

# 利用者の動作と連動する仮想ファッション

中野 敦 星野 准一

筑波大学機能工学系

**あらまし** 本稿では、仮想的な鏡の前でCGによる衣服の試着や髪型の変更を行うことができる、仮想ファッションシステムを提案する。本システムでは、テレビカメラにより利用者の映像を取り込み、人物の動作に合わせた衣服や髪型を合成してディスプレイ上に表示する。利用者の3次元動作に連動して、CGによる衣服や髪型も動くことにより、仮想的な鏡の前で試着を行っている効果を実現する。本稿では、人物の人体動力学モデルとビデオ映像から得られる輝度値を利用して、人物の3次元動作を推定する手法を述べる。また、推定した3次元動作に合わせて、CG画像を生成することにより、実写映像との高精度な重ね合わせを行う。具体例として、人物動作に合わせた衣服と髪型を生成して、ビデオ映像への重ね合わせを行った結果を示す。

## Interactive Virtual Fashion Simulator

Atsushi Nakano Jun'ichi Hoshino

*University of Tsukuba, College of Engineering Systems*

**Abstract** This paper presents an interactive virtual fashion simulator by merging CG and humans in video sequences. Unlike the traditional systems based on the still photographs, the synthesized virtual cloth and hair style can be matched with the user's movement as if they are actually wearing them. In this paper, we describe a new method for merging virtual objects onto the human video sequence. First, we track current 3D pose of human body by using the spatio-temporal analysis. Then we generate CG objects and merge it with the human body in video. We demonstrate examples of merging virtual cloth and virtual hairstyle with the video captured images.

### 1. はじめに

我々は様々な状況に合わせて服装やヘアスタイルなどのファッションを変えることを行っている。服装を変えることについては、様々な意味が考えられるが、例えば、自己表現の手段や、新しい自己に変身したいという願望を満たすための手段としても考えられている。このようなファッション活動を支援するために、近年のコンピュータグラフィクスや仮想現実の分野では、計算機によって多様なファッションを生成することが行われている[1]。

従来のシステムでは主に、CGによる人物キャラクターに衣服を着せて歩かせたり、仮想的なファッションショーを生成することが行われてきた。

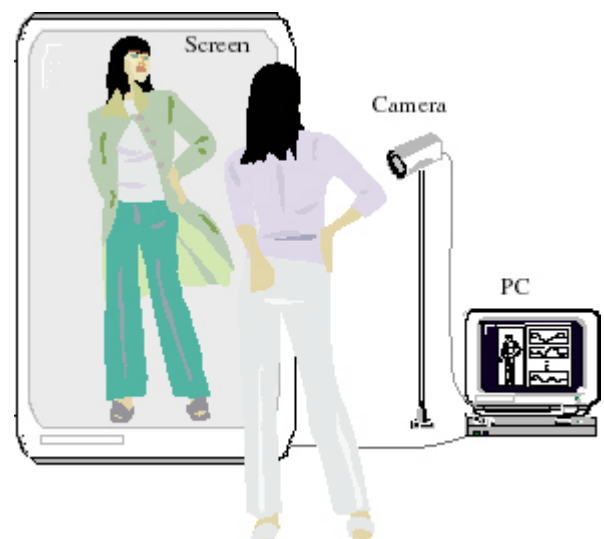


図1 仮想ファッションシステム



(a) 入力画像 (b) 合成結果

図2 衣服CG画像の合成例

これらの研究では、主に3次元的人物モデルと衣服の衝突計算や、衣服の動的なシミュレーション[8,9,10]などの問題を扱っている。ところが、個々の利用者が自分で衣服を着たときに、どのように見えるかについては、重点が置かれていない。

