

測色概念に基づく正確なレンダリング技術

大島 哲也⁺

高木 淳⁺⁺

高岡 仁⁺⁺

湯浅真治⁺

緒形義則⁺⁺

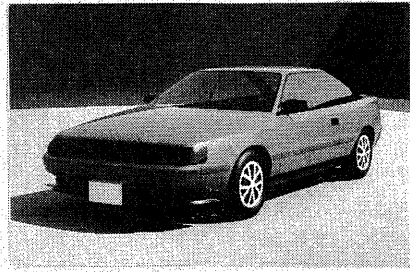
⁺第1情報システム部第1開発室

⁺⁺デザイン部システム技術室

トヨタ自動車株式会社



実車



超写実的な画像

実環境におけるさまざまな物理現象を厳密に分析することにより、デザイナーの要求にこたえることができる写真並の現実感を生成するレンダリング技術を開発した。

本研究で確立した技術を応用することにより、従来現実感に対する厳しい要求のために実現が困難であった車のデザイン分野にコンピュータ・グラフィックス（CG）が真に実用化可能に成る。

ACCURATE RENDERING TECHNIQUE BASED ON COLORIMETRIC CONCEPTION

⁺Tetsuya Oshima, ⁺⁺Atsushi Takagi, ⁺⁺Hitoshi Takaoka,
⁺Sinji Yuasa and ⁺⁺Yoshinori Ogata

⁺Development Dept. NO.1 Information Systems Div. No.1

⁺⁺Systeme Engineering Dept. Design DIV.
Toyota Motor Corporation

We have developed a rendering technique to generate realistic images meeting designers' requirements by strictly analyzing various physical phenomena relevant to the appearance of actual objects.

Application of this technique to car design, which has not been realized to a large extent because of severe requests for realism, will make it possible to evaluate styles and colors on a graphic display before making a clay model.

1. 序論

近年、コンピュータグラフィックスによるレンダリング技術の進歩が目ざましく、この技術を応用することにより、物理モデルとしてのクレイモデルを作る前に、グラフィックス上で形状評価、色評価を行うことができる可能性ができた。しかし、デザイナーの色と形を評価する目は先鋭化されているためその実用化の要件は非常にシビアなものとなっている。その要件をまとめると、

- (要件1) あたかも現物を再現したかと思わせるほどの写真並みの現実感があること
- (要件2) 任意材質・色・形が確認できること
- (要件3) 任意の場所・時刻・天候において評価できること

近年のレンダリングモデルは、大別してレイトレーシングとラジオシティ法に分けることができる。両手法ともさまざまな改良が施されてきているが、まだこれらの方法はデザイナーの要求する現実感を満たしていない。また、測色学的取り扱いがされていないために、その方法による結果の検証ができない。

本論文では、(要件1)～(要件3)をクリアするレンダリング手法を提案する。要件をクリアするために、まず原点に帰り現実の場面において車を観察することにより、現実感に効く要素を体系化した。即ち、

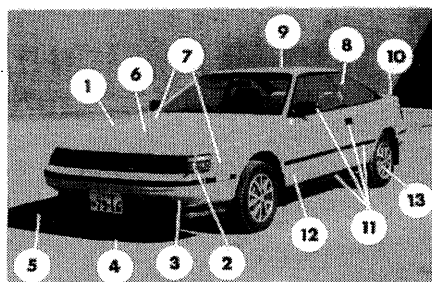
- (1) 光源 : 直射日光、天空光等の光源
- (2) 材質 : 物体の固有の性質を表わす反射率
- (3) 色 : 人間が知覚する物体の色
- (4) 複雑さ : 物体が持っている形の複雑さ

体系化した(1)～(4)の各要素に対し(要件1)～(要件3)に効く物理現象を整理し、アルゴリズム化した。モデルを検証するために、これらのアルゴリズムをレイトレーシングにインプリメントし、既に測定して輝度・色度が分っている現実の場面を再現計算させたところ値がほぼ一致した。このことよりモデルの有効性が確認できた。

