

## 被服材料の保温性の研究

### その2 絹繊維とテトロン繊維の保温性と測定条件との関係について

若山 初子 寺岡 宏

被服材料の保温性は、その測定方法によって異なった結果を生ずることは周知の事実である。以上の観点から前報<sup>(1)</sup>では保温性測定のための方法を研究し、2~3の実験方法のうち最も適切だと思われる実験条件を明らかにした。すなわち電子温度計感温部を、先に穴のあいたガラス管の中に固定させ、そのガラス管を更にガラス容器に入れ、その間に繊維を充填させ冷却法の原理を用いて測定する方法が最も適切であることを見出した。この方法を用いて、日常使用される12種の繊維について保温性の比較を行なった。また温度変化曲線を用いて熱貫流係数を計算し、絹繊維とテトロン繊維の性質の違いを解明した。以上の実験結果を考察し、保温性が測定の温度差によって、絹繊維とテトロン繊維について異なった変化の様式をとることが推察された。この点を明らかにするため、本実験では更に絹繊維とテトロン繊維において、測定の温度差と、材料の使用量を変えた場合の保温率を求めた。その結果を用いて各繊維の性質を解明することを試みた。また使用繊維の重量ならびに、温度差を変化させたときの熱の移動速度を推測するため、温度変化曲線のカーブの変化を比較した。

被服材料として用いられる繊維類は、熱伝導の小さいものが保温性に優れていることは周知の通りであるが、本実験において同一繊維であっても測定条件の如何によって、かなり異なる保温率を示すことが実証でき、また実験系内部における繊維と空気との共存する割合が、繊維の示す保温性に变化をおよぼす、一つの要因として作用することが推察された。

実際問題として、繊維を織物または編物として着用する場合において、その繊維の物理的性質に加えて、織物組織の作り方や、着装方法が保温性を大きく支配するが、本実験においては単繊維の性質を解明することにより、上記の問題を明らかにしていくための基礎的なデータを得ることを目的とした。

### 材料と方法

**材料：**本実験で用いた繊維は絹とテトロンでこれは前報(1)において使用されたものと同材料である。実験目的に応じて1gまたは3gを用いた。

**方法：**

#### 実験1 保温率の測定

被服の保温性を表わすには、現在のJISでは恒温法と冷却法があるが、本実験においては冷却法を用いた。冷却法による保温率の測定には、裸の放熱体と保温した放熱体との冷却時間の比、あるいは冷却温度差の比としてあらわしている。すなわち時間を変数とした場合の冷却法は次式によって計算される。

$$\text{保温率(\%)} = [(b/a) - 1] \times 100$$

- a: 熱原体の裸状態における一定温度から所定温度までの冷却に要する時間
- b: 熱原体に試料をつけたときの一定温度から所定温度までの冷却に要する時間

本実験での使用器具および実験方法の細則は、前報(1)の実験4と同様であるが、測定範囲 $-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$ の5段切替の $0.1^{\circ}\text{C}$ 目盛りの電子温度計を用いた点が、前報の方法と異なる。

恒温水槽(A)は $30^{\circ}\text{C}$ に調節し、恒温水槽(B)は $20^{\circ}\text{C}$ 、 $15^{\circ}\text{C}$ 、 $10^{\circ}\text{C}$ 、 $5^{\circ}\text{C}$ 、 $0^{\circ}\text{C}$ の5通りに調

節した。30°Cに平衡化させた容器を恒温水槽(B)に移し、29°Cから1°Cずつ降下するに要する時間を測定した。

以上の実験において測定は3回くり返し、その平均値を保温率の計算に用いた。

**実験2 熱の伝導様式について**

高温状態から低温の恒温水槽(B)中に容器を入れると、系中心部にある電子温度計感温部での温度変化は、図1のような模式的な変化を示す。すなわち感温部が存在する中心部において熱移動が開始するには、B槽に移転後数秒間の時間の経過が必要である。図1に示されたxの値は、材料の種類や使用g数、また実験系の状態によって変化することが予想されるので、記録用紙上のxの長さをmm単位で測定した。

