Simulation of Brassiere-Wearing Figures Using Multi-Regression Models and Its Evaluation

CHOI Dong-Eun, NAKAMURA Kensuke and KUROKAWA Takao

*Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology,
Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8585 Japan*

Received 24 August 2004 ; accepted for publication 11 January 2005

Abstract

This paper proposes a method of simulating breast shape modification by wearing a brassiere. For this purpose a three-dimensional (3D) human body shape model developed by one of the authors is used. The model is made of a bi-cubic B-spline surface and its control points can describe a woman's trunk shape by fitting it to plenty of her body surface points. Corresponding control points among models have the same meaning in the sense that they form the same region on the different women's body surfaces. This feature enables us to compare and analyze a local body shape using a subset of control points selected appropriately. Forty-nine control points were determined to analyze breast shape of any woman. One hundred forty-two Japanese women aged 20's to 50's (brassiere size ranged from A70 to E70) were measured by means of an optical range finder before and after putting on a brassiere. We also categorized softness of their breasts into three classes; "soft", "medial", and "stiff". The multiple regression analysis established the relationship between the position of the control points on the models before and while wearing a brassiere using softness as a parameter. The best regression function was chosen among prepared 15 ones for each coordinate of every control points and was applied to simulation of brassiere-wearing breast figures based on the position of the control points before putting on it. The results showed that it is possible to estimate the body shape when wearing a brassiere. The same was confirmed based on average errors between silhouettes of brassiere-wearing and simulated breasts.

Key words: 3D body shape model, simulation of wearing a brassiere, multiple regression model.

重回帰モデルによる ブラジャー装着シミュレーションとその評価

崔 童殷, 中村 顕輔, 黒川 隆夫

1. 緒言

衣服の着用形態は、素材、型紙及び着用する人体の形状などにより種々のシルエットを形成する。体形のシルエットや顔のような外的な因子は、心の内面的な因子とともに「人の美しさ」を表すものとして評価される。特に、女性は美しい体形のシルエットを表現する手段としてブラジャーやガードルなどの補整下着を身に着けるが、これらの下着には、運動機能性や着用時の快適性はもちろんのこと、フィット性、そして「体形を美しく整える」、「きれいに見

せる」という体形補整機能が強く求められている[1]。以上の特性を満たすデザインを行うためには、消費者ひとりひとりの好み、体形に合うデザインやその評価に高精度の人体計測値が必要であり、人の体形に関する幅広い知識や情報も求められる。ブラジャーは、購入時に試着できることになっているが、商品の性格上短時間で多くの商品を試着することができず、また、商品間の比較も難しいため、満足のいくブラジャーを購入できる消費者はあまり多くない。そのため、消費者の好みや体形に柔軟に対応でき、自分の体形と対象とするブラジャーの情報を入力すれば、

連絡先：京都工芸繊維大学大学院先端ファイブ科学専攻、606-8585 京都市左京区松ヶ崎御所海道町、
E-mail : g002402@ipc.kit.ac.jp , Tell +81-(0)75-724-7472

試着しなくてもシルエットや3次元形状を予測でき、また、デザイン過程においても補整効果の確認や反復スタイリングに利用できるシステムの要求が高まっている。このような機能を実現するのが本稿で言うブラジャーの着装シミュレーションである。

近年、上着に関しての着装シミュレーションは、仮想空間での衣服着装モデルの構築やアパレル CAD への応用を目的とした様々な手法が提案されている[2]。しかし、上述のような支援システムの必要性は高まっているものの、成人女性の乳房は、その複雑な構造や力学的特性が十分に明らかになっていないことなどから乳房の挙動の予測が難しく、現在のところ、力学的手法を用いたブラジャーの着装シミュレーションに関する研究は非常に少なく、しかも実用化には遠い[3][4]。

一方、筆者らは、下着設計に活用できる高精度の3次元人体形状モデルの構築やその応用法に関する研究を積み重ねてきた[5]。本研究では、この3次元人体形状モデルを用いて、ブラジャー着用前後の体形を記述し、両者の関係を非線形重回帰モデルによって分析するとともに、その結果を利用して精度の高い着装シミュレーションを実現する方法を提案する。

