

令和 2 年 6 月 26 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01589

研究課題名（和文）寝具 - 人体熱収支モデルの構築による寝床内温熱環境評価手法の開発

研究課題名（英文）Evaluation of thermal environment and microclimate during sleep by modeling the heat balance between human body and beddings

研究代表者

森 郁恵 (MORI, Ikue)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：90415753

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：人の健康で快適な生活に関わる睡眠時の温熱環境をより適切に形成・制御することを目的として、人体の熱収支（体温調節）と寝具の特性や使用実態を考慮した寝床内温熱環境をシミュレートするモデルを構築するため、サーマルマネキンを用いた計測実験および被験者による睡眠実験から得られたデータを分析した。

よく用いられるウールおよびポリエステル製の寝具とベッドについて、実際に使用される状況を考慮して、寝具の素材による熱的性能の違いや人体へ及ぼす影響を考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

睡眠中は体温調節を自律的・行動的に行うことが困難であるにも関わらず、寝床内の温熱環境について十分な定量的評価が出来ているとは言い難く、結果、不十分な睡眠環境で満足な睡眠が得られない、体調を崩すということが起こる。本研究で得られた知見から、寝床内温熱環境を評価し寝具の改善やより健康で快適な睡眠環境の提案に結びつけることが可能である。寝具という生活に身近な製品について、熱物性だけではなく実際の使用状況下での性能の観点から評価手法を確立することにより、実態に近い形で製品の性能評価を行うことが出来れば、関係する産業界はもちろんのことユーザーである消費者にも有用な情報となると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In order to create and control the thermal environment and microclimate properly during sleep, we analyzed the data from measurement experiment using thermal manikin and subject experiment on sleep, and examined the method to model and simulate the heat balance between human body and beddings in the actual situation.

研究分野：建築環境工学

キーワード：睡眠環境 寝床内温熱環境 寝具の熱的性能 被験者実験 皮膚温

## 1. 研究開始当初の背景

睡眠は人の健康で快適な生活に不可欠であり、1日の概ね 1/3 の時間を占める重要な生活行動である。寝室の物理的環境条件の中でも光と温熱は、睡眠に影響を及ぼす 2 大環境要因と言われ、とくに睡眠中は体温調節が覚醒時とは異なりと同時に体温が睡眠に影響を及ぼすことから、寝室や寝具を含めた寝床内の温熱環境を適切に形成することが求められる。

日本では、夏季の暑熱環境と冬季の寒冷環境の双方において睡眠時の温熱環境を調節するため、敷き布団、掛け布団、毛布、タオルケットなどを組み合わせ、ベッドまたは床に敷いて使用するという独特な寝具・就寝環境であり、物性値の把握だけではなく実際の使用に応じた熱的性能の検証が求められるが、これらについては、まだ目立った研究成果は見られないのが現状である。また、実際に人が眠る際には、外気温の変化や空調の使用状況などによる周辺の温熱環境変動と、寝返りなど行動性を含む使用者の体温調節の影響がともに及ぶため、寝具 - 人体を一体の系とした温熱環境予測・評価手法の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は、人の健康で快適な生活に大きく関わる睡眠時の温熱環境について、寝具の使用実態に即した熱的性能を計測・評価するとともに、人体 - 寝具を 1 つの系とした熱収支モデルを構築することにより、睡眠時の寝床内温熱環境を予測・評価する手法を開発することを目的としている。これまでの研究において、サーマルマネキンを用いた寝具の断熱性測定の手法開発を行っており、本研究はそこから展開して、実態に即した寝具の熱的性能と人体熱モデルを組み合わせることにより、睡眠時の温熱環境を定量的に評価出来るシミュレーションモデルを構築することを目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 睡眠環境および睡眠の実態把握

四季のある日本では、夏の暑さ、冬の寒さという両極端な温熱環境から身体を守るよう、複数の寝具を組み合わせ、快適な健康を損ねない睡眠時の温熱環境を形成している。実態に応じた睡眠時の寝床内温熱環境予測を行うため、実生活において、季節ごとに室温や空調制御はどうなっているか、どのような寝具が選択されているか、その結果、人の睡眠状態や体温調節、寝床内温熱環境がどのような状態となっているかについて、睡眠環境および睡眠に関する既往の被験者実験やアンケート調査等の結果を精査し、対象とするべき寝具と温熱環境の組み合わせや検討すべき環境条件、予測手法の検証に用いるためのデータ抽出等を行う。

