

繭の煮熟状態の計測制御

蚕糸試験場中部支場製糸試験部 高 林 千 幸

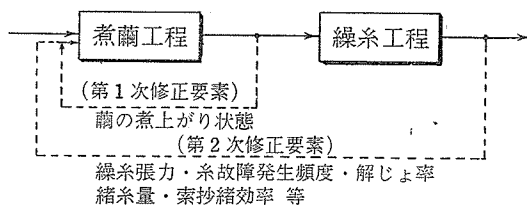
はじめに

製糸工程において繭の煮熟状態の適否は、生糸の生産成績に大きな影響を及ぼしている¹⁾。現在の製糸技術では、繭の煮熟程度を客観的に計測・評価する技術は確立されていないため、工務担当者の永年の経験と勘に基づいた試行錯誤的な方法によって煮熟条件の調整が行われており、最適条件を見出すまでにかなりの時間を要しているのが現状である。そのため繭の煮熟状態を迅速かつ適確に計測・評価し、原料繭特性と繰糸目的に適する煮熟状態に制御する技術を早期に開発することが望まれてきた。

このような観点から繭の煮熟状態の計測制御技術を開発するため、繭の煮熟状態とそれによって変化する繰糸過程の諸情報の計測法およびそれらを帰環情報とする繭の煮熟状態の評価・制御法を見出すべく基礎的な検討を行ったので、これらの研究の経過と結果の概要を報告する。

1. 基本的な考え方

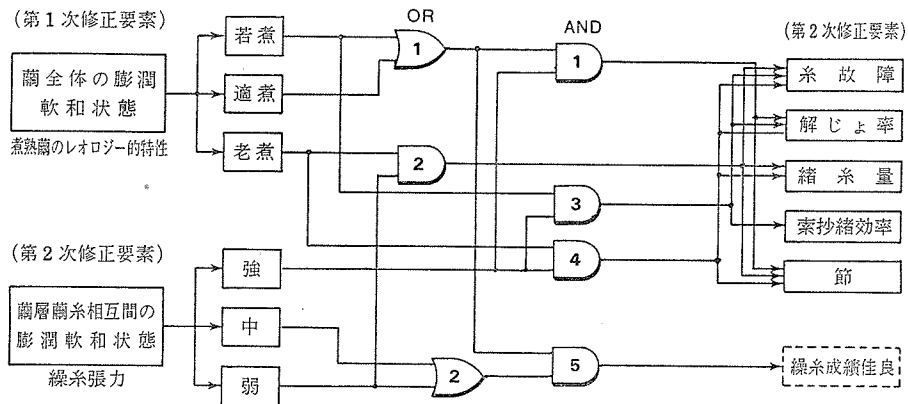
第1図は、工務担当者によって行われている煮熟情報の伝達経路を図示したものである。原料繭が煮熟機によって処理される時間は、煮熟機の構造によっても異なるが通常のもので15分前後を要し、繭の煮上がり状態は少なくともそれだけの時間を経過した後でなければ評価することはできない。また煮熟されて繰糸機に送り込まれる繭量は工場の規模によっても異なるが、1分間に500粒前後であるのに対し繰糸機内には数万粒の繭が滞留しているため、一度投入された繭は繰糸機各部へ分散混合され、そこから煮熟情報を収集するにはかなりの時間遅れを生ずることになる。したがって原料繭特性に適した煮熟条件をいち早く見出すためには、煮上がった直後の繭からの情報を基にして煮熟条件を修正（第1次修正）し、次に繰糸工程において繰糸張力、緒糸量、実繰解じょ率、糸故障発生頻度等の現象から修正（第2次修正）を加えるというように段階的に手直しをしていく必要があろうと考えられる²⁾。



第1図 煮熟情報の伝達方法

このような観点から、まず第1次修正面では煮上がった繭からその膨潤軟和状態を計測して、原料繭特性に適した煮熟状態となるように煮熟条件を制御するための情報を求め、第2次修正面においては繰糸中における繭の解じょ、節の発生等へ直接大きな影響を及ぼす繭糸と繭層間の膠着状態を把握するため、生糸の繰糸張力を計測し、それがなるべく均一になるように制御していくための情報を得るとともに、緒糸量・実繰解じょ率・糸故障発生頻度等の要素も加味して、繭の煮熟状態の計測制御手法を見出し、製糸工程の最適化制御に役立てるべく検討を行った。

第2図には、繭全体の膨潤軟和状態を計測する第1次修正要素と繭糸相互の膠着状態（繰糸張力）を計測する第2次修正要素および他の第2次修正要素との有機的な関係を示す。



第2図 煮熟情報の第1次修正要素と第2次修正要素との関係

以下、第1次修正要素、第2次修正要素の計測原理および手法から個々に述べる。

2. 蕎麦のレオロジー（粘弾性）的特性に基づく煮熟状態の計測

2.1 蕎麦の弾性的特性と煮熟状態³⁾

蕎麦の煮熟状態を簡易に推測する方法として、煮熟蕎麦を指頭で軽く圧縮した時の応力や弾力性、蕎麦層セリシンの膨潤度を示す蕎麦層表面のぬめり状態等から感覚的に蕎麦の煮熟状態の判定を行っている。ここでは、指頭での圧縮感⁴⁾による方法に準じた形で煮熟蕎麦の弾性的特性によって蕎麦の煮熟状態を定量的に評価する方法について検討した。

一般に2つの球面を接触させた時の荷重と変位との関係は、測定に際して接触面に垂直な力が働き、弾性変形が生ずる場合には、Hertzの接触理論が適用され、荷重 P と変位 x との間には次式が成り立つ^{5,6)}。

$$x = \sqrt[3]{\frac{9\pi^2}{16} (\theta_1 + \theta_2)^2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right) P^2} \quad (1)$$

ただし $\theta_1 = (1 - \nu_1^2)/\pi E_1$, $\theta_2 = (1 - \nu_2^2)/\pi E_2$, ν_1 : 鋼球のポアソン比, E_1 : 鋼球のヤング率, ν_2 : 対象物のポアソン比, E_2 : 対象物のヤング率, r : 鋼球の半径, R : 対象物の半径

ここで測定対象物を煮熟蕎麦とした場合、(1)式は

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{E_2}{1 - \nu_2^2} r^{\frac{1}{2}} x^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

と表され、ポアソン比とヤング率で表される $E_2/(1 - \nu_2^2)$ をみかけの N 値とおくと、(2)式は

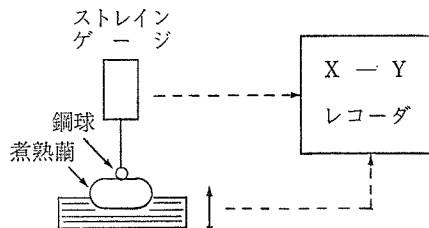
$$P = \frac{4}{3} N r^{\frac{1}{2}} x^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

となる。したがって(3)式で示される荷重と変位との関係から N 値を求め、それにより煮熟状態を評価することとした。第3図は(3)式から求めた N 値標準曲線であり、煮熟蕎麦に加わる荷重と変位を示す $P-x$ 曲線と N 値との関係を示した。

$P-x$ 曲線から N 値を求める計測装置の原理図を第4図に示す。これは煮熟蕎麦の下面から変位

を与え、その時の応力をストレインゲージで測定し、P-X 曲線をレコーダに記録するもので、煮熟繭について繰り返し測定した結果を第5図に示す。

この装置により、昭和53年茨城県産春・初秋・晩秋繭を供試し、繭層への水分浸透量をA~Dの順に多くして煮熟を進めた繭のN値を測定した結果、第6図に示すように煮熟が進むに従って各蚕期繭ともN値は小さくなり、蚕期繭別にみると同じ煮熟処理条件でも初秋繭では大きく、次に春・晩秋繭の順に小さくなった。これら蚕期別繭の繭層セリシンの溶解性を測定したところN値と繭層セリシンの膨潤軟和傾向とはほぼ一致しており、煮熟繭の弾性的特性により感



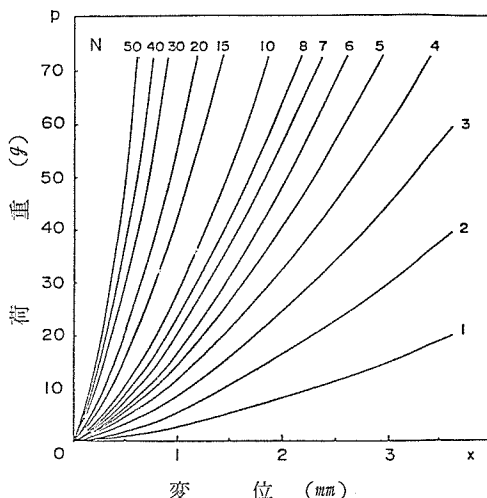
第4図 計測原理

覚的に“硬目の煮熟繭”あるいは“軟か目の煮熟繭”と表現しているものをN値によって定量的に評価し得ることがわかった。

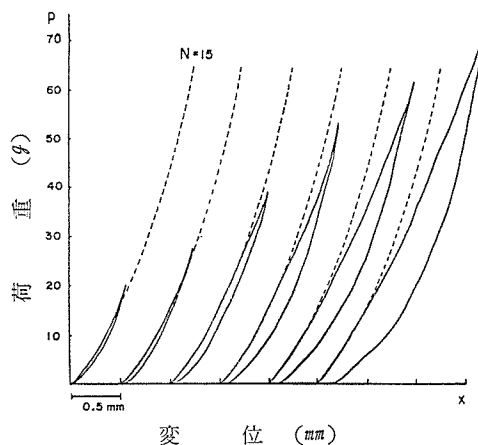
しかし、この方法だけでは原料繭の特性に適合すると思われる煮熟状態を判定するには十分とはいえないので、次に煮熟繭の弾性成分に粘性成分を加え、煮熟繭を粘弾性体とした時の基本モデルを想定し、モデル各要素の特性値の変化する状態から原料繭の性状と繰糸目的に適する煮熟状態であるか否かを判定するための指標を得る方法について検討した。

2.2 煮熟繭のレオロジー的特性⁷⁾

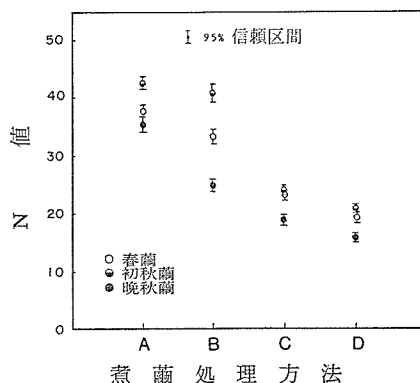
煮熟繭のレオロジー的な特性を見い出すために試作した計測装置の構成図を第7図に示す。これは煮熟繭のクリープ試験⁸⁾を行うもので、煮熟繭に荷重を付加および除去することによって煮熟繭が時間とともに変化する状態を計測するものである。



