TUTORIAL
SERIES

コンピュータグラフィックス(II)

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 [II]. By Shigeki YOKOI and Takami YASUDA, Members (Faculty of
Engineering, Nagoya University, Nagoya-shi, 464 Japan).

1. はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) は物体のリアリスティックな映像を作り出すための技術であるが、そのためには物体の形、陰影や色、動きを精密に表現する必要がある。本稿ではCGのための基本手法として「形状表現 (モデリング)」、「精密描画 (レンダリング)」、「動画表現 (アニメーション)」に分け、現在までに開発、利用されている主な手法を総括的に述べる。

2. モデリング

CGによる3次元物体のイメージを生成するためには、まず物体の形状を計算機で定義するために数値や数式の形で表現する必要がある。実世界に存在する多種多様な形状を表現するためにさまざまな手法が提案されているが、ここでは主な形状表現法の概略について述べる。

(1) 多面体表現

物体の表面を (平面) 多角形の集合によって表すものであり、最も一般的に用いられている。通常は多面体の点、辺、面の情報をリスト構造

の形で記憶する。

(2) 陰関数による表現

ある3変数の関数 $G(x, y, z)$ を与え、 $G(x, y, z) = 0$ を満たす集合として物体表面を定義する。よく用いられるのは $G(x, y, z)$ に2次多項式を用いたもので、パラメータの与え方により、球、だ円体、円柱、円すい等を表すことができる。

(3) パラメータ表現

(x, y, z) の各座標が、 u, v など共通の二変数関数として表されているとき、これらの変数の変化により (x, y, z) はある曲面上を動く。この曲面によって物体の表面を定義する。

(4) 掃引体表現

ある2次元図形を3次元空間内で適当な方法で動かしたときに、その軌跡は3次元の立体となる。代表的なものは、図形を一定方向に移動させて柱体 (円柱等も含む) を定義する方法と、図形をある回転軸のまわりに回転させて回転体を定義する方法である。

(5) 曲面パッチの接続による表現

前述 (1) の多面体表現の構成要素を平面多角形から曲面に拡張したものであり、CAD/CAMにおける形状設計によく用いられる。例えば、coonsパッチやgregoryパッチ、スプライン曲線、ベジェ曲線を曲面に拡張したスプライン曲面、ベジェ曲面、あるいは最近では有理B-スプライン (NURBS) などが用いられている。

(6) 基本立体の合成

比較的単純な形をした基本立体をいくつか用

予 定 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] コンピュータグラフィックス (6月号)

意しておく(多面体, 掃引体, 2次曲面体など). これに和, 積, 差の演算を施して複雑な形を表現しようとする方法であり, Constructive Solid Geometry (CSG) とよばれる.

(7) ボクセル表現

物体を非常に小さい立方体(または直方体)を要素とする集合により表現する方法である. 医用3次元画像などなんらかの測定量の空間分布データの表示などに用いられる. また, 最近では物体表面を構成するボクセル集合の隣接状態からパッチをはっていき, より滑らかな表面形状を生成する手法が用いられている. これは多面体表示が高速に行えるGWS(Graphic Work Station)の利用が効果的である.

(8) フラクタル手法による形状定義

自然界に存在する山肌, 岩の表面, 砂などの不規則な形を表現するためにフラクタルの概念を応用した再帰的な手順による不規則表面の生成手法が用いられている.

(9) メタボール表現

空間中に点電荷を配置し, それらが作る等位面を物体表面として表現する. 実際には電荷ではなく, ある濃度(ここでは重さという)を中心と与えた球(メタボール)を空間に配置している. 濃度は中心から遠ざかるにつれ小さくなり, 0になったところがそのメタボールの有効半径となる. 表面形状はある濃度値(例えば1)の等濃度面により表現される. 人体や臓器などの柔らかな形状表現によく用いられる.

3. レンダリング

モデリングにより表現しようとしている物体の形状が与えられるが, 実物を写真で撮影したようなリアルな映像を生成するには, 物体の色や微妙な陰影を表現する必要がある. このために物体表面での光の反射や透過をモデル化し計算する手法が開発されてきた. このような物体の精密な表現のための技法はレンダリングとよばれる. 以下にその主な手法を示す.

(1) 反射モデル

不透明な物体の表面では光が透過されずに反

射される. このときの反射には基本的に2種類のものが存在し, これらを表現するためのモデルが提案されている.