2. 3次元人体形状モデル

2.1 3次元人体形状モデルによる体形記述

黒川らの人体3次元モデルは、円筒状の双3次Bスプライン曲面を体幹部の体表データにフィッティングして得られ、しかもモデル曲面の形状パラメータである制御点を人体形状の記述に利用できる。モデリング過程では、まず、体表データを図1に示す uv 平面にマッピングする[5]。

Fig. 1 Normalized B-spline surface coordinate system

(u, v) は、Bスプライン曲面座標であり、頸前点や腸棘点といった衣服工学的に重要な人体の基準点17個と基準点から求まる23個の補助基準点の uv 座標値に、どの女性においても一定の uv 値が割り当てられている。

以上のように体表データと曲面座標 (u, v) が対応づけられた周期的な $(u=0$ と $u=1$ で C^2 連続)双3次Bスプライン曲面

$$P(u, v) = \sum_{i=1}^{m+3} \sum_{j=1}^n N_{i,3}(u) N_{j,3}(v) V_{i,j} \quad (1)$$

を被験者の体表データに最小二乗フィッティングすることにより3次元人体形状モデルが得られる。ここで $N_{k,3}$ は、台(定義域)が k によって規定される3次のBスプライン基底関数である。フィッティングにより決定される $V_{i,j}$ は、モデルが存在するのと同じ3次元空間の位置ベクトルで、これが前述の制御点に当たる。制御点は、曲面形状を決めるパラメータであり、図2(a)の制御点集合を用いることによって体表形状を図2(b)のように再構成できる。 m と n は、それぞれ曲面の周方向、高さ方向の制御点の数であり、人体を平均1.5mm以下の精度で記述できる値として本研究では $m=30, n=25$ を用いる。式(1)は、周期スプライン($V_{1,j} = V_{m+1,j}, V_{2,j} = V_{m+2,j}, V_{3,j} = V_{m+3,j}$)であるため、750個の制御点によって任意の体幹部体形を表現できることになる。

Fig. 2 A set of control points (a) and reconstruction of a 3D body surface (b) using them.

また、Bスプライン曲面は、局所性を持ち、一部の制御点を変化させることによって影響を受ける曲面形状の範囲は局所にとどまる。すなわち、式(1)の3次基底関数 $N_{k,3}$ は4個のセグメントからなっており、連続する4個の基底関数 $N_{l,3}$ ($l=k, k+1, k+2, k+3$)は、1セグメントの定義域を共有する。このため、3次Bスプラインでは、1個の制御点座標が変化すると、基底関数が縦横に配列している双3次曲面形状への影響は、 u, v 各方向の4セグメント、合計16セグメントに限定され、それより遠方の曲面には影響しない。

さらに、制御点は、異なる被験者に対して同じ意味を持つ。例えば、 V_{129} はすべてのモデルで乳頭点を含む領域の形状形成に関わっている。この2つの性質より、人体モデルを用いれば、体幹部全体だけではなく、局所的な人体形状の分析が可能となる。本研究では、この3次元人体形

状モデルを用いて、ブラジャー着用前後の乳房部制御点座標値の変化を重回帰分析し、その結果を利用して着装シミュレーションを行う。

2.2 人体形状モデルの姿勢補正

本研究では、人体体表座標を光学的非接触3次元計測装置により、約1.54 mmピッチで計測した。この座標値の集合が体表データになる。しかし、ブラジャー着用前後のように時間において複数回の計測を行う場合には、一般に両計測間で姿勢が異なり、このままでは、ブラジャー着用に伴う乳房形状の正確な変化を得ることが困難である。そこで、モデルの姿勢を3次元空間における回転によって以下のように補正した。

まず、図3に示すように、モデルのxyz座標軸の方向を設定した。そして3次元人体形状モデルの姿勢補正を行うために、計測時に得られる体表上の基準点の中から補正の指標になる点として左右肩峰点 P_{L1} 、 P_{R1} 、左右腸棘点 P_{L2} 、 P_{R2} と第7頸椎点 P_3 の5個を選んだ。次に、3種類の回転補正 (a), (b), (c) を施した。

Fig.3 3D coordinate system and base points for posture calibration of a body shape model.

