

光のにじみと干渉に着目した真珠ビジュアルシミュレータの実現

非会員 土 橋 外志正 (大 阪 大)

正 員 長 田 典 子 (三菱電機)

非会員 眞 鍋 佳 嗣 (大 阪 大)

非会員 井 口 征 士 (大 阪 大)

Imprementation of a Pearl Visual Simulator Based on Blurring and Interference

Toshimasa Dobashi, Non-member (Osaka University), Noriko Nagata, Member (Mitsubishi Electric), Yoshitsugu Manabe, Non-member, Seiji Inokuchi, Non-member (Osaka University)

Visual simulation technique using CG has attracted wide attention in many fields. In this paper, we propose a method of modeling and visualizing pearls to implement a pearl visual simulator. Pearls manifest a very specific optical phenomenon. To investigate this feature, we propose a physical model considering the multiple reflection in spherical bodies. In our previous work, interference component, mirroring component and texture are considered as the principal factors for realistic representation of pearl. This paper proposes two additional factors to improve the visualization quality, which corresponds to internal blurring of an incident light and partial coherent interference. We developed a fast algorithm using subsurface reflection distribution to represent a blur. Experimental result shows the physics-based-modeling of internal blurring in subsurface multi-layer structure of a pearl and a partial coherent interference model are effective for high quality visualization.

キーワード：CG，物理モデル，質感，にじみ，多層薄膜干渉，感性，品質評価，真珠

1. ま え が き

ビジュアライゼーション技術の高性能化により，表層的なコンピュータグラフィックス表現から「質感」とか「きめ」といった感性的な価値を付加する試みが各方面で盛んになっている⁽¹⁾⁽²⁾。著者らは，1992年に生産工程の検査プロセスの中でも感性的なエキスパタイズを必要とする真珠の品質評価に，マシンビジョンの技術を適用する研究をスタートさせた⁽³⁾⁽⁴⁾。その後，ビジュアルシミュレーション技術を導入して，検査条件の最適化や基準の標準化を検討するために，ビジュアルシミュレータの構築を試みた⁽⁵⁾。これは対象の光学的挙動を物理モデルに即してできるだけ忠実にモデリングし (Physics-Based-Modeling)，物理的パラメータが真珠の品質の上でどのように寄与しているかを明らかにするのがねらいである。この手法は，専門家の持つエキスパタイズを抽出するプロセスであり，パターン認識の分野における Analysis-by-Synthesis 法の一つと位置づけることができる。

宝飾品として広く知られる真珠は，多層薄膜構造を持ち，屈折，干渉，回折，多重反射など多様な光の振る舞い

によって独特の淡い色と光沢を呈する⁽⁶⁾。こうした光学的，構造的に固有の特徴を持つ真珠のモデリングとビジュアライゼーションは興味深いテーマである。これまでにパールマイカ塗料の光学現象を扱った研究⁽⁷⁾はあるが，真珠を扱った例はなかった。著者らは前報⁽⁶⁾で，真珠の多層薄膜構造による干渉現象を中心に Physics-Based-Modeling の手法を用い，「干渉光成分，映り込み成分，テクスチャ成分」の三つの要素で，真珠らしさを表現することに成功した。

本論文では，これまでの研究で考慮してきた三つの要素だけでは表現できないデリケートな質感にとって，光のにじみ現象が第4の成分として重要であることを示し，その物理モデルとアルゴリズムを提案するものである。

半透明体の光のにじみは，物体内部での光の拡散によるもので，一般には散乱現象によって説明されることが多い。こうした散乱現象のシミュレーションについてはこれまで数多くの研究がなされている^{(8)~(10)}。しかしながら，真珠で観測される光のにじみは，単純な光の散乱とは異なる現象と考えられる。本論文では，真珠に見られる光のにじみ現象を正反射・正透過の繰返しによる光の広がりと考え

