

# 指の方向に着目した片手操作用仮想メニューの視認性評価

芳賀康太<sup>†1</sup> 小倉加奈代<sup>†1</sup>

**概要**：近年のXRコンテンツではコントローラを使用せず、フリーハンドの状態ではジェスチャを利用した操作方法が採用され始めている。しかし、仮想空間上でのメニュー表示及び操作方法に関しては、フリーハンドの状態での操作を考慮されていない場合が多い。また、従来のメニュー表示では、細かい操作を要求されるために、マルチタスクが困難であることやその他オブジェクトを視認しにくくなるという問題点がある。そこで、本研究では著者らが過去に提案した片手操作用仮想メニューを利用した危機回避に関する実験を実施し、操作回数や誤操作率からその他オブジェクトの視認性とマルチタスク処理能力への影響について考察する。

**キーワード**：VR、メニュー操作、ジェスチャ操作、マルチタスク操作、フリーハンド入力

## 1. はじめに

近年、一般家庭への普及を目的とした安価なヘッドマウントディスプレイ（Head Mounted Display: HMD）の登場やそれに伴ったVRコンテンツの増加により、AR/VR市場の成長は目覚ましい。IDCの調査によると世界のAR/VRのハードウェア、ソフトウェアおよび関連サービスにおける2020年から2024年の年間平均成長率は54.0%と高い成長が見込まれ、2024年の合計支出額は728億ドルに達すると予測されている[1]。今後もさらなる発展が予想されるAR/VR市場だが、実際のコンテンツ内でのメニュー表示や操作といったインターフェースデザインについて十分に考慮されていないものも見受けられる。特に、フリーハンドの状態では手指を利用した操作方法については、コントローラを用いる場合よりも表現が多様になるため、よりユーザビリティを考慮する必要がある。しかし、空中に大きく表示されるようなメニューや特定のジェスチャ操作を利用する既存手法では、その他オブジェクトと同時にメニューを認識することが困難である他、メニュー操作に集中し過ぎるあまり、画面内の変化に気付くことができず、結果としてメニューと他の操作を同時に行うことが困難になっている。VRゲームをはじめとしたコンテンツでは、画面内の状況は常に変化しており、それに対応できない操作手法は好ましくない。また、MRコンテンツでは産業やフィットネス市場をターゲット層としていることもあり、現実世界においても状況を正しく把握し、咄嗟の危機回避が可能なインターフェースデザインが適しているといえる。

以上のことから、VRやAR/VRコンテンツでは、コンテンツ上で効率的かつその他オブジェクトの邪魔とならないようなメニューの表示および操作方法が必要である。

フリーハンドでの操作方法として、著者らは指の方向に着目した片手操作用仮想メニューを提案している[2]。この提案手法の目的としては、直観的な操作とマルチタスク処

理を可能とするためのその他オブジェクトの視認性を両立した片手での操作が可能な汎用的メニューを提案することにある。これまでに、操作性について既存メニューと比較した評価実験を実施している。本稿では、提案手法のマルチタスク処理性能に関する評価実験結果について述べる。

本章以降、2章では関連研究として、VRおよびMR空間において提案されたフリーハンド状態で利用可能なメニュー表示および操作手法を概観する。3章では本研究で提案するメニューについて説明する。4章では、提案メニューと仮想空間におけるその他オブジェクトの視認性を検証した評価実験の説明とその結果について述べる。5章では、本稿の結論と今後の課題について述べる。

## 2. 関連研究

好きな位置にメニューを置くことを利点とした研究として、Leeら[3]は実物体の立方体にARマーカを貼り付け、その立方体を回転させることでメニューを操作する手法を提案した。しかし、この手法ではメニュー操作に必ず実物体を利用しなければならないため、現実世界が見えないVRで用いることも難しく、汎用性が乏しい。

