

## CGによる照明設備の表現方法について

### Expression of the Lighting Facility by Computer Graphics

坪井 常世\*

Tsuneyo TSUBOI

**Abstract** It is rare that how a lot of one that the illumination plan was done becomes except a special case is expressed in the sight to performing the illumination plan on the drawing based on an architectural plan.

We often experience the large difference from the image after the one that the illumination plan was done is completed.

The technology of CG (Computer Graphics) advances rapidly, and it is used for presentation well also in the field of construction in recent years.

The technology of the Radio City method advances, and it has become an effective means to the evaluation of the effect of the illumination in the field of the illumination in CG. The thing that a lot of optical examinations are performed to an image thing is few though CG has already been used, the presentation of the lighting facility is used well.

In this report, the CG image by the difference of the condition of the illumination (illuminance and illumination method) was made by using this method, and whether CG image was able to supported was examined as a means of the evaluation of the effect of the illumination.

#### 1. まえがき

人間が居住する環境を評価する際、視覚による評価は重要な要素の一つである。その対象となる要因として、照明、色彩、内装仕上げ材のテクスチャーがあげられる。

照明設備については、照明手法、照明器具、光源の進化により、最近では照明の質はかなり改善されてきたが、依然として、照明は明かりを得る手段の一つと捉えられていることが多い。照明計画にあたっては、照明器具や光源の選択は単独で決められるものでなく、照明される部屋の構造、内装仕上げの状態とを考慮しながら、良くマッチするものを選ぶことが必修である。

照明計画は、建築計画をもとに図面上でなされる

ことが多く、特殊な場合を除いて、照明計画されたものがどのようになるかを視覚的に表現されることはまれである。しかし、照明設備は視覚によってそのよし悪しが評価されることが一般的である。図面上でのイメージと完成後のイメージとが大きく食い違うことはよく経験することである。

照明はその明るさ、内装仕上げの色、明度、彩度によっても印象は大きく変わる。このような、条件の違いによって変わるイメージをパースに描いたり、模型を作成することはその労力、時間から考えて困難なことである。

近年、CG (Computer Graphics) の技術が飛躍的に進歩してきており、建築の分野でも、プレゼンテーションによく使われている。CGにおいてラジオシティ法の技術が進み、照明の分野においても、照明効果の評価に有効な手段となってきた。すでに、CGを使って、照明設備のプレゼンテーションはよく行われているが、イメージ的なものが多く、光学

---

\* 愛知工業大学 建築工学科 (豊田市)

的な検討がなされたものは少ない。

本報告では、この手法を使って、照明の条件（照度、照明方式）の違いによるCG画像を作成し、照明効果の評価を行うための画像として、支援できるかを検討してみた。

## 2. コンピュータグラフィックス(CG)

### 2.1 CGの歴史

CGの考え方については1963年頃に始まったといわれている。この頃は、ハード面では、トランジスタを用いた第2世代電子計算機時代であり、現在のようなディスプレイも存在しなかった。したがって、質感を表現するようなCGではなく、数量を図形化することにポイントがおかれていた。人工衛星の姿勢制御による運動を計算し、映像としてシミュレーションする手法として使われるなどCAD的なものであった。

1970年代に入り、現在のような方式のディスプレイが開発され、3次元グラフィックスのための陰影処理の手法が研究されてきた。それに伴って質感を考慮するようになったが、現在のCG画像とはほど遠いものであった。テレビ番組のタイトル画像として盛んに使われている程度であった。

1980年代になり、レイトレーシング法が開発された。この方法は主として直接光を扱うので、コントラストがはっきりした画像ではあるが、写真撮影したような画像が得られるようになった。1984年拡散光（間接照明）を表現することができるラジオシティ法が発表され、フォトリアルなCG画像が得られるようになった。さらに、1986年ボリュームレンダリング法が発表され、3次元空間での情報の可視化が可能になった。

パソコンのグラフィックス機能が向上し、アマチュアでも手軽にCG作品が作られるようになり、各種のコンテストが開かれるようになり、多くの画質の良い作品が生まれるようになった。

