

物体が存在し得る錐体空間の多重スリットによる可視化

中野 一成[†] 亀田 能成[‡] 大田 友一[‡]

[†] 筑波大学 理工学群 工学システム学類 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

[‡] 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: [†] srs7805@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

あらまし ある空間中に設置された 1 台の環境カメラで物体を観測したときに、その対象物体が存在し得る空間を可視化する手法を提案する。環境カメラが透視投影に従う場合、この空間は錐体を成す。この錐体空間は対象物体の本来の形状からかけ離れているため、ユーザはその形状を単に三次元グラフィックスとして示されても、その存在範囲を視覚的に確認することが困難である。そこで本稿では、錐体空間の中に複数のスライス断面を並べることで錐体空間をわかりやすく可視化することを提案する。この手法を多重スリットによる可視化と呼ぶ。6 種類の多重スリットを用意し、比較評価実験により多重スリットによる最適な可視化手法について議論する。

キーワード 可視化, 人工現実感, 透視投影, ボリュームデータ, 断面

Cone Space Visualization of Object Existence by Multiple Slits

Kazuaki NAKANO[†] Yoshinari KAMEDA[‡] Yuichi OHTA[‡]

[†] College of Engineering Systems, School of Science and Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

[‡] Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†] srs7805@u.tsukuba.ac.jp, [‡] {kameda, ohta}@iit.tsukuba.ac.jp

Abstract We propose a method to visualize a space in which an object could exist. The space is defined by perspective projection property of an environmental camera. The shape of the space forms a cone and it is called *cone space*. Because the cone space is far from the shape of the original object, it is difficult to recognize its shape and range in a scene. We propose to place multiple cross sections to visualize the cone space. We provide six variations of the visualization and evaluate them to discuss the best visualization method.

Keyword visualization, virtual reality, perspective projection, volumetric data, cross section

1. はじめに

空間中に設置された 1 台の環境カメラにより、ある物体を観測する状況を想定する。このとき、カメラからの映像に基づいて考えるならば、撮影空間中で対象物体が存在し得る空間は、透視投影の特性により錐体の空間を成す。つまり、対象物体はこの錐体空間のどこかに存在していると言える。我々は、この錐体空間を人工現実感 (Virtual Reality : VR) や複合現実感 (Mixed Reality : MR) の技術により可視化することに取り組んでいる。

この錐体空間を仮想空間上でそのまま三次元グラフィックスとして可視化すると、その形状は対象物体の本来の形状からかけ離れているため、この形状を把握しそのうちのどの部分に対象物体が含まれているかを推測することは容易ではない。我々は、錐体空間の可視化に際して、錐体空間とその空間内の対象物体の

関係をユーザに理解してもらうことが重要であると考えている。そのため、錐体空間の位置、形状と共に、錐体空間内の対象物体の様子が把握できる可視化手法を目指している。

本稿では、対象物体が存在する錐体空間の可視化手法として、錐体空間をスライスした複数の断面 (シルエット) を並べて可視化する手法を提案する。この手法を多重スリットによる可視化手法と呼ぶ。各スリット上で、対象物体の領域を抽出し、その形をシルエットとして表示する。本可視化手法により、前述の要件を満たす可視化手法となることが期待される。

ここでの課題として、シルエットの表示形式とシルエットを生成するための錐体空間の切断方向について検討する。その検討のために、本稿では 2 種類のシルエット表示と 3 種類のスライス方向の組み合わせ、6 種類の多重スリットを用意し比較評価を行った。

2. 関連研究

2.1. ビルボードによる人物の三次元提示

環境カメラで撮影した人物などの対象がシーン中でどのように存在していたかを三次元的に表現する手法として、ビルボードによる手法が提案されている。Girgensohn ら[1]は、仮想空間中の該当する三次元位置に動物体のテクスチャを貼りつけたビルボードを配置し、さらに動物体の動きを追跡するように仮想観測視点を移動させ、仮想観測視点に最も近いカメラの映像をテクスチャ生成元とする方法を提案している。また、Koyama ら[2]は、サッカーのような広域シーン空間でビルボード手法を適用している。

