

# 指の方向に着目した片手操作用仮想メニューの提案

芳賀康太<sup>†1</sup> 小倉加奈代<sup>†1</sup>

**概要**：近年の VR や AR/MR 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の手や指の動き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は空中に大きく配置されたものが多く、他の物体を視認しにくくなることや細かい操作を要求されるという問題点がある。そこで、本研究では指の方向に着目し、フリーハンドの状態での操作を考慮した片手操作用メニューを提案した。提案したメニューは、既存メニューと共に入力速度や誤操作率、操作感に関する評価実験を実施した。その結果、提案手法は、既存のメニュー操作および表示方法よりも操作性が高いことを確認できた。

**キーワード**：VR、メニュー操作、レーザーポインタ操作、ジェスチャ操作、フリーハンド入力、Leap Motion

## 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 2018 年から 2023 年の年間平均成長率は 78.3%と高い成長が見込まれ、2023 年の合計支出額は 1606.5 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の手や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。

現状の VR や AR/MR コンテンツにおいて、コンテンツ上で機能を変更する際のメニュー画面としてよくみられるのは、空中に大きく配置されたメニューであり、場合によっては頭 (視界) を追従させるものも存在する。しかし、このような手法では、視界の大半がメニュー画面で覆われるため、他の物体を同時に認識することが難しくなる。また、VR や AR/MR コンテンツでは、手や指を利用したジェスチャやタッチ、レーザーポインタによる操作がしばしば利用される。しかし、タッチ操作は項目選択に時間を要する上に、触覚によるフィードバックがないため、選択した実感が得られにくい。ジェスチャ操作に関しては、項目数が増えるほど覚えるジェスチャも増えるため、項目数に応じてユーザへの負担も大きくなる。レーザーポインタ操作については、画面圧迫を防ぐために項目を小さくした場合、細かい操作に時間を要する。これはタッチ操作でも同様のことが言える。

以上のことから、VR や AR/MR コンテンツにおけるメニュー表示および操作では、視認性や操作性の観点から問題となる事柄が多い。よって、本研究では、コンテンツ上で効率的かつユーザにとって邪魔にならないようなメニューの表示および操作方法を検討する。

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 章では提案したメニューにおける最適項目数の調査をするために行った予備実験の説明とその結果、考察について述べる。5 章では提案したメニューと仮想空間における既存のメニュー表示および操作手法を比較した評価実験の説明とその結果、考察について述べる。6 章では、本稿のまとめ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 [2] は実物体の立方体に AR マーカーを貼り付け、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 [3] 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 [4] は非利き手側の前腕にメニューを表示し、そのメニュー

<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

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問題が存在する。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[5]。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繋がる。

以上のことを踏まえて、本研究では視認性を確保しつつ、直感的な操作性を備えた片手操作用メニューを提案する。

### 3. 指の方向に着目した片手操作用仮想メニュー

#### 3.1 概要

本研究では、指の方向に着目し、片手操作可能な仮想メニューを提案する。前述のように、本研究の目的は、視認性と直感的な操作による操作性を両立しつつ、片手操作が可能な汎用的仮想メニューを提案することにある。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。次節より実装方法、操作方法、表示方法について説明する。

#### 3.2 実装方法

本研究では、仮想空間を提示するために HMD である Oculus Rift CV1 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 を用いる。なお、Leap Motion は HMD 前面に取り付けて利用する。開発環境については、Unity 2019.2.13 を用いる。

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する。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

本研究で提案するメニューは、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[6][7]、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いえない。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、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[8]を利用し、本提案では、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というジェスチャを採用する。

