

織機のタイミングアナライザの開発

開発技術部 太田幸一、森実恵利

1. はじめに

近年、三河産地の織物業者がおかれている状況は非常に厳しく、産地製品の質的向上を必要としている。このためには、三河産地がこれまで手がけていない新しい機能性素材を用いた商品開発を行う必要がある。一般に、物理的加工などを加えて機能性を付加した糸は従来の糸と物性が大きく異なるために、製織するのは非常に難しく、織機のタイミングや張力などの調整に莫大な時間が必要とされる。また、開口時期とおき打ちとの関係に代表されるように、織機の動作タイミングは風合いなど織物の物性に大きな影響を与えることが知られており¹⁾、機能性素材の織物に限らず従来の糸を使用して高品質の織物を生産する場合にも、織機のタイミング設定や張力の制御を細かく行う必要がある。

当センターでも機能性素材を使用した商品開発について研究を行っている。この場合、織機の調整は熟練者の経験・知識とトライアンドエラーに頼っていたり、織機の電子制御機構によって自動的に行われていたりするため、研究段階では製織が可能となるものの、他の織機や素材への応用が十分に為されないのが現状であった。これは、織機の具体的な調整量やタイミングなど織機の動作状況を観測・記録する方法がなく、また、記録できたとしても他の織機に応用できるような形でデータが得られなかったためと考えられる。

織機のエレクトロニクス化が進むにつれ、織機の制御の自動化のために各種のセンサが織機に組み込まれている。電動送り出し機構を持つ織機にはタテ糸張力検出センサが組み込まれている。電子ドビーには開口量を制御するために綜統棒の位置を検出する装置²⁾が使用されているものがある。また、織機の異常検出用として、綜統棒のワイヤ

の伸び³⁾や開口不良を検出するセンサ⁴⁾などが組み込まれている。これらのセンサはあくまでも制御または異常検出用としい用いられているため、織機の動作タイミングなどを直接確認することはできない。また、木村ら⁵⁾は綜統棒の下部に電極板を取り付け、食塩水槽に接触させることで生じる電流変化をオシログラフに記録させる方法を用いている。

最近ではモニタリングシステムや織機診断システム^{6,7)}などをもつ織機も実用化されている。現在織機に搭載されているモニタリングシステムのほとんどは、糸切れなどによる織機の停止回数をカウントするものであり、生産効率の向上を目的としているため、動作タイミングなどの織機の細かな運動状態は観測・記録することはできない。

ウォータージェットルーム(WJL)やエアジェットルーム(AJL)などでは、ヨコ入れのタイミングをジェットの噴射タイミングで調整できることもあり、細かい織成条件を設定する機能を持つ織機が開発されている⁸⁾。

織機のタイミング調整用に使用する織機の動作分析を行う装置^{9,10)}も存在する。これは、糸の張力変動を10Hzの間隔でモニタリングし、短い糸張力のピークからおき打ち・開口やヨコ入れのタイミングを確認するものだが、おきや綜統棒の運動観測されておらず、情報量が不十分である。

本研究では、機能性素材の製織条件を決定するために、おき打ち・開口・送り出し・巻き取りなどの織機の動作タイミングや張力の変動を観測し、それらの測定データをタイミングダイアグラムの形で出力し、製織条件決定を支援する装置(タイミングアナライザ)を開発した。本装置は計測センサ部、信号変換部、解析用コンピュータから構成されており、センサ部は織機への着脱が容易に

また、この装置を織機のタイミング調整に応用することを検討した。さらに、FFT（高速フーリエ変換）^{11,12)}によるタテ張力変動の解析を行い、織機の調整状態をFFTで得られるパワースペクトルで評価する方法について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 原理

製織運動の原理は織機の種類にかかわらず、開口、ヨコ入れ、おさ打ちの3運動に集約される。これらの3種類の運動を主運動と呼び、副運動として送り出し、巻き取りの各運動が挙げられ、これ他にタテ糸切れ停止等の補助運動が存在する。これらの運動は通常の織機では、クランク軸（主軸）を基準として積極的あるいは消極的に動かされ、主軸1回転を周期とする運動と、非周期的間欠運動とが相互に時間的關係を保ちつつ行われる¹³⁾。各運動のタイミングは一般にクランク軸のフロントセンタ（前心位置）からの回転角 θ で表現される。

これらの運動の相互関係は、開口時期とおさ打ちとの関係¹⁾に代表されるように、風合いなど織物の物性に大きな影響を与えることが知られており、織機のタイミング調整は製織条件の決定において非常に重要な位置を占めるものである。また、送り出し運動はタテ糸張力を一定にするための運動であり、タテ糸張力むらは織物の不同変形を引き起こし、織物の品質に悪影響を及ぼすと考えられる¹⁴⁾。

このことから、図1に示すように、開口、ヨコ入れ、おさ打ち、送り出し、巻き取りの各運動とクランク軸の運動について計測を行い、タイミングダイアグラムの形式で出力することで織機の動作状態が観測できると考えられる。

織機の動作部分の物理量をセンサで測定し、電圧信号としてセンサ出力変換器に送る。センサ出力変換器では信号のデジタル化を行い、波形観測装置となるコンピュータにデータを転送する。コンピュータは入力される測定データに対し処理を

行い、横軸に測定時刻またはクランク軸の回転角を取ったタイミングダイアグラムを出力する。センサによる計測からタイミングダイアグラムの作成までの処理フローを図2に示す。

