

木材表面の物理的性質に関する研究 II

指からの木材または他材料への熱伝導量の相違

鈴木 正 治⁽¹⁾

Masaharu Suzuki: Studies on Physical Properties of Wooden Surface II

Difference of thermal transmission from finger to wood or
other materials

要 旨：居住用内装表面材料の特性として、熱伝導率が小さいこと、すなわち、手指などの接触のさい、内装材料へ移動する熱量(熱伝導量)が小さいことが肝要となる。熱伝導量の大きさを木材素材、木質材料、各種の無機、有機材料別に求めるため、モデル的に人差指のみの接触による熱移動を考え、接触部(指先)と末指節間関節との間の表皮の温度分布を測定した。材料の種類によって異なる温度勾配が得られ、これらと実験で求めた指(生体)の熱伝導率より、各種材料への熱伝導量を計算すると、木材素地面、発泡材料、羊毛などへの熱伝導量は他材料に比べて最も小さい。各試料の表面状態が異なるにもかかわらず、指からの熱伝導量の大小と試料の熱伝導率の大小の関係はほぼ一致する。指が静止とすべる場合で熱伝導量がやや異なる。接触のさい生ずる温度的な感触の良さは室内気温の影響が強く関係し、常温の室内に限った場合、熱伝導量と人体の基礎代謝量との関係より検討できる。

I 緒 言

内装材料、室内ユニットは直接人間の身体に触れるものであるから、I 報で記述したなめらかさなどに加えて、熱伝導率、熱容量の小さいものが望ましい。

手指が物体に触れて感ずる温度(生理学的には皮下結締組織中の Ruffini 小体による¹⁾)は、移動熱量の多寡によって定まるところの、いわゆる感覚温度である。感覚温度は、冬期スチールなどの金属類は低く、逆に羊毛などの防寒衣類は高い値となる。

このような感覚温度を温度的感触と結びつけると、前例では羊毛の方がスチールより快適な感触とせねばならない。しかし夏期、瀬戸物の冷たさを快感的感から良しとすること、冬でも暖かい室内で、厚い羊毛の衣類は暑さを感じるのである。この点木材の温度的感触の良さは、スチール、羊毛のように季節的な変動を受けない。たとえば冬期、コンクリートの床よりも木製の方が足の冷えが少なく、夏期、じゅうたんより木製の方が涼しげに感ぜられる。

このように環境温度の影響が著しいが、温・湿度の制御された場合を想定するとある程度の整理が可能となる。いま感覚温度、すなわち移動熱量の基準値を人体の基礎代謝量にこめてみる。

RUBNER によれば²⁾

環境温度	輻射・伝導による放熱	蒸発による放熱	代謝総熱量
15°C	55.3 Cal/h	7.7 Cal/h	63.0 Cal/h
20°C	45.3 "	10.6 "	55.9 "
25°C	41.3 "	13.2 "	54.5 "

1969年12月25日受理

(1) 木 材 部

年齢，男女別では³⁾

年 齢	男	女
20～30才	36.7 Cal/h m ²	33.1 Cal/h m ²
30～40才	38.4 "	32.0 "
40～50才	35.6 "	31.6 "

日本人の成人の平均体表面積は 1.48m² であるので¹⁾，20°C の代謝量は m² あたり 37.7 Cal/m²h，これより 0.00105cal/cm² sec と計算できる。この値は 20°C の安静状態の測定値であり，坐位でもこの 1.4 倍，歩行で 2.4 倍となる¹⁾から，上記の数値は生理的に最も安定したものであり，皮膚からの移動熱量として健康上理想的な基準と解釈できる。したがって，この値に対して，接触による移動熱量がどの程度の値になるかを調べる必要がある。この立場で実験をすすめ，一応の結論を得たので報告する。

結果のとりまとめの際，京大医学部の村井淳志講師に検討を願い，上村部長，山井科長をはじめ物理研究室の諸氏にもお世話になった。ここに厚く謝意を表する。

II 指の接触による熱の移動

II-1. 実 験 法

手指が物体に触れるとき，接触の形，接触部の形状は種々であるが，いまモデル的に，人差指を物体面に対して 60° 程度に立てて，指先（突端部）のみを軽く接触させる。人差指の掌面側の皮膚表面温度は主に 32°～34°C であり，室温が 20.5°～21°C であったから，熱が指より物体に移動して，指の温度がしだいに下がってくる。

接触部の端（末節骨の指紋の中心より指先の方へ約 8～9 mm のところ）を 0 とし，掌面側を上方に向かって一定の間隔ごとに指の表面温度を測定する。

測温方法は素線がクロメル-アルメルで，シース加工（外径 0.5 mm）の接点型熱電対を用い，指の皮膚表面に軽く接触させる。素線はマイクロブラグで補償導線と結び，冷接点を通じて記録計に接続する。

指の温度は実験の過程で 32°～33°C の範囲にあったので，測温のまえに手を 34°C に保たれた雰囲気へ挿入し，表面温度を一定にする。

被接触物体は金属，無機材料，合成樹脂，木質材料など 25 種を選び，その形状は主に大きさ 30×30cm 以上，厚み 6 mm 以上とし，測温体をつけた人差指先をこれらに軽く押しつけ温度変化を記録した。

II-2. 接触による皮膚表皮の温度変化

測温点を接触部 ($x=0$) より，上方に数ミリずつずらせた各部分の温度の時間変化を Fig. 1～25 に示す。各図で明らかなごとく，($x=0$) の場合が初期時間において最も温度低下が大きく，低下曲線の様子は試料によって多少の相違を示す。

アルミニウム，ステンレス・スチール，しんちゅう，ガラスなどは 0～1 分で低下が大きく，あとはほぼ一定になる。しかし羊毛，たたみ表，ヒノキ，ビニルレザーもこれと類似した傾向を示す。これらは熱伝導率の大きい前者に対して，後者は小さい。初期の低下後も 4 分程度まで一様に減少をつづけるグループは，ポリエステル化粧合板，メラミン樹脂オーバーレイ板，硬質塩化ビニル板，紙，パーティクルボード，コンクリート，マカンバ，磁器などで木質材料も含まれる。両グループの中間的な，初期以後の低下が漸減するものに，レンガ，尿素樹脂，フェノール樹脂がある。これらの図から，温度低下はだいたい 5

分程度で平衡に達するものが多い。

$x = 1 \sim 4$ mmでは、 $x = 0$ に比べて温度低下の速度は小さいが、ほとんどの試料で、接触してから1分以内に温度低下が現われる。指先で温度を感じるのは、感覚的に接触面だけでなく、ある体積で感じており、これがこの範囲の距離にはいるのであろう。

Note θ : 温度 Temperature

t : 測定時間 Measuring time.

x : 人差指と物体の接触位置から温度測定点までの距離。

Distance from contact part of forefinger tip and material to a point of measurement of temperature.

θ_0 : 接触前の x 点における人差指の表皮の温度

Temperature of epidermis of forefinger at x before contact with material.

θ_5 : 接触して5分経過後の x 点における人差指の表皮の温度。

Temperature of epidermis of forefinger at x after a lapse of 5 minutes with contact.

Fig. 1 ステンレススチール (Cr) に人差指先の接触による人差指表皮の温度変化
Change of temperature of epidermis of forefinger by contact of forefinger tip with stainless steel (Cr).

