TUTORIAL
SERIES

コンピュータグラフィックス(Ⅲ・完)

講座

横井茂樹 安田孝美

横井茂樹, 安田孝美: 正員 名古屋大学工学部
情報工学科Computer Graphics [Ⅲ・Finish]. By Shigeki YOKOI and Takami YASUDA. Member (Faculty of
Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464 Japan).

1. はじめに

前回まででCG技術全般についての解説を行ったが、CGは一般に普及してCGという言葉は目新しいものではなくなっている。しかしながら技術が飽和して進歩がとまったというわけではなく、まだまだ新しい展開がさまざまな側面から進んでいる。CGの基礎技術や応用分野の着実な進展が見られると共に、グラフィカルユーザインタフェースや人工現実感などグラフィックスの新しい領域を開く注目される技術が現れてきている。本稿ではCGの研究・開発の最近の動向に関して述べる。

2. 画像生成手法の進歩

CGはリアリティの実現を目的とし、実物と似かたりにイメージを生成するかという課題を追求してきたが、最近ではますます複雑な対象を扱い、表示のためのモデルも一層精密化しつつある。

2.1 精密な画像生成モデル

物体表面での光の反射は物体の材質によって異なった性質を持っている。それをモデル化し

て反射計算に組み込むことによりさまざまな物体がリアルに表示できる。当初、拡散反射と鏡面反射を考慮した簡易的なモデルが用いられていたが、さまざまな対象をリアルに表現するニーズから次第に多様かつ精密なモデルが開発されてきた。基本的なモデルとしては反射モデル、テクスチャマッピング、レイトレーシング、微粒子集合による散乱モデルなどが提案されてきた(これらのモデルについては前回の解説⁽¹⁾を参照)。

最近では、より複雑な特性をもつ対象が研究され、布、皮膚、毛、髪などの表示モデルの開発に取り組まれている。また、工業デザインなどの分野では実物(あるいは縮尺)のモデルを実際に製作してデザイン・色の良否を検討しているが、素材の色や反射特性、天候の状態や環境の映り込みなども考慮した非常にリアリティの高いレンダリングモデルの開発⁽²⁾も始まっており、こうしたモデルの追求はデザイン分野でのCGの利用を一層高めていくものと思われる。

2.2 自然物のモデリング

CGの研究はこれまで、コマーシャルフィルムやデザインなどの用途が考えられ、工業製品、建築物あるいは幾何学的イメージの世界など人工の世界を映像化する技術を中心に開発されてきた。しかしながら、CGの応用分野が拡大するにつれ、人間や動植物、自然現象などを映像化することが要求されるようになってきた。例えば、CGで映画を作るようなことを考えると、自然景観や生物の表現の必要性は明らかであ

目次

- 〔Ⅰ〕 コンピュータグラフィックス (3月号)
- 〔Ⅱ〕 コンピュータグラフィックス (5月号)
- 〔Ⅲ・完〕 コンピュータグラフィックス (6月号)

り、これらの自然物の形や質感、動きなどを表現する研究が最近盛んになっている⁽³⁾。

(1) 人物

本格的なCGアニメーションの中に人物の生成は欠かせない。顔や手の形状、動きのモデリングは非常に早い時期から研究が始まっている⁽⁴⁾が、複雑な対象なため大変な努力が必要とされる。スイスのThalmanらは俳優をCGで合成しよう(Synthetic Actor)という研究を展開しており⁽⁵⁾、顔や手足の動き、着布の状態などさまざまな立場からの研究を続けている。人物像はCGのActor以外にも用途があり、画像通信における知的符号化⁽⁶⁾やコンピュータとの対話のためのインタフェース⁽⁷⁾など幅広く研究が進められている。人物像の生成の研究の詳細については文献(8)、(15)に詳しい。

(2) 動物

主としてアニメーション作成の目的から、ほ乳類やは虫類、鳥や魚、昆虫などさまざまな動物の映像化が試みられている。鳥など動物の視点からみた映像生成の研究も興味深い。また、個別の動物だけでなく、動物の集団の群れの行動をモデル化することも試みられている。

