

乾燥織物の熱伝導率

仲 三郎*・山本 良子**・石久保鈴子**・田村 恭子*

(昭和58年9月30日受理)

Thermal Conductivity of Dry Fabrics

Saburo NAKA, Ryoko YAMAMOTO, Reiko ISHIKUBO, and Kyoko TAMURA

(Received September 30, 1983)

緒 言

湿った衣服は寒く、乾燥した衣服は暖かいことをわれわれは日常経験で知っているが、この暖かさを決定する衣服の物理的性質である熱伝導率については、温湿度の標準状態で測定したものは多くみられるが、湿潤状態や乾燥状態（標準状態以下）で測定したものは極めて少ない。それは衣服を標準以外の状態に長時間保つことが困難であるにも拘らず通常用いられる熱伝導率の測定法が定常法であって測定に長時間を要するからである。

著者¹⁾はまえに湿潤織物について研究し、一応の成果を得た。今回は前回よりも乾燥状態、すなわち標準状態から絶乾までの範囲で熱伝導率を測定し、まえに得た湿潤織物のそれと比較検討する。

試料および測定法

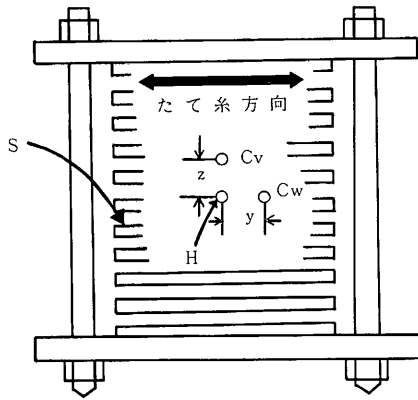
実験に使用した繊維は表1に示すように化繊2種類、綿2種類、羊毛1種類で、いずれも親水性繊維である。測定法は、一定時間、一定の乾燥状態に保つ必要から短時間で結果の得られる非定常法を使用し、また織物の

表1 実験試料

| 試料 No. 種類 | た て 糸 | | | よ こ 糸 | | |
|--------------|------------------|-------------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-----------------------------|
| | 繊維 | 太さ | 糸密度 (cm^{-1}) | 繊維 | 太さ | 糸密度 (cm^{-1}) |
| 1 ポリノジック | ポリノジック | 42/1 ^S | 34 | ポリノジック | 42/1 ^S | 28 |
| 2 ベンベルグ | キュブラ | 110d | 44 | キュブラ | 110d | 30 |
| 3 ブロード | 綿 | 40/1 ^S | 49 | 綿 | 40/1 ^S | 29 |
| 4 生綿布 | 綿 | 22/1 ^S | 24 | 綿 | 20/1 ^S | 22 |
| 5 フラノ | 毛 92% ナイロン 8% | 1/11 ^S | 14 | 毛 92% ナイロン 8% | 1/11 ^S | 14 |

* 被服材料研究室

** 衣料管理研究室



H : 線熱源
 Cw, Cv : 熱電対
 S : 試料

図1 線熱源法

たて糸, よこ糸および面に垂直方向の熱伝導率を測定できる線熱源法²⁾を使用した。

図1に示すように、織物(約10×10cm)のたて糸とよこ糸がそれぞれ一致するように多数重ね、その中央にたとえばよこ糸と平行に線熱源Hを置き、それからたて糸方向に距離y、織物面に垂直方向に距離zの位置にそれぞれ熱電対Cw, Cvをセットし、それらをミリボルト記録計に接続する。はじめ試料全体を一樣な温度に保っておき、ある時刻からヒータの単位長さから単位時間当りqの熱を発生させると、時間t後のy, zの位置の上昇温度V_y, V_zは次の式で表わされる。

$$V_y = -\frac{q}{4\pi\sqrt{K_W K_V}} E_i\left(-\frac{y^2}{4t\kappa_W}\right) \quad (1)$$

$$V_z = -\frac{q}{4\pi\sqrt{K_W K_V}} E_i\left(-\frac{z^2}{4t\kappa_V}\right) \quad (2)$$