ユーザの身体を表示領域として用いる手法もいくつか提案されている。Heらの研究[4]では、AR空間で手掌にメニューを表示し、タッチ操作を行う手法を提案した。この研究では、頭部正面や仮想オブジェクト付近に表示されるメニューと比較し、手掌を用いた提案手法の有用性を示している。しかし、この手法では手掌に表示領域が限定されることから、表示項目が小さくなり、それに伴って操作が細かくなることが問題点としてあげられる。他にも、浅井ら[5]は非利き手側の前腕にメニューを表示し、そのメニューに対して前腕に沿って手を回して項目をタップする手法を提案した。この手法により、見やすい位置にメニューを表示しつつ、表示領域を拡張することを可能にしているが、メニューを見るたびに視界の大部分を手や腕に覆われる間

<sup>†1</sup> 岩手県立大学ソフトウェア情報学部  
Iwate Prefectural University, Faculty of Software and Information Science

題が存在する。また、浅井らはこの手法の他に、手掌の開閉によってメニューの表示非表示を操作し、項目をもう一方の手で操作する手法も提案している[6]。この手法ではメニューが開いている手掌に追従するため、見やすい位置へ移動を可能にしつつ、表示領域の確保も実現している。しかし、メニュー操作には両手を用いなければならない、他の操作との両立は不可能である。もし、他の操作との両立が可能になれば、作業効率が向上する他、VRやAR/MRコンテンツでの表現の幅を広げることにも繋がる。

以上のことを踏まえて、著者らは、マルチタスク操作を可能にするために、その他オブジェクトの視認性を確保しつつ、直感的な操作性を備えた片手操作メニューを提案した[2]。

### 3. 指の方向に着目した片手操作仮想メニュー

#### 3.1 概要

前章で述べたように、著者らは直観的な操作とマルチタスク処理を可能とするためにその他オブジェクトの視認性を両立しつつ、片手での操作が可能な汎用的仮想メニューとして指の方向に着目し、片手操作可能な仮想メニューを提案した[2]。本手法では、手に対して身体側に扇状のメニューを展開し、人差し指の方向によって項目を選択する。メニューの表示および項目の決定には親指の開閉というジェスチャ操作を利用する。

#### 3.2 実装方法

仮想空間を提示するためにHMDであるOculus Questと、手と指の位置を取得するために小型モーショントラッカであるLeap Motionを用いた。なお、Leap MotionはHMD前面に取り付けて利用した。開発環境については、Unity 2019.2.13を用いた。

人差し指の方向を用いて項目選択を行う機能の実装については、人差し指自体の方向ベクトル以外に腕全体の方向ベクトルを取得し、その方向ベクトルを基準ベクトルとした。これにより、身体や腕がどの方向を向いている場合でも、ユーザは円滑に操作できる。

#### 3.3 操作方法

本手法では、人差し指の方向を用いることで自由な項目選択を実現する。指の方向を利用する理由としては、人間は深部感覚によって自分の身体の部位がどこにあるか把握することが可能であり[7][8]、指の方向もその深部感覚に該当するためである。これによって、メニュー以外の情報にも意識を傾けることが容易となり、最小限の認知負荷でメニュー操作が可能となる。

類似する手法としてあげられるレーザーポインタ操作と異なる点としては、関節の可動域を考慮した選択領域の実装にある。そもそもレーザーポインタ操作はコントローラを利用していることを前提とする場合が多く、精度や操

作性の観点からフリーハンド状態との相性は良いとは言えない。

本手法では、手の関節における可動域から、手掌が見える回外位の状態では、人差し指の方向を内側に可動させることのできる角度は、撓屈の25度と尺屈の55度を合わせた80度であること[9]を利用し、その可動域内のみを項目選択領域とすることで、フリーハンドに適した操作を実現している。この操作方法では、人差し指の2次元方向ベクトルのみを利用するため、3次元方向ベクトルを利用するレーザーポインタ操作よりも細かい操作を要求されることはない。なお、メニューの表示と項目の決定および解除操作には、親指と人差し指の開閉ジェスチャを採用した。

