

ヘッドトラッキング機能を用いた HMD メニュー画面操作に関する研究

西原佳祐^{†1} 松河剛司^{†1}

概要：VR 元年と呼ばれる平成 28 年は様々なヘッドマウントディスプレイが発表、発売された。その多くはヘッドトラッキング機能と手に持つタイプのコントローラーを使用しメニュー操作を行っている。本研究ではコントローラーを使用せずにヘッドトラッキング機能のみを用いて、注視時間によって選択決定操作を行うヘッドマウントディスプレイ用のメニュー画面を開発し、開発したメニュー画面を用いて実験を行うことにより注視時間を用いた選択決定操作の問題点と適切な注視時間を明らかにした。

Study of HMD Menu Screen Operation Using A Head Tracking System

KEISUKE NISHIHARA^{†1} TSUYOSHI MATSUKAWA^{†1}

1. はじめに

平成 28 年は VR 元年とも呼ばれ、様々な企業から多種多用のヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD とする）が発売されている。10 月には Sony より PlayStaytion VR が発売され、他にも Oculus 社から発売されている「Rift」、HTC 社と Valve Coporation 社により共同開発された「HTC Vive」、Samsung 社の「Gear VR」が主に挙げられる。現在発売されている HMD の多くは非透過型の VR 空間上にて没入感を得られるタイプであり、エンターテイメント性の強いコンテンツが大半である。

また、矢野経済研究所が発行する「ウェアラブルデバイス世界市場に関する調査を実施」のプレリリース版[1]によると、2015 年における HMD の国内市場規模は 1 万 6000 台であるが、2016 年の国内市場規模の予測は 20 万 1000 台、そして将来予測として、2020 年には 80 万台にまで市場が成長すると予測されている。そのため、HMD は今後さらに発展していくと考えられる。

HMD には大きく二つのタイプに分かれており、非透過型と透過型が存在する。現在主流となっている HMD の多くは非透過型の HMD であり、没入感が強くエンターテイメント性の強いコンテンツが数多く存在している。今後 HMD 市場が発展していくにつれて、非透過型の HMD だけでなく、透過型の HMD、いわゆるスマートグラスの開発も盛んに行われるのではないかと考えられる。

現在発売されている HMD では操作に関して、付属のコントローラーやタッチパッドを使ったものが主流であり、HMD のみで操作するコンテンツが見られない。それは、アプリケーションの特性上、あるいは、HMD のみでの操作がコントローラーでの操作の代替とならないためではな

いかと考えられる。そのため、HMD のみでのメニュー操作を行えるようなコンテンツを作成するためには操作特性を知る必要があると考えた。HMD のみでの操作を可能とすることにより、現状の HMD では行えなかった操作、両手がふさがっている状態で活躍することが予想される。

本研究では、VR 空間上にボタンを配置し HMD のみでの選択、決定操作を行う実験を行った。HMD のみでの選択ではヘッドトラッキング機能を使用し、決定操作には指示されたボタンへの注視時間により決定操作とした。決定操作までの注視時間を 3 種類設定し、実験を行うことにより選択までの適切な注視時間を明らかにした。

2. メニュー画面の概要

実験で使用するメニュー画面の開発を行った。メニュー画面では 10 個のアイコン型のボタンを横に 5 個並べ、縦に 2 段、それぞれを平行に並べるように配置した。実際のメニュー画面を図 1 に示す。図 2 ではメニュー画面を上面から見た図を示す。被験者の正面を向いた状態を基準角度とし、被験者の正面に横に並べた 5 つのボタンのうち、3 番目のボタン（中央のボタン）が来るように配置し、3 番目のボタンを中心として、左右方向 10 度の位置と 20 度の位置にそれぞれボタンを配置し、それを上段、下段の 2 段用意した。また、ボタンの配置を側面から見た様子を図 3 に示す。2 段に配置されたボタンでは被験者の正面を基準とした中央より上下同じ角度で配置するのではなく、上段のボタンを選択の際、上方向に 3 度、下方向に 6 度となるように配置した。これは、筆者らが過去に行った実験[2]で被験者が上方向よりも下方向に向く傾向が見られたため下方向への角度を大きくすることにより、上方向に向く角度を小さくすることで被験者の負担を減らす効果が得られると考えたためである。

