一般報文

(平成6年7月21日受理)

CGによる姿勢変化可能な人体モデルへの衣服の着付法

広島県立東部工業技術センター 松田 亮 治
奈良女子大学 今岡 春 樹

A Graphic Method to Simulate Garment Fitting on a Human Body Model in Various Posture

Ryouji Matsuda^{*1} and Haruki Imaoka^{*2}^{*1} Eastern Hiroshima Prefecture Industrial Research Institute, Fukuyama, Hiroshima, 721 Japan^{*2} Nara Women's University, Nara, 630 Japan

Abstract: A novel method was developed to predict by computer graphic simulation how it looks when garments are worn by a human body. This could extensively simplify the process of dressing on graphics by introducing an effective and generally usable procedure by which each part of the garments is put right on the portion of the body to be covered by it. The method, based on two ideas, i.e., classifying garments into a few types and making the process independent of the posture of a human body model, could compensate for the weak point of a computer that, in contrast to human, it cannot judge by itself the kinds, right face, front or back, etc. of the clothing to be worn. The state of dressing in various posture was simulated for each type of garment, and the quality of it was estimated, the results of which showed that this method could successfully represent a garment form that fits well the model body for every type of clothing.

(Received July 21, 1994)

1. 緒 言

筆者らは、素材の力学的特性、型紙形状、人体形状等を元に計算機を用いて衣服の3次元の着装状態を予測する技術、いわゆる着装シミュレーションを発展させるため、姿勢変化可能な人体モデルを構築している[1]。姿勢変化に対応した様々な衣服の着装状態を予測するには、モデルの構築と共に汎用的な着付けが必要になってくる。着付けとは、服種、表裏、上下、あるいは前後を見分け、頭や手足を衣服のどこに通すか判断し着用することや、必要に応じてボタンやファスナーを開閉したり、ベルトで固定する等の行為をいう。計算機を用いた着装シミュレーションにこれらの行為を自動的に行わせることは困難で、実現させるために主に二つの方法が提案されている。Carignan, Thalmann[2]は型紙に相当する複数の2次元のパネルを人体モデルを挟むように空間上に固定する。そしてパネルの縫合線上の点は相対するパネルの縫合線上の点に接合するように縫合力なる力を作用させ、衣服と人体モデルの衝突による変形が終了するまで、パネル同士が分離することなく一つの衣服を構成するようにしている。また、岡部、今岡[3,4]は型紙上の縫合す

べき辺と辺を縫合して、それを新たに縫合された一つの辺と見なすことでできる衣服の位相的な構造をつくり、次に固定した人体の特定の箇所に型紙の特定の箇所が対応するよう空間座標を定め着付けを行っている。

本研究では、力学的な縫合で衣服を構成する場合、各パネルを人体の周囲に配置するアルゴリズムが、同一服種でもパネル数に依存し汎用的でないと考えられることから、位相的な衣服構造をつくる岡部らの方法を援用した。今日のように多様化、個性化が進む時代では様々な衣服がつくられ、着付けも服種に依存していることから、服種ごとに類型化した着付けの開発を試みた。また、姿勢変化に対しては依存することなく同一の着付けで対処できるようにした。さらに、着付法の良否を評価するため人体モデルの姿勢変化に対応した着装状態を服種ごとに予測した。なお、ここで言う姿勢変化とは一連の動作の中で静止した状態を言い、動作に伴う慣性力、衣服と人体の衝突、空気抵抗等を受ける動的な状態ではない。

2. 姿勢変化可能な人体モデルの構造

筆者らが構築した人体モデルは、図1に示すように木構造[5]にすることで、腰椎、頸椎、胸鎖関節、肩関節、

肘関節、手関節、股関節、膝関節、足関節を中心に、腹部、胸部、頭部（頸部を含む）、肩部、上腕部、前腕部、手部、大腿部（臀部を含む）、下腿部、足部の身体各部を3次元に回転移動させて姿勢を変化させることができる。また、モデルを構築するのに用いた濃度球、一般的にメタボール[6]と呼ばれるプリミティブにおいては従来、形状融合させたい部分とさせたくない部分を生成する操作が完全に自由でなかったのを、衣服の着用に適したモデルをつくるため、操作を自由にする方法を考案した。その結果、モデルの腋、股等は融合せず実際の人間に近い状態で、着装状態を予測するうえで都合がよい。

Fig. 1 Articulation tree of the three-dimensional human body model which can take various posture.

