

大腿を表示・操作領域とした電子メニュー提示に関する研究

李俊林^{†1} 小原正誉^{†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がはしばしば問題となる。例えば、固定された位置に表示する場合、ユーザが向きや姿勢を変えると、メニューが見えなくなるため、その都度メニューをユーザにとって操作しやすい位置に移動させる必要がある。更に、空中に配置されたメニューに対するタッチ入力となるため、触感が得られず操作感に欠けるという問題もある。既存の研究で様々な手法が提案されているが、本研究では大腿にメニューを表示・操作する手法を提案する。これによってコントローラのような実物体を導入せずに、メニューの位置の容易な制御や、運動感覚を用いた容易な操作などが可能になる。本稿においては、実験を通して手のひら、前腕、大腿の3部位の特徴を確認・比較する。その後、実験から得た知見を基に、大腿の特徴を明確化し、UI 設計のための指針を検討する。その指針を踏まえ、大腿メニューを設計・実装し、大腿メニューを応用したアプリケーションを作成する。

キーワード：HMD, VR, メニュー, 手のひら, 前腕, 大腿, 身体部位, 全身トラッキング, ユーザインタフェース

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テッドディスプレイ (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三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手法や、仮想地図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、大腿にメニューを表示・操作する手法を提案する (図 1)。この手法では、コントローラのような実物体を導入せずに、メニューの位置の容易な制御や、運動感覚を用いた容易な



図 1 大腿メニュー (イメージ)

操作が可能になる。本稿では、実験を通して手のひら、前腕、大腿の3部位をメニュー表示・操作領域とした場合の各々の特徴を確認・比較する。その後、実験から得た知見を基に、大腿の特徴を明確化し、UI 設計のための指針を検討する。その指針を踏まえ、大腿メニューを設計・実装し、大腿メニューを応用したアプリケーションを作成する。

2. 身体を利用したメニュー

2.1 メニューの表示・操作に適している身体部位

本章では、既存研究で利用された身体部位である手のひらと前腕メニューの特徴とその研究例およびメニューの利用が想定される状況について述べる。本研究ではこれらの2部位の特徴を他の身体部位と比較し、メニューの特徴から想定された使用状況と異なる使用状況や各身体部位が得意とするメニューについて考察を行う。

2.2 手のひらメニュー

2.2.1 手のひらメニューの特徴

手のひらをメニューの表示・操作領域とすることで操作しやすく、視認しやすいことが特徴として挙げられる。これは手のひらが動かしやすい部位であるため、表示されたメニューの位置調整が容易となるからであると考えられる。

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

^{†2} 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

一方、手のひらは前腕や大腿と比較して表示面積が狭い。これにより、視認が容易であっても多くの情報を一度に表示出来ず、誤操作の発生率も高いと考えられる。

2.2.2 手のひらメニューに関する研究例

手のひらメニューは、ユーザの身体を利用したメニュー操作として多数の研究で用いられている。例えば、前述の He ら[3]の研究に加え、佐々木ら[4]の「てのひらめにゅう」がある。この研究では開かれた片手の指先にメニュー項目を表示し、もう片方の手で指に触れることによってメニュー選択を行う手法を提案している。この手法には、手を開いたり閉じたりすることで簡単にメニューの表示・非表示を切り替えられるという利点や、直接触れることで操作できるため触覚フィードバックが得られるという利点がある。他にも、Mistry ら[5]も様々な実物体に情報を表示する手法を提案する中で、手のひらに情報を投影しそれに対し操作する手法を提案している。この手法においても触覚フィードバックを得ながら操作を行うことができる。さらに、Mueller ら[6]の研究では、手のひらを利用したインタラクションが提案されている。この研究において、手のひらの上部に情報が表示され、手のひらの対応する場所にタッチすることで操作を可能にしている。

2.2.3 手のひらメニューを利用する状況

これまでの手のひらを表示・操作領域とする研究より、手のひらは長さや奥行きに幅のある大きなメニューには不向きであり、小さく、種類の少ないメニューに限り利用が容易であると考えられる。そのため、利用状況としては音量の調整やメールの通知確認、電話番号のダイヤル入力などのメニューをスマートフォンに類するデバイスを介さず、直ちに実行できる状況が想定される。

