

接触温熱感に及ぼす材料の表面あらしの影響

川崎 三十四*

Effect of Surface Roughness of Material on Contact Thermal Sensation

Satoshi KAWASAKI

Synopsis: The sensory test has carried out on the contact thermal sensation of a palm being contacted with materials of six types at several surface temperatures. The standard curve has been proposed for an evaluation of the contact thermal sensation. This paper deals with the applicability of roughness to the materials evaluation curve. It feels as the flatter the surface of the material board is, the hotter the contact thermal sensation is. simultaneously, the change of contact temperature is on a large scale. This result apply well to the evaluation curve.

Keywords : contact thermal sensation, building material, surface roughness, handling, evaluation method

1. はじめに

人は日常生活や建設現場、材料製造工場などにおいて低温から高温にわたる幅広い表面温度の材料に接触し、そのときの温熱感を感じている。これまでにその接触温熱感の評価方法について統一できないかを模索し、それぞれ熱的性質の異なる6種類の材料を用いて実験研究を行いながら提案してきた。既往の研究は人間の手掌に代わって、例えば自動擬似人間手掌への適用展開などへの考

え方を提示できるところまでに至っている。しかしながらこれまでの研究では、素材は特に表面加工されていない無垢なものを用い、かつ接触圧力も軽く置いた程度（1 kgf）としてきており限られた範囲内となっている。そこで接触温熱感に及ぼす要因についても検討する必要を感じたことから研究を更に進めてきた。

手掌の接触温熱感に及ぼす要因は、図-1に示すように人間に係わるものには性別、年齢等、身体部位に係わるものには手掌部、指先部等、接触

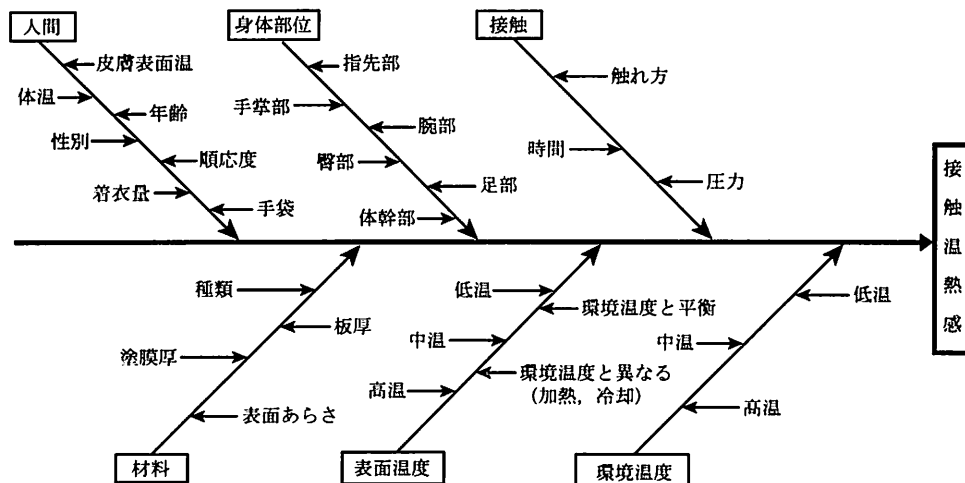


図-1 手掌の接触温熱感に及ぼす要因

に係わるものには触れ方，時間，圧力，材料に係わるものには板厚，表面あらさ，塗膜厚等，表面温度に係わるものには環境温度と平衡又は異なる場合等，環境温度に係わるものには低温，中温，高温等があげられる。このように特性要因図に分類した中から材料に関連する要因に着目して，本報ではさまざまな要因のうち試験材料の表面あらさが接触開始1分後の接触温熱感，接触持続可能時間に及ぼす影響について検討した結果について述べる。また，既往の研究で述べた接触温熱感の評価方法が有効であるのかを検討した。表面温度は作業上の安全性の観点から1分後の接触部温度変化 (hcT_1) が $6 \sim 9 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. 程度となる高温域について行い，低温域の検討については今後の課題とした。

