

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：55401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00807

研究課題名(和文) 体温調節機能を有する人体を用いた新しい着衣熱抵抗測定方法の開発

研究課題名(英文) Development of new method for measuring clo value using a human body with thermoregulatory function

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・教授

研究者番号：20450140

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：人体を用いたclo値測定方法を検討するため、同一の衣服組み合わせのclo値を人体を用いた方法とサーマルマネキンを用いた方法とで測定、比較した。人体による方法で求めたclo値が定温度制御のサーマルマネキンで求めたclo値よりも小さくなることを改めて示した。  
また、制御方法だけを定温度制御と定放熱制御に変えた同一のサーマルマネキンで、同一の衣服組み合わせのclo値を測定した。同一の衣服でも制御方法によりclo値に違いがあることを示し、制御方法間の関係式を導いた。人体を用いた方法と定温度制御マネキンで求めた方法でclo値が換算可能になる可能性と、さらに人体を用いたclo値測定方法の可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体を用いたclo値測定方法の可能性を示した。人体を用いて測定可能となれば、サーマルマネキンのような特別な測定機器を使わずに、clo値を測定できるようになる。、臥位や平座位の姿勢がとられている日本の住宅内の精度良い温熱環境評価のために必要不可欠な様々な姿勢でのclo値を、より多くの研究者・技術者がより簡便に測定可能になる。また、従来のclo値測定では無視されてきた人体からの潜熱放熱を考慮することも可能となる。  
また本研究は、従来ほとんど考慮されてこなかった“定温度”や“定発熱”などサーマルマネキンの制御方法の違いによるclo値測定結果の違いを定量的に示した。

研究成果の概要(英文)：In order to examine the clo value measurement method using the human body, the clo values of the same clothes combinations were measured and compared between the method using the human body and the method using the thermal manikin. It was shown again that the clo values obtained by the human body method are smaller than the clo values obtained by the constant temperature controlled thermal manikin.  
Clo value of the same clothing combinations were measured with the same thermal manikin in which only the control method was changed to "constant temperature control" and "constant heat flow control". We showed that there are differences in clo values depending on the control method, and derived the relational expressions between the control methods. The possibility that the clo value can be converted by the method using the human body and the method obtained by the constant temperature control manikin and the possibility of method for measuring the clo value using the human body were shown.

研究分野：建築環境工学

キーワード：着衣熱抵抗 clo値 サーマルマネキン

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

建築環境工学では、衣服は体外への放熱を抑える熱抵抗として捉えられ、その断熱性能は clo 値で表される clo 値は“温熱6要因”の一つであり温熱環境評価には不可欠である。ところで、clo 値は衣服毎に固有の値ではなく、同じ衣服であっても着ている人間の姿勢の違いによって異なる。しかし、これまでに蓄積・公開された clo 値データは、立位や椅子座位での値が中心であり、日本の住宅居室内における居住者の姿勢の多様性に比べてまだまだ少ないのが現状である。一般的に clo 値はサーマルマネキンを使って測定されるが、サーマルマネキンが数百万円から数千万円と高価なことや、立位や椅子座位の姿勢はとれるが、胡座や両立て膝などの我々日本人が住宅内でよくとる姿勢の多くはとれないという問題点がある。そのため、日本の住宅の温熱環境評価は、実際は胡座や両立て膝の姿勢がとられていても、立位や椅子座位のサーマルマネキンで測定した clo 値を盲目的に使用せざるを得ない状況に陥っている。またサーマルマネキンの制御方法には定温度制御と定発熱制御などが選べるが、clo 値測定時どの制御方法を選ぶのかは実験者の判断に委ねられている。

ISO 9920 には人体を用いた clo 値測定方法も示されている。人体を用いればどのような姿勢での clo 値も測定可能であるが、測定項目が人体平均皮膚温と作用温度のほかに、代謝熱産生量、作業強度、蒸発による放熱量、人体への貯熱量などと数多く、また、測定に熟練を要するような測定困難な項目も多いという難点がある。

申請者は、人体表面からの放熱量を熱流束計や呼気代謝分析装置で計測することによって、より簡単に clo 値を測定可能とする方法の開発に取り組んできた。特に平成 25 年度～平成 27 年度に科研費を受けて実施した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 値測定の研究結果から、再現性が期待できるようにしたり被験者と実験者への負担を減らしたりするための測定ノウハウが得られた一方で、人体を用いた clo 値測定方法を確立するための新たな課題も明らかになった。