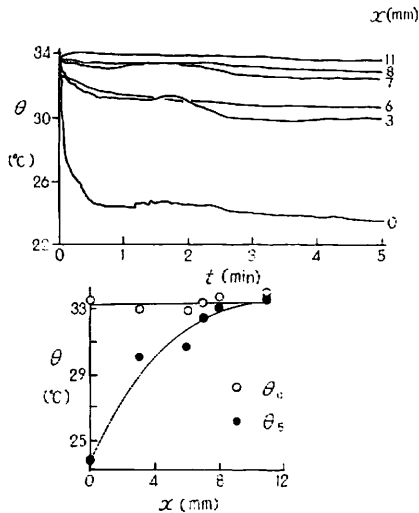
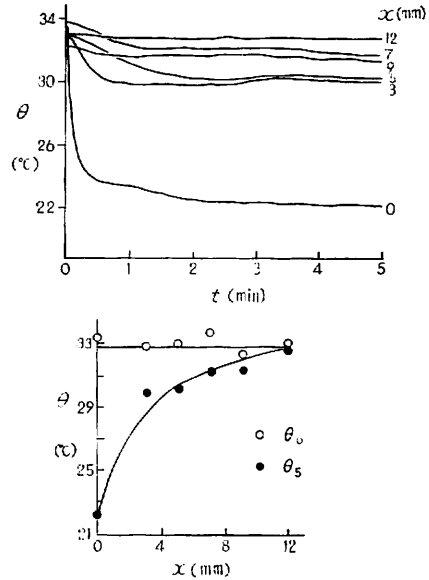


Fig. 2 ステンレス・スチール (Cr, Ni) と接触
Contact with stainless steel.

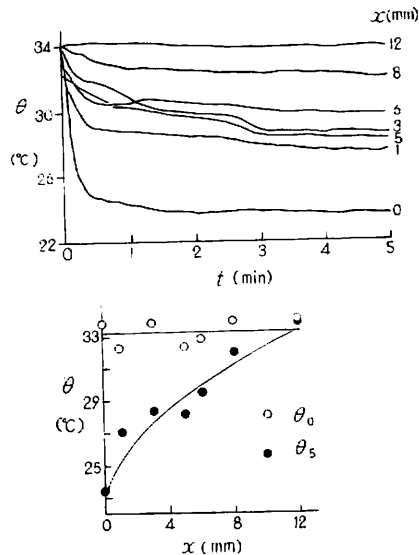


Fig. 3 アルミニウムと接触
Contact with aluminium.

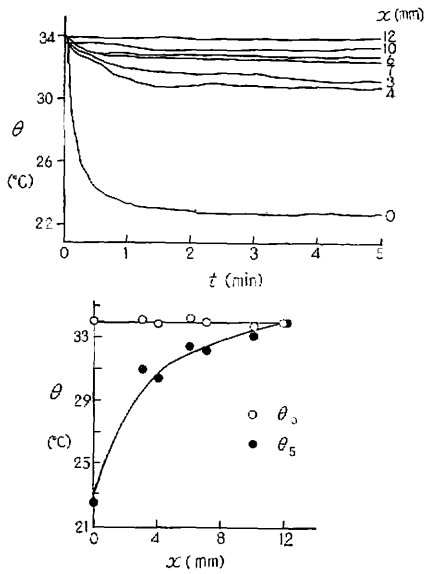


Fig. 4 真鍮と接触
Contact with brass.

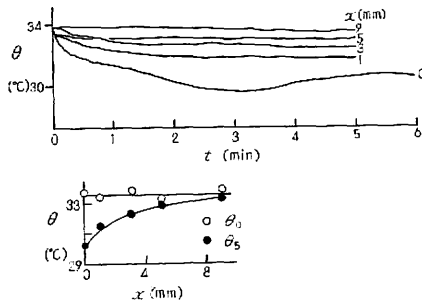


Fig. 6 パーライトアスベストと接触
Contact with asbestos.

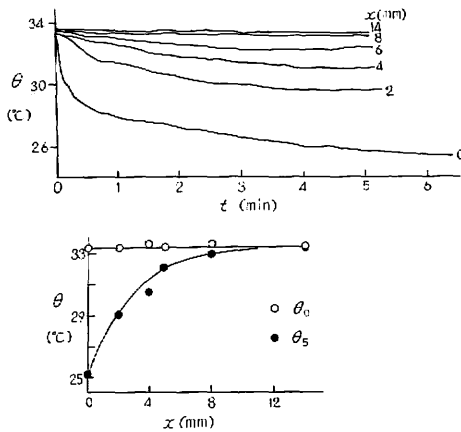


Fig. 8 コンクリートと接触
Contact with concrete.

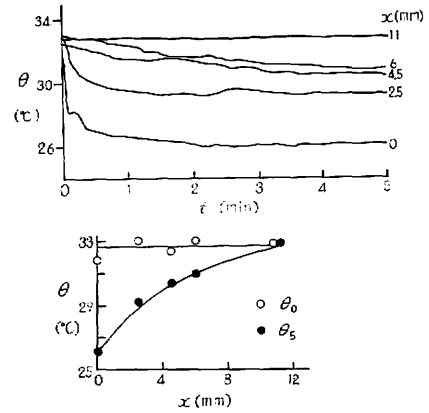


Fig. 5 ガラスと接触
Contact with glass.

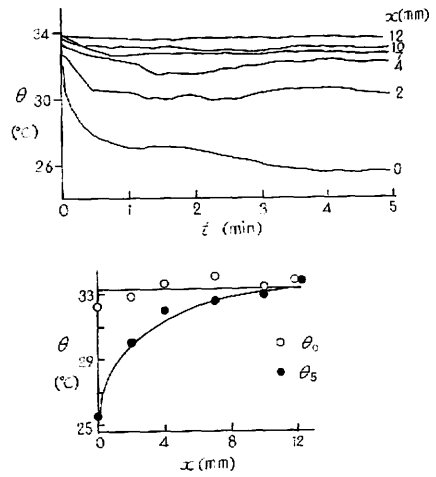


Fig. 7 陶磁器と接触
Contact with ceramics.

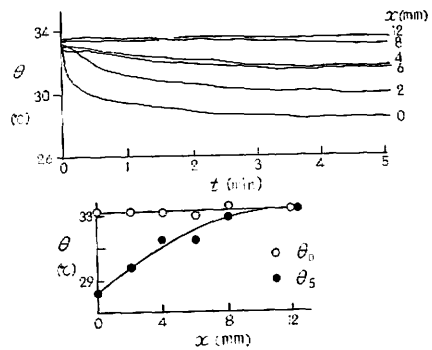


Fig. 9 レンガと接触
Contact with brick.

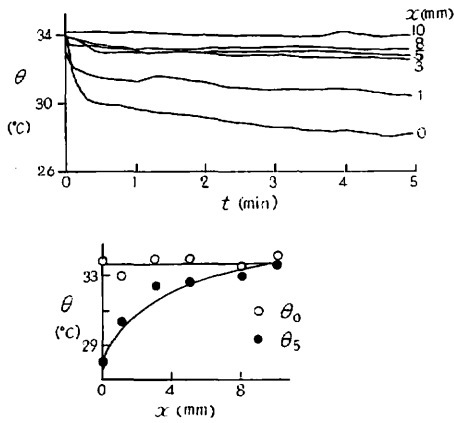


Fig. 10 硬質塩化ビニル板と接触
Contact with polyvinyl chloride.

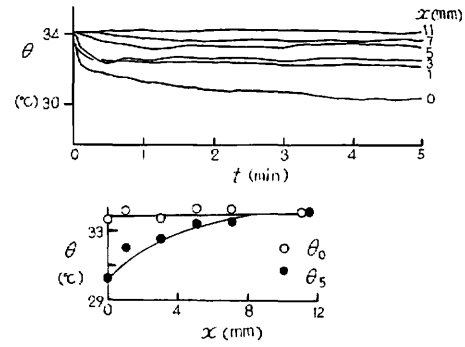


Fig. 11 尿素樹脂板と接触
Contact with urea resin.

