

3次元デジタルモックアップツールへの 光学シミュレーション機能強化



PLMソリューション事業部
PLMソリューション部
プロジェクトスペシャリスト

柴田 義行

Yoshiyuki Shibata



PLMソリューション事業部
PLMソリューション部
ITスペシャリスト

津田 宏臣

Hiroomi Tsuda



PLMソリューション事業部
PLMソリューション部

田坂 仁

Hitoshi Tasaka



株式会社 東京グレイス研究所

清水 愛子

Aiko Shimizu

従来のCGシステムは、主にエンターテインメント向けおよび製造業向けデザインツールとして利用されてきた。近年、特に製造業向けにおいてコンカレントマーケティング*としての販促支援ツールやコラボレーション可能な環境であるDMU**ツールとしてCGシステムが活用されつつある。

そこで、本文では主に自動車業界、自動車部品業界および家電・精密機械業界におけるDMUツールとして今年度末に生まれ変わろうとしているSurfRayの自社開発状況について紹介する。□

* 「コンカレントマーケティング」とは、新製品の市場投入が数ヶ月単位で行われ、かつ意匠デザインが売れるための重要な要素である製品において、企画、構想デザインの初期段階からお客様に対してマーケティング活動を行い、並行してそのニーズを反映・確認を進めながら本設計を開始するというエクサが提案している革新的なコンセプトのこと。□

** 「DMU」とは、Digital Mock-Up（デジタルモックアップ）の略称であり、製造業の設計部門において製品の試作品を作製する代わりに、画面上で製品を作製して電子データにしたものである。これにより、試作品の製造原価の低減および製造工程の短縮を目指している。

1. はじめに

SurfRayは、1990年にNKK殿においてCIDAS/CGという商品名で産声を上げた。高度なレイトレーシング技術などのコンピュータグラフィックス技術を駆使し、「C I D A S 2 1（次世代統合設計支援CAD/CG/CAMシステムのことであり、サイダス21と呼ぶ）」の一商品として開発・販売を行ってきた。途中でDS/CGに商品名が変わったが、高品質なデザインツールとして製造業のデザイン部門のお客様に幅広く親しまれてきた。2000年には製造業の設計部門向けに光学解析機能を持った光学シミュレーションオプションを新たに開発し販売した。

その後、2001年にDS/CG開発で培ってきた高度なCG技術を駆使して新たに開発し直し、「SurfRay」という商品名で販売を開始した。

現在は、主に自動車分野や家電・精密分野などのお客様に利用されている。特にガラスのような透明部品を含んだ工業製品においては、一般的なCG商品にありがちなCG画像の見栄えを追求するだけでなく、光学解析計算により光源からの光線を追跡して輝度計算を行い、より光学理論に忠実なCG画像を生成する機能により、競合他社を凌駕する画像品質が得られる。したがって、ビン業界ではほとんどのメーカーがSurfRayを導入している。

さらに、自動車のランプやインナーパネルなども設計検証のためのDMUツールとしても利用されるようになってきた。また、工業製品カタログの写真の代わりにCG画像を載せたりするような販促支援ツールとして利用されたり、お客様の要望を聞きながら並行してデザイン・設計するようなコンカレントマーケティングツールとして利用されるケースも出始めた。

今後、デザイン・設計部門だけでなく営業企画部門などでますます幅広い利用が求められる。

以下、SurfRayの主要機能である天空光機能³⁾、金属質感機能および光学シミュレーション機能について説明する。

(1) 天空光機能

天空光機能は、屋外シミュレーションのために太陽および天空を光源のみならず背景として簡単に設定できる機能である。

(2) 金属質感機能

金属質感機能は、主に自動車外板のカラーシミュレーションのために自動車外板の質感を簡単に設定できる機能である。ただし、自動車外板だけでなく一般的な金属に対し

てメタリック感を強調したい場合にも有効である。

(3) 光学シミュレーション機能

光学シミュレーション機能は、発光体や導光体の部品を含む工業製品を光学解析する機能や、より光学理論に忠実な発光CG画像を作成する機能である。

2002年のSurfRay新バージョン開発では、上記機能のアルゴリズムを融合し、ソフトウェアアーキテクチャを再設計する（以下、ロジック統合と呼ぶ）ことを開発目的に置いた。