次に記録用紙上に描かれた曲線上の接線角度を測定した。角度の測定方法は図1に示された曲線上のA点、B点、C点における接線がx軸となす角度を測定し、これをa, b, cとした。

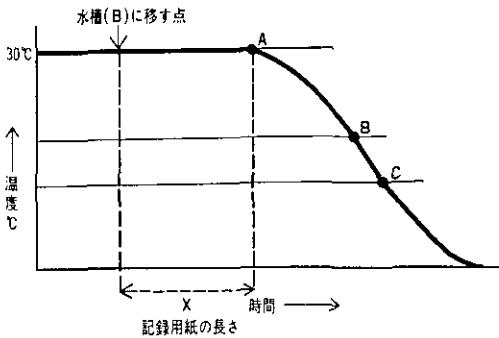


図1 水槽(B)に移してからの電子温度計の示す温度変化曲線

- x: B槽に入れた後温度の変化がはじまるまでの距離(mm)
- A点: 温度変化をはじめた直後の温度変化曲線の点
- B点: 30°Cの線から2cm降下した曲線上の点
- C点: 30°Cの線から3cm降下した曲線上の点

以上の測定をコントロールと繊維を充填した場合の実験についておこなった。コントロールにおけるA, B, C点の角度をa, b, cとし、繊維を充填した場合における角度をa', b', c'とした。

以上の値を用いて次の式の計算を行なった。

$$a = \frac{(a-a')}{a} \times 100 \quad \beta = \frac{(b-b')}{b} \times 100 \quad \gamma = \frac{(c-c')}{c} \times 100$$

**結 果**

**1. 保温率の測定**

実験1の方法にしたがって絹繊維およびテトロン繊維の保温率の測定を行なった。測定条件としては材料1gおよび3gを用い、温度差としては10°C差、15°C差、20°C差、25°C差、30°C差の条件を用いた。なお測定は29°Cから所定の温度まで降下するのに要した時間を求めた。主要な実験の結果を表1に示す。

表1 A槽(30°C)からB槽に移したときの29.0°Cから28°C, 25°C, 20°C, 15°C, 5°Cまでに温度が降下するのに要した時間 単位: 秒

		A 使用材料 1g の場合					
	B槽温度 °C	降下所要時間を測定した温度 (°C)					
		28	25	20	15	10	5
コントロール	20	24	112	-	-	-	-
	15	20	70	218	-	-	-
	10	15	53	132	301	-	-
	5	13	43	99	181	415	-
	0	11	35	78	132	226	506
絹	20	30	143	-	-	-	-
	15	25	90	296	-	-	-
	10	18	65	174	421	-	-
	5	15	54	132	262	720	-
	0	13	46	104	188	353	958
テトロン	20	34	155	-	-	-	-
	15	26	99	321	-	-	-
	10	21	74	192	450	-	-
	5	18	62	143	272	664	-
	0	15	50	114	198	355	887
		B 使用材料 3g の場合					
	B槽温度 °C	降下所要時間を測定した温度 (°C)					
		28	25	20	15	10	5
絹	20	37	187	-	-	-	-
	15	26	107	380	-	-	-
	10	21	77	202	527	-	-
	5	19	67	157	305	741	-
	0	17	59	132	231	418	-
テトロン	20	38	179	-	-	-	-
	15	28	107	340	-	-	-
	10	21	77	196	450	-	-
	5	19	66	151	282	618	-
	0	17	57	122	208	358	-