#### 3.4 表示方法

本手法は、親指と人差し指を開くことによって表示する。表示したメニューのレイアウトを図1に示す。

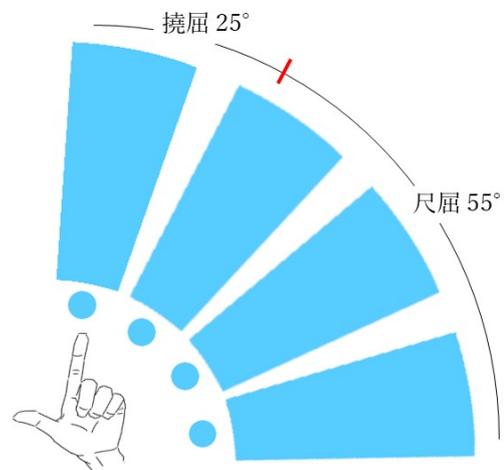


図1 メニューのレイアウト

図1のように、メニューの形状は手の可動域と同じ80度の扇形であり、人差し指の方向を用いて直感的に項目を選択することが可能である。また、メニューを開いている間は手掌にメニューが追従するため、好きな位置にメニューを配置することが可能となり、視認性の確保やユーザの円滑な操作を期待できる。

### 4. 評価実験

#### 4.1 実験概要

本手法のマルチタスク処理性能を検証するために、その他オブジェクトの視認性評価実験を実施する。

本実験では20代の男女13名(男性8名、女性5名)を実験協力者とし、メニュー操作回数とメニュータスクおよびオブジェクトタスクの誤操作率の測定を行った後、主観的作業負荷評価を測定するNASA-TLX[10]と事後アンケートを実施し、操作回数と誤操作率およびアンケート結果からメニューのマルチタスク処理性能を評価する。

また、実験協力者13名のうち6名は、本実験と同様の内容である予備実験を過去に実施しており、この6名を経験者、その他の7名を初心者として、本手法の慣れにより実験結果に差異が生まれるかについても検証する。

#### 4.2 実験内容

実験協力者に複数のタスクを同時に実施し、メニューのマルチタスク処理性能を検証する。操作するメニューについては、項目数を4つに統一し、30秒間の操作回数および誤操作率を測定する。

本実験にて検証するマルチタスク処理性能については、メニュー操作時に画面内のその他オブジェクトを認識し、複数のタスクを正しく操作できるかに主眼を置いているため、メニューを用いたメニュータスクと球体オブジェクトを用いたオブジェクトタスクを以下のように設定した。なお、実験で実施したメニュータスクおよびオブジェクトタスクの様子については図2、3のとおりである。

- メニュータスク：メニューに対し、画面右のヘッドアップディスプレイにて指示された項目を選択する。
- オブジェクトタスク：正面から等間隔で射出される球体オブジェクトに対し、正面の平面ウィンドウで指示された色の球体オブジェクトのみに触れ、他の色の球体オブジェクトは無視する。



図 2 メニュータスク画面

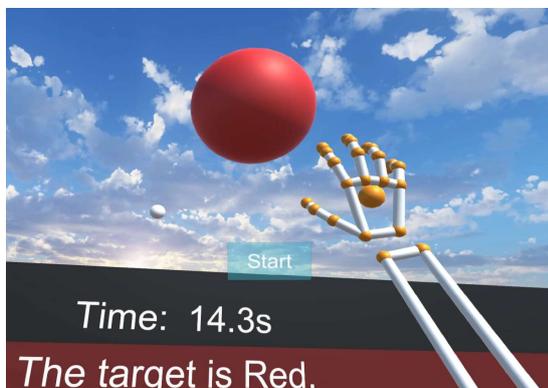


図 3 オブジェクトタスク画面

また、上記のオブジェクトタスクについては、メニュー操作性とマルチタスク処理能力を明確に評価するために、オブジェクト数を15、20、30と変動させた3種類の難易度を設定した。球体オブジェクトは実験中の30秒間、等間隔かつ順不同で射出されるが、指示されるオブジェクトの数については、全オブジェクトの1/5となるように設定した。本節以降では、実験タスクにおけるオブジェクト数ごとに設定した3種類の難易度をオブジェクト数が少ないものからそれぞれEasy(E)・Normal(N)・Hard(H)とする。

