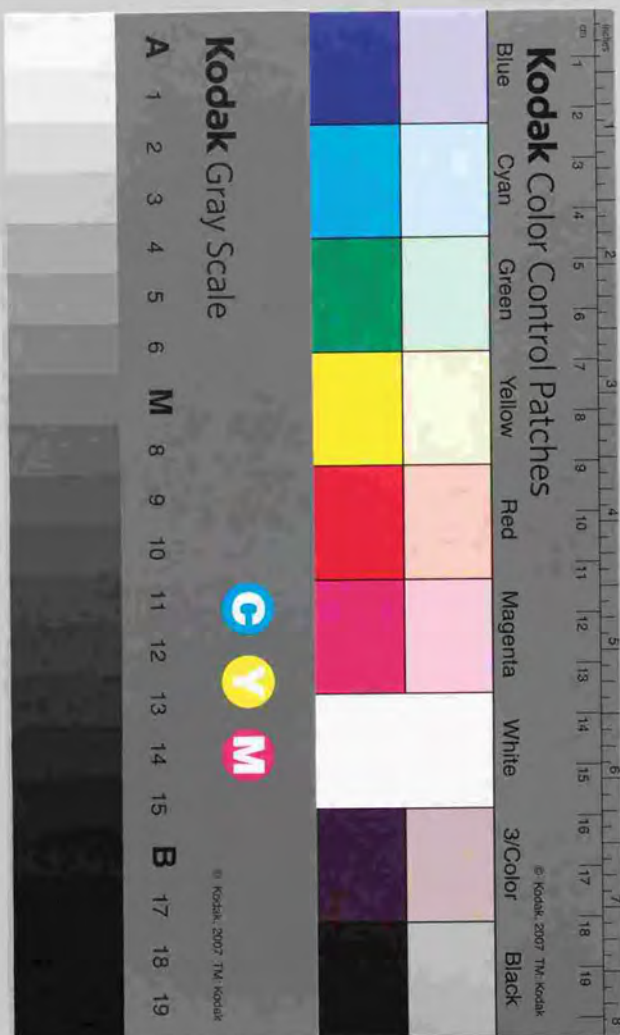


ファジー理論による生糸生産工程の計測制御
に関する研究

但馬 文昭



ファジー理論による生糸生産工程の計測制御に関する研究

但馬 文昭

目 次

緒論	1
第1章 第3次修正を含めた煮繭工程の制御支援システム	
1.1 煮繭工程の制御支援システムと煮繭・繰糸・揚げ返し工程	19
1.2 ファジー推論による制御温度パターンの導出	31
1.3 ファジー理論を応用したAHP法による制御温度パターンの導出	52
第2章 繰糸工程における解じょ張力の計測と解析	
2.1 実繰下における解じょ張力計測による有効接緒の認識	73
2.2 煮繭条件と実繰下における解じょ張力及び繰糸成績との関係	87
第3章 揚げ返し工程における生糸の節検査	
3.1 生糸の節の種類識別に与える2方向計測条件の影響	101
3.2 生糸の節形状波形からの特徴量の抽出とその特徴平面における分布	120
3.3 生糸の節の種類識別のためのファジー識別規則の生成	133
3.4 ファジー識別規則による生糸の節の種類識別	148
3.5 節識別システムによる生糸の節検査	161
3.6 揚げ返し工程における生糸の節検査	173
第4章 ファジー理論に基づく制御支援システムによる生糸生産工程の制御	
4.1 第1次・2次修正法による煮繭工程の温度制御	178
4.2 第3次修正法による煮繭工程の温度制御	193
総合考察	204
総括	212
引用文献	217

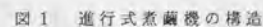
緒 論

製糸業は繭から繭糸を解きほぐし、それら数本を1本に収束抱合して生糸を生産する産業である。製糸業において生糸の生産工程の機械化、自動化は次のように進展した。すなわち、繭から生糸をほぐし、生糸を繰製する繰糸機は、手作業による座繰りに始まり、ほぼ自動的に接緒できる自動繰糸機へと改良された。この結果、明治から昭和のはじめにかけての労働集約的生産から徐々に脱却し、100緒以上の生糸を同時に繰糸する繰糸機を作業員1人で担当できるまで自動化され、今日に至っている（福田, 1990; 本多, 1985）。

しかし、最近の製糸業を取り巻く情勢は社会的にも技術的にもきびしい（蚕糸絹年鑑, 1995）。養蚕農家の減少に従い、国内の産繭量が減少し、品質の均一な大口の荷口は望めない。また、産地の異なる小規模荷口の繭の合併により、大口とするため、全体として繭の性状の変動幅が大きくなっている。さらに、品質の劣る輸入繭の使用を余儀なくされている。このため、煮繭制御技術が複雑化し、制御技術の高度化が求められている。加えて、労働者の不足から経験の浅い煮繭技術者が業務を担当するという情勢が一層問題の解決を困難にしている。

このような背景から、製糸技術の革新が望まれ、煮繭工程の自動化を目指して、工程内個々の計測制御技術の開発（高林, 1980a-1991; 高林, 1982a-1986; 西出, 1976a-1978; 西出ら, 1985a-1987）や工程の自動制御の研究（関島ら, 1972; 寺島, 1980）等が行われてきた。しかし、これまでの研究成果が徐々に採り入れられつつあるものの、今日なお製糸工場における煮繭工程の制御は、熟練工務担当者の経

煮菌工程は図のように概ね5部に分かれる。これらの外観を図2、図3に示す。各部の機能は次のとおりである。浸漬部では比較的低温の湯（約50-85℃）に菌を浸して水分を含ませる。触蒸部では高温の水蒸気により菌を加熱し、菌層内の空気を追い出す。浸透部ではやや低い湯に浸して水分を菌層全体に吸い込ませる。蒸煮（熟成）部では高温の水蒸気により菌層内の水分の温度を上げ、セリシンを柔らかくする。調整部では菌を徐々に低温の湯に浸し、煮熟の進行を抑え、菌層全体として均一な煮熟状態となるようにする。なお、



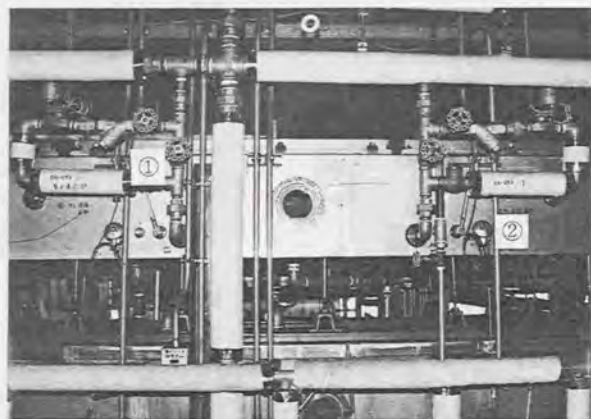


図 2 (A) 煮菌機の浸漬部

①温度調節蒸気バルブ, ②温度センサ

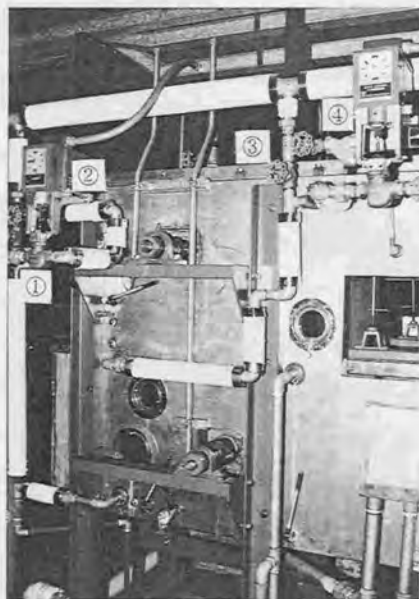


図 2 (B) 煮菌機の触蒸部および浸透部

①浸透部温度調節蒸気バルブ, ②浸透部温度制御装置
③触蒸部温度調節蒸気バルブ, ④触蒸部温度制御装置

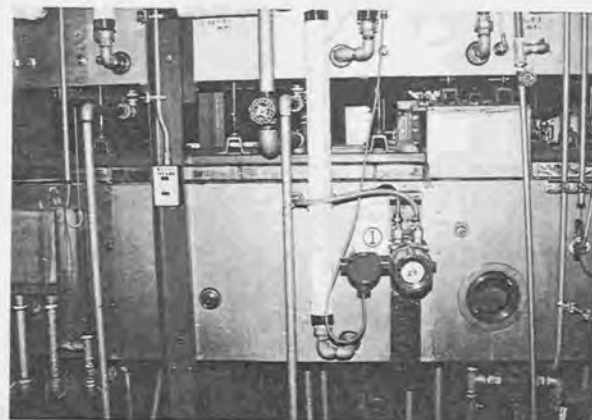


図 3 (A) 煮菌機の蒸煮(熟成)部

①水頭圧調整装置

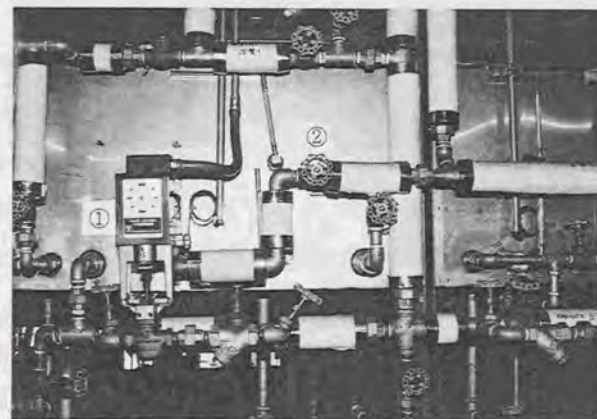


図 3 (B) 煮菌機の調整部

①温度制御装置, ②温度調節蒸気バルブ

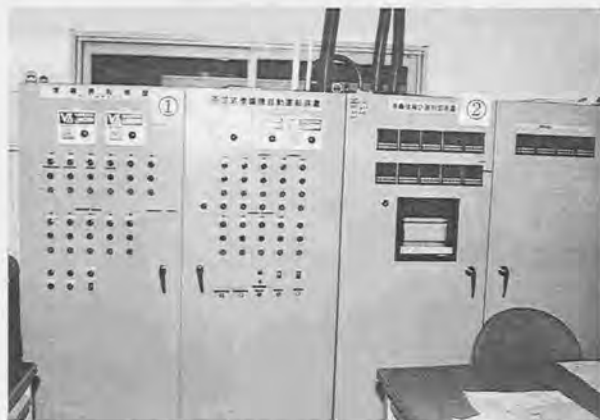


図4 煮繭の集中監視制御装置

①煮繭機自動運転装置（シーケンス）

②煮繭機工程各部温度計測設定調節計

煮繭条件の内、温度の制御は図4で示す集中監視制御装置により集中的に管理される。

（2）繰糸工程

繰糸工程は繭から繭糸を解きほぐし、数本を1本の生糸に収束抱合して生糸を繰製する工程である。この処理は繰糸機により行われる。その原理を模式図として図5に示す。図は数個の煮熟繭から解離された繭糸が集緒器で1本にまとめられ、チャンネルにより撚りをかけられ収束抱合されて小枠（繰枠）に巻きとられる様子を示している。繰糸工程では、繰糸中あるいは繰糸終了後、生糸の生産成績を表す3要因（木村ら、1964）の指標となる繰糸成績が多数測定できる。その一部を表1に3要因と対比して示す。ただし、厳密に繰糸成績の各項目がそれぞれの要因と対応している訳ではなく、糸故障回数のように品質との関係も指摘される項目もある。

なお、本研究で使用した自動繰糸機の外観を図6に示す。

（3）揚げ返し工程

揚げ返し工程は繰枠に巻き取った生糸を周囲1.5mの大枠に巻き返して一定の長さ、幅、重量の繰（かせ）にすることを目的とする。繰枠の枠角部の生糸はセリシンで固着しているから、揚げ返し前または揚げ返し中に繰枠湿しを行って、繰枠の生糸の表面に水分を付け、セリシンを軟化膨潤して固着をほぐれやすくする。

（4）生糸検査

生糸検査における主たる検査項目は織度、節検査である。従来、糸むらが検査項目のひとつであった。しかし、近年、生糸検査規則が改正され、織度に統合された。織度検査ではボビンから採取した織度糸の織度のばらつき（織度偏差）を調べる。節検査では採取し

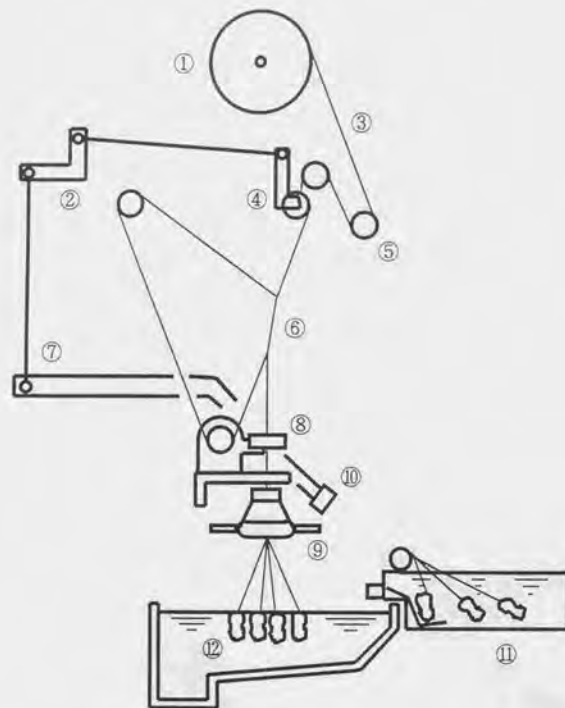


図5 自動繰糸機の原理

- ①小枠, ②感知クランク, ③生糸, ④繊維感知器,
 ⑤ストップレバー, ⑥チャンネル縫り, ⑦接緒程,
 ⑧集緒器, ⑨接緒器, ⑩接緒程, ⑪給繭槽, ⑫煮熟繭

表1 生糸生産の3要因と主な繰糸成績

3 要因	繰糸成績
生糸の 生産能率	糸故障回数, 索抄緒効率, 解じょ率, 解じょ糸長
歩留まり (収率)	生糸量歩合, 緒糸量, 蛹しん量, 繭糸長, 揚り繭量
品質	大中節個数, 小節点, 繊維度偏差, 糸むら*

*1995年6月28日に改正された生糸検査規則が公布された。

改正により糸むらは繊維度偏差に統合された。

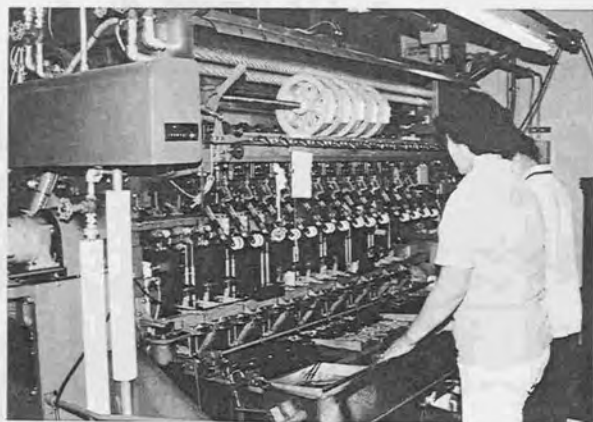


図 6 自動繰糸機

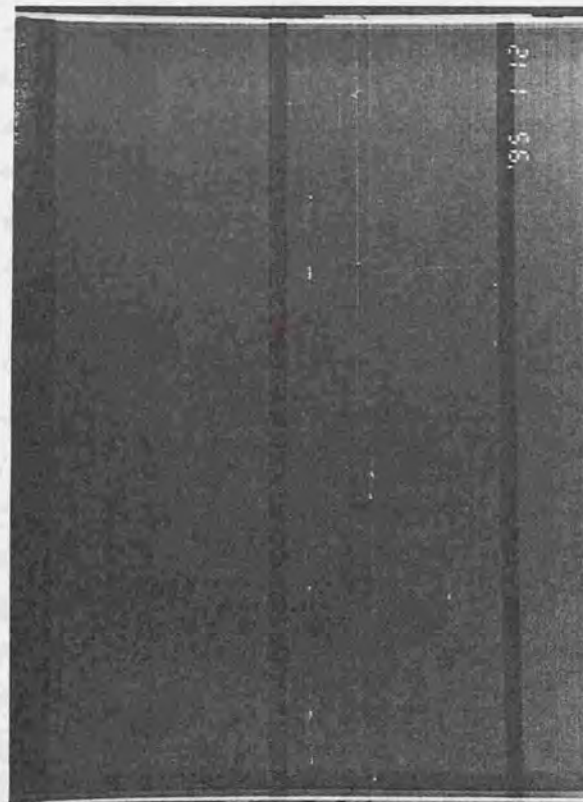


図 7 セリプレーンパネルに巻かれた生糸と節

た生糸をセリプレーン（図7）と呼ばれるパネルに巻き付け、検査員の目視により節の種類と数を調べ、点数評価する。

〔5〕生糸生産工程の問題点の検討

生糸の生産成績は3要因（木村ら、1964）あるいは3要素（高林ら、1982a）と呼ばれる生糸収率、繰糸能率、生糸品質により構成され、評価される。これらの要因の指標となる量はそのほとんどが繰糸工程を経て繰糸成績として定量的に得られる。しかし、節成績等、生糸検査（工場の自主検査も含む）の後をはじめて得られる項目もある。

一方、生糸の生産成績を決定する因子は種々あるが、煮繭工程における処理の適否がその後の工程で得られる生産成績を決定してしまうため、その適正な制御は重要な問題である。

煮繭工程の制御法としては、生産成績と煮繭条件との関係を分析して制御規則を見出し煮繭条件を制御する、いわゆるフィードバック制御（高橋、1968）を行う以外に方法はない。このような観点からフィードバック制御を基本とする煮繭工程の制御方法を製糸工程の持つ特殊性を考慮して嶋崎（1970）、関島ら（1972）、高林（1985b）が検討し、提案している。これらの方法は第1次修正、第2次修正の2重の帰還経路を持っている。しかし、生糸品質に係わる帰還経路がなく、品質改善要求に応える制御の実現が困難である。これが第1の課題である。

生産成績を改善するためには繰糸成績をできるだけ速やかに測定し、煮繭条件を制御する必要がある。しかし、これらの項目は繰糸中、繰糸後あるいは生糸検査後に得られる等、計測できる時間にずれがある。当然のことながら、早い時点で得られる項目の結果は遅いものに比較して適正な制御をするためには信頼性が低い。このよ

うな観点から、生産成績の項目を計測できる各工程と対応させて分け、これらの項目と関係する煮繭の計測制御に関する過去の研究を分析する。

生産成績の諸項目は計測できる時点から煮繭前後、繰糸中および繰糸後、生糸検査後の3つに区分できる。煮繭前後では乾繭あるいは煮熟繭の触感や色、煮熟状態等の定性的評価により初期煮繭条件の設定および制御が行われる。この時点で計測し、煮繭制御を目的とした研究には煮熟前後の繭重量の比等を使用するものとして中西ら（1946）、小野ら（1967）、中山（1973）、高林（1985b）の報告があるが、精度上問題があることも指摘されている。一方、工務担当者の触感による繭の煮熟度の評価方法に範をとり、これに代わるものとして高林らは鋼球に対する弾性特性（1982a）、レオロジー特性（1982b）、インパルス応答（1982c、1982d）による評価方法を提案している。

繰糸中および繰糸後に計測できる項目（繰糸成績）には、生糸糸長、接緒回数、糸故障回数、繰糸回転数、解じょ張力、緒糸量、蛹しん量等多数に及ぶ。過去の研究はこれらの項目について、計測の自動化や新たな計測方法の開発に重点を置くものと、項目と煮繭条件との関係を分析することにより適正な煮繭の制御規則を見出すことを目的とするものとに分けられる。

前者には解じょ張力、有効接緒、実繰解じょ率等の計測に関する報告がある。解じょ張力に関しては張力の平均値を煮熟度の指標とするものに和久田（1926）、林（1935）、中川（1950）の報告がある。張力の平均値およびパルス性の変化に着目し、高林（1980-1985b）は解じょ張力の平均値・標準偏差、実繰解じょ率の計測について報

告している。さらに、実線下において繰糸張力パルスを計測し、繭の煮熟状態の計測制御を行っている。

後者には、糸故障回数、緒糸量等の不連続量である測定項目と煮熟条件との関係を実験計画法や統計的解析法に基づいて分析した報告（嶋崎，1953a-1956b，嶋崎ら，1957a-1958b，1952a-1953c）がある。そこでは、煮熟条件と繰糸成績の関係を実験計画法に基づく実験により分析し、煮熟工程を制御する上で基本となる制御規則を見い出している。嶋崎（1961）はまた、統計的手法により接緒管理の重要性を見い出している。これは製糸工場における工程管理の基本となっている。

生糸検査後には生糸の品質の指標となる項目として織度偏差、糸むら、節成績等が得られる。この検査は工場でも行っているところがあるが、多くの手数がかかるため自動化が要望されている。また、第1の課題として指摘したとおり、煮熟、繰糸からの時間遅れが大きいため、検査結果を帰還し、煮熟工程を制御することはほとんどできない状況にある。ただし、織度偏差の問題に関しては繰糸工程において解決するために、張力から織度を推定する研究（柳原，1956）、織度感知器の解析（三戸森，1961）あるいは織度制御（西出，1978）の研究が行われている。

生糸検査の自動化を目指して、ウースター社により検査装置が開発されている。しかし、前川（1981）によれば、織度はある程度可能であるが、節検査についてはほとんど種類識別はできないことが報告されている。一方、生糸検査の自動化に関する研究には清水ら（1978）、石黒ら（1993）がある。特に、節検査については研究が緒についたところであり、節成績を改善する目的で節成績を煮熟工

程に帰還し、煮熟工程を制御する試みは木下ら（1990）によりシミュレーション実験として行われているにすぎない。従って、節成績改善のために制御の時間遅れを縮小して煮熟工程を制御する研究が求められている。

以上概観した各区分に関する研究から、多くの項目を計測する必要があることがわかる。これらの計測結果に基づいて煮熟の制御を行うためには、計測項目と繰糸成績の関係を的確に短時間で分析し、制御規則を見い出さなければならない。その方法として、計測が容易で常時計測でき、生産成績と関係する多くの情報量を含んだ少数の項目に減らす方法と統計的手法により多数の項目を少数の項目に集約する方法が考えられる。前者の方法としては煮熟度との関係がすでに明らかにされ、繰糸工程において常時連続計測可能である点から解じょ張力が項目のひとつとして有望視される。しかし、そのためには、これを実線下において計測し、他の繰糸成績項目との関係を明らかにする必要がある。これが第2の課題である。

後者の方法としては回帰主成分分析法の応用が考えられる。煮熟条件と生産成績は複雑な相互作用を伴って関係している（木下，1980）ため、個々の対応関係による制御規則に従って制御することは困難である（寺島，1980）。このような観点から嶋崎（1961）、木下ら（1979，1980）は煮熟条件と繰糸成績との関係を統計的に分析している。とくに、木下は煮熟、繰糸の関係を多入力-多出力とみて多数の入力項目を回帰主成分分析法により少数の互いに独立な主成分（温度パターン）に集約し、繰糸成績との関係を分析している。この手法は温度パターンを評価することにより煮熟条件制御の方向を表す制御規則を見い出すには有効であると考えられる。しかし、煮熟工程を制

御するには、さら制御規則に従って具体的に制御する方法（操作量）が必要となる。現在のところ、その方法は具体的に示されていない。これが第3の課題である。

以上、本研究で掲げる課題は次の3つに整理できる。

- ① 節成績を含めた生糸生産の3要因評価による煮繭工程の制御法。
- ② 実操下における解じょ張力を指標とする煮繭工程の制御の検討。
- ③ 温度パターン評価による制御規則導出とその規則に基づく煮繭工程制御の操作量の導出。

これらの課題を解決するためにファジー理論（ZADEH, 1965）の応用を検討した。ファジー制御（ZADEH, 1973; MAMDANI, 1974, 1976）により、従来の制御方法では困難であったプロセス等の制御が可能となる例の報告（YU et al., 1990）がなされている。この理由は、次のように説明されている。従来の制御方法は厳密な数式により工程の特性が記述できることを前提としていた。しかし、実際の工程は単純な数式で表現することが一部の単純な場合を除いてほとんどの場合できない。にもかかわらず実際に稼働している化学プラント等の実際のシステムはファジー技術が出現する以前からこのような取り扱いなしに構築されてきている。これは、工程の分析結果や経験則に基づいて制御規則が構築されてきたことによるものである。

ファジー制御は制御規則を定性的な if-then 形式で記述し、ファジー推論（MIZUMOTO et al., 1982）により制御する方法である。従って、工程等の特性を厳密な数式で記述する必要はなく、専門家の知識に基づく制御規則を if-then 形式で表すことにより制御するものである。このことから、複雑な工程の制御には適切であると考えられる。

統計的手法によるセメント生成炉の制御の報告（OTOMO et al.,

1972）もなされているが、多くの工程解析が必要とされ、容易でない。これに対し、同一のプロセスの制御装置がファジー制御により実用化（水本, 1988）されていることは両者の違いの一端を示すものと解釈される。

一方、生糸の生産工程の現状に目を移すと、すでに課題を提示したとおり、原料繭の性質と生産条件、生産成績の関係は複雑な相互作用を伴っており、数式等による厳密な形式で表現することは困難である。また、煮繭条件・繰糸成績の分析結果からも厳密な関係を得ることは困難で、定性的な関係が得られるにすぎない。このことから制御規則を導き、生糸の生産工程の制御を行うにはファジー技術の応用が適切であると考えられる。

以上から、提示した3課題について過去の種々の研究成果を踏まえた上で、次の方法により解決を試みた。

課題①については生糸の生産成績のうち節成績を揚返し工程においてファジー理論を応用して計測・識別し、その結果を煮繭工程制御の帰還経路に追加した第3次修正法を検討する。

課題②については解じょ張力検出器を作成して実操下において解じょ張力を測定し、他の繰糸成績項目との関係を分析する。

課題③については目的とする繰糸成績の改善に最も適合する温度パターンをファジー評価により導出し、そのパターンに基づいて煮繭条件を制御するファジー理論を応用した方法により操作量を導出する制御支援システムを構築する。

さらに、これを使用して煮繭工程の制御実験を行い、第1次、2次、3次修正法に基づく制御の基本的枠組みの一構成の有効性を立証する。

謝 辞

本研究を行うにあたり、終始ご指導を賜り、本稿のご校閲をいただいた東京大学農学部教授小林正彦博士、同助教授永田昌男博士に深甚の謝意を表する。また、本稿をまとめるにあたりご指導、ご校閲を賜った同教授鶴飼保雄博士、同教授瀬尾康久博士、同教授岡本嗣男博士に厚く感謝の意を表する。

節検査実験および研究をまとめるにあたり、ご指導、ご校閲を賜った農林水産省横浜農林水産消費技術センター（現、神戸農林水産消費技術センター）検査計測研究室長石黒善夫博士に多大な謝意を表する。

研究の当初から煮繭・繰糸実験実施にあたりご指導、ご協力いただいた農林水産省蚕糸・昆虫農業技術研究所機能開発部長西出照雄博士、同所企画連絡室研究技術情報官木下晴夫氏、同所生産技術部製糸技術研究チーム長高林千幸博士、大日本蚕糸会蚕糸科学研究所清水重人博士に厚く感謝の意を表する。さらに、煮繭・繰糸・揚返し実験にご協力頂いた農林水産省蚕糸・昆虫農業技術研究所生産技術部製糸技術研究チーム各位、並びに節検査にご協力頂いた横浜農林水産消費技術センター生糸検査部各位に深く感謝の意を表する。

研究の当初、実験にご協力いただいた東京工業大学附属工業高等学校教諭井上正也氏に厚く感謝の意を表する。また、論文をまとめるにあたり、ご協力いただいた長野県情報技術試験場長渡瀬久也氏、同設計技術部武久泰夫氏に厚く感謝の意を表する。

第1章 第3次修正を含めた煮繭工程の制御支援システム

煮繭工程を適正に制御するための支援システムの基本的枠組みとして第1次から第3次修正までの帰還経路をもつ煮繭工程の制御法について検討する。この方法は緒論で示した第3の課題の解決と深い関わりを持っている。1.1では第1次、第2次、第3次修正法による制御支援システムの基本構成を示す。1.2では、ファジー理論に基づく繰糸成績の4項目評価による煮繭条件制御支援システムを示す。1.3では繰糸成績の多項目評価による煮繭条件制御支援システムを示す。また、これらの支援システムの持つ得失についても検討する。

1.1 煮繭工程の制御支援システムと煮繭・繰糸・揚返し工程

本論文において煮繭工程の基本的制御法とする第1次・2次・3次修正法と煮繭・繰糸・揚返し工程の関係を示す。さらに、その制御法を支援システムとして構築するために必要な回帰主成分分析法の応用方法を示す。この応用方法は1.2、1.3で示すファジー理論による制御支援システムに共通するものである。

1.1.1 煮繭工程制御における第1次・2次・3次修正法

本論文を通じて煮繭条件制御における基本的制御法を図1.1に示す。これは第1次、第2次、第3次修正の帰還経路を持つ制御法である。第1次、第2次、第3次修正は煮繭・繰糸・揚返し工程で定量的に測定されるデータに基づいて煮繭工程を制御するものである。

図に示した制御法はフィードバック制御（高橋、1968）を基本としているが、生糸生産工程の特殊性も含んでいる。従って、厳密な意

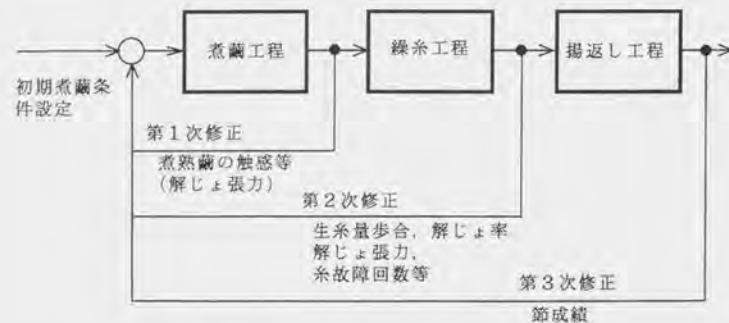


図 1.1 煮繭工程の基本制御法

味のフィードバック制御とは異なる。図において、工務担当者により繭の触感や検定解じょ率等に基づいて初期煮繭条件が設定される。煮繭が開始され、煮繭工程を経て煮上がった繭は繰糸工程において繰糸される。このとき、工務担当者の指頭により繭の煮熟度が判定されるとともに、繰糸開始直後の繰糸状態が適煮か否か判断される。適煮状態でないと判断されたときは煮繭条件が修正される。これが第 1 次修正である。なお、解じょ張力は繰糸開始直後から定量的に計測できるので、第 2 次修正だけでなく第 1 次修正にも加えた。

さらに、一定量の繰糸終了後、繰糸成績が測定され、その結果が製糸工場の基準に達していないと判断されたときは再び煮繭条件が修正される。これが第 2 次修正である。第 2 次修正では定量的に計測された繰糸成績の項目が多く、これに基づいて煮繭条件を修正するので、時間遅れは第 1 次修正より大きいが正確さの点ではすぐれている。なお、節成績については現状では、工場の自主検査を含めた生糸検査の後でないと結果が得られない。本論文では 3 章で示す揚返し工程において節成績を計測する装置を開発し、揚返し工程からの帰還経路として第 3 次修正を追加した従来にない煮繭工程制御方法を採用した。

1.1.2 煮繭工程制御支援システムと煮繭・繰糸・揚返し工程

煮繭、繰糸、揚返し工程と制御支援システムの関係を図 1.2 に示す。また、表 1.1 に制御支援システムの入力項目と出力項目を示す。入力項目は図 1.2 で示した第 1 次から第 3 次修正までの入力に相当し、各工程における測定項目を示している。出力項目は制御対象となる煮繭工程の各部の温度を示している。

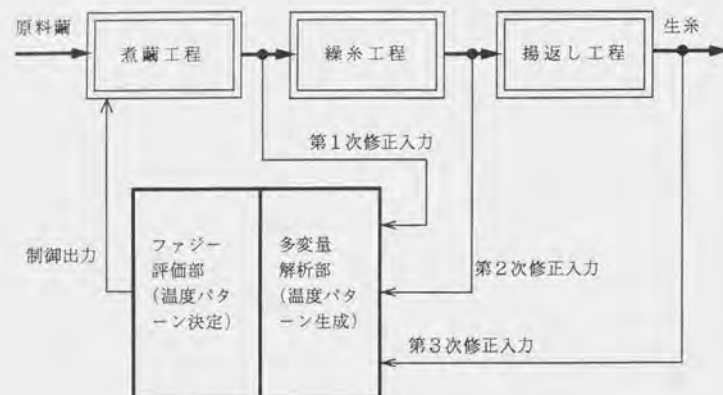


図1.2 支援システムと煮繭・繰糸・揚返し工程

表1.1 測定項目と出力項目

第1次修正	第2次修正	第3次修正	出力項目
浸漬部温度	索抄緒効率	大中節個数	浸漬部温度
触蒸部温度	繭糸長	小節点	触蒸部温度
浸透部温度	解じょ率		浸透部温度
蒸煮部温度	糸故障回数		蒸煮部温度
調整部温度	生糸量歩合		調整部温度
(解じょ張力)	揚り繭量		煮繭時間
	蛹しん量		繰糸回転速度
	緒糸量		
	解じょ張力		
	接緒回数		

初期煮蕪条件が設定された後、原料蕪が投入され煮蕪が開始される。煮蕪工程を経た煮熟蕪は直ちに繰糸される。このとき、繰糸成績あるいは繰糸状態に関する測定項目のデータが工務担当者によりシステムに入力される。システムは入力されたデータに基づいて煮蕪条件の制御方法を導出する。この出力結果に従って工務担当者が煮蕪工程を制御する（第1次修正）。同様に、第2次修正項目（繰糸成績）および第3次修正項目（節成績）が定量的に測定され、システムに入力された後、回帰主成分分析およびファジー評価を経て制御方法が導出される。これにより第2次、3次修正される。

第1次修正に必要な煮蕪工程で測定される項目は、煮蕪工程の5箇所の温度と解じょ張力である。また、第2次修正における入力項目は、繰糸成績8項目である。出力項目はシステムにより導出される制御方法の対象となる変数を表している。これらの制御方法はここでは「温度を上げよ」、「温度を下げよ」の意味を持たせた上下の矢印で示す。工務担当者はこの出力結果に従い、煮蕪条件の修正をする。

制御支援システムは図1.2に示すとおり回帰主成分分析部とファジー評価部の2つの部分より構成されている。回帰主成分分析部では第1次から第3次修正までの多入力・多出力の項目を回帰主成分分析法により分析する。その理由を次に示す。煮蕪条件は複雑な相互作用を伴って繰糸成績の結果に影響を及ぼす（木下ら, 1980）ため、煮蕪条件と繰糸成績の関係を個別に制御規則を記述する方法では的確な煮蕪工程の制御が困難な場合がある。例えば、蕪の性状により、触蒸部と調整部の両方の温度を高くした方が相乗的に煮熟度を高くでき、繰糸成績が改善されること（嶋崎, 1961）が挙げられる。

