

表情付け可能な顔面モデルの生成

糸瀬, 広美
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

有田, 大作
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

谷口, 倫一郎
九州大学システム情報科学研究院知能システム学部門

<https://hdl.handle.net/2324/5922>

出版情報 : 火の国情報シンポジウム, 2006-03
バージョン :
権利関係 :

表情付け可能な顔面モデルの生成

糸瀬広美[†]、有田 大作[‡]、谷口 倫一郎[‡]

[†]九州大学大学院システム情報科学府

[‡]九州大学大学院システム情報科学研究所

〒 816-8580 春日市春日公園 6-1

E-mail: {itose, arita, rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

近年、計算機性能の向上及び CG 技術の進歩により、精巧な CG を作成することができるようになった。それに伴い、映画やゲームのキャラクターとして、また各種アプリケーションにおけるアバターとして、様々な場面で人物 CG が用いられている。しかし、それらは無生物のものに比べてリアルさに欠けている。特に人物の顔面は、人間の顔面認知能力の高さもあって、自然にみせるには製作者の経験とセンスが要求される。さらに、人物 CG をアニメーションさせる場合、必要な表情の形状を全て作り上げなければならないため、作成に多くの時間を必要とする。これらの理由から、本稿では、表情による変形ができない顔面形状データに対して、予め用意しておいた変形情報を適用することで表情付けを行える顔面モデルを生成する手法について述べる。

キーワード 三次元形状、形状変形、表情

Generation of Facial-Expression-Attachable Face Models from Range Data

Hiromi Itose, Daisaku Arita, Rin'ichiro Taniguchi

Department of Intelligent Systems, Kyushu University

6-1 Kasuga-koen, Kasuga, 816-8580 Japan

E-mail: {itose, arita, rin}@limu.is.kyushu-u.ac.jp

Recently, we can see many sophisticated computer graphics, and also those of human as characters in cinemas, computer games, or avatars in some applications. We can, however, often hardly feel those as real, because we are able to distinguish a face from another even if they are resemble each other. Therefore, skillful people only can create human graphics very well. However making up all of possible facial expressions by hand requires long time. In this paper, we propose an approach to generate deformable face model that can attach prepared expressions to non-deformable facial model.

Key words 3D shape models, shape deformation, facial expressions

1. はじめに

顔面の表情付けに関する研究として、事前にあらゆる人物・表情の顔面を計測しておき、それらの線形和で表情付け対象の顔面を近似するもの^[1]や、顔面上の筋肉を物理的に模倣するもの^[2]などがある。前者は実際に計測した顔面形状を用いるため自然な顔面形状を出力として得ることができるが、任意の顔面形状及び表情への対応を可能にするためには膨大な顔面形状を計測する必要があり、出力可能な顔面形状や表情は計測したデータの線形和で近似できる範囲に限定されてしまうという欠点がある。また、後者のように物理的に模倣する場合、模倣が厳密であるほど正確な形状が得られるが、計算に莫大な時間がかかってしまう。

人間の表情には、各々に独立な動作単位 (Action Unit :AU) に分解できるという性質がある^[3]。本稿ではこれを用いて、各 AU を発現可能な顔面モデルを作成することによって、それらの組合せで任意の表情付けが可能な顔面モデルの生成を目指す。この手法では、各 AU を発現した顔面形状を全て用意すれば、任意の表情を発現できる。

2. システム構成

2.1 概要

本システムは表情付け可能な顔面モデルを持ち、これを基本顔面モデルと呼ぶ。入力された任意の顔面モデルに対して、システムは、まず基本顔面モデルを変形することによって入力顔面モデルの形状を近似する。この変形後の基本顔面モデルを、変形基本顔面モデルと言う。次に、変形基本顔面モデルに対して各 AU の変形情報を適用し、入力顔面モデルに対する各 AU 発現形状を作成する。指定された各 AU の発現率に従ってこれらを組合せることで、入力顔面モデルに対して任意の表情付けを行った形状を得る。この処理の流れを図 1 に示す。なお、本稿では、あるモデルを用いて他のモデルの形状を近似する変形をモデル間変形と呼び、この時、変形するモデルを対象モデル、近似されるモデルを目標モ

