

# 隠消現実感における 半隠消表示モデルに関する考察

## Examination of Half-DR Models in Diminished Reality

古志 亘 高橋 藍 柴田 史久 木村 朝子 田村 秀行

Wataru Koshi, Ai Takahashi, Fumihisa Shibata, Asako Kimura, and Hideyuki Tamura

立命館大学大学院 理工学研究科  
(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

Abstract: Diminished Reality (DR) is a technology which visually diminishes, eliminates, or sees through obstacles in the real world. This paper describes Half-DR for solving problems in DR. Accomplishment of DR offers trim scenes while a user might clash against the completely diminished obstacles. In order to solve this problem, obstacles are replaced with transparent ones in Half-DR. These efficient representations can also be used for remarkable visual effects in DR. Such considerable areas of DR have never been researched and studied. Thus, this paper proposes examination of Half-DR where obstacles aren't completely removed but left on purpose. This paper also discuss factors for considering an efficient way of Half-DR, based on a novel concept named Half-Matter.

Key Words: Diminished Reality, Mixed Reality, Half-DR

### 1. はじめに

Diminished Reality (DR) は、実在する物体を視覚的に消し去る技術であり、複合現実感 (Mixed Reality; MR) の実利用とともに、DR 技術への期待も高まっている。我々は、この技術分野に対して「隠消 (いんしょう) 現実感」という日本語を当て、従来研究を調査し、体系的な整理を行ってきた[1]。以後、本稿で使用する用語は[1]に従う。

視覚的な DR は、現実世界に実存する物体を見かけ上、消し去ることを目的としているが、物体を完全に消去するのではなく、ぼんやりとその存在が分かるような表現方法を採用することも考えられる。例えば、完全に物体を除去すると、体験者がそれに気付かず、衝突する危険性がある。このような場合、物体を半透明化して DR 体験者に存在を意識させることで、衝突を回避できる。また、物体を徐々に消して行く過程を表現できれば、MR や DR の効果的な演出方法としても有効である。

これまでに、手前の物体を半透明化することにより、背景を透けて見せる研究例は存在する[2][3]。これらが比較的に単純なアルファブレンディングを採用しているのに対して、[4]は状況に応じて  $\alpha$  値の与え方に工夫を凝らしており、[5]では、さらにワイヤフレームやグリッド等を導入することによる見せ方の改善がある。ただし、これらはいずれも隠背景の情報を見せることに主眼を置いた研究であり、DR によって消し去る物体の見せ方に関する研究ではない。

我々は、DR において、意図的に物体を消さずに少し残

す表現を「半隠消表示 (Half-DR)」と呼び、その一般的かつ有効な方法を研究することにした。この Half-DR 表現は、現存する MR システムや DR システムでの実装上の制約も考慮すべきであるが、もう少し広い視野に立ち、まず CG 表現として、どのような表現法が望ましいかを考える。本稿では、まず Half-DR において考慮すべき要因を分析することからはじめ、透明化した物質をいかに CG 技術でレンダリングして見せるか検討した結果を報告する。

### 2. 半隠消表示 (Half-DR) とその考え方

#### 2.1 Half-DR の利用場面

Half-DR の利用場面としてまず考えられるのは、前述の文献[2][3]のような壁面や建物に隠された背景を透過して見せる技術であり、See-through Vision[5]とも呼ばれている。向こう側が見えることに重きがおかれているので、壁は薄い膜のようなもので近似できるし、建物の場合であっても、ほぼ同様な表現方法で十分なことが多い。

一方、隠消した物体自体の存在を残す Half-DR 表現の用途としては、除去された物体への衝突回避が最たるものであり、体験者への注意喚起として有効である (図 1)。また、物体の存在を ON/OFF させて表示する場合にも、途中段階として Half-DR は有効である。

また、好ましいことではないが、DR 技術が未成熟で、物体を完全に消し去ったように見せられない場合、体験者は DR 画面 (隠背景投影画像) に違和感を覚える。この場合に、むしろ Half-DR 表現を採用することにより、この

