

繰糸工程管理の自動化研究

繰糸試験場特殊生糸研究室長 寺 島 利 一

はじめに

繰糸条件の制御という面から現在の自動繰糸機をみると、温度や速度などのプロセス条件を一定に保持しようとする装置は一応配置されているが、諸条件をどのような値に設定したら生産目標を達成するのに最適であるかという問題を解決してくれる仕組みは実現していない。工程管理の自動化研究の重要課題の一つは、この種のプロセス最適化のための自動制御システムの開発にあると考える。

しかし、全工程を統合するトータルシステムを一挙に開発することは至難のわざであると思われる。そこでまず、各工程の部分的最適化をはかるサブシステムを開発し、順次工程間の調和をはかる高次の最適化へとシステムを拡張する、いわゆる制御の階層構造を組立てるという考え方に立って、製糸工程のかなめともいべき繰糸工程の部分的最適化のシステム開発に取り組んだ。

この研究はまだ実験室規模の開発段階にあるが、今回はこれまでの研究経過の概要を報告し、参考に供したいと思う。

1. 制御用コンピュータを中枢とする最適化制御実験システムの試作

1.1 最適化制御システムの一般的構成

繰糸工程においては、索抄緒温度、繰糸温度、繰糸速度その他の生産条件を一定に保持するための基本制御系は一応配置されている。しかし、その目標値をどんな値に設定したら生産目標を達成するのに最適かという判断は工務技術者にゆだねられている。また、いま最適だと判断したとしても、原料特性をはじめとする非制御量の変化や外乱因子の介入があった場合、落緒や糸故障の発生数等の現象変化によって知ることのできる工程の内部状態が変動するので、この状況変化に応じて基本制御系の目標値を適正に修正する操作が必要となる。このような判断と操作を自動的に行う仕組みを最適化制御システムということにし、その一般的構成を図1に示す。

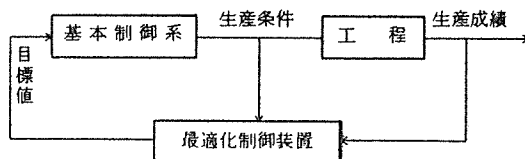


図1 最適化制御システム

図1に示したシステム構成の役割を述べると、工程の進行中に能率、収率、品質等の生産成績に関連のある諸事象の現在値を計測して最適化制御装置に伝送し、最適化制御装置はそれらの計測値とその時設定されている生産条件とから、目的生産を遂行するのに最適な生産条件を割出し、基本制御系の目標値に自動修正を加えるといった一連の機能を発揮する。

1.2 システムの規模

システム設計に際しては、基礎実験を行う実験室規模のシステム→各種の設計資料を得るための中間規模のパイロットプラント的システム→実用規模のシステムという三つの発展段階を想定し、第1段階の実験室規模のシステム設計に取り組んだ。

1.3 制御対象装置

実験室規模の繰糸機を制御対象とすることとし、繭検定用自動繰糸機をベースとする3緒型の実験用繰糸機を設置した。

1.4 計測制御項目

繰糸成績に関連のある実測可能な情報を収集して工程の状態を評価するため、計測項目としては生糸織度、繰糸張力、繰糸温度等のアナログ情報ならびに接緒、糸故障、新繭補充等に関するデジタル情報を取上げた。

また、制御項目は、実験用繰糸機の構造上、繰糸温度、索緒温度、繰糸速度、緒糸巻取速度の4項目とした。

1.5 最適化制御装置

システムの中核となる最適化制御装置は、制御用コンピュータシステムにて構成することとし、中央処理装置、プロセス入出力装置、磁気ドラム、入出力タイプライタ、紙テープリーダー、グラフィックディスプレイを配置した。

