

「情報処理学会論文誌」第27巻第11号別刷 昭和61年11月発行

## 局所レイトレーシングによる陰影表示法

中前 栄八郎 多田村 克己 西田 友是

## 局所レイトレーシングによる陰影表示法†

中前 栄八郎\*\* 多田村 克己\*\*\* 西田 友 是\*\*\*

本論文は、光の鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体を含む画像を表示するための手法として、処理の速いスキャンライン法を基本とし、局所的にレイトレーシング法を適用する手法を提案するものである。レイトレーシング法は、光の鏡面反射・屈折を考慮することが可能なことや、各種形状の物体を取り扱えるメリットがある一方、一般に探索する光線と物体との交点を求めるために膨大な計算時間を必要とする欠点がある。そこで、外接箱 (bounding box) を用いてこの計算量を削減する手法が開発されている。しかし、この手法は、光源数が増すにつれ、影の計算時間が大きな割合を占める欠点がある。これらの問題を解決し、光の鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体を含む画像を高速に表示するために、次のような特徴を持つ手法を提案する。1) レイトレーシング法は鏡面反射や屈折を考慮する物体のみに適用する。この際、可視面 (視点からの光線と最初に交わる面) は、スキャンライン法によって容易に求められるから、レイトレーシング法を適用する領域を容易に局所化することができる。2) レイトレーシング法を適用する際の視点からの光線の探索および影の処理に、外接箱と影空間 (shadow volume) を用いる。これにより、計算点に他の物体が影を落とすか否かの判定を高速化できる。

## 1. はじめに

近年、コンピュータグラフィックスは様々な分野において活用され、身近なものとなってきている。そうした情勢の中でより現実に近い画像を表示するための努力が払われており、これまでに種々の3次元物体の隠面消去アルゴリズムが開発されてきた。その代表的なものに、レイトレーシング法、Z-バッファ法、スキャンライン法がある。レイトレーシング法は光線の鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体の表示に適している。その反面、追跡する光線と最初に交わる物体との交点の計算に多大の時間を費やす欠点がある。その原因は、隣接する画素間においては、多くの場合急激には画像が変化しないという画像の空間一様性を考慮しにくい点にある。

これに対して、Z-バッファ法、スキャンライン法は、画像の空間一様性を考慮しており、レイトレーシング法よりも高速に処理が行える。Z-バッファ法は、アルゴリズムは簡単であるが、視点に対する図形の奥行きに関する判定に主眼を置いた手法であり、光源に対する図形相互の位置関係を考慮していないので影の処理を行うには、アルゴリズムの変更を必要とする。スキャンライン法は、影の処理やエリアシングの除去処理をアルゴリズムの中に容易に組み込める長所があ

るが、アルゴリズムが複雑なのが欠点である。また、Z-バッファ法、スキャンライン法とも光の鏡面反射・屈折を表現しにくい短所がある。

レイトレーシング法の最大の問題点である、膨大な光線と物体との交点計算量を減らす方法として、Octree と呼ばれる階層構造で、物体の存在する空間を各直方体中に適当な数の物体が含まれるまで分割し、交点計算の回数が少なくてすむ方法<sup>1)</sup>が開発された。また、画像空間を等分割し、3次元直線発生器を用いて光線と交差する立方体を高速に選ぶ方法<sup>2)</sup>が開発された。その他、いくつかの物体を囲む外接箱 (bounding box) を用いて、物体を階層構造化し、交点の計算量を減らす方法<sup>3)</sup>も開発されている。また、従来のレイトレーシング法<sup>4), 5)</sup>では前述のように、画像の空間一様性が考慮されていないため、画像中の各サンプリング点 (一般に画素の中心) ごとに、視点からの視線 (以後これを有向視線と呼ぶ) と最初に交わる物体を求める必要があった。そこで、レイトレーシング法の前処理に、Z-バッファ法を用いたものや<sup>6)</sup>、Z-バッファ法に加えてどの物体がどの物体に対して影を落とすかをあらかじめ計算する方法を用いるものもあるが<sup>7)</sup>、影の領域までは計算していない。

また、追跡する有向視線を一本の線ではなく、広がりを持った光束とする方法<sup>8)</sup>も提案されている。しかし、この方法は、アルゴリズムの性格上、多角形の集合しか取り扱えないので曲面を表現しにくい。また、鏡面反射・屈折光の方向を線形変換で近似しているので、光学的に正しい表現ができない欠点がある。そこで、筆者らは、影の領域をあらかじめ計算することの

† Half-Tone Representation by Using a Local Ray Tracing by EIICHIRO NAKAMAE, KATSUMI TADAMURA (Faculty of Engineering, Hiroshima University) and TOMOYUKI NISHITA (Faculty of Engineering, Fukuyama University).

