

手掌部の前に配置する仮想メニューの提案と設計

浅井拓己^{†1} 大槻麻衣^{†2} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要：仮想現実 (Virtual Reality; VR) 空間や複合現実 (Mixed Reality; MR) 空間では、仮想データを空間上に提示し、操作することが可能である。しかし、仮想データを操作するために必要となるメニューを VR 空間や MR 空間のどこに表示し、どのように操作するのかはしばしば問題となる。既存の研究で様々な手法が提案されているが、本研究では手のひらの前の空間にメニューを表示させる手法を提案する。これによって体性感覚を利用したメニュー操作を可能にしつつ、手を動かすことでより多くのメニュー項目を表示することが可能になると考えられる。本稿では提案手法を実装し、実験を通じて同メニューで円滑に操作することが可能なメニューの配置範囲と配置方向を確認したので報告する。

キーワード：人工現実感、複合現実感、メニュー操作、HMD

1. はじめに

近年、Oculus Rift や HTC Vive といった安価なヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display; HMD) の登場によって、人工現実感 (Virtual Reality; VR) 技術が我々の生活にも身近なものになりつつある。また HoloLens や meta2 といったシースルー型 HMD の登場により、複合現実感 (Mixed Reality; MR)、拡張現実感 (Augmented Reality; AR) 技術も注目されている。

VR空間やMR/AR空間へのインタラクション手法としては、空間に配置されたドキュメント・画像・三次元オブジェクトなどの電子データを、手や指の動きを用いた直観的なジェスチャで操作する手法が多く提案されている。

Franco ら[1]の「I'm in VR!」では、VR空間上に実世界の手と腕の映像を表示し、ユーザ自身の手で仮想の3次元オブジェクトを掴んで移動させるといった操作を行うシステムを提案している。また Barrett ら[2]は、指先に装着したデバイスによってジェスチャを認識し、AR空間中の仮想のウィンドウを動かすという手法や、仮想地図の上のポイントを選択する手法を提案している。

一方、機能を切り替える際や詳細情報を変更する際にはメニューが必要となるが、そのメニューをVR空間やMR/AR空間上のどこに表示し、どのように操作するのがよいかについては、しばしば問題となる。

本研究では、VR・MR/AR空間に適したメニューとして、手のひら(手掌部)からメニューを表示させ、反対の手でメニューを選択する手法を提案する(図1)。この手法では、手元にメニューを表示できるためすばやいメニュー操作が可能で、両方の手を動かすことで広いメニュー領域を確保することができる。本稿では提案手法を実装し、実験を通じて同メニューで円滑に操作することが可能なメニューの



図1 手掌部の前に配置する仮想メニュー (イメージ)

Fig. 1 Concept sketch of virtual menu placed in front of palm.

配置範囲と配置方向を確認したので報告する。

2. 関連研究

VRやMR/ARといった3次元空間用のメニューとして多くみられるのは、メニューを目の前や空中に配置するものである。Calaco ら[3]の「Mime」では、頭部の正面にメニューを浮かべ、指でそれをクリックすることで選択する方法を採用している。しかし、この方法にはメニューによって視界が覆われるという問題がある。

また、実物体を利用したメニューも提案されている。Lee ら[4]の「Tangible Spin Cube」では、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選択を行う手法を提案している。しかし、この手法ではメニュー専用の実物体を導入する必要がある。

メニュー専用の実物体ではなく、ユーザの身体そのものを利用する方法も提案されている。He[5]らは、AR空間での作業において、手掌部にメニュー表示を行う手法を提案しており、評価実験の結果、手掌部にメニューを表示する有用性が示されている。ただし、この手法では、表示領域が手掌に限定されるため、狭いという問題がある。

そこで、著者らはこれまでに前腕にメニューを表示する手法を提案してきた[6]。手掌部よりも広い前腕にメニュー

^{†1} 立命館大学大学院 情報理工学研究所
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University
^{†2} 筑波大学
University of Tsukuba

