人間のCG表現と応用

末 永康 仁[†],間 瀬 健 二^{††},渡 部 保日児[†]

本文では、CGを用いて人物像を生成する技術を概説する。人体も3次元の一般物体の一種である。したがって、基本的には人物像も一般物体を表現するための様々なCG技法によって生成される。ただし人間は、一般物体に比べて形状、表面色、動き、加齢による変化、人間の行動や感情との結び付き等の点で、はるかに複雑である。このため、多くの既存CG手法を部位や目的に応じて使い分け、組合せることが必要になる。本稿では、人間のCG表現技術を、技術毎の文献を参照する形で紹介する⁵²⁾とともに、特に顔の表現技術について実例を紹介する。

SIGGRAPHのコースノート³⁵⁾⁴¹⁾には顔を中心とする人物像アニメーションについて解説、歴史、重要論文が掲載されている。また、合成俳優(Synthetic Actor)作りに熱意を持つN. M-Thalmann⁴⁴⁾は人物像アニメーション技術を総合的にサーベイしている。本文でも一部参考にした。

なお、本文では3次元以上のCGモデルにもとづく手法を扱うものとし、従来のアニメ作成の主要技法である2次元のセル画に基づく方法については扱わないこととする。また、衣服の表示²⁷⁾についても扱わない。動きの問題はロボットの行動計画の問題としても捉えられるため、その分野の論文も参考となろう。

1. ま え が き

“キーボードつきディスプレイ”。これが我々の見えた、現代の、普通のコンピュータの顔である。映画

では、いまだに磁気テープ装置がコンピュータの動きを表現する千両役者として登場する。映画「2001年宇宙の旅」に登場する未来のコンピュータ「ハル」もランプ点滅と声による出演だった。しかし、現在、CGによる人物像の生成技術は着実に進歩している。意外に近い将来、コンピュータは人間の顔をもつようになるかもしれない。

赤ちゃんが生まれて初めて画像として認識するものは人の顔ではないだろうか。いつしかのぞき込む人の顔を見て笑うようになる。人物像は我々が生活する上で最も親しみを感じる画像であり、音声と並ぶ大切な意志伝達手段である。昔の人もコミュニケーションにおける人物像の重要さはよく知っていた。上田秋成は雨月物語「菊花の契り」の中で悲劇の武士を幽霊の姿で遠くの友のもとにおもむかせる。シェイクスピアの作品の中にも幽霊が登場し、人間に語りかける。現代、我が国のアニメは海外でも大人気である。このように、人物像は古今東西、人間にとって極めて身近な存在である。この重要な対象をCGで表現しようという考えはごく自然であり、近い将来、会話、アナウンス、放送、教育、シミュレーションなど、人間活動のあらゆる場面での“CG人間”の利用が期待されるようになってきている。

2. CG人間の誕生

CGによる人物像表示の研究開始は意外に早く、すでに1970年代初頭にいくつかの試みがなされている³⁵⁾。現代のパソコンが楽々とこなす程度の計算をするにも、巨大な部屋に設置されたコンピュータが不可欠であった1972年に、Catmul¹⁾が見せた5本の指をもつ人間の手のアニメーションは人々に大きな衝撃を与えた。Parke(現ニューヨーク工科大学)は、1971年頃からI. Sutherlandのいたユタ大学で顔のアニメーションに取りかかっており、早くから人物像のモデ

[†] NTT ヒューマンインタフェース研究所

^{††} NTT 技術情報センタ

“Introduction to 3 Dimensional Computer Graphics(8); CG Representation of Human Images” by Yasuhito Suenaga (NTT Human Interface Laboratories, Yokosuka), Kenji Mase (NTT R & D Information and Patent Center, Tokyo) and Yasuhiro Watanabe (NTT Human Interface Laboratories, Yokosuka)

ルベース符号化の基礎となる考えを示している²⁾。コンピュータのパワーが現代とは比較にならないほど小さかった時代に、現代に立派に通用する先駆的な考えを提唱し、部分的にせよそれを実現した点で、彼らの業績は大きい。