このような制御規則は煮蕪条件と繰糸成績の関係を統計的に分析することにより、的確に見い出すことができる。このことから木下ら（1980）は統計的手法である回帰主成分分析法により煮蕪工程の制御規則を見い出す研究を行った。そこでは、煮蕪条件と繰糸成績との関係を直接に分析するのではなく、回帰主成分分析法（奥野ら, 1976）により煮蕪条件を少数の互いに独立な温度パターン（奥野ら, 1976）に集約する。次に温度パターンと繰糸成績の関係を分析するという方法で明確に関係を分析している。これにより2, 3の煮蕪条件の制御規則を見い出している。

しかし、次の問題点が残されている。すなわち、見い出した制御規則は原料蕪の性状や製糸工場特性により変化すると考えられる。従って、そのような分析は原料蕪荷口や工場が変わるときにはその都度実施する必要がある。また、温度パターンと繰糸成績の関係を分析し、制御規則を見い出すためには分析結果の解釈と繰糸成績との関係を分析する専門知識が必要とされるだけでなく、処理に時間を要する。

これらの問題は回帰主成分分析法により集約された複数の温度パターンを次節（1.2, 1.3）で示すファジー理論により評価し、改善すべき繰糸成績に最も適合する温度パターンを決定して制御規則を導出する機能を持つ制御支援システムを構築することで解決できる。

1.1.3 煮蕪工程制御のための回帰主成分分析法の応用

次節以降で示す温度パターンのファジー評価による煮蕪工程の制御支援システムの構築の準備として回帰主成分分析法による温度パ

ターン導出方法を示す。

煮藏条件を入力（説明変数群： $\{x_i; i=1, 2, \dots, p\}$ ）とし、繰糸成績・節成績を出力（目的変数群： $\{y_i; i=1, 2, \dots, q\}$ ）とする。すなわち、 p 個の煮藏条件データ行列 X の分散行列 S_{11} と q 個の繰糸成績データ行列 Y の分散行列および X 、 Y の共分散行列 S_{21} を求め、固有方程式

$$|S_{12} \cdot S_{21} - \lambda S_{11}| = 0 \quad (1.1)$$

から固有値 λ および固有ベクトル L を算出し、回帰主成分 Z を

$$Z = XL \quad (1.2)$$

により求める。 Z は温度パターンを表す。

ここで、

$$L = (L_1, L_2, \dots, L_m) \quad (1.3)$$

である。ただし、 m は p 、 q の値の小さい方である。また、偏回帰係数 Γ を

$$\Gamma = S_{21}L \quad (1.4)$$

により求めると、繰糸成績 Y と Z との関係は

$$Y = \Gamma Z \quad (1.5)$$

と表すことができる。

これにより、 Y は互いに独立な温度パターン Z と Γ により関係づけられ、目的の繰糸成績 y_i を効果的に改善できる温度パターン z_i を見い出すことができる。

図1.3は(1.2)および(1.5)式の関係の説明する模式図である。図において、煮藏・繰糸工程を煮藏条件を入力、繰糸成績を出力とするシステムとして捉え、入力を X 、出力を Y 、温度パターンを Z で表している。これにより、 Y が Z を通じて帰還され、 X を

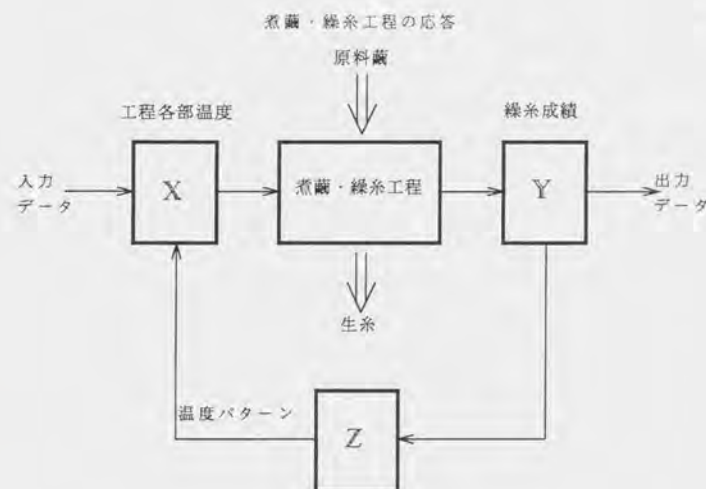


図1.3 煮藏・繰糸システム概念と温度パターン

表 1.2 煮蕪条件と繰糸成績の変数

条件	変数	繰糸成績	変数
浸漬部温度	X ₁	索抄緒効率	Y ₁
		蕪糸長	Y ₂
触蒸部温度	X ₂	解じょ率	Y ₃
		糸故障回数	Y ₄
浸透部温度	X ₃	生糸歩合量	Y ₅
		揚り蕪量	Y ₆
熟成(蒸煮)部温度	X ₄	蛹しん量	Y ₇
		緒糸量	Y ₈
調整部温度	X ₅	大中節個数	Y ₉
		小節点	Y ₁₀

表 1.3 繰糸成績データと定義

データ名	定義・説明
糸故障回数	繰糸工程で生糸が切れて小枠が停止した100,000m当りの回数または1試験区当りの回数
索抄緒効率	$\frac{\text{索緒された蕪の個数}}{\text{全蕪の個数}} \times \frac{\text{抄緒された蕪の個数}}{\text{索緒された蕪の個数}} (\%)$
解じょ率	$\frac{\text{供試蕪数} - \text{新蕪揚り蕪数} - \text{繰詰換算蕪数}}{\text{有効接緒回数}} (\%)$
緒糸量	索緒または抄緒によって取り出されたくず糸の重量(g)
蛹しん量	蕪層の最内層部に存在する薄い蕪糸層の重量(g)
揚り蕪量	繰糸不能または生糸品質を悪化させると判断され除かれた蕪の重量(g)
生糸量歩合	$\frac{\text{生糸正量} + \text{繰詰残蕪の生糸量}}{\text{原蕪量}} (\%)$
蕪糸長	$\frac{\text{生糸糸長の合計} \times \text{粒付}}{\text{供試粒数} - \text{揚り蕪換算粒数} - \text{繰詰換算粒数}} (\%)$
大中節個数	わ・さけ節、ずる節等比較的大きい節の個数
小節点	比較的小さい節を100点満点で評価

制御することが分かる。

本章では、木下ら(1980)と同様に表1.2に示すように煮繭条件として煮繭工程の各部の温度 x_i ($i=1, \dots, 5$)と繰糸成績として y_j ($j=1, \dots, 10$)を選定した。

なお、繰糸成績は種々の定義がなされているので、表1.3に本研究における繰糸成績の定義を示した。

1.1.4 摘要

製糸工場における煮繭工程の温度を制御するために第1次、2次、3次修正の3つの帰還経路をもつ基本制御法を検討した。また、その方法に基づく煮繭工程制御支援システムの基本的枠組みを示し、システムの実現要素のひとつとして回帰主成分分析法を応用した温度パターン導出法を示した。

なお、参考までに、煮繭開始時の初期煮繭条件設定を支援するシステムについては、木下ら(1989)により、煮繭技術者の経験に基づく知識やノウハウを規則化し、コンピュータに入力したエキスパートシステムが構築されている。従って、このようなシステムを使用することにより初期煮繭条件が設定できる。

1.2 ファジー推論による制御温度パターンの導出

本節では、前節で示した回帰主成分分析の結果得られる複数の温度パターンから目的とする繰糸成績を改善できる温度パターンを導出するために、ファジー理論に基づいて複数の温度パターンを評価し、目的の温度パターンを導出する方法について検討した。

製糸工場では、例えば生糸量歩合を45%と基準と定めて工場の管理を行っている。製糸工場における現在の操業状態において生糸量歩合がこの基準値を下回る場合、工務担当者は生糸量歩合を改善するために煮繭条件を制御する。このとき、工務担当者は工場の管理基準に照らしてどの煮繭の温度を制御することにより効果的に生糸量歩合を改善できるか適正に判断する必要がある。しかし、前節で触れたとおり、煮繭条件は相互(交互)作用を持っているため、単に生糸量歩合が改善されても他の繰糸成績、例えば品質に関わる節成績が悪化することが起こる。従って、互いに独立な温度パターンの影響を繰糸成績全体から判断した上で、適切な温度パターンを決定して煮繭条件を制御すればこの問題は解決できる。

そこで、本節では以下に示すファジー評価方法を検討した。煮繭条件と繰糸成績を回帰主成分分析して得られる複数の温度パターンを3つにしぼる。その温度パターンの繰糸成績に与える影響をファジー推論により評価する。温度パターンの中で最大の評価値のパターンを適正な温度パターン(以下、制御温度パターンとする)と判定する。また、その方法の妥当性をシミュレーション実験によって検証する。

1.2.1 材料と方法

(1) 煮蕪・繰糸実験データ

温度パターンの導出と煮蕪工程制御シミュレーション実験に使用した煮蕪・繰糸実験の測定データは木下ら(1980)を使用した。ただし、解析の際には繰糸成績の変化の方向を統一するため前処理を加えた。

(2) ファジー理論による温度パターン評価の方法

回帰主成分分析を行う煮蕪条件と繰糸成績の項目は表1.2とする。ただし、煮蕪条件と繰糸成績とは(1.2)式および(1.5)式の関係があり、 y_i ($i=1,2,\dots,q$) はすべて正で値が大なるほど成績が良好であるとする。これは制御温度パターン決定のためのファジー理論の前件部の入力変数の順序変更に伴う後件部の変更を必要としないための処置である。この処置は回帰主成分分析前に処理する。

煮蕪・繰糸実験結果から得られるデータについて回帰主成分分析し、得られた温度パターンに対応する偏回帰係数 Γ のうちこれらに対応する固有値の大きい順に係数列3組を選定する。係数列 Γ は5組得られるが、そのうち3組の繰糸成績への寄与率は全体の約90%以上に達するため残りの2組は考慮しないこととする。温度パターンと煮蕪条件、繰糸成績の関係を図1.4に示す。図から明らかなように煮蕪工程各部の温度と繰糸成績の各項目の関係を個々に分析し、煮蕪条件を制御するのではなく、まず、温度と繰糸成績の中間に互いに独立な3つの温度パターン z_1, z_2, z_3 を回帰主成分分析により求める。次に、これらのパターンをファジー理論により評価し、評価値が最大の温度パターンを工場の管理基準に最も適合する温度パターンとする。

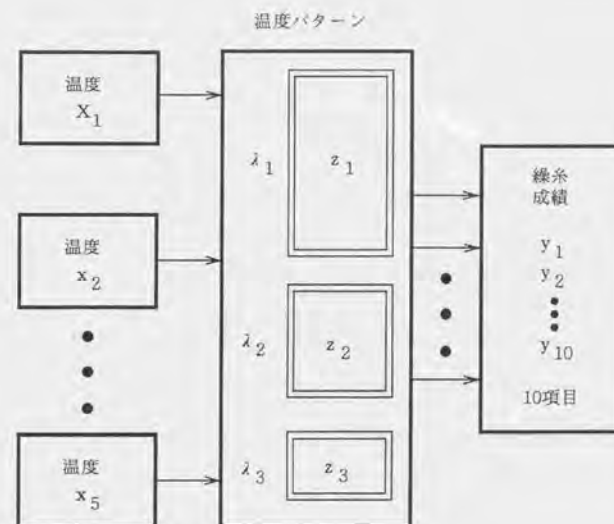


図1.4 煮蕪工程の温度と繰糸成績の関係

いま、得られた偏回帰係数のうち固有値 λ の大きい順に温度パターン z_1, z_2, z_3 に対応する偏回帰係数の列3組($\gamma_1 \sim \gamma_3$)を求める。その結果を表1.4 (A)とする。

一方、繰糸成績を判定する上で、重要な項目を工場の管理基準に基づいて、例えば生糸量歩合、大中節個数、解じょ率、糸故障回数
の4項目を選定する。実際、これらの項目は製糸工場で最も重要視されているものであり、この4項目に基づいて蒸繭条件を制御することは十分実用的である。さらに、工場の実態に合わせてこれらの4項目中で改善の優先順位をつけ、その順位に従って $\alpha_{i,j}$ ($i=1,2,\dots,10; j=1,2,3$)を i について並べ変える。この結果を表1.4 (B)とする。表には4項目のみの係数を示している。制御温度パターンはこれら3組の偏回帰係数列に対応する温度パターンの中から選択する。ここで、 Γ は繰糸成績 Y と温度パターン Z を関係づける(1.5式参照)係数であるが、厳密に関係づけるものではなく、 Z が Y に与える影響の度合いの大きさをあいまいさを伴って表していると考える(田中,1990)。

繰糸成績 y_i はすべて正で値が大なるほど良好であると定義されているから、温度パターン z_j に対応する偏回帰係数列集合を E_j とすると、制御温度パターン z_j^* は少なくとも次式を満たす偏回帰係数列集合 E_j^* に対応する温度パターンである。

$$E_j^* = \{ \beta_{i,j} \mid \beta_{1,j}, \beta_{2,j}, \beta_{3,j}, \beta_{4,j} \geq 0 \quad \text{または}$$

$$\beta_{1,j}, \beta_{2,j}, \beta_{3,j}, \beta_{4,j} < 0, j=1,2,3 \} \quad (1.6)$$

しかし、必ずしもこのような E_j^* が導出されるとは限らない。この一例として表1.4 (C)を掲げる。これは木下ら(1980)の測定デ

表1.4 (A) y -変数の偏回帰係数

y -変数	γ_1	γ_2	γ_3
y_1	$\alpha_{1,1}$	$\alpha_{1,2}$	$\alpha_{1,3}$
y_2	$\alpha_{2,1}$	$\alpha_{2,2}$	$\alpha_{2,3}$
y_3	$\alpha_{3,1}$	$\alpha_{3,2}$	$\alpha_{3,3}$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
y_{10}	$\alpha_{10,1}$	$\alpha_{10,2}$	$\alpha_{10,3}$

表1.4 (B) y -変数の偏回帰係数

y -変数	γ_1	γ_2	γ_3
y_1 (糸故障回数)	$\beta_{1,1}$	$\beta_{1,2}$	$\beta_{1,3}$
y_2 (生糸量歩合)	$\beta_{2,1}$	$\beta_{2,2}$	$\beta_{2,3}$
y_3 (解じょ率)	$\beta_{3,1}$	$\beta_{3,2}$	$\beta_{3,3}$
y_4 (大中節個数)	$\beta_{4,1}$	$\beta_{4,2}$	$\beta_{4,3}$

表1.4 (C) 偏回帰係数と y -変数の関係

y -変数	γ_1	γ_2	γ_3
y_1 (生糸量歩合)	0.346	0.276	-0.261
y_2 (大中節個数)	0.409	0.217	0.459
y_3 (解じょ率)	-0.324	-0.004	-0.100
y_4 (糸故障回数)	-0.232	-0.310	0.354

ータから求めた結果である。表より、第1温度パターン z_1 に対応する偏回帰係数列 γ_1 は生糸量歩合 y_1 および大中節個数 y_2 に対しては(1.6)式を満たすが、解じょ率 y_3 、糸故障回数 y_4 は満たしていない。第2、第3温度パターンに対応する偏回帰係数列 γ_2, γ_3 についても同様である。そこで、ここでは(1.6)式を完全に満たさないまでも、 E_j の E_j^* に対する適合度(評価値)を求め、その適合度が最大の E_j^* に対応する温度パターン z_j^* を制御温度パターンとすることとした。この適合度は以下の手順でファジー理論による温度パターン評価により求めた。なお、この適合度はファジー評価規則への適合度と区別するため、評価値または選択レベルとする。

(3) 偏回帰係数の離散ファジー集合による定義

偏回帰係数 β_{ij} に対してファジー集合を離散型として表1.5(A)のように定義する。ここで、 β_{ij} については次の関係がある。

$$\sum_{i=1}^{10} \beta_{ij}^2 = \lambda_j \quad (j=1, 2, 3) \quad (1.7)$$

ところで、 λ_j は第 j 回帰主成分の固有値である。従って、(1.7)式から β_{ij}^2 の平均値 $\beta_{...}^2$ は

$$\beta_{...}^2 = \lambda_j / 10 \quad (1.8)$$

と考えられるから、正符号のみについて

$$\beta_{...} = \sqrt{\lambda_j / 10} \quad (1.9)$$

となる。これらを勘案し、 β_{ij} を $\beta_{...}$ により正規化し、3倍して表1.5(A)のファジー変数の台集合 n と対応させることとした。すなわち、

$$n = 3 \beta_{ij} / \beta_{...}$$

$$= 3\sqrt{10} \beta_{ij} / \sqrt{\lambda_j} \quad (1.10)$$

である。

これより、 β_{ij} から n が決定されると、それに対応するファジー変数(PB, ZO, NB)が表1.5(A)から求まり、その適合度が定まる。適合度は一般に[0, 1]が使われるが、ここでは10倍した値をとっている。ファジールールの結論部の温度パターン決定レベル $B_{k,j}(y)$ についても同様にファジー変数と考え、これに離散ファジー変数(表1.5(B))を対応させた。

(4) 制御温度パターン導出のためのファジー評価規則

4つの偏回帰係数に対応するファジー変数4つを条件部に持つファジー評価規則(ファジールール)は図1.5に示すものを使用した。このルールは条件部の偏回帰係数 β_{ij} が

$$\beta_{1,1} > \beta_{2,1} > \beta_{3,1} > \beta_{4,1} \geq 0$$

または

$$\beta_{1,1} < \beta_{2,1} < \beta_{3,1} < \beta_{4,1} < 0 \quad (1.11)$$

を満たす組合せに対応する温度パターン j に高選択レベルが与えられることを考慮してファジー変数(PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB)を定めた。なお、結論部の $B_{k,j}(y)$ は第 k ルールにおける第 j 温度パターンの評価値(選択レベル)を表す。ルールの数は81個である。

(5) ファジー推論の方法

ファジー推論法としてはMAX-MIN合成重心法(菅野, 1988; 坂和, 1989)を採用している。

表 1.5 (A) 離散ファジー変数 (条件部)

ファジー 変数	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	7	9	10
ZO	0	1	3	5	7	9	10	9	7	5	3	1	0
NB	10	9	7	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0

表 1.5 (B) 離散ファジー変数 (結論部)

ファジー 変数	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6
PB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	10
PM	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	10	7	3
PS	0	0	0	0	0	0	3	7	10	7	3	0	0
ZO	0	0	0	0	3	7	10	7	3	0	0	0	0
NS	0	0	3	7	10	7	3	0	0	0	0	0	0
NM	3	7	10	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0
NB	10	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

R₁: if $\beta_{1,j} = \text{PB}$ and $\beta_{2,j} = \text{NB}$ and $\beta_{3,j} = \text{NB}$
and $\beta_{4,j} = \text{ZO}$ then $B_{1,j}(y) = \text{PB}$

R₂: if $\beta_{1,j} = \text{PB}$ and $\beta_{2,j} = \text{NB}$ and $\beta_{3,j} = \text{NB}$
and $\beta_{4,j} = \text{ZO}$ then $B_{2,j}(y) = \text{PB}$

R₃: if $\beta_{1,j} = \text{PB}$ and $\beta_{2,j} = \text{NB}$ and $\beta_{3,j} = \text{NB}$
and $\beta_{4,j} = \text{PB}$ then $B_{3,j}(y) = \text{PB}$

.

.

.

R₈₁: if $\beta_{1,j} = \text{PB}$ and $\beta_{2,j} = \text{NB}$ and $\beta_{3,j} = \text{NB}$
and $\beta_{4,j} = \text{PB}$ then $B_{81,j}(y) = \text{ZO}$

図 1.5 ファジー評価規則

いま、回帰主成分分析の結果得られた第 j 温度パターンに対応する繰系成績 4 項目についての偏回帰係数をファジールールの入力として第 k ルールの条件部全体に対する適合度 ω_{kj} を次式により求める。

$$\omega_{kj} = A_{k1}(\beta_{1,j}) \wedge A_{k2}(\beta_{2,j}) \wedge A_{k3}(\beta_{3,j}) \wedge A_{k4}(\beta_{4,j}); k=1, 2, \dots, 81 \quad (1.12)$$

ここで、 $A_{ki}(\beta_{i,j})$ ($i=1, 2, \dots, 4$) は第 k ルールの条件部の i 番目のファジー変数への偏回帰係数 $\beta_{i,j}$ の適合度を表す。 \wedge は論理積 (MIN) を表す。また、推論結果としてファジールール全体の第 j 温度パターンの評価値 $B_{0j}(y)$ は次式により求めた。

$$B_{0j}(y) = [\omega_{1j} \wedge B_{1,j}(y)] \vee [\omega_{2j} \wedge B_{2,j}(y)] \dots \vee [\omega_{81j} \wedge B_{81,j}(y)] \quad (1.13)$$

なお、 \vee は論理和 (MAX) を表す。

ファジー推論はここまでで終了するが、具体的な数値としての第 j 温度パターンの評価値 y_{0j} は $B_{0j}(y)$ を次式により非ファジー化して求めた。

$$y_{0j} = \frac{\int B_{0j}(y) y dy}{\int B_{0j}(y) dy} \quad (1.14)$$

煮繭の制御温度パターンは、(1.13) 式で得られた 3 つの温度パターンの評価値 y_{0j} ($j=1, 2, 3$) のうち最大のものに対応するパターンを制御温度パターン Z^* とする。すなわち、

$$Z^* = \max_j \{ y_{0j} \} \quad (1.15)$$

である。ここで、 y_{0j} は負の値もとるのでその絶対値を求めている。 y_{0j} が負であるときは温度パターンの向きは正の時とは逆向きにする。

1.2.2 煮繭の制御温度パターン導出システム

煮繭の制御温度パターンを導出するシステムについて以下に示す。使用機器構成はパソコンとして PC-9801 VM を使用し、オペレーティングシステムは MS-DOS (Ver. 3.1)、メモリは 640 KB のほか拡張メモリ 4 MB を搭載した。

プログラムの構成を図 1.6 に示す。ここで、回帰主成分分析プログラムは FORTRAN 言語により記述し、ファジールール・インタプリタ、ファジー推論プログラムは C 言語により記述した。図において主プログラムの下にサブルーチンとして回帰主成分分析プログラム、ファジールールの解釈部、ファジー推論機構がある。回帰主成分分析部は煮繭条件、繰系成績データのファイルを読み込み、解析を行う。ファジールール解釈部、ファジー推論機構は解析結果をもとに制御温度パターンを推論する。

プログラムの処理の流れを図 1.7 に示す。図において、処理が開始されると、煮繭条件、繰系成績データがファイルから読み込まれ、回帰主成分分析が行われる。その結果、温度パターン (z_1, z_2, z_3) および、これらに対応した固有値 ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$)、偏回帰係数列 (α_{ij} , $i=1, 2, \dots, 10; j=1, 2, 3$) が得られる。これらを固有値の大きい順に並び替え、制御温度パターン毎にファジー推論に従って、温度パターンの評価値を算出する。最後に、評価値の最大値に対応する温度パターンを矢印で提示し、終了する。

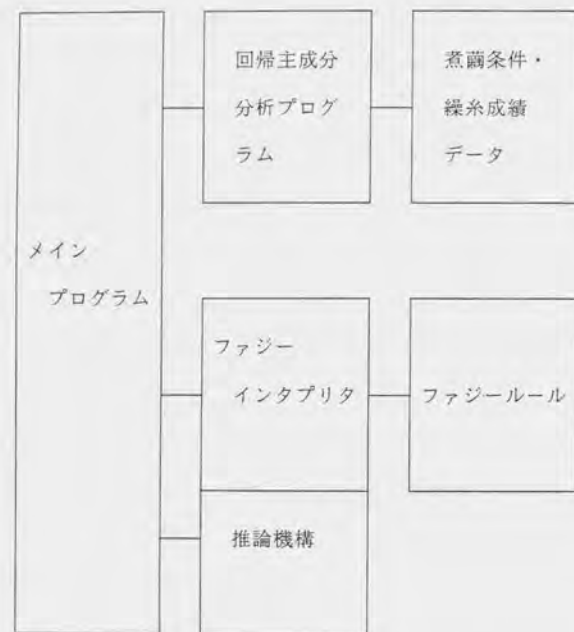


図 1.6 プログラムの構成

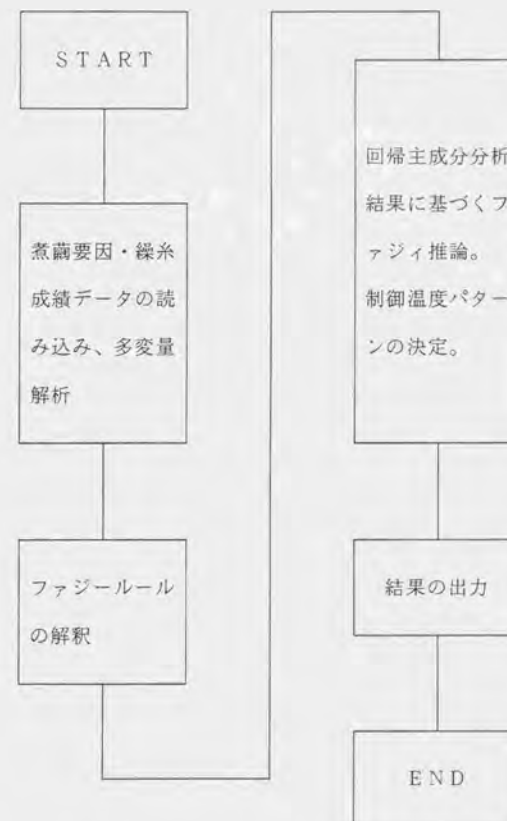


図 1.7 プログラムの処理の流れ

1.2.3 煮繭工程制御シミュレーション実験結果と考察

次に、本システムを使用して、前章と同じく2種の繭の煮繭実験データについて温度パターン選定シミュレーション実験を行った結果を表1.6に示す。表において、(A)は生糸量歩合改善対策としての温度パターン選択レベルを求めた結果であり、(B)は糸故障対策としてのそれである。(A)によると解じょ不良繭(サンプル1)に対する制御温度パターンは z_1 であり、解じょ良好繭(サンプル2)に対する制御温度パターンは z_2 である。また、(B)によると解じょ不良繭に対してはパターン z_3 が、解じょ良好繭についてはパターン z_1 が制御温度パターンとして決定されている。

このとき得られた制御温度パターンを表1.7にサンプル毎に示す。表1.7(A)によると z_1 においては浸漬部および触蒸部の寄与度が高く、 z_2 においては浸透部および調整部の寄与度が高い。(B)では、 z_2 については浸透部の寄与度が高く、 z_1 においては触蒸部の寄与度が高い。このように得られた温度パターンは繭の性状により異なる。

次に、温度パターンと繰糸成績との関係を表す偏回帰係数を表1.8(A)および表1.8(B)に示す。表1.6(A)において選定されたサンプル1の温度パターン z_1 は表1.8の(A)の γ_1 に対応している。 z_1 の特性を偏回帰係数に基づいて吟味すると、 z_1 が大きくなると生糸量歩合、大中節個数は改善されるが、解じょ率、糸故障回数は悪化する特性を持っている。また、表1.6(B)より、サンプル2については z_2 が大きくなると生糸量歩合が改善されるが糸故障回数が悪化すると判断される。

表1.6(A) 温度パターン選択レベルの

ファジー推論結果(生糸量歩合対策)

温度パターン	z_1	z_2	z_3
サンプル1	3.42	2.27	0.40
サンプル2	0.73	2.00	0.00

表1.6(B) 温度パターン選択レベルの

ファジー推論結果(糸故障対策)

温度パターン	z_1	z_2	z_3
サンプル1	0.68	-1.00	1.73
サンプル2	2.91	-0.73	-1.47

表 1. 7 (A) 温度パターンの成分(サンプル 1)

X-変数	温度パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
X ₁	-0.634	-0.018	-0.281
X ₂	0.646	-0.458	-0.486
X ₃	0.166	0.793	-0.579
X ₄	-0.189	-0.113	-0.278
X ₅	0.344	0.384	0.522

表 1. 7 (B) 温度パターンの成分(サンプル 2)

X-変数	温度パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
X ₁	-0.067	0.451	-0.053
X ₂	0.924	-0.106	-0.206
X ₃	0.073	0.830	0.147
X ₄	-0.232	-0.310	0.354
X ₅	0.288	-0.012	0.899

表 1. 8 (A) 偏回帰係数と温度パターン(サンプル 1)

Y-変数	偏回帰係数		
	γ_1	γ_2	γ_3
y ₁ (生糸量歩合)	0.346	0.276	-0.261
y ₂ (大中節個数)	0.409	0.217	0.459
y ₃ (解じょ率)	-0.324	-0.004	-0.100
y ₄ (糸故障回数)	-0.232	-0.310	0.354

表 1. 8 (B) 偏回帰係数と温度パターン(サンプル 2)

Y-変数	偏回帰係数		
	γ_1	γ_2	γ_3
y ₁ (生糸量歩合)	0.167	0.258	-0.181
y ₂ (大中節個数)	-0.565	-0.047	-0.058
y ₃ (解じょ率)	0.328	0.122	-0.216
y ₄ (糸故障回数)	0.180	-0.287	-0.252

同様に、表1.6 (B) で選定された温度パターンについて吟味する。サンプル1に対して選定された温度パターン z_1 は表1.8 (A) より糸故障回数、大中節個数は改善されるが、生糸量歩合、解じょ率は悪化すると判断される。また、サンプル2に対しては z_1 が選定されている。従って、表1.8 (B) から糸故障回数、生糸量歩合、解じょ率が改善され、大中節個数が悪化すると判断される。

これらのことの妥当性を確認するためにサンプル1、2の煮繭・繰糸実験データについて繰糸成績改善のシミュレーション実験を行った。その結果の一例として生糸量歩合改善の例を表1.9、表1.10に示す。表1.9 (A) によると z_1 に従い煮繭工程各部の温度を修正すれば、生糸量歩合が1%程度改善されていることが分かる。1%は少ないようであるが、製糸工場では生糸の単価を考えると必ずしも少なくない。また、大中節個数も半分以下に改善されている。解じょ率、糸故障回数については十分改善されない。表1.9 (B) においても生糸量歩合は約1%程度改善されている。大中節個数と解じょ率も改善されている。糸故障回数は若干悪化している。同様に、表1.10より、糸故障回数は両者とも半分程度に改善されている。解じょ率と生糸量歩合も概ね改善されている。しかし、大中節個数は改善される場合と改善されない場合がある。

以上の結果から、システムの指示に従って煮繭条件を制御すれば改善目的とする繰糸成績は概ね改善できることが示され、支援システムの有効性が示された。

表1.9 (A) シミュレーション実験結果 (サンプル1-①)

	煮繭工程各部 温度 (°C)					生糸量 歩合 (%)	大中節 個数 (個)	解じょ 率 (%)	糸故障 回数 (回)
	浸漬	触蒸	浸透	熟成	調整				
変更前	75	85	78	85	85	39.7	13	57.4	15
温度パタ ーン z_1	↓↓	↑↑	↑	↓	↑				
(偏回帰 係数)	-0.63		0.17		0.34				
		0.65		-0.19					
変更後	65	90	78	85	90	41.0	8	54.1	14

(注) →: 温度を変更しない。↑: 温度を上げる。↓: 温度を下げる。

↑↑: 温度を上げる(効果が大きい)。↓↓: 温度を下げる(効果が大きい)。

表1.9 (B) シミュレーション実験結果 (サンプル1-②)

	煮繭工程各部 温度 (°C)					生糸量 歩合 (%)	大中節 個数 (個)	解じょ 率 (%)	糸故障 回数 (回)
	浸漬	触蒸	浸透	熟成	調整				
変更前	85	85	70	91	90	40.1	25	48.8	11
温度パタ ーン z_1	↓↓	↑↑	↑	↓	↑				
(偏回帰 係数)	-0.63		0.17		0.34				
		0.65		-0.19					
変更後	75	95	85	85	90	41.0	8	54.1	14
	75	90	70	85	95	41.2	11	55.1	10

表 1.10 (A) シミュレーション実験結果 (サンプル 2-①)

	煮蕪工程各部 温度 (°C)					生糸量 歩合(%)	大中節 個数(個)	解じょ 率(%)	糸故障 回数(回)
	浸漬	触蒸	浸透	熟成	調整				
変更前	75	85	78	95	85	40.9	11	52.8	14
温度パター ン z:	↑	↓	↑↑	↓	→				
(偏回帰 係数)	0.45		0.83		-0.01				
		-0.11		-0.31					
変更後	85	90	85	85	85	42.2	13	53.9	7

表 1.10 (B) シミュレーション実験結果 (サンプル 2-②)

	煮蕪工程各部 温度 (°C)					生糸量 歩合(%)	大中節 個数(個)	解じょ 率(%)	糸故障 回数(回)
	浸漬	触蒸	浸透	熟成	調整				
変更前	65	95	70	95	85	41.1	16	53.0	18
温度パター ン z:	↑	↓	↑↑	↓	→				
(偏回帰 係数)	0.45		0.83		-0.01				
		-0.11		-0.31					
変更後	85	90	85	91	85	42.3	34	57.0	11
変更後	85	90	85	85	85	42.2	13	53.9	7

1.2.4 摘要

生糸生産工程における生産成績の 3 要因を改善するための適正な煮蕪条件を見い出すために煮蕪条件と繰糸成績について回帰主成分分析し、温度パターン 3 つを導き、その中からファジー理論に基づいて制御温度パターンを導出する支援システムについて検討した。

(1) 製糸工場で重要とされる繰糸成績 4 項目を想定し、それらに關係する温度パターンの偏回帰係数列を入力とし温度パターンの評価値を出力とするファジー評価システムを構築した。このとき、ファジー評価規則はこれら 4 項目に關係する偏回帰係数に対応するファジー集合を条件部とし、温度パターンの評価値 (選択レベル) に対応するファジー集合を結論部として構成した。評価値は MAX-MIN 合成重心法により求めた。

(2) 一例として、生糸量歩合、大中節個数、解じょ率、糸故障回数の 4 項目を選定し、構築した支援システムを使用して煮蕪の制御シミュレーション実験を 2 種の原料蕪の煮蕪・繰糸実験データに対して行った。その結果、支援システムが提示した煮蕪条件制御方法に基づいて煮蕪条件を修正することにより、優先順位の低いものには必ずしも改善されない項目があるものの、主たる改善項目が概ね改善された。また、改善できない項目も予測できるため、実際の制御の際には有用であることも示された。このことから、構築したシステムの有効性が明らかにされ、温度パターンのファジー評価による煮蕪条件の制御方法の妥当性が示された。

1.3 ファジ理論を応用したAHP法による制御温度パターンの導出

前節では温度パターンの評価項目として、生糸生産において比較的重要度の高い繰糸成績4項目を対象として3つの温度パターンの評価値を求め、その最大値に対応する温度パターンを制御温度パターンとしている。しかし、4項目に限定せず、他の繰糸成績の項目も考慮して温度パターンを決定することが望まれることがある。

この問題は、多くの繰糸成績の項目を評価し、最適な温度パターンを決定するという多目的評価問題と考えることができる。この問題の解決方法のひとつにAHP法(SAATY, 1980)がある。ここでは、まず、AHP法のエキスパートシステムへの適用に際し、加法測度と非加法測度(田中, 1990)を併用した温度パターンの評価方法について示す。次に、この手法により構成した制御支援システムを使用して、煮繭・繰糸実験データに基づいて、繰糸成績の評価項目を10項目として、3つの温度パターンの評価値を求め、制御温度パターンを決定する。さらに、その温度パターンに基づいて煮繭条件の制御シミュレーション実験を行い、本手法を検証する。