デルと呼ぶ。一方、変形基本顔面モデルから各 AU 発現形状を作成する際のような、変形情報を用いた変形をモデル内変形と呼ぶ。

2.2 顔面モデル

本稿では、顔面形状を概形モデルと表面モデルから成る顔面モデルで表す。概形モデルとは、口端や目の両端、鼻先などの点 (特徴点)、及びそれらが張る面 (特徴面) により構成される、顔面の大まかな形状を表すモデルである。一方の表面モデルは顔面形状上の頂点 (形状点) とそれらが張る面 (形状面) から成る顔面の形状を詳細に表すモデルであり、これは顔面形状そのものである。なお、両モデルとも三角パッチモデルを用いる。

モデル間変形の際、対象顔面モデルと目標顔面モデルとの間で、鼻は鼻に、口は口にと、顔面内の領域の対応が必要である。そこで、本手法では顔面形状上の複数の頂点を概形モデルの特徴点として定め、それら特徴点の位置を基にして形状の対応をとる。

特徴点をどこにとるかによって顔面モデルの変形の正確さは左右される。本研究では、大まかな形状を表す点や、表情発現の際に著しく変化する点などを選ぶことによって、異なる人物間の対応や形状が大きく変化するような表情発現に対応した。実際に用いた特徴点は図 2 に示した 36 点である。

3. 変形基本顔面モデルの生成

3.1 モデル間変形

基本顔面モデルを生成する際や、入力された顔面モデルの形状を基本顔面モデルで近似する際に、顔面モデル間で変形を行う必要がある。この変形は概形モデルレベルの変形 (第 1 段階) と、表面モデルレベルの変形 (第 2 段階) との 2 段階により構成される。

3.1.1 前処理

変形の第 1 段階では、概形モデルを変形させることによって表面モデルを変化させるが、そのためには表面モデル上の各形状点を概形モデル上のパラメタで表す必要がある。この形状点のパラメタ化は、次の 3 種類を用いる。

