基礎論文

再照明付与による複合現実空間のルック変更の試み
−MR-PreViz 映像への映画的照明演出を例として−

一刈 良介[*1] 西沢 孝浩[*2] 大島 登志一[*3] 柴田 史久[*1] 田村 秀行[*1]

A Challenging Trial to Look-Change of Mixed Reality Space by Relighting
--- In Case of Cinematic Lighting Design on MR-PreViz Images ---

Ryosuke Ichikari[*1], Takahiro Nishizawa[*2], Toshikazu Ohshima[*3], Fumihisa Shibata[*1], and Hideyuki Tamura[*1]

Abstract – Photometric consistency is one of the most important issues in mixed reality (MR). Many works achieved a seamless MR by rendering virtual world under the same photometric conditions including illumination and image quality as real world. As a next step, we focus on a challenging trial to Look-Change of MR space. Look refers to the feeling of an image provided by illumination and color tone. In this paper, we introduce a relighting method for the Look-Change. The proposed method allows an MR space to have additional virtual illumination. The effects of virtual illumination are applied to both real objects and virtual objects while keeping photometric consistency. We utilize the relighting method for MR based pre-visualization for filmmaking.

Keywords: Mixed Reality, Relighting, Photometric Consistency, Pre-visualization, Filmmaking

1. はじめに

現実世界と仮想世界を実時間で融合する複合現実感(Mixed Reality; MR)は，人工現実感(Virtual Reality; VR)の発展形として注目を集め，当学会で最も活発な研究開発がなされている分野の１つとなっている[1]. 研究の初期段階から．視覚的な MR を達成する必要条件として，現実空間と仮想空間の「幾何学的整合性」（位置合わせ）と「光学的整合性」（画質合わせ）があげられていたが，これまでの研究の大半は前者に向けられ，今なお重要課題と位置づけられている[2][3]. これは，現実世界の映像に注釈文字や簡単な図形を重畳表示するような程度の拡張現実感(Augmented Reality; AR)の場合にも，体験者やカメラ位置の移動に伴う追跡処理が不可欠であるためである．

一方，現実世界と仮想世界を映像的に継ぎ目なく対等に融合したい本格的な MR では，後者の「光学的整合性」も避けて通れない重要課題となってくる．その最も端的なアプローチは，魚眼レンズや鏡面球を用いて実世界の光源環境を推定し，仮想照明をできるだけ実世界のものと近づけ，仮想物体に対する自然な陰影付けを行うものである[4]-[6]. さらには，レンズの被写界深度とモーションブラー[7]，レンズ歪みと画質など[8]，照明条件以外の光学的条件を一致させ，合成時の違和感の軽減を実現している研究も存在する．

これらがあくまで現実・仮想両空間の照明条件や光学特性を一致させようという範囲に留まっているのに対して，我々はもう一歩進んで，体験者の目の前の複合現実空間の照明を自在に設定し直し，その光学的外観（ルック）を変更・加工することに挑戦する．例えば，明るい照明下での体験空間を，あたかも夜の部屋のように見せたり，少し靄がかかった幻想的な空間に見せたりするといった演出的利用である．これは，単に正確で忠実な MR 融合空間を構築するだけでなく，MR 型情報提示技術の表現力を向上させる効果がある．

ここで，現実世界の照明を変化させた場合の MR 空間への影響は，前述の光学的整合性の動的な達成問題に属する．その実時間処理は容易でないものの，現実世界の照明環境をいかにモデル化するかの問題に帰着する．一方，仮想光源を変化させた場合の MR 空間への影響は，対象となる現実世界の事物の幾何形状だけでなく，表面属性も考慮した計算が必要となる．現実世界の全事物の詳細なモデル化は不可能であるから，いかに妥当で許容できる近似を行

*1 立命館大学大学院理工学研究科
*2 現在，株式会社東芝
*3 立命館大学映像学部
*1 Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University
*2 TOSHIBA Corporation
*3 College of Image Arts and Sciences, Ritsumeikan University

うかが鍵となる. この両方を画質的に違和感がなく，かつ実時間処理の制限下で達成することは，かなり困難な挑戦的研究課題である．MR 空間を対象としてこの問題に取り組んだ報告はまだ存在しない.

我々は，この挑戦的課題への最初の一歩として，いきなり体験者を含む MR 空間の照明変化の実時間対応の一般解を求めるのではなく，実時間 MR 合成して得た映像を，仮想光源で再照明付与（relighting）する問題として捉える．ただし，この再照明付与の実行速度は実時間処理することは条件とする. 即ち，映像獲得と再照明付与の 2 つの実時間処理が分離した前提から始めるが，やがてこの 2 つが繋がることにより，所望の実時間ルック変更処理が可能とするアプローチを採用する．また，再照明付与の意義を分かりやすくするため，筆者らが研究プロジェクトとして取り組んでいる「映画制作を支援する複合現実型事前可視化(MR-PreViz)」[9]を対象とし，映画的照明演出を例として取り上げる.