2. 既往の研究概要

日常生活，建設現場や材料製造工場などにおける低温から高温にわたる幅広い表面温度において，さまざまな種類の建築材料の接触温熱感を同一の指標で評価する方法を提案したものである。広範囲にわたる建築材料の接触温熱感を同一の指標で相互比較することができ，多様な温度で使用される建築材料の接触温熱感の評価するのに有効である。

人の手掌による研究ならびに直径50mm，厚さ50mmの接触部温度測定器を用いた場合の研究を行い，接触部温度測定器で 20°C の表面温度の材料を， 20°C の室中で測定した1分後の接触部温度変化 ($20cT_1$) を測定することによって，いろいろな表面温度を有する，さまざまな材料に手掌で接触したときに感じる接触温熱感，接触持続可能時間を予測して評価することを導いている。^{1), 2)}

評価方法の手順は以下のとおりであり，まず① 20°C の室中において，表面温度 20°C の試験材料を用意する。②. 接触部温度測定器で表面温度を測定し，

1分後の接触部温度変化 ($20cT_1$) を求める。③. その ($20cT_1$) の値から求めようとする任意の材料表面温度 (T_m) から ($T_m - T_0$) を計算し (T_0 は接触前の手掌の温度で $T_0 = 30^\circ\text{C}$ とする)，一次回帰式 a を用いて接触部温度測定器の1分後の接触部温度変化 (cT_1) を求める。④. 手順③で求めた (cT_1) から一次回帰式 b を用いて手掌の1分後の接触部温度変化 (hcT_1) を求める。⑤. 手順④で求めた (hcT_1) から回帰曲線 c，回帰曲線 d を用いて手掌の1分後の接触温熱感ならびに接触持続可能時間を求める。

本研究は 0°C から 50°C までの範囲の材料温度を対象としている。また手掌の接触持続可能時間は最大10分間までと設定している。

未だ研究途上であるが建築材料の接触温熱感と接触持続可能時間の評価ならびに他用途材料の接触温熱感の評価方法への展開や自動擬似人間手掌への適用展開などへ課題は多い。

3. 実験方法

(1) 試験材料

試験材料は， $300 \times 300 \times 10\text{mm}$ のアルミニウム，アクリル樹脂とし，その表面は図-2に示す如く

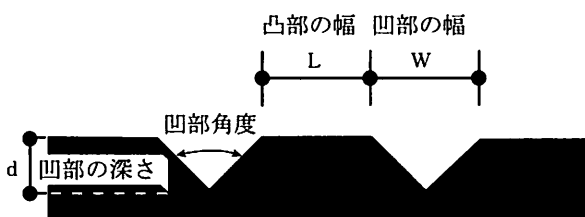


図-2 試験体の表面あらさ

表-1 試験体の種類と表面あらさ (○印：実験実施)

	表面あらさ $L \times w \times d$ (mm) (凸 \times 凹 \times d)	凸(L)部面積率 ($L/L+w$) \times 100 (%)	凹部角度 (度)	溝数 (本)	設定表面温度	
					44 $^\circ\text{C}$	58 $^\circ\text{C}$
アルミニウム	1 \times 4 \times 2	20	90	60	○	—
	2 \times 4 \times 2	33	90	50	○	—
	4 \times 4 \times 2	50	90	38	○	—
	8 \times 4 \times 2	67	90	25	○	—
	flat	100	—	—	○	—
アクリル樹脂	1 \times 4 \times 2	20	90	60	—	○
	2 \times 4 \times 2	33	90	50	—	○
	4 \times 4 \times 2	50	90	38	—	○
	8 \times 4 \times 2	67	90	25	—	○
	flat	100	—	—	—	○

加工したものである。表面あらか（凹凸）の種類は表-1に示すように4種類とした。また、比較のために表面が平らな（flat）試験材料も用いた。材料の物理的性質は表-2に示す。

表-2 試験材料の物理的性質

試験材料	熱伝導率 λ (W/m \cdot K)	密度 ρ (kg/m 3) $\times 10^3$	比熱 c (kJ/kg \cdot K)
アルミニウム(AI)	210.00	2.7	0.9
アクリル樹脂(Ac)	0.20*	1.19*	1.46*

