足裏加熱が温熱快適性に及ぼす影響とその至適加熱条件に関する検討

THE INFLUENCE OF HEATING THE SOLES OF THE FEET ON THERMAL COMFORT AND OPTIMUM HEATING CONDITION

寺野 真明*, 佐藤 康仁**, 久野 覚***
Masaaki TERANO, Yasuhito SATOU and Satoru KUNO

It is very popular in East Asia and Japan to heat some parts of the body using a small heating source in slightly cool or cool conditions. The objective of this paper is to clarify the thermal effect of heating the soles of the feet on human thermal comfort and to consider the optimum heating conditions in such cases. Thirteen (13) men participated in these experiments and were exposed to various sole heating conditions. The following results were obtained:

Overall thermal sensation and thermal comfort were not influenced by heating the soles alone. Therefore it was thought that the optimum conditions of a hot panel should be decided by the local thermal sensation on the soles. There was a close correlation between the thermal sensation of the soles and the energy input through the soles' surface and this was used to decide the optimum condition of the hot panel.

Keywords : Thermal comfort, Thermal sensation, heat flow, Heating system, Sole, Optimum condition

温熱快適性, 温冷感, 熱流, 暖房, 足裏, 最適条件

1. はじめに

昨今のエネルギー・環境問題への地球的規模での意識の高まりに伴い、住宅における高気密高断熱化が強く推奨されつつあるが、一方では依然として、人体の一部を加熱あるいは冷却する“採暖／採冷”が日常生活の様々な場面において積極的に活用されている。今後、この両者をバランスよく用いることで、より大きな快適性の享受と省エネルギー効果が期待できる。

このためには採暖／採冷がもたらす熱的不均一性の生理心理的影響を十分に把握することが必要となるが、既存の温熱指標の多くはPMV¹⁾あるいはSET²⁾等に代表される均一かつ温冷感中立域付近での適用を前提とし、欧米と比較すると断熱気密性に劣り、採暖／採冷を多用する習慣を有するわが国の温熱環境の評価には適さない。

しかしながら近年、不均一な熱環境が人体に及ぼす影響に関する報告は徐々に増加傾向にある。蔵澄、堀越ら³⁾は作用温度一定条件での左右不均一な放射場について、堀、伊藤ら⁴⁾は床暖房による不均一熱環境について、熱的快適性への影響とその評価方法をそれぞれ提案している。また、最近では炬燵採暖について人体への影響とその評価法に関する報告もあり^{5),6)}、関心の高まりを反映している。

本報告では、放射による寄与が小さい比較的小面積の発熱体による採暖形態（電気カーペット等）に着目し、特に椅座時に利用者の

足裏のみが加熱されるケースについて、温熱快適性への影響と至適と考えられる加熱条件に関する検討を試みた。このような採暖形態は身近なものであるにも関わらず、十分その効果が検討され、最適化が図られているとは言えない現状にある。

2. 実験計画

2.1. 実験設備

人工気象室（D3.0m × W3.0m × H2.35m）内に、図1に示す二種の足裏加熱装置を設置し、二種類の実験（実験1及び2）を実施した。実験1では室内に構成された疑似床に箱部を掘り下げ、その底面に面状発熱体（以後パネルとする）を設置し、疑似床面に腰掛けられた被験者の足裏を様々な条件で加熱した。パネルは電気コードヒーター、合板、アルミシートより構成し、その上にカーペット等の各種表装材を張り付け、用いた。パネル表面温度（以後パネル温度とする）をK型熱電対を用い検出し、ON-OFF制御により所定温度に維持した。

実験1設備では、箱構造ゆえに箱部空気温度が上昇し易いなどの特異な性状が認められたため、電気式あるいは温水循環型パネルを実験室床に直接設置し、実験2を実施した。実験1及び2における各パネル面積は各1111 × 790mm, 1635 × 755mmであった。

* 松下電工側解析技術研究所

** 松下電工側解析技術研究所

*** 名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 教授・工博

Analytical Technology Research Laboratory, Matsushita Electric Works, Ltd.

Analytical Technology Research Laboratory, Matsushita Electric Works, Ltd.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Nagoya University, Dr. Eng.