2.3 前腕メニュー

2.3.1 前腕メニューの特徴

腕時計の一般化とともに、前腕上でメニューを確認することは違和感なく行える動作となっている。そのため、手のひら同様に動かしやすい部位であり、メニューの表示・操作領域とすることで移動や操作を行いやすく、視認も容易であることが特徴として挙げられる。また、手のひらのようにユーザの身体をメニューの表示・操作領域とすることで触覚フィードバックが得られる一方で、手のひらよりも表示領域が広いいため、多くの情報やメニューを横方向に並べて表示可能である。しかし、前腕は手のひらよりも重量があるため、長時間操作をする際、ユーザの二の腕に負担がかかるとも考えられる。

2.3.2 前腕メニューに関する研究例

Azai ら[7] は前腕をメニューの表示領域として活用する研究を行っている。この研究では Oculus Rift とステレオカメラによって MR 空間を実現し、Leap Motion によって手や腕の位置を認識し、回転やスライドといったインタラクションによって操作を行う手法が提案されている。また、

ユーザの左前腕にサムネイルのパネルを複数種表示し、これらのパネルに対し、タッチ、ドラッグ、スライド、回転のインタラクションで操作を行うことができる。それらの操作に応じ、MR 空間で 3D オブジェクトの配置、色変更、軸に沿った回転、拡大縮小、削除、移動といった動作を実現している。

2.3.3 前腕メニューを利用する状況

前腕メニューは手のひらに比べ表示領域が広い為、Azai ら[7]の研究のように複数種のメニューを同時に表示することや、スライダーバーのような横方向に長く表示する必要のあるメニューでの利用が想定される。しかし、前腕の重量が負担となるため長時間の操作には不向きであると考えられる。

2.4 大腿メニュー

大腿は立っている状態では触りづらく、視認することは困難であるが、座った状態ならば、触りやすく、視認することも容易である。すなわち、大腿メニューは座った状況で使用することに適したメニューである。

例えば、大腿の上に直接ノートパソコンを置いて作業している人を見かけることがあるが、机が無い場所で座った状態を想定すると、大腿を作業領域として利用することはごく自然である。将来的に HMD が日常生活に普及した際に、座った状態でのゲームや作業時に代替メニューが利用できると考えられる。

しかし、大腿をメニュー表示・入力領域として利用している例はほとんど見られない。

3. 実験

3.1 実験目的

本実験は手のひら、前腕、大腿の 3 部位をメニューの表示・操作領域とした際、操作時の身体部位ごとの特徴を確認し、比較することを目的とする。

3.2 比較対象

本研究は 2 章で挙げた手のひらと前腕、そして大腿のメニューを比較対象とした。各身体部位の特徴を比較するため、全ての部位で同じボタンメニューを表示し、計測した操作時間、エラー回数より各身体部位の操作における特徴を分析・考察する。

3.3 実験内容

本実験は実験参加者に HMD である HTC Vive Pro を頭部に、9 つの Vive Tracker を両手、両肘、腹部、両膝、両足に装着させて行った。実験内容として、実験参加者に各身体部位でボタン操作の連続作業を行わせ、試行後に質問用紙に回答させ、全試行終了後にコメントを聴取する。具体的には、実験参加者は各身体部位に配置している 3 つのボタンから、正面のパネルにランダムで提示されている 1 ~ 10 の数字と同じ番号のものをできるだけ早く押す。主観評価として、各作業にかかる時間と作業達成までのエラー

表 1 日本語版 NASA-TLX の質問項目

1	この課題で、どの程度の知的・知覚的活動（考える、記憶するなど）を必要としましたか？
2	この課題で、どの程度の身体活動（押す、引く、制御するなど）を必要としましたか？
3	この課題を行っている間、どの程度時間的切迫感を感じましたか？
4	この課題で、どの程度の目標を達成できましたか？
5	課題達成のために、精神的、身体的にどの程度一生懸命に作業する必要がありましたか？
6	この課題を行っている間、どの程度、落胆、いらいら、ストレスを感じましたか？



