

動的姿勢変化を想定した人体モデリング

7R-5

— 衣服設計用人体モデルの構築 —

佐伯 貴利[†], 古川 貴雄[†], 清水 義雄[†]

信州大学 繊維学部

1. はじめに

被服設計への応用を考慮した人体モデルとして、人体の骨格を多関節構造体で表して骨格の運動を記述する幾何的モデルと骨格の運動に伴う体表面形状の変化を動的に表す弾性体モデルを統合した人体モデルの構築方法について報告する。本稿では、人体の姿勢を決定する幾何的な骨格モデルとその制御方法を示し、次に、骨格の運動により定まる体表面形状の表現する弾性モデルについて述べる。

2. 人体モデルの構成

運動器官としての人体は骨格系と筋肉系の2つの基本要素から構成される。骨格は内蔵諸器官を保護しながら人体を支え、運動の方向や位置を規定する受動的運動器官(受動器)である。一方、筋肉は筋組織からなり、受動器を制御して動作させる能動的運動器官(能動器)である。

人体モデルの姿勢は受動器である骨格モデルと能動器である筋肉系モデルにより定める。ここでは、まず、能動器である筋肉の収縮量を設定する。筋肉の収縮量と関節についての情報を用いて各関節の角度を求める。次に、階層表現された骨の接続関係を用いて、ワールド座標系に骨格モデルを記述する。決定された骨格モデルの姿勢から弾性体モデルの初期状態を設定する。弾性論に基づいた人体モデルにより姿勢変化に伴う体表面形状の変化を表す。

2.1 関節モデル

上肢、下肢、頭、首、胸部、腰部、骨盤から構成される多関節構造体の骨格モデルは65個の部品を用いる。これらの部品は関節により相互に接続され、階層構造をとる。ここでは、骨格モデルにおける最上位の関節を骨盤とし、その他の関節を骨盤の下位に定義していく。ここでは、部品間に関係をリストにより記述し、関節の追加や削除など関節構成部品の変更も容易になる。

2.2 筋肉系モデル

上肢や下肢、体幹などの筋肉は骨格を動かすため骨格筋と呼ばれる。関節を屈伸する筋肉には屈筋と伸筋に2種類があり、それぞれ関節を曲げる動作と反対に関節を伸ばす動作を行う。筋肉の収縮による関節の動作は図1に示す屈曲と回旋を基本動作をして考える。図1(a)は、点bを中心に骨 \overline{ab} と骨 \overline{ac} が関節を構成している状態を示している。骨 \overline{ab} 、骨 \overline{ac} 上の点dと点eとを結ぶのが筋肉 \overline{de} である。骨 \overline{ab} を基準にして固定すると、筋肉 \overline{de} の収縮により骨 \overline{ac} は、点bを中心に反時計回りに回転する。この運動は回旋を除く屈曲や外転などの運動に対応する。 \overline{ad} , \overline{ae} , \overline{de} の長さをそれぞれ d_1 , d_2 , l と表すと関節の回転角度 θ は

$$\theta = \cos^{-1} \{ (d_1^2 + d_2^2 - l^2) / 2d_1d_2 \} \quad (1)$$

となる。筋肉の収縮量から l を求めて式(1)に代入すると関節の回転角度が定まる。

図1(b)は骨に相当する円柱の回りに筋肉 \overline{ab} が螺旋状に付着している状態を示している。点aを固定点とすると、筋肉 \overline{ab} の収縮により点bは点aに引き寄せられるため円柱は捻れる。この運動が回旋運動に対応する。円柱の半径と高さをそれぞれ r , d と表し、筋肉 \overline{ab} の長さを l とすれば、回転角度 ϕ は

$$\phi = \sqrt{l^2 - d^2} / r \quad (2)$$

となる。

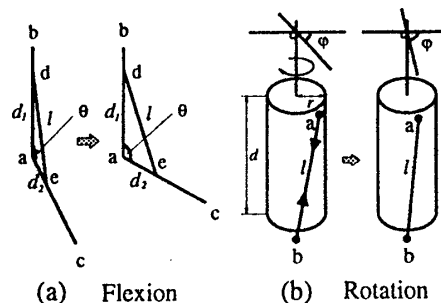


図1: 関節モデル

3. 弾性体モデル

人体は骨格、筋肉、内蔵や脂肪など力学的な特性の異なる物質の集合体である。そこで、人体を部位によって

Human Body Model Allowing for Dynamic Posture Changes
— Human Body Modeling for Apparel Design —

[†]Takatoshi Saeki, Takao Furukawa and Yoshio Shimizu
Shinshu University
3-15-1 Tokida, Ueda, 386, Japan

