

各種綿のふとん綿としての性能に関する研究

第3報 熱伝導度について

松 下 為 隆

On the Characteristics of Various Fiber Mass as used Mattres. Part 3. On the Thermal Conductivity.

Tametaka MATSUSHITA

I. 緒 言

繊維集合体としての各種綿の熱伝導度については報告が多く発表されている¹⁾。此等報告における測定法は不明のものもあるが、多くは平行平板法、周期的加熱冷却法、円筒法、球状法及び保温性測定としての ASTM 法によるものである。著者は夫等の方法とは別に実際にふとん綿として用いる場合の熱伝導と対流による熱損失を含んだ場合の熱伝導を比較測定するため、Lees and Chorlton 法を変形して第1図の如き装置をつくり、木綿、ポリエステル綿（テトロン綿）及びウレタンフォームについて実験を行なった。

本測定法では装置は割に簡単になるが、対流、輻射による上方への熱損失及び横方向への対流による熱損失の補正が必要となる。これについては同温度における放冷温度降下曲線（第15図）を適用して補正した。室温（30°C）付近においては、測定罐からの対流、輻射による熱損失は最小となっている筈であり、測定試料の加温された下部々分よりの熱損失だけが考えられる。この値は小さいので今回は補正しなかった。

本報告においては、恒温、恒湿の場合の綿の重量、荷重圧力、加熱時間と熱伝導度について研究を報告する。

II. 実 験 方 法

1. 試 料

試料は第1報²⁾記載のもののうち木綿とポリエステル綿（テトロン綿）を用い、直径 10 cm 1枚の重さ約 0.2 g の円形薄層とし、これを繊維方向が交互に直角になるように積み重ね、1, 2, 4, 8 g の絶乾重に規制した。此等試料を R.T. (30±1°C), R.H. (60~65%) の状態に 24 h 以上放置してから実験に用いた、ウレタンフォームは市販品（敷ふとん用仕立上がり）を同様に 10 cm の円板、円柱状に切り、重さを 1, 2, 4, 8 g に規制した。

2. 装 置

第1図に示す装置をつくり、銅製の太鼓状恒温測定台（直径 30 cm）上に、試料 4 個を対称の位

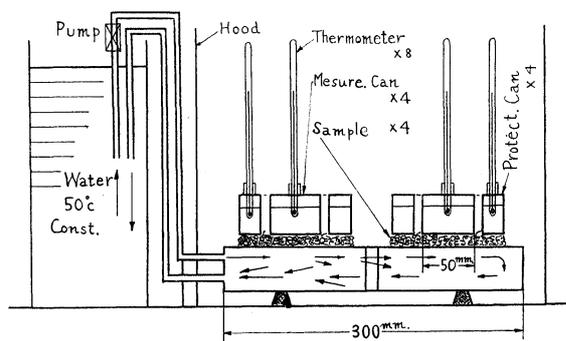


Fig. 1. Apparatus.

置に置き、その上に 0.3 mm 厚さの銅板製の測定罐 4 個を置いた。銅板製測定罐の重量は平均 30.4 g、温度計の重量は平均 20.7 g 測定罐に入れる水の量は平均 29.4 c.c. であるので、各罐の重量は 81.6 g となる。底面積 20.4 cm² で割ると圧力は 4 g/cm² として 4 罐とも揃うことになる。圧力を 0.5 g/cm² から 84 g/cm² に変えるためには、測罐をナイロンテグスでし

ばり、つるべ式に滑車と錘を用いて減圧し、又は鉛錘を乗せて増圧した。

この測定罐の熱容量は 34.8~38.5 cal. (平均 35.25 cal.) であるため 4 個の測定罐別の誤差をなくするため各罐の測定値の 4 回の平均値を用いた。また熱の横方向への伝導、輻射による熱損失を相殺するため保護外筒罐を用いたが、この保護外筒罐の圧力も測定罐と同様にして規制した。防風用フードは、風及び恒温水槽、人体からの熱輻射を防ぐためであり、上部は開放にした。

3. 実験条件

室温 30±1°C 湿度 60~65 % R.H. の無風の室内で測定した。

恒温測定台温度 50°C

試料重量 1 g, 2 g, 4 g, 8 g の積層円板 (円柱)

荷重圧力 0.5 g/cm², 1, 2, 4, 8, 16, 32, 41, 64, 88 g/cm²

恒温測定台上に試料 4 個を乗せ、その各々の上に測定罐及び保護罐を乗せ、測定罐中の水温が 25°C に上昇した時から、5 分、10 分毎に水温の上昇温度を測定した。

補正のための熱損失測定は、恒温測定台に 25°C の水をじゅんかんし、この台上に試料、測定罐 (50°C)、保護罐 (50°C) を乗せ、放冷による測定罐中の水温の降下状況を 10 分毎に測定した。