1.6 システムの構成と機能

図2に実験システムの機器系統図を示し、実験用繰糸機側とコンピュータ側との情報のやりとりについての概略を説明する。

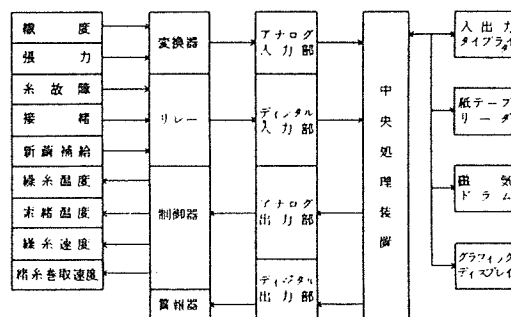


図2 実験システムの構成

繰糸機側から収集する情報のうち、織度、張力、温度等のアナログデータは測定値に応じて変換器により1～5Vの電圧に変換し、プロセス入出力装置のアナログ入力部でさらにデジタル信号に変換されて中央処理装置に読込まれる。接緒、糸故障、新繭補充等に関するデジタルデータは、それぞれの現象が発生した時に作動するように繰糸機に付設された近接スイッチまたはマイクロスイッチからの接点信号をプロセス入出力装置のデジタル入力部を介して中央処理装置に転送し、集計する。この場合、プロセス入出力装置の1秒割込み信号を利用して接緒間隔、糸故障間隔、繰糸停止時間等の所望の計時データを並行して収集することができる。

一方、繰糸機側の温度、速度条件は、目標値が与えられると自動的に定値制御を行う制御器に

よって自動制御される。その制御目標値は中央処理装置からの指令により、プロセス入出力装置で1～5 Vの電圧に変換されたアナログ出力信号によって任意に設定できるように構成した。ただし、コンピュータシステムの故障時に備え、各制御器には手動設定への切替えスイッチを付設した。

また、本システムが何らかの原因で異常状態になった時には中央処理装置の指令でプロセス入出力装置からのデジタル信号を受けて警報器がブザーを鳴らすと同時に異常の種類をランプ表示する。

なお、織度計測器は別途開発研究を進めた。すなわち、差動トランスを利用した接触型、静電容量式ならびに光電式の非接触型等について検討した結果、実用タイプとして光電式に力点を置いて基礎研究がほぼ完了した段階にある。この点については、計測器のみならず織度の上下制御を行う制御システムの開発、織度情報から有効・無効接緒回数や落緒回数ならびに糸故障回数等の繰糸情報をまとめて集計する装置の開発へと発展し（西出照雄：計測制御と製糸技術、第31回製糸夏期大学教材）、その後、マイコンを利用して織度の計測制御機能をコンパクトにまとめる装置が開発されたので工場への導入についてご検討願えれば幸いである。

2. 繰糸実験によるプロセス解析

2.1 プロセスの評価量について

プロセスの最適化をはかる場合、生産成績に関連があり、かつプロセスの状態を評価するのに適切な何らかの実測可能な評価量とその制御量の存在が前提となる。本実験システムの場合、単純に解析的な検討を加えた結果、能率、収率、品質に関連した実測可能な最適化の指標として、接緒間隔（秒）、糸故障間隔（分）、糸故障時間割合（%）を取上げることとし、繰糸実験によりこれらの評価量と繰糸成績および制御項目との相互関係について検討した。

実験の結果、評価量と繰糸成績との間には図3の関係が得られた。また制御項目との関係は、
 | 接緒間隔は繰糸温度・繰糸速度・索緒温度 | 生糸量歩合は繰糸温度・緒糸巻取速度 | 緒糸量歩合は緒糸巻取速度・索緒温度 | 蛹しん量歩合は繰糸温度 | 節検出数は繰糸温度 | 対1時間繰糸量は繰糸速度 | 解しん率は繰糸温度・索緒温度・繰糸速度 | 繰糸張力は繰糸温度・繰糸速度・索緒温度 | にそれぞれ影響されるようであった。糸故障データと制御項目との関係は小実験での結論は得られなかったが、傾向としては繰糸温度、繰糸速度、緒糸巻取速度と関連があるように思われた。なお、節の検出は揚返中にセレックス（グレード60使用時）によって行った。