3. 基本的な着付法の原理

姿勢変化させることを目的とした人体モデルは図1で表わされるようなものであるが、衣服の着用に関わる人体形状は、大雑把に言って6個の円柱で構成されている。各円柱は、円柱同志をつなぐ部分と中央付近で関節によって折り曲げることができる。円柱とそれを折り曲げることで出来た12個の身体部分を図2に示す。

姿勢変化に対応した衣服の着装状態を得るためのシミュレーションには二つの方法が考えられる。一つは、最も着付けをしやすい姿勢を決め、いつでもその姿勢での

Fig. 2 Division of a human body into six columns, each of which is further subdivided into two parts at dashed lines.

着付けからシミュレーションを始める。それから、徐々に目的の姿勢に近づけながらシミュレーションの演算を続けてゆき、最終的な姿勢での着装状態を得る。この方法は、例えばシャツや背広等を着る時、着やすいように腕を上げて袖を通してから着る等現実即しているが、着装状態を得る過程で何度も姿勢変化と演算を繰り返す必要があるため、煩雑な手順と計算量の増加を伴う。

そこで二つめの方法として、最初から目的の姿勢に衣服を着付けるための面を設ける。まず、頸椎点、仙骨（頸椎、胸椎、腰椎、尾椎と共に脊柱を構成する部分で腰椎の下に位置する）、肘関節、手関節、膝関節、そして足関節を各々中心とした円盤と、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円盤を設ける。これらの円盤は中心とする関節と同様に、人体モデルの姿勢変化に対して、図1の木構造で一つ上位にあたる関節の動きに同調してその関節を中心に回転移動する。これらを複数組み合わせ、円盤同志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、シミュレーションで必要な衣服の初期形状を得る。その後、自然な着装状態を得るためのシミュレーションの演算のみを行う。なお、人体モデルと衣服を表現する座標系は人体の水平面をxy平面（右方をx、前方

を y の正方向とする), 矢状面を yz 平面(上方を z の正方向とする)と定義する。

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3に示す。右長袖は図2で5, 6番の身体部分に着付けられる。5番の身体部分へは, 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円筒を着付面とし, 袖の上部を割り付ける。同様に, 6番の身体部分へは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円筒を着付面とし, 袖の下部を割り付ける。着付面が人体に余り侵入していないことがわかる。後の着装シミュレーションの演算において体内に侵入した衣服は, 体の表面まで押し戻されるように接触の計算がなされるが, 着付面に割り付けられる段階で極端に体内に入り込んだ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3の状態から肘を x 軸に対して 90° 曲げるという基本的な姿勢変化を行った場合の着付用円盤と着付面を図4に示す。アームホールライン上に設けた円盤は, 肩関節と同様に一つ上位の胸鎖関節が動かないので回転移動しない。また, 手関節を中心とした円盤は, 肘関節を中心とした円盤は一つ上位の肩関節が動かないので回転移動しないと, 肘を中心に回転移動した前腕に極端に侵入する結果となり, 着付面が潰れて前腕を包むような円筒を形成できない。それを避けるために肘, 膝等の関節を中心とした円盤は, 一つ上位の関節の動きに同調して回転移動するという基本ルールに加え, 中心とする肘, 膝関節等の回転量の $1/2$ だけ回転するようにした。

