

衣服－皮膚位置関係の動的解析に向けた一考察

—高輝度 LED マーカーの利用—

上田 博之, 村上 かおり*¹, 増田 智恵*²

要 旨

加齢ともなう人体形状の変化が大きい高齢者の衣服設計について着心地や安全性保持に関する情報を得るために、衣服と人体の位置関係の変化を動的に解析することが望ましい。そこで、衣服下に装着できる薄型高輝度 LED マーカーを用いた動作解析の座標測定の信頼性をブラウス 5 種（平織 3 種, メッシュ 2 種）で検討した。さらに、1 名の被験者の側方拳上動作における皮膚面と衣服面の位置関係の変化を動的にとらえる測定を試みた。背・腰・脇腹部に固定したマーカー座標は、メッシュ越しで信頼性の高い測定ができたが、平織では材質や厚みに関係なく、衣服面に近い座標となる可能性が示された。したがって、布越しのマーカー座標測定では誤差を小さくするために、衣服条件、カメラの精度・台数・設置位置、LED の発光角度、マーカーの追跡状態の確認などの検討が必要と考えられる。そして、これらを考慮して被験者の拳上動作における身体皮膚面 6 点の座標と各上方ブラウス面の座標を測定し、皮膚 - ブラウス間の距離を経時的に示した。

目的

現代の日本人の衣生活は、平面で構成された和服とは異なり、身体の曲面形状に合わせて立体的に縫製した洋服が主である。洋服の人体形状と衣服を適合させた構成は、着心地の良い適切な装着状態を得られるため、世界的に共通に利用される衣服となっている。さらに現在では化学繊維の開発や繊維産業の発展に伴い、洋服は個別対応の衣服ではなくある企画と一定のサイズのもとに生産される既製服が主となり、すでに半世紀を超えた。日本での既製服生産は、体形情報から類型化されたサイズを基準として、各アパレルメーカーのそれぞれのブランドコンセプトに基づいて製造されている。消費者は、多くの既製服の中から自分の人体寸法に最も近い衣服のサイズ寸法表示を参考に、試着を繰り返し、選定する。そのなかで、近年老若男女を問わず個々の求めるデザインや着心地などを消費者自身が判断しているのが現状である。したがって、やや大きめのサイズの服を購入する傾向もあり、また購入後に着用して動いてみると、試着時とは異なる着心地の良くない着用感を感じ、着なくなる服も多々あるのではないだろうか。動作によって衣服が身体からずれる際の着心地を予測することを、衣服購入時に消費者に求めることは難しい。着心地の良い衣服とは、大きさに限っても単に人体より大きいサイズや空隙を持っているものではないからである。

近年カジュアルなファッションが定着したことか

ら、人体にフィットしたシルエットの衣服よりもルーズなシルエットの衣服が装着される傾向もあり、着用時の動作と衣服のずれによる着心地を明確に捉え、ひとつの着心地情報として提供することが必要と考える。とくに超高齢社会と言われる日本では、加齢ともなう人体形状の変化が大きい高齢者のための衣服を設計するとき、装着時の動きに伴う着心地を満足させる衣服だけでなく、安全に着衣状態が保持できるための情報が必須となる。そのため本研究では、衣服と人体の位置関係の変化を動的に解析し、これまでとらえられていない「衣服着用時の衣服と人体のずれ」をとらえることを試みた。

一般に動作解析では、動体に反射マーカーや球状のカラーマーカーを装着して、それらの 3 次元座標の変化を検討する。したがって、これらのマーカーを用いて衣服下の詳細な動きを解析することは難しく、衣服と皮膚の位置関係に着目して動作解析した研究はみられない。生地に被覆された LED マーカーを追跡し、その動作パターンや動作範囲を検討した例にとどまる^{1,2)}。本研究では、衣服下に装着できる薄型高輝度 LED マーカーを用いた座標測定の信頼性について検討し、皮膚面とその上方衣服面との位置関係の変化を動的に捉える測定を試みることで、高齢者であるエルダー層にも提供できる安全で着心地の良い衣服設計情報を得るための基礎的研究を実施する。

*1 広島大学大学院教育学研究科

*2 三重大学 教育学部

方法

皮膚面と衣服面の位置関係を動的解析するには、衣服着用時に衣服下の皮膚面の動きを測定しなければならない。本測定には、内蔵ボタン電池で点灯する赤または青 LED マーカーを準備した（縦 2.1mm 横 2.5mm 高さ 6mm, 6.8g, Figure 1）。衣服着用時の皮膚面の特定ポイントとその上方衣服面の位置関係を以下の手順で動的解析できると考えられる。