その後、CG 人間は着実に生長を続ける。特に顔の生成が先行した。Platt & Balder⁴⁾の筋肉モデルを使った表情アニメーション、Parke⁵⁾のパラメータモデル、Waters⁸⁷⁾の新しい筋肉モデルによる表情生成等が知られる。全身表示の研究も進み、特に Thalmann 夫妻のアニメーション「Rendez-vous 'a Montreal」¹⁶⁾に現れるマリリン・モンローとハンフリー・ボガート、PIXAR のアカデミー賞受賞作品「TinToy」の赤ちゃん等が注目を浴びた。我が国でも早くから CG 人間に取り組んできた NHK は「驚異の小宇宙/人体」²⁸⁾で骨や内臓等の内部組織までも表示可能なハイビジョン用精細 CG 人間を作り上げた。

また、この間に、コンピュータおよびグラフィックスハードウェアは急速に進歩し、計算量の増大によっても CG 人間は大きく生長しつつある。現在では、ある程度以内の数のポリゴン*の集合表現された顔であれば、リアルタイムの表情アニメーションすら実行可能な状況となってきた。実際、SIGGRAPH'88 のビデオショーでは、B. deGraf らがデザインした CG 「Mike, the Talking Head」が実演された。SIGGRAPH'89 では CG シンガー「Dozo」もデビューし、人々を魅了した。顔と頭部のリアルさ追求の立場から、SIGGRAPH'90 の開会式でスライド紹介された渡部ら⁴⁵⁾⁴⁶⁾の頭髮を有する CG 人間も注目される(写真 3 参照)。

3. 人間の CG 表現

3.1 人体の外部形状モデル

CG で人物像を表示するには、直接的にはまず、人体の外部形状が必要となる。実際、人体モデルの研究は、まず人体の表面形状を表すモデルの研究から始められた。人体形成を記述するためのモデルは、表面全体が滑らかな曲面から構成される物体を表現できること、頭部の動作や手足の関節の動作が表現できること、その際の形状の変化が自然であること、等の条件を満足する必要がある。

小松³⁰⁾は双 4 次 B'ezier パッチで人体全体を、関節部を Gregory パッチで表現した。これは滑らかな形状を表現できるが、個人性を出すには向いていない。

一方、ポリゴン表現は、全身を表現するにはあまりにもデータ量が膨大となり、モデルの作成、変形が困難である。Thalmann 夫妻は局所変形に適した Joint-dependent Local Deformation (JLD) 演算の考え方を示した¹⁶⁾。Thalmann 夫妻は Synthetic Actors (合成俳優)の作成に熱意を示し、前述のマリリン・モンロー、ハンフリー・ボガートに続いて、エルビス・プレスリー、マドンナなどを手掛けている。メタボールによる方法²⁸⁾⁵³⁾は滑らかな曲面を簡単に表現できるという大きな利点があるが、不自然な融合が起こりうるといふ欠点もある。変形可能な表面の研究としては Barr⁷⁾、Sederberg ら¹²⁾の研究等がある。

3.2 動きの表現

人間を CG で扱うには、3.1 節で述べた外部形状モデルだけでは充分ではない。人体各部の動きを表現するモデルが必要となる。動きモデルで作り出された動きを外部形状モデルに反映させることによって動く映像を作成する。

ディズニー作品に代表される初期のアニメーションでは、人間の動きを実写して各部の動きを手作業で拾うことで、2 次元キーフレームのパラメータを入力した。Robert Abel⁹⁾らは、手足にマークをつけた人体の動きを撮影することによって 3 次元空間内の動きのデータを取り、これを美しい金属の外観をもつ CG 人間に再現させて話題を呼んだ。Calvert らは、振付師の与えるいくつかの身体ポーズをスクリーン上で定義し、これらをキーフレームとして順次ピックしてやりさえすれば、自動的にダンスの連続動作を生成するシステム「COMPOSE」を実現した。Lee & Kunii³¹⁾は画像処理によってこのデータ入力の省力化をはかった。

