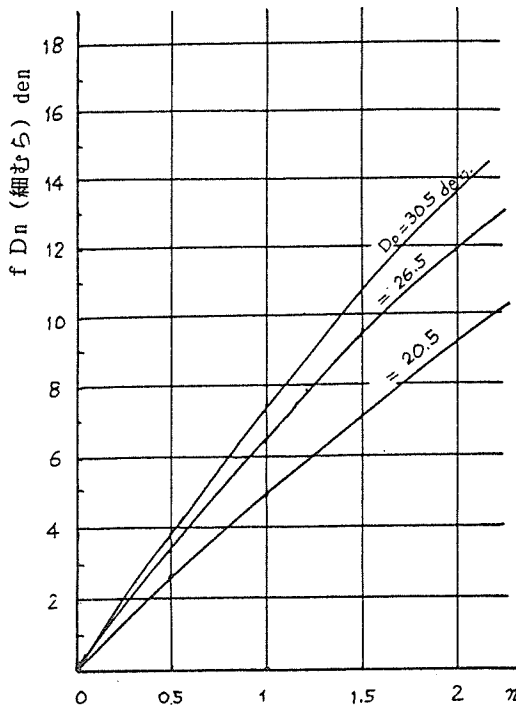
これらの関係を図示すれば、第 7.1 図および第 7.2 図のとおりである。生糸織度が細限織度点に達し、接緒要求がある場合に 1 粒変化時の最大織度開差を 3 den とみる場合には、21den 生糸においては、 fD_n 、 cD_n とともに $n = 1$ の範囲内にある。

しかし、2 粒同時変化時の最大織度開差を 6 den とみる場合には、21den 生糸においては、 fD_n 、 cD_n とともに、 $n = 1$ までの範囲を超えることになる。

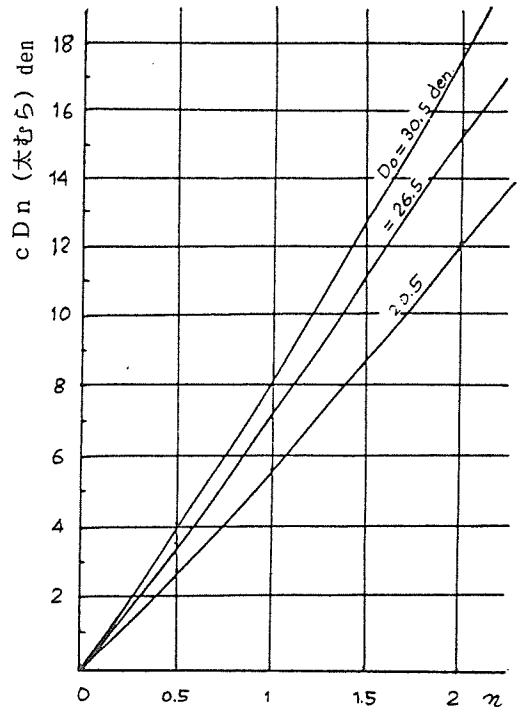
7.3 糸むらの数

セリプレン 1 パネルに巻きとられる生糸糸長は、生糸織度 17-26den で 400m、27-36den で 330m のように定められており、この糸長内で発生する接緒要求現象の前後において糸むらが発生するものとの前提にたつ。

1 パネルの糸長 $L_p m$ を繰糸するに要する時間 t sec 内における接緒要求回数 α を推



第7. 1図 糸むら深さ V_n 値と細むら



第7. 2図 糸むら深さ V_n 値と太むら

計すれば、基本的には、それが糸むらの数と考えてよい。

t sec 内における接緒要求回数の分布が、Poisson 分布で近似できるものと考えれば、接緒率（1緒1秒あたりの平均接緒回数）を m とするとき、この分布は $P(x, mt)$ であらわすことができる。

繰糸速度を v m/min とすれば、 $t = 60L_p/v$ となり、 $P(x, mt)$ において、 mt は、 $mt = 60mL_p/v$ となる。いま、次のような条件で例示する。

すなわち、 $m = 0.0317$ （対台対分約38回の接緒回数相当）、 $L_p = 400$ m（17~26den）

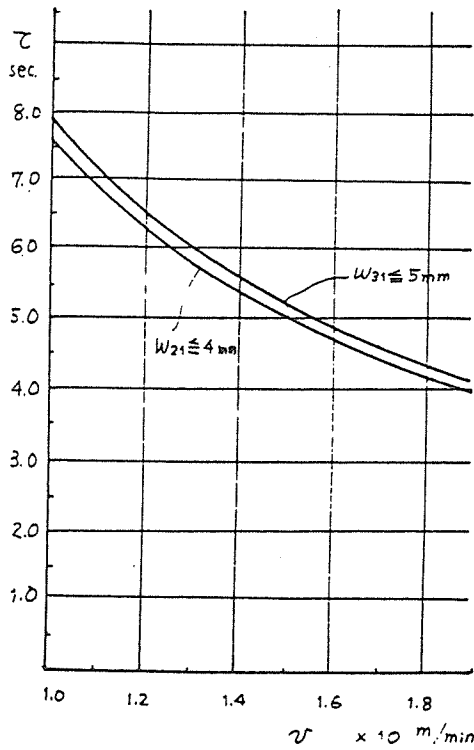
$v = 140$ mを想定すれば、 $P(x, mt)$ は $P(x, 5.4343)$ であり、 $x = 0, 1, 2, \dots$ に対し、第7.3図が得られる。

第7.4図は、1パネル内で発生する接緒要求回数の出現確率を示すものであり、糸むらの出現率に係る値である。

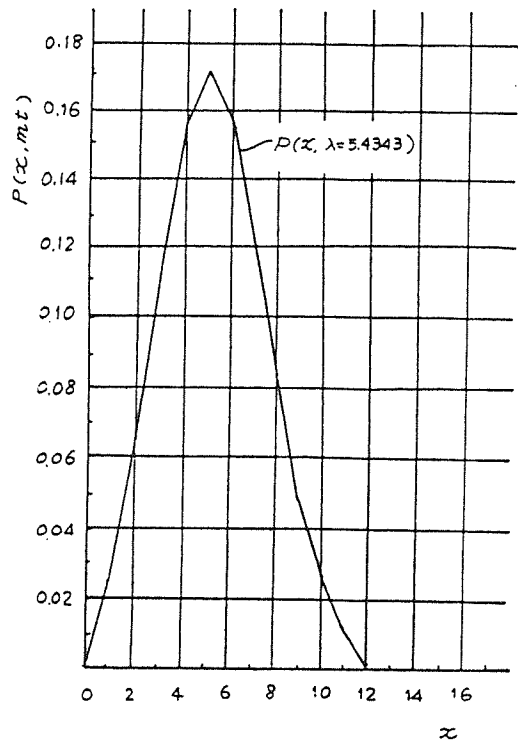
8. 織度感知器の検出点の分散と生糸の織度偏差¹⁹⁾

8.1 生糸織度の分散値の構成

生糸製造過程で、織度品質に影響を与える要因としては、少なくとも次の3要因が考えられる。すなわち、1. 生糸を構成する繭糸の織度品質に関係する要因、2. 生糸の細限織度を検出する



