コンピュータグラフィックス

第8回

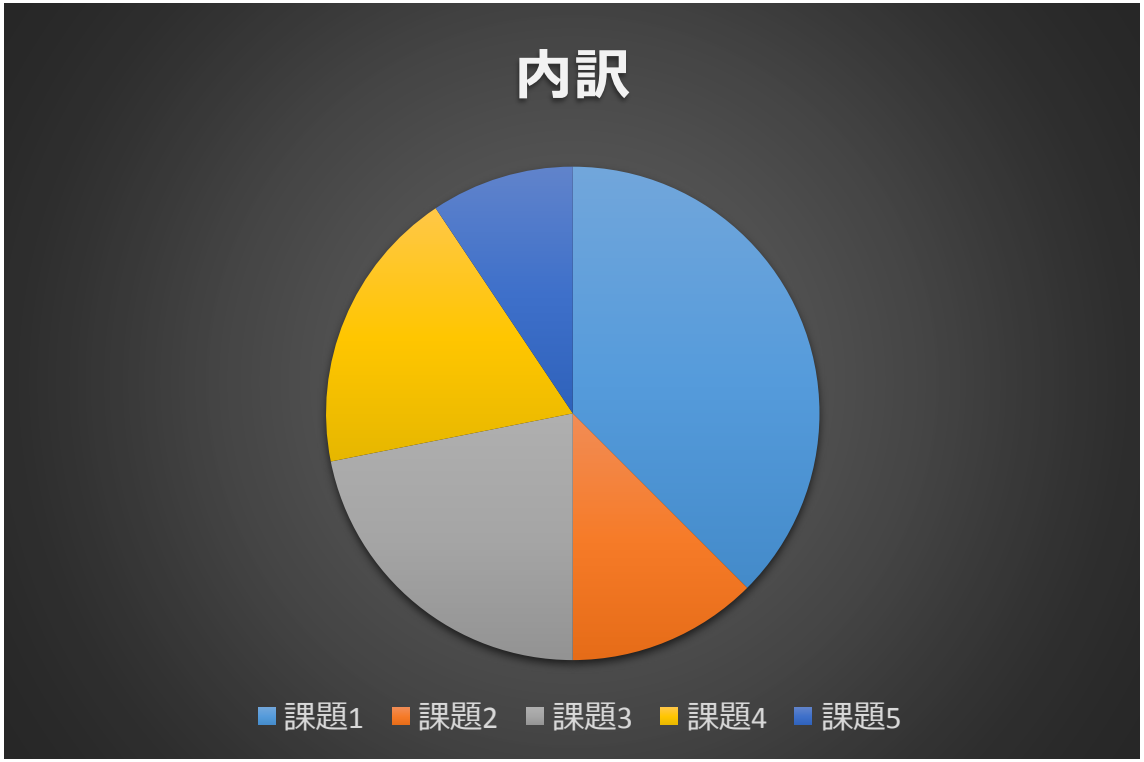
レンダリング技法１

～基礎と概要，隠面消去～

理工学部　兼任講師
藤堂 英樹

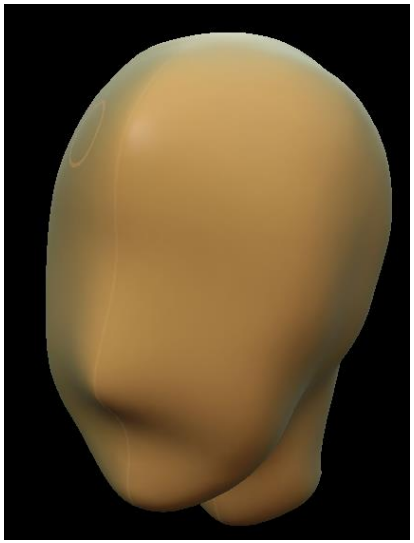
レポート提出状況

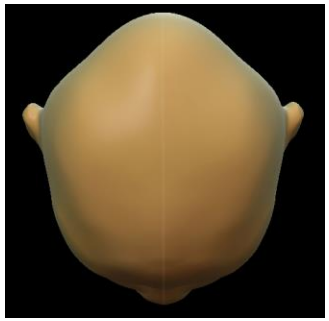
- 課題1の選択が多い(STAND BY ME ドラえもん)
- 体験演習型(課題3，課題4)の選択も多い

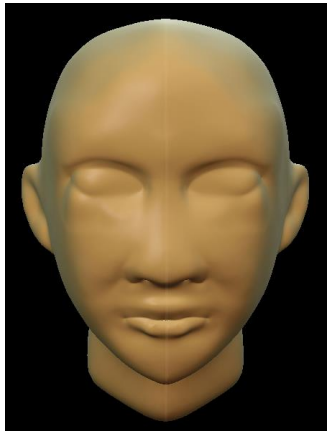


次回レポートの体験演習型

- メタセコイア，またはSculptrisをインストールし，形状をデザインしなさい

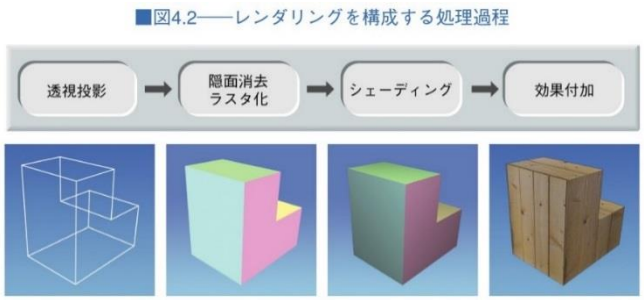


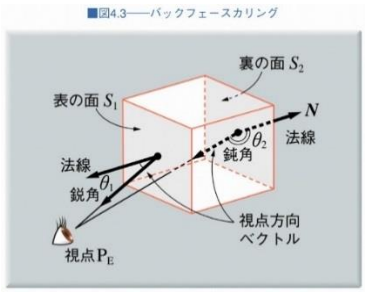


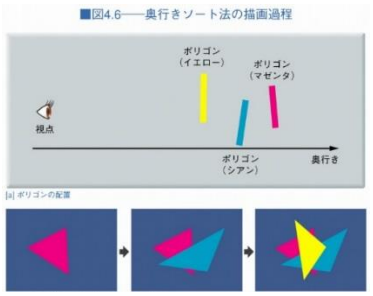


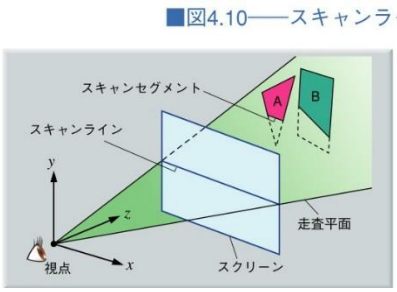

本日の講義内容

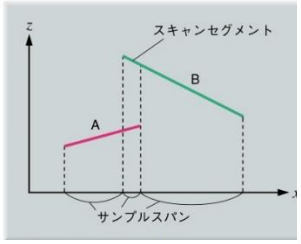
- レンダリング技法 1
  - レンダリング処理概要
  - 隠面消去

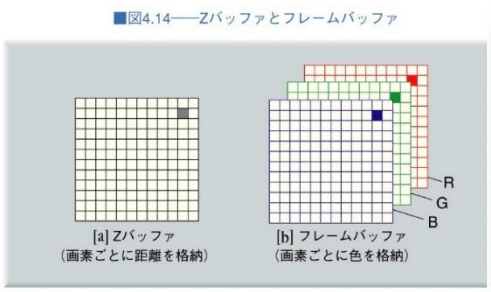


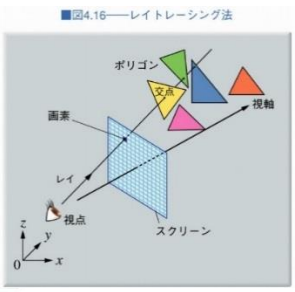












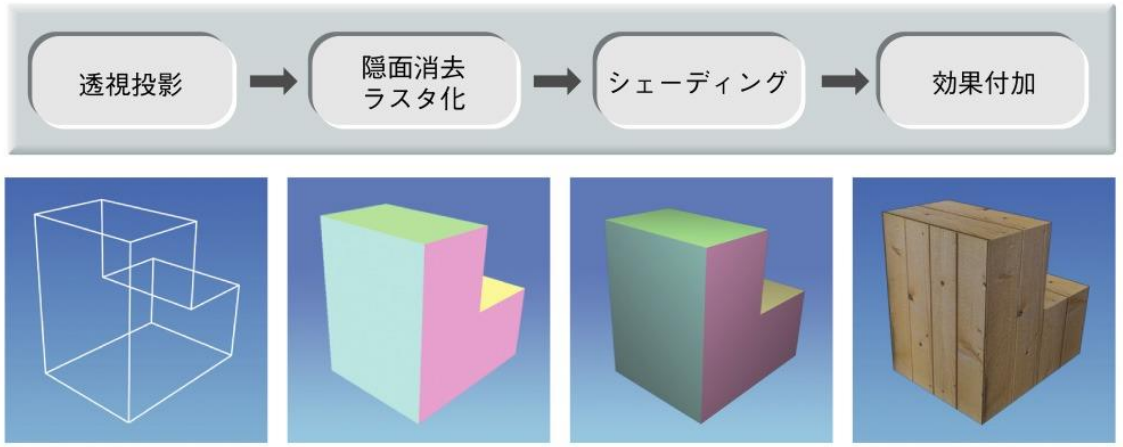
レンダリングの基礎

- レンダリング
  - ３次元シーンを入力とした**描画処理**
  - 入力：３次元物体，カメラ，光源情報
  - 出力：画像

レンダリングを構成する処理

- 投影変換 (CG のための数学的基礎 2 参照)
  - 透視投影，平行投影等
- 隠面消去(今回の講義で説明)
  - 見えない面を消す処理
- シェーディング
  - 質感の表現
- 効果付加
  - テクスチャ

