

## 複合現実空間における実物体の反射特性変更

吉田 麻子<sup>†</sup> 和田 大輝<sup>†</sup> 菊池 佳保理<sup>†</sup> 一刈 良介<sup>‡</sup>  
木村 朝子<sup>†</sup> 柴田 史久<sup>†</sup> 田村 秀行<sup>†</sup>

<sup>†</sup>立命館大学大学院理工学研究科 <sup>‡</sup>立命館大学総合理工学研究機構

〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: a\_yosida@rm.is.ritsume.ac.jp

あらまし 複合現実空間 (MR 空間) における表現力向上のための光学的外観の変更・加工に関する研究へのアプローチとして、本稿では、MR 空間において実物体の反射特性の変更を行うことを目標とし、撮影するシーン内の実物体にハイライトや映り込みの表現を付与する手法を紹介する。これらの表現を実現するために、鏡面球を用いて作成した環境マップによって映り込みのある仮想物体を作り、その仮想物体を実物体と合成した。合成手法として3種類のアルファブレンディングを行い、比較・考察を行った。また、任意のハイライトや映り込みの表現を付与する妨げとなる実物体の既存のスペキュラー反射成分を除去するために、偏光板による除去手法を検討した。

キーワード 複合現実感, 環境マッピング, 偏光板

## Changing the Reflectance of Real Objects in Mixed Reality

Asako YOSHIDA<sup>†</sup>, Taiki WADA<sup>†</sup>, Kaori KIKUCHI<sup>†</sup> Ryosuke ICHIKARI<sup>‡</sup>  
Asako KIMURA<sup>†</sup> Fumihisa SHIBATA<sup>†</sup>, Hideyuki TAMURA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>‡</sup> Graduate Organization of Science and Engineering, Ritsumeikan University

1-1-1 Nojihigashi, Kusatsu, Shiga, 525-8577 Japan

E-mail: a\_yosida@rm.is.ritsume.ac.jp

**Abstract** This paper introduces a method of giving highlights and reflections to real objects in MR space. It would be possible to enhance powers of expression for MR technology. In our method, we put virtual objects that reflect an environmental map and merge them to real objects. Our technique uses 3 types of alpha blending for synthesis. Additionally, we assume to use polarizers so as not to be disturbed by existing specular components of real objects.

**Keyword** Mixed Reality, Environmental Mapping, Polarizer

### 1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術では、「光学的整合性」を実現することが重要課題とされている。光学的整合性を実現するためには、現実世界と仮想世界の色・明るさ・陰影などの条件を一致させる必要がある。例えば、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に近づけたり[1]、レンズの被写界深度とモーションブレンダーなど、照明条件以外の光学的条件を一致させ合成時の違和感を軽減している研究がある[2]。

これらが現実・仮想両空間の照明条件や光学的の一致させようという範囲に留まっているのに対して、我々は照明、シーンの色調、その他の光学的外観の変更・加工することに挑戦している。これは、正確で忠実なMR融合空間を構築するだけでなく、MR情報提示技術の表現力を向上させる効果がある。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、少し霧がかかった幻想的な空間をみせたりといった演出的利用が上げられる。我々はこれまで、現実世界と仮想世界の両空間の照明を自在に設定し直す再照明付与の研究を行ってきた[3]。これは仮想照明を実物体・仮想物体の両方に付与することで、MR空間に対する照明演出効果の変更を可能としている。

本研究では、さらなるMR空間の表現力向上のために、照明だけでなく、実世界に存在する物体の反射特性の変更を目指す。なかでも、付与することによって写実性の向上が期待できる反射特性のスペキュラー反射成分のハイライトや映り込みを表現する手法を提案する。これは、実世界上のスペキュラー反射率が低い物体に対して、ハイライトや映り込みが強く現れるような異なる材質の物体に変更することが可能となるため、高い演出的効果が得られると考えられる。本稿では映り込み表現を、鏡面球を用いて実世界の全方位画像を取得し、環境マッピングによって作成した映り込

みのある仮想物体と実物体を合成することで実現する。ここで、合成とは両物体の画素値をアルファブレンディングすることを指す。本研究では、より自然な映り込みを表現できるよう実物体と仮想物体の合成に適したアルファブレンディング方法を検討する。アルファブレンディングのみの場合、ハイライトを強調した場合、High Dynamic Range (HDR) 画像を用いた場合の3種類の結果を比較・考察する。

