

# HidEye：片目を隠す動作による HMD 用インタラクション手法の提案

伊勢 隆之介\* 塚田 浩二\*

**概要.** 近年、メタバース等の発展とともに没入型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の利用場面は日常生活にも広がりつつある。日常生活環境で HMD を利用するには周辺の人や物に対する状況認識が重要であるが、高い没入感や視認性と引き換えに両目の周辺が覆われてしまうため、周辺状況の確認が難しい。本研究では、片目を隠す動作で VR コンテンツとパススルー機能を重畳表示することで、仮想空間と現実空間のコンテンツを手軽に切り替え可能なインタラクション手法 HidEye を提案する (図 1)。さらに、片目を隠す動作を仮想空間での視野変更に活用した応用例を実装する。

## 1 はじめに

近年、メタバース等の発展とともに没入型ヘッドマウントディスプレイ (HMD) の利用場面は日常生活にも広がりつつある。任意の場所でプライベートな大画面ディスプレイを確保でき、現実空間の視界を遮断することで高い没入感を提供できる特徴から、VR ゲームなどのエンターテインメント利用はもちろん、技術トレーニング [4] や移動中の快適なオフィスワーク [2] 等の幅広い用途で活用が進められている。また、誰でも自由に装着可能な HMD を公共の場に設置してパブリックディスプレイとして利用する研究 [6] も進められている。

一方、日常生活環境で HMD を利用するには周辺の人や物に対する状況認識 (アウェアネス) が重要であるが、利用中に現実世界の状況を確認するためには、HMD を取り外すかパススルー機能<sup>1</sup>を使用する必要がある。しかし、HMD の着脱は手間がかかり、頭髪や化粧も乱れることから頻繁に行うことは適さない。パススルー機能を使えば HMD を装着したまま周辺状況を確認できるが、都度特定のコマンド操作が必要となり、体験中のコンテンツも不可視になるため、没入感が削がれてしまう。

そこで我々は、自然な動作 (Hand-to-Face Gesture) をトリガーとして、仮想空間とパススルー機能を重ね合わせることで、仮想空間での没入感を一定程度保ちつつ、現実空間の状況認識が可能であると考えた。顔を手で触れる Hand-to-Face Gesture は、自然で直感的な入力手法であると報告されている [7]。HMD に対する多様な Hand-to-Face Gesture が先行研究 [8, 5] で紹介されているが、我々は、「手で片目を覆う」ジェスチャに注目した。「手で目を覆う」動作は物理的に視界を変化させる行為であり、心理的に見たくないものから目を背ける遮断行

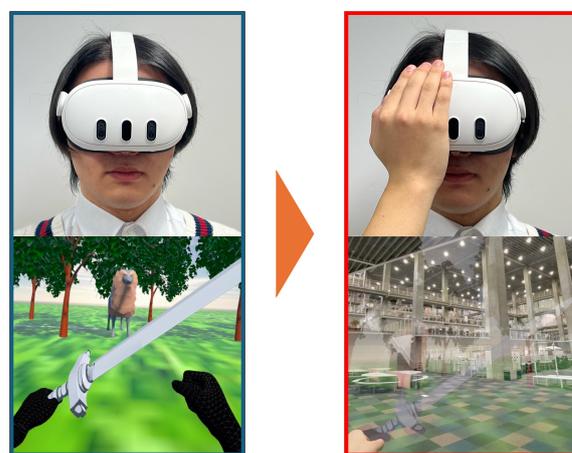


図 1. 本研究のコンセプト。片目を隠す動作を行っている間 HMD に表示されるコンテンツを切り替える。

為ともされている [9]。また、「片目を隠す」動作は、視力検査やカメラのファインダーを覗き込む時に、特定のタスクに集中する行為としても利用される。こうした点から、「手で片目を覆う」動作は仮想空間と現実空間の視野変更を行う際のジェスチャとしても有効であると考えた。

そこで本研究では、片目を隠す動作で VR コンテンツとパススルー機能を重畳表示することで、仮想空間と現実空間のコンテンツを手軽に切り替え可能なインタラクション手法 HidEye を提案する (図 1)。さらに、片目を隠す動作を仮想空間での視野変更に活用した応用例についても紹介する。HMD に特殊なセンサ等を付与することなく、自然な動作で素早く仮想空間と現実空間のタスクを連携することを目指す。

なお、本論文はインタラクション 2024 でインタラクティブ発表 [11] を行い SIGGRAPH Asia の Posters[3] で発表予定の内容に加筆したものである。

Copyright is held by the author(s).

