

## バーチャル試着システムのための一手法

松田亮治

matsuda@toubu-kg.pref.hiroshima.jp

福山大学工学部

〒729-02 福山市東村町三蔵985

西田友是

nis@eml.hiroshima-u.ac.jp

今岡春樹

imaoka@narams.cc.nara-wu.ac.jp

奈良女子大学生生活環境学部

〒630 奈良市北魚屋西町

バーチャル試着システムは、試作、試着を実際に行うことなくコンピュータ上で衣服の着装形状（試着形状）を予測しCGで視覚化することを基幹技術とし、さらに発展させて現実には見ることができない着装時の衣服圧や人体形状の特徴をも可視化するものである。本稿ではシステムを構築してゆくために衣服の着装形状を予測し視覚化する手法を提案する。この手法においては、第一に人体の姿勢変化に対応できること、第二に多様な服種に対応できること、第三に衣服素材の持つ力学的な特性を着装形状予測の入力情報として取り扱えることが特徴である。

## An Approach to Develop Virtual Try-on System

Ryouji Matsuda

Tomoyuki Nishita

Haruki Imaoka

Faculty of Engineering

Fukuyama University

Higashimura-cho, Fukuyama, Hiroshima, 729-02 Japan

Faculty of Human Life and Environment

Nara Women's University

Kitauyanishi-machi, Nara, 630 Japan

Key technique of virtual try-on system are the prediction of wearing shape of garments without a sample making and a try-on, and rendering it by computer graphics. In addition, the other technique of virtual try-on system are the visualization of pressure by garments and the feature of the human body shape that can't be watched in reality by computer graphics. We propose a method which can predict wearing shapes of garments. The advantages of this method are as follows: 1) the prediction of wearing shapes corresponding to various posture of the human body, 2) the prediction corresponding to various kind of garments, 3) the input of the mechanical properties of garments material for the prediction.

## 1 はじめに

バーチャル試着システムは、衣服設計案を元に従来、試作、試着を行わなければ知ることができなかった着装形状（試着形状）や現実には見ることのできない着装時の衣服圧の分布を予測し、人体形状の特徴と共にデザイナーやパタンナーに3次元の視覚情報を与えてくれる。これは、これらの専門家による衣服設計の効率化と付加価値の高い製品づくりには不可欠なものになる。また、商品販売の場ではオーダーメイドの商品を中心に着装形状や着心地等の情報を事前に消費者に与えることで、満足度の高い商品購入や販売促進に効果をもたらす。その中で、衣服の着装形状を予測する着装シミュレーションの手法を提案する。人間は常に動作していることから、姿勢変化に対応した多様な衣服の着装シミュレーションの開発では、まず衣服が人体に接触し変形するシミュレーションの計算で利用でき且つ姿勢変化する人体モデルが必要とされるが、これらの条件を満たすためメタボールを用い、メタボールの融合に独自の工夫を加え構築した。次に人体モデルに衣服を着付けるための着付面をモデルの周囲に設定し、それに衣服を着付け、着装シミュレーションの入力として不可欠な衣服の初期形状を作製した。従来、Carignanら[1]は型紙に相当する平らなパネルを人体を挟むように空間に配置し、相対するパネルの縫合線上の点を人工的に縫合力なる力を作用させ、接合し衣服とするという着付けを行っているが、汎用的でない部分がある。着付けは服種に依存するが、できるだけ汎用性を持つよう着付法を工夫した。

### 2 メタボールによる形状の融合と非融合の操作

コンピュータグラフィックス（以下CGと略す）のプリミティブであるメタボール[2]は近づくと滑らかに融合する特徴を持っている。図1に示すように、3次元空間内に隣合わせた3つのメタボールA、B、Cがあるとする。これを例えば体幹部、右下肢部、左下肢部と想定すると、人体構造よりメタボールAとBを融合し、メタボールAとCを各々融合させたいが、実際に融合させると、図2のようにメタボールBとCも融合する。即ち、体幹部と右下肢部、体