(3) 植物

アニメーションの背景としての自然景観の生成に必要であると共に、都市や建築物の景観シミュレーションにおいて重要な役割を担う。樹木の成長モデルや枝別れのモデル、天候などによる成長の方向性の制御などの研究が盛んである⁽⁹⁾。一方では、木目⁽¹⁰⁾や果実⁽¹¹⁾などの質感表現の研究も行われている。

(4) 自然景観

山岳表面形状はフラクタル手法の応用として逸早く着手されている。水流や、海岸線、波、雲、霧、大気などさまざまな対象が扱われている⁽⁹⁾。

(5) 自然現象

映像作成においてさまざまな自然現象の表現が必要になると共に、現象の理解を助ける教育的用途から、多様な対象が扱われている。火炎、爆発、花火、煙、割れめパターンなどである⁽³⁾。

自然物のCG表現は、一方では従来研究されてきた自然現象などのモデルの妥当性を確認するツールとしても意義があると考えられる。

2.3 動きの表現

従来、動画作成において物体や人物などの動きを与えるのは、キーフレーム法が使われてきた。これは、代表的なシーンで物体の位置や人間の姿勢、あるいはシーンの視点などを定め、シーンの中に、定めたシーンからパラメータを補間することにより連続する中間シーンを計算により求めて動画を作成する方法である。この方法では、物体などの動きが人工的な感じになり不自然な映像になることもあった。これに対し、より自然な動きを与える研究が盛んになっている。主として二つの流れがある。まず、通常の物体は、力学法則に従って動くため、これを数値計算により求めるものである。つまり、物体の運動の初期値が与えられれば、運動は計算によって定められる⁽¹²⁾。剛体だけでなく、非剛体(例えば、布やゴムなど)の物体の運動も計算によって導く研究が行われている⁽¹³⁾。更には、物体の衝突などで生じるはずの音も、映像に合わせる形で合成しようという研究⁽¹⁴⁾も始まっている。このような、リアリスティックな映像(音声)の生成はコンピュータ合成アニメーションのレベルを高めると共に、後述の人工現実感の基礎技術としても今後の可能性が期待される。

一方、人間や動物などの生物は複雑な構造を持ち、その動きも大変複雑であるが、骨格や筋肉などの構造をモデル化してリアルな動きを生成する研究も続けられている^{(15),(16)}。

また、3次元モデルに基づく動画生成手法とは異なるが、2次元の画像を変形させて異なる人物に連続的に変形させていたり、異なった物体に連続的に変形させるモーフィングの技術⁽¹⁷⁾は簡便な手法であるが、自然な画像変形を行える手法として注目されている。このように、従来画像処理の分野で用いられていた手法も映像生成の立場から新しい応用の可能性がでてくるものと期待される。

3. グラフィックスハードウェアの進歩

最近の計算機のハードウェアの進歩は著しく、CGはその恩恵を直接受ける形でハードウェア環境は非常によくつづつある。グラフィックスの装置は画像の分解能や色数が増えれば増えるほど大量のメモリを必要とするため、当初大変高価なものであった。最近ではメモリの低価格化に伴って低価格な装置でも優れた画像が得られるようになりグラフィックスの普及に拍車がかかっている。

3.1 パソコングラフィックス

パソコンの性能が進歩し、グラフィックスのソフトウェアが充実してきた現在、小規模なデザインオフィスなどで急速に普及しつつある。主として2次元の絵書き作業やDesk Top Publishing (DTP)などに用いられているが、アニメーション作成やレイトレーシングあるいは3次元CADのソフトも開発され、3次元CGの利用が可能になってきている^{(18),(19)}。また、本格的な3次元CGを行うのには時間がかかりすぎる問題はあるが実際にグラフィックデザインに利用している例も現れている。サウンドの扱いが可能なパソコンもあり、マルチメディアの環境としても魅力があるものがでてきている。