第7.3図 繰糸速度 v と時間間隔 τ sec
(糸むら許容限界 W 値)



第7.4図 1パネル内の接緒要求回数(x)の
出現確率 $P(x, \lambda=5.4343)$ の場合

織度感知器の検出機能および給繭接緒機能に関する要因ならびに3.織度検出のための制御量が張力等である場合に、その張力等に影響を与えるようなすべての技術的な要因である。

いま、生糸織度が X_i den. に違して、検出信号を発し、その指示を解消するために x_i den. なる繭糸を補給するものとすれば、その場合の生糸織度 D_i den. およびそのようにしてできた生糸の平均織度 D den. は、

$$D_i = X_i + x_i, \quad D = \bar{X} + \bar{x}$$

で示される。

この D_i , X_i , x_i がそれぞれ正規分布 $N(D, \sigma_D^2)$, $N(\bar{X}, \sigma_X^2)$ および $N(\bar{x}, \sigma_x^2)$ に従うものとすれば、次式の関係を得る。

$$\sigma_D^2 = \sigma_X^2 + \sigma_x^2 \quad (8.1)$$

また、これに技術的要因により変動する技術的制御量 T の分布 $N(\bar{T}, \sigma_T^2)$ を考えれば、 σ_D^2 は、

$$\sigma_D^2 = \sigma_X^2 + \sigma_x^2 + \sigma_T^2 \quad (8.2)$$

となる。

式(8.1)において、 σ_x^2 は接緒時繭糸織度の分散に相当するが、検査糸長によって相違するものであって、ここでは繭糸総合織度分散0.09~0.25(450 m糸長)を想定してこれらの関係を図示すれば第8.1図のようになる。

式 (8.2) における、織度感知器による検出点の分散 σ_x^2 と、技術上の分散 σ_T^2 の和をあらためて σ_{x+T}^2 とし、これを総合的技術的分散とすれば、第 8.1 図は $\sigma_x = \sigma_{x+T}$ と読みかえて使用できる。

450 m 糸長ベースで σ_x の値は 0.4 den (小野¹⁷⁾, 1966) とみれば、生糸の織度偏差を 0.8 以下とするための技術的偏差 σ_{x+T} の許容限度は 0.7 未満となる。

8.2 生糸の織度偏差と繭糸織度

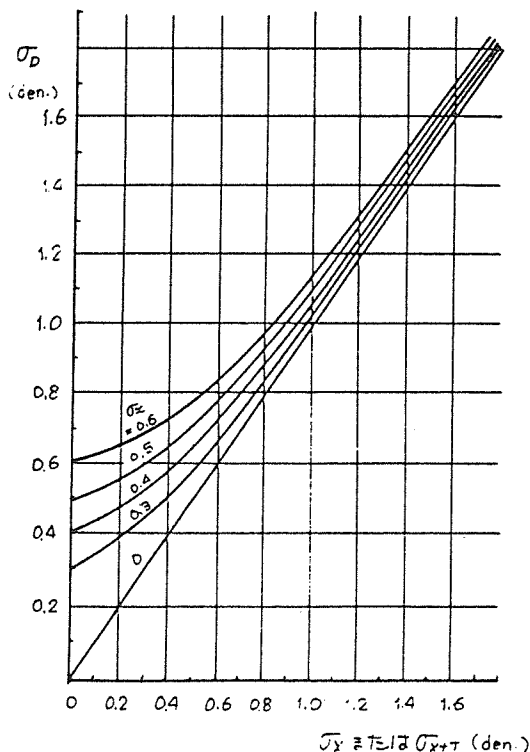
また、嶋崎³²⁾ (1973) によれば、生糸の織度偏差は、平均繭糸織度を $\sqrt{12}$ で除した値で実用的には差し支えないことを示している。

いま、原料繭による生糸の織度偏差分を σ_M 、繭糸の平均織度を $\bar{x}$ とすれば、

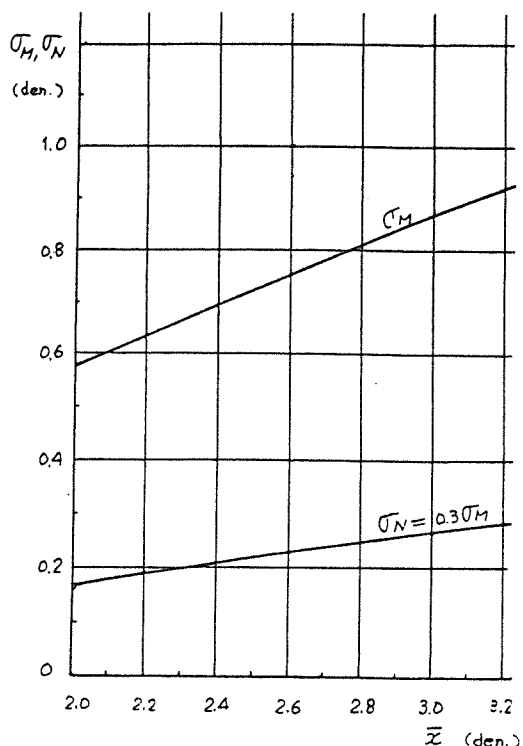
$$\sigma_M = \frac{\bar{x}}{\sqrt{12}} \quad (8.3)$$

となるが、この値は、織度測定糸長を十分短い長さを前提としていることから、450 m 糸長ベースとしては、式 (8.3) に 0.3 を乗じた値 $\sigma_N = 0.3 \sigma_M$ として近似できるものとした。

式 (8.3) における織度偏差 σ_M と検査糸長 450 m 糸長ベース織度偏差 σ_N および繭糸の平均織度との近似関係の目安図は、第 8.2 図のとおりである。



