

## ミシン針温度に影響を及ぼす布の因子

川西 定子, 宮脇 知子  
(武庫川女子大学生活環境学部生活環境学科)

### Fabric Factors Affecting Needle Temperature

Sadako Kawanishi and Tomoko Miyawaki

*Department of Human Environmental Sciences  
School of Human Environmental Sciences  
Mukogawa Women's University, Nishinomiya 663, Japan*

In our previous paper, the needle temperature was theoretically derived as the equation. The unknown parameters of the equation,  $Q$ , heat flow into the needle and  $k$ , a constant relating to the coefficient of heat transfer, were determined to fit calculated values to the temperature curve of the needle obtained in the experiment.

This study has been carried out under the same method as the previous paper for as many as 27 kinds of fabrics. The discussion is held about the relation between fabric factors and  $Q$  and  $k$ . Consequently,  $Q/(mC_p)$ , temperature increase ( $m$  and  $C_p$  are mass and heat capacity per unit mass of the needle, respectively), increases with the increase in the values of weight, packing volume and shear stiffness of fabrics.  $k/k_c$ , heat transfer into the fabric ( $k_c$  is same definition as  $k$ , but it is measured by taking away fabric.), increases with the increase in the values of shear stiffness of woven fabrics, and the increase in the values of weight, tensile energy and thermal conduction of knitted fabrics.

The equilibrium temperature of the needle is estimated by the experimental equation using the values of fabric factors.

### 緒 言

ミシンの高速化に伴ってミシン針の温度が上昇し、可縫性上の問題となっている。この問題を解決するためにミシン針の温度に関しては種々の研究がなされている。ミシン針の温度は針と布との摩擦により発生した熱と針軸方向や縫製布、空气中へ放散される熱との釣合によって定まる。

筆者らは前報<sup>1)</sup>でミシン針温度が平衡に達する過程の温度変化を理論式で示した。式による計算値が実測した昇温曲線と一致するように式に含まれる発熱と放熱に関するパラメータを決めた。パラメータ

$Q$ ,  $k$  はミシンへ流入する正味の熱量, 放熱を記述する上で有効であることを検証した。

本報では多種の試料布を使用し, 前報<sup>1)</sup>と同じ方法で実験を行い, 前報<sup>1)</sup>の理論式を用いて, 同様に針の温度変化を解析した。得られたパラメータ  $Q$ ,  $k$  と布の物性の関係を考察し, 針温度に影響を与える物性について検討した。また, ミシン針の平衡温度を段階的残差回帰方式で予測する式を導いた。

### 実験方法

#### 1. ミシン針温度の測定方法

実験には前報<sup>1)</sup>と同じ工業用本縫いミシン

(391A:シンガー)および熱電対針(オルガン針)を使用した。針は、糸穴から約1mm上方の針溝部分に直径0.1mmのコンスタンタン線がスポット溶接されている<sup>2)</sup>。この針はJISB9062に準じている。前報<sup>1)</sup>では試料貫通針と対照針の2本の針で熱電対を形成したが、本実験では対照針は用いなかった。前報<sup>1)</sup>と同様に熱電対針をミシンの針棒に取り付け(前報<sup>1)</sup>図1), その出力を直流増幅器(三栄測器)で増幅後、一方はコンピュータに、他方はX-Yレコーダに記録した。

回転速度を一定に保つためにスピードコントロールモータ(日立製作所)を使用した。また、ミシン頭部をプラスチック製カバーで覆い、恒温恒湿室で実験を行った。

幅2.5cmの試料布1枚を糸を使用しないでたて糸方向に空縫いした。針温度の上昇過程を一定温度に達したとみなされるまで測定した。また、ミシン針温度が一定になった時点で試料を除いてミシンを駆動し続け、降温過程を測定した。縫製時のミシン

条件をTable 1に示す。

Table 1. Condition of Sewing Machine

sewing needle	DB×1, 14
radius of throat hole	2mm
pressor foot	Tefron pressor foot
sewing speed	700rpm

