一般報文

(平成元年 3 月 11 日受理)

衣服立体形状予測法

繊維高分子材料研究所 今岡 春樹・岡部 秀彦・赤見 仁
 渋谷 惇夫・相坂 登
 東レ株式会社エンジニアリング研究所 富羽 高子
 東レ株式会社アパレルコンピュータシステム室 山田 正紘

PREDICTION OF THREE-DIMENSIONAL SHAPES OF GARMENTS FROM TWO-DIMENSIONAL PAPER PATTERNS.

By Haruki Imaoka^{*1}, Hidehiko Okabe^{*1}, Takako Tomiha^{*2},
 Masahiro Yamada^{*3}, Hitoshi Akami^{*1}, Atsuo Shibuya^{*1} and Noboru Aisaka^{*1}

^{*1} (Research Institute for Polymers and Textiles, 1-1-4, Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305, Japan)

^{*2} (Engineering Research Laboratories, Toray Industries Inc., 1-1-1, Sonoyama, Otsu, Shiga, 520, Japan)

^{*3} (Apparel Computer System Department, Toray Industries Inc., 2-2, Nihonbashi, Muromachi, Chuo-ku, Tokyo, 103, Japan)

ABSTRACT

We developed a three-dimensional apparel CAD system which simulated sample making and draping processes. In this paper, we explain the sample making system. Using this system, we can predict the shape of garment without actually making and fitting it. The basic idea for the system is that the natural shapes of garments are determined by four main factors, namely, mechanical properties of material fabrics, geometrical and topological shapes of paper patterns, shape of the human body and the way of dressing. The predicted shape of a garment changes according to these four factors. For example, there is some difference between the same pattern worn by different persons. Here we focus on the mechanical formulation of paper patterns and garments. To formulate them, we use the finite difference energy method which is one of the finite element discretization procedures. In terms of structure analysis, to predict the shape of garments is a large deformation and contact problem. To solve the large deformation problem, total Lagrangian formulation is employed in which 2nd Piola-Kirchhoff stress and Green-Lagrange strain are used. As for the contact problem, the existence of the human body is interpreted as a constraint condition. So, we describe the formulation of body surface. Finally we give some examples to show that this system is applicable to a wide range of garments.

(Received March 11, 1989)

1. 緒 言

アパレル分野において実用化されている CAD システムは、パターンメイキングの一部(平面製図)、工業用パターンメイキング、グレーディング、マーキングが主なもので、2次元 CAD システムとして位置づけられる。これに対して、パターンメイキング(ドレーピン

グ)、サンプルメイキングを取り扱う CAD は、3次元を対象としているので3次元 CAD システムとすることが出来る。ドレーピングは3D(3次元)→2D(2次元)変換が主体であり、サンプルメイキングは2D→3Dが主体となる¹⁻⁴⁾。

我々が開発したサンプルメイキング用 CAD システムは、実際に衣服を作り、着用してみることなしに、その

立体形状を予測しようとするものである。

本論文では、衣服立体形状予測システムの中で、解析部分を中心に述べる。前処理部分については、すでに報告した^{5), 6)}。また3次元空間上の2次元物体である布の力学的定式化についてもすでに報告している⁷⁾。ここでは、実際に衣服を近似表現するための基本となる面要素による定式化、制約条件として用いる人体形状の定式化について述べる。さらにいくつかのシミュレーションによる応用例を示す。

2. 理 論

2.1 ポテンシャルエネルギー

既報⁷⁾で述べたように、3次元空間上の2次元物体である布を、曲線座標 (u, v) を動座標とし (x, y, z) を空間座標とする記述方式で表現する。布上の点の位置ベクトル $\mathbf{r} = \mathbf{r}(u, v)$ とするとひずみの定義式は(1)式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_u &= \frac{1}{2}(r_u^2 - 1) \\ \epsilon_v &= \frac{1}{2}(r_v^2 - 1) \\ \epsilon_{uv} &= (r_u, r_v) \\ \kappa_u &= -(r_{uv}, \omega) \\ \kappa_v &= -(r_{vv}, \omega) \\ \kappa_{uv} &= -(r_{uv} + r_{vu}, \omega) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