^{†1} 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Aichi Institute of Technology Graduate School of Business Administration
and Computer Science

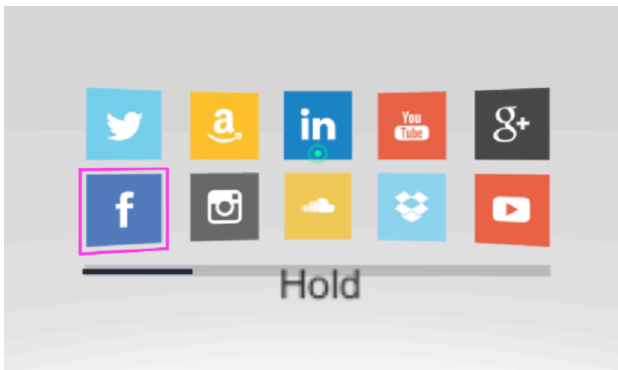


図1 メニュー画面

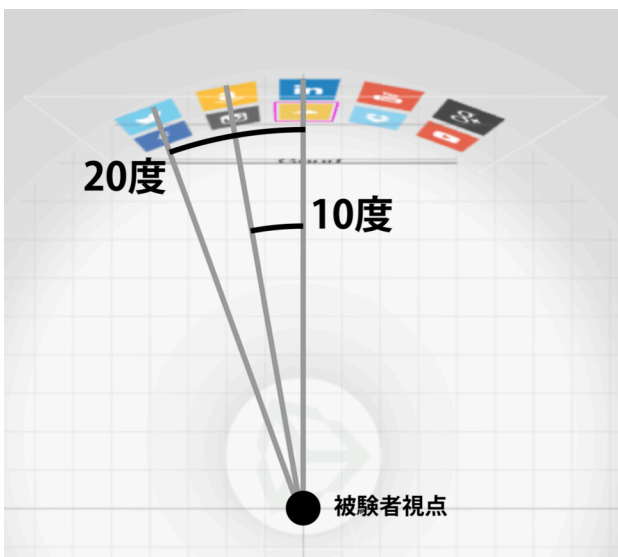


図2 上面から見たメニューの様子

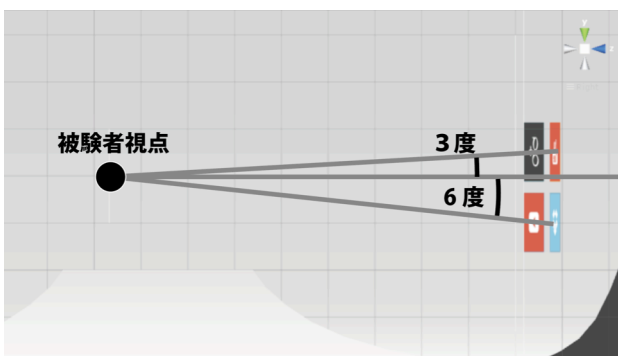


図3 側面から見たメニューの様子

3. ボタンの選択方法

HMD を通して見た画面中央に表示している注視点マークがボタンに重なった際、選択状態、選択状態を一定時間続けると決定となるようシステムを開発した。

画面にはアイコンの外側にピンク色の枠がついているボタン（指示ボタン）が1つだけ存在し、被験者はその枠がついたボタンに対し、選択・決定操作を行う。指示ボタンに対し、決定操作を行うと枠が別のボタンへとランダムで移動し、新たに枠がついたボタンが次の指示ボタンとなる。また同じボタンが連続して指示ボタンにならないようになっている。

