シルエット画像に基づいて個人体形を反映する 3次元形状モデルの変形法

今尾 公二，亀田 能成，美濃 導彦，池田 克夫

京都大学大学院工学研究科

〒606-01 京都市左京区吉田本町

e-mail: imao@kuis.kyoto-u.ac.jp

あらまし　個人体形を表現する３次元形状モデルである個人体形モデルは，“仮想現実感” におけるユーザのメタファなどに有用であるが，現在，個人体形モデルの生成のためには，３次元計測装置が必要とされている．そこで，個人体形の形状情報としてシルエット画像のみを用い，予め用意した原形モデルを変形して個人体形モデルを生成する手法を提案する．本研究では，個人体形モデルの表現形式としてパッチモデルを使用し，シルエット画像として直立姿勢で正面と側面から撮影したものを用いる．提案する変形手法では，原形モデルを，シルエット画像との輪郭の対応と，原形モデルと結果モデルとの間に仮定する局所相似性に基づいて変形する．実験として，実在の人体を測定した３次元計測データと，本変形手法の結果を比較し，変形により対象の人体に近い形状を持つ個人体形モデルを構成できることを確認した.

キーワード　３次元形状モデル，人体モデル，３次元変形，シルエット画像

A Deformation Method of a Three Dimentional Shape Model For Representing a Personal Human Body Shape Based on its Shilhouette Images

Koji IMAO　Yoshinari KAMEDA　Michihiko MINOH　Katsuo IKEDA

Faculty of Engineering, Kyoto University

Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-01, Japan

Abstract　A personal body shape model(PBSM), which represents a personal human body shape, is useful for such as a user's metapher in “Virtual Reality.” In order to obtain such PBSMs, currently a three-dimentional measure device is necessary. We propose a method to generate a PBSM by deformation of an original model, referring to silhouette images of the human body. In this method, we use a patch model for a PBSM and an original model, silhouette images taken in front and on side of the human body. The original model is deformed under constraints of contour correspondance between the silhouette images and the original model and local similarity between the original model and the result. We applied this method to actual female bodies. The shape defference between mesured data and the result PBSM became far smaller than that between the data and the original model.

Keywords　3D Model, Human Body Shape Model, 3D Deformation, Silhouette Image

1　はじめに

現在，個人の体形を表現する３次元形状モデルである個人体形モデルが必要とされている．例えば，“仮想現実感”(VR) において，没入感を強化するための一つの手法として，個人体形モデルをユーザのメタファとして利用することは有用であると考えられる．また，特定の個人が使用する衣服の仕立，家具の設計のためなどに利用できる．

個人体形モデルは，対象とする個人体形を正確に表現していなければばならない．現在，このような個人体形モデルを構成するためには，３次元計測装置が必要とされるが，一般に普及しているものではない．そこで，ビデオカメラなどから簡便に得られる２次元画像をもとに，３次元形状モデルを構成する研究がなされている．

人体では，表面は複雑な曲面を成し，テクスチャも多様である．そのため，人体形状についての知識を持たず，３次元形状情報が縮退している２次元画像のみをもとに３次元形状モデルを構成するのは困難である．そこで，予め対象人体に近い体形の他の人体形状モデルである原形モデルを用意し，容易に取得できるシルエット画像をもとに原形モデルを変形することで，対象人体の個人体形モデルを得る手法と，そのための変形手法を提案する．

本研究で提案する変形手法では，各個人の体形間に局所的な相似性を仮定し，２次元画像と共に利用して変形する．個人体形の形状特徴は画像から得ることができ，人体の普遍的形状特徴を原形モデルから得ることができる．さらに，変形手法を用いることにより，これらの体形特徴を統合できると考えられる．特に体形を扱う際には，個人体形モデルとしては姿勢を限定する．局所的な相似性とは，その場合に，人体各部の構造は各個人で共通と考えられるため，局所的な観点で各個人の体形に仮定できる相似性である．

2　シルエット画像と局所相似制約に基づく変形法

図１に，全体図を示す．

本手法では，原形モデルと，対象人体を撮影したシルエット画像を用いる．原形モデルは，一般的な人体の形状特徴を持っているものと考え，シルエット画像に，個人体形の形状情報が含まれていると考える．