応力とひずみの関係式は(2), (3)式で表現する。

$$\begin{bmatrix} T^u \\ T^v \\ T^{uv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{E_u}{1-\nu_u\nu_v} & \frac{\nu_v E_u}{1-\nu_u\nu_v} & 0 \\ \frac{\nu_u E_v}{1-\nu_u\nu_v} & \frac{E_v}{1-\nu_u\nu_v} & 0 \\ 0 & 0 & G \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_u \\ \epsilon_v \\ \epsilon_{uv} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} M^u \\ M^v \\ M^{uv} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_u & \sigma_v F_u & 0 \\ \sigma_u F_v & F_v & 0 \\ 0 & 0 & \tau \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \kappa_u \\ \kappa_v \\ \kappa_{uv} \end{bmatrix} \quad (3)$$

これを $|T| = A|\epsilon|$, $|M| = B|\kappa|$ とし, γ を単位面積当りの重量とすると, 全ポテンシャルエネルギー U は(4)式で表せる。

$$U = \int \int \left(\frac{1}{2} |\epsilon| A |\epsilon| + \frac{1}{2} |\kappa| B |\kappa| + \gamma z \right) du dv \quad (4)$$

2.2 三角形要素による近似

ここでは、衣服を三角形要素で近似した時の、各節点の座標値からひずみを求めるひずみの導出法と、このひずみを用いて、力の釣り合い方程式に当る力の導出法について述べる。

2.2.1 差分エネルギー法⁸⁾によるひずみの導出法

三角形の各節点の座標値からひずみを求めるために、

Fig. 1 Correspondence of two dimensional configuration of a triangular element to three dimensional configuration.

面積座標を用いることにする。まず伸び, せん断に関するひずみは1次の微分だけで済むので図1に示す1個の三角形要素に対する2次元空間と3次元空間の対応関係を用いる。

2次元上の面積座標 (L_1, L_2, L_3) は(5)式で表すことができる。

$$\begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ u \\ v \end{bmatrix} \quad (5)$$

点 (u, v) に対応する3次元空間上の点 (x, y, z) は(6)式で表せる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ y_1 & y_2 & y_3 \\ z_1 & z_2 & z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

ここで(7)式による行列式を $2S$ とすると, S は三角形の2次元上での面積を意味する。

$$\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{vmatrix} = 2S \quad (7)$$

(5)(6)(7)式より例えば x について $\partial x / \partial u = x_u$, $\partial x / \partial v = x_v$ とすると(8)式が求まる。

$$x_u = \frac{1}{2S} (v_{23}x_1 + v_{31}x_2 + v_{12}x_3) \quad (8)$$

$$x_v = \frac{1}{2S} (u_{32}x_1 + u_{13}x_2 + u_{21}x_3)$$

ただし $v_{23} = v_2 - v_3$ 等である。

これで(4)式の第1項のひずみを3次元上の節点座標を変数として表現するための定式化ができた。

なお重力に関しては、重心を代表点とすると, $(L_1, L_2, L_3) = (1/3, 1/3, 1/3)$ であるので(9)式が求まる。

$$z = \frac{1}{3} (z_1 + z_2 + z_3) \quad (9)$$

次に曲げひずみを3次元上での節点の座標値の関数と

Fig. 2 Relation of six nodes of one triangular element and three neighboring elements.

して表すことを考える。曲げひずみを表すためには2次の微分が必要なため図2に示すように1個の中心三角形と3個の隣接三角形の対応関係を用いる。

中心の三角形の面積座標を用いて検討することにする。

ここではx座標についてのみ検討するがy, z座標も同様に行うことができる。まず点1～点6までの面積座標を示す。

点1 (1, 0, 0)

点2 (0, 1, 0)

点3 (0, 0, 1)

点4 (l_1^4, l_2^4, l_3^4)

点5 (l_1^5, l_2^5, l_3^5)

点6 (l_1^6, l_2^6, l_3^6)