第 8.1 図 σ_x および σ_D (生糸織度偏差) の関係



第 8.2 図 $\bar{x}$ (平均繭糸織度) および σ_M , σ_N の近似的関係

8.3 織度検出機構に係る織度分散

(1) 織度感知機構および給繭接緒機構上のバラツキ

前項の式 (8.1)に係る織度感知器の検出点 X_i den相当が、織度感知器の検出点 Y_i の造り込み品質上の事由のみにより変動するものと考え、さらに検索機構の検出起動時点差および給繭接緒機構起動時点差をデニール値で $\bar{x}_i$ den として、

$$X_i = Y_i - \bar{x}_i$$

ただし、 $\bar{x}_i$ は検出間隔 τ により細くなる織度

で規定する。

ここで、 Y_i および $\bar{x}_i$ がそれぞれ正規分布 $N(Y, \sigma_Y^2)$ および $N(\bar{x}, \sigma_{\bar{x}}^2)$ に従うものとする場合に、式 (8.1)と同様な考え方から、

$$\sigma_X^2 = \sigma_Y^2 + \sigma_{\bar{x}}^2 \quad (8.5)$$

と考える。

ここで、 σ_Y^2 および $\sigma_{\bar{x}}^2$ の推計値について示せば次のとおりである。

すなわち、

織度感知器の製造・検査工程において個別検定を行う場合に、1. 直列検定、2. 範囲検定の方法があるが、ここでは検出点の分散という点から、検定上のバラツキがあるものとして考える。

そのようなバラツキの範囲の例として2.について例示すれば次のようになる。

2の標準感知器の太・細ゲージ差は製造上 $2 \mu\text{m}$ であり、この間隙差は目的織度によって異なるものの、デニール相当で1.15denの範囲であることが実験的に確認されている (450 m糸長ベース)。

Y_i が $N(Y, \sigma_Y^2)$ であるならば、その確率変数 Z について、

$$Z = \frac{\mu - \bar{\mu}}{\sigma_Y} \quad (8.6)$$

と考えて、 $\mu - \bar{\mu} = 1.15 - 0.575$ となるとき、標準正規分布 $N(0, 1)$ より、 $Z = 3.72$ において、累積密度0.9999の水準となる。従って式 (8.6)より、 $\sigma_Y = |\mu - \bar{\mu}| = 0.1546$ を得る。

また、 $\sigma_{\bar{x}}$ について、検出間隔3.8sec、繰糸速度 $130\text{m}/\text{min}$ 、細限織度 D_0 到達前後の織度減衰率を $0.020\text{den}/\text{m}$ と想定すれば、織度検索機構等に係る起動点差の分散 $\sigma_{\bar{x}}$ は、式 (8.6)から同様な考え方で、 $\mu - \bar{\mu} = 0.165 - 0.0825 = 0.0825$ として、 $\sigma_{\bar{x}} = 0.0221$ を得る。

このように考えれば、式 (8.5)より、 $\sigma_X^2 = 0.0244$ を得る。

(2) 織度偏差の総合値

前に示したように、生糸織度が X_i den に達し、 D_0 点を検出し、織度検出間隔 τ sec 内で作動する織度感知器の検出点の分散 σ_Y^2 および織度検索給繭接緒機構に関する起動点の分散 $\sigma_{\bar{x}}^2$ について、8.1項の式 (8.2)と関連させて考えれば、

$$\sigma_D^2 = \sigma_Y^2 + \sigma_{\bar{x}}^2 + \sigma_X^2 + \sigma_T^2 \quad (8.7)$$

となる。

式 (8.7)において、 $\sigma_Y^2 = 0.1546^2$ 、 $\sigma_{\bar{x}}^2 = 0.0221^2$ 、 $\sigma_X^2 = 0.4^2$ 、 $\sigma_T^2 = 0$ とすれば、 $\sigma_D^2 = 0.1843$ となり、織度偏差は $\sigma_D = 0.4293$ を得る。

織度感知器の検出点の検定等を含め、現段階では許容し得る要因 1 および 2 の製造上機構上の分散は、製造される生糸の分散の値に大きな影響を与えてはいない。しかし要因 3 による分散すなわち、繰糸条件の管理技術による誤差はさらに大きな影響を与えることになる。

9. 解じょ率と生糸の織度偏差²⁸⁾

繭糸の不確実特性の一つとして、繭糸の解じょの程度があげられる。解じょ率 R は、繭 1 粒あたりの平均接緒回数の逆数で規定され、繰糸総繭数 N 、落緒繭数 N_D なる場合には、

$$R = \frac{1}{1 + \frac{N_D}{N}} = \frac{1}{1 + MNDE} \quad (9.1)$$

ただし、 $MNDE = N_D / N$ で対 1 粒平均落緒回数
(Mean No. of Dropped-end) をしめす。

である。

しかし、解じょ率 R は、繭糸の切断時の位置を明確化していない。

自動繰糸機における給繭待機繭群は、解じょの良、不良の繭糸の混在集団であり、新繭、中途落緒繭（外層、中層、内層）が混在しているものである。

接緒時繭糸織度分布については、三浦¹¹⁾ (1976) の報告等がある。ここでは、接緒時繭糸織度 SFE と解じょ率 R との関係について示す。

9.1 接緒時繭糸織度と解じょ率

給繭機群内の繭粒の態様が、接緒時繭糸織度の 1 態様を示すものと考えられるが、新繭および落緒繭（外層および中内層）の混合比率をそれぞれ p_N 、 p_D ($p_N + p_D = 1$)、また、それぞれの繰り始めの繭糸織度の平均値を d_N 、 d_D として、接緒時繭糸織度 SFE の平均値 $MSFE$ を次のように規定する。

$$MSFE = p_N \bar{d}_N + p_D \bar{d}_D \quad (9.2)$$

ただし、 $p_N + p_D = 1$

上式において、 p_D は、当該繭が落緒し、再帰投入されるような繭群と総繭数との比率とする。

このように考えれば、式 (9.1) における $MNDE = N_D / N$ にかえて、 p_D をあてることができる。ただし、平均落緒回数 $MNDE$ は繰り返し落緒の回数を含むことから、繰り返し落緒率を ε とすれば p_D 値より、 $MNDE \times \varepsilon$ 分だけ大となるが、ここでは ε についてはネグレクとして考える。

