

製糸工程の統計的管理システムについて

信州大学繊維学部助教授・農学博士 嶋 崎 昭 典

- 1 偶然性
 - 1.1 データの構造模型
 - 1.2 バレート法則
 - 1.3 誤差の性質
- 2 確率分布
 - 2.1 幾何分布
 - 2.2 二項分布
 - 2.3 ボアソン分布
 - 2.4 指数分布
 - 2.5 ガンマ分布
- 3 中心極限定理
- 4 異常事態
 - 4.1 チェビシェフの定理
 - 4.2 キャンプマイデルの定理
- 5 統計的管理図法
- 6 製糸 ——その特性と問題点——
- 7 管理理論
 - 7.1 落緒現象の出現過程
 - 7.2 糸ムラ特性の形成過程
 - 7.3 生糸織度特性の形成過程
 - 7.4 繰糸過程における繭の流れ過程
 - 7.5 糸故障の発生—修理過程
- 8 製糸工程の管理システム
 - 8.1 管理系
 - 8.2 管理基準値
 - 8.3 思考制御

生産現場では、つぎからつぎへと、思いがけないできごとが起きるので、生産管理を担当する技術者にとって、1日は全く気の抜けない時間の連続である。しかしながら、このような思いがけないできごとも、煎じ詰めれば、必ずある種の因果法則に従い、起こり得べくして起きているのにちがいない。そこで、それらの因果関係を把握することができれば、どのような突発事態に遭遇しても、あわてることなく直ちに適切な判断を下し有効な処置をとることができるであろうし、さらに進んで、事前に将来を予測して的確な手を打ち思いどおりに生産を進行させることができよう。思いどおりに生産が進行するよう、その過程で適切な手を打つことを管理と定義すれば、工程管理の研究は生産過程にみられる諸現象の出現構造とそれが他現象へ波及する仕組みを明らかにして生産の流れの中に行き交う現象変化の情報を自在に操つて目的生産を達成する一連の技術体系を確立することにあるといえる。

単一操作、単一反応を中心に発展してきた精密科学実験法が近代科学の発展に大きな役割を演

じてきたことはいまさら言をまたない。しかしながら多くの要因が複雑に交錯しあいつつ変動している工程を管理する生産技術のための方法論は近年に至るまで確立されなかつた。ここでは新しい管理技術の一つの背景になつている統計的管理法の考え方を紹介した後に最近における製糸工程の管理システムに触れることにしたい。

1. 偶 然 性

6月18日の信濃毎日新聞は“米航空宇宙局は7月16日午後10時32分（日本時間）ケープケネディからアポロ11号を打ち上げ21日午前5時32分月面着陸、アームストロング飛行士が月面に立つのは同日午後3時17分と発表した”を報じている。

人工衛星が未だ打ち上げられなかつた12年程前にこのようなニュースが報道されると、気狂いあつかいにされたであろうが、いまでは、かなりの確からしさでこの分単位に計画された報道の具現性を信じるようになった。人々は

偶然は汝の未知を示すにはかならないといったローマ法王の熱望にも似た気持で科学の進歩により偶然の必然へおきかえられる日のくるのを待ちわびてきたが、いよいよその時代がやつて来たように思う。しかしながら身近な問題を取り上げてみると、あまりにも未知の事柄の多いのに驚かされる。1つのサイコロを振つて1の目が出たとする。私達はそれを偶然だという。しかしサイコロが手を離れるときの上面の目の数、初速、方向、空気抵抗……などをすべて測定し計算すれば1の目が出ることは決定できることであろう。このような単純な例でも、サイコロが手を離れる瞬間にその結果を決定づけるには膨大な測定と計算が必要である。これが人類や1国の運命を支配する重大事ならいざ知らず子供相手の遊びごとであれば、それほどの経費と時間をかけることはしないであろう。原因の追跡や予測の精度は問題の性質やその要求度により、あるときは初めから偶然とみなし、またあるときはいくつかの主原因だけに注目し他は偶然変化の原因系とみなすといった処置がとられる。偶然性をこのように考えると、科学の進歩やその問題の性質によつて偶然の対象や水準は異なるであろうが、いつの時代になつても、それ相応の偶然と呼ばれる一団があつて、人間が人間らしく夢をもつて生きるために我々に something を与える役割を演じるにちがいないと思われる。

1.1 データの構造模型

言葉で表現してきたいままでの事柄を数式で表わしてみよう。工程に現われる現象Yの時刻*i*における状態がY_iであるとする。もしY_iが全く独立に行動するものであれば打つ手はないが、X₁, X₂, …, X_pというp個の因子の影響を受け変化するものであればXをコントロールすることによりYが管理できる。いま、*i*時点のX因子の状態がx_{i1}, x_{i2}, …, x_{ip}であるとする。YとXの関係が実質科学の分野で明らかにされていれば一番よいが、それが未知な場合でも一般にyとxとの間に

$$\begin{aligned} y_i = & \beta_{000} \dots + \beta_{100} \dots x_{i1} + \beta_{010} \dots x_{i2} + \dots + \beta_{00 \dots 01} x_{ip} \\ & + \beta_{200} \dots x_{i1}^2 + \beta_{020} \dots x_{i2}^2 + \dots + \beta_{00 \dots 02} x_{ip}^2 \\ & + \beta_{110} \dots x_{i1} x_{i2} + \beta_{101} \dots x_{i1} x_{i3} + \dots + \beta_{10 \dots 01} x_{i1} x_{ip} \\ & + \dots \\ & + \beta_{111 \dots 01} x_{i1} x_{i2} \dots x_{ip} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (1)$$

といった多項式による結びつけを行なうことができる。ここにβは定数である。いまXの状態す

べてが知られると(1)式からYはXにより一義的に決定されることになる。しかし(1)式を完全にとくことは大変な仕事であるので次数の高い影響度の低い項をひとまとめにしてeであらわしこれを誤差とする。例えば(1)式で2次以上の項を無視すれば

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_p x_{ip} + e_i \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

このように単純化するとコントロールできない未知要因eが介入するのでXが知られてもYは一義的に決定できない。

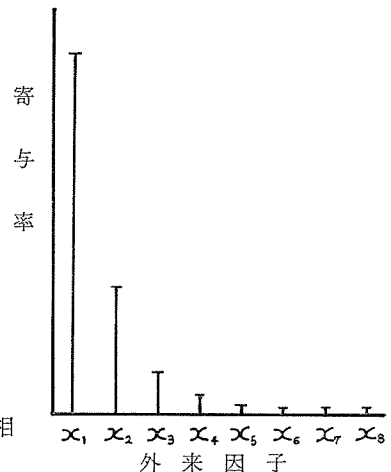
1.2 パレート法則

Yに関係する原因系を追跡すると、その関係はねずみ算的にそれからそれへと波及するのでYに直接、間接に関与する原因をすべて取り上げることは物理的にもできない相談である。さらに時刻*i*でそれらのすべてを計測することは不可能である。そこで現有能力と要求精度に応じ重要因子を選択しそれ以外の原因系の与える情報を放棄する処置をとる。幸なことに、管理を必要とするような現象についてみると、各原因別の影響度は第1図のように数個の因子が主体的な役割を演じその他の多くの因子効果は急激に減少する性質をもっている（パレート法則）。(1)式はそこでさらにつぎのような形に変形される。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + I(x_1, x_2) + e_i \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + e_i \quad \cdots \cdots \cdots (4)$$

ここに $I(x_1, x_2)$ は x_1 と x_2 の組み合わせによつて生じる相互作用である。



第1図 外来因子の作用程度のパレート図

1.3 誤差の性質

誤差eの性質を考えてみる。問題を具体的にするために、真の重さ μ の偏りのない秤量実験を考える。秤量値 y_i は μ 以外に空気の流れ、秤の微細な状態変化、秤量者の目の位置、……といった種々の偶然因子が作用する結果としてえられる。それゆえデータの構造は

$$y_i = \mu + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \cdots + \beta_p x_{ip} + I(x_1, x_2) + \cdots + I(x_1, x_2, \cdots, x_p) \quad \cdots \cdots \cdots (5)$$

が考えられる。しかし外来因子の y_i への影響は環境条件に十分注意すると第2図のようなパレート図形を示すものと考えられるので y_i は

$$y_i = \mu + e_i \quad \cdots \cdots \cdots (6)$$

のようになる。すなわちn個のデータは真の重さのまわりに誤差 $e_1, e_2, \cdots, e_n$ をもつて分布する。

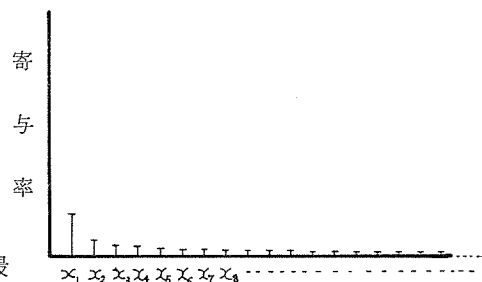
1.3.1 μ の推定

真の重さ μ の最良不偏推定値は誤差の平方和を最小にする値aにより与えられる（マルコフの定理）。

$$Q = \sum e^2 = \sum (y_i - \mu)^2 \quad \frac{dQ}{d\mu} = -2 \sum (y_i - \mu)$$

これを最小にする値をaとすると

$$-2 \sum (y_i - a) = 0, \quad a = \sum y_i / n = \bar{y} \quad \cdots \cdots \cdots (7)$$



第2図 秤量実験における外来因子の寄与率（パレート図）

これから μ の推定値としてデータの平均値 $\bar{y}$ が決定される。

1.3.2 誤差の程度

誤差2乗和の式Qで $\bar{y}$ を μ に代入してえられる値 S_E は残差平方和といわれる。

$$\bar{y} = \sum(\mu + e_i) / n = \mu + \bar{e}$$

$$S_E = \sum(y_i - \bar{y})^2 = \sum(\mu + e_i - \mu - \bar{e})^2 = \sum(e_i - \bar{e})^2$$

この S_E をデータ数 n に關係する $(n-1)$ で除した値は分散，その平方根は標本標準偏差 s といわれ誤差の變化度を示す数値として用いられる。

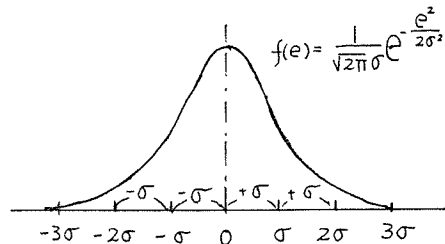
$$s = \sqrt{S_E / (n-1)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

1.3.3 誤差分布

上で定義された誤差を現象的にみると，これは互に独立で平均値0，分散 σ^2 の正規分布

$$f(e) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{e^2}{2\sigma^2}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

の規則に従うことが証明される。これはまた誤差分布ともいわれ分布最大位置が平均値，変曲点が標準偏差 σ を示す。これから，個々の誤差の出現に関する規則性は放棄しても誤差の集まった集団の中には(9)式で示される規則性のあることが知られる(第3図)。



第3図 誤差分布—正規分布

2. 確 率 分 布

生産工程の中にはサイコロ投げの問題のように，全くの偶然だけから構成されていると思われる現象が多い。これはいままで考察してきた誤差と同じように，現象の1つ1つの中にはとりあげていべき規則性はないので，外来因子を通して目的現象を管理する方法は使えない。そこで，そのような現象の集団的規則性——確率分布——を明らかにし，この規則性をよりどころに工程を管理する立場がとられる。ここでは，製糸工程に現われる代表的確率分布のいくつかを紹介する。

注目した現象が出現すれば $X = 1$ ，出現しないと $X = 0$ なる値を与え， $X = 1$ の出現確率が p ， $X = 0$ の出現確率が $q = (1 - p)$ なる試行列 $\{X_k\}$ ， $k = 1, 2, 3, \dots$ を考える。これは一般にベルヌーイ試行列といわれる

2.1 幾何分布

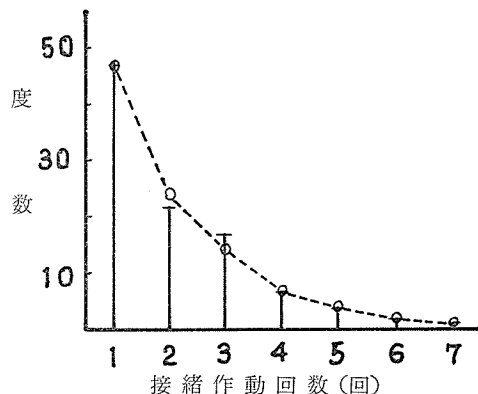
ベルヌーイの試行列で最初に事象が出現するまでの試行数 Y が k である確率 $P(Y = k)$ は

$$P(Y = k) = q^{k-1} p \quad k = 1, 2, \dots \quad \dots\dots(10)$$

で与えられる。この分布は一般に幾何分布といわれ平均値 μ ，分散 σ^2 は

$$\mu = \frac{1}{p}, \quad \sigma^2 = (1 - p) / p^2$$

で与えられる。有効接緒効率が p なる繰糸機で，接緒が成功するまでの繰返し接緒回数が k 回なる



第4図 有効接緒までの接緒作動回数と幾何分布との關係

注) 棒グラフ：実則分布 ○印：幾何分布

確率はこの幾何分布に従う⁹²⁾ (第4図)。

2.2 二項分布

ベルヌーイ試行列を大きさ n で区切り, その中に $X = 1$ が k 回ある確率 $P(Y = k)$ は

$$P(Y = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k} \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(11)$$

で与えられる。この分布は二項分布と呼ばれ平均値 μ , 分散 σ^2 は

$$\mu = np, \quad \sigma^2 = np(1-p)$$

また出現割合を $z = k/n$ とおくと, その平均値, 分散は

$$\mu = p, \quad \sigma^2 = p(1-p)/n$$

となる。給繭機が取出し動作中に通過する2緒中(旧型)の接緒要求の仕方を考える。いま要求すれば $X = 1$, しなければ $X = 0$, 給繭機1台に対する接緒要求の確率を p , $n = 2$ とおくと, 取出し動作中に接緒要求を k 回 ($k = 0, 1, 2$) 受ける確率は11式の二項分布に従う⁹²⁾。

2.3 ポアソン分布

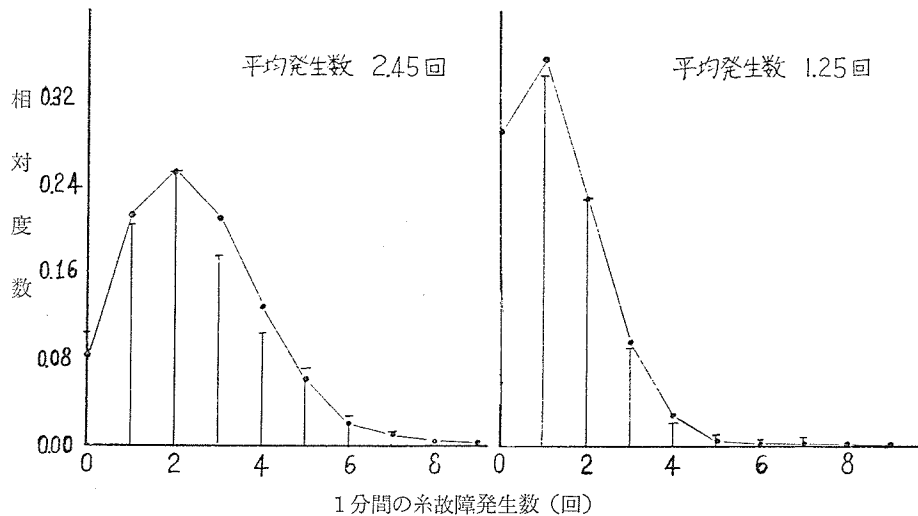
数多くの出現可能な場の中で非常にわずかな事象しか生じない現象 Y が k 回おきる確率 $P(Y = k)$ は

$$P(Y = k) = \lambda^k e^{-\lambda} / k! \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad \dots\dots\dots(12)$$