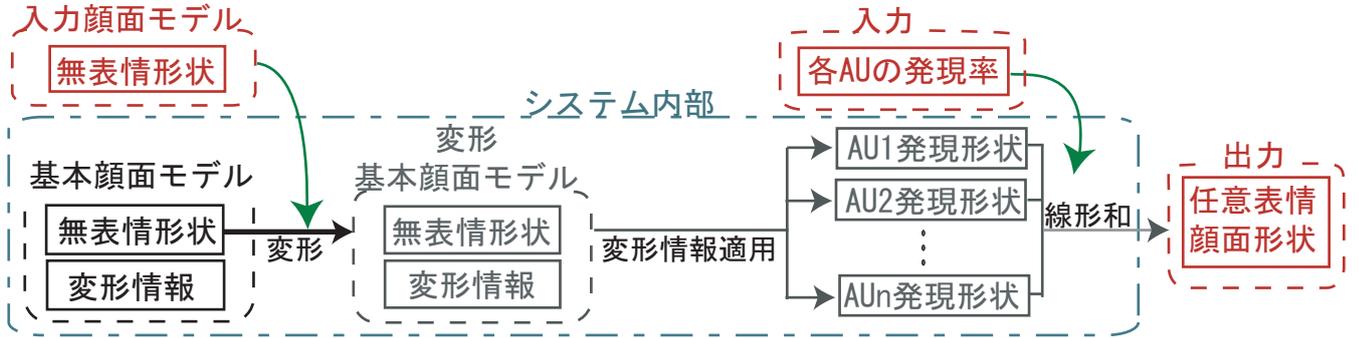


図 1: システムの入出力

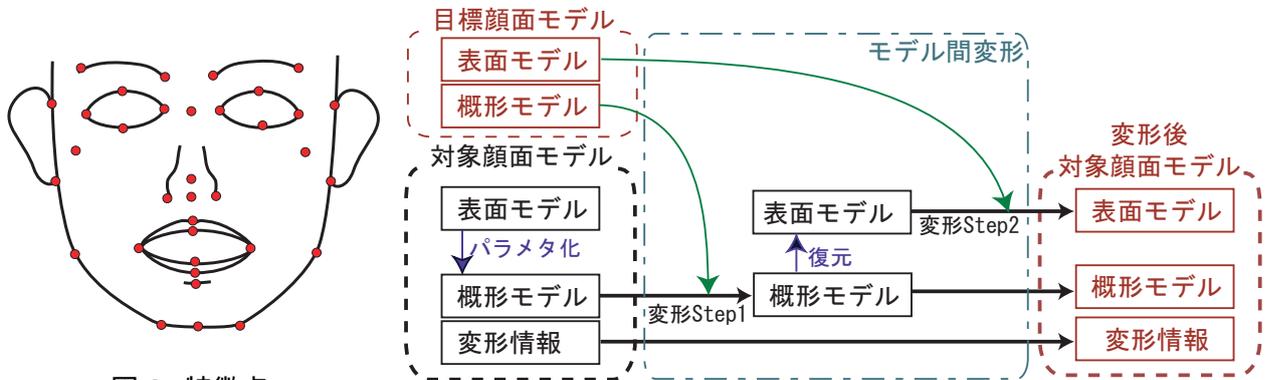


図 2: 特徴点

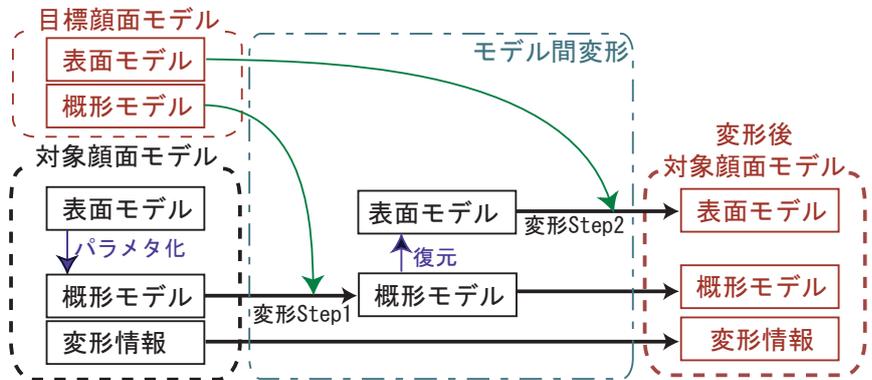


図 3: モデル間変形

パラメタ化 1

形状点のパラメタ化には、まず特徴面によるものを試みる。

k 番目の形状点 \mathbf{p}_k^s の j 番目の特徴面 f_j^f への正射影 \mathbf{h}_k がその特徴面内に存在する場合、その形状点を

$$\mathbf{p}_k^s = \mathbf{h}_k + d_k \mathbf{n}_k \quad (1)$$

$$\mathbf{h}_k = t_{k1} \mathbf{p}_{j1}^f + t_{k2} \mathbf{p}_{j2}^f + t_{k3} \mathbf{p}_{j3}^f \quad (2)$$

と表す (図 4)。ここで、 $\mathbf{n}_k = (\mathbf{p}_k^s - \mathbf{h}_k) / |\mathbf{p}_k^s - \mathbf{h}_k|$ は特徴面 f_j^f の法線に等しく、また \mathbf{p}_{j1}^f 、 \mathbf{p}_{j2}^f 、 \mathbf{p}_{j3}^f はこの特徴面の 3 頂点を表す。この時の $(j, t_{k1}, t_{k2}, t_{k3}, d_k)$ を形状点 \mathbf{p}_k^s のパラメタとする。なお、パラメタ化できる特徴面が複数見つかった場合、距離 d_k が最も近い特徴面でのパラメタ化を用いる。

