

自在な顔で表情や視線の動きを表出する3次元擬人化エージェントの生成：顔の3次元モーフィングモデルとGalateaモデルの対応付けと視線制御の実現

岡田, 裕也 / 蒲池, みゆき / AKAMATSU, Shigeru / KAMICHI, Miyuki / OKADA, Yuhya / NAKAZATO, Satoshi / KIKUCHI, Sunao / 赤松, 茂 / 菊地, 直 / 仲里, 智志

(出版者 / Publisher)

電子情報通信学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理 / 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理

(巻 / Volume)

106

(号 / Number)

610

(開始ページ / Start Page)

19

(終了ページ / End Page)

24

(発行年 / Year)

2007-03-16

自在な顔で表情や視線の動きを表出する

3次元擬人化エージェントの生成

—顔の3次元モーフィングモデルと Galatea モデルの対応付けと視線制御の実現—

菊地 直 *1 仲里 智志 *2 岡田 裕也 *1 蒲池 みゆき *3 赤松 茂 *1,*2

*1 法政大学大学院 工学研究科 システム工学専攻

*2 法政大学 工学部 システム制御工学科 〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2

*3 工学院大学 情報学部 情報デザイン学科 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

E-mail: sunao.kikuti.4y@gs-eng.hosei.ac.jp, akamatsu@hosei.ac.jp

あらまし 本論文では、表情を生成する顔の3次元モデル生成ツール Galatea Toolkit をベースとして、自在な顔で表情や視線の動きを表出する3次元顔モデル生成の試みについて述べる。レンジファインダにより顔を3次元計測して得られる任意人物の顔形状を持つ3次元顔モデルを生成した。さらに、ある1つのサンプル顔を仲立ちとして、3次元的な姿の多様性を少数のパラメータで表現する3次元モーフィングモデルと Galatea モデルを対応付けることで、実在する人物だけでなく合成顔についても容易に3次元顔モデルが生成可能となった。また、視線の動きを自在に制御できるようにするため、新たな眼球モデルを生成した。

キーワード 3次元顔モデル, Galatea Toolkit, 表情生成, 視線制御

Building a 3D face model representing an arbitrary identity, various facial expressions and gaze directions

—Combination of 3D Morphable Face Model and the Galatea Toolkit and visualization of the eye movement—

Sunao KIKUCHI *1 Satoshi NAKAZATO *2 Yuhya OKADA*1

Miyuki KAMACHI*3 Shigeru AKAMATSU*1,*2

*1 Department of Systems Control Engineering, Graduate School of Engineering, Hosei University

*2 Department of Systems Control Engineering, Faculty of Engineering, Hosei University

3-7-2, Kajino-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8584 Japan

*3 Department of Information Design, Faculty of Informatics, Kogakuin University

1-24-2, Nishi-shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8677 Japan

E-mail: sunao.kikuti.4y@gs-eng.hosei.ac.jp, akamatsu@hosei.ac.jp

Abstract This paper describes an attempt to building a 3D face model for anthropomorphic interface that represents an arbitrary identity, various facial expressions and gaze directions, based on the Galatea Toolkit. We adjusted the face model to the 3D shape of an arbitrary person's face that is densely measured by 3D range finder. In addition, we combined the Galatea Toolkit and the 3D morphable face model by which variations of the 3D shape are represented in a small number of parameters. And we also developed an eyeball model for visualizing movement of the eyes.

Keyword 3D face model, Galatea Toolkit, facial expression synthesis, gaze control

1. はじめに

人間同士のコミュニケーションにおいて、顔は自分が誰であるかという個人性情報を伝えるだけでなく、表情の変化や視線の動きによって非言語的なコミュニケーション情報を効果的に相手に伝達する媒体としても重要な役割を果たしていることが知られている^[1]。そこで、コンピュータグラフィックスによって生成される顔の表情

や視線を自在に変化させることのできる擬人化エージェントは、人間とコンピュータの自然なインタラクションを可能にし、人に優しいヒューマンインタフェースの実現に寄与するものと期待されている^[2]。また、このような擬人化エージェントは人間が顔から視覚に訴えて発信しているさまざまな情報の表出を制御することができるので顔パターンが表出する情報をパラメータとする知覚実験刺激として使用することができ、顔が非言語コミュ

