

キャラクタ・アニメーションのための顔の曲面モデル

小松 功児

NHK放送技術研究所

コンピュータ・グラフィックスを用いて、効率良くキャラクタ・アニメーションを制作するための形状モデルを開発している。先に、表面のなめらかさを保ちながら柔軟な形状変形が可能な人体全身の曲面モデルを開発した。今回、このモデルの表現力を高めるために開発した顔の曲面モデルについて報告する。

顔の曲面モデルは、人体全身のモデルと同様に、形状の入力が容易であることと、できるだけリアルなアニメーションを制作できることを目的として開発されている。このモデルは特徴点を通る曲面により形状が表現される。無表情時の顔の特徴点を入力して顔の基本形状を作り、特徴点を移動して曲面を変形させることにより表情を変化させる。このモデルへ実写画像をマッピングすることにより、比較的容易に、自然な顔のアニメーションを様々な顔について制作できる。

Surface Model of Face for Character Animation

Koji Komatsu

NHK Science and Technical Research Laboratories
1-10-11, Kinuta, Setagaya, Tokyo. 157, Japan

We have developed a 3-D shape model for character animations, and now developed the surface model of face to create the shape of various human faces easily and to produce more realistic character animations. The shape of this model is generated by letting free form surfaces pass through the feature points. The basic shape of the face is made by inputting the feature points of a expressionless face, and facial expressions are realized by moving the feature points adequately to transform surfaces. By using this technique and mapping the real facial image to this model, we can produce more realistic animations easily about various faces.

1. はじめに

人間の顔をコンピュータ・グラフィックスにより表現することは、古くから試みられてきた。しかし、顔のような柔軟な物体をコンピュータで扱うことは難しく、現在も様々な目的のために研究が続けられている。3次元コンピュータ・グラフィックスにより顔をモデル化する研究の目的として、

- ・放送、映画などでの映像表現
- ・テレビ会議などの画像通信
- ・医学におけるシミュレーション
- ・コンピュータのマン・マシン・インタフェース

などが挙げられている。

我々は、人間の映像をできるだけリアルに生成し、自由に演技させるためのキャラクタ・アニメーション制作システムを開発している¹⁾。コンピュータ・グラフィックスによるキャラクタ・アニメーションは、ダンス、スポーツなどの模範演技やシミュレーション、危険な環境で演技するスタントマンの代行、実際の俳優との共演など放送番組の制作において多様な利用が考えられる。

先に、人間の全身を表現するモデルとして、表面の滑らかさを保ちながら柔軟な形状変形が可能な人体全身の曲面モデルを開発した²⁾。このモデルは、いろいろな体型の人間を容易に作り出すことができ、しかも、ある程度リアルな人間の皮膚形状の表現を可能としている。実際に番組などで、このようなモデルを演技させる場合、顔の表情の表現も極めて重要となる。そのため、今回報告する顔の曲面モデルを開発した。

この顔の曲面モデルは、人体全身のモデルと同様に、形状の入力が容易であること、すなわち、様々な人物の顔を簡単に制作できることと、できるだけリアルなアニメーションを制作できることを目的として開発されている。

2. 従来の顔の表現手法

人間の顔をコンピュータ・グラフィックスで表現するとき、

- ・顔の形状のモデル化
- ・様々な表情の表現

の問題がある。

顔の形状のモデル化は、実際の人間の顔や粘土などで作られたモデルを測定して行われる。モアレトポグラフィー³⁾、レーザー光を用いた光投影法⁴⁾などを用いて自動的に測定する方法がある。形状を精密に再現するためには、多くの測定データをとる必要があるが、表情の変化の実現は困難となる。

アニメーション制作を目的とした場合、測定対象に網目を描き、最低2方向からそれを撮影して、網目の頂点の3次元座標データを求め、さらに、面を構成するため、頂点の接続関係を入力する方法がよく行われている。これにより、顔は数百から千程度の三角形で構成された多面体で近似される。このとき、測定対象に描かれる網目は平らなところは粗く、曲率の大きいところでは細かくというようにして、試行錯誤により決められる⁵⁾。このようにすると、どの頂点が顔のどの部分に対応するか明確となり、変形を容易に行うことができる。しかし、データ入力作業にかなりの手作業が必要となる。