\*\* 広島大学工学部第二類 (電気系)

\*\*\* 福山大学工学部電子電気工学科

\* 現在 (株)日立製作所

できるスキャンライン法を基本とし、光の鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体の存在領域についてのみ、局所的にレイトレーシング法を適用し、処理時間を大幅に短縮できる手法を開発した。すなわち、レイトレーシング法とスキャンライン法との境界部の処理法を開発するとともに、レイトレーシング法そのものについても、その処理のより高速化と高品位画像を得るための改良を行った。すなわち、外接箱の概念<sup>3),6),9),10)</sup>を影の計算にも拡張し、処理時間の短縮を図り、仮想的走査線を増加する方法<sup>11)</sup>によりエリアシングの除去を可能にした。

## 2. 局所レイトレーシングの基本的な考え方

提案手法は、スキャンライン法とレイトレーシング法の長所を組み合わせることにより、鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体を効率よく表示する手法である。Weghorst らの方法<sup>6)</sup>は、レイトレーシング法を適用する前に可視面の走査を行うという点では、提案手法と同じ立場に立つものである。しかし、Weghorst らの手法が光の鏡面反射・屈折を考慮する必要のない画像に対しても、輝度計算のために、有向視線と面との交点計算を行う必要があるのに対して、提案手法では、レイトレーシング法を適用する部分を抽出するために、スキャンライン法を用いており、限られた領域のみでレイトレーシング法を適用すればよい。

提案手法では、主に、1)レイトレーシング法を適用する部分の局所化、2)レイトレーシング法の改良に重点を置いている。以下に、それぞれについての基本的な考え方を示す。

- 1) レイトレーシング法を適用する部分の局所化
  - i) スキャンライン法を効率化するために、輝度計算を行うまでは、すべての物体は凸多面体もしくは、凸多角形の集合として処理する。
  - ii) 曲面体（球、円柱、円錐、円錐台などの標準化しやすいもの）の形状に適した外接凸多面体を発生する。なお、複雑な形状の場合は、これらの曲面体間のセットオペレーションで定義するが、この場合は、個々の曲面体について外接凸多面体を発生する。これらの外接凸多面体を用いて、スキャンライン法を適用可能にするとともに、レイトレーシング法を適用する範囲を少なくする。一方、物体間のセットオペレーションで定義できない複雑な形状の自由曲面につい

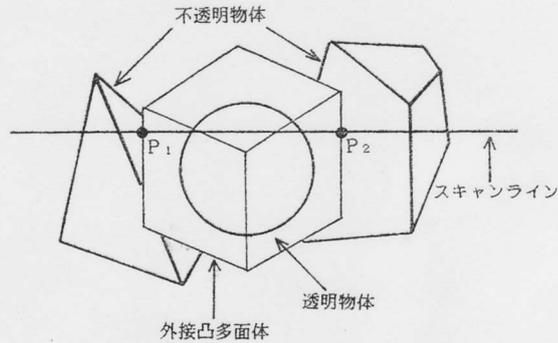


図1 レイトレーシング法を適用する区間  
Fig. 1 Segment applied for the ray tracing algorithm.

ては、三角形パッチに自動分割し<sup>11)</sup>、三角形に対してスキャンライン法を適用するものとする。

- iii) レイトレーシング法による輝度計算は、走査線上を占める物体のうち、必要のあるものの区間だけ（図1においては、 $P_1$ - $P_2$ 間）行い、処理の高速化を図る。
- iv) エリアシングの除去法としては、既にスキャンライン法のために開発している仮想的な走査線を考え、走査線の数を増す方法<sup>12)</sup>を拡張した方法を適用する。
- v) 各物体と光源によって構成される影を生ずる空間（以後シャドウ・ボリウムと呼ぶ）と光源に対する物体相互間の前後関係をあらかじめ求めておき、これを用いて面上の影の領域を計算する。この面上の影の領域は、シャドウ・ボリウムと面との交差部分として求まる<sup>13)</sup>。したがって、スキャンライン上での可視面、すなわち有向視線と最初に交わる面上の影の区間は輝度計算の前に決定しておくことができる。
- 2) レイトレーシング法の改良
 

透明物体によって落とされた影の表現と高速化のために次の手法を考案した。

  - i) 光線が透明物体中を通過する際のエネルギーの減衰を、Lambert-Beerの法則に基づき考慮に入れる。
  - ii) 透明物体によって落とされた影の処理を行う際、透余物体による光線の屈折を無視する。ただし、光線の入射角が、物体の持つ屈折率によって定まる臨界角を越えるときには、その点において光は全反射し、透過しないと仮定する。
  - iii) 有向視線と物体との交点および影の計算には、