を表示することによって、身体を使う利点と表示領域の広さの両方を兼ね備えたメニューを実現した。しかし、現状のHMDでは画角が狭く、メニュー項目を確認する（HMD画面に表示する）ために、頭部を大きく動かす必要があるという欠点が残った。この問題は、今後HMDの画角が広がれば解決するものの、HMDの改善にはまだ時間がかかりそうである。

そこで、本稿では作業の際に視界に入りやすい手掌に再度着目し、手掌の前の空間に手のひらから引き出されるような形でメニューを表示し、それを反対の手で選択するという手法を新たに提案する。

手の付近にメニューを表示させる方法はVR空間におけるモデリング作業や描画作業が可能なOculus用アプリケーション「Medium」[7]、Google社の「Blocks」[8]といったアプリケーションにおいても既に導入されているが、これらのメニューはコントローラで操作するものである。これに対して、本研究ではコントローラなどのデバイスを使用せず、ハンドジェスチャを用いてメニューを操作する。

吉川ら[9]はテーブルトップディスプレイに親指と人差し指を接触させると、両指の間からメニューが表示されるという手法を提案している。この手法によって、ユーザがディスプレイ上の任意の位置、方向にメニューを表示することができ、スムーズなメニュー操作が可能となる。我々は、この手法を3D空間におけるメニュー操作に取り入れることで、HMDの限られた視界の中での円滑なメニュー操作を可能にする。

3. 提案手法

3.1 手元での情報入力と体性感覚

体性感覚とは、狭義には皮膚感覚や深部感覚のことを指す[10]。深部感覚の一種に、関節の屈折状態を感受し手や腕の位置を認識できる「位置覚」がある。

前述した[5]の手掌に表示されたメニューや[6]の前腕に表示されたメニューでは、自身の身体に重畳描画されたメニューに指で触れて操作することから、この位置覚を活用することで、手元を見ない操作や、素早く、円滑な操作が可能となる。

一方、携帯電話やスマートフォンの普及により、手元で情報を操作することが一般的になり、手元をあまり見ずにタッチやドラッグなどの操作を素早く入力できるユーザも増えている。このような手で把持するタイプのデバイスの場合、手掌や前腕のメニューの様に身体そのものに触れて操作するわけではない。しかし、デバイス上のボタンやアイコンの位置を手や指との相対位置で記憶することで、素早い入力が可能になっているとも考えられる。即ち、位置覚が身体の周囲にまで拡張し、手の周辺に固定配置されたものの位置の把握も可能になっている可能性があるということである。

今回提案するメニューでは、手掌に対してメニューを固定提示することから、この位置覚を利用した操作が期待で

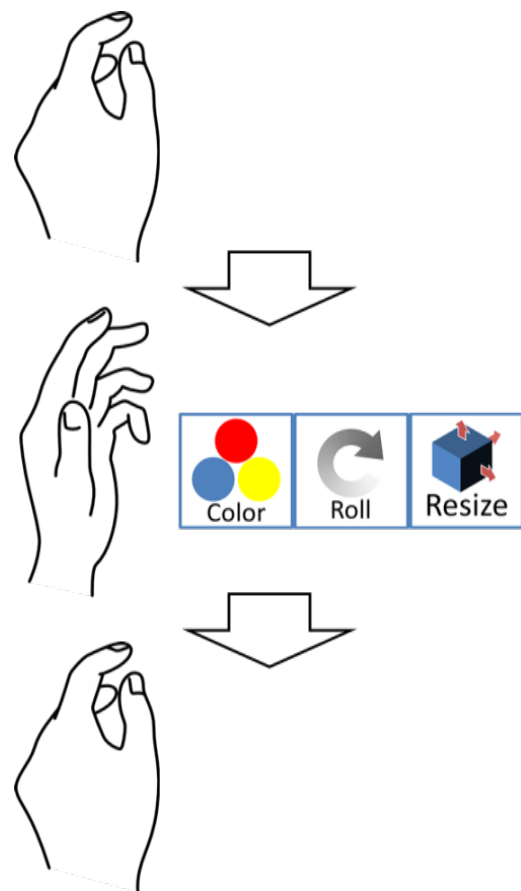


図2 メニューの表示および非表示方法
 Fig. 2 How to display and hide menus.

