

被服材料の保温性の研究

その8 発熱系における布地の保温性の比較

若山 初子 寺岡 宏

前報(1)~(7)において被服材料の保温性を多角的に実験した結果、その保温性は実験条件の相違により差を生ずることが明らかにされた。それゆえ実験目的に最も適切な方法の設定がのぞまれる。本研究においては、まず繊維の保温性に関する性質を解明するための実験をおこなった。^{(1)~(4)}そのため被服の人体着用時に関係する諸要因をできるだけ捨象し単純化された系を用いた。そしてこの放熱系における繊維を含む空間の温度変化曲線、繊維の熱貫流係数、および保温性におよぼす吸湿の影響等を明らかにした。^{(1)~(4)}

次にこれらの実験により明らかにされた繊維の保温性に関する性質を基礎にし、布の保温性を測定するための実験をおこなった。実験方法としては自然放熱系を設定し、繊維の持つ放熱の阻害効果をもって保温性と規定した。この系を用いて10種の布の乾燥および吸湿状態での保温性、また数種の布を組合せた場合の保温効果を明らかにした。^{(5)~(7)}

以上のような経過を経て本報においては、人体の条件に近づけることを目的として新たな実

験条件を設定した。人体が発熱体であるゆえに実験系を発熱体とし、この系が35°C~38°Cまで加熱される時間中に外部に放出される熱量と、被服によるその阻害効果を測定した。この阻害効果は被服の保温性を示す一つの尺度と考えられる。またこの系の温度変化を異なる2ヶ所の層において測定し、熱の移動様式について考察した。

材料と方法

材料；本論文に用いた布地を表1に示す。実験に用いたガラス容器の大きさに合うように縫製し、これを25°Cの恒温器で乾燥させた後使用した。

方法；図1のような直径70mm、高さ105mmのガラス容器の中の中央に直径18mm、長さ75mmのガラス管を固定し、その中に水中用ヒーターをセットし上部をコルク栓で固定した。また図1に示されているように電子温度計感温部挿入孔より感温部を挿入してこれを固定密閉した。容器の底にスターラー用マグネットを入れ、30°C温水300mlを注入し上部注水口はビ

表1 実験に用いた布地

サンプル	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
繊維名	もめん	もめん	もめん	銅アンモニヤレーヨン	絹	羊毛	ポリエステル	アクリル	羊毛	羊毛
生地名	メリヤス	メリヤス	ブロード	ベンベルグ	レース	トロピカル	ジョーゼット	ジャージ	アムンゼン	ジャージ
組織	よこメリヤス(ゴム編)	よこメリヤス(平編)	平織	平織	リバーレース	平織	平織	たてメリヤス	2 1斜文織	たてメリヤス
厚さ(mm)	0.43 ~0.49	0.43 ~0.49	0.20 ~0.21	0.16 ~0.17	0.32 ~0.40	0.30 ~0.31	0.22 ~0.24	1.14 ~1.21	0.62 ~0.72	1.27 ~1.38

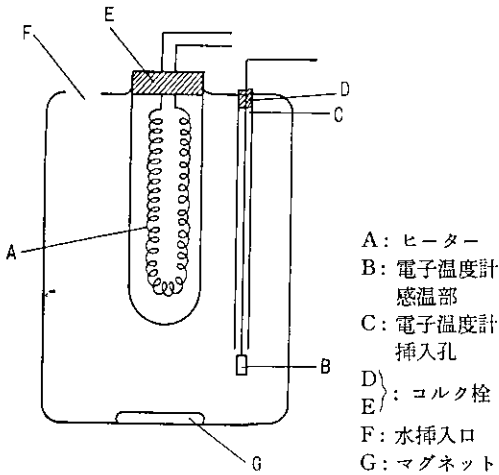


図1 ヒーターつきガラス容器と電子温度計感温部

ニールテープで密閉した。上記の布地でこのガラス容器を密着するように包んだ。この場合の袋の側面は布を3mm重ねて絹小町糸でまつり縫をし、底辺円形部と側面とは突き合せ縫いとした。上部円周部と側面との境を半分縫い残し5mmの縫代をつけておき、袋で容器を包んだ後その部分をまつり縫いでため容器を完全におおうようにした。