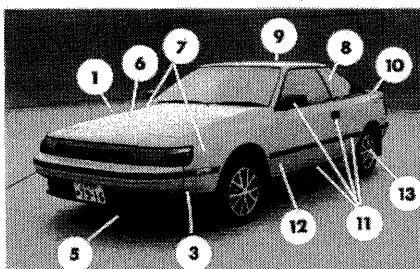
本研究で確立した技術は、

- (1) 測光量を取り入れた反射モデル式
 - (2) 光源を直射日光と天空光に分けて厳密に取扱いさらにそれらを制御し任意天候を扱う技術
 - (3) 測光に基づく材質感のリアルな表現
- この技術を応用することにより、(要件1)～(要件3)をクリアすることができコンピュータグラフィックス上で、形状評価、色評価が可能となる。

2. 現実感の分析



(a) 晴天時



(b) 曇天時

図2.1 実車を用いた現実感分析

表2.1 実車における見え方の特徴とその要因

見え方の特徴	光 源			材 質			色	複雑さ	その他
	直射日光	天空光	地上光	材質	色	透過			
①塗装面の地の色	○			○			○		
②ハイライトの輝き	○				○		○		
③バンパ下の色		○	○	○			○		
④くっきりとした形		○					○		
⑤形の濃淡		○					○	○	
⑥天空の映りこみ		○			○		○		
⑦背景の映りこみ					○		○		
⑧ガラス感					○	○	○		
⑨きわの明るさ							○		シーン、材質
⑩ボケ							○		レンズ効果
⑪部品類	○	○	○	○	○		○	○	
⑫見切り							○	○	
⑬ホイール	○	○	○	○	○		○	○	

○：主に関係することを示す

図2.1(a)(b)は現実感の分析に用いた実車であり、表2.1はそのまとめである。結果として、物の見え方を特徴づけ、現実感を感じさせる項目を<光源>、<材質>、<色>、<複雑さ>の4つの要素に体系づけることができた。

<光源>

屋外での光源は、直射日光と天空光の2つである。しかし屋外に置かれた物体表面には、これら2つの光源以外にも様々な方向から光が集まる。直射日光、天空光が地表で反射した光(地上光)や正反射光からくる光(正反射光)はその代表的な例であり、これらの光は広義の光源とみなすことができる。以上より、次のことを厳密に計算すべきであると結論した。

- (1) 直射日光
- (2) 天空光 } 任意天候の分光組成
- (3) 正反射光 } レイトレーシングによる可視物体の追跡

<材質>

我々は各種材質の反射特性を明らかにするため、それぞれの反射率を測定し、これによる結果が実物の明暗の変化と合っているかどうかを調べた。この結果、材質を正確に表現するためには、反射率をモデル化するよりも測定したデータを用いた方が優れていることがわかった。材質については、以下のように取り扱う。

- (1) 拡散領域の反射率：高精度な測定
- (2) 正反射領域の反射率：フレネル式または測定
- (3) 透過率：スペクトル吸収（色ガラス）

<色>

人間が感じる色と同じ色をTVモニタに正確に表示するためには、人間の眼の特性を考慮した色再現を実施する必要がある

<複雑さ>

物体が現実感を持って認識 できるためには、その物体が日常我々の知っている程度の複雑さを持っていることが必要である。複雑さは表示する物体だけではなく、周囲の背景にも必要である

3 レンダリングモデル

3.1 反射モデル式

従来、物体表面の反射を表わす式は、次の形で表現されている。（図3.1）

$$I(\lambda) = \epsilon(\lambda) + \int_{\Omega} \rho(\lambda) L(\lambda) \cos \theta d\omega \quad (3-1)$$

- λ : 波長
 $I(\lambda)$: ある方向に向かう反射光
 $\epsilon(\lambda)$: 反射方向に向かう物体自身が放つ放射光
 $\rho(\lambda)$: 物体表面の反射率
 $L(\lambda)$: 入射光
 θ : 入射光の入射角
 $d\omega$: 入射光の微小立体角
 Ω : 入射光全体の立体角