第3図 N値標準曲線



第5図 煮熟繭の繰り返し荷重-変位曲線



第6図 蚕期別繭の煮熟処理方法の違いによるN値の変化

この装置により昭和53年茨城県産初秋繭を供試して計測した結果を第8図に示す。これは(1)から(4)へと煮熟を進めた繭につき、ともに2 Newton の力を加え、また除いた時の状態を示すものであるが、煮熟が進むに従って変形する状態が大きくなっていることがわかる。図中(3)に着目すると、O 点で力を加えることにより瞬時に変形がおり、その後徐々に曲線を描いて変形する。そして時刻 t で力を除くと瞬時にBDだけ変形が回復し、その後徐々に曲線を描きながら回復し、E点で変形速度はほぼ0となって回復力はなくなり、永久に回復しない変形量EFが残る。

この計測結果をみると、第9図に示すように Voigt model (フォークト・モデル) および Maxwell model (マックスウェル・モデル) を直列に結合した4要素モデル⁹⁾のクリープ現象およびその回復状態に類似しているため、常法¹⁰⁾により煮熟繭の4要素モデルへの適合性を検証した。その結果、煮熟繭は4要素モデルによって十分表わされることが明らかとなった。

なお、図中のクリープ曲線 $g(t)$ および回復曲線 $h(t)$ は

$$g(t) = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2}(1 - e^{-t/\tau}) + \frac{F}{C_2}t \quad (4)$$

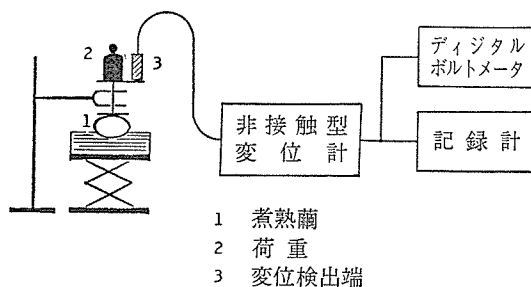
$$\tau = C_1/k_2$$

$$h(t) = \frac{F}{k_2}(1 - e^{-t/\tau})e^{-(t-t_1)/\tau} + \frac{F}{C_2}t_1 \quad (5)$$

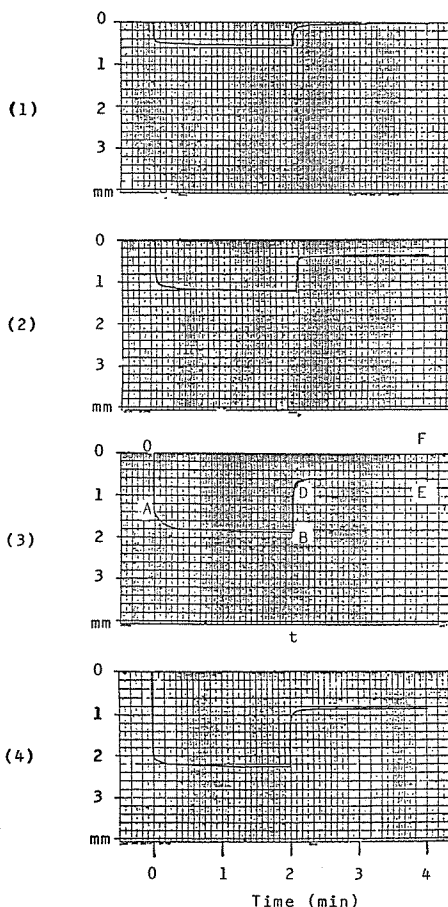
$$(t > t_1)$$

と表わされる。

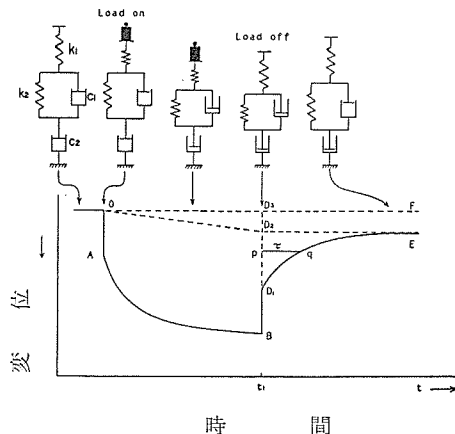
以上の知見に基づき、次に繭の煮熟状態によって変わる煮熟繭の各粘弾性係数値の変化をクリープ曲線より求めた。その結果を第10図に示す。これは昭和53年各蚕期繭について湯煮熟繭により煮熟時間を3分から21分まで変えて処理した場合の煮熟繭モデルの各粘弾性係数の変化を求めた結果である。まず、弾性係数 k_1 についてみると各区とも煮熟が進むに従い小さくなる傾向を示している。純粘性流動係数 C_2 は晩秋、春、初秋繭の順に煮熟が進むとともに C_2 が無限大の状態、つまり C_2 を除いた3要素モデルから C_2 を有する4要素モデルへ移行する現象がみられた。また $k_2 \cdot C_1$



第7図 煮熟繭のクリープ試験を行うための計測装置構成図



第8図 煮熟繭の一定荷重付加および荷重除去時の時間的変化



第9図 4要素モデルにおける一定荷重付加および荷重除去時の時間的变化

により表わされる遅延弾性係数についても煮熟が進むとともに小さくなる傾向を示した。

以上の結果、特に C_2 の変化に着目すると同じ煮繭処理をしても繭層セリシンが膨潤軟化し易い繭は3要素モデルから4要素モデルへ移行する現象が短い処理時間で起こり、逆に繭層セリシンの膨潤軟化し難い繭では長い時間を要することが知られた。

次に、進行式煮繭機により繭層への水分浸透量を変えて処理した各蚕期繭について同様に計測し、繰糸結果と比較検討した。その結果、各蚕期繭とも3要素モデルで表わされる状態から、 C_2 がおおむね $1.5 \times 10^4 \text{ Newton} \cdot \text{min/m}$ を示す4要素モデルで表わされる状態となった時に、繰糸成績は最も良い結果を示した。つまり、煮熟繭を指頭で（ほぼ2Newtonの力）圧縮した時に、荷口の殆んどの繭について流動変形が始まる状態を1つの目安として煮繭すれば、原料繭荷口に見合う煮熟状態が得られるものと考えられた。したがって荷口の殆んどの繭が3要素モデルで表わされるならば、その繭は若煮の状態を判断され、一方4要素モデルにおいて C_2 の値が $0.5 \times 10^4 \text{ Newton} \cdot \text{min/m}$ 以下を示すような繭は過熟な状態と判断された。煮熟繭の適煮と思われる状態は、繭全体の弾性を示す k_1 の値、粘性状態を示す C_2 の変化に着目することにより判定が可能となることが知られた。

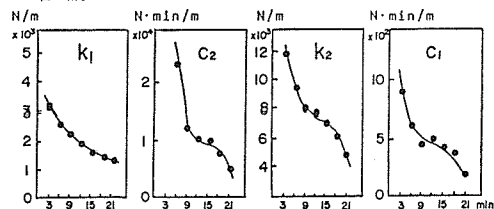
2・3 動的計測手法による繭の煮熟状態の判定^{11,12)}

以上に得られた知見に基づき製糸工程に適応する繭の煮熟状態の計測方法を検討するため、4要素モデルへパルス波・正弦波を入力した場合についてシミュレーションを行い、これに基づき計測装置を構成した。

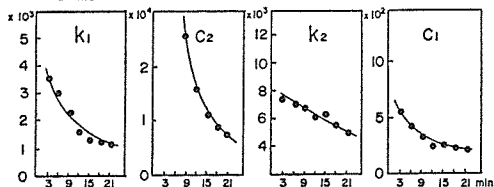
まずシミュレーション方法として、煮熟繭をモデル的に表わす4要素モデルへ外部からの関数 $f(t)$ を加えた時の運動方程式を求めたところ、(6)式に示されるように4階の常微分方程式によ

I 春繭

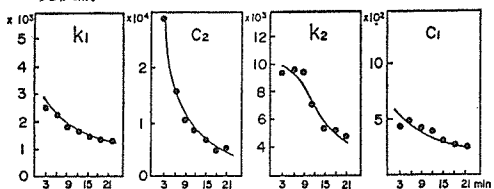
(N : Newton)



II 初秋繭



III 晩秋繭



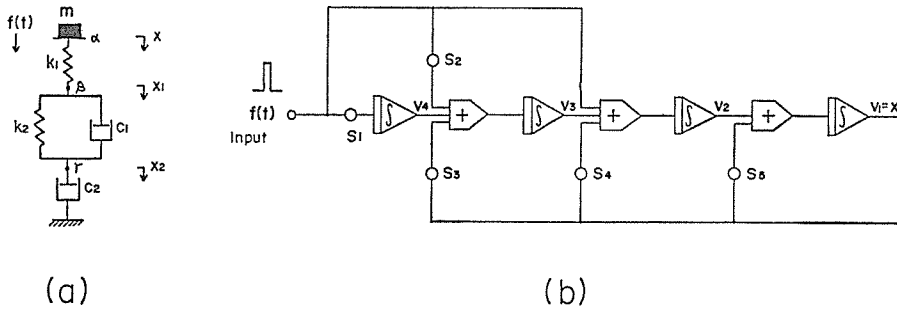
煮繭時間

第10図 各蚕期繭の煮繭処理時間による粘弾性係数の変化

って表わされた。

$$\ddot{z} + \frac{k_1}{c_1} \left(1 + \frac{k_2}{k_1} + \frac{c_1}{c_2} \right) \ddot{z} + \frac{k_1}{c_1 \cdot m} \left(\frac{k_2}{c_2} + c_1 \right) \dot{z} + \frac{k_1 \cdot k_2}{c_1 \cdot m} z = \frac{1}{m} f''(t) + \frac{k_1}{c_1 \cdot m} \left(1 + \frac{k_2}{k_1} + \frac{c_1}{c_2} \right) f'(t) + \frac{k_1 \cdot k_2}{c_1 \cdot c_2 \cdot m} f(t) \quad (6)$$

この微分方程式を解くため逐次積分法によって第11図に示すようなアナログ演算記号に書き換え¹³⁾，入力信号をパルス波とした時（インパルス応答法）および正弦波とした時（周波数応答