3.1 視認性を高めるために

実験において、被験者に、より分かりやすくストレスのないシステムとなるよう、注視点マークの表示、選択時のボタンのポップアップ機能と、決定までの時間のバー表示による可視化、選択・決定・ミス処理の状態のテキスト表示を行うようにした。

3.2 注視点マークの表示

画面中央に注視点マークとして、円を表示するようにした。この円はボタンの外側ではただの円であるが、ボタンの上に重なると2重円となり、ボタンを選択している状態を表すようになっている。また今回使用しているボタンの色にはない緑色を注視点マークの色として採用した。

3.3 ポップアップの使用

被験者がどのボタンを選択しているかを分かりやすくするために、ボタンを選択した際に他のボタンより前方に移動させ選択状態であることを分かりやすくした。他のボタンより大きく表示することで被験者のボタン選択の視認性を高めた。

3.4 決定までの時間の可視化

被験者が決定操作を行うまでの時間を分かりやすく示すために、配置された10個のボタンの下に選択したボタンの注視時間をバーで示した。決定操作が行われるまでの時間をボタン下に配置された灰色のバーが左から右に向かって黒色になっていき、バーが全て黒色に変わった際、決定された状態となるようにした。その際の様子を図4に示す。

また、指定された時間ボタンを選択し決定を行った際、指示されたボタンを選択した際には「Good!」、指示されたボタンとは別のボタンを選択した場合には「miss」、また操作を一時的に中断する際には「Hold」のテキストをバーの下部に表示し、被験者が現在どのような状況なのか、自分の決定処理に関して正誤判定が分かるようにした。