図 2 手のひらのボタンメニュー



図 3 前腕のボタンメニュー



図 4 大腿のボタンメニュー

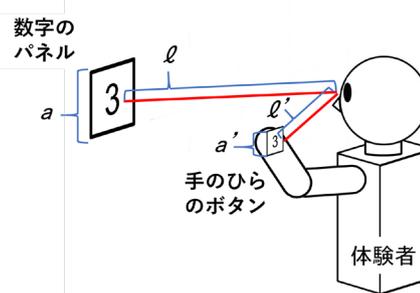


図 5 ボタンサイズの調整手法

数を計測し、そのデータを分析・考察する。また、客観評価として、1試行終了するごとに0~10の値を記入する(0.5刻みで記入可能)日本語版 NASA-TLX の質問用紙(表 1)に回答させ、全試行終了後にコメントを聴取し、それらをまとめて分析・考察する。

3.4 実験に使用するボタンメニューサイズの決定

本実験で用いるボタンメニューを図 2, 図 3, 図 4 に示す。ボタンのサイズは1辺の長さが a (cm) の正方形のパネルを体験者から 1 m 離れた地点に置き、視点からパネルまでの距離を l , 視点からボタンメニューまでの距離を l' とし、ボタンの1辺の長さ a' (cm) を式 (3.1) より作成した(図 5)。

また、基準となるパネルの1辺の長さ a (cm) は、手の

$$\begin{aligned} a : l &= a' : l' \\ a' &= al' / l \end{aligned} \quad (3.1)$$

ひらに表示するボタンメニューのサイズが操作に影響しない程度にできるだけ大きくなるように、実験参加者に聴取したコメントから調整・決定した。

3.5 システム構成

VR 空間で各身体部位にメニューを表示・操作するための環境構築を行った、全身トラッキングを HMD である HTC Vive Pro および9個の Vive Tracker を用いた10点トラッキングで実現し、VR 空間の構築およびボタンメニューの表示・操作をゲームエンジンである Unity 2019.2.8f1 で実装した。

3.6 実験条件

本実験に参加した実験参加者は予備実験に参加していない15名(男性12名, 女性3名, 21~24歳)で全員右利きであり、左手のひら, 左前腕, 右大腿に表示したボタンメニューを右人差し指で操作させた。連続作業の間隔時間と連続作業回数は予備実験から得たものを使用し、試行を実施する順番による影響と試行ごとの差を考慮して各身体

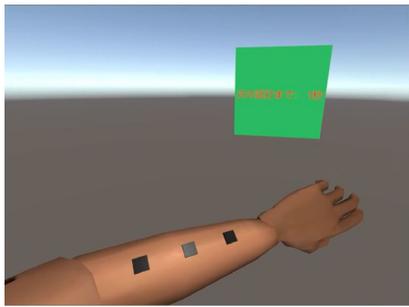


図 6 待機時の様子

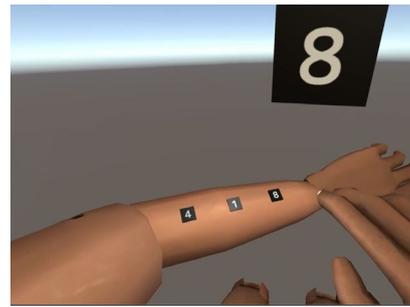


図 7 作業を行う実験風景

部位を 3 試行ずつ、ランダムな順番で実験を実施した。よって、連続作業の間隔時間を 2 秒、1 試行の連続作業回数を 50 回とし、手のひら、前腕、大腿の 3 部位でそれぞれ 3 試行の合計 9 試行を実施した。また、3 つのボタンにはそれぞれ、パネルと同じ数字が 1 つ、ランダムに選ばれたパネルと異なる数字が 2 つ表示されており、ボタンの上にランダムに配置された。

3.7 実験手順

実験手順は以下の通りである。

- (1) VR 空間内の身体と実世界の実験参加者の身体の差を調整するための目印として、左手のひら、左前腕、右大腿の長さを測り、中央の位置に養生テープを貼る。
- (2) HTC Vive Pro と Vive Tracker を装着させる。
- (3) 全身キャリブレーションを行った後、実験を行う身体部位で(1)の養生テープの上に右人差し指を置かせ、誤差を調整するための部位キャリブレーションを行う。
- (4) 2 秒間の間隔時間後に作業を開始させる (図 6)。
- (5) 正面のパネルにランダムで提示されている 1~10 の数字と同じ番号のものを、身体部位に配置している 3 つのボタンからできるだけ早く押させる (図 7)。
- (6) (4)~(5)を 50 回繰り返して行わせる。
- (7) 質問用紙に回答を記入させ、5 分間休憩させる。
- (8) (3)~(7)を各身体部位 3 回、計 9 回で繰り返して行わせる。
- (9) 全試行終了後、コメントを聴取する。