- (1) 測定ポイントの皮膚面に高輝度 LED マーカーを固定する。
- (2) 皮膚面マーカーの上方衣服面に異なる発光色の LED マーカーを固定する。ただし、皮膚面マーカーを衣服の生地越しに撮影して座標を測定するため、皮膚面マーカーと衣服面マーカーは 1cm 程度離して固定する必要がある。
- (3) 動作撮影を行ってマーカーの追跡と座標を測定する。
- (4) マーカー移動やマーカー間の位置関係などの情報分析を行う。

本研究では 3 次元動作解析に KinemaTracer™(キッ



Figure 1 LED marker

セイコムテック株式会社)を用いる。KinemaTracer™は複数のソフトウェアで構成され①MotionRecorder™で動作の録画, ②3DCalculator™で対象に固定したマーカーの追跡と座標の決定, ③KineAnalyzer™で座標データの解析, の順に作業を行うシステムである。

1) 布越しのマーカー座標測定

衣服で被覆された状態のマーカーを動作解析システムで追跡した座標の信頼性を検討するために、上記システムを用いてマネキンに固定した赤 LED マーカーの座標をブラウス着用有無の条件で測定・比較する。測定には Table 1 に示す 5 種のブラウスを用いて、ブラウスごとに着用有無の条件でマーカー座標を比較した。マーカー座標測定には 2 台以上のカメラでマーカー位置をとらえる必要がある。本測定ではマネキンの背面 1.5m の高さ 0.6m と 1.5m に各 1 台、背面右斜め 45° 1.5m の高さ 0.6m と 1.5m に各 1 台、合計 4 台の CCD カメラを設置して、マネキンを背面から 60fps で撮影する。マーカーの座標軸は前頭面右左を X 軸、正中面前後を Y 軸、垂直上方下方を Z 軸とする。

裸体マネキンの背部、腰部、脇腹部の 3 ポイントに赤 LED マーカーを固定して (Figure 2, X 印)、ブラウスの着脱を 5 回繰り返す間の撮影を行う。この動画を用いてブラウス着用有無の条件における各ポイントの座標測定を各 5 回行う。次に、各ポイント上方の衣服面の座標を参考にするために、各ポイント上方の衣服表面に青 LED マーカーを装着したブ

Table 1 Description of fabrics

Blouse	Material	Structure	Color	Thickness* (mm)
A	Cotton 73%, Polyester 25%, polyurethane 2%	Plain	White	0.13
B	Cotton 100%	Plain	White	0.43
C	Rayon 83%, Polyester 17%	Plain	White	0.18
D	Polyester 100%	Mesh	White	0.20
E	Polyester 100%	Mesh	Black	0.22

*Thickness is measured at the pressure 49 Pa.

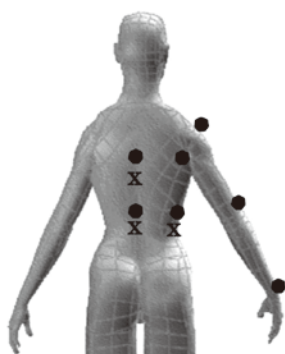


Figure 2 The positions of the LED markers fixed to the skin (× : mannequin, ● : subject)