パラメタ化 2

形状点の正射影がどの特徴面内にも存在しない場合は、形状点をパラメタ化 1 の方法では特徴面にパラメタ化できないので、次に特徴面の境界線でのパラメタ化を試みる。

まず、形状点 \mathbf{p}_k^s と最も距離の小さい特徴面境界線分 l_m を求める。そして、この形状点 \mathbf{p}_k^s の線分 l_m への正射影を \mathbf{h}_k として

$$\mathbf{p}_k^s = \mathbf{h}_k + d_k \mathbf{n}_k \quad (3)$$

$$\mathbf{h}_k = t_{k1} \mathbf{p}_{m1}^f + t_{k2} \mathbf{p}_{m2}^f \quad (4)$$

と表す (図 5)。ここで、 \mathbf{n}_k は \mathbf{h}_k から \mathbf{p}_k^s へ向かう単位ベクトルである。また、線分 l_m を共有する特徴面 f_{m1}^f 、 f_{m2}^f の法線をそれぞれ \mathbf{n}_{m1} 、 \mathbf{n}_{m2} とし、これらと \mathbf{n}_k とが成す角を θ_{m1} 、 θ_{m2} とする。この時の $(m, t_{k1}, t_{k2}, d_k, \theta_{m1}, \theta_{m2})$ を形状点 \mathbf{p}_k^s のパラ

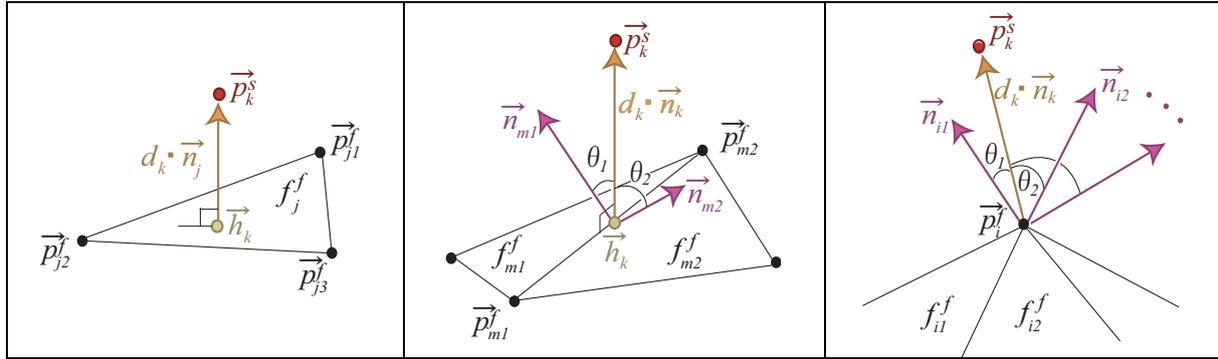


図 4: 形状点のパラメタ化 1

図 5: 形状点のパラメタ化 2

図 6: パラメタ化 3

メタとする。ここでも、複数の線分でパラメタ化可能だった場合は、最も距離の近いものを採用する。

パラメタ化 3

パラメタ化 1、パラメタ化 2 を用いてパラメタ化できない形状点については、最も近い特徴点 p_i^f を用いてパラメタ化を行う (図 6)。

$$p_k^s = p_i^f + d_k n_k \quad (5)$$

$$n_k = \frac{p_k^s - p_i^f}{|p_k^s - p_i^f|} \quad (6)$$

また、特徴点 p_i^f を共有する各特徴面 $f_{i1}^f, f_{i2}^f, \dots$ の法線をそれぞれ n_{i1}, n_{i2}, \dots とし、これらが n_k と成す角を $\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots$ とする。この時のパラメタ $(i, d_k, i1, i2, \dots, \theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots)$ によって形状点 p_k^s を表す。

3.1.2 変形第 1 段階

対象モデルの各特徴点位置を目標モデルの対応する各特徴点位置へ移動させ、それによって変形した概形モデル上で、前処理において求めたパラメタから各形状点を復元する。

3.1.3 変形第 2 段階

変形第 1 段階では、鼻付近の形状点に変形目標形状の鼻付近に、目付近の形状点が目目標形状の目付近にと、ある程度の形状の一致が取れるだけで、変形対象の表面モデルの形状は変形目標の形状に完全には一致していな

い。よって、第 1 段階に引き続き、第 2 段階では表面モデルの膨らみを変化させて変形目標の形状をできる限り近似する。

具体的には、各形状点 p_k^s を「法線」ベクトル n_k に沿って移動させることによって表面モデルを変形する。各形状点について、 n_k に沿って移動させた際に面内を通過する形状面を変形目標モデルの中から探し、見つかった形状面上に形状点を動かす。顔面形状は複雑なため、ひとつの形状点に対してこのような形状面が複数存在する可能性があるが、変形第 1 段階で大まかな形状は一致しているので、最も距離の近い交点 p_k^s を移動先として変形を行う。