きるのではないかと考えている。

3.2 メニューの操作方法

本研究で提案するメニューを図2に示す。

【メニューの表示・非表示】

ユーザは、片手の指を閉じた状態で手掌部を顔の前に配置する。その状態でユーザが指を開くとメニューが表示される。また、ユーザが指を閉じるとメニューを非表示に（収納）することができる。

手掌の前に表示された仮想メニューに対するインタラクションとして、「タッチ」と「ドラッグ」を採用する。

【タッチ】

タッチはスマートフォンやタブレットでの作業において、各種選択操作の際に行うもっとも基本的なインタラクションである。本研究でも、このインタラクションを手掌部の前のメニュー操作のためのインタラクションとして取り入れた。片手の手掌部前にはメニュー項目が複数表示されており、反対の手の人差し指で選択したい項目に触れることで選択することができる。

【ドラッグ】

コンピュータ上で音などのボリューム調整を行う際には、スライダーのつまみをドラッグして移動する。本研究においても片手の手掌部前に表示されたスクロールバーのつま

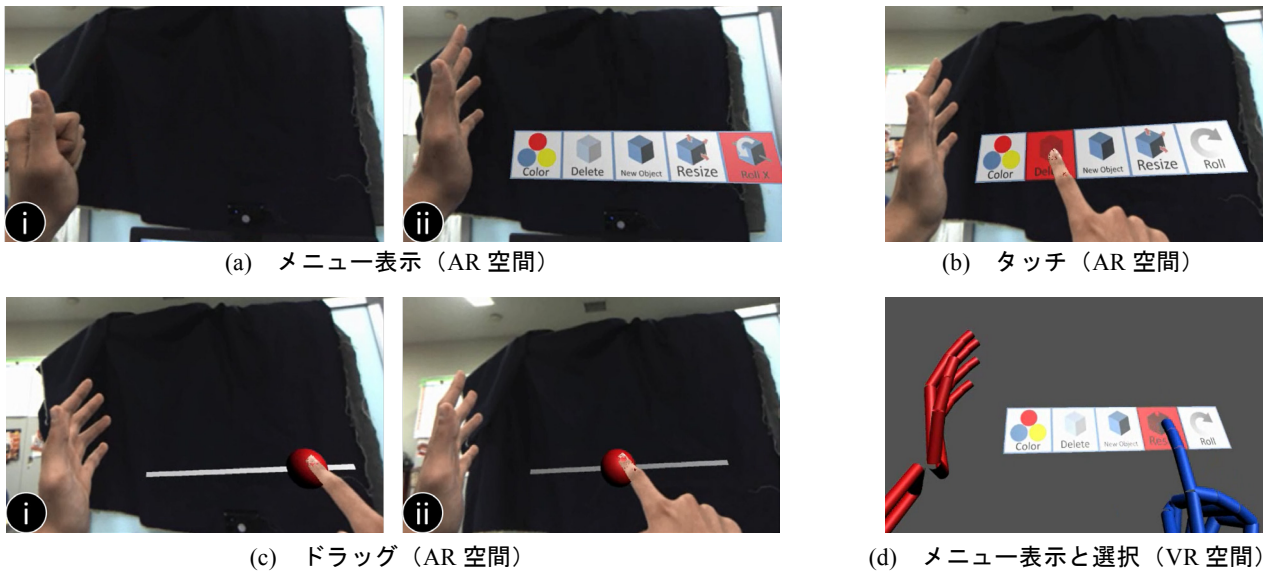


図3 実装結果

Fig. 3 Implementation result.