密度や弾性率の異なる物質から構成される複合材料とみなし、その変形挙動の解析から人体表面形状を決定する。物体の変形挙動は偏微分方程式で表すことができ、偏微分方程式の解法として有限要素法を適用すると次式が求まる。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = f \quad (3)$$

ここで、ベクトル u は人体モデルの表面および内部に存在する標本点の変位を表し、行列 M, C, K とベクトル f はそれぞれ、質量行列、粘性行列、剛性行列、および外力を表す。このような粘性減衰系の弾性体は図2のような要素がネットワークを構成したものとみなせる。

人体のように物理的な性質が部位によって異なる複合材料の変形挙動を表すには、部位により質量成分や剛性成分を変更すればよい。

ここで、式(3)の粘性行列を $C = \alpha M + \beta K$ とする。この場合、一般固有値問題 $K\phi = \lambda M\phi$ から求まる固有値、固有ベクトルを用いて式(3)を次のように書き換えることができる。

$$I\ddot{w} + (\alpha I + \beta K)\dot{w} + \Lambda w = \Phi^T f \quad (4)$$

ここで、

$$\begin{cases} w = \Phi u \\ \Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & 0 \\ & \lambda_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & & \lambda_n \end{bmatrix} \\ \Phi = [\phi_1 \ \phi_2 \ \dots \ \phi_n] \end{cases}$$

式(4)は物体の各固有振動を表す常微分方程式である。そのため、式(4)の解 w を合成すると人体形状の変位 u が求まる。一般に、物体の変形挙動は低次固有振動成分に集中するため、低次固有振動成分の合成だけで変形挙動を近似できる。

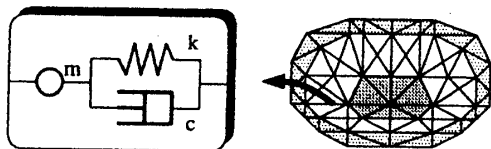


図2: 粘性減衰系の弾性体

4. 実験結果

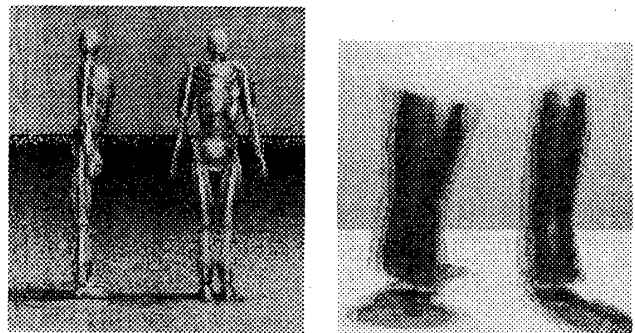
図3(a)に骨格モデルと図3(b)に体幹部の弾性体モデルが動的に変形する様子を示す。弾性モデルには、腹部

にある腹直筋を伸長した場合の形状変化を人体前面及び側面から観察している状態を示している。ここでは、体幹部を脊椎、内臓、筋肉、皮膚に4領域に分け、密度やヤング率などの物理定数はそれぞれ異なる値を用いている。図3(b)では領域境界面のサーフェースモデルを半透明物体として表示している。

5. むすび

本稿では、幾何的な骨格モデルと弾性体モデルとを統合した人体モデルを提案している。骨格を受動器、筋肉を能動器とみなし、筋肉の収縮量により骨格モデルの姿勢を制御する方法を示した。基本的な姿勢変化を与えるための骨と筋肉を選択し、関節の動きを2つの基本パターンに代表させている。また、人体は骨格、内臓、筋肉など物理的な特性が異なる物質の集合体である。そこで、人体を物理特性が異なる物質から構成される複合材料とみなし、弾性論に基づく人体モデルを示した。

動的な姿勢変化と衣服との関係は衣服の評価に与える影響が大きく、被服設計ではこれらの関係を把握する必要がある。提案した人体モデルでは動的な姿勢変化を表せるため、アパレルCADシステムへの応用が期待できる。各種物理定数の設定方法が今後の課題として残されている。



(a) skelton model

(b) elastic model

図3: モデルの姿勢変化

参考文献

- (1) D. T. Chen, and D.Zeltzer : "Pump It Up: Computer Animation of a Biomechanically Based Model of Muscle Using the Finite Element Method", Computer Graphics, 26, 2, pp. 89-98 (July 1992)
- (2) K.Singh, J.Ohta and F.Kishino : "Realistic Modeling and Animation of a Muscle and Skin Layer for Human Figures using Implicit Function Techniques", 情処研報, 94-CG-59, pp. 49-56 (1994-07)
- (3) 佐伯 貴利, 古川 貴雄, 汪 進, 清水 義雄: "動的姿勢変化を想定した人体モデリング", 信学技報, PRU-79-102, pp. 7-12 (1995-07)