

織機のタイミングアナライザによる張力変動の解析

開発技術部 太田幸一、森実恵利

1. はじめに

機能性素材を用いたインテリア製品の開発を行う場合、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が、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るのが現状である。また、製品開発をトライアンドエラーで行っても、図1に示すように、開発に用いた織機と異なる織機を用いて生産を行う場合、新しい織機についても再びトライアンドエラーによって織機の調整を行う必要が生じる。最新の織機にはこれらの条件設定を搭載したコンピュータにより自動的に行うものも開発されているが、未搭載の織機については熟練者の調整に頼らざるを得ない。

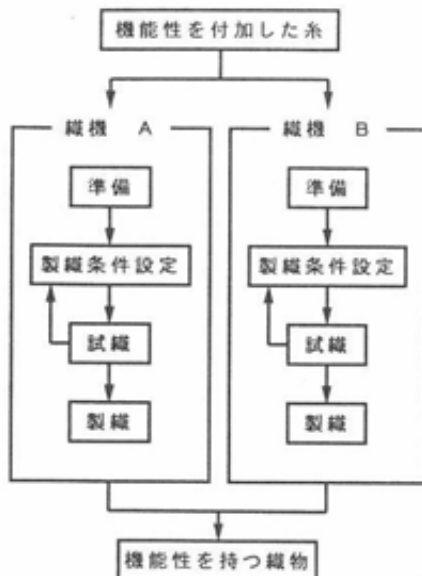


図1 従来の製織条件決定の手順

これらの問題を解決するため、著者らは前報¹⁾で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、織機の張力調整状態を高速フーリエ変換(FFT)^{2,3)}で得られるパワースペクトルによる評価する方法について検討を行った。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た。最終的に

は図2に示すように、異織機間の製織条件設定の仲立ちできるようなシステムに発展させることが望まれる。本報告では、パワースペクトルによる解析に加え、張力変動曲線を相空間へ射影したものを用いた解析について評価し、タイミングアナライザを異織機間の製織条件設定に応用する手法について検討を行った。

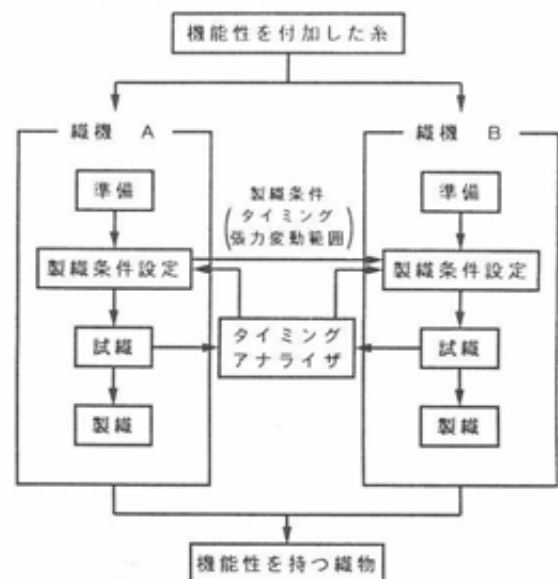


図2 タイミングアナライザを使用した異織機間の製織条件決定

2. 実験

2.1 張力変動の解析方法

観測された張力変動の評価を、周波数分析と相空間上の軌道を用いる方法について検討を行った。

2.1.1 周波数分析による解析^{2~4)}

観測される張力変動はランダム変数 $x(t)$ と考えることができる。ランダム変数 $x(t)$ の複素フーリエ成分 $F(f)$ は次式で定義される。

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

また、パワースペクトル $P(f)$ は次のように定義される。

$$P(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{\langle F(f) F^*(f) \rangle}{T} \quad (2)$$

ここで、 $F^*(f)$ は $F(f)$ の複素共役であり、 $F(f)F^*(f)=|F(f)|^2$ が成立する。 T は全体の観測時間を意味し、サンプリング間隔 Δt で N 個のデータを観測すれば、 T は次式で表される。

$$T=N \cdot \Delta t \quad (3)$$

また、記号 $\langle \rangle$ はアンサンブル平均と呼び、 N 個からなる全データを l 個の部分に分割し、各々の区間についてFFT処理を行った結果の平均に相当する。FFTはそのアルゴリズムの特性上、ノイズの影響を非常に受けやすく、ノイズの影響をキャンセルするためにアンサンブル平均の操作を適応する。FFTの計算のためのデータ数を n とすると、分割平均数 l は次式で求められる。

$$l=\left[\frac{N}{n}\right] \quad (4)$$

ここで、記号 $[\]$ はいわゆるガウス記号であり、 $[x]$ は x を超えない最大の整数を意味する。また、FFTの定義より、 n は2のべき乗としなければならない。

さて、織機の主軸の回転速度を ω_r (rpm)とする。 ω_r を周波数表現に置き換えたものを f_0 (Hz)とすると、両者の間に次式が成立する。

$$f_0=\frac{\omega_r}{60} \quad (5)$$

主軸の回転は織機における主運動（開口、ヨコ入れ、オサ打ち）に関係しており、これらの主運動の周期は主軸の回転周期 $1/f_0$ の整数倍となる。タテ糸やヨコ糸の張力変動も主軸の回転周期

