作業性から見た高温表面の接触可能時間に関する研究

A STUDY ON TOUCHABLE TIME OF HOT SURFACES FOR HANDLING

松井 勇*1, 湯浅 昇*2, 米久田 啓貴*3

Isamu MATSUI, Noboru YUASA and Hiroki YONEKUTA

There are many opportunities that human skin contacts with hot surfaces during some works. The works are in a glass factory, a steel factory, a fire fighting, a construction site and so on. This paper describes the touchable time of hot surfaces for handling. The touchable time is defined as a period till it feels a hot for the first time during contact with a hot surface by a bare hand in this paper. The touchable times were estimated by 20 to 22 subjects aged 19 to 24 years old. The plates of aluminum, steel, granite and glass of 10 mm of thickness with various surface temperature were prepared for the test. The test results are as follows; (1) An equation is proposed to predict the touchable time with a contact coefficient ($\sqrt{\lambda c \rho}$) and surface temperature. (2) The touchable time for various surface temperature shows the same tendency as the EN 563 and the BSI PD 6504(discomfort). (3) The contact temperature felt a hot is 38.1 °C to 40.5 °C. The contact temperature detached a hand from the surface is 40.1 °C to 42.4 °C. Both temperatures show each constant temperature regardless of kind of material and surface temperature.

Keywords: Hot surface, Contact, handling, Touchable time, Skin burn

高温表面、接触、作業、接触可能時間、熱傷

1. はじめに

建設現場における溶接作業・防水作業、ガラスや製鉄などの工場内での作業、さらに火災現場における消火活動・避難などにおいて、高温表面に接触して行う作業や行為は非常に多い。これらは、作業あるいは行為を遂行する上でやむを得ず高温表面に触れなければならないもので、高温表面に接触する時間は作業や行為の種類によって異なる。高温表面の接触については、熱傷を生じる皮膚温度の研究や家庭用電気機器の操作上の安全性の観点からの簡単な接触を対象としたノブ・ボタンの表面温度や握って操作するハンドル・グリップの表面温度など非常に短時間の接触についての研究はあるが、高温を扱う作業を対象として、これより長い接触時間を扱った研究は少ない。高温表面に接触する作業や行為においては、熱傷しないことは当然であるが、作業や行為の最中に非常な熱さを感じたり、痛みを感じるような支障が生じないことが前提である。高温表面に触れて行う作業において、安全でしかも作業の支障とならない表面温度は、触れる材料の種類や接触する時間によって異なる。

そこで本研究は高温を扱う作業を対象とし、表面温度と接触時間および接触部温度との関係を材料の立場から明らかにすることを目的としている。

2. 既往の研究と本研究の関係

高温表面への接触に関する既往の研究には次のようなものがある。Stollら¹⁾は、前腕皮膚へ熱輻射を照射し、24時間以内に痛みや水泡が生じたときの照射時間と皮膚温度について実験し、皮下200 μ mの温度が43.2°Cで痛みの限界温度と報告している。Probert²⁾は、人間の皮膚の熱的特性、皮膚が高温に触れたときの損傷特性、材料表面の熱浸透率から安全な許容接触温度を算出した。Rayら³⁾は、高温物との接触は接触温度及び熱浸透率に支配されるとし、被験者実験の結果に基づき「熱い」と感じる表面温度を報告している。P.P.Leleら⁴⁾は、被験者の手の甲にガラスチューブを接触させた時の表面温度と接触時間及び温度感覚について明らかにしている。Leonら⁵⁾は、ランプの輻射熱を被験者の前腕部にあて「痛み」や「水膨れ」を生じさせる時間と皮膚温度を明らかにした。Moritzら⁶⁾は、豚の表皮に温水を接触させた結果、皮膚の損傷が始まり完全に壊死する接触温度と接触時間を明らかにした。Buettnerら⁷⁾は、伝熱について数値解析を行い、また、実際に被験者の手のひらにラジエーターの熱を照射したときの「痛み」を感じるまでの時間を測定し、平均痛み限界温度を44.8°C $\pm$ 0.4°Cと報告している。

また高温表面の安全な温度に関する規格については、表-1に示す

本論文は日本建築学会大会、日本建築士学会大会、日本人間工学会関東支部研究講演会、日本大学生産工学部学術講演会で報告したものを再度検討してまとめたものである。
*1 日本大学生産工学部建築工学科 教授・工博

*2 日本大学生産工学部建築工学科 専任講師・工博

*3 日本大学生産工学部建築工学科 副手

Prof., Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.
Lecturer, Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.
Research Assoc., Dept. of Architecture and Architectural Eng., College of Industrial Technology, Nihon Univ.

