

平成 22 年 6 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19300242

研究課題名（和文） 骨格・筋内蔵可動型人体下半身ソフトボディマネキンの開発

研究課題名（英文） Development of a Movable Soft Manikin of the Lower Part of the Human Body

研究代表者

田村 照子（TAMURA TERUKO）

文化女子大学・服装学部・教授

研究者番号：30060817

研究成果の概要（和文）：

衣服圧評価用のソフトボディマネキン開発を目的に、各要素技術を研究した結果、①人体皮下脂肪分布・皮膚圧縮特性等、軟組織構造に関する基本データを得た。②皮膚圧縮特性の近似材料としては油分をコントロールしたポリスチレンの有効性を見出した。③人体の3次元データから外形及び除脂肪体型を削り出し、この2つの雌型を用いた骨格・筋内蔵型ソフトマネキンが作成された。④ソフトマネキン上における衣服圧分布表示が実現しその有効性が検証された。⑤マネキンの可動部を中心とする今後の課題が抽出された。

研究成果の概要（英文）：

In order to develop a soft manikin of the lower part of the body to evaluate the fit of a garment, information on the soft tissue over the human body, the materials and the basic techniques for making the body and the display system of clothing pressure over the body's surface was studied. The results are as follows: ① The subcutaneous fat distribution and the compression properties were determined. ② The compression properties of polystyrene thermoplastic elastomer were most similar to those of the skin's surface. ③ The process of manufacturing the soft body manikin including bone and muscle from 3-D data of human bodies was established. ④ Clothing pressure distribution of several garments on the soft manikin was displayed on a PC and the effectiveness of the system was verified. ⑤ The problems to be solved in the next step, especially on the construction of the joints, were abstracted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2008年度	7,800,000	2,340,000	10,140,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：衣環境学

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：ソフトボディマネキン、骨格・筋内臓、可動型、下半身、衣服圧評価システム

1. 研究開始当初の背景

各種衣料品の開発においては、製品の機能・性能を正確に評価するための評価方法の確立が重要である。衣料品の場合は人間が着用して初めてその性能が確認されるものであるため、通常、最終製品の評価には人体着用実験が実施される。しかし、人体は個別に形状が異なるうえ、同一人物であっても時刻・季節・そのほかの条件で容易に形態・生理反応が異なる上、疲労しやすい。人体実験による製品の評価は多くの誤差を含むとともに膨大なコストがかかり、事実上性能の最終確認以外は困難な現状にある。この欠点を補うためには人体を模擬した評価用マネキンが用いられる。

クールビズやウォームビズなど気候適応商品の開発に向けては、人体からの熱や水分移動をシミュレートするサーマルマネキンが注目を集め、世界的に開発競争がなされている。研究代表者田村は、1994年世界で初めて完成させた定常型発汗サーマルマネキンを用いた着衣の潜熱抵抗と快適性に関する報告を皮切りに、平成7年度～平成9年度科学研究費補助金（基盤研究B）「皮膚温・発汗量制御型サーマルマネキンの開発に関わる研究」をうけ、乳児、学童、足部分、成人女子の各発汗サーマルマネキンの開発を、さらに平成15年度～平成17年度の科学研究費補助金（基盤研究(A)(2)）「2層モデル可動型発汗サーマルマネキンの開発と応用—省エネルギー環境対応のための日本人着衣のデータベース構築に向けて—」によって、人体の基本生理反応、歩行動作を模擬した体温・皮膚温独立制御型成人男子発汗サーマルマネキンを完成させた。これを用いて各種防護服を始めクールビズファッション等の顕熱・潜熱抵抗評価を行い、開発したサーマルマネキンの性能が世界レベルにあることを確認することができた。

他方、衣料品のフィット性や運動機能性など、衣服の形態・力学特性の評価に対しては、現状、人台やディスプレイ用マネキン、日本人の計測データに基づいて作成されたHQL人体マネキン等が用いられている。しかしこれらはいずれもFRPなどの剛体材料で構成されしかも不動姿勢であるため、衣料品の