3.2 基本顔面モデルの生成

任意の入力顔面形状に対して表情付け可能な顔面モデルを出力する本システムでは、予めシステムが表情付け可能な顔面モデル (基本顔面モデル) を保持していなければならない。具体的には、以下の方法で基本顔面モデルを作成する。

同一人物について、無表情顔面及び各 AU 発現顔面の形状をレンジファインダで計測する。それらについて、特徴点を指定することで概形モデルを作成し、各顔面モデルを得る。得られた無表情顔面モデルに対して、各 AU 発現顔面モデルを目標モデルとしてモデル間変形を行い、その際の概形モデルの変化と表面モデルの変化とを、対応する AU の変形情報とする。無表情の顔面モデルと各 AU 発現

に対応する変形情報とを合わせて、表情付け可能な基本顔面モデルとする。基本顔面モデル作成の流れを図7に示す。

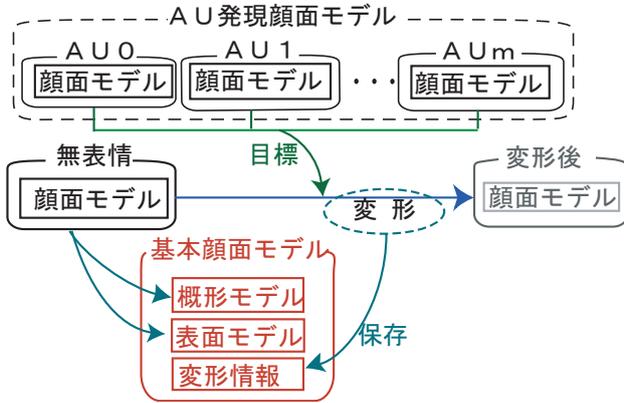


図7: 基本顔面モデルの生成

3.3 変形基本顔面モデルの生成

前節で述べた方法により作成した基本顔面モデルにおいて、その無表情顔面形状を対象モデルとし、入力顔面モデルを目標モデルとしてモデル間変形を行う。これにより、各AUに対する変形情報を持ち、かつ入力顔面モデルの顔面形状をした、基本顔面モデル(変形基本顔面モデル)を得る。

4. 任意表情を発現した顔面形状の生成

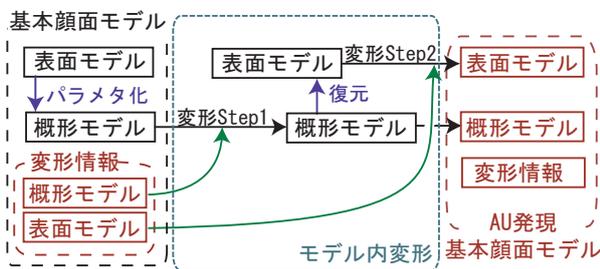


図8: モデル内変形

変形基本顔面モデルに対する表情付けは、まず各AUに対する変形情報を適用することによってAU発現形状をそれぞれ獲得し、さらにそれらの組合せで任意の表情形状を生成

する(図1後半部)。この際、変形情報の適用による基本顔面モデルの変形(モデル内変形)も、モデル間変形と同様、概形モデルレベルと表面モデルレベルの2段階の変形手順を踏む(図8)。

4.1 変形情報

任意の顔面モデルに表情付けを行うためには、基本顔面モデルの作成において、無表情顔面モデルを変形して各AU発現顔面モデルの形状を近似する際の変形を、各AUに対応する変形情報として抽出しておかなければならない。

まず、変形情報として、顔面モデル変形時の特徴点と形状点の移動量そのものを用いることが考えられるが、顔面モデル全体の大きさや各特徴点の位置関係などは顔面形状によって異なるため、基本顔面モデルを変形した際に変形情報が正しく継承されない。よって、変形情報は顔面モデルの大きさや特徴点の位置関係等に対して相対的に定義しなければならない。本節では、変形情報の定義とその適用について述べる。