(2) 表面温度の設定方法及び手掌の接触圧力

設定した表面温度は、予備実験の結果から凹凸による温熱感の差異が見出し易いように、アルミニウムは44 $^{\circ}$ C、アクリル樹脂は58 $^{\circ}$ Cとした。表面温度の設定誤差は $\pm 0.3^{\circ}$ C以内になるようにした。実験は環境温度 $20 \pm 1^{\circ}$ Cの室中で行った。加熱装置は図-3に示すとおりである。20 $^{\circ}$ Cの室内で加熱装置を用いて試験材料を加熱した。加熱装置は輻射熱によって加熱出来るように試験材料とヒー

ターの間に幅1mm、高さ15mmの木材を格子状に組んで空気層を設け、室内空気とは遮断した。また温度分布を一様にするために、ヒーターの上に $300 \times 300 \times 1$ mmの銅板を設置した。ヒーターは面ヒーター（O. M HEATER, シリコンラバーヒーター, 100V, 540W）を用いた。試験材料の設定表面温度は設定表面温度に対して $\pm 1.0^{\circ}$ Cとなるよう、図-3に示すように試験材料にビニールテープで貼り付けた熱電対（JIS C 1602 T, 直径0.32mm）を用い、ボルトスライダで調整して管理した。なお、被験者が所在する20 $^{\circ}$ C室の部屋は湿度調整できないが、相対湿度はほぼ60%である。気流はほぼ無風である。

手掌の接触圧力は手掌を軽く材料表面に置いた状態の1kgfとした。接触圧力の測定は、測定時に加熱装置の下部に荷重計を設け、手掌の加圧で1kgfとデジタル表示をするようにして ± 0.1 kgfの精度で接触圧力を設定した。

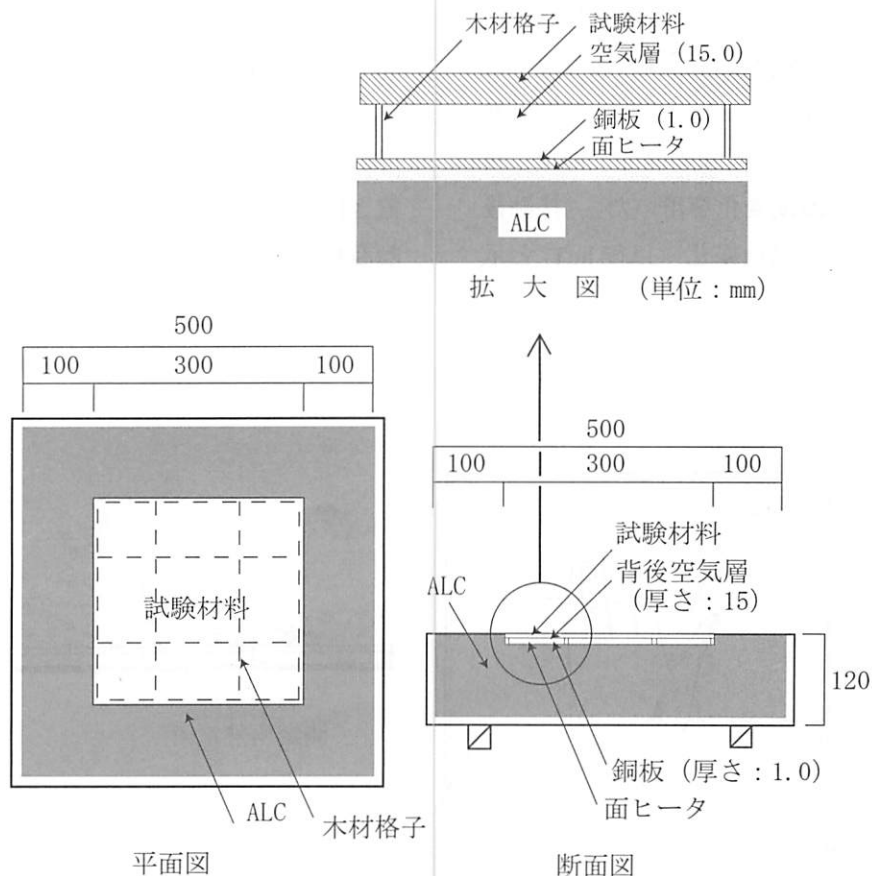


図-3 加熱装置 (単位: mm)