#### 3.4 表示方法

本研究で提案するメニューは、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。

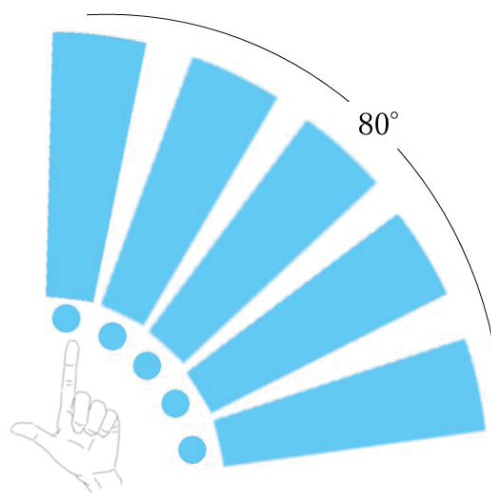


図 1 提案メニューのレイアウト

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、各項目は階層的に配置することが可能であり、これによって一度の表示項目以上に多くの項目を設定することができる。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. 予備実験：最適項目数調査

#### 4.1 実験概要

既存メニューとの比較を行う前に、本提案のメニュー表示の UI と操作方法を検討するために、最適項目数の調査

を目的とした予備実験を行う。最適項目数の定義としては、メニューを開いた際に表示され、操作および決定を行う上で最も適切な項目数とする。本実験では、20代の男女5名（男性3名、女性2名）を実験協力者とし、メニューの表示項目数が3、4、5の3条件でそれぞれの入力時間と誤操作率を測定する。

#### 4.2 実験内容

実験では、3~5項目を表示した各メニューに対し、実験協力者に指定された項目番号のメニューを選択させる。実験で用いたメニューは図2のとおりである。なお、指定される項目番号については、同じ番号が重複せず、ランダムで指定されるようにした。

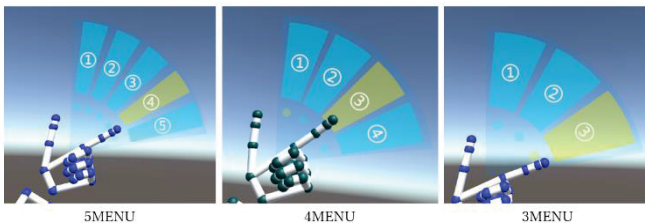


図2 項目数ごとのメニュー表示UI（右より5、4、3）

実験は以下の手順で実施する。

- (1) 実験協力者に提案メニューの操作方法を説明する。
- (2) 実験協力者が指定した項目を不自由なく選択できるまで操作を練習する。
- (3) 実験者が実験内容を説明する。
- (4) 選択開始から終了までの入力時間を3回計測する。
- (5) (1)~(4)を項目数3~5のそれぞれの実験で実施する。

(3)の実験内容については、実験協力者が画面内に表示される項目記号を順次入力し、その間の入力時間と誤操作率を測定する。その際に表示される画面を図3に示す。

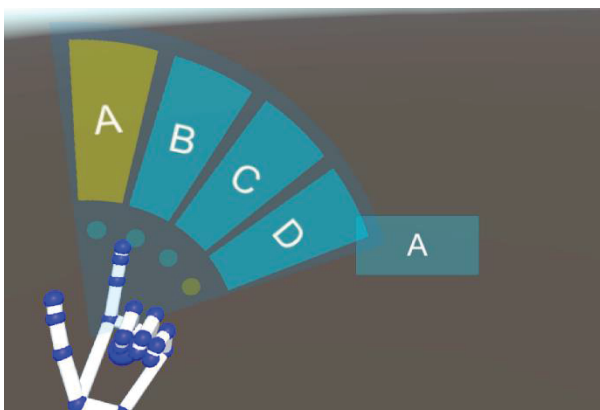


図3 実験時に表示される画面

なお、各メニューでは表示項目数が異なるため、実験の条件として入力時間の計測開始から終了までの「表示した

合計項目数を60に統一する」こととした。具体的には、メニュー項目数が3の場合は20回、4の場合は15回、5の場合には12回の項目選択および決定することとなる。これにより、実験過程で「同じ項目数の中から1つの項目を選択した」とみなすことができる。