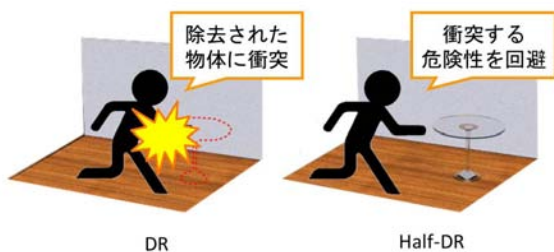


図1 物体に衝突する危険性を回避するための注意喚起

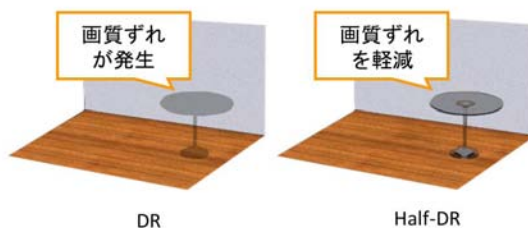


図2 隠背景投影画像の光学的不整合による違和感を軽減



図3 透明物体の物理性質に基づく表現例



図4 映画『インビジブル』における透明人間の表現例  
© 2010 Columbia Pictures

違和感を軽減できる。幾何学的不整合よりも、光学的不整合に対して威力を発揮すると考えられる (図2)。

## 2.2 物質の透明化とその表現法

上記のような一般的な Half-DR 表現を考えた場合、(Half) DR 対象である物体内部の物質が、何らかの原因で化学的変化を起こし、透明化した場合を考えるのが自然である。言わば、SF 映画での透明人間の登場である。

我々の予備的研究で、人々がイメージする透明人間の表現方法を調査した結果、その好みや期待する表現は多様であった。類型化し、両極端を上げるなら、その表現方法は次の2つに大別して考えることができる。

- (a) (半)透明物体の物理性質に基づく適確な表現
- (b) 透明でありながら人が存在を感じる表現

(a) は、物体内部が変化して透明化するなら、その過程も含め、部位によって、透明度の違いを正確に模倣し、内部構造を見せて欲しいという要求である。映画やゲームに高度な CG 技術が採用されていることから、物理法則に忠実な表現を求める声が多くなっている。

ある材質の物体の反射・屈折を忠実に表現した描画例を図3に示す。図のCG物体は、ガラスや水晶でできた物体のような見た目になっており、屈折等の物理現象が見られる。若干屈折率が高いためもあり、透明物体ではあるが、これでは物体を消した感じにはならず、Half-DR 表現としては好ましくないという意見が多かった。即ち、物理法則に従うとしても、その材質を適切に選定しなければ、Half-DR 表現にはならないことを意味している。

一方、物理的にはあり得なくても、見た人が Half-DR らしいと認識すれば、その表現は Half-DR であると言える。映画等の映像作品では、制作者のイメージする独自の透明人間がよく見られる。映画『インビジブル』におけるCG表現はその典型例であり、その画面例を図4に示す。この映画に登場する透明人間は、通常目視できず、表面に

水や蒸気などの物質があって初めて、その姿を視認することができるという想定になっている。

この他、絵画やCG映像作品での事例を調べたところ、輪郭を強調したり、意図的に透明物体に色の変化をつけたり、透けて見える背景を歪ませることによって透明感を演出している例が見られた。こうした人のイメージする透明人間(物体)の表現方法は、ある意味で「透明」というメンタルモデルに適したものであると言えるが、場当たりのであり、一般的な法則が導きにくいという欠点がある。

以上、両極端の例を示したが、これから Half-DR 表現モデルとして開発して行くのは、上記(a)(b)両方のファクターを共存させたものであるべきだと考える。

## 2.3 DR 体験システムとして考慮すべきこと

Half-DR は、体験型の DR システムで利用する表現法であるので、現実の体験環境では、以下のような要因を考慮する必要があると考えられる。

【除去対象が本来もつ情報】Half-DR は除去対象を半透明物体に置き換えるものであるため、そもそも半透明化する前の物体が本来もつ情報(色等)が、結果に影響を及ぼすものと考えられる。

【背景の複雑さとその時間的変化】背景の複雑さによって、同じ半透明表現でも、印象が違って見えることがある。また、背景が時間的に変化するかどうかで見え方も変わる。

【体験者視点または除去対象の動き】Half-DR の残し方によっては、静止画だとほとんど判別できない場合も起こり得る。体験者視点または除去対象を動かすことで、半透明化による変化を知覚しやすくなると考えられる。

【現実世界の照明環境】半透明物体は、現実世界に存在するものとして扱われるため、実照明環境を無視できない。

【実時間性】DR システムでの利用を前提とすると、実時間対話型での利用が必然である。そのため、実際の描画法は十分計算コストを考えたものでなければならない。

### 3. 半隠消表示モデルとその描画法

#### 3.1 Half-Diminished Matter (半隠消物質) によるモデル化

以上の考察を踏まえて、Half-DR 表現のために、物体内部には透明化した架空の物質が存在していると考え、これを「半隠消物質」(Half-Diminished Matter; Half-Matter と略す)と名付け、この物質に基づく「半隠消表示モデル」を考える。Half-Matter は、実在する物質のように、密度や屈折率などの物理的なパラメータを有し、物体内部に分布しているものとする。ただし、この物質は、地球上に実在するものである必要はなく、DR 空間内で CG 表現する以上、そのパラメータの値を指定できさえすればよい。