4. 注視時間に関する実験

4.1 実験目的

筆者はこれまでゲームパッドのみで行う操作と HMD のヘッドトラッキング機能のみでの操作において、ゲームパ

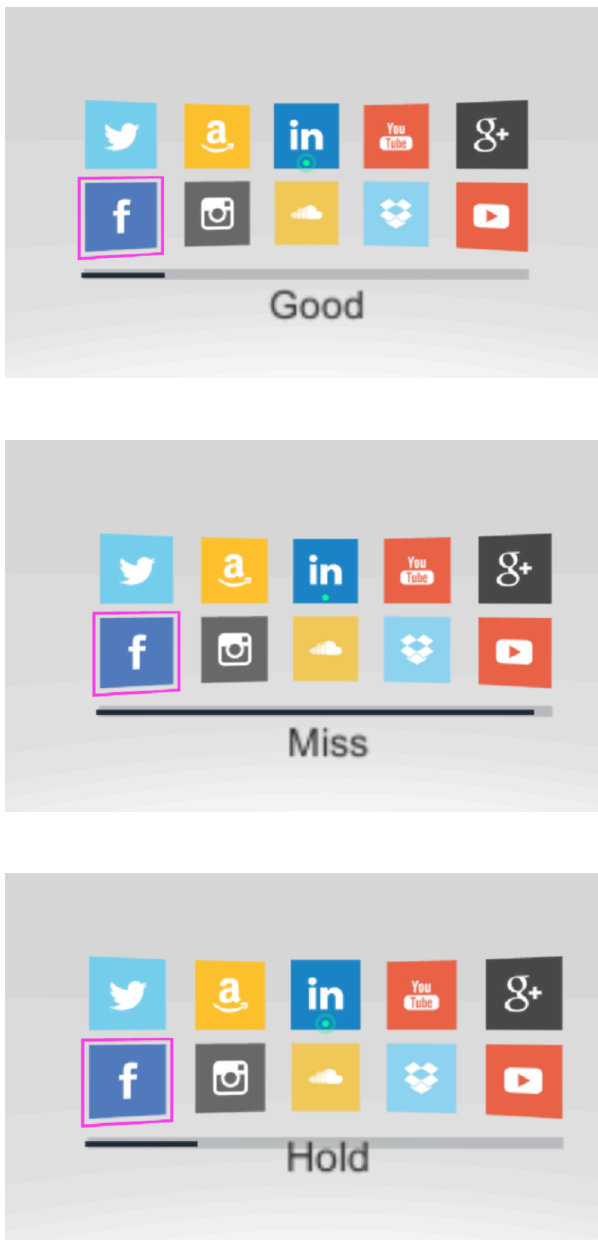


図4 メニュー画面注視時間バーとテキストの変化

ッドのみでの操作と HMD のみでの操作において、選択までの時間には大きく差がないこと明らかにした[3]. しかし、ゲームパッドのみでの操作による試行回数の方が多かった為、注視時間による選択時間を早くすることで、HMD のみでの決定操作の試行回数を増やすことができないかと考えた。

そのため、選択までの注視時間の異なる実験を3種類行い決定操作までの適切な注視時間を明らかにすることを目的とした。

4.2 実験環境

HMD 上に HMD のヘッドトラッキング機能を用いたボタン決定操作による実験を行い、操作時間を計測する

ために以下の実験環境を構築した。HMD (Oculus 社製 Rift DK2) をノート型パーソナルコンピュータ (マウスコンピュータ社製, NextGear-Notei5702PA2, Windows8.1 64bit, IntelCorei7, RAM 32G, NVIDIA GeforceGTX970M) に接続し、HMD に表示する VR 空間画面の生成、ヘッドトラッキング操作の処理、操作時間の記録を行った。

4.3 実験被験者

実験の被験者は愛知工業大学の学生 8 名 (平均 22.6) 歳である。全員が正常な視力あるいは眼鏡などで矯正後正常な視力であった。本実験で使用する HMD (Oculus 社製 Rift DK2) は眼鏡をかけたまま使用することができる為、眼鏡使用者は眼鏡をかけた状態で実験を行った。

4.4 実験内容

本研究の実験では被験者は椅子に座り、HMD を装着し HMD に表示される VR 空間内の 10 個のアイコン型のボタンのうち、ランダムに指示されたボタンを選択、決定していく操作を行うよう指示した。被験者には実験を行う前に練習を行い、ヘッドトラッキング機能を使用した選択と決定動作について理解した上でどのように実験を進めるか説明した。

練習ののち、決定までの注視時間が「1 秒の場合」、「0.5 秒の場合」、「0.25 秒の場合」の実験をそれぞれ 2 分間行い、その 2 分間のうち開始から 1 分は各実験において注視時間に慣れる為の練習時間とし、解析では扱わず、2 分間のデータのうち残りの 1 分を実験結果として解析に用いた。実験の様子を図 5 に示す。



図5 実験の様子

また、実験中にアンケートを行い、各実験における「被験者の頭の疲労感」、「目の疲労感」、「操作のしやすさ」に関して1?5の5段階で評価してもらい、疲労感が強く感じるほど、操作がしにくいと感じるほど5段階中1に近い評価をつけてもらい、疲労感が感じられない、操作しやすいと感じるほどに5に近い評価をつけてもらった。また、各実験において、注視時間での決定までの時間がどのように感じられたかを、「早い」、「少し早い」、「ちょうどよい」、「少し遅い」、「遅い」の評価項目から選んでもらい、さらに全ての実験を終えてから、最も操作しやすかった決定までの注視時間を答えてもらった。

また、選択時のポップアップ機能や、決定までの時間の可視化について1から5の5段階で評価してもらい、1に近づくほど分かりにくい、5に近づくほど分かり易いとした。

4.5 実験結果

実験の結果を図6に示す。このグラフは全ての被験者の1分間における各実験の指示ボタンの決定回数と、間違っで決定してしまった回数を表している。グラフの縦軸が決定回数隣っており、横軸は各実験の決定までの注視時間を表している。グラフの下段が指示ボタンの正答回数を表し、上段は間違っで選択した回数を表している。

