

VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI 特性分析(6) --並列型アイジェスチャ UI のタスク指向分析--

市原瑞士¹ Christian Arzate Cruz² 夏目達也³ 橋口哲志²
柴田史久¹ 木村朝子¹

概要:我々は、注視、瞬き、ウインク、見開く、細めるという5種類のアイジェスチャに注目し、それぞれのUI特性とについて研究を行ってきた。しかしこれらのアイジェスチャを実際に利用する場合、日常生活での無意識の動作との混同や、ジェスチャの種類数の少なさが課題となる。そこで本稿では、2つのアイジェスチャを同時に行う並列型アイジェスチャに着目し、タスクに応じた並列型アイジェスチャの嗜好を調査したうえで、選ばれたアイジェスチャのUI特性について分析・考察を行った。

キーワード: HMD, VR, アイジェスチャ, 視線入力, ユーザインタフェース

Characteristic Analysis of Eye Gesture UI as a VR Space Operation Command (6) --Task-oriented Analysis of Parallel Eye Gesture UI--

MIZUTO ICHIHARA^{†1} Christian Arzate Cruz^{†2} TATSUYA NATSUME^{†3}
SATOSHI HASHIGUCHI^{†2} HUMIHISA SHIBATA^{†1} ASAKO KIMURA^{†1}

Abstract: We have focused on five types of eye gestures (gaze, blink, wink, open, and squint), and have analyzed and discussed their UI characteristics and what kind of operation they are suitable for. However, when these eye gestures are used as input, the confusion with unconscious actions in daily life and the small number of gesture types pose challenges. In this paper, we focus on parallel eye gestures, in which two eye gestures are performed simultaneously. We first investigate the preferred parallel eye gestures for each task, and then analyze and discuss the UI characteristics of the parallel eye gestures selected for each task.

Keywords: HMD, VR, eye gesture, gaze interaction, user interface

1. はじめに

VR空間におけるコマンド操作に関して、ハンドジェスチャやフィンガジェスチャ[1][2]は既に実用域に達している。同様に、このジェスチャに近い感覚で、眼球や瞼等の目の周辺の身体的動作をUIの操作コマンドとして使うこと(以下、アイジェスチャ)もできる[3][4]。

アイジェスチャは、他の身体動作やスイッチ、ボタン等のデバイスで代替できる可能性がある一方、特に片手/両手が別の用途やデバイスで塞がっている場合などでは、ハンズフリーで使える有力な操作ツールとなり得る。VRやAR/MRのような空間を体験する場合、両手両足を使うことも多く、アイジェスチャをUI操作に利用できれば、その存在意義が高まる。その反面、アイジェスチャの利用は日常の動作との誤検出や疲労などの問題も考えられる。よって、設計・実装はしても実際に使用できる技術であるかを分析することが重要である。そうしたフィージビリティ

スタディも含め、我々はアイジェスチャの体系化に取り組んでいる。

先行研究[5]では、その第1歩として、まずアイジェスチャの列挙と整理を行い、「注視」「瞬き(両目を閉じる)」「ウインク(片目を閉じる)」「見開く」「細める」の5種類の単一アイジェスチャを選定した。さらにVR空間操作を整理し、単発的な入力であるか、継続的な入力であるかという入力の観点と、その操作がON/OFF操作か値変更操作かという観点から4つのパターンに分類した。そして、この4パターンの入力操作に対して、5種類の単一アイジェスチャがどのようなUI特性を有しているのか分析した。

しかし、単一アイジェスチャの場合、日常生活での無意識の動作との混同や、ジェスチャの種類数の少なさが、実際にアイジェスチャを利用する際に課題となる。既存の目の動きを用いたインタラクション研究では、視線ジェスチャ[6][7]と顔や頭のジェスチャ[8][9]との組み合わせに焦点を当てている。視線ジェスチャを含めるアイディアは、ユーザが意図しない操作を行ってしまうミダスタッチ問題[10]を軽減することを可能にする。一方、アイジェスチャのみでミダスタッチのような誤認識を克服する方法として、我々はアイジェスチャを組合せた入力方法についても検討することとした。先行研究[11][12]では、2つのアイジェス

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 立命館グローバル・イノベーション研究機構
Ritsumeikan Global Innovation Research Organization
3 現在、日立製作所
Hitachi, Ltd.

チャを連続して行う直列型アイジェスチャと2つのアイジェスチャを同時に行う並列型アイジェスチャの UI 特性分析に取り組んだ。

これまでの研究では VR 空間操作においてどのような操作にどのような直列型アイジェスチャが適しているか分析してきた[13]。そこで、本研究では並列アイジェスチャも同様に操作に対する UI 特性を分析する。そのため、聞き取り調査と確認実験を行い、各操作に適した並列型アイジェスチャを提案する。

2. アイジェスチャの設計

2.1 単一アイジェスチャ

単一アイジェスチャは、先行研究 [3] で定義している通り、「注視」「瞬き（両目を閉じる）」「ウインク（片目を閉じる）」「見開く」「細める」の5種類とした。「注視」とは、一定位置を見続ける動作である。「瞬き」とは、両目を閉じて開く動作（本稿では一定時間両目を閉じる場合も瞬きと呼ぶ）である。「ウインク」とは、片目のみを閉じて開く動作（本稿では一定時間片目を閉じる場合もウインクと呼ぶ）である。「見開く」とは、両目を大きく開く動作である。眉を上へあげる動作と同等であり、細めると逆の動作であるといえる。「細める」とは、薄目にするような動作であり、見開くと逆の動作であるといえる。

