

編み疵センサの開発

栗山龍起^{*1)} 岡本炳人^{*2)}

1. はじめに

戦後日本では欧米文化が急速な広がりを見せたが、中でも婦人向け靴下(通称：パンティストッキング)は最も普及したものの一つである。今日では女性にとって化粧品と並び生活必需品として定着しており、安定した需要がある。また、産業としても消耗品であることと高機能製品の開発や高級志向化に支えられ、まだまだ拡大傾向にある。

さて、繊維業界におけるこれら靴下などの編み疵(キズ)の自動検出は、編み機の複雑な構造とその加工速度の速さなどの問題から困難を強いられてきた。

現在、編み疵の品質検査は目視で行われており、多くの検査工数が必要となっている。繊維業界の大手であるグンゼ株式会社(以下敬称略)では、消費者の品質要求に応えるとともに、品質の検査基準を定量化し、製造工程における検査の完全自動化と生産性の向上を図るべく研究がなされてきた。

今般、当社との共同研究により、編み工程中においてリアルタイムに編み疵の検出可能なセンサの開発に成功したので以下に報告する。

2. 靴下編み機と靴下について

予備知識として、靴下編み機と製造工程および靴下の仕様について簡単に説明する。

2.1 靴下の製造工程について

靴下は図1に示す概要のように、同形状の円筒形のもの片足ずつ編み上げた後に、縫製工程で繋ぎ合わされ本来の形状に仕上げられる。この工程終了時における靴下は乳白色であり、次の工程において品種ごとに染色されるが、白色の製品も同様に白色に染色される。

その後、仕上げ工程および包装工程を経て出荷されるが、これら全工程中の品質検査としては編立て、縫製、仕上げおよび包装工程においてそれぞれ検査基準に従って検査が実施されている。

2.2 編み機について

ここで対応した靴下の編み機は、図2に示すような丸編み機と称される市販の機種種である。多種多様な靴下の製造に対応すべく複雑な機構となっており、生地を生成する主要な部分を拡大したものを図3に示す。

糸は円周上に配置された320~480本の針で編み上げられ、図に示すファブリックチューブに沿って下方にバキュームで吸い込まれる構成となっている。なお、編み上げ時のシリンダー回転数は、生成する生地の種類により異なり350~700rpmの間で制御されている。片足分の編み工程に要する時間は、靴下の種類により異なり30sec~5min程度である。

2.3 靴下について

使用される靴下の糸の代表的な種類としては、DCY

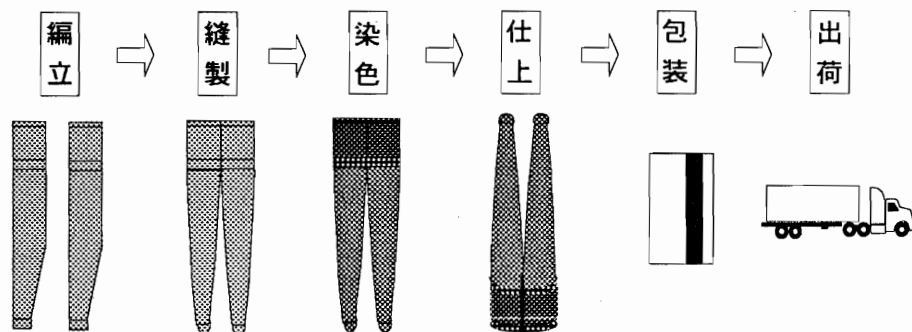


図1 靴下製造工程の概要

*1) 研究部

*2) 研究部

と云われるポリウレタンを母材にナイロンをカバーリングしたものや、ナイロン糸が用いられている。丸編み機で製造される靴下はパッチワーク状になっており、それぞれ機能別に編み方が異なり個々に名称がつけられている。以降の説明でも必要となるので図4に各部の名称を記しておく。