図 1. 実験設備

2.2. 設定条件

室温 16, 18, 20℃, 相対湿度 40%RH を基準環境として設定した。均一な環境構成のため換気回数が 50 回/時と大きい、大面積の吹き出し/吸い込み口を用い、人体近傍での気流速度が 0.15m/s を越えないよう注意した。

パネル表装材として 4 種、塩化ビニールシート、カーペット、木質フローリング材、タタミを用意し、各表装材での表面温度は 23 から 36℃ の範囲で 4 水準を設けた (表 1)。実験中は足裏とパネルとは可能な限り安定した接触を保つ様、各被験者に指示した。

表 1. 実験条件

Exp. No.	Cond. No.	Surface material	Air temp. (deg C)	Panel temp. (deg C)	Remark	Exp. No.	Cond. No.	Surface material	Air temp. (deg C)	Panel temp. (deg C)	Remark
1	W1623	Wood	16	23		2	T1826_E	Tatami	18	26	
1	W1627	Wood	16	27		2	T1831_E	Tatami	18	31	
1	W1631	Wood	16	31		2	T1836_E	Tatami	18	36	
1	W1635	Wood	16	35		2	CO1800_E	Vinyl	18	26	
1	W1823	Wood	18	23		2	CO1826_E	Vinyl	18	26	
1	W1827	Wood	18	27		2	CO1831_E	Vinyl	18	31	
1	W1831	Wood	18	31		2	CO1836_E	Vinyl	18	36	
1	W1835	Wood	18	35		2	W1800_W	Wood	18	26	HT: Hot water
1	W2023	Wood	20	23		2	W1826_W	Wood	18	26	
1	W2027	Wood	20	27		2	W1831_W	Wood	18	31	
1	W2031	Wood	20	31		2	W1836_W	Wood	18	36	
1	W2035	Wood	20	35		2	W1800_ES	Wood	18	26	HT: Electric
1	CH1823	Vinyl	18	23		2	W1826_ES	Wood	18	26	
1	CH1827	Vinyl	18	27		2	W1831_ES	Wood	18	31	
1	CH1831	Vinyl	18	31		2	W1836_ES	Wood	18	36	
1	CH1835	Vinyl	18	35		2	W1800_EB	Wood	18	26	Heating area (HA): Bottom
1	CA1831	Carpet	18	31		2	W1826_EB	Wood	18	26	HT: Electric
1	CA1838	Carpet	18	38		2	W1831_EB	Wood	18	31	
1	CA1842	Carpet	18	42		2	W1836_EB	Wood	18	36	
1	CA1846	Carpet	18	46		2	CA1800_EB	Carpet	18	26	
1	W1823R	Wood	18	23	(W1823)	2	CA1826_EB	Carpet	18	26	
1	W1827H	Wood	18	27	H: 60%RH	2	CA1831_EB	Carpet	18	31	
1	W1827L	Wood	18	27	E: 60min	2	CA1836_EB	Carpet	18	36	
1	W1835R	Wood	18	35	(W1835)	2	T1800_EB	Tatami	18	26	
1	W1823E	Wood	18	23	SA: Elderly	2	T1826_EB	Tatami	18	26	
1	W1835E	Wood	18	35	SA: Elderly	2	T1831_EB	Tatami	18	31	
2	W1800_E	Wood	18	26	HT: Electric	2	T1836_EB	Tatami	18	36	
2	W1826_E	Wood	18	26		2	CO1800_EB	Vinyl	18	26	
2	W1831_E	Wood	18	31		2	CO1826_EB	Vinyl	18	26	
2	W1836_E	Wood	18	36		2	CO1831_EB	Vinyl	18	31	
2	CA1800_E	Carpet	18	26		2	CO1836_EB	Vinyl	18	36	
2	CA1826_E	Carpet	18	26		2	W1800_WB	Wood	18	26	HA: Bottom
2	CA1831_E	Carpet	18	31		2	W1826_WB	Wood	18	26	HT: Hot water
2	CA1836_E	Carpet	18	36		2	W1831_WB	Wood	18	31	
2	T1800_E	Tatami	18	26		2	W1836_WB	Wood	18	36	

本報告では表 1 記載の実験条件の内、まず室温及び表装材一定条件について、足裏加熱と温熱快適性との関係について考察を試みる

(図中網掛け部)。また実験中、被験者位置によっては僅かな気流感と共に空気温度の不均一性が指摘されたため、各被験者近傍の上下空気温度 (足元から頭部に至る 3~5 点) の実測データに基づき、不適と考えられるケースを除去した。以上より、実験中を通じての上下空気温度 3~5 点の平均が 18.5~19.5℃, 標準偏差が 1.0deg 以内、木質表装材使用時となる条件を満たす被験者のみを抽出した。実測データに基づく環境条件の再設定結果を表 2 に示す。