2.2 並列型アイジェスチャ

並列型アイジェスチャとは、2つのアイジェスチャを同時に行う動作を指す。例えば、左ウインクをしながら細めるといった動作となる。つまり、1つのアイジェスチャをしている最中に別のアイジェスチャを行う連続アイジェスチャである。本研究では前者の継続的なアイジェスチャを主動作、後者のアイジェスチャを副動作と呼ぶ。並列型アイジェスチャを構成する各アイジェスチャは、5種類（注視・瞬き・ウインク・見開く・細める）の組み合わせで構成される。ただし、注視は組合せに不向きであることから除外し、ウインクは左右別のもので扱い、瞬き、左ウインク、右ウインク、見開く、細めるの5種類とした。以降、並列型アイジェスチャを本文中で示す際に、「主動作&副動作」のように&を用いて表す場合がある。例えば、見開く&左ウインクと記されている場合、それは見開くを行いながら左ウインクを行う、という並列型アイジェスチャを表す。主動作が瞬きである場合や、見開く&細めるなどの定義上不可能な組合せ、左ウインク&瞬きと左ウインク&右ウインクのように同じ動作であるものは評価の対象外とする。以上をまとめると、並列型アイジェスチャは、計12通りの組合せ方が存在する。これらは先行研究[5]をもとに設計した。また、図表中で、それぞれのアイジェスチャを、瞬きは Bk (Blink), 左ウインクは Lw (Left wink), 右ウインクは Rw (Right wink), 見開くは Op (Open), 細めるは Sq (Squint) と略して標記する場合がある。例えば、Op&Lwは

見開く&左ウインクであることを示す。

2.3 アイジェスチャによる VR 空間操作の分類

先行研究[3]において、VR アプリケーションで用いられているオブジェクト操作を分類・整理した。この結果より、アイジェスチャによる入力操作を4パターンに分類した。具体的には、並列型アイジェスチャで行う VR 空間への入力と操作を、単発的な入力であるか、継続的な入力であるかという入力の観点と、その操作が ON/OFF 操作か値変更操作かという観点を組み合わせた以下の4パターンである。

- ・実験1：単発的な入力&ON/OFF 操作（選択操作）
- ・実験2：継続的な入力&ON/OFF 操作（掴み操作）
- ・実験3：単発的な入力&値変更操作（色変更操作）
- ・実験4,5：継続的な入力&値変更操作（拡大・縮小操作）

3章の実験では、この4パターンの入力操作を評価する。

2.4 聞き取り調査

実験を行う前に、組合せアイジェスチャのやりやすさについて概要を把握するために Google フォームを用いて聞き取り調査を行った。目的は「ユーザがどのような並列型アイジェスチャを好んでいるか」を確認することである。本実験で実施する5つのタスクに対して最も適していると思う並列型アイジェスチャを、タスク間での重複なしで回答させた。なお、回答の前に、並列型アイジェスチャの説明、実験タスクの説明を十分に行っている。本聞き取り調

表1 実験対象となる並列型アイジェスチャ一覧

| 主動作 | 副動作 | 瞬き | 左ウインク | 右ウインク | 見開く | 細める |
|-------|-----|----|---------|---------|---------|-----|
| 瞬き | | | 選択, 色変更 | 選択, 色変更 | | |
| 左ウインク | | | | | 色変更, 拡大 | 縮小 |
| 右ウインク | | | | | 選択 | 縮小 |
| 見開く | | | 掴み, 拡大 | 拡大 | | |
| 細める | | | 掴み | 掴み, 縮小 | | |

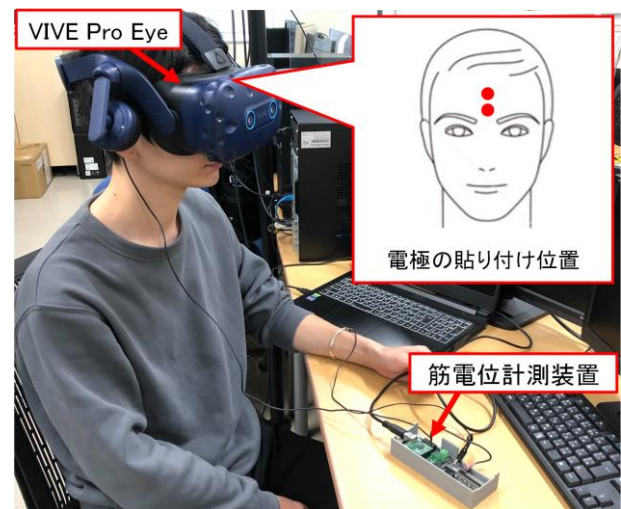


図1 システム構成

査の回答者は14名(21歳~36歳の男性14名,女性0名)であった。聴き取り調査の結果より,各タスクで実験対象となる3種類の並列型アイジェスチャを表1に示す。

3. 実験

3.1 システム構成

実験で使用するシステムの構成を図1に示す。今回, HMDであるVIVE Pro Eyeを用いてVR空間における実験環境を実装した。VIVE Pro Eyeとは, HTC社が開発・販売しているアイトラッキング機能を搭載したHMDである。また, HMDの制御や仮想物体の描画に関しては, ゲームエンジンであるUnityを用いた。また, 筋電位計測装置では, 人が見開く際に用いる筋肉である前頭筋に電極を貼りつけることによって見開く動作を検出している。