により与えられる。これはポアソン分布といわれ, 平均値と分散は

$$\mu = \lambda, \quad \sigma^2 = \lambda$$

である。100緒1分間中 k 回糸故障の生じる確率はポアソン分布に従う⁹²⁾ (第5図)。



第5図 糸故障発生数の分布とポアソン分布
注) 棒状図表: 実測分布, 実線: ポアソン分布からの推定値

2.4 指数分布

デタラメに起きる事象の出現間隔 Y が t なる長さをとる確率密度 $g(t)$ は

$$g(t) = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{t}{\lambda}} \quad \lambda \geq 0 \quad \dots\dots\dots(13)$$

で与えられる。この分布は指数分布と呼ばれ平均値と分散は

$$\mu = \lambda, \quad \sigma^2 = \lambda^2$$

で与えられる。1人の巡視工の分担区で糸故障の発生する時間の長さ t はこの分布に従う（第6図）。

2.5 ガンマ分布

前項（2.4）で k 回事象が出現するまでの時間 t の確率密度 $g(t)$ は

$$g(t) = \frac{t^{k-1}}{(k-1)! \beta^k} e^{-\frac{t}{\beta}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

により与えられる。これはガンマ分布と呼ばれ平均値と分散は

$$\mu = k\beta, \quad \sigma^2 = k\beta^2$$

で与えられる。この分布はまたアールン分布ともいわれる。糸故障整理、給繭整理、粒付感知器管理などを行ないながら分担区を巡視する巡視上の1段取り時間あるいは粒付調整間隔などは $k = 3 \sim 4$ 附近のガンマ分布に従う（第7図）。

3. 中心極限定理

全く偶然的に出現する現象でも、それぞれの特
殊性から分布の形は前節にみられた種々の形を示す。しかしデタラメにとり出された標本の平均値の分布は、もとの分布がどんな形をしていても、
標本の大きさ n が大きくなれば、いずれも正規分布に近づく（中心極限定理）性質がある。シューハートはチップ実験で $n = 4$ 程度でも平均値の分布は正規分布とみても実用上さしつかえない近似値を与えることを実証した。

4. 異常事態

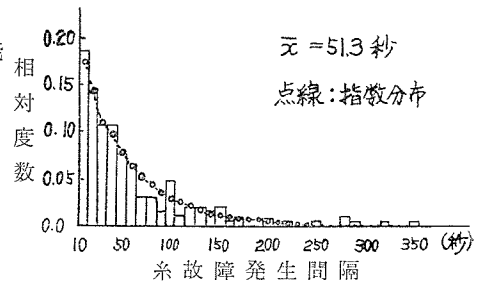
データから工程の進行状態を推測する場合、よりどころとなるべき調査結果は工程が定常に進
行していてもそのたびに变化する。そのためたとえ変化の大きい値がえられてもそれをもつて直
ちに工程に異常が生じたと判断してよいとは限らない。しかし、データの変化は、工程が定常で
あれば、前節にみられたような分布法則に従う。それゆえ、その分布からデータが飛び出して
いれば、工程に異常事態が発生したと判断することは妥当である。一般に平均値と標準偏差が知
れていれば、ある限界以上離れたデータの出現する割合はつぎの定理により与えられる。

4.1 チェビシェフの定理

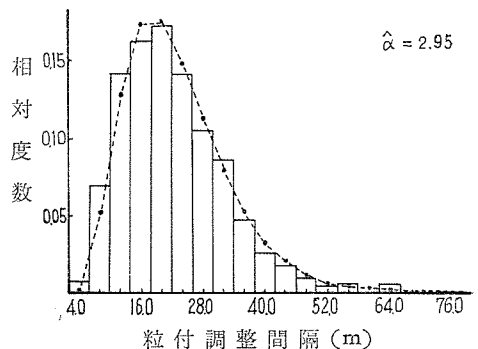
平均値を μ 、標準偏差を σ とする。データの母集団分布がどんな形を示していても、

$$\mu \pm k\sigma, \quad k > 1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

以上飛び離れた値の出現する割合は全体の $\frac{1}{k^2}$ 以下である。



第6図 100 緒中の糸故障発生間隔と指数分布



第7図 粒付調整間隔とガンマ分布

注) ヒストグラム: 実測分布
・印: ガンマ分布

4.2 キャンプマイデルの定理

データの母集団分布が山1つの分布形を示すものであれば、15式以上飛び離れた値の出現する割合は全体の $\frac{1}{2.25k^2}$ 以下である。

さらに、データの母集団が正規分布に従うならば、第1表のように、平均値の前後標準偏差の3倍以上離れるデータの出現割合は0.3%以下になる。

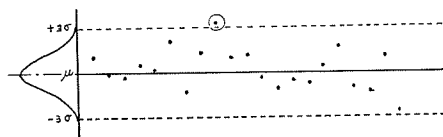
第1表 データが与えられた範囲外に出る割合%

与えられた範囲	チュビシェフの定理	キャンプマイデルの定理	正規分布
$\mu \pm \sigma$	—	—	31.73 以下
$\mu \pm 2\sigma$	25.0 以下	11.0 以下	4.55
$\mu \pm 2.5\sigma$	16.0	7.1	1.24
$\mu \pm 3\sigma$	11.0	4.9	0.27
$\mu \pm 3.5\sigma$	8.2	3.6	0.05
$\mu \pm 4\sigma$	6.3	2.8	0.006
$\mu \pm 4.5\sigma$	4.9	2.2	0.0007
$\mu \pm 5\sigma$	4.0	1.8	0.00006
分布条件	分布自由	単峰型	正規分布

中心極限定理とこれらの定理とから、一般にデータはそのたびに变化しても、平均値の前後標準偏差の3倍以内の範囲に入るのが普通で、それ以上飛び離れたデータがえられると工程は異常状態にあるのではないかと考えてよいように思われる。

5. 統計的管理図法

毎日ハジキ出されてくるおびたしい不良品の山をみながら、製品となる前に、はやく不良品をつくる原因を検出し検査やその後におきるいろいろの無駄な費用を少なくする方法はないかと、ウェスタン・エレクトリック会社の技師、シューハートは毎日真剣に考えていた。しかし、実際の製造工程は複雑で製品に影響すると考えられる原因は至るところに存在し、しかも刻々変化し、どの原因がどのような影響を製品に与えているかを見分けることすら不可能に近かった。それでも根気よく製造工程に現われる変化を解析している中に、「製造工程は常に变化しており、これを一定に押さえることはできない。しかし定常な繰返し生産の場にあらわれる変動は統計的な分布法則に従う。不良品をつくる原因が工程に作用したときは、この分布法則からはみ出すほどの大きな変化があらわれる」ことをみつけ出した。そこで、データをとり、その平均値と標準偏差を求め、平均値の上下に標準偏差の3倍の幅をとった帯をつくり、データをプロットし、データがこの帯（管理限界）より外に出ると工程に異常事態が発生したとして技術的な解析を行ないその原因を除去する。管理限界内であればデータに変化があつても現状を容認して生産を続行する。生産がある程度進行すると、それまでのデータ全部を用いて平均値、標準偏差を再計算し管理限界を修正する。この手順を第8図のように図式化した管理図により続行し、工程の変動が多くの偶然原因の定常的な系列だけから成り立つ状態まで押し進め、これをもつて最高管理状態とするといった統計的な管理手法を創設した。これらのことはそ



第8図 3 σ — 管理図

の後、ドッチ・ローミングの抜取検査法と相まつて、さらに生産工程の管理法として洗練され今日の品質管理法の基盤を形成するに至つた。

6. 製 糸 ——その特性と問題点——

製糸は蚕のつくつた繭糸を巻戻しながら幾本か合わせ、細くなればつぎたし、目的の太さと長さをもつた生糸をつくる縄ない作業にも似た単純な加工工程を中心にした工業である。そのため、原料への依存性が強くこれが絹だと一くちに表現できる性質のほとんどは蚕によつてつくられたもので、製糸における品質管理の主体は繭糸の個体間、個体内にみられる糸の太さ変化を上手に組み合わせ目的の太さと長さをもち、ムラやフシの少ない生糸をつくる、いわゆる糸の形態的な面に向けられる^{20,21)}。また加工の単純性は生糸の品質的な面ばかりでなく糸歩、能率といった量的な生産面にも大きく表われ、生産成績は原料繭形質の変化に伴い大幅に変動する結果をまねいている。しかるに生糸生産の最も重大な基盤を与える原料繭の性状は蚕の品種によつて異なるばかりでなく、同一品種でも飼育、上簇等の環境条件によつても著しく変化する性質をもっている。しかるに工場では自動繰糸機を中心にした大量生産形態に適するよう、理論的にはいくつかの矛盾を含むとはいうものの、多くの生産者の繭を合併して生産を行なわざるをえない状態におかれている。それゆえ、はじめに、影響の強い原料繭の選択合併の適正化を行ない、均質な荷口をつくる十分な配慮が必要である。しかしながら異質なものをから均一な性状の荷口をつくり出すことは、技術的に困難な多くの問題を含んでおり、工業用単位の荷口の中には性状の異なるいくつかの集落が形成される。そのため、乾燥、煮繭、繰糸といった工程で温度、時間、pH等の条件を一定に保持しても、えられる生産成績はその集落性の影響をうけて大きなうねり状を呈する²⁰⁾。

戦後デミングが統計的な品質管理法を日本に紹介して以来、日科技連を通じてこれを製糸業へ導入し従来の勘と経験に頼つてきた製糸技術から脱脚し筋道の通つた技術を確立しようとする試みがなされた。しかしながら生産成績を支配する管理対象の多くは原料性状の影響を大きくうけるので、管理限界を決定する標準偏差 σ には環境成分 σ_e 以外に原料成分の変動 σ_m が加算される。

$$\sigma^2 = \sigma_m^2 + \sigma_e^2, \quad \sigma_m^2 > \sigma_e^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

そのため管理限界値は大きくなり、統計的管理図法によるよりも従来の経験や勘による方がより適切な処置がはやくとれる、異常事態が検出されても具体的な処置がとれないなど、種々の批判や困難性に直面し、この方法は未だ製糸技術の中心的役割を演じうるには至つていない。しかしながら、統計的管理法が全面的に否定されたのではない。生産実態が数量的に把握できる相関分析法や実験計画法で思いがけない変動因が検出されるなど、いくつかの有用な成果がえられ、この見方、考え方は時間と共に現場技術者の中に浸透しつつある。それにもかかわらず、上述の批判の生じるのは、この管理法が生産環境の変動を一定に保持することに役立つても、工程変動の主原因をなし、生産成績を支配する原料特性²⁰⁾を的確に管理して目的生産を積極的に達成する役割を演じえないことによるものと考えられる。

これらのことから、原料依存性の強い製糸工程の管理は、生産過程にみられる2・3の現象変化から、直ちに繰製されつつある生糸の品質、能率、収率と原料特性、処理条件との関連性をみつけ、迅速的に原料特性にあつた生産状態へ工程を移行させる管理法でなくてはならないと考えられる²¹⁾。

7. 管 理 理 論

原料依存性の強い製糸工程の管理技術は現象出現の因果法則を明らかにし、その有機的な仕組みを示す理論の上に設定されなくてはならないとした。ここでは、そのような管理法を設定するのに必要ないくつかの基礎理論とその実験結果について紹介する。

7.1 落緒現象の出現過程

製糸の工程は接緒要求、接緒といった2つの現象が中心になつて進められている。この接緒要求の情報源のとり方により、繰糸法は定粒、定織、定伸法などと区別される。落緒は直接、間接に、それらの情報源として重要な役割を演じている。一方不時落緒の出現は短い糸ムラを生じさせて生糸品質を低下させるばかりでなく、索緒、抄緒、給繭、接緒といった一連の繰糸作業を要求して生産能率と生糸収率を低下させる。このように、繰糸中にみられる落緒の出現性は多くの生産の情報を与えるので、その出現構造の考察を試みる。

7.1.1 落緒歩合と解じょ率

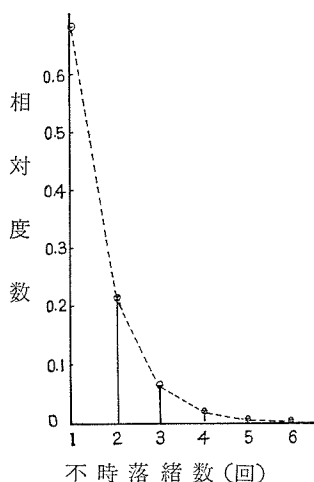
不時落緒の程度は1粒の平均落緒数を示す落緒歩合と解じょ率とで示され、それらの関係は次式で与えられる。

$$\text{解じょ率} = \frac{1}{1 + \text{落緒歩合}} \times 100 \quad \dots\dots(17)$$

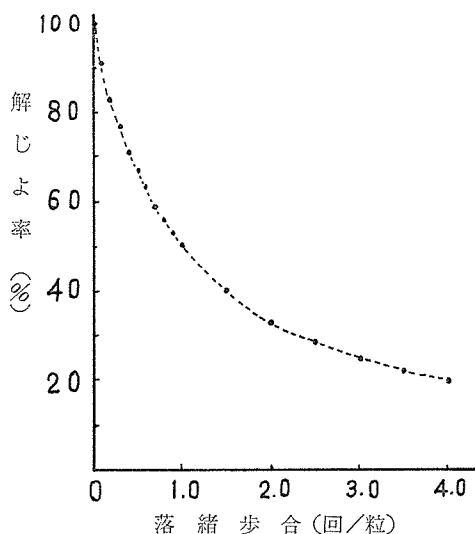
そのため、解じょ率は第9図に示すように落緒歩合が大きくなるほど変化率は小さくなる。それゆえ、ここでは繰糸操作を直接表現する落緒歩合を不時落緒数の測度として用いる。なお、落緒という言葉は以後不時落緒と自然落緒を総称する場合にだけ用いるものとする。

7.1.2 原料荷口の落緒分布

(i) 1粒繭に生じる不時落緒数の分布



第10図 1粒の繭に生じる不時落緒数とポリヤ・エッケンベルグ分布



第9図 落緒歩合と解じょ率との関係

1粒繭に発生する不時落緒数を観測すると、無落緒繭の意外と多いのに驚く。そこで不時落緒が k 回である繭の出現確率を求めると、これは伝染病の伝播分布と同型のポリヤ・エッケンベルグ分布 $P(k; \lambda, \rho)$

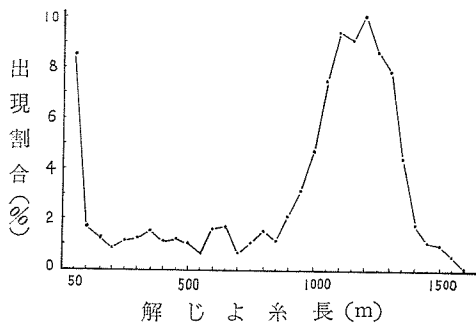
$$P(k; \lambda, \rho) = \frac{\lambda(\lambda + \rho) \cdots (\lambda + k - 1\rho)(1 + \rho)^{-\lambda - k}}{k!} \quad \dots\dots(18)$$