## 2. 関連研究

実物体への映り込みを表現するためには、対象となる物体の周囲の光源情報の推定や計測が必要である。Debevecら[4]は、撮影するシーン内に鏡面球を配置し、撮影された鏡面球画像から光源分布を推定している。

環境マッピングとは、前述の手法の反射計算を近似し簡略化することで、実時間の映り込み表現も可能にした手法である。

佐賀野ら[5]は、環境マップにアルファ値を持たせることで、映り込みの割合を設定し、また、Torrance-Sparrow 反射モデルによるシミュレーション画像を用いた平滑化によって仮想物体表面の粗さを表現する手法を提案した。

また、奥村ら[6]は、環境マップに対してあらかじめ材質の粗さに応じたフィルタ処理を行うことで、同時に複数の粗さが表現可能な多重スケール環境マップを用いた写り込みの実時間レンダリング手法を提案した。

本手法でも、映り込み表現を付与するために、環境マッピングを用いるが、従来の研究で行われていた仮想物体への環境マッピングだけではなく、それらを実物体に適用し、違和感なく合成することでMR空間上での光学的外観の変更を実現している。

## 3. MRにおける映り込み表現

環境マップとして利用するテクスチャは、鏡面球を用いて全方位画像を取得し作成する。その結果作成された映り込みのある仮想物体を実画像中の実物体の上に重畳描画し、合成することによって映り込みを表現する。ここで、合成とは両物体の画素値をアルファブレンディングすることを指す。図1に本手法の処理の流れを示し、以下の項でそれぞれの処理について具体的に述べる。

### 3.1. 環境マップの作成

鏡面球を用いて全方位画像を作成する場合、一方向から撮影すると撮影方向からみて鏡面球の裏側に当たる部分が死角となることや、鏡面球の端部に映りこんでいる像に歪みが生じるなどといった問題が発生する。それらの問題への対応策として、田中ら[7]の手法を参考にし、以下の2点に注意して撮影を行った。

- (1) 鏡面球からなるべく離れた位置から撮影する
- (2) 異なる角度の2ヶ所から撮影する

(1)は死角となる部分を減少させるために行う。光源からの光が平行に鏡面球に到達すると仮定すると、到

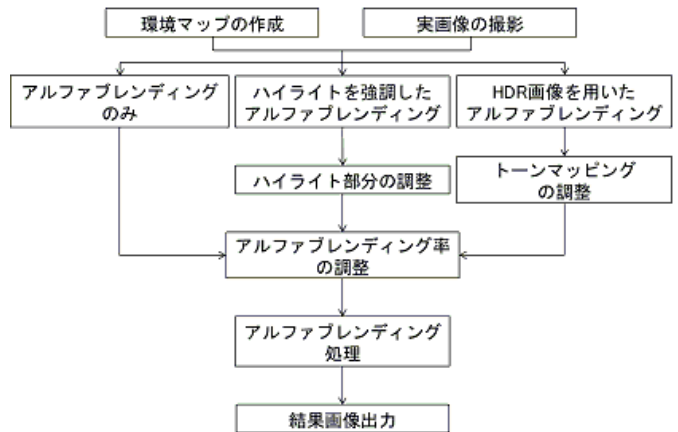


図1 処理の流れ

達した光は鏡面球上で正反射する。そのため、図2のように、カメラの鏡面球の半球に対する開き角を $\varphi$ とすると、観測可能な範囲は $360^\circ - 2\varphi$ となる。開き角 $\varphi$ は、カメラと鏡面球の間の距離が離れているほど小さくすることができる。また、離れて撮影を行うことで、取得したい風景を遮蔽する要因である撮影者の像を小さくすることもできる。

(2)は、鏡面球を異なる角度から撮影し、それぞれの画像の歪みが少ない部分をHDR shop[8]という画像編集ソフトを用いて合成することで、像の歪みを軽減させるために行う。より歪みを軽減させるためには、撮影位置の角度差は $90^\circ \sim 100^\circ$ であることが望ましい。これは、例えば、 $180^\circ$ 反対側から撮影すると、鏡面球の端部に映り込み歪んでいる部分が2枚の画像で一致してしまい、歪みを軽減できないためである。