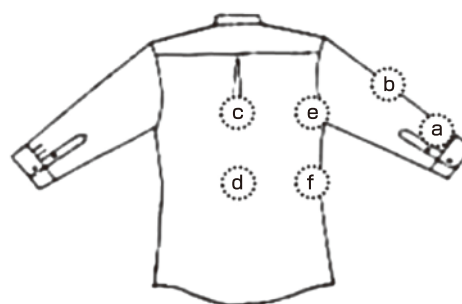


Figure 3 The positions of the LED markers fixed to the blouse

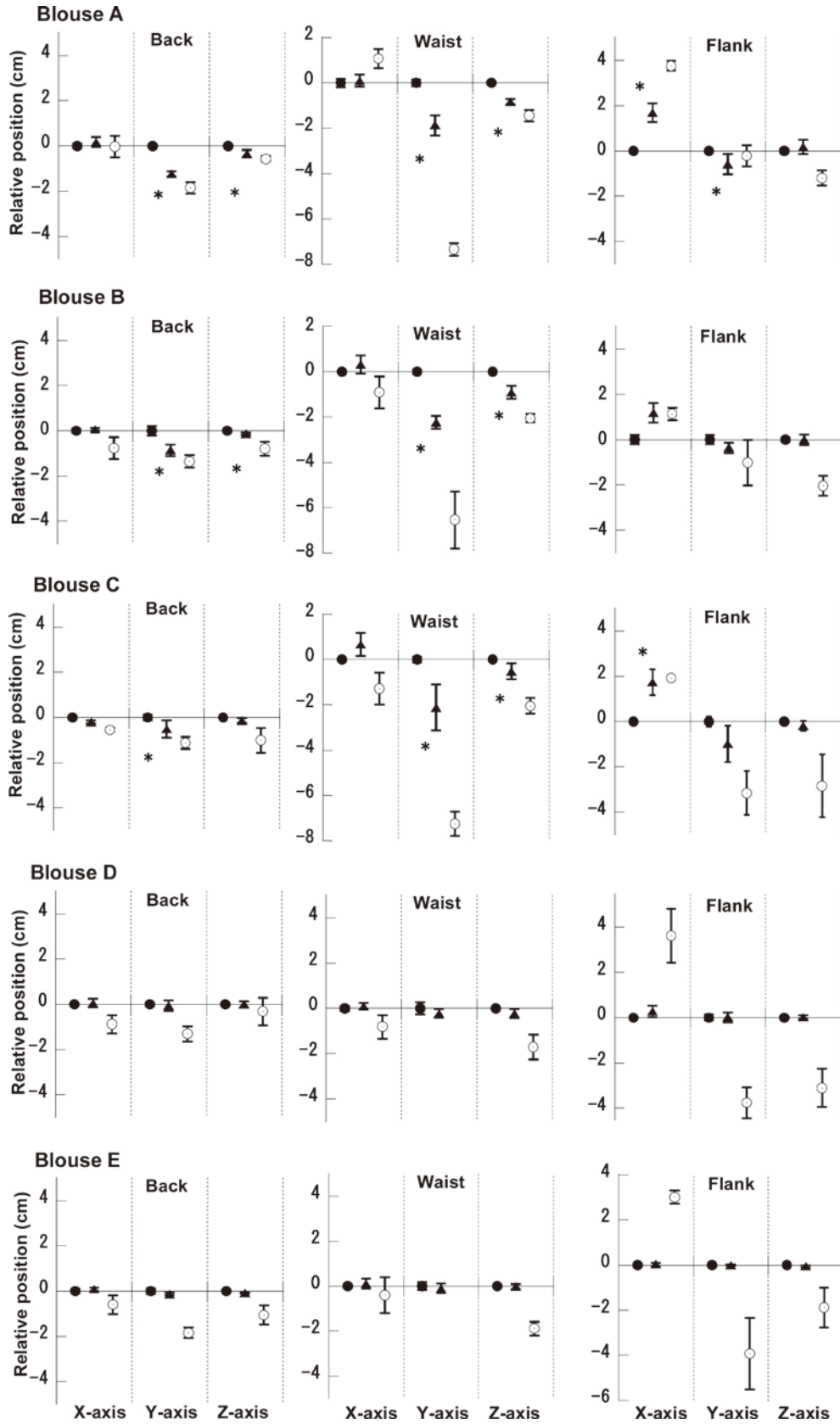


Figure 4 X-Y-Z coordinate values of the markers on the skin measured through fabric (▲) relative to those measured directly (●). X-Y-Z coordinate values of the markers on the fabric shown as reference(○). * $p < 0.05$: Comparisons in respect of measurement condition with and without fabric.

ブラウスを 5 回繰り返し着脱してマーカ―座標を 5 回測定する。生地越しに測定した皮膚面マーカ―の座標、参考となる衣服面マーカ―の座標は、対応する皮膚面マーカ―座標の平均値を基準にする 5 回の測定値の平均値と標準偏差で表すこととする。統計的検定には Student - T 検定を用い、有意水準は 5% に設定する。

2) 側方拳上動作における皮膚-衣服間の位置関係測定・分析の試行

本測定では、上肢側方拳上動作における 6 ポイント（背部 3 ポイントと側腹部、上腕骨外側上顆部、橈骨茎状突起部）の皮膚面-衣服面の位置の動的解析を試みる。1 名の被験者（19 歳女性、身長 165cm、体重 53kg）を対象とし、測定には被験者が選んだ市販のストレッチ性ブラウス（L サイズ、綿 73%、ポリエステル 25%、ポリウレタン 2%、表 1-A）を用いる。立位の被験者の測定部位 6 ポイントと上腕角度の規定に用いる肩峰の皮膚面に赤 LED マーカ―を固定した（Figure 2, ●印）。さらにブラウス着衣後に測定する 6 ポイントの上方に位置する衣服表面に青 LED マーカ―を装着する（Figure 3）。被験者は立位静止状態からゆっくり側方拳上動作を行い、その間上記 1）と同様に設置した 4 台のカメラで録画を行う。動作中の各マーカ―の座標を追跡して座標の測定を行い、各測定ポイントの皮膚-衣服 2 点間の距離を算出し、下方垂直方向に対する上腕（肩峰-上腕骨外側上顆）の角度とともに表す。