1990年代パソコンの普及と高性能化を背景に、より現実感の高いCG画像が作られ、身近で使われるようになり、活況の時代になってきた。

### 2.2 CGの特徴

#### (1) シミュレーションが容易である

数値入力によって、画像を作り出すことができ、模型を造ったり、撮影のためのセット、スタジオを

必要としなく、ディスプレイ上に画像が作り出せる。材質感、色彩などが自由に変えることができ、視点も自由に変えられ、比較検討が自由にできる。

a) 通常人間が見ることのできる情景を、CGによってシミュレートでき、車のデザイン、建築物のプレゼンテーション、照明設備の照明効果など、様々な分野で活用されてきている。金属光沢の質感から、最近では、繊維、織物の質感、雲のような定まりにくいものまで画像化されるようになった。

b) 人間が通常見ることのできないもの、すなわち、人体の内部がCGによって任意の角度から見られるような手段があり、診断・治療に役立っている。また、原子・素粒子の構造をCG画像に表現することにより、より理解しやすくなる。

#### (2) 保存・編集が自由

長期間の保存やコピーが自由にできると同時に、保存された画像は自由自在に編集できる。また、同じ画像を種々の目的に利用できる。

#### (3) 芸術作品

CG画像を使った芸術作品も従来の絵画とは違った芸術手法として、新しい芸術の分野ができ、芸術作品としての仲間入りすることが予測できる。

## 3. 照明計画とCG

照明計画のプレゼンテーションにCGが使われるようになってから、かなりの年月が経過している。初期の頃は、大型のコンピューターを使い、長時間を費やして計算をしていた。ソフトも幼稚なものが多く、リアリティに欠けるものが多かった。しかし、最近では、ハードも画期的な進化を遂げ、パソコンでもかなり質感のよい精度の高い画像が得られるようになった。画像がリアリティであるだけでなく、照明工学的な裏付けをもったソフトも開発され、照明器具の配光データ、光の特性（拡散性など）を読み込み、器具の配置、取り付け位置などを入力し計算している。一方では、半影の柔らかい画像を追い求める表現を重視する傾向も強くなっている。

設計・計画の段階でCGを使ったシミュレーション画像と竣工後の実際の写真とを見比べたとき区別が難しいような画像も多々見受けられるようになった<sup>1)</sup>。

CGを使った照明設備のシミュレーションの主な目的、特徴は次のようである。

#### (1) 照明計算結果の検討

照明計算した結果を画像化することによって、照度分布、輝度分布が所期の目的にあっているかどうかを検討できる。計画・設計の段階で照明器具の配光、光色、視対象の反射特性などのデータを入力することにより、完成後の様子を3次元的な画像によって確認できるので理解し易い。特に、特殊な物では、計画と完成後の食い違いを防ぐことができる。

#### (2) デザイン・光の演出効果の検討

建築意匠の設計者とのコミュニケーションがはかりやすく、建築意匠と光のコンセプトが取りやすくなる。図面（模型）では難しかった建築空間とのマッチング、照明効果などが両者間で検討できる。

#### (3) 表現の手段

照明施設の構築にあたっては、施主・建築設計者・電気設備設計者・照明設計者・施工業者など多種の知識、技術をもった者が携わる。互いに画像によって対話できるので、図面より遥かに優れている。

#### (4) 効果的なプレゼンテーション

照明計画した照明設備のシミュレーション画像が施主に容易に提示でき、透視図などを使って説明するより、理解が得やすい。施主の意向にその場で対応でき、リアルタイムでCG画像に反映できる。また、商品の説明にも使いやすい。

#### (5) 実際に近い状態で表現

照明設備の評価の場合は、照明設備だけでなく、室内の内装仕上げ（材質感、色彩、明度）や什器（テーブル、椅子、家具など）との調和が重要なポイントとなることが多い。それらの組み合わせを変えて検討することが容易である。その他、景観照明、建物のライトアップのシミュレーションにもよく利用されている。

### 4. CGのレンダリング手法<sup>2)</sup>

コンピュータによって、より現実感のある画像を表現することがCGの目的であり、そのために、隠線・隠面消去、陰影付けなどを考えたレンダリング手法が開発されてきた。

3次元CGで一般的に使われているレンダリング手法として、Zバッファ法、スキャンライン法、レイトレーシング法（光線追跡法）があるが、これらの手法は視点からポリゴンを照射する光源を見つけてポリゴンの色を計算しているため、拡散反射光のような大きさのある光源が使えないといった短所がある。

質感のある3次元の画像を作るには、間接照明のような、大きさのある光源によって照明されることが求められる。このような条件に適した手法がラジオリン法である。この方法は照明計算に基づく方法であるから、直接レンダリングは行えない。