また、2枚の画像を合成することでそれぞれの画像において死角となっている部分を補完でき、さらに、鏡面球に映りこんだ撮影者の除去もできる。

### 3.2. 実物体と仮想物体の合成

映り込みのある仮想物体を実物体と合成するために、実画像上に仮想物体を重畳描画する。仮想物体は位置、大きさ、向きを実画像中の実物体と一致させる必要があるが、本手法では、それらを手動で決定する。

また、よりよい映り込み結果を得るために、アルファブレンディング方法の検討を行い、アルファブレンディングのみ、ハイライトを強調したアルファブレンディング、HDR画像を用いたアルファブレンディングという3種類の合成を行う。次項から、それぞれ具体的に述べる。

#### 3.2.1. アルファブレンディングのみの場合

実画像と合成する仮想物体をそれぞれ任意の割合で透過させ、アルファブレンディングした画素値Valueを求める。アルファブレンディングは以下の式(1)のように計算する。

$$Value = Value1 * (1.0 - \alpha) + Value2 * \alpha \quad (1)$$

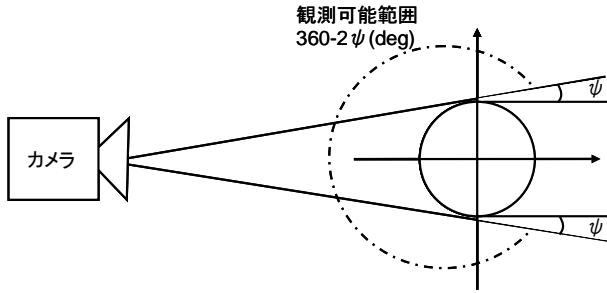


図2 撮影距離による死角

このとき、*Value1* は背景である実画像の画素値、*Value2* は前景である仮想物体の画素値である。係数  $\alpha$  は 0.0~1.0 の値を取る係数で、透過の度合を表す値である。この整数  $\alpha$  は、1.0 のとき仮想物体は完全な不透明であり、0.0 のとき完全な透明である。

### 3.2.2. ハイライトを強調した場合

現実世界において、強い照明が当たった部分には、その物体の色が白飛びしているような状態のハイライトが現れる。3.2.1 項で述べた手法では、仮想物体にマッピングされた環境マップテクスチャに対して、全体を均一にアルファブレンディングしているため、ハイライト部分も同様に実画像の RGB 値が一定の割合で反映され輝度が低下している。そこで、第2に検討するアルファブレンディング方法として、ハイライトを強調したアルファブレンディングを行う。この方法では、環境マップ用テクスチャの RGB のそれぞれの値を基準としてハイライト部分を判定する。各頂点の RGB 値はそれぞれ 0.0f~1.0f の範囲で表現され、その値が任意に決定された閾値より大きい場合、その部分をハイライトとみなす。ハイライトであると判定した部分は、アルファブレンディングによって透過させず、環境マップ用テクスチャの RGB 値をそのまま仮想物体へ適用する。図3 (a),(b) に、映り込みのある仮想物体と、RGB の閾値を 0.8f であるとしたときのハイライト部分の画像を示す。(b)において白色で表示されている部分が本手法によってハイライトであると判定された部分である。

### 3.2.3. HDR 画像を用いた場合

HDR 画像とは、通常の RGB24 ビット以上のカラーデータを扱える画像のことで、本研究では、32 ビットのデータを扱う。そのため、通常の画像よりも白飛びや黒つぶれの少ない幅広いダイナミックレンジを持つ画像となり、画像合成や色調補正時の劣化を軽減し、より写実的な表示ができるため、環境マップ用のテクスチャとして利用する。

また、HDR 画像のデータを、通常のディスプレイでの表示に適した Low Dynamic Range (LDR) データに変換することをトーンマッピングという。本手法では、Reinhard ら[9]の手法を用いている。Reinhard ら[9]は、まず式(2)を用いて画像の平均輝度  $\bar{L}_w$  を計算する。ここで、 $N$  は画像の全ピクセル数、 $\delta$  は黒色のピクセルを扱う微小な値、 $L_w(x, y)$  はピクセルの輝度を示す。次