がえられる。⁸⁾ここに λ は落緒歩合、 ρ は伝播定数である。これから1粒平均1回落緒の生じる荷口(解じょ率50%)でも無落緒繭数は半数以上あり、不時落緒が不時落緒を誘発するかのよう⁸⁾に生じることが知られる(第10図)。

(ii) 繭層部位別不時落緒分布

繭糸上どの位置に不時落緒が生じやすいかをみるため繭層部位別の不時落緒分布を求めると第11図のようである。一般に、

不時落緒は繭層の最外，内層に集中するU，L，J形分布が基本分布形を示している。煮繭等の処理条件の影響は外，内層，特に最外層の落緒変化にあらわれ中層区の不時落緒にはほとんどあらわれない。



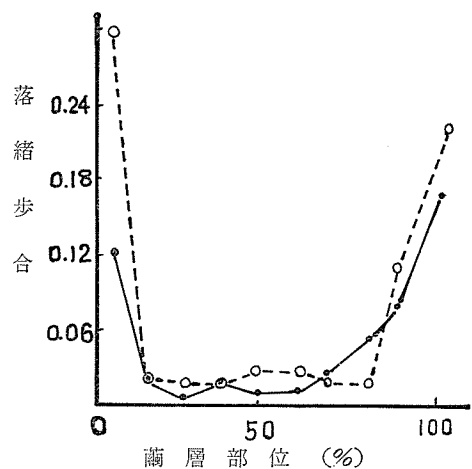
第12図 解じょ糸長分布

(iii) 解じょ糸長分布

ここでは接緒から落緒までの間に繰糸される繭糸の長さを解じょ糸長と定義する。この解じょ糸長の分布は1種の寿命分布で第12図のような形を示し，繭糸長と前述の2つの不時落緒の情報を集約した分布となり落緒に関する原料繭の代表的性質を与えている。

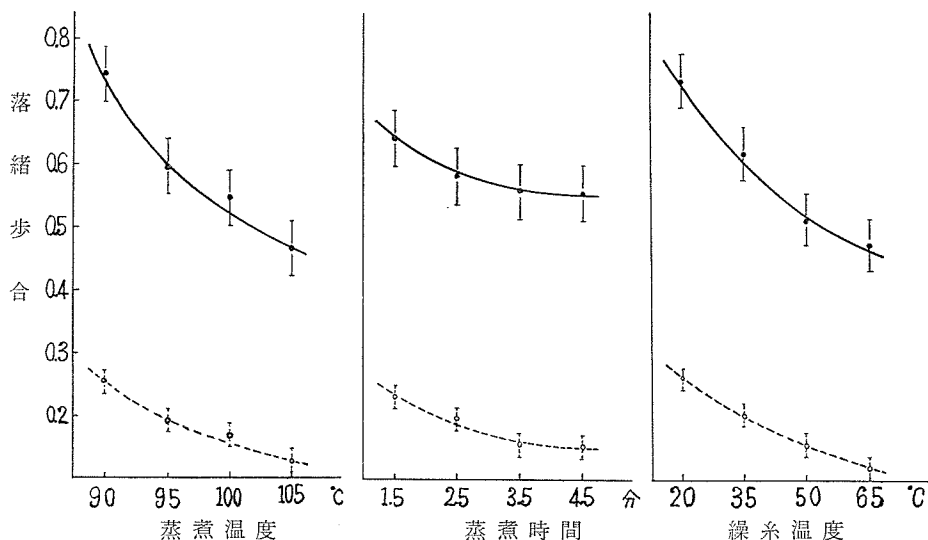
7.1.3 処理条件と落緒歩合

煮繭，繰糸条件と落緒歩合との関係の1例を第13図に示す。一般に煮熟度が進むほどあるいは



第11図 煮繭条件と繭層部位別落緒の変化

注) ・印: 蒸気温度 105°C
○印: 蒸気温度 95°C

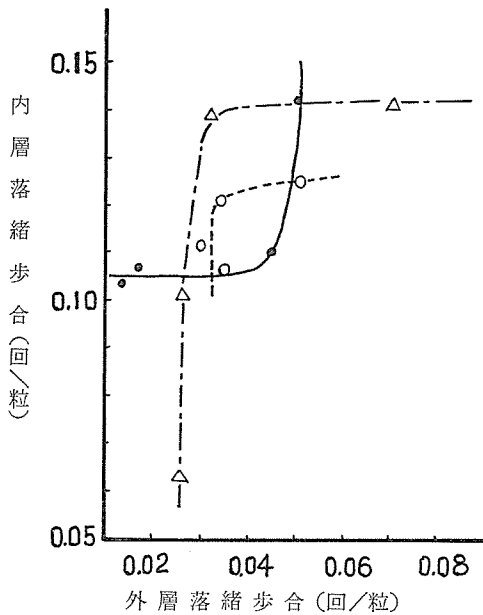


第13図 処理条件と落緒歩合との関係

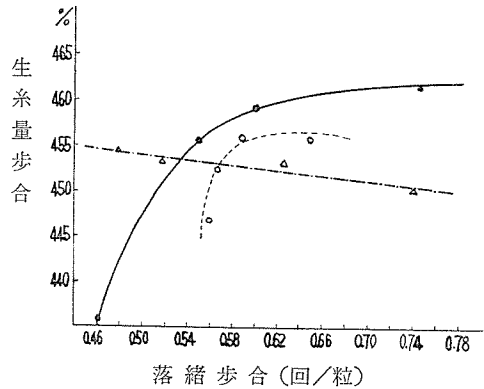
注) ・印 A 原料 ○印 B 原料

繰糸温度が高くなるほど落緒歩合は指数曲線的に減少することが知られる。しかし，煮熟度は外層落緒に，繰糸温度は内層落緒に特に効果的に作用する(第14—1図)。

処理条件に伴う落緒歩合と生糸量歩合の関係は第14-2図のようで、煮熱度を進めて落緒を減少させると糸歩もまた減少する傾向を示す。しかし繰糸温度によつて落緒を減少させると煮繭とは逆に糸歩は向上する傾向がみられる。



第14—1図 処理条件と外内層落緒歩合
注) ●印: 蒸煮温度 ○印: 蒸煮時間
△印: 繰糸温度



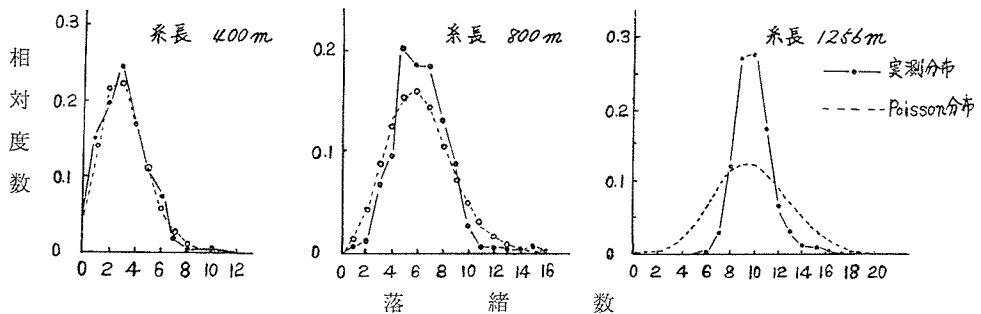
第14—2図 処理条件に伴う落緒歩合と生糸量歩合の関係

注) ●印: 蒸煮温度 90°C~105°C
○印: 蒸煮時間 1.5分~4.5分
△印: 繰糸温度 20°C~65°C

7.1.4 繰糸中にみられる落緒の出現性

(i) 調査区間と落緒の出現性

定粒繰糸において、 kt , $k=1, 2, 3, \dots$, なる長さの1本の生糸が繰糸される間に生じる落緒数の分布を考える。もしも落緒がデタラメに生じているならば、 kt 区間に生じる落緒の分布は(12)式のポアソン分布に従う。実測落緒分布とポアソン分布の関係は第15図のようで、糸長が長くな

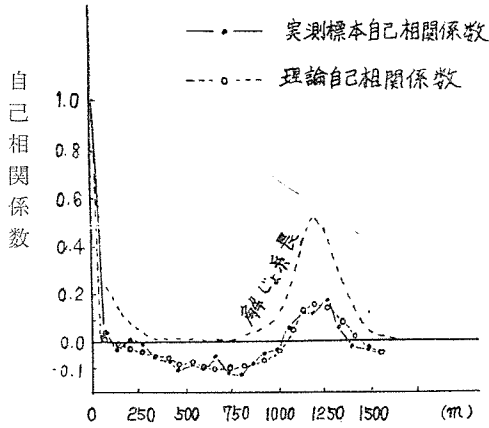


第15図 一定糸長が繰糸される区間に生じる落緒数の分布とポアソン分布

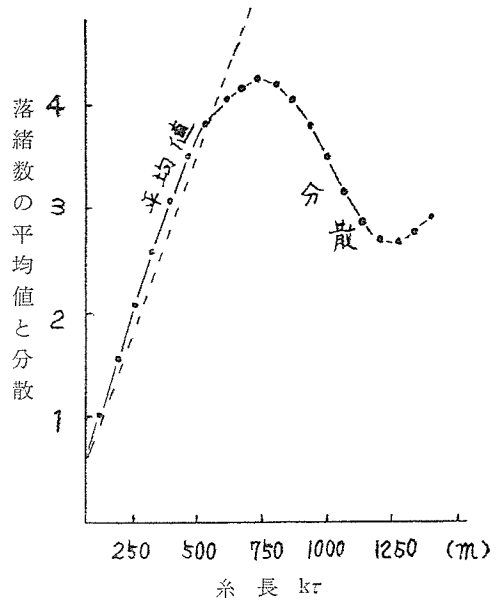
ると落緒分布は明らかにポアソン分布とはちがう分布形へ移行する。ポアソン分布では平均値と分散は同じ値を示したから、X軸に調査区間 kt , Y軸に分散をとつた分散—時間曲線をつくると、落緒がデタラメなら1つの直線がえられる。この性質を使つて、落緒分布の変化を数量化す

ると第16図のようになる。これから落緒分布は1200m付近が最少の散らばりを示す分布型であることが知られる。

繰糸中にみられる落緒の出現性がデタラメでないことが知られたので、その規則性の解析が



第17図 落緒数のコログラムと解じょ糸長分布



第16図 一定糸長区間に生じる分散, 平均値曲線

試みられた。落緒数の時系列 $\{X_t, t=1, 2, \dots\}$ の相互の関係を自己相関係数によつて検出した結果は第17図のようであり、落緒は1200m付近を周期とする波状の出現性を示すことがみられる。落緒のこの出現性を明らかにするため、繰糸1本からなる生糸繰糸過程を考える。区間 t を十分短くとり、1区間に2回以上落緒しないようにする。各区間に落緒が生ずれば $X=1$ 、生じなければ $X=0$ とし0-1過程 $\{X_n, n=1, 2, \dots\}$ を考え、区間 n で落緒しその後 $(n+\nu)$ ではじめて落緒する確率を P とする。

$$P\{X_{n+1}=0, X_{n+2}=0, \dots, X_{n+\nu}=1 | X_n=1\} = P$$

n で落緒し $(n+\nu)$ で落緒の生じる確率を P_ν とする。

$$P\{X_{n+\nu}=1 | X_n=1\} = P_\nu$$

これから

$$P_1 = p_1 = p_1 P_0, \quad P_2 = p_2 + p_1 P_1 + p_2 P_0 + p_1 P_1, \quad P_\nu = \sum_{i=1}^{\nu} p_i P_{\nu-i} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$P \equiv \lim_{\nu \rightarrow \infty} P_\nu = 1 / \sum_{\nu} \nu P_\nu, \quad E\{X_n\} = P \quad \dots\dots\dots (20)$$

をうる。これから、 $(X_n - P)$ 過程の共分散関数 $R(m)$ は

$$R(m) = E[(X_n - P)(X_{n+m} - P)] = E[X_n X_{n+m}] - P^2 = P p_m - P^2 = P(P_m - P)$$

$$R(0) = E[(X_n - P)^2] = P(1 - P)$$

ゆえに落緒生起の自己相関係数 ρ_m は

$$\rho_m = R(m) / R(0) = (P_m - P) / (1 - P)$$

しかるに p_ν は解じょ糸長分布における長さ ν の出現確率である。これから第17図の周期性は解じょ糸長分布から直接導くことができる。その結果は図中に白丸で記入した。これから kt 区間の1本繰糸過程に生じる落緒の平均値 μ_k と分散 σ_k^2 は

$$\mu_k = kP$$

$$\sigma_k^2 = P(1-P) \left[k + 2 \sum_{i=1}^{k-1} (k-i) \rho_m \right] \quad \dots\dots\dots (21)$$

で与えられK粒付では

$$\mu_k(K) = KkP, \quad \mu_k(K) = K\sigma_k^2 \quad \dots\dots\dots (22)$$

K粒付N緒についてみると

$$\mu_k(K, N) = KNkP, \quad \mu_k(K, N) = KN\sigma_k^2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

で与えられることが知られる。これらのことから、繰糸中に出現する落緒の性質のすべてが解じょ糸長分布と粒付数とによって規制される理論的仕組が明らかにされた。

(ii) 繰糸過程における落緒歩合、解じょ率の推定

落緒歩合は繰糸繭数Nとその繭が全粒繰糸されるまでに生じる不時落緒数 S とから S/N により計算される。実際の生産工程で落緒歩合を推定するにはこの口繰方式が適用できないので流れ生産の中から落緒歩合を推定しなくてはならない。生産が定常に行なわれていれば繰糸中の一定時間中に生じる落緒繭数Mとその区間に生じる不時落緒繭数Sとから落緒歩合の不偏推定値 $\bar{x} = S/(M-S)$ がえられる。また解じょ率 $P \times 100$ も同様に、一定区間中に生じる落繭数と自然落繭数の比のパーセントで示される。いま解じょ率を100で除した値Pの95%の信頼限界を $\pm L$ の範囲に押えるための落繭調査数をnとおくと、

$$n \geq \frac{1}{L^2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

で与えられる。例えば95%の信頼度で解じょ率が $\pm 5\%$ 以内になるための調査繭数nは

$$n \geq \frac{1}{(0.05)^2} = 400$$

となる。これから落緒繭（自然落繭+不時落繭）400粒の中に含まれる不時落繭数Sを数え解じょ率Pを

$$P = \left(1 - \frac{S}{M}\right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (25)$$

で計算すると、この値から5%以上も真の解じょ率の値が偏たつていないといふことができる。

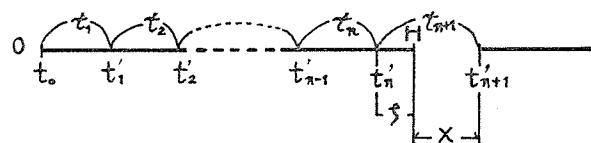
以上の結果、原料繭の落緒特性にはいろいろあるが、それらの情報は解じょ糸長分布に集約される。解じょ糸長分布が知られると繰糸工程中の落緒特性が、また繰糸中の落緒特性が知られると解じょ糸長分布が理論的に推定できる。処理条件と解じょ糸長分布との関係は落緒歩合を通して結びつけられ、さらに繰糸工程中の落緒歩合の客観的に推定する方法が示された。これらのことから、繰糸工程中にみられる落緒情報を的確につかみ、これをよりどころに工程を管理運営する1つの手法を組立てることができる。

7.2 糸ムラ特性の形成過程

ここでは糸ムラ特性を落緒あるいは接緒などによつて生じる細ムラに限定する。

7.2.1 定粒生糸

糸ムラの長さは解じょ糸長 $\overline{OH}$ と粒付調整間隔 t の分布 $f(t)$ とに関係して変化する（第18図）。いま t が平均解じょ糸長に比べて十分短いとすれば、糸