## 2. 試料布

実験に用いた織布15種、編布12種の構成因子をTable 2に示す。これらの試料の充填率PF、布1mm<sup>2</sup>当りの繊維の充填体積Vおよび引張仕事WT、曲げ剛性B、せん断剛性G、圧縮仕事WC、摩擦係数MIU、摩擦係数の平均偏差MMD、表面あらさSMD、熱伝導率K、熱伝導量KVの物性をKES法で測定した。

## 結果および考察

### 1. パラメータQ/(mCp), k/kcおよび平衡温度と試料物性の関係

測定した空縫い時の昇温曲線の例をFig.1に示す。

Table 2. Material and Structure Factor of Fabric Samples

Sample name	Material (%)	Weave	Density D		Thickness T (mm)	Weight W (g/m <sup>2</sup> )
			Warp	Weft		
			Wale	Course		
			(inch <sup>-1</sup> )			
NO1	Cotton 100	Plain weave	133	67	0.31	124.6
NO2	Cotton 100	Satin weave	129	106	0.38	116.2
NO3	Cotton 100	Twill weave	55	42	0.97	388.4
NO4	Cotton 70 Acrylic 30	Twill weave	66	57	0.65	155.9
NO5	Wool 100	Plain weave	81	59	0.34	111.9
NO6	Wool 100	Twill weave	106	74	0.71	282.9
NO7	Wool 100	Twill weave	59	49	1.10	283.4
NO8	Wool 100	Plain weave	36	30	1.57	456.1
NO9	Hemp 100	Plain weave	78	59	0.23	121.9
NO10	Polyester 100	Plain weave	128	76	0.09	48.8
NO11	Polyester 100	Derivative weave	183	107	0.40	173.8
NO12	Polyester 100	Twill weave	102	81	0.48	203.9
NO13	Polyester 100	Derivative weave	158	79	0.50	192.8
NO14	Nylon 100	Plain weave	148	86	0.11	64.3
NO15	Acrylic 100	Plain weave	101	71	0.38	103.8
NO16	Cotton 100	Plain Stitch	44	43	0.58	123.7
NO17	Cotton 100	Interlock Stitch	41	37	0.93	193.3
NO18	Cotton 92 Polyurethane 8	Rib stitch	61	49	1.57	376.3
NO19	Cotton 60 Polyester 40	Plain Stitch	39	42	0.60	154.9
NO20	Wool 100	Interlock Stitch	43	39	0.86	243.8
NO21	Wool 100	Interlock Stitch	46	43	0.89	278.2
NO22	Polyester 100	Ponti de roma	40	52	0.84	230.6
NO23	Polyester 100	Miano rib	31	30	1.03	221.4
NO24	Polyester 100	Ponti de roma	30	28	1.10	200.4
NO25	Acrylic 90 Wool 10	Ponti de roma	33	40	1.22	251.0
NO26	Acrylic 80 Wool 20	Interlock Stitch	32	27	0.89	194.4
NO27	Acrylic 70 Wool 30	Interlock Stitch	34	29	0.65	216.9

前報<sup>1)</sup>と同様に、提示した理論式を用いて、式による計算値が Fig.1 の実測値とできるだけ一致するようにカーブフィッティングを行い、式が含んでいる発熱と放熱に関する定数 Q と k を決めた。