このような前提のもとに $MNDE \approx p_D$ と考えれば、 R は、

$$R = \frac{1}{1 + p_D} \quad (9.3)$$

で示される。

また、 R を p_N で規定する場合は、

$$R = \frac{1}{2 - P_N} \quad (9.4)$$

となる。

式(3) および(4) から、

$$P_D = \frac{1}{R} - 1, \quad P_N = 2 - \frac{1}{R}$$

を得る。

これらの P_D , P_N の値を式 (9.2)に与えれば、

$$MSFE = (2 - \frac{1}{R}) \bar{d}_N + (\frac{1}{R} - 1) \bar{d}_D \quad (9.5)$$

となる。

落緒の繭層部位別による外層、内層別の発生比率とそれぞれの繰りはじめの繭糸織度の平均値を $\bar{d}_{D0}$, $\bar{d}_{DI}$; その比率を q_{D0} , q_{DI} (ただし, $q_{D0} + q_{DI} = 1$) とすれば、

$$\bar{d}_D = q_{D0} \bar{d}_{D0} + q_{DI} \bar{d}_{DI} \quad (9.6)$$

となる。

式 (9.6)を式 (9.5)に与えれば、

$$MSFE = (2 - \frac{1}{R}) \bar{d}_N + (\frac{1}{R} - 1) \times \{ q_{D0} \bar{d}_{D0} + q_{DI} \bar{d}_{DI} \} \quad (9.7)$$

となる。

9.2 解じょ率と織度偏差

いま、式 (9.5)において $\bar{d}_N = 3.0$ デニール, $\bar{d}_D = 2.0$ デニールと想定すれば、各 R の値に対して接緒時繭糸織度の平均値 $MSFE$ は第9.1図のとおりとなる。

すなわち、解じょ率 R が大きい場合には、小さいものに比し、対応する $MSFE$ 値も大きくなる傾向を示す。

生糸の平均織度を $MSRS$ その場合の分散を V とする場合に、 $MSRS$ の近似値としては、式 (2.4), 式 (2.6)より、あらためて、次のように示される。

$$MSRS = LSFF + \frac{MSFE}{2} \left\{ 1 + \left(\frac{\sigma}{MSFE} \right)^2 \right\} \quad (9.8)$$

ただし、 σ^2 : SFE の分散, $LSFF$: 細限織度

$MSFE$: 接緒時繭糸織度の平均値

また、 $(\sigma/MSFE)^2 \approx 0$ と考える場合に、

$$MSRS = LSFE + \frac{MSFE}{2} \quad (9.9)$$

であり、式 (8.3)に置いて繭糸の平均織度 $\bar{x} \approx MSFE$ とすれば、生糸の織度の分散 V は、

$$V = \frac{1}{12} [MSFE]^2 \quad (9.10)$$

のように示される。

いま、通常の原料繭で $R = 0.75$ 、および $R = 0.55$ の場合について式 (9.7) による $MSFE$ を算定すれば、

$$MSFE_{R=0.75} = 2.667 \text{ デニール}$$

$$MSFE_{R=0.55} = 2.182 \text{ デニール}$$

となり、式 (9.10) より織度偏差 $\sqrt{V}$ は、

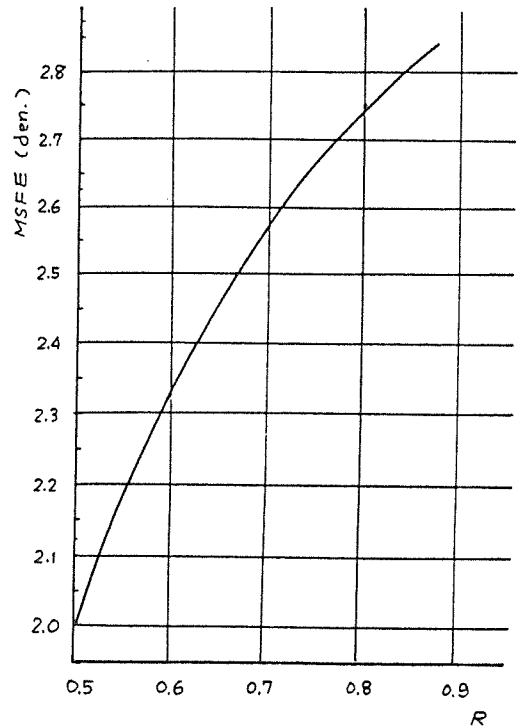
$$\begin{aligned} \sqrt{V_{R=0.75}} &= \frac{1}{\sqrt{12}} \times 2.667 \\ &= 0.7698 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{V_{R=0.55}} &= \frac{1}{\sqrt{12}} \times 2.182 \\ &= 0.6299 \end{aligned}$$

を得る。

すなわち、 $\sqrt{V_{R=0.75}} / \sqrt{V_{R=0.55}}$

$= 1.222$ となり、 $R = 0.75$ の場合の方が、 $R = 0.55$ の原料繭に比し、それだけ $\sqrt{V}$ の値は大となる。



第9.1図 解じょ率 R と接緒時平均繭系織度 $MSFE$ (den) の関係

450 m検査糸に対する乗率を 0.3 とすれば、 $\sqrt{V_{R=0.75}}$ 、 $\sqrt{V_{R=0.55}}$ の値は、それぞれ 0.231、0.198 となり、その差は 0.042 デニールとなる。

上述のように、繰糸中の生糸織度が繭糸の所定の織度減衰率に依存して低下し、 $LSFE$ に達し、同時に $LSFE$ が検出されて、織度訂正遅れがないような理想的繰糸状態のもとで、解じょ率 R の小なる繭糸群は、 R の大なる繭糸群に対し、織度偏差の縮小に寄与する絶対値は小さいもののその比率は 22% 程度となる。

10. 自動繰糸機構の生産能力に関する信頼性設計²⁶⁾

自動繰糸機構の生産能力を決定する要素には次の 3 要素がある。

1. 接緒要求に対する応答能力 (回数) : F_{Mc}
2. 最大接緒要求回数 $\propto_{max}$ / 単位時間を充足し得る正緒繭粒数 : F_{cc}
3. 正緒繭生産能力 : F_{cB}

これらの要素は単に生産能力を決定するだけでなく、生産される生糸の品質にも大きな影響を与えるものである。

ここでは、これらの要素に係る限界値の設定、接緒要求現象が確率的に変動することを前提として、生産能力の信頼性設計について示す。

10.1 織度制御機能と接緒能力の信頼度

制御機構上設定されるべきメカニカルな接緒能力 F_{CM} を,

$$F_{CM} = 60 \frac{C_A}{\tau} \quad (\text{回}/20\text{緒}/\text{分}) \quad (10.1)$$

