隠消現実感の技術的枠組と諸問題
～現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について～

森 尚平[*1] 一刈 良介[*2] 柴田 史久[*1] 木村 朝子[*1] 田村 秀行[*1]

Framework and Technical Issues of Diminished Reality:
A Survey of Technologies That Can Visually Diminish the Objects in the Real World by Superimposing, Replacing, and Seeing-Through

Shohei Mori[*1], Ryosuke Ichikari[*2],
Fumihisa Shibata[*1], Asako Kimura[*1], and Hideyuki Tamura[*1]

Abstract --- Compared to Augmented Reality/Mixed Reality, which refers to technologies to superimpose Computer Graphics to real environments to enhance the real world, Diminished Reality (DR) refers to visually diminishing or eliminating obstacles in the real world, or seeing through objects such as walls. The techniques and difficulties to implement DR will vary to adapt to various environments. Hence, we first set one clear goal of DR to completely eliminate existences in the real environment from observed scene. Then, we conducted a survey to show guidelines for researchers to achieve the goal. We systematically arranged existing papers with some concerns for DR implementation.

Keywords: Diminished Reality, Survey, Mixed Reality, Augmented Reality

1. はじめに

コンピュータ内に仮想環境を構築する人工現実感(Virtual Reality; VR）に対して，現実世界を電子的に増強する拡張現実感（Augmented Reality; AR）や現実世界と仮想世界の継ぎ目なき融合を目指す複合現実感（Mixed Reality; MR）は，従来の VR が取り扱えなかった問題を扱う発展形であり，新たな応用分野を生む魅力的な分野に育っている．その反面，AR/MR には，VR にはなかった技術的課題が存在し，その問題解決のために活発な研究開発が続けられている．とりわけ，文字列や比較的簡単な図形を重畳描画するに留まっている最近の AR 技術の利用形態に比べて，現実世界と仮想世界の対等合併・融合を目標とした MR 技術では，高精度の実時間幾何学的整合の他に，陰影や相互反射まで考慮した光学的整合を達成する必要があり，研究課題は尽きない．

本論文では，広義の VR 分野で“Diminished Reality (DR)”と呼ばれていた技術を再定義し，その研究課題を明らかにする．現実世界に CG オブジェクトを重畳する AR/MR に対して，実在する実物体を視覚的に消し去る DR は逆の概念であるが，AR/MR の実利用とともに，DR 技術への期待も高まってきた．ところが，「言うは易しく，行うは難し」，少し試しただけで分かるように，MR が VR や AR よりも困難な課題である以上に，DR では MR に内在する問題を解決した上で，更に新たなる課題に直面する．安易な物体除去では，不自然な跡が残るし，背景画像で置き換える場合には，その僅かな位置ずれや画質的差違が目立つからである．

DR なる考え方自体は，AR/MR と DR を包含する概念である“Mediated Reality”[Mann 94][Mann 96][Mann 98][Mann 01]に端を発するとされている．それ以前からも言葉としては存在したという説もあるが，それを証明する資料は見つからない．現実世界に物理的に存在する物体を消滅させることはできないので，実際には何らかの方法で視覚的に不要な物体を隠蔽・消去，もしくは障害となる物体を透過させる技術と考えることができる．ただし，映画における視覚効果のように時間をかけて映像を加工するのではなく，AR/MR と同様，体験者の目の前の光景に対し実時間で実行することが前提である．

初期の文献[Mann 01]では，DR として，現実世界に存在する不要な情報を見えなくするために仮想物体で上書き表示する例が紹介されている．最近は，実写の背景画像を重畳描画することで，物体が存在しないように見せる方法が主流であるから，概念も少し異なり，技術的課題も多い．この新たな DR の実現には，カメラ位置姿勢の推定，合成する隠背景投影画像の準備，除去対象の認識・追跡による対象領域の決定等，多くの技術要素の組み合わせが含ま

*1 立命館大学 理工学研究科
*2 立命館大学 総合理工学研究機構
*1 Graduate School of Science & Engineering, Ritsumeikan University
*2 Research Organization of Science & Engineering, Ritsumeikan University

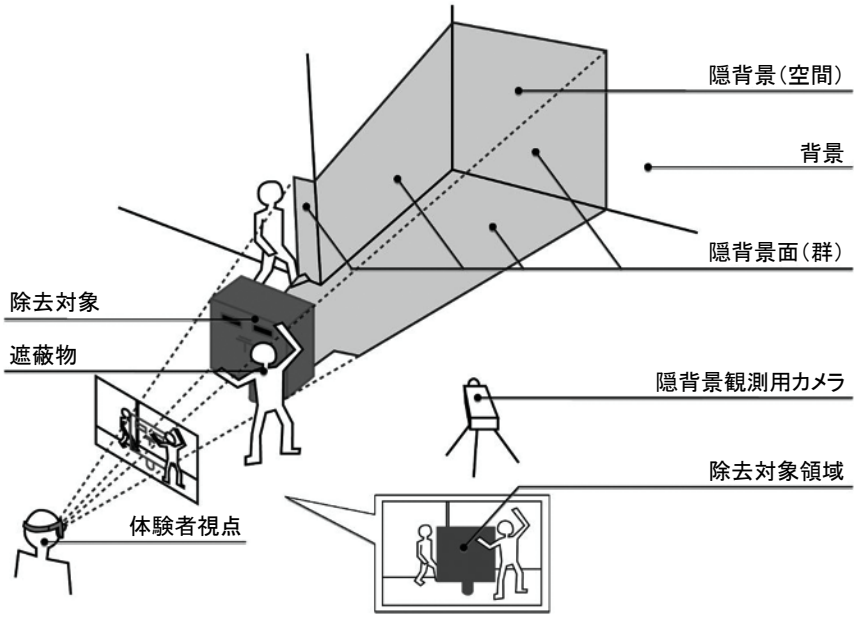


図 1 隠消現実感の構成要素
Fig.1 Components of DR

れる．DR の達成目標は，物体を除去したことを体験者に分からせない，もしくはその処理過程を意識させないだけの高品質な視覚的除去を実時間で遂行することであると言える．

この挑戦課題満載の技術分野に対して，我々は**「隠消（いんしょう）現実感」**という日本語を当てることを提案する．上記の達成目標に対して，「diminish」という単純な英単語はぴったりでない上に，その直訳である「小さくする」「軽減する」では意図が正しく伝わらないと思われるからである．類語である「消失」「消滅」「除去」「低減」もしかりである．そこで，「(別の情報で) 覆い隠すことで，消去する」という意味での新たな技術用語「隠消する」を造語した．以下，表題等ではなるべくこの用語を用いたが，本文中では略語として引続き「DR」も採用した．

以上の隠消現実感 の問題を，MR の次なる挑戦課題として位置づけるために，我々はこれまでに発表された関連文献を調査・分析し，体系的な整理・考察を試みた．AR/MR 研究の黎明期や発展期には，良質のサーベイ論文（[Azuma 97][Azuma 01]）が大きな役割を果たしたため，本総説論文もまた，同様な役割を担うことを目指した．

2. 隠消現実感の技術的枠組

2.1 隠消現実感の構成要素と実現手順

隠消現実感（DR）における視覚的な隠蔽・消去・透視の基本的枠組は，**図 1** に示す構成要素で成り立つものと考えられる．ここで，DR の体験者は，シースルー型 HMD (Head Mounted Display) を装着しているものとするが，MR 技術と同様に，高度な光学的整合を達成するためには，HMD にカメラを内蔵／具備したビデオシースルー方式が好ましい．そのカメラの 1 つを独立させた単眼カメラによる DR 映像提示システムも，同じ枠組で実現できる．