以下、ロジック統合における開発の狙い、関連機能、基礎技術および実装技術を述べるとともに、当社の新たなビジネスにおける位置付けについて説明する。

2. 開発の狙い

2.1. 現状の問題点

これまでのSurfRayには、次のような問題が含まれていた。

(1) 可読性・保守性の低下

多数の開発者により短期間で開発したために、拡張性の低いソフトウェアアーキテクチャとなり、さらにソースコードが読みにくくなった。

(2) 外部仕様の不統一

天空光機能および金属質感機能と既存の光学シミュレーション機能は、それぞれ別々の開発者が個別に開発したソフトウェアである。したがって、それぞれの外部仕様に統一されていない箇所が見受けられる。

(3) 機能の汎用化

天空光機能と金属質感機能は、あるお客様向けに受託開発したものであり、一般のお客様へは公開していない。

2.1. 開発項目

SurfRay開発では、これらの問題を克服するために2002年度のメインテーマとして、ロジック統合を実施することとなった。

ロジック統合では、次のようなプログラム改造を実施する。

(1) オブジェクト指向化

オブジェクト指向技術を駆使し、SurfRayコア部のソフ

トウェアアーキテクチャを再設計し実装した。

(2) アルゴリズムの統合化

天空光機能、金属質感機能および光学シミュレーション機能の光学理論を見直し、共通化すべきアルゴリズムを統合化する。

(3) 外部仕様の統一化

アルゴリズムの統合化に伴い、天空光機能、金属質感機能および光学シミュレーション機能の外部仕様に関する不統一箇所を見直す。

そこで、ロジック統合を実施することにより、次のようなメリットが享受できる。

(1) 機能の同時利用

天空光機能・金属質感機能および光学シミュレーション機能を同時に機能させることができる。たとえば、自動車のヘッドランプやリアランプなどを点灯させた状態をCG画像として作成することができる。

(2) 機能の公開

天空光機能・金属質感機能をSurfRayのオプション商品として公開するため、一般のお客様が利用できるようになる。

(3) 可読性・保守性の向上

ソフトウェアとしての可読性および保守性が飛躍的に向上する。これにより、今後のバージョンアップが容易になり、かつ大規模開発に耐えられるようなソフトウェアアーキテクチャになる。

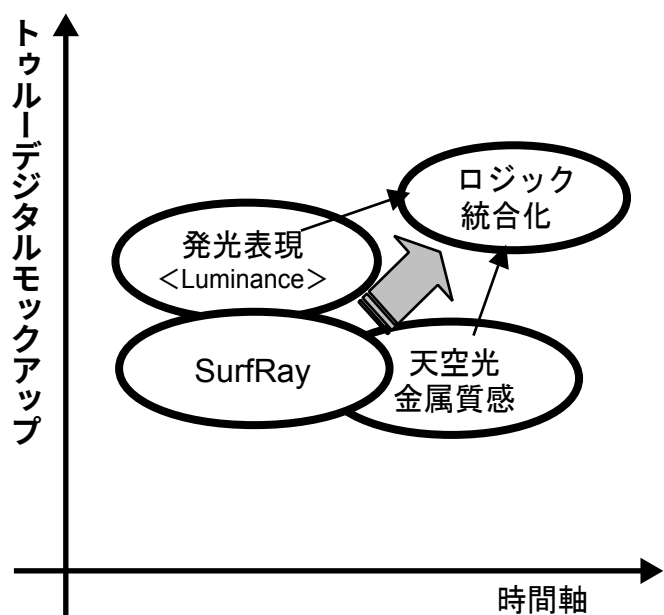


図1 SurfRayのロジック統合化イメージ

3. 機能概要

天空光機能を持ったオプションモジュールのSurfRay Skylight、金属質感機能を持ったオプションモジュールのSurfRay Metallicおよび光学シミュレーション機能を持ったオプションモジュールのSurfRay Luminanceのそれぞれの機能について説明する。