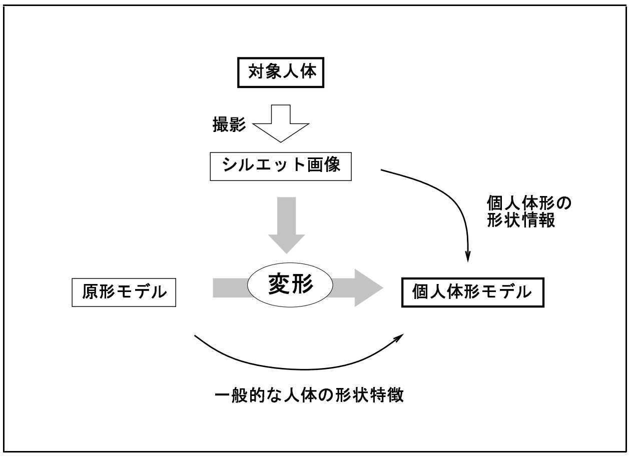


図１　全体図

また，本研究では，２段階から構成される変形手法を用いる．第１段階として，輪郭の対応による変形を行い，第２段階として，輪郭一致制約と局所相似制約に基づく整形を行う．

以後，この個人体形モデルを生成するためにシルエット画像を撮影する人体を，対象人体とし，第１段階の結果を中間モデル，生成された個人体形モデルを結果モデルと表記する．

2.1　原形モデル

原形モデルは一般的な人体の形状特徴を持っている必要がある．そこで，原形モデルは，実在のある個人の人体を計測し，その実測データをもとに構成する．ある個人の体形には，一般的な人体の形状特徴が含まれていると考えられる．

原形モデルや結果モデルの表現形式としては，パッチモデルを使用する．パッチモデルは，曲面を多数の平面であるパッチの組合わせで近似する表現形式である．そのため，パッチモデルでは曲面の滑らかさは失われてしまう．しかし，パッチ数を増やして近似精度が十分高い場合，仮想現実感などで見た目が重要な応用においても，コンピュータグラフィックスの技術を利用することで，実用的に利用されている．

2.2　シルエット画像

変形の際には，シルエット画像に含まれる個人体形の形状特徴を利用することとなる．シルエット画像とは，画像中の被写体の存在する部分かそうでないかを２値で表した画像である．シルエット画像は，背景が既知の場合，ビデオカメラなどで撮影した多値画像を処理することで簡便に得ることができる．このような撮影環境を用意するこ

とは困難なことではないので，本研究では，正確な輪郭を抽出できるシルエット画像が得られることを前提として議論を進める．

シルエット画像を使用する際のの問題点として，シルエット画像は２値画像であるので，人体各部に重なりが生じる場合，重なった部分の輪郭情報を得ることができないことが挙げられる．本研究では，人体の姿勢，シルエット画像の撮影方向を固定することにより，重なりの問題に対処する．対象とする人体の姿勢としては，余計な力が入る部分の少ない正立で腕を下ろした姿勢とした．

撮影方向としては，正面と，側面を考える．正面は，最も人体各部の重なりが少ない方向であり，個人体形の特徴が多くシルエット画像に現れる方向と考えられる．ただし，後に述べる実験でも明らかになるように，正面だけでは，十分な個人体形の特徴の情報を得ることができない．

そこで，人体に左右対称性を仮定し，側面からのシルエット画像も用いる．側面からのシルエット画像では，腕の輪郭が現れないようにし，両脚の輪郭は完全に一致しているものと仮定する．その他，乳房，肩胛骨，大胸筋等，左右で膨らんでいる部分の輪郭も一致しているものとする．

正確に個人体形の形状情報をシルエット画像から得るためには，できるだけ多く方向からシルエット画像を撮影する方が望ましい．しかし，重なりの問題もあり，単純にシルエット画像の枚数を増やすことはできない．