第18図 糸ムラの長さの理論模型

ムラの長さXは

$$k(X) = \frac{1 - \int_0^X f(t) dt}{\int_0^\infty t f(t) dt} \quad \dots\dots\dots (26)$$

なる確率分布で与えられる。これは、一般に糸ムラの長さXが繰糸工の粒付調整の間隔特性⁸⁾だけから決定できることを示唆している。一方粒付調整間隔の分布形は工場調査から、繰糸工によって変化するがいずれもガンマ分布

$$f(t) = \frac{1}{\alpha! \beta^{\alpha+1}} t^\alpha e^{-\frac{t}{\beta}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

に従う。糸ムラの長さの実測分布へ粒付調整間隔の分布から推定した理論分布をあてはめた結果は第19図のようで両者のよく一致することが知られる。

糸ムラの長さの平均値、分散 $E[X]$ 、 $V[X]$ は繰糸者の粒付調整間隔分布の特性 α から

$$E[X] = \frac{\mu}{2} \left(\frac{\alpha+2}{\alpha+1} \right),$$

$$V[X] = \frac{\mu^2}{12(\alpha+1)^2} (\alpha+2)(\alpha+6)$$

として与えられる。ここに μ は粒付調整間隔の平均値である。

これはまた次のように表わされる。

$$\text{平均糸ムラの長さ} = \frac{\text{平均巡視間隔}}{2} \left(1 + \frac{\text{巡視間隔の分散}}{\text{平均巡視間隔の2乗}} \right) \quad \dots\dots\dots (28)$$

これから、巡視間隔の変化が小さくなると糸ムラの平均長さは巡視間隔の $\frac{1}{2}$ に近ずき、その近ずき¹⁰⁾方は作業上位者の標準状態($\alpha=4$)に一致することが知られる。

糸ムラの数と分散は検査糸長を kt 、粒付数を N とすると、前節における²⁸⁾式から直ちに計算される。また糸ムラの深さは欠粒数を S とすると K 粒付で S 粒欠粒する確率 $P_{rob}\{S_n^k = S\}$ は

$$P_{rob}\{S_n^k = S\} = \binom{k}{S} P^S (1-P)^{k-S} \quad \dots\dots\dots (29)$$

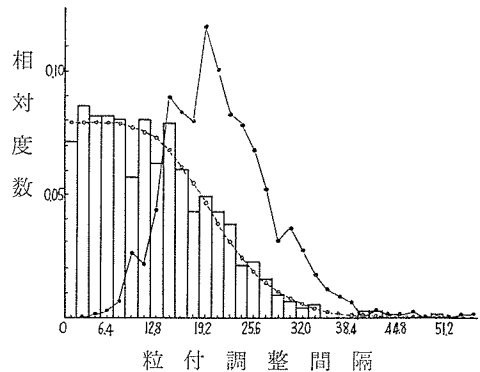
で示される。ここに P は前節の²⁰⁾式により与えられる。これらのことから、定粒繰糸における糸ムラの特性は落緒特性と粒付調整の巡視状態とから決定される構造が明らかになった。

7.2.2 定織生糸

定織生糸の短い糸ムラ特性は必ずしも接緒要求から接緒までのおくれ時間により生じるとは限らない。それゆえ、ここでは同一粒付数の持続繰糸される長さをもつて糸ムラの長さ¹⁰⁾とみなすことにする。このとき、同一粒付数の持続する平均長さ(糸ムラの平均長さ) u は、

$$u = \frac{\ell}{2K} \quad \dots\dots\dots (30)$$

により与えられる。¹⁰⁾ここに ℓ は解じょ糸長、 K は平均粒付数である。これを利用すると、解じょ糸長が繰糸中の現象から次の方法¹⁰⁾で調査できる。



第19図 粒付調整間隔と糸ムラの長さの分布

注) ヒストグラム：糸ムラの長さの実測分布
 ・印：粒付調整間隔の分布
 ○印：粒付調整間隔の分布から推定した糸ムラの長さの分布

$$\text{解じょ糸長} = \frac{L \times \text{その区間の平均粒付数}}{\text{長さ } L \text{ の生糸の繰糸中に行なわれた有効接緒数}} \quad \dots\dots\dots (31)$$

例えば、生糸 3000m が繰糸される間の有効接緒回数が 30 回で平均粒付数が 8 粒であると、解じょ糸長は

$$\text{解じょ糸長} = \frac{3000 \times 8}{30} = 800(\text{m})$$

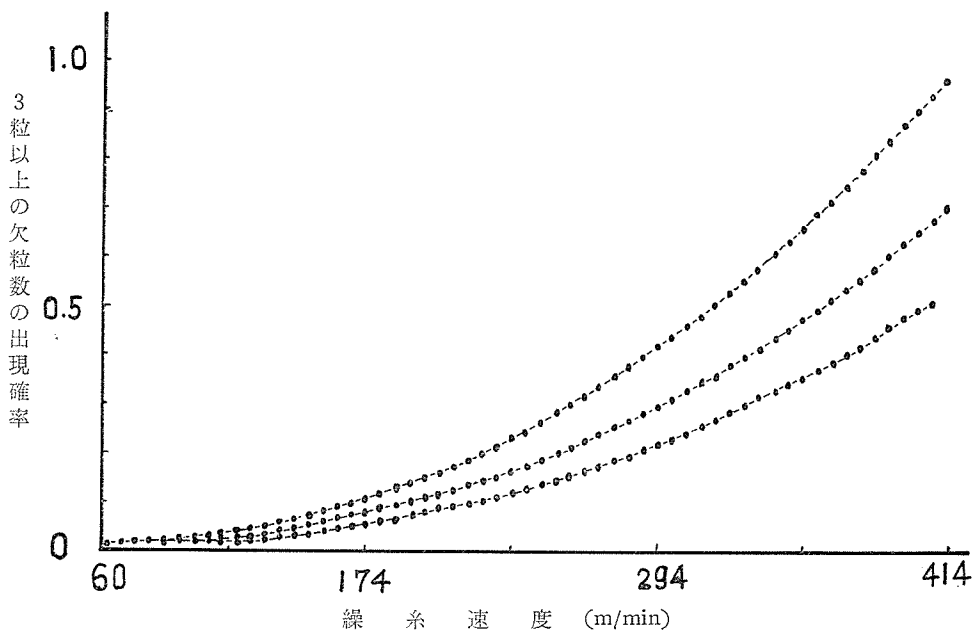
となる。一般に有効接緒数の総数は 100 回以上（5 緒 20 分間以上）調査するのが望ましい。糸ムラの深さは解じょ糸長 ℓ ，繰糸速度 v ，生糸織度の検索間隔 Δt ，粒付数 K ，有効接緒効率 ρ などによって変化する。いま

$$\beta = \left(\frac{\rho}{1-\rho} + 1 \right) \cdot (K \cdot \Delta t) \left(\frac{v}{\ell} \right) \quad \dots\dots\dots (32)$$

とおくと、スナッフ調査により、 r 粒欠粒の生じている確率 $H(r)$ は

$$H(r) = \left(\frac{1}{1+\beta} \right) \left(\frac{\beta}{1+\beta} \right)^r \quad \dots\dots\dots (33)$$

により与えられる。 ℓ ， Δt ， K を与えたとき、繰糸速度と有効接緒効率に伴う欠粒数の変化例の 1 例を第 20 図に示す。以上のことから、原料特性として解じょ糸長分布、繰糸条件として平均



第 20 図 繰糸速度、有効接緒効率と 3 粒以上の欠粒数出現確率

注) 解じょ糸長 700m：平均粒付数 8 粒：検索間隔 3.8 秒

粒付数，有効接緒回数，検索間隔，繰糸速度が与えられれば短い糸ムラ特性はそれらから理論的に決定できる。

以上の解析と前節に示された落緒の出現性とから，落緒と給繭接緒効率の様子をみることにより，原料性状の変化，処理条件の変化と生糸品質，能率，収率との関係がえられ，これをよりどころに工程全体の生産状態が的確に推定できる 1 つの管理システムの基礎がえられた。

7.3 生糸織度特性の形成過程

繰糸工程の最大の管理目標は目的織度の生糸を繰製することである。落緒を情報源とする定粒繰糸法と細限生糸織度を情報源とする定織繰糸法について、それら2つの織度管理法と生糸の織度特性の関係について考える。

7.3.1 定粒生糸特性

定粒繰糸法は落緒すれば直ちに1粒の繭糸を接緒し、常に一定本数の繭糸から生糸がつけられるよう工程管理を行ない目的織度の生糸をつくる繰糸法である。従つて繭糸織度の整数倍が生糸の目的織度に一致するよう原料繭を調整しなくてはならない。生糸織度の特性は生糸の平均織度 $\Delta(K)$ 、織度偏差 $\sigma(K)$ と生糸織度の時系列的な連続波の様子によつて代表される。

(i) 生糸の平均織度

定粒生糸の平均織度は粒付数 K と繭糸織度 δ とから

$$\Delta(K) = K\delta \quad \dots\dots\dots (34)$$

で示される。

(ii) 生糸織度偏差

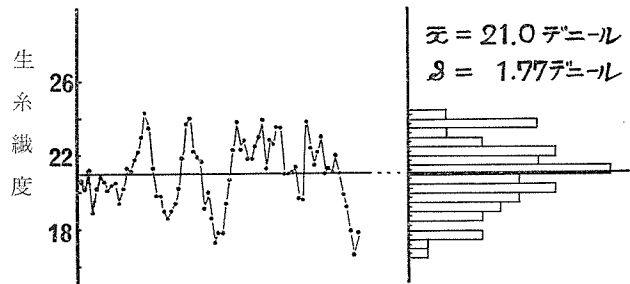
定粒生糸の織度偏差は組合わせ理論から

$$0 \leq \sigma(K) = \sigma \sqrt{K + 2 \sum_{i,j} \rho_{ij}} \leq K\sigma \quad \dots\dots\dots (35)$$

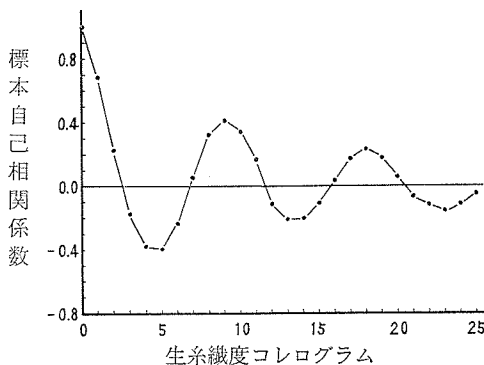
で示される。ここに σ は繭糸織度偏差であり、 ρ_{ij} は K 本の生糸を構成する繭糸列の中の i, j 列繭糸織度の相関係数である。 $2 \sum \rho_{ij}$ は繭糸の組合わせの総合効果を示すもので、繭糸を上手に組合わせると $2 \sum \rho_{ij}$ は $-K$ へ近づき $\sigma(K) \rightarrow 0$ となる。組合わせが特に下手であると $2 \sum \rho_{ij}$ は $K(K-1)$ に近づき $\sigma(K) \rightarrow K\sigma$ になる。無作為に繭糸を組合わせると $2 \sum \rho_{ij} \rightarrow 0$ となり(35)式は三戸森の式に一致する。

(iii) 生糸織度の連続性

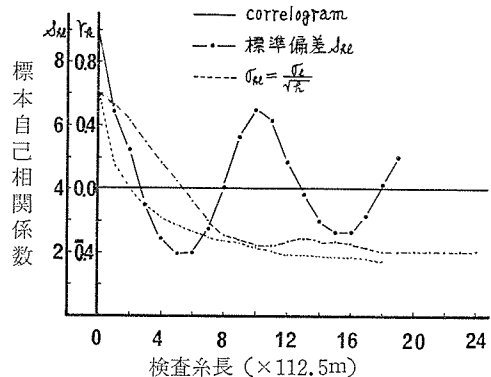
定粒生糸は繭糸織度曲線の変化を大きく受け波形変化を示す(第21図)。この変化の模様をコログラムで示すと第22図のように、粒付数に關係しない1つの波形が抽出される。この周期は解じ糸長分布のモードで一般に繭糸長に一致する。ま



第21図 定粒生糸の織度時系列と織度分布



第22図 定粒生糸の織度コログラム



第23図 定粒生糸織度の標準偏差—検査糸長曲線

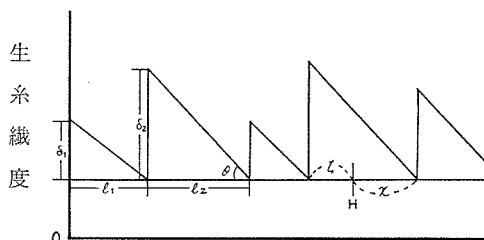
た ℓ なる検査糸長の織度偏差は $\sigma(k)/\sqrt{\ell}$ にならず第23図のような変化を示し ℓ が繭糸長以上になると、糸長を長くしたにもかかわらず織度偏差の増大することがある。これは、

$$\sigma(\ell, K) = \frac{\sigma(K)}{\ell} \sqrt{\ell + 2 \sum_{i=1}^{\ell-1} (\ell-i) \rho_i} \quad \dots\dots\dots(36)$$

なる関係で単位長さの織度偏差 $\sigma(K)$ に対し ℓ なる長さの織度偏差が変化するためである。ここに ρ_i はコログラムに示されたラグ i の自己相関係数である。

7.3.2 定織生糸特性

定織繰糸法は繭糸織度曲線で（初織度－最終織度） < 0 なる関係が成立するため、生糸織度はある太さ以上太くなると接緒時に飛躍しその後は常に下降する性質をもつ。そこで走行生糸の太さが細限織度 C 以下になると粒付数に関係なく1粒の繭糸を接緒することにより目的織度の生糸が繰糸できるよう工程を管理する繰糸法である（第24図）。



第24図 定織生糸の制御模型

(i) 生糸の平均織度

定織生糸の平均織度は細限織度 C と繭糸織度 δ ，繭糸織度偏差 σ とから

$$d = \frac{\delta}{2} \left(1 + \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots(37)$$

によつて与えられる。

(ii) 生糸織度偏差

定織生糸の織度偏差 $\sigma(d)$ は生糸の平均織度がある程度以上太くなると近似的に

$$\sigma(d) = \frac{\delta}{\sqrt{12}} \left(1 + \left(\frac{\sigma}{\delta} \right)^2 \right) \quad \dots\dots\dots(38)$$

$$\doteq \frac{\delta}{\sqrt{12}} \quad \dots\dots\dots(39)$$

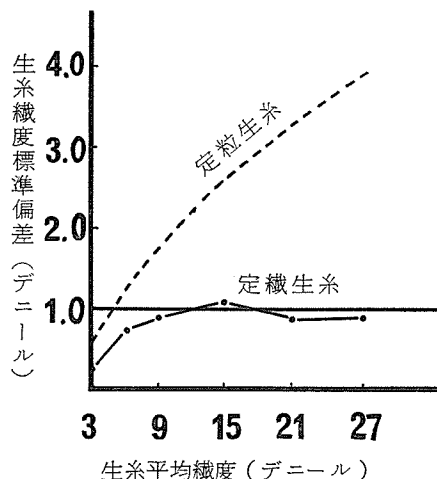
なる関係が成立する。すなわち、定織生糸の織度偏差は粒付数に関係せず $\delta/\sqrt{12}$ に一樣収束する性質がある。(38)式の値は検査糸長を生糸の直径から求めた値であるので、一般の450mの検査糸長についてみると(38)式の値に約0.2～0.3を乗じた値が生糸織度を構成している繭糸織度曲線の成分になる（第25図）。

