

ベジェ曲面によるメガネの形状表現とそのメガネ オーダーメイドシステムへの応用

荻原 和 浩[†] 加藤 誠 巳[†]

本論文では、3次元立体計測された頭部立体モデルに対して、3次元コンピュータグラフィックスを用いて、自分で試行錯誤的にメガネの形状を決定し、更に、色、材質、レンズの色、度を選択したメガネをかけさせることにより、そのメガネをかけたときの様子を客観的に評価するメガネオーダーメイドシステムと名付けたシステムのプロトタイプについて述べている。ここでは頭部立体モデルとしては、ヴィーナスおよびアグリッパの石膏像を使用している。メガネの形状等の設定、および結果の表示はパーソナルコンピュータを用い、実際の計算はワークステーションで行っている。ユーザが選択可能な項目は、メガネフレームの形状、フレームおよびレンズの色、フレームの材質、フレームのテクスチャ、レンズの度等である。メガネの形状表現は、双3次ベジェ曲面2枚を筒型にし、これを屈曲させたものを基本単位として採用し、これを相互接続することにより行った。これにより形状変更を少ないパラメータで簡便に行うことができる。すなわちフレームの丸み、太さ、縦方向の長さなどを独立かつ連続的に変化させることが可能である。またフレームの上側と下側で色、材質を別々に選択することもできる。3次元コンピュータグラフィックス表現の手法はZバッファ法および疑似的なレイトレーシング法を採用したが、得られたCG画像例から本システムの有効性が確認された。

A Representation Method of Eye Glasses Using Bézier Surfaces and Its Application to a Customized Eye Glasses Manufacturing System

KAZUHIRO OGIHARA[†] and MASAMI KATO[†]

In this paper, a customized eye glasses manufacturing system is described, in which the eye glasses are imposed on the 3-dimensional measured head image on display of a personal computer to confirm the impression visually. The model heads of this prototype system are the gypsum images of the Venus de Milo and Agrippa. The eye glasses to be designed are instructed by the personal computer and are computed by the workstation. The resultant data are fed back to the personal computer and are displayed in full color. The changeable eye glasses conditions are frame shape, frame and lens colors, frame material (metal or plastic) and frame texture. A bended cylinder made of two Bézier surfaces is used as a building block, a plurality of which is combined to constitute the frame. The frame shape conditions are divided into 8 items such as the roundness, longitudinal length and thickness. The colors, materials and textures can be designated separately in connection with the frame upper and lower parts. The CG display images thus obtained demonstrate the effectiveness and the usefulness of the proposed system.

1. ま え が き

近時、ワークステーション等ハードウェアの進歩、および汎用性のある高度なアプリケーション・ソフトウェアの普及に伴いCADおよび3次元コンピュータグラフィックスが産業製品の設計・評価に広く使用されるようになって来ており、メガネのフレームおよびレンズの設計に際しても有効に利用することができる。

しかし、製品の設計・評価に使用されているCADシステム、ならびに3DCGシステムは一般に操作に習熟する必要があるとともに高価であることが多く、簡単に導入して利用することは困難である。

ところでメガネを購入する際、自分の好みに合ったフレームを実際につけて、鏡で見てよし悪しを判断するのが普通であるが、鏡で見ることでできる角度は制限を受ける。また視力の悪い人の場合には、レンズの入らない状態で鏡を見ても、様子が良く分からないこともあるし、サングラスの場合にはカラーフィルタを通して見ることになるため実際の印象とは異なることが

[†] 上智大学理工学部電気電子工学科
Department of Electrical and Electronics Engineering,
Sophia University

生じる。またメガネ販売店に自分の顔に合ったサイズのフレーム、あるいは希望の形状または色のフレームの在庫が無いようなことも生じる。本論文の目的は、このようなメガネの購入時の問題点を解決するため、自分の希望に合った形のフレームを、初めての人でも簡単にその場で少量のパラメータを指定することにより試行錯誤的に形成する簡便な CAD システムと、メガネのフレームの色、材質、ならびにレンズの色、度数等を自分の希望に従って選択し、自分の頭部を 3 次元計測して得られた立体データに 3 次元コンピュータグラフィックスを用いて、自分でデザインしたメガネをかけさせて、任意の方向から見ることのできるシステムを実現することにある。本論文では、このようなシステムをメガネオーダーメイドシステム^{1),2)}と名付け、そのプロトタイプを実現するための問題点について検討を行った。解決すべき主たる課題は、習熟していない人でも簡単に種々の形状のフレームを試行錯誤的に形成するための曲面の表現方法である。本論文では、双 3 次ベジェ曲面 2 枚を簡型にし、これを屈曲させたものを基本単位とし、これを相互接続することによりこの問題を解決した。これはベジェ曲面はある条件に合うように接続すると 1 次微分までの連続が得られること、四隅の制御点は必ず通ることを有利に利用したことによるものである。

ここで提案するシステムの特徴および新規性は、ベジェ曲面の制御点のコントロールの仕方に有り、後述する 4 つの点 M_0 , M_3 , M_6 , M_9 をファジィ的な概念を用いてその移動を制御することにより、円形から矩形の間の種々の形状を簡便に得ることができる点にある。なお、ここでは少ないパラメータで形状を制御することを当面の目標としたので、メガネフレームの細部の構造は無視していること、メガネフレームと頭部モデルの衝突を回避するには一般的には個別に対処する必要がある等の制約がある。

本論文の主眼はメガネフレームの形状モデリングとインタフェースにあるが、以下、対象とするメガネのモデル、ベジェ曲面によるメガネの形状表現の手法、CG によるメガネの色、材質およびレンズの表現の手法、頭部立体データとメガネの合成の手順、そしてメガネオーダーメイドシステムのプロトタイプの機能と実際に得られた CG 画像例について順次述べる。

2. 対象とするメガネのモデル

メガネには縁無しメガネ、鼻メガネなど種々の形状のメガネが存在するが、本論文で対象とするメガネは図 1 に示すようなごく一般的なフレーム付きのメガネ

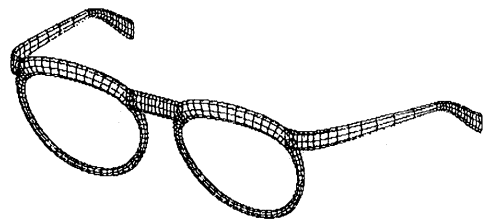


図 1 対象とするメガネ

Fig. 1 Glasses under consideration.