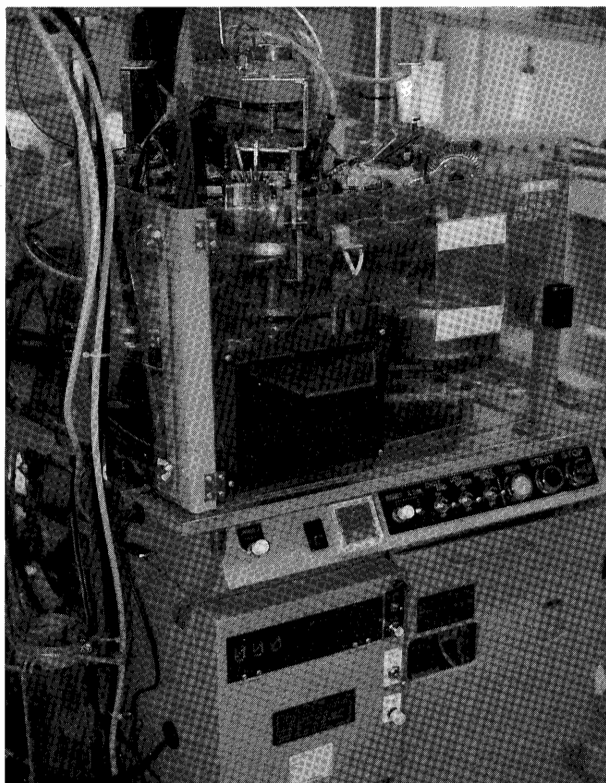


図2 靴下編み機全景写真

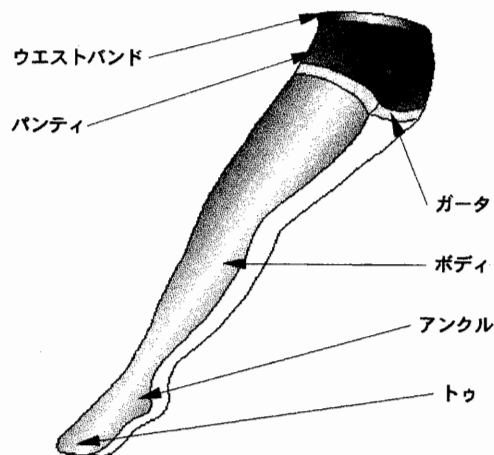


図4 靴下の各部名称

3. 技術的課題

編み疵には多くの種類があり発生する部位によってその形状は変化するが、これらをリアルタイムで検出する課題が科せられた。また、市販の編み機を使用している関係で利用できると思われる空間は殆ど無く、センサは複雑に組み立てられ高速で駆動する機構内に設置せねばならなかった。

3.1 編み疵の種類

編み工程で発生する代表的な疵としては、次のようなものが挙げられる。

- ①穴疵：ループ径が2倍以上に大きくなったもの。
- ②目落ち：ループが形成できず、隣のループと合さり横長の1つのループになったものが、2個以上連続したものの。
- ③キック：別の種類の糸混入や糸がよじれて2本、3本を一緒に編み込んだもの。
- ④針折れ：針が折れてループが形成されず目落ちが連続発生したもの。
- ⑤コア切れ：糸のフィラメントの中心糸が切れたもので細く見える。
- ⑥汚れ：油などが糸や生地に着したものの。