実験手順については以下の通りである。

- (1) 動画を用いて、メニューの操作方法および実験タスクを説明する。
- (2) チュートリアルタスクを実施することで、メニュータスクおよびオブジェクトタスクの操作を練習する。
- (3) 最もオブジェクト数の少ない実験用タスクで操作を練習する。
- (4) 実験用タスクを用いて、難易度ごとに3回測定を行う。
- (5) NASA-TLX と事後アンケートを行う。

(2)については、実験協力者ごとの関節可動域や身体能力を考慮し、メニュータスクにおける提案メニューの操作領域およびオブジェクトタスクにおけるオブジェクト射出位置を実験協力者ごとに変更した。

(5)については、実験終了後には操作に対する主観的作業負荷を測定するための NASA-TLX と事後アンケートを行う。NASA-TLX とは、主観的作業負荷を計測するために Hart ら[10]によって開発された評価手法である。事後アンケートの質問項目については以下に示す。なお、(1)~(3)および(5)についてリッカート尺度に則った5段階で評価する。

- (1) XR コンテンツにどの程度触れたことがありますか。
- (2) メニュータスクを十分に行うことができましたか。
- (3) オブジェクトタスクを十分に行うことができましたか。
- (4) どちらのタスクが難しいと感じましたか。
- (5) 完璧にタスクを達成するためにはどの程度練習する必要がありますか。

#### 4.3 実験結果

メニューのマルチタスク処理性能を評価するために、次項よりメニュータスクの操作回数と誤操作率、オブジェクトタスクの誤操作率、NASA-TLX の評価結果、事後アンケート結果についてそれぞれ説明・考察する。

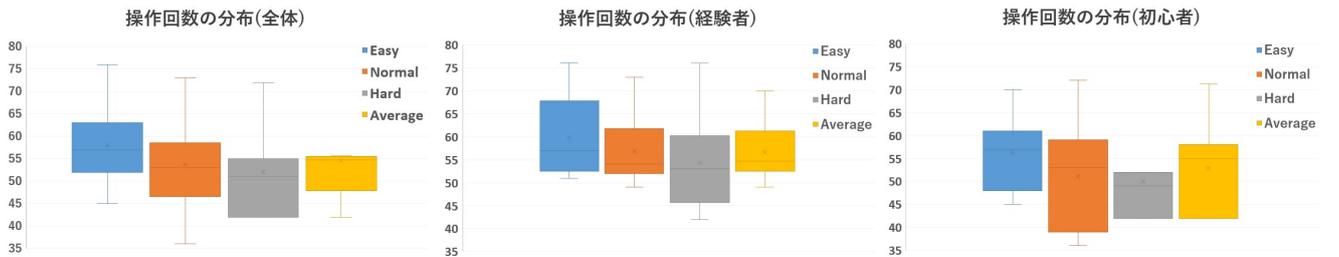


図 4 全実験協力者(左)および経験者(中央), 初心者(右)の操作回数分布

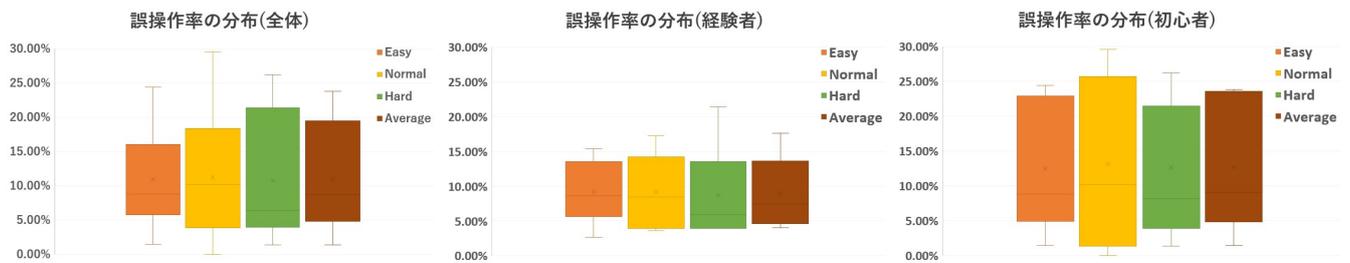


図 5 全実験協力者(左)および経験者(中央), 初心者(右)の誤操作率分布

#### 4.3.1 メニュータスクの操作回数と誤操作率

図 4 はメニュータスクの操作回数分布を示している。全体の分布ではオブジェクト数の多い難易度ほど操作回数が減少しており、経験者 (N=6) と初心者 (N=7) の分布を比較すると、経験者は平均 57 回、初心者は平均 52.5 回と経験者の方が良い結果となった。

