

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 12 日現在

機関番号：55401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350089

研究課題名(和文)日本の住宅における温熱環境評価のための新しい着衣熱抵抗の測定方法の検討

研究課題名(英文)Study of the new measurement method for "clo value" for thermal environment evaluation of Japanese house

研究代表者

大和 義昭 (Yamato, Yoshiaki)

呉工業高等専門学校・建築学分野・准教授

研究者番号：20450140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は簡単に様々な姿勢でのclo値を測定可能な新しい方法を開発することである。この目的のため、人体と熱流束計および人呼気代謝分析装置を用いたclo値測定実験を行い、サーマルマネキンによる実験結果と比較検討した。サーマルマネキンと比較して人体によるclo値は小さくなる傾向があった。人体は気温の違いや衣服の有無に対して、体表面からの放熱量を約60[W/m²]に保った一方で、皮膚温を29から32に変動させた。これは体温調節機構の働きによるものであり、このために人体によるclo値が小さくなると考えられる。体温調節機能を前提とした人体を用いた新たな着衣熱抵抗測定方法の開発が必要である。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a simple new clo value measuring method. The clo value measurement experiment use "human body and heat flux sensor" and "human body and metabolic analyzer" were conducted. In addition, comparison and examination with the clo value in the thermal manikin were also performed. Clo value measured by using a human body is smaller than that of by using a thermal manikin who maintained the skin temperature fixedly. The heat loss from the human body was about 60[W/m²] regardless of the temperature difference and clothes. On the one hand, the human body changed skin temperature from 32 to 29. This is because the human body has thermoregulation system. It maybe inevitable that clo value measured by using a human body is smaller than that of by using a thermal manikin who maintained the skin temperature fixedly. Consideration of clo value measurement method that premised on a thermoregulation system of a human body is needed.

研究分野：建築環境工学

キーワード：着衣熱抵抗 clo値 熱流束計 呼気代謝分析 サーマルマネキン 姿勢 日本の住宅 温熱環境評価

1. 研究開始当初の背景

人間の温冷感には、気温、湿度、気流、放射、着衣量と代謝量の「温熱6要因」が影響を及ぼす。室内温熱環境評価を精度よく行うためには「温熱6要因」を正確に把握することが欠かせない。

「温熱6要因」のうち、着衣量は衣服の断熱性能である着衣熱抵抗=clo 値で表される。衣服の断熱性能は、衣服の生地自体ではなく、衣服下の空気によってもたらされる。衣服下の空気層の厚さは衣服を着ている人体の姿勢によって異なるため、clo 値は衣服毎の単一の値ではなく姿勢によって異なる。

室内温熱環境評価の研究は欧米で端を発し、主にオフィスや工場を対象としたため、居住者の姿勢は立位や椅子座が主であり、Clo 値も立位や椅子座位での値が主に測定されてきた。一方で日本の住宅内部で居住者がとる姿勢は、立位や椅子座位に加えて臥位や平座位もあり多様である。日本の住宅内部の温熱環境評価住宅には、臥位や平座位も含む様々な姿勢での clo 値が必要不可欠である。

しかし、既往研究で蓄積されてきた clo 値データは、今日の日本の住宅居室内における居住者の姿勢の多様さに比べて著しく少ない。また、そもそも“clo 値”という指標が一般社会に浸透していない。

これらの原因の一つに、ISO 9920 で国際的に規格化されている従来の一般的な方法での測定には、サーマルマネキンという高価な測定装置が必要であり、そのために多くの技術者や研究者にとっても clo 値測定の機会を得ること自体が困難であったことが挙げられる。また、現在市販されているサーマルマネキンは、膝や股、肩などの関節が可動であるものが多いが、サーマルマネキンの関節の多くは、一方向にのみ屈曲または回転可能であるため、とられる姿勢は限られる。