これら疵の実物大写真を次ページの図5に示すが、各部位全てにおいて発生する可能性がある。

3.2 検出手法

当初の編み疵の検出目標はφ1mmの穴疵として手法の模索を進め、高速で移動する生地に疵を付けずリアルタイムで検出する手法として光を用いる方式を選んだ。

机上実験において、生地に光を透過させ透過光量を検出する方式と生地に光を当て反射光量の変化を検出する方式を試み両者とも良好な結果が得られた。

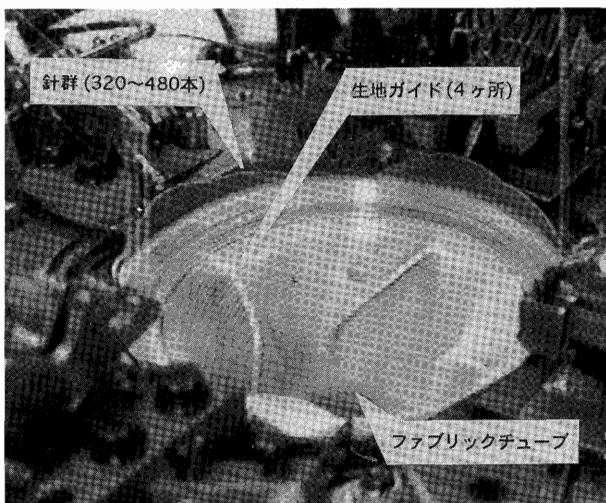


図3 生地生成部

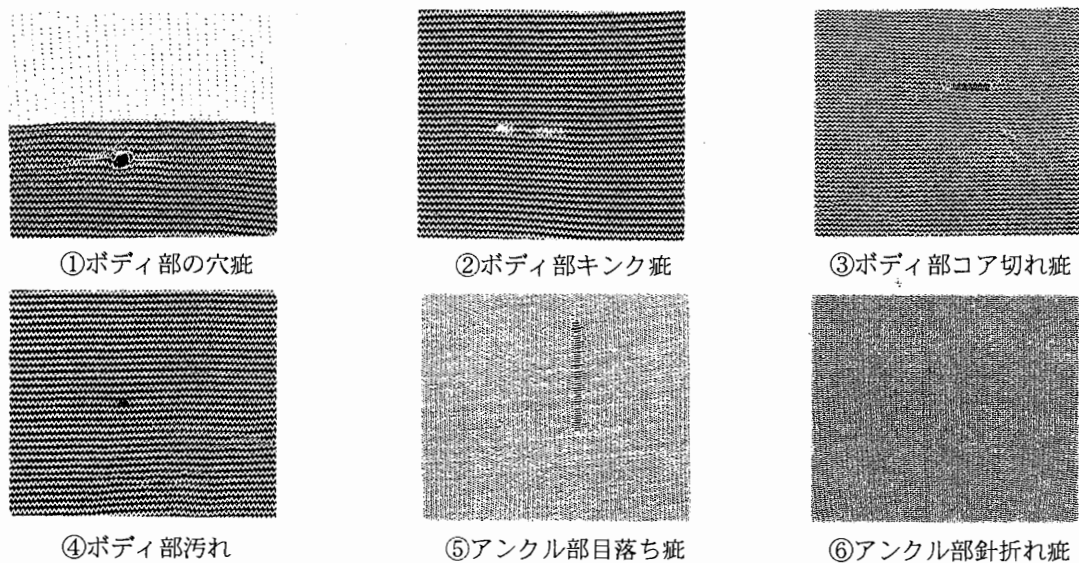


図5 各種疵の種類

3.3 センサーの設置

前述のように既存の編み機に投受光素子を組み込むスペースは殆ど見当たらず、図3に示したファブリックチューブに取り付けられている生地ガイド部の活用を試み、プラスチック光ファイバ(以降ファイバと称す)で検出光を導光する手法を採用した。

この生地ガイド部は生地を整える機能があり、特に薄い生地に起こりやすい“しわ”の発生を抑え、良好な結果を得ることができた。しかし、市販のファイバの外径は2.2mmであり、複雑な構造を持った機構部にはこのファイバを挿入する余裕が無く、特殊な径のファイバを採用せざるを得なかった。また、メンテナンス性の向上を図るためファイバと投受光素子とをソケットで結合する方式を検討したが、同様にソケット部を挿入するスペースを見い出すことができず、特殊なファイバコネクタを考案し設計を行った。

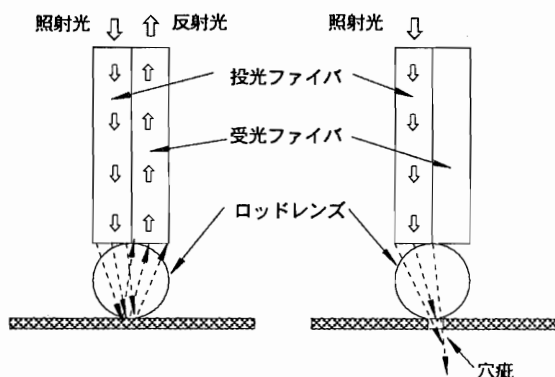


図6 検出の原理図

3.4 疵信号の処理

疵部の信号はその種類や発生する部位により大きく変化するため、測定する部位と疵の種類ごとに処理回路を設計せざるを得なかった。なお、部位の検出は編み機のシリンダの回転数から求める方式を採用した。

4. 編み疵センサの実際

被検出体である靴下は前述のように丸編み機で編まれるため円筒形状であり、生地ガイド部に検出機能を持った検出器を設置することにより生地全体をスキャンすることができる。また、実験の結果と構造の関係から光の反射の原理を応用した方式を採用し、生地部位と疵の種類に対応した処理回路系を検討した。

