

# 簡易型ヒートウェザリングシステムによる 衣服材料の断熱特性の研究

京都工芸繊維大学 秋山 隆一  
(共同研究者) 同 木下 瑞穂

## **Thermal Properties of Textile Materials by Heat Weathering System**

by

Ryuichi Akiyama, Mizuho Kinoshita  
*Faculty of Textile Science, Kyoto  
Institute of Technology*

### **ABSTRACT**

A heat weathering system was constructed to measure the heat transfer properties of textile materials. All experimental condition such as heating, cooling and thermal stability of the environment were controlled by a micro-computer. Some applications of this system were described.

An explanation of the heat transfer phenomena was given in relation to the surface contact between a sample and a heat source, the humidity of the sample and the structure of knitted fabrics. The results were as follows.

1) Heat loss passing through a sample was always proportional to the temperature difference between the high heat source and low heat source even in the non-continuum material such as a fiber assembly.

2) The heat transfer of the fiber assembly increased with increasing the compressive force. The heat transfer properties were determined under a non-stressed condition.

3) The heat flow associated with the convection were determined as a function of the temperature difference in this system.

4) The effect of the extended fabric on the heat flow, which was not detected by the steady method, was obtained by observing the transient response time of the heat source.

## 要 旨

実験室レベルで、加熱、冷却および温度制御が自由にできるマイコンベースのヒートウェザリングシステムをつくり、繊維製品の熱特性を測定した。試料を通過する熱移動を試料と熱源との接触状態、試料の伸長、雰囲気湿度や対流との関係で議論した。得られた結果は次のようにまとめられる。

- 1) 繊維集合体のような連続媒質でも通常のフーリエ則が成り立つ。これは熱源の温度を一定にし、冷却部の温度を変化させたときの熱量が温度差に正比例することから確かめた。
- 2) 繊維集合体のような連続媒質では試料を通過する熱移動が圧力に比例して増加する。圧力がかからないで測定できるようにした方法で熱特性値を決めた。
- 3) 対流による影響が熱量移動にどのようにあらわれるか、熱量と温度差の関係から議論した。
- 4) 定常状態では観測されないわずかな熱移動の変化が、冷却源の温度変化の過渡特性からとらえることを示した。実験はニット試料の伸長変化による熱移動を測定した。

## 1. 緒 言

繊維製品の熱特性の研究<sup>1,2)</sup>は従来から多く行われてきたが、いわゆる全天候型の人工気候室で各種のウェザリングテストを行い、衣服の性能を調べることは製品の設計上重要なことである。人が実際に着衣し、人工気候室でデータを収集するに優る測定<sup>3)</sup>はないが、衣服材料についての系統的なデータの収集には簡易型のウェザリングシステムを実験室レベル<sup>4)</sup>で実現することは有意義と考える。

本研究は測定の対象として、各種のウェザリングテストの中から主に熱特性に関するテストを選び、衣服を含めた繊維製品の熱移動を測定するこ

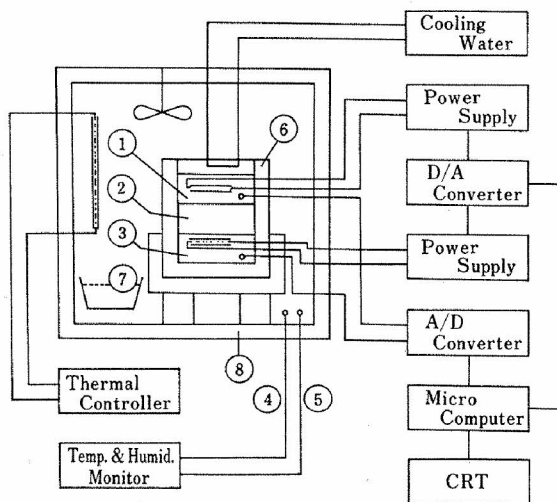
とを目的とした。この測定のために熱源と冷却源の温度と試料の雰囲気（湿度、温度、風の流れ）を制御できる測定システムをマイコンベースでつくり、以下の具体的な3つの課題について研究を行うことを目的とした。