個々の利用者がファッションを変えた姿をシミュレートする方法としては、利用者の姿をビデオカメラで取り込んで、新しい衣服やヘアスタイルを合成することが考えられる。従来のシステムでは、静止画を対象とした合成手法の検討が行われてきた。例えば、静止した人物の写真に衣服画像を合成したり、人物の顔写真にヘアスタイルを合成する手法が提案されている。ところが、従来のシステムでは主に静止画を対象としているため、自分の動きに合わせて衣服や髪型の変化を見ることができないという問題がある。

本稿では、人物の動作に合わせた衣服やヘアスタイルを合成することができる、仮想ファッションシステムを提案する。本システムでは、利用者の3次元動作に連動して、CGによる衣服や髪型も動くことにより、仮想的な鏡の前で試着を行っている効果を実現する。

本システムを構築するためには人物の3次元動作を推定する必要がある。しかし、従来の輝度値を用いた動作推定手法の場合、ビデオ映像から人物の3次元動作を推定するときの問題として部分的なオクルージョンにより動作推定が不安定になることが挙げられる。そのため、運動情報として人物の人体幾何モデルに合わせた動力学モデルから得られる関節駆動力を、ビデオ映像上における人体領域のフレーム間輝度値2乗誤差と併用して、人物の3次元動作を推定する手法を述べる。また、

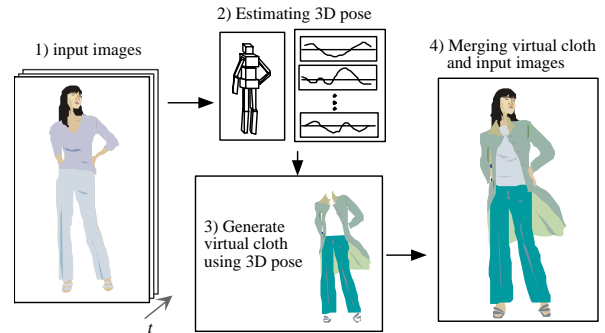


図3 システムの概要

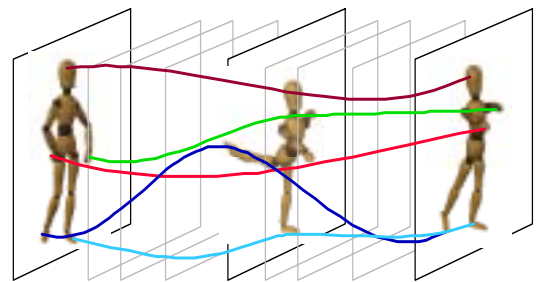


図4 動作推定法の構想

推定した3次元動作に合わせて、CG画像を生成することにより、実写映像との高精度な重ね合わせを行う。具体例として、人物動作に合わせた衣服と髪型を生成して、ビデオ映像への重ね合わせを行った結果を示す。

## 2. ヴァーチャルファッション

図1に仮想ファッションシステムの概念図を示す。本システムでは、テレビカメラにより利用者の映像を取り込み、人物の動作に合わせた衣服や髪型を合成してディスプレイ上に表示する。利用者の3次元動作に連動して、CGによる衣服や髪型も動くことにより、仮想的な鏡の前で試着を行っている効果を実現する。

実写映像とCG画像の動きの整合性を取ることは、マッチムーブとも呼ばれている[2]。従来手法では、情景とカメラの相対的な運動を推定して、CG画像を合成することが行われている[5,6,7]。また、人物の頭部に3次元モデルを当てはめて、影を生成したり、頭部に帽子などのCGの物体を合成する手法が提案されている[3]。ところが、これらの手法では、主に情景が多面体で近似できる場合や、顔のように単一の物体で表される場合に、実写画像とCG画像を合成することに重点が置かれている。そのため、人物のような複雑な被写体画像にCG画

像を合成するときには、作業者が人手で位置合わせをすることが必要となる。

本稿では、ビデオ映像から人物の3次元動作を人体動力学モデルから得られる関節駆動力とビデオ映像上における人体領域のフレーム間輝度値2乗誤差を用いて推定し、実写映像にCG画像を合成している。本手法では、次の手順で実写画像とCG画像の合成を行う。