決定までの注視時間が1秒の実験では平均38.6回正答されており、また全ての被験者において1度も間違っで選択することはなかった。決定までの注視時間が0.5秒での実験では62.5回の平均決定回数のうち57.6回が正答されており、間違っで選択された回数は4.8回だった。しかし、

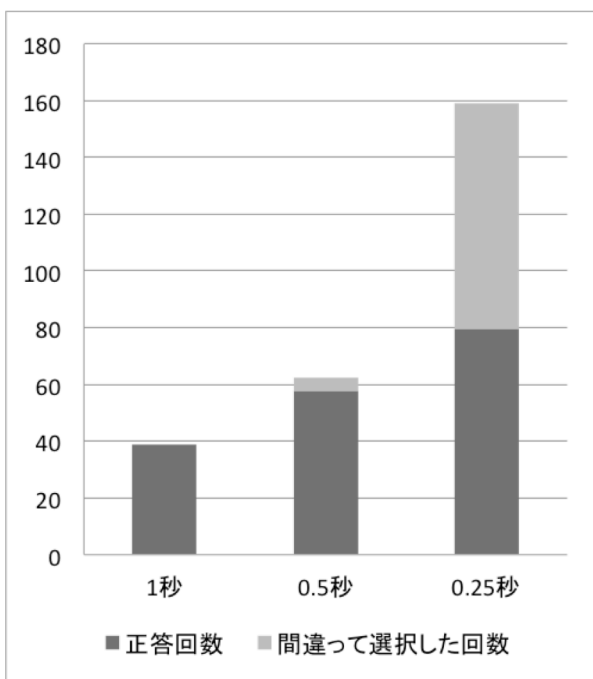


図6 正答と間違っで選択した回数の合計の平均値

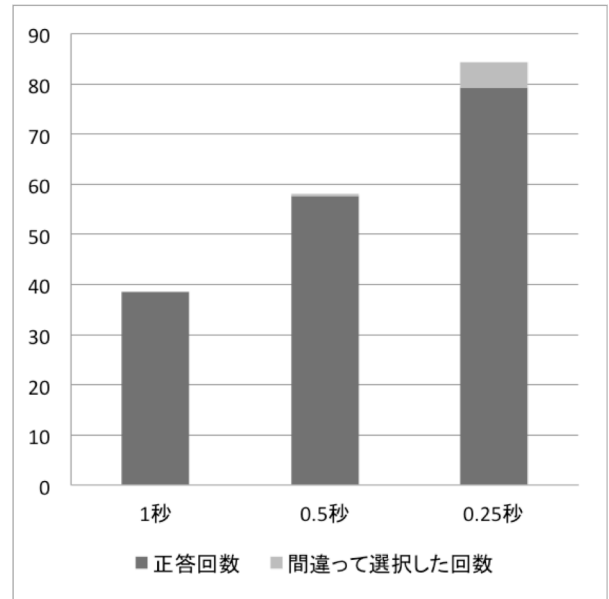


図7 指示ボタンを連続選択した場合を省いた結果

被験者によって1度もミスすることがない被験者も見られた。0.25秒の実験では平均して159.1回の総決定回数のうち約半分の79.3回の正答数しかなく、79.7回は間違っで選択されていた。

また、各被験者が間違っで選択した傾向を見ていくと、指示ボタンを決定した後に、同じボタンを選択してしまうことで間違っで選択したと判定されてしまうことが多いと感じた。そのため、指示ボタンを選択し決定した後のボタンの決定を間違っで選択したボタンの数から抜いた場合次の図7のようになった。

図7では図6同様縦軸が平均決定回数を表しており、横軸は各実験の時間を表している。

図7において決定までの注視時間が1秒の時には間違っで選択されていなかったため、変化は見られなかったが、0.5秒の時、そして0.25秒の時には大きく変化が見られた。

