しぼり作業をするロボットの試作*

森田信義^{*1}, 仲田泰弘^{*2}, 萩原正二^{*3}

A Trial Construction of Wringing Operation Robot

Nobuyoshi MORITA, Yasuhiro NAKADA, and Masaji HAGIWARA

Human hands and fingers have several kinematic functions as grasp, push, pull, turn, swing and so on. Robot hands or fingers with these functions have already been realized. However, there are no robot with hands being able to do the wringing operation, which has close connection with a textile industry. It is hoped to replace this operation into a robot because of a heavy task for a professional worker in the manual dyeing of a skein of yarn. The purpose of this paper is to construct a robot doing the dyeing and wringing operation, which is similar to that of the worker. This robot will operate at the first working stroke in the manual dyeing of a natural indigo which is a traditional dyeing in Japan.

Key Words: Robot, Kinematic function, Wringing operation, Skein of yarn, Dyeing, Indigo

1. 緒 言

人間の手や指には、つかむ、押す、引く、回す、揺らすなどの運動学的機能があり、これらの機能はロボットの手や腕の機能としてすでに実現されている。しかし、しぼるという機能をもつロボットはまだ実現されていないようである⁽¹⁾。

例えばタオルをしぼる動作には、回転運動とともにタオル中心に向かう並進運動が必要である。同時にしぼるためのトルクにも限界値がある。このように、しぼり作業をロボットに行わせるには、回転、並進の運動制御とともにトルク制御も行わなければならない。

このしぼり作業は、繊維業と関連が深い。繊維業ではあらゆる面で機械化が進んでおり、糸束の染色作業もほとんど自動化されている。しかし、高級品や特注品の糸染めでは、微妙な色合いを出すために、現在でも人間の手作業により染色が行われている。この手染めの行程は、仮染めと仕上染めの数回の行程から成っており、それぞれの行程では、糸を染料に浸し、取り

上げ、しぼり、ほぐし、また染料に浸すという作業を行う。この中で特にしぼり作業は、腰を曲げた姿勢で行われるため、職人にとってかなりの重労働である。

また、直接染料を扱い、かつ温度が高い環境は決して良いとは言えないだろう。

本研究は、しぼり作業の実例として日本の伝統的な染め物である天然あい(藍)の手染め作業(染色としぼり作業)を取り上げ、その初期行程をロボット化する目的で行われるものである。実際に手染め作業を行う職人の作業分析を行い、この作業に近い動作をするロボットを設計し、試作したので、それを報告する。

2. 作 業 分 析

2・1 手染め作業 実際の手染め作業は次のようにして行われる。

(1) 束になった糸に竹の棒を通し、この棒を染料の入った瓶の縁にかけて糸を染料中に浸す。

(2) 数十秒後に糸を半分引上げ反転させ、糸の上部を染料中に浸す。またこの動作を繰り返す。

(3) 糸を染料から引き上げ、もう1本の竹の棒を糸束の輪に通し、竹の棒を足で固定し、上の棒を回転させてしぼる(図1)。

(4) 糸束をほぐし、糸束を染料につける。

* 昭和63年7月15日 東海支部浜松地方講演会において講演。原稿受付 平成元年7月11日。

^{*1} 正員、静岡大学工学部 (〒432 浜松市城北3-5-1)。

^{*2} 准員、ヤマハ(株) (〒430 浜松市中沢町10-1)。

^{*3} 三菱電機(株) (〒422 静岡市小笠3-18-1)。

このような作業を仮染め、仕上染めの数段階において行う。

2・2 しほりトルクおよび引き上げ力の測定 ロボット設計を行うための基礎データを得る目的で糸束をしほるトルクおよび引き上げ力の測定を行った。

図2に示すようにひずみゲージを添付した鉄製のしほり棒を持って、

(1) 回転力だけを与えるように糸束をしほる

(2) 糸束をしほりながら引き上げる

という作業を数人の人に行ってもらい、棒のひずみ測定からしほりトルクおよび引き上げ力を推定した。

この結果しほりトルクは平均値として $48.5 \text{ N}\cdot\text{m}$ となった。また糸束にコブを作らないための引き上げ力は 578 N となった。ただし、糸が染料を含むと糸どうしが滑るため、実際の引き上げ力はこの値よりも小さくなると考えられるので、この引き上げ力を最大値とした。

