

隠消現実感における隠背景面復元の画質的整合の実現

中島 武真 一刈 良介 柴田 史久 木村 朝子 田村 秀行

立命館大学大学院 理工学研究科 〒575-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail: t_nakaji@rm.is.ritsumeai.ac.jp

あらまし 隠消現実感 (Diminished Reality; DR) とは、現実世界に存在する物体を隠蔽・除去する技術であり、除去対象や現実世界の状況に応じて手法や難易度が異なる。我々は、第一歩として視覚的に実物体の映像を除去する DR の研究に着手している。しかし、対象を除去する際に現実と仮想で幾何学的整合性や光学的整合性に僅かなずれでさえも生じると、除去した物体の輪郭や残像が残ってしまう。この様なずれは、除去対象の存在を知覚させる要因となるため、複合現実感の中でも特に高精度な整合性が要求される。本稿では、DR における光学的整合性に関して、明るさや焦点ぼけといった画質の不一致が生じる原因の検討及び、解決手法を提案する。

キーワード 複合現実感, 隠消現実感, 光学的整合性

Photometric Consistency for Occluded Background Surface in Diminished Reality

Tatsuma Nakajima, Ryosuke Ichikari, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

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

E-mail: t_nakaji@rm.is.ritsumeai.ac.jp

Abstract Diminished Reality is a technology that hides and removes the object that exists in the real world, and the technique and difficulty are different according to the removed object and situation in the real world. We have started the research of DR that visually removes the image of the object as a first step. However, when the object is removed, and a small gap is caused by adjusting geometrical and photometric between virtual and reality, outline and afterimage of the removed object remain. It causes such a gap to perceive the existence of the removed object, so an especially highly accurate correspondence is necessary in Mixed Reality (MR). In this paper, we introduce the examination and the solution technique of the cause where the disagreement of the image qualities of brightness and blurring is caused for photometric consistency in Diminished Reality.

Keyword Mixed Reality, Diminished Reality, Photometric Consistency

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality; MR) は、仮想世界と実世界を継ぎ目なく融合する技術であり、コンピュータグラフィクスで生成された仮想物を、実時間で実写映像に重ね合わせる表現が可能な技術である。MR 技術が CG を合成することで視覚的な情報を付け加えるのに対して、実写映像中から物体を視覚的に除去する技術は Diminished Reality (DR) と呼ばれ、邪魔な物体を消したり物体を透過することが可能な大変魅力的な技術であるといえる。我々の研究グループでは、このような Diminished Reality の日本語訳として、物体を隠して消すという意味から「隠消現実感」という訳語を提唱して、研究に取り組んでいる。

DR を実現するための方法としては、除去する対象の物体の背後に存在する光景を別カメラにより撮影し、画像中の除去対象が存在する領域にその光景を合成することで、物体を視覚的に除去する方法がとられる。この時、物体の背後の光景を、隠された背景という意味から「隠背景」と呼ぶ。

理想的には、DR を用いて視覚的な除去処理を行った際、処理を行った領域がどこであるか知覚させないように隠背景の画像（以下、隠背景画像）を合成する必要がある。しかしながら、現状の技術では、合成位置のずれにより除去したはずの物体の輪郭が残ったり、実写と合成した背景との間で画質のずれがあったりするので、除去処理を行った領域に気付いてしまうこと

がほとんどである。このようなずれに関する問題を、我々は DR における幾何学的整合性、光学的整合性の問題と考え研究に着手している。また、DR における幾何学的・光学的整合性は実写映像と隠背景画像の境界において考慮する必要があるため、MR において CG を重畳描画する際のそれらよりも要求されるレベルが高いことは容易に想像できる。本稿では、その中でも光学的整合性の問題の解決を目指し、合成する隠背景画像と実写映像の画質の一致のための手法を提案する。

これまでに、光学的整合性に着目した DR の研究としては、竹村ら[1]の事前に作成した高精細な顔の CG (隠背景画像) を HMD の装着箇所にも重畳描画することで視線情報を復元する事例が挙げられる。その中で、仮想の顔と現実の顔の間で発生する光学的不整合の原因は顔色と色差であると分析して補正している。本稿では、より一般的な対象を背景にした DR において、画質のずれの要因となる光学的な要素を考慮することで、除去時の違和感を軽減する。