3.2 課題

実験で行う5種類の課題は先行研究[3]と同様である。実験1の課題では, 目標となる数字が描かれたオブジェクトを視線で捉えランダムに指定された並列型アイジェスチャを行い, 選択する。実験2の課題では, 目標となる数字が描かれたオブジェクトを視線で捉えランダムに指定された並列型アイジェスチャを行うことで掴み, 目標地点まで移動させる。実験3の課題では, 並列型アイジェスチャで正面に配置されたオブジェクトの色を切り替え, 目標の色になるまで変更する。実験4の課題では, 並列型アイジェスチャの第2動作を行い続けることで立方体を目的の大きさになるまで拡大させる。最後に実験5の課題では, 並列型アイジェスチャの第2動作を行い続けることで立方体を目的の大きさになるまで縮小させる。

以上のタスクを, 1回の成功を1試行としてカウントし, 各並列型アイジェスチャにつき3試行を行い, その後主観評価に回答させた。また, 実験開始前に視線位置と筋電位閾値のキャリブレーション, アイジェスチャの練習を行った。

3.3 手順

各課題で評価する入力方法は, 2.4の聴き取り調査の結果をもとに選定した並列型アイジェスチャ3種類である。実験には著者らが所属する大学の学生15名(20歳~23歳の男性11名,女性4名)が参加した。客観的な指標として平均作業時間と平均エラー回数, 主観的な評価指標として容易性, 学習容易性, 疲れにくさ, 適合性, 好みの5項目, そして順位付けから各入力方法を評価・分析する。順位付けは, 各実験において体験した3種類の入力方法を総合的に判断して, 各タスクに適していると思う順に順位を付けさせた。主観評価は非常に悪いを「1」, 非常に良いを「7」とした7段階のリッカート尺度で評価する。また, 実験1~実験5はカウンターバランスをとっている。実験終了後に別途自由コメントを聴取した。

(1) 参加者毎にVIVE Pro Eyeを用いたアイトラッキングのキャリブレーションと, 筋電位の設定を行う

- (2) 実験1~実験5から行う実験を決定する
- (3) アイジェスチャと実験タスクの練習を行わせる
- (4) 体験させる入力方法をランダムに決定し, 入力方法の練習を行わせる
- (5) 実験タスクを同一の入力方法で3回行わせる
- (6) 入力方法に対する5項目の主観評価に回答させる
- (7) 残りの入力方法についても手順(3)~(6)を繰り返す
- (8) 各実験終了後, 順位付けに回答させる
- (9) 残りの実験についても手順(2)~(8)を繰り返す

3.4 結果・考察

図2, 3, 4, 5, 6はそれぞれ各実験の結果を示したグラフで, 図中の棒グラフを平均値, 図中のエラーバーに標準誤差, 横軸に入力方法を示す。また, 入力方法(並列型アイジェスチャ:3水準)に対して1要因参加者内分散分析を行った結果, 条件間に有意な差が得られたデータに対して, 入力方法間における有意差を確認するため, 下位検定としてRyan法による多重比較を行い, 有意な差異があったペアを図中で示す。

以下, 各操作それぞれの観点から分析, 考察する。評価項目の中でも「順位付け」は, 実験参加者が容易性・適合性・疲れにくさ・好みの全ての要素を総合して判断しているため, 最も重要な評価項目であると考えられる。そのため, 順位付けの結果を主軸に考察を行う。

【実験1: 選択タスク】

実験1の結果から, 選択タスクに適している並列型アイジェスチャを考察する。1位に選ばれた数が最も多い並列型アイジェスチャは, 同率で左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬き(7/15人)であった。さらに左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬きは評価項目でも高く評価されていた。具体的には, 容易性・適合性・疲れにくさ・好みの項目において左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬きと見開く&右ウインクとの間に有意差を確認した。容易性に関しては, 副動作瞬きが日常的に, かつ無意識に行っており慣れている動作であるため入力が容易であったことが高評価に繋がったと考えられる。適合性に関しては, 副動作瞬きが高評価であった。実験後のコメントで「瞬きにON/OFFのイメージがある」「副動作瞬きはシャッターを切っている感じがあるためやりやすかった」といった意見があり, 選択というタスクに直観的であったと考えられる。疲れにくさに関しては, 副動作瞬きが日常的な動作であるために疲れにくいことが高評価に繋がったと考えられる。最後に, 好みに関しても左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬きが他の手法より有意に高評価であった。この2つの手法は容易性・適合性・疲れにくさも同様に高評価であったため, 総合的な評価である好みにおいても同様の結果になったと考えられる。

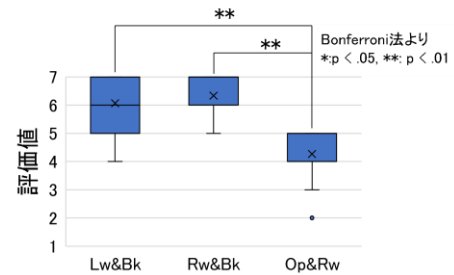
また, 左ウインク&瞬きと右ウインク&瞬きを比較すると, 全ての評価項目で有意差がなく, 順位付けでも同率で1位であった。両者に明確な差はないため, どちらが適し

