レピア織機のサーボ制御よこ入れ機構

鷲田 一夫* 杉本 英彦** 増田 敦士*

Servo-controlled Weft Yarn Inserting Mechanism for Rapier Loom

Kazuo Washida*, Hidehiko Sugimoto**, Atuji Masuda*

Abstract

For a rapier designed to control the yarn inserting motion from the start of the motion to its end, a servo-controlled weft yarn inserting mechanism designed to allow the weft yarn inserting motion characteristics to be changed was developed to study experimentally the effects of the weft yarn motion characteristics on the weft yarn tension.

In the experimental study, this mechanism was used in the rapier loom to insert weft yarn with its inserting motion characteristics changed to measure its tension accordingly changed. The results of the measurement showed that the weft yarn tension is significantly affected by the weft yarn inserting motion characteristics. Then, to clarify the relationship between the weft yarn tension and the weft yarn inserting motion characteristics, a weft yarn tension model was made for simulation. The results of the simulation were in good agreement with those of the experiment, providing theoretical explanation about the relationship between both.

The above suggested that the servo-controlled weft yarn inserting mechanism is very useful for a rapier loom in terms of its allowing the weft yarn inserting motion to be changed properly according to the weft yarn to be used.

(Received May 6, 1998)

(Accepted for Publication Sept. 4, 1998)

1. 緒 言

ウォータージェットルームやエアージェットルームおよびプロジェクトイルームは、よこ入れ運動を、圧縮水、圧縮空気およびねじり軸の弾性復元力を利用して行うため、よこ入れ運動のための可動機構部が少ない。その結果、本来、織機は、間欠的で大きな運動ストロークを要求されるよこ入れ運動のために高速運転が実現しにくいにもかかわらず、これらの織機は、高速運転が可能となり、高い生産性が実現され、現在、主要な織布設備の一翼を担っている。しかし、これらの織機は、よこ糸に瞬時にエネルギーを与えよこ入れを開始させ、その後のよこ糸の運動を制御できないため、よこ糸の加速度がよこ入れ開始時と終了時に極端に大きく、かつ不連続

となり、そのとき、過大なよこ糸張力が発生しやすく、よこ糸挙動も不安定である。この対策として、よこ糸にブレーキをかけながらよこ糸を終了させる工夫を施した付属装置も開発されたが、この付属装置も含め、よこ入れ調整技術だけでは完全に解決できず、よこ糸ひけ、よこ糸ゆるみ、よこ糸切れ等の織物欠点となる場合も多いことは周知のとおりである。

一方、このような問題を内包している前述した織機に比べて、レピア織機は、よこ糸をレピアヘッドで把持し、そのレピアヘッドをリンク機構やカム機構と運動伝達・変換機構により運動させるため、よこ糸の運動をよこ入れ開始から終了まで直接制御できる唯一の織機であり、前述した織機に比べて生産性は劣るものの、よこ糸に優しく、よこ糸挙動も安

* 会員 Member, 福井県工業技術センター化学・繊維部, Department of Chemistry and Textile, Fukui Industrial Technical Center, 福井市川合鷺塚町, Kawaiwashituka-machi, Fukui

** 福井大学工学部電子工学科, Department of Electrical and Electronics Engineering, Fukui University, 福井市文京3, Bunkyou 3-choume, Fukui

定な汎用性の高い織機として重要な位置を占めている。特に、近年開発が進んでいる低強度・高伸度の物性を有し、少しでも大きな張力が付加されると容易に変質する、新合繊、新々合繊、ストレッチ性繊維、複合繊維などを使用した高付加価値織物の製織には、レピア織機が使用される場合が多い。