（図3.1 参照）

これは大域的な照明状態を表現しうる優れた式であるが、次の点が明確でない。

- (1) $\rho(\lambda)$ の定義が不明確である。一般に物体表面の反射率はいくつかの種類があり、それぞれの定義が異なるので、これらのどれを用いるかを明確にする必要がある。
- (2) $L(\lambda)$ の詳細な分析がされていない。
- (3) 各諸量の単位が明確でないために現実との対比ができない。

このために、現実のデータとの検証や困難である。我々は上で述べた（1）～（3）の問題点を解決し、一層実用的なものにするために、次式を提案する。

$$I(\lambda) = \epsilon(\lambda) + \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} \beta(\lambda) L(\lambda) \cos \theta d\omega \quad (W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}) \quad (3-2)$$

ここに、 $I(\lambda)$ 、 $\epsilon(\lambda)$ 、 $L(\lambda)$ 、は(3-1)式の定義と同じであるが、それぞれ($W \cdot nm^{-1} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2}$)の単位を持つ分光放射輝度である。 Ω 、 θ 、 ω の定義は同じである。 $\beta(\lambda)$ は物体表面の分光放射輝度率である。実際には、測色可能な分光立体角反射率 $R(\lambda)$ を用いる。また、積分の前についている係数 $1/\pi$ は反射率として分光放射輝度率 $\beta(\lambda)$ を用いたことにより出現する。この式は、(1)～(3)の問題点を解決するために、次のことを留意している。

- [1] 全体の単位量を明確にした。また、 $\rho(\lambda)$ として実測に基づいた値 $\beta(\lambda)$ 、あるいは $R(\lambda)$ を採用
- [2] $L(\lambda)$ としては、特に直射日光と天空光を厳密に取り扱った。

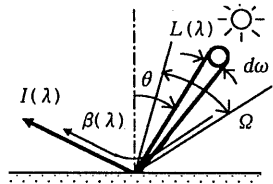


図3.1 入射光 $L(\lambda)$ と反射光 $I(\lambda)$

本文では、簡単のために、 $\epsilon(\lambda)$ を省略して話を進める。すなわち、

$$I(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\Omega} \beta(\lambda) L(\lambda) \cos \theta d\omega \quad (W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}) \quad (3-3)$$

次に(3-2)式をより具体的にするために、入射光 $L(\lambda)$ を正反射光、直射日光、それ以外の光に分離した形に書き直す。

$$\Omega = \Omega R + \Omega S + \Omega G \quad (3-4)$$

- ΩR : 正反射方向の領域の立体角
 ΩS : 主光源方向の領域の立体角
 ΩG : 上記以外の領域の立体角

これを図3.2で示す。

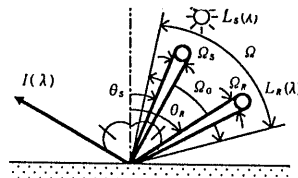


図3.2 入射領域の分割

- $LR(\lambda)$: 正反射方向からの光の分光放射輝度
 $(W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2})$
 $LS(\lambda)$: 主光源の分光放射輝度
 $(W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2})$
 θR : $LR(\lambda)$ の入射角 (rad)
 θS : $LS(\lambda)$ の入射角 (rad)
 $\beta R(\lambda)$: $LR(\lambda)$ から $I(\lambda)$ にいたる分光放射輝度率
 $\beta S(\lambda)$: $LS(\lambda)$ から $I(\lambda)$ にいたる分光放射輝度率
 $d\omega R$: $LR(\lambda)$ の微小立体角 (sr)
 $\Delta\omega S$: $LS(\lambda)$ の立体角 (sr)

これより反射光 $I(\lambda)$ は (3-3) 式より

$$I(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_s, \phi_s, \omega_s} \beta(\lambda) L(\lambda) \cos \theta_s d\omega_s$$

$$= f(\lambda) L_n(\lambda) + \frac{1}{\pi} \beta_s(\lambda) L_s(\lambda) \cos \theta_s \cdot \Delta\omega_s + G(\lambda)$$

(3-5)

ただし、

$$f(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{L_n(\lambda)} = \beta_n(\lambda) \cos \theta_s d\omega_n$$

(3-6)

$$G(\lambda) = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_s} \beta(\lambda) L(\lambda) \cos \theta_s d\omega$$

(3-7)

