

人体形態の計測情報を基にした動態計測と機能衣服について
Dynamic measurements and functional clothes based on the measurement
informations on the human body form

伊藤 由美子^{*1+}, 中込 美代子^{*1+}, 上岡 玲子^{*2+}, 水島 浩^{*3+}, 池田 公信^{*4+}
Yumiko Ito^{*1+}, Miyoko Nakagome^{*1+}, Ryoko Ueoka^{*2+}, Hiroshi Mizushima^{*3+} and Masanobu Ikeda^{*4+}

*1 文化服装学院 文化・服装形態機能研究所 東京都渋谷区代々木 3-22-1

Bunka Fashion Collage,

Bunka Laboratory of Body Structure and Function

3-22-1 Yoyogi Shibuya-ku, Tokyo, Japan

*2 東京大学先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology the University of Tokyo

*3 株式会社ゴールドウインテクニカルセンター

GOLDWIN TECHNICAL CENTER INC.

*4 株式会社七彩

NANASAI CO.LTD.

+服飾文化共同研究拠点、文化ファッション研究機構、文化学園大学

Joint Research Center for Fashion and Clothing Culture

Bunka Fashion Research Institute, Bunka Gakuen University

Abstract: When designing clothes to match the movement of the human body, it is vital that the extent of movement first be ascertained. However, existing 3D measurement systems are based on a standing posture, making it difficult to measure in postures of motion. Over the period of three years from FY2009, the author researched methods of measuring movement, with a view to ascertaining the movement of body surfaces closely linked to the production of functional garments. A light and portable 3D measuring device was introduced, experimental measurements were carried out on the human neck, and the precision of measurement was improved, while automatic software was also developed. Experiments to measure movement were also conducted using the plaster measurement method, and changes in the shape of body surfaces when at rest and in motion were compared by two-dimensionally expanding the movements of the neck and lower limbs. It also became possible to gauge the shape of the seat in the sitting posture. Furthermore, the use of polymer sensors made it possible to measure states of motion, since different voltages were output depending on the absolute value of sensor distortion. Large-stretch pants were actually fitted and a measurement experiment conducted on the knee joints. This research has made it possible to measure body surfaces in motion, and may be expected to have major application effects in the design of sportswear and other functional clothing.

*1) ito@bunka.ac.jp

要旨:人体の動きに適合する衣服設計において運動量の把握は必要不可欠であるが、現状の3D計測機は立位姿勢が基本となるため、運動姿勢での計測は困難であった。平成21年度から3年間で機能的な衣服製作に関係の深い体表の動きを見るための動態計測法を行った。軽量で移動可能な3D計測機を導入し、生体頸部の実験計測を実施し、計測精度を上げるとともに、自動計測ソフトを開発した。また石膏計測法での動態計測実験も行い、頸部と下肢部の動きを2次元展開することで静態と動態の体表形状の変化を比較した。座位姿勢の座面の形状をとることも可能となった。さらに高分子ポリマーセンサーを使用し、センサーの歪みの絶対値により異なる電圧を出力することから、運動状態の計測が可能となり、伸縮性大のパンツに実装し膝関節での計測実験をした。本研究の結果、動態における体表計測が可能となり、スポーツウェア等の機能的な衣服設計に高い活用効果があると期待できる。

配当決定額

平成21年度	1,650,000円
平成22年度	1,180,000円
平成23年度	1,000,000円
合計	3,830,000円

研究の目的

人体の運動に適合する衣服を設計する上では、皮膚の3次元動的な動きを把握することが不可欠である。運動量を計測する際に現在使われている3次元計測法は主にモーションキャプチャで、空間座標上での点の移動距離を算出するものである。しかしそれでは衣服設計上必要とする体表の動きの分量や変化量を見ることができない。そこで本研究では3D計測と石膏計測による実験研究を行い、衣服パターンに活用できる動態計測法を確立することを目的とする。一方機能衣服研究では、身体の動作計測を実現するための変形を計測できるセンサーの試作をし、センサーを衣服上に実装することで、身体(膝運動)の変形の計測を評価し、動作計測の実現性が可能であることを確認する。