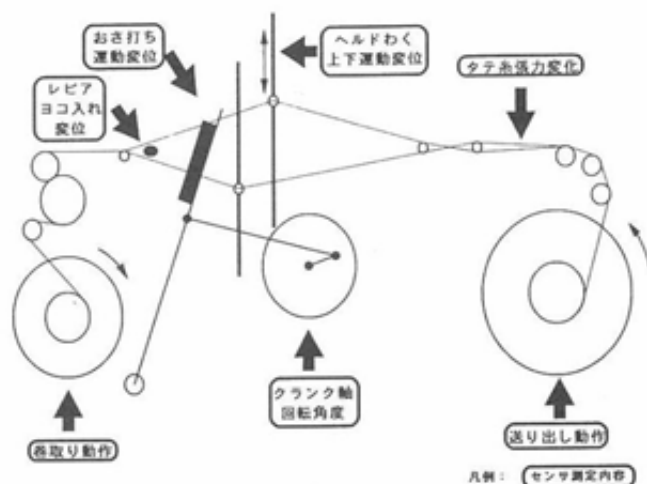


図1 センサ計測位置

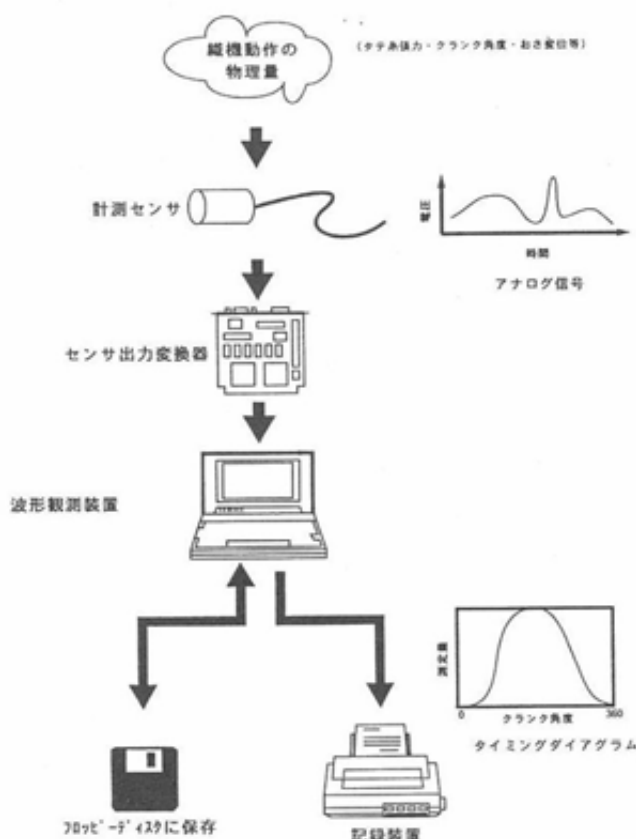


図2 処理フロー

2.1.1 織機運動の検出

各種のセンサを用いて織機の動作に伴う変化量を検出することが必要となる。図1に示したように複数の検出部位が必要となるが、各部分に共通する検出条件は、

- 織機の種類を問わず、同一の方法で観測・記録が可能であること。そのためには、検出部について容易に取り外しができることが必要。
- エアジェット織機など、高速運転する織機についても測定が可能であること。1500rpm運転時においてクランク角度について 0.5° ごとに運動部位の変位などを記録できることとする。
- 接触検出では織機の運動を阻害する恐れがあるため、高速運動する部位の検出は非接触で行うこと。

次に、個々の検出部位での検出方法について述べる。

(a) おさ変位の検出

おさ打ち機構はクランクおさ打ちとカムおさ打ちの2種類がある。どちらもロッキング軸を中心とした回転運動である。クランク機構の場合、スレーソードとコネクティングロッドを連結するピンは往復直線運動するとみなしてよい¹⁵⁾。よって直線運動の変位を非接触で測定するセンサが必要となる。

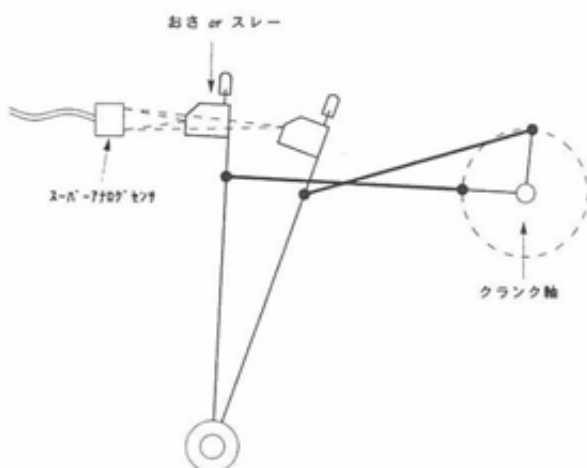


図3 おさ変位の検出

今回開発したシステムでは、図3に示すように、反射式変位センサによるおさ変位の検出方法を採用した。このセンサは赤外LED光を対象物に照射し、反射してくる光の強度に比例した電圧出力が得られるものである。これにより、センサからおさまでの距離に比例した電圧信号を得ることができる。

(b) 綜統棒変位の検出

綜統棒の上下の変位は、タテ糸の開口量を得るために必要な物理量である。今回開発したシステムでは、おさ変位と同様に反射式変位センサを使用した。反射式変位センサによる綜統棒変位の検出方法を図4に示す。この場合、対象となる部分の面積が非常に狭いので、反射用の白色アクリル板を綜統棒の上部に取り付け、検出精度を上げている。