- 1) 通常衣服材料の熱測定は冷却源の温度20°C、湿度65%の環境（JIS規格）で行われ、熱伝導率や熱抵抗値が決められる。これは試料を通過する熱量が高温測と低温測の温度差に比例するというフーリエ則が成り立つことが前提となっている。衣服材料のような複雑な構造でも、この関係が成り立つかを高温側と低温側の温度差を変えて測定する。
- 2) 繊維製品は圧力を加えると接触形状が変化し試料を移動する熱量も変化する。このような連続でない媒質の熱測定をどのように行うかを検討する。
- 3) 冷却源の温度を急激に変化させたとき、熱源の発熱量の時間応答性を衣服材料の断熱性から検討する。

## 2. 実験方法

本実験で用いた測定システムを図1に示した。熱源部(3)、試料(2)および冷却部(1)は発泡スチロールでおおった2重のケース(6, 8)中に納めた。熱源で発生し、試料を通過した熱は冷却部で吸収され、放熱路を通過してケース外部へと運ばれる。ケース(6)の外部は熱源と同じ温度となるように制御された恒温槽(8)となっている。

熱源供給部の温度はPID制御で36.5°Cになるようにした。試料はその下部表面を直接熱源に、また上部表面を冷却源に直接、あるいは空気層を介して接触させるように置かれている。冷却部の温度は、実際の着衣環境条件にあわせて、-30~70°Cに設定できるようにした。温度設定はペルチェ素子(1)に加える電圧と電流をマイクロコンピュータで制御することで実現できる。温



(1) Cooling plate (2) Sample (3) Heat source  
 (4) Thermister (5) Humidity sensor (6) In-  
 sulator (7) Inorganic salt (8) Thermal insulator

図1 Schematic diagram of measuring system.

度の精度は電圧と電流の安定性に依存しており、 $\pm 0.02^\circ$ である。

試料を通過した積算熱量は、供給熱源部の温度を一定に保つのに駆動した電圧と電流の積、すなわち電力を時間積分しもとめた。試料中あるいは雰囲気温度は熱電対でモニターした。温度および湿度は A/D 変換素子で量子化され 8 ビットのマイクロコンピュータに取り込んだ。

この測定システムでは、温度制御はハードウェア回路で行っているが、それ以外のすべての作業はソフトウェアのプログラムで行えるようにした。湿度は塩 (7) の飽和湿度状態の違いを利用して、定常状態を実現させている。

### 3. 結果と考察

1) 試料を通過する熱量と上下表面温度差の関係試料の上下表面温度差  $\Delta T$  が  $(T_1 - T_2)$  であるとき試料の断面積  $S$  ( $15 \times 15 \text{cm}$ ) を単位時間に通過する熱量  $Q$  は、

$$Q/S = (1/R_s) \cdot (T_1 - T_2)^n \quad (1)$$

であらわされる。  $R_s$  は熱の通りやすさの目安で熱抵抗である。フーリエ則が成り立てば  $n=1$  となる。試料の表面温度差  $\Delta T$  を変化させた定常

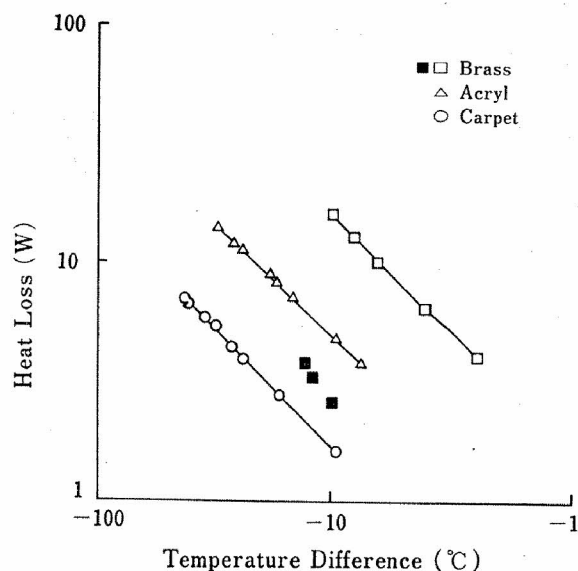


図2 Heat loss as a function of temperature difference.