ているのかは個人の好みによると思われる。また、個人の好みを考慮するにあたり、本実験の参加者の利き目と得意なウイंकに関係があるのかを調査した。これは、ウイंकをする際に、利き目の視野を維持するために利き目と逆の目でウイंकをするのではないかと考え、これを検証することが目的である。調査結果を表2に示す。結果から、左目が利き目である人が7人、左目が利き目である人が8人とほぼ同数であるが、左ウイंकが得意な人は10人、右ウイंकが得意な人は5人と2倍の差があることが分かる。このことから、実験2においては利き目と得意なウイंकには相関がないと考えられる。従って左ウイंक&瞬きと右ウイंक&瞬きのどちらがより選択タスクに適しているのかは、個人の利き目には関係がなく、実際に体験した上での個人の好みによると考えられる。

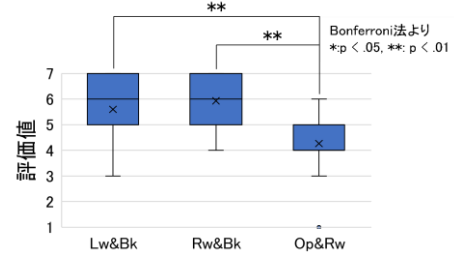
最後に、実験1において、1位に選ばれた数が最も少ない並列型アイジェスチャは、見開く&右ウイंक(1/15人)であった。さらに、有意差が見られたすべての評価項目で、見開く&右ウイंकは低評価だった。これは、他の並列型アイジェスチャと比較すると見開く動作時の負担が要因であると考えられる。例えば、目を見開く際に重いHMDを持ち上げる必要があることや、見開くの認識に筋電位を使用しているため前頭筋に込めた力が抜けるまでに時間がかかることが原因として考えられる。一方で、実験参加者の1人から1位に選ばれている。これは見開くというアイジェスチャが、瞬き、ウイंक、細めるなど他のアイジェスチャと比べて、目の閉眼度合いに依存しない入力である。そのため、誤認識が少なかったことが理由として考えられる。

【実験2：掴みタスク】

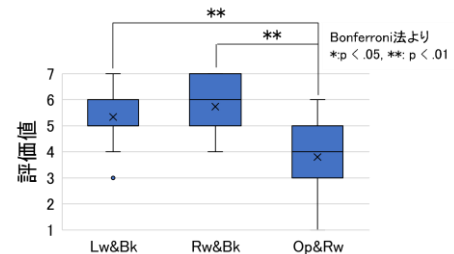
実験2の結果から、掴みタスクに適している並列型アイジェスチャを考察する。まず、実験2において、1位に選ばれた数が最も多い並列型アイジェスチャは、左ウイंक&細める(7/15名)であった。左ウイंक&細めるの評価が高くなった理由としては、副動作細めるが副動作見開くに比べ疲れにくいことが考えられる。これは、疲れにくさに関して、左ウイंक&細めると左ウイंक&見開くの間有意差は確認されなかったが、「見開くを長時間続けるのが大変である」といったコメントが複数得られたことから判断した。一方で、一部の実験参加者からは「副動作細めるが副動作見開くに比べ視線がブレやすい」といったコメントが得られた。つまり左ウイंक&細めるは左ウイंक&見開くに比べ、疲れにくいが見線がブレやすい入力方法であると考えられる。また、このような特性を持つ左ウイंक&細めるが掴みタスクにおいて最も好まれたことから、実験2の実験参加者は視線のブレよりも疲れやすさの方をデメリットとしてより強く意識していた可能性がある。掴みタスクでは、視線が目標地点に吸い付くように実験システム側で補正をかけているため、ある程度の視線のブレは許



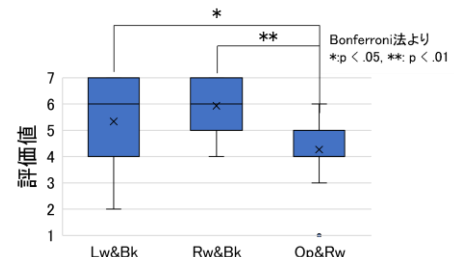
(a) 容易性



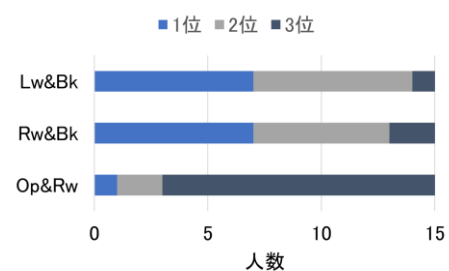
(b) 適合性



(c) 疲れにくさ



(d) 好み



(e) 順位付け

図2 実験1の結果

容されている。一方で、実験2で使用したタスクよりも対象物が多い場合や、細かい視線情報が必要になる際には、左ウイंक&細めるよりも左ウイंक&見開くの方が好まれる可能性は考えられる。ただし、視線を用いてUIを操

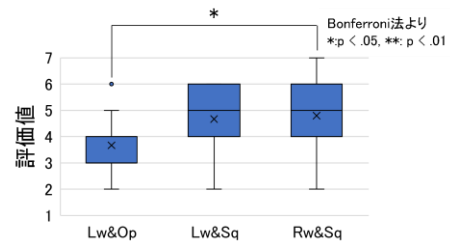
作するアプリケーションなどでは、本システムのように視線のブレの影響を低減させるための工夫(対象に吸い付く、対象物同士の距離をあけるなど)がなされていることが多い。そのため、実験2の結果及び考察は、VR空間操作コマンドとしてアイジェスチャを採用する際に十分に活用できるものであると考えている。

