

# 近接学に基づく HMD 利用者・非利用者の間の 段階的なウェアネスの向上

工藤 義礎<sup>†1</sup> アンソニー タン<sup>†2</sup> 藤田 和之<sup>†1</sup> 遠藤 勇<sup>†1</sup>  
高嶋 和毅<sup>†1</sup> ソール グリーンバーグ<sup>†2</sup> 北村 喜文<sup>†1</sup>

**概要**：近接学の考え方に基づいて HMD 装着者と非装着の近接者の間のウェアネスを適切に向上させる手法を提案する。本手法では、対人距離、視線、人の属性等の情報を用いて、両者の関係性やインタラクションの必要性を推定し、お互いの状況を把握するための“手掛かり情報”を段階的に提示する。また、提案手法の実利用にあたり、HMD 利用者・近接者の目的ごとに手掛かり情報を設計し、両者のウェアネス向上が必要とされる4つの利用シナリオを考案した。これらのシナリオを、HMD 使用経験者らに議論してもらってデザインスタディを行い、近接学に基づく本手法や手掛かり情報そのものが効果的に機能することと今後の発展可能性を確認した。

## 1. はじめに

コンシューマ向けヘッドマウントディスプレイ (HMD)の普及に伴い、VR コンテンツの視聴体験がより身近なものとなり、今後さらに日常生活にも浸透してゆくものとみられる。HMD は現実世界の視覚・聴覚情報を遮断し、バーチャル世界への高い没入感を与えることが利点であるが、その反面、現実世界から完全に隔離されてしまうことから問題が生じることもある[7][21]。例えば、家族がいる自宅や同僚がいるオフィスなどで利用する際には HMD 装着者が周囲の人に衝突してしまうことや、HMD 非装着の近接者が HMD 装着者に今話しかけてよいかの判断がつかず、会話をスムーズに始められない等という問題が挙げられる。これらの問題の主な原因は、HMD 装着者と近接者が互いの状況を把握しづらいこと、すなわち、両者の間のウェアネス[11][18]が不足していることにある。

本来、現実世界で我々は、相手の接近、視線、手振り等を自然と見る、あるいは感じる事ができ、それによって相手の自分に対する関心を感じ取り、また相手の様子を推察し、話しかけに行くかどうかを決めることができる。しかし、HMD 装着者と非装着の近接者の間では、本来は感じ取ることができるはずのお互いの情報が HMD によって遮断されることで、先に挙げたような問題が発生する。

このような問題を解消する方法として、HMD 装着者と非装着の近接者が互いにそれぞれの状況を把握できる“手掛かり情報”を与えることで、両者のウェアネスを向上させることが考えられる。例えば HMD 装着者に対しては、周囲の人やものがどこにあるかなどの外部の状況を把握できる手掛かり情報をバーチャル環境 (VE) 内に提示することで、ウェアネスを高める方法が提案されている[7][21]。近接者に対しては、近接者が HMD 装着者の状況を把握できるようにするため、VE 内のコンテンツをプロジェクトにより外部へ表示する手法[24]や、HMD に装着されたスマートフォンを介して両者間のインタラクションを可能にする

手法[10]等が提案されている。これらの手法は HMD 装着者と近接者双方のウェアネス向上に有益であるが、自宅やオフィスなど異なる目的を持つ人が居合わせる環境下での利用を想定すると、不必要な手掛かり情報の提示により VR 体験が阻害されてしまうこと[21]や、知られたいくない情報が知られてしまう等、手掛かり情報が悪影響を及ぼす場面も多く考えられる。従って、HMD 装着者と近接者のコンテキストを注意深く考慮し、手掛かり情報の提示タイミングや提示方法をより適切に設計する必要がある。

そこで本研究では、HMD 利用者と非装着の近接者が社会的に共存できる環境を目指し、近接学に基づいて HMD 装着者と近接者との社会的・物理的関係性を考慮することで、段階的に両者のウェアネスを向上させる手掛かり情報の提示手法を提案する。近接学とは、対人距離が両者の社会的な関係性を表すことに着目した考え方[12]で、ユーザの非明示的な意図の推定などにも利用される[1][15]とともに、協調作業を始めとした様々なインタラクション場面でも有効であることが明らかになっている[20]。本手法ではこの近接学の考え方を利用し、対人距離や視線、さらには近接者の属性といった情報（近接情報と定義する）に基づいて、両者へ提示する手掛かり情報の情報量や内容を段階的に変化させる。本稿では、近接学や手掛かり情報に関する先行研究をもとに、HMD 装着者と非装着の近接者への手掛かり情報の提示のために近接情報をどのように利用するかについて述べ、HMD 装着者と近接者の両者の目的に基づく手掛かり情報の設計を行う。また、提案する手掛かり情報の提示手法を用いた利用シナリオを紹介する。さらに、HMD 装着者の目線から、提案手法に対する意見を集めたデザインスタディの結果とその考察について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 HMD 装着者と近接者の間の手掛かり情報の提示

HMD 装着者が体験中の VR 空間は、非装着の近接者がいる現実空間と隔離されているため、HMD 装着者は近接者の状況を把握することが難しく[7][21]、近接者にとっては HMD 装着者のその時点の状況を把握することが難しい

<sup>†1</sup> 東北大学 電気通信研究所  
<sup>†2</sup> University of Calgary, Canada

[24]. この問題に対し、様々な解決手法が検討されている。

HMD装着者に対する手掛かり情報として、Kinectにより取得された近接者の映像をVE内に組み込んで提示することでウェアネスを向上させる例[21]や、VR体験を行う際の主要なモダリティである視覚、聴覚、触覚を用いて、外部の出来事をHMD装着者へ通知する手法を設計し、各モダリティによる通知方法の特徴を明らかにした例[7]などがある。また、HMD装着者の体験を妨害しない手掛かり情報の提示が重要であると主張している研究もある[31]。KanamoriらはルームスケールVRゲームをプレイしながら没入感を下げずに、実空間移動を支援する手法[16]や、屋外でVRゲームをプレイしながら移動する場合の、ルート表示法の検討[17]をしている。

近接者に対しても、HMD装着者の状況を把握できるようにする方法が提案されている。例えば、HMDに装着したスマートフォンにVE内の映像を映し出すことで、近接者がVE内の状況を把握できるようにしている例[24]や、HMD装着者が体験中のコンテンツを壁にプロジェクタで投影することで近接者がコンテンツを見られるようにした例[13]が挙げられる。また、VE内のコンテンツを表示するだけでなく、両者間のインタラクションを可能にする手法も提案されている。ShareVRは、VE内の環境をプロジェクタで床に映し出すことにより、その場にながら近接者とHMD装着者の直接的なインタラクションを可能にしている[9]。FaceDisplayは、HMDに装着したスマートフォンを介して、近接者にVE内のコンテンツとのインタラクションを可能にした手法である[10]。FrontFaceはHMDに装着されている視線計測センサを用いて装着者の視線を計測し、HMD筐体に装着したスマートフォンにその計測した視線を表示することで、HMD装着者と近接者間のコミュニケーションを円滑にしている[4]。

