

# 非対称性インタフェースにおけるユーザの視線共有

篠崎 由貴<sup>1,a)</sup> 塩田 智生<sup>1</sup> 久能 若葉<sup>1</sup> 杉浦 裕太<sup>1,b)</sup>

**概要：**VR 空間に一人称視点で没入する没入型インタフェースとその空間をディスプレイ上で俯瞰するインタフェースという異なる 2 つのインタフェースを組み合わせたシステムは、エンタテインメント分野においても着目されている。このようなインタフェースは互いに視点が異なるため、相手への視覚情報の提示方法が重要となる。本研究では、非対称性インタフェースを持つシステムに、VR 空間内のユーザと VR 空間外のユーザそれぞれの視線情報の可視化を行い相手に共有する機能の実装を行った。

## 1. 序論

三次元コンピュータグラフィックス（以下、3DCG）を用いた建築設計やゲーム開発では、異なる 2 つの視点で空間デザインを行うことがある。一方は一人称視点で空間を把握する視点であり、他方は三人称視点で空間全体を俯瞰する視点である。バーチャルリアリティ（以下、VR）技術の発達により、一人称視点で空間に没入することが可能となった。従来のシステムでは VR 空間の体感と俯瞰視点での確認が交互に行われていたため、空間レイアウトの作業時間や、体感結果を共同作業者にフィードバックするためのコミュニケーションコストが増大するといった課題があった。

ゲーム開発統合環境である Unreal Engine 4 では、頭部装着型ディスプレイ（以下、HMD）を用いて VR 環境とインタラクションしているユーザを他のユーザが PC のディスプレイを用いて三人称視点で確認できる Virtual Reality Spectator Screen という機能が存在する [1]。また、Sugiura らは VR を用いて複数人が共同して空間デザインを行うことができる Dollhouse VR を提案した [13]。このシステムでは空間の設計者がタッチディスプレイを用いて空間を俯瞰しながらデザインを行うと同時に、HMD を装着したユーザが VR 環境でその空間を体感できる。これらのシステムは、HMD で VR 空間に一人称視点で没入するインタフェースとディスプレイ上でその空間を俯瞰するインタフェースの、異なる 2 つのインタフェースから成る。このようなデザインの異なるインタフェース（以下、非対称性インタフェース）を用いたシステムでは、互いの視点が異なるため相手への視覚情報の提示が重要となる。

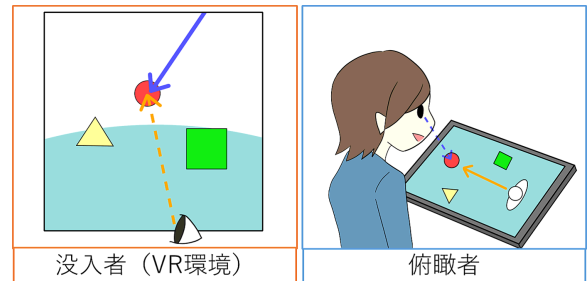


図 1 コンセプトイメージ

例えば、Dollhouse VR[13] のシステムでは指差し機能や VR 空間外のユーザの表情を VR 空間内に表示する機能等によりお互いの意図を共有することを目指していた。一方で、視線に関する情報共有は十分でなかった。作業を指示するオペレーターの視線が遠隔にいる作業者に提示された場合、視線は早く正確なポイントとなり、オペレーターの意図の把握や行動の予測に役立つ [3]。

そこで本研究では、非対称性インタフェースを持つシステムにおいて、VR 空間を一人称視点で体感するユーザ（以下、没入者）の視線情報と、ディスプレイを用いて空間を俯瞰するユーザ（以下、俯瞰者）の視線情報を可視化し、相手に共有する機能を実装した（図 1）。視線情報を共有することで相手ユーザの注視対象や指示対象を把握することができ、円滑なコミュニケーションや共同作業を支援できる。

## 2. 関連研究

### 2.1 空間デザイン

空間デザインに関する研究は数多く存在する。複数人共同での空間デザインを支援する試みとして次のようなものが挙げられる。Urp はミニチュアの建築モデルをテーブル上に配置し、それらの影や反射をリアルタイムでシミュ