(a) 拡散反射 ざらざらした表面の物体(例えば陶器など)は表面が微粒子の層でできている. 入射した光がこの層で散乱されて, さまざまな方向に反射される. これを純粋な形でモデル化したものを完全拡散面といい, どの方向にも一定の強度で反射される面のことをいう. このような反射は見る方向に依存せず, 反射光強度は光の入射角のみに依存したものと計算される.

(b) 鏡面反射 よく磨かれた鏡の表面では, 入射光に対し同じ角度で反対の方向に反射される. 一般の物体では, この鏡面反射は表面の細かい凹凸のため正反射方向を中心に広がる. この反射モデルとしてはPhongのモデルが通常用いられる. これは, 正反射方向から離れるに従い反射光強度が減少する割合を, 正反射方向と角度 α だけ異なる方向では $(\cos \alpha)$ で表現する. 一方, Blinnはより厳密な鏡面反射モデルを提案している. 物体表面を微視的に観察するとさまざまな方向を向いた微小面の集合として構成されていると考えられる. これを微小面の分布関数の形でモデル化し, 光の反射を計算するものである.

鏡面反射に方向による反射特性の違いを考慮する必要がある場合がある. 例えば, 金属表面を仕上げるときに, ブラシにより同心円上の細かいキズがつけられると表面には特有の放射状パターンがみられることがある. これは異方性鏡面反射モデルにより表現される.

反射モデルに関してはこのほか, 色をより忠実に生成するため光のスペクトル特性までも考慮したモデルが提案されている.

一般に物体は両方の反射成分をもつが, その性質に基づいて計算することにより各々の材質感が表現される.

(2) テクスチャ

実際の物体には表面に固有の模様がついている場合があり, これが物体の材質感を与える原

因となる場合がある。表面の模様を表現する方法として以下の方法がある。

(a) テクスチャマッピング 物体表面に対応させて2次元パターンを用意しておき、これを表面にはりつける形で表面の模様を表現する⁽¹²⁾。更に、本手法を応用して、表面の凹凸や反射、影などの表現を行うために以下の各手法が開発されている。

(b) 属性マッピング 色情報などを直接はりつけるのではなく、インデックス情報をマッピングし、インデックスにより示される輝度計算により各点での輝度値を決定する。

(c) バンプマッピング 表面の模様の代わりに細かい凹凸を表現するパターンを用意しておき、これが物体表面にのせられているとして反射計算を行う。物体表面の細かい形状特徴を表現する方法として用いられる⁽¹³⁾。

(d) リフレクションマッピング 最初に周囲の物体を対象物体を中心とする非常に大きい球面に投影しておき、これを物体表面に映りこませて光沢感を表現する方法である。この種の画像生成は後述の光線追跡法で行えるが時間の節約のため近似手法として用いられる⁽¹²⁾。また、屈折、透過効果を同様の方法で表現するリフレクションマッピングも提案されている。

(e) シャドウマッピング 光源方向からの投影像により、表示物体の位置関係からあらかじめ他の物体に影を落とす領域をマスク情報として記録する。視点からのレンダリングの際、マスク情報から影の部分を決める。これはZバッファで影を表現する方法として用いられる。

(f) ソリッドテクスチャ 3変数関数などで3次元空間中の模様(テクスチャ)を与えておき、ここから物体を切り出すことにより、物体表面に現れる模様を表現する方法である⁽¹⁴⁾。

マッピングにはこのほか、透過率をはりつけるオパシティマッピングや光源からの奥行き情報をはりつけて影を表現するデプスマッピングなども提案されている。

(3) 光線追跡法(レイトレーシング)

透明な物体では光が透過(屈折)する。これを表現するには光の反射・屈折を正確にたどることが必要となる。Whittedは光線を視点から逆にたどり、視点への入射光を計算する方法(ray tracing)を考案した⁽¹⁵⁾。これは、視点から光線を出し、透明物体での光線の反射、屈折による分岐を正確に追跡して、最後に各方向からの光線を合わせて視点への入射光強度を計算するものである。光線追跡法に関してはさまざまな拡張・改良が提案されている⁽¹⁶⁾。

(4) 雲・霧等の表現

自然には雲、霧、煙、などのように微粒子の集合でできている物質が存在する。このような物質を表現するモデルをBlinnが考案している⁽¹⁷⁾。彼はこれらが、(目にみえない)微小な球の集合が物体の層を形作っているとしてその層に光が浸透し内部で散乱され、観察者(視点)の方向に反射されていくというモデルを考え、反射光の計算式を導いた。