Half-Matter は、以下の光学的性質を持ち、これらの兼ね合いで半透明化が生じる。なお、異なる光学的性質を持つ Half-Matter が、同じ物体内で混在したり、連続的に変化している場合もあり得る。

【反射】光が半透明物体の表面で反射することによって、ハイライトや映り込みといった物理現象が生じる。

【屈折】半透明物体越しに見える背景は、歪んで見える。

【散乱】反射と屈折が複数回繰り返されて起こる現象をマクロ的に見て、これを散乱とする。

【減衰】半透明物体を透過する光は少なからず吸収される。半透明物体の色も、特定波長の光が減衰するからと考える。

半透明ではなく、物体が視覚的に完全に消えてしまった場合でも、水や煙のような物質が、物体の表面に纏わり付くことによって、物体の形状を視認できると考えられる。このように、半隠消表示モデルでは、Half-Matter だけではなく、その表面上に重なる物質も考える。なお、これを「表面物質」と呼ぶ。

#### 3.2 半隠消表示の描画法

2.3 節では、Half-DR は DR システムで利用する以上、実時間描画は必須条件であるとしたが、コンピュータの計算性能は年々向上しているため、現時点での制約に縛られることなく、表示モデルとしては表現力のある一般的なものを考え、しかる後にその近似解としての現実的な描画方法を考える。

##### (1) ボリューム描画法

半隠消表示モデルを立てるに当たって、Half-Matter のような半透明の物質が、物体の中身に詰まっている表示モデルが、考え方としては自然と言える。Half-Matter が幾層にも重なっており、隠背景を透視できるようなものである。物体の中身が固体である必要はなく、液体や気体が詰まっていると見なしてもよい。このモデルには密度があり、結局はボリュームレンダリングによる描画が必要となる。ここから、本方法を「ボリューム描画法」と名付けた。なお、物体には Half-Matter がぎっしり詰まっていることもあれば、全体的に薄く分布している場合もあり得る。

ボリューム描画法と Half-Matter の関係を表 1 に示す。まず、この描画法では物体の表面に反射が生じる。また、物体の中身に詰まった、密度のあるモデルとするため、光学的性質として、屈折・散乱・減衰も考慮に入れる。なお、

表 1 半隠消表示モデルと Half-Matter の関係

半隠消表示モデル	密度	表面物質	光学的性質
ボリューム描画法	あり	なし	反射
			屈折
			散乱
			減衰
サーフェス描画法	なし	任意	反射

表に示す性質は、必ずしもすべて考慮する必要はない。

この描画法を実現するためには、ボリュームレンダリングやレイトレーシングを行うことが望ましい。しかし、いざれにしても計算時間を要することから、現時点では、実時間処理を達成することは困難である。なお、さらに計算コストが増大することを避けるため、当面、表面物質は考えないものとする。

ボリューム描画法の表現例を図 5 に示す。この表現例は、3DCG ソフト Shade12 によって作成した。無限遠光源を一つ置き、パストレーシングによってレンダリングを行った。この例では、Half-Matter に水の屈折率 1.33 を与え、物体の中に水が詰まっているものとし、反射も考慮した。

##### (2) サーフェス描画法

ボリューム描画法の難点は、実時間性の達成が困難なことであった。また、このままでは単一の半隠消表示モデルになるため、前述した要因に対処し切れない懸念がある。そこで、簡略化した方法として「サーフェス描画法」を考案する。

これは、Half-Matter が物体の表面だけに残る描画法であることから、このように名付けた。表面はあるが、厚みはないものとする。Half-Matter の密度がなく、厚みのない膜を光が透過すると考えるため、屈折・散乱・減衰が生じないようにパラメータを設定する。しかしながら、表面は残っているため、反射による物理現象は生じる。物体の表面が残っていれば、表面物質とも作用するが、それを考慮するかどうかは任意とする。光学的性質が簡易化されたモデルであるため、計算コストの面で優れる。

この方法の特質を表 1 に記し、サーフェス描画法の表現例を図 6 に示した。この表現例も、図 5 と同様の環境で作成した。この描画法における Half-Matter には、反射のみが考慮されるため、半透明物体に生じる物理現象は映り込みやハイライトに限られる。