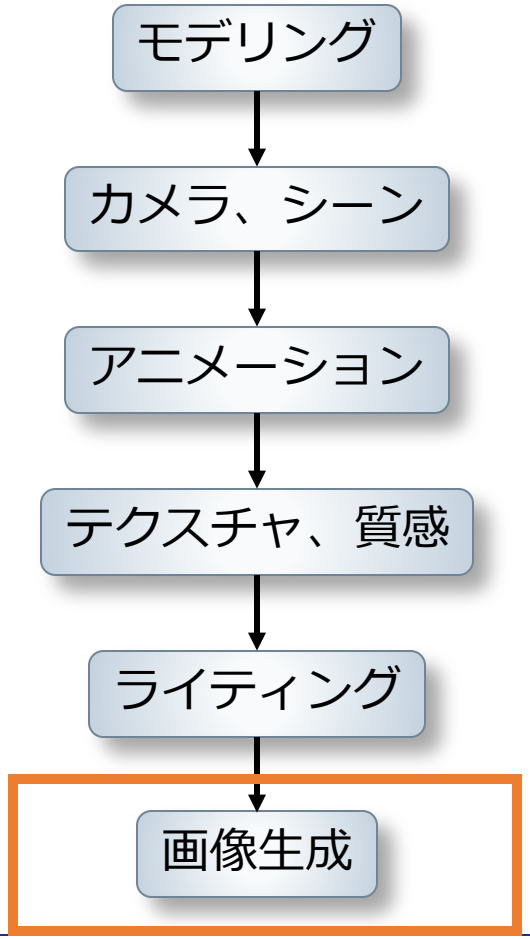
■図4.2――レンダリングを構成する処理過程



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

CG制作の主なワークフロー

- 3DCGソフトウェアの場合



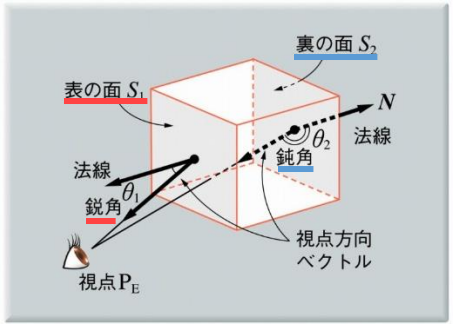
レンダリング関連

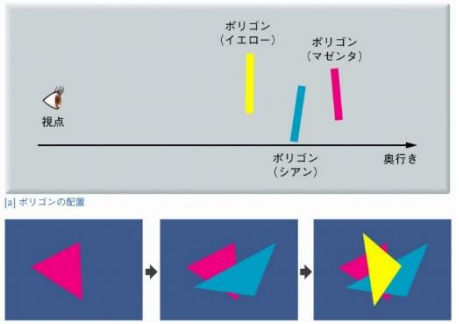
- 実写においてはカメラがその役割を担当
  - 1. カメラでの撮影
  - 2. **奥行関係が自然に撮影**される
  - 3. 写真，ビデオの形で**画像，映像を出力**

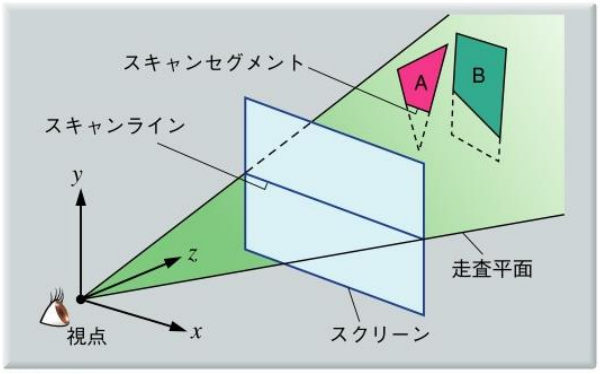
- コンピュータでは
  - 1. カメラでの撮影⇒投影変換
  - **2. 奥行関係が自然に見えるよう工夫**する必要がある
  - 3. コンピュータ上で画像，映像を出力

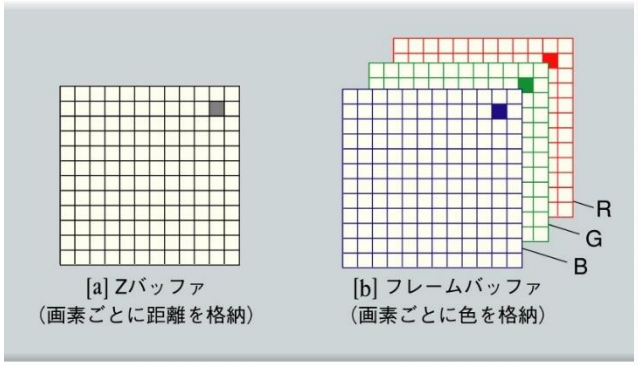
隠面消去

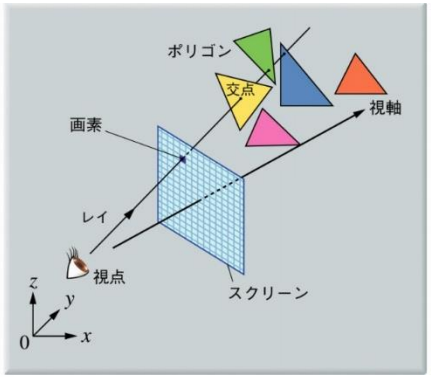
- バックフェースカリング
- 奥行きソート法
- スキャンライン法
- Zバッファ法
- レイトレーシング法





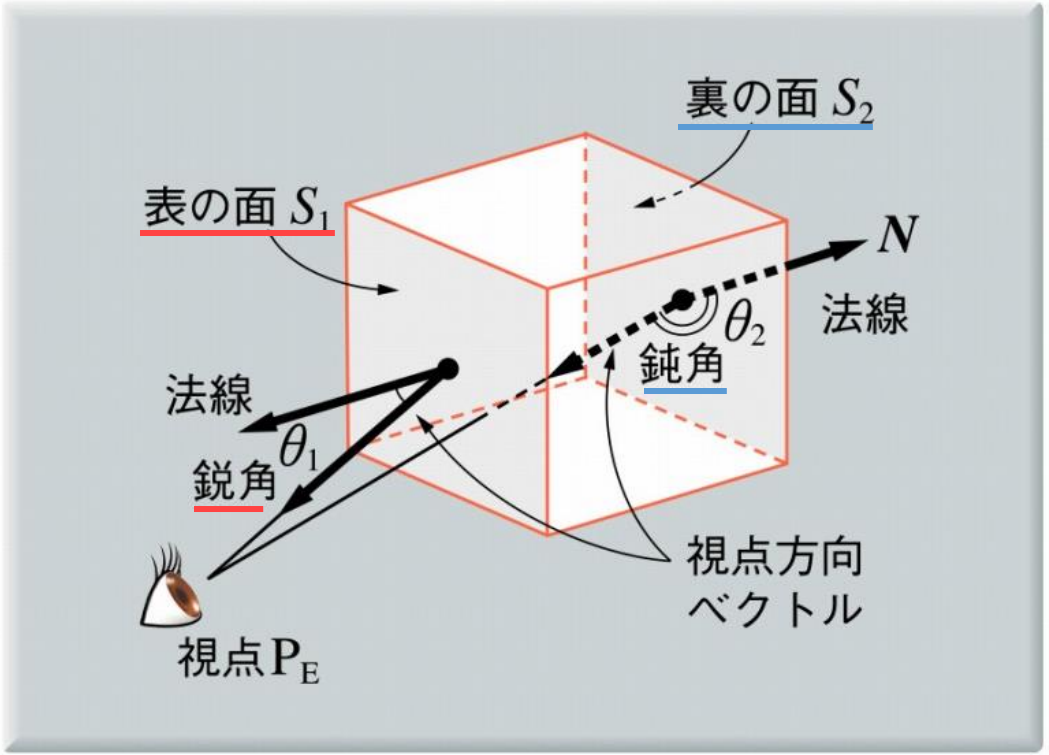






バックフェースカリング

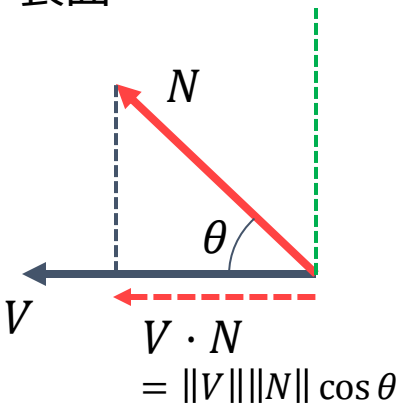
- 3次元形状の**表を向いている**面だけを描画
  - 視点から見た時に反対方向の面を除去
  - 視線(視点方向ベクトル)と法線のなす角で判定
    - 鋭角⇒表面
    - 鈍角⇒裏面



