

身体の計測，モデリングと着装シミュレーション

美濃 導彦(京都大学総合情報メディアセンター)

minoh@media.kyoto-u.ac.jp

坂口 嘉之(デジタルファッション株式会社)

sakaguti@dressingsim.com

あらまし：人間が身につける製品の設計において，人体形状データが活用される機会が増えている．これは計測装置の発展により，人体の 3 次元形状がかなり簡単に得られるようになってきたからである．人体形状モデルはその利用目的により要求される精度が異なる．そこで本稿では，まず，人体計測装置の技術動向を概観した後，着装シミュレーションに利用するという目的を設定して，人体形状，特に個人の人体形状を推定する方法，関節の中でも衣服設計に特に重要な肩関節を表現するモデル，および実際の着装シミュレーションについて我々が行っている研究を紹介する．

キーワード：人体形状モデル，人体計測，部分から全体の推定，肩関節形状，着装シミュレーション，衣服設計

Measuring human body shape for modeling and dress simulation

Michihiko MINOH (CIMS, Kyoto University)

minoh@media.kyoto-u.ac.jp

Yoshiyuki SAKAGUCHI (Digital Fashion Ltd.)

sakaguti@dressingsim.com

Abstract: 3D human shape model is becoming available when the products that are attached to human body are designed. This is because the equipments for measuring human body shape are available in a reasonable cost. The precision of the human shape model depends on the purpose of using the model. In this paper, we describe the state-of-art technology of the measuring equipments, and assuming that the human shape model is used for the dress simulation, how to measure human shape, how to estimate individual human shape easily, how to represent the shoulder joint and how to build up a dress simulation system are discussed based on the research we are conducting.

Key words: Human shape model, Method of measuring human shape, Human shape estimation, Representation of the shape of shoulder joint, Dress simulation, Dress design

1. はじめに

3次元の計測技術の発展は人体形状の計測を身近なものにしつつある。個人の人体形状は、身につける製品をその個人にあったものにする上で重要になる。社会が少品種大量生産から多品種少量生産、さらには個人適応製品の生産へと変化してゆくことは間違いない状況であることを考慮すれば、3次元人体形状データが今後ますます重要性を増してゆくことは間違いない。

人体は剛体ではなく柔軟物体であることに起因する問題、人体形状が単純な凸物体ではなくオクルージョンが避けられないことなどから、人体形状計測法には、従来の計測手法では対処しにくいさまざまな問題点がある。このため、人体形状計測においては、目的に応じた計測精度を設定し、それに沿った計測方法を研究してゆく必要がある。

本稿では、衣服設計における着装シミュレーションを想定した人体計測手法、人体モデルのハンドリング法などに関して我々が行っている研究を中心に、人体形状処理に関する問題を議論する。

2. 人体計測の手法

人体形状の計測法として最も古くから用いられているものにマルチン計測[1]がある。これは人類学的に人体に計測点を定め、その間の距離を巻尺で測定するものである。この方法は、国際的に利用されており、人体データの比較、統計に現在でも利用されている。

これに対して、3次元形状を利用してより細かな人体形状の比較を行う研究も進められている。この分野の研究は、アメリカでは軍の研究所で精力的に行われている[2]。これは、特に危険なところで働く人間には、体にぴったりフィットしたものが必要であるという理念に基づく。日本では人間生活工学研究センター(HQL)が中心となって、平成4~6年度に約2万人の日本人の人体形状データを計測するプロジェクトがあり、この時に試験的に人体の3次元形状を計測している[1]。しかし、計測技術が未熟だったこと、計測者の教育が出来ていなかったことなど、様々な問題があった

結果、得られたデータのほとんどは残念ながらノイズが多く利用価値のないものとなっている。

人体計測装置の主な技術的な問題点は、(1)人体は単純な凸物体ではないため、外周からの計測ではオクルージョンが生じる点(2)計測器の計測範囲に比べて人体は大きいので、多視点からとった2.5次元データを張り合わせなければならない点の2点である。

オクルージョンの問題は計測装置の数を増やして様々な方向から計測することで、ある程度は対処可能である。それでも、欠損部分は生じるし、計測器のノイズの問題もある。

計測データの貼り合わせ処理は計測器の幾何学的な位置がわかっているもので、対象物が剛体である場合はそれほど問題ではない。ところが、人体は生きているので、1秒以上静止していることはほとんど不可能で、基本的には動揺する(体動揺)。したがって、張り合わせの問題は計測器の計測時間が長いほど体動揺のため原理的に困難になる。