(a) 平面内の回転補正

左右肩峰点 P_{L1} 、 P_{R1} を結んだ直線がx軸に平行になるように、つまり、 P_{L1} 、 P_{R1} およびそれらの中点 O_1 のz座標値が同じ値となるようにこの点の中点 O_1 を中心にモデルを回転させた。

(b) 側方への傾斜補正

人体が左右いずれかに傾いている場合は、左右肩峰点の中点 O_1 と左右腸棘点の中点 O_2 を結ぶ線分 O_1O_2 が正面から見て垂直、すなわち、y軸と平行になるようにxy平面内でモデルを回転させた。

(c) 前後方向の傾斜補正

前後の姿勢の傾きは、基準がないために補正は難しい。本研究では、直線 O_1O_2 に注目し、yz面におけるブラジャー着用時の O_1O_2 の傾斜角がブラジャー着用前(裸体)の角度に一致するように着用時のモデルを回転させた。

2.3 座標原点の再定義

計測時に決定される人体形状モデルの原点は、全被験者で必ずしも同じ位置にはない。また、身長的高低によって乳房部のy座標には大きな差が生じる。従って、乳房部形状のみに限定した分析を行う場合には、正中面上でかつ乳房の近傍に座標原点を配置することが望ましい。本研究では、左右肩峰点の中点 O_1 が正中面にあるものと仮定し、その点をxz座標の原点に定めた。

一方、y座標の場合には原点として採用できる基準点が存在しないので、基準点を利用して2次的にy軸の原点を定めることにした。(財)人間生活工学研究センターが1992年から1993年の間に計測した多数の日本人の統計的データ[6]によれば、乳頭点の高さは、第7頸椎点高から腸棘点高に至る垂直線分を上から4:6に内分した位置の付近にある。そこで、本研究では、第7頸椎点 P_3 と左右腸棘点の中点 O_2 を結ぶ線分を上から4:6に内分する点の高さをy軸の原点に採用した。

以上のようなxyz座標系の再定義を、裸体時とブラジャー着用時のいずれに対しても適用し、各モデルについて3次元空間における原点 O を求めた(図3)。

3. ブラジャー着用による乳房形状変化の分析

同一被験者のブラジャー未着用、着用中の基準点座標間および複数の3次元形状モデル間の比較を行い、ブラジャー着用によって形状が変化する部位を乳房周辺であると判断した。なおストラップとバンドによる Chest から肩にかけて、また脇から背部にかけての主としてブラジャーの厚みによる形状変化は本研究の対象外とした。2.1で述べたBスプライン曲面の局所性により、3次元体形モデルにおけるこの領域の形状は、少数個の制御点の組によって記述できると期待される。以下では、この限定された範囲の制御点を用いてブラジャー着用前後の乳房部の形状の変化を分析する。

3.1 乳房部の制御点の抽出

片側の乳房形状を記述する制御点は、Bスプライン基底関数の性質により、乳房領域とその周辺部に分布する。この分布がどこまで広がっているかを見るために、以下の方法によって各制御点が乳房形状の決定に関わっているか否かの判定を行った。

被験者の3次元人体形状モデルを画面上に表示し、右側乳房部とその周辺の制御点を順に1個ずつ選んで、そのz座標値を大きく変化させ、乳房形状が影響を受けるか否かを視覚的に判定した。この方法を乳房サイズの異なる多数の被計測者のモデルに適用して、右側の乳房部の形状を決める制御点を探索し、それらを含む最小の矩形の制御点配