図 5 はメニュータスクの誤操作率分布を示している。全体の分布では平均 10.01% であり、経験者 (N=6) と初心者 (N=7) の比較では、経験者が平均 8.93%、初心者が平均 12.71% と操作回数と同様に経験者の方が良い結果となった。また、分布自体に差異はあるものの、全体および経験者、初心者ともに難易度ごとの平均値に大きな差異は見られなかった。

#### 4.3.2 オブジェクトタスクの誤操作率

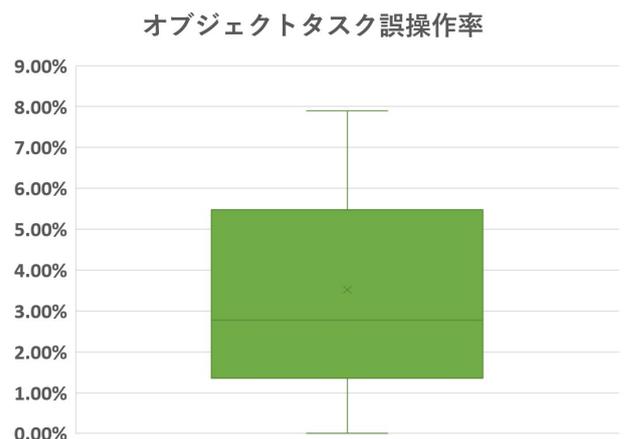


図 6 全実験協力者のオブジェクトタスク誤操作率分布

図 6 はオブジェクトタスクの誤操作率分布を示している。最も誤操作率の高い実験協力者の結果でも 8% を下回り、全ての実験協力者がどの難易度においても 1 度は必ず誤操作することなく測定を終えている。なお、オブジェクトタスクでは難易度や操作経験で大きな差異は見られなかったため、全体の分布のみを示している。