フレーム上部外側 (1)	四角い ⇔	丸い
フレーム上部内側 (2)	四角い ⇔	丸い
フレーム上部 (1,2)	太い ⇔	細い
フレーム下部外側 (3)	四角い ⇔	丸い
フレーム下部内側 (4)	四角い ⇔	丸い
フレーム下部 (3,4)	太い ⇔	細い
フレームの縦の大きさ (5)	大きい ⇔	小さい
ブリッジの高さ (6)	高い ⇔	低い

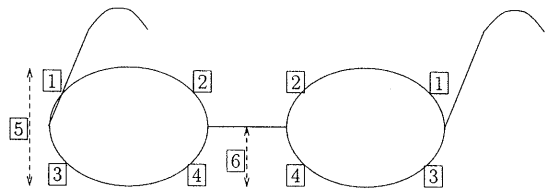


図 2 メガネの部品

Fig. 2 Parts of glasses.

を対象とし、更に細部の構造は無視することとした。図 1 に示すメガネは 2 つのフレーム、2 本のアーム、1 本のブリッジにより成っており、左右鏡対称と考えることができる。本論文の 1 つの目的は、種々の形状のメガネを“丸い”、“四角い”と言った誰にでも理解できる直感的なパラメータをファジィ的に指定することにより、試行錯誤的に利用者の望みに合った形状を得ることにある。メガネフレームの概形を図 2 に示すが、フレームをフレーム上部外側 1、フレーム上部内側 2、フレーム下部外側 3、フレーム下部内側 4 の 4 つのセグメントに分割し、各々を独立に“丸い形状”と“四角い形状”の間に適当に制御することにより、種々の形状を得るようにしている。ここで、対象とするメガネのモデルにおいてユーザが選択し得る他の形状要素として、フレーム上部 1,2 およびフレーム下部 3,4 を各々“太い状態”と“細い状態”の間で適当に選択すること、フレームの縦の長さ 5 を“長い状態”と“短い状態”の間に適当に定めること、ブリッジの高さ 6 を“高い状態”と“低い状態”の間に適当な値に定めることがある。なおアームをフレームに接続する高さも独立に変更することも考えられるが、ここではブリッジの高さと同じになるようにしている。更に、メガネフレームの横幅とブリッジの長さ

の比, ならびにフレーム, ブリッジおよびアームの厚さは後述するように妥当と考えられるあらかじめ定められた一定値としている. また, ここではブリッジおよびアームのフレームと接続される部分の太さは, フレーム上部 $[1,2]$ の太さと同じ値に選んでいる.

3. ベジエ曲面によるメガネの形状表現

3.1 ベジエ曲面^{3),4)}

メガネの各パーツ, 特にメガネフレームを表現するためには複数個の曲面を生成し, 繋ぎ合わせる必要がある. その際要求される曲面の性質として, (1) 曲面の変形が容易であること, (2) 曲面同士が容易かつできるだけ滑らかに接続できること, (3) 指定した制御点により曲面形状がある程度予想できることなどがあげられる. 双3次パラメトリック曲面は, 自由曲面の表現として最も基本的かつ良く用いられる. その1つである Coons 曲面は, ねじれベクトルを用いているため直感的でなく取扱が困難であり, ほかのパラメトリック曲面である B-spline 曲面は曲面の接続に際し, C^2 級の連続 (2次微分までの連続) が得られるが, 得られた曲面が与えられた制御点を必ず通る保証がないので見通しが悪い欠点がある. それに対し, ベジエ曲面は後述のごとく4隅の頂点が制御点と一致すること, 隣接パッチの制御点を直線上にのるとと C^1 級の連続が得られ, メガネの形状を試行錯誤的に簡便に決定するのに適しているため, ここでは双3次のベジエ曲面を採用することとした.

以下ベジエ曲面について簡単に説明する. 一般にベジエ曲面上の点 $\mathbf{S} = (x, y, z)^T$ は2つのパラメータ u, v ($0 \leq u, v \leq 1$) の関数 $\mathbf{S}(u, v)$ として式 (1) で与えられる.

$$\mathbf{S}(u, v) = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n B_{im}(u) B_{jn}(v) \mathbf{Q}_{ij} \quad (1)$$

ただし,

$$B_{im}(u) = \binom{m}{i} (1-u)^{m-i} u^i \quad (2)$$

ここで \mathbf{Q}_{ij} は制御点と呼ばれる3次元位置ベクトルである. 双3次ベジエ曲面は式 (1) において $m=3, n=3$ としたものである. この場合式 (1) は次のようにも表すことができる.

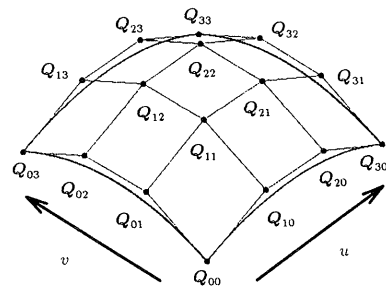


図3 ベジエ曲面
Fig. 3 Bézier surface.

$$\mathbf{S}(u, v) = \begin{bmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \end{bmatrix} \cdot \mathbf{MQM}^T \begin{bmatrix} 1 \\ v \\ v^2 \\ v^3 \end{bmatrix} \quad (3)$$

ただし,

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 3 & 0 & 0 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -1 & 3 & -3 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \mathbf{Q}_{00} & \mathbf{Q}_{01} & \mathbf{Q}_{02} & \mathbf{Q}_{03} \\ \mathbf{Q}_{10} & \mathbf{Q}_{11} & \mathbf{Q}_{12} & \mathbf{Q}_{13} \\ \mathbf{Q}_{20} & \mathbf{Q}_{21} & \mathbf{Q}_{22} & \mathbf{Q}_{23} \\ \mathbf{Q}_{30} & \mathbf{Q}_{31} & \mathbf{Q}_{32} & \mathbf{Q}_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

このように双3次ベジエ曲面は16個の制御点 ($\mathbf{Q}_{ij}, i=0, 1, 2, 3, j=0, 1, 2, 3$) を適当に配置することにより形状を制御することができる. ベジエ曲面の特徴は曲面の4隅の頂点が制御点と一致することである. すなわち,

$$\begin{aligned} \mathbf{S}(0, 0) &= \mathbf{Q}_{00} & \mathbf{S}(0, 1) &= \mathbf{Q}_{03} \\ \mathbf{S}(1, 0) &= \mathbf{Q}_{30} & \mathbf{S}(1, 1) &= \mathbf{Q}_{33} \end{aligned} \quad (6)$$

この様子を図3に示す. 以下本論文ではベジエ曲面が必ず通る4隅の制御点を固有制御点と呼ぶことにする.