4. 姿勢変化に対応した服種ごとの着付法

人体を12個の身体部分に分けた図2において, 各身体部分と服種は密接な関係にある。例えば, 3, 4番を被う服は, ベストやタンクトップ等袖の無い上衣類, 3, 4, 5, 7番の身体部分を被う服は半袖の上衣類, 3, 4, 5, 6, 7, 8番を被う服は長袖の上衣類, 4, 9, 11番を被う服は半ズボンやキュロットスカート類, 4, 9, 10, 11, 12番を被う服は長ズボン, そしてこれら上衣と下衣を組合わせたオーバーオール, ジャンプスーツ等のつなぎ服まで, かなりの服種を当てはめることができる。しかし, この区分から漏れるものとして, 和服, インドのサリー, ターバン, スカート等がある。スカートは一般的でしかも重要な服種なので扱うことにする。

まず, 長袖上衣の着付けを考える。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。この場合には身頃, 袖に分かれるが, 袖の着付面作成法は3章で述べたとおりである。図5に, 長袖上衣身頃の着付用円盤と

着付面を示す。身頃の着付けには, 5個の円盤を使う。頸椎点に中心は同じであるが, 半径の異なる二つの円盤を水平に設け, 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, 外側の円盤とバストライン上の円盤, バストライン上の円盤とウエストライン上の円盤, ウエストライン上の円盤と仙骨を中心とした円盤それぞれをつなぐ円筒の着付面を通り, 仙骨を中心とした円盤の円周に裾がくるように身頃を割り付ける。図で, ウエストライン上の円盤の直下にあるのが仙骨を中心とした円盤である。

着付面に衣服を割り付け, シミュレーションの初期形状とすると述べたが, 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隣り合う二つの円盤をつなぐ円筒状の着付面の一つに割り付けられる。分りやすく説明するため, 図6に示す上下二つの着付用円盤の場合について考える。型紙を元にした縫製パーツの任意の点は2次元座標で表わされるが, 正規化された円筒座標 (u, θ) 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[3]に従った。着付面でその位置を指定するには, 空間座標を決めなければならないが, 円筒座標 (u, θ) を使って次のように指定することができる。まず, 円盤の起点からの角度 ϕ をパラメータとして, 円盤の円周上の点の空間座標を $x(\phi)$, $y(\phi)$, $z(\phi)$ とする。 $u=0$ では上の円盤を用い, 円盤の起点と着付けの起点を一致させ $\phi=\theta$ として, 空間座標への割り付けを,

$$\mathbf{P}_{\text{upper}}(\theta) = (x_0(\theta), y_0(\theta), z_0(\theta)) \quad (1)$$

と定める。 $u=1$ では, 下の円盤を用い同様に,

$$\mathbf{P}_{\text{lower}}(\theta) = (x_1(\theta), y_1(\theta), z_1(\theta)) \quad (2)$$

と定める。縫製パーツの任意の点 (u, θ) の着付面における空間座標 $\mathbf{P}(u, \theta)$ はこれらを用いて, 次のように定める。

$$\mathbf{P}(u, \theta) = (1-u) \cdot \mathbf{P}_{\text{upper}}(\theta) + u \cdot \mathbf{P}_{\text{lower}}(\theta) \quad (3)$$

着付面をつくる二つの円盤はこの様に平行の関係にあるとは限らないが, その場合でもこれらの式は適用できる。

図7に長袖上衣の身頃及び袖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, 腋窩点から手首囲内側の中点を結ぶ線[7]と関節上の円盤の円周との交点を起点とし, 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初期形状の例を図8に示す。なお, 図8の着付け結果は, 身頃については頸椎点を中心とした円盤から行う上からと仙骨を中心とした円盤から行う

Fig. 3 Example of a case where long sleeves are put on the human body model. The arm hole line, elbow joint, and wrist joint are modeled by disks (red lines). The sleeves are simulated by cylindrical surfaces that connect two adjacent joint disks.

Fig. 4 Example of the state of a long sleeve when the body model bends the right elbow at right angles. The joint disk at the elbow is inclined at 45 degrees in order not to intersect the right forearm.

Fig. 5 Example of a case where a coat (the body part) is put on the model. The lines of neck, bust, waist, and sacrum are modeled by disks. The coat forms cylindrical surfaces connected at the joint disks.