置として図4に例示するものが得られた。この領域には、周方向に7個、高さ方向に7個の計49個の制御点が含まれている。

よって、体幹部の750の制御点からこれら49の制御点を抽出すれば、ブラジャー未着用の乳房形状から着用時の形状への変化を分析することが可能となる。以下では、得られた49の制御点の位置を右から左へ、また、上から下へ順に i ($i=1, \dots, 49$)と付番して表現する。そして、着用前のモデルの乳房部制御点の位置を $V_i(x_i, y_i, z_i)$ 、また、着用時の同じ制御点位置を $V'_i(x'_i, y'_i, z'_i)$ で表すことにする。

Fig. 4 An example of distribution of the 49 breast control points that describe the right breast

3.2 分析対象および計測法

本研究では、ブラジャー着用に伴う乳房形状変化を分析する対象として、正面から見てアンダーバスト点が乳房に隠されない、いわゆる下垂していない乳房を選んだ。被験者は、20代から50代までの日本人女性142名であり、まず裸体で、光学式3次元計測装置により計測し、これをブラジャー着用前の体表データとした。データは、約16万個の3次元座標より成る。次に、被験者に市販の同一タイプのワコール製フルカップブラジャーを着用させた。その際、フィッターがマルチン計測法によりブラジャーのカップサイズ(A70~E70)を判定し、適合サイズのブラジャーを正しい位置にフィットさせた。さらに、ブラジャー着用状態で3次元計測を行い、着用時の体表データを得た。このデータには、ブラジャー自体の形状や厚みなども反映されている。また、乳房の柔らかさについての情報を得るために、専門家の触察により3段階の評価(柔らかい:評価値1, 普通:評価値2, 固い:評価値3)を5回行い、その平均値 S を求めて、被験者の乳房の柔らかさ指標とした。

計測終了後、ブラジャー着用前および着用後の体幹部を3次元人体形状モデルで表現した。さらに、左右の乳房を分けて分析すべき理由はないので、本研究では両側の乳房を一緒に分析することにした。すなわち、右乳房部の制御点分析プログラムを開発し、左乳房部の制御点を座標変換によって右側に移して、すべての乳房を右乳房として扱っ

た。この結果、研究対象となる乳房は284個になった。図5に、被験者らに着用させたブラジャーを示す。

Fig. 5 A full-cup brassiere used for measurement

筆者らの着装シミュレーションの手法は、まず、着用前の制御点位置と着用時の制御点位置の関係を重回帰分析し、相関係数の大きい非線形回帰式を探索して、その結果をシミュレーションに用いるというものである。予備研究の結果では、たとえ乳房サイズが同程度であっても、よい回帰関数を得ることは難しかった[7][8]。この理由は、乳房ごとの柔らかさの差にあると考え、分析とシミュレーションに乳房の柔らかさに関する情報を導入する必要があることを示唆した[8]。

今回、筆者らは、乳房の柔らかさ指標に基づいて左右合計284個の乳房を「Ⅰ: 柔らかい($1 \leq S < 1+2/3$)」、「Ⅱ: 普通($1+2/3 \leq S < 1+3/4$)」、「Ⅲ: かたい($1+3/4 \leq S \leq 3$)」の3つのクラスに分類し、(ⅰ)全乳房を一緒に扱う場合と(ⅱ)柔らかさのクラス別に扱う場合に分けて検討した。表1にそれぞれの場合について分析とシミュレーションに利用した乳房の個数を示す。いずれの場合も284個の乳房から所定の個数をランダムに選択して分析用とし、残りをシミュレーションに用いた。

Table 1 Number of breasts for analysis and simulation

		Softness of Breasts		
	All	I :Soft	II :Medial	III :Stiff
(i)	258(26)	—	—	—
(ii)	—	114(10)	116(12)	28(4)

Numbers in the parentheses indicate those of breasts used for simulation

3.3 着装に伴う形状変化の重回帰モデル

既述のとおり、本研究ではブラジャー着用前の乳房形状が着用によってどのように変化するかを回帰モデルで表現し、最終的に得られたモデルをブラジャー着用時の乳房形状の予測(シミュレーション)に利用する。本研究で採用したのは非線形重回帰モデルで、着用時の任意の制御点の一つの座標値を目的変数、着用前の同じ制御点とその周