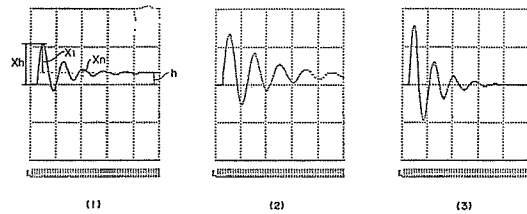
第11図 4要素モデルの挙動を表わす微分方程式を解くためのアナログ演算方法

法) のモデルの挙動をコンピュータによりシミュレートした。

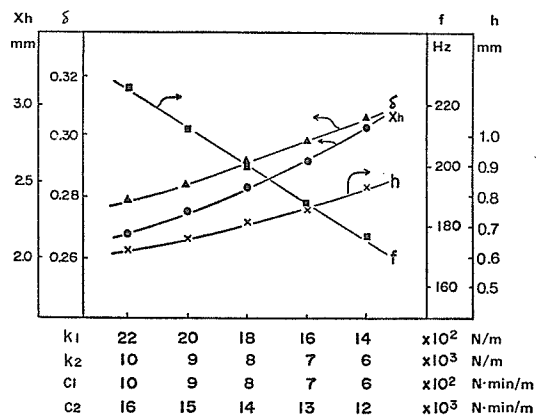
その結果の1例を第12図に示す。これは各粘弾性係数を変え，入力信号としてパルス波を加えた時のシミュレーション結果であるが，応答波形は減衰振動曲線を描くので，この波形を波形の立ち上がりピーク Xh ，応答周波数 f ，対数減衰率 δ ，立ち上がりレベルと収束レベルとの差 h によって表わして評価することとした。ここで，対数減衰率は振動の減衰割合を示すもので，第12図の X_1 と n サイクル経過後の振幅比の自然対数で定義され，次式で表わされる¹⁴⁾。

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{X_1}{X_n} \quad (7)$$

第13図は，繭の煮熟を進める方向に各粘弾性係数を小さくしてシミュレートした結果であるが，各粘弾性係数が小さくなると Xh ， δ ， h の値は大きくなり， f は低くなる傾向を示した。次に，4要素モデルへ正弦波を入力し入力波と応答波との関係から



第12図 4要素モデルのインパルス応答シミュレーション波形

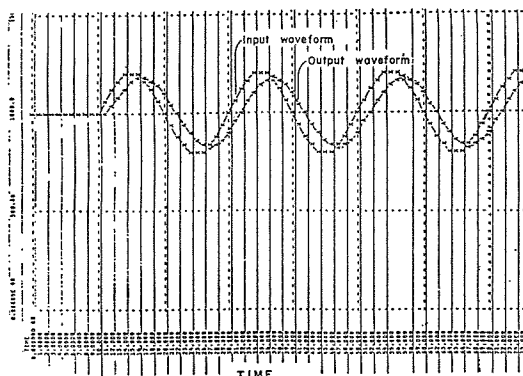


第13図 4要素モデルのインパルス応答シミュレーション結果

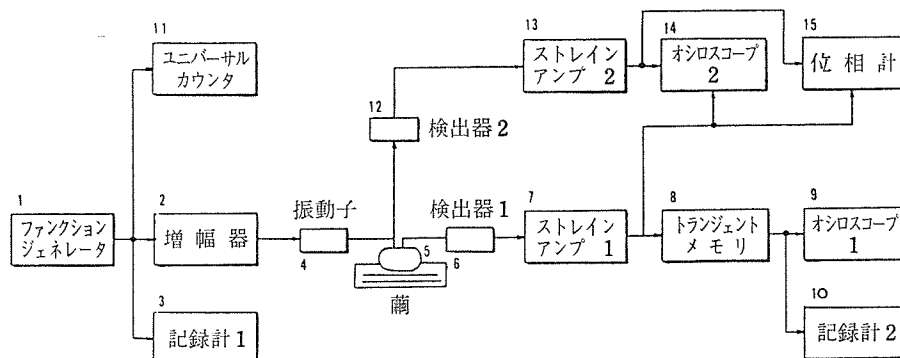
* 日立プログラム言語 DDS III (Digital Dynamic Simulator) によった。

煮熟状態を計測する方法を検討^{15,16)}した結果例を第14図に示す。各粘弾性係数値を変えてシミュレートしたところ、両波形の振幅化・位相差が変化し、これらは入力周波数によっても変わることが確かめられた。

以上のシミュレーションの結果からインパルス応答法ではその応答波形を、周波数応答法ではその入出力関係を解析することによって菌の煮熟状態を判定することの可能性が見い出されたので、これに基づき計測装置を構成した。第15図に装置のブロック図を示す。これら2つの方法により基礎



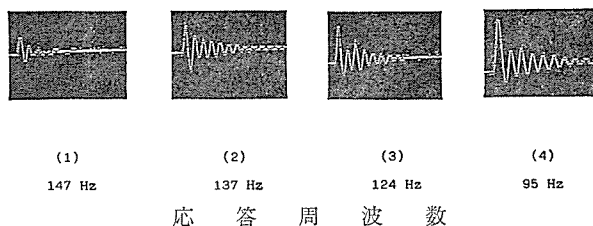
第14図 周波数応答シミュレーション結果



インパルス応答法 1 ~ 10
周波数応答法 1 ~ 15 (except 8, 9, 10)

第15図 計測装置の構成図

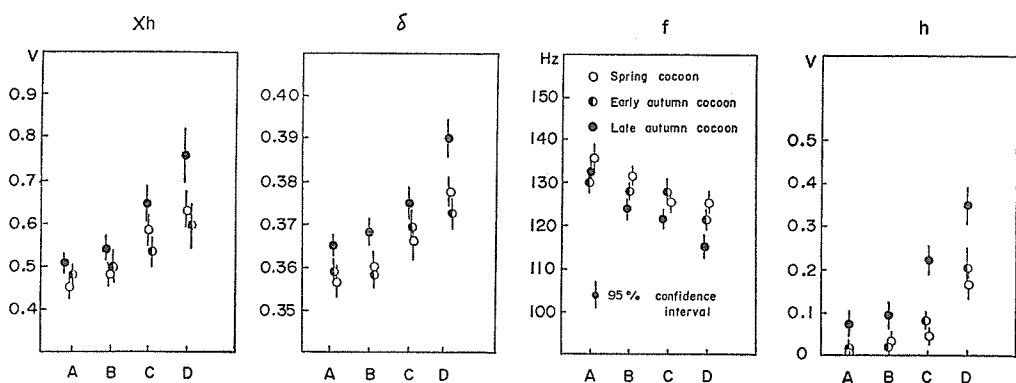
的な計測実験を行い、製糸工程に適用し易い方法を検討した。第16図はインパルス応答法による計測結果のオシロスコープ写真で煮熟が1から4へと進むに従い波形が変化し、シミュレーション結果と同様な変化をしていることがわかった。このようにインパルス応答法によると、煮熟



第16図 煮熟菌のインパルス応答波形 (オシロスコープ写真)

菌が3要素モデルから4要素モデルへ移行する時の状態を応答波形から即時に判断でき、一方周波数応答法では位相差で表わされる結果は煮熟菌のレオロジー的特性を総合集約して表わしているものと解釈された。したがって瞬時に計測する上からも、レオロジー的特性で得られた結果を援用する上においても、インパルス応答法が適するものと考察された。

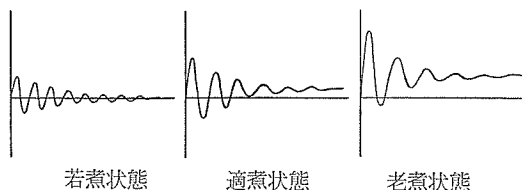
次に、インパルス応答法により実際の製糸工程内で計測した結果を第17図に示す。これは昭和53年各蚕期菌について煮熟機により浸透条件を変え A, B, C, D と煮熟を進めた菌のインパルス



第17図 煮繭処理条件の違いと各蚕期繭のインパルス応答波形の X_h , δ , f , h との関係

応答波形の各評価値の変化を求めたものである。これをみると煮熟を進めたことによる各評価値の変化は、第13図に示すシミュレーション結果と同様な傾向を示していることがわかる。これら煮熟状態を変えて処理した繭の繰糸結果とインパルス応答法による各評価値とを比較検討した結果、各繭とも対数減衰率0.37～0.38のもので良い繰糸結果が得られ、また永久変形が生じるところを目安とすれば良いことがわかった。

以上の結果、煮熟状態によって変化する応答波形は第18図のモデル図に示すように大きく3つの形態(1)若煮 (2)適煮 (3)老煮に分かれることがわかった。煮上がった繭がこれらのいずれに該当するかを、まず波形の立ち上がりピーク X_h の大きさによって見出し、適煮状態に近づけるよう煮繭条件を制御する。



第18図 繭の煮熟状態とインパルス応答波形のモデル図との関係

すなわち X_h が 0.5 以下を示すものは若煮の状態、 X_h が 0.8 から 0.9 以上を示し、応答波形の形状が大きいものは老煮と判断する。次に X_h の値が適煮と判断される範囲で繭層を均一に膨潤軟和し、永久変形が生じ始めるところに着目するとともに対数減衰率が 0.37 ～ 0.38 を示す状態にすれば良い結果が得られることがわかった。

このようにインパルス応答法によれば、繭の煮熟状態を瞬時に計測でき、勘に頼る手法にかわるものとして有用であると考察された。

3. 繰糸張力による繭の煮熟状態の計測

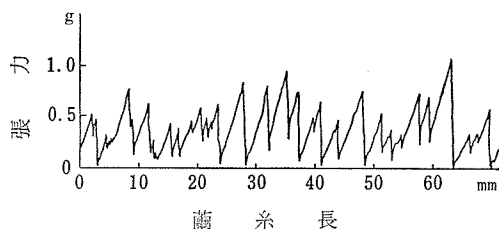
繭から1本の繭糸を切断することなく、またもつれることなく繰り取るためには、繭層セリシンを膨潤軟和させ、繭糸相互の膠着力を弱めなければならない。その際セリシンの膨潤軟和が不均一で繭糸相互の膠着力が繭糸の湿強力より大きい部位が存在すると繭糸は繰解中に切断する。したがって落緒を少なく繰糸を円滑に行うためには、繭糸相互の膠着力を弱め均一な煮熟状態とすること、煮繭処理により繭糸の湿強力を低下させないような方策を講ずることが必要である。つまり、煮繭の要諦は①繭層へ湯水の均一な浸透・拡散をはかり、②繭層セリシンを適度に

膨潤させ、③煮えむらの生じないように処理をすることの3点に要約される。

前項では、煮熟状態を判定するための第1次修正要素として繭のレオロジー的特性に着目しマクロ的に繭全体の膨潤軟和状態を計測することを試みたが、本項では第2次修正要素の1つとして繭層内の繭糸の膠着状態から繭層セリシンの膨潤軟和状態を推測することを検討した。

3・1 繭糸の解じょ張力と煮熟状態¹⁷⁾

繭糸の解じょ張力と繭の煮熟状態との関係を解析するために解じょ張力波形について若干考察してみたい。繭糸の解じょ張力波形は第19図に示すように鋸歯状を呈しているが、繭糸のヤング率が非常に大きく容易に伸びないと仮定すると、繭糸の解じょ張力の出現は、膠着力のみを表わすパルス波的な形状として記録されるはずである¹⁸⁾。しかしながら繭糸は粘弾性体であり、しかも湿潤状態では極めて伸び易い性質をもっているため、繭糸が膠着点毎に応力—歪曲線を描く結果、第19図に示すような鋸歯状の波形をしている。



