

枕の充填剤の研究（9報）

材質の熱伝導度の比較測定と絶対値測定

太田久枝

序

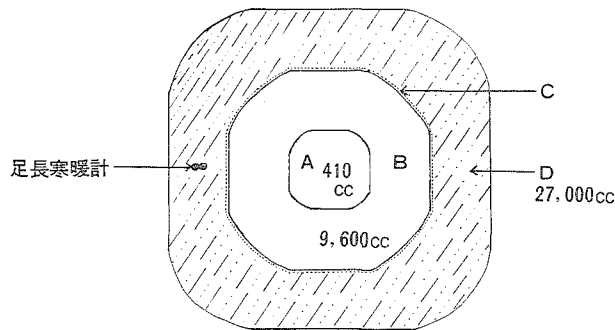
そばがらは、枕の充填剤として古くから用いられ、新製品の各種が市場に出廻る今日もなお多くの人々がこれを愛用する充填剤である。その理由を広く問うた答のうちに「冷え易くして熱がこもらない。ことに発汗したような場合には水分が皮膚に残らず爽快である」という回答が圧倒的であった。これは睡眠に必要な頭寒足熱の意を別の言葉で表現したものともいえる。

さて、「冷え易くして熱がこもらない」という事の理由として、枕に接している頸部の水分が速やかに吸収されること、汗の蒸発が促進されること、充填剤の熱伝導により熱が適度に運びさらわれることなどが考えられる。これらの現象に関して知見を広めるため熱伝導度について測定を行ったので、その結果を報告する。

1. 予備実験—熱伝導度比較測定

(1) 熱伝導度測定装置と測定方法

1 図



第1図は各種充填剤の熱伝導度を比較する装置の略図である。Bは金属製の円筒で底がある。その中に枕用充填剤を充填する。CはBにかぶせる蓋で、BもCも気密に製作し中に水が浸入しないようになっている。Cをかぶせた時にも境目から水が浸入しないように操作する。Bの内容は 9600cm^3 の体積をもつ容器である。Aは充填剤のほぼ中央に位置させるアルミ製の器にしてその中に温水を入れる。その体積は 410cm^3 である。Aの栓には足長の温度計をはめこんである。その球部は温水のほぼ中央にあるようにし、これによって各時刻における温水温度を測る。Dは 27000cm^3 の体積をもつ器で、その中に器Bを入れる。入れ方はゴム台によりBを支えDに水を入れる時Bはその殆んど全表面を水に洗われるようにする。Dに

は実験中水道水を流入流出させBの表面を一樣温度に保つ。水道水の温度は2つの温度計によって測る。Bの平均比重は水の比重より小さいので鍾を載せて浮きあがらないようにした。器B内に温水を入れた器Aを入れ枕用充填剤を充填し、蓋Cをかぶせ、D内に水道水を流入流出させるとA内温水温度が徐々に下降する。著者は10分おきに温水温度を測り、この測定を180分内外継続した。次にB内に別の資材を入れて順次同様の測定を繰返しこの時間と温水温度を測定した。

(2) 測定器具・試料・材料

実験装置一式、パテ、ビニール布(3cm巾2m)、3cm角の長さ20cmの棒^{3本}4本、大石2ヶ、各試料(小豆約14kg、そばがら600g、もみがら600g、茶がら500g、ビニール120g、スポンジフレック400g、パンヤ400g)秤、シリンダー

(3) 熱伝導度比較の理論

枕用充填剤はそばがらを含め、その熱伝導度の絶対値はかなり小さい。それ故充填剤内熱伝導の現象は準定常状態にあると見て差支えない。そこで直角座標軸を設け充填剤内に座標xyzなる点を取り、この点の温度を θ とすれば

$$\Delta\theta = 0 \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

なる微分方程式が成立すると見てよい。

さて、(1)なる充填資材を用いて測定を行った時のBの外側定温度を T_1 、(2)なる資材を用いて測定を行った時のBの外側温度を T_2 であったとすれば T_1 、 T_2 の差も亦実験中一定である。この差をCとする。