日本の住宅内部の温熱環境評価のために、サーマルマネキンなどの高価で特別な装置を使わずに、臥位や平座位を含む様々な姿勢での clo 値を測定可能とする方法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、サーマルマネキンなどの高価で特別な装置を使わずに、臥位や平座位を含む様々な姿勢での clo 値を測定可能とする方法の開発を検討することである。

3. 研究の方法

ISO 9920 には、人体の代謝熱産生、外部への仕事、皮膚および気道からの蒸散による放熱量、人体への貯熱から求めた放熱量と平均皮膚温および気温から、人体を用いて着衣熱抵抗を測定する方法も示されている。人体を使った方法であれば、人間がとる様々な姿勢での着衣熱抵抗が測定可能である。しかし、ISO 9920 に示された方法では、計測項目が多

いなど、問題もある。

Clo 値は、人体表面温度と人体表面からの放熱量および周囲気温から求められる。人体表面からの放熱量をより簡単に測定することにより、人体を用いた着衣熱抵抗測定がより簡単になる。

車椅子人体の快適性評価を目的として、人体表面からの放熱量を熱流束計で測定した既往研究がある。また、病院で患者の代謝量を呼気代謝分析装置により測定することが広くおこなわれている。これらのことから、人体と熱流束計および人体と呼気代謝分析装置を用いた clo 値測定方法を考案し、男性被験者2名を用いて測定実験を実施した。サーマルマネキンを用いた一般的な方法で測定した clo 値と比較した結果と被験者並びに実験者への負担なども考慮した結果から、人体を用いた clo 値測定方法について検討した。

Table 1 に測定に使用した衣服の組み合わせを示す。衣服はいずれも市販のものであった。

Table 1 The clothes used for measurement

Garment	Material (%)	Weight (g)
Shorts	Cotton (78.0), Polyurethane (22.0)	145
Sweatshirt	Polyurethane (100.0)	494
Pants	Cotton (100.0)	72
Sweatpants	Polyurethane (100.0)	391
Socks	Polyester (56.8), Cotton (40.8), Polyurethane (1.8), Nylon (0.6)	54

Table 2 Characteristic of subjects

Subject	Sex	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Body surface area (m ²)
M. A	Male	20	177.00	66.11	1.804
M. B	Male	19	173.65	60.50	1.721



Fig. 1 Nude subject attached sensor of heat flux meter (Left)

Fig. 2 Subject wore clothes and attached mask of metabolic analyzer (Right)

Table 3 Thermal environment condition of chamber

Air temperature setting	22 [°C]	24 [°C]	26 [°C]
Relative humidity setting	50 [%]		
Air velocity	> 0.2 [m/s]		

サーマルマネキン (京都電子) は、身長約 175cm、胸囲 92cm、胴囲 80cm であり、青年男性の略等身大である。頭部、胸部、腹部など

17 部位毎に表面温度を設定可能である。本研究では、全部位で表面温度を 33℃ に一定となるよう設定した。

実験に使用した被験者はいずれも健康な青年男性 2 名であった。Table 2 に実験に用いた被験者のプロフィールを示す。

本研究で用いた熱流束計（江藤電気 S11A）は、センサーを貼付した箇所の熱流束のほかに温度も測定可能である。センサーはサーマルマネキンの分割部位と同じ体表面上の 17 箇所に一枚ずつ貼付した。Fig. 1 に熱流束計のセンサーを貼付した裸体状態の被験者を示す。

呼吸代謝分析装置（COSMED Quark CPET）で測定した代謝熱発生量を皮膚からの放熱量と等しいと仮定した。Fig. 2 に実験に使用した衣服を着て呼吸代謝分析装置のマスクを着用した状態の被験者を示す。なお、呼吸代謝分析装置を使った測定実験では、被験者の皮膚表面温度測定に熱流束計を使用した。測定時の姿勢は、サーマルマネキンが無理なくとれることから、立位と椅子座位の 2 条件とした。