ようにJIS、BS、MIL、ENなどがある。ENは最近規格化されたもので、接触時間8時間という長時間まで規定している。接触時間30秒以下では家庭用電気機器類の表面温度を対象にしたもので、材料の種類、接触時間ごとに表面温度が規定されているが、各国とも規定値は異なっている。ここで10秒以下の接触時間はノブやボタンの操作を対象としたもので、10秒から30秒の接触時間は握って操作するハンドルやグリップを対象としたものである。わが国の電気用品取締法は、電気用品における安全性を対象としたもので、表-2に示すように人が触れて使用するものは、接触時間に係わらず金属製・陶磁器質製・ガラス製のものは55℃、その他の材料では70℃となっており、接触時間ごとに表面温度が示されていない。

このように既往の研究は主として温度と皮膚の損傷との関係进行研究したもので、前腕部や手の甲に熱輻射を照射したり、ガラス管の先端を皮膚に当てて実験したもので、高温の各種材料に直接手のひらを接触させて実験を行ったものではない。またBS、ESなどの規格類については家庭内の高温物を対象とし、肉厚の薄い管に温水を流し、これを手で握った時の不快感を感じる時間、あるいは温水で温めた真ちゅうに指先で触れたときの痛みの研究結果に基づいて

表-1 安全な表面温度の各国規格 単位℃

接触時間	規格*	材料の種類			
		金 属	セラミック	プラスチック	木 材
8 時間	EN	43	43	43	43
10 分	EN	48	48	48	48
1 分	EN	51	56	60	60
10 秒 ～30 秒	EN	51	56	69	60
	JIS	55	55	70	70
	BS	55	65	75	75
	MIL	49	59	69	69
10 秒以下	JIS	60	60	75	75
	BS	60	70	85	85
	MIL	60	68	69	69

*EN563(1994), JIS A 4002(1986), JIS A 4422(1977),
MIL STD 1472E, BSI PD 6504(1983)

表-2 電気用品取締法 単位℃

接触状態	金属製・陶磁器 質製・ガラス製	その他
人が触れて使用するもの	55	70
人が容易に触れるおそれのあるもの	85	100
人が容易に触れるおそれのないもの	100	

表-3 試験材料の熱的性質

試験材料	熱伝導率 λ w/mK	密度 ρ kg/m ³ x10 ³	比熱 c J/kgK x10 ³	熱浸透率 b^* J/m ² s ^{1/2} K x10 ³
アルミニウム	210	2.70	0.90	22.6
銅	45	7.88	0.48	13.0
みかげ石	3.5	2.80	0.84	2.87
ガラス	0.78	2.54	0.77	1.23

* $b = \sqrt{\lambda \rho c}$

表-4 各材料の設定表面温度（シリーズI）

試験材料	設定温度 (℃)
アルミニウム	43, 44, 45, 46, 47
銅	44, 45, 46, 47, 48
みかげ石	45, 47, 49, 52, 54, 55, 56, 57, 58
ガラス	48, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58

おり、高温の各種材料に直接手のひらを接触した研究は見当たらない。本研究は高温を扱う作業を対象としているため、手のひら全面で高温表面に直接触れたときの接触時間および接触部温度に及ぼす材料の影響、表面温度の影響を明らかにするものである。

3. 本研究の範囲及び研究方法

本研究は以下の範囲で行っている。

- (1) 固体の材料表面を対象とし、材料の厚さを10mmと一定としている。厚さの影響、表面あらかさの影響は今後の課題とする。
- (2) 高温を扱う作業の作業性の観点から、高温表面に接触して、熱いと感じるまでを研究の対象としており、熱傷に至らない温度範囲を対象としている。
- (3) 試験材料は熱源と接触している場合である。
- (4) 接触する身体部位は、手のひらとし、素手で高温表面に軽く触れる程度（接触圧力はおよそ1 kgf）としている。接触圧力や手袋の着用等の影響は今後の課題とする。