- 1) 動作区間の始点と終点、動作の特徴となるフレームにおける3次元姿勢を指定し、スプライン曲線で補間することで動作の初期推定値とする
- 2) 関節駆動力とフレーム間輝度値2乗誤差を最小にする補間曲線の制御点位置を探索することで3次元姿勢を推定する
- 3) 推定した3次元姿勢を利用して衣服やヘアスタイルなどのCG画像を合成する
- 4) 生成したCG画像と動画中の人物を合成する
- 5) 入力画像の各フレームで1)~4)の処理を繰り返す

### 3 仮想人体動力学モデルによる関節駆動力の取得

本章では、人物の動作を推定する際に必要となる人体動力学モデルを構築し、関節駆動力を取得する手法について述べる。本稿では人体を多リンク木構造ロボットとみなし動力学モデルを構築する。人体動力学モデルをリンクを用いてモデル化する場合、さまざまな拘束条件のためにリンク構造が変化し、汎用的な動力学モデルを求めることは困難である。本稿では実現象に対応する人体動力学モデルを構築するのではなく、人体内部の幾何学的拘束条件のみを考慮し、「物理的障害による身体部位への負荷」を「身体部位そのものの負荷」として仮想的な人体動力学モデルを用いることで汎用的な動力学モデルを構築する。

#### 3.1 仮想人体動力学モデル

本稿では、図5のような人体幾何モデルを用いる。図5は人体の関節回転を円柱の中心軸周りの回転に置き換えたものである。この人体幾何モデルに合わせて仮想人体動力学モデルを構築する。人体内部の幾何学的拘束条件のみを考慮した場合、図5に合わせて上半身、下半身ともに腰部をベースリンクとした木構造ロボットとみなすことが

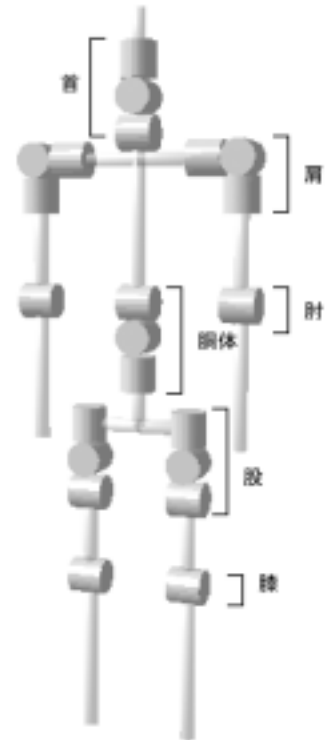


図5 人体幾何モデル

できる。ここで述べている木構造ロボットとは途中で枝分かれをする構造を持つロボットのことである。

これらの木構造ロボットの仮想人体動力学モデルを数式で表した運動方程式導出手法について述べる。

#### 3.2 ニュートン・オイラー法による運動方程式の導出

3.1節で示した仮想人体動力学モデルを導出する。仮想人体動力学モデルを数式で表した運動方程式を求めるため、運動方程式導出手法としてニュートン・オイラー法について述べる。

ニュートン・オイラー法は、ニュートンの式である

$$\mathbf{F} = m\dot{\mathbf{v}} \quad (1)$$

とオイラーの式

$$\mathbf{N} = \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{I}\boldsymbol{\omega}) \quad (2)$$

を用いて力とモーメントの動的な釣り合いから運動方程式を導出する手法である。

$\mathbf{F}$  : ベース座標系を基準としたときのリンクに作用する外力ベクトル

$m$  : リンクの質量

- $\dot{\mathbf{v}}$  : リンクの質量中心の速度ベクトル
- $\mathbf{N}$  : リンクに作用するモーメントベクトル
- $\mathbf{I}$  : リンクの質量中心まわりの慣性テンソル
- $\boldsymbol{\omega}$  : リンクの角速度ベクトル