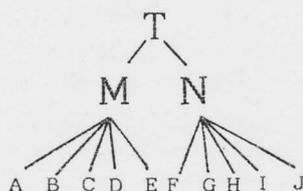
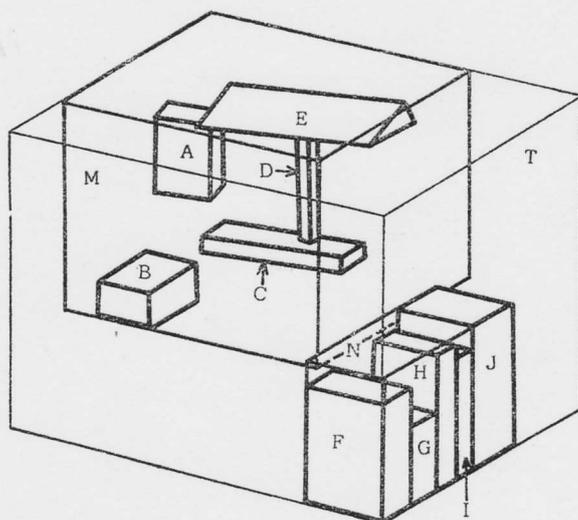


図 2 外接箱の階層構造  
Fig. 2 Hierarchical structure of bounding boxes.

隣接する物体群に対して外接箱(図2参照)を定義し、これを階層化し、処理の高効率化を図る。ただし、ここで必要な影の計算とは、1)のv)で求まっていない影、すなわち屈折、反射後に有向視線が交差する面上の影である。

### 3. 局所化のための処理

提案手法の全体の処理手順は概略次のとおりである。

- i) データ入力
- ii) 外接凸多面体および外接箱の生成
- iii) 前後判定, シャドウ・ポリウムの計算
- iv) スキャンライン上の可視面および影の区間の抽出
- v) 輝度計算
- vi) 出力

輝度計算を行う際、iv)で得た情報をもとにして光の鏡面反射・屈折を考慮する必要がある物体に対して

のみ、レイトレーシング法を適用する。本章では、スキャンライン法にレイトレーシング法を組み込むために必要なii), iv)の処理および、輝度計算を行う際の曲面体の境界の処理について述べる。

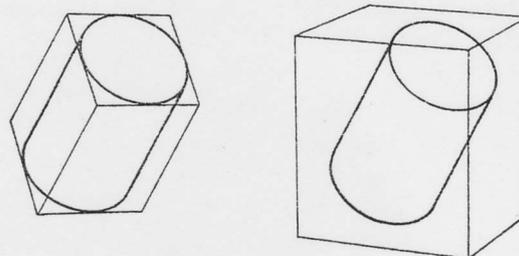
#### 3.1 外接凸多面体の生成

有向視線と曲面体の交差の判定回数を減少させるために、曲面体に外接する凸多面体を発生する。

スキャンライン法<sup>14)</sup>では、球、円柱などの曲面体は凸多面体に近似して表示される。このため、図形の輪郭の部分が多角形状に見える欠点がある。これに対処するためには、曲面体の真の境界を求める必要がある。この真の境界を能率よく求める範囲を限定するためにも外接凸多面体は有用である。提案する外接凸多面体は、一般によく用いられている  $xy$ ,  $yz$ ,  $zx$  平面に平行な六面体ではなく、底面に外接する正方形を底面に持つ六面体(円錐は四角錐)とする。その結果、外接凸多面体とスキャンラインとの交差判定を行い、これと交わる部分について行うレイトレーシング法の適用領域を小さくすることができる。すなわち、曲面体の真の輪郭線と、外接凸多面体との間の無駄な部分を小さくすることができる。この効果は、例えば図3のように傾いた円柱に対して外接凸多面体を発生する場合に顕著なものとなる。

#### 3.2 スキャンライン上における可視面および影の区間の抽出

スキャンライン法によって可視面およびその面上の影の領域の抽出を行う。この処理によって得られた情報により、レイトレーシング法を適用して輝度計算を



(a) 上円, 下円に外接するような外接凸多面体  
(b) 各軸平面に平行な外接凸多面体

図 3 外接凸多面体  
Fig. 3 Convex bounding polyhedron.

行う区間と従来の計算法による区間とを判別することができる。ここでは、可視面および影の領域の抽出の概略手順について述べる。ただし、説明を簡単にするため、エリアシングの除去を考慮しない場合を考える。

- 1) 走査中のスキャンラインと交わる面と、その区間を求める。このとき、曲面体に対しては、外接凸多面体の面に対して処理を行う。
- 2) 1)で求めた区間内の影の区間を求める。この影の区間は、走査面（スキャンラインと視点を含む平面）と可視面との交線と、シャドウ・ポリウムとの共通区間である<sup>13)</sup>。
- 3) 走査中のスキャンライン上のすべての物体に対して、この処理が終了した後、スキャンライン上における各面の可視区間を求める。

以上の処理により、スキャンライン上における面と影の可視区間が決定され、スキャンライン上に可視区間を持つ面（物体）および影の交点リストが作成される。こうして得られた可視区間をもとにして輝度計算を行う際、鏡面反射・屈折の計算を必要とする物体の占める区間と透明物体の落とす影の占める区間に対してのみレイトレーシング法を適用して輝度計算を行う。この輝度計算の際に、レイトレーシング法を適用する物体が外接凸多面体に囲まれない物体ならば、可視となる物体は既知であるので視点から発した有向視線と最初に関わる物体の交差判定を行う必要がない。したがって、処理の高速化が図れる。また、スキャンラインに光の鏡面反射・屈折を考慮する必要のある物体が存在しない場合には、全くレイトレーシング法は適用されない。

