

衣服の形態のコンピュータシミュレーション

京都工芸繊維大学 宗 円 寿 一

Computer Simulation of Shape of Clothes

by

Toshiichi Soen

Kyoto Institute of Technology

ABSTRACT

For apparel designing, so many factors should be considered, for example, style, color, functionality, touching etc.. Furthermore, these factors shall be varied under the conditions they are used.

Thus, it is very difficult problem to compute directly the clothes fitting well the factors, but it is not impossible to display a colored picture of dressed human body with the clothes computed on any factors. If it will be possible, favorable clothes will be designed finally by computer using the feed back system.

In this study, basic computer programs were developed to dress a computer robot with designed clothes.

緒 言

衣服の設計に当っては、その形状、色彩、機能性、手触りなど非常に多くの要素を、その使用目的、環境条件、習慣、個人の好みなどに適合するように配慮されなければならない。

これらの条件をコンピュータに入力し、ユーザが満足する衣服の設計をコンピュータにより一義的に決定することは、現段階では非常に難しいが、種々のパラメータをコンピュータに入力し、

コンピュータでそれに適合する衣服を設計し、ユーザの体形に似たコンピュータロボットに着せ、カラーTVモニタに映像として出力することができるならば、この映像を見て、パラメータを修正し、望ましい設計に近づけることができる。

このようなフィードバックシステムを用いる衣服のコンピュータ支援設計(CAD)が第一段階としてできるならば、このときのデータを蓄積し、整理することにより、将来コンピュータによる完全な衣服設計も可能になるであろう。

本研究は、このような将来を展望した基礎的研究の一つとして、衣服の形態のコンピュータシミュレーションを行うための基本プログラムの開発を行うものである。

研究方法および結果

A) 各種織物の力学的特性の測定

着用時の衣服の形態は、それを着用する人間の体形と衣服材料の力学的特性、主として重量、伸張弾性率、剪断弾性率および曲げ弾性率、および

その裁断縫製の方法によって決定される。

本研究では、代表的な織物の4種と比較のための和紙について上記4つの力学的特性を測定した。この結果を表1に示す。

i) 伸張弾性率の測定

伸張弾性率は TENSILON/UTM-11 により、2.5×5cm の試料を用いて測定した。

図1に示される結果からわかるように、S-S 曲線はひずみの小さい所で急に立ち上がっているが、表1の伸張弾性率は通常求められるように、図1

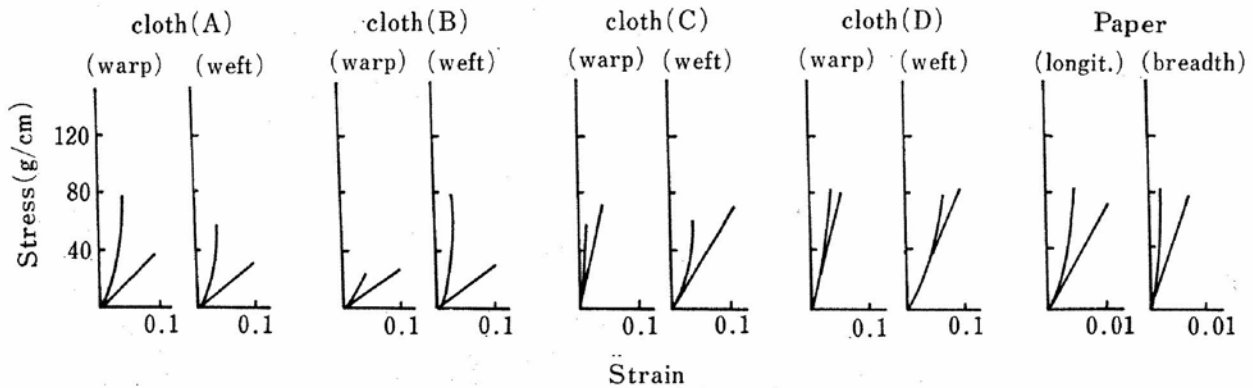


図1 Diagrams illustrating S-S relationships in the measurements of tensile force. The tensile moduli were determined by the tangent at initial increasing of the curve

表1 Characteristic Mechanical Properties of Four kinds of Woven Fabrics and Japanese Writing Paper