幹部と左下肢部を各々融合しようとすれば、右下肢部と左下肢部も融合してしまう。腋や内股等実際の人体では分かれている部分でも融合してしまうのは、単に不自然なばかりでなく着装状態を予測する上でも不都合である。

そこで、体幹部を想定したメタボールAと同じ中心座標と形状パラメータを持つ、メタボールA'を作製する。メタボールAとBを融合し、メタボールA'とCを融合すれば、図3に示すように右下肢部のメタボールBと左下肢部のメタボールCを分割することができる。

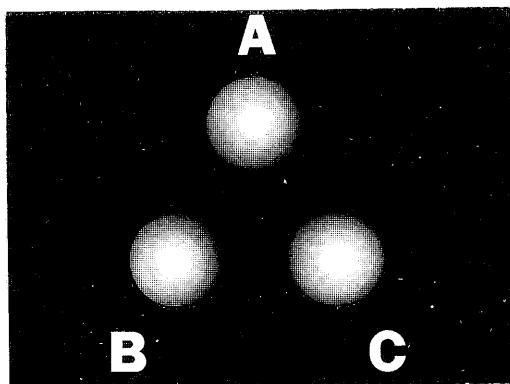


図1 融合前のA、B、Cのメタボール

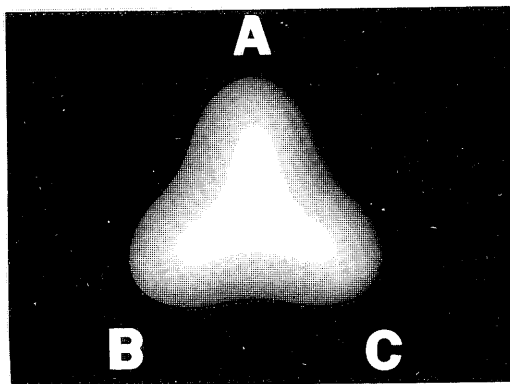


図2 メタボールBとCも融合してしまった状態

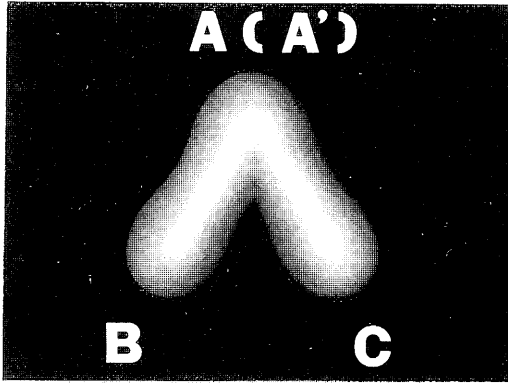


図3 メタボールBとCを分割できた状態

### 3 人体形状のモデリング

3次元の人体モデルの構築にあたっては、小原ら[3]の人体計測の資料から成人女子の立位の裸体スケッチ等を採用した。その図上の身体各部に球および楕円体を配置し、中心座標、X、Y、Z方向の半径、傾きを座標読取器（タブレット）を用いて計測した。次に、それらの計測データを元にメタボールおよびメタ楕円体（メタボールと原理は同じで、X、Y、Z方向の半径が異なる）を、提案した形状の融合と非融合の操作に基づきながら球および楕円体から置き換えて、つぎのような手順で人体モデルを構築した。1）頭部（頸部を含む）、胸部、腹部（腰部を含む）で体幹部をつくる。2）肩部、上腕部、前腕部、手部で上肢を構成する。3）大腿部（臀部を含む）、下腿部、足部で下肢を構成する。4）肩関節、股関節を中心に上肢と下肢を体幹部に結合し完成させる。なお、衣服の着装形状に影響を及ぼさない頭部、手部、足部は簡略化し、全体として100個程のメタボールおよびメタ楕円体（以下メタ楕円体を含めメタボールと記す）でモデルを構成した[4]。図4に人体モデルを示す。