辺の少数個の制御点の 3 次元座標値を説明変数とするものである。任意の制御点 V_i の座標値の一つを $c_i \in \{x_i, y_i, z_i\}$ ($i=1, 2, 3, \dots, 49$), c_i の集合を c , 着用後の同じ制御点の座標値を c'_i とするとき, 重回帰モデルは一般に,

$$c'_i = f_k(c) \quad (2)$$

で表される。式 (2) の c は, 実際にはその部分集合を用いる。これは, 着用時のモデルの制御点が着用前のモデルと同じ制御点とその周辺の制御点の座標により決まると考えられるからである。図 6 に, 説明変数に含める制御点が 7×7 の制御点配置に占める範囲を示す。これらが 49 制御点外になる場合も, 元の人体モデルを参照して, その座標値を利用した。

Fig. 6 Control points used for interpreting a coordinate value c'_i of one control point V'_i

k は, 回帰関数の型を示し, 本研究では, 線形関数および非線形関数から成る f_1 から f_{15} の 15 種類の関数を導入した。 k が大きくなると, 項数や変数の次数が増えるようにした。試行錯誤を経て, 非線形回帰式には二乗と平方根の項を含めた。 f_1 は, 最も単純な回帰関数で,

$$c'_i = f_1(c) = a_0 + a_1 c_i \quad (3)$$

で与えられる。また最も複雑な f_{15} は, 式 (4) のように表した。

$$f_{15} = a_0 + a_1 x_i^{1/2} + a_2 x_{i1}^{1/2} + a_3 x_{i2}^{1/2} + a_4 x_{i3}^{1/2} + a_5 x_{i4}^{1/2} + a_6 y_i^{1/2} + \dots + a_{15} z_{i4}^{1/2} \quad (4)$$

以上 15 種の回帰モデルを用いて表 1 の分析用とした乳房の制御点の計 49×3 の座標値を分析し, 得られた式の中で, 相関係数が 0.90 以上で, しかも項数の少ない関数を各制御点座標ごとに探索する。なお, 相関係数が 0.90 に達しない場合は, 相関係数が最大の式を採用することにした。

3.4 重回帰分析の結果

表 1 の「乳房の柔らかさ」のクラスごとに 3.3 で述べた回帰分析を $f_1, f_2, \dots, f_{15}$ の順に行い, 相関係数が最初に 0.90 以上になった回帰関数を, 着用前と着用後の体形の関係づけるものとして採用した。この結果, 3.2 の(i)および(ii)の柔らかさのクラスごとに 147 の回帰関数を得た。図 7 は $f_1 \sim f_{15}$ が総計 588 (147×4 クラス) の関数の中に何回選ば

れたかを表したヒストグラムである。比較的複雑な回帰関数が多数回選択される傾向があり, 項数の少ない単純な式では着用時の乳房形状を予測することが難しい。図 7 の関数のうちより選択頻度の高かった 5 個のうち f_{15} を除く 4 つの関数を式(5)~(8)に示す。

Fig. 7 Histogram of regression functions

$$f_{11} = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^{1/2} \dots + a_9 z_i^{1/2} \quad (5)$$

$$f_{12} = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_{i1} + a_3 x_{i2} + a_4 x_{i3} + a_5 x_{i4} \dots + a_{15} z_{i4} \quad (6)$$

$$f_{13} = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^{1/2} + a_4 x_{i1} + a_5 x_{i1}^2 + a_6 x_{i1}^{1/2} \dots + a_{15} x_{i4}^{1/2} \quad (7)$$

$$f_{14} = a_0 + a_1 x_i^2 + a_2 x_{i1}^2 + a_3 x_{i2}^2 + a_4 x_{i3}^2 + a_5 x_{i4}^2 + a_6 y_i^{1/2} \dots + a_{15} z_{i4}^2 \quad (8)$$

