

早期布地不良品発見を目的とした 編み針の動的微小変位計測技術

関東職業能力開発大学校 神野 豊

Real-time inspection method of deformed knitting needles while operating for early finding a faulty cloth

Yutaka KAMINO

要約 本論文は、平成10年度F方式によるグンゼ関連企業会との共同研究ならびにその後の取り組みについての報告である。下着布地を製造するにあたっての最大の課題は、如何にして不良品（傷物）を出さないか、もしくは如何に発生量を最小限に止めるかということである。製造後の製品を画像処理装置等により検査するのでは、不良品が大量に発生する恐れがある。しかしながら、不良布地発生の主たる原因が編み機の編み針異常にあることが、Total Productive Maintenance（以下TPM）活動の中からわかってきた。そこで、高速編み機運転状態における、編み針異常発見が実現すれば、布地不良品発生を早期に発見することができるので、その基礎技術を確認するための検討を行った。その結果、動的編み針計測技術に必要なセンサを決定し、コントローラ用試作プログラムを作成した。また、試作装置による実機テストをとおして、編み針計測における課題を明らかにした。

I はじめに

下着布地の製作工程における問題点は、Total Quality Control（以下TQC）活動の成果から不良率自体は減少してきたものの、一旦異常が発生すると大量に不良品を製作してしまう恐れがあることである。検査部に多数の熟練した人員を配置すれば、マンパワーで不良品の発見が可能かもしれない。自動化の観点から考えれば、人の代わりに視覚認識装置により不良の発見が可能である。しかし、布地は薄く織り方も様々である。その傷を判断するのは非常に困難であり、技術的にもコスト的にも視覚センサの導入が得策とは思えない。仮に可能だとしても検査部に製品がくるまで不良品が発生するので効率的でない。

これまでのTPM活動の成果として、高速編み機の編み針の異常が不良品発生の主たる原因であることが判明していたので、運転中の高速編み機の針異常を安価に、確実に検出する方法の確立が必要である。し

たがって、本研究の目的は、高速編み機運転時に編み針の状態をリアルタイムで観測し、編み針異常検出時に機械を自動的に停止させる装置を提供することである。具体的には、本目的に最適なセンサを選択し、計測の考え方を明確にし、その為のプログラムを作成し、そして取り付け上の問題点、編み機環境の影響等を考慮した測定システムを実現するものである。

II 編み針異常検出の基本概念

まず最初に、今回対象とする高速編み機の概要を簡単に説明する。図1に、今回実験に使用した編み機の外観を示す。編み機上部は、布地の素材である糸を供給するためである。中央部は、編み機部で、回転しながら円筒状の布地反物を製作する。この部分に今回計測した編み針が設置されている。下部は、編み上がった布地反物を巻き取り、規定量に達すると裁断し編み

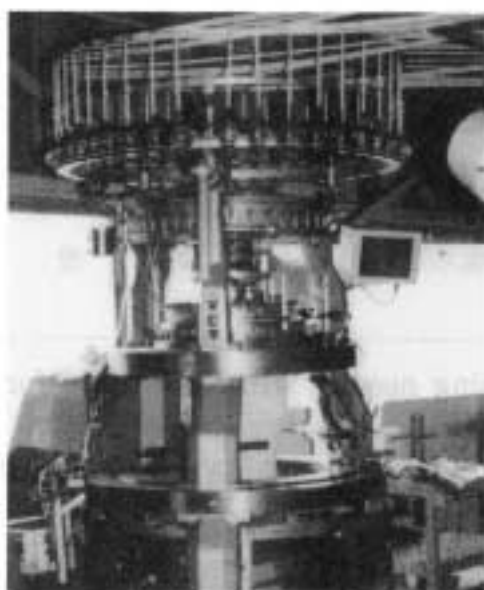


図1 高速編み機

機外周部に自動的に排出する機能を有している。

次に、本装置の中央部にある編み針の形状について述べる。1本の編み針は、長さ70mm、厚み0.6mm、幅1mm程度であり、べら部（針先端にある糸を挟む為のフック状可動部品）の長さは4mm程度である。