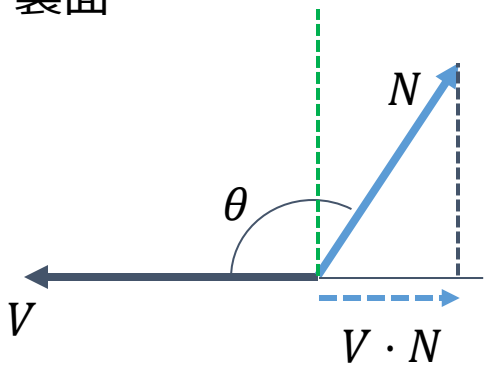
バックフェースカリング

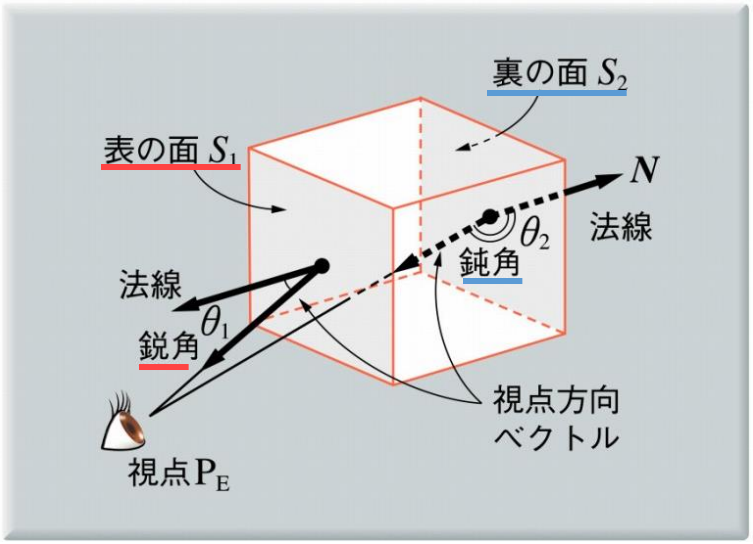
- 視線と法線のなす角で判定
  - 視線 V, 法線 N
  - 判別式: $D_f = V \cdot N$
    - $D_f > 0$⇒表
    - $D_f < 0$⇒裏

表面



裏面



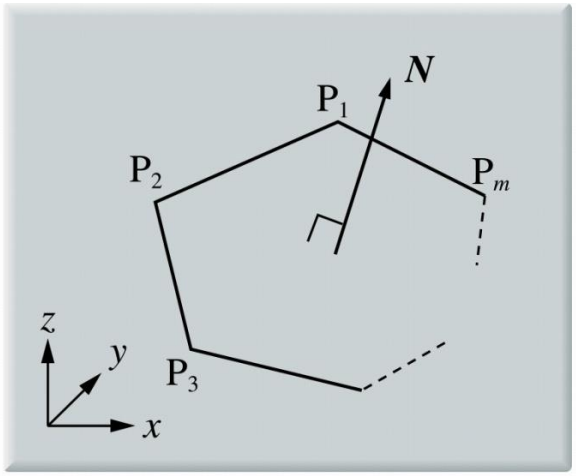


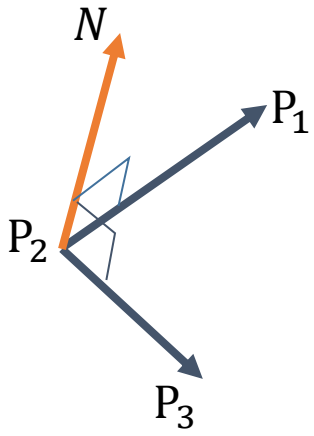
法線ベクトルの算出

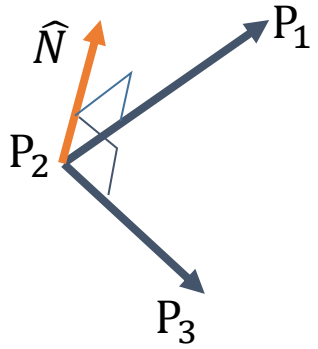
- 面を構成する頂点から計算
  - 頂点列 $\mathrm{P}_i(i = 1,2,\ldots,m)$
  - 任意の３頂点 $\mathrm{P}_i, \mathrm{P}_j, \mathrm{P}_k$を選ぶ
  - 外積による法線ベクトルの計算
    - $N = (P_i - P_j) \times (P_j - P_k)$
    - 単位法線 $\hat{N} = \frac{N}{\|N\|}$

$$n_x = (y_i - y_j)(z_j - z_k) - (z_i - z_j)(y_j - y_k)$$
$$n_y = (z_i - z_j)(x_j - x_k) - (x_i - x_j)(z_j - z_k)$$
$$n_z = (x_i - x_j)(y_j - y_k) - (y_i - y_j)(x_j - x_k)$$

$$\frac{N}{\|N\|} = \frac{N}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2}}$$

