

視線入力とボタン入力を併用する VR 空間内入力インタフェースの研究

尾瀬泰規^{†1} 秋田純一^{†2}

概要: 本研究では、ハンドコントローラに依存しない VR 空間内入力インタフェースとして、視線入力とボタン入力を併用するマルチモーダル視線インタフェースを提案し、既存手法との比較検証を行う。提案した操作方法は、視線を大きく動かす必要がない点や、ボタン入力を介することで視線入力特有の課題である意図しない操作を防ぐような設計が特徴である。検証の結果、提案手法は従来手法であるコントローラレイによる操作と比較してやや個人差はみられるものの、同じような感覚で操作ができることが確かめられた。

1. はじめに

近年、Meta 社の Meta Quest 3[1]をはじめとする、価格が数万円台の比較的安価な VR 機器が普及し始めている。これにより、バーチャルリアリティ技術が一般の消費者にとって、より身近な存在になることが期待できる。VR 技術の実用例のひとつにメタバースが存在する。メタバースとは、インターネット上に構築されるバーチャル空間のことで、利用者同士で交流ができることが特徴である。単純なコミュニケーションツールとしての利用はもちろん、教育現場での利用が検討される[2]など、さまざまな活用方法が検討され、注目を集めている。

また、2024年2月に発売された Apple 社の Apple Vision Pro[3]は、従来の VR 機器と大きく異なる特徴を持っていることから大きな注目を集めた。この製品は VR に限らない利用を目的とする空間コンピューティングデバイスという位置づけである点や、ハンドコントローラが付属しておらず、基本的な操作をアイトラッキングによって行える点など、既存の VR 機器とは異なる特徴を有している。これは一例ではあるものの、このようなハンドコントローラに依存しない VR 関連機器が今後普及していく可能性がある。

著者らはこれまで、VR 空間内ハンズフリー操作インタフェースに視線ジェスチャを利用する手法について提案し評価してきた[4]。その内容は、上肢体障害者などの腕や指の動きが制限されている利用者が、両手に装着するハンドコントローラによって構成されている VR 機器を十分に操作できない問題点に着目し、その問題を解決するための手法について検証を行うものであった。しかし、利用者を身体障害者に限らずとも、ハンドコントローラに依存しない操作方法を採用する VR 機器での活用を想定し、視線入力を利用した新たな手法を研究する意義は十分にあると考えられる。

本研究では、利用者を身体障害者に限らず、視線入力を VR 空間内入力インタフェースに利用する操作方法について調査を行う。

2. 関連研究

視線入力に関する研究事例は多くある。比嘉らの研究[5]は、電動車椅子制御のシステムに視線入力を利用して、本研究とは制御するデバイスが異なるものの、注視する位置に応じて機能を実行できる点は VR 空間においても再現可能であり、類似する特徴が多い。

村田らの研究[6]は、VR 空間内における注視による文字入力システムを実現している。主に入力用ボタンまでの距離と視線入力のしやすさの関係を調査しており、どれくらいの距離が適切であるか、VR 空間内での実装の際に考慮すべき要素だといえる。

崔の研究[7]は視線のみで入力を完了するモノモーダル視線インタフェースの性能向上を目的とした研究であり、Midas Touch 問題など視線入力特有の課題を解決する手法を提案している。これに対して、視線入力と別の入力機構を併用するものをマルチモーダル視線インタフェースと呼び、こちらはモノモーダルと比較して操作の高速化や高精度化を期待できるほか、さまざまな入力機構を併用することで応用性があることが利点だといえる。

以上を踏まえて、本研究では VR 空間内におけるハンドコントローラに依存しない視線入力インタフェースとして、視線入力とボタン入力を併用するマルチモーダルな操作方法を提案する。また、既存のコントローラや視線入力を用いた手法と比較する検証実験を行い、その特徴と優位性について調査する。

^{†1} 金沢大学大学院 自然科学研究科 電子情報通信学専攻

^{†2} 金沢大学 融合研究域 融合科学系

3. 視線入力とボタン入力を併用する操作方法

本研究で新たに制作したシステムは、視線入力とボタン入力を併用する操作方法である。この手法は視線を大きく動かす必要がないことが特徴である。仕組みとしては、視線入力用の操作パネルがボタン入力を行った時点での視線の位置に表示されるため、視線をその場から任意のパネルの位置に動かすだけでよい。また、入力実行時にボタン入力を介することで任意のタイミングで入力を実行することができ、意図しない操作を防ぐような設計を実現している。なお、ボタン入力をしてから視線を移動させる動作がスマートフォンの文字入力に採用されるフリック入力と類似しているため、以降はこの操作方法を「視線フリック」と呼称する。操作手順については、以下に示す。