3.2 ワークステーション

ワークステーションにおいてグラフィックスが必須の機能になっている。特に、グラフィカルユーザインタフェースの普及はソフトウェア開発や設計業務における作業環境を大幅に向上させつつある。ワークステーションの中でも特にグラフィックスの性能を重視したグラフィックスワークステーションの開発も急速に進みつつある⁽²⁰⁾。これらのワークステーションは通常のアーキテクチャのほかにグラフィックスのためのアーキテクチャを備え高速なグラフィックスを可能にしている。これは3次元グラフィックスエンジンとよばれ、座標変換、ラスタ変換、隠れ面消去、陰影計算などの演算をハードウェア化し、パイプライン方式で高速な画像生成の機能を有している。1秒当たり100万ポリゴン(多

角形)の描画速度を実現しているものもあり、ほぼ実時間での画像生成やインタラク션을可能にし、新しい応用分野を開きつつある。ワークステーションではネットワークを介した分散効率化や処理環境としての可能性もあり、画像生成の協同作業による設計などの可能性が検討されている。

3.3 グラフィックス用プロセッサ

汎用的なグラフィックスの装置の開発以外に超高速なグラフィックスの専用マシンの研究やグラフィックス専用のLSIの開発も進んでいる。表示能力の高い光線追跡法は計算コストの過大が特に問題であり、マルチプロセッサ構成により高速化を図った種々のプロセッサシステムの開発や提案が行われている。スキャンライン法やZバッファ法などの手法のLSIの開発も行われている。また、DTPや図形表示の高速化を目的に2次元の描画機能のLSIの開発も行われている⁽²¹⁾。

4. ビジューライゼーションのニーズの広がり

スーパーコンピュータなど計算能力やデータ処理能力が大きなコンピュータが急速な進歩をみせつつあるが、コンピュータで扱うデータの量が増えるに従い、膨大な数値データを人間に理解しやすい形で提示するビジューライゼーション(可視化)の必要性が高まっている⁽²²⁾。いくつかの応用分野を紹介する。

4.1 サイエントフィック

ビジューライゼーション

物理現象の解析を行うとき複雑な方程式を解くことが要求される。解析的に解けない場合計算機を使って数値シミュレーションによって問題を解析し、現象を把握することが行われる。最近スーパーコンピュータなど、計算能力が大変大きいコンピュータによって、大量の数値データが得られるようになってきた。しかし、膨大な数値データを単に並べただけでは人間が現象を理解するのが困難である。ここで、コンピュータグラフィックスを利用して人間の直感に訴え

る形でデータを表示することが望まれている⁽²³⁾。一般的に、形状入力—格子生成—数値シミュレーション—可視化のプロセスで実行される。具体例として、原子・分子のミクロな運動のシミュレーション、流れの可視化、衝突の可視化、災害シミュレーション、空力解析、剛性・騒音・振動解析、音響放射解析、地球内部構造と地震波伝搬の可視化、気象現象のシミュレーションなどさまざまなアプローチが行われている^{(24)～(26)}。

4.2 景観シミュレーション

建築物や道路、橋などの社会基盤の建設あるいは都市計画などにおいて優れた景観に対する要求が高まっている。特に大規模な建造物の建設においては地域の景観に与える影響は長期間にわたるため、事前の評価を十分に行うことが重要である。従来の景観設計の手法としては平面図や透視図による方法や3次元モデルを構成する方法が用いられてきたが、これらの方法ではリアリティに欠ける点や、設計の変更が容易でないなどの問題点があり、十分な検討がなされているとはいえなかった。コンピュータグラフィックスを利用した景観シミュレーションは実際の大規模な開発プロジェクトに利用されその有用性を評価されつつある⁽²⁷⁾。また、高速道路の景観設計や電力鉄塔の設計などの応用も報告されている^{(29)～(31)}。

景観シミュレーションはその目的によって、二つに分けられる。一つは人工物による景観を評価する場合で、例えば、単独の建築物の美観を評価する場合や大規模な都市の開発を行う場合などである。これは設計図があればコンピュータグラフィックスにより映像作成が可能となる。もう一つは既存の自然（人工物）の環境の中に新しい建築物を調和させて景観を形成する場合である。この場合は周囲の環境の状態を画像などの形でコンピュータに取り込んでCGの構成物と合成することが必要となる。景観シミュレーションに交通流シミュレーションを組み合わせ、都市機能も合わせた評価を行う研究も興味深い⁽³¹⁾。