布でおおわれた実験系は前報⁽⁴⁾の保温性測定器を改良したものの中にセットした。すなわち図

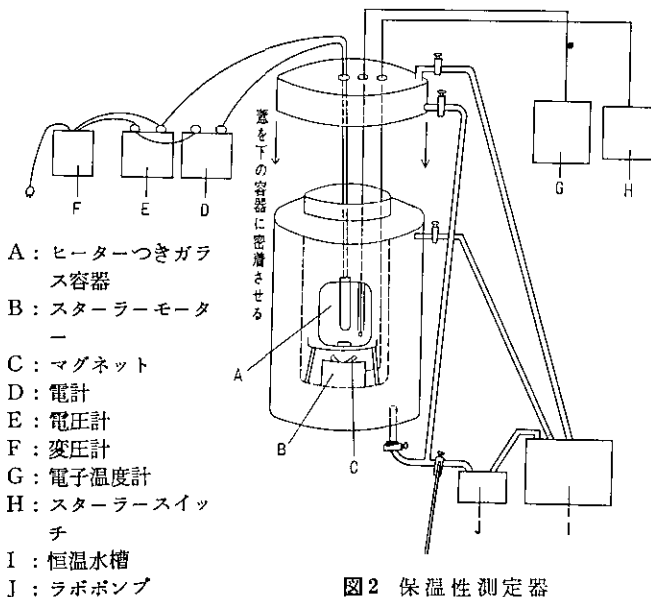


図2 保温性測定器

2に示されているように、プラスチックの保温性測定器の本体はそのまま使用し、蓋の部分を変更してヒーター、電子温度計、スターラーの3種類のコードが通るようにした。本体の中にスターラーモーターをおき、その上に実験用サンプルで包んだ容器をのせた。

本実験では電子温度計は3ヶ所同時に測定できる切替スイッチ付、0°C~50°C測定の0.5°C目盛のものを用いた。図1に示された容器内の水中のほかに、容器とサンプル用布地との間に1ヶ所、またサンプルの外側に密着させて1ヶ所と合計3ヶ所に感温部を固定し、同時に3ヶ所の温度を測定した。

スターラーで容器内の水を攪拌しながら、変圧器を通してヒーターの電力を11.25 Wに調整し、系内の水の温度を上昇させた。水温32°Cになった時に恒温水槽から15°Cの水を通水筒に送り循環させ、水中電子温度計の感温部が35°Cから38°Cまで1°Cずつ上昇するに要する時間を測定し、また他の二つの感温部の示す温度を測定した。

結果と考察

電流による発熱とコントロールについて

本実験においては実験系を発熱体とし、その発熱体を試料でおおい、系内の水温が35°Cから38°Cまで上昇するに要する消費電力を測定することにより布の保温性を求めた。実験を進めていく場合にまず問題となることは、この系における発熱体として用いるニクロム線の容量である。このためには実験系内に入れる水を300 mlとし、これを3°C上昇させるのに要する時間が約10分となるようにヒーターの容量を調整した。その結果ヒーターの容量は10 W前後が最も適当と認められた。それゆえ図2に示したように変圧器を通し、11.25 Wの電力を用いることにした。

ガラス容器に30°C温水を300 ml

入れ、試料でおおわない系(以下コントロールとする)を35°C~38°Cまで上昇させ、1°Cずつ上昇するのに要する時間を測定した。

またこの容器の比熱を測定するために同温度の温水 310 ml を入れ、同様に所要時間を測定しその値を求めた。その温度変化曲線を図3に示す。

図3の測定値からコントロールの場合の総発生熱量およびガラス容器の比熱を次の式により求めた。

$$Q = J \times W \times H \dots (1)$$

Q : 発熱量

J : 0.24 cal

W : 電力消費量

H : ガラス容器に入った水 300 ml または 310 ml を 35°C ~ 38°C までに上げるのに要した時間 (秒)