III. 実験結果

1. 荷重圧力と厚さとの関係

木綿 (Cot.), ポリエステル綿 (Tet.), ウレタンフォーム (U) の荷重と圧力との関係を第 2 図に示した。

圧力 10 g/cm² 以下の低荷重において、ポリエステル綿は木綿よりも嵩高いが、圧力が 10 g/cm² 以上になると木綿よりも圧縮されやすい。ウレタンフォームは、常に繊維集合体よりも嵩高い状態を保った。しかし荷重—厚さの曲線の形は異ったカーブを示した。

2. 温度上昇と時間との関係

木綿わた 1 g, 2 g, 4 g, 8 g の場合の各圧力における測定罐中の水温の上昇と時間との関係を第 3, 4, 5, 6 図に示した。

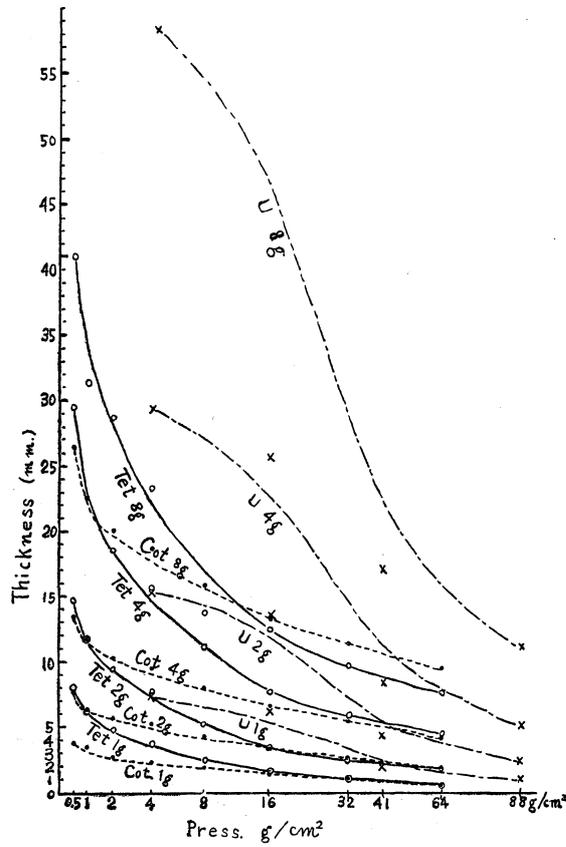


Fig. 2. Compression-Thickness.