\* 公立はこだて未来大学

<sup>1</sup> カメラやセンサを用いて周辺映像を取得し、HMD に表示する機能。

## 2 関連研究

### 2.1 HMD 利用時の周辺状況の確認

Endo らは、手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たな HMD の概念 ModularHMD を提案している [1]. 没入感の高い VR 体験を確保できるようにしつつ、必要に応じて外界とのインタラクションを実現するために側面 2 台と底面 1 台の着脱可能なディスプレイモジュールで HMD を構成している。底面モジュールを取り外すことで入力デバイスとして活用したり、側面モジュールを取り外すことで VR 体験を継続しながら横目で周辺状況の確認や近接者と意思疎通する手段を提供している。また、山内らは、ヘッドバンドを用いないことで頭部への負担や着脱の手間を解消する胸部装着型ディスプレイ CMD を提案している [10]. CMD は俯いてデバイスを覗き込むことで MR 体験を行うため、頭を上げてデバイスから離れることで任意のタイミングで MR 体験を中断することができる。これらの研究では、HMD の物理的な機構を工夫することで周囲のウェアネスの確保を容易にしているのに対して、本研究ではパススルー機能と適切なジェスチャを組み合わせることで HMD の着脱の手間を省いたスムーズな視界の変更を実装する。

### 2.2 Hand-to-Face Gesture インタラクション

Weng らは、AR グラス上で Hand-to-Face Gesture インタラクションを可能にするカメラベースのセンシング技術である FaceSight を提案している [8]. AR グラスのブリッジに赤外線センサを取り付けて顔の下部と手の動作をセンシングすることで 21 種類のジェスチャの識別を可能にしている。また、Kawasaki らは、スマートグラスのレンズに触れて操作を行うインタラクション技術 LensTouch を提案している [5]. 抵抗膜式タッチパッドをスマートグラスのレンズ表面に取り付けることでレンズに触れて操作を行うことを可能にしている。レンズ越しの指と表示された画像の両方を視認できるため、素早く対象のオブジェクトを選択することが可能となっている。これらの研究では、HMD に追加のセンサを取り付けることで入力手法の拡張を図っているのに対して、本研究では HMD の標準機能のみで実現可能なインタラクション手法を構築する。

## 3 提案手法：HidEye

本研究では没入型 HMD の利用中に、片目を隠す動作で仮想空間と現実空間のコンテンツを手軽に切り替え可能なインタラクション手法 HidEye を提案する。

本研究の特徴は、以下の 3 点である。

1. 片目を隠すという自然な動作を利用



図 2. MetaQuest3 の搭載センサ

2. 外部センサやデバイスが不要
3. 仮想空間と現実空間の多彩な視野変更に活用

1 については、1 章でも述べたように、「手で片目を覆う」動作は、直感的な Hand-to-Face Gesture の一つであり、物理的／心理的に視界を変化させる行為であることから、仮想空間と現実空間の視野変更を行う際の入力手段として適切であると考えられる。

2 については、特殊なセンサやデバイスを必要とせず、市販の HMD さえあれば利用可能な設計とすることで、システム導入の敷居を下げる可以考虑。

3 については、現実空間と仮想空間を対象とした、多様な視野変更に活用できる点である。詳細の事例は 5 章で紹介するが、現実世界と仮想世界のなめらかな移行に加えて、仮想世界のオブジェクトの生成／消失や手軽な視点変更等、視野変更を対象とする多様な場面で活用できることを示す。

## 4 実装

### 4.1 HMD と開発環境

本研究の実装に用いた HMD は MetaQuest3<sup>2</sup> である。本体前面には、左右に RGB カメラ (18PPD, 400 万画素)、左右の RGB カメラの下と本体の両側面にトラッキング用 IR カメラ、中央に深度センサが搭載されている (図 2)。深度センサから投影される赤外線の様相を IR カメラで撮影することで、その様相の歪み具合から深度を算出し周囲の立体構造を測定している。開発のためのソフトウェアは Unity ver.2022.2.8f1 を用いた。また、MetaQuest3 に対応した VR コンテンツの開発用のアセット Meta XR Core SDK を用いた。