通常のペイント塗装面等では $f(\lambda)$ は波長に依存しないフレネル係数 f に近似することができるので、(3-5) 式は次のように書き直すことができる。

$$I(\lambda) = f \cdot L_n(\lambda) + \frac{1}{\pi} \beta_s(\lambda) L_s(\lambda) \cos \theta_s \cdot \Delta\omega_s + G(\lambda)$$

(3-8)

3. 2 光源

3.2.1 直射日光

従来、直射日光の取扱いはあいまいであり、せいぜい高輝度の平行光源くらいでしか扱われていなかった。羽生らによると、直射光はその到達地点における、緯度、季節、時刻、大気の流れ、水蒸気の量によって変化し、その変化量が波長によって異なる性質を持っている。このため、直射日光が物の見え方に影響すると考えられ、直射日光を厳密に取り扱うことにした。地表面における直射日光の分光放射輝度 $L_s(\lambda)$ は、地表の分光放射照度 $E_m(\lambda) (W \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2})$ とその立体角 $\Delta\omega_s (sr)$ によって、次式で表わされる。

$$L_s(\lambda) = E_m(\lambda) / \Delta\omega_s \quad (W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2})$$

(3-9)

さらに $E_m(\lambda)$ は、Beer-Bouguer-Lambert の法則により、

$$E_m(\lambda) = E_0(\lambda) \cdot e^{-\tau_0(\lambda) + C_m(\lambda) + C_a(\lambda) + C_o(\lambda)} \cdot \tau_o(\lambda) \cdot \tau_w(\lambda)$$

(3-10)

各諸量の内容を次に示す

$\Delta\omega_s$: 地表から太陽を見込む立体角 (sr)

m : エアマス

$E_0(\lambda)$: 大気外の分光放射照度 ($W \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}$)
ここでは、CIMO-VIII(1981)を用いる。

$CR(\lambda)$: 空気分子の Rayleigh 散乱による減衰係数

$$CR(\lambda) = 0.00864 \lambda^{-4} (3.916 + 0.074 \lambda + 0.050 / \lambda)$$

($\lambda : \mu m$) (3-11)

$CM(\lambda)$: I-Oゾルの散乱による減衰係数

$$CM(\lambda) = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (\lambda : \mu m) \quad (3-12)$$

で表される。係数の α , β は測定により求められる。

$CO_z(\lambda)$: オゾンの吸収による吸収係数

$\tau_0(\lambda)$: 大気中の酸素分子による減衰係数

$\tau_w(\lambda)$: 大気中の水蒸気による減衰係数

このうち、 $\tau_0(\lambda)$, $\tau_w(\lambda)$ は可視波長においては微弱であり、影響は小さいので省略する。

3.2.2 天空光

天空光に関する我々の目的は、任意の天候での天空各点の分光分布と輝度を明らかにすることである。輝度については、現在までに多くの研究がある。しかし、分光分布については決定的な研究は無い。これは、天空光は直射日光が空気やエアロゾル、及び雲による消散、または地表面での反射の反復といった複雑な過程を経て生成されるため、理論的な解析が難しいためと思われる。我々は測定により求めた実験式を用いることにより、任意天空における天空上の任意点の分光分布を定める方法を提案する。

[1] 天空の分類

一般に天空は次の3つに分類される。

- 1 晴天…天空に雲がまったく存在しない晴天時の天空
- 2 均質混濁中間天空…天空に雲が散在しない状態で、晴天と曇天の間を均質に変化する天空
- 3 曇天空…天空が太陽位置を確認できないほどの厚い雲によって一面覆われている曇天空時の天空