測定時の人工気候室内の設定気温は 22℃、24℃、26℃ の 3 条件とした。Table 3 に人工気候室内の温熱環境条件を示す。

測定ではまず、設定条件を満たした人工気候室に裸体もしくは着衣状態のサーマルマネキンまたは被験者を位置させた。室外からサーマルマネキンまたは被験者の表面温度および表面からの熱流束または代謝量などをモニターし、それらがほぼ一定となってから少なくとも 20 分間は設定条件に曝露させた。その後 30 分以上測定し、解析には測定終了後から遡って 30 分間のデータを使用した。全条件で測定は二回ずつ行った。

4. 研究成果

立位での着衣熱抵抗の測定結果（平均値）を Table 4 に示す。また、椅子座位での着衣熱抵抗の測定結果（平均値）を Table 5 に示す。

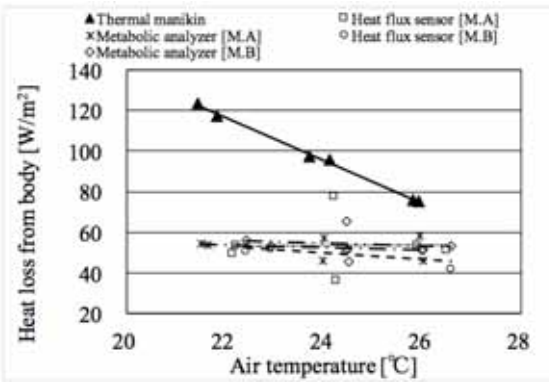
Table 4 Measurement results of clo value (Standing)

Measuring device	22℃	24℃	26℃
Thermal manikin	0.62	0.58	0.54
Heat flux sensor	0.69	0.46	0.52
Metabolic analyzer	0.51	0.39	0.33

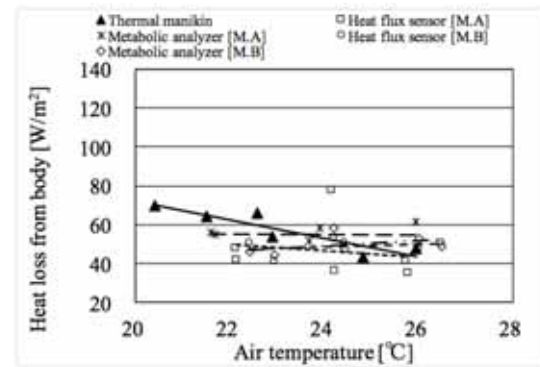
Table 5 Measurement results of clo value (Sitting on chair)

Measuring device	22℃	24℃	26℃
Thermal manikin	0.64	0.36	0.58
Heat flux sensor	0.44	0.41	0.39
Metabolic analyzer	0.44	0.21	0.26

立位では、サーマルマネキンでの着衣熱抵抗はどの気温でも約 0.6clo であったのに対して、人体での着衣熱抵抗にはばらつきがあり、気温が高いほど人体を用いた方法による着衣熱抵抗は小さくなり、サーマルマネキンによる値との差が大きくなる傾向がみられ