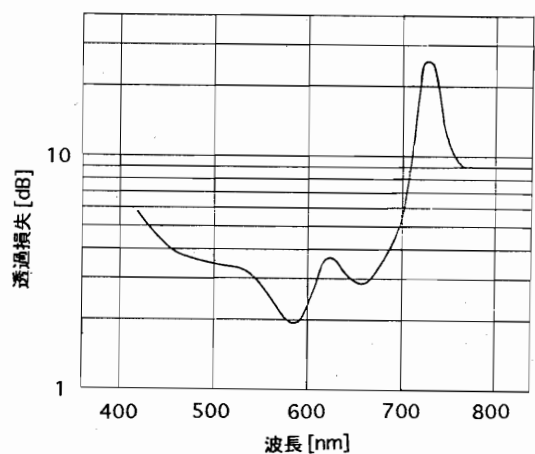


図7 プラスチック光ファイバの光透過特性

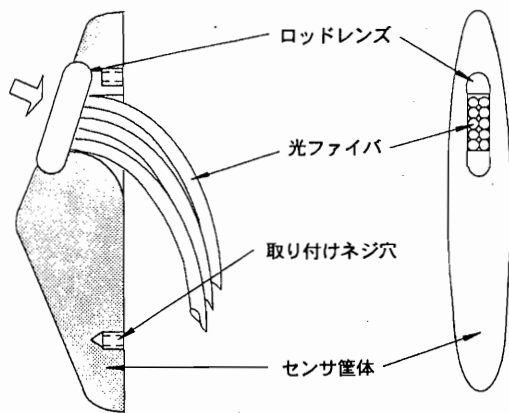


図8 センサ部構造図

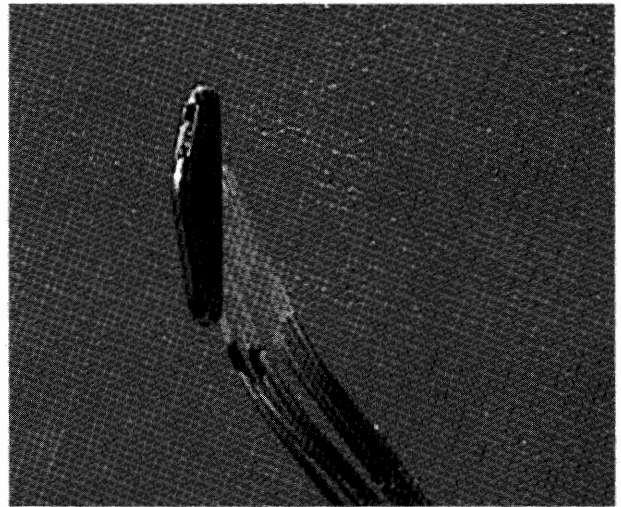


図9 センサ部外観写真

4.1 センサ部について

4.1.1 検出の原理

基本的な検出原理は図6に示すように、発光源であるLEDチップから放射した光はレンズ部で絞り込まれ、ファイバに導入され他端から放射される。放射光にはロッドレンズでレンズの径方向に集光され、長手方向には光の強度分布を均等化し生地を有効に照射させている。正常な生地においては一定の光量が反射光として再度ロッドレンズで集光されながら戻ってくるが、その一部が受光素子に接続したファイバに信号光として入光する。この光はLEDと同形状の受光素子に照射し電気信号に変換される。

ここで生地に疵があると反射光量に増減変化が生じ、この光量変化を電氣的に検出することになる。光源に発光波長660nmの赤色LEDを用いたが、この波長を選択した理由は、

- ①使用したファイバの透過損失特性が図7に示すように、発光効率の高いLEDの波長に合致する。
- ②生地に用いられる糸は合成繊維であり、比較的安定した反射特性が得られる。

などである。

受光素子としては赤色領域にも高感度を有し、比較的高速で複雑な光量変化を忠実に検出するためフォトダイオードを採用した。

導光用のファイバは投受光合わせて10本のファイバを使用することにしたが、前述のように市販されている標準ファイバの外形は $\phi 2.2\text{mm}$ であり、編み機内にはこれを挿入するスペースが得られなかったことと、複雑な機構の中を挿入する際にファイバのシース部が硬くて屈曲性に乏しく挿入が困難であるため、シース部が薄くて柔らかい外径1.3mmの特別仕様のもを用いた。

4.1.2 センサの構造

編まれる生地は生地ガイド部において回転周方向に1秒間に1.6~2.2mの速度で移動し、生地が1周分編まると2~4mm下方に押し下げられていく。この生地の動きを利用して、 $\phi 1\text{mm}$ のファイバを投受光の組み合わせ5組を用意し、センサ自体を固定した状態で円筒状の生地全面を螺旋状にスキャンさせるようにした。このセンサ部の内部構造を図8に、外観写真を図9に示す。なお、図8の右の図はロッドレンズを正面から見たときのファイバの並びを示している。

ロッドレンズは常に移動する生地と接触しているため、耐摩耗性を考慮し硬質のガラス材を選定した。その両端部は生地に疵を付けないようにレンズ径と同径の曲率半径をもたせ、かつ鏡面状態に仕上げるために宝石加工で用いられる技法を応用して製作した。

センサをファブリックチューブに取り付けるに当たり編み機内部を検証した結果、周辺に高速稼働する機構部が存在しファイバに接触する恐れがあることが判った。このためファイバをできる限りファブリックチューブの裏面に沿う形状に加工したのでファイバの曲げ半径が小さくなったことと、場所によりそのバラツキが生じ光の透過効率にもバラツキが生じた。この問題点を解決するため詳細は後述するが、電子回路で投受光系を1組として各々に補正を行った。

4.1.3 ファイバの末端処理

センサや編み機のメンテナンスを考慮し、ファイバと投受光素子との結合部にコネクタ方式を採用すべく検討を進めたが、センサ部近傍にコネクタを設ける余地がなく、複雑な機構内部に10本のファイバを設置するスペースを確保するのが限界であった。このためコントローラ