前報<sup>1)</sup>の理論式は次のように導かれている。

$$T - T_r = Q / (mCp\lambda) \{1 - \exp(-kt)\} \quad \dots (1)$$

ここで、 T(°C):ミシン針の温度

Tr(°C):室温

Q(J):1 サイクル当たりのミシン針に  
流入する熱量

m(g):ミシン針の質量

Cp(Jg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>):ミシン針の比熱

λ(sec):1 サイクルの周期

t(sec):縫製時間

k=σ/(mCp) とおく

σ(Js<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>):針の見かけの放熱係数

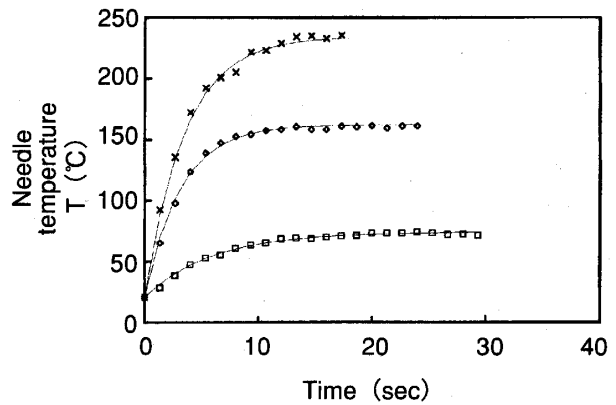


Fig.1. Needle temperature, T-time curves

×, ◇, □; measured needle temperature of samples, NO22, NO3 and NO14, respectively  
solid line; calculated needle temperature

Table 3. Correlation Coefficients between Temperature Increase, Q/(mCp), k/kc (k and kc; Constant Relating to the Coefficient of Heat Transfer) Equilibrium Temperature, Te (cal.) and Fabric Factors

	woven fabric			knitted fabric		
	Q/(mCp)	k/kc	Te(cal.)	Q/(mCp)	k/kc	Te(cal.)
Density D	-0.004	* -0.613	0.248	* 0.609	0.547	0.486
Thickness T	* 0.524	0.497	0.375	* 0.610	0.459	* 0.583
Weight W	** 0.698	0.471	* 0.554	** 0.751	* 0.640	* 0.680
Packing factor PF	-0.124	-0.447	-0.024	0.129	0.155	0.119
Packing volume V	** 0.657	0.463	* 0.524	* 0.685	0.549	* 0.659
Tensile energy WT	0.004	0.075	-0.026	0.549	** 0.727	0.379
Bending rigidity B	** 0.645	* 0.550	0.430	0.531	0.311	0.494
Shear stiffness G	* 0.605	* 0.525	0.394	** 0.787	0.259	** 0.820
Compressional energy WC	0.399	0.229	0.344	0.038	0.128	0.004
Friction coefficient MIU	0.399	-0.346	* 0.588	-0.166	-0.155	-0.187
Roughness SMD	-0.285	0.312	-0.364	0.423	0.017	0.478
Thermal conductivity K	0.200	-0.120	0.226	0.471	0.549	0.330
Thermal conduction quantity KV	0.510	0.254	0.440	** 0.770	** 0.717	* 0.672
Q/(mCp)	1.000	0.349	** 0.949	1.000	* 0.648	** 0.971
k/kc		1.000	0.072		1.000	0.472
k		** 0.891	0.405		** 0.954	0.494

(1)式で $t=\infty$ とおくことによって, 平衡温度  $T_e$  は (2)式のように表わされる.

$$T_e = Q/m(Cp k \lambda) + T_r \quad \dots (2)$$

求めたパラメータ  $Q, k$  を (1)式に代入して計算した結果を Fig.1 に実線で示す. 前報りで述べたように針温度の実測値と計算値はよく一致する.

試料を除去し, 熱の流入を伴わない冷却過程の時間  $t$  におけるミシン針温度  $T$  は (3)式で示される.

$$T - T_r = (T_n - T_r) \exp(-kct) \quad \dots (3)$$

ここで  $T_n$ : 初期温度  
 $kc$  は (1)式の  $k$  に相当する.

流入熱による温度上昇  $Q/(mCp)$ , 冷却に関する定数の比  $k/kc$ , (2)式を用いて求めた平衡温度  $T_e$  (cal.) と, 試料物性との相関分析を行った結果を Table 3 に示す. 平衡温度  $T_e$  (cal.) はミシン針が上昇して一定になったとみなした平衡温度の実測値と良好な一致を示した. 織布, 編布はそれぞれのグループに分けて検討する.