4.3 医療データのビジュアライゼーション

医療用の断層像計測装置を利用すると連続断面の画像が計測できる。このような画像には3次元情報が含まれているが、単に断面画像を順に並べただけでは3次元的な形状などの特徴がほとんど理解できない。そこで、コンピュータ処理を利用して人間にわかりやすい形で提示することが要求される。断層像計測処理装置としてはX線CT装置⁽²⁷⁾、MRI (magnetic resonance image)、超音波断層像なども3次元画像データの入力に用いられる。3次元画像データを計算機により処理して立体構造を表示する手法はほぼ確立されてきている⁽³²⁾。

これらの3次元表示の手法は実際のシステムに組み込まれて実際の診療に用いられ始めている。まず、X線CT装置の再構成のための演算装置を利用して3次元表示のソフトウェアを組み込んだものが普及してきており、データ取得と共に3次元像が観察できるようになり、既に臨床に利用されている。また、3次元表示のた

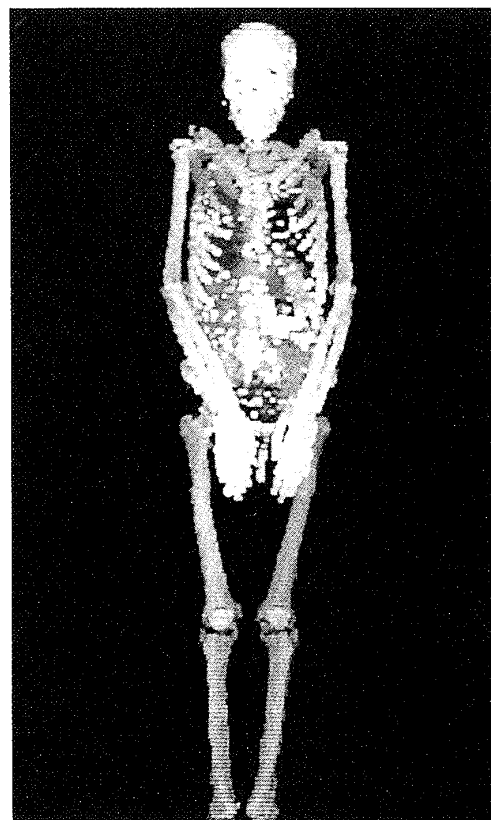


図1 古代エジプトミイラのビジュアライゼーション

めのワークステーションもいくつか開発・商品化されてきている^{(33), (34)}.

最近では、単に3次元データを観察するのみでなく、手術のシミュレーション^{(35), (36)}、数値シミュレーションによる機能解析⁽³⁷⁾、数値制御工作機械によるモデルや人工骨の加工⁽³⁸⁾、3次元画像を利用したロボット支援手術⁽³⁹⁾、放射線治療における線量分布の表示⁽⁴⁰⁾などのより高度な研究が進んでいる。

4.4 科学的啓蒙映像

通常の物理現象の数値シミュレーションではなく、星の進化の過程やブラックホール、相対論に基づく星のひずみ⁽⁴¹⁾など人間が観察できない領域の現象を物理法則を踏まえた上で可視化するという研究が盛んである。また、古代のミイラの復元⁽⁴²⁾や建造物の復元なども行われており、従来想像する以外になかった世界を可視化できることはCGの一つの魅力ある分野と考えられる。

5. グラフィカルユーザインタフェース

ソフトウェアの開発や設計において人間の視覚的直観に基づいて効率的に作業を行う目的で、グラフィックスを積極的に用いたソフトウェア開発環境、グラフィカルユーザインタフェースが急速に普及している。中核となるのはウィンドウシステムである。これは、グラフィックス画面に自由にウィンドウを設定し、それぞれのウィンドウをテキストやデータを表示する画面として自由に利用でき、別々のプログラムをそれぞれのウィンドウで走らせることができるシステムである。MITで開発されたX-ウィンドウが標準になりつつある⁽⁴³⁾。