1.3.1 材料と方法

(1) 煮繭・繰糸実験データ

前節と同様に実験データ(木下ら, 1980)に前処理を施して解析した。

(2) ファジ理論を応用した多目的評価方法(AHP法)とその応用

AHP法は複数の評価基準の評価値から評価対象の評価値を求め

るものである。製糸工場において、繰糸成績10項目すべてを改善したいが、操業状態により改善すべき繰糸成績の項目に優先順位があるとき、煮繭条件修正のための3つの温度パターンのうちどれが繰糸成績改善の方法として適当かを判断することが重要な問題となる。本研究でのAHP法の応用方法においては、優先順位を項目ごとに重要度として1から10の数値を与え、それぞれの重みを求める。次に、この重みと温度パターンの成分との積和をとり温度パターンの評価値を求め、最大の評価値の温度パターンを制御温度パターンとしている。

以下に本節での応用方法を示す。いま、繰糸成績の項目 Y 、温度パターン Z 、および偏帰帰係数行列 Γ を前節と同様にそれぞれ

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_{10})^T, \quad (1.16)$$

$$Z = (z_1, z_2, z_3)^T, \quad (1.17)$$

$$\Gamma = [\gamma_{ij}] ; i=1, 2, \dots, 10 ; j=1, 2, 3 \quad (1.18)$$

とすると、 Y と Z は

$$Y = \Gamma Z \quad (1.19)$$

により関係づけられている(奥野ら, 1976)。ここで、評価基準を繰糸成績の項目にとり、値が大きいほど評価値が高いとして、次式を定義する。

$$H_i = \sum_{j=1}^3 w_j \gamma_{ij} \quad (1.20)$$

これにより温度パターンを評価し、

$$Z^* = \{Z_j | \max_j H_j\} \quad (1.21)$$

により最適温度パターン Z^* を決定する。これは通常のAHP法で

ある。ここでは、 γ_{ij} はj番目の温度パターンのi番目の評価基準の値と考えている。すなわち、 $\gamma_{ij} > 0$ が大きいほど温度パターン z_j は線系成績 Y へ影響を与えると考えられる（ $\gamma_{ij} < 0$ のときは逆の関係である）ので、これをj番目の温度パターンのi番目の評価基準の値と考えることができる。

また、重み $W = (W_1, W_2, \dots, W_{j_0})$ は

$$\sum_i w_i = 1 \quad (1.2.2)$$

と基準化されている。

次に、非加法測度を用いたAHP法を示す。ここでは W を評価基準 Y 上の可能性測度（ZADEH, 1978）であると考え、

$$\max_i w_i = 1 \quad (1.2.3)$$

となる w_i が少なくとも1つ存在するように決定する。このときの W を

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_{j_0}) \quad (1.2.4)$$

とする。ここでは、 r_i はi番目の評価基準（線系成績の項目）の可能性測度で表された重要さの程度を表すと考えている。これにより、温度パターンの評価値を区間（例えば $[a, b]$ ）の形式で煮繭の工務担当者に示すことができる。

次に W の決定の仕方を以下に示す。煮繭工程の工務状況から線系成績の項目 y_c は y_d に比べてどの程度重要かを表1.11のように工務担当者により数値化する。さらに、これを表1.12のような行列 M にする。ここで、行列の成分 a_{cd} について

$$a_{cd} = 1 / a_{dc} \quad (1.2.5)$$

表1.11 評価基準における重要度を表す行列 M

y_c の y_d に対する重要度	\rightarrow	a_{cd}
同じように重要	\rightarrow	1
やや重要	\rightarrow	3
かなり重要	\rightarrow	5
非常に重要	\rightarrow	7
きわめて重要	\rightarrow	9

表 1.12 行列M

	y_1	y_2	y_m
y_1	a_{11}	a_{12}		a_{1m}
y_2	a_{21}	a_{22}		a_{2m}
*				
*				
y_m	a_{m1}	a_{m2}		a_{mm}

が仮定されている。

$$M = [a_{cd}] ; c, d = 1, 2, \dots, 10 \quad (1.26)$$

とすると、次式

$$(M - \lambda I)W = 0 \quad (1.27)$$

を解いてMの最大の固有値 λ_{max} に対応した固有ベクトルWを求める。これにより、重みWが決定される。このとき、Wを(1.22)式の条件を満たすように解けば通常のAHP法に使用するWとなり、(1.23)式の条件を満たすように解けばRが求まり、非加法測度を使用したAHP法となる。このときの温度パターンの総合評価の方法は次のとおりである。W_iが10個の値

$$r_1 < r_2 < \dots < r_{10} = 1 \quad (1.28)$$

をとっているとして、この集合をA_kとし、

$$A_k = \{y_i | w_i \geq r_k, k=1, 2, \dots, 10\} \quad (1.29)$$

とすると、A_kを焦点要素として基本確率Pは

$$P(A_k) = r_k - r_{k-1}; k=1, 2, \dots, 10; r_0 = 0 \quad (1.30)$$

により与えられる。

一方、非加法測度を用いた評価方法は $\gamma_{ij} > 0$ が仮定されている。本節では、 $\gamma_{ij} < 0$ の場合も考慮し、 γ_{ij} の符号により評価値は正の側、負の側の2種の成分に分けて求めている。ただし、焦点要素の基本確率は符号に関係なく対応するものと考えている。これにより、評価値の上限の期待値E⁺と下限の期待値E⁻は正、負のそれぞれの側について温度パターンj毎に次式により求められる。ただし、 γ の添え字は省略している。

・ $\gamma > 0$ のとき

$$E^{+}_{i,j}(y) = \sum_{k=1}^{10} P(A_k) \cdot \max_{y \in A_k} \gamma \quad (1.3.1)$$

$$E^{-}_{i,j}(y) = \sum_{k=1}^{10} P(A_k) \cdot \min_{y \in A_k} \gamma \quad (1.3.2)$$

・ $\gamma < 0$ のとき

$$E^{+}_{i,j}(y) = \sum_{k=1}^{10} P(A_k) \cdot \max_{y \in A_k} (-\gamma) \quad (1.3.3)$$

$$E^{-}_{i,j}(y) = \sum_{k=1}^{10} P(A_k) \cdot \min_{y \in A_k} (-\gamma) \quad (1.3.4)$$

ところで、

$$EP_j = E^{+}_{i,j}(y) - E^{-}_{i,j}(y) \quad (1.3.5)$$

$$EN_j = E^{-}_{i,j}(y) - E^{+}_{i,j}(y) \quad (1.3.6)$$

を定義すれば、 EP_j は正負全体の正側への可能性の期待値を意味し、同様に EN_j は負の側へのそれを意味する。したがって、上2式により求まる EP_j 、 EN_j から温度パターンの評価の期待値を範囲として捉えることができる(田中, 1990)。すなわち、

$$\tilde{E}_j = [EN_j, EP_j] \quad (1.3.7)$$

と表記する式を定義することができる。ここで、 $[EN_j, EP_j]$ は閉区間を表す。

以上示した方法により制御温度パターンの評価値が、 \tilde{E}_j および(1.2.0)式を計算すれば求まり、評価値の最大の温度パターンが最も適正な制御温度パターンとなる。また、(1.2.0)式の結果の

みではその値が接近していて最も適正な制御温度パターンを単純にひとつに決定することが適当でない場合は、区間による評価値の表示により工務担当者に制御温度パターンの決定をするための判断材料を与えることができ、有効であると考えられる。

1.3.2 結果と考察

(1) システム構成と処理の流れ

システムの処理の流れを図1.8に示す。まず、工務担当者は蒸餾の工務状況から繰糸成績の項目の中で最も改善する必要がある項目順に重要度を高くして行列Mを入力する。システムは(1.2.7)式を解いてW、Rを求める。また、蒸餾条件繰糸成績を回帰主成分分析して偏回帰係数行列Γを求める。これらの結果から評価値が計算され、結果が表示される。

なお、このシステムの構成は、パーソナルコンピュータとしてPC-9801VX(NEC製)を使用し、プログラムはBASIC言語(N88-日本語BASIC, NEC製)を使用して作成した。

(2) 繰糸成績4項目についての温度パターンの評価結果と前節との比較

本手法の妥当性を評価するため、前節の結果と比較を次のようにして行った。前節と同様に評価項目を糸故障回数、生糸量歩合、解じょ率、大中節個数にとり、行列Mを表1.13のように与えた。これにより(1.2.7)式を解いて、最大固有値に対応する固有ベクトルW、Rを求めた。

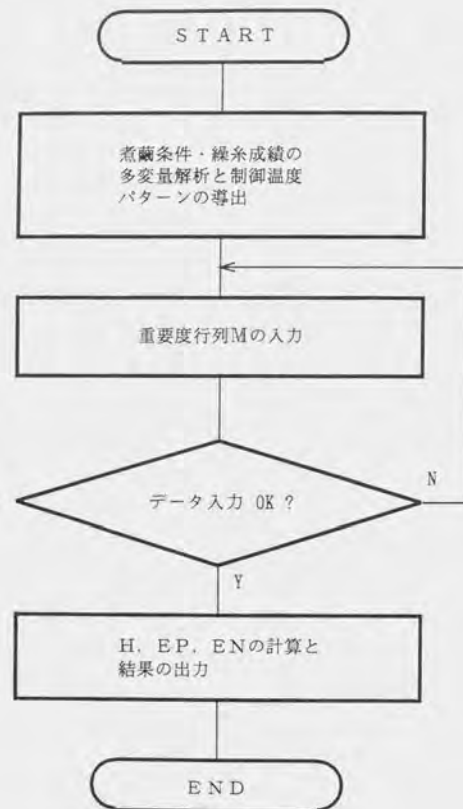


図1.8 処理の流れ

表1.13 行列M (4項目)

	y_1	y_2	y_3	y_4
y_1	1	5	7	9
y_2	0.2	1	5	7
y_3	0.143	0.200	1	5
y_4	0.111	0.143	0.200	1

y_1 :糸故障回数, y_2 :生糸量歩合

y_3 :解じょ率 y_4 :大中節個数

さらに、これに基づきH およびEP, EN (以下、jは省略する) を求めた。その結果を表1.14に示す。なお、表1.14ではjを省略している。また、H は(1.20)式により計算される値である。これによると前節の結果と同様に第2温度パターンが制御温度パターンとして決定されている。さらに、この温度パターンに基づき、煮繭・繰糸実験データについて制御シミュレーション実験を行った。その結果を表1.15に示す。これによると、糸故障回数が25回から15回に改善されたが、大中節個数以外の生糸量歩合、解じょ率等の量は悪化し、必ずしも改善されない項目がある。しかし、最も重要とした糸故障回数が改善されており、概ね本システムの有効性が示された。

(3) 評価項目を10項目とした時の結果

評価基準を繰糸成績10項目に取り、それらの重要度を表す行列Mを表1.16のように設定して、前項と同様にH, EP, ENを求めた。なお、表の設定は次の手順で発見的に行った。重要度を表す行列Mにおいて、収率(歩留まり)を最重要とし、それに関係する生糸量歩合、さらに緒糸量、蛹しん量、揚り繭量の順に行列成分を大きくした。収率の次には、品質に関係する大中節個数、小節点、解じょ率とし、次は、能率に関係する糸故障回数、最後は繭糸長、索抄緒効率とした。

H, EP, ENを求めた結果を表1.17および図1.9に示す。図1.9から温度パターン z_1 が制御温度パターンとして決定されるのは明らかである。また、評価値が、点Hのみで示されるよりも区間[EN, EP]もあわせて示された方が曖昧さも示され、工務担

表1.14 H, EP, EN の計算結果

	Z_1	Z_2	Z_3
EP	-0.058	-0.199	+0.078
H	-0.134	-0.222	+0.049
EN	-0.142	-0.238	+0.038

表1.15 煮繭工程制御のシミュレーション結果(4項目)

	煮繭工程					糸故障回数 (回)
	浸漬	触蒸	浸透	蒸煮	調整	
変更前	75	85	78	91	85	25
温度						
パターン	0.07	0.20	-0.07	0.96	-0.15	
制御方法	→	↓	→	↓↓	→	
変更後	75	85	78	85	85	15

(注)→:変更なし, ↑:温度上昇, ↓:温度減少,

↓↓:2つの矢印は特に効果が大きいと推定される。

表1.16 行列M(10項目)

	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉	y ₁₀
y ₁	1	2	2.2	2.4	5	5.5	7	7.5	9	9.5
y ₂	0.5	1	1.2	1.4	4	4.5	6	6.5	8	8.5
y ₃	0.455	0.833	1	1.2	3	3.5	5	5.5	7	7.5
y ₄	0.417	0.714	0.833	1	2	2.5	4	4.5	6	6.5
y ₅	0.200	0.250	0.333	0.500	1	1.5	3	3.5	5	5.5
y ₆	0.182	0.222	0.286	0.400	0.667	1	2	2.5	4	4.5
y ₇	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1	1.5	3	3.5
y ₈	0.133	0.154	0.182	0.222	0.286	0.400	0.667	1	2	2.5
y ₉	0.111	0.125	0.143	0.167	0.200	0.250	0.333	0.500	1	1.5
y ₁₀	0.105	0.118	0.133	0.154	0.182	0.222	0.286	0.400	0.667	1

y₁:生糸量歩合, y₂:緒糸量, y₃:蛹しん量, y₄:揚がり繭量,

y₅:大中節個数, y₆:小節点, y₇:解じょ率, y₈:糸故障回数,

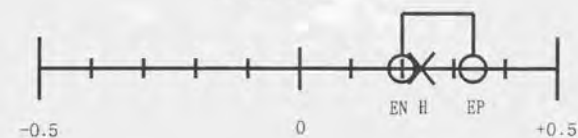
y₉:繭糸長, y₁₀:索抄緒効率

表 1.17 H_i, EP_i, EN_i の計算結果 (10 項目)

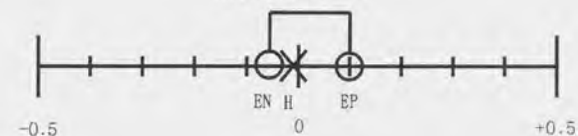
	温度パターン		
	Z_1	Z_2	Z_3
EP	+0.317	+0.098	-0.058
H	+0.235	-0.007	-0.107
EN	+0.199	-0.046	-0.170

*: 選択されたパターン

*第1温度パターン



第2温度パターン



第3温度パターン



図 1.9 制御支援システムの出力結果例

当者に対して有効であると考える。

なお、制御温度パターン z_i については次のように考えられる。表1.18に z_i に対応する繰糸成績のY成分を重要度の高い順に示す。これは表1.16の順位に対応しており、この温度パターンを大きくすると繰糸成績の項目のうち小節点、繭糸長、大中節個数、生糸量歩合の順に改善される一方、解じょ率が悪化する傾向を持っていると解釈される。

次に、決定された温度パターンに z_i に基づいて前節と同様に解じょ不良繭の煮繭・繰糸実験データを使用して、シミュレーション実験を行った。その結果を表1.19に示す。これによると最も重要度の高い生糸量歩合、大中節個数、糸故障回数の改善が図られていることが分かる。なお、表1.19には示していないが緒糸量、揚り繭量、蛹しん量も改善されている。また、温度パターンの成分を吟味すると、触蒸部の温度を低めに設定し、浸透部の温度を上げることから、繭の吸水量を減らし、煮熟度の急激な進みを押え、調整部の温度を上げ徐々に煮熟度を進める処置を示していると解釈される。なお、表中の浸漬部の温度は通常使用されない高温になっている。これは今回使用したシミュレーション実験データを吟味したところ、浸漬部の繰糸成績に対する影響が小さく、他の工程各部温度の制御温度パターンとの適合性が高いため、敢えて同表のデータを掲げた。

以上の結果から、本システムにより決定された温度パターンに従い、煮繭工程の温度を制御して繰糸成績を改善できる可能性が示された。また、本システムのように煮繭条件修正の方法として3つの温度パターンが提示され、それぞれの評価値が曖昧さも含めて表示されることから対応するそれぞれの温度パターンの原料繭に対する

表1.18 繰糸成績項目
と偏回帰係数

繰糸成績	偏回帰係数
生糸量歩合	0.346
緒糸量	0.299
蛹しん量	-0.037
揚がり繭量	0.176
大中節個数	0.409
小節点	0.463
解じょ率	-0.324
糸故障回数	0.142
繭糸長	0.461
索抄緒効率	0.291

表1.19 煮繭工程制御シミュレーション結果(10項目)

	煮繭工程温度(°C)					生糸量 大中節 糸故障		
						歩合	個数	回数
	浸漬	触蒸	浸透	蒸煮	調整	(%)	(%)	(回/10分)
変更前	85	75	85	78	85	39.69	13	15
温度 パターン	-0.19	-0.63	0.65	0.17	0.34			
制御方法	→ ↓↓	↑↑	→	↑				
変更後	97	65	90	78	90	41.72	7	7

作用の方向を視覚的に捉えることができると考えられる。

1.3.3 摘要

繰糸成績の多項目について評価し、煮繭工程を適正に制御するための温度パターンを決定する方法について検討した。また、その方法に基づきシステムを構築し、妥当性をシミュレーション実験により確認するとともに、決定された温度パターンの特性について吟味した。

(1) 繰糸成績の評価項目として10項目をとり、制御温度パターンを決定するためにAHP法を応用したシステムを開発した。このシステムは煮繭条件と繰糸成績を回帰主成分分析した結果得られる3つの温度パターンについて評価値を求める際の評価基準として通常のAHP法に基づく加法測度による評価値に加え、非加法測度による上限および下限の評価値の期待値を算出し、区間で評価値を表示している。これにより、多くの評価項目から判断した制御温度パターンの決定が可能となった。また、通常のAHP法による評価値が接近している場合にその比較ができる。

(2) システムを使用した結果、制御温度パターンとして2が選定された。これに基づいて煮繭条件を制御すると、小節点、繭糸長、大中節個数、生糸量歩合の順に改善されるが、解じょ率が悪化する傾向を持っていると推定され、繰糸成績の重要度の高い項目の改善ができると判断された。

また、温度パターンの成分を吟味したところ、繭の煮熟度の進行を押さえる処置を示し、決定された温度パターンが適正であると判断された。

(3) 煮繭・繰糸実験データを使用して制御シミュレーション実験を行った。その結果、浸漬部の温度の修正が温度パターンと若干異なる部分があるものの、生糸量歩合、太中節個数、糸故障回数のほか、緒糸量、揚り繭量、蛹しん量も改善され、制御支援システムの有効性が確認された。

なお、このシステムの難点は評価項目が多くなると重要度行列Mの値の設定と入力が複雑になることである。

1.2, 1.3において、繰糸成績改善のため、煮繭条件修正の方法を温度パターンに基づく矢印で温度を「上げる」あるいは「下げる」という修正案を示すコンピュータシステムを構成し、シミュレーションにより検証してきた。実際の製糸工場ではこのような矢印による修正案が工務担当者に対して示されれば、担当者が経験的知識に基づいて判断して修正量を決定することができる。しかし、煮繭の自動化を目指すには具体的な煮繭条件の修正量までコンピュータシステムにより出力する方法を検討する必要がある。また、実際の煮繭・繰糸実験においてこのようなコンピュータシステムの検証も行う必要がある。

第2章 繰糸工程における解じょ張力の計測と解析

本章では実繰下において使用する解じょ張力検出器としては高い応答性(約500Hz)を持つ検出器を作製し、従来から十分調査されていない比較的高い周波数領域を含めた解じょ張力を計測する。これにより、2.1では、解じょ張力の接緒時のパルス性の変化から有効接緒回数を認識するシステムの開発を行う。2.2では、実験計画法に基づく実繰下で解じょ張力の平均値と分散を測定し、煮繭条件と繰糸成績との関係を回帰主成分分析法により分析する。その結果、解じょ張力の平均値と分散が煮繭工程の制御において繭の煮熟状態の指標となり、適煮条件の判断に有効であることを示す。

2.1 実繰下における解じょ張力計測による有効接緒の認識

自動繰糸機内において有効接緒回数を計数することは給繭器内の正緒繭を適正量とする等の繰糸工程の管理指標となり(嶋崎,1961)重要である。そこで、本節では解じょ張力のみを計測し有効接緒を認識する装置について検討した。

繰糸工程において接緒回数を自動的に認識し、計数する方法には、生糸の太さを光学的に計測しその変化から識別する方法(西出,1978)と接緒桿の作動と繰糸張力の変化の両方を計測し識別する方法(高林,1985)がある。前者の方法では接緒を認識し、計数するのみであるが、後者は接緒の認識だけでなく繭の煮熟状態や繰枠の回転速度を推定できる利点をもつ。そこで、本節では、繰糸張力による方法を採用する。ただし、計測装置の簡略化を図るため、繰糸張力のみを計測し、その接緒時のパルス性の変化から接緒を認識・計数する。なお、本論文では測定の目的とする張力が解じょ張力であるの

で、解じょ張力と表記する。

2.1.1 材料と方法

(1) 接緒の認識方法と解じょ張力検出器

接緒が生起すると解じょ張力はパルス性の変化（以下、解じょ張力パルスと略記する）を生ずる。そこで、接緒発生前の解じょ張力の平均値と解じょ張力パルスの波高値の間に適切なしきい値を設定し、解じょ張力がこのしきい値を越えたときに接緒が生起したと判定する方法により接緒を認識することができる。

解じょ張力を計測するには検出器が必要である。接緒時の解じょ張力の変化はパルス性であるので検出器には高い周波数応答性が要求される。しかし、市販されているこの種の検出器は10Hz程度と応答性が低い。そこで、ストレインゲージを使用した片持ちはり構造（繊維工学編集委員会、1965）の高周波数応答性の検出器を作製した。すなわち、磷青銅による片持ちはりに歪みゲージ（KFG-5-120-C1-16、共和電業製）を2枚貼付する2枚ゲージ法（実践教育研究会、1989）によって解じょ張力の検出器を作製した。その外観を図2.1に示す。検出器の性能は、その固有振動数と糸の張力に対する歪み量により決定される。図示した片持ちはりの歪み量 y [m] および固有振動数 f [Hz] は次の2式で表される（実践教育研究会、1986）。

$$y = \frac{4W\ell^3}{EBH^3} \quad (2.1)$$

$$f = 0.1621 \frac{H}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.2)$$

ここで、 W [N] は糸の張力である。 E [Pa] はヤング率であり、 ρ

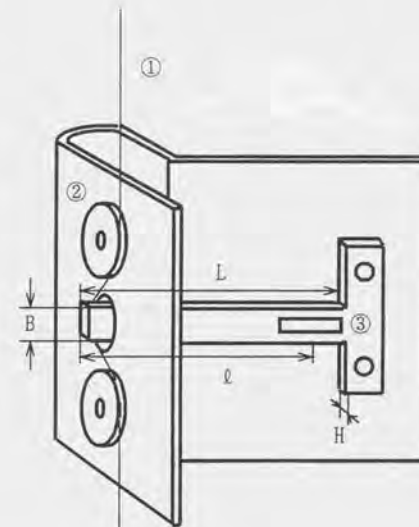


図2.1 検出器の外観。
① 鋼糸、② 鼓車、③ ストレインゲージを貼付した片もちはり。

$[\text{kg}/\text{m}^3]$ は密度である。 E および ρ は片持ちはりの材料により決まる定数である。また、 l 、 B 、 H 、 L は片持ちはりの寸法 $[\text{m}]$ である。(2.1)、(2.2)式から f を高くするためには L を小さくし、 H を大きくすればよいが y が小さくなり、検出器の歪みゲージの出力電圧の低下を来す。一方、測定できる定常的な周波数 f_s と f については片持ちはりの固有振動の影響を防ぐため、一般的に $f_s < f/3$ とされる。これらのことを考慮して、 $f_s = 500\text{Hz}$ 、すなわち $f = 1.5\text{kHz}$ として検出器を作製した。

図2.2に作製した検出器(A,Bの2種)の解じょ張力と出力電圧の関係(静特性)を示す。これより、張力と検出器の出力電圧はほとんど直線的な関係を示している。ヒステリシスも測定誤差0.5%以下と良好な結果が得られた。

(2) 接緒認識システム

この検出器を使用して解じょ張力を計測するシステムの構成を図2.3に示す。図において検出器の出力はストレインアンプ(DPM-603A, 共和電業製)により増幅され、ローパスフィルタおよびA/D変換器(AD12-8T, コンテック製)を介してパーソナルコンピュータ(PC-9801VX, 日本電気製)に入力される。なお検出器の取り付け位置は集緒器の直上とし、できるだけ煮熟菌に近い位置での計測により、ケンネルによる張力への影響を防止した。

周波数成分分析は高速フーリエ解析法(FFT)に基づく解析ソフトウェア(LABTECH NOTEBOOK, コンテック製)を使用して実験時にデータレコーダー(RTP-50A, 共和電業製)に記録した解じょ張力信号についてスペクトル解析を行った。

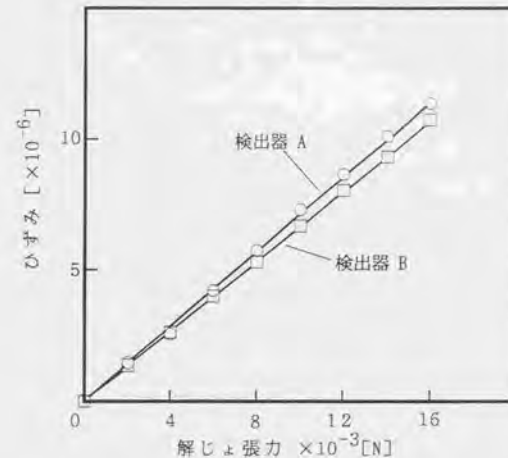


図2.2 解じょ張力と出力電圧の関係

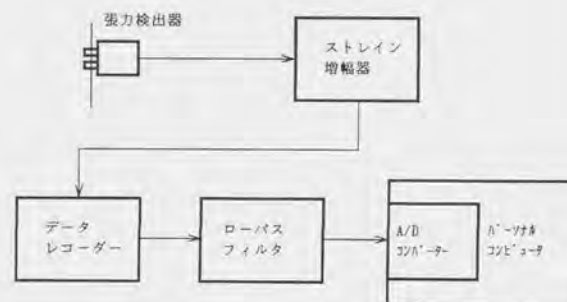


図2.3 計測システム

〈3〉実験条件

供試原料繭には平成4年産春繭（春月×宝鐘）を使用した。煮繭機は歪式強制循環型進行式煮繭機を使用し、煮繭用水には水道水を用い、蒸煮部水頭圧は10mmHgとした。煮繭時間は20分、逆浸部温度は45℃で一定とした。

繰糸条件については次のとおりとした。すなわち、繰糸機には日産FR型繰糸機を使用し、索緒温度77℃、繰糸温度40℃、小枠回転速度165r.p.m.で一定とした。

2.1.2 解じょ張力の計測条件の検討と周波数成分分析

図2.3中のローパスフィルタは雑音の軽減とA/D変換時の折り返し雑音防止を目的としている。このフィルタのシャ断周波数 f_c は解じょ張力パルスの波高値に影響を与え、その結果として、接緒の認識率にも影響を与るので、適切な f_c を定める必要がある。そこで、 $f_c=1000, 100, 10\text{Hz}$ の3つのローパスフィルタ（減衰特性12dB/oct）を作成し、 f_c の解じょ張力パルスに及ぼす影響を調べた。その結果を図2.4から図2.6に示す。これら3つの波形は同一の接緒時の解じょ張力波形である。これによると、 $f_c=1000\text{Hz}$ のときは解じょ張力パルス性の波形が非接緒においても数多く計測されている（図2.4）。10Hzのときは解じょ張力パルス波形が消滅している（図2.6）。一方、 $f_c=100\text{Hz}$ のときは解じょ張力パルス以外の雑音が概ね消去されている（図2.5）。このような傾向は調査したすべての解じょ張力波形にも共通して認められた。このことから、すでに示した接緒の自動認識の方法を採った場合、1000Hzと10Hzのフィルタでは100Hzに比べて誤認識が多くなると推定される。なお、解じょ張力パルスの

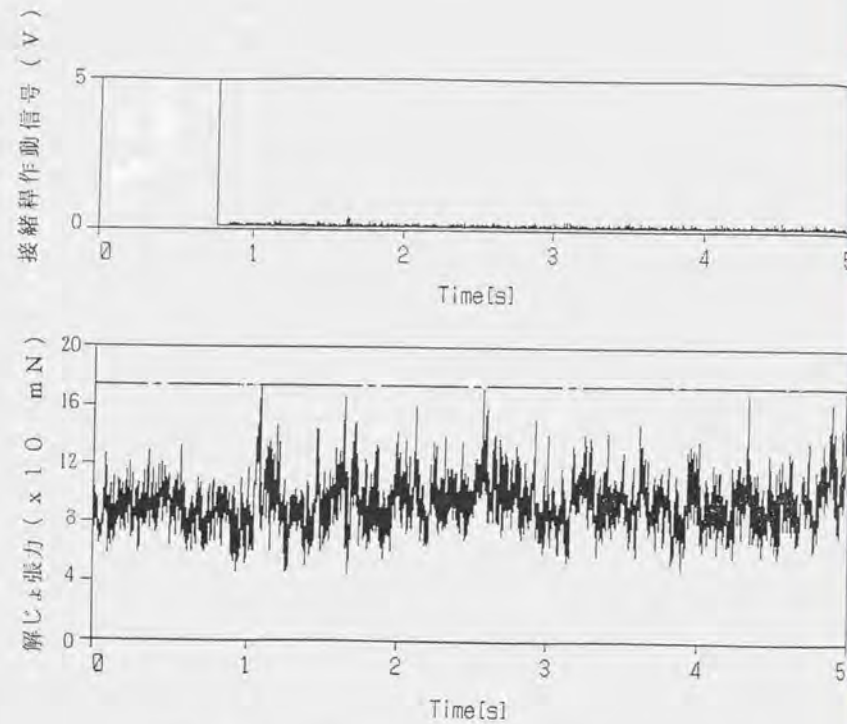


図 2.4 解じょ張力波形 (1,000 Hz のローパスフィルタ)

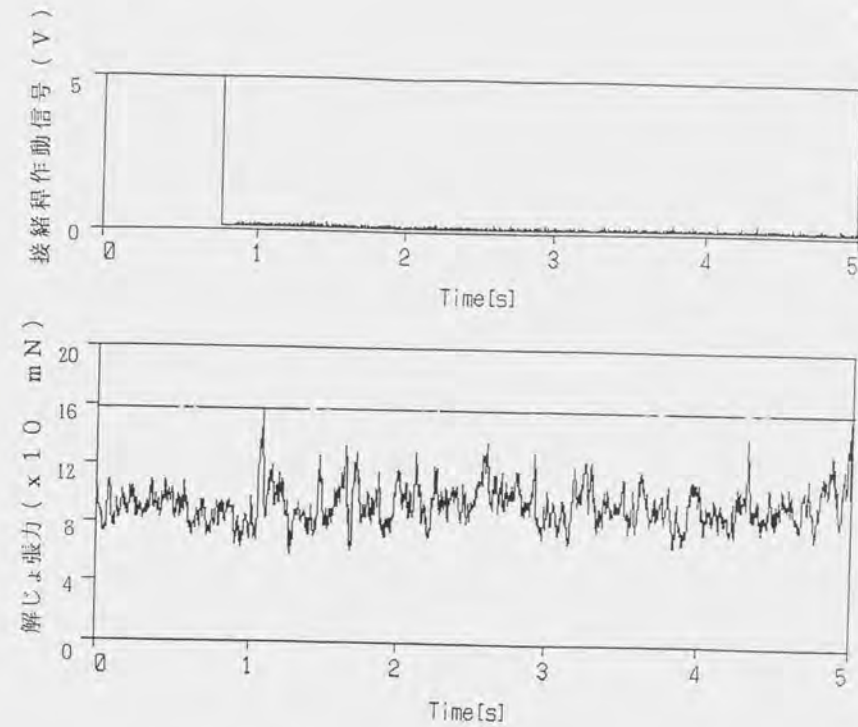


図 2.5 解じょ張力波形 (100 Hz のローパスフィルタ)

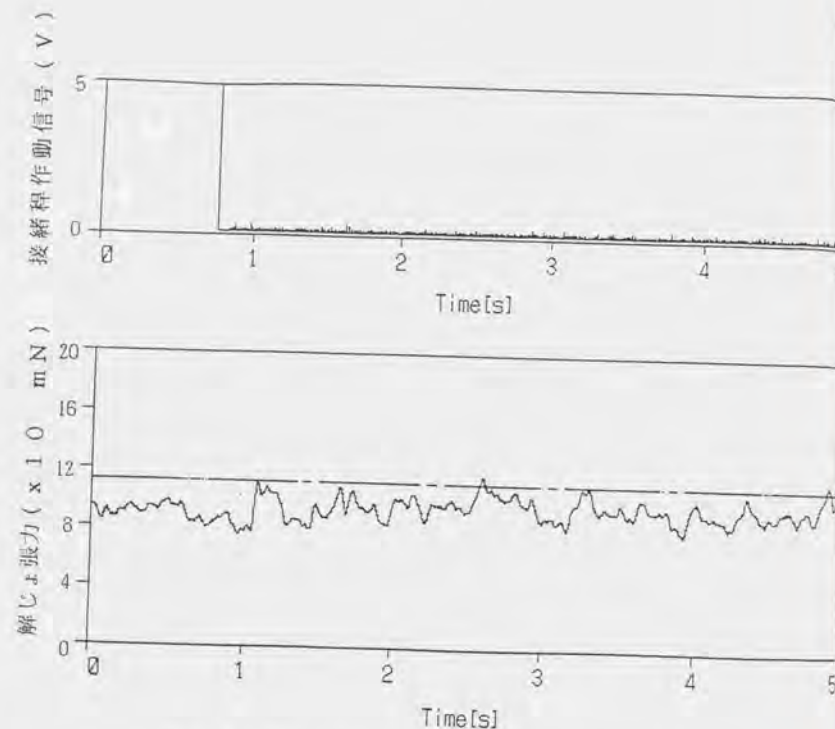


図 2.6 解じょ張力波形 (10 Hz のローパスフィルタ)

持つ周波数成分は接緒時の煮熟菌の大きさ、熟度、挙動により変動すると考えられることから接緒認識のためのフィルタとして厳密に f_c を決定することは困難と判断される。以上から、ローパスフィルタは概ね $f_c = 100\text{Hz}$ が適当とした。

次に、解じょ張力の平均レベルを求める際のサンプリング周波数を決定するために解じょ張力の定常的周波数成分の分析を行った。その結果を図 2.7 に示す。これによると解じょ張力の定常的周波数成分は主として直流成分とごく低い周波数成分より構成されていることが分かる。従って、解じょ張力の平均値を求めるために高速サンプリングを行う必要性はないが、多数のサンプリング値により求める必要がある。しかし、本実験で使用した繰糸機の接緒時間間隔は最小で 2 秒であることが調査の結果分かっている。このことから、次に示す接緒認識プログラムではサンプリング数を 100 とした。

2.1.3 接緒の認識プログラムとその処理結果および考察

接緒発生前の解じょ張力の平均値は次式による単純移動平均として求める。

$$y(i) = \frac{1}{100} \sum_{j=0}^{99} x(i+j) \quad (2.3)$$

ここで、 $x(i)$ は時刻 i における解じょ張力のサンプル値で、 $y(i)$ は時刻 i における移動平均値である。接緒の前後で解じょ張力が変動するため、接緒発生前のサンプル値のみにより移動平均を求めている。