温度上昇  $Q/(mCp)$  は織布および編布いずれにおいても試料の重さ  $W$ , 繊維の充填体積  $V$ , せん断剛性  $G$  との間に正の相関の傾向がみられる. その例を Fig.2 に重さ  $W$  と  $Q/(mCp)$  との関係を示す. 重さが大きい試料ほど温度上昇が高く, 布の重さの分布が小さい編布の相関性が織布の場合より良好である. 重さや繊維の充填体積, またせん断剛性の大きい試料ではミシン針が布を貫通する時の摩擦が増大して大きな熱が発生し, ミシン針への熱の流入による温度上昇を高める要因となる.

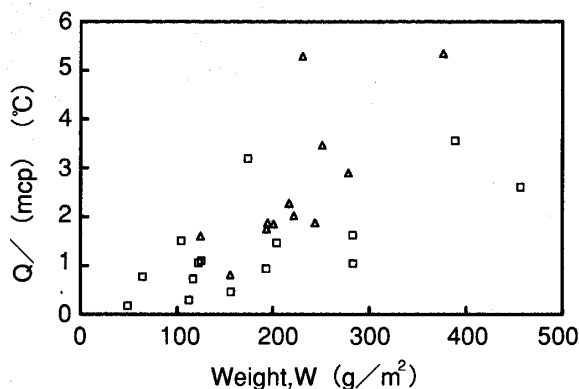


Fig. 2. Relationship between temperature increase,  $Q/(mCp)$  and weight,  $W$   
 □;woven fabric, △;knitted fabric

空縫いによりミシン針の温度が上昇し一定になった時点で試料布を除いた状態でミシンを駆動した冷

却過程から求めた放熱に関する定数  $kc$  を Fig.3(a) に示す. この過程では針から空気中や針軸方向に熱が放散される. 試料布が除かれているために  $kc$  の変動が小さく, その値は近似する. 織布の僅かの試料を除いて  $kc$  は 0.165~0.185 の範囲にある. 初期温度(平衡温度)の低い試料の  $kc$  が減少している. つまり, 冷却過程の初期温度が 70℃ より高く, 針の太さ(14号), ミシン針の運動速度(700rpm)が等しい場合,  $kc$  は 0.02 の変動範囲で近似する.

試料布を空縫いしたときの放熱に関する定数  $k$  を Fig.3(a) に示す. 織布の  $k$  は 0.16~0.29, 編布では 0.21~0.34 で編布の方が大きい, 分布範囲は 0.13 で両者は等しい.  $kc$  に比較して試料による  $k$  の変動が大きい.

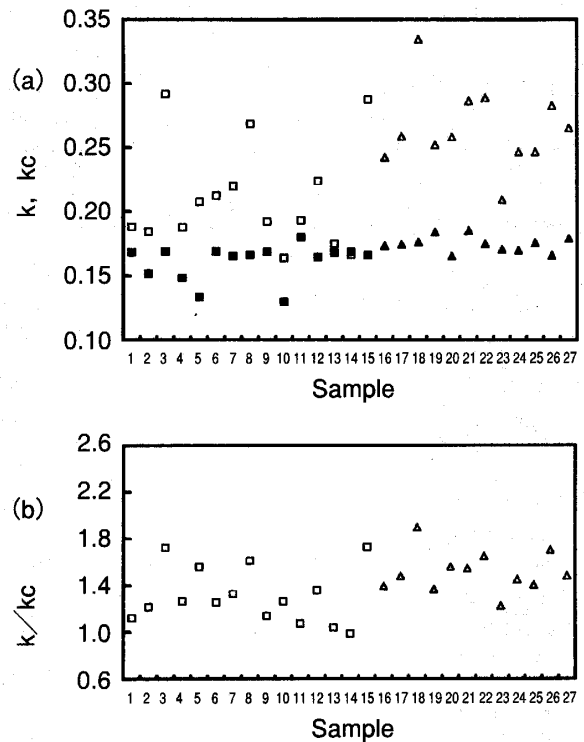


Fig. 3. (a) Constant relating to the coefficient of heat transfer,  $k$  and  $kc$  of sample. sample is taken away for  $kc$ .  
 (b)  $k/kc$  of sample  
 ■; $kc$  of woven fabric, ▲; $kc$  of knitted fabric  
 □;woven fabric, △;knitted fabric