- (5) 長時間接触できるような表面温度については、接触時間を10分間までを限度とし、これ以上の時間の接触は研究の範囲外とした。

尚本研究で実施した被験者実験において手のひらを熱傷した被験者はいなかった。ここでいう熱傷は高温表面に接触して皮膚が赤くなり、これが1日を経過しても赤色が消えない場合（熱傷1度）とした。

本研究では、高温表面に接触して、はじめて「熱い」と感じるまでの接触時間を接触可能時間と呼び、熱傷に対する危険性の観点から触れていられなくなるまでの接触時間を接触限界時間と呼ぶことにする。

実験は2つのシリーズに分けて行っている。シリーズIは、4種類の材料を用い、表面温度を変えて、20名の被験者による接触可能時間を実験したものである。シリーズIIは、2種類の材料を用い、表面温度を変えて、延べ240名の被験者による接触可能時間、接触限界時間及び高温表面と手のひらとの接触部温度を実験したものである。

4. 表面温度と接触可能時間（シリーズI）

4.1 実験方法

(1) 試験材料及び設定表面温度

試験に使用した材料を表-3に示す。試験に使用した材料は熱的性質が異なるアルミニウム、銅、みかげ石及びガラスの4種類とし、これらの材料の厚さは10mmと一定にし寸法は300×300mmである。

設定表面温度を表-4に示す。設定表面温度は材料の種類によって変えてある。これは、材料の種類により接触できる温度範囲が異なるため、予備実験の結果より定めたものである。

図-1 加熱装置 (単位: mm)

(2) 加熱装置

材料の加熱装置を図-1に示す。この装置は面ヒータによって材料を加熱するもので、ヒータの上に銅板を設置した。これは、試験材料の表面温度分布を一樣にするためである。この銅板の上に試験材料をのせて加熱した。

材料の表面温度は、中央に貼り付けた熱電対 (JIS C 1602 "T") で管理し、ポルトスライダを用いて調節した。加熱した材料表面の温度のばらつきは、アルミニウムを50℃に保持した場合、 $50 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ であった。材料の表面温度は設定温度に対して $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ で管理している。

(3) 被験者

被験者は本学学生で年齢19歳～24歳までの男子10名、女子10名、計20名である。

(4) 接触方法

実験は温度20℃の恒温室で行った。被験者は環境になれるため、試験開始30分前に試験室に入り、椅子に腰掛けて安静にしている。

材料との接触方法は、手のひらを材料表面に軽く接触させ、「熱い」と感じたらすばやく手を離すこととし、手を離すまでの時間を測定した。本研究ではこの時間を接触可能時間と呼ぶ。

4.2 結果及び考察

(1) 表面温度と接触可能時間との関係

各種材料の表面温度と接触可能時間との関係を図-2に示す。図中の各表面温度を中心に左右に示してある●印は男性の結果、○印は女性の結果である。

接触可能時間は表面温度が高くなるに従って短くなっている。また、被験者が評価した接触可能時間は各温度において広い範囲にわたっているが、一般的に表面温度が高くなるに従い接触可能時間の

図-2 表面温度と接触可能時間との関係

範囲は小さくなっている。これは表面温度が高くなるほど熱いと感じる判断が容易になるためである。また、材料の種類による違いは、熱伝導率の大きい材料ほど、表面温度が高くなるに従って接触可能時間は急激に短くなっている。このように接触可能時間は表面温度と材料の種類によって異なっている。

接触可能時間の性別による顕著な差は認められず、また、高温表面への接触を考えたとき男性と女性とを区分する必要がないことから、以後男女20名の結果として述べる。

各種材料の接触可能時間の分散分析結果を表-5に示す。鋼を除くと、いずれの材料も表面温度間において危険率1%で有意差を示し、表面温度の差を判定していることがわかる。また被験者間でもアルミニウムとガラスについて危険率1%で有意差を示している。鋼の場合、設定表面温度の範囲がアルミニウムの42℃から47℃に比べて、44℃から48℃と高温側に偏っていたため、表面温度間で有意差が認められなかったものと思われる。

