技術報告

光学でこ による本縫
ミシンの動特性測定

一送り歯運動と動トルク

会 員 大 沢 政 徳*
齊 藤 洋**

1. まえがき

ミシンの調整は熟練した技術者の経験に基づく“勘”に頼ることが多く、組立あるいは縫製時に発生したトラブルに対し適切な対応がとりにくい。したがって、未熟練者でも異常の発生部位、その程度・原因を見出し適切な対応ができるような装置の開発が必要であろう。

本縫ミシンの調整に関しては、縫合に関わる4つの機構のそれぞれの運動および全機構運動のための駆動トルクの測定がよく行われている。

これらのうち、送り歯運動および駆動トルクを対象として、以前我々は主に機械（例としてミシン）のしくみ（機構）を学習するという教育上の観点から、光学でこを応用した一連の装置を考案し一応の成果を収めた。すなわち、ミシン駆動時の送り歯運動プロフィールの拡大表示装置¹⁾、その表示図形上に特定な上軸回転角をマークする同期照明装置²⁾および駆動トルクを上軸回転角に対応させた極座標表示装置³⁾である。これらは教具開発の観点から、構造が簡単、安価、入手が容易および一般に普及している器具の改造利用の諸点に重きを置いて考案したものであり、光源は白熱球あるいはキセノン球（フラッシュランプ）を使用した。そのため投影像の明るさ、拡大率、同期照明の応答性あるいは確実性などに難があった。

今回、光源にレーザ、同期照明装置に偏光板セクタを新たに採用することにより、これまでの難点がかなり解消されることが確かめられた。したがって、これらの装置がミシンの組立・検査および縫製の現場にも適用でき

Feed Dog Motion and Dynamic Torque
Measurements of Sewing Machines
by an Optical Lever.By Masanori Osawa and Hiroshi Saito,
Osaka Kyoiku University, Osaka.

This article describes an optical-mechanical lever apparatus to adjust and analyze the mechanism of the sewing machine by using a laser lamp as an optical source. The apparatus consists of two components; two-dimensional magnifier of feed dog motion and direct-vision dynamic torque meter.

A two-dimensional magnifier displays, on a screen, magnified trajectories of the micro-motion of the dog by contacting one end of the lever with the dog. The position of the dog at each of angle of the arm shaft is marked by using a sector combining two sheets of polaroid discs.

The direct-vision dynamic torque meter displays torque diagrams on the polar coordinates, as the azimuthal declination of a mirror rotated with the arm shaft is proportional to the torque.

The apparatus is easily attachable to and removable from the sewing machine and is useful not only for a teaching aid but also for adjusting device for lockstitch sewing machines. (Received January 6, 1981)

るのではないかと考えられる。

以下、これらの装置の構造および試用結果について報告する。

2. 装 置

今回改良された点は、まず He-Ne レーザ（出力 1 mW）を用いたことにより 1) 明るい室内でも充分観測できること、2) 光学系における 2 個のレンズ（集光および結像用レンズ）が不要で装置が簡単化されること、3) 拡大率を目的に合わせて任意に設定できること、ついで偏光板セクタを用いたことにより 4) 同期照明が確実に得られること、5) 変調度が連続的に変えられること、6) セクタ取付による負荷の増大がないことなどである。

以下、それぞれの装置について述べる。

2.1 送り歯運動プロフィールの直視

針棒、天びんや中がまと違って、送り歯の運動は「微視的」でありしかも水平変位 x と上下変位 y が合成されたものである。モーションダイアグラムの作成にあたって、送り歯運動についてはものさしやダイヤルゲージで $x-\theta$ （ θ は上軸回転角）および $y-\theta$ 関係として測定したものを紙上で合成する方法がよく行われている。しかし、この方法は、労力と時間を要するばかりでなく、

* M. Osawa, Member. 大阪教育大学 教育学部 池田分校

** H. Saito. 大阪教育大学 教育学部 天王寺分校

測定誤差のため正確な結果が得られにくい。このような難点を解消する目的で、送り歯運動プロフィールの直視装置を開発した。装置を図1に示す。一端に薄鋼板の触針①(幅3mm, 厚さ0.2mm)が接着されたアルミニウムの管②(外径2mm, 長さ35mm)は、その他端でピアノ線③(直径0.6mm, 有効長5mm)によりピアノ線