状態で熱源から冷却部に供給された積算熱量  $Q$  を測定し、この  $n$  と  $R_s$  の値を各試料についてもとめた。

図2は熱源の温度  $36.5^\circ\text{C}$  とし、冷却部の温度量を  $-15^\circ\text{C}$  から  $35^\circ\text{C}$  の範囲で変えたときの積算熱量を温度差  $\Delta T$  についてプロットした結果である。試料はそれぞれ、真ちゅう板 (□), アクリル樹脂 ( $\Delta$ ), アンダーフェルト付のウールカーペット (○) である。真ちゅう板とアクリル樹脂の厚さは  $5 \text{mm}$  である。どの場合も両対数グラフ上で、傾き一定の直線となった。

式(1)から  $n$  と  $R_s$  をもとめると、表1のようになる。カーペットのような構造でも通過する積算熱量と上下表面温度差には比例関係があることがわかる。

表1 Thermal insulations obtained from experiments.

試料	$n$	熱抵抗値 ( $\text{m}^2\text{s}^\circ\text{C}/\text{J}$ )
真ちゅう板	1	0.021
アクリル板	0.963	0.043
カーペット	1	0.132

しかし上で測定した真ちゅう板の熱抵抗値はデータ表に掲載されている値 ( $9.4 \times 10^{-5}$ ) に比べて

かなり大きくあらわれている。このデータ表の値は発熱量に換算すると、 $\Delta T = -10^\circ\text{C}$  で約4350Wになる。これは試料と熱源が完全接触している場合の値である。この試料の上下表面を空気層を介して熱源部と冷却部と接触させると、積算熱量は温度差  $\Delta T$  に対し図中の■印のように変化した。

上記の2つの結果から口印の測定では、試料は熱源部と完全に接触していないことがわかる。本実験は熱源部として、市販の保温性試験機 ASTM (東洋精機) を利用した。この電気回路はマイコンから PID 制御できるように改良したが、試験機の熱源部の表面は凹凸が残ったまま使用した。このため試料中を移動する熱は、試料と熱源部の実際の接触面積  $S'$  に依存することが予想される。

アクリル樹脂の場合も同様な傾向を示すが、アクリル樹脂の熱伝導率と空気の熱伝導率の差は、金属と空気の熱伝導率の違いに比べて小さいため顕著にはあらわれない。試料と熱源部の実際の接触面積  $S'$  を見ることは難しいので、表1では見掛けの接触面積  $S$  をそのまま  $S'$  として熱抵抗値をもとめた。

繊維製品のような連続媒質でない場合は、試料の大きさ  $S$  と実際の接触面積  $S'$  の違いがどの程度あるかを見積ることは、より難しいことが予想される。

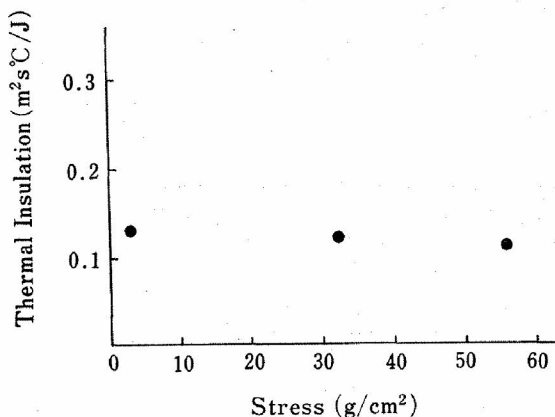
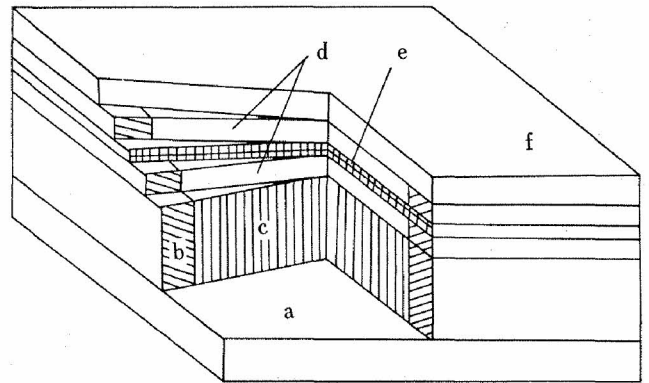


図3 Effect of the compression on the thermal insulation of a carpet material.