研究の方法

衣服設計に必要な動きを計測できるシステムを構築するために(株)スペースビジョン社製の3D計測機 CARTESIA 3D Handy Scanner (以下3DHSとする)(Fig.1)を導入し、計測機の設定条件(照明の方向と量、計測距離、被験者と計測機の位置と角度、マーカー検出など)を調整し、計測実験を行った。3DHSはポータブルでキャリブレーションが容易に出来るため、通常の3D計測機に比べ、計測範囲の変化に対応出来る。計測部位を人体の複雑な運動を行う「頸部」に絞り、運動計測のソフト開発を実施した(Fig.2)。



Fig.1 CARTESIA 3D Handy Scanner

Fig.2 Experimental 3D neck measurement
頸部計測

一方で、石膏計測法を用いて頸部の動態計測を行い、プラスチック標本を製作した。下肢では、石膏計測で座位姿勢での計測が可能であることを実験した。その後自転車乗車姿勢の計測を試み、バイクパンツパターン設計に関係の深い立位と乗車姿勢の形状データの比較を進めた。機能衣服研究では、センサーの選定及び基礎データを取得し、センサーの特性の知見を得た。また、柔軟性のある計測システムを実現するために、縫製可能な導電性材料をセンサーと制御基板を接続する通信配線部に使用することを想定し、各種導電性材料の抵抗特性を計測しシステム実現の可能性を検討した。

研究の実施計画

【21 年度】

- ・3D 計測機 (株) スペースビジョン社製『CARTESIA 3D Handy Scanner』導入。
- ・3DHS による動態計測の計測法の検討。
被験者、動きの種類、計測範囲、マーカーポイント、照明等、計測条件設定
- ・キャリブレーション、計測機の位置・角度と計測可能範囲の検討。
- ・3D 計測機による実験計測と計測データの検討。

【22 年度】

- ・H.21 年度実施した動態計測による計測方法の検討にともなう、3DHS の計測ソフト開発。
- ・頸部石膏計測 (静態・前屈・後伸・側屈・回旋) 実施。
- ・頸部和紙展開から静態と動態の体表変化を比較。
- ・頸部石膏型からプラスチック標本の作製 (3D 計測精度検証に使用)。
- ・頸部プラスチック標本の 3D 計測を行い、ソフトの精度チェック。
- ・3D 計測操作性向上のための開発ソフト改良。
- ・下肢部座位姿勢 石膏計測の実験。
- ・下肢計測ポイント、マーカーシール、石膏貼付手順、着用条件等の検討。
- ・バイクパンツパターン製作を想定し、下肢部自転車乗車姿勢の確認と石膏計測。
- ・自転車乗車姿勢の和紙展開とプラスチック標本作製。
- ・高分子ポリマーセンサーによる運動計測の可能性の実験。
- ・センサー試作と曲げ実験。

- ・株式会社ゴールドウインより講師を迎えて、スポーツウェアに応用発展させるための研修会を主催。

演題 『スポーツウェアの機能』

日時・場所：平成 22 年 12 月 17 日(金)13:30～15:45 文化服装学院 B052 講義室

講師：株式会社ゴールドウインテクニカルセンター／ 沼田喜四司氏

【23 年度】

- ・3DHS 計測ソフトの改良。
- ・計測ソフトで生体頸部データを取得し、動態の運動量を求める。
- ・下肢 動態との比較のため立位姿勢石膏計測。
- ・下肢 和紙展開とプラスチック標本作製。
- ・自転車乗車姿勢と立位との和紙展開から運動量を比較。
- ・和紙展開を利用したパンツパターンを作製し着用実験を行う(パターン修正)。
- ・前年度のセンサー試作システムをもとに、膝に装着実験を行い、着用性・計測データの妥当性などを評価する。

研究の成果

1. 頸部動態計測(石膏)平成 22 年度

計測姿勢は、静態・前屈・後伸・側屈・回旋とした。計測範囲は、衿ぐり線を基準として頸側に 4 cm、体幹側に 6 cm、前正中から後ろ正中まで右半身を計測した。計測ポイントは衿ぐり線から 2 cm ずつ区切り、前後正中から側部(肩線)まではそれぞれ 3 分割し、その交点にマーカースीलを貼った。