Sample Code	Tensile Modulus (g/cm)	Bending Modulus (g·cm/cm)	Shearing Modulus (g/cm)	Weight (g/cm ²)	
Cloth (A)	warp direction	420	0.0060	1.0	0.0035
	weft direction	370	0.0060	1.0	
Cloth (B)	warp direction	230	0.0057	0.0	0.0026
	weft direction	310	0.0025	0.5	
Cloth (C)	warp direction	1,900	0.0089	18.0	0.014
	weft direction	670	0.0057	6.0	
Cloth (D)	warp direction	1,600	0.18	84	0.023
	weft direction	890	0.13	64	
Paper	longitudinal direction	7,400	0.23	4,500	0.0050
	breadth direction	12,000	0.66	11,000	

に示される接線から求めたものである。

着用されるとき織物は、自重のみで変形するだけであるから、力の極めて小さい所のひずみの変化を測定して弾性定数を求める必要がある。例えば、Aの試料が1m懸垂する場合に、最上部の最も荷重がかかる部位でさえ、0.35g/cmの荷重しかかからない。実際に織物の形状をコンピュータでシミュレーションしても、表1の伸張弾性率は過大評価であることがわかる。このような弾性率では、織物はしなやかに変形しない。

このような理由で、本研究では変形初期の弾性定数を次式で近似し、定数A, BをS-S曲線の立ち上りの曲線から求めた。

$$M_T = A \cdot S^B \quad (1)$$

ここに、 M_T ：伸張弾性率

S：ひずみ率

A, B：定数

である。定数A, Bは表2に示されている。

ii) 曲げ弾性率の測定

曲げ弾性率は、15×2cmの試料を図2に示す。台にのせ、矢印の方向に試料の端が傾斜面に接触するまで移動させ、長さLを測定して、次式により求めた。

$$M_{BN} = W \cdot (0.5L)^3 \quad (2)$$

ここに、W：試料の1cm²当り重量である。

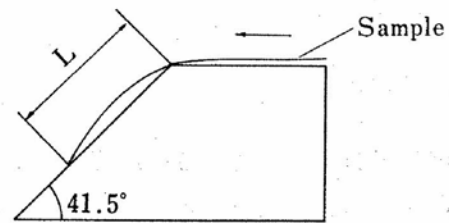


図2 Schematic diagram of measurement of bending modulus

iii) 剪断弾性率の測定

測定は、KES-LABO MODEL F1-Sにより行われ、次式により剪断弾性率を求めた。

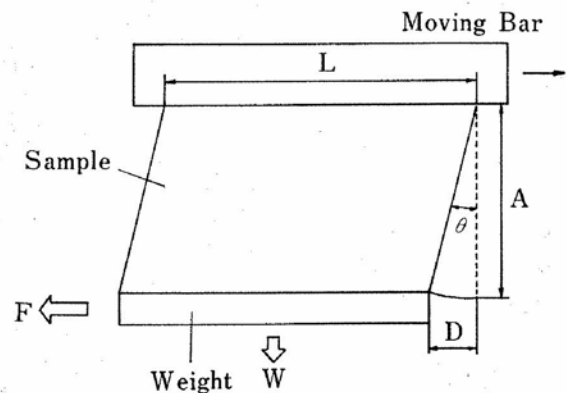


図3 Schematic represent of the measuring apparatus of shearing modulus

表2 Characteristic Modulus Parameters of Four kinds of Woven Fabrics and Japanese Writing Paper

Sample Code	A	B	
Cloth (A)	warp direction	4.0×10^4	1.7
	weft direction	3.8×10^5	2.3
Cloth (B)	warp direction	1.8×10^3	1.5
	weft direction	8.1×10^5	2.5
Cloth (C)	warp direction	3.8×10^5	1.8
	weft direction	3.1×10^4	1.7
Cloth (D)	warp direction	2.7×10^4	1.4
	weft direction	5.6×10^3	1.2
Paper	longitudial direction	5.2×10^6	1.9
	breadth direction	2.4×10^8	2.3

$$M_{SH} = (F - F_0) \cdot A / L \cdot D \quad (3)$$

ここに、A、L、Dは図3に示されるような寸法であり、F₀は荷重Wによって生ずる力で、次式により与えられる。

$$F_0 = W \cdot \tan \theta \quad (4)$$

この測定値も表1に示されているが、4式の補正にもかかわらず過大評価である。Wは200gと指定されているが、この1/10以下にすべきであろう。

B) コンピュータロボットの生成

i) ロボットの骨格

衣服を着用させるためのロボットは、人間の体形にできるだけ近いものであり、人間が行う運動を自在に行えるものでなければならない。このような理由から、従来の種々の考案はあるけれども¹⁾、ここでは衣服着用ロボットとして、人間に近い骨格を有し、筋肉をつけたロボットを開発した。図4にその骨格を示す。