#### 4.1 スキャンライン法

図-1に示すように、可視面の頂点をスクリーン上の座標 $(x_s, y_s)$ に変換し、走査線を上から下にスキャンし、各走査線と視点を含む平面によって切り取られた面のセグメントを抽出し、その部分を可視部分として表示する方法である。

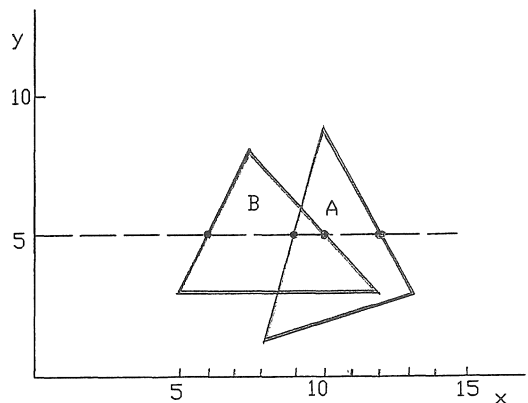


図-1 スキャンライン法

走査線5においては、図形A、図形Bとが存在している。次に、走査線5と図形の交点を求めると、図形Aは(9,5)、(12,5)、図形Bは(6,5)、(10,5)となり、(6,5)と(12,5)の間はこの図形の持つ明るさ、色で画素を塗る。(9,5)と(10,5)の間は図形A,Bが重なっているため、この場合はZ軸方向のセグメント同士の前後判定を行い、視点に近い方のセグメントを選びそのセグメントの図形の明るさ、色で画素を塗ることによって、隠面処理も行うことができる。

#### 4.2 レイトレーシング法

人間の知覚は、光源から発した光が物体で反射・透過した後、眼（視点）に到達し得られることを利用し、視点に到達した光を逆にたどり、その光が物体によって反射・透過して光源に到達したかどうかによって「見える」、「見えない」を判断する。すなわち、視点からの光が物体に到達していれば「見えた」ことになり、到達していなければ「見えない」ことになる。(図-2)

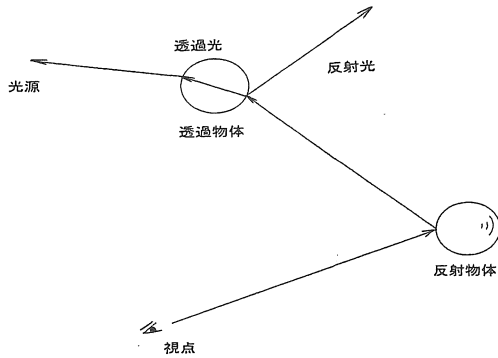


図-2 レイトレーシング法

4.3 ラジオシティ法

ラジオシティ法は、熱の放射伝達に用いられていた計算法を光の分野に取り入れたものである。部屋にある熱源（ストーブ）から発した熱が壁に当たり壁を暖め、その壁からの放射熱によって、天井、床を暖めていく過程において、熱を光に置き換えた手法をCGにおけるラジオシティ法という。

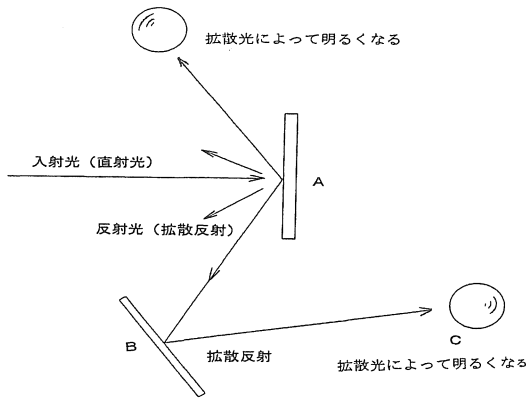


図-3 ラジオシティ法

図-3に示すように、光が、板Aに当たり、そこで拡散反射した光が球Cや板Bに到達する。その光によって、板Bや球Cは明るく照らし出されることになる。このように、直射光のあたっていない場所でも間接光が届き、ぼんやり明るくなる。この理論は、1984年 Greenbergらによってこのような考え方をCGに応用する論文が発表されて以来、1985年のSIGGRAPH'85において西田ら<sup>3)</sup>、Cohenら<sup>4)</sup>が影まで考慮したラジオシティ法を発表したことにより、大きく進展してきている。ラジオシティ法によって描かれたCG画像は、柔らかな影による質感得られるので、レイトレーシング法に比べて輝度分布