フィット性や加圧効果、運動性等の評価マネキンとしては課題が多い。まず、人体は脂肪層を中心とする軟組織が表層を覆っているため、衣服による圧迫によって変形し、各種ストレッチ衣料の衣服圧を評価しようとしたとき、剛体マネキン上で測定した衣服圧は人体上のそれと大きく相違する。衣服圧による整容性や機能性付与を目的とする靴下、下着、サポーター、スポーツウェアの性能評価に当たっては、より人体の柔軟構造に近いマネキンの開発が必要となる。次に、人体では立位・椅座位・臥位等の姿勢の変化によって容易にその形状が変化する。乳児や高齢者用のオムツ・生理用品の研究等においては、姿勢変化に伴う蒸れや漏れ、その変化に適応する素材や形状デザインの検討が求められ、椅子や車椅子・寝具の開発においては体圧分散の検討が必要となるが、これらのニーズに対しては柔軟構造でしかも可動関節を有し姿勢変化が可能なマネキンの開発が求められる。

研究代表者田村は2005年、下着・スポーツウェア・靴下・衛生用品等の各種メーカーと（社）人間生活工学研究センター、並びに大学、都立産業技術センターなどの研究者で構成される、いわゆる産・官・学共同の「衣服圧研究会」を立ち上げ、衣服圧の評価方法・生体影響に関する討議・実験等を進めてきた。この研究会においても、このような評価用マネキンの開発、即ち人体の形状・柔軟構造・関節可動性・運動変形性等をシミュレートしたソフトボディマネキンの開発が衣料分野の喫緊の課題であるとの意見が支持された。これと呼応するかのように、2006年10月、第5回国際マネキン学会では、中国香港工科大学・東華大学共同開発のソフトボディマネキンが「衣服圧評価のための骨格とソフトな組織を有する女性胸部マネキンの開発」と題して紹介され、世界の趨勢はソフトボディの開発推進に向けて走り出した。

2. 研究の目的

本研究では、整容性や機能性付与を目的とする靴下、下着、サポーター、スポーツウェア等、また、高齢者のオムツ、介護用品等のより客観的・再現性の高い形態・運動性能評価

法の確立を視野に入れて、人体の柔軟構造を模擬したソフトマネキンを開発することを主たる目的とした。対象部位としては、一般に研究推進が困難な人体の下半身部に着目し、骨格・筋内蔵で、立位・椅座位・仰臥位等への姿勢変換が可能な下半身ソフトボディマネキンの開発、並びに衣服着用に伴う皮膚表面上での衣服圧分布のカラー表示システムの開発に関する要素技術の確立を目指した。

3. 研究の方法

(1) 成人女子の下半身柔軟構造を明らかにするため、超音波断層撮像装置により下半身の皮下脂肪分布を測定。測定点は図1に示す体幹部21点、下肢部20点、被験者は19～22歳の成人女子20名である。

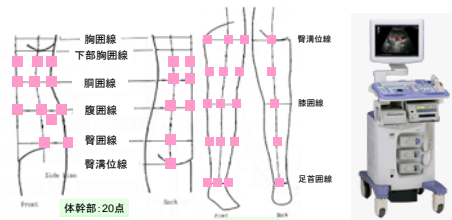


図1 皮下脂肪・皮膚圧縮特性測定点

(2) 皮膚表面圧縮特性を明らかにするため、圧縮試験機（カトーテック株式会社製、KES-G5）を改良、圧縮負荷時の人体動揺や姿勢変化を最小限とすべく、姿勢保持装置を試作するとともに、適切な圧縮条件を上限加重150gf/cm²、速度下肢0.1cm/s、体幹0.5cm/sと設定することによって再現性あるデータを採取した。測定点と被験者は前述と同様である。

(3) 人体皮膚表面の圧縮特性に近似した材料を、シリコン、ポリウレタンフォーム、ビニール等の各種素材の中から文献的に探索、また図3のように配合濃度の異なる材料を試作し圧縮試験機を用いて実験的に抽出した。筋の硬さについては精肉のそれを実測した。このほかマネキン製作のための要素技術を検討した。