ただし、晴天と曇天空の間を表わす中間天空は実際には雲が散在することが多いが、ここでは簡単のために2の均質混濁中間天空を用いる。

[2] 天空光の任意点の分光分布の算出

我々が提案する方法は、天空輝度が色温度とある相関を持っていることを利用している (図3.5)。天空光の任意点の分光分布は図3.3のように求める。

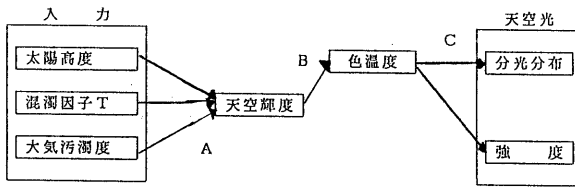


図3.3 天空光の分光分布を決定するプロセス
図3.3のプロセスA, B, Cの算出は以下で定義する。

＜プロセスA（天空輝度分布の算出）＞

太陽高度 γ_s と混濁因子 T 及び大気汚濁度を入力として、天空各点の輝度分布を求めることができる。

[1]で分類した天空1, 2, 3に対応して、次の輝度式が提案されている。

- 1 CIE標準晴天輝度式
- 2 均質中間天空輝度式
- 3 CIE標準曇天輝度式

1, 3は相方、国際標準となっており、それぞれ晴天、曇天のみを表わす式である。天空各点の輝度は、天頂の輝度 L_z (Cd/m²)に対する比として表わされる。2はまだ国際標準とはなっていないが、その詳細は1988年のCIE Technical Reportにて詳細に示されている。これはリンケの混濁因子 T_{vl} を主たるパラメータとして、晴天～曇天までの天空各点の輝度を連続して変化させることができる。1, 2, 3は次の形で表現されている。

1. $L/L_z = f_1(P, S)$ (3-13)
 $L_z = g_1(T_v, \gamma_s)$ (Cd/m²) (3-14)
 2. $L = f_2(P, S, T_{vl})$ (Cd/m²) (3-15)
 3. $L/L_z = f_3(P, S)$ (3-16)
 $L_z = g_2(\gamma_s)$ (Cd/m²) (3-17)
- L : 天空任意点の輝度(Cd/m²)
 P : 天空任意点の位置
 S : 太陽の位置
 L_z : 天頂輝度(Cd/m²)

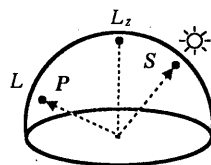


図3.4 天空上の記号

＜プロセスB（輝度→相関色温度変換）＞

天空上の任意点の輝度を L (Cd/m²)、これに対応する相関色温度を T_{cp} (K)とすると、 T_{cp} の関係は次式で示される。

$$T_{cp} = \frac{1.1985 \times 10^4}{L^{1.2}} + 6500 \quad (K) \quad (3-18)$$

上式は我々の行った実測に基づいている。即ち日本国内で任意時刻、任意地点で天空任意点の輝度と

色温度の関係を調べた結果より、回帰的に求めた。

(図3, 5)

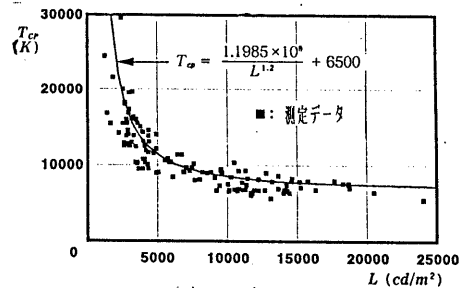


図3.5 L と T_{cp} の測定データと近似式

＜プロセスC（相関色温度→分光分布変換）＞

相関色温度より分光分布に変換する方法は、測定データより定式化する必要がある。しかし、現在ではまだこの方法が定まっていないので、当面はCIEの定める合成量光式JIS 28720を便宜的に利用する。

3.2.3 天候制御

(要件3)で示したように、外板色の評価はいろいろな場所、天候のもとでの見え方を想定して行なう必要がある。なぜなら、晴天時にきれいな見え方をしても、曇天時にはきれいに見えないことがあるからである。

従来のコンピュータグラフィックスでは、直射日光が存在する晴天下のもとで見え方を再現する研究がほとんどであり、天候による見え方を厳密に再現するという考えはなかった。我々は、任意の天候における物体の見え方を再現する方法を提案する。このためには、まず天候を変化させる因子は何であるかを知り、その因子を入力として屋外での主要な光源である直射日光と天空光の分光分布、及び強度を変化させることを考える。