の表現、屋内のインテリア画像、間接光などによる照明効果の表現には適している。

5. CGを使った照明設備のシミュレーション

部屋の照明設計する場合、その部屋の使用目的により、照明方式（照明器具、光源）、必要照度を決め、照明計算し、照明器具の台数を算出し、器具配置を決め、数値によって、明るさなどを表示することが普通である。しかし、数値で表現しても、その良否を評価することは困難である。CGなどを使った画像による表現の方が理解されやすく、優れていることは明らかである。

5.1 CG作成のソフトウェア

CG作成のためのソフトウェアとして、市販の「STImage / 3D Design Ver.3.5」を利用した。その仕様を表-1に示す。

表-1 STImage 3D Design Ver.3.0の仕様\*

●モデリング機能	スweep・・・立ち上げ、ガイド立ち上げ、回転体、ハブ、3次元パイプ スキニング・・・スキニング、スプライン プリミティブ・・・球、円柱、円錐、立方体、平面
●光源	種類・・・周囲光、平行光束、点光源、面光源、スポット、太陽光、環境光、天空光 配光データ・・・国内メーカーの照明器具のデータ
●マッピング	テクスチャ、パンプ、反射、環境、透過
●ラジオシティの計算法	間接光の計算、直接光と間接光の分離 プログレッシブ・リファインメント 拡散反射、鏡面反射、照度分布、輝度分布
●レンダリング機能	種類・・・スキャンライン、レイトレース シェーディング・・・グロー、フォン
●その他	プレビュー・ウインドウ、イメージウインドウ、ビューイング

\* Sony/Tektronix corporation

このソフトウェアの特徴は、ラジオシティが使い、建築の透視図、室内の内装パース、間接照明の照明効果の検討が容易にできることである。また、ラジオシティ計算後は、実際に近い状態の質感の画像がリアルタイムでレンダリング表示されるので、明るさ感、質感の変更が即座に変更でき、評価できる。さらに、作成したオブジェクト自身を光源とすることができるので、照明器具からの配光の様子を検討する際に有効な手段となる。

## 5.2 CG画像の作成(透視図の作成)

### (1) 部屋の作成

部屋を作成する場合、基本的には立方体を作ればよいので、間口10m、奥行き10mの四角形の2次元平面をモデリングにより、3.5mの高さで立ち上げ、部屋の外形を作成すればよいが、実際には窓等があるため面ごとに分割し、組み合わせる手法が取られる。

意匠的なことを考え、左右に窓を付け、腰壁の部分をレンガ模様をマッピングしたので、10m×3.5mの四角形を前後に10m×3mの四角形を中央に作り、それらを1.5mまで立ち上げ、次に、1.5mから3.5mまで立ち上げる方法によって部屋の外形を作成した。窓については、2次元で作成した後、3次元化し、X、Y軸に対し90°回転し、はめ込むといった手法によった。(写真-1)

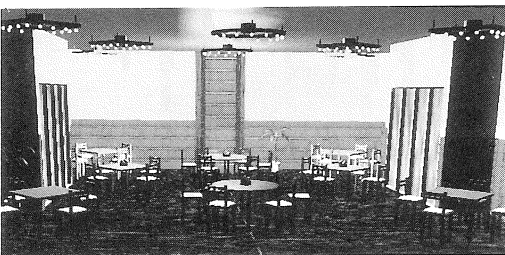
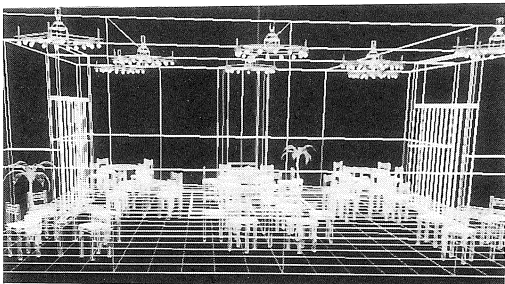


写真-1 CG画像の作成の一例

### (2) インテリアの作成

椅子、テーブル等の什器については、個々のパー

ツを組み合わせ完成されたものを室内に配置することによって、現実に近い部屋を想定した。

### (3) マテリアル、マッピング

質感を出すため、マテリアルの設定を行う。設定の要素としては、表面の色(拡散光の反射率)、ハイライトの色と拡がり(鏡面の反射率)、マッピングがある。具体的には壁面には、レンガ模様を、床面には木目を付けたりする。