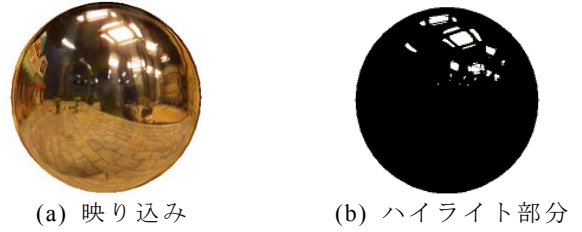


図3 ハイライト判定

に、式(3)を用いて  $L_w(x, y)$  を平均輝度  $\bar{L}_w$  に合わせてスケールする。このとき  $\alpha$  は任意の値であり、 $\alpha$  を変更することにより画像の明るさが変化する。この結果を LDR に収まる値に圧縮する計算を行い、結果画像を出力する。今回は、環境マップテクスチャに LDR 画像を用いている他 2 種類の仮想物体の明るさに近くよう  $\alpha$  の値を調整した。

$$\bar{L}_w = \frac{1}{N} \exp \left( \sum_{x,y} \log(\delta + L_w(x, y)) \right) \quad (2)$$

$$L(x, y) = \frac{\alpha}{\bar{L}_w} L_w(x, y) \quad (3)$$

### 3.3. 実画像からのスペキュラー反射成分除去

今回、実験の対象とした実物体は、スペキュラー反射成分の少ないものを対象としている。しかし、映り込み表現を付与したい実物体がスペキュラー反射成分を多く持っている場合、画像中に撮影時のハイライトなどがすでに映り込んでいることになり、新たに任意のハイライトや映り込み表現を付与する妨げとなる。そのため、事前にスペキュラー反射成分を分離、除去する必要がある。

スペキュラー反射成分とディフューズ反射成分の分離に関しては、色情報を用いる手法や偏光板を用いる手法など、様々な研究がなされている。池内ら[10]は、物体を撮影するカメラの前と光源の前に円偏光板を設置することによって反射成分の分離を行った。

本手法では、カメラの前に直線偏光板を設置して反射成分の分離を試みる。直線偏光板を 60 度ずつ回転させ撮影した 3 枚の画像から、それぞれのピクセルにおいて最も輝度値が低いものを結果として出力することでスペキュラー反射成分を除去する。図4 (a) - (c) はそれぞれ直線偏光板を 0 度、60 度、120 度に回転させて撮影した画像を示す。また、図5 に結果画像を示す。

結果画像を見ると、ポットの目の部分や帽子の部分などのスペキュラー反射成分が大幅に除去されているのが分かる。ポットの中心部分のハイライトは残ってしまったが、一般的に、このように光源がそのまま映り込んでいるような部分は、偏光板では完全に切り除くことが難しい。このような場合は、偏光板を回転させる角度をより細かくし、多くの画像を用いることで除去精度を向上できると考えられる。また、室内においては、光源の前にも偏光板を置くことでも除去精度を向上させることが可能である。しかし、本手法は、





(a) 0度 (b) 60度 (c) 120度

図4 偏光板を用いた撮影結果



図5 スペキュラー反射成分除去結果



(a) 実画像 (b) 幾何形状 (c) 映り込みのある仮想物体

図6 アルファブレンディング対象

多くの光源が存在する室内や太陽光が当たる場所など、様々なシーンに適応することを目指している。そのため、今後は偏光板以外の手法の利用も検討する。例えば、肥後ら[11]はカメラで取得した単一画像から二色性反射モデルに基づく解析を行い、スペキュラー反射成分の除去を行っている。より高精度にスペキュラー反射成分の除去が可能な手法を用いることが本手法の表現力を向上させることにつながると考えている。

また、本手法では、静止画像に対しスペキュラー反射成分の除去を行ったが、動画像にも対応させる必要がある。動画像の場合、自動的に偏光板を制御したり、それぞれ角度の異なる偏光板を装着させたカメラを数台使用して撮影する方法が考えられる。

## 4. 実験

### 4.1. 実験環境

本実験において、カメラはキヤノン社 EOS 50D、鏡面球はシステムサプライ社の直径 100mm のものである。また、仮想物体の幾何形状の作成には手作業でのモデリングや 3D スキャナである Roland 社 LPX-1200 を用いる。図 6 (a) - (c) に本実験で用いた対象物体の実画像、仮想物体の幾何形状、アルファブレンディング前の映り込みのある仮想物体をそれぞれ示す。

