

回転法による連続視域3次元画像の合成

藤野 雄一

岸野 文郎

N T T ヒューマンインタフェース研究所

連続視域3次元画像を蓄積または伝送しようとする場合、その情報量の圧縮は不可欠である。筆者らは、連続視域3次元画像の情報量圧縮法の新たな手法として回転法を提案した。本報告では、回転法の水平断面モデルに適応型楕円モデルを用いて、斜め前方に配置された2台のカメラにより撮像された人物像から正面像を合成したのでその処理および結果について述べる。

回転法は撮像された被写体の水平方向断面に簡単な2次元モデルをあてはめ、重心点を含む鉛直軸で回転させ、回転後の画素を2次元平面に写影する方法である。2次元モデルに円を用いてマネキン人形の正面画像を合成したが、各画素の回転移動量が小さく、正面原画と比較して細部の点で異なっていた。また、人為的な鼻処理も必要であった。そこで、これらの欠点を解決するために2次元モデルに適応型楕円モデルを用いる手法を検討した。適応型楕円モデルをマネキン人形に用いた結果、画素の移動量も適当であり、比較的自然的な正面画像を合成することができた。また、本手法を人物像に適用した結果、処理の流れをほとんど変更すること無しに自然的な画像を得ることができた。

Synthesizing Continuous Images using the
Image Rotation Method

Yuichi Fujino

Fumio Kishino

NTT Human Interface Laboratories

1-2356, Take, Yokosuka-Shi, Kanagawa, Japan

A Three dimensional television system is regarded as one of the ultimate systems. However, it needs a great deal of image information. Therefore, three dimensional information reduction techniques are very important. This paper describes a new information reduction method named an "Image Rotation Method", which is suitable for real-time processing of human facial images.

The Image Rotation Method needs a simple cross-sectional model. A natural front synthesized image was obtained using a circle cross-sectional model. However, the synthesized image had some differences compared with an original front image. Moreover, a circle model needs an artificial processing. A new cross-sectional model named an adaptive oval model is proposed for Image Rotation Method to improve a synthesized image and to remove the artificial processing. After all, a natural front facial image of a mannequin doll and a human are synthesized from two images.

1. まえがき

テレビジョン表示技術は表示素子、デジタル技術の発達にもない進歩してきた。現在、表示装置としてはCRTの技術が確立され、LCD、プラズマディスプレイ等の新技術も実用化されつつある。また、デジタル技術を用いて表示品質の向上やマルチ画面などの多機能テレビも商品化されている。一方では次世代のテレビジョンとしてHDTV、3次元テレビ^{(1)・(2)}の研究開発も進んでいる。また、3次元表示技術をテレビ会議に応用すると迫力、臨場感などの向上に効果があると報告されている⁽³⁾。しかしながら3次元表示技術はいまだに未解決の問題点が多く、3次元テレビ会議や3次元テレビ電話への適用を考慮すると3次元情報量を圧縮する方法の検討は不可欠である⁽⁴⁾。3次元情報量圧縮技術のひとつに、2台のカメラから入力された画像からカメラ間隔内の任意の位置の画像を合成する連続視域画像合成法が考えられる。筆者らは、この一手法として新たに回転法を提案し、マネキン人形を用いたシミュレーション実験の結果について報告を行なった⁽⁵⁾。本報告では回転法を改善し、人物像への適用を行なったのでその結果について述べる。

2. 連続視域画像再生法

2.1 従来の技術

連続視域画像合成法は、基本的に2台のカメラから入力された画像から、カメラ間隔内の任意視点から見た画像(中間画像、または中割り画像)の合成を行なう方法である。現在、連続視域3次元画像合成法として線形キーフレーム法⁽⁶⁾、光学的手法⁽⁷⁾、濃度輪郭線を用いる方法⁽⁸⁾などが発表されている。線形キーフレーム法は2枚の2値画像をキーフレームとして対応点検索を行ない、検索された対応点を目的の視点位置に応じて内分する方法である。対応点検索の際、複雑な画像では人為的作業を必要とする場合もあるが、内分処理そのものは比較的簡単である。しかし、線画等の2値画像の場合しか処理できないという大きな欠点を持つ。光学的手法は視点の異なる2枚の画像、または深さ方向の距離が異なる2枚の画像(CT画像)などからレンズ系を用いて連続視域画像を合成する手法であり、コンピュータ画像処理