以上のように、HMD装着者と近接者双方への手掛かり情報の提示、および相互のインタラクション手法が検討され、それらが両者のウェアネスを高めることもわかっている。しかし、実際の場面でこのような手掛かり情報を与える際には、両者の物理的な位置関係、および社会的な関係性といったコンテキストを注意深く考慮する必要があり、これらを誤ると必要な情報の見落としや、過度な手掛かり情報の提示によるVR体験の妨害が起きる恐れがある[21]。

## 2.2 近接学に基づくインタラクション

近接学はHallらが最初に提唱したもので、人と人の距離が両者の社会的関係性を表し、例えば近くにいればいるほど関心の度合いが高いと推測することができる[12]。従来研究では近接学を利用し、ユーザの視線や属性なども考慮することで、ユーザの非明示的な意図をくみ取り、それを人と人あるいはデバイスとのインタラクションに反映する手法が提案されている[1][19][28][29]。例えば、ユーザとディスプレイの位置関係からユーザの意図を推測し、ディス

プレイとのインタラクションに活用している例[1]や、集団活動における人の体の向きから集団の関係性を推測し、タブレットを用いたクロスデバイスインタラクションに活用している例[20]、また、即時的な会議において、デジタルホワイトボードとのインタラクションに近接学を用いている例もある[15]。

このように、近接学は複数人が居合わせる環境や人とデバイス間等でのインタラクションに多く利用されており、その有用性が確認されている。HMD装着者と近接者に対する手掛かり情報の提示にも、近接学を利用することで、両者の社会的・物理的関係性に応じて、ウェアネスを適切に高めることができると期待される。

## 3. 近接学に基づく関係性の推定

HMD装着者と非装着の近接者が体験している世界はVR空間と現実空間で異なるものではあるが、彼らの身体は物理的には現実空間に共存している。そのため、空間内の人々の配置から様々な関係性を推定する近接学と相性がよいと考える。そこで本研究では、近接学に基づき、HMD装着者と近接者との物理的・社会的な関係性に応じて段階的に手掛かり情報を提示する手法を提案する。具体的には、対人距離、視線、および近接者の属性の3つをパラメータとして使用することで(図1)、両者の状況を推測し、それに合わせて段階的に手掛かり情報を提示する。以下、手掛かり情報の提示に利用する近接情報について具体的に述べる。

### 3.1 近接情報

**対人距離**：対人距離は、ユーザの興味関心の推定に最も活用されている指標の1つである。多くの場合、その距離に応じて4つに区分が分けられ[12]、人と人、あるいはデバイスとのインタラクション[1][22][27]に活用されてきた。我々も、HMD装着者と近接者への手掛かり情報の提示手法を考える上で最も重要なパラメータの1つであると考えた。しかし、HMD装着者と近接者を対象にした場合、興味関心だけでなく、安全性の観点からも対人距離を考慮する必要がある[7][16]。HMDによって、両者が互いの状況を把握することが難しくなっているため、両者の距離が近くなるほど衝突の危険性も高まる。従って、今回はこれまで活用されてきた4つの区分を参考に、安全性も考慮した対人距離の区分を設定した。設定した4つの区分はHMD装

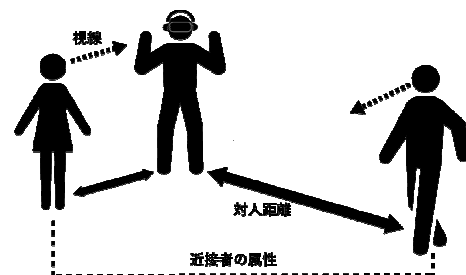


図1 近接情報(対人距離、視線、近接者の属性)

着者から近い順に，“Danger zone”（両者どちらかが手を伸ばすとぶつかる範囲，0.6m未満），“Intimate step zone”（両者が手を伸ばすと届く範囲，0.6m-1.5m），“Mutual step zone”（どちらかが1歩近づくと衝突（接触）する可能性が高まる範囲，1.5m-4m），“Observation zone”（最も遠くセンサにより両者を検出できる範囲，4m以上）である。

**視線：**両者の視線（方向，および注視時間）についても，パラメータの1つとして使用する．視線は，ユーザが何に関心を持ち，またそれに対してどのくらい関心があるかを推測することに使用できる[5]．近接者に関しては，視線の方向で興味の対象を推測することができる．これにより，対象に合わせて，近接者が必要としている手掛かり情報を提示することができる．また，HMD 装着者に関しては，近接者を表す手掛かり情報に興味があるかないかを推測できる．同一方向に視線の向きが継続される継続時間に関しては，見ている時間が長ければ長いほど，その対象に対して強い関心を持っていると推測できる[6]．

**近接者の属性：**対人距離や視線といった物理的な配置情報だけではなく，社会的な関係性も当然考慮する必要がある．近接者から見て，HMD 装着者が誰なのかは多くの場合において識別可能であるが，一方で HMD 装着者は近接者を識別することは難しい．このような状況で，例えば近接者が友人か上司か等で，HMD 装着者に与える手掛かり情報の重要性は異なってくる．そのため，近接者の属性も，両者の関係性の判断材料として利用する．

### 3.2 近接情報の活用方法

本手法では，主に上記の3つの近接情報を組み合わせて両者の状況を推測し，段階的に手掛かり情報を提示して適切にアウェアネスを高めてゆく．近接者に関して，視線の向きから近接者が HMD 装着者，VE 内のコンテンツ，または他のどの対象に関心があるかを推測できる．しかし，これだけでは関心の強さを推測することが難しいため，従来研究[1][30]でも使用されているように対人距離や注視時間から関心の強さを推定し，それに合わせて適切な手掛かり情報を与える．HMD 装着者に関しても同様に，与えられた手掛かり情報への関心の有無（近接者への関心の有無）を視線の向きで推測し，関心の強さを対人距離や注視時間から推測する．近接者が至近距離（Intimate step zone 以内）にいる場合は，両者の関心の対象や強さに関わらず，安全確保のため，手掛かり情報が提示される．また近接者の属性に応じて，HMD 装着者へ与える手掛かり情報の強さを変化させることができる．

## 4. 手掛かり情報の検討

先に述べたように，従来研究でも HMD 装着者と非装着の近接者の間のアウェアネスを高める様々な手法が提案されている[7][13][21]．それらを参考に，本研究では HMD 装着者と近接者のそれぞれが持つ目的に基づき，アウェアネ

スを高めるための手掛かり情報をどのように設計できるか検討する．また従来研究でも指摘されているように，手掛かり情報の設計は，HMD 装着者の体験中のコンテンツや，両者がいる空間内の環境などに大きく影響を受ける[7]．そのため，ここでは HMD 装着者と近接者の目的を理解し，さらにコンテンツや環境に応じて手掛かり情報を設計するにはどのような方法があるかを幅広く検討してゆく．