木構造ロボットとしてこの手法を扱うにはブランチと呼ばれる複数のシリアルリンクに分割する必要がある。以下に  $s$  個のブランチを持ち、それぞれのブランチ  $k$  が  $n_k$  ( $k=1, \dots, s$ ) 個のリンクを持つロボットに対するニュートン・オイラー法の計算手順を示す。

- 1) ブランチ 1, 第 0 リンクの加速度, 角速度, 角加速度の初期値を以下のように設定する

$$\dot{\mathbf{v}}_0^1 = -\mathbf{g}, \boldsymbol{\omega}_0^1 = 0, \dot{\boldsymbol{\omega}}_0^1 = 0 \quad (3)$$

- 2) ブランチ 1 に対して,  $c=1$  から  $n_1$  へ順に  $\mathbf{v}_c^1, \boldsymbol{\omega}_c^1, \dot{\boldsymbol{\omega}}_c^1$  を求める
- 3) ブランチ  $k$  ( $k=2, \dots, s$ ) の加速度, 角速度, 角加速度の初期値をそれぞれ

$$\dot{\mathbf{v}}_0^k = (\mathbf{B}_R^k)^T \left\{ \dot{\mathbf{v}}_{col}^{cob} + \dot{\boldsymbol{\omega}}_{col}^{cob} \times \tilde{\mathbf{B}}_p^k + \boldsymbol{\omega}_{col}^{cob} \times (\boldsymbol{\omega}_{col}^{cob} \times \tilde{\mathbf{B}}_p^k) \right\} \quad (4)$$

$$\boldsymbol{\omega}_0^k = (\mathbf{B}_R^k)^T \boldsymbol{\omega}_{col}^{cob} \quad (5)$$

$$\dot{\boldsymbol{\omega}}_0^k = (\mathbf{B}_R^k)^T \dot{\boldsymbol{\omega}}_{col}^{cob} \quad (6)$$

として求める。ここで  $\mathbf{B}^k$  は親ブランチのリンク座標系から子ブランチ  $k$  のリンク座標系を関連づける  $4 \times 4$  の同時変換行列であり,  $\mathbf{B}_R^k$  は  $\mathbf{B}^k$  の左上  $3 \times 3$  行列,  $\tilde{\mathbf{B}}_p^k$  は  $(\mathbf{B}^k)^{-1}$  の右上  $3 \times 1$  小行列を表す。また  $cob$  はブランチ  $k$  を分岐するブランチ番号で  $col$  はブランチ  $k$  を分岐するリンク番号である。

- 4) ブランチ  $k$  ( $2, \dots, s$ ) に対して  $i=1$  から  $n_k$  まで  $\mathbf{v}_c^k, \boldsymbol{\omega}_c^k, \dot{\boldsymbol{\omega}}_c^k$  を求める。
- 5) ブランチ  $k$  ( $s, \dots, 1$ ) に対し,  $c=n_k$  から 1 まで力  $\mathbf{f}_c^k$  とモーメント  $\mathbf{n}_c^k$  を求め関節駆動力  $\boldsymbol{\tau}_c^k$  を以下のように求める。

$$\boldsymbol{\tau}_c^k = \begin{cases} z_0^T \mathbf{n}_c^k & \text{関節 } i \text{ が回転関節のとき} \\ z_0^T \mathbf{f}_c^k & \text{関節 } i \text{ が直動関節のとき} \end{cases} \quad (7)$$

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{h}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{g}(\mathbf{q}) \quad (9)$$

上式において  $\mathbf{M}(\mathbf{q})$  は慣性行列と呼ばれる対称行列,  $\mathbf{h}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$  は遠心力やコリオリ力に関連する項,