ところが、このレピア織機は、前述したようにリンク機構やカム機構の運動特性でよこ入れ運動特性が決定されるため、使用するよこ糸に合わせた適切なよこ入れ運動特性に変化させることはできない。折角のよこ糸の運動を制御できる、という特長を十分発揮しているとはいえず、前述した織物の製織においても、よこ糸因の織物欠点が皆無ではない。もし、使用するよこ糸に合わせてよこ入れ運動特性を変化できれば、よこ糸因による織物欠点も、より少なくなり、さらに、多種多様なよこ糸を織りこなせるのではないかと期待される。

そこで、レピア織機において、よこ入れ運動特性を可変できるサーボ制御よこ入れ機構を開発し、この機構でよこ入れ運動特性を変化させてよこ入れを行い、よこ糸張力がどのような影響を受けるか実験した。また、よこ入れ運動特性とよこ糸張力の関係を、よこ糸張力の数理モデルを作成し、そのシミュレーション結果と実験結果を比較することにより、解明する試みを行った。

2. よこ入れ運動曲線の設計法

よこ入れ運動においては、よこ入れ運動の開始から終了時まで、よこ糸がゆるみや暴れなく安定した挙動でよこ入れされることと、よこ糸に過大な張力が付加されないことが重要である。そのため、よこ入れ運動は、加速度が連続な運動であることはもちろん、片停留、もしくは両停留で、正負の最大加速度の大きさやその発生タイミングを使用するよこ糸に合わせて任意に設定できる、という特性を有することが望ましい。

そこで、本研究のよこ入れ運動特性を任意に変えられるサーボ制御よこ入れ機構のよこ入れ運動曲線としては、上記のような特性を持つ運動曲線を自由に創成できるユニバーサル曲線²⁾を採用することとした。なお、本研究で対象とした織機は、おさ打ち運動機構とよこ入れ運動機構が分離された片側バンドレピア織機(株岩間織機製作所 MODEL RGS II)である。レピアヘッドが反給糸側から給糸側までよこ糸を把持するために移動するよこ入れに直接関係

のない運動曲線は、変形台形曲線³⁾とし、その後の実際によこ糸をよこ入れする運動曲線をユニバーサル曲線とする。

図1にユニバーサル曲線を示す。この曲線は、運動領域を加速領域、等速度領域、減速領域に、さらに、加速、減速領域については各々3区間に分け、合計7区間の加速度 a を次の(1)式から(7)式で与えるものである。

区間Ⅰ ($t_0 \leq t < t_1$) $a = a_{mp} \sin \frac{\pi(t-t_0)}{2(t_1-t_0)}$ (1)

区間Ⅱ ($t_1 \leq t < t_2$) $a = a_m$ (2)

区間Ⅲ ($t_2 \leq t < t_3$) $a = a_{mp} \cos \frac{\pi(t-t_2)}{2(t_3-t_2)}$ (3)

区間Ⅳ ($t_3 \leq t < t_4$) $a = 0$ (4)

区間Ⅴ ($t_4 \leq t < t_5$) $a = -a_{mn} \sin \frac{\pi(t-t_4)}{2(t_5-t_4)}$ (5)

区間Ⅵ ($t_5 \leq t < t_6$) $a = -a_{mn}$ (6)

区間Ⅶ ($t_6 \leq t < t_7$) $a = -a_{mn} \cos \frac{\pi(t-t_6)}{2(t_7-t_6)}$ (7)

ここで、 a_{mp} 、 a_{mn} は、正および負の加速度の最大値である。

Fig. 1 Universal Motion Curve

速度曲線と変位曲線は次のように求める。まず、各区間の加速度 a を時間 t で順次不定積分し、速度曲線、変位曲線を求める。次に、各積分常数は、運動曲線設計パラメータとして与える区間 I ~ 区間 VII の区切時刻 $t_1 \sim t_7$ 、ストローク (よこ入れ運動ストローク)、初速 $v_1 (=0)$ 、終速 $v_7 (=0)$ と、各区切時刻で速度曲線、変位曲線が連続であるという境界条件により決定され、また、この時、 a_{mp} 、 a_{mm} も決定される。

