論　文

スクリーン物体への光学パターン投影による仮想光学環境の実現

向川　康博[†]　　西山　正志[†]　　尺長　健[†]

Creation of Virtual Photometric Environment by Photometric Pattern Projection onto Screen Object

Yasuhiro MUKAIGAWA[†], Masashi NISHIYAMA[†], and Takeshi SHAKUNAGA[†]

あらまし　拡張現実感の枠組において，プロジェクタから実世界に光学パターンを投影することで，実世界の幾何情報と仮想世界の光学情報を実世界で融合し，仮想光学環境を実現する手法を提案する．実世界に存在する物体をスクリーンとみなし，光学パターンをプロジェクタから投影することで，光源位置や物体の反射特性を仮想的に変化させた見え方を，実世界において提示することが可能となる．プロジェクタを用いたシステムでは，プロジェクタ光による副次的な相互反射の影響で正しい見え方が得られないことを示し，光学パターンを適切に補償する方法を述べる．また，試作システムを用いた実験により，本手法の有効性を示す．

キーワード　拡張現実感，仮想照明，反射特性，陰影解析，プロジェクタ

1. まえがき

拡張現実感は，実世界に対して仮想世界の情報を融合する技術であり，新たな情報提示の手段の観点から注目されている．従来から，実世界と仮想世界を違和感なく融合するために，幾何学的整合性を扱う研究[1],[2]や，光学的整合性を扱う研究[3]~[6]が報告されている．しかし，これらは実世界のシーンに対して仮想物体を重ね合わせることを主目的としていた．

拡張現実感を実現するための装置としては，Head Mounted Display(HMD)が幅広く用いられている．HMDには光学式シースルー方式とビデオシースルー方式がある．しかし，前者には，実世界に対して仮想物体が遅れて提示される時間ずれのため，ユーザが違和感を感じるという問題があり，後者には人間のもつ視野に比べて表示画面が小さく解像度も低いため，ユーザが得る現実感が損なわれるという問題がある．

このような問題を解消するため，HMDを用いることなく，仮想世界の情報をプロジェクタで実世界に投影する手法が近年提案されている[7]．プロジェクタを使うことによって，ユーザが特殊な装置を装着する煩わしさがなくなり，位置ずれの問題も解消できる．また，人間の視覚機能に含まれる焦点調節などの機能を有効に利用できる．更に，単に実世界に仮想物体を重ね合わせるのではなく，適切な光学パターンを投影することで実世界の見え方を変化させることも可能であり[8],[9]，照明設計や仮想美術館など幅広い応用が期待できる．

しかし，プロジェクタを用いた拡張現実感において，見え方の光学的変化は，これまで本格的には検討されていなかった．そこで本研究では，プロジェクタを用いた光学パターン投影による仮想光学環境の実現方法を検討する．仮想光学環境とは，光源位置や反射特性を任意に変化させることができる環境であり，実世界の幾何情報と仮想世界の光学情報を，実世界において融合することで実現される．ユーザは，光学情報を付加された実世界を直接見ることができるため，単なるCGでは得られない現実感を得ることができると期待できる．本稿では，プロジェクタを用いた仮想光学環境において，プロジェクタ光による副次的な相互反射の問題があることを明らかにし，相互反射補償による解決方法を論じる．

2. プロジェクタを用いた仮想光学環境

2.1 研究目的

本研究の目的は，実世界の幾何情報と仮想世界の光学情報を実世界で融合し，光源位置や反射特性の違い

[†] 岡山大学工学部情報工学科，岡山県
Department of Information Technology ,Faculty of Engineering, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama, 700-8530 Japan

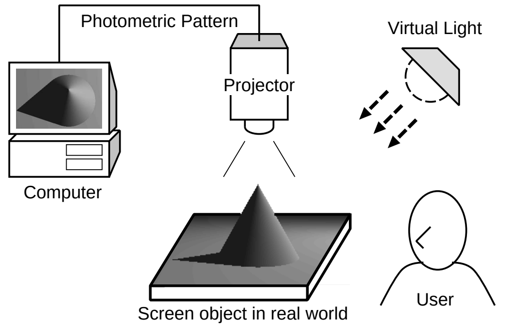


図1　仮想光学環境
Fig. 1　Virtual photometric environment.