これらの手法では前提条件として、人物が地面に接地している。この条件は、仮想空間上でビルボードを設置する三次元位置を推定する際に用いられ、シーン中の対象人物の位置を知るための強力な手がかりとなっている。しかし、一般には対象が地面に接しているとは限らない。この場合、ビルボードを配置すべき場所を決定することが難しいことになる。また、一枚のビルボードでは、対象物体の奥行きが大きい場合には、その全体像を表現するには不向きである。

2.2. 複雑な形状の物体の可視化

複雑な形状の物体の可視化に関する類似した研究として、医療分野における臓器の可視化がある[3][4]。これらの手法では、CT (Computed Tomography) や MRI (Magnetic Resonance Imaging), PET (Positron Emission Tomography) により取得した人体内部の断層画像を本来の形状に対応する位置に並べ、人体内部の様子と外観の形状を対応させながら見ることができる。また、同様の問題設定として、地球科学分野における数値データの三次元可視化の手法も挙げられる[5]。本稿では、これらの研究から錐体空間の多重スリットによる可視化という着想を得た。

3. 多重スリットによる錐体空間の可視化

観測の対象となる物体が存在し得る錐体空間の概念は、物体の三次元復元手法の一つである視体積交差法[6]でも用いられている。視体積交差法で求められる Visual Hull は、この錐体の論理積として定義されている。この錐体は、画像中の対象物体のシルエット領域を三次元空間に逆投影することで得られる。

しかしながら、この錐体は図 1 でも示されているように対象物体の本来の形状からかけ離れた形であるため、その形状をそのまま可視化しても、ユーザはどこまでが対象物体の存在し得る空間であるかを把握するのに困難さを感じることになる。そこで本研究が提案する錐体空間の可視化手法では、図 2 のように錐体空

間をスライスした複数の断面を並べることで可視化する。

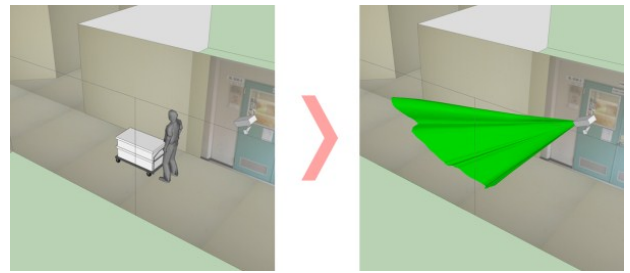


図 1: 物体が存在し得る錐体空間

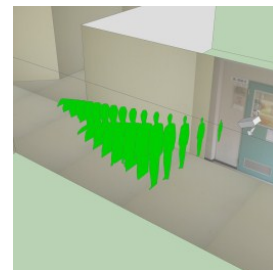


図 2: 多重スリットによる可視化

3.1. シルエット表示

本稿で取り上げる 2 種類のシルエット表示は、図 3 に示すように、シルエットの塗りつぶし (Fill) と輪郭 (Contour) の 2 種類である。Fill については、錐体のボリュームを強調して表現することを目的としている。Contour については、背景となる壁や床、天井などの静的要因に対する視認性に配慮してボリュームの表現に用いる視覚要素を最小限にすることを目的としている。

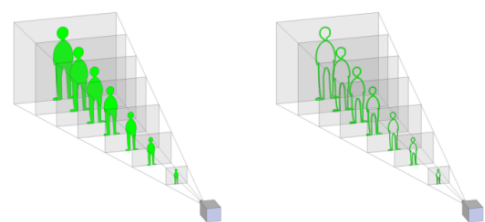


図 3: シルエット表示

(左: 塗りつぶし (Fill), 右: 輪郭 (Contour))