(2) 接触可能時間と累積人数確率との関係

接触可能時間はいずれの表面温度においても非常に広い範囲で評価されており、接触可能時間の平均を求めるに当たり、各表面温度について接触可能時間の累積人数確率を求めた。これは、熱いと感じるまでの時間が短い者から順に人数を累積し、それぞれを被験者総数で除して百分率で示したものである。これらの平均線を示したものが図-3である。表面温度43℃のアルミニウムの場合、累積人数確率が90%ile (パーセンタイル) すなわち、90%の被験者が熱いと感じないで触れていられる時間は約7秒、70%ileでは約15秒、60%ileでは約28秒、50%ileでは約65秒となっている。45℃のみか

図-3 接触可能時間の累積人数確率

表-5 各種材料の接触許容時間の分散分析結果

試験材料	アルミニウム		鋼		みかげ石		ガラス	
項目	不偏分散	分散比	不偏分散	分散比	不偏分散	分散比	不偏分散	分散比
被験者間	52039	2.31**	5256	1.19	10154	1.25	38111	2.72**
表面温度間	178661	7.95**	8336	1.89	505792	62.06**	189693	13.52**
誤差	22480	—	4407	—	8151	—	14034	—

** : 危険率1%で有意差あり、* : 危険率5%で有意差あり

図-4 表面温度と50%ileの接触可能時間との関係

表-6 (1) 式の実験定数 α 、 β 及び γ と相関係数

材 料	α ($\times 10^4$)	β	γ	相関係数
アルミニウム	204	37.1	-5.98	0.999
鋼	5.70	37.7	-4.06	0.993
みかげ石	0.0038	46.2	-1.21	0.999
ガラス	0.0042	47.9	-0.854	0.999

げ石の場合、600秒間触れていても、70%以上の被験者は熱いと感じていない。これらの結果から接触可能時間の基準値を定める場合、何パーセントの値でおさえるべきかを検討する必要があるが、この問題については本研究の目的とは異なるため、ここでは図-3を示すにとどめる。このため本研究では、接触可能時間は被験者人数の平均として取り扱い、50%ileの値を用いて、以後の考察を行っている。すなわち50%の被験者が熱いと感じ、50%の被験者が熱いと感じない時間であることを付記しておく。

(3) 表面温度と50%ileの接触可能時間との関係

各種材料の表面温度と50%ileの接触可能時間との関係を図-4に示す。表面温度が同じ場合、接触可能時間はアルミニウムが最も短く、次いで鋼、みかげ石、ガラスの順に長くなっている。また各材料とも表面温度が高くなるに従い、接触可能時間は短くなっている。この結果より(1)式を用いて両者の関係を各材料ごとに回帰した。

$$tp = \alpha (Ts - \beta)^{\gamma} \dots (1)$$

ここに、 tp : 接触可能時間 (sec)

Ts : 表面温度 (°C)

α, β, γ : 実験定数

各種材料について回帰した結果、実験定数 α, β, γ 及び相関係数を表-6に示す。これらの実験定数 α, β, γ を材料の熱浸透率で示したものが図-5である。

実験定数 α は図-5に示すように片対数座標で直線を示し、(2)式のようになり、この相関係数は0.988となり高い相関を示している。

$$\alpha = 1.73 \times 10^{-8} \times \exp(0.54b) \dots (2)$$

ここに、 α : (1) 式の実験定数

b : 材料の熱浸透率 ($J/m^2 s^{1/2} K$)

図-5 材料の熱浸透率 b と実験定数 α 、 β 、 γ

表-7 試験材料の設定した表面温度 (シリーズII)

試験材料	設定表面温度 (°C)
アルミニウム	42, 43, 44, 45, 46, 47
ガラス	49, 50, 51, 52, 53, 54

実験定数 β は(3)式のようになり、この相関係数は0.980と高い相関を示している。この β は(1)式の漸近線を示すものでガラスは47.9°C、みかげ石で46.2°C、鋼で37.7°C、アルミニウムで37.1°Cとなる。これは、この温度以下では50%の被験者が熱さを感じない温度であることを示している。

$$\beta = 49.6 \times b^{-0.097} \dots (3)$$

ここに、 β : (1) 式の実験定数

b : 材料の熱浸透率 ($J/m^2 s^{1/2} K$)