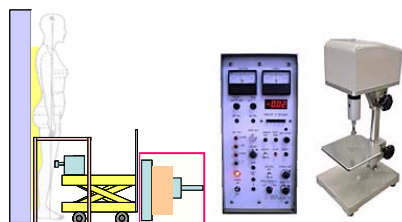


図2 圧縮測定装置と姿勢保持装置

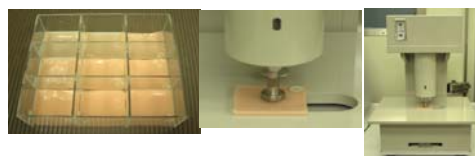


図3 各種材料の試作と圧縮特性の測定

(4) 骨を中心としその周りを筋素材・皮下脂肪素材で覆った大腿部様の単純な円筒モデルを試作し、衣服圧測定の精度を検討すると共に、次第に複雑系に進化させ、最終的には等身大の人体モデルを完了させるため、日本人成人女性の骨格標本を利用し、関節部の可動性・強度確保のため連結部を改良した。

(5) 日本人成人女子の寸法に近似した被験者を選定し、その外形を非接触型3次元人体形状計測装置によって測定、この3次元データを基に人体模型の最外形状モデルを作成、更にこれから皮下脂肪分布に相当する脂肪層を削り取った除脂肪形状モデルを作成、これを基に、石膏を用いて各モデルの雌型を完成させた。

(6) 除脂肪形状モデルの雌型内部に、連結部を補強・改良した骨格を配置し、筋の圧縮特性に近似したウレタン樹脂を注入し除脂肪形状モデルを作成。これを最外形状モデルの雌型内に配置し、その隙間に皮下組織に近似したポリスチレンエラストマ素材を注入し、モデルの完成を目指した。

(7) 完成したモデルに15点のパラソル型衣服圧センサーを設置し、衣服圧測定結果をパソコン上にリアルタイムでカラー画像表示するためのソフトを開発した。衣服圧データは胴上部パネルで連結しPCに送り、リアルタイムで画像表示させた。

(8) 他方、マネキンからの水分吐出量制御のための基礎データを得るために、被験者を対象に、人体腰部・下肢部からの局所蒸散量、その姿勢による変化等を測定した。

(9) 開発ソフトボディ並びに衣服圧計測・表示システムの効果を検証する目的で、市販ストッキング、ガードル、スパッツ等をソフトボディに着用させ、衣服圧を測定。ソフトボディを用いた衣服圧測定と生体上での衣服圧測定並びに従来の剛体マネキンによる衣服圧測定結果と比較検討した。オムツ等の介護衣料については、立位と椅座位における衣服圧の変化、その湿潤・水分移動への影響について検討し、次の開発課題を抽出した。

(10) 各段階における研究成果は、年度ごとに国内外で公表した。

4. 研究成果

(1) 成人女子の下半身における皮下脂肪分布並びに皮膚圧縮量分布を図4、図5に示す。平均的皮下脂肪厚は、臀部近傍では25mmを超え、その周辺の側面では12mm、腸骨から前面に向けて6mm前後に減少し、胴部前面では15mm程度に増加した。下肢部で最も厚い部位は、臀溝下部の22.9mmで、下腿では末梢部にむけて漸次減少する傾向にあった。圧縮量については、最大が臀部、次いで胴部側面、前面であった。臀部は皮下脂肪が最も厚い部位であり、胴部側面は、肋骨などの骨格がなく、腹部には内臓があり、皮下組織が流動性のある部位であるため押し込まれやすいと思われる。下肢部で圧縮量が最も多い部位は、臀溝位内側であり、末梢部にむけて漸次減少する傾向にあった。皮膚の圧縮量には、皮下組織である皮下脂肪、骨などの存在が関係し、圧縮量と皮下脂肪厚との間には高い相関関係が認められた。

