

VR 空間における視線を利用したポインティングに対する 文字情報の影響

柿沼 育[†] 小宮山 摂[‡]

概要：HMD(Head Mounted Display)に視線計測装置が内蔵されるタイプが増えてきている。これにより、VR において視線操作の普及が見込まれる。しかし、視線操作対象以外に注視すべき情報がある場合、視線操作は視覚本来の機能である観察行為と干渉する可能性がある。そこで本研究では、文字情報とターゲットが混在する VR 空間を対象に、視線による 2D ポインティング実験を行い、そのタスク達成速度やユーザ負担等を比較することにより、視線操作と観察行為の干渉について検証する。

キーワード：バーチャルリアリティ, 視線操作, MAGIC, 2D ポインティング

An effect of character information on gaze pointing in VR space

IKUMU KAKINUMA[†] SETSU KOMIYAMA[‡]

Abstract: HMDs (head-mounted displays) with built-in gaze measurement devices become popular. As a result, gaze manipulation will be no special in VR. However, when there is text information around the gaze operation targets, the gaze input operation may interfere with the observation act that is the original function of sight. Therefore, in this research, we conducted 2D pointing experiment using gaze in VR space including text information and target, and examined the interference between gaze control and observation behavior..

Key words: Virtual Reality, Gaze Operation, MAGIC, 2D Pointing Task

1. はじめに

VR (Virtual Reality) は様々な分野で 3 次元世界を疑似体験する手段として用いられるようになってきたが、現実世界ではブラウザのような 2D 画面による情報表示も極めて一般的で、もはや現実の一部といえるため、VR 空間においても再現する必要性が増している。特に、HTML で記述された既存の Web ページは、2D のまま移植・表示されると考えられる。

その際に問題になるのが、画面とのインタラクションの方法である。マウスが使えない VR ではコントローラによるポインティングが一般的だが、デバイスを空中に保持し続ける必要があり、長時間利用が想定される Web ページの場合は疲労の点から問題がある。赤外線やグローブ型デバイスにより手指の位置を検出して衝突判定を行う方法は判定エラーが起きやすく、細かい操作がやりにくい。これに対し、視線によるインタラクションには、速い、手が自由になるなどの利点があり、有力な手法となり得る。PC においては視線を用いてインタラクションを行う研究が以前から行われているが、視線計測装置を内蔵する PC は稀である。操作性に関してマウスやタッチパッドで十分であり不

足を感じないことが普及しない理由と考えられる。一方 VR では、既存のポインティングデバイスが使いにくいなに、HMD (Head Mounted Display) 自体に視線計測装置を内蔵できるため、むしろ普及が期待できる。

視線操作の欠点として、ポインティングのために一点を凝視することが、人間にとって不自然な動作であることがあげられる。本来、視線とは対象や周囲の観察のために使用されるものであり、Web ページのように選択対象の周囲に文字情報など観察すべき対象がある場合は、それが視線入りに影響を与える恐れがある。

そこで本研究では、VR 空間内でブラウザ画面を視線によりポインティングすることを想定し、文字情報とともに表示された 2D 画面上のターゲットに対して、視線を用いてポインティング操作を行う実験を行い、文字観察の影響および使用者の疲労感を調査する。

2. 先行研究

多くの視線ポインティングの研究は一般的なモニターの PC を利用して行われてきた。Sibert 等は、PC の GUI 上のポインタでの選択をパッドによる操作と視線によるものを比較し、後者の方がより速く物体を選択することができることを示した[1]。一般的に視線操作は既存手法よりも速く操作が可能であるが、注視による視線操作には、対象の目視が確認のためであるか選択のためであるかを区別する事ができないため、誤選択が引き起こされる可能性がある。

[†] 青山学院大学大学院理工学研究科, Intelligence and Information Course, Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

[‡] 青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科, Department of Integrated Information Technology, College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University.