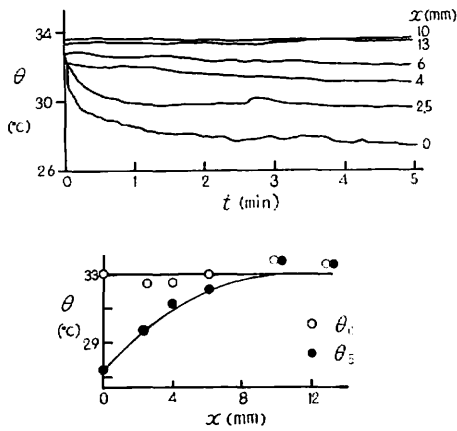


Fig. 12 フェノール樹脂板と接触
Contact with phenolic resin

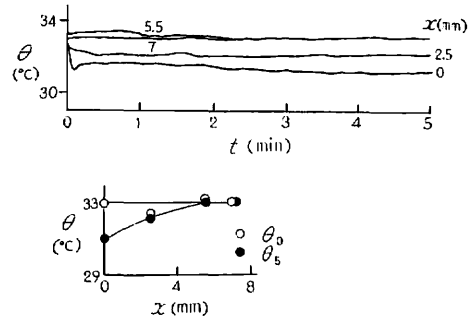


Fig. 13 ポリスチロールフォームと接触
Contact with foamed polystyrol.

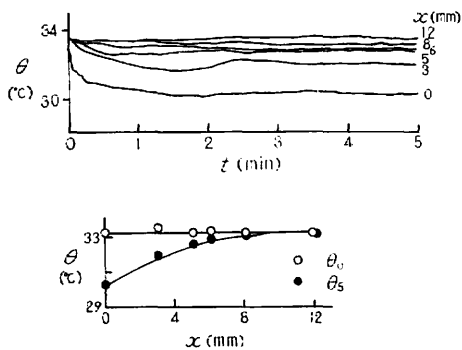


Fig. 14 ヒノキと接触
Contact with HINOKI.

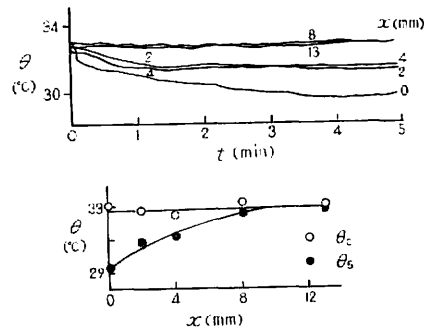


Fig. 15 マカンバと接触
Contact with MAKANBA.

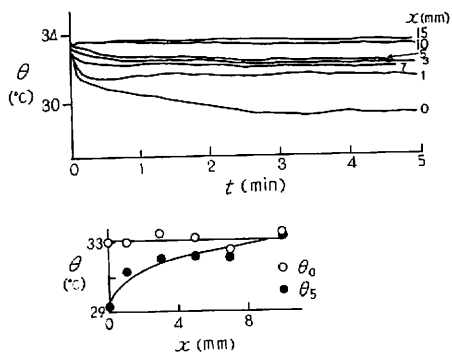


Fig. 16 アミノアルキッド塗装ナラ材と接触
Contact with oak wood coated
with amino alkyd resin paint.

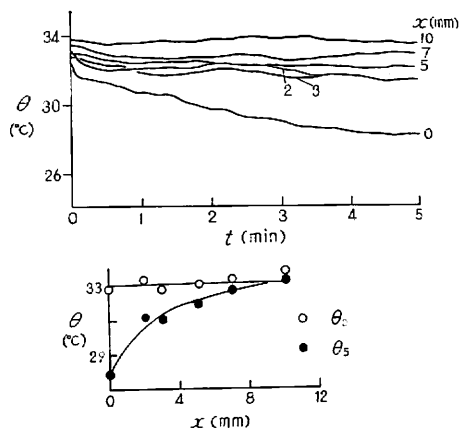


Fig. 17 ポリエステル化粧板と接触
Contact with polyester resin overlaid
plywood.

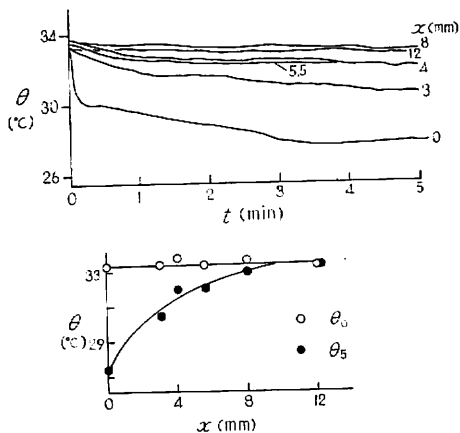


Fig. 18 メラミン樹脂オーバーレイ板と接触
Contact with melamine resin
sheet overlaid.

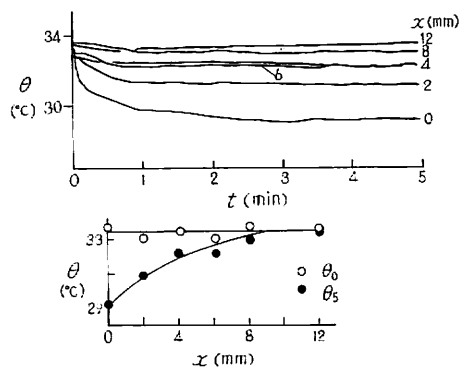


Fig. 19 ハードボードと接触
Contact with hard board.

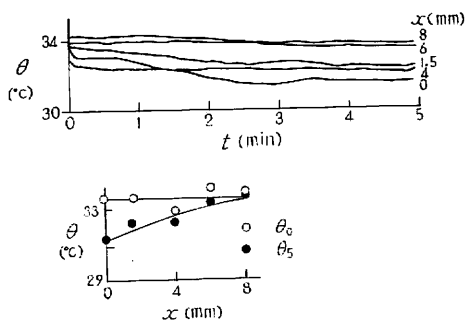


Fig. 20 インシュレーションボードと接触
Contact with insulation board.

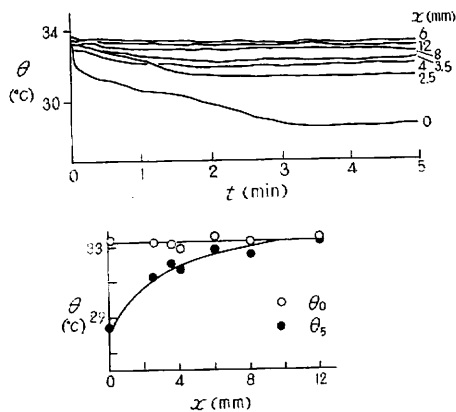


Fig. 21 パーティクルボードと接触
Contact with particle board.

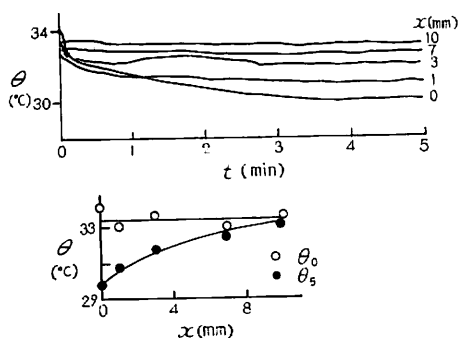


Fig. 22 紙と接触
Contact with papers.

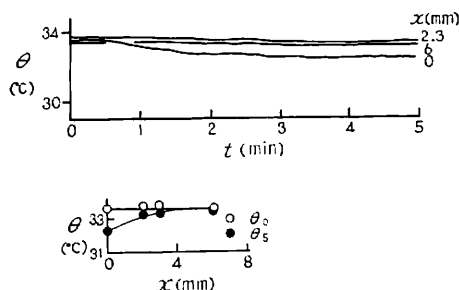


Fig. 23 羊毛と接触
Contact with wool.

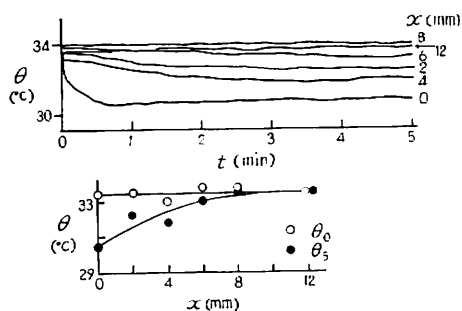


Fig. 24 たたみ（表）と接触
Contact with tatami (straw mat).