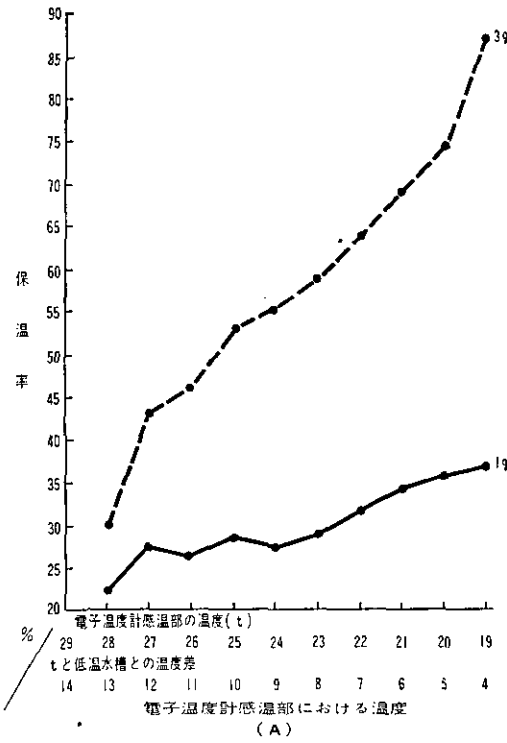


図2(A) B槽温度15°Cの場合の絹繊維1g, および3gの保温率

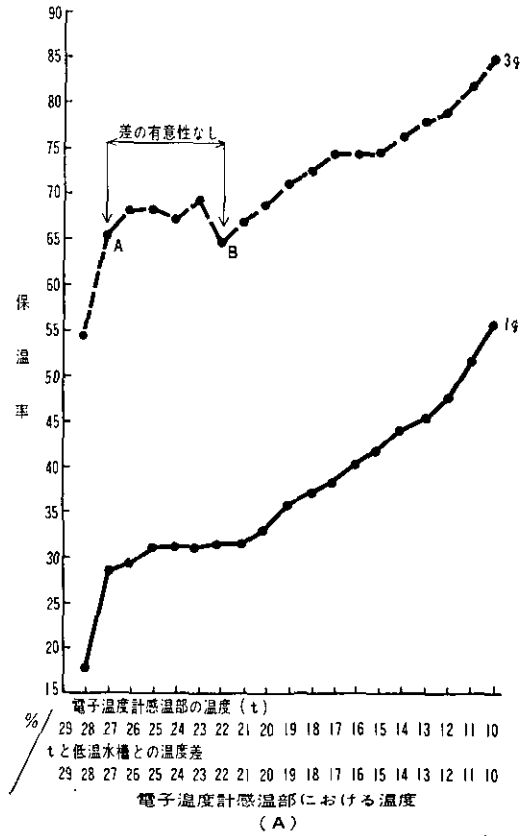


図3(A) B槽温度0°Cの場合の絹繊維1g, および3gの保温率

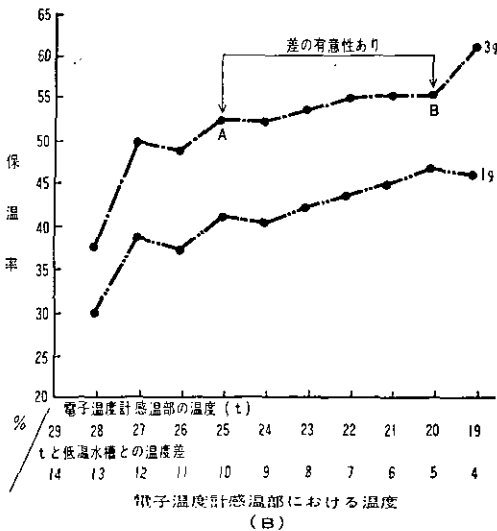


図2(B) B槽温度15°Cの場合のテトロン繊維1g, および3gの保温率

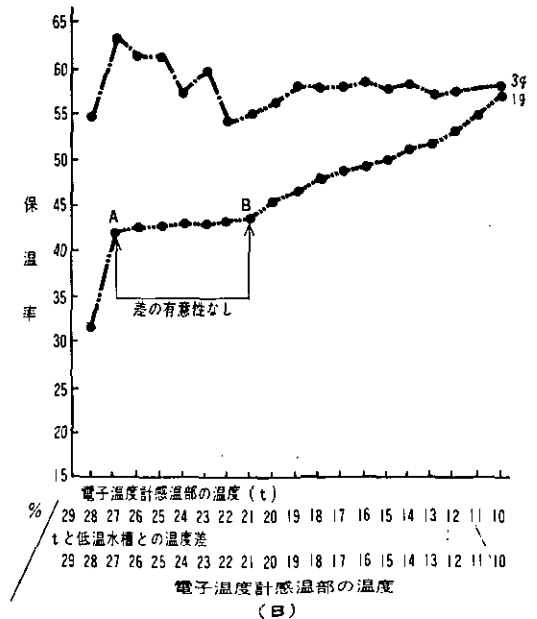


図3(B) B槽温度0°Cの場合のテトロン繊維1g, および3gの保温率

なおB槽の温度と電子温度計感温部の温度との温度差が少なくなるにしたがい、熱移動に伴う温度の変化は緩慢となる。たとえばB槽温度が5°Cの場合、電子温度計感温部の温度が10°Cから9°Cに降下するのに約350~450秒位、同様にB槽温度が10°Cの場合は、14°Cから

13°Cへの温度降下に300~400秒位の時間を要するようになる。そしてこれに伴い測定の誤差が大きくなり、材料の保温率の比較に許容されない程度の誤差を生ずるようになる。以上のような理由から本実験においては、B槽温度20°C、15°C、10°C、5°C、0°Cの場合、それぞれ測定