ただし, τ : 織度検出間隔, sec, C_A : 20緒に対して τ sec 間に可能な接緒回数

で規定する。

また, 織度検出間隔 τ が十分小さく, 接緒率が m (回/緒/秒), k 緒あたり平均接緒要求回数 $\lambda = mk\tau$ とすれば, 式 (3.1) による Poisson 分布は複数緒においてはその重畳で示されることから, 接緒要求回数 x になるとき, その密度関数 $f(x)$ は次式で近似できる。

$$f(x) = e^{-(mk\tau)} \frac{(mk\tau)^x}{x!} \quad (10.2)$$

ここで, 式 (10.2) において,

$$\sum_{x=\mathcal{X}_{max}}^{\infty} f(x) = \varepsilon, \quad \varepsilon \rightarrow 0$$

を満足させるような x の値を $\mathcal{X}_{max}$ と定義する。この場合に, 式 (10.1) の F_{CM} は次の条件下になければならない。

$$F_{CM} \geq \mathcal{X}_{max} \quad (10.3)$$

設計上のメカニカルな接緒能力の設定にあたり,

$$R(x \leq \mathcal{X}_{max}) = \sum_{x=0}^{\mathcal{X}_{max}} f(x) \quad (10.4)$$

を規定すれば, $R(x \leq \mathcal{X}_{max})$ は, $\mathcal{X}_{max}$ を充足し得る F_{cc} を保証する信頼度となる。一方, 次式はその場合の不信頼度となる。

$$F(x \geq \mathcal{X}_{max}) = \sum_{x=\mathcal{X}_{max}}^{\infty} f(x) \quad (10.5)$$

$\mathcal{X}_{max}$ の値は, 式 (10.4), (10.5) の R, F 各値のとり方すなわち, 信頼度のとり方によって変動する。1 例を示せば第10.1図のような関係にある。

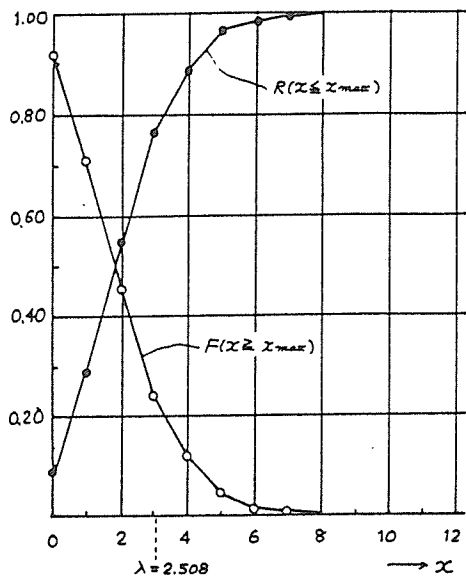
そこで, $R(x \leq \mathcal{X}_{max}), F(x \geq \mathcal{X}_{max})$ の $\mathcal{X}_{max}$ 値と λ 値 ($\lambda = mk\tau$) との比 μ をとり,

$$\mu = \frac{\mathcal{X}_{max}}{\lambda} \quad (10.6)$$

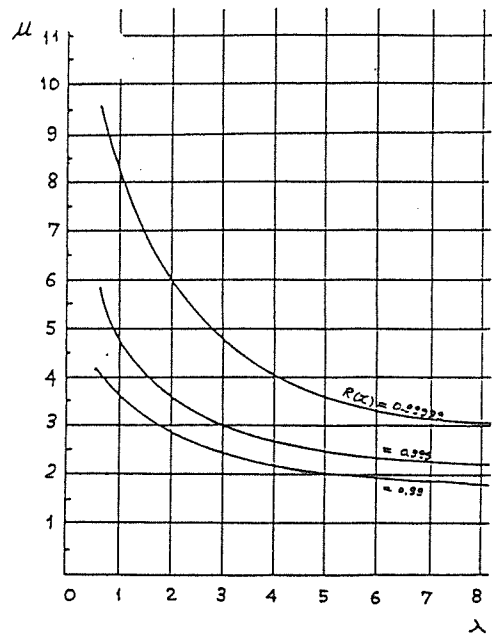
を規定し, この μ を $R(x \leq \mathcal{X}_{max})$ の信頼度のもとでの安全係数と定義する。式 (10.6) にもとづく λ 対 μ の関係は第10.2図のとおりである。

いま, $\tau = 3.8\text{sec}$, $k = 20$ 緒とした場合に, τ 間に発生する接緒要求現象の最大値 $\mathcal{X}_{max}$ を信頼度 $R(x \leq \mathcal{X}_{max})$ の水準で決め, μ の値を算定し図示すれば, 第10.3図のとおりである。

第10.2図では, λ 値の増大に従って μ 値は減少し, また, $R(x)$ の増大に従って μ 値は増大する。



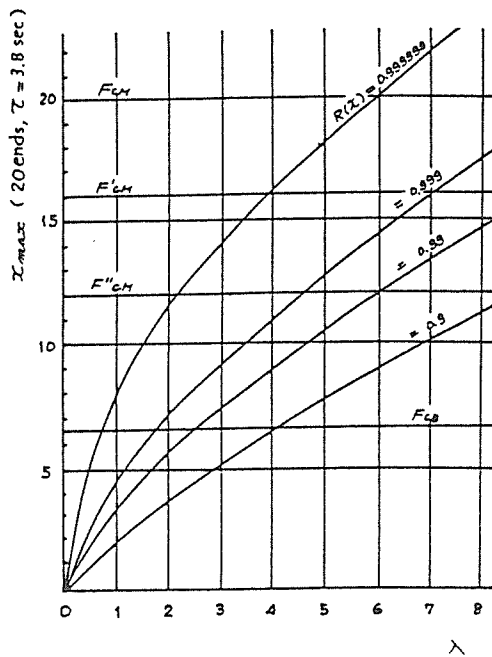
第10.1図 接緒回数 X と信頼度 $R(X \leq X_{\max})$ および不信頼度 $F(X \geq X_{\max})$ の関係



第10.2図 λ 値, μ 値および信頼度 $R(x)$ の関係

λ : 平均接緒要求回数 (所定時間内)

μ : $X_{\max} / \lambda$



第10.3図 λ 値, $X_{\max}$ 値および信頼度 $R(x)$ と補給系能力の関係

F_{CM} : 機構設定接緒能力 (回/3.8秒/20緒)

F'_{CM} : 実用接緒能力 ($F'_{CM} = F_{CM} \times 0.8$)

F''_{CM} : 同上 ($F''_{CM} = F_{CM} \times 0.6$)

F_{CB} : 実用正緒菌生産能力 (回/3.8秒/20緒)

