



# HMD 装着者の近接者に関わるアウェアネスの向上 についての検討

遠藤勇<sup>1)</sup>, 工藤義礎<sup>1)</sup>, Tony Tang<sup>2)</sup>, 高嶋和毅<sup>1)</sup>, 北村喜文<sup>1)</sup>

1) 東北大学 電気通信研究所 (〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1, isamu@riec.tohoku.ac.jp)

2) カルガリー大学 (2500 University Drive Nw, Calgary, Alberta, T2N 1N4, Canada, tonyt@ucalgary.ca)

**概要:** 本研究では, HMD 装着者が没入感の高い VR 体験の質を損なうことなく, 周囲の人々に関わるアウェアネスを向上させる手法を検討する. 具体的には, 近接する人の距離や向き等の情報を用いて, 両者の関係性やインタラクションの必要性を推定し, その手掛かりを VE 内に適切にそして段階的に与える情報提示手法を提案する. これにより, HMD 装着者は, 不必要に没入体験の質を失わずに, 近接者の状況を把握し, 体験を中断あるいは継続する判断を行うことができる. さらに本稿では, VR コンテンツのタイプを考慮して実装した 4 つの利用シナリオ例を紹介し, 提案手法の可能性を議論する.

**キーワード:** VR 応用, マルチモーダル・クロスモーダル, Proxemics Interaction, 可視化

## 1. はじめに

コンシューマ向け HMD の普及に伴い, VR コンテンツの体験がより身近なものとなり, 今後さらに家庭内など一般向けにも浸透していくものとみられる. HMD は, 現実世界での視覚・聴覚情報を遮断することで, バーチャル世界への高い没入感を得られることが利点であるが, その反面, 家族が居る自宅や同僚がいるオフィスなどで利用するには問題が生じる[1]. 代表的なものとしては, HMD 装着者が周囲の人に衝突してしまうことや, 近接者の働きかけに気づけずコミュニケーションがスムーズに始められないという問題である. その主な原因は, HMD 装着者がバーチャル世界に没入するあまり, 現実世界の周囲の人の位置, 表情, 挙動を全く認識することができないためである.

この問題を解決するためには, HMD 装着者の周囲状況, 主に近くにいる人々に関するアウェアネスを向上させる必要がある. これに向けて, これまでもいくつか研究がなされてきた. 例えば, Kinect を用いて近接者の映像を VE 内に組み込むことで, HMD 装着者のアウェアネスを向上させた例[1]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[2]等がある. しかし, これらの研究では, HMD 装着者の周囲アウェアネスは向上するが, HMD 装着者とその近くにいる人との間の社会的・物理的関係性を十分に考慮していないため, 単なる通りすがりの人の情報まで過度に提示してしまうなど, HMD 内の没入

感を不必要に崩してしまう恐れがある.

そこで本研究では, 没入感の高い VR 体験の質を損なうことなく, HMD 装着者がその近くの人々の状況を把握し, 体験を中断あるいは継続する判断を行うことが可能となる手法を検討する. 具体的には, 近接学の考え方をを用いて, HMD 装着者と近くの人(近接者)との社会及び空間上の関係性を考慮し, 段階的に HMD 装着者のアウェアネスを適切に向上させる手法を検討する. 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で[3], ユーザの暗黙的な意図の推定などにも使われる. そしてこれは協調作業を始めとした様々なインタラクション場面で有効であることが明らかになっている. 例えば, ユーザ同士またはユーザとディスプレイの間の距離や方向などの情報に応じて, 段階的にコンテンツやインタラクションが変化するインタフェースとして Proxemics interaction の概念を提唱し, その有用性が報告されている[4]. 本研究でも積極的にこの近接学の考えを利用し, 近接者との距離や顔の向き, さらには近接者の属性といった HMD 装着者が把握することが難しい情報(以下, 近接情報と呼ぶ)を, HMD 装着者に適切に提示する手法を提案する. また, この手法の有用性を, 4 つの具体的な利用シナリオ例を基に議論する.