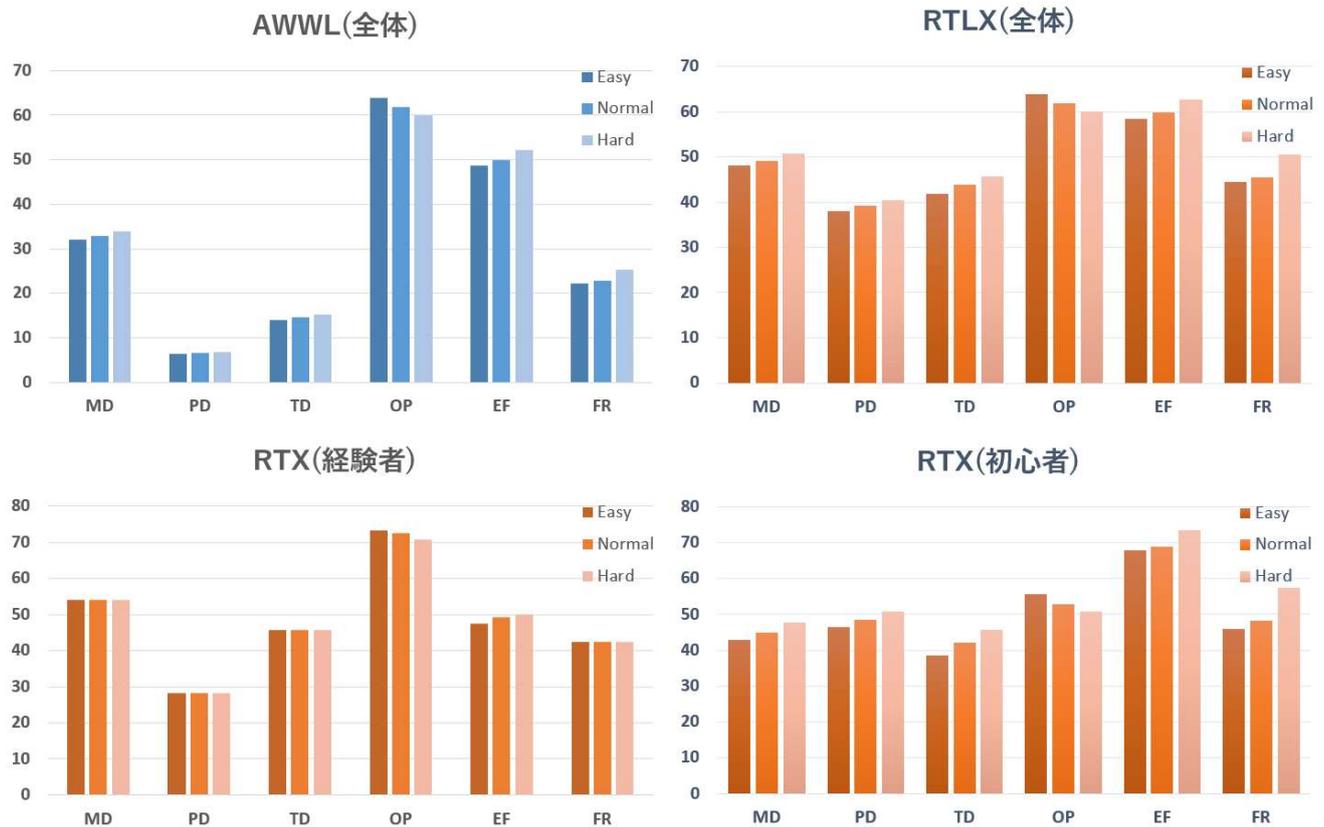


図 7 NASA-TLX 評価結果

(左上：全協力者 AWWL, 左下：初心者 RTLX, 右上：全協力者 RTLX, 右下：経験者 RTLX)

#### 4.3.3 NASA-TLX 評価結果

図 7 は NASA-TLX の評価結果を示している。NASA-TLX では、精神的要求(Mental Demand: MD), 身体的要求(Physical Demand: PD), 時間的切迫感(Temporal Demand: TD), 作業達成度 (Own Performance: OP), 努力 (Effort: EF), 不満 (Frustration: FR)の 6 項目の指標に対し、それぞれ難易度別に平均を出力した RTLX と各値をもとに重み付けを行った AWWL の結果を示している。RTLX に関しては、経験者と初心者の各値も示している。図 7 左上について難易度別に見ると、作業負荷に関する項目である MD 値および PD 値、TD 値は難易度が高くなるほど高い値を示し、EF 値と FR 値においても同様の傾向が見られた。それに対して、OP 値は難易度が低くなるほど高い値を示し、自己評価が高い結

果となった。図 7 右上の全実験協力者の AWWL を見ると各値の差が顕著となっており、OP や EF, MD を多くのユーザが感じていた結果となった。図 7 右下の経験者 RTLX と図 7 左下の初心者 RTLX の結果を比較すると、作業負荷を表す MD 値と PD 値について、経験者では PD 値よりも MD 値が高かったが、初心者では 2 つの値に大きな差はみられなかった。また、OP 値と EF 値については、経験者と初心者間で大きな差があり、経験者では OP 値が高く EF 値が低い、初心者では EF 値が高く OP 値が低い結果となった。