### 3.3 曲面体の境界の処理

各画素について1点のサンプリング点で輝度計算を行うと、一般に、画像を表示する際のエリアシングが問題となる。そこで、この問題に対処するため、マルチスキャンニング法<sup>12)</sup>を用いる。この手法は、画素中に占める図形の面積を求め、それと図形の輝度とを考慮して画素の輝度値を決定するものである。画素中の図形の面積を正確に求めることができれば、それだけ画質のよいものが得られる。そのため、この手法では、仮定の走査線（以後サブスキャンラインと呼ぶ）を考え、これで画素を分割し、画素中の各サブスキャンライン上に占

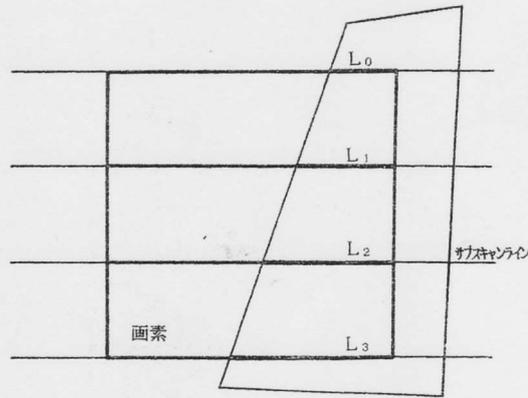


図4 マルチスキャンニング法によるエリアシングの除去  
Fig. 4 Anti-aliasing by using the multi-scanning method.

める図形の長さを求め、これを台形積分することにより、図形の面積を求める（図4参照）。したがって、多角形の集合のように、図形の境界を容易に求められるものに対しては、非常に効果的な手法である。しかし、球や円柱などの曲面体に対しては外接凸多面体について処理を行っているため、真の境界を求める必要がある。そこで、外接凸多面体の占める区間では、図5に示すように、外接凸多面体とスキャンラインとの交点 a c 間に、両端の部分を除いて、サンプリング点を一画素間隔で発生する。このサンプリング点に対して有向視線を発生し、有向視線と最初に関わる物体が一つ前のサンプリング点の物体と異なる場合（図の例では、背景にある物体から物体Aへ）、そのサンプリング点と前のサンプリング点を用いて、収束計算を行い、物体の真の境界を求める。

以上の処理を行うことにより、曲面体に対しても、

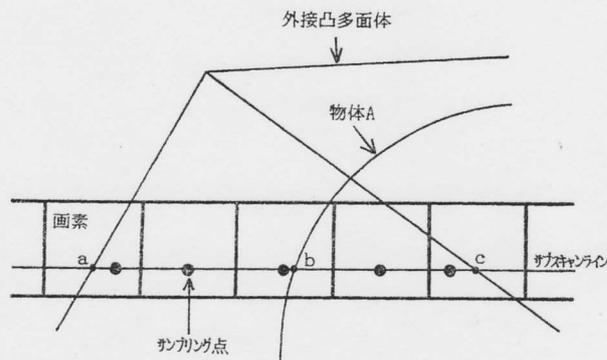


図5 外接凸多面体内のサンプリング点  
Fig. 5 Sampling points in a convex bounding polyhedron.

図形の境界が可能となる

## 4. レイト

提案手法に良点は大きく

- 1) 影の処
  - 2) 輝度計
- である。以下

### 4.1 影の処

#### 4.1.1 光源

ウ・

レイトレー：影の処理を高速の処理を行う。

- i) 計算点の処理をする各物に影を落とすリストを作成
- ii) 光源から輪郭線をポリウム
- iii) レイトレに対して

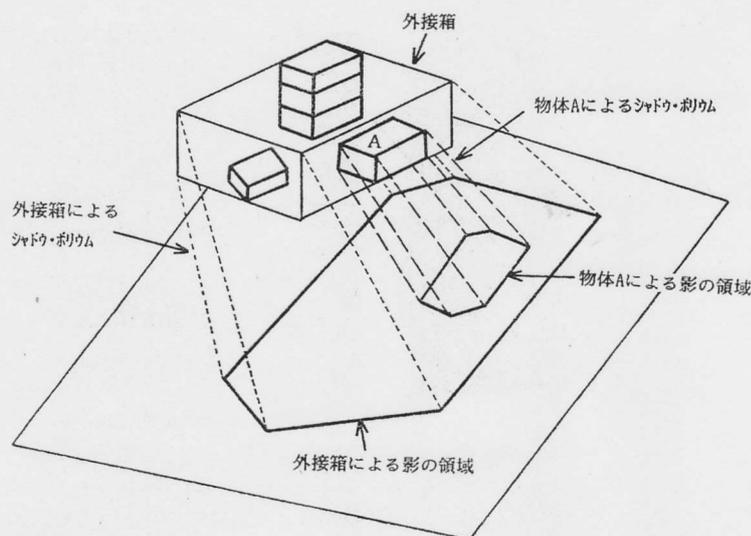


図6 外接箱および物体に対するシャドウ・ボリューム  
Fig. 6 Shadow volumes caused by a polyhedron and a bounding box.