(5) パーティクル表現

微粒子の集合体を表現するもう一つの考え方は微粒子そのものを直接見える形で生成しようとするものである⁽¹⁸⁾。個々のパーティクル(微粒子)は小球で表現され、コントロール可能な確率過程に従って生成される。各パーティクルには、位置、速度、サイズ、カラー、透明度、寿命時間の属性が与えられ、加速度を導入して速度を変化させたり、重力の影響を考慮した動きをさせることもできる。パーティクルの色や透明度、サイズなどもそれらの変化率パラメータによって記述される。

(6) ボリュームレンダリング

Kajiya, Herzenは空間中の微粒子密度をボリュームデータ(3次元配列)として与えて、そこに光を投射(レイ・キャスティング)することにより、微粒子層における反射、散乱の計算を行う方法を開発した⁽¹⁹⁾。ここで、3次元配列の各格子点には微粒子の密度が与えられており、光源から粒子、粒子から視点までの2段階に分けられた光路上での微粒子層における光の

透過、反射が計算される。

第1段階では、光源からの光が、各格子点に到達する光線強度を、格子点での微粒子密度に応じた減衰を考慮しながら、光源の格子点から逐次的に計算する。

第2段階では、ある方向から視点に入射する光線に対し、入射光強度を求める。これは第1段階で得られた各格子点への到達格子点強度と、その格子点での反射、視点に達するまでの減衰を同じく逐次的に計算することにより求められる。

更に、Kajiyaは、ボリュームレンダリングの手法を拡張して、毛の層などの表示手法を開発した⁽²⁰⁾。動物表面の毛の層やじゅうたんの表面、あるいは上空からみた山の表面の森林層などを表現するテクセルレンダリング法を開発した。これは層内の微小な物体の形状や反射特性を空間小領域（テクセル）に分けて記述し、元となる形状（例えば、動物表面）にテクセルを配置して表面の層構造を表現し、これから光の反射・散乱の計算を行う方法である。

(7) ボクセルデータの表示手法

ボクセル表現により与えられたデータの表示方法として代表的なものに、gradient shading法がある⁽²¹⁾。これはボクセルの各面を投影面に投影した後、Zバッファから物体表面の法線方向を推定して輝度計算に用いるものである。また、ボクセルのもつ濃度値を利用した法線推定法としてgray level gradient shading法がある⁽²²⁾。Zバッファからの法線推定は視点位置に対して不変とはならないという欠点がある。そこで、直接ボクセルの接続関係から法線を推定するnormal-based contextual shading法が提案された⁽²³⁾。更に、ボクセルの隣接条件により適切な面素を構成し、各面素をその法線から求められる輝度で表示するmarching cubes法も報告されている⁽⁵⁾。一方、ボクセルデータを半透明で表示する方法として前述(6)のボリュームレンダリングや濃度値再投影法⁽²⁴⁾が用いられている。

(8) 照明モデル

リアリスティックな画像を生成するためには光源のモデルを厳密に考慮する必要がある⁽²⁵⁾。

(a) 平行光源 光源として最も簡単なものは太陽光線のように光源が無限遠点に存在すると仮定できる場合で、光源強度は距離に依存しない定数として表現できる。

(b) 点光源 光源を点と考え、光は光源から全方位に均等に放射される。このとき光源強度は距離の2乗で減衰させる。

(c) 線光源、面光源 線上あるいは面上に点光源が配置されていると考えられ、光源強度はそれぞれ線積分、面積分の結果として与えられる⁽²⁶⁾。また、この考えにより本影、半影などリアリティのある影を生成することも可能である。

(d) 配光特性をもつ光源 光の放射方向によって光源強度が変化する光源で、スポット光源ともよばれる。光源強度は光源の放射中心ベクトルと光源方向ベクトルとのなす角の関数として与えられる。

(e) ラジオシティ 物体相互の拡散反射を熱力学の熱輻射を基に計算するもので、非常にリアリティの高い画像生成が可能である。また、拡散反射成分のみを表現することに限定すれば、一度相互反射を計算すれば、視点を移動しても再計算は必要なく、GWSによりレンダリングは高速に行うことができる。

(9) 隠れ面消去

3次元CGにおいて、視点から反対側にある面や他の物体に遮られている面を表示しないようにすることは古典的問題の一つである。

(a) スキャンライン法 表示画面をスキャンラインごとにサーチし、そのスキャンラインを含む画面に垂直な平面と交わるすべての面を選び出す。選び出された面のうち視点方向を向く面について、スキャンライン上の各画素で視点と最も近い面の輝度を計算しその色をその画素に与える。また、近傍のスキャンライン上の表示画像の類似性を利用した高速化も試みられている。