更に、ICONとよばれる略記号を処理内容やデータ集合などの表現に用い、ポップアップメニュー(好きな位置に引き出せる項目メニュー)や、パラメータの設定を実物感覚で行うスイッチやスライダなどの図的表現を駆使して、ユーザが画面中のテキストや図形の操作やファイルに対する操作などを直観的に実行できるための総合的なソフトウェア開発支援環境(グラフィ

カルユーザインタフェース(GUI)⁽⁴⁴⁾へと発展している。GUIのシステムとしては、パソコン用にMS-DOSに基づくWindowsやOS/2に基づくPresentation Managerなどが開発され、UNIXに基づいたものとしては、OPENLOOKやOSF/Motifなどが開発されている。

更には、プログラムをテキストの形で与えるのではなく、処理内容を視覚的に表現しそれをつなぎ合わせる形でプログラムを作成していきこうという可視言語の研究⁽⁴⁵⁾や、アルゴリズムの振舞いを視覚的に表現するアルゴリズムアニメーションの研究も行われている⁽⁴⁶⁾。これらを統合する形で、グラフィックスを積極的に利用して効率的にプログラムを開発するための視覚的プログラム環境という考え方が提案されている⁽⁴⁶⁾。

6. 人工現実感

CGは2次元図形や3次元の物体あるいはシーンの記述データを基に人間が目に見える形の画像を生成する技術であり、現実の世界から受ける視覚情報を合成する技術であると考えられる。人間は動作するに伴って、その周りの環境からさまざまな情報を受け取っているが、これを五感というセンサで受け取っている。もし、環境から受け取るはずの五感情報を合成して人間に与えることができれば人間はあたかも合成された五感情報を与えるような仮想的な環境に存在しているように感じるようになるはずである。このように、仮想環境での五感情報を合成する技術は人工現実感(Artificial RealityまたはVirtual Reality)とよばれ、最近注目を集めている。

いくつかの具体的なシステム、装置が開発されているので、以下にその例を紹介する。

(1) 人間の動作に基づく仮想体験装置

人工現実感のシステムの代表的な装置である。ヘッドマウンテッドディスプレイとデータグローブをコンピュータに接続した装置である^{(47), (48)}(図2)。

ヘッドマウンテッドディスプレイ(HMD)



図2 人工現実感の装置 (英国 W. Industries 社)

は頭部に搭載する立体表示装置で、頭の位置と動きを測定する3次元センサが組み込まれている。ヘルメットのゴーグル部に二つの液晶表示装置を組み込んでありコンピュータに接続されて、コンピュータで計算された右目用と左目用のCG映像を表示するようになっている。このHMDを体験者が頭部に装着し、体験者が動いたり、頭の向きを変えると、その動きは3次元センサで測定され、コンピュータ側に伝えられる。コンピュータは即時に体験者が位置を変えたときに見えるはずの映像を計算して表示装置に与える。

データグローブは人間の手の動きを測定するための装置で、3次元位置を測定するセンサや指の関節の曲げ角度などを計測するセンサが組み込まれた手袋の形の装置である。これを手にはめると、手全体の空間位置と各々の指の曲げ状態を測定できる。データグローブをはめた体験者の手の位置や指の曲げ角度はセンサで測定され、コンピュータに伝えられる。コンピュー

タはCGのシーンのデータの中に測定された状態の手のイメージをシーンの中に合成して表示する。体験者はデータグローブをはめた手を動かしてCGの中の物体をつかんで動かすことができるようになる。

結局、体験者は、HMDを通じて観察されるCGのシーンの中を自由に動きまわり、データグローブ装置を通じてシーンのなかの物体を手でもったり、動かしたりするようさまざまな操作を加えることが可能になる。体験者はまるでCGのシーンの中に自分が入り込んだように体験できることになる。

(2) 力感覚や触覚を与える装置

人間の手と指の動きに追従するマニピュレータをグラフィックスマシンと組合せ、手を動かすとそれに伴ってCG画面の手が連動して動く装置が開発された。この装置はマニピュレータが手に反力を与えられるのが特徴で、CGの中の物体に表示された手が触れると手が圧力を感じ、あたかもCGの中の物体を触ったかのように感じるというものである⁽⁴⁹⁾。また、データグローブ装置の各指の部分に空気圧で触覚感を与える装置も開発されている。これらの装置により手の触感をCGと組み合わせて手の操作の疑似体験が可能である。現在のところ手の動きや反力など細かい制御はできていないが、将来性の高い装置である。