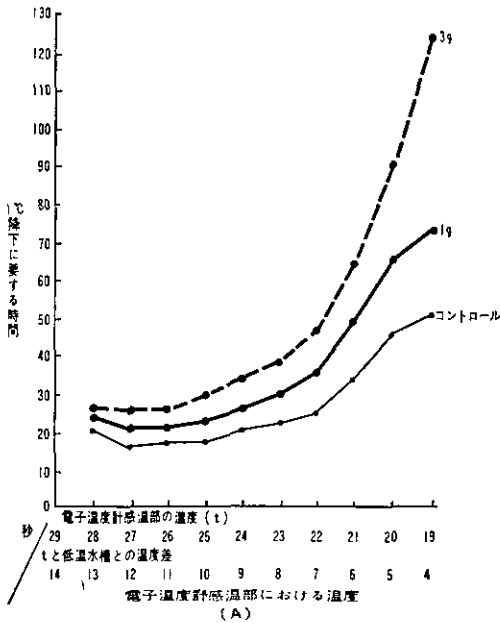


図4(A) B槽温度15°Cの場合の絹繊維における1°C温度降下時間と温度差との関係

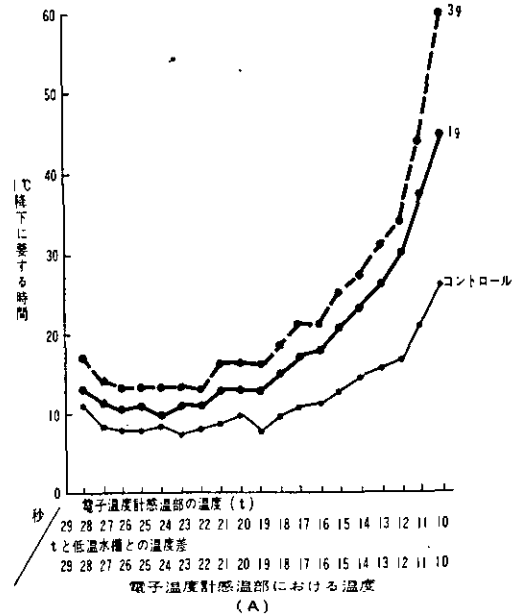


図5(A) B槽温度0°Cの場合の絹繊維における1°C温度降下時間と温度差との関係

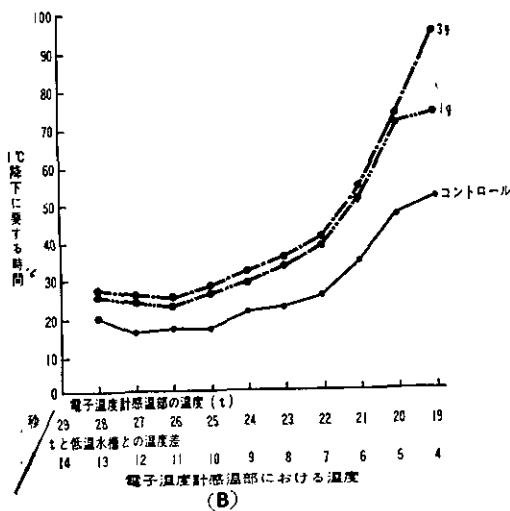


図4(B) B槽温度15°Cの場合のテトロン繊維における1°C温度降下時間と温度差との関係

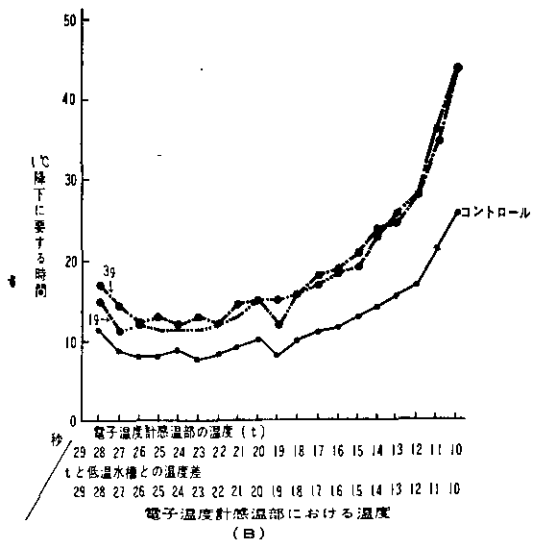


図5(B) B槽温度0°Cの場合のテトロン繊維における1°C温度降下時間と温度差との関係

温度は 22°C, 18°C, 13°C, 9°C, 6°C までとした。

表 1 に示された測定時間により保温率を計算した。B 槽温度 15°C と 0°C の場合の値を図 2, 3 に示す。図 2, 3 でみられる特徴は B 槽温度 20°C, 10°C, 5°C の場合にも同様に認められた。

2. 温度降下速度について

実験 1 においては実験系を高温度槽 (A 槽)

から低温度槽 (B 槽) に移動させてから、一定温度に降下するまでの所要時間をもとにして保温率の計算を行なった。しかし上述したように低温度槽と実験系感温部との温度差が少なくなるにしたがい、温度降下速度は次第におそくなる。すなわち 1°C 降下に要する所要時間は、実験系感温部と低温度槽との温度差によって変化する。それゆえ、この温度変化の速度と温度差と

表 3 恒温水槽 (B) に入れた後、電子温度計感温部における温度降下がはじまるまでの所要時間 (単位は 1 分間 13 mm の速度で移動した記録用紙上での移動距離を mm で測定したもの)

A 恒温水槽 (B) の温度を変化させた場合 (使用重量 1 g)

A 槽と B 槽の温度差		3°C			7°C			15°C		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
実験系	測定回数									
	コントロール	7.5	7.0	8.2	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.1
	絹	11.5	12.6	9.5	9.5	10.0	9.6	7.0	6.2	7.0
	テトロン	13.0	13.0	9.0	9.2	9.5	10.8	7.1	7.0	6.5

B 使用材料の重量を変化させた場合 (B 槽温度 15°C)

材料重量		0			0.5 g			1.5 g			3.5 g		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
実験系	測定回数												
	コントロール	2.5	2.5	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	絹	—	—	—	8.5	8.5	8.0	8.0	8.5	9.5	12.0	11.0	—
	テトロン	—	—	—	8.0	7.0	—	8.5	8.0	7.0	8.2	9.0	—

表 4 温度変化曲線における a, b, c 角および  $\alpha, \beta, \gamma$  の値 (使用重量 1 g)