第10.2図では、入 値の増大に従って x_{max} は増大し、また、 $R(x)$ の減少に従って x_{max} 値は減少する。

このような考え方で、接緒要求現象の発生に対応できる正緒繭粒数 F_{cc} を設定しなければならない。すなわち、

$$F_{cc} \geq x_{max} \quad (10.7)$$

が条件づけられなければならない。

10.2 解じよ糸長と接緒能力の信頼度

平均解じよ糸長 L_m 平均粒付数 C 、繰糸緒数 k 、平均接緒回数 n (回/分/ k 緒)、繰糸速度 v m/min の場合に、次の関係がある。

$$n = \frac{v C k}{L} \quad (10.7)$$

$\tau = 3.8\text{sec}$ 、 $k = 20$ の場合の平均接緒回数 (回/ τ sec) を $n(\tau, k)$ とすれば、

$$n(\tau, k) = \left\{ \frac{\tau}{60} v C \right\} / L = 1.27 v C / L \quad (10.8)$$

ここで $L = 700\text{m}$ 、 $C = 7.5$ 粒、 $k = 20$ 緒の場合に、 $R(x \leq x_{max}) = 0.999999$ の水準のためには、 $n(\tau, k) = 1.7689$ となり、第10.3図より、 $x_{max} \approx 11$ を得る。すなわち $\tau = 3.8\text{sec}$ 間に最大11回の接緒に対応できることによって $R(x \leq x_{max}) = 0.9999999$ の信頼水準を得ることを示している。

10.3 正緒繭生産能力と信頼度

索緒、抄緒、整緒の全工程に亘る、対分正緒繭の機構上の生産能力を B_{cc} 粒/分とすれば、 B_{cc} は次のように示される。

$$B_{cc} = N_{BPU} \times E_{ncc} \times N_{BU} \times \frac{60}{T_{rc}} \quad (10.9)$$

ただし、 N_{BPU} : 索緒帚/索緒体、

E_{ncc} : 期待正緒繭数/索緒帚数、

N_{BU} : 索緒体数/索緒機、

T_{rc} : 1索緒体循環時間 (sec)

1索緒機が担当する繰糸台数を S 台 (1台は20緒)とし、その正緒繭生産能力を上記 B_{cc} として、繰糸過程の x_{max} 値 (式10.3)の時間単位すなわち織度検出間隔 τ sec 基準で考えれば、 x_{max} は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} x_{max} &\leq \left(\frac{B_{cc}}{S} \right) \times \left(\frac{\tau}{60} \right) \\ &\equiv \frac{1}{S} N_{BPU} \times E_{ncc} \times N_{BU} \times \frac{\tau}{T_{rc}} \end{aligned} \quad (10.10)$$

(回/20/ τ sec)

式 (10.10)の右辺で規定される正緒繭生産能力を F_{CB} とすれば、

$$x_{max} \leq F_{CB} \quad (10.11)$$

の条件が必要となる。

$S = 10$, $N_{BPV} = 12$, $E_{ncc} = 4$, $N_{BU} = 10$, $T_{Ac} = 28\text{sec}$, $\tau = 3.8\text{sec}$ とすれば, $F_{CB} = 6.5$ を得る。これらの水準を第10.3図において F_{CB} 線で示す。すなわち, $\lambda = 2$ の場合には信頼度 $R(x \leq x_{max}) \approx 0.995$, $\lambda = 4$ の場合には $R(x \leq x_{max}) \approx 0.900$ の水準となることがわかる。

11. 制御システムと外乱 (糸故障等)

制御システムのなかで外乱 (Disturbance)とは、制御系を乱すように働くあらゆる外的作用をいう。

織度制御のブロック・ダイアグラムについては第3.1図に示したが、外乱は大別して2種類に分けられる。すなわち、

- 外乱 1. 生産の乱れ：制御対象の生糸の張力に影響を与えるすべての外的要因（繰糸張力、煮熟程度、温湿度、繭糸切断等）
2. 生産の停止：生産の乱れに係る要因が拡大した場合で、その生糸織度制御系が生産機能を停止すること、すなわち糸故障。

である。

制御システムと外乱について論ずる場合には上記1. および2. についてふれなければならないが、ここでは2. について示しておく。

11.1 糸故障の種類

故障とは、本来ある「アイテム」が規定の機能を失うに至ることと定義づけられるが、糸またはその製品を生産するための繊維機械においては、その「アイテム」が機械装置の場合と糸自身の場合があり、糸側による原因でその機械装置が生産機能を失う場合の故障 (Failure) ということになる。

(1) 糸故障の種類

糸故障の原因別分類は種々の分類方法があるが、日産は第11.1表に示すような統一調査を行ったことがある。¹⁾

また、糸故障管理研究会⁵⁾ (主査嶋崎, 1993) は、12種類に分類して調査を行っている。これによればそのワースト3は1. 繭層剥離27%, 2. 薄皮飛付24%, 3. ズル節18%で約70%であることが指摘されている。

(2) 故障のパターン図

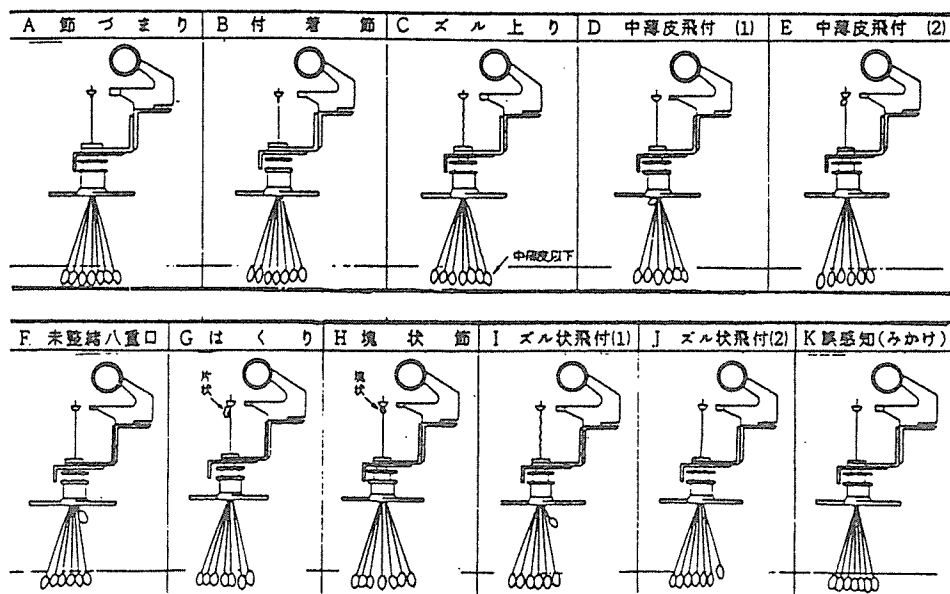
いま、第11.1表にもとづき、それらの故障パターンを図示すれば、第11.1図のとおりである。