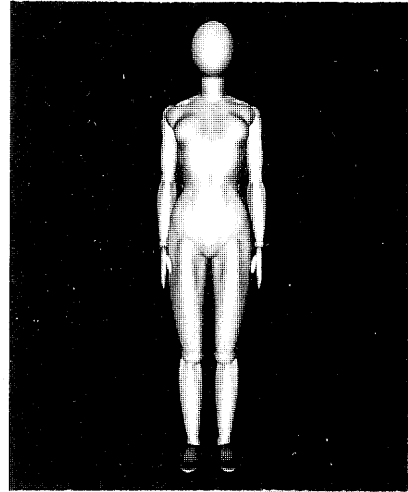


図4 人体モデル

するが、人体の表面を越えて内部に入れず釣り合っている状態である。衣服と人体の接触問題を解決するには、まず3次元空間上の衣服モデルの任意の点が、人体モデルの体内にあるのか体外にあるのかを判定できなければならない。次に体内に衣服モデルの点がある場合、その点を人体モデル表面まで押し戻すため、点に働かせる接触抗力を求める必要がある。メタボールでつくった人体モデルでは、衣服の任意の点が体外にあればその点におけるメタボールの濃度が1未満の値（メタボールは内部から外部に濃度分布を持つが、メタボールの表面を決定する濃度のしきい値が1の場合）をとり、反対に体内にあれば1以上の値をとるので、体内外判定が可能である。

今、メタボールの濃度分布を考える。メタボールの全てが融合するという従来の方法では、 $n$ 個のメタボールの数だけ濃度分布関数  $f_i(x, y, z)$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) が存在し、3次元空間上の任意の点  $P(x, y, z)$  における濃度  $W$  は、融合する複数のメタボールの濃度の総和として次のように記述される。

$$W = \sum_{i=1}^n f_i(x, y, z) \quad (1)$$

$W < 1$  が不可視となり、 $W = 1$  の点の集合が複数のメタボールが融合した形状として見える。

### 4. 衣服と人体の接触問題

衣服の着装形状は衣服が重力により落下しようと

一方、上述したように融合すべき部分と融合すべきでない部分をグループ化し、グループ内でのみ融合させ構築した人体モデルは  $p$  個の身体部分（グループ）でできており、身体各部はそれぞれ濃度関数  $f_{ij}$  を持つメタボール  $m_{ij}$  が  $n_i$  個集まって構成されているとすると、3次元空間の任意の点  $P(x, y, z)$  の濃度  $W$  は次のように記述される。

$$W = \text{Max}_{i=1 \rightarrow p} \left( \sum_{j=1}^{n_i} f_{ij} \right) \quad (2)$$

$j$  : グループを構成するメタボールの番号

また、各メタボールの濃度勾配を  $\nabla f_{ij}$  とすると、必要な接触抗力 ( $C_x, C_y, C_z$ ) は点が体外にある時は0、体内にある時は次のように求めることができる。3次元空間の任意の点  $(x, y, z)$  での濃度の最大値  $W$  を求める式1で、最大の濃度を持つのが  $p$  個の身体部分の内  $q$  番目の部分であるとする

$$W = \sum_{j=1}^{n_q} f_{qj} \quad \text{と表され、接触抗力は}$$

$$(C_x, C_y, C_z) = -k \cdot \left( \sum_{j=1}^{n_q} \nabla f_{qj} \right) \quad (3)$$

ただし、 $k$  は比例定数である。

## 5 姿勢変化に対応した服種ごとの着付法

### 5.1 基本的な着付法

解剖学あるいは運動学を参考に、頸椎点、仙骨[5]、肘関節、手関節、膝関節、足関節を中心とした円盤と、被服構成学を参考にバストライン上、ウエストライン上、アームホールライン上に各々円盤を設ける。これらの円盤は中心とする関節と同様に、運動学的にひとつ上位の関節（例えば肘関節に対して肩関節）を中心回転移動する。これらを複数組み合わせ、円盤どうしをつなぐような円筒状の着付面を体の周囲に設定する。この着付面に衣服を割り付け、着装シミュレーションの入力として不可欠な衣服の初期形状を作製する。