$1/f_0$ の整数倍の周期の変動を持つことは明らかである。よって、(2)式で求められるパワースペクトルは次の(6)式で表される基本周波数 f_b の整数倍の周波数にピークを持つことが予想される。

$$f_b=kf_0 \quad (6)$$

ここで、定数 k は製織する織物の規格によって決められる値である。例えば、ヨコ糸の張力変動の周波数分析をする場合、使用するヨコ糸の色数 n_{color} によって k は決まり、

$$k=\frac{1}{n_{color}} \quad (7)$$

となる。

2.1.2 相空間への射影軌道による解析^{5,6)}

物理運動を視覚的に表す場合、縦軸に位置座標値などを取り、横軸に時間をとったグラフが最も自然な表現方法である。しかし、運動に関するすべての情報は含まれておらず、例えば、速度を表すためには速度を縦軸に取った別のグラフを用意する必要がある。これらの物理量を同時に表す場合、相空間を使用した方法が採られる。

例えば、図3に示すように、振り子の振動について、座標 θ と速度 $d\theta/dt$ で相空間を定義する。振り子の運動の時間経過はその空間中に射影された1本の軌跡（トラジェクトリ）として示され、振り子の振動のような周期運動は相空間上に閉曲線として表される。

織機における張力変動を相空間で表すことを考えると、振り子の座標 θ に相当するものは張力 x

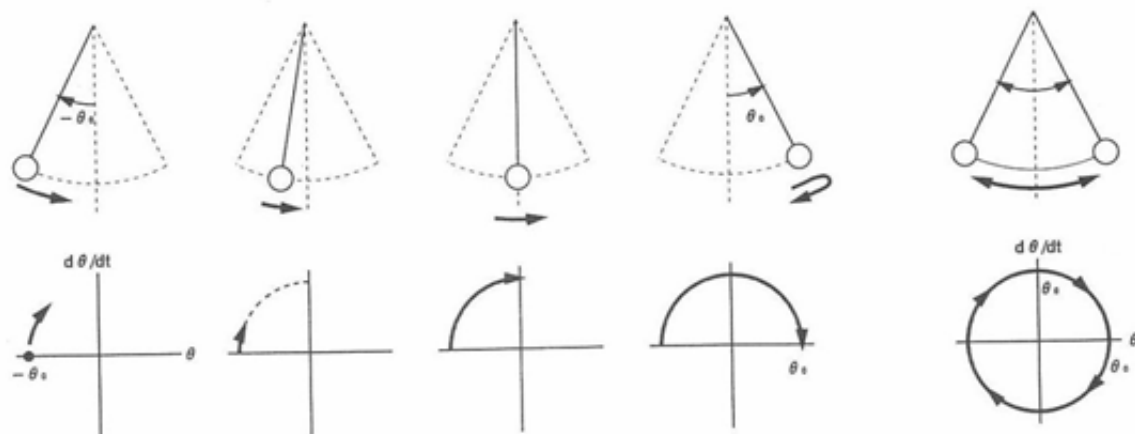


図3 相空間での振り子の運動

であり、振り子の速度 $d\theta/dt$ に相当するものは張力の時間変化 dx/dt となる。実際には張力変化はサンプリング間隔 Δt_{ph} で観測した離散データであるため、 dx/dt は差分値 Δx を使用する。また、測定機器の特性上、 $\Delta t_{ph} = \Delta t$ とすると測定時のノイズの影響を大きく受けるので $\Delta t_{ph} < \Delta t$ とし、軌道は3次スプライン曲線⁷⁾で補間し表す。この時、織機1回転当たりの相空間へのプロット点数 n_{ph} は次式で表される。

$$n_{ph} = \frac{1}{f_0 \Delta t_{ph}} \quad (8)$$

規則的な運動の場合、相空間への射影は一定の周期軌道に収束することから、トラジェクトリの収束状態から織機の調整状態を確認できるものと予想される。

図4に示す2種類の周期関数についてFFTおよび相空間表示を行う数値シミュレーションを行った。図4(a)の周期関数は、

$$X(t) = -a \cdot \cos(\omega t) \quad (9)$$

で表され、図4(b)の周期関数は、

$$X(t) = a \cdot \cos(-\omega t + \delta) \sin(-\omega t + \delta) + l \cdot \cos(-\omega t + \delta) \quad (10)$$

で表される ($a > l$)。両関数とも周期は同じで、1周期内に(a)は1つの、(b)は2つのピークを持っている。両者のパワースペクトルを図5に、相空間への射影を図6に示す。両者とも同一周波数でピークが表れている。(b)については2つのピークが存在することから、2倍の周波数の位置についてもピークが存在している。相空間への射影についても、(b)は2つのピークの存在によりねじれが生じ、2つの角度を持つ蝸牛線⁸⁾状の軌跡が表れている。織機における張力変動についても、1周期内に糸が引き出されるときと停止するときの2つのピークが表れるので、相空間への射影についても図6(b)が多少変形した形状の軌道が得られるものと考えられる。特に、引き出し時と停止時の張力がほぼ等しい場合には、図7のような形状になると考えられる。