この骨格は頭部を除き、5つの部分から構成される。すなわち、背骨、右手、左手、右足、左足である。これらの骨のひとつひとつは、ベクトルで表わされ、背骨と両足のベクトルの起点は、骨盤に相当するA点にある。両手のベクトルの起点

はB点である。

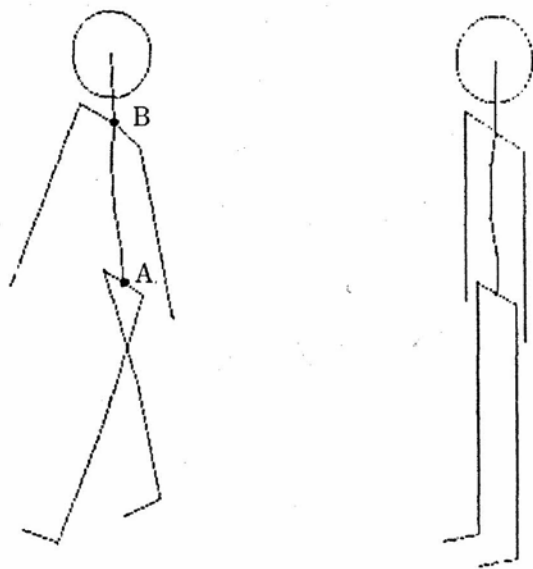
この骨格の特徴は、起点になる1本の骨のベクトルを回転するだけで、それ以降についている骨格全体が回転することにある。例えば背骨の第1ベクトルを回転すると、下半身はそのままで、上半身は全部回転してしまう。したがって、ロボットを運動させるのに極めて好都合である。

これらのベクトルの長さの比は人体の場合ほぼ一定であるので、人間の身長、座高、肩幅、腰幅の4つのパラメータにより決定することができる。

ii) ロボットの筋肉

人間の体形は、骨格よりもむしろ筋肉のつき方で大きく変わる。したがって、ロボットの筋肉は人間の種々の体形を表現できるものでなければならないし、また衣服を着せ易く、運動することによって変形できるものでなければならない。

ここでは、そのためのひとつの試みとして、単純ではあるが発展性のあるモデルとして、骨格となる棒に肉球を連ねた所謂串だご模型を考案した。この模型の特色は、衣服をロボットに着せるとき、衣服がロボットの肉の中に入らない条件をコンピュータで設定するのに便利だということである。この例を図5に示す。