なお、ジャカード開口装置の場合はその方式から検出装置の取り付けが容易ではなく、開口運動に伴うタテ糸の変位は測定が難しい。

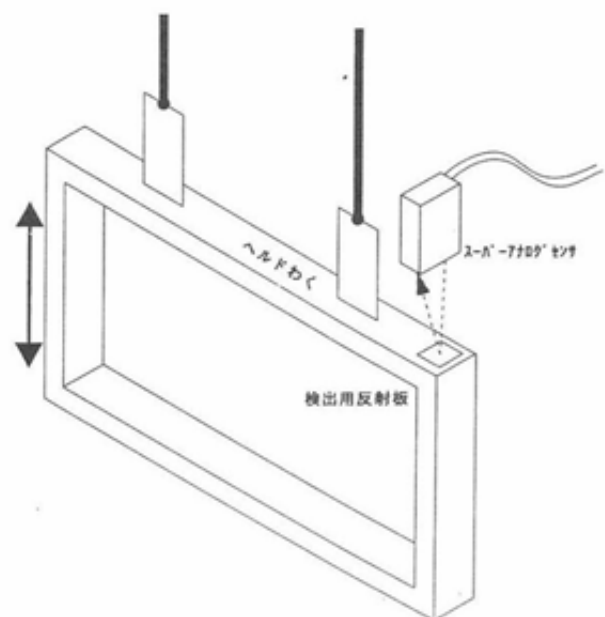


図4 綜統棒変位の検出

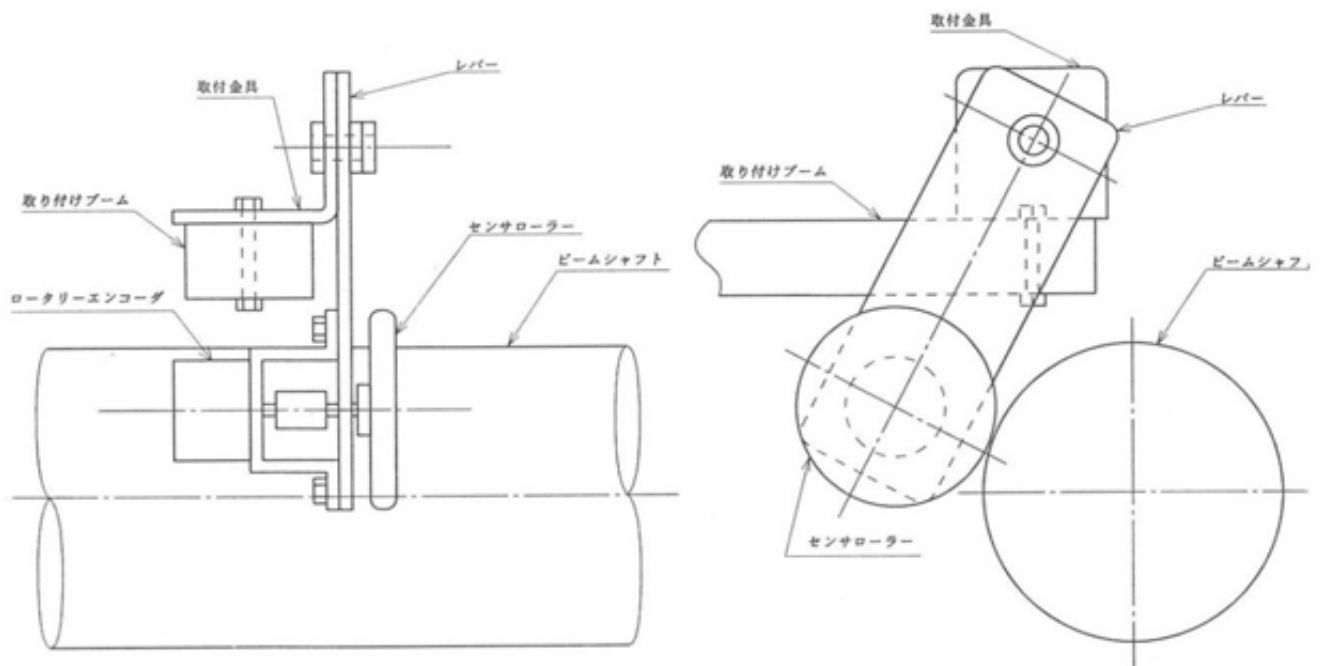


図5 ビーム回転の検出方法

(c) 送り出し、巻き取りビーム回転の検出

一般的に、回転位置の検出にはロータリーエンコーダやポテンシオメータ、レゾルバなどの回転位置センサが使用される¹⁶⁾。これらの回転位置センサの中で、ポテンシオメータは回転速度や回転範囲に制限があり、レゾルバは複雑な検出回路が別途必要になるため、ロータリーエンコーダでの検出が望ましいと考えた。

ロータリーエンコーダを使用してビームの回転を検出する場合、ビーム回転軸に直結して測定する方法が考えられるが、すべての織機に対して共通の検出方法が望ましいので、図5に示すように、ビームのフランジなどにロータリーエンコーダにゴムのディスクを付けたものを押しつけて回転を検出する方法を採用した。ビームの回転は低速であるので、この方式で十分測定が可能であると考ええる。

ロータリーエンコーダから出力される信号はパルス状の電圧信号である。ビームの回転運動が高速であれば出力されるパルスの間隔は狭く、単位時間に検出されるパルスの数も多い。逆に、ビームの回転が低速であれば、パルスの間隔は広く、パルスの数も少なくなる。

なお、ロータリーエンコーダからの信号は、図6に示すように、互いに90度の位相差を持つ2つのA・B 2相のパルス信号を出力する。このままではエンコーダの正転、逆転の区別をすることができないので、パルス信号を正転、逆転パルスに弁別する回路が必要となる。

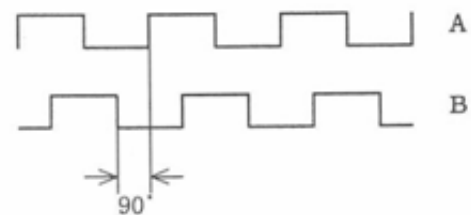


図6 エンコーダパルス信号

(d) クランク軸角度の検出

織機の運動のタイミングはクランク軸の回転角度で表現される。タイミングダイアグラムの作成にもクランク軸の回転角のオンライン計測が必要となる。

クランク軸の角度検出についても、エンコーダなどの回転位置センサをクランク軸に直結して、角度を直接検出する方法が考えられている。実際

にこの方法を応用する場合、クランク軸とエンコーダを直結させることが必要で、すべての織機について簡単に取り外しできるような状態は望めない。

通常、織機は定常状態ではクランク軸の回転速度がほぼ一定となる。従って、必ずしもすべての角度を検出する必要はなく、基準位置 — 例えば、クランク前心位置 — を検出し、2つの検出間隔時間を等分することで回転角度を表すことができる。この基準位置の検出は、近接スイッチや光電スイッチなどで行うことができる。実際に、織機のタテ糸停止などのタイミング設定には近接スイッチを使用している。また、最近の織機にはストロボスコープによる観測のためのシンクロ信号を出力するものも存在するが、この信号を流用することも可能である。