各計測姿勢で石膏を重ねて貼り、乾いたら身体から外して乾燥させる。乾いた石膏内側に計測ポイント(マーカースीलの跡)を描き、和紙を貼り計測ポイントを写す。石膏型の内側の和紙は 3 次元データを持っているので、前後正中を基本線とし 2 次元展開することで運動の種類による形状変化を静態と比較した。資料の劣化防止のため、石膏型からプラスチック標本を製作した(Fig.3)。プラスチック標本の製作は、株式会社七彩が担当した。

展開の比較から頸部にフィットする伸縮素材使用のスポーツウェアの運動量が考えられる。



Fig.3 Neck plaster measurement procedure (left: Unfolding of washi paper, right: Plastic specimen)

頸部石膏計測 (左:和紙展開 右:プラスチック標本)

2. 頸部動態計測(3次元計測機)平成 21・22・23 年度

①3DHS で頸部の生体計測を行った(Fig.4)。計測部位は前述の石膏計測と同様とした。2 機の計測機で計測範囲と計測条件の詳細を実験検証した。その結果、三脚に設置した 3DHS ヘッド部 2 機の位置・

被験者に対する角度・距離により、頸部の計測可能範囲が異なることから、2機の計測データのはり合わせに改良の必要があることが分かり、石膏計測で製作したプラスチック標本を3D計測した計測データを基に体表の動きを求めるソフト<動態計測ソフト>を開発した(Fig.5)。



Fig.4 Experimental 3D neck measurement 3D 頸部計測

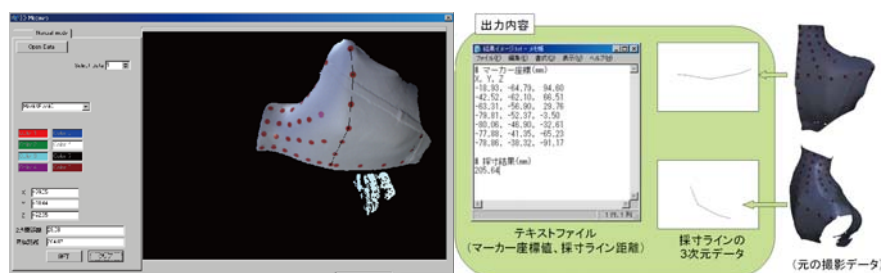


Fig.5 3D cervical measurement data 動態計測ソフトの計測データ

②『3D Measure』計測仕様

- ・面沿い距離(体表での計測点間距離)

2D画面上でマーカー2点を選択すると、2点間の面沿い(体表上)の最短パスを計算する。3点目以降は、直前に選択した点との間で、最短パスを計算すると、選択した各パスの距離と、その合計を面沿い距離(マーカーパス)として算出する。

- ・マーカーパスの比較

プログラムを2つ起動し、それぞれに比較元データと比較先データを開く。比較元データ・比較先データそれぞれのマーカーパスを選択して、比較先データの画面から比較元データを読み込むと、比較先・比較元のパスの距離の比率(隣接マーカー間距離と全体距離)を計算し、画面に表示する。そのまま保存もできる。比率の計算式は以下となる。

$$\text{比率} = \frac{\text{比較先パス距離 (画面で選択したパス)}}{\text{比較先パス距離 (読みこんだパス)}}$$

③開発した動態計測ソフト『3D Measure』を使って、頸部プラスチック標本を計測した。プラスチック標本の計測点の点間距離を巻尺で実測し、動態計測ソフトの計測値との差から精度を検証した。

④『3D Measure』を改良し、計測点を画面上で分かりやすいように、明度・彩度の調整をPC画面上で出来、体表の寸法・比較が見やすい表示とした(Fig.6)。

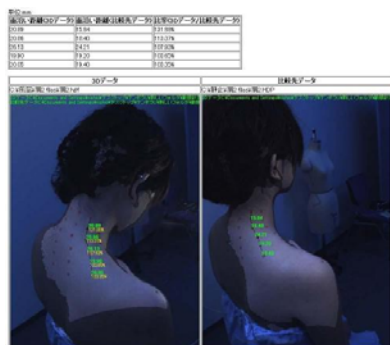


Fig.6 3D cervical measurement soft 『3D Measure』 動態計測ソフト『3D Measure』

3. 下肢動態計測(石膏)平成 22・23 年度

下肢の運動はパンツパターンの設計上必要不可欠であるが、正立位以外での形状計測はほとんど行われていない。本研究では自転車用パンツ設計を目的として乗車姿勢を石膏で型取ることで、下肢の動態計測を試みた。そのために、座位による石膏計測が可能であるかの実験計測をし、自転車乗車姿勢での計測条件を確認し、自転車乗車姿勢での計測を実験し、本計測に臨んだ。

