

製糸工程への電子計算機の導入について

——自動生産システムを中心にして——

信州大学繊維学部助教授・農学博士 嶋 崎 昭 典

先頃までは、子ども相手の空想話であつたことが、こんにちでは現実動く機械となり、科学となり、学問となつて私達の日常生活の中にとけこんでいる時代になつてきました。

科学と技術が加速度的に進展し、あらゆる分野の技術革新が急速に進行している日本産業の中で、単純な加工工程を中心にした製糸業が今後とも健全に発展していくためには、他産業の近代化の速度を超える技術革新を行なう必要があります、もしもそれが実現できなければ、近い将来、日本の蚕糸業は非常に困難な事態を迎えるのではないかと心配されます。このような情勢の中で、製糸業がさらに発展していくための道は「人手を必要としないで、しかも原料の変化に応答して、常に最適生産を維持実行する連続自動生産システムの開発」以外にないと思うのであります。本日は計測、制御にくわしい吉住さん、電子計算機の専門家の松行さん、製糸技術の指導的立場にある渡辺さんがおられますので、私は自動生産システムをつくり上げるという立場に立つて、製糸技術革新推進の現状を眺め、さらに今後解決しなくてはならないいくつかの問題点を提示したいと思います。

1. 自動化への現段階

人手を必要としない自動生産機械をつくるためには、従来、人間が行なつてきた作業のすべてを機械におきかえなくてはなりません。人間の行為は大きくは筋肉作業と知的作業の2つに分けられるかと思ひます。その中の、知的作業についてみますと、これはすでに与えられている基準値と現実になれる値とを比較して、現在の作業をそのまま実行するか、あるいは一時中断して様子を見るかといった単純な判断作業だけを繰り返す仕事と、周囲の情勢変化に対応して、一度決めた基準を手直しの必要があるか否かを考え考え行動する自己調整の仕事と、過去の情報を組織的に集積して知識体系を設定し、判断に飛躍を与える学習作業といった3つの面があります。

自動製糸機械はたとえ能力的に未熟な点はありましても、少なくとも機構的にはこれらの知的作業部門を持ち合わせている必要があります。そこで、現在の製糸機械をこれらの基準に従つて階級分けしてみますと、第1表に示すような結果がえられます。表から直ちに知られることは、製糸工程は人間の筋肉作業に相当する機械化はかなり進んできましたが、知的作業を行なう部門の機械化は、非常に遅れており、生糸織度の制御系がようやく本質的な単純制御機構をもつてに過ぎない低位の自動化段階にあることであります。

2. 製糸工程への電子計算機の導入

生産工程を手によらずに運営するには第1表に示されましたように、電気コタツの温度調節のようにある設定条件だけを維持するような単純制御から、さらに自分の行為の結果を再び検査して、目的と現状とを検証し、常に独善にならない厳しい自己反省を行なうことが必要でありま

第1表 製糸工程の自動化への現状

製 糸 工 程	筋 肉 作 業 力 ・ 運 動	知 的 作 業		
		判 断 ・ 修 正	自 己 調 整	学 習 ・ 飛 躍
		環 境 主 体	環 境 主 体	環 境 主 体
乾 燥 機	○	○		
輸 送	△			
煮 繭 機	○	○		
輸 送	○	—		
新繭補充工程	○			
索 緒 工 程	○	△		
抄 緒 工 程	○			
正緒待機工程	○			
給 繭 工 程	○	△		
生糸織度系	○	○		
落繭処理系	○			
輸 送	△			
揚 返 工 程	○			
輸 送				
仕 上 げ	△			

す。このような判断は今までの機械化だけに頼っていたのでは達成できません。製糸機械化が知的作業の中の自己調整力、学習力といった方を身につけるためには第1に記憶力のある機械であることが必要であります。第2にはその記憶を組織だてて、目的達成に最もよい判断、指令を迅速に発する能力が必要であります。現在これらの条件を兼備した機械は人工頭脳などとも呼ばれている電子計算機をおいて他にありません。最近第2次産業革命が静かに進行しているなどと言われておりますが、それらはいずれもこの記憶や判断ができ、しかも確実性、迅速性をもつ電子計算機を中核にした技術革命によるものであります。製糸機械が現在の水準から脱却して高度の連続自動製糸機械へ発展するには、製糸工程へ電子計算機を導入し、これを上手に使いこなす技術体系を確立することが最大の決め手になると思います。