これを Midas Touch 問題と呼び、Jacob 等が紹介している [2]。この問題を避ける試みとしては Zhai 等の提案による MAGIC という手法がある [3]。MAGIC は視線をポインタの大まかな移動のみに利用し、選択時の対象物までの移動のような細かい動きは従来のマウスによる手の操作で行うというものであり、従来の GUI 上でマウス操作よりも選択までにかかる時間が短い傾向にあることが確認されている。

また、選択動作のみコントローラに割り当てる手法も研究されている。Velloso 等は視線操作、2 次元的なジェスチャ操作、3 次元的なジェスチャ操作を用いて、3 次元的な空間で対象を移動させる実験を行い、視線操作が最も速いという結果を得ている [4]。これを発展させた連続的に移動させるタスクにおいても、視線操作が最も速く、かつ他の手法との差が最初の実験の結果よりも開いている事がわかった。この実験では、選択動作のみ条件分けされており、選択後の移動に関しては全てジェスチャにより行われた。Velloso 等は触れていなかったが、この条件による視線操作では対象の移動中には視線を自由に使う事ができ、次に移動させる物体の目視・観察がスムーズに行えたため、視線操作の速さが秀でた可能性がある。

VR 空間においては、3 次元的にトラッキングされているコントローラを用いた操作手法と比較されることが多い。Luro 等は VR 空間での 3 次元的な対象選択動作において、視線操作(選択決定動作にはコントローラでの入力を使用)とコントローラ操作を比較する実験を行い、視線操作は正確性では劣るが、より速く対象を選択することが可能であると、快適性などに悪影響を与えることなく、コントローラの代用として利用することが可能だと結論づけた [5]。一方、筆者の柿沼らは、VR 空間での選択操作に関して、視線のみ、コントローラのみ、視線でおおまかなポインタの移動を行い微調整と選択をコントローラで行う、という 3 つの手法を比較し、視線とコントローラを併用する手法が、ポインティングが速いうえに疲労感が少ないことを明らかにした [6]。他には、単純なポインティング以外の動作に関して、視線と両指のジェスチャを併用する事で、対象の拡大縮小も行えるシステムなども提案されている [7]。このように、VR においても視線ですべて行うのではなく他操作と組み合わせる方式の提案が増加している

しかし、筆者や Luro 等の実験は選択対象イコール観察対象であり、周囲の状況に視線を配る必要がないと言う点で、Web 画面の実際とはかけ離れている。一般的な Web ブラウザでは、選択対象の周囲に説明のためのテキスト情報が存在する。そのため、選択対象だけを注視するのではなく、周辺の文字情報を眼で確認する、あるいは視線が選択対象とテキストを行き来することが行われているはずである。本研究で行う実験は、選択対象に関連した文字情報の配置が選択操作や視線移動に与える影響に注目したものである。

3. 視線ポインティング手法

ポインティング動作に視線を用いる場合でも、最終的な選択決定動作には対象の注視を用いず、別の装置で行う方がポインティング速度や視線拘束時間が短いという点で有利である。そのため今回は次の 2 方式について実験を行う。

①視線手法：ポインタの移動はすべて視線で行い、選択決定のみコントローラを使用する手法

②視線+コントローラ手法：ポインタの大まかな移動を視線で行い、ポインタ位置の微調整と選択決定にコントローラを使用する手法

3.1 視線手法

この手法は、今回の基本となるポインタの移動に視線のみを利用したポインティング手法である。視線の検出には視線計測装置 Tobii Pro が搭載された HMD、HTC Vive [8] を使用する。この HMD では、内蔵の Tobii Pro で検出した視線方向に、VR 空間内で Ray を生成し、Ray がオブジェクトが衝突した場所にポインタを表示する。対象の選択決定には、HTC Vive 付属のコントローラのトリガーボタンを押下することで行う。ポインタは計測された視線に連動して移動し、トリガーボタンを押した際に、ポインタと重なっていたボタンに、押下判定を行う。また、ポインタが利用者の視線に追従して常時表示されると、鬱陶しいと感じたり文字が読みにくくなるのが懸念されるため、ポインタは押下可能なボタンに重なった時のみ表示されるようにしている。

3.2 視線+コントローラ手法

この手法では、MAGIC [3] に VR 空間用の改良を加えたシステムを用いる。具体的にはまず、3.1 の視線手法と同じように、視線によりポインタ (不可視) を直接制御で動かすことができる。ユーザのコントローラのボタン操作で、ポインタが可視状態となり、同時に制御が視線からコントローラに移行する (図 1)。

コントローラによるポインタの制御は、コントローラ自体の縦横の移動をポインタへ反映する間接制御方法を採用する。コントローラの移動量はコントローラ自体のローカル座標系で測り、ユーザがコントローラをターゲットに向