<sup>2</sup> MetaQuest3 公式 <https://www.meta.com/quest/quest-3/>



図 3. ハンドトラッキングの有効範囲

#### 4.2 片目を隠す動作の検出手法

本提案では、MetaQuest3 に搭載されているハンドトラッキングを用いて片目を隠す動作の検出機能を実装した。動作の検出手法としては、RGB カメラのデータを用いた色分布の活用等も考えられるが、コンテンツ操作との親和性が高い点、API が提供されており開発が容易である点から、ハンドトラッキングを利用する。ハンドトラッキングは HMD に搭載されている IR カメラで手指の 3 次元形状や位置・姿勢を認識する。この認識結果に基づいて、手指の 3D モデルを VR 空間上に重畳表示したり、詳細な座標取得を行う機能が提供されている。ここで、ハンドトラッキングでは、手がカメラの画角から外れた場合、認識不能 (消失) 状態となる。著者らが検証したところ、HMD と手の距離が正面方向が約 5cm、真横方向が約 10cm までがハンドトラッキングの有効範囲である (図 3)。このように、HMD に近い距離までハンドトラッキングが有効であることから、片手がカメラに近い位置から消失した場合に、片目を隠す動作として解釈できると考えた。なお、MetaQuest3 では両側に RGB カメラ / IR カメラがあるため、片目を隠す動作で片側のカメラが隠れた状態でもパススルー機能やハンドトラッキングが利用できることも確認している。

動作検出の流れを図 4 に示す。まず、(1) 右手から右側 IR カメラの距離  $dR$ 、左手から左側 IR カメラの距離  $dL$  を毎フレーム算出する。次に、(2) 片手のハンドトラッキングが消失した時、直前のフレームの  $dR$  (or  $dL$ ) の値を参照する。この時、閾値より距離の値が小さければ片目を隠したと判定しイベントを発生 (例: パススルー画像へ切り替え) する。その後、(3) 消失した手がハンドトラッキングで再度認識されたらイベントを停止して (1) に戻る。

### 5 応用例

提案手法の活用場面を示すために、「現実空間と仮想空間の移行」と、「仮想空間での視野変更」の 2 種類の応用例を、計 4 つ実装した。各応用例の動作は、デモビデオでも紹介している。

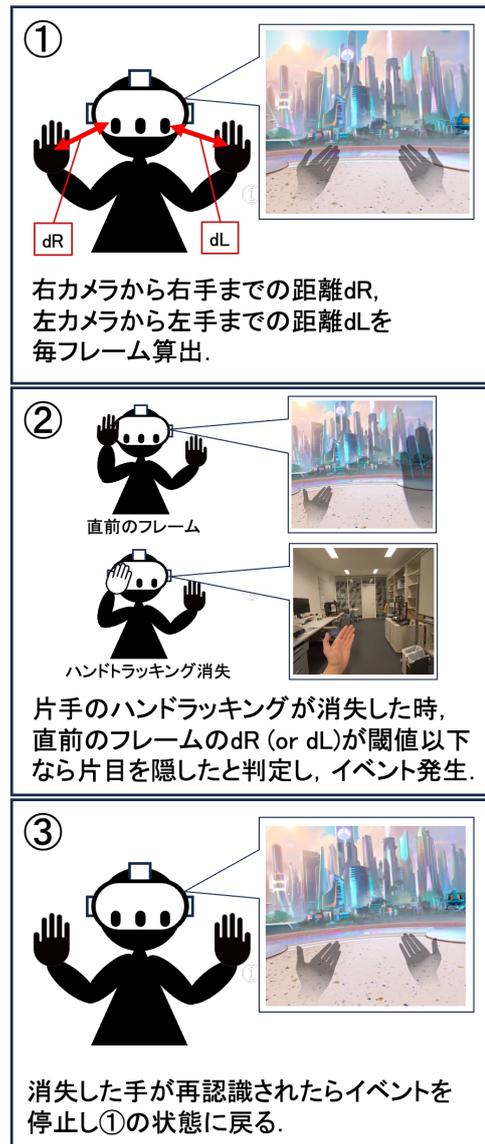


図 4. 片目を隠す動作検出の流れ

#### 5.1 仮想空間と現実空間の切り替え

##### 5.1.1 VR ゲーム中に周辺状況を確認

一つ目は、迫ってくる敵を武器を振って撃退する VR ゲームの体験中に周辺状況の確認や小休憩を取することを想定した事例である (図 5)。通常時は VR ゲームを両手を動かしてプレイできるが、片目を隠すことでゲームを一時停止しつつ、パススルー機能を用いて周辺状況を確認できる。例えば図 5 の例では、コップの水を飲んで小休止している。この時、ゲームを一時停止しつつ、不透明度を下げてパススルーに重畳表示することで一定の没入感の維持と復帰しやすさを図っている。