2.3　変形手法

本変形法は，輪郭の対応にもとづく変形と，局所相似制約に基づく整形の２段階からなる．図２に，輪郭の対応の様子を示す．

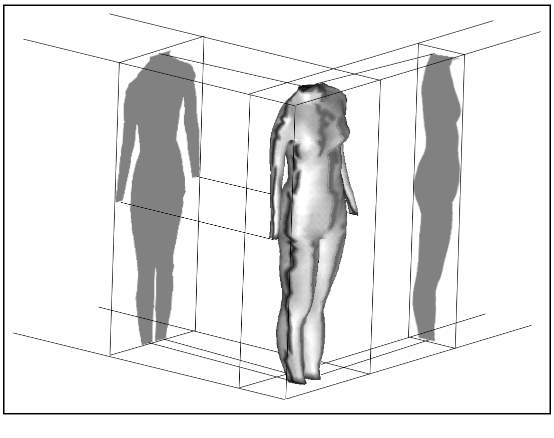


図２　輪郭の対応

第１段階の輪郭の対応に基づく変形では，輪郭上の特徴点を，原形モデル，シルエット画像間で対応づけ，それを制御点として Free Form Deformation (FFD) を用いて変形する．

第２段階の局所相似制約に基づく整形では，第１段階の結果を初期値として，輪郭一致制約と，原形モデルと整形後の結果モデルの間の局所相似制約をエネルギー関数で表現し，このエネルギー関数を最小化するように収束計算し，整形を行う．輪郭一致制約とは，整形後の結果モデルの輪郭がシルエット画像と一致しなければならないという制約である．

第１段階では，輪郭の対応に基づいて変形するため，第２段階の収束計算における輪郭一致制約を表現するエネルギー関数の値が小さくなり，第２段階の収束計算を高速化できる．また，正確に輪郭をたどって原形モデル，シルエット画像の対応づけを行うため，複数の輪郭が近接している部分でも，輪郭の対応づけを誤ることが少ない．第２段階では，輪郭を正確にたどるような対応づけは，エネルギー関数で表現するのは困難であるが，第１段階で輪郭が対応づけられているので，簡単なエネルギー関数で輪郭の対応を表現するだけでよい．

一方，第２段階の整形では，輪郭の対応と共に，局所相似性に基づいて原形モデルの形状特徴を継承するように整形を行う．第１段階では，輪郭上の特徴点のみに注目して変形するため，輪郭上の特徴点の抽出や輪郭対応の誤差が変形結果に影響を及ぼす．また，輪郭に現れない部分の形状は，第１段階では補間によって決定されるが，第２段階では局所相似性に基づいて整形される．

2.4　局所相似性

人体において，姿勢を固定した場合，個人体形を形作るもととなる人体内部の組織の構造は，各個人間でほぼ同じと見なせる．その場合，各個人の人体の一部分に注目し，その形状を比較した場合，その部分どうしは大きさ，長さが違っても，その形は似ている．つまり，各個人の体形の違いは，このような，人体の部分毎の相対的な大きさの違いだと考えることもできる．そこで，形が似ているということを，相似の関係にあると仮定し，このような人体の部分間の相似性を局所相似性とする．

3　輪郭の対応による変形法

輪郭の対応による変形法は本変形手法の第１段階にあたる．ここでは，シルエット画像，原形モデルそれぞれの輪郭を対応づけし，双方の輪郭が一致するように原形モデルを変形する．

２枚のシルエット画像を用いる場合，正面と側面のシルエット画像から輪郭の対応づけが得られるが，シルエット画像の精度によっては，双方の対応づけに矛盾が生じる場合がある．これは，１枚のシルエット画像から，２次元の対応づけが得られるため，２枚の場合，４次元となって１次元分重なるためである．本変形手法では，正面からのシルエット画像に基づき，２次元の対応づけを行い，側面からのシルエット画像では，水平方向の１次元のみの対応づけを行う．

3.1　輪郭の抽出

本変形法では，原形モデルとシルエット画像の輪郭による対応づけを行うため，双方から輪郭を抽出しなければならない．シルエット画像の輪郭とは，シルエット画像の輪郭を形成している画素の系列のことであり，簡単な画像処理によって得ることができる．

原形モデルの輪郭とは，シルエット画像を撮影した同じ状況（カメラパラメータ）で，原形モデルをシルエット画面に投影した際に投影像の輪郭上に投影される，原形モデルの部分のことである．原形モデルにパッチモデルを使用しているため，原形モデルの輪郭は，輪郭上に投影されるパッチモデルの頂点の系列となる．これらの頂点を輪郭上頂点と表記する．図 2 の中央の原形モデル上で，色が濃くなっている部分が，輪郭上頂点の部分に対応する．