次に、表情を表現する手法であるが、主に、キーフレーム法と手続きにより形状モデルを変形する方法の二つがある。

キーフレーム法は、典型的な表情に対応する形状モデルをいくつか制作しておき、対応する頂点を内挿して中間の表情を作る方法である。典型的な表情の形状モデルは、その表情をした実際の顔を上記の方法で測定するなどして作られる。この方法は、典型的な表情の形状モデルをいくつか用意しておかなければならず、データ入力が大変であり、また、表現できる表情に制限がある。顔全体を蓄えると膨大なデータ量となるので、変形する部分のみ蓄積して、データ量を削減した例がある⁶⁾。

手続きにより形状モデルを変形する方法は、形状モデルを構成する頂点に作用する変形処理をいくつか決めておき、それぞれの変形処理の大きさをパラメータにより変えて、表情を変化させる方法である。この方法は、表情を変化させるためのデータ量が少なくすみ、また、様々な表情を表現することができる。変形処理として頂点をいくつかのグループに分けて、それらの移

動や回転などで実現したモデル⁵⁾⁷⁾、骨、筋肉、皮膚によるネットワークを考慮したモデル(ただし、あごの動きは扱っていない⁸⁾、筋肉の動きによる頂点の位置の変化を適当な関数により定めたモデル⁹⁾など様々なモデルが開発されている。いずれも多面体近似された形状モデルを変形する手法で、ある程度正確に顔を多面体近似し、インタラクティブにパラメータを修正して表情を変化させている。これらの手法は、顔を多面体近似するためのデータ入力作業が必要なので、様々な人物の顔を簡単には制作できない。また、変形処理によっては、作られたパラメータ群はある一つの顔に対しては適切な表情を表現できるようになるが、違う顔に対しては適用できない場合が生ずる。

本報告の顔の曲面モデルは、特徴点を通して曲面を生成することにより顔の形状を作る。まず、無表情時の顔の特徴点を入力し、これを通して曲面を生成することにより、顔の基本形状を作る。そして、表情の変化に応じて特徴点を移動し、これを通して曲面を生成することにより、基本形状の変形を行う。この手法では、顔の筋肉の動きを正確にシミュレートしているわけではないが、比較的容易に、ある程度自然な表情の変化を様々な顔について制作できる。

3. モデルの概要

本モデルの形状は特徴点の配置により決まる。特徴点は、座標データと属性データを持つ。属性データには、以下のようなものがあり、これらの属性を複数持つ特徴点もある。

- ① 基本形状に関する特徴点
- ② 目の形成のための特徴点
- ③ 口の形成のための特徴点
- ④ 変形時に移動する特徴点
- ⑤ 周囲の形状を固定する特徴点

属性①を持った特徴点は基本形状制作時に座標データが入力される。生体計測において、頭部の測定点は図1のようになっている¹⁰⁾。いずれも確認することが容易な点である。この測定点を参考にして、属性①を持つ特徴点を図2のように決めた。い

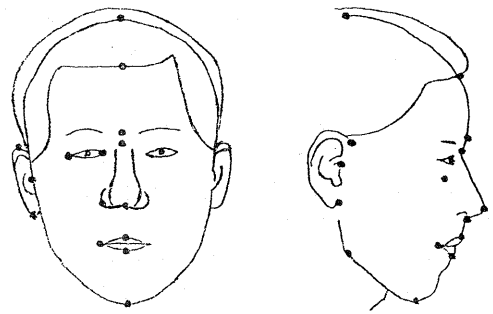


図1 生体計測における頭部の測定点

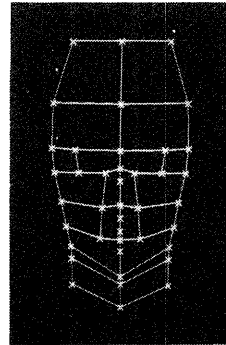


図2 基本形状制作時に
入力する特徴点

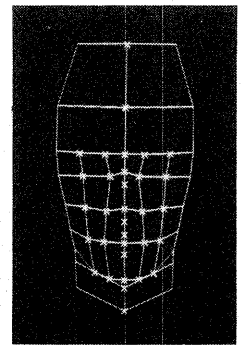


図3 変形時に
移動する特徴点

ずれも容易に入力することができる点である。この特徴点を通して曲面を生成することにより、顔の基本形状ができる。属性①を持つ特徴点で、目と口に対応する特徴点に対し、それぞれ、属性②、③が付加される。この特徴点に対して決められた位置にあるパッチについては、パッチどうしの接続処理を行うときに特殊処理をして、目や口となる穴を形成するようにしている。