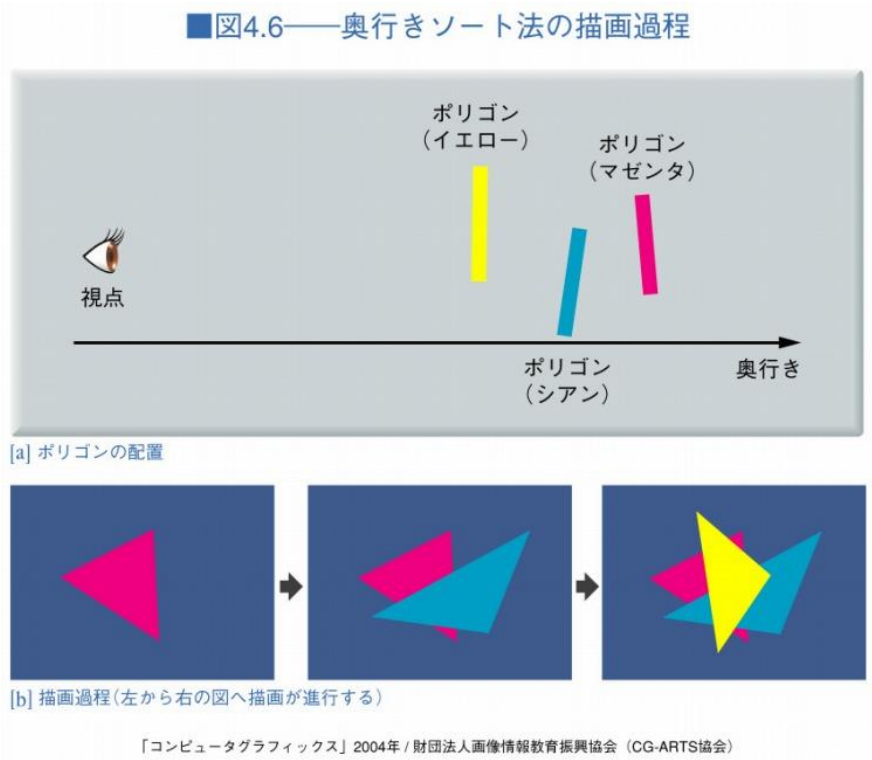


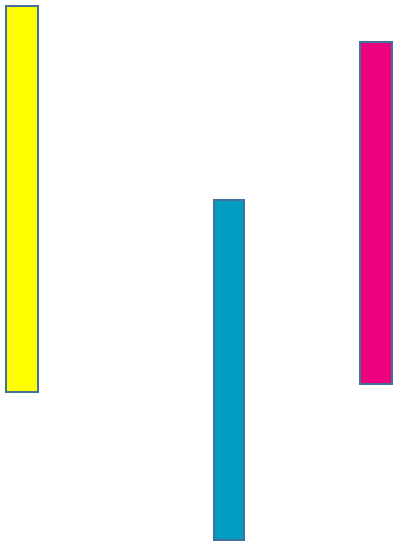




奥行きソート法

- 奥行きの順番に面を描いていく方法
  - 奥行きの順番に面を**ソート**する
  - ポリゴンの**重心**を奥行き情報にする

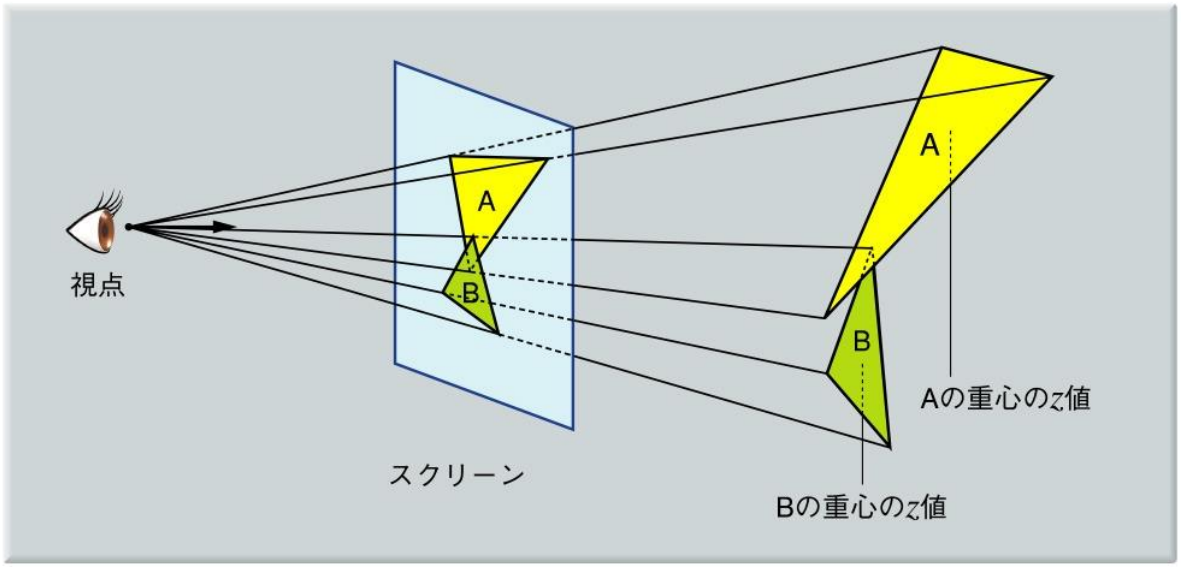


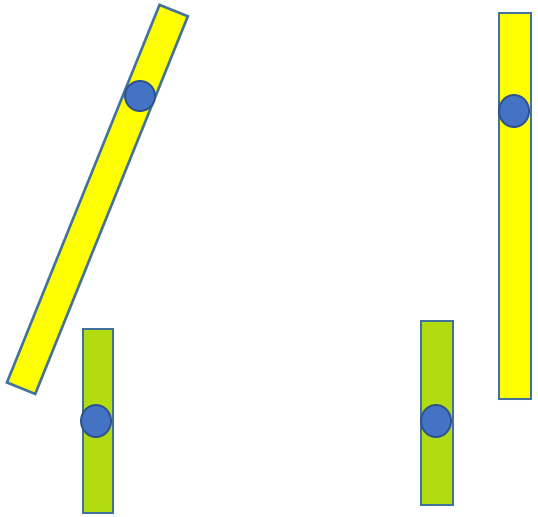


奥行きソート法

- 失敗する例
  - ポリゴン単位より**細かい判定ができない**

■図4.7——優先順位をポリゴンの重心で定めた場合に隠面消去に失敗する例





奥行きソート法

- 失敗する例
  - ポリゴン単位より**細かい判定ができない**

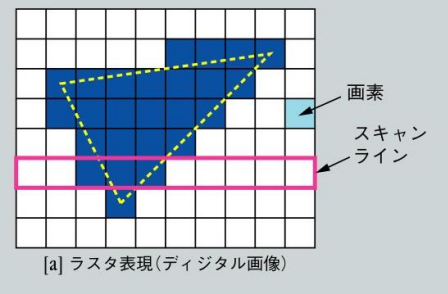
■図4.9——可視性の優先順位が決定できない場合

[a] 三すくみの場合　[b] 貫通している場合　[c] 凹ポリゴンの場合

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

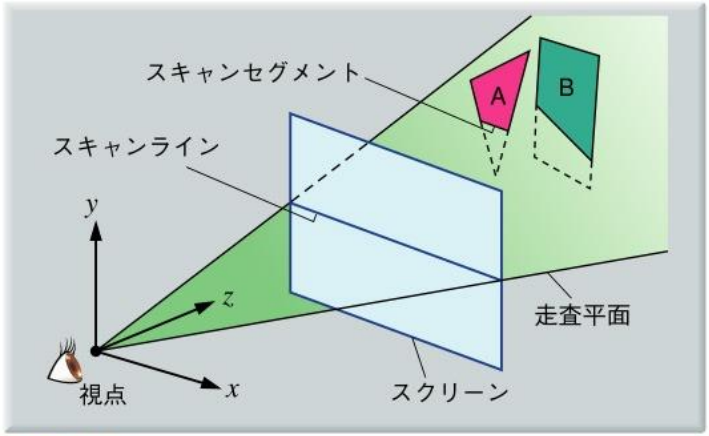
スキャンライン法

- **スキャンライン**に沿って隠面消去
  - 走査平面: **視点**と**スキャンライン**で構成される平面
  - **スキャンセグメント**：
    - ポリゴンと**走査平面**の交差線分
  - スキャンセグメントの前後関係で可視判定

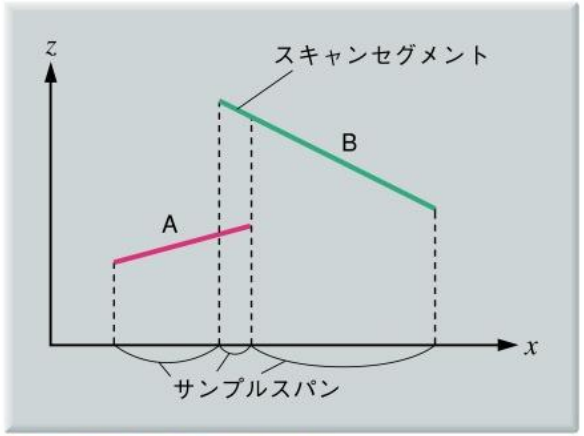


[a] ラスタ表現（ディジタル画像）

■図4.10——スキャンラインアルゴリズム



[a] 走査平面

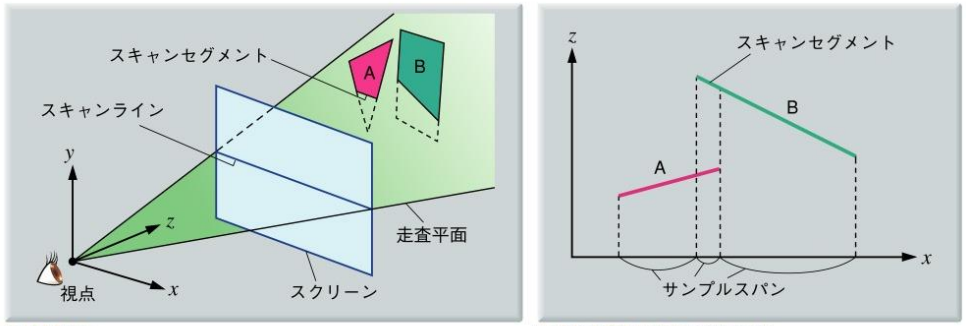


[b] 奥行き判定（走査平面断面図）

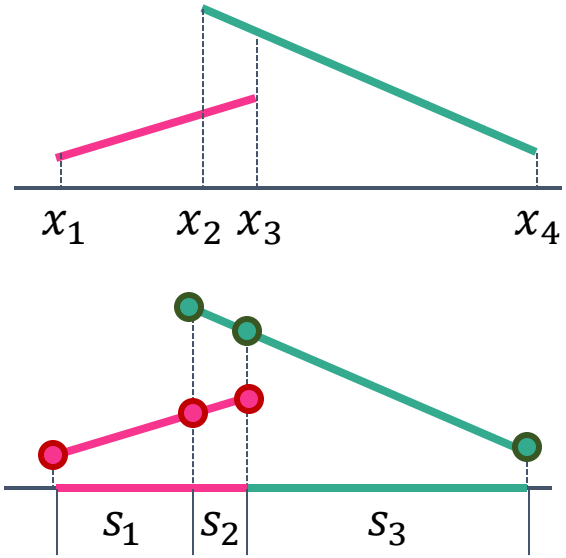
スキャンライン法

- スキャンセグメントの前後関係で可視判定
  - x軸ソート: 端点をx座標の小さい順にソート
  - サンプルスパン: ソートした端点のサンプリング区間
  - **サンプルスパン毎**に見えるセグメントを判定

■図4.10——スキャンラインアルゴリズム



[a] 走査平面　[b] 奥行き判定（走査平面断面図）



スキャンライン法の描画過程

- スキャンラインを上から下へ順番に移動
  - スキャンライン毎にスキャンセグメントの可視判定

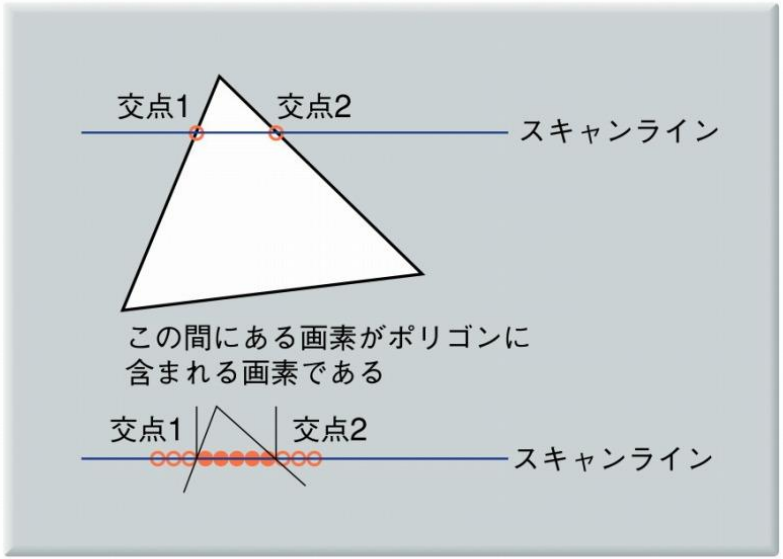
■図4.11――スキャンライン法の描画過程
（ポリゴンの配置は図4.6[a]と同じ。左から右の図へ描画が進行する）