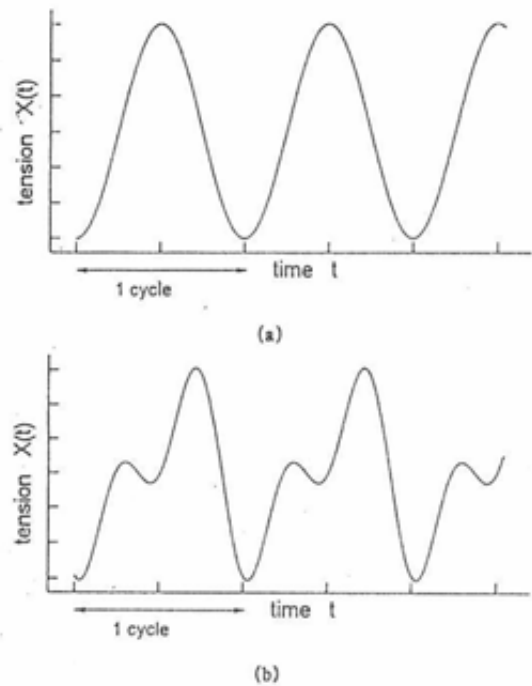


図4 周期関数

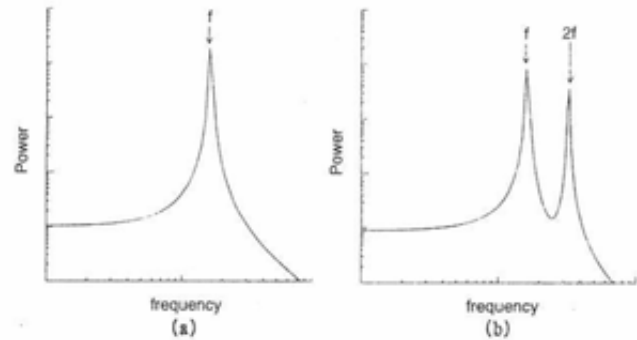


図5 パワースペクトル

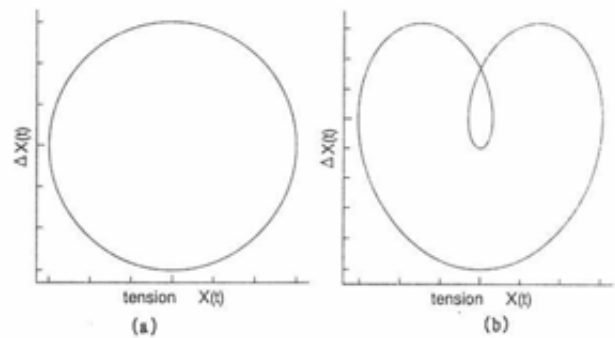


図6 相空間上の軌道

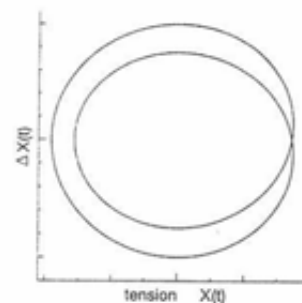


図7 引き出し・停止時張力が等しい場合の相空間上の軌道

表1 測定・処理条件(タテ糸織機調整)

測定番号		# 1	# 2	# 3
タテ糸張力調整		調整前	調整中	調整後
タテ糸素材		綿 平野 ES-10 (Loom B)		
織 機		平織		
組 織				
サンプル周波数	1/Δ t (Hz)	200	204.8	200
サンプル間隔	Δ t (msec)	5	4.8828125	5
FFT計算データ点数	n	4096 (2 ¹²)		
データ点数	N	5000	20000	
測定時間	T (sec)	25	97.65625	100
FFT分割平均数	l = N / n	1	4	
織機回転速度	ω _r (rpm)	118		
	f ₀ (Hz)	1.966667		
相空間プロット周波数	1/Δ t _{ph} (Hz)	62.5	64	62.5
相空間プロット間隔	Δ t _{ph} (msec)	16	15.625	16
織機1回転当たりの 相空間プロット点数	n _{ph}	31.7797	32.5424	31.7797
張力検出範囲	(gf)	-200～+200		

表2 測定・処理条件(ヨコ糸織機間相違)

測定番号		#4	#5	#6	#7
ヨコ糸素材		綿			
織 機		岩間 RGS (Loom A)	平野 ES-10 (Loom B)	HSA40-160 (Loom C)	
おさ通し幅	w_r (cm)	71.6	29.5	107	
サンプル周波数	$1/\Delta t$ (Hz)	102.4			100
サンプル間隔	Δt (msec)	9.765625			10
FFT計算データ点数	n	4096 (2^{12})			
データ点数	N	61440			6000
測定時間	T (sec)	600			60
FFT分割平均数	$l = N/n$	15			1
織機回転速度	ω_r (rpm)	50	120		
	f_0 (Hz)	0.833333	2		
相空間プロット周波数	$1/\Delta t_{ph}$ (Hz)	6.4	12.8	25	
相空間プロット間隔	Δt_{ph} (msec)	156.25	78.125	40	
織機1回転当たりの相空間プロット点数	n_{ph}	7.68	6.4	12.5	
張力検出範囲	(gf)	-200~+200	-100~+100	-200~+200	
ヨコ入れ条件		1色			3色
ヨコ糸張力調整機構		テンショナ/スロットブレーキ			7キュームレータ
備考					

表3 測定・処理条件(ヨコ糸素材相違)

