

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

津田 崇博[†] 山本 治由[†] 亀田 能成[†] 大田 友一[†]

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]{tsuda,haruyosh,kameda,ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

あらまし 壁や建物等に隠れて直接見ることができないものを透視することは、複合現実感を利用した有用なアプリケーションの一つである。このようなアプリケーションにおいて、透視した情報をユーザに直観的に理解させることは重要な課題である。本研究では、屋外という広い空間を対象とした、PDA 等の手持ち型デバイスを利用したシステムにおいて、ユーザにとって直観的に理解しやすい透視表示について検討する。また、どのような死角領域の提示手法がユーザにとって直感的に理解しやすいのかを主観評価実験によって検証した。

キーワード 複合現実感, 拡張現実感, 透視, 屋外, 主観評価

Evaluation of Visualization Methods for Outdoor See-Through Vision

Takahiro TSUDA[†], Haruyoshi YAMAMOTO[†], Yoshinari KAMEDA[†], and Yuichi OHTA[†]

[†] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba Tenoudai 1-1-1,
Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†]{tsuda,haruyosh,kameda,ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract Visualizing occluded objects is one of the useful applications of Mixed Reality(MR). We call it see-through vision. It is important for see-through vision to display occluded objects in a manner that a user can intuitively recognize them. As we apply new handheld MR device for outdoor see-through vision, we introduced appropriate methods for displaying occluded objects and discussed their suitability. We conducted subjective experiments and showed the best combination of the methods.

Key words Mixed Reality, Augmented Reality, See-Through Vision, Outdoor, Subjective Evaluation

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality:MR) とは、我々が存在する現実世界と、コンピュータで生成した仮想世界とを融合して視覚的に提示する技術の総称である。複合現実感では、現実世界のみでは得ることのできない情報をコンピュータグラフィックス (Computer Graphics:CG) で提示することにより、現実世界を視覚的に増強することが可能である。壁や建物等に隠れて直接見ることができないものを透視することは、複合現実感を利用した有用なアプリケーションの一つである。

不可視領域を透視するアプリケーションにおいて、透視した情報をユーザに直観的に理解させることは重要な課題である。もし、ユーザにとって分かりづらい提示手法であれば、視覚支援どころか視覚的に混乱させる情報になりかねない。また、屋外での利用ということから、我々は、図 1 に示すような PDA 等の手持ち型デバイスを利用するものが主流になると考えてい



図 1 手持ち型デバイス

Fig. 1 Handheld MR device.

る。この形態は HMD 等と違い、ユーザの視界が制限されず、肉眼で周囲の状況をすぐに確認できるという特徴がある。

本研究では、屋外において、死角領域に動物体が存在する状況を想定する。手持ち型デバイスを利用する複合現実感システ



(a) 現実世界

(b) 基本手法

(c) 死角領域の重畳

視認性	×	△	○
位置関係	○	△	×

図 2 死角領域の提示の比較

Fig. 2 Comparison of visualization.

ムにおいて、死角領域の透視表示手法をいくつか挙げ、どのような表示法がユーザにとって直感的に理解しやすいか検討する。また、主観評価実験によりどれが最も死角の透視表示に適した手法であるか検証する。

2. 関連研究

複合現実感を利用することで、隠れて直接見ることができないものを透視する方法については、多くの研究がなされている。

レーザープリンタのメンテナンスのアプリケーションにおいて、ルールに基づいた表示を行うことで、隠れた部品を提示する KARMA [4] や、ワイヤーフレームを重ねることによって、建物の構造を提示するシステム [5]、国際空間ステーションにおいて、壁やステーションモジュールの透視を目的としたもの [6]、X 線画像により、物体の内部を見ることができるシステムもある [7]。

また、医療用においても、透視による可視化技術は有効である。妊婦のお腹の中の胎児を見ることができるシステム [8] をはじめ、手術等のサポートを行うものとして、超音波によって得られる画像を利用し、生検針を行う腫瘍を見ることができるシステム [9] や、X 線画像を利用し、等股関節置換術を行う際に内部を見ることができるシステム [10] が報告されている。

屋外を対象としたシステムとしては、建物等で隠れた物体の位置を提示することのできる軍事用のシステム BARS [11] や、屋外歩行者が手軽に建物等の死角を確認できる、カメラ付 PDA を利用した情報提示システム [1] 等が報告されている。