3.2　輪郭の対応づけ

次に，原形モデルと，シルエット画像からそれぞれ抽出した輪郭同士の対応づけを行う．ここでの対応づけとは，頭部の輪郭，腕の輪郭のように，人体の同じ部分の輪郭の位置を，双方の輪郭の系列上で求めることである．人体の各部分の輪郭に対する全身の輪郭上の位置を抽出することで，誤った対応づけによって，脚を腕に変形するような望ましくない変形が避けられる．実際には，原形モデルと，シルエット画像の輪郭特徴点を対応づけ，輪郭特徴点間の輪郭は，等分点同士を対応づける．

人体を正面から投影したシルエット画像の輪郭上で，形状的に容易に抽出できる輪郭特徴点として，首中央，手先，脚先，脇，股間を用いる．手先，脚先，脇は左右あるので，全身で８点用いることとなる．これらの点は，輪郭上では輪郭が突出している部分である．つまり，輪郭特徴点は，その両側の輪郭が近接している部分の先端である．よって，輪郭特徴点を抽出するために，次の関数の値を輪郭各部で計算し，極小となる点を求める．

$$E(i)=\sum_{j=1}^{M}|\boldsymbol{p}_{i+j}-\boldsymbol{p}_{i-j}|^2$$

$\boldsymbol{p}_i$ は，輪郭上の点の位置，i は輪郭の点の系列中の位置，M は定数である．

実際に，人体の輪郭で計算した結果を，図 3 に示す．はっきりとした極小点が見られる部分が，輪郭特徴点にあたる点で８点ある．

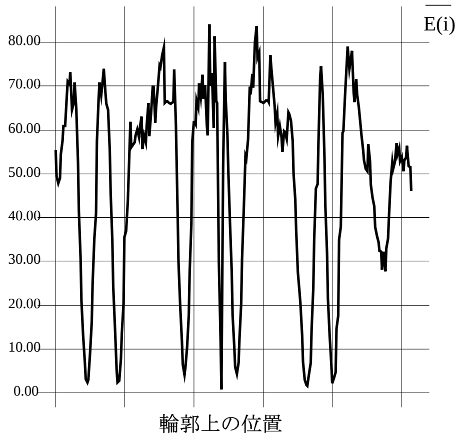


図 3　輪郭特徴点を示す関数 $E(i)$

それら極小点の人体上での位置を考慮し，どの輪郭特徴点であるかを判断する．

実際に女性の原形モデルと，別の女性のシルエット画像の輪郭の対応をとった例を図 4 に示す．太線で示されているのが，原形モデルとシルエット画像の輪郭を，その間をつないでいる細線が，各々の輪郭上の点同士の対応を示す．

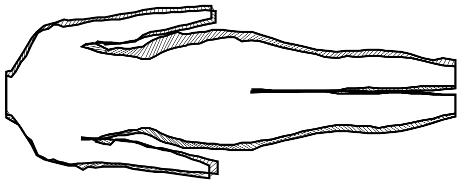


図 4　輪郭の対応

3.3 輪郭の対応づけに基づいた変形

輪郭の対応づけをもとに，原形モデルの輪郭の投影像がシルエット画像の輪郭に一致するように，原形モデルを変形する．ここでは，輪郭の対応づけを制御点として利用し，Free From Deformation (FFD) [4] により変形する．FFD とは，変形したい３次元モデルを含む空間全体を，制御点における変形量の指定によって歪ませることにより，変形を行う方法である．変形量は，シルエット画面上で，対応する原形モデルの輪郭上の点の投影像の位置から，シルエット画像の輪郭上の点の位置までのベクトルとする．

通常 FFD では，制御点は格子点上に指定するが，本変形法の場合，制御点は原形モデルの輪郭上にあるため，自由な位置に制御点を設定できる，次のような補間関数を用いる変形方法を用いた．

$f(\boldsymbol{x})$ は$\boldsymbol{x}$における変形量，$\boldsymbol{y}_i$ は制御点 $\boldsymbol{x}_i$ での変形量, R は制御点の影響半径を表す定数, $d_i(\boldsymbol{x})$ は，$\boldsymbol{x}_i$ から $\boldsymbol{x}$ までの距離を表す.