実験参加者には実験前に連続作業回数が 10 回の練習用プログラムを体験させ、各身体部位の操作を十分に練習させ、可能な限り素早く正確に項目を選択するように指示した。また、実験参加者に姿勢の強制はせず、自由な姿勢で操作させた。順序効果を考慮し、実験参加者ごとに実験で実施する試行の順番はランダムに決めた。実験による疲労を考慮し、1 試行終了するごとに実験参加者に十分な休憩時間 (5 分間) を取らせた。

3.8 実験結果

客観評価の実験結果を図 8、図 9 に示す。

図 8 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と 1 回あたりの平均作業時間の関係を表し、縦軸は平均作業時間、横

軸は各身体部位を表す。平均作業時間について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(49, 686) = 26.8, p < 0.001$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、大腿と手のひら、大腿と前腕の間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

図 9 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と 1 回あたりの平均エラー数の関係を表し、縦軸は平均エラー数、横軸は各身体部位を表す。平均エラー数について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(49, 686) = 18.3, p < 0.001$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、手のひらと前腕、手のひらと大腿の間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

次に主観評価の実験結果を図 10、図 11、図 12、図 13、図 14、図 15 に示す。

図 10 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 1 「この課題で、どの程度の知的・知覚的活動 (考える、記憶するなど) を必要としましたか?」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(2, 28) = 4.3, p < 0.05$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、大腿と手のひらの間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

図 11 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 2 「この課題で、どの程度の身体活動 (押す、引く、制御するなど) を必要としましたか?」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(2, 28) = 3.2, p < 0.1$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、全ての項目の組み合わせで有意差が見られなかった。

図 12 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 3 「この課題を行っている間、どの程度時間的切迫感を感じましたか?」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価

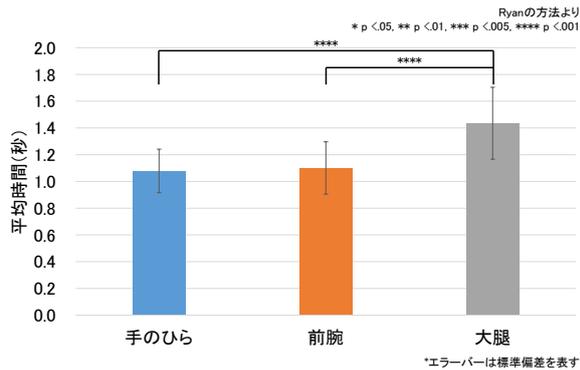


図 8 各身体部位の平均作業時間

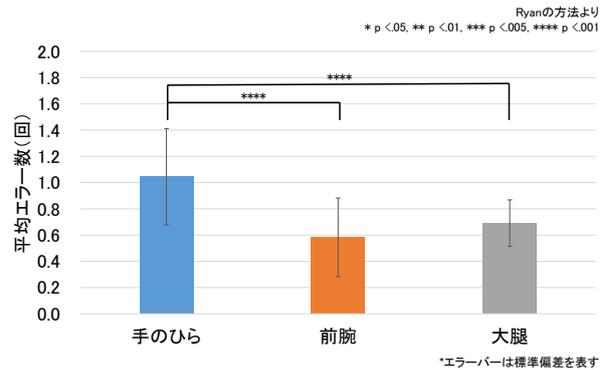


図 9 各身体部位の平均エラー数

値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(2, 28) = 6.2, p < 0.01$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、大腿と手のひらの間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

図 13 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 4 「この課題で、どの程度の目標を達成できましたか？」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果に有意差が見られなかった。

図 14 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 5 「課題達成のために、精神的、身体的にどの程度一生懸命に作業する必要がありましたか？」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(2, 28) = 7.9, p < 0.005$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、手のひらと前腕、手のひらと大腿の間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