次に(1)なる充填資材を用いて行った測定中時刻 t における温水温度が θ_1 、(2)なる資材を用いて行った測定中時刻 t' における温水温度が θ_2 であって θ_1 、 θ_2 の差が矢張りCであったとする。即ちB外側では

$$T_2 - T_1 = C$$

温水では $\theta_2 - \theta_1 = C$

然る時、時刻 t 、 t' における両充填物内任意の対応点の温度を θ_1 、 θ_2 とすれば

$$\theta_2 - \theta_1 = C \quad \text{である。}$$

これは、グリーンンの公式を利用して容易に証明し得る。

そこで t 、 t' なる時刻における状態を比較すれば両者等温面の形状大きさは相等しく、従って2つの等温面上対応点の温度勾配は相等しいということがわかる。さて対応する等温面を S 、 S' とする。 dt なる時間の間に S 、 S' 表面を通過する熱量は S 、 S' が存在する充填物質の熱伝導係数を K_1 、 K_2 とすれば、それぞれ

$$dt \int \int K_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial n} dS$$

$$dt \int \int K_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial n} dS$$

により与えられる。 K_1 、 K_2 はいずれも常数と見なされるので上式は

$$K_1 dt \int \int \frac{\partial \theta_1}{\partial n} dS$$

$$K_2 dt \int \int \frac{\partial \theta_2}{\partial n} dS$$

S, S' 対応点の温度勾配が相等しいので

$$\int \int \frac{\partial \theta_1}{\partial n} dS = \int \int \frac{\partial \theta_2}{\partial n} dS \quad (1)$$

始めの実験において t につづく dt なる時間の間に温水温度の下降する温度を $d\theta_1$ とすれば、準定常状態においては温水の失う熱量は同じ dt なる時間の間に S 表面を通過する熱量に等しいとみて差支えない。従って温水質量と器 A の水当量の和を m, その比熱を 1 とすれば

$$md\theta_1 = dt K_1 \int \int \frac{\partial \theta_1}{\partial n} dS \quad (2)$$

なる関係が成立する。

同様に t' に続く dt なる時間の間に温水温度が $d\theta_2$ 下降したとすれば

$$md\theta_2 = dt K_2 \int \int \frac{\partial \theta_2}{\partial n} dS \quad (3)$$

なる関係が成立する。従って(1)・(2)・(3)式から

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{d\theta_1}{d\theta_2} = \frac{\frac{d\theta_1}{dt}}{\frac{d\theta_2}{dt}} \quad (4)$$

なる関係を得る。

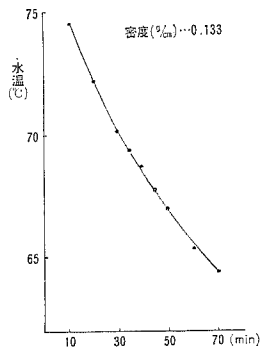
$$\frac{d\theta_1}{dt}, \frac{d\theta_2}{dt}$$

は温水温度が時間の経過に応じて下降する有様を観測することによって知りうる量である。そこで温水温度が時間の経過に応じて下降する有様を各充填剤に対して測定しておけば(4)式から各充填剤の熱伝導度の比較ができる。