(3) 手掌の接触部温度測定方法

測定手順として被験者は 20 ± 1 °Cの恒温室に入室し椅座位の状態です30分間安静にした。30分間としたのは、既往文献により低温環境から常温環境へ、あるいは高温環境から常温環境へ移動させ、血圧、心拍数、産熱量³⁾あるいは指先の皮膚温、前額皮膚温^{4), 5)}を測定し、平常に回復するまでの時間はほぼ15~20分であったこと。また、作業を行った後に酸素消費量が平常に戻るまでの時間は、軽作業の場合約5分。重作業の場合約30分⁶⁾であったこと。更に既往の類似した研究^{7), 8)}においても30分の安静時間で行っていることを確認して定めた。

手掌の接触部皮膚表面温を測定するため、被験者の右手の手掌上の母指球部に医療用テープで熱電対を固定した。試験材料の表面温度は、図-4に示す表面温度測定用熱電対で設定し、所定の温度になったことを確認後、前述の熱電対を貼付した手掌、被験部を試験材料のほぼ中央で軽く(1 kgf)接触させ、その際の接触部温度感覚を計測した。接触時間は最大10分間としたが、接触中、手掌部に熱による危険を感じた際は、何時でも自由に手掌を離すよう指示をした。また、接触温熱感を評価する指標として、既往の研究と同様に接触後1分間の接触部温度変化を用いた。接触後1分間の手掌の接触部温度変化(以後 hcT_1 と示す)を(1)式によって求めた。

$$hcT_1 = (T_1 - T_0) / 1 \text{ min.} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 hcT_1 : 接触後1分間の手掌の接触部温度変化 (°C/min.)

T_1 : 接触後1分間の手掌の接触部温度 (°C)

T_0 : 接触前の手掌の温度 (°C)

(4) 被験者

被験者は21~22歳の心身共に健康な学生で、計10名である。また被験者は実験開始前に実験室内で30分間椅座位で安静にさせた。

(5) 接触温熱感の評価

手掌で触れたときの接触温熱感は、表-3に示す11水準で評価した。官能検査に用いる評価は、「どちらでもない」を境として対照的になるのが一般的である。空調設備基準委員会温冷小委員会活動報告「温冷感に関する調査方法(昭和51年度版)」⁹⁾によれば、温冷感について「熱い」「暖かい」「涼しい」「寒い」の用語が提案されている。これらの用語は体感として捉えたもので、接触にともなう身体局部の温熱感を表現したものではない。そこで、本研究では、「暑い」を「熱い」に、「暖かい」を「温かい」、「寒い」を「冷たい」と置き換えて使用した。また「涼しい」に代わる接触温熱感の表現用語がないため、本研究ではこれに代わる表現を用いることはしなかった。

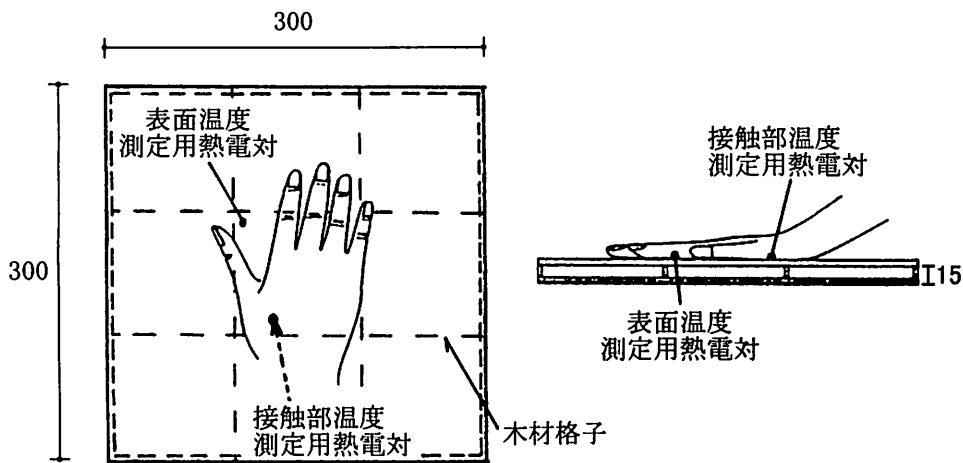


図-4 接触部の温度測定位置 (単位: mm)