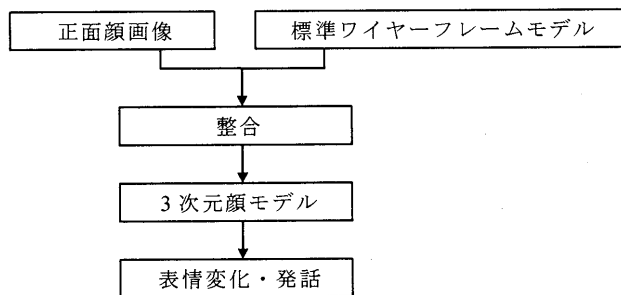


図1 Galatea Toolkitによる
3次元顔モデル生成プロセス

ニケーションにおいて果たしている役割を科学的に解明しようとする心理学研究にも大きく貢献するものと期待される。

本論文ではこのような心理学研究のツールとしての応用を主に想定して、自在な顔について表情や視線の動きを表出する3次元顔モデルを生成する方法を提案する。

2. 本研究の課題とアプローチ

ここでは擬人化エージェントの顔画像生成に関して、

- (1) 発話や感情の表現に応じた表情の変化を生成する、
- (2) エージェントの姿勢の変化や観察者の視点変化に応じた3次元物体としての顔の見え方の変化をリアルに生成する、
- (3) 観測できる実在人物の顔に合わせたモデルを生成するだけでなく、個人性情報を極力相殺した平均顔や実在する顔の個性や印象を強調する操作を行った顔のように、コンピュータによって合成された顔もモデル化の対象にする、
- (4) 顔の個人性、表情、姿勢、観察視点とは独立して視線の動きを自在に制御できる、

という課題の達成をそれぞれ目標として設定した。

課題(1)の顔表情の生成については、これまでも様々な研究が行われてきている^[2]が、これらは顔表面の移動量によって表情を記述した幾何学的変形モデルにもとづく表情の生成法^[3]と顔面筋肉の伸縮によって表情を記述した物理モデルにもとづく生成法^{[4][5][6]}に大別される。後者は実際の間人が行う表情表出過程をシミュレートしようとするもので、前者に比べてよりリアルで自然な表情の生成が可能であるが、表情筋の変形を忠実にモデル化することはなかなか困難である。

本研究では課題(2)(3)(4)に検討の主眼をおくことにし、課題(1)については、前者の方法による表情生成の研究成果が擬人化音声対話エージェント生成ツールとして無償で公開されている Galatea Toolkit^[7]を利用することにした。Galatea Toolkit に含まれる顔のワイヤーフレームモデルは、FACS^[8]で記述された表情の生成や音声に合わせて口の動きを生成することができる。

課題(2)の顔モデルの3次元情報に関して、Galatea Toolkit では正面顔写真へのワイヤーフレームモデルのフィッティングを行っているが、そのリアリティを高めるために、レンジファインダで計測した3次元形状データから顔の3次元モデルの奥行き方向の補正を行うことにする^[9]。



図2 Galatea Toolkitによる3次元顔モデル
生成の例

課題(3)と関連して、任意人物の顔に対してその表情変化を生成する1つの方法としては、表情の変化を含めた顔の多様性を後述する3次元モーフィングモデルによって少数のパラメータで記述し、そのパラメータ値を操作することによって生じる3次元モーフィングモデルの変化を可視化するアプローチも試みられている^[10]。そのようなモーフィングモデルの構築において、異なる顔の異なる表情間での3次元顔形状の高精度な対応付けには未解決の課題も多い。そこで本研究では、表情の変化にともなう顔形状変化は Galatea の3次元モデルによって表現することにして、異なる人物の顔形状の多様性のみを3次元モーフィングモデルで表現し、両モデル間で特徴点を対応づけて整合させることによって、任意人物や合成された顔の表情変化を生成するというアプローチを提案する。

そして課題(4)については、眼球モデルを新たに設計して Galatea のワイヤーフレームモデルに組み込み、視線方向を顔の形状や姿勢のパラメータとは独立して制御できるようにする。

3. Galatea における顔の表情生成モデル

3.1. Galatea Toolkit

Galatea Project^[11]が無償提供している擬人化音声対話エージェント生成のツール Galatea Toolkit のデフォルト機能として、図1のようなプロセスを経て1枚の正面顔画像から3次元顔モデルを作成できる。この3次元顔モデルは表出する感情の変化や、発話音声に合わせて表情を変化させることが可能である。