実験系			a	b	c	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
A 槽温度 °C	B 槽温度 °C	材料	単位度	単位度	単位度			
25	22	コントロール	36.0	17.0	—	—	—	—
	20		49.5	39.5	32.0	—	—	—
	18		53.0	49.5	45.0	—	—	—
	15		61.0	62.5	62.0	—	—	—
	10		70.0	71.0	70.5	—	—	—
	22	絹	29.5	17.0	—	18.1	0	—
	20		40.0	30.0	20.0	19.2	24.1	37.5
	18		48.0	42.0	34.0	9.4	15.2	24.4
	15		56.5	56.0	52.0	7.4	10.4	16.1
	10		62.0	63.0	62.0	11.4	11.3	12.1
	22	テトロン	28.0	11.0	—	22.2	35.3	—
	20		40.0	31.5	21.5	19.2	20.3	32.8
	18		45.0	41.0	36.0	17.0	17.2	20.0
	15		56.5	54.5	50.5	7.4	12.8	18.5
	10		63.5	64.7	64.0	9.3	8.9	9.2

の関係は、材料の性質および保温性についての、一つの参考事項になるものと考えられる。以上の観点から実験系感温部の温度が 29°C, 28°C, 27°C……………の各温度から、それぞれ 1°C 降下に要する時間を測定した。

図 4 に B 槽温度 15°C の場合、図 5 に B 槽温度 0°C の場合の測定の結果を示す。なお B 槽温度が 20°C, 10°C, 5°C の場合も同様な変化を示す。

### 3. 熱の移動様式について

図 1 に模式的に示されている  $x$  の値は、本実験に用いられた実験系において、繊維の構成する空間を熱が移動する速度を示すものと考えられる。以上の観点から  $x$  の値を測定しその結果を表 3 に示す。

本実験系における熱移動速度を推定するための一つの方法として、図 1 A, B, C 点における接線と  $x$  軸のなす角、すなわち  $a, b, c$  と  $\alpha, \beta, \gamma$  の値を計算した。計算の結果を表 4 に示す。

## 考 察

### 1. 保温率について

本実験の結果から、絹繊維とテトロン繊維の保温率について、次の事項を明らかにすることができた。すなわち絹繊維においてもテトロン繊維においても、材料の使用量が多い方が保温率が增大し、また実験系内部の温度が B 槽温度に近づくにしたがって保温率が增大していく。以上二つの傾向は絹の方が顕著であるといえる。また絹繊維とテトロン繊維の保温率を比較した場合、使用量によって保温率が変化することがみられた。使用量 1g の場合は絹よりテトロンの方が保温率が高く、3g の場合は絹の方

がテトロンの保温率よりも高くなっている。

このような相違をもたらす要因は複雑なものと推察されるが、この問題を考えるための一つの要因として、前報 (1) において報告された熱貫流係数の計算値との関係があげられる。すなわち前報で報告されたように、本実験系において使用される材料の  $g$  数が変化するにはが、熱貫流係数の値が変化することがみられた。使用重量約 2.0g 位の点を境として、それ以下では熱貫流係数の値は絹の方が大きい、2.0g 以上ではテトロンの方が大きい値を示した。熱貫流係数の値は保温率と反比例する性格のものであることから、前報で報告された結果は本論文における結果と一致するものである。

このような使用量の変化に伴う保温率の変化の原因として考えられることは、繊維自身の熱伝導性である。すなわちテトロンは絹に比して熱伝導性が高く、この結果容器内における材料密度の高くなるのが、熱の伝導を絹に比してより容易にする原因と推察される。そして本実験系においては、材料 1g 程度の充填によって、空気の対流に伴う熱の移動はほとんど阻止されることが推察される。

保温率の差の有意性について

本実験における保温率の代表的な値は、図 2, 3 に示されている。しかし前記図中、A, B の符号によって示された範囲は、その変化の有意性が明瞭に判定し難い部分である。このため、この範囲内における保温率の相違を F-検定によって検定した。