接触温熱感の評価は接触直後、1分後、5分後、10分後に行ない、これらの結果は被験者10名の評点の平均値で示した。尚、高温表面に接触させた被験者が熱くて10分間被験部を接触させていられない為、被験部を途中で材料から離した場合には、接触温熱感は10名の被験者が継続して接触可能であった時間までの評価値を平均値により示した。

表-3 接触温熱感と評価点

評点	感 覚
6	熱くて触れていられない
5	非常に熱い
4	熱い
3	やや熱い
2	温かい
1	やや温かい
0	どちらでもない
-1	やや冷たい
-2	冷たい
-3	非常に冷たい
-4	冷たくて触れていられない

(6) 手掌、被験部を離すまでの時間測定

手掌、被験部を材料に接触させていられなくなつて離すまでの時間をストップウォッチにて測定した。10名の被験者全員が予め設定した10分以内に被験部を離した場合には、実験開始から手掌を離すまでの時間の平均値を接触持続可能時間とした。

4. 結果及び考察

(1) 接触直前の表面温度および手掌の温度

接触直前の材料の表面温度ならびに手掌の皮膚

表-4 接触直前の材料の表面温度と手掌の皮膚温、標準偏差 (n=10)

		1×4×2mm		2×4×2mm		4×4×2mm		8×4×2mm		flat	
		材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌
アルミニウム	平均(℃)	44.0	31.0	44.1	31.1	44.0	32.0	43.9	32.9	44.0	31.5
	σ(℃)	0.1	1.6	0.1	1.4	0.1	2.1	0.1	1.1	0.1	1.6
アクリル樹脂	平均(℃)	58.0	33.0	58.0	33.6	58.0	32.7	58.0	32.8	58.0	33.0
	σ(℃)	1.9	0.9	0.1	1.6	0.0	1.3	0.1	1.3	0.1	1.1

温の平均値、標準偏差の結果を表-4に示す。材料の表面温度はいずれも±0.3℃の誤差内で、標準偏差は0~1.9℃である。手掌の皮膚温は31.0~33.6℃の範囲で標準偏差は0.9~2.1℃であった。

(2) 接触時間と接触部温度変化

アルミニウムの場合、手掌の接触時間1分未満で手掌を材料から離す被験者があり、接触部温度変化の平均値を求めることができなかった。

アクリル樹脂は何れの表面あらしも接触開始後120秒までは被験者全員が接触持続可能であった。接触時間と接触部温度変化の関係を図-5に示す。接触部温度変化は、何れの表面あらしも接触開始後1分までが急激でその後の変化は小さい。全被験者の接触持続可能時間は表面あらし1×4×2mmの場合120秒、2×4×2mmの場合600秒、4×4×2mmの場合300秒、8×4×2mmの場合300秒、flatの場合180秒であった。表面あらしによる接触部温度変化の差は無視して良い値であった。以上の結果はアルミニウムの試験材料についても同様であった。

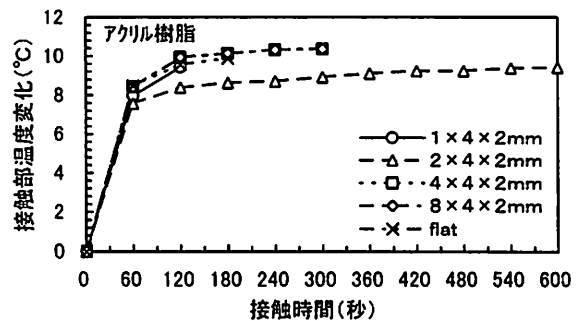


図-5 接触時間と接触部温度変化の関係(表面あらし)(平均値)