2次元の顔写真から3次元顔モデルに変換するために、顔全体が写っている正面顔画像に対して、Galatea のワイヤーフレームモデルとの対応付けを行う。ワイヤーフレームモデルには表情変化の際の顔の動きが FACS に基づき定義されている。ワイヤーフレームモデルとの整合では、顔の輪郭線などの特徴点73点について手動で対応付けていく必要がある。さらに眼球画像の組み込み、歯の編集、表情の編集などを行い、3次元モデルを作成する。図2に正面顔の入力画像、ワイヤーフレームモデル整合後の画像、生成された3次元顔モデルを斜めから見た顔画像を示す。

3.2. Galatea Toolkit の問題点

Galatea によって生成される3次元顔モデルには、いくつかの改善すべき点がある。

まず、生成された3次元モデルは正面から表示した際、人物の顔形状を高精度で表現しているように見える。し

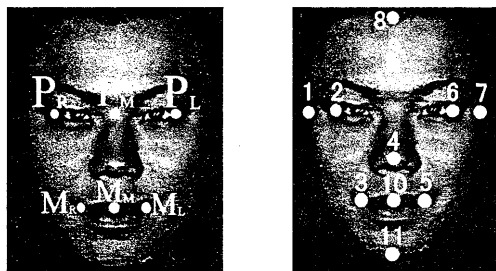


図3 姿勢の正規化と再サンプリングに使用する基準点

		重み係数 P_c		
		-2	0	+2
第1主成分	形状			
	テクスチャ			

図4 モデルから生成される多様な顔の例

かし、図2の例のように角度をずらして表示すると、顔形状が崩れてしまう。これは、2次元の入力画像と3次元のワイヤーフレームモデルとの整合の際、2次元情報の位置合わせしか行わないためである。

また、標準の眼球モデルは頭部全体と固定されているため、表情変化の際にも眼球を独立して動かすことができない。

これらの問題点を解決する方法として、本研究ではGalateaに新たな機能を追加する手法を提案する。

顔形状が崩れてしまう点に関しては、顔形状を3次元測定したデータを使用することで、より高精度な形状を持つ3次元顔モデルを目指す。

眼球を動かすことができない点に関しては、頭部から独立した眼球モデルを追加することで、視線制御可能な3次元顔モデルを目指す。

4. 顔の計測と3次元モーフィングモデル

4.1. 顔の3次元形状の計測

本研究では、より高精度な形状を持つ3次元モデル生成のため、3次元計測した顔形状をGalateaへの入力データとして使用した。具体的には、人物の顔を非接触型レンジファインダ(NEC製Danae-R)を用いて3次元計測し、顔表面における各サンプリング点の計測原点からの相対位置情報(XYZ座標値:形状データ)と色情報(RGB値:テクスチャデータ)からなる点群データを使用した。

4.2. 顔の3次元的な姿勢の正規化

3次元形状データの計測において、顔の位置や方向を一定に保つことは困難である。このため、Galateaの標準ワイヤーフレームモデルとの対応が取れるよう、顔向きについて3次元データの正規化を行った[12]。

正規化を行うための基準となる特徴点としては、左右目尻(P_L , P_R)、口の両端(M_R , M_L)の4点に、それらから求まる左右目尻の midpoint (P_M)、口の両端の midpoint (M_M)を加えた6点とした(図3左)。

P_R , P_L , M_M の3点からなる三角形の法線ベクトル \vec{n} を顔の正面方向とみなし、レンジファインダの設置位置によって定まる観察者中心のxyz直交座標系(x軸は水平方向、y軸は鉛直方向、z軸はレンジファインダの光軸方向にとる)において、法線ベクトル \vec{n} はz軸方向と、ベクトル $\vec{P_R P_L}$ はx軸方向と一致するように、座標変換

した。

さらに大きさについての正規化を行った。3次元形状データの M_R と M_L を結ぶ線分の長さが、Galatea標準ワイヤーフレームモデルの M_R と M_L を結ぶ線分の長さとも一致するように、座標変換した。

4.3. 顔の3次元形状のベクトル表現

顔という対象について、主成分分析のような多変量解析による分析を可能とするベクトル表現を得るための主要な課題は、異なる顔面を構成する特徴点間の対応付けである。

本研究では、図3右に示した基準点を用いて顔表面を予め定められた分割数(縦5×横6=30)で小領域に分割し、各小領域を等間隔(縦60×横50=3000点)に一定の順序で再サンプリングを行うことにより、異なる顔の間でも擬似的に対応のとれた9万点の測定点を得た。