直接見ることができない領域の透視は仮想環境においても有用で、壁を半透明表示し、その向こう側の環境を透視できる機能が、仮想環境においてナビゲーションの役に立つことが示されている [17]。

このように、隠れて直接見ることができない物体の透視は、多くのアプリケーションで利用されている。しかし、一方では、人間が慣れていない視覚形態のため、ユーザにとって直感的に分かりやすい提示を行うことが難しく、その提示手法には注意を払う必要がある。これは、複合現実感により本来見ることのできない情報を提示することで、奥行き手がかりが失われる等の、人間の知覚に関連する問題 [13] が発生するためと考えられる。

複合現実感において隠れている物体の提示手法に焦点をあてた研究として、知覚心理学、認知科学に基づく奥行き手がかりに関するガイドラインの作成と、それを利用した提示手法 [14] や、複数の遮蔽物により隠れている物体の奥行き位置を、正確に知覚しやすくする提示手法 [15]、また、建物を透視し、内部の構造を可視化するアプリケーションにおいて、4 つのインタラクティブなツールの使用により、ユーザに提示情報を選択させることで適切な情報提示を行う手法 [16] 等が存在する。また、CG の描画方法による人間の奥行きに関する知覚を調べたものとして、半透明な面を利用した場合の奥行き知覚 [17] や、光の効果を利用した場合の奥行き知覚 [18] の研究がある。

これらの先行研究は、HMD を装着していることを前提として透視表示手法を提案しているが、手持ち型透視表示においては目の状況を肉眼で確認できることから、改めてどのような提示手法がよいかを調べる必要がある。

3. 死角領域の透視表示

直観的に理解しやすい死角領域の透視表示の実現にあたっては、ユーザに対してどこに何があるのかの情報を伝えることが重要である。本研究では、直観的に理解しやすい死角領域の透視表示の実現のためには、以下の 2 つの項目の実現が重要と考える。

A. 死角領域の視認性の確保

B. ユーザに対する遮蔽物と死角領域の位置関係の認知

この 2 項目は相反する要素を含むが、両立させる必要がある。このことに関して議論し、手持ち型を前提とした場合に、この 2 項目にどのような影響がでるかを検証する。

3.1 死角領域の視認性

死角を透視表示するアプリケーションでは、死角領域に存在する隠れている物体を見ることが目的であるため、その視認性を確保することは重要である。死角領域の視認性の確保だけを実現する場合、図 2 右のように、遮蔽物との位置関係を一切考慮せず死角領域を表示すればよいことになる。しかし、このような表示では、物体の遮蔽関係が逆になり、ユーザに対する遮蔽物と死角領域の位置関係が分からなくなるという問題が起こる。

3.2 物体の位置関係の認知

物体の奥行きに関する位置の判断において、遮蔽関係による

物体の隠れ(オクルージョン)は、その手がかりとなる重要な要素である[19]。しかし、死角領域を透視表示する場合、本来見ることができない領域を表示することで、前節で述べた図2右のように、表示される映像においてオクルージョンに矛盾が生じ、結果としてユーザに対する遮蔽物と死角領域の位置関係が曖昧になってしまう。この問題を考慮した手法として、図2中央のように、死角領域を半透明にして重畳するという手法[1]が考えられるが、遮蔽物と死角領域の両方が見えるという矛盾が生じるため、位置関係は曖昧になってしまう。また同時に、遮蔽物と死角領域の映像が混ざることによって、死角領域の視認性が低下するという問題もある。しかしこの手法は、図2の表に示すように、死角領域の視認性と物体の位置関係の認知をある程度は両立させており、この手法を本論文では基本手法と呼ぶ。

これらのことから、位置関係の曖昧さを解消するためには、死角領域の視認性を下げることなく、オクルージョンがある場合と同じように、ユーザに対する遮蔽物と死角領域の位置関係が分かりやすい提示手法を実現する必要がある。

3.3 手持ち型デバイスの特徴

本研究で想定する手持ち型デバイスを用いたシステムでは、HMDを用いたシステムと違い視界を制限されないため、ディスプレイに表示される提示情報とは別に、現実世界を直接目視可能という特徴がある。したがって、現実世界で直接目視可能な遮蔽物等の前景物体を、ディスプレイ上で提示情報として重要視する必要は無いと仮定できる。これを利用すれば、現実世界で直接目視可能な物体に関しては、ディスプレイ上での視認性を無視できるということになるので、死角領域の視認性の問題を解決できると考えられる。