検定の結果を表 5、および図 2, 3 中に記入した。

以上の結果から、B 槽と電子温度計感温部との温度差が 20°C 以上の場合には、保温率は比

表 5 保温率の差の有意性の検定

実 験 条 件			保 温 率		F-値	5%の危険率における差の有意性
B 槽温度 °C	使用材料 およびg数	温度範囲 °C	最 大 値	最 小 値		
15	テトロン 3g	25~20	55.6	52.7	25.67	あり
0	テトロン 1g	27~21	43.8	42.5	0.01	なし
	絹 3g	27~22	68.9	65.5	0.48	なし

較的安定な値を示すが、温度差が 20°C 以下になるにしたがって保温率は一般的な傾向として上昇を示すことが認められた。なお図 3 B のテトロン 3g の保温率が、温度差 28°C から 22°C の範囲において不規則な変化を示しているが、この原因は材料のもつ性質に由来するよりは、測定誤差に由来する可能性の方が大きいと考えられる。

### 2. 温度降下速度について

図 4, 5 に示されている 1°C 降下に要する時間は、テトロン繊維においては 1g と 3g の間で絹繊維の場合ほどの違いを見ることができない。特に B 槽温度 0°C の場合には、テトロン 1g と 3g は殆んど一致した変化を示している。この傾向はここに図示されなかった B 槽温度 20°C, 10°C, 5°C の場合にも共通に認められた。次に B 槽温度が低くなるほど、温度降下速度すなわち熱エネルギーの移動が速くなることが予測されるが、このことは図 4, 5 の結果、すなわち 15°C と 0°C を比較することでも確認される。しかし感温部と低温水槽 (B 槽) との温度差を基準として図 4, 5 を比較すると、図 4 は図 5 の温度差 14°C の部分より右側部分の曲線と、ほぼ一致する内容のものであることが見出される。

原則的には実験系に繊維を充填することは熱エネルギー移動に抵抗物体を与えることになり、充填された繊維量に比例して熱移動速度が低下することが予測される。しかしこの原則は、充填繊維の量がある範囲内においてのみ成立する関係であって、テトロンの場合充填繊維量が 1g をこえたときには、このような現象はみられなくなる。絹においては、なお 1g と 3g の間でその差が明瞭に認められた。このような両者の熱移動性の相違は前述されたように、繊維の熱伝導性に基づくもの考えられる。

本実験系において 1g 以上の充填性をもったテトロンは熱移動の抵抗体として作用することなく、しかしまた熱移動を促進する物体としても作用しないという結果がみられた。このような現象の背後には数種の物理的要因の拮抗関係

があるものと推察されるが、この点に関しては今後の実験によって明らかにする必要がある。

### 3. 熱の移動様式について

保温率を規定する要因として、実験系内部の熱移動速度ならびに熱移動の様式が考えられる。これらの問題を解明するための一つの手段として、温度変化曲線における特徴を比較した。すなわち図 1 に模式的に示されている x の値は、熱移動速度を示す一つの指数とみなされる。表 3 の数値から繊維の使用量の少ない条件下では、B 槽との温度差にかかわらず繊維は熱移動の抵抗体として働くことが認められた。なお表 3 A においてコントロール、絹、テトロンの測定値の差の有意性を明らかにするため F-検定を行なった。計算の結果を表 6 に示す。

表 6 コントロール、絹、テトロン間の t-値の差の有意性の検定  
t: 恒温水槽 (B) に入れた後、電子温度計感温部が温度降下を示すまでの所要時間

温度差 °C	F-値	5%の危険率における差の有意性
3	5.52	あり
7	51.66	あり
15	46.16	あり

上記の計算の結果からコントロール、絹、テトロン間の t-値の差の有意性が認められた。

繊維の熱移動抵抗体としての作用様式には、絹とテトロンとの間で相違がみられる。すなわち温度差が少ないときは、絹に比べてテトロンの方が熱の移動の抵抗性が大きく、温度差が大きくなるにしたがって絹との間の差は少なくなる。また使用量を変化させた場合は、テトロンにおいては 0.5g と 3.5g の間で、熱移動の抵抗性に殆んど差が認められないのに対して、絹の場合では 0.5g に比べて 3.5g を使用した場合、約 50% 近い抵抗性の増大がみられる。このような事実は、前述の熱移動速度の考察においてテトロンでみられた結果と一致するものである。