## 2. 近接者情報の提示手法の設計

HMD 装着者は基本的に VE 内での活動に集中しており, 没入感の高い VR コンテンツを体験している. そのため本

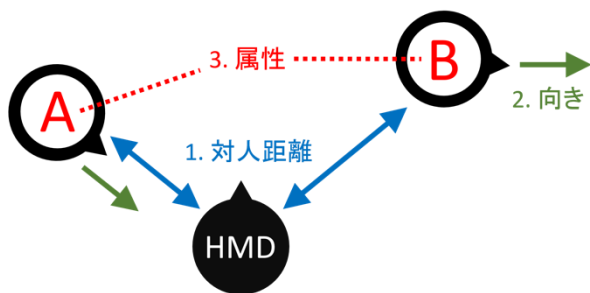


図 1: HMD 装着者と近接者間のパラメータ

手法では、VR 体験を不必要に妨害することなく、HMD 装着者と近接者の関係性を考慮し、その近接情報を与えることを主な目的とする。

### 2.1 ダイジェティブな情報提示

VE 内に近接情報をどう提示するかを考えるにあたり、その強さ（気づきやすさや妨害性）を考慮する必要がある。本研究では、VE 内の体験や物語に対する自然さ（以下、ダイジェティブ[2]）を考慮する。ダイジェティブな情報提示は、HMD 装着者の体験を邪魔しにくいため、近接者が遠くにおり、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などに、利用することができる。一方、ノンダイジェティブな情報提示は、体験やコンテンツの物語からして不自然なものであり、HMD 装着者の体験を壊してしまう可能性が高いが、近接者が非常に近くにいて直接的なインタラクションの発生が予測される状況などでは効果的であるといえる。

### 2.2 HMD 装着者と近接者の関係性の判断

近接学を用いて両者の関係性を推定するため、図 1 に示すような関係を考える。ここでは、[4]などでも頻繁に利用されているユーザの位置や顔の向き、近接者の属性といったパラメータに着目する。これらに加えて、近接者の関心の度合いをより正確に判断するため、顔の向きに関しては状態の継続時間についても取り上げる。

**1. 対人距離:** 対人距離は最も基本的なパラメータの一つであり、HMD 装着者と近接者の関係性を大まかに推定することができる。これについては、両者の安全性を考慮し、図 2 に示すように距離に応じた 4 段階のゾーンを設定する。基本的には、近接者が HMD 装着者に近いほど HMD 装着者へ関心があり、また衝突の危険性が高まる。そのため、両者の距離が近くなるにつれて、HMD 装着者へ提示する情報も強くする必要がある。

**2. 近接者の向き:** 近接者が HMD 装着者の方向を向いているかどうか、そしてその継続時間についても、近接情報を調整するパラメータの一つとして使用する。これは、もし長い間 HMD 装着者に対して、近接者の顔が向けられていた場合、近接者は HMD 装着者に関心がある可能性が高いためである。たとえ対人距離が短くても、この近接者の顔の向きが HMD 装着者に向いていない場合は、直接的なインタラクションの発生確率も低いと考えられる。そのため、近くを通る全ての近接者の情報を提示するのではなく、この顔の向きから関心の有無を判断し、HMD 装着者に不

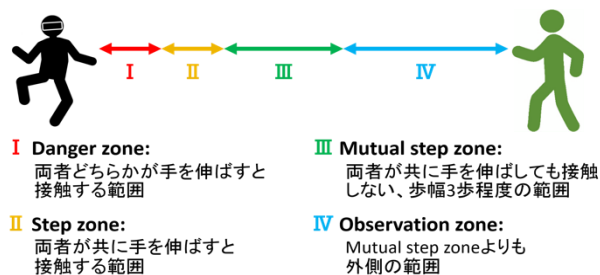


図 2: HMD 装着者と近接者間の距離の区分

必要な近接情報を提示することを避ける。

**3. 近接者の属性:** 距離や向きといった両者の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。例えば近接者が友達の場合と上司の場合では、HMD 装着者へその近接情報を与えることの重要性が異なるからである。そのため、属性も、両者の関係性の判断材料として利用する。なお、この属性の計測は、先の二つに比べてやや複雑であるが、組織内であれば顔認証や ID による管理など様々な手段がある。

本稿での提案手法では、主に上記の 3 つのパラメータを用いて VE 内に提示する近接情報を調整し、適切にアウェアネスを高めていく。例えば、両者の距離が近い、近接者が長時間 HMD 装着者を見ているといった場合は関心度が高いとみなし、強い情報を与えることができる。また近接者の属性を用いて、人に応じて HMD 装着者へ与える近接情報の強さを変化させるといったことができる。

## 3. 利用シナリオ例

本章では、提案する近接情報の提示手法を用いたシナリオを 4 つ述べる。従来研究で触れられているように、VE 内への情報提示の効果は、VE 内のコンテンツの性質によって当然異なる[2]。本研究では、VE 内のコンテンツの影響を加味するため、HMD 装着者の身体的動作の有無、VE 内のオブジェクトの動きの有無を基準として、4 つの基本シナリオを実装した。表 1 に、コンテンツおよびシナリオの分類を示す。また、近接者の目的（会話をしたいのか等）によっても大きく利用方法が異なるため、この 4 つのシナリオのうち、最終的に HMD 装着者が体験を中断し、両者が直接的な交流に発展するシナリオと、終始両者が直接的な交流は行わないシナリオを 2 つずつ実装した。以下では、これらを基にして、提案手法がどのように実際に応用できるか、そしてその可能性を議論する。以下の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、ハナコは友人関係であるが、サトルはケンタの上司である。