<sup>1</sup> 慶應義塾大学

<sup>a)</sup> yshino@imlab.ics.keio.ac.jp

<sup>b)</sup> sugiura@keio.jp

レートし投影することで都市計画の議論を支援するシステムである [16]. 堀内らは、テーブルトップインタフェース上のミニチュアの舞台装置や人形と、仮想空間の舞台を連動した舞台空間のイメージ共有を支援するシステムを提案した [17]. これらのシステムは複数人での空間デザインを支援するものではあるが、空間の俯瞰視点のみを提供する。

複数の視点から空間を見るシステムとしては次のようなものが提案されている。I-m-Cave は洞窟ツアーをバーチャルに体験できるシステムである。テーブルトップディスプレイ上に表示された地図の上に人形を置くと、正面のディスプレイにその地点の洞窟の映像が一人称視点で表示される [7]. Worlds in Miniature (WIM) は VR 環境で空間をデザインできるシステムである [12]. HMD 上に実寸大の部屋のモデルと、それに連動した部屋のミニチュアモデルが表示され、どちらのモデルでもオブジェクトを操作できる。これらのシステムでは単一のユーザでの使用が想定されており、複数人での共同使用は想定されていない。

複数人かつ複数視点でのデザインを行うことができるシステムの例としては Hosokawa らのシステムが挙げられる [4]. デザインテーブル上に壁やタイルの模型を配置すると家の 3DCG データが作成され、ディスプレイ上に表示される。ユーザは模型によって俯瞰視点で、ディスプレイによって一人称視点で家のデザインを行うことができる。このシステムではそれぞれのユーザが両方の視点から空間をみることになる。

また VR 環境で異なる視点を持つ複数人が建築設計や共同作業を行えるシステムも提案されている [9]. このシステムではすべてのユーザが VR 環境を利用しており、異なるインタフェースを利用するユーザとのインタラクションは想定されていない。

Sugiura らは、以上のことを議論し、複数人が 2 つの異なるインタフェースを用いて共同で空間のデザインができる Dollhouse VR を提案した [13]. Dollhouse VR は 3DCG モデルで構築された部屋に VR 環境を用いて一人称視点で没入する没入型インタフェースと、その部屋のモデルをタッチディスプレイ上で俯瞰し壁や家具などのレイアウトを変更できる空間レイアウトインタフェースから構成されている。このシステムは没入型インタフェースのユーザである没入者と、空間レイアウトインタフェースのユーザである俯瞰者との、2 種類の視覚的なコミュニケーション支援機能を搭載している。1 つ目は指差し機能である。俯瞰者がタッチディスプレイ上に指を置くとその地点に指のオブジェクトが生成され、没入者のディスプレイに表示される。また、没入者はコントローラのジョイスティックを用いて自身のアバターの腕の方向を操作し指示を行える。2 つ目はウェブカメラで俯瞰者の表情を撮影し VR 空間内の天井に表示する機能である。

これらの機能にはいくつかの課題がある。俯瞰者が指差

し機能を利用する場合、ディスプレイ上を直接タッチする必要がある。この操作は壁や家具などのオブジェクトを移動する操作と同一であるため、対象の指示のみ行いたい場合に意図しない操作が行われてしまう可能性がある。また、俯瞰者が画面をタッチせずに空中で指を差し、話をする場合、没入者が話題の対象を認識できない。没入者は表示機能により俯瞰者の表情を確認することはできるが、注視対象までは確認できない。

本研究では、Dollhouse VR の手法に没入者の視線情報と俯瞰者の視線情報を可視化し、相手に共有する機能を実装した。これにより、タッチやコントローラに代わって視線での指示を行うことが可能となる。また、視線情報を共有することで互いの注視対象を把握でき、円滑な意図の共有やコミュニケーションを支援する。