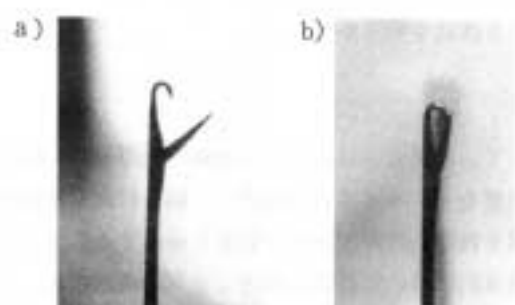


図2 編み針の外観写真

図2は、編み針1本の上半分を幅方向から撮影したものである。a)はべらが開いている状態であり、b)はべらが閉じた状態である。そして、高速編み機には、中央部の円形の回転テーブルに垂直方向に約1000本、水平方向に約1000本の針がそれぞれ装着されている。以後、鉛直線上に立っている針のことを垂直針と呼び、回転方向に対して放射方向に寝ている針のことを水平針と呼ぶ。図3、図4の楕円で囲まれた部分にそれぞれ垂直針、水平針の装着状態を示す。

高速編み機（円テーブル部）は、普通の布地で通常40rpm程度で運転されている。

編み針不良には、針折れ（欠損）、針曲がり、べら曲がりなどがあり、それぞれが重大な不具合を発生する原因となっている。今回は、現在最も急務となって

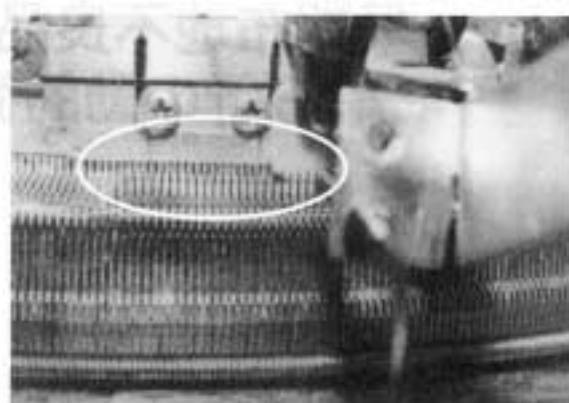


図3 高速編み機編み針部1

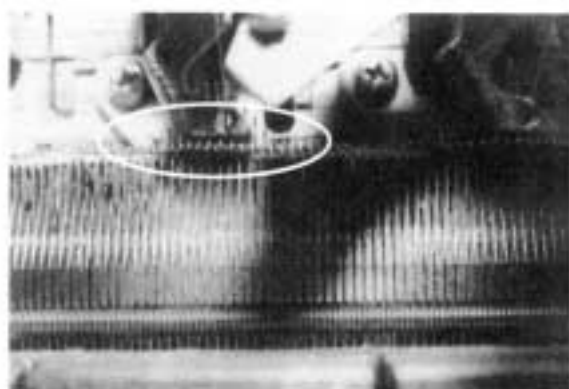


図4 高速編み機編み針部2

いる

- 通常布地製作時のべら曲がり
- 模様のある布地製作時の針折れ

に注目して、その検出方法の検討を行う。

これらを検出するためのセンサが具備すべき点は、「限られた狭い空間で取り付け可能で、金属光沢をもった微小曲面形状の編み針を高速で移動している（動的に）状態で計測可能であること」という厳しい条件を満足することである。このように、編み針異常を確実に検出できれば、その後の信号処理は、信頼性が確立されているマイコン等のソフトウェアが活用でき、また使い易いコントローラが使用できると考えられる。

したがって、リアルタイムにべら曲がりの検出、針折れが検出できるセンサを選定することが、本研究の目的を達成するための最も重要な課題である。

Ⅲ 編み針異常の検出方法

今回提案する編み針異常検出システムの概略図を図5に示す。

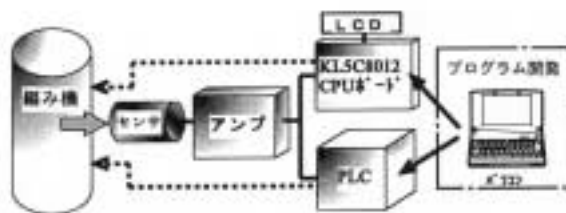


図5 編み針異常検出システム

検出部には光センサを採用した。これは、編み針が金属であること、背景が暗い(黒い金属)こと、高速で移動することから、反射光を検出することを基本原理とする光センサが最適であるからである。センサ信号を増幅するアンプ部に対しては、入力に対する応答速度も重要な選択の判断基準となる。コントローラ部は、入力信号に対するハード、ソフトの両面の処理速度が重要である。出力部は、LCD表示装置、表示灯、編み機停止信号等であるが、今回は、試作段階であるので表示機能のみを有している。このような検出システムにおける、針異常検出の原理について述べる。