実験定数 γ は(4)式のようになり、この相関係数は0.997と高い相関を示している。

$$\gamma = -0.245 \times b - 0.597 \dots (4)$$

ここに、 γ : (1) 式の実験定数

b : 材料の熱浸透率 ($J/m^2 s^{1/2} K$)

これらの関係は、本研究の実験範囲で求めたもので、接触可能時間が2秒以上、600秒以下、表面温度が40°C以上、58°C以下、材料の厚さ10mm、表面が平滑な材料、接触圧力がほぼ1kgfの条件で適用できる。しかし、実際の建築工事等で扱う材料や施工機器のトッパなどを構成している材料は材料の板厚、表面のあらさ、材料表面の塗膜の有無、さらには接触している圧力などがさまざまであり、これらによって表面に触れたときの熱いと感じる感覚、すなわち接触可能時間は異なる。本研究では、これらの要因については今後の課題とし、ここでは上述した適用範囲内で接触可能時間と材料の熱浸透率の関係式が成立していることを付記しておく。これらの式を用いることにより表面温度 Ts 及び材料 (厚さ10mmの場合) の熱浸透率 b ($J/m^2 s^{1/2} K$) が分かると50%ileの接触可能時間が推定できる。

5. 接触可能時間、接触限界時間及び接触部温度（シリーズII）

5.1 実験方法

(1) 試験材料及び設定表面温度

使用した材料はシリーズIで使用した表-1に示すアルミニウム及びガラスの2種類である。これらの材料の設定表面温度を表-7に示す。

(2) 加熱装置

加熱装置はシリーズIで使用したものである。

(3) 被験者

被験者は年齢19歳～24歳まで本学の男女学生である。同一試験条件で20名が被験者となり、被験者はそれぞれの試験条件で異なっている。被験者の延べ人数は240名である。

図-6 接触部温度の計り方

図-7 シリーズIIによる表面温度と接触可能時間

図-8 表面温度と50%ileの接触限界時間

(4) 接触方法及び接触部温度の計り方

実験はシリーズIと同様に20℃恒温室で行った。被験者は図-6に示すように手のひらにあらかじめ熱電対（JIS C 1602 "T"）を貼り付けた後、環境になれるため30分間試験室にて安静にしている。

材料との接触方法は、熱電対を貼った手のひらを熱電対をはさむように材料表面に軽く接触させた。本研究では手のひらと材料とはさまれた熱電対で測定した温度を接触部温度と呼ぶことにする。

手のひらを材料に接触させ「熱い」と感じたら、その旨を申告し、そのときの時間（接触可能時間）と接触部温度を記録する。さらに接触を続け、触れていられなくなったらすばやく手のひらを材料表面から離す。この手を離すまでの時間（接触限界時間）及びそのときの接触部温度を測定した。接触時間は最長10分間で打ち切った。

5.2 結果及び考察

(1) 表面温度と50%ileの接触可能時間との関係

アルミニウム及びガラスに接触したときの表面温度と50%ileの接触可能時間との関係を図-7に示す。図中の曲線はシリーズIの被験者20名の回帰曲線を示したもので、プロットした延べ240名の結果とほとんど差がない。この結果、(1)式の妥当性を確認することができた。

(2) 表面温度と50%ileの接触限界時間との関係

表面温度と50%ileの接触限界時間との関係を図-8に示す。接触限界時間は接触可能時間に比し長くなっている。これは接触可能時間が「熱さ」をはじめて感じる時間であるのに対し、接触限界時間は触れていられなくなって手を離す時間であり、一般には「熱く」感じても触れていることができるので、接触限界時間は接触可能時間より長くなる。この結果、作業性を考慮した表面温度を評価する際、高温表面に触れて、はじめて熱いと感じた時間すなわち接触可能時間を用いる方が良いと考える。接触可能時間と同様に(1)式に従って回帰した結果、実験定数 α 、 β 、 γ 及び相関係数を表-8

表-8 (2)式の実験定数 α 、 β 及び γ と相関係数

材 料	$\alpha \times 10^4$	β	γ	相関係数
アルミニウム	16.6	39.0	-4.27	0.993
ガラス	1.73	43.1	-2.52	0.998