この構成要素を用いた DR 実現の一般的な流れは，以下のようになる．

【用語の定義】除去対象が消去された光景を提示するためには，除去対象の背後の光景を取得し，それを視点に合わせて投影・合成する必要がある．この対象物を消去することで可視となる空間を「隠背景（空間）」，投影・合成するためにモデル化した平面（群）を「隠背景面（群）」と名付ける．そして，投影・合成する画像を「隠背景投影画像」と呼ぶ．

① 隠背景の観測とモデル化

隠背景は，体験者視点のカメラと除去対象の位置関係に合わせて変化することが考えられるため，想定されるそれらの移動に応じて，広範囲の隠背景の情報を準備する必要がある．この隠背景の取得方法は環境や前提条件に応じて様々な手法が考えられる．例えば，隠背景観測用カメラによって隠背景を捉える手法（[Zokai 03][Enomoto 07]），事前に隠背景の情報を取得しておく手法（[Cosco 09]）が存在する．

隠背景投影画像を仮想空間内に取り込むために，隠背景を面群にモデル化するが，隠背景面の幾何形状を考慮して 3 次元的に復元する必要がある．隠背景面が複雑な幾何形状をしている場合などは，隠背景の 3 次元形状をそのまま取得する必要があるが([Jarusirisawad 07])，そうでない場合は，単純な形状に近似される（[Barnum 09]）．

表 1 隠消現実感の基本的技術要素
Table.1 Technical elements of DR

基本要素	基本要素別の項目		代表論文	備考
体験者視点カメラの移動	固定		[Zokai 03]	立体的な隠背景に対応
	制限された移動		[Shen 06]	問題を簡単化
	自由移動		[Enomoto 07][Sandor 10]	マーカ等の利用
	移動前提		[Wang 94][Flores 10]	シーン中の変化を利用
遮蔽物の存在	あり		[川上 98][Inami 00]	プロジェクタ投影で解決
	なし		上記以外の論文	問題の簡単化
除去対象領域の決定	除去対象領域の推定不要		[Zokai 03][Enomoto 07]	除去対象領域を大きく見積る
	除去対象の幾何形状が既知		[Cosco 09][Jarusirisawad 07]	幾何形状をモデルデータ化
	画像認識の利用		[Shen 06][Lepetit 01]	除去対象の輪郭を抽出
隠背景の観測手法	体験者視点カメラのみ利用		[原田 04][Shen 06]	時間的変化で隠背景を推定
	隠背景観測用カメラの利用	静止画像	[Zokai 03]	変化しない隠背景を想定
		動画像	[Enomoto 07][Barnum 09]	隠背景の時間的変化に対応
	事前取得		[Takemura 02][Cosco 09]	CG モデルや IBR を利用
	特殊なイメージセンサの利用		[Fuchs 98][Mourgues 01]	X 線, 超音波, 内視鏡等
隠背景の推定手法	周辺画像からの推定		[Herling 10][Korkalo 10]	隠背景が観測不可能な場合
隠背景の幾何形状のモデル化	2 次元画像の隠背景面を想定	1 枚の隠背景面	[Enomoto 07]	隠背景を平面近似
		2 次元画像の隠背景面の組合せ	[橋本 06][Barnum 09]	2 次元の隠背景面を奥行きに応じて変換
	立体的な隠背景面を想定		[Zokai 03][Hosokawa 09]	視点移動等に対応

② 除去対象領域の決定

隠背景投影画像を重畳し，除去対象を覆い隠すため，その領域を決定する．必ずしも除去対象の輪郭に，寸分の狂いもなく重畳処理を施す領域を設定する必要はない．しかし，実物体とのオクルージョンや写実性を考慮すると，できるだけ輪郭に近い領域を指定する方が望ましいと思われる．除去対象領域の決定には，除去対象の幾何モデルを利用する場合([Cosco 09]) や，画像認識により領域を取得する方法 ([Lepetit 01]) が考えられる．

③ 除去対象領域への隠背景面群の投影と合成

最後に，①で取得した隠背景面群を，視点から観測される除去対象領域に，隠背景投影画像として投影・合成することで除去対象を視覚的に消去する．その際，通常の AR/MR と同様，カメラ位置姿勢を取得しておく必要がある．

2.2 隠消現実感の基本的技術要素

DR 実現の流れを追うと，その時々の条件により遭遇する問題や利用する手法が異なることがわかる．**表 1** に，その要因となる基本的技術要素をまとめた．本論文次章以降，この基本技術要素をもとに，既存の DR 論文を分類しながら，技術の体系的分析，問題点の抽出を行う．

3. 隠消現実感の基本的技術要素に基づく研究の分類

3.1 体験者視点カメラの移動

隠消現実感（DR）において，体験者の視点移動を許すことは，そのカメラの位置姿勢の取得，除去対象や隠背景の見え方の変化への対応が必要となることを意味する．本節では，体験者視点移動の自由度に着目し，これまでの研究を位置づける．

3.1.1 固定

体験者が視点移動しない場合が最も簡単な条件である．つまり，予め視点位置を計測することが可能で，その画角中で除去対象領域に対して，隠背景投影画像を重畳することになる．

Zokai らの手法では，除去対象領域を手動で指定する必要があること等から，視点は固定であることが前提である．視点を固定することで，立体的な背景にも対応し，工場での応用というように，より現実的な環境への適応を可能にした[Zokai 03]（**図 2**）．

3.1.2 制限された移動

視点固定の場合より問題は難しくなるが，ある程度の自由度での移動を許す研究がある．Shen らは，ビデオシーケンス中の視点変更をパン・チルト・ズームだけに制限し，背景中の除去対象が移動していることを利用して，1 台のカメラでも隠背景を特定している[Shen 06]（**図 3**）．

3.1.3 自由な移動

視点の自由移動を許す場合は最も困難である．この際，体験者視点カメラの位置姿勢の取得には，AR/MR と同様，センサ，基準マーカ，モデルベースの位置合わせ技術などが利用される．

榎本（Enomoto）らの手法では，複数台の視点カメラが存在するが，各視点間の座標系を空間中の

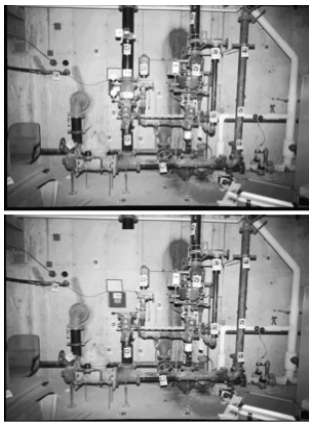


図 2 固定カメラ [Zokai 03]
Fig.2 Fixed camera [Zokai 03]



図 3 カメラでの移動の制限 [Shen 06]
Fig.3 Constraint of movement [Shen 06]

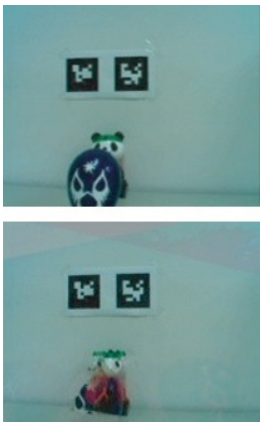


図 4 ARTag を用いる例 [Enomoto 07]
Fig.4 Utilization of ARTag [Enomoto 07]



図 5 シーン中の変化を利用して木を消す例 [Wang 94]
Fig.5 Removal of a tree by utilizing changes in a scene [Wang 94]

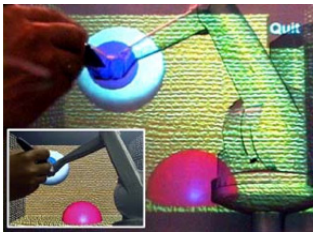


図 6 オクルージョンの解決 [Inami 03]
Fig.6 A solusion for occlusion [Inami 03]

