

## CG制作におけるライト探索ツールの活用

佐波晶<sup>†</sup>

フォトリアルなCG制作においては、実際のカメラ撮影におけるノウハウが用いられるが、CGではカメラやライト、被写体などの配置に応じた結果をインタラクティブに得ることができないことが適用における障害となる。本報告では、CG制作において多くの時間を費やすことになるライティング作業において、意図した演出からライト配置を計算することで効率のよいライト設定を実現するインバースライティングの利用法について報告する。

### Application of the Inverse Lighting Tool for the Computer Graphics Production

Sho Sanami<sup>†</sup>

The actual camera techniques are used to produce the photo-real 3D computer graphics image. But, the result corresponding to the arrangement of the camera, lights and objects cannot be interactively obtained. In general, the process of the lighting needs long time for production of the 3D computer graphics image. I report on the inverse lighting tool that calculates the light arrangement from the intention of user.

#### 1. はじめに

製品開発における3次元CADシステムの使用は一部の企業や一部の部門に止まっていたが、近年、様々な企業で部門間を越えた連携への取組みが進みつつある。この3次元CADシステムで作成したCADデータは製品の完全なモデルなので、正確な形状が重要となるセールスプロモーション向けCG制作にも使うことができる。

大日本印刷株式会社では「CADVIZ REAL<sup>TM</sup>」として、CADデータから3次元CG画像を制作するサービスを提供している(図1) [1]。3次元CG画像は製品のリアル

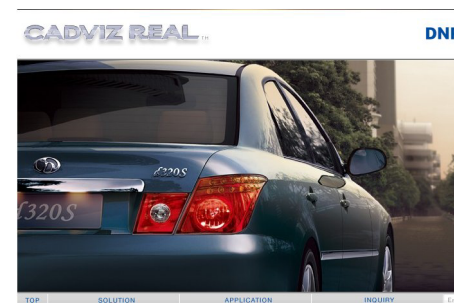


図1 CADVIZ REAL<sup>TM</sup> (<http://www.dnp.co.jp/cadviz-real/>)

な姿を可視化できるので、カタログやWebコンテンツなどのセールスプロモーション目的だけでなく、製品開発における早期のデザインレビューなどにも期待されている。

CADVIZ REAL<sup>TM</sup>における3次元CG制作では、入稿されたCADデータをCG制作に適したデータに変換するCAD整備、最終的な画像のレイアウトを考えてオブジェクトとカメラ配置を行うアングルハンティング、光源と光源に対応した質感の設定、設定したシーンのレンダリング、出力した3次元CG画像をベースにしてコンポジットおよびレタッチを行い、最終納品物が完成する(図2)。一般的な3次元CG制作ワークフローではモデリング作業に多くの作業時間を要するが、CADVIZ REAL<sup>TM</sup>ではCADデータが存在するので、モデリング作業を省略できるという特徴がある。

3次元CGソフトは、コンピュータ内に構築された3次元空間を2次元の画像に投影するだけのソフトから始まり、近年では3次元空間におけるエネルギーの伝播をシ

<sup>†</sup> 大日本印刷株式会社  
Dai Nippon Printing Co., Ltd.

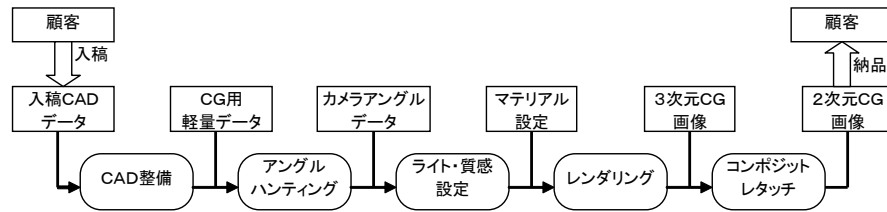


図 2 CADVIZ REAL™における3次元CG制作ワークフロー

ミュレーションするようになり、高性能なレンダリングエンジンであるほどその傾向が強い。シミュレーションに近くなることで、オブジェクト形状や質感、背景、ライトなど、現実世界の情報を正しく反映させることが求められてきている。これを受けて、レンダリングした画像内のオブジェクトの色が暗い場合、質感は変更せずにライトを当てて対処するという、従来のスタジオ撮影と同じ手法になってきている。現実の世界では点灯したライトを移動し、向きを変えることで1つの位置と向きを比較的簡単に見つけることができる。しかし、3次元CGソフトで同様の作業を行う場合、位置や向きを変えるたびに3次元CG画像をレンダリングすることになり、膨大な計算時間を要する問題がある。