$$f(\boldsymbol{x}) = \sum_{i=1}^{n} w_i(\boldsymbol{x})\boldsymbol{y}_i$$

$$w_i(\boldsymbol{x}) = \frac{\sigma_i(\boldsymbol{x})}{\sum_{j=1}^{n}\sigma_j(\boldsymbol{x})}$$

ただし， $\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}_i$ のとき，$f(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{y}_i$

$$\sigma_i(\boldsymbol{x}) = \begin{cases} \left(\frac{R-d_i(\boldsymbol{x})}{Rd_i(\boldsymbol{x})}\right)^{\mu}, d_i(\boldsymbol{x}) < R \\ 0 \quad , d_i(\boldsymbol{x}) \geq R \end{cases}$$

この補間関数では，制御点からの距離が大きくなるほど小さくなる重み関数を，各制御点での変形量にそれぞれかけて足し合わせて，ある点での変形量を求める．ただし，ある一定の距離 R を越えるとその制御点に関する重み関数の値は 0 になる．

3.4 側面からのシルエット画像に基づく変形

側面からのシルエット画像は，水平方向に高々一つの部分しかない．そこで，シルエット画像の水平方向の幅と，原形モデルのシルエット画面に投影した際の幅が一致するように，原形モデルを変形させる．つまり，原形モデルにおける側面から投影した際の輪郭上頂点を水平方向に移動させ，シルエット画像の輪郭上に来るように変形する．その他の頂点は，補間によって移動させる．

4 局所相似制約に基づく整形

第２段階の局所相似制約に基づく整形では，第１段階において原形モデルを変形してできた中間モデルを，さらに，原形モデルとの間の局所相似制約と，シルエット画像との輪郭一致制約に基づいて整形を行う．局所相似制約，輪郭一致制約はそれぞれエネルギー関数で表現し，これらの関数の和を最小化するように整形を行う．

4.1 エネルギー関数による制約の表現

原形モデルと結果モデルとの局所相似制約，シルエット画像と結果モデルの輪郭一致制約を，エネルギー関数で表現する．

- 局所相似制約

  局所相似制約は，基本的には幾何的相似性に基づく．幾何的相似性とは，拡大，縮小，回転，平行移動の操作，または，それらの組合わせの操作を行ったパッチモデルと，もとのパッチモデルとの間にある幾何的な関係を示す．本変形法では，幾何相似性を満たし，パッチモデルに対する局所的な制約となるものとして以下の三つを用いた．それぞれの制約とそれに対するエネルギー関数を挙げる．n は原形モデルの総パッチ数を表す．

  1. 隣接パッチ間の面積比の保存

  $$E_s = \sum_{i}^{n}\sum_{j}^{3}\left(\frac{S_i}{S_i^0} - \frac{S_{h_i^j}}{S_{h_i^j}^0}\right)^2$$

  h_i^j　パッチ i に隣接する３パッチ $(j = 0, 1, 2)$

  S_i　整形後のパッチ i の面積

  S_i^0　原形モデルのパッチ i の面積

  2. 隣接パッチ間の交わる角度の保存

  $$E_a = \sum_{i}^{n}\sum_{j}^{3}\left(A_{i,h_i^j} - A_{i,h_i^j}^0\right)^2$$

  h_i^j　パッチ i に隣接する３パッチ $(j = 0, 1, 2)$

  A_{i,h_i^j}　整形後の隣接２パッチ間の角度

  $A_{i,h_i^j}^0$　原形モデルの隣接２パッチ間の角度 $(-\pi < A_{i,h_i^j}, A_{i,h_i^k}^0 < \pi)$

  3. 各パッチの３辺の長さの比の保存

  $$E_v = \sum_{i}^{n}\sum_{k}^{3}\left(\frac{L_{e_i^k}}{L_{e_i^l}} - \frac{L_{e_i^k}^0}{L_{e_i^l}^0}\right)^2$$

e_i^k	パッチ i の3辺 $(k = 0, 1, 2)$
l	$(k+1) \bmod 3$
$L_{e_i^k}$	整形後のパッチ i の辺 e_i^k の長さ
$L^0_{e_i^k}$	原形モデルにおける パッチ i の辺 e_i^k の長さ