ARTag [Fiala 05]の座標系で統一することによって，各視点は自由に移動が可能となる [Enomoto 07][榎本 07][榎本 08]．ここでは，隠背景を平面に近似しており，除去対象の認識は行わず，単に別のカメラが取得した隠背景面を重畳することにより，このようなカメラ移動が実現できる（**図 4**）．

同様に基準マーカを利用する例[Korkalo 10]や，Sandor らのように，狭空間で位置合わせを可能にする PTAM [Klein 07]を利用する例[Sandor 10]，そして，Avery らのように屋外での利用を想定し，GPS を用いる例[Avery 07][Avery 09]などが存在する．これらの手法は，除去対象が平面マーカであることや，広い領域の透過表現を目的とするなど，視点の移動による隠背景の見え方の違いが問題とならないため，視点が移動可能としている．

3.1.4 移動を前提とした例

一方で，視点が移動することを前提として除去対象を消去する事例も存在する．

Wang らは，視点が移動することでシーン中の各物体の速度ベクトルの違いからマップを生成し，それを基に除去対象を消去している[Wang 94]（**図 5**）．Google Street View [Google]からの人物の消去を行う Flores らの手法は，車載カメラで撮影された写真が，1 方向からでは見えない隠背景を特定するのに十分に平行移動して撮影されていることを前提としている[Flores 10]．これらの手法は視点が移動することで起こるシーンの変化を上手く利用している．

3.2 遮蔽物の存在

除去対象の前に遮蔽物が存在する場合，物体の前後関係を正しく扱う，オクルージョンへの対処が必要となる．この問題は，AR/MR におけるそれと同じであるので，特に DR に特化した論文というのは見当たらない．コンピュータビジョン（CV）分野の動物体の追跡法やセグメンテーション手法の研究成果を活用して，除去対象とその他の物体を識別する手法の適用が期待される．

再帰性反射材を塗布した除去対象に対しプロジェクタにより隠背景投影画像を投影するプロジェクションベースの DR の事例[Inami 03]では，除去対象にのみ再帰性反射材が塗布されているため，隠背景投影画像は除去対象上でのみよく反射され，結果として，除去対象のみを除去できているように表現している．ここでは，オクルージョン問題が物理的に解決されている（**図 6**）．

3.3 画面中の除去対象領域の決定

隠背景投影画像の重畳処理を行うためには，除去対象領域を決定する必要があり，画面中の対象物体のシルエットに合わせた除去対象領域が定められる．この除去対象領域は，体験者カメラの移動や，除去対象の移動・変形により，シーケンス中で変化するので，対象領域の認識，追跡が必要となる．本節で



図 7 除去対象領域の推定を必要としない場合 [Zokai 03]
Fig.7 No estimation of segmentation [Zokai 03]



図 8 除去対象の幾何形状が既知の場合 [Cosco 09]
Fig.8 Segmentation with knowledge of Obstacle's geometry [Cosco 09]



図 9 半自動セグメンテーションと除去 [Lepetit 01]
Fig.9 Semi-automatic segmentation and removal [Lepetit 01]

は，この除去対象領域の決定方法に着目して，これまでの研究例を概観する．

3.3.1 除去対象領域の推定が必要ない場合

除去対象領域の推定が必要のない場合も存在する．例えば，カメラが移動せず，除去対象も移動しない[Zokai 03]の場合，除去対象領域を手動で設定可能である（**図 7**）．また，広い壁の一部を透過させるような，除去対象領域を広く見積っても問題ない場合[Avery 07][Avery 09][Sandor 10]もある．別カメラの映像全体を投影することで物体を除去する手法[Enomoto 07]では，除去対象領域を厳密に推定していない．Projective Grid Space (PGS) 中に隠背景空間を置き，その空間を Plane Sweep Algorithm によって 3 次元復元することで，除去対象を無視し，除去対象領域を直接指定しない手法も存在する[Hosokawa 09][Jarusirisawad 10].

3.3.2 除去対象の幾何形状が既知の場合

除去対象の幾何形状が既知である場合，CG モデルデータ化し，カメラ位置姿勢に合わせて透視投影変換をすれば，除去対象領域が決定できる．CG モデルデータは手動によるモデリングや CAD データより取得できる[Kameda 04][武政 04][津田 05][Tsuda 05]．[Cosco 09]では，物体が単一の剛体でなく関節を持つような PHANToM であっても，関節の曲がり角度を利用して，除去対象領域を決定している（**図 8**）．除去対象が平面マーカである[Korkalo 10]の場合もこの分類に当てはまる．人を消す Jarusirisawad らの手法では，ビデオシーケンス中の人を手動でセグメンテーション・ラベリングすることで除去対象をボクセルデータ化し，除去対象領域を決定している[Jarusirisawad 07].

いくつかの手法では，実際の物体領域より大きめに除去対象領域を設定することで領域のずれによる消し逃しを避けている．幾何形状が既知であっても除去対象が移動する場合は，CV 技術や物理センサを用いた追跡が必要である．

3.3.3 画像認識を利用する場合

物体の幾何形状が分からない場合や，変化する場合，物体が移動する場合は，除去対象領域の決定を画像認識に頼る必要があり，このような処理は通常「画像のセグメンテーション」と呼ばれている．

Shen らは，ビデオシーケンス中の人間を消去する際に，初期フレームにおいて除去対象を手動でセグメンテーションし，除去対象の移動が定量的な平行移動であるという前提のもとに Mean-Shift Tracker [Comaniciu 00]で追跡することで継続的にセグメンテーションを行っている[Shen 06]．Lepetit らも同様に，ビデオシーケンス中のいくつかのキーフレーム中で除去対象を手動でセグメンテーションし，キーフレーム間のセグメンテーションを自動で行う手法[Lepetit 00]を利用し，除去対象を消去している[Lepetit 01]（**図 9**）．Yokoi らは，フレーム間の差分とグラフカット法[Boykov 01]によりセグメンテーションすることで，講義ビデオ中の講師を消去することに成功している[Yokoi 06].

3.4 隠背景の観測手法

除去対象を隠背景投影画像で重畳描画して視覚的

に消去するには，隠背景の情報が必要であり，隠背景を捉える方法は状況により異なる．例えば，実時間で隠背景面の画像を取得・更新するには，隠背景観測用カメラを用いる必要がある．本節では，隠背景の観測手法に着目した研究例を紹介する．

3.4.1 体験者視点カメラのみを利用する手法

隠背景観測用カメラがなく，体験者視点カメラ 1 台を利用する場合は，視点自身が移動したり，除去対象が移動したりする事で，当初遮蔽されていた隠背景を時間差で観測する．

カメラのレンズに付着した水滴や泥を消去するために，1 台の首振りカメラを利用し，その見え方の違いを利用する手法が存在する[原田 04][福地 08]（**図 10**）．また，Shen らの手法では，ビデオシーケンス中の除去対象である人を，視点の移動を考慮した時間軸上に並べる事で，空間的･時間的局所性から除去対象が存在していた場所の隠背景を推定している[Shen 06]．

3.4.2 隠背景観測用カメラを利用する手法

除去対象によって遮蔽された隠背景を別の視点から観測する隠背景観測用カメラを用いる方法は，隠背景の情報をリアルタイムに取得でき，隠背景の現在の状態を知る最もオーソドックスな方法である．この際，体験者視点カメラと隠背景観測用カメラ間の位置関係のキャリブレーションが必要となる．