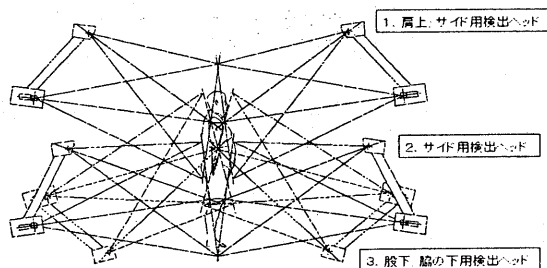


図1 新しい人体計測装置

旧通産省の生命研とHQLが中心となって、現在新しい人体計測装置を作るプロジェクトが進行中である。その設計の主な特徴は、人体の体動揺の影響を考慮して計測時間を1秒以内とすること、計測器の数を増やしてデータの欠損部分を出来るだけ少なくすることである。以下に装置の概要と目標仕様を示す。

このプロジェクトでは、設計した計測装置を利用して特に高齢者の体形を計測する予定である。その時に、3次元計測データが今後の人体統計として利用できるかどうかを検証しなければならない

い。マルチン計測の計測点を身体にマーカをつけて同定したときの計測精度を人間による従来の手計測でのデータと比較し、精度の検証を行う予定である。

表 1 新しい人体計測装置の仕様

計測時間	全身で1秒以内
計測精度	1.0mm
計測解像度	2.0mm
計測姿勢	自然立位と座位
テクスチャ	形状と同時計測
隠れ部位	出来るだけ低減
マーカ	半自動抽出
出力形式	計測データの合成後、所定フォーマットで出力
その他	ノイズ除去、不要領域除去ソフトウェア 自動採寸ソフトウェア

3. 部分計測データからの人体形状の推定

人体計測装置は人間を計測するので、どうしても大きくなり、手軽に利用できるものではない。計測されたデータには人体形状から来る本質的な欠損があり何らかの処理を施さなければならない。また、必要とされる精度も計測されたデータをどう利用するかにより異なる。

ここでは、着装シミュレーションに用いる人体形状を得る方法について考える。この場合は、ある程度簡単に個人の人体形状を得る必要があるが、精度はそれほど問題ではない。我々はこの観点に基づき人体形状の一部を計測することにより全体を推定する手法の研究を行っている[3]。

3.1 概要

人体は姿勢とともに形状が変化するので、その形状を正確に計測することは困難である。たとえ、どんなに大掛かりで高速な計測装置を作成しても、オクルージョンによるデータの欠損は避けがたく計測後のデータ処理において、何らかの制約を導入した処理を実現しなければならない。このことを逆に考えると、どの程度の計測データがあれば

処理が可能であろうかという問題に到着する。

この問題を解明するために、計測データから全体形状を推定する問題を考える。処理の概要を図2に示す。

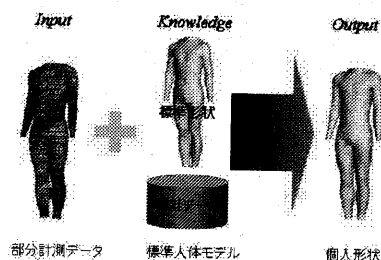


図 2 部分計測データから人体形状推定処理

3.2 標準人体モデル

人体形状は姿勢とともに変化するので、問題を簡単化するためにここで対象とする人体形状の姿勢を直立姿勢に限定する。

ここで導入する標準人体モデルはデータ処理における人体に関する知識や制約を具体的に表現するためのものである。理想的には、このモデルは処理に必要なすべての知識や制約を表現するものでなければならない。特にオクルージョンのために計測できない個所や計測装置の原理的な問題のためデータが取得しにくいところ(レーザによる計測では髪の毛の部分は計測が困難である)などは、このモデルを用いて補完する必要がある。

人体は胴体に四肢が結合された形態であるので、そのままでは扱いにくい。したがって、人体形状をどこかで切り分けてその結果を単純な凸物体にするのが普通である。動きを再現することを考える場合は、人体の分節モデルとして関節で人体を大まかな部品に分割した関節モデルが用いられる(図7参照)。このモデルは直感的でわかりやすいので、人体の分節モデルとして最もよく利用されている。