ここで l_i^p は点Pの第i面積座標を示す。

この6点を通る関数を(10)式に示す。

$$\mathbf{x} = (L_1 x_1 + L_2 x_2 + L_3 x_3) + [L_1(L_1 - 1), L_2(L_2 - 1), L_3(L_3 - 1)] \mathbf{T}^{-1} \begin{bmatrix} X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} l_1^4(l_1^4 - 1) & l_2^4(l_2^4 - 1) & l_3^4(l_3^4 - 1) \\ l_1^5(l_1^5 - 1) & l_2^5(l_2^5 - 1) & l_3^5(l_3^5 - 1) \\ l_1^6(l_1^6 - 1) & l_2^6(l_2^6 - 1) & l_3^6(l_3^6 - 1) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_1^4 & l_2^4 & l_3^4 \\ l_1^5 & l_2^5 & l_3^5 \\ l_1^6 & l_2^6 & l_3^6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

これから $\partial^2 x / \partial u^2 = x_{uu}$ 等とすると(11)式が求まる。

$$\begin{bmatrix} x_{uu} \\ x_{vv} \\ x_{uv} \end{bmatrix} = \frac{1}{2S^2} \begin{bmatrix} v_{23}^2 & v_{31}^2 & v_{12}^2 \\ u_{32}^2 & u_{13}^2 & u_{21}^2 \\ v_{23}u_{32} & v_{31}u_{13} & v_{12}u_{21} \end{bmatrix} \mathbf{T}^{-1} \begin{bmatrix} X_4 \\ X_5 \\ X_6 \end{bmatrix} \quad (11)$$

(10), (11)式より曲げひずみを表すための2次微分が6節点の座標値の1次関数として求まる。

2.2.2 力の導出

さて以上の議論から(4)式のポテンシャルエネルギーは差分近似により(12)式の形を取る。

$$U = \sum_j \left(\frac{1}{2} \epsilon_j |A_j| \epsilon_j + \frac{1}{2} \kappa_j |B_j| \kappa_j + \gamma_j z_j \right) S_j \quad (12)$$

ここで各節点に働く力は、Uを各節点の座標値で偏微分したものの符号を変えたものであるので、ここでは例えば $\partial U / \partial x_i$ 等を導出することにする。

まず重力項について検討する。重力項のエネルギーを E_G とすると(13)式となる。

$$\left. \begin{aligned} E_G &= \gamma z S = \frac{1}{3} \gamma S (z_1 + z_2 + z_3) \\ \frac{\partial E_G}{\partial z_i} &= \frac{1}{3} \gamma S \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

次に伸びの項について考える。

$$\left. \begin{aligned} E_e &= \frac{1}{2} \epsilon |A| \epsilon S \\ \epsilon_u &= \frac{1}{2} (x_u^2 + y_u^2 + z_u^2 - 1) \\ \epsilon_v &= \frac{1}{2} (x_v^2 + y_v^2 + z_v^2 - 1) \\ \epsilon_{uv} &= (x_u x_v + y_u y_v + z_u z_v) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

(8)式から一般に(15)式の線形式が言える。

$$\begin{bmatrix} x_u & x_v \\ y_u & y_v \\ z_u & z_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_u & b_v \end{bmatrix} \quad (15)$$

ただし $t_x = (x_1, x_2, x_3)$, $b_u = (v_{23}/2S, v_{31}/2S, v_{12}/2S)$ 等である。

係数ベクトル b_u のi成分を b_{ui} とすると(16)式が求まる。

$$\begin{bmatrix} \partial E_e / \partial x_i \\ \partial E_e / \partial y_i \\ \partial E_e / \partial z_i \end{bmatrix} = S \begin{bmatrix} r_u & r_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{ui} & 0 & b_{vi} \\ 0 & b_{vi} & b_{ui} \end{bmatrix} A |A| \quad (16)$$

最後に曲げの項について考える。ひずみに関して次の近似を仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \kappa_u^2 &= r_{uu}^2 = x_{uu}^2 + y_{uu}^2 + z_{uu}^2 \\ \kappa_v^2 &= r_{vv}^2 = x_{vv}^2 + y_{vv}^2 + z_{vv}^2 \\ \kappa_{uv}^2 &= (r_{uv} + r_{vu})^2 = (x_{uv} + x_{vu})^2 + (y_{uv} + y_{vu})^2 \\ &\quad + (z_{uv} + z_{vu})^2 \\ \kappa_u \kappa_v &= (r_{uu}, r_{vv}) = x_{uu} x_{vv} + y_{uu} y_{vv} + z_{uu} z_{vv} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