図-9 接触時間と表面温度の比較

図-10 表面温度と熱いと感じたとき（接触可能時間）の接触部温度との関係

図-11 表面温度と触れていられなくて手を離れたとき（接触限界時間）の接触部温度との関係

に示す。相関係数はアルミニウムの場合、0.993、ガラスの場合0.998と大きく、高い相関を示している。

(3) 既往の研究との比較

ガラスについて、既往の結果と本研究の結果を示したものが図-9である。Stollら¹⁾はくすり指で触れて痛みをはじめて感じる時間、BSI(pain)は痛みをはじめて感じる時間、BSI(discomfort)は、この限界を超えると痛みや障害を起こすと定義している。

ENは熱傷する限界を範囲で示しており、この範囲以下では熱傷をしないとしている。本研究は、熱さをはじめて感じる時間で、BSI(discomfort)の表面温度より1～2℃高く、EN563より若干低くなっている。

(4) 熱いと感じたときの接触部温度

表面温度と熱いと感じた（接触可能時間）ときの接触部温度との関係を図-10に示す。接触部温度は各試験条件について、被験者20名のうち接触時間10分以内で熱いと感じた被験者結果を示している。図中に示した範囲は平均値±標準偏差を示したものである。熱いと感じたときの接触部温度の平均は、アルミニウムの場合、表面温度47℃を除くと、38.1℃～40.5℃を示している。47℃のアルミニウムの場合は接触時間が非常に短いため、接触部温度の追従性が劣ったためと思われる。

ガラスの場合はいずれの表面温度でも、熱いと感じたときの接触部温度は38.8℃～40.0℃を示している。このように高温表面に触れたとき、熱いと感じるまでの接触可能時間は材料の種類や表面温度によって異なるが、熱いと感じたときの接触部温度は、材料の種類、表面温度にかかわらず、ほぼ一定の38.1℃～40.5℃の範囲となっている。この温度範囲内で作業が行われることが望ましい。

(5) 接触限界時間における接触部温度

表面温度と接触限界時間における接触部温度との関係を図-11に示す。接触限界時間における接触部温度は各試験条件について被験者20名のうち接触時間10分以内で手を離れた被験者結果を示している。図中に示した範囲は平均値±標準偏差を示したものである。接

触限界時間における接触部温度は、接触可能時間のときの接触部温度と同様に47℃のアルミニウムを除くと、アルミニウムの場合40.1℃～41.8℃、ガラスの場合40.6℃～42.4℃を示している。

このように接触限界時間における接触部温度も、先に述べた接触可能時間における接触部温度と同様に、熱くて手を離すときの接触部温度は材料の種類、表面温度にかかわらず、ほぼ一定の40.0℃～42.4℃の範囲となっている。この温度は前者の温度に比し約2℃高くなっている。図中の鎖線は、Stollら¹⁾による皮下200μmの痛み限界温度43.2℃を示したもので、点線はBuettnerら²⁾の平均痛み限界温度44.8℃を示したものである。この結果、本研究における接触限界時間の接触部温度は40.1℃～42.4℃となっており、既往の研究による痛みの限界温度より、低くなっている。

(6) 作業時間と接触可能時間について

素手で高温表面に軽く触れて行う作業の場合、その作業時間が分かれば、図-4の接触可能時間を作業時間と読み変えて、表面温度が求められる。また、逆に表面温度が分かれば、これを扱う作業時間が求められる。ただし、これらの曲線は本実験の範囲内で成立するもので、材料の板厚、表面のあらさ、表面の塗膜の有無、接触圧力などによって異なる。高温を扱う作業時間については高温のスイッチボタン類を押す場合は1秒程度であるが、高温の物を持って移動させたり、高温の物に触れて作業したり、操作したりする時間はこれより長くなるであろう。また手袋などの保護具を設計するとき、図-10に示す接触部温度が基準となろう。

6. まとめ

本研究によって得られた結果を以下に示す。

(1) 高温表面に手のひらで軽く接触して熱いと感じるまでの時間（接触可能時間）は、表面温度が高いほど、また材料の熱浸透率が大きいほど早くなる。

(2) 本研究における接触可能時間は、被験者によってばらつきが大きいので、被験者総数の平均として扱い、累積人数確率50%ileの値を用いている。

(3) 接触可能時間は、材料の厚さが10mmの場合、材料の熱浸透率によって評価できる。この結果はガラスの場合BS(discomfort)の表面温度よりやや高く、EN563より若干低くなっている。