変形は、属性④を持つ特徴点を移動して実現する。属性①、④を持つ特徴点を通して曲面を生成することにより形状が変化する。属性④を持つ特徴点のうち属性①を持たない点については、基本形状制作時に座標データが入力されないで、この特徴点の無表情時の位置は、基本形状を作る曲面上の対応する点の位置とする。例えば、ほおの部分の特徴点がこれに相当する。属性④を持つ特徴点、すなわち、変形時に移動する特徴点を図3に示す。また、属性⑤を持つ特徴点の周囲の形状は、その特徴点の位置のみによって決まり、他の特徴点の

影響を受けて変化することがない。この属性は、鼻の頭のようにあまり変化しない部分に付加している。

次に、特徴点を通過する曲面を生成する手法について説明する。基本形状制作時も変形時も同じ方法で特徴点を通過する曲面を生成することとする。

点列を通過する曲面を生成する場合、良く用いられるのは、スプライン補間である。双3次B-スプライン曲面を用い、ノットベクトルを適当に定めて補間すると図4のような形状となる。これからノットの挿入などを行って希望の形状に近づけていけば良いわけであるが、かなりの作業が予想される。また、特徴点の位置を移動すると形状全体が変化してしまい、例えば、あごを動かすと額の形状まで変化するなど、目的とするモデルには適さない。

このモデルでは、曲率ベクトルまで連続となるように接続された双4次Bézierパッチが、特徴点を通過するようにしている。特徴点のデータの他に、顔の大局的な形状を修正するデータとパッチの制御点の位置を修正するデータを用いて、以下の方法で曲面を生成する。これらのデータの入力法については4.、5.で説明する。ここで、モデルの座標系を図5のようにしている。

[step1] 大局的な形状の生成

図6のようにパッチを配置して、顔の両端の特徴点と中央の特徴点を通過するような曲面を作る(図7)。この曲面は、顔の大局的な形状を表現することとなり、この曲面の形状により、顔全体の丸みやあごの形などが決まる。ここで、パッチは曲率ベクトルまで連続となるように接続する。そして、図8のようにパッチの制御点の位置をx-z平面内で移動して形状を修正する。この移動量が大局的な形状を修正するデータである。

曲率ベクトルまで連続となるように接続された双4次Bézierパッチでは、制御点の位置が変わると、隣接したパッチだけに影響が及ぶ。すなわち、この段階でのパッチの配置により、特徴点を動かしたときの変形の影響が及ぶ範囲が決まる。例えば、あごの特徴点を動かすとほおの部分まで変形するが、額の部分は変形しない。

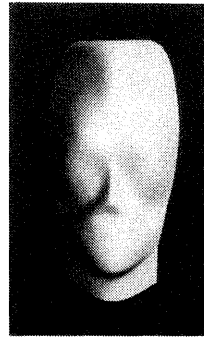


図4 特徴点を
スプライン補間した例

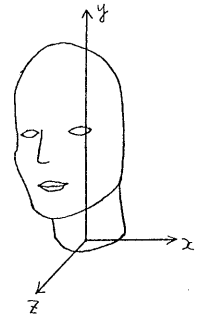


図5 モデルに対する
座標系

[step2] 特徴点を通過する曲面の生成

パッチを分割し、制御点を移動してすべての特徴点を通過するようにする。この段階の形状が図9である。

[step3] 局所的な形状の付加

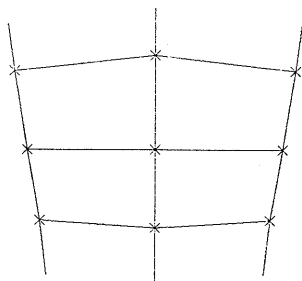
制御点を一点ずつ修正して、目や口などの形状を作る。制御点の位置を修正するデータはstep2までで決まっている制御点の位置からの変位として記憶される。すでに、変位が記憶されている制御点については、その変位をstep2までで決まっている制御点の位置に加える。なお、変形の場合、変形後の制御点の位置を直接指定する部分があり、これが修正データとして扱われる。例えば、まぶたの開閉は図10のように、制御点の移動により行っている。また、属性⑤を持つ特徴点に関する制御点については、その位置が変化しないようにする。