①座位による石膏計測では、丸椅子と四角い座面の椅子を用い、座面に5～6枚重ねた石膏包帯を置きその上に座って体幹に貼りつけ、続けて座面以外の体幹・大腿部・下腿部に石膏を貼り石膏型をとった。座面が椅子の形にくぼむが、股ぐりも脚部も形状をとることができた。

②パンツパターン設計用の計測点の決定をし、自転車乗車姿勢での石膏計測の実験を行った(右のみ)。ウエストから足首までの計測点にマーカースीलを貼り、右足がペダルの最上点、左足がペダルの最下点になる姿勢で、自転車のサドルに座った状態で下肢部に左右側面から石膏を貼り、乾かしてはずした石膏にマーカースीलの跡が確認できるかどうか確かめ、計測が可能であることがわかった。ガードル着用では計測点のずれが大きいため、本計測ではガードルを着用しない事とする。

③計測点を体表に印し、立位姿勢と自転車乗車姿勢での石膏計測を行った。計測範囲はウエストから足首まで、左右のそれぞれ外側・内側の4パターンを取得した。頸部の石膏計測同様、和紙による2次元展開を行い、立位姿勢と乗車姿勢の体表の運動量を比較した。

④左右4パーツの石膏から自転車乗車姿勢のプラスチック標本を作製した(Fig.7)。石膏計測を4回に分けて行ったため、完全に同一姿勢をとることは困難であり、左右2パーツずつと正中を合わせる際に形状に誤差が生じたが、やむを得ない範囲であり修正を加えた。この標本により、今までわかりにくかった股関節・膝関節の体表の形状変化量やサドル部分(股ぐり部位)の身体形状の可視化を可能にした。

⑤和紙の2次元展開からパンツのパターンを作成し、バイクパンツの試作をして着用実験を行った(Fig.8)。



Fig.7 Plastic specimen プラスチック標本



Fig.8 Fitted pants in a standing position , and
a bicycle-riding position バイクパンツ着用実験

4. 下肢(膝関節)動態計測(センサー)平成 22・23 年度

デジタル技術を用いた運動計測技術として、高分子ポリマーセンサーを歪みセンサーとして利用し計測する手法を検討する。従来の歪みセンサーとして、金属箔の抵抗体の変化を歪み率として変形を計測する手法があるが、歪み変化が発生した時のみ電位変化が生じるため、運動保持状態を計測することが困難であった。そこで、本実験では、クラレ(株)と共同研究により、現在開発中の高分子ポリマーセンサーを使用し、その適用可能性を評価した。

高分子ポリマーセンサー(high molecular polymer sensor) は柔軟・軽量で、将来的には大きさや加工面などに自由度があるといった特性の活用が期待できる。また、従来の歪センサーと異なり、センサーの歪みの絶対値により異なる電圧値を出力するため、膝関節などの運動の状態計測が可能である。本研究では、はじめに実験準備として、Fig.9 に示す 20mm(幅) x 20mm(高さ)の高分子ポリマーセンサーを 0 度から 90 度までの範囲を 10 度ごとに折り曲げ出力値を計測した。Fig.10 は各曲げ角度の起電圧の変化を 1000 回計測し、角度ごとの平均をプロットした結果を示す。結果より、出力値は 0.9 の正相関で $y=0.473x + 14.764$ (y:出力値の3乗 x:曲げ角度)の線形回帰に従うことから、センサーの出力値から曲げ状態を 10 度の精度で計測することが可能であることを評価した。

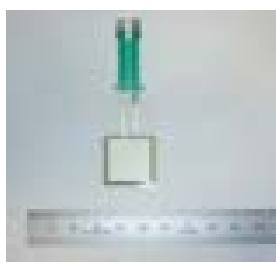


Fig.9 High molecular polymer sensor

高分子ポリマーセンサー

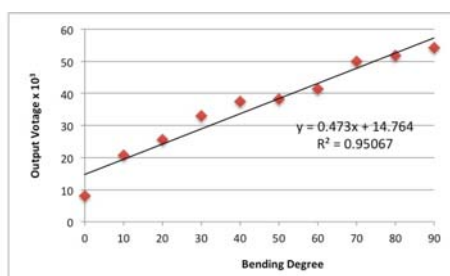


Fig.10 Experiment of bending angle (left) and result of correlation of bending angle and output voltage (right) センサー曲げ実験の様子(左)と起電圧と曲げ角度の散布図と回帰直線(右)