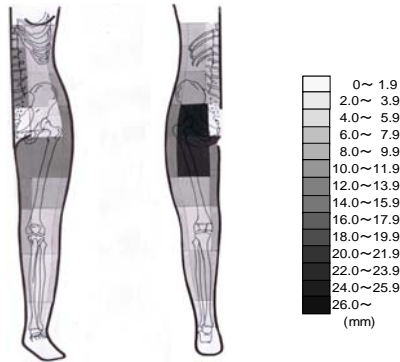


図4 下半身の平均的皮下脂肪分布

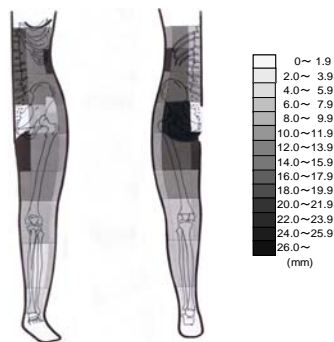


図5 下半身の皮膚圧縮量分布

(2) 人体皮膚表面と類似した圧縮特性を持つソフトボディ用材料の選定を目的として、ポリウレタン、シリコンゲル、シリコンゴム等の、硬化剤の種類と濃度を変えた材料を試作した結果、多くの材料は人体の前腕部程度の柔軟性とどまり、腹・腰部のようなソフト部分への応用には及ばなかった(図6)。また圧縮押し込み量は材料の厚さに依存する

ことが示された。これに対しポリスチレンの油分配合を80%まであげることによって初めて皮下脂肪の厚い部分の圧縮特性を再現することができた(図6)。

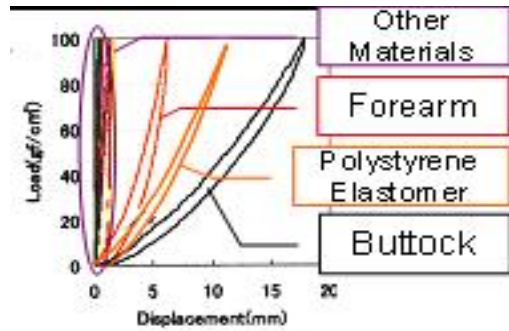


図6 各種材料と人体表面の圧縮特性



図7 3次元データからのモデル作製

(3) 実物人体形状の採取に向けては、3名の被験者を対象に、石膏包帯法による直接採取と、非接触型3次元計測データを用いた発泡ウレタン削り出し法による間接採取を実施した。いずれによっても良好な人体モデル型を成型することができた。そこで、今回のマネキン外形状作成に当っては、日本人成人女子の寸法に近似した被験者を選定し、その外形を3D人体形状計測装置によって測定、この3次元データを基に人体の外形モデルを作成した(図7)。また、更にここから第1段階で得られた脂肪分布データを削減した除脂肪体型を削りだし、石膏を用いて各体型の雌型を製作した。また、内蔵骨格については、関節部分の連結を強化し屈曲・回転を容易にするための改良を施した上で、除脂肪体型の雌型内部に配置し、筋素材に相当するポリウレタンと脂肪素材に相当するポリスチレンを流しこむことによって骨格内蔵型ソフトボディの試作を実施した。予想以上に骨格にかかる荷重が大きく、姿勢変化による骨格破損、関節脱臼を繰り返した後、骨格内蔵型で成人女子と同様の皮下脂肪分布を有する最終ボディを完成することができた。

図9に人体とソフトボディにおける押し込

み量分布の比較結果を示す。全体に人体の柔軟性にやや及ばない結果となり今後課題が残された。

(4) 試作したボディ表面に衣服圧センサー15点を装着し、パソコン画面にリアルタイムで衣服圧データのカラー表示を行ない、衣服圧分析を行うためのソフトを開発した。

(5) 検証実験として、モデルとなった被験者と開発したソフトモデルに同一ガードル、ストッキング等を装着させ、その表面衣服圧を測定した結果、両者はかなりよく一致した。両者間の相関は、図10に示すとおり、人体・ソフトボディ間で $r=0.72$ 、人体・硬質ボディ間で 0.53 が得られ、開発したソフトボディ