第19図 繭糸の解じょ張力波形

このようなことから繭糸が繭層に膠着している状態および剝離する時の状態をモデル図で示すならば第20図のように表わされる。したがって繭糸と繭層間の膠着点でのセリシンの性状、すなわち煮熟繭に伴うセリシンの膨潤軟和状態と繭糸の物理的性状を同時に考慮して、繭糸の解じょ張力 T を解析した結果

$$T = Wa / \left(1 - \cos\theta + \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{100} \right) \quad (8)$$

Wa : 膠着力(g), θ : 剝離角度(rad)
 λ : 繭糸の伸び率(%)

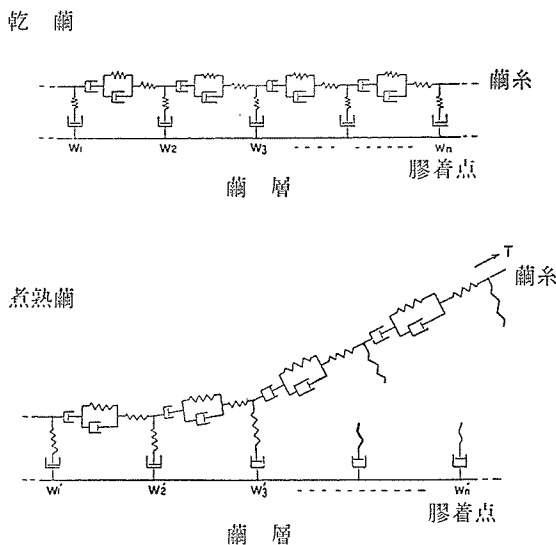
と表わされた^{17,19)}。

ここで繭糸が全然伸びない場合、すなわち(8)式において $\lambda = 0$ となった時、

$$T = Wa / (1 - \cos\theta) \quad (9)$$

となり、阿部ら^{20,21)}の導いた式に帰着される。しかし実際には、湿潤繭糸は $\lambda = 0$ となることはあり得ず、また、 $\theta \rightarrow 0(\text{rad})$ となると $T \rightarrow \infty$ となるため、解じょ張力を表わすには繭糸の物理的性状も考慮した方が良いと思われ、(8)式が適当と考察された。

以上の知見を基に1本の繭糸の解じょ張力をシミュレートし、煮熟状態を見い出す方法を検討した。まず、繭糸と繭層間の膠着力の分布状態を知るため、繭糸の静剝離抵抗を岩通電子製シグナルアナライザーSM2100によって測定した結果を第21図に示す。これから繭糸と繭層間の膠着力は対数正規分布²²⁾をしていることがわかったので、対数正規乱数を発生させ、次に剝離角度・繭糸の伸び率は正規分布をしていると仮定し正規乱数を発生させ、(8)式により解じょ張力をシ

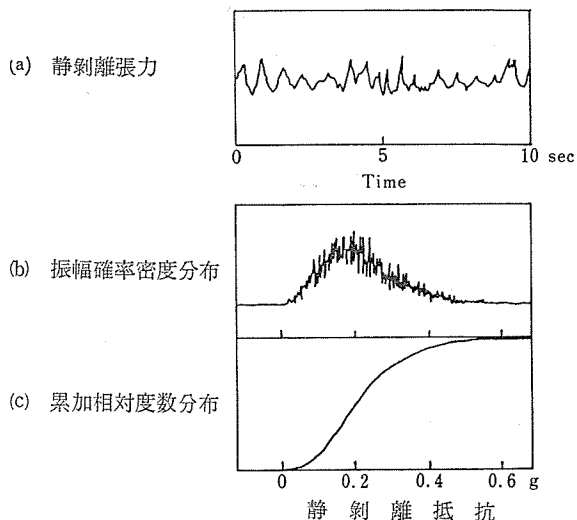


第20図 乾繭と煮熟繭における繭糸と繭層間の膠着状態のレオジカルモデル

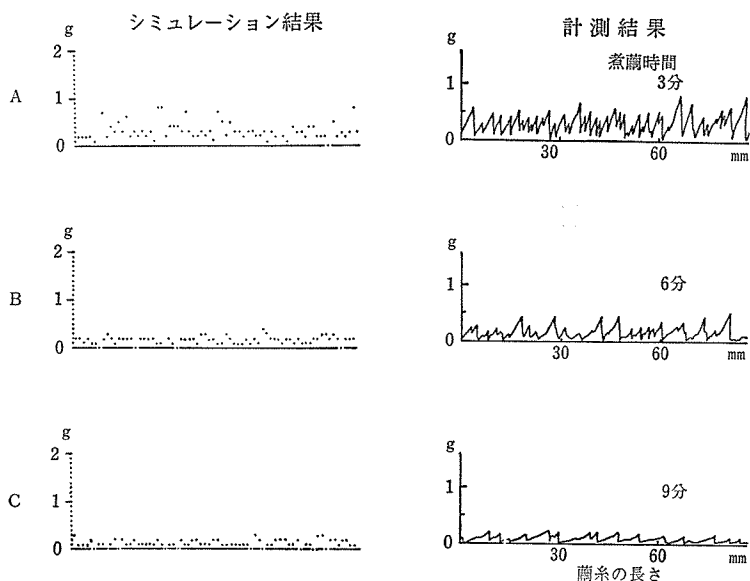
ミュレートした。

その結果を第22図に示す。これは煮熟を進める方向にシミュレートした結果と繭糸の解じょ張力を計測した結果とを対比させて示したものである。このように煮熟が進むに従って両波形ともばらつきの状態が小さくなり、解じょ張力のばらつきにより繭の煮熟状態を評価できるものと思われたので、次に解じょ張力のばらつきをアナログ演算^{23,24)}する方法について検討した²⁵⁾。

試作したアナログ演算装置は後掲する第27図のブロック図に包含されている。この装置により昭和53年各蚕期繭について12分間煮繭処理を施し解じょ張力をアナログ演算し、各蚕期繭の繭層セリシン溶解率と比較した。その結



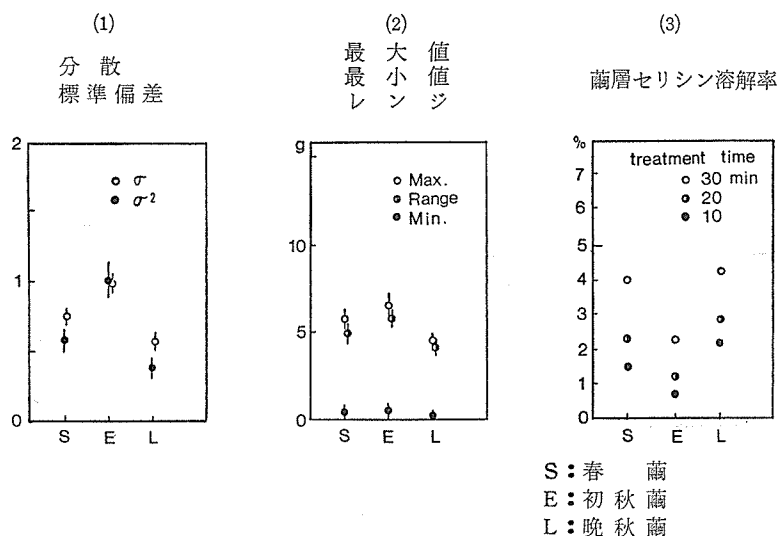
第21図 繭糸の静剝離張力波形とその振幅確率密度分布および累加相対度数分布



第22図 繭糸解じょ張力のシミュレーション結果と計測結果との比較

果、第23図に示すように同じ煮繭処理を施しても繭層セリシンが膨潤軟和し難い繭は、解じょ張力のばらつき状態が大きいことが知られた。

次に前述のように繭層内の繭糸に硬膠着部位が多く存在すると繭糸の切断する確率は高くなる。したがって硬膠着部位に起因して生ずる解じょ張力の瞬間的に増大する点の発生確率を簡易



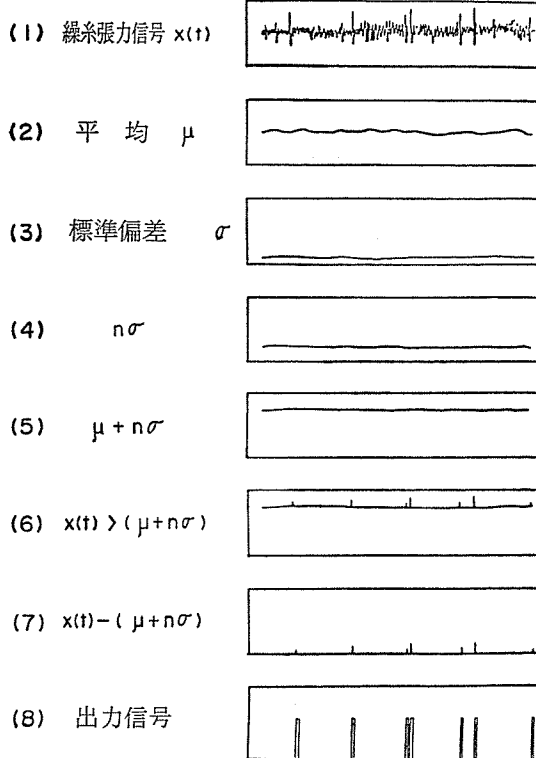
第 23 図 菌糸解じょ張力のシミュレーションおよび計測結果における
 平均値, 標準偏差, レンジの比較

に知ることができれば, これを基に原料菌
 特性に適應する煮菌状態を見出すことも可
 能と考えられる。そこで硬膠着部位をパル
 スとして検出する方法について, 次にシミ
 ュレーションによって検討した。

3・2 菌糸張力により菌の煮熟状態を見 出すためのシミュレーション

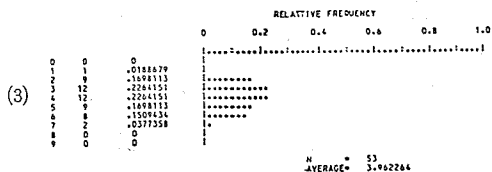
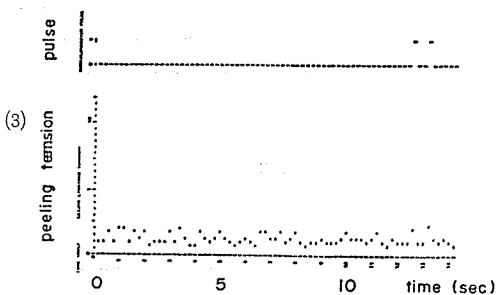
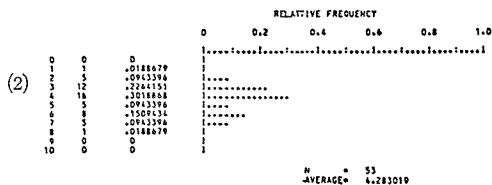
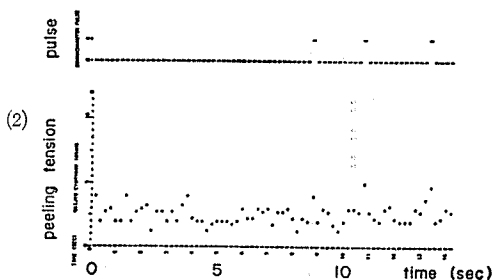
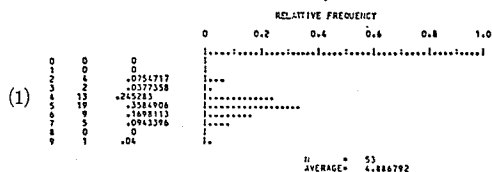
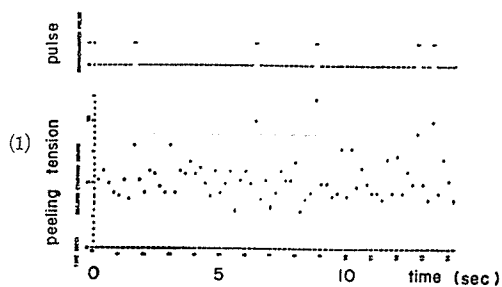
シミュレーションの基本的な考え方を第
 24 図に示す。まず, 菌糸張力信号 $x(t)$ の
 任意区間の平均値 μ を求め, 標準偏差 σ を
 演算する。 n は任意 (例えば 2) に設定し
 て $n\sigma$ を求め, 次に $(\mu + n\sigma)$ を演算して
 $x(t)$ がこれより大きくなる点をパルスと
 して検出しようとするものである。