本研究では、織機のクランク角度に対するレピア変位の位置制御を行うから、前述した時間軸に対する変位曲線を、クランク角度軸に対する変位曲線に変換し、これを実際に使用する目標よこ入れ曲線とする。そこで、設計パラメータは、各区間の区切時刻でなく区切クランク角度とよこ入れ運動ストロークとする。

レピアヘッドが反給糸側から給糸側によこ糸を把持するために移動する変形台形曲線による変位曲線も同様に、設計パラメータとして、運動開始クランク角度 (任意に与えられるが、本研究では 60° に固定した) と給糸側に到達するクランク角度 (任意に与えられるが、本研究では 180° に固定した) およびよこ入れ運動ストロークを与えれば求められ、これを目標よこ入れ曲線 A、実際によこ入れを行うユニバーサル曲線による変位曲線を目標よこ入れ曲線 B とし、2つの曲線を併せて、以後、目標よこ入れ曲線と呼ぶ。目標よこ入れ曲線の設計パラメータは、結

局、目標よこ入れ曲線 B の区間 I から VII の区切クランク角度 $d_1, d_2, \dots, d_7$ とよこ入れストロークの合計 8 個であり、 d_1 から d_7 までのパラメータを任意に設定することにより希望するよこ入れ運動特性を持つ目標よこ入れ曲線を創成できる。

図 2 に本研究で使用した片側レピア織機の各運動変位を無次元化して表したタイミングダイアグラムを示す。図 2 においてクランク角度 60° から 180° までのよこ入れ曲線は前述した目標よこ入れ曲線 A に相当し、 180° から 300° までのよこ入れ曲線は目標よこ入れ曲線 B に相当する。

図 3、図 4 および図 5 に、後述する実験に用いた実際によこ入れを行うクランク角度 180° から 300° までの目標よこ入れ曲線 B を示す。図 3 は、よこ入れ運動初期の加速度を低く押さえるため、等速度領域をなくし、全運動領域 (よこ入れストローク 125cm) 75% を加速領域に、残り 25% を減速領域に設定したもので、これを Case1 とする。図 4 は、Case1 とは逆に加速領域を 25%、減速領域を 75% に設定したもので Case2 とする。図 5 は、全運動領域で加速度が一番小さくなるように、全運動領域の 50% を加速領域に、残り 50% を減速領域に設定したもので、これを Case3 とする。各 Case の設計パラメータを表 1 に示す。なお、各図中の加速度と速度の大きさは、前述したように、まず、目標よこ入れ曲線を時間軸で設計するため、仮に織機回転数を設定するが、その回転数を 120rpm として計算した場合の値を示す。

3. サーボ制御よこ入れ機構

3.1 サーボ制御よこ入れ機構

図 6 に、本研究で用いたサーボ制御よこ入れ機構とその制御システムの全体図を示す。レピアは、速度制御がなされている電動機 (株式会社安川電機 AC サーボモータ: SGMS-20A ドライブ装置: SGDB-20A) で、タイミングベルト伝動機構を介してレピアバンド駆動スプロケットホイールを回転させることにより、駆動される。レピアの位置は、スプロケットホイール軸に取り付けられた、また、織機のクランク角度は、クランク軸に取り付けられた絶対値エンコーダ (オムロン (株) E6G-AG2C) で、各々、検出する。前述した目標よこ入れ曲線は、電算機 (日本データシステム (株) AT-486VR) を組み込んだコントローラに記憶されている。コントローラ

Fig. 2 Timing Diagram of Rapier Loom which is used in this study

Fig. 3 Weft Yarn Inserting Motion Curve B of Case1

Fig. 4 Weft Yarn Inserting Motion Curve B of Case2

は、 $100\mu\text{s}$ ごとに、レピア位置とクランク角度を検出し、目標よこ入れ曲線との偏差計算と制御演算を行い速度指令量を決定し、それを速度制御がなされている電動機に出力することによってレピアのよこ