[1] 天候を制御する因子

天候を制御させる因子は、次の4つと考える。

- (1) 位置 (地球上の緯度・経度)
- (2) 年月日・時刻 (世界時を基準とした時刻)
- (3) 天候制御因子
 - 1) 大気透過率 P , P_v
 - 2) 混濁度係数 α , β , 水蒸気量, 酸素量, オゾン量
 - 3) 汚濁因子 T , T_{vl}
- (4) 大気汚濁度

[2] 直射日光と天空光の計算

(1) 直射日光

直射日光については、[1]で述べた因子を用いて(3-10)式の $E_m(\lambda)$ を求め(3-9)式により光源としての直射日光の値 $L_s(\lambda)$ を求める。

(2) 天空光

天空光については、まず任意天候の輝度分布を知ることが必要である。ここでは、(3-15)式の均質混濁中間天空輝度式を用いる。これも[1]で述べた因子を用いて求めることができる。

P , P_v , T , T_{vl} は $E_m(\lambda)$ とエアマス m により求めることができる。

3.3 材質

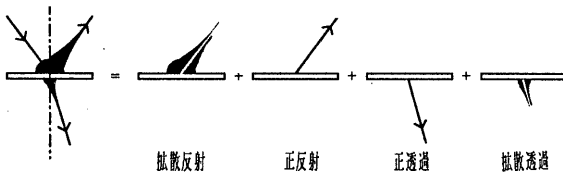


図3.6 反射と透過の分類

(1) 拡散反射

従来の大半の研究は、拡散反射をランバードの法則に基づいて数学的にモデル化している。しかしこれらのモデル式には材質を微妙に変化させるためのいくつかのパラメータが存在し、実際に存在する物体の材質を忠実に再現するという要件に対しては適用が困難である。一方、漆は拡散反射は表わす分光立体角反射率を実際に測定することにより、物体の拡散反射を特定する手法を確立している。測定により得られた反射率を(3-3)式の中の反射率として使用することにより、実在する物体の材質を正確に再現することができる。分光立体角反射率 $R(\lambda)$ の測定は図3.7に示すように、正反射方向を基準にした角度(変角)を変化させながら行なう。図3.8は $R(\alpha, \lambda)$ を測定するために用いた装置である。

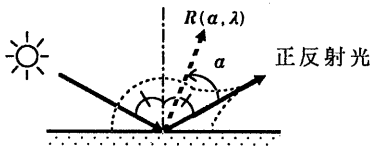


図3.7 $R(\alpha, \lambda)$

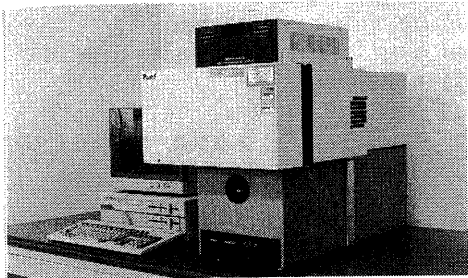


図3.8 ゴニオスペクトロフォトメータ

塗料における $R(\alpha, \lambda)$ の測定結果は図3.9のようになり、材質はグラフの傾向によって判断できる。従ってグラフの形状を制御し変化させることにより、様々な材質を作り出すことが可能になる。我々はさらに任意の天候における着色計算を正確に行うために漆らの方法を発展させた。すなわち、材質によって(3-7)式の $G(\lambda)$ の計算の工夫を行った。 $G(\lambda)$ は背景光による明暗を決定する重要な項である。

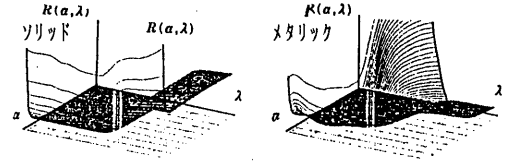


図3.9 $R(\alpha, \lambda)$ の形状

例えば、ソリッド塗装面の $R(\alpha, \lambda)$ は、 α が $10^\circ \sim 20^\circ$ 以上の範囲ではほぼ一定値をとる均等拡散面とみなせるため積分項からは ω だけの積分計算をすることができる。一方、メタリック塗装面では α に対する $R(\alpha, \lambda)$ の変化の度合いが大きいため、 $G(\lambda)$ をに対して正確にサンプリング計算することが必要である。特に直射日光がない曇天光下では着色計算式(3-5)式における $G(\lambda)$ のウエイトが大きく $G(\lambda)$ を安易に近似することは許されない。さらに、 $R(\alpha, \lambda)$ が急激に変化する α の小さい領域($0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$)は曇天時の物の見え方に大きく影響するため、この領域を特に精度よく測定することが必要である。