ただし、K_W, K_Vはそれぞれ織物のたて糸方向および面に垂直方向の熱伝導率、κ_W, κ_Vはそれらの方向の温度伝導率である。

またE_iは指数積分で式

$$E_i(-x) = -\int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (3)$$

で表わされる。

また試料の密度をρ, 比熱をcで表わすと、

$$\kappa_W = \frac{K_W}{\rho c}, \quad \kappa_V = \frac{K_V}{\rho c} \quad (4)$$

いまyの位置の時刻tにおける上昇温度をV_{y1}, 2tにおける上昇温度をV_{y2}とすると、(1)式から式

$$\frac{V_{y2}}{V_{y1}} = \frac{E_i(-Y/2)}{E_i(-Y)} \quad (5)$$

が得られ、zの位置の上昇温度についても同様に式

$$\frac{V_{z2}}{V_{z1}} = \frac{E_i(-Z/2)}{E_i(-Z)} \quad (6)$$

が得られる。ただし

$$Y = \frac{y^2}{4t\kappa_W}, \quad Z = \frac{z^2}{4t\kappa_V} \quad (7)$$

したがって、あらかじめYのいろいろの値に対するE_i(-Y/2)/E_i(-Y)の値とE_i(-Y)の値を示す表を作製しておけば、V_{y2}/V_{y1}とV_{z2}/V_{z1}を測定することにより表からYとZが求められ、(7)式からκ_Wとκ_Vが分かる。

また(1)または(2)式から、qを測定することにより積K_W・K_Vが求められ、これとさきに得たκ_W, κ_Vを用いて式

$$(\rho c)^2 = \frac{K_W \cdot K_V}{\kappa_W \cdot \kappa_V} \quad (8)$$

により積ρcが得られるから、(4)式によりK_WとK_Vが求められる。

本実験においてはyとzは4~10mm, V₁, V₂は加熱開始後それぞれ1分, 2分後の上昇温度を採用した。試料は乾燥後速やかに重ね合わせ、その中に図1に示すようにヒータと熱電対をセットし、それら全体をポリエチレンの袋に封入し、恒温恒湿室内で温度が一樣になったことを確かめてから測定した。測定が終ると速やかに試料を袋から取り出し、その質量を計り、絶乾質量と比較してそのときの水分率を求めた。

また織物のような多孔性物体の熱伝導率にはその見かけの密度、すなわちその中に占める繊維の容積比率が大きく影響する。そのため袋に入れた試料は図1に示すように2枚の板で挟み、板の間隔から求めた試料全体の厚

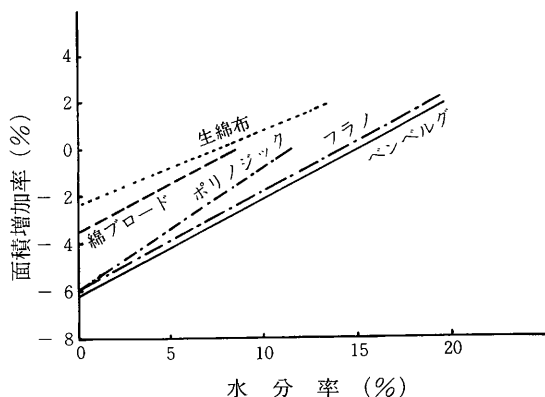


図2 試料の水分率と面積増加率
—標準状態が基準—

さと別に測定した各水分率における試料の面積増加率を用いて全体の容積を求め、それで質量を除去して見かけの密度を求めた。図2は各試料の面積増加率である。

実験結果および考察

本実験においてはヒータをよこ糸に平行にして測定した。そのためたて糸方向と面に垂直方向の熱伝導率が得られる。また見かけの密度 ρ を測定することにより、(8)式から試料の比熱 c が計算できる。図3～図17に各試料について得た水分率と温度伝導率、熱伝導率、比熱および熱容量 ρc との関係を示す。表2はこれらのデータから K_w および K_v と水分率 $w(\%)$ との関係を一次回帰分析で求めた結果である。この表から絶乾時 ($w=0$) における熱伝導率は、繊維の容積比率の大きいほど大きくなること、綿織物は他の繊維の織物より熱伝導率が大きいこと、一般に K_w は K_v よりはるかに大きい値を示すが、フラノのように繊維の配列の不規則な織物ではその差が小さくなることなどが分かる。

図18はフラノについての水分率0%～400%の範囲における熱伝導率の変化で、水分率15%以上は既に発表したものである。図から15%付近から乾燥とともに急激に熱伝導率が小さくなるのが分かる。表3は水分率1%の増加にもとづく熱伝導率の増加を示したもので、生綿布とフラノは湿潤時¹⁾との比較をも示した。この表から、乾燥時の水分率増加にもとづく熱伝導率の増加割合はベンベルグ K_v を除けばあまり差のないこと、また湿潤時に比較し乾燥時のそれらの値がはるかに大きいことが生綿布と毛フラノの例から分かる。乾燥織物の場合、一般