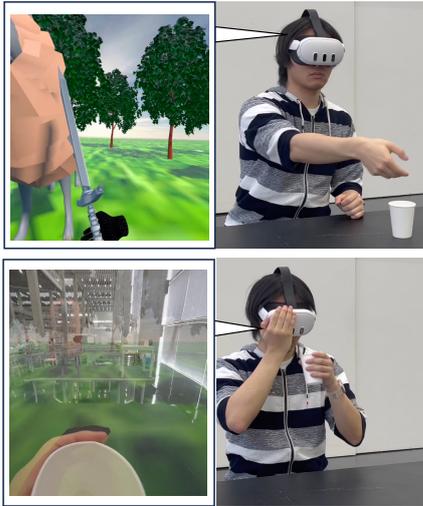


図 5. 応用例 1: VR ゲームの体験中に周辺状況を確認.

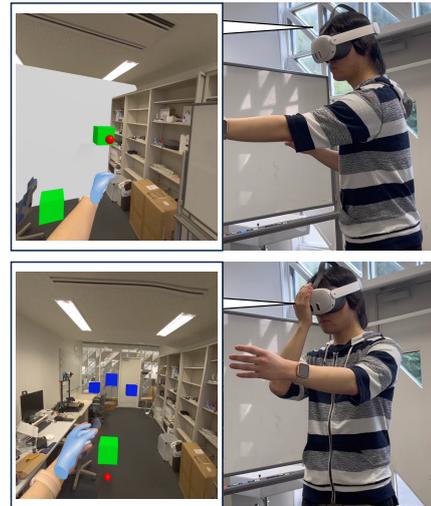


図 7. 応用例 3: MR シューティングゲーム中に障害物を消失/生成.



図 6. 応用例 2: MR タスク中に好みの景色を見て小休憩.



図 8. 応用例 4: VR ゲーム中に視点を変更.

### 5.1.2 MR タスク中の小休憩

二つ目は、パススルー機能を用いたMR的なタスクを実行している際に好みの景色のVRコンテンツで小休憩するための事例である(図6)。タスクに疲れた際に思わず目を手で覆うような動作をメタファとして実装した。図6の例ではVR空間内で半球状にパーティクルを放出することで星空を表現している。任意の景色や映像を設定することでユーザの好みに応じてカスタマイズできる。

## 5.2 仮想空間での視野変更

### 5.2.1 障害物の消失/生成

三つ目は、片目を隠す動作をMRシューティングゲームに応用した事例である(図7)。通常は親指と

人差し指をピンチすることで球を発射してターゲットを破壊することができる。片目を隠す動作をすることで、障害物となるオブジェクトが消失し、手を離すことで再度表示される。片目を隠して障害物を消した状態でないと破壊できないターゲットがある一方で、障害物があった方が消しやすいターゲットもあるなど、視野変更動作をゲーム性に取り入れている。

### 5.2.2 カメラ視点の切り替え

四つ目は、片目を隠す動作で仮想空間内の別の視点に移動できる事例である(図8)。通常時は、一人称視点で巨大な敵と間近に対峙しているが、片目を隠す動作を行うことでゲームを一時停止しつつ三人称視点に切り替えることができる。片目を隠してい

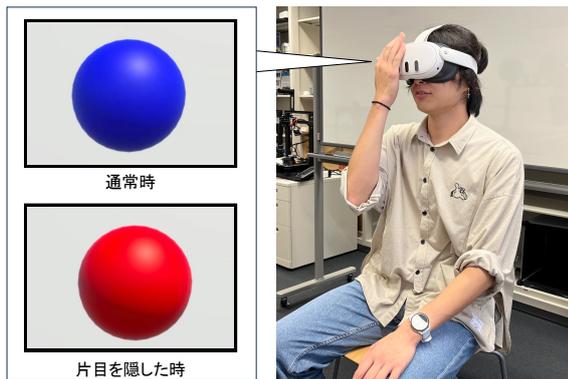


図 9. 性能評価実験の様子

る間は攻撃できない代わりに敵を観察し次の行動を考えることができる。

## 6 性能評価

ハンドトラッキングによる片目を隠す動作の検出精度の調査を行った。

### 6.1 手法

事前準備として、片目を隠す動作によってオブジェクトの色が変化する実験用アプリを作成した。通常時はオブジェクトが青色で表示され、片目を隠したと判定されると赤色に変化する(図9)。なお、片目を隠したと判定するための閾値は実験を通して共通とした。実験に用いたデモアプリはUnity ver.2022.2.8f1で作成した。また、実験中の被験者の様子とアプリの画面をそれぞれ映像で記録した。