には不向きである。次に濃度輪郭線を用いる方法について簡単に説明する。左右2台のカメラにより撮像された階調画像を n 個($n=1,2,\dots,n$)の階調レベルで2値化し濃度輪郭線を抽出する。次に左右の濃度輪郭線をキーフレームとして対応点検索を行い、得られた対応点を目的の視点位置で内分する。最後に内分された濃度輪郭線から階調画像を再生して所望の画像を得る。本手法は比較的自然な合成画像が得られる反面、左右の濃度輪郭線を対応づける際人為的手段が必要である、1枚の画像の合成に数時間必要とする、等の欠点を有する。

2.2 回転法の基本原理

前節で述べたように、連続視域3次元画像の合成を行なうために線形キーフレーム法、光学的手法や濃度輪郭線を用いる方法は、処理対象、処理方法、処理時間等の点でテレビ会議やテレビ電話への適用は困難である。そこで上記欠点を解決した連続視域画像合成技術の一つとして、新しく回転法なる手法を提案した。以下に回転法の基本原理について述べる。

回転法は物体の水平方向断面に簡単な2次元モデルをあてはめ、重心点を含む鉛直軸で回転させ、回転後の画素を2次元平面に写影する方法である。基本的に2台以上のカメラで撮像された画像に適用する手法であるが、ここでは簡単のため1台のカメラ入力の場合について説明する。被写体を1台のカメラより撮像した場合の空間座標系と、その被写体を $y=j$ なる $x-z$ 平面で切断し、断面モデルに円を用いた場合の被写体と断面モデルの関係を図1に示す。ここで、 x_0 は物体の中心点、

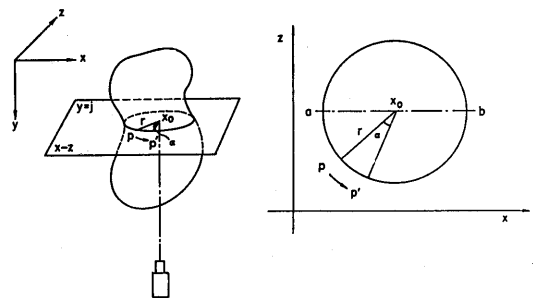


図1 回転法の基本原理

点 p は回転前の座標点 (x, y, z) , p' は回転後の座標点 (x', y', z') , r (y の関数) は回転半径, α は撮像した被写体を希望する角度まで回転させた時の回転角である. 被写体を反時計方向に α° 回転させた場合の x, x', y, y', z, z' の関係を以下に示す.

$$x^2 + y^2 = r^2 \quad \dots (1)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \dots (2)$$

上記の回転操作を各走査線ごとに行なうと α° だけ回転した画像を合成することができる.