表 2. 抽出後の実験条件

Exp. No.	1	1	1	1	2	2	2	2
Air Temp. (deg C)	18.9	19.0	19.0	19.1	18.7	19.0	19.1	19.4
Panel Temp. (deg C)	26.2	29.3	36.1	38.2	19.3	25.5	30.9	34.1
Panel Surface Material	Wood	Wood	Wood	Wood	Wood	Wood	Wood	Wood
Subjects' number	5	4	5	2	4	4	4	3

2.3. 実験手順

被験者は指定着衣に着替え、実験開始約 15 分前に実験室に入室、各種センサーを取り付け、実験に関する説明を受けた後、実験を開始した。実験開始後 20~30 分間は接触前状態を安定させるため、足裏を空中に放置するように指示した。

実験 1 では 30 分間の待機後、30 分間足裏をパネルに接触 (加熱) し、その後一旦実験室から退室、30 分間程度の休息の後、別条件について上述の手順を繰り返した。実験 2 では 15~20 分間待機の後、パネル温度を変更し、足裏を 15 分間加熱するサイクルを 4 回繰り返した。以上を図 2 に示す。実験中、図中の時間間隔で温熱快適性に関する主観評価を行うと共に、熱流、皮膚温度を 10 秒毎に計測した。

実験 1 では午後 1 時から、途中約 30 分間の休憩を挟み、午後 3 時 30 分に終了し、同時に 4 名の被験者を計測した。実験 2 は午前及び午後各 1 名の 1 日 2 回実施した。実験 1 は 1996 年 2 月 1 日から 3 月 15 日、実験 2 は 1997 年 2 月 28 日から 4 月 1 日にかけて実施した。

図 2. 実験手順

2.4. 被験者

実験 1 では健康な 20 才代の青年男性 6 名と 60 才代男性 4 名、実験 2 では 20 才代青年男性 3 名についてデータを収集した。被験者の着衣は実験 1, 2 共下着, T シャツ, 襟付き長袖シャツ, トレーナー上下および裸足状態とした。花田ら⁷⁾の単品衣類クロー値と重ね着クロー値の関係式から推定された着衣量は 0.6~0.7clo であった。実験中、被験者には読書程度の簡単な作業については許可した。

本報告では青年男性データのみを使用し、60才代男性データについては除外して以降の解析を進める。加齢による影響については次報以降において検討する予定である。

表 3. 被験者プロフィール

Exp. No.	Subject's initials	Age (yrs)	Sex	Height (cm)	Weight (kg)
1	K.T	27	Male	180	78
1	S.O	22	Male	173	65
1	H.M	20	Male	170	56
1	H.K	19	Male	167	60
1	H.T	61	Male	162	62
1	Y.F	63	Male	172	73
1	H.H	61	Male	165	73
1	T.K	61	Male	165	65
1	K.N	18	Male	170	55
1	H.N	20	Male	186	70
2	T.N	20	Male	180	67
2	K.N	20	Male	170	55
2	S.N	21	Male	166	63

2.5. 測定項目及び測定方法

2.5.1. 温熱環境

各実験条件において、人体近傍空気温度及びパネル温度を10秒間隔で計測した。空気温度計測にはアルミ箔による放射よけを施した直径0.1mmのT型熱電対を用い、実験1ではパネル上10, 20, 40, 60, 110cm付近、実験2では10, 60, 110cmの3点にて計測した。

一方パネル温度はアルミあるいは透湿性テープによりパネル表面に固定されたT型熱電対により計測した。表4に各実験における計測項目を、計測点に関しては図1に示した。

表 4. 計測項目

Experiment 1	Items	Apparatus	Position	Number
Air temp.	Thermocouple covered by aluminum foil : T type, d=0.2mm	10, 20, 40cm above centre of hot panel 58, 113cm above surface of hot panel nearby each subjects	Panel surface	3
				8
Panel surface temp.	Thermocouple applied by aluminum tape : T type, d=0.2mm	Panel surface	Panel surface	2
				1
Skin surface temp.	heat flow sensor	Left sole	Left sole	4
				4

Experiment 2

Items	Apparatus	Position	Number
Air temp.	Thermocouple covered by aluminum foil : T type, d=0.2mm	10, 60, 110cm above panel surface	3
Panel surface temp.	Thermocouple applied by skintonepore tape : T type, d=0.2mm	Panel surface	7
Skin surface temp.	heat flow sensor	Left sole (left hip and thigh)	1 (2)
		Left sole (thigh and left sole)	4
		Left instep	1
		Left shin (waist)	1
Heat flow into sole	heat flow sensor	Left sole (hip and thigh)	1 (2)