表 1: 作成した 4 つのシナリオの分類

		HMD 装着者の身体的動作	
		動く	動かない
VE 内オブジェクト	動く	(1) FPS	(3) ドライブシミュレーション
	動かない	(2) 迷路	(4) 映画鑑賞



図 3: FPS ゲーム中、近接者が付近で立ち止まっている際の情報提示例

### 3.1 FPS: 近接者が HMD 装着者の体験を中断する場合

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 FPS (First-person shooting) ゲームをプレイしている。マサキはケンタと話すためにケンタに近づくが、ケンタが HMD を装着し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、図 3(a)から(b)のように VE 内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。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、降っている雪や近づく敵といった VE 内の全オブジェクトの時間の進みが遅くなり没入度が下がった。ケンタは近接者が自分に強い関心を持っていると判断し、体験を中断した。

上記のシナリオは、HMD 装着者に用事がある近接者がいた場合について描かれたものである。VE 内に与えた近接情報は、近接者の関心の度合いに合わせて弱いもの（光学迷彩を纏う人型モデル）から強いもの（音量の低下、VE 内の時間の流れの変化）へと段階的に変化している。関心の度合いは両者の距離に加え、近接者の向きやその時間も考慮して判断されている。

### 3.2 迷路探索: HMD 装着者が近接者を無視する場合

ケンタは HMD を装着して、VE 内で暗い迷路を探索している。ハナコは、ケンタがいる部屋の奥にある本を取るために部屋に入ってきた。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され、図 4(a)から(b)のようにハナコの方向から光が差してきた。これ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、図 4(b)から(c)のように近接者の存在を示すモデルが表示された。ケンタはモデルの向く方向と進んでいる方向から、近接者が自分に用事がある訳ではないと判断し、探索ゲームに戻った。

上記のシナリオは、HMD 装着者が近接者の存在を認識しながらも、体験を中断する必要がないと判断した例である。VE 内に与えた近接情報は、最初は近接者の存在を知らせるための、ダイジェティックな弱いもの（ランタンの光）であった。その後 HMD 装着者が近接者に目を向けると、自分への関連性があるか判断できるよう、近接者の歩く方向や位置、顔の向きを提示する人型モデルを表示した。

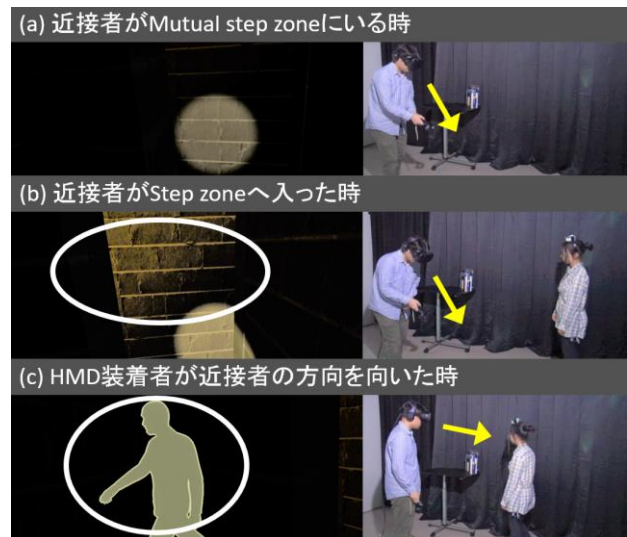


図 4: 迷路探索ゲーム中、近接者が通りかかった際の情報提示例

### 3.3 ドライブシミュレーション: 属性の異なる二人の人間が HMD 装着者に接近してきた場合

ケンタは HMD を装着してドライブシミュレータをプレイしている。マサキはケンタに用事があったため近づくが、ケンタが VR ゲームをプレイ中だと気づく。ここでシステムがマサキを検知し、VE 内で別の車のエンジン音が近づいてくる音が鳴った。その後マサキは急ぐ用事ではなかったため、それ以上は近づかず部屋を出た。少しのち、ケンタの上司であるサトルが、ケンタに用事があり部屋に入って近づいてきた。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、画面がシステムにより図 5(a)から(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、体験を中断した。

このシナリオは、属性の異なる二人の人間が HMD 装着者に接近してきた場合について描かれたものである。上司が接近してきた場合の近接情報（クラクション音）は、友人が接近してきた場合の近接情報（エンジン音）よりも強いものとなっている。さらに上司が接近した際は、その距離に応じてダイジェティックでない強い近接情報（車の速