(iii) 生糸織度の連続性

接緒時に生糸織度は飛躍しその後は単調に減少する傾向がある。この下降速度は繭糸について求められる θ に粒付数 K を乗じた値 $K\theta$ に比例する。

$$\theta = \frac{\text{繰り終り織度} - \text{繰りはじめ織度}}{\text{繭糸長}} \quad \dots\dots(40)$$

この波形変化の周期は近似的に繭糸長／粒付数で示される。それゆえ21中 生糸では平均的に $1200/8=150(m)$ を周期とし、振幅が織度偏差の約



第25図 生糸平均織度と織度標準偏差

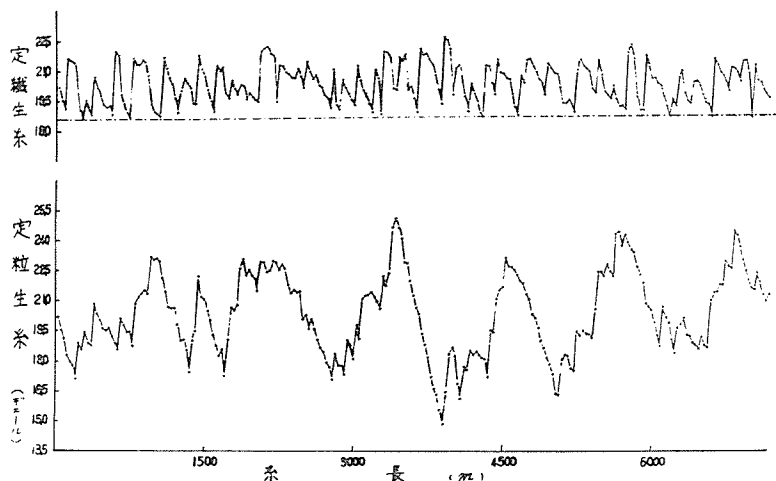
6 倍の振動波となる。

7.3.3 定粒，定織生糸の比較

定粒，定織生糸の特性をその波形変化の側面から考察する。

(i) 織度波形の振幅性

定粒，定織生糸織度の相異を第 26 図に示す。定粒生糸の織度偏差は三戸森の式を小野らの式²⁶⁾



第 26 図 中心織度 21 デニールの定粒，定織生糸の織度時系列

に変形すると

$$\begin{aligned} \text{定粒生糸の織度偏差} &= \frac{\text{繭糸織度偏差}}{\sqrt{\text{繭糸織度}}} \sqrt{\text{生糸平均織度}} \\ &= (\text{原料特性}) \times \sqrt{\text{生糸平均織度}} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(41)$$

すなわち，生糸平均織度の平方根に比例して生糸の織度偏差は増大する（第 25 図）。これに対し定織生糸では生糸の平均織度とは無関係に繭糸織度に関係した一定値に収束する（第 25 図）。

$$\text{定織生糸織度偏差} = \frac{\text{検査糸長に關係する定数}}{\sqrt{12}} \times \text{繭糸織度} = \text{一定} \quad \dots\dots\dots(42)$$

(ii) 織度波形の周期性

定粒生糸の織度周期は近似的に生糸の平均織度に関係なく繭糸長に一致する。

$$\text{定粒生糸織度波周期} = \text{繭糸長}$$

定織生糸の織度周期は，生糸の平均織度に逆比例して短くなる。

$$\begin{aligned} \text{定織生糸の織度周期} &= \frac{1}{\text{生糸平均織度}} \times (\text{繭糸長} \times \text{繭糸織度}) \\ &= \frac{1}{\text{生糸平均織度}} \times (\text{繭糸特性}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(43)$$

以上のことから，生糸の平均織度が太くなるとその影響は定粒生糸では織度波の振幅の増大にあらわれ，定織生糸では織度波の周期の短縮にあらわれる。換言すると，定粒繰糸は繭糸織度曲線の姿をそのまま残す繰糸法であり，定織繰糸は織度曲線の姿を打ち消す操作を行なう繰糸法といえる（第 26 図）。

7.3.4 定織繰糸の粒付数の変化

定織繰糸の特徴は粒付数の変化にみられた。この粒付数の分布変化は生糸の平均織度というよ

りはむしろ平均粒付数に依存して変化し、平均粒付数が多い程粒付分布の変動は増大する。平均粒付数と生糸の平均繊度との間には完全な比例関係がある。粒付分布の標準偏差は平均粒付数が10粒以下のときは1以下の値を示す。それゆえ、生糸平均繊度の値が±dデニール以下に押える粒付調査緒数nは

$$\text{調査緒数} = \left(\frac{2 \times \text{繭糸繊度}}{d} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(44)$$

により与えられる。例えばd=0.25デニールとすればn=400緒調査する必要がある。また、粒付分布の性質から、(主体粒付数±2粒)以上離れた場合、その繊度感知器系の異常性を検討する必要のあることが知られる。

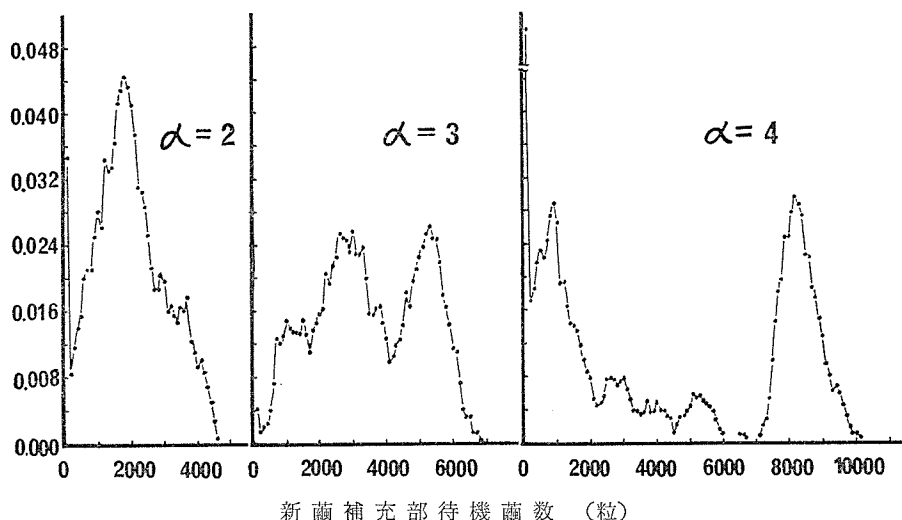
以上の解析から生糸の繊度特性を構成する基本的性質と原料性状、繰糸条件との理論的關係が知られた。

7.4 繰糸過程における繭の流れ過程¹⁰⁾

繰糸工程の重要な管理対象の1つは接緒要求に即応できる正緒繭の待機態勢に関するものである。繰糸機中に待機繭が多いと正緒繭の生産効率は低下し正緒繭の糸切れが生じる。勿論少なすぎではいけない。工程解析から繰糸工程を流動する繭数のムラを少なくし必要最少限の繭数で繰糸工程を運営することが最適生産を遂行するための1つの基本条件であることが知られる。

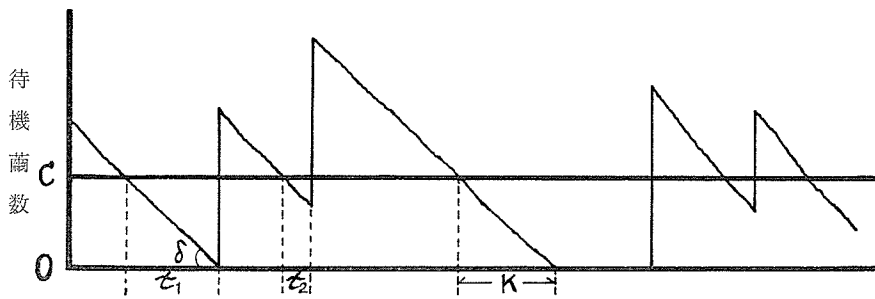
7.4.1 新繭補給工程

煮熟繭は新繭待機部に一時待機された後少量ずつ索緒部へおくられる。このおくりこみ量の変化は待機繭数変化の主原因をなしている。いま補充間隔の分布状態を意識的に、任意補充法から一定間隔補充法へと変化させても待機繭数は偶然変化の影響を受けて不安定な変化を示す(第27図)。このような工程の管理は外部因子の管理でなく直接の管理対象である待機繭数の情報によつ



第27図 補給間隔の平均と変動を管理した場合の新繭待機数の度数分布図

て補給間隔を調整する判断機構の導入による管理方式でなくては的確に処置することはできない¹⁷⁾。そこで、最も単純な待機繭数が一定量Cに達すると補給指示を出す方法について考える(第28図)。ここで指示から補充までのおくれ時間tがg(t)なる分布変化をすると仮定すると、待機

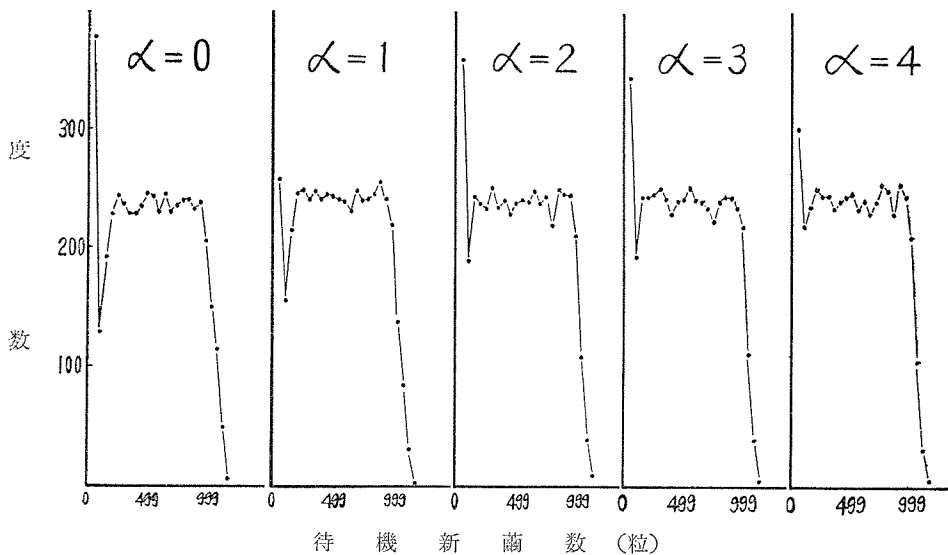


第 28 図 新菌補充部における待機菌数制御の模型図

菌数が 0 なる事態発生の確率 $H(0)$ は

$$H(0) = \frac{1}{\lambda} \left[\int_K^{\infty} tg(t) dt - K \int_K^{\infty} g(t) dt \right] \quad \dots\dots\dots(45)$$

となる。1 回の新菌補充量が平均 1000 粒で $C = 160$ 粒としたときの待機菌数の分布は第 29 図の



第 29 図 待機菌数の情報を用いた菌補充制御型における待機新菌数の度数分布図

ようで、補給間隔だけを管理する上述の方法に比べ待機状態が非常に安定し、このような単純な制御機構によるだけで十分な管理のことができることが知られる。

7.4.2 索 緒 工 程

もし糸くちがたち難くて索緒、抄緒部を巡回する時間が長いと正緒菌の生産能率は低下する。一方巡回時間が短いと煮熟菌が柔らかすぎるか索緒処理が強すぎて糸屑を不当に多く出す心配がある。索緒工程の管理はこの無緒菌が有緒菌になるまでの滞留時間に的をしぼることができる。しかし一度索緒部に投入されてしまうとその菌はそれ以前に投入され索緒、抄緒部を巡回している菌と区別することはできない。ここでえられる情報は索緒部へ投入される $(n-m)$ 時点に投入される無緒菌数 I_{n-m} と n 時点に搬出される有緒菌数 O_n だけである。これら 2 つの状態をみていることにより索緒工程の滞留時間の情報が的確にえられると工程管理上非常に都合がよい。こ

の関係を解析すると、無緒繭の滞留時間が m である確率 p_m は

$$p_m = \text{Cov}(O_n, I_{n-m}) / V(I) \quad \dots\dots(46)$$

でえられることが知られる (第 30 図)。ここに分子は投入、搬出繭数の共分散で $V(I)$ は投入繭数の分散である。また搬出有緒繭の平均値 $E(O)$ 、分散 $V(O)$ は投入無緒繭の平均値 $E(I)$ 、分散 $V(I)$ とから

$$E(O) = E(I) \quad \dots\dots(47)$$

$$V(O) = E(I) \left[1 - \sum_{m=0}^{\infty} p_m^2 \right] + V(I) \sum_{m=0}^{\infty} p_m^2 \quad \dots\dots(48)$$

で与えられる。これらの解析結果を用いると、定常な生産過程では搬出有緒繭数を投入無緒繭数によって自由に管理でき、また投入、搬出繭数の状態から煮熟繭の状態や索緒処理の効果 (p_m) が的確に推測できる。

7.4.3 抄 緒 工 程

有緒繭は抄緒部で抄緒され正緒繭になる。繭の流れの立場から求められるこの工程の管理標識は抄緒繭数の分布特性で、抄緒効率は抄緒繭数の増大と共に減少する (第 31 図)。抄緒段取り間隔内に抄緒部へ有緒繭をおくりこむ回数を N 、1 回のおくりこみ中に含まれる有緒繭数を X とする (第 32 図)、またそれぞれの平均値、分散を $E(N)$ 、 $E(X)$ 、 $V(N)$ 、 $V(X)$ とする。このとき、1 回の抄緒段取り中の抄緒繭数 S の平均値 $E(S)$ 、分散 $V(S)$ は複合分布の理論から

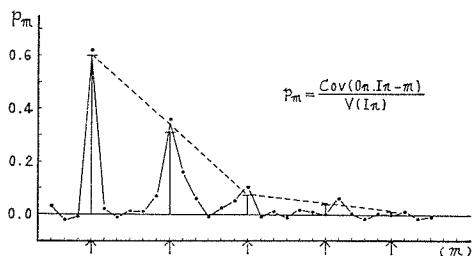
$$E(S) = E(X) E(N) \quad \dots\dots(49)$$

$$V(S) = E(X)^2 V(N) + E(N) V(X) \quad \dots\dots(50)$$

となる。これから抄緒粒数 S を有緒繭数と抄緒段取り間隔とから管理し抄緒効率を的確に制御する理論過程が明らかにされた。

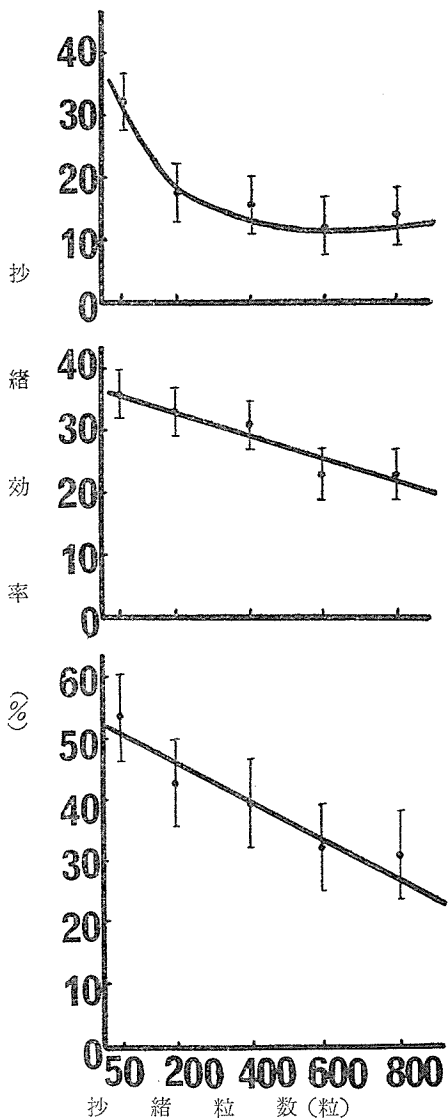
7.4.4 給繭工程—正緒繭待機部

接緒管理系を構成する繭の流れ過程の管理は正緒繭が接緒要求に即応できるよう待機している給繭工程の管理に集約される。ここでの問題は待機正緒繭数のムラを少なくし、必要最少限に繭数を押さえることに要約される。