みを反対の手の指でタッチしたまま動かすことで、ドラッグ操作が可能となる。

3.3 実装

VR空間の提示には、HMD (Oculus Rift DK2) を、MR/AR空間の提示には、ステレオカメラ (Ovrvision Pro) によって実世界の画像情報を取得し、HMD (Oculus Rift DK2) 上で実世界の画像情報と仮想オブジェクトであるメニューを重畳描画する。手掌と指の位置は、HMD 前面に取り付けた小型モーショントラッカ (LeapMotion) で取得する。開発環境には、Unity 5.3.5 を用いた。

図3(a)-(c) にAR空間での実装結果、図3(d) にVR空間での実装結果を示す。

4. 実験：円滑な操作が可能なメニューの配置範囲の確認

4.1 実験目的・概要

提案するメニューで円滑に操作することが可能なメニューの配置範囲と配置方向（横方向・縦方向）を確認することを目的とする。具体的には、1項目あたりの大きさが縦6cm×横6cmのメニュー項目7個を横方向に配置した横メニュー（図4(a)）と縦方向に配置した縦メニュー（図4(b)）を、それぞれ被験者に操作させ、各々のメニュー項目に対する入力完了までの時間（試行時間）とエラー回数の評価、およびアンケートから、円滑な操作が可能なメニューの配置範囲を確認する。

4.2 実験手順

実験手順を図5に示す。

- (1) 被験者にHMDを装着
- (2) タスク開始のトリガとして、正面に配置された2つの小さな立方体をそれぞれ左手と右手で触れる（図5(a)）
- (3) 左の手掌からメニュー（縦メニューまたは横メニュー）

が表示される（図5(b)）ので、正面中央に表示された数字（1～7の数字がランダムに表示される）と同じメニュー項目を選択する（図5(c)）

- (4) 1つのメニュー項目（数字）につき計5回選択するまで（総計35回）、(2),(3)を繰り返す
- (5) 半数の被験者は縦メニュー、横メニューの順番で、残り半数の被験者は逆の順番で上記実験を行う

被験者一人当たりの試行回数はメニュー1項目につき5回選択×7項目×メニュー2種の計70回である。また、全ての試行が終了したのち、横メニューと縦メニューで操作が容易だった方を回答させる。

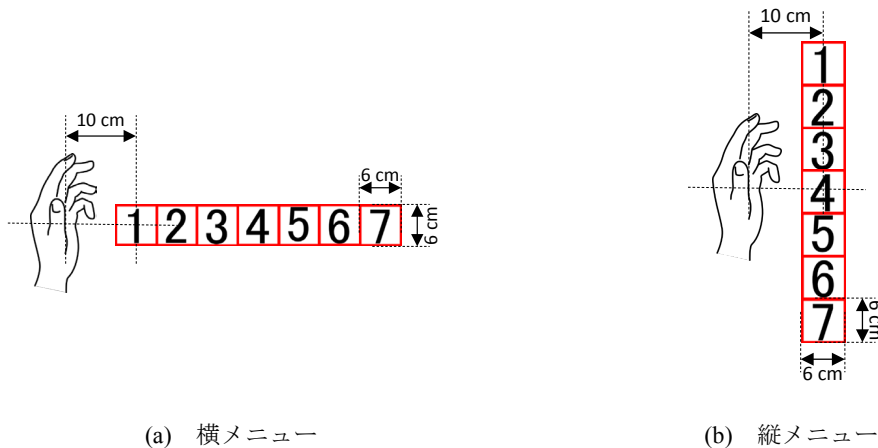
4.3 実験条件

実験はVR空間で行った。被験者は成人男性14名（21歳～23歳、平均22.07歳）で、全員右利きであった。実験前に十分練習を行わせ、横メニューと縦メニューの試行順についてはカウンタバランスをとった。また、提示する数字はランダムとした。メニュー項目の個数は7個、1項目あたりの大きさは縦6cm、横6cmで、横メニューのメニュー項目「1」と縦メニューのメニュー項目「4」の中央と手掌部との距離は10cmとした（図4）。また、実験手順(2)で、タスク開始時に被験者に触れさせる2つの立方体は、被験者の頭部と同じ高さ、22cmの間隔を空けて配置されており、頭部から2つの立方体の中点までの距離は50cmとした（図6）。

