

接触温熱感に及ぼす材料への接触圧力の影響

川崎 三十四*

Effect of the differential Contact Pressures with Materials onto Contactual Thermal Sensitivities

Satoshi KAWASAKI

Synopsis : Series of the thermal sensory tests by human palms with an approx. 1 kgf contact pressure had been conducted on six construction materials at several surface temperatures assuring of their particular contactual thermal sensitivities. Consequently, an evaluation standard curve to anticipate the degree of contactual thermal sensitivity by reading the temperature change on the palm area (of contact) was presupposed. Regarding to this evaluation standard curve, this paper reviews of the applicability of the different contact pressures with 2, 4 and 8 kgf loaded to the construction materials. As to the contactual thermal pressure, the higher the contact pressure gained, the hotter it's being perceived and also the bigger the temperature change on the contact area observed. These results being obtained by the various contact pressures applied well reflect the correlation with the evaluation standard (or evaluation standard curve.)

Keywords : contact thermal sensation, building material, contact pressure, 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(1kgf)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の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

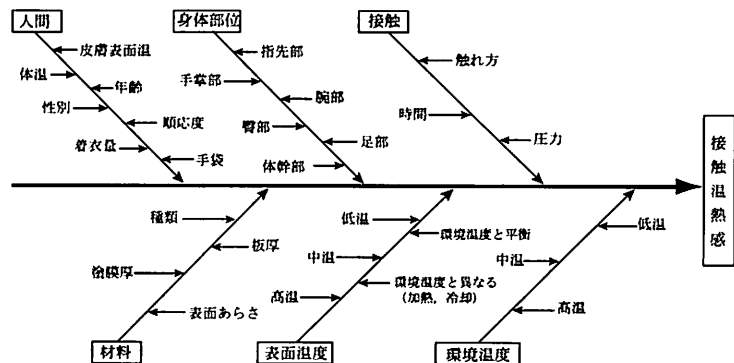


図-1 手掌の接触温熱感に及ぼす要因

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への手掌の接触圧力が接触開始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を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 $^\circ\text{C}$ の表面温度の材料を、20 $^\circ\text{C}$ 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①20 $^\circ\text{C}$ の室中において、表面温度20 $^\circ\text{C}$ 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 $^\circ\text{C}$ から50 $^\circ\text{C}$ 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

試験材料はアルミニウム、ステンレス、アクリル樹脂の3種類を用いた。材料の物理的性質は表-1に示す。試験材料の寸法は300×300×10mm、とした。

表-1 試験材料の物理的性質

試験材料	熱伝導率 λ (W/m·K)	密度 ρ (kg/m ³)×10 ³	比熱 c (kJ/kg·K)
アルミニウム(Al)	210.00	2.7	0.9
ステンレス(St)	45.00	7.86	0.48
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

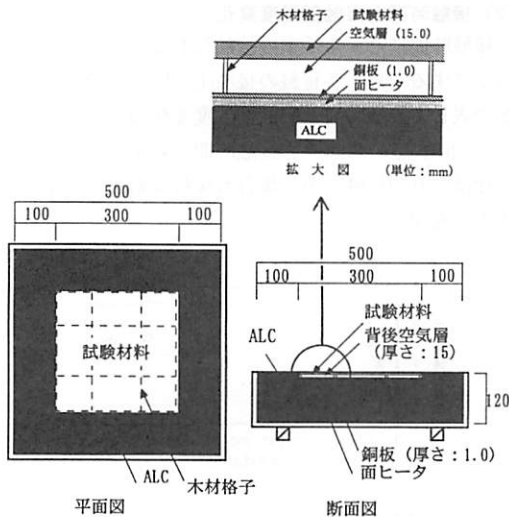
表面温度は予備実験の結果から表-2に示すようにアルミニウム、ステンレスは44 $^\circ\text{C}$ 、アクリル樹脂は56 $^\circ\text{C}$ とし、設定温度に対して $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 以内となるようにした。実験は環境温度20 $\pm 1^\circ\text{C}$ の室中で行った。加熱装置は図-2に示すとおりである。20 $^\circ\text{C}$ の室内で加熱装置を用いて試験材料を加熱した。加熱装置は輻射熱によって加熱出来るように試験材料とヒーターの間に幅1mm、高さ15mmの木材を格子状に組んで空気層を設け、室内空気とは遮断した。また温度分布を一律にするために、ヒーターの上に300×300×1mm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 $\pm 1.0^\circ\text{C}$ 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 $^\circ\text{C}$ 室の部屋は湿度