Fig. 6 Geometry to describe how each cylindrical part of the clothing is put on the body model. Symbol $\circ$ indicates the point from which the process of dressing starts, and $\bullet$ the position at which a point (u, θ) on the paper pattern of each part is put.

Fig. 7 Starting points ($\odot$) of the process of dressing and the directions ($\rightarrow$) in which the process proceeds, the case of a coat.

Fig. 8 Example of simulation for the initial form of a blouse.

Fig. 9 Right part of pants. The lines of waist and sacrum are modeled by half disks. The joints of knee and ankle are represented by disks. The formation of the surfaces of the pants is similar to those in Fig. 3.

下からの双方向着付け[3] (上記の着付法を2方向から行い, 重み付き平均をとったもの), 袖についてはアームホールライン上の円盤からと手関節を中心とした円盤からの双方向着付けを行ったものである。また, 図中袖が潰れて見える部分は θ の決定方法が長さを考慮していないため, 隣り合う2点が円筒上の離れた位置に配置されたためである。しかし, 後のシミュレーションの演算により速やかに修正される。

次に, ズボンの着付法の原理について述べる。ウエストライン上及び仙骨を中心とした半円盤と膝関節及び足関節を中心とした円盤, それらの円弧及び円周をつないだズボンの右身頃の着付面を図9に示す。図でウエスト

Fig. 10 Geometry to describe how each cylindrical surface of the pants is formed to connect the lines of sacrum and knee joint. Symbol $\circ$ indicates the point from which the process of dressing starts, and $\bullet$ the position at which a point (u, θ) on the paper pattern of each part is put.

Fig. 11 Illustration to show how a skirt is put on a body model. The surfaces of the skirt are simulated similarly to those in Fig. 3, 5, or 9.

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。併せて仙骨を中心とした半円盤と膝関節を中心とした円盤を使ったズボン特有の着付法を右身頃を例にして図10に示す。ズボンの形状上, 左右の身頃に分けて考えると, 膝関節と足関節では着付けに円盤を用いるが, ウエストライン上と仙骨の着付けには半円盤を使うため, 仙骨を中心とした半円盤と膝関節を中心とした円盤間の着付けという特殊な場合がでてくる。ズボンの

Fig. 13 Three-dimensional simulation of a blouse when the body model raises its arms; the front view (a) and right-side view (b).

Fig. 15 Simulated form of pants when the body model takes a step forward; the front view (a) and right-side view (b).

Fig. 17 Simulated form of a one-piece dress when the body model takes a step forward; the front view (a) and right-side view (b).

Fig. 12 Partial patterns for simulation of a blouse.

Fig. 16 Partial patterns for simulation of a one-piece dress.

着付けの起点は膝関節上と足関節上の円盤の円周では、股下から内果点(くるぶし内側の頂点)を結ぶ線との交点に設定した。着付けの方向は服種に依らず起点から左回りに統一する。ウエストライン上と仙骨を中心とした着付用円盤では、式1と対比して着付けの起点を円盤の起点から $\pi/2$ 左に回転する。すなわち、着付用円盤のうち半円盤のみが用いられ、着付けの起点は右身頃の場合、円盤と人体の正中面との後方での交点としている。同様な理由で、左身頃では前方での交点とする。

縫製パーツの任意の点は長袖上衣で説明したように正規化された円筒座標 (u, θ) で表わされる。 $u=0$ では、仙骨を中心とした半円盤を用いる。着付けの起点の空間座標を $x_0(\pi/2), y_0(\pi/2), z_0(\pi/2)$ とすると、空間座標への割付けは $\phi = (\pi + \theta)/2$ として、

Fig. 14 Partial patterns for simulation of pants. Shaded areas (≡) indicate tucks.

$$\mathbf{P}_{\text{upper}}(\theta) = \left(x_0 \left(\frac{\pi + \theta}{2} \right), y_0 \left(\frac{\pi + \theta}{2} \right), z_0 \left(\frac{\pi + \theta}{2} \right) \right) \quad (4)$$