4.4 実験結果

横メニューと縦メニューの項目ごとの平均試行時間を、それぞれ図7(a),(b)に示す。縦軸が一試行あたりの平均試行時間を表し、横軸がメニュー項目の番号を表す。また「全体」は全メニュー項目の平均試行時間を表す。

メニュー項目の位置についてメニュー項目番号（7水準）

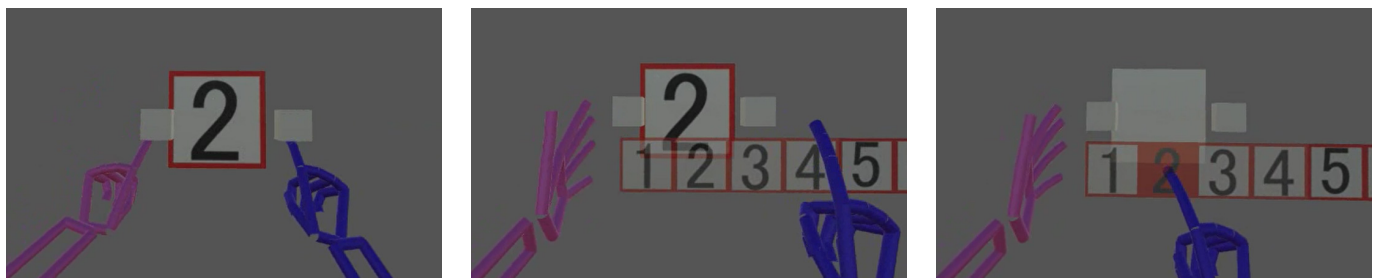


(a) 横メニュー

(b) 縦メニュー

図 4 実験に用いたメニュー

Fig. 4 Menu used for experiment.



(a) 数字の表示

(b) メニューの表示

(c) メニュー項目の選択

図 5 実験手順

Fig. 5 Experiment procedure.

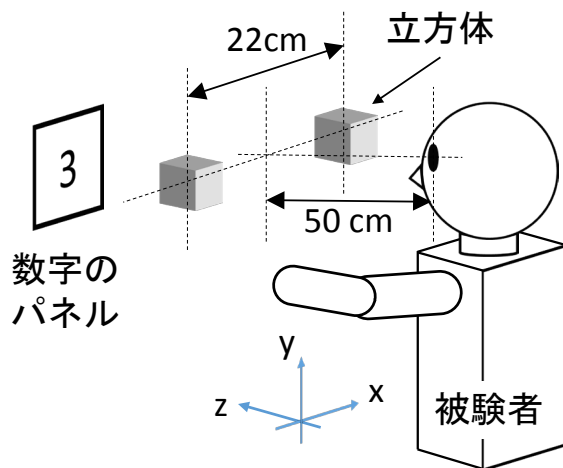


図 6 実験環境

Fig. 6 Experimental setup.

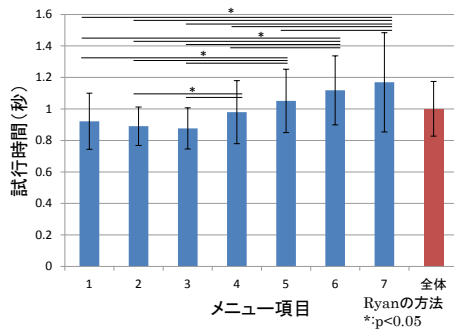
とメニュー方向 (2 水準) を要因として, 2 要因分散分析を行った. その結果, メニュー項目番号とメニュー方向について主効果が有意であった (それぞれ, $F(6, 13) = 19.0, p < 0.001$, $F(1, 13) = 5.3, p < 0.05$). また, メニュー項目番号とメニュー方向の交互作用が有意であった ($F(6, 78) = 2.3, p < 0.05$).