決定までの注視時間が1秒の時は変わらず、平均して38.6回の正答がされていた。決定までの選択時間が0.5秒の時には平均決定回数が57.6回と減り、正答数は変わらず、間違っで選択された回数が4.8回となった。そして、決定までの注視時間が0.25秒の場合、平均決定回数が84.2回となり、こちらも正答数の平均は変わらず、間違っで選択された回数が79.7回から4.8回となり大きく減少がみられた。

また、被験者に対して行ったアンケートを次に示す。各被験者のそれぞれの実験における頭の疲労感の評価についてのグラフを図8に示す。このグラフでは縦軸が疲労感を表し、1が疲労を感じられ、5に行くにつれ、疲労感なしと評価した。横軸は被験者を表している。各被験者を見るに頭の疲労感は1秒と0.5秒における際よりも、0.25秒

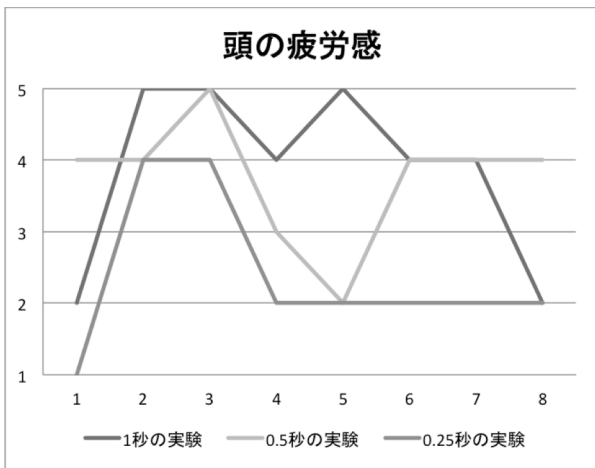


図8 頭の疲労感のアンケート結果
 (縦軸 1 : 疲労あり 5 : 疲労なし
 横軸 : 被験者番号)

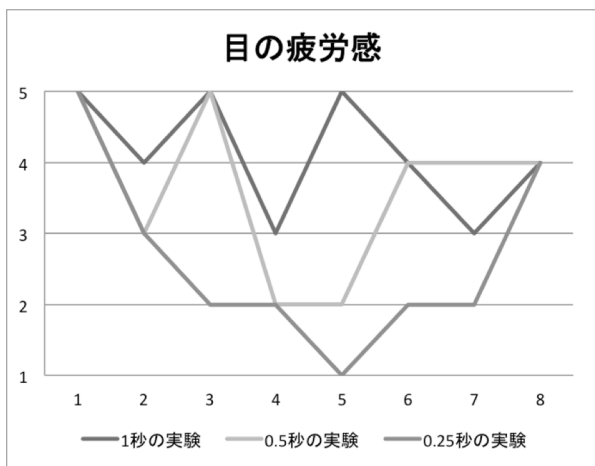


図9 目の疲労感のアンケート結果
 (縦軸 1 : 疲労あり 5 : 疲労なし
 横軸 : 被験者番号)

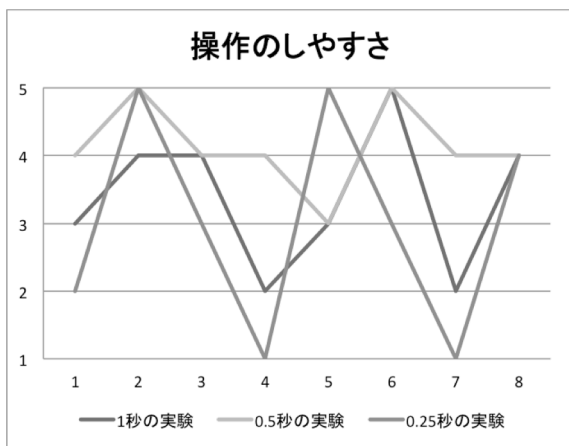


図10 操作のしやすさのアンケート結果
 (縦軸 1 : 操作しにくい 5 : 操作しやすい
 横軸 : 被験者番号)