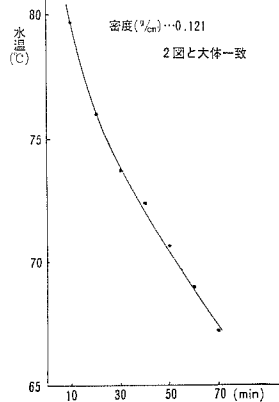
(4) 熱伝導度の比較結果

2-7 図までは、各試料を充填して行った測定における水温一時間曲線を示したも

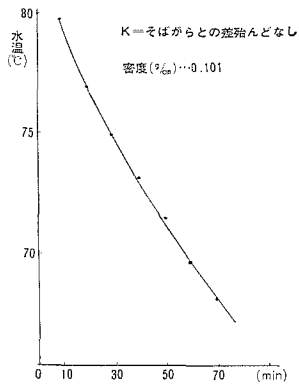
2 図 そばがら



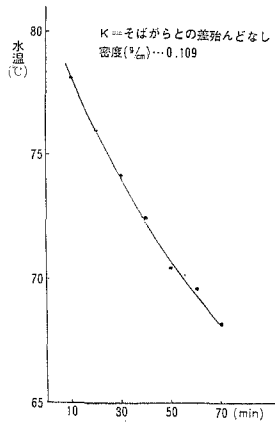
2 図' そばがら



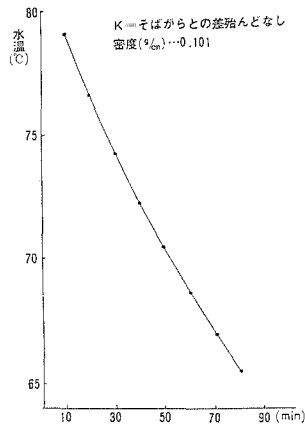
3 図 もみがら



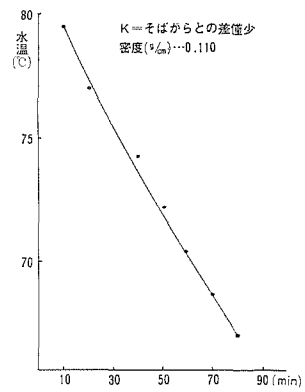
3 図' もみがら



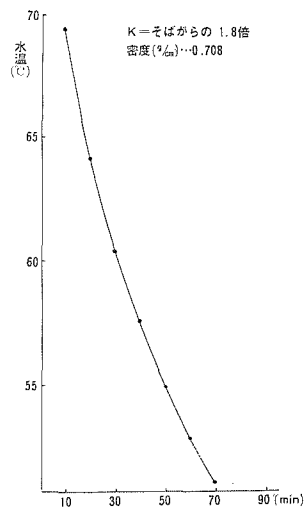
4 図 茶がら



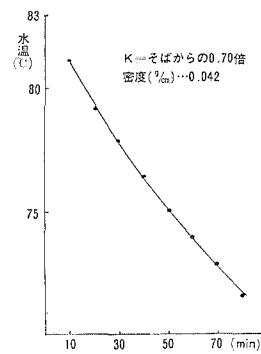
4 図' 茶がら



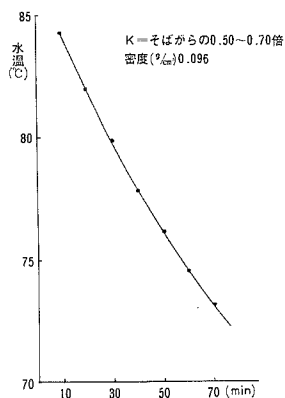
5 図 小豆



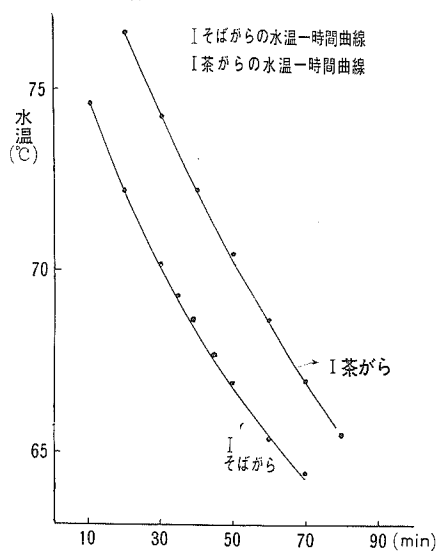
6 図 パンヤ



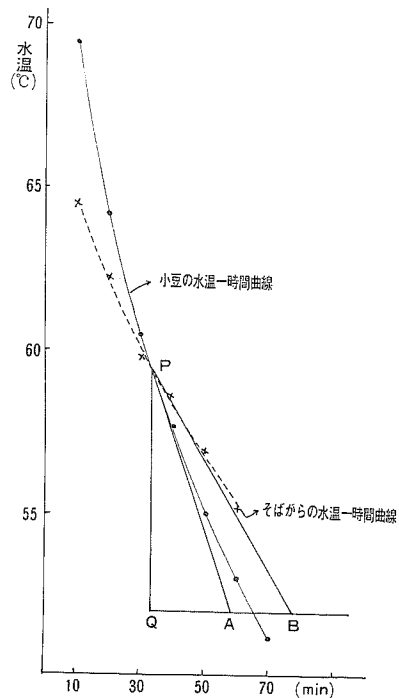
7 図 スポンジフレック



8 図 } 水温の一時間曲線の比較



9 図 } の水温一時間曲線



ので、8図はそばがらと茶がらを示したものである。両曲線平行して交わることがない。このことは、

$$\left(\frac{d\theta_1}{dt}\right)_t = \left(\frac{d\theta_2}{dt}\right)_{t'}$$

を意味する。従って(4)式から充填せられたそばがらと茶がらの熱伝導度は相等しいことがわかる。

第9図はそばがら及び小豆をそれぞれ充填した場合の水温一時間曲線を示し、(3)において述べた条件の満足せられる様にして描いてある。両曲線の交点をPとし、このP点において