による見え方の変化を提示できる仮想光学環境を実現することである．そのため，図1のように，仮想光源によって実世界中の3次元物体（以下スクリーン物体と呼ぶ）上に生じるべき光学現象を，仮想光源とは異なる位置にあるプロジェクタから光学パターンを投影することにより実現する．これにより，仮想光源の位置や特性だけではなく，スクリーン物体の反射特性を仮想的に変化させることもできる．なお，本研究で扱うスクリーン物体は，すべての面をプロジェクタから照らすことができる白色の完全拡散反射面とし，プロジェクタ以外に実光源はないものとする．

2.2　仮想光源移動に伴う見え方の変化と分類

光源移動に伴う見え方の変化は，影と反射に分けて考えることができる．図2のように，影は物体表面の法線方向が光源方向を向いていないために生じる attached shadow と，他の物体に光を遮られて生じる cast shadow に分けられる[10]．一方，反射は，内部反射・表面反射・相互反射に大別できる．内部反射は表面層に入射した光が表面層内部で乱反射した後，再び大気中に現れた光であり，視線方向に依存せず一定の強度で観測されることから，拡散反射とも呼ばれる．表面反射は，物体表面に入射した光が大気と表面層との境界において反射した光であり，正反射方向付近で最も強く観測されることから，鏡面反射とも呼ばれる．相互反射は，物体面で反射された光が他の面で反射を繰り返すことで生じる．

以上の成分のうち，拡散反射と attached shadow は光源方向と法線方向のみに依存するのに対し，cast shadow はスクリーン物体の3次元形状にも依存する．更に，鏡面反射と相互反射は，ユーザの視点位置にも依存する．したがって，プロジェクタから投影する光学パターンを生成するには，スクリーン物体の形状だけではなく，ユーザの視点位置も必要となる．

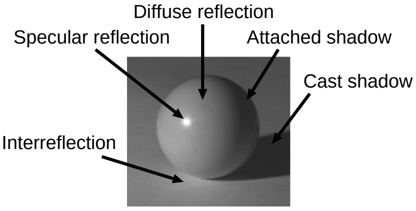


図2　実シーンに含まれる主な光学的成分
Fig. 2　Major photometric components in real scene.

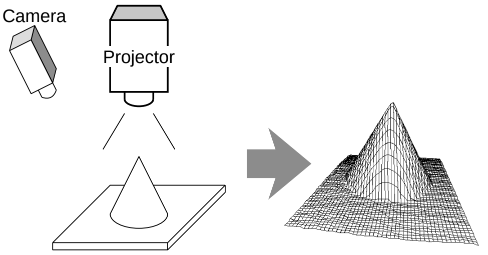


図3　スクリーン物体の形状獲得
Fig. 3　Shape measurement of the screen object.

2.3　スクリーン物体の形状獲得

本研究で対象としているスクリーン物体にはテクスチャがないため，ステレオ法では画像間の対応付けが難しく，安定に形状を獲得できないと考えられる．そこで，図3のように，スリット光を投影するプロジェクタとカメラを用いてレンジファインダを構成することにより，3次元形状を獲得する[11]．

2.4　視点位置の獲得

ユーザの視点位置を獲得する方法は，磁気センサなどを用いる手法と，カメラで撮影された画像から推定する手法に大別できる．本研究では，後者を簡単化し，ユーザの視点付近に発光マーカーを付けてカメラで追跡を行う．試作システムでは，ユーザの動きは平面的であるという制約を設けて，単眼でユーザの視点位置を推定しているが，複数カメラを用いてユーザの自由な動きに追従するなどの拡張も可能である．

2.5　スクリーン光学パターンの生成

スクリーン物体の形状とユーザの視点位置を獲得できれば，既存CG技法によって，光源位置とスクリーン物体の反射特性を任意に変化させた光学パターンを生成することができる．CG技法によって生成された光学パターンは，スクリーン上で観測されるべき

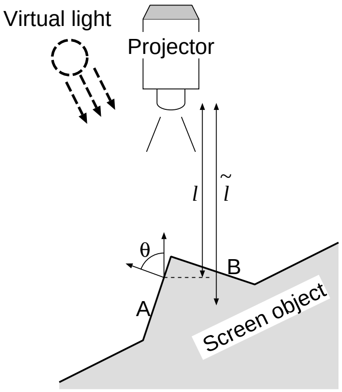


図 4　スクリーン物体への光学パターン投影
Fig. 4　Projection of the photometric pattern onto the screen object.