2. MR-PreViz における再照明付与処理

2.1 MR-PreViz におけるルックの検討の導入

最近の大作映画では，本番撮影の前にフル CG 映像を用いて事前可視化(Pre-visualization ; 以下 PreViz と略す)した映像（CG アニマテイックスともいう）が活用されている．筆者らは，この PreViz 映像制作に MR 技術を導入する MR-PreViz を提唱し，アクションシーンの設計，キャメラワークの事前検討が効率的に行えることを劇場公開レベルの映像で実証した[10][11]. 次に，ルックと呼ばれる照明や画面の色合いにより決まる画面の雰囲気も事前検討できれば，映画制作への強力なさらに支援ツールとなる.

映画制作において，ルックとは映像の「色合いや質感」を意味し，重要な要素の一つである．本番撮影時の照明やポストプロダクション段階で色調補正を行うことで，監督や撮影監督らのルックのイメージは映像化される．今まで，撮影前に監督の頭の中にあるこのルックのイメージは，そのイメージと近い映画作品のシーンを例にあげるなどの方法によりスタッフに伝えられ，事前に明確に映像化して示されることはなかった.

キャメラワークやアクションの事前可視化に加えて，このルックも事前に可視化できれば，更に高いレベルで監督の持つ完成イメージを共有できると考えられる．照明効果は，ルックに関わる重要な要素の一つであり，撮影後に変更することは困難であることから，事前に詳細に検討しておく価値がある．本研究では，ルックのイメージを表現する絵作りに重点を置き，色調の調整，照明変更処理を施した MR-PreViz 映像を事前に作成することで，今まで以上に監督・撮影監督の描く完成映像のイメージに近づける.

MR 研究開発側での意義としては，本研究はただ現実世界と仮想世界の光学的条件を一致させるだけでなく，演出のために仮想光源を配置して所望の光源環境を作り上げることに特徴がある.

撮影後の画像の照明条件の変更を試みる再照明付与に関する研究はすでにいくつか存在する[12][13]. Loscos らは，ビジョンベースの手法により推定したシーンの幾何形状とラジオシティ法を用いて生成した照明効果を除去したテクスチャとを用いて再照明付与を行った[12]．福冨らはラジオシティ法を用いてレンダリングした画像と実写画像とを比較し，誤差を最小化させることで表面反射特性を推定し，ラジオシティ法において逐次的なレンダリングを行うことで，対話的な照明シミュレーションを実現した[13]. これらの手法は，大域照明で照明を行うため，MR において実時間に動作させて利用するのは困難である．また実環境を正確にモデル化する必要があり，屋外で用いるのは現実的ではない.

2.2 再照明付与処理の流れ

本手法の目的は，監督・撮影監督が持つルックのイメージの映像化であり，厳密な照明のシミュレーションではない. これらを考慮して MR-PreViz 映像に対して再照明付与処理を施すには，以下の 3 段階の処理を行う.

Step 1 背景画像の入力
Step 2 画面全体の環境光を色調補正で表現
Step 3 仮想照明効果を実物体と仮想物体に付与

Step1 では，再照明付与をする上で，仮想と現実の影の濃さや方向の不整合により矛盾が生じることを避けるため，背景実写画像には目立つ影が存在していないものとする．屋内撮影現場では，照明はコントロールすることが可能であり，影を実照明で消すことは実際の撮影現場でも頻繁に行われる. 一方，晴天時の屋外など強い日照りのよる影が生じること場合には，機材設置の手間を考えると，画像処理技術により実写画像中から影の除去[14][15]が有用である．MR-PreViz の研究においても，そのような場合の対処法の一例として，実写画像中の影領域と日向領域を手動で指定し，それら領域の色分布を一致させる処理により影を消す手法を提案している[16]. Step 2 では，入力映像に対して色調補正処理を行う. 色調補正は，各カラーチャンネルに対して，任意の値を乗じることで明るさ，色調を変更する．これは環境光の近似に相当する．Step 3 では，仮想物体を実背景中に重畳描画し，仮想照明の効果を現実物体・仮想物体双方に適用する．光学的に正しく仮想