表-2 設定表面温度及び手掌の接触圧力

試験材料	アルミニウム (Al)	ステンレス (St)	アクリル樹脂 (Ac)
設定表面温度($^\circ\text{C}$)	44	44	56
接触圧力(kgf)	1, 2, 4, 8		
環境温度($^\circ\text{C}$)	20 ± 1		

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1 kgf と 2 kgf, 4 kgf, 8 kgf とした。



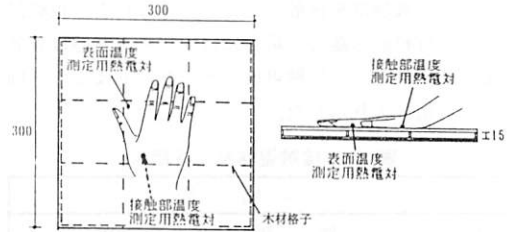
図一 2 加熱装置 (単位: mm)

(3) 手掌の接触部温度の測定方法

測定手順として被験者は 20 ± 1 ℃の恒温室に入室し椅座位の状態で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-3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所定の圧力で接触させ、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。



図一 3 接触部の温度測定位置 (単位: mm)

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

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

T_1 : 接触後1分間の手掌の接触部温度 (℃)

T_0 : 接触前の手掌の温度 (℃)

(4) 手掌の接触圧力の設定方法

被験者の材料表面への接触圧力は、測定時に加熱装置の下部に荷重計を設け、手掌の加圧で1, 2, 4, 8 kgf 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。

(5) 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。

(6) 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所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。

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もらえない為、被験部を途中で材料から離れた場合には、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	熱くて触れてもらえない
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	非常につめたい
-4	冷たくて触れてもらえない

(7) 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もらえなくなっ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分間以内に被験部を離れた場合には、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皮膚温

接触直前の材料の表面温度ならびに手掌の皮膚温の

表-4 接触直前の材料の表面温度と手掌の皮膚温 (n=10)

	接触圧力	1 kgf		2 kgf		4 kgf		8 kgf	
	測 定	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌	材料	手掌
アルミニウム	平 均 (°C)	44.0	31.5	43.9	29.7	44.1	30.6	44.0	30.6
	標準偏差 (°C)	0.1	1.9	0.1	2.0	0.1	1.8	0.1	3.0
ステンレス	平 均 (°C)	44.0	31.9	44.0	31.4	44.0	30.6	44.1	30.4
	標準偏差 (°C)	0.2	1.4	0.1	2.2	0.2	2.0	0.2	2.0
アクリル樹脂	平 均 (°C)	56.0	30.8	56.0	31.2	55.9	30.7	56.0	30.6
	標準偏差 (°C)	0.1	2.2	0.1	2.9	0.0	2.0	0.1	1.2

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°C以内にあり、標準偏差は0.1~0.2°Cと小さい。手掌の皮膚温は29.7~31.9°Cであり、標準偏差は1.2~3.0°Cの範囲であった。

(2) 接触時間と接触部温度変化

接触時間に対する手掌の接触部温度変化の傾向を明らかにするため、各材料の接触圧力別に被験者の平均値で表した接触時間と接触部温度変化の関係を図-4 a), b), c) に示す。接触時間に対する接触部温度変化は何れの接触圧力の場合も接触開始後1分までに大きく変化している。