(3) フライトシミュレータ

航空機の操縦室の複製をつくり、この中で操作を行う航空機の加速感や揺れなどの体感を与える機械装置と、窓から見える外界のシーンを合成するCG装置を組み合わせる航空機操縦の模擬体験ができる装置である。既に広く普及し、パイロットの訓練に欠かせないものになっている⁽⁵⁰⁾。

(4) 体感映像装置

従来の映画(実画像やCG)に組合せ、体感を与える装置を付加することにより、乗り物に乗って移動するシーンなどで実際に乗っているのと同じような感覚を与えるものである。最近博覧会などで人気を集めている⁽⁵¹⁾が、映像だけ

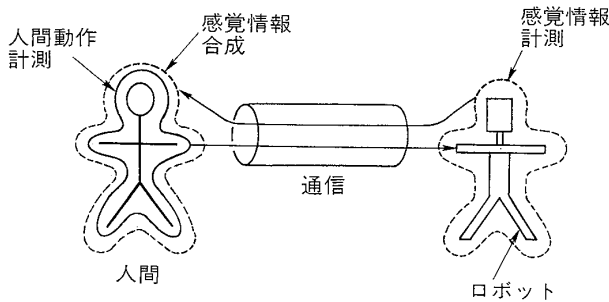


図3 テレイグシステム

でなく、体感も与えることにより疑似体験の感覚はよりレベルの高いものが得られる。体感を与えるのは、フライトシミュレータを応用した方式で部屋全体を動かす方式と、椅子だけを動かす方式がある。

(5) テレイグシステム

人工現実感と関係が深い技術としてテレイグシステム（遠隔臨場感、遠隔存在感）がある（図3）⁽⁵²⁾。この技術は人間の動作を遠隔地に伝えてそこでの感覚情報を即時に人間に戻すものである。すなわち、人間の動きを計測する装置を人間に装着し、この装置により人間の動作を測定して、その情報を遠隔地のロボットに伝え同じ動作をさせる。そしてこのロボットが受ける感覚情報をそのまま人間の方に伝えてやると、この人は、あたかもロボットのいる場所において見聞きしてもものに触れたりできることになる。原子力施設内の作業や体内に小さなロボットを入れて動作させることなどが考えられている。

7. む す び

最近のハードウェア技術の進歩でCGはかなり身近な存在になってきているが、本格的なアニメーションの作成には依然として、コストや時間がかかりすぎるといわれている。今後の開発が待たれるが、超高速なマシンの実現は人工実感など新しい用途を大きく広げる可能性を持っている。CGのネックになっているといわれていたデータ入力も、GUIの普及やソフトウェアの蓄積、あるいは、3次元入力機器の開発などで改善されつつある。

コンピュータグラフィックスは映像生成の道具としては従来にない強力なものになりつつある。しかしながら、まだアーティストが簡単に使える道具にはなっていない。ハードウェア、ソフトウェア両面から今後一層の技術開発が望まれる。一方では、CGは数学や物理学の知識と美的感性を備えた新しい人材を要求しており、教育システムの整備も課題であろう。