え、シミュレーションによりにじみ成分画像の生成を行う。

また、干渉現象についても、これまでインコヒーレント光のみ考慮していたものを、コヒーレント光にも拡張したモデルを提案する。最後に、これらの機能を実装した真珠ビジュアルシミュレータについて述べ、本システムが街の宝石店の店頭でバーチャルジュエリーシステムとして展開できる可能性を示す。

2. 真珠の物理モデル

本章では、本論文で提案する干渉とにじみのモデルの説明に必要となる既発表の真珠多層薄膜干渉モデルと真珠画像生成アルゴリズム⁽⁵⁾について説明を行う。

〈2・1〉 多層薄膜干渉の物理モデル 真珠の干渉現象は、一般の薄膜干渉ではみられない固有の性質を示す。直接光源の光が当たらない所にも干渉色が現れ、かつ、常に球の中心から同心円状に変化する。すなわち干渉色は、視線方向にのみ依存し光源方向には依存しない。

この現象を説明するために、図1に示すような多層薄膜干渉の物理モデルを提案した。真珠内部に入った光が、反

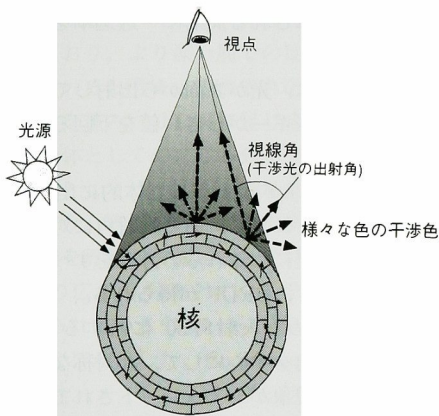


図 1 真珠の多層薄膜干渉の物理モデル
Fig. 1. A physical model of multilayer thin films of pearl.

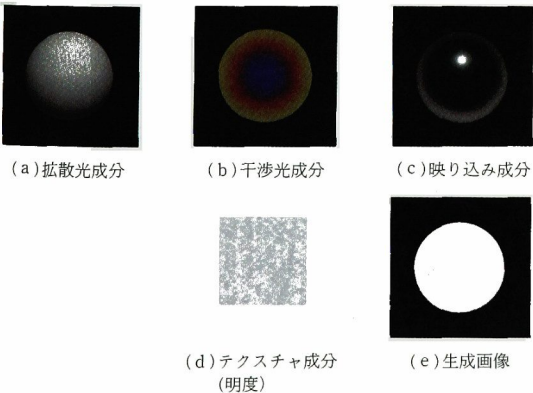


図 2 各成分画像と合成画像
Fig. 2. Components and a synthesized image.

射と屈折により真珠層全体に分布した結果、層内の各点ではあたかも点光源のごとく、あらゆる方向へ光が放たれた状態になる（この状態を称して以後モデルを、発光体モデルと呼ぶ）。各光は局所的に干渉を起こし、干渉光があらゆる方向へ伝わるが、視点方向へ伝わる光（図中(a)(b))だけに注目すると、ある同心円上の光はいずれも屈折角が等しく、従ってスペクトル分布が等しいものとなる。このように考えると、干渉光の色相が光源方向に依存せず、同心円状に変化する現象が説明できる。

〈2・2〉 干渉光スペクトル計算アルゴリズム 干渉光のスペクトル強度の計算は、視点からレイを放ち、真珠と交差するものについて、入射角・反射率・透過率を求めた後、視点に到達する反射光の干渉計算を行えばよい。この計算を真珠と交差するレイすべてについて行い、RGB画像へ変換することで、次節で述べている干渉光成分画像が生成される。

〈2・3〉 真珠画像の生成 生成アルゴリズムは、著者らの心理実験⁽⁴⁾で以前に求めた真珠評価における三つの心理的要因、深み感、輝き感、きめ感の表現から構成した。すなわち、ベースとなる拡散反射光成分画像に対し、心理的要因に対応する干渉光成分、映り込み成分、テクスチャ成分を合成した。図2に各画像成分および合成画像を示す。