Fig. 8 Maximal correlation coefficients of regression functions for x , y and z coordinates at the 49 control points

図8は、49制御点の座標ごとに、得られた回帰関数の相関係数の分布を上から(a)全乳房、(b)柔らかい、(c)普通、(d)固いの順に、また、左から x 、 y 、 z 座標の順に図化したものである。その結果、ほとんどの座標で0.7を超える相関係数を持つ回帰式が得られた。すべての乳房を一括して分析した場合の相関係数の分布(a)は、柔らかさが「普通」のクラスの場合(c)と非常に似た結果となった。しかし、(a)を(ii)全体と比較すると乳房を柔らかさで3分した効果が現れている。

一方、座標間で比較すると x 座標値が y と z 座標値に比べ、相関係数がやや低かった。また、固い乳房で相関係数が非常に高くなったが、これは分析用のサンプル数が少なかったことに加えて、若年者の固い乳房では比較的少ない形状変化でブラジャー着用時の形状に近づけられることに

よられると思われる。乳房の部位で見ると、 x 座標の相関係数はアンダーバスト点付近から正中寄りで0.7に満たない箇所があった。また z 座標については急激に形状が変化する腋から上腕にかけての領域で相関係数が低かった。

4. ブラジャー着装シミュレーション

4.1 シミュレーション手法と結果

3.3で述べた回帰分析によって得られた最良の回帰式を、シミュレーション用にとっておいた乳房に適用し、裸体時の乳房の制御点がブラジャー着用によってどのように変化するかを予測する着装シミュレーションを行った。手法としては、被験者の裸体時の右側と左側（座標変換により

Fig. 9 Results of simulation of wearing a brassiere

右側として取り扱い)の乳房の制御点座標値を各回帰式に代入して、ブラジャー着用時の制御点座標値を算出し、得られた制御点(左側乳房は座標変換で左側に戻す)を裸体時のものと交換する。

この結果、乳房部だけでなく体幹部全体を表示できるようになった。得られたシミュレーション結果から4例を図9に示す。(a)から順に、「全乳房」、「柔らかい」、「普通」、および「固い」クラスのもので、また左側から順に裸体時のモデル、装着シミュレーションの結果、そして同じ被験者がブラジャーを着用した時のモデルである。

着用後のモデルと装着シミュレーション結果の類似度が高いほど良いシミュレーションであると評価できる。図9に示した被験者の場合は、着用時のモデルとシミュレーション結果は見た目に非常によく似ている。特に、ブラジャーを着用した時のバストアップ効果と前方向への乳房膨大の効果がシミュレーション結果にも現われていることが見て取れる。他の被験者の場合も含め、実際にブラジャーを着用した形状をかなりの程度推定可能なことが判明した。なお、4.2で以上のシミュレーション手法を評価するために、最良の回帰関数を決定するための重回帰分析とシミュレーションを5回反復した。毎回、表1に掲げた数の分析用とシミュレーション用の人体モデルを乱数に基づいてランダムに選択した。

4.2 装着シミュレーション結果の評価

シミュレーション手法の評価を定量的に行うために、ブラジャー着用時とシミュレーション結果より、胸部の側面および水平面シルエットを求め、両者の誤差を算出することにした。しかし、1回の回帰分析とその結果によるシミュレーションのみでは、選ばれたシミュレーション用の人体モデルによっては誤差の出方が片寄る可能性があり、適正な評価を行うことが困難である。4.1で分析とシミュレーションを反復したのは、統計的にも妥当な評価を行うためである。

乳房表面に z 方向から見て垂直(y)方向に15、水平(x)方向に30の合計450の格子点を定義し、各点におけるブラジャー着用時のモデルとシミュレーション結果の z 座標の差を求めた。各垂直、水平格子点列での差の平均値を誤差と定義した。乳房1個について45の誤差が得られ、これを4.1で述べた5回にわたるシミュレーションのクラス別に平均して、垂直格子点列、水平格子点列での平均誤差 E を求めた。その結果を表2に示す。