(): Case of heating subjects' bottoms

2.5.2. 人体の生理及び心理反応

人体とパネルが接触する足裏において、移動熱流と皮膚温度を熱流計及び熱電対を用いて計測した。各センサーは図3に示す人体部位に透湿性テープを用いて固定し、データ収集間隔は10秒とした。一方、熱的快適性、全身及び局所の温冷感及び床温/室温に対する要望などの主観量を、1～10分間隔で収集した。申告には寒暑感、涼暖感7段階尺度及び快適感7段階尺度を、足裏温冷感に関してのみ非対称な9段階尺度¹⁾を用いた。温冷感の分析には寒暑感尺度を用いた⁸⁾。また快適感申告には不快側のみの片側尺度が一般的に用いられるが、今回は不均一な熱的環境がもたらす積極的な快適性の存在が予想されたため、両側尺度を採用した。床温/室温に対する要望は、「温度を下げたい～このままでいい～温度を上げたい」の三択とした。図4に申告尺度を示す。

図 3. 人体計測点

図 4. 感覚評価尺度

3. 結果

3.1. 環境設定状態

実験1及び2における被験者近傍空気温度3～5点及びパネル温度の平均値と標準偏差の時間的変化を図5及び6に示す。空気温度は約19℃ではほぼ安定し、パネル温度も標準偏差約1deg程度のバラツキは認められるものの、足裏接触時には安定に達していることが確認できる。実験2は異なるパネル温度を連続的に提示する実験であったが、接触時にはおおよそ所定の温度に安定していることが確認できる。

図 5. 実験1における空気温度及びパネル温度の時間的変化

図 6. 実験2における空気温度及びパネル温度の時間的変化

3.2. 足裏加熱が全身の温熱快適性に及ぼす影響

図7及び8に、実験1における被験者の快適感及び寒暑感申告値平均の時間的変化の一例を示す。足裏加熱による影響は快適感、寒暑感とも不明瞭であり、実験2においても同様であった(図9, 10)。両実験共、特に快適感申告値におけるバラツキが大きく、寒暑感では比較的バラツキが小さい。これは室温が19℃と温熱中立域に比較的近く、室温及び足裏加熱がもたらす快適性に関する各人の感じ方に差があるためと考えられるが、いずれにせよ足裏に限定された加

熱が全身的な温熱快適性に及ぼす影響は非常に小さいといえる。

図7. 快適感申告平均及び標準偏差の変化の例 (実験1)

図8. 寒暑感申告平均及び標準偏差の変化の例 (実験1)

図9. 快適感申告平均及び標準偏差の変化 (実験2)

図10. 寒暑感申告の平均及び標準偏差の変化 (実験2)

しかしながら、足裏だけが加熱される暖房形態は古くから存在し、我々は経験的にその有効性を知っている。こうした暖房形態は本来、人体の一部に対する不快の解消を目的とするものである。このため採暖における効果の定量化、至適条件の検討に際しては、発熱体との接触部における快適性あるいは不快性に関する情報が必要となると同時に、「満足—不満」あるいは「許容できる—できない」等を尺度とする評価が不可欠であると思われる。

3.3. 接触部における温熱感覚 (足裏温冷感とパネル温度との関係)

以上より小面積パネル—椅座姿勢、すなわち足裏だけが加熱され

る場合には、人体と発熱体との接触部の感覚がパネル条件決定上、最も重要な要因となると考えられる。図11は実験1において、提示されたパネル条件に対する足裏温冷感申告の全被験者の平均値の時間的変化を示したものである。パネル温度36.1℃の際の待機中の足裏温冷感が他条件と異なる等不明な点は存在するが、寒暑感、涼暖感に比べ、与えられた熱刺激が明確に知覚されていることがわかる。実験2でも同様の結果が得られた。ここで実験1及び2それぞれについて、パネル温度と足裏温冷感の関係を全データについてプロットした (図12, 13)。一次式による回帰では0.55から0.76程度の決定係数が得られ、全身的な温熱快適性を示す快適感、寒暑感に比べ、足裏温冷感とパネル条件との関係は明確であると共に、加熱条件決定の判断基準として有効であることがわかる。