### 4.1 近接者に対する手掛かり情報の検討

#### 4.1.1 近接者の目的と必要な処置

HMD 装着者と近接者の関係を考えた場合，近接者の目的は，HMD 装着者に関心がある場合，HMD 装着者が体験中のコンテンツに関心がある場合，HMD 装着者にもコンテンツにも関心がない場合の3つに分けることができると考えた．それぞれの状況に応じて提示する手掛かり情報も異なってくるはずである．1つ目の“HMD 装着者に関心がある場合”に関しては，近接者が HMD 装着者とコミュニケーションをとりたいので，近接者が必要としている情報は，今 HMD 装着者が何をしているのか，そして今話しかけてもいいのかどうかの二点が考えられる．また2つ目の“HMD 装着者が体験中のコンテンツに関心がある場合”に関しては，近接者はコンテンツを楽しむ観客のようになっているので，コンテンツを共有して楽しめるような工夫が必要である．また3つ目の“HMD 装着者にもコンテンツにも関心がない場合”に関しては，近接者が HMD 装着者を邪魔することなく，自らの目的をスムーズに済ませることができるようにすべきである．

#### 4.1.2 近接者への手掛かり情報の例

手掛かり情報の提示には従来研究[9]でも使用されているように，近接者が存在する空間にあるものを利用できると考えた．例えば，壁にプロジェクション[14]をして HMD 装着者の視界を複製して表示したり（図5），床に，VE 内でのプレイエリアやコンテンツマップを表示することで HMD 装着者の動く範囲やコンテンツの種類を伝えることができる（図2）．また VE 内で流れている音をスピーカーで流すと，コンテンツを近接者と共有することができる．

### 4.2 HMD 装着者に対する手掛かり情報の検討

#### 4.2.1 HMD 装着者の目的と必要な処置

HMD 装着者は基本的には VR 空間内においてその世界に没入している．そのため，体験を妨害しすぎることなく近接者の状況がわかるような手掛かり情報を設計することが重要だと考えられる．従って，HMD 装着者に提示すべき手掛かり情報は，HMD 装着者が現在行っている活動を継続するかあるいは中断するか意思決定を可能にするためのものであるべきだと考えられる．

#### 4.2.2 HMD 装着者への手掛かり情報の例

VR 空間にいる HMD 装着者に対して手掛かり情報は，従来研究[7]でも使用されているように，視覚，聴覚などの情報を使用して設計することができる．我々はそれらの情報



図 2 迷路探索：HMD 装着者の動く範囲を伝える手掛かり情報の例（床にマップを表示）

を VE 内に加える、あるいは取り除くことで、手掛かり情報を与えることができると考えた。例えば、VE 内に近接者を表現した 3D モデルを加える、あるいは VE 内の音量を下げても没入感を下げるなどである。

これに加えて、手掛かり情報の強さ（気づきやすさや妨害性）を段階的に制御する必要がある。このために本研究では、VE 内の体験や物語に対して自然である（ダイジェティック [2][23][26]）かどうかを考慮する。例えば、ゲーム内でのユーザインタフェースをダイジェティックに設計することで没入感を保護する手法を検討している例があり [23][26]、手掛かり情報に関しても、同様の効果を期待することができると思った。従って、近接者がいる程度離れて（Observation zone）おり、HMD 装着者の方向に視線を向け始めた時など直接的なインタラクションが発生する可能性が低いときに利用することができる。一方、ノンダイジェティックな手掛かり情報は、体験やコンテンツの物語に対して自然でないものであり、HMD 装着者の体験を妨害する可能性が高いが、気づかれやすいために、近接者が近くインタラクションの発生が予測される状況や、衝突の危険性がある場合（Danger zone）では効果的である。

VE 内のコンテンツと手掛かり情報の関係も考慮する必要がある [1]。具体的には、手掛かり情報が VE 内で移動する場合、または HMD 装着者自身が部屋内を移動する場合、HMD 装着者の視界から手掛かり情報が外れてしまうと、その手掛かり情報は機能しなくなる。その場合は、例えば聴覚情報と組み合わせることや、VE 内のどこを見ているかわかるような手掛かり情報を与えるべきである。

## 5. 利用シナリオ実装例

実際の利用場面において頻繁に発生すると考えられるシナリオを作成し、HMD 装着者と近接者のアウェアネスを段階的に高めるために本手法をどのように活用できるかを幅広く検討する。シナリオを作成するにあたって、近接者の行動、HMD 装着者の視聴コンテンツ、両者に与える手掛かり情報を設定する。近接者の行動に関して、4.1.1 項で述べた近接者の目的を網羅できるように設定した。作成した 4 つの利用シナリオは次の通りである。

- A) 近接者が HMD 装着者に対してもコンテンツに対しても関心がない場合

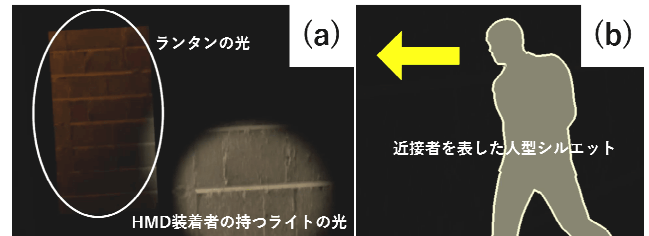


図 3 迷路探索：(a) 近接者のいる方向を伝えるランタンの光と (b) 近接者の位置と進む方向を伝えるシルエット

- B) 近接者がコンテンツに関心がある場合
- C) 近接者が HMD 装着者に関心がある場合
- D) 属性の異なる二人の近接者がいて、一人はコンテンツにもう一人は HMD 装着者に関心がある場合

これら 4 つの利用シナリオの内、A と B は近接者と HMD 装着者の間でインタラクションが発生しないシナリオであり、C と D は近接者と HMD 装着者の間でインタラクションが発生するシナリオである。また、4.2.2 項で述べたように、HMD 装着者に与える手掛かり情報は HMD 装着者の体験するコンテンツより影響を受けるため、シナリオ内で HMD 装着者が体験する 4 種のコンテンツは手掛かり情報が VE 内を移動するかどうか×HMD 装着者が部屋内を移動するかどうかの組み合わせで決定した。両者に与える手掛かり情報は 4.1.2 項および 4.2.2 項で述べた例に基づき作成した。以下、これらの検討を基に作成した 4 つのシナリオに関して詳しく述べる。各シナリオの説明文では、ケンタ、マサキ、ハナコ、サトルの 4 人の登場人物がおり、ケンタ、マサキ、ハナコは友人、サトルは彼らの上司である。

### 5.1 迷路探索：近接者が HMD 装着者に対してもコンテンツに対しても関心がない場合

ケンタは HMD を装着して、VE 内で暗い迷路を探索するゲームをプレイ中である。ケンタの友人のハナコは、ケンタがいる部屋の奥にある本を取るために入室してきた。その際、VE 内では、ハナコの位置にランタンのオブジェクトが追加して表示され、ハナコの方向からランタンの光が差してきた（図 3 (a)）。同時に、現実世界には部屋の床にブラー処理された迷路のマップが表示され（図 2 (a)）、ハナコが本の方向に歩くと、ブラー処理されていたマップがクリアになった（図 2 (b)）。ハナコはそれによりケンタが移動する可能性のある場所を確認できた。VE 内のランタ