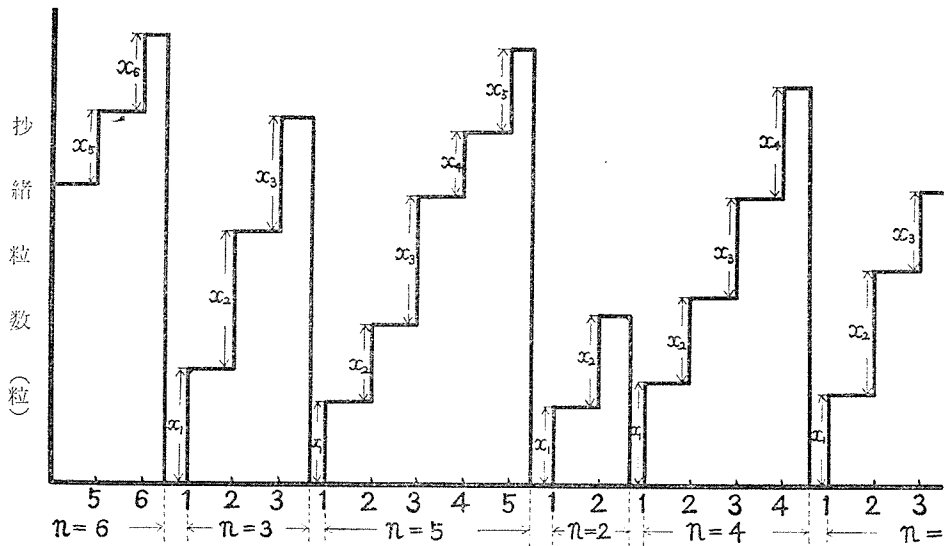
第 30 図 無緒繭索緒部滞留時間分布

注) 実線：実測分布、棒グラフ：推定分布



第 31 図 抄緒粒数と抄緒効率との関係

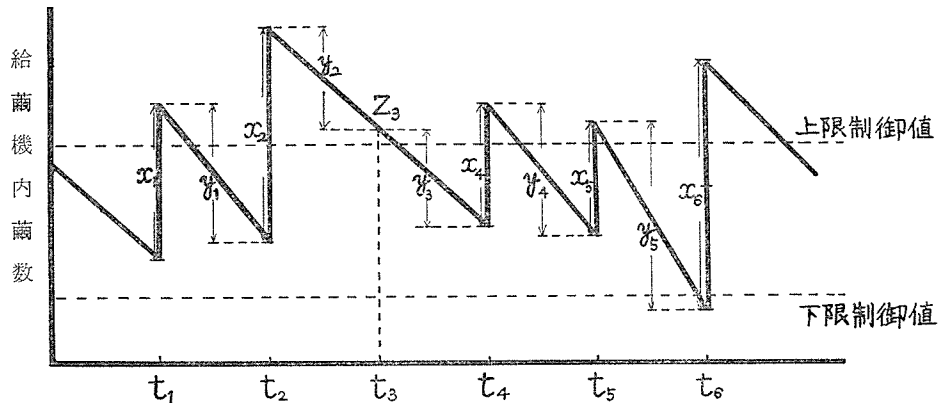
注) 縦棒は 99% の信頼限界



第32図 抄緒粒数構成模型図

注) n : 抄緒1段取り中のおくりこみ数, x : 1回のおくり有緒函数

このような繭数の管理は新繭補給工程の管理にみられたと同様給繭繭数, 給繭間隔等の外部要因の変動をいかに制御しても待機繭数は補給搬出繭数の偶然的因子の累積処置をうけるため待機繭数は0になるかいつばいになつてあふれるか, いずれか一方の方向へ進行する性質をもっている。その変動の影響が生糸品質, 生産能率, ならびに生糸収率に大きく作用する給繭待機部にあつては, 新繭補充部にみられた下限あるいは上限制御といった片側制御でなく, 上・下限を制御する両側制御系を導入する必要がある。いま正緒繭補給位置で下限値 R_1 を切つたものに対しては普通の2倍量の正緒繭を補給, 限界幅以内のときは1倍量, 上限値 R_2 を超えるものには補給中止の判断機構を与えた制御例を第33図に示す。この方式における問題は下限値と上・下限値に



第33図 両限制御方式における給繭機内繭数変化模型

よりつくられる管理幅の決定である。このような管理方式がとられる場合の待機繭数 Z の平均値 $E(Z)$ と分散 $V(Z)$ は近似的に

$$E(Z) = (R_1 + R_2)/2 \quad \dots\dots\dots(51)$$

$$V(Z) = (R_1 + R_2)(R_2 - R_1 + 2)/2 \quad \dots\dots\dots(52)$$

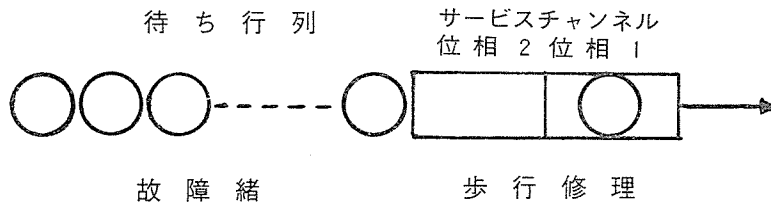
で示される。このとき、管理帯にあるときの補給繭数 X は定常な補給間隔中に消費される繭数 Y と平均的につり合う値 $E(X) = E(Y)$ にするのがよく、管理幅は1回の補給繭数の平均値 $E(X)$ に等しくとるのが最もよいことが知られる。

以上、接緒要求に即応できるよう、正緒繭の生産、補給過程にあらわれる各工程の特性構造と、それらの管理基準を決定する理論についてのべた。これらのことから、常に変動が増大する性質を内在する繭の流れ過程の管理には、単純に待機繭数の状態を情報源として補給するか中止するかを条件反射的に判断、制御する管理システムを設定することが必要であることが知られる。そしてそれらの設定基準は上述の理論から導くことができる。

7.5 糸故障の発生—修理過程⁹⁾

製糸工程の管理は接緒を要求する系統と接緒を行なう系統の2つに大別されるとした。しかし、この様な基本管理系以外に製糸工程の運営には時折り発生し、しかもその修復に人手を必要とする事故に関する管理系を確立しておく必要がある。この中、糸故障は常に発生し、生産能率を規制する最大因子であるので、糸故障の発生、修理過程の構造について考察する。

製糸工程における糸故障管理の特徴は修理工が常に担当区域を巡回監視し、故障発生位置まで出張サービスを行なういわゆるパトロール方式をとることである。これを待合わせ行列の模型にあてはめると糸故障の修理は歩行サービスと修理サービスといった2つのチャンネルを通して行なわれ、故障緒がどちらか1つのチャンネルに入っていると他の故障緒は待ち行列をつくる。しかも発生順に修理をうけうる優先権は認められない特性がある(第34図)。



第34図 糸故障待ち行列の構造模型

7.5.1 糸故障の発生特性

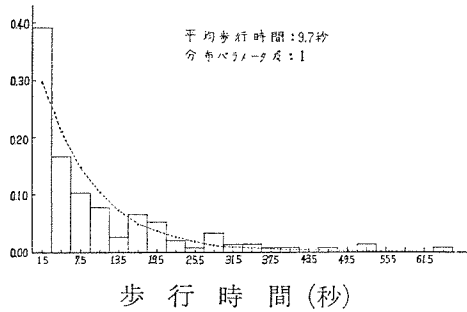
繰糸形態から、糸故障が発生すると、作業サービスが行き届かなくなり糸故障の発生をさらに誘発する危険をもっている。しかし長い時間についてみると、そのような機会の出現性は少ないので、故障発生は(12)式第5図にみられたようにポアソン過程に従うとみて実用上さしかえないうである。すなわち、一人の作業者の担当区内に発生する故障は時間的にランダムに起きているとみてよい。

7.5.2 糸故障の修理特性

(i) 歩行時間の分布

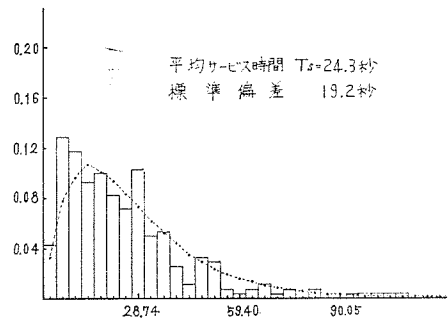
パトロール中、糸故障が発生すると、たとえ修理工が故障修理の目的で行動をとらなくても、修理歩行時間に加算されるものとする。もしも故障がランダムに生じていればこの時間は(13)式の指数分布に従う。第35図にみられるように、歩行時間は近似的に指数分布に従うとみてさしつ

かえないようである。



第35図 修理歩行時間の分布

注) ヒストグラムは実測分布, 点線は指数分布
(ガンマ分布のパラメータ $k=1$) から
の推定値



第36図 糸故障修理サービス時間分布

糸故障修理サービス時間分布

(ii) 修理時間の分布

1つの故障緒を修理する時間の分布は大故障あるいは小故障といった故障内容によつて変化する。しかし、一般にそれ等を含めた分布は近似的に指数分布に従う形をする。

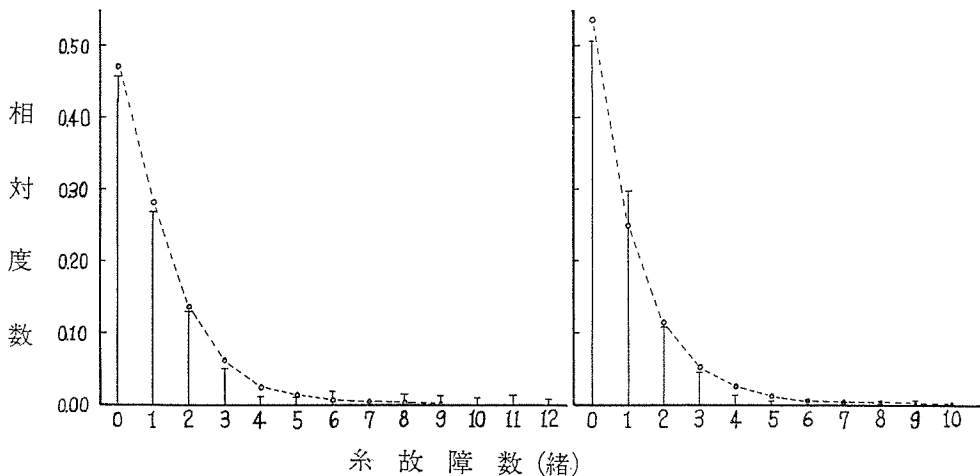
(iii) 修理サービス時間の分布

歩行時間 X_1 と修理時間 X_2 の和である糸故障修理時間 X を修理サービス時間と呼ぶことにする。また X_1, X_2 は平均的に似た値を示す場合が多い。このとき、 $X = X_1 + X_2$ の分布は $\alpha = k - 1$, $k = 2$ のガンマ分布に従うことが証明される。実際に第36図に示すように、修理サービス時間の分布は $k = 2$ のガンマ分布に近似している。

7.5.3 糸故障緒の待ち行列の長さ

スナップ調査における修理中の緒を含めての故障緒数 N が n となる出現確率 $P(n)$ は待ち行列の理論から

$$P(n) = \sum_{m=0}^n \frac{(m+n+1)! (1-\rho)}{(2m+1)! (n-m)!} \left(\frac{\rho}{2}\right)^{n+m} \quad \dots\dots\dots (53)$$



第37図 糸故障数の近似分布

注) 棒状図表は実測分布, 点線図表は第54式による近似分布

により与えられる。しかしながら、 $P(n)$ は修理サービス時間分布が指数分布であると仮定して導かれる

$$P(n) = \rho^n (1 - \rho) \quad \dots\dots\dots (54)$$

によつて実用上さしつかえない近似をうる (第 37 図)。ここに ρ はトラフィック・インテンシテイあるいは就業因数といわれ、1 人の作業者の分担区について

$$\rho = \frac{\text{修理サービス時間の平均値}}{\text{糸故障発生間隔の平均値}} \quad \dots\dots\dots (55)$$

により与えられる。これから故障待行列の平均長さ $E(N)$ と分散 $V(N)$ は

$$E(N) = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad \dots\dots\dots (56)$$

$$V(N) = \frac{\rho}{(1 - \rho)^2} \quad \dots\dots\dots (57)$$

また $N = n$ 以上の待ち行列の生じる確率 $Q(N)$ は

$$Q(N) = \rho^n \quad \dots\dots\dots (58)$$

就業因数 ρ と待ち行列の平均長さとの関係から、待ち行列の長さが安定するための ρ は $\rho = 0.6$ であり、そのときの故障待ち行列の平均長さ $E(N)$ は 1.5 となる。すなわち、1 人の作業者の受持ち区内の平均故障緒の値は 1.5 緒で、2 緒をこえると作業に無理の生じることが知られる。

7.5.4 修理待ち時間

パトロール作業法における糸故障の待ち時間は巡視工の巡回時間分布から一義的に導かれる。いま Y 以上の待ち時間の出現確率 $H(Y, k)$ は

$$H(Y, k) = \exp \left\{ -k \left(\frac{Y}{\mu(k)} \right) \right\} \sum_{n=0}^{k-1} \frac{(k-n)k^{n-1}}{n!} \left(\frac{Y}{\mu(k)} \right)^n \quad \dots\dots\dots (59)$$

により示される。ここに k は巡視間隔の分布において $k = (\alpha + 1)$ とした値で $\mu(k)$ は巡視間隔分布の平均値である。巡視間隔の分布特性を Y 以上の時間の出現性との関係を示す値を第 2 表に

第 2 表 段取時間分布のパラメータと極端に長い修理待ち時間との関係

$k \backslash \frac{Y}{\mu(k)}$	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
1	0.36788	0.22313	0.13534	0.08203	0.04979
2	0.27068	0.12447	0.05495	0.02358	0.00992
3	0.22405	0.08193	0.02727	0.00850	0.00253
4	0.19689	0.05825	0.01487	0.00341	0.00073
5	0.17547	0.04334	0.00858	0.00146	0.00022
6	0.16063	0.03333	0.00514	0.00065	0.00007
7	0.14900	0.02606	0.00316	0.00030	0.00002
8	0.13959	0.02077	0.00199	0.00014	0.00001
9	0.13176	0.01677	0.00127	0.00007	0.00000
10	0.12511	0.01294	0.00082	0.00003	0.00000

注) 巡回時間の分布型 (パラメータ k で表示) と巡回時間の平均値 $\mu(k)$ に対し修理待ち時間が $\frac{Y}{\mu(k)}$ 以上になる確率との関係である。縦軸は分布パラメータ k , 横軸は修理待ち時間比 $\frac{Y}{\mu(k)}$ 表中の値は出現確率。