両曲線に接線 PA, PB を引き、これが時間軸に平行な直線 AB に交る角を ϕ_1, ϕ_2 とすれば、 ϕ_1, ϕ_2 は両接線が時間軸に交る角に等しい。

そこで充填せられたそばがらおよび小豆の熱伝導度を K_1, K_2 であらわせば第(4)式から

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\tan \phi_1}{\tan \phi_2} = 1.8$$

具体的に数字を入れると、充填せられた小豆の熱伝導度は、充填せられたそばがらの 1.8 倍ということになる。

以上述べたのと同様にして充填せられたパンヤ、スポンジフレークの熱伝導度は、そばがらのそれに比較して 0.50~0.70 倍であることがわかり、充填せられたそばがら、もみがら、茶がらの熱伝導度は大体において相等しいと見なして差支えない事がわかる。

(5) 考察・結論

(1)において述べた装置により測定する場合、器 A 中の温水には時間の経過に伴って温水成層があらわれ、器内下部の水温は上部の水温に比べて幾分低い状態になるものと考えられる。第(4)式を導き出す際温度成層のことは考慮に入れてない。従って(4)式を用いることは幾分精度をわるくすることにたす。

然し、温水温度を測る温度計の球部は温水のほぼ重心に当る点に位置を占めているので、その示す示度は温水の平均温度を示すものと考えて差支えない。従って前記測定結果は近似的に正しいと考えられると思われる。

① さて充填したそばがら、もみがら、茶がらの熱伝導度はほぼ相等しい。このことからそばがらが熱関係で、もみがら、茶がらにすぐれているとしても、それは熱伝導現象によるのではなく、別の現象によるのであるということがわかる。

② 充填された小豆及びパンヤ、スポンジフレークの熱伝導度はそばがらのそれに比べて前者は大きく、後者は小さい。しかしこれによって何れが熱関係においてすぐれているかを結論づけることはできない。ただ枕の充填資材に関する知見がひろまることに役立つのであれば幸である。

