

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 (5) --タスク指向での直列型アイジェスチャ UI 特性分析--

市原瑞士*1 Christian Arzate Cruz*2 夏目達也*3 柴田史久*1 木村朝子*1

Characteristic Analysis of Eye Gesture UI as a VR Space Operation Command (5)

--Task-oriented analysis of Sequential Eye Gesture UI characteristic--

Mizuto Ichihara*1 Christian Arzate Cruz*2 Tatsuya Natsume*3
Fumihisa 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 sequential eye gestures, in which multiple eye gestures are performed in succession. We first investigate the preferred sequential eye gestures for each task, and then analyze and discuss the UI characteristics of the sequential 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。このジェスチャに近い感覚で、眼球や眼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）ができる。

このアイジェスチャは、他の身体動作やスイッチやボタン等の器具で代替できる可能性がある。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、ハンズフリーで使えるアイジェスチャは有力な操作ツールとなる。また、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、アイジェスチャでの UI 操作は存在意義が高い。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は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着手することにした。

先行研究[3]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について分析を行った。また VR 空間操作を抽象化して整理を行い、アイジェスチャによる操作を大きく分けて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

操作かという観点によって4つのパターンに分類した。その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にどのような UI 特性があり、どのような操作に適しているのかを分析した。

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。そこで先行研究[4]-[6]では、複数のアイジェスチャを組み合わせた組合せアイジェスチャである、2つのアイジェス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は明らかになっていない。そこで、本研究では VR 空間における各操作に対してどのような直列型アイジェスチャが好まれるかについてユーザ調査を行うとともに、実際にそれらのアイジェスチャが各操作に適しているかの確認実験を行い、各操作に適した直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。眉を上にあげる動作と同等であり、細めると逆の動作である

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究所

*2: 立命館グローバル・イノベーション研究機構

*3: 現在、日立製作所

*1: Graduate School of Information Sci. and Eng., Ritsumeikan University

*2: Ritsumeikan Global Innovation Research Organization

*3: Hitachi, Ltd.

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 直列型アイジェスチャ

直列型アイジェスチャとは、2つのアイジェスチャを連続して行う動作を指す。言い換えると、あるアイジェスチャをし終えた後、直ぐにあるアイジェスチャを行う連続アイジェスチャである。例えば、左ウインクをした後に右ウインクをするといった動作を指す。本研究では前者のアイジェスチャを第1動作、後者のアイジェスチャを第2動作と呼ぶ。直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として扱い、瞬き、左ウインク、右ウインク、見開く、細めるの5種類から成るものとした。よって、直列型アイジェスチャは、第1動作、第2動作が各5種類のため計25通りの組合せ方が存在する。これらは先行研究[4]をもとに設計した。

以降、直列型アイジェスチャを本文中で示す際に、「第1動作→第2動作」のように矢印を用いて表す場合がある。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→Bkは見開く→瞬きであることを表している。

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、直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 聴き取り調査

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フォームを用いて聴き取り調査を行った。目的は「ユーザがどのような直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直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、直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。本聴き取り調査の回答者は16名（21歳～35歳の男性14名、女性2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

表1 実験対象となる直列型アイジェスチャ一覧

Table 1 List of Sequential Eye Gestures Used in Experiments

第1動作 \ 第2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		選択	
左ウインク	掴み, 色変更 縮小				
右ウインク	掴み, 拡大	色変更			
見開く	拡大			拡大	
細める	掴み, 縮小				縮小

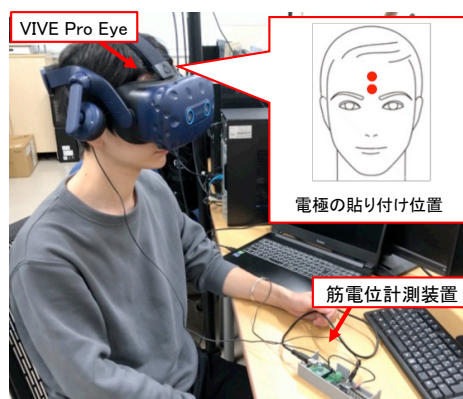


図1 システム構成

Fig.1 System Configuration

となる3種類の直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直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直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、直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、直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、直列型

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、各直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直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17名(21歳~36歳の男性12名、女性5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。