Zokai らは，視点とは別の隠背景観測用カメラを 2 台用意して隠背景面を取得することで，工場内のパイプを消去した[Zokai 03]．榎本（Enomoto）らは複数のハンドヘルドカメラを用意し，それぞれが視点と隠背景観測用カメラの役割を兼任することで，[Zokai 03]のように専用の隠背景観測用カメラを用意すること無く隠背景の情報を取得し，除去対象を消去した[Enomoto 07][榎本 07][榎本 08]（**図 11**）．橋本らは，複数台のカメラを用いることで野球の試合映像から審判とキャッチャーを消去した[橋本 10]．Barnum らは，隠背景観測用カメラと視点との射影変換の間を取り持つカメラを介する事で，より高精度な隠背景面群の投影を可能にした[Barnum 09]．カメラに付着した水滴や泥を消去するために，平行に並べられた複数台のカメラを用意し，互いの隠背景を観測し合うことで，その水滴や泥を消去する手法も提案されている[蔵本 01][蔵本 02][山下 05][山下 07]．壁を透視するシステム X-Ray においては，隠背景を観測するためにカメラ付き遠隔操作ロボットが用いられた[Avery 07]．

3.4.3 隠背景画像を事前取得する手法

隠背景面が複雑な幾何形状であるなど隠背景を撮影した画像をそのまま利用できない場合，時間的な変化では十分に隠背景が観測できない場合には，隠背景面の事前取得が行われている．

Cosco らは，ハプティックデバイス PHANToM を消去するために，隠背景の幾何形状をパッチに分割し，隠背景面に対して事前に撮影した映像を利用した Image Based Rendering（IBR）を行うことで，立体的な隠背景での DR を実現している[Cosco 09]．竹村（Takemura）らは，HMD 装着時に HMD を消去する事で視線を復元することを試みた．この場合，除去対象が HMD，隠背景が顔である．立体的な顔を，複数の角度から撮影した画像を利用する IBR 法を用いるため，顔画像を事前に取得していた[Takemura 02][竹村 03][竹村 04a]．同様のシステムで 3 次元スキャナとデジタルカメラを用いて顔モデルを高精度に所得する手法も提案されている[竹村 04b]．

3.4.4 特殊なイメージセンサを利用する手法

通常の隠背景観測用カメラの代わりに特殊なイメージセンサやデバイスを用いて隠背景面の情報を取得する研究がある．

医療分野においては，隠背景観測用カメラとして超音波カメラを利用し，超音波映像を 3 次元的に患者に重畳描画することで透過表現を得る手法[Bajura 92][State 94][Fuchs 96][Garrett 96][State 96][State 01][Rosenthal 01][Rosenthal 02]や X 線画像を利用した同様の手法[Navab 99][Navab 10]が提案，そして実験されてきた．

他にも，内視鏡（腹腔鏡）により撮影された画像を用いた DR 研究がある．Fuchs らは，内視鏡に Structured Light を投影するプロジェクタを取り付け，もう 1 つの内視鏡に取り付けられたカメラで観測することで体内の腔所の 3 次元形状を取得し，そこを透視可能にする手法を提案・実装した[Fuchs 98]．また，Mourgues らは，ステレオカメラの内視鏡を利用して体内の腹腔を 3 次元復元し，そこから医療機器を取り除く手法を実現した[Mourgues 01]．

3.5 隠背景投影画像を周辺画像から推定する手法

除去対象が壁と接触している等が原因で，隠背景が観測できなかったり，事前取得が困難な場合には，正確な隠背景面を観測せずに，周辺画像から推定し，隠背景面を埋める方法が考えられる．対象物体を取り除くことだけが目的で，隠背景空間に他の物体が存在しないことが判っている場合には，この方法でも一定の目的は達成できる．

Herling らは，単純なテクスチャ上の除去対象を，その周りのテクスチャ情報から推定する画像処理技術を用いて消去した[Herling 10]（**図 12**）．Korkalo はマーカを消去するために [Siltanen 06]の方法を



図 10 首振りカメラの利用例［福地 08］
Fig.10 Utilization of PTZ camera [福地 08]

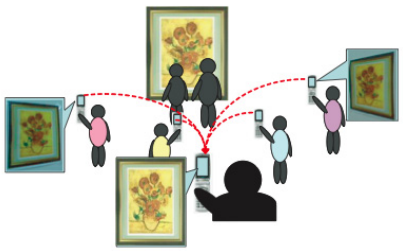


図 11 複数台のカメラの利用例［Enomoto 07］
Fig.11 Utilization of many cameras [Enomoto 07]

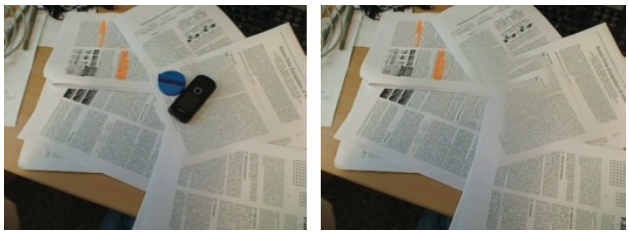


図 12 画像処理による除去［Herling 10］
Fig.12 Removal by image completion [Herling 10]

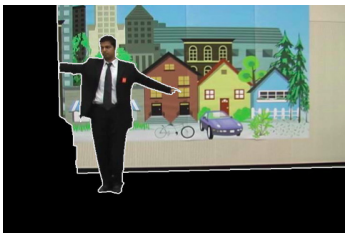


図 13 隠背景の 2 次元近似［Barnum 09］
Fig.13 Approximation of occluded area [Barnum 09]

利用した[Korkalo 10]．欠損した画像情報を周りから内挿法等を用いて修復する方法は一般に「Inpainting」と呼ばれている．MR や DR 用途で利用するには，体験者視点での実時間処理に耐え得るだけの性能が必要であるが，Inpainting や Image Completion として知られる種々の手法が，今後この分野に使われていくと思われる．

3.6 隠背景面の幾何形状のモデル化

体験者視点カメラが移動して隠背景を眺める角度が変わる場合などは，隠背景面を立体的にモデル化しておく必要がある．一方，隠背景面が十分遠くに存在する場合は，体験者の移動による隠背景の見え方の変化は少ないので隠背景面を 2 次元画像として用意しても大きな問題は起こらない．このように，隠背景面の幾何形状を，どの程度詳細にモデル化しておく必要があるのかは事例により異なる．本節では，隠背景の幾何形状とそのモデル化に着目し，論文を分類・分析する．

3.6.1 2 次元画像で隠背景面を準備する手法

橋本らは隠背景中の人物領域部分をレイヤとして表現し，人の重なりやジャンプによって地面から人が離れた時に生じる誤差を軽減する手法を提案した[橋本 06][橋本 07]．Barnum らは，隠背景中に壁と人物や車が存在するような場合に，隠背景投影画像を体験者視点に変換した際の物体間の位置ずれを解消するため，壁の手前の物体を壁に投影するホモグラフィー行列を利用して，隠背景面を視点に合わせて変換した画像に対して 3 次元的に投影し直す手法を提案している［Barnum 09］（**図 13**）．

3.6.2 立体的な隠背景面を準備する手法

一方で，隠背景の立体構造を 3 次元的に復元する手法を実現しているものも存在する．Zokai らは，平面の隠背景に対して対応する手法を展開させ，立体的な隠背景を複数の平面の隠背景の集合と仮定することで対応した[Zokai 03]（**図 7**）．また，Plane Sweep Algorithm を用いて PGS 中の隠背景の 3 次元形状を取得する手法の提案もされている[Hosokawa 09][Jarusirisawad 10]．

4. プロジェクションベースの隠消現実感

これまでに紹介した一般的な DR が，除去対象を隠消するために，画像中で隠背景画像を重畳合成するのに対して，プロジェクションベースの DR では，除去対象に対して取得した隠背景面群をプロジェクタから投影することで，除去対象を視覚的に除去する．前者が AR/MR での仮想と現実の合成方法におけるビデオシースルー方式に対応し，後者は光学シースルー方式と対応する．表 1 の基本的技術要素とは異なる要素を持つが，近年プロジェクタの小型化も進み発展が期待されるので，本章で紹介する．