図 5: ドライブシミュレーションゲーム中、上司が接近した際の情報提示例

度の低下、視界のモノトーン化)を与えている。

### 3.4 映画鑑賞:HMD 装着者が近接者を把握しつつ、現状を維持する場合

ケンタはソファに座りながら、HMD を装着して VE 内で映画を見ている。マサキは同じソファで休むため部屋に入り、ケンタに近づいた。システムがそれを検知すると、VE 内でドアの開く音が鳴り、マサキがさらに近づくと足音を VE 内で再生して近接者の存在がケンタに伝わった。マサキがソファに座ると、システムは図 6(a)から(b)のようにケンタが見ている映画の画面上にマサキのアイコンが出現した。ケンタは近くにマサキが座ったことを把握するが、それ以上の強い近接情報が与えられなかったため、そのまま映画の視聴を続けた。

このシナリオは、近接者の HMD 装着者への関心が低いいため、両者の距離に応じて HMD 装着者に弱い近接情報が与えられる場合について描かれたものである。VE 内に与えた情報は、最初はダイジェスティックな弱いもの(ドアの音、足音)であった。その後、近接者が極めて近くまで接近すると比較的強いもの(近接者のアイコン)を与えたが、体験を中断させるほどの強い近接情報は終始与えず、最終的な判断を HMD 装着者に委ねた。

## 4. 議論と今後の展望

本稿で述べたシナリオは特定のシナリオにおける最適解を示すものではなく、提案した提示手法に従った例を挙げたものである。また HMD 装着者へ提示した近接情報も述べたものに限らず、HMD 装着者と近接者の行動によって大きく変化する。例えば映画鑑賞のシナリオでは、もし近接者がソファに座った後、HMD 装着者の方向を向き続けたのであれば、さらに強い近接情報が必要となる。また、今回のシナリオでは複数人が同時に HMD 装着者の近くにいる場合について扱わなかったが、そのような状況も十分に考えられる。そういった場合は、近接者の数に応じてモデルの数を増やす、あるいは音量を上げる等を行うことで HMD 装着者に複数人の存在を伝えることができる。

本稿では HMD 装着者側に焦点を当てて問題を定義したが、対象者が HMD を装着していることにより、近接者側もコミュニケーションをスムーズに始められないといった問題が同様に発生する。そこで、近接者に対しても HMD 装着者に対するアウェアネスを向上させる必要性が出てくる。ここで、本稿で用いた近接学に基づくパラメータや考え方は両者に共通して用いることができるため、近接者に対しても本手法を同様に適応させることができると考えられる。具体的には、LCD ディスプレイ[5]やプロジェクタ、スピーカー等を用いることで、近接者に対しても両者の関係性に応じて、コミュニケーションを円滑に開始するための手掛かりを与えることができる。そのため今後は HMD 装着者と同時に近接者へ与える手掛かりについても考慮する提示手法を検討し、シナリオを再び設計していく。



図 6: VE 内で映画の視聴中、近接者が接近した際の情報提示例

また本研究では、提案する提示手法に関して、実際に作成したシナリオに対するユーザからのフィードバックは得ていない。今後は複数のユーザを対象に実験を行い、フィードバックを得ることで、本手法の改善点を検証する。

## 5. まとめ

本研究では、HMD 装着者が没入感の高い VR 体験の質を損なうことなく、近接者の状況を把握し、体験を中断あるいは継続する判断を行うことが可能となる手法を検討した。具体的には、近接者の距離、顔の向き、属性といった情報を基にして近接者の関心を推定し、その関心度に応じて、段階的に HMD 装着者にその手がかりを提示する方法を提案した。そして VR コンテンツの性質や近接者の目的を考慮した上で、代表的な 4 種類のシナリオ例を作成し、提案手法の可能性を議論した。今後はユーザスタディや近接者への情報提示を予定している。

## 参考文献

- [1] M. McGill., D. Boland, R. Murray-Smith, and S. Brewster: A dose of reality: overcoming usability challenges in VR head-mounted displays, Proc. CHI '15, pp. 2143–2152, 2015.
- [2] S. Ghosh, L. Winston, N. Panchal, P. Kimura-Thollander, J. Hotnog, D. Cheong, G. Reyes, and G. D. Abowd: NotifiVR: exploring interruptions and notifications in virtual reality, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 24, No. 4, pp. 1447–1456, 2018.
- [3] E. T. Hall: Hidden dimension. Garden City, N.Y., Doubleday, 1966.
- [4] T. Ballendat, N. Marquardt, and S. Greenberg: Proxemics interaction: designing for a proximity and orientation-aware environment, Proc. ITS '10, pp. 121–130, 2010.
- [5] J. Gugenheimer, E. Stemasov, H. Sareen, and E. Rukzio: FaceDisplay: towards asymmetric multi-user interaction for nomadic virtual reality. Proc. CHI '18, paper 54, pp. 1–13, 2018.