A is the starting point of back bone and feet
B is the starting point of arms

図4 Skeleton of robot

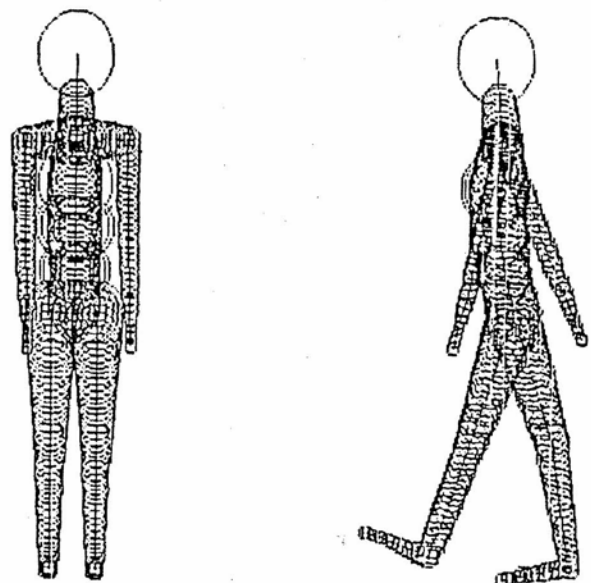


図5 Robot with muscle

C) 織物の変形状態のコンピュータシミュレーション

i) 織物の力学模型

織物の変形状態をシミュレートするには、織物の力学的特性を具備し、コンピュータで計算し易い力学モデルを作る必要がある。図6は、その平面格子模型である。

各格子点にある球は、破線で囲まれる部分の質量を代表する質点であり、各質点は、それぞれ隣接する質点と連結棒で結合されている。この平面

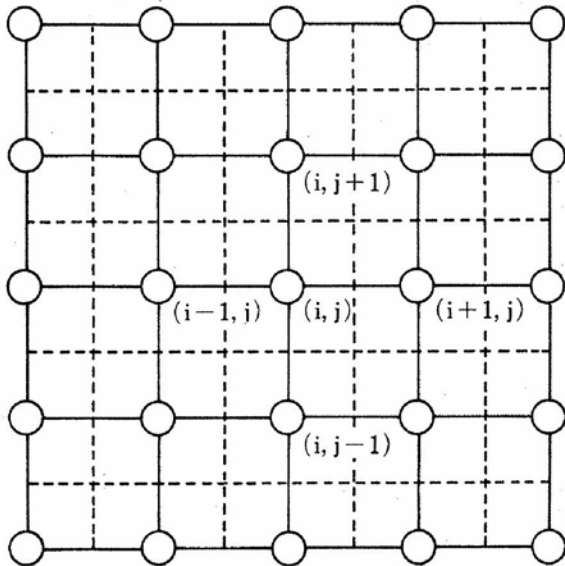


図6 Plane lattice model designed for computer simulation

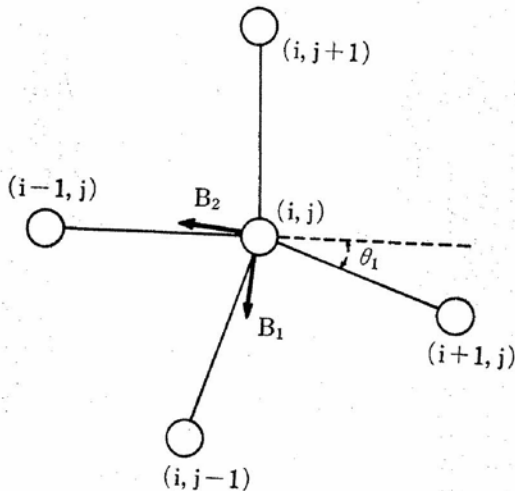


図8 Figure illustrating bending forces act on a particle (i, j)

格子模型は無歪状態では一平面上にあり、各連結棒は相互に直角である。各質点間の連結棒は伸張変形のみを受け、たて糸またはよこ糸方向の伸張応力を生ずる。隣接する連結棒間には、その角度を 90° に保つような力(剪断応力)を生ずる。また、反対側の連結棒間には、その角度を 180° に保つような力(曲げ応力)を生ずる。

図7, 8, 9は、このように定義された4つの伸張力, 2つの曲げ力, 4つの剪断力を図示したものであり、それぞれ次式で表わされる。

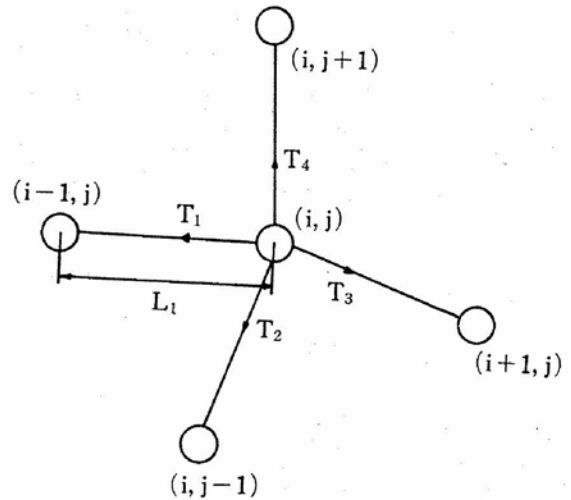


図7 Figure illustrating tensile forces act on a particle (i, j)