カメラとオブジェクトを定めたとき、オブジェクトの演出はすべてライティングに拠ることで、3次元CG制作ワークフローにおいて、ライティングの確認のためのレンダリング作業の割合が高くなっていく。本報告では、ライトの位置と向きについて、ライトの光を当てたいオブジェクトの形状からライトの位置と向きを求めることにより、ユーザの意図した演出を効率よく実現するための手段を提案する。

## 2. 関連する研究

ライト設定作業の時間を短縮するには、ライトを配置してレンダリングで確認する試行回数を減らすか、レンダリングに要する時間を短縮する必要がある。

レンダリングで確認する試行回数を減らす上では、環境マップを設定してレンダリングする手法が適用できる[2]。環境マップに描き込まれている絵を参考にすると、オブジェクト上の明るくしたい領域が環境マップのどこに対応するかの把握が容易になる。そして、環境マップとライトの位置を対応させるIBLを用いることにより、少ない回数で目的を達することができる。しかし、この手法ではライトの向きは環境マップの中心を向くという制限や、ライトの距離を変えるなどの処理は適用できないという問題がある。

レンダリングに要する時間を短縮する手法は幅広く、グローバルイルミネーションを考慮せずに低次反射に限定したレンダリング手法や、GPUを用いた高速化手法など

がある[3]。現実世界におけるライティング作業と同等のインタラクティブ性としては、10FPS程度が確保できれば十分であるが、2次元の画像で表示されているコンピュータ画面を用いて任意の6自由度を探すことは簡単な問題ではない。

## 3. 目的の演出を行うライトの探索

一般的な質感のオブジェクトにライトの光を当てた場合、カメラと注目している投影面上のピクセルで定められるレイが形状と交わった点に対し、正反射の方向にライトがあると反射光が最も強くなる(ライトの位置)。また、一般的なライトの光の強さの分布は、ライトの向いている方向を中心として外へ向かって単調減少となる(ライトの向き)。オブジェクトをライトの光で明るく照らす場合、最も明るく照らしたい場所を考えるので、ライトの位置と向きを6自由度を適切に与えなければならない。

コンピュータ内の3次元空間内にオブジェクトとカメラを配置し、カメラをオブジェクトへ向けた状態を考える(図3)。カメラから3次元CG画像の任意のピクセルを通るレイ $\vec{E}$ を考えると、このレイ $\vec{E}$ とオブジェクトの形状との交点 $C$ における法線ベクトル $\vec{N}$ に対し、正反射となる方向 $\vec{R}$ から入射した光が多くなればピクセルが明るくなる。このとき、正反射となる方向ベクトル $\vec{R}$ は式(1)で求められる。

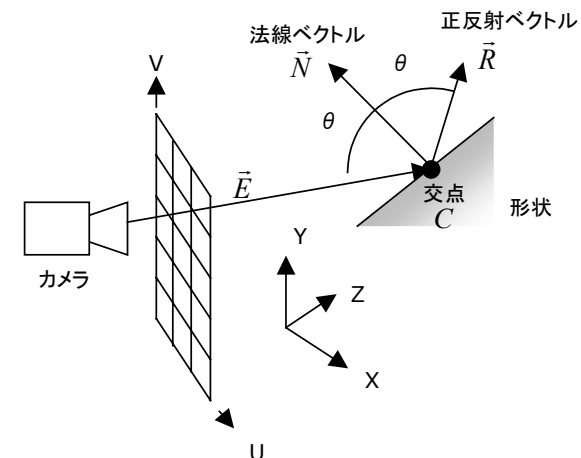


図 3 任意のピクセルを通るレイに対する正反射ベクトル

$$\vec{R} = -2 \cdot \vec{N} \cdot \vec{E} \times \vec{N} + \vec{E} \quad (1)$$

計算で得られた方向ベクトル  $\vec{R}$  および交点の座標  $C$  は、コンピュータ内の 3 次元空間内に配置されたオブジェクトとカメラの位置と向きが変化しない限り一定である。そこで、最初に 3 次元 CG 画像のすべてのピクセルについて正反射となる方向ベクトル  $\vec{R}$  および交点の座標  $C$  を計算しておく。そして、ユーザが指定した明るくしたいピクセルに対し、計算しておいた方向ベクトル  $\vec{R}$  および交点の座標  $C$  を用い、ライトの位置を計算する。このような手法をとることで、カメラからのレイに対し、法線が垂直に近い面であっても密度の高い計算が可能となる。