4.1.1 定義

概形モデルの変形情報

顔面モデル変形の第1段階における概形モデルの変形情報は以下のように定める。

変形前の概形モデルを M_o^f 、変形後の概形モデルを $M_o^{f'}$ とし、それぞれの特徴面と特徴点を f_i^f 、 $f_j^{f'}$ 、 p_m^f 、 $p_n^{f'}$ とする。図4と同様にして、変形後の特徴点位置を変形前の特徴面でパラメタ化する。

$$\mathbf{p}_n^{f'} = t_{j1}\mathbf{p}_{i1}^f + t_{j2}\mathbf{p}_{i2}^f + t_{j3}\mathbf{p}_{i3}^f + d_n\mathbf{n}_n \quad (7)$$

$$t_{j1}, t_{j2}, t_{j3} > 0, (t_{j1} + t_{j2} + t_{j3}) = 1$$

($\mathbf{p}_{i1}^f, \mathbf{p}_{i2}^f, \mathbf{p}_{i3}^f$ は f_i^f の頂点)

ただし、ここでは概形モデルを円柱座標系 (r, θ, h) で表し、各特徴点の θ 方向のベクトルを \mathbf{n}_n とし、パラメタ化を行う。この際用いた円柱座標系は、頭部中心を原点とし、頭部上下方向を軸とするものである。この際の $(i, t_{j1}, t_{j2}, t_{j3})$ を特徴点 \mathbf{p}_n^f の変形情報とする。

表面モデルの変形情報

変形第1段階後の形状点を \mathbf{p}_k^s 、その第2段階後の位置を \mathbf{p}'_k^s とすると、これらは概形モデル上の点 \mathbf{h}_k と概形モデルからの厚み d_k とその方向 \mathbf{n}_k を用いて次のように表せる。

$$\mathbf{p}_k^s = \mathbf{h}_k + d_k \mathbf{n}_k \quad (8)$$

$$\mathbf{p}'_k^s = \mathbf{h}_k + d'_k \mathbf{n}_k \quad (9)$$

概形モデルからの厚み d_k の変化率 $\alpha = d'_k/d_k$ を表面モデルの変形情報とする。

4.1.2 適用

概形モデルの変形

まず、概形モデルの変形情報を用いて概形モデルを変形する。次に、変形情報を適用した概形モデル上において、3.1.1節で述べたパラメタに従って、表面モデルの各形状点の位置を復元する。

表面モデルの変形

変形第1段階後の形状点の位置を $\mathbf{p}_k^s = \mathbf{h}_k + d_k \mathbf{n}'_k$ として、4.1.1節内で定義した表面モデルの変形情報 α を用いて、

$$\mathbf{p}'_k^s = \mathbf{h}_k + \alpha \cdot d_k \mathbf{n}'_k \quad (10)$$

として移動先を求め、表面モデルを変形する。

4.1.3 変形情報の組合せ

本システムでは、無表情時の顔面モデル M_0 と、各 AU の変形情報を発現率 1.0 で適用した各顔面モデル M_1, M_2, \dots との線形和で AU の組合せ発現を実現した。各 AU の発現率を r_1, r_2, \dots とし、任意の表情を発現した顔面モデル M は次のように表す。

$$M = \sum_{i=1} r_i M_i \quad (11)$$

5. 実験

本稿で提案した手法の有効性を示すために、抽出した変形情報の適用及び AU の組合せ発現についての実験を行った。

5.1 計測データ

本稿での実験に用いたのは、全てレンジファインダ (NEC 製 Danae100、型番: D100-R030A030B、奥行き精度 $0.3mm$ 、計測密度: 横 $1280 \times$ 縦 1280 point) を用いて計測した顔面形状データである。処理時間の関係から、表面モデルの形状点数をそれぞれ約 70000 個に間引いて用いた。実験に用いた計測データを表 1 に示す。

5.2 顔面モデルのモデル間変形

入力顔面モデルを近似する際に行う、モデル間変形の例を表 2 に示す。変形目標モデルと変形後対象モデルとは完全に同一とは言えないが、人物間差異を精度よく近似できている。