布への放熱を検討するために  $k/kc$  を Fig.3(b) に示す.  $k/kc$  は 1 より大きく, ミシン針から試料布へ放熱が生じていることを示す.  $k/kc$  は試料布によって変動し, 放熱には布の物性が影響を及ぼすこ

とを示唆している。試料による  $kc$  が近似する結果  $k/kc$  は  $k$  に依存する。織布の  $k/kc$  は 1.0~1.7、編布は 1.2~1.9 の範囲にあり、編布への放熱が織布に対するより大きい。

Table 3 より  $k/kc$  は織布ではせん断剛性  $G$  と正の相関を示す。せん断剛性が大きく、せん断変形が生じにくい試料では、ミシン針の貫通時に針の周囲に構成糸が密着する、さらに針軸方向への変形も生じ<sup>3)</sup> 針と構成糸との接触面積が増すために、針から試料への放熱が高まると考えられる。せん断剛性は発熱と放熱の両者に関与する。すなわち、針貫通時、摩擦抵抗が大きな試料では、ミシン針と構成糸との接触面積が増して発熱と放熱が向上する。

編布では  $k/kc$  は引張仕事  $WT$  および熱伝導量  $KV$  との間に比較的良好な相関性がみられる。また重さ  $W$  との間にも相関の傾向がある。引張仕事が大きい編布は伸び易く、ミシン針が布に侵入している過程では、布が針軸方向にも変形を生じているために、針と試料との接触面積や接触時間が大きく放熱が増すと推測される。編布の放熱には熱特性が影響を及ぼす。熱伝導量  $KV$  の大きな試料では針から試料への熱放散が大きいことは十分理解される。また、重さ  $W$  の大きい試料でも針と試料布との接触面積が増して針から試料への放熱が増加する。

温度上昇  $Q/(mCp)$  と放熱に関する定数  $k$  と平衡温度  $Te(cal.)$  の関係を Fig.4 に示す。(2)式は、温度上昇  $Q/(mCp)$  が大きく、放熱に関する定数  $k$  が小さいもの程平衡温度  $Te$  が高いことを意味している。しかし、Fig.4 より温度上昇  $Q/(mCp)$  の大きい試料では放熱に関する定数  $k$  が大きい傾向にあり、これらの試料は高い平衡温度を示す。この事は、熱の発生が放熱より平衡温度に大きく寄与することを示している。先に示した Table 3 より平衡温度  $Te$  と  $Q/(mCp)$  との相関性が非常に高くなっている。Fig.4 より編布の  $Q/(mCp)$ 、 $k$  は織布より大きい試料が多く、その結果、編布の平衡温度は織布より高い試料が多い。

個々の試料について検討する。Fig.4(a)より織布のグループで NO3 と NO11 の温度上昇  $Q/(mCp)$  はいずれも大きく近似するが、放熱に関する定数  $k$  が NO3 に比較して NO11 は非常に小さいことに起因して、NO11 の平衡温度  $Te$  が高い。試料への放熱を示している  $k/kc$  は NO3( $k/kc$ ;1.73) より NO11( $k/kc$ ;1.07) が小さく、NO11 では布への放熱が非常に低下する。綿試料 NO3( $G$ ;9.88) に比較し