## 2.2 共同作業における視線計測

アイトラッカーは視線計測を行うデバイスである。光学的な技術を用いたアイトラッカーにはディスプレイ設置型のものと装着型のものがある。ディスプレイ設置型アイトラッカーは、アイトラッカーをディスプレイ周辺に設置し、アイトラッカー内蔵のカメラ画像からユーザの目を検出を行い視線計測する。ディスプレイ設置型アイトラッカーの例として Tobii Eye Tracker 4C[15] があり、視線による画面操作や対応するゲームでの視線入力ができる。装着型アイトラッカーは、ユーザが眼鏡のようなデバイスを装着し、デバイスに取り付けられたセンサやカメラを用いて目の検出し視線計測する。装着型アイトラッカーとしては Tobii Pro Glasses 2[14] や Pupil Invisible[8], [10] が挙げられる。装着型アイトラッカーの中でも HMD 内での視線計測を行う Pupil HTC VIVE Binocular Add-on[8], [11] や、アイトラッキング機能搭載の HMD である VIVE Pro Eye[6] が存在する。HMD 内での視線計測で実現が期待されることとして、視線による操作、中心窩レンダリングによる描画処理の負荷軽減、アバターへの視線反映などがある。

ディスプレイ設置型アイトラッカーや装着型アイトラッカーを利用した共同作業における視線計測の研究について以下に述べる。ディスプレイ設置型アイトラッカーを用いた研究としては Higuchi らの Can Eye Help You?が挙げられる [3]. この研究では遠隔にいるオペレーターの視線を可視化し、作業者に共有した場合、共同作業がどのように変化するかを調査した。装着型アイトラッカーを用いて視線の効果を調査した研究としては Gupta らの研究が挙げられる [2]. この研究では、作業者がアイトラッカー、一人称視点カメラ、光学透過 HMD を組合わせたデバイスを装着して視線を計測し、遠隔地のオペレーターはディスプレイ上で作業者の注視点を確認しながらマウスのポインタで作業者に指示する。これらの研究は視線を可視化し共有

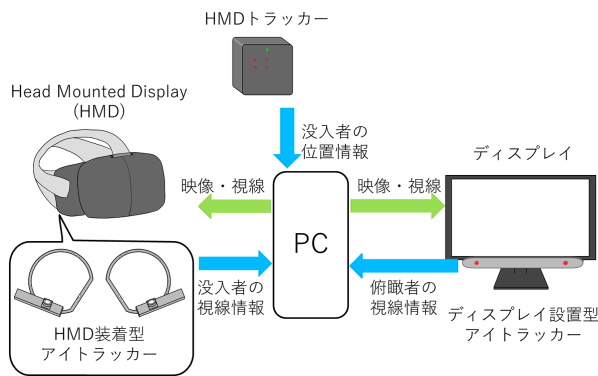


図 2 システム構成

することでタスクのパフォーマンスの向上やコミュニケーションの円滑化に役立つこと示している。しかしこれらの研究では一方のユーザの視線のみを可視化している。本研究では、ディスプレイ設置型アイトラッカーと装着型アイトラッカーの両方を用いて視線計測し可視化することで、俯瞰者と没入者が互いに視線を把握できるシステムを提案する。

### 3. システム構成

本研究では非対称性インタフェースを持つシステムに没入者の視線情報と俯瞰者の視線情報を可視化した。HMDは一人称でVR空間に没入する視点を提供し、ディスプレイはその空間の俯瞰視点を提供する。

システム構成を図2に示す。没入者と俯瞰者それぞれの視線情報をHMD装着型アイトラッカーとディスプレイ設置型アイトラッカーを用いて取得する。取得した視線情報を可視化し、HMDとディスプレイ上の映像に反映する。

#### 3.1 没入者の視線情報の可視化手法

HMDはHTC VIVE[5]を使用した。没入者の視線取得にはHMD装着型のアイトラッカーであるPupilを用いた[8], [11]。このデバイスはアイトラッキングカメラと赤外線照射装置で構成されており、HMDのレンズ部分に取り付けて使用する。PupilのソフトウェアであるPupil Serviceは取得したカメラ画像から瞳孔の領域を検出する。画面上のマーカーの注視位置と瞳孔位置の対応をとる（キャリブレーションをする）ことで、ユーザがVR空間上で注視している点を取得できる。キャリブレーションと視線情報の可視化はUnityで行う。また、PupilをUnityで用いるためにPupil Labsが提供するアセットを利用した。

没入者の視点は透視投影法に従い描画されている。VR空間上の没入者側のカメラの位置から正面2mに位置する描画平面上でキャリブレーションする。その平面上における左右の目の注視点の midpoint の座標をVR空間内の注視点とする。