と定めることができる。 $u=1$ では、膝関節を中心とした円盤を用い、空間座標への割付けを式2と同様に定める。ズボンの場合、縫製パーツの任意の点 (u, θ) の着付面における空間座標 $\mathbf{P}(u, \theta)$ は、式4と式2を、式3に代入することで定められる。着付面は図9で示されるように股下で空白になっている。しかし、ズボンの右身頃では前後の縫製パーツが互いに縫い合わされて円筒状の位相を持っている。したがって、空白部にあたる部分は極端に引き伸ばされた初期形状になっているが、シミュレーションの演算が行われると瞬時に自然な衣服形状に近づき問題はない。

図11にスカートの着付けの原理図を示す。スカートの着付けはズボンとは異なり、ウエストライン上とその直下の仙骨では円盤を使い、膝関節上では右足用と左足用が交差するほど直径の大きな円盤を用いている。図で、仙骨を中心とした円盤と左右の膝関節を中心としたそれぞれの円盤を使ったスカート特有の着付けについて述べる。スカートの縫製パーツの任意点における正規化された円筒座標を (u, θ) とすると、 $u=0$ では、仙骨を中心とした円盤を用い、空間座標への割付けを式1と同様に定める。 $u=1$ では、左右の膝関節を中心とした円盤を用い、円盤の起点と着付けの起点を一致させ $\phi = \theta$ として、各々の空間座標への割付けを、

$$\mathbf{P}_{\text{lower-right}}(\theta) = (x_{1r}(\theta), y_{1r}(\theta), z_{1r}(\theta)) \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_{\text{lower-left}}(\theta) = (x_{1l}(\theta), y_{1l}(\theta), z_{1l}(\theta)) \quad (6)$$

と定める。ここで、この二つの平均をとると、

$$P_{\text{lower-average}}(\theta) = \frac{P_{\text{lower-right}}(\theta) + P_{\text{lower-left}}(\theta)}{2} \quad (7)$$

と表わされる。これは、 $u=1$ で左右の膝関節の中心座標の平均値を、新たに中心とする両膝を内包する一つの円盤を用いた、空間座標への割付けに他ならない。これらを用いて、スカートの縫製パーツの任意点(u, θ)の着付面における空間座標を次のように定める。

$$P(u, \theta) = (1-u) \cdot P_{\text{upper}}(\theta) + u \cdot P_{\text{lower-average}}(\theta) \quad (8)$$

また、膝よりも丈が長いスカートでは膝関節だけでなく、足関節にも同様な着付用円盤を設け、着付けを行うことができる。このスカートの着付けについては問題がないわけではない。本来、姿勢変化に対し両膝の位置から中心位置を求め、両膝を内包する必要最小限の径の円盤をつくるべきところを、姿勢変化に対して汎用性を持っていることと、操作が簡便であるためこの方法を用いている。この場合いかなる姿勢変化をしても左右の円盤が交差するほど大きな直径であることが重要であるが、このことで自然な着装形状になるまでのシミュレーションの演算に時間が掛かったり、アクロバチックな姿勢をとった場合に左右の円盤が交差せず、結果としてスカートの初期形状が人体モデルに極端に侵入すると不都合である。

これら基本的な服種の着付けを組み合わせると、色々な服種に対応できる。上衣とズボンの着付けを組み合わせるとつなぎ服の着付けが行え、上衣とスカートの着付けを組み合わせれば、ワンピース・ドレスにも対応できる。

5. 姿勢変化に対応した服種ごとの 着装状態予測の結果

筆者らは、既に着装シミュレーション[3,8,9]の中の着装状態をコンピュータグラフィックス(以下CGと略する)で表示する部分に、濃度球プリミティブを用いた人体モデルを導入している[1]。また、CGで構築したモデル自身では、着装状態予測の演算を行う時意味を持たないが、表示用人体モデルと同じ木構造を持たせ、それに基づき姿勢変化した場合でも人体表面の位置を特定