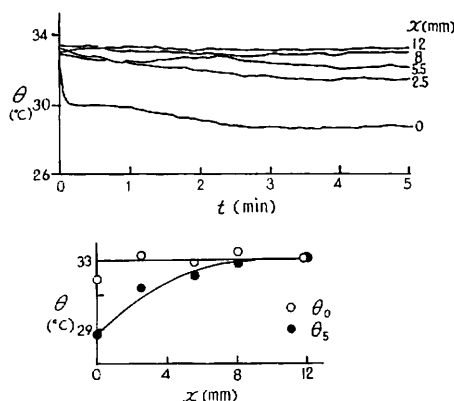


Fig. 25 ビニールレザーと接触
Contact with vinyl leather.

Figs. 1～25の下図は接触前の θ_0 と5分経過後の θ_5 を縦軸にとる。低下が $x = 0 \sim 5$ mmの範囲で主に現われるもの：アスベスト、スチロールフォーム、インシュレーション、たたみ表、ヒノキ、羊毛。
 $x = 5 \sim 8$ mmでもなお明りょうに現われるもの：アルミニウム、ステンレス・スチール、しんちゅう、ガラスがある。後者のグループは熱伝導率の大きい金属類、前者はその小さいものが多い。

Figs. 1～25の下図に示すように、低下温度 θ_5 の傾向を曲線であらわし、 θ_0 の平均値（直線で示す）と交差する点 x_s が求められる。 x_s では、この時間内の測定では温度低下が現われない位置であり、金属類の11～12mm、無機質材料の11mm、木質材料、合成樹脂の9 mm、羊毛は最小で5.5mmになる。この結果 x_s は接触部より末指節間関節の間で、材料によって若干の相違を示す。

皮膚の温度変化を10分まで追跡したところ、5分の結果とほとんど同じだったので、各図は5分までの結果を示す。

Ⅲ 熱 伝 導 量 の 算 出

Ⅲ-1. 指の温度低下と熱伝導式

指の皮膚は、70 μ 程度の表皮、その下に400 μ 程度の真皮、その下に種々の厚さの皮下組織よりなる⁴⁾⁻⁶⁾。表皮で角質化した角層、皮下組織の脂肪は断熱性があり、筋繊維は一定の熱伝導体で、貫走する毛細血管

は熱の伝達をおこなう。

皮膚の温度は血液中の O_2 の代謝熱によって保たれるが、指先が物体に触れると毛細血管の収縮が生じ、接触部に近いほど温度低下が著しくなり、このため指の長さ方向に温度傾斜が生ずると考えられる。

接触された物体(試料)は大きいから、接触によっても物体の平均温度は変化しないとみられ、接触位置より末指節間関節までの温度勾配は各図で確認されたから、指からの熱伝導量は次のごとく考えられる。

指の長さ方向の温度勾配を $d\theta/dx$ とすると、単位時間における熱伝導量 q は

$$q = -k \left(\frac{d\theta}{dx} \right) A \quad x \leq 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここに k は指の熱伝導率、 A は指の断面積である。(1)の積分によって

$$\theta = -\frac{q}{kA} \cdot x + C \dots\dots\dots (2)$$

Figs. 1~25では接触部 $x = 0$ より一定の距離をへだてた $x = x_s$ では温度の低下をみなかったので、これを

$$\theta = \theta_s \quad x = x_s \text{ (一定)}$$

とすれば

$$C = \theta_s + \frac{q}{kA} \cdot x_s \dots\dots\dots (3)$$

(3)を(2)に代入して(4)式をうる。

$$(\theta_s - \theta) = \frac{q}{kA} (x - x_s) \dots\dots\dots (4)$$

(4)式より、縦軸に、 $\theta_s - \theta$ 、横軸に $x - x_s$ をとり直線性が認められれば、その勾配より k, A が知れる場合 q が計算できる。この際 θ_s は既述のように $33 \sim 34^\circ\text{C}$ の間で変動するので、各測定の場合の温度低下を別に $T_s - T$ とおき、

$$T_s - T \approx \theta_s - \theta$$

と考へて Figs. 26~30 に示した。接触界面では、熱伝達上の特殊な要件も含まれるから、羊毛、スチロールフォームを除き、他の材料の場合は図より除外した。多くの例で $(T_s - T)$ 対 $(x - x_s)$ は一応直線性が認められる。

III-2. 指の熱伝導率

(4)式にて q を算出する場合、指の熱伝導率が必要になる。

生理学の分野では、HARDY と SONDERSTROM が牛肉の脂肪で 0.00049 CGS、筋肉で 0.00047 CGS を見だし³⁾、HATFIELD と PUGH⁷⁾ は人体組織(死亡)の脂肪では平均 0.000488 CGS、筋肉で 0.00092 CGS、新鮮な牛肉で脂肪 0.00048 CGS、筋肉 0.00046~0.00097 CGS とした。HATFIELD の結果は定常法でおこない信頼できるが、(4)式の k は生体の指の熱伝導率であり、同じ実験環境の実験者のものでなければならぬ。このため次の方法を案出した。

きわめて大きい容積の均質試料のなかに半径 S の細長い円筒があると仮定し、円筒の単位長さについて H の熱量が与えられると、円筒の中心から距離 r における温度 θ は CARSLAW, JAKOB によって与えられた⁸⁾。時刻 t における θ は

$$\theta = \frac{H}{4\pi kt} e^{-(r^2+S^2)/4Kt} J_0 \left(\frac{irs}{2Kt} \right) \dots\dots\dots (5)$$

ここに k は試料の熱伝導率、 K は温度拡散係数、 J_0 は Bessel 関数、 i は虚数単位である。

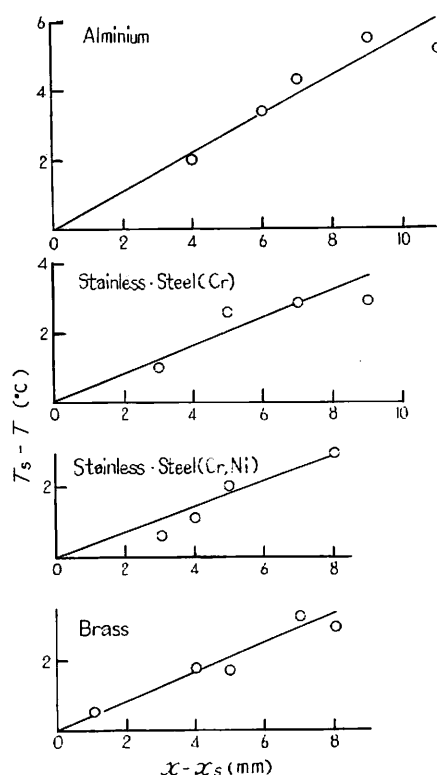


Fig. 26 $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$.

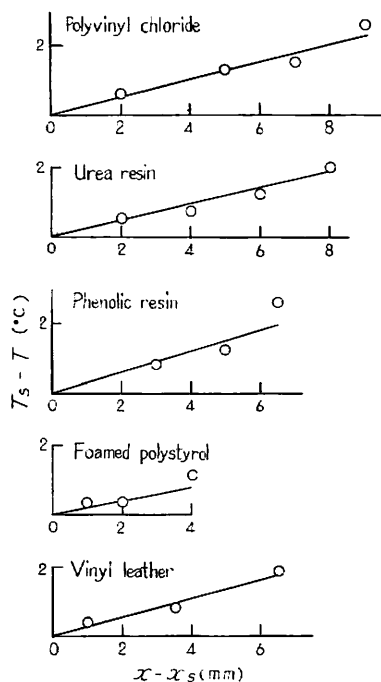


Fig. 28 $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$.