#### 3.2 俯瞰者の視線情報の可視化手法

俯瞰者の視線取得にはディスプレイ設置型アイトラッカーであるTobii Eye Tracker 4Cを使用した[15]。このデバイスはアイトラッキングと近赤外LEDで構成されており、ディスプレイの下部に設置して使用する。デバイスから照射された赤外線は目で反射するため、この反射をカメラ画像として取得する。取得したカメラ画像に対しキャリブレーションすることで、ユーザがディスプレイ上で注視している点の座標を取得できる。

二次元平面であるディスプレイ上の注視点を三次元のVR空間に投影するには変換が必要となるため、その変換方法について説明する。ディスプレイにはVR空間のステージを上空から平行投影した映像を描画する。描画平面上の注視点の座標を通り、平面に垂直な直線とステージとの交点をVR空間内の注視点とする。

### 4. 実装

#### 4.1 没入者の視線情報の可視化

没入者の視線を可視化した様子を図3に示す。没入者側の視点には、没入者の位置を始点として左右の目の注視位置の midpoint を通る直線を表示する。俯瞰者側はこの直線をたどることで、没入者の注視位置や注視対象を知ることができる。また、この直線は水平方向からの傾きによって色が変化する。これによって俯瞰者は没入者の左右方向の注視位置だけでなく、上下方向のおおよその注視位置も確認できる。

視線以外の視覚に関する情報の可視化として、没入者の水平視野を可視化し、俯瞰者側に表示した（図4）。視野の境目に直線を表示する手法（図4(a)）と、視野の範囲に色をつける手法（図4(b)）の2種類の可視化手法を実装した。また、俯瞰者の画面左上に没入者が見ている映像を表示する小窓を実装した。これらの機能により、俯瞰者は没入者の視覚情報をより明瞭に把握できる。

#### 4.2 俯瞰者の視線情報の可視化

俯瞰者の視線情報を可視化し、没入者側から見た映像を図5に示す。俯瞰者の視線情報について4種類の可視化手法を実装した。この4種類をそれぞれSimple・Laser・

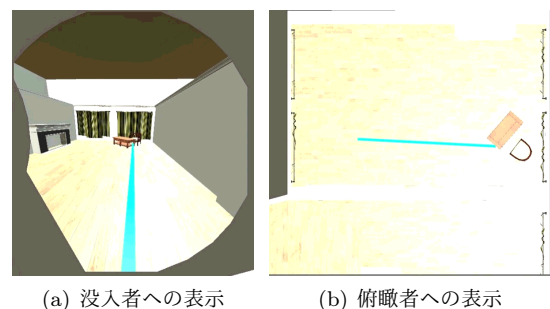


図 3 没入者の視線表示

Map・Arrow と呼ぶことにする。

Simple (図 5(a)) では、俯瞰者の注視位置に球体のオブジェクトを表示する。球体が壁や家具などの他のオブジェクトに遮られた場合、球体は半透明なオブジェクトとして表示される。このため、没入者と球体の間に遮蔽物が存在していても、没入者は俯瞰者の注視位置を確認することができる。この Simple の可視化手法は他の 3 つの可視化手法でも用いる。

Laser (図 5(b)) では、Simple の球体の表示に加え、俯瞰者の注視点と上空の点を結ぶ直線を表示する。この直線は俯瞰者の視線をイメージしている。没入者は球体が視界にない場合、上空を見ることで直線を見つけ、注視位置をたどることができる。

Map (図 5(c)) では、Simple の球体の表示に加え、没入者の前方に、没入者を真上から俯瞰した映像が表示される。この俯瞰映像にも注視位置を表す球体が表示されているため、没入者は地図で目的地を確認するように注視位置を知ることができる。

Arrow (図 5(d)) では、Simple の球体の表示に加え、没入者の前方に矢印を表示する。矢印は常に注視位置である球体を指し示す。そのため、没入者は俯瞰者のおおよその注視位置の方向を知ることができる。