(b) Z ソート法 ポリゴンごとに Z 値の比較 (minimax テスト) を行っていくもので、各ポリゴンの Z 値は重心での Z 値などで代表させる。表示物体の優先順位を決定するため、優先順位法ともいう。この方法ではポリゴン同士が貫通しているような場合には適用できないが、隠れ面処理の中では最も高速な手法であるため、このような問題のない表示対象では有効に用いられる。

(c) Z バッファ法 表示画面の各画素に色情報を記憶するフレームバッファ領域に加えて、表示物体と視点との距離を記憶する2バイト程度の領域 (Z バッファまたはデプスバッファという) をもたせ、各画素で常に視点に最も近い物体を表示するようにする方法である。アルゴリズムは Z バッファの比較と更新のみで非常に単純である一方、ロバストであるため広く利用されている。また、メモリの節約のため、スキャンラインごとに Z バッファ法を適用する方法や、表示画面を正方形などに分割して独立に Z バッファを適用する方法が提案されている。

(d) A バッファ法 Z バッファ法のアンチエイリアシングのためにバッファに 4×8 のビットマスクを用意し、ビット演算により画素の占有率を求め、これを用いた近傍画素の重み付き平均によりエイリアシングを除去する。また、フレームバッファと Z バッファとを各画素ごとにリスト構造にし、更に透過率を記憶させることで光の透過も Z バッファ法により表現することを可能にした。

(e) 領域細分法 表示画面を物体の面または線分の部分的な重なりがなくなるまで順次細分して一様な領域を順に表示していく方法で、画素数の多いものに向いている。

(10) アンチエイリアシング

表示された物体と背景との境界ではデジタル画素の影響でギザギザしている。これをジャギーあるいはエイリアシングといい、これを除去する方法が検討されている。最も簡単な方法として、オーバサンプルによるサブピクセルに

よる表示法がある。これは例えば表示画面の1画素を4~9のサブピクセルに分割し、各サブピクセルに対して陰影計算を行い、サブピクセルでの各輝度の重み付き平均として表示画面の輝度を求めるものである。重みとしては物体の画素への占有率などが用いられる。分割が多くなるほど計算時間が膨大となるため、表示位置の一様性などが計算時間の削減に利用される。

このほか、人の表情や髪、あるいは多重反射を考慮した布や皮膚の表示法など、新たな表示対象に対するレンダリング手法は現在も研究が進められている。

4. アニメーション

CG技術の蓄積とハードウェアの低価格化に伴い、動きをCGにより表現しようとする研究が盛んに行われている。ここではCGアニメーション手法の概略を紹介することにする。

(1) キーフレーム法

動いている物体をある時間ごとに静止画 (キーフレーム) として取り出し、キーフレーム間の中間フレームをキーフレームから内挿によって求める⁽³²⁾。作成された中間フレームとキーフレームを1コマずつ記録し、アニメーションとする。これはセルアニメーションの中割り法に基づいている。

(2) スケルトン法

キーフレーム法では表示面内を平行、回転移動する対象ではうまくいくが、表示面と平行でない領域を回転移動する場合には適切な中間フレームが得られない。そこで、キーフレーム上の対象物体に仮想的な骨格 (スケルトン) を設定し、このスケルトンを内挿した後、それに合わせて物体を変形させることで中間フレームを生成する⁽³³⁾。

(3) 関数法

表示対象の動きをあらかじめ関数で表現しておくもので、関数表現される動きでは正確なアニメーションを生成することができる。また、時間軸を横軸に取り、動きを表す関数を会話的に設定、修正する方法も用いられている。

(4) 動点制約法

会話的に決定する関数法の拡張法で、人体の関節など複数の点の動きのタイミングを同時に表現して、全体として適切なアニメーションを得ようとする方法である⁽³⁴⁾。

(5) ロトスコープ法

カメラで実際のシーンを撮影し、ここからCGでの動きを取り出していくもので、人物などの自然に近い動きを表現することができる。

(6) ダイナミクスアニメーション

力学など物理法則を導入して正確な運動をCGにより表現する研究が盛んに行われている⁽³⁵⁾、⁽³⁶⁾。複雑な力学計算や衝突判定が必要であるが、各種科学シミュレーションに広く利用される可能性がある。

(7) メタモルフォシス

物体が定義される3次元空間内で形状データを変形させていき、ある物体から異なる物体へ変形させる処理で、実際にコンピュータ内の物体の3次元形状が変化させることができるが、二つの物体間での頂点の対応付けの作業量が多いのが問題点である。

(8) モーフィング

メタモルフォシスが3次元的な真の意味での変形操作であるのに対して、モーフィングはフレームバッファ上の映像を変形させていく2次元処理である。最近モーフィングは映画の特殊効果（例えばターミネータ2）やテレビコマーシャルでよく使われている⁽³⁷⁾。