以上の方法によって真珠の表現が実現できた。しかし、これに対して専門家から、輝き感が足りないとの重要な指摘があった。真珠の輝き感とは、単に正反射光の強さのみを示すものではなく、透明感や光沢感などの質感に深くかわるものである。次章ではこの輝き感を表現する手法について説明する。

3. にじみ現象のシミュレーション

これまでの真珠の表現は、干渉現象のシミュレーションを中心に行ってきたが、干渉現象以外の表現は従来のシェーディングモデルを用いていたため十分ではなかった。

一般のシェーディングモデルは物体表面の情報のみを用いるものがほとんどで、表面下の構造に由来する質感を表現することができない。

本章では、真珠の輝き感の表現における、光のにじみ現象のモデリングと生成アルゴリズムの提案を行う。

〈3・1〉 界面下反射による真珠のにじみのモデル 半透明体の光のにじみは、一般には散乱現象によって説明される。散乱のモデルとしては、どの方向に対しても一様に



図 3 真珠のにじみ現象
Fig. 3. Blurring of light.

散乱する等方散乱や、大気中の微粒子によって起こるレーリ散乱やミー散乱などが知られている。

しかしながら、真珠で観測される光のにじみは、これらのものとは異なっている。図3に真珠のにじみ現象を示す。(a)図は真珠表面の蛍光灯の映り込みを撮像したものであり、(b)図は、真珠表面に10~30 μmの厚さで金を蒸着させたもの、すなわち真珠表面の性状は変えずに、層内への光の入射をなくした場合の映り込みの様子である。

反射率は物体の屈折率などによっても変化するため、直接比較することはできないが、あきらかに(a)図と(b)図とでは光源の映り込みの見えが異なる。(b)図では、光源がシャープに映り込んでおり鏡面に近い反射特性を示しているが、(a)図では、(b)図と同様のシャープな光源像と、そのまわりに淡い光のにじみが認められる。こののにじみの輝度が、光が面に対して垂直に入射する場所でなく、ハイライトまわりで高いのは、これが拡散的ではなく、真珠内部に入り込んだ光の挙動が正反射的な性質を持っていることを示している。真珠の界面下は層状の構造をなしているため、層内部でも表面と同じような指向性の強い鏡面反射が起こっているはずである(なおこれらの写真は、にじみを明らかにするために過度に露光させたので、光源像がサチュレーションを起こし、実際より幅広に見えている)。

こうした実際の真珠観察から、真珠のにじみは以下のようにとらえられる。真珠層の透過率は極めて高く、層内部でも光は正反射・正透過を繰り返す。従って、層内部での光の広がり、散乱的な傾向より、正反射・正透過的な傾向が支配的である。真珠層の光のにじみは、界面下(sub-surface)で光が反射・透過過程を繰り返すうちに正反射方向からのずれが生じ、その結果光の広がりが生み出されるものである。

以下、界面下反射による光のにじみを表現するために、二つのアルゴリズムを提案する。

〈3・2〉 モンテカルロ法によるシミュレーション 最初に提案するアルゴリズムは、光の拡散の計算法としてもよく知られるモンテカルロ法を利用した方法である。ある角度で入射した光の、内部での反射・透過過程を確率的に

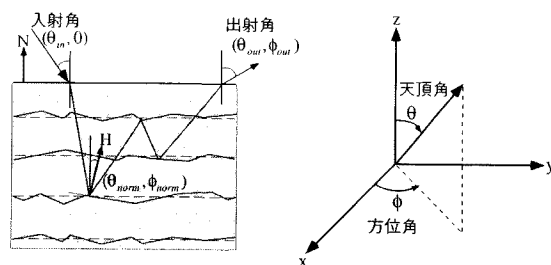


図4 モンテカルロ法によるシミュレーション
Fig. 4. Simulation using Monte-Carlo algorithm.