なお、被験者には事前に本実験の目的、方法、条件、測定内容等について説明し、実験参加の承諾を口頭および書面で得た。本研究の内容は、大阪信愛女学院短期大学生命倫理委員会で書面調査を受けて承認された。

結果と考察

1) 布越しのマーカ―座標測定

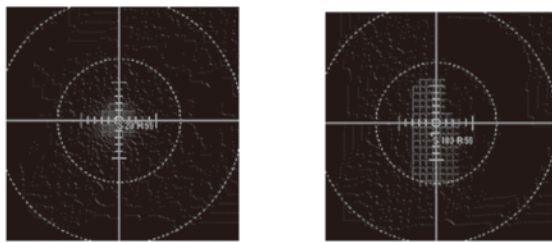
Figure 4 に背部、腰部、脇腹部の皮膚面マーカ―に対する布越しに測定した皮膚面マーカ―座標および衣服面マーカ―座標を衣服条件ごとに示す。衣服面マーカ―は、ブラウス A の背部 X 座標、脇腹 Y 座標において皮膚面と近似したが、他の衣服・部位条件における X、Y、Z 座標は異なり、各測定ポイントの皮膚と衣服間に間隙が生じていることが示された。背部において皮膚面と衣服面マーカ―の X、Y、Z 座標はそれぞれ 0.5 ~ 0.9cm、1.1 ~ 1.9cm、0.3 ~ 1.1cm の範囲で異なった。腰部において皮膚面と衣服面マーカ―の X、Y、Z 座標はそれぞれ 0.4 ~ 1.3cm、6.5 ~ 7.4cm、1.5 ~ 2.1cm の範囲で異なった。脇腹部にお

いて皮膚面と衣服面マーカ―の X、Y、Z 座標はそれぞれ 1.1 ~ 4.0cm、1.0 ~ 4.4cm、1.2 ~ 3.4cm の範囲で異なった。また、衣服面マーカ―座標測定における 5 回のばらつきはブラウス A で小さかったが、他のブラウスでは大きい場合がみられた。

皮膚面マーカ―の座標を布越しに正確に測定することできるかを検討するために、ブラウスの有無の条件で各座標を比較した。背部においてブラウス A、B、C の皮膚面マーカ― Y 座標にブラウスの有無により有意差がみられ、それぞれ 0.5cm、0.9cm、1.2cm の差であった。ブラウス A、B の Z 座標にも有意差がみられたが、その差は 0.1 ~ 0.3cm で極めて小さかった。腰部においてブラウス A、B、C の皮膚面マーカ― Y、Z 座標にブラウスの有無により有意差がみられ、それぞれ Y 座標で 1.9cm、2.2cm、2.1cm、Z 座標で 0.8cm、0.9cm、0.5cm の差であった。脇腹部においてブラウス A、B、C の皮膚面マーカ― X 座標にブラウスの有無により有意差がみられ、それぞれ 1.7cm、1.2cm、1.7cm の差であった。ブラウス A、B の Y 座標にも有意差がみられ、その差は 0.6、0.4cm であった。メッシュ構造のブラウス D、E では、背部、腰部、脇腹部ともいずれの座標でもブラウス有無の条件間に座標の差は認められなかった。

以上の結果から、背部や腰部において、後方（Y 軸方向）に皮膚と間隙をつくることが確認され、脇腹部は外側（X 軸方向）だけでなく前後（Y 軸方向）にもずれていることが分かった。また、いずれのポイントも下方にずれたことは、マーカ―の重量が影響したと考えられるが、ずれの程度は背部に比べて腰部が大きいことから、衣服の上部より下部の方が着用時のずれが大きいかもしれない。ストレッチ性のあるブラウス A の 5 回測定の再現性が極めて良好であったことから、衣服を着用した時の布の位置はデザインや素材に影響されると考えられる。