て、ポリエステル試料 NO11( $G$ ;0.31) はせん断剛性  $G$  が小さいために、ミシン針から試料布への放熱が減少して、平衡温度が上昇する。

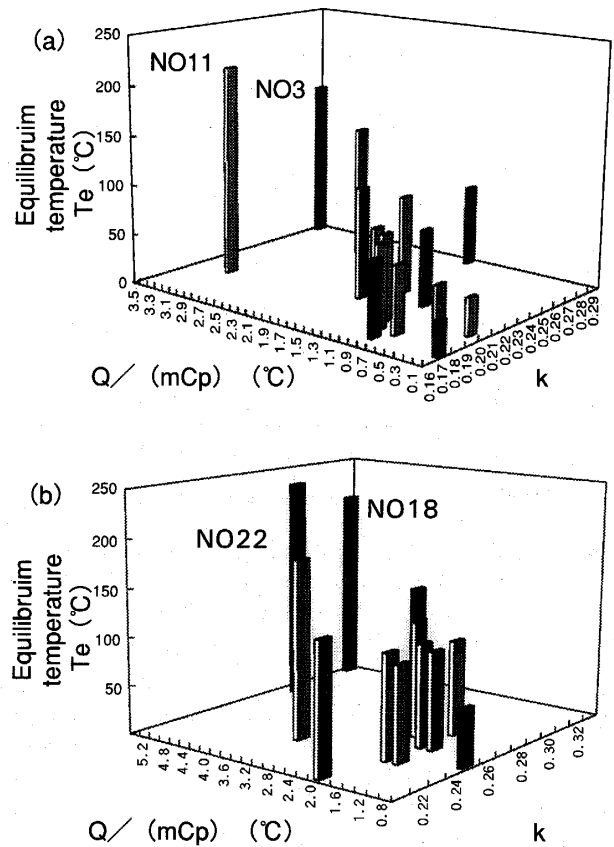


Fig. 4. Relationship between temperature increase,  $Q/(mCp)$ , constant relating to the coefficient of heat transfer,  $k$  and equilibrium temperature of needle,  $Te(cal.)$  (a)woven fabric, (b)knitted fabric

編布のグループ(Fig.4(b))では NO18 と NO22 は温度上昇  $Q/(mCp)$  が高く、その値がほぼ等しい。放熱に関する定数  $k$  は NO22 が NO18 に比べて小さい結果 NO22 の平衡温度は NO18 より高い。NO22 の  $k/kc$ ( $k/kc$ ;1.65) が NO18( $k/kc$ ;1.90) より小さい。この場合もポリエステル試料 NO22 の重さ  $W$ (Table 2), 引張仕事  $WT$ ( $WT$ ;23.78), 熱伝導量  $KV$ ( $KV$ ;0.84) が綿・ポリウレタン混紡試料(C:U;92:8%) NO18( $WT$ ;132.95,  $KV$ ;1.70) より低いために、ミシン針から試料布への放熱が小さいことに起因する。熱の流入が近似する試料では平衡温度は試料布の放熱に起因していることが分かる。

## 2. 試料物性による平衡温度の予測

ミシン針の平衡温度  $Te$  を試料の物性から予測することを試みた。針の平衡温度(実測値)を 100 で除

した値を目的変数に, 先述の試料物性, すなわち厚さ  $T$ , 重さ  $W$ , 充填体積  $V$ , 引張仕事  $WT$ , 曲げ剛性  $B$ , せん断剛性  $G$ , 圧縮仕事  $WC$ , 摩擦係数  $MIU$ , 表面あらさ  $SMD$ , 熱伝導量  $KV$  の 10 物性を説明変数にして, 段階的残差回帰分析<sup>4)</sup>を行っ

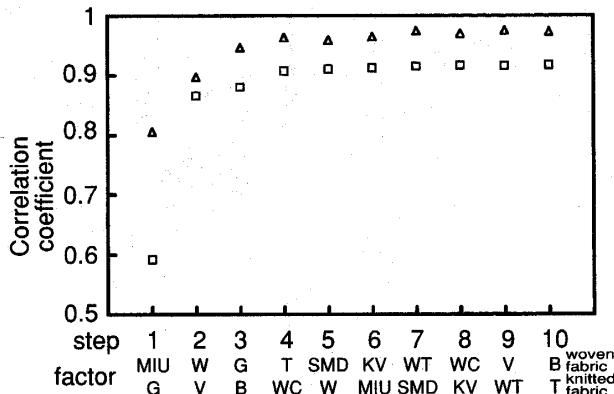


Fig. 5. Correlation coefficients between measured equilibrium temperature and calculated that of needle on each step  
□;woven fabric, △;knitted fabric