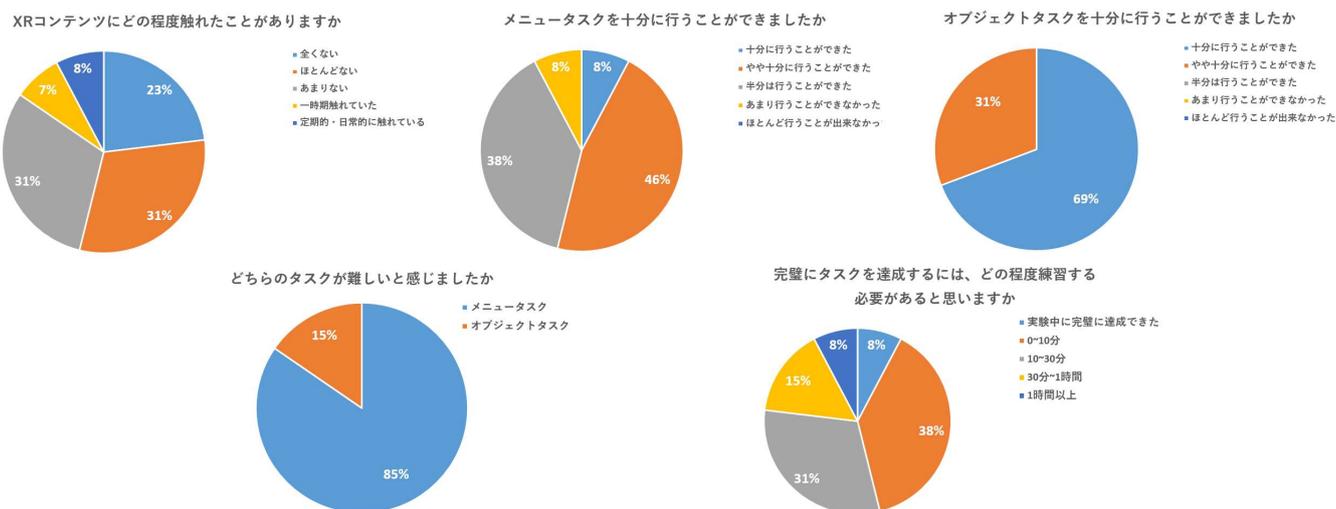


図 8 事後アンケート結果 (各質問項目別)

#### 4.3.4 事後アンケート結果

図 8 は事後アンケート結果を示している. 実験協力者は, 2 種類の実験タスク難易度を比較した質問項目 (図 8「どちらのタスクが難しいと感じましたか」) を除いて, リッカート尺度 (5 件法) で回答した. XR コンテンツの利用について (図 8 上段左) は, 「ほとんどない」と「あまりない」の回答が過半数を占め, 今回の評価実験では XR コンテンツに慣れているユーザが少なかった. 2 種類のタスクに関する設問 (図 8 上段中央, 上段右) では, メニュータスクよりオブジェクトタスクの方が自己評価は高く, 難易度を比較した設問 (図 8 下段右) でもオブジェクトタスクの方が容易と感じたユーザが多かった. タスクの練習量に関する設問 (図 8 下段右) では, 過半数が 10~30 分の練習によって実験タスクを完璧に実施できるようになると推測していた.

#### 4.4 考察

操作回数について, オブジェクト数と反比例する形で回数が減少しており, 1 つの難易度を 1 群としたフリードマン検定を実施した際にも, 有意水準 5%において結果に有意差があることが確認できた. この要因としては, オブジェクト数が増加すればするほどユーザのオブジェクトタスクに対する負荷と操作時間が増加し, 結果としてメニュータスクの操作が減少したことが考えられる. これは, NASA-TLX のアンケート結果で難易度が高ければ高いほど負荷が上昇していることとも一致している.

メニュータスクの誤操作率については, オブジェクト数に関係なくどの難易度においても平均 10%前後であり, 前述のフリードマン検定においても有意差は確認されなかった. また, オブジェクトタスクの誤操作率については, 平均 3.51%と極めて低い値であり, 全ての実験協力者がどの難易度においても 1 度は必ず誤操作することなく測定を終えている. 加えて, 難易度による差異も見られなかった.

以上のことから, 提案メニューは他のオブジェクトに対

する視認性が高く, タスクの難易度に関わらず, マルチタスク操作が可能であると考えられる. この要因として, 提案メニューは片手操作が可能であり, ユーザが任意の場所で直感的に操作ができることが挙げられる.