図形の境界を求めることができ、エリアシングの除去が可能となる。

#### 4. レイトレーシング法の改良

提案手法における、従来のレイトレーシング法の改良点は大きく分けると2点あり、

- 1) 影の処理の効率化
- 2) 輝度計算時における透明物体による影の表示法である。以下それぞれの改良点について詳述する。

##### 4.1 影の処理の効率化

##### 4.1.1 光源に対する前後関係リストおよびシャドウ・ボリュームの生成

レイトレーシング法を適用して輝度計算を行う際の影の処理を高速化するために、輝度計算を行う前に次の処理を行う。

- i) 計算点に対して影を落とす可能性のない物体との処理を省略できるよう、それぞれの光源に対する各物体間の前後判定を行い、各物体の面上に影を落とす可能性のある物体を求め、そのリストを作成する。
- ii) 光源からみた物体および、物体群用の外接箱の輪郭線を求め、それと光源から成るシャドウ・ボリュームを計算しておく。
- iii) レイトレーシングを行う球、円柱などの曲面体に対しては、外接凸多面体に対してこれを求めておき、後で詳しく影の領域を求める。

これらを利用することにより、影処理の効率化が可能となる。

##### 4.1.2 影を落とす物体の探索法

複数の隣接する物体に対して一つの外接箱を定義し、いくつかの外接箱を包含するさらに上位レベルの外接箱を階層構造的に定義し、それを用いて階層的に光線追跡を行うことによりレイトレーシング法の高速化を図る手法は、これまでに、いくつか報告されている<sup>3), 6), 9), 10)</sup>。提案手法では、影の探索に文献10)の手法を拡張して処理の高速化を図る。すなわち、ある計算点における影の判定を行う際に、有向視線と交わる物体を探索したのと同様に、階層の高い外接箱から順に処理を行う(図6参照)。それに加えて、計算点が影となるか否かの判定を行う際、計算点の属する面に対して、影を落とす可能性のある物体を4.1.1項で作成したリストから求め、その物体が計算点に影を落とすか否かをシャドウ・ボリュームと計算点との包含関係を用いて調べる。これらの拡張を行うことにより、計算点と光源とを結ぶ直線と物体との交点を計算し、影となるか否かの判定を行う場合に比べ、高速化が実現できる。

##### 4.2 透明物体によって落とされた影の処理

透明物体によって落とされた影と、不透明物体によって落とされた影は、影の濃さが異なる。また、透明物体によって落とされた影は、同一物体による影であっても、濃淡の違う部分が生じる。そこで、提案手法

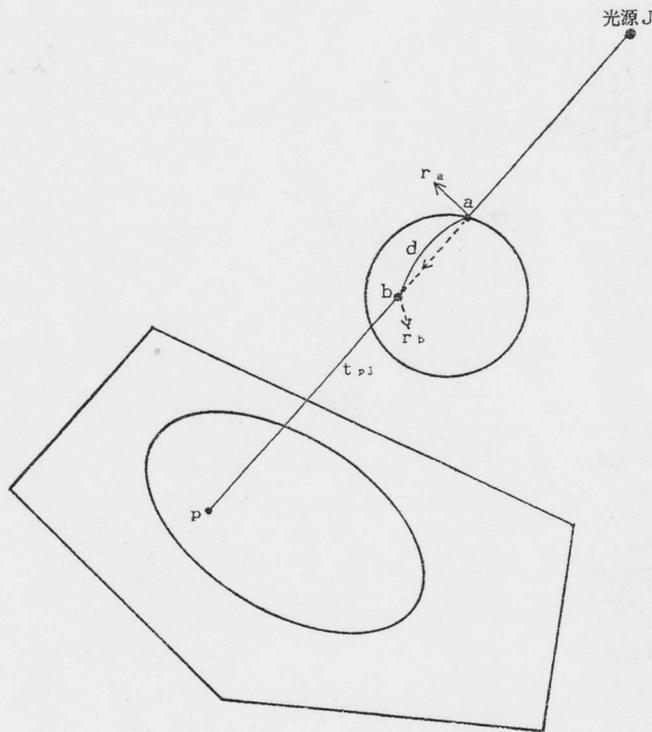


図 7 透明物体による影  
Fig. 7 Shadow caused by a transparent object.