再サンプリングにより、顔パターンの形状とテクスチャのそれぞれについてベクトル表現を得た。

形状ベクトルについては、各点の3次元位置座標(XYZ)を示す3000×30×3個の成分からなる多次元ベクトルとして得られた。

テクスチャベクトルについては、各点におけるRGBカラー値を示す3000×30×3個の成分からなる多次元ベクトルとして得られた。

4.4. 顔の多様性を表す3次元モーフィングモデル

属性が多岐にわたる多数の顔を対象に、顔パターンの形状とテクスチャをベクトル表現した多次元ベクトルについて、それぞれ独立に主成分分析を適用することで、対応する固有値の大きい順に選んだ少数のパラメータによって顔の多様性を表現することができる^{[12][13]}。

N 次元ベクトル \mathbf{X}_m ($m=1,2,\dots,M$)は M 個のパターンの形状ベクトルないしテクスチャベクトルを表すものとする。 K 個の正規直交基底 \mathbf{U}_k ($k=1,2,\dots,K$)は、 \mathbf{X}_m の分散共分散行列の K 個の固有ベクトルを固有値の大きさの順に選択することによって求められる。この正規直交基底を用いると各々の \mathbf{X}_m は、パラメータ空間上に K 次元ベクトル f_m として次元圧縮される。 $f_{m,k}$ と表される f_m の第 k 成分は(1)式のように k 番目の正規直交基底 \mathbf{U}_k に $\mathbf{X}_m - \mu$ を射影することによって得られる。 $f_{m,k} = \mathbf{U}_k^t \cdot (\mathbf{X}_m - \mu)$ ($k=1,2,\dots,K \leq M$) (1)

ここで μ はサンプル集合についての形状ベクトルないしテクスチャベクトルの平均ベクトルを表すものとする。

逆にこの正規直交基底 $U_k (k=1,2,\dots,K)$ を用いて (2) 式のような線形結合を求め、このときの重み係数 $\hat{f}_k (k=1,2,\dots,K)$ を任意に変化させることによって多様な容貌をもつ顔パターンを生成できる。これを 3 次元モーフィングモデルと呼んでいる。

$$\hat{X} = \mu + \sum_{k=1}^K \hat{f}_k \cdot U_k \quad (2)$$

U_k に対応する第 k 主成分に対して (3) 式の係数 $P_c (c=1,2,\dots)$ によって段階的な重み付けを行う。第 1 主成分に対して P_c を -2 から +2 に変化させた時の 3 次元顔モデルの変化を図 4 に示す。これは形状とテクスチャの第 1 主成分がそれぞれ表現している顔の多様性の要因を可視化している。

$$\hat{X}_{k,c} = \mu + P_c \cdot \sigma \cdot U_k \quad (3)$$

5. Galatea 表情生成モデルのカスタマイズ

実在する人物の顔に限らず、主成分分析による印象変換などの操作により合成された顔についても、表情を表出させる 3 次元顔モデルが生成できるよう、3D モーフィングモデルと Galatea のワイヤーフレームモデルとの対応付けを行った。一度対応付けを行ってしまえば、どのような変形を施した 3D モーフィングモデルに対しても容易に表情を表出させる 3 次元顔モデルを生成することが可能となる。

図 5 に示すように、再サンプリング処理を施したサンプル顔を仲立ちとして、3 次元モーフィングモデルと Galatea モデルの対応付けを行った。

5.1. サンプル顔へのワイヤーフレームモデルのフィッティング

3 次元モーフィングモデルと Galatea の 3 次元顔モデルの対応付けを行うためには、再サンプリング処理を施した顔形状データと、同一人物 (サンプル顔) の顔形状を持つワイヤーフレームモデルとが必要である。

このようなサンプル顔のワイヤーフレームモデルは、まずその正面顔画像に対して Galatea の標準ワイヤーフレームモデルを x 軸方向と y 軸方向についてフィッティングを行った後、z 軸方向の情報をレンジファインダから得られたサンプル顔の顔形状データに基づいて変更することで得られる¹⁹⁾。