図 4 映画鑑賞：(a) タブレットを使用して近接者が VE 内を探索する様子と (b) タブレットに表示されている映像，および (c) HMD 装着者に提示された映画を一緒に見ている近接者を伝える顔写真

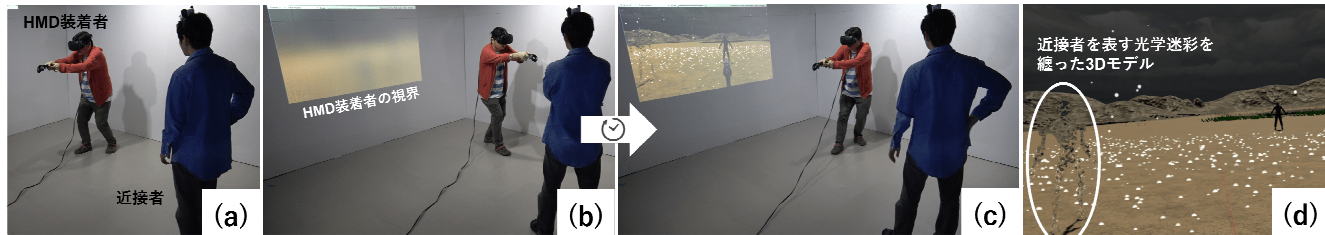


図 5 FPS ゲーム：(b) HMD 装着者の体験中のコンテンツを伝えるためにプロジェクタで投影された手掛かり情報，(c) 近接者の関心の度合いに合わせてクリアに表示されたコンテンツ，(d) 近接者を表す光学迷彩を纏った 3D モデル

ンの光に気づいたケンタが近接者の存在に気づきその方向を見ると、近接者の存在を示すモデルが表示された (図 3 (b)). ケンタはモデルの向きと進んでいる方向から、近接者が自分に用がある訳ではないと判断し、ゲームに戻った。

解説：上記のシナリオは、近接者が HMD 装着者に対してもコンテンツに対しても関心がない場合である。手掛かり情報の提示は対人距離に加え、両者の視線の向きと継続時間を考慮している。はじめ、近接者が Observation zone に入った時、HMD 装着者に対して近接者の存在を知らせるため、ダイジェティックで弱い手掛かり情報 (ランタンの光) が VE 内に与えられた。近接者に対しては、スムーズに本を取りに行けるように、床に迷路のマップが表示された。HMD 装着者のプライバシー保護のため[2]、近接者が Observation zone にいる時、マップはぼかして表示されたが、距離が近くなった (Mutual step zone) ことに合わせて表示されているマップはクリアに表示された。その後 HMD 装着者が近接者に目を向けると、近接者の歩く方向や位置、顔の向きがわかる人型シルエットが表示された。

## 5.2 映画鑑賞：近接者がコンテンツに関心がある場合

HMD 装着者であるケンタは VE 内でソファに座りながら映画を見ている。ケンタの友人であるマサキはケンタがいる部屋に入ってきた。ケンタが何かしていることに気づいたマサキは、ケンタの方を向いて少し離れた位置で立ち止まった。それを検知したシステムは、ドアが開く音を VE 内で再生することでケンタの近くに誰かがいることを伝えた。同時に、マサキの持っているタブレット端末にケンタが見ている映画の情報が表示された。マサキがそれに興味を持ち眺めていると、タブレット端末がケンタのしている VE 内を覗ける窓のようになった。このためマサキはケンタの周りを歩きながら VE 内を観察した (図 4 (a), 図 4

(b)). 同時に VE 内では、システムが足音を再生し、ケンタの近くで誰かが歩いていることを伝えた。映画に対してさらに興味を持ったマサキはタブレット端末を VE 内のスクリーンのある方向に向けて映画を見た。少し後、マサキのタブレット端末には VE 内で再生中の映画が再生された。それを検知したシステムは、ケンタが見ている映画の画面上にマサキの顔写真を表示して (図 4 (c)), マサキが付近で同じ映画を一緒に見ている状況であることを伝えた。

解説：このシナリオは近接者がコンテンツに関心がある場合である。手掛かり情報の提示は対人距離に加え、近接者の視線の向きとその継続時間を考慮している。はじめ、近接者に対して、近接者が Observation zone に入った時に、映画の情報がタブレット端末上に表示された。その後、タブレット端末上のコンテンツに視線が継続して向けられているため、タブレット端末が VE 内を覗ける窓になった。その後、VE 内のスクリーンに視線が向け続けられたため、タブレット端末上で映画が再生された。HMD 装着者に対しては、近接者が Observation zone に入ったタイミングで近接者の存在を知らせるための、ダイジェティックで弱い手掛かり情報 (扉が開く音) が与えられた。次に、近接者が HMD 装着者に接近したため (Mutual step zone) ダイジェティックで弱い手掛かり情報 (足音) が与えられた。最後に、近接者が映画をタブレット端末上でみて近くに座った時に (Danger zone), スクリーン状に顔のアイコンが表示され、近くで近接者が映画を見ていることを伝えた。

## 5.3 FPS：近接者が HMD 装着者に関心がある場合

ケンタは HMD を装着し、雪の降るなか四方から敵が接近するファーストパーソンシューティングゲーム (FPS ゲーム) をプレイしている。ケンタの友人であるマサキはケンタに話しかけようと近づくと、ケンタが HMD を装着し



図 6 ドライブシミュレーション：コンテンツに興味がある近接者に提示された手掛かり情報 ((a) HMD 装着者の視界, (b) 関心の度合いに合わせて追加されたコンテンツ)



図 7 ドライブシミュレーション：上司が Danger zone まで近づいた時の手掛かり情報 ((a) 通常時の HMD 装着者の視界, (b) 白黒に変わった HMD 装着者の視界)

て激しく体を動かしていたため、少し離れた位置で様子を窺った。マサキが付近でケンタを見ていると、VE 内では図 5 (d) のように光学迷彩を纏う人型モデルが現実空間のマサキと対応する位置に出現した。同時に、マサキがケンタの状況を把握できるようにするためケンタの視界をぼやかした映像がプロジェクタによって壁に投影された (図 5 (b))。さらにマサキがケンタを少し見ていると、ぼやかして表示されていたコンテンツがクリアになった (図 5 (c))。マサキが依然としてケンタを見ていると、VE 内の音量が下がり現実空間からの音が聞こえやすくなるとともに、VE 内の時間の進みが遅くなり、没入度が下がった。同時に現実世界には、外部の音がケンタに届くことを伝えるために、投影されているコンテンツ上に耳のアイコンが表示された。そのあとマサキはケンタに声をかけ、ケンタはマサキの声かけに気づき、FPS ゲームを中断し 2 人は会話を始めた。