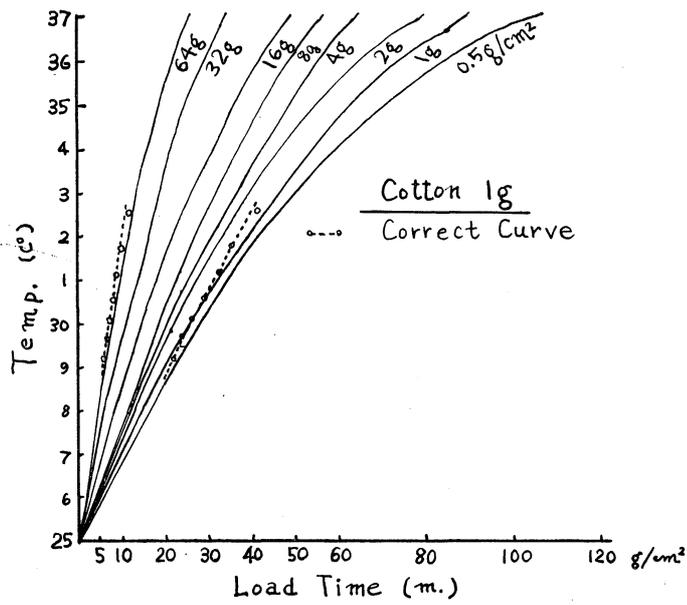


Fig. 3. Temp-Time Curve

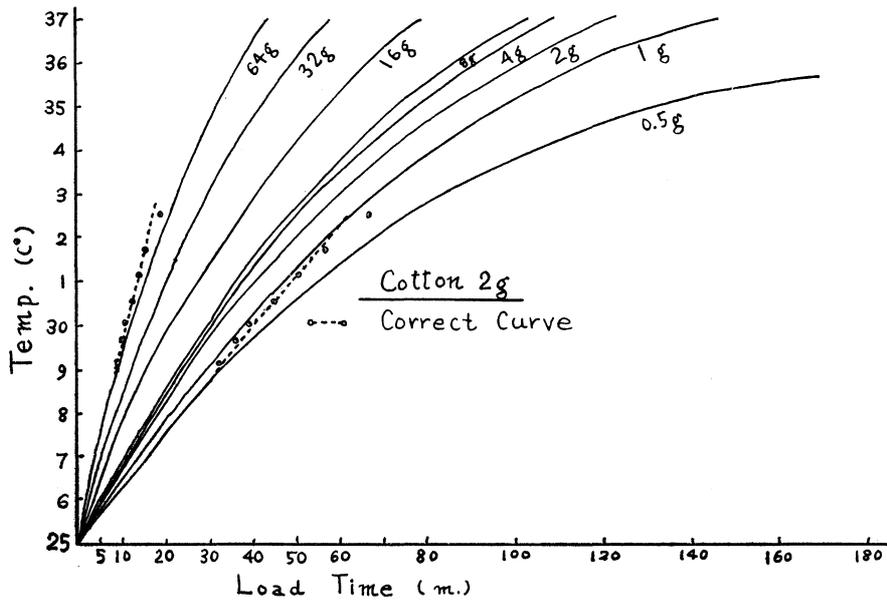


Fig. 4. Temp-Time Curve.

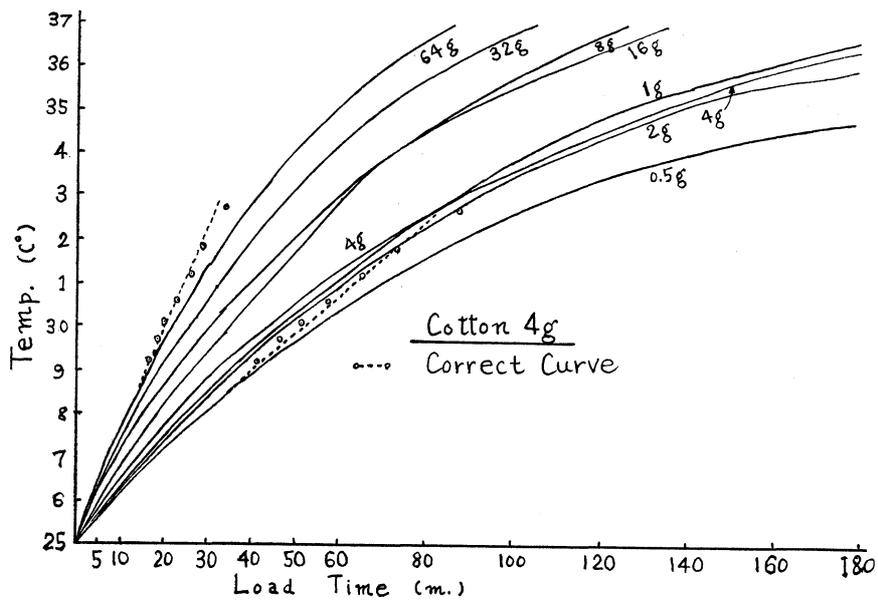


Fig. 5. Temp-Time Curve.

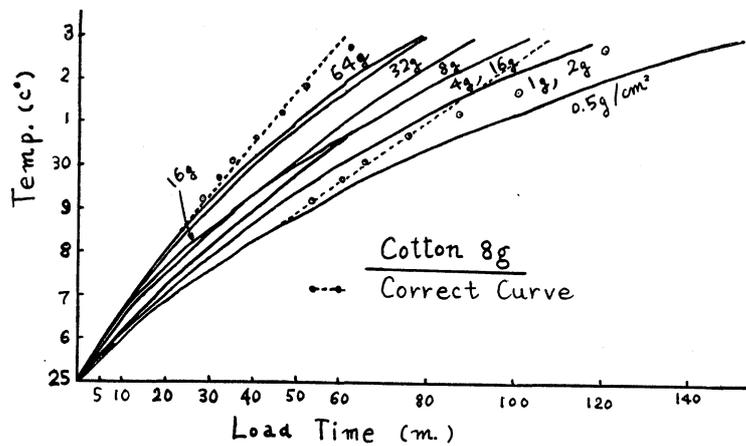


Fig. 6. Temp-Time Curve.

ポリエステル綿の場合の同様の関係を第7, 8, 9, 10図に示した。

ウレタンフォームの場合の同様の関係を第11, 12, 13, 14図に示した。

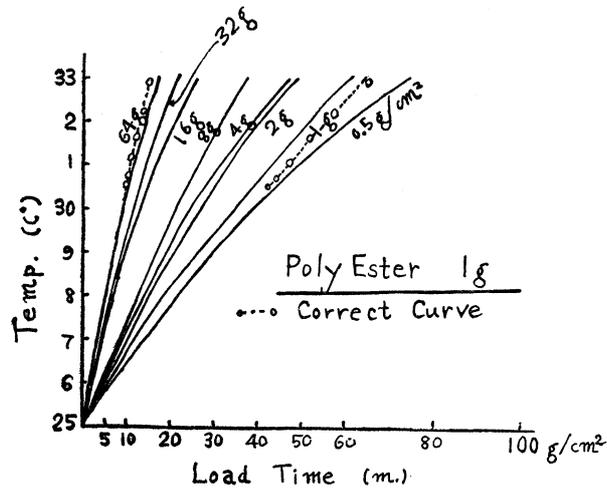


Fig. 7. Temp-Time Curve.