図1 送り歯運動プロフィール直視装置

取付棒④と弾性的に結合されている。アルミニウム管②にはピアノ線接着端近くにアルミニウムを蒸着した鏡⑤(8×6×0.5mm)が取付けられており、鏡⑤の傾きは調整ねじ⑥により変えることができる。ピアノ線取付棒④はT型の支持台⑦にねじ⑧で取付けられたピアノ線取付棒支持具⑨に収まりねじ⑩で固定されている。したがって、ピアノ線取付棒④とその支持具⑨の位置はそれぞれ独立に調整することができ、アルミニウム管②の支点は三次元的に位置ぎめができる。支持台⑦には押さえ金の一部を転用した金具⑪が半田付けされておりミシンの押さえ棒⑫にねじ⑬でとめられる。

本装置の設計・製作にあたって、高速時における追従性をよくするため可動部分(アルミニウム管、鏡、鏡傾斜調整ねじおよび触針)の軽量化によってたわみの固有振動数を上げるよう留意した。

実測の結果、たわみのばね定数は 1.1×10^{-2} kgf・m/rad, 触針を自由端とする固有振動数は170 Hzであった。

装置のミシンへの装着は、まず押さえ棒から押さえ金をはずしたのち押さえ棒をおろす。このとき、無理のない三点支持になるよう支持台のねじ足を調整する。つぎに、触針が送り歯の中央部に接触しこれを適当な力(30 gf程度)で加圧するよう支点の水平および上下位置を調

整する。

鏡の前方に配置された光源からの光を鏡に当てると、その反射光により送り歯運動プロフィールは鏡とスクリーンとの距離 D に比例した倍率($2D/l$, l は装置可動部の有効長)でスクリーンに拡大投影される。なお、この運動プロフィールは送り歯が押さえ金で加圧されていないときのものである。

この方法は吉田氏によって単純化されたものが試みられ⁴⁾教育上有効であることが認められている。

さて、ミシン機構の学習あるいは調整に際して、この運動プロフィール図形上に特定の上軸回転角がマークされるとより一層効果的である。

以前、我々は機械的(マイクロスイッチ使用)あるいは光電的(ホトトランジスタ使用)に得られた同期信号により白熱球あるいはキセノン球を変調(あるいは点滅)する方法や上軸と同期回転するたわみ軸(自転車のスピードメータ用のものを改造利用)に取付けたセクタにより光を点滅する方法などを試みた²⁾。これらの方法は輝点の明るさ、光源の応答性、変調度、モータ負荷の増大などに関して難点があった。

今回、偏光板セクタによりレーザ光を変調する方法を採用することによって、これらの難点をほぼ解消することができた。

偏光板セクタは図2に示すように2枚の偏光板ディスク

図2 偏光板セクタ

ク(以下単にディスクという)1, 部番①および2, 部番②(いずれも直径180mm, 厚さ1mm)を組合せたものである。半径75mmの円周上に一定間隔で12個のスリット③(幅2mm)があけられているディスク1①は、このスリット位置を考慮してストップモーション大ねじ④の端面中心部に植込まれた丸棒⑤(直径6mm)に、②は①の中心部にある丸棒(直径6mm)にそれぞれ取

付けられる。両ディスクはそれぞれのねじ⑥、⑦で固定される。

このセクタは両ディスクの相対的角変位により変調度（したがってスリット部分とその他の部分における光の強度比）を連続的に変えることができるから、観測にあたって最適な変調度になるようディスク2の取付角位置を調整しておく。観測に最適な上軸回転角マークの輝点と運動プロフィールとの輝度比は、スクリーン面の照度や観測位置などで若干異なるがほぼ3:1である。使用した偏光板のレーザ光に対する透過率は約40%であるが、白熱球光源の場合に比べ上軸回転角マークの輝点は10倍強の輝度が得られるから、明るい室内（スクリーン面の照度が100 lx程度）での観測にまったく支障はない。

観測のための光学系を図3に示す。光源をはずみ車

図3 送り歯運動プロフィール直視のための光学系

の斜上方に配置し、光路が上軸にはほぼ平行になるようにする。偏光板セクタにより上軸回転に同期して変調された光は、スタンドで保持された2個の直角プリズムでそれぞれ方向を90°ずつ変えられた後、鏡で反射されスクリーンに投影される。プリズムは鏡による反射光の光路を妨げないように鏡から水平距離で20 cm程度離しておく。