接緒認識のプログラムの処理の流れを図 2.8 に示す。図において、まず 100 個の解じょ張力値をサンプリングし、平均を求める。この処

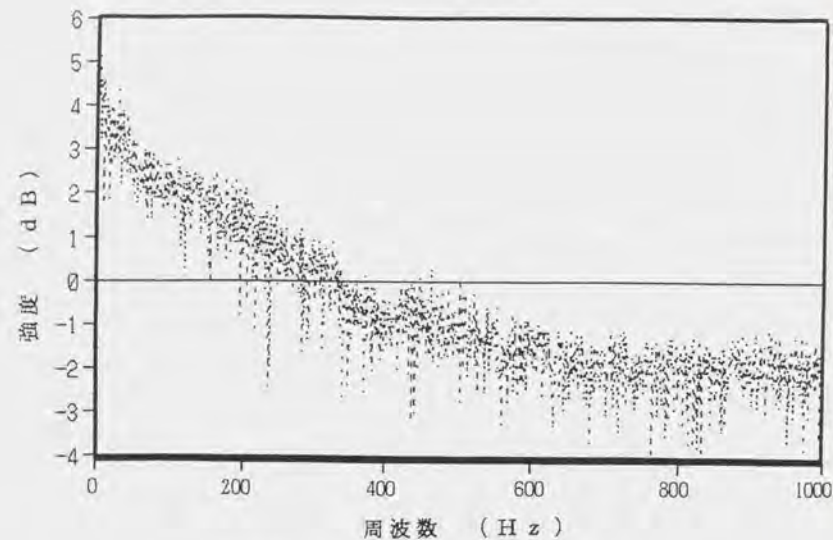


図2.7 解じょ張力のパワースペクトル

(本検出器は500Hzまで測定可能として設計しているが、解析ソフトウェアの都合上、500Hz以上のスペクトル部分も示されている。)

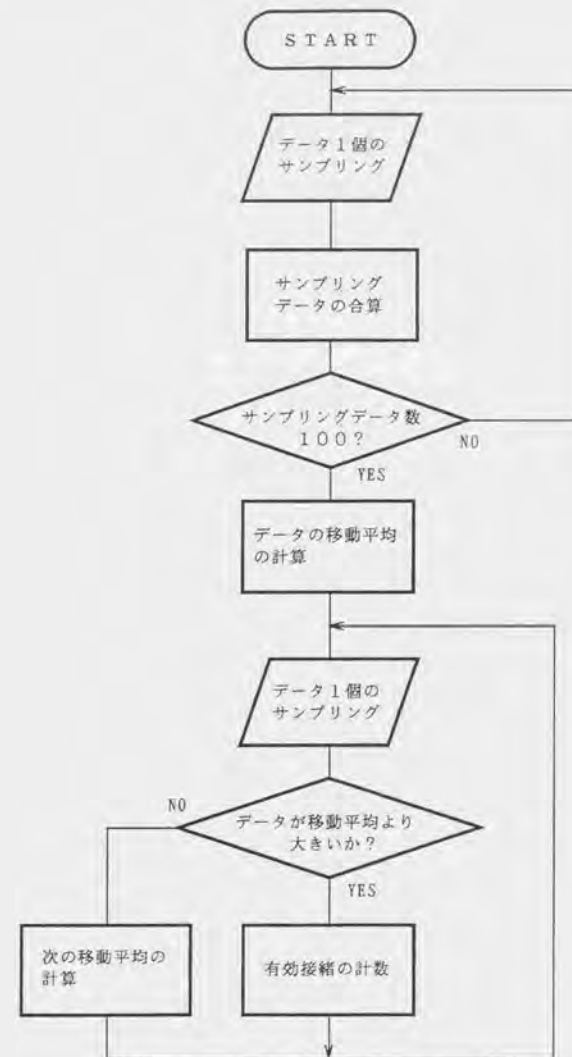


図2.8 有効接緒計数の処理の流れ

理においては、接緒が発生しないことを前提としている。これ以後はサンプリング毎に接緒の認識処理を行う。接緒はサンプル値がしきい値を超えたときに有効接緒として認識され、計数される。

繰糸実験を行いデータレコーダーに記録した解じょ張力信号に対して、このプログラムを使用して、接緒の認識実験を行った。繰糸実験の際、人為的に計数して得た有効接緒回数は43回であった。これに対し、本プログラムを使用して認識した接緒回数は40回で、認識率は93%であった。この結果、本システムの方法により、高い接緒の認識率が得られた。

2.1.4 摘要

解じょ張力のみの計測により接緒を認識する装置を開発するために、解じょ張力検出器を作成した。解じょ張力を計測し、その周波数成分を分析した。さらに、接緒の認識プログラムを作成し、認識実験を行った。

(1) 接緒を認識するために必要な解じょ張力検出器の周波数応答性は概ね300Hzである。

(2) 解じょ張力に含まれる定常的な周波数成分は主として直流成分または直流に近い低周波成分である。従って、解じょ張力の平均値は長時間のサンプル値により求める必要がある。しかし、最小接緒時間間隔以内にする制約がある。本研究で使用した自動繰糸機は約2秒であることからサンプル数を100とし処理時間を約1秒に抑えた。

(3) 解じょ張力の平均値と解じょ張力パルスの波高値の間にしきい値を設定し、接緒を認識するプログラムを作成し、認識実験を行った結果93%と良好な認識結果を得た。

2.2 煮繭条件と実繰下における解じょ張力及び繰糸成績との関係

解じょ張力は繰糸中に計測して繭の煮熟状態を推定する指標として有効であることが指摘されている(高林, 1985b)。しかし、実繰下において解じょ張力の平均値、分散と煮繭条件および繰糸成績との関係はほとんど明らかにされていない。

本節では解じょ張力を指標として煮繭条件を適正に制御するための規則を見出すために、実繰下において解じょ張力を計測し、その平均値および分散と煮繭条件および繰糸成績との関係を分析する。

2.2.1 材料と方法

解じょ張力の検出器および計測装置の構成を図2.9に示す。検出器はA, B 2つを作製した。ただし、サンプリング周波数は300 Hzとし、繰糸開始後、定常状態である約20分間の2糸条の解じょ張力の平均値と分散を求めた。供試原料繭には平成4年産春繭(春月×宝鐘)を使用した。煮繭条件は実験計画法による直交配列に従って表2.1に示す因子および水準を定めた。また、煮繭機および煮繭・繰糸条件は前節と同様である。

2.2.2 結果と考察

(1) 解じょ張力の平均値・分散計測におけるスペクトル分析

解じょ張力の平均値・分散の計測の視点から前節で示した図2.7によりスペクトルの分析を行う。図において、50 Hz以下の0 Hzに近い低周波成分にピークが見られる。このような傾向はスペクトル分析を行った他の箇所でも同様であった。このことから、解じょ張力のスペクトルは周波数300Hz以下の領域では直流成分または300Hz以

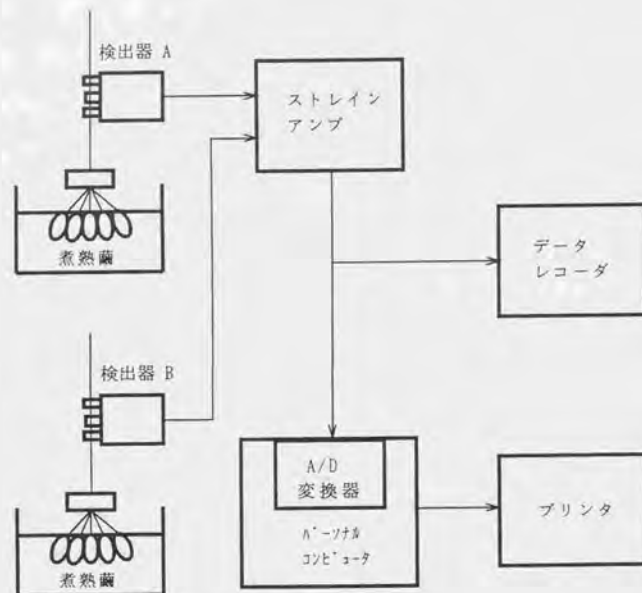


図 2.9 解じょ張力計測装置

表 2.1 煮菌実験条件

因子	水準 1	水準 2	水準 3
浸漬部温度	20℃	50℃	80℃
触蒸部温度	70℃	84℃	98℃
浸透部温度	60℃	72℃	84℃
熟成部水頭圧	10mm	30mm	50mm
調整部温度	92-88-70℃	95-90-75℃	98-92-80℃

下の直流成分に近い低周波成分を強く有していると推定される。しかし、100Hz以上の周波数成分はローパスフィルタにより抑えられていることから、必ずしも周波数成分として十分小さいとは断定できない。すなわち、300Hz以上の周波数成分の存在も考慮する必要があると考えられる。従って、解じょ張力の平均値、分散を測定する検出器はできるだけ高い周波数まで測定できる性能が必要であると考えられる。

さらに、高い周波数成分の発生原因については、生糸を巻き取る小粋枠かどによる張力変動が考えられる。一般に使用されている小粋枠かどは10箇所あるので、回転速度165r. p. m. では27.5Hzを第1次高調波成分として順次減衰しながら高い周波数成分まで及んでいると考えられる。

(2) 解じょ張力と繰糸成績との関係の回帰主成分分析

1) 煮繭条件パターンへの解じょ張力の寄与率の分析

実験計画法¹⁾に基づく27回の煮繭・繰糸実験結果について、表2.2に示す煮繭条件 x_i ($i=1, 2, \dots, 5$)、繰糸成績 y_j ($j=1, 2, \dots, k; k=8, 10$)を変数として回帰主成分分析を行った。その結果、得られた煮繭条件パターンと繰糸成績の関係(偏回帰係数列)およびパターンの寄与率を表2.3および表2.4に示す。ここで、煮繭条件パターンとは煮繭条件を成分に持つ互いに独立な主成分をさす。なお、煮繭条件パターンは木下ら(1980)が示している温度パターンを拡張したものであり、煮繭条件には温度以外の項目も含んでいる。これは実験で使用した煮繭機の蒸煮部が温度でなく水頭圧により煮繭条件の設定を行う機種であることによる。

表2.2 煮繭条件と繰糸成績

煮繭条件	変数	繰糸成績	変数
浸漬部温度	x_1	索抄緒効率	y_1
触蒸部温度	x_2	生糸糸長	y_2
浸透部温度	x_3	解じょ率	y_3
熟成部水頭圧	x_4	緒糸量	y_4
調整部温度	x_5	蛹しん量	y_5
		糸故障回数	y_6
		ずる節個数	y_7
		わ・さけ節個数	y_8
		解じょ張力(平均)	y_9
		解じょ張力(分散)	y_{10}

表 2.3 煮蕪条件パターンと繰糸成績 (k=8のとき)

y-変数	煮蕪条件パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
y ₁	0.508	-0.088	-0.032
y ₂	0.406	0.081	0.134
y ₃	0.547	-0.127	0.181
y ₄	-0.375	0.054	0.152
y ₅	0.284	-0.257	-0.116
y ₆	-0.465	-0.238	-0.012
y ₇	-0.252	0.103	0.092
y ₈	-0.256	-0.352	0.117
寄与率(%)	16.1	3.6	1.4

表 2.4 煮蕪条件パターンと繰糸成績 (k=10のとき)

y-変数	煮蕪条件パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
y ₁	0.497	-0.047	0.138
y ₂	0.406	0.100	-0.031
y ₃	0.569	-0.101	-0.037
y ₄	-0.358	0.013	-0.172
y ₅	0.275	-0.189	0.197
y ₆	-0.436	-0.278	-0.061
y ₇	-0.254	0.072	-0.080
y ₈	-0.213	-0.390	-0.083
y ₉	-0.645	-0.030	0.308
y ₁₀	-0.404	0.270	0.041
寄与率(%)	18.2	3.7	2.0

表2.3および2.4において $k=8$ は解じょ張力を繰糸成績に含めない場合を示し、 $k=10$ は解じょ張力の平均・分散を含めた分析結果を示している。表2.3の $k=8$ において、第1煮繭条件パターン z_1 の寄与率は16.1%で最も高く、第2煮繭条件パターン z_2 が3.6%、第3煮繭条件パターン z_3 が1.4%である。これに対して、表2.4の $k=10$ のときは第1煮繭条件パターン z_1 の寄与率は18.2%と大きくなっている。 z_2 、 z_3 のそれはほとんど変化していない。これは、表2.4より解じょ張力の平均値および分散と z_1 との相関が他の繰糸成績と比較して大きいことによるためと解釈することができる。従って、 z_1 と相関の大きい繰糸成績は解じょ張力によって推定することが可能であり、 z_1 と煮繭条件の関係に基づいて制御できると考えられる。

2) 解じょ張力と繰糸成績の関係

表2.3と表2.4の各煮繭条件パターンの係数列を比較すると、解じょ張力を繰糸成績に追加することが、他の繰糸成績の係数列に大きな変化を与えていない。このことから解じょ張力を繰糸成績に追加しても解じょ張力を除く繰糸成績と煮繭条件パターンとの関係にほとんど影響を与えないと判断される。また、1)の結果を勘案して考察すると、解じょ張力はほとんど z_1 のみに関係していると解釈できる。

次に解じょ張力と個々の繰糸成績について考察する。表2.4において z_1 との相関が大きい繰糸成績は順に解じょ率、索抄緒効率、糸故障回数、生糸糸長であり、これらは解じょ張力、とくにその平均値との相関が大きいと推定される。このような関係については木下ら(1993)の報告と概ね一致している。

節成績について本節では試みにずる節とわ・さけ節成績に分けて

分析を行った。表2.4より節成績(y_7 , y_8)は他の繰糸成績と比較して煮繭条件パターンとの相関がそれほど大きくないことが分かる。

煮繭条件パターン z_1 , z_2 の意味は(3)で詳しく検討するが、次のように解釈される。 z_1 を小さくすることは繭の煮熟度を抑制することであり、 z_2 を小さくすることは繭層の含水率の調和を図りながら若干、繭の熟度を上げることである。

このことを考慮して節成績と煮繭条件パターンとの関係を分析すると、ずる節は z_1 との相関が大きく、わ・さけ節は z_2 、次いで z_1 との相関が大きい。従って、 z_1 を小さくするとずる節、わ・さけ節成績共に改善される傾向にあるが、わ・さけ節減少の効果は小さいと推定できる。一方、 z_2 を小さくすればわ・さけ節は改善されるが、ずる節はほとんど影響を受けないと推定される。このことは、従来から言われている「ずる節は煮熟度を下げ、わ・さけ節は熟度を上げて改善する」という経験則と概ね一致していると考えられる。しかし、解じょ張力により節成績を推定し、改善することは z_1 との相関関係から主としてずる節の改善への効果が大であると考えられる。

3) 解じょ張力と煮繭条件の関係

各煮繭条件パターンと煮繭条件の関係(煮繭条件パターンの成分)を表2.5および表2.6に示す。表2.5は解じょ張力を含まないときの結果であり表2.6は解じょ張力を含めた結果である。両者を比較すると、 z_1 においては解じょ張力を含めることにより x_1 , x_2 , x_3 成分が小さくなり、 x_4 成分が大きくなっている。このことから触蒸部温度 x_2 と z_1 との相関がさらに大きくなっていることが分かる。 z_2

表 2.5 煮蕪条件パターン (k=8のとき)

煮蕪条件	煮蕪条件パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
X ₁	0.197	0.797	-0.427
X ₂	0.835	-0.201	0.259
X ₃	0.202	0.512	0.628
X ₄	0.054	0.134	-0.298
X ₅	0.470	-0.213	-0.517

表 2.6 煮蕪条件パターン (k=10のとき)

煮蕪条件	煮蕪条件パターン		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃
X ₁	0.135	0.831	0.063
X ₂	0.927	-0.152	-0.301
X ₃	0.146	0.448	-0.129
X ₄	-0.003	0.271	0.233
X ₅	0.318	-0.114	0.913

においては x_1, x_4 との相関が大きくなり、 x_2, x_3, x_5 との相関が小さくなっている。 z_2 においては x_2, x_5 との相関が大きくなり、 x_1, x_3, x_4 との相関が小さくなっている。ただし、煮蕪条件パターンの成分において、符号の変化を伴う大きな変化は z_1, z_2 では z_3 に比較して小さいと判断される。

表2.6より、 z_1 は触蒸部温度との相関が非常に大きく、次いで調整部温度との相関が大きいことが知られる。従って、 z_1 を小さくすることは触蒸部および調整部温度を下げることを意味することから、蕪の煮熟度を抑制するための操作であると解釈される。一方、 z_3 は浸漬部温度次いで浸透部温度との相関が大きい。従って、 z_3 を小さくすることは浸漬部次いで浸透部の温度を下げることを意味することから、蕪層への含水率の調和を図りながら多少蕪の熟度を上げるための操作と解釈される。

4) 解じょ張力による煮蕪条件の制御

すでに示したように z_1 と解じょ張力、とくに平均値の相関が大きいことから煮蕪条件の触蒸部温度、次いで調整部温度と解じょ張力（とくに平均値）の相関が大きいと推定される。また、 z_1 と索抄緒効率との相関が大きいことから索抄緒効率と解じょ張力との相関が大きいと考えられる。従って、解じょ張力を計測することにより表2.6に示された煮蕪条件パターン z_1 と煮蕪条件の関係に従って触蒸部温度および調整部温度を調整することにより解じょ率および索抄緒効率を改善できると考えられる。

具体的には、例えば解じょ率を改善するためには z_1 を大きくすること、すなわち解じょ張力（とくにその平均値）を小さくすればよい。 z_1 を大きくするためには表2.6から触蒸部温度次いで調整部

温度を高くすればよいと考えられる。

なお、このような制御のシステム化については第4章で示す。

以上から、解じょ張力の平均値、分散を測定し、繰糸成績に組み入れることにより、蕪の煮熟状態や繰糸成績（とくに、解じょ率、索抄緒効率）を推定し、煮蕪条件パターンとの関係に基づいて制御できる可能性が見い出されたと考えられる。

なお、解じょ張力平均値および分散の検出器としては十分高い周波数応答性が必要であることを示した。しかし、本節において作製した解じょ張力の検出器を使用しても十分な解じょ張力と繰糸成績および煮蕪条件との関係を得ることができたと考えられる。従って、本検出器のように計測できる周波数の上限が500 Hz程度でも十分であると考えられる。

2.2.3 摘要

解じょ張力は煮蕪における蕪の煮熟状態を推定するための指標の一つとなると考えられる。そこで、繰糸機において解じょ張力を計測するための検出器を作製し、繰糸実験において解じょ張力を計測して、その周波数成分分析を行った。その結果、解じょ張力のスペクトルは直流成分または低周波成分を主としているが、比較的高い周波数成分まで含んでいること、また、解じょ張力の平均値と分散を計測する検出器はできるだけ高い周波数応答性が必要であることを明らかにした。さらに、計測して得た解じょ張力の平均値と分散および各種繰糸成績と煮蕪条件の関係を回帰主成分分析した。その結果、煮蕪条件パターンを介することにより、繰糸成績を改善できる煮蕪の制御規則を見い出すことができることを示した。ま

た、解じょ張力の平均値と分散を計測することが解じょ率、節成績等の繰糸成績を改善する際の適煮条件を判断する指標となることを明らかにした。

第3章 揚返し工程における生糸の節検査

揚返し工程において節成績を把握し、煮繭工程の制御を行うためには節の計測方法とその種類識別方法を確立する必要がある。本章では、これらの点について検討する。

なお、本章の中心的課題の対象となる生糸の節の形態的な定義を表3.1に示す。

3.1 生糸の節の種類識別に与える2方向計測条件の影響

本節では、節計測方法を確立するために、糸の走行方向に対して直交する2方向からレーザー光を当てて節形状を計測（以下、2方向計測とする）し、その波形の幅および面積を特徴量（鳥脇、1993）として抽出して統計量および分布を調べる。また、特徴量の幅について1方向計測と2方向計測の結果を比較することにより節の識別誤りが改善されることを明らかにする。

3.1.1 計測方法と計測装置

図3.1に2方向計測装置の構成を示す。本装置においては被検査生糸を走行させ、その方向に対して直交し、かつ互いに直角な2方向からレーザー光（ビームのスリット径1 mm×5 mm、出力1 mW以下）を当て、糸条による遮光量を受光器（1 X 2、（株）キーエンス製）により測定する。この信号は電圧信号に変換されローパスフィルタを経由して、デジタルサンプリングスコープ（VC-9140、日立株（製））によりA/D変換され、フロッピーディスクに取り込まれてファイルに記録される。デジタルスコープのサンプリング周波数は2.5 kHzであり、ローパスフィルタの遮断周波数および減衰特

表 3.1 節の種類及び定義

大節	大ずる節	糸条の著く太くなっている部分の長さが7mm以上のもの又は糸条の一部が大きな塊状になっているもの
	大つなぎ節	糸条のつなぎ目の切れ端の長さが10mm以上のもの又はそれより短い長さであってもつなぎ方が不良のもの
中節	小ずる節	糸条の著く太くなっている部分の長さが2mm以上7mm未満のもの又は糸条の一部が大きな塊状になっているもの
	中つなぎ節	糸条のつなぎ目の切れ端の長さが3mm以上10mm未満のもの又はそれより短い長さであってもつなぎ方が不良のもの
	大わ節	糸条を構成する蕨糸の一部が糸条から分離して環状になっている部分の長さが10mm以上のもの
	さけ節	糸条を構成する蕨糸の一部が糸条から分離して枝状になっている部分の長さが10mm以上のもの
小節		上記以外の小形のもの

(注) 生糸検査実施細則(昭和63年1月版)、第36条より抜粋

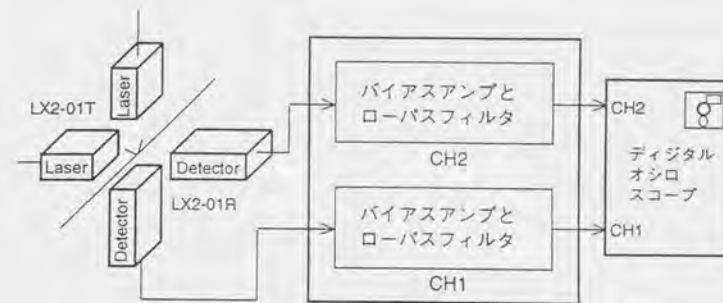


図3.1 節計測装置

性はそれぞれ1kHz, 12dB/octである。これはエリアシング誤差(南, 1986)の影響を防ぐために使用した。また, 糸の走行速度は実験の都合上0.4m/sとした。図3.2に計測した節形状の波形の1例を示す。このシステムを使用して計測した節の種類と数を表3.2に掲げる。節を1回測定すると2方向から計測しているので2つのファイルが生成される。同一の節については9回以上ずつ測定しているので, 一つの節については18以上のファイルが得られる。

直交する2方向から計測した節形状の波形データの特徴量幅, 面積の定義を図3.3に示す。なお, ここでは, 石黒ら(1993)の報告と比較のため, 同様の特徴量を定義している。

図において2つの波形の立ち上がりの速い方の時刻を n_1 , 立ち下りの遅い方の時刻を n_2 とすると, 幅 W は次式で表される。

$$W = n_2 - n_1$$

また, 面積は次式により2方向それぞれについて面積を求め, 大きい方の値を A とする。すなわち, 計測方向 $i(i=1, 2)$ について節形状波形の面積 A_i を

$$A_i = \sum_{n=n_1}^{n_2} f_i(n)$$

で定義し,

$$A = \max(A_1, A_2)$$

により求める。ここで, $f_i(n)$ は i 方向から測定したサンプリング時刻 n における節の遮光量に対応する電圧値である。なお, 1方向計測による節波形の特徴量は2方向計測によるデータファイルの一方のみを使用して求める。

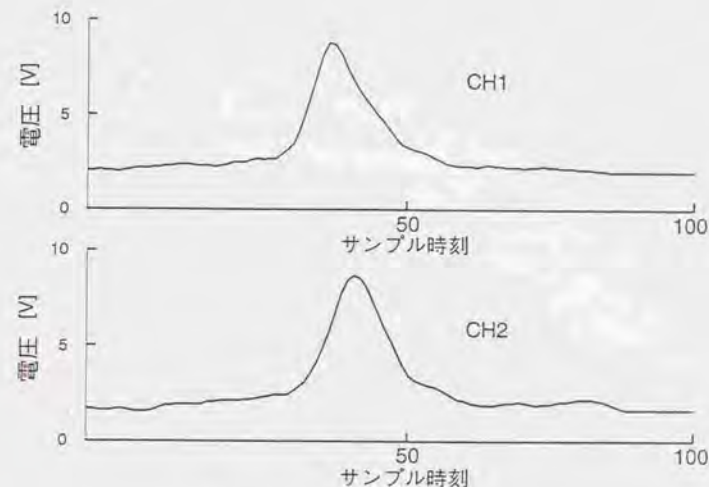


図3.2 2方向計測波形

表 3. 2 計測した節数とファイル数

節の種類	節の数	ファイル数
中節		
小ずる節	11	220
中つなぎ節	10	202
大わ節	12	224
さけ節	9	174
小節	14	278

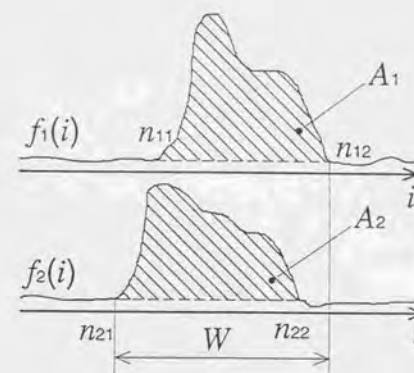


図3.3 特徴量(幅 W 、面積 A)の定義

3.1.2 測定結果と考察

(1) 統計量による特徴量の比較

表3.3に1方向計測および2方向計測における特徴量の幅の算術平均、標準偏差、変動係数の計算結果を掲げる。両方向の結果とも次に示す傾向は共通している。平均値については小節が最も小さく、次いで中つなぎ、大わ、さけ、小ずる節の順に大きくなっており、大わ、さけ節は非常に接近した値をとっている。変動係数については小ずる節と小節が最も小さく次いで大わ、中つなぎ、さけ節の順に大きくなっており、中つなぎ、さけ節はほとんど同じである。

一方、1方向計測と2方向計測結果が異なる点を次に示す。平均値はすべて2方向計測結果が1方向計測結果よりも大きくなっている。このことは、2方向計測の方が節を捉える時間が長いことを示している。従って、1方向計測では節の特徴量が実際よりも小さく測定されることになる。これとは逆に標準偏差、変動係数については1方向計測の方が大きくなっている。とくに、さけ節、中つなぎ節でこの傾向が顕著である。このことはさけ節、中つなぎ節の遮光量が測定時の光の当たる方向により大きく変動すると考えられる。しかし、2方向計測ではこの変動が小さく抑えられるので、特徴空間(鳥脇,1993)における節の分布する座標の誤差が小さく抑えられることになり、節の識別の精度が向上すると考えられる。

(2) 特徴量幅-面積平面における分布の比較

特徴量の幅 W 、面積 A を特徴軸に持つ特徴平面(以下、 W - A 平面とする)における表3.2の測定データの分布を節の種類ごとに図3.4から図3.9に示す。なお、各節の特徴量を特徴量ごとに節全体の

表3.3 幅 W の1方向および2方向計測結果の統計的分析

節の種類	計測方法	平均	標準偏差	変動係数
中節				
小ずる節	1方向	58.3	9.5	0.14
	2方向	61.8	9.0	0.12
中つなぎ節	1方向	23.3	7.5	0.35
	2方向	28.7	5.3	0.21
大わ節	1方向	33.2	6.4	0.19
	2方向	39.6	4.3	0.12
さけ節	1方向	35.3	12.7	0.35
	2方向	42.3	9.2	0.22
小節	1方向	11.3	1.5	0.14
	2方向	13.5	1.7	0.12

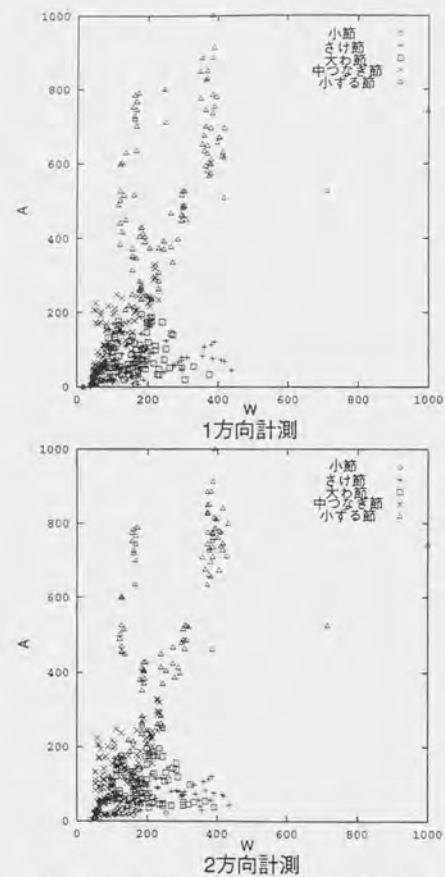


図3.4 全ての節の特徴平面における分布

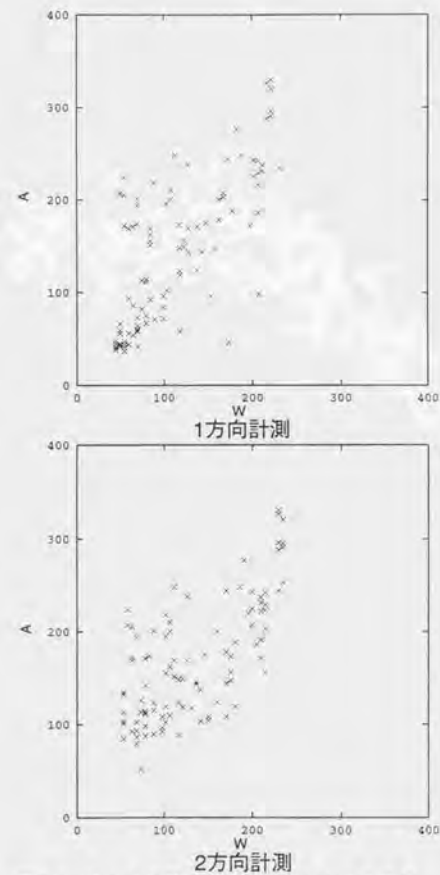
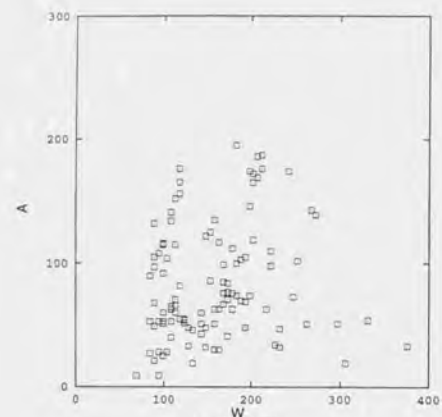
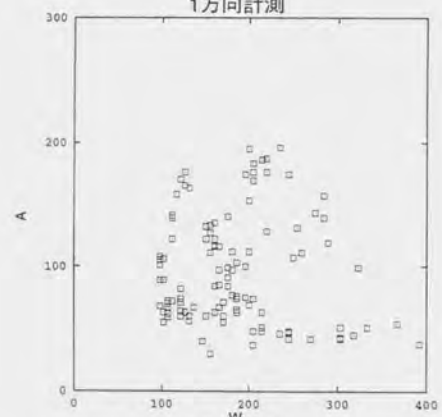


図3.5 中つなぎ節の特徴平面における分布

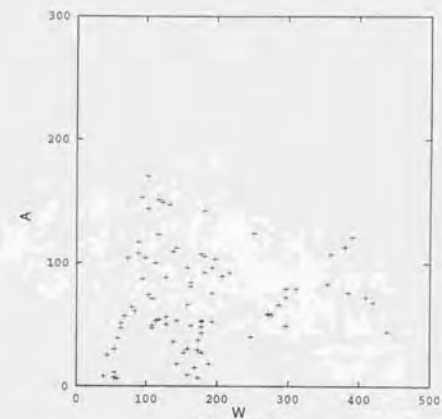


1方向計測

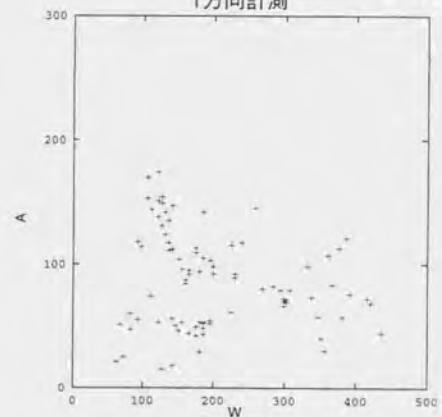


2方向計測

図3.6 大わ節の特徴平面における分布

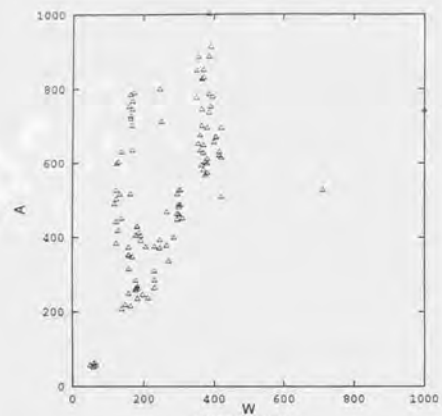


1方向計測

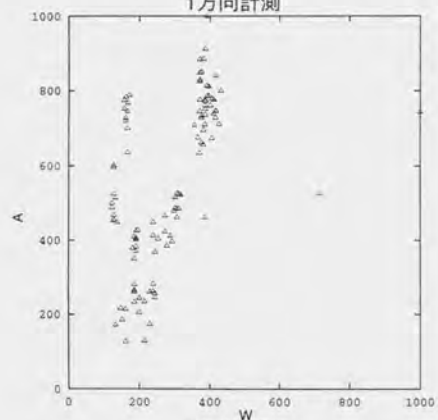


2方向計測

図3.7 さけ節の特徴平面における分布

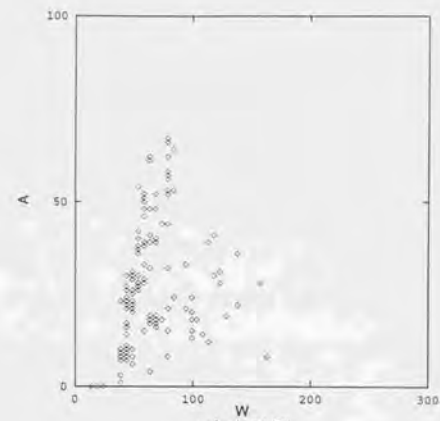


1方向計測

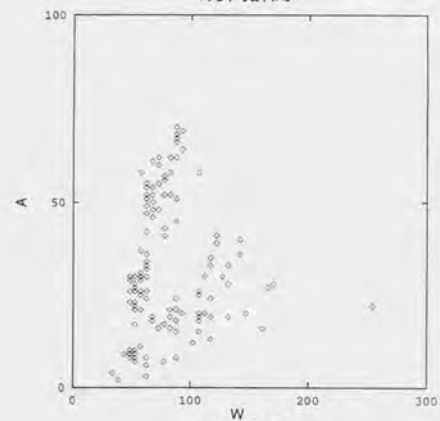


2方向計測

図3.8 小ずる節の特徴平面における分布



1方向計測



2方向計測

図3.9 小節の特徴平面における分布

最大値で1,000に規格化している。また、図の上段が1方向計測結果であり、下段が2方向計測結果である。図3.4は節全体の分布を示しており、図3.5から図3.9は節の種類毎の分布を示している。図3.5は中つなぎの分布を示している。これによると1方向計測結果の原点付近の節分布に密度がとくに高い部分がみられるが、2方向計測ではそのような分布は認められない。図3.6から図3.8についても似た傾向がある。とくに図3.8の1方向計測結果には原点付近に分布がみられるが、2方向計測結果にはみられない。これら原点付近の分布は互いに重なっていると同時に図3.9の小節の分布とも重なっており、識別が困難となると推定される。