$\mathbf{g}(\mathbf{q})$  は重力項,  $\mathbf{q}$  は木構造ロボットの関節変位である。

### 3.3 関節駆動力の取得

(9)式の右辺において関節変位, 角速度, 角加速度以外は固定値なので関節変位, 角速度, 角加速度を指定することで左辺の関節駆動力を得ることができる。

## 4. 動作推定法

動作推定の手法として輝度値を利用することが一般的であるが, ビデオ映像上では輝度値を得る目的の人物のある部分が障害物やその人物自身他部分によって隠され適切な輝度値が得られないことがある。本章では適切な輝度値が得られない部分でも動作推定を行う手法として, 3章で述べた関節駆動力を利用した手法について述べる。

### 4.1 動作推定法の概要

ビデオ映像上における人体領域のフレーム間輝度値 2 乗誤差がより小さければ目的の人物が移動した先を適切に推定できていると考えられる。また人間は目的の動作を行うとき関節駆動力がより小さくなるように動作していると考えられる。この 2 点を考慮し, 輝度値 2 乗誤差に関節駆動力の値を加えたものを最小化する関節軌道を生成する。部分的に輝度情報が得られない場合でも関節駆動力の値の重みを大きくすることで自然な動作を生成することができる。

### 4.2 曲線補間を用いた初期姿勢の推定

ビデオ映像から得られる画像フレームの中で人物動作の特徴となるフレームの関節変位をスプライン曲線で補間することでビデオ映像全体の各フレームにおける関節変位を取得する。本稿ではスプライン曲線補間法として 3 次ベジェスプライン曲線によるエルミート補間を用いる。エルミート補間は通過点とそこでの接線が与えられた場合の補間である。本稿でベジェスプライン曲線を用いる利点として

- 制御点の影響の局所性により制御点を編集した際の影響を曲線の一部分に限定できる点
- 初期姿勢で指定された通過点の位置を変更せずに制御点のみを編集することで初期姿勢が

適切に推定できている場合の重みを表現できる点

が挙げられる．以下に全フレームの初期姿勢を推定するための補間方法について述べる．

特徴となるフレームの姿勢を指定することで各リンクの関節変位を得る．その関節変位の値を曲線の通過点とする．エルミート補間において通過点のみが指定された場合，通過点における接線ベクトルを求める必要がある．関節変位の値が指定された  $E+1$  個の点を  $\mathbf{Q}_0, \mathbf{Q}_1, \dots, \mathbf{Q}_E$  とすると接線ベクトルを

$$\mathbf{l}_0 = \frac{\mathbf{Q}_1 - \mathbf{Q}_0}{|\mathbf{Q}_1 - \mathbf{Q}_0|}, \mathbf{l}_E = \frac{\mathbf{Q}_E - \mathbf{Q}_{E-1}}{|\mathbf{Q}_E - \mathbf{Q}_{E-1}|},$$

$$\mathbf{l}_e = \frac{\mathbf{Q}_e - \mathbf{Q}_{e-1}}{|\mathbf{Q}_e - \mathbf{Q}_{e-1}|}, (e = 1, 2, \dots, E-1) \quad (10)$$

として補間曲線  $\{P(t) | 0 \leq t \leq E\}$  を求めることができる．求められた曲線  $P(t)$  を関節変位の初期姿勢とする．ここで  $t$  はフレーム番号を含む実数である．

### 4.3 角速度，角加速度の取得

4.2 節で初期姿勢を推定したが関節駆動力を得るための運動方程式を用いる際に関節変位の角速度，角加速度を求めておく必要がある．本稿では  $f$  番目フレームにおける速度  $\dot{\mathbf{q}}_f$ ，加速度  $\ddot{\mathbf{q}}_f$  を

$$\dot{\mathbf{q}}_f = \frac{\frac{\mathbf{q}_{f+1} - \mathbf{q}_f}{H} + \frac{\mathbf{q}_f - \mathbf{q}_{f-1}}{H}}{2} = \frac{\mathbf{q}_{f+1} - \mathbf{q}_{f-1}}{2H} \quad (11)$$

$$\ddot{\mathbf{q}}_f = \frac{\frac{\mathbf{q}_{f+1} - \mathbf{q}_f}{H} - \frac{\mathbf{q}_f - \mathbf{q}_{f-1}}{H}}{H} = \frac{\mathbf{q}_{f+1} - 2\mathbf{q}_f + \mathbf{q}_{f-1}}{H^2} \quad (12)$$

