

ポットシルク繰糸機の理論的研究 (第3報)

柳 澤 延 房*

Nobufusa YANAGISAWA: The Theoretical Research of the "Pot-Silk Reeling Machine" 3.

(1953年9月15日受理)

前 書

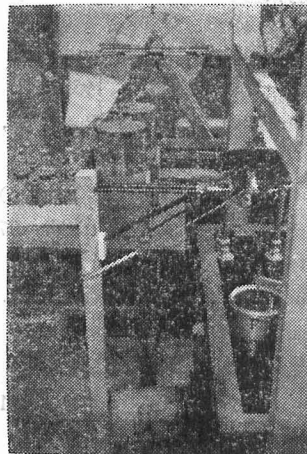
第1報に於て座繰々糸機繰糸の多角形であることから当然起る張力振動を論じ、之が膠着抵抗と営運動作から来る反転抵抗を助成せしめることを実験的に述べ、更に第2報に於て、特殊の繰糸方法であるポットシルク繰糸機に就いての理論を進め、繰糸張力の点から見て、従来の繰糸方法とは全く方式を異にしたものであることを述べた。即ち従来の繰糸方式は膠着抵抗や、フック、鼓車その他ケンネル部等の摩擦抵抗が累加されて繰糸に最大の繰糸張力となって巻き取られるのに対し、ポット繰糸機による繰糸方式は、送出ローラーから導糸管を通過してポット周壁に至るまでの間に張力は漸減され、最小の繰糸張力で巻き取られる。繰糸張力の点で従来の繰糸方式は、繰糸張力の累加方式 (Progression System) であり、ポットシルク繰糸機による方式は、繰糸張力の累減方式 (Reduction System) とも名付けられるべきものである。尙第2報でポット内糸形と張力変化を知るための理論式から糸形を決定し、之をストロボスコープで糸形の実際を捉え、之等と比較することにより、略々理論と実際とが合致することを知った。しかし更に瞬間撮影で、正しく糸形を写し出すことが出来たので、その結果を掲げると共に、ポットシルク繰糸機による糸と一般繰糸法による糸との物理的性質を比較する手始めとして、動摩擦係数の測定装置の工夫と、その機械で実験した両者の比較結果を次に述べることにする。

実 験 と 理 論

(1) ポット回転中の糸形

第2報で絹糸繰糸に始めて使用したポットシルク繰糸機のポット中に絹糸が巻き取られて行く糸形を理論的に求め、更にストロボスコープを使用して5,500r.p.m.のポット回転中の糸形を捉え比較したのであるが、ストロボスコープでは単に眼に映像として一時的に映すのみで、正しい比較が望めないで、瞬間撮影装置で紙上に写し出すことを試みた。第22図はその装置で、Pはポット、Cはアタッチメント装置を取り付けたカメラ、Dは

第22図



電極、Rは反射鏡である。電気振動式は次のようである。

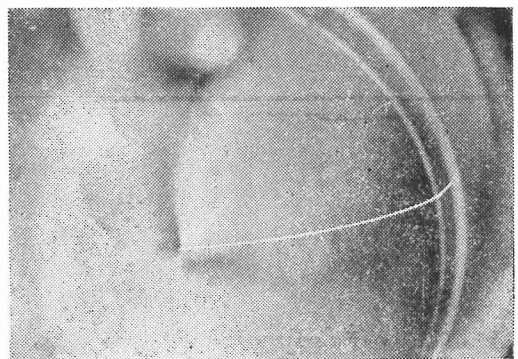
$$-L \frac{d^2 q}{dt^2} - \frac{q}{C} = R \frac{dq}{dt}$$

ここで q は電気量、 L はインダクタンス、 R は回路の抵抗、 C は電気容量を表す。そして $-L \frac{d^2 q}{dt^2}$ は誘起電動力、 $-\frac{q}{C}$ は起張力、 $R \frac{dq}{dt}$ は