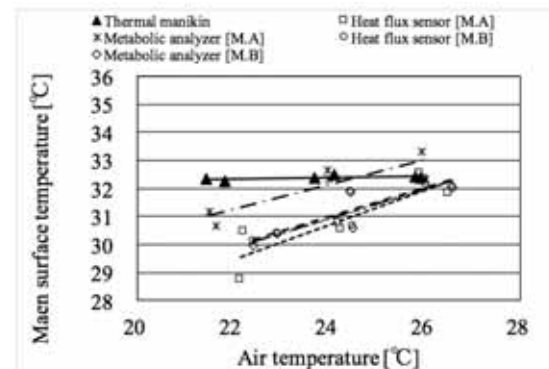


a) nude

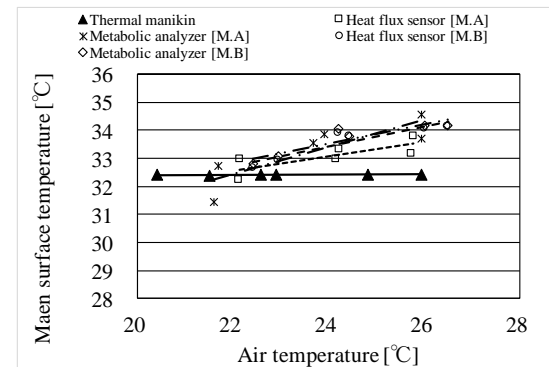


b) clothed

Fig. 3 Heat loss from body in “standing” posture



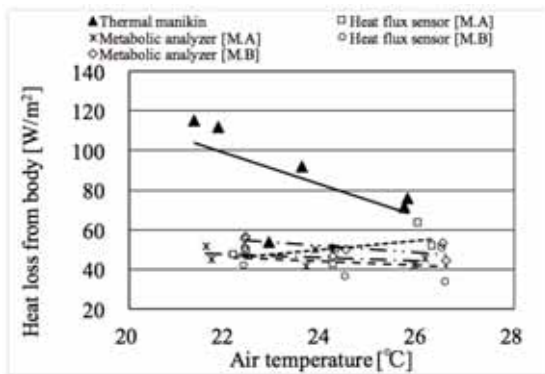
a) nude



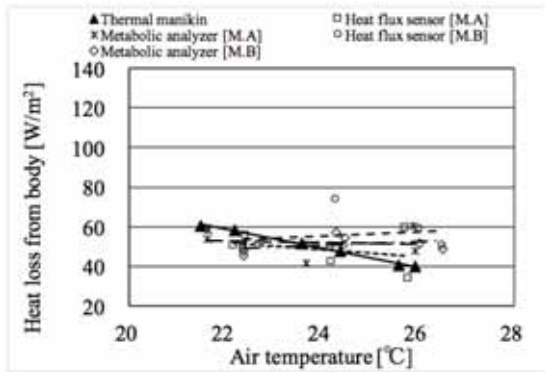
b) clothed

Fig. 4 Mean surface temperature in “standing” posture

た。

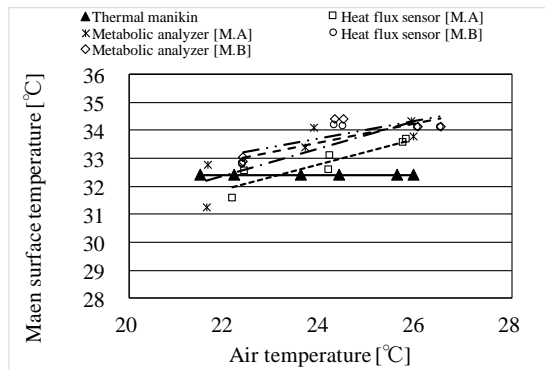


a) nude

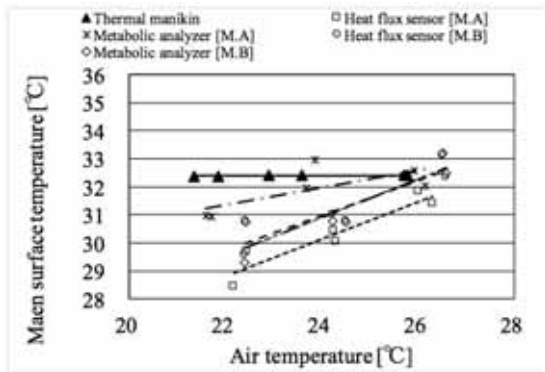


b) clothed

Fig. 5 Heat loss from body
in "sitting on chair" posture



a) nude



b) clothed

Fig. 6 Mean surface temperature
in "sitting on chair" posture

椅子座位では、24°C条件でサーマルマネキンと呼気代謝分析装置による着衣熱抵抗が低くなったが、全体として人体を使った方法による着衣熱抵抗は、立位と同様に、サーマルマネキンによる値より低く、気温が高いほどその差が大きくなる傾向がみられた。