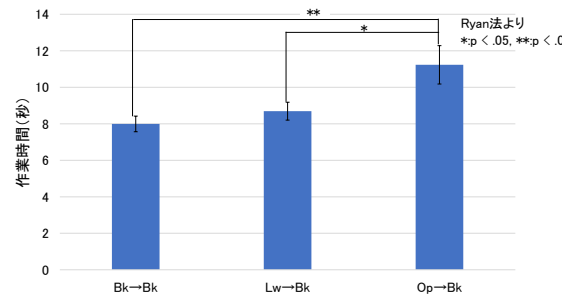
- (1) 参加者毎に VIVE Pro Eye を用いたアイトラッキングのキャリブレーションと、筋電位の設定を行う
- (2) 実験1~実験5から行う実験を決定する
- (3) アイジェスチャと実験タスクの練習を行わせる
- (4) 体験させる入力方法をランダムに決定し、入力方法の練習を行わせる
- (5) 実験タスクを同一の入力方法で3回行わせる
- (6) 入力方法に対する5項目の主観評価に回答させる
- (7) 残りの入力方法についても手順(3)~(6)を繰り返す
- (8) 各実験終了後、順位付けに回答させる
- (9) 残りの実験についても手順(2)~(8)を繰り返す

3.4 結果・考察

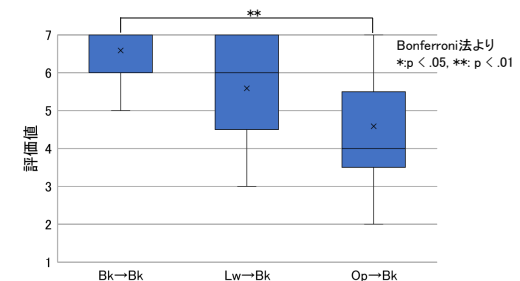
図2, 3, 4, 5, 6はそれぞれ各実験の結果を示したグラフで、図中の棒グラフは平均値を表し、図中のエラーバーは標準誤差を表す。また、横軸は入力方法を表している。また、入力方法(直列型アイジェスチャ:3水準)に対して1要因参加者内分散分析を行った結果、条件間に有意な差が得られたデータに対して、入力方法間における有意差を確認するため、下位検定として Ryan 法による多重比較を行い、有意な差異があったペアを図中で示している。

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。

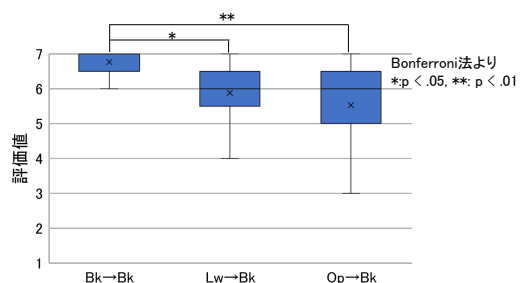
【実験1:選択タスクの結果】実験1の結果から、今回の選択タスクにおける各直列型アイジェスチャの順位について確認する。1位として最も多く選ばれた直列型アイジェスチャ