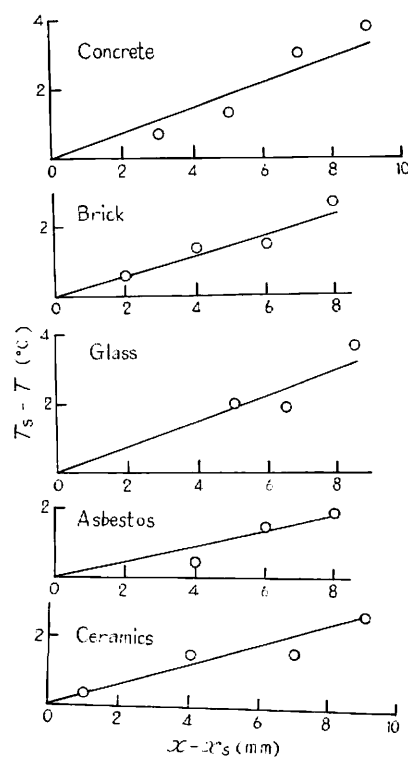


Fig. 27 $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$.

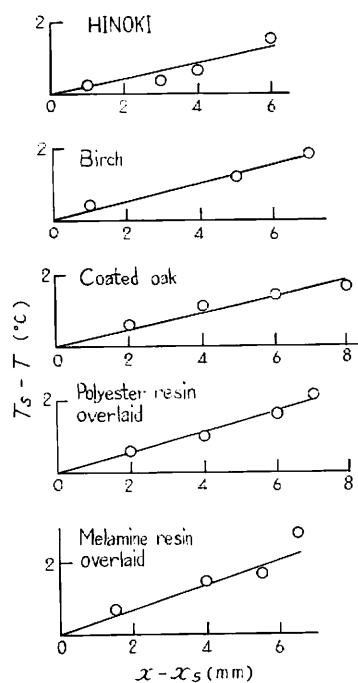


Fig. 29 $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$.

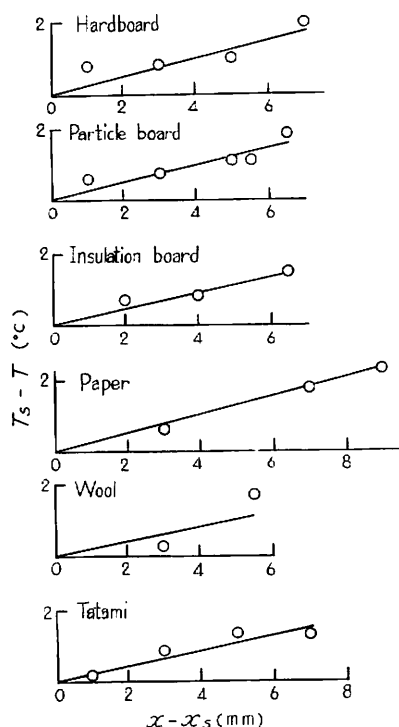


Fig. 30 $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$.

いま(5)式について下の条件を設定する。

$$\begin{aligned} r^2 + S^2 &= r'^2 & r &\geq S \\ r &= 3S \end{aligned} \quad \left\{ \right.$$

これより

$$J_0 \left(\frac{irs}{2Kt} \right) \approx 1 + \left(\frac{9S^4}{16Kt} \right) \dots \dots \dots (6)$$

S を細い針金と考え、具体的に $S = 0.035$ cm を用い、他材料に比べて K が小さい木材 ($0.0017 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度) を例にとると、 t が 1 min. でも (6) 式の右辺第 2 項は無視してよいほど小さくなる。ゆえに (7) 式をうる。

$$\theta = \frac{H}{4\pi kt} e^{-r'^2/4Kt} \dots \dots \dots (7)$$

(7) 式で時間 t_1 から t_2 (t_1 から Δt 時間後の時刻) の間に、針金 (電気抵抗線) に一定熱量 H の供給によって、媒体 (試料) の k に依存して r' 点の温度が上昇するとき、温度の変化量は t の Δt 時間での積分によって与えられる。坂手・中峠の計算³⁾ を利用すれば

$$\Delta\theta = \frac{H}{4\pi k} \left[C - \log e \frac{r'^2}{4Kt} \right] \frac{t_2}{t_1}$$

であるから $\Delta\theta$ は

$$\Delta\theta = \frac{H}{4\pi k} \log e \frac{t_2}{t_1} \dots \dots \dots (8)$$

(8) 式より実験的に $\Delta\theta$, H , t_1 , t_2 を測定して k を求めることができる。

測定は次の手順でおこなう。直径 0.7 mm の 500w の電気抵抗線をガラス繊維で均一に被覆して直径 1.6 mm とする。 $r' \approx 3S$ の位置に素線がクロメル-アルメルの熱電対 (直径 0.5 mm) をつける。これらを試料に貫通させ、抵抗線に一定の電流を流して熱量を供給する。これによる温度変化をレコーダーで記録する。

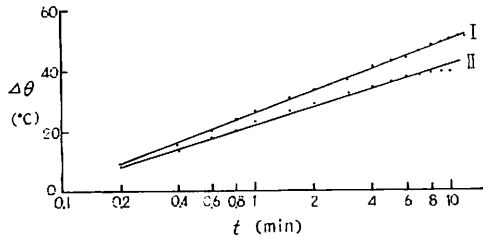
本法が手指の熱伝導率の測定に最適であるのは、針金を指で押えたり、掌面で握ることによって 10 分内外で k が求められるからである。指の測定に先だち、若干の材料で他方法による結果と比較検討した。

(8) 式より

$$\Delta\theta / \log_{10}(t_2/t_1) = \frac{1}{0.4343} \cdot \frac{H}{4\pi k} \dots \dots \dots (9)$$

であるから、 $\Delta\theta$ 対 $\log_{10}(t_2/t_1)$ をプロットして、その直線性を検討した。Fig. 31 はヒノキ、Fig. 32 はスチロールフォーム、Fig. 33 は基節骨掌面、Fig. 34 は指先などで、約 10 分程度までほとんど直線にのるから k を求めることができる。Table 1 に既報の測定値、または同じ試料で定常法による値とをあわせて示す。本測定の精度をあげるには、(抵抗線 + 熱電対) と試料内壁との空気層を少なくすることであり、ヒノキ材を用いて種々の大きさの孔をあけ、空気層の量が異なる場合の k を測定したのが Fig. 35 である。 D_0 は (抵抗線 + 熱電対) の最大径で 2.1 mm となり、孔の直径よりこれを差し引き横軸にあらわした。

デシケーター中に 21°C の乾燥空気と (抵抗線 + 熱電対) を入れ、これから測定された空気 の k を Table 1 に示す。この値は 0.02 のオーダーであるから、先のヒノキの例のように空気層の存在によって熱伝導



Note : I 試料と電熱線の間に間隙が少ない。
Nearly no gap between sample and wire
of heater.

II 試料と電熱線の間に約 0.1mm の間隙。
Having a gap of 0.1mm between sample
and wire of heater.

Fig. 31 ヒノキの上昇温度 $\Delta\theta$ と時間 t
Rise of temperature $\Delta\theta$ vs. time t of
HINOKI.

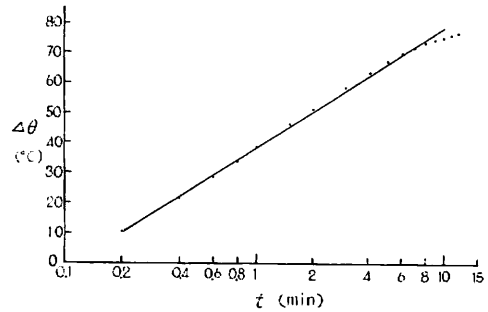


Fig. 32 ポリスチロールフォームの上昇温度 $\Delta\theta$
と時間 t .
Rise of temperature $\Delta\theta$ vs. time t of
foamed polystyrol.

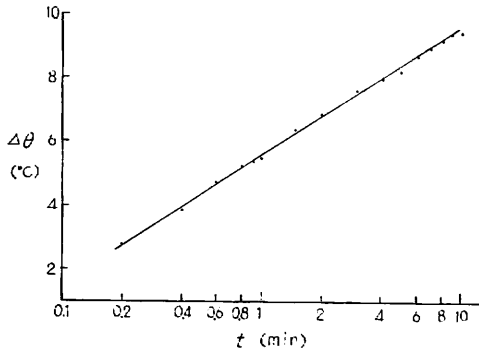


Fig. 33 基節骨掌面の上昇温度 $\Delta\theta$ と時間 t
Rise of temperature $\Delta\theta$ vs. time t of
palmar surface of proximal phalanx.