なお、図3.4により節の特徴量の W - A 面上の分布を石黒ら(1993)の報告と比較すると、太わ、さけ節の分布がかなり異なっている。図3.4によると小節と大わ・さけ節の分布はかなり分離しているが石黒らの報告では大わ・さけ節が小節の領域に包含されている。これは石黒らの節の計測方法が節の遮光量の微分を求めて、電圧-周波数変換した節形状波形を基に特徴量として幅、面積を抽出するものであり計測方法が本研究におけるものと異なることが原因と推定される。

次に、表3.4に1方向計測における特徴量の幅が2方向計測における幅の $1/2$ 以下(以下、過小とする)になるデータ数を調べた結果を示す。これによると、節の種類にもよるが、最大の場合には15%のデータが過小となっていた。この表では $1/2$ 以上過小となっているもののみの数を示したが、多少でも過小となっているものの全体の数はかなり多い。なお、参考までに図3.10に一方の計測波形からは節形状が検出できない場合の例を示す。

表3.4 1方向計測における幅 W の過小となる割合

節の種類	計測方向 A	計測方向 B	全節数 C	割合(%) (A+B)/2C
中節				
小ずる節	6	4	110	4.5
中つなぎ節	13	1	101	6.9
大わ節	7	1	112	3.6
さけ節	12	16	87	16.1
小節	10	4	139	5.0
合計	48	26	549	6.7

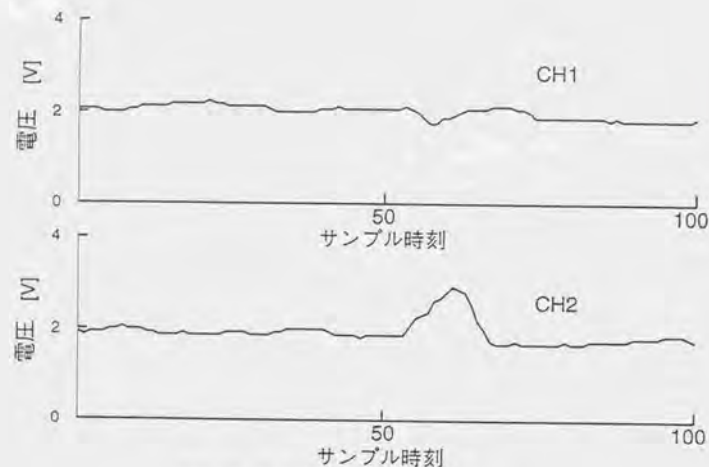


図3.10 さけ節の2方向計測波形

以上(1)、(2)の結果から節検査装置の節の識別機能を改善するためには2方向計測が有効であることが確認された。なお、識別率を上げるために、さらに特徴量を増加して分析する必要があると考えられる。

3.1.3 摘要

生糸の自動節検査装置を開発するための基礎研究として、糸の走行方向に対して直交する2方向からレーザー光を当て、節による遮光量を節形状波形として計測し、1方向からの計測結果と比較検討を行った。その結果、節形状波形の幅および面積値において2方向からの計測結果は1方向からの計測結果に比べ、平均値および変動係数の変動が小さくなることが知られ、2方向計測により節形状の計測精度を改善できることを明らかにした。

3.2 生糸の節形状波形からの特徴量の抽出とその特徴平面における分布

本節では2方向計測した節形状波形の特徴量として幅、高さ、面積、相互相関、波形のスロープ長の5つを定義し、計測した節形状波形から特徴量を抽出した。また、得られた特徴量のうち任意の2つを座標軸に持つ2次元特徴平面における分布を調べ、特徴量間の関係および節の識別を行う上で有効な特徴量の組み合わせを明らかにする。

3.2.1 節の計測方法と特徴量の定義

(1) 節の計測方法

節形状の計測にはセンサとしてレーザ光の発光器・受光器(LX2, 例キーエンス製)を使用し、ローパスフィルタには遮断周波数1 kHz、減衰特性12 dB/OCTのものを作成した。センサによりアナログ電圧に変換された節形状の波形データはデジタルオシロスコープ(VC-9140, 日立製)によりフロッピーディスクに記録した。

(2) 節形状波形における特徴量の定義

計測した節形状の波形における特徴量を図3.11のとおり定義する。また、これらの特徴量を次式のとおり定式化する。まず、節形状波形の幅 W 、高さ H 、面積 A を(3.1)から(3.3)式により定める。

$$W = n_{12} - n_{11} \quad (3.1)$$

$$H = \max_{n \in [n_{11}, n_{12}]} \{f_1(n)\} \quad (3.2)$$

$$A = \sum_{n=n_{11}}^{n_{12}} f_1(n) \quad (3.3)$$

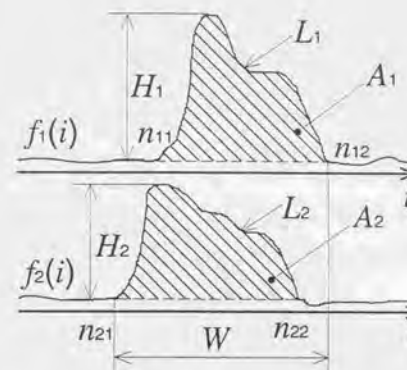


図3.11 特徴パラメータの定義
 $f_1(i)$, 1方向計測波形; $f_2(i)$, 2方向計測波形; 幅 W ; 高さ H , H_1 と H_2 の大きい方の値; 面積 A , A_1 と A_2 の大きい方の値; 長さ L , 波形に沿った長さ L_1, L_2 の長い方の値。

ここで、 i ($i=1, 2$) は測定した方向を表し、1, 2方向は互いに直交している。 $f_i(n)$ は i 方向から測定したサンプリング時刻 n における節の遮光量に対応する電圧値である。また、 n_{i1}, n_{i2} はそれぞれ i 方向から測定した節形状波形の立ち上がりのサンプリング時刻、立ち下がりサンプリング時刻を表す。さらに、これらのデータを基に2方向計測の特徴量の幅 W 、高さ H 、面積 A を(3.4)から(3.8)式のとおり定める。

$$W = n_2 - n_1 \quad (3.4)$$

$$H = \max(H_1, H_2) \quad (3.5)$$

$$A = \max(A_1, A_2) \quad (3.6)$$

ここで、 n_1, n_2 は(3.7), (3.8)式で表される。

$$n_1 = \min(n_{11}, n_{12}) \quad (3.7)$$

$$n_2 = \max(n_{21}, n_{22}) \quad (3.8)$$

また、相互相関 C およびスロープの長さ L は(3.9), (3.10)式により定める。

$$C = \frac{1}{W} \sum_{k=n_1}^{n_2} f_1(k) \cdot f_2(k) \quad (3.9)$$

$$L = \frac{1}{W} \sum_{k=n_1}^{n_2} \sqrt{1 + \{f_2(k) - f_1(k)\}^2} \quad (3.10)$$

ここで、相互相関 C は2方向からの計測の利点を反映できるパラメータである。この値が大きいほど節の厚みがあり、小さいほど偏平であることを表している。

なお、これらの5種の特徴量はすでに示した表3.2の節波形データファイルについて求めた。

3.2.2 節形状波形からの特徴抽出とその分布

(1) 特徴量の平均値、標準偏差、変動係数

得られた特徴量の算術平均、標準偏差、変動係数を個々の節ごとに求め、さらに節の種類ごと平均した結果を表3.5に示す。これによると、幅、高さ、面積、相互相関の平均値については小節、さけ、大わ、中つなぎ、小ずる節の順に大きくなっており、さけ、大わ節の値は接近している。スロープの長さのみ中つなぎ節が最大となっている。相互相関については小ずる節が他の節と比較してけた違いに大きいので、この特徴量により識別ができると考えられる。変動係数についてはどの特徴量においても小節、小ずる節が最も小さくついで大わ、中つなぎ、さけ節の順に大きくなっている。とくに、さけ節は同一の節でもかなり分布がばらついており、他の節の分布と重複していることから、識別が困難になると推定される。

以上のことから特徴量の相互相関により小ずる節と他の節の識別はある程度の可能と考えられるが他の節識別は一つの特徴量のみでは困難であると推定される。

(2) 特徴平面における分布

5つの特徴量のうち2つを特徴軸に持つ特徴平面(以下、例えば幅と高さを特徴軸とする平面を $W-H$ 平面とする)における節の特徴量の分布を求めた。このとき、特徴量の数が5であるから $C_2=10$ 種の特徴平面における節の分布が得られる。なお、各節の特徴量は特徴量毎にすべての節の最大値を1.000として規格化されている。

1) 特徴量間の関係

全節の特徴平面上の分布を調べた。これによると例えば特徴量 A と L には相関がほとんど認められなかった(図3.12A)。従って、 A と L

表 3.5 計測した節の統計量

特徴量	節	平均値	標準偏差	変動係数
W	小節	13.53	1.77	0.131
	さけ節	42.35	9.26	0.219
	大わ節	39.64	4.39	0.111
	中つなぎ節	28.79	5.35	0.186
	小ずる節	61.81	9.04	0.147
H	小節	75.80	5.91	0.078
	さけ節	108.16	24.75	0.229
	大わ節	127.16	20.63	0.163
	中つなぎ節	214.24	56.90	0.266
	小ずる節	604.64	40.27	0.067
A	小節	408.52	40.11	0.099
	さけ節	1,138.00	186.86	0.165
	大わ節	1,273.15	144.21	0.114
	中つなぎ節	2,347.26	459.68	0.196
	小ずる節	8,299.78	545.79	0.066
C	小節	1,271.84	237.46	0.187
	さけ節	1,998.32	698.15	0.350
	大わ節	2,921.99	1,349.86	0.462
	中つなぎ節	8,162.52	4,533.96	0.556
	小ずる節	46,629.70	3,803.22	0.082
L	小節	172.16	17.59	0.103
	さけ節	123.84	37.79	0.306
	大わ節	126.53	23.65	0.187
	中つなぎ節	309.80	124.87	0.404
	小ずる節	297.74	29.57	0.100

は特徴量として使用できることになる(鳥臨, 1993)。同様に残り9の平面における分布を検討した結果, ほとんどの場合にやはり相関が認められなかった(例えば図3.12B, 図3.13A)。比較的相関が高いと推定される特徴平面は図3.13Bに示すH-A平面であったが, この場合も相関はそれほど高いとはいえず, 節の識別において特徴量はすべて使用できると判断される(残りの6の平面における分布図は略す)。以上10の平面における結果を総合すると, 特徴量の組み合わせにより節の分布がかなり異なっていること, 分布によっては節の種類の識別が可能なものがあることが判明した。そこで, この点について次に検討した。

2) 特徴平面における分布による節の種類の識別の可能性

特徴平面が節の判別に適していると判断される例を図3.14から図3.17に示す。図3.14においてA,Bを比較するとほとんどの小ずる節が他の節と分離し, Cの大きい領域に分布していることが分かる。このことから, 小ずる節は厚みがあり, 小ずる節以外の節は小ずる節に比較して扁平であると判断される。

図3.15によると, 中つなぎ節の約1/2がL軸の正方向に伸びて, 他の節と重複しない領域に分布している(図3.15A)。このことから中つなぎ節の約1/2が判別ができると推定される。

図3.16より, 小節が原点付近に集中して分布しており, 他の節との判別が可能と推定される。しかし, 大わ・さけ節と分布に重複があり, 識別率の低下が予想される。

図3.17の結果から, 大わ, さけ節はほとんど分布が互いに重複しており, ごく一部しか判別ができないと推定される。しかし, 大わ・さけ節を同一視すれば, 同図Bの小節, 中つなぎ節の分布とも一部

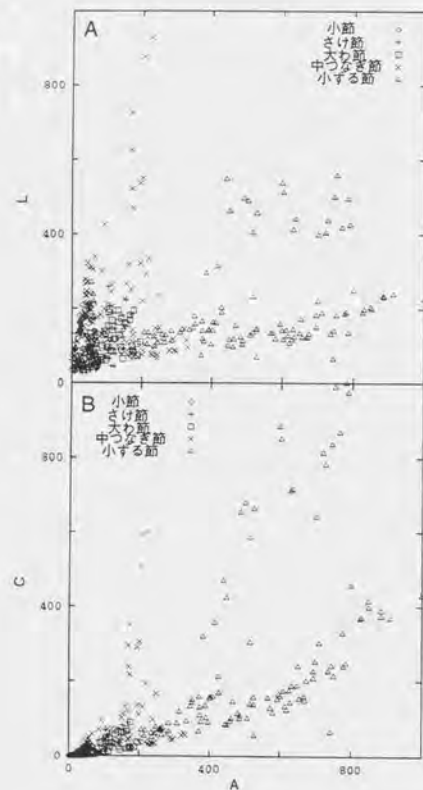


図3.12 すべての種類の節のA-L平面(A)とA-C平面(B)における分布

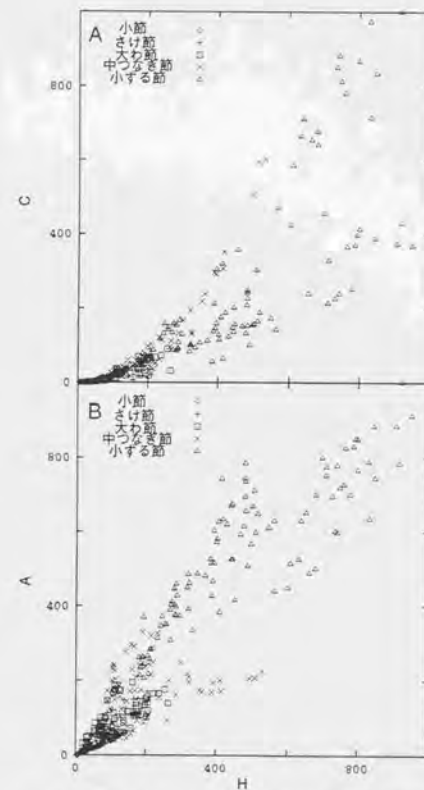


図3.13 すべての種類の節のH-C平面(A)とH-A平面(B)における分布

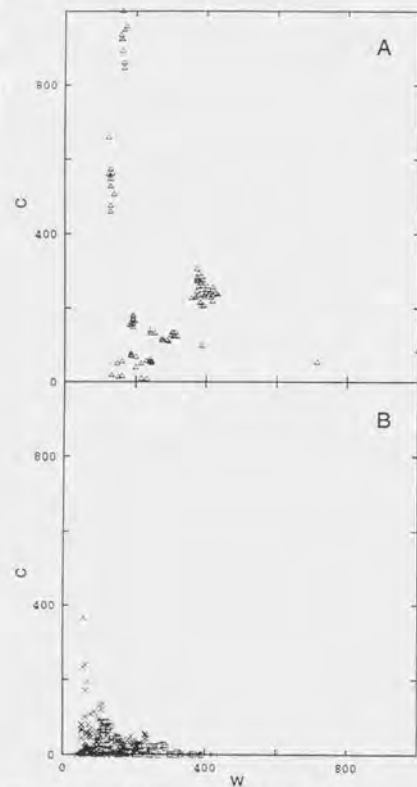


図3.14 W-C平面における小ずる節(A)と小ずる節を除いたすべての種類の節(B)の分布

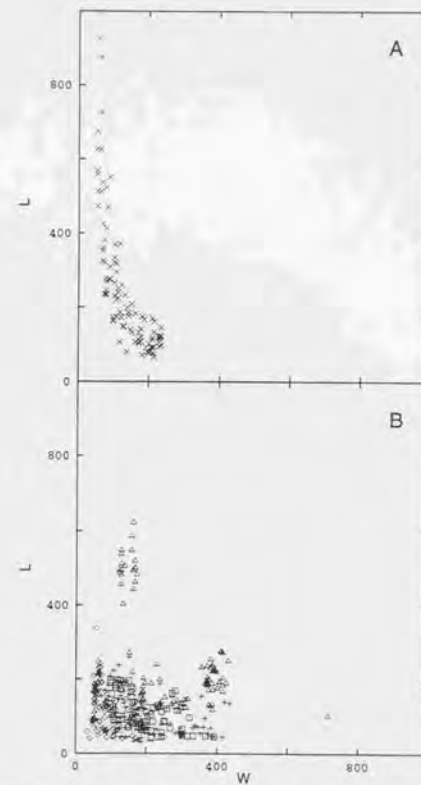


図3.15 W-L平面における中つなぎ節(A)と中つなぎ節を除いたすべての種類の節(B)の分布

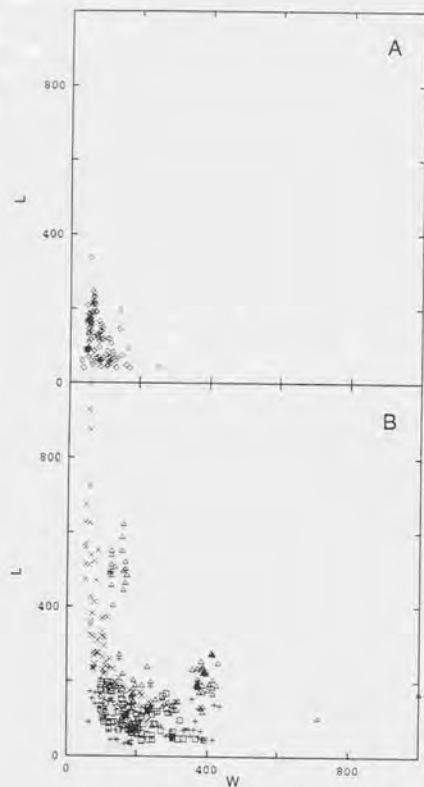


図3.16 W-L平面における小節(A)と小節を除いたすべての種類の節(B)の分布

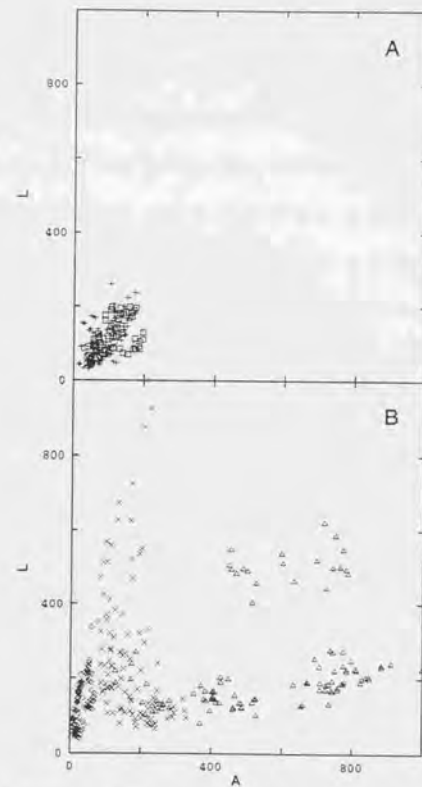


図3.17 A-L平面における大わ・さけ節(A)と大わ・さけ節を除いたすべての種類の節(B)の分布

重なりがあるものの、かなりの部分で他の節との判別が可能となると判断できる。

以上、1)、2)に示した特徴平面における分布の分析結果から節の種類の識別の可能性を検討すると、小節、さけ・大わ・中つなぎ節、小ずる節の3群の判別については可能性が高いと判断される。次いで、中つなぎ節と大わ・さけ節との識別の可能性が高いと推定される。しかし、さけ、大わ節は分布が互いにほとんど重複しているため、一部の節の識別しか望めないと考えられる。また、節の種類により識別に効果的な特徴量は異なることが定性的ながら知られた。さらに、特徴量を増加して3次元から5次元の特徴空間における分布を分析することにより節の識別率を改善できる可能性がある。しかし、3次元以上の空間で分布を示すことは大きな困難を伴うので、次節では識別率のみを算出し、その結果から節の種類毎に適切な特徴量の組み合わせを検討する。

3.2.3 摘要

生糸の節の自動識別装置を開発するための基礎研究として、レーザー光により2方向から計測した節形状波形について5つの特徴量(幅、高さ、面積、相互相関、スロープの長さ)を定義し、これらの特徴量を抽出した。さらに、得られた結果について節の5つの種類毎に統計量および特徴平面における分布を調べた。その結果、小ずる節は相互相関により他の節と識別が可能で、中つなぎ・大わ・さけ、小節、小ずるの3群の識別が可能であること、中つなぎ、大わ・さけについては半分程度の識別が可能であること等の知見を得た。

3.3 生糸の節の種類識別のためのファジー識別規則の生成

前節で定義した特徴パラメータを計測した節形状波形から抽出して得た節パターンにより節の種類識別を行うパターン識別の方法はパターンの統計量を用いて処理するパラメトリックな方法と統計量を用いないで処理するノンパラメトリックな方法(鳥脇,1993)とに大別できる。節パターンの統計量を得るには十分なサンプルの数が必要であり、容易でない。このため、本節では、ノンパラメトリックな方法を採用する。この種の方法には、主なものに識別関数による方法(鳥脇,1993)、ニューラルネットによる方法(鳥脇,1993)、ファジールールによる方法(ISHIBUCHI et al.,1992)等がある。識別関数による方法は識別規則を生成させるシステム化が困難であるという問題点を持っている。ニューラルネットによる方法は学習機能により識別規則を生成させるが、識別規則を節検査員に理解し易い形式で示すことや節の識別結果と節の持つ特徴を対応させて節検査員に示すことは困難である。これに対し、ファジールールによる方法は識別規則が節の特徴量と対応するif-then形式で表現されるので、検査員に理解しやすいと考えられる。

そこで、本節では、ファジールールで表現される節の識別規則を節パターンに基づいて生成するシステムの開発について述べる。さらに、システムを使用して節の識別規則(ファジールール)を生成し、その分布を分析する。

3.3.1 計測・分析装置と方法

(1) 使用機器

節の識別規則生成システムを構成するためにワークステーション

(Nextstation Turbo, Next社製, メモリ:16MB, ハードディスク:1.25GB)を使用し, OSはUNIX (Nextstep, Ver. 3.0, Next社製), 開発言語はC言語 (Objective-C, Next社製)を使用した。節パターン・データは実際のシステムを想定して, 図3.1の計測システムにおいて糸条走行速度を150mm/s, サンプリング周波数10kHzとして改めて計測した。節パターンは5種の節(小節, 大わ節, さけ節, 中つなぎ節, 小ずる節)について各節250個, 計1250個, すなわち $m=1250$ の節パターンを使用した。

(2) 節のファジー識別規則の生成方法

節の識別規則の生成は1次元の節パターンについても行うが, 説明の都合上, 2次元以上の節パターンについてその方法を示す。表記を簡単にするために与えられた m 個の節パターン x_p は2つの特徴量 x_{p1}, x_{p2} をもつ, すなわち $x_p = (x_{p1}, x_{p2})$; $p=1, 2, \dots, m$ とする。従って, 節パターン空間を2次元平面 $[0, 1] \times [0, 1]$ とし, 節パターンは M 種の節の種類 C_1, C_2, \dots, C_M に同数ずつ分類されているとする。このとき, 節の種類と節パターンは次に示すファジー識別規則により対応づけられる。

R_{ij}^K : If x_{p1} is B_i^K and x_{p2} is B_j^K

then x_p belongs to C_{ij}^K with $CF=CF_{ij}^K$ (3.11)

ここで, R_{ij}^K は識別規則のラベル, B_i^K と B_j^K は区間 $[0, 1]$ 上のファジー部分集合, C_{ij}^K は識別規則の結論で節の種類, CF は識別規則の確信度(上野, 1989)を表す。

節パターン空間の各特徴軸は K 個($K \geq 2$)のファジー部分集合 $B_1^K, B_2^K, \dots, B_K^K$ に分割されている。従って, 2次元節パターン空

間は次式で表される K^2 個のファジー部分集合 B_{ij}^K に分割されている。ただし, 次式の \times は直積を表す。

$$B_{ij}^K = B_i^K \times B_j^K, i=1, 2, \dots, K; j=1, 2, \dots, K$$

また, ファジー集合 B_i^K に対応する3角形のメンバーシップ関数については次式で定義されるものを使用した。

$$\mu_i^K(x) = \max\{1 - |x - a_i^K|/b^K, 0\}$$

ここで,

$$a_i^K = (i-1)/(K-1)$$

$$b^K = 1/(K-1)$$

である。上記2次元節パターン空間を $K=5$ としてファジー分割し, ファジー部分集合との対応を図3.18に示す。なお, 図中の点, \odot , $+$ 等の記号は種類毎の節パターン例の分布を表す。

節の識別規則(3.11)は結論部の C_{ij}^K と確信度 CF_{ij}^K を求めることにより生成され, その手続きを以下に示す。

1) ファジー部分集合 B_{ij}^K への節パターン x_p の適合度を

$\mu_{ij}^K(x_p)$ で表し,

$$\mu_{ij}^K(x_p) = \mu_i^K(x_{p1}) \cdot \mu_j^K(x_{p2})$$

により求める。これを基に節の種類毎に適合度の総計 $\beta_{C_{ij}^K}$ ($i=1, 2, \dots, M$)を次式により求める。

$$\beta_{C_{ij}^K} = \sum_{p \in C_{ij}^K} \mu_{ij}^K(x_p)$$

2) $\beta_{C_{ij}^K}$ が最大となる節の種類 C_X を求める。すなわち,

$$\beta_{C_X} = \max\{\beta_{C_{11}^K}, \beta_{C_{12}^K}, \dots, \beta_{C_{MM}^K}\}$$

ただし, C_X が一意に定まらないときは $C_{ij}^K = \phi$ とし, $CF_{ij}^K = 0$ とする。

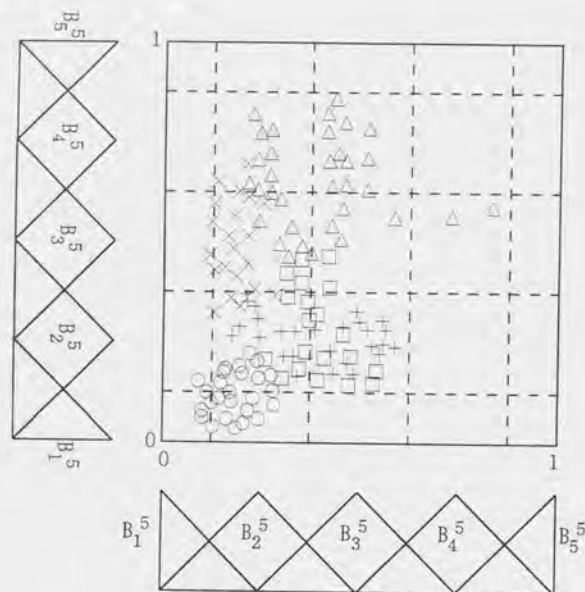


図3.18 ファジー分割と節の分布

3) β_{cx} が一意に定まるときはその CX を識別規則の結論 C_{ij}^k とし、 CF_{ij}^k を次式により求める。

$$CF_{ij}^k = \beta_{cx} / \beta_{ct} \quad (3.12)$$

ここで、

$$\beta_{ct} = \sum_{i,j} \beta_{ct}$$

である。なお、(3.12)式より CF_{ij}^k は閉区間 $[0, 1]$ の値をとる。

以上の手続きにより、分割空間に対応するファジー識別規則の確信度を決定できる。これは、識別規則が生成されることを意味する。

3.3.2 識別規則生成結果と考察

生成した識別規則を確信度の分布図で表し、以下に分析結果を示す。なお、 $K=11$ とした。また、節パターンは節形状波形における幅 W 、高さ H 、面積 A 、相互相関 C 、スロープの長さ L を成分に持つものとした。

(1) 1次元の特徴軸上の識別規則の分布

図3.19のAからEにそれぞれの特徴軸において生成された規則の分布を示す。図において、確信度 CF_{ij}^k を(3.12)式で求めているので、 $CF_{ij}^k < 1$ のときは複数の節種類の識別規則が競合して生成されていると判断することができる。これらの結果から、次のことが分かる。

- ① 小ずる節に関する識別規則はEを除いて特徴軸上のファジー分割領域の最も大きい位置(A:8.9, B:7-11, C:5-11, D:2-11)の位置に生成されている。
- ② Dにおいて、特徴量Cについては小ずる節に関する識別規則が2-11

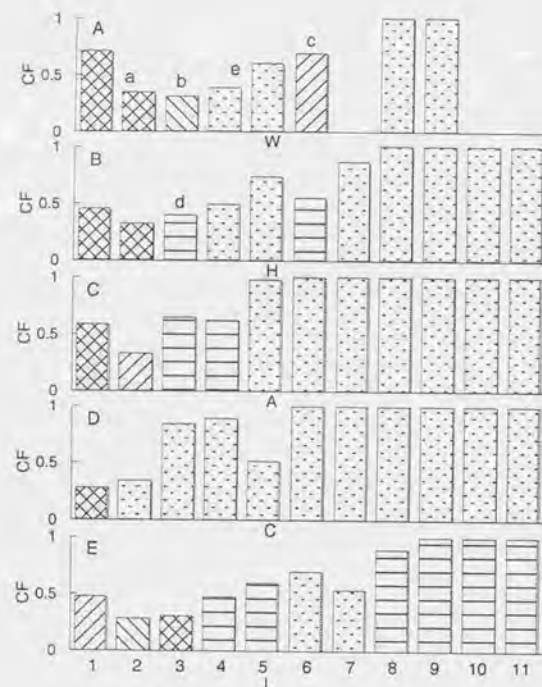


図3.19 特徴量毎の生成された識別規則
(a,小節; b,大わ節; c,さけ節; d,中つなぎ節; e,小ずる節)

と多くの分割位置に生成されている。

- ③小節に関する識別規則は、Eを除いて特徴量の1または2の分割位置に生成されている。ただし、A,Bについては1,2の両方の分割位置に生成されている。確信度の最大値はAにおいて得られている。
- ④中つなぎ節に関する識別規則はEにおいて4,5および8-11の分割位置に生成されている。このとき、9-11における確信度は1である。
- ⑤大わ節に関する識別規則はB,C,Dでは生成されていない。さけ節についてはB,Dにおいて生成されていない。また、両者とも他の節に比べて生成された規則数が少ない。

以上のことから次のことが推定される。小ずる節についてはDにおける生成規則数が最も多いことから、相互相関Cが係わる識別規則により、高い識別率を得ることができると考えられる。小節については③からHとIが係わる識別規則により高識別率が得られると推定される。中つなぎ節についてはLが係わると考えられる。また、大わ、さけ節については他の節に比較して識別が困難であると判断される。

(2) 2次元上の分布

生成した規則を分析するために、5種の特徴量のうち任意の2つの特徴量を特徴軸に持つパターン空間と対応するルール平面に生成した識別規則の確信度を分布させた。節パターンは5つの特徴量を持っているので、その組み合わせの数から10種のルール平面における識別規則の分布を調べた。そのうち、節の種類毎(小節、さけ節、大わ節、中つなぎ節、小ずる節の順)に識別規則の分布数が多いものを図3.20から3.24に示す。なお、節の凡例はすべて図3.20と同じであるので、他の図では省略して示した。これらの生成された識別規則数およびそのときの特徴平面(特徴量の組み合わせ)を表3.6

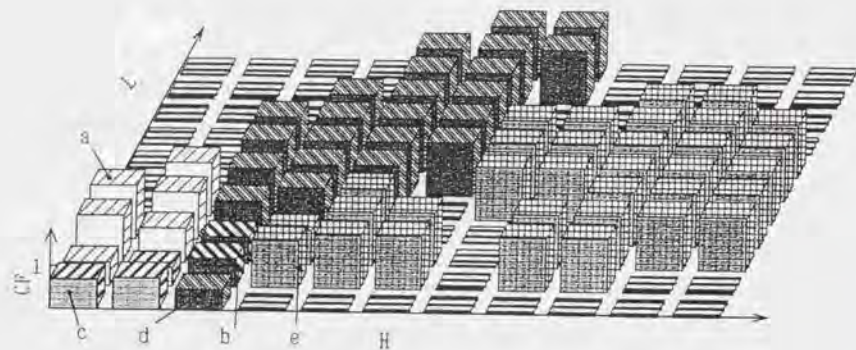


図 3.20 H-L 平面における生成されたファジー識別規則。
a: 小節, b: 大わ節, c: さけ節, d: 中つなぎ節, e: 小ずる節。
(以下同じ)

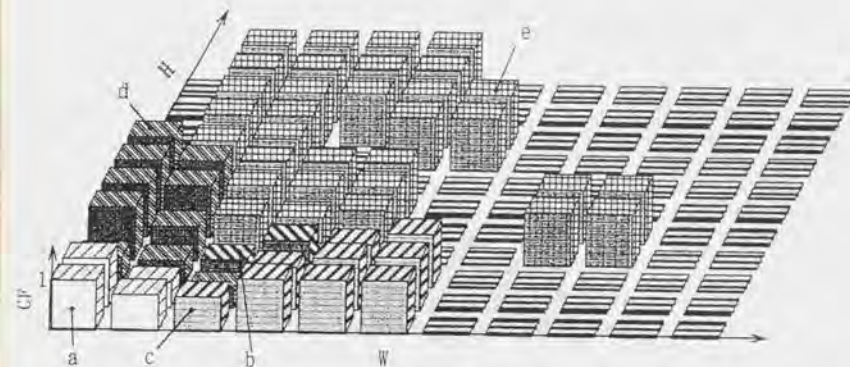


図 3.21 W-H 平面における生成されたファジー識別規則

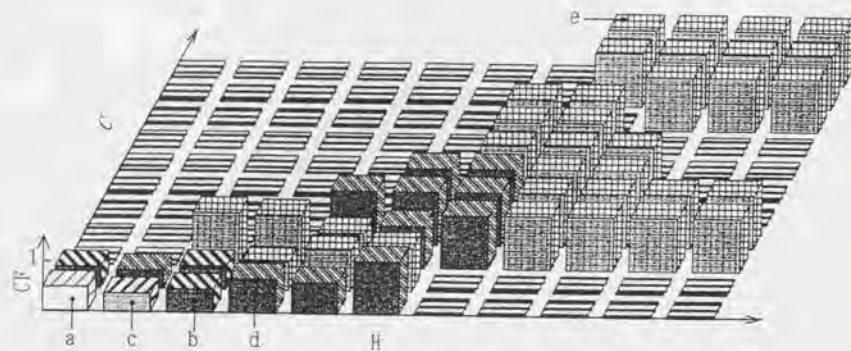


図 3.22 H-C 平面における生成されたファジー識別規則

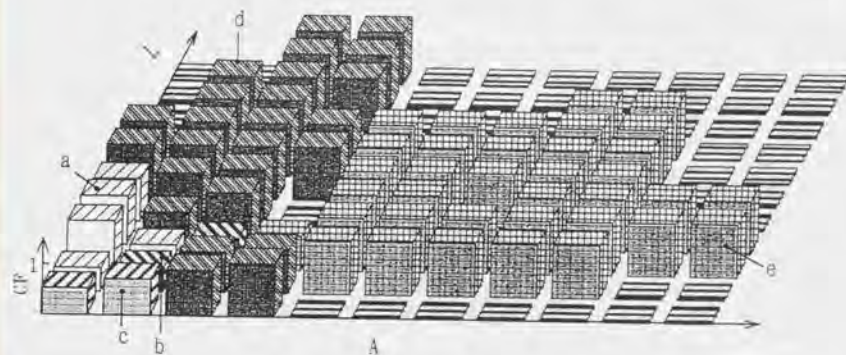


図 3.23 A-L 平面における生成されたファジー識別規則

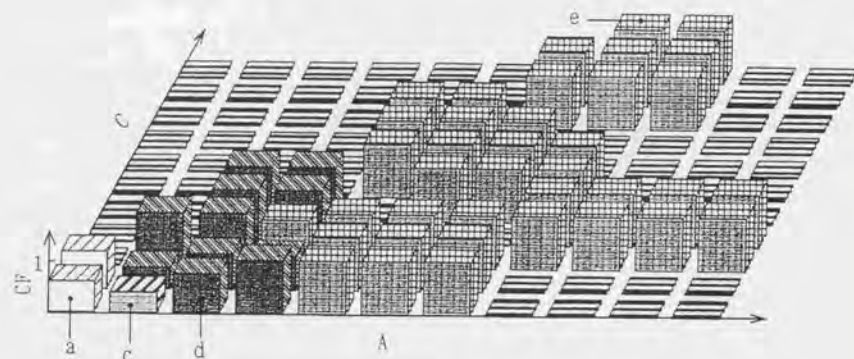


図 3.24 A-C 平面における生成されたファジー識別規則

表 3.6 ファジー識別規則平面におけるルール生成数

節の種類	1		2		3	
	ルール数	特徴量組	ルール数	特徴量組	ルール数	特徴量組
小節	6	H-L W-L	5	A-L		
大わ節	9	W-H	8	W-A	7	W-L
さけ節	3	H-C W-A	2	W-H, W-L H-L, A-L		
中つなぎ節	2 5	A-L	2 4	H-L	1 5	W-L
小ずる節	3 8	A-C	3 6	A-L	3 4	H-A, H-C