Q は本実験系においては(2)式の関係を示す。

$$Q = WC + GC + OC \dots (2)$$

WC : 水温を 3°C 上昇させるのに必要な熱量

GC : ガラス容器を 3°C 上昇させるのに必要な熱量

OC : 系の外に放出した熱量

今 OC の値は水 300 ml と 310 ml の場合同じ値を取るものと仮定し、また (WC+GC) の値に OC が比例するものとして(2)式より(3)式を導いた。

$$Q = \{(WH + X)t\}Y + (WH + X)t \dots (3)$$

WH : 水熱容量

X : ガラス熱容量

本実験においてはガラス質量 100 g である

t : 温度差

Y : 比例常数

300 ml, 310 ml の場合をそれぞれ(3)式に代入しガラス容器の比熱を求めた。その結果 0.27 の値を示した。

サンプルをつけた場合の温度上昇所要時間お

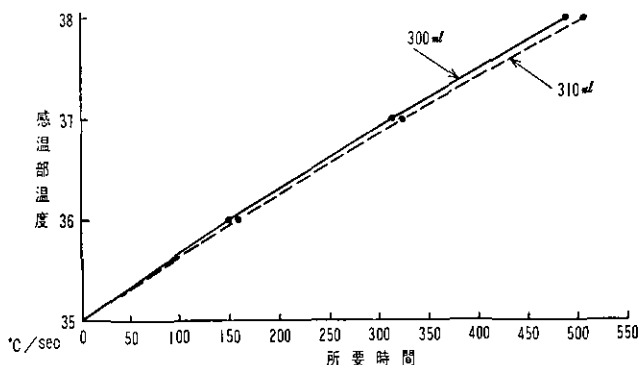


図3 コントロールの温度変化曲線

よび発生熱量について

サンプルをつけた場合の実験系の水温を 3°C 上昇させるための所要時間とその時の発生熱量を求めた。100 g のガラス容器と 300 g の水を 3°C 上昇させるために必要な熱量は 981.4 cal である。それゆえ上記時間中に発生した熱量から、981.4 cal を差引いた熱量がこの時間中にサンプルを通過して外部に放熱された熱量である。

以上の方法によって求めた放出熱量および単位時間あたりの放出熱量を表2に示す。

表2の放熱量は布の保温性と反比例する係数である。それゆえ保温性を示す係数として次の(4)式によって計算される値を求めた。その結果を表3に示す。

$$\frac{y-x}{y} \times 100 \dots (4)$$

x : サンプルをつけた場合の単位時間あたりの放出熱量

y : コントロールの場合の単位時間あたりの放出熱量

以上の結果から放出熱量の阻害効果としての保温性はアクリルジャージ>ウールジャージ>アムゼン>メリヤスゴム>ブロード>トロピカル>レース=ペンベルグ>メリヤス平>ジョーゼットの順であり、アクリルジャージが一定温度を上昇させるのに要する発生熱量が少なく外部に放出される熱量を最も阻止していることが認められる。

次にコントロールおよび、代表的な値として

表2 各サンプルの単位時間あたりの放出熱量

サンプル名	水温3°C上昇のための所要時間(sec)=B	発生熱量 (cal)	サンプルをとおして外部に放出される熱量(cal)=A		A/B
メリヤス(ゴム)	451.5	1219.1	237.7	0.0017	0.53
メリヤス(平)	472.5	1275.8	294.4	0.0020	0.62
ブロード	460.5	1243.4	262.0	0.0018	0.57
ベンベルグ	471.0	1271.7	290.3	0.0020	0.62
レース	471.0	1271.7	290.3	0.0020	0.62
トロピカル	462.5	1248.8	267.4	0.0018	0.58
ジョーゼット	478.5	1292.0	310.6	0.0021	0.65
ジャージ(アクリル)	408.5	1103.0	121.6	0.0009	0.30
アムンゼン	441.0	1190.7	209.3	0.0015	0.47
ジャージ(ウール)	436.0	1177.2	195.8	0.0014	0.45
コントロール	491.0	1325.7	344.3	0.0022	0.70

表3 各サンプルの保温係数

サンプル	メリヤス(ゴム)	メリヤス(平)	ブロード	ベンベルグ	レース	トロピカル	ジョーゼット	アクリルジャージ	アムンゼン	ウールジャージ
保温係数(%)	24.3	11.4	18.6	11.4	11.4	17.1	7.1	67.1	32.9	35.7

アクリルジャージ、ウールジャージ、ジョーゼットをサンプルとして用いた場合の温度変化曲線を図4に示す。

図4の結果から放熱の阻害効果の最も少ないジョーゼットは、ほぼコントロールに沿った温度変化曲線を示している。これに対して放熱阻害効果の大きいサンプルは感温部温度が高くなるに従い、すなわち時間の経過を経る程放熱阻害効果が大になる傾向を示している。