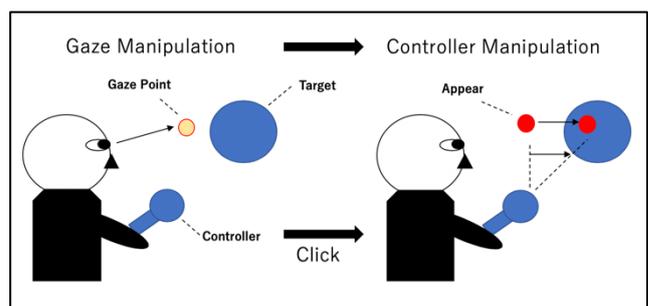


図 1. 視線とデバイスを使用する提案手法

ける必要がないようにしている。視線からコントローラへの制御切り替え、決定入力にはトリガーボタンを使用し、トリガーを押して離れた瞬間を入力とする。一般的にはコントローラから Ray を飛ばしてポインタを移動させる直接制御法が用いられるが、コントローラを空中で保持しつつ向きを調節する必要があるため、長時間使用の場合に間接制御法よりも疲労が大きくなるため[6]、ここでは用いない。

なお視線手法と視線+コントローラ手法のどちらも、実験開始前に視線計測のキャリブレーションを行わせ、実験中においても計測のズレが気になる場合には、実験データに影響が出ないタイミングで再度キャリブレーションすることを許可する。

4. 実験

4.1 目的

VR 空間に配置された、文字情報とターゲットが混在する 2D スクリーンに対して、前述の 2 つの方法を用いてポインティングタスクの実験を行い、タスク達成時間と選択ボタン押下時の視線分布を測定し、主観アンケートと合わせて周辺文字情報が視線ポインティングに与える影響を調査する。この実験条件は、一般的な Web ページでのコンテンツ利用を想定している。単に視線操作でボタンを選択するだけでなく、コンテンツの目視や探索が要求される条件を用いることで、ポインタを移動させる視線操作と視線本来の機能である観察行為との間の干渉について考察する。

4.2 実験タスク

今回の実験では、4 択問題をタスクとする。具体的には、「○」を下から選んでください」のような問題文を VR 空間内の 2 次元平面上上部に表示する(○にはその時の正解の 1 文字を挿入)。被験者はその下に表示される 4 つの文字から正解を見つけ、それに対応したボタンを選択する(図 2)。

これを 1 タスクにつき 130 題ランダムにかつ連続的に出



図 2. UNDER 条件時の実験タスク表示の様子。

(ボタン間、ボタンとボタン文字間の距離は 5cm、問題文とボタン間は 21cm とした。文字には Unity[9]の Text Mesh を使用し、問題文は文字サイズ:10、フォントサイズ:100, scale:0.0004 に、ボタン文字は文字サイズ:10、フォントサイズ:50, scale:0.003 に設定)

題する。出題される文字は「ひらがな」「カタカナ」「アルファベット」のいずれかからランダムに重複なしで 4 文字抽出し、4 個のボタンに割り当てる。1 文字を正解文字として扱い問題文に反映する。

4.3 実験条件

実験条件は、操作条件と表示条件の 2 つを用意した。

操作条件は、3 節で紹介した「視線手法」条件と「視線+コントローラ手法」条件の 2 つである。これらの主な違いはボタン選択時に視線が自由に動かすことが可能かである。「視線手法」では選択時にボタンを注視している必要があるが、「視線+コントローラ手法」では選択操作の少し前からコントローラ制御に移行しているため視線はボタンを注視する必要がない。

表示条件は、文字情報がボタンに重なって表示される「ON」条件と、ボタンの下に表示される「UNDER」条件の 2 つである(図 3)。これは、選択に際して視認すべき情報が複数あり、それらが物理的に離れている場合に、視線操作にどのような影響が現れるのかを観察するために導入している。一般的な Web ページでも、チェックボックスや仮想キーボードと入力部分などに類似した構造が見られる。なお、予備実験において、ボタン上に視線を合わせる対象がないと、1 点を見つめる事が難しいとの指摘があったため、「UNDER」条件時はボタンの中心に黒い点を表示している。