に示す。図および表から以下のことが考察される。

- ①小ずる節は他種の節との競合が少ないため、生成された識別規則数が多く、その生成された規則の確信度のほとんどが1である(図3.20から3.24)。このことから、小ずる節の識別率は他種の節と比較して最も高くなると推定される。
- ②小節は生成された規則数は最高で6個と少ない(表3.6、図3.20)。しかし、確信度が1である規則数はその2/3と比較的多い。また、節の分布も狭い範囲に集中しているので、高識別率を得ることができる可能性がある。このとき、生成数が多いLに係わる規則を使用することにより高識別率が得られると推定される。
- ③中つなぎ節はLを含むルール平面で生成された規則が多い(表3.6)。特にA-L平面で多い(図3.23)。このことからA、Lを含む識別規則を使用することにより高識別率が得られると推定される。
- ④大わ節は他種の節と競合しているため、生成された識別規則は最も少なく、確信度もすべて1に満たない(図3.22)。従って、高識別率を得ることは困難であると推定される。
- ⑤さけ節は生成された識別規則数は中位であるが、他種の節との競合も比較的多いため、確信度が1に満たない規則が約1/2と多い(図3.21)。従って、高識別率を得ることは困難と推定される。

3.3.3 摘 要

生糸の節の自動識別装置を開発するための基礎的研究として、レーザー光により計測した節形状波形から抽出した各種類の節の特徴量(幅、高さ、面積、相互相関、スロープの長さ)に基づいて節の種類識別規則(ファジールール)を生成した。この識別規則は特徴量を座標軸

とする特徴空間を分割してできるファジー集合と特徴空間に位置する節との対応関係をif-then形式で表現するものである。さらに、生成した規則の1次元および2次元の分割空間における分布を調べた。その結果、生成された識別規則は小ずる節に対応するものが最も多く、次いで小節、中つなぎ節の順であった。このことから、小ずる節の識別率が最も高く次いで小節、中つなぎ節の順で低くなると推定された。また、このとき、識別率が高くなる特徴量の組合せは小節がH-L、大わ節がW-H、さけ節がH-C、中つなぎ節がA-L、小ずる節がA-Cであると推定された。

3.4 ファジー識別規則による生糸の節の種類識別

本節では特徴量の集合の組み合わせ（以下、特徴集合とする）と節パターン空間における特徴軸の分割数をパラメータとするファジー識別規則を生成して節の種類識別実験を行い、節の種類毎に高識別率を得るためのパラメータの組合せ条件と識別規則におけるファジー分割数の条件を明らかにする。

3.4.1 材料と方法

(1) 使用機器

コンピュータにはワークステーション(Nextstation Turbo, Next社製, メモリ:16MB, ハードディスク:1.25GB)を使用した。オペレーティングシステムはUNIX(Nextstep, Ver. 3.0, Next社製)を使用し、識別システムのソフトウェアはC言語(Objective-C, Next社製)により作製した。

(2) ファジー識別規則による節の種類識別方法

節の識別は前節に示した方法により生成したファジー識別規則を使用して行った。識別方法は基本的にはISHIBUCHIら(1992)の方法に基づいて行った。識別規則について以下に簡略して示す。なお、表記を簡単にするために与えられた m 個の節パターン x_p は2つの特徴量 x_{p1}, x_{p2} を成分に持つ。すなわち $x_p = (x_{p1}, x_{p2})$; $p=1, 2, \dots, m$ とする。従って、節パターン空間を2次元平面 $[0, 1] \times [0, 1]$ とし、節パターンは M 種の節の種類 C_1, C_2, \dots, C_M に分類されているとする。このとき、節の種類と節パターンは次に示すファジー識別規則により対応づけられる。

$$\begin{aligned} R_{ij}^k: & \text{If } x_{p1} \text{ is } B_i^k \text{ and } x_{p2} \text{ is } B_j^k \\ & \text{then } x_p \text{ belongs to } C_{ij}^k \text{ with } CF=CF_{ij}^k \end{aligned} \quad (3.13)$$

ここで、 R_{ij}^k は識別規則のラベル、 B_i^k と B_j^k は区間 $[0, 1]$ 上のファジー部分集合、 C_{ij}^k は識別規則の結論部において節の種類を表し、 CF は識別規則の確信度(小林, 1986)である。

節パターン空間の各特徴軸は K 個 ($K \geq 2$) のファジー部分集合 $B_1^k, B_2^k, \dots, B_K^k$ に分割されている。従って、2次元節パターン空間は次式で表される K^2 個のファジー部分集合 B_{ij}^k に分割されている。

$$B_{ij}^k = B_i^k \times B_j^k, i=1, 2, \dots, K; j=1, 2, \dots, K$$

また、ファジー集合 B_i^k には3角形のメンバーシップ関数を対応させる。

次に節の識別方法を示す。生成された(3.13)式の識別規則を使用して、未知の節パターン x_p を次のファジー推論により識別する。

- ① 節の種類 C_t を結論部にもつファジー識別規則毎に x_p のファジー部分集合 B_{ij}^k への適合度(規則への適合度) $\mu_{ij}^k(x_p)$ を次式により求める。

$$\mu_{ij}^k(x_p) = \mu_i^k(x_{p1}) \cdot \mu_j^k(x_{p2})$$

ここで、 $\mu_i^k(x_{p1})$ 、 $\mu_j^k(x_{p2})$ はそれぞれ節パターン x_p の各特徴軸におけるファジー部分集合 B_i^k, B_j^k への適合度である。

- ② 節の種類 C_t ($t=1, 2, \dots, M$) を結論部にもつファジー識別規則毎に適合度 $\mu_{ij}^k(x_p)$ と確信度 CF_{ij}^k の積の最大値 α_{ct} を求める。すなわち、

$$\alpha_{ct} = \max\{\mu_{ij}^k(x_p) \cdot CF_{ij}^k \mid C_{ij}^k = C_t; i, j=1, 2, \dots, K, t=1, 2, \dots, M\}$$

である。

- ③ α_{ct} が最大となる節の種類 C_X を求める。すなわち、

$$\alpha_{cX} = \max\{\alpha_{c1}, \alpha_{c2}, \dots, \alpha_{cM}\}$$

である。一意に α_{cx} が求まるときは CX を推論結果とする。すなわち、節パターン x_0 は節の種類 CX に属していると決定する。しかし、複数の種類が最大値をとる場合は出現率の高い節の種類 CX を推論結果とする。また、 x_0 に対応する識別規則が存在しない場合は以下に例示する識別規則探索法により CX を決定する。

いま、図 3.25 において x_0 が関係する規則 $R_{i,j}^k, R_{i-1,j}^k, R_{i,j+1}^k, R_{i-1,j+1}^k$ は存在しないとする。そこで、これらの規則の周辺の 12 個の規則 $R_{i-1,j-1}^k, R_{i,j-1}^k, \dots, R_{i+1,j}^k$ を探索し、 $CF \neq 0$ の規則の節種類 CX を推論結果とする。これを識別規則探索法と呼ぶ。もし、複数の CX が存在するときにはルール空間における距離が最小の規則が与える CX とする。

(3) 節の種類識別実験方法

5 種の節（小節、大わ節、さけ節、中つなぎ節、小ずる節）について各種類の節 300 個、計 1500 個の節パターンを前節で使用したものに追加計測して用意した。識別実験は次の手順で行った。① 1500 個の節パターンから、各種類毎に 250 個、計 1250 個をランダムにサンプリングし、前節の方法によりファジー識別規則を生成する。② 残りの各種類 50 個、計 250 個により識別実験を行い、識別率を求める。③ 以上①、②を 5 回繰り返す。識別率の平均値を求める。

各特徴軸の分割数 K は 15 から 30 の範囲とし (ISHIBUCHI et al, 1992)、特徴量を軸に持つファジー識別規則空間の次元数 (以下、次元数とする) は 2 から 5 次元の範囲で調査した。なお、以下例えば 2 次元節パターン空間で生成したファジー識別規則は 2 次元ファジー識別規則とする。また、節パターンは節形状波形における幅 W 、高さ H 、面積 A 、相互相関 C 、スロープの長さ L を特徴量として持つものを使用した。

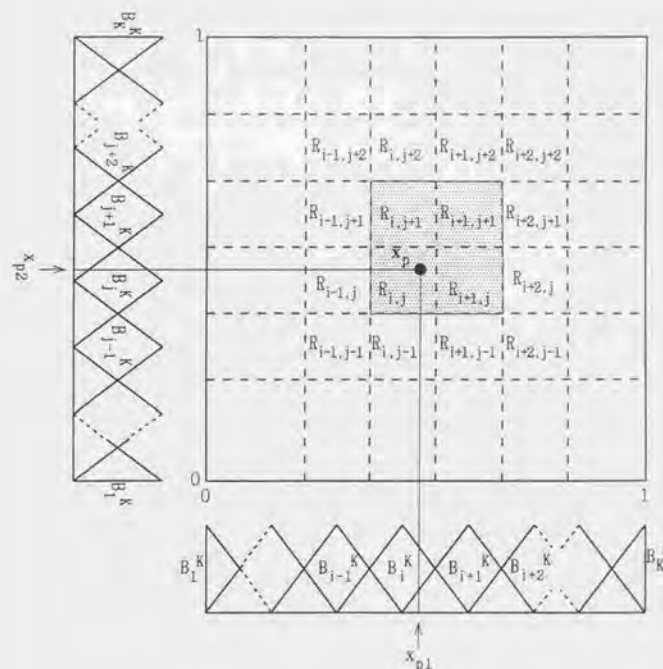


図 3.25 ルール探索アルゴリズムの説明図

3.4.2 識別実験結果と考察

(1) 2次元の識別規則による識別実験結果

5つの特徴量のうち2つの特徴量に基づいて生成した識別規則を使用して識別実験を行った。その結果を表3.7に示す。特徴量の組み合わせは10通りあり、そのうち高識別率が得られた3組についてそれぞれの節毎に示した。これによると小ずる節の識別率が92.8%と最も高い。分割数は16とそれほど大きい値ではない。特徴量にはAとCを含んでいる。このことからA, Cは小ずる節について高識別率を得るための重要なパラメータであることがわかる。とくにCは他の節の識別結果には現れていない。このことは小ずる節が他の節に比べて体積が大きいことから、節の体積と相関の大きいCが小ずる節の識別において重要な役割を果たしていると考えられる。

さけ節、大わ節は識別率がそれぞれ50%, 30%程度と非常に低い。大わ・さけ節は生成原因がほとんど同じで、ずる系の節に比較して減点の度合いが小さくなる方向で検査規則改正が検討されている。従って、両者を互いに識別することの重要性が低下する方向にあることから、両者を一つにまとめたときの他の節との識別率を調べ、表の最下段に示した。それによると、最高で91.8%の識別率が得られている。このとき、特徴量はW, Hである。このことから、大わとさけ節は節パターン空間における分布がほとんど一致しているため、両者の識別はほとんど不能であるが、他の3種の節との識別は90%以上可能であると考えられる。

中つなぎ節の識別率は最高で68.8%である。分割数は16である。特徴量としてはA, Lが最も高い識別率が得られている。このことから、中つなぎ節はAが小さく、Lが大きいことにより他の節と識別できる

表3.7 2次元識別規則による識別結果

節の種類	順位	分割数	特徴パラメータ	識別率(%)
小節	1	23	WH	60.4
	2	25	WH	58.0
	3	28	WH	53.2
さけ節	1	28	WL	52.8
	2	18	WL	52.0
	3	26	WL	49.2
大わ節	1	30	WH	34.4
	2	23, 25	WH, WL	33.2
	3	28	WH	32.8
中つなぎ節	1	16	AL	68.8
	2	25	HA	65.2
	3	22, 23	WH	64.8
小ずる節	1	16	AC	92.8
	2	23	HA	92.4
	3	27	AL	91.2
大わ・ さけ節	1	25	WH	91.8
	2	23	WH	91.4
	3	16	WH	89.8

と考えられる。

小節は60%程度の識別率が得られた。分割数は23である。特徴量としてはW, Hを必ず含んでいる。このことからWにより糸条に沿った節の大きさに基づいて小節とそれ以外の節が判別されていると推察される。

(2) 3次元の識別規則による識別実験結果

5つの特徴量のうち3つの特徴量に基づいて生成した識別規則を使用して識別実験を行った。その結果を表3.8に示す。(1)と同様に特徴量の集合は10とおりあり、そのうち識別率の高い上位3種を示した。表によると、小ずる節の識別率は95%程度の高識別率が得られている。特徴量にはW, A, Cを含むものが多い。このことからCは3次元識別規則においても小ずる節の識別に重要な役割を果たしているといえる。

さけ節、大わ節はともに60%程度に改善されている。2次元と同様大わ・さけ節を一緒にすると95%程度の高識別率が得られる。

中つなぎ節の識別率は73%程度で、特徴集合がH, A, Lのとき高識別率が得られている。

小節の識別率は66%程度と他の節に比較して高識別率とはいえない。しかし、セリプレーン検査における小節検査は点数評価方式であるため検査結果に幅が生ずる。従って、得られた識別率は十分良好であると判断される。なお、特徴集合にはW, Hが含まれている。

(3) 4次元の識別規則による識別実験結果

5つの特徴量のうち4つの特徴量に基づいて生成した識別規則を使用して識別実験を行った。その結果を表3.9に示す。この場合、特徴集合は5とおりあり、そのうち識別率の高い上位3種を示した。

表3.8 3次元識別規則による識別結果

節の種類	順位	分割数	特徴パラメータ	識別率(%)
小節	1	23	WHA	65.6
	2	28	WHA	65.2
	3	25	WHL	64.0
さけ節	1	29	WHL	63.6
	2	18	WHL	61.6
	3	29	WAL	61.2
大わ節	1	29	WHL	61.2
	2	29	WAL	54.4
	3	25	WHL	52.4
中つなぎ節	1	21	HAL	72.8
	2	23, 28	WCL, HAL	71.2
	3	21	HCL, WHC	70.8
		22	WAL	70.8
小ずる節		23, 28	WHA	70.8
	1	30	WAC	95.2
	2	21	WHC	94.4
		28, 30	WHA, WAL	94.4
大わ・ さけ節	3	21, 28	WCL	94.0
	1	25	WHL	95.4
	2	25	WHA	94.8
	3	28	WHA	94.4

表3.9 4次元識別規則による識別結果

節の種類	順位	分割数	特徴パラメータ	識別率(%)
小節	1	21, 29	WHAL	69.6
	2	30	WHCL	68.8
	3	20, 24, 28	WHAL	67.6
さけ節	1	29	WHAL	65.6
	2	29	WHCL	64.4
	3	25, 27	WHAL	62.8
大わ節	1	29	WHAL	63.2
	2	28	WHAL	60.4
	3	25, 30	WHAL	57.6
中つなぎ節	1	28	WHAL	76.0
	2	23	WHCL	75.2
	3	26	WHCL	74.8
小ずる節	1	28	WHAC	96.4
	2	28	WHAL	96.0
	3	21, 30	WHCL	95.2
大わ節・ さけ節	1	30	WHAL	96.6
	2	29	WHAL	96.4
	3	25, 28	WHAL	96.2

表3.9によると、小ずる節の識別率は96%程度得られている。このとき、特徴集合はW, H, A, Cである。

さけ節、大わ節はともに60から65%程度に改善されている。大わ・さけ節を一緒にすると97%程度の高識別率が得られる。このとき特徴集合はすべてW, H, A, Lを含んでいる。

中つなぎ節の識別率は76%となり、特徴集合はW, H, Lのとき高識別率が得られている。

小節の識別率は70%程度に改善されている。特徴集合はW, H, Lを含んでいる。

(4) 5次元の識別規則による識別実験結果

5つの特徴量すべてを使用して識別実験を行った結果を表3.10に示す。表3.9の4次元の結果と比較すると小節を除いて識別率が低下または横ばいとなっている。ただし、中つなぎ節は上昇率が1%程度ではあるが、ほとんど横ばいと見ることができる。この原因として、小節は特徴空間の比較的狭い範囲に分布しているのに対して他の節は広範囲に分布していることが考えられる。従って、分布範囲が狭いことにより特徴空間の次元数が増加しても識別ルール空間におけるルールの欠落箇所が増加しないためと考えられる。

(5) 2次元から5次元の識別実験結果の検討

表3.7から表3.10の結果と(1)から(4)に示した結果とを総合的に考察し、以下の知見を得た。

- ① 4次元までは特徴集合が増加するほど識別率が上昇する。このとき、概ね3次元での特徴集合は、2次元で識別率の高い特徴集合に特徴量を1つ加えたものとなり、4次元では3次元で識別率の高い特徴集合に特徴量を1つ加えたものとなっている。

表 3. 10 5次元識別規則による識別結果

節の種類	順位	分割数	特徴パラメータ	識別率(%)
小節	1	26	WHACL	72.4
	2	21	WHACL	70.8
	3	29	WHACL	69.6
さけ節	1	26	WHACL	66.0
	2	30	WHACL	64.8
	3	24, 28	WHACL	63.2
大わ節	1	29, 30	WHACL	60.0
	2	26	WHACL	58.0
	3	28	WHACL	57.2
中つなぎ節	1	26	WHACL	77.6
	2	21, 23	WHACL	76.4
	3	27	WHACL	75.6
小ずる節	1	21, 27	WHACL	95.6
	2	29	WHACL	94.8
	3	23, 30	WHACL	94.4
大わ・ さけ節	1	30	WHACL	96.4
	2	29	WHACL	95.6
	3	25	WHACL	95.2

5次元では4次元の結果と比較して小節を除いて識別率が低下または横ばいである。このことから、必ずしも特徴集合を増加しても識別率が上昇するとは限らない。

② 4次元では特徴集合W, H, A, Lのとき全ての節で高識別率が得られている。しかし、3次元のときは、高識別率を得るためには節の種類により特徴集合を適切に選択する必要がある。すなわち、大わ・さけ節および小節のときはW, H, AまたはW, H, L, 小ずる節の場合はW, A, C, 中つなぎ節の場合はH, A, Lを選択する必要がある。

③ 分割数については20分割未満でも高識別率が得られるのは2次元までで、3次元、4次元になるに従い、分割数が28付近で高識別率が得られている。

識別実験における処理時間を次に示す。次元数により繰り返しの処理回数が異なるので、1回当たりに換算した処理時間を示す。分割数は30とした。2次元では約3分、3次元では約5分、4次元では約12分、5次元では約4時間であった。なお、この処理時間には計測した連続波形ファイルからの節部分の抽出および特徴量の抽出に要する時間が含まれていない。また、実際の検査では本識別実験で行った程度の節数の処理が必要になると考えられる。

一方、実用的検査システムとしては、処理時間を10分以内に抑えることが望まれる。

以上の結果および考察から、3次元で30分割以内の識別規則を使用して検査システムを構築することが適切と判断される。

3.4.3 摘要

ファジー識別規則による生糸の節の種類識別装置の開発を目的として、節パターン空間における特徴集合と特徴軸の分割数をパラメータとしてコンピュータ上で識別実験を行い、高識別率を得るためのパラメータの条件を分析し、次の知見を得た。①2または3次元の識別規則を使用すると、高識別率を与える特徴集合は節の種類により特有である。②5次元の特徴集合による識別規則を除いて、特徴集合の次元数が高くなるほど高識別率が得られる。③3次元識別規則による節の種類毎の識別率は小ず節95%、大わ節・さけ節95%、中つなぎ節73%、小節66%が得られる。

これにより、実用性のある節の識別率が得られ、節検査に導入できる可能性が示された。

ただし、実用的な検査システムを構築するためには、識別規則を3次元で30分割以内とする必要がある等の知見も得た。

3.5 節識別システムによる生糸の節検査

本節では前節までに示した節の種類識別システムを節検査装置としてシステム化した。これを使用して節検査実験を行い、得られた検査結果と現行検査結果とを比較して節検査システムの評価を行う。このとき、識別規則に対して節の種類毎の出現率による補正を行うことで識別率の改善ができることを明らかにする。

3.5.1 材料と方法

(1) 材料と実験方法

供試試料には27dの1994年中国産生糸を使用した。実験手順は次のとおりである。検査官により現行検査法に準じて試料7パネルの表裏両面及び側面を検査した後、試料の生糸をボビンに巻き戻した。節計測システムにより節形状波形をボビン毎に複数回連続計測し、データファイルとして記録した。最後にそのデータについて節識別システムを使用して識別実験を行った。なお、節検査システムは節計測システムと節識別システムより構成されている。

(2) 節検査システムにおける使用機器

レーザー光検出器(LX-2, キーエンス製)により2方向から節を計測し、増幅器・ローパスフィルタ(カットオフ周波数:5kHz, 減衰特性:12dB/OCT)、A/D変換器(EC-2350A, エルメック製)を介してパソコン(PC-9801, NEC製)に取り込み、データファイルとした。このとき、糸の送り速度は150m/minとし、サンプリング周波数は10kHzとした。使用したソフトウェアはC言語(Turbo-C++ Ver. 1.01, ボーランド製)により、オペレーティングシステム(MS-DOS Ver. 5.0, NEC製)上で作成した。

(3) 節識別システムによる実験方法

ファジー識別規則は3次元5分割から28分割の条件で5種（小節、さけ節、大わ節、中つなぎ節、小ずる節）の節について5種の特徴量（W, H, A, C, L）を成分に持つ節パターン1,500個（各節300個）を使用し、前節の手順により予め生成した。識別実験では、節計測システムを使用して、1パネル毎にサンプルの生糸を計測し、連続波形データファイルとして記録した。さらに、そのファイルから節波形を抽出した後、特徴抽出及び規格化し、未知の節パターンを生成した。次に、節識別システムにより識別規則の分割数を変えて未知の節パターンの識別を行った。

節識別システムによる検査結果と現行検査結果との比較をするために、節識別システムの検査結果を次の方法で現行検査に準じたものとした。節識別システムでは節の種類毎にその個数が算出される。現行検査では小節の個数は算出されず、小節点としてのみ判定される。そこで、小節点は清水ら(1978)の方法と同様に現行の小節標準写真における節点（P）とその小節の個数（Y）との関係式 $Y = \{2.7(N-1)+3\}^2$ 、（N:100点を1とする階級値）から求めた。ただし、識別システムではパネル両面と側面のすべてを検査することになるため補正した。本節で使用した補正後の小節点と小節の個数の換算表を表3.11に示す。

（4）節の出現率による識別規則の補正方法

節の各種類毎の出現率を清水らの報告（1978）に基づいて算出し、生成した識別規則の確信度に乗じて補正した。

3.5.2 識別結果と考察

（1）分割数毎の検査実験結果比較

3次元識別規則の分割数5から28までの範囲における小節を除く節

表3.11 換算表

小節点	小節の数
100	0～20
95	21～55
90	56～88
85	89～129
80	130～179
75	180～236
70	237～301
65	302～375
60	376～456
55	457～545
50	546～693
40	694～919
30	920～1176
20	1177～1620

表 3.12 特徴軸の分割数と識別率

特徴軸の 分割数	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
正識別率 (%)	60	77	83	75	79	79	92	85	71	75	85	77	73	60

検査実験結果の識別率を表 3.12 に示す。表では正識別率の高い分割数 10 から 23 について示した。なお、正識別率 r は次式により求めた。

$$r = (a - b) / c$$

ここで、 a は正識別数、 b は誤識別数、 c は小節を除く節の合計である。また、各パネル 2 回の計測データについて求め、平均値を表に示した。表 3.12 によると、11 分割から 20 分割のときに高識別率が得られており、16 分割の時に最も正答数が多く、正識別率 92% が得られた。分割数が 21 以上では高識別率が得られていない。このことから、16 分割の識別規則を識別システムに使用することが妥当と判断される。

なお、本計測装置を使用して同一パネルを複数回測定すると測定時に鼓車等(糸道を安定化するための滑車)による摩擦により節の形状が変化し、識別実験結果が現行検査結果と著しく異なる場合が認められた。この傾向は 3 回以上の計測では特に顕著であったため、表 3.12 では 2 回までの結果について正識別率を求めた。

(2) 3次元16分割識別規則による検査実験結果

1) 出現率による識別規則の補正をしないときの識別結果

同一パネルを 2 回計測して得たデータファイルについて識別実験を行った結果例を表 3.13、3.14 に示す。特徴パラメータの組み合わせは 2) で示す識別規則補正を行った結果と対応させて示している。表 3.13 から小節の識別結果は現行検査結果と一致しているが、それ以外では大わ節が一部分一致している箇所がある程度で全体として識別結果は必ずしも良好とはいえない。表 3.14 の結果も同様であり、実験した他のパネルについても同様の結果を得た。従って、前節で示したファジールールによる識別方法のみでは実用システムとして良好な識別結果が得られないと判断される。この原

表 3.13 識別結果（出現率考慮しない場合）

実験 番号	特徴 パラ	節の数						
		メータ	小節	さけ節	大わ節	中つな ぎ節	小ずる 節	大ずる 節
1	WHA		75	3	18	8	0	0
	WHC		77	3	17	7	0	0
	WHL		75	4	19	6	0	0
	WAC		74	3	20	7	0	0
	HAC		84	10	3	7	0	0
	HAL		38	27	33	6	0	0
2	WHA		76	3	18	6	0	0
	WHC		77	3	19	4	0	0
	WHL		74	3	22	4	0	0
	WAC		70	3	25	5	0	0
	HAC		86	8	5	4	0	0
	HAL		36	21	42	4	0	0
3	WHA		75	4	21	6	0	0
	WHC		74	3	24	5	0	0
	WHL		74	6	20	6	0	0
	WAC		69	4	27	6	0	0
	HAC		85	10	3	8	0	0
	HAL		37	25	37	7	0	0
セリフ・レーン			89～129	0	4	0	0	0
検査結果			(85点)					

表 3.14 識別結果（出現率考慮しない場合）

実験 番号	特徴 パラ	節の数						
		メータ	小節	さけ節	大わ節	中つな ぎ節	小ずる 節	大ずる 節
1	WHA		42	7	16	3	6	0
	WHC		38	6	17	4	9	0
	WHL		35	10	16	5	8	0
	WAC		38	7	15	7	7	0
	HAC		50	11	0	5	8	0
	HAL		17	28	16	6	7	0
2	WHA		43	8	18	7	6	0
	WHC		41	7	20	7	7	0
	WHL		40	11	21	6	4	0
	WAC		40	9	20	7	6	0
	HAC		51	14	3	6	8	0
	HAL		24	26	20	5	7	0
3	WHA		45	7	19	6	8	0
	WHC		45	5	19	7	9	0
	WHL		43	7	20	5	10	0
	WAC		43	7	20	6	9	0
	HAC		55	10	4	7	9	0
	HAL		25	33	14	5	8	0
セリフ・レーン			56～88	0	3	0	6	0
検査結果			(90点)					

因は各節の出現率が異なっていることを考慮してないため、特に小節の出現率が高いにもかかわらず、小節の一部が他の節として識別されていると考えられる。

2) 出現率による識別規則の補正をしたときの識別結果

節の種類毎の出現率を求めた結果を表3.15に示す。これによる小節の出現率が95%以上と非常に大きく、その他は3%より小さい。また、中つなぎ節が0.16%と最も小さく、節の種類によりばらつきが大きいことが分かる。

出現率により識別規則補正をしたときの識別結果例を表3.16、3.17に示す。これによると、表3.16では1回目の実験結果の特徴量WHC, WACのときに現行検査結果と一致している。表3.17において、現行検査では2個大ずる節が出現したが、実験結果では3回目に1個だけ識別されただけある。しかし、小ずる節の個数がこれを含んでいると判断すればHACの1回目の結果が一致する。このことを考慮して7パネル全体の識別率を求めると92% (表3.12) となる。小節については点数に換算すると全てのパネルが正しく識別され、概ね良好な識別結果が得られた。以上から一部の識別問題を除いて現行検査結果と節検査結果が概ね一致し、節検査装置の基本的構成の妥当性が確認された。

なお、節種類間の境界領域に存在する節の誤識別の原因を調査したところ、検査官により大ずる節と判定された節の中に特徴パラメータの値が識別規則を生成させる際に使用した小ずる節と判定された節のその最大値と比較して大小関係が逆転しているものが存在することが明らかとなった。このことは節検査が基本的には人間に

表3.15 節の種類毎の出現率

節の種類	出現率(%)
小節	95.66
さけ節	0.43
大わ節	2.75
中つなぎ節	0.16
小ずる節	1.00

表 3.16 識別結果（出現率考慮した場合）

実験 番号	特徴 パラ	節の数						
		メータ	小節	さけ節	大わ節	中つな ぎ節	小ずる 節	大ずる 節
1	WHA		100	0	4	0	0	0
	WHC		100	0	4	0	0	0
	WHL		99	1	3	1	0	0
	WAC		103	0	1	0	0	0
	HAC		103	0	1	0	0	0
	HAL		102	0	1	1	0	0
2	WHA		100	0	3	0	0	0
	WHC		100	0	3	0	0	0
	WHL		98	0	3	2	0	0
	WAC		103	0	0	0	0	0
	HAC		103	0	0	0	0	0
	HAL		101	0	0	2	0	0
3	WHA		101	0	4	1	0	0
	WHC		101	0	4	1	0	0
	WHL		101	0	4	1	0	0
	WAC		105	0	1	0	0	0
	HAC		106	0	0	0	0	0
	HAL		104	0	1	1	0	0
セリフ ^a レーン			89～129	0	4	0	0	0
検査結果			(85点)					

表 3.17 識別結果（出現率考慮した場合）

実験 番号	特徴 パラ	節の数						
		メータ	小節	さけ節	大わ節	中つな ぎ節	小ずる 節	大ずる 節
1	WHA		61	2	6	0	5	0
	WHC		59	2	5	0	8	0
	WHL		58	2	6	0	8	0
	WAC		64	0	3	0	7	0
	HAC		65	0	3	0	6	0
	HAL		63	0	3	1	7	0
2	WHA		68	0	9	0	5	0
	WHC		67	0	8	0	7	0
	WHL		67	0	10	0	5	0
	WAC		72	0	3	0	7	0
	HAC		73	0	2	0	7	0
	HAL		72	0	2	1	7	0
3	WHA		69	1	7	1	7	1
	WHC		69	0	6	1	9	1
	WHL		69	0	7	3	6	1
	WAC		72	0	5	0	8	1
	HAC		74	0	2	0	9	1
	HAL		72	0	3	3	7	0
セリフ ^a レーン			56～88	0	3	0	4	2
検査結果			(90点)					

よる官能検査であるため、節の種類間の境界領域に存在する節の識別において、人間の判定が節形状により複雑な過程を経て処理されることを表すものと推定される。しかし、人間による現在の官能検査を目標とし、その複雑な処理過程を自動検査装置に組み入れることは大きな困難を伴い、装置の開発を遅らせる原因となると判断される。むしろ、検査の自動化を推進するためには検査装置の計測識別結果を優先する共通認識が必要であり、現行検査方法に検討を加える必要があると考えられる。

3.5.3 摘要

生糸の節の種類識別装置の開発を目的として、連続計測した生糸の節波形についてファジー識別規則による識別方法により正識別率とそのときの特徴パラメータ集合を調べた。その結果、特徴軸のファジー分割数が16のときに正識別率が最大となった。また、ファジー識別規則の節の種類毎の出現率による補正を行うことにより正識別率の改善が図られた。

3.6 揚返し工程における生糸の節検査

本節では前節までに示した節検査システムを使用して揚返し工程において節成績を得る方法を実験的に検討する。また、得られた結果についてセリブレーン検査結果と対応させ評価する。

3.6.1 材料と方法

原料繭及び実験方法：供試原料繭には1994年産春繭を使用し、煮繭・繰糸を行った。このとき、27d中感知器を使用して繰糸を行った。揚返し工程では繰製した生糸に薬剤（パールライトC：1/3000、ヘルボン：1/5000、エリート：1/4000、㈱コーエキ製）を10分噴霧した後、小枠から大枠（枠周1.5m）に巻き取った。このとき、節検査システムの検出器を小枠と大枠の中間に挿入し、生糸の巻き取り速度を150m/minとして節形状波形計測を行った（図3.25）。従って、生糸は薬剤でぬれた状態で計測されている。なお、噴霧は揚返し工程で従来から行われている処理と同じ条件で行った。揚返し終了後、計測したデータ（セリブレーン10パネル分、3,300m）について節識別システムにより節成績を得た。さらに、同一の糸について検査官によるセリブレーン節検査も行った。ただし、この検査ではパネル両面の小節検査も行い、前節で算出した換算表（表3.11）により個数に換算して節識別システムの結果と比較した。

3.6.2 結果と考察

3次元16分割識別規則を使用した識別システムによる検査結果とセリブレーン検査結果を表3.18に示す。これより、セリブレーン検査結果のうち、4、5パネルのみ100点で、それ以外は95点のパネ