下位検定としてメニュー項目番号ごとのメニュー方向間の単純主効果の検定を行った. その結果, メニュー項目番号が 4, 5, 6, 7 の時に, 縦メニューと横メニューの間に有意差が見られた ($p < 0.05$).

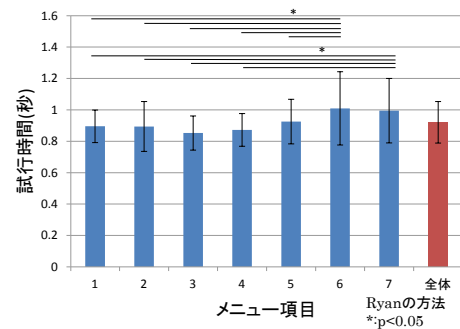
次に, メニュー方向ごとのメニュー項目番号間の単純主効果の検定を行ったところ, いずれのメニュー方向でもメニュー項目番号について単純主効果が有意であった. 続いて, Ryan の方法を用いた多重比較を行い, その結果, 横メニューでは手に近いメニュー項目 (1-3) と手から離れたメニュー項目 (5-7) との間に有意差が見られた ($p < 0.05$). 縦メニューでは, 手掌部前と手掌部よりも上に配置されているメニュー項目 (1-4) と手掌部よりも下のメニュー項目 (6, 7) との間に有意差が見られた ($p < 0.05$).

横メニューと縦メニューの平均エラー回数をそれぞれ図 7(c), (d) に示す. 縦軸が 1 試行あたりの平均エラー回数を表し, 横軸がメニュー項目番号を表す. また「全体」は全メニュー項目の平均エラー回数を表す.

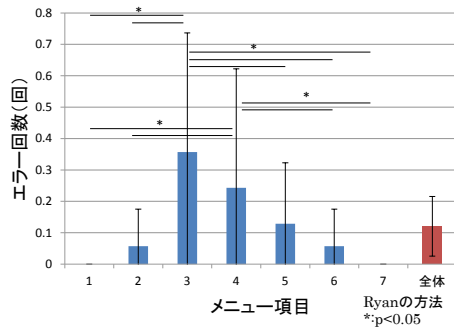
同様に, メニュー項目の位置についてメニュー項目番号 (7 水準) とメニュー方向 (2 水準) を要因として, 2 要因分散分析を行った. その結果, メニュー項目番号のみ主効果が有意であった ($F(6, 13) = 5.3, p < 0.001$). また, メニ



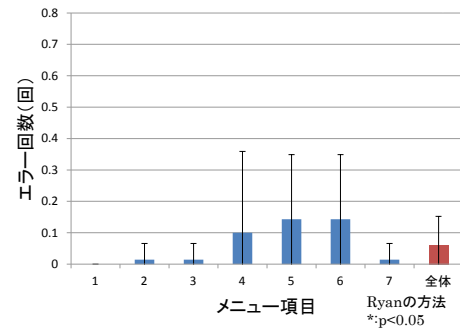
(a) 横メニューの平均試行時間



(b) 縦メニューの平均試行時間

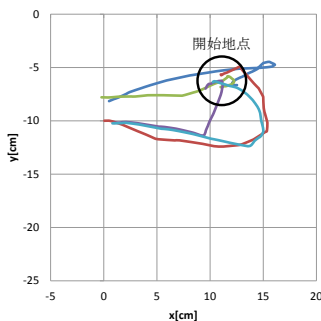


(c) 横メニューの平均エラー回数

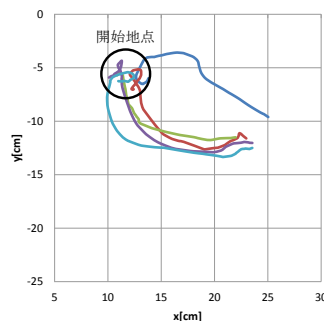


(d) 縦メニューの平均エラー回数

図7 実験結果
 Fig. 7 Result.