4. 透視表示手法の検討

前節で述べた問題を要因ごとに解決するための手法を以下で挙げ、その特徴について議論する。本システムでは、ユーザがデバイスを向けた方向の映像が図3に示すような入力画像として得られる。これに基本手法を適用したもの(図4)に、下記の手法を組み合わせることで、ユーザにとって直観的に分かりやすい死角領域の透視表示を目指す。

4.1 死角領域の視認性の向上

死角領域の視認性を向上させるための手法として以下の手法を検証する。

遮蔽物領域の非表示: 図5のように遮蔽物を全く表示しない。これにより、死角領域の映像に遮蔽物の映像が混ざること無くし、死角領域の視認性を高める。この手法を用いた場合、手持ち型デバイスのディスプレイ上において、遮蔽物がどのような物体なのかが分からなくなるという問題と、ユーザと遮蔽物の間にある物体が見えなくなるという問題が発生する。しかし前述のように、手持ち型デバイスを利用したシステムでは、これらは現実世界において直接目視可能なため、大きな問題ではないと考えられる。

4.2 位置関係の曖昧さの改善

ユーザから見た遮蔽物と死角領域の位置関係が曖昧である問

題を解決するための手法として以下の3つを検証する。

地面グリッド表示: 図6のように地面にグリッドを表示することで、これを画像上で現実世界の距離感を得る指標とし、ユーザ・遮蔽物・死角領域の位置関係を明確にする。

遮蔽物モデルの重畳: 遮蔽物のモデルを重畳することにより、遮蔽物の3次元形状を明確にする。これにより遮蔽物が存在する領域を明確にし、死角領域との位置関係を分かりやすくする。本研究では、重畳するモデルを2パターン提案する。

“ワイヤーフレーム” ワイヤーフレームによる遮蔽物のモデルは、死角領域の視認性を損なわないという利点がある(図7)。

“ワイヤーフレーム+面” ワイヤーフレームに加えて、色のついた半透明な面を使用した遮蔽物のモデルを重畳する(図8)。半透明な面を通して死角領域を見ることで、死角領域の視認性が低くなる可能性があるが、これにより、遮蔽物が存在する領域をより分かりやすく表示できると考えられる。一方で、ユーザに遮蔽物を透視している感覚を与えられるので、遮蔽物が死角領域より手前にあるということを強調することができる。このようなCGの描画手法が、人間の奥行き知覚において効果があることは示されている[17]。

トップダウンビュー表示: 図9のようにトップダウンビューを表示する。これにより、ユーザとは別の視点でユーザ・遮蔽物・死角領域の位置関係を示す。また、ユーザの視野範囲を示すことによって、ユーザがどこを見ているのかを分かりやすくする。

5. 実験

前節で提案した、死角領域の透視表示を改善する手法の効果を検証するため、それぞれの手法を単独で適用した場合の評価と、それを組み合わせて適用した場合の評価を行った。

5.1 実験環境

図10に実験の環境として利用した筑波大学の構内における、手持ち型デバイスを所持したユーザと、遮蔽物、死角領域の位置関係を示す。図10上段左に示すユーザが使用した手持ち型デバイスは Sony VAIO type U VGN-U70P であり、ビデオキャプチャは、デバイスの背面に取り付けられた Point Grey 社の Dragonfly によって行われた。ディスプレイに表示される画像のサイズは 640×480pixel で、その映像は、図10上段中央に示すようにユーザ視点のものである。死角領域のテクスチャにはあらかじめ撮影された映像を使用し、実験状況としては、死角領域内を人が歩いている状況を用意した。また、この装置は手で持って自由に向きを変えられる。その位置合わせには ARToolKit [20] を用いた。実験中の位置ずれは 10pixel 程度であった。

以下のそれぞれの実験を 10 名の被験者に対して行った。被験者は 20 代男性で、このシステムの概要は知っているが、利用したことは無く、実験前に 5 分ほど使用方法の説明を受けた。

5.2 各提案手法の評価

提案した透視表示手法を単独で適用した場合に、期待した効果があるのかを調べるための主観評価実験を行った。



図3 入力画像
Fig.3 Input image.