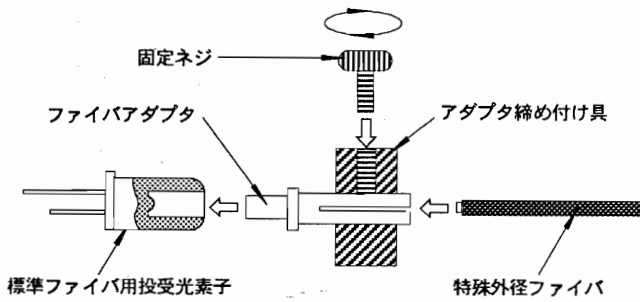


図10 ファイバコネクタ

側でファイバ1本ずつを投受光素子に確実に接続でき、かつ接続の繰り返しに対する安定性を考慮して図10のようなコネクタ構造を新規に開発した。

ここで用いた投受光素子は図11に示した形状であり、市販されているファイバとの結合を簡易に行える構造になっているが、ファイバの抜け止め機構がないので結合した後の信頼性に欠けるものである。

今回開発したコネクタの結合方法は、所定のファイバ挿入穴にファイバを差し込み、軽く押し付けた状態でアダプタ締め付け具にセットされている固定ネジで止めるだけであり、作業性の良い構造にしている。

内部構造を図10に基づいて簡単に説明すると、標準ファイバ径用の投受光素子と特殊ファイバ径との結合用にファイバアダプタを設けた。このアダプタの内径は特殊ファイバを挿入するための径に合わせ、左端の外形は標準ファイバ径に合わせてある。また、右端は長手方向に0.5mmのスリットが設けてあり、アダプタ締め金具に付けた固定ネジを締め付けることにより、アダプタとファイバが共締め状態となりファイバに傷を付けることなく完全に固定される。

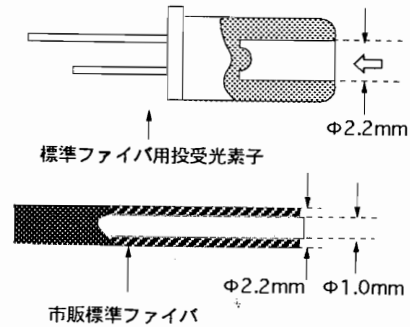


図11 受光素子と市販ファイバ

試作したファイバコネクタの脱着の繰り返し実験を行った結果、オシロスコープで観測する限り信号レベルの変化は使用上無視できる値であった。

4.2 各種疵信号に対応した処理回路

当初の目標であった $\phi 1\text{mm}$ の穴疵は問題無く検出できたが、その後3.1で述べた多くの種類の疵について検出の追加依頼があり検討を始めた。

当初はシミュレータを試作し、編み疵が発生した靴下を取り付け信号処理回路の検討を進めた。しかし、疵の種類が増加とサンプルの連続した使用で疵部の変形による信号変化が生じたため、疵信号をDAT (Digital Audio Taperecorder) に取り込み再生信号で処理回路の検討を行った。特に、単発的に発生する疵信号の解析を行うことは非常に困難であるため、任意波形発生装置に信号を取り込み、一部波形整形を行うことで連続した疵信号波形の生成を可能にし、検討を進めた。

最も困難であったのは、部位の切換え時に発生する穴疵である。特にガータ部の編み方は密になっており、次の部位であるボディ部の疎になる編み方との切換え時において大幅な光量の変化が生じるため疵がなくても疵信

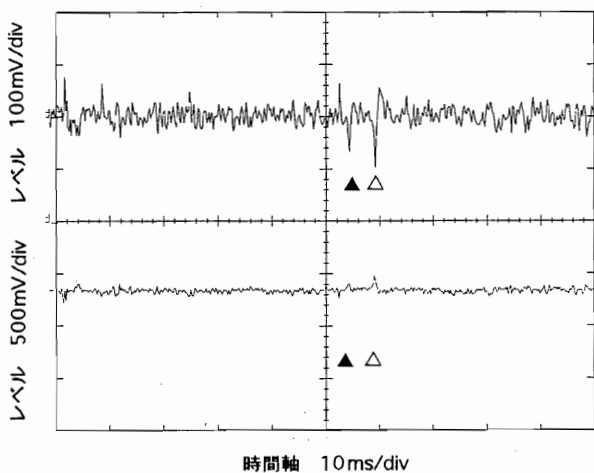


図12 1本の針折れ疵信号波形

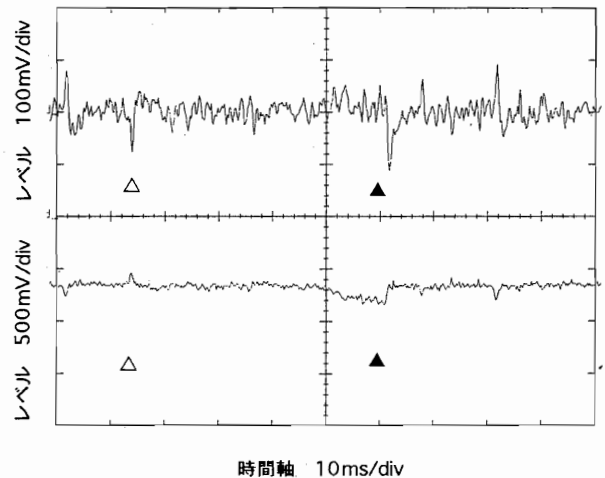
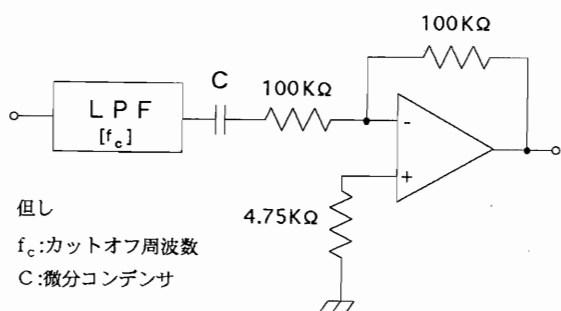