$E_B = 1/2 \kappa |B| \kappa |S|$ であるが(17)式より(18)式の形に分割

できる。

$$P = \begin{bmatrix} x_{uu} & x_{vv} & x_{uv} + x_{vu} \\ y_{uu} & y_{vv} & y_{uv} + y_{vu} \\ z_{uu} & z_{vv} & z_{uv} + z_{vu} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$E_B = \frac{1}{2} Tr [PB'P] S$$

(11)式から一般に(19)式の線形式が言える。

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} [C_{uu}, C_{vv}, C_{uv} + C_{vu}] \quad (19)$$

ここで $x = (x_1, x_2, \dots, x_6)$ 等である。

なお, C_{uu} 等を具体的に求めるには, 行列 T の逆行列を求めておく必要がある。

$$\begin{bmatrix} \partial E_B / \partial x_1 \\ \partial E_B / \partial x_2 \\ \vdots \\ \partial E_B / \partial x_6 \end{bmatrix} = S [C_{uu}, C_{vv}, C_{uv} + C_{vu}] B \begin{bmatrix} C_{uu} \\ C_{vv} \\ (C_{uv} + C_{vu}) \end{bmatrix} x \quad (20)$$

この様に, 6 節点の座標値から, 6 節点に加わる力が求まる。

2.3 境界条件と縫合

以上述べてきた定式化において, 曲げの評価は一つの三角形要素内で閉じていない。したがって隣接三角形が存在しない場合を考えておく必要がある。また縫合部では (u, v) が不連続となり, この状態も考えておく必要がある。

2.3.1 境界条件の処理の簡便法

境界条件として, 支持端, 自由端, 固定端における曲げの評価を考える。支持端, 自由端においては, ダミー三角形要素を付け加え, 計算するのが普通の方法である。今, 考えている三角形 (1, 2, 3) の辺 (2, 3) が支持端もしくは自由端と考える。支持端と自由端の差は, 辺 (2, 3) が固定 (点 2, 3 が固定) されているかどうかだけである。三角形 (3, 2, 4) がダミーとなり, (10) 式の X_4 は点 4 の実際の x 座標と線形変換後の三角形 (1, 2, 3) によって定められる平面上の点 4' との差を意味している。ひずみが小さい場合点 4 は点 4' の近くに来ると予想されるので, 支持端と自由端では $X_4 = 0$ としても解からそれほどずれない。 Y_4, Z_4 も同様に考えれば, ダミーを意識しない定式化が出来便利なので, この簡便法を用いる。

固定端 (平面の傾きが固定されている) の場合には, 三角形 (3, 2, 4) がその傾きを示すダミーとする。と, 辺 (3, 2) 上でその傾きになるためには X_4 を $2X_4$

と置き換えて計算すれば良い。

2.3.2 縫合

縫合や折りは衣服にとって不可欠な要素である。縫合や折りによってその近くの力学的特性がどの様になるかは, 縫合方法, 折りの付け方等によって異なる。一般的には, 2つの三角形要素を左右に持つ線要素を考えると汎用性にすぐれていると考えている。ここでは最も簡単な縫合方法についてのみ考えることにする。これは縫合される三角形を二重視する方法である。三角形要素 A と B が縫合されている場合, A の曲げを評価する時は B の糸目 (u, v) は A と連続であると考え, 逆に B の曲げを評価する時は A の糸目が B と連続であるとする。この方法によってなめらかな接続を行うことができる。折りに関しては, 折られている状態で曲げひずみがゼロになる様に(10)式を変更している。