として擬似的な瞬間の速度，加速度を求めている．このとき各パラメータは次の通りである．

- $H$  : フレーム間隔
- $f$  : フレーム番号
- $fMax$  : ビデオ映像から取得したフレームの枚数
- $\mathbf{q}_f$  :  $f$  番目フレームのリンク関節変位

### 4.4 トルク値と輝度値の最小化による動作推定

話を簡略化するために人間の身体構造を，ベースリンクとなる腰部リンクを第 0 階層リンク，第 0 階層リンクから派生するリンクを第 1 階層リンク...第  $r$  階層リンクから派生するリンクを第  $r+1$  階層リンクというように定める．第  $r$  階層リンク  $Link\_r$  におけるトルク合計値  $\tau_r$  は  $Link\_r$  の  $f$  番目フレームにおけるトルク値  $\tau_f$  を用いて

$$\tau_r = \sum_{f=1}^{fMax-2} \mathbf{T}_f \quad (13)$$

と表される．ここで  $f$  の値が 1 から  $fMax-2$  であるのは式(11)，(12)で得られる速度，加速度がこの範囲であり，それに基づいて導出される  $\mathbf{T}_f$  もこの範囲でしか得られないからである．

$Link\_r$  の輝度合計値  $\mathbf{D}_r$  は

$$\mathbf{D}_r = \sum_{f=1}^{fMax-2} \sum_{u=0}^{uMax} \sum_{v=0}^{vMax} w(u, v) (i_f(u, v) - i_{f-1}(u, v))^2 \quad (14)$$

と表される．このとき  $f$  番目フレームにおける座標  $(u, v)$  の輝度値は  $i_f(u, v)$ ， $w(u, v)$  はロバスト統計法の重み関数である．本稿では次の関数を用いている．

$$w(u, v) = \begin{cases} (1 - (|\Delta\eta|/\sigma)^2)^2 & \text{if } |\Delta\eta| < \sigma \\ 0 & \text{if } |\Delta\eta| > \sigma \end{cases} \quad (15)$$

フレーム画像から輝度値を得るとき，目的のリンクが他のリンクに隠され適切な輝度値を得られなくなることがある．その場合適切な輝度値を得ている領域を判別しなければならない．適切な輝度値の領域は画像上における人物の動作と同じ状態を表していると考えられる人体の幾何モデルの持つ奥行き座標を用いて，どのリンクの領域が最も手前にあるかを調べることで求められる．式(13)，(14)を用いると評価式は

$$\alpha_r \tau_r + \beta_r \mathbf{D}_r \rightarrow \min \quad (16)$$

と表される．ここで  $\alpha, \beta$  は重み係数である．式(16)を満たす関節変位を 4.2 節で示したスプライン曲線の制御点を偏集し求めることで動作推定を行う．注意点としてリンクに評価式(14)を当てはめる順番として第  $r$  階層リンクの誤差は第  $r+1$  階層リンクに影響することを考慮に入れ昇順で最適化



(a) 衣服を作成したところ (b) 人体モデルに衣服を  
フィッティングしたところ



(c) 歩行動作に合わせた衣服の動的シミュ  
レーションをしているところ

図 6 衣服シミュレーションの例

する必要がある。

## 5. 衣服とヘアスタイルの合成手法

本章では、洋服とヘアスタイルを具体例として、CG の生成手法と、ビデオ映像への合成手法を説明する。

### 5.1 衣服画像の生成

本稿では、人体の 3 次元モデルと姿勢パラメータが得られているため、モデルと衣服画像の衝突計算を行うことで、人体モデルの形状に合わせた衣服画像を生成する。また、フレーム間の人体の動作の変化に合わせて、衣服のダイナミックな動きをシミュレートする。衣服と人体の衝突計算を行う際に、図 5 の人体の近似モデルを利用すると、衣服の形状が不自然になる。そのため、本実験では、表面が滑らかな人体モデルに推定した関節角を与えて衣服 CG 画像を生成した。各パーツの寸法は、動作を推定した人体幾何モデルと同一のものを利用した。