ここで考える人体モデルは動作を再現するよりも形状を表現することに適したものが望まれる。

そこで、個々の体節形状のスケールリングを行っても全体として問題の少ないモデルを考える。その結果、得られたモデルを図3に示す。

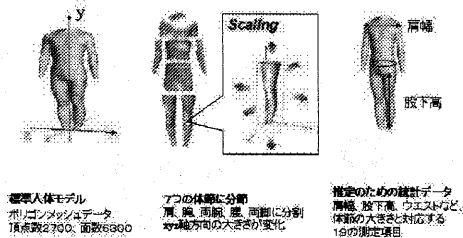


図3 標準人体モデル

人体モデルは表面形状だけが重要であるのでパッチモデルで表現する。計測データからパッチモデルを作る処理はノイズが含まれている場合は困難になる[4]が、ここではこの問題は議論せず、部分計測データもパッチ形式で表現され与えられるものとする。

3.3 人体統計の利用

部分計測データから人体の全身の形状モデルを推定するときに、人体形状データの統計が利用できる。利用できる統計は、マルチン計測に基づくものであり、人体の3次元形状の統計はまだ利用できない。そこで、マルチン計測の統計項目の中からここで利用する人体モデルの各体節の大きさのパラメータに相当するものを選び出し、その値をもって体節をスケールリングする(表2)。

表2 人体形状の測定項目と体節の関係

	y 軸方向	x 軸方向	z 軸方向
肩部	頸椎高-腋窩高	肩幅	胸部前後距離
胸部	腋窩高-臍高	胸部横径	腹部厚径
両腕	上肢長	上腕囲	前腕最大囲
腰部	臍高-股下高	ヒップ幅	臀部厚径
両脚	股下高	大腿囲	下腿最大囲

部分計測データのみからこれらのスケールを推定することは困難であると考えられるので、ここでは我々が日常生活においてよく利用する、身長、体重、ウエスト、足長を用いる。すなわち、部分データを提供する個人は、同時にこの4項目の数値をシステムに与えることにする。これにより、統計データを用いて、人体形状の大雑把な推定が可能になる。人体形状の推定には、統計データを主成分分析し、MAP 推定を利用する[3]。第一、第二、第三固有成分の空間における人体形状の分布は図4に示すように正規分布で近似できる。

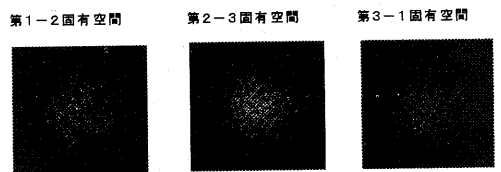


図4 固有空間での人体形状の分布

3.4 部分計測データへの標準人体モデルのあてはめ

この手法における最大の問題点は、部分計測データと標準モデルの位置合わせの問題である。部分計測データの範囲が狭いと標準人体モデルのさまざまな位置で原理的には位置合わせが可能になり、曖昧性が残る。計測範囲が広いと位置合わせは一意的に決定できる確率が高くなるが、実用的には計測装置が大きくなり、使いにくくなる。したがって、本質的な問題はどの程度の面積の部分計測データが必要か、人体のどの部分の計測データが有効か、の2点である。現在までの我々の研究で、人体形状全体の約20%程度は必要であること、腹部を部分的に計測すれば有効なことが予想されている[5]。

2つのパッチモデルの対応を取る最もよく利用される方法は ICP である[6]。この方法ではパッチ間に設定する対応点間の距離が最小になるよう一方のパッチに剛体変換を繰り返し適応する。

ICP アルゴリズムは、理論的に収束することが保証されているので大変使いやすい。ただ、大域的なアルゴリズムではなく、対応関係を局所的な個所に制限して探索するものである。

部分計測データと標準人体モデルの大域的な位置合わせのために、パッチモデルから計算できる曲面の法線ベクトルと曲率を用いる。この種の微分量の計算は表面の解像度に依存するので、計算方法に工夫が必要である[5]。これらの微分量を手がかりに初期対応位置を決め、ICP アルゴリズムにより位置合わせを行う。

位置合わせを行った後、計測した方のデータに標準人体モデルをあわせる。このとき、標準人体モデルにさまざまな制約を導入しておいて、一部をあわせることにより概念的には全体が変形するようにする。

3.5 実験と考察

全身に対して7~10%ほどの面積をもつ16個の部分計測データを与えてどの程度人体モデルが推定できるかの実験を行った。実験においては、予め全身を計測した人体モデルを用意し、そこから部分を切り出すことにより部分計測データとする。こうすることにより、目標とする人体形状が存在するので、推定結果を定量的に評価できる。16個の部分計測データを4つずつ与えて行った実験の結果の一部を図5に、評価した誤差の推移データを図6に示す。誤差の評価においては、2つの人体モデル間の表面距離を用いた。