正反射となる方向ベクトル  $\vec{R}$  と正対する方向からの光を強くするための手法として、一般的なスタジオセット撮影ではスタジオ内にオブジェクトを配置し、目的の演出を実現するため、次の 3 つの手法でライティングを行う。

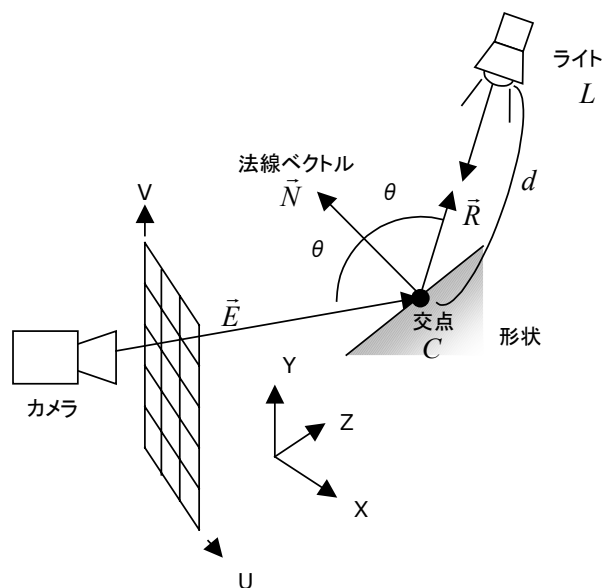


図 4 光を直接当てるライトの計算

1. ライトの光を直接当てる
2. 映り込んでいる物体にライトの光を当てる
3. 明るい物体を映り込む位置に配置する

以下にそれぞれに対応したライトの計算方法を述べる。

### 3.1 光を直接当てるライトの計算

オブジェクトに鋭い光を入れたい場合、ライトの光をオブジェクトの対象部に直接当てることで、ライトの光を映り込ませる (図 4)。このとき、ライトの位置  $L$  はオブジェクト形状とカメラからのレイ  $\vec{E}$  とオブジェクト形状との交点  $C$  から正反射方向  $\vec{R}$  へ適当な距離  $d$  だけ離れた位置になり、式(2)で求められる。

$$L = C + d \cdot \vec{R} \quad (2)$$

適当な距離  $d$  は、ライトからのレイが別のオブジェクトで遮られない距離となる。確

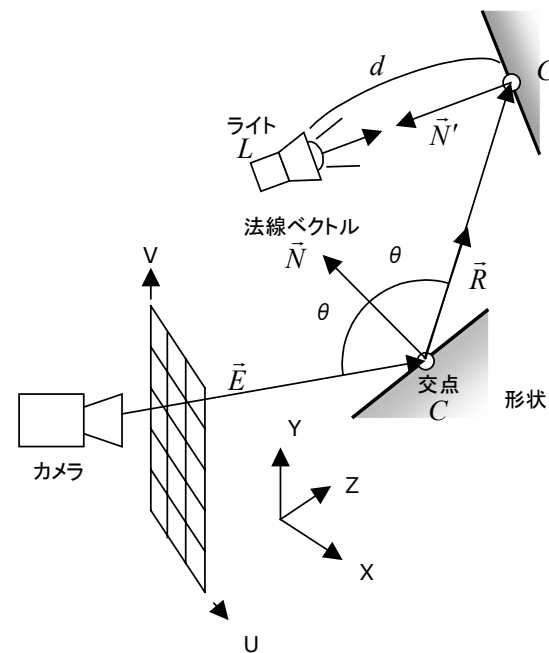


図 5 映り込んでいる物体に光を当てるライトの計算

実な指定方法として、オブジェクトを配置したスタジオセットにおける壁までの距離を基準として定める。このとき、生成されたライトがスタジオセットの中に納まるよう、壁までの距離  $D_w$  として適当な距離  $d$  は式(3)とした。

$$d = 0.9 \times D_w \quad (3)$$

このようにして生成されたライトは、ユーザが3次元CG画像上で指定した、オブジェクトを明るくしたい領域を指定したピクセル数分になる。したがって、非常に多くのライトが生成されるので、ユーザはライトの分布から適当なライトで代表するといった作業を行う。