3. 知的作業の3系統

製糸機械は知的作業の機械化に著しい立ち遅れのあることが知られましたので、ここではこの問題について少し立ち入った考察をしてみたいと思います。

“人間は考える葦だ”といわれますが、朝の出勤から夜の帰宅までの行動を追跡してみると、意外と脳細胞をあまり使わないで馴れで行動している時間の多いのに驚きます。家を出て会社に到着するまでの道筋は幾通りもの異なつた過程をとることができます。通いはじめの頃は、一つの街角へ来るたびに、どの道を選ぶのが最も近くて危険が少ないかを考え考え、試行錯誤的にいろいろの道順を選んで比較検討しながら歩きます。しかし、ひとたびコースが決まると、ほとんど脳の神経中枢には意識するほどの負担をかけることなく、5年でも、10年でも、特別の用事がない限り同じ街角を曲がつて同じ露路を通つて通い続けます。そうかといつて“通い馴れた道だから目をつぶつて行きなさい”といわれても、数歩歩けば、もうつまづいてしまうのですか

ら、負担は軽くなつたとはいふものの断えず目で状況を見、耳で音をきき、それらを神経中枢へ刻々報告して、その指示に従つて行動しているようであります。しかし、急に自動車が飛び出しますと、反射的に身をかわして事故から身を守ります。この反射現象は神経中枢を通らずに、瞬間的な反射行動をとるようであります。さて、ひとたび職場について仕事にとりかかりますと、昨日と同じ、一昨日と同じというわけにはいきません。刻々変化する情勢に対処するために、過去の経験や、蓄積した知識をフル回転して間違いのない判断、的確な処理をとるよう脳細胞の力を存分に発揮させます。このように考えてきますと、私達の日常の行動を制御する知的作業には (1) 神経中枢とは無関係にとつきの異常事態に対処する反射制御、(2) 基準値が与えられると、神経中枢は通るけれども特別に考え悩むことはなく馴れで行為を制御する馴れの制御と (3) 重要現象については刻々情報をしゅう集し、分析してそれらの変化の中に潜む技術的因子を抽出して作業変革の情報を蓄積したり、あるいは意識的に計画的に生産条件を少しずつ変更して、それが生産状態を変化させる模様を分析して進化論的に漸近的に自動的に最適条件へ接近することなどの思考的制御の3つの系統に知的活動は大別できるのに気付くのであります。これらの系統は第1表に示した知的作業の3つの機能に大体対応しております。