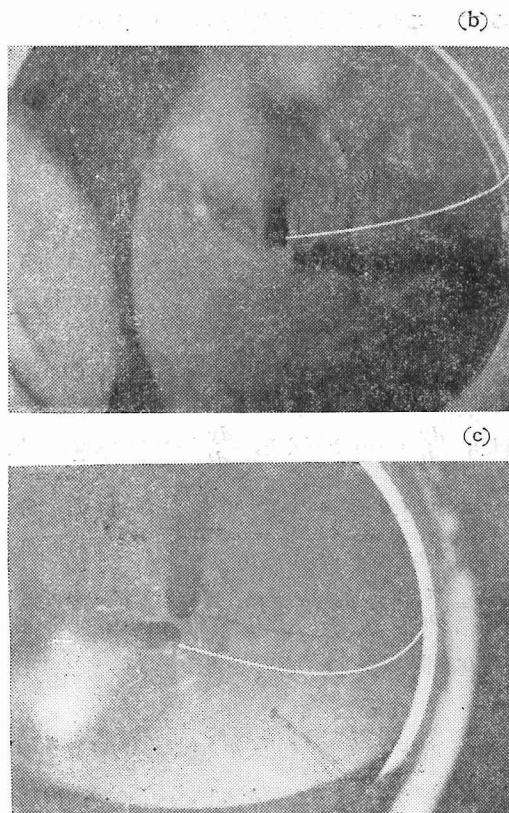
制動力を表している。そして放電回路が臨回非振動であるためには、 $R^2 - \frac{4L}{C} = 0$ でなくてはならない。発電はイムスハーストの起電機を使用した。第23図はこの装置によって撮影したもので、同図(a)はポット回転6,500 r.p.m.、繰糸速度208m/s、同図(b)はポット回転6,500 r.p.m.、繰糸速度110m/sの結果である。繰糸速度が大きい程、又回転速度が小さい程糸の曲率は激しく、反対に繰糸速度が小さい程、又回転速度が大きい程糸の曲率は小さく、直線に近づく。このことは理論的にも実際にも明瞭である。

第23図

(a)



* 信州大学繊維学部 機械工学研究室



又同図(c)はポットの上蓋(硝子製)を取り去って撮影したもので、空気の抵抗が大きく糸に作用し、そのため糸の曲率が前2者と比べ、非常に大きいことを示している。第2報で述べたように、ポット内が真空で、従って糸の形が空気抵抗に支配されないとする、糸の太さ若しくは質量に無関係に糸形が決定されるのである。実際はポット中の空気は略々ポット回転に近い角速度で回転すると考えられるが、厳密には上蓋の中心に直径5cmの孔があって外気に連絡されていることや、ポット周壁に水切の小孔があること等で、ポット内空気の運動はそう簡単ではない。(第2報第15図参照)。

第23図で右側に白い弧形が見えるが、之はポット内壁に既に巻き取られた糸の一部である。

実際の糸形(第23図)と理論的に求めた糸形(第2報第19図)とを比較して、大きな相違を認める点は、ポット内壁に糸が接触する所である。即ち理論式では糸が90度に近い急激な屈曲をなすのに対し、実際はもっと弛やかで滑らかな曲り方をしている。糸の曲げに対する抵抗が大きく作用する結果と思われるが、ポット内壁の空気層の様子も合せ考えねばならない問題である。本実験に

当っては、ポット内の空気の状態を何等かの方法で知り度かったのであるが、瞬間撮影が出来たので逆に実際の糸形を詳細に吟味することから、ポット内空気の状態を知り得るのである。この研究は後の機会に譲る。尙本実験装置で殊に意を注いだ点は、ポットの硝子製上蓋を徹してポット内の細い糸形を撮し出すことであって、第23図の反射鏡Rもその意味で瞬間閃光を糸上に集め、その照度を増すことに大いに役立っている。

(2) ポットシルク繰糸機による糸の動摩擦係数

ポットシルク繰糸機による生糸は、その繰糸張力の推移状況が、従来の繰糸機による繰糸張力と全然異なり、前者は、繰糸張力が殆ど零に近い点で巻き取られることを第2報で述べた。更に原繭質を損わぬ点も、その特質とされる所である。尙座繰糸機に於て、ケンネル緘掛部を有し燃無しであるのに対し、ポットシルク繰糸機にはケンネル装置が省略され、且つ、弱燃が施されている。又セリシン含有の点からも多少の相異が認められる。

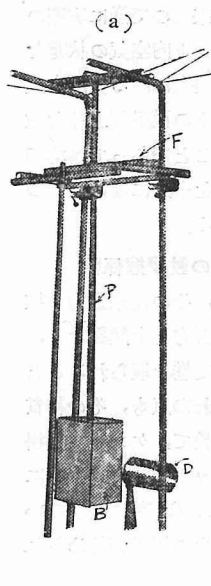
そこで両者の物理的性質や、化学的性質等も相当異っていることが想像される。そこで両者の物理的性質の一つである動摩擦係数が、どのようであるかを比較したので、その結果を次に記すことにする。