## 5. 今後の課題

俯瞰者の視線可視化では、ディスプレイ設置型アイトラッカーを使用しているため、アイトラッカーが視線を取得できるディスプレイサイズや頭部位置に制限がある。推奨範囲外で視線計測を行うと、視線計測の精度が落ちたり視線情報が正しく反映されない場合がある。また、ディスプレイ設置型アイトラッカーとユーザの間に遮蔽物がある場合、視線計測できない。ユーザがディスプレイでのタッチ操作を行う場合に、手の位置によって視線計測を妨害してしまう可能性がある。Laser での視線可視化は、俯瞰者の視点を投影するカメラ位置から注視点までを直線で結ぶため、俯瞰者の実際の視線を反映できていない。よって俯瞰者の目の位置が直線の端点となるようにすべきである。さらに、ディスプレイ設置型アイトラッカー 1 つにつき俯瞰者 1 人分の視線計測しか行えない。しかし、実際の空間デザインにおいては、複数人の俯瞰者が同一のディスプレイを使用することが想定されるため、複数人の視線を取得

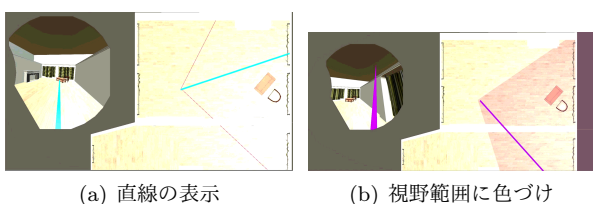


図 4 没入者の視野の可視化

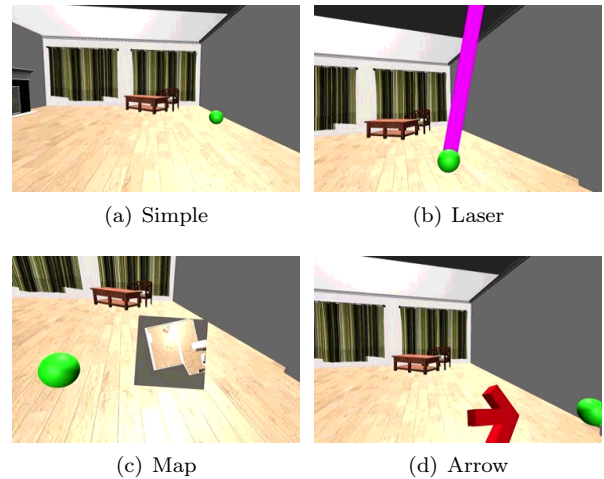


図 5 俯瞰者の視線表示

できるシステムの開発が必要となる。

没入者の視線可視化では、キャリブレーションを行うのに適切な眼間距離や、HMD のレンズと目の間の距離はユーザによって異なる。また、VR 空間上でキャリブレーションする際の平面との距離、マーカー数、表示秒数なども視線情報取得の精度に関係する。画像からの瞳孔検出やキャリブレーションの精度が低い場合、映像に反映される視線も本来の注視位置とは大きく異なってしまう。そのため、視線情報取得精度が高くなる条件をユーザごとに検証する必要がある。また、今回は視線を直線として表示したが、双方のユーザが認識しやすい他の提示手法も検討する必要がある。

今後、俯瞰者と没入者の可視化について、視線の有無によるタスクの実行時間の変化、可視化手法ごとの比較、空間デザインを想定した場合のコミュニケーションの変化に関する実験を行い、効果を検証する。

## 6. おわりに

VR 空間に一人称視点で没入する没入型インタフェースとその空間をディスプレイ上で俯瞰するインタフェースという異なる 2 つのインタフェースを組み合わせたシステムにおいて、それぞれのユーザの視線情報を可視化し、相手に共有する機能の実装を行った。没入者については注視位置への直線表示での可視化と、俯瞰者への視野範囲の可視化を行った。俯瞰者については Simple・Laser・Map・Arrow の 4 種類の可視化手法を実装した。今後は可視化手法やシステムの改善、非対称性インタフェースにおける視線可視化の効果検証を行う。