では以下の近似手法により、透明物体の落とす影の処理を行い透明感を表現する。

有向視線と物体との各交点における光の強度は、Whitted のモデル<sup>5)</sup>を基本として求めるが、本論文では、次式のように、透明物体による影を表示するために光源光のエネルギー透過率を考慮する。

$$I = I_a + k_a \sum_{j=1}^m (\mathbf{L}_j \cdot \mathbf{N}) t_{pj} + k_s S + k_t T \quad (1)$$

$I$  : 物体表面からの光の強度

$I_a$  : 環境光に対する光の強度

$k_a$  : 拡散反射係数

$m$  : 光源数

$\mathbf{L}_j$  : 光源  $J$  の方向の単位ベクトル

$\mathbf{N}$  : 面の単位法線ベクトル

$k_s$  : 反射係数

$k_t$  : 透過係数

$S$  : 反射方向からの光の強度

$T$  : 透過方向からの光の強度

$t_{pj}$  : エネルギー透過率

ここで、 $t_{pj}$  は次のような値をとるものとする。

$$t_{pj} = 1. \quad (\text{影の領域にない場合.})$$

$0. \leq t_{pj} < 1.$  (透明物体による影の領域にある場合、等号が成り立つのは、光源からの光が全反射する場合.)

$t_{pj} = 0.$  (不透明物体による影の領域にある場合.)

ここで、光源と計算点の間に複数 ( $n$ ) 個の透明物体が存在する場合、 $t_{pj}$  は次式により得られる。

$$t_{pj} = \prod_{k=1}^n t_{pj_k} \quad (2)$$

具体的には次のようにして求める。

図 7 に示すように光線が物体表面から入るときと出るときに反射率をそれぞれ  $r_a, r_b$ 、また、透明物体中を光線が通過する際、透過物体の光の吸収係数が  $q$ 、通過距離が  $d$  であるとする (図 7 参照)、点  $P$  における光源  $J$  による直接光の透過率  $t_{pj}$  は

$$t_{pj} = (1 - r_a)(1 - r_b)e^{-qd} \quad (3)$$

となる。なお、点  $a$  もしくは点  $b$  において入射角が臨界角より大きい場合は、 $r_a = 1.$  もしくは  $r_b = 1.$  となり点  $P$  に光源  $J$  の直接光は届かない。すなわち、 $t_{pj} = 0.$  となる。

また、不透明体による影の場合は  $t_{pj} = 0.$  であり、影でない場合は、 $t_{pj} = 1.$  である。こうして求めた  $t_{pj}$  を式 (1) に代入する。

以上の処理により、近似的ではあるが透明感のある影の表示が可能となった。

なお、提案手法においては、有向視線の追跡は、光線の反射率、透過率を考慮し、透明物体を通過する際の光の吸収率を考慮した全体の光線の減衰が、あるしきい値以下になるか、もしくは、光線追跡木の深さが 5 になるまで行う。このようにして各交点で求められた輝度と反射率、透過率、吸収率を考慮してサンプリング点における輝度値を決定する。

### 5. 適用例および評価

提案手法に用いた物体の表示例を図 8 (a), (b), (c), (d) に示す。

(a) は 10 面体のガラス台上に円柱状のガラス (屈折率、 $n = 1.52$ ) を配置した例であり、この二つの物体の部分にレイトレーシング法を適用した。図中、円



柱の影で (b) は光源の (c) は 1 物体を表 (d) は屈 確かめるた お、この画 群とした 4 イトレーシ 外接箱を用

による影の領  
場合、等号が  
は、光源か  
反射する場

による影の  
場合.)

に複数( $n$ )  
合、 $t_{pi}$  は次

(2)

求める.

体表面から  
をそれぞれ  
光線が通過  
係数が $q$ ,  
と(図7参  
よる直接光

(3)

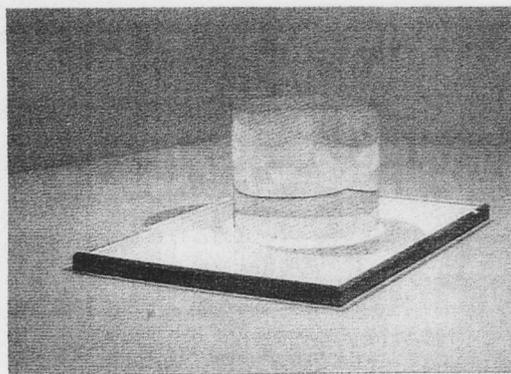
点 $b$ におい  
場合は、  
り点 $P$ に光  
).となる.  
であり、影  
まった $t_{pi}$

月感のある

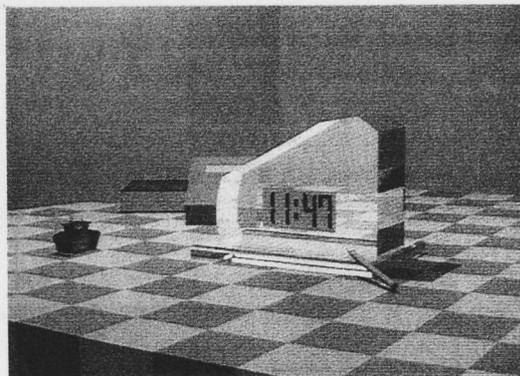
跡は、光  
直過する際  
も、あるし  
この深さが  
求められ  
サンプル