更にベジエ曲面では図4に示すように隣接接続した2つのベジエ曲面 A と B の制御点 $\mathbf{Q}_{i2}^A, \mathbf{Q}_{i3}^A (= \mathbf{Q}_{i0}^B), \mathbf{Q}_{i1}^B$ ($i=0, 1, 2, 3$) を太線で示すように直線上にのると C^1 級の連続が得られることが知られている.

3.2 ベジエ曲面による筒型の表現

本論文では前述の双3次ベジエ曲面 (以下単にベジエ曲面と呼ぶことにする) を用いてメガネのフレーム, ブリッジ, アームの形状を表現するのであるが,

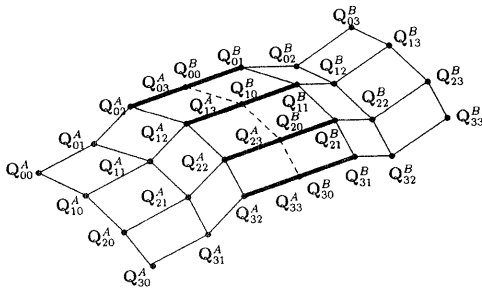


図4 ベジエ曲面の接続
Fig. 4 Connection of Bézier surfaces.

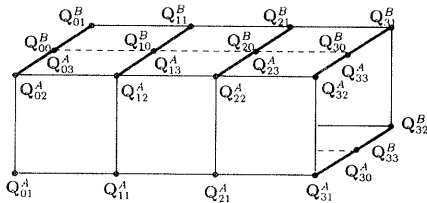


図5 筒型の制御点
Fig. 5 Control points for a cylinder.

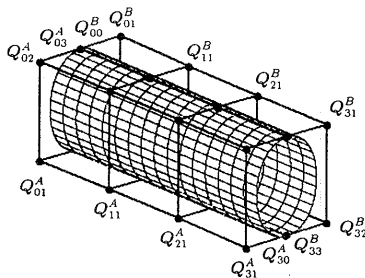


図6 ベジエ曲面による筒型の表現
Fig. 6 A cylinder made of Bézier surfaces.

まずベジエ曲面による筒型の表現法について説明する。図5のようにコの字型に制御点が配置された2つのベジエ曲面AおよびBを相互接続する。このとき図5の太線の部分は直線になるようにしているので、 C^1 級の連続が得られる。これにより生成される曲面は図6のような筒型となる。この筒型を原型として図7に示すように、曲面AとBの間の接続が C^1 級の連続を保ったまま筒型の左右の端に相当する制御点を折り曲げるような変形を行うと、屈曲した筒型が得られることになる。このとき3.1節で述べたように屈曲した筒型は固有制御点である $Q_{00}^A (= Q_{03}^B)$, $Q_{03}^A (= Q_{00}^B)$, $Q_{30}^A (= Q_{33}^B)$, $Q_{33}^A (= Q_{30}^B)$ は必ず通ることになる。なお以下では図を簡単にするため、制御点名は省略して表示することがあるが、図4および図5により制御点名を特定することができよう。

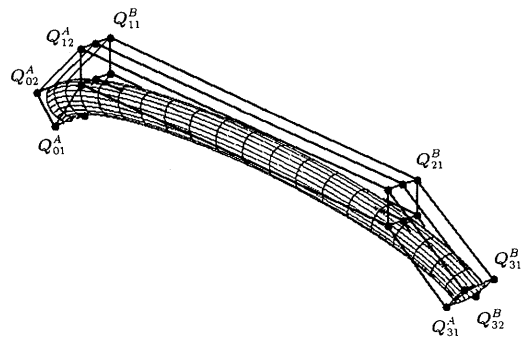


図7 屈曲した筒型
Fig. 7 A curved cylinder.

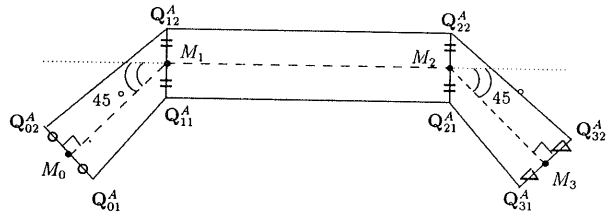


図8 屈曲した筒型の中心線
Fig. 8 Center line of curved cylinder.

3.3 フレーム形状の表現

本論文では様々な形状のフレームをできるだけ簡単に直感的な指示により試行錯誤的に形成するために1つのフレームを図7に示すような屈曲した筒型4つ、すなわちベジエ曲面8枚を用いて表現することとした。以下フレーム形状の表現方法について詳述する。

図7に示すような屈曲した筒型を曲面Aと曲面Bの接続部の断面に対して垂直な方向から見た正面図が図8であり、これをメガネフレームの1/4を構成する基本単位とするのであるが、これについて以下に説明する。図8において制御点は一番手前にあるもの、すなわち $Q_{01}^A, Q_{02}^A, Q_{11}^A, Q_{12}^A, Q_{21}^A, Q_{22}^A, Q_{31}^A, Q_{32}^A$ で代表して示してあるが、実際は4つの制御点が重なったものである。例えば、 Q_{01}^A は $Q_{01}^A, Q_{00}^A, Q_{03}^A, Q_{02}^A$ (ただし Q_{00}^A と Q_{03}^A は一致している)の4つを代表するものである。ここでは、これら8つの制御点を代表制御点と呼ぶことにする。更にこれら8つの代表制御点のうち、 $Q_{01}^A, Q_{02}^A, Q_{31}^A, Q_{32}^A$ は曲面AおよびBの固有制御点を代表しているので、疑似固有制御点と呼ぶことにする。

図8において、 $Q_{01}^A Q_{02}^A, Q_{11}^A Q_{12}^A, Q_{21}^A Q_{22}^A, Q_{31}^A Q_{32}^A$ の中点を M_0, M_1, M_2, M_3 とし、これらを結ぶ中心線が破線で示されている。ここで、 $Q_{01}^A Q_{02}^A = Q_{21}^A Q_{22}^A$ であるが、 $Q_{01}^A Q_{02}^A$ と $Q_{31}^A Q_{32}^A$ は必ずしも等長である必要はない。更に $Q_{01}^A Q_{02}^A \perp M_1 M_0, Q_{31}^A Q_{32}^A \perp M_2 M_3$

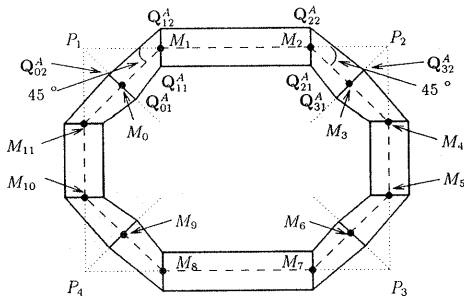


図9 フレームの形成
Fig. 9 Formation of a frame.