3. ロボットの設計

手染めの作業では、糸束の微妙な色合いを出すために、仕上行程は従来どおり職人の手によるものとする。したがってこのロボットは初期行程に使用するものとし、2章に示した職人の動作になるべく近い動作を行うよう設計するものとする。

3・1 糸束の染色としほり作業 ロボットに糸束の染色としほり作業を行わせるために、次のことを考慮する。

(1) 糸束がしほり棒からはずれないようにする。このためにクランク形のしほり棒を2本作成し、糸束

はこのしほり棒に掛ける。

(2) 糸束のしほり棒に接している部分の染めむらをなくすために、糸束が反転できるようにする。このために装置下方にしほり棒受けを3箇所設け、2本のしほり棒を交互にしほり棒受に置くようにして、しほり棒と糸束の重さおよびしほり棒受の間隔を利用して糸束を反転させる。

(3) タオルをしほるような両側回転では制御が困難なため、しほり棒の片方は固定し、他方のしほり棒を回転させてしほり作業を行わせるようにする。なお糸束の反転としほり作業のために、上側しほり棒を掛けるフックも作成する。

以上に示す糸束の染色およびしほり作業の作業手順を図3に示す。

3・2 ロボットの構造および機構 糸束の染色およびしほり作業を行わせるために、ロボットの構造および機構に関して考慮すべき点を以下に示す。

(1) 手染め作業場への設置、糸束の搬送の容易さ、染色時間とロボットの動作速度などを考慮のうえ、ロボットは比較的設計製作のしやすい直角座標系のものとする。

(2) サーボモータは3個用い、ロボットの手となるフックを上下、左右および回転させ、糸束の運搬、染色、しほり作業を行わせるようにする。

(3) フックを取付けたテーブルは、ボールねじを用いて移動させる。またフックの回転には、十分なしほりトルクを出すことができるように、ハーモニックドライブを取付けて減速する。図4はロボットの可動部分である。

(4) しほり作業の際には、フックは下方に大きな力を受けるために、テーブルは強度的に十分耐えうる構造でなければならず、変形も小さいほうが望ましい。またフックの下部の作業空間を広くとりたい。このためテーブル構造の材料力学的チェックを行うとと

図1 染色作業

図2 しほりトルク測定装置

もにテーブル前方にガイドシャフトを2本設置し、テーブルの片持ちによる変形を防ぐ。またシャフトを上方に移動するようにして下部の作業空間を広くとる。

以上のような考え方により設計したロボット本体を図5に示す。

3・3 制御装置 ロボットに染色としほり作業を行わせるために、制御装置としての必要条件を列記すれば次のようになる。

(1) 糸束の染色および反転は、フックの平面運動により行うことができるので、同時二軸位置決め、直線補間が可能であり、速度制御も行えるシステムが望

ましい。

(2) しほり作業を行うには、回転角、回転速度のほかにトルク制御が可能なシステムでなければならない。

(3) 糸束は柔軟であるため、フックの位置決め精度はそれほど高くなくてよい。したがって制御はオープンループでよい。

(4) 糸の種類によって染色時間、しほりトルクを変えねばならない。したがってプログラミングにより運動を変えうる装置でなければならない。

(5) プログラムミスなどにより指定範囲外にテーブルが動いた場合、リミットスイッチなどでテーブルを静止させることが必要である。

(6) プログラムによる自動運転(メモリ運転)の他に、手動による連続送り(ジョグ運転)ができるように自動、手動切換え装置をつける。

以上の要件を満たす制御装置として、(株)安川電機の Motionpack-110, Motionpack-33(それぞれ以下 110, 33 と略)に AC サーボモータ、サーボアンプを組合せた装置を選んだ。この 110 は、3 軸位置、速度同時制御が可能である。しかし 110 ではトルク制御ができないので、フックの回転を制御する装置は、モータの回転角、回転速度とともにトルクの制御も可能な 33 も使用する。また原点確認スイッチ、メモリ、ジョグ運転切換えスイッチ、手動送りスイッチなどを組み込んだ操作パネルを作成し、これを制御装置と接続する。このような制御システムを図6に示す。

4. 製作

以上の設計に基づいて、糸束の染色およびしほり作業をするロボットを製作した。ロボットの主要部品を表1に示す。ボールねじやリニアガイドなどはロボットの性能上、精度よりも強度に余裕をもたせるように