入れ運動制御を行う。

3.2 モデル化

このシステムをモデル化したブロック線図を図7

Fig. 5 Weft Yarn Inserting Motion Curve B of Case3

Table. 1 Parameters for Designing Weft Yarn Inserting Motion Curve of Case1, Case2 and Case3

parameter	Case 1	Case 2	Case 3
stroke (cm)	125	125	125
d 0 (degree)	180	180	180
d 1 (")	210	190	200
d 2 (")	240	200	220
d 3 (")	270	210	240
d 4 (")	270	210	240
d 5 (")	280	240	260
d 6 (")	290	270	280
d 7 (")	300	300	300

に示す。ここで、 $P(s)$ (s はラプラス変換した式で用いる複素数で、以後同様である。)は、電動機への速度指令入力からレピア位置検出エンコードの出力までの伝達関数を、 $C(s)$ は補償器で、コントローラが行う制御演算の伝達関数を表す。なお、摩擦負荷、粘性負荷は、慣性負荷に比べて十分小さいので省く。

$P(s)$ における、 K_p は速度制御ループの比例ゲイン、 K_t は電動機のトルク定数、 J は電動機の回転子とレピアバンドも含む駆動機構の合計慣性モーメントである。電流制御系は、応答周波数が1000Hzと十

分高いので1とする。速度制御系は、比例制御のみとし、その応答周波数は25Hzである。

このようにモデル化した制御対象 $P(s)$ の伝達関数を (8) 式に、そのボード線図を図8に示す。

$$P(s) = \frac{3900}{s^2 + 210s} \tag{8}$$

3.3 補償器の設計とシミュレーションおよび制御結果

目標よこ入れ曲線に精度よく追従させるためのPI制御補償器 $C(s)$ を設計する⁴⁾。PI補償器のゲイ

Fig. 6 Servo-controlled Weft Yarn Inserting Mechanism

ン線図の折れ点は、積分ゲイン K_{ip} を大きくするほど高い周波数側へ移動するが、それに伴い位相遅れも大きくなるから、なるべく比例ゲイン K_{pp} を大きくすることで、高ゲイン化を図る。設計した補償器 $C(s)$ を (9) 式に、そのボード線図を図9に示す。

$$C(s) = K_{pp} + \frac{K_{ip}}{s} = 8 + \frac{3}{s} \tag{9}$$

このように設計した制御系の閉ループボード線図を図10に示す。図10より、応答周波数が約15Hz程度である。

Case3 の目標よこ入れ曲線（よこ入れストローク125cm）を与え、織機回転数120rpmとしてシミュレーションした制御結果を図11に、同様の条件で実験した制御結果を図12に示す。このように、シミュレーション結果と実験結果は、よく一致する。

実験結果は、全体的に目標よこ入れ曲線よりクラ

Fig. 8 Bode Diagram of P (s)

Fig. 7 Rapier Position Control System

Fig. 9 Bode Diagram of C (s)

Fig. 10 Bode Diagram of Closed Loop

ンク角度で約 3° 遅れた結果となっている。しかし、目標よこ入れ曲線の特性はよく再現されていると考えられる。

4. 実験結果と考察

4.1 よこ糸張力測定結果

よこ糸張力の測定は、検出センサに応答周波数が

Fig. 11 Result of Rapier Position Control Simulation

Fig. 12 Result of Rapier Position Control Experiment

十分高い1kHzの3ピン式張力計（インテック(株) IT-HY）を使用し、その出力をデータロガ（(株)キーエンス NR-110）でサンプリング周期1msごとに記録する方法で行った。測定場所は、ウェフトフィードとレピアヘッドに給糸するよこ糸給糸機構の間で、よこ糸給糸機構の直前である。使用したよこ糸は、ポリエステル紡績糸 Ne30/1 (19.7tex) である。よこ入れストロークは125cm、織機回転数は120rpmである。