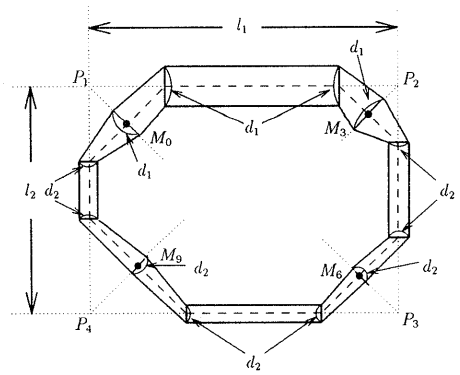


図10 フレームの形状決定パラメータ
Fig. 10 Parameters for frame shape.

であり、屈折の度合は図示のごとく中心線が M_1 および M_2 において下方向に 45° 曲がっている。以上のような条件を満たす基本単位としての屈曲した筒型を $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 回転させ、接合面での $Q_{01}^A Q_{02}^A, Q_{31}^A Q_{32}^A$ に相当する部分の長さが一致するように伸縮して図9に示すように接合すると、隣接する屈曲した筒型は密着し、フレームの中心線は8角形を形成することになる。すなわち、図において、 $M_{11}M_0M_1, M_2M_3M_4, M_5M_6M_7, M_8M_9M_{10}$ はそれぞれ直線を成すことになる。また、 $M_1M_2 // M_8M_7, M_4M_5 // M_{11}M_{10}$ であり、これら平行線が交わる点を P_1, P_2, P_3, P_4 とすると、四角形 $P_1P_2P_3P_4$ は長方形となることは明らかである。このときフレームの中心線上の点 M_0, M_3, M_6, M_9 は、各々直角である $\angle P_4P_1P_2, \angle P_1P_2P_3, \angle P_2P_3P_4, \angle P_3P_4P_1$ を 45° ずつに二等分する線上に位置することになる。換言すると、 $P_1M_0 \perp M_{11}M_1, P_2M_3 \perp M_2M_4, P_3M_6 \perp M_5M_7, P_4M_9 \perp M_8M_{10}$ である。

このようにフレーム形状を表現すると得られるフレーム形状の正面図は後述する図11から14の例でも明らかなごとく、基本単位の相互接続点である疑似固有制御点を必ず通ることになり、ベジェ曲面を描く前における程度概形を予測することが可能となる。

3.4 フレーム形状の変更

本論文で考慮するフレーム形状の変更可能部分については、2章で述べたが、基準の長さは図10に示すフレームの中心線から得られる長方形 $P_1P_2P_3P_4$ の横 P_1P_2 の長さ l_1 である。この l_1 に対し、フレームの縦 P_1P_4 の長さ l_2 を選択すると概略の縦横比が定まる。図10に示すフレームが図2に示すように2つあるフレームの内の向って左側のものであるとすると、フレーム上部外側 [1] の“四角い \leftrightarrow 丸い”は $\angle P_4P_1P_2$ の二等分線上の M_0 を“ P_1 に近づける $\leftrightarrow P_1$ から遠ざける”ことにより制御される。同様にフレーム上部内側 [2] は M_3 、フレーム下部外側 [3] は M_9 、フレ

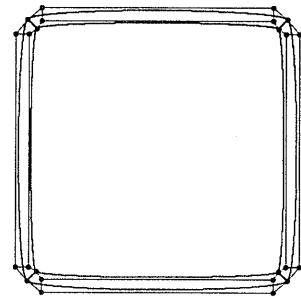
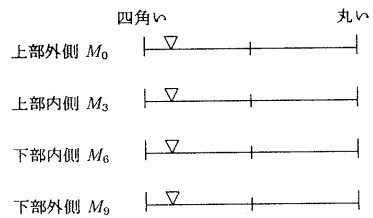


図11 フレーム例1
Fig. 11 Example 1.

ム下部内側 [4] は M_6 の位置によりそれぞれ制御される。一方フレーム上部 [1,2] の“太い \leftrightarrow 細い”は図10の d_1 を“大 \leftrightarrow 小”とすることにより、フレーム下部 [3,4] の“太い \leftrightarrow 細い”は d_2 を“大 \leftrightarrow 小”とすることにより制御される。なお、フレームの厚み、すなわち図5の $Q_{02}^A Q_{00}^B Q_{01}^B, Q_{12}^A Q_{10}^B Q_{11}^B, Q_{22}^A Q_{20}^B Q_{21}^B, Q_{32}^A Q_{30}^B Q_{31}^B, Q_{01}^A Q_{00}^B Q_{02}^B, Q_{11}^A Q_{10}^B Q_{12}^B, Q_{21}^A Q_{20}^B Q_{22}^B, Q_{31}^A Q_{30}^B Q_{32}^B$ に相当する長さはフレームのすべての部分において、一定値 $l_1/20$ (以下これを s とする) を採用した。

以下に上記形状変更パラメータを適当に設定することにより実際に形成されたメガネフレームの例を示す。
[フレーム例1]

縦横比を1、すなわち $l_1 = l_2$ とし、4つの点 M_0, M_3, M_6, M_9 を“かなり四角く”なるよう定

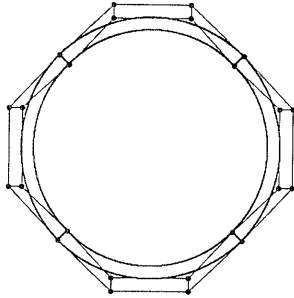
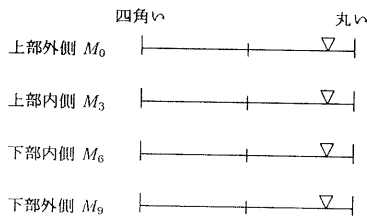


図 12 フレーム例 2
Fig. 12 Example 2.