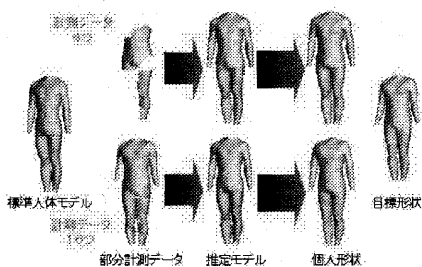


図5 部分計測データによる個人形状の生成

・ 個人形状と目標形状の表面間距離を測定

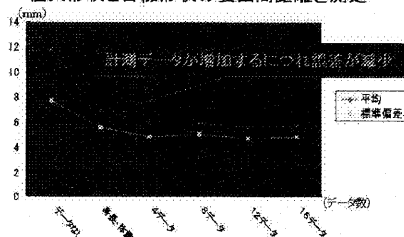


図6 推定個人形状の誤差の推移

実験の結果、目標とする人体モデルと推定された人体モデルの表面形状間に4~8mm程度の誤差が残っている。直接の比較にはならないが、人体形状を手計測で計測するときにも、数ミリ程度の誤差が出るという調査があり、応用によってはかなり利用できると考える。今後は、衣服設計に用いる個人形状データとしての要求を把握し、そこで利用できる程度の精度と簡便さを持ったシステムを設計してゆく必要がある。

4. 計測データの貼り合わせによる関節形状の生成

衣服設計に利用する人体モデルとしては、静止している形状だけでなく、姿勢が任意に変えられること、人間の動きが表現できることが望まれる。動きを表現する人体モデルとして、現在利用されている多くの人体モデルは関節モデルである。このモデルでは関節が二つの体節の接続点であるので、動作は表現できるが、関節の形状を正確に表現することは困難である。衣服の設計、評価においては動作している人間と衣服の関係の評価が重要になり、関節形状（特に肩の形状）が重要であるといわれている。

このような点を考慮すると、関節形状を正確に表現できる人体モデルが必要になる。ここではこのような考え方に沿って、我々が行っている研究[7]を紹介する。

4.1 関節形状表現に適した人体モデル

形状表現から考えた人体関節モデルの最大の問題点は、二つの体節の接続部分としての関節形状の表現が困難な点である。そこで、関節部分を一つの体節部品に対応させた人体形状モデルの新たな分節を考える。これを図7に示す。

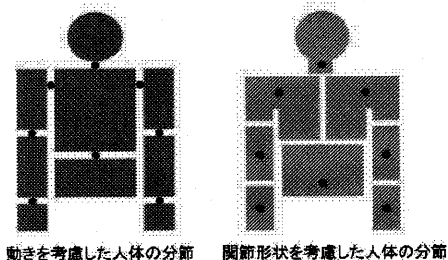


図7 形状表現を考慮した人体分節モデル

図からもわかるように、このモデルでは関節が一つの部品になっているので、関節形状の表現が部品内で可能になる。接続部分は、普通の体節の真中であり形状の接続を考える上では何の問題もない。このようにこのモデルは形状表現を重視した人体分節モデルであるといえる。

4.2 実測データを用いた肩形状の表現

関節の中でも肩は5つの骨が複雑に組み合わされた構造をもち、3次元モデルとして再現するのが非常に困難な部分である。肩は衣服設計において特に重要な部分である。ここでは、IBRの考え方を3次元モデルに適用し、肩の形状をその内部構造を表現することなしに記述する方法を考える。

まず、さまざまな姿勢における肩形状をレンジセンサーなどの計測器を用いて実測する。このとき、胴体の部分と腕の関節角度が正確に計ればよいが、一般的には不可能なので、得られた2.5次元データよりその角度を推定する。このようにして出来るだけ多くの肩形状のデータをその関節角度とともに蓄積する。

次に、関節人体モデルにおいて関節角度を指定された場合、その値をもとにデータベースを検索し角度の近い複数のデータを得る。これらのデータより、何らかの形で形状を補間し与えられた関節角度の肩形状を得る。

この処理における重要な問題は、(1)実測した肩形状データからどのようにして関節角度を推定するか、(2)検索の結果得られた複数の形状データから求める形状をどのように補間するか、の2点である。(1)の問題については、計測時にマークを付加することにより対応点を明確にしておいて、局所的な剛体変換によりデータにクラスタリングを施して、その結果を元に関節角度を推定する方法を検討している。(2)については、単純な線形補間ではなく、回転を考慮した剛体変換に基づく補間方法を検討している。

