



重度視覚障害者向け複合現実物体位置提示インタフェース ～探索方式がユーザビリティに与える影響～

棟近子竜²⁾, 村野航大¹⁾, 金澤悠冬¹⁾, 高尾秀伸²⁾

1) 神奈川工科大学 ロボット・メカトロニクス学科 (〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

2) 神奈川工科大学大学院 ロボット・メカトロニクスシステム専攻 (〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030)

概要：重度視覚障害者は視覚情報が利用困難なため、物体の位置を認知することが難しい。この問題に対し、筆者らは立体音響およびソニフィケーションを用いた複合現実物体位置提示インタフェースを開発中である。本報では、仮想聴取位置を示指先端に移動させた条件と仮想聴取位置を頭部とした条件におけるユーザビリティを比較することで、複合現実物体位置提示インタフェースの設計指針導出を行う。

キーワード：ユーザインタフェース、視覚障害、聴覚、感覚・知覚

1. はじめに

令和 3 年に障害者差別解消法が改正され、全事業者に対して障害のある人への合理的配慮の提供が義務化された[1]。しかし、配慮の実施に伴う負担が過重でないときという制約があり、小売店の混雑時などでは店員による配慮を受けられるとは限らない。このため、外界情報の取得が困難である重度視覚障害者は単独での買い物が難しい状況になっている。これに対して、外出時に利用できる公的サービスとして同行援護制度が存在する。これは、視覚障害により、移動に著しい困難を有する障害者等につき、外出時において、当該障害者等に同行し、移動に必要な情報を提供するとともに、移動の援護その他の厚生労働省令で定める便宜を供与することをいう[2]。しかし、支援時には制限があり気軽に買い物を楽しむことは難しい。そこで、立体音響およびソニフィケーションを用いた重度視覚障害者が単独で能動的に物体位置を把握できるインタフ

ェースを提案する。筆者らの先行知見[3]にて仮想空間で発せられる音の仮想的な聴取位置（以下、仮想聴取位置）をユーザの頭部から指先に変更する指耳方式を提案した。これにより、直感的な操作が可能となり、メンタルワークロードを減らすことができている。一方で、指耳方式単体での性能が明らかになっていないと問題が残っている。

そこで、本研究では商品棚の商品を獲得することを想定し、近距離における探索方式がユーザビリティに与える影響について実験的に検討を行い、重度視覚障害者が単独で能動的に物体位置を把握できるインタフェースの設計指針導出を行う。