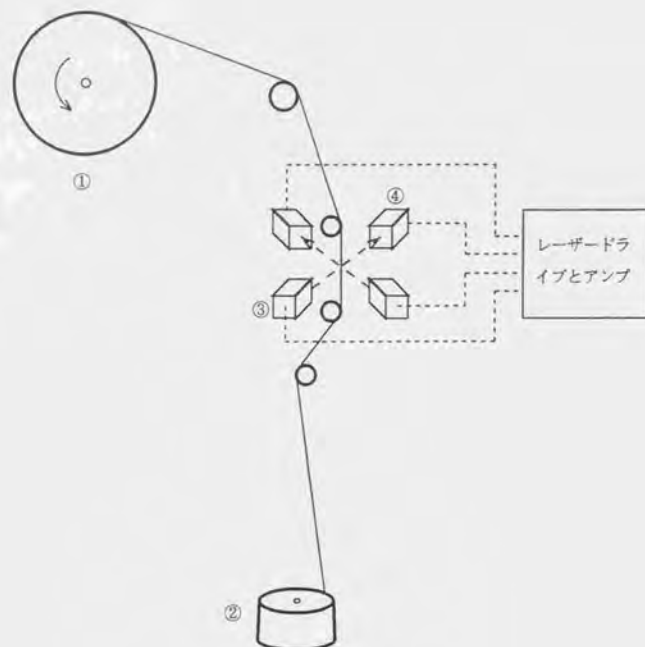


図3.26 掘返し工程における節計測方法。

①大棒，②小棒，③レーザー発光器，④レーザー受光器。

表3.18 掘返し工程における節計測結果とセリブレーション検査結果

パネル 番号	節検査 方法	特徴量 の組合せ	小節・大中節の数				
			小節	さけ節	大わ節	中つなぎ 節	小ずる 節
1	検査システム	HCL	41	0	0	0	1
	セリブレーション		21-55	0	0	0	0
2	検査システム	HCL	31	0	0	0	0
	セリブレーション		21-55	0	0	0	0
3	検査システム	HCL, ACL	21	0	0	1	1
	セリブレーション	HAL	21-55	0	0	0	1
4	検査システム	HCL, ACL	23	0	0	0	0
	セリブレーション	HAC, HAL	21-55	0	0	0	0
5	検査システム	HCL, ACL	13	0	0	0	0
	セリブレーション	HAC, HAL	0-20	0	0	0	0
6	検査システム	HCL, ACL	11	0	0	0	0
	セリブレーション	HAC, HAL	0-20	0	1	0	0
7	検査システム	HAC	40	0	0	0	1
	セリブレーション		21-55	0	0	0	1
8	検査システム	HCL	32	0	0	0	1
	セリブレーション		21-55	0	0	0	1
9	検査システム	HAC, HCL	48	0	0	0	0
	セリブレーション		21-55	0	0	0	0
10	検査システム	すべての 組合せ	36	0	0	0	0
	セリブレーション		21-55	0	0	0	0

ルであった。換算表により小節の数に変換し、システムによる小節の数と比較すると、システムの結果はすべてセリブレーション検査の範囲内に入っている。従って小節については100%正識別結果が得られた。

小ずる節については数が少ないものの、4個のうち3個が正識別であり、概ね良好な結果が得られた。その他の節については節の数が無い若しくは少なく、断言はできないが、小節をさけ・大わ・中つなき節に誤識別する例はほとんどなく、その点に関しては良好な結果を得た。従って、揚返し工程においても節検査は概ね可能であることが明らかにされた。

参考までに、平成7年4月に生糸検査規則が改正された。その内容は大中節のずる節系の減点が重点化され、その他の節は減点が縮小されるものであった。従って、小節と小ずる節が正確に識別できれば、他の節の識別率が若干劣っていても全体の節成績に大きく影響せず、概ね正しい結果が得られる可能性が高いと判断される。このことは上述の節検査システムによる検査結果の正確性を補強するものと考えられる。

なお、節形状波形の計測時に薬剤が2組のレーザー検出器のうちの1組に付着し、計測結果に影響を与えることが分かった。この原因は、検出器付近の糸の鼓車に薬剤が付着し、それが鼓車の回転によりレーザー検出器に飛び跳ねることによることが判明した。対策としては、薬剤が付着しにくいもう一方のレーザー検出器のように鼓車の回転面と検出器の光軸を一致させないよう配慮すれば解決できることも明らかになった。

3.6.3 摘要

節検査システムを揚返し工程に導入し、セリブレーション10パネル分の生糸を使用して節成績の計測実験を行った。その結果、節検査システムによる節成績とセリブレーション検査結果とが概ね一致し、揚返し工程における節検査が可能であることを立証した。

第4章 ファジー理論に基づく制御支援システムによる生糸生産工程の制御

1章で示した第1次から3次までの帰還経路をもつ制御方法を基礎として、1.1で示した煮繭条件と繰糸成績を回帰主成分分析し制御規則を導出する方法に加えて、具体的な操作量を算出する階層型のファジー推論による制御支援システムの構築について検討する。また、そのシステムを使用して生糸生産工程の制御実験を行い、妥当性を評価する。なお、実験実施にあたり、人的・設備的制約から同時に第1次から3次修正の実験をすることは困難と判断し、実験を分割して実施する。4.1では第1次・2次修正について、4.2では第3次修正について示す。

4.1 第1次・2次修正法による煮繭工程の温度制御

1章で示した方法に基づいて煮繭条件と繰糸成績を分析し、制御規則を導出する方法に加えて、具体的な操作量を算出する階層型のファジー推論による制御支援システムの構築について検討する。また、そのシステムによる煮繭工程の温度の制御実験を行い、システムの妥当性を評価する。このとき、2章で示した解じょ張力の計測結果について煮繭制御との関係から検討を加える。

4.1.1 材料と方法

(1) 材料と使用機器

実験を行った際のプロセスおよび制御支援システムの関係の概要を図4.1に示す。図において煮繭・繰糸プロセスの煮繭機には蚕試式進行式煮繭機（井口工業株式会社製）を使用し、繰糸機には日産F R型

（日産機製）自動繰糸機を使用した。制御支援システムは製糸工場現場での使用を考慮し、パーソナルコンピュータ（PC-9801NST,（日本電気機製）を使用した。プログラムはC言語（Turbo C+, ボーランド社製, Ver. 2）により記述した。また、原料繭としては平成4年産春繭（春月×宝鐘）を使用し、選繭後一試験区200gに分け、試験区毎に1回の煮繭・繰糸実験を行った。

煮繭時間は15分一定とし、煮繭終了後、直ちに繰糸を行った。繰糸機には27中（なか）感知器を使用し、5緒で繰糸を行った。また、繰糸速度は200r.p.m., 索緒温度は80℃, 繰解部温度は40℃とした。繰糸終了後繰糸成績を測定した。表4.1に煮繭条件及び繰糸成績の変数の内訳を示す。繰糸成績の変数は繰糸終了後短時間に測定できる同表に掲げた変数に限定した。

(2) 制御実験方法

図4.1に沿って、煮繭・繰糸工程の制御実験の流れを示す。実験はまず、繭性状判定のための初期実験（初期煮繭条件に基づく実験、第1章参照）を実験計画法の直交配列 L_{27} 型に基づいて27回行った（①）。次に、本システムに得られたデータを入力して実験結果を分析し、煮繭条件パターン（以下、4.2との整合性から制御温度パターンとする）を求めた（②, ③）。標準煮繭条件（製糸工場において適宜定められている条件を想定している）に基づいて煮繭・繰糸実験を行った（①）。その結果得られたデータを本システムに入力して分析を行い、修正後の条件を求めた（②, ③）。得られた煮繭条件に基づいて煮繭・繰糸実験を行い（①）、繰糸成績を得た。工務担当者を想定し、得られた繰糸成績が十分改善されているか否か

表 4.1 煮繭条件と繰糸成績の変数

煮繭条件	変数	繰糸成績	変数
浸漬部温度 (°C)	x_1	索抄緒効率(%)	y_1
触蒸部温度 (°C)	x_2	生糸糸長 (m)	y_2
浸透部温度 (°C)	x_3	解じょ率 (%)	y_3
熟成部水頭圧 (mmH ₂ O)	x_4	緒糸量 (g/m)	y_4
調整部温度 (°C)	x_5	蛹しん量 (%)	y_5
		糸故障回数(回)	y_6

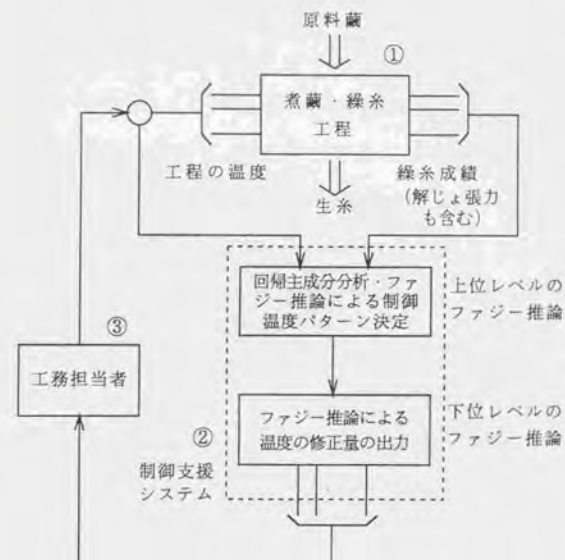


図 4.1 支援システムと煮繭・繰糸工程

を判断し(③)、十分改善されていれば実験を終了し、不十分であれば得られたデータを本システムに入力し、実験を繰り返すという方法を採用した。

なお、本節では、2章で示した解じょ張力検出器を使用した制御実験において解じょ張力を計測し、制御結果との関係についても検討した。

(3) 煮繭工程制御支援システムの構成

図4.1のうち支援システムは、上位のファジー推論部と下位のファジー推論部により構成される。上位のファジー推論部では第1章で示した回帰主成分分析及びファジー推論による方法で制御温度パターン z^* を選択する処理を行う。この処理の結果、 z^* に対応する係数(以下、温度パターンの成分とする)が得られ、下位のファジー推論部に引き渡される。下位のファジー推論部では得られた制御温度パターンに基づいて煮繭条件制御の操作量を算出する。以下にその方法を示す。

z^* の温度パターンの成分を l_i ($i=1, 2, \dots, 5$)で表すと

$$z^* = l_1 x_1 + l_2 x_2 + \dots + l_5 x_5 \quad (4.1)$$

となる。(4.1)式より、 $|l_i|$ が大きいほど温度 x_i の z^* に及ぼす影響は大きい。このとき、 l_i に誤差が含まれていない場合はこれらの式に基づいて煮繭条件の修正量を求め、制御することができる

(CHATTERJEE et al., 1981)。しかし、実際には誤差を無視することはできない。そこで、ここではこのような誤差をあいまいさとして捉え、(4.1)式で表される傾向があると解釈する。従って、次の方法で煮繭条件の修正量を求めることができる。修正前の x_i を x_{oi} 、

修正後のそれを x_{oi} 、修正量を Δx_i (> 0)とすると、

$$x_{oi} = x_{oi} + \text{sgn}(B^*) \cdot \text{sgn}(l_i) \cdot \Delta x_i \quad (4.2)$$

となる。ここで、 a を引数とする $\text{sgn}(a)$ は

$$\text{sgn}(a) = \begin{cases} 1 & (a > 0) \\ 0 & (a = 0) \\ -1 & (a < 0) \end{cases}$$

である。また、 B^* は上位のファジー推論で得られた制御温度パターンの評価値を表す。(4.2)式は B^* と l_i が同符号のときは x_i を増加させ、異符号のときは x_i を減少させることを意味している。また、ここでは、 $|B^*|$ を確信度として捉え、符号は制御の方向を表している。

Δx_i は次の手順で求める。 l_i および x_{oi} に対してメンバーシップ関数を図4.2(A)のとおり定義する。ただし、図において入力変数である台集合 u_i と x_{oi} は次式により対応づける。

$$u_i = x_{oi} - C_i$$

ここで、 C_i は煮繭工程第 i 部の標準条件を表す。標準条件とは標準煮繭を行うときの条件を基に煮繭機の特性を考慮して定めた標準となる温度または水頭圧である。また、 Δx_i に対してメンバーシップ関数を図4.2(B)のとおり定義する。次に、 u_i, x_{oi} を前件部とし、 Δx_i を後件部として構成したファジールールを図4.3に示す。図において例えばルール R_i は l_i がPB (Positive big)で、条件修正前の温度または水頭圧 x_{oi} が標準条件 C_i よりとても高いならば x_{oi} を少し高くせよ、すなわち u_i がPBならば Δx_i をPS (Positive small)とせよということを表している。また、 Δx_i を求めるファジー推論はMAX-MIN合成重心法により、煮繭工程各部毎に行う。

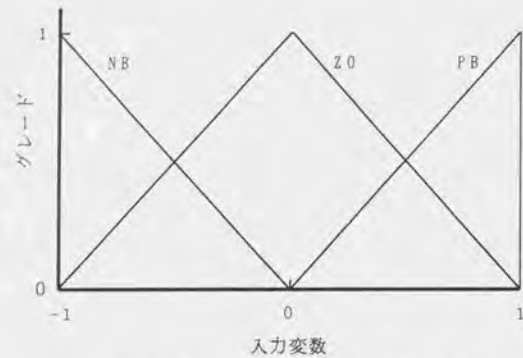


図4.2 (A) 入力のメンバーシップ関数

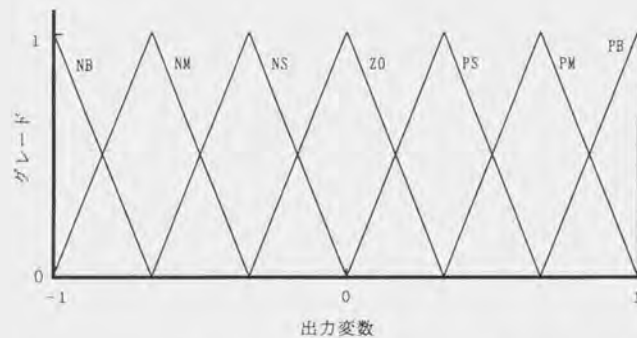


図4.2 (B) 出力のメンバーシップ関数

- $R_1: \text{if } \ell_1 = \text{PB and } u_1 = \text{PB then } \Delta x_1 = \text{PS}$
 $R_2: \text{if } \ell_1 = \text{PB and } u_1 = \text{ZO then } \Delta x_1 = \text{PM}$
 $R_3: \text{if } \ell_1 = \text{PB and } u_1 = \text{NB then } \Delta x_1 = \text{PB}$
 $R_4: \text{if } \ell_1 = \text{ZO and } u_1 = \text{PB then } \Delta x_1 = \text{ZO}$
 $R_5: \text{if } \ell_1 = \text{ZO and } u_1 = \text{ZO then } \Delta x_1 = \text{ZO}$
 $R_6: \text{if } \ell_1 = \text{ZO and } u_1 = \text{NB then } \Delta x_1 = \text{ZO}$
 $R_7: \text{if } \ell_1 = \text{NB and } u_1 = \text{PB then } \Delta x_1 = \text{NB}$
 $R_8: \text{if } \ell_1 = \text{NB and } u_1 = \text{ZO then } \Delta x_1 = \text{NM}$
 $R_9: \text{if } \ell_1 = \text{NB and } u_1 = \text{NB then } \Delta x_1 = \text{NS}$

図4.3 下位レベルのファジー推論用のファジールール

これらの上位および下位ファジー推論処理は回帰主成分分析結果に基づいて煮菌条件を制御するのに必要な操作量を煮菌工務技術者に代わって導出するプロセスをシステム化したものである。

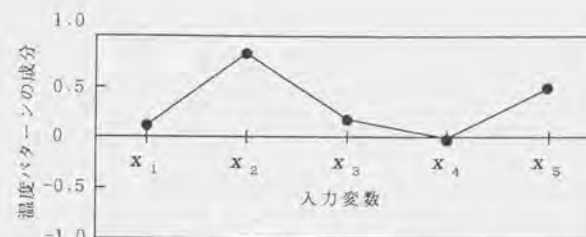
4.1.2 結果と考察

(1) 初期実験

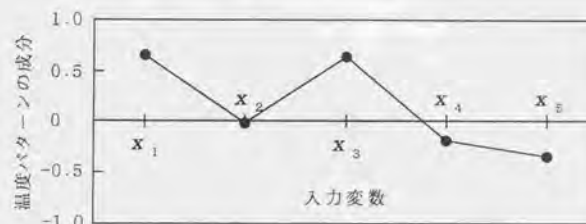
27回の初期実験により得られた煮菌条件、繰糸成績を本支援システムにより回帰主成分分析し、得られた3つの温度パターン（寄与率の大きい順に z_1 、 z_2 、 z_3 とする）を図4.4に示す。図より次のことが知られる。 z_1 は触蒸部温度 x_2 との相関が最も大きく、次いで調整部温度 x_3 との相関が大きい。また、 z_2 は浸漬部温度 x_1 、ついで浸透部温度 x_3 、 x_5 の順に相関が大きい。ただし、 x_5 は符号が負であることに注意を要する。すなわち、符号が負であるときは操作量の向きが逆になる。 z_3 は x_1 、 x_3 、 x_4 の順にそれぞれに対して相関が大きい。ただし、 x_1 、 x_5 は負である。

(2) 煮菌制御実験

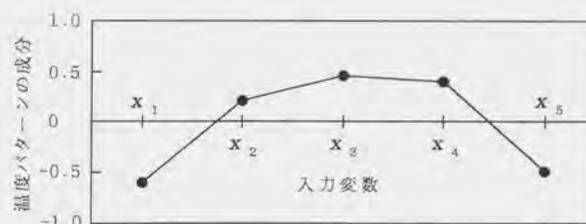
表4.2に3回の煮菌制御実験前の温度パターンの評価値（選択レベル）および各温度パターンの寄与率を示す。また、支援システムにより導出された3回の煮菌条件とその条件下の繰糸実験結果を図4.5に示す。図の上部は煮菌条件を示しており、下部は繰糸成績を示している。なお、制御実験の起点となる実験1の煮菌条件は評価値が最大の z_1 を考慮に入れ、標準的煮菌条件とした。すなわち触蒸部、調整部温度を若干高めにし、浸漬部温度、蒸煮部水頭圧を標準として定めた。この条件下の繰糸成績は同図下部の実験1に示され



第1温度パターン z_1



第2温度パターン z_2

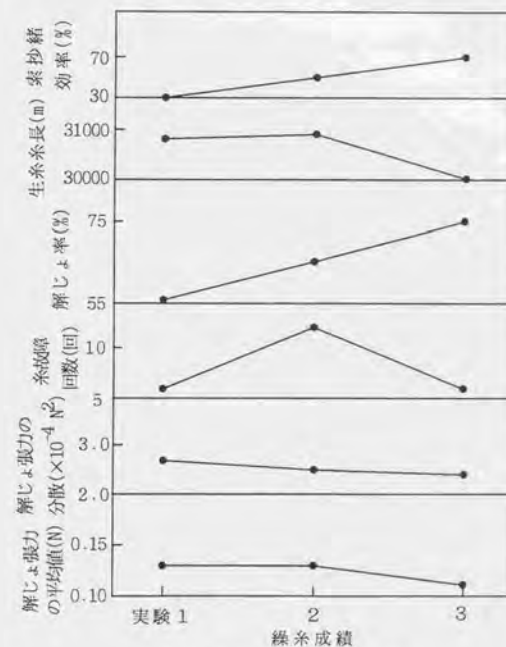
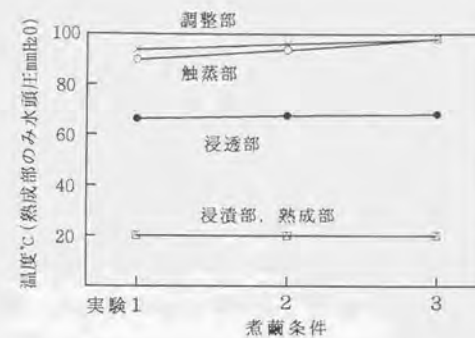


第3温度パターン z_3

図4.4 各温度パターンの成分

表 4. 2 温度パターン選択レベルのファジー推論結果

実験	温度パターン					
	Z ₁		Z ₂		Z ₃	
番号	選択レベル	寄与率(%)	選択レベル	寄与率(%)	選択レベル	寄与率(%)
1	4.0	19.4	-0.6	2.9	0.9	1.4
2	4.0	18.8	1.4	2.8	-1.1	1.4
3	4.0	19.3	1.4	2.5	-0.7	1.4



第 4. 5 図 制御実験結果

ている。これより、解じょ率 (y_3) が55%とかなり低い。そこで、解じょ率を優先させ、次いで歩留まり、能率に關係する生糸糸長、緒糸量、糸故障回数の順に改善の順位付けを行い、本制御支援システムにより2回の制御温度パターンを導出した。この結果はすでに表4.2の実験番号2、3に示されている。これより、 z_1 選択レベルが最も高く、寄与率もほとんど一定であることが分かる。また、 z_1 の成分も図4.4に示したものと比較して大きな変化は見られなかった。

下位のファジー推論結果による修正後の煮繭条件とその条件下における煮繭・繰糸実験結果を図4.5の実験番号2、3に示す。これより、触蒸部 (x_2)、調整部 (x_3)、浸透部 (x_4)の順に温度の増加量が大きくなっている。また、解じょ率が56%から65.75%に、索抄緒効率が30%から49%、70%にそれぞれ改善されている。生糸糸長は実験番号2で若干改善されたが、3では悪化している。糸故障回数は13回、6回とほぼ横ばいであるが、10回前後であるので問題は少ない。以上から概ね実験番号2、3の繰糸成績は1に対して概ね改善されていると判断できる。

(3) 解じょ張力と制御結果

(2)では、実験番号2と3の制御結果を解じょ率、索抄緒効率、糸故障回数、生糸糸長等の繰糸成績により評価した。また、解じょ張力を繰糸成績の項目に追加して、回帰主成分分析した場合と追加しない場合の温度パターンの成分の比較は2章で示した。ここでは、これらの結果を踏まえた上で、解じょ張力の平均値・分散と繰糸成績との関係について考察する。

図4.5の下部に解じょ張力の平均値と分散の実験結果が示されている。実験1、2により得られた温度パターンの成分には符号の変化を伴う大きな変化はない。また、解じょ張力の平均値については実験番号1、2では0.13Nで明らかな変化は見い出せない。しかし、3については1、2と比較すると0.13Nから0.11Nに減少している。また、解じょ張力の分散は2.60, 2.40, 2.30 [$\times 10^{-4} \text{N}^2$]と減少している。このことから、制御支援システムの指示に従って煮繭条件を制御した結果、繭の煮熟度は実験番号の1、2、3となるに従い、解じょ率、索抄緒効率等も改善されることから調和のとれた形で着実に進行することが解じょ張力の平均値・分散より判断できる。

ここで、適煮条件の判定を解じょ張力から検討する。図4.5より繰糸成績のうち生糸糸長は実験2が最良であり、張力の平均値からも繭が適正な煮熟度を持っているものと判断される。実験3の解じょ率は最良の74.8%であるものの、生糸糸長が実験2よりも悪化している。また、解じょ張力の平均値は0.11Nである。製糸工場において解じょ張力の平均値を経験的に0.0049 N/denierを目安として繭の煮熟度を判定している。本実験では織度を27 denierとしているので、0.132 Nが目安となることから判断して、実験3はやや繭の煮熟度が進みすぎていると推定される。従って、工場の管理基準にもよるが、実験3の煮繭条件よりも実験2の煮繭条件が3回の実験における煮繭条件のうちで最も適正であると考えられる。

以上のことから、適正な煮繭条件を決定するために、繰糸成績を吟味する際、張力の平均値および分散を計測し、繭の煮熟状態の判定をすることが有効であることが明らかにされた。

4.1.3 摘要

煮繭工程の適正な温度制御を行うため、階層ファジー推論による、具体的操作量の出力可能な制御支援システムを構築し、実験によりその有効性を検証した。本システムは次に示す3つの機能を持つ部分より構成される。(1)煮繭条件間の相互作用を排除するため回帰主成分分析法により煮繭条件を互いに独立な少数の温度パターンに集約する。(2)この温度パターンと繰糸成績の関係について上位のファジー評価により制御温度パターンを導出する。(3)制御温度パターンの成分と煮繭工程各部の標準温度と現在の温度との差を入力とし、修正後の煮繭工程各部の温度を出力とする下位のファジー推論による煮繭工程各部の修正後の温度を出力する。解じょ張力の平均値と分散の計測結果も併せてこのシステムに入力し分析した結果、3回の温度の制御により、生糸糸長は微増、糸故障回数はやや悪化した。また、索抄緒効率が40%、解じょ率が19%と大幅に改善できる適正な煮繭条件が見い出され、適正な制御が可能となることが明らかにされた。このとき、解じょ張力の平均値と分散が適煮条件を判定する上で指標となることも示された。

4.2 第3次修正法による煮繭工程の温度制御

煮繭・繰糸・揚返し実験において、3章で示した節計測・識別システムおよび1章で示した煮繭の制御支援システムを使用して、揚返し工程から煮繭工程への帰還経路による第3次修正法に基づく煮繭の制御実験を行う。これにより、第3次修正法の妥当性を実証し、節成績を改善するための煮繭の制御法を示す。

4.2.1 材料と方法

(1) 材料と使用機器

実験を行った際のプロセスおよび制御支援システムの関係の概要を図4.6に示す。図において煮繭・繰糸工程の煮繭機には増沢式間欠進行式煮繭機（新増沢工業㈱製）を使用し、繰糸機には日産FR型（日産㈱製）自動繰糸機を使用した。制御支援システムにはパーソナルコンピュータとしてPC-9801NSR（日本電気㈱製）、プログラムはC言語（Turbo C++, ボーランド社製, Ver. 2）により記述した。また、原料繭には平成6年産春繭を使用し、選繭後一試験区200gに分け、試験区毎に1回の煮繭・繰糸実験を行った。

煮繭時間は12分で一定とした。また、煮繭条件のうち、浸漬部温度は50℃、蒸煮部水頭圧は13mmHgで一定とした。

繰糸機による実験では27中（なか）感知器を使用し、3緒の繰糸とした。また、繰糸速度は200r.p.m., 索緒温度は80℃、繰解部温度は40℃とした。

(2) 制御実験方法

図4.6に沿って、煮繭・繰糸・揚返し工程の制御実験の流れを示す。実験はまず、繭性状判定のための初期実験を実験計画法の直交

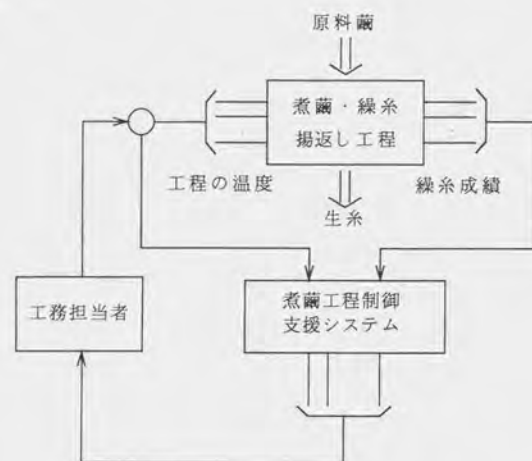


図 4.6 工程と制御支援システム

表 4.3 煮菌工程の実験条件

因子	水準 1	水準 2	水準 3
触蒸部温度	70℃	84℃	98℃
浸透部温度	60℃	72℃	84℃
調整部温度	92℃	95℃	98℃

配列Ⅰ型に基づいて9回行った。このときの煮繭条件の因子と水準を表4.3に示す。なお、調整部は飛び込み位置の温度を示しており、調整部出口での温度は3水準とも8.0℃とし、温度勾配を変えた。得られた結果を前節に示した制御支援システムに入力して分析し、表4.3の水準2を起点とする2回の煮繭工程の修正後の温度を導出して制御実験を行った。

制御実験分析に使用する煮繭条件及び繰糸成績の変数の内訳を表4.4に示す。本節では節成績による煮繭条件の制御を目的としていることから節成績を小ずる節、大わ・さけ節、小節の3つに分けた。また、節成績改善の優先順位は小節、小ずる節、大わ・さけ節の順とし、解じょ率を4番目とした。これは次の理由による。節の出現間隔の分布は図4.7に示すように平均値を中心とした正規分布ではなく、出現間隔の小さい値にそのほとんどが分布する指数分布に近いものであることが明らかとなった。これより繰返し工程において繰糸した生糸のうち1500m（一試験区の生糸糸長の約1/17）を計測して節成績を求める場合、図示した節の分布状態から大中節はその出現個数が小節に比較して一般に非常に少ないため節計測結果に集中して分布するかあるいはほとんど分布しないことが予想される。この問題を避けるため、数多く分布する小節の成績を優先して計測し、煮繭制御を行う方が効果的と判断した。また、煮繭条件の変数は前節の結果から繰糸成績に影響度の小さい浸漬部温度と蒸煮部水頭圧を水準から除いて、初期実験回数を少なくした。

3回の制御実験の節成績は繰糸した3緒のうち1緒について繰糸が定常的状态で終了させた後、連続10パネル分抽出し、セリプレーン検査により調査した。

表4.4 煮繭条件と繰糸成績の変数

煮繭条件	変数	繰糸成績	変数
触蒸部温度 (℃)	x_1	索抄緒効率 (%)	y_1
浸透部温度 (℃)	x_2	生糸糸長 (m)	y_2
調整部温度 (℃)	x_3	解じょ率 (%)	y_3
		糸故障回数 (回)	y_4
		小ずる節 (個)	y_5
		大わ・さけ節 (個)	y_6
		小節 (個)	y_7

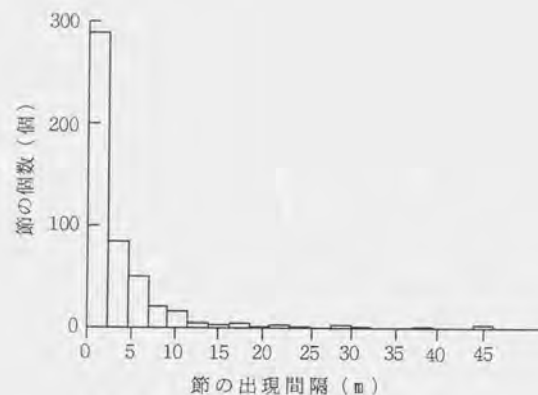


図4.7 節の出現間隔の分布

なお、節成績の優先順位は図1.5のファジー評価規則において条件部の入力変数の順序に対応させることにより処理した。

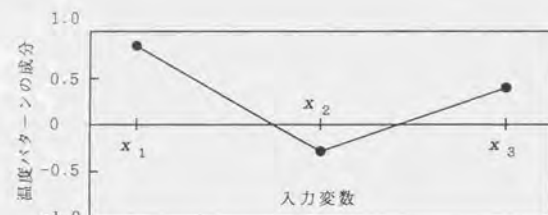
4.1.2 結果と考察

(1) 初期実験

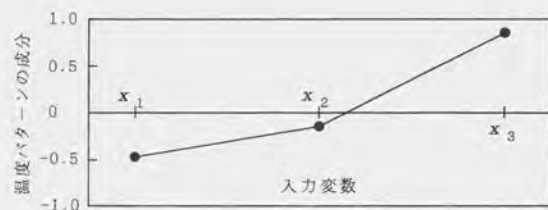
初期実験結果をシステムにより分析した結果得られた温度パターン（寄与率の大きい順に z_1 , z_2 , z_3 とする）を図4.8に示す。 z_1 は触蒸部の温度を上げ、浸透部を下げ、調整部を上げるパターンであり、繭の吸水量を増やし、熟度を進めるものと判断される。 z_2 は触蒸部、浸透部を下げ、調整部を上げるパターンであり、繭の吸水量をやや抑え、調整部で煮熟を進めるパターンであると推定される。 z_3 は浸透部を特に上げ、触蒸部、調整部もやや上げるパターンで、吸水量を若干上げ、全体の煮熟度を進ませるパターンと推定される。

(2) 制御実験

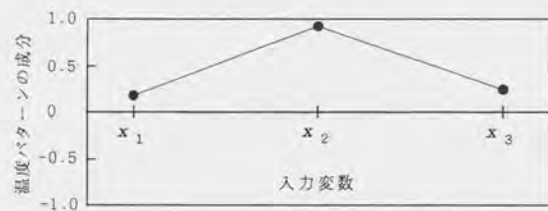
制御支援システムにより3つの温度パターンから小節、小ずる節、大わ・さけ節の順に優先順位をつけて制御温度パターンを導出した結果を表4.5に示す。これより、 z_1 が制御のための温度パターンとして選択されている。寄与率も約30%と高い。また、 z_1 に基づいて3回の制御実験を行った結果を図4.9に示す。図において、生糸糸長は3緒の合計である。小節数はセリプレーン検査した10パネルの点数を個数に換算し平均値を求めたものである。これより、実験1に対して2、3の繰糸成績はすべて改善されている。実験3は2に対して小節、大わ節が若干劣るものの、小ずる節、解じょ率、



第1温度パターン z_1



第2温度パターン z_2



第3温度パターン z_3

図4.8 各温度パターンの成分

表4.5 温度パターン選択レベルの
ファジィ推論結果

	温度パターン		
	z_1	z_2	z_3
選択レベル	3.8	-0.6	0.0
寄与率(%)	27.9	11.7	7.5

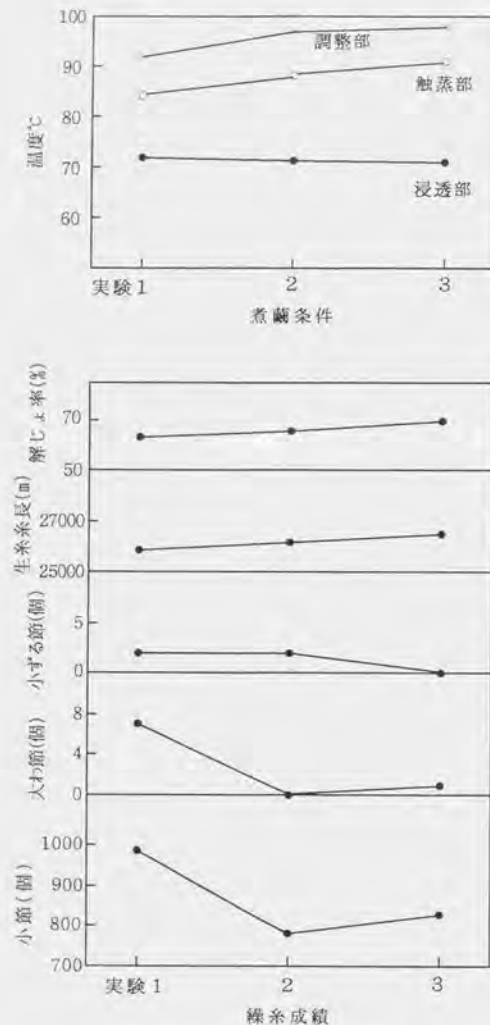


図 4.9 制御実験結果

生糸糸長が改善されている。この理由は、すでに示したように、繭の吸水量を増やし、内層を含めて繭全体の調和を保って煮熟度を進める温度パターンと考えられる。これにより、繭の硬膠着部位が膨潤化され、繭糸のほぐれが良くなり、節成績および解じょ率、生糸糸長等も改善されたと考えられる。

次に、揚返し工程において節成績を把握することによる時間遅れの軽減について考察する。従来、節成績はセリプレーン検査により調べる以外に方法はなかった。このため、繰糸終了後、揚返し処理・ボビンへ巻き直し処理・セリプレーンボードへの巻き付け処理の3工程を経て、セリプレーン検査となる。しかし、揚返し処理中に概ね節成績を把握する本手法によれば2工程省略できる。繰糸終了後、揚返しを開始するまでに要する時間は、段取りを含めて薬剤を噴霧する15から20分程度であり、時間遅れは著しく軽減できる。

以上から揚返し工程において節成績を計測識別することにより節成績も含めた繰糸成績改善が可能であり、揚返し工程から煮繭工程への帰還経路を持つ、3次修正法の妥当性が実証された。

4.1.3 摘要

節成績改善のための煮繭工程の適正な制御を行うために、節識別システムを揚返し工程に導入し、節計測識別実験および節成績改善のための煮繭工程の制御実験を行った。その結果、節成績、とりわけ小節の成績を揚返し工程において計測・識別し、繰糸成績に含めて分析することにより節成績改善のための煮繭工程の制御が可能であることが実証された。これにより、揚返し工程から煮繭工程への帰還経路を持つ3次修正法が確立された。

総合考察

生糸の生産工程のシステム化、自動化の問題は要望されて久しく、未だ十分には解決されていない問題である。とりわけ煮繭工程の制御は困難であり、製糸工場の工務技術者の経験的知識や勘に基づいて試行錯誤的に処理されている。加えて、近年産繭量の減少による原料繭の小荷口化と外国繭の使用のため、原料繭の性状把握が複雑化しているにもかかわらず迅速化が求められ、ますます問題の解決が困難になっている。