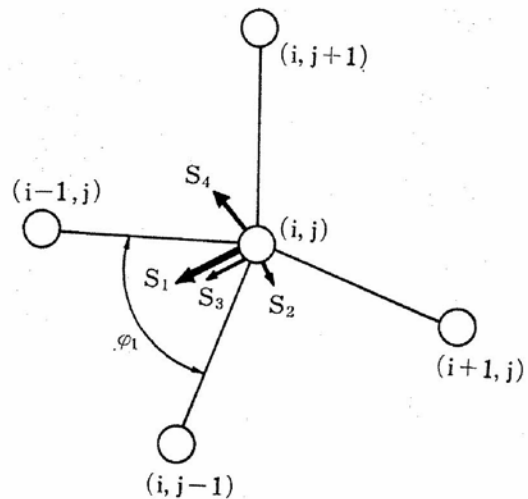


図9 Figure illustrating shearing forces act on a particle (i, j)

$$T_i = M_T \cdot (L_i - b) / b \quad (5)$$

$$B_i = M_B \cdot \theta_i \quad (6)$$

$$S_i = M_S \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_i \right) \quad (7)$$

ここで L_i は変形後の連結棒の長さ
 b は変形前の連結棒の長さ
 である。

ii) 織物の力学模型の変形の計算方法

着用された衣服の形態は、極言すれば、織物が物体に懸垂した状態といえる。したがって、ここでは織物が自重で懸垂する場合を、上述の平面格子模型を用いてシミュレートする方法を考える。

平面格子模型の $m \times n$ ケの質点には、それぞれ上述の10種の力と重力が作用し、それらの平衡状態として、織物の形態が決定される。

この場合、 $m \times n$ ケの質点について、力の平衡の方程式を作り、これを解く方法もあるけれども、障害物等があつて織物の変形に条件づけをしなければならない場合に、不連続関数となるために実用的な方法ではない。

したがって、ここではひとつの質点ごとに平衡点を求め、順に格子点を変えて行って繰返し計算を行い、最終的に全体の平衡状態を計算する方法を採用した。この方法は、計算時間は長くなるが、上述条件設定が易いことと、容量の小さい計

算機でも可能であるという長所を有する。そのうえ、実際の変形過程に近い状態を順々に見ることができるといふ長所もある。

しかしながら、この一つの質点にかかる力の平衡点を求める方程式も大変煩雑になるので、ここでは次の連立一次方程式で近似し、 $\frac{\partial F_x}{\partial X}$, $\frac{\partial F_x}{\partial Y}$, $\frac{\partial F_x}{\partial Z}$, $\frac{\partial F_y}{\partial X}$, $\frac{\partial F_y}{\partial Y}$, $\frac{\partial F_y}{\partial Z}$, $\frac{\partial F_z}{\partial X}$, $\frac{\partial F_z}{\partial Y}$, $\frac{\partial F_z}{\partial Z}$ はコンピュータで数値計算で求め、平衡点までの移動量 ΔX , ΔY , ΔZ を連立一次方程式の解として求めた。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F_x}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial F_x}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial F_x}{\partial Z} \Delta Z + F_{x0} &= 0 \\ \frac{\partial F_y}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial F_y}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial F_y}{\partial Z} \Delta Z + F_{y0} &= 0 \\ \frac{\partial F_z}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial F_z}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial F_z}{\partial Z} \Delta Z + F_{z0} &= 0 \end{aligned} \right\} (8)$$