[step4] 接続処理

最後に、曲率ベクトルまで連続となるように接続処理を行う。ただし、目のまわりのパッチの接続については図10のようにする。口のまわりも同様な接続を行う。

以上により、図11のような顔の形状が作られる。(a)が基本形状であり、(b)が特徴点、制御点を移動して変形した形状である。

上記の方法で、接線ベクトルまで連続に接続された双3次Bézierパッチを用いて同様なことを行うことが考えられる。双3次Bézierパッチを用いて、step2まで行った形状が図12である。図のように若干なめらかさに欠ける形状となる。また、目の部分に穴を開ける場合、図10のようにには行えず、



× 特徴点
— パッチの境界線
図 6 パッチの配置

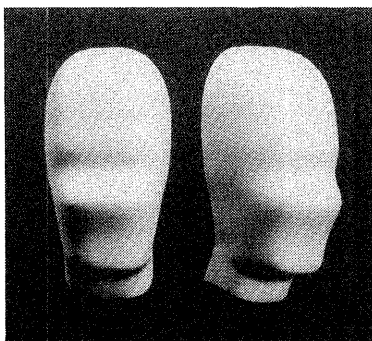


図 7 顔の大局的な形状を表現する曲面

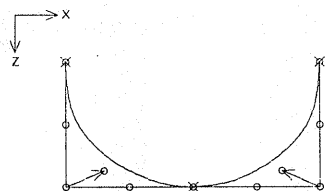


図 7 の断面
× 特徴点
○ パッチの制御点
図 8 制御点の移動

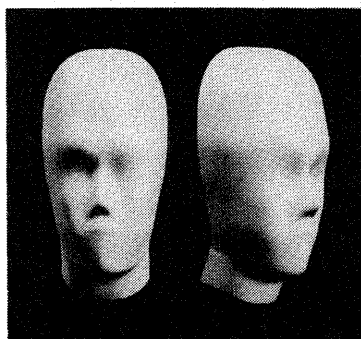


図 9 すべての特徴点を通過する曲面

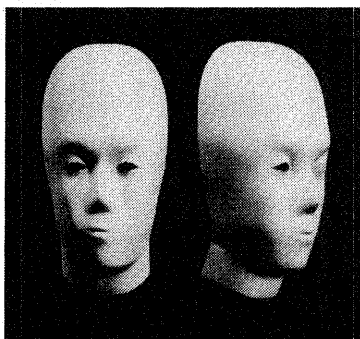
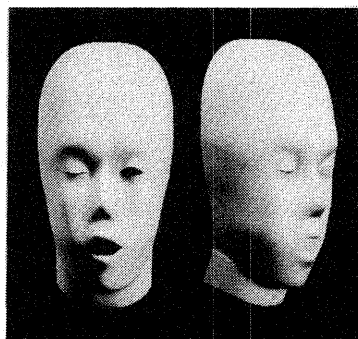


図 11(a) 基本形状



(b) 変形された形状

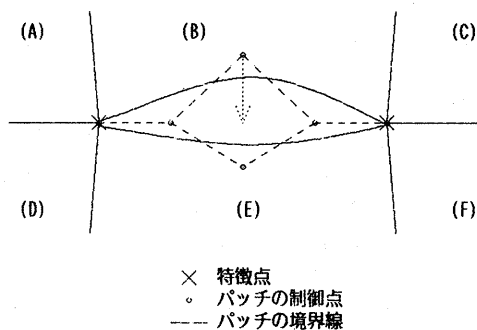
パッチを分割するなどの処理が必要となる。これらのことから、このモデルでは、双 4 次 Bézier パッチを用いた。

4. 基本形状の制作

基本形状の制作について具体的に説明する。使用する機器は図 13 のようである。特徴点の位置、大局的な形状を修正するデータ、特徴点の位置を修正するデータの輸入は、以下のように、インタラクティブに行う。

[1] 制作する人物の顔を正面、側面から撮影し、A/D 変換してフレームメモリに取り込む (図 14)。

[2] 図 15 のように特徴点を入力する。正面画像については 41 個、側面画像については 27 個の点を入力している。顔の内部の特徴点については、目の両端、口の両端というように容易に入力できる。顔の輪郭線上の特徴点については、図 16 のように、入力された特徴点に対し、3. で述べた曲面の生