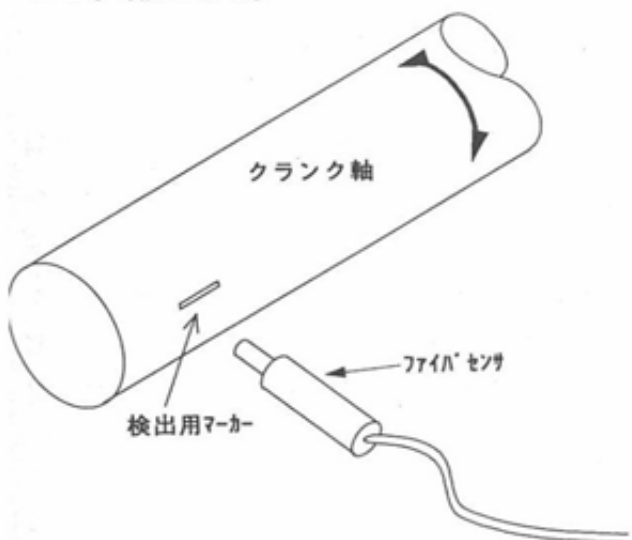


図7 クランク軸基準信号検出方法

今回開発したシステムでは、クランク軸の基準位置の検出に赤色LED光による光電スイッチを使用することにした。LED光による光電スイッチは高周波磁気型の近接スイッチに比べ応答速度が速い。また、近接スイッチでは検出片に金属体が必要とするのに対し、光電スイッチでは反射板または反射テープ等を貼り付ければ良く、織機のクランク軸への取り付けが容易である。図7に光電スイッチを使用したクランク軸基準位置の検出方法を示す。

(e) ヨコ入れ運動の検出

ヨコ入れ運動にはシャトル、グリッパ、レピア、エアジェット、ウォータージェット等の方式がある。これらのヨコ入れ方式の違いから、同一の検出方法でヨコ入れ運動を検出するのは難しい。例えば、シャトルやレピアなどは検出対象が大きいのに対し、グリッパでは対象が小さく、エアジェット、ウォータージェットでは対象はヨコ糸自身となる。また、ヨコ入れ運動は非常に高速であり、例えば、シャトル9 m/sec以上の速度で運動しており、レピアなどもこれに準ずる速度で運動している。ヨコ入れ運動を検出するには高速運動する物体を非接触で測定しなければならず、センサ自身が非常に高価なものとなる。以上の理由より今回は検出を見送った。

2.1.2 A/D変換

各センサの検出信号は織機の運動に伴い時系列的に連続変化する電圧信号として出力される。この信号はアナログ信号であり、コンピュータで処理を行うためにはデジタル信号に変換（A/D変換）しなければならない。

A/D変換は図8に示すように、連続的に時系列変化するアナログ信号に対し、微小時間 dt ごとに切り出す作業（サンプリング）を行い、信号のデジタル化を行う。 dt はサンプリング間隔とも呼ばれる。また、 dt の逆数 $f = 1/dt$ をサンプリング周波数と呼ぶ。同時に入力される信号についても微小間隔 dy でサンプリングされる。

測定時のサンプリング周波数 f は、必要とするクランク軸の最小間隔 δ とクランク軸の回転速度 ω によって決まる。この3つのパラメータの関係をグラフにしたのが図9である。1500 rpm運転で $\delta = 0.5$ となることを基本仕様としているので、必要となるサンプリング周波数 f はグラフより9000 Hzとなる。