動作解析システムを用いて布越しに LED マーカ―を追跡したした場合、メッシュ構造を持つブラウスでは信頼性のある座標が得られた。しかし、平織ブラウス 3 種では、材質や厚みに関係なく、背部と腰部のマーカ―は後方（Y 軸方向）、脇腹部のマーカ―では外側（X 軸方向）、すなわち衣服に近い座標となる可能性が示された。これは、マーカ―追跡時に斜めから撮影したカメラの認識領域が縦に広がる（Figure 5）ことから、布に反射した LED 光を 3D Calculator™ が追跡したためと考えられる。したがって、このような比較的大きい誤差を防ぐための考慮をしなければならない。その方策として、(1) 衣服条件、(2) カメラの精度、台数、設置位置、(3) 発光角度など LED マーカ―の改良、(4) マーカ―を自動



Camera directly behind Camera diagonally behind
Figure 5 LED-recognizing area (Grid area showed inside a small circle)

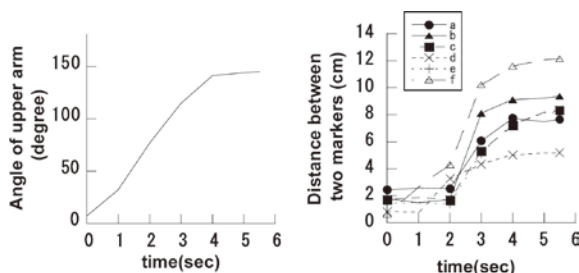


Figure 6 Temporal changes in the angle formed by vertical line (-Z-axis) and upper arm (Left) and the distance between the skin and fabric markers at 6 positions (Right) during the arm elevation

追跡した映像においては一定フレームごとにマーカー追跡状況を静止画像で確認・マニュアル修正する、などの検討が考えられる。

2) 側方拳上動作における皮膚—衣服間の位置関係

MotionRecorder™を用いてキャリブレーション画像を撮影した後、立位静止状態から上肢側方拳上動作を行う被験者を撮影した。3DCalculator™を用いて動作映像のマーカーを追跡して、各マーカーのXYZ座標を決定した。上肢側方拳上動作を背後から撮影したため、立位静止時にマーカーを認識させると、その後動作終了まで自動追跡を行うことができた。しかし、1)の結果で示されたように、LED発光方向に対して斜めや横方向のカメラを用いて撮影した画像で測定した座標に誤差を生じる可能性がある。そこで、マーカー位置を一定フレーム間隔の静止画像で確認しながら座標の修正を行った。Figure 6に垂直下方向に対する肩峰と上腕骨外側上顆に固定したマーカーを基準にした上腕の角度の経時的変化および各測定ポイントの皮膚—ブラウス面間の距離の経時的変化を示す。被験者にはゆっくり拳上するように指示したため、拳上動作に約5.5秒を要した。その間、上腕の角度は垂直下方向に対して7°から145°に広がった。皮膚—ブラウス面間の距離は、上腕の角度が60°程度から増加した。最も変化の大きいfポイントでは12.1cm、変化の小さいdポイントで5.2cmになったことがわかる。このように高照度LEDマーカーを利用して動作解析を行うことにより、ブラウス着用時の皮膚と衣服表面の特定ポイントが

動作に伴ってXYZ軸方向にどのように移動したかを知ることができた。マーカーの座標測定において衣服の種類などの条件により座標測定の誤差を考慮する必要があるが、マーカー固定可能なポイントであれば動作に伴って皮膚—衣服の位置関係を把握することができると考えられる。

本研究を実施するにあたり、ご協力いただきました被験者の方、計測にご協力いただきました皆様に深く感謝いたします。なお、この研究は平成25～27年度科学研究費補助金基盤研究(B)(課題番号25282013 研究課題「エシカルな3次元エルダーファッションシステムの開発」研究代表者：増田智恵【三重大学 教育学部】)によるものです。

参考文献

- 1) 渡邊敬子, 中井梨恵, 岡村政明, 大村知子, 矢井田修; 高齢女性の前あき上衣の構造と着衣動作および着やすさとの関係; 日本家政学会誌, 2, 111~121 (2009)
- 2) 森島美佳, 金井博幸, 木村祐和, 松岡敏生, 西岡孝彦, 西松豊典; スポーツウェアの形状が模擬高齢者の着衣動作と筋活動量に及ぼす影響, J Text Eng 57, 2, 51-59 (2011)

受理 2016年3月25日

〈連絡先〉

上田博之

〒538-0053 大阪府大阪市鶴見区鶴見6-2-28

大阪信愛女学院短期大学

E-mail: ueda@osaka-shinai.ac.jp