× 特徴点
○ パッチの制御点
— パッチの境界線
接線ベクトルまで連続 (A) と (B) (B) と (C)
(D) と (E) (E) と (F)
曲率ベクトルまで連続 (A) と (D) (C) と (F)

図 10 目のまわりのパッチの制御点

成手法を適用して得られる曲線を描き、この曲線が輪郭にできるだけ一致するように位置を修正する。

正面画像から特徴点の x 、 y 座標が、側面画像から特徴点の y' 、 z' 座標が求まる。簡単のため、平行投影とすると、 y と y' には次式のような関係がある。

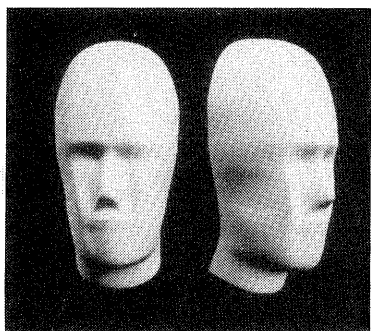


図 12 双 3 次 Bézier パッチを
用いて補間した例

$$y' = ay + b$$

上式の係数を最小 2 乗法で計算し、特徴点の x 、 y 、 z 座標を求める。

[3] 3. で述べた方法で曲面を生成する。初期形状は図 17 のようになる。大局的な形状を修正するデータを変えることにより、顔の丸み、あごの形状などを調整する（図 9）。そして、制御点の位置を一点ずつ修正して、目や口の形状を生成する（図 11(a)）。

次に、眼球と歯を付加する。眼球は球により作られており、中心位置は、目の両端の特徴点を基準に図 18 のようにする。このとき、目が飛び出ないように曲面との干渉チェックを行う。また、歯は口のまわりのパッチの制御点を入力したパラメータに応じて移動して自動的に作られる。以上により作られた顔のモデルが図 19 である。

これらのデータ入力は、グラフィックディスプレイを用いて、リアルタイムにあらゆる方向から見てチェックしながら、インタラクティブに行う。

[4] 特徴点のデータ及び付加されたデータを画像を生成する計算機に送る。以上のようにして作られた曲面では、各パッチが正面画像、側面画像のどの領域に対応するかが明確であるので、位置ずれすることなく、曲面にマッピングすることができる。パッチによって、正面画像の画素の値、側面画像の画素の値、正面画像と側面画像の画素の値を混合した値のいずれかを選んでマッピングする。