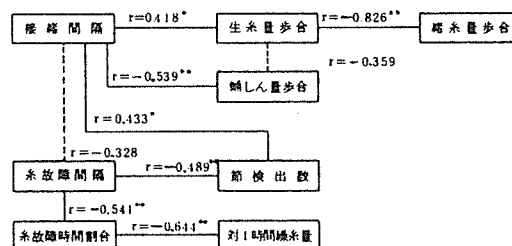


図3 評価量と繰糸成績との関係

以上の結果を総合勘案すると、結論的には、糸故障に関するデータに制限条件を与え、接緒間隔の最大化をはかるように繰糸条件の最適値をみいだすことが解しを基本として考えた場合に

とりあえず実行できる繰糸工程の最適化の有効な制御法であると考えた。ただし、繰糸条件には、技術的判断に基づく上下限の制約条件をあらかじめ設定しておく必要がある。

2.2 接緒データについて

最適化の指標として重要と目される接緒データの性質について調査した。ここでは特に1緒単位の集計データについての特徴的な事例を紹介する。実験条件は表1に示す3種類の原料繭を用い、目的繊度28d、巻取速度260回/分、索緒温度78℃、繰糸温度40℃とした。

表1 供試原料繭の性質（繭検定研究室調査）

項目 原料繭	繭 糸 長	繭 織 糸 度	解 じ ょ 率	解 じ ょ 糸 長
	m	d	%	m
A 繭	1,431	2.92	68	973
B 繭	1,169	2.74	72	842
C 繭	1,231	2.53	56	689

接緒から次の接緒までの時間間隔について、無効接緒を含めてコンピュータで集計した場合を図4に、無効接緒を肉眼で確認し、有効接緒のみを集計した場合を図5に示す。

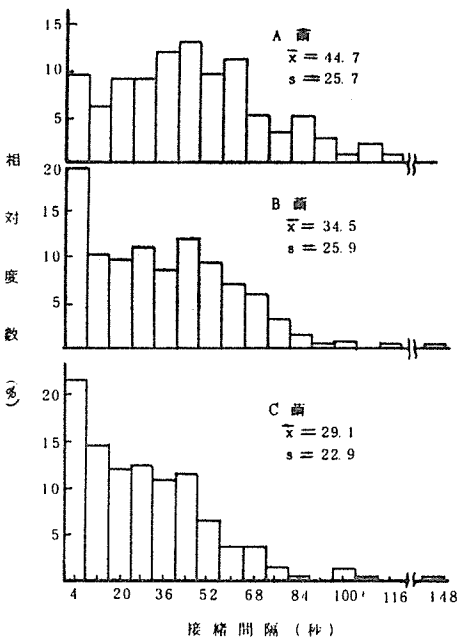


図4 無効接緒を含む接緒間隔

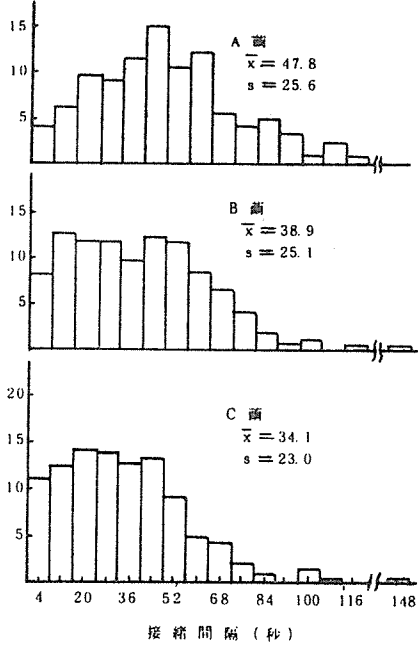


図5 無効接緒を除いた接緒間隔

図4と5を比較すると、接緒間隔の短い部分、特に8秒以下の接緒間隔の占める割合が極端に相異している。これは繊度の検索回数で2回以下に相当する。このような特異なところに貴重な