課題の一つは、人体を用いた clo 値測定方法を、体温調節機能を前提としたものとするための基礎データの蓄積である。表面温度を 33℃一定に制御したサーマルマネキンによる測定値と比較して、人体を用いた測定方法による clo 値は概して小さくなる傾向が見られた。気温条件や着衣の有無に応じて、定温度制御サーマルマネキンは表面からの放熱量を約 120[W/m<sup>2</sup>]から約 40[W/m<sup>2</sup>]の範囲で変動させたのに対して、人体は皮膚温を 29℃から 32℃の範囲で変動させながら、放熱量を約 60[W/m<sup>2</sup>]に維持した。この人体の反応は身体からの放熱を抑えて深部体温を維持する体温調節機能の現れであり、このために人体を使った方法での clo 値が低く測定されたと考えられる。

体温調節機能を前提としたものとするための基礎データの一つに、定発熱制御(≒人体)と定温度制御と、制御方法を変えたサーマルマネキンによる同一衣服組合せの clo 値測定結果の比較がある。二つの制御方法による clo 値間に見いだされる定量的な差は、体温調節機能を前提とするための基礎データの一つとしてばかりでなく、従来ほとんど考慮されていない clo 値測定時のサーマルマネキンの制御方法の選択について新たに問題を提起するデータにもなり得る。

また、人体を用いた clo 値測定の精度向上のために、コードのない測定方法を検討することも新たな課題の一つである。申請者は人体表面の温度および熱流測定に熱流束計を用いたが、熱流束計のコードが衣服下の空気層厚さや袖口の形状に影響を及ぼしたことも考えられる。人体からの放熱量をマスク式の呼気代謝分析装置で測定できる目処が立ちつつあることから、体表面温度測定をボタン電池大のデータロガー内蔵型装置(例えば、KN ラボラトリー社製“ハイグロクロン湿度ロガー”)によれば、コードレス化が実現する。人体表面からのコードがなくなることは、測定前後の体重減少量を正確に測定できることにつながり、これにより人体からの放熱量を顕熱と潜熱に分けて求められ、ひいては顕熱のみの断熱性能指標である clo 値に代わる新たな衣服断熱性能評価指標の開発につながる可能性もある。

### 2. 研究の目的

“体温調節機能の動きを前提とした人体を用いた clo 値測定方法の確立”である。平成 25～27 年度に科研費を受けて実施した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 値測定の研究により見出された新たな課題である“体温調節機能のために人体による clo 値が定温度制御のサーマルマネキンよりも低くなること”への対応と、“測定の高精度化”、さらには“顕熱だけでなく潜熱も含む新たな衣服の断熱性能指標の開発にもつながり得るコードレス化”を目指して、人体と呼気代謝分析装置およびボタン電池大で小型のデータロガー内蔵型温度測定装置を用いた clo 値測定実験と、“定温度”と“定発熱”と制御方法を変えたサーマルマネキンによる同一衣服組合せの clo 値測定実験を実施する。

### 3. 研究の方法

本研究は研究期間を 3 年とし、主として次のことを行った。

まず、サーマルマネキンによる測定結果との比較や被験者の心理的・生理的負担の検討などを通して、人体を用いたコードレスの clo 値測定方法の開発につなげるため、【人体と呼気代謝分析装置およびボタン電池大データロガー内蔵型温度測定装置を用いた clo 値測定実験】を行った。

次に、“定温度”制御と“定発熱”制御(人体)と、制御方法を変えたサーマルマネキンによる相当数種類の同一衣服の clo 値測定実験を実施し、制御方法による clo 値間の関係を定量的

に検討するため、【制御方法を変えたサーマルマネキンによる同一衣服組合せの clo 値測定実験】を行った。

#### 4. 研究成果

平成 29 年度は、女性用衣服を用いて、サーマルマネキンによる clo 値測定実験と人体による clo 値測定実験を実施した。

サーマルマネキンによる clo 値測定実験では、半袖・半ズボンの薄着から長袖・長ズボンにコートを羽織った厚着まで、5 通りの女性用衣服組み合わせの着衣熱抵抗を、同一で制御方法のみを全体表面温度を 33 に一定に制御した「定温度制御」と全体表面からの放熱流を 50W/m<sup>2</sup>に制御して体温調節機能を有する人体を模擬した「定放熱制御」に変えたサーマルマネキンを用いて測定し、制御方法間で着衣熱抵抗測定結果を比較した。

人体による clo 値測定実験では、5 通りの衣服のうち 2 つの衣服組み合わせの着衣熱抵抗を女性被験者 5 名に呼気代謝分析装置による方法で測定し、その結果を定温度および定放熱制御のサーマルマネキンによる測定結果と比較した。

被験者による着衣熱抵抗測定値は、これまでの研究と同様に、定温度・定放熱いずれのサーマルマネキンよりも小さくなった。

一方、制御方法だけを変えた同一サーマルマネキンでの同一衣服の clo 値測定結果の比較では、定放熱制御マネキンによる着衣熱抵抗は定温度制御マネキンの着衣熱抵抗よりも大きくなった。すなわち、申請者が本研究計画段階で想定した結果とは逆の結果となり、マネキンの設定値の見直しなど、来年度以降の研究での新たな課題が見出された。