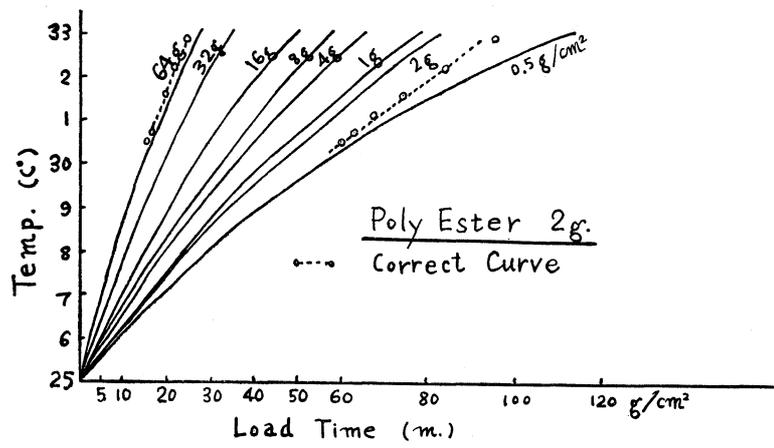


Fig. 8. Temp-Time Curve.

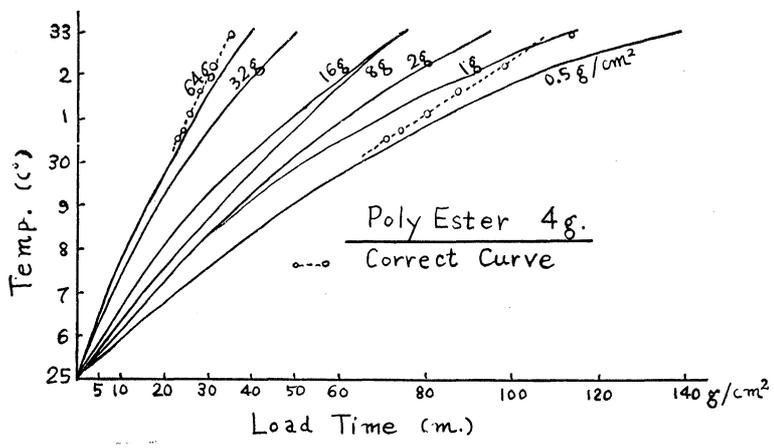


Fig. 9. Temp-Time Curve.

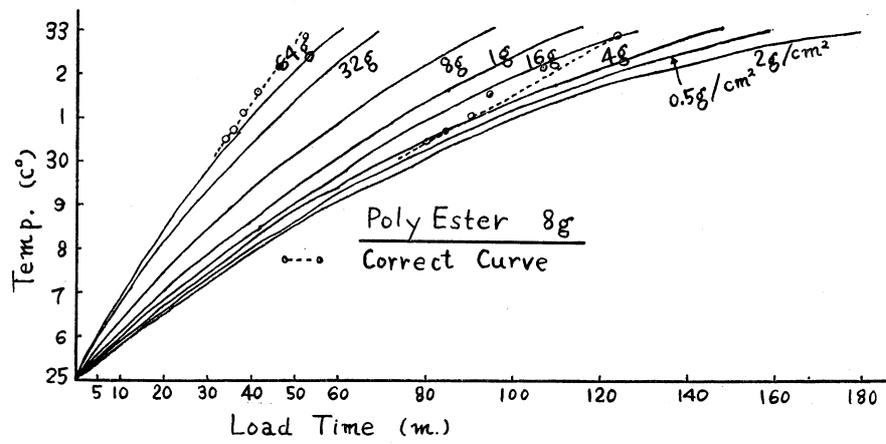


Fig. 10. Temp-Time Curve.

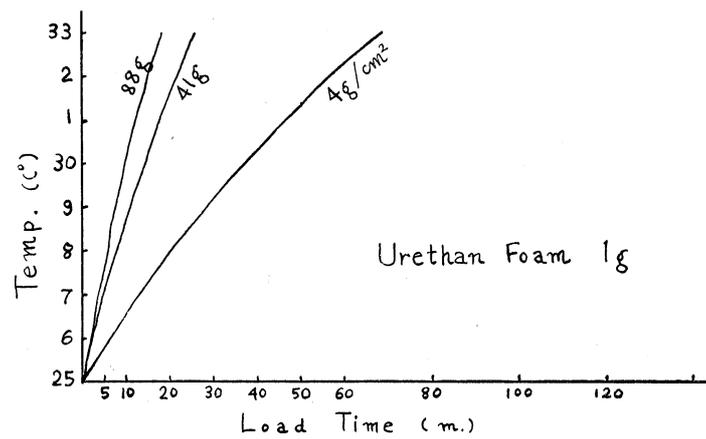


Fig. 11. Temp-Time Curve.