2.3 2台のカメラを用いた回転法

前節では, 回転法の基本原理として1枚の画像から目的の画像を得る方法について述べた. 回転法を人物顔画像に適用し, 連続視域3次元画像を

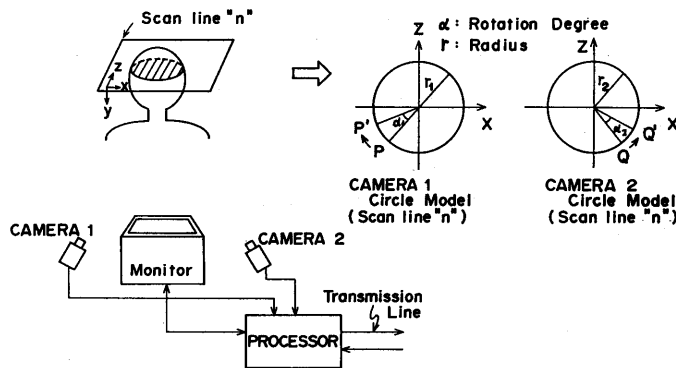


図2 2台のカメラを用いた回転法

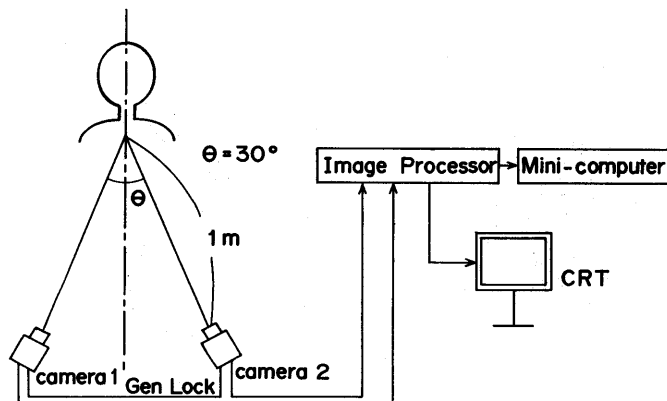


図3 実験構成

得ようとする場合, 1台のカメラで見えない部分を合成することは困難である. そこで, カメラを2台使用してそれぞれの画像に回転法を適用し, カメラ間隔内の任意視点から見た画像を合成する方法を検討する. 人物像と円モデルの関係を図2に示す. 同図で θ はカメラ1, カメラ2のふくそう角, α_1, α_2 はそれぞれカメラ1, カメラ2で撮像された画像を目的の視点まで回転させる角度であり,

$$\alpha_1 + \alpha_2 = \theta \quad \dots (3)$$

Image Rotation Method --- Circle Model (Main Flow)

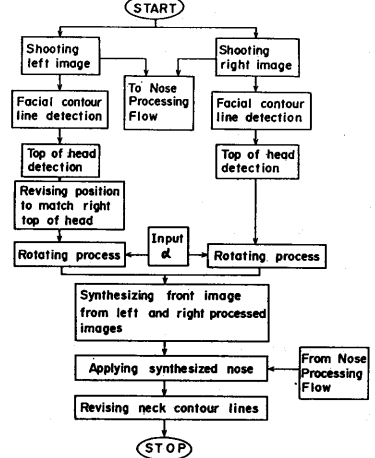


図4 円モデルを用いた回転法の処理の流れ(メインフロー)

Image Rotation Method --- Circle Model (Nose Processing Flow)

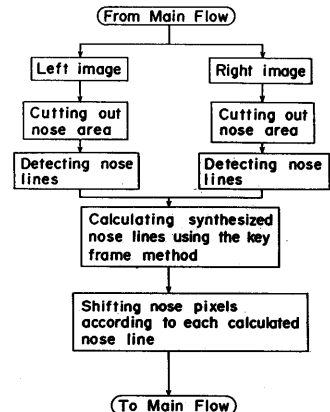


図5 円モデルを用いた回転法の処理の流れ(サブフロー)

なる関係がある。2台のカメラは人物顔画像の垂直方向中心点を含む同一水平面上に配置する。カメラ2により撮像した画像を α_2 °回転させた画像と、カメラ1により撮像した画像を $-\alpha_1$ °回転させた画像を、回転角度に応じた割合で合成し所望の画像を得る。

3. シミュレーション実験

前述した基本原理に従って顔画像を用いてシミュレーション実験を行った。シミュレーション実験で目的とする画像は、まず第一ステップとして正面を向いた画像を合成することとした。以下に実験構成と具体的な処理方法、各モデルを用いた実験結果、課題について述べる。

3.1 実験構成

実験構成を図3に示す。2台のカメラ間隔は被写体正面を中心に左右に15°開いている。被写体は人物大のマネキン人形および人物を用い、背景は輝度変化のないフラットなボードを用いた。

3.2 円モデルを用いた回転法

円モデルを用いた回転法は原画像を円モデルに基づいて回転させただけであるので、鼻などの凹凸部は正確に再現されない。そこで、左右の原画像からその部分を切り出して他の処理法を用いて所望の鼻画像を作成し、回転移動処理画に合成する手法を用いる。回転法の処理の流れをメインフローと鼻処理用のサブフローにわけて、それぞれ図4、5に示す。以下、メインフローに沿って具