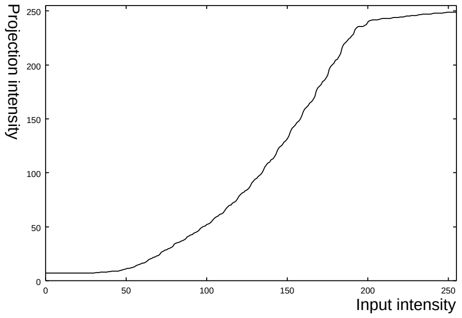


図 5　入力輝度と投影輝度の関係
Fig. 5　Relation between input intensity and projection intensity.

輝度を表していることから，本稿ではこれをスクリーン光学パターンと呼ぶ．

スクリーン光学パターン生成には要求精度に応じて時間がかかるが，仮想光源の位置を固定した状態では，視点位置に依存しない拡散反射などの成分をあらかじめ用意しておくことができる．これにより，ユーザの視点位置に依存する成分を逐次更新することによって，視点位置に合わせたスクリーン光学パターン生成の時間を短縮することができる．

なお，スクリーン物体に与える仮想反射特性を完全拡散反射とした場合には，光学パターンは視点位置に依存しないため，同時に複数人物がスクリーン物体を見ることができる．また，光学パターンは更新する必要がなく，時間遅れは原理的に生じない．

2. 6　プロジェクタ光学パターンへの変換

前節のように生成されるスクリーン光学パターンは，HMDなどを用いたシステムでは，実世界に対してそのまま重ね合わせることができる．一方，プロジェクタを用いたシステムでは，プロジェクタとスクリーン物体の位置関係を考慮して，スクリーン光学パターンの輝度を変換する必要がある．変換後のパターンは，実際にプロジェクタから投影される輝度を表しているため，本稿ではこれをプロジェクタ光学パターンと呼ぶ．

例えば，図4のようなスクリーン物体では，面A,Bの法線方向に対して等しい角度を持つ仮想光源方向を想定した場合，スクリーン光学パターン中の面A,Bは等しい輝度となる．この光学現象を，仮想光源とは別の位置にあるプロジェクタによって実現するには，法線方向とプロジェクタの投影方向がなす角度，およびプロジェクタとスクリーン物体の距離を考慮しなければならない．スクリーン光学パターン上の輝度を i とすれば，プロジェクタの方向と距離に応じて変換されたプロジェクタ光学パターン上の投影輝度 p は式(1)で表される．

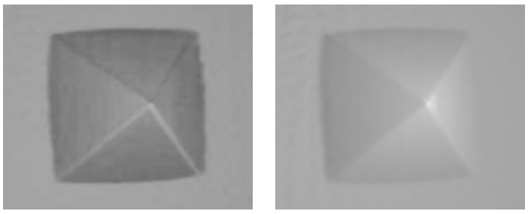
$$p = \frac{i}{\cos\theta}\left(\frac{l}{\tilde{l}}\right)^2 \qquad (1)$$

ここで，θ は法線方向とプロジェクタの投影方向がなす角度，l は投影面とプロジェクタの距離，$\tilde{l}$ はスクリーン物体とプロジェクタの基準距離である．

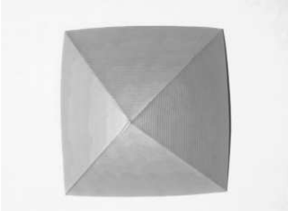
更に，この投影輝度 p を実際にプロジェクタより投影するためには，プロジェクタに対する入力輝度と投影輝度のキャリブレーションが必要となる．多くの液晶プロジェクタでは入力輝度と投影輝度の関係は線形ではなく，個々のプロジェクタの特性の違いが大きいため，一般的に定式化することは難しい．そこで，本研究では，法線方向がプロジェクタの投影方向と一致する白色物体を基準距離 $\tilde{l}$ に配置し，実際に各入力輝度をプロジェクタに与えた時の白色物体の明るさをγ補正をしないカメラで撮影することで，入力輝度と投影輝度の関係を表す関数 f を獲得した（図5）．この関数 f を用いると，投影輝度 p を実現するために実際にプロジェクタに与える入力輝度 s は式(2)で表される．

$$s = f^{-1}(p) \qquad (2)$$

例として，図4のように，プロジェクタに対して斜めに配置された四角錐を含むスクリーン物体が，四角錐の頂点方向にある仮想光源から照らされる場合



(a) photometric pattern to be observed　(b) input intensity to the projector



(c) Observed reflection on the screen object

図 6　光学パターン投影結果
Fig. 6　Result of photometric pattern projection.