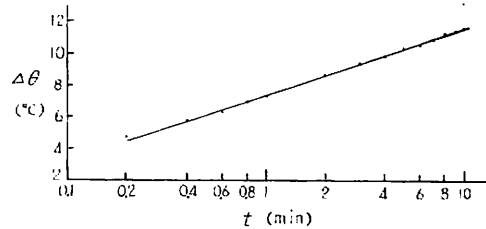
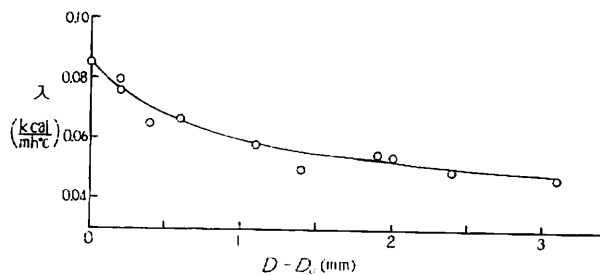


Fig. 34 指先の上昇温度 $\Delta\theta$ と時間 t
Rise of temperature $\Delta\theta$ vs. time t
of finger tip.

Note D : 孔の直径 Diameter of hole.
 D_0 : (電熱線 + 熱電対) のみかけの
直径
Diameter of heater plus thermo-
couple.

Fig. 35 電熱線とヒノキ材との間隙の
大きさ ($D-D_0$) と熱伝導率 λ
Effect of gap ($D-D_0$) be-
tween HINOKI wood and
heater on thermal conduc-
tivity λ .



率は小さくなるのがわかる。

以上の予備的検討から、本法によると既報の測定値よりやや大きい場合が多いが、信頼できるものと判断されたので次の方法によって指の熱伝導率を測定した。

①基節骨掌面で握ると空気層がかなり小さく、抵抗線も 14.2cm 程度の長さまでとれる。

②抵抗線を多数の指先で押えるやり方で、抵抗線は 8.5cm 程度、この方法では抵抗線のところどころは空気にさらされる欠点がある。

これらの 2 方法での結果を Table 2 に示す。両測定とも比較的近い値を示し、前述の HATFIELD らの結果より若干大きい、血行のある生体皮膚という条件を考えると妥当性がある。

Table 1. (8) 式による熱伝導率 (21°C で測定)
Thermal conductivity obtained from Eq. (8)
(Temperature of measurements 21°C)

試 料 Samples	比 重 Specific gravity	含 水 率 Moisture content (%)	熱 伝 導 率 Thermal conductivity kcal/mh°C	
			This method	Other method
ヒ ノ キ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	0.303	8.7	0.085*1	0.082 ⁹⁾
ス ギ <i>Cryptomeria japonica</i>	0.330	10.5	0.081~0.087	0.075 ⁹⁾
マ カ ン バ <i>Betula Maximowicziana</i> REGEL	0.515	11.5	0.140~0.159	0.120 ⁹⁾
ミ ズ ナ ラ <i>Quercus crispula</i> BLUME	0.581	11.6	0.137~0.154	0.122 ⁹⁾
合 板 Plywood	0.475	9.7	0.094~0.130	0.07~0.08*2
パーティクルボード Particle board	0.624	10.0	0.132~0.146	0.09~0.1*2
インシュレーションボード Insulation board	0.275	9.5	0.058~0.061	0.05*2
ポリスチロールフォーム Foamed polystyrol	0.041		0.035~0.037	0.03
乾燥空気 Dry air			0.023~0.026	0.022 ¹⁰⁾

*1 Fig. 35 の結果。Result of Fig. 35.

*2 保護熱板法。Method of guarded hot plate.

Table 2. 指 の 熱 伝 導 率
Thermal conductivity of finger

測 定 位 置 Part of measurement	年 月 Date	熱 伝 導 率 Thermal conductivity (cal/cm sec °C)	測定温度 °C Temperature of measurement
基 節 骨 掌 面 Palmar surface of proximal phalanx	44. 4	0.00128	34.5 ~ 39.0
	44. 6	0.00113	33.5 ~ 40.3
	44. 9	0.00105	34.5 ~ 39.5
	44. 10	0.00123	37.8 ~ 42.2
指 先 Finger tip	44. 9	0.00124	36.3 ~ 43.9
	44. 10	0.00128	38.8 ~ 45.5
	44. 10	0.00113	33.5 ~ 36.2
	44. 10	0.00101	36.5 ~ 42.6

各測定値は 2 ~ 3 回の平均値。

Every value of thermal conductivity is average of 2~3 measurements.

IV 熱 伝 導 量

指の接触部における面積 A は約 0.85cm^2 , 末節骨中央部で約 1.2cm^2 であるから, $x=0$ と $x_s > x > 0$

Table 3. 人差指先を各種材料に接触させたときの熱伝導量
Quantity of thermal transmission by contact of forefinger tip
with various kind of materials

試 料 Samples	$(T_s - T)/(x - x_s)$ (°C/cm)	熱伝導量 Thermal trans- mission $q_1 \times 10^8$ (cal/sec)	$(T_s - T)/(-x_s)$ (°C/cm)	熱伝導量 Thermal trans- mission $q_2 \times 10^8$ (cal/sec)	熱伝導率 ¹⁰⁾ Thermal con- ductivity kcal/mh°C	滑走中の 熱伝導量 Thermal trans- mission on slide $q_3 \times 10^8$ (cal/sec)
ステンレス・スチール (Cr) Stainless steel	4.2	5.69	9.33	8.96	32	8.32
ステンレス・スチール (Cr. Ni) Stainless steel	3.7	5.02	9.09	8.73	10	
アルミニウム Aluminium	5.6	7.59	8.67	8.33	180	7.52
しんちゅう Brass	4.4	5.97	10.36	9.95	68	6.55
ガラス Glass	3.6	4.88	5.09	4.89	0.68	6.64
パーライトアスベスト Asbestos	2.4	3.25	3.89	3.74	0.10	3.84
陶磁器 Ceramics	3.2	4.34	6.10	5.86	0.9	5.85
コンクリート Concrete	3.6	4.88	7.36	7.07	1.6	5.23
レンガ Brick	2.9	3.93	4.90	4.71	0.47	
硬質塩化ビニル板 Polyvinyl chloride	2.6	3.53	5.80	5.57	0.252	
尿素樹脂板 Urea resin	2.4	3.25	3.89	3.74	0.252	4.05
フェノール樹脂板 Phenolic resin	3.0	4.07	6.11	5.87	0.252	
ポリスチロールフォーム Foamed polystyrol	2.0	2.71	2.75	2.64	0.035	1.92
ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i> ENDL.	2.2	2.98	3.11	2.99	0.07	3.73
マカンバ <i>Betula Maximowicziana</i> REGEL	2.5	3.39	4.00	3.84	0.14	
アミノアルキッド塗装ナラ材 Oak wood coated with amino alkyd paint	2.3	3.12	4.11	3.95	0.137	4.58
ポリエステル化粧合板 Polyester resin overlaid ply- wood	2.8	3.79	5.44	5.23	0.088	3.74
メラミン樹脂オーバーレイ板 Melamine resin sheet overlaid	3.4	4.61	6.00	5.76	0.252	
ハードボード Hard board	2.5	3.39	4.78	4.59	0.105	4.91
インシュレーションボード Insulation board	2.2	2.98	2.88	2.77	0.05	3.12
パーティクルボード Particle board	2.4	3.25	5.22	5.01	0.100	4.38
紙 Paper	2.6	3.53	4.20	4.03	0.15	4.61
羊毛 Wool	2.0	2.71	3.09	2.97	0.038	
たたみ表 Tatami (face)	2.2	2.98	3.33	3.19	0.055	
ビニルレザー Vinyl leather	2.6	3.53	3.44	3.30	0.144	4.26

Note: q_1, q_2 は $(T_s - T)/(x - x_s)$, $(T_s - T)/-x_s$ より計算.

q_1 or q_2 is calculated by $(T_s - T)/(x - x_s)$ or $(T_s - T)/-x_s$.