次の段階は、Inverse Kinematics⁹⁾である。これは例えば、物体をつかもうと腕をのばしたときに各関節はどの角度で回転すべきかという問題を解くことであり、ロボットの制御と深い関連をもつ問題になる。現在は筋肉を一種のパネと仮定して、各部品品の質量も考慮した運動方程式を解く物理モデリング (Physically-Based Modeling) による表現が盛んである。物理モデリングには次の利点がある。

- (1) 物理パラメータと行動プランを入力しさえすればよい²²⁾。
- (2) 動作がより自然に表現できる²⁴⁾。
- (3) 障害物などの物体とのインタラクションを表現できる。

Bruderlin らは、SIGGRAPH'89 で人間の歩行のリアルなアニメーションを作る手法とシステムを発表した²⁴⁾。KLAW (Key-frame Less Animation for

* ポリゴン：平面多角形、平面パッチとも呼ぶ。

human Walking)と各づけられたこのシステムは、上肢と下肢をそれぞれ車のサスペンションの考え方で近似し、全身を片方の脚で支えるモードと両脚で支えるモードの系列で記述することにより、歩幅、ピッチ、歩行速度を制御し、かなりリアルな歩行アニメーションを作り出す。Thalmann 夫妻は有限要素法を用いて物をつかむ手を表現し²⁶⁾、また、'90年の作品で釘を打つ両手のシーンを実現したが、左手で支えた釘を打った反動でハンマーが跳ね返り、それに伴って右手も動くなど、かなりリアルである⁴⁴⁾。

これまでのところ使用されているのは部位別、目的別に作られた部分モデル、近似モデルである。計算量を問題にしない条件下で考えるならば、人間の全身の骨格、筋肉等を解剖学的に完全に忠実に表現した動きモデルを作ることがひとつの究極の方向ではあろうが、このような完全なモデルはまだ作られていない。

4. 頭部のCG表現

4.1 顔モデルと表情操作

人体の中で顔は最も印象が強い部分である。そのため瞳、口元、顔全体、頭髪等を含む頭部のリアル感を出すことは重要である。

外部形状モデルの作成において、人体全体をパラメ

トリック曲面で表すのが主流であるのに対して、頭部にはポリゴンが比較よく使われてきた¹³⁾。これは、頭部の形状が複雑で、パラメトリック曲面では細かい変化をうまく表現しにくい³⁰⁾ことと、人体ほどデータ量が大きくなることによる。頭部については、CT像をもとにボクセル*で表現して使う方法もある³⁶⁾。

データの収集はいろいろな方法があり、機械的に測る方法、二面図を使う写真計測による方法⁹⁾などが用いられてきた。例えば、あらかじめ主要部分に多数の目印を付けた顔の正面像と側面像の写真を取り、目印となる点の位置をデータタブレット等によってコンピュータ入力することにより、3次元形状をあらわすポリゴンの集合として得ることができる。この一例を図1に示す。

表情操作を行うには、このようにして得られた顔モデルに変形を加えればよい。口の動きを表現した例を写真1に示す¹⁰⁾。この場合、あごのモデルを用いて口の回りの限られた個数の点の位置のみを計算し、残りの点の位置は補間によって求めている。