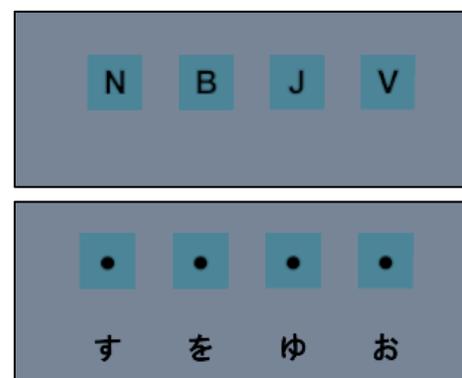


図 3. ON(上)と UNDER(下)

4.4 実験方法

VR 空間におけるボタンを表示したパネルと被験者間の距離は 100(cm)とした。Tobii Pro の正確度(Accuracy)は 0.5° であるため、原理的には 1 辺 1.7 cm の大きさのボタンを注視選択できる距離になるが、実際に動作テストをしたところ、視線による注視選択は極めて困難であったため、本実験での選択ボタンのサイズは 3cm とした。また、実験開始前に、パネルの中心が被験者の正面に来るよう調節し、

計測結果に被験者の身体差がなるべく現れないよう配慮した。

実験の被験者には20代の男子大学生10人を用いた。被験者は操作条件2種×表示条件2種の全ての組み合わせでランダムな順番で計4回実験を行った。それぞれの実験前に手法ごとに操作感に慣れさせるための練習時間を設けた。

実験中にタスクの達成時間を計測した。具体的には、問題文がパネルに表示され、被験者が正解のボタンを選択するまでの時間を1タスクの達成時間とした。

各条件の実験終了ごとにアンケートを実施した。アンケートにはNASA-TLX[10]の概念に基づいた「主観的メンタルワークロードチェックリスト」[11]によるものと、System Usability Scale (SUS)[12]の2種類を用い、主に被験者への負担とシステムのユーザビリティについて答えさせた。また最後に4条件のうち一番好む条件を1つ選ばせた。

4.5 結果

4.5.1 タスク達成時間

各条件間で1タスクにかかる時間を比較した結果、UNDER 条件下において操作手法間に有意差があり、視線手法の方がタスクに時間を要していることがわかった。また視線手法内では UNDER の方が有意に時間を要していることもわかった(図4)。