表2 有効接緒と無効接緒の割合

区分 原料繭	空接緒を含めた場合		空接緒を除いた場合	
	有効接緒	無効接緒	有効接緒	無効接緒
A 繭	93.9%	6.1%	96.6%	3.4%
B 繭	87.9%	12.1%	94.4%	5.6%
C 繭	85.3%	14.7%	90.5%	9.5%

表3 無効接緒から次の接緒までの時間間隔の割合

時間 原料繭	0～8秒	9～16秒	17～24秒	25秒以上
	%	%	%	%
A 繭	84.6%	7.7%	0.0%	7.7%
B 繭	83.4%	3.3%	3.3%	10.0%
C 繭	70.5%	20.5%	2.3%	6.7%

情報が含まれている。例えば、表2に示したように空接緒を含めた場合の無効接緒の割合は、図4の8秒以下のデータの約半分となっており、無効接緒を実測できなくても、それは図4のデータから推定できそうである。参考までに無効接緒から次の接緒までの時間間隔の割合を表3に示した。

このように接緒回数のような単位時間当りの計数データのみならず接緒間隔のような計時データを含めて収集分析することにより、工程管理上思わぬ収穫が得られる可能性があるのも、ともかく情報の収集と分析を行う仕組みをぜひ工程に導入したいものである。

2.3 糸故障データについて

前項と同様の主旨で糸故障データの特徴的な事例を紹介する。

図6は、ある初秋繭について、3緒繰糸で目的織度27.5d、繰糸速度162.5m/分、索緒温度75, 80, 85°C、繰糸温度35, 45, 55°C、繰糸巻取速度7.2, 10.4, 13.6m/分の三元配置の繰糸実験の結果をプロットしたものである。糸故障間隔(分)は故障発生から次の故障発生までの平均時間である。糸故障時間割合(%)繰糸時間×3緒に対する糸故障で停止していた時間合計の割合である。

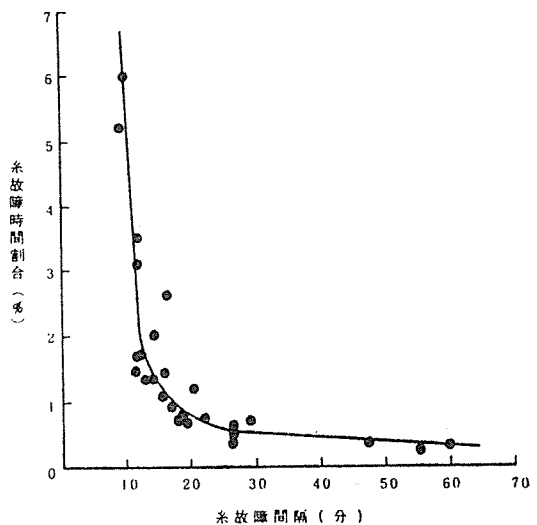


図6 糸故障間隔と糸故障時間割合との関係

図 6 から、本実験の場合、糸故障間隔が 20～30 分のあたりを境として、間隔が短くなるにつれ急速に能率を低下させるが、それ以上に間隔が長くなったとしてもその割には能率向上の傾斜はゆるやかであることがわかる。したがって、糸故障については、能率的には作業者の技能も勘案して適当な制限条件下で工程を運営するように最適生産条件を設定する方法がよいと思われる。

3. 最適化制御実験

3.1 最適繰糸温度の探索実験

プロセス解析の結果、糸故障データをある制限下に管理しながら接緒間隔の最大化をはかることがとりあえず実行可能な制御法であると考えた。そこで、このような制御法をコンピュータに実行させるためのプログラムを作成し、オンライン最適化制御実験を行って、実繰状態における最適値の自動設定が可能であるかどうかを検証した。