この方法により、上軸回転角がマークされた送り歯運動プロフィールの例を図4に示す。供試ミシンは家庭用HL型であり送り調節器は4に設定されている。図中の上軸回転角は針棒の上死点を基準(0°)としている。スクリーンには透明プラスチック板に10 mm間隔の方眼が画かれたトレーシングペーパーを貼ったものを使用している。写真撮影時の上軸回転数は400 rpm、鏡からスクリーンまでの距離は53 cm、したがって拡大率は30倍である。図4(a)は布送り行程（布を前進させる区間）で送り歯が前進するとともに次第に降下している例である。(b)は確実な布送りが行えるよう、上下運動機構はそのまま水平送りカムの上軸取付位置を調整（約30°変更）したときのものである。

2.2 動トルクの直視

ミシンの上軸駆動トルク T は部品の摩擦抵抗や慣性抵抗を含んで上軸回転角とともに変動し、上軸回転数によっても異なる。したがって、上軸回転数ごとにトルク

(a) 調整前

(b) 調整後

送り 4 送り歯高さ up

図4 送り歯運動プロフィールと上軸回転角のマーキング

線図($T-\theta$ 関係)を明らかにすることが部品および組立の適否を判定することになると考えられる。

駆動トルクの測定に関しては、これまでいくつかの方法が考案、報告されている。このうち、JIS 9014および9071に規定されているばね式トルクメータによる静的測定では慣性抵抗は対象外である。また、動トルクの測定に関しては、トーションバー捩れ角の光学的測定法⁵⁾、同じく電氣的(ストレインゲージによる)測定法⁶⁾、モータ特性からの換算法⁷⁾などが報告されている。ストレインゲージによるものは装置が大がかりとなる難点があり、モータ特性を利用するものはトルクの平均値を知るための便宜的な測定法であってトルク線図は得られない。また、光学的測定法は一般にこれまで数多く(たとえばアムスラ法、ホプキンソン・スリング法など)考案されているが、いずれも特定な角度でのトルクを検出する方法であり、トルク線図作成のためには検出点を順次ずらしていく必要があるため測定能率の点で難がある。

我々が開発した動トルクの直視装置³⁾は測定能率を格段に向上させたが、さらに、光源をレーザに変えることにより一層簡単にまた明瞭に観測できるようになった。

本装置は、上軸とともに回転する鏡の方位角を駆動トルクに比例させ、図5に示すように駆動トルクに相当する半径方向の偏り Δr と θ とを合成したトルク線図をスクリーン上に表示するものである。

装置を図6に示す。片持ち板ばね①(リン青銅板、

図5 トルクの極座標表示

① 片持ち板ばね	⑨ 小滑車
② 板ばね取付板	⑩ ピアノ線
③ ストップ モーション大ねじ	⑪ ばね座
④ 鏡面方位調整ねじ	⑫ ばね座
⑤ 円錐状突起	⑬ コイルばね
⑥ 鏡	⑭ 固定ねじ
⑦ はずみ車	⑮ バランシング ウェイト
⑧ 張力調整ねじ	

図6 動トルク直視装置

2.5×5×0.3 mm) が取付けられた扇形の板ばね取付板②がストップ モーション大ねじ③の端面に3個の鏡面方位調整ねじ④で支持されている。ストップ モーション大ねじ端面の中心部にある円錐状突起⑤により、板ば

ね取付板②とストップ モーション大ねじ端面との間には約1 mmのクリアランスがある。板ばね①の自由端には鏡⑥(6×6×0.5 mm)が取付けられている。はずみ車⑦には張力調整ねじ⑧が取付けられており、その先端の金具と板ばね①の自由端側とは小滑車⑨に掛けられたピアノ線⑩(直径0.2 mm)により連結されている。また、2つのばね座⑪、⑫がストップ モーション大ねじとはずみ車の回転中心から75 mmの位置にそれぞれ取付けられており、両者はコイルばね⑬(ばね定数30 kgf/cm)によって連結されている。したがって、上軸トルクによりコイルばね⑬が変形し、その変形量(ストップ モーション大ねじとはずみ車との相対的角変位)に対応した板ばね①のたわみにより鏡⑥の方位角が変化する。装置はストップ モーション座金をはずして装着されるから、ストップ モーション大ねじは2個のねじ⑭で上軸に固定される。

ミシンの駆動は装着されたはずみ車にベルトを掛けミシン モータで行う。はずみ車とはずみ車ブッシュ間の摩擦は $T-\Delta r$ 関係におけるヒステリシスの原因になる。したがって、ベルトは滑りを起さない程度にゆるく張り、またはずみ車とはずみ車ブッシュ間は給油して潤滑をよくしておくことが必要である。