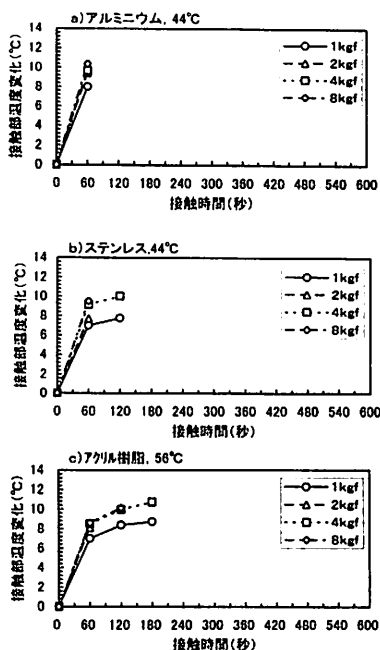


図-4 接触時間と接触部温度変化の関係 (接触圧力) (平均値)

接触温熱感に及ぼす材料への接触圧力の影響

表-5 接触圧力と hcT_1 と、1分後の接触温熱感、接触持続可能時間

材 料	アルミニウム				ステンレス				アクリル樹脂			
	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
接触圧力 (kgf)	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8
hcT_1 (°C/min.)	8	9.4	9.7	10.4	7	7.7	9.1	9.5	7	8.1	8.5	8.6
1分後の接触温熱感	4.5	5.1	5.3	5.2	3.9	4	4.1	4.5	3	3.1	3.2	3.2
接触持続可能時間 (秒)	288.4	148.9	54.8	52.9	464.6	487.5	365.9	148.1	507.8	502.5	397.9	333

アルミニウムの場合、接触圧力が1, 2, 4, 8 kgfと増加するに従い接触開始60秒後の接触部温度変化は大きくなる。60秒間を越えると手掌を材料より離す被験者がいる為、平均値として表していない。

ステンレスの場合、接触圧力が1, 2, 4, 8 kgfと増加するに従い接触開始60秒後の接触部温度変化は大きくなる。接触圧力1 kgfは120秒、2 kgfは60秒、4 kgfは120秒、8 kgfは60秒を越えると手掌を材料より離す被験者がいる為、前述の場合と同様平均値として表していない。

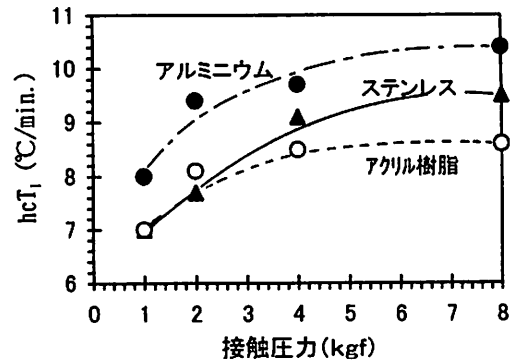
アクリル樹脂の場合、接触圧力1 kgfに比べ2, 4, 8 kgfの方が接触部温度変化がやや大きい。接触圧力1 kgfは180秒、2 kgfは60秒、4 kgfは180秒、8 kgfは120秒を越えると手掌を材料より離す被験者がいる為、平均値として表していない。

全体的に見ると接触圧力が増加するほど接触部温度変化は増加する傾向を示すことが明らかになった。これは高温表面に人が手掌を接触して作業するときや重量物を運搬する際などには、接触圧力が大きくなり、温感覚が強くなることを示唆している。

(3) 接触圧力と接触部温度変化 (hcT_1)

接触圧力と接触部温度変化 (hcT_1) の結果を表-

5ならびに図-5に示す。何れの材料についても接触圧力が増加するに従い hcT_1 が大きくなっている。これは接触圧力が増すことで試験材料と手掌が材料表面により密着し、材料から手掌に熱が伝わる速さが速くなる為と推察される。

図-5 接触圧力と1分後の接触部温度変化 (hcT_1) 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。接触開始1分後の接触温熱感は、表-5に示したとおりで

表-6 接触直後の接触温熱感の平均値と標準偏差 (n=10)

	接触圧力	1 kgf	2 kgf	4 kgf	8 kgf
	アルミニウム	平均	4.4	4.5	5.0
標準偏差		0.6	0.5	0.9	0.6
ステンレス	平均	3.8	3.9	3.7	4.1
	標準偏差	0.6	0.5	0.8	0.8
アクリル樹脂	平均	2.6	2.7	2.4	2.4
	標準偏差	0.7	0.6	0.5	0.7