の各場合について別々に熱伝導量を計算する。 $x = 0$ の場合は $T_s - T / -x_s$, $x_s > x > 0$ の場合は $T_s - T / x - x_s$ として Table 3 に示し、それぞれ q_0 , q_1 としてあらわす。この際 k は $0.00113 \text{ cal/cm sec}^\circ\text{C}$ を用いた。

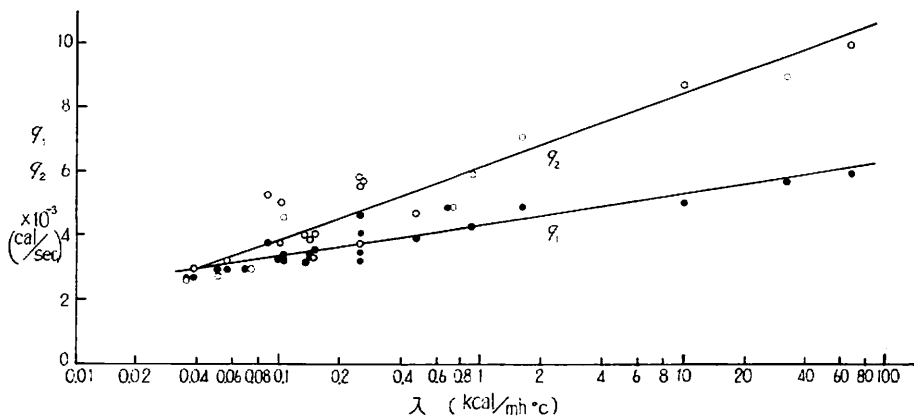
q_1 は金属類で $5 \times 10^{-8} \text{ cal/sec}$ 以上でアルミニウムが最大である。無機質材料で $4 \times 10^{-8} \text{ cal/sec}$ のオーダー、合成樹脂、木質材料で $3 \times 10^{-8} \text{ cal/sec}$ のオーダーであるが、ヒノキ、スチロールフォーム、インシュレーション、羊毛、たたみ表などは最も小さく $2 \times 10^{-8} \text{ cal/sec}$ のオーダーになる。

I で記述したように基礎代謝が約 $1 \times 10^{-8} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ であるから、手足が触れやすいところの環境材料としては、 20°C 前後の室温では、前述した 2×10^{-8} のグループが最適と考えられる。このグループには内装などの表面仕上げ材として不適当なものもあるから、木材素地面は有用な居住材料となる。

q_2 は q_1 より大きいものが多いが、材料による傾向は q_1 と類似している。これは Fig. 36 によっても明らうで、熱伝導率の大きいものは q_1 , q_2 も大きくなる。

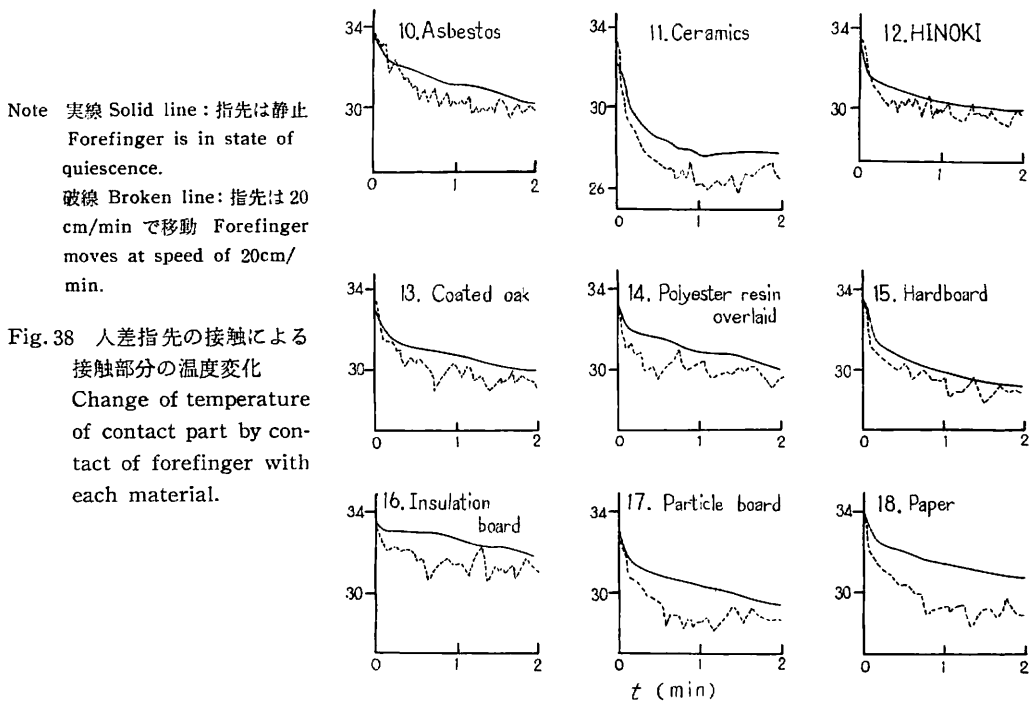
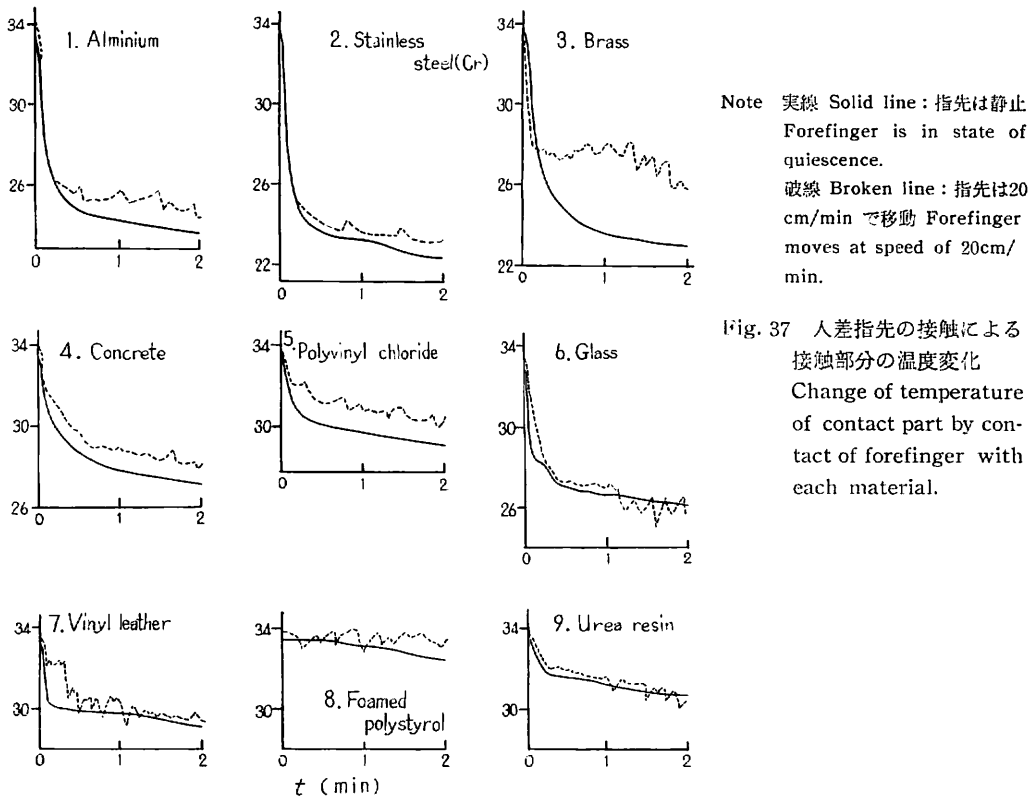
室内材料に触れる場合、静止以外に表面を軽くなでる（移動）ことも多い。いま指先に熱電対をつけ、 20 cm/min 程度ですべらせた場合の温度低下を示したのが Figs. 37, 38 である。図の実線は静止、破線は滑走を示す。No. 1～5 の主として金属類は静止より滑走の場合の方が低下が少ない。No. 6～9 のガラスなどは静止と滑走にあまり差がなく、No. 10～18 の木質材料、アスベストでは No. 1～5 とは逆に滑走の場合の低下量がやや大きくなる。滑走過程では破線の示すように凹凸が多数現われ、接触が一様でないことをあらわす。2 分経過後の温度低下量より、滑走過程での熱伝導量 q_3 を計算して Table 3 に示す。 q_1 , q_2 の小さいものが q_3 では増大する傾向があるが、測定精度では前 2 者に比べて低く、摩擦熱の影響も考えられる。