また、図10は3クラスから1例ずつを選び、乳房の再突出点に最も近い垂直格子点列と水平格子点列の位置を示したもので、それぞれ側面シルエット、上から見下ろした場合の水平シルエットに相当する。上から順に「柔らかい」、「普通」、「固い」クラスのものである。まず、すべての乳房を一括に分析した結果を利用したシミュレーションでの誤差(i)が最大であった。

Fig. 10 Comparison of breast silhouettes between brassiere wearing models (●) and simulated brassiere-wearing figures (×)

これは、3.4で見た相関係数がある程度反映していると考えられる。また、(ii)では、分析用の乳房個数が少なかった「固い」乳房で誤差が最大となった。サンプル数が増えれば、この値は小さくなると期待できる。なお、図10で分かるように、誤差が大きく現れている箇所は主に z 座標値が急激に変化している部分にある。しかし、シルエットを視覚的に比較する場合には誤差はそれ程目立たない。

Table 2 Average estimation error E for the three classes of breast softness

		All	I : Soft	II : Medial	III : Stiff
No of subjects	N^*	13	5	6	2
E [mm]	(i) Side	6.22	—	—	—
	Horizontal	5.61	—	—	—
	(ii) Side	5.78**	5.12	6.06	6.6
	Horizontal	5.15**	4.68	5.34	5.81

*The number of the breasts used for averaging are 2Ns.

**Averaged over "Soft", "Medial" and "Stiff"

乳房の形状、位置、サイズは多様であり、同じ回帰関数により平均5.5mm程度の誤差でブラジャー装着形状が推

定できたことは、乳房の柔らかさに応じて異なる回帰関数を探索したことの効果の現れと考えられる。

5. 結言

人体3次元形状モデルによって体形を表現し、そのうち乳房部形状を決定する49の制御点を利用してブラジャー着用によって乳房部の形状がどのように変化するかを予測する方法を提案した。このために、乳房の「柔らかさ」情報によって乳房を「柔らかい」、「普通」、「固い」の3つのクラスに分類して着用前後の体形の変化を回帰分析し、相関係数の大きい回帰関数を得た。この手法を分析に使用していない乳房に適用してブラジャー装着シミュレーションを行ったところ、視覚的にも数値的な評価においても非常によいシミュレーション結果が得られた。

本法の利点は、シミュレーション結果がすでにブラジャー形態や厚みを織り込み済みであることである。従って、シミュレーション結果の体表にブラジャーの画像をマッピングすれば、デザイン過程で、あるいは店頭で顧客に提示可能な状態になる。画像マッピング手法は現在開発中である。

今後は、さらに予測誤差を小さくする方法を検討し、実行に移したい。これらの手法は、ガードルなどの補整下着にも適用可能な筈である。

謝辞

日頃、共同研究を進める上で貴重な議論やデータの提供を頂いている(株)ワコール人間科学研究所に、また、人体計測に協力していただいた被験者の皆様に謝意を表する。

References

- [1] Choi, D-E., Kurokawa, T.; Proc. 6th Asian Design International Conference, G20, CD-ROM (2003)
- [2] Hiramatsu, H.; J. Text. Mach. Soc. Japan, **54**, 23 (2001)
- [3] Kurokawa, T., Shinozaki, A.; Simulation, **13**, 10 (1994)
- [4] Eiji, Y., Fumio O., Kurokawa, T., Taizou, K., Akio, S.; Research Report of Cooperative Research Center, Kyoto Institute of Technology, **6**, 23 (1997)
- [5] Kurokawa, T.; J. Soc. Instrum. Control Engng., **32**, 77 (1997)
- [6] Research Institute of Human Engineering for Quality Life; Japanese body size Data 1992-1994 (1997)
- [7] Jiang, Z., Choi, D-E., Kurokawa Takao.; Human interface Society, 6th Nonverbal interface. Soc, 25 (2002)
- [8] Choi, D-E., Jiang, Z., Kurokawa T.; Proc. 15th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, PD-06-4, CD-ROM (2003)