講座の最後にあたり、日ごろ御指導頂く本学鳥脇純一郎教授に感謝する。また、CGの研究に御支援頂く研究室の諸氏に謝意を表す。

文 献

- (1) 横井, 安田: “講座コンピュータグラフィックス(II)”, 信学誌, 76, 2, pp.529-537 (1993-02).
- (2) Takagi A., Takaoka H., Oshima T. and Ogata Y.: “Accurate rendering technique based on colorimetric conception”, Proc. SIGGRAPH '90, pp.263-272 (1990).
- (3) 中嶋正之: “CGによる自然物の生成に関する研究動向”, 情処学グラフィックスとCAD研資, 46-1 (1990-08).
- (4) Parke F. I.: A model for human face that allows speech synchronized animation”, Comput. Graph. 1, pp.3-4 (1975).
- (5) Thalman N. M. and Thalman D.: “The direction of synthetic actors in the film rendez-vous a Montreal”, IEEE Comput. Graph. Appl, 7, 12, pp.9-19 (1987).
- (6) 原島 博: “分析合成手法による知的画像符号化の構想”, NICOGRAPH '88 論文集, pp.255-264 (1988).
- (7) 末永, 間瀬, 福本, 渡部: “Human Reader: 人物像と音声による知的インタフェース”, 信学論(D-II), J75-D-II, 2, pp.190-202 (1992-02).
- (8) 末永, 間瀬, 渡部: “人間のCG表現と応用”, テレビ誌, 46, 8, pp.1012-1020 (1992-08).
- (9) 千葉則茂: “自然物体のCG表現とその応用”, テレビ誌, 46, 7, pp.110-118 (1992-07).
- (10) 岡田, 横井, 鳥脇, 堀: “3次元ランダム・フラクタルを利用した不均質材料のテクスチャ表現”, 情処学論, 28, 11, pp.1146-1153 (1987).
- (11) 東海, 宮城, 安田, 横井, 鳥脇: “コンピュータグラフィックスによる柑橘果実の生成に関する研究”, NICOGRAPH '92 論文集 (1992).
- (12) Harn J. K.: “Realistic animation of rigid bodies”, Proc. SIGGRAPH '88, pp.299-308 (1988).
- (13) Terzopoulos D. and Witkin A.: “Deformable models”, IEEE Comput. Graph. Appl. 8, 6, pp.42-51 (1988).
- (14) Takala T. and Hahn J.: “Sound rendering”, Proc. SIGGRAPH '92, pp.211-220 (1992).
- (15) Thalman N. M.: “New trends in the direction of synthetic actors”, CG International '90, pp.17-35 (1990).
- (16) Chen D. T. and Zeltzer D.: “Pump it up: computer animation of a biomechanically based model of muscle