次に、実験2において、1位に選ばれた数が2番目に多い並列型アイジェスチャは、右ウインク&細める(5/15名)であった。これは表2からも分かるように、本実験の参加者15名中左ウインクが得意な人が10名と約7割を占めていた。これによって左ウインク&細めるの方が右ウインク&細めるより好まれたため、右ウインク&細めるが2位になったと考えられる。順位付けでは上記のような結果となったが、他の評価項目では、同等、もしくは右ウインク&細めるの方が左ウインク&細めるよりも高評価である評価項目が複数見られた。特に疲れにくさに関しては、左ウインク&細めると左ウインク&見開くの間には有意差は確認されなかったが、右ウインク&細めると左ウインク&見開くの間には有意差が確認された。従って、右ウインク&細めるは順位付けでは2位であるが、左ウインク&細めると同程度に掴みタスクに適していると言える。

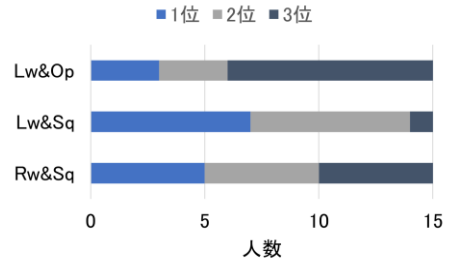
最後に、実験2において、1位に選ばれた数が最も少ない並列型アイジェスチャは、左ウインク&見開く(3/15人)であった。これは実験1と同様に、他の並列型アイジェスチャと比較すると見開く動作時の負担が要因として考えられる。一方で、実験参加者の3人から1位に選ばれている。これは、左ウインク&見開くが左ウインク&細めると右ウインク&細めるに比べ、視線がブレにくいことが理由として考えられる。左ウインク&細めると右ウインク&細めるは片目を閉じた状態で残りの片目を細めるため、視線情報を取得することが困難である。これらのジェスチャは視線が特にブレやすいため、視線がブレにくい左ウインク&見開くを好んだ可能性がある。

【実験3：色変更タスク】

実験3の結果から、今回の色変更タスクに適している並列型アイジェスチャを考察する。まず、実験3において、1位に選ばれた数が最も多い並列型アイジェスチャは、左ウインク&瞬き(9/15名)であった。さらに、有意差が見られたすべての評価項目で、左ウインク&瞬きは高く評価されていた。具体的には、容易性・学習容易性・適合性・疲れにくさ・好みの項目において左ウインク&瞬きと見開く&左ウインクの間には有意差を確認した。容易性に関しては、副動作瞬きが日常的に、かつ無意識に行っており慣れている動作であるため入力が容易であったことが高評価に繋がったと考えられる。適合性に関しては、副動作瞬きが高評価だった。実際に参加者から「瞬きで色を変えるイメージがあり、さらに繰り返しの向いている」「回数が多いため他タスクに比べ、特に瞬きが楽」といった意見があった。その



(a) 疲れにくさ



(b) 順位付け

図3 実験2の結果

表2 利き目とウインクの関係

| 得意なウインク | 利き目 | | |
|---------|-----|----|----|
| | 左目 | 右目 | 合計 |
| 左ウインク | 4 | 6 | 10 |
| 右ウインク | 3 | 2 | 5 |
| 合計 | 7 | 8 | 15 |

ため、色変更という何度も繰り返し行うタスクに直観的であったと考えられる。疲れにくさに関しては、副動作瞬きが日常的な動作であるために疲れにくいことが高評価に繋がったと考えられる。最後に、好みに関しては容易性・学習容易性・適合性・疲れにくさ・好みと、すべての評価項目で左ウインク&瞬きが高評価であったため、総合的な評価項目である好みにおいても高評価になったのではないかと考えられる。

次に、実験3において、1位に選ばれた数が2番目に多い並列型アイジェスチャは、右ウインク&瞬き(5/15名)であった。これは実験2の結果と同様に、本実験の参加者15名中左ウインクが得意な人が10名と約7割を占めており、これによって左ウインク&瞬きの方が右ウインク&瞬きより好まれたため、右ウインク&瞬きが2位になったと考えられる。一方で、実験3では左ウインク&瞬きと右ウインク&瞬きの主観評価の評価値に有意差はないが、実験1、2など他の実験結果に比べ、比較的差を生じた。具体的には、適合性・疲れにくさ・好みの評価項目において、右ウインク&瞬きの評価が低くなっている。

具体的には、左ウインク&瞬きと見開く&左ウインクの間には $p < 0.01$ の有意差が確認された一方で、3つの評価項目(適合性・疲れにくさ・好み)で右ウインク&瞬きと見

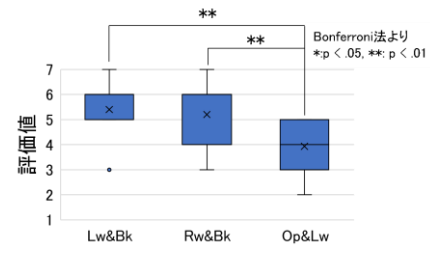
開く&左ウインクの間には $p < 0.05$ の有意差, もしくは有意差が確認されなかった. これは, 色変更タスクが何回もアイジェスチャを繰り返すタスクであるという特性上, 慣れない左ウインクを繰り返したことが原因として考えられる.