3.2. スライス方向

3 種類のスライス方向については、図 4 から図 6 に示すように、環境カメラの光軸に対して垂直となるスライス方向 (C_vert) と、地面に対して垂直となるスライス方向 (G_vert), ユーザの仮想視点の光軸に対して垂直となるスライス方向 (V_vert) の 3 種類を考える。各スリット上で対象物体のシルエットを表示する。C_vert (図 4) については、環境カメラと錐体空間と

の位置関係の明確化を狙い、環境カメラから複数のシルエットが投射される形で錐体空間を表現する。 G_vert (図 5) については、対象となる物体が地面に対して垂直に立っている場合が比較的多いことを考慮し、シルエットが地面に垂直に立つ提示を行う。 V_vert (図 6) については、シルエットを仮想視点に対して常に正対させることで、仮想視点の位置に関わらずシルエットが常に見やすい状態であることを保つ。

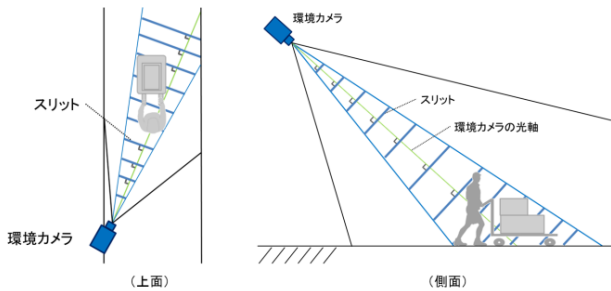


図 4: 環境カメラの光軸に垂直なスリット (C_vert)

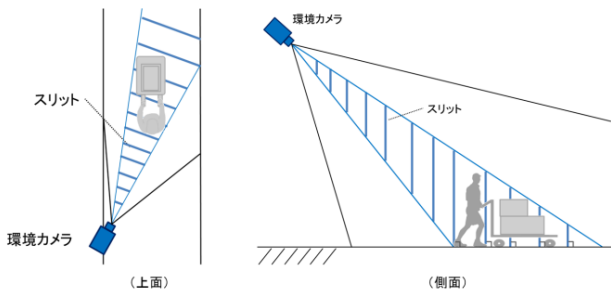


図 5: 地面に垂直なスリット (G_vert)

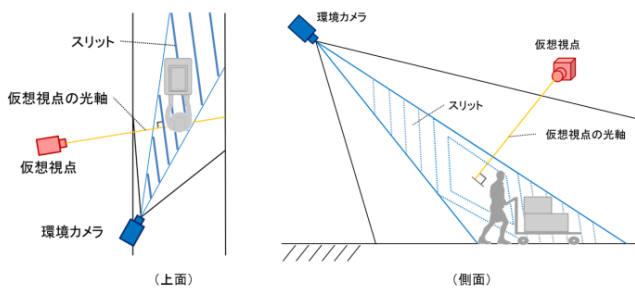


図 6: 仮想視点の光軸に垂直なスリット (V_vert)

4. 仮想空間上での可視化

仮想空間上で本手法を適用し、錐体空間の可視化について比較評価を行う。本節では、そのための多重スリット生成手順について述べる。想定シーンは屋内空間で、観測の対象となる物体は台車とそれを押す人物である。なお、ここでは以下に挙げる前提を設ける。

- 1台の環境カメラで対象物体を撮影
- 前景領域は良好に抽出
- 環境カメラの内外部パラメータは全て既知
- 静的要因は全て既知

4.1. 静的要因のモデリング

今回の可視化に際して、静的要因に相当する屋内空間については事前与えられているものとする。モデリングソフトには SketchUp¹を用いた。今回用いた屋内空間は、本学建物中に実在する十字路の廊下である。曲がり角の一部を除きほぼ直方体の集合に近似できる形状であるため、廊下の幅、高さ、奥行を計測した上でモデリングを行った。モデリングした屋内空間を図 7 に示す。