Seo らは，平面で拡散反射面の除去対象に対してプロジェクタで隠背景面を投影する際の，幾何学的整合性と光学的整合性を考慮した投影手法を実現した[Seo 08]．また，Bonanni らは，AR 技術を利用したキッチン AR Kitchen を提案し，その一機能として，冷蔵庫の中身を確認できるよう冷蔵庫の中を扉に投影する仕組みを実装した[Bonanni 06]．

岩井（Iwai）らは，机上に散乱した書類群から目

表 2 隠消現実感の研究課題と発展的な技術要素
Table.2 Advanced technical elements of DR

幾何学的整合性	オクルージョン問題	
	隠背景投影画像の合成におけるずれの軽減	カメラ位置姿勢取得の高精度化
		位置ずれの無い隠背景投影画像の合成
光学的整合性	隠背景観測用カメラとユーザ視点カメラの光学系の不一致による不整合の発生要因	色調
		ぼけ具合
		解像度
		レンズ歪み
		ノイズ量
	除去対象除去後も発生し得る不整合の要因	影の付与・除去
		照明条件
Half-DR の見せ方	死角の可視化	空間認識を容易にする提示
		奥行き知覚に関する障害の軽減
	透明化・半透明化に伴う除去対象への衝突回避	
	ずれによる違和感の軽減	
聴覚的 DR の導入	除去対象が発する音の抹消	
	音の障害物の透過	



図 14 DR での光学的不整合と解決例（左から，現実空間，DR（補正なし），DR（補正あり））[中島 11]
Fig.14 Example of Photometric Inconsistency on DR and a Solution
(From Left, Real World, DR with no Compensation, DR with Compensation) [中島 11]

的の書類を探し出すためのシステム Limpid Desk を提案した. 机上の書類群中のある書類に触れると，それより上の書類が透けて，目的の書類を目視可能にし，その際の，書類の重なりを認識しやすいインタラクションと透過表現についての検討を行った[Iwai 06][岩井 07].

川上らは，プロジェクタの投影システム X'tal Vision と再帰性反射材を利用した光学迷彩技術 (Optical Camouflage) を提案・実装した[川上 98]. Inami らはハプティックデバイスやスーツ（光学迷彩スーツ）を透過させる技術に，Yoshida らは車体を透過させる Transparent Cockpit にそれを応用した[Inami 00][Inami 03][Yoshida 08].

5. 今後の研究課題とその技術要素

前章までに，我々の定義した隠消現実感（DR）に関係する研究事例を紹介し，基本的な技術要素毎に分類・分析した．現時点では，隠消した対象物の存在を気付かせず，除去後の光景が全く自然に見えるというレベルまで達成した研究例はないと言っても過言ではない．ただし，何を不自然に感じるかは，体験者（利用者）の知覚能力や意識にも依存することであるので，必要以上の高精度を求める必要はなく, 体験時の表示装置の性能や要求水準の範囲内で，着実に技術を発展させて行くべきである.

今後取り組むべき研究課題とそれに必要な技術開発要素を**表 2** に示した．実背景と隠背景投影画像を位置関係に矛盾なく合成する幾何学的整合，画質・被写界深度などの光学的特性を一致させる光学的整合の達成，うまく隠消できない場合や半透明表現として除去対象を残したい場合などの見せ方，聴覚的 DR の導入などが考えられる.

5.1 高精度な幾何学的整合の達成

前述の基本的な技術要素を考慮した DR を実現したとしても，寸分の位置ずれもなく隠背景投影画像を除去対象領域に重畳合成することは容易ではない. カメラ位置姿勢の推定誤差や隠背景のモデル化において誤差が生じるからである．**図 14（中）**の DR の実行例においても，投影した隠背景投影画像と背景の映像の間に模様のずれが生じている．また，3.2 節で紹介したように，シーン中に遮蔽物が存在する場合に，それらの前後関係を正しく扱うオクルージ

ョン問題の解決が必要である．このように，幾何学的に正しく DR を実現する幾何学的整合性の解決へ向けて，今後一層の研究努力が必要である．

重畳合成時の位置ずれは，カメラ位置姿勢推定，隠背景面モデル構築時の精度を高めることが必要であるのは自明であるが，単なる高精度化だけではうまく消せない場合，隠背景投影画像の投影時にモザイキング技術を用いて特徴点同士を一致するように合成位置を調整することが有効であると思われる．また，オクルージョンの解決には，遮蔽物と除去対象の識別や，除去対象のシルエットの認識・追跡技術が必要である．

5.2 高精度な光学的整合の達成

図 14（中）の例における，背景と隠背景投影画像の間には，模様だけでなく画質のずれも生じており，合成部分を目立たせてしまう原因となっている．このような問題を DR における光学的整合の問題と考え，この問題の解決が今後必要であると考える．

中島らは，このような光学的不整合は，ユーザ視点カメラと隠背景観測用カメラとの撮影時における光学的な条件の違いから発生すると考えた．その条件の内，色調，ぼけ具合，解像度，レンズ歪みの 4 つに関して解決する手法を提案した[中島 11]．隠背景投影画像と背景とで色調・ぼけに関して同等となるよう調整し，合成時にブレンド処理を加えることで，2 つの画像間の画質的なずれを軽減し，きれいに消えているように提示した（図 14（右））．

その他に，DR における光学的整合性について言及しているものには，隠背景投影画像を合成する際に明度値の補正処理を加える[榎本 08]と，カラーマッチングを用いて色調のずれを軽減する[Takemura 06][竹村 08]が存在する．しかし，多くある光学的不整合の要素の一部が検討されたに過ぎず，まだまだ研究の余地が残されていると言える．

5.3 隠消現実感における見せ方の工夫

前述の幾何学的・光学的整合性の問題においては，いかにして「きれいに隠消する」かを論じたが，それが達成できない場合は，それを逆手にとって，効果的な隠消表示法を工夫することが考えられる．

例えば，除去対象が半透明物体に変わったかのように見せる演出表現を加え，背景と隠背景投影画像との画質のずれを軽減して見せる．このように，意図的に物体を消さずに少し残すような表現を，**「半隠消表示（Half-DR）」**と呼ぶこととする．この Half-DR の利用例としては，画質ずれを軽減させて見せる場合だけでなく，完全に隠消してしまうと体験者と衝突の危険があるような場合にも利用できる．

もともと完全に対象物を消し去るのではなく，背景が透けて見える透視に関する研究も活発に行われている．これらは，“See-Through” [橋本 06][橋本 07][Barnum 09]，“See-Through Vision” [Kameda 04][武政 04][Tsuda 05][津田 05]，“X-Ray” [Bane 04][White 04][Avery 07][Avery 09][Sandor 10]と呼ばれている．ビルの壁や屋内の壁を透過させ，その向こうを透視可能にする技術として，利用価値は高い．この用途では，除去対象が透過して向こう側が見える必要があるだけで，壁を完全に消し去る必要はない．表現法としては，これも Half-DR の一種であると考えられる．