まず、べら曲がりの検出法について述べる。



図6 べら曲がり

図6のAに示すようにべらが湾曲した場合、針幅が大きくなり、その状態をセンサで検出できれば良いことになる。

この針幅の変化を計測する方法としては、測定器により直接計測する方法と、針幅の変化により光センサにおいて反射光のON、OFF状態の時間が変化することから間接的に求める方法がある。直接針幅を計測するセンサとして各種変位センサが既に市販されている。これらは静的状態で計測することを前提としているものが多く、動的にどこまで対応できるか不明であったり、静的状態であっても編み針の特異形状(金属光沢、微小曲面形状)により正確に計測できるか考慮すべき問題点がある。しかしながら後者の場合は、動的な計測に対応できる可能性があることに大きな有用性がある。

また、針折れの検出の場合は、針が有るか無いかを検出すれば良いことから、針の周期的な信号を計測することで可能である。ただし、模様のある布地の場合

には、もともと画一的な信号でないことから、参照信号との比較をソフト上で行う等の検討が必要であり、詳細はVIで述べる。

IV センサの選定実験

編み針異常を確実に検出できるセンサを選定するための実験を、先に述べた変位を直接測定する方法と反射光によるON・OFF信号を利用する方法の二者について行った。表1に、今回検討したセンサとその概略を示す。1~3が前者の方法によるものであり、4~9が後者に対応するものである。図7に用いた測定系の概要を示す。センサからの信号は、アナライジングレコーダ、及びデータ収集装置によりパソコンに取り込みデータの保存、処理等を行う。

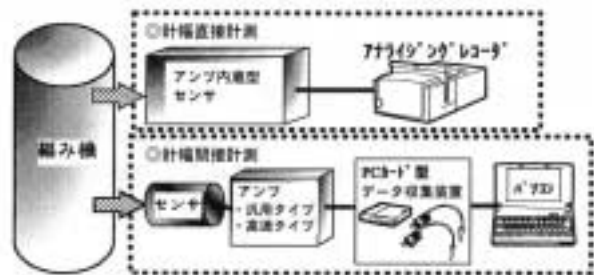


図7 測定システム概要

表1 今回検討したセンサの緒元

1	レーザスキャン式2次元変位センサ	キーエンス	LJ-3000
	レーザ光によるスキャン方式、1スキャン30msで高さと幅同時計測可能 最小スポット φ0.2mm		
2	光源内蔵型イメージモニタ	キーエンス	VL-25&VL-200
	赤外LED光とCCDイメージセンサで計測 応答時間MIN5ms、最小検出幅44μm		
3	光学式変位センサ	キーエンス	PT-165&PT-A160
	赤色LED反射式 スポット径φ1.5mm以下 応答時間1ms、分解倍3μm、鏡面物検出に難		
4	光ファイバセンサ+レンズ	キーエンス	FL-21X+P-21HA
	反射型、検出距離12mm、最小検出物体φ0.01mm、スポット径φ0.2mm		
5	汎用アンプ	キーエンス	FS-V1
	応答速度250μs、光源赤色LED		
6	同上センサ+高速アンプ	キーエンス	FS-M1H
	応答速度20μs、光源赤色LED		
7	レーザ式光ファイバセンサ+アンプ	キーエンス	FS-L40+FS-L70
	反射型、スポット径φ4mm以下、最小検出物体φ0.1mm銅素線 応答時間250μs、光源赤色半導体レーザ光		
8	レーザ式光電スイッチ	キーエンス	LZ-155
	反射型、光源赤色半導体レーザ光、最小検出物体φ0.05mm銅素線 応答時間1ms以下、最小スポット径φ0.05mm		
9	マークセンサ+アンプ	オムロン	E3C-VM35R+E3C-WE4
	マーク検出用反射型、検出距離3.5±0.5cm 光源赤色LED、応答速度1ms以下、最小検出幅0.2mm		
9	光量判別センサ	オムロン	E3SA-VS5RC45A
	反射型、光源赤色LED、応答時間1ms以下、アナログ出力		

4.1 センサ選定実験1

本実験は、直接編み針の変位量（べら曲がり量）を計測する事を原理とした変位センサによるものである。編み針が金属光沢を持った微小曲面形状であることから、光の反射量が微弱なことが考えられたため、レーザ式センサなども含め以下のセンサを実験に用いた。