(4) 高温表面に接触して熱いと感ずる時の接触部温度は、材料の種類、表面温度に関わらず38.1℃～40.5℃である。この温度は保護手袋等を設計する際の基準となろう。

(5) 熱くて触れていられなく手を離すときの接触部温度は、材料の種類、表面温度にかかわらず、40.1℃～42.4℃である。

(6) 本研究で得られた表面温度と接触可能時間との関係(図-4)より、接触時間を作業時間と読み変えることによって、表面温度が求められる。またこれとは逆に表面温度が分かれば、これを扱う作業時間が求められる。ただし、この時間は50%ileの値を用いたものであることを付記する。

謝辞 本研究は、新栄開発(株)坂田一幸氏(元日本大学大学院生産工学研究科 大学院生)が修士論文として研究したものであります。ここに衷心より感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) A.M.Stoll and L.C.Greene, Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation, *Journal of Appl. Physiology*, Vol. 14, No.3, pp.373-382, 1959
- 2) A.M.Stoll, M.A.Chianta and J.R.Piergallini, Skin damage due to heat transfer by conduction, *Fire and Materials*, Vol.4, No.1, pp.45-49, 1980
- 3) S.D.Probert, S.Ciani: Acceptable temperatures for surfaces in brief contact with human skin, *Appl Energy*, Vol.2, No.4, pp.241-247, 1980
- 4) R.D.Ray, G.Weddell & C.M.Williams, The theory and Practice of safe handling temperatures, *Appl Ergonomics*, Vol.15, No.1, pp.55-59, 1984
- 5) P.P.Lele, G.Weddell & C.M.Williams, The Relationship between Heat Transfer, Skin temperature and cutaneous sensibility, *Journal of Physiology*, Vol.126, pp.206-234, 1954
- 6) M.Alice, C.Leo, Relationship between pain tissue damage due to thermal radiation, *Journal of Physics*, pp.373-38, March, 1958
- 7) A.R.Moritz and F.C.Henriques: The Relative importance of time and surface temperature in causation of cutaneous burns, *studies of thermal injury, The American Journal of Pathology*, Vol.23, No.5, 1947
- 8) Konard Buettner, Effect of extreme heat and cold on human skin, II Surface temperature and heat conductivity in experiments with radiant heat, *Journal of Applied Physiology*, Vol.3, pp.691-713, pp.703-713, 1951
- 9) 高野孝次、火傷と建築、創建、Vol.22, No.1, pp.6-7, 1987, 日本大学工学部建築学教室
- 10) 須賀登、他、海浜の砂の表面温度に関する研究、日本大学理工学部学術講演会論文集、pp.423-424, 1991
- 11) 松井 勇、永井富士子、高温表面の接触危険温度について、日本大学生産工学部第22回学術講演会建築部会、pp.21-26, 1989.12
- 12) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、安全な表面温度に関する研究(高温表面の接触時間について)、日本人間工学会関東支部第24回講演集、pp.146-147, 1994.12
- 13) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、安全な表面温度に関する研究(表面温度と接触時間)、日本大学生産工学部第27回学術講演会建築部会、pp.5-8, 1994.12
- 14) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、安全な表面温度に関する研究(各種材料の表面温度の接触可能時間について)、日本建築学会大会学術講演梗概集A pp.761-762, 1995.8
- 15) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、安全な表面温度に関する研究(各種材料の表面温度の接触時間について)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.153-156, 1995.9
- 16) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、安全な表面温度に関する研究(材料の厚さの影響)、日本大学生産工学部第28回学術講演会建築部会、pp.5-8, 1995.12
- 17) 坂田一幸、松井 勇、湯浅 昇、高温作業における安全な材料表面温度に関する研究安全な表面温度に関する研究(高温表面の接触時間について)、日本建築学会大会学術講演梗概集 A, pp.1193-1194, 1996.9
- 18) BSI PD6504, 1983
- 19) MIL STD-1472E
- 20) EN563, 1994
- 21) 電気用品取締法
- 22) 人間工学基準数値数式便覧: 佐藤方彦他、技報堂 pp.342-343
- 23) 建築設計資料集成I, 日本建築学会、丸善、p.119

(1998年12月28日原稿受理, 1999年5月24日採用決定)