解説：このシナリオは、近接者が HMD 装着者に関心がある場合である。手掛かり情報の提示は対人距離に加え、近接者の視線の向きやその継続時間を考慮して判断されている。はじめ、近接者に対して、近接者が Observation zone に入った時に、壁に HMD 装着者の視界がぼかして表示された。その後、近接者が HMD 装着者に視線を向け続けたため、コンテンツがクリアに表示され、その後、HMD 装着者が近接者からの呼びかけに反応できることを伝えるために耳のアイコンが壁に表示された。HMD 装着者に対しては、近接者が Observation zone にいて視線を向け始めるとダイジェティックな人型のモデルが VE 内に与えられた。その後、視線が継続して向けられていたため、ノンダイジェティックな強い手掛かり情報 (音量の低下、VE 内の時間の流れの変化) が段階的に VE 内に与えられた。

#### 5.4 ドライブシミュレーション：属性の異なる二人の近接者が HMD 装着者に接近してきた場合

HMD 装着者であるケンタは 1 人用のドライブシミュレーションをプレイしている。ケンタの友人であるハナコは、ケンタがいる部屋に入り、ケンタが何かをしていることに気づき近づいた。システムはハナコを検知して VE 内に別の車のエンジン音を加えて、ケンタに誰かが近くにいることを伝えた。同時に、現実世界にはケンタのしている映像がプロジェクタによりケンタの正面の壁に映し出されて、ハナコはそれを見ていた (図 6 (a))。ハナコが壁に映された映像を見続けていることを検知したシステムは、映像を徐々にクリアにし、さらにコース全体がわかるコースマップが追加で隣に表示された (図 6 (b))。少し後、ケンタの上司であるサトルが、ケンタと話すために部屋に入ってきた。システムがそれを検知すると、VE 内でエンジン音ではなくクラクションの音が鳴った。さらにサトルがケンタに近づくと VE 内の車のスピードが遅くなり、ケンタの手の届く位置まで近づいたとき、HMD 装着者の視界が図 7 (a) から図 7 (b) のように白黒になった。これによりケンタは近接者の存在を強く実感し、プレイを中断した。

解説：このシナリオは、属性の異なる二人の近接者がおり、一人はコンテンツに、もう一人は HMD 装着者に関心がある場合である。手掛かり情報は対人距離に加え、近接者の視線の向きや継続時間、さらに近接者の属性を考慮して判断されている。近接者に対して、一人目の近接者が Observation zone に入ったのに合わせて、壁にコンテンツがぼかして表示された。その後、コンテンツに対して視線が継続して向けられたため、表示されたコンテンツがクリアになり、さらに追加でコンテンツが表示された。二人目の

近接者にはすでに十分な手掛かり情報が提示されていると判断したため、追加で手掛かり情報は提示されなかった。HMD 装着者に対して、一人目の近接者が Observation zone に入った時にダイジェティックな弱い手掛かり情報（エンジン音）が VE 内に与えられた。上司が接近してきた時の手掛かり情報（クラクション音）は、友人が接近してきた時の手掛かり情報よりも強い手掛かり情報が与えられた。さらに上司が接近した際は（Intimate step zone, Danger zone）、徐々にノンダイジェティックな強い手掛かり情報（車の速度の低下、視界のモノトーン化）を与えた。

## 6. デザインスタディ

我々が提案した手掛かり情報の提示手法、および両者の目的に基づいてデザインした手掛かり情報に対する評価、さらに改善点などユーザ目線の意見を得ることを目的としたデザインスタディを実施した。本研究では、限られた場面におけるタスクパフォーマンスを計測するよりも、4 つのシナリオを材料として、本手法が受け入れられるか、そして、身近な場面へどう適用できるか、といった考察を深めることを重視した。デザインスタディでは従来研究を参考に[7]、5章で述べたシナリオの動画を参加者に見てもらい、それを踏まえて参加者はグループディスカッションを行った。参加者は、HMD を娯楽や研究のために使用したことがある9名（男性8名、女性1名）である。実験は3名1グループとして、合計3グループが議論を行った。

### 6.1 手順

デザインスタディは大きく4つのセクションに分かれている。参加者はまず、ある1つのシナリオを表した動画を視聴し、実験者はシナリオに関しての説明を行った。その後、参加者同士で約15分間の議論を行った。議論終了後にシナリオに関するアンケート調査を行った。その後、5分間の休憩をとった。以上の手順を1セクションとして、合計4つのシナリオについて4セクション行った。デザインスタディは1グループあたり約2時間かかった。

### 6.2 議論内容

議論の際には実験者がファシリテータとして参加し、シナリオ、手掛かり情報、提示手法、の3つの観点から議論をさせる質問を提示した。提示した質問は次の通りである。

- シナリオを理解できたか。実際に発生すると思ったか。
- HMD 装着者および近接者に対して与えられた手掛かり情報により状況の把握が可能か。
- 手掛かり情報が段階的に与えられることに関してどのような印象をもったか

### 6.3 結果

#### 6.3.1 手掛かり情報の提示手法と段階的な遷移

本稿では、近接学に基づいた段階的に手掛かり情報を提示する方法を採用したが、これに対して、手掛かり情報の

与え方が自然で良いと思ったという意見が多かった。しかし、これに加えて“手掛かり情報が与えられるまで待ちたくない場合もあるのでボタンやジェスチャなど明示的な入力が必要だと思った”との意見も得られた。従来の、近接学を人とデバイスとのインタラクションに活用した研究でも、非明示的なインタラクションと明示的なインタラクションの両方を組み合わせる方法を検討しているものもある[1][15][29]。例えば、衝突の危険や緊急の用事がある場合に、瞬時に手掛かり情報を提示できる方法や、システムが誤動作をした場合に、HMD 装着者や近接者が手掛かり情報を拒否する方法等といった、明示的なインタラクションを含む提示手法を今後検討してゆく必要があるであろう。

手掛かり情報の強さの遷移に関しても意見が得られた。例えば、“ドライブシミュレーションにおいて、友達が来た時、友達はコンテンツに興味があるのであって HMD 装着者に用があるわけではないので、存在を知らせる程度で HMD 装着者に与えられる手掛かり情報は時間とともに弱くなっていくべきだ”との意見が得られた。これに関して、今回試験的に実装したシナリオでは、与えられた手掛かり情報は時間に関わらず一定か、あるいは時間とともに強くなっていくものであった。与えられている手掛かり情報が弱くなるように制御することも当然可能であり、より適切な形で手掛かり情報を提示するためには重要な点と考える。

#### 6.3.2 安全性と妨害性のバランス

安全性に関する意見が、特に HMD 装着者が部屋内を移動する場面に関して多く得られた。例えば、迷路探索のシナリオにおいて、HMD 装着者の移動範囲を表示することは、近接者が安全に歩ける範囲を示すことができるため、本を取るという目的を達成するにあたり有益であったという意見が挙げられた。しかし、床に表示する情報は近接者が近くに來るもっと前に表示されているべきだとの意見も多く上がった。この考えは特に HMD 装着者が部屋内を移動する場合に有効であるとされ、逆に HMD 装着者がさほど移動しないシナリオに関しては、参加者から安全性に関して言及されることはなかった。