示す。これから、1巡回時間が標準巡回時間の1.5倍以上になることがないように巡回ムラを少なくするように作業の分割、段取管理を行なうと、故障待ち時間が最も効果的に管理できることが知られる。

7.5.5 糸故障数の管理

自動機1列には通常2人の修理工がいる。煮繭あるいは原料特性による糸故障状態をスナッフ調査で行なうときは作業員個人別より1列、1セットあるいは工場全体の故障数について管理するのがより効果的である。このように、いくつかの作業員分担区をk区合計してえられる糸故障Zがnである確率分布 $L(Z)$ は

$$L(Z) = \binom{-k}{n} (1-\rho)^k (-\rho)^n \dots\dots\dots (60)$$

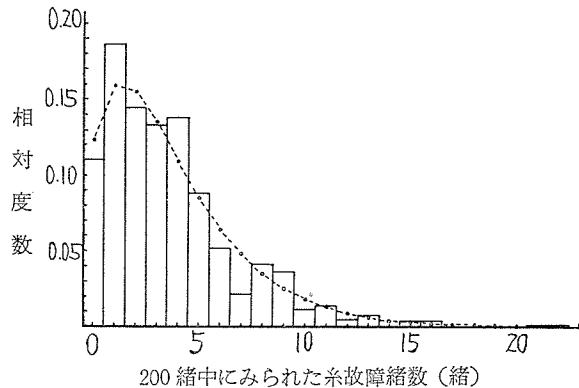
の負の二項分布に従う(第38図)。この性質を用いると、管理基準値はZの平均 $\bar{x}$ を求め

中心線： $\bar{x}$

$$\text{管理限界：}\bar{x} \pm 3 \sqrt{\frac{1}{k} \bar{x} (k + \bar{x})} \dots\dots\dots (61)$$

を求めて3- σ 管理図を作成すればよい。

以上のことから、糸故障の発生、修理の状態と繰糸工程を円滑に無理なく運営する管理基準と、工場全体の管理状態を検出する管理図法の理論構造が明らかにされた。



第38図 片側200緒中にみられる糸故障緒数の分布
注) ヒストグラム：実測分布，白丸：負の二項分布

8. 製糸工程の管理システム

はじめにのべたように、変動する製糸工程を的確に制御するには、シェーハートが示した3- σ 管理図法による工程の異常性の検出法以外に、原料依存性が強く、しかも一連の関連工程からなる製糸工程には管理現象出現の理論的構造とそれが他現象へ波及する状態を明確にし、繰糸工程にみられる2,3の現象変化から直ちに生産の実態を明確に把握できる管理システムの設定が要求された。

8.1 管 理 系

繰糸過程を中心にした製糸過程に関する前節の解析結果をブロックダイアグラムで示すと第39図のように集約することができる。図中の一重枠は直接の主管理対象、鎖線枠は目的とする品質対象、二重枠は具体的に修正処置をほどこす操作対象である。このようにみると製糸工程のオペレーションシステムは主管理目的を生糸の平均繰度におき、原料調整、煮繭、繭の流れ過程と巡視段取りを主操作対象とする生糸繰度の形成系、正緒繭の補給系、糸故障の修理系の3系統から構成されているとみなすことができる。これらの系統別に前節の解析結果をまとめるとつぎのようになる。

(i) 生糸織度の形成過程

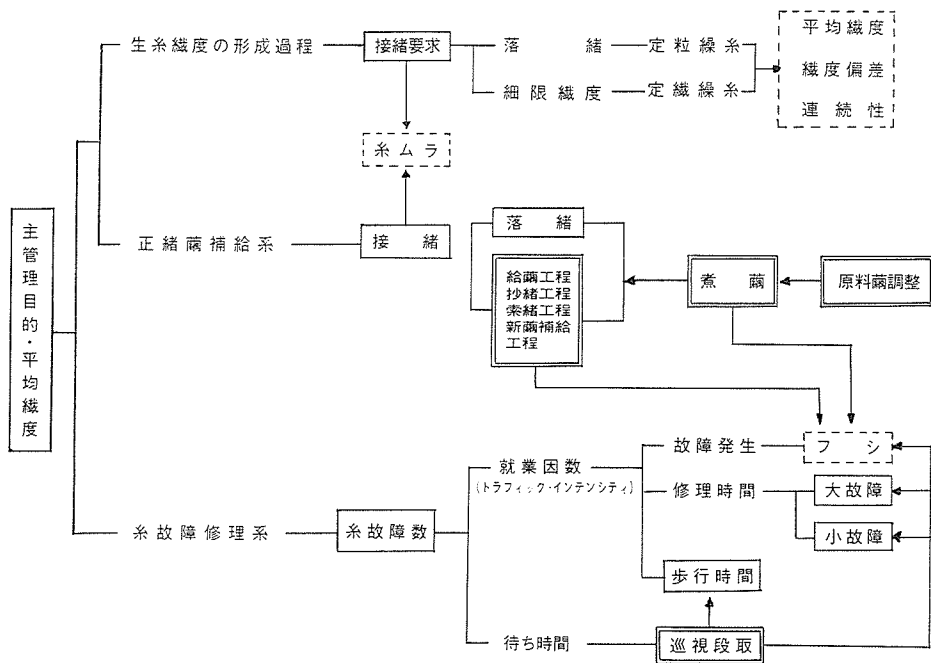
生糸の織度管理系を定粒，定織繰糸法別にわけると第 40, 41 図をうる。

(ii) 正緒繭の生産補給過程

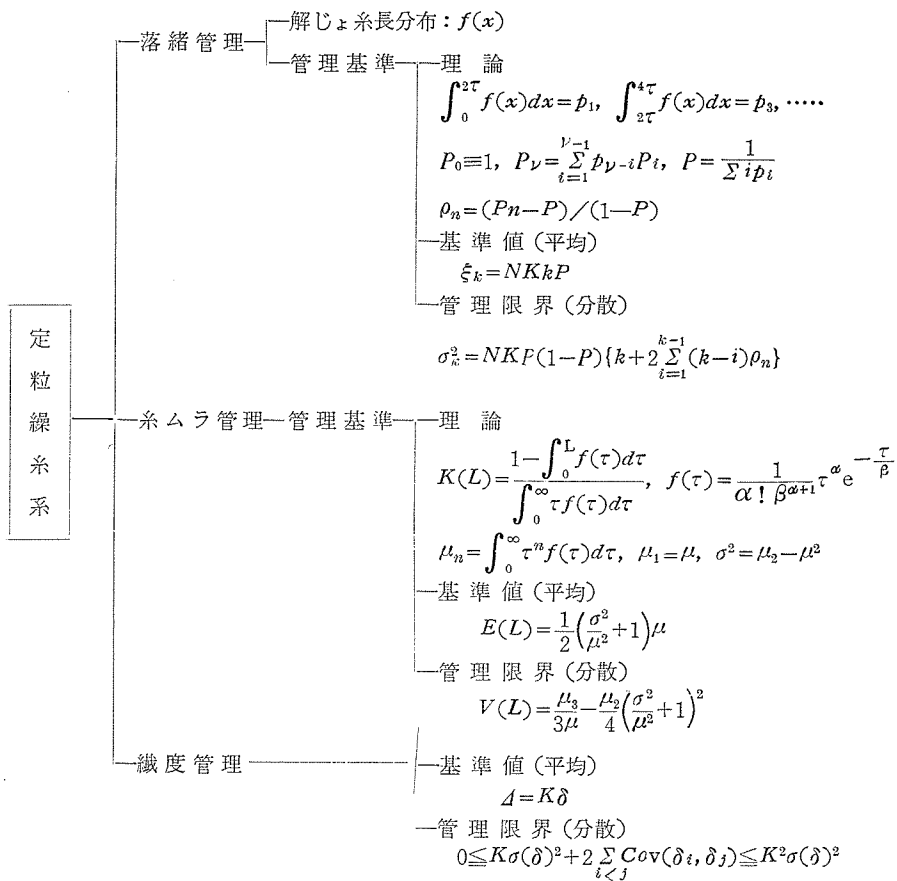
正緒繭の生産補給過程の繭の流れ系統は第 42 図のようになる。

(iii) 糸故障の発生修理過程

糸故障の発生修理系の管理系統図は第 43 図のようになる。

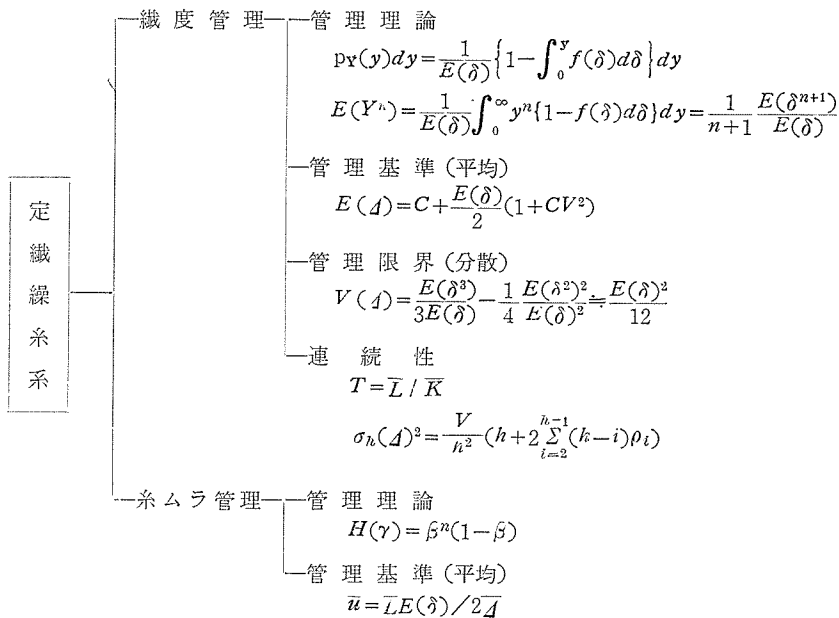


第39図 製糸工程の管理系統図



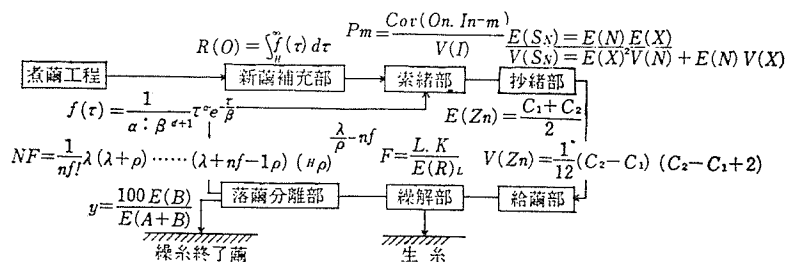
第40図 定粒線系における生糸織度の管理系

注) $f(x)$: 解じょ糸長分布関数, k : 調査時間 $k\tau$ の長さ (τ は単位時間), K : 粒付数,
 N : 調査緒数 ξ_k, σ_k^2 : K 粒付 N 緒, $k\tau$ 区間に生じる落緒数平均値と分散,
 $f(\tau)$: 粒付調整間隔の分布関数, $E(L)$: 糸ムラの平均長さ, $K(L)$: 糸ムら L の出現密度
関数, $V(L)$: 糸ムら L の分散, Δ : 平均織度, δ : 繭糸織度,
 $\sigma(\delta)$: 繭糸織度標準偏差, $Cov(\delta_i, \delta_j)$: 生糸構成織度系の共分散



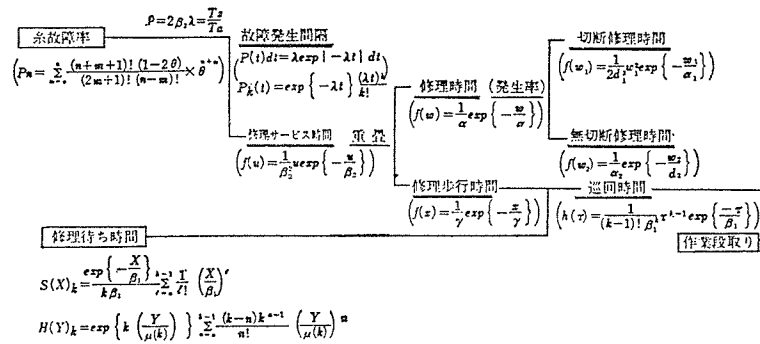
第 41 図 定組織糸における生糸織度の管理系

注) $p_Y(y)$: 定組織糸の織度分布, $E(\delta)$: 繭糸平均織度, $f(\delta)$: 繭糸織度分布関数
 $E(Y^n)$: 生糸織度分布 n 次モーメント, $E(A)$: 生糸平均織度, CV : 繭糸織度変異係数, C : 細限織度, $V(A)$: 生糸織度分散, T : 平均織度周期, $\bar{L}$: 解じょ糸長平均, $\bar{K}$: 平均粒付数, h : 検査糸長 hl の長さ, V : 繭糸織度分散, $H(\gamma)$: 1 緒内欠粒数 γ の確率, β : パラメータ, $\bar{u}$: 同一粒付の平均持続長, $\bar{A}$: 生糸織度標本平均値



第 42 図 正緒繭の生産と補給過程の構造

注) τ : 新繭補充間隔 X : 搬入繭 $E(S_N)$: 平均抄緒繭数
 H : 補充指示繭数 C_1, C_2 : 上下限制御繭数 N : 1 抄緒段取り間の投入数
 $V(S_N)$: 抄緒数の分散 $E(R)L$: L 中の有効接緒数 F : 解じょ糸長
 Z_n : 給繭機繭数 y : 解じょ率 $E(A+B)$: 落緒平均繭数
 L : 検査糸長 $R(0)$: 新繭補充部の待機繭が 0 になる確率 NF : 索緒部おくりこみ
 $E(B)$: 繰り終り繭数 $\text{Cov}(O_n, I_{n-m})$: $(n-m)$ 時点に投入された繭と n 時点に搬出された繭数の共分散
 $f(\tau)$: τ の密度分布 ρ は伝播常数
 P_m : 索緒滞留時間 m の確率
 $V(I)$: 投入繭数の分散



第43図 系故障修理過程の構造

注) P_n : n 緒故障の出現確率 ρ : トラフィックインテンシティ $\theta = \frac{\rho}{2}$ T_s : 平均サービス時間 T_a : 平均発生時間 $P(t)$: t なる発生間隔の出現確率密度 $P_k(t)$: t なる時間に k 回故障発生の確率 $f(u)$: サービス時間 u なる確率密度 $f(w)$: 修理時間 w の確率密度 $f(x)$: 故障緒までの歩行時間 x の出現確率密度 $f(w_1)$: 切断する故障修理時間 w_1 の確率密度 $f(w_2)$: 無切断故障修理時間 w_2 の確率密度 $h(\tau)$: 巡回間隔 τ の確率密度 $S(X)_k$: 修理待ち時間の確率密度 $H(Y)_k$: Y 以上長く待つ確率 その他の値は分布のパラメータ

8.2 管理基準値

前項に示された管理系を具体的に管理するのに必要な基準値のいくつかをまとめてつぎに示す。

8.2.1 定織生糸の織度管理

同一の管理状態でも原料繭荷口の繭糸織度の細太により生糸の平均織度は変化する。これはつぎの値を目印に調整する。

規約1. 感知器の修正

$$\begin{aligned}
 \text{感知器基準} &= \text{生糸目的織度} - \frac{\text{繭糸織度}}{2} (1 + \text{繭糸織度変異係数の2乗}) \\
 &= \text{生糸目的織度} - \frac{\text{繭糸織度}}{2}
 \end{aligned}$$