での実験においてどの被験者も疲労感を感じられる傾向があった。つぎに目の疲労感についての結果を図9に示す。目の疲労感ではどの実験を通して疲労感が変わらない被験者も見られたが、全体の傾向として、決定までの注視時間が短くなることで、疲労を感じる被験者が多く見られた。次に、操作のしやすさについてのグラフを図10にしめす。このグラフの縦軸は操作のしやすさを表し5に近づくほど操作がしやすいと感じられたと評価している。横軸は各被験者を表し、それぞれの実験の操作感に対する評価してもらった。操作のしやすさに関しては0.5秒での実験において操作がしやすいと感じる被験者が多く見られた。また、各実験において注視による決定までの時間を、「早い」、「少し早い」、「ちょうど良い」、「少し遅い」、「遅い」の5段階で評価してもらったところ次のようになった。

1秒における注視による決定までの時間に対しての被験者の評価を図11に示す。1秒での実験では8名中7名が「遅い」、あるいは「すこし遅い」と感じられ1秒の注視時間は遅いと感じる傾向にあった。つぎに0.5秒での注視における決定までの時間に対しての被験者の評価を図12に示す。0.5秒における実験では8名中5名の被験者が「少し早い」、あるいは「早い」と感じたものの、残りの3名は「ちょうど良い」と感じられていた。つぎに0.25秒での注視における決定までの時間に対しての被験者の評価を図13に示す。0.25秒では全ての被験者が「早い」あるいは、「少し早い」

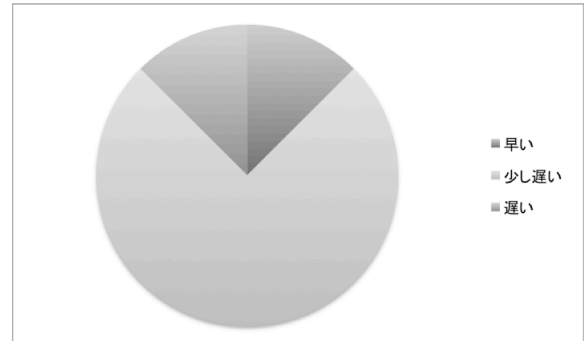


図11 注視時間1秒に対する被験者の評価

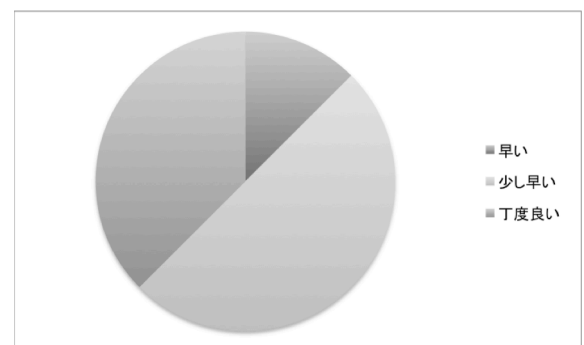


図12 注視時間0.5秒に対する被験者の評価

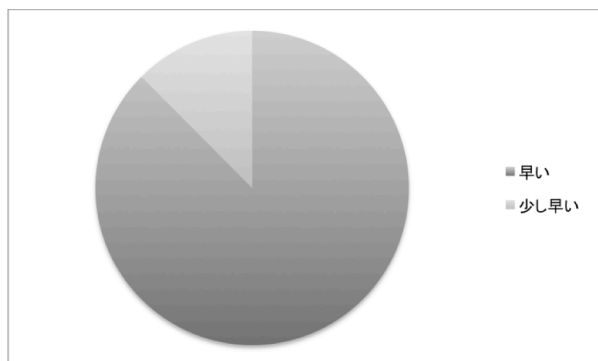


図13 注視時間0.25秒に対する被験者の評価

と感じていたことがわかった。

そして、最も操作のしやすかった決定までの注視時間は、8名中6名が0.5秒の実験の際と答え、2名は1秒の時であり、0.25秒の際の実験がもっと操作しやすかったと答える被験者は見られなかった。