一方、最近では各種のレンジセンサが実用化され、精度の高い形状データを簡単にとることができるようになってきた。しかし、表面カラーデータは形状デー

図1 ポリゴン集合で表現された顔モデル

* 3次元データを表現する基本要素。2次元画像をあらわす画素(ピクセル)に対応。

写真 1 表情生成のための顔のポリゴン表現とシェーディング結果の例

(a)
カラーデータ

(b)
形状データ

(c)
合成表示例

写真 2 図 2 の装置による計測結果

写真 3 人間の CG 表現例⁴⁵⁾

図 2 3D 形状とカラーの同時計測用スキャナ⁴²⁾

タとは別に計測されるため、両者の対応をとる必要がある。特に人間のように動く物体では、この対応付け処理は厄介な問題である。Williams⁴⁷⁾はこの対応付けをマニュアル処理で行い、1 データに2 時間を費やしている。筆者らは、この問題を解決するため、レーザによるレンジセンサとカラーテレビカメラを組合せることにより、形状データと表面カラーデータを同時に、かつ対応がとれた形で計測可能な装置を導入した⁴²⁾。図 2 にこのための装置の外観を、写真 2(a)、(b)、(c) に同装置による計測結果の表示例を示す。写真 2(a) は表面のカラーデータをあらわす 2 次元カラー画像、写真 2(b) は形状データのみを用いてシェーディングを行った結果、写真 2(c) は形状データとカラーデータの両方を使用してシェーディングを行った結果である。

しかし、いまのところ、このようなレンジセンサを利用した計測装置はどうしても大がかりになる。そのため、入力装置としてテレビカメラだけを使用して正面像と側面像を入力し、あらかじめコンピュータに入力済みの一般化 3 次元顔モデルを自動処理により変形して個人の形状に合わせる技術³⁷⁾⁴⁸⁾も研究されている。

4.2 皮膚の表現

皮膚の表現には、色を慎重に選んで従来のシェーディングモデルで表現するか、テレビカメラでとった顔のテクスチャをはりつける¹⁸⁾²³⁾か、どちらかがとられてきた。人体の中で皮膚は比較的テクスチャマッピングが適用しやすい部分である。

簡単にはテレビカメラ等で撮影した皮膚の映像をテクスチャマッピング用データとして使用すればよい。

コンピュータによって皮膚のキメを作るために、石井ら³⁸⁾のとったボロノイ分割によるアプローチは、皮膚の構成原理からみて興味深い。より厳密には、皮膚の反射特性は従来のシェーディングモデルとは一致しないので、反射スペクトルの特性を調べる³⁹⁾などの検討が必要である。最近、石井ら⁵¹⁾は、表面の微視的構造に注目した皮膚の光反射モデルを提案し、皮膚内部での光の反射までを考慮することによって、一層忠実な皮膚を表現することを試みている。

4.3 頭髪の表現

頭髪は、顔の印象を左右する大切な要素のひとつである。しかし、頭髪は人体を構成する部品の中でも最も複雑な形状を有する物体のひとつであり、CG による生成は必ずしも容易ではない。人は平均 5 万本から 10 万本もの膨大な数の毛髪を有するといわれる。1 本 1 本の毛髪は極めて細い柔軟物体であり、そのすべてが目に見えるわけではない。外観を決めるのは髪の色および模様(テクスチャ)と毛髪の集合としての頭髪の形状(髪型)である。

山名らは髪を、髪型という 3 次元物体の表面についたきず状のものとしてとらえ、リアルなテクスチャを表現し、変形を表現するために関数制御型異方性反射モデルを導入した⁴⁹⁾。モデリングを簡単化する方法として、Pearce ら¹¹⁾は線分群(Particle System)を採用し、渡部ら⁴⁵⁾⁴⁶⁾は三角柱モデルを採用した。この方法によれば、グラフィックスワークステーションに標準的に装備されているグラフィックスハードウェア(Z-Buffer ベース)を使って、数万本もの髪の毛を数分で表示できる。モデリングを簡単化するために、1 本の髪を三角柱の連結であらわし、髪の毛の集合を房(Wisp)で表現するというモデルを採用し、三角柱の方向 d 、ねじり角 t 、長さ l 、太さ d 、個数 N 、1 房を構成する髪の毛の本数 M 等、わずか 10 種類のパラメータによるさまざまな髪型のモデリングを可能にしている(図 3(a)、(b))。

また、眉毛やまつ毛も同様の方法によって生成している。この方法によって生成された人物像の例を写真 3 に示す。

Kajiya & Kay²⁹⁾は 3 次元テクスチャ("texel")を用いて極めてリアルな熊のぬいぐるみの表示に成功したが、計算時間が非常に長い(数時間)という問題は未解決のままである。また、Alpha ブレンディング法でエイリアスのない髪の毛を表示する報告もある⁴⁴⁾。