謝辞 本研究は JST AIP-PRISM JPMJCR18Y2 の支援を受けたものです。



## 参考文献

- [1] Epic Games: Virtual Reality Spectator Screen | Unreal Engine Documentation, Epic Games (online), available from (<https://docs.unrealengine.com/en-US/Platforms/VR/DevelopVR/VRSpectatorScreen/index.html>) (accessed 2019-07-24).
- [2] Gupta, K., Lee, G. A. and Billingham, M.: Do You See What I See? The Effect of Gaze Tracking on Task Space Remote Collaboration, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 22, No. 11, pp. 2413–2422 (online), DOI: 10.1109/TVCG.2016.2593778 (2016).
- [3] Higuchi, K., Yonetani, R. and Sato, Y.: Can Eye Help You?: Effects of Visualizing Eye Fixations on Remote Collaboration Scenarios for Physical Tasks, *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '16, New York, NY, USA, ACM, pp. 5180–5190 (online), DOI: 10.1145/2858036.2858438 (2016).
- [4] Hosokawa, T., Takeda, Y., Shioiri, N., Hirano, M. and Tanaka, K.: Tangible Design Support System Using RFID Technology, *Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, TEI '08, New York, NY, USA, ACM, pp. 75–78 (online), DOI: 10.1145/1347390.1347408 (2008).
- [5] HTC Corporation: VIVE, HTC Corporation (online), available from (<https://www.vive.com/jp/product/>) (accessed 2019-07-24).
- [6] HTC Corporation: VIVE Pro Eye, HTC Corporation (online), available from (<https://www.vive.com/jp/pro-eye/>) (accessed 2019-07-24).
- [7] Huang, D., Chen, S., Chang, L., Chen, P., Yeh, Y. and Hung, Y.: I-m-Cave: An interactive tabletop system for virtually touring Mogao Caves, *2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, IEEE, pp. 1–6 (online), DOI: 10.1109/ICME.2014.6890233 (2014).
- [8] Kassner, M., Patera, W. and Bulling, A.: Pupil: An Open Source Platform for Pervasive Eye Tracking and Mobile Gaze-based Interaction, *Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, UbiComp '14 Adjunct, New York, NY, USA, ACM, pp. 1151–1160 (online), DOI: 10.1145/2638728.2641695 (2014).
- [9] Leigh, J., Johnson, A. E., Vasilakis, C. A. and DeFanti, T. A.: Multi-perspective Collaborative Design in Persistent Networked Virtual Environments, *Proceedings of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium*, IEEE, pp. 253–260 (online), DOI: 10.1109/VRAIS.1996.490535 (1996).
- [10] Pupil Labs: Pupil Labs | Invisible, Pupil Labs (online), available from (<https://pupil-labs.com/products/invisible/>) (accessed 2019-07-24).
- [11] Pupil Labs: Pupil Labs | VR/AR, Pupil Labs (online), available from (<https://pupil-labs.com/products/vr-ar/>) (accessed 2019-07-24).
- [12] Stoakley, R., Conway, M. J. and Pausch, R.: Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '95, New York, NY, USA, ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., pp. 265–272 (online), DOI: 10.1145/223904.223938 (1995).
- [13] Sugiura, Y., Ibayashi, H., Chong, T., Sakamoto, D., Miyata, N., Tada, M., Okuma, T., Kurata, T., Shimura, T., Mochimaru, M. and Igarashi, T.: An Asymmetric Collaborative System for Architectural-scale Space Design, *Proceedings of the 16th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry*, VRCAI '18, New York, NY, USA, ACM, pp. 21:1–21:6 (online), DOI: 10.1145/3284398.3284416 (2018).
- [14] Tobii AB: Tobii Pro Glasses 2, Tobii AB (online), available from (<https://www.tobiipro.com/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>) (accessed 2019-07-24).
- [15] Tobii Gaming: Tobii Gaming | Eye Tracker 4C for PC Gaming, Tobii Gaming (online), available from (<https://gaming.tobii.com/product/tobii-eye-tracker-4c/>) (accessed 2019-07-24).
- [16] Underkoffler, J. and Ishii, H.: Urp: A Luminous-tangible Workbench for Urban Planning and Design, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, New York, NY, USA, ACM, pp. 386–393 (online), DOI: 10.1145/302979.303114 (1999).
- [17] 堀内陽介, 井上智雄, 岡田謙一: ミニチュア舞台と仮想舞台の連動による舞台空間イメージ支援 (<特集>教育・訓練・協調), *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 16, No. 4, pp. 567–576 (オンライン), DOI: 10.18974/tvrsj.16.4.567 (2011).