

4.2 CGの要素技術

コンピュータによって、画像を生成して表示する様々な処理技術について簡単に解説し、それらのシステムについても触れる。

4.2.1 CGの主要処理

コンピュータを使って、二次元図形であるビジネス・グラフィックス、設計図、回路図、地図などや三次元対象物である建物、金型、部品など物体をリアルに表現する画像処理は図4.2.1-1のごとき工程で行われる。それぞれの処理において、方式あるいはアルゴリズムについて、簡単に解説する。

図 4.2.1-1 CGの主要処理

モデリング→幾何学変換→レンダリング→表示

(1) モデリング

CG技法は主として三次元立体を対象として、各種の技法が開発されてきた。コンピュータを用いて立体を処理する際に使用する立体表現を立体モデルといい、主なモデルとしては、ワイヤモデル、サーフェイスモデル、ソリッドモデルの3つがある。これ以外の種々の手法により、モデリングをおこなう。

a. ワイヤフレーム

立体を輪郭線群または自由曲面パッチにより表現する。立体データの入力法は簡単であり、複雑な立体も扱えるが、線表示のため高品位な画像表現には不向きである。特徴は高速表示が可能のため、動きのシミュレーションに利用できることである。

b. サーフェイスモデル

サーフェイスモデルはワイヤフレームモデルに面の情報を付加したものである。面の情報により、ワイヤフレームでは不可能であった隠線・隠面消去、稜の表現、陰影付けが可能である。面の情報があっても、ある面とそれに隣接する面との構造上の関係を示す情報がないので、物体が面のどちら側にあるのか不明であり、面の表裏が判別できない欠点がある。

c. ソリッドモデル

ソリッドモデルは三次元形状の物体を固形物として、中身の詰まった立体として表現するモデルである。サーフェイスモデルの持つ情報に加えて、面の表裏を表す立体情報を付加したデータ構造を持たせることになる。これにより、ソリッドモデルはサーフェイスモデルで扱えなかった体積、重量、重心などの計算や有限要素法、さらにCAD/CAMへの応用が可能である。

d. 自由曲線

二次元 CG では自由曲線を用いることが多い。フリーハンドで点列を与えた場合、この点列を滑らかに結ぶ曲線をいう。

・スプライン曲線

与えられた複数の点列を通る最も滑らかな曲線である。スプライン曲線はその中の 1 点の位置を動かすと曲線の変化は局所的な変化に止まらず、前後の指定点に及ぶ。従って、指定点における接線の勾配や曲率が自動的に決まり、曲線の形の微妙な調整には向かない。

・ベツィエ曲線

いくつかの頂点(制御点)を与えることで描かれる曲線であり、特徴は必ず 2 つの端点、すなわち始点と終点を通ることである。アンカーポイントと称する指定点の両側に制御点を操作することで、アンカーポイントを通過する曲線の形を任意に変えられる。

・B スプライン曲線

指定点の内、始点と終点とを通り、残りの点は制御点として働く、滑らかな曲線であり、1 つの指定点を動かしても、曲線の全体の形まで影響しない。ベツィエ曲線の優れた制御性とスプライン曲線の接続性の 2 つの特徴を併せ持つ曲線である。

(2) 幾何学変換

物体の移動、回転、拡大縮小、せん断など、物体の位置、姿勢、大きさ、形状を変化させる三次元座標変換をいい、物体の自由な表現が可能となる。

a. モデリング座標系とワールド座標系

モデリング座標系は各物体に固有の座標系であり、夫々の物体をその座標系で定義する。ワールド座標系はモデリング座標系で示される物体の座標系に対し、平行移動、拡大縮小、回転などを施すとワールド座標系で記述された物体になる。物体が全体的に定義される座標系である。

b. 透視変換

三次元の物体をディスプレイに表示させる二次元図形として表現するには始点から見た座標系を作る必要がある。これを視点座標系と呼び、視点から眺めて、視点と物体の間にある視平面のスクリーン上に映し、この投影図を透視図という。これを 1 点透視といい、視点を無限遠点に置く場合、平行投影という。

(3) レンダリング

レンダリングとは、三次元物体をコンピュータの二次元スクリーン上にリアルに表現するためのアルゴリズムと処理技術の総称である。

a. シェーディング

三次元物体を光源の下で観察すると、物体表面の明るさは決して一定ではなく、濃淡がついていることが分かる。光が当たるところは一般に明るく、光の当たらないところは暗くなっている。面の向きや反射率と光源の方向の関係から明るさが決まることが分かる。光と物体表面の関係から生じる物体上の濃淡を陰といい、また、物体に遮られて、光が当たらない暗い領域を影という。CGでは、光源と三次元物体の面の法線との関係から面の明るさを決定する方法を濃淡づけつまりシェーディングという。シェーディングは物体を照らす光の性質と物体表面の性質に関係する。光源には直接光、環境光、反射光、透過光等あり、物体表面には材質、色、透明度、反射率、透過率、屈折率などの性質があり、以上の性質を正確にモデル化することにより、物体をリアルに表現できる。