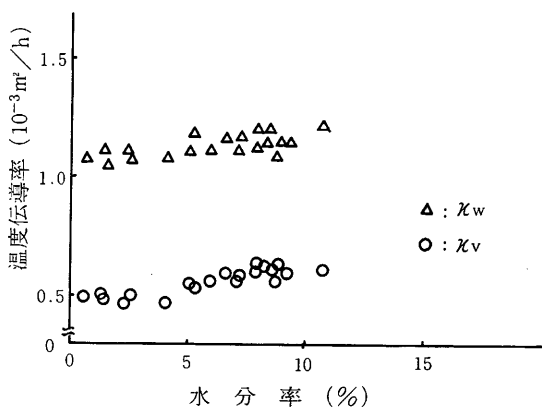


図3 ポリノジックの水分率と温度伝導率

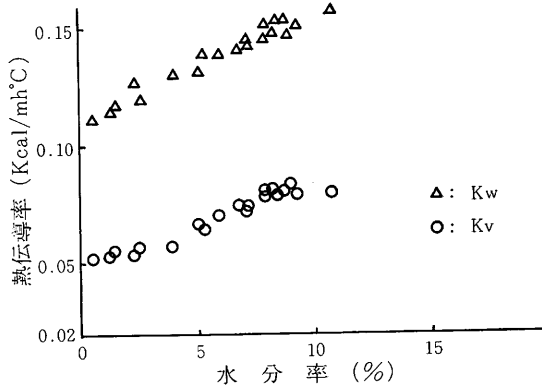


図4 ポリノジックの水分率と熱伝導率

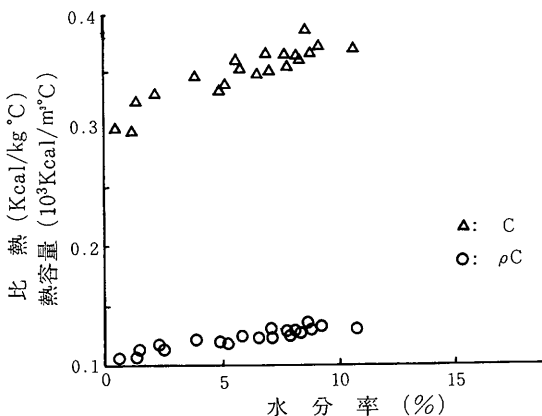


図5 ポリノジックの水分率と熱容量および比熱

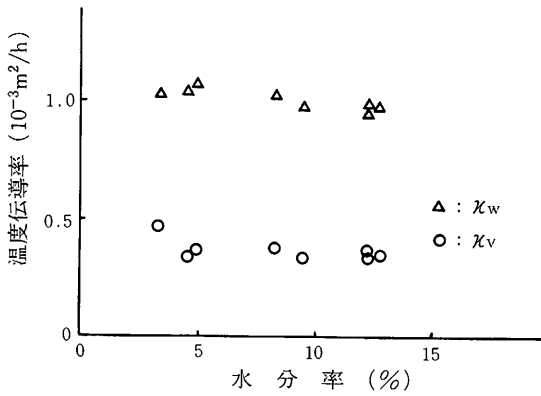


図6 ペンベルグの水分率と温度伝導率

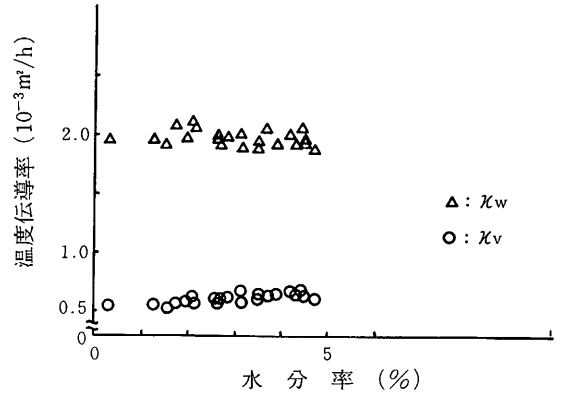


図9 綿ボードの水分率と温度伝導率

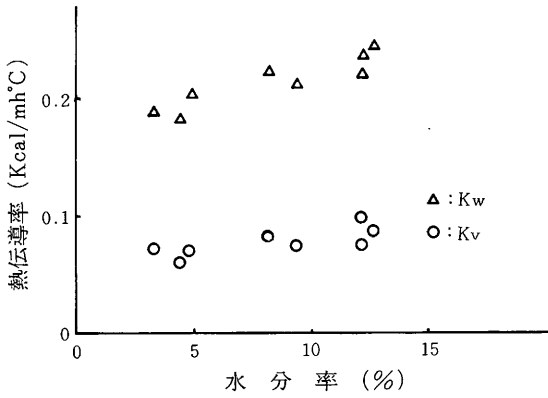


図7 ペンベルグの水分率と熱伝導率

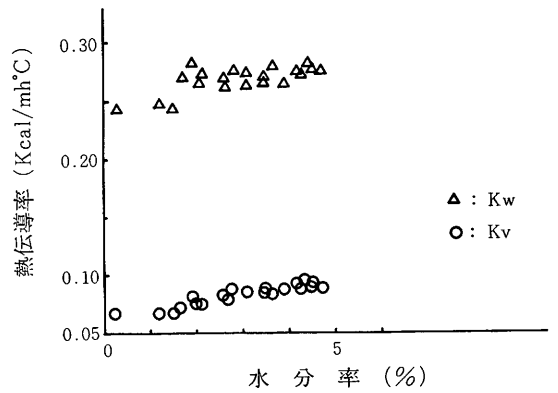


図10 綿ボードの水分率と熱伝導率

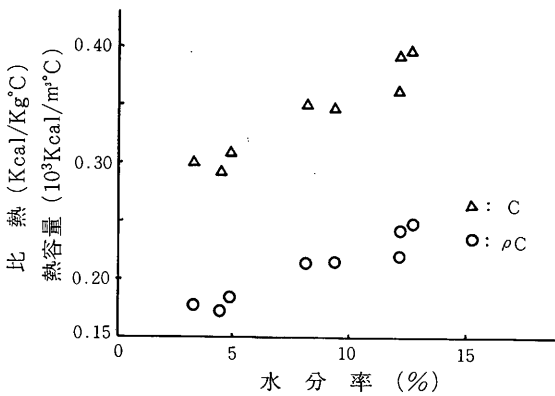


図8 ペンベルグの水分率と熱容量および比熱

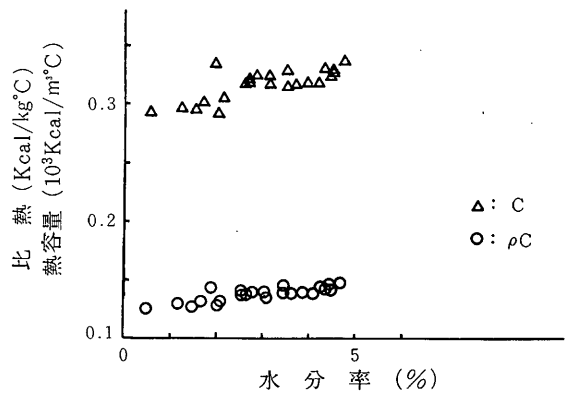