図4 基本手法
Fig.4 Basic method.



図5 遮蔽物領域の非表示
Fig.5 Elimination of occluding object.



図6 地面グリッド表示
Fig.6 Gound grid.



図7 遮蔽物モデルの重畳 (ワイヤーフレーム)
Fig.7 Wireframe of occluding object.



図8 遮蔽物モデルの重畳 (ワイヤーフレーム+面)
Fig.8 Wireframe+surface of occluding object.



図9 トップダウンビュー表示
Fig.9 Top-down view.

実験方法

全ての提案手法を単独で適用した場合に対して以下の2つの質問を行い、それぞれの質問に関して基本手法と比較する評価を行わせた。

(1) 死角領域に何があるのかを確認しやすいか

(2) ユーザから見た死角領域と遮蔽物の位置関係が分かりやすいか

基本手法と比べ差が無い場合を0とし、提案手法を適用したほうが非常に良い場合(+3)から、適用しないほうが非常に良い場合(-3)までの7段階(7件法)で評価させた。また、危険

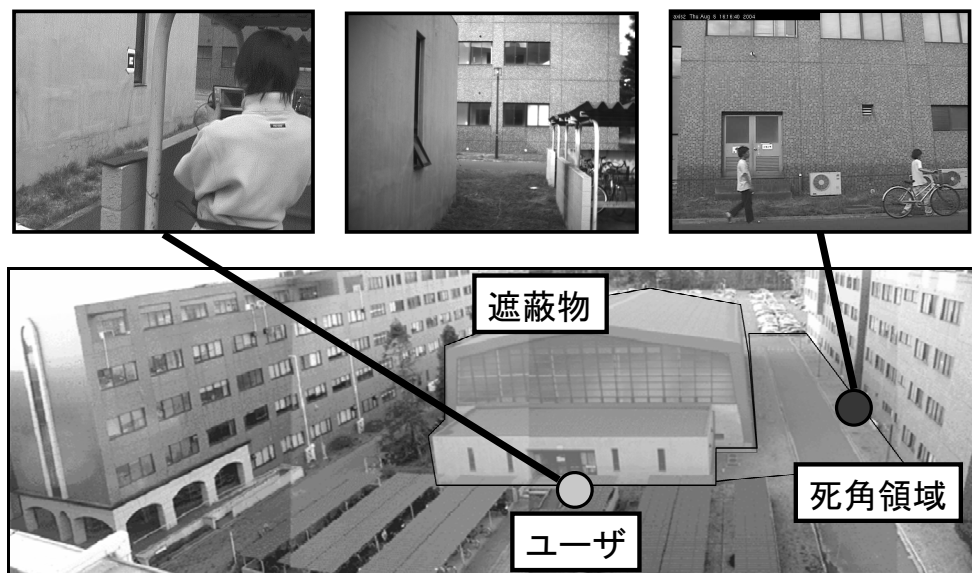


図 10 実験環境

Fig. 10 Experiment field.

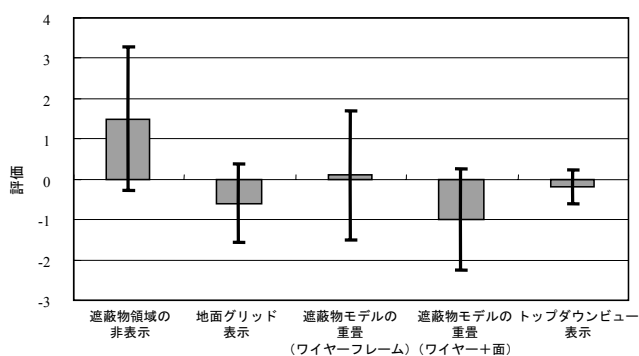


図 11 死角領域の視認性に関する評価

Fig. 11 Evaluation of visibility of occluded area.