### 5.2 長袖上衣の着付法

衣服は、型紙よりつくられた縫製パーツで構成されている。長袖上衣では、身頃と袖に分かれるが、まず、人体モデルに長袖を着付けるための着付用円

盤と着付面を図5に示す。アームホールライン上の円盤と肘関節を中心とした円盤をつなぐ着付面に袖の上部を割り付け、同様に肘関節を中心とした円盤と手関節を中心とした円盤をつなぐ着付面に袖の下部を割り付ける。後のシミュレーションの計算において割付けの段階で人体モデルの体内に侵入した衣服の部分があっても、体表面まで押し戻されるように接触の計算がなされるが、割付けの段階で衣服が極端に体内に侵入した場合や、体を突き抜けてしまった場合には正しく計算されない。図6に身頃の着付用円盤と着付面を示す。身頃の着付けには5個の

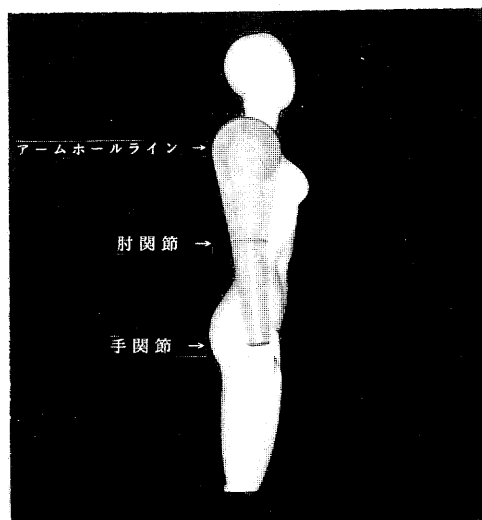


図5 長袖の着付用円盤と着付面

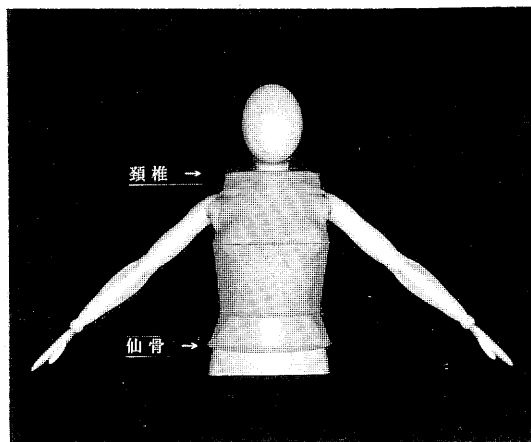


図6 身頃の着付用円盤と着付面

円盤を用いる。頸椎点を中心に同じであるが、半径の異なる二つ円盤を水平に設け、内側の円盤の円周に身頃のネックラインを割り付ける。そして、その円盤と外側の円盤、バストライン上の円盤、ウエストライン上の円盤、仙骨を中心とした円盤（図6で、ウエストライン上の円盤の直下に設けられている）それぞれをつなぐ円筒の着付面を通り、仙骨の円盤の円周に裾がくるように身頃を割り付ける。

着付面に衣服を割り付けると述べたが、割り付けるためには着付面のどの部分に実際の衣服のどの部分を割り付けるか具体的に指定しなければならない。一般に、衣服を記述する点はこれら円筒状の着付面のいずれか一つに割り付けられる。問題を単純化するために図7に示す上下二つの着付用円盤の場合を考える。型紙を元にした袖や身頃等の縫製パーツの任意の点は通常2次元座標で表されるが、半径を考えない正規化された円筒座標  $(u, \theta)$  に変換する。但し、 $0 \leq u \leq 1$ 、 $0 \leq \theta \leq 2\pi$  である。この変換法は岡部らの方法[6]を援用した。これは複雑な形状を持つ縫製パーツを単純な形状の着付面に強制的に割り付けるための方法であるが、この円筒座標  $(u, \theta)$  を使って着付面での空間座標  $P(u, \theta)$  を次のように指定できる。まず円盤の起点からの角度  $\psi$  を変数として円盤の円周上の点の空間座標を  $x_u(\psi)$ 、 $y_u(\psi)$ 、 $z_u(\psi)$  とする。円盤の起点は一定で