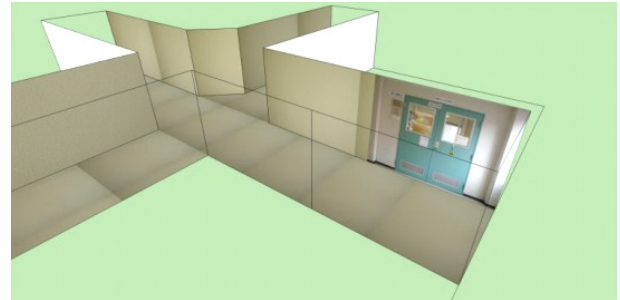


図 7: モデリングした屋内空間

4.2. シルエットの生成

シーンとその中を移動する対象物体を環境カメラにより撮影する。今回撮影に用いた環境カメラは Axis Communications 社製の AXIS205 (640×480pix, 30fps) である。シーン中での前景領域を抽出し、その領域を塗りつぶしたテクスチャ (Fill) とその輪郭を抽出したテクスチャ (Contour) の二つを各々生成する。撮影画像と生成した 2 種類のシルエット表示を図 8 に示す。



図 8: シルエットの生成
(左: 撮影画像, 中: Fill, 右: Contour)

¹ SketchUp: <http://www.sketchup.com/>

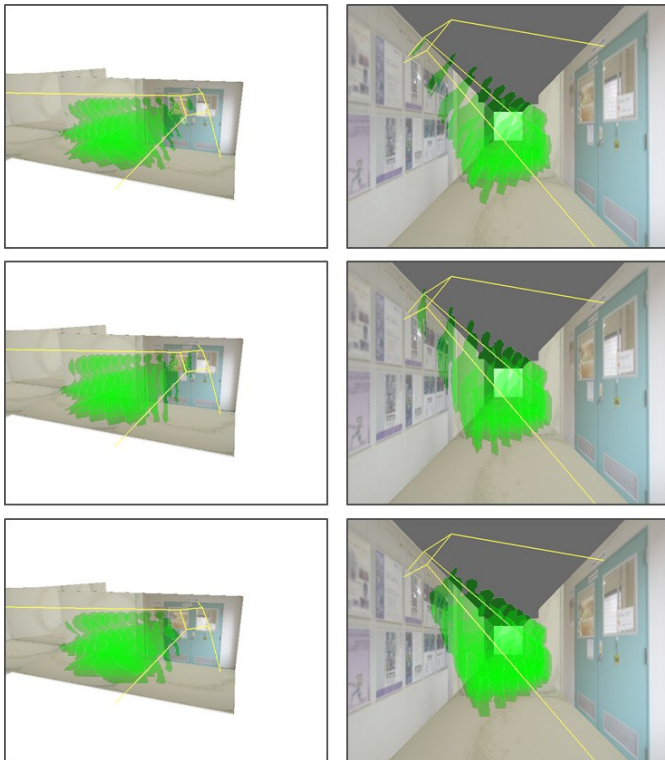


図 9: Fill の可視化結果 (左: 俯瞰, 右: 正面)
 上段: 環境カメラの光軸に垂直なスリット
 中段: 地面に垂直なスリット
 下段: 仮想視点の光軸に垂直なスリット