なお、安全性の確保は HMD 装着者の体験の保護と同じくらい重要なものとして考えられた。例えば HMD 装着者が部屋内を移動する場合、あるいは近接者が歩み寄ってくるような状況で近接者と HMD 装着者が衝突する危険がある場合は、シナリオ内で使用したものよりも強い手掛かり情報が与えられるべきだという意見が多く得られた。逆に、5章で紹介したドライブシミュレーションや映画鑑賞のような、HMD 装着者と近接者が接触する可能性が低い状況においては、体験を保護するよう、弱い手掛かり情報が与えるべきだとの意見が多かった。

#### 6.3.3 プライバシーとアウェアネスのバランス

過去のアウェアネスに関わる研究でも取り上げられているように[2]、本実験でもプライバシーに関する意見が多



く得られた。今回のシナリオでは、プロジェクタを用いて HMD 装着者の視界を壁に表示する方法を用いた。これに対する近接者側の意見として、HMD 装着者の様子が分かって良いという意見が得られたが、他の意見として“もし私が HMD 装着者ならコンテンツによっては見せたくない時がある”，同様に“自分のプライバシーを守りたい”との意見も挙げられた。HMD 装着者のプライバシー保護の最も確実な方法は、近接者に対して何一つ手掛かり情報を提示しないことであるが、それでは近接者は HMD 装着者に対して何も理解することができない。そこで、プライバシーを保護しながら近接者のアウェアネスを高める方法に関しての議論が行われ、幾つかの方法が提案された。例えば、“コンテンツをそのまま表示するのではなく、テキストで何をやっているかの説明をすれば、情報量を抑え、プライバシーを守りながら HMD 装着者の状況を伝えることができる”，あるいは“コンテンツを簡単なオブジェクトに置き換えて表示するとプライバシーを保護できるかもしれない”などの意見が挙げられた。また他の方法として、HMD 装着者がプライバシーの設定を事前に行うことで、プライバシーを守れるとの意見も挙げられた。このように、HMD 装着者のプライバシーに関わる議論は活発に行われたが、その反面、近接者の情報が HMD 装着者に提示されることに対するプライバシーの保護を訴えるような意見はなかった。本稿では、プライバシーに焦点を当てた手法の検討を特に行ってはないが、従来研究では近接学に基づき歩行者の位置に応じてディスプレイに表示しているコンテンツを暗くする等を行うことでプライバシー保護に役立っている例もある[3]。HMD 装着者と近接者双方のアウェアネスを考えるにあたって、プライバシーは安全性の次に大事なポイントだと考えており、継続して検討してゆきたい。

### 6.3.4 手掛かり情報の内容

近接者の立場から、手掛かり情報によって得たい情報は、HMD 装着者自身に関する情報と、VE 内のコンテンツに関する情報だという意見があった。近接者が HMD 装着者とコミュニケーションを取りたい場合、“もし私が近接者であれば、今 HMD 装着者が外部のどの情報を受け取ることができるのかを知りたい（視覚、聴覚など）。そうすれば、それによって HMD 装着者に対して行動を取りやすくなる”という意見が得られた。また“コンテンツが部屋に表示されることによって、HMD 装着者が何をしているかがわかり、とても役に立つ情報だと思った”という意見も得られた。しかし、これに加えてさらに“HMD 装着者が今話しかけているのか悪いのかをテキストなどで表示してくれるとさらに良い”という意見も得られた。近接者が観衆の立場になった時に関する意見も様々得られた、例えば、“私がコンテンツを見ているとしたら、コンテンツの映像に加え、HMD 装着者のコンテンツに対する入力や、そのコンテンツの今までの成績等、HMD 装着者自身に関わる情報があ

表 1 利用シナリオに関するアンケート結果  
(1 = 全然そう思わない, 5 = とても思う)

	迷路探索	映画鑑賞	ドライブシミュレーション	FPS
妥当性	3.8	4.4	4.1	4.2
現実性	3.9	4.4	3.9	4.7

るとさらに楽しめると思った”との意見が得られた。

HMD 装着者の立場からは、近接者の関心の強さ、位置、近接者の属性（近接者が友人か上司かが把握可能な情報）がわかる手掛かり情報が与えられることは良いという意見が多かった。しかし、近接者の属性に関しては、さらに追加して必要となる情報も挙げられた。例えば、“ドライブシミュレーションシナリオにおいて、上司が近づいてきたことを把握することはできたが、上司でも誰なのかをさらに知りたいと思った。”という意見が得られた。さらに個人を識別することは、上司のケースに限らず、友達や同僚であっても大切なことだとの意見もあった。“例えば、喧嘩している友達が部屋に入ってきた場合、その人が入ってきたことがわかるような情報が欲しい”との意見が挙げられた。また他にみると望ましい情報として、より近接者の意図が伝わるように、近接者の身振り手振りが反映された手掛かり情報があると良いという意見も得られた。

### 6.3.5 手掛かり情報がコンテンツに与える影響

HMD 装着者に手掛かり情報を与えることは、HMD 装着者が体験中のコンテンツに対して何らかの変化を与えるので、体験を阻害する可能性が考えられる。従って、手掛かり情報とコンテンツとの関係性を考えることは大切だとの意見が挙げられた。我々も同様の考えを持っており、手掛かり情報を設計する際には、ダイジェティブな手掛かり情報を用いて体験を保護するなどの工夫を行った。利用シナリオで用いたランタンの光やドアを開ける音など、ダイジェティブな手掛かり情報を用いたことに対しては好意的な意見が多かったが、例えば、迷路探索ゲームシナリオに関して、“迷路探索ゲームで用いられたランタンの光は、本来見ることのない道の先を示してしまい、ネタバレやヒントとなるため体験を阻害していると思う”という意見が挙げられた。今回は体験を保護するためにその手掛かり情報がそのコンテンツ内に存在しても自然かどうかという点で設計したが、さらに体験を保護するためには、その手掛かり情報が与えられたことで、ゲームの進行などに影響を与えすぎないかという点に関する配慮も必要であろう。

### 6.3.6 シナリオの妥当性と現実性

近接者の目的に基づいた 4 つのシナリオに関して、参加者は概ね妥当であり、実際に起こる可能性があると考えた（表 1）。また、他に起こりうるシナリオとして、近接者が複数人いて HMD 装着者が行うデモを見ている、上司がコンテンツを閲覧する、コンテンツに近接者が参加する、等の場合が考えられるとの意見が出た。

### 6.3.7 結果のまとめ

本デザインスタディにより得られた知見をまとめると、次の通りである。

- 近接学に基づいた段階的な手掛かり情報の提示は、概ね受け入れられた。
- HMD 装着者が部屋内を移動する場合、安全性確保のための手掛かり情報の提示は非常に重要である。
- HMD 装着者が体験中のコンテンツを近接者に提示することでアウェアネスは高まるが、プライバシー保護とのバランスをとる必要がある。
- お互いの関心の強さ、位置、属性に関する手掛かり情報が与えられることは有益である。
- HMD 装着者へのダイジェティックな手掛かり情報の提示は受け入れられたが、体験中のコンテンツ自体に影響を与えないようにすべきである。
- 提示したシナリオは妥当であり、現実性が高かった。