実験終了後には、操作性を調べるためのアンケート調査を行う。アンケート内容について以下に示す。なお(1)については、VRコンテンツの使用経験の有無によって結果に違いがあるかを調べるための設問であり、(2)、(3)については回答理由も合わせて記述してもらう。

- (1) AR/VRコンテンツの使用経験はあるか
- (2) 本実験で最も操作しやすかったメニューはどれか
- (3) 本提案手法を用いたメニューの操作性はどうだったか

#### 4.3 実験結果

実験結果を以下の図4~9に示す。図4では各メニューの平均入力時間を、図5では1回の項目選択にかかる平均入力時間を、図6では入力時間の分布を、図7では平均誤操作率を、図8では誤操作率の分布を、図9では操作性に関するアンケート結果を示す。なお、アンケート項目の(1)AR/VRコンテンツの使用経験について、ほとんどが「使用している」という回答であり、使用経験は実験結果には影響していないといえるため省略した。

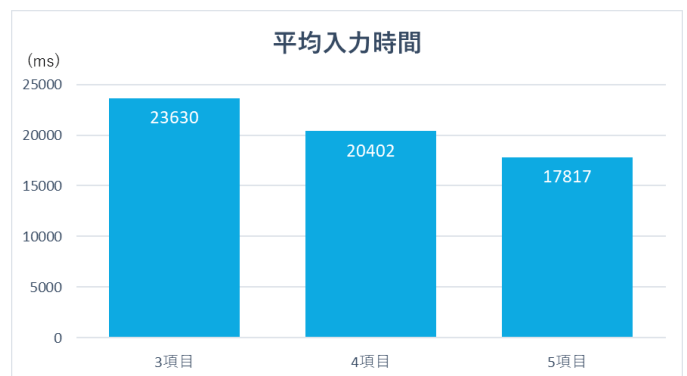


図4 各メニューの平均入力時間

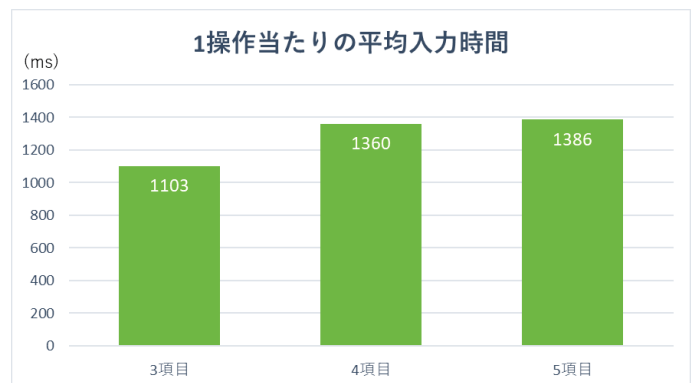


図5 各メニューの1操作当たりの平均入力時間

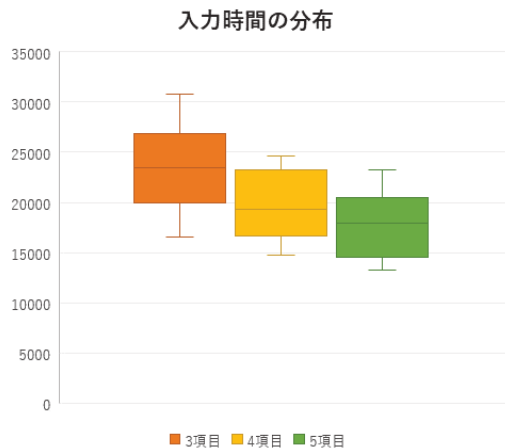


図 6 各メニューの入力時間分布

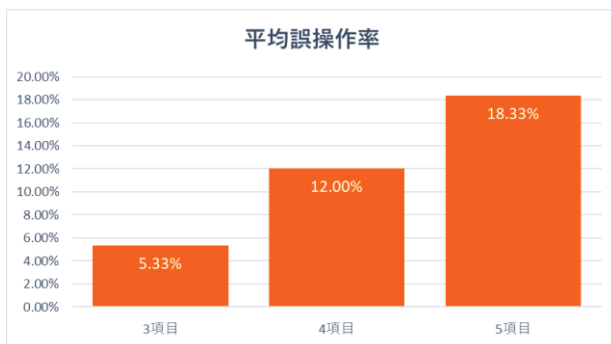


図 7 各メニューの平均誤操作率

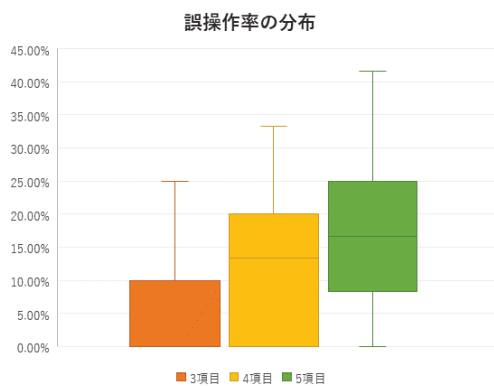


図 8 各メニューの誤操作率分布

最も操作しやすかったメニューはどれですか？

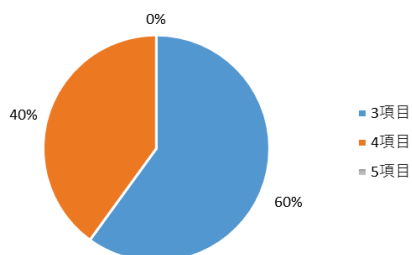


図 9 操作性に関するアンケート結果

入力時間については、図 4 からわかるように、表示項目数が多ければ多いほど全ての項目選択を終了するまでにかかった時間は短かった。しかし、図 5 からわかるように、1 回の項目選択にかかる時間は表示項目数が少ないメニューの方が短いという結果になった。