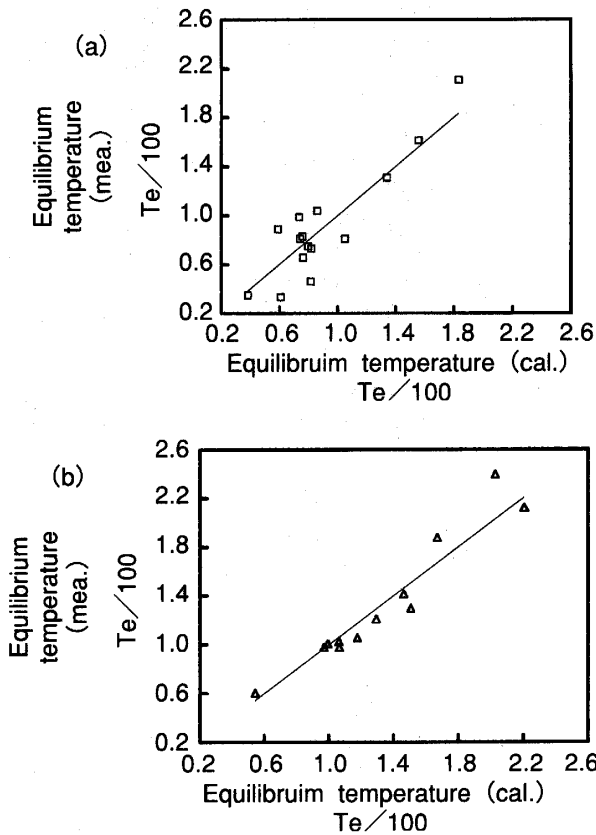


Fig. 6. Relationship between measured equilibrium temperature and calculated that of needle (a)woven fabric, (b)knitted fabric

た. 物性値は織布, 編布の各々のグループの平均値と標準偏差で規格化したものを用いた.

段階的残差回帰方式は次のように説明される.

1) 目的変数  $y$  と各物性との相関分析を行い最も相関の高い物性を第 1 因子  $x_1$  に選び, 回帰式  $\hat{y}=c_1x_1+\hat{c}_0$  を決定する.

2) 次に, 全ての試料について  $\hat{y}$  を計算し,  $y$  との残差  $e=y-\hat{y}$  を求める.  $e$  と残る各物性の相関の最も高いものを第 2 因子  $x_2$  とし, 回帰式  $\hat{e}=c_2x_2+\hat{c}_0$  を求める. こうして  $y=\hat{y}+\hat{e}=c_1x_1+\hat{c}_0+c_2x_2+\hat{c}_0$  を得る.

3) 同様に残差  $e-\hat{e}$  と最も相関の高い物性を第 3 因子に選び回帰式を求める.

このようにして段階的に回帰が続けられ, 残差は 0 に近づく.

各段階において採用された物性を用いて求めた回帰式による平衡温度と実測値との相関係数を Fig.5 に示す. 横軸には各段階で決定された因子を示す. 相関係数は説明変数の因子が増すに従って向上し飽和域に達してくる. Fig.5 より飽和域に達したと考えられる段階 5 までを平衡温度の予測式とした.

織布では摩擦係数  $MIU$ , 重さ  $W$ , せん断剛性  $G$ , 厚さ  $T$ , 表面粗さ  $SMD$  を用いて平衡温度の回帰式は(4)式のように導かれる.

$$\begin{aligned} Te/100 = & 0.27 \cdot MIU + 0.29 \cdot W \\ & + 0.08 \cdot G - 0.08 \cdot T \\ & - 0.06 \cdot SMD + 0.91 \end{aligned} \quad \dots (4)$$

(4)式を用いた計算値と実測値を Fig.6(a)に示す. 両者の間には高い相関係数(0.911)が得られ, 平衡温度を予測できる妥当な式であるといえる.