1. ボタン入力を行うと、現在の視線を中心に操作パネルが表示される（図1）。
2. 操作パネルに視線を合わせてからボタン入力を行うと、パネルに応じた機能を実行できる（図2）。
3. 実行後、機能を停止したい場合はボタン入力を行う。これにより1.の段階に戻る。

また、後述する検証実験に向けて、比較対象となる従来手法としてコントローラレイ、および視線注視による操作方法を用意する。それぞれの方法の詳細と操作手順を以下に示す。

コントローラレイは、ハンドコントローラの前部から光線のように伸びている部分（レイ）を入力操作に用いる方法である。今回は比較検証のため、視線フリックの視線入力部分をレイに置き換えたものである。

1. ボタン入力を行うと、現在の視線を中心に操作パネルが表示される（図1）。
2. レイを操作パネルに当ててからボタン入力を行うと、パネルに応じた機能を実行できる（図2）。
3. 実行後、機能を停止したい場合はボタン入力を行う。これにより1.の段階に戻る。

視線注視は、特定のオブジェクトを一定時間見続けることで入力操作を行う方法である。今回の実験では、注視する時間が0.75秒のものと1.25秒のものを用意する。

1. ボタン入力を行うと、現在の視線を中心に操作パネルが表示される（図1）。
2. 操作パネルと視線を合わせ、一定時間経過するとパネルに応じた機能を実行できる（図2）。
3. 実行後、機能を停止したい場合はボタン入力を行う。これにより1.の段階に戻る。



図1. 操作パネルが表示される様子



図2. パネルに視線を合わせる様子
(合わせている部分が赤色で表示される)

4. 評価実験

この視線入力とボタン入力を併用する操作方法の有効性の評価を行った。VR機器としてMeta Quest Proを使用する。そして、Meta Quest Proに搭載されているアイトラッキング機能を利用することでVR空間内へ視線入力の情報を反映させる。実験用アプリケーションの制作にはUnityを利用する。また、VRアプリケーション開発用キットとしてMeta XR SDKを利用する。

それぞれの操作手法について、入力にかかる時間とエラー回数、アンケートによる目の疲労度と操作のしやすさの主観評価を比較することで、視線フリック入力と従来手法にどのような特徴や優位性がみられるかを調査する。

ここで、評価項目についての定義を確認する。入力にかかる時間は、操作パネルを表示してから入力を実行するまでの秒数、エラー回数は実験中の指示と異なる操作を行った回数である。アンケートは操作のしやすさと目の疲労度について、7段階のリッカート尺度で記入してもらう。目の疲労度は（1. 疲れない～7. とても疲れる）、操作のしやすさは（1. とても簡単～7. とても難しい）の7段階である。

4.1 実験方法

実験参加者には、HMDを装着した状態で椅子に座り、操作方法にある程度慣れるまで練習をさせてから計測を行う。

計測の内容は、4方向型の操作パネルに対して、指示された方向に入力を行うというものである。参加者は方向の

指示を確認した後、操作パネルを表示させ入力を行う。これを1つの操作方法につきおよそ80回程度繰り返し、入力にかかる時間を記録する。指示と異なる方向に入力した場合は、その入力をエラー回数1回として計測する。また、アンケートは1つの操作方法が計測終了したタイミングで回答してもらい、記入完了後に次の操作方法の計測に移る。なお、順番による計測結果の偏りが発生しないようどの操作方法を何番目に体験するかは参加者ごとに变化させた。実験用アプリケーションの概観を図3に示す。

実験参加者は計5名（男性2名、女性3名、年齢は22～24歳）である。



図3. 矢印で方向の指示をしている様子

4.2 実験結果

1. 入力にかかる時間

参加者1～5番の記録を操作手法ごとに箱ひげ図にまとめた結果を以下に示す。図中の4つの箱ひげは、左から順にコントローラレイ、視線フリック、視線注視0.75秒、視線注視1.25秒の結果を表している。また、外れ値は除外しており、外れ値の定義は「第1四分位数または第3四分位数から四分位範囲×1.5以上離れた値」としている。