3.1. SurfRay Luminance

SurfRay Luminanceは光源や導光体の光学特性データを用いて、光源からの光線を光学的に追跡し、測定したい面での照度・輝度に関する定性的な光学シミュレーションを行うことができる。さらに、光学解析結果を利用して発光体CG画像を作成したりすることができる。

以下、SurfRay Luminanceの各機能について説明する。

(1) 光学特性データ入力

Luminanceは、製品形状である3次元形状データに光学特性データを付加して、光学解析計算を行うことができる。入力できる光学特性データには、次のような種類がある。

①光源の配光特性データ

配光特性とは、光源から各方向への発光光度分布を表したものである。

②光源の分光光度比データ

分光光度比とは、光源色をスペクトルごとの光度の比率で表したものである。

③物体の光学特性パラメータデータ

光学特性パラメータデータとは、物体の反射率、透過率、拡散係数などの組み合わせで物体の光学特性を表したものである。

④物体の変角分光放射輝度率データ

変角分光放射輝度率データとは、物体における変角ごとの反射率や透過率を光の輝度率としてスペクトルごとの分布で表したものである。

(2) 光線軌跡出力

シミュレーション計算では光源から発生した光線が配置されている各物体に衝突すると、反射方向や透過方向に光線を発生させこれを繰り返す。

それらの光線の軌跡をすべて保存して、画面上に表示することができる。

(3) 輝度・照度分布図出力

輝度や照度を測定したい物体に指定しておき、光線がこれらの物体に衝突した際、光学解析計算にて求められた照度を照度バッファに積算して格納している。

その結果、照度バッファを用いて指定方向から見た輝度分布図や照度分布図を画面上へ表示、または、CSV形式にて外部ファイルへ出力することができる。

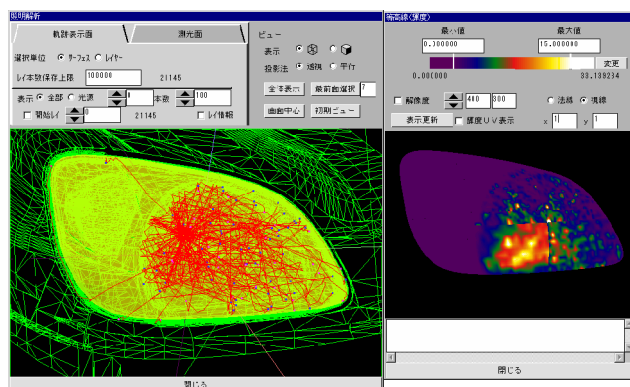


図2 光線軌跡図と輝度分布図

(4) 発光体CG画像作成

SurfRay本体にて作成した通常のCG画像をもとに、照度バッファを用いて光源からの輝度をそのCG画像に足し合わせ、発光体CG画像として作成することができる。



図3 点灯CG画像と非点灯CG画像

3.2. SurfRay Skylight

SurfRay Skylightは、日時や天候などを指定して天空を簡単に設定することができる。

これにより、天空や太陽を光源として利用すること、または天空を背景として利用することもできる。

以下、SurfRay Skylightの各機能について説明する。

(1) 天空・太陽光の設定

日時・天候・緯度・経度・高度などのパラメータから天空光（天空および太陽光の総称名）を半球ドーム状の光源として設定する。また、同時に天空光を背景として設定する。これにより、光学理論^{1) 2) 4)}に基づいて天空光を考慮したCG画像を作成することができる。従来、屋外の環境を作るのにいくつもの光源を試行錯誤しながら設定していたが、天空光を用いることにより簡単に屋外環境としての光源設定をすることができる。