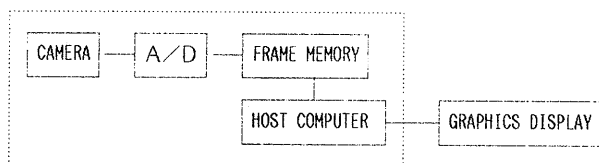


図 13 使用機器

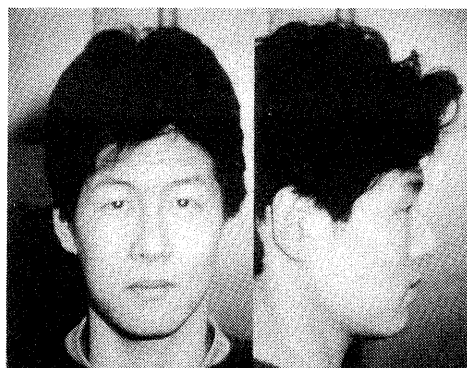


図 14 顔の正面画像、側面画像

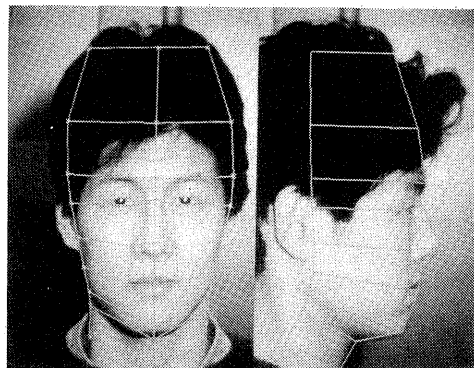


図 15 特徴点の入力

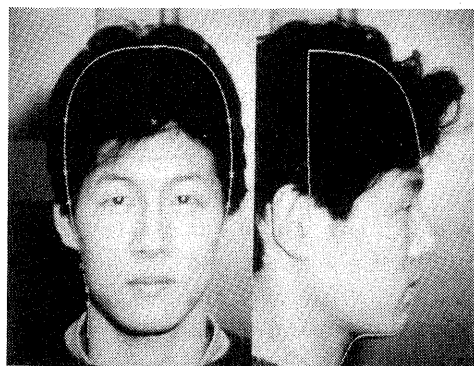


図 16 顔の輪郭線上の特徴点の入力

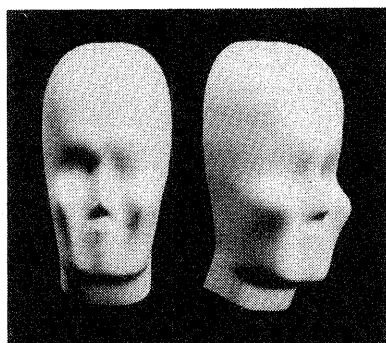
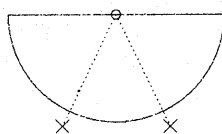


図 17 初期形状



× 特徴点
○ 眼球の中心

図 18 眼球の中心位置

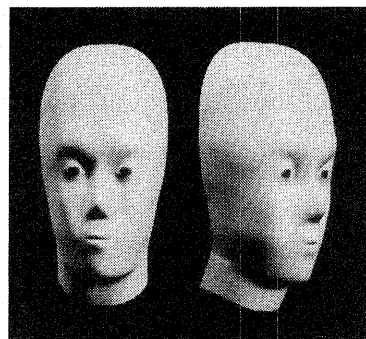


図 19 顔のモデル

このようにして実写画像をマッピングした顔のモデルが図20である。比較的容易に、しかも、ある程度リアルに顔を表現することができている。

5. モデルの変形

このモデルの変形は、あごの回転角度、まぶたの回転角度、眼球の回転角度（2方向）及び特徴点、制御点の移動量を入力して行う。例えば、口の開閉は図21の特徴点を図で示される軸を中心に回転する。また、口のまわりの形状の局所的な変化は制御点を移動させることにより行う。これらのデータの入力グラフィックディスプレイを用いてインタラクティブに行う。このようにして変形されたモデルの例を図22に示す。

入力された特徴点、制御点の移動量は、パッチより計算されるベクトルを用い、相対的な値に変換して変形データとする。ある特徴点に対し、対応するパッチ上の点におけるu方向、w方向の1次微分ベクトルが図23のようであるとする。特徴点の移動する方向により、用いられる1次微分ベクトルの対が変わる。例えば、図23のような方向へ ΔQ 移動する場合、 P_u 、 P_w が用いられ、変形データ α 、 β 、 γ は次式より、求められる。

$$\alpha P_u + \beta P_w + \gamma \sqrt{|P_u|^2 + |P_w|^2} n = \Delta Q$$

$$\begin{aligned} \text{ここで、} P_u &= (P_u - P_u') / 2 \\ P_w &= (P_w - P_w') / 2 \\ N &= P_w \times P_u \\ n &= N / |N| \end{aligned}$$

これにより、パッチが小さくなれば移動量

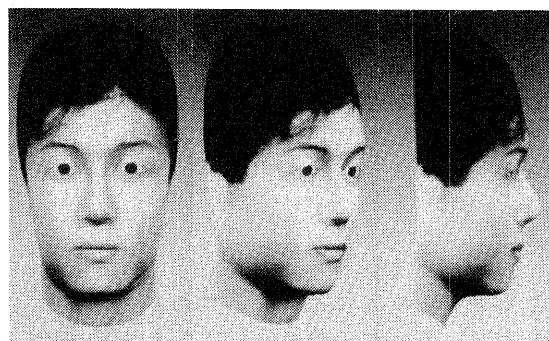
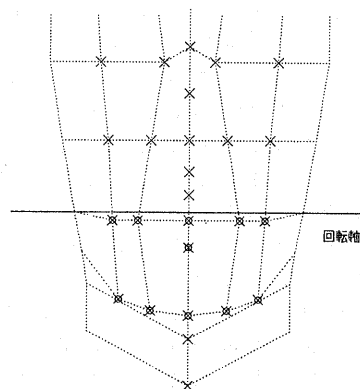