被験者は10名(20~25歳の男性8名, 女性2名)であった。まず、被験者にはデモアプリを起動した状態のMetaQuest3を装着して椅子に座ってもらい、その状態で以下の教示を与えた。

- 両手を膝の上に置いた状態を基本姿勢とする
- 実験者の指示に応じて左右どちらかの手で片目を隠し、任意のタイミングで基本姿勢に戻る
- 片目を隠したと判定されている間はオブジェクトが青色から赤色に変化する
- オブジェクトの色が変化しなかった場合でもやり直さない

なお、ユーザが自然な動作で利用できることが重要であると考えたため、「どのように目を隠すか」という具体的な指示は与えていない。その後、順序をランダムに左右10回づつ片目を隠す動作を行わせ、その成功率を算出した。基本姿勢から片目を隠す動作を行い基本姿勢に戻るまでを一連の動作とし、この一連の動作に合わせてオブジェクトの色が正しく変化(青→赤→青)した場合を成功とし、それ以外

表 1. 片目を隠す動作の検出成功率

被験者	左手 (%)	右手 (%)	両手 (%)
A	100	100	100
B	100	100	100
C	100	100	100
D	90	100	95
E	100	90	95
F	100	80	90
G	80	90	85
H	100	100	100
I	100	100	100
J	100	90	95
全体平均	97	95	96

の場合(複数回色の変化が生じた場合など)は失敗と判定する。

### 6.2 結果

被験者全体の検出成功率(左手, 右手, 両手)を表1に示す。表1より, 両手の検出成功率は平均96%(標準偏差6.8)であった。左手では平均97%(標準偏差6.8), 右手では平均95%(標準偏差7.1)であり, 若干左手の方が高いものの, 大きな差は見られなかった。

結果の考察について示す。まず, 目の隠し方などの詳細な指示を与えなくとも, 全ての被験者は右手で右目/左手で左目を隠しており, 全体的な認識率は平均96%と高いことが確認できた。次に, やや成功率が低かった被験者F/Gに着目して実験中の映像を分析し, 要因を調査した。その結果, 検出に失敗したタイミングではHMDに直接触れずに, 少し手を浮かした状態で動作を行っていた。一方, 他の被験者はHMDに直接触れるように片目を隠す動作を行っていた。手をHMDからやや離れた状態で静止すると, 手振れなどでIRカメラの画角に再び入ってしまうことがあり, 複数回の判定が行われてしまい, 今回の実験条件では失敗と判定されたと考える。

また, 被験者が目を覆ってからオブジェクトの色が変わるまでの反応時間については, 厳密には調査できていないが, 記録した映像から目視で確認した範囲では, ほぼ0.2秒以内であった。このことから, 片目を隠す動作に対応した視野変更までの遅延は, 比較的小さいと思われる。詳細については, 追って検証を進めていきたい。

## 7 議論

ここでは、「片側カメラが隠れる影響」「片目を隠す動作の共通認識」「動作認識の細分化」「片目を隠す動作の課題」について議論する。

まず、「片側カメラが隠れる影響」については、片目を隠す動作をすることでRGBカメラやIRカメラが手で覆われる。3章で述べたように、MetaQuest3では両側にRGBカメラ/IRカメラがあるため、その状態でもパススルー機能やハンドトラッキング機能は継続して利用可能だが、パススルー映像が片側分になる等、一定の制約が生じる。例えば、5.1節で紹介した応用例では、周辺状況を確認する際に、パススルーの視界は本来の半分となっている。一方、学会のデモ発表等で50人以上に応用例を体験してもらった中で、視野の制限等を指摘されたことはなく、影響は限定的であると考えている。

次に、「片目を隠す動作の共通認識」について述べる。性能評価では、「左右どちらかの手で片目を隠す」という指示だけを与えたが、全ての被験者は右手で右目、左手で左目の位置を覆うことが確認できた。このことから、片目を隠す動作には、一定の共通認識があり、理解しやすい動作であると考えられる。一方、動作中にHMDに手を触れる/触れない被験者がおり、後者の動作検出率はやや低下する傾向があった。「HMDに触れて片目を隠す」ような教示をすれば、動作検出率は向上すると考える。