図13 キンク疵信号波形



但し
 f_c : カットオフ周波数
 C: 微分コンデンサ

図14 各種疵信号波形用LPF

号と同レベルの信号が発生することがあった。また、針が1本折れた場合はガータ部からボディ部の間での検出は不安定なためアングル部以降での検出に委ねた。

全ての疵信号の処理内容は紙面の関係で記載できないので、代表的な疵信号処理について以下に述べる。

4.2.1 ボディ、アングル、トウ部の信号処理

1本の針折れ疵とキック疵の信号例を図12および13の下部に示す。この信号波形は光電変換後のものであり、▲印で示したところが疵部であるが特に目立つものでなく、正常に編まれた生地部で発生している信号に埋もれていると云える。なお、疵の記録波形中で△印を付けている信号は、各種の疵発生位置を明確化する目的で針を2本抜き取り故意に発生させた疵信号である。

正常に編まれた部分の信号波形を見ると、ボディ、アングル、トウ部に付いては編み目による比較的高い周波数成分の安定した信号が得られているため、疵信号の抽出として低い周波数成分のみを処理できるLPF (Low

表1 疵別回路定数と特性

疵の種類	ボディ	アングル	トウ
目落ち疵	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.0047 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.0047 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.01 \mu\text{F}$
キック疵	$f_c = 0.6 \text{ KHz}$ $C = 0.01 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.01 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.0047 \mu\text{F}$
針折れ疵	*検出が不安定	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.01 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.0047 \mu\text{F}$
ひきつり疵	$f_c = 1 \text{ KHz}$ $C = 0.056 \mu\text{F}$	*検出が不安定	*検出が不安定
針 疵	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.01 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.056 \mu\text{F}$	$f_c = 2 \text{ KHz}$ $C = 0.056 \mu\text{F}$

Pass Filter) を介した後に微分処理を行った。これらの回路構成を図14に示し、処理した信号波形を図12および13の上部に示す。なお、LPFのカットオフ周波数 f_c と微分定数の一つであるコンデンサCをパラメータにとり各部の疵信号の処理を行ったところ、前述以外の編み針で生地に疵を付けた針傷まで検出できることが判明した。

各部位における各種の疵に最適なLPFの周波数特性と、微分定数との組み合わせ関係を表1に示す。ただし、生地の送りがスムーズでない際に発生する、ひきつり疵をDATに収録し波形を観測したところアングル部とトウ部では明確に判定できるような信号を見出すことができなかったが、ボディ部においては処理可能な信号が得られた。