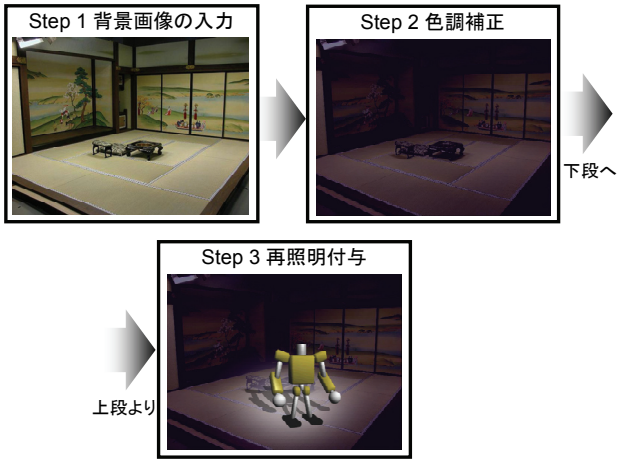


図 1　再照明処理の流れ

Fig.1 Flow of Relighting

照明効果を付与するため, 実物体の幾何形状の入力, 反射特性の推定を行う．MR-PreViz における再照明付与の処理の流れを**図 1** に示す.

MR-PreViz では，SD (Standard Definition) の合成映像を実時間で確認しながらのキャメラワークの試行錯誤に加えて，オフラインレンダリングを用いて同内容の HD (High Definition) の合成映像を生成できる．上記の再照明付与の処理は，MR-PreViz 撮影後にオフライン処理で実現することを想定しているが，前述の通り，実時間処理が可能なアプローチを採用する.

3. 表面反射特性の推定

3.1 手法の概要

2.2 節に示す Step2，Step3 では，入力画像に対して，色調補正処理，仮想照明効果を付加することにより, ルックの事前可視化を行う. 光学的に正しく，違和感のないように仮想照明を付与するには，実物体の反射特性の推定と，照明機材の特性を考慮する必要がある．一般的に，白色光源下では，カメラで観測できる物体の RGB 各色の階調値 B は，光源により照らされた物体表面の照度値 E と物体固有の RGB 各色の表面反射特性 S，カメラの口径や電気的な増幅などによるゲイン τ から式(1) で表せると考えられる.

$$B = \tau SE \tag{1}$$

実物体に対して，仮想照明の効果を正確に反映させるためには，その実物体の表面反射特性 S を知っておく必要がある．表面反射特性は二色性反射モデルによって全ての方向に一様な色を反射する成分である拡散反射成分と，指向性を持つ反射成分である鏡面反射成分の和によって表される．本研究では，

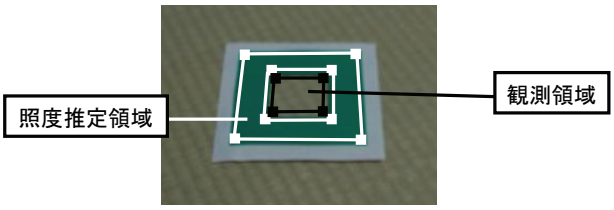


図 2　反射特性推定用基準物体

Fig.2 Reference object for reflectance estimation

ルックの検討において照明の影響で実物体表面がどれだけ明るくなるかが最重要であると考えられること，ハイライトは演出効果として後に付加できることから，鏡面反射成分を考慮しないこととする.

3.2 簡易的な反射特性推定アルゴリズム

理想的には式(1) のような線形な関係がなりたつが，実際にカメラで撮影された画像では，ゲイン τ が常に一定ではなく，式(1) は常には成立しない．そこで，本研究では測定した照度値 E と最終的にカメラから出力される RGB 階調値との関係を照度-RGB モデルとしてモデル化し，それを反射特性として扱う．そのため，照度推定用の基準物体を作成し，基準物体と表面反射特性を求めたい実物体とを同時に映すことで，実物体周辺の照度とカメラから出力される RGB 階調値を同時に得る.

照度計を直接用いた照度測定に比べて，1 枚の撮影画像より複数の箇所の照度を同時に計測できること，異なる照度下での RGB 階調値を求める際，照明を変更せずにカメラの露出を変えることでも撮影画像の明るさに相当する照度を推定できる利点がある.

3.2.1 反射特性推定用基準物体

本研究では, カメラ画像より照度を推定するため, 以下の条件を満たすように基準物体を作成する.

- 基準物体領域と観測領域の 2 つの領域を持つ物体として認識される
- 基準物体領域は単色で構成されている
- 鏡面反射成分を殆ど持たない
- 照度変化と物体色変化の対応が既知（照度-RGB モデルを持つ）
- 基準物体が観測領域に光学的な影響を与えない

ここにある照度-RGB モデルとは，照度と物体色の対応を示すモデルである[17]．基準物体は，**図 2** に示すように，あらかじめ照度-RGB モデルが計測された照度推定領域をもち，その内側の観測領域は実物の表面を写すために矩形の穴が空けられている．これは自動的に観測領域の画像データの切り出しを行うためである．照度推定領域は，上記に示すとおり，単色で鏡面反射成分の少ない素材であればよいが，本研究の想定する照度の帯域において経験的に