誤操作率については、図 6 から分かるように、項目数が多ければ多いほど誤操作率が高いという結果になった。特に、図 8 の分布にて 3 項目の中央値は 0 であり、殆どの被験者は 3 回の計測のうち、1 回は 1 度の誤操作も無く入力を終えることができていた。

操作性に関するアンケート結果では、3 人の被験者が 3 項目を、2 人の被験者が 4 項目を最も操作性が良いと回答した。

#### 4.4 考察

予備実験では、合計表示項目数を 60 に統一したため、12 回と最も項目選択回数の少ない 5 項目が最も入力時間が少ないという結果になったと考えられる。しかし、1 回の操作あたりの平均入力時間や誤操作率から、表示項目数を増やせば増やすほど、一回の項目選択にかかる時間が長くなり、誤操作率も増加することがわかる。これは表示項目数が多ければ多いほど入力する際に選択に迷いが生じることや、細かい操作が要求されることが原因と考えられる。また、上記のような誤操作率の増加や 1 回の項目選択にかかる時間が長くなる要因があればあるほど、ユーザは操作性が悪いと感じることがわかった。これは図 6 の操作性に関するアンケート結果において、5 項目が最も良いと回答した被験者がいないことが裏付けている。ただ、4 項目を選択した被験者もいることから、4 項目程度であれば、ユーザは操作に対する不快感なく操作できると考えられる。

以上のことから、本提案手法を用いたメニューにおける項目数は 3 つと 4 つが適当と考えられる。よって、本実験以降の実験では、3 と 4 の項目数のメニュー表示を利用することとする。

### 5. 評価実験：既存メニューとの比較

#### 5.1 実験概要

本提案手法を用いたメニューの有効性を検証するために、既存メニューとの比較実験を行う。既存メニューについては、VR や AR/MR コンテンツでよく見られる図 10 のような画面に大きく表示されるメニューに対し、コントローラを用いないフリーハンドの状態での手や指を使ったジェスチャ操作とレーザーポインタ操作の 2 種類の操作により、実験協力者が項目選択を行う。本実験では、予備実験を実施してもらった 5 名を含む 20 代の男女 16 名（内訳：男性 14 名、女性 2 名）を実験協力者とし、各メニューの入力時間と誤操作率の測定を行った後、アンケート調査を実