## 5.3 照明計算

ラジオシティ法は、照明計算に曲面光源が使い、それは、物体そのものを発光させる光源であるため、蛍光灯などは曲面光源として扱うことができる。

ラジオシティによる照明計算の流れは、図-4のようである。

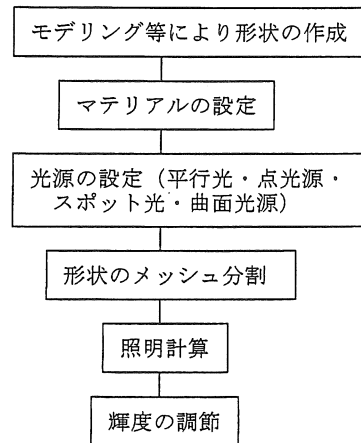


図-4 ラジオシティ計算の流れ

照明計算の過程を確認しながら、マテリアル、光、メッシュ分割の設定を考え、照明計算を繰り返す。形状をメッシュに分解する際、分割数が多くなれば、クオリティは向上するが、環境全体のポリゴン数が増すため、照明計算とレンダリングに要する時間が増す。パソコンの機能にもよるが、10数時間を要することがある。したがって、必要な部分だけを細かく分割し、無駄な分割を避けることが、計算時間の短縮になる。

## 5.4 ラジオシティレンダリング<sup>5)</sup>

ラジオシティ計算では、直接レンダリングを行うことはできない。画像を作るには、ラジオシティ法は照明計算されたポリゴンをレンダリングする手法を使う、この手法をラジオシティレンダリングと呼んでいる。

ラジオシティ法によって照明計算された結果は、レンダリングの手法を使って画像を作成される。レンダリングによって、画像の仕上がりが異なる。写真-2にスキャンラインによる画像を示す。

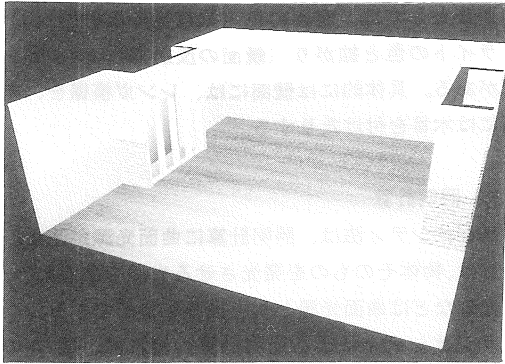


写真-2 スキャンライン

写真-3にレイトレースによる画像を示す。

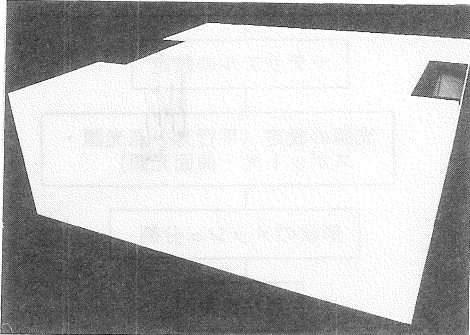


写真-3 レイトレース

スキャンライン法では、隠面処理に1スキャンラインずつ取り出して処理しているので、比較的高速で透明感のある画像が得られている。レイトレース法では、空間を透過する際の減衰や物体での反射(透過)の減衰の取り込みができるので、フォトリアルな画像が得られる。映り込みが表現でき、自然に近い質感のある画像が得られている。しかし、操作に時間がかかるといった欠点がある。

### 5.5 CGを使って作成した照明環境の例

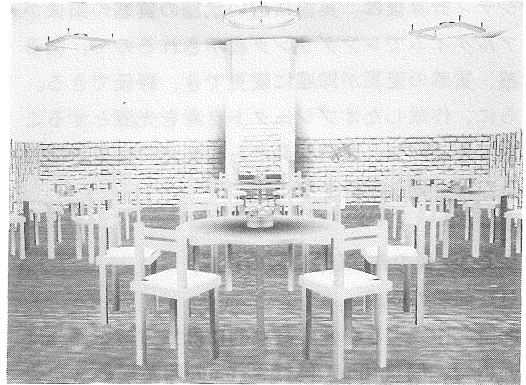
前述の検討結果から、操作時間、画質、質感を総合的に考慮した上で、ここでは、スキャンラインを使ったレンダリングを行った。シェーディングはグローバルを使い操作時間の短縮を図った。

