

## 光源・素材・目 CG 仕組み基本のキ

湯崎 伸

株式会社 ステラジアン

〒102-0073 東京都千代田区九段北 4-1-14 九段北 TL ビル 3 階

### 1. はじめに

株式会社ステラジアンは製造業向け照明シミュレーションシステムの開発を行っています。かいつまむとコンピューターグラフィックスのレンダリングエンジンを開発・販売している会社です。

本講演では視覚刺激画像生成に CG を利用する際重要な光源・素材・カメラ（目）のセットアップに必要な事柄を薄く広く駆け足で説明します。

### 2. CG を利用した各種シミュレーション 実例

#### 2.1 ラジオシティ法による屋内照明環境再現

屋内照明を個別の設計位置・出力で配置し、窓から注ぐ天空光についても日時および緯度経



図 1 屋内照明環境再現結果の RGB 画像。

2012 年夏季大会、チュートリアル講演。

本講演は視覚刺激画像の生成にコンピューターグラフィックスを利用する際に最低限押さえる事柄を、実例と実演を交えて紹介するものです。

度で設定しレンダリング。光源および素材反射特性について可視範囲スペクトルを波長単位等間隔に 80 分割し、それぞれの輝度を求めています。確認用に RGB 画像化していますが、試作品レス化を目的とした分光放射輝度の取得が主となります。

#### 2.2 測定 BRDF を使用した自動車塗装再現

可視化用試作品点数の削減および色開発のデジタル化を目的とし、写真レベルの品質を目標としたものです。

ゴニオリフレクトメーターで測定した BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) を CAD モデルの素材として適用し、あらかじめサンプリングしておいた照明環境を使用してレンダリングしています。BRDF は仰角 2 度刻み、可視範囲スペクトルをレギュラーに 32 分割。照明環境は HDR (High Dynamic Range) で撮影したパノラマ画像を利用していますが、スペクトルベースは困難なため、撮影時にテストチャートなどを使用するなど慎重に色空間を管理しています。

### 3. CG ソフトウェアの種類と役割

#### 3.1 CG ソフトウェアの種類

昨今は CG も業務が分業・細分化されていま

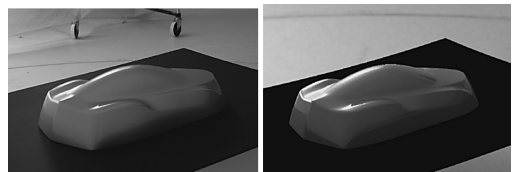


図 2 塗装再現。左が実写で右がシミュレーション結果。

すが、それでも大まかに下記に分類します。

- CAD (computer aided design)  
AutoCAD/CATIA/...
- DCC (Digital Content Creation) tools  
MAYA/3dsmax/Houdini/...

視覚刺激画像の生成には形状モデリングが主で

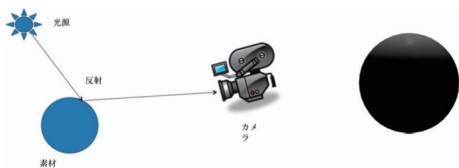


図3 Autodesk MAYAでのレンダリング結果(直接光).

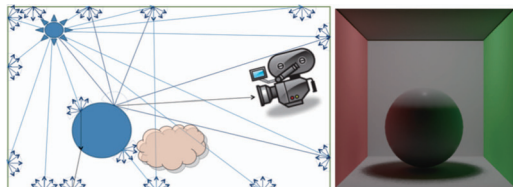


図4 Autodesk MAYAでのレンダリング結果(+間接光).



図5 Autodesk MAYAのカラーパレット.

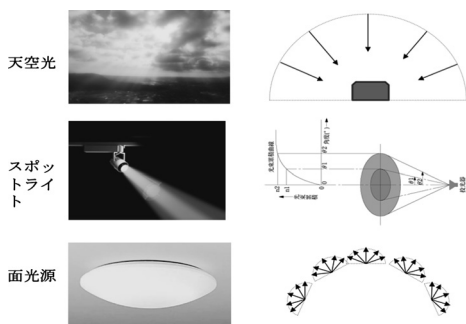


図6 配光の種類.

あるCADではなく、本講演の主題である光源・素材・カメラ(目)を詳細に制御可能なDCCソフトウェアを使用します。

### 3.2 CGソフトウェアの役割

セットアップし各種エンジンに渡して結果を得ることと、それらの統合がDCCソフトウェアの役目です。CGのレンダリングに関しては下記の通りです。

- 空間(シーン)のセットアップ
  - 形状作成と素材割り当て
  - 光源の作成と配置
  - カメラ配置
- これらをレンダリングエンジンに渡して画像を得る
  - Mentalray
  - Vray
  - Maxwell Render
  - ...