- 輪郭一致制約
本変形手法の第一段階で，正確にシルエット画像，原形モデルの輪郭をたどり，それぞれを対応づけているので，ここでは，単純に中間モデルの輪郭上頂点の投影像と，シルエット画像の輪郭との距離の近さを輪郭上頂点の一致度とする．

$$E_c = \sum_d^m |P_d - C_d|^2 + \sum_e^{m'} |P'_e - C'_e|^2$$

m は正面からのシルエット画像に対する輪郭上頂点の数，P_d は，輪郭上頂点 d の正面からのシルエット画面への投影像となる点，C_d は正面からのシルエット画像の輪郭上で，点 P_d に最も近い点を表す．m', P'_e, C'_e はそれぞれ同様に側面からのシルエット画像に対するものである．

4.2 エネルギー関数の最小化

上記の個々の制約に対するエネルギー関数の重み付きの総和を E を最小化することによって整形を行う．

$$E = w_s E_s + w_a E_a + w_v E_v + w_c E_c$$

ここでは，最急降下法の原理を用いて，E を最小値に収束させる．ただし，輪郭の一致制約の重みパラメータは，最小化の初期段階では小さく，次第に大きくする．最終的には，輪郭上頂点は必ずシルエット画像の輪郭上へ投影される位置で固定し，その他の頂点のみを移動させ，局所相似制約を最大限に満たすよう整形する．

このエネルギー関数 E は，原形モデルの頂点数 $\times$ 3 の変数をもつ，非線型な関数である．そのため，最適解を求めることは事実上困難である．本変形手法の第1段階で，結果モデルに近い形状まで変形しているため，エネルギー関数の値は，準最適値に近いと考えられるので，特に最小化の方法によらずとも，準最適解が得られると考えられる．

5 実人体での実験と考察

提案する変形手法を，実在の人体を測定した3次元実測データをもとに構成した原形モデルとシルエット画像に適用して個人体形モデルを生成し，結果モデルと3次元実測データとの形状の違いを調査した，

5.1 人体モデル

実在の人体を3次元計測器で測定した3次元実測データをもとに，人体モデルを作成した．３次元実測データは，社団法人 人間生活工学センターから提供されている，３次元人体画像データである．３次元人体画像データは，性別，年齢，体形に応じた複数のものが提供されており，今回は，女性，２０から２９歳で，中背の典型とされるもののうち，やせ形，中肉，太り型の典型に近いと思われる三つを使用し，それぞれに対して人体モデルを作成した．

３次元実測データは，人体表面上の多数の点における３次元座標の集合であり，これらの点は，人体表面上にほぼ均一に分布している．ただし，原形モデルにおいて，頭部，手，足については，毛髪の影響や構造の細かさから３次元人体画像データに十分な形状情報が含まれてないため，変形の対象外とし，これらの部分は省いた形を用いた．

図 7-(a) に，作成した人体モデルの一つを挙げる．以後，やせ形，中肉，太り型の人体モデル，それぞれを人体モデル A, B, C と表記する．それぞれの人体モデルは，2704 頂点，5405 パッチで構成した．

5.2 実験方法

まず，対象とする人体を選び，その人体モデルからシルエット画像を作成した．図 6 に例を示す．正面からのシルエット画像は，輪郭上頂点の系列で代用し，側面からのシルエット画像は，原形モデルの投影像を用いた．実際の人体をビデオカメラなどで撮影したものではないが，実測データを元にしているので，同様のシルエット画像を得ることができた．

次に，原形モデルとして，対象とする人体以外の人体モデルを使用するこれらのシルエット画像と，原形モデルに本変形手法を適用し，個人体形モデルである，結果モデルを生成した．各シルエット画像の組に対して，自分自身以外の二つの原形モデルの変形に用い，個人体形モデルを生成する．