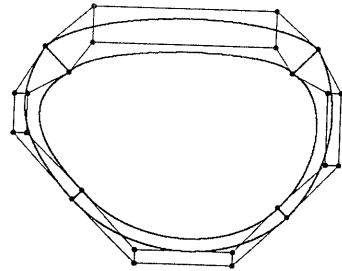
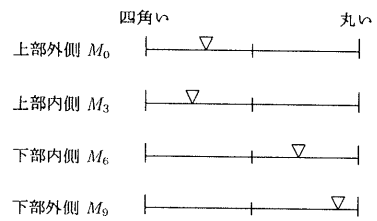


図 14 フレーム例 4
Fig. 14 Example 4.

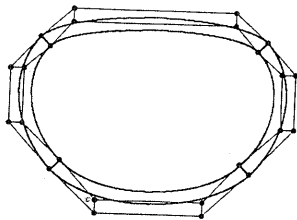
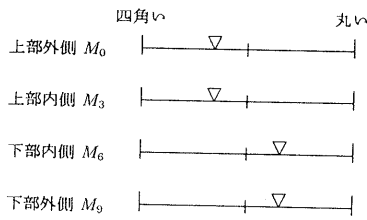


図 13 フレーム例 3
Fig. 13 Example 3.

め、 $d_1 = d_2 = s$ (厚さ) とすると図 11 に示すようにほぼ矩形に近い形状が得られる。

[フレーム例 2]

縦横比を 1 とし、 M_0, M_3, M_6, M_9 を“かなり丸く”、 $d_1 = d_2 = s$ とすると図 12 に示すようにほぼ円形に近い形状が得られる。

[フレーム例 3]

縦横比 $l_2 : l_1 = 0.7 : 1.0$ とし、 M_0, M_3 を“やや四角く”、 M_6, M_9 を“やや丸く”定め、 $d_1 = d_2 = s$ とすると図 13 に示すような形状が得られる。

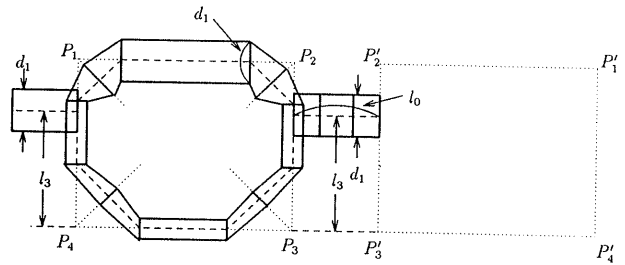


図 15 ブリッジとアームの位置
Fig. 15 Position of a bridge and an arm.

[フレーム例 4]

縦横比 $l_2 : l_1 = 0.8 : 1.0$ とし、 M_0, M_3 を“四角と丸の中間位”、 M_6 を“やや丸く”、 M_9 を“極めて丸く”定め、 $d_1 : d_2 = 3 : 1$ とすると図 14 に示すような形状が得られる。

3.5 ブリッジおよびアーム形状の表現

ブリッジおよびアームのフレームへの接続点の高さは前述のごとく利用者が指定できるがここでは同じ値に選んでいる。ブリッジの基本的形状としては図 6 に示すような 2 枚のベジェ曲面で与えられる直線状筒型を採用した。このときブリッジの高さ l_3 は図 15 に示すようにその中心線と P_3P_4 との間の距離で与えられ、ここでは長さ l_0 は $l_1/5$ とし、幅はメガネフレーム上部の太さ d_1 と同一とし、そして厚さはフレームの厚さと同一のあらかじめ定められた一定値 s としたが、以下で使用するパラメータの内、一定としているものは標準値として採用したものであり、頭部モデルとの衝突が生じるような場合、あるいは意図的に変形

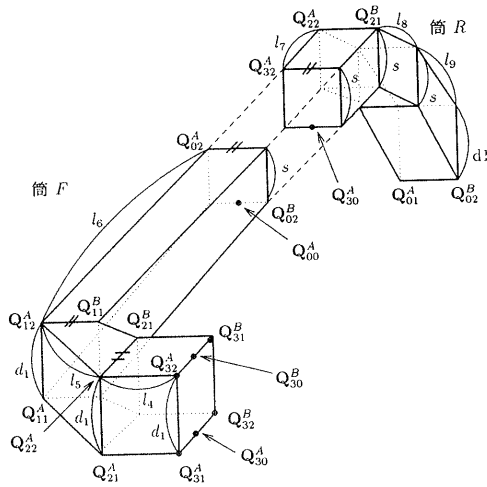


図 16 アームの形状表現

Fig. 16 Representation of an arm.

したい場合には変更する必要がある。なお、この場合ブリッジの両端の固有制御点 Q_{00}^A , Q_{00}^B および Q_{30}^A , Q_{30}^B はフレームを形成するベジエ曲面の内部に入るように計算で求めている。

アームは図 7 に示すような屈曲した筒型の制御点を、図 16 の筒 F あるいは筒 R の形となるようにそれぞれ屈曲させたものを相互接続することにより表現している。このとき筒 F の $Q_{32}^A Q_{31}^A$, $Q_{22}^A Q_{21}^A$, $Q_{12}^A Q_{11}^A$ に相当する部分の長さはフレーム上部の太さ d_1 と同じに、 $Q_{02}^A Q_{01}^A$ に相当する部分の長さはあらかじめ定められた値 s に等しくとっている。また筒 R の $Q_{32}^B Q_{31}^B$, $Q_{22}^B Q_{21}^B$, $Q_{12}^B Q_{11}^B$ に相当する部分の長さはあらかじめ定められた値 s に、 $Q_{02}^B Q_{01}^B$ に相当する部分の長さは d_1 に等しくしている。

筒 F の、 $Q_{32}^A Q_{22}^A$, $Q_{22}^A Q_{21}^A$ に相当する長さ l_4 , l_5 はフレームの上部の長さ l_1 に対して適当と考えられるあらかじめ定められた長さ $l_1/10$, $l_1/10$ にそれぞれを選んでおり、 $Q_{12}^A Q_{02}^A$ に相当する長さ l_6 はメガネをかける人の顔の大きさに応じて変化させている。一方筒 F の屈折の角度は $Q_{12}^A Q_{11}^A$ と $Q_{22}^A Q_{32}^A$ が平行になるようにしている。筒 R に相当する部分は実際にメガネをかけさせた状態では耳の陰になってほとんど見えないので、 $Q_{32}^B Q_{22}^B$, $Q_{22}^B Q_{12}^B$, $Q_{12}^B Q_{02}^B$ に相当する長さ l_7 , l_8 , l_9 はそれぞれほぼ適当と考えられる $l_1/10$, $l_1/10$, $l_1/10$ に選んでおり、屈折の角度は $Q_{32}^B Q_{22}^B$ と $Q_{12}^B Q_{02}^B$ が 45° を成すように設定している。また筒 R の点 Q_{30}^B に相当する点はベジエ曲面の固有制御点であるので、これをメガネをかける人の耳の上部に一致するように選んでおり、それによって筒 F の長さ l_6 が決定されることになる。また、前述のごと

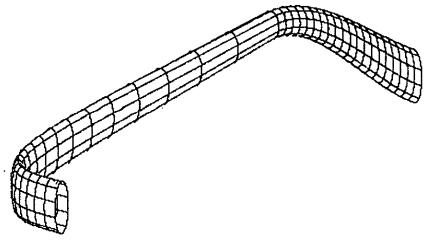


図 17 アームのベジエ曲面表現の例

Fig. 17 An example of Bézier surface representation of an arm.