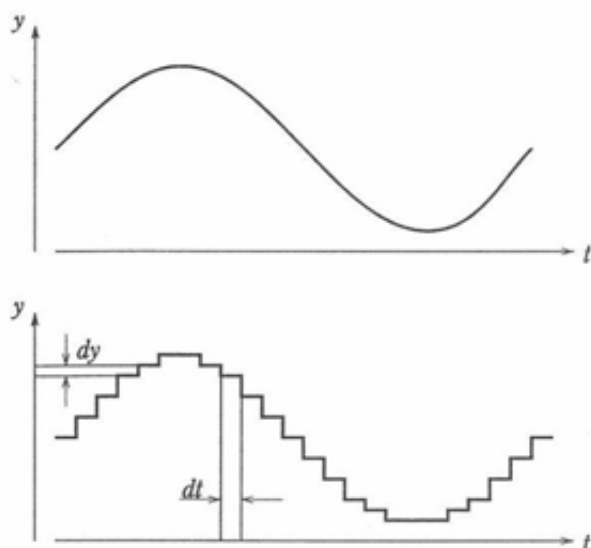


図8 A/D変換

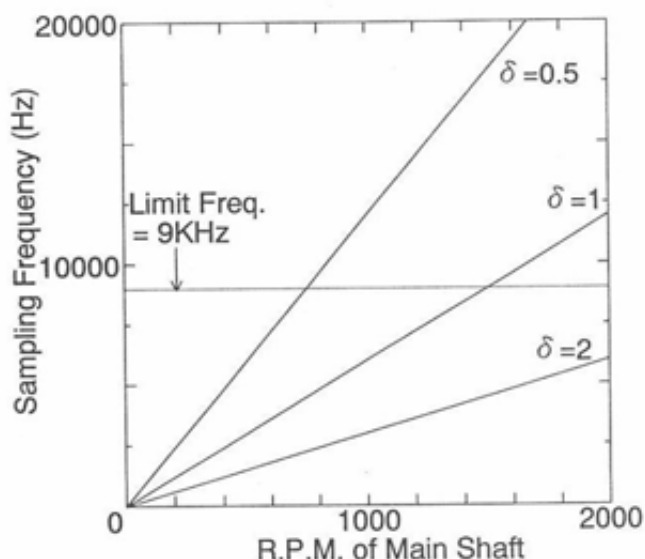


図9 クランク軸回転速度と
サンプリング周波数の関係

2.1.3 FFTによる観測波形の解析^{11,12)}

時系列変化をする信号 $f(t)$ はフーリエ級数展開によって種々の周波数の正弦関数の荷重和として表すことができ、この周波数の分布はスペクトルとして知られており、フーリエ変換によって求めることができる。フーリエ変換をコンピュータで行う場合、離散フーリエ変換 (DFT) が用いられるが、DFT は非常に時間がかかる処理である。そこで、通常は DFT を高速に行う FFT (高速フーリエ変換) が使用される。この FFT の変換

結果より周波数分布 (パワースペクトル) の計算を行う。

2.2 構成

本システムを構成する装置の一覧を表1に示す。また、図10に示すように配線が行われ、各センサからの検出信号をコンピュータによって記録・解析を行う。各センサと波形記録観測装置間の配線は、機器の移動が容易に行うことができるよう、センサコントローラ等を1つのボックスにまとめ、コネクタ/ケーブルによる機器間配線にした。

測定ソフトウェアシステムは計測データの入力、表示、保存を行う波形観測ソフトウェアを中心にし、測定結果は図11のような形式で複数のデータを同時に表示することができる。

2.3 計測システムの評価

測定装置の評価を行うために、特殊小幅織機 (平野工機製 ES-10) にセンサ等を取り付け測定を行った。評価開始時において、織機のタテ糸送り出し量の調整が不十分であったため、綿織機の調整法¹⁷⁾に従ってイージングモーションのタイミングとワープラインの高さ調整を行い、調整前後の張力変動と送り出しビーム運動について測定し、比較を行った。測定条件を表2に示す。

表1 測定装置

装置名	内容	備考
張力波形観測装置	NEC PC-9821Ne	HDD500M, メモリ14.6M
記録装置	キヤノン BJ-10v Lite	
センサ出力変換器	マイクロサイエンス ADM-5898BPC A/D変換ボード マイクロサイエンス UCM-4398BPC ユニバーサルカウンタ コンテック NOTE-PAC(98)F-4A I/O拡張ユニット	8CH入力 ×2
直線運動変位センサ	サンクス RS-120HF-2-SAS スーパーアナログセンサ サンクス CA-B5 デジタルハネルコントローラ	×2
ビーム動作センサ	サンクス ORE-38・1000-L05 ロータリエンコーダ サンクス ORE-C7M マルチプライムユニット	×2 ×2
クランク軸回転センサ	サンクス FX4-A3RH ファイバースensa(アンプ部) サンクス FD-G500 ファイバースensa(ファイバ部) サンクス NPS-C7 センサコントローラ	
テンションメータ	エイコ測器 #1500	