- レーザスキャン式2次元変位センサ
- 光源内蔵型イメージモニタ
- 光学式変位センサ

実験は、正常編み針と不良編み針を固定しセンサを手で素早く動かすか、逆にセンサを固定して編み針を手で素早く動かしたときのセンサ信号を計測して行った。得られた実験データの一例を図8、図9に示す。

この結果は、正常針からの信号と不良針からのそれに差が少なく、変位センサによるべら曲がり異常の判別は難しいことが分かる。そして、実際に高速編み機に取り付けて運転状態で計測したところ、計測器の応答速度の問題からまったく追従できなく、針幅を直接計測する変位センサを利用できないことがわかった。また、光学式変位センサは、データが不安定で計測不能であった。以上の結果から、直接変位を測定する方法は、本研究には不向きであることが分かった。

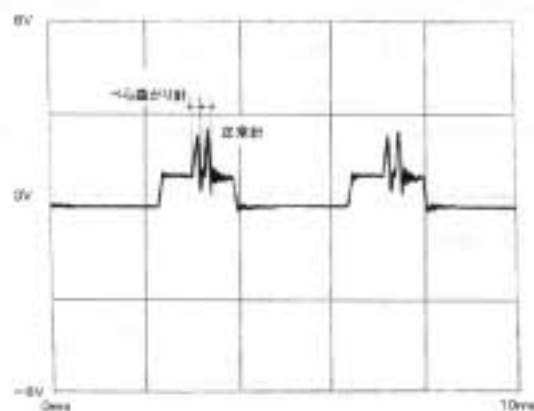


図8 光源内蔵型イメージモニタ

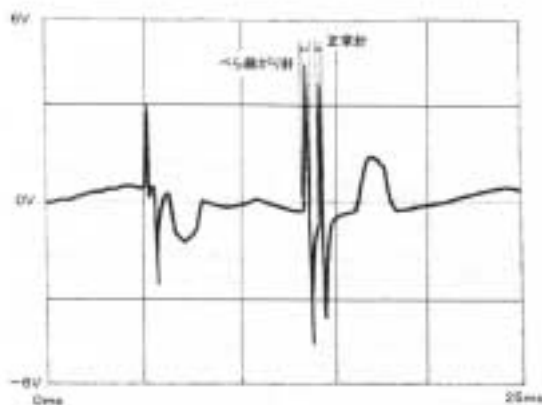


図9 レーザスキャン式2次元変位センサ

4.2 センサ選定実験2

本実験は、編み針からの反射光によるON・OFF信号を計測するものであるが、その方法には2通りある。一つは、編み針を遮光物として利用する方法であり、もう一つは編み針を反射物として利用する方法である。実際に金属光沢を持った微小曲面形状の編み針から動的に安定した信号を検出できるかという問題を確認するための実験として行った。

今回は、センサを高速編み機に取り付け、その信号をパソコンのデータ収集ソフトにより計測・記録した。ただし、工場での実機実験が困難（遠距離、作業環境に難）であった為、高速編み機を当校実習場に移設して実験を行った。

本方式によるセンサが使用可能かどうかの判断基準について説明する。図10は、べら曲がり計測における理想的なパルス幅計測信号を示す。一定周期でかつ針幅に対応するパルス幅が正確に計測できなければならない。すべてが正常針であれば、パルス幅は一定であり、異常針は長くなる。図11は針折れ検出に必要な信号例である。この場合には、針幅を示すパルス幅が不安定であっても、最低限、針の存在を示すパルス信号が確実に検出できればよい。