測定番号		# 8	# 9	# 10	# 11	# 12
ヨコ糸素材		綿	PEモ/フィラメント	綿	綿+活性炭コーティング	
織 機		平野 ES-10 (Loom B)		平野 HSA40-160 (Loom C)		
おさ通し幅	w_r (cm)	29.5		107		
サンプル周波数	$1/\Delta t$ (Hz)	102.4		100		
サンプル間隔	Δt (msec)	9.765625		10		
FFT計算データ点数	n	4096 (2^{12})				
データ点数	N	120256	15040	6000		
測定時間	T (sec)	1174.375	146.875	60		
FFT分割平均数	$l = N / n$	29	3	1		
織機回転速度	ω_r (rpm)	120	60	120		
	f_0 (Hz)	2	1	2		
相空間プロット周波数	$1/\Delta t_{ph}$ (Hz)	12.8	6.4	25		
相空間プロット間隔	Δt_{ph} (msec)	78.125	156.25	40		
織機1回転当たりの 相空間プロット点数	n_{ph}	6.4		12.5		
張力検出範囲	(gf)	-100~+100		-200~+200		
ヨコ入れ条件		1色		3色		
ヨコ糸張力調整機構		テンショナ/スロットブレーキ		アキュムレータ		
備考			ヨコ糸停止			ヨコ糸停止

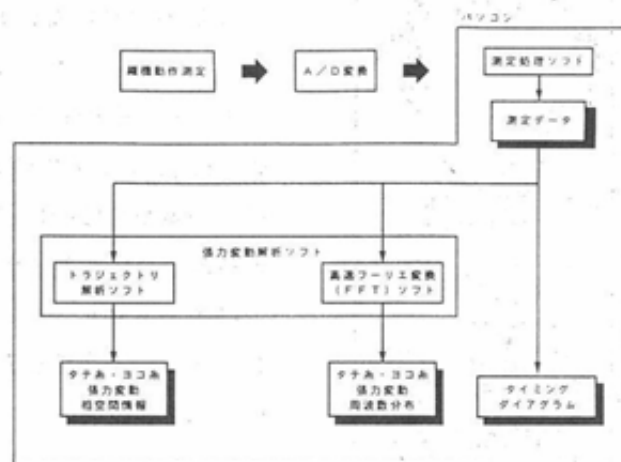


図8 測定システムのブロック図

2.2 システムの構築

測定システムのブロック図を図8に示した。

前報で開発したタイミングアナライザを使用し、タテ糸ないしヨコ糸の張力変動を測定する。測定した張力変動は張力変動解析ソフトでパワースペクトルと相空間上のトラジェクトリとして表される。張力変動解析ソフトはC++ コンパイラ (ボーランド[®]製 Borland C++ ver. 4.5J) で作成した。

なお、前報では張力変動の観測値を直接FFTに使用してパワースペクトルを求めていたが、直流成分の影響が低周波数領域に出るため、観測された張力変動を-1~+1の間に正規化させ、直流成分の影響をなくしてFFTを行うようにした。

2.3 解析方法の評価試験

上記の張力変動の解析方法を評価する試験を行った。評価試験には、[®]岩間織機製作所製RGS (以下織機Aとする)、平野工機[®]製ES-10 (以下織機B)および[®]平岩鉄工所製HSA40-160 (以下織機C)の3種のレピア織機を使用した。織機AおよびBはドビー機を搭載しており、片側レピア織機であるのに対し、織機Cはジャカード機搭載の両側レピア織機である。以下の条件での測定・解析を行った。

2.3.1 織機調整操作前後での張力変動の比較

織機の調整操作に伴う張力変動曲線の推移を今回の解析方法で確認できるかを評価するために、織機Bについ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が不良の状態から始

め、綿織機の調整法⁹⁾に従って両者の調整を行い、調整前後と調整中におけるタテ糸1本の張力変動を測定し処理を行った。測定および処理条件を表1に示した。

2.3.2 張力変動への織機種類の影響

今回の解析方法が織機の種類によってどのような影響を受けるかを確認するため、織機Aと織機Bの異なる2台の織機での同一のヨコ糸を打ち込み、このヨコ糸の張力を測定し、それぞれの織機でのヨコ糸の張力制御状態の評価を行った。測定および処理条件を表2に示した。

2.3.3 張力変動への素材の影響

今回の解析手法が素材の違いによってどのような影響を受けるかを確認するため、以下の評価試験を行った。

織機Bにおいて、綿糸とPEモノフィラメントの両者をヨコ糸に使用した場合について測定・処理を行った。また、織機Cにおいて、綿糸と活性炭をコーティングした消臭糸¹⁰⁾の両者をヨコ糸に3本おきに使用した場合についても測定・処理を行った。特に、PEモノフィラメント(#9)と活性炭コーティング糸(#12)の両者については製織中にヨコ糸停止が発生している。このため、明確な素材間の差は織機C上の綿糸(#10)と活性炭コーティング糸(#11)の両者で比較を行った。2つの活性炭コーティング糸(#11,12)間の差は外観上はなく、アキュムレータの張力調整目盛に若干の違いがある。測定および処理条件を表3に示した。