糸故障原因の発生位置区分でみれば、1. 集緒器下70%, 2. 接緒器下27%, 3. ケンネル部3%, 4. 感知器極少であるといえる。¹⁾

11.2 糸故障の自動防止の可能性

第11.1表 糸故障の種類

区 分	呼 び 名	内 容 状 況
A	節づまり	集緒器に詰まる2mm以下の節
B	附着節	同上で異物の附着しているもの
C	ズル上り	煮崩菌、腐敗菌から発生するズル故障
D	中薄皮飛付（接緒器上）	中薄皮蛹繭の飛付き、集緒器付近まで上がったもの
E	中薄皮飛付（接緒器下）	同上で接緒器下で停止したもの
F	八重口	厚薄菌の八重口、主として未整緒菌
G	はくり片	厚中薄皮菌層から剝離する切片状片
H	塊状節	厚中皮菌層から発生する塊状片で直径2mm以上
I	ズル状飛付（A）	中薄皮で煮崩によるズル状菌が接緒器付近へ
J	ズル状飛付（B）	同上で繰糸湯面より出ているもの
K	誤感知（みかけ故障）	実故障でなく多粒取出等による誤作動



第11.1図 糸故障のパターン図（A～K）

このような糸故障防止については従来より多くの研究がなされている。

しかし、原因の分類にみられるように、菌質によるもの、処理条件によるもの等多くの原因によるものであることから、自動積極除去や自動修理装置の実用化にはなお時間が必要である

とみなければならない。

特に糸故障原因が集緒器下に集中していることからすれば、その自動防止、除去修復装置の設定上も現行の相対位置では困難であり、その点の改変も必要とされるかも知れない。

従って、開発上の考え方としては、1粒繰り繰法を想定した上で、繭粒毎の繭糸長全体に亘る査察や各繰糸工程での解じょ関連技術について検討しなければならない。

自動繰糸機は、繭糸を生糸に転換する機械であることから、すべての繭粒がその繰り始め部分から繰り終りに至る間すべての工程を通過していくものである。索緒、抄緒、整緒さらに給繭機に至る間に1粒毎の繭糸の状態管理が行われ、粒付と接緒器間においても1粒1繭糸の管理が行えるような方法による糸故障原因の積極防止策を考える必要がある。

糸故障防止装置の実用化は製糸業界の重要技術課題の一つである。過去における研究者の試案について一部を整理してみれば、第11.2図のようになる。

要約すれば、粒付と接緒器間における防止装置の原則としては、

1. 繭1粒すなわち、1繭糸毎の積極的管理（スリット式等）
2. 繭糸群の接緒器直近における群管理
3. 流体（水または空気）による消極的繭糸または繭糸群管理（噴射式等）
4. 1.～3.のそれぞれの組み合わせ
5. その他

1. 粒付防止	2. 粒付防止	3. 粒付防止	4. 粒付防止	5. 粒付防止	6. 粒付防止	7. 円形スリット
8. タリア式	9. スリットフック	10. 1繭糸スリット	11. 1繭糸スリット	12. 放射状	13. 繭糸分岐+噴流	14. スリット+噴流
15. 噴流	16. スリット+噴流					

第11.2図 各種特許等に見る糸故障防止策の例

が考えられる。

いずれにせよ、困難な課題ではあるが、「糸故障防止装置の開発研究」（蚕糸科学研究所）が進められていることから、業界関係者による共同に期する。

12. 生糸生産財としての自動繰糸機

12.1 機械の性能と生糸加工コスト

生糸の製造においては、製品である生糸の市場価格に占める原材料費（原料繭費）が8割内外を占め、生糸製造コストの中で、製糸工程で裁量可能な領域は最近では2割を切るというような厳しい環境となってきた。

このような環境のなかで、生糸製造工程では、製造機械の性能として、次の4つの要素が要求されつづけてきた。

すなわち、機械の性能 P_f は1.生産性（対台および対人）、2.製品生糸の品質 Q 、3.歩出 Y そして4.機械装置の経済性 E である。しかもこれらの4つの要素は同時に達成されなければならないのである。モデル的に示せば、

$$P_f = f \{ P, Q, E, Y \} \quad (12.1)$$

である。

それぞれの要素は互に相反事項であるものの、自動繰糸機の工業化以降 P_f はかなりの水準にまで到達した。しかし、世界的な経済環境の変動により、 P_f 値は大きな変化をみせている。

また、生糸製造加工費（含利益） $y_{[Q]}$ について一般化して示せば次式のようなモデル式が得られる（加工費基準であり、ここでは繭価にはふれない）。

$$y_{[Q]} = \frac{1}{B_{[P,Y]}} \left[A_{[P]} + n \left\{ i(a + x_{[E]}) + 0.95 \frac{a}{b} + 0.9 \frac{x_{[E]}}{b} \right\} \right] \quad (\text{円/kg}) \quad (12.2)$$

ただし、
 $B_{[P,Y]}$: 年間生糸生産量 (kg)
 $A_{[P]}$: 年間経費（償却費、金利を除く、副蚕収入を相殺）
 n : 機械または装置のセット数
 $x_{[E]}$: 機械または装置の価格
 a : 機械1セット当りの他の設備の価格
 b : 年間償却費
 i : 年間金利

なお、各記号の [] 内は、それが関係する要素を示す

これからの自動繰糸機関係の研究は、上式を満足するようなものでなければならない。そしてそれが研究開発側から再生産可能な条件が整っていないなければならない。

式(12.2)において、当然ながら、 $A_{[P]}$ のなかでの労務費、 $x_{[E]}$ の機械装置価格の水準が重要な関係事項となる。

12.2 繰糸技術の目指す諸点

一方、現在および将来において繰糸技術が目指す諸点について整理してみれば次のようになる。

第12.1表 繰糸技術（製糸技術）の目指す諸点

区 分	目 指 す 諸 点		
	項 目	オペレータレス	リアル・タイム
A	補助的作業の削減， 排除	・糸故障防止	—
B	品質管理	・織度異常 ・織度偏差の詰め	品質のリ・タ化
C	フロウ管理	繭の流れの管理	流れのリ・タ化
D	マネージメント	LANの装備化	マネージメントデー タのリ・タ化
E	データ・プロセッシング	エキスパート・システム の一般化	ネット・ワークの 拡大