を考える．この場合の，スクリーン光学パターンを図 6(a) に示す．(b) はこの光学現象を表現するためにプロジェクタに与えた入力輝度である．(b) を入力としてプロジェクタ光学パターンが投影されたスクリーン物体を，プロジェクタとは別の位置にあるカメラで撮影したものが (c) であり，各面の明るさが期待通りにほぼ等しくなっていることが確認できる．

2.7　パターンの位置ずれ

光学パターンをスクリーン物体に投影する際には，幾何学的な位置合わせが必要である．スクリーン物体とプロジェクタは固定されているため，光学パターンの投影位置はユーザの視点位置には依存しない．本研究では，2.3 節で述べたスクリーン物体の形状獲得時に，プロジェクタ座標系とワールド座標系のキャリブレーションが終了しているため，位置合わせは容易に行える．

一方，カメラによって検出されたユーザの視点位置には誤差が含まれる．更に，視点位置推定や光学パターン更新処理のために時間ずれが生じる．その結果，実際の視点位置と，光学パターン生成に用いた視点位置は厳密には一致しない．これらの推定誤差や時間ずれが存在した場合，HMD を用いたシステムでは，誤った視点位置情報に基づく映像がユーザに提示されるという問題が生じる．

しかし，プロジェクタを用いたシステムでは，鏡面反射成分の位置がずれるだけであり，視点位置に依存しない影や拡散反射は，推定誤差や時間ずれに関係なく，常に正しい位置に投影される．そのため，ある程度の精度で視点位置が推定されていれば，ユーザが大きな違和感を感じることはない．これは，HMD を用いるシステムに対する，本手法の大きな利点である．

3.　副次的相互反射とその補償

3.1　光学パターン投影による副次的相互反射

プロジェクタ光学パターンをスクリーン物体に投影しても，正しい輝度が得られるとは限らない．これは，プロジェクタ光による相互反射に起因する．つまり，仮想光源によって生じる相互反射成分は光学パターンに組み込まれているが，これをスクリーン物体に投影すると，プロジェクタ光自体が実世界で相互反射を起こすため，副次的な相互反射が発生する．これは，プロジェクタを用いたシステムに特有の現象であり，HMD などを用いて単に画像上に重ね合わせる場合には生じない．したがって，正しい輝度を実現するためには，プロジェクタ光による副次的な相互反射を補償する必要がある．

3.2　副次的相互反射補償の原理

仮想光源による相互反射の影響を考慮すると，スクリーン光学パターン上の点 A の輝度 i_A は，式 (3) のように，拡散反射成分 D_A と鏡面反射成分 S_A に加えて，仮想光源による相互反射成分 I^l_A が加えられる．ここで，I^l_A はレイトレーシング法やラジオシティ法などの既存 CG 技法によって算出できる．

$$i_A = D_A + S_A + I^l_A \tag{3}$$

このスクリーン光学パターンをプロジェクタ光学パターンに変換した後，スクリーン物体に投影すると，実際に点 A で観測される輝度 o_A には，式 (4) のように，プロジェクタ光による副次的相互反射成分 I^p_A が余計に付加されてしまう．これが，スクリーン物体が正しい見え方とならない原因である．

$$o_A = D_A + S_A + I^l_A + I^p_A \tag{4}$$

プロジェクタ光による副次的な相互反射は，実際にスクリーン物体上で起こる現象であるため回避することはできないが，その成分 I^p_A は通常の相互反射成分の算出と同様に求めることができる．そこで，式 (5) のように，スクリーン光学パターンから I^p_A に相当する値を引いておくことで，副次的相互反射を補償した輝度 i'_A が得られる．この i'_A を投影されたスクリーン

物体は，式 (4) 右辺の第 4 項がなくなるため，正しい見え方となる．

$$i'_A = D_A + S_A + I^l_A - I^p_A \tag{5}$$

3.3 実画像に基づく I^p_A 成分算出

副次的相互反射補償のためには，プロジェクタ光による相互反射成分 I^p_A を算出する必要がある．この値は，前節で述べたように既存 CG 技法によって算出できるが，スクリーン物体の形状の復元誤差に影響を受ける．そこで，本研究では，スクリーン物体が完全拡散反射面であることに着目し，実画像に基づく副次的相互反射成分の算出法を提案する．