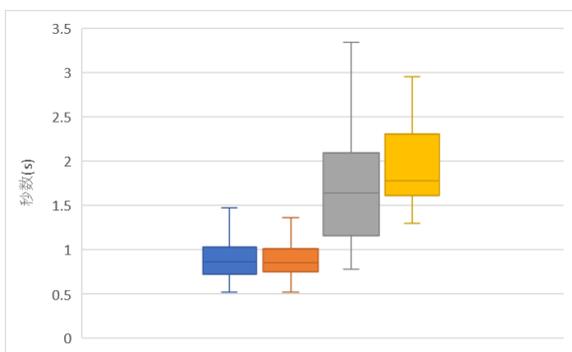


図4. 操作確定までの時間（参加者1）

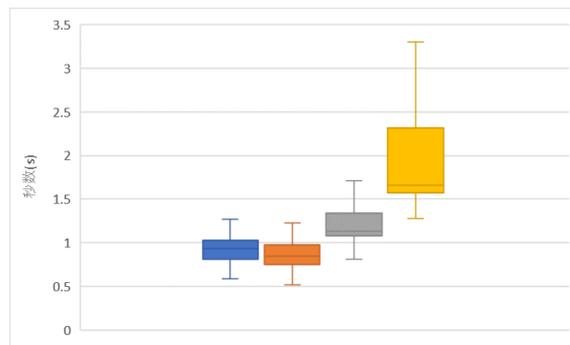


図5. 操作確定までの時間（参加者2）

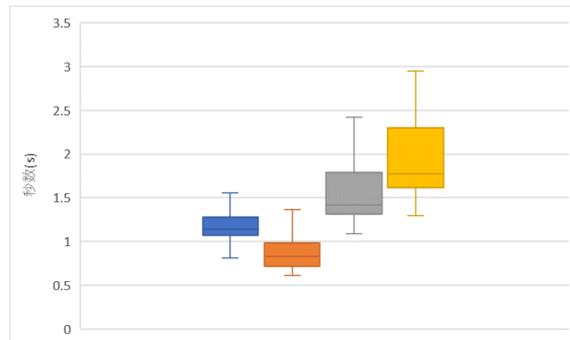


図6. 操作確定までの時間（参加者3）

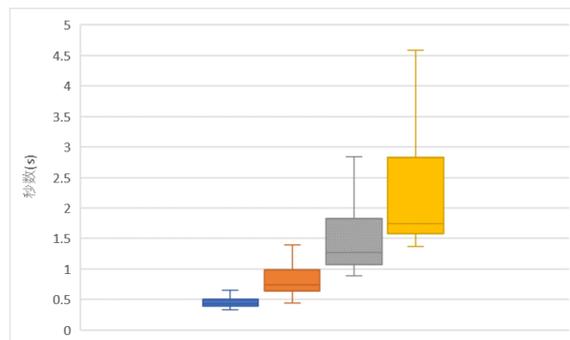


図7. 操作確定までの時間（参加者4）

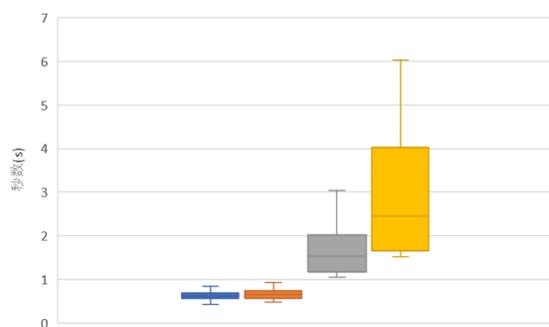


図8. 操作確定までの時間（参加者5）

2. エラー回数

エラー回数については、参加者4番が注視0.75秒にて1回操作間違いをしたときの1回のみ計測でき、それ以外の参加者はどの操作手法でも操作間違いを起こさなかった。

3. アンケート結果

参加者 1~5 番のアンケート結果を表に示す。

表 1. 目の疲労度
(1. 疲れない~7. とても疲れる)