図3はカーペットの熱抵抗値の圧力依存性をプロットした結果である。繊維集合体では繊維間の接触や、熱源および冷却源と集合体との接触が圧力に影響され、圧力が強いほど熱抵抗値は小さくなるのがわかる。このような連続媒質でない物体の熱測定をどのようにするかを検討が必要と考える。

## 2) 連続体でない媒質の熱測定

2つの極端な場合の測定が考えられる。圧力を集合体に最大限加え、連続媒質の扱いとするか、圧力を何も加えない状態である。衣服を着衣した状態はこの中間状態であり、熱源あるいは冷却源とは空気層を介して接触する場合と、直接接触する場合がある。図2, 3の測定では試料と熱源部、試料と冷却源部を直接接触させたときの問題点をあげた。以後の測定は図4に示したように、試料 e は上下とも厚さ 0.6mm の空気層を介して冷却源 f および熱源 a と接触させた状態で検討する。



(a) Heat source (b) thermal insulator (c) thermal buffer (d) air gap (e) sample and (f) peltier device

図4 Schematic diagram of a sample box.

図5は試料部 d に同種のニット試料を数枚重ねたときの熱源の積算発熱量と温度差との関係をプロットした結果である。図5の●印で示した関係は、熱源と冷却部の間にニット試料、空気層、ダミー試料として不織布を加えたときの発熱量と温度差の関係である。

このダミー試料は熱源の発熱量を制御するため

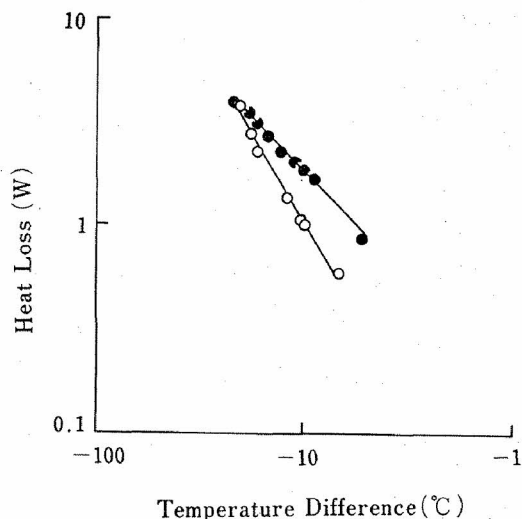


図5 Heat loss of a fiber assembly v.s. temperature difference. Deviation from direct proportion is responsible to heat convection in air space between a heat source and a sample.

に便宜的に使用した。ダミー部の不織布（厚さ 3 mm）を取り除き空気層を厚くしたときの発熱量と温度差の関係を○印で示した。いずれの場合も発熱量と温度差には直線関係はあるが、式(1)からもとめるべき数の値は、それぞれ  $n=1$  および 1.5 と異なる。

空気層の厚さを増加させると発熱量と温度差が比例関係が成り立たなくなる。この原因として空気層内の対流と熱輻射があげられる。対流が熱源部と試料間の空気層の温度勾配を減少する傾向に作用すれば、熱源側の試料表面の温度は見掛け上高くなったことになり、試料を流れる熱量を増加させることになる。温度差が大きいときに発熱量の増加がより顕著にあらわれている点も対流が起っていることを示している。

また熱源の表面を熱輻射が起らないよう処理しても直線の傾きは変化がなかった。このことから発熱量と温度差が比例関係にない原因は対流によると考えられる。発熱量と温度差が見掛け上比例関係になる空気層の厚さは、試料と空気層の熱伝導率の差に依存すると考えられるが、この詳細な検討は行っていない。空気層の厚さをパラメータにし、発熱量と温度差の関係を測定することにより