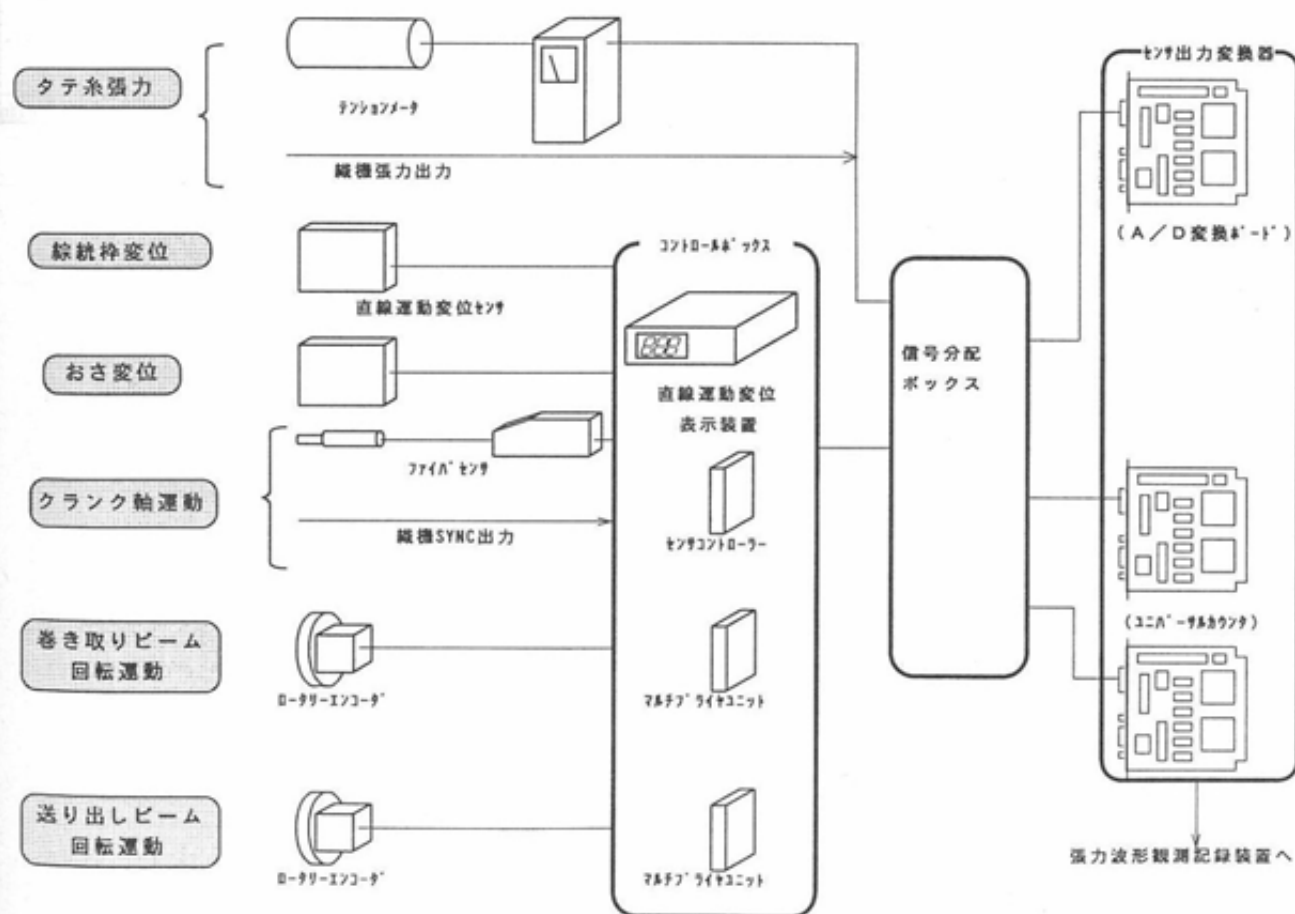


図10 測定装置接続図

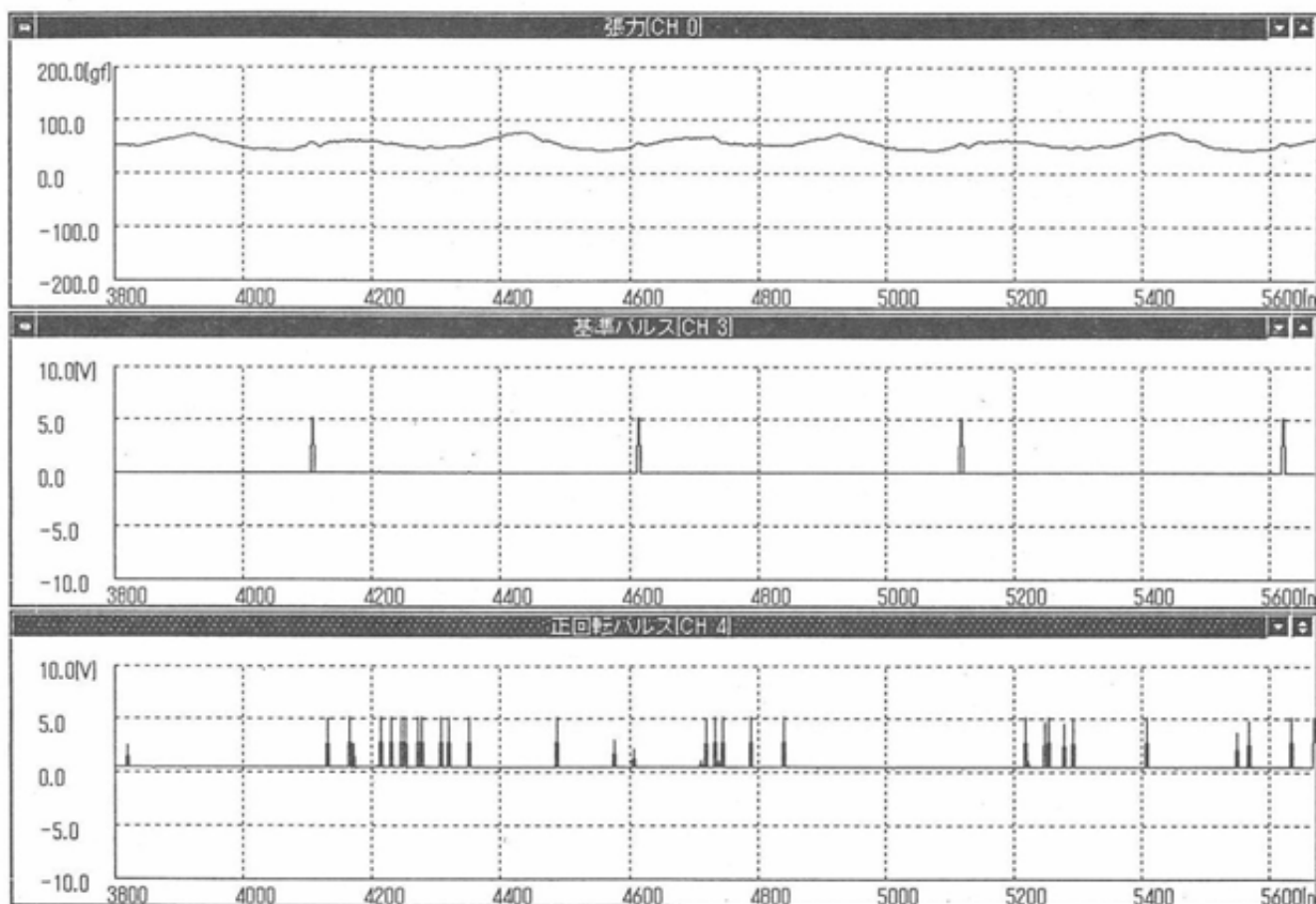


図11 計測データ表示例

表2 測定条件

データファイル名		T-1-001.EGL	T-3-004.EGL
サンプリング周波数	f (Hz)	1000	1024
データ点数		250000	100000
測定時間	(秒)	250	97.7
織機調整		無	有
織機回転速度	(rpm)	118	118
δ	(度)	0.708	0.691
織物組織		平織	平織