図 15 は各身体部位 (手のひら、前腕、大腿) と質問 6 「この課題を行っている間、どの程度、落胆、いらいら、ストレスを感じましたか？」の平均評価値の関係を表し、縦軸は平均評価値、横軸は各身体部位を表す。平均評価値について、身体部位 (3 水準) を要因として、1 要因分散分析を行った結果、主効果が有意であった ($F(2, 28) = 2.5, p < 0.1$)。下位検定として Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果、全ての項目の組み合わせで有意差が見られなかった。

また、実験後に実験参加者から得たコメントは以下の通りである。

手のひらに関しては、「自由に動かせる範囲が広く、疲れは感じない」「手のひらの面積が狭く、誤操作が起りやすい」といったコメントがあった。

前腕に関しては、「腕時計を見る時と同じ感覚で操作で

きるため、使いやすい」「腕を持ち上げ続けるのは辛い、短時間の操作なら最も使いたい」といったコメントがあった。

大腿に関しては、「股関節側のボタンは見辛い、全てのボタンが押しやすい」「パネルを見るために頻繁に首を動かす必要があるため疲れるが、首を動かさなければ、最も疲れなだろう」「大腿は人差し指よりも手のひら全体で操作したい」といったコメントがあった。

3.9 考察

実験結果と実験参加者から得たコメントを踏まえ、各身体部位を利用したメニューの特徴を以下のように考察する。

手のひらをメニューの表示・操作領域に利用する場合、利点として操作時の姿勢の自由度が高く、手軽に利用できる点が挙げられる。また、欠点として表示・操作領域が狭く、誤操作が起りやすい点が挙げられる。そのため、1 つの表示領域内に多くの情報を提示する状況での利用には不向きであると考えられる。

前腕をメニューの表示・操作領域に利用する場合、利点として手のひらと同様に操作時の姿勢の自由度が高く、手軽に利用できる点が挙げられ、加えて表示・操作領域がある程度広く、誤操作が起りにくいことも大きな利点である。一方、欠点として二の腕に負担がかかるため、長時間の操作には不向きである点が挙げられる。しかし、この欠点に関しては実験参加者からのコメントより、短時間の操作であれば負担が少なく、そのような状況での利用には最も適していると考えられる。

大腿をメニューの表示・操作領域に利用する場合、手のひらと前腕に比べ、操作時の姿勢は限られているため、座位での利用が適切である。利点として手のひらと前腕よりも表示・操作領域が広く、誤操作が起りにくいことが挙げられる。そのため、1 つの表示領域内に多くの情報を提示する状況での利用に適していると考えられる。また、欠点として、実験参加者から得たコメントにあった「パネルを見るために頻繁に首を動かす必要があるため疲れる」ことや「股関節側のボタンは見辛い」ことが挙げられる。し