よって，シルエット画像と原形モデルの組合わせは６通りとなる．

また，整形の際には，局所相似制約を表現するエネルギー関数の重みパラメータは，第１段階の変形の結果に対して計算したそれぞれの値が初期的には一致するように決定した．

結果モデルと３次元実測データとの形状差の評価である誤差として次のものを用いた．結果モデルの各頂点について，その頂点から最も近い，３次元実測データで表現される曲面上の点を探し，頂点とその点との距離を，その頂点における誤差とする（図 5）．結果モデル全体としては，全頂点の誤差の平均値を求め，その値で評価する．

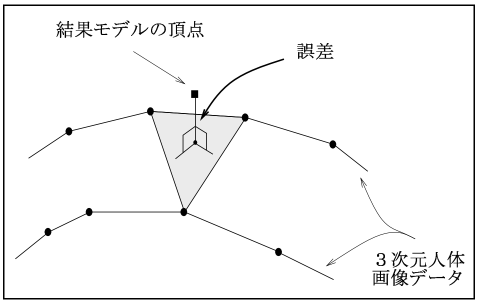


図 5　誤差

5.3　実験結果

変形結果の例を図 7-(b)，測定した誤差を表 2 に示す．ただし，両腕の部分は，側面のシルエット画像上での重なりのため形状情報が得られない．そこで，誤差の評価の際には，両腕の部分は対象としなかった．なお，各個人体形モデル，３次元実測データは実際のスケールで扱い，誤差は mm で測定した．

参考のために，各人体モデル間のの体形差を挙げる．３次元実測データから構成した人体モデルと３次元実測データとの誤差は 0.5mm 程度で小さい．そこで，人体モデルと別の人体の３次元実測データを，上で述べた誤差の測定方法で比較することで，各個人間の体形差を数値で評価した．表 1 に結果を示す．

表 2 で示すように，各個人間の体形差が 13 から 17 mm あるのに比較して，シルエット画像を２枚使用して変形した結果モデルの誤差は，それぞれ 3.8 から 5.3 mm と小さい値となっている．次に，正面からのシルエット画像を１枚のみ使用して変形，整形した場合の結果を表 3 に挙げる．２枚のシルエット画像を用いる場合と比較して，8.0 から 10.9 mm と大きい誤差が出ていることがわかり，シルエット画像を２枚使う有効性を示している．

表 1　各個人間の体形差

３次元実測データ	原形モデル	平均誤差
A	B	17.063
A	C	14.408
B	C	13.990

表 2　生成した個人体形モデルの誤差
（シルエット画像 ：２枚）

原形モデル	シルエット画像	平均誤差
A	B	4.786
C	B	4.786
B	A	3.828
C	A	4.368
A	C	5.078
B	C	5.325

表 3　生成した個人体形モデルの誤差
（シルエット画像 ：１枚）

原形モデル	シルエット画像	平均誤差
A	B	7.999
C	B	10.169
B	A	9.580
C	A	10.856
A	C	10.355
B	C	9.837

6　おわりに

対象の人体の個人体形モデルを生成するために，他の人体形状を持つ原形モデルを，対象の人体のシルエット画像に基づいて変形する変形手法を提案し，実際の人体に適用する実験を行い，有効性を示した．

変形による個人体形モデルの生成のためには，原形モデルから一般的な人体の形状特徴を，シルエット画像から個人体形の特徴を得て，それらの特徴を統合するように変形しなければならない．本研究では，結果モデルと原形モデルの局所相似制約と，結果モデルとシルエット画像の輪郭の一致制約の双方を満たすような変形手法を提案した．

実験として，３人の実際の女性を計測した３次元人体画像データをもとに作成した原形モデルと，

それぞれの女性の正面，側面のシルエット画像を用意した．それらを用いて，相互に変形して結果の個人体形モデルを得，３次元実測データと比較して結果の誤差を測定した．実験の結果，３人の女性の体形差と比較して，生成した個人体形モデルは，小さい誤差で対象の個人体形を表現できた．また，シルエット画像を２枚用いた場合は，正面のみを用いた場合より，誤差が半分程度になった．

今後の課題としては，シルエット画像以外から得られる，個人体形を表現する特徴量も統合して，変形を行う方法について考察することが考えられる．例えば，人体の場合は，個人の体形を表現するために，各部の長さを採寸することが一般に行われているので，これらの特徴量は，利用する方法が考えられる．

また，シルエット画像よりも形状情報を含んでいると考えられる濃淡画像を用いる方法も今後の課題である．濃淡画像を用いれば，人体各部の画像上での重なりに対処できるため，撮影方向の自由度が増す．ただし，濃淡画像からの形状情報は多くの雑音を含むため，雑音に強い手法を考案する必要がある．

参考文献

[1] 佐藤嘉伸, 大谷淳, 石井健一郎: ３次元形状の軸表現: Smoothed Local Generalized Cones, 信学論 (D-II), Vol. J76-D-II, No. 8, pp. 1612–1623, June 1993.