次に、「動作認識の細分化」について述べる。本研究では、左手で覆う/右手で覆う/両目を覆う動作の区別は行っていない。これらのそれぞれに対応する機能を割り当てること(例:左手で隠したらパススルー表示,右手で隠したらコンテンツ切り替え)でより幅広い活用ができ、実装も容易である。その一方で、動作のマッピングが複雑になり、直観性が損なわれるため、慎重な検討が必要になる。

最後に、「片目を隠す動作の課題」について述べる。まず、動作中は片手が塞がるため、コンテンツの操作方法が制限される。応用例で示したように、一時的な視界切り替え操作としての利用や、片手を用いた簡単な操作との併用は十分可能であるため、今後適切な利用場面を整理していきたい。また、手を肩より上の位置で空中で保持するような動作は、一般的に疲労しやすい。一方、提案手法は手をHMD上に接触させても動作するため、前述したように「HMDに触れて片目を隠す」ような指示をすることで、疲労を軽減できると考えている。

## 8 まとめと今後の展望

本研究では、片目を隠す動作でVRコンテンツとパススルー機能を重畳表示することで、仮想空間と現実空間のコンテンツを手軽に切り替え可能なインタラクション手法 HidEye を提案した。HMD内蔵のハンドトラッキング機能を用いることで外部センサー等を利用せず、動作検出を行う手法を実装した。また、本手法を用いて、「現実空間と仮想空間の移行」や、「仮想空間での視野変更」を行う、4種類の応用例を実装した。性能評価より、片目を隠す動作は被

験者に厳密な指示を与えなくても、高い精度で認識できることが確認できた。今後は提案手法を用いたより多くの応用例を実装・検証することで、新たなHMD用のインタラクション手法として確立していきたい。

## 謝辞

この成果の一部は、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)の委託業務(JPNP23025)の結果得られたものです。

## 参考文献

- [1] I. Endo, K. Takashima, M. Inoue, K. Fujita, K. Kiyokawa, and Y. Kitamura. ModularHMD: A Reconfigurable Mobile Head-Mounted Display Enabling Ad-hoc Peripheral Interactions with the Real World. In *The 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '21, p. 100–117, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [2] J. Grubert, E. Ofek, M. Pahud, and P. O. Kristensson. The Office of the Future: Virtual, Portable, and Global. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 38(6):125–133, 2018.
- [3] R. Ise and K. Tsukada. HidEye: Proposal of HMD Interaction Method by Hiding One Eye. In *SIGGRAPH Asia 2024 Posters (SA Posters '24)*, December 03–06, 2024, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.
- [4] K. Ito, H. Suzuki, H. Kugai, M. Takaoka, H. Matsumoto, M. Sakka, N. Yamamoto-Mitani, and A. Igarashi. HMD in General Public for Training: Case Study of Standardized Dementia-Friendly Initiative in Japan. In *2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, pp. 1–3, 2023.
- [5] T. Kawasaki and H. Manabe. LensTouch: Touch Input on Lens Surfaces of Smart Glasses. In *Adjunct Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '23 Adjunct, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [6] C. Mai and M. Khamis. Public HMDs: Modeling and Understanding User Behavior around Public Head-Mounted Displays. In *Proceedings of the 7th ACM International Symposium on Pervasive Displays*, PerDis '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [7] Y. Mais and J. Shaidah. A systematic review on hand gesture recognition techniques, challenges and applications. *PeerJ Computer Science*, 5:e218, 2019. <https://peerj.com/articles/cs-218.pdf>.
- [8] Y. Weng, C. Yu, Y. Shi, Y. Zhao, Y. Yan, and Y. Shi. FaceSight: Enabling Hand-to-

- Face Gesture Interaction on AR Glasses with a Downward-Facing Camera Vision. In *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [9] ジョー・ナヴァロ (著), 西田美緒子 (翻訳). FBI 捜査官が教える「しぐさ」の実践解説辞典 407. 河出書房新社, 2019.
- [10] 山内耀斗, 岩崎琢己, 松井尚樹, 岩井大輔, 佐藤宏介. 断続的使用に適した胸部装着型 VR デバイスの提案. システム制御情報学会研究発表講演会講演論文集, pp. 342-346, 2023.
- [11] 伊勢 隆之介, 塚田 浩二. HidEye: 片目を隠す動作による HMD 用インタラクション手法の提案. インタラクション 2024 論文集, pp. 377-379, 2024.