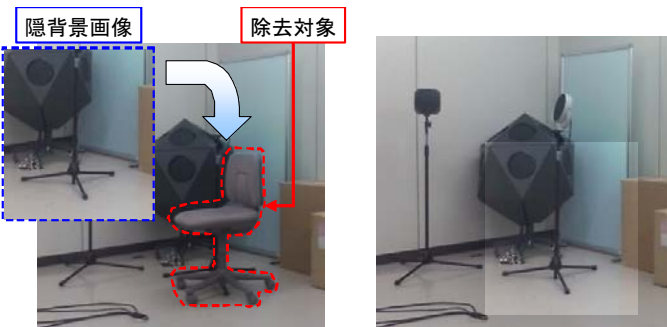
2. 光学的不整合の発生要因

DR では、現実空間と隠背景画像の間に画質のずれが生じると、利用者に違和感を引き起こす (図 1)。

DR における光学的な不整合は、隠背景観測用のカメラで撮影した際の光学的な条件と、実時間の DR 体験時のユーザ視点カメラの光学的な条件が異なるために生じる。その光学的な条件は、現実空間と仮想物体間における画質の違いと、現実空間の照明効果を仮想物体に反映させる写実性に関する条件の 2 つに大別できる。画質の不整合が生じる要因として、(1) 色調、(2) ぼけ具合、(3) 解像度、(4) レンズ歪み、(5) ノイズ量の 5 つ。写実性では、(6) 影の付与・除去、(7) ライティングの 2 つが挙げられる。以下に詳細を述べる。

(1) 色調

隠背景画像の撮影時と現実空間の撮影時の照明環境が変化する場合、色調は異なってしまう。例えば、太陽光がカメラに入射する環境を想定する場合、隠背景画像を作成した季節や時間帯が DR 体験時と異なる



(a) 現実空間 (b) DR 空間

図 1 画質ずれが生じた DR 空間

際に色調が異なる。これは、照明光に含まれるスペクトルの違いによるものである。また、両者を同じ照明環境下で撮影したとしても、鏡面反射成分による撮影角度の問題や、カメラのホワイトバランスの設定、カメラの分光感度特性の違いにより、色調が異なる。

(2) ぼけ具合

カメラで撮影した画像には、一般的に焦点ずれやモーションブラーによるぼけが生じる。焦点ずれによるぼけは、被写体位置とカメラのフォーカス値が一致せず、被写体の光がレンズの通過後に撮像面上で 1 点に収束しないことが原因で発生する。この焦点ぼけの度合いは、レンズの開口径や絞り、焦点距離、レンズと被写体までの距離により変化する。一方、モーションブラーは露光時間中にカメラや被写体が急激に移動した場合に発生する。ぼけのない画像から焦点ぼけやモーションブラーが発生した画像を作ることは可能であるが、その逆の処理は困難である。

(3) 解像度

隠背景観測用カメラと撮影する隠背景との距離、カメラの画角、解像度により、同じ面積の隠背景画像でも記録するピクセル数が異なる。ユーザカメラと隠背景観測用カメラの解像度が違う場合は、特に合成された画像の解像度と実写画像との解像度が合うように調整する必要がある。また、高解像度の画像を用意しておいて、低解像度の画像を作り出すことは可能であるが、その逆の処理は困難である。

(4) レンズ歪み

一般的なレンズを用いて撮影を行う場合、レンズの性質によって画像が歪曲するレンズ歪みが生じる。隠背景画像作成時や、その隠背景画像を重畳描画する際にレンズ歪みが生じている場合、描画した領域の周囲と隠背景画像にずれが生じる。

(5) ノイズ量

カメラで撮影した画像には、撮像素子内の回路を流れる熱や電流などの影響によって発生するノイズが含まれている。隠背景画像作成時と DR 体験時で異なったカメラを使用すれば、その性質も変化する。また、隠背景画像と現実空間の撮影に同一のカメラを使用しても、ユーザが移動する場合には隠背景からの距離に応じた大きさで画像が描画されるため、両者のノイズ量が異なっているように観察される。また、カメラの ISO 感度設定もノイズ量に影響する。

(6) 影の付与・除去

照明環境が実時間で変化する場合、立体的な物体に落とされる影の形状や大きさも変化する。そのため、隠背景が立体物から成る場合には、MR と同様に背景モデルの描画後に照明に応じた影を付与する必要がある。さらに、隠背景画像の描画時に、実物体によって