相互反射は，ある面で反射した光が他の面で反射を繰り返すことで生じる．各面での反射を拡散反射と鏡面反射に分けて考えると，相互反射が生じる過程は拡散反射と鏡面反射の組合せによって分類できる [12], [13]．一方，本システムでは，スクリーン物体が完全拡散反射面であるため，光学パターンにどのような反射成分が含まれていたとしても，プロジェクタ光による副次的相互反射成分 I^p_A は，すべて拡散反射同士の相互反射によって生じる．

そこで，本研究では拡散反射同士の相互反射はあらゆる方向から一定の輝度で観測できることを利用して，実際にスクリーン物体を撮影した実画像を基に，副次的相互反射成分を算出する．図 7 に示すように，光学パターンを小領域の矩形に区切り，特定の矩形のみを一定の輝度とした光学パターンをスクリーン物体に投影する．これを，スクリーン物体上のすべての面を観測できるように配置したカメラを用いて撮影することで，実世界でどのように相互反射が生じるかを示す画像（矩形パターン投影画像と呼ぶ）を獲得する．これにより，スクリーン光学パターン中の輝度が各矩形に含まれる割合を算出し，それぞれの割合に応じた矩形パターン投影画像の線形和により，副次的相互反射成分を算出できる．スクリーン物体の形状の複雑さに応じて矩形の大きさを変えることにより，十分な精度を保つことができると考えられる．この手法では，保持しておく画像が多くなるという問題はあるものの，計算時間が大幅に短縮でき，スクリーン物体形状の復元誤差の影響を受けないという利点がある．

以上の方法により，原理的には誤った相互反射成分を取り除くことができる．しかし，実際上の問題として，点 A に与えた仮想拡散反射率が小さい場合には，i'_A の値が負になることがある．これは，式 (5) において，点 A に与えた仮想拡散反射率から算出される D_A と I^l_A が小さな値になるのに対し，スクリーン物体の本来の拡散反射率から算出される I^p_A が大きな値になることが原因である．このような場合には，プロジェクタで負の値を投影することができないため，副次的相互反射の補償ができない．これは，明るいスクリーン物体をプロジェクタで暗くすることができないことに起因しており，プロジェクタを用いたシステムにおいて本質的に解決できない問題である．

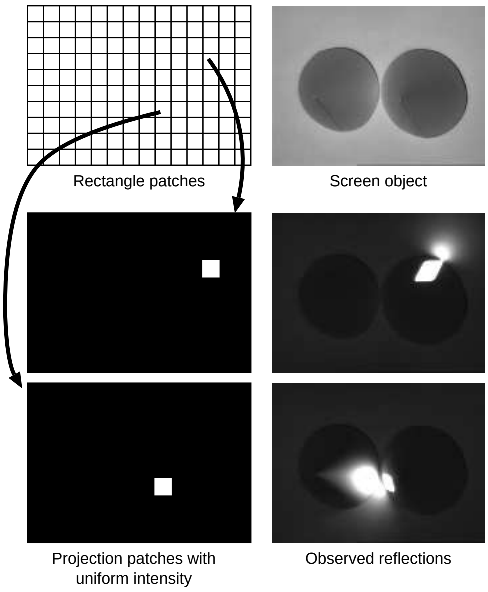


図 7 矩形パターン投影画像
Fig. 7 Observed reflection patterns caused by patch projections.

3.4 副次的相互反射補償実験

提案した相互反射補償法の有効性を確認するため，仮想光源の場合と実際にライトを用いた場合について，スクリーン物体の見え方の変化を調べる実験を行った．図 8 に示すように，互いに直交する 2 面を持つスクリーン物体に対し，面 A への入射角が 0° ~ 90° となるように仮想光源の位置を動かした時の点 A の明るさを調べた．

スクリーン物体に与えた仮想反射特性を完全拡散反射とし，拡散反射率は点 A で 0.5，点 B で 1 とした．全体を 6×7 に区切った矩形パターン投影画像を用いてスクリーン光学パターンの副次的相互反射補償を行った．この補償後のパターンを投影するために，プロジェクタに与えた入力輝度を図 9(a) に示す．ここ

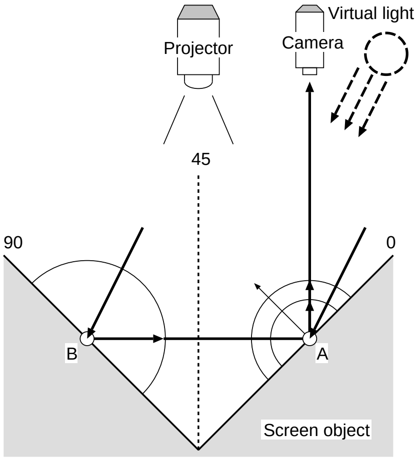


図 8　相互反射補償の実験環境
Fig. 8　Experimental environment for interreflection compensation.