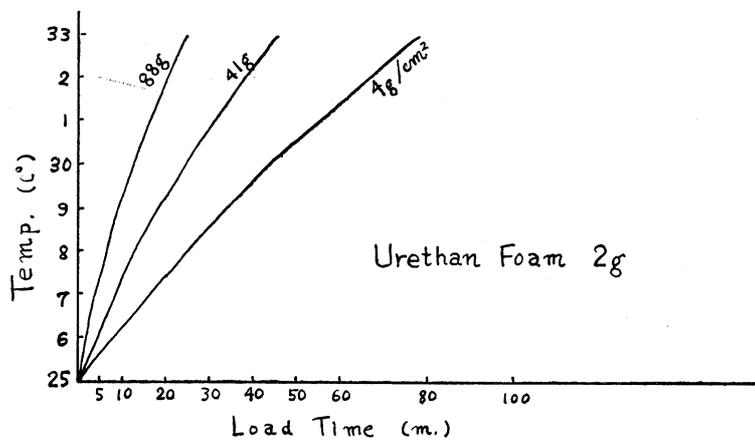


Fig. 12. Temp-Time Curve.

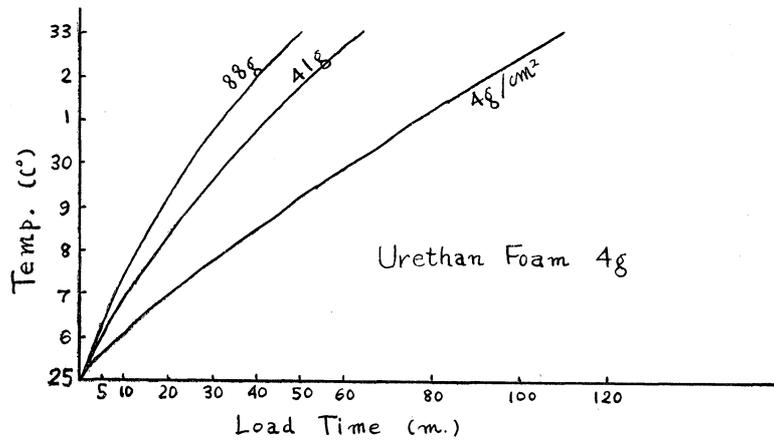


Fig. 13. Temp-Time Curve.

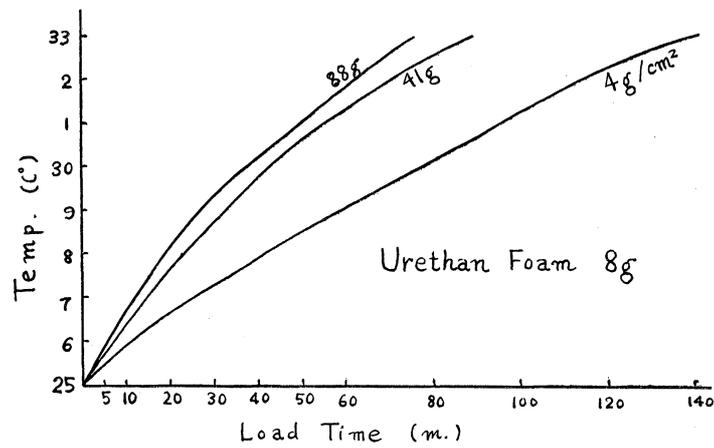


Fig. 14. Temp-Time Curve.

木綿わた及びポリエステル綿の各4gの試料を用いた場合の4g/cm²の圧力における放冷温度降と時間との関係を第15図に示した。この第15図を用いて補正した温度—時間曲線を第3～10図において点線で示した。

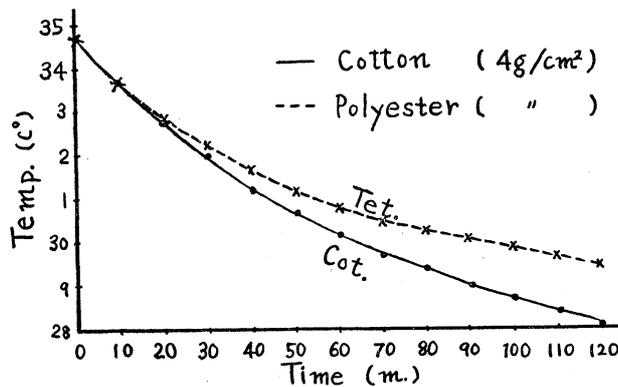


Fig. 15. Temp Depression.