2. 物体位置探索方式

2.1 デザイン提案

本研究では、買い物において、商品棚の目の前に立ち商品に対して利き手の示指先端を接触させるまでを想定し、

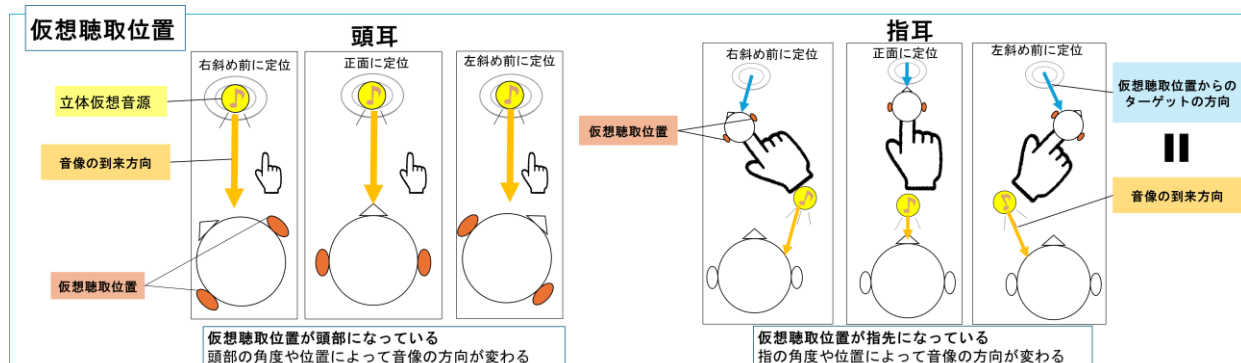


図 1：仮想聴取位置

2種類のインタフェース方式を提案する。

(1) 頭耳方式

仮想聴取位置をユーザの頭部の左右の耳の位置とする探索方式。図1のように現実と同様の聞こえ方をするため指耳方式に比べて慣れている探索方式となる。

(2) 指耳方式

仮想聴取位置として、利き手の示指先端の左右に耳がある想定する探索方式。図1のように示指先端に小さな頭部がついているような聞こえ方をする。手腕の動きによって音像が移動するため、身体運動と聴覚との運動供給が効果的に行われることによる認知負担の軽減が期待される。また、頭部に比べて手腕は自在に動くことができるため、定位の判断材料をより多く得られることで高精度の物体位置把握が可能になると考えられる。

2.2 インタフェース実装

MRヘッドセットを用いてハンドトラッキング、ヘッドトラッキング、聴覚情報提示並びに仮想空間の構築を行い、仮想空間上に配置した仮想のオブジェクトから提示音を3次元的に提示した。この仮想空間内で発せられる音の仮想的な聴取位置を仮想聴取位置とした。開発において、MRヘッドセット Meta Quest3 (Meta) を使用し、制御プログラムの開発には、Unity (Ver. 6000.024f1, Unity Technologies) を用いた。また、プロジェクト内に MR ヘッドセット制御用ライブラリ (Meta XR) および立体音響制御用ライブラリ (Meta XR Audio) を追加した。

3. 実験

3.1 概要

商品棚の商品を獲得することを想定し、近距離における探索方式がユーザビリティに与える影響について実験的に検討を行うために、頭耳方式および指耳方式の2条件を実験条件としたユーザビリティ評価実験を行った。

3.2 実験参加者

聴覚の正常な男子大学生6名（平均年齢 21.2 ± 1.07 歳）とした。なお、全員右利きであった。

3.3 実験環境・実験装置

神奈川工科大学・認知行動科学研究室にて行った。実験

室は外来の電磁波遮断および防音機能を有しており、暗騒音は平均レベルで 35dB (A) である。MRヘッドセットを用いて仮想空間の構築を行った。仮想空間上にはターゲットとなる仮想のオブジェクトを配置した。このターゲットを音源として提示音を3次元的に提示した。図2に実験環境構成図を示す。ホームポジションとして、実験参加者の頭部中心から実験参加者が右利きであれば右方向、左利きであれば左方向に 30cm、前方に 10cm、床面から高さ 87.6cm の位置に触って分かる印をつけた棚を配置した。また、安全のために棚の角にはコーナーガードを取り付けた。

3.4 実験課題

実験課題として利き手の示指先端をできるだけ素早く、正確に仮想空間上のターゲットに重ねていただいた。実験協力者には立位姿勢を取った状態で、視覚情報を遮断するためにアイマスクを装着した上に MR ヘッドセットを装着し、非利き手に MR ヘッドセットのコントローラを把持していただき、利き手の示指先端をホームポジションにおいていただいた。探索開始を伝える報知音の聴取後、MRヘッドセットから提示される聴覚情報のみを頼りに利き手の示指をホームポジションから3次元的に揺動させることで仮想空間上のターゲットの位置を探索していただき、利き手の示指先端をターゲットに重ねることができたと判断した際に、非利き手に把持していただいたコントローラのボタンを押下していただいた。その後、利き手の示指をホームポジションに戻していただいた。これを1試行とし、ターゲット配置場所9カ所に対して重複なしの9試行を1セットする。1条件につき本試行として休憩を挟んでの2セットを行った。また、練習試行としてターゲット配置場所4カ所に対して8試行実施し、最初の4試行では実験者によるターゲット位置のフィードバックを行った。