分解能が高い結果が得られるとわかった緑色の画用紙を照度推定領域の素材として用いる．また，基準物体の形状として，まずは認識しやすい矩形を用いたが，形状や色を工夫してシーンの光景に溶け込むように配置することで，基準物体を貼り付けたままにできる．これにより，カメラが変更された際などに照度-RGB モデルを再度測る作業量を軽減できる．

3.2.2 基準物体を用いた照度推定

3.2.1 で述べた基準物体の基準物体領域の色から照度を推定する．拡散反射成分は全ての方向に等しく検出され，物体そのものの色を表す成分という定義から，基準物体領域で最も頻繁に現れる RGB 階調値を代表値として，照度-RGB モデルを用いて照度を求める．文献[17]では，照度-RGB の関係を，2 次関数で近似していた．しかし本論文の対象とするような高照度の条件下では，RGB 階調値の減衰がみられ，1 次関数や 2 次関数ではうまくフィッティングできなかった．そこで，一番うまくフィッティングできた対数を採用した．実際に照度-RGB モデルを得るには，まず周りの照度推定領域の照度-RGB モデルを得る．そのため，照度を変化させて照度推定領域を複数枚撮影し，RGB 階調値と照度の対応関係を得る．それらの対応関係を基に，照度と RGB 階調値の関係を対数近似したものが照度-RGB モデルとなる．

3.2.3 照度推定精度実験

基準物体による照度推定の精度を調べるため実験を行った．本実験で用いたカメラは Point Grey Research 社製の IEEE1394 カメラ GRAS-20S4C-C である．実験に利用した画像の解像度は，実時間での再照明付与処理行うために SD 解像度のカメラを利用することを想定して，640 × 480pixels に設定した．照度の真値計測用には，コニカミノルタ製の照度計 T-10 を使用した．カメラによる補正の影響をなくすため，オートアイリス機能，フレア補正，ガンマ補正，ニー補正，ホワイトクリップ処理などは行わないように設定する．カメラは基準物体を囲むように 8 方向に配置し，その複数画像の平均照度と標準偏差を計測した．実験結果を**表 1** に示す．本実験では画像の明るさと推定精度との関係も調べるため，レンズの絞りを F 値 4.0，5.6 (4.0 の場合の 1/2 の明るさ)と変化させ，同照度で明るさの異なる 2 枚毎の画像を撮影した．

実験の結果，照度が高い部分では，本手法で推定された照度は，照度計で計測された真値との差が多くなり，正確に照度が推定できていないことがわかる．これは，照度と RGB 値の関係を示す曲線の傾きの値が低くなり，RGB 値より求まる照度の分解能が低いことを表している．そこで，絞りやシャッタ速度を変更し，適切な RGB 値になるように調整すれば改善することが期待できる．

表 1　照度推定実験の結果

Table.1 Experimental result of estimating illuminance

F値	4			
計測照度(lx)	300	911	1840	3100
推定照度平均(lx)	298.1517	1114.006	2081.231	3518.461
推定照度の標準偏差	8.00997	190.5273	217.7731	239.2866
F値	5.6			
計測照度(lx)		911	1840	3100
推定照度平均(lx)		995.3313	2057.236	3633.357
推定照度の標準偏差		74.98157	118.9096	187.0787

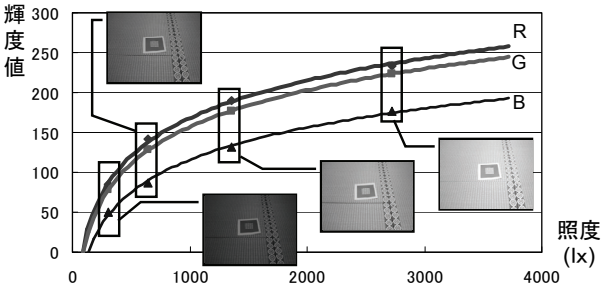


図 3　畳の照度-RGB モデルの推定結果

Fig.3 Result of estimating tatami's reflectance

3.3 反射特性推定結果

上記の基準物体の照度-RGB モデルを利用して，観測領域に写る実物平面の反射特性を推定する．実物平面の照度-RGB モデルも基準物体と同様に，照度を変えて撮影した複数枚の画像を用いて，照度推定領域により推定される照度と観測領域の RGB 階調値の最頻値の関係を得て，対数近似することにより推定される．結果として，**図 3** に示すように対数近似でうまくフィッティングさせることができた．屋外環境のように，照明を変更することが困難な場合は，絞りやシャッタ速度を変更し擬似的にシーンの明るさを変更させることでも同様の結果が得られることが文献[17]よりわかっている．