(9) モーションブラー

静止画1コマごとの記録によるCGアニメーションでは対象物体の動きが速い場合、実際より遅く見えたり、別の物体として知覚されてしまうことがある。投手が投げる野球ボールを連続写真としてストロボ撮影すると、一つ一つの写真に映るボールは軌跡を残して映っている。CGアニメーションにおいて移動する物体の動きを自然に見せるには、この効果（モーションブラー）を各フレームに入れる必要がある⁽³⁸⁾。

5. 表示例

本稿で述べたレンダリング技法を用いて生成した画像の例を紹介する。図1はフラクタル手法による山である。バンプマッピングにより表

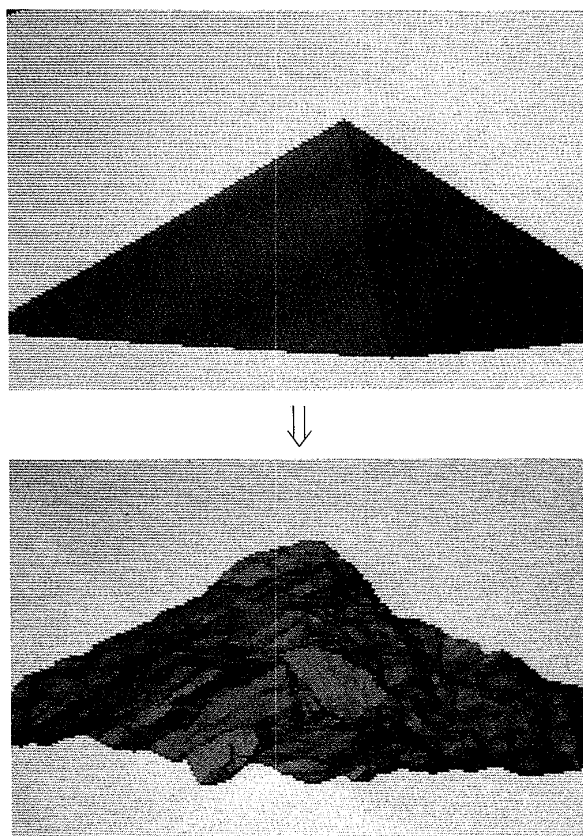


図1 フラクタルによる山

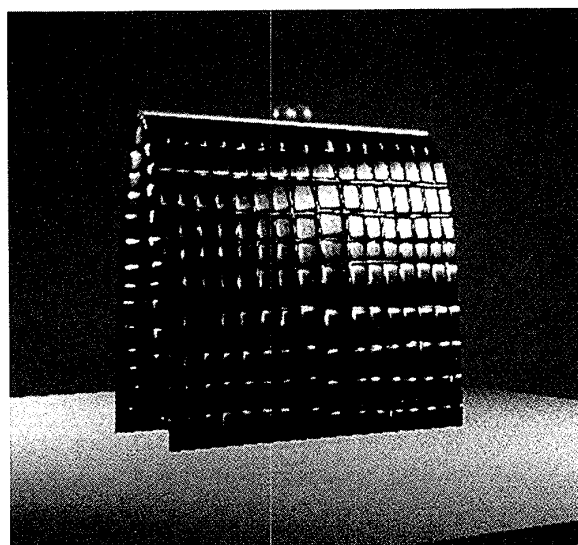


図2 バンプマッピングによる爬虫類の皮革バッグ

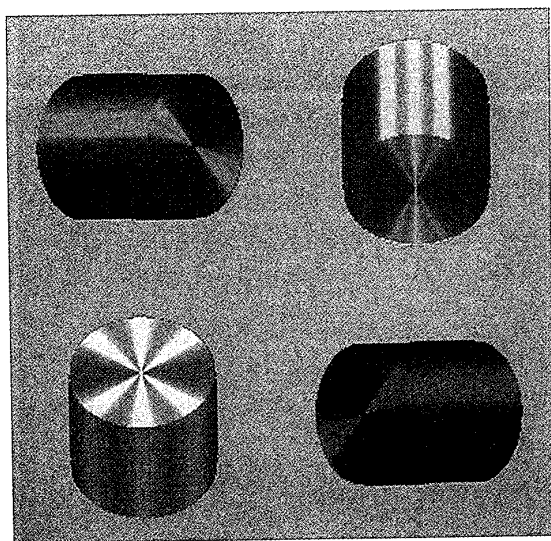


図3 異方性反射モデルによるスピン仕上げされたつまみ

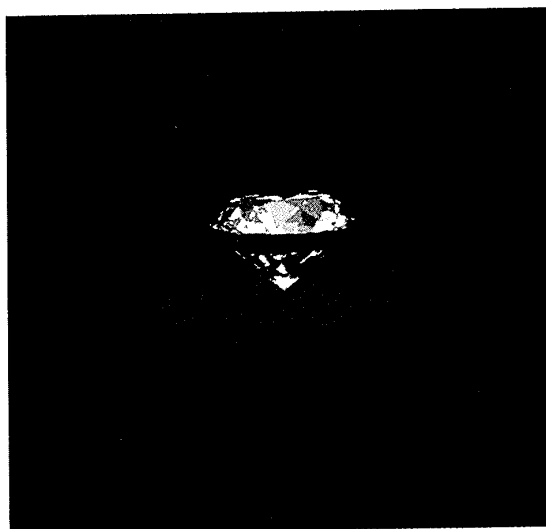


図6 レイトレーシングによるダイヤモンド

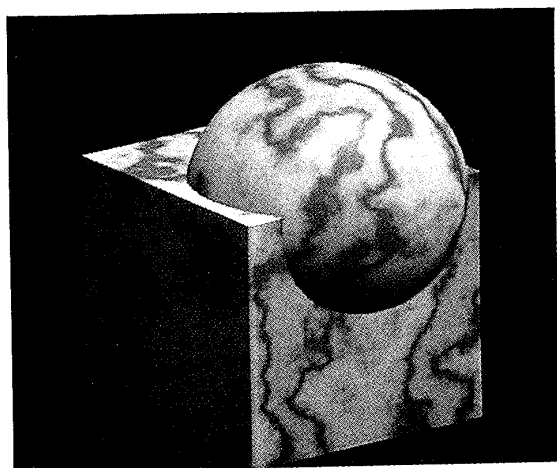


図4 ソリッドテクスチャによる大理石



図7 微粒子集合体による雲

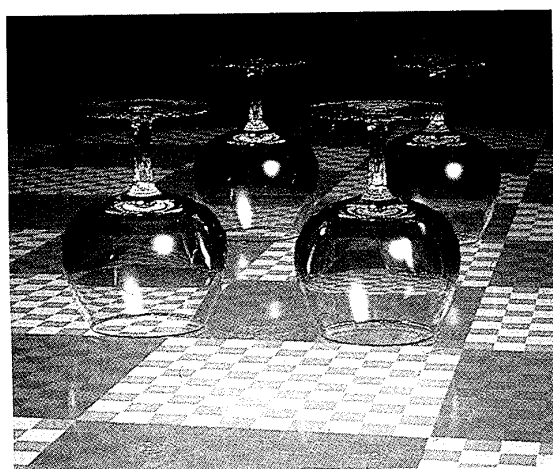


図5 レイトレーシングによるガラス

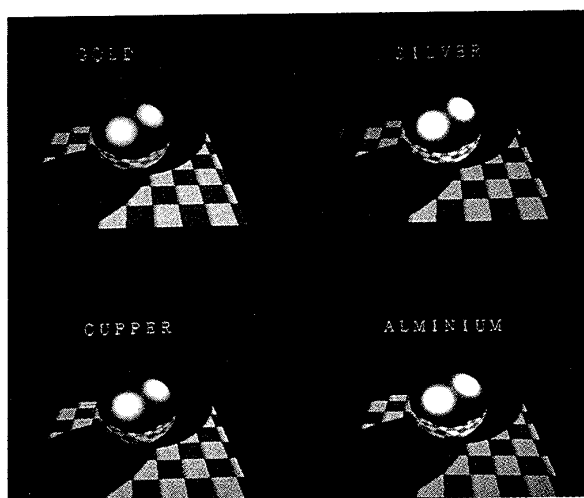


図8 スペクトルを考慮した金属球

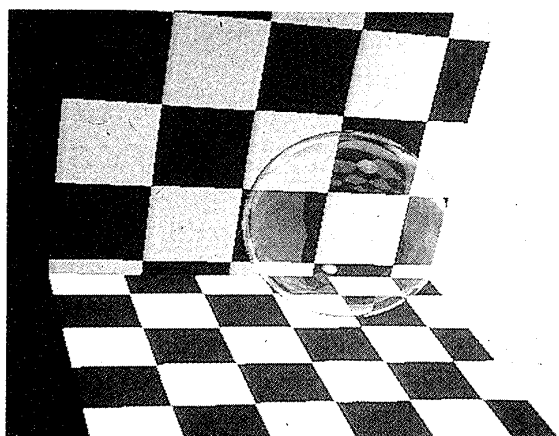