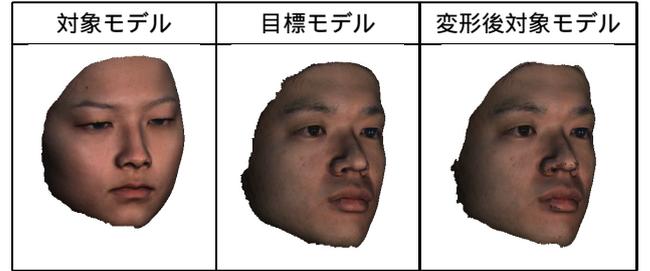


表 2: 異なる人物でのモデル間変形

5.3 変形基本モデルのモデル内変形

前節表 1 に示した各 AU 発現形状から取り出した変形情報を、前節表 2 の変形後対象モデルに対して適用する。これは、変形基本顔面モデルへの表情付けに対応する。各 AU に対応する変形情報を適用した結果、表 3 のように、変形した顔面モデル上でも、各 AU を適切に発現できている。なお、表 3 においては、発現率は全て 1 である。

次に、各 AU 変形情報を、発現率を変えて適用した結果の例を表 4 に示した。指定した発現率に応じて、AU の発現度合いも適切に変化している。

5.4 AU の組合せ発現

本システムでは、式 (11) を用いて AU の組合せ形状を求める。AU の組合せ発現の結

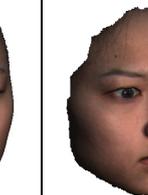
AU01 眉を持ち上げる (内)	AU02 眉を持ち上げる (外)	AU04 眉を下げる	AU05 上瞼を上げる	AU06 頬を持ち上げる
				
AU12 唇の端を水平に引く	AU15 唇の端を押し下げる	AU22 唇を突き出す	AU35 頬を吸い込む	AU43 瞼を閉じる
				

表 1: 計測した AU 発現顔面形状

果は表5のようになった。組み合わせた AU がほぼ適切に現れているのがわかる。

6. 終わりに

6.1 まとめ

本稿では、表情付け可能な顔面モデルの実現手法と、その手法を応用した表情付け可能な顔面モデル生成システムを提案した。提案手法では、任意の表情は互いに独立な動作単位 AU に分解できるという事に基づいて、無表情な顔面モデルから各 AU 発現顔面モデルへの変形情報を抽出し、それら各 AU の変形情報の組合せによって任意の表情を生成した。また、この手法が顔面モデルへの表情付けに対して有効である事を実験により示した。

6.2 今後の課題

本システムで表情付けを行う場合、顔面形状上の特徴点を指定し、概形モデルを作成しなければならないが、現在、この概形モデルの作成は手動で行っている。しかし、手動での概形モデル作成は煩雑な作業であるため、今後、概形モデルを何らかの方法で自動的に生成する手法が望まれる。

また、本手法では、モデル間変形もモデル

内変形も共に、変形結果の品質が特徴点の定義に左右される。本稿で採用している特徴点は、直感的に選んだものであり、最適である保証はない。よって、特徴点の定義の違いによる変形結果の違いを何らかの方法で評価し、最適な特徴点を定める必要がある。

参考文献

- [1] V.Blanz, C.Basso, T.Poggio, T.Vetter, "Reanimating Faces in Images and Video," Computer Graphics Forum, Vol.22, No.3, pp.641-650, 2003.
- [2] 下田宏、楊大和、石井裕剛、吉川榮和、"筋肉モデルによる顔表情合成システムと筋肉パラメータの決定"、ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol.2, No.3, pp.67-72, 2000
- [3] P. エクマン、W.V. フリーセン著、工藤力訳、"表情分析入門," 誠信書房, 1987

AU01	AU02	AU04	AU05	AU06
				
AU12	AU15	AU22	AU35	AU43
				

表 3: 変形基本顔面モデルへの各 AU 変形情報適用

発現率	0.0	0.25	0.5	0.75	1.0
AU04					
AU12					
AU35					

表 4: 発現率の指定

AU01(1.5)+AU15(0.5)	AU12(1.0)+AU05(0.5)	AU22(1.0)+AU04(0.75)	AU22(0.5)+AU05(1.0)
			

表 5: AU の組合せ発現 (括弧内は発現率)