天候には晴天・曇天が指定できる。晴天では、地面に落ちる自動車の影をシャープにすることができる。逆に曇天ではぼかすこともできる。

さらに、自動車などの物体の任意な位置へ太陽の直射光が当たるように、マウスで太陽の位置を簡単に設定することもできる。

(2) 地面反射の設定

地面などから反射した太陽光および天空光を考慮して、金属質感の照度計算を行うことができる。

これにより、自動車外板の下半分が暗くなる現象を解消することができる。

(3) 擬似雲の生成

擬似雲とは、大気中の任意の層にフーリエ級数を用いて発生させた2次元の雲の密度分布を大気中にマッピングしたものである。天空光にこの擬似雲を設定して、それを天空光として利用することができる。

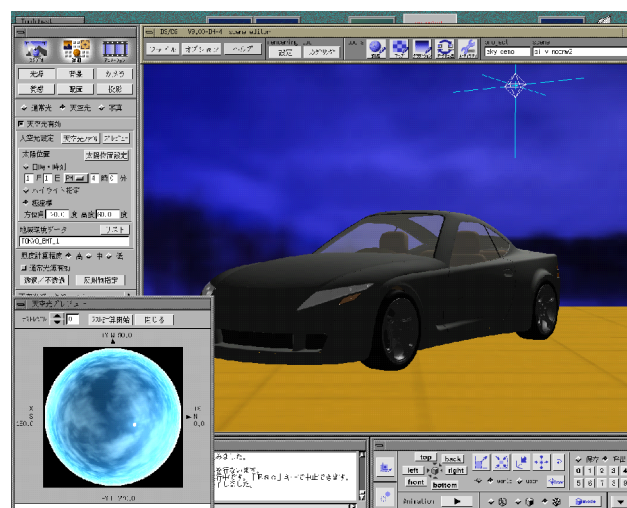


図4 擬似雲設定画面

(4) 全天空写真の設定

魚眼レンズで撮影した全天空写真を、天空光として設定す

ることができる。

(5) アニメーション

物体の位置・姿勢・動きを変化させるだけでなく、太陽の位置や擬似雲の形状を変化させるようなアニメーションを作成することができる。

3.3. SurfRay Metallic

SurfRay Metallicは、予め用意した金属などの光学特性データ（BRTDデータ：Bi-directional Reflection and Transmission Data）を自動車外板などの金属に付加することにより、忠実にメタリック感をシミュレーションすることができる。SurfRay Skylightと組み合わせて屋外で

の自動車外板のシミュレーションを行ったり、通常光源を用いて室内でのシミュレーションを行ったりすることができる。

ここでいう光学特性データとは、光がある入射角で物体に当たった際の反射角ごとの輝度率である。輝度率とは、完全拡散面の反射輝度と測定面の反射輝度との比率を言う。

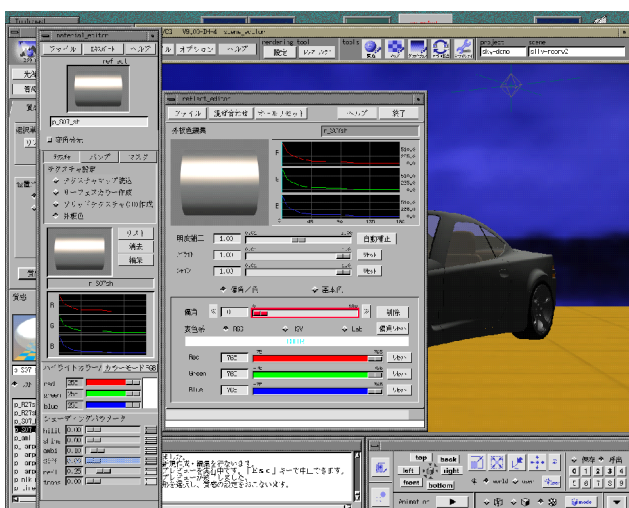


図5 BRTDエディタの設定画面



図6 自動車外板のCG画像
(上図：曇天、中図：晴天、下図：夕日)

4. 天空光機能の基礎技術

今回は天空光機能に焦点を当て、その基礎技術としての主な理論について説明する。

4.1. 反射光の輝度

金属に当たった光が反射すると、見る角度により反射光の輝度が変化する。一般的には、正反射方向に強く反射するが、その他の角度ではある程度様になり、図74.1-1のような反射光の輝度率分布になる。