3.5 実験条件・提示刺激

実験条件は頭耳方式および指耳方式の2条件とした。練習試行および本試行における実験条件の順序はカウンタバランスを取って実施した。ターゲットの配置場所は図2示す3カ所の床面から高さ 70cm, 100cm, 130cm の3段とした。使用する提示音として、全体で1秒の試行開始の合図を行う報知音およびホワイトノイズを使用した。

3.6 測定・評価項目

3.6.1 客観評価

ユーザビリティの一要素である効果のなかでも正確性を評価するため、試行終了時の実験参加者の示指先端とターゲットとの距離誤差を測定した。また、参考情報として試行開始から試行終了までにかかった時間を測定し、達成時間とした。実験参加者の利き手の示指先端の試行開始から試行終了までの座標値を 60Hz で記録した。そして、総軌跡長および軌跡パターンを評価した。

3.6.2 主観評価

主観評価として、NASA-TLX[4]を用いてメンタルワークロードを測定し、評価した。また、心理的評価構造モデルを抽出するために評価グリッド法[5]を用いたインタビュー

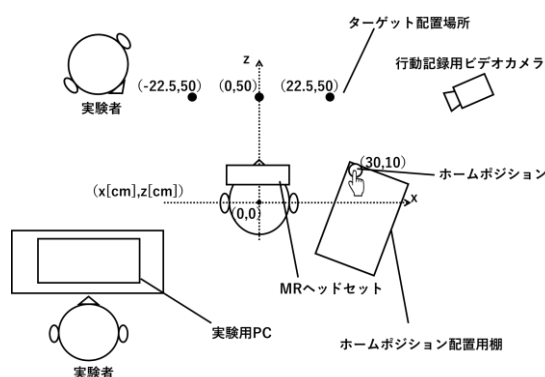


図2：実験環境構成

一調査を行った。

4. 結果

4.1 距離誤差

頭耳方式および指耳方式における平均位置誤差を図 3 に示す。誤差平均値は頭耳方式が 16.14cm、指耳方式が 7.42cm であった。2 群のデータに対しウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、指耳方式が有意に誤差が小さいことがわかった ($p<0.05$)。

4.2 達成時間

達成時間の平均値は頭耳方式が 24.12 秒、指耳方式が 41.36 秒となった。2 群のデータに対しウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、頭耳方式が有意に達成時間が短いことがわかった ($p<0.05$)。

4.3 総軌跡長

総軌跡長の平均値は頭耳方式が 478.15cm、指耳方式が 536.65cm となった。2 群のデータに対しウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、頭耳方式が有意に総軌跡長が短いことがわかった ($p<0.05$)。

4.4 メンタルワークロード

頭耳方式および指耳方式における平均メンタルワークロード値を図 4 に示す。結果に対しウィルコクソンの符号付順位検定を行ったところ、頭耳方式と指耳方式の間に有意差が認められた ($p<0.05$)。

4.5 軌跡パターン

各条件における探索時の軌跡を 3D グラフ化した。各条

件における典型パターンを図 5 および図 6 に示す。

4.6 心理的評価構造モデル

各条件における心理的評価構造モデルの典型パターンを図 7 および図 8 に示す。

5. 考察

5.1 距離誤差とメンタルワークロード

実験室環境での精度ではあるが、距離誤差から指耳方式のほうが有意に正確であった。また、指耳方式のほうがメンタルワークロード得点が有意に低くなった。頭耳方式では頭部をターゲットに近づけるなどの大きな身体動作をすることでターゲットの位置を特定しようとする動きがよく見られた。一方で指耳では手腕のみを動かしてターゲットの位置を特定していた。内省報告より、「ターゲットの位置を正確に把握するために近づく必要があった」と報告しており、ターゲットへの仮想聴取位置の近づけやすさが正確性およびメンタルワークロードに影響を与えたと考えられる。

5.2 各方式における探索戦略

図 5 に示した頭耳方式の典型軌跡パターンから、示指をホームポジション付近に停滞させた後に急激にターゲット近傍へ示指を近づける動きがみられる。これは、初めに示指ではなく頭部をターゲットに近づけるような身体動作を行い、ターゲットの位置を把握してから示指を動かし始めたためだと考えられる。このような動きは頭耳方式で