## 7. 議論と今後の展望

本研究で行ったデザインスタディは、本手法の利用可能性について考察を深めることに重点を置いた初期の検討であり、タスクパフォーマンスの評価等は今後行う必要がある。しかし HMD 使用経験者から手法や作成したシナリオに関して多くの知見を得られた。ここではそれを踏まえた議論と今後検討が必要な事項を述べる。

### 7.1 段階的な手掛かり情報の提示のためのパラメータ

我々が手掛かり情報の提示に使用したパラメータは単純なものであったが、さらにセンサの数や種類を増やし、より多くの情報を取得することで、ユーザの意図をより正確に推測できると考えられる。例えば、デザインスタディの参加者から“もし私が近接者で急ぎの用事がある場合、おそらくその様子が表情から読み取れると思う”、あるいは“もし用事がなければ直接 HMD 装着者に向かって歩くことはないの、動いている様子を連続的に記録することで、より正確な推測ができると思う”という意見が得られた。これらは近接者の様子をさらに分析するための意見であるが、我々は HMD 装着者に対しても適用できると考えている。例えば、HMD 装着者が何らかのゲームを体験中に、中断できるかどうかの判断に表情が使用できると思われる。

### 7.2 非明示的な提示手法の懸念点

本手法は近接学に基づきユーザの非明示的な意図を推測するものであるが、従来研究[8]でも述べられているように、非明示的な手法が時に上手く機能しない時があることを考慮する必要がある。例えば、ユーザが手掛かり情報の与えられ方を理解できない、意図に合わない手掛かり情報が与えられるなどである。この問題を解決する方法として、今回の非明示的な手法と明示的な手法を組み合わせることが考えられる[28]。例えば、ジェスチャやユーザの持っているスマートフォンで、システムに対してユーザが自

ら情報を求める、与えられた手掛かり情報とは別のものを要求する方法が考えられる。また、システムの推測の正確性を高める方法として、過去のユーザの行動を学習することにより正確に推測することができると考えられる。

### 7.3 ダイジェティックな手掛かり情報とノンダイジェティックな手掛かり情報

HMD 装着者に対する手掛かり情報としてダイジェティックな手掛かり情報とノンダイジェティックな手掛かり情報を設計した。ダイジェティックな手掛かり情報のメリットとしては、HMD 装着者の没入度を下げずに近接者の状況を伝えることができるということである[23][26]。しかし、ダイジェティックな手掛かり情報は VE 内に馴染むがゆえに、手掛かり情報として認識されない可能性もある。したがって、ダイジェティックな手掛かり情報は、近接者の位置だけを伝えるなど、HMD 装着者に対して体験を中断させるまでもないが、近接者の状況を伝える必要があると考えられる場合に、効果的であると考えられる。それに対して、ノンダイジェティックな手掛かり情報は、ダイジェティックな手掛かり情報と比べて没入感を下げってしまう可能性が高いが、手掛かり情報として認識される可能性が高い。従って、衝突の危険や近接者が急ぎの用事がある時など、すぐに気づかせる必要がある時に効果的であると考えられる。より詳細な、ダイジェティックな手掛かり情報とノンダイジェティックな手掛かり情報が HMD 装着者に与える影響に関して（例えば、没入度や気づきやすさ）の調査は今後行う必要があると考えている。

### 7.4 手掛かり情報の媒体

手掛かり情報は、今回我々が作成したもの以外にも環境に合わせて、様々に設計することが可能である。本稿では、近接者に手掛かり情報を与える際に、利用シナリオではプロジェクタやタブレット端末を使用した。これらは環境によっては使用できない場合があると考えられるが、例えばプロジェクタを用いてコンテンツを壁に表示する代わりに、オフィス等であれば当然並んでいる液晶ディスプレイが使用できる。床ディスプレイについては、スペース含めやや特殊な環境が必要であるが、安全面に関して有効に働き、情報や体験の共有に対しても有望であるため[9]、将来的には HMD に付随する基本セッティングとなってもおかしくない。または代替手段として、スマートフォンの AR 機能を用いてプレイエリアを表示する等の方法であれば、床ディスプレイと比較して低コストで実現できる。HMD 装着者に対しても、例えば、視聴覚情報以外に風や熱等を用いた手掛かり情報の提示も可能であると考えられる[7][25]。

### 7.5 他に想定される利用シナリオ

デザインスタディの参加者から、オフィスや自宅などで実際に発生すると考えられる他のシナリオとして、特に、近接者が観衆となる場合を想定したシナリオが多く挙げられた。近接者のために我々が使用した手掛かり情報の提示



は、プロジェクタやタブレット端末を使ったものだった、しかし、より近接者が観衆として楽しめる体験を提供するためには、例えば HMD 装着者にプロジェクションを行い、あたかも HMD 装着者がバーチャル空間内のキャラクターであるかのように見せる、あるいはモバイル AR を活用して VE 内のオブジェクト等を三次元的に見せるような工夫が効果的かもしれない。体験の質に関しても、これまでに挙げた方法だけでなく、様々な方法を検討してゆきたい。

また、今回のシナリオでは、複数人の近接者がいることを想定したシナリオに関しては、あまり検討していない。コンテンツに関しても、今回はエンタテインメントコンテンツを使用したがる、例えば文書の編集等、ビジネスでも使用されることが考えられるため、幅広いコンテンツ使用を想定して検討が必要であろう。

## 8. まとめ

本研究では、HMD 装着者と非装着の近接者のアウェアネスを高めることを目標として、近接学に基づき、対人距離、視線、および近接者の属性を用いて、HMD 装着者と近接者の関心の度合いを推測し、段階的に手掛かり情報を提示する手法を提案した。また、提案手法の実利用にあたり、HMD 装着者と近接者の目的ごとに手掛かり情報を設計し、実際に両者のアウェアネス向上が必要とされる4つの利用シナリオを提案した。さらに、作成したシナリオを用いてデザインスタディを行い、HMD 使用経験者からフィードバックを得た。それに基づき、手掛かり情報の効果、安全性、プライバシー、エンタテインメント用途等、様々な観点で議論を展開した。今後は、近接情報の高精度の取得や実環境への適応等を検討中である。