もしも平均粒付数と繭糸織度とから生糸の平均織度を推定する場合にはつぎの規約によつて調査緒数を決定し平均織度を推定する。

規約2. 粒付調査緒数の決定

$$\text{生糸平均織度} = \text{繭糸織度} \times \text{平均粒付数}$$

ただし、推定誤差を±Lデニール以下にする調査緒数 n は

$$n \geq 4 \times \left(\frac{\text{繭糸織度}}{L} \right)^2$$

列間あるいはセット間の粒付数の差をなくすることによつて生糸織度の変動を少なくするにはつぎの規約による。

規約3. 列間偏差の管理

各列N緒の調査を行ない2列間の平均粒付数の差の2乗値 Z^2 が $\frac{6}{N}$ より大きければ列によつて平均織度間に偏りがある。

$$(\text{2列間の平均粒付数の差})^2 > \frac{6}{N}$$

例1：A列8.4粒，B列8.2粒，N=200緒の場合，列間に差ありと判断してよいか。

$$\frac{6}{N} = \frac{6}{200} = 0.03, \quad Z^2 = (8.4 - 8.2)^2 = 0.04, \quad \frac{6}{N} < Z^2$$

ゆえにA列の方がB列に比べ太織度生糸を繰糸している。

例2：上の例で繭糸織度が2.6デニールであると $(8.4 - 8.2) \times 2.6 = 0.52$ (デニール) 太目になっている。この値は大きすぎる値で，会社の方針としては0.26デニール以上太くなれば直ちに修正処置をとるようにしたい。どうすればよいか。

$$\text{粒付数の限界値} = \frac{0.26}{2.6} = 0.1 \text{ (粒)}$$

$$\frac{6}{N} = (0.1)^2 = 0.01, \quad N = 600 \text{ (緒)}$$

600緒以上調査し平均粒付数間に0.1粒以上の差が生じれば，直ちに修正処置をとる。0.1粒以下なら現状を保持する。1列200緒のときは全緒調査後10分以上経てから次の調査を行なう方式をとりこれを3回反復し600緒の平均粒付数を求める。

緒間偏差が大きいときはつぎの処置をとる。

規約4. 緒間偏差の管理

感知器系が正常なとき

- i) 主体粒付数より±2粒以上離れることは100回に5回以下
- ii) 主体粒付数より±3粒以上離れることは100回に1回以下
- iii) 4回の調査で2回±2粒以上離れることは2%以下

主体粒付数より2粒以上離れる緒があれば危険信号，3回あれば異常と判断，1日4回の調査で2回以上同一緒に2粒差が生じると異常感知器と判断する。

8.2.2 繭の流れの管理

繭の流れ過程の主管理対象は給繭と接緒事象である。

規約5. 給繭機内繭数

$$\text{補給直後の給繭機内繭数} = (\text{平均1列接緒繭数の2倍} + 10 \text{粒})$$

移動給繭で1列の平均取り出し繭数が15粒のときは補給直後の繭数は $(2 \times 15 + 10) = 40$ (粒) とする。

規約6. 接緒管理

有効接緒効率が $p \times 100 \%$ である繰糸機で、

$$p \pm \frac{2p}{\sqrt{1+p}}$$

回以上の接緒が引き続き失敗すればその給繭機（移動）あるいは取り出し接緒装置（固定）は異常と判断する。

例えば有効接緒効率 80 % の機械では

$$0.8 \pm \frac{1.6}{\sqrt{1.8}} = 1.99$$

ゆえに 2 回連続失敗する事態が発生すると異常事態の発生と判断する。

規約7. 解じょ率の推定

$$\text{解じょ率} = \left(\frac{n \text{ 粒の落緒繭に含まれる自然落繭数}}{n} \right) \times 100$$

$$\text{ただし, } n \geq \left(\frac{100}{\text{解じょ率の許容誤差範囲}} \right)^2$$

例えば解じょ率推定誤差を 5 % 以下にするには落繭数（不時＋自然）は 400 粒以上調査する必要がある。

規約8. 解じょ糸長の推定

$$\text{解じょ糸長} = \frac{L_m \times \text{平均粒付数}}{\text{繰糸糸長 } L_m \text{ 中の有効接緒数}}$$

一定糸長 L_m の生糸が繰糸される間の有効接緒回数と平均粒付数を調査し上式から解じょ糸長を計算する。このとき L の値は 3000m 以上にするのが望ましく、調査緒は 5 緒以上とする。

8.2.3 糸故障の管理基準

規約9. 平均糸故障数

巡視工の担当区内の平均糸故障数は 1.5 緒を目途にし、平均 2 緒をこえないようにする。

規約10. 故障発生数

1 人の巡視工担当区内の故障発生間隔 H は

$$H = \frac{\text{修理所要平均時間}}{0.6}$$

一般には 1 分間の平均発生数が 1.6 回をこえないようにする。これは最多発生数が 5 回を超えないことと同じである。

規約11. 異常発生の判別

2人の修理工あるいは2列間について求められたF値

$$F = \frac{(2 \text{ 者間の平均故障発生数の差})^2}{(2 \text{ 者間の平均故障発生数の和})} \times \text{調査回数}$$

が4より大きくなると、大きい値を示す作業者は特に故障発生を多くさせていると判断してよい。

例 A, B列, 30分の故障発生数を2回調査した。A列は96, 100回, B列120, 132回であった。B列は故障が多発しているといえるか。

$$n = 2, \text{ 差} = \left(\frac{96+100}{2} - \frac{120+132}{2} \right) = 28$$

$$\text{和} = 98 + 126 = 224$$

$$F = \frac{28^2}{224} \times 2 = 7, \quad F > 4$$

ゆえに明らかにB列は故障の発生が多い。

規約12. 待ち時間管理

巡視段取り時間Xが平均時間 μ の1.5倍以上変化することは100回中5回以下になるよう巡視間隔を守ると故障待ち時間は最小付近の値を保つ。

$$X \leq 1.5\mu$$

8.3 思考制御

製糸は非常に原料依存性の高い生産構造を有するので、シュートハートの3- σ 管理図法を機械的に導入した管理法でなく、原料特性と処理条件とが生産成績を規制する間の有機的仕組を明らかにし、この基礎に立脚した製糸独自の管理法が要求された。しかしながら、原料繭荷口の性状に対する十分な知識を持ち合わせない状態で生産を実行せざるをえない生産技術の現状から考えると、はじめは無難と思われる条件で生産を開始し、生産条件に対する不平、不満を原料に語らせ、直ちにそれを解消させる方向で工程を管理するいわゆる間断ない手直し作業を繰り返すことによつて、目的生産を達成させるフィードバックシステムの管理法が最もよいと考えられる。

前節で解析された理論的結果はこのようなフィードバックシステムに必要な神経系統と最適条件の判断決定の基礎を与えるが未だ工程を完全に運営するには不十分なものである。そこで、さらに第3の管理法を導入し、工程を人手によらずに、しかも最適生産が自動的に維持実行できる方向の研究が必要になる。

前節の分析から新繭補充部とか給繭機への繭の搬入、搬出作業を単純に繰り返すと、各回の搬入数、搬出数の変動の累積により、待機繭数の変動は時間と共に拡大され、結局は0になるかいつばいになつてあふれるかのいずれか一方へ移行する性質のあることが知られた。しかし、このような工程にはある基準を定め、待機繭数がこの基準値以下あるいは以上に達したときはじめて補給あるいは停止の判断制御を行なうことにより、的確に管理できることが知られた。実際にはこのような局所的、条件反射的な単純制御法で工程の多くはよく制御できるように思われる。しかしながら、キビソ量の変化あるいは落緒、糸故障の変化といった管理の中枢部の制御には、

条件反射的制御法はほとんど役立たず、その変動を生じさせる原因系を分析して変動の作用素を直接制御しなければ効果は期待できない。

(i) パワースペクトル分析

キビソ量の変化を連続記録してみると複雑な不規則変動の波がえられる。この波形は原料、煮繭条件、新繭補充量、索緒条件など、種々の作用素が複雑に関係しあつて出現していると思われる。

太陽光線は種々の波長の光が混合して白色波を形成しているが、これをプリズムに当てると波長別の単色光に分離され、どの光波の成分がどれだけの強さで含まれているかを直ちに判別することができる。

キビソ量の変化も1つの波であるから、これをある種のプリズムを通過させることによつて波形変化を生じさせる原因がスペクトルの形で分離できれば好都合である。実際にはこの波形をフーリエ級数に分離し、

$$p_x\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right) = \Delta t \left\{ \rho_0 + 2 \sum_{i=1}^{h-1} \rho_i \cos(2\pi \frac{r}{2h} \varphi) + (-1)^r \rho_h \right\} \quad \dots\dots\dots (62)$$

$$\hat{p}_x\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right) = \sum_{n=-k}^k a_n p_x\left(\frac{r-n}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right) \quad \dots\dots\dots (63)$$

なるパワースペクトルを計算することにより、各周波数成分をうることができる。ここに $p_x\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right)$ はデータの読取り間隔を Δt 、周波数 $\frac{r}{h}$ のパワースペクトルであり、 ρ_i は自己相関係数、 a_n は重みづけの係数である。この計算は複雑であるがコンピュータにやらせると分単位ですべての結果は印刷できる。実際に農林研究計算センターのコンピュータを使い、研究室で開発したプログラムによつて煮繭工程の温度変化を分析した結果の1例を第44図に示す。これから、管理現象の時系列変化のデータをコンピュータに刻々とおくりこめば直ちに、それに作用している原因の波長あるいは周波数が分析でき、制御現象の変動因を分析する一つの思考制御の基礎が設定される。

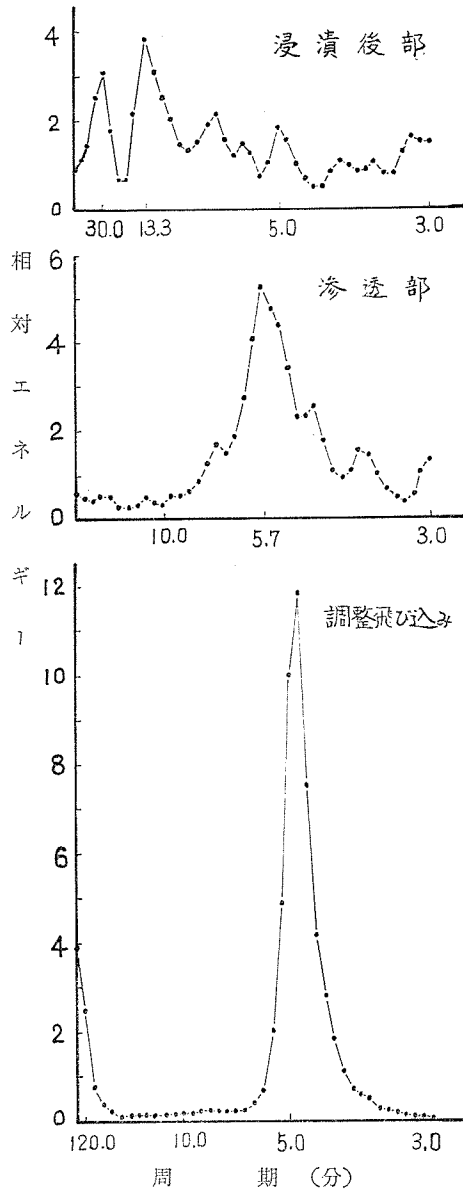
(ii) 周波数応答関数

浸漬工程からはじまるいくつかの処理工程を経て生糸はつくられる。製糸工程における処理効果は必ず時間おくれをもつて先行する工程に現われる。そのため、例えば繰糸工程のスペクトル分析からその原因が調整部であると検出されても、それをもつて直ちに調整部へ修正処置をとることはできない。というのは、検出時点の繭では調整部の処置が不適格であつても、現在の調整部の処置は極めて望ましい状態にあるかもしれないからである。それゆえ、管理対象の変動を分析してその原因が検出される。それが前処理工程である場合には、悪い作用を行なつた時点にさかのぼり、その状態と現状との相違をみて具体的に修正処置をとるか否かを決定するといった高度の思考制御が必要になる。この時間おくれの模様は周波数応答関数として例えば

$$\hat{A}(f) = \hat{p}_{yx}\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right) / \hat{p}_x\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right) \quad \dots\dots\dots (64)$$

なる値を算出して原因結果の応答関係を分析することでえられる。ここに $\hat{p}_{yx}\left(\frac{r}{h} \frac{1}{2\Delta t}\right)$ は原因系 x に対する結果 y の相互パワースペクトルである。このような工程解析のための分析は迅速適正に行なわれなくてはならない。

以上のことから、現象変化を的確に計測してその情報を獲得し、迅速にその情報を分析し、そ



第44図 煮菌工程における処理温度のパワースペクトル

これらの結果を多面的に集約して最適生産を決定する思考制御はコンピュータによりはじめて行なうことが可能になると思われる。

原料性状に支配され、その性状を追跡し、それに適合するよう工程を移行させることによりはじめて最適生産を維持実行できる製糸工程の管理システムは、原料性状と処理条件が生産成績を規制する情報伝達の構造を明確にすると共に、さらにスペクトル、周波数応答などのアルゴリズムを開発しコンピュータによつて、人手を必要としないで、しかも最適生産を実行できる自動制

御システムをもった生産機の方へ積極的に移行されなくてはならないと考える。

これらの研究は農林省蚕糸試験場在職中に多くの方々の協力をえて行なつた結果をとりまとめたものである。ここに記し関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

文 献

1. H. AKAIKE (1956) : On a zero-one process and some of its application. Annals of The Institute of Statistical Mathematics. 8(2) : 87—94
2. 小 林 安 (1964) : 自動繰糸機に関する研究
3. 小 野 四 郎 (1966) : 生糸の品質向上に関する繰糸の基礎的研究
4. 松 下 嘉 米 男 (1955) : 統計入門 岩波
5. 国 沢 清 典 (1951) : 近代確率論 岩波
6. 森 口 繁 一 (1955) : 品質管理 岩波
7. W. A. Shewhart (1931) : 工業製品の経済的品質管理 (白崎文雄訳)
8. 嶋 崎 昭 典 (1961) : 製糸工程の統計的管理法に関する研究 (I, II) 蚕試報16(6)
9. ————— (1963) : —————(III). ——— 18(5)
10. ————— (1966) : —————(IV). ——— 20(2)
11. ————— (1966) : 製糸夏期大学教材 ⑩
12. ————— (1967) : 製糸業近代化への道 生糸16(9)
13. ————— (1964) : 糸故障の管理図法に関する研究 日蚕雑 33(6)
14. ————— (1967) : 製糸技術の今後への課題 製糸夏期大学教材 ⑩
15. ————— (1967) : 農林研究計算センター報告 (4—1), (4—2), (4—3), (4—4)
16. —————, 返田喜久子 : (未発表)
17. —————, 村 上 陽 子 : (—)
18. —————, 渋谷加代子 : (—)
19. —————, 斉藤とみ子 : (—)
20. ————— (1969) : 製糸業の近代化と製糸技術 生糸 18(2)
21. ————— (1969) : 製糸における品質管理 繊維と工業 2(5)
22. 坪 井 恒 (1963) : 自動繰糸における工程管理に関する研究 製糸絹 ⑬
23. ————— (1964) : 製糸夏期大学教材 ⑪
24. 中 山 伊知郎編 (1951) : 統計学辞典 東洋経済新報社
25. 小野四郎, 中川房吉 (1947) : 蚕糸品質向上理化学研究中間報告(1) 蚕糸調査会
26. 加 藤 康 雄 (1951) : 日本蚕糸学会関東支部講演