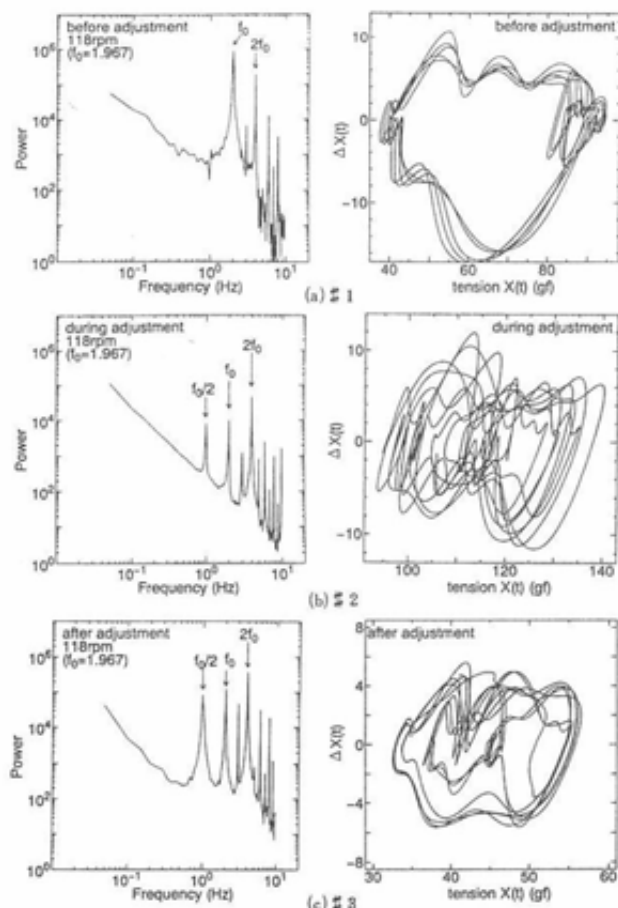


図9 パワースペクトルと相空間への射影（タテ糸繊維調整）

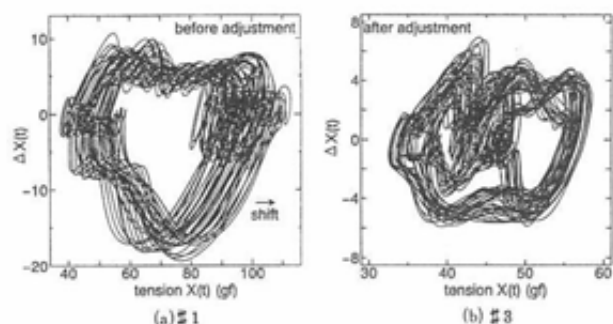


図10 ヨコ糸打ち込み100本分の相空間への射影

3. 結果及び考察

3.1 織機調整操作前後での張力変動の比較

図9にパワースペクトルとヨコ糸打ち込み10本分の相空間への射影を、図10にヨコ糸打ち込み100本分の相空間への射影を示した。

パワースペクトルはいずれの場合も織機の主軸の回転周波数 f_0 の整数倍の周波数でピークが表れている。しかし、調整中（#2）および調整後（#3）のパワースペクトルにはこのほかに $f_0/2$ の周波数でピークが表れている。これは、織組織が平織であるため、綜統棒が $f_0/2$ の周波数で上下

しているために表れる変動と見られる。調整前（#1）では $f_0/2$ での大きなピークが見られないことから、織機Bについてはタテ糸1本の張力変動では $f_0/2$ の周波数変動は支配的で、平織の場合の調整状態の指標となるものと見られる。この特徴は全タテ糸の張力の合力を測定する検出器ではキャンセルされるため検出できないと考えられ、タテ糸1本の張力変動の測定も該当する綜統棒の上下運動と同時に測定することで有用な情報が得られると考えられる。

一方、相空間への射影については、織機の調整中（#2）では一定軌道への収束していないのに対し、調整後（#3）はほぼ一定の軌道に収束しており、予想通りの結果が得られている。しかし、調整前（#1）では、図9で示されている10ピク以内ではほぼ一定の軌道を描いているが、図10に示すように、射影する期間を長く取ると軌道は右方向（高張力側）へ平行移動しており、張力制御が安定していないことが分かる。

以上の結果より、今回の解析方法を用いることで、織機の調整に伴う張力変動の推移の確認が可能であることが確認できたと考える。また、相空間上の軌道の収束度から張力調整の良否を判定できると考えられる。

3.2 張力変動への織機種類の影響

図11にパワースペクトルを示した。パワースペクトルでは織機の種類、回転数によらず、いずれの場合でも基本周波数に対し整数倍の周波数でピークを示している。織機C（#7）でもFFT分割平均数 l が小さいためにノイズの影響を大きく受けている事と、3丁使いであるため、(6)式および(7)式より基本周波数は $f_b = f_0/3$ となるほかは同様の傾向を示している。

図12にヨコ糸打ち込み10本分の相空間への射影を示した。相空間上の軌道については、織機AおよびB（#4～6）ではいずれも図6(b)がやや傾いた形状になっている。両者の軌道の形状の違いは、おき通し幅（織機A：約70cm、織機B：約30cm）、テンショナやブレーキユニット等張力調整機構の