### 4. 表現例の考察

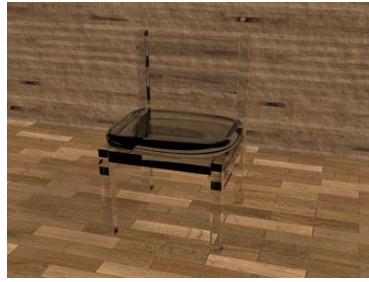
#### 4.1 ボリューム描画法における表現の検討

図 5 の表現例は、中身の詰まった半透明の物体が、そこにあるかのように見える。イスの脚を見ると、半透明の物体がありながらも目立っておらず、Half-DR の意図する表現に近いことがわかる。なお、この例で設定した、水の屈折率 1.33 は、光が屈折せず透過する場合と比較すると、高い値と言え。しかしながら、図のイスのように、曲面の少ない物体であれば、屈折による不自然さは軽減される。このように、除去対象が本来持つ情報(形状)によって、パラメータの良し悪しも変わるため、留意すべきである。





図5 ボリューム描画法の表現例



(a) 図5の背景を変更



(b) 減衰を考慮した失敗例

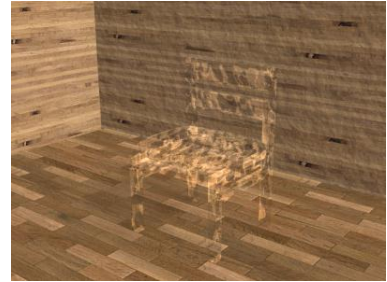
図7 ボリューム描画法における表現例の検討



図6 サーフェス描画法の表現例



(a) 図6の照明環境と視点を変更



(b) 表面物質を考慮

図8 サーフェス描画法における表現例の検討

さらに、ボリューム描画法の表現を検討するため、異なる表現例を図7に示す。まず、図7(a)は、背景を変更することで、同じ表現がどのように違って見えるかを確認するために、作成したものである。壁にあたるテクスチャを変更した。この表現例は、図5と比較して、イスの背当て部分が、より透過し、消えて見える。この例では、背景の複雑さが、Half-DRの見え方に影響を及ぼしている。

続いて、図5の表現例に加えて、減衰を考慮した表現例を図7(b)に示す。減衰距離は6000.00mmとし、この距離を進むと光が完全に減衰される。この例は、図5よりも濁ったような表現になっていることがわかる。このように、減衰を考慮する場合、半透明感が失われることがあるため、注意しなければならない。

#### 4.2 サーフェス描画法における表現の検討

図6の表現例は、反射の性質だけを考慮しているものの、Half-DRが求める表現を実現できている。ボリューム描画法は実時間性に問題があるため、表現が意図に反しないのであれば、サーフェス描画法の使用が現実的である。

ライティングによって反射の見え方は変わる。これによる見え方の変化を確認するため、図6と同じ表現を、照明環境を変え、異なる視点から眺めたものを図8(a)に示す。無限遠光源の代わりに、一つの点光源を物体の上に配置した。光量や見る角度が変わることで、映り込みにも変化が生じている。この例は、表現が照明環境の変化と体験者視点の動きによる影響を受けることを示している。

最後に、Half-Matterの設定項目の一つである、表面物質を考慮した表現例を図8(b)に示す。物体の表面が水で覆われたと仮定し、むらのある見せ方をするために、法線マップを用いた。より演出効果を強調するのであれば、このような表面物質を考慮することが考えられる。

以上の検討結果から、Half-DRにおいて考慮すべき要因等によって、Half-DRの見え方は大きく変わることがわかった。したがって、Half-DRには理想的な単一の表現は存在せず、状況に合わせて、適切な描画法と表現を自ら選択することが求められる。

## 5. むすび

本研究では、実存する物体を視覚的に消し去る隠消現実感(DR)において、意図的に物体を消さずに少し残す表現であるHalf-DRを定義し、その表現方法について考察した。Half-DRは、CG技術における単なる透明物体の描画方法では満足な結果が得られず、DRにおける特有の表現方法を工夫して行く必要がある。このため、一旦実時間描画の制約を外して、一般的な「半隠消表示モデル」から考えた。今後は具体的にDRシステムに実装できるアルゴリズムを考案し、検討および評価実験等を行う。

謝辞 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」による。

### 参考文献

- [1] 森尚平 他: 隠消現実感の技術的枠組みと諸問題～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～, 日本VR学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 239 - 250 (2011.6)
- [2] P. Barnum *et al.*: Dynamic seethroughs: synthesizing hidden views of moving objects, Proc. ISMAR 2009, pp. 111 - 114 (2009.10)
- [3] 武政泰輔 他: 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, 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 103, No. 585, pp. 1 - 6 (2004.1)
- [4] V. Buchmann *et al.*: Interaction with partially transparent hands and objects, Proc. 6th Australasian User Interface Conf. (AUIIC 2005), Vol. 40, pp. 17 - 20, (2005)
- [5] T. Tsuda *et al.*: Visualization methods for outdoor see-through vision, IEICE Trans. Inf. & Sys., Vol. E89 - D, No. 6 (2006.6)