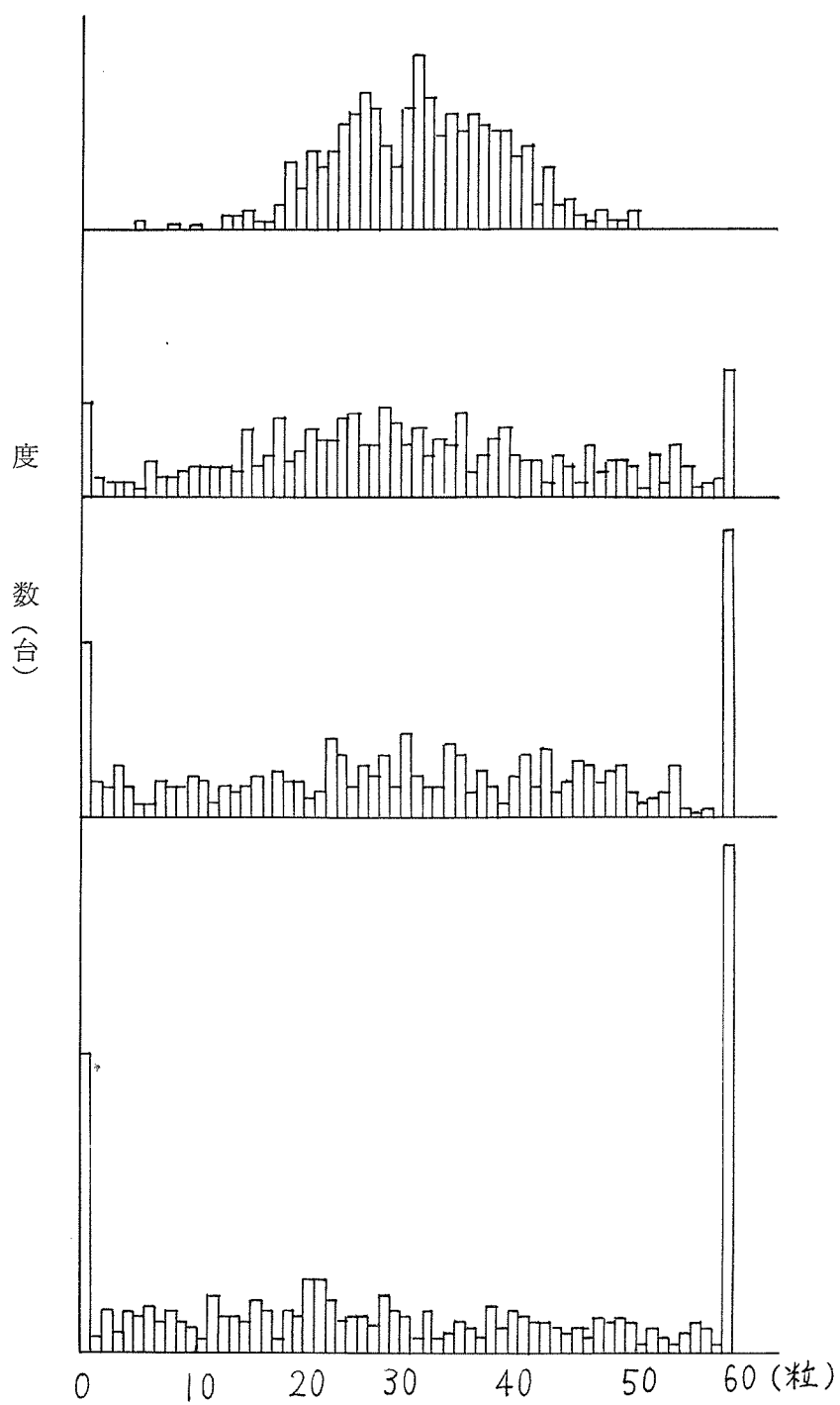
そこで、電子計算機を中心にした自動製糸機械は大量の記憶ができ計算速度も速いのだからといって、製糸工程にみられる情報を何もかも持ち込んで計算や分析をさせますと、自動機は神経過敏現象をおこしたり、無駄な神経を沢山使いすぎてノイローゼになってしまうかも知れません。そこで、私は製糸の自動生産機システムは、電子計算機の力を借りない反射制御系、電子計算機の判断能力は借りるけれど複雑な分析計算や高度の総合判断は行なわないで与えられた基準値内で日常茶飯事の問題を解決する判断制御系と、最適生産に向かつて作業基準を変更する思考制御系の3つの系統からなるシステム構成を考えるのが最も良いのではないかと考えます。

4. システム理論の現状

それでは、このような製糸機械を実現するのに必要な基礎研究はどれほど進んでいるのかと申しますと、実はいまだほんの緒についた段階で精力的、組織的に研究がすすめられてもあと3年位はかかるのではないかとと思われるのですが、現在までの研究の概要を紹介してみます。

4.1 反 射 制 御

自動繰糸機の片側240緒を移行する間に平均30粒の繭が取り出される移動給繭機内の繭数が時間とともにどのように変化するかを眺めてみましょう。問題を明確にするために、1回の正緒繭の補給数の平均値は1列中の平均取り出し数に等しいとします。また給繭機の運転はじめには各機ともちようど30粒だけ余分に繭を入れて運転を開始するものとします。また給繭機の繰越し繭数を検査し正緒繭の補給を調整する装置はないものとします。正緒繭の補給数の平均は30粒でも実はそのたびごとに変化して20粒のときもあれば35粒のときもあります。また1列移動中の取り出し繭数も25粒のときもあれば、38粒のときもあります。そのため、1列の終りで500台の給繭機について1台ごとに繰越し繭数 Z_1 を調べると第1図の Z_1 のように10粒前後から50粒前後までの変化がみられます。次に繰越し繭の少ない給繭機にも多い給繭機にも区別なく、平均30粒の正緒繭を補給します。こうして5回、10回、20回と給繭機を循環させてみますと第1図で Z_5 , Z_{10} , Z_{20} と書いた図のような変化が現われ、給繭機内の繭数は0か山盛りになつてあふれてしまうか、いずれか一方の極端な状態に移行する性質をもっていることが知られます。繭の