で，0° 付近では補償後の投影輝度が負の値となったため，入力輝度は 0 としている．この補償後のパターンを投影した点 A をカメラで撮影した輝度を (b) に示す．また，補償をしなかった場合の点 A の輝度を (c) に示す．比較のために，実際の拡散反射率が 0.5 となるように点 A を着色し，計算機で回転角を制御できるターンテーブルに取り付けたハロゲンライトを仮想光源と同じ位置になるように動かして，点 A をカメラで撮影した輝度を (d) に示す．補償後の投影輝度が負になる 0° 付近では (b) と (d) のずれは大きいが，その他の仮想光源位置ではほぼ一致していることがわかる．また，補償をしなかった (c) は，正解である (d) とのずれが大きいことから，提案手法によって正しく副次的相互反射補償を実現できていることが確認できる．

4. 実験結果

提案した仮想光学環境を実現するため，図 10 のように液晶プロジェクタ 1 台，3CCD カメラ (SONY XC-003)2 台からなるシステムを構築した．カメラはレンジファインダ及び相互反射補償用に 1 台，視点位置推定用に 1 台とした．スクリーン物体は白色で完全拡散反射面とした．

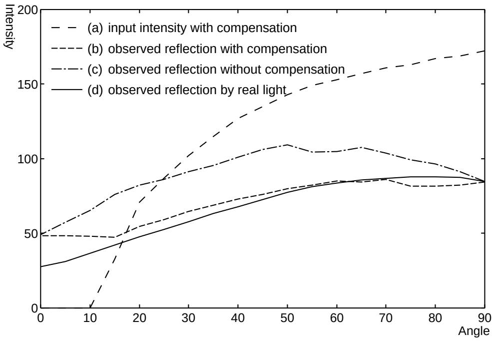


図 9　相互反射補償の実験結果
Fig. 9　Experimental result of interreflection compensation.

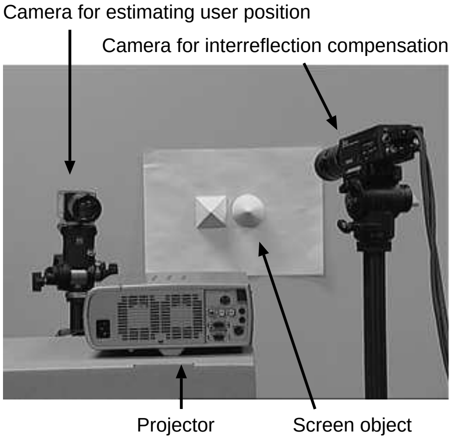
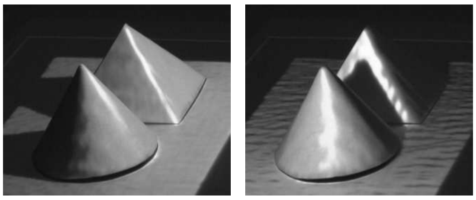


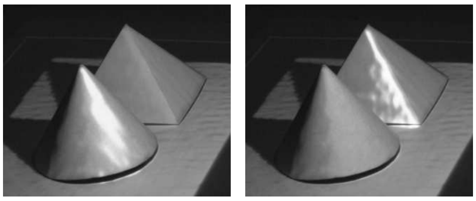
図 10　システム構成
Fig. 10　Construction of the system.

まず，円錐と四角錐を含むスクリーン物体に対し，光源位置と物体の反射特性を仮想的に変化させた場合について実験を行った．図 11(a) は，仮想光源位置を変化させた時のスクリーン物体の見え方を示しており，拡散反射と鏡面反射だけでなく，cast shadow についてもスクリーン物体の形状を反映した見え方となっていることがわかる．(b) は物体の反射特性を仮想的に変化させ，それぞれ円錐と四角錐の鏡面反射強度を変化させた例を示している．(c) は視点位置が変化した時の見え方を示しており，視点位置に応じた鏡面反射成分が付加されていることが分かる．