施し、入力時間と誤操作率およびアンケート結果から提案メニューと既存メニューの操作性を比較する。

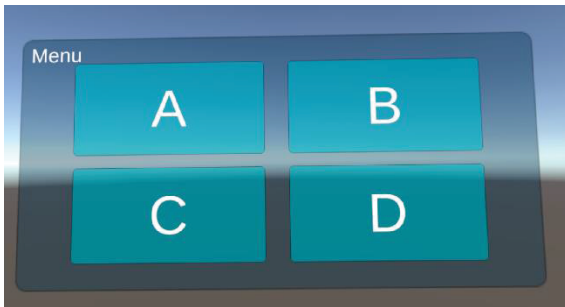


図 10 実験で用いた比較メニュー

## 5.2 実験内容

本実験では、実験協力者が操作する全てのメニューの項目数を 4、選択項目数を 10 に統一し、入力時間および誤操作率の測定を行う。これは、各メニューの実験条件を合わせ、正確な比較を行うためである。

比較メニューの仕様については、Santos ら[9]が比較した VR コンテンツの既存メニューを参考に作成した。ジェスチャ操作では、どの指が開いているかによって項目選択を操作できる仕様とした。具体的には、図 10 で A を選択する場合は、親指を、B を選択する場合は親指と人差し指を、C を選択する場合は親指と人差し指と中指を、D を選択する場合は全ての指を開いた状態にすることで選択できるものとした。レーザーポインタ操作では、人差し指から照射されるレーザーポインタを用いて項目を指し示すことによって項目選択を操作できる仕様とした。なお、どちらも親指の開閉によって項目の決定が行えるものとした。

実験手順については、4.2 節で示した手順と同様の手順で実施する。実験の際に表示される比較メニューの画面を図 11 に示す。図 11 左がジェスチャ操作、図 11 右がレーザーポインタ操作の場合である。前述の予備実験同様に、実験協力者は画面内に表示されるメニューの項目記号を順次入力する。本提案手法を用いたメニューについては、図 3 と同様のレイアウトを用いる。

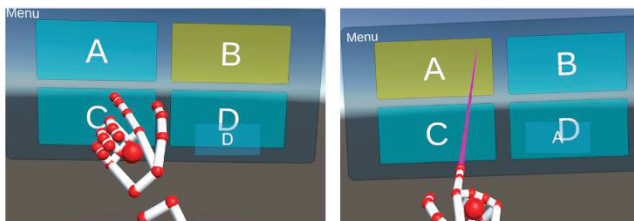


図 11 実験時に表示される比較メニュー  
 (左：ジェスチャ操作、右：レーザーポインタ操作)

また、実験終了後に実施したアンケート調査の項目を以下に示す。なお、(2)については、その理由も回答してもら

った。

- (1) AR/VR コンテンツの使用経験はあるか
- (2) 各メニューについて、操作性が良かったものを順に回答せよ

## 5.3 実験結果

実験結果を以下の図 12~17 に示す。図 12 では各メニューの平均入力時間を、図 13 では入力時間の分布を、図 14 では平均誤操作率を、図 15 では誤操作率の分布を、図 16 では AR/VR コンテンツの使用経験に関するアンケート結果を、図 17 では操作性に関するアンケート結果を示す。なお、すべての図中で、本提案手法を用いたメニューを「Direction」、ジェスチャ操作を用いた比較メニューを「Gesture」、レーザーポインタ操作を用いた比較メニューを「Laser」と表記する。また、図 16 の AR/VR コンテンツの使用経験に関するアンケート結果の区分については、「試遊した程度」は 30 分未満、「使用したことはある」は 30 分~3 時間未満、「よく使用している」は 3 時間以上を目安とし、「よく使用している」は現在使用していなくても、過去によく使用していた人も含めることとする。