制御項目は繰糸温度のみとした。その理由は、繰糸速度は生産計画に応じて一定速度を維持すべき性質のものであると考えられること、緒糸巻取速度は繰糸実験の結果、高速あるいは低速に過ぎると収率、能率の低下をきたす傾向があり、本実験システムの場合、ほぼ 10.4m/分 の速度が最適であると判断されたこと、索緒温度は 75～85℃ の範囲での繰糸成績に及ぼす影響が少なかったこと、繰糸温度はその影響が最も大きかったこと、実験の複雑化は最初の段階ではできるだけさけるべきであると考えたこと等による。

最適値の探索方法は、試行法によることとし、評価量である接緒間隔の大小比較ができると同時に糸故障数が所定の制限値より大きい場合は負号となる目的関数（P）の最大化をはかる繰糸温度（ x ）を探索することとした。具体的には、40℃ の初期温度でスタートし、6℃ のステップ幅で温度を変えて目的関数の大きくなる方向をみいだしつつ最適点に近づくとステップ幅を 3℃ に縮小して最適値に歩み寄る方法をとった。ただし、探索範囲は技術的判断から 35～55℃ とした。また、糸故障制限数は 8 回/時とした。

繰糸条件は、目的織度を 27.5d、繰糸速度を 162.5m/分、索緒温度を 80℃、緒糸巻取速度を 10.4m/分 とした。データ収集時間は 1 時間単位とし、繰糸開始後 30 分間および温度変更後 10 分間のデータは用いないこととした。

表 4 は、春繭を用いた場合の実験結果で、コンピュータは初期設定温度 40℃ でスタートし、次に温度を 46℃ に変えて 40℃ の場合の P の値と比較し、40℃ の場合が大であったので 40±3℃ の場合と 40℃ の場合の P の値を比較し、40℃ の P の値が大であったことからそれを最適温度として探索を終了している。

表 4 実験結果（春繭）

試行順序	1	2	3	4
x (℃)	40	46	43	37
P	35.6	34.6	34.9	33.8

図 7 は、初秋繭の場合の実験結果で、コンピュータは同様に 40℃ と 46℃ の場合の P の値を比較し、46℃ の場合が大であったのでさらに温度を上げて 52℃ における P の値を 46℃ の場合と比較し、52℃ の場合が大であったことからさらに温度を 6℃ 上げるべきところであるが、上限 55℃ の制限条件があるためステップ幅を 3℃ にして 49℃ における P の値を 52℃ の場合と

比較し、52°C の場合が大であったのでこれを最適温度として探索を終了している。

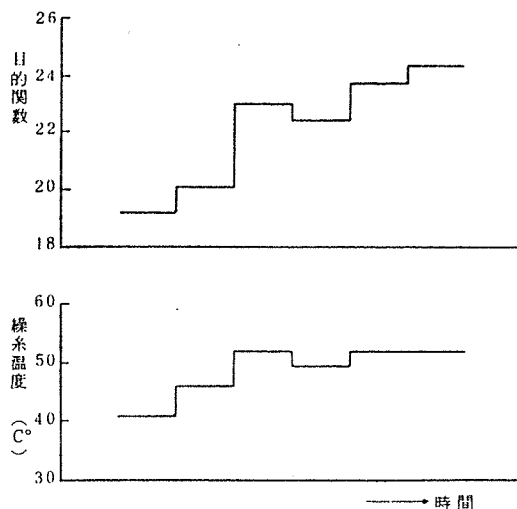


図7 最適繰糸温度の探索過程（初秋繭）

以上の実験結果は、解じょ良好な春繭は低温側で、解じょ不良な初秋繭は高温側で繰糸すべきであることを示しており、これは従来の繰糸技術からみてうなずける結果である。この実験では1変数に限定して試行的に最適値を求めたものであり、多くの要因が錯綜している工場規模のプロセスに直ちに应用することはできないとしても、製糸の分野で初めてオンラインで最適条件を自動的にみいだす実験を実行できたという点で、足掛りとしての意義があると考えている。

なお、この実験を通じて感じたことは、コンピュータは大量データを正確に即時に処理する点では人間の不得意とするところを補ってあまりあるが、どんな目的と条件のもとで具体的に何を実行し、結果をどう評価するかはあくまでも人間が考えなければならないという点である。コンピュータ化による技術者無用論はナンセンスであると感じた。