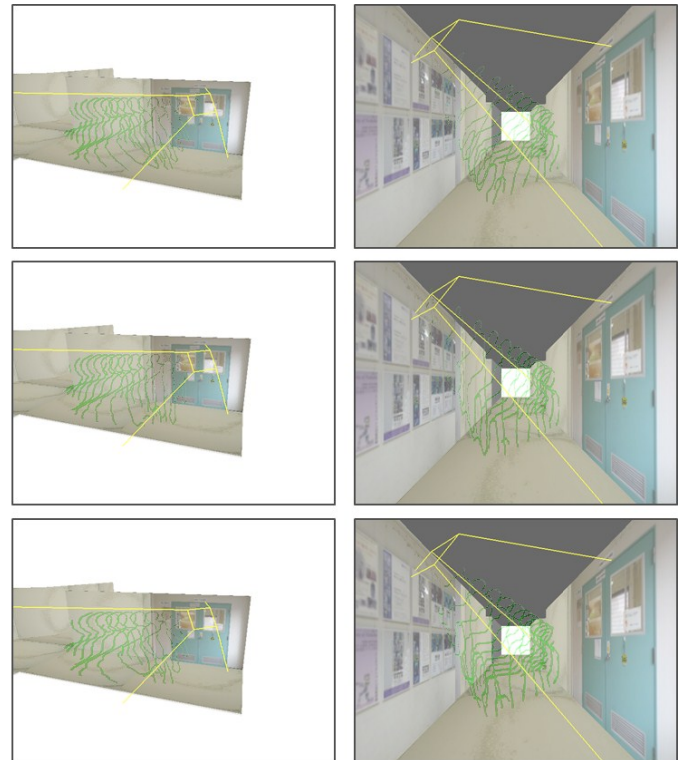


図 10: Contour の可視化結果 (左: 俯瞰, 右: 正面)
 上段: 環境カメラの光軸に垂直なスリット
 中段: 地面に垂直なスリット
 下段: 仮想視点の光軸に垂直なスリット

4.3. スライス断面の生成

C_vert の場合, 環境カメラ光軸に垂直な面を等間隔にとったものがスライス断面となる. このとき, 静的要因によって不可視になる部分ではシルエットを求めない. G_vert の場合, 環境カメラ光軸を地面上への正射影した直線に対して, 前と同様, スライス断面を生成する. V_vert の場合, ユーザの仮想視点に関する光軸に対して, 前 2 種類と同様, スライス断面を生成する.

これらのスライス断面上に, 前節で生成したシルエットを環境カメラ位置から投射テクスチャマッピング [7] することで, 多重スリットによる可視化が行われる. 6 種類の可視化の出力結果を図 9, 図 10 に示す.

5. 実験

本章では, 6 種類の多重スリットに対して, 10 人の被験者による比較評価を行う.

5.1. 手順

6 種類の多重スリットによる可視化に対して, シェッフェの対比較法の中屋変法 [8] により評価実験を

行う. 被験者には, ランダムに選ばれる 2 種類の可視化の出力結果をディスプレイ上で提示する.

なお, 被験者は仮想空間上で VR 想定と MR 想定 of 2 種類の視点操作により, 可視化結果を見ることになる. VR 視点操作では, 仮想空間内で俯瞰するように見る. MR 視点操作では, 被験者は仮想空間上でウォークスルーにより出力結果を見ることになる. 各視点操作にはマウスを用いる. 具体的な操作方法については事前に説明を行っている.

被験者 1 人当たりの比較回数は, ${}_6C_2=15$ パターンとなる. これを 2 種類の視点操作それぞれで行ったため, 合計で 1 人当たり 30 回の比較を行ってもらっている. 実験の手順としては, まず被験者には物体が存在し得る錐体空間の定義について説明する. 次に, 前述の 2 種類の視点操作インターフェースに慣れてもらう時間を設ける. その後, 30 回の比較評価を実施する. 評価は 1 回毎に所定用紙に記入してもらった. 図 11 に示すように, 質問項目は 3 つ用意し, 5 段階評価を得る.

(質問)

- ① 三次元空間中での錐体空間の位置がわかりやすいのはどちらですか。
- ② 錐体空間の形状がわかりやすいのはどちらですか。
- ③ 錐体空間内に存在する対象物体の様子が推測しやすいのはどちらですか。

(評価尺度)

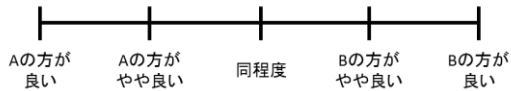


図 11: 質問項目と評価尺度

5.2. 結果と考察

実験の所要時間は、概要説明と視点操作インタフェースの練習時間も含め、1人当たり30分程度であった。VR視点操作とMR視点操作における各質問に対する評価の平均とその分散分析の結果を図12から図17、及び表1から表6にそれぞれ示す。