図11. 実験1における足裏接触温冷感の時間的変化

図12. 実験1におけるパネル温度と足裏接触温冷感との関係

図13. 実験2におけるパネル温度と足裏接触温冷感との関係

ここで図12及び13より実験1及び2でパネル温度—足裏温冷感関係に大きな違いがあることがわかる。以下この相違点について検討する。図14に接触開始10分経過時点でのパネル温度—足裏温冷感関係における実験1及び2の比較結果を示した。両者に認められる差異がパネル温度低温域のデータの存在によるものと考え、実験2のパネル温度19℃付近のデータを除いた結果が図15である。僅かに実験2が温かい側に位置する傾向が認められた。この原因として実験手順の違い (実験2では連続的な条件提示であった) による影

響も考えられたが、筆者らの体感では20分間の待機は初期状態への回復には十分と感じられ、両者の差は、パネル構造、材質などのパネル全体としての特性の違いによるものではないと思われる。以上より、パネル温度－接触温冷感関係に基づく、パネルの至適条件決定は普遍性に欠ける可能性があり、以下考察ではより普遍性の高い指標に関する検討を試みる。

図 14. 実験 1 及び 2 におけるパネル温度－接触温冷感関係

図 15. 低温領域除去後の実験 1 及び 2 の比較

4. 考察

4.1. 人体への熱的影響と足裏温冷感との関係

前述の様に、パネル温度が同じであっても異なるパネル間では足裏温冷感は必ずしも一致するとは限らない。これは各パネル固有の特性が大きく関与するためと考えられるが、松井^{9),10)}等はこの問題に対し人体への直接的な刺激と接触温冷感との関連付けを試み、パラメータとして接触直後から人体に流入出した総熱量あるいは、接触部皮膚温度の変化量を用いた。図 16 に接触部温度変化、人体流入熱量の定義を示す。

図 16. 接触温冷感定量化パラメータの定義

図 17 は実験 1 及び 2 の人体流入熱量－接触温冷感関係を 10 分経過時点において比較した結果である。パネル温度低温域データは除外した。接触中を通じて両者は良好な一致を示し、人体流入熱量－接触温冷感関係がパネル特性に左右されないことがわかる。

以上より人体流入熱量を用い、両実験のデータの統合を試みた。1 分後から 30 分後に至る結果を図 18 に示す。10 分後以降での差異は明確とは言えないが、本報告では区別した。一次式による回帰に

比べ、対数近似による回帰結果の決定係数が僅かであるが高かった。この際人体流入熱量値が負となる場合が生じたため、実際の人体流入熱量値に定数(+10)を加算した修正値を用い、近似式を得た。

接触部温度変化による結果を図 19 に示す。対数近似適用のため接触部温度変化に 3deg 加算した修正値を用い、足裏温冷感との関係を得た。人体流入熱量同様、実験間の差は消失するが、決定係数はやや小さい値が得られた。

図 17. 人体流入熱量による実験 1 及び 2 の比較

図 18. 接触温冷感と人体流入熱量との関係 (室温 19℃)

図 19. 接触温冷感と接触部温度変化との関係 (室温 19℃)

4.2. 既往研究結果との比較

得られた人体流入熱量と接触温冷感との関係について、松井ら^{11),12)}の結果との比較を試みた (図 20)。接触直後における差異は、熱量値算出方法における違いが影響している可能性が高いが、こうした影響が小さい 10～30 分後は、筆者らの結果が松井らに対しやや右方向にシフトし、足裏温冷感中立時にも熱供給が必要であることを示している。今回比較に用いた松井らのデータが立位姿勢であること、温熱中立域に近い室温 21℃ 付近での計測結果であることなどが本報告における結果との間に差が生じた原因と考えられる。

図20. 既往研究結果との比較 (人体流入出熱量－足裏温冷感関係)

4.3. 至適パネル条件に関する検討

図21にパネル温度に対して「0: ちょうどいい」との申告が得られるデータについて、全データ数に対する各足裏温冷感申告値の申告数の割合を示した。0～30分の接触時間を通じて「2: 温かい」でパネルに対する満足度が高い様子が伺える。

ここで小面積パネルによる足裏加熱時の至適条件を、“パネル温度変更の必要性を感じない状態”と考え、各接触時間で接触温冷感申告が「2: 温かい」となる人体流入出熱量値が得られることが必要となる。これらの値は図18より算出可能である。

以上より例として実験1使用パネルにおける人体流入出熱量－床温関係(図22)から、接触温冷感申告値2が得られるパネル温度を得た。実験2における推定結果と共に表5にまとめる。今後データ数の拡充を図る必要があるが、接触から10分間程度は比較的高温が求められ、30分も経過すると求められるパネル温度は低下する傾向が示されている。また、実験1及び2の各パネルでは同等の温冷感が得られるパネル温度が異なることがわかる。