3. 結果及び考察

3.1 綜統棒およびおさ変位の計測

図12にクランク軸の2回転間($0^\circ \leq \theta \leq 720^\circ$)に測定された綜統棒とおさ変位についての測定結果をタイミングダイアグラムの形式で表したものである。おさの変位曲線はほぼ正弦波となっているのに対し、綜統棒の変位には小さな変動が見られる。これは、おさ変位測定用のセンサは織機から離れた状態で設置したのに対し、綜統棒変位測定用のセンサは織機のフレームに直接取り付けられているため、織機自体の振動を含めた形で検出しているためと、綜統棒自身の上下・左右方向の振動の影響が考えられる。この状態では正確な開口量や静止角などを観測することは難しいが、開口の大まかなタイミングはつかむことができる。一方、おさの変位についてはなめらかな曲線が観測されており、測定結果よりおさ打ちのタイミングもつかむことができる。

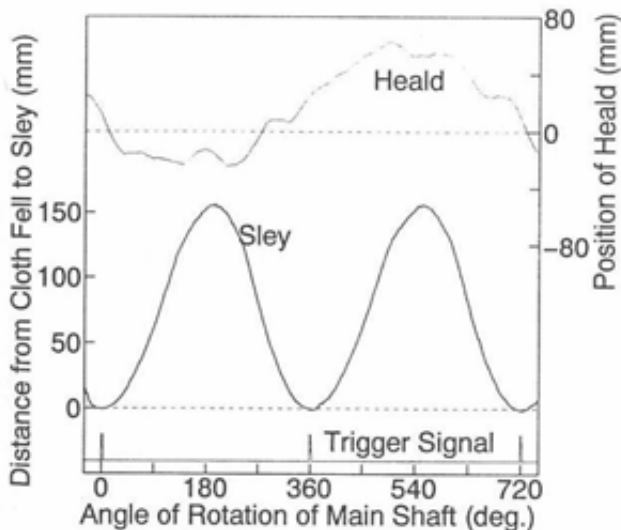


図12 綜統棒・おさ変位曲線

3.2 織機の調整に伴う張力変動曲線の変化

図13にクランク軸の2回転間($0^\circ \leq \theta \leq 720^\circ$)に測定された張力と送り出しビームの回転検出パルスを示す。上が測定開始時での張力と回転パルスで、下が調整後のものである。織機の調整前と調整後では張力変動曲線、回転検出パルスのいずれも大

きく異なっており、調整に伴う張力の変化やタテ糸送り出し量の調整状況を追跡できている。

測定開始時のものは張力の変動が大きく、パルス数が少ない。パルス数は送り出し量に比例しているので、この時点では十分な送り出しが行われていないことがわかる。一方、調整後のものは調整前に比べパルス数も増えており、十分な送り出しが行われている。

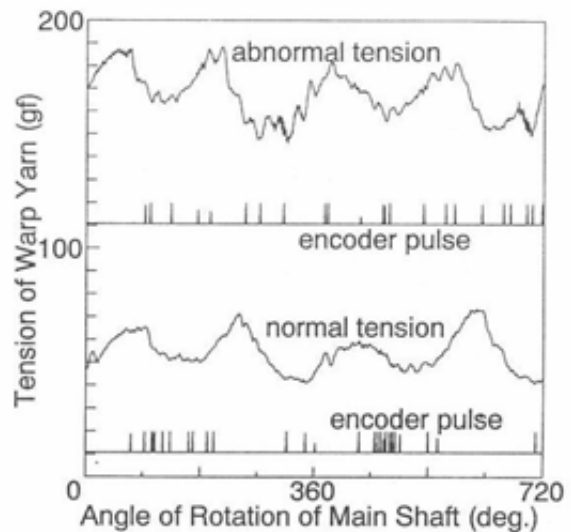


図13 張力変動と送り出し運動

図14は観測時間を長くした場合の張力変動の測定結果である。実際の計測データは織機の運動による変動が含まれるので、平滑化処理を行っている。調整前の状態では、起動時に張力が小さくても、時間が経過するにつれて張力が大きくなっている。これは、タテ糸の送り出し量が少ないことに起因するものとみられる。送り出し量の調整後には張力の増加はみられなくなり、図14のような張力変動の状態は送り出し量の不足に起因するものであると考えられる。

なお、張力測定は単一のタテ糸に対して行っている。実際の張力制御では、すべてのタテ糸の張力の合力に対して行われており、測定もこれに合った形で行う必要がある。逆に、綜統棒の上下運動との関連に注目すれば、今回のように1本のタテ糸に対して張力測定を行うことは妥当であると考えられる。

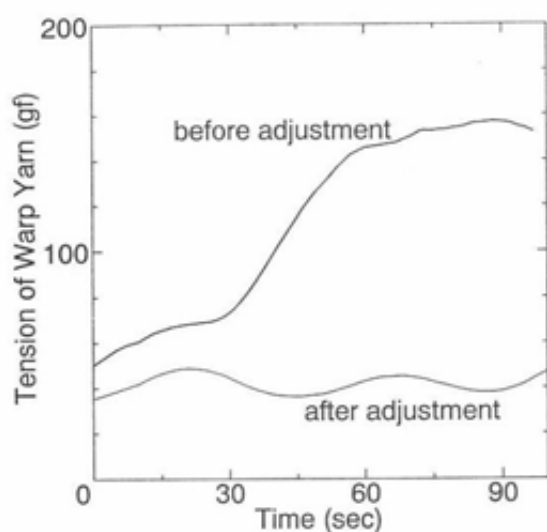


図14 送り出し不良による張力の増加

3.3 F F Tによる張力変動の解析

図15は送り出し量調整を行う前の張力変化のパワースペクトルを、図16は調整後の張力変化のパワースペクトルを求めたものである。調整前と調整後ではスペクトルの分布に違いが表れている。いずれのパワースペクトルも2 Hzのところにピークを持っている。これは、クランク軸の回転速度が118rpmであり、ほぼ1秒間に2回転していることと関連がある。また、織物の組織は平織であり、綜統棒は1 Hzの周期で上下運動している。一方図16から、張力変動は1 Hzの成分を持っていることが確認できる。図15では1 Hzのピークは目立たないが、これは成分の強度が強く、このことはタテ糸送り出し量の調整不良より張力に低周波の変動が現れていることを示している。逆に図16では低周波の変動の影響が少なく、張力変動曲線も安定している。