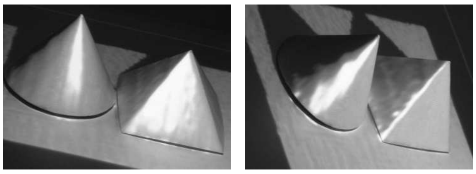
次に，仮想光学環境の応用例として，図 12(a) のような白色の壷をスクリーン物体とし，光学パターンを投影する実験を行った．このスクリーン物体の形状を復元した結果が (b) であり，プロジェクタで投影できない領域以外は，ほぼ正しく形状を復元できていることがわかる．(c) と (d) は，仮想反射特性として拡散反射のみを持つテクスチャを与え，仮想光源の位置を



(a) 仮想光源位置の変化



(b) 反射特性の変化



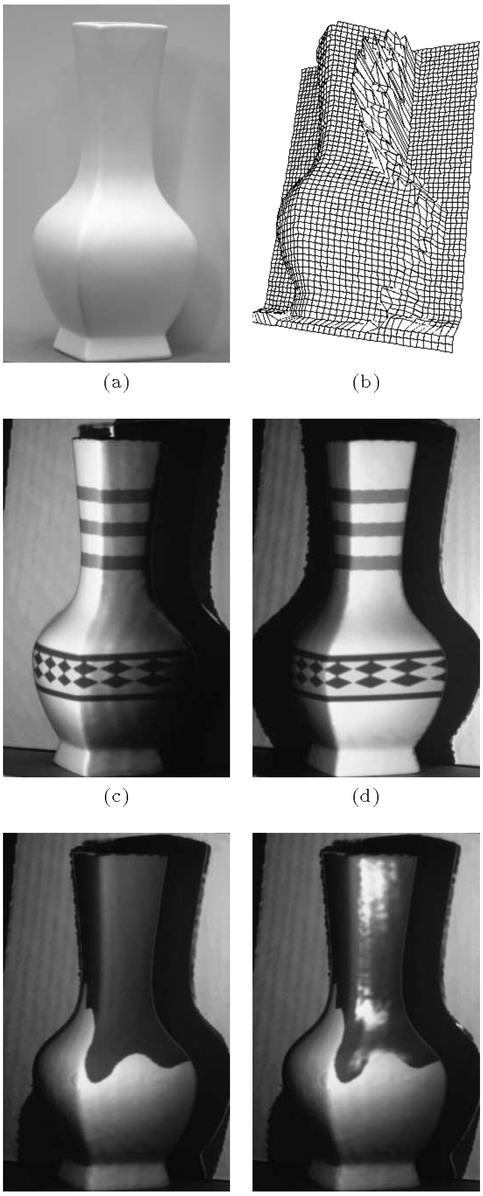
(c) 視点位置の変化

図 11　仮想光学環境の例
Fig. 11　Examples of the virtual photometric environment.

それぞれ左方向，右方向に配置した時の結果である．(e) と (f) は，鏡面反射特性を変化させることにより，質感の違いを表現した結果である．(f) では視点位置に合わせて鏡面反射成分が付加されており，スクリーン物体の材質が仮想的に変化していることが分かる．

このスクリーン物体では，プロジェクタから投影できない面があるため，壷の裏側に光学情報を付加することができない．また，同様の理由で，壷の後方には常にプロジェクタ光による誤った cast shadow ができてしまう．この問題は，本システムでは解決することができないが，複数のプロジェクタを併用することで原理的に解決可能と考えられる．

以上の実験結果より，プロジェクタを用いてスクリーン物体に光学パターンを投影することにより，仮想光源や物体の反射特性を任意に変えることのできる仮想光学環境を実現できることを確認した．本システムは，ユーザに与える違和感が少なく，様々なスクリーン物体を用いることで，仮想美術館などへの応用が期待できる．



(a)　(b)

(c)　(d)

(e)　(f)

図 12　壷へのパターン投影結果
Fig. 12　Results of pattern projection onto a vase.

5. むすび

本稿では拡張現実感の枠組において，実世界の幾何情報と仮想世界の光学情報を，プロジェクタによって実世界で重ね合わせる仮想光学環境の実現方法を提案した．HMD を用いたシステムで問題となる位置ず

れが，プロジェクタを用いたシステムでは大きな問題とならず，ユーザに大きな違和感を与えないことを示した．

また，プロジェクタを用いたシステムでは，プロジェクタ光による副次的な相互反射の影響で正しい見え方とならないことを示した．そのために，実画像に基づく副次的相互反射補償法を提案し，実験によって有効性を確認した．一方，スクリーン物体に与えた仮想反射特性によっては，正しく補償ができない場合があるというプロジェクタを用いたシステムの限界を明らかにした．試作システムを用いた実験により，実世界に光学パターンを投影することで，光源位置や反射特性を自由に制御できるだけでなく，単なるCGでは得られない現実感を得ることができることを確認した．