### 3.2 映り込んでいる物体に光を当てるライトの計算

オブジェクトの広い範囲を柔らかく明るくする場合、映り込んでいる点を明るくする(図5)。このときのライトの位置  $L$  は、オブジェクト形状とカメラからのレイ  $\vec{E}$  とオブジェクト形状との交点  $C$  から正反射方向  $\vec{R}$  にあるオブジェクト上の点  $C'$  を明るくする位置である。広い範囲を明るくすることが目的なので、映り込ませるオブ

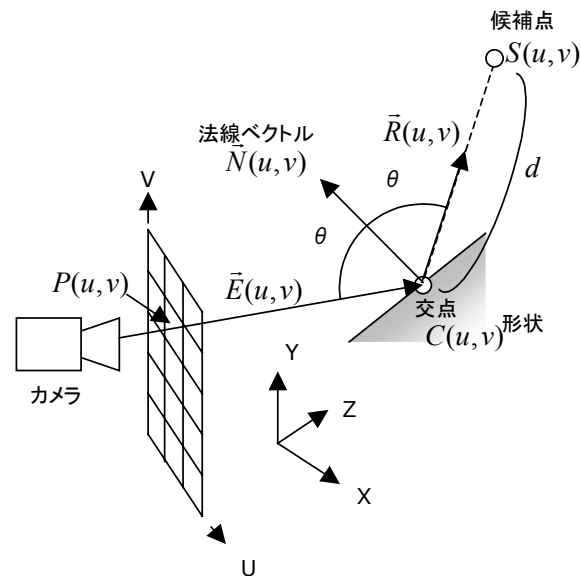


図6 映り込んでいるオブジェクトに光を当てるライトの計算

ジェクトの表面は拡散反射(ランバート反射)とすることが多いので、映り込んでいる点  $C'$  を明るくするためのライトは  $C'$  における法線ベクトル  $N'$  方向に適当な距離  $d$  だけ離れた位置  $L$  にライトを配置する(式(4))。

$$L = C' + d \cdot \vec{N}' \quad (4)$$

ライトを生成した後に、その生成したライトのカバーする領域を少ないライトに置き換える作業はユーザが行う。

### 3.3 映り込む形状を配置する

実際の撮影では、特定の領域を明るくする手法の1つとしてレフ板が広く使用されている。仮想空間では形状の変更が容易なので、映り込ませたい形に適した形状のレフ板を用意することができる。

レフ板を生成するには、カメラから3次元CG画像上からユーザ選択したピクセルごとに通るレイ  $\vec{E}(u, v)$  を考え、このレイと形状との交点  $C(u, v)$  に対して、正反射ベクトル  $\vec{R}(u, v)$  を求める。そして適当な距離  $d$  だけ離れた場所に候補点  $S(u, v)$  を定める(図6, 式(5))。

$$S(u, v) = C(u, v) + d \cdot \vec{R}(u, v) \quad (5)$$

候補点を定めた後、必要に応じてレフ板の形状を次の手順で生成する。

1. それぞれの候補点  $S(u, v)$  について、近傍の候補点2点までの距離  $D_0, D_1$  を求め、両方の距離とも一定の距離  $D_{max}$  以内であれば三角形の面  $F_n$  を生成する。
2. 隣接する三角形を1つのポリゴンメッシュにまとめる。ある三角形  $F_i$  について頂点  $V_{0 \sim 2}$  のうちの2頂点を共有している場合、同じポリゴンメッシュとして連結する。
3. すべての三角形についてポリゴンメッシュにまとめる作業が完了した後、一定の面積よりも狭いポリゴングループを削除する。

以上の作業によってレフ板が作られる。レフ板を単純な白色板とすると、現実の世界に近い。レフ板の映り込みが弱い場合は、3.2によってレフ板にライトを当てる作業によって対処することになる。