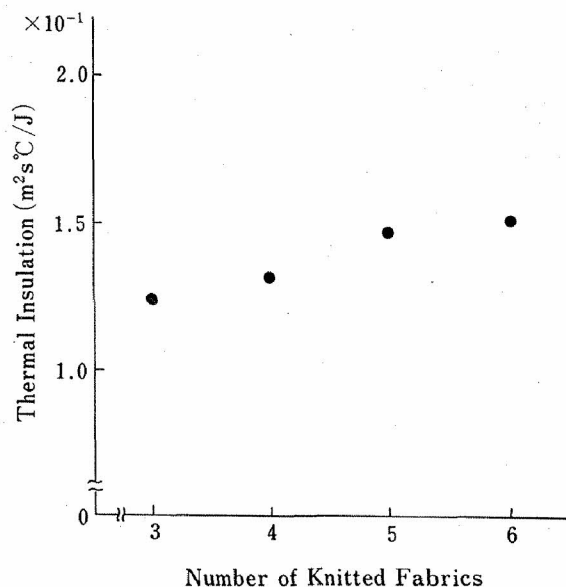


図6 Thermal insulation of a knitted fabric as a function of folded numbers. Slope of the line indicates the thermal insulation of a knitted fabric.

対流の影響を定量的に議論できると思われる。

図6は試料部dに重ねるニット試料の枚数を変えたときの積算熱量と温度差の関係から熱抵抗値をもとめた結果である。この値は空気層とダミー試料として用いた不織布の熱抵抗値を含んだ値である。ニット試料の素材はポリエステルで、1枚当りの試料の厚さは約 0.5mm の薄手の試料である。この試料の幾何学的な空隙の大きさは全体の面積に対して0.03程度と小さいものである。

測定結果は試料の枚数の増加につれて熱抵抗値は増加することを示している。グラフの直線の傾きが1枚のニット試料による熱抵抗値を与える。その熱抵抗値は  $8.5 \times 10^{-3} (\text{m}^2 \text{s}^\circ \text{C} / \text{J})$  となる。試料枚数をゼロに外挿した熱抵抗値はダミー試料と空気層の熱抵抗値を与えることになる。

熱抵抗値の小さい薄手のニット試料を使う場合、温度差を大きくしていくと熱源から冷却源に供給される熱量が飽和状態になる場合が生じる。ダミー試料は測定の便宜のために使用した。

図4に示したように、試料の上下表面を空気層を介して冷却部と熱源に接触させた状態で熱抵抗

を測定すれば、接触法で問題となる見掛けの接触面積  $S'$  の影響を考えないですむことになる。

図7, 8 は1枚の薄手の試料を伸長した場合と湿度を変えた場合の熱抵抗値をプロットした結果である。しかし、この場合は明瞭な差はみられなかった。試料の熱抵抗値  $8.5 \times 10^{-3} (\text{m}^2 \text{s}^\circ\text{C}/\text{J})$  の中で、有意差を議論するには実験精度上改良の余地があると考え、接触法によるカーペット試料の測定では、温度が10から100%まで変わるとき、

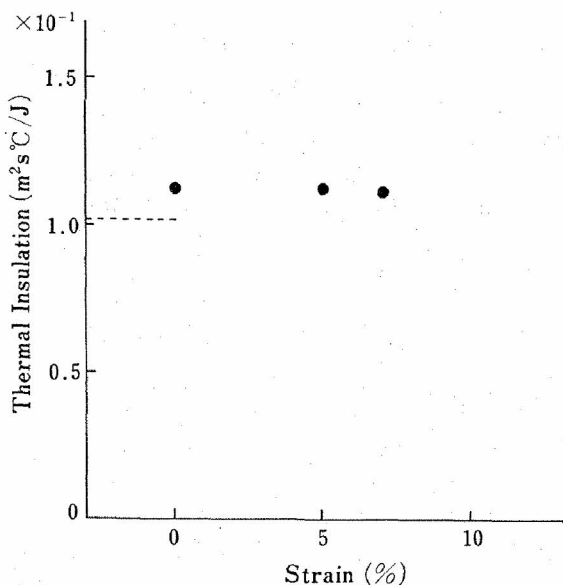


図7 Thermal insulations of a knitted fabric as a function of extension.