2.4 要求される人体情報

衣服の着用状態を予測するために, 人体情報として要求されるものは, 固定に係わるもの, 着付 (初期立体化) に係わるもの, 力学計算に係わるものの 3 種類が考えられる。固定に係わるものは, ベルトが代表で, 衣服の一部 (ベルトライン) を人体の一部 (ウエストライン) に固定しようとするものである。この場合, ウエストラインの 3 次元情報が必要となる。ここで言う着付とは, 衣服を表現するための三角形の節点の 3 次元座標を決めて行くことである。この着付はラフな近似で良いが, 衣服が極端に折れ重なり, 極端に人体の中にくい込んだりしない程度に作成する必要がある。スカートの例では, ウエストラインのみを情報として用い, ウエスト断面に相似な断面に次々と着付けて行く方針を取っている。上着については, ネックライン, ウエストラインの双方から重み付けの着付けを行っている。

力学計算に係わるものは, 衣服が人体の表面を越えて内部に入ることがないように制約を加えるために用いられる。このため, 三角形の節点のすべてについて, 人体の内部にあるか外部にあるかの判断ができなければならない。また, 内部に入った各点に働く接触抗力を求めるために, 接触点における人体の表面の法線方向が必要である。

2.4.1 人体形状の計測と表現

人体形状の計測装置として, 接触型関節付の 3 次元デジタイザを用いた。ここで得られる生データは, 多段の輪切りデータである。測定間隔は高さ方向, 角度方向ともに直線状の場所は大きく, 複雑な部分は小さく取る。これから標準データとして, 区間線形補間により高さ方向 1 cm, 角度方向 2 度さきみの等間隔データを作る。用いる 3 次元座標 (x, y, z) を, x を人体前方に取る

右手系で定義する。人体の内部，外部の判定が容易になるように円柱座標 (r, θ, z) に変換する。ただし人体前方で $\theta = 0$ とする。なめらかな法線方向を求めるためと，人体データの情報圧縮の目的で，人体表面を， θ と z による2次元フーリエ級数近似を行う。人体の高さを h とすると(21)式の形で表現できる。

$$\begin{aligned} r(\theta; z) &= a_0 + a_1 \cos \theta + a_2 \cos 2\theta + \dots + a_i \cos i\theta + \dots \\ a_i &= \alpha_{i0} + \alpha_{i1} \cos(\pi z/h) + \alpha_{i2} \cos(2\pi z/h) + \dots \\ &\quad + \alpha_{ij} \cos(j\pi z/h) + \dots \end{aligned} \quad (21)$$

なお，この表現は，人体表面形状を簡単のため左右対称としたものである。高さ方向は周期関数となるように鏡像接続を行っている。

点 (x, y, z) が与えられた時，まず円柱座標 (R, θ, z) に変換し， $R \geq r(\theta; z)$ の時外部と判断する。外向きの法線ベクトルは $r_\theta = \partial r / \partial \theta$ 等とすると(22)式となる。

$$(n_x, n_y, n_z) = (r \cos \theta + r_\theta \sin \theta, r \sin \theta - r_\theta \cos \theta, -rr_z) / \sqrt{r^2 + r_\theta^2 + (rr_z)^2} \quad (22)$$

これから，(23)式の接触抗力を与えることができる。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} &= K(r(\theta; z) - R) \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix} \quad (r(\theta; z) > R) \\ &= 0 \quad (r(\theta; z) \leq R) \end{aligned} \quad (23)$$

ここで K はボディの弾性定数に相当するものである。

ここで標準人台の計測結果をワイヤフレームとシェーディング図で示す。また法線付きの図も示すことにする(図3)。

3. 応 用

衣服の形状を定める主要因は，型紙，素材の力学的性

質，ボディの形状，着付けの4つである。衣服の自然な形状は，前節で述べた様に，各節点に働く力が釣り合った状態と考えられる。この釣り合い状態を求めるアルゴリズムを図4に示す。4つの要因はすべて組み込まれている。

Fig. 4 Flow diagram of mechanical calculation.

This figure includes following four factors, mechanical properties of material fabrics, shapes of paper patterns, shape of a body and way of dressing.