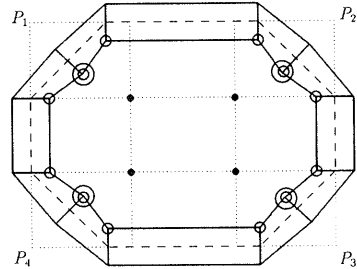


図 18 レンズ表面の表現

Fig. 18 Representation of lens surface.

くアームの厚さはすべて s としている。なお筒 R の筒 F と反対側の端の開口状態は他のベジエ曲面を用いて塞ぐこともできるが、ほとんど見えない箇所であるので計算時間を節約するためそのままとしている。

図 17 にこのようにして規定されたアームの表現例を示す。

3.6 レンズ表面の形状表現

ここではレンズは厚さを有さない表面のみで表現することにした。図 18 に示すメガネフレームの内部の \odot で示す疑似固有制御点 4 つと \circ で示す代表制御点 8 つ、および \bullet で示す長方形 $P_1 P_2 P_3 P_4$ の縦横 3 等分線の交点 4 つを通るベジエ曲線はフレーム内側形状と一致したレンズ表面を形成することになる。ただし、 \bullet の Z 方向の高さは本来は度数によって変えるべきであるが、ここでは常に一定とし、4 つの疑似固有制御点で決定される平面より測って $3s$ となるように選んだ。

図 19 にこのようにして表現されたレンズ表面の例を示す。

4. 使用した 3DCG の手法

利用者がメガネを選択する基準としてはメガネの形状以外に色、材質、レンズの色などがあげられる。3次元コンピュータグラフィックスの手法についてはすでに多くの研究が成されており^{3)~6)}、ここではそれ

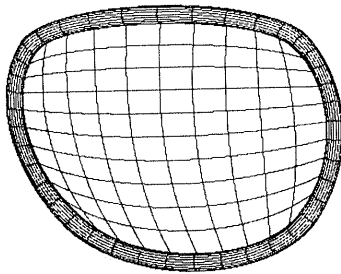


図19 レンズ表面のベジェ曲面表現の例

Fig. 19 An example of Bézier surface representation of lens surface.

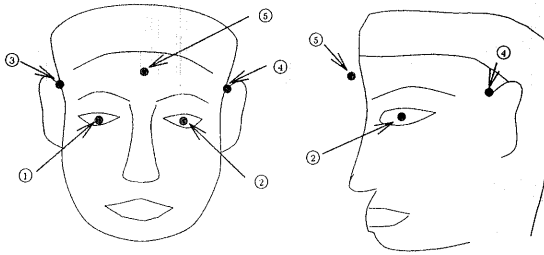


図20 顔の規定点

Fig. 20 Regulation points of face.

を利用したに過ぎず新規性は無いので、使用した方法について簡単に触れることにする。ここで指向しているのは上記メガネの色、材質、レンズ等を選択したとき、それがどの程度利用者の希望とあっているか否かの大まかな判断材料を提供するためCGで表示するのであるため計算時間のかかる方法は避け、簡便な近似手法を採用した。

レンズのあるメガネを顔にかけたCG画像を得る手順の概略は次の通りである。まず、メガネをかけない頭部のCG画像と、レンズの入らないメガネフレームを5章で述べる仕方により顔の所定位置にかけたとき想定した位置に配置したときのCG画像を各々独立にZバッファ法を用いて求め、各ピクセルのR, G, B値およびZ座標を計算する。次にこのようにして得られた頭部CG画像とレンズの入らないメガネフレームのCG画像を各ピクセルごとのZ座標を用いてZバッファ法により合成する。この近似手法の採用によりメガネフレームが顔の上に生じさせ得る影は表現されないことになる。次いでレンズを入れた画像を求めるのであるが、これも次のような疑似的手法を用いて算出した。すなわち、レンズの表面は3.6節で述べたベジェ曲面で表現するが厚みは考えず、表面の内側はレンズの度に相応する屈折率を有する物質で充填されているものと想定して計算を行った。

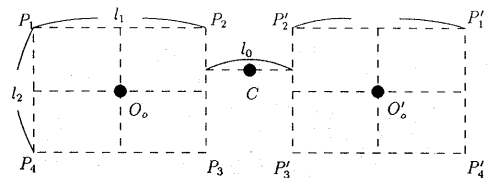


図21 メガネの規定点

Fig. 21 Regulation points of glasses.

5. 頭部立体データとメガネの合成

最終的にはメガネを利用者がデザインし、そのメガネをその利用者の頭部顔面にかけたときに客観的に見てどのような印象を受けるかを、任意の方向から見た3次元コンピュータグラフィックスによって表示することを目標としているが、筆者らの研究環境では、人間の3次元立体計測データが簡単には入手できなかったため、前後左右から立体計測したデータを合成して得られたヴィーナス、およびアグリッパの石膏像の頭部データ^{7),8)}に対して、その場で試行錯誤的にデザインしたメガネをかけさせることにした。この場合、任意の方向から見た状況を表示することも可能であるが、計算時間を短縮するため正面、および左右45°方向から見たときのピクセルごとのZ座標と、RGB値を事前に算出しておいたものに対してメガネをかけさせることとした。

頭部立体データとメガネの合成の手順は次の通りである。ただし、事前に図20に示すように頭部を正面から見たときの下記5つのデータをあらかじめ算出しておくものとする。

- ① 右目の中心の X, Y, Z 座標
- ② 左目の中心の X, Y, Z 座標
- ③ 右耳の上の X, Y, Z 座標
- ④ 左耳の上の X, Y, Z 座標
- ⑤ 額の中心よりやや手前の Z 座標