たどり、最終的に表面から出射される光の強度をそれぞれ方向につき積分することによって、入射角に対するすべての反射方向の反射光強度分布を求める。これをすべての入射方向に対して行い、BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) すなわち入射方向と反射方向を変数とする反射率分布関数(実際にはルックアップテーブル)を計算する。

図4を用いて計算手順を説明する。まず、光が入射角(θ_{in}, 0)で層内に入射し、層の放線方向Nに対して(θ_{norm}, φ_{norm})だけ傾いた法線方向Hを持つ微小面によって反射または透過が起こると考える。この微小面の傾きを次式のような微小面分布関数fを用いて、確率的に決定する。

$$\theta_{norm} = f(R_1) \dots\dots\dots (1)$$

$$\varphi_{norm} = 2\pi R_2 \dots\dots\dots (2)$$

ここでR₁, R₂は一様乱数である。関数fは正規分布の確率密度関数である。

光の反射と透過のどちらかをたどるかは確率的に決定される。微小面の法線方向から、微小面への入射角が求められ、スネルの法則によって反射・透過方向が計算される。反射・透過後の光のエネルギーは、現在のエネルギーにフレネルの公式より計算される反射率・透過率を乗じたものとなる。

光をたどる手続きは、光が表面から出射してしまうか、あるいはレイのエネルギーがしきい値を下回るまで繰り返される。

出射方向(θ_{out}, φ_{out})が含まれる立体的に出射光の強度を足し込んでいくことにより、ある入射角に対するの反射分布が求められる。更に、これらの計算をすべての入射方向に対して行うことで、BRDFが得られる。

本手法によって求めた入射角30°に対するBRDFの例を図5に示す。入射角を中心にして、非対称な光の広がりが認められ、にじみ現象がシミュレートされていることがわかる。

このアルゴリズムの特長は、高品質なシミュレーションが行えることである。しかし欠点として、あらかじめテーブルを作る必要があることと、サンプリング数を十分に確

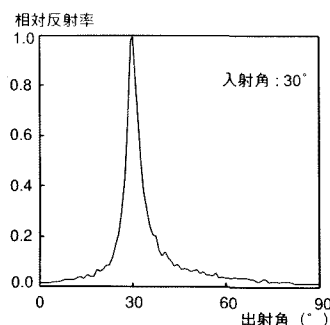


図5 BRDFの例
Fig. 5. An example of BRDF.

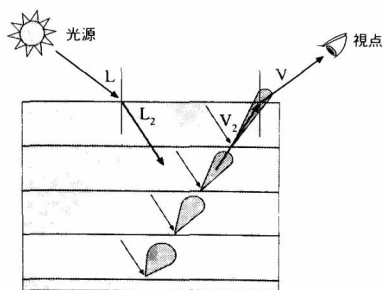


図 6 反射分布を利用した近似シミュレーション
Fig.6. Fast simulation using specular reflection distribution.

保しないとい値の信頼性、連続性が満たされないことがあげられる。

〈3・3〉 反射分布を用いた近似シミュレーション 次
に提案するアルゴリズムは、上記のモデルを単純化し、高
速化を図った方法である。

先のアルゴリズムによるシミュレーション結果から、多
くの反射・透過を繰返しレイがより長く真珠層内を進むに
つれ、レイの方向が正反射・正透過方向からずれる割合が
多くなるという性質が読み取れる。

そこで、真珠層内のレイは、界面に近い層では比較的指
向性を保っており、より深い層での反射分布はより広い指
向性を持っていると考え、それぞれの層での反射分布を計
算し、それらを重みづけながら足し合わせることで、界面
下反射全体としてのにじみ分布を得る。