4. 再照明付与

4.1 再照明処理法

表面反射特性，被照面モデルと呼ぶシーンの幾何形状を用いて，再照明付与による照明演出を実現する．被照面モデルの入力には，3D-CG モデラを用いて撮影環境の幾何形状をモデリングしたデータ(.x ファイル形式)を入力する．入力実写画像に合わせて被照面モデルを配置するため，被照面モデルをキャメラ位置姿勢に応じて透視投影変換をかける．仮想光源による照明効果は，画面中に写る被照面モデル

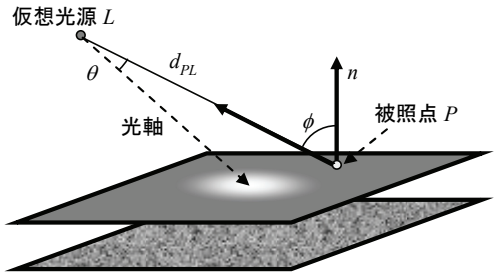


図 4　照度マップへの照度変化量の記録
Fig.4 Rendering to illuminance map

上の点と重畳する仮想物体表面の照度がどれだけ変化するかを照度マップに格納し，それを基に計算する．現実の照明機材から照らされる光の特性を反映させるため，照明器具メーカが公開しているIES(Illuminating Engineering Society) データと呼ばれる配光データを採用することにした．被照面上の点を被照点とよび, 照明が被照点Pに与える照度E_L は, **図 4** に示すように，式(2) で計算できる．ここで I_θ は光度を表し，照明の配光特性が光軸からの角度 θ 毎に Lookup table の形で保存されている IES ファイルから計算する．ϕ は P から照明 L までの方向ベクトル d_{PL} と, P における法線ベクトル n が成す角，$dist(P,L)$ は被照点 P と照明 L 間の距離である．

$$E_L = \frac{I_\theta \cos\phi}{dist(P,L)^2} \tag{2}$$

最終的な再照明付与後の被照面の RGB 階調値 B_L は，式(3)(4)(5)より算出する．まず，式(3)(4)により照度-RGB モデルにおける照度値 E に対応する RGB のいずれか 1 色の照明付与前(before)と照明付与後(after)の階調値 V を計算し，その後に式(5)により最終的な被照点の RGB 各色の階調値 B_L を求める．ここで a と b は照度-RGB モデルの対数式のパラメータ，E_L は式(2) より求まった照明により増加する照度，E_I は再照明付与前の照度，B_I は再照明付与前の RGB 各色の階調値である．再照明付与前の照度は，色調補正後の画像中の被照面の RGB 階調値より逆算して推定された照度値である．式(2)(3)(4)(5)の計算の際，照明色は考慮せず白色光として扱っているが，式(5)の計算結果に対して，RGB チャンネルで別途，異なる係数をかけることで，照明色を変更することが可能である．

$$V_{before} = a\ln(E_I) + b \tag{3}$$

$$V_{after} = a\ln(E_I + E_L) + b \tag{4}$$

$$B_L = \frac{V_{after}}{V_{before}} B_I \tag{5}$$

5. MR-PreViz 映像に対する再照明付与処理

5.1 処理手順

本章では，MR-PreViz 映像に対して再照明を付与する処理について述べる．提案手法を動画像に対して適用するには，まず，MR-PreViz 撮影時の実写映像の連番画像群とその画像撮影時の高精度なカメラ位置姿勢情報が必要である．それらは，4 章に示した通り，画像と被照面モデルとを対応付けるために被照面モデルをキャメラ位置姿勢に応じて透視投影変換をかけるために用いられる．本研究では，同研究グループで開発している自然特徴点認識を用いたビジョンベースの手法[18] を用いて，画像撮影時のキャメラ位置姿勢を推定した．推定したキャメラの位置姿勢情報と，実写映像を入力して，1 フレームずつ仮想照明付与処理を行う．

まず，画面全体の色調，明るさを RGB チャンネル毎に設定する．次に，色調補正処理後の画像に相当する照度を，被照面の画素値と事前に求めた照度-RGB モデルを用いて推定する．推定された被照面の照度を用いて，前章に示した方法で仮想照明に照らされたことで増加する照度を示す照度マップを求める．この際，照明位置から光軸方向に向けて描画した深度画像とカメラからの深度画像とを比較することで，光源からの光が届くかどうかを判定する．ここで，照度マップをより高い分解能で保存しておくため, 照度値を RGB 各 8bits の 24bits で表現し，入力画像と同サイズの照度マップ用保存用画像として格納領域を用意し，高い桁から 8bits 毎に R ⇒ G ⇒ B の順で格納した．