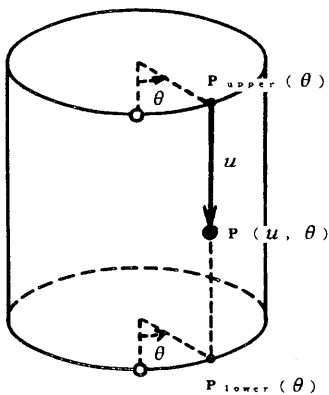


図7 着付面における衣服の割り付け

あるが、着付けの起点は服種により異なる。ここでは、円盤の起点と着付けの起点を一致させ  $\psi = \theta$  として、 $u = 0$  の場合には上の円盤の円周を用いて着付面への割り付けを

$$P_{upper}(\theta) = (x_0(\theta), y_0(\theta), z_0(\theta)) \quad (4)$$

と定める。 $u = 1$  の場合には、下の円盤の円周を用い、同様に、

$$P_{lower}(\theta) = (x_1(\theta), y_1(\theta), z_1(\theta)) \quad (5)$$

と定める。縫製パーツの任意の点  $(u, \theta)$  の着付面における空間座標  $P(u, \theta)$  は、

$$P(u, \theta) = (1-u) \cdot P_{upper}(\theta) + u \cdot P_{lower}(\theta) \quad (6)$$

着付面の二つの円盤は平行の関係とは限らないが、その場合でも式は適用できる。

図8に長袖上衣の着付けの起点と方向を示す。身頃は、ボタンやファスナー等前開きのものが多いので、人体の正中面と円盤の円周との前方での交点を起点とし、左回りに割り付けるようにした。袖は内側に縫合線がくるので、腋か点から手首囲内側の中点を結ぶ線と関節上の円盤の円周との交点を起点とし、同様に左回りに割り付けるようにした。これらの操作で得られたシミュレーションにおける長袖上

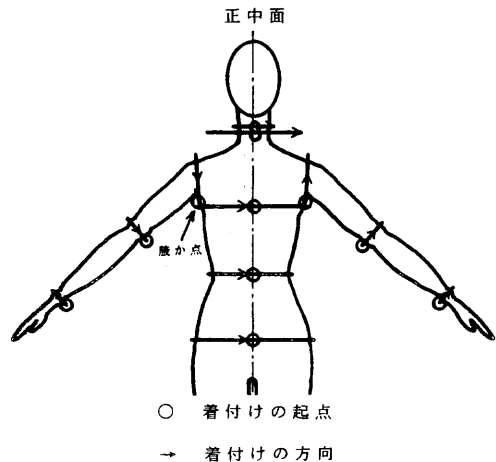


図8 長袖上衣の着付けの起点と方向

衣の初期形状の例を図9に示す。後のシミュレーションの計算で、強制的に割り付けられていた衣服は速やかにそのものの持つ本来の形状に戻る。

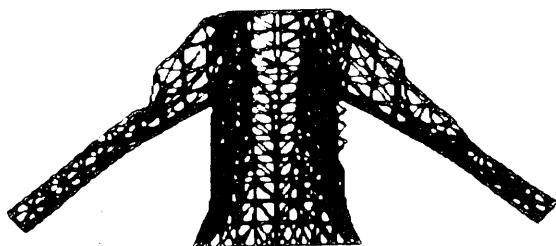


図9 長袖上衣の初期形状の一例

### 5. 3ズボンの着付法

ウエストライン上および仙骨を中心とした半円盤と膝関節および足関節を中心とした円盤、それらの円弧および円周をつないだズボンの右身頃の着付面を図10に示す。図でウエストライン上の半円盤の直下にあるのが仙骨を中心とした半円盤である。ウエストライン上および仙骨に半円盤を用い、膝関節に円盤を用いているので、着付面は図で示されるように股下で空白になっているが、シミュレーション



図10 ズボンの右身頃の着付面

用のズボンの右身頃は実際のズボンと同様に前後の縫製パーツが互いに縫い合わされて円筒形状を持っている。したがって、空白部分は前後のパーツの縫合部分がそこで極端に引き伸ばされた初期形状になっているが、シミュレーションが行われると瞬時に自然な形状に戻る。