[ステップ1]

図21に示すように、メガネの縦横比が決定されたとき、左右のフレームの中心点 O_0 , O'_0 と、左右の目の中心①, ②とが一致するように、メガネフレームを相似的に拡大または縮小する。

[ステップ2]

⑤のZ座標とメガネのブリッジの中央CのZ座標が一致するようメガネフレームを前方または後方に平行移動する。

[ステップ3]

現在メガネのフレームの平面は鉛直面になっているが、通常フレームの下面はやや顔に近くなってい

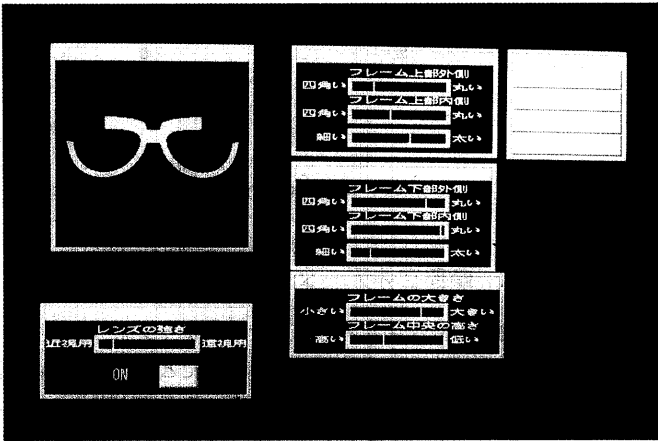


図 22 形状設定画面

Fig. 22 Display image for determining the shape.



図 26 例 3

Fig. 26 Example 3.



図 27 例 4

Fig. 27 Example 4.

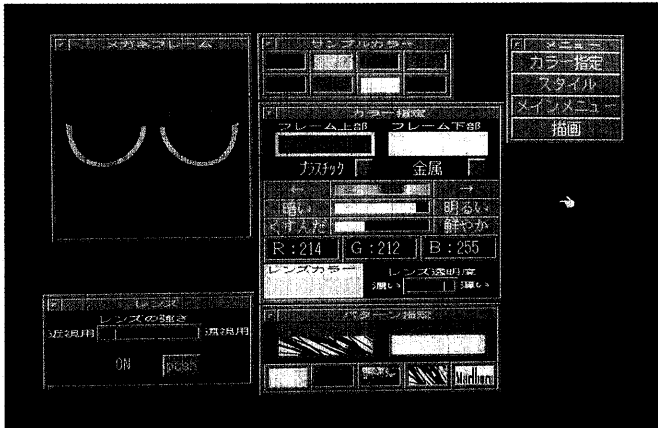


図 23 色、材質、レンズ選択画面

Fig. 23 Display image for selecting colors, materials and lens.



図 28 例 5

Fig. 28 Example 5.

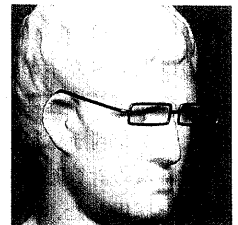


図 29 例 6

Fig. 29 Example 6.

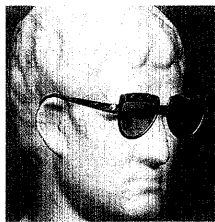
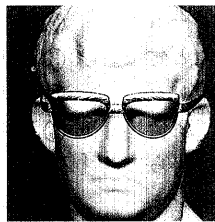


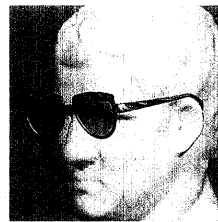
図 24 例 1

Fig. 24 Example 1.

(a)



(b)



(c)



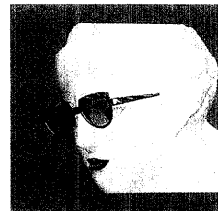
図 25 例 2

Fig. 25 Example 2.

(a)



(b)



(c)

るので、フレームの下側 P_3P_4 , $P'_3P'_4$ を回転軸として 15° 傾ける。

[ステップ 4]

③, ④の座標と、図 16 に示すアームの筒 R の Q_{30}^A 点相当の点の座標が一致するようメガネのアーム部分の制御点を移動させる。

[ステップ 5]

あらかじめ求めてあった頭部データとレンズのないメガネフレームのピクセルごとの Z 座標と、 RGB 値のデータを用いて Z バッファ法により、隠面消去描画を行う。

[ステップ 6]

疑似レイトレーシング法によりレンズの色、度を表現する。

なお、ここで述べた頭部立体データとメガネの合成の方法は、ヴィーナスおよびアグリッパに対するものであり、その他の頭部モデルに対しては衝突が生じないように個別に対処する必要がある。

また、実際の輝度計算はアンチエイリアシングのため、実際に表示するサイズ 360 ドット \times 360 ドットの縦横 2 倍のサイズで計算を行った。

6. メガネオーダメイドシステムへの応用

メガネフレームの形状、色、材質、レンズの色、度を利用者が簡単に変更、選択できるので自分の顔に合ったメガネをデザインし、そのメガネを実際に頭部立体データにかけ、任意の方向からコンピュータグラフィックスで表示するシステムは、メガネのオーダメイドシステムとして利用することが考えられる。

6.1 メガネオーダメイドシステムの機能

メガネオーダメイドシステムのプロトタイプの機能は以下の通りである。図 22 はフレーム形状の設定画面であって、フレーム上部外側 [1]、フレーム上部内側 [2]、フレーム下部外側 [3]、フレーム下部内側 [4] を“四角い \leftrightarrow 丸い”の間で、フレーム上部 [1,2]、フレーム下部 [3,4] を“細い \leftrightarrow 太い”の間で、フレームの縦の大きさ [5] を“小さい \leftrightarrow 大きい”の間で、ブリッジの高さ [6] を“高い \leftrightarrow 低い”の間でそれぞれスライドバーをマウスで連続的に動かすことによりファジイ的に設定する。設定終了後、メニューの“描画”を選択するとメガネフレームの正面図が表示される。希望にあったメガネ形状が得られたならば、メニューの“カラー指定”を選択すると、図 23 に示す画面が表示される。まず、フレーム上部、下部それぞれの色とプラスチック、金属の材質の選択を行う。色の指定法には種々の方法が可能であり、8つのサンプルカラーの