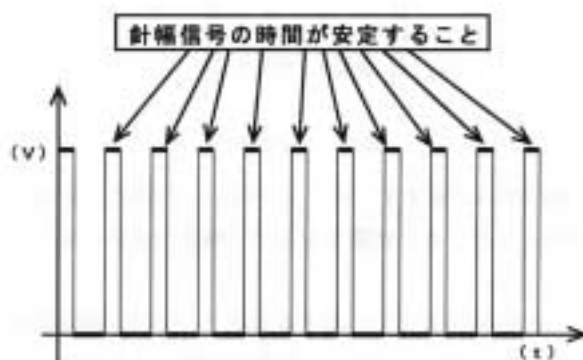


図10 べら曲がり検出理想信号

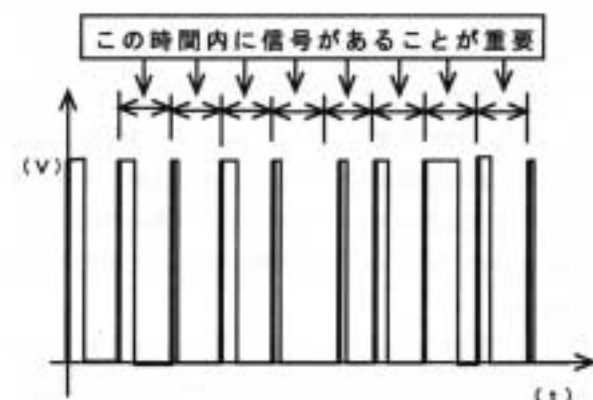


図11 針折れ検出信号例

本実験で検討した、センサの種類とアンプとの組み合わせは以下のとおりである。

- 光ファイバセンサと汎用アンプ
- 光ファイバセンサと高速アンプ
- レーザ式光ファイバセンサ
- レーザ式光電スイッチ
- マークセンサ
- 光量判別センサ

光量判別センサは光の反射量をアナログ的に計測するセンサである。反射量そのものを計測することにより異常針を計測できないかというアイデアもあって本実験に加えた。しかし、編み針の反射光量が微弱で安定した計測結果が得られなかった。レーザ式ファイバセンサ、レーザ式光電センサならびにマークセンサによる実験結果を図12、図13、図14に示す。これらのセンサは、遠方からの計測が可能であり、センサ取り付けが容易である利点がある。これら三者のセンサは、図10の判断基準から考えて明らかに使用できないことが分かる。

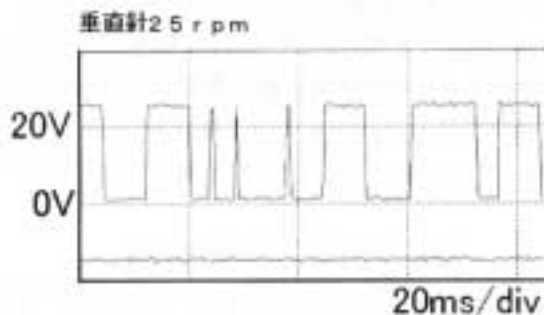


図12 レーザ式ファイバセンサ

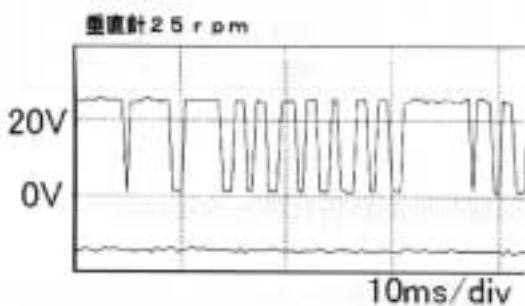


図13 レーザ式光電センサ

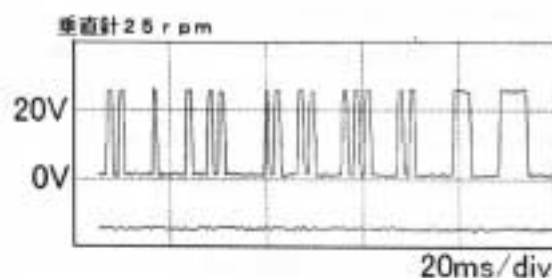


図14 マークセンサ

レーザ式センサにおいて、パルス信号が重なって計測されているのは、レーザ光が強すぎて背面の反射光の影響を受けやすいことやアンプの応答性によるものと考えられる。マークセンサもスポット径が大きすぎるために、計測ミスが発生していると考えられ、またアンプの応答性からも使用できないと判断できる。

図15に高速編み機で計測した結果の一例を示すが、反射光ファイバセンサと汎用アンプを用いた場合に、最も安定した信号が得られることが分かった。また本センサを用いて計測を進める場合、編み針の計測位置を決めることが重要な問題であることが分かった。編み針のべらが閉じた位置でしかべらの異常を検出できないので、その検出位置範囲はきわめて狭いが、色々試した結果、糸をしっかりと挟み込んだ位置が最良であることがわかったので、その位置にセンサ光がくるように調整した。針に対するセンサの角度は鉛直方向から45°付近が良いが、べらの位置に確実に照射されているか疑わしい面もある。ほとんど水平の位置から照らしてもデータはとれているのだが、定常回転の40 rpm付近ではデータのばらつきが大きい。したがって針幅を計測することは困難かもしれないが、針があるかどうかの判断は可能である。また、編み機の回転速度を下げて計測すれば正確な信号を検出可能である。水平針は非常に不安定で、今回の実験では30rpmではらついたデータになっている。ただ、本実験は不安定なコンクリート床面に編み機を置いただけの状態での測定であり、工場での水平な木製床面に固定した状態と比較すると、編み機の振動の影響が少ない分条件が有利となり、定常回転でも信号検出可能かもしれない。