3.2 最適値の統計的判定法

実繰状態でオンライン最適化制御を実行する場合、最適値の適正な判定法をあらかじめ確立しておく必要がある。製糸工程においては、その確定的なモデル化が困難な現状からみて統計的なシステムとして取扱うのが最良の策であると考ええる。そこで、最適繰糸温度の探索過程で平均値の差の検定を行って最適値を判定するプログラムを作成し、繰糸実験によりその有用性を検証した。

制御目的は、ある制限以上の実繰時間割合を保持しつつ接緒間隔を最大にすることとし、一定時間ごとに接緒回数と糸故障時間をコンピュータで集計し、接緒間隔と実繰時間割合を算定した。原料繭は春繭を用い、目的繊度は27d、繰糸速度は300回/分、索緒温度は78°Cとした。繰糸温度は35、40、45、50°Cとし、各条件における実繰時間割合を求めるとともに、1分間単位の接緒間隔データを10分について平均したデータを10個ずつ用いて平均値の差の検定（t検定）を行うことにより成績の優劣を判定した。

表5に実験結果を示す。実繰時間割合については、その許容下限を95%としたが、いずれの条件の場合もこの値を上回った。接緒間隔については、分散の最大と最小の比をとると3.04で、

表5 実 験 結 果

項目 \ 温度	35°C	40°C	45°C	50°C
実操時間割合 (%)	99.2	98.5	98.8	97.6
平均接緒間隔 (秒)	25.2	29.0	31.5	30.0
分 散	4.50	12.06	13.68	9.30
分 散 比		3.04		
t	2.978	1.533	0.983	
備 考	$t = (18, 0.05) = 2.101$ $F_{\frac{\alpha}{2}}(0.025) = 4.03$ $t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$			

$F_{\frac{\alpha}{2}}(0.025) = 4.03$ より小であったので、平均値の差を検定することとし、35°Cと40°C、40°Cと45°C、45°Cと50°Cのそれぞれの場合のtの値を求め、 $t(18, 0.05) = 2.101$ と比較した。その結果、35°Cと40°Cの場合の平均接緒間隔に有意差が認められたほかは有意差が認められなかったことから40°Cを最適値と判定した。もし、平均値の差の検定を行わずに単純に平均値の大小を比較したとすると45°Cを最適値とみなすことになるが、この場合には、有意でないわずかの接緒間隔の増減を問題にすることとなり、場合によっては最適値をみいだせずに実験をいつまでも繰り返す結果となったり、必要以上に高い温度を最適値と判定してエネルギーを浪費する結果となる危険性をはらんでいる。

以上のことから、最適値の判定に際しては、統計的な判定方法を活用するのが最良の策であると判断した。この考え方を多変数系の最適化の場合に適用するには、直交表を利用した実験計画法の採用、多変量解析法の導入など、各種の統計的手法の応用によって道が開かれるものと考えらる。

お わ り に

生産性の向上と安定操業技術の確立を目指すことが今後とも製糸技術に課せられている重点目標であると考えられる。そのためには、機械開発は勿論のこと、工程管理の自動化、なかんずく最適化制御システムの開発を急ぐ必要があると思う。

今回はそのシステム開発の到達点の概略を報告したが、今後の課題としては次の諸点があげられる。

- (1) 煮繭工程管理系と用水管理系を含む多変数系へのシステム拡張のためのプロセス解析
- (2) 統計的手法に基づく有効な制御法とソフトウェアの開発
- (3) 張力計をはじめとして製糸工程の実態に適した情報収集用の計測器の開発
- (4) 中間規模のシステム開発と実用規模のシステム設計

しかし、この分野の開発研究は方法的にも装置化の面でもあまりにも守備範囲が広く簡単に

はいかない。とりわけ1研究機関における取組みには施設のにも要員の面でも限度があるので研究の連携体制の確立が強く望まれる。