スクリーンには、10 mm 間隔の同心円群と30°おきの中心線群が画かれたトレーシング ペーパーを透明プラスチック板にはったものを使用した。

観測のための光学系を図7に示す。観測の妨げになら

図7 動トルク直視のための光学系

ないようスクリーンの横に設置された光源(レーザ)からの光は、スクリーンの同心円群の中心(極座標原点)に設置された直角プリズムで反射された後、鏡にあたる。この入射光の光路およびスクリーンの極座標原点を上軸の回転軸に一致させる。また、任意の上軸回転角において、トルクを加えたときスクリーン上の輝点が極座標の半径方向に移動するよう鏡面方位調整ねじにより調整を行う。さらに、トルクが0のときの輝点位置(原点からの距離)の調整を張力調整ねじで行う。

装置の感度およびヒステリシスの検定は上軸を回転させながら、特にそのために製作したプロニー ブレーキにより行った。その結果、図8に示すように $T-\Delta r$ 関

図8 装置の感度とヒステリシス

系の直線性は充分あり、ヒステリシスはほとんど無視できることが確かめられた。また、本装置をミシンに装着したときのねじりの固有振動数は実測の結果 70 Hz であった。したがって、使用可能な最高回転数は 400 rpm 程度である。しかし、コイルばねを剛いものと取換えることによってより高速での使用も可能となる。

本装置によって観測されたトルク線図の例を図9に示

図9 トルク線図

す。供試ミシンは家庭用 ZDJ 型である。また、 $T=0$ のとき輝点の半径方向位置は 30 mm になるよう調整してある。図9(1)は空転(無負荷運転)で上軸回転数が 200 および 400 rpm のときのものである。回転数の上昇と

ともに全般的にトルクは増大しているが、各部品が複雑な運動をするためその増加率は回転角によってかなり異なることがわかる。特定の回転角(たとえば 150° 付近)では回転数の上昇とともにトルクはかえって減少しているが、これは強制的に減速された部品(たとえば中釜)から吐き出された運動エネルギーによる効果であると考えられる。図9(2)は同一回転数(300 rpm)における空転時および縫製時のトルク線図である。縫製は綿ブロードを2枚重ね、糸はカタン#60、針は#11を用い上糸および下糸張力は150および50 gf、ジグザグ幅は0(直線縫い)で送り2にして行っている。両トルク線図の比較から縫製抵抗を知ることができる。すなわち、天びんによる上糸の引締め(60° 付近)および針の布貫通(110° 付近)時、縫製抵抗が特に顕著に現われている。なお、縫製時のトルク線図が 110° 付近で数本に分離しているのは、ミシンの機構あるいは装置によるものではなく、針と織糸との位置関係によって針の布貫通抵抗が毎回異なることに起因している。このことは均質体である紙を用いた縫製実験において、トルク線図の乱れが生じないことから確かめられた。

3. あとがき

以上、本縫ミシンの送り歯運動および駆動トルクを対象とした光学でこの応用装置について述べた。これらは家庭用ミシンに関して汎用性があり、着脱が容易、構造が簡単であるなどの利点がある。したがって、ミシン機構の教示用としてのみならずトラブルの発見あるいは調整に際してこれらを測定器として利用することにより作業の能率化、省力化に役立てることができると考える。

今回の試作装置は家庭用ミシン装着用のものであるが、ミシンへの取付部を若干修正するかあるいは取付部品を追加することによって工業用本縫ミシンにも装着することが可能である。

なお、現在これらの装置は本学技術・家庭科において、ミシン機構の学習に利用されているが、受講者に大変興味深く受け入れられていることを付記させていただく。

参考文献

- 1) 大沢, 斉藤; 大阪教育大学紀要, **16**, V-2, 19 (1967)
- 2) 大沢, 斉藤; 大阪教育大学紀要, **17**, III-1, 127 (1968)
- 3) 大沢, 斉藤; 大阪教育大学紀要, **18**, III, 81 (1969)
- 4) 文部省編; 中学校 技術・家庭科 研究の手びき 機械・電気編, 実教出版, 54~60 (1970)
- 5) 神保泰雄; 精密機械, **31**, 61 (1965)
- 6) 日本ミシン検査協会; ミシン (技術編), **28**, 35 (1968)
- 7) 日本ミシン検査協会; ミシン (技術編), **23**, 8 (1966)

(昭和56年1月6日受理)