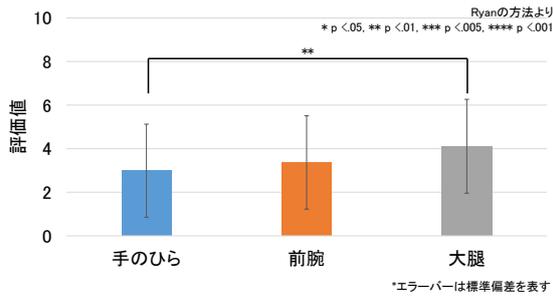


図 10 質問 1 の平均評価値

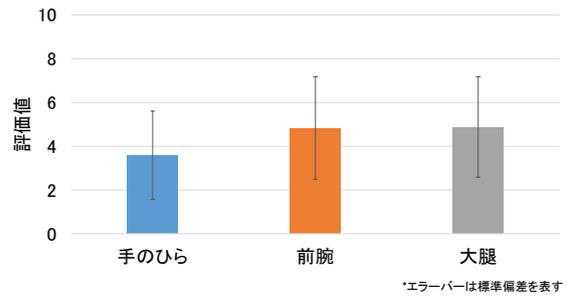


図 11 質問 2 の平均評価値

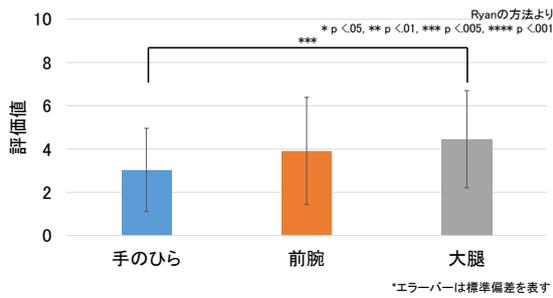


図 12 質問 3 の平均評価値

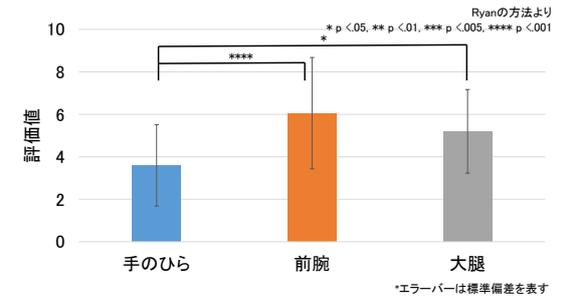


図 13 質問 4 の平均評価値

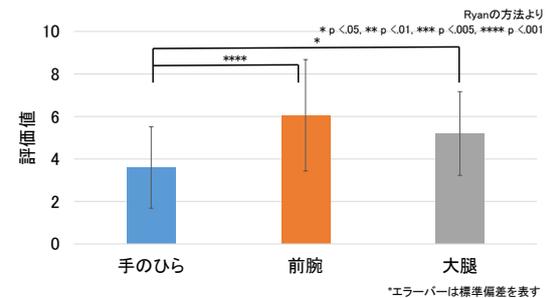


図 14 質問 5 の平均評価値

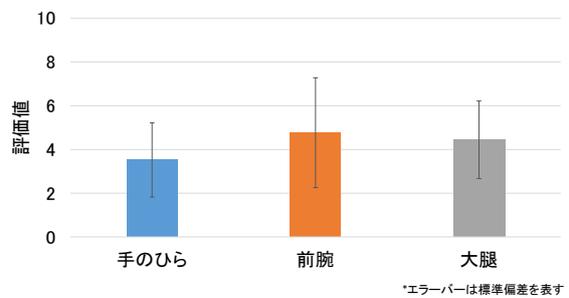


図 15 質問 6 の平均評価値

かし、「首を動かさなければ、最も疲れないだろう」のようなコメントも多かったため、首を頻繁に動かさなければ、大腿は長時間の操作に適していると考えられる。

これらのことを踏まえ、筆者は大腿メニューを設計するための3つの指針を以下のように抽出した。

- (1) 大腿の上だけで表示・操作できる UI 設計が好ましい
- (2) 大腿の股関節側を利用する場合は頻繁に見る必要のない UI を配置
- (3) 大腿は人差し指よりも手のひら全体で操作する UI 設計が好ましい

4. 大腿メニュー

4.1 大腿メニューの特徴

3章でも述べたように、大腿をメニューの表示・操作領域に利用する場合、手のひらと前腕に比べ、操作時の姿勢は限られているため、座位での利用が適切である。また、手のひらと前腕よりも表示・操作領域が広く、誤操作が起こりにくいいため、1つの表示領域内に多くの情報を提示する状況での利用に適していると考えられる。そして、首を

頻繁に動かさなければ、大腿は長時間の操作に適していると考えられる。しかし、股関節側の領域は視認が困難であることも大腿メニューの特徴である。

4.2 大腿メニューの設計

今回は基本的なインタラクションであるタッチやドラッグ、スワイプから1つずつメニューウィジェットを選択し、実装を行う。実装を行ったものとしてはタッチではボタンを、ドラッグではスライダーバーを、スワイプではカーセルパネルを選択した。この3つのメニューウィジェットについて3.9節で述べた大腿の特徴を活かし、抽出した3つの大腿メニューを設計するための指針を基に、設計を行った。

具体的な設計について以下に述べる。

【ボタン】

- ・手のひらで操作できるようなサイズに設計する
- ・コピーやペーストなどの頻繁に見る必要のない操作の場合は股関節側に配置する
- ・項目の選択などの頻繁に見る必要のある操作の場合は膝側に配置する