5. 考察

実験の結果から、0.25秒における注視時間による決定操作では、決定回数の半分しか正答回数を得られなかった。しかし、これは決定処理をした後に連続して再度決定処理をしてしまっているための間違いであり、連続したボタン決定の処理を抜いた場合、図7に示すように、間違っして選択する回数は20分の1にまで減少した。また、この処理を行ったばあい、1秒では間違っして選択されることはなかったため変化は見られなかったが、0.5秒と、0.25秒では間違っして選択される回数が減ったため、注視による決定操作の場合、注視時間を短くする場合は、決定されたボタンと同じ位置に他のボタンを配置すると間違っして選択してしまい、使用者の意図しないアクションを起こす可能性が高く、1秒以内の注視による決定操作をさせる際には、決定操作の行ったボタンとは違う位置に別のボタンを配置する、あるいは、同じ位置にボタンを置く際には連続して選択する処理をなくすことが望ましいと考える。しかし、アンケート結果より、注視による決定操作において決定までの時間が0.25秒というのはどの被験者も「早い」、あるいは「少し早い」と感じられているため、間違っして選択する回数が減らすことができた場合でも、決定までの注視時間に0.25秒を設定するのは望ましくないと考える。

また、被験者の最も操作がしやすかったと感じた時間は0.5秒であると答えた被験者が多く見られたが、0.5秒での注視による決定までの時間では、8名中5名の被験者が「早い」、あるいは「少し早い」と感じているため、決定までの注視時間が0.5秒では少し早いのではないかと考えられる。しかし、決定までの注視時間を1秒とした場合、「遅い」あるいは「少し遅い」と感じる被験者が多く見られたため、

決定までの注視時間は1秒から0.5秒の間に被験者が最も適当だと感じる時間があるのではないかと考えられる。また、今回の結果から、間違っして選択することのないシステムを開発する上では決定までの注視時間を1秒とすることで全ての被験者が意図した決定が可能だとわかった。

6. まとめ

本研究では、仮想空間上に配置された10個のボタンをHMDのヘッドトラッキング機能のみを使用し、「選択」、「決定」の行えるシステムを開発した。システムの開発に際し、被験者の視認性を上げるための配慮をした。開発したシステムを使用し、ランダムに指示されるボタンにヘッドトラッキング機能のみで「選択」、「決定」を行う実験を行い。決定までの注視時間が、「1秒」、「0.5秒」、「0.25秒」の時の3種類の実験を行い。実験と並行し被験者には疲労感などの注視時間における操作が一番良かったのか答えてもらった。その結果、決定までの注視時間が短くなるにつれ、間違っして選択される回数が増えることがわかった。しかし、間違っして選択される処理の多くは同じボタンを決定処理してしまっていることが多いため、連続して同じボタンを決定することのないシステムであれば、間違っして選択されることは大幅に減らすことができると考えられる。だが、被験者に行ったアンケートから最も決定操作の行いやすい時間は0.5秒であり、間違っして選択することのないシステムを開発するためには決定までの注視時間は1秒であることが望ましいと結論付けた。

参考文献

- [1] “ウェアラブルデバイス世界市場に関する調査を実施（2016年）—スマートバンドが市場を牽引し、スマートウォッチも普及段階へ—”。<http://www.yano.co.jp/press/pdf/1535.pdf>, (参照2016-10-13).
- [2] 西原佳祐, 松河剛司.ヘッドマウントディスプレイ使用時の頭部回転動作に関する研究. 日本人間工学会2015年東海支部研究大会論文集, 2015, p. 54-55.
- [3] 西原佳祐, 松河剛司. HMDにおけるヘッドトラッキング機能を用いたインターフェースの検討. 日本人間工学会誌, 2016, vol. 52, Supplement, p. 244-245.