これらの処理は，DirectX9 環境で実装され, 色調補正処理，再照明付与処理は上位レベルシェーダ言語(High Level Shader Language; HLSL)を用いて GPU 上で処理することで高速化を図った．HLSL を用いることで，元画像の色調補正処理，深度の比較，式(2)(3)(4)(5)の計算と計算結果を画像として描画する処理を GPU 上で行うことが可能となった．

5.2 再照明処理のためのユーザインタフェース

MR-PreViz 映像に対するインタラクティブな再照明処理を行うため, **図 5** のような GUI のプロトタイプを開発した．この GUI を用いて，所望の照明の位置や方向，強さ，色調補正に設定可能であり，設定結果を反映した映像を実時間で別ウインドウに表示することで，インタラクティブな照明デザインを可

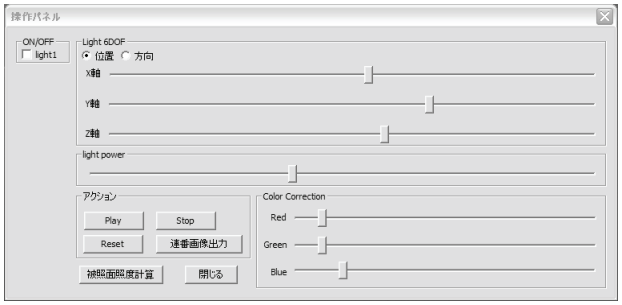


図 5　再照明用 GUI

Fig.5 GUI window for relighting

能にする．この GUI における各グループ，ボタン，スライダ等に設定した機能は下記の通りである．

- ON/OFF チェックボックス：仮想照明の ON/OFF を切り替える
- Light 6DOF グループ: 位置，姿勢のラジオボタンにより，変更対象を決定(位置 or 姿勢)，スライドバーにより X, Y, Z 軸毎に値を設定する
- Light power: 照明の強さを変更するスライドバー
- アクショングループ：この部分で合成する入力された MR-PreViz 映像の再生，停止，再照明結果のファイル出力操作する
- Color Correction グループ: 画面の色調補正量を R,G, B の各チャンネルでスライドバーを用いて設定し，元画像から RGB 階調値に乗算する
- 被照面照度再計算ボタン：色調補正により変更された後に明るさに相当する照度を再計算する

5.3 処理結果

研究室内に設置された和室の撮影セットでの MR-PreViz 画像に対する再照明付与の結果を**図 6** に示す. (a) が入力画像, (b) が MR-PreViz 結果, (c) が色調補正後に 2 つの照明を配置した際の照度変化を示した照度マップ（変化を見やすくするため，最大値を赤, 最小値を青とした擬似カラー等高線表示), (d) が最終的な再照明付与結果である．

被照面として，**図 7** に示すような，畳(床面)，床の間(奥の面)，襖(右面) を含む和室セットの幾何形状データ（.x ファイル形式）を 3D-CG モデラを用いて手作業でモデリングして入力し，配光データとして，ARRI 社 HP[19]にて公開されている ARRI Junior 300 Plus (フォーカスレンジ：middle)の配光情報を IES データのフォーマットに変換して入力している．

反射特性として，畳面の照度-RGB モデルを取得し，適用した．そのため，畳面の 1 箇所で照度を変更して 4 度照度を測定することで，照度-RGB モデルを推定した．式(3)，式(4)で用いられる照度-RGB モデルより求まる a と b は，本来は各表面でそれぞれ個別に設定すべきものである．しかし，今回は畳

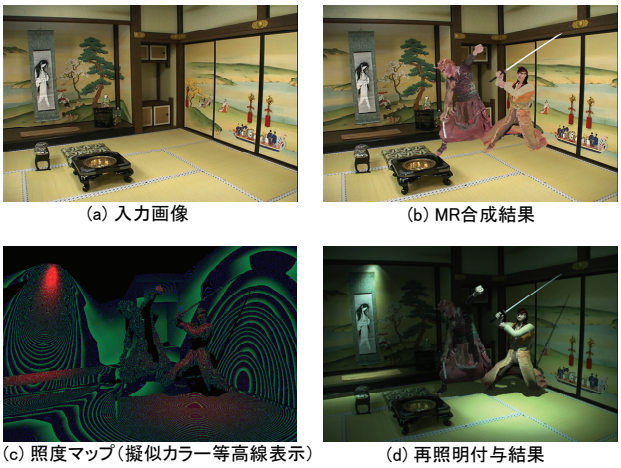


図 6　再照明付与の結果

Fig.6 Result of Relighting

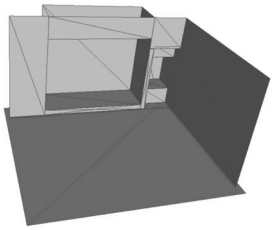


図 7　入力した被照面モデル

Fig.7 Input geometry model

面と同様の色を持った襖などの面が処理対象であったため，それらの面は近い値が設定され，結果画像に大差はでないと思われる．よって，同一のパラメータをすべての表面の反射特性として利用した．(c) の照度マップ画像の生成方法は前節に示す通りであり，赤く変わった部分が照明により増加する照度値が大きい部分である．