第1図 給蕨機内緑越蕨数の分布

搬入、搬出を機械的に繰返しますと、補給、消費の平均的なつりあい関係が保たれていても、それぞれの変動の累積の影響を受けて、新繭補充部においても、索緒部内の繭数においても、また正緒繭の待機繭数においても、同じ現象が出現します。そこで、不足することなく、また多くの繭が滞留することなく、工程中の繭の流通を適正に管理するには、第1図にみられる変動の増大性を管理する制御システムが必要になります。

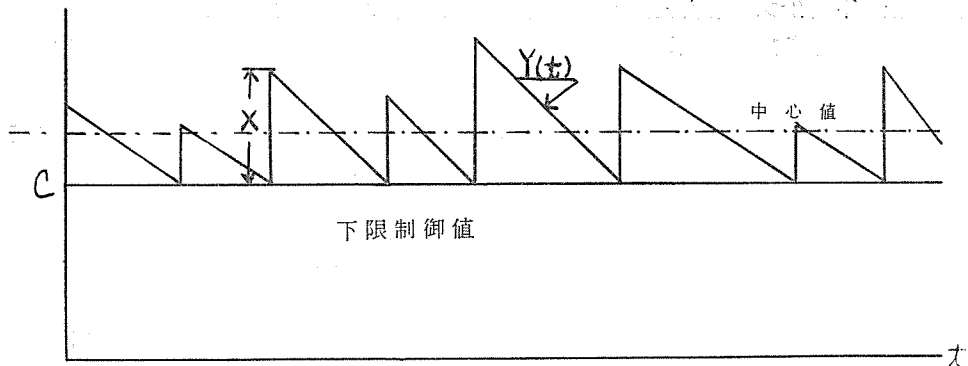
このような流通制御はたとえば繭数が極端に少なくなれば2倍量を、極端に多くなれば補充を一時中止するといった単純な判断機構だけで制御できるものですから、ここには前項までの考察による反射制御系を導入すればよいと考えられます。

4.1.1 片側反射制御

反射制御の最も簡単な例は滞留繭数が一定数 C 以下になれば補充指示を行なう下限反射制御法をとるか、あるいは C 以上になれば補充を一時中止する上限反射制御法のいずれかを用いる片側制御システムであります。しかし、上限、下限の問題は本質的な問題ではありませんので、ここでは下限反射制御法だけについて考えます。

4.1.1.1 補充時間自由、即決補充模型

これは定織生糸の織度制御系に代表される制御法です。この模型は時間に関係なく、必要に応じて補充を行なうことができ、しかも補充指示をすると直ちに補給が完了する最も単純な制御系です。制御模型の1例を第2図に示します。ここに C は補充指示値です。補充量 X は任意に変化



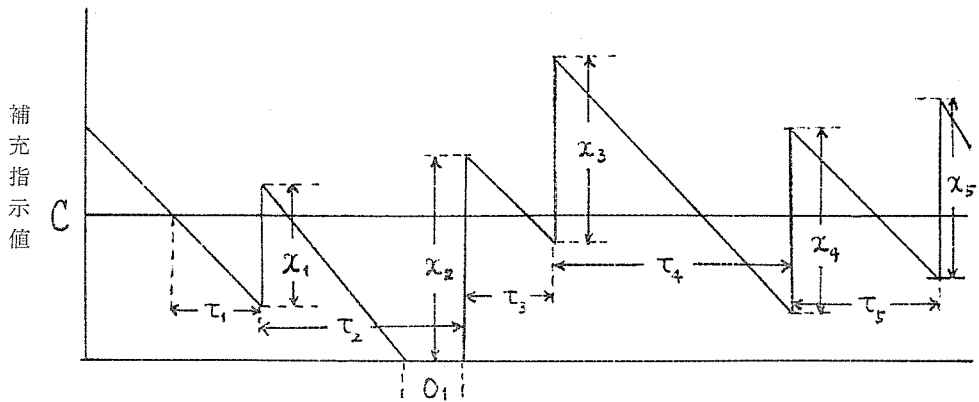
第2図 下限反射制御模型(I)

します。このとき山波型の変化 $Y(t)$ の性質や $Y(t)$ の分布特性などを C と X とで制御する理論はすでに確立されています。

4.1.1.2 補充時間自由、おくれ補充系

これは新繭補充制御系や、正緒繭待機繭数の制御系などに代表される制御方法で模型の1例を第3図に示します。

在庫繭数がある一定量 C に到達すると補充指示を出しますが、すぐに補充されずに任意時間 τ だけおくらせて補充されるものとします。そのとき補充おくれがあまり長くなると在庫繭数が0になる現象が生じます。これを恐れて補充指示点 C を高目にしますと不必要に在庫繭数が増加します。このとき、在庫0の危険確率を指示し、補給のおくれ時間特性を与えますと、最適な補充指