さらに自然な映像を実現するためには、Self-Shadowing の問題と、髪の毛どうしあるいは髪の毛と膚、衣服の間の物理的関係を記述して自然な流れを作ると

図 3 頭髪生成のための三角柱と房のモデル

いう課題がある．中嶋らは髪の毛の動きの表現を試みている³³⁾．また，最近，安生ら⁵⁰⁾は，各頭髪を複数の棒状要素の結合体で表現し，材料力学の分野で知られる片持ち梁のモデルの適用により重力による髪の毛の曲り具合を求めて髪型を定めるとともに，風による髪の毛の動きの表現を行っている．

5. 知的通信への応用（顔表情の認識と生成）

4.1 節で述べた顔の 3 次元データを変形すれば表情を作り出せる⁵¹⁾．しかし，意味のある有効な表情を生成するには適切な変形規則が必要となる．厳密な意味での正しい変形を与えることは実際には容易ではない．顔の筋肉の動きを適当にシミュレートすれば指示が簡単になる⁴¹⁾．この時に，心理学者が提唱する筋肉構造も考慮した Facial Action Coding System—FACS⁹⁾がしばしば使われる．これは表 1 に示すような，アクションユニット (AU) と呼ぶ動作単位を組合せて表情を記述しており，どの部位をどう動かせばどのような表情を作るか

表 1 FACS のアクションユニットの一覧 (AU 番号と名称)⁹⁾

顔の上部	顔の下部	その他の動作	頭と目の位置
1—眉の内側を上げる	9—鼻にしわを寄せる	8—唇どうしを接近させる	51—左を向く
2—眉の外側を上げる	10—上唇を上げる	19—舌を見せる	52—右を向く
4—眉を下げる	11—鼻唇溝を深める	21—首を緊張させる	53—頭を上げる
5—上唇を上げる	12—唇端を引張り上げる	29—下顎を突き出す	54—頭を下げる
6—頬を持ち上げる	13—唇端を鋭く上げて頬を膨らます	30—下顎を横へずらす	55—左へ傾ける
7—唇を緊張させる	14—えくぼを作る	31—歯をくいしばる	56—右へ傾ける
41—唇を力なく下げる	15—唇端を下げる	32—唇を噛む	57—前へ出す
42—薄目	16—下唇を下げる	33—息を吹きかける	58—後ろへ引く
43—唇を閉じる	17—下顎を上げる	34—頬を息で膨らます	61—左を見る
44—細目	18—唇をすぼめる	35—頬を吸い込む	62—右を見る
45—まばたく	20—唇を横に引っ張る	36—舌で頬や唇を膨らます	63—上を見る
46—ウインクする	22—唇を突き出す	37—舌で唇をなめる	64—下を見る
70—眉がみえない	23—唇を固く閉じる	38—鼻孔を開く	65—斜視
71—目が見えない	24—唇を押さえつける	39—鼻孔を狭める	66—内斜視
	25—唇を開く (顎を下げない)		
	26—顎を下げて唇を開く		
	27—口を大きく開く		
	28—唇をかむ (吸い込む)		

ということがわかる点で都合が良い．例えば，AU 1 は眉の内側を上げる，AU 2 は眉の外側を上げるといった具合である（表 1 参照）．

Pieper³⁴⁾は，表皮と内部組織を数層のパネモデルであらわし，最下層の筋肉の動きで表皮を動かすことにより得られる自然な変形を実現し，これを手術後の皮膚変形のシミュレーションに使った．

る。

人体は複雑な構造を有する柔軟物体である。しかし、それ以上に、人間は感覚器官と知能を持ち、意志をもって行動する生物である。CGによる人物像生成は、人体表面形状の記述、変形、表示から出発したが、次第に、内部の表現、表示や、あるいは、骨格、筋肉、皮膚等の構造に基づく動きの表現が試みられるようになってきている。扱われる部位も顔から全身へと拡大しつつある。