CG画像作成する際の条件

#### (1) 室内の平均照度の変化

室内の平均照度を変えたときのCG画像の、明るさの違いをみるため、照度を200 lx、100 lx、50 lx

と変えCG画像を作成した。その結果を写真-4に示す。設定照度の差は天井、テーブルの影などに顕著に表れる。



(a) 200 lx



(b) 100 lx



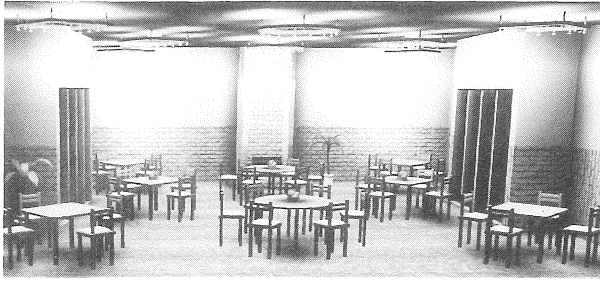
(c) 50 lx

写真-4 照度の違いによるCG画像

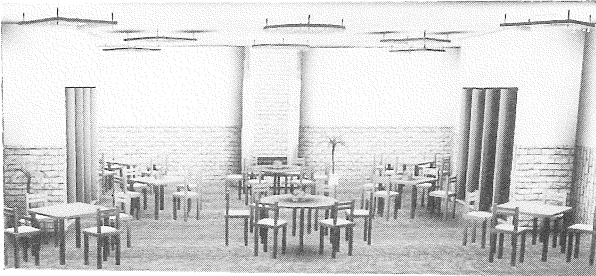
#### (2) 直射光のみの場合と間接光を考慮した場合の比較

写真-5に直接光のみの場合と間接光を考慮したときの違いを示す。間接光を考慮した場合では、内装(天井・壁・床)の材質、反射率の影響が

表現できている。また、間接光を考慮した方が、よりリアルな画像が得られている。



(a) 直接光のみ



(b) 間接光を考慮

写真-5 直接光と間接光によるCG画像

### (3) 内装仕上げの材質の変化

写真-6に壁面の材質の違いを示す。

材質は、視覚的に大きな影響を与えると同時に、材質の色彩、反射率は、CG画像の明るさ感に大きな影響を与える。

## 6. むすび

パソコン機能の進化、高画質の画像が得られるようなCGのソフトの開発によって、CGは飛躍的に進歩したと同時に身近なものとなった。

照明設計した照明施設をCGを使って、画像化することは、設計段階の検討あるいはプレゼンテーションに有効に使い、数値によって表現するより、意志の伝達が正確にでき、遙かに優れていることは明らかである。

身近にあるパソコンを使用して今回作成したCG画像でも、照明設備の評価する手段としては使用可能であると考えられた。

ラジオシティ法を使ってよりリアルな画像が短時間で作成できるようにすることが課題である。

本文に掲載したCG画像の作成は、研究室の卒研 中道真紀さん、本間ひとみさんに協力願った。

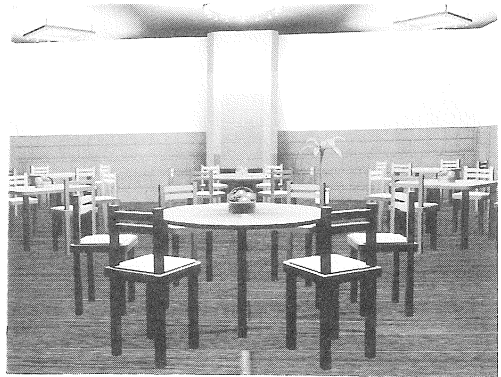


写真-6 材質の違いによるCG画像

## 謝辞

本研究は、「日比科学技術振興財団」の研究助成金によって行われた研究であり、配慮頂いた振興財団の関係各位に対し謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 百里美和：光環境におけるコンピュータグラフィックス技術の現状，照明学会誌，83-1，pp. 36～40，1999-1
- 2) 例えば、今間俊博：CG入門セミナー，日経BP社，pp82～103，1998  
千代倉弘明ら：3次元CADの基礎と応用，共立出版，1995
- 3) 西田友是：ラジオシティレンダリング，日経CG，152，pp. 84～87，1999-5
- 4) Michael F, Cohen, et. al. : Progressive Refinement Approach to Fast Radiosity Image Generation, Computer Graphics, 22-4, pp. 75～84, 1988
- 5) 佐藤賢次：3次元CGとレンダリング手法について，日経CG，129，pp146～147，1997-6

(受理 平成12年3月18日)