この際使用するサンプル顔の正面顔画像は、光学系の誤差を考慮してデジタルカメラで撮影したものではなく、レンジファインダから得られた 3 次元顔データを 512×512 [pixel] の 2 次元画像に変換したものを使用した。

図 6 のように、レンジファインダから得られた情報を使用することによって、顔形状の精度が向上することがわかる。

以上の処理で、レンジファインダで撮影した人物の顔形状を持つ 3 次元顔モデルが生成される。このサンプル顔を仲立ちとして、3 次元モーフィングモデルの 3D 形状を記述する再サンプリング点とワイヤーフレームモデルの各頂点との対応点探索を行う。

5.2. 3 次元モーフィングモデルと Galatea モデルの対応付け

約 400 点からなるワイヤーフレームモデルのそれぞれの頂点に対して、3 次元計測された顔形状を再サンプリングして得られた 9 万点の計測点の中からユークリッド距離が最も近い点を対応点として抽出する。

抽出した各点とワイヤーフレームモデルの各点との対応関係を登録しておくことで、今後 3 次元モーフィングモデルとワイヤーフレームモデルとのフィッティングを自動的に行うことが可能である。

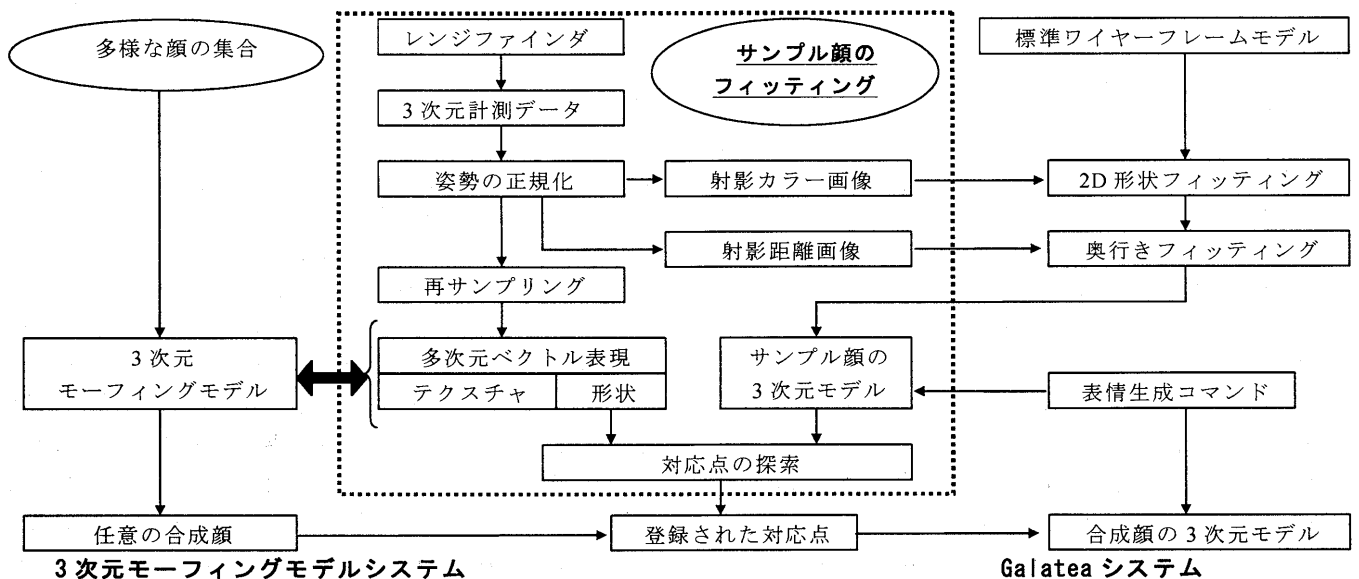


図 5 3 次元モーフィングモデルと Galatea モデルのフィッティング



従来手法 本手法
図 6 任意人物の顔にカスタマイズした Galatea の 3 次元顔モデル



無表情 悲しみ 怒り 喜び
図 7 平均顔の 3 次元顔モデルとその表情生成

以上の処理により、再サンプリング処理を施した任意人物の顔形状データについて、自動的に 3 次元顔モデルを生成できるようになっただけでなく、次に述べるような 3 次元モーフィングモデルから合成された任意の顔についても、それとフィットした Galatea の 3 次元顔モデルを生成することが可能となった。