今後は、一層忠実な形状の表現、一層みずみずしい質感の表現、“Goal-Directed”な動き、あるいは“Mind-Directed”な動きの表現、合成俳優(Synthetic Actor)の表現、音声をはじめとする他メディアとの結合、人物像認識理解との結合、人物像を利用した知的インタフェースの実現等へと、さらに研究が進むであろう。21世紀、コンピュータはどのような顔をして我々の前にあらわれるのであろうか。

ご鞭達頂く HI 研究所、釜江所長、遠藤 MM 部長、中根 M 処 GL および、討論頂く MM 部の皆様に深謝する。

[参 考 文 献]

- 1) E. Catmul: “A System for Computer-Generated Movies”, Proc. ACM Annual Conference, pp. 422-431 (1972) — (手)
- 2) F.I. Parke: “A Model for Human Face that Allows Speech Synchronized Animation”, Computer Graphics 1, pp. 3-4 (1975) — (顔)
- 3) P. Ekman and W. V. Friesen: “The Facial Action Coding System”, Consulting Psychologists Press, Inc., San Francisco, California (1978) — (表情)
- 4) S. M. Platt and N. I. Badler: “Animating Facial Expressions”, Computer Graphics, 15, 3, pp. 245-252 (Aug. 1981) — (表情)
- 5) F.I. Parke: “Parametrized Models for Facial Animation”, IEEE CG & A, pp. 61-68 (1982) — (顔)
- 6) D. Zeltzer: “Motor Control Techniques for Figure Animation”, IEEE CG & A, 2, 9, pp. 53-59 (1982) — (動き)
- 7) A. H. Barr: “Global and Local Deformation Solid Primitives”, Computer Graphics, 18, 3, pp. 21-30 (1984) — (表面記述)
- 8) “The Making of Brilliance”, SIGGRAPH Video Review 20 (1984) — (動き)
- 9) M. Girard and A. A. Maciejewski: “Computational Modeling for Computer Generation of Legged Figures”, Computer Graphics, 19, 3, pp. 263-270 (1985) — (動き)
- 10) 秋本高明: “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, pp. 207-213 (1986) — (表情)
- 11) A. Pearce, B. Wyvill, G. Wyvill and D. Hill: “Speech and Expression: a Computer Solution to Face Animation”, Graphics Interface'86, pp. 136-140 (1986) — (表情), (頭髮)
- 12) T. W. Sederberg and S. R. Parry: “Free-Form Deformation of Solid Geometric Models”, Computer Graphics, 20, 4, pp. 151-160 (1986) — (表面記述)
- 13) 秋本高明, 間瀬健二, 末永康仁: “形状の自動変形による表情を持つ顔画像の生成方法の検討”, 情処研資, CG28-14 (Aug. 1987) — (表情)
- 14) J. P. Lewis and F. I. Parke: “Automated Lip-Synch and Speech Synthesis for Character Animation”, CHI+GI'87, pp. 143-147 (1987) — (発声+表情)
- 15) 森末映史, 津田俊隆, 松田喜一: “音声情報に基づいた口の動画像生成に関する一検討”, 信技技報, CS87-130 (1987) — (発声+表情)
- 16) N. M. Thalmann and D. Thalmann: “The Direction of Synthetic Actors in the Film Rendez-Vous a Montreal”, IEEE CG & A, 7, 12, pp. 9-19 (1987) — (合成俳優)