従来一般繊維の動摩擦係数の測定は、内外共に多くの実験がなされ、Krumme, Morrow, Sellars, Howell, Wood, 山本, 服部, 藤野の諸氏他がある。又その実験装置も、多種にわたり、精密な実験が行われている。生糸に就いての測定は、他繊維のものと比べ割合に少い。

筆者は新しい試みとして、振子による振動系に絹糸の固体摩擦装置を附属せしめて、振動の減衰状況から、動摩擦係数の測定を行った。

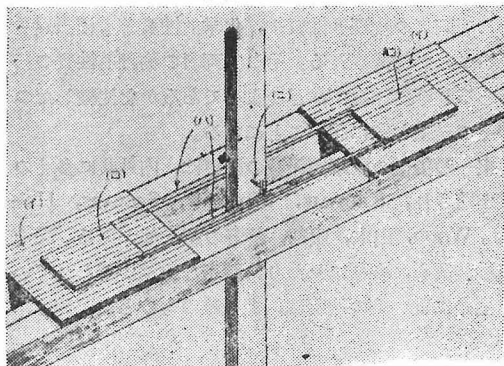
第24図(a)は以上の目的で組立てた装置の外観で、Pは振子、Bは2つの凸レンズを挿入し、先端に小孔のある集光筒を有する光源箱で、その中には振子に添うてさがって来たコードに連絡された電球と起振力を与える錘とがおさまられている。Dはドラムで、振動する光点の軌跡をこの上に貼られた印画紙上に記すようになっている。Fは糸の動固体摩擦を生ずる装置を載せるために水平に置かれた固定台枠で、その装置の細部は同図(b)のようである。固定台枠上には固定摩擦面と移動摩擦面とあり、図の(i)は $12 \times 8 \times 0.3$ mの銅板で製られた固定摩擦板で、(ii)は約 $4.8 \times 4.8 \times 0.2$ mのアルミニウム板で製られた移動摩擦板である。そしてその何れの板にも、摩

第24図



擦を測定しようとする線糸が、平行に同じ厚味で巻かれている。押引棒(イ)によって移動板(ロ)が固定板上を押されたり引かれたりするようにになっている。押引棒(イ)はゼンマイ用薄板で、両端に細針が出ていて、移動板(ロ)の端の穴にはまっている。又押引棒(イ)は振子の振動面に直角に振子に植えられた細針(ニ)で、振子の振動につれ、押したり引いたりする力を移動板(ロ)に伝達する。尚振子の各質点は刃稜(支点)に対し円弧状の運動をするために、振子に植えられた細針(ニ)と押引棒(イ)とは図のように点接触で力を伝え、多少の相互的

(b)



上下運動を自由にし、機構上から来る、摩擦、圧力変化を出来る丈小さくする様に工夫した。

さてかかる装置による振動の方程式は一般に次の式で与えられる。

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = -mgH\theta - \lambda \frac{d\theta}{dt} \mp Fr$$

$$\text{或は } \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{\lambda}{I} \frac{d\theta}{dt} + \frac{mgH}{I} \left(\theta \pm \frac{Fr}{mgH} \right) = 0 \dots (1)$$

こゝで θ は振子が静止の状態から測った或瞬間の振動角、 I はこの振動系の支点の廻りの二次能率、 H は支点からの重心距離、 λ は空気による回転抵抗に関係した常数、 t は時間、 F は両摩擦面間の動固体摩擦力、 r は支点から摩擦面までの鉛直距離、又(1)式中の重号は $\frac{d\theta}{dt} > 0$ の時正号を、 $\frac{d\theta}{dt} < 0$ の時負号を採るものとする。

さてこの式の減衰状態をドラムに巻いた印画紙に書か

せるのであるが、今振子の支点からドラム上の光点までの鉛直距離を l とし、 $l\theta = y$ と置くと(1)式は次のようになる。即ち

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{\lambda}{I} \frac{dy}{dt} + \frac{mgH}{I} \left(y \pm \frac{l}{mgH} Fr \right) = 0$$

$$\text{或は } \frac{d^2y}{dt^2} + 2\varepsilon \frac{dy}{dt} + n^2(y \pm \rho) = 0 \dots (2)$$

$$\text{但し } 2\varepsilon = \frac{\lambda}{I}, \quad n^2 = \frac{mgH}{I}, \quad \rho = \frac{lr}{mgH} F$$