5.3. 3 次元モーフィングモデルに基づく合成顔に対する表情生成

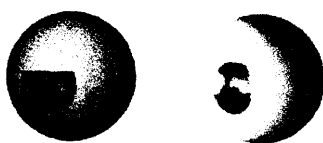
実際の人物の 3 次元形状ではなく、3 次元モーフィングモデルによって生成された形状データとテクスチャデータをもつ合成顔に対しても、本手法によって Galatea の 3 次元顔モデルを生成することが可能である。図 7 では例として、20 代の日本人男女各 30 名の平均顔を使用している。たとえば心理学研究で利用する場合、個人性を排除しながら性別や年齢などの属性判断の特性を調べるなど、合成顔の利用価値が高い。

6. 視線制御のための眼球モデルの組み込み

6.1. 眼球モデルの設計

本研究ではさらに、3 次元顔モデルでの視線制御を実現するために、新たに眼球モデルの作成を行った。

眼球モデルの作成には Autodesk 社の 3D モデリングソフト Maya を使用した。顔画像の眼球部分を眼球モデルのテクスチャ画像として使用すると、図 8 (a) に示すように黒目部分が自然に表示されないことや、色が濁ってしまうなどの影響が出てしまう。そこで、顔モデルの目以外の部分に使用するテクスチャ画像と独立に、実際の人物の眼球を、できる限り目を見開いた状態でデジタルカメラにより撮影し、Maya で作成した眼球モデルの形状にテクスチャマッピングする。これにより、図 8 (b) に示すように、より自然な眼球モデルを生成することが可能となった。



(a) テクスチャ変更前 (b) テクスチャ変更後
図 8 眼球モデルの比較

6.2. 視線制御の Maya 上でのシミュレーション

Galatea のワイヤーフレームモデルと、作成した眼球モデルを組み合わせ、Maya 上で視線制御を行った。まず、ワイヤーフレームモデルから眼球部分のデータを削除した。削除された部分に、眼球の大きさ、位置などを蒲池らの眼球計測^[4]に基づき考慮して作成した眼球モデルの組み込みを行い、さらに、デジタルカメラで撮影した顔画像を用いてテクスチャマッピングを行った。

Maya 上では、顔モデルも含む任意の三次元物体、それらを照射する様々な種類の光源などを仮想空間にまず設置する。それらを任意の座標に設置した仮想カメラから任意の向きで撮影することで、CG としての 2 次元表示が可能となっている。本研究では、視線の目標となる座標をウィンドウ上のスライダもしくは直接数値を指定することでリアルタイムでの視線制御を行うようなカスタマイズを行った。左右の目はそれぞれ別の物体として配置し、独立して目標となる座標の方向へ回転し、視線の移動を表現するものとした。これにより、視線の奥行き方向への移動の表現が可能である。

今後の展開として、表情生成機能を持つ Galatea 環境での視線制御を可能にするために、Galatea の 3 次元顔モデルに作成した眼球モデルの組み込みを行う。Maya 上での視線制御と同じように、左右の目が独立して視線の目標となる座標の方向へ回転し、かつリアルタイムでの視線制御を目指す。

7. 心理学研究への貢献と応用

本研究の手法により、様々な顔に対して、顔の向き(視点)、表情、視線などを動的に変容させることが可能となった。ノンバーバルコミュニケーション情報として有効

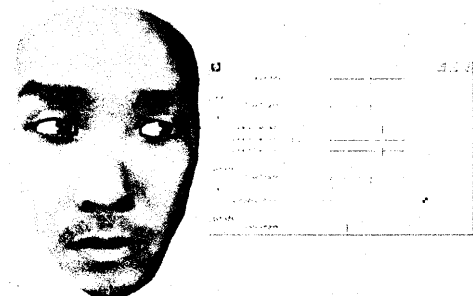


図 9 Maya での視線制御画面



図 10 3次元顔モデルによる表情変化と視線移動の組み合わせの例

な表情や視線は、これまで独立なパラメータとして制御されることが多かった。しかしながら、実際の対人コミュニケーション場面では、顔は多くの情報を一度に発信している。視覚情報に限定しても、複雑なノンバーバル情報が剛体運動（頭の動き）、非剛体運動（表情変化、発話情報、視線）を伴いながら発信されている。にも関わらずわれわれ人間は顔情報に卓越した処理を行っている。このような複雑な運動を、適切に制御するためには、本研究で生成したような3次元顔モデルのパラメータ制御が多分に貢献するものと考えられる。

