

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01594

研究課題名(和文)大人と子供の温熱・空気環境の差異の定量的評価

研究課題名(英文) Quantitative evaluation of differences in thermal environment and air quality between adults and children

研究代表者

佐古井 智紀 (Sakoi, Tomonori)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：70371044

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はサイズの異なるサーマルマネキンを作成し、身体の形状と熱上昇流を踏まえ、大人と子供の温熱環境の差異を定量的に明らかにすることを目的とした。子供のサーマルマネキンを完成させ、不均一温熱環境における局所作用温度と総合熱伝達率を決定する適用できる周期制御法を提案し、実験を通じて有効性を検証した。均一気流環境では提案手法の有効性を確認できたが、気流の無い静穏環境では蓄熱の影響のため、精度に課題があることが明らかになった。大人サーマルマネキンの全身を3Dプロッタで打ち出し、配線までを終えた。しかし制御基板までは完成できず、機器作成の途中で大人と子供の温熱環境の差異の解明までは至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人の温熱快適性を予測、評価する上で、人と環境の熱のやり取りの評価は必須である。現状の熱のやり取りの計測法は、均一温度環境を対象とするもので、不均一温熱環境には適用できない。ただし、日常温熱環境は、什器等、または暖冷房による温冷熱源のために不均一である。本研究では、子供を対象として、不均一温熱環境下における人と環境の間の伝熱特性を、局所作用温度、局所総合熱伝達率として計測する理論、および装置を開発した。また、大人サーマルマネキンについては全身形状の打出、配線までを終えた。今後、制御基板と組み合わせ大人サーマルマネキンを完成させることで、大人と子供の日常温熱環境での差異を評価する器具を具体化できる。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to develop thermal manikins with various size and clarify the difference of thermal environment by size.

A child shape manikin was developed and new control method of thermal manikin, namely, cyclic control was proposed to evaluate local operative temperatures and combined heat transfer coefficient. The validity of the proposed method was investigated in windy environment and calm air environment. The validity was confirmed for the windy environment but error by heat storage effect was observed for calm air environment. For the adult size thermal manikin, the whole body form was produced using a 3D plotter and heating wires were fixed on the form. However, control board is still under manufacturing. We are still under processes in development of measurement devices and cannot achieve to clarify the difference of thermal environment between adult and child.

研究分野：温熱環境工学

キーワード：温熱環境 伝熱測定法 サーマルマネキン 不均一環境 作用温度 総合熱伝達率 子供 大人

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

人の体温は人と環境の間の熱のやり取りを通じて形成される。したがって、人の温熱快適性、熱中症リスクを予測、評価する上で、人と環境の熱のやり取りの評価は必須である。熱のやり取りの計測法として、熱流計を用いるもの、サーマルマネキンによるもの、サーマルマネキンをコンピュータ上で再現した数値解析によるものがある。小さな面積の熱流計を身体につける場合、体形状の複雑さと接触熱抵抗の問題から、身体全体の値を測れず、かつ、再現性に課題がある。サーマルマネキンによる計測は、全体の平均値を測定できるものの、既存手法では温度分布の無い均一温熱環境のみでしか適用できない。数値解析による手法は、実環境をコンピュータ上で再現する必要があって計算コストが高い。

日常経験する温熱環境は什器等による熱源が有り、特に、暖冷房など、温熱環境を調整する場合には暖冷房による温冷熱源のため、温度分布は不均一である。このような実環境での人と環境の熱のやり取りを計測する手法は確立されていなかった。

また、熱のやり取りのうち、特に対流による伝熱は大きさの影響を強く受け、小さいものの方が大きいものより周囲空気の影響を受けやすいことも知られている。ただし、人を対象とする場合、大人と子供など、大きさの違いの影響を評価できる対流伝熱の評価式は提案されていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、大人と子供、大きさの異なる複数のサーマルマネキンを完成させ、日常の不均一温熱環境における局所作用温度と総合熱伝達率が、大人と子供でどう異なるかを、定量的に評価することを目的とする。

### 3. 研究の方法

まず、これまでに発熱円筒、そして、子供の上肢サーマルマネキンを対象に、不均一温熱環境下における局所作用温度、局所総合熱伝達率の決定法として提案した周期制御を実装する、子供の全身サーマルマネキン、大人の全身サーマルマネキン、乳幼児の全身サーマルマネキンを作成する。