前実験との保温性の相関について

実験条件の同一でない前実験と本実験における保温性について相関関係があるか否かを、前実験と同じ試料であるメリヤス(ゴム)、メリヤス(平)、ジョーゼット、レース、ブロード、ベンベルグ、アムンゼン、ウールジャージについて検討した。その結果相関係数は0.23の値を示し相関関係は認められなかった。

サンプル内外の温度について

水中の電子温度計感温部1°C上昇毎に、同時にサンプルの内外にセットした感温部部分の温度を測定した。その結果を図5に示す。

図5の結果から、サンプルの種類によりその内外の温度にかなりの差を生じていることが認められる。一枚の布を境として内と外の温度に差がある時、布をとおして外界に放出される熱量は繊維の材質、その集合状態などで異なると考えられる。すなわち次の計算から熱の放出が布の吸熱係数、みかけの熱伝導係数、および放熱係数(熱伝導係数)によ

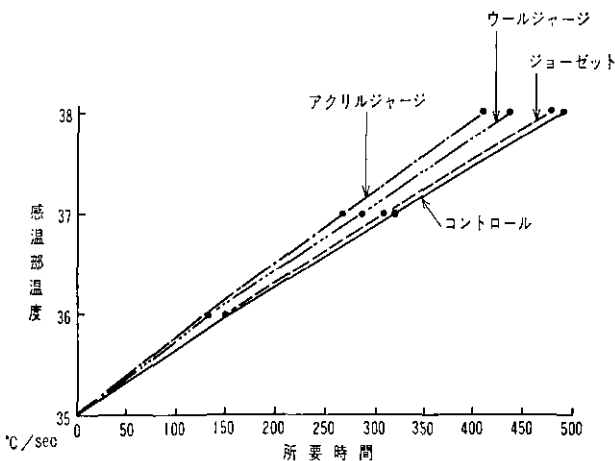


図4 アクリルジャージ、ウールジャージ、ジョーゼットおよびコントロールの温度変化曲線

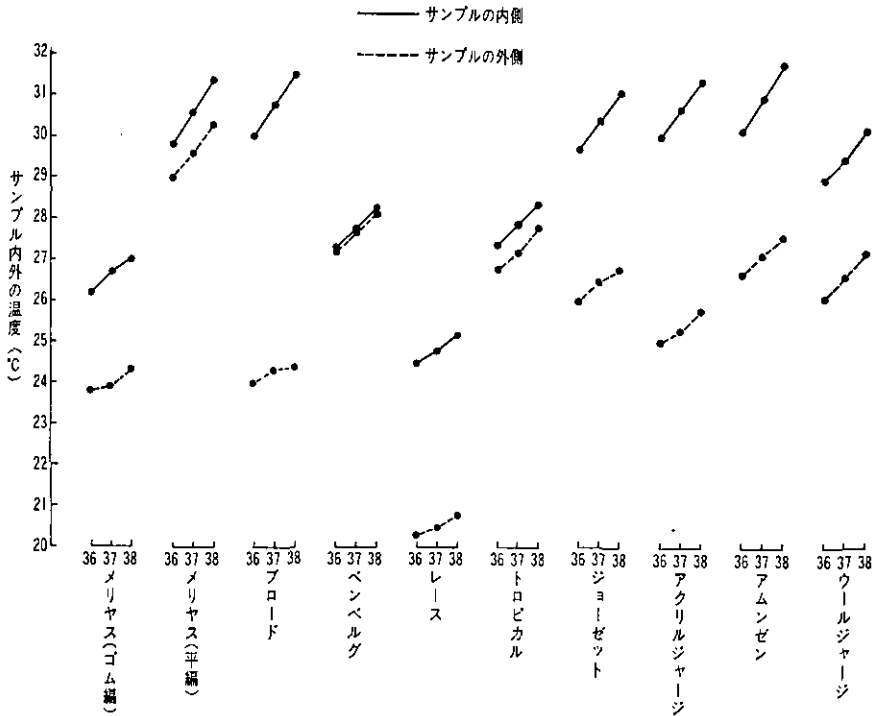


図5 水中電子温度計感温部 36, 37, 38°C の時のサンプルの内側と外側の温度

て規定されることが考えられる。

- Q_1 : 発熱体から放出される熱量
- Q_2 : 布によって吸収される熱量
- Q_3 : 布が外界に放出する熱量
- k : 発熱体に面している布の表面の吸熱係数
- K : 熱貫流係数 ($\frac{1}{K}$ 熱貫流抵抗)
- λm : 平均熱伝導率
- d : 布の厚さ
- $\lambda m/d$: みかけの熱伝導率
- L : 放熱係数(布の外表面の熱伝達率)
- $\frac{1}{K}$: $\frac{1}{L} + \frac{1}{\lambda m/d}$
- $\therefore K = 1 / (\frac{1}{L} + \frac{d}{\lambda m})$
- t_1 : 実験系面の布の表面温度
- t_2 : 布の外気面での表面温度
- $Q_2 = kQ_1$
- $Q_3 = Q_2 \times K \times (t_1 - t_2)$
- $\therefore Q_3 = k \times 1 / (\frac{1}{L} + \frac{d}{\lambda m}) \times Q_1 (t_1 - t_2)$

……(5)

(5) 式を用いて図5の結果を考察すると、アムンゼン、アクリルジャージ、ジョーゼット、ブロード、メリヤス平のように内側の温度の高いものは次の可能性が考えられる。

1. k が小さいこと
2. k は大きい $\lambda m/d$ が小さいこと
3. L が小さいこと

また内側の温度が低いもの(例えばメリヤス(ゴム)、レース等)は以上1. 2. 3. の要因について逆の関係が考えられる。