### (2) 使用実態を考慮した寝具の熱的性能計測・評価

寝具の断熱性能評価の手法として、JIS 規格の「L1911 ふとんの保温性試験方法」にその測定方法が定められているが、実際に人が使用した状況を想定した方法ではないため、物性値としての評価に止まっている。一方、アメリカの標準である ASTM には、サーマルマネキンを用いた寝袋の測定方法が定められており、同様の手法を用いて、敷・掛布団およびベッドを一体とした寝具としての断熱性測定を行う。季節に応じた寝具の種類、寝具の組み合わせや重なり具合といった寝具の使用条件と、寝姿勢や寝返り等により生じる人体と寝具のすき間からの熱移動(換気)が寝床内温熱環境に及ぼす影響を考慮に入れ、実際の使用状況下での寝具の熱的性能を計測・評価する。

### (3) 寝具 - 人体熱収支モデル構築の検討

(1) で得られた実際の睡眠環境や睡眠時の体温調節等に関わるデータと検討すべき条件、(2) で得られた寝具の熱的性能に、睡眠中の人の体温調節を再現するモデル = 人体熱モデルを組み合わせ、寝具 - 人体系の熱収支をシミュレートするモデルの構築について検討を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 睡眠環境および睡眠の実態把握

ウールまたはポリエステル綿の敷き布団と掛け布団および夏季のタオルケットに簡易ベッドという日常的な寝具を用いて、冬季および夏季において昼寝を想定して行った被験者実験の結果から、素材の異なる寝具が睡眠中の寝床内気候および被験者の体温調節や熱的快適性に及ぼす影響について検討を行った。

冬季条件では、寝床内気候について、温度には明確な差異はなかったが、相対湿度については、就寝後ウールではやや上昇しポリエステルでは低下を続けた。体重減少量から算出した発汗量

に条件間で有意な差は見られなかったことから、ウールとポリエステル製の吸湿性能に違いがあることが理由であると考えられる。また、就寝時からの前額皮膚温の変化量を比較すると、30分後、60分後はウールの方が有意に低下は小さく、これは、ウールのもつ吸湿発熱の性能が呼吸により発揮され、前額周辺の気温が相対的に高くなったことが理由であると考えられる。90分後には有意差が見られなくなったが、これは、体動等によってその効果が小さくなったため、有意な差が見られたのは就寝後の一定時間であったと推測される。夏季条件でも、寝床内温度には明確な差異はなかったが、相対湿度については、就寝後、低下した後、ウールでは低下を続けたのに対し、ポリエステルでは就寝1時間以降やや上昇し、ポリエステルでは着衣内外湿度に大きな差はなかったのに対し、ウールでは着衣外の方が高い傾向が見られた。発汗量には、条件間に大きな差はなかったことから、着衣内外湿度に条件により差が見られたのは、素材が持つ吸湿性能に違いがあるためと推測される。

## (2) 使用実態を考慮した寝具の熱的性能計測・評価

寝具の熱的性能について、冬季の寝室を想定して気温15・相対湿度50%に制御した人工気候室に、布団以外の熱的影響を小さくするようスチールとワイヤーで組んだフレームを設置し、ウール(A)またはポリエステル(B)綿の敷き布団および掛け布団と綿のシーツ、サーマルマネキン(表面温度33)を載せて計測を行い、十分に定常に達したサーマルマネキンの発熱量と表面温度および近傍気温から、空気層を含む寝具の熱抵抗値(clo値換算)を算出した。

敷き布団または掛け布団単独の場合、AとBではほぼ同じ値となっており、敷き布団と掛け布団の組み合わせでも、Aが5.0[clo]、Bが4.7[clo]と大きな差は見られない結果となった。また、部位ごとに差があるのは、素材により身体との間に出来る空気層の形状に違いが生じたためと考えられる。

また、実際の就寝時には姿勢や寝返りによって人体と寝具の間の隙間が生じるため、医療用のリヒカをサーマルマネキンの頭部に設置し、掛け布団との間の空間に再現性があるよう配置して、簡易ベッドを含む熱抵抗値を同様に計測・算定した。隙間がない場合の寝具全体の熱抵抗値は、Aが5.6[clo]、Bが6.2[clo]となり、上記の結果と比較して、簡易ベッドの分、熱抵抗値が大きくなっていることが分かる。リヒカを用いて隙間を形成した場合は、Aが4.3[clo]、Bが4.6[clo]となり、全体として寝具の素材による大きな違いは見られない結果となった。

## (3) 寝具 - 人体熱収支モデル構築の検討

熱収支モデルにおいて考慮が必要となる要素である、寝具の通気性(換気量、換気回数)について、サーマルマネキンとSF6(sulfur hexafluoride/六フッ化硫黄、分子量146)を用いたトレーサーガス法により、測定・算出を試みた。