VR視点操作における結果を考察する。主効果は3つの質問とも1%有意である。評価を見ると、質問1と質問2に関しては、Contourに比べFillの方が比較的高い評価である。この理由として、各スリット上のContourの線が重なり、奥行きや対象物体の形状の判断が困難であったことが考えられる。質問3に関してはV_vertのFill、Contourが共に低い評価である。この要因として、V_vertの性質上、シルエットが実際の物体に対して見かけ上、大きく歪むことが影響を与えたと考えられる。

MR視点操作における結果を考察する。主効果は質問1で1%有意、質問2で有意差なし、質問3で5%有意である。質問1に関しては、VR視点操作の時と同様、Fillが比較的高い評価である。この理由もVR視点操作の時と同様と考えられる。質問2に関しては、各種類であり大きな差が見られない。この理由として、ユーザの視点と可視化の提示までの距離が近いため、Contourの線の重なりによる影響が小さくなったことが考えられる。質問3に関しては、C_vertのFill、Contourが共に低い評価である。この理由として、VR視点操作と同じくC_vertの性質上、シルエットが傾いて提示されることが影響を与えたと考えられる。V_vertへの評価がVR視点操作と異なるものになった理由として、MR視点操作では図9と図10の右側のような視点を大多数の被験者が好んで見ていたことで、シルエットの歪みの影響が少なかったためではないかと考えられる。

6. おわりに

本稿では、観測する対象となる物体がその中に存在する錐体空間の可視化手法として、錐体空間を複数のスライス断面から可視化する、多重スリットによる可視化手法を提案した。そして、6種類の多重スリットを用意し、それぞれに対する比較評価を行った。その結果、Contourに比べFillが比較的高い評価であった。また、VR視点操作時ではC_vertとG_vertが比較的高い評価であり、MR視点操作時では大きな差は見られなかったものの、G_vertがやや高い評価であった。今後の課題として、評定者の個人差についての解析、より多様な動作対象に対する評価が挙げられる。

謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会基盤研究(B)「環境カメラ群映像の安心かつ効率的見える化の為の時空間解析と複合現実感的可視化」(課題番号23300064)の支援を受けて行われた。ここに謝意を表す。

文 献

- [1] A. Girgensohn et al., "DOTS: Support for Effective Video Surveillance," Proc. of the 15th ACM International Conference on Multimedia, pp.423-432, 2007.
- [2] T. Koyama, I. Kitahara and Y. Ohta, "Live Mixed-Reality 3Dvideo in Soccer Stadium," Proc. of the 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp.167-178, 2003.
- [3] K. Engel and T. Ertl, "Texture-based Volume Visualization for Multiple Users on the World WideWeb," Proc. of the 5th Eurographics Workshop on Virtual Environments, pp.115-124, 1999.
- [4] Z. Salah, B. Preim, and G. Rose. "An Approach for Enhanced Slice Visualization utilizing Augmented Reality: Algorithm and Applications," Proc. of the 3rd Palestinian International Conference on Computer and Information Technology, 2010.
- [5] G. H. Wheless et al., "Virtual Chesapeake Bay: Interacting with a Coupled Physical/Biological Model," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.16, No.4, pp.52-57, 1996.
- [6] W. Matusik et al., "Image Based Visual Hulls," Proc. of the 27th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques, pp.369-374, 2000.
- [7] C. Everitt, "Projective Texture Mapping," White paper, Nvidia Corporation, 2001.
- [8] 佐藤信, "統計的官能検査法," 日科技連出版社, 1985.