### 4.2. 実画像と仮想物体の合成

本節では 4.1 節で述べた実験環境で撮影した MR 映像に対して映り込み表現を付与した結果を示す。図 7 に撮影場所の全体図を、図 8 に鏡面球を用いて作成した環境マップテクスチャを示す。



図7 撮影場所全体図



図8 環境マップ



(a) 結果 1 (8:2) (b) 結果 2 (5:5) (c) 結果 3 (2:8)

図9 アルファブレンディングのみの場合 1



(a) 結果 1 (8:2) (b) 結果 2 (5:5) (c) 結果 3 (2:8)

図10 アルファブレンディングのみの場合 2

#### 4.2.1. アルファブレンディングのみの場合

図 9, 図 10 に、アルファブレンディングのみで合成する方法を用いた実験結果を示す。図 9 は、手動で作成した球状の CG モデルを用いている。図 10 は 3D スキャナによって作成した CG モデルである。

ここで、2 つのモデルを示すのは、図 9 のように簡易な形状の CG モデルだけでなく、図 10 のような複雑な形状の CG モデルにもこの手法が適用できることを示すためである。以降の実験結果は、図 10 と同様の CG モデルを用いて行う。それぞれの (a) - (c) は、アルファブレンディングの割合を変化させた結果で、割合を実画像 : 仮想物体として示し、それぞれ (a) 8:2, (b) 5:5, (c) 2:8 とした画像である。

#### 4.2.2. ハイライトを強調した場合

ハイライトを強調し合成する方法を用いた実験結果を示す。アルファブレンディングのみの場合と同様、図 6 の実画像と仮想物体を利用する。図 11 (a) に実験で利用した仮想物体におけるハイライト部分の抽出結果を、(b), (c) にそれぞれアルファブレンディングの割合が異なる結果を示す。ここで、ハイライト部分判定のための閾値は、RGB それぞれ 0.8f であるとする。また、図 12 は、図 11 (a) と同様、実画像と仮想物体の画素値の割合が 8:2 であるとき、RGB の閾値を (a) 0.3f, (b) 0.6f, (c) 0.9f とした画像である。

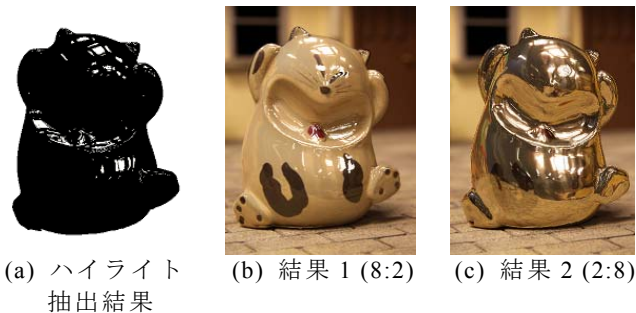


図 11 ハイライトを強調した場合



図 12 閾値を変化させた結果

#### 4.2.3. HDR 画像を用いた場合

図 13 に、HDR 画像を用いて作成した環境マップテクスチャと、そのテクスチャを用いてレンダリングした仮想物体を示す。図 14 には、図 13 で示した仮想物体と実画像とを合成した結果を示す。また、図 15(a),(b) はトーンマッピングの  $\alpha$  値を変化させた結果であり、映り込みの明るさが変更されている。

#### 4.3. 合成結果の比較

4.2 節のそれぞれの結果を考察すると、まず、アルファブレンディングのみの場合では、ハイライト部分を考慮していないために、光源が映り込んで強いハイライトが生じているような部分でも実画像の画素値が反映され輝度値が低下してしまっている。アルファブレンディングの実画像の割合が大きいほど顕著に輝度値が低下しているのは図 10 (a) を見れば明らかであり、映り込みの表現としては違和感を生じていた。

輝度値の低下を防ぐためにハイライトを強調した実験結果では、図 11 のようにアルファブレンディングのみの場合とそれぞれ同じ割合で合成した場合でも、ハイライト部分は環境マップテクスチャの値がそのまま適用されているため、輝度値が落ちることなく十分なハイライトが得られたことで、より自然な映り込み表現ができた。しかし、この手法の場合、ハイライト部分を判定する閾値は任意に決定されるため、映り込み画像のどの領域までをハイライト部分と判断するかの明確な基準がないことが問題である。