生じる影も除去する必要がある。

(7) ライティング

背景シーンの中に光沢や反射を生じる材質の物体がある場合は、ユーザ視点移動するとそれらの見え方が変化する。そのため、実物体が除去された現実世界の照明環境や物体の配置に応じた反射光を推定し、隠背景画像に反映させる必要がある。

本研究では、DRにおける光学的整合性を実現する研究の第一歩として、以上に挙げた要因のうち画質の整合性に着目する。その中でも(1)色調、(2)ぼけ具合、(3)解像度、(4)レンズ歪み、の4項目に関して解決する手法を提案する。

3. 隠消現実感における光学的整合性の実現法

前節において示した隠消現実感における光学的不整合の解消を図る。まず、隠背景を撮影する際の光学的条件と、隠消現実感体験時の光学的条件を把握する。そして、光学条件の違いを補正する処理を隠背景画像に対して適用することで実現する。これを実現するためには、できるだけ隠背景の情報を詳細に記録しておく、その情報を元にして変換処理を行う。具体的に隠背景をモデル化するには、焦点が合っていること、解像度が高いこと、色調変換が可能な白飛び、黒つぶれが起こっていない必要がある。

処理の流れを図2に示す。補正処理での調整にも限界があることから、空間観察時とほぼ同一の照明環境下で、隠背景画像を作成する。次に、隠背景画像の明るさを調節する処理を行なう。そして、ユーザ視点と隠背景画像の距離に応じたぼけを付加する。最後に、僅かな画質の違いによって発生する隠背景画像のエッジ付近に、実画像とのブレンド処理を行う。

3.1. 隠背景画像の作成

前述のように、隠背景画像はできるだけ解像度を高く撮影しておかなければ、後の撮影位置が変わった際に、実写映像と同じ画質に調整することができない。また、レンズやカメラの違いによる画質やノイズの違いの問題を防ぐためには、隠消現実感体験時と隠背景

撮影時では同じカメラで同じ設定で撮影しておくことが望ましいと考えられる。そこで本研究では、ユーザが最も近くと想定される位置を設定し、その位置から隠背景画像を複数枚に分けて撮影する。その後、モザイク処理によってそれらを繋ぎ合わせることで高解像度な隠背景画像を作成する。

また、隠背景画像の作成に複数枚の画像を用いる場合、画像の周辺部が湾曲したものをを用いるとレンズ歪みにより幾何学的に正確な画像を作成することができない。各隠背景画像を撮影する際、大幅に撮影範囲が重なるように撮影することによって、この問題を解決する。具体的には、撮影する隠背景画像は、その直前に撮影された画像が半分以上写っている状態とする。

隠背景画像のモザイク処理には既存のモザイクソフトウェアMicrosoft Research Image Composite Editorを用いる。作成した隠背景画像を図3に示す。

3.2. 色調調整

現実空間では、照明の明るさやユーザ視点の移動によりレンズに入射する光量に変化し、それに伴って画面全体の明るさも異なる。単一の明るさの隠背景画像だけしか用いない場合、明るさが変化する現実空間に対し、一定の明るさを表示する隠背景画像を重畳すると、両者の間で色調にずれが生じ、重畳箇所を知覚してしまう。よって、隠背景画像の明るさを現実空間に近づくように調整する必要がある。

隠背景画像を現実の明るさに合うように調整するためには、現実空間の映像と隠背景画像で明るさの分布を比較する手法が考えられる。しかし、この手法では、現実空間に存在する除去対象も比較対象に入れてしまうため、画面全体の明るさは一致しない。そこで、現実空間の映像から除去対象が存在しない領域を比較領域として設定し、明るさの分布を比較する。そして、隠背景画像の明るさを現実空間に合うように補正する。

具体的には、実画像と隠背景画像の色空間をRGBからYCrCbへ変換し、明るさを示すY成分に対してヒストグラム変換(式1)を用いる。現実空間と隠背景画像のY成分に関するヒストグラムの平均値をそれぞれ m_r 、 m_b 標準偏差を σ_r 、 σ_b とすると、隠背景画像の濃度 x_b は現実空間の濃度 x_r へと変換できる[2]。

$$x_r = \frac{\sigma_r}{\sigma_b} (x_b - m_b) + m_r \tag{1}$$

3.3. ぼかし付加

隠消現実感の体験時の画像は、その際に利用しているユーザ視点用カメラのレンズの設定と被写体までの距離に応じて、被写界深度の影響が現れた画像となる。しかし、予め撮影した画像は、撮影時のピントは撮影時のものに固定される。そのため、予めピントを合わ