透視した光景の見せ方で，色々な工夫がなされている．津田（Tsuda）らは，See-Through Vision における死角領域の提示手法として，ワイヤフレームによる表示や鳥瞰図を表示するなど 4 つの表現を実現し，ユーザが空間を直感的に把握できるかどうかをユーザの意見から評価し，最も良い組み合わせを報告した[津田 05]．Avery らは，壁の上に隠背景を重畳描画する単純な透過表現によって壁に関する情報が失われ，ユーザの奥行き知覚に問題が発生することを指摘し，壁のテクスチャのエッジのみを残す事によって，透過表現と奥行き知覚の改善を両立させる解決法を提案した[Avery 09]．また，Buchmann らは，手作業でブロックを積み重ねるという状況下での，手によるブロックの遮蔽を防ぐため，アルファブレンディングによって手の透明度を変更し，その際の視認性の評価を行った[Buchmann 05]．吉田らは，プレゼンテーションにおける，プレゼンタとプレゼンタの板書の 2 画面表示の場合と，プレゼンタが半透明表示された場合とでのプレゼンテーションの視認性の評価を行い後者の優位性を示した[吉田 09]．

5.4 視覚的 DR に伴う聴覚表現

ここまで視覚的 DR のみを論じてきたが，実音と人工音を混在させる聴覚的 MR があるように，現実世界の音を選択的に消し去る聴覚的 DR も考え得る．物体固有の音は周波数領域のフィルタリングによって抽出しやすいので，マイクで収録した音ならば，特定の周波数を消し去ることも別の音を重ねることも容易である．最近のノイズキャンセリング技術は，ある種の聴覚的 DR の実現であると考えられる．

その半面，３次元空間内での音像定位性能は，視覚的な映像表現と比べると高くないので，複数の音源が存在する場合に，特定の場所にある音だけを消去して提示するのは容易ではない．周波数領域で抽出・選択の容易さに比べて，空間的な音の DR は不得手だと言える．

筆者らは，視覚的 MR と聴覚的 MR を同時に達成する視聴覚 MR システムを既に開発している[比嘉

08]．MR 空間での音の反射・遮断も実現しているが[吉野 08]，これを視聴覚 DR システムに発展させるには，3 次元音場内での空間的 DR 性能の向上も重要な研究課題となる．

一方，視覚・聴覚を対等に利用しない非対称な MR/DR 技術は，MR 空間の表現力向上や演出効果としての利用価値がある．例えば，視覚的には DR や Half-DR を実現しながら，対象物が発する音だけを残す場合や，その音は半減させ，除去対象の後方の音を強調する等々である．

客観視点で空間を観察する点で DR とは言い難いが，後者に関連する技術として，建物内の壁を透過させると同時に音を透過させる表現を実現している研究例[星野 00][Hoshino 01]もある．

6. むすび

本論文では，これまで Diminished Reality (DR) として知られる概念を，現実世界から実物体を隠蔽・消去・透視する技術体系として再定義し，AR/MR 技術の発展的な研究課題であると位置づけた．また，DR の日本語訳として「隠消現実感」という用語を当てることを提案した．あえて新造語したのは，単なる消去や除去でなく，「背景画像で隠して消す」という概念を明確にするためと，今後，AR/MR 研究分野や挑戦的かつ発展的な研究テーマとして位置づけることを意図したからである．

隠消現実感の実現には，利用環境によって手法とその難易度が大きく異なることから，これまで各研究者の問題認識に差があり，研究が散発的に行われてきたことを指摘した．その上で，それぞれの手法の適用基準と実現難易度を左右する要素を基本要素として既発表論文を体系的に分類・分析することで，これからの研究のリファレンスとなるよう技術マップを作成した．

視覚的な隠消現実感技術で実現する「消す」ということは，「消えたように見せる」ことである．これは，「情報を付加して見せる」ための AR/MR 技術や「機械に見る能力を与える」ための CV 技術がこれまで培ってきた技術を，発想を変えて活用することに通じる．そうすることで，まだ初歩的な段階にある隠消現実感技術を，より一層有用で魅力的な技術分野に発展させることができると考えられる．

謝辞

本論文の準備に際し，研究室内の DR 研究グループの諸氏（中島武眞，稲畑将，西村文男，杉本一平，古志亘，山元明彦）に文献調査やその技術分析で協力を得たことに，感謝の意を表する．

本研究は，科学研究費補助金挑戦的萌芽研究 「ビジュアルマジック隠消現実感の骨格形成と課題抽出」，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」の支援によるものである．

参考文献

[Avery 07] B. Avery, W. Piekarski, and B. H. Thomas: “Visualizing occluded physical objects in unfamiliar outdoor augmented reality environments,” Proc. ISMAR 2007, pp. 285 - 286, 2007.

[Avery 09] B. Avery, C. Sandor, and B. H. Thomas: “Improving spatial perception for augmented reality x-ray vision,” Proc. IEEE VR 2009, pp. 79 - 82, 2009.

[Azuma 97] R. T. Azuma: “A survey of augmented reality,” *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 355 - 385, 1997.

[Azuma 01] R. T. Azuma: “Recent advances in augmented reality,” *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol. 21, pp. 34 - 47, 2001.

[Bajura 92] M. Bajura, H. Fuchs, and R. Ohbuchi: “Merging virtual objects with the real world: Seeing ultrasound imagery within the patient,” Proc. SIGGRAPH 1992, pp. 203 - 210, 1992.

[Bane 04] R. Bane and T. Hollerer: “Interactive tools for virtual x-ray vision in mobile augmented reality,” Proc. ISMAR 2004, pp. 231 - 239, 2004.

[Barnum 09] P. Barnum, T. Sheikh, A. Datta, and T. Kanade: “Dynamic seethroughs: Synthesizing hidden views of moving objects,” Proc. ISMAR 2009, pp. 111 - 114, 2009.

[Bonanni 06] L. Bonanni, C.-H. Lee, and T. Selker: “CounterIntelligence: Augmented reality kitchen” Proc. CHI 2005, pp.2239 - 2245, 2005.

[Boykov 01] Y. Y. Boykov and M.-P. Jolly: “Interactive graph cuts for optimal boundary & region segmentation of objects in N-d images,” Proc. ICCV, Vol. 1, pp. 105 - 112, 2001.

[Buchmann 05] V. Buchmann, T. Nilsen, and M. Billinghurst: “Interaction with partially transparent hands and objects,” Proc. Australasian User Interface Conf. 2005, Vol. 40, 2005.

[Comaniciu 00] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer: “Real-time tracking of non-rigid objects using mean shift,” Proc. CVPR 2000, pp. 142 - 151, 2000.

[Cosco 09] F. I. Cosco, C. Garre, F. Bruno, M. Muzzupappa, and M. A. Otaduy: “Augmented touch without visual obtrusion,” Proc. ISMAR 2009, pp. 99 - 102, 2009.

[Enomoto 07] A. Enomoto and H. Saito: “Diminished reality using multiple handheld cameras,” Proc. ACCV 2007, pp. 130 - 150, 2007.

[Fiala 05] M. Fiala: “ARTag, a fiducial marker system using digital techniques,” Proc. CVPR 2005, Vol.2, pp. 590 - 596, 2005.

[Flores 10] A. Flores and S. Belongie: “Removing pedestrians from google street view images,” Proc. CVPR Workshop 2010, pp. 53 - 58, 2010.

[Fuchs 96] H. Fuchs, A. State, E. D. Pisano, W. F. Garrett, G. Hirota, Mark. A. Livingston, M. C. Whitton, and S. M. Pizer: “Towards performing ultrasound-guided needle biopsies from within a head mounted display,” Proc. Int’l Conf. Visualization in Biomedical Computing, 1996.

[Fuchs 98] H. Fuchs, M. A. Livingston, R. Raskar, D. Colucci, K. Keller, A. State, J. R. Crawford, P. Rademacher, S. H. Dranke, and A. A. Meyer: “Augmented reality visualization for laparoscopic surgery,” Proc. MICCAI 1998, 1998.

[Garrett 96] W. F. Garrett, H. Fuchs, M. C. Whitton, and A. State: “Real-time incremental visualization of dynamic

ultrasound volumes using parallel BSP trees," Proc. VIS 1996, pp. 235 - 240, 1996.