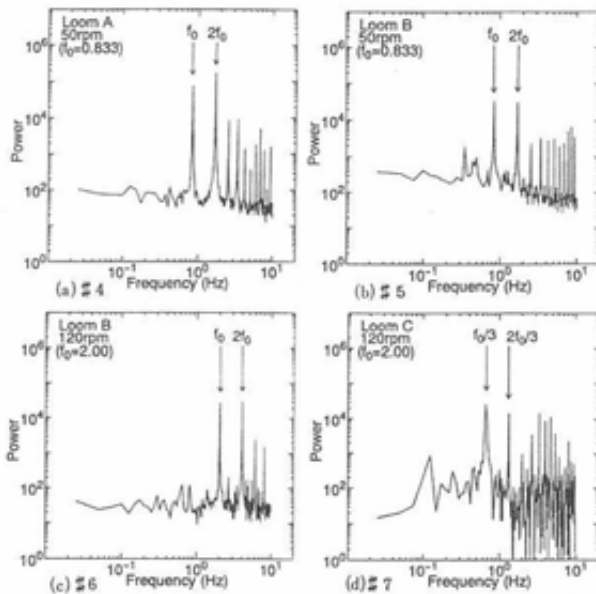


図11 パワースペクトル(ヨコ糸織機間相違)

構造など、織機の条件の微妙な違いに起因するものと見られる。特に、左側の角状の部分はレピアによる糸の引き出しに関連する部分で、織機Bの50rpm(#5)では、オサ通し幅が狭く、レピアの移動速度も遅いため、張力変化の速度も小さくなるため、左側の角状部の高さが低くなっていると考えられる。

織機C(#7)では(0,0)付近に収束点がみられる。これは3丁で打ち込んでいるため、観測対象外の糸のヨコ入れ時には対象となる糸は運動せずに張力がほとんどかからないためである。軌道の形状は図6(b)状の引き出し・停止時に起因する2

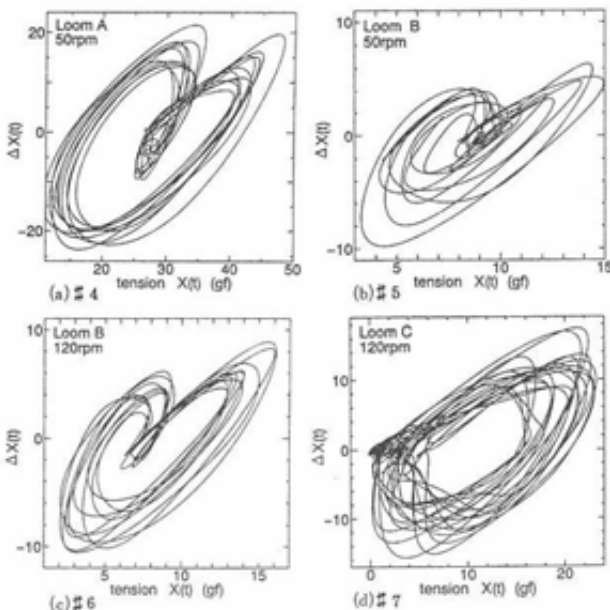


図12 パワースペクトルと相空間への射影(ヨコ糸織機間相違)