[2] Terzopoulos, D., Witkin, A. and Kass, M.: Constraints on Deformable Models: Recovering 3D Shape and Nonrigid Motion, *Artificial Intelligence*, Vol. 36, pp. 91–123, 1988.

[3] 堀越力, 末永康仁, 中根一成: 超２次関数膨張法と球面調和関数による３次元形状の記述, 信学論 (D-II), Vol. J78-D-II, No. 1, pp. 50–60, January 1995.

[4] D. Ruprecht, H.: Free Form Deformation with Scattered Data Interpolation Methods, Geometric Modelling, *Springer-Verlag Wien NewYork*, pp. 267–281, 1993.

[5] Celniker, G. and Gossard, D.: Defoemable Curve and Surface Finite-Elements for Free-Form Shape Design, Computer Graphics, *Computer Graphics*, Vol. 25, No. 4, pp. 257–268, July 1991.

[6] 持丸正明, 福井幸男, 河内まき子: 体形変換のための局所的形態操作手法, 第10回HumanInterfaceシンポジウム予稿集, pp. 173–176, October 1994.

[7] Zheng, J. Y.: Acquiring 3-D Models from Sequences of Contour, *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intellignece*, Vol. 16, No. 2, pp. 163–178, 1994.

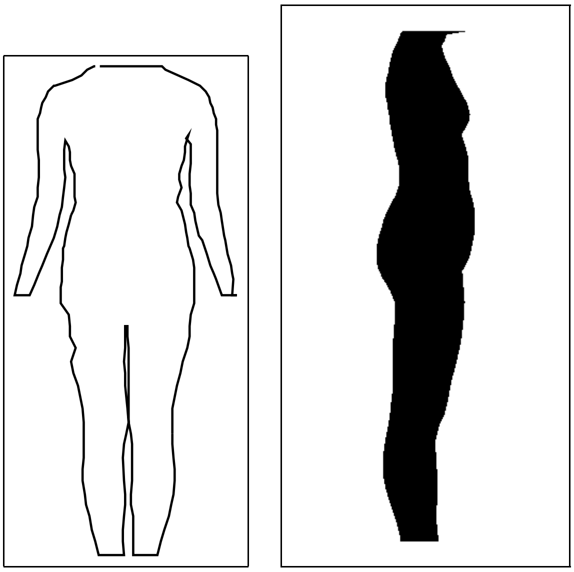
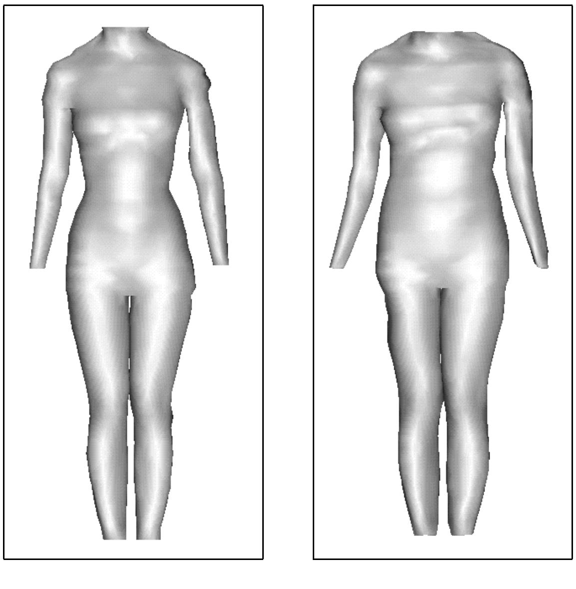


図 6　シルエット画像



(a) 原形モデル A　　(b) 結果モデル

図 7　原形モデル と 結果モデル