- 17) K. Waters: “A Muscle Model for Animating Three Dimensional Facial Expression”, Computer Graphics, 21, 4, pp. 17-24 (1987) — (表情)
- 18) 秋本高明, 末永康仁: “頭部の正面, 側面像と基本3次元形状を用いた顔画像生成手法”, 信学技報, PRU88-47 (July 1988) — (顔)
- 19) D. R. Hill, A. Pearce and B. Wyvill: “Animating Speech: an Automatic Approach Using Speech Synthesized by Rules”, The Visual Computer, 3, pp. 277-289 (1988) — (発声+表情)
- 20) 小松功児: “キャラクタアニメーションのための人体の曲面モデル”, 情報論, 29, 1, pp. 7-19 (1988) — (人体)
- 21) G. Miller: “From Wire-Frames to Furry Animals”, Graphics Interface'88, pp. 138-145 (1988) — (毛皮)
- 22) A. Witkin and M. Kass: “Spacetime Constraints”, Computer Graphics, 22, 4, pp. 159-168 (1988) — (物理モデリング)
- 23) 相沢清晴, 原島博, 斎藤隆弘: “構造モデルを用いた画像の分析合成符号化方式”, 信学論, J72-B-1, 3, pp. 351-359 (Mar. 1989)
- 24) A. Bruderlin and T. W. Calvert: “Goal Directed, Dynamic Animation of Human Walking”, Computer Graphics, 23, 3, pp. 233-242 (1989) — (動き)
- 25) J. E. Chadwick, D. R. Haumann and R. E. Parent: “Layered Construction for Deformable Animated Characters”, Computer Graphics, 23, 3, pp. 243-252 (1989) — (動き)
- 26) J-P. Gourret, N. M. Thalmann, D. Thalmann: “Simulation of Object and Human Skin Deformations in a Grasping task”, Computer Graphics, 23, 3, pp. 21-30 (1989) — (人体)
- 27) 今岡春樹: “服地, 布の生成に関する研究動向”, 情処研資, CG40-14 (Aug. 1989) — (服地, 布)
- 28) 伊藤博文: “NHK「驚異の小宇宙・人体」におけるサイエントフィックビジュアルライゼーション”, NICOGRAPH'89, (1989) — (人体)
- 29) J. T. Kajiya and T. L. Kay: “Rendering Fur with Three Dimensional Textures”, Computer Graphics, 23, 3, pp. 271-280 (1989) — (毛皮)
- 30) 小松功児: “アニメーション制作のための顔の曲面モデル”, 情処論, 30, 5, pp. 633-641 (1989) — (顔)
- 31) M. W. Lee and T. L. Kunii: “Animation Design: A Database-Oriented Animation Design Method with a Video Image Analysis Capability”, CGI'89 (1989) — (動き)
- 32) 間瀬健二, 渡部保日児, 末永康仁: “リアルタイム頭部動作認識合成システム”, PCSJ'89, pp. 127-128 (Oct. 1989) — (動作検出合成)
- 33) 中嶋正之, 三輪喜良, 安居院猛: “確率モデルによる頭髮の動き表現”, 信学技報, IE89-60 (1989) — (頭髮)
- 34) S. Pieper: “Physically-Based Animation of Facial Tissue”, SIGGRAPH'89 Course Note, 22, 1 (1989) — (顔)
- 35) “State of the Art in Facial Animation”, SIGGRAPH'89 Course Notes, 22 (Aug. 1989) — (全般)
- 36) 横井茂樹: “手術シミュレータ”, 計測と制御, 28, 7, pp. 629-632 (1989) — (頭部)
- 37) T. Akimoto, R. S. Wallace and Y. Suenaga: “Automatic Creation of Facial Model for Generating Facial Images”,