### 6 姿勢変化に対応した服種ごとの着装形状予測の結果

考案したこれらの着付法を、着装シミュレーション（アルゴリズムの基本的な部分は今岡、岡部[7]のものを援用した）に導入し、着付法の良否を評価するため、人体モデルの様々な姿勢変化に対応した着装状態を服種ごとに予測した。着装シミュレーションは衣服素材の力学的特性、型紙形状、人体形状等をコンピュータに入力して衣服の着装形状を予測するものである。図11の型紙で作製されたシンプルなデザインの長袖上衣を、立位正常姿勢から肩関節を中心に腕を左右に45°上げた状態の人体モデルに着用させ、その状態を図12の(a)に正面図で、(b)に右側面図で示す。また、立位正常姿勢から一歩右足を踏み出した姿勢の人体モデルに、図13の型紙で作製されたズボンを着用させ、その状態を図14に示す。どの着装状態においても衣服が体に入り込んでしまっているとか、体から離れた位置に浮いているような状態は認められず、モデルの形状に沿った衣服形状になっていることがわかる。例えばズボンの場合、現実の世界では踏み出した右足側の身頃は、大腿部、下腿部、足部の前側の形状に沿い、逆に、左身頃は左足の大腿部、下腿部、足部の後側の形状に沿った形に変化するが、予測した着装状態においても同様な結果が得られ、このことは衣服と人体モデルの接触の計算が適切になされていることを支持するものである。これら服種ごとの着装状態の予測に用いた素材は同一で、用いた力学的特性値を表1に示す。なお、図12で袖に若干なめらかさが欠けているのは、腕の太さに対して衣服を構成している3角形要素が比較的大きく、その結果腕の形状に沿うために、その部分を被っている隣接する3角形要素どうしの曲率が大きくなり、凸凹の輪郭が目立ってしまったのである。計算コストと相反

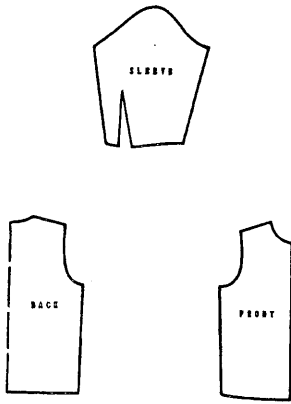


図11 長袖上衣の型紙

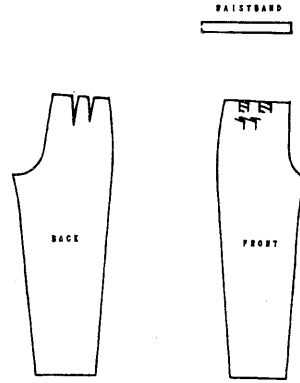
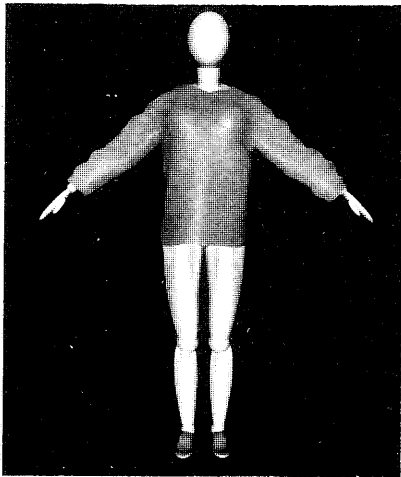
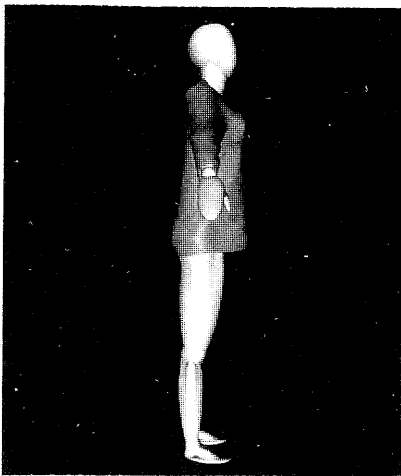