また内側と外側の温度差が大きい時は(例えばブロード、ジョーゼット、アクリルジャージ、アムンゼン等について)次の可能性が考えられる。

1. $\lambda m/d$ が小さいこと
2. L が大きいこと

また内側と外側の温度差の小さいもの(例えばベンベルグ、トロピカル)については上記1. 2. の要因について逆の関係が考えられる。

次にサンプル外側の温度が低いものについて

は次の可能性が考えられる。

1. L が大きいこと
2. $\lambda m/d$ が小さいこと

特にレースのような布については L の大きいことがその原因と考えられる。

生体が衣服を着用した場合にアクリルジャージ、ウールジャージ等は暖かい布地として感じ、またレース、ベンベルグ、トロピカルは涼感を得る。すなわちこれらの布は官能値と実験値はほぼ一致した値を示している。またジョーゼットは放出熱量は最大であるにもかかわらず、サンプルと容器との間の温度はアムンゼンやアクリルジャージ（放出熱量の少ないもの）等とほぼ等しい値を示している。この理由については更に解明される必要がある。

以上の事実から保温性の高い布の条件としては

1. k が小さいもの……布と発熱体との間の空気が暖まるもの
 2. k が大きく $\lambda m/d$ 、 L が小さいもの……布全体が暖まるもの
 3. 1. 2 の条件が同時に備っているもの
- 以上3つの条件が考えられる。

結 論

本論文においては人体の条件に近づけることを目的として実験系を発熱体とし、この系が

35°C～38°Cまで加熱される時間中に外部に放出される熱量と、布地によるその阻害効果を測定したその結果を明らかにすることができた。

1. 放出熱量の阻害効果としての保温性はアクリルジャージ>ウールジャージ>アムンゼン>メリヤス(ゴム)>ブロード>トロピカル>レース=ベンベルグ>メリヤス(平)>ジョーゼットの順であることが認められた。また温度変化曲線から放熱阻害効果の大きいサンプルは、時間の経過を経るに従いその効果を大にしていることがわかった。

2. 自然放熱系を用いた布の保温性と、本実験による布の保温性との間には相関関係は認められなかった。

3. サンプル内外の温度について理論的考察をおこない、保温性の高い布の条件を明らかにした。

引 用 文 献

1. 若山・寺岡；北星短大紀要，11，47（1965）
2. 若山・寺岡；北星短大紀要，12，25（1966）
3. 若山・寺岡；北星短大紀要，13，39（1967）
4. 若山・寺岡；北星短大紀要，14，23（1968）
5. 若山・寺岡；北星短大紀要，15，23（1969）
6. 若山・寺岡；北星短大紀要，15，29（1969）
7. 若山・寺岡；北星短大紀要，15，35（1969）
8. 庄司光；新版衣服の衛生学，光生館，103
9. 山本直成；消費科学特，17（1968）