最後に, 実験 3 において, 1 位に選ばれた数が最も少ない並列型アイジェスチャは, 見開く&左ウインク(1/15 人)であった. これは実験 1, 2 と同様に, 見開く動作時の負担が要因として考えられる. また, 色変更タスクが何回もアイジェスチャを繰り返すタスクであるという特性上, 他の実験よりも疲労感に差が生じたことも評価が低くなった原因であると考えられる. 一方で, 実験参加者の 1 人から 1 位に選ばれている. これは, 目の閉眼度合いを調整するのが苦手な人にとっては, 主動作・副動作ともに目の閉眼度に依存する左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬きよりも, 副動作のみに目の閉眼度に依存する見開く&左ウインクの方が, 入力が容易であったことが理由として考えられる. 実際にコメント聴取では「見開く&左ウインクは疲れるが入力が簡単であるため好ましい」といった意見が得られた. 以上から, 見開く&左ウインクは全体的に低評価であるが, 目の閉眼度合いを調整するのが苦手な人など一部の人にとっては, 左ウインク&瞬き, 右ウインク&瞬きよりも好まれる可能性が示唆された.

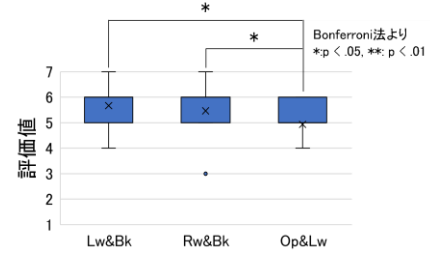
【実験 4: 拡大タスク】

実験 4 の結果から, 今回の拡大タスクに適している並列型アイジェスチャを考察する. まず, 実験 4 において, 1 位に選ばれた数が最も多い並列型アイジェスチャは, 見開く&左ウインク(9/15 名)であった. さらに, 有意であったすべての評価項目で, 見開く&左ウインクは高く評価されていた. 具体的には, 容易性・好みの項目において左ウインク&見開くと見開く&左ウインク, 右ウインク&見開くと見開く&左ウインクの間有意差を確認した. 容易性に関しては, 見開く&左ウインクが副動作のみ左右の目で異なる動作を行う動作である. そのため, 左ウインク&見開くと見開く&左ウインクよりも容易性が高く評価されたと考えられる. 好みに関しては, 容易性・学習容易性・適合性・疲れにくさ・好みと, 主観評価における全ての項目で見開く&左ウインクが高評価であったため, 総合的な評価項目である好みにおいても高評価になったと考えられる.

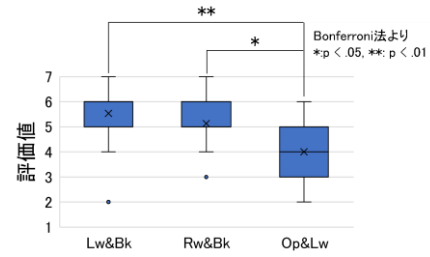
次に, 実験 4 において, 1 位に選ばれた数が 2 番目に多い並列型アイジェスチャは, 右ウインク&見開く(4/15 名)であった. これは, 主動作がウインクであるものは, 片目を閉じるというアイジェスチャの特性上, 主動作, 副動作ともに左右の目で異なる動作を行わなければならない. よって, 右ウインク&見開くの容易性が低く評価されたと考えられる. また, 実験 4 では 2.4 で実施した聴き取り調査の順位と異なる順位付けの結果になった. これは, 聴き取り調査の段階では, 「見開いている間, 拡大される」という操作が直観的であると感じたため高評価であった. しかし,