式の係数は, 平衡温度に影響を及ぼす物性の度合を示している. 織布の平衡温度には重さ  $W$  と摩擦係数  $MIU$  が大きく寄与する. ミシン針の平衡温度には, 放熱に関する定数  $k$  より温度上昇  $Q/(mCp)$  の影響の方が大きいことを先に述べた. 試料布の摩擦係数  $MIU$  は, ミシン針が布を貫通する時の貫通力に関係し, 摩擦係数の大きな試料では針が布になす仕事が増加して熱の発生が増し, 針の温度上昇が高まる. すなわち摩擦係数は発熱に関係すると考えられる. また, 布の重さ  $W$  は先述のように  $Q/(mCp)$  に影響を及ぼした. これらの 2 物性が平衡温度に大きく寄与し, 段階 2 までの回帰式でも高い相関性を示している. 次いで同様に温度上昇  $Q/(mCp)$  と相関性が見られたせん断剛性  $G$  が発熱に影響を与えて平衡温度に影響を及ぼすが, その度

合は小さい。

編布についても同様に段階5までの回帰式を平衡温度の予測に用いた。結果を次に示す。

$$\begin{aligned} Te/100 = & 0.41 \cdot G + 0.19 \cdot V \\ & - 0.15 \cdot B + 0.08 \cdot WC \\ & + 0.06 \cdot W + 1.33 \end{aligned} \quad \dots(5)$$

(5)式には、せん断剛性  $G$ 、繊維の充填体積  $V$ 、曲げ剛性  $B$ 、圧縮仕事  $WC$  および重さ  $W$  が用いられている。式を用いた平衡温度の計算値と測定値の結果を Fig.6(b) に示す。両者の相関係数は 0.960 で織布より高く、相関性が優れ、平衡温度を予測する式として有効である。

せん断剛性  $G$  は先述のように  $Q/(mCp)$  との相関が大きく、温度上昇に大きく影響を及ぼすために平衡温度への寄与の度合が向上したと考えられる。次に、繊維の充填体積の寄与が続くが、せん断剛性と同様に  $Q/(mCp)$  に影響を与えるために、平衡温度への寄与が表れたと考えられる。編布では段階1の回帰式の結果と実測値との相関係数が高く、1物性を用いて平衡温度を予測することも可能である。

以上のように織布、編布いずれにおいても、式において平衡温度に寄与する度合の比較的大きな因子は、(1)式のパラメータ  $Q/(mCp)$  に影響を与える物性から説明することができる。

## まとめ

前報<sup>1)</sup>と同じ方法で空縫い時のミシン針の温度をミシン針にコンスタンタン線を溶接した熱電対針を用いて測定した。ミシン針の温度変化は前報<sup>1)</sup>で示した理論式を用いて計算し、実測値と一致するようにカーブフィッティングを行い、式に含まれているパラメータ  $Q$ 、 $k$  を決めた。

本研究では27種の織布と編布を用い、温度上昇  $Q/(mCp)$ 、布への放熱に関する係数  $k/kc$  と布の因子との関係について検討した。

その結果、温度上昇  $Q/(mCp)$  は試料布の重さ、繊維の充填体積、せん断剛性の影響を受ける傾向にある。布への放熱  $k/kc$  は、織布ではせん断剛性に、編布では重さ、引張仕事、熱伝導量に影響される。温度上昇  $Q/(mCp)$  の大きな試料は放熱に関する係数  $k$  が大きく、平衡温度が高い傾向を示す。

ミシン針の平衡温度を布の因子を用いて、段階的残差回帰方式により、織布では(4)式、編布では(5)式の実験式で示した。式を用いた計算値と実測値は良好な一致を示し、ミシン針の平衡温度を予測する

妥当な式であると言える。式において平衡温度に寄与する度合の比較的大きな因子は、理論式のパラメータ  $Q/(mCp)$  に影響を与える布の因子から説明することができる。

## 参考文献

- 1) 川西定子, 天野敏彦, 弓削治, 堀野恒雄; 織消誌, **33**, 206-213(1992)
- 2) 堀野恒雄, 川西定子; 織機誌, **32**, T89-T95(1979)
- 3) 川西定子, 濱田由香; 武庫川女子大学紀要自然科学編, **42**, 9-16(1994)
- 4) 川端季雄; 風合い評価の標準化と解析, 日本繊維機械学会, 第2版, PP.66-77(1980)