

レイマーチング法による円柱曲面・ オフセット曲面の表示

プロメテック CG リサーチ/東京大学名誉教授
西田友是

1. はじめに

光学設計, 光学シミュレーション, また CAD, CG, アニメーションなどの分野において, 曲面の処理・表示は不可欠である。光学設計あるいは CG (コンピュータグラフィックス) において, 光の経路を計算するなど種々の光学的効果を表現できるレイトレーシング法が有効で, GPU の進化によりリアルタイムレンダリングが実現できるようになった。類似した方法としてレイマーチング法がある。この方法は視線を段階的に進み物体との交点を計算するが, この際視線上の計算点 (サンプリング点) と物体との最小距離を利用して交点を抽出する。球や多角形などの基本立体の距離計算は容易だが, 曲線・曲面の場合の距離計算は困難とされている。本稿ではベジエ曲線およびベジエ曲面からのオフセット距離をベジエ関数で表現し, その距離関数の制御点からレイ上のサンプリング点までの最短距離の計算を行う方法を紹介する。

2. 基本的な考え方

基本的なレイトレーシングでは, レイをまっすぐ伸ばして物体と交差しているかどうかを判定する。レイマーチングでは, レイ上を段階的に進め, 各物体との最短距離が十分に小さくなった時点で交差していると判断する。他方, 雲, 大気散乱の効果を計算するには視線上の粒子の散乱・減衰計算を要す。この方法では, 視線上のサンプル点の粒子密度 (光学的距離の計算) の計算にもレイマーチング法が用いられる。この場合はサンプル点の進行は, 等間隔あるいは密度に依存した間隔となる。こうした散乱光の方法は, 筆者が発表した光跡 (1987), 大気散乱, 雲, 空の色 (1991) の計算などに用いられている。曲面について考えるとレイトレーシング法の場合, 有理ベジエ曲面表示は既に開発されている。ただ, 円柱曲面・オフセット曲面の表示は困難である。これに対応するため本稿では前者の距離関数に依存する方法として, レイマーチングの手法のひとつであるスフィアトレーシング (球面レイトレーシング) に属し, 段階的にレイを伸ばして物体との交差 (進み距離が 0 に近づく) を判定する方法を論じる。光学分野では透過 (屈折), 反射が重要で形状としてはレンズや反射鏡が重要で, 球面や放物面が重要である。球面などの基本形ではなく任意の自由曲面に対してはレイトレーシングやレイマーチング法は適用しにくい。なぜなら一般には, 物体からの距離関数 SDF (符号付き距離場) を利用されるが (球は点からの距離, 円柱は線分から距離のように比較的単純に距離を計算できる。), 次の曲面には対応できないとされている。円柱曲面 (generalized cylinder) はスケルトン曲線からのオフセット (法線方向への変位) で表現される曲面である。またベジエ曲面から一定値変位させたオフセット曲面を定義することができる。こうした曲面は, もはやベジエ曲面ではなく, レイとの交差判定は難しいとされている。なお, オフセットは一定ではなく場所ごとに変化するオフセットも可能とする。レイマーチング法では, 物体と視線上の点との距離計算が基本であるが, 物体が曲線・曲面の場合の計算が困難である。

本稿では, 曲線から一定の太さをもつ円柱曲線 (図 1) に注目する。中心線 (スケルトン曲線) はベジ