図11 綿ボードの水分率と熱容量および比熱

乾燥織物の熱伝導率

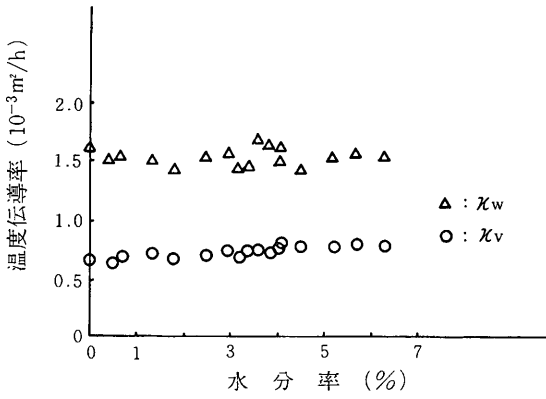


図12 生綿布の水分率と温度伝導率

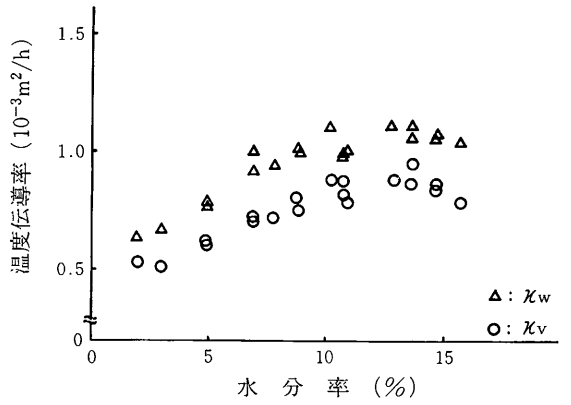


図15 フラノの水分率と温度伝導率

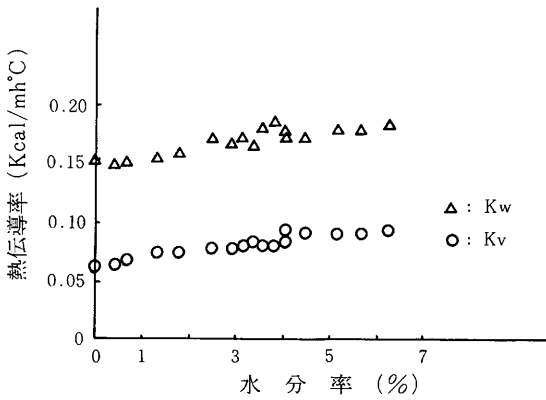


図13 生綿布の水分率と熱伝導率

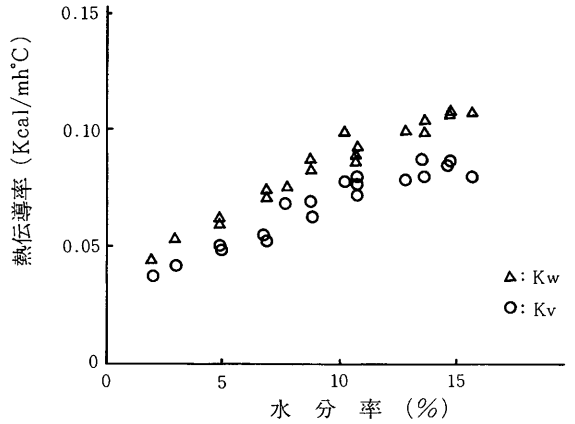


図16 フラノの水分率と熱伝導率

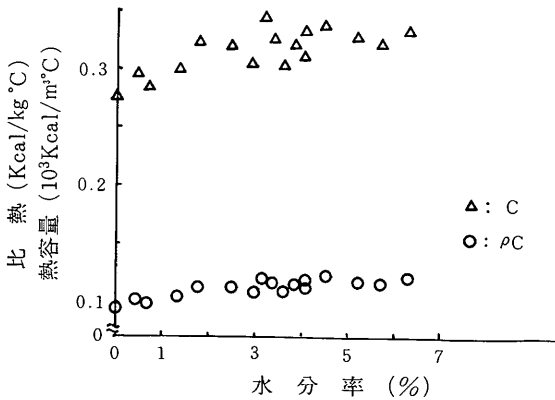


図14 生綿布の水分率と熱容量および比熱

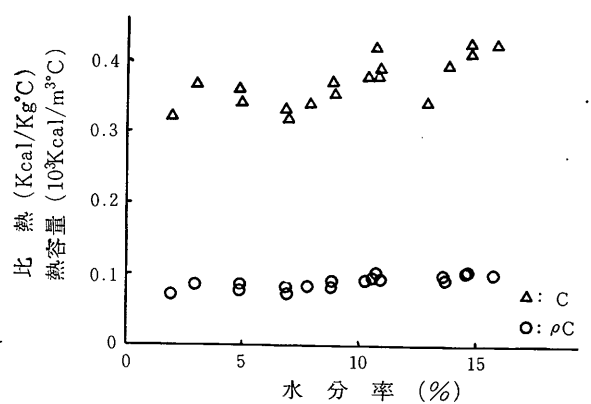


図17 フラノの水分率と熱容量および比熱

表2 試料の熱伝導率 (Kcal/mh°C) と水分率 $w(\%)$ との関係

| No. 試料 | 繊維の容積比率 (%) | K_w | K_v |
|----------|-------------|---|---|
| 1 ポリノジック | 22.8~23.6 | $K_w=0.111+0.463 \times 10^{-2} W$ | $K_v=0.471 \times 10^{-1}+0.361 \times 10^{-2} W$ |
| 2 ベンベルグ | 36.2~38.4 | $K_w=0.170+0.525 \times 10^{-2} W$ | $K_v=0.614 \times 10^{-1}+0.187 \times 10^{-2} W$ |
| 3 綿ブロード | 27.6~28.2 | $K_w=0.249+0.665 \times 10^{-2} W$ | $K_v=0.026 \times 10^{-1}+0.654 \times 10^{-2} W$ |
| 4 生綿布 | 22.1~22.6 | $K_w=0.154+0.552 \times 10^{-2} W$ | $K_v=0.649 \times 10^{-1}+0.499 \times 10^{-2} W$ |
| 5 毛フラノ | 15.8~16.9 | $K_w=0.410 \times 10^{-1}+0.463 \times 10^{-2} W$ | $K_v=0.323 \times 10^{-1}+0.377 \times 10^{-2} W$ |