HDR 画像を用いてアルファブレンディングを行った手法では、撮影枚数の増加やレンダリング時間が伸びるなどの欠点があるが、ハイライトを強調した手法と同様に、アルファブレンディングのみの手法よりもより自然な映り込み表現ができた。さらに、ハイライトを強調した手法のようにハイライト部分を意図的に

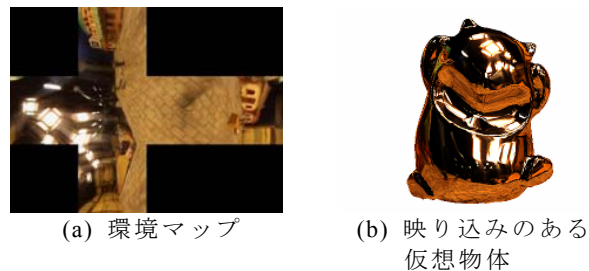


図 13 HDR 画像を用いた環境マッピング

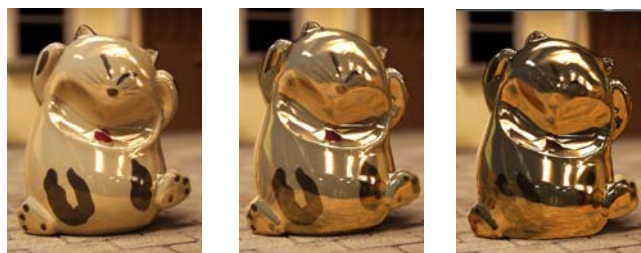


図 14 HDR 画像を用いた場合



図 15 トーンマッピングを変更した結果

決定し、その部分はアルファブレンディング処理を行わずに、良い結果が得られたと言える。また、図 14 (a) - (c) のように、アルファブレンディングの割合を変更した際、ハイライト部分は大きく輝度が落ちることは無い。加えて、それぞれのハイライト部分を比較すると、輝度に若干の差があり、微妙なコントラストの違いまで表現できた。また、ダイナミックレンジが広いことによって明るい部分だけでなく、暗い部分の映り込みも、黒つぶれがなくより鮮明に表現できた。これらの点から、映り込みの表現において、この合成方法が他の合成方法より優れていると言える。

#### 4.4. 動画像への対応

これまでの実験は静止画像で行っていた。動画像に対応させるためには、仮想物体の位置が実物体と一致する必要がある。本手法では、仮想物体の位置を動画像の初期フレームにおいて静止画像の場合と同様に手動で決定する。次フレームからは、撮影カメラの位置姿勢に応じて仮想カメラの位置姿勢を更新する。

また、本研究では、実物体の反射特性変更を行うため、景観を損ねる位置合わせ用のマーカを配置することは望ましくない。今回の実験では、自然特徴点やロータリーエンコーダを利用し位置姿勢の計算を行った。

#### 4.5. 考察

本章では、3種類のアルファブレンディングと動画像への対応に関する実験を行った。前項で述べた動画像への対応については、位置姿勢の計算結果の誤差によって実物体の位置と、仮想空間上の仮想物体の位置がずれた。位置姿勢の計算は、1フレームごとに行うため、仮想物体が揺れ動いてしまうような結果となった。本手法では、実物体と仮想物体を重ね合わせることから、些細な位置ずれでも物体の輪郭部分に違和感が生じ目立つため、位置合わせ精度の向上に加え、輪郭部にぼけ効果を与えることで背景となじませるといったことを検討していく必要があると考える。

3種類のアルファブレンディングでは、HDR画像を用いた場合が最も効果的な映りこみの表現ができていた。また、表現力は劣るが、アルファブレンディングのみの場合やハイライトを強調した場合もHDR画像を用いるよりも撮影枚数が少ない、トーンマッピングを行う必要がないなどの理由から、簡便に行える手法として有用であると考えられる。

最後に、HDR画像を用いた場合に必要となるトーンマッピングについては、その他のLDR画像を用いた手法の仮想物体に明るさを合わせるように行った。今後は、基準となる明るさの領域を選択することで、その領域を基準にトーンマッピングを行う手法へ改善する。それにより、ユーザが望んだ明るさの映り込み結果を得られると考える。