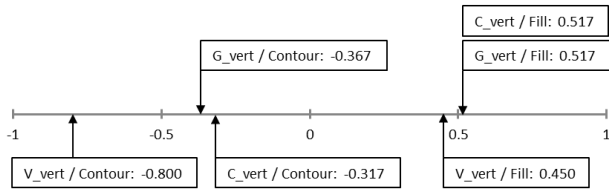


図 12: VR 視点操作における質問 1 の評価

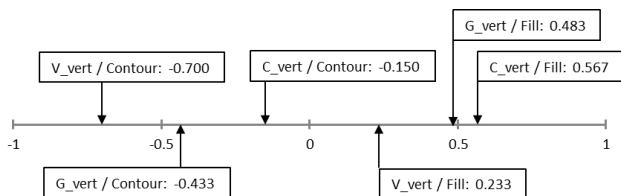


図 13: VR 視点操作における質問 2 の評価

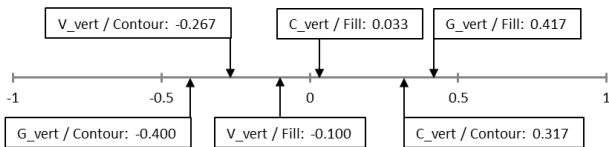


図 14: VR 視点操作における質問 3 の評価

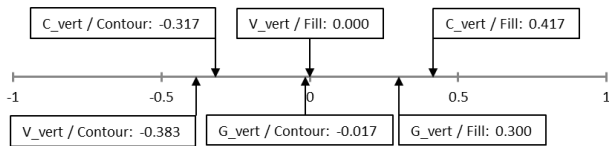


図 15: MR 視点操作における質問 1 の評価

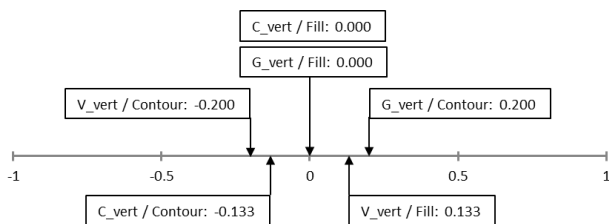


図 16: MR 視点操作における質問 2 の評価

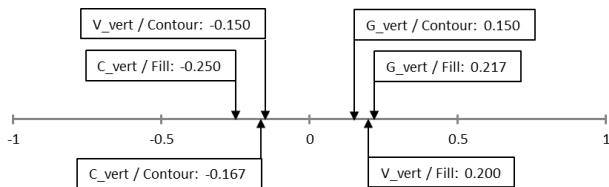


図 17: MR 視点操作における質問 3 の評価

表 1: VR 視点操作における質問 1 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	96.67	5	19.33	17.80 **
主効果×個人	83.67	45	1.86	1.71 *
組合せ効果	39.93	10	3.99	3.68 **
誤差	97.73	90	1.09	
全体	318	150		

表 2: VR 視点操作における質問 2 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	78.57	5	15.71	15.44 **
主効果×個人	95.10	45	2.11	2.08 **
組合せ効果	29.73	10	2.97	2.92 **
誤差	91.60	90	1.02	
全体	295	150		

表 3: VR 視点操作における質問 3 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	30.97	5	6.19	4.45 **
主効果×個人	81.37	45	1.81	1.30 n.s.
組合せ効果	65.53	10	6.55	4.71 **
誤差	125.13	90	1.39	
全体	303	150		

表 4: MR 視点操作における質問 1 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	30.67	5	6.13	5.98 **
主効果×個人	68.33	45	1.52	1.48 n.s.
組合せ効果	57.63	10	5.76	5.62 **
誤差	92.37	90	1.03	
全体	249	150		

表 5: MR 視点操作における質問 2 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	6.93	5	1.39	0.93 n.s.
主効果×個人	109.40	45	2.43	1.63 *
組合せ効果	21.07	10	2.11	1.41 n.s.
誤差	134.60	90	1.50	
全体	272	150		

表 6: MR 視点操作における質問 3 の分散分析表

要因	平方和	自由度	不偏分散	F値
主効果	13.33	5	2.67	3.12 *
主効果×個人	74.33	45	1.65	1.93 **
組合せ効果	30.37	10	3.04	3.55 **
誤差	76.97	90	0.86	
全体	195	150		

** : p<0.01, * : p<0.05, n.s.:有意差なし