ある。これらの結果から接触圧力と1分後の接触温熱感の関係を図-6に示す。

接触圧力に対する1分後の接触温熱感は何れの材料についても接触圧力が増すに従いやや温感側で評価している。

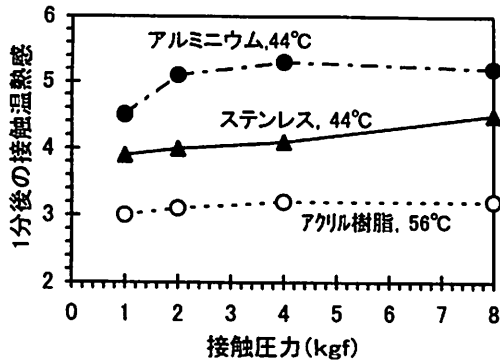


図-6 接触圧力と1分後の接触温熱感の関係

(5) hcT_1 と1分後の接触温熱感

hcT_1 と1分後の接触温熱感の結果を既往研究で示した hcT_1 と1分後の接触温熱感の関係で求めた1つの曲線に対比させたものを図-7に示す。結果は、接触圧力が既往研究(接触圧力1kgf)よりも大きくなっているため、既往研究で求めた1つの曲線の延長線上に分布している。 hcT_1 が9.5°Cのとき接触温熱感の評価は5「非常に熱い」となっている。

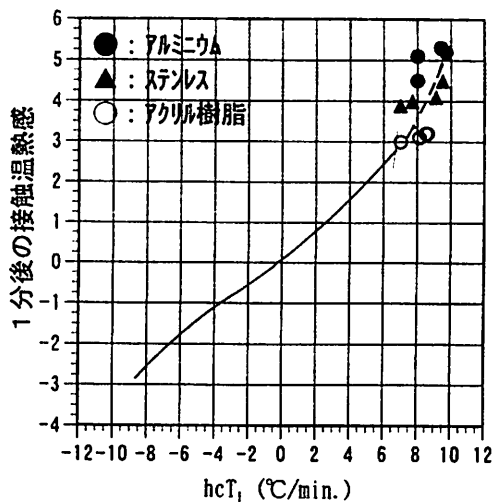


図-7 hcT_1 と1分後の接触温熱感の関係(接触圧力)

(6) hcT_1 と接触持続可能時間

hcT_1 と接触持続可能時間の結果を既往研究で求めた曲線に対比させたものを図-8に示す。それぞれの試験材料、接触圧力で 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。

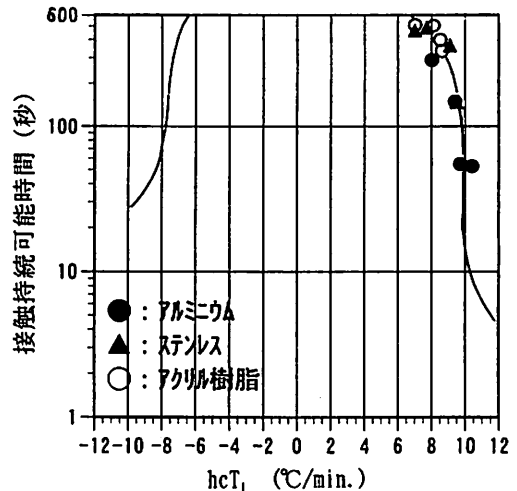


図-8 hcT_1 と接触持続可能時間の関係(接触圧力)

5. まとめ

以上述べたように接触圧力を変えた場合でも、 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良く一致しており、評価指標としての hcT_1 の有効性が確認できた。接触圧力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、接触温熱感は温感側に移行し、接触持続可能時間も短くなる。今後は表面塗膜、表面あらさの要因による検討結果について順次報告したい。

(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, 日本建築士学会副会長), 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。また論文は旧来回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),

接触温熱感に及ぼす材料への接触圧力の影響

宇都宮大学教授榎田佳寛博士（元、建設省無機材料研究室長）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, 日本建築仕上学会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)