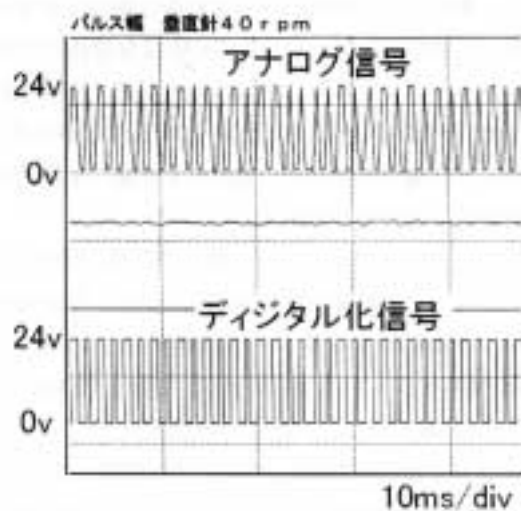


図15 反射型光ファイバセンサ

本実験の結論としては、「レンズ付き反射型光ファイバセンサと汎用アンプ」の組み合わせが最適である

事が得られた。図16にその外観を示す。光ファイバセンサの性能が向上したことが一番の原因らしいが、小型でスポット径を小さくでき、しかも応答性が良好であることがその原因として考えられる。汎用アンプの応答速度限界付近（高速編み機常用回転速度40rpm）で計測しているため、信頼性を考えれば高速アンプとの組み合わせも有効である。

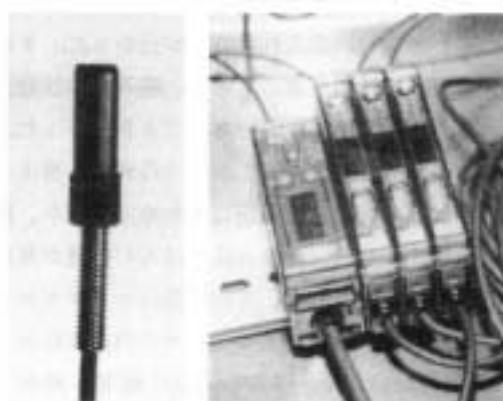


図16 ヘッド付き光ファイバセンサと汎用アンプ4個

V 針幅の計測実験結果

編み針のペラが変形して、針幅が変化した場合、センサ信号の周期は変化せずデューティ比のみが変化するので、ONあるいはOFFのパルス幅（時間）をリアルタイムで計測できればよい。シーケンサにもパルス幅を計測する機能を持ったものがあるが、パルス幅が10ms以上でないリアルタイム計測は無理である。したがってワンボードコンピュータを使用する必要があるが、機能として簡単にパルス幅を計測できるものは少ない。今回用いたのはKL5 C8012を母体とする8ビットマイコンであり、パルス幅を計測する命令が用意されているものである。理論上 2×10^{-6} sから 6.5×10^{-1} sまで計測できるので、編み針変位量の定量的な計測に対応できるものである。¹¹⁾

作成したテストプログラムを用いて計測したパルス幅とパルスのON時間の関係を表2に示す。信号源にはファンクションジェネレータを用いた。これより1msは9694カウントになっており、実用上10000パルスで1msと考えられる。ここでの誤差は、CPUシステムクロックが9.803MHzであることに起因している。また、16ビットで処理していることから、計測可能なパルス数は65535であり、最長6.5ms程度まで判断できることになる。

表2 パルス幅計測データ

ON時間	パルス数	ON時間	パルス数
0.01	116	0.3	2941
0.02	210	0.4	3941
0.03	310	0.5	4727
0.04	410	1	9694
0.05	493	2	19640
0.1	989		
0.2	1962		

ON時間の単位 (ms)