図 16 ボタン



図 17 スライダーバー

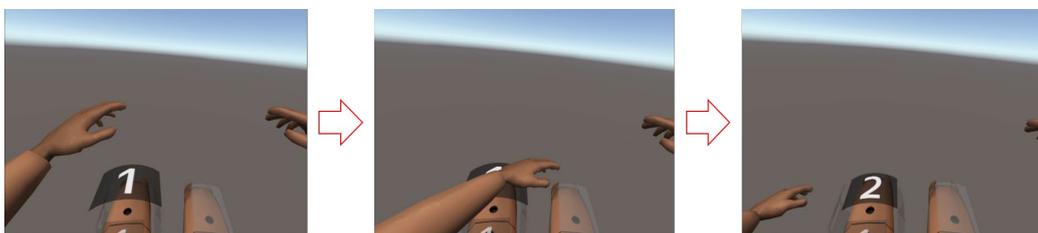


図 18 カラーセルパネル

【スライダーバー】

- ・手のひらで操作できるようなサイズに設計する
- ・大腿の上だけで表示・操作できるように設計する
- ・大腿は縦に表示・操作領域が広いので、縦方向に設計する

【カラーセルパネル】

- ・手のひらで操作できるようなサイズに設計する
- ・頻繁に見る必要のある操作のため膝側に配置する
- ・自然な動作でスワイプ操作を行えるため、横方向に設計する
- ・回転式に設計することで、限られた表示領域でも多くの情報を提示できる

4.3 大腿メニューの実装

4.3 節で述べた設計に従って実装を行う。実装に用いた Unity では 3D 描写機能を持ち合わせており、プログラミングを行わずとも 3D オブジェクトをシーン内に配置することができる。さらに、Unity には各オブジェクトにスクリプトを割り当てることで、オブジェクト同士の接触判定を自動的に行う機能を持ち合わせている。本研究では、この機能を利用し、手のひらに付随したオブジェクトとメニューウィジェットとの接触判定を行っている。まずは、ボタンやスライダー、カラーセルパネルといった 3 種類のメニューウィジェットについて述べる。システム構成は 3.5 節と同じである。

【ボタン】

大腿の股関節側に配置されたボタンと手のひらとの接触判定を利用する。また、タッチできているかを視覚的に理解できるように、タッチされたボタンの透過度を変更するという実装を行った (図 16)。

【スライダーバー】

スライダーと手のひらとの接触判定を利用する。接触が検出されたときにスライダーバーの透過度を変更し、接触が検出された点と手のひらの前後の移動量に応じてスライダーの境界の位置が移動する (図 17)。また、視覚的に理解できるように、接触が検出されている間は境界の位置を 100 段階の数字で表示している。

【カラーセルパネル】

大腿正面のパネルの上に配置されている透明のオブジェクトと手のひらとの接触判定を利用する。現在選択されているパネルが視覚的に理解できるように、大腿正面に配置されているパネルの透過度を低く、それ以外のパネルの透過度を高くしている。接触した後、手のひらで右にスワイプ操作すると右回転し、左にスワイプ操作すると左回転を行う (図 18)。

4.4 大腿メニューを応用したアプリケーション

4.4 節で実装した大腿メニューの 3 つのメニューウィジェット「ボタン」「スライダーバー」「カラーセルパネル」を応用し、画像を閲覧するアプリケーションを作成した。「手の置き場がない」という問題を解決する方法として「左右の下腿をタッチしてメニューの表示・非表示を切り替え

る方法」を採用した。システム構成は 3.5 節と同じである。

各メニューウィジェットの機能について以下に述べる。

【ボタン】

一回タッチすることで画像を時計回りに 90 度回転させることができる (図 19)。

【スライダーバー】

手のひらの前後の移動量に応じて画像を拡大・縮小させることができる (図 20)。また、視覚的に理解できるように、接触が検出されている間は境界の位置を拡大・縮小した倍率で表示している。元の大きさの場合は「x1.0」と表示し、拡大・縮小した場合は「x0.5」～「x2.0」の範囲で表示する。