表一五 表面あらさとhcT₁、1分後の接触温熱感、接触持続可能時間

表面あらさ L × w × d (mm)	凸部 面積率 (%)	アルミニウム			アクリル樹脂		
		hcT ₁ (°C/min.)	1分後の接 触温熱感	接触持続可 能時間(秒)	hcT ₁ (°C/min.)	1分後の接 触温熱感	接触持続可 能時間(秒)
1 × 4 × 2	20	—	—	151.2	7.9	3	462.3
2 × 4 × 2	33	—	—	150.8	7.7	3	382
4 × 4 × 2	50	—	—	263.5	8.5	3.4	493.5
8 × 4 × 2	67	—	—	318.5	8.4	3.3	525.1
flat	100	—	—	288.3	8.5	3.5	497

注) 一印: 1分間未滿で手掌を離した被験者がいた為、データとして採用していない。

(3) 表面あらさ(凸部面積率)と接触部温度変化(hcT₁)

表面あらさ(凸部面積率)と接触部温度変化(hcT₁)の結果を表-5に示す。

アルミニウムでは接触開始後1分間未滿で手掌を離す被験者がいたために検討できなかった。アクリル樹脂について接触温熱感に与える表面あらさの要因を検討するため凸部面積率とhcT₁の関係を表したものを図-6に示す。凸部面積率が20%, 33%, 50%と増加するほどhcT₁は高めに变化するが、凸部面積率が50%~100%の範囲ではhcT₁の差異はほとんど見られない。

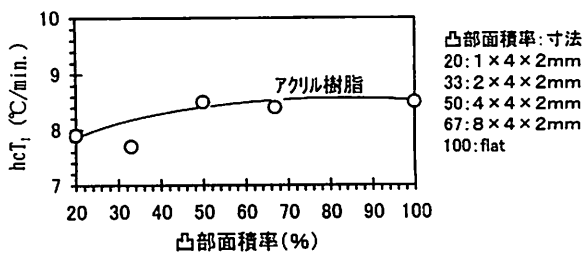


図-6 凸部面積率とhcT₁の関係

(4) 接触直後及び1分後の接触温熱感

接触直後の接触温熱感の結果を表-6に示す。

また、1分後の接触温熱感は表-5に示す。これらの結果から凸部面積率と接触直後の温熱感の関係を図-7に示す。アルミニウムの場合1分未滿で手掌を材料より離す被験者がいた為、1分後の接触温熱感の平均値は求めていない。

接触直後の温熱感は一アクリル樹脂の場合、設定表面温度が58°Cと高温にも関わらずアルミニウムに比べ冷感側で評価している。これは材料の熱的性質による差と思われる。表面あらさによる差異はアルミニウムの場合には表面が平らなflatの方が温感側で評価しているが、アクリル樹脂の場合

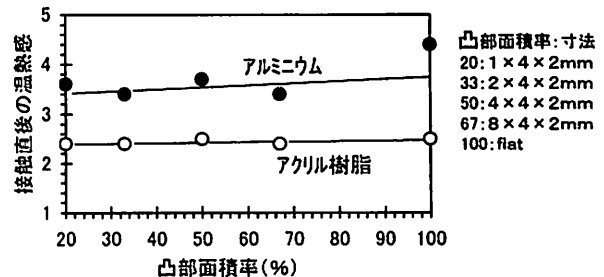


図-7 凸部面積率と接触直後の温熱感の関係

表-6 接触直後の温熱感の平均値と標準偏差 (n=10)

	L × w × d (mm)	1 × 4 × 2	2 × 4 × 2	4 × 4 × 2	8 × 4 × 2	flat
	凸部面積率 (%)	20	33	50	67	100
アルミニウム	温熱感 (平均)	3.6	3.4	3.7	3.4	4.4
	標準偏差	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6
アクリル樹脂	温熱感 (平均)	2.4	2.4	2.5	2.4	2.5
	標準偏差	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

は表面あらしによる差異は少ない。

凸部面積率と1分後の接触温熱感の関係を図-8に示す。アクリル樹脂の1分後の接触温熱感、接触開始直後よりも時間経過により接触部温度が高くなっていることによるものと考えられるが、凸部面積率が大きいほど温感側で評価している。