4.3 実験

人間の肩に格子を描いて3次元形状とテキストチャ情報を同時に入力した。その様子を図8に示す。肩の関節角度を種々に変更してデータを入力し、各データに対して対応点4つで出来る方形領域に剛体変換を施すことにより、領域をクラスタリングした。この結果に基づいて、データの関節角度を推定し、関節人体モデルにより操作する。その一例を図9に示す。これにより、与えられた関節角度にしたがって、肩の形状が関節モデルよりも正確に表現できることがわかった。

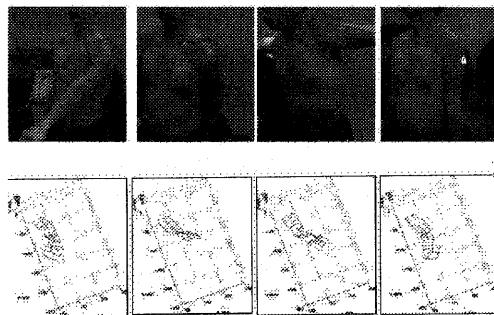


図8 データの入力

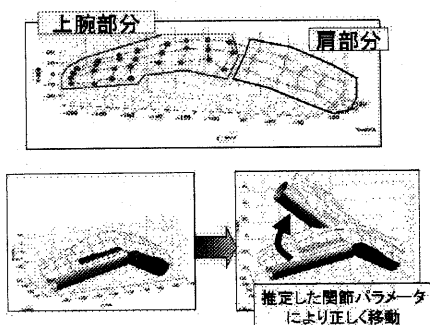


図9 関節角度の推定と関節モデルによる操作

5. 着装シミュレーション

人体に衣服を着せるためには、衣服側のモデルも作成しなければならない。ここでは衣服のための布モデル、布と人体の衝突のモデル、人体が動いたときの布の計算方法、対話による布の物理パラメータ推定方法などの研究について述べる。

5.1 布のモデル

布は、正方格子状に配置された微小な質点がバネでつながったバネモデルとして表現されるのが一般的である。この手法の問題点は、質点の質量はともかく、モデリングのために導入した仮想的なバネのパラメータをどう決めるかという点である。そこで、われわれは質点間の関係をブラックボックス化し、計算においては実際の布を KES 法で計測した実測データを利用できるような新たな布のモデルとそのモデルを用いた布形状の計算手法を提案した[8]。これにより、計測データを変える事でさまざまな種類の布を表現することが可能になり、衣服設計や着装シミュレーションの基礎的な技術として利用できるようになった。

5.2 布と人体の衝突計算

人体モデルに服を着せるためには、人体を表現するパッチモデルと衣服を表現するパッチモデルの間で衝突を検出し、計算をしなければならない。これを行わないと、衣服は容易に人体の内側に入るといふ実世界では起こりえないことが起こって

しまう。人体、衣服ともに同じパッチモデルで表現されているので、片方のパッチモデルの頂点と他方の面との衝突計算が必要になる。計算そのものは単純であるが、摩擦係数や衝突係数などのパラメータ設定とともに、パッチ数が増えてくると計算時間が指数関数的に増大するのを防ぐアルゴリズムが必要となる[9]。

計算機の性能向上やグラフィックス性能の向上などの恩恵により、実時間に近い処理速度で衝突計算が出来るようになっている。

5.3 動く人体と衣服モデル

人体が動く場合は、衝突計算の問題がさらに複雑になる。局所的に衝突範囲を計算していたのでは間に合わない。そこで、布のもつ幾何学的性質と物理的性質をうまく使い分けている。すなわち、人体の大きな動作のときは、布の幾何学的性質が優勢になり、衣服は人体と同じ動作をするとする。逆に人体が動いていないときは、布の物理的性質が優勢になり、衝突計算などの力学的計算を行う。このようにして、リアリティを失わずに高速に計算できるように工夫をしている[10]。

5.4 対話による物理パラメータの推定

布のような実物のモデリングにおいて、その実測データを利用することの有効性が認識されている。しかし、布の実測データを得る KES 法などは、特殊な装置が必要で手軽に利用できるものではない。また、同じ材質で作った布でもその特性にはばらつきがある。