次に、試作したKC80コントローラにより実機の水平針を計測した結果を表3に示す。計測位置は編み針を最も測定しやすい針交換用に作られた部分（図3）である。信号の立ち上がりから、立ち下がりまでの時間を計測している。データのばらつきは、編み機の影響と考えられ、常に清掃する必要がある。表3の実験結果から編み機の回転速度40rpmのとき針幅信号は、約4600パルスであり、表2の結果を元にするると0.4ms程度が信号としての針幅であることがわかる。また、編み機40rpmの回転における針信号の周期は、図15の実験結果から、また計算上でも約1.5msである。したがって、べら曲がりを検出するためには、信頼性を考慮して2倍以上の処理速度が必要と考えると0.75ms以内に一連の処理（信号入力、パルス幅計測、合否判定）を終えるコントローラとソフトが必要と考えられる。

表3 試作器による針幅計測結果

回転数(rpm)	平均パルス数	ばらつき
25	9183	約±500
30	7788	約±450
35	6634	約±250
40	4585	約±250

VI 模様布地の針折れ検出実験結果

模様布地製造時の針折れ検出には、その製法から考察する必要がある。模様のある布地は、通常1000本程ある編み針の一部を規則的に引き抜いてパターンを作っている。模様は複数あるがパターンごとに専用の編み機があるのではなく、生産量によって各々の機械の針を人が抜いてパターンを設定する。またパターンによっては編み針の総本数との関係できっちり割り切れないこともある。この場合は少し模様が他と異なることになる。編み針の総本数1000本というのはある決められたサイズを製作する為の編み機の例であり、サイ

ズの違いで増減する。当然サイズの大きな布地は針の本数が増えることになる。編み機の回転速度は30rpmであり、通常布地の編み機よりは速度が遅い。

模様のある編み針の針折れ検出の考え方について述べる。針折れをできるだけ早く発見する考え方としては、布地模様のパターンを予め記憶しておき、それと連続した針の信号が一致するかを比較すればよい。布地のサイズ（たとえばL,M,S）によって一部パターンが不連続になる場所がある布地の場合は、その部分は必ず連続したパターンで編まれるので針は存在する。したがって、パターン信号の針のないところに針が存在する信号がきたとき不連続部分の始まりと判断できるので、そこからのカウントで針折れ異常を判断できることになる。パターンの入力、手動で行うこともできるだろうし、運転開始時にパターンを読み込ませることも可能である。ただし、パターン読み取り開始位置を示す信号が必要になる。また、1回の異常信号では、センサの誤作動も考えられるので最低3回ぐらいは確認のため運転を続ける必要があるとすれば、この方法が必ずしもベストとはいえない。

簡便な方法として1周の針の総数をカウントする方法がある。この方法であれば針の総本数だけ入力できればどのような模様の布地でも対応できる。先の方法が確認のために数回運転を止めることができないことを考えあわせると、この方法が一番簡単で確実であり実用的である。そして、不良品発生量も数cm程度で済むことから、今回この考え方を採用した。コントローラにはPLCを用い、ラダーソフトでプログラム開発を行った。PLCが利用可能になったのは、速度条件が少しゆるくなったことと、編み針のカウントのみでよくなったのが理由である。用いたPLCはキーエンスのKVシリーズである。²¹⁾ KVシリーズは表示や数値入力ができる機能が予め用意されているところから、針本数等のパラメータ変更はボタン操作で設定可能であり、メイン部分プログラムのみ作成すればよい。ラダープログラムは、検出速度の問題からさすがに基本命令では作成できず、応用命令を使った割り込み処理で行っている。

VI 考察

今回取り組んだそれぞれの課題について考察する。編み針のべら曲がりの測定は、実験結果からもわかるように困難である。図15の実験結果からみて、確か

に安定したパルス信号は検出できているが、そのON幅なりOFF幅が正確な検出信号とは考えられない。この検出信号のばらつきは、雑音の影響からくるものとセンサ出力データの不安定さからくるものとが考えられる。また、高速編み機の定常運転40rpm回転で考えると、針の信号が1.5ms周期で発生し、その周期以内で信号のデューティ比異常を発見するコントローラが必要である。現状では、正確な編み針異常判定を行うのは非常に困難な課題であるが、より安定した信号検出法の確立と、より処理速度の速いコントローラを使用することで将来的には解決できるものと考えられる。

模様布地の針折れ検出は、基本的に針をカウントできることが条件になる。したがって上記のように針の周期異常を計測するのではなく、針の数を計数すればよいのであるから、図15の実験結果からみても、今回のセンサで十分可能と考えられる。また、模様布地の編み機の回転速度は、30rpm程度で運転されていることから、コントローラとしてPLCも使用可能であり、現場の高速編み機に採用するには信頼性があり現実的である。自作のマイコンを使ったコントローラは、ノイズ、振動、耐久性の問題があり、実際の装置に取り付けるには適切でない。したがってPLCを使用できるメリットは非常に大きい。PLCプログラムは、ラダープログラムの応用命令を使う必要がありやや煩雑になるが、プログラム自体は短いもので作成可能である。