この考え方に従いシミュレートした結果
 を第 25 図に示す。これは (1), (2), (3) の順に菌
 の煮熟を進めたもので, 各区とも下図が 8
 粒定粒の菌糸張力の時系列的变化を, 上図
 にパルス発生状態を示しており, 煮熟が進
 むに従いパルス発生頻度は小さくなること



第 24 図 菌糸張力波形変換方法

* 菌糸が菌層から剝離する時に発生する張力を解じょ張力とし, 生糸を繰製する際の張力を繰糸張
 力として区別した。



第25図 繰糸張力パルスのシミュレーション結果

第26図 煮熟を(1)~(3)へと進めた繭の繰糸張力パルスのシミュレーション結果
12秒間隔内に発生するパルス数の分布を示す

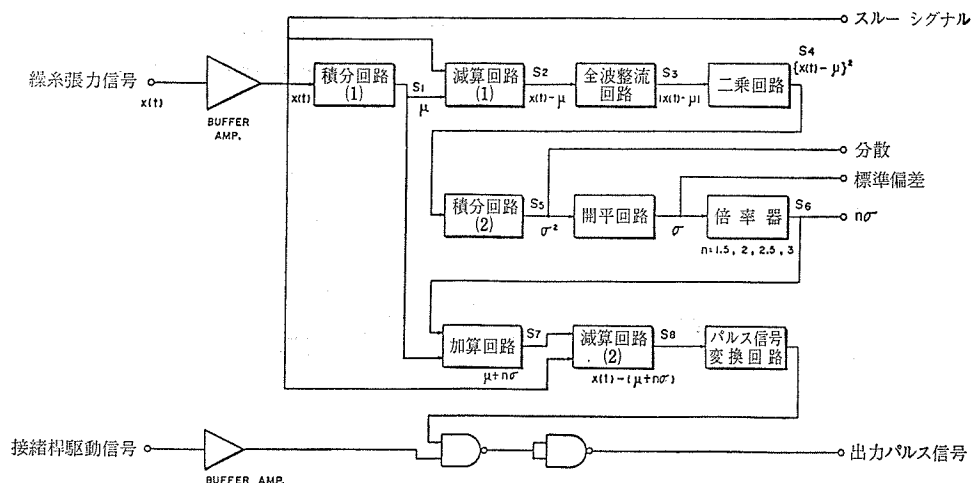
が知られ、任意区間のパルス発生確率分布はポアソン分布に従うことか χ^2 検定の結果知られた(第26図)。以下このパルスを繰糸張力パルスと称す。

3・3 繰糸張力波形変換回路による計測

以上のシミュレーション方法に基づいて構成した波形変換回路のブロック図を第27図に示す。

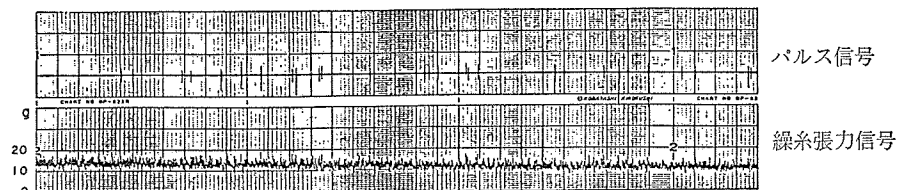
この装置により昭和55年各蚕期繭について繭検定法に従って煮繭・繰糸を行い、繰糸張力パルスを計測した結果、第28図に示すように同一煮繭処理を施しても原料荷口によってパルス発生状態が異なることが知られた。次に、煮繭条件を変えてAからDの順に進めた初秋繭について繰糸糸長40m 間隔の繰糸張力パルスの発生分布状態を求めたところ、第29図に示すような分布状態を呈し、これもポアソン分布に従うことが認められ、煮熟が進むに従ってその平均値 λ は小さくなる傾向を示した。

さらに、解じょ率のそれぞれ異なる繭について繰糸張力パルスを計測し、解じょ率と平均値 λ

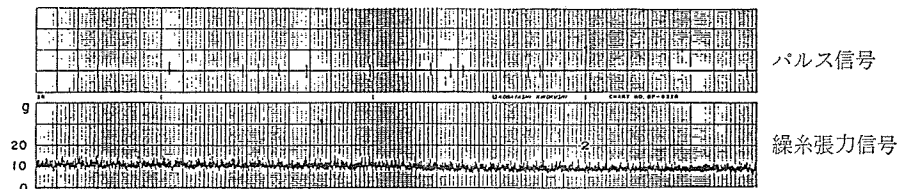


第27図 線糸張力波形変換回路の構成図

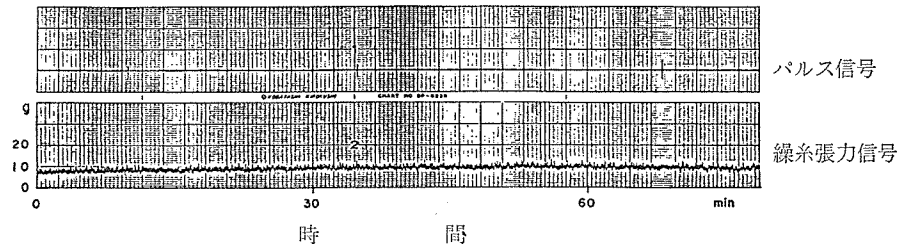
(1) 春 繭



(2) 初 秋 繭



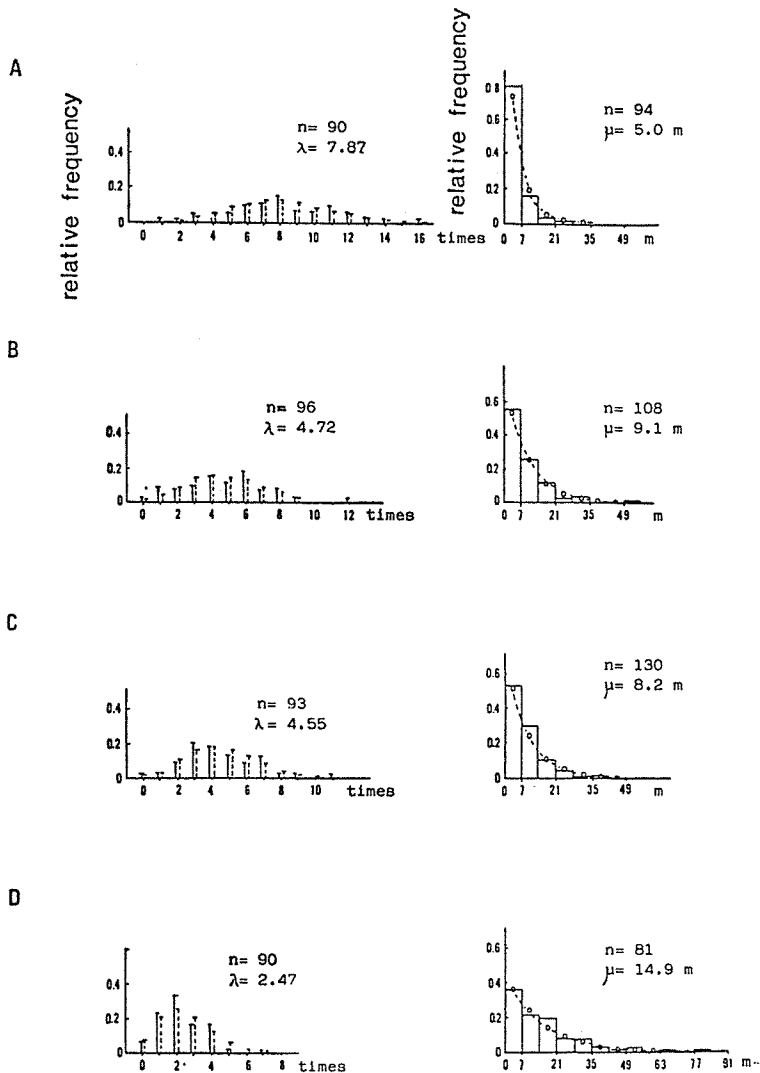
(3) 晩 秋 繭



第28図 蚕期別繭の線糸張力パルス発生例

との関係について求めた結果を第30図に示す。これによると解じょ率が高くなるに従って λ は小さくなり、これと線糸結果とを比較検討したところ、繭の煮熟状態を制御するには、線糸糸長40m間隔におけるポアソン分布の平均値 λ が2以下になるように繭の煮熟処理を行うことが望ま

broken line ----theoretical values
full line -----actual measurement values



第 29 図 繭の煮熟状態をA～Dに変えた時の生糸 40m 間隔の繰糸張力パルスの発生分布（左図）とパルス間の生糸糸長分布（右図）

れ、 λ が1以下を示す解じょの良い状態では生糸収率、生糸品質を損うことのないように調整することが必要と考察された。

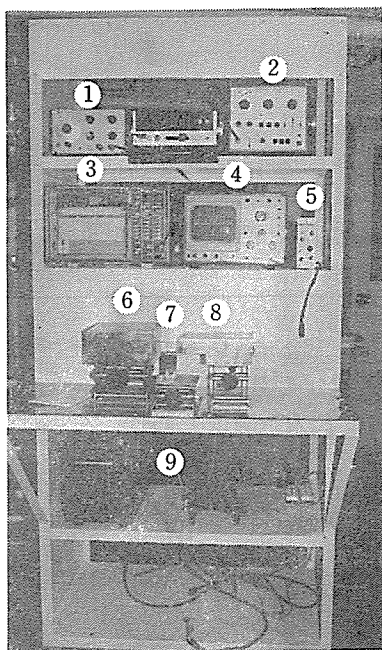
以上、第2次修正要素として繰糸張力に着目した結果、繭層内の膠着状態を繰糸張力パルスの発生状態によって推定することができ、これにより繭の煮熟状態を制御するための指標を得ることができた。