続いて、作成した全身サーマルマネキンを用いて、周期制御によって不均一温熱環境下での局所作用温度、局所総合熱伝達率を適切に計測できるか、実験により検証する。

最後に、大人、子供、それぞれのサーマルマネキンを日常の複数の環境で実測を行い、局所作用温度と局所総合熱伝達率が大人と子供でどのように異なるかを検討する。

### 4. 研究成果

子供と大人、および、乳幼児について、発熱線を巻き付ける溝を持った全身の型枠を 3D CAD で設計した（図 1：子供、図 2：大人）。そして、3D プロッタを用いて型を打ち出し（図 3）、発熱線と温度計測線を巻き付けた（図 4）。そして、全身の子供サーマルマネキン（図 5）、乳幼児サーマルマネキン（図 6）を完成させた。ただし、コロナ禍で密を避ける必要が生じたため、人を集めての作業が出来ず、大人の全身サーマルマネキンの完成にまでは至らなかった。

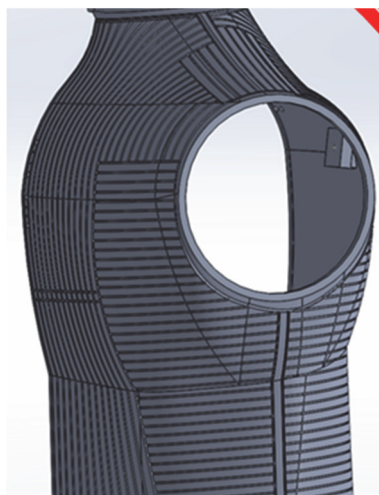


図 1 3D CAD 設計(子供)

図 2 3D CAD 設計(大人)

図 3 マネキン型の作成



図4 配線の施工

図5 子供サーマルマネキン

図6 乳幼児サーマルマネキン

作成した子供の全身サーマルマネキンを用いて、周期制御により局所作用温度と局所総合熱伝達率を適切に計測できるか、28℃に設定した人工気候室での実験から検証した。実験は立位(図5)で行い、静穏気流の基準条件(Basic condition)、扇風機による気流条件(図5、Windy condition)、静穏気流下での放射条件(Radiative condition)の3条件で実施した。周期制御による実験に加え、検証のために局所作用温度と局所総合熱伝達率を求める既存手法(一定温度制御)による実験も行った。既存手法では局所作用温度として、温度分布のない均一温度環境(BasicおよびWindy conditions)では気温を、温度分布のあるRadiative conditionでは、作用温度を無発熱で放置後、定常に至ったときの皮膚温を与えた。周期制御では、周期は90分、うち、表面温度33℃設定を45分、34℃設定を45分と、3周期を繰り返した。

図7、図8にBasic Conditionにおいて決定された局所作用温度、局所総合熱伝達率を示す。

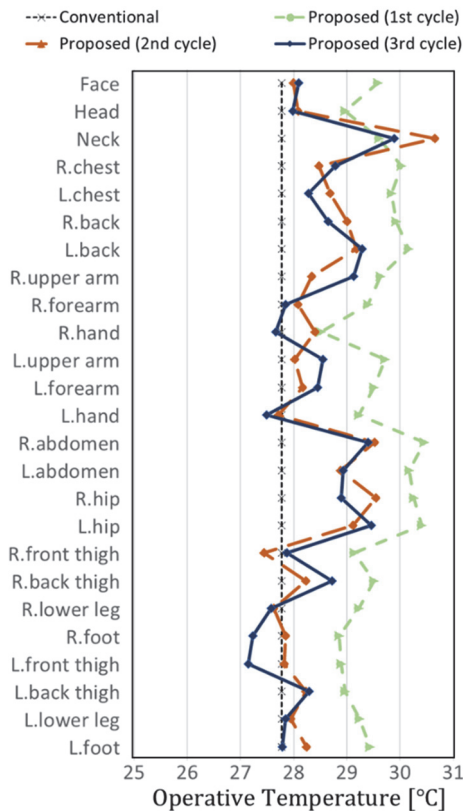


図7 局所作用温度(Basic condition)