図9 光の干渉によるしゃぼん

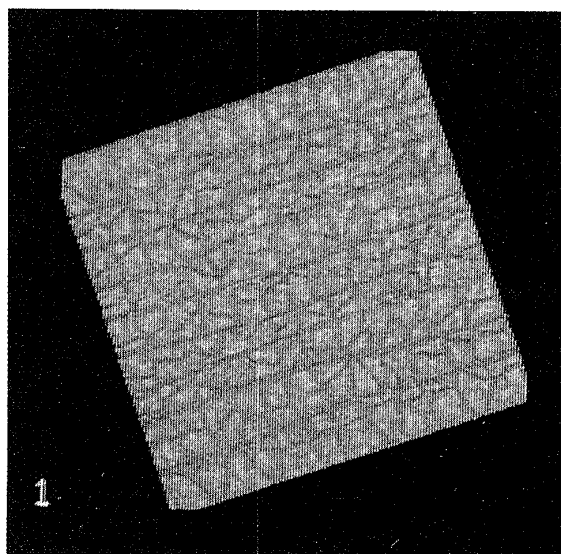
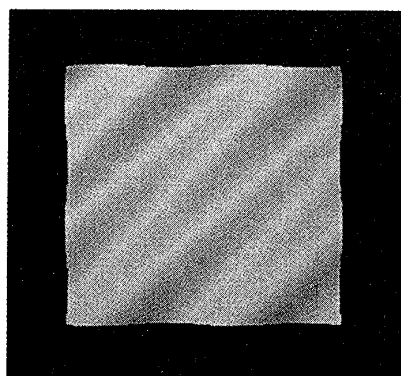
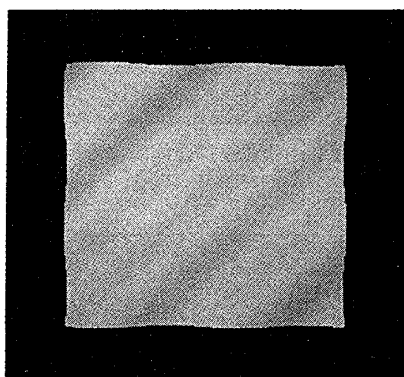


図11 多重反射による皮膚



(a) 絹



(b) 木綿

図10 多重反射による布

現した爬虫類の皮革バックを図2に示す。図3, 図4は異方性反射によるスピン仕上げされたつまみとソリッドテクスチャによる大理石である。レイトレーシングによる表示例としてガラスとブリリアントカットされたダイヤモンドを図5, 6に示す。また、微粒子集合体として雲

の表示例を図7に示す。スペクトル特性を考慮した金属球と光の干渉によるしゃぼんを図8, 9に各々示す。最後に、層構造による光の多重反射をモデル化した布と皮膚の表示例を図10, 11に示す。

文 献

- (1) 山口富士夫：“形状処理工学（I），（II）”，日刊工業新聞社（1982）。
- (2) 鳥谷浩志，千代倉弘明：“3次元CADの基礎と応用”，共立出版（1991）。
- (3) Requicha A.A.G. and Voelcker H.B.：“Boolean operations in solid modeling：Boundary evaluation and merging algorithms”，Proc. IEEE., 73, 1, pp.30-44（1985）。
- (4) Herman G.T. and Liu H.K.：“Three-dimensional display of human organs from computed tomograms”，Comput. Graph. Image Process., 9, pp.1-21（1979）。
- (5) Lorensen W.E. and Cline H.E.：“Marching cubes：A high resolution 3D surface construction algorithm”，Comput. Graph., 21, 3, pp.163-169（1987）。
- (6) Fournier A., Fussel D. and Carpenter L.：“Computer Rendering of stochastic models”，Commun. ACM, 25, 6, pp.371-384（1982）。
- (7) 西村，平井，河合ほか：“分布関数による物体モデリングと画像生成の一手法”，信学論（D），J 68-D, 4（1985-04）。
- (8) Phong B.T.：“Illumination for computer generated images”，Commun. ACM, 13, 6, pp.311-317（1975）。
- (9) Blinn J.F.：“Models of light reflection for computer synthesized pictures”，Comput. Graph., 11, 3, pp.192-198（1977）。
- (10) 高木，横井，鶴岡，三宅：“異方性反射モデルに関する検討”，情処学グラフィックスとCAD研資，No.11-1（1983）。
- (11) Cook R.L. and Torrance K.E.：“A reflectance model for computer graphics”，Compt. Graph., 15, 3,