【カラーセルパネル】

手のひらで左右にスワイプすることで、画像を切り替えることができる (図 21)。

5. むすび

本研究では VR 空間において身体部位をメニューの表示・操作領域として利用する研究の身体部位ごとの特徴について分析・考察を行い、それを基に、大腿の特徴を明確化し、UI 設計のための指針を検討した。また、指針を踏まえて大腿メニューを設計・実装し、大腿メニューを応用したアプリケーションを作成した。

本稿ではこれまでに研究が行われてきた手のひらメニューと前腕メニューの 2 つを大腿メニューと比較し、3 部位で同じボタンメニューを操作した際の各身体部位の特徴について分析・考察した。そして、大腿メニューを設計する際の指針を抽出した。実験結果と実験参加者のコメントから抽出した大腿メニューの設計指針は「大腿の上だけで表示・操作できる UI 設計が好ましい」「股関節側を利用する場合は頻繁に見る必要のない UI を配置」「人差し指よりも手のひら全体で操作する UI 設計が好ましい」の 3 つである。

以上の 3 つの設計指針を踏まえて「ボタン」「スライダーバー」「カラーセルパネル」の 3 つの大腿メニューのメニューウィジェットを設計・実装した。また、それらのメニューウィジェットを応用した画像を閲覧するアプリケーションも作成した。

今後の展望として、ボタンメニュー以外にスライダーバーやカラーセルパネルにメニューを変更した際の特徴や、エラー数の少ないメニュー配置の検討など、より使用感の向上する身体メニューを検討する必要がある。また、1 つの身体部位だけではなく、複数の身体部位をメニューの表示・操作領域として同時に利用することも考えられる。

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

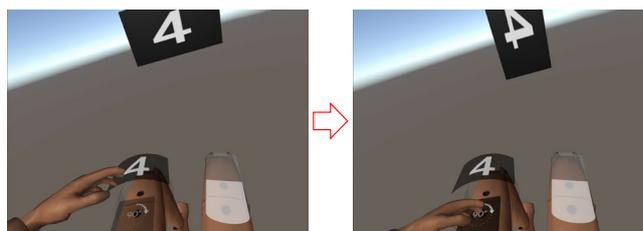


図 19 画像の回転

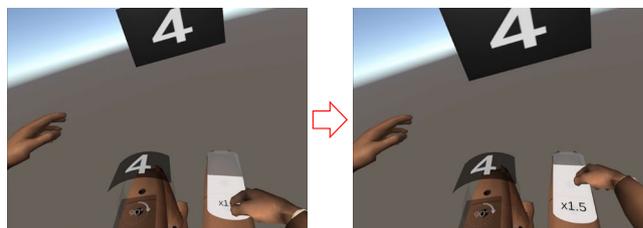


図 20 画像の拡大

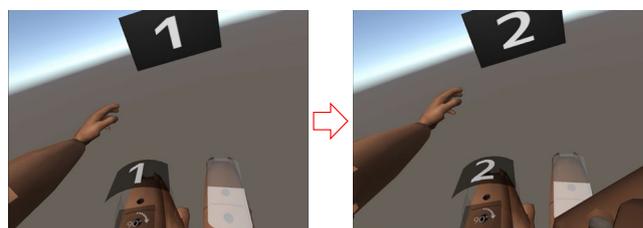


図 21 画像の切り替え

- 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] Z. He and X. Yang: "Hand-Based Interaction for Object Manipulation with Augmented Reality Glasses," Proc. VRCAI, pp. 227 - 230, 2014.
- [4] 佐々木博史, 黒田知宏, 真鍋佳嗣, 千原國宏: 『てのひらめいゆう』: ウェアラブルコンピュータ用入力インタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp. 393 - 401, 2002.
- [5] P. Mistry and P. Maes: "SixthSense: A Wearable Gestural Interface," Proc. SIGGRAPH ASIA, Vol. 11, 2009.
- [6] F. Mueller, N. Dezfuli, M. Muhlhauser, M. Schmitz, and M. Khalibeigi: "Palm-based Interaction with head-mounted displays," Proc. MobileHCI, pp. 963 - 965, 2015.
- [7] T Azai, S Ogawa, M Otsuki, F Shibata and A Kimura: "Selection and Manipulation Methods for a Menu Widget on the Human Forearm," Proc. CHI2017 pp. 357 - 360, 2017.