できる演算用モデルを構築し、複雑化する衣服との接触計算に対応している[1]。今回考案したこれらの着付法も、新たにシミュレーションに導入することにした。さらに着付法の良否を評価するために、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。

図12の型紙[10]で作製された簡素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として腕を45°左右に上げた状態の人体モデルに着用させ、その状態を図13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て止まった姿勢の人体モデルに、図14の型紙で作製されたズボンを着用させ、その状態を図15の(a)に正面図、(b)に右側面図で示す。次に、図16の型紙[11]で表現されるワンピース・ドレスを、女性らしいポーズをとるモデルに着用させ、その状態を図17の(a)に正面図で、(b)に右側面図で示す。

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、体と離れた空間上に浮いているような不自然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、逆に左足側の身頃は、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予測に用いた素材は同一とし力学的特性値を表1に示す。

なお、図13と図17で袖に若干滑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3角形要素同志の曲率が大きくなり輪郭線が目立ってしまったのである。計算コストと相反するが3角形要素を小さくすれば解消され则认为られる。

6. 結 言

着装シミュレーションを、より汎用性のあるものに発展させる試みとして、目的の姿勢に対応した着付面を設け、着付けるという方法で、様々な姿勢に対応した服種

Table 1 Mechanical Properties of the Material

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

ごとの着装状態の予測を行ってきた。さらに、基本的な服種の着付けを開発し、それを組み合わせることで様々な衣服の着装状態予測も可能になった。しかし、例えばズボンを履いて右足を左足の上に置いた場合の着装状態は、予測できないのが現状である。その理由は、第一に、人体と人体や、服と服の接触問題いわゆる同体接触問題を扱っていないことによる。第二に、右足と左足が接している状態では、体に極端に侵入しない程度の着付面をつくることができない。これを解決するには、第3章で述べたように最も着やすい姿勢で服を着付け、着装シミュレーションを行いながら少しずつ姿勢を変え、最終的に目的の姿勢での着装状態を得るという方法が適していると考えられる。しかし、この方法は煩雑な手順と計算量の増加の他に、繰り返し行われる姿勢変化に対して着装形状の変化を同調させる制御が難しく現状では問題が多い。

本研究の一部は、第8回感覚と計測に関するシンポジウム(平成6年7月、東京)で発表した。

文 献

1. 松田亮治, 今岡春樹, 織学誌, **50**, 221 (1994).
2. M. Carignan, Y. Yangu, N. M. Thalmann, and D. Thalmann, In Proc. SIGGRAPH '92, Computer Graphics, **26**, No. 2, pp. 99-104 (1992).
3. 岡部秀彦, 今岡春樹, 渋谷惇夫, 赤見 仁, 相坂登, 富羽高子, 寺尾教正, 山田正紘, 織学誌, **44**, 129 (1988).
4. H. Okabe, H. Imaoka, T. Tomiha, and H. Niwaya, In Proc. SIGGRAPH '92, Computer Graphics, 1992, **26**, No. 2, pp. 105-110 (1992).
5. A. S. Glassner, 「最新3次元コンピュータグラフィックス」(白田耕作, 鈴木和子訳), アスキー, p.181 (1991).
6. 西村仁志, 平井 誠, 河合利幸, 河田 享, 白川功, 大村皓一, 電子通信学会論文誌, **J68-D**, 718 (1985).
7. 間壁治子, 「被服のための人間因子」, 日本出版サービス, p.141 (1991).
8. 岡部秀彦, 今岡春樹, 赤見 仁, 織学誌, **42**, T-231 (1986).
9. 今岡春樹, 岡部秀彦, 赤見 仁, 渋谷惇夫, 相坂登, 富羽高子, 山田正紘, 織学誌, **45**, 420 (1989).
10. 今井田 勲, SO-EN, **59**, 179 (1988).
11. 内藤 朗, プティック・ムック, **129**, 146 (1993).