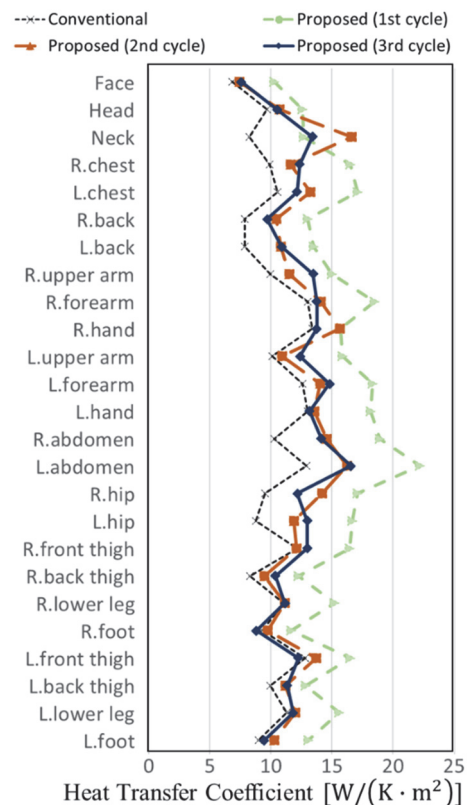


図8 局所総合熱伝達率(Basic condition)

既存手法での作用温度、総合熱伝達率に対して、周期制御では第1周期の計測値で最も値が離れ、第2周期、第3周期では誤差が小さくなる傾向があった。周期を重ねるほど誤差が小さくなり、また、容積の大きい左右の両胸、両背、両腹、両腰において誤差が大きくみられたことから、誤差は蓄熱の影響により生じたと考えられる。

図9、図10にWindy Conditionにおいて決定された局所作用温度、局所総合熱伝達率を示す。

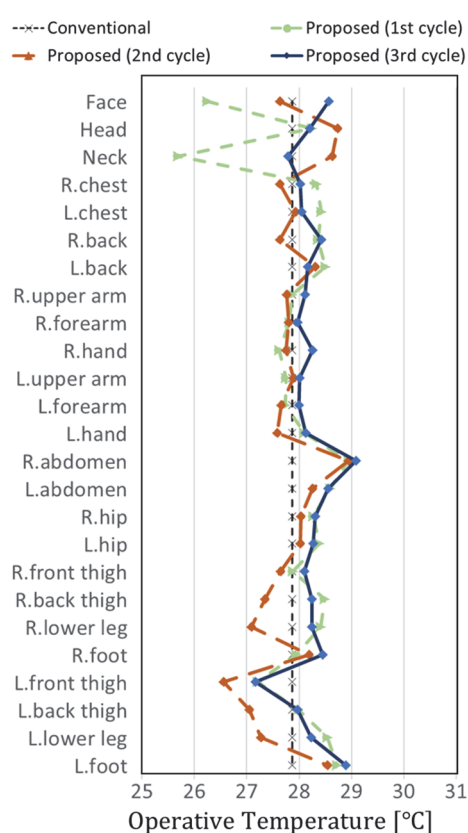


図9 局所作用温度(Windy condition)

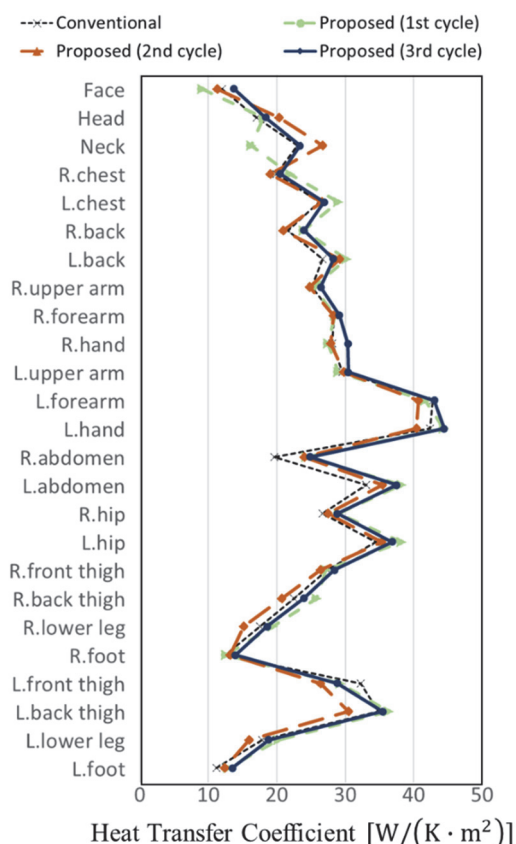


図8 局所総合熱伝達率(Windy condition)

Windy conditionではBasic conditionに対して、局所作用温度、総合熱伝達率の誤差は小さくなった。風速が強く冷却力の大きい気流環境では、強い冷却のため蓄熱の影響が早くなくなったため、周期制御の精度が改善したと考えられる。なお、図を割愛するが、Radiative conditionでの局所作用温度、総合熱伝達率の誤差はBasic conditionと同程度であった。気流のない条件では、環境の冷却力が小さく、サーマルマネキンへの蓄熱の影響が長く続いたために、周期制御の誤差が大きくなったと考えられる。