さらに、RGB毎に輝度率の分布が異なるので、見る方向によって色味も変化する。

反射光の光度 I_r は、次の式で求めることができる。

$$I_r(\lambda_{RGB}) = \beta(\theta_i, \theta_r, \lambda_{RGB}) \{I_s(\lambda_{RGB}) \cdot \cos \theta_i / r^2\}$$

λ_{RGB} : 光の波長(RGB) [単位: nm]

I_r : 反射光のRGB光度 [単位: cd or lm/sr]

θ_i : 光の入射角 [単位: rad]

θ_r : 光の反射角 [単位: rad]

β : RGB輝度率 [単位: 1/sr]

I_s : 光源の光度 [単位: cd or lm/sr]

r : 光源から測定面上の計算点までの距離 [単位: mm]

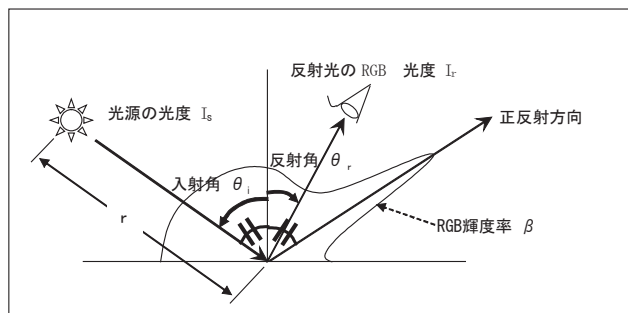


図7 反射光の輝度率分布

4.2. 天空色の決定要素

天空光シミュレーションにおける天空色を決定する要素は、次のようなものがある。

(1) 太陽のスペクトル分布、太陽位置

太陽のスペクトル分布とは、大気圏外の太陽光が有する波長ごとの輝度分布を言う。

(2) 空気分子、エアロゾル、オゾン層による光の散乱吸収

エアロゾルとは、霧や霞（かすみ）・靄（もや）などの水滴、塵、火山の噴火による灰のような空気分子よりも粒径が比較的大きな粒子のことを言う。光の散乱は、空気分子やガスのように粒径の小さな場合、レーリー散乱に従う。一方、エアロゾルのように粒径の大きな場合は、ミー散乱に従う。

今回の開発では、オゾン層による散乱吸収は、無視している。理由は、空気分子やエアロゾルによる散乱吸収に比べてかなり小さいためである。

(3) 空気分子、エアロゾルの濃度分布

空気分子やエアロゾルの濃度分布は、海拔からの高度の指数関数で近似できる。高度が高くなるにつれ、それらの濃度は低くなっていく。

(4) 雲による散乱、吸収（曇天、雲の密度分布）

雲は光源として、かなり地上の物体の輝度に影響を与えるので、リアルな天空のシミュレーションには欠かすことができない。

(5) 多重散乱

地上、海からの光の反射、分子間の反射などにより、目に到達するまでに大気中を何度も散乱する多重散乱光成分もある。ただし、現在のSurfRayでは考慮していない。

次に、レーリー散乱とミー散乱について説明する。

(6) レーリー散乱

レーリー散乱とは、空気分子やガスのような粒径の小さな粒子による光の散乱であり、散乱の強さは、入射光の波長の4乗に反比例する。したがって、光の波長が短いほど散乱が強くなる。空が青い理由は、レーリー散乱による。