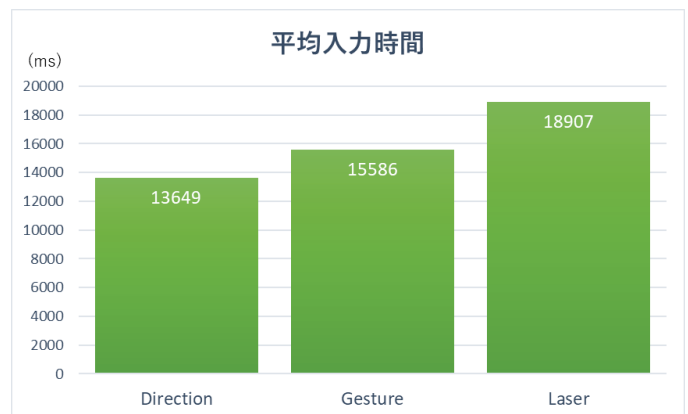


図 12 各メニューの平均入力時間

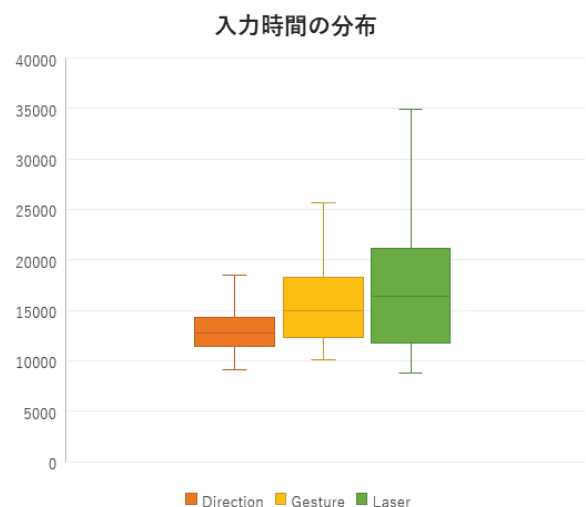


図 13 各メニューの平均入力時間

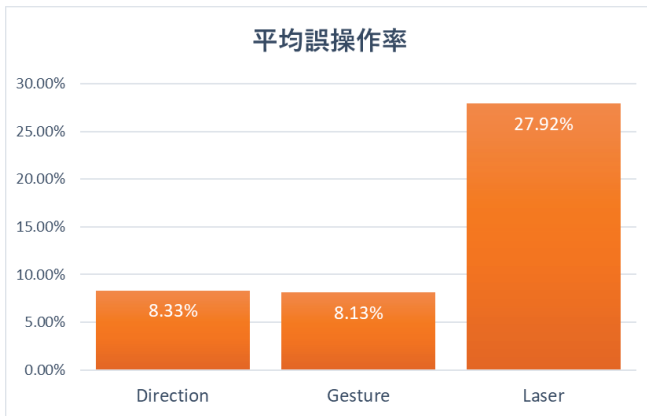


図 14 各メニューの平均誤操作率

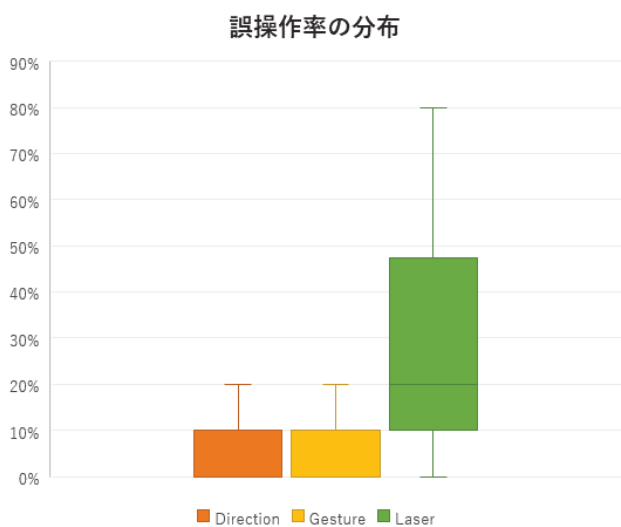


図 15 各メニューの誤操作率分布

Q.AR/VRコンテンツの使用経験について教えてください

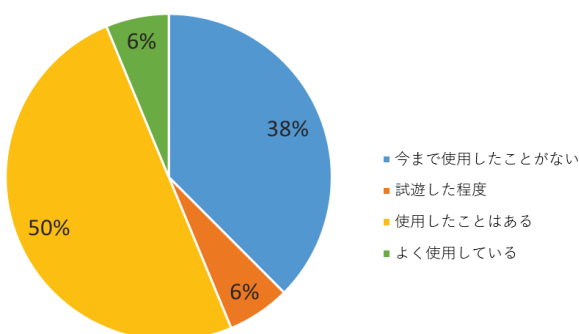


図 16 AR/VR の使用経験に関するアンケート結果

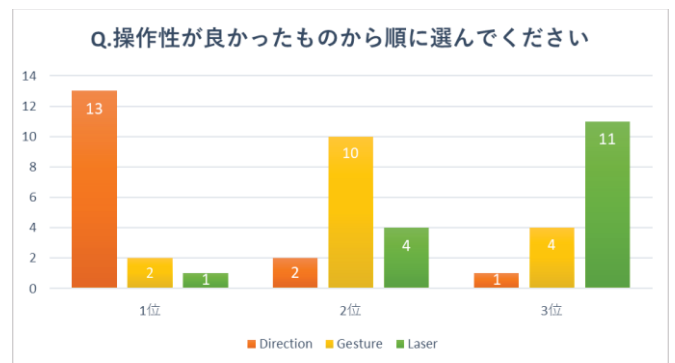


図 17 操作性に関するアンケート結果

平均入力時間については、図 12 からわかるように、本提案手法を用いたメニューが最も短く、レーザーポインタ操作を用いた比較メニューが最も長いという結果になった。本実験では、全てのメニューにおける必要入力項目数が統一されているため、一回の項目選択にかかる時間についても同じ結果である。

平均誤操作率については、図 14 からわかるように、ジェスチャ操作を用いた比較メニューが最も低く、レーザーポインタ操作を用いた比較メニューが最も多いという結果になった。特に、図 15 の分布においてジェスチャ操作を用いた比較メニューの中央値は 0 であり、3 回の計測全てにおいて一度の誤操作もなく終わることができた被験者もいた。