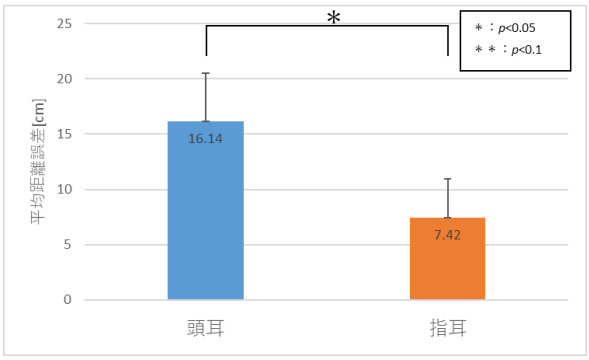


図 3：平均距離誤差

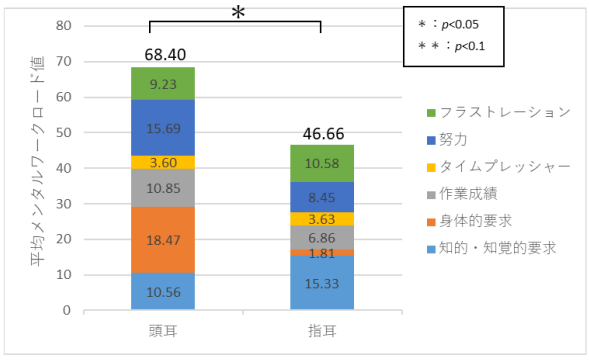


図 4：平均メンタルワークロード値

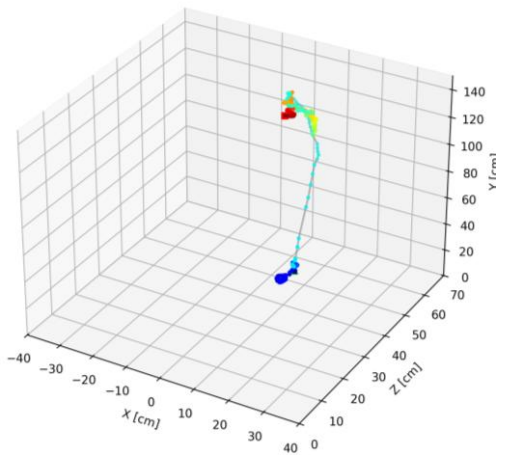


図 5：頭耳方式典型軌跡パターン

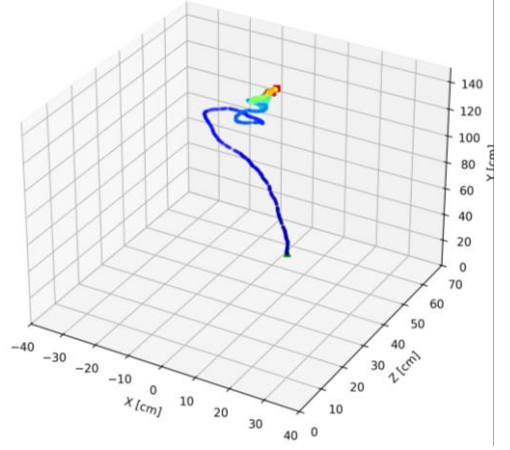


図 6：指耳方式典型軌跡パターン

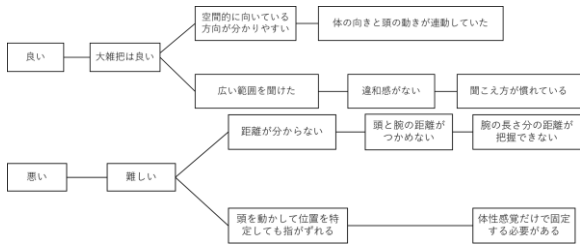


図 7：頭耳方式典型心理的評価構造モデル

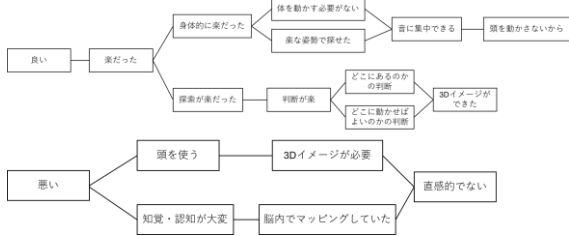


図 8：指耳方式典型心理的評価構造モデル

よくみられた。探索動作を示指ではなく頭部で行っていたことで頭耳方式のほうが指耳方式に対して総軌跡長が短くなったと考えられる。また、頭耳方式では頭部で把握したターゲットの位置に示指を合わせる必要があった点が距離誤差の増大につながったと考えられる。

図 6 に示した指耳方式の典型軌跡パターンから、ターゲットの近傍で細かく動くことでより正確にターゲットの位置を把握しようとする動きがみられる。このような動きは指耳方式でよくみられた。また、指耳方式内でも距離誤差の小さかった実験参加者はターゲット近傍でより細かい探索動作がみられ、距離誤差の大きかった実験参加者では大きな探索動作が見られた。このことから、指耳方式ではターゲット近傍での示指の細かな動きによる音像の移動を知覚し、ターゲットの位置把握に生かすことができていたと考えられる。また、この示指の細かな動きによる音像の移動を知覚していたことでメンタルワークロードにおける知的・知覚的要求の項目が頭耳方式に比べて増加したと考えられる。

5.3 探索方式による空間イメージ

図 7 に示した頭耳方式における心理的評価構造モデルのポジティブな評価として「聞こえ方が慣れている」という評価がある。これは頭耳方式において聴覚情報の聞こえ方が現実と同様であるためだと考えられる。一方で、図 8 に示した指耳方式における心理的評価構造モデルのネガ

ティブな評価として「3D イメージが必要」、「直感的でない」という評価がある。これは指耳方式が示指先端に小さな頭部がついているような聞こえ方という現実にはあり得ない聞こえ方をするためだと考えられる。このため、示指先端を聴取位置とした空間イメージを行う必要があったことでメンタルワークロードにおける知的・知覚的要求の項目が頭耳方式に比べて増加したと考えられる。