Fig. 13 Result of Weft Yarn Tension Measurement for Case1

Case1, Case2およびCase3の目標よこ入れ運動曲線ด้วยこ入れを行った場合のよこ糸張力測定結果を図13, 図14および図15に示す。これらの測定結果は、よこ糸張力を連続的に測定・記録したデータ中の1つのよこ入れ期間を取り出したもので、横軸はその期間の時間を表す。Case1の場合は、よこ入れ

Fig. 14 Result of Weft Yarn Tension Measurement for Case2

Fig. 15 Result of Weft Yarn Tension Measurement for Case3

開始時の衝撃的張力のピーク値はCase2に比べて小さく、その後増大していき、最大値はよこ入れ期間の後半で発生する。Case2の場合は、よこ入れ開始時の衝撃的張力のピーク値は3つのCaseの中で1番大きく、その後すぐ最大値が発生し、後は減少しながら終了する。Case3の場合は、よこ入れ開始時の衝撃的張力のピーク値はCase1と同様に小さく、最大値はよこ入れ期間のほぼ中央で発生する。

このように、よこ入れ運動特性は、よこ糸張力に

大きな影響を与えることが実験により確かめられた。

4.2 よこ入れ運動特性とよこ糸張力の関係についての考察

よこ入れ運動特性を変化させたとき、よこ糸張力が、なぜ前述したような影響を受けるのかを、よこ糸張力の数理モデルを作成し、そのシミュレーション結果と実験結果を比較することにより、定性的に説明する試みを行う。

よこ糸張力 T_s は、糸の慣性力による張力 T_i 、速度の影響を受ける張力 T_v 、そして糸ガイドなどの摩擦力による張力 T_f の合計で決定される。速度の影響を受ける張力 T_v は、よこ糸速度の二乗に比例する。なお、モデルを簡単にするため、糸は弾性がないと仮定する。このように仮定するとよこ糸張力 T_s は、(10)式で与えられるようにモデル化される。

$$T_s(t) = T_i + T_v + T_f \\ = m_y a_y(t) + k_v v_y(t)^2 + T_f \quad (10)$$

ここで、 m_y はウェフトフィーダから張力計までのよこ糸の質量、 $a_y(t)$ はよこ糸の加速度、 $v_y(t)$ はよこ糸の速度、 k_v は速度の影響を受ける張力 T_v の張力係数である。 k_v と T_f は、今回実験で使用したよこ糸給糸側の糸道状態と同じ糸道状態で、よこ糸引き出し試験を行い実験的に求めた。

レピアヘッドは、目標よこ入れ曲線Bに従って運動を開始し、数cm移動してよこ糸を把持し、その後、実際のよこ入れ運動を行う。そこで、よこ糸の速度 v_y 、加速度 a_y は、目標よこ入れ運動曲線Bのものとは、動き出す瞬間だけは異なったものとなる。実験条件と同じく、織機回転数120rpm、よこ糸を把持するまでの移動距離3.5cmとし、クランク角度180°から330°までの範囲でCase1の場合のよこ糸の速度 v_y 、加速度 a_y を求めると図16のようになる。このよこ糸速度、加速度を(10)式に代入してよこ糸張力 T_s を求めると図17になる。同様に求めてCase2の場合のよこ糸速度、加速度を図18に、張力を図19に示す。Case3の場合を図20,21に示す。

実験結果(図13,14,15)とシミュレーション結果(図17,19,21)を比較すると、両者は次の3点でよく一致する。

- ① よこ入れ開始時の衝撃的張力は、そのタイミングの速度(加速度)が1番大きなCase2の場合が1番大きく、それに比べて速度(加速度)が小さいCase1, Case3の場合は小さい。

Fig. 16 Weft Yarn Velocity and Acceleration of Case1

Fig. 17 Weft Yarn Tension Model of Case1

- ② 最大張力の発生タイミングは、最大速度の発生タイミングとほぼ同じで、Case1ではよこ入れ期間後半部、Case2ではよこ入れ開始後まもなく、Case3ではよこ入れ期間中央部である。
- ③ 実験結果には糸の振動と思われる張力変動が現れているが、その包絡線的な張力波形の概形特徴