試料重が小で、圧力が大きい場合は、温度—時間曲線は直線に近ずき、且つ急角度となる。
25°C~32°C における放冷温度—時間曲線によって補正すると、25°C~32°C の間では、室温が
30±1°C の関係上もあって、どの曲線も殆んど直線となる。

3. 熱伝導度係数

熱伝導度係数は、定常状態においては単位面積を通る熱量は $d\theta/dx$ で示される温度勾配に比例するから次式によって求めることが出来る。

$$Q = K \frac{A(T_1 - T_2)}{d} t$$

Q: 測定罐の温度が 2°C 上昇するのに要する熱量 (cal) …… 70.5 cal

K: 熱伝導度係数

d: 試料の厚さ (cm) …………… 第2図

A: 測定罐の伝熱面積 (底面積) (cm²) …………… 20.4cm²

T₁-T₂: 恒温台と測定罐との温度差 (°C) …………… 24°C または 20°C

t: 測定罐の温度が 2°C 上昇するのに要する時間 (sec.) … 第3~第14図

Q, t の数値として 2°C 上昇の場合を用いたのは、グラフより時間を求めるため 1°C 上昇の数値を読みにくいからである。時間は 30 秒を単位としてグラフ曲線より求めた。t の値として 25°C→27°C の 2°C 及び 29°C→31°C の 2°C の時間を読みとったので、T₁-T₂ の値は 24°C 及び 20°C となり、夫々 26°C 及び 30°C における熱伝導度を求めたことになる。

25°C より 27°C に上昇するのに要した時間 (秒) を第1表に示した。

第1表 25°C→27°C に要した時間 (秒)

試料種類	試料重 g	荷重圧力 g/cm ²							
		0.5	1	2	4	8	16	32	64
木綿	1	660秒	570	510	450	420	330	240	210
	2	990	790	720	660	600	420	300	240
	4	1110	960	1020	840	720	540	450	420
	8	1350	1170	1170	1020	870	840	810	780
ポリエステル綿	1	870	690	630	540	450	270	240	210
	2	1140	930	930	750	660	570	420	300
	4	1350	1020	1020	900	870	720	480	390
	8	1560	1200	1650	1440	960	1410	690	630
荷重圧力		—	—	—	4	—	—	41	88
ウレタンフォーム	1	—	—	—	750	—	—	270	210
	2	—	—	—	990	—	—	510	240
	4	—	—	—	1260	—	—	690	510
	8	—	—	—	1530	—	—	870	690

29°C より 31°C に上昇するのに要した時間 (秒) を第2表に示した。

第2表 29°C→31°C に要した時間 (秒)

試料種類	試料重 g	荷重圧力 g/cm ²							
		0.5	1	2	4	8	16	32	64
木綿	1	780	720	600	540	420	390	300	210
	2	1320	1020	930	780	750	660	480	390
	4	1770	1410	1500	1470	1050	1020	840	630
	8	2490	1920	1740	1620	1440	1680	1260	1200
ポリエステル綿	1	1170	990	780	750	600	450	360	270
	2	1770	1320	1410	1020	900	720	540	480
	4	2010	1860	1470	1140	1200	1320	810	630
	8	2460	1680	2520	2280	1500	1860	1020	900
荷重圧力 g/cm ²		—	—	—	4	—	—	41	88
ウレタンフォーム	1	—	—	—	1080	—	—	390	270
	2	—	—	—	1320	—	—	780	450
	4	—	—	—	1740	—	—	1020	810
	8	—	—	—	2130	—	—	1350	1350

第1表, 第2表には左右のデータが逆ではないかと思われる数値が数カ所あるが, 4回の平均値であるので, 訂正補正するわけに行かないし, 実験を追加して補正するには最早時期的に室温, 湿度の適切な日が無かったため, 実測値をそのまま記載した。

第1表, 第2表のデータと, 第2図の試料の厚さのデータを熱伝導度の式に代入して, 係数Kの値を算出した。25°C→27°Cの熱伝導係数を第3表に, 29°C→31°Cの熱伝導係数を第4表に示した。

第2表及び第3表を第16図, 第17図及び第18図に示した。

第3表 26°Cにおける熱伝導係数 K (×10⁻⁵ cal/cm. sec. °C)

試料種類	試料重 g	荷重圧力 g/cm ²							
		0.5	1	2	4	8	16	32	64
木綿	1	8	8	7	7	6	7	7	6
	2	11	12	12	11	10	12	13	13
	4	17	17	15	16	16	18	18	15
	8	28	28	24	25	26	23	20	18
ポリエステル綿	1	13	13	11	10	8	9	8	6
	2	19	18	15	14	12	9	9	9
	4	32	32	26	23	19	16	18	17
	8	38	42	25	22	26	13	20	18
荷重圧力 g/cm ²		—	—	—	4	—	—	41	88
ウレタンフォーム	1	—	—	—	10	—	—	8	6
	2	—	—	—	17	—	—	8	8
	4	—	—	—	24	—	—	12	9
	8	—	—	—	39	—	—	18	12