体的な処理方法と処理結果について述べる。

① 顔輪郭抽出

2枚の左右の原画像は512×480×8でデジタル化されミニコンピュータに取り込まれる。左右の原画像を図6、7に示す。まず原画像にエッジ検出フィルターを作用させてエッジ画像を得る。次にエッジ画像を左右から走査して顔輪郭を抽出する。

② 位置補正

例えば、右の顔輪郭画像を基準にして左の顔輪郭画像を平行移動させて左右、上下の位置を一致させる。実験では、基準点は垂直方向には頭頂部を、水平方向には顔輪郭線の水平方向中心の平均(中心軸)を用いた。同様に、左の原画像も同じ移動量だけ移動させる。

③ 回転移動

①で抽出した顔輪郭画像より各水平走査線ごとに左輪郭半径 $r_l(y)$ 、右輪郭半径 $r_r(y)$ を計算し、(1)、(2)式を用いて画素の移動量を計算する。計算された移動量をもとに、原画像の画素を移動させ左右の回転移動処理画像を作成する。

④ 合成顔輪郭の作成

①で抽出した顔輪郭画像をキーフレームとして、キーフレーム法を用いて正面を向いた合成顔輪郭線を作成する。

⑤ 移動処理画像の合成

④で作成した合成顔輪郭線の鉛直方向中心軸を求め、中心軸より左側には③で作成した左移動処理画像を、右側には右移動処理画像を割り当て、左右の移動処理画像を合成し正面画像を得る。合



図6 左原画



図7 右原画

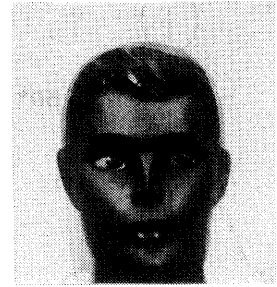


図8 回転移動処理画

(鼻の処理無し)

成移動処理画の結果を図8に示す。鼻の処理を行っていないので、鼻は不自然である。(但し、本図は後述する首の補正処理をすでに行っている。)

⑥鼻の切り出し、合成(サブフロー)

左右の原画像から人為的に鼻を切り出し、正面からみた鼻を回転法以外の手法により合成する。前述したように濃度輪郭線を用いる手法は多値画像の処理を行えるが処理時間が長い。そこで、キーフレーム法を多値画像に適用した手法を用いる。キーフレーム法は基本的には2値画像の手法であるが、ここでは鼻筋を検出して2値化し、キーフレーム法、すなわち内分処理により正面からみた鼻筋を合成し、左右の原画像から鼻の画素を合成鼻筋に沿って移動させて正面を向いた多値画像の鼻を作成する。

⑦正面鼻の合成

⑥の合成移動処理画像の不自然な鼻の部分に⑥で作成した正面鼻を合成する。合成位置は人為的に決定する。接続部分はスムージング処理を行う。

⑧首の補正

左右の回転移動処理画像の合成では首の部分が太くなり、極めて不自然である。したがって、首の部分のみ合成顔輪郭線に沿って画素を移動させる。

以上、すべての処理を行なった結果を図9に示す。比較のために同じ撮像距離、焦点距離で撮像した正面画像を図10に示す。

処理に要した時間はVAX11 785で約2分間であった。文献(9)に正面人物原画像と合

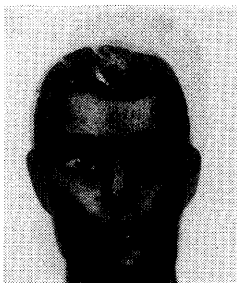


図9 正面処理画
(円モデル)