4. 製糸情報の計測

繭の煮熟状態を計測制御するために、第1次修正要素としてインパルス応答法および第2次修正要素として繰糸張力パルスについて検討を進めてきたが、生糸収率・繰糸能率なども加味して繭の煮熟状態の適否を評価するため、繰糸量および実繰解じょ率を計測する装置を開発した。

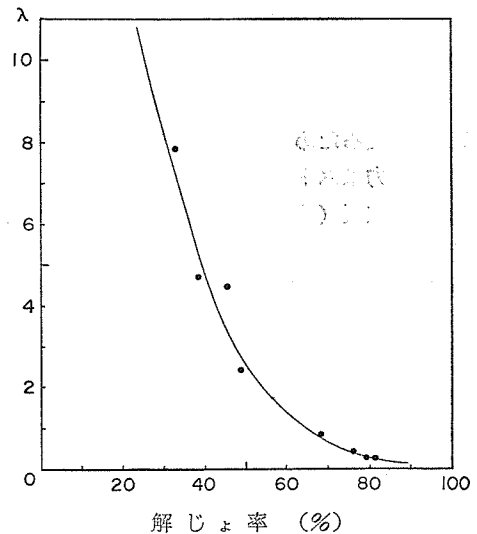
4・1 インパルス応答法の製糸工程への適用

インパルス応答法による繭の煮熟状態の計測方法については2・3で述べたが、これを実際の製糸工程へ適用させるために構成した装置を第31図に示す。これは、繭層へ与えるパルスを任意間隔で連続的に発生させる機構を有しているので、煮繭を本装置にセットするのみで、パル

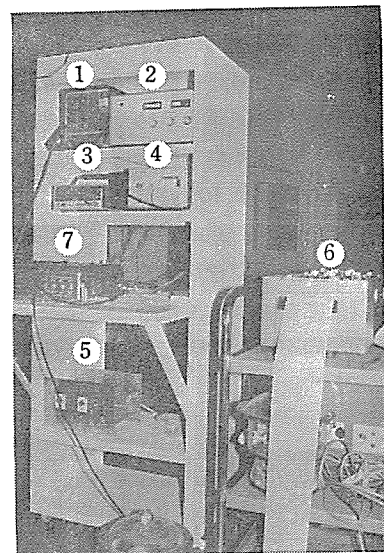


第31図 インパルス応答法による繭の煮熟状態計測装置の外観

1. ファンクション・ジェネレータ
2. トランジェントメモリ
3. 記録計
4. オシロスコープ
5. ストレインアンプ
6. 振動子
7. 煮熟繭
8. 検出器
9. アンプ



第30図 解じょ率と繰糸糸条40m間隔に発生する繰糸張力パルス分布の平均値λとの関係



第32図 繰糸張力による繭の煮熟状態計測装置の外観

1. ストレインアンプ
2. 繰糸張力波形変換・演算装置
3. パルスカウンタ
4. プリンタ
5. 計測間隔設定のためのパルス発生装置
6. 記録計
7. カセットデータレコーダ

ス波が発生する度にその応答波を記憶・表示させることができる。

4・2 繰糸張力パルス計測手法の製糸工程への適用

繰糸張力パルスにより繭の煮熟状態を見出す方法については3で述べたが、これを製糸工程に適用させるために構成した装置を第32図に示す。

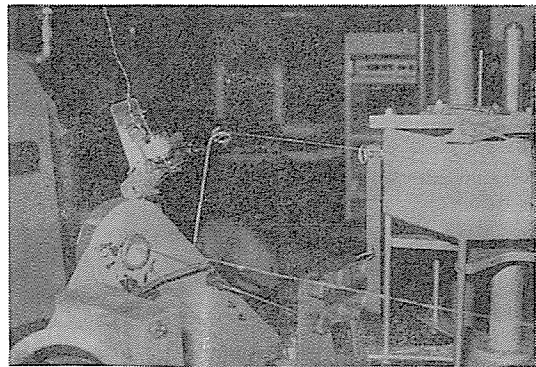
繰糸張力はストレインゲージによって計測し、鼓車等からのノイズ信号を避けるため繰解中の繭に近い位置（集緒器上）に設置した。また、接緒時に発生する解じょ張力変動を論理回路により消去するため、接緒桿駆動動作をマイクロスイッチによって検出した。

本装置は、繭層内の硬膠着点をパルス変換して出力するもので、一定繰糸長内に発生するパルス数の分布状態を演算・出力するように構成されている。

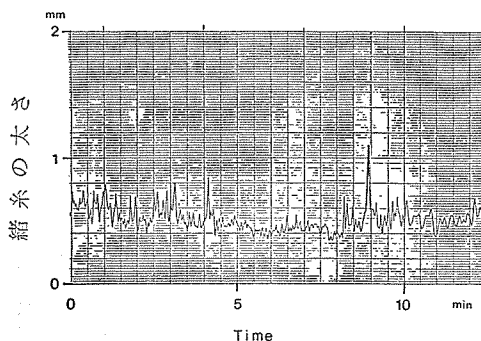
4・3 緒糸量の計測

緒糸量は、繭の煮熟状態とりわけ繭層外層部の膨潤軟和状態と大きく関係し、生糸量歩合に直接影響を及ぼす。そのため緒糸は索抄緒時の親糸が切断しない範囲でなるべく少なくなるように繭の煮熟状態を制御することが望まれる。

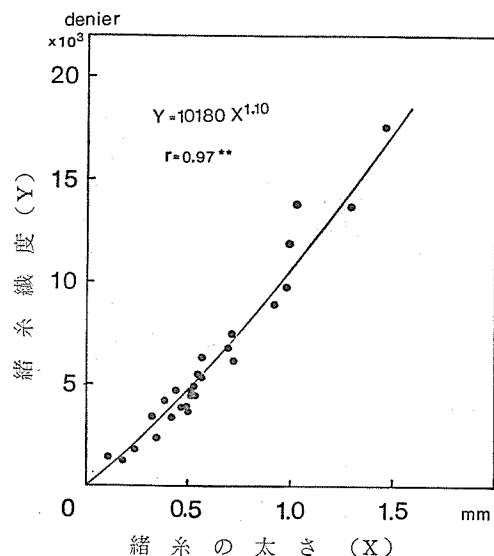
第33図は、緒糸量を検出するために試作した装置であるが、緒糸が巻取られる直前の太さを差動トランス²⁶⁾により電圧変換して計測しようとするもので、計測した原波形を第34図に、緒糸の太さ（計測は接触方式のため緒糸は若干つぶれている）と繊度との関係を求めた結果を第35図に示す。これは当部に設置されている自動繰糸機（片側100緒）用抄緒部で調査したものであるが、緒糸がおおよそ2000d以下になれば切断するケースが多く、またおおむね10000d以上になれば太くなり過ぎて生糸収率を損なう傾向を示した。したがって生糸収率



第33図 緒糸量の検出端



第34図 緒糸の太さを示す計測原波形



第35図 緒糸の太さと緒糸繊度との関係

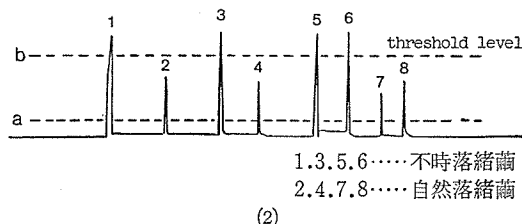
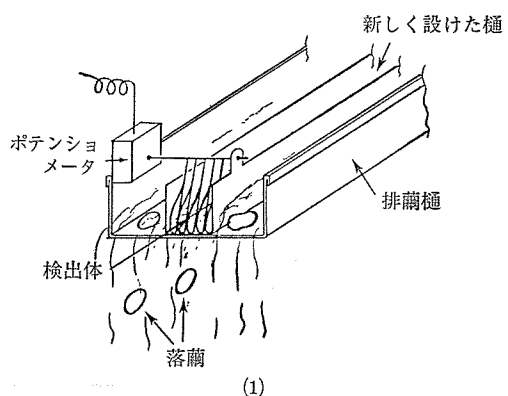
を向上させるには、緒糸織度にして10000d以下とし、なるべく3000～4000dとなるように繭の煮熟状態を制御すれば良いものと思われた。

4・4 実繰解じょ率の計測

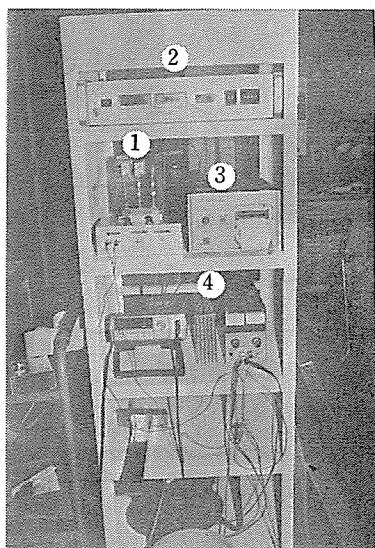
現在、繰糸中の繭糸のほぐれ具合の良否を表わす実繰解じょ率を測定しようとする場合、自動繰糸機の落繭分離機手前の排繭樋中から落繭を任意に抽出して不時落緒繭と自然落緒繭を判別し、抽出全繭数に対する自然落緒繭数の百分比により算出されている。

このような人手による方法ではかなりの時間を要し、解じょ率が時系列的に変化していく状態を知ることは極めて困難である。そこで、不時落緒繭と自然落緒繭ではその大きさが異なることを利用して、落繭の大きさを機械的に検出し、実繰解じょ率を演算する装置を開発した。^{28,29)}

これは、落繭の大きさを検出するセンサを第36図(1)に示すように排繭樋の出口へ設置し、このセンサに落繭が軽く接触した時の繭の大きさに対応する変位を作動抵抗の少ないポテンシオメータにより電圧変換するものである(第36図(2))。この信号より不時落緒繭と自然落緒繭を判別し、実繰解じょ率を演算・表示するために構成した装置を第37図に示す。この装置の検出性能を検討した結果、比較レベルを適宜に設定することにより第38図に示すように実測値と計測値は良く一致し、時系列的に実繰解じょ率を演算

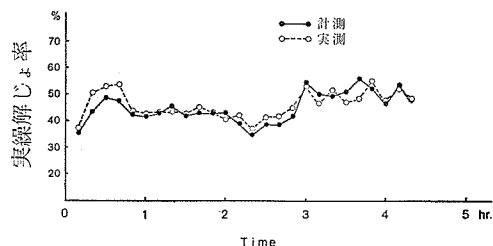


第36図 実繰解じょ率を計測するための検出部(1)と検出部から出力される自然落緒繭と不時落緒繭の検出信号(2)