(a) メニュー1の場合



(b) メニュー7の場合

図8 横メニューの操作時における右手の軌跡

Fig. 8 The trajectory of the right hand when operating the horizontal menu.

一項目番号とメニュー方向の交互作用が有意であった ($F(6, 78) = 3.7, p < 0.005$).

下位検定としてメニュー項目番号ごとのメニュー方向間の単純主効果の検定を行った. その結果, メニュー項目番号が3の時に, 横メニューと縦メニューの間に有意差が見られた ($p < 0.001$).

次に, メニュー方向ごとのメニュー項目番号間の単純主効果の検定を行い, 横メニューの場合のみ, 項目番号間に有意差が見られた ($p < 0.001$). Ryanの方法を用いた多重比較によれば, 横メニューでは中央付近のメニュー項目 (3,4)

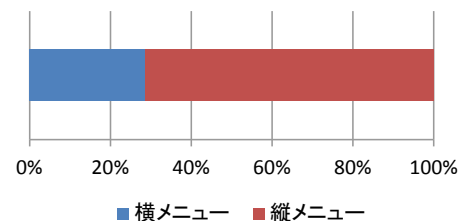


図9 アンケート結果

Fig. 9 Questionnaire results.

と端付近のメニュー項目 (1, 2, 6, 7) との間に有意差が見られた ($p < 0.05$).

4.5 考察

4.5.1 メニューの配置範囲に関する考察

横メニューの場合, 項目ごとの平均試行時間 (図7(a))を見ると, 手に近いメニュー項目 (1-3) の試行時間は遠いメニュー項目 (5-7) に比べて有意に短かった. 一方, 試行時間が最も平均値に近かった被験者の右手の動きの x-y 平面上の軌跡を確認すると, 1を選択する場合 (図8(a))と7を選択する場合 (図8(b))では移動距離に大きな差は見ら

れなかった。すなわち、移動距離がほとんど同じであったにもかかわらず、手に近いメニュー項目 (1-3) の方が素早く選択できていた。その理由として、多くの被験者が、手を顔の正面付近に配置していたことが考えられる。手から遠いメニュー項目 (5-7) は、視界の端に表示される。そのため、一旦視界の内側にそれらのメニュー項目を移動させてから、選択する必要があったためだと考えられる。

縦メニューの場合、項目ごとの平均試行時間 (図 7(b)) を見ると、手掌部横と手掌部よりも上に配置されているメニュー項目 (1-4) の試行時間は手掌部よりも下のメニュー項目 (6, 7) に比べて有意に短かった。これはメニュー選択の際に、被験者は手を視界の中央よりも下に配置することが多かったため、手掌部よりも下に表示されたメニューが視界の端になり、横メニューの場合と同様に、メニュー項目を視界内に移動する分時間がかかったためであると考えられる。

以上のことから、今回の実験条件では、横メニューが 1 から 3、縦メニューでは 1 から 4 のメニュー項目の選択がより素早く・容易にできることがわかった。一項目あたりの大きさが縦 6cm、横 6cm であることと、横の 1 のメニュー項目と縦の 4 のメニュー項目の中央が手掌から右に 10cm 離れていることから、提案するメニューは、左手の場合、手掌中央部から上に約 24cm、右に約 22cm 以内の範囲に配置することで円滑に操作ができると考えられる。