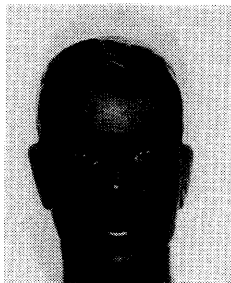


図10 正面原画

成処理画像を定性的、定量的に比較した結果を示してあるため、ここでは、次のステップへの改善箇所についてのみ述べる。

・輪郭

顔の輪郭は首の部分を除き左右の原画像をそのまま用いている。そのため、原画像の輪郭がそのまま正面画像の輪郭となっており、結果的に丸みをおびた輪郭となっている。合成顔輪郭線に沿った輪郭の補正をする必要がある。

・目、眉

目、眉の形は比較的良く再現されているが、位置が水平方向にずれている。これは、円モデルを用いた回転法自身による移動量のずれである。頭部断面は一般的に楕円形をしているにもかかわらず単純な円モデルを用いて回転法を行ったため、画素の移動量が小さくなったことに起因する。

・口

水平方向の大きさが小さくなっている。これも円モデルを用いた回転法によるずれである。

以上の考察により、次のステップとして水平断面モデルに楕円を適用することを検討した。元々人間の頭部断面は楕円形をしており、楕円モデルを用いることにより目や口などの水平方向の移動量がより適切になるとと思われる。

3.3 楕円モデルを用いた回転法

回転法の水平断面モデルに円の代わりに楕円を用いる。図11に円モデルと楕円モデルの比較を示す。同図で点pは回転前の座標点(x, j, z), p'は回転後の座標点(x', j, z'), αは回転角, aはx軸との交点, bはy軸との交点である。また, βを短軸2aと長軸2bの比と定義する。これらの関係は、式(2)および次式で表現される。

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{z}{a}\right)^2 = 1 \quad \dots (4)$$

$$\beta = \frac{b}{a} \quad \dots (5)$$

前節でシミュレーション実験に用いたマネキン人形のβは実測値で1.3であった。予備実験として左画像のy=250での画素の移動量を、β=

1.0 (円モデル)と $\beta = 1.3$ (楕円モデル)で比較した結果を図12に示す。横軸は顔の幅を、縦軸は移動量を示し、半径 r または a で規格化している。楕円モデルの場合は、水平方向中心付近で画素の移動量が円モデルに比較して約3割増大しているのが分かる。

円モデルを用いた場合と処理が違うのは、左右の回転画像を合成する際、合成顔輪郭線を用いて輪郭部の補正を行なう点である。左右の回転処理画像を合成した結果を図13に示す。同図では鼻の合成処理を行っていないため極めて不自然である。キーフレーム法により作成した鼻を合成した結果を図14に示す。合成輪郭線を用いて輪郭部の補正を行なったため、図9と比較して顔の丸みは少なくなっている。