たとえば、視線の知覚には頭部の向きが影響することが知られており^[14]、視線が変化するに伴って知覚される表情が異なることも指摘されている^[15]。これらの研究は、従来静止2次元画像を用いて実験が行われてきたが、本研究の手法をもとに、三次元的でかつ動的な性質も調べることが可能となる。現在、表情は Galatea で、視線は Maya でそれぞれ制御される環境となっているが、今後それぞれに頭部運動を伴う知覚実験を計画・遂行中である。

8.むすび

本研究では、自在な顔で表情や視線の動きを表出する3次元顔モデルの生成を目指し、いくつかの提案を行った。まず、顔を直接的に3次元計測することによって顔モデルの3次元形状の精度が向上し、Galateaで生成される表情も格段に改良された。また、3次元モーフィングモデルと Galatea モデルとの対応付けにより、実在する顔だけでなく、モーフィングモデルによって生成された合成顔についても、容易に表情生成が可能な3次元顔モデルを生成できた。さらに、視線の制御を行うため、眼球モデルを個別に生成し、独立制御が可能となった。

今後の課題として、現状では Maya を使用した視線制御を行っている部分について、Galatea 環境下でのリアルタイム視線制御を実現したい。これにより、表情変化と視線変化の両方のパラメータ制御が同時に可能となる。

また、現状では Galatea のデフォルト機能にのっつた表情生成を行っているが、さらに自然な表情生成機能を組み合わせたいと考えている。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会の科研費（基盤研究（B）18300076）の助成を得た。記して謝意を表す。

参考文献

- [1] V. Bruce, *Recognizing Faces*, Lawrence Erlbaum Assoc., London, 1988.
- [2] 長谷川修, 森島繁生, 金子正秀, “「顔」の情報処理,” 信学論 (D-II), vol.J80-D-II, no.8, pp.2047-2065, Aug. 1997
- [3] 森島繁生, 岡田信一, 原島博, “知的インタフェースのための顔の表情合成法の一検討,” 信学論 (D-II), vol.J73-D-II, no.3, pp.351-359, March 1990
- [4] Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters, “Realistic Modeling for Facial Animation,” Proc. of SIGGRAPH '95, p.55-62, March 1995
- [5] T. Ishikawa, S. Morishima, and D. Terzopoulos, “3D face expression estimation and generation from 2D image based on a physically constraint model,” IEICE Trans. Inf. & Syst., vol.E83-D, no.2, pp.251-258, Feb. 2000
- [6] Seonju Ahn, 小沢慎治, “顔画像からの筋肉パラメータの推定とそれに基づく他人の表情生成,” 信学論 (D-II), vol.J88-D-II, no.10, pp.2081-2089, Oct. 2005
- [7] 嵯峨山茂樹他, “擬人化音声対話エージェントツールキット Galatea,” 情処学会研究報告, 2002-SLP-45-10, pp.57-64, Feb. 2003
- [8] P. Ekman and W.V. Friesen, *Facial Action Coding System (FACS): Manual*, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1978
- [9] 逸見康弘, 菊地直, 赤松茂, “任意人物に対応した話者の3次元擬人化エージェント生成の試み,” 画像電子学会研究会, 05-07-03, pp.13-18, March. 2006
- [10] C. Basso, P. Paysan and T. Vetter, “Registration of Expressions Data Using a 3D Morphable Model,” Proc. of Int'l. Conf. Automatic Face and Gesture Recognition (FG2006), pp.205-210, April 2006
- [11] URL <http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/~galatea/index-jp.html>
- [12] 矢野大亮, 安部千尋, 石山亜希, 赤松茂, “レンジファインダを用いた顔の3次元モーフィングモデルとその応用,” 信学技報 IE2003-225, pp.13-18, Feb. 2004
- [13] V. Blanz and T. Vetter, “A morphable model for the synthesis of 3D faces,” Proc. SIGGRAPH'99, pp.187-194, ACM Press, 1999
- [14] 蒲池みゆき, 吉田千里 “視線の知覚・制御を理解する”, 基礎心理学研究, V01.25(1), pp.77-84, 2006.
- [15] 吉崎志保, 蒲池みゆき, 箱田裕司, 赤松茂, “視線が表情認知に与える影響,” 信学技法, HIP99-67, pp.19-24, 2000