4.5.2 メニューの配置方向に関する考察

メニュー項目番号が 4, 5, 6, 7 の時の、メニュー方向ごとの平均試行時間では、縦メニューの方が横メニューよりも有意に短かった。また、アンケート結果のグラフ (図 9) からも横メニューよりも縦メニューの方を好んだ人数が多いことが分かる。被験者からも「手を横に動かすよりも縦に動かす方が楽だった。」というコメントがあった。これらのことから縦メニューの方がユーザにとって比較的选择が容易であることが伺える。

また、横メニューの項目ごとの平均エラー回数 (図 7(c)) を見ると、中央のメニュー項目 (3,4) の方が端のメニュー項目 (1,2,6,7) よりも有意に多いことが分かる。これは被験者がメニューを表示した際に、最初から右手が 2 や 3 のメニュー項目付近にあり、誤ってメニュー項目が選択されたためである。これは今回の実験条件が原因であることも考えられるが、作業を行う際には、右手と左手は近接している場合が多く、また被験者からも「横メニューは右手と非常に近い位置にあったため、操作が困難だった。」というコメントがあった。

以上のことから、横メニューの場合は、左右の手の初期位置を考慮したメニュー設計にしなければならないことが分かった。

5. むすび

本稿では、VR・MR/AR 空間における新たなメニューとして、手掌部の前の空間に配置するメニューを提案した。この手法を用いることで手元での操作が可能であり、かつ従来手法に比べて広い範囲でメニュー表示・操作を行うことができると考えられる。

本稿では提案手法について、円滑な操作が可能なメニューの配置範囲と配置方向の確認をするため実験を行った。その結果、提案するメニューは、縦に配置する場合は手中央部から上に約 24cm、横に配置する場合は手中央部から右に約 22cm 以内の範囲に配置することで円滑に操作ができるということと、横に配置する場合は左右の手の初期位置を考慮したメニュー設計にしなければならないことを示唆した。

今後の展望として、従来の頭部前に配置されたメニューや空間に固定されたメニューとの比較実験を行う予定である。また、このような体の周辺に提示された対象への操作と体性感覚 (位置覚) との関係についても確認していきたい。

参考文献

- 1) Franco Tecchia, Giovanni Avveduto, Raffaello Brondi, Marcello Carrozzino Massimo Bergamasco, Leila Alem: 'I'm in VR!: using your own hands in a fully immersive MR system, In Proc of VRST(2014), pp73 - 76
- 2) Barrett Ens, Ahmad Byagowi, Teng Han, Juan David Hincapié-Ramos, Pourang Irani: Combining Ring Input with Hand Tracking for Precise, Natural Interaction with Spatial Analytic Interfaces, In Proc of SUI(2016), pp99 - 102
- 3) A. Colaço, A. Kirmani, H. S. Yang, N. Gong, C. Schmandt and V. K. Goyal: "Mime: compact, low power 3D gesture sensing for interaction with head mounted displays," Proc. UIST, pp. 227 - 236, 2013.
- 4) H. Lee and W. Woo: "Tangible spin cube for 3d ring menu in real space," CHI2010, pp. 4147 - 4162, 2010.
- 5) Z. He and X. Yang: "Hand-Based Interaction for Object Manipulation with Augmented Reality Glasses," Proc. VRCAI, pp. 227 - 230, 2014.
- 6) T Azai, S Ogawa, M Otsuki, F Shibata and A Kimura: "Selection and Manipulation Methods for a Menu Widget on the Human Forearm," Proc. CHI20107 pp. 357 - 360, 2017
- 7) Medium, <https://www.oculus.com/medium/> (2017年7月26日閲覧)
- 8) Blocks, <https://www.oculus.com/experiences/rift/1320373124698683/> (2017年7月26日閲覧)
- 9) T Yoshikawa, B Shizuki and J Tanaka: "HandyWidgets: Local Widgets Pulled-out from Hands
- 10) 岩田洋夫: ハプティックインタフェース, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.6, pp803-806, (1999)