つの角がなく、ほぼ同一の軌道上にある。織機AおよびBでは張力調整機構としてテンションヤブレーユニットを使用しているために張力変動に違いが表れていると見られる。

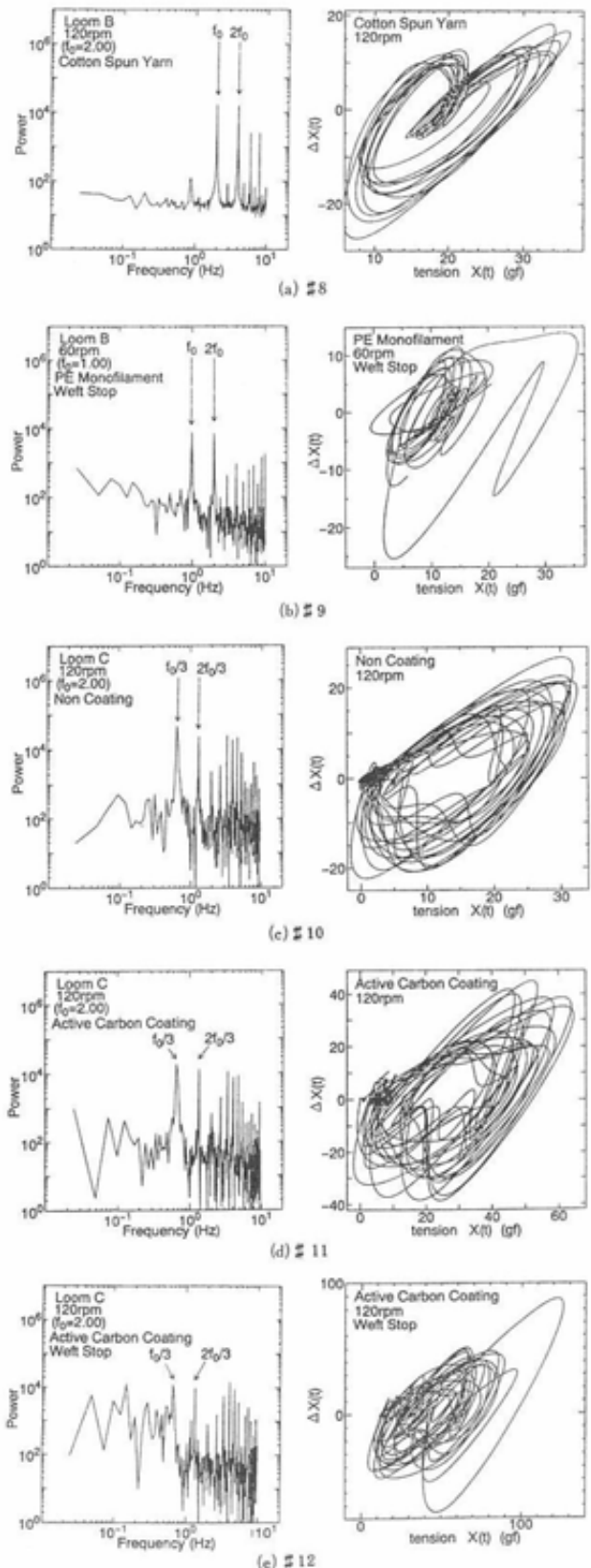


図13 パワースペクトルと相空間への射影(ヨコ糸素材間相違)

3.3 張力変動への素材の影響

図13にパワースペクトルとヨコ糸打ち込み10本の相空間への射影を示した。パワースペクトルは3.2の結果と同様、織機B、織機C共に基本周波数の整数倍でピークが存在する。織機Cの素材による差(#10, #11)はパワースペクトルには観測した範囲内にはっきりとした形では表れなかったが、基本周波数より低い周波数領域に注目するとやや活性炭コーティング糸(#11)でパワーの変動がみられた。また、ヨコ糸停止が起こったもの(#9, #12)も低い周波数領域のパワーが大きく、特にヨコ糸停止を起こした活性炭コーティング糸(#12)では低周波数領域のパワーは基本周波数のパワーに匹敵するほど大きく、ヨコ入れを行うごとに張力が大きく変動していることがうかがえる。

相空間上の軌道もパワースペクトルと同様、織機Cの素材による差(#10, 11)は目立った形では表れなかった。ただ、綿糸(#10)に比べ活性炭コーティング糸(#11)はやや軌道にばらつきが表れているように見られる。また、ヨコ糸停止が起こったもの(#9, 12)では安定した軌道はほとんど見られず、大きな張力変動が確認できた。PEモノフォラメント(#9)については、ボビンからの解じょ時に残るひずみに起因すると見られ、スネルなどが発生していた。また活性炭コーティング糸(#12)停止時においても異常な張力がかかっていると見られ、レピアの受け渡しミスが生じていた。

3.4 測定・解析結果と織機動作との関係

織機のタテ糸・ヨコ糸に加わる張力の変化は織機の回転速度 ω_r から(5)および(6)式で求められる基本周波数 f_b を中心とした周期変動を伴っていた。織機の張力調整機構の状態によって張力変動の1周期の波形が決まると考えられる。波形はパワースペクトル上では基本周波数 f_b の整数倍の周波数でピークを持つスペクトル分布に対応しており、相空間上の軌道では閉曲線の形状に対応している。このことは、織機の回転数に関係なく、同じ織機または同種類の張力調整機構を持つ異なる織機のパワースペクトルの分布や相空間上の軌道が似か

よったものになったことから裏付けられる。また、張力の長周期の変動は製織性に大きな影響を与えていると考えられる。このことは、張力調整が不十分であった場合、パワースペクトル上で低周波数領域に強いパワーとして現れ、相空間上の軌道ではばらつきのある軌跡として表れることから考えられる。これらのことから、異織機間の製織条件決定において、パワースペクトルの分布形状や相空間への射影軌道の形状を近づけることで織機間の調整の差をなくすることができると考えられる。実際、整織の進行に伴い、チーズやコーンからの解じょやビームからの送り出しに伴う糸の積層径の減少による張力の長周期変動が問題となる。これらのことから、織機の調整状態の評価には長周期の変動を対象とすることが望ましいと予測される。

しかし、FFTでは扱うことができる長周期変動はサンプリング間隔 Δt とFFT計算データ点数 n から $\Delta t n/2$ と制限され、今回の条件では解析可能な変動の最大周期は20秒である。これ以上の周期の変動を解析するためにはFFT計算データ点数 n を大きく取る必要があるが、 n が大きくなると計算時間が長くなってしまいうので、長周期変動の解析には周波数分析ではなく、短時間フーリエ変換などのスペクトル自体の時間変化を追跡する時間一周波数解析¹¹⁾やウェーブレット解析¹²⁾などを利用する方法が考えられる。

3.5 線形・非線形予測による調整状態の評価

張力変動のパワースペクトルや相空間の軌道は張力調整機構の構造の影響を大きく受けると見られ、これらの分布の形状を同じにすることだけで織機の調整を行うには限界があると考えられる。そこで、測定した情報から張力変動の長期的ないしは短期的な予測を行い、予測された変動が一定であるかどうか(一定の範囲内に存在するかどうか)で調整状態の良否を判定することが可能と考える。この時、測定される張力変動のカオス性の有無は予測方法の選択に大きな影響を与える。周期変動に白色雑音加わったものか、カオス的振

る舞いを持つ変動のいずれにもとれる場合、初期条件敏感性の有無を確認し、カオス性を判定する必要がある。もし、カオスの振る舞いを有する場合、線形予測などを使用した張力変動の長期予測