実験中に安定して視線計測が可能な被験者と、可能だが精度が悪い被験者の2パターンが見受けられ、それにより

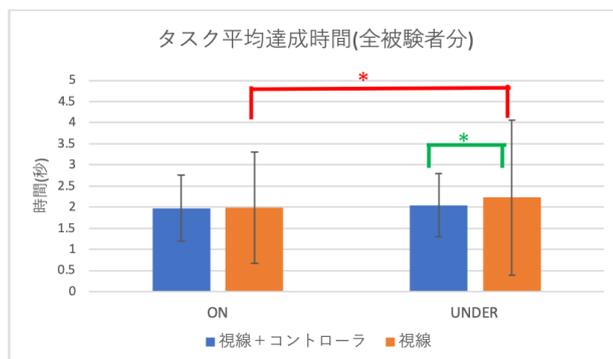


図4. 全被験者のタスク平均達成時間

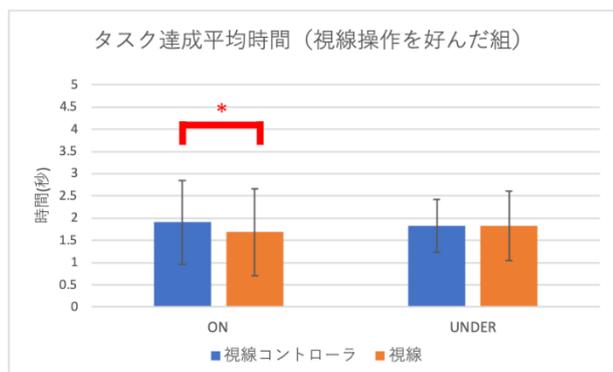


図5. ①組のタスク平均達成時間

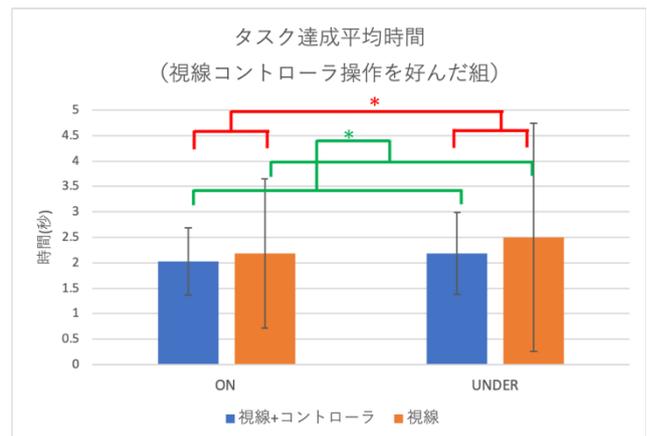


図6. ②組のタスク平均達成時間

実験後に聞いた好みの手法が分かれていた。そのため、「視線手法を好んだ組(以降①組)」4人と「視線+コントローラ手法を好んだ組(以降②組)」6人に分けて再び比較を行った(図5)(図6)。その結果、①組ではON条件において、視線手法は視線+コントローラ手法よりも有意に速くタスクをこなしていることがわかった。一方、②組では各条件内で有意差が見られ、操作条件では視線+コントローラ手法の方が、表示条件ではON条件の方がそれぞれタスク達成時間が有意に短いことがわかった。

4.5.2 視線位置

実験中の特定のタイミングにおいて、被験者の視線の位置を計測した。図7は視線+コントローラ手法において、コントローラへ操作が切り替わった時の視線を、正解ボタンを中心として相対的にプロットしたものである。UNDER 条件下において、視線がボタン下の文字情報に引きずられている傾向が見える。

図8は同じく視線+コントローラ手法条件下で正解ボタンを選択した時の視線を同様にプロットしたものである。ON 条件においては、すでに視線がボタンから外れ、左上の設問文に移動している傾向が見える。UNDER 条件でもその傾向は見えるが、ボタン及びボタン下の文字も視線が残っている様子が伺える。

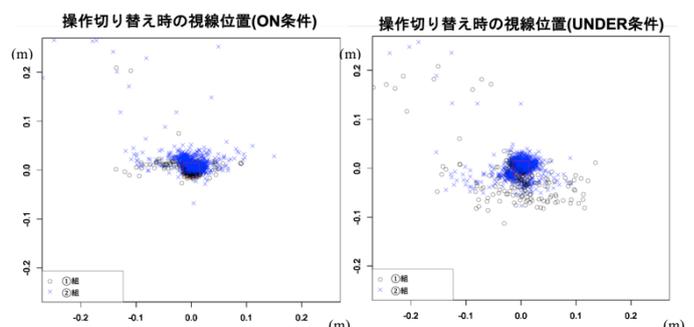


図7. 視線+コントローラ手法のON条件(左)とUNDER条件(右)の操作切り替え時の視線の位置

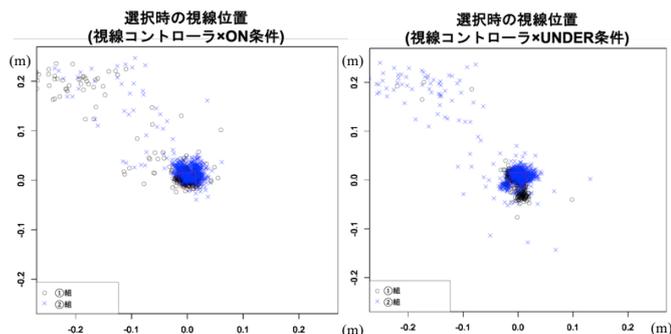


図 8. 視線+コントローラ手法の ON 条件(左)と UNDER 条件(右)のボタン選択決定時の視線の位置

参考として視線手法時の選択時の視線の位置を図 9 に示す。当然のことながら視線手法では選択時に対象をみ視する必要があるため、全てボタンに重なっている。

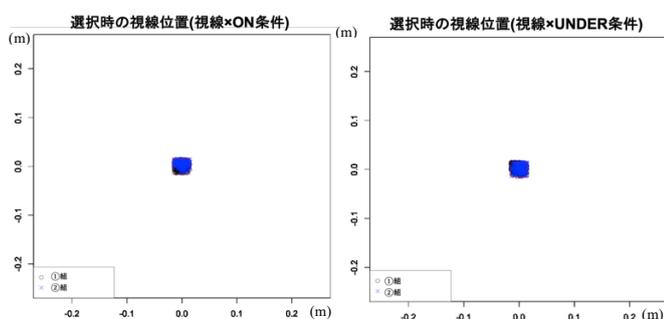


図 9. 視線手法の ON 条件(左)と UNDER 条件

4.5.3 主観評価

実験後に行った SUS のアンケートを図 10 に、主観的メンタルワークロードチェックリストアンケートの結果を図 11 示す。SUS のアンケートにより算出した平均値には、条件間で有意差は見られなかった。また、主観的メンタルワークロードチェックリストによるアンケートでも、有意な差は見られなかった。しかし、どちらの場合も、傾向としては視線手法×UNDER 条件が被験者への負荷が高い様子が伺える。