これらの結果から、疾走時の代謝が $6 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ とすると金属類の値が対応し、静かな歩行の代謝を $2.4 \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ とすると、ヒノキ、スチロールフォーム、羊毛などの値が対応する。他の材料はこの間に位置している。



Note: q_1, q_2 は $(T_s - T)/(x - x_s)$, $(T_s - T)/-x_s$ より計算
 q_1 or q_2 is calculated by $(T_s - T)/(x - x_s)$ or $(T_s - T)/-x_s$

Fig. 36 各種材料の熱伝導率 λ と接触による熱伝導量 q_1 , q_2 の関係
 Relation between thermal conductivity λ of each material and thermal transmission q_1 , q_2 by contact.



V 概 要

- 1) 室内で手足に触れる内装材料，ユニット類の熱伝導率は常識的に小さい方がよい。これは感覚温度の問題で，移動する熱量の多少によってきまるが，これと温度的感触の関係を考えると，I で記述したように環境温度によって影響を受ける。しかし温湿度の制御された理想的な室内環境で，人体が正常な基礎代謝をおこなうとき，この代謝量に接触による熱伝導量が近いほど温度的感触も適正なものになると考えられる。
- 2) 接触による手指からの熱伝導量をモデル実験によって測定した。人差指を各種材料に接触させ，指先と末指節間関節の間で，皮膚表皮に閉りょうな温度分布が見い出された。この現象はIIIで記述しているように毛細血管の収縮など生理学的根拠があるので，代謝量と放散熱量および接触により移動する熱量の平衡を考え，III-1の方法で指先と末指節間関節間の熱伝導量 q の計算式を導いた。
- 3) (4)式で熱伝導量を計算する場合，指の熱伝導率が必要となる。短時間で，指のような無定形物の熱伝導率の算出は種々の困難があったが，坂手うの方法と若干異なる方法により，種々の材料で予備実験を実施し，本法の信頼性が認められたので，これで指先，基節骨掌面の熱伝導率を測定した。
- 4) 人差指先の，各種材料に接触による皮膚表皮の温度低下の様子は，接触材料の特性が比較的よく現われ，Table 3 には熱伝導量を示す。またFig. 36 に示すごとく熱伝導量と材料の熱伝導率の相関性が認められる。

20°C の成人の基礎代謝は $1 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2 \text{ sec}$ とみられ，坐位で 1.4，歩行で 2.4，疾走で 6 以上（おのおの単位は $\text{cal/cm}^2 \text{ sec}$ ）であるから，木材素地面，羊毛，スチロールフォームは歩行に近く，金属類は疾走時に相当する。これより後者の場合の皮膚の生理的不安定性が確かめられ，木材などの特性が理解できる。

文 献

- 1) E. M 新書刊行会：生理学新書，金芳堂，p. 132, p. 287, (1969)
- 2) 大島正光：環境生理学
- 3) 渡辺 要：防寒構造，理工図書，p. 4, (1957)
- 4) 岡嶋敬治：解剖学，IV，吐鳳堂，p. 368, (1936)
- 5) 樋口謙太郎：新皮膚科学，南山堂，p. 10, (1968)
- 6) 金子互之助：日本人体解剖学 I，南山堂，p. 200 (1969)
- 7) HATFIELD, H. S. and L. G. C. PUGH: Thermal conductivity of human fat and muscle. *Nature*, 168, p. 198, (1951)
- 8) 坂手邦夫・中峠哲朗：迅速な熱伝導率の測定について，応用物理，23, p. 314, (1954)
- 9) 木材工業編集委員会：日本の木材，(1966)
- 10) 芝 亀吉：物理定数表，岩波，p. 185, p. 195, (1948)

Studies on Physical Properties of Wooden Surface II

Difference of thermal transmission from finger to wood or other materials

Masaharu SUZUKI⁽¹⁾

Summary

It is desirable for health to live in a nice, comfortable dwelling house. When we touch an object (the furniture, the cupboards or the interior wall) with fingers, a feeling of warm and comfort is aroused when the quantities of the thermal transmission are small.

The purpose of this study is to estimate the amount of the thermal transmission from a finger to an object at a touch of the finger tip and find out the correlation between the thermal conductivity of the material and the thermal transmission in contact with a finger. In the experiment, the distribution of temperature on the surface of the skin of the forefinger was measured. The surface skin temperatures were measured by the thermo-couple of 2 AB type of Philips Co. and the variations of them with time were recorded closely. Figures 1~25 show the decreasing process of surface temperature of the skin putting the tip of the forefinger in touch with various kinds of materials. X of figures indicates the distance between the part of the contact (the side of finger-print) and the thermo-couple stuck on the surface of the skin. The values of θ_0 (time = 0 min) are the temperatures of forefinger surface skin and indicate about 33~34°C. The θ -curves of $x = 0$ mm are followed by a sharp decrease within 0~2 min. These curves of wood and improved wood do not drop more greatly than that of metals or inorganic materials. But in almost all materials, the θ -curves of $x = 10$ mm do not show the distinct change as mentioned before, and all θ -curves begin to run level near 4~5 minutes of time-axis, resulting in constant distribution of temperatures along the forefinger.

If the thermal conductivity of forefinger is known, the thermal transmission q is given by the following equation.

$$\begin{aligned} q &= k(d\theta/dx) \cdot A \quad (x \leq 0) \\ &= k(\theta_s - \theta)/(x - x_s) \cdot A \end{aligned}$$

$d\theta/dx$ denote the temperature distribution of forefinger, when $x = x_s$, θ -curve is not decreased, nearly equal to the temperature of finger and marked as θ_s . A is cross section of forefinger. Figs. 26~30 show the linear relationship of $(T_s - T)$ vs. $(x - x_s)$, where $T_s - T$ is nearly equal to $\theta_s - \theta$.

The thermal conductivity of finger was determined by a method hinted by SAKATE and NAKATAO's method⁸⁾. Sample is pierced by a thin wire of electric heater. The wire is covered by a glass fiber-tube equipped with the thermo-couple. When the wire is heated at constant rate of H cal/sec, the temperature of the thermo-couple is raised from θ_1 to θ_2 during a few minutes. The thermal conductivity is given by

$$k = \frac{H}{4\pi(\theta_2 - \theta_1)} \ln \frac{l_2}{l_1}$$

From this method, the thermal conductivity of finger and samples were listed in Table 1 and Table 2.

Received December 25, 1969

(1) Wood Technology Division

Thermal transmissin from forefinger to sample is calculated using Eq. (4) and 0.00113 CGS of Table 2, and mounted on Table 3. Fig. 36 gives a meaningful correlation with thermal transmission in forefinger and the thermal conductivity of samples.

Basal metabolism of a human at 20°C is estimated as ca. 1×10^{-3} (cal/cm² sec). The metabolism in state of sitting is 1.4×10^{-3} (cal/cm² sec), that of walking 2.4×10^{-3} (cal/cm² sec) and that of running 6×10^{-3} (cal/cm²sec).

From these values, energy loss by contact of finger with wooden surface, wool or foamed polystyrol nearly corresponds to that of walking, and energy loss by metals is nearly equal to that of running. The contact of finger with metals raises a reaction of discomfort and unhealthy condition, compared with comfortable impression given by wooden surface.