- using the finite element method", Proc. SIGGRAPH '92, pp.89-98 (1992).
- (17) Beier T.: "Feature-based image metamorphosis", Proc. SIGGRAPH '92, pp.35-42 (1992).
- (18) 特集 Macintosh のグラフィックス, PIXEL, No.94 (1990).
- (19) 特集 PC 98 でやるパソコン CG/CAD, PIXEL, No.111 (1991).
- (20) 特集 ワークステーション緊急取材レポート, PIXEL, No.107 (1991).
- (21) 吉田, 成瀬: "コンピュータグラフィックス用プロセッサの動向", 情報処理, 29, 10, pp.1109-1116 (1988-10).
- (22) "Visualization in Computing", Computer, 22, 10 (Oct. 1989).
- (23) Upson C. and Faulhaber Jr. T., Kmins D., Laidlaw D., Schlegel D., Vroom J., Gurwitz R. and van Dam A.: "The Application Visualization System: A Computational Environment for Scientific Visualization", IEEE Comput. Graph. Appl., 9, 4, pp.30-42 (July. 1989).
- (24) 吉行 隆: "自動車開発におけるビジュアライゼーションの活用", PIXEL, No.116, pp.38-43 (1992).
- (25) 川井, 表: "建設におけるサイエンティフィックビジュアライゼーション", NICOGRAPH '90 論文集, pp.343-351 (1990).
- (26) 伊奈, 柏木, 秦野: "量子論的世界を映像化する対話型分子構造解析グラフィックシステム", NICOGRAPH '90 論文集, pp.197-206 (1990).
- (27) 笹田剛史: "ビジュアルプレゼンテーションと環境設計", システム/制御/情報, 36, 1, pp.8-13 (1992).
- (28) 中前栄八郎: "景観シミュレーション", 情報学グラフィックスと CAD 研資, 39-1 (1989).
- (29) 森, 堤, 浜嶋, 太田: "高速道路の景観設計におけるアニメーションの利用", NICOGRAPH '90 論文集, pp.319-328 (1990).
- (30) 石淵, 高島, 平野, 曾山, 志沢, 井上: "動画処理技術を用いた景観シミュレーション", NICOGRAPH '90 論文集, pp.329-334 (1990).
- (31) 浜嶋敏一郎: "都市の情景シミュレーションに関する考察", NICOGRAPH '89 論文集, pp.273-282 (1989).
- (32) 横井茂樹: "医用 3 次元画像の表示技法", ME 誌, 3, 6, pp.11-17 (1989).
- (33) CEMAX INC.: "CEMAX Multidimensional Imaging Systems".
- (34) KONTRON INSTRUMENTS: "MIP MR 高速画像処理装置"
- (35) 安田, 橋本, 横井, 鳥脇: "CG 画像を用いた形成手術計画支援システム", 信学誌 (D), J70-D, 11, pp.2134-2140 (1987-11).
- (36) 曾山, 安田, 横井, 鳥脇: "三次元画像を利用した股関節手術計画支援システム", ME 論, 3, 6, pp.10-18 (1989).
- (37) Luo G. M., Cowin S. C. and Sadegh A. M.: "A boundary element method investigation of different frictional boundary conditions on bone ingrowth", Computers in Biomedicine, K. D. Held Ed., Computational Mechanics Publications, pp.207-218 (1991).
- (38) 久野, 横井, 鳥脇, 安場: "CT 画像データを利用した骨形状加工の試み", 信学技報, IE 87-117 (1988).
- (39) Kwoh Y. S., Hou J., Jonckheere E. A. and Hayati S.: "A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery", IEEE Trans. Biomed. Eng. BME-35, 2, pp.153-160 (1987).
- (40) 芦野靖夫: "放射線治療への応用", MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, 7, 1, pp.22-28 (1989).
- (41) 大口, 上田: "恒星の一生のシミュレーション—主系列星からブラックホールまで—", NICOGRAPH '91 論文集, pp.365-374 (1991).
- (42) 横井, 大下, 安田, 鳥脇: "古代エジプトミイラの 3 次元画像化と解析", NICOGRAPH '89 論文集, pp.309-316 (1989).
- (43) 特集 "最新 X ウィンドウのすべて", Computer Today, No.39 (1990).
- (44) 特集 "最新 GUI の全貌", Computer Today, No.42 (1991).
- (45) Proc. of 1986 IEEE Computer Society Workshop on Visual Languages, IEEE Computer Society Press (1984).
- (46) 西川, 寺田: "視覚的プログラミング環境", 情報処理, 30, 4, pp.354-362 (1989-04).
- (47) J. D. フォーレイ: "近未来のインターフェイス", サイエンス (1987-12).
- (48) W. Industries: VIRTUALITY.
- (49) 岩田洋夫: "実時間グラフィックスと力感覚帰還装置を用いた仮想立体ハンドリング", 第 5 回 NICOGRAPH 論文コンテスト論文集, pp.62-66 (1989).
- (50) 渡部 顕: "飛行リアルタイムシミュレータ", 精密工学会誌, 58, 7, pp.31-34 (1992).
- (51) サンバ哲郎: "展示用特殊映像の種類と歴史 (6) 総括・日本の展博映像 1989", PIXEL, No.88, pp.142-153 (1990-01).
- (52) 館 暉: "テレイグジスタンスによるロボット制御", パーチャル・テック・ラボ, 工業調査会, pp.101-134 (1992).



よこい しげき
横井 茂樹 (正員)

昭 46 名大・工・電気卒。昭 52 同大学院博士課程了。同年同・工・情報・助手。昭 52 三重大・工・電子助教授。昭 57 名大・工・情報・助教授。平 5 同教授。画像処理、コンピュータグラフィックスの基礎手法とその医学応用に関する研究に従事。日本 ME 学会、日本形成外科学会、情報処理学会、コンピュータグラフィックス学会各会員。



やすだ たかみ
安田 孝美 (正員)

昭 57 三重大・工・電気卒。昭 62 名大大学院博士課程了 (情報工学専攻)。同年同工学部情報工学科助手。この間日本学術振興会特別研究員 (昭和 61 年)。コンピュータグラフィックス、医用画像の 3 次元表示とその応用に興味をもつ。情報処理学会、日本 ME 学会各会員。