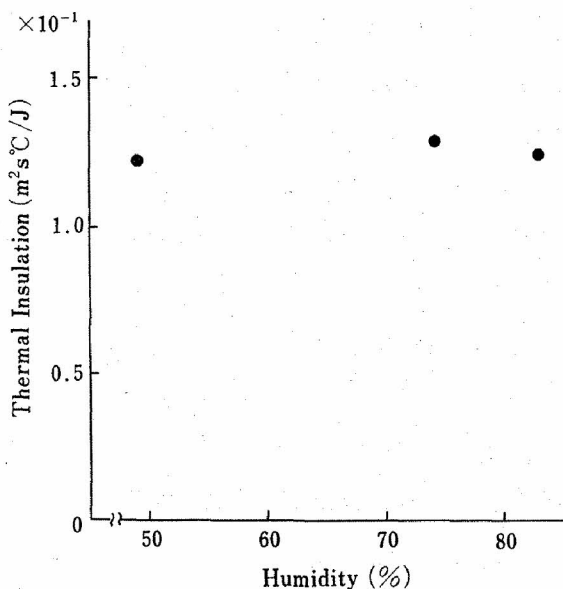


図8 Thermal insulations of a knitted fabric as a function of humidity.

熱抵抗値は5倍程度小さくなる結果を得ている。

### 3) 非定常状態での熱測定

本測定システムでは冷却源の温度を自由に変えることができるので、われわれが衣服を着衣し、暖かい環境から冷たい環境に変わった場合を想定した実験が可能である。動的な実験例を図9~10に示した。

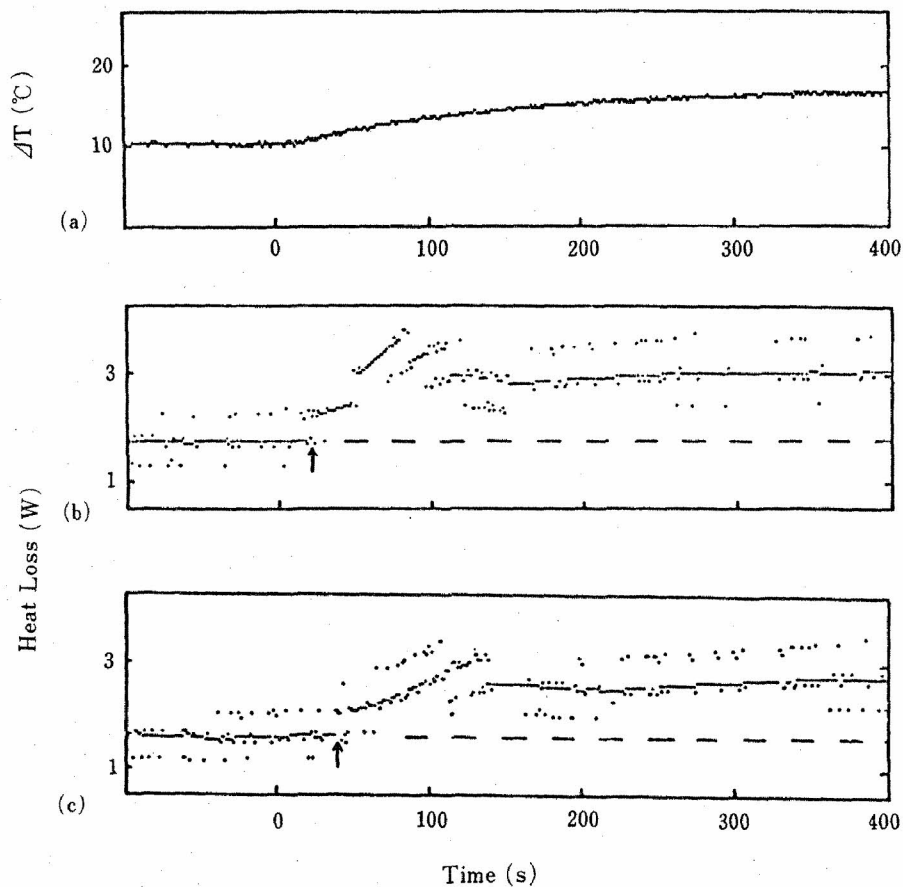
図9aは熱源の温度を  $36.5^\circ\text{C}$  に保ち、冷却源の温度を300秒間に  $26.5$  から  $19.5^\circ\text{C}$  に変化するようにした状態で、熱源から冷却源に供給される熱量の時間変化を測定した結果である。