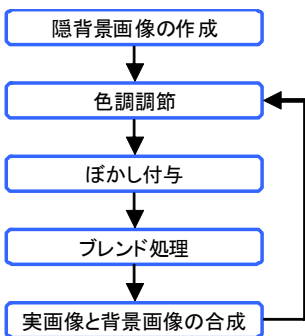


図2 処理の流れ



図3 隠背景画像

せて隠背景画像を撮影しておき、現在の実物の焦点ぼけに合わせて、隠背景画像にぼかし処理を施すことで、実写との整合性を保つ。

隠背景画像をぼかすには、カメラから被写体までの距離から現実空間のぼけ幅を算出し、隠背景画像に点広がり関数の畳み込みとしてガウシアンフィルタを適応させる[3]。焦点ずれによるぼけは、レンズの中心から被写体までの奥行き、レンズの開口径などに依存し、錯乱円と呼ばれる画像上での光の広がりとして表現することができる[4]。ピントが外れた状態の光路は図4のようになり、 f を焦点距離、 a をレンズから物体までの距離、 b をレンズから撮像面までの距離、 γ をレンズの開口径、 ρ をカメラの分解能などに依存する定数とすると、錯乱円の直径 σ に関して式(2)が成り立つ。

$$\sigma = \rho \gamma b \left| \frac{1}{f} - \frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right| \quad (2)$$

本研究では、レンズの主点から被写体までの距離 a の計算には、襖に貼付したマーカの中心からカメラまでの距離を求め、それをを用いて隠背景画像全体の距離を深度バッファの値に応じて算出する。また、許容錯乱円系に依存する ρ の値は実験的に求める。

3.4. エッジ補正

色調調整や、ぼけを付加したとしても隠背景画像は現実空間と色合いが完全に一致せず、合成した隠背景画像のエッジにより貼付箇所を知覚させてしまう場合がある。これを解消するため、隠背景画像のエッジ付近の色を実画像とブレンドし、画像同士を継ぎ目なく融合する。具体的には、実画像方向に近づくにつれて画面に出力する色の割合を徐々に変化させていく。現実空間の色を $rg(x,y)$ 、隠背景画像の色を $bg(x,y)$ とすると、出力する色 $f(x,y)$ は式(3)によって算出される。

$$f(x,y) = (1-\alpha) \cdot rg(x,y) + \alpha \cdot bg(x,y) \quad (3)$$

ここで、 α は実画像と隠背景画像を出力する割合を示す値であり、隠背景画像から実画像に近づくにつれて 0 から 1 へと変化する。ただし、エッジ補正処理を行う範囲に除去対象が含まれてしまうと出力する際に除

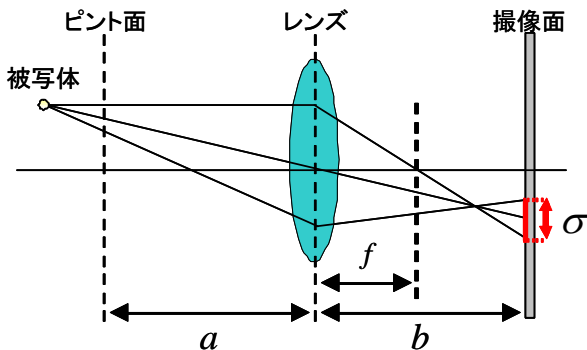


図4 焦点ぼけが生じる時の光路

去対象の情報が同時に出力されてしまう。これを防ぐために、エッジ処理を行う範囲は除去対象が存在する部分を含めないようにする。

4. DR システムでの実装

提案手法を実際に DR システム内で実装することにより、その有効性を確かめる。この DR システムでは、図5のような時代劇の和室セットでの利用を想定しており、撮影機材を格納するためのケース、位置姿勢を取得するためのマーカを除去対象とする。