図 20 実写画像をマッピングした
顔のモデル



× 特徴点
× 回転させる特徴点

図 21 あごの回転

も小さくなり、変形データはモデルに依存しなくなる。すなわち、一つのモデルについて変形データを作っておけば、違うモデルでも同じ表情を作るために用いることができる。

アニメーションを制作する場合は、顔の

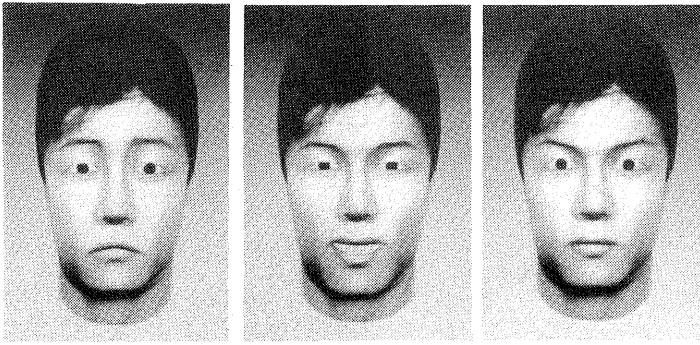


図22 変形された顔のモデル

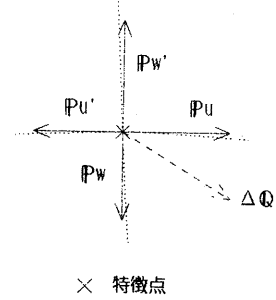


図23 1次微分ベクトル

変形データをいくつか登録しておき、キーフレームで対応する変形データと呼び出し、間のフレームではこのデータを内挿して、表情を変化させる。

6. むすび

特徴点を入力することにより、容易に様々な顔のモデルを制作し、特徴点の位置の移動により、顔を変形して表情を表現する手法について述べた。特徴点を入力するために使用した実写画像をモデルにマッピングすることにより、よりリアルな表現を可能とした。また、変形データを回転角度とパッチより計算されるベクトルで表すことにより、モデルに依存しないようにし、どのようなモデルに対しても容易にアニメーションを制作できるようにした。

今後の課題として、あらゆる表情表現を可能とすることと、質感表現に関しては、髪表現法の開発が挙げられる。

また、全身モデルと接続した場合のより容易なデータ入力法の開発、衣服のモデルの開発、表情を含めた動作の表現法、入力法などの開発を行っていく必要がある。

最後に、日頃ご指導いただく沓沢画像研究部長、石川主任研究員にお礼を申しあげるとともに、有益な討論をしていただき、また、顔画像を提供していただいた画像研究部各位に感謝します。

参考文献

1) 小松、井上、井沢、福井：キャラクタ

・アニメーションのための人体の曲面モデル、NICOGRAPH'86論文集、pp.179～188(1986)

- 2) 小松：キャラクタ・アニメーションのための人体の曲面モデル、情報処理学会論文誌、Vol.29, No.1, pp.7-19 (1988)
- 3) 広田、黒川、山田、高田、土屋：再構成やパターン分析の可能な顔面3次元形状の記述法、第17回画像工学コンファレンス論文集、3-7(1986)
- 4) 広田、黒川、中野、篠崎：体形モデルと双3次スプライン曲面のフィッティング、NICOGRAPH'87論文集、pp.275-284(1987)
- 5) Parke, F. I.: Parameterized Models for Facial Animation, IEEE CG&A, Vol.2, No.9, pp.61-68(1982)
- 6) 根本、大町：顔の3次元アニメーション作成システム、日経CG創刊前夏号、pp.58-65(1986)
- 7) 秋本：あごの3次元モデルと表皮の自動変形による表情と動きを持つ顔画像の生成、NICOGRAPH'86論文集、pp.207-213(1986)
- 8) Platt, S. M., Badler, N. I.: Animating Facial Expressions, Computer Graphics, Vol.15, No.3, pp.245-252 (1981)
- 9) Waters, K.: A Muscle Model for Animating Three-Dimensional Facial Expression, Computer Graphics, Vol.21, No.4, pp.17-24(1987)
- 10) 人間工学ハンドブック、金原出版