計算の手順としては、図 6 に示されるような視線から逆
にレイをたどり、各層での広がり異なる反射を足し合わ
せてゆく作業を界面から深層へと続ける。

反射特性の広がり分布は Cook-Torrance の反射モデ
ル⁽¹⁾ で用いられている Beckmann 分布関数によってコン
トロールすることとした。Beckmann 分布関数は以下の
式で表される。

$$D = \frac{\exp(-(\tan \delta / m^2))}{m^2 \cos^4 \delta} \dots \dots \dots (3)$$

ここで m : 表面の粗さを表すパラメータ、 δ : 面の法線
方向と微小面の法線方向のなす角である

Cook-Torrance model においては、Beckmann 分布関
数は微小面の法線方向分布という物理的意味合いを持っ
ているが、今回のモデルでは m を V_2 方向に光を返す入射光
 L_2 と微小法線方向 H 両方の要素を含む分布パラメータと
して扱う。

また通常、鏡面反射光の色は光源色と同一であるとされ
るが、真珠のにじみ成分は界面下に入り込んだ光が外部へ
出てくるものであるため、層の深さに応じた物体色の色づ
きを与えた。

このアルゴリズムは先のモンテカルロシミュレーション
に比べると近似的なものであるが、利点としては視線方向
へ返る光のみの計算を行えばよいこと、反射を計算する層
数に比例する程度の計算量しか要さないことなどがあげら

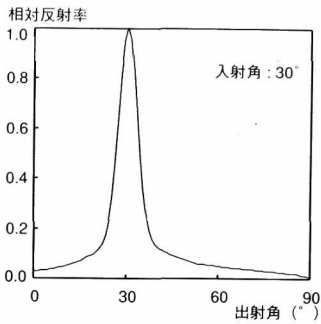


図 7 BRDF の例
Fig.7. An example of BRDF.

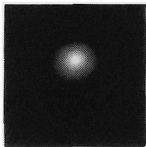


図 8 にじみ成分画像の例
Fig.8. A blurring image.

れる。本アルゴリズムによって計算された入射角 30° に対
する BRDF の例を図 7 に示す。図 5 のグラフと比べても
十分な近似ができていると思われる。

このアルゴリズムの特長としては、前のアルゴリズム
の、真珠層内部を進むにつれて方向が正反射方向からはず
れる可能性が大きくなりうるという性質に矛盾せず、しか
も計算コストがかなり小さくなることである。

〈3・4〉 にじみ成分の画像生成 図 8 に近似アルゴリ
ズムを用いて、生成されたにじみ成分画像の例を示す。中
心部の光源像と、その周囲のにじみが表現されていること
が確認できる。なお、このにじみ成分画像を合成した真珠
の画像は、説明の都合上〈4・3〉節にて示す。

4. パーシャルコヒーレント干渉モデル

第 2 章では、光源方向によらない干渉現象に着目したモ
デリングについて述べた。しかしながら、このモデルで
も、真珠の干渉現象を十分に説明するものとはいえない。
本章では、光源方向に依存する干渉光についても考慮し、
更に物理現象に即したモデルを提案する。

〈4・1〉 一般の薄膜干渉モデルによる真珠の表現の失敗

当初著者らは、第 2 章で述べた発光体モデルにいたるま
での試行錯誤において、一般の干渉現象である光源方向に
依存するモデルを仮定し、シミュレーションを行っていた。
その過程で、真珠とは似つかない奇妙な画像が生成され
たためそのモデルを断念し、新たに発光体モデルを考案
した経緯がある。

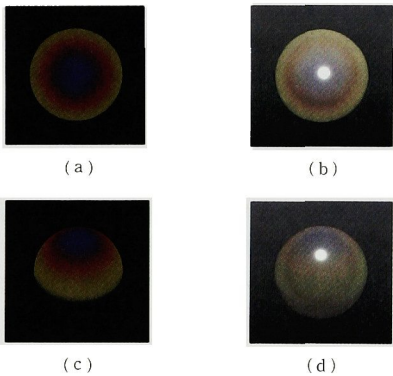
ここで、一般の薄膜干渉の考え方を確認する。一般の薄
膜干渉では、干渉光の色相変化は光源の方向に強く依存す
る。これはいうまでもなく、干渉しあう波同士の位相差が
光の入射角に依存するからである。この現象は、狭帯域フ