ここに F_{x0} , F_{y0} , F_{z0} はそれぞれ X, Y, Z 方向の初期状態の力である。

iii) 両端把持懸垂織物のシミュレーション

図10, 11に、表1と表2に示す実例データを用い、両端を把持されて懸垂する織物の形状をシミュレーションした結果を示す。

図10はたて糸方向の両端を把持した場合で、図11はバイアス方向に把持した場合である。バイアス方向に把持する場合の方が懸垂による下降が大きい。

iv) 球に懸垂する織物のシミュレーション

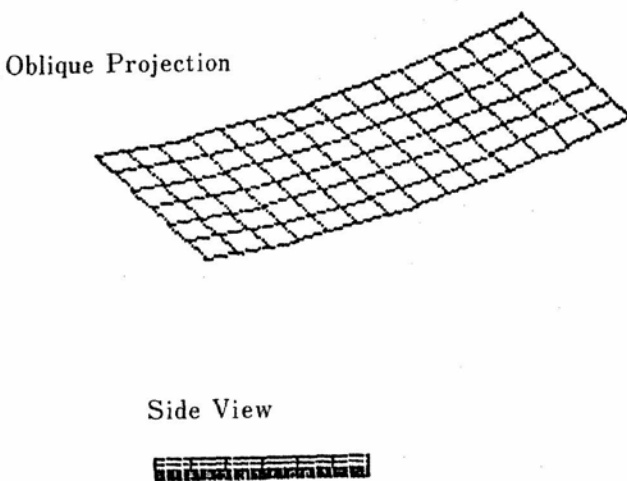


図10 Simulated natural hanging state in warp direction

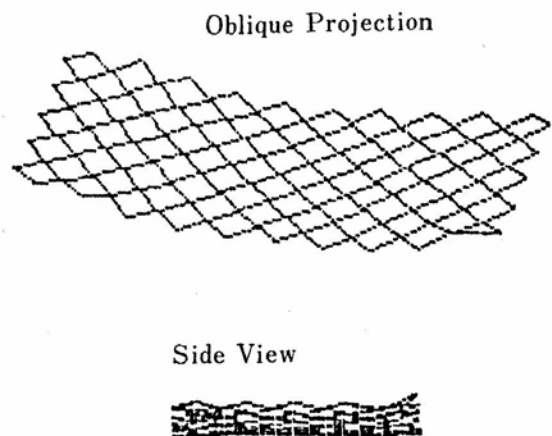


図11 Simulated natural hanging state in bias direction

衣服は布の連結物とし、人体を球の連結物とすると、人間が着用した衣服の形態のシミュレーションプログラムは、一枚の布が一つの球に懸垂する場合のプログラムが基本となる。

図12にその結果を示す。

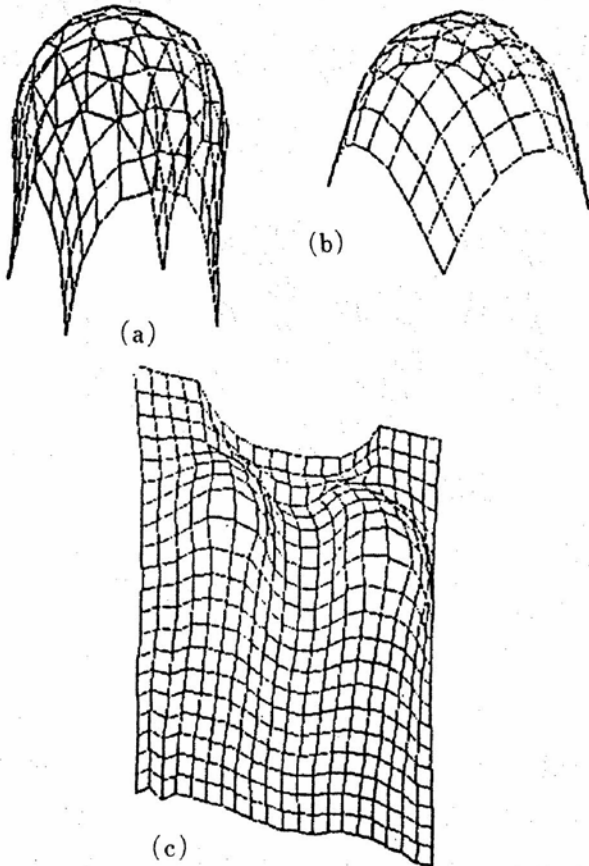


図12 Simulated hanging cloth on one or two spheres

(a)は引張り弾性率のみを用いた場合で、球に布がよくフィットしている様子が見られる。

(b)は剪断弾性率と曲げ弾性率を考慮した場合である。

(c)は二つの球に懸垂する場合である。

結 語

衣服着用シミュレーション用ロボットと、着用された衣服の形態をシミュレーションするための基本プログラム開発について述べた。

まだ初歩的段階にあるが、基本的な部分については、将来の発展性を考えて設計されているので、これを精密化すると共に、さらに裁断、縫製、着用のプログラムを開発し、結合すれば、ロボットに衣服を着用させて、歩いたり、走ったり、跳んだりするアニメーションTV映画を製作することもできる。また運動するときの着衣の変形状態も推定することも可能になる。

しかしながら、このようなシミュレーションを行うための力学的特性、特に引張り弾性率、剪断弾性率の評価が適当でない。適切な測定方法の開発が必要である。

文 献

- 1) Fetter, W.A.; Computer graphics human figure application of biostereometrics, *Computer-aided design*, 12, 175 (1980)