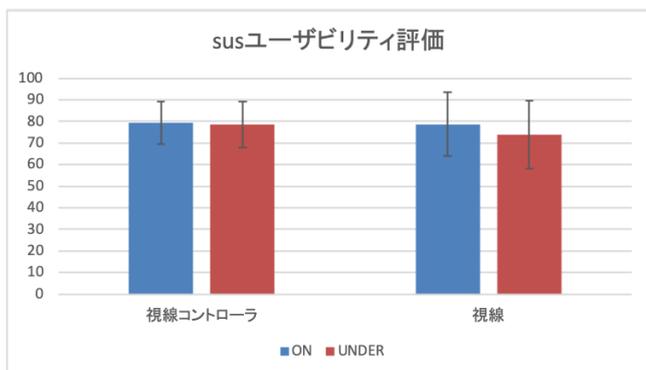


図 10. SUS 評価結果

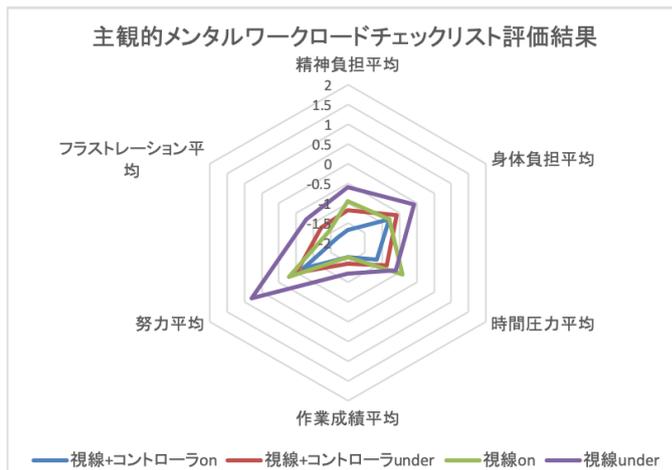


図 11. 主観的メンタルワークロードチェックリストアンケートの結果

5. 考察

図 4 の結果より、UNDER 条件では、視線手法よりも視線+コントローラ手法の方がタスク達成時間が短くなるのがわかる。視線+コントローラ手法を好む被験者にその傾向が大きい。これはターゲットであるボタン以外の周囲に提示された文字情報が、視線の固定に影響を与え、視線のみでポインタを動かす操作がやりにくくなったためと考えられる。

視線+コントローラ手法ではボタン選択時に視線がボタン上にある必要がないが、図 8 でもボタン選択時に視線がボタンに重なっていない場合が少なくない。特に ON 条件の際には左上に集中している。ON 条件では、ボタンと文字を同時に注視できるため、選択決定操作時には被験者はすでに次の問題を確認することに意識を向けたと思われる。一方、UNDER 条件ではボタンのやや下にも散らばっている。UNDER 条件では、ボタンと選択文字が離れて提示されたため、その中間に視線を送ることで、周辺視野により両方に注意を配っていた事が考えられる。すなわち、よりボタンに近い位置に文字情報があるために、左上の次の問題の文字情報との間で注意が分散した可能性が考えられる。

図 7 に示した、視線からコントローラへの制御切り換え時においても、UNDER 条件で視線がより広範囲に散らばっている事がわかる。これも、ボタンに視線を正確に合わせることも、文字の位置や内容確認の方に注意を向けているためと考えられる。

一方、ボタンの選択も視線で行う視線手法では、図 9 に示すように決定動作を完了するまでボタンを注視する必要がある。このため、情報を予測して視線を動かす行為や、ボタンと周辺文字の同時目視が制限される。従って、Web ページにおいて多く要求されると想定される仮想キーボー