は不可能であるため、ファジーやニューラルネットなどを使用したカオス理論に基づく短期予測を行うことが可能と考える。図14に予測に基づく調整状態の判定のフローを示す。

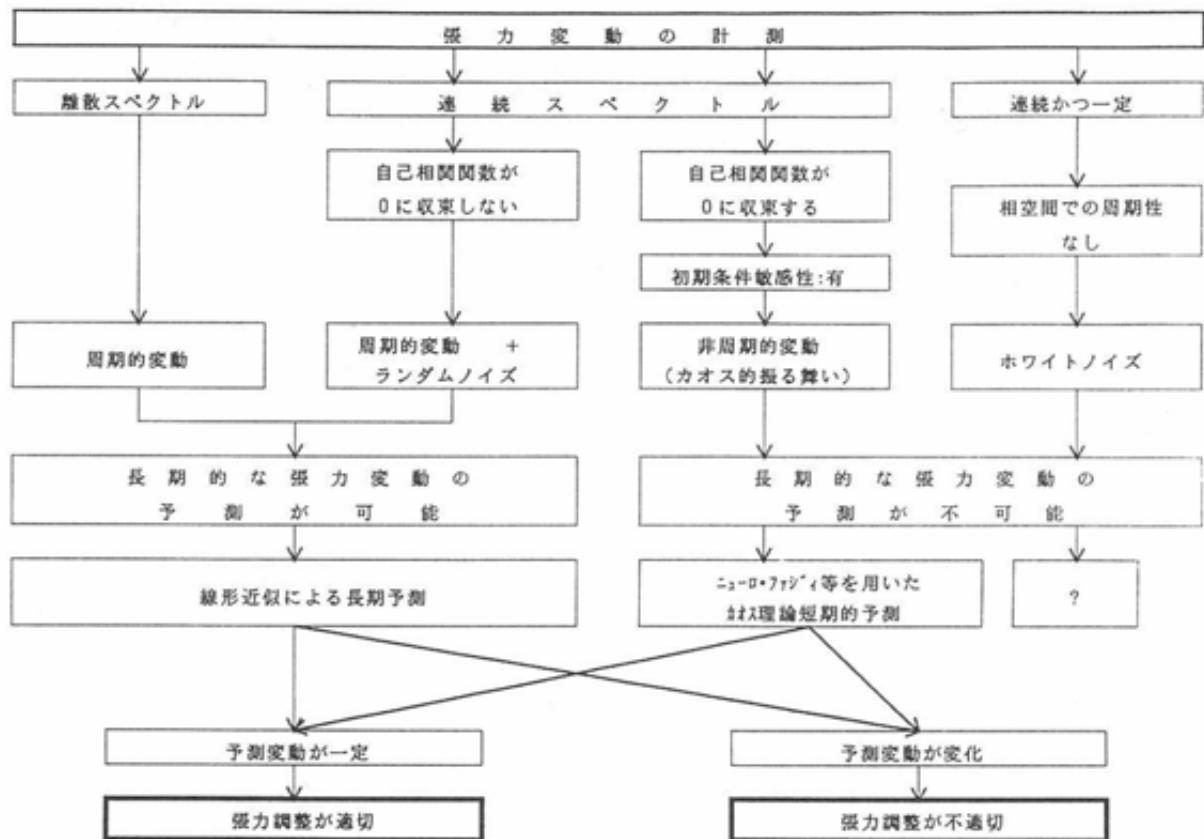


図14 線形・非線形予測による張力調整状態評価のフロー

4. まとめ

織機の張力変動について、パワースペクトルによる解析と、張力変動曲線を相空間へ射影したものをを用いた解析について評価し、タイミングアナライザを異織機間の製織条件設定に応用する手法について検討を行った。その結果、パワースペクトルの分布形状や相空間上の軌道の収束度から張力調整の状態を評価可能であることが確認できた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、FFT等についてご指導いただいた名古屋工業大学材料工学科坂本雄二氏に深く感謝いたします。

文 献

1. 太田, 森実, 「織機のタイミングアナライザの開発, 三河繊維研究資料, 246, 33-43 (1995)
2. 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)
3. 日野, 「スペクトル解析」, 朝倉書店(1977)
4. 佐川, 貴家, 「高速フーリエ交換とその応用」, 昭晃堂(1993)
5. R. H. Abraham, C. D. Shaw, "Dynamics: the Geometry of behavior", Aerial Pre-

- ss, Santa Cruz (1983) (東保訳「図解カオス入門(準備編)」, 現代数学社(1995))
 6. 合原, 五百旗頭編著, 「カオス応用システム」, 朝倉書店(1995)
 7. 市田, 吉本, 「スプライン関数とその応用」, 教育出版(1979)
 8. 森口, 宇田川, 一松, 「数学公式Ⅰ」, p.286, 岩波書店(1956)
 9. 「豊田自動織機取扱法」, 豊田自動織機製作所
 10. 斉藤, 加藤, 「ジャカードカーテン用消臭材の開発技術」, 三河繊維研究資料, 246, 21-26 (1995)
 11. 南, 河田, 「時間で特性が変化する信号の新解析手法—時間一周波数解析」, インターフェース, 20(1), 110-119 (1994)
 12. 「特集・ウェーブレット」, 数理科学, 30(12), 5-51 (1992)
-