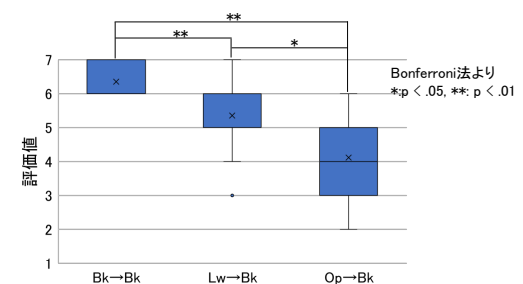
(a) 平均作業時間



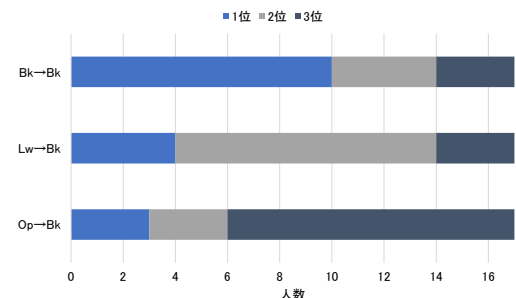
(b) 容易性



(c) 学習容易性



(d) 疲れにくさ



(e) 順位付け

図2 実験1の結果

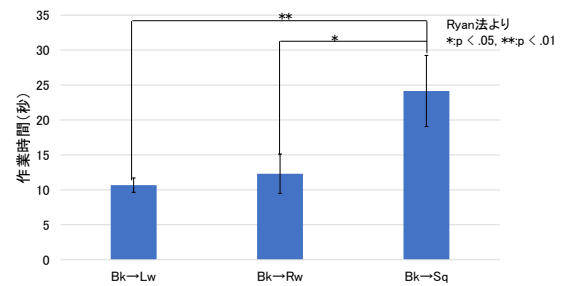
Fig.2 Results of Experiment 1

ャは、瞬き→瞬き (10/17 人) であった。これは、他の組合せと比較して、図 2 より、客観的評価である平均作業時間や主観評価である容易性・学習容易性・疲れにくさの多くの項目において有意差が認められたためであると考えられる。実際に実験後のコメント聴取において「瞬きは左ウインクや見開くと比較すると最も簡単で素早く行えた」といったコメントが多くあった。また、「選択にはマウスのダブルクリックのイメージがある」というコメントより、PC を日常的に用いる人は、ダブルクリックが選択であるというアフォーダンスを持ち合わせていることがわかる。これより、瞬き→瞬きは、他のアイジェスチャと比較して簡単かつ、素早く行え、マウスのダブルクリックに近い同じ動作の繰り返しであることから、直観的であるため最も多く選ばれたと考える。

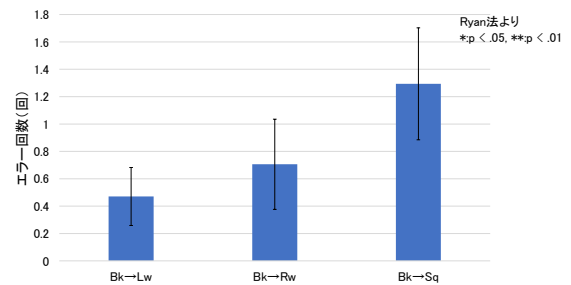
次に、2 番目に多く 1 位として選ばれたのは、左ウインク→瞬き (4/17 人) であった。これは、平均エラー回数が最も少ないことや好みの評価が高かったことが原因として考えられる。また、「瞬き→瞬きよりも意図して選択しているという感じがある」というコメントがあった。このことから、瞬き→瞬きの場合、意図せず連続して瞬きをした場合にも入力として認識されてしまうのに対し、意図せずウインクを行う人は少ないと考えられるため第 1 動作が左ウインクであるこのアイジェスチャが選ばれたと考える。また、左ウインク→瞬きよりも瞬き→瞬きが多く選ばれたのは、ウインクのやりやすさが要因であると考えられる。ウインクは人によって得意不得意が非常に顕著に表れ、今回の実験参加者にはウインクが得意な人が少なかったため、1 位として選ばれた数が少なかったと考えられる。

最後に、1 位として選んだ人が最も少なかったのは、見開く→瞬き (3/17 人) であった。これは、他の組合せと比較すると見開くという動作が目を見開く際に重い HMD を持ち上げる必要があることや、前頭筋に込めた力が抜けるまでに時間がかかることで直列型アイジェスチャ自体の時間が長くなることが原因として考えられる。しかし、左ウインク→瞬きと同様に第 1 動作が見開くだと意識して目を見開かない限り認識されないことが直列型アイジェスチャのトリガーの役割としては好まれ、1 位として選ばれたと考えられる。

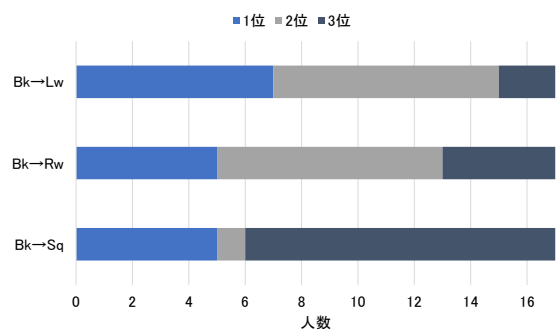
【実験 2: 掴みタスクの結果】 実験 2 の結果から、今回の掴みタスクにおける各直列型アイジェスチャの順位について確認する。1 位として最も多く選ばれた直列型アイジェスチャは、瞬き→左ウインク (7/17 人) であった。これは、図 3 より、平均作業時間が最も短かったことや平均エラー回数が最も少なかったことが原因として考えられる。また、第 2 動作として右ウインクではなく左ウインクが選ばれた理由としては、利き目が右の人が多かったため、立方体を掴んで移動させる際に、視線が調整しやすく見やすい利き目を開けていられることが要因として考えられる (利き目