以上のように回路構成は複雑になるが、各部位について発生する疵特性にそれぞれ見合ったLPFと微分回路を対応させれば、ほぼ全種類の疵検出が可能であることが判った。

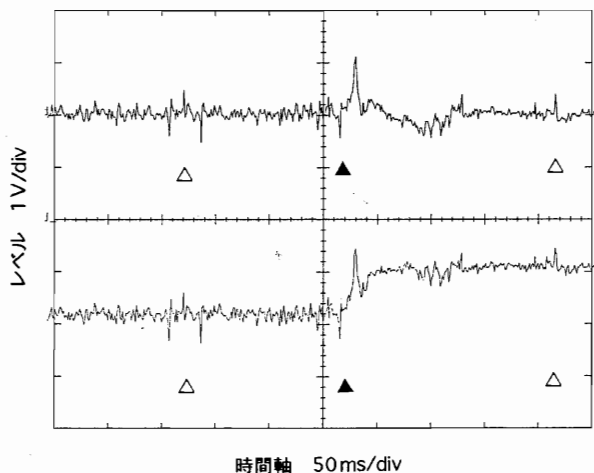


図15 ボディ入り穴疵信号波形

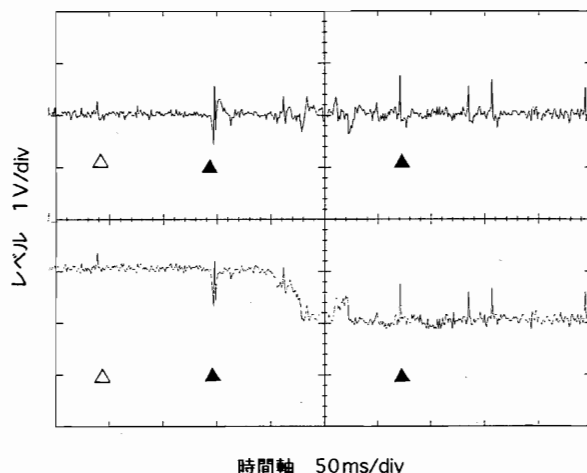


図16 トウ入り穴疵信号波形

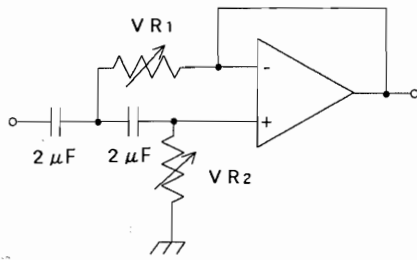


図17 切換穴疵信号処理用HPF

4.2.2 切換穴疵の信号処理

ガータ部からボディ部に入る信号波形を図15に、アングル部からトウ部に入る信号波形を図16に示す。

図の見方は前項と同様であり処理前の信号波形を見ると、生地が切換わる際に直流成分が大きく変化しているのが明確に出ており、しかも疵部の信号も低い周波数成分で比較的大きく出ている。このため、次数の高いHPF (High Pass Filter) を採用することで疵信号のみ抽出することができた。ただし、形状の違う穴疵が発生した場合にも安定した検出が行えるようにフィルタのQ値が1を越えない定数を決定した。

これらボディ入りとトウ入りにおけるHPFを含む回路構成を図17に示し、その定数とQ値、およびカットオフ周波数の関係を表2に示しておく。

表2 切換穴疵検出回路のQ値とカットオフ周波数

穴疵の種類	VR1	VR2	fc	Q
ボディ入穴疵	2.0 KΩ	11.5 KΩ	19 KHz	0.81
トウ入穴疵	0.98 KΩ	2.8 KΩ	38 KHz	0.94

4.2.3 システムとしての回路構成

前述のように発生する疵は、部位の切換えによる信号の変化に無関係に全て検出可能となったが、回路構成が複雑になるため試作機において検出する疵の種類は穴疵と針折れ疵の2種類に絞り込んだ。

システム全体の回路構成を図18に示し、回路図に沿って若干の説明を行う。処理回路は5回路中1回路の構成のみ詳細に記載した。

LED光は光量調整回路で制御されファイバで導光されてターゲットである生地に照射し、その反射光は同じくファイバで受光素子まで導光される。ここで光電変換された電気信号はAMP₁で増幅されるが、投光素子と受光素子には特性のバラツキがあり、またセンサ部のファイバの曲げによるロス分とセンサの構成上中央に配置された受光ファイバに入る光量が必然的に多くなるため増幅率を調整している。