以上のことよりFFTで求めたパワースペクトルから、調整に伴う張力の変化やタテ糸送り出し量の調整状況を追跡でき、張力変動の安定度も評価できると考える。

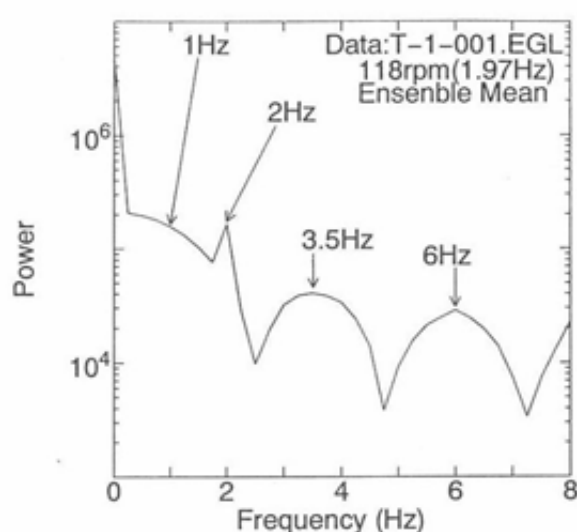


図15 織機調整前のパワースペクトル

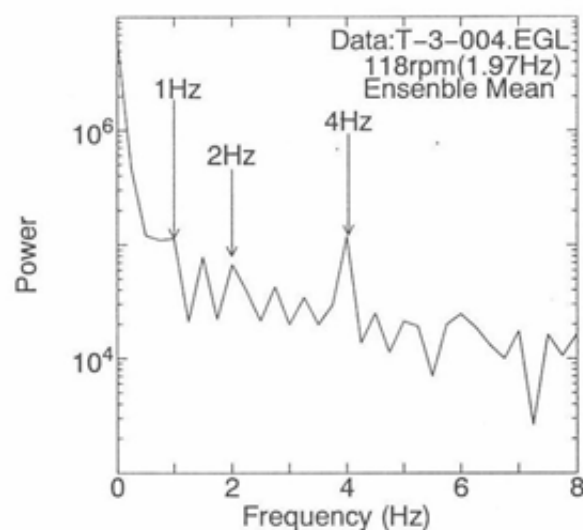


図16 織機調整後のパワースペクトル

3.4 他の動作部位の測定への応用

今回の研究では織機の主運動と副運動、およびタテ糸張力の変化に注目して装置の開発をし、測定を行った。しかし、これらの運動の測定しかできないわけではない。

例えば、実際に機能性を付加した糸を織物に使用する場合、タテ糸に使用することは製織準備やコスト面から考えても希であり、ヨコ糸として使

用することがほとんどであるとみられる。この場合、タテ糸の張力測定に使用したテンションメータはヨコ糸の張力測定にも使用できる。ヨコ入れ運動のタイミングの計測方法を工夫することにより、ヨコ入れについての解析も可能であると考ええる。また、おさや綜統棒の変位の測定に使用した直線変位センサは、バックレストの上下運動などに代表される往復運動部分の測定にも使用でき、目的に合わせた測定が可能であると考ええる。

4. ま と め

織機の動作状態を計測し、動作タイミングを解析するタイミングアナライザの開発を行った。この装置を使用することによって、おさ打ち・開口・送り出し・巻き取りなどの織機の動作タイミングや張力の変動を観測・記録することができるようになった。同時に、織機の調整に伴う張力の変化やタテ糸送り出し量の調整状況を追跡することができた。

また、タイミングアナライザによって計測される張力変動曲線に対してFFTを行い、パワースペクトルの計算を行った。その結果、織機の調整の前後でパワースペクトルの分布に変化が生じることが確認でき、張力調整の安定性の評価が可能であることが分かった。

今回報告した技法を応用することで、機能性を付加した糸などを使用した織物の開発に際し、張力変動を中心とした調整の履歴を記録することができ、開発製品の普及に役立つと考える。また、製品開発のための織機の調整に限らず、織り段の発生原因の追究など、織機のような異常の診断にも活用が可能である。

文 献

1. 日本繊維機械学会編,「基礎繊維工学〔Ⅳ〕」, p83,日本繊維機械学会(1969)
2. 特開平4-308242
3. 特開平4-174736
4. 特開平2-307942
5. 木村里雄,和田善男,「織機のタペットの形と織物の性格(第1報)タペットの形がたて糸張力に及ぼす影響」,繊維機械学会誌, 15, 55-66(1962)
6. 特開平4-41746
7. 特開平5-163641
8. 特開平3-17155
9. Enka tecnica, "Weave Master" カタログ
10. 「オンライン方式の織機動作分析装置」, 紡織界, 82(1), pp. 20-21(1991)
11. J.W.Cooley and J.W.Tukey, "An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series", *Mathematics of Computation*, 19(90), 279-301(1965)
12. 日野幹雄,「スペクトル解析」,朝倉書店(1977)
13. 日本繊維機械学会編,「繊維工学〔Ⅳ〕」, p68,日本繊維機械学会(1988)
14. 沢木汀二,堀江勤之助,「製織過程における織物の変形に関する研究(第1報)耳曲線」,繊維機械学会誌, 15, 810-818(1965)
15. 日本繊維機械学会編,「基礎繊維工学〔Ⅳ〕」, p33,日本繊維機械学会(1969)
16. トランジスタ技術編集部編,「メカトロ・センサ活用ハンドブック」,CQ出版(1988)
17. 「豊田自動織機取扱法」,豊田自動織機製作所