図3 染色およびしほり作業

図4 ロボットの可動部分

図5 ロボット本体

選んだ。完成したロボットを図7に示す。

5. プログラミング

このロボットのプログラム言語は、工作機械用のNC言語が基本となっている。

今回使用した指令記号とその意味を以下に示す。なおプログラミングの一例を付録に示す。

(1) X-Y平面運動(110)について

G01X-Y-F-; 指令した座標に速度 F で直線的に移動する。

G02X-Y-R-F-; 指令した座標に速度 F , 半径 R

G03X-Y-R-F-; の円弧を描いて移動, G02 は時計回り, G03 は反時計回り。

G17; 円弧運動を行う平面の指定。

G04P; 時間 P の間, 運転を休止。

M98P-L-; P で指定されたプログラム番号のサブプログラムを呼び出し, L 回実行する。

M99; サブプログラムの終了。

M30; プログラムの終了。

(2) 回転運動およびトルク制御(33)について

G01X-F-I-; 指定した回転 $X(U)$ を速度 F , トルク I で回転する。 X は絶対値, U は増分値。

G27X-F-I-; 指定した回転数 X , 速度 F , トルク I 実行後, 原点復帰。

G04D; 時間 D の間, 運転を休止。

図6 制御システム

G68L-P-; P で指定されたブロック番号から始まるサブプログラムを L 回実行する。

G69; サブプログラムの終了。

M30; プログラムの終了。

6. 考 察

製作したロボットを付録に示したようなプログラムで運転した結果, 次のようなことがわかった。

(1) 職人は, 一つの糸束につき, 染色作業を2回行い, その後しほり作業を行う。この動作をロボットに模擬させたところ糸束の反転に多少時間がかかったが, 職人とほぼ同じ動作を行うことができた。しかし職人は, 通常2~3の糸束を並列で染色し, しほり作業を行っている。そこでロボットの移動速度をだんだん上げるようプログラミングしたところ, ロボット本

表1 ロボットの主要部品

Motion controller	X-axis	Motionpack-110	1
	Y-axis		
	θ-axis	Motionpack-33	
Servo motor	X-axis	USAMED-03MA1	
	Y-axis	USAMED-03MA10E	
	θ-axis	USAMED-06MA1	
Ball screw	X-axis	BNT2806BRR+1410LTAC	2
	Y-axis	BNF2806BRR+1350LTAC	
Linear guide	X-axis	SR25S2ss+1400L II	
	Y-axis	HSR25TB2ssC1+1200L II	
Guide shaft		SF16g6-1200LE	
Linear bush		LMK16UU	3
Harmonic drive		CS-32-50-2A-GR-WS	

1. 株式会社安川電機製作所 2. 株式会社T H K 3. 株式会社ハーモニックドライブシステムズ

図7 しほり作業をするロボット

体が振動を始めた。したがってもういちだん作業速度を上げるには、ロボット本体の剛性を高める必要がある。

(2) 位置制御, トルク制御を行うことにより, 染色としほりの両作業を行うことができた。しかし, 110と33は, 互いに信号のやりとりができるシステムになっていないので, フックの平面運動と回転運動のプログラムをそれぞれの装置で別々に作成しなければならず, さらにプログラム上で2種類の動作のタイミングを合せなければならないため, プログラミングに時間がかかってしまう。したがって多軸の位置制御, トルク制御が同一の装置で行える制御システムが望ましい。

(3) しほり作業後, 職人は糸束を振って糸をほぐしているが, この動作をロボットで行うのは非常に難しい。糸束をしぼったあと, 回転角を負の領域にまで巻き戻し, 再び原点位置に戻すことにより糸束のほぐし動作を行ったが, 職人の行うほぐし動作ほどうまく糸束をほぐすことはできなかった。このため糸束がしほり棒中心からずれたり, 下のしほり棒が不安定になることがあった。このほぐし動作は今後の研究課題である。

7. 結 言

糸束の手染め行程のなかで, 特に職人にとって重労働であるしほり作業をロボット化する目的で本研究を行った。まず職人の手染め作業の分析を行い, しほりトルクを測定したうえで, 職人の動作と力を模擬するロボットを試作した。次にこのロボットを運転した結果, ロボットはプログラミングどおりの手染めとしほり作業を行った。したがって初期の目的は, ほぼ達成することができた。しかしロボットをより高速で運転するには, ロボット本体の剛性, フックの平面運動と回転運動の同時制御など, まだ改良すべき点がある。