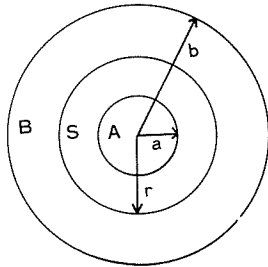
2. 熱伝導度絶対値測定

著者は熱伝導度比較測定の後、さらにその絶対値がどの程度のものであるかを測定する事にした。

(1) 熱伝導度絶対値測定装置と測定方法

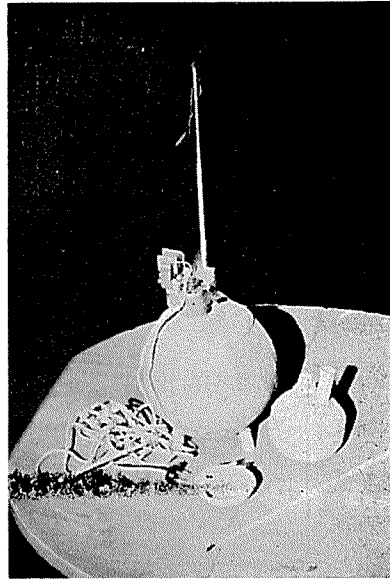
前報第一図に示した A・B 両器を 10 図のように、その中心が共通である中空の金属球にしらえ、A 器内の温水の温度が一様性を保ちつつ冷却するようにするため、新たに攪拌器を設備し、これを静かに回転せしめて温水を攪拌した。「写真参照」

まず半径 b なる球形の器 B の中に半径 a なる球形の器 A を両者の中心が一致するようにおく。両球の間にそばがら等の枕の充填物を一様につめる。球 A の中に温水を入れ B の外側を一定温度 T に保ち温水の温度が時間の経過とともに下降する有様を観察し、これにより充填状態のそばがら、その他試料の熱伝導度を測定した。



10図

写真 1



(2) 測定器具・試料・材料

実験装置一式・パテ・ビニール布 (3 cm巾2 m), 3 cm角の長さ 20cm の棒^{おお}四本, 大石ニケ電気恒温器, デンケーター, 霧吹き, ビニール袋 (大10ヶ), 秤, シリンダー, 温度計 (温度計は基準寒暖計にて小数以下2位まで測定。) (水分の与え方は, 試料をシリカゲル中に約1ヶ月位入れておく。各%の水分を霧状に撒布後, ビニール袋に入れ軽くまぜ, 袋口を絞めたまま10分間程度 40°C の恒温器中に入れ後再度試料を混和, 室温までさげてから使用する。) 各試料・(小豆, そばがら, もみがら, 茶がら, ビニール, スポンジフレック, パンヤなど) をつめてから, 外かんの囲りをほぼ同一程度に 100 回宛たたく。

(3) 熱伝導度絶対値測定 of 理論

器Aの外半径 a より大きく器Bの内半径 b より小さい半径 r なる同心球を想像する。

即ち $a < r < b$

であるとする。準定常状態においては, この想像せられた球の外へ dt なる時間の間に流出する熱量は r が大きくても小さくても同様であると考えられる。さらにこの状態では熱の流出は中心から放射状即ち半径に沿っているものと見なすことができる。そこで温度勾配は半径の方向に向い, また半径 r なる球面上どこでも相等しい。そこで充填物質の熱伝導度を K とすれば dt なる時間の間に半径 r なる球面から外に流出する熱量 dQ は

$$dQ = K \frac{d\theta}{dr} 4\pi r^2 dt \dots\dots\dots(1)$$

で与えられるとみてよい。θ は半径 r なる球面上の温度にして, r のみの関数である。従って $\frac{d\theta}{dr}$ は温度勾配をあらわす。温水が同じ dt なる時間の間に失う熱量はその間の温度降下を dθ とすれば

$$(mC+M) d\theta \dots\dots\dots(2)$$

により与えられる。

ここにCはA器をこしらえる金属の比熱，mはその質量，Mは器内温水の質量である。水の比熱はその温度に関係なく 1 Cal/g Deg とみなしてある。準定常状態においてはこの $(mC+M) d\theta$ は(1)式の dQ に等しくならなければならない。(1)式を

$$dQ = \rho dt$$

とおけば

$$\rho = K \frac{d\theta}{dr} 4\pi r^2$$

である。この ρ は r に無関係な常数である。書きかえると

$$4\pi K \frac{d\theta}{dr} = \frac{\rho}{r^2}$$

両端を r について積分すれば

$$4\pi K \theta = -\frac{\rho}{r} + S \dots\dots\dots(3) S \text{は積分常数}$$

A器の温度を θ_1 ，B器の温度を T とすれば

$$4\pi K \theta_1 = -\frac{\rho}{a} + S$$

$$4\pi K T = -\frac{\rho}{b} + S$$

従って

$$\theta_1 - T = -\frac{\rho}{4\pi K} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right)$$