フィルタや多層薄膜コーティングなどの多層薄膜の透過光/反射光スペクトルが、入射角を大きくすると短波長側にシフトすることで知られている。実際に光源に向けた狭帯域フィルタを徐々に傾けていくと、干渉色が緑→青→紫→赤→…と変化していくのが容易に観察できる。

一般の干渉の考え方に基づいた最初のシミュレーションでは図9(a)(b)のようになり、一見したところ良い結果が得られたと思われた。(a)図は干渉光成分画像、(b)図は合成された真珠画像である。ところが、光源の位置を移動させたところ、干渉光成分画像は(c)図のようになり、合成された真珠画像は(d)図のような、まるで真珠と異なる画像が生成された。

検討の結果、光源方向と視点方向が近い場合には問題が生じないが、光源方向と視点方向が離れた場合に、実際の光学現象と矛盾した画像が得られることが判明した。更に、真珠観察とシミュレーションとを繰り返すうちに、干渉色が常に同心円状に広がることを見だし、光源方向に依存しないモデルを立てるに至った。

〈4・2〉 パーシャルコヒーレント干渉モデル 発光体モデルによって、真珠の中心から周囲への同心円状の色相変化を説明し、真珠らしい画像の生成に成功した。しかし



(a) 視線方向と光源方向が近い場合の干渉成分画像
(b) 視線方向と光源方向が近い場合の生成画像
(c) 視線方向と光源方向が離れた場合の干渉成分画像
(d) 視線方向と光源方向が離れた場合の生成画像

図 9 矛盾した真珠の光学現象
Fig. 9. Incorrect images based on a wrong model.



図 10 パーシャルコヒーレント干渉成分とにじみ成分を付加した画像生成の例

Fig.10. A synthesized image with interference and blurring.

ながら、前節で述べたように真珠の干渉現象を大きく特徴づけているのは同心円状の色相変化ではあるが、一般的な薄膜干渉が真珠には全く見られないとは思えない。

実際、真珠の母貝であり、真珠と同様の真珠層が平面状に形成されているアコヤ貝の貝殻内側には、光源の移動とともに色相が変化する干渉光が認められる。このことから、真珠層では通常の薄膜干渉も生じていると考えられる。また、真珠をよく観察すると、光源の真珠表面での正反射光がかすかに色づいているのが確認できる。このハイライトの色づきも真珠らしさ、特に真珠の輝き感に寄与していると考えられる。

つまり、真珠に見られる干渉現象は、光源方向に依存する正反射光の干渉（空間的コヒーレンスを保った光の干渉）と、光源方向に依存しない多重反射光の干渉（インコヒーレントな光の干渉）とが混在しており、真珠の干渉現象のモデル化と画像生成にはこの両者を考慮する必要がある。

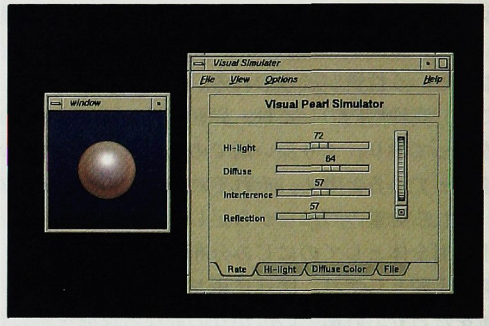


図 11 シミュレータ画面の例
Fig. 11. A pearl visual simulator.



(a) 合成画像(左)と実画像(右)



(b) 実画像(左半分)と合成画像(右半分)

図 12 実写との合成画像

Fig. 12. Superimposition of synthesized images on photos of real pearls.