図9b, cはそれぞれニット試料がない場合と1枚入れた場合の変化を示している。どちらの場合も空気層とダミー試料はある。時間軸のゼロは冷却源の温度が  $26.5$  から  $19.5^\circ\text{C}$  に変化するように駆動電流の制御を開始した時刻である。それ以前の出力電力は熱源と冷却源の温度差が  $10^\circ\text{C}$  で一定になるようにするために熱源のヒータが動作していることをあらわしている。1つのドットは1秒ごとのヒータの動作状況をあらわし、点線より上ではヒータが熱源の温度を一定に保つために動作していることを示す。この動作が連続して起るまでの時間(図中の矢印)は、試料がない場合と1枚入れた場合で異なる。

図10の点線と●の値はそれぞれ、試料がない場合と1枚入れた場合の熱源ヒータが動作するまでの遅れ時間を示している。この時間遅れは伸長とともに減少することがわかる。図7の定常状態の測定からはとらえられなかった伸長効果による熱移動の変化が、動的な実験例では測定しやすくなっていることがわかる。

### 結 言

通常の連続媒質と異なり、繊維集合体の熱測定には測定法自体にまだ残された問題点がある。本研究では緒言の1)と2)で述べた繊維集合体特有の問題点を、定常状態と非定常状態で検討し



(a) Time dependence of temperature at the cooling plate. Transient behavior of the heat loss; (a) when a knitted fabric is not inserted and (b) when a knitted fabric is inserted. The arrow indicates the delay time of the heat loss.

図9 Time dependence of the heat loss passing through the samples.

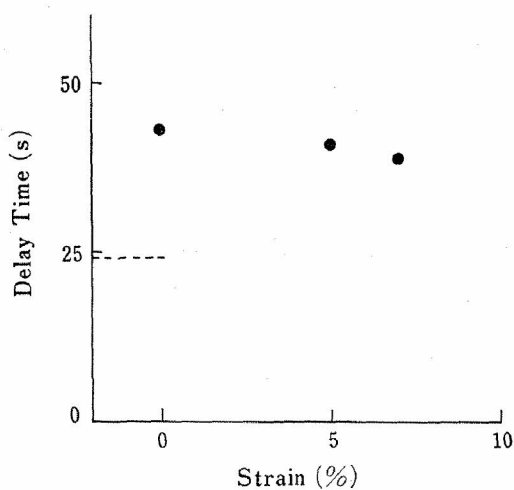


図10 Effect of extended fabric on the response time of the heat source.

た. このためマイコンレベルで制御できる簡易型のヒートウェザリング装置を作り, 繊維集合体を

移動する熱量の違いを環境の変化のパラメータとして考えられる外気温度の変化, 湿度の変化, 空気層内での対流の影響から実験的に測定した.

また繊維集合体の構造としては運動性に関係した量として編地の伸長度を選んで同様な測定を行った. この一連の測定結果より, 衣服材料の系統的なデータ収集ができたと考える.

文 献

文献 1), 2) は展望および解説記事であり引用文献が詳しい.

- 1) 山田晶子; 衣服内気候と快適性, 繊維学会誌, 38: 449 (1982)
- 2) B.W. Olesen; 温熱環境と衣服の快適性, 繊維学会誌, 43: 210 (1987)

3) Fanger, P.O.; Thermal Comfort, (Malabar, Florida: R.E. Krieger) (1982)

とその応用, 繊維機械学会誌, 37 : T-130 (1984)

4) 川端季雄; 布の熱・水分移動特性測定装置の試作