計測結果から算出された換気量[m<sup>3</sup>/h]は、実験室温度が5で6.19、15で4.89、25で4.13(2回の平均値)となり、換気量は室温が低いほど大きく、温度差によって生じていると推測出来る合理的な結果となった。サーマルマネキンに着用させたワンピースについて測定した既往研究<sup>1)</sup>では換気量が7[m<sup>3</sup>/h]程度で、それよりは小さい値となった。今後、この換気量が表す物理的な現象を検討していく必要がある。換気回数は、5で0.97[回/h]、15で1.25[回/h]、25で0.89[回/h](2回の平均値)と算出され、換気回数については、換気量とは異なり室内との温度差では説明出来ない結果となった。

今回の研究では、寝具 - 人体を一体の系とした寝床内の温熱環境を予測・評価するモデルの構築・検証には至らなかったが、これらの結果をふまえ、今後とも、日常生活で想定される寝具の素材特性と組み合わせや使用方法が寝床内気候へ及ぼす影響についてさらに検討するとともに、現象をシミュレート出来る熱収支モデルの構築に取り組みたい。

### <引用文献>

1) 久慈るみ子他、衣服内空気流動の測定法に関する研究 その1 簡易サーマルマネキンを用いた衣服内換気量のトレーサーガスによる測定、日本建築学会東北支部研究報告集 計画系、63、pp.313-316、2000

表 寝具の熱抵抗値(clo値)

	左足背	右足背	左下腿	右下腿	左大腿前	右大腿前	左大腿後	右大腿後	腰部	臀部
敷A	0.7	0.7	1.0	1.0	0.7	0.7	1.4	1.3	0.7	3.6
敷B	0.6	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	1.3	1.2	0.7	3.9
掛A	1.6	1.4	1.5	1.6	5.0	5.3	2.4	2.1	15.5	1.1
掛B	1.5	1.2	1.4	1.5	5.0	5.7	2.2	2.1	20.6	1.1
敷A+掛A	3.4	3.0	4.6	4.9	7.9	7.2	9.2	10.6	12.2	12.2
敷A+掛B	2.9	2.6	5.2	5.1	10.0	8.5	11.9	11.7	20.9	13.7
敷B+掛A	3.5	3.1	4.7	4.7	7.7	7.1	8.9	9.6	13.3	18.7
敷B+掛B	3.6	3.0	5.4	5.1	10.2	8.7	10.2	11.4	21.7	18.4

  

	顔	頭部	左手背	右手背	左前腕	右前腕	左上腕	右上腕	胸	背	全身
敷A	0.8	1.1	0.8	0.9	1.3	1.1	1.0	1.0	0.7	2.6	1.0
敷B	0.8	0.9	0.7	0.9	1.2	1.2	1.1	0.8	0.7	2.3	1.0
掛A	1.0	0.7	1.6	0.9	0.9	1.1	1.5	1.9	13.7	1.0	1.6
掛B	0.9	0.7	1.4	1.0	0.9	1.0	1.5	1.8	16.7	1.0	1.5
敷A+掛A	1.6	1.1	5.8	10.2	8.5	5.2	6.6	4.3	10.5	10.4	5.0
敷A+掛B	1.1	1.1	8.8	7.9	9.5	6.0	7.6	5.3	11.9	8.9	4.9
敷B+掛A	1.1	0.9	6.5	7.8	7.7	8.5	6.5	4.9	10.3	7.3	4.5
敷B+掛B	1.1	0.9	7.2	8.0	8.6	7.4	6.6	4.5	14.4	7.1	4.7

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ikue MORI et al.
2. 発表標題 The effect of bedding fill on microclimate and thermal comfort during sleep
3. 学会等名 Indoor Air 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森郁恵 他
2. 発表標題 寝具の素材が睡眠中の寝床内気候と熱的快適性に及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会（東北）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森郁恵 他
2. 発表標題 寝具の熱的性能と寝床内気候に及ぼす影響に関する研究 - 寝具内の換気量測定 -
3. 学会等名 2017年度日本建築学会大会（中国）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森郁恵 他
2. 発表標題 寝室の温熱環境と熱的快適性
3. 学会等名 第47回熱シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森郁恵 他
2. 発表標題 寝具の熱的性能と寝床内気候に及ぼす影響に関する研究 - 寝具の素材と使用方法による違い -
3. 学会等名 第41回人間-生活環境系シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森郁恵 他
2. 発表標題 寝具の素材が睡眠中の寝床内気候と熱的快適性に及ぼす影響に関する研究 - 夏季の睡眠環境を想定した被験者実験の結果 -
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020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	都築 和代  (TSUZUKI Kazuyo)  (70222221)	豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授    (13904)	
研究 分担者	佐古井 智紀  (SAKOI Tomonori)  (70371044)	信州大学・学術研究院繊維学系・准教授    (13601)	