このような問題を解決するため、問題点について考察する。生糸の生産成績は生糸生産工程における3要因（能率、収率、品質）により評価される。これらの要因は煮繭・繰糸を経て繰糸成績として多くが得られる。しかし、厳密にはさらに揚返し工程を経た後、生糸検査により確定する。3要因を決定する因子は種々あるが、煮繭工程における処理の良悪はその後の工程の成績を決定してしまうため、最大の問題である。このため、煮繭工程の適正な制御の問題については多くの研究がなされてきた。

煮繭工程を適正に制御するためには、煮繭および繰糸を行う以前に原料繭の性状を把握し、その性状に適合する煮繭条件を決定することが最良の方法である。しかし、実際には、煮繭・繰糸以前にその条件を的確に把握することはほとんど不可能である。従って、煮繭工程を適正に制御するためには煮繭・繰糸開始後できるだけ短時間で原料繭の性状を判定し、その特性に適合した煮繭条件を見い出して煮繭工程を制御するという方法を探る以外に解決策はない。この問題は結局、短時間で3要因と相関の大きい煮繭・繰糸成績項目

を計測・評価し、煮繭工程に帰還して煮繭条件制御することに帰着される。

煮繭工程の制御方法としてフィードバック制御（高橋1968）に基づく製糸工程の特殊性を考慮した第1次・2次修正法（嶋崎, 1970; 高林, 1985b）がある。第1次修正は煮繭工程中あるいは煮繭工程後、その繭の煮熟状態を評価し、煮繭条件を制御する第1次帰還経路によるものである。第2次修正は繰糸中あるいは繰糸終了後、繰糸成績を評価し、煮繭条件を制御する第2次帰還経路によるものである。これらの評価項目には3要因の能率・収率を表す項目と相関の大きい項目が繰糸成績として計測できる。

品質の主要な評価項目には織度偏差、節成績がある。織度偏差については繰糸工程内での織度制御（西出, 1978）の研究がなされている。これは、生糸検査後の計測でなく、繰糸工程内の計測制御である点から時間遅れの問題は解決できる。しかし、節成績については生糸検査における検査の自動化を目指す研究として清水ら（1978）と石黒ら（1993）があるが、節の個数の計数は可能であるものの、種類識別が十分できるまでには至っていない。また、生糸検査より上流の工程において節成績の計測識別を目指すものではないため、時間遅れを短縮して煮繭工程を制御することには直接的にはつながらない。従って、節成績に関しては生糸検査により把握する以外に方法がないのが現状である。

生糸の生産工程のシステム化を行うためには、生糸生産成績の3要因すべてを評価し、煮繭工程を制御する機能を持たせて構築することが最良である。従って、生糸検査よりも上流の工程において節成績を計測し、改善する新たな煮繭の制御方法が求められる。

3 要因と関係する繰糸成績項目を評価し、煮繭工程を制御するためには繰糸成績と煮繭条件の関係を分析し、制御規則を見出す必要がある。そのためにはまず、その項目（変数）を吟味する必要がある。このとき、システム化に適した測定項目を考える必要がある。煮繭条件としては常時容易に計測制御できる項目が適切である。この点から、煮繭工程各部の温度がその項目として適切と判断される。繰糸成績としては測定しやすく、繰糸開始後短時間で計測でき、煮繭条件と煮繭条件との相関が大きい項目が適切である。

ところで、繰糸成績項目には解じょ率、繭糸長等多数定義されている。これらは3要因を直接的に表すものではなくむしろ間接的指標であると考えられる。従って、繰糸成績と煮繭条件の関係を分析して制御規則を導出するためには、ある程度多数の繰糸成績項目を分析の対象とする必要がある。ただし、なるべく繰糸開始後短時間で計測でき、煮繭条件との関係が深いものを選択する必要がある。

以上述べてきたように、煮繭条件と繰糸成績は多項目にのぼる。これらは複雑な相互作用を持って関係している（木下ら, 1979; 1980）ため、これらの個々の項目毎に関係を分析し、制御規則を導出することは困難である。この点がこれまで煮繭工程の制御を困難にしてきた原因のひとつである。従って、統計的な方法により相互作用を排除した上で制御規則を見出す方策を検討する必要がある。

一方、繰糸成績あるいは繭の煮熟状態の適否の判断の指標となる項目の必要性も高い（木下ら, 1993）。有効接緒管理の重要性は先行研究（嶋崎, 1961）により指摘されている。これは工程管理の基本である。しかし、これのみにより具体的な煮繭条件の制御規則を見出すことは工場毎の特性把握等の経験に基づく知識をぬきにしては

できない。繰糸状態から繭の煮熟状態を推定する指標としては解じょ張力または繰糸張力の計測による方法がある。これについては多くの研究があり有効性が認められてる。しかし、これまで実繰下で計測し、煮繭条件との関係を分析し、煮繭工程を制御する点についてはまだ研究されていない。

以上、これまでに示した問題点は次の3つに整理される。

① 3 要因評価に基づいて煮繭条件と繰糸成績の相互作用を排除して的確に制御規則を見出す方策の検討が必要である。② 煮繭工程制御における適煮の指標となる要素（繰糸成績）を検討する必要がある。③ 節成績を煮繭工程に帰還する新たな煮繭工程の制御法が必要である。また、これらの点を解決した上で、制御支援システムの構築が望まれる。

これらの問題点について本研究では以下に示す方法で対処した。

① については、煮繭条件と繰糸成績の項目を入力変数と出力変数と考え、入出力変数間の相互作用を排除するために回帰主成分分析法（奥野ら, 1976）を応用した。これにより、入力変数を互いに独立な少数の変数（温度パターン）に集約し、これらと繰糸成績の関係を分析することにより制御規則を導出する方法を検討した。なお、回帰主成分分析法により煮繭工程の制御規則を見出す応用研究は木下ら（1980）により実施されている。しかし、次の問題点が残されていた。すなわち、木下らの方法により見いだされた煮繭工程の制御規則は原料繭の性状や製糸工場の特性により異なると考えられる。従って、このような解析は原料繭の荷口や工場が変わる都度実施する必要がある。また、温度パターンと繰糸成績の関係を分析し、制御規則を導出するには分析結果の解釈に専門知識が必要とされるで

だけでなく処理に時間がかかる。しかし、この問題は制御規則を導くための温度パターンの評価問題と位置づけられ、制御支援システムを構築することにより解決できる。そこで、温度パターン評価に対してファジールール（ファジー評価規則）による評価方法を検討した。この方法では回帰主成分分析により導出された3つの温度パターンの中から「if～then～」形式で記述したファジー評価規則に基づいてファジー推論により適正なパターンを導出する。

シミュレーション実験の結果、概ね目的の繰糸成績が改善できた。しかし、規則の評価項目は4種の繰糸成績の項目に限定され、多項目評価による温度パターン選択が困難な結果となった。そこで、ファジーAHP法による多項目評価法をパターン選定に応用した。この方法では繰糸成績の項目が多数でもその重要度を行列にして与えることにより適正な温度パターンを導出できることを明らかにした。しかし、重要度行列の決定が若干容易でない点が課題であることも判明した。制御支援システムを構築するには、これら2つの方法の得失を考慮し、製糸工場の管理基準に照らして選択することが必要と結論づけられた。

②については、解じょ張力を計測し、そのパルス性の変化から有効接緒回数を計数することと解じょ張力の平均値と分散と煮繭条件および繰糸成績の関係を分析することを検討した。そのために、まず、解じょ張力の検出器を作製した。これまで、解じょ張力計測用の検出器の周波数の高応答性および高感度のものがないことが、実繰下におけるこの種の検討がなされて来なかったひとつの原因と判断された。そこで、500Hzまで計測できる解じょ張力検出器を作製し、実繰下で計測実験を行い、煮繭条件および繰糸成績との関係を調べ

た。その結果、供試繭については解じょ張力の平均値と触蒸部および調整部温度の関係、さらにこれらの温度を含む煮繭条件パターンと解じょ率の関係を明らかにした。この結果、解じょ張力を繰糸成績に含めて解析することにより解じょ張力を指標とする制御規則を見出すことが可能であることを明らかにした。

③については、揚返し工程において節成績を計測し、その結果を煮繭工程に帰還して制御する、従来にない第3次修正法を検討した。節成績を揚返し工程において計測するために以下の順序で問題点を解決した。

節成績を得るためには、計測方法を確立する必要がある。節計測には静電容量（前川, 1981）による方法があるが、節形状まで微細に測定することは困難である。一方、光学的に計測する方が微細に計測できることから、レーザー光による検出器を使用した。しかし、1方向からの計測では偏平な節の計測はできないと判断されたため、走行する糸条に対し直角2方向から計測する方法を試みた。計測実験の結果、1方向計測では捉えることのできない節が2方向計測によりすべて計測可能となり、計測方法が確立された。

次に、計測した節形状波形について特徴量〔幅 W 、高さ H 、面積 A 、相互相関 C 、長さ L 〕を定義し、2つの特徴量により構成される平面上における節の分布を調べた。これより、特徴量の組み合わせにより、特定の節と他の節との識別が容易になることが見出された。すなわち、 C を含む特徴平面では小ずる節と他の節、 W 、 H の組み合わせにより中つなぎ節と大わ・さけ節等の識別が可能であることが推察された。これらの結果に基づいて、ファジー識別規則による識別システムを構築した。ファジー識別規則は特徴空間と対

応する規則空間に分布し、節と節の種類を対応づけるものである。節データ各種類300個合計1500個を使用して識別実験を行った。その結果、小ずる節95%、大わ・さけ節95%、中つなぎ節73%、小節66%の識別率が得られ、識別システムによる節の識別が十分可能であることを明らかにした。

さらに、セリブレーンによる節検査結果との対応を調べるため、予めセリブレーン検査を行った試料について識別システムによる識別実験を行った。その結果、小節についてはセリブレーン検査が点数評価で個数に幅のある評価法であるため、識別システムによる評価とすべて一致した。大中節については92%の識別率が得られた。これは節の種類毎の個数評価となるため識別率は小節に比較して若干劣るが、十分良好であると判断され、節検査の自動化の可能性を明らかにした。

次に、揚返し工程においてこの装置による節検査の可能性を調査した。節検査実験では揚返しにおける処理を実験のために変更することを避け、従前の処理手順のまま行った。従って、揚返しの際、薬剤の噴霧処理を行うため、節の識別が困難になると予測された。しかし、実験の結果、小節の識別にはほとんど影響はなく、大中節については実験個数が十分多いとは言えないが、小ずる節は概ね識別できた。これにより、揚返し工程において節成績を概ね把握できることが明らかにされ、節成績改善のための煮菌工程の制御の可能性を得ることができた。

最後に、これまでに示した①から③の検討結果をもとに第1次から第3次修正法を組み入れた制御支援システムによる生糸生産工程の制御実験を行い、その評価を行った。その結果、解じょ張力を指

標とする計測実験では初期実験、制御実験の結果、制御支援システムにより導出され煮菌工程の温度に従って工程を制御することにより解じょ率が56-64-75%と改善され、他の繰糸成績も概ね改善された。このとき、解じょ張力の平均値が $1.27-1.27-1.08[\times 10^{-1}N]$ 、分散が $2.6-2.4-2.3[\times 10^{-4}N^2]$ と推移した。これより、平均値が $1.27[\times 10^{-1}N]$ で変化がみられない場合でも分散が $2.6-2.4[\times 10^{-4}N^2]$ と減少することが示され、煮熟菌の硬膠着点が軟化して適正な煮熟状態に進んでいることが推定された。このことから、実操下における解じょ張力の平均値と分散を指標とする煮菌工程の制御状態の評価法が確立された。

節計測識別による制御実験では、揚返し工程において節成績を計測し、第3次修正実験を行った結果、制御支援システムにより導出された操作量に従って煮菌工程の温度を制御することにより節成績が改善された。このことから、節計測による煮菌工程の温度制御の妥当性が確認され、第3次修正法が確立された。

以上の考察から、本研究は実操下における解じょ張力計測による菌の煮熟評価・制御と節計測による第3次修正法を提案し、確証した。さらに、これらを組み入れた回帰主成分分析と階層ファジィ推論による制御支援システムを構築し、生糸生産工程のシステム化の基礎を確証した。

総括

生糸の生産成績は収率、能率、品質の3要因により評価される。この3要因を改善するためには生糸の生産工程のシステム化と自動化が重要な課題となる。生産工程の中でも煮繭工程の処理結果は3要因との関わりの深い繰糸工程における成績（繰糸成績）を決定してしまうことから、とりわけ重要である。このため、煮繭工程の適正な制御方法を見出すために、多くの研究がなされてきた。それにも拘わらず、製糸工場では今なお煮繭技術者の経験的知識や勘に基づいた試行錯誤による煮繭条件の設定が行われている。その理由のひとつには、工場の工務担当者が煮繭条件を修正する際に支援を受けることができるシステム等の開発が十分でないことが考えられる。加えて、近年は産繭量の減少による原料繭の小荷口化と外国産繭の使用により、複数荷口の合併が行われていることから、原料繭の性状把握が複雑化し、ますます問題の解決が困難になっている。この問題を解決するため、まず、問題点を明確にした。

これまでの先行研究により、煮繭・繰糸工程を対象として、繰糸成績を改善するためにフィードバック制御に基づいた第1次・2次修正法が提案され、基本的制御方法として取り入れられてきた。第1次修正法は、煮熟度を推定するために煮繭後の煮熟繭をサンプリングし、種々の項目を測定して煮繭工程に帰還するものである。第2次修正法は繰糸中または繰糸終了後、繰糸成績として種々の項目を測定し煮繭工程へ帰還するものである。これらの方法により煮繭の適正な制御を行うためには、測定項目と煮繭条件との関係を分析し、できるだけ速やかに制御規則を見出す必要がある。また、繰

糸状態あるいは繭の煮熟状態の指標となり、繰糸工程内で常時容易に測定できる3要因との相関の高い項目を計測する必要がある。このことから、次の事項が問題点として挙げられる。

- ① 煮繭条件と繰糸成績は交互作用を持って関係しているため、条件と成績の個々の項目の関係に着目して制御規則を見出すことは困難である。しかも、原料繭の小荷口化と合併からますます煮繭が複雑化しているため、煮繭・繰糸開始後速やかにこれらの項目を測定かつ分析し、制御規則を見出すシステム化が強く求められている。
- ② 煮繭工程を中心とする製糸工程の管理の指標として、有効接緒回数と繭の煮熟状態を把握することの重要性がこれまでに指摘されている。解じょ張力またはそのパルス性の変動を計測することによりこれらを推定する方法は、計測する項目を少なくできることから実用的と考えられる。そのためには、実操下において解じょ張力を計測し、有効接緒回数と煮熟状態を推定できることを明らかにすること、さらにこれらを指標として煮繭条件および繰糸成績との関係を定量的に分析し、煮繭条件の制御規則を見出す方法の検討が必要である。
- ③ 3要因のうち収率、能率についてはこれらと相関の大きい繰糸成績項目の計測方法が研究されてきた。また、これらの結果を第2次修正法により煮繭工程へ帰還して制御することにより繰糸成績を改善する研究もなされている。一方、品質は生糸検査後に行われるため、その結果を煮繭工程に帰還して品質を改善するための制御を行うには時間遅れが大きく、原料繭が小荷口化している昨今では実用的でない。この問題を解決するために、品質の評価

項目のひとつである織度に関して繰糸工程内における織度制御の研究が行われている。しかし、節成績に関しては、節の計測と種類識別装置の開発研究が十分行われていないため、生糸生産工程内の上流で節成績を把握して時間遅れを短縮する課題がほとんど検討されていない。

これらの問題を本研究では次の方法により解決した。

①については、計測および制御し易さの観点から煮繭条件と繰糸成績の項目を決定した。煮繭条件は煮繭工程各部5箇所の温度とし、繰糸成績は10項目を選定した。これらの項目の交互作用を排除するため、回帰主成分分析法により煮繭条件を互いに独立な少数の温度パターンに集約した。これにより、煮繭条件の制御規則の導出問題は改善すべき繰糸成績項目と最も適合する温度パターンの評価問題として位置づけられ、問題解決の単純化が図られた。

温度パターンの評価方法としてはファジー評価規則による方法とファジー理論を応用した多項目評価による方法を示した。また、これらの方法にはそれぞれ異なる得失があることも明らかにした。これにより、煮繭工程制御支援システムの基本的枠組みを構築した。なお、煮繭工程制御支援システムを構築する際にはこれら2つの方法の得失を考慮し、製糸工場の管理基準に照らして選択することも必要と結論づけた。

②については、解じょ張力のパルス性の変動成分から、有効接緒を検出するのに十分な応答性を持つ検出器を作製し、有効接緒回数と計数装置を構築することにより有効接緒管理の一方法を提示した。さらに、この装置を使用して、実繰下において計測した解じょ張力から平均値と分散を算出し、煮繭条件および繰糸成績との関係を回

帰主成分分析して制御規則を見出した。また、繰糸成績の項目のうち、従来から指標として利用され、繰糸工程内で比較的測定が容易な索抄緒効率、解じょ率、生糸糸長等と解じょ張力の平均値と分散との関係も分析することにより、解じょ張力の平均値と分散が煮繭条件を制御する際の指標となることを明らかにした。

③については、従来の第1次・2次修正法に新たに揚返し工程から煮繭工程への帰還経路を加えた第3次修正法を基本的制御法を提示した。第3次修正法は揚返し工程において節を計測し、その種類を識別した結果に基づいて煮繭工程を制御して節成績を改善するものである。そのために、まず、レーザー光による検出器を使用して走行する糸条の節による遮光量の変化を直角2方向から計測する方法を提示した。この方法により、1方向からの計測では捉えることのできない節も捉えることが可能となり、計測方法が確立された。次に、セリブレーション検査において検査官が認識する節の特徴を考慮した上で、計測した節形状波形について特徴量として幅、高さ、面積、相互相関、長さを定義した。また、2つの特徴量により構成される平面上における節の分布を調べた。この結果、節の種類により識別が容易な特徴量の組合せを見出した。これらの結果に基づいて、ファジー理論を応用した節の種類識別システムを構築した。識別実験の結果、小ずる節95%、大わ・さけ節95%、中つなぎ節73%、小節66%の識別率を得、本識別システムによる節の種類識別が可能であることを明らかにした。次に、セリブレーションによる節検査との対応を調べた。その結果、小節100%、大中節92%の一致が得られた。これにより、節検査の自動化の可能性を示した。さらに、本識別システムを使用して、揚返し工程における節検査の可能性を調査した。そ

の結果、当初予想された薬剤の噴霧による識別率の低下はそれほど大きくないことが明らかになった。特に小節の識別にはほとんど影響せず、小ずる節についても概ねセリブレーン検査結果と一致した。また、小節の中には、わ節、さけ節、つなぎ節系のものが含まれているにも拘わらず、他の節に誤識別されていないことが確認された。生糸検査における節検査が検査規則改正の結果、ずる節系の識別に重要性を移している現状は、本識別システムが高識別率でずる節を判別できることから、揚返し工程において本識別システムにより節成績を把握することの有用性をさらに高めると判断される。

これにより、第3次修正の帰還経路による煮繭工程制御の可能性が示されたと同時に、生糸の生産成績の3要因を評価することにより、煮繭工程の制御が可能であることも明らかにされた。

以上の問題解決の手法を製糸工場に導入し易くして実用化を図るために、①から③の検討結果を取り入れた第3次修正法に基づいて、具体的操作量を出力できる煮繭工程の制御支援システムを構築した。これを使用して生糸生産工程の煮繭、繰糸、揚返し工程において制御実験を行い、その評価を行った。その結果、解じょ張力の平均値と分散を指標とすることにより、解じょ率、索抄緒効率、生糸糸長の改善状態の推移が判断でき、適正な煮繭条件を見出すことができた。また、節計測による煮繭工程の温度制御ができ、生糸の節成績の品質評価による第3次修正法の妥当性を確認できた。さらに、これらの制御実験を通じて、構築した煮繭工程の制御支援システムの有効性を明らかにした。これにより、煮繭、繰糸、揚返し工程を一貫する生糸生産工程の制御方法の基本的枠組みを確立した。

引用文献

- 1) CHATTERJEE, S. and PRICE, B. (1977): Regression analysis by example, pp. 227-251, John Wiley & Sons Inc., New York.
- 2) 福田紀文 (1990): わが国の蚕糸業を支えた主な蚕糸科学と技術, pp. 16-45, 日本蚕糸新聞社, 東京.
- 3) 林 貞三 (1935): 繰糸張力に関する研究, 蚕糸学報, 8, 273-285.
- 4) 本多岩次郎 編 (1935): 日本蚕業史, 大日本蚕糸会, 2, 320-411.
- 5) ISHIBUCHI, H., NOZAKI, K. and TANAKA, H. (1992): Distributed representation of fuzzy rules and its application to pattern classification. Fuzzy Sets and Systems, 52, 21-32.
- 6) 石黒善夫・神津剛夫・石井昭衛 (1993): 生糸の節・糸むら検査のエレクトロニクス化, 糸絹研誌, 2, 31-37.
- 7) 実践教育研究会 (1989): 機械工学基礎実験, 基礎編, pp. 87-93, 工業調査会, 東京.
- 8) 実践教育研究会 (1989): 機械工学基礎実験, 試験編, pp. 57-66, 工業調査会, 東京.
- 9) 風間健・真鍋朋信・岩城正男・堀川明 (1965): 繊維計測 (1), 張力の測定 (その1), 織学誌, 18, P587-P590.
- 10) 木村真作・平野三郎・村山穰助・水出通夫・嶋崎昭典・坪井恒・由井千幸・尾藤省三 (1964): 製糸技術講座, 大日本蚕糸会, p. 371, 東京.
- 11) 木下晴夫・菅沼よし・渡瀬久也 (1980): 煮繭のシステム化に関する

- る研究. II. 温度パターンによる煮繭の最適化について, 日蚕雑, 49, 352-358.
- 12) 木下晴夫・但馬文昭・一ノ瀬公男(1989): 煮繭の多変量解析を応用したエキスパートシステムについて, 日蚕雑, 58, 412-418.
- 13) 木下晴夫・但馬文昭・一ノ瀬公男(1990): ファジィルールによる煮繭のエキスパートシステム, 日蚕雑, 59, 311-315.
- 14) 木下晴夫・渡瀬久也・菅沼よし(1979): 煮繭のシステム化に関する研究 I, 多変量解析法を用いた繰糸特性値の解析, 日蚕雑, 48, 404-410.
- 15) 木下晴夫・但馬文昭・宮島たか子・嶋田恵美(1993): 煮繭のシステム化に関する研究 - 繰糸張力を指標とする最適煮繭条件設定への試み -, 糸研絹誌, 2, 1-6.
- 16) 小林重信(1986): 知識工学, pp. 31-94, 昭晃堂, 東京.
- 17) 木暮横太 監修(1956): 生糸の品質と織物, 技報堂, 東京.
- 18) 小西省三(1967): 実験計画法, pp. 46-73, 日刊工業新聞社, 東京.
- 19) 小関悦郎・久我睦男(1954): 煮繭作用の研究 I, 繭の吸水作用, 日蚕雑, 23, 208-209.
- 20) 前川春次(1981): ウースター I S による生糸試験, 滋賀県繊維工業指導所業務報告, pp. 106-115.
- 21) MAMDANI, E.H. (1974): Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant, Proc. IEE, 121, 12, 1585-1588.
- 22) MAMDANI, E.H. (1976): Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controller, Int. J. Man-Machine Studies, 8, 6, 669-678.

- 23) 三戸森確郎(1961): 織度感知器の力学, 日蚕雑, 30, 66-70.
- 24) 水本雅晴(1988): ファジィ理論とその応用, p. 359, サイエンス社, 東京.
- 25) MIZUMOTO, M. and ZIMMERMANN, H.J. (1982): Comparison of fuzzy reasoning methods, Fuzzy Sets and Systems, 8, 253-283.
- 26) 中川房吉(1939): 煮繭学原論(改訂版), 明文堂, 東京.
- 27) 中川房吉(1950): 繰糸張力, 農林水産省蚕糸局技術改良課技術資料第23号.
- 28) 中西正喜・関 光司(1946): 煮熱度判定法の一試案, 製糸絹研究発表収録, 6, 91-97.
- 29) 中山紀夫(1973): 煮熱度の測定について, 日本蚕糸学会中部支部講演集, XXXI, 5.
- 30) 西出照雄(1976a): 光電手法による生糸織度検出装置の諸特性について, 織学誌, 32, T440-T445.
- 31) 西出照雄(1976b): 光電手法による繰糸中の生糸織度の計測, 織学誌, 32, T445-T450.
- 32) 西出照雄(1978): 生糸織度制御装置と制御機構の試作, 織学誌, 34, T421-T429.
- 33) 西出照雄(1979): 索抄緒部における緒糸織度制御システムの開発, 日蚕雑, 48, 137-141.
- 34) 西出照雄・大浦正伸(1985a): 画像処理による織度の計測法と装置の構成, 日蚕雑, 54, 128-133.
- 35) 西出照雄・大浦正伸(1985b): 生糸織度情報の収集処理システムの開発, 日蚕雑, 54, 459-463.

- 35) 西出照雄・大浦正伸(1987): 織度データの収集処理プログラム, 日蚕雑, 56, 77-82.
- 37) 荻原清治(1934): 煮繭論, pp. 225-269, 明文堂, 東京.
- 38) 奥野忠一・芳賀敏郎・久米均・吉澤正(1981): 多変量解析法(改訂版), pp. 373-391, 日科技連, 東京.
- 39) 奥野忠一・芳賀敏郎・矢島敬二・奥野千恵子・橋本茂司・古河陽子(1976): 続多変量解析法, pp. 147-174, 日科技連, 東京.
- 40) 奥野忠一・片山善三郎・上郡長昭・伊東哲二・入倉則夫・藤原信夫(1986): 多変量データの解析, pp. 283-356, 日科技連, 東京.
- 41) 小野四郎・荒井三雄・柴田順康・道鎮孝雄(1967): 繭の物性に関する研究 I, 製糸絹研究発表収録, 17, 16-20.
- 42) 大浦正伸・都島美行・西出照雄(1989): 製糸工場における生産情報収集システムの開発, 日蚕雑, 58, 424-430.
- 43) OTOMO, T., NAKAGAWA, T. and AKAIKE H. (1972): Statistical approach to computer control of cement rotary kilns, Automatica, 8, 1, 35-48.
- 44) SAATY, T. L. (1980): The Analytic Hierarchy Process, pp. 3-122, McGraw-Hill, New York.
- 45) 蚕糸絹年鑑(1995): 日本蚕糸新聞社, pp. 1-95.
- 46) 坂和正敏(1989): ファジィ理論の基礎と応用, pp. 44-72, 森北出版, 東京.
- 47) 関島 稔・寺島利一(1972): 製糸工程の全自動化に関する制御工学的研究(7), 煮繭工程の最適化制御に関する予備的考察, 製糸絹研究発表収録, 22, 75-77.
- 48) 嶋崎昭典(1953a): 落著現象解析のための実験計画法 (I),

- 蚕糸研究, 5, 68-76.
- 49) 嶋崎昭典(1953b): 落著現象解析のための実験計画法 (II), 蚕糸研究, 6, 30-34.
- 50) 嶋崎昭典(1953c): 煮繭処理工程の解析, 農業統計研究 1, 2, 32-36.
- 51) 嶋崎昭典(1955a): 落著の分布特性について (I), 落緒回数と POISSON 分布関数, 日蚕雑, 24, 273-279.
- 52) 嶋崎昭典(1955b): 落著の分布特性について (II), 落緒回数と複合ポアソンあるいは POLYA-EGGEBERGER 分布関数, 日蚕雑 24, 280-286.
- 53) 嶋崎昭典(1956a): 落著の分布特性について (III), 解じょ糸長の分布, 日蚕雑, 25, 65-70.
- 54) 嶋崎昭典(1956b): 落著の分布特性について (IV), 繭糸上の落緒確率, 日蚕雑, 25, 352-356.
- 55) 嶋崎昭典(1961): 製糸工程の統計的管理法に関する研究 I, 定粒繰糸工程の管理について, 蚕糸試験場報告, 16, 403-529.
- 56) 嶋崎昭典(1964): 製糸技術講座 煮繭編, pp. 91-133.
- 57) 嶋崎昭典(1970): 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, 製糸夏期大学教材, 23, 29-39.
- 58) 嶋崎昭典・笠井忠光・坪井 恒(1957a): 生糸の品質管理に関する研究 (I) 落緒の生起性について, 日蚕雑, 26, 89-94.
- 59) 嶋崎昭典・笠井忠光・坪井 恒(1957b): 生糸の品質管理に関する研究 (IV) 解じょ糸長分布と落緒の周期性との関係, 日蚕雑, 26, 182-186.
- 60) 嶋崎昭典・坪井 恒・笠井忠光(1957a): 生糸の品質管理に関する

- 研究 (Ⅱ) 調査区間の大きさと落緒の平均及び分散の変化との関係, 日蚕雑, 26, 176-181.
- 61) 嶋崎昭典・坪井 恒・笠井忠光(1957b): 生糸の品質管理に関する研究 (Ⅲ) 落緒の周期性, 日蚕雑, 26, 182-186.
- 62) 嶋崎昭典・坪井 恒・笠井忠光(1957c): 生糸の品質管理に関する研究 (Ⅴ) 大量生産の場合における落緒並びに接緒の生起性, 日蚕雑, 26, 182-186.
- 63) 嶋崎昭典・坪井 恒・笠井忠光(1958a): 生糸の品質管理に関する研究 (Ⅵ) 繭糸の織度偏差並びに粒付配合と定粒生糸の織度偏差との関係, 日蚕雑, 27, 277-282.
- 64) 嶋崎昭典・坪井 恒・笠井忠光(1958b): 生糸の品質管理に関する研究 (Ⅶ) 繭糸織度の連続性と定粒生糸の織度偏差との関係, 日蚕雑, 27, 283-288.
- 65) 嶋崎昭典・吉沢弥吾・井上和也(1952a): 煮繭工程の解析 (Ⅰ), 製糸絹研究抄録, 2, 63-66.
- 66) 嶋崎昭典・吉沢弥吾・井上和也(1952b): 煮繭工程の解析 (Ⅱ), 日本蚕糸学会関東支部講演要旨.
- 67) 嶋崎昭典・吉沢弥吾・井上和也(1953a): 煮繭工程の解析 (Ⅲ), 日蚕雑, 22, 114-115.
- 68) 嶋崎昭典・吉沢弥吾・井上和也(1953b): 煮繭工程の解析 (Ⅳ), 日蚕雑, 22, 115.
- 69) 嶋崎昭典・吉沢弥吾・井上和也(1953c): 煮繭工程の解析 (Ⅴ~Ⅰ, 2), 製糸絹研究抄録, 3, 119-140.
- 70) 清水正昭・宮下昌則・美山実・高橋敏昭(1978): 生糸の糸むら・節検査自動化システムについて, 生糸検査所研究報告, 32, 1-29.

- 71) 菅野道夫(1988): ファジィ制御, p. 183, 日刊工業新聞社, 東京.
- 72) 煮繭技術研究会(1985): 製糸工場における適煮条件の決定方法に関する研究.
- 73) 高林千幸(1980a): 繭糸解じょ張力変動のアナログ演算処理による評価法について, Ⅰ, 平均値・平均偏差のアナログ演算装置の試作とその計測実験, 蚕糸研究, 114, 84-95.
- 74) 高林千幸(1980b): 繭糸解じょ張力変動のアナログ演算処理による評価法について, Ⅱ, 分散・標準偏差のアナログ演算装置の試作とその計測実験, 蚕糸研究, 115, 90-100.
- 75) 高林千幸(1982): 自動繰糸機における実繰解じょ率計測装置の開発, 日蚕雑, 52, 208-214.
- 76) 高林千幸(1984a): 複数検出方式の利用による実繰解じょ率計測, 日蚕雑, 53, 229-309.
- 77) 高林千幸(1984b): 自動繰糸機における有効接緒効率の計測, 日蚕雑, 53, 441-447.
- 78) 高林千幸(1985a): 有効接緒効率の自動近似計測, 日蚕雑, 54, 101-107.
- 79) 高林千幸(1985b): 製糸工程における繭の煮熟状態の計測制御に関する研究, 蚕糸試験場報告, 29, 563-702.
- 80) 高林千幸(1989a): ハイブリッドシルク, 織学誌, 45, P268-P273.
- 81) 高林千幸(1989b): 煮繭工程のコンピューター制御システムの開発, 日蚕雑, 58, 483-492.
- 82) 高林千幸(1990): 繰糸工程のコンピューターによる計測制御, 日蚕雑, 59, 171-181.
- 83) 高林千幸(1991): 接緒, 糸故障を指標とした煮繭-繰糸工程間の

- 伝達特性, 日蚕雑, 61, 150-157.
- 84) 高林千幸・細川明(1982a): 原料繭特性に適応する煮熟状態の評価法, 農業機械学会誌, 44, 85-92.
- 85) 高林千幸・細川明(1982b): 煮熟繭のレオロジー的特性, 農業機械学会誌, 44, 335-361.
- 86) 高林千幸・細川明(1982c): 動的計測手法による繭の煮熟状態の評価, 農業機械学会誌, 44, 489-497.
- 87) 高林千幸・細川明(1982d): インパルス応答法による繭の煮熟状態の判定, 農業機械学会誌, 44, 639-643.
- 88) 高林千幸・細川明(1984): 製糸工程における繭糸の解じょ張力発生機構のシミュレーションによる検討, 農業機械学会誌, 45, 499-505.
- 89) 高林千幸・細川明(1985a): 繭糸の解じょ張力による繭の煮熟状態計測装置の開発, 農業機械学会誌, 46, 511-519.
- 90) 高林千幸・細川明(1985b): 製糸諸情報計測装置の開発と製糸工程の動特性, 農業機械学会誌, 47, 51-59.
- 91) 高林千幸・細川明(1986): 製糸工程における繭の煮熟状態の計測制御実験, 農業機械学会誌, 47, 435-442.
- 92) 高橋安人(1968): システムと制御, p. 408, 岩波書店, 東京.
- 93) 竹川寛・高林千幸・中屋昭(1976): シーケンス制御方式による煮繭機の自動起動停止装置, 蚕糸集, 103, 63-86.
- 94) 田中英夫(1990): ファジィモデリングとその応用, p. 181, 朝倉書店, 東京.
- 95) 寺島利一(1980): 煮繭工程管理の自動化研究, 製糸夏期大学教材, 33, 69-77.

- 96) 鳥脇純一郎(1993): 認識工学, p. 224, コロナ社, 東京.
- 97) 上野晴樹(1989): 知識工学入門, p. 231, オーム社, 東京.
- 98) 和久田唯雄(1926): 解じょの器械的測定について, 大日本蚕糸会報, 35, 39-42.
- 99) 柳原 茂(1956): 繰糸中の生糸繊度の定伸張力による測定, 蚕糸研究, 18, 17-30.
- 100) YU, C., CAO, Z. and KANDEL, A. (1990): Application of fuzzy reasoning to the control of an activated sludge plant, Fuzzy Sets and Systems, 38, 1-14.
- 101) ZADEH, L. A. (1965): Fuzzy sets, Information and Control, 8, 338-353.
- 102) ZADEH, L. A. (1973): Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process, IEEE Trans., Systems and Man Cybernet., 3, 1, 28-44.
- 103) ZADEH, L. A. (1978): Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets and Systems, 1, 3-28.