又重号は前述と同様 $\frac{dy}{dt} > 0$ の時正号、 $\frac{dy}{dt} < 0$ の時負号を採るものとする。

(2)式の一般解を求め、且つ初条件 $t=0$ の時 $y=y_1$ 、(極大)、 $\frac{dy}{dt} = +0$ と置くと、 $\frac{dy}{dt} > 0$ の間では

$$y = +\rho + (y_1 - \rho) e^{-\varepsilon t} (\cos p_1 t + \frac{\varepsilon}{p_1} \sin p_1 t) \dots (3)$$

$$\text{こゝで } p_1 = \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}, \quad (n > \varepsilon)$$

$$\text{又 } t = \frac{\pi}{p_1} \text{ の時 } y = y_2 \text{ (極小)}, \quad \frac{dy}{dt} = -0 \text{ と置くと,}$$

$$\frac{dy}{dt} < 0 \text{ の間では}$$

$$y = -\rho - e^{\frac{\varepsilon \pi}{p_1}} (y_2 + \rho) e^{-\varepsilon t} (\cos p_1 t + \frac{\varepsilon}{p_1} \sin p_1 t) \dots (4)$$

(3)、(4)両式が最初の一往復を表し、以下の振動に就いても同様に求められる。そこで極大極小の符号を考慮して一般に次の関係式が導かれる。

$$|y_n| + \rho = (|y_{n-1}| - \rho) \frac{1}{v} \dots (5)$$

こゝで $v = e^{\frac{\varepsilon \pi}{p_1}}$ 、又 y_{n-1} 、 y_n は夫々最初の振幅から第 $(n-1)$ 番目及び n 番目の振幅を表す。

(5)式を更に実験に便利のように複振幅の式に書き直すと、

$$a_{n+1} + 2\rho = (a_n - 2\rho) \frac{1}{v}$$

$$\text{或は } a_n = v a_{n+1} + 2\rho(1+v) \dots (6)$$

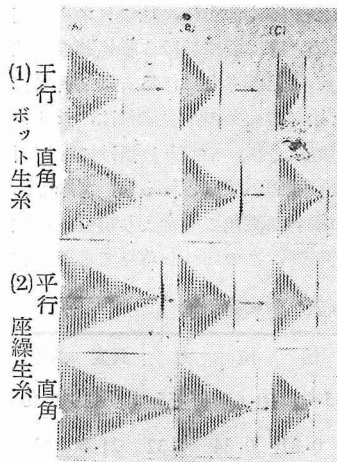
こゝで a_n 及び a_{n+1} は夫々最初の複振幅から第 n 番目及び第 $(n+1)$ 番目の複振幅の正值を表している。

(6)式を使用して実験から各 a_n 、 a_{n+1} を測定し、縦軸に a_n 、横軸に a_{n+1} をとってグラフを作ると、一つの直線が得られ、 v はこの直線の勾配から、又 $2\rho(1+v)$ は縦軸との交りから夫々が求まり、従って摩擦力 F が求まり、更に動摩擦係数が求まることになる。

そこで上述の実験装置と理論式とを使用して、ポットシルク線糸機及び一般型線機によって線糸された絹糸の

動摩擦を比較して見た。唯本実験に当って、先づ動摩擦係数は、温度、湿度、摩擦面積、摩擦速度、法圧、摩擦面を製作する糸の張力及び精練の方法、度合等種々条件に支配され、且つ之等条件から摩擦係数は広範囲に移動することが想像される。それで出来る丈同じ条件下で実験するよう心掛けた。摩擦面を作るのに、糸に一定の張力を与えながら板に巻き取るため、未精練の絹糸に対しては45g、精練の絹糸に対しては6.65gの錘を鉛直に吊りながら、検節器を使用して静かに板に巻き取るようにした。精練絹糸は、繊維が分離し毛羽が立っているため止むなく張力を小さくした。錘を吊った針金の摩擦を考慮すると、巻き取られる張力は夫々前者は約32g、後者は約4.8gに相当する。又検節器によると板42mmの幅に35条の糸が巻きとられ、之を30回重ね巻きして一つの摩擦面を作った。摩擦は糸の巻かれた厚さにも影響されることが考えられるので、固体、移動両摩擦面一様に30回の重ね巻きにして、糸の太さは何れも約40デニールとした。