4.1. 前提条件

隠消現実感では、その条件や前提に応じて、利用できる手法などの技術要素が異なるが、今回は表1で示す条件の隠消現実感を実現する。

隠背景は襖と畳とし、変化しないものとする。また、隠背景の映像は事前に取得可能とする。ユーザ視点は移動し、除去対象は剛体で静止しているとする。また、本システムではオクルージョンは考慮しないとする。さらに、除去対象と隠背景はユーザ視点から近い位置に存在するとする。この時、本来なら視点移動時の両者の見え方の変化に対応する必要があるが、今回は単純な手法として隠背景は平面形状であるとし、除去対象の形状に関係なく襖と畳の位置に画像を描画する。

また、背景シーンには映り込みや反射が発生せず、除去対象は主に拡散反射するものであると想定する。さらに、隠背景や除去対象の作る影や陰影は考慮しない。隠背景画像撮影時と空間観察時には、同一のカメラ・レンズを使用する。これにより、前章で述べた画

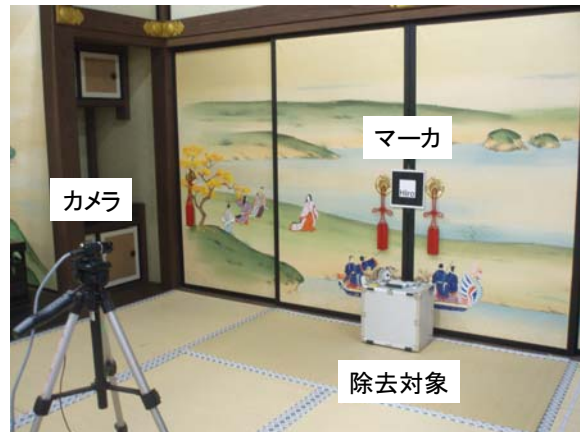


図5 DRシステム構築環境

表1 前提条件

背景	変化しない
背景の取得	可能
ユーザ視点	移動
除去対象	静止
オクルージョン	なし
除去対象の位置	近い
背景の位置	近い
除去対象の材質	主に拡散反射
陰影、影	考慮しない

像間の解像度などのカメラ・レンズの性能の違いの補正処理を省略する。また、ユーザが背景の方向へ最も近づく位置を、襖から 2 m、畳から 1 m とする。

4.2. システム構成

DR空間の管理には、Microsoft Windows XP OS、Intel Core2 Quad 2.83 GHz、4096 MB RAMおよび、NVIDIA GeForce GTX 280 を搭載したPCを用いる。隠背景画像作成時と空間観察時に使用するカメラはPoint Gray Research IEEE1394 カメラFlea2 を利用し、入力には幅 640、高さ 480 pixel の 8bitRGB画像を用いる。また、レンズはSPACE HF12M-2 (表 2) を使用し、フォーカスは 2 m、アイリスは 1.4 に固定する。カメラの位置姿勢取得には、ARToolKit [5]を用いる。

5. 実験と考察

これまでに提案した手法を前節のシステム内で利用し、手法の有効性を実験により確認する。実験としては、現実空間の様々な状況において、光学的整合性を考慮せず単純に隠背景画像を重畳描画したものと、光学的整合性の画質を考慮した上で重畳描画したもので、除去処理結果を比較する。想定環境は以下の通り。

- ・ 現実空間の明るさが変化した場合
- ・ 襖からカメラまでの距離が変化した場合
- ・ 本システムを屋外で実行した場合

5.1. 現実空間の明るさが変化した場合

【方法】映画撮影に用いる図 5 の時代劇の和室セットにて実行を行う。その際、現実空間の明るさを主観的に 5 段階準備し、各々の明るさについて補正処理がない場合とある場合でDR空間を構築する。ユーザ視点は、マーカが認識できる範囲で動くものとする。

【結果】実行結果を図 6 に示す。左から現実空間、補正処理がない場合のDR空間、本提案手法を適応させたDR空間である。フレームレートはいずれも 60[fps]。

単純に隠背景画像を重畳したものは、隠背景画像の明るさが補正されておらず、重畳箇所が知覚できる。しかし、提案手法を用いて補正を行った場合は、実物体が綺麗に除去できていることが確認できる。しかし、現実空間が明るすぎる場合や、暗すぎる場合において、補正しきれずに隠背景画像が現実空間に合わない部分も生じていた。この対策として、今後隠背景画像に High Dynamic Range に対応したものをを用いる等、様々な情報を保持した状態の隠背景画像を準備しておくことで対応することが考えられる。