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

ポリゴンの走査変換

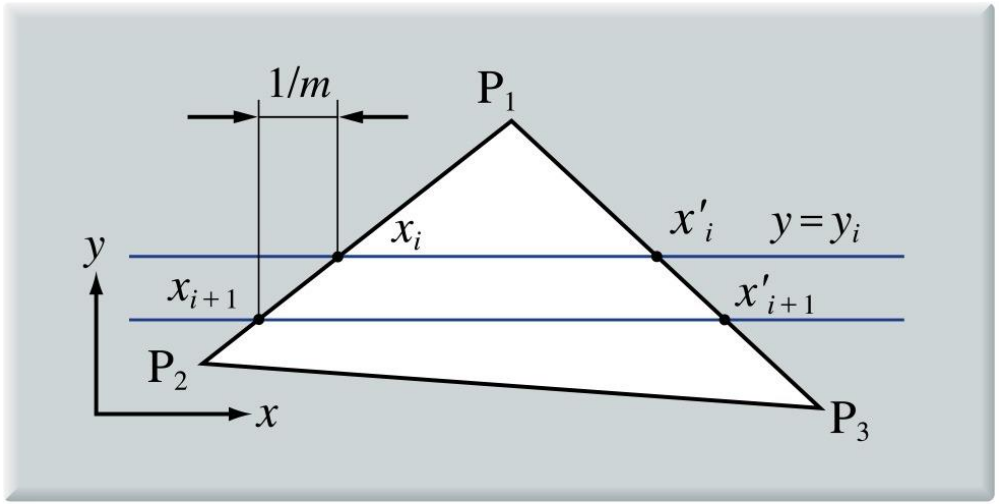
- スキャンラインとポリゴンの交点の計算
  - **増分法**を用いた効率の良い計算
    - y方向の増分の計算: $x_{i+1} = x_i + \Delta x$
    - 増分の幅: $\Delta x = -\frac{1}{m}$ (mは辺の傾きを表す)

■図4.12——三角形の走査変換



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.13——増分法による交点の算出

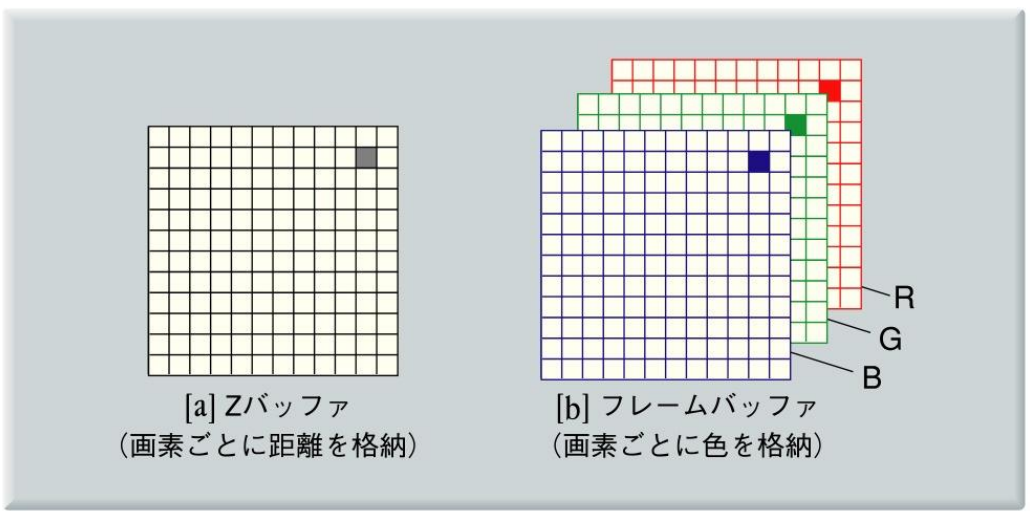


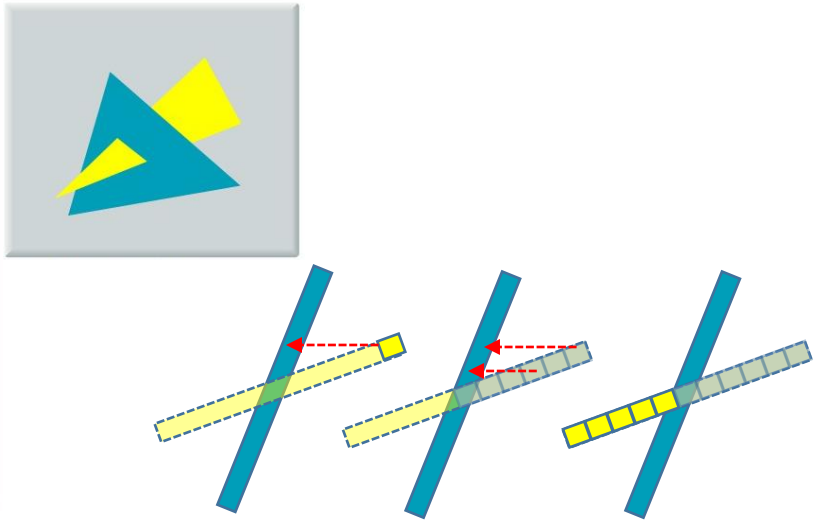
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

Zバッファ法

- 画素毎に奥行き判定を行い隠面消去
  - Zバッファ: 画像の奥行き情報を保存した一時領域
  - フレームバッファ: 画素毎に色を格納

■図4.14——Zバッファとフレームバッファ





「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

Zバッファ法の特徴

- アルゴリズムが簡単でハードウェア化しやすい
  - **GPU**による高速なZバッファ処理
  - OpenGL, DirectX等の**3D APIで標準サポート**
    ⇒多くのソフトウェアで利用されている

Maya Shader FX © Autodesk

- 映像制作
  - デザイン時の**プレビュー**

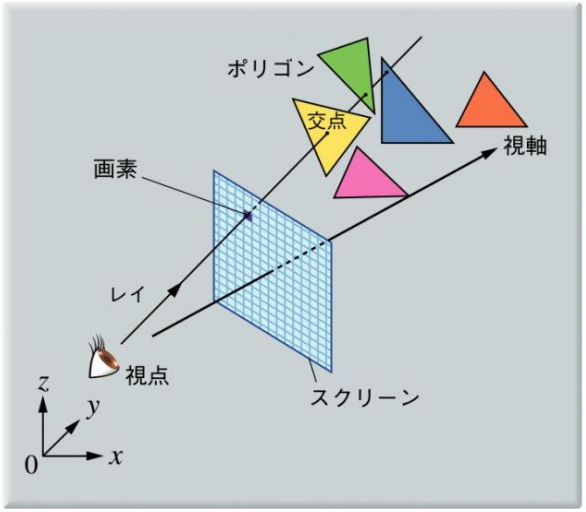
- ゲーム制作
  - ゲーム中の**高速な描画**

Angry Bots © Unity

レイトレーシング法

- レイ(視線)と物体の交差判定による隠面消去
  - **光線追跡法**とも呼ばれる
    - 反射・透過・屈折を扱える
  - **画素毎**にレイを計算
  - レイと**最初に交差するポリゴン**を求める
  - そのポリゴンの色で画素を塗る