図21. パネル温度に満足する際の接触温冷感申告の割合

図22. 実験1使用パネルの表面温度と人体流入出熱量との関係

表5. パネル至適条件と各実験における最適パネル温度

Contact period (min)	Equation	Optimum cond. (Wh/m²)	Optimum panel temps. (deg C)	
			Exp1	Exp2
1min	$y=4.41\ln(x+10)-10.06$	5.4	36.8	30.8
5min	$y=2.20\ln(x+10)-5.49$	20.2	36.4	30.4
10min	$y=1.56\ln(x+10)-4.14$	41.5	37.2	31.6
30min	$y=2.09\ln(x+10)-7.14$	69.2	29.6	

5. まとめ

本報では、個人対応、椅座姿勢での利用を主目的とする小面積面状発熱体を想定し、足裏だけが加熱される場合の温熱快適性に関して体感評価実験を実施し、以下の知見を得た。

- 1) 足裏のみの加熱では全身的温熱快適性に影響する程の効果は得られず、主に局部不快感(冷たさ、寒さ)の解消が主となる。この時、加熱により発生する局所の感覚すなわち足裏温冷感がパネルによりもたらされる快適性を決定する主要因となるものと考えられる。
- 2) 足裏温冷感はパネル温度との関連性が高いが、両者の関係は各パネルに依存し、普遍性に欠ける可能性が高い。本報告では人体への直接的な熱的刺激を表現した人体流入出熱量及び接触部の温度変化がパネルの諸特性に左右されることなく、足裏温冷感との間に高い相関性を有することを確認し、木質床に関する定量式を得た。
- 3) 接触温冷感レベル2(温かい)の時、パネルに対する満足度は最も高い。このことから各接触時間毎の至適状態を得るための人体流入出熱量値を得、試みに至適に感じるパネル温度を実験で用いたパネルについて求めた。

本報告では木質表装材に限定し、解析を進めた。このため他の素材に関する確認を進めると共に、室温等のその他要因の影響についても検討する必要がある。また、人体流入出熱量の計測、推定方法についても検討を進めており、引き続き報告を予定している。

参考文献

- 1) Fanger, P. O : Thermal Comfort 2ed ed, Facsimile of 1970ed., McGraw- Hill, New York, 1972
- 2) Gagge, A.P : Fobelets, A.P., Berglund, L.G : A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment, ASHRAE Transactions, Vol.92, Part28, pp709-731
- 3) 蔵澄美仁, 堀越哲美, 平山慶太郎, 土川忠浩, 小林陽太郎: 非対称及び不均一な熱放射環境の人体影響に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第447号, 17-26, 1993
- 4) 堀祐治, 伊藤直明, 須永修通, 室恵子: 不均一熱環境における熱的快適性の評価に関する研究, 日本建築学会計画系論文集, 第501号, 37-44, 1997
- 5) 渡邊慎一, 堀越哲美, 三好結城, 宮本征一, 水谷章夫: 炬燵採暖が人体に及ぼす熱的影響とその評価方法, 日本建築学会計画系論文集, 第497号, 39-45, 1997
- 6) 渡邊慎一, 堀越哲美, 三好結城, 宮本征一: 炬燵使用時における人体の熱的快適性の検討とその温熱効果の定量化, 日本建築学会計画系論文集, 第497号, 47-52, 1997
- 7) 花田嘉代子, 三平和雄, 佐藤由美: 繊維製品消費科学会誌, 22, 430, 1981
- 8) 久野寛: 非定常時における温熱生理・心理反応, 日本建築学会第23回熱シンポジウム, pp.69 ~ 76, 1973
- 9) 松井勇, 笠井芳夫: 仕上材の感触に関する研究 - その1 温冷感触, 日本建築学会論文報告集, 第263号, pp.21 ~ 31, 昭53.1
- 10) 松井勇, 笠井芳夫: 仕上材の感触に関する研究 - 温冷感触その2, 日本建築学会論文報告集, 第264号, 1-12, 昭55.8
- 11) 松井勇, 沖倉優代: 模擬足による床の接触温熱感の評価方法その3, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 13-16, 1993
- 12) 松井勇, 湯浅昇, 沖倉優代: 床の接触温熱感に関する研究その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 641-642, 1993

(1998年7月3日原稿受理, 1999年6月11日採用決定)