- pp.307-316 (1983).
- (12) Blinn J.F. and Newell M.E. : "Texture and reflection in computer generated images", Commun. ACM, 19, 10, pp.542-547 (1976).
- (13) Blinn J.F. : "Simulation of wrinkled surfaces", Comput. Graph., 12, 3, pp.286-292 (1978).
- (14) 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", 情報学論, 28, 11, pp.1146-1153 (1987).
- (15) Whitted T. : "An improved illumination model for shaded display", Commun. ACM, 23, 6, pp.343-349 (1980).
- (16) 横井, 鳥脇 : "コンピューター・グラフィックスにおける光線追跡法; 高木他編: 画像処理アルゴリズムの最新動向", 新技術コミュニケーションズ, pp.145-157 (1986).
- (17) Blinn J.F. : "Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces", Comput. Graph., 16, 3, pp.21-29 (1982).
- (18) Reeves W.T. : "Particle systems - a technique for modeling a class of fuzzy objects", Comput. Graph., 17, 3, pp.359-376 (1983).
- (19) Kajiya J.T. and Von Herzen B.P. : "Ray tracing volume densities", Comput. Graph., 18, 3, pp.165-174 (1984).
- (20) Kajiya J.T. and Kay T.L. : "Rendering fur with three dimensional textures", Comput. Graph., 23, 3, pp.271-280 (1989).
- (21) Gordon D. and Reynolds R.A. : "Image space shading of three-dimensional objects", Comput. Vis. Graph. Image Process., 29, pp.361-376 (1985).
- (22) Hohne K.H. and Bernstein R. : "Shading 3 D-images from CT using gray-level gradients", Trans on Medical Imaging, 5, 1, pp.45-47 (1986).
- (23) Chen L., Herman G.T., Reynolds R.A. and Udupa J.K. : "Surface shading in the cuberille environment", IEEE Comput. Graph. Appl., 5, pp.33-43 (Dec. 1985).
- (24) 金, 木村, 横井, 鳥脇 : "濃度再投影に基づく医用三次元画像診断支援システムの開発", 医用電子と生体工学, 27, 3, pp.127-133 (1983).
- (25) Nishita T., Miyawaki Y. and Nakamae E. : "A shading model for atmospheric scattering considering luminous intensity distribution of light sources", Comput. Graph., 21, 4, pp.303-310 (1987).
- (26) Nishita T. and Nakamae E. : "Half-tone representation of 3-D objects illuminated by area or polyhedron sources", Proc. IEEE COMPSAC 83, pp.237-242 (1983).
- (27) Immel D.S., Cohen M.F. and Greenberg D.P. : "A radiosity method for non-diffuse environments", Comput. Graph., 20, 4, pp.133-142 (1986).
- (28) Sutherland I.E., et. al. : "A characterization of ten hidden surface algorithms", Computing Surveys 6-1, pp.1-55 (1974).
- (29) Cook R.L., Carpenter L. and Catmull E. : "The Reys Image Rendering Architecture", Comput. Graph., 21, 4 (1987).
- (30) Carpenter L. : "The A-buffer, an Antialiased Hidden Surface Method", Comput. Graph., 18, 3 (1984).
- (31) Crow F.C. : "The aliasing problem in computer-generated shaded images", Commun.ACM, 20, 11, pp.799-805 (1977).
- (32) Burtnyk N. and Wein M. : "Computer-generated key-frame animation, SMPTE J., 80, pp.149-153 (1971).
- (33) Burtnyk N. and Wein M. : "Interactive skelton techniques for enhancing motion dynamics in key frame animation", Commun. ACM, 19, 10, pp.564-569 (1976).
- (34) Reeves W. : "Inbetweening for computer animation utilizing moving point constraint", Comput. Graph., 15, 4, pp.263-269 (1981).
- (35) Harn J.K. : "Realistic animation of rigid bodies", Comput. Graph., 22, 4, pp.299-308 (1988).
- (36) Terzopoulos D. and Witkin A. : "Deformable models", IEEE Comput. Graph. Appl., 8, 6, pp.42-51 (1988).
- (37) ピーター・ソレンセン : "手軽に用いて映像効果の大きい2次元CG技術: モーフィング", 日経CG, No.67, pp.129-134 (1992-04).
- (38) Potmesil M. and Indranil C. : "Modeling motion blur in computer-generated images", Comput. Graph., 17, 3, pp.389-399 (1983).



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53三重大・工・電子助教授。昭57名大・工・情報・助教授、現在に至る。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。