が、各Caseとも類似している。
このことより、よこ入れ開始時の衝撃的張力の大小は、糸を把持してよこ入れを開始するときの速度の大小（加速度の大小）に関係することや、その後の張力変化は、よこ糸速度を二乗した値の変化に関係すること等が明らかになり、よこ糸張力とよこ入

Fig. 18 Weft Yarn Velocity and Acceleration of Case2

Fig. 19 Weft Yarn Tension Model of Case2

れ運動特性の関係に対する定性的知見を得ることができた。

4.3 両側レピア織機および高速化への応用展開についての考察

よこ糸に合わせてよこ入れ運動特性を変化させ、よこ糸張力を低減化させる、また、よこ入れを安定化させる、という狙いは、本来、高速化されるほど必要となるものであり、その効果もより大きなものがあると予想される。そこで、本研究内容を両側レ

Fig. 20 Weft Yarn Velocity and Acceleration of Case3

Fig. 21 Weft Yarn Tension Model of Case3

ピア織機および高速化へ応用展開するための対策について考えてみる。両側化と高速化のいずれに応用展開するとしても、制御精度を高めなければならない。そのためには、次の3点の対策を行う必要があると考えられる。

① よこ入れ機構の剛性を高め、補償器 C (s) のゲインを大きくする。今回開発した機構では、低慣性化して高速性向上を図るため前述したようにタイミングベルトを使用した。その結果、剛性が低くなり、補償器 C (s) を高ゲイン化できず、かえ

って高速性を損なう結果となった。しかし、これは、電動機で直接スプロケットホイールを駆動することで容易に改善できるものである。

②本研究で行ったPI制御法にかえて、高次の動的補償器を使うなど制御方法の高度化を図る。

③この機構の中で最も慣性の大きなレピアバンドに、近年開発されたカーボン製の軽量化されたものを使用するなど、剛性を損なわない範囲で徹底した低慣性化を図る。

以上の対策を行うことで、本研究で行った片側レピア方式、よこ入れストローク125cm、回転数120rpmをかなり上回る高速化が可能であると考ええる。また、両側化は、前述した対策で制御精度を高めた後、この機構を2組使用することで実現できる。この場合、よこ入れ運動ストロークは片側方式に比べて約半分でよいので、制御条件としては逆に緩和されることになる。

5. 結 言

レピア織機において、よこ入れ運動特性を可変できるサーボ制御よこ入れ機構を開発し、この機構でよこ入れ運動特性を変化させ、よこ入れ試験を行

い、次のような結果を得た。

1) よこ糸張力は、よこ入れ運動特性の影響を強く受ける。よこ入れ開始時の張力の大小は、糸を把持してよこ入れを開始するときの速度の大小(加速度の大小)に関係し、その後の張力変化は、よこ糸速度を二乗した値の変化に関係する。

2) 上記のことより、よこ入れ運動特性を可変できるサーボ制御よこ入れ機構は、有効性が高い。

3) サーボ制御よこ入れ機構においては、ユニバーサル曲線を用いて任意のよこ入れ運動曲線を創成することは実用的なものである。

また、この機構は、機仕掛け時のよこ入れ調整時間短縮やよこ入れ条件の数値化、標準化にも効果が大きいものであることを付記する。

参考文献

- 1) 石田稔, 清水修, 小松義也, 緒方公雄; 織機学会第39回年次大会研究発表論文集, P81~82 (1986)
- 2) 牧野洋; 機械設計, Vol. 33, No. 3, 64, (1989)
- 3) 牧野洋; “自動機械機構学”, 第1章, 日刊工業新聞社(1983)
- 4) 杉本英彦, 小山正人, 玉井伸三; “ACサーボシステムの理論と設計の実際”, 第7章, 総合電子出版社(1990)