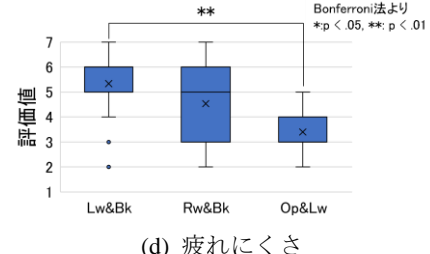
(a) 容易性



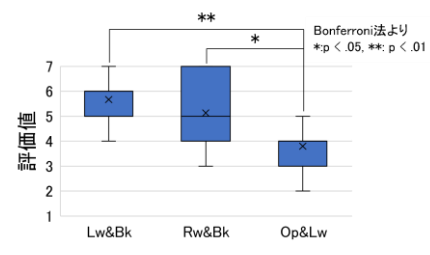
(b) 学習容易性



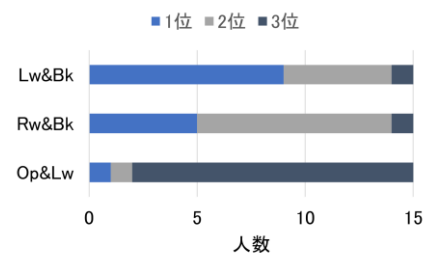
(c) 適合性



(d) 疲れにくさ

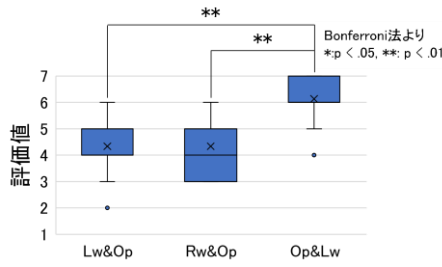


(e) 好み

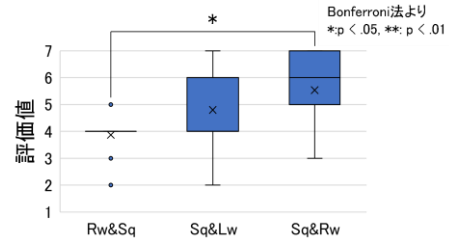


(f) 順位付け

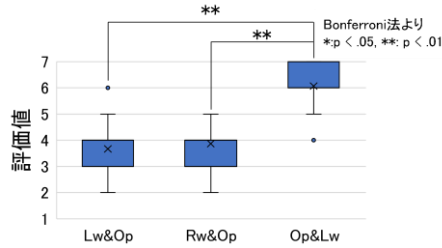
図 4 実験 3 の結果



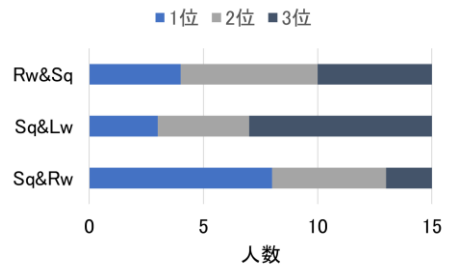
(a) 容易性



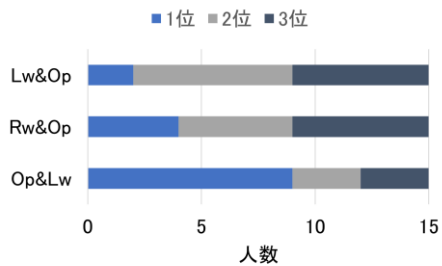
(a) 好み



(b) 好み



(b) 順位付け



(c) 順位付け

図5 実験4の結果

図6 実験5の結果

実験4の段階では、左ウインク&見開くの入力を難しいと感じたため低評価になったことが理由として考えられる。

最後に、実験4において、1位に選ばれた数が最も少ない並列型アイジェスチャは、左ウインク&見開く(2/15人)であった。これは、右ウインク&見開くと同様に、主動作がウインクであるものは、片目を閉じるというアイジェスチャの特性上、主動作、副動作ともに左右の目で異なる動作を行わなければならない。よって、左ウインク&見開くの容易性が低く評価されたのではないかと考えられる。また、右ウインク&見開くと左ウインク&見開くの結果を比較すると、全ての項目において有意差はみられなかった。つまり、実験4においては1位に選ばれた数が最も多い見開く&左ウインクが特出して好まれており、右ウインク&見開くと左ウインク&見開くは同程度の評価であることが分かる。右ウインク&見開くと左ウインク&見開くのどちらがより適しているのかは実際に体験した上での個人の好みによると考えられる。(トル?)

【実験5：縮小タスク】

実験5の結果から、今回の縮小タスクに適している並列型アイジェスチャを考察する。実験5は他の実験に比べ入力方法間での主観評価の有意差がほとんどみられなかった。

唯一、有意差があった好みについても、右ウインク&細めると細める&右ウインクとの間に $p < 0.05$ の有意差しか確認されなかった。従って、実験5では並列型アイジェスチャ間で評価に大きな差はなく、好みがバラついていると考えられる。また、実験5では2.4で実施した聴き取り調査の順位と異なる順位付けの結果になった。これは、聴き取り調査の段階では、「細めている間、縮小される」という操作が直観的であると感じたため右ウインク&細めるが高評価であったが、実験5の段階では、右ウインク&細めるの入力を難しいと感じたため低評価になったことが理由として考えられる。これらの結果を踏まえ、実験5における各並列型アイジェスチャについて考察する。

まず、実験5において、1位に選ばれた数が最も多い並列型アイジェスチャは、細める&右ウインク(8/15名)であった。これは、細める&右ウインクが副動作のみ左右の目で異なる動作を行う動作である。そのため、右ウインク&細めるよりも入力が容易であることが理由として考えられる。容易性において有意差は確認されなかったが、右ウインク&細めるの平均値が3.87であるのに対して、細める&右ウインクの平均値は5.00であり、細める&右ウインクが比較的容易な入力方法であることが分かる。また、好みに関して細める&右ウインクと右ウインク&細めるの間に有意差が確認された。これは、主観評価における全ての項目で細める&右ウインクが高評価であったため、総合的な評価項目である好みにおいても高評価になったのではないかと考えられる。

次に、実験5において、1位に選ばれた数が2番目に多い並列型アイジェスチャは、右ウインク&細める(4/15名)であった。これは、主動作がウインクであるものは、実験

4の結果でもあったように片目を閉じるアイジェスチャの操作から、容易性が低く評価されたのではないかと考えられる。一方で、実験4の結果とは異なり、主動作がウインクである右ウインク&細めるが2位になったのは、細める&右ウインク、細める&左ウインクが実験4の見開く&左ウインクほど容易性が高くないことが理由として考えられる。実際に実験5では容易性に関して入力方法間に有意差は認められず、コメント聴取でも「どの並列型アイジェスチャも容易性は同程度であったため、直観的であると感じた右ウインク&細めるを好んだ」といった意見が得られた。