周期制御の制御周期を大きくする、および設定する表面温度差を小さくすることにより、蓄熱の影響を減らすことができる。ただし同時に温熱環境の変化への追従が難しくなり、また、サーマルマネキンからの放熱量差も生じ難くなる課題も生じる。周期制御の精度改善には、これらのパラメータの設定の見直しが望まれる。

子供の全身サーマルマネキン、乳幼児の全身サーマルマネキンの作成を終え、大人サーマルマネキンについては3Dプロッタで打ち出しと配線までを終えた。しかし、大人サーマルマネキンの制御基板までは完成できず、大人の全身サーマルマネキンを完成できなかった。子供の全身サーマルマネキンを用いて、周期制御により局所作用温度、総合熱伝達率をおおよそ、決定できることを示せた。ただし、精度改善のためには制御法の改善が必要であることも明らかになった。また、大人と子供の温熱環境の差異を解明するための計測機器の作成を8割方終えたが、全計測機器の完成には至らなかった。そのため、当初計画していた温熱環境の定量的差異を解明するには至らなかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Tomonori Sakoi, Ken Yamashita, Akie Naito, Motoe Imai, Yoshiaki Yamato, Emi Kondo, Tadahiro Tsuchikawa	4. 巻 8
2. 論文標題 Convective heat transfer coefficient relating to evaluation of thermal environment of infant	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Heliyon	6. 最初と最後の頁 e12076
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.heliyon.2022.e12076	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Satoru Nagasawa, Tomonori Sakoi, Arsen Melikov	4. 巻 7
2. 論文標題 Add-on local sweating simulation system for a dry thermal manikin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science and Technology for the Built Environment	6. 最初と最後の頁 971-985
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/23744731.2021.1911155	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Tomonori Sakoi, Ken Yamashita, Akie Naito, Motoe Imai, Reiko Hashimoto, Emi Kondo, Tadahiro Tsuchikawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Influence of Stroller upon Thermal Insulation of Infant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health	6. 最初と最後の頁 955-974
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/health.2021.139073	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Tomonori Sakoi, Akie Naito, Motoe Imai, Reiko Hashimoto, Emi Kondo, Tadahiro Tsuchikawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Clothing Thermal Insulation for Typical Seasonal Clothing of Infant with Infant Thermal Manikin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Engineering	6. 最初と最後の頁 372-387
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/eng.2021.137027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yoshihito Kurazumi, Kenta Fukagawa, Tomonori Sakoi, Akie Naito, Reiko Hashimoto, Emi Kondo, Tadahiro Tsuchikawa	4. 巻 13
2. 論文標題 Clothing Area Factor for Typical Seasonal Clothing of Infant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Health	6. 最初と最後の頁 378-392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/health.2021.134031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Kurazumi, T. Sakoi, K. Yamashita, K. Fukagawa, E. Kondo, T. Tsuchikawa	4. 巻 11
2. 論文標題 Thermal Manikin of Infant	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Engineering	6. 最初と最後の頁 735-754
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/eng.2019.1111048.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 佐古井智紀	4. 巻 環境工学II
2. 論文標題 局所温熱環境を把握する子どもサーマルマネキンの開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 523-524
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 小林直樹、佐古井智紀	4. 巻 1
2. 論文標題 不均一温熱環境下の人体の熱伝達特性計測のためのサーマルマネキン	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 平成30年度空気調和・衛生工学会大会 (名古屋) 学術講演会論文集	6. 最初と最後の頁 F-63
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 1件）

1. 発表者名 Yoshihiko Tsuruta, Tomonori Sakoi, Yoshihito Kurazumi
2. 発表標題 Measurement of heat transfer characteristics by a child manikin with embedded cyclic temperature control
3. 学会等名 IAQVEC2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐古井智紀
2. 発表標題 子供型サーマルマネキンの試作と人体の伝熱特性計測への展開
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐古井智紀
2. 発表標題 局所温熱環境を把握する子どもサーマルマネキンの開発
3. 学会等名 日本建築学会大会(北陸)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小林直樹、佐古井智紀
2. 発表標題 不均一温熱環境下の人体の熱伝達特性計測のためのサーマルマネキン
3. 学会等名 平成30年度空気調和・衛生工学会大会（名古屋）学術講演会
4. 発表年 2018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
研究 分 担 者	藏澄 美仁  (Kurazumi Yoshihito)  (70244291)	椋山女子大学・生活科学部・教授    (33906)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------