ここでは，実際のスカート，ブラウス等への応用事例を示し，スカートの一例について実物との対比を行う。なお，シミュレーションに必要な素材の力学的特性の計測法，釣り合い状態を求める反復法については既報を参照されたい⁷⁾。

図5に4枚接ぎのスカートについてのシミュレーション結果と実物の写真を示す。図6～図10に様々なタイプの衣服への応用事例を示す。それぞれ(1)型紙，(2)初期形状，(3)，(4)予測図を示した。停止条件(収束判定条件)は，力と1回の移動量の積の最大値が0.001以下の時と

Fig. 3 Shape of a body.

(a) Wire frame expression. (b) Shading expression. (c) Directions of contact pressures.

Fig. 5 Comparison between predicted and experimental shapes of a skirt.

Fig. 6 Predicted shapes of a scallop skirt.

(1) Paper pattern. (2) Initial three dimensional shape. (3) Wire frame expression of the calculated result. (4) Shading expression of the calculated result. These numbers indicate same meanings for following four figures.

Fig. 7 Predicted shapes of a tiered skirt.

Fig. 8 Predicted shapes of a bare top blouse.

Table 1 Mechanical properties of material fabrics.

Material	Weight (gf/cm ²)	Tensile rigidity (gf/cm)		Shearing rigidity (gf/cm)	Bending rigidity (gf-cm ² /cm)		
		warp	weft		warp	weft	baia
wool flano	0.023	920.0	1,000	57.3	0.086	0.070	0.073

Fig. 9 Predicted shapes of a long collared blouse.

Table 2 Number of elements, number of nodes, iteration times and computation time for figure 6 to 10.

Fig. No.	number of elements	number of nodes	iteration times	CPU time (sec)
6	1,439	755	1,300	259
7	2,582	1,356	6,700	2,305
8	784	440	2,500	285
9	1,256	683	2,400	428
10	1,442	756	1,800	368

した。表1に用いた物性値を、表2に三角形要素数、節点数、計算時間を示す。なお用いた計算機はIBM3090 (20MIPS) である。

4. 総 括

本論文の目的は、三角形要素を用いた場合の定式化を行うことと、実例を示すことにあった。スカートの場合とブラウスの場合では、着付に大きな差がある。スカートの場合は、ウエスト部分が固定されているが、ブラウスの場合はどこにも固定された部分がなく、肩の部分の接触抗力で止まっている。また、取り扱える衣服の種類も多く、ポケット、衿、さらには縫合ではなく、ボタン止めも実行可能である。なお、縫合に関しては、最も簡単な縫合方法のみを示したが、一般的には、縫合部は重さ、引張り、曲げなどの物性値が変化する。物性値の計測法と共に今後の課題とした。

実物との対比は、写真でのみ行ったが、衣服形状は、

Fig. 10 Predicted shapes of a short collared blouse with a pocket.

ドレープに代表されるように多安定な場合があり、一般には難しい面を持っている。ドレープ試験の場合を例に実物との対比を行い良好な結果を得ているが、それについては別の機会にゆずりたい。以下本論文のまとめを行う。

- (1)面 (三角形) 要素を用いた定式化を行った。
- (2)人体の制約条件としての定式化を行った。
- (3)実際の多様な衣服への応用例を示し、本手法が着装シミュレータとして広い応用範囲を持つことを示した。

文 献

- 1) 佐藤隆三, 織学誌, 41, 32 (1985)
- 2) 林 恭弘, 計測と制御, 27, 775 (1988)
- 3) G. Waddile, *Apparel International*, November, 5 (1988)
- 4) 安居院猛, 金子嘉和, 中嶋正之, 電子通信学会論文誌, J69-D, 3, 451 (1986)
- 5) 岡部秀彦, 今岡春樹, 赤見 仁, 織学誌, 42, T231 (1986)
- 6) 岡部秀彦, 今岡春樹, 渋谷淳夫, 赤見 仁, 相坂登, 富羽高子, 寺尾教正, 山田正紘, 織学誌, 44, 129 (1988)
- 7) 今岡春樹, 岡部秀彦, 赤見 仁, 渋谷淳夫, 相坂登, 織学誌, 44, 217 (1988)
- 8) D. Bushnell, Bo. O. Almroth and F. Brogan, *Int. J. Computers & Structures*, 1, 361 (1971)