衣服画像の生成法としては、さまざまな手法が提案されている[2,3,4,5,6,7]。本稿では、実写映像と



(a) 頭部の 3 次元モデルに頭髮を  
張り付けたところ



(b) 頭部の形状にフィッ  
ティングしたところ



(c) 人物の移動に合わせ  
てシミュレーションを  
行ったところ

図 7 ヘアスタイルの生成

衣服 CG 画像の位置合わせを行うことに重点を置いているため、市販のソフトウェア(MAYA ClothTM)を利用した。その他の動的シミュレーションが可能な衣服生成法も同様に利用可能である。また、衣服と人体モデルの衝突計算も CG ソフトの機能を利用したが、従来から提案されている手法も同様に利用することができる[2]。図 6 に衣服シミュレーションを行っているところを示す。(a) は衣服を生成したところ、(b) は人物の 3 次元形状にフィッティングしたところである。(c) は歩行動作に合わせて衣服シミュレーションを行っているところである。

### 5.2 ヘアスタイルの生成

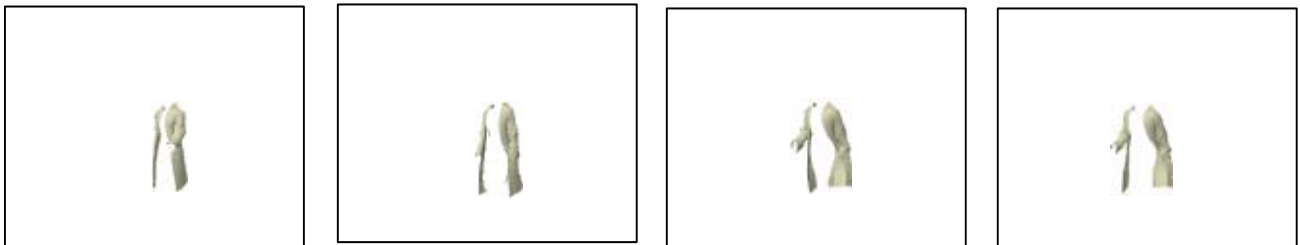
ヘアスタイルを生成する場合は、頭部の 3 次元モデルに変形可能な頭髮を張り付けて、人物の移動に合わせて動的シミュレーションを行う。髪型のモデルは、頭部の 3 次元モデルに短冊状に細い髪を張り付けて、髪の様をテクスチャマッピングすることで生成する。本実験では、5.1 節と同様にヘアスタイルの動的シミュレーションに MAYA ClothTM を利用した。図 7 にヘアスタイルの動的シミュレーションを行った例を示す。(a) は頭部に



(a) 入力画像



(b) 人体の追跡結果



(c) コートの生成結果



(d) コートの合成結果

図8 衣服 CG 画像の合成結果

髪を張り付けたところである。(b)は重力を働かせて髪を頭部の形状にフィッティングしたところである。(c)は人物の移動に合わせて頭髪の動きをシミュレートしたところである。

### 5.3 実写画像との合成

衣服画像を合成する際には、人体部位による隠れを考慮に入れることが必要となる。例えば、衣服の前に腕がある場合は、合成後も腕が見えていなくてはならないので、単純に衣服画像を上から重ね合わせることができない。人体部位による隠れを判断するためには、衣服との前後関係を判断することが必要となる。本稿では、運動推定や衣服画像の生成に人体モデルを利用しているため、

合成の段階でも利用することにした。本手法では、次のステップで人体画像とCGの合成を行う。

- 1) 入力画像を人体モデル上にテクスチャマッピングする
- 2) 人体モデルに衣服画像を重ね合わせる
- 3) 人体モデルと衣服モデルを同時にレンダリングする