物体表面の明るさは、面の向き、視点位置、光源位置の空間的な位置関係によって、また反射率にも関係する。面の向き、視点位置、材料から面上の一点の明るさを決めるモデルをシェーディングモデルという。平行光線の場合、物体上の任意の一点の明るさ L は入射光による拡散反射の輝度 L_d 、入射光の正反射による輝度を L_r 、周囲環境の散乱光を L_c とすれば、次の式で表すことができる。

$$L = L_d + L_r + L_c$$

この他に、物体が透明であれば透過光のよる輝度の影響を考慮することが必要である。このように、例えば、多面体を表現する場合、各面上の一点の明るさを求めた後、投影された面内部に対し塗りつぶしを行って、濃淡表現する。この面内全体一定の濃度で塗る方法をフラットシェーディングと呼ぶ。

一般には、曲面を表すには連続して変化する濃度で塗る必要があり、ピクセルごとに濃淡を計算し、多面体近似された曲面をグラディエーションをもった濃度にする方法をスムーズシェーディングと呼ぶ。曲面を近似的に多角形の小平面に分割し、各小平面ごとに、輝度と色の計算を行った後、適当な補間処理による内挿する方法である。つまり、隣り合う小平面の明るさを内挿法により求め、表面の滑らかさを表現する方法である。

b. テクスチャマッピング

三次元物体の表現はシェーディングで実現できるが、より現実感を深めるために、物体表面にテクスチャを描く手法があり、物体の表面の細かな凹凸や模様であるテクスチャを形状表面に張り付ける手法をマッピング法という。コンピュータによって、三次元物体の形状を作成し、同時に表面のテクスチャを発生させ、物体に写像すれば、物体の質感表現ができる。この手法をテクスチャマッピングという。

果実や動物の皮などの表面には細かな凹凸があり、凹凸部分のハイライト位置は光源や視点の位置によって、細かく変化する。このような表面の凹凸を立体モデルとして細かく表面を分割して形状データを作成することは作業が多く無駄が多い。物体の形状は外形を与えるにとどめ、その表面に細かな凹凸があるかのように表現する手法をバンプマッピングという。複雑な形状の物体でも少ない物体でも少ない形状データでよりリアル感のある表現が可能になる。

c. 隠面消去

対象とするモデルをディスプレイ上に表示する際には、手前に存在する物体またはその部分に隠された本来見えない面や線を消去する処理が必要となる。この処理を隠面処理といい、三次元 CG に不可欠な処理である。

・Z バッファ

Z バッファという二次元配列バッファを利用してピクセルごとに処理し、陰面消去を行う。視点から1つのピクセルを通して光線が発射されると、光線はその経路上にある物体のどれか1つに当たる。各物体に光線が当たると、その物体のZ方向の奥行きが計算されZバッファに貯えられる。つまり、光線が通ってきたピクセルに対応するZバッファのピクセルに記憶される。同じ光線が2つ目の物体に当たるとき、その物体のZ方向の奥行きが計算され、既にZバッファにある値と比較される。もし、新しい値が古い値より小さい(近い)場合、その古い(遠い)値は上書きされる。このように、Z バッファの各ピクセルで、異なる物体のZ 値を比較することで、すべてのピクセルについて、どの物体が手前のあるかを定めることができる。

・拡張Z バッファ法

Z バッファの他に、色相情報を、あるいは色相情報と輝度情報を記憶する拡張 Z バッファを用い、拡張 Z バッファとフレームバッファへの書き込みを制御する簡単な干渉演算器を設けることにより三次元図形の処理上の様々な機能が生み出される。

・スキャンライン法

数ある隠面消去アルゴリズムの中で、比較的処理量が少なく、高速処理に適している。この方式は視点から画面のスキャンライン（表示装置の走査線）への平行半直線群を延ばして物体との交点を求め、最も近い交点をスキャンライン上に表示し、それ以外は表示しない隠面消去法である。

d. レイトレーシング(Ray Tracing：光線追跡法)

基本原理は光線を1本の細い光線で表現する幾何光学の範囲で取り扱うとともに、人が物体を見る現象を光源から出た光線を追跡する観点からシミュレーションするものである。つまり、物体が置かれた空間内での光線の飛程を追跡し、光線と物体との交点情報からその物体を表現する方法である。

例えば、視点から円形の物体を眺めると、その視線は表示画面上の1画素を見る視線であり、この視線について、視線方向から入射してくる光線を逆に追跡していく方法である。円形の物体面に当たると、そこで反射光と透過屈折光の2つに分かれ、さらにその先をそれぞれ逆に追跡を進め、全ての画素につき適用する。この場合、視線上に物体があれば、その個々の物体に設定された色を画素上に重ねて色を表現する。レイトレーシングは光線と物体の交点情報を求めて色付けするという簡単なアルゴリズムであるが、反射、屈折、透過などを統一的に処理できる表現力豊かな手法であり、現実感のある高品質な画像を生成でき、アルゴリズムは物体の形状データ表現に依存しないという優れた特徴をもつ半面、処理速度が遅いという欠点がある。処理の高速化に関して、さまざまな改良がアルゴリズム・ハードウェア両面から進められている。

e. ラジオシティ(Radiosity)

すべての方向に一様に反射する拡散反射について正確に計算してリアルな画像を生成する手法のひとつで、陰の明暗の変化やあいまいな陰の表現ができるものである。形状の表面を幾つかの小平面に分割し、各小平面は光源光は何度か反射された後、最終的に各小平面はある明るさを持つ。小平面間のエネルギー授受の割合を示し、幾何学形状のみによって決まるフォームファクタ(Form Factor)を求めることが各小平面の輝度を求めることになる。フォームファクタ計算の近似方法として、Hemi-cube 法や線サンプリング法などが開発されている。