## 4. CGの原理

- 光源から放たれた光線(ray)が
- 素材に反射され
- カメラ(目)に届く

これだけです。

実際にはrayは素材上で全方位に反射および透過しますから、図4のようになります。

図4の素材上任意位置の明るさを求めるために下記のレンダリング方程式を使用します。

$$L_o(p, \omega_o) = L_e(p, \omega_o) + \int_{\Omega} f_r(p, \omega_q, \omega_o) L_q(p, \omega_q) \cos \theta_q d\omega_q$$

この式は基本的に解けないため何らかの近似を行い、そのほとんどはサンプリングベースで収束演算を使用します。近似の方法は目的に応じ



図7 配光ごとのレンダリング結果(左から天空、スポット、面).

て取り替えるため、万能なレンダリングエンジンはなく、商用エンジンは複数の近似法を内包し併用しています。

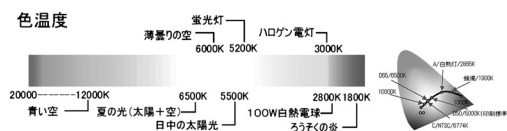
正しい結果を得るには光源・素材・目それぞれに物理特性に即したパラメータを設定する必要がありますが、これが破綻している場合正しい結果を得られないばかりか、演算が収束せず処理が完了しないこともあります。

本講演ではこの三要素について抑えるべき事柄をDCCソフトウェアの一つであるAutodesk社MAYA上で説明します。

## 5. 光源

### 5.1 色温度

光源の色は色温度（ケルビン）で与えられることが多いです。直接値で（D65等）指定されていることもあります。また、「蛍光灯」などの名称から得ることもできます。



しかし一般のCGソフトにはこの値を入力するところがありません。

光源の正しい色温度が既知であるならそこから最終的に使用する色空間におけるRGB値を取得し設定します。不明であるならHSVで近い色を指定します。

### 5.2 演色性

CGで演色性の問題を取り扱うには前述のレンダリング方程式を可視範囲スペクトル全域で行うか、サンプリング密度を細かくしてスペクトルごとの結果を得られるようにします。前者は計算量が膨大になりますし、後者は収束が悪くなります。困難ですが力技的に解ける問題です。

### 5.3 光源の明るさ・配光

CGソフト上では光の強さの単位がありません（図3参照）。シーンを構築する事前にワット（W）やルーメン（lm）などで固定して使用します。

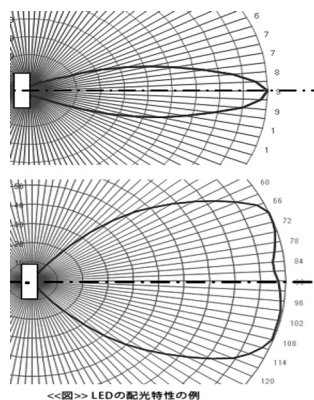


図8 LED光源の配光特性例。

ワットやルーメン（lm）で表される明るさは光線（ray）一本のそれではなく配光すべての総量となることに注意して下さい。配光特性（IES）はメーカーから提供されることがありますので参考にして図7のスポットライトを設定するか、CGソフトによってはIESを直接使用できるものもあります。一般向け照明器具のカタログ値としてよく使用されているルクス（lx）は光を出す側ではなく受ける側の明るさなので使用しません。

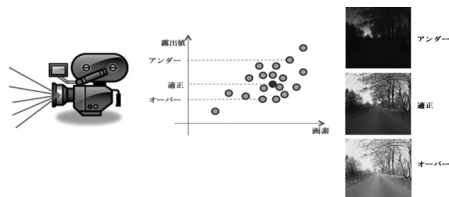
## 6. カメラ・目

### 6.1 光のダイナミックレンジ

自然界にある光の強さを、露出値（Exposure Value: EV）で表すと図9のようになります。

図9の通り、考えられるシーン内光量は $2^{32}$ であり、一般的な画像ファイルおよび表示デバイスはRGB各8~12bitです。見たい範囲だけ8~12bitで切り出すために露出を制御します。

### 6.2 露出



- 絞り（F値）
- シャッタースピード（T）

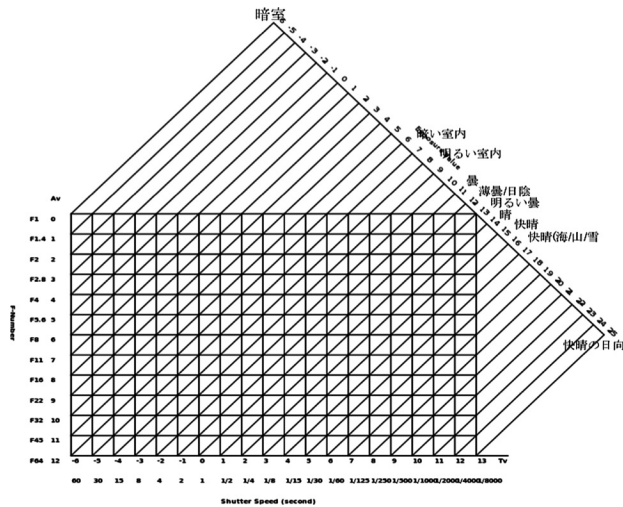


図9 光のダイナミックレンジ。



図10 Autodesk MAYA での露出制御。

- 感度 (ISO)
- 露出値 (EV)