以上の処理により、推定した人体姿勢を利用して、CGの生成と実写画像への合成を行うことができる。

## 6. 実験結果

本手法の有効性を確認するために、ビデオ映像から人物動作の推定を行い、CGによる衣服とヘア

スタイルの合成を行った。図 8 に歩いている人物に衣服 CG 画像を重ね合わせたところを示す。(a) は入力画像, (b) は 3 次元動作を推定したところである。(c) は人物動作に合わせて衣服 CG を生成したところである。(d) は(c)の衣服画像を(a)の入力画像に重ね合わせたところである。人物の移動に合わせて自然な衣服 CG の合成が可能になっていることが確認できる。

## 7. むすび

本稿では, 仮想的な鏡の前で衣服やヘアスタイルの変更を行うことができる仮想ファッションシステムを提案した。本システムでは, 従来の CG 作品を作ることを重視したシステムに対して, 利用者が自分の新しい姿を見ることに重点を置いている。また, 利用者の動作に追従して, 衣服やヘアスタイルも動的に動くことにより, 現実感の向上を狙っている。本稿では, ビデオ映像からの 3 次元的人物動作を推定するとともに, 実写映像を利用して合成実験を行い, システムの実現が可能であることを示した。

今後の課題としては, 本手法の高速化により, 対話的に仮想的なファッションの変更を行うことができるシステムを構築することが考えられる。

謝辞 : 本研究の一部は, 科学研究補助金(奨励研究(A) 13780214)による。衣服 CG の作成を行って頂きました新潟大学の斎藤啓史さんに感謝致します。

## 文 献

- [1] S. Gray: "Virtual Fashion", IEEE Spectrum, pp.18-25, 1992
- [2] M. Carignan, Y. Yang, N. Thalmann, D. Thalmann: "Dressing Animated Synthetic Actors with Complex Deformable Clothes", ACM SIGGRAPH '92, 99-104, 1992
- [3] Pascal Volino, Martin Courchesne, N. M. Thalmann, "Versatile and Efficient Techniques for Simulating Cloth and Other Deformable Objects," Computer Graphics proceedings, pp.137--144, 1995
- [4] 坂口 嘉之, 美濃 導彦, 池田 克夫: "自分に合った衣服をオーダーする: 仮想服飾オーダーメイドシステム", 電子情報通信学会誌, Vol.82, No.4, pp.404-411, 1999
- [5] D. Baraff, A. Witkin: "Large Steps in Cloth Simulation", SIGGRAPH98 Conference Proceedings, pp.43-54, 1998
- [6] B. Eberhardt, A. Weber, W. Strasser: "A fast, flexible,

particle-system model for cloth draping", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.16, 52-59, 1996

[7] H.N.Ng, R.L. Grimsdale: "Computer graphics techniques for modeling cloth", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.16, pp.28-41, 1996

[8] 大谷 淳, 海老原 一之, 棚沢 順: "仮想変身システム-自分の姿を好みの姿に変えられるシステムを目指して-", ATR Journal, No.26, pp.6-7, 1996

[9] 宮田 一乘, 黒川 雅人: "ヘアスタイル・シュミレーション・システムの試作; 情報処理学会 グラフィックスと CAD 74-9, pp.47-52., 1995

[10] 宮田 一乘: "画像のワーピング処理を用いたヘアスタイルの合成", 画像電子学会論文誌, Vol.25, No.5, 1996

[11] 山本正信, 川田聡, 近藤拓也, 越川和忠: "ロボットモデルに基づく人物動作の 3 次元画像追跡", 信学論(D-II), Vol.J79-D-II, No.1, pp.71-83, 1996

[12] 川崎 晴久, 清水 年美: "ロボット数式処理", 昭晃堂, 2000

[13] 杉原 厚吉: "グラフィックスの数理", 共立出版, 1995