計算時間は、円モデルを用いた場合とほぼ同様であった。円モデルと楕円モデルの定量的な比較は文献(9)で述べているので、ここではその結

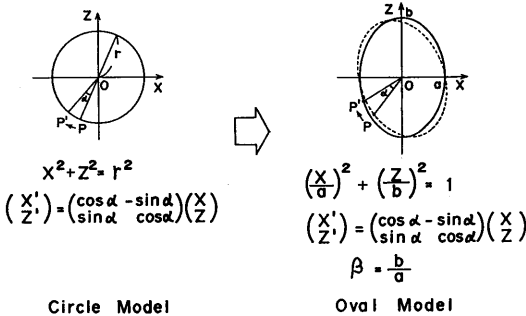


図1 1 水平断面モデルの比較

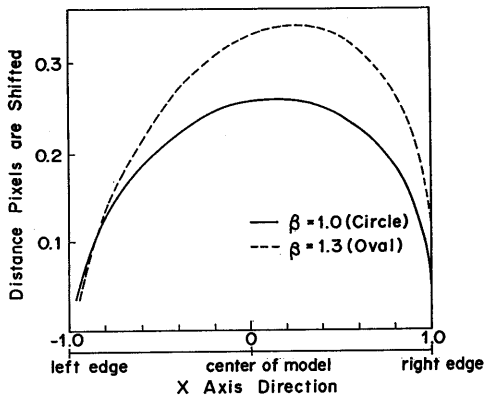


図1 2 画素の移動量

果についてのみ述べる。目と口の大きさ、その位置を正面原画像と処理画像で比較した結果、

- ・目の大きさ
- ・口の大きさ
- ・頭部の両端から左右の目までの距離
- ・頭部の両端から口までの距離
- ・頭部の幅

などが、円モデルよりも楕円モデルを用いた方がより正確に再生されていた。

以上より、円モデルよりも楕円モデルを用いるのが適当であることが分かった。しかし、楕円モデルを用いても鼻の特別処理は依然として必要である。鼻の特別処理を除くことが可能であれば人為的な鼻の切り出しや合成処理が不要になり、計算時間の短縮、実時間処理化につながる。そこで、鼻の処理をなくすために、 β 値を垂直方向に変化させる方法を検討した。

3. 4 適応型 β 楕円モデルを用いた回転法

鼻は高さを有するために一様な回転処理のみでは再生することができない。そのため鼻の部分のみ高さに応じて β 値を変化させ、鼻の画素の移動距離を増大させれば回転法で再生が可能と思われる。そこで、 β 値を垂直方向に変化させる適応型 β 楕円モデルを検討した。図15に適応型楕円モデルの処理の流れを示す。図4の円モデルのメインフローの処理の流れと比較して違う点は、鼻の切り出し、合成処理が必要ない点である。当然、鼻の処理であるサブフローは必要としない。前節で述べた結果より、楕円モデルでは目および口の水平方向位置は正確に再現されている。そのため、

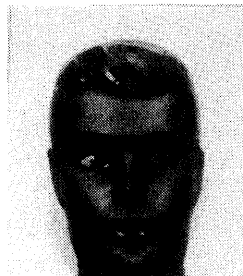


図1 3 回転移動処理画
(鼻の処理無し)

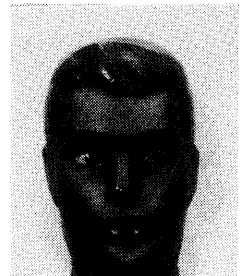


図1 4 正面処理画
(楕円モデル)

この位置での β 値は $\beta = 1.3$ とし、鼻の部分のみで β 値を増大させ、口から下は減少させる。この処理を行なうために鼻の垂直方向の位置を認識する必要があるが、今回の実験では頭部の約 $1/3$ から $3/5$ までを鼻の位置とした。また、 β は 3 種類の簡単な関数で表現した。回転移動処理の結果を図 16 に示す。

適応型楕円モデルと円モデル、楕円モデルの定量的な比較は別途検討するとして、ここでは楕円モデルの特徴について考察する。特徴を列挙すると、

- ・鼻の特別処理無しに自然な正面画像の合成が可能

能

- ・鼻の人為的な切り出しが不要
- ・計算時間の短縮 (約 1 分)
- ・鼻の大きさが正面原画と比較してやや大きいなどがあげられる。鼻の大きさがやや大きくなった理由は、斜め前方より撮像された顔画像は鼻の高さ成分を含んだ形で平面に投影されるためである。鼻がやや大きく再生されたものの、鼻の切り出し、合成などの人為的作業を含まない利点は大きい。

Image Rotation Method --- Variable β

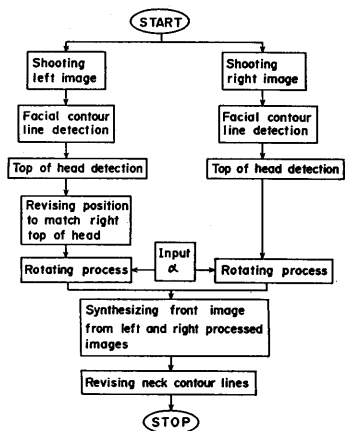


図 15 適応型楕円モデルを用いた処理の流れ

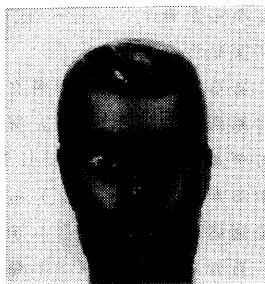


図 16 正面処理画
(適応型楕円モデル)