あると考えられる。コヒーレント光とインコヒーレント光の両方を考慮したモデルという意味で、以後、このモデルをパーシャルコヒーレント干渉モデルと呼ぶことにする。

〈4・3〉 画像生成 パーシャルコヒーレント干渉モデルと、前章のにじみのモデルを導入した画像生成の例を図10に示す。(a)図はコヒーレント光の干渉光成分であり、(b)図は、図3(b)の発光体モデルによる干渉光すなわちインコヒーレント光の干渉光に(a)図を合成した干渉光成分画像である。

(c)図が、(b)図および前章、図8のにじみ成分画像を合成した真珠の生成画像である。同心円状に広がる色相分布とハイライト部分の色づきの両方の現象が、違和感なく表現され、より真珠らしさが表現されている。またわずかではあるが、輝き感の改善にも寄与していると思われる。またにじみについても、正反射光とにじみとのコントラストが相乗効果となって、輝き感が一層増しており、にじみが真珠らしさの重要な要素の一つであることが確認できた。

5. シミュレータへの実装

真珠のビジュアルライゼーション技術を利用して、仮想真珠を生成する品質評価シミュレータを構築した。図11にシミュレータの画面の例を示す。

本シミュレータでは、以下のパラメータを操作することにより、様々な品質の仮想サンプルを生成することが可能となっている。

- (1) 深み感 (干渉光成分の強度, 拡散反射光成分の強度)
- (2) 輝き感 (正反射光の指向性, にじみの広がり)
- (3) きめ感 (テクスチャの強度)
- (4) 物体色 (拡散反射光成分の色相)
- (5) 干渉色 (干渉光成分の色相)
- (6) 光源方向

これらパラメータの操作量と、物理モデル内部のパラメータとの関係から、物理パラメータが真珠の品質にどのように寄与しているかを調べることができる。

本シミュレータは、シリコングラフィックス社グラフィックワークステーション Power Onyx 上に実装されている。干渉光成分のルックアップテーブル作成には数分のオーダーを必要とするが、いったん作ってしまえば、画像生成時にはテーブル参照のみである。干渉光以外の成分の画像生成時間は、例えば100×100の画像生成が数秒のオーダーであり、許容される範囲と考えられる。

更に、本シミュレータでは、生成画像を実写シーンにスーパーインポーズし、合成画像を生成する機能を備えている。図12に実写との合成画像の例を示す。

仮想真珠の生成機能と実写との合成機能は、品質評価に利用だけでなく、装飾品のデザインシステムやインターネットを介したオーダーシステムなど幅広い応用が考えられる。現段階の計算時間と画質であれば、近い将来、街の

宝石店の店頭で、カタログの商品と顔画像を合成した装着感を映像で体験したり、オーダーメイドの宝飾品のデザインをインタラクティブに行えるバーチャルジュエリーシステムに展開することも可能であろう。

6. むすび

Physics-Based-Modeling による真珠のビジュアルライゼーション手法において、光の干渉現象とにじみ現象の物理モデルと画像生成アルゴリズムを提案した。層内の界面下反射による光のにじみを表現するため、モンテカルロ法によるシミュレーションと、反射分布によるシミュレーションの二つを提案し比較を行った。その結果、双方ともににじみの表現に十分な品質が得られることがわかったので、計算コストの小さい後者のモデルを採用した。また干渉の表現についても、これまでインコヒーレント光のみを考慮していたものを、コヒーレント光にも拡張し、より物理現象に即したモデルを構築した。画像生成を行い、輝き感が増し、またより真珠らしい画像が生成されることが確認された。

更にこれらの機能をシミュレータ上に実装し、仮想真珠の生成や実写との合成が実時間に行えることを実証し、本システムが街の宝石店で実用化できる可能性を示した。

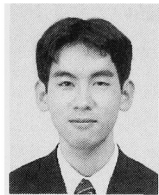
今後は、自然のゆらぎや不均一性を導入し、更に真珠の物理現象に近づけたモデルの構築を進めるとともに、システムの実用化へ向けて、真珠「らしさ」の要素を導入した情報圧縮や高速化についても検討していきたい。