■図4.16——レイトレーシング法

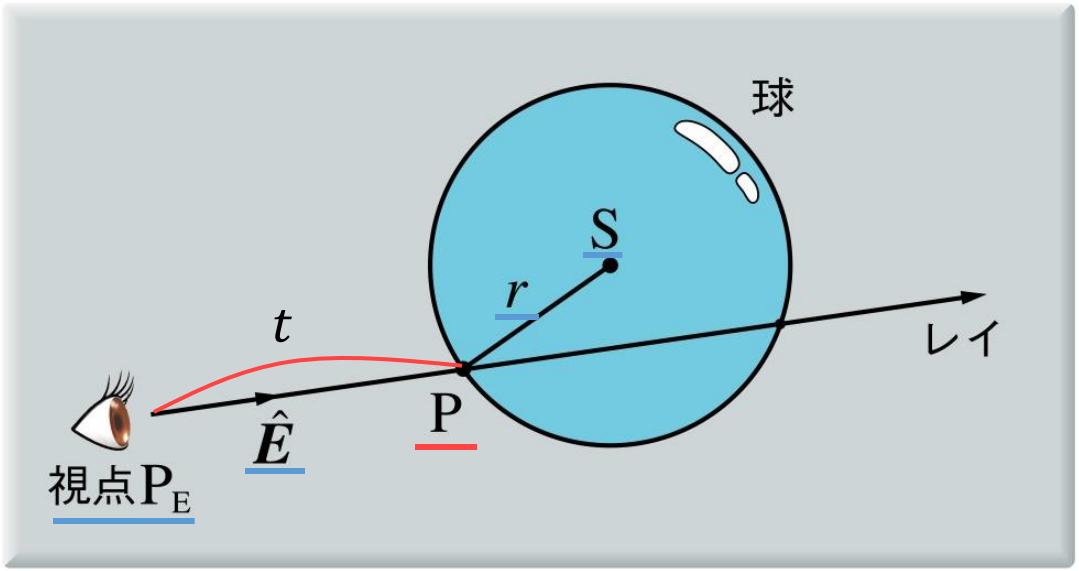


Optix Ray Tracing Engine
© NVIDIA

レイと球の交差判定

- 入力: 視点P_E, レイ$\hat{E}$, 球の中心 S, 半径r
- 出力: 視点からの距離t, 一番手前の交差点 P

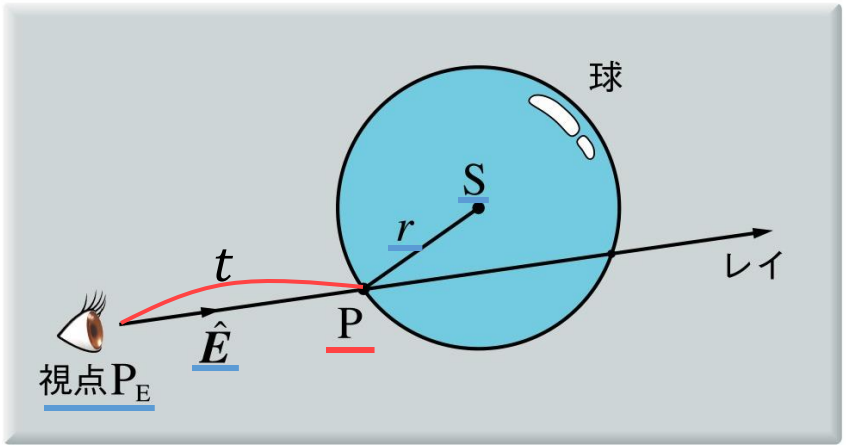
■図4.17——レイと物体との交差判定



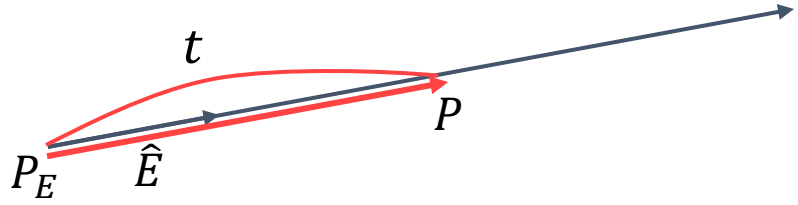
レイと球の交差判定

- レイ上の点の方程式
  - $P = \hat{E}t + P_E$
- 球面上の点の方程式
  - $\|P - S\| = r$

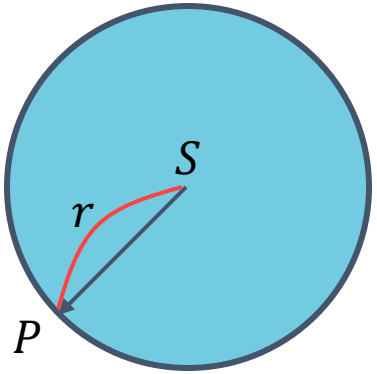
■図4.17――レイと物体との交差判定



レイ上の点の方程式



球面上の点の方程式

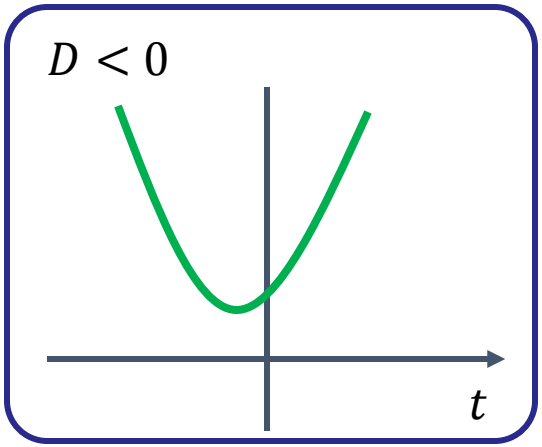


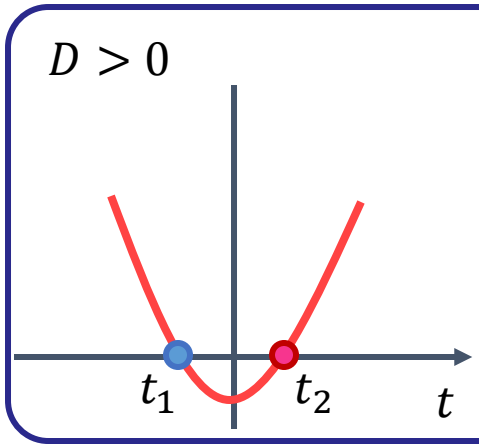
レイと球の交差判定

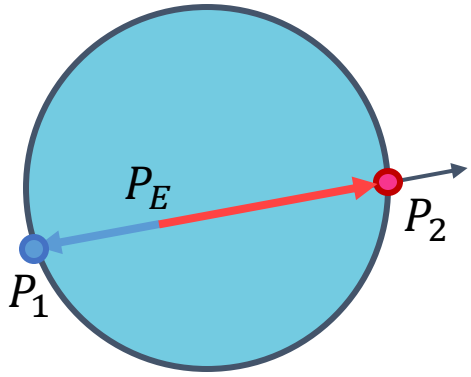
- 方程式の解
  - $P = \hat{E}t + P_E$ (1)
  - $\|P - S\| = r$ (2)
  - (2)の両辺を２乗
    - $(P - S) \cdot (P - S) - r^2 = 0$ (3)
  - (3)に(1)を代入して整理
    - $at^2 + 2bt + c = 0$ (4)
    - $a = \|\hat{E}\|^2 = 1$
    - $b = \hat{E} \cdot (P_E - S)$
    - $c = \|P_E - S\|^2 - r^2$
  - (4)を解いてtの値を求める

レイと球の交差判定

- (4)を解いてtの値を求める
  - $at^2 + 2bt + c = 0$ (4)
  - 判別式: $D = b^2 - ac$
    - $D > 0$: レイは球と交差
  - tの解の種類
    - $t < 0$: 交点が視点の背後にある
    - $t > 0$の解の内もっとも小さいものを交点とする