第37図 実繰解じょ率計測装置の外観

1. 検出信号変換装置
2. 実繰解じょ率演算・表示装置
3. プリンタ 4. 電源部



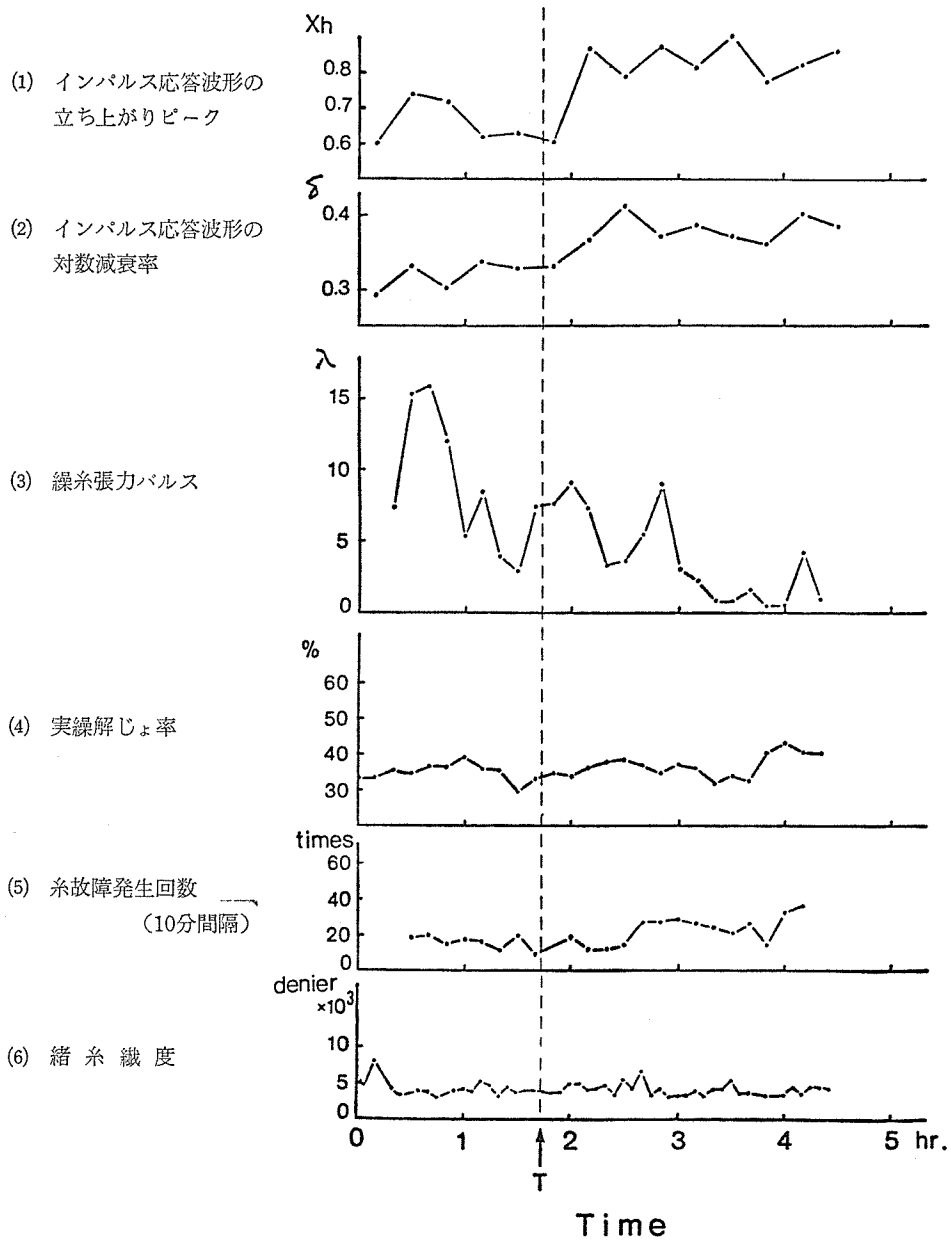
第38図 実繰解じょ率の計測値と実測値の比較

計測…10分間隔毎(約500粒)連続して計測
実測…人手により10分間隔内で約500粒抽出

できることがわかった。

4・5 糸故障発生頻度

糸故障の発生は、原料繭固有の特性のほか繭の煮熟状態および索抄緒に負うところが大きい。



第39図 インデューシャル応答法による製糸工程の動特性
昭和56年茨城県産初秋繭（錦秋×鐘和）使用

このうち煮熟状態の影響についてみれば、煮熟が不十分な場合は索抄緒が不完全で未正緒繭が混入し糸故障の発生が多くなる。一方、過熱の場合はずる節が発生し、また最内層まで繰れ過ぎて蛹しん飛び付きが増えるなどのため糸故障が多発する。

糸故障の調査は多くの場合スナッフ調査で行われているが、以後に示す実験では糸故障数を10分間隔毎に時系列的に調査した。

なお製糸情報として有効接緒率は給繭器内の有緒繭歩合および索抄緒状態等を知る上で他の情報と同様に重要な情報となるので、この計測手法の開発についても検討を進めている。^{30,31)}

5. 製糸工程の動特性^{*}

これまでに開発した計測手法を製糸工程に応用し、原料繭特性に適応するように繭の煮熟状態を計測制御するには、製糸工程の動特性を事前に把握しておくことが必要である³²⁾。ここでは、プロセスの動特性を知るための基本的手法である過度応答法により、入力信号として煮熟条件を若煮状態から過熱状態へステップ的に変動させ、各計測値の時系列的な変化を調べた。その結果を第39図に示す。これは繰糸緒数 100 緒の工程で行った結果であるが、第1次修正要素としてのインパルス応答法によると、入力（煮熟）条件を変化させると煮熟後直ちに煮熟状態の変化する状態を捉えることができた。一方、第2次修正要素としての諸情報は、煮熟後徐々に変化して約1時間以上になるとほぼ安定することが知られた。なお、他の繭についても行ったところ、これに準ずる結果が得られた。

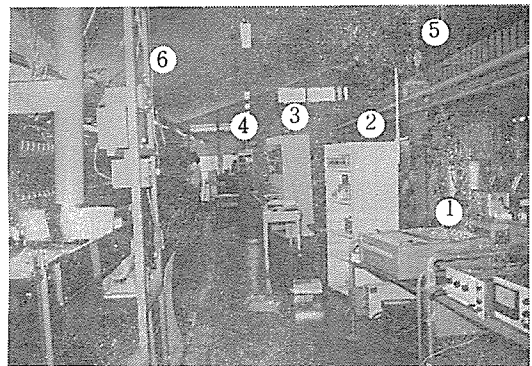
このように繭の煮熟状態を計測制御しようとする場合には、以上のような伝達遅れを考慮することが必要である。しかし、遅れ時間は製糸工程の規模によってそれぞれ異なるので、各工場において的確に把握しておかなければならない。

6. 繭の煮熟状態の計測制御実験

これまでに述べた計測手法を用い、当部（繰糸緒数 100 緒）の製糸工程において繭の煮熟状態の計測制御実験を行った。

まず第1次修正要素として、①インパルス応答法により計測し、第2次修正要素として②繰糸張力パルス、③糸故障発生頻度（調査）、④緒糸織度、⑤実繰解じょ率を計測した。なお、生糸品質については繰糸後その評価のみを行った。

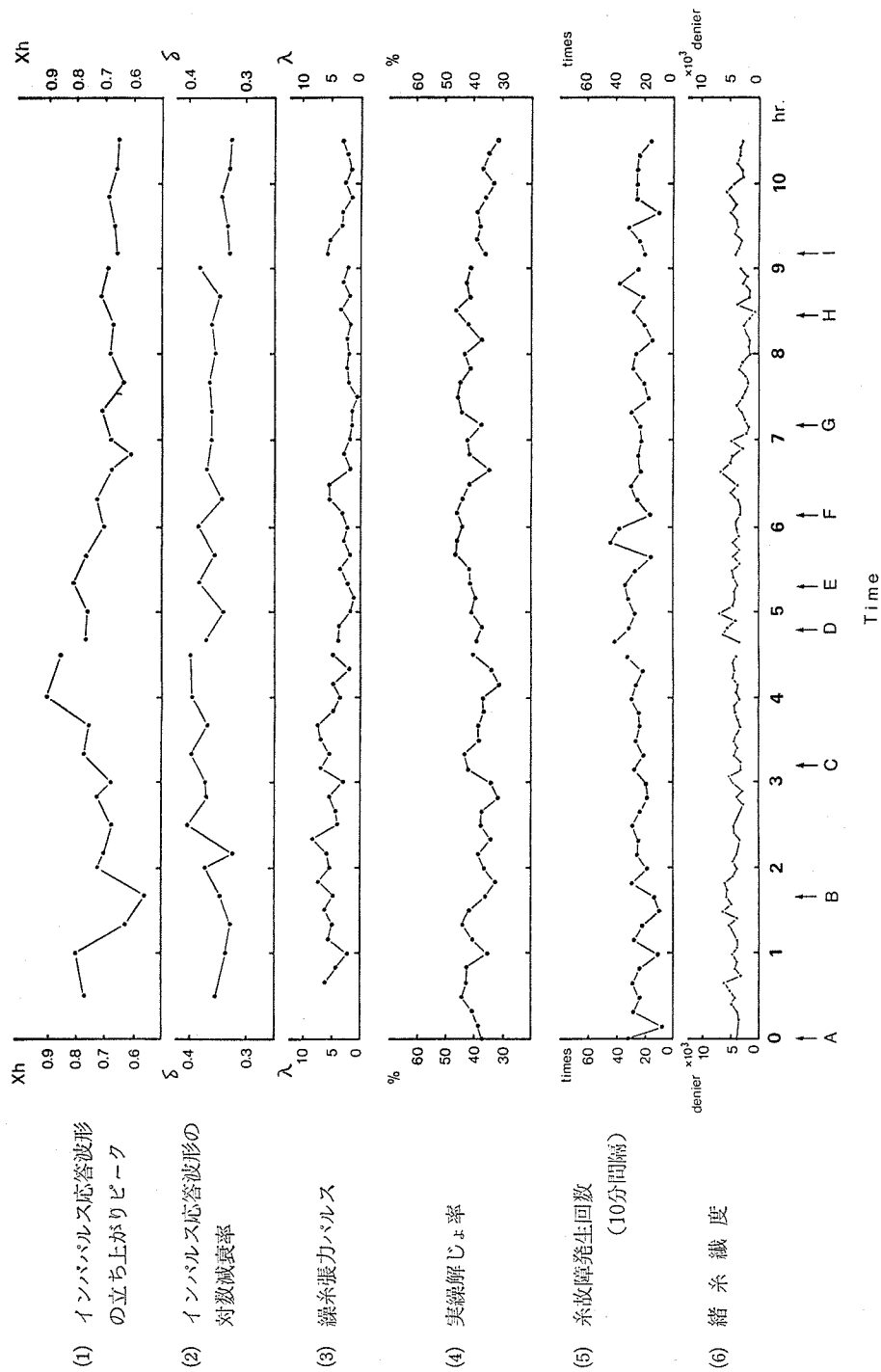
煮熟条件の設定にあたっては、①～⑤の情報を基にして煮熟状態を判断し、迅速に原料繭特性に適応する煮熟状態へと導くこととし、マニュアルにより煮熟条件を変更した。なお、煮熟条件の設定は木下らの示