ド入力など、複数箇所の観察を一度に必要となる場面において、視線手法は操作性が良いとは言えないことを示唆している。

以上のことから、VR空間内におけるボタンと文字が混在した2D画面との、視線を用いたインタラクションにおいては、今回の視線+コントローラ手法のように、選択のための凝視を必要としない手法も可能とする方式であることが望まれる。

一方、SUSや主観的メンタルワークロードチェックリスト等によるアンケートでは条件間に有意な差は見られなかった。先の考察で触れた視線操作における無意識な動作の制限のため、被験者は明確なストレスを示すと想定していたが、そのような結果は出なかった。今回の実験では、1回あたり130題を出題したが、被験者は平均的に4分から5分でこなしており、使用時間が短くその差がはっきりと現れなかった可能性がある。今後は、今回よりも長時間の実験を行った場合の、ユーザビリティの違いや身体的負荷の程度について検討する必要がある。ただし、SUSによるユーザビリティ調査、メンタルワークロードチェックリストのどちらにおいても、視線手法×UNDER条件が最も評価が低い傾向が見られることと、視線分布に関する先の考察と合わせて考えた場合、様々なUIに対応し得るという観点からは、視線+コントローラ手法のように、ユーザの意思で視線からコントローラに制御を移すことができる手法が有効であると考えられる。

6. おわりに

本研究ではVR空間における視線入力に関して、文字情報が視線操作に与える影響を調査した。視線には、次の行動に必要な情報を先取りする動きや、周辺視野で一度に複数のものを確認する動きが見られるが、ポインタの移動だけでなく選択操作まで視線で行うことはそれらに制限をかけることが分かった。一方、被験者の疲労感に関しては視線手法とコントローラ併用手法に明確な差が得られなかったが、実験時間が短かったためである可能性も捨てきれない。一般的にWeb利用は長時間が想定されるため、今後は、長時間にわたりコンテンツ利用、文字入力などを行わせた場合について調査する必要がある。また、今回の実験ではキーボードのような密接に並んだ対象への入力や、入力失敗後の動作に関してはカバーできていない。手法の優劣をより明確にするためには、これらを踏まえた、より実際的な条件において実験を行う必要がある。

参考文献

- [1] Linda E. Sibert and Robert J. K. Jacob. "Evaluation of Eye Gaze Interaction." In Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '00). ACM, New York, USA, 281–288. (2000)
- [2] Robert J. K. Jacob. "What You Look at is What You Get: Eye

- Movement based Interaction Techniques." In Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90). ACM, New York, USA, 11–18. (1990)
- [3] Shumin Zhai, Carlos Morimoto, and Steven Ihde. "Manual and Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing." In Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99). ACM, New York, USA, 246–253. (1999)
- [4] Eduardo Velloso, Jayson Turner, Jason Alexander, Andreas Bulling, Hans Gellersen, "An Empirical Investigation of Gaze Selection in Mid-Air Gestural 3D Manipulation" In Proc. INTERACT 2015, Part II, LNCS 9297, pp. 315–330. (2015)
- [5] Francisco Lopez Luro, Veronica Sundstedt, "A comparative study of eye tracking and hand controller for aiming tasks in virtual reality." In Proc. ETRA '19 Proceedings of the 11th ACM Symposium on Eye Tracking. (2019)
- [6] 柿沼育、小宮山撰：VR空間における視線とコントローラを用いた2Dポインティング手法の検討、第18回情報科学技術フォーラム(FIT2019)講演論文集、J-022(2019年9月)
- [7] Ken Pfeuffer, Benedikt Mayer, "Gaze + Pinch Interaction in Virtual Reality." Association for Computing Machinery. ACM ISBN 978-1-4503-5486-8/17/10, (2017)
- [8] Tobii pro VR Integration <https://www.tobii.com/siteassets/tobii-pro/product-descriptions/tobii-pro-vr-integration-product-description.pdf?v=1.7>
- [9] <https://unity3d.com/jp/unity>
- [10] Sandra G Hart and Lowell E Staveland. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In Advances in psychology . Vol. 52. Elsevier, 139–183
- [11] <http://acpsy.hus.osaka-u.ac.jp/questionnaire.html>
- [12] John Brooke et al . 1996. SUS-A quick and dirty usability scale. Usability evaluation in industry 189, 194 (1996), 4–7.