図 7 3次元 CG 画像 (左) と各ピクセルを通るレイが形状と交わった点における法線の傾きをグレースケール表示した画像 (右)



図 8 ハイライトを入れたい領域を指定した状態

#### 4. 実装例および考察

ここまで述べた手法を用いて実装したライト探索ツールについて動作を述べる。

##### 4.1 ライト探索ツールの実装

まず 3次元 CG 画像と、3次元 CG 画像上の各ピクセルを通るレイが形状と交わった点の座標およびその点における法線を取得する (図 7)。この法線情報はカメラとオブジェクト配置に依存するが、ライトには依存しないので、アングルハンディングの作業が完了していれば 1度取得するだけでよい。

次に、ユーザが 3次元 CG 画像上または法線の傾きをグレースケール表示した画

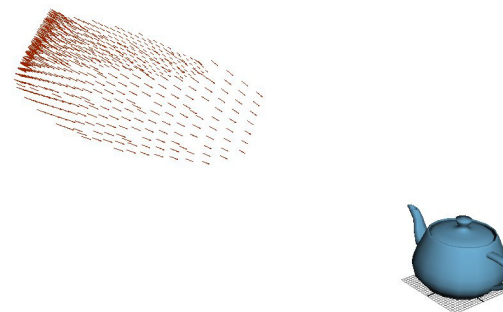


図 9 オブジェクトに対して生成したライト群



図 10 指定した領域が明るくなった結果

像上において、明るくしたい領域をマウスで指定する (図 8)。例えば、ハイライトを入れたい、などの要求がある。

ユーザが指定した領域内の全ピクセルに対して 3.1~3.3 のいずれかの処理を行い、ライトまたはポリゴンメッシュを生成する。たとえば、「光を直接当てるライトの計算」に対応する処理を行った場合、ライトが複数生成される (図 9)。

生成したライトから光が発している状態にし、3次元 CG 画像をレンダリングすると、指定した領域が明るくなった画像が得られる (図 10)。

## 4.2 考察

3次元CG制作ワークフローにおけるライト設定作業において、次の3点が作業時間の短縮に効果がある。

1. 帯状のハイライト領域をカバーするライト領域の方向  
多くの3次元CGソフトウェアではライトの数が増えると計算量が増えるので、最小限のライトで表現できることに大きなメリットがある。ライト探索ツールを使用すると、空間内の光線の分布が明らかになるため、スポットライトの羽（バーン）を使用するなど、幅をもった光源を配置するときの方向を知ることができる。
2. 空間内の同一点が映り込んでいることの検出  
形状に2つの山があるような場合、同一点が2つの箇所に入り込むことがある。この場合、片方だけに映り込ませることは、3次元のシーンとして解決することができないので、レタッチ処理で解決するなどの解決を取らなければならない。このような性質の問題を少ない時間で気づくことができる。
3. 形状の特徴を強調するような映り込みの作成  
工業製品では曲面の中に特徴的な直線・曲線を含んでいることが多く、その直線・曲線を強調するために直線・曲線を境界として映り込ませることがある。この境界線をライトの分布によって判別することが可能である。

## 5. おわりに

3次元空間のオブジェクトにライトを当てる作業自体は古典的な作業だが、ライトを当てる作業をサポートする機能が乏しいため、3次元CG制作においてコストが高いという問題になっていた。本報告では、実際の撮影での作業に対応した機能を持つライト探索ツールについて、機能と使い方について述べた。このライト探索ツールを使用することで、従来通りのライトの位置と向きを探す作業が軽減されただけでなく、その次の利点までを見出すことができている。今後は、ライト探索ツールを用いることによる作業時間の短縮について、客観的な数値評価が得られるよう、計測方法を定めていく予定である。

## 参考文献

- 1) 大日本印刷株式会社 CADVIZ REAL<sub>TM</sub>, <http://www.dnp.co.jp/cadviz-real/>
- 2) Debevec, P: HDRI and Image-Based Lighting, SIGGRAPH2003 Course.
- 3) Nijasure, M., Pattanaik, S. and Goel, V: Real-Time Global Illumination on GPU, Journal of Graphics Tools, Vol.10, pp.55-71 (2005)