本稿では，スクリーン物体上のすべての面が，プロジェクタから投影でき，副次的相互反射補償用カメラからも撮影できるという仮定に基づいて議論を進めた．しかし，現実にはスクリーン物体上には隠れ面が存在するため，設定できる仮想光源の位置や，副次的相互反射を補償できる面に制限が生じる．この問題は，複数プロジェクタ・複数カメラを併用することで原理的には解決可能と考えられ，より複雑な形状のシーンにも適用できるように拡張することが今後の課題として挙げられる．

本研究は，科学技術振興事業団CREST池内プロジェクトの援助を受けて行った．

文　献

[1] 神原誠之, 大隈隆史, 竹村治雄, 横矢直和: “ビデオシースルー型拡張現実感のための実時間ステレオ画像合成”, 信学論D-II Vol. J82-D-II, No.10, pp.1775-1783, 1999.

[2] 菅谷保之, 大田友一: “隠れ処理を含まない方式と含む方式の連結統合による多眼ステレオ法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.617-622, 1999

[3] Y.Mukaigawa, S.Mihashi and T.Shakunaga: “Photometric Image-Based Rendering for Virtual Lighting Image Synthesis”, Proc. International Workshop on Augmented Reality (IWAR’99), pp.115-124, 1999.

[4] 向川康博, 宮木一, 三橋貞彦, 尺長健: “Photometric Image-Based Renderingによる仮想照明画像の生成”, 情報処理学会CVIM論文誌, Vol.41, No.SIG10(CVIM1), pp.19-30, 2000.

[5] 西野恒, 佐藤いまり, 佐藤洋一, 池内克史: “Eigen-Texture法：複合現実感のための3次元モデルに基づく見えの圧縮と合成”, 信学論D-II Vol. J82-D-II, No.10, pp.1793-1803, 1999.

[6] 佐藤いまり, 林田守広, 甲斐郁代, 佐藤洋一, 池内克史: “複合現実感における光学的整合性の実現 :基礎画像の線形和による高速レンダリング手法”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU 2000), Vol.1, pp.107-112, 2000.

[7] J.Underkoffler, B.Ullmer and H.Ishii: “Emancipated Pixels: Real-World Graphics In The Luminous Room”, Proc. SIGGRAPH’99, pp.385-392, 1999.

[8] R.Raskar, G.Welch, W.C.Chen: “Table-Top Spatially-Augmented Reality: Bringing Physical Models to Life with Projected Imagery”, Proc. International Workshop on Augmented Reality’99 (IWAR’99), pp.64-71, 1999.

[9] 楠本拓矢, 佐藤宏介, 井口征士: “実物体へのテクスチャ像投影による混合現実感システム”, 電子情報通信学会基礎・境界講演論文集, pp.318, 2000.

[10] A.Shashua: “Geometry and Photometry in 3D Visual Recognition”, Ph.D thesis, Dept. Brain and Cognitive Science, MIT, 1992.

[11] 井口征士, 佐藤宏介: “三次元画像計測”, 昭晃堂, 1990.

[12] 眞鍋佳嗣, 佐藤宏介, 井口征士: “光源移動による相互反射の検出”, 信学論D-II Vol. J78-D-II, No.1, pp.86-93, 1995.

[13] 富永昌治, 岡山敏之: “ハイライトや相互反射の影響を含むカラー画像の解析法”, 信学論D-II Vol. J80-D-II, No.6, pp.1360-1369, 1997.

（平成12年9月13日受付，13年1月15日再受付）

向川　康博　（正員）

平4筑波大・第3・情報卒．平9同大大学院博士課程了．同年より岡山大学工学部情報工学科助手．コンピュータビジョン，コンピュータグラフィックスの研究に従事．博士（工学）．情報処理学会，日本バーチャルリアリティ学会各会員．

西山　正志

平12岡山大・工・情報卒．現在，同大大学院博士前期課程在学中．コンピュータビジョンの研究に取り組んでいる．

尺長　　健　（正員）

昭51京大・工・情報卒．昭53同大大学院修士課程了．同年NTT入社し，研究所においてコンピュータビジョン，ロボットビジョン等の研究に従事．平5～6カーネギーメロン大学ロボティクス研究所客員研究員．平8より岡山大学工学部情報工学科教授．共訳書「ロボットビジョン」(朝倉書店)．工博(京大)．IEEE，情報処理学会各会員．