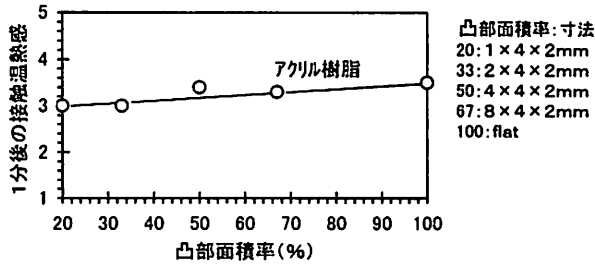


図-8 凸部面積率と1分後の接触温熱感の関係

(5) hcT_1 と1分後の接触温熱感

アクリル樹脂について、 hcT_1 と1分後の接触温熱感の結果を既往研究で提示した hcT_1 と1分後の温熱感の関係で求めた1つの曲線に対比したものを図-9に示す。それぞれの表面あらしで hcT_1 と1分後の温熱感の値は異なるものの hcT_1 と1分後の温熱感の関係は既往研究の曲線とほぼ一致している。

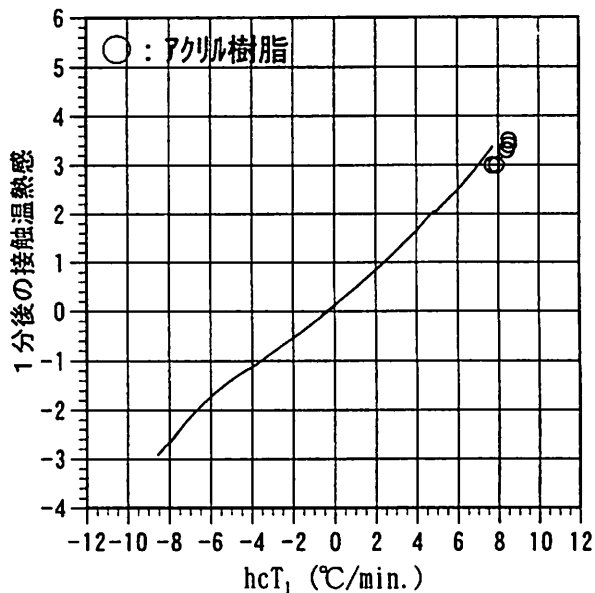


図-9 hcT_1 と1分後の接触温熱感の関係(表面あらし)

(6) hcT_1 と接触持続可能時間

アクリル樹脂について、 hcT_1 と接触持続可能時間の関係を既往研究で求めた曲線に対比したものを

図-10に示す。それぞれの表面あらしで hcT_1 と接触持続可能時間の値は異なるものの hcT_1 と接触持続可能時間の関係は既往研究で求めた曲線とほぼ一致している。

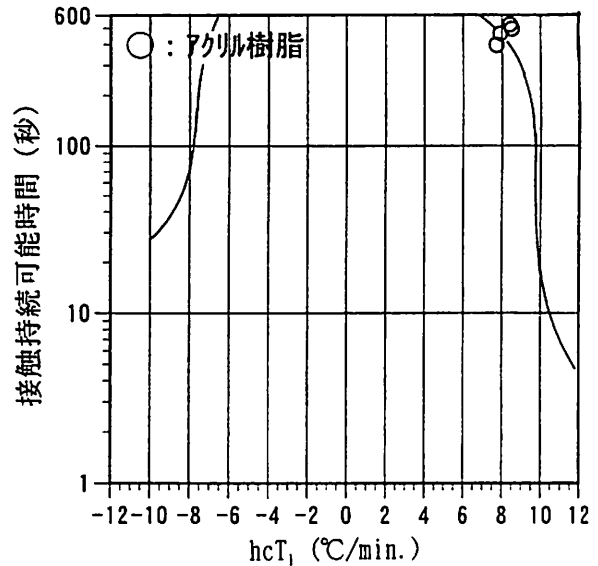


図-10 hcT_1 と接触持続可能時間の関係(表面あらし)

5. まとめ

以上述べたように表面のあらしを変えた場合でも、 hcT_1 と接触温熱感および接触持続可能時間の関係は、既往研究で示した結果とほぼ一致しており、 hcT_1 の評価指標としての有効性が確認できた。接触面積が大きいほど接触開始1分後の接触部温度変化(hcT_1)が大きくなり、接触温熱感も温感側で評価する。今後は表面塗膜の要因による検討結果について報告したい。