これから

$$\rho = -\frac{4\pi K}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} (\theta_1 - T)$$

これを(3)式に代入すれば

$$4\pi K \theta = \frac{4\pi K}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} (\theta_1 - T) \frac{1}{r} + S$$

これから

$$\frac{d\theta}{dr} = -\frac{1}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} (\theta_1 - T) \frac{1}{r^2}$$

これを(1)式に代入し，(2)式と比較して

$$(mC+M) d\theta = -\frac{4\pi K}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}} (\theta_1 - T) dt$$

従って

$$\frac{d\theta}{\theta_1 - T} = -\frac{4\pi K}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)(mC+M)} dt$$

これから $t = 0$

における温水温度を θ_0 とすれば

$$\theta_1 - T = (\theta_0 - T) e^{-\frac{4\pi K}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)(mC+M)} t}$$

なる結果を得る。

これは時間の経過に従って、温水温度の変化する有様を示す式である。

なをKが大変小さいので、上記の式を展開して第二項若しくは第三項までとすれば

$$\theta - T = (\theta_0 - T) \left\{ 1 - \frac{4\pi K}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)(mC + M)} t \right\} \dots\dots(4)$$

$$\theta - T = (\theta_0 - T) \left\{ 1 - \frac{4\pi K}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)(mC + M)} t + \frac{(4\pi K)^2}{2\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)^2 (mC + M)^2} t^2 \right\} \dots\dots(5)$$

(4) 熱伝導度の絶対測定の結果

絶対測定は

$$a = 6.0cm$$

$$b = 11.0cm$$

従って

$$\frac{4\pi}{\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)(mC + M)} = 0.178 \text{ c g s 単位}$$

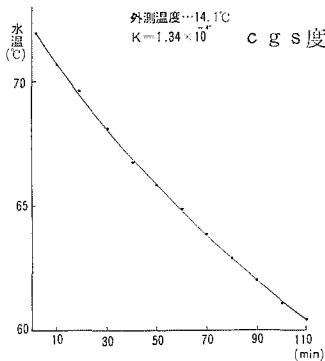
のもとに行い、第11図から第21図までは時間経過と温水温度の関係を図示したものである。

(5) 考 察・結 論

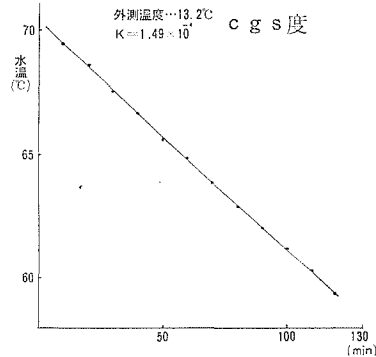
測定結果から次のことが結論できるものと思われる。

- ① 各種充填物質の熱伝導の絶対値がほぼ明らかになったこと。
- ② 絶対測定、比較測定の結果からみて、もみがら等の熱伝導度がほぼ相等しいこと。
- ③ 絶対測定において小豆の伝導度がそばがらのその約2倍にして比較測定の場合この比に大きな差のないこと。
- ④ そばがら、もみがら共に含水量が増加するに従って熱伝導度が増加すること。
- ⑤ ビニール、スポンジの熱伝導はそばがらよりはるかに小さいこと。