(平成9年3月10日受付)

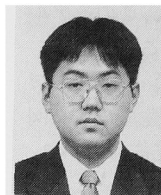
文 献

- (1) 東海彰吾・宮城 真・安田孝美・横井茂樹・鳥脇純一郎:「CGによる柑橘果実の質感表現の一手法」, 信学論 (D-II), **J76-D-II**, 8, 1746~1754 (平4)
- (2) E. Groller, R. T. Rau & W. Straber: "Modeling and Visualization of Knitwear", *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, **1**, 4, 302~310 (1995)
- (3) 長田典子・亀井光仁・赤根正樹・中嶋純之:「感性計測技術に基づく真珠品質評価システムの開発」, 電学論 C, **112**, 111~116 (平4-2)
- (4) 長田典子・亀井光仁・宇佐美昭夫:「ニューラルネットの感度解析とその色彩識別への応用」, 同上, **116**, 556~563 (平8-5)
- (5) 長田典子・宇佐美昭夫・眞鍋佳嗣・井口征士:「品質評価のためのビジュアルシミュレーションによる真珠の表現」, 信学論 (D-II), **J80-D-II**, 1, 206~214 (平9)
- (6) 和田:真珠, (昭57) 全国宝石学協会
- (7) J. S. Gondek, G. W. Meyer & J. G. Newman: "Wavelength Dependent Reflectance Functions", *Computer Graphics Proc., Ann. Conf. Series*, 213~220 (1994)
- (8) P. Blasi, B. L. Saec & C. Schlick: "A Rendering Algorithm for Discrete Volume Density Objects", *EUROGRAPHICS '93*, **12**, 3, C 201-C 210 (1993)
- (9) T. Nishida, Y. Dobashi & E. Nakamae: "Display of Clouds Taking into Account Multiple Anisotropic Scattering and Sky Light", *Proc. SIGGRAPH '96*, 1996-8, 379~386 (1995)
- (10) P. Hanrahan & W. Krueger: "Reflection from Layered Surfaces due to Subsurface Scattering", *Computer Graphics Proc., Ann. Conf. Series*, 213~220 (1994)
- (11) R. L. Cook & K. E. Torrance, "A Reflectance Model for Computer Graphics", *ACM Trans. Graphics*, **1**, No. 1, 7~24, Jan. (1982)

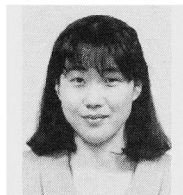
土 橋 外志正 (非会員) 1996 年大阪大学基礎工学部システム
工学科卒業。同年同大学院修士課程入学。コ
ンピュータグラフィックスによる質感表現の研
究に従事。



眞 鍋 佳 嗣 (非会員) 1990 年大阪大学基礎工学部制御工学
科卒業。94 年同大学院博士課程修了。95 年同
大基礎工学部システム工学科助手。工学博士。
カラー画像処理の研究に従事。電子情報通信学
会会員。



長 田 典 子 (正員) 1983 年京都大学理学部数学系卒業。同
年三菱電機(株)入社。産業システム研究におい
て、知識情報処理、感性情報処理の計測システ
ムへの応用に関する研究に従事。95 年大阪大学
大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。
情報処理学会, システム制御情報学会, 電子情
報通信学会会員。



井 口 征 士 (非会員) 1962 年大阪大学工学部電気工学科卒
業。64 年同大学院修士課程修了。65 年同大基
礎工学部助手, 69 年助教授 (現, システム工学
科)。工学博士。70 年仏国サクレ原子力研究
所, 79 年南カリフォルニア大学画像処理研究
所。パターン計測, 画像処理, 感性情報処理の
研究に従事。情報処理学会, 計測自動制御学会,
システム制御情報学会, 電子情報通信学会,



IEEE 会員。