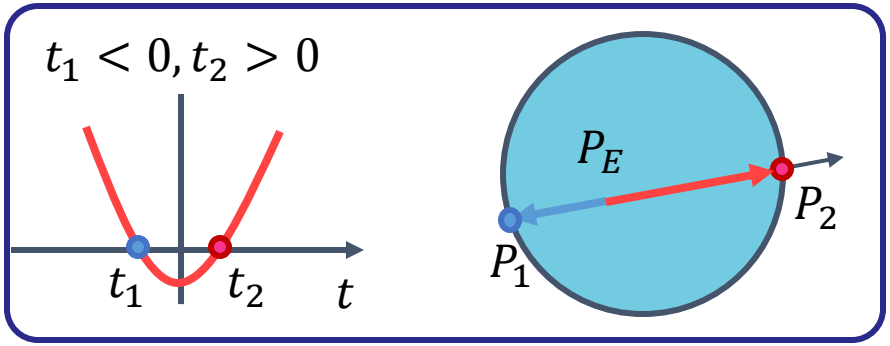


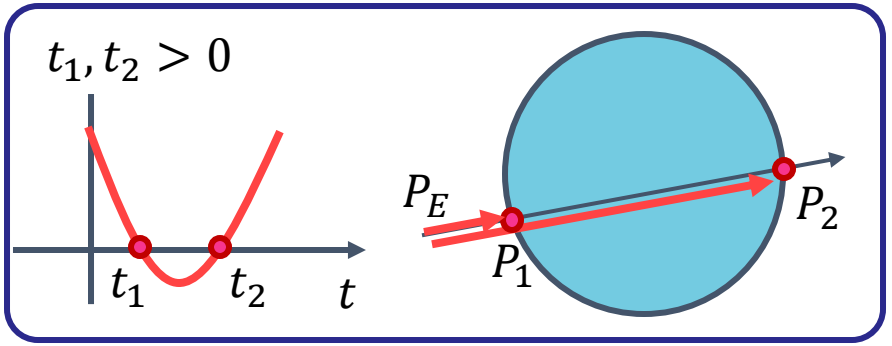




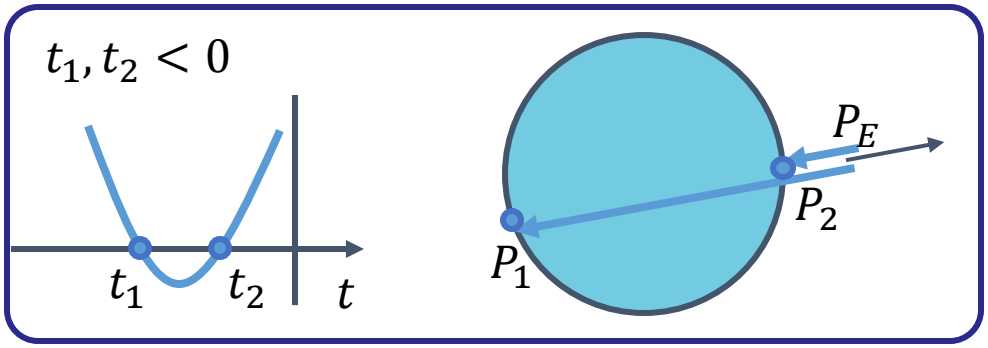
レイと球の交差判定

- tの解の種類
  - 可視点が存在する場合



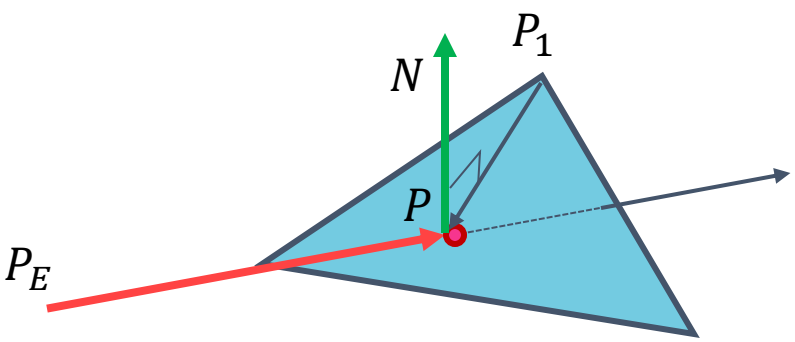


  - 可視点が存在しない場合

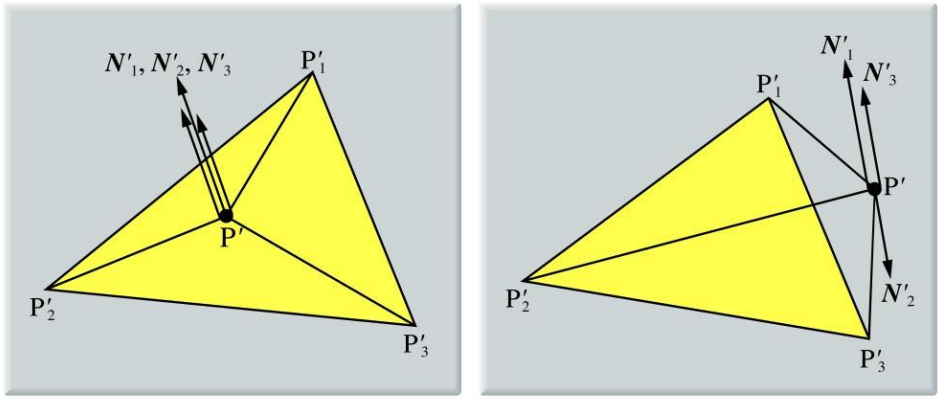


レイとポリゴンの交差判定

- **三角形ポリゴン**との交差判定
  - ポリゴンを含む**平面とレイとの交点**を求める
  - 交点が**ポリゴン内部**にあるかを判定



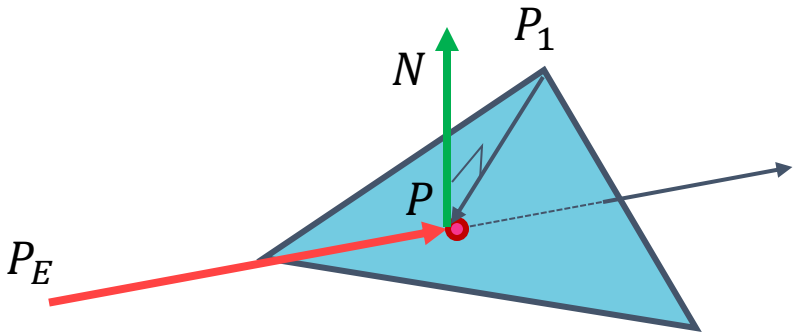
■図4.20——外積の方向を用いた点の内外判定



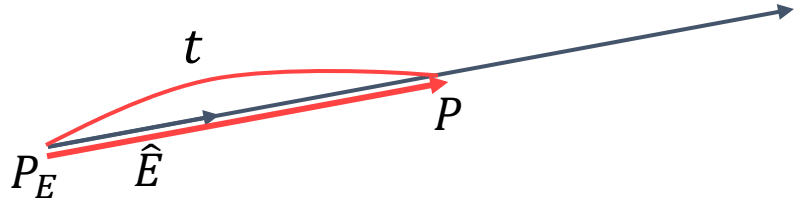
[a] P′が内部の場合　[b] P′が外部の場合

レイとポリゴンの交差判定

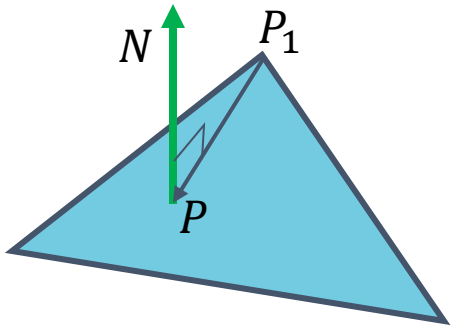
- レイ上の点の方程式
  - $P = \hat{E}t + P_E$
- 平面上の点の方程式
  - $(P - P_i) \cdot N = 0$



レイ上の点の方程式

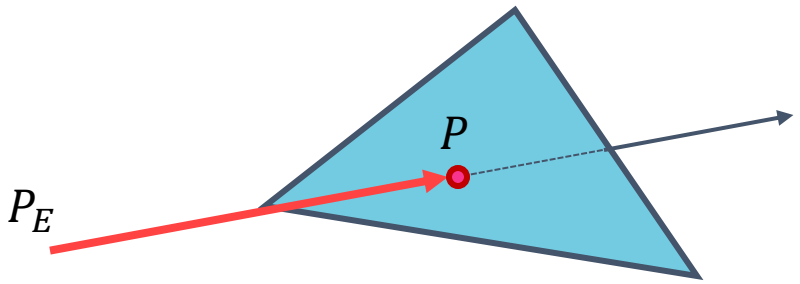


平面上の点の方程式



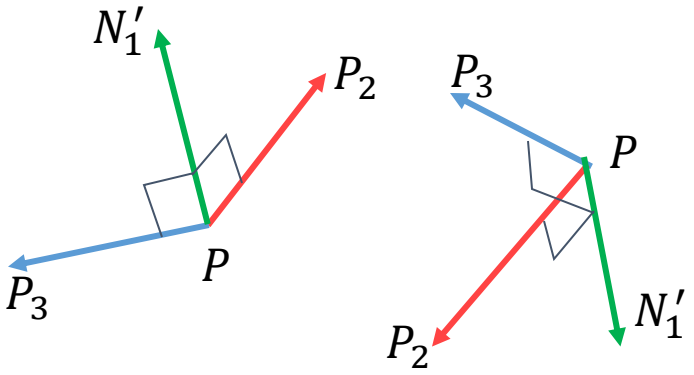
レイとポリゴンの交差判定

- 方程式の解
  - $P = \hat{E}t + P_E$ (1)
  - $(P - P_i) \cdot N = 0$ (2)
  - (2)に(1)を代入
    - $t = -\frac{(P_E - P_i) \cdot N}{\hat{E} \cdot N}$
  - 球の時と同様に$t > 0$の時に可視点となる

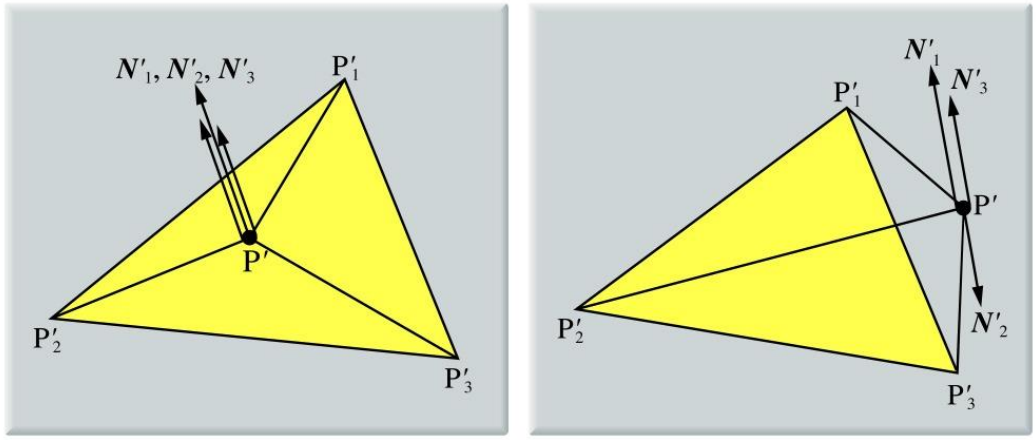


レイとポリゴンの交差判定

- ポリゴン内部にあるかを判定
  - 点とポリゴンの各頂点を結ぶ**ベクトルの外積**を利用
    - $N_i' = (P_{i+1}' - P') \times (P_{i+2}' - P')$
    - 時計周りか反時計周りかで**向きが逆転**
    - **全て反時計周り:内部にある**
    - １つでも時計周り:外部にある