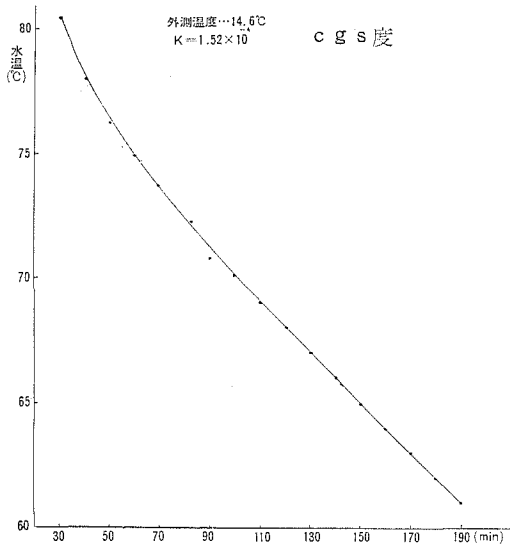
11図 乾燥もみがら



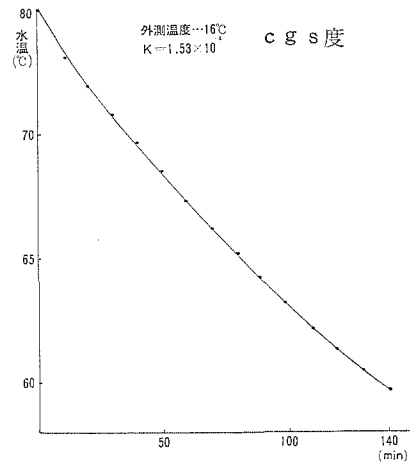
12図 乾燥もみがら



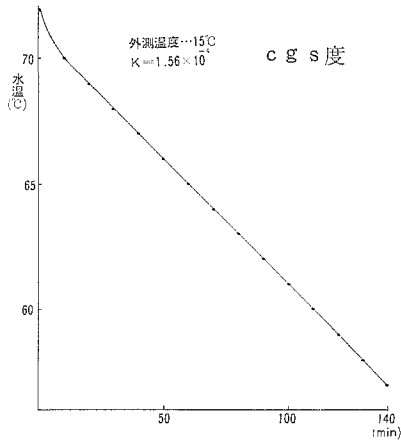
13図 乾燥茶がら



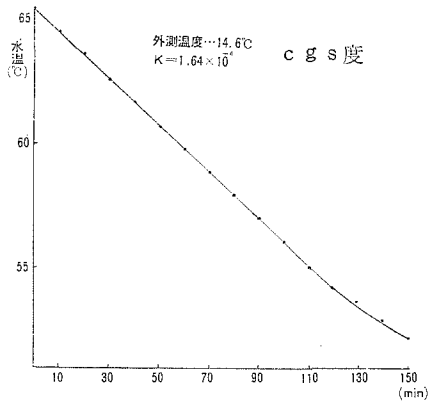
14図 茶がら (水分10%含む)



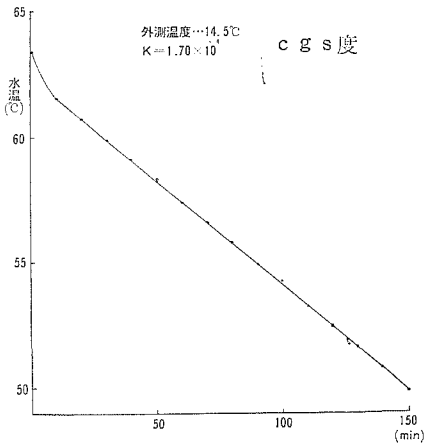
15図 もみがら (水分10%含む)



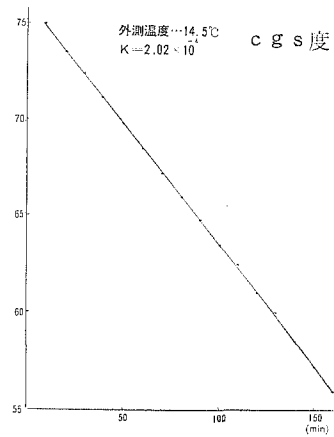
16図 乾燥そばがら



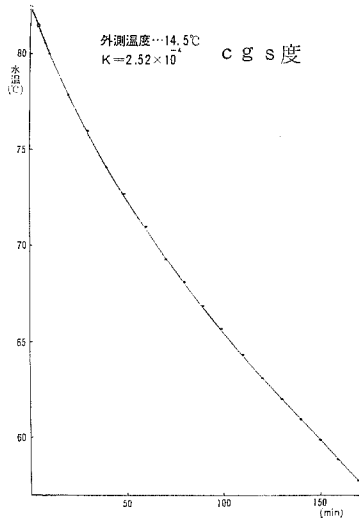
17図 もみがら (水分20%含む)