#### 5. むすび

本稿では、MR空間に存在する実物体の反射特性を変更し、ハイライトや映り込みを表現する手法について述べた。本手法では、まず、鏡面球を用いて環境マップテクスチャを作成した。そのテクスチャを用いて、映り込みのある仮想物体を描画し、実物体と合成することでMR空間における映り込み表現を可能にした。

ここで、合成とは、両物体の画像値をアルファブレンディングすることを指し、本手法に適したアルファブレンディング方法を検討するために、アルファブレンディングのみの場合、ハイライトを強調した場合、HDR画像を用いた場合の3種類について実験した。

その結果、HDR画像を用いた場合に最も優れた映り込み表現ができた。この方法では、鏡面球の撮影枚数の増加やレンダリング時間の増加などの欠点もあるが、他2つの方法と比べ、アルファブレンディングの際に白飛びや黒つぶれの少ない自然な映り込み表現が可能であるためである。また、このような映り込み表現の精度だけではなく、物体の材質が変化した場合の映り込みを表現することも重要であると考えられる。例えば、佐賀野ら[5]のように、物体表面の粗さを変化させるような表現は、環境マップをぼかすことで実現可能であると考えている。

次に、本手法の表現力をより向上させるために実物体のスペキュラー反射成分の除去についても実験を行

った。今回は偏光板を用いたが、強いハイライトは除去できないことがわかった。今後、偏光板を用いた実験方法の見直しや、偏光板以外の方法によるスペキュラー反射成分除去を検討する必要がある。

最後に、動画像への対応を行った。本手法では、映り込み表現の対象となる実物体と仮想物体の位置姿勢のずれが問題となった。そのため、今後の課題として、仮想物体の輪郭部にぼけ効果を加えるなどの検討をしていくことが挙げられる。また、複雑な形状の仮想物体のCGモデルの作成には3Dスキャナを利用していたが、長い計測時間や計測されたCGモデルを手動で補正する必要があることと、計測可能な対象物体の大きさに制約があるため、より制約の少ない新たなCGモデルの作成手法の提案が求められる。

**謝辞** 本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)「視覚併用複合現実空間の表現力向上に関する研究」及び若手研究(B)「複合現実感のための実時間再照明付与技術」の支援による。

#### 文献

- [1] 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VR学会論文誌, Vol. 4, No. 4, pp. 623 - 630, 1999.
- [2] 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”, 信学論, Vol. J90-D, No. 8, pp. 2126 - 2136, 2007.
- [3] 一刈良介, 西沢孝浩, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行: “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-”, 日本VR学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 213 - 220, 2010.
- [4] P. Debevec: “Rendering synthetic objects into real scenes: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography,” Proc. SIGGRAPH98, pp. 189 - 198, 1998.
- [5] 佐賀野正行, 坂田宗之, 安室喜弘, 眞鍋佳嗣, 千原國宏: “鏡面球を用いた複合現実感における映り込みと質感表現”, 2006年映情報学冬季大会, pp. 6 - 7, 2006.
- [6] 奥村文洋, 町田貴史, 横矢直和: “多重スケール環境マップを用いた粗さが不均一な材質への写り込みの高速レンダリング”, 映情学誌, Vol.57, No. 10, pp. 1300 - 1306, 2003.
- [7] 田中法博, 梶本めぐみ, 富永昌治: “鏡面球を用いた光源の全方位分布の推定”, 日本色彩学会誌, Vol.25, pp. 92 - 101, 2001.
- [8] HDR Shop Home <http://www.hdrshop.com/>
- [9] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda: “Photographic tone reproduction for digital images,” Proc. SIGGRAPH02, pp. 267 - 276, 2002.
- [10] 高橋徹, 佐藤洋一, 池内克史: “偏光による反射成分の分離および反射パラメータの決定”, 情報研報, CVIM, Vol.106, pp. 17 - 24, 2000.
- [11] 肥後智昭, 宮崎大輔, 池内克史: “二色性反射モデルに基づくリアルタイム鏡面反射成分除去”, 情報研報, CVIM, Vol.93, pp. 211 - 218, 2006.