予備実験の結果を参照し、Fig.11 左のように膝関節運動計測用に膝の上下部を覆うことが可能な 190mm(幅) x 5mm(高さ)の幅の長いセンサーを設計し試作した。このセンサーをFig.11 右に示す通り運動用の伸縮性の高いパンツを利用し、膝上に縦長方向に実装し、キーエンス社のマルチデータ収集システム NR-500 に接続し、膝関節の変形による電圧出力の変化量を 200Hz で計測した。



Fig.11 High molecular polymer sensor for measuring knee bend (left) and its implementation on a stretchable pants (right) 膝関節計測用高分子ポリマーセンサー試作(左)と膝部への実装の様子(右)

Fig.12 に示すように A、B、C の各状態の膝関節の変形とセンサーの出力値の変化が同期し、また、変形保持も計測可能であることが評価できた。デジタルで計測されたこの値を利用することで、これまで計測が困難であった環境に依存しない身体形状の計測が期待できる。本センサーは出力電圧が微弱のため、環境に依存しない計測システムの実現のためには、電圧増幅機能等の回路が必要となる。今後は、

制御システムの開発とともに膝関節運動によるセンサー出力のモデルを作成し、2次元に展開されたパターンへの適応方法が課題である。

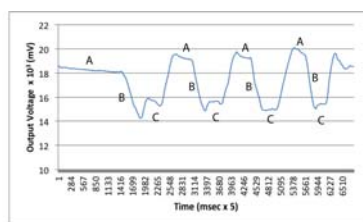


Fig.12 Result of output voltage of knee bend (top) and each knee's posture (bottom)



膝関節の姿勢(A/B/C)と起電圧出力結果

展望

本研究により、今まで困難であった運動姿勢での計測が可能となった。開発した『3D Measure』を使い、ポータブルな点を生かした頸部以外の身体各部位の体表変化を計測することで、運動量の把握が出来、効率的に計測から衣服製作を行うことが可能となる。本研究では体表の点間距離を求めたが、さらに4点のマーカーで囲まれた面積を計算し、運動による面積変化も求めたい。各点に3D座標があることから4点のマーカーで出来る四角形(体表上の形状を保った)を切り出し、その切り出したパッチの点群から面積を出し、さらにパッチの形状も比較が出来るように表示する事が可能であると予測される。この事から石膏計測法の和紙展開を3次元計測で行う事が可能となると期待出来る。また、下肢においては、石膏計測と歪みセンサーを装着した機能衣服による計測結果の体表形状変化から、伸縮の必要な分量が予測出来、スポーツウェアなど機能性の高い衣服製作に活用出来る。さらに最終年度に製作した試作パンツから、伸縮素材を使用して人体形状・動きに適合し、可動域大のバイクパンツの製作を試みる(株式会社ゴールドウインテクニカルセンター製作)。

本研究から、各種計測法で導き出した計測データと衣服パターンの関係を検証することで、スポーツウェアの設計と既存パターンの運動量の理論付けを考える事が可能となる。

主な発表論文等

[国際会議発表]

Development of Methods for Digital Measurement of Body Surface Movement

IFFTI 2012 CONFERENCE, Jaipur (PEARL ACADEMY OF FASHION), INDIA, 17-21 March 2012

参考文献

1. 浅草ギ研曲げセンサー <http://www.robotsfx.com/robot/BendSens.html>
2. クラレ高分子ポリマーセンサー <http://journal.mycom.co.jp/news/2010/11/19/096/index.html>
3. 大倉元宏, 「三次元運動計測システム」, 成蹊大学理工学研究報告『The Journal of the Faculty of Science and Technology』Seikei University Vol.42, No.2, December 2005.
4. 小川原光一, 李暁路, 池内克史, 「関節構造を持つ柔軟変形モデルを用いた人体運動の推定」, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)予稿集, pp.994-999, Jul 2006.