表 2 SPACE 社製レンズ HF12M-2

画角	29.9° × 22.6°
開口径	8 φ
フォーカス	0.3 m ~ ∞
アイリス	1.4 ~ close
焦点	単焦点 12mm 固定

5.2. 襖からカメラまでの距離が変化した場合

【方法】映画撮影に用いる図 5 の時代劇の和室セットにて、襖からカメラまでの距離を変更させて実行する。距離は 2m, 2.5m, 3m, 3.5m, 4m, の 5 段階とする。ユーザ視点は、マーカが認識できる範囲で動くものとする。隠背景画像は 2m の地点から撮影したものを使用する。

【結果】実行結果を図 7 に示す。上段は襖からの距離が 2m であり、下段は襖からの距離が 4.5m である。また、図は左から現実空間、補正処理がない場合のDR空間、本提案手法を適応させたDR空間である。フレームレートはいずれも 60[fps]。

(b)と(c)を見ると、本手法の補正処理を行った場合は綺麗に消えていることが確認できる。また、(c)と(e)を比較すると、襖からの距離に応じてぼけ具合が正しく反映されていることが確認できる。しかし、カメラが動いた際に現実空間にはモーションブラーが生じるが、隠背景画像はモーションブラーが付加されていないため、違和感を覚えた。

5.3. 本システムを屋外で実行した場合

【方法】本システムを屋外にて実行する。その際、現実空間の明るさを朝、昼、夕方、の 3 段階とする。隠背景画像には昼に撮影したものを利用する。除去対象には屋外に存在する剛体としてごみ箱を使用する。ユーザ視点はマーカが認識できる範囲で動くものとする。

【結果】実行結果を図 8 に示す。(b)では隠背景画像の左下の部分で隠背景画像が目立ってしまっているが、(c)では隠背景画像の存在が分り辛いことが確認できる。しかし、朝方や夕方においては、白飛びが生じると隠背景画像が対応できないことがあった。そのため、白飛びのような様々な状況に対応できるように準備する隠背景画像に情報を持たせることが必要である。

6. むすび

本稿では、DR に生じる光学的整合性の問題に関して、画質を考慮したシステムの構築を提案した。照明条件がそれほど変化しない対象に対しては、隠背景撮影時と、DR 実現時の光学的条件を把握して、条件の差異を調整する処理を隠背景画像に対して適用することで、違和感なく対象物体を除去することができた。

しかし照明条件が大きく異なる際の対応や、色調、ぼけ具合、解像度、レンズ歪み以外の光学的条件に関する調整は実現していないので、今後はそれらの対応を行っていく予定である。

謝辞 本研究は、JSPS の挑戦的萌芽研究「ビジュアルマジック隠消現実感の骨格形成と課題抽出」(研究代表者；田村秀行)および、同基盤研究(A)「視聴覚併用複合現実空間の表現力向上に関する研究」(研究代表者；田村秀行)の支援によるものである。