平成 30 年度は、男性用衣服を用いて、サーマルマネキンによる clo 値測定実験と人体による clo 値測定実験を実施した。

サーマルマネキンによる clo 値測定実験では、半袖・半ズボンの薄着から長袖・長ズボンにコートを羽織った厚着まで、5 通りの男性用衣服組み合わせの着衣熱抵抗を、同一で制御方法のみを全体表面温度を 33 に一定に制御した「定温度制御」と全体表面からの放熱流を 50W/m<sup>2</sup>に制御して体温調節機能を有する人体を模擬した「定放熱制御」に変えたサーマルマネキンを用いて測定し、制御方法間で着衣熱抵抗測定結果を比較した。

人体による clo 値測定実験では、男性 3 人の被験者を用いて、人体を用いた方法による半袖・半ズボンの薄着から長袖・長ズボンにコートを羽織った厚着までの 5 通りの男性用衣服で実施した。

被験者による clo 値測定実験は、前年度の女性被験者と女性用衣服組み合わせでの測定実験と同様に、定温度・定放熱いずれのサーマルマネキンよりも被験者による clo 値の方が小さくなった。

制御方法だけを変えた同一サーマルマネキンでの同一衣服の clo 値測定結果の比較では、前年度の女性用衣服での実験と同様に、定放熱制御マネキンによる着衣熱抵抗は定温度制御マネキンの着衣熱抵抗よりも大きくなった。

サーマルマネキンによる clo 値測定実験については、表面からの放熱流を一定に制御した方法による測定値が同一条件下でも大きくバラつくという問題点や、表面温度を一定に制御した方法による測定値に対して放熱流を一定にした測定値が予想以上に小さくなったことなどから、サーマルマネキンの表面温度や放熱流の設定値の妥当性に関する問題点が見出された。

平成 31 年度は、定温度と定放熱のそれぞれのサーマルマネキンの各部位の表面温度または放熱流を実際の人体と同じような分布のある設定とした。なお、サーマルマネキンの全身各部位の表面温度、放熱流の設定値は、同様な衣服組み合わせを着用させた男性被験者 3 名の体表面温度、放熱流の平均値とした。

「定温度制御」での着衣熱抵抗と「定放熱制御」での着衣熱抵抗から、両者の関係を表す 1 次式を導いた。この 1 次式によれば、「定温度制御」での着衣熱抵抗と「定放熱制御」での着衣熱抵抗を換算可能となると考えられる。導いた関係式に「定放熱制御」での着衣熱抵抗を代入して、「定温度制御」の換算着衣熱抵抗でもとめた。その結果、24 条件では人体（定温度制御）が「定温度制御」よりも小さくなり、これまでに我々が人体を用いて求めた着衣熱抵抗が定温度制御サーマルマネキンで測定した着衣熱抵抗よりも小さくなるということを裏付ける結果が得られた。よって人体を用いて着衣熱抵抗を測定することに可能性があることを示すデータを得ることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大和 義昭	4. 巻 42
2. 論文標題 「定温度」と「定放熱」に制御方法を変えたサーマルマネキンによる 同一衣服のclo 値測定結果の比較	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第42回 人間－生活環境系シンポジウム報告集	6. 最初と最後の頁 167-168
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 樫 彩, 大和 義昭	4. 巻 42
2. 論文標題 「定温度」と「定放熱」に制御方法を変えたサーマルマネキンによるclo値測定結果の比較：女性用衣服 組み合わせでの測定結果	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会中国支部研究報告集	6. 最初と最後の頁 451-454
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大和 義昭
2. 発表標題 「定温度」と「定放熱」に制御方法を変えたサーマルマネキンによる 同一衣服のclo 値測定結果の比較
3. 学会等名 第42回 人間－生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樫 彩, 大和 義昭
2. 発表標題 「定温度」と「定放熱」に制御方法を変えたサーマルマネキンによるclo値測定結果の比較：女性用衣服組み合わせでの測定結果
3. 学会等名 日本建築学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大和義昭, 藏澄美仁, 深川健太, 飛田国人, 近藤恵美
2. 発表標題 定温度制御サーマルマネキンと 定放熱制御サーマルマネキンによるclo 値の関係
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会2017年年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大和義昭
2. 発表標題 定温度制御サーマルマネキンと定放熱制御サーマルマネキンによる同一衣服のclo 値測定結果の関係
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集 2017年 中国
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	藏澄 美仁  (Kurazumi Yoshihito)  (70244291)	椋山女学園大学・生活科学部・教授   (33906)	
連携研究者	深川 健太  (Fukagawa Kenta)  (90352038)	九州産業大学・工学部・准教授   (37102)	
連携研究者	飛田 国人  (Tobita Kunihito)  (40465919)	大阪府立大学・人間社会学部・准教授   (24403)	