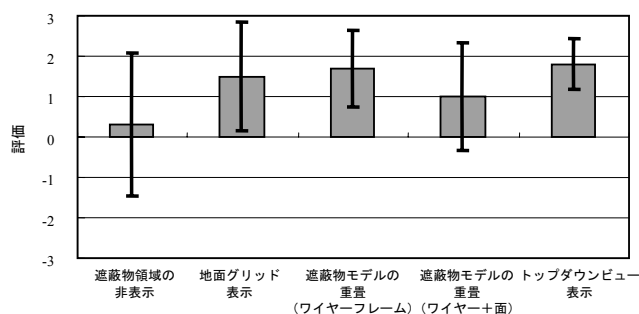


図 12 位置関係の分かりやすさに関する評価

Fig. 12 Evaluation of spatial relationship.

率 5%において t 検定を行い、有意な差があるかを調べた。同時に自由記述による聞き取り調査も行った。

実験結果と考察

提案手法を単独で適用した場合の実験結果を図 11, 12 のグラフに示す。これらのグラフにおいて、棒グラフは評価の平均値、縦のバーは標準偏差を表している。これらの結果に t 検定を行ったところ、死角領域の視認性に関しては、遮蔽物領域の非表示手法が基本手法に対して有意な差をもって良いと感じられ、ワイヤーフレーム+面による遮蔽物モデルの重畳手法が、有意な差をもって良くないと感じられているという結果が得られた。位置関係の分かりやすさに関しては、遮蔽物領域の非表示手法以外の全ての手法が、基本手法に対して有意な差をもって良いと感じられているという結果が得られた。これらのことから、各手法に関して期待した効果が得られていることが分かる。

死角領域の視認性に関しては、遮蔽物領域の非表示手法が高い評価を得た。しかし、現実世界との対応がとりづらいため、行わないほうがよいのではないかと意見もあり、これが高い標準偏差の原因と考えられる。また、ワイヤーフレーム+面による遮蔽物モデルの重畳手法は、評価が低い傾向があった。この手法では、死角領域の映像が半透明な面によって覆われる

ため、これにより視認性の低下を感じるのが原因と考えられる。

位置関係の分かりやすさに関して、最も評価が高かったのはトップダウンビュー表示手法であった。地図により遮蔽物と死角領域の位置関係そのものが表示されるので、評価が高いと考えられる。また、ワイヤーフレームによる遮蔽物モデルの重畳手法も、トップダウンビューと同程度の高い評価を得ている。

遮蔽物モデルによる重畳手法においては、「ワイヤーフレーム」のみのほうが、「ワイヤーフレーム+面」のモデルよりも評価が高い傾向があった。これは、「ワイヤーフレーム」のみの場合のほうが、遮蔽物の形状が分かりやすいためと考えられる。実際に、ワイヤーフレームのみで十分であり、面を表示する必要性は感じられないという意見もあった。

地面グリッド表示手法も高い評価を得た。しかし、地面が表示されているのに、さらにグリッド表示をする必要性が感じられないという意見があった。このことが標準偏差を大きくしている原因と考えられる。

5.3 提案手法を組合わせた場合の評価

提案手法を組合わけて適用した場合、ユーザが良いと感じる死角領域の透視表示がどの組み合わせかを調べるため、主観評価実験を行った。

実験方法

実験には、付加的な表示機能であるトップダウンビュー表示手法を除いた提案手法の全組み合わせ 12 パターンを用意した。その組み合わせパターンを図 13 左側の表に示す。パターンの列に示されているアルファベットは、便宜上つけたそれぞれの組み合わせパターンの名前である。その他の列は、それぞれ、どの提案手法が適用されたのかを示している。死角領域の視認性と位置関係の分かりやすさの両方を考慮し、総合的に良いと感じる順に 12 パターンの情報提示に順位付けさせることで、順位法による評価を行った。危険率 5%においてクレマーの検定 [21] を行うことで、他の情報提示と比べて有意な差がある情報提示が存在するかを調べた。

実験結果と考察

実験結果を図 13 右側のグラフに示す。グラフは、図 13 の左側に示される各パターンに対応しており、被験者が判断した順位の総和を示している。このため、値が小さい程ユーザが良いと感じる傾向のある透視表示だといえる。この結果にクレマーの検定を用いたところ、パターン J の透視表示が有意に良いと感じられ、パターン A(基本手法)の透視表示が有意に良くないと感じられているという結果が得られた。このことから、提案手法を何も適用していないパターン A(基本手法)よりも、何らかの提案手法を単独、又は組み合わせて適用したパターンのほうが良いといえる。また、提案手法を 3 種類適用したものがパターン J であることから、提案手法を組み合わせることによって、より直観的に分かりやすい死角領域の透視表示が可能であることが検証された。