図 6 現実空間の明るさが変化した場合

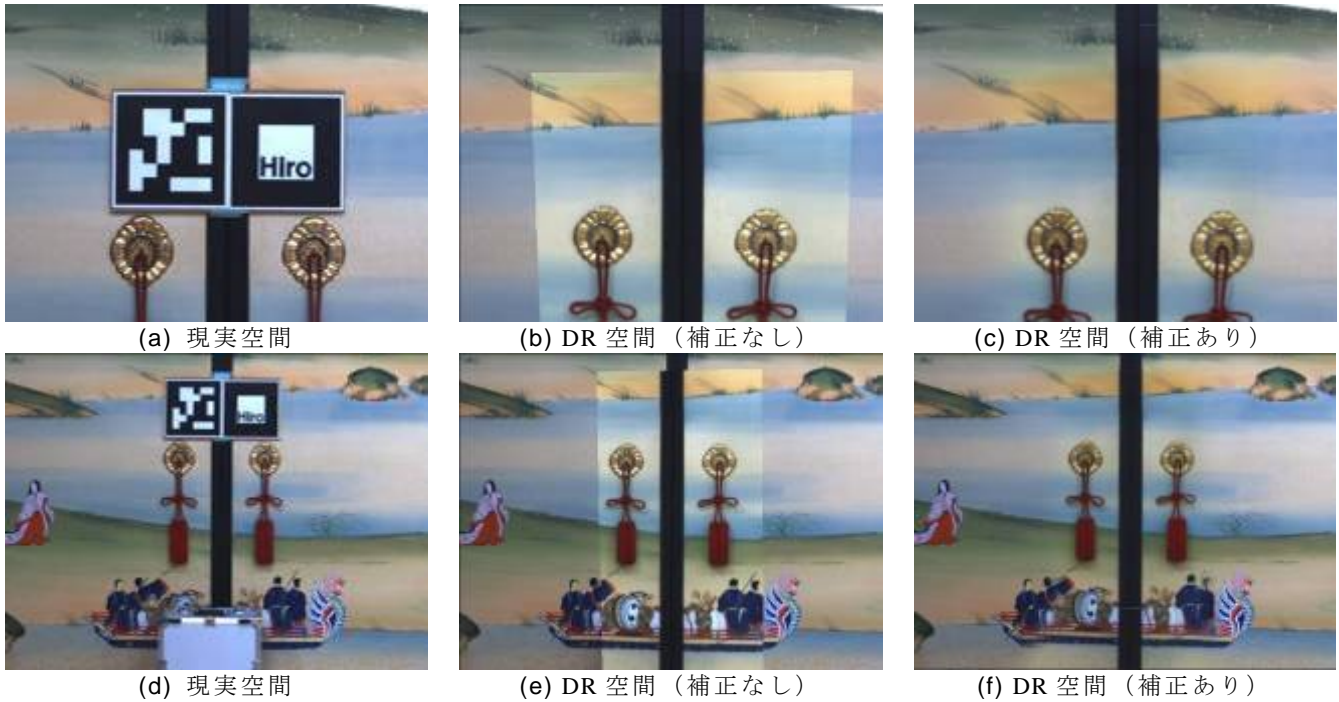


図 7 襖からカメラまでの距離が変化した場合

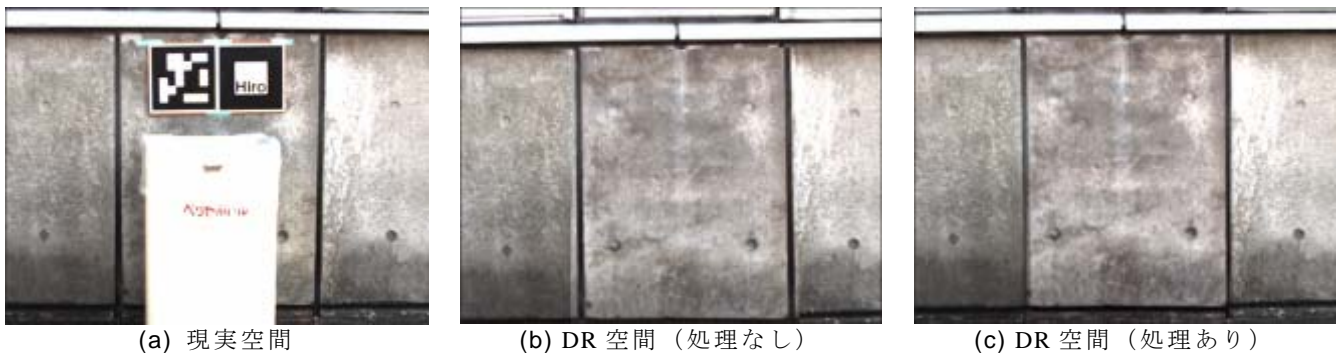


図 8 本システムを屋外で実行した場合

文 献

- [1] 竹村雅幸, 北原格, 大田友一: “MR Face 映像における光学的不整合に関する視覚特性の評価”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 181 - 190, 2007.
- [2] 田村秀行: “コンピュータ画像処理”, オーム社, 2002.
- [3] 西沢孝浩, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行: “MR-PreViz: 映画制作を支援する複合現実型事前可視化技術 (4) - 仮想物体への焦点ぼけの実時間適用 -”, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, A-16-5, p. 318, 2006.
- [4] Alex P. Pentland; “A new sense for depth of field,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 9, No. 4, pp. 523 - 531, 1987.
- [5] 加藤博一: “拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 101, No. 652, pp. 79 - 86, 2002.