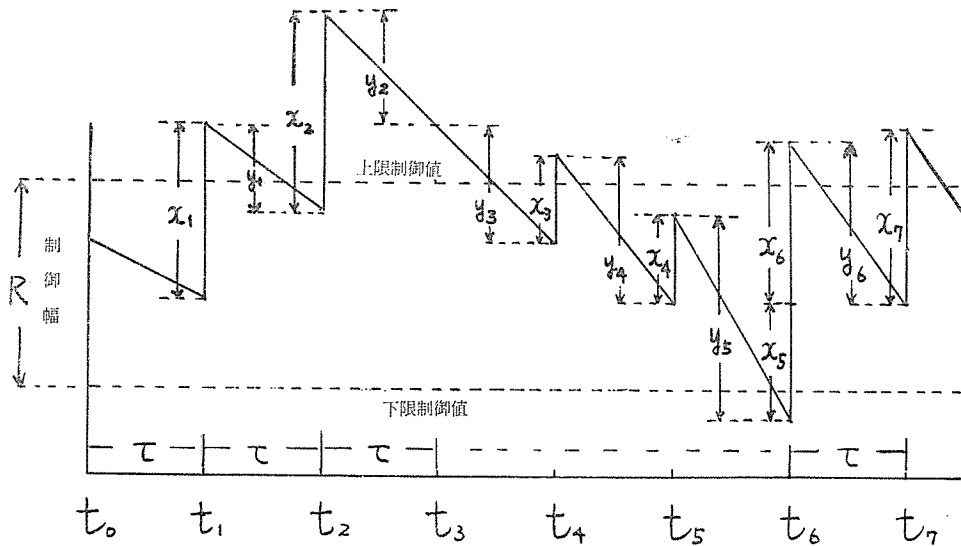
第3図 下限反射制御模型(Ⅱ)

示量を決定する理論はすでにできております。

4.1.2 両側反射制御

片側反射制御法で工程変動の多くは制御できますが、平均搬出数に変化が生じますとそのつど修正が必要になったり定時間隔補充の場合などでは補充限界値Cをかなり高目にしなくてはならないなど、いくつかの不便さが生じます。

そこで上、下限2つの制御帯をもつ両側反射制御システムが反射システムの決定版として用いられます。これを第1図に例示した給礫機礫数の変化に適用した場合の制御模型図を第4図に示



第4図 両側反射制御模型

します。ここでは補充間隔は一定ですが、繰越し礫数は常に変化しております。補給位置での給礫機内礫数が限界帯内にあれば Y 粒（平均値は 30 粒であるが補給ごとに変化している）補給します。もし下限線以下ですと、(Y₁+Y₂) の 2 回分の礫数が同時に補給されます。上限線以上の