$$= \log_2 T^2 - \log_2 T - \log_2 (\text{ISO}/100)$$

この適正露出値を中心とした 8~12 bit の範囲を切り出します。

適正露出値算出方法の詳細はデジタルカメラの自動露出実装に関する論文および特許に詳しく

く説明されているので割愛しますが、全画素の対数平均でまずまずの値を得られます。

### 6.3 ガンマ補正

本講演では既知のこととして割愛しました。

### 6.4 ホワイトバランス (ポイント)

照明環境の色温度に左右されるため、照明同様に色温度で指定します (実際に色温度を直接指定できないのも同じです)。

### 6.5 CG ソフトウェア上での露出

CG ソフトウェア上では一般に Tone mapper というインターフェースで提供されています。MAYA 上で使用する Tone mapper の例を図 10 に示します。必要なパラメータを持っていることが判ります。

## 7. 素 材

素材表面で起きる光線 (ray) の反射を深く説明すると分子構造まで落ちてしまいますので、図 11 を使用し簡略します。

素材表面から内部を通過して再び表面に現れる光を拡散反射光 (diffuse)。素材表面で反射される光を鏡面反射光 (specular)、二つの成分で素材の反射特性を表します。これ物理シミュレーションとしては不十分ですが、得られる画質は最低限おさえられるため広く扱われています。

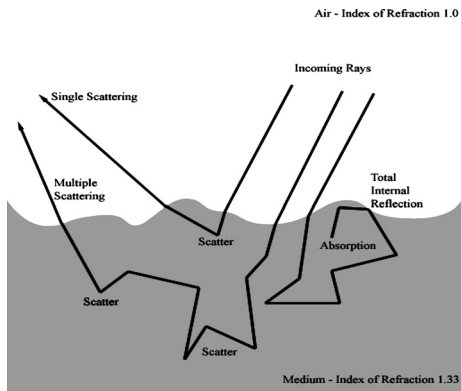


図 11 素材内外で起きる光線の振る舞い。

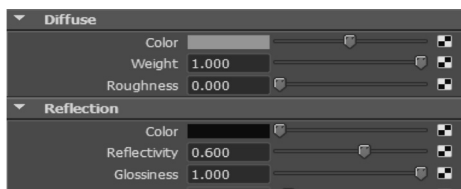


図 12 Autodesk MAYA の素材設定。

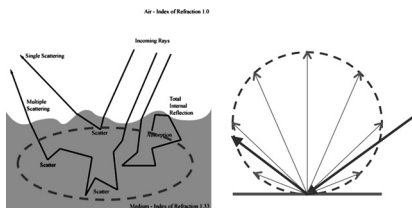


図 13 ランバート余弦則による拡散反射光近似。

### 7.1 拡散反射光 (diffuse)

光線の入射方向にかかわらない反射です。

### 7.2 鏡面反射光 (specular)

鏡面反射は入射方向と素材により反射率が変化します。金属はどの方向からでも同じ強さで反射しますが、水や樹脂は垂直入射では弱く、水平に近い入射では強く反射します。水底が遠くからでは見えず近くで見えるのはこのためです。

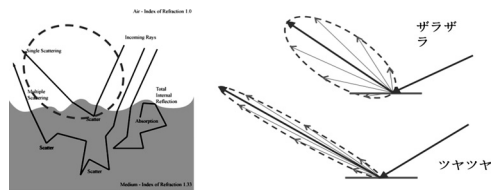


図 14 鏡面反射は表面の荒さで制御します。

### 7.3 反射率設定の注意点

鏡面反射しない素材は、ありません。拡散反射しない素材は、あります (金属)。

物性から導いた正しい反射率のはずなのに画が暗いまたは明るい場合はカメラの露出がアンダーまたはオーバーであることがほとんどです。安易に反射率を調整しないことが重要です。

## 8. 最後に

CG ソフトウェアは知識を持って使っても何となく使っても結果は似たようなものが得られてしまいます。例えば画が暗いと感じた場合に素材の反射率を高くして目的の明るさを得られますが、大抵の場合これは間違いです。また何となく得られた画には再現性／再生産性がなく、視覚刺激実験素材としての信頼性は全くもって欠如しています。

正しく使用するには実世界の光の仕組みの理解が必要で、このトレーニングには一眼レフカメラと明るい単焦点レンズで露出とホワイトバランスを覚えるのが最適です。すると照明が気になりますので屋内外等撮影条件の違いから照明環境とその構成を知り、作りたい画を生成するシーンの光源を設置できるようになります。

光源とカメラのセットアップが正しく行えれば素材の反射特性は大きく外さないで説得力のある画が出ます！