この一連の実験を通じて得られたことであるが、「編み針の動的変位量測定」を実現させる最大のポイントは、編み針の計測位置につきるようである。センサヘッドの取付け位置、固定法などを検討し、信頼性を向上させる必要がある。センサの測定精度は、機械の運転条件に比べれば十分であり、もっと泥臭いところの方が問題であることがわかった。

センサの信号が信頼できれば、あとはコントローラのハード的な問題（処理速度等）とかソフトの問題である。センサの数は、計測の考え方（アルゴリズム）で変化する可能性があり一定ではない。

本研究の成功を決定づける最大の課題は、センサの安定した計測ポイントを保証する固定法、ならびにセンサスポット位置を用意に調整できる機構という調整法の確立と考える。実際には、装置の改良が必要となるので、装置を良く知っている現場の人に工夫してもらえない。センサの固定法が一番確実なのは、後付けではなく、設計の段階で変更してしまうことだと考える。例えば、現状で装置の外側にセンサを取り付け計測しているものを、装置の内部にセンサを埋め

込む方法、あるいは測定ポイントを新たに設定するといった対策がより有効である。

実際に高速編み機へ本装置を取り付ける時のことを考えると、信頼性の問題等少なからず課題が残されている。例えば、実機においてセンサが有効に働くか心配である。センサの感度、ソフトの問題から機械が頻りに停止してしまい、かえって稼働率が低下してしまうことが心配されるし、工場にある100台あまりの編み機に取り付けることを考えると、それぞれの機械に微妙な違いが考えられ、すべての編み機が単純に装置を取り付ければ、簡単な調整だけですぐ計測開始とはいかないように思える。

Ⅶ おわりに

工場におけるTPM活動のお手伝い(共同実験者)として取り組んだ本テーマであった。実際の活動は、工場における多数のミーティングと工場及び校内での多数の実験、そして工場でのPLCプログラム等のセミナー実施であった。2つのテーマがあり対応できるか心配であったが、技術的に同じ方向であったので、思いのほかスムーズに対応できたのは幸いであった。考察で述べたとおり実用化に向けては克服しなければならない課題もあるが、早期不良品発見を目的とした編み針の計測技術の問題点を明らかにし、試作機を完成させることができ、当初の目標を達成できたかと考える。

以下に、今回技術的に得られたことをまとめる。

- センサは、反射型光ファイバセンサと汎用アンプの組み合わせでよいことが確認できた。
- 動的にパルス幅を計測するための、KL5 C80CPUによる計測装置試作品の製作と計測実験を行った。
- 試作計測装置及び小型PLCによる編み針のリアルタイム計数機能を確認した。
- 編み機稼働中における模様のある布地不良品発見(針折れ、べら曲がり検出)のための、KL5 C80CPUプログラムと小型PLC用ラダープログラムの開発を行った。

今回のテーマに必要な要素技術は、センサ利用技術、パソコンを利用した計測技術、制御用コントローラに関する知識、KC80プログラム開発技術、応用命令によるPLCラダープログラム開発技術等である。もちろん高速編み機に関する知識、保守技術も必要であるが、これは現場の専門家と連携して対応する必要がある。

Ⅸ 謝辞

おわりに本実験を行うにあたり、グンゼ宇都宮工場の丹波工場長をはじめ渡辺、藤原、奈良井氏その他多くの皆様に多大なご協力をいただいたことに深く感謝致します。

【参考文献】

- (1) 川崎製鉄株式会社LSI事業部：高速8ビットマイクロコンピュータ KL5 C8012 ハードウェアマニュアル、1994年
- (2) 株式会社キーエンス：表示機能超小型PLC KVシリーズ ユーザーズマニュアル、1999年
- (3) 株式会社キーエンス：KV対応 ラダーサポートソフト LADDER BUILDER for KZ KZ-H6W Ver1.5 ユーザーズマニュアル、1999年

※本研究で作成したマイコン及びPLCのプログラムリストを希望される方は、下記E-Mailアドレスまで連絡ください。

E-mail : ykamino@oyama-pc.ac.jp