模型，屋外環境での適用例を含む動画での再照明付与結果の画像の抜粋を**図 8** に示す．図 8 の動画における幾何形状も，手作業でモデリングして入力した．幾何形状情報としては，図 8(b)では前面も建物と床面，図 8 (c)は地面と石畳面のみ入力している．図 8 より様々な現場での MR-PreViz 結果に対しても，再照明処理を実現できていることが分かる．また，2 つの照明器具からの光による影も被照面上に適切に現れているのも分かる．入力した被照面の幾何形状モデルや反射特性情報は，上記の通り精巧なものではないが，処理結果では違和感なく再照明付与できていることがわかる．これは本手法が入力した実写画像のテクスチャを生かせるからである．

この再照明付与処理は，カメラや被写体（CG オブジェクト）の移動に対して，実時間処理が達成できている．その効果は，我々の Web サイト[20]より動画映像をダウンロードして確認できる．

6. むすび

複合現実感における光学的整合性の達成より，さらに一歩進んだ挑戦的課題として，MR 空間の意図的な光学的外観（ルック）の意図的変更・加工の問題を考え，事例として，映画制作支援における映画的照明演出に取り組んだ結果を示した．

MR-PreViz（複合現実型事前可視化） でのルック検討を実現するために，屋内外シーンにおいて適用可能な再照明付与手法を考案した．仮想照明効果を実物体，仮想物体双方に光学的に矛盾のない様に適用するため，実物体の簡易的な反射特性推定法を利用した再照明付与手法を提案した．提案手法で求めた反射特性を基に再照明付与処理を行った結果，意図した通りに被写体を強調するような演出効果が得られた．1 フレーム毎の再照明の処理を映像シーケンス全体に適用することを行い，撮影後の MR-PreViz 映像の照明条件を変更することを可能にした．

この種の挑戦課題への第 1 歩としての研究で大切なのは，事例として取り上げる課題の妥当性と，制約条件下での達成を可能にするためにモデルを簡素化し，巧みな第 1 次近似を行えるかである．本事例研究は，そのいずれをもクリアし，意味のある映画照明演出の再照明付与を実時間で達成できた．

本論文での提案手法の改善案としては，まず反射特性の厳密に素材毎に分けての設定機能，照明の位置，角度の調整を直感的に行えるインタフェースの実現が考えられる．また，映画制作で頻繁に用いられるレフ板，面光源を導入できるように，利用できる光源の種類を増やしていくことが望ましい．この再照明手法の応用の可能性としては，映像制作の照明の事前検討のみならず，舞台演劇，コンサートなどの照明演出の検討に活用することが期待できる．

本手法による陰影付け処理は GPU を活用することにより高速に動作し，更なる高速化・表現力の向上を図ることで，複合現実感の実時間体験時の照明演出法として利用できる可能性を有している．今後は体験時のトータルな実時間再照明処理の一般形を求めて，本提案手法を発展させて行く．

謝辞

本研究は，JST 戦略的創造研究推進事業（CREST タイプ）「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」による．

参考文献

[1] “複合現実感特集 1～4”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 1999, 2002, 2005, 2008.

[2] 佐藤清秀, 内山晋二, 田村秀行: “複合現実感における位置合わせ手法”, 日本バーチャルリアリティ 学会論文誌, Vol. 8, No. 2, pp.171 - 180, 2003.

[3] “AR/MR における幾何位置合わせ手法の現状(OS)～やはり避けて通れない最重要課題～”, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2009.

[4] 池内克史, 佐藤洋一, 西野恒, 佐藤いまり: “複合現実感における光学的整合性の実現”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No.4, pp. 623 - 630, 1999.

[5] M. Kanbara, and N. Yokoya: “Geometric and photometric registration for real-time augmented reality,” Proc. Int’l Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp 279 - 280, 2002.

[6] 角田哲也, 大石岳史, 池内克史: “影付け平面を用いた複合現実感における高速陰影表現手法”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 5, pp.788 - 795, 2008.

[7] 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: “焦点外れによるぼけとモーションブラーの推定に基づく拡張現実感における光学的整合性の実現”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 8, pp. 2126 - 2136, 2007.

[8] G. Klein, and D. Murray: “Compositing for small cameras,” Proc. Int’l Symp. on Mixed and Augmented Reality, pp. 57 -60, 2008.