(2) 正反射

正反射率は材質ごとに異なるため、材質ごとに決定する必要がある。拡散反射を生じない純粋なガラス面の正反射はフレネル式に従うが、ここで取り扱う材質、一部の塗装面、金属面、樹脂面、光沢を持つゴム面等はフレネル式とは異なる特性を示すため、定式化は困難である。このため測定により正反射率を求めることが最も有効である。また、正反射率に関しては、偏光の影響が見のがされがちだが、正反射率は入射光の偏光状態によっても変化するため、厳密には偏光を考慮した正反射率を考えることが必要である。例えば晴天における青空光は明らかに偏光しており、この光の映り込みを考えると、上記のような概念が必要である。我々は入射光の偏光特性を考慮できる拡張されたフレネル式を定義する。すなわち、

$$f = \frac{pr_i^2 + sr_s^2}{s + p} \quad (3-19)$$

ただし、 rs , rp はそれぞれフレネルのS波、P波の振幅反射率であり、 S, P はそれぞれ入射光のS波成分とP波成分のエネルギーの比である。入射光が自然光の時のみ $S=P$ となり(3-19)式は従来から良く使われる次式となる。

$$f = \frac{1}{2} (r_i^2 + r_s^2) \quad (3-20)$$

(3) 正透過

ガラス面のように光を透過する物体については正透過率を測定により求める必要がある。今、正透過率を t とすると、周知のように、 t は正反射率 f を用いて $t = 1 - f$ と表わされる。

さらに透過光はガラス内部で減衰するため、ガラスを通して見える反対側の色はガラスによって異なる。このため透過光の減衰も考慮しなければならない。今、有色もしくは無色のガラスに光 $L(\lambda)$ ($W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}$) が入射角 θ_i で入射したとすると、 $L(\lambda)$ がガラスの内部を距離 l (m) だけ進んだときの透過光 $T(\lambda, l)$ は、

$$T(\lambda, l) = L(\lambda) \cdot t \cdot e^{-C(\lambda) \cdot l} \quad (W \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1} \cdot m^{-2}) \quad (3-21)$$

となる。

ここに $C(\lambda)$ はガラスの吸収係数である。 $C(\lambda)$ は図3.8の装置で測定によって求めることができる。

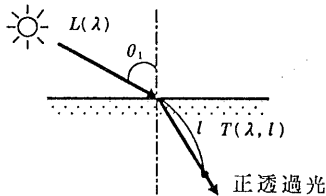


図3.10 透過光 $T(\lambda, l)$

(4) 拡散透過率

拡散透過するガラスは自動車にはあまり使われないが、くもりガラス等に代表されるように世の中には広く用いられている。このような材質を表現するためには拡散透過を厳密に取り扱う必要がある。

4. 結果

我々の提案したレンダリングモデルによって生成した画像を示す。使用した計算機はMEIKO社製、COMPUTING SURFACEで、これはプロセッサ(T800)を256個装備している。画像の解像度は1280×1024である。形状データはトヨタ・スタイリングCADシステムで作成したものであり、各面は3次の曲面である。

5. 結果と今後の課題

光源、材質を厳密に考え、反射モデル式に組み込むことにより、デザイナーの要求に答えることができるリアルな画像を生成するレンダリング技術を開発した。この技術により、

- (1) あたかも実物のようにリアルな画像を生成すること
- (2) 任意の材質・色の再現
- (3) 任意の場所・時刻・天候における見え方の再現が可能になった