参加者 番号	コントローラ レイ	視線 フリック	注視 0.75 秒	注視 1.25 秒
①	2	5	6	6
②	5	3	5	6
③	2	2	4	6
④	2	2	3	6
⑤	6	6	7	7

表 2. 操作のしやすさ
(1. とても簡単~7. とても難しい)

参加者 番号	コントローラ レイ	視線 フリック	注視 0.75 秒	注視 1.25 秒
①	3	1	2	4
②	2	1	1	4
③	1	2	5	5
④	3	3	3	5
⑤	1	3	4	5

4.3 評価実験の結果に関する考察

入力にかかる時間について、5人中3人（参加者 1, 2, 5 番）にはコントローラレイと視線フリックに著しい差はみられなかった。このことから、視線フリックは従来手法のコントローラレイと同じような感覚で操作ができていると考えられる。また、参加者 3, 4 番の結果からは、どちらがスムーズに操作できるかはやや個人差があることも推察できる。一方で、視線注視は他 2 つより操作に時間がかかる結果となってしまった。これは、注視する際に視線がパネルから外れてしまい、操作がやり直しになることで結果的に入力にかかる時間が多くなったことが原因であった。

アンケートの結果について、目の疲労度に関してはコントローラレイと視線フリックで同程度だとする評価が 5 人中 3 人であった。また、操作のしやすさに関してはコントローラレイと視線フリックの評価の差にややばらつきがみられるものの、1~3 の比較的的操作しやすいという評価に収まっている。これらの結果から、視線フリックは従来手法であるコントローラレイと比較して目の疲労度が同程度であり、操作のしやすさについても比較的的操作しやすい評価という点では従来手法のコントローラレイに近い感覚で操作できるシステムだと考えられる。

一方でエラー回数については、すべての操作方法において発生がほとんど無く、操作方法ごとの優位性を考察する要因にはならなかった。このような結果になった原因は、操作パネル自体が 4 方向型の簡素なつくりであったため操作がしやすく、操作方法を変えたことによる影響が現れに

くい状態であったためだと考えられる。仮説ではあるが、操作パネルの大きさや配置など、パネル側の要素を変化させることで、エラー回数に有意なデータが現われた可能性がある。

以上の考察結果をまとめると、視線フリックは従来手法のコントローラレイと比較してやや個人差はあるものの、入力にかかる時間や目の疲労度、操作のしやすさという観点から同じような感覚で操作できるシステムだと結論づけられる。

5. まとめと今後の展望

本稿では、視線入力とボタン入力を併用する VR 空間内入力インタフェースの手法を提案し、その評価を行った結果について述べた。今回の研究は、VR 空間内入力インタフェースにおける操作方法そのものの評価を行ったものであり、移動など VR 空間内での実用的な操作を含めた評価は含まれていない。そのため、メタバースなど VR 空間の実用例に近い状況を想定し、移動や物体操作のような機能を実際に扱う検証を行うことで、実用性の証明につなげる余地があるといえる。

今後の研究計画については、今回制作した入力インタフェースを VR 空間内移動システムとして利用する際の評価に焦点をあて、移動に関する操作感を含めた従来手法との違いを調査する検証実験を行う予定である。

参考文献

- [1] Meta Quest 3, <https://www.meta.com/jp/quest/quest-3/>, (最終確認 2024-12-20)
- [2] 林雅子, “メタバース・XR 技術の教育利用と国際協創—東北大学未来社会デザインプログラム第 1 回国際シンポジウム”, 東北大学出版会, 2024.
- [3] Apple Vision Pro, <https://www.apple.com/jp/apple-vision-pro/>, (最終確認 2024-12-19)
- [4] 尾瀬泰規, 秋田純一, “VR 空間内ハンズフリー入力インタフェースに視線ジェスチャを利用する手法の研究”, インタラクション 2024 論文集, 343-346, 2024.
- [5] 比嘉聖, 山田孝治, 神里志穂子, 視線・顔情報を用いた電動車いす操作における特徴量抽出, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2020-HCI-187, No.25, 1-4, 2020.
- [6] 村田朋来, 盛川浩志, 小宮山撰, VR 空間における視線入力に関する基礎的検討, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 2018-HCI-177, No.22, 1-6, 2018.
- [7] 崔明根, 視線インタフェースにおける誤選択を低減する手法に関する研究, 北海道大学大学院情報科学院博士論文, 2024.