第4表 30°Cにおける熱伝導係数 K ($\times 10^{-5}$ cal/cm. sec. °C)

試料種類	試料重 g	荷重圧力 g/cm ²							
		0.5	1	2	4	8	16	32	64
木綿	1	8	8	7	7	7	7	7	7
	2	10	11	11	11	10	9	10	9
	4	13	14	12	11	13	11	12	12
	8	18	20	20	18	19	14	16	14
ポリエステル綿	1	12	11	11	9	7	7	6	5
	2	15	15	12	13	10	9	8	7
	4	25	21	22	22	16	10	13	13
	8	29	36	20	17	19	12	17	15
荷重圧力		—	—	—	4	—	—	41	88
ウレタンフォーム	1	—	—	—	12	—	—	9	7
	2	—	—	—	20	—	—	10	10
	4	—	—	—	29	—	—	14	11
	8	—	—	—	48	—	—	22	14

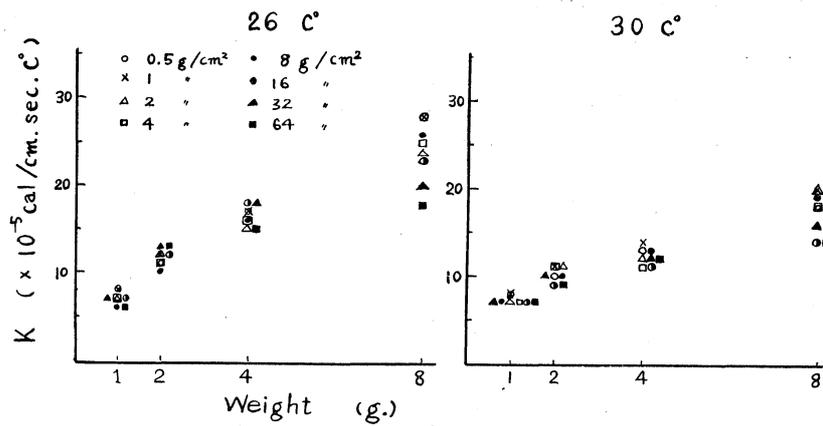


Fig. 16. Cotton.

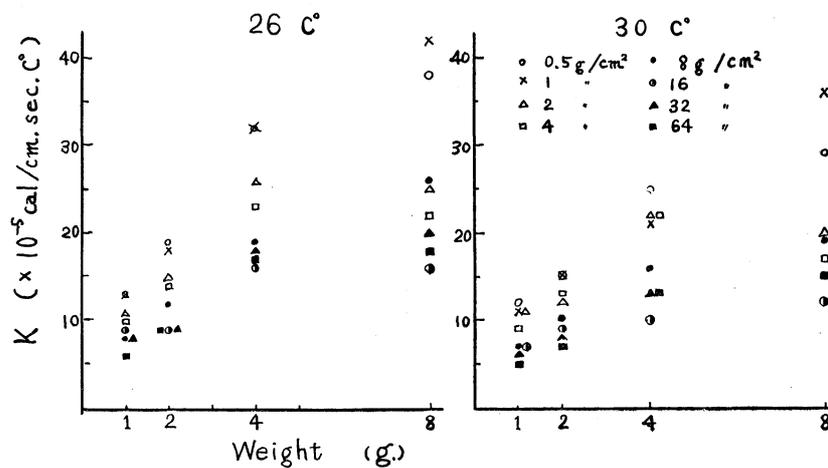


Fig. 17. Polyester.

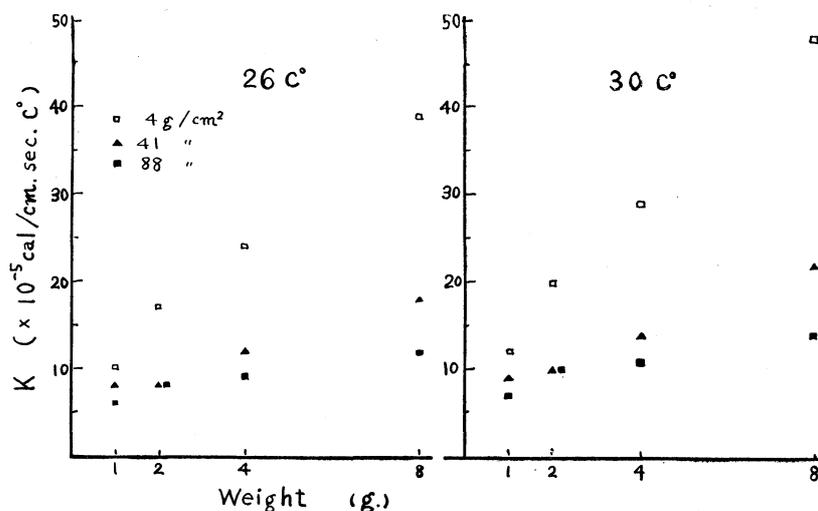


Fig. 18. Urethan Foam.