また, 経験者と初心者の比較では, 操作回数, 誤操作率ともに経験者の方が優れた結果であったことに関しては, 操作への慣れが如実に表れており, NASA-TLX(RTLX)のアンケート結果を比較した際に, PD 値の差が大きいことも起因していると考えられる. 加えて, OP 値と EF 値については, 初心者と比較して経験者の OP 値は上昇し, EF 値は減少する結果となっていることから, 実験タスクの経験や練習量によって作業に対する達成度は向上し, 負荷は減少する傾向があることが分かった.

最後に事後アンケートのうち, 実験タスクに関するアンケート結果については, メニュータスクの方が難しいと感じるユーザが多かった. これは, タスク間の誤操作率もメニュータスクの方が高いことに一致しており, メニュータスク以外と異なる操作の難易度が本実験のオブジェクトタスクより困難だった場合には, これらの結果が異なる可能性があることが示唆されている.

#### 5. おわりに

本稿では, フリーハンドの状態で作るメニューについて, 視認性と操作性を両立させつつ片手操作が可能なメニューとして著者が提案したメニューに関して, マルチタスク処理性能を評価するため他のオブジェクトへの視認性評価実験を実施した. この実験によって, 提案メニューの高いマルチタスク処理性能が確認され, NASA-TLX アンケートによって, 主観的な作業負荷が経験によって軽減されることがわかった.

今後は, 今回は手指の位置を取得するために小型モーショントラッカである Leap Motion を利用したが, 一体型の HMD が市場の主流となってきている現状を鑑みて, 外部

デバイスに頼らない実装方法に改良する予定である。

また、本稿では、著者らの提案メニューでのマルチタスク操作が容易であることが確認できたが、メニューの表示や操作方法、他のオブジェクトへの視認性がどの程度マルチタスク影響を及ぼしているかは明確になっていない。どの操作や表示がマルチタスク操作に適しているかを検証するにあたり、これらの影響を明確にすることは非常に重要である。今回の実験ではメニュータスクと異なるタスクがメニュータスクと比較して容易だったことも考慮すべきであり、より XR コンテンツに即したタスクとの検証や、メニュー操作と表示方法が XR コンテンツに及ぼす影響についても調査する予定である。

## 参考文献

- [1] Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Forecast to Deliver Strong Growth Through 2024, According to a New IDC Spending Guide  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS47012020>, (参照 2021-7-24).
- [2] 芳賀康太, 小倉加奈代: 指の方向に着目した片手操作用仮想メニューの提案, 情報処理学会研究報告, Vol. 2020-HCI-186, No. 26, pp. 1-3, 2020
- [3] H. Lee, W. Woo: Tangible Spin Cube for 3D Ring Menu in Real Space, Proc. of the 2010 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 4147-4152, 2010.
- [4] Z. He, X. Yang: Hand-Based Interaction for Object Manipulation with Augmented Reality Glasses, Proc. of the 13th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry VRCAI (VRCAI2014), pp.227-230, 2014.
- [5] 浅井拓己, 大槻麻衣, 柴田史久, 木村朝子: OpenPalmMenu: 手掌に付随・追従する電子メニューの提示と操作, コンピュータソフトウェア, Vol. 35, No. 3, pp. 32-44, 2018.
- [6] Takumi Asai, Shuhei Ogawa, Mai Otsuki, Fumihisa Shibata, Asako Kimura: Selection and Manipulation Methods for a Menu Widget on the Human Forearm, Proc. of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 357-360, 2017.
- [7] 鈴木肇: 南山堂医学大辞典(第 18 版), 南山堂, 1998.
- [8] 大沼俊博, 渡邊裕文: 深部感覚障害を有する患者への理学療法評価と理学療法の考え方, 関西理学療法, Vol. 6, pp. 39-42, 2006.
- [9] 松野丈夫, 中村利孝: 標準整形外科学(第 12 版), 医学書院, 2014.
- [10] Hart, S. G. and Staveland, L. E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index) Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock and N. Meshkati (eds.), Human Mental Workload, North-Holland, pp.139-183, 1988.