いずれかを選ぶことも、カラーバーから切り出していくこともできるし、 R , G , B 値を直接増減することも可能であるし、取り込んだ色を“暗い \leftrightarrow 明るい”、“くすんだ \leftrightarrow 鮮やか”の間で連続的に変化させることも⁹⁾もできる。色が指定された後、ここでは5種類のテクスチャ(1種類は無地)のいずれかを、フレーム上部、下部独立に選択することができる。レンズに対しては色、レンズの透過率、レンズの度の指定が可能である。

本システムでは、パラメータの設定、CG画像の表示はフルカラーボードを搭載したパーソナルコンピュータ PC9801RA を使用しているが、CG画像データの計算はイーサネットを介して接続されたワークステーション SPARC station 370で行っており、正面、左右 45° 方向3枚のCG画像を計算するのに約4分程度を要している。なお計算時間のうち、形状計算の時間は全体の数パーセント以下であり、ほとんどの時間はレンダリングに費やされている。

6.2 デザインされたメガネの例

パラメータを種々変更して得られたCG画像例を以下に示す。

図 24(a)~(c) は、フレーム上部がベッコウ状、フレーム下部が金属で、薄い水色の凹レンズのメガネをアグリッパにかけた場合の右 45° 、正面、左 45° から見た例を示す。図 25(a)~(c) は同一メガネをヴィーナスにかけさせたものである。図 26 は、黒いプラスチックのフレームのかかなり濃い青のサングラスをかけた場合を示す。図 27 は、フレーム上部は黒にテクスチャを施し、フレーム下部は金属で、極めて濃いサングラスをかけた例である。図 28 は緑色のプラスチックのフレームに黄色の凸レンズをかけた例である。図 29 は長方形型のフレームで薄い色の凸レンズのメガネをかけた例である。

これらのCG画像例から、本システムに更なる改良を加えることにより本格的なメガネオーダメイドシステムに発展させることが十分可能であると考えられる。

7. む す び

本論文では、双3次ベジェ曲面を2つ用いて筒型の形状をつくり、これを適当に折り曲げたものを基本単位として採用し、これを相互接続することによりメガネのフレーム、ブリッジ、アームを表現した。特にメガネフレームに関してはこれら基本素子を4つ適当に配置制御することにより、フレーム上部外側・内側、フレーム下部外側・内側を“四角い \leftrightarrow 丸い”の間で、またフレームの上部および下部を“太い \leftrightarrow 細い”の

間で、試行錯誤的に変化させることにより種々の形状が簡便に得られることを示した。このようにして形状が決定されたメガネに対し色、材質ならびにレンズの色、度を選択すればカスタムメイドのメガネが得られることになる。更にこのようにして得られたメガネを立体計測された頭部に、コンピュータグラフィックスを用いてかけた状態を表示することにより、客観的にメガネの印象が判断できるので、メガネのオーダーメイドシステムとして利用することが期待される。

今後解決すべき問題点として、1. フレームの細部にわたる形状の表現、2. アーム、ブリッジの形状の自由度の増大、3. ノーズパッドの表現、4. 実際の人物の頭部データへのメガネの装着、5. メガネをかける位置の自動設定、6. 精密なCG描画手法の採用、7. レンズの色度の正確な表現、8. メイクアップ支援システム^{10),11)}との有機的な結合などが挙げられる。更には、本論文で採用したベジェ曲面を、ほかの3次元形状のモデリングに有利に活用することが期待される。

謝辞 終わりに有益な御討論いただいた本学マルチメディアラボの諸氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 加藤誠巳, 大西啓介, 荻原和浩: 頭部立体計測モデルを用いた3DCGによるメガネオーダーメイドシステム, 第46回情報処理学会全国大会論文集, 8R-6 (Mar. 1993).
- 2) 加藤誠巳, 荻原和浩: 立体計測された頭部モデルを用いた3DCGによるメガネオーダーメイドシステム, 3次元画像コンファレンス'94, 5-1 (July 1994).
- 3) Rogers, D.F. and Adams, J.A., 川合 慧 監訳: コンピュータグラフィックス, 日刊工業新聞社 (1993).
- 4) 千葉則茂, 村岡一信: レイトレーシングCG入門, サイエンス社 (1990).
- 5) 山口富士夫: 実践コンピュータグラフィックス基礎手続きと応用, 日刊工業新聞社 (1993).
- 6) 中前栄八郎: コンピュータグラフィックス, オーム社 (1987).
- 7) 加藤誠巳, 菊池 淳: 前後左右から3次元計測された頭部形状の合成復元, 第40回情報処理学会全国大会論文集, 1P-8 (Mar. 1990).
- 8) 加藤誠巳, 大西啓介: 前後左右から3次元計測した頭部形状のデータ相互補間による自動モデリングの一手法, 第43回情報処理学会全国大会論文集, 4U-13 (Oct. 1991).
- 9) 宮原 誠, 吉田育弘: 色データ(R,G,B)-(H,V,C)数学的変換法, テレビジョン学会誌, Vol.43, No.10, pp.1129-1136 (1989).
- 10) 加藤誠巳, 大西啓介, 平井 哲: 三次元コンピュータグラフィックスを用いたメーキャップ・システムに関する基礎検討, 第41回情報処理学会全国大会論文集, 2J-12 (Sep. 1990).
- 11) 加藤誠巳, 大西啓介: 感性を考慮したメイクアップ支援システムに関する基礎検討, 第44回情報処理学会全国大会論文集, 2N-5 (Mar. 1992).

(平成7年7月13日受付)

(平成7年9月6日採録)



荻原 和浩 (正会員)

昭和45年生。平成5年上智大学理工学部電気電子工学科卒業。平成7年同大学院修士課程修了。同年4月NTTデータ通信(株)入社。以来、同社マルチメディア技術センターにて、マルチメディアの研究に従事。



加藤 誠巳 (正会員)

昭和17年生。昭和40年東京大学工学部電子工学科卒業。昭和42年同大学院工学系研究科電子工学専門課程修士課程修了。同年日本電信電話公社電気通信研究所入所。東京大学工学部研究生を経て昭和48年東京大学大学院工学系研究科電子工学専門課程博士課程修了。工学博士。昭和48年上智大学理工学部電気電子工学科講師、昭和49年同助教授、昭和57年同教授、現在に至る。都市交通情報提供システム、コンピュータ・グラフィックス、ニューラルネット、画像処理、音声信号処理、人工知能等の研究に従事。IEEE、電子情報通信学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会、日本音響学会、日本シミュレーション学会、電気学会各会員。