(謝辞)

本報は笠井芳夫賞の受賞対象になった論文から一部を抜粋して纏めたものである。論文の審査をして頂いた日本大学教授松井勇工学博士(建築材料学, 前, 日本建築工学会副会長), 同, 板本守正工学博士(建築環境工学, 現, 学部次長), 同, 大久保堯夫医学博士(医学・人間工学, 現, 日本人間工学会会長)に衷心より深謝する。また論文は旧来ご指導を賜った日本大学教授友澤史紀博士(元, 東京大学大学院教授), 宇都宮大学教

授榊田佳寛博士（元、建設省建築研究所無機材料研究室長）に助言、叱咤を頂戴しながら執筆した。

実験に取り組んだ第一工業大学卒業研究生53名（H11～H15年度）ならびに日本大学学生5名ともども厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 川崎三十四, 松井勇, 湯浅昇, 田鍋悟史: 材料に触れたときの手のひらの接触部温度変化による評価方法, 低温から高温までの材料の接触温熱感の評価方法に関する研究(その1), 日本建築学会構造系論文集, 第558号, pp. 45-52, 2002年8月
- 2) 川崎三十四, 松井勇: 材料に触れたときの手のひらの接触部温度変化による評価方法, 低温から高温までの材料の接触温熱感の評価方法に関する研究(その2), 日本建築学会構造系論文集, 投稿予定, (原論文: 文部科学省および日本大学図書館蔵)
- 3) 関邦博ほか2名編集: 人間の許容限界ハンドブック, 朝倉書店, 1990年版, pp.375-376
- 4) 日本建築学会編: 高齢者のための建築環境, 彰国社, 1998年版, pp.46-52
- 5) 人間-熱環境系編集委員会編: 人間-熱環境系, 日刊工業新聞社, 1989年版, pp.167-168
- 6) 日本建築学会編: 建築人間工学辞典, 彰国社, 1999年版, pp.55-56
- 7) 岡島達雄, 呉健丹, 堀越哲美, 河辺伸二, 武田雄二, 志村欣一: 建築仕上げ材の触覚的特性に及ぼす温度の影響に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第419号, pp. 1-10, 1991年1月
- 8) 小野英哲, 長塚由美子, 中沢郁子: 建築物床の足ざわりの評価方法に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集 第473号, pp. 47-56, 1995年7月
- 9) 空調設備基準委員会温冷小委員会活動報告「温冷感に関する調査方法(昭和51年度版)」
- 10) 富田滋: 温度覚に関する臨床生理学的研究, -温度感覚閾値の検討を中心として-, 精神神経学雑誌, 61巻8号, pp. 84-101, 1960年
- 11) KAWASAKI, MATUI, TANABE, YUASA: Study on Safe Surface Temperature for Handling, Proceedings of The 5 the Korea/Japan symposium on Building Materials & Construction, pp. 101-107, 2000.8
- 12) 川崎三十四, 田鍋悟史, 松井勇, 湯浅昇: 低温から高温材料表面の接触温熱感の評価方法について, その4. 接触温熱感の推定方法, 日本建築士学会2001年大会学術講演会(第12回研究発表会), pp. 93-96, 2001年10月
- 13) 川崎三十四: 表面温度と環境温度が異なる材料の接触温熱感の評価方法に関する研究, 第一工業大学研究報告, 第14号, pp. 87-94, 平成14年3月(2002.3)
- 14) 川崎三十四: 低温から高温までの材料の接触温熱感の評価方法に関する研究(その1), 第一工業大学研究報告, 第15号, pp. 99-108, 平成15年3月(2003.3)
- 15) 川崎三十四: 接触温熱感に及ぼす材料の板厚の影響, 第

一工業大学研究報告, 第17号, pp. 49-55, 平成17年3月(2005.3)

- 16) 川崎三十四: 接触温熱感に及ぼす材料への接触圧力の影響, 第一工業大学研究報告, 第18号, pp. 67-73, 平成18年3月(2006.3)