第40図 繭の煮熟状態の計測制御実験

1. 緒糸織度計測装置
2. 実繰解じょ率計測装置
3. インパルス応答法による計測装置
4. 繰糸張力パルス計測装置
5. 煮 繭 機
6. 自動繰糸機

* 制御系に、時間的に変動する入力に加えられときの糸がこれに示す応答。



第41図 繭の熟状態の計測制御実験例
昭和56年茨城県産 初秋繭 (錦秋×鐘和)

す方法^{32,34)}と同様とした。

第40図は、製糸工程において計測制御実験を行っている状態を示す。

以上の方法により繭の煮熟状態の計測制御実験を行った結果を第41図に示す。これは昭和56年初秋繭について行ったものである。横軸の英字は煮繭条件を変えた時点を示す。

煮繭条件Aは、進行式煮繭機の浸透高温部と低温部の温度差を 10°C として繭層へ適度の水分の浸透・拡散をはかり、蒸煮部の蒸気量を若干少な目としたものである。その結果、インパルス応答法によると最初は煮熟が進んだ状態を示したが、その後波形の立ち上がりピークXhが0.6以下を示すなど、煮熟状態が不安定となった。一方、繰糸張力パルスの平均値 λ は5付近で上下し、繭糸と繭層間に硬膠着点の多く存在することが知られた。実繰解じょ率は40%付近で上下し、また糸故障発生回数は10分間に10~30回の範囲で変動し、作業能率の劣る傾向を示した。緒糸繊度は5000d前後を示し、繭層外層部が煮え過ぎの状態であると判断された。

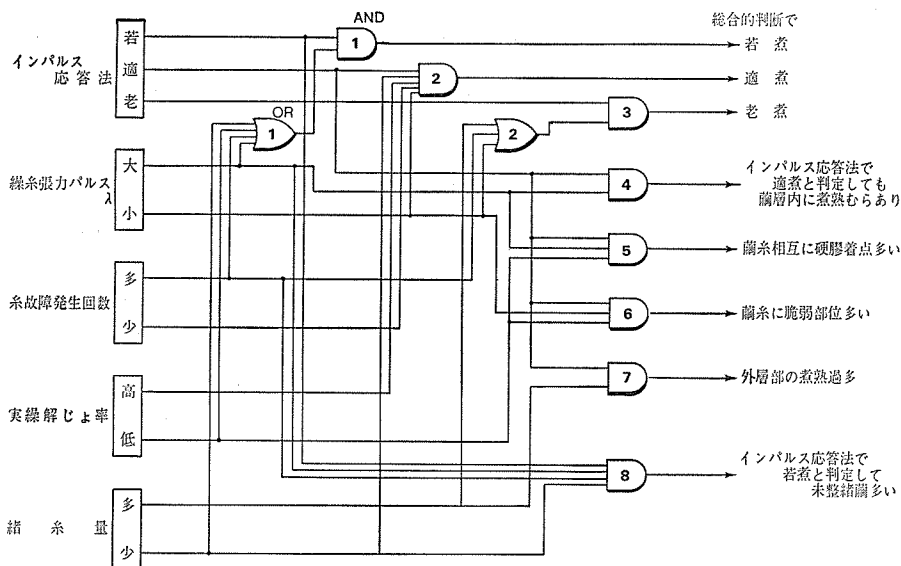
そこで時刻Bでは、繭層外層部の煮え過ぎを防ぐとともに、調整部後部・煮上部の温度を下げ、膨化した繭層セリシンを収斂させることを試みた。その結果、インパルス応答波形のXhは適煮の状態を示し、対数減衰率 δ も若干の変動はあるが約0.38を示した。しかし、繰糸張力パルスの λ は依然5あるいはそれ以上を示し、一見適正な煮熟状態のようにみえても繭層内で煮えむらが存在していることが知られた。

このような方法により、時刻D、Eでは浸透高温部と低温部の温度差を小さくして煮熟を抑え、さらに時刻Fでは繭層へ適度の水分を付与し均一な煮熟状態となるようにした。その結果、インパルス応答波形の立ち上がりピークXhは0.6~0.7を示し、繭層はやや硬目の状態となり、対数減衰率 δ は0.36~0.38を示す状態に落ちついた。また、繰糸張力パルス λ は0~3の範囲となって比較的安定した状態となり、全体的に繰糸成績は良い結果が得られるようになった。

以上、煮繭条件の設定法について概略述べたが、このような計測制御実験を昭和56年晩秋繭、昭和57年春繭についても同様にを行い、適煮状態を見い出す方法としてこれに準ずる結果を得ることができた。

このようにして原料繭特性の異なる初秋繭等について繭の煮熟状態の計測制御実験を試みたところ、まず第1次修正要素としてインパルス応答法によれば、煮上がった繭から遅れ時間を要せずにその煮繭状態を概括的に判定し得ることが確認された。次に第2次修正要素として繰糸張力パルスの計測情報によって繭層セリシンの膨潤軟和状態、すなわち繭層内における繭糸の膠着状態を把握できることが明らかとなった。また、上述のようにインパルス応答法での計測結果が適煮と思われる状態であっても、繰糸張力パルスの発生頻度が大きくその変化に不安定な場合がみられた。この場合は、繭層セリシンが均一に膨潤軟和せず繭層内で煮えむらを生じたためと解釈され、インパルス応答法および繰糸張力パルスの両計測結果を比較検討することにより、繭層セリシンを均一に膨潤軟和させるための判断要素が得られた。一方、実繰解じょ率・糸故障発生頻度の変化は、繰糸張力パルスの平均値 λ の変化と対応していることが知られ、さらに緒糸繊度は繭層外層部の煮熟状態と関係があり、有効な情報であると考察された。

以上のことから各計測情報と繭の煮熟状態との関係を考察した結果を第42図に示す。これは、各計測情報の結果をAND、ORの論理回路により組み合わせたもので、繭の煮熟状態の詳細を知ることができる。例えば、同図でインパルス応答法により適煮と判定される場合でも、繰糸張力パルス λ が大きく解じょ率が低い場合は、繭糸相互に硬膠着部位が多いと判断され、一方繰糸



第42図 各計測情報と繭の煮熟状態との関係

張力パルス λ が小さいにもかかわらず解じょ率が低い場合は、繭糸に脆弱部位が多いと判断される。このように解じょが悪い場合でも、繭層内に硬膠着部位が多く存在して落緒する場合と繭糸に脆弱部位が多く存在して落緒する場合では、解じょ率は同じであってもその内容は大きく異なる。したがって煮繭条件を変えようとする場合、このような情報を基にして現象に適した処理を講ずることが必要である。

おわりに

以上述べたように、本研究は原料繭特性に適する煮熟状態を見出すために、従来より行われてきた工務担当者の勘に頼る手法に代わるものとして、新たな見地から煮上がった繭のレオロジー的特性に着目して、煮熟状態を定量的に計測する手法と繰糸状態から評価する具体的な手法とを提示した。そして、それらの結果に基づいて繭の煮熟度の最適化をはかる方法についても検討を加えたが、現在の煮繭機構は極めて複雑で機種によって構造が異っていること、煮繭条件と繭の煮熟状態との関係についても不明確な点が多く残されていることなどのため、煮熟繭についての計測結果や繰糸工程からの諸情報をもとに煮繭条件を制御するには、とりあえず著者の知識の範囲内で煮繭温度、時間、蒸気量等の調整を試みた。

木下³⁵⁾は、煮繭のシステム化をはかるため、各繰糸情報の相互関係を考慮し、多変量解析により総合特性値を見出し、煮繭要因との関係について詳らかに解析を進めている。今後、これらの研究手法を加味し、さらに煮繭要因と繭の煮熟程度、繰糸結果等の関係について解析を行い、より簡易で迅速な計測手法の具現化と情報の解析および制御手法を見出し、煮繭の最適化制御技術を確立すべく検討を進めていきたいと考えている。

文 献

- 1) 小野四郎 (1967) : 製糸夏期大学教材 ②0 37~41
- 2) 嶋崎昭典 (1970) : 製糸夏期大学教材 ②3 29~39
- 3) 高林千幸ほか (1982) : 農機誌 44 (1) 85~92
- 4) 水出通男ほか (1970) : 製糸網研集録 ②0 12~18
- 5) Herrn Heinrich Hertz (1882) : CRELLE'S JOURNAL 92 156~171
- 6) 高谷 治ほか (1968) : 日機誌 71, 593
- 7) 高林千幸ほか (1982) : 農機誌 44 (2) 15~21
- 8) 山田嘉昭 (1980) : 塑性・粘弾性, 培風館
- 9) 井本立也 (1972) : レオロジー入門, 高分子化学刊行会
- 10) P. SHERMAN (1970) : INDUSTRIAL RHEOLOGY, ACADEMIC PRESS
- 11) 高林千幸ほか (1982) : 農機誌 44 (3) 99~107
- 12) 高林千幸ほか (1983) : 農機誌 44 (4) 639~643
- 13) 本田 昭 (1976) : アナログコンピュータの基礎と演習, コロナ社
- 14) W. T. THOMSON (1976) : 機械振動入門, 丸善
- 15) 山田嘉昭ほか (1974) : 機械の研究 26 (4) 73~78
- 16) 山田嘉昭ほか (1974) : 機械の研究 26 (5) 97~101
- 17) 高林千幸ほか (1983) : 農機誌 (投稿中)
- 18) 水出通男 (1970) : 繭検定技術研究会誌 91~106
- 19) 高林千幸 (1980) : 日蚕学中部講要集 ⑧
- 20) 阿部高明ほか (1959) : 日蚕雑 28 (3) 130~138
- 21) 畑 敏雄ほか (1947) : 高分子化学 ⑧ ⑧4 72~77
- 22) 福田治郎 (1963) : 応用統計入門, 日刊工業新聞社
- 23) 堀川 明 (1966) : ランダム変動の解析, 共立出版
- 24) J. S. ベンダットほか (1980) : ランダムデータの統計的処理, 培風館
- 25) 高林千幸 (1980) : 蚕糸研究 (115) 90~100
- 26) 町山忠弘 (1963) : プロセス制御の実技入門, オーム社
- 27) 西出照雄 (1976) : 日蚕雑 45 (2) 146~149
- 28) 高林千幸 (1982) : 製糸網研集録 ③2 23~25
- 29) 高林千幸 (1983) : 特許公報昭58—17286
- 30) 高林千幸 (1983) : 特許公報昭58—17287
- 31) 高林千幸 (1981) : 特許出願公告昭56—104825
- 32) 嶋崎昭典 (1967) : 製糸夏期大学教材 ②0 1~18
- 33) 木下晴夫ほか (1979) : 日蚕雑 48 (5) 404~410
- 34) 木下晴夫ほか (1980) : 日蚕雑 49 (4) 352~358
- 35) 木下晴夫 (1982) : 製糸夏期大学教材 ③5 77~89