図 17 人物左原画



図 18 人物右原画



図 19 人物正面原画

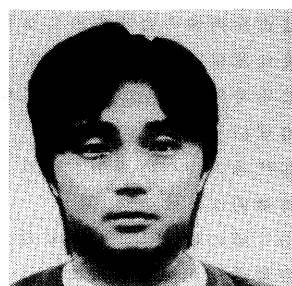


図 20 人物正面処理画
(適応型楕円モデル)

おり、輪郭抽出が容易であった。しかし、人物像において鼻の輪郭線抽出を行なうことは照明条件や肌の色などにより困難と思われる。適応型楕円モデルを用いると鼻の輪郭線抽出が必要でなくなり、人物像への適用が容易である。そこで、適応型楕円モデルを人物像に用いて正面画像を合成することを検討した。実験構成は図3と同様で、被写体のみマネキン人形から人物像へ置き換える。処理の流れも図15と全く同様である。重要なパラメータである β 値は実験的に求めた。左原画像を図17に、右原画像を図18に、比較のための正面原画像を図19に示す。適応型楕円モデルを用いた処理結果を図20に示す。

図20より、人物像でも自然な正面画像の合成が可能であることが分かる。適応型楕円モデルを用いたマネキン人形の処理結果で問題となった鼻の大きさは正面原画と比較してほとんど変わらない。これは、鼻の高さの差によるものである。視線がわずかに違うのは、正面原画は左右原画とは別に撮像したためである。適応型楕円モデルは基本的には頭部だけに適用される手法であるが、 β 値を変化させることにより肩の部分まで適応範囲を広げることが可能である。図20は、首から下の肩の部分に適切な β 値を与えて再生したものである。正面原画と比較すると差はみられるが、不自然さは感じさせない。

3. 6 課題

回転法に適応型楕円モデルを用いて人物像の合成を行なった。ここでは、今後の課題について簡単に述べる。

- ①任意視点での連続視域画像の合成； 現在までは正面画像の合成のみしか行っていないが、今後任意視点での画像を行なう予定である。
- ②実時間処理； 実時間処理を目指した構成法や処理法を検討する。
- ③任意人物への適用； ロングヘアーの女性など特徴的な人物の処理
- ④ β 値の最適化； より自然な合成画を得るための最適 β 値の決定法
- ⑤定量的な評価法
- ⑥立体表示化

4. むすび

回転法に適応型楕円モデルを用いて人物像の正面画像を合成した。本手法では人為的手段による鼻の切り出し処理が必要ないため、処理の簡略化、処理時間の短縮化が可能となった。人物を用いての正面画像の合成は、細部に若干の差異があるもののマネキン人形と同様に自然な処理結果が得られた。

今後は上述したように、任意視点での画像の合成、実時間処理化、任意人物への適用などを行なう予定である。

謝辞

日頃ご指導頂く、安田画像メディア研究部長、山田主幹研究員、島村主幹研究員に感謝致します。

参考文献

- (1) 柳沢； "新しい3次元テレビジョン"，テレビジョン学会技報 IPD57-5 '81
- (2) 村上他； "多眼式カラー立体テレビジョン"，テレビジョン学会技報 VVI69-3 '85
- (3) 藤野他； "立体テレビ会議の一検討"，昭和62年 信学総合全大 1297
- (4) 大越； "3次元テレビジョン"，テレビジョン学会誌 Vol.24, No.9, '70
- (5) 藤野他； 連続視域3次元画像再生法の一検討，第2回テレビジョン信号処理シンポジウム '87
- (6) N.Burtnyk et.al； "Interactive Skeleton Techniques for Enhancing Motion Dynamics in KeyFrame Animation." C.ACM, Vol.19, No.10, pp.564-569(1976)
- (7) 大島他； "2眼立体画像からの連続視域3次元画像の合成"，テレビジョン学会誌，Vol.32, No.5, 1978
- (8) 安居院他； "濃度輪郭線を用いた階調画像の中割り法"，信学論文誌 Vol.J68-D, No.4, '85/4
- (9) 藤野他； 連続視域3次元画像再生法 昭和63年 信学春季全大 D-106