(a) 平均作業時間



(b) 平均エラー回数



(c) 順位付け

図 3 実験 2 の結果

Fig.3 Results of Experiment 2

が右 : 10 人, 左 : 7 人)。加えて、「細めるが難しい」「細めるは視線がブレる」というコメントが多くあった。これは、日常的に目を細めるといった動作をする機会が少なく慣れていない人にとっては、目の開き具合を調整することが難しいことや目を細めることによりセンサで視線情報が取得しづらくなる結果として視線がブレることが原因であると考えられる。他にも、今回のタスクは立方体を掴んだ後に目標の場所まで移動させる際に顔を動かす必要があり、その際にセンサが捉える目の状態が変化してしまうことで、細めるといふジェスチャとして認識されなくなってしまうことがあった。そのため、このような結果になったと考えられる。

次に、2 番目に多く 1 位として選ばれたのは、瞬き→右ウインクと瞬き→細めるであった (5/17 人)。まず、瞬き→右ウインクについて確認する。このアイジェスチャは上述のものと同様に、利き目が左の人が対象の物体を左目で見ることができることが要因で選ばれたと考えられる。また、

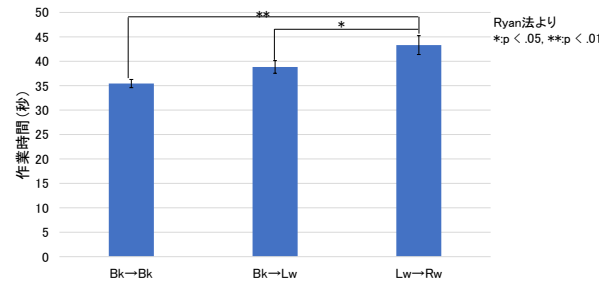
左ウインクよりも右ウインクの方が少ないのは実験参加者に利き目が右のほうが多かったからであると考えられる。

次に、瞬き→細めるについて確認する。実験後のコメント聴取において、「移動させる対象を両目で見るができるため操作しやすい」「ウインクに自信がない」というコメントがあった。これより、ウインクが不得意な人や片目で物を見ることに慣れていない人に選ばれたと考えられる。

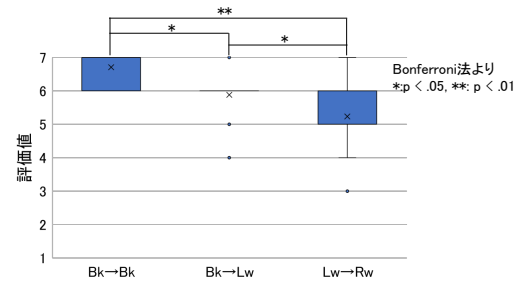
【実験 3:色変更タスクの結果】実験 3 の結果から、今回の色変更タスクにおける各直列型アイジェスチャの順位について確認する。1 位として最も多く選ばれた直列型アイジェスチャは、瞬き→瞬き (10/17 人) であった。これは、他の直列型アイジェスチャと比較して、図 4 より、客観的評価である平均作業時間や主観的評価である学習容易性・疲れにくさの項目において有意差が認められたことが原因であると考えられる。実際に実験後のコメント聴取において、「瞬きは繰り返し動作で左ウインクや右ウインクと比較すると容易かつ楽に行えた」「短時間でできる」というコメントがあった。これより、瞬きは日常的に繰り返し行うことが多いため、今回の実験タスクのように何度も繰り返し入力を行わせるタスクにおいて、他のアイジェスチャよりも容易で疲れにくく、かつ短時間でできたと考えられる。よって、疲れにくさに関する評価が順位付けに大きな影響を与えた結果として、瞬き→瞬きが最も多く 1 位として選ばれたと考えられる。