第25図

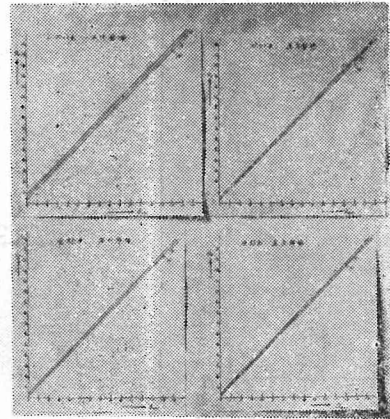


以上の装置で振子の振動状況をドラム上印画紙に印したのが第25図である。同図は何れも未精練絹糸（生糸）で、上の2行はポットシルク繰糸機による絹糸、下の2行は座繰機によるもの。両者共糸条の方向が平行と直角の場合を示している。尚各実験共法圧を3

様に変え、(A)列の法圧は35.00g、(B)列は60.65g、(C)列は85.55gである。この図から各複振幅を測り(6)式により a_n を縦軸、 a_{n+1} を横軸にしてグラフを作ると第26図の様である。各直線の名称(A)、(B)、(C)は夫々第25図のそれに相当する。同図の各直線は何れも横軸に約45度の勾配を持つことから、(6)式で $v=1$ となり、従って(6)式は $a_n = a_{n+1} + 4p$ で表されることを知る。 $v=1$ から $\varepsilon \rightarrow 0$ で振子の空気による抵抗が等調視出来る程度に小さいことが解る。之は別に固体摩擦面を取り除いて、振子の自由振動を行い、複振幅と減衰比 v との関係式

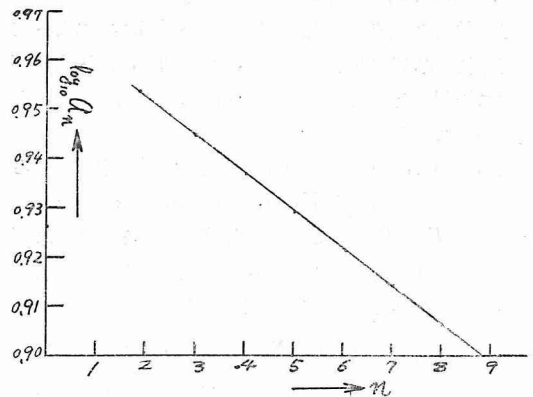
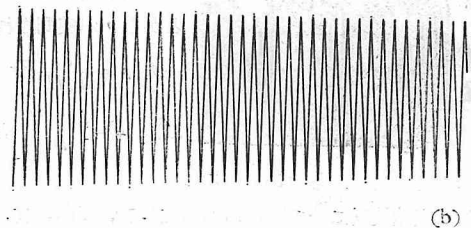
$$\log_{10} a_n = -m \log_{10} v \cdot n + (\log_{10} a_1 + m \log_{10} v)$$

第26図



を使用して v を正確に測定すると第27図のようである。但し上式中 m は振動数 m 回毎の測定を表し、 a_n は振動数 m 回毎の、第 n 番目の複振動の実測値である。

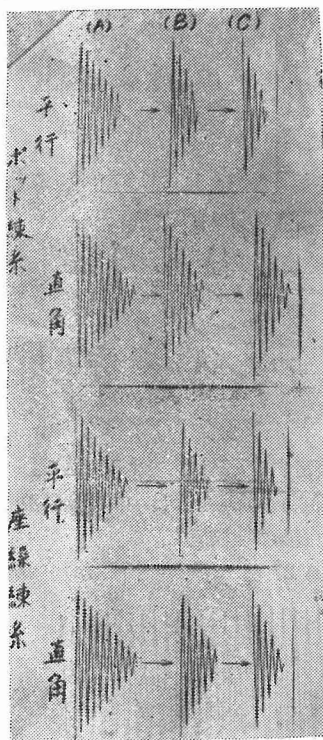
第27図



同図 (b) の直線の勾配から $v=1.0035$ が得られる。但し (b) 図では縦軸は横軸の100倍にとってある。

次にポットシルク繰糸機と座繰機とで繰糸された絹糸を石鹼法で精練（本練）を行って、前と同様な実験を繰返すと第28図が得られる。図の説明は第25図及び第26図の説明と全く同じである。