以上のような反射制御システムを設定する基礎理論は現在までにだいたい確立されてきている
 ということができると思います。

電子計算機の判断力はいつも借りるけれどもそれほど複雑な計算はしないで与えられた基準値と比較して工程の管理運営をはかる、馴れた管理法について考えてみたいと思います。生産成績を直接支配するキビン量、糸故障数といった管理要因は繭の流れの管理法とちがつて、キビンが太いといわれると抄緒数を少なくすればよいといった単純に処理できる問題ではなく、変化を生じさせる原因系を分析して、異常操作因子（煮熟度、繰糸温度といった）を検出し、これを管理する方法によらなくてはなりません。

```

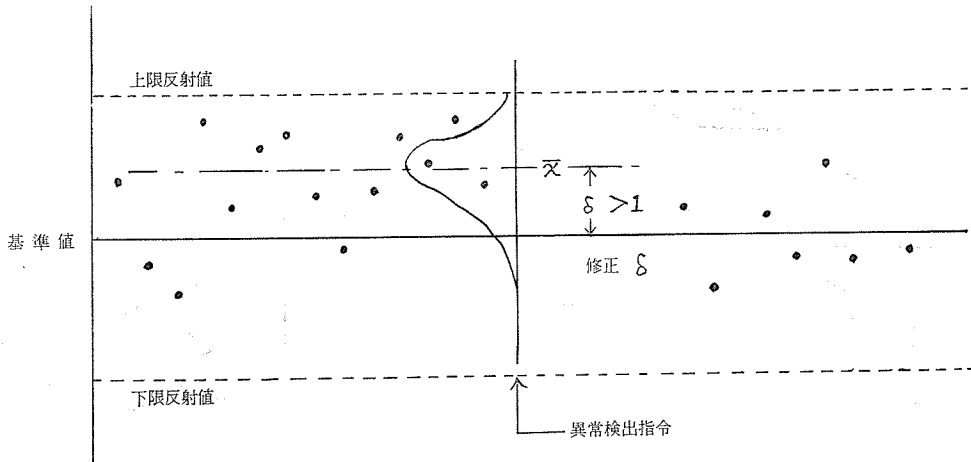
graph TD
    Start([SUBROUTINE CHYŌSI]) --> D1{投入無繭数  
多いか}
    D1 -- YES --> D2{新繭率  
高いか}
    D1 -- NO --> D3{新繭捕  
充多いか}
    D2 -- YES --> J1(( ))
    D2 -- NO --> D4{繰糸落  
繭多いか}
    D3 -- YES --> J1
    D3 -- NO --> D5{繰糸条件  
変化か}
    J1 --> P1[新繭修正]
    P1 --> J2(( ))
    D4 -- YES --> P2[繰糸温度  
修正]
    D4 -- NO --> D6{繰糸温  
度 か}
    P2 --> J2
    D6 -- YES --> P3[繰糸速度  
修正]
    D6 -- NO --> D7{繰糸速  
度 か}
    P3 --> J2
    D7 -- YES --> P4[給繭補充修正]
    D7 -- NO --> D8{給繭数  
か}
    P4 --> J2
    D8 -- YES --> D9{正繭繭待  
機数多いか}
    D8 -- NO --> J3(( ))
    D9 -- YES --> J3
    D9 -- NO --> D10{抄緒温  
度異常か}
    J3 --> D10
    D10 -- YES --> P5[抄緒温度修正]
    D10 -- NO --> D11{抄緒落  
繭比多いか}
    P5 --> J4(( ))
    D11 -- YES --> J4
    D11 -- NO --> End([RETERN])
    J4 --> End
    D5 -- NO --> J3
    D5 -- YES --> P6[索緒温度修正]
    P6 --> J5(( ))
    D6 -- NO --> J5
    D7 -- NO --> J5
    D8 -- NO --> J5
    D9 -- NO --> J5
    D10 -- NO --> J5
    D11 -- NO --> J5
    J5 --> End
    
```

The flowchart, titled "SUBROUTINE CHYŌSI", details the logic for checking and correcting various parameters in a silkworm rearing process. It begins with a decision on whether the number of non-spun silkworms is high. If yes, it checks if the new silkworm rate is high. If yes, it proceeds to a junction point before the "New Silkworm Correction" block. If no, it checks if the number of new silkworms caught is high. If yes, it also proceeds to the "New Silkworm Correction" block. If no, it checks for changes in the reeling conditions. Following the "New Silkworm Correction" block, there is a junction point before checking the reeling temperature. If the temperature is high, it is corrected. Then, the reeling speed is checked; if high, it is corrected. Next, the feeding amount is checked; if high, it is corrected. Then, the number of silkworms waiting for the next spin is checked. If high, it proceeds to check if the reeling temperature is abnormal. If abnormal, it is corrected. Then, it checks if the ratio of dropped silkworms is high. If high, it proceeds to a final junction point before the "RETERN" block. If no, it proceeds directly to the "RETERN" block. Additionally, there is a path from the "Changes in reeling conditions" check. If there are changes, it checks the reeling temperature. If abnormal, it is corrected. Then, it checks the reeling speed. If high, it is corrected. Then, it checks the feeding amount. If high, it is corrected. Then, it checks the number of silkworms waiting for the next spin. If high, it proceeds to check if the reeling temperature is abnormal. If abnormal, it is corrected. Then, it checks if the ratio of dropped silkworms is high. If high, it proceeds to a final junction point before the "RETERN" block. If no, it proceeds directly to the "RETERN" block. If there are no changes in reeling conditions, it checks if the number of silkworms caught is high. If yes, it proceeds to a junction point before the "New Silkworm Correction" block. If no, it checks if the reeling temperature is abnormal. If abnormal, it is corrected. Then, it checks the reeling speed. If high, it is corrected. Then, it checks the feeding amount. If high, it is corrected. Then, it checks the number of silkworms waiting for the next spin. If high, it proceeds to check if the reeling temperature is abnormal. If abnormal, it is corrected. Then, it checks if the ratio of dropped silkworms is high. If high, it proceeds to a final junction point before the "RETERN" block. If no, it proceeds directly to the "RETERN" block.