図8 ソフトボディ作成プロセスと完成モデル

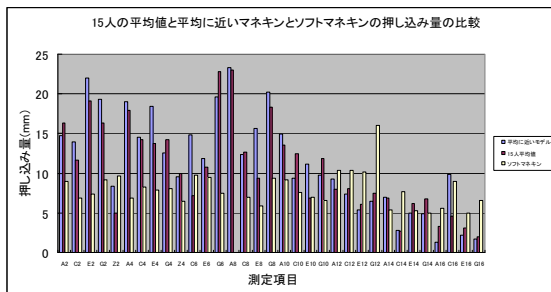


図9 人体表面とソフトボディ表面における圧縮量の比較

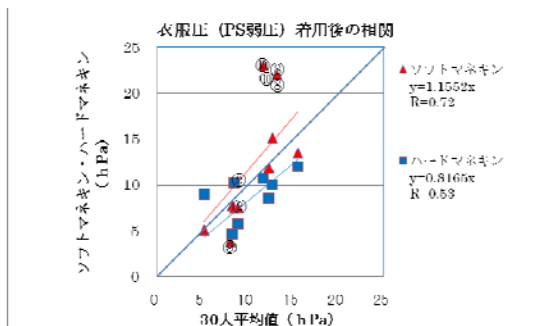


図10 パンティストッキング着用時の衣服圧—人体表面での測定値とハード・ソフトマネキン上での測定値の関係

によって測定された衣服圧は精度よく生体上の衣服圧を予測できることが示され、所期の目的を果たすことができた。

(6) 今回の開発研究推進のプロセスで、以下のような課題を発見することができた。

①まず費用の制限から、雌型に用いた石膏では表面に凹凸が形成され十分に平滑な皮膚面を形成することができなかつた。今後は金型の使用が不可欠と考えられる。

②ソフトボディの可動関節部の変形、特にソケイ部・膝窩部のような屈側部の変形は人体のようにスムーズには行かず、今後関節部の構造に更なる改良が必要である。

③全体として加重が重く、骨格を金属製にするなどの強化策が必要である。

④油分を多く含むポリスチレンは表面がべたつきやすく皮膚に相当する膜の工夫が必要である。

⑤介護衣服の評価に関する基礎研究として、下半身特に座面の、立位と座位における発汗分布の変化に着目した実験を行なうと共に、椅子と臀部の接触面形状、接触に伴う汗の蒸発抑制についても今回開発したソフトボディの応用が有効であることが示唆されたが、排尿・発汗等の構造についても今後の課題として残された。

本マネキン開発のプロセスで得られた知見は、今後のさまざまなタイプのソフトボディマネキン設計の指針となり、アパレル企業のみならず、消費者にとってもより快適で機能的な商品設計のための基盤が整備されることにつながると考えられる。

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0件)

[学会発表] (計4件)

・佐藤真理子
下半身の発汗反応に関する研究—分布と姿勢による変化—

日本家政学会第61回大会、武庫川、2009年8月31日

・Teruko TAMURA
Development of a Movable Soft Manikin of the Lower Part of the Human Body

2008 Korea-Japan Joint Conference on Wellness @ Living Environment, 2008年11月27日～12月1日、韓国 濟州島

・Teruko TAMURA
Development of a Movable Soft Manikin of

the Lower Part of the Human Body and its Application to Evaluating Apparel
XXI. IFHE (International Federation of Home Economics) Congress 2008、Lucerne, Switzerland, July 26-31, 2008

・小野泰代

若年女子の下半身における皮下脂肪分布と圧縮特性の関係

日本家政学会第60回大会、2008年5月31日、東京

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0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0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〕

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村照子 (TAMURA TERUKO)

文化女子大学・服装学部・教授

研究者番号: 30060817

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

小柴朋子 (KOSHIBA TOMOKO)

文化女子大学・服装学部・教授

研究者番号: 70310399

斉藤嘉代 (SAITO KAYO)

文化女子大学・服装学部・教授

研究者番号: 50339496

佐藤真理子 (SATO MARIKO)

文化女子大学・服装学部・准教授

研究者番号: 10409336