これらの項目については、それぞれの専門分野での技術を生かし、より深く追求し、分散している技術があれば、それらを統合していかなければならない。

一方、わが国の製糸工場が減少して行くなかで、現有の製糸設備による有効な生糸製造方策、さらには海外蚕糸業の活用の可能性等の研究もつづけていかなければならない。

13. おわりに

生糸製造の方法を技術的にみれば、一般の製造業とは全く異なる点のあることがわかる。

良い製品を能率的につくるために、原材料を選択的に使用することができない。不均一な原材料を使用して、均一な製品に仕上げなければならない、原料繭の繭糸を引き揃えて生糸に転換する作業は単純であるが、瞬間的転換作業である、その製造加工費は自ら制約を受けている等々極めて特異な製造業。

このような条件のもとでの加工機械としての自動繰糸機への技術的要請点は、年時経過とともに変化してきている。

最近における生糸加工費のなかに占める労務費（含労務附帯費）は45%内外であるといわれている。過去の経験からすれば、加工産業のなかで、“水場”の半分に労務費が違するような時期において、新しい改善策が必要とされてきている。現在の製糸の産業も例外ではない。これらの諸策のなかでは、現行機構の改善や新機構の開発などが主要課題となるが、業界の関係者が、それぞれの分野で知恵を出し合い、総合力としての力をつけることが要請されている。一方では現在までの技術の一層の詰めも必要である。

本稿は、生糸製造に係る主要機構について、信頼性技術の観点からまとめたものであり、各項に亘って、その基本的考え方について紹介した。大方のご参考としていただければと思う。

以上

14. 参考文献

1. 秋田 実 (1974) : 繰糸条件からみた繰糸故障について, 繊維機械ニッサン, 93, p.15-28, 日産自動車 (株) .
2. 青木 弘ほか (1986) : 工業力学 (最新機械工学シリーズ), p.60-80, 森山出版, 東京.
3. 橋本弘儀 (1954) : 解じょ糸長の数理統計学的研究, 日蚕雑, 23, p.378-383.
4. 市田 嵩 (1968) : 保全工学入門 p.35-60, p.206-212, 日科技連出版社, 東京.
5. 糸故障管理研究会 (主査嶋崎昭典) (1993) : 製糸工場における糸故障の管理に関する研究.
6. 今井 功 (監訳) (1975) : パークレー物理学コース力学 (下), p.293-309, p.310-312, 丸善, 東京.
7. 小林 安 (1964) : 自動繰糸機に関する研究, プリンス自動車工業 (株) .
8. 三戸森確郎 (1931) : 生糸織度傾倚に関する理論, 蚕糸学報13(10), p.1-10.
9. 三戸森確郎 (1961) : 織度感知器の力学, 日蚕雑30(1), p.66-70.
10. 三浦幹彦 (1982) : 定織度繰糸過程の統計的解析, 日蚕雑, 51(5), p.396-406.
11. 三浦幹彦 (1976) : 原料繭の特性と生糸品質との関連に関する研究, 日蚕雑45(3), p.258-264.
12. 三浦幹彦・除春江・菊地雄一郎・森川英明 (1992) : 有限混合分布モデルによる解じょ糸長の信頼寿命の推定, 糸絹雑1, p.22-28.
13. 中川房吉 (1933) : 糸格向上製糸法, p.82-85, 明文堂.
14. 日科技連編 (1969) : 信頼性データの解析, p.38-39, 日科技連出版社, 東京.
15. 新田佳男 (1966) : 糸故障に対する機械的検討, 繊維機械ニッサン, 59, p.3-5, 日産自動車 (株) .
16. 野中保雄, 島岡 淳 (1990) : 冗長系, p.37-61, 日科技連出版社, 東京.
17. 小野四郎 (1966) : 生糸の品質向上に関する繰糸の基礎的研究, p.1-122.
18. 瀬木秀保 (1956) : たま10型自動繰糸機計画管理篇(1) 自動感知 p.22-33, (2) 自動給繭, p.35-51, 富士精密工業 (株) .
19. 瀬木秀保 (1956) : 繰糸における Feed-back 径路およびその条件, 製糸絹研 (昭31), p.321-323.
20. 瀬木秀保 (1957) : 自動繰糸機の給繭機条件設定上における基本問題, 製糸絹研 (昭32), p.233-239.
21. 瀬木秀保 (1991) : 自動繰糸機における給繭システムの信頼性設計について, 日蚕雑, 60(2), p.133-139.

22. 瀬木秀保 (1991) : 解じょ糸長のWeibull 解析, 日産雑, 60(3), p.166-172.
23. 瀬木秀保 (1991) : 解じょ糸長に対する混合Weibull 分布の適用とその信頼度関数, 日蚕雑, 60(3), p.173-177.
24. 瀬木秀保 (1991) : 自動繰糸機の繰度検出周期の設定について, 日産雑, 60(5), p.350-357.
25. 瀬木秀保 (1992) : 繰糸過程における瞬間接緒率, 日蚕雑61(1), p.36-41.
26. 瀬木秀保 (1992) : 自動繰糸機の基本的接緒能力に関する信頼性, 設計, 日蚕雑, 61(2), p.131-136.
27. 瀬木秀保 (1992) : 自動繰糸機における繰度検出端の力学的解析, 日蚕雑, 61(3), p.73-79.
28. 瀬木秀保 (1992) : 定繰度繰糸における接緒要求間隔と繰度の変位, 日蚕雑, 61(5), p.407-413.
29. 瀬木秀保 (1992) : 繰度感知器ゲージ体の形状と運動力機能, 日蚕雑61(6), p.499-504.
30. 嶋崎昭典 (1969) : 製糸工程の統計的管理システムについて, 第22回製糸夏期大学教材, p.1-36.
31. 嶋崎昭典 (1961) : 製糸工程の統計的管理法に関する研究, 蚕糸試報16(6) I および II.
32. 嶋崎昭典 (1973) : 管理工学入門, 農林統計協会, 東京.
33. 鈴木三郎 (蚕研) (1949) : 生糸の繰度と直径との関係式の係数について, 蚕糸果報 vol.58, No.684, 685.
34. 塩見 弘 (1988) : 信頼性工学入門, p.57-58, 丸善, 東京.
35. 塩見 弘 (1983) : 信頼性における確率紙の使い方, p.150-158, 日科技連.