(a) 第 28 図



そこで (6) 式と第 26 図及び第 28 (b) 図とから ρ が実測され

$$\text{一方 } \rho = \frac{l}{mgH} Fr$$

$$\text{或は } F = \frac{\rho mgH}{lr} \text{ と}$$

から摩擦力が計算から求められる。

但し本実験装置に於ては、 $mg = 4762.5g$, $H = 116.2 \text{ cm}$, $l = 134.6 \text{ cm}$, $r = 30.34 \text{ cm}$ である。

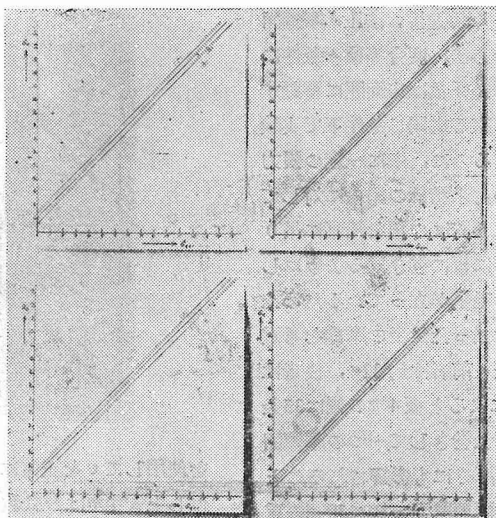
さて従来の動摩擦係数は AMONTONS' law によって決定され、摩擦力和法圧の比は、摩擦面積、法圧力及び速度に無関係と考えられていたが、繊維の摩擦力は、上述の法則に依らないことが明らかになった。絹糸以外の繊維に就いて、多くの理論式や実験式が導かれているが、今その一つである H. G. HOWELL は摩擦力と法圧との間に $F = aR^n$ なる関係式を導いている。こゝに F は摩擦力、 R は法圧、 a 及び n は常数である。そして仮に摩擦係数を摩擦力と法圧の比であると定義すれば、

$$\mu = \frac{F}{R} = \frac{a}{R^{1-n}} \text{ となり、摩擦係数は法圧の函数となる。}$$

一般摩擦力に就いての理論的研究は後に譲るとして、こゝでは動摩擦係数は、上述のように摩擦力と法圧の比と定義して、上の実験結果を表に纏めると第 6 表のようになる。

この表によると未精練絹糸に於ては、ポット繰糸機による絹糸と座繰機による絹糸とは、実験中温度、湿度の差は多少あるが、前者は後者に比べ動摩擦係数の値は相

(b)



当大きく現れ、絹糸の物理的性質の一つの差異が、はっきり窺える。しかし精練絹糸に於ては、両者間で動摩擦係数の差異は殆ど認められないが、その値は著しく増加している。又摩擦面間の糸条の方向が平行の場合は直角の場合と比べ、何れもその値はやはり大きく現れている。

以上を総合すると、摩擦両面間の繊維の接触状況に大きく左右されるように思われる。即ちポットシルク繰糸機により製造された絹

糸は、座繰機により製造された絹糸と比べ、繰糸張力が非常に小さい状態で繰糸される結果、繊維に或程度の縮みを持ち、セリシンも多少多く含まれ、且つケネル装置による抱合がないため、摩擦面に於ける繊維間の接触部分が大きくなっていることが考えられる。又精練された絹糸は未精練絹糸と比べ、一条の抱合繊維は、セリシンの除去により多条繊維に分れ、やはり見掛けの法圧面に対し、比較的大きな接触面が想像されるし、又摩擦両面の糸条方向が平行の場合は直角の場合より実質的接触面の大きいことが考えられ、この何れから見ても理論的

第 6 表 動摩擦係数

		摩擦面の糸の方向	法 圧 力			温度	関係
			35.00g	60.65g	85.55g	C°	湿度
未 精 練 糸 (生糸)	ポット糸	平行	0.31	0.34	0.32	21.3	73
		直角	0.21	0.20	0.20	23.0	69
	座繰糸	平行	0.18	0.19	0.20	24.0	65
		直角	0.15	0.17	0.16	24.0	65
精 練 糸 (本練)	ポット糸	平行	0.65	0.59	0.58	32.8	58
		直角	0.59	0.54	0.50	31.0	66
	座繰糸	平行	0.65	0.62	0.59	31.8	62
		直角	0.55	0.53	0.51	31.8	62