AR/VR コンテンツの使用経験に関するアンケート結果については、「使用したことはある」と回答した人が過半数を占め、次いで多かったのが「今まで使用したことがない」と回答した人、「試遊した程度」と「よく使用している」と回答した人は 1 人ずつという結果になった。

操作性に関するアンケート結果については、本提案手法を用いたメニューが 1 位で最も良いと回答した人が 13 人と最も多く、2 位ではジェスチャ操作を用いた比較メニュー、3 位ではレーザーポインタ操作を用いた比較メニューが最も多いという結果になった。

#### 5.4 考察

レーザーポインタ操作で、入力時間が長く、誤操作率が高くなった要因として Leap Motion の仕様が考えられる。Leap Motion は手や指を認識するために、2 基の赤外線カメラと赤外線 LED を利用して撮影された画像を解析している。今回の実験のように、Leap Motion を HMD で用いる場合、HMD の前面に取り付けることが一般的であるが、この状態で手をトラッキングした時に、手や指が Leap Motion から見て前方を向いていた場合、撮影された画像における手の各部位に重なりが生じ、正確な位置や方向の認識が困難となる。よって、ユーザが正確に指し示したい方向に指を向けたとしても、レーザーポインタ側にはブレが生じることがある。特に、親指を閉じている際にはこのブレが顕著に表れていた。また、1 章で述べたように、そもそもフ