, (b),

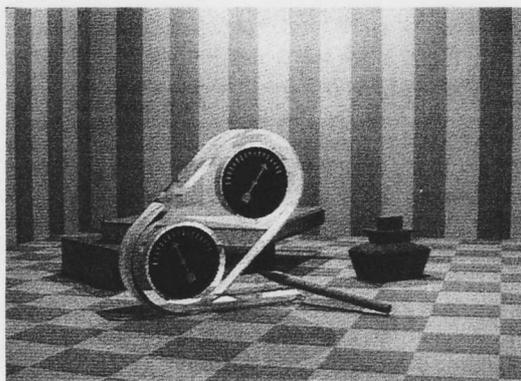
ラス(屈  
二つの物  
図中、円



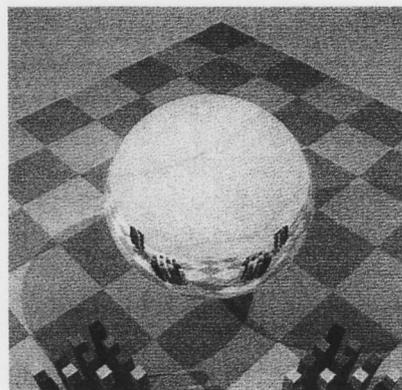
(a)



(b)



(c)



(d)

図8 適用例  
Fig. 8 Examples.

柱の影で色の濃い部分と淡い部分があるが、濃い部分は光源の入射角が臨界角を越えている領域である。

(b)は透明な時計およびインク壺と、不透明な本と鉛筆を表示したものである。このうちレイトレーシング法を適用するものは時計およびインク壺と鉛筆であり、インク壺は、緑の吸収率の大きい色付き透明物体である。鉛筆にレイトレーシング法を用いたのは、完全な曲面を表示するためである。なお、光源は、2点光源である。

(c)は12個の物体から構成された寒暖計その他の物体を表示したものである。

(d)は局所レイトレーシング法と外接箱の有効性を確かめるために用いた例で、2光源の場合を示す。なお、この画像は完全鏡面反射の球と16個の角柱を1群とした4群を表示したものである。表1は、IIのレイトレーシング法とスキャンライン法を組み合わせる外接箱を用いない場合の処理時間を1とし、それと各

表1 計算時間の比較  
Table 1 Comparison of calculation times.

	I	II	III	IV
光源数	レイトレーシング法のみ(a)	(a)+スキャンライン法による局所化(b)	(a)+(b)+有向視線の探索に外接箱を使用(c)	(a)+(b)+(c)+影の探索にも外接箱を使用
1	2.50	1.0	0.65	0.18
2	2.51	1.0	0.85	0.16
3	2.36	1.0	0.89	0.12

各の手法との比を示したものである。この表からもわかるように、スキャンライン法にレイトレーシング法を局所化して適用した場合、レイトレーシング法単独で処理する場合の約2.5倍の高速化が実現できる。有向視線の探索に外接箱を用いても、光源数が増加するに従ってその効果が落ちている。これは、影の処理に要する時間の占める割合が大きいためと考えられる。

影の処理にも外接箱を利用する提案手法を用いると、約20倍の高速化が実現する。なお、これらの例においては、レイトレーシング法の適用を必要とする透明物体および反射物体がかなりの部分を占める例であるが、一般には、スキャンライン法で処理可能な不透明物体が大半であるから、このような場合は提案手法の有効性は一層大きい。

本適用例の計算には、TOSBAC データシステム 600/80 を用い、表示装置は、Graphica M 508 R (512 × 512 画素, R, G, B 各 256 レベル) を用いた。

## 6. おわりに

本論文では、スキャンライン法とレイトレーシング法のそれぞれの長所を組み合わせることにより、光の鏡面反射・屈折を生じる物体を含む画像の表示を効率よく行う手法を示した。本手法の利点は次のとおりである。

(1) あらかじめスキャンライン法によって可視面の抽出を行うので、レイトレーシング法を適用して輝度計算を行う区間が小さくなり、処理時間の節約が図られる。なお、提案手法の効果は、レイトレーシング法を適用する物体が占める画面中の面積が小さいほど顕著に現れる。

(2) 物体を多角形の集合として表現するスキャンライン法では、物体の輪郭が滑らかでなくなる欠点があるが、これらの物体にレイトレーシング法を適用することにより、スキャンライン法の利点を余り損なうことなく、これらの物体の輪郭線を滑らかに表示できる。

(3) 物体の外接箱を階層化する手法を拡張して、影の探索についても階層的に処理を行うので、レイトレーシング法を適用する際の影の計算を効果的に行える。

(4) 近似的ではあるが、透明物体の落とす影の濃淡表示が可能である。

## 参考文献

- 1) Glassner, A.S.: Space Subdivision for Fast Ray Tracing, *IEEE CG & A*, Vol. 4, No. 10, pp. 15-22 (1984).
- 2) Fujimoto, A. and Iwata, K.: Accelerated Ray Tracing, *CG TOKYO '85 Proceedings*, T1-2 (1985).
- 3) Rubin, S.M. and Whitted, T.: A 3-Dimensional Representation for Fast Rendering of Complex Scenes, *Comput. Gr.*, Vol. 14, No. 3,

pp. 110-116 (1980).