* 摩擦面を作る時の絹糸の張力は未精練絹糸に於ては 32g, 精練絹糸に於ては 4.8g である。

矛盾はない。次に法圧力の変化が動摩擦係数に如何様に影響するかであるが、本機の実験装置の感度の程度や、グラフの読取り方法の不備等から未精練絹糸の場合には、正確な判断は下せないが、動摩擦係数の比較的大きな精練絹糸の場合には、相当の確かさで、法圧の大きくなるにつれて、動摩擦係数の減少が判る。以上2つの結果は J. A. MORROW 等の主張する所にほぼ合致する。

結 論

ポットシルク繰糸機のポット内の絹糸の形と張力とを理論的に求め、一方瞬間撮影によって糸形を捉え、略々両者の一致することを知り得た。尚ポットシルク繰糸機が繰糸張力の点では、従来の繰糸方式と全く趣を異にし、遠心力でポット内壁に殆ど零に近い張力で巻き取られることは、絹質に相等の影響を及ぼすことが考えられる。先づその物理的性質の一つである動摩擦係数の比較を試み両者の間に判然とした相異を認めた。即ちポットシルク繰糸法による場合動摩擦係数は、座繰繰糸法にものより、かなり大きな値を示している。

この事実は、撚糸加工、織物加工等の後の加工の際注意すべき性質であり、加工機械も之に順応したものでなくてはならない。

ポットシルク繰糸法による絹糸の摩擦以外の物理的性質に就いては、その化学的性質と共に今後尚研究を続けねばならないが、一般絹糸の摩擦に関する法則の確立は、同時に大切なことである。

本研究に当り、本学部長伊藤先生初め各科の先生方の御援助と、東大工学部菅義夫教授の御指導、御支援を感謝し、併せて本学部昭和27年度紡織科卒業生田中、島羽両君の協力に対し、深甚の謝意を表する次第である。

（昭和26年9月 日本機械学会で一部発表）

（信州大学繊維学部実験室）

参 考 文 献

- 三浦義人(1950, 1951) 紡織界第41巻507pp, 第42巻11pp.
 東 昇(1931) 繊維工業学会誌第4巻第3号133pp.
 宮入武夫(1951) 信州大学工学部研究報告第1巻第1号11pp.
 荻原尊礼(1951) 振動測定36pp.
 桜田一郎(1938) 人絹界634pp.
 平田森三(1935) 東大物理学教室集録第2巻第6号
 G. HAMIEL (1933) Ingenieur-Archiv. IV
 藤井澄二外2名(1953) 繊維機械学会誌第6巻第9号29pp.

高木春郎(1953) 繊維学会誌第9巻288pp.

J. A. MORROW(1931) Journal of the Textile Institute T426.

J. B. SPEAKMAN(1931) 全上 T339.

H. NAVKAL(1930) 全上 T511.

窪田潤, 石川博(1952) 信州大学繊維学部研究報告第2号, 74pp.

柳沢延房(1952) 全上 80pp.

立石秋男(1952) 繊維機械学会誌第49号第5巻

成田時治(1952) 全上 第48号第5巻

K. R. SEN(1938) Journal of the Textile Institute T259

H. L. RÖDER(1953) 全上 T247

H. G. HOWELL(1953) 全上 vol. 44, No. 2

全上 (1953) Nature vol. 171; No. 4344

C. WOOD (1952) Journal of the Textile Institute T338

Summary

One of the striking differences between the usual reel machine and the most recent "Pot-silk Reeling Machine" is that the reeling in the former is done at maximum tension while the reeling in the latter is done at minimum tension. Therefore the former should be named the "Progression System" and the latter the "Reduction System" from the point of view of the reeling tension.

The shape and tension of a moving thread in the rotating pot of the "Pot-Silk Reeling Machine" had been solved by the differential equation, and this was already reported in Research Reports of the Faculty of Textile and Sericulture of Shinshu University, No. 2.

Now the shape of a moving thread in the rotating pot was taken by snap-shot and the thread shape solved by the mathematical equation was well ascertained to be coincident with the picture taken by snap-shot.

The dynamic frictions of the silk fibres reeled by the "Pot-Silk Reeling Machine" and by the usual reeling machine were found to be remarkably different by means of the author's newly devised apparatus, i. e. the dynamic friction of the former was much larger than that of the latter.

(Laboratory of Mechanical Engineering, the Faculty of Textile and Sericulture, Shinshu University.)