また、今後の課題としては、背景合成手法等をより完璧なものにするための検討が必要と考える。

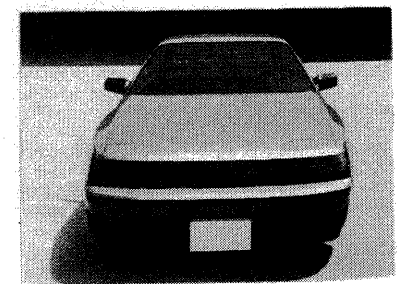
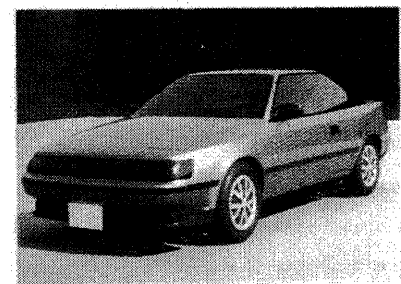
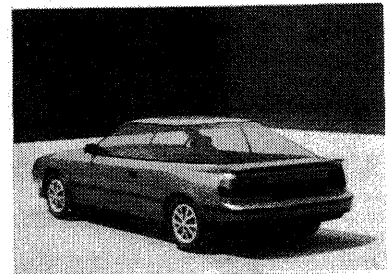
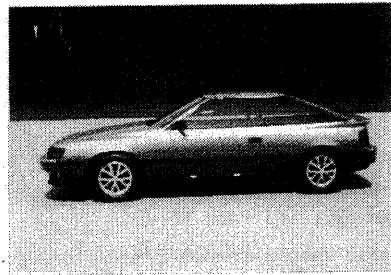
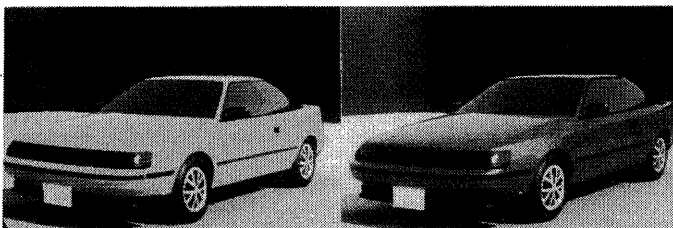


写真1. 視点の変更

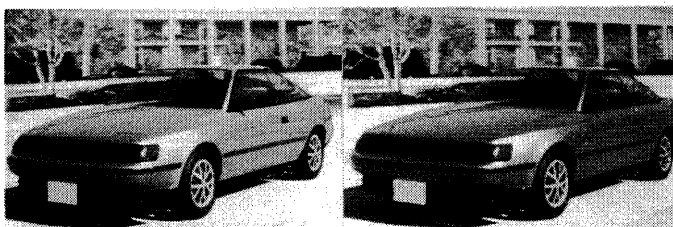


ソリッド塗装

メタリック塗装

写真 2 .

材質変更

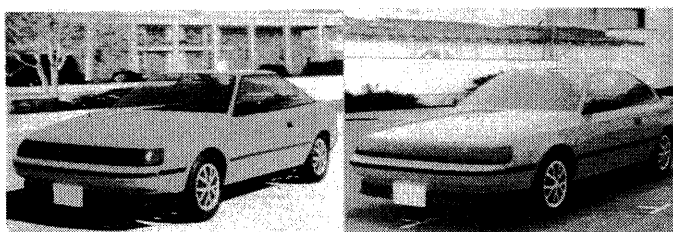


塗料 1

塗料 2

写真 3 .

微妙な色の変更



晴天

曇天

写真 4 .

天候の変更

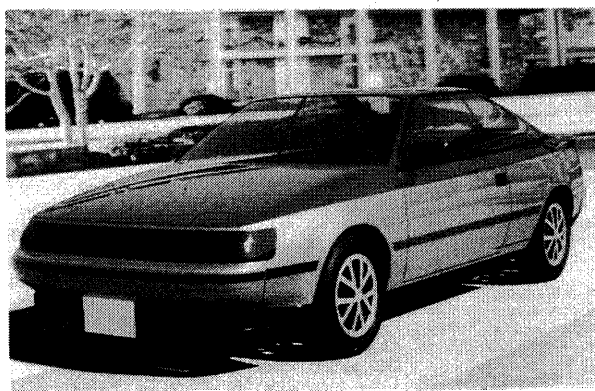


写真 5 . 2 トーン



写真 6 . 外板色の検討