人間の手や指の機能は, ほとんどロボット化されているが, しほるという機能のロボット化は, 本研究が最初であると思う。

また本研究の結果から, ほぐすという機能もこれまで注目されたことはないが, これもロボット化するのに興味ある課題ではないかと考える。

最後に, 本研究にご協力いただいたパテラ(株)釜中明氏, 三明商事(株)村松豊彦氏, (株)高柳商店, 安川エンジニアリング(株)および静岡大学工学部工作技術センターの方々に感謝する。

付 録

Motionpack-110

メインプログラム

01988 ;

N 10 M 98 P 0202 L 2 ;

N 20 M 30 ;

サブプログラム

00202 ;

N 0 G 01 X 0, Y 0, ;

N 1 G 01 X 0, Y-700, F 6000 ;

N 2 G 04 P 5, ;

N 3 G 01 X 0, Y 150, F 6000 ;

N 4 G 01 X 220, Y 150, F 3000 ;

N 5 G 01 X 220, Y-360, F 5000 ;

N 6 G 01 X 470, Y-600, F 3000 ;

N 7 G 01 X 470, Y-725, F 3000 ;

N 8 G 01 X 500, Y-740, F 2000 ;

N 9 G 01 X 550, Y-740, F 3000 ;

N 10 G 01 X 550, Y-580, F 4000 ;

N 11 G 01 X 120, Y-580, F 2000 ;

N 12 G 01 X 120, Y-740, F 3000 ;

N 13 G 01 X 190, Y-740, F 2000 ;

N 14 G 01 X 190, Y-620, F 6000 ;

N 15 G 17 G 02 X 670, Y-620, R 250, F 3000 ;

N 16 G 01 X 670, Y-725, F 2000 ;

N 17 G 01 X 640, Y-740, F 2000 ;

N 18 G 01 X 600, Y-740, F 4000 ;

N 19 G 01 X 600, Y-650, F 6000 ;

N 20 G 17 G 03 X 330, Y-650, R 150, F 3000 ;

N 21 G 01 X 360, Y-740, F 4000 ;

N 22 G 01 X 415, Y-740, F 2000 ;

N 23 G 01 X 415, Y-90, F 6000 ;

N 24 G 01 X 640, Y 5, F 6000 ;

N 25 G 01 X 640, Y 140, F 6000 ;

N 26 G 01 X 0, Y 140, F 4000 ;

N 27 G 01 X 0, Y-700, F 6000 ;

N 28 G 04 P 5, ;

N 29 G 01 X 0, Y 15, F 6000 ;

N 30 G 01 X 130, Y 15, F 2000 ;

N 31 G 01 X 130, Y 65, F 4000 ;

N 32 G 04 P 1, ;

N 33 G 01 X 130, Y-160, F 1000 ;

N 34 G 04 P 4, ;

N 35 G 01 X 130, Y 75, F 1000 ;

N 36 G 04 P 1, ;

N 37 G 01 X 130. Y 30. F 2000 ;
 N 38 G 01 X-70. Y 30. F 4000 ;
 N 39 G 01 X 0. Y 0. F 4000 ;
 N 40 G 04 P 20. ;
 N 41 G 01 M 99 ;

Motionpack-33

メインプログラム

N 0 G 27 X 0. F 20. I 10.
 N 1 G 68 L 2 P 3
 N 2 M 30

サブプログラム

N 3 G 04 D 49.
 N 4 G 01 X 0. 5 F 20. I 10.
 N 5 G 04 D 87.

N 6 G 01 U-3. 5 F 20. I 17.
 N 7 G 04 D 0. 5
 N 8 G 01 U-0. 25 F 20. I 17.
 N 9 G 04 D 3.
 N 10 G 01 U 3. 75 F 20. I 10.
 N 11 G 04 D 9.
 N 12 G 27 X 0. F 20. I 10.
 N 13 G 04 D 13.
 N 14 G 69

文 献

- (1) Shimon. Y. N., *Handbook of Industrial Robotics*.
 (1985). 112, John Wiley and Sons.