次に、2 番目に多く 1 位として選ばれたのは、瞬き→左ウインク (5/17 人) であった。これは実験後のコメント聴取において、「瞬き→瞬きは意図せず瞬きをしてしまった際に誤認識される可能性がある」というコメントがあったため、意図的に行う必要があるウインクを含むこのアイジェスチャが選ばれたと考えられる。加えて、今回このアイジェスチャを選んだ人の多く (4/5 人) が、利き目が右だったことから左ウインク→右ウインクとは違い、第 2 動作で対象を利き目で見るができるこのアイジェスチャが選ばれたと考えられる。

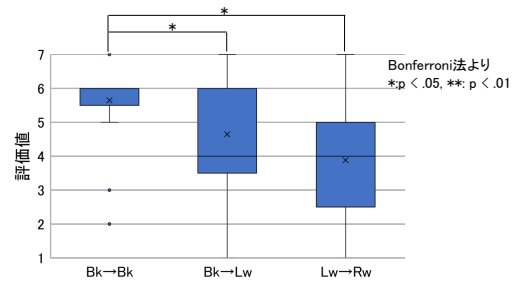
最後に、1 位として選んだ人が最も少なかったのは、左ウインク→右ウインク (2/17 人) であった。これは、このアイジェスチャがウインクの連続という、ウインクが不得意な人にとって動作が非常に難しいことや、日常的にウインクをする人が少ないため多くの人にとって連続でウインクをするような動作は疲れやすいことが原因であると考えられる。しかし、実験終了後のコメント聴取より、変更というタスクに左右へ切り替えるイメージがある人はこのアイジェスチャを 1 位として選んでいた。また、「もし今回のタスクが色の切り替わりではなく、本のページをめくるような左右への切り替えだったら左ウインクや右ウインクを使うアイジェスチャを選んだ」というコメントがあった。これらのことから、客観的評価や主観的評価の結果に関わらず、左右への切り替えに対して各々が持っているイメージを優



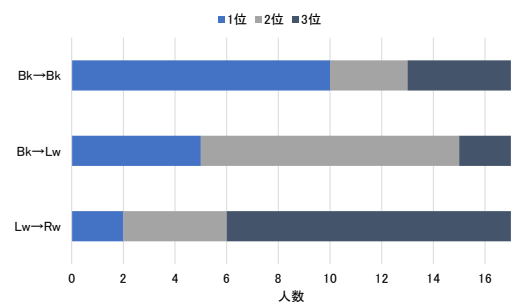
(a) 平均作業時間



(b) 学習容易性



(c) 疲れにくさ



(d) 順位付け

図 4 実験 3 の結果

Fig.4 Results of Experiment 3

先ずると考えられる。

【実験 4:拡大タスクの結果】実験 4 の結果から、今回の拡大タスクにおける各直列型アイジェスチャの順位について確認する。1 位として最も多く選ばれた直列型アイジェスチャは、瞬き→右ウインク (13/17 人) であった。図 5 より、平均作業時間が最も短かったことや平均エラー回数が最も少なかったことが原因であると考えられる。また実験後のコメント聴取において、「HMD 自体の重量により見開くというアイジェスチャが疲れる」「見開くが認識されづらい」

「長時間見開くを継続するのはドライアイの人にとっては目が乾いてつらい」というコメントがあった。これらのコメントに加え、有意差が認められた疲れにくさの項目から、疲れやすいアイジェスチャである見開くが好まれなかった結果、瞬き→右ウインクが選ばれたと考える。さらに、今回は見開くのアイジェスチャを目の開き具合に加えて筋電位を用いて認識しているため、目を見開く際に前頭筋の部分に力を込めないと見開くが認識されない。そのため、見開くは使いづらいと思われた結果、このアイジェスチャが多く選ばれたとも考えられる。また、他のタスクと比較すると、直列型アイジェスチャにおける第2動作を長時間継続する必要があり、かつ前頭筋の部分に力を込め続けることは大きな労力を必要とするため、見開くが避けられ、見開くを必要としない瞬き→右ウインクが選ばれたと考える。

次に、2番目に多く1位として選ばれたのは、瞬き→見開く(3/17人)であった。実験後、このアイジェスチャを選んだ人のコメント聴取において、「拡大というタスクに対してのイメージから目を大きく見開く動作が最も直観的である」というコメントがあった。このことより、直観的に「拡大は目を見開くジェスチャが最も適している」というイメージを強く持っている人は、様々な客観評価や主観評価の結果よりもイメージを優先した結果としてこのアイジェスチャを選んだと考えられる。