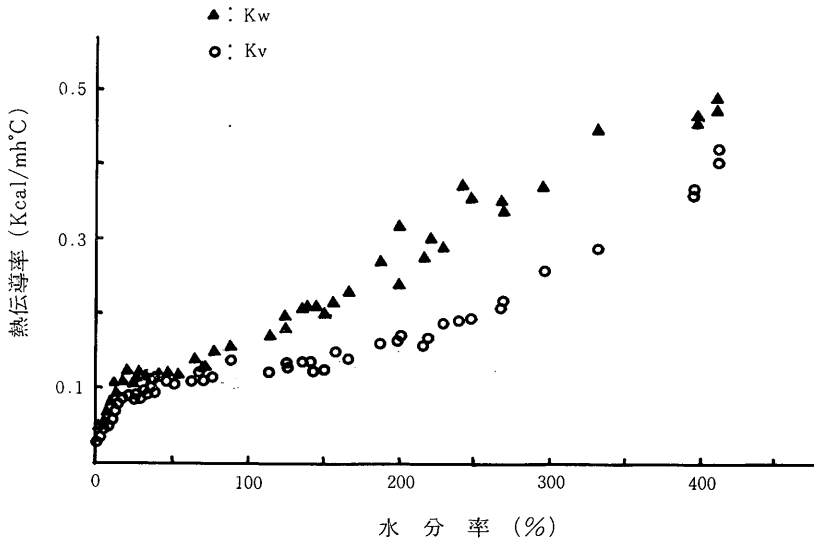


図18 フラノの水分率と熱伝導率

表3 水分率1%の増加による熱伝導率の増加

| No. 試料 | 乾燥時の増加(10^{-2} Kcal/mh°C) | | | 湿潤時の増加(10^{-2} Kcal/mh°C) | | |
|----------|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | 水分率(%)の範囲 | K_w | K_v | 水分率(%)の範囲 | K_w | K_v |
| 1 ポリノジック | 0 ~ 11 | 0.463 | 0.361 | / | | |
| 2 ベンベルグ | 3 ~ 13 | 0.525 | 0.187 | | | |
| 3 綿ブロード | 0 ~ 5 | 0.665 | 0.654 | | | |
| 4 生綿布 | 0 ~ 6 | 0.552 | 0.499 | 15 ~ 190 | 0.159 | 0.138 |
| 5 毛フラノ | 2 ~ 16 | 0.463 | 0.377 | 30 ~ 400 | 0.105 | 0.077 |

に熱は繊維から繊維への放射と対流と伝導とによって伝わるが、織物のように密度が大きく繊維間の空隙の狭い試料では放射と対流は無視でき、主として伝導で熱が伝わる事が知られている。この場合の伝導は、繊維と空気を通しての伝導と繊維の接触部を通しての伝導とが考えられるが、空気の熱伝導率は標準状態（20°C, 65% RH）以下の湿度においてはほとんど一定であるから、水分率の増加にもとづく熱伝導率の急激な増加の原因は繊維の接触部の増加によると思われる。

ま と め

化繊、綿、毛を含む5種類の織物について標準状態以下の乾燥状態で、線熱源法を使用してたて糸方向と面に垂直方向の熱伝導率を測定して次の結果を得た。

1. 絶乾時（水分率0%）における熱伝導率は繊維の

容積比率の大きいほど大きくなる。

2. 綿織物は化繊・毛などの織物より熱伝導率が大きい。

3. 一般にたて糸方向熱伝導率は面に垂直方向のそれよりはるかに大きい、フラノのように繊維の配列の不規則な織物ではその差が小さくなる。

4. 織物はすべて水分率の増加にともない熱伝導率を増加するが、その増加割合は乾燥時が湿潤時よりはるかに大きい。すなわち標準状態以下においては乾燥すると急激に熱伝導率が減少し、その割合はほとんどの織物に差がみられない。

文 献

- 1) 仲, 鎌田: 織機誌, 29, T 100 (1976)
- 2) 仲, 本村, 鎌田: 織機誌, 26, T 34 (1973)