(注) こゝでは基準値は変更しない

は $(75 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 、抄緒温度は $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 、1 回の新繭補充数は (15 ± 1) 粒 といったぐあいに、許容限界を与えて条件設定がされているとします。一方、この限界とは別に各端末には反射制御システムが設置され単独に働いて、異常事態の発生に備えられているものとします。このような仕組みの中でキビソ量増大を検出するシステムの 1 例を第 5 図に示します。たとえば煮熟度が進みすぎて、キビソ量が多いとしますと、投入無緒繭数多いか—NO→新繭補充量多いか—NO→索緒温度異常か—NO→煮熟度修正 となります。逆に煮熟度が若すぎてキビソ量を多くしているときは、投入無緒繭数多いか—YES→新繭率高いか—NO→繰糸落繭多いか—YES→繰糸条件変化か—NO→抄緒温度異常か—NO→抄緒落繭比多いか—YES→索緒温度異常か—NO→煮熟修正へ となります。

ここで端末に設置されている両側反射制御の許容限界を狭くとりますと逆に変動が大きくなりますので、狭めより広めにとる方が作業が円滑に進行します。一方馴れの制御系に与えられた許容限界は電子計算機の中に記憶されているもので、その許容限界は反射制御よりかなり狭く厳しいものです。新繭補充数の異常性が問題点としてとりあげられたとしますと、過去 10 分間あるいは 30 分間中の補充数の記録がすべて呼び出されてその平均値 $\bar{x}$ が求められ、* (基準値 $-\bar{x}$) が 1 粒より大きいとか小さいかが検査され、** 基準値が保持されるような修正が行なわれます。しかし、ここでは与えられた基準値を守ることが至上命令であつて、決して、基準値の修正は許されないことにします。そうしますと馴れ制御の修正は平均値制御法ともいえるもので、この制御状態を第 6 図に示します。このように基準値を与え、問答形式で異常部分を検出し常に与えられた



第6図 新繭補充に対する平均値制御例

生産条件を保持させるプログラムは製糸技術者が日常行なつてきている仕事を組織化することです。また、一般にこのプログラムの優劣が生産技術者の技術水準を示す 1 つのバロメーターともなるもので、電子計算機が導入されますと、工務技術者は速く的確に工務を安定させるこの種のプログラム作りが本職になります。

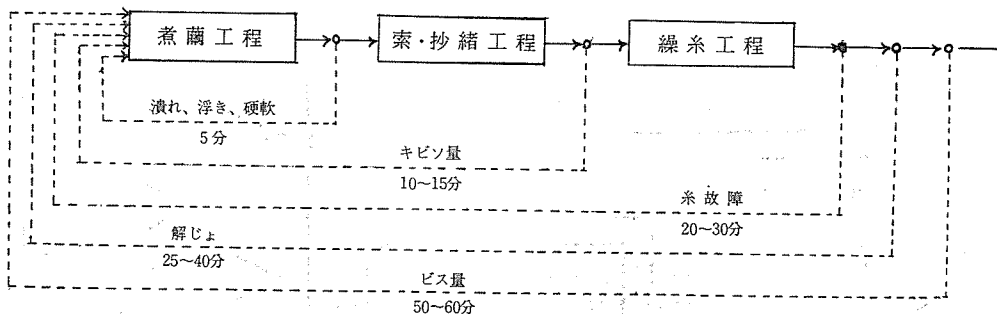
注 * 許容限界の広さとデータの変動の大きさ等によつて調査時間は異なり、この時間は別途指定されます。