そこで、我々は、計算機が対話的にグラフィックスモデルのためのパラメータを獲得する手法を研究している[11]。ロボットアームなどで布を引っ張ることにより、その布がどのような振る舞いをするかをビデオカメラで観測し、その形状を解析してパラメータを推定するものである。現在は、布よりも簡単な紐を対象にさまざまな実験を行っているところである。このような手法が出来てくると、現実世界に存在するさまざまなもののグラフィックスモデルが簡単に作成できるようになる

ので、その影響は大きいと考える。

5.5 リアルな表現のために

衣服部分のリアリティが高まると、グラフィックスの映像として、人間の顔や髪の毛などが必要になる。顔の3次元のモデリング技術やテクスチャマッピング、IBR 技術などを活用して、実用的に利用できる着装シミュレーションシステムを構築している。

作成したビデオ画像の例を図 10 に示す。このように着装した人物を中心に現実的な映像を作成している。今後は、使いやすさの向上、実時間処理の実現、リアリティの更なる向上を目指して、研究を進めてゆく。

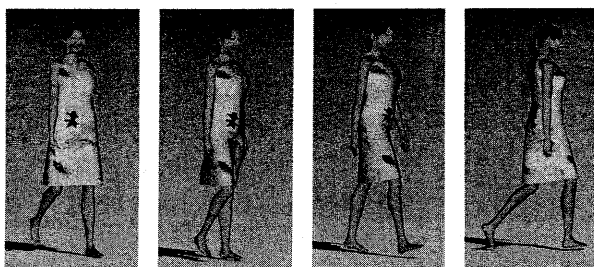


図 10 着装シミュレーション

6. おわりに

本稿では、着装シミュレーションのための人体モデルの計測方法、部分計測からの人体形状の推定方法、肩形状の正確な表現方法など人体モデルの処理技術に関して我々が行っている研究を中心に紹介した。また、製品化を目指して作成している着装シミュレーションシステムについてもその概要を説明した。

人体モデルは、人間が身につける製品の開発において、今後ますます重要性を増してくる。社会的には、個人に合わせた物作りが重視されてくる現状では、個人の人体形状を簡単に作成する技術そのものも基礎技術としての重要性を増してくる。また、これらの技術が確立してくると、人体の統計データも整備されてくるので、人類学や社会学にも大きな影響が出てくる。

人体モデルの獲得、処理、ハンドリング技術においては利用時に要求される精度の問題が重要になる。目的に応じた多様な技術が必要となるので、今後この分野の研究がますます活発になることを期待している。

参考文献

- [1] 日本人の人体計測データ 1992-1994, (社)人間生活工学研究センター, 1997.
- [2] 身体形態特性データの計測・データベース化手法にかかわる標準化, (社)人間生活工学研究センター, 2000.
- [3] 西田典了, 福嶋茂信, 美濃導彦: "部分計測データへの標準人体モデルあてはめによる人体形状推定法" 電子情報通信学会論文誌, Vol.84.No.7,D-2, pp.1310-1318, 2001
- [4] 毛呂功, 福嶋茂信, 水田忍, 美濃導彦: 二次元射影による点群データからの人体表面再構成, 電子情報通信学会ソサイエティ大会 D-12-42
- [5] 西田典了: 部分計測データへの標準人体モデルあてはめによる人体形状生成法, 京都大学大学院情報科学研究科修士論文, 2001.
- [6] P.J.Besl: A Method for Registration of 3-D shape, IEEE transactions on PAMI, Vol.14, no.2, pp.239-256, 1996.
- [7] 吉内英也, 水田忍, 美濃導彦: 局所的な剛体変換に基づく肩形状の記述法, 電子情報通信学会技術研究報告 PRMU2000-38, pp.25-32
- [8] 坂口嘉之, 美濃導彦, 池田克夫: 仮想服飾環境 PARTY -動的変形可能な布のための数値計算法-, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J77-D-2 No.5 pp.912~921, 1994
- [9] 坂口嘉之, 美濃導彦, 池田克夫: 仮想服飾環境 PARTY -衣服形状計算における, 衣服と人体との衝突計算方法-, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J78-D-2 No.3 pp.483~491, 1995
- [10] 坂口嘉之, 美濃導彦, 池田克夫: "仮想服飾環境 PARTY -人体が動く場合の衣服形状計算法-", 電子情報通信学会論文誌, Vol.J79-D-2 No.10 pp.1712~1717, 1996
- [11] 須藤克仁, 角所考, 美濃導彦: "実物体の観測による柔軟物体のモデルパラメタ獲得 ~ひも状の物体の場合~, インタラクション 2001, pp.113-120