6. おわりに

本研究では商品棚の商品を獲得することを想定し、近距離における探索方式がユーザビリティに与える影響について実験的に検討を行った。その結果、指耳方式が頭耳方式に比べて正確性およびメンタルワークロードにおいて優れる結果となった。このことから、近距離における物体位置の把握には指耳方式を使用すべきという設計指針が得られた。しかし、本研究では実験参加者が晴眼者であったため、視覚障害当事者のユーザビリティに与える影響については明らかになっていない。今後、視覚障害当事者を対象とした実験を行う予定である。

参考文献

[1] 厚生労働省:障害を理由とする差別の解消の推進に関する法律の一部を改正する法律(令和 3 年法律第 56 号), https://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/pdf/law_r03-56.pdf (2025 年 7 月 18 日アクセス) .

[2] 厚生労働省 : 6 同行援護について , https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hukushi_kai/shougaisahukushi/kaiseihou/dl/sankou_110926_03_4.pdf (2025 年 7 月 18 日アクセス) .

[3] 棟近子竜, 森怜依, 高尾秀伸 : 重度視覚障害者向け食器位置提示複合現実インタフェースの基礎研究〜2 次元位置関係提示方法の検討 (第 2 章) 〜, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2024, 3T-D2, 2024.

[4] S. G. Hart & R. P. Jr Harper: Development of NASA-TLX: Result of Empirical and Theoretical Research, Hancock, P. A. & Meshkati, N. (eds.): Human Mental Workload Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, pp. 139-183, 1988.

[5] 讃井純一郎, 乾 正雄 : レポートリーグリッド発展手法による住環境評価構造の抽出-認知心理学に基づく 住環境評価による研究 (1) -, 建築学会計画系論文集, No. 367, pp. 15-22 , 1986.