** FORTRAN 文法に従いますと、IF (ABS (基準値-平均値) -1.0) a_1, a_2, a_3 と書きます。もし

1粒未満なら a_1 の命令を実行, 全く一致していたら a_2 の命令を実行, 1粒以上ちがつていれば a_3 の命令を実行します。

4.3 思考制御

各工程の重要管理因子の状態が刻々計算機に記憶されているものとします。いま平均値の制御システムによつて基準値が保持されるとしますと、一応無人生産機械システムはでき上つたことになります。しかし、自動生産機であるからといって、原料性状にあつた最適生産が実行されているという保証は全くありません。製糸工務運営の困難性の1つは、原料荷口が小さくて変化しやすい上に、原料依存性が非常に高いことであります。そこで、基準保持の管理に専念するだけでなく、原料特性に応じて、基準を手直しし、常に最適生産を製糸機械自からがみつけ出していく流動的なオペレーションシステムを持つ機械であることが強く望まれます。この問題を実行するとき生じる第1の困難な問題は処理効果の適否がその場の状況だけでは判断できず、それより後の工務によつてはじめて検出されるという時間おくれの問題であります。たとえば調整部温度が高すぎ老煮になつていたとしますと、それは約10~15分後にキビソ量の増大となつて表われ、約20分後に糸故障に、約30分後に落緒数の変化に表われてきます。それゆゑ、速やかに煮熟効果が生産成績に影響する管理標識の決定が問題になります。この様子の1例を第7図に示します。したがつて、処理の効果を繰糸工程からの情報に基づいて行なおうとしますと第1次修



第7図 煮繭処理の情報伝達おくれの1例

注 農林計算センターTOSBAC3400, 東大大型計算機により相互相関, 自己相関
スペクトル分析, 周波数応答関数により分析

正（にまゆの硬軟, 潰れ, 浮き）, 第2次修正（キビソ）………といったいくつかの段階に分けて手直しを行なう必要があります。

第2の問題は煮熟繭が繰糸工程へ持ち込まれますと、それ以前に持ち込まれている先輩の繭と一緒になつて繰糸工程を巡回します。したがつて、先輩の繭を追いこして速く生糸になつてしまう繭もあれば、後輩に追いこされ、いつまでも留年する繭もあり、この時間は煮熟度以外に繰糸機内の繭の滞留状態などによつても変わります。このおくれ時間を求めてみますと、8時間くらい滞留する繭のあることが知られるのであります。そのために、10時20分に糸故障が多くなつたとしても、それが10時に煮繭された繭か9時50分に煮繭された繭かあるいは10時5分に煮繭されたものか判別が付きません。一方各処理区の煮繭条件も記録をとつてみますと刻々変化して



注1. センタバックは基準値修正

(38)

第3の問題。このような思考制御を行なううえに必要な原因の分析結果がえられますと、こんどは生産全般の状況を総合勘案して経営的に最適な手をただ一つ決定し、それを指令しなくてはなりません。この最適化問題は自動制御の最大の問題で数理計画法、OR、EVOP などと呼ばれるいろいろの手法が示されておりますが、まだ製糸工程にどのような形で導入するのがよいかはわかっておりません。

以上のようにみてきますと、電子計算機を製糸工程へ導入し、この機能をじゆうぶん發揮して無人生産機により、最適生産を常に実行する自動生産システムはいまだ不じゆうぶんな状態にあり、特に電子計算機の機能をじゆうぶん發揮すべき分野ほど未解決な状態にあるということができます。現在までの段階でつくられる電子計算機を中心にした自動生産システムの1例を第8図に示します。

5. 一つの提案

ここでは工程の状況が計数的に報告され、また計算機からの指令により端末機器が自由に作動することを前提にしました。それでも上述のような複雑な問題を解決しないと、製糸工程へ電子計算機を導入してもじゆうぶん活用できません。現実には、この前提とした計測、制御もじゆうぶん機械化されておられません。しかし、これらの問題は現在の社会情勢からみて早急に解決されなくてはならない問題であります。これからの製糸機械は今までの機械化に加えて情報伝達が迅速的確に行なわれなくてはならないことを考えますと弱電関係の技術（電子工学）が特に必要であると思います。そこで、第一に製糸機械メーカーがこの分野をじゆうぶんカバーするか、あるいはこの分野に強い機械メーカーを積極的に製糸業界に参加願う道を考えなくてはならないと思います。

第2に、このような生産システムを構成するには現在の製糸関係の研究者、技術者だけでは層が薄く実現までに非常に長年月を要すると思いますので、各分野の専門家をスタッフに加えた強力な研究陣を構成し推進しなくてはならないと思います。そのグループとしては、

1. 無人化、最適化のための製糸技術研究班
2. 製糸機械本体の構造研究班
3. 計測制御研究班
4. システム研究班

といった研究班が必要ではないかと考えます。そして、電子計算機を中核にした連続自動生産システムの中でよい品質の生糸が最も経済的に、人手を要せず生産できる体制ができあがったとき、はじめて製糸業は近代化し、他産業にごして発展していくのではないかと考えるのであります。