サーマルマネキンと人体を用いた方法での放熱量や平均表面温度の比較 (Fig. 3~Fig. 6) から、皮膚温を一定に制御したサーマルマネキンは、気温の高低や着衣の有無に応じて約 130[W/m²]から約 80[W/m²]まで最大で 50[W/m²]程度放熱量を変動させるのに対して、人体は着衣の有無や気温の変動に対して、皮膚温を 2~3°C変動させて、放熱量を 50[W/m²]前後に維持するよう反応することがうかがわれた。このような反応の違いが、サーマルマネキンを使った方法に対して、人体を使った方法での着衣熱抵抗が低く測定される要因となっていると考えられる。

熱流束計による測定では、センサーから伸びて計測用のパソコンに接続されるコードが衣服下を通して袖口などから衣服外へ引き出されることとなる。コードによって衣服下の空気層の厚さに影響を及ぼすおそれがあることや、センサーを装着した状態での姿勢変位が容易ではないなどの問題点が見出された。呼気代謝分析装置による測定では、体表面からの放熱量測定のために衣服下にコードを通す必要がなくなる。本研究では体表面温度測定のために熱流束計を用いたため、呼気代謝分析装置による測定でもコード衣服下を通ることとなったが、例えばコイン状の超小型の温度測定装置を使うことで、衣服下にコードを通さずに測定可能にする方法の検討が課題として残された。

本研究では、データの正確性を重視したため、被験者の体表面温度や体表面からの放熱量が定常となった以降も十分な時間をとった。そのため、一つの条件についての実験時間が 90 分を超すこともあった。その間同じ姿勢を維持することを課したため、被験者への負担は大きかった。実験データの検討から、暴露時間および実験時間の削減はある程度可能であることがわかった。被験者の負担軽減のため、どの程度の実験時間短縮が可能なのかを検討することが課題として残された。

人体を使った測定方法については、精度の向上や被験者および実験者の負担軽減のための改良を加えるとともに、人体の体温調節機能を前提とした測定方法についても検討することも次の研究課題として残された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

[学会発表] (計 7件)

- ① 大和義昭, 松原斎樹, 蔵澄美仁, 熱流束計を用いた着衣熱抵抗測定方法の検討,

日本建築学会中国支部研究報告会，2015年3月8日

- ② Yoshiaki Yamato, Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Kunihito Tobita, Measuring thermal insulation value of clothing using heat flux sensor, The 15th Science council of Asia conference, May 15th, 2015, Siem Reap
- ③ 岡崎萌，大和義昭，西川諒也，人体を用いた着衣熱抵抗測定方法の検討 その1 背景および方法，日本建築学会中国支部研究報告会，2016年3月6日
- ④ 西川諒也，大和義昭，岡崎萌，人体を用いた着衣熱抵抗測定方法の検討 その2 着衣熱抵抗実験の結果，日本建築学会中国支部研究報告会，2016年3月6日
- ⑤ 大和義昭，藏澄美仁，深川健太，飛田国人，近藤恵美，人体を用いた着衣熱抵抗測定方法の検討，繊維製品消費科学会，2016年6月25日～26日
- ⑥ 大和義昭，人体を用いた着衣熱抵抗測定方法の検討，日本建築学会全国大会，2016年8月24日～25日
- ⑦ Yoshiaki Yamato, Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Kunihito Tobita, Emi Kondo, Measuring clo value using heat flux sensor and human body, CLIMA 2016, May 25, 2016, Aalborg, Denmark

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大和義昭 (Yoshiaki Yamato)

呉工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：20450140

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

松原斎樹 (Naoki Matsubara)

京都府立大学・生命環境研究科・教授

研究者番号：80165860

藏澄美仁 (Yoshihito Kurazumi)

椋山女学園大学・生活科学部・教授

研究者番号：70244291