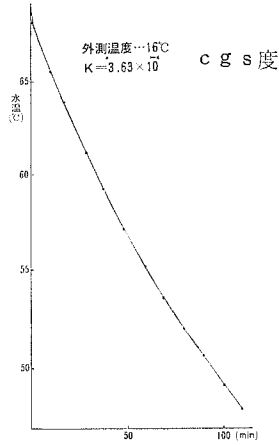
18図 そばがら (水分10%含む)



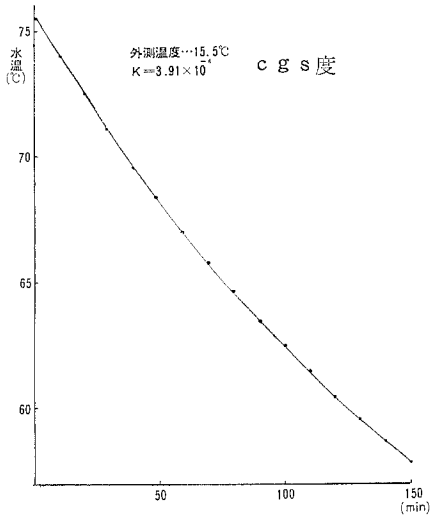
19図 そばがら（水分20%含む）



20図 あずき



21図 茶がら（水分20%含む）



3. ま と め

これらの結果から、そばがらが熱現象においてもみがら等にすぐれているとしても、それは熱伝導度に原因があるのではないということが比較測定の場合におけると同様この場にも筆者は考えたい。

小豆・パンヤも枕充填剤として広く用いられる。しかし季節によって使用する度数が異なるものか否かが明らかになっていないが、もし相違ある場合、その理由を考慮する場合には熱伝導度は一応考慮すべきものと考えたい。

本実験は昭和36年家政学会中部支部例会にて発表したものである。

最後に本研究を終始ご助言を賜りました，前，信州大学文理学部教授向井正幸先生に対し厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

(著者名)	(著者)	(発行所・年)
枕の充填剤の研究(各材質の吸湿・脱湿など)	太田久枝	信州大学教育学部論集 1966
繊維の科学	榎田・谷口	三共出版(152ページ)
応用物理Ⅱ	俣野仲次郎	1953
物理常数表	岩波書店(芝亀吉)	昭和19(195ページ)
綿の熱伝導度について	高橋はる子	家政学雑誌(14)・(16)
新しい寝具	寝具改善指導本部	昭和41
フォームラバーの科学	フォームラバー工業会	昭和42
睡眠の性能を売る	エムプレスベツト	昭和39
理科学辞典	岩波書店(井上敏外)	1953(1022ページ)
国民百科	平凡社(小野)	昭和38

Summary

A STUDY OF STUFFINGS IN PILLOWS (PART IX)
COMPARATIVE AND ABSOLUTE-VALUE MEASUREMENTS
OF HEAT CONDUCTION OF MATERIALS

Hisae OTA

It is said that among stuffings in pillows that of buckwheat husks is especially easy to become cold, and is not filled with heat. The present writer made the measurements of the degree of heat conduction to see whether or not the statement was really true.

These features could be pointed out from the results of the measurements. As far as the degree of heat conduction was concerned, buckwheat husks, chaffs, and others were nearly equal. Red beans, for that matter, were about twice as high as buckwheat husks. Both buckwheat husks and chaffs increased the degree of heat conduction in proportion to the increase of hydrated quantity. Vinyl and sponge were lower in the degree of heat conduction than buckwheat husks.

From those results should be formed the following conclusion. Buckwheat husks on the aspect of heat phenomenon were not especially more excellent than chaffs and other stuffs. And then the present writer thought that the cause of that statement concerning buckwheat husks, especially easy to become cold, not filled with heat, should be searched for in other directions.