## 参考文献

- [1] Till Ballendat, Nicolai Marquardt, and Saul Greenberg. Proxemic Interaction: Designing for a Proximity and Orientation-Aware Environment. *ITS '10*: 121–130.
- [2] Michael Boyle, Christopher Edwards, and Saul Greenberg. The effects of filtered video on awareness and privacy. *CSCW '00*: 1–10.
- [3] Frederik Brudy, David Ledo, Saul Greenberg, and Andreas Butz. Is Anyone Looking? Mitigating Shoulder Surfing on Public Displays through Awareness and Protection. *PerDis '14*: 1–6.
- [4] Liwei Chan and Kouta Minamizawa. FrontFace: Facilitating Communication Between HMD Users and Outsiders Using Front-Facing-Screen HMDs. *MobileHCI '17*: 1–5.
- [5] Cheng Chen, Alexandre Heili, and Jean Marc Odobez. A joint estimation of head and body orientation cues in surveillance video. *ICCV Workshops '11*: 860–867.
- [6] Anind K. Dey, Gregory D. Abowd, and Daniel Salber. 2001. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications. *Hum.-Comput. Interact.* 16, 2: 97–166.
- [7] Sarthak Ghosh, Lauren Winston, Nishant Panchal, Philippe Kimura-Thollander, Jeff Hotnog, Douglas Cheong, Gabriel Reyes, and Gregory. D. Abowd. NotifiVR: Exploring Interruptions and Notifications in Virtual Reality. *IEEE VR '18*. vol 24, no 4: 1447–1456.
- [8] Saul Greenberg, Sebastian Boring, Jo Vermeulen, and Jakub Dostal. Dark patterns in proxemic interactions: a critical perspective. *DIS '14*: 523–532.
- [9] Jan Gugenheimer, Evgeny Stemasov, Julian Frommel, and Enrico Rukzio. ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users. *CHI '17*: 4021–4033.
- [10] Jan Gugenheimer, Evgeny Stemasov, Harpreet Sareen, and Enrico Rukzio. FaceDisplay: Towards Asymmetric Multi-User Interaction for Nomadic Virtual Reality. *CHI '18*: 1–13.
- [11] Carl Gutwin and Saul Greenberg. A descriptive framework of workspace awareness for real-time groupware. *CSCW '02*. 11, 3: 411–446.
- [12] E. T. Hall. Hidden dimension. *Garden city, N.Y., Doubleday, 1966*.
- [13] Akira Ishii, Masaya Tsuruta, Ippei Suzuki, Shuta Nakamae, Tatsuya Minagawa, Junichi Suzuki, and Yoichi Ochiai. ReverseCAVE: Providing Reverse Perspectives for Sharing VR Experience. *SA '17*. Article 28: 2 pages.
- [14] Brett Jones, Rajinder Sodhi, Michael Murdock, Ravish Mehra, Hrvoje Benko, Andrew D. Wilson, Eyal Ofek, Blair MacIntyre, Nikunj Raghuvanshi, and Lior Shapira. RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-camera Units. *UIST '14*: 637–644.
- [15] Wendy Ju, Brian A. Lee, and Scott R. Klemmer. Range: Exploring Implicit Interaction through Electronic Whiteboard Design. *CSCW '08*: 17–26.
- [16] Kohei Kanamori, Nobuchika Sakata, Tomu Tominaga, Yoshinori Hijikata, Kensuke Harada, and Kiyoshi Kiyokawa. Obstacle avoidance method in real space for virtual reality immersion. *ISMAR '18*: 80–89.
- [17] Kohei Kanamori, Nobuchika Sakata, Tomu Tominaga, Yoshinori Hijikata, Kiyoshi Kiyokawa, and Kensuke Harada. Walking support in real space using social force model when wearing immersive hmd. *ISMAR '18 Adjunct*: 250–253.
- [18] Robert E. Kraut, Robert S. Fish, Robert W Root, and Barbara L Chalfonte. 1990. Informal Communication in Organizations - Form, Function, and Technology. In *S. Oskamp & S. Spacapan (Eds.), Human reactions to technology: Claremont symposium on applied social psychology. Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1990*.
- [19] Nicolai Marquardt, Robert Diaz-Marino, Sebastian Boring, and Saul Greenberg. The Proximity Toolkit: Prototyping Proxemic Interactions in Ubiquitous Computing Ecologies. *UIST '11*: 315–325.
- [20] Nicolai Marquardt, Ken Hinckley, and Saul Greenberg. Cross-Device Interaction via Micro-mobility and F-formations. *UIST '12*: 13–22.
- [21] Mark McGill, Daniel Boland, Roderick Murray-Smith, and Stephen. Brewster. A Dose of Reality: Overcoming Usability Challenges in VR Head-Mounted Displays. *CHI '15*: 2143–2152.
- [22] Florian Mueller, Sophie Stellmach, Saul Greenberg, Andreas Dippon, Susanne Boll, Jayden Garner, Rohit Khot, Amani Naseem, and David Altimira. 2014. Proxemics Play: Understanding Proxemics for Designing Digital Play Experiences. *DIS '14*: 533–542.
- [23] Lasse T. Nielsen, Matias B. Moller, Sune D Hartmeyer, Troels C M Ljung, Niels C Nilsson, Rolf Nordahl, and Stefania Serafin. Missing The Point: An Exploration of How to Guide Users' Attention During Cinematic Virtual Reality. *VRST '16*: 229–232.
- [24] Daniel Pohl and Carlos Fernandez De Tejada Quemada. See what I see: Concepts to improve the social acceptance of HMDs. *IEEE VR '16*: 267–268.
- [25] Nimesha Ranasinghe, Pravara Jain, Nguyen Thi Ngoc Tram, Koon Chuan Raymond Koh, David Tolley, Shienny Karwita, Lin Lien-Ya, Yan Liangkun, Kala Shamaiah, Chow Eason Wai Tung, Ching Chiuan Yen, and Ellen Yi-Luen Do. Season Traveller: Multisensory Narration for Enhancing the Virtual Reality Experience. *CHI '18*: 1–13.
- [26] Paola Salomoni, Catia Prandi, Marco Rocchetti, Lorenzo Casanova, and Luca Marchetti. 2016. Assessing the efficacy of a diegetic game interface with Oculus Rift. *CCNC '16*: 387–392.
- [27] Norbert A Streitz, Smart Future Initiative, Thorsten Prante, and V-research Gmbh. 2003. Ambient Displays and Mobile Devices for the Creation of Social Architectural Spaces. In: *O'Hara K., Perry M., Churchill E., Russell D. (eds) Public and Situated Displays. The Kluwer International series on Computer Supported Cooperative Work, vol 2. Springer, Dordrecht*.
- [28] Kazuki Takashima, Takafumi Oyama, Yusuke Asari, Ehud Sharlin, Saul Greenberg, and Yoshifumi Kitamura. Study and Design of a Shape-Shifting Wall Display. *DIS '16*: 796–806.
- [29] Daniel Vogel and Ravin Balakrishnan. Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple Users. *UIST '04*: 137–146.
- [30] Miaosen Wang, Sebastian Boring, and Saul Greenberg. 2012. Proxemic Peddler: A Public Advertising Display that Captures and Preserves the Attention of a Passerby. *PerDis '12*: 1–6.
- [31] André Zenner, Marco Speicher, Sören Klingner, Donald Degraen, Florian Daiber, and Antonio Krüger. Immersive Notification Framework: Adaptive & Plausible Notifications in Virtual Reality. *CHI EA '18*: 1–6.