IV. 考 察

温度上昇と時間との曲線が、略々直線になり、すなわち一次函数に近い場合は、熱伝導が定常状態になっていることを示すことになる。本実験においてほぼ直線に相当するのは $25^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ の範囲であり、ふとんとして用いている時の温度である。

1. 圧力と熱伝導について

実験に用いた3種の試料は、圧力が大となるとKの値がやや小となる傾向がある。この理由として次のように考えた。

圧力が大となり試料が圧縮されることは、より多くの繊維を一定容積中に押し込んだ状態であり、したがって空気の含有量が減少するので見掛けの比重は大となる。逆に考えると、圧力が小さい場合は、より多くの空気を含んでいることになる³⁾。したがって加圧圧縮した場合の熱伝導度は、比熱 $0.3\sim 0.4$ の繊維中に含まれる比熱 0.24 の空気量は減少し、相対的に繊維が増えたことになるから熱伝導度は大となる筈である。しかし 50°C の恒温測定台の直近直上付近の温まった繊維中に含まれる空気の対流が、圧縮された繊維により妨げられるため熱伝導度は、やや小さくなるものと考えられる。この考察は Speakman 等⁴⁾ の結論とは相反するものである。

ポリエステル綿と木綿わたとのKの値の相異については、次の考察を行った。 8 g/cm^2 以下の低荷重における単位重量当りの体積は、繊維の比重及び嵩高性から当然ポリエステル線の方が、バルキーであり、温められた空気が流動しやすく対流によって移動するため熱伝導係数は大となる。圧力が 8 g/cm^2 以上になると木綿のヤング率が大いことの影響（実用上は腰が強いとかへたらないと表現されている）が発現するので、相対的に木綿の方がバルキーとなり熱伝導係数は、ポリエステル綿より僅か乍ら大となる。

ウレタンフォームは 16 g/cm^2 と 41 g/cm^2 の間の圧力で、圧縮率が急降下する。木綿、ポリエ

ステル綿と同様に考えて行くと低荷重のときは K の値は極めて大きく、高荷重のときは K の値が急に小となる筈であり、実験でもそれを立証出来た。

圧縮荷重が 0.5 g/cm^2 より 64 g/cm^2 迄、実に 128 倍に増えても、 K の値は僅かに $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 程度にしか減少しない。圧力と熱伝導係数、換言すれば圧縮率と保温性との相関関係は比較的小であると云える。実際の敷ふとんは厚さ 50 mm 以上であり、更にふとん側がついているので側方への暖まった空気の流失は本実験の場合より少ない筈である。

2. 厚さと熱伝導について

熱伝導度を求める式から見ても、 K の値は厚さに反比例するから保温性にとっては厚さが最も影響が大きく、厚さと保温性との間には極めて高い正の相関々係がある。

V. 結 論

木綿、ポリエステル綿（テトロン綿）、ウレタンフォームについて、直径 10 cm、重さ 1～8 g の円層（柱）を用いて、 $0.5 \text{ g/cm}^2 \sim 64 \text{ g/cm}^2$ (88 g/cm^2) 迄、圧力を変えて、熱伝導度を測定した。

熱伝導度は圧縮荷重の増えるに逆比例して僅かずつ減少することがわかった。保温生（伝熱抵抗）と、敷ふとんの厚さとの間には極めて高い正の相関がある。

暖まった空気の対流による熱移動を考慮に入れると、敷ふとん用としては、荷重圧力が大きいときも厚く、気密で、圧縮抵抗の大きく、したがって熱伝導度の変化の少ない木綿が最も適当であると云える。

更に上記の考察を進めて考えると、捲縮、鱗片組織のため空気の流動しにくい、弾性の大きい、更に温度湿度の変化に対しては水和発熱、気化放熱性の大きい羊毛が敷ふとんとしては最もよいことになる。

参 考 文 献

- 1) Marsh. M. C.: J. Text. Inst., **22**, T. 245 (1940)
成田時治: 化学繊維の性能とその応用 p. 511
Rees. W. H.: J. Text. Inst. **32**, T. 149 (1941)
Baxer. S.: Textile Eibers, Yarns and Fabrics. 1st edd. p. 111
真島, 松川等: 被服材料学・機構学, p. 202~210 (1956)
高橋ルリ子: 日本女子大紀要 1, No. 2, 38 (1952)
- 2) 松下為隆: 鹿児島大学教育学部紀要 15 (93) (1963)
- 3) 吉川和志: 織物の腰, 温かさ, 汚れ p. 40 (1955)
- 4) Speakman. J. B. and Chamberlain N. H.: J. Text. Inst. **21**, T. 25 (1930)