この散乱の強さの分布は、次の位相関数にて表現できる。

$$(\text{位相関数}) \quad F(\theta) = (3/4) \cdot (1 + \cos^2 \theta)$$

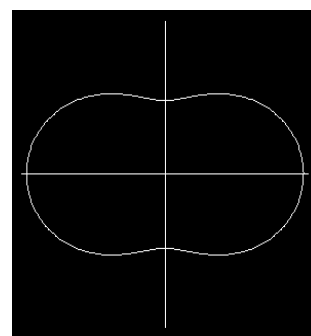


図8 レーリー散乱の例

(7) ミー散乱

ミー散乱とは、エアロゾルによる散乱で、強い指向性を示し、太陽周辺光に強く影響する。

その散乱の強さの分布は、次の位相関数にて表現できる。

$$(\text{霞・靄の位相関数}) \quad F(\theta) = a1 \cdot \{1 + 9\cos^{16}(\theta/2)\}$$

$$(\text{霧の位相関数}) \quad F(\theta) = a2 \cdot \{1 + 50\cos^{64}(\theta/2)\}$$

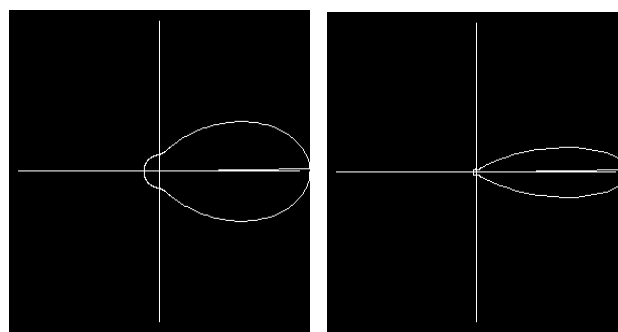


図9 ミー散乱の例（上図：霞・靄、下図：霧）

4.3. 大気拡散モデル

可能な限り実際の物理則に基づいた天空色を得るため、大気拡散モデルを用いて大気中での散乱吸収に関する光学シミュレーションを行う。

いるお客様も少なくない。デザイン部門では、2次元デザインツールとしてのAdobe Illustratorから2次元デザインを作成して、Perspective (当社商品) にて3次元デザインに仕上げ、さらにCATIA バージョン5 (以下、CATIA V5と呼ぶ) 経由でSurfRayを用いてデザイン検討を行うことができる。設計部門ではSurfRayの光学解析機能を用いて設計検証を行い、製品の試作回数の削減に寄与している。

今まではデザイン部門を中心にSurfRayを販売してきたが、今後は設計部門をターゲットにロジック統合化された「new SurfRay」を武器にして、設計検証用DMUツールである「CATIA V5+new SurfRay」をお客様へ積極的に提案していきたい。

Adobe Illustratorは、Adobe Systems Incorporated (アドビシステムズ社) の商標である。

CATIAは、日本アイ・ビー・エム株式会社の販売製品であり、Dassault Systems S.A (ダッソーシステムズ社) の登録商標である。

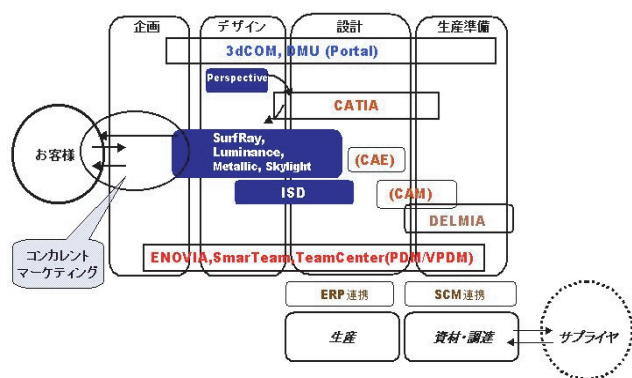


図12 EXA PLMソリューション

参考文献

- 1) 「色彩工学」 大田登 著、東京電機大学出版局
- 2) 「照明工学」 社団法人 照明学会編
- 3) "Display Method of the Sky Color Taking into Account Multiple Scattering" T.Nishita et al. Pacific Graphics'96 pp117-132
- 4) "PRINCIPLES OF DIGITAL IMAGE SYNTHESIS VOLUME TWO" Andrew S. Glassner MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS ,INC.

<問い合わせ先>

PLMソリューション事業部

PLMソリューション部

PLM第3チーム

Tel. 044-540-2169 柴田 義行

E-mail : yoshiyuki-shibata@exa-corp.co.jp