最後に、実験5において、1位に選ばれた数が最も少ない並列型アイジェスチャは、細める&左ウインク(3/15人)であった。これは、容易性・学習容易性・適合性・疲れにくさ・好みと、主観評価における全ての項目で細める&左ウインクが細める&右ウインクよりも低評価であったことが理由として考えられる。しかし、本項の冒頭でも述べたように、他の実験に比べ入力方法間での主観評価の有意差がほとんど確認されておらず、順位付けに関しても2位の右ウインク&細めると1票差であり、好みバラついていると考えられる。従って、実験5においては順位付けにおいては細める&右ウインクが最も好まれているが、他の評価項目においては右ウインク&細めると細める&左ウインクと同程度の評価である。そのため、どの並列型アイジェスチャがより適しているのかは実際に体験した上での個人の好みによると思われる。

【各操作に適した並列型アイジェスチャ】

以上の結果と考察から、各操作に適した並列型アイジェスチャは表3のようになる。

4. むすび

本研究では、VR空間における各操作に対して、どのような並列型アイジェスチャが好まれるか調査を行い、それらが各操作に適しているかの確認を行った。まず、並列型アイジェスチャの定義と整理を行い、並列型アイジェスチャのやりやすさに関する聴き取り調査を行った。その結果から、それらの並列型アイジェスチャが各操作に適しているかを評価する実験を実施し、各操作に適した並列型アイジェスチャを提案した。実験では、VR空間における操作として選択、掴み、色変更、拡大、縮小の5つをタスクとして設定した。実験結果より、各並列型アイジェスチャを総合的に判断して順位付けさせた結果を順位ごとに分析・考察した結果、選択には右ウインク&瞬き、掴みには左ウインク&細める、色変更には左ウインク&瞬き、拡大には見開く&左ウインク、縮小には細める&右ウインクが適することが示唆された。今後の展望として、単一・直列型・並列型アイジェスチャの3種類の中のどのアイジェスチャが各操作に適しているのか明らかになっていないため、それぞれから複数種類を抽出し実験を行うことで、より各操

表3 各操作に最も適した並列型アイジェスチャ

| 操作内容 | 並列型アイジェスチャ |
|------|------------|
| 選択 | 右ウインク&瞬き |
| 掴み | 左ウインク&細める |
| 色変更 | 左ウインク&瞬き |
| 拡大 | 見開く&左ウインク |
| 縮小 | 細める&右ウインク |

作に適しているアイジェスチャを確認することができると考えられる。

参考文献

[1] J. S. Pierce, B. C. Stearns, and R. Pausch: "Voodoo dolls: seamless interaction at multiple scales in virtual environments," Proc. symposium on Interactive 3D graphics, pp.141 - 145, 1999.

[2] F. Tecchia, G. Avveduto, R. Brondi, M. Carrozzino, and M. Bergamasco: "I'm in VR!: using your own hands in a fully immersive MR system," Proc. Virtual Reality Software and Technology, pp. 73 - 76, 2014.

[3] M. Vidal, A. Bulling, and H. Gellersen: "Pursuits: spontaneous interaction with displays based on smooth pursuit eye movement and moving targets," Proceedings of the 2013 ACM international conference on Pervasive and ubiquitous computing, 2013.

[4] K. Masai, K. Kunze, D. Sakamoto, Y. Sugiura, and M. Sugimoto: "Face Commands-User-Defined Facial Gestures for Smart Glasses," 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2020.

[5] 夏目達也, 内村裕也, 柴田史久, 木村朝子: "VR空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI特性分析 (1)~単一アイジェスチャの特性分析~", 第192回HCI研究会, 2021.

[6] D. Pedrosa, M. D. G. Pimentel, A. Wright, and K. N. Truong. Filteredyping: "Design challenges and user performance of dwell-free eye typing," ACM Transactions on Accessible Computing, 6(1):1-37, 2015.

[7] X. Zhang, H. Kulkarni, and M. R. Morris: "Smartphone-based gaze gesture communication for people with motor disabilities," In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 2878-2889, 2017.

[8] T. Piumsomboon, G. Lee, R. W. Lindeman, and M. Billinghurst: "Exploring natural eye-gaze-based interaction for immersive virtual reality," In 2017 IEEE symposium on 3D user interfaces, pp. 36-39, 2017.

[9] D. Rozado, J. Niu, and M. Lochner: "Fast human-computer interaction by combining gaze pointing and face gestures," ACM Transactions on Accessible Computing, 10(3):1-18, 2017.

[10] R. J. K. Jacob: "The use of eye movements in human-computer interaction techniques," what you look at is what you get. ACM Transactions on Information Systems, 9(2):152-169, 1991.

[11] 後藤健太, 柴田史久, 木村朝子: "VR空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI特性分析 (2)~直列型アイジェスチャの特性分析~", 第192回HCI研究会, 2021.

[12] 夏目達也, 柴田史久, 木村朝子: "VR空間操作コマンドとしてのアイジェスチャ UI特性分析 (4)~並列型アイジェスチャの特性分析~", 第196回HCI研究会, 2021.

[13] C. A. Cruz, N. Tatsuya, M. Ichihara, F. Shibata, and A. Kimura: "Sequential Eyelid Gestures for User Interfaces in VR," Proc. 2023 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, pp. 717 - 718, 2023.