実験結果から、すべての提案手法において、他の手法と組み合わせて適用した場合に、それぞれの手法を単独で適用した場合 (B, C, E, G) よりも高い評価を得ている。また、複数の手法を組み合わせた場合のほうが、より評価が高い傾向がある。このことは、3 つの手法を全て適用したパターン J, L が、他のパターンと比べて評価が高い傾向にあることからいえる。これらのことから、提案手法を組み合わせることは、死角領域の透視表示において有効だと考えられる。

また、2 つの手法の組合せとして、D と J の評価が他の組み合わせパターンと比べて高いことから、ワイヤーフレームによる遮蔽物モデルの重畳手法と、遮蔽物領域の非表示手法の組み合わせが、他と比べて、特に効果的な組合せだといえる。

6. おわりに

本研究では、死角を透視表示する手持ち型デバイスを利用した外型複合現実感システムにおいて、ユーザにとって直観的に分かりやすい死角領域の透視表示を実現するための手法を提案した。主観評価実験を行い、これらの提案手法がそれぞれ期待した効果を持っていることが検証された。また、地面グリッド表示手法、ワイヤーフレームによる遮蔽物モデルの重畳手法、遮蔽物領域の非表示手法を組み合わせることで、より直観的に分かりやすい透視表示が可能なが検証された。

この組合せに対して、単独での適用で効果が確認できてい

る。トップダウンビュー表示手法をさらに加えることにより、ユーザにとって直観的に分かりやすい死角領域の透視表示が期待できる。

今後の課題としては、今回の提案手法の様々な状況での利用に関する実験、複数の物体を透視する場合の透視表示手法の検討などが考えられる。

文 献

- [1] Y. Kameda, T. Takemasa and Y. Ohta: "Outdoor See-Through Vision Utilizing Surveillance Cameras", *ISMAR2004*, pp.151-160(2004).
- [2] D. Wagner, T. Pintaric, F. Ledermann and D. Schmalstieg: "Towards Massively Multi-User Augmented Reality on Handheld Device", *Third International Conference on Pervasive Computing*, pp.208-219(2005).
- [3] W. Pasman and C. Woodward: "Implementation of an Augmented Reality System on a PDA", *ISMAR2003*, pp.276-277(2003).
- [4] S. Feiner, B. MacIntyre and D. Seligmann: "Knowledge-based Augmented Reality", *Communications of the ACM*, vol.36, No.7, pp.52-62(July.1993).
- [5] A. Webster, S. Feiner, B. MacIntyre, W. Massie and T. Krueger: "Augmented Reality in Architectural Construction, Inspection, and Renovation", *Proceedings of ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering*, pp.913-919(1996).
- [6] W. W. White: "X-Ray Window: Portable Visualization on the International Space Station", *SIGGRAPH'04 Sketches*, (2004).
- [7] N. Navab, A. Bani-Hashemi and M. Mitschke: "Merging Visible and Invisible: Two Camera-Augmented Mobile C-Arm (CAMC) Applications", *IWAR1999*, pp.134-141(1999).
- [8] 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", *Proceedings of IEEE Visualization '94*, pp.364-368(1994).
- [9] A. State, M. A. Livingston, W. F. Garrett, G. Hirota, M. C. Whitton, E. D. Pisano, MD and H. Fuchs: "Technologies for Augmented Reality Systems: Realizing Ultrasound-Guided Needle Biopsies", *SIGGRAPH'96 Conference Proceedings*, pp.439-446(1996).
- [10] Yeo SJ, Yung SW, Kwok CK, Seah E, Wong S, Ng WS and Teo MY: "Augmented Reality with X-ray Localisation for Total Hip Replacement", *SGH Proceedings*, vol.9, No.4, pp.250-259(2001).
- [11] M. A. Livingston, L. J. Rosenblum, S. J. Julier, D. Brown, Y. Baillot, J. E. Swan II, J. L. Gabbard and D. Hix: "An augmented reality system for military operations in urban terrain", *I/ITSEC2002*, pp.89(2002).
- [12] L. Chittaro and I. Scagnetto: "Is semitransparency useful for navigating virtual environments?", *VRST2001*, pp.159-166(2001).
- [13] D. Drascic and P. Milgram: "Perceptual Issues in Augmented Reality", *SPIE vol.2653 Stereoscopic Displays and Virtual Reality System III*, pp.123-134(1996).
- [14] C. Furmanski, R. Azuma and M. Daily: "Augmented-reality visualizations guided by cognition: Perceptual heuristics for combining visible and obscured information", *ISMAR2002*, pp.215-224(2002).
- [15] M. A. Livingston, J. E. Swan, J. L. Gabbard, T. H. Höllerer, D. Hix, S. J. Julier, Y. Baillot and D. Brown: "Resolving Multiple Occluded Layers in Augmented Reality", *ISMAR2003*, pp.56-65(2003).
- [16] R. Bane and T. Höllerer: "Interactive Tools for Virtual X-Ray Vision in Mobile Augmented Reality", *ISMAR2004*,