次に感温部における熱の移動方法について考察する。温度変化曲線上の角度を測定した結果、感温部の温度変化がはじまった点 (a 点) において、すでに最大の熱移動量を示す状態に達して

いることがわかる。また A 槽と B 槽の温度差が大きくなるにしたがい、a 点における熱移動量も多くなっていることが認められる。たとえば絹の場合、温度差が  $3^{\circ}\text{C}$  から  $15^{\circ}\text{C}$  になるにしたがい a 点における角度は約 2 倍の増大を示し、これは初期状態における熱移動量が、ほぼ 2 倍に増大していることを示すものと推察される。

なお温度差の大きい場合 a, b, c の角度に殆んど差違が認められないことは、同じ状態で熱移動が継続しているものと思われる。すなわち熱移動に関する数種の要因が殆んど同時に a 点において最高の状態を示し、時間の経過に伴って、これらの要因が段階的にその作用を表わしてくるという可能性を否定するものと思われる。あるいはこの事実が本実験系において、熱移動に関係する要因が主要な単一のものであることを示す可能性ともみなされる。そしてこの主要な要因とは繊維の熱伝導性ではないかと推察される。これは 3g の材料の充填においては容器内における材料の緻密性から推察して、対流が行なわれていることの可能性は殆んど考えられないからである。

なお  $\alpha$  および  $\beta$  の値を温度差によって比較するとき、温度差の少ないときの方がこの値が大きくなる。この値は冷却法の原理に基づく保温率と本質的に同じ意味のものであることから、表 4 で得られたこの結果は前述図 2 および図 3 の、温度差の低下に伴い保温率が增大するという結果と一致するものである。なお繊維の使用量を変えた場合は、a, b, c, および  $\alpha, \beta, \gamma$  の値について、上記の実験結果と一致する明確な結果を得ることが困難であった。この理由は角度の測定に伴う種々の誤差の範囲が、使用量の変化に伴う角度の変化以上に生ずるためであると推察される。

## 結 論

絹とテトロンの各繊維の保温性について実験を行ない、次のことを明らかにすることができ

た。

### 1. 保温率について

時間を変数とした冷却法による保温率は、絹繊維およびテロン繊維ともに材料の使用量の多い方がその値は増大する。また実験系内部の温度と外部の温度との温度差によって保温率が変化し、両者の温度差が少なくなるほど実験系の示す保温率は増大した。上記二つの傾向は絹繊維の方がテロン繊維よりもより顕著であった。さらに絹繊維とテロン繊維の保温率を比較すると、上記のような保温率の変化の結果、1g の場合はテロンの保温率が絹よりも高く、3g の場合は絹の保温率がテロンよりも高くなった。

### 2. 温度降下速度について

実験系を高温水槽から低温水槽に移動させ、それに伴う実験系内部の温度降下の速度を測定した。その結果材料の使用重量を変化させた場合、および高温と低温水槽の温度差を変化させた場合に、ともに温度降下速度が変化することがみられた。すなわち温度差が大きいほうが温度降下速度は速くなること、および使用繊維重量の差違による温度降下速度の変化は、絹においては顕著にみられるがテロンにおいては 1g 使用の場合と、3g 使用の場合とではほとんど差を生じないことが認められた。

### 3. 熱の移動様式について

実験系における熱移動速度、ならびに熱移動の様式を解明するために、絹繊維とテロン繊維の温度変化曲線の特徴を比較した。すなわち低温水槽に移動してから系中心部において温度変化を生ずるまでの所要時間、および温度変化曲線の接線と x 軸とのなす角を測定した。以上の結果を用いて絹およびテロン繊維における、熱移動速度および熱移動の様式について考察した。

## 引用文献

1. 若山・寺岡：北星短大紀要，11，47（1965）。