- MVA'90 (IAPR Workshop on Machine Vision Applications), pp. 291-294, Tokyo (Nov. 1990)ー(計測)
- 38) 石井智海, 倉地忠彦, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “ボロノイ分割を利用した皮膚表面の質感表現”, NICOGRAPH'90, pp. 58-65, 1990. D-542 (1990)ー(皮膚)
- 39) 石野喜信: “膚の反射スペクトルに及ぼす照明及び測定角度の影響”, 信学春季全大, D-542 (1990)ー(皮膚)
- 40) 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, **J73-D-II**, pp. 351-359 (Mar. 1990)ー(発声+表情)
- 41) “State of the Art in Facial Animation”, S II GGRAPH'90 Course Note, **26** (Aug. 1990)ー(全般)
- 42) Y. Suenaga, Y. Watanabe: “A Method for the Synchronized Acquisition of Cylindrical Range and Color Data”, MVA'90 (IAPR Workshop on Machine Vision Applications), pp. 137-141, Tokyo (Nov. 1990)ー(計測)
- 43) D. Terzopoulos and K. Waters: “Analysis of Facial Images Using Physical and Anatomical Models”, pp. 727-732, ICCV'90 (Dec. 1990)ー(表情, 物理モデリング)
- 44) N. M-Thalmann: “New Trends in the Direction of Synthetic Actors”, CGI'90, pp. 17-35 (1990)ー(合成俳優, 頭髪)
- 45) Y. Watanabe and Y. Suenaga: “Two Persons”, SIGGRAPH'90 Technical Slide, # 33 (1990)ー(リアルさ), (顔, 頭髪)
- 46) 渡部保日児, 末永康仁: “三角柱と房のモデルによる頭髪像の生成”, 信学論, **J73-D-II**, 3, pp. 367-373 (Mar. 1990)ー(頭髪)
- 47) L. Williams: “Performance-Driven Facial Animation”, Computer Graphics, **24**, 4, pp. 235-242 (Aug. 1990)ー(表情検出合成)
- 48) G. Xu, H. Agawa, Y. Nagashima, F. Kishino and Y. Kobayashi: “Three Dimensional Face Modeling for Virtual Space Teleconferencing Systems”, Trans. of the IEICE, E73-10, pp. 1753-1761 (Oct. 1990)ー(計測)
- 49) 山名岳志, 末永康仁: “関数制御型異方性反射モデルを用いた頭髪の質感表現”, 信学論, **J73-D-II**, 6, pp. 880-886 (June 1990)ー(頭髪)
- 50) 安生健一, 宇佐美芳明, 栗原恒弥: “3次元コンピュータグラフィックスによる頭髪表現”, グラフィックスとCAD シンポ

ジウム, pp. 127-134 (Nov. 1991)ー(頭髪)

- 51) 石井智海, 安田孝美, 横井茂樹, 鳥脇純一郎: “表面の微視的構造に注目した皮膚の光反射モデル”, NICOGRAPH'91, pp. 68-76 (Nov. 1991)ー(皮膚)
- 52) 末永康仁, 間瀬健二, 渡部保日児: “人物像生成技術の動向”, 画像ラボ, pp. 20-25 (Aug. 1991)ー(顔, 全般)
- 53) S. Muraki: “Volumetric Shape Description of Range Data using Blobby Model”, Computer Graphics, **25**, 4 (July 1991)
- 54) 末永康仁, 間瀬健二, 福本雅朗, 渡部保日児: “Human Reader: 人物像と音声による知的インタフェース”, 信学論, **J75-D-II**, 2, pp. 190-202 (Feb. 1992)ー(インタフェース)

すえなが やすひと
末永 康仁 昭和48年, 名古屋大学大学院博士課程修了。同年, NTT電気通信研究所に入所。以来, 画像処理, 画像認識, 画像生成の研究に従事。昭和60年3月より1年間, 米国マサチューセッツ工科大学メディア研究所客員研究員。現在, NTTヒューマンインタフェース研究所主幹研究員。工学博士。

ま せ けんじ
間瀬 健二 昭和56年, 名古屋大学大学院修士(情報)課程修了。同年, NTTに入社。以来, 画像情報システム, コンピュータグラフィックス, 画像処理の研究に従事。現在, NTT技術情報センタ主任技師。工学博士。

わたなべ やすひこ
渡部 保日児 昭和56年, 新潟大学工学部情報工学科卒業。同年, NTT電気通信研究所に入所。ファクシミリ通信, ビデオテックス通信など画像通信の研究およびコンピュータグラフィックスの研究に従事。現在, NTTヒューマンインタフェース研究所主任研究員。