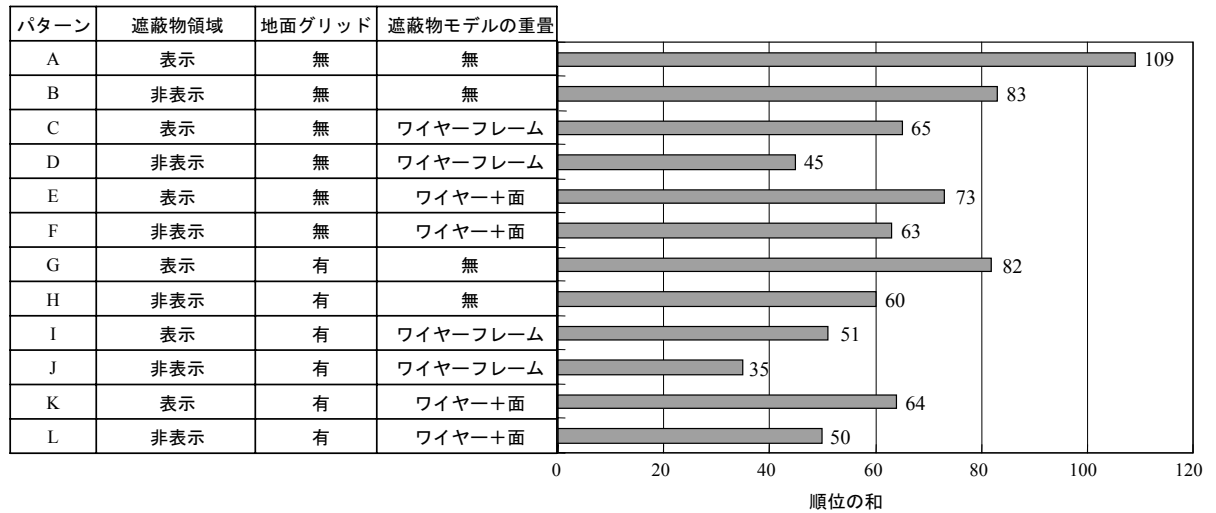


図 13 提案手法を組み合わせた場合の結果

Fig. 13 Combinations of the visualization methods and evaluation of them.

- pp.231-239(2004).
- [17] S. Zhai, W. Buxton and P. Milgram: "The Partial-Occlusion Effect: Utilizing Semitransparency in 3D Human-Computer Interaction", *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol.3, No.3, pp.254-284(1996).
 - [18] G. S. Hubona, P. N. Wheeler, G. W. Shirah and M. Brandt: "The Relative Contributions of Stereo, Lighting, and Background Scenes in Promoting 3D Depth Visualization", *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, vol.6, No.3, pp.214-242(1999).
 - [19] M. L. Braunstein, G. J. Andeersen, M. W. Rouse and J. S. Tittle: "Recovering viewer-centered depth from disparity, occlusion, and velocity gradients", *Perception & Psychophysics*, vol.40, No.4, pp.216-224(1986).
 - [20] H. Kato and M. Billinghurst: "Marker Tracking and HMD Calibration for a video-based Augmented Reality Conferencing System", *IWAR1999*, pp.85(1999).
 - [21] Kramer. A: "A rapid method for determining significance of differences from rank sums", *Food Technology*, vol.14, pp.576-581(1960), *Food Technology*, vol.17, pp.1596-1597(1963).