リーハンドの状態でのレーザーポインタ操作は細かい操作が要求されるため、ユーザが思うように操作するのは難しく、上記のような結果になったと考えられる。

ジェスチャ操作については、各項目に対するジェスチャをユーザが想起し、手の形を変えた後に項目を決定するため、人によってジェスチャを思い出すのに時間がかかることも多く、平均入力時間は本研究の提案メニューより劣っていた。アンケート結果においても、ジェスチャの覚えることが負担となっていたことや視覚的なフィードバックがないことが原因で直感的に操作できなかったという意見が多くみられた。しかし、誤操作率に関しては最も低い数値を示しており、多くのユーザが選択したい項目を正確に選択できていた。これは、Leap Motion 自体がどの指を開いているか認識することに適している点や各ジェスチャ自体が識別しやすいものだったことが理由として考えられる。

本提案手法を用いたメニューについては、平均誤操作率はジェスチャ操作を用いた比較メニューよりもわずかに高かったものの、平均入力時間は最も短いという結果であった。また、アンケート結果でも直感的に操作できたことや、少ない指の動きでありつつも選択したい項目を選択できることにより、ユーザへの負担が少なく、操作性が最も優れていたという意見が多くみられた。

以上のことから、今回の実験では本提案手法を用いたメニューは操作性において、既存メニューの表示および操作方法よりも優れているといえる結果となった。この要因として、要求される動きが少ないことや直感的な操作が可能であったことがあげられる。

今回の実験でも、AR/VR コンテンツの使用経験に関するアンケートを実施したものの、使用経験ごとの各メニューに対する意見の差異は見られなかった。入力時間や誤操作率に若干の違いはあったが、そもそも AR/VR コンテンツの使用経験があっても、フリーハンドの状態での操作に慣れているわけではないため、今回の実験ではあまり有意義なものにはならなかったと考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、フリーハンドの状態でも操作するメニューとして、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、指の方向に着目した片手操作用仮想メニューを提案した。手の関節を考慮することでユーザにとって操作しやすい方向のみを用いて項目選択ができることや、片手のみによる操作、メニューが手に追従することによってユーザにとって操作しやすい位置にメニューを配置することを可能にした。また、提案手法の操作性を確認するために実施した既存メニューとの比較実験によって、本提案手法の高い操作性を確認した。

今後の展望としては、本提案手法を用いたメニューの視認性を確認するための比較実験を実施予定である。さらに、

本提案手法を Leap Motion 以外の機器や HMD 自体に備えられたモーショントラッカを用いた場合における精度についても調査することを検討している。

本提案手法は、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を提示することを目的として、指の方向を利用しているが、特に視認性についてはより考慮する必要があると考えられる。VR や AR/MR コンテンツでは様々な物体が動的に移動し、状況は常に変化していることが多い。また、現実世界も視認できる AR/MR においては、現実の自身にとって危険が及ぶ状況になった場合、迅速に対応する必要がある。そのような状況において、操作している最中であっても他の物体が見えることは非常に重要であり、メニュー表示はより少ない方が良い。本提案手法でも、ユーザの習熟度に合わせてメニュー表示はより最小限にしたものを提示するべきだと考えているため、メニューレイアウトの改善も図っていきたい。

## 参考文献

- [1] Worldwide Semiannual Augmented and Virtual Reality Spending Guide, According to IDC  
<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prJPJ45301519>, (参照 2019-12-11).
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 鈴木肇: 南山堂医学大辞典(第 18 版), 南山堂, 1998.
- [7] 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.
- [8] 松野丈夫, 中村利孝: 標準整形外科学(第 12 版), 医学書院, 2014.
- [9] A. Santos, T. Zarraonandia, P. Díaz, I. Aedo: A Comparative Study of Menus in Virtual Reality Environments, Proc. of the 2017 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS2017), pp.294-299, 2017.