[Google] http://maps.google.co.jp/?hl=ja, 最終アクセス日：2011 年 3 月 1 日

[Herling 10] J. Herling and W. Broll: "Advanced self-contained object removal for realizing real-time diminished reality in unconstrained environments," Proc. ISMAR 2010, pp. 207 - 212, 2010.

[Hoshino 01] J. Hoshino: "See-through representation of video," ISMR 2001, pp. 155 - 156, 2001.

[Hosokawa 09] T. Hosokawa, S. Jarusirisawad, and H. Saito: "Online video synthesis for removing occluding objects using multiple uncalibrated cameras via plane sweep algorithm," ACM/IEEE Int'l Conf. on Distributed Smart Cameras 2009, pp. 1- 8, 2009.

[Inami 00] M. Inami, N. Kawakami, D. Sekiguchi, Y. Yanagida, T. Maeda, and S. Tachi: "Visuo-haptic display using head-mounted projector," Proc. IEEE VR 2000, pp. 233 - 240, 2000.

[Inami 03] M. Inami, N. Kawakami, and S. Tachi: "Optical camouflage using retro-reflective projection technology," Proc. ISMAR 2003, pp. 348 - 349, 2003.

[Iwai 06] D. Iwai, S. Hanatani, C. Horii, and K. Sato: "Limpid desk: Transparentizing documents on real desk in projection-based mixed reality," Proc. IEEE VR 2006, pp. 30 - 31, 2006.

[Jarusirisawad 07] S. Jarusirisawad and H. Saito: "Diminished reality via multiple hand-held cameras," Proc. ICDSC 2007, pp. 251 - 258, 2008.

[Jarusirisawad 10] S. Jarusirisawad, T. Hosokawa, and H. Saito: "Diminished reality using plane-sweep algorithm with weakly-calibrated cameras," *Progress in Informatics*, Vol. 7, pp. 11 - 20, 2010.

[Kameda 04] Y. Kameda, T. Takemasa, and Y. Ohta: "Outdoor see-through vision utilizing surveillance cameras," Proc. ISMAR 2004, pp. 151 - 160, 2004.

[Klein 07] G. Klein and D. Murray: "Parallel tracking and mapping for small AR workspaces," Proc. ISMAR 2007, pp. 225 - 234, 2007.

[Korkalo 10] O. Korkalo, M. Aittala, and S. Siltanen: "Light-weight marker hiding for augmented reality," Proc. ISMAR 2010, pp. 247 - 248, 2010.

[Lepetit 00] V. Lepetit and M-O. Berger: "A semi-automatic method for resolving occlusion in augmented reality," Proc. CVPR 2000, pp. 225 - 230, 2000.

[Lepetit 01] V. Lepetit and M-O. Berger: "An intuitive tool for outlining objects in video sequences: Applications to augmented and diminished reality," Proc. ISMR 2001, pp. 159 - 160, 2001.

[Mann 94] S. Mann: "Mediated reality," TR 260, M.I.T. Media Lab Perceptual Computing Section, Cambridge, Ma, 1994.

[Mann 96] S. Mann: "Wearable, tetherless computer-mediated reality: WearCam as a wearable face-recognizer, and other applications for the disabled," TR 361, M.I.T. Media Lab Perceptual Computing Section, Cambridge, Ma, 1996.

[Mann 98] S. Mann: "'WearCam' (The wearable camera): Personal imaging systems for long-term use in wearable tetherless computer-mediated reality and personal photo / videographic memory prosthesis," Proc. IEEE Int'l Symp. Wearable Computers 1998, 1998.

[Mann 01] S. Mann and J. Fung: "VideoOrbits on eye tap devices for deliberately diminished reality or altering the visual perception of rigid planar patches of a real world scene," Proc. ISMAR 2001, pp. 48 - 55, 2001.

[Mourgues 01] F. Mourgues, F. Deverna, and E. C.-Maniere: "3D reconstruction of the operating field for image overlay in 3D-endoscopic surgery," Proc. ISAR 2001, pp. 191 - 192, 2001.

[Navab 99] N. Navab, B.-Hashemi, and M. Mitschke: "Merging visible and invisible: Two camera-augmented mobile C-arm (CAMC) applications," Proc. IWAR 99, pp. 34 -141. 1999.

[Navab 10] N. Navab, S.-M. Heining, and J. Traub: "Camera augmented mobile C-arm (CAMC): Calibration, accuracy study, and clinical applications," *IEEE Trans. Medical Imaging*, pp. 1412 - 1423, 2010.

[Rosenthal 01] M. Rosenthal, A. State, J. Lee, G. Hirota, J. Ackerman, K. Keller, E. D. Pisano, M. Jiroutek, K. Muller, and H. Fuchs: "Augmented reality guidance for needle biopsies: A randomized, controlled trail in phantoms," Proc. MICCAI 2001, pp. 240 - 248, 2001.

[Rosenthal 02] M. Rosenthal, A. State, J. Lee, G. Hirota, J. Ackerman, K. Keller, E. D. Pisano, M. Jiroutek, K. Muller, and H. Fuchs: "Augmented reality guidance for needle biopsies: An initial randomized, controlled trial in phantoms," Proc. MICCAI 2001, pp. 313 - 320, 2002.

[Sandor 10] C. Sandor, A. Cunningham, A. Dey, and V.-V. Mattila: "An augmented reality x-ray system based on visual saliency," Proc. ISMAR 2010, pp. 27 - 36, 2010.

[Seo 08] B.-K. Seo, M.-H. Lee, H. Park, and J.-I. Park: "Projection-based diminished reality system," Proc. Int'l SUVR 2008, pp. 25 - 28, 2008.

[Shen 06] Y. Shen, F. Lu, X. Cao, and H. Foroosh: "Video completion for perspective camera under constrained motion," Proc. ICPR 2006, pp. 63 - 66, 2006.

[Siltanen 06] S. Siltanen: "Texture generation over the marker area," Proc. ISMAR 2006, pp. 253 - 254, 2006.

[State 01] A. State, J. Ackerman, G. Hirota, J. Lee, and H. Fuchs: "Dynamic virtual convergence for video see-through head-mounted displays: Maintaining maximum stereo overlap throughout a close-range work space," Proc. ISAR 2001, pp. 137 - 146, 2001.

[State 94] A. State, D. T. Chen, C. Tector, A. Brandt, H. Chen, R. Ohbuchi, M. Bajura, and H. Fuchs: "Case study: Observing a volume rendered fetus within a pregnant patient," Proc. VIS 94, pp. 364 - 368, 1994.

[State 96] A. State, M. A. Livingston, W. F. Garrett, G. Hirota, M. C. Whitton, E. D. Pisano, and H. Fuchs: "Technologies for augmented reality systems: Realizing ultrasound-guided needle biopsies," Proc. SIGGRAPH 1996, pp. 439 - 446, 1996.

[Takemura 02] M. Takemura and Y. Ohta: "Diminished head-mounted display for shared mixed reality," Proc. ISMAR 2002, pp. 149 - 156, 2002.

[Takemura 06] M. Takemura, I Kitahara, and Y. Ohta: "Photometric Inconsistency on a mixed-reality face," Proc. ISMAR 2006, pp. 129 - 138, 2006.

[Tsuda 05] T. Tsuda, H. Yamamoto, Y. Kameda, and Y. Ohta: "Visualization methods for outdoor see-through vision," Proc. ICAT 2005.

[Wang 94] J. Y. A. Wang and E. H. Adelson: "Representing moving images with layers," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 3, No. 5, pp. 625 - 638, 1994.