図13 ズボンの型紙

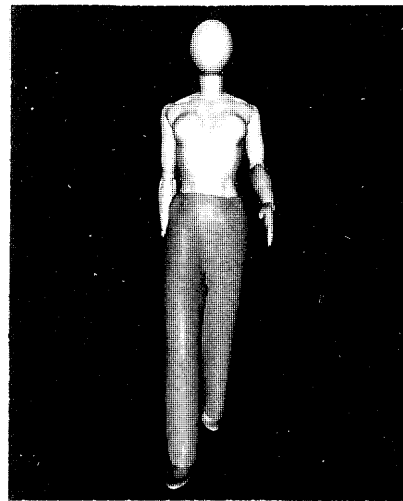


(a) 正面図

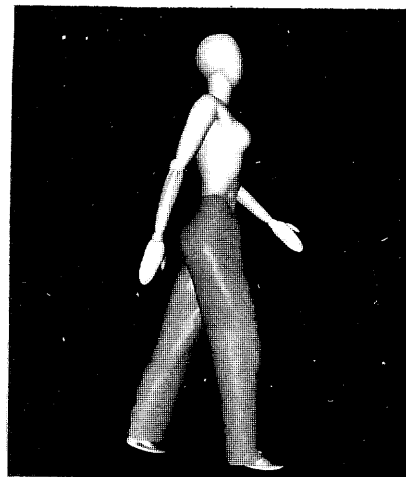


(b) 右側面図

図12 長袖上衣の着装シミュレーションの結果



(a) 正面図



(b) 右側面図

図14 ズボンの着装シミュレーションの結果

表1 用いた衣服素材の力学的特性

Tensile rigidity (gf/cm)		Shearing rigidity (gf/cm·degree)	Bending rigidity (gf·cm <sup>2</sup> /cm)			Weight (gf/cm <sup>2</sup> )
Warp	Weft	Mean	Warp	Weft	Bias	
2440.0	2420.0	1.38	0.147	0.108	0.102	0.029

するが3角要素の大きさを小さくすれば解消され  
ると考えられる。

### 7 おわりに

衣服が人体に接触し変形する着装シミュレーションの計算で利用でき且つ姿勢変化する人体モデルを構築し、次に目的の姿勢に対応した着付面を設けそれに衣服を着付けるという方法で、姿勢変化に対応した服種ごとの着装形状の予測が行えるようになった。さらに基本的な服種の着付けを組み合わせることで、例えば上衣とズボンの組合わせでつなぎ服の様に、多様な衣服の着装形状の予測も可能になった。

[7]今岡春樹, 岡部秀彦, 赤見 仁, 渋谷博夫, 相坂 登, 富羽高子, 山田正徳, 繊維学会誌: 衣服  
立体形状予測法; Vol. 45, No. 10, p. 420-425 (1989).

### 参考文献

- [1] M. Carignan, Y. Yang, N. M. Thalmann and D. Thalmann: Dressing Animated Synthetic Actors with Complex Deformable Clothes; Proc. SIGGRAPH'92. Computer Graphics, Vol. 26, No. 2, pp. 99-104 (1992).
- [2] 西村仁志, 平井 誠, 河合利幸, 河田 亨, 白川 功, 大村浩一: 分布関数による物体モデリングと画像生成の手法; 電子通信学会論文誌, J68-D, No. 4, pp. 718-725 (1985).
- [3] 小原二郎, 内田 謙, 上野義雪, 八田一利: 人体を測る; 日本出版サービス, pp. 32-47 (1986).
- [4] 松田亮治, 今岡春樹: 衣服設計のための適度球を用いた人体形状モデリング; 繊維学会誌, Vol. 50, No. 5, p. 221-228 (1994).
- [5] 岡壁治子: 被服のための人間因子; 日本出版サービス, pp. 25-27 (1991).
- [6] 岡部秀彦, 今岡春樹, 渋谷博夫, 赤見 仁: 計算機による平面型紙から立体衣服の構造への変換—縫製と着付けのシミュレーション; 繊維学会誌, Vol. 44, No. 3, p. 129-136 (1988).