増幅された信号は、編まれている部位に合ったタイミ

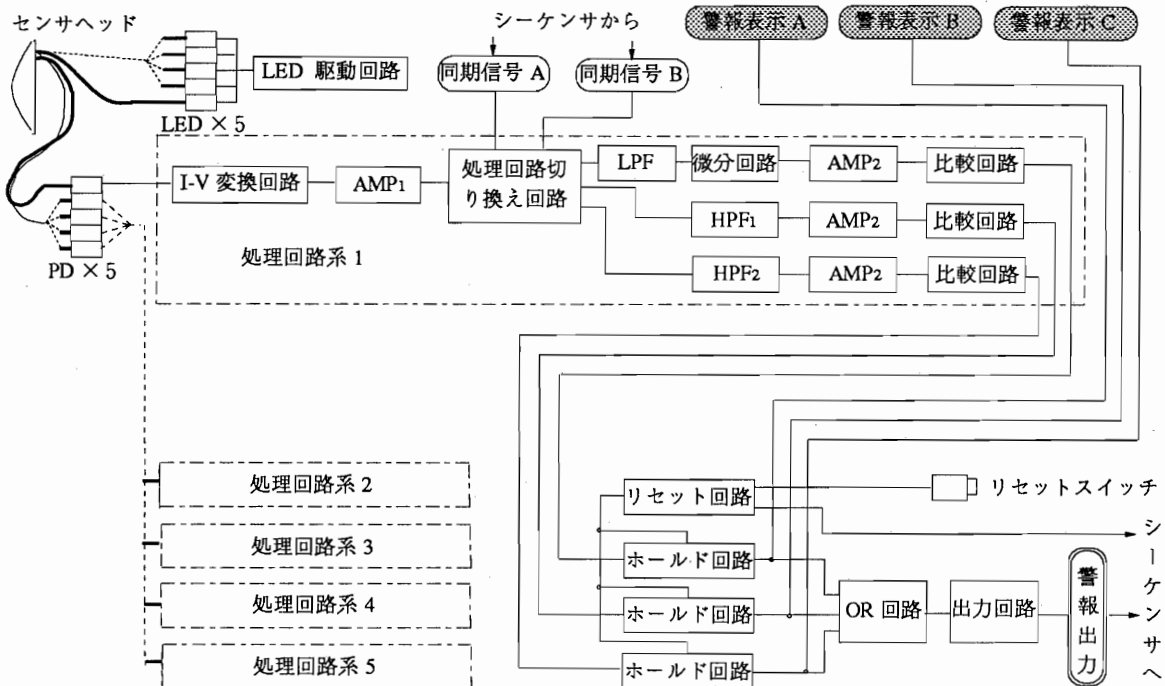


図18 システム全体の回路構成

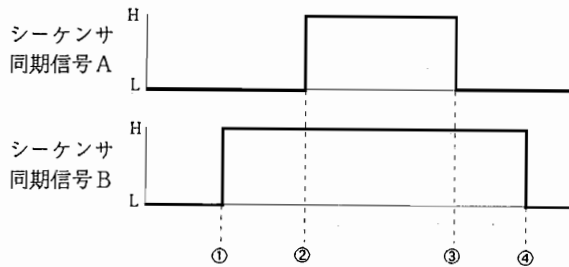


図19 シーケンサからの同期信号

ング信号により、セレクトされた処理回路系で処理されたのち比較器で疵信号の判別を行う。また、疵信号の多くは単発で発生するためホールド回路で保持したのち、警報回路を動作させると同時に編み機自体の停止信号がシーケンサに送り込まれるようになっている。

また、疵の発生で編み機が停止したとき疵の種類を明確に把握できるように、3種類の疵検出回路の出力ごとにホールド回路を設置しており、図20に示すようにコントローラ部に個々の警報ランプを設けている。

なお、処理回路系の切換えタイミングは、編み機を制御しているシーケンサから図19に示すような2つの信号を得て図中の①の立ち上がりで検出を開始し、②でボディ部入り、③でトウ部入り、④で検出終了の各々の信号をロジック回路で生成して処理回路の切換えを行っている。

5. 導入の効果と今後の課題

生産工場の現場において6日間24時間連続駆動でフィールドテストを行った結果、約60,000本の生産本数において疵の見逃しは皆無であった。また、オーバ検出と呼ばれる疵検出レベルの設定誤差に起因する誤信号による編み機の停止発生率は、ほぼ0.02%に抑えられる結果を得た。このオーバ検出率は、編み機1台が1週間連続稼動したとき約1回の停止の割合となる。その後トータル4ヶ月以上に渡りフィールドテストは継続されているが、上記とほぼ同等の成果が得られている。

図5に示した疵のサンプルは針折れ疵以外はフィール

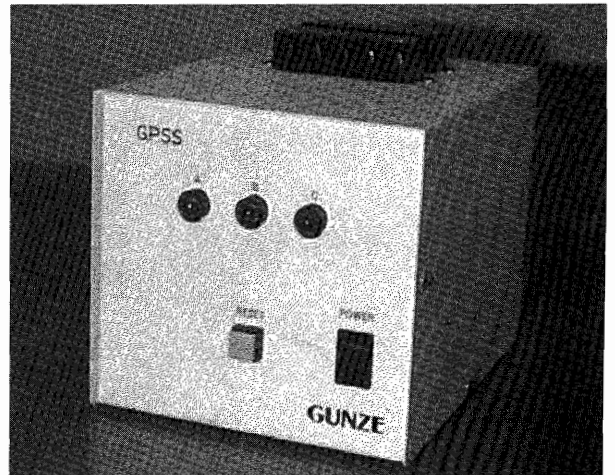


図20 コントローラ部

ドテスト時に検出できた実物の写真であり、予想以上の疵の種類が検出できている。なお、フィールドテスト中針折れ事故が発生しなかったため試験用に作製したサンプル写真を参考に添付した。

今回の共同研究において、今まで不可能に近いとされていた自動編み機の疵検出をリアルタイムで精度良く検出できることが立証された。今回は研究目的で試作機的设计を行ったため疵の種類を絞り込んでいるが、既に述べたように回路の追加で他の疵も十分検出できることが確認できているので、将来的にはCPUを用いた処理回路の検討を行えば、小型でかつ疵の種類や発生頻度の情報処理機能などを充実させたユニークな装置が開発可能と考えており今後の課題としたい。

6. おわりに

当初の目標を大幅にクリアでき、問題視されている疵のほぼ全てが検出可能であるとの結論が得られた。ここで用いた検出原理を基に、編み疵検出以外へのアプリケーションについての検討も進めていきたい。

終りにあたり、編み機に関して知識の無い筆者らを丁寧にご指導戴き、また必要かつ膨大なデータを快く収集し提供して戴いたグンゼ株式会社にこの場を借りて感謝の意を表わします。