[White 04] W. W. White: "X-ray window: Portable visualization on the international space station," Proc. SIGGRAPH 2004, 2004.

[Yokoi 06] T. Yokoi and H. Fujiyoshi: "Generating a time shrunk lecture video by event detection," Proc. IEEE Multimedia 2006, pp. 641 - 644, 2006.

[Yoshida 08] T. Yoshida, K. Jo, K. Minamizawa, H. Nii, N. Kawakami, and S. Tachi: "Transparent cockpit: Visual assistance system for vehicle using retro-reflective projection technology," Proc. IEEE VR 2008, pp. 185 - 188, 2008.

[Zokai 03] S. Zokai, J. Esteve, Y. Genc, and N. Navab: "Multiview paraperspective projection model for diminished reality," Proc. ISMAR 2003, pp. 217 - 226, 2003.

[岩井 07] 岩井大輔，佐藤宏介：“Limpid Desk: 投影型複合現実感による机上書類の透過化”, 情処論, Vol. 48, No. 3, pp. 1294 - 1306, 2007.

[榎本 07] 榎本暁人，斎藤英雄：“複数のハンディカメラを利用した Diminished Reality”, MIRU 2007, pp. 1277 - 1282, 2007.

[榎本 08] 榎本暁人，斎藤英雄：“複数のハンディカメラの協調利用による遮蔽物体除去映像のオンライン生成”，映情学誌，Vol. 62, No. 6, pp. 901 - 908, 2008.

[川上 98] 川上直樹，稲見昌彦，柳田康幸，前田太郎，舘暲：“現実感融合の研究（第 2 報） −Reality Fusion における光学迷彩技術の提案と実装−”，第 13 回日本 VR 学会大会論文集，pp. 285 - 286, 1998.

[蔵本 01] 蔵本昌之，山下淳，金子透，三浦憲二郎：“画像中の視野妨害となる水滴の除去に関する検討”，映情学会技報，Vol. 25, No. 65, pp. 7 - 11, 2001.

[蔵本 02] 蔵本昌之，山下淳，金子透，三浦憲二郎：“画像中の視野妨害となる水滴の除去”, 映情学誌, Vol. 56, No. 5, pp. 853 - 857, 2002.

[武政 04] 武政泰輔，亀田能成，大田友一：“定点カメラ映像を用いた歩行者のための屋外型複合現実感システム”，信学技報，Vol. 103, No. 585, pp. 198 - 214, 2004.

[竹村 03] 竹村雅幸，大田友一：“協調型複合現実環境のための人物映像加工によるアイコンタクトの復元”，信学技報，PRMU, Vol. 10, No. 554, pp. 85 - 90, 2003.

[竹村 04a] 竹村雅幸，大田友一：“協調型複合現実空間のためのアイコンタクトの復元 ～視線認知実験による評価～”，信学技報，PRMU, Vol. 103, No. 584, pp. 19 - 24, 2002.

[竹村 04b] 竹村雅幸，大田友一：“協調型複合現実空間のためのアイコンタクトの復元 ～視線認知実験と顔映像の高精細化～”，情報科学技術レターズ，Vol. 3, pp. 243 - 246, 2004.

[竹村 08] 竹村雅幸，北原格，大田友一：“MR Face 映像における視覚的特性を考慮した光学的整合性の実現”，画像ラボ，Vol. 19, No. 2, pp. 48 - 53, 2008.

[津田 05] 津田崇博，山本治由，亀田能成，大田友一：“死角を透視表示する屋外型複合現実感システムにおける提示手法の比較検討”，信学技報，MVE, Vol. 105, No. 256, pp. 1 - 47, 2005.

[中島 11] 中島武眞，一刈良介，柴田史久，木村朝子，田村秀行：“隠消現実感における隠背景面復元の画質的整合性の実現”, 信学技報, MVE, Vol. 110, No. 382, pp. 359 - 364, 2011.

[橋本 06] 橋本直, タンジュークイ, 金亨燮, 石川聖二：“遮蔽空間の立体モデル化と MR によるその可視化法”，情処研報，Vol. 102, pp. 13 - 18, 2006.

[橋本 07] 橋本直, タンジュークイ, 金亨燮, 石川聖二：“複合現実感と三次元モデル化を用いた遮蔽空間の可視化”，バイオメディカル・ファジ・システム学会誌，Vol. 9, No. 1, pp. 1345 - 1537, 2007.

[橋本 10] 橋本昂宗，植松裕子，斎藤英雄：“多視点カメラ撮影による野球のシースルー映像生成”, 信学技報, PRMU, Vol. 109, pp. 85 - 90, 2010.

[原田 04] 原田知明，山下淳，金子透：“カメラの方向変化を利用した動的シーンからの視野妨害ノイズ除去”，情処研報，CVIM, Vol. 40, pp. 9 - 16, 2004.

[比嘉 08] 比嘉恭太，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“視覚・聴覚の現実と仮想を融合する 2×2 方式複合現実感システムの実現”, VR 学論, Vol. 13, No. 2, pp. 227 – 237, 2008.

[福地 08] 福地功，山下淳，金子透，三浦憲二郎：“時空間画像処理を用いた悪天候時の視野明瞭化”，映情学会技報，Vol. 32, No. 8, pp. 83 - 86, 2008.

[星野 00] 星野准一：“ビデオ映像の透過性表現”，画電学誌，Vol. 29, No. 5, pp. 537 - 544, 2000.

[山下 05] 山下淳，田中友，原田知明，金子透，三浦憲二郎：“バーチャルワイパー ～画像処理を用いた屋外環境での視野明瞭化～”，ロボティックシンポジア，Vol. 10, pp. 549 - 556, 2005.

[山下 07] 山下淳，蔵本昌之，金子透：“複数カメラを用いた画像中の視野妨害ノイズ除去”，電学論，Vol. 127, No. 4, pp. 480 - 488, 2007.

[吉田 09] 吉田亮彦，中野有紀子，中川正樹：“直接的な手書き入力による画面隠れを軽減させる半透明提示手法”，HI 学会研究報告集，Vol.11，No. 5，pp. 47 - 52，2009.

[吉野 08] 吉野将治，西浦敬信，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“視覚・聴覚を併用した複合現実感システムの開発 (4) −複合現実空間での音の反射・遮断の実現−”，第 13 回日本 VR 学会大会論文集，pp. 556 – 559, 2008.

（2010 年 12 月 13 日受付）

[著者紹介]

森 尚平（学生会員）



2011 年立命館大学情報理工学部メディア情報学科卒．4 月より，同大学院博士前期課程在学中．隠消現実感，複合現実感による三次元立体視可能な事前可視化システムの研究に従事．

一刈 良介（正会員）



2005 年立命館大学理工学部情報学科卒．2010 年同大学理工学研究科博士後期課程了．2007 年より 2010 年まで日本学術振興会特別研究員 (DC1)．2010 年 4 月より同大学総合理工学研究機構ポストドクトラルフェロー．博士（工学）．複合現実感，隠消現実感等の研究に従事．現在，University of Southern California, Institute for Creative Technologies, Graphics Lab. 客員研究員．IEEE，ACM SIGGRAPH，電子情報通信学会，映像情報メディア学会の会員．2009 年デジタルコンテンツシンポジウム船井賞受賞．

（下記３名の写真・経歴等は，本号の他論文を参照）

柴田 史久（正会員）

1999 年阪大・基礎工・博士後期課程了．現在，立命館大学情報理工学部准教授．博士（工学）．

木村 朝子（正会員）

1998 年阪大・基礎工・博士前期課程了．現在，立命館大学情報理工学部准教授．博士（工学）．

田村 秀行（正会員）

1970 年京大・工・電気卒．現在，立命館大学情報理工学部教授．工学博士．