[9] 田村秀行, 柴田史久: “可視化技術で創造力を高める映画制作支援”, 情報処理, Vol. 48, No. 12, pp. 1365 - 1372, 2007.

[10] 一刈良介, 川野圭祐, 天目隆平, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行: “映画制作を支援する複合現実型プレビジュアリゼーションとキャメラワーク・オーサリング”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 3, pp. 343 - 354, 2007.

[11] http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/MR-PreVizProject/kakureoni/

[12] C. Loscos, G. Dretttakis, and L. Robert: “Interactive virtual relighting of real scenes,” IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, Vol 6, No. 4, pp. 289 - 305, 2000.

[13] 福冨弘敦, 町田貴史, 横矢直和: “表面反射特性の推定による仮想化現実環境の対話的な照明シミュレーション”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 57, No. 11, pp. 1 - 6, 2003.

[14] Y. Weiss: “Deriving intrinsic images from image sequences,” Proc. Int’l Conf. on Computer Vision, pp. 68 - 75, 2001.

[15] G. Finlayson, S. Hordley, and M. Drew: “Removing shadows from images,” Proc. European Conference on Computer Vision, LNCS 2353, pp. 823 - 826, 2002.

[16] 波多野亮平, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行: “複合現実型 PreViz における映画的照明効果の付与(1)－強い日照による影成分の除去－”, 第 71 回情報処理学会全国大会講演論文集 (4), pp. 117 - 118, 2009.

[17] 林裕司, 藤吉弘亘, 岩堀祐之: “照度変化を考慮した Mean-Shift によるカラートラッキング”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No.8, pp.2039 - 2048, 2007.

[18] W. Toishita, Y. Momoda, R. Tenmoku, F. Shibata, H. Tamura, T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: “A novel approach to on-site camera calibration and tracking for MR pre-visualization procedure,” Proc. Human-Computer Interaction 2009, LNCS 5622, pp. 492 - 502, 2009.

[19] http://www.arri.de/lighting/europe_asia_australia_africa/photometric_calculator.html

[20] http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/~ichikari/RelightingTVRSJ.zip

（2009 年 10 月 30 日受付）



(a) 屋内セットでの撮影シーンにおける再照明結果（左端：再照明処理前MR-PreViz映像）



(b) 模型を用いて撮影するシーンにおける再照明結果（左端：再照明処理前MR-PreViz映像）



(c) 屋外(公園)での撮影シーンにおける再照明結果（左端：再照明処理前MR-PreViz映像）

図 8 MR-PreViz 映像に対する再照明付与の結果

Fig.8 Result of Relighting for MR-PreViz movie

［著者紹介］

一刈　良介　（学生会員）



1982 年生．2005 年立命館大学理工学部情報学科卒．2007 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了．現在，同大学院理工学研究科博士後期課程在学中．2007 年より日本学術振興会特別研究員(DC1)．複合現実感の研究に従事．IEEE，ACM SIGGRAPH，電子情報通信学会，映像情報メディア学会の学生会員．2009 年デジタルコンテンツシンポジウム船井賞受賞．

西沢　孝浩



1985 年生．2007 年立命館大学理工学部情報学科卒．2009 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了．同年 4 月，(株)東芝入社．在学中 複合現実感の研究に従事．

大島　登志一　（正会員）



1986 年筑波大学第三学群情報学類卒．1991 年同大学院工学研究科博士課程修了．工学博士．同年キヤノン（株）入社，バーチャルリアリティの研究に従事．1997 年より 2001 年まで，（株）エム・アール・システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」に従事．2006 年 4 月より立命館大学情報理工学部教授．現在，同 映像学部教授．複合現実感，人工現実感等の研究に従事．情報処理学会，ACM SIGGRAPH 各会員．1990 年情報処理学会学術奨励賞受賞．

柴田 史久　（正会員）



1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．1999 年同 研究科博士後期課程修了．大阪大学産業科学研究所助手を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部助教授．現在，同 情報理工学部情報コミュニケーション学科准教授．博士（工学）．モバイルコンピューティング，複合現実感等の研究に従事．本学会複合現実感研究委員会委員，IEEE，電子情報通信学会，日本ロボット学会，情報処理学会等の会員．本学会学術奨励賞及び論文賞受賞．

田村 秀行　（正会員）



1970 年京都大学工学部電気工学科卒．工業技術院電子技術総合研究所，キヤノン（株）等を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部教授．現在，同 情報理工学部メディア情報学科教授．工学博士．1997 年より 2001 年まで，MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた．本学会元理事，現在，評議員，複合現実感研究委員会顧問．編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」（オーム社）など．電子情報通信学会フェロー，IEEE，ACM，情報処理学会，人工知能学会，映像情報メディア学会等の会員．本学会及び情報処理学会論文賞，人工知能学会功労賞等を受賞．