■図4.20——外積の方向を用いた点の内外判定

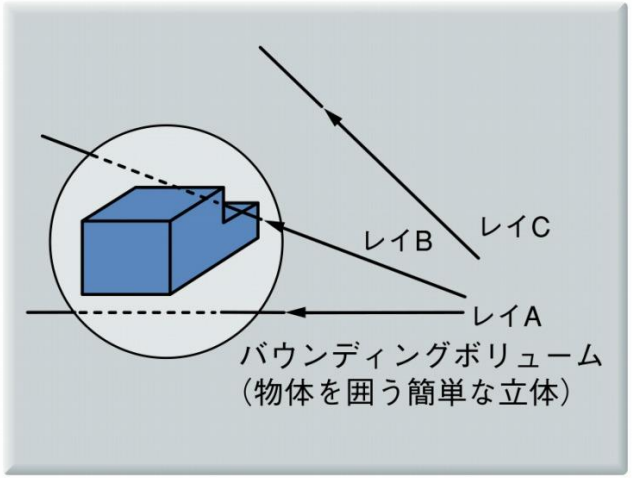


[a] P′が内部の場合　[b] P′が外部の場合

レイトレーシング法の高速化

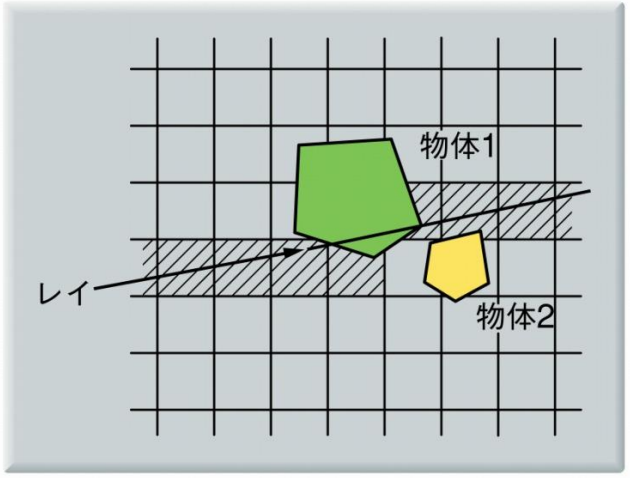
- 画素毎に交点計算を必要とするため時間がかかる
  ⇒さまざまな高速化が提案されている
  - バウンディングボリューム
  - 空間分割法
  - 並列計算

■図4.22――バウンディングボリュームを用いた高速化



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

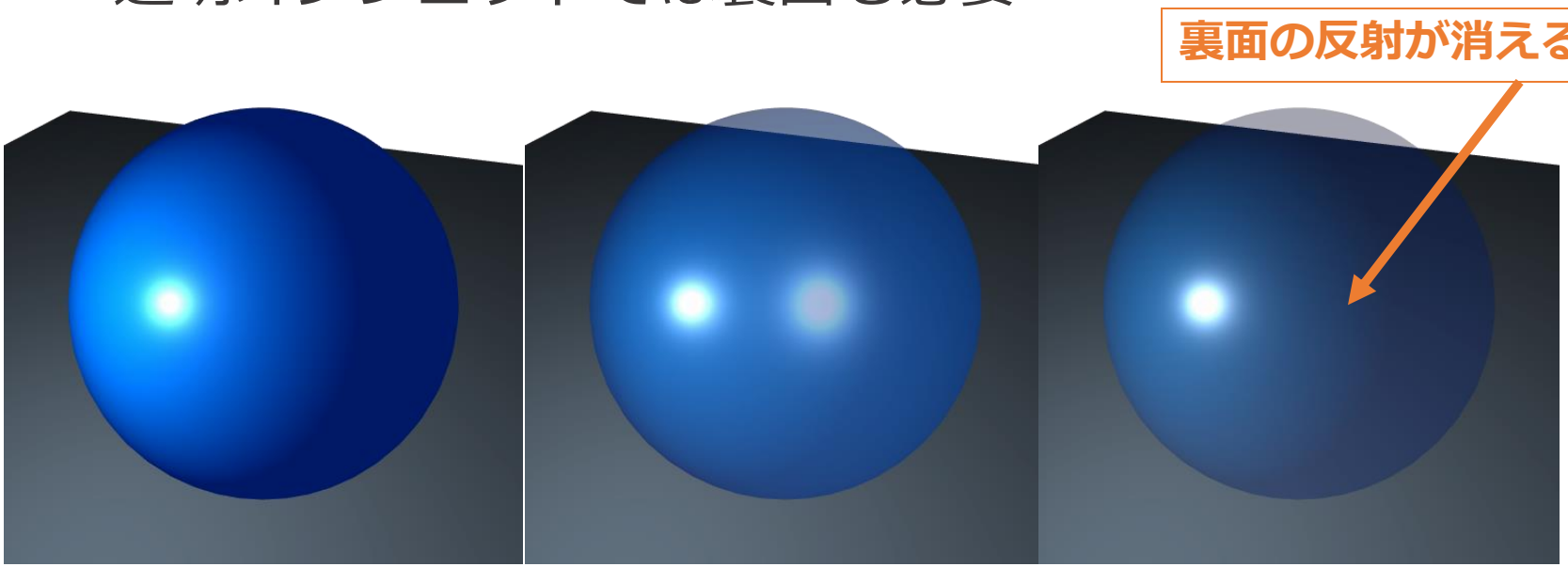
■図4.23――空間分割法による高速化



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

CG制作での隠面消去

- バックフェースカリング
  - 効果的に描画するポリゴン数を削減できるが…
  - 透明オブジェクトでは裏面も必要



透明度0の球

透明度0.7の球

透明度0.7の球
+バックフェース
カリング

CG制作での隠面消去

- 奥行ソート
  - アニメによく見られる眉毛が髪の前にある表現

SurfacePiercing
© Sakana-Ya

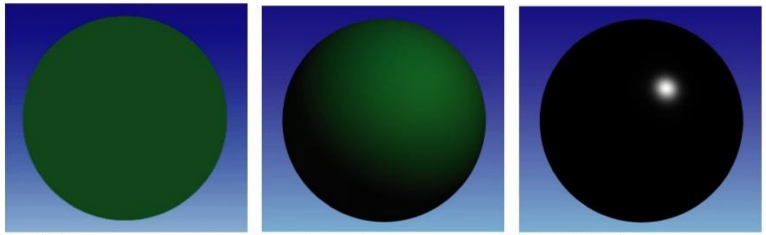
CG制作での隠面消去

- スキャンライン
  - Zバッファとレイトレーシングの中間
    ⇒CG制作では選択しづらい
- Zバッファ
  - CGソフトウェアの**プレビュー表示**
  - ゲーム中の**高速な描画**
- レイトレーシング
  - 最終用の**高品質な映像**
  - **最近は高速化**も進んでいる

次回

- レンダリング技法2
  ～シェーディング，マッピング ～

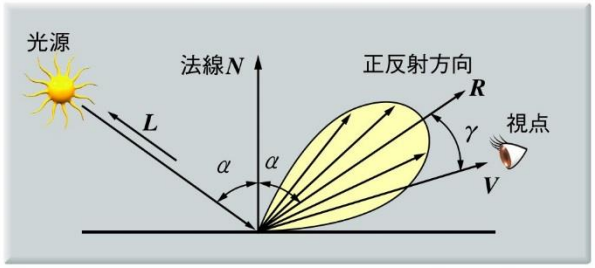
■図4.29——環境光による反射，拡散反射，鏡面反射の各成分



[a] 環境光　[b] 拡散反射光　[c] 鏡面反射光

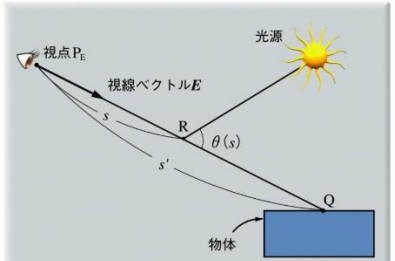
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.38——鏡面反射光



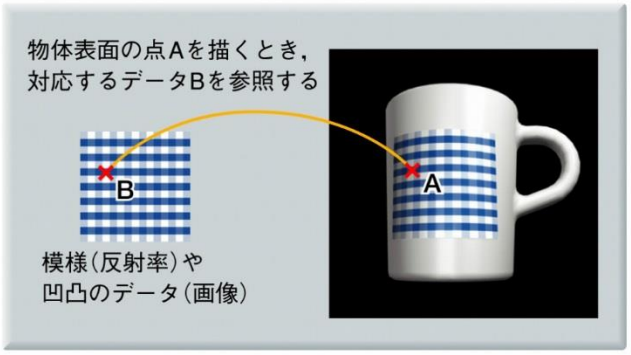
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.44——散乱粒子による光の散乱



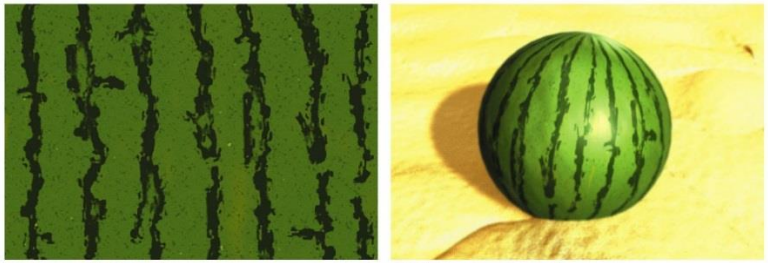
「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.64——(2次元)マッピングの考え方



「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.67——極座標変換を用いる方法によるテクスチャマッピングの例



[a] すいかの模様の画像　[b] 球面へのマッピング

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）

■図4.79——環境マッピングによる画像

「コンピュータグラフィックス」2004年 / 財団法人画像情報教育振興協会（CG-ARTS協会）