最後に、1位として選んだ人が最も少なかったのは、見開く→見開く(1/17人)であった。見開く→見開くと瞬き→見開くとの違いは、「第1動作として見開くを行った後にすぐに前頭筋の力を抜いて入れなおすといった動作ができない」というコメントや、本研究では見開くの認識に筋電位を使用していることより、前頭筋に込めた力が抜けるまでに時間がかかるため、第1動作の終了判定までの時間が長くなることである。これは、見開くに拡大のイメージを持つ実験参加者に好まれたが、平均作業時間が最も長かったことで好みの値の平均値が瞬き→見開くでは4、見開く→見開くでは3であった。そのため、瞬き→見開くより1位として選ばれた数が少なかったと考える。

【実験 5: 縮小タスクの結果】実験 5 の結果から、今回の縮小タスクにおける各直列型アイジェスチャの順位について確認する。1位として最も多く選ばれた直列型アイジェスチャは、瞬き→左ウインク(9/17人)であった。これは、図 6 より、客観評価と主観評価において有意差は認められなかったが、平均作業時間が最も短かったことや平均エラー回数が最も少なかったことが主な原因であると考えられる。また実験後のコメント聴取において、「細めるが使いづらい」「細めるを維持することが難しい」「細めるをしていると視界が狭まって対象の物体が見づらい」というコメントがあった。これより、視認性が低下し、かつ目を細めるという目の開き具合を細かく調整する必要がある細めるは、慣れることに時間がかかるため練度に個人差が発生する。これ

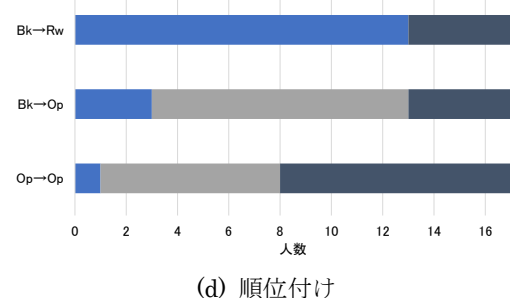
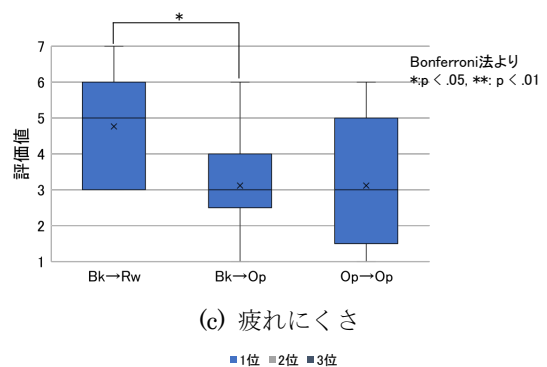
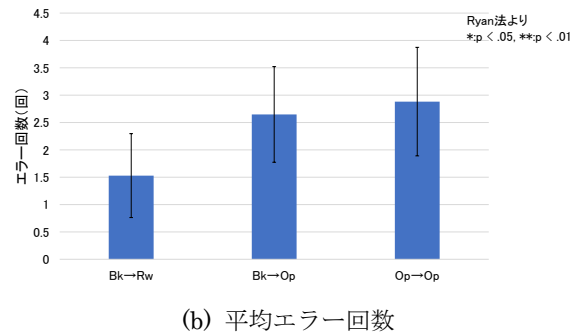
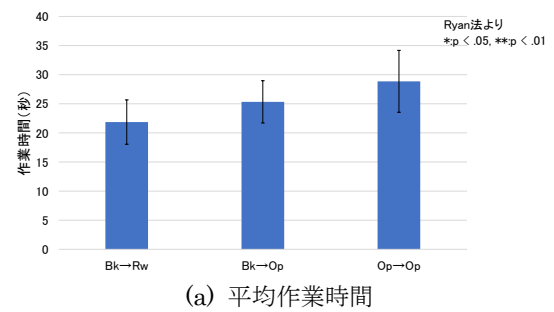


図 5 実験 4 の結果

Fig.5 Results of Experiment 4

より、個人の評価に大きく差が生じた結果、全体としては高い評価が得られなかったと考えられる。これらに加