- 4) 安田, 横井, 鶴岡, 三宅: 透明物体表示のための改良光線追跡法(2), *情報処理学会論文誌*, Vol. 26, No. 4, pp. 591-599 (1985).
- 5) Whitted, T.: An Improved Illumination Model for Shaded Display, *Comm. ACM*, Vol. 23, No. 6, pp. 343-349 (1980).
- 6) Weghorst, H., Hooper, G. and Greenberg, D. P.: Improved Computational Method for Ray Tracing, *ACM Trans. Gr.*, Vol. 3, No. 1, pp. 52-69 (1984).
- 7) 日高ほか: マルチコンピュータシステム MC-1における画像生成手法, *グラフィクスとCAD研究会*, 18-4 (1985).
- 8) Heckbert, P.S. and Hanrahan, P.: Beam Tracing Polygonal Objects, *Comput. Gr.*, Vol. 18, No. 3, pp. 119-127 (1984).
- 9) 出口ほか: コンピュータグラフィクスLINKS-1における画像合成の高速化手法, *情報処理学会論文誌*, Vol. 25, No. 6, pp. 944-952 (1984).
- 10) 出口ほか: 視線探索法による画像生成のための木構造並列処理システム, *信学論(D)*, Vol. J 69-D, No. 2, pp. 170-179 (1986).
- 11) 岡村, 原田, 中前, 西田: 三角形近似による自由曲面のカラー陰影表示, *電子通信学会画像工学研究会*, IE 82-92, pp. 19-24 (1983).
- 12) 西田, 中前: マルチスキャンニング法によるスムーズエッジ処理を施した三次元物体の陰影表示, *情報処理学会論文誌*, Vol. 25, No. 5, pp. 703-711 (1984).
- 13) Nishita, T., Okamura, I. and Nakamae, E.: Shading Models for Point and Linear Sources, *ACM Trans. Gr.*, Vol. 4, No. 2, pp. 124-146 (1985).
- 14) 西田, 中前: 三次元物体のカラー陰影表示の一手法, *情報処理学会, コンピュータビジョン研究会*, 14-8 (1980).

(昭和61年4月18日受付)

(昭和61年8月27日採録)



中前栄八郎 (正会員)

昭和4年生。昭和29年早稲田大学第一理工学部電気工学科卒業。昭和31年同大学院修士課程修了。同年広島大学工学部電気工学科助手。昭和43年同教授、現在、第二類(電気系)電気機器工学教育科目担当。この間昭和48年1年間、アメリカ・クラークソン工科大学へ出張。主として、電気機器の磁界解析、コンピュータ・グラフィクスの研究に従事。工学博士。IEEE, 電気学会, 電子通信学会, 照明学会各会員。



レクトロ  
ユーター・



多田村克己 (正会員)

昭和 36 年生. 昭和 59 年 3 月広島  
大学工学部第二類 (電気系) 卒業.  
昭和 61 年 3 月同大学院工学研究科  
システム工学専攻修了. 同年 (株)日  
立製作所に入社し, 現在マイクロエ  
レクトロニクスに関する開発に従事. 在学中はコンピ  
ュータ・グラフィックスの研究に興味をもつ.



西田 友是 (正会員)

昭和 24 年生. 昭和 48 年 3 月広島  
大学大学院工学科修士課程 (電気工  
学専攻) 修了. 同年 4 月マツダ (株)  
に入社し, 新交通システムの開発に  
従事. 昭和 54 年 4 月福山大学工学  
部電子電気工学科専任講師, 昭和 59 年同助教授. 現  
在, コンピュータ・グラフィックスに関する研究に従  
事. 工学博士. 共著「3次元コンピュータグラフィッ  
クス」(昭晃堂). 電気学会会員.

明物体表示のため  
理学会論文誌,  
(1985).  
and Illumination  
Comm. ACM,  
(1980).  
and Greenberg, D.  
Method for Ray  
1.3, No.1, pp.

システム MC-  
グラフィックスと CAD

P.: Beam Trac-  
t. Gr., Vol. 18,

グラフィックス LINKS-1  
情報処理学会論  
-952 (1984).  
象生成のための  
論(D), Vol. J  
6).

形近似による自  
信学会画像工学  
983).

レーシング法による  
元物体の陰影表  
5, No. 5, pp.

Nakamae, E.:  
Linear Sources,  
2, pp. 124-146

陰影表示の一  
タビジョン研究

18 日受付)  
27 日採録)

員)  
29 年早稲田大  
工学科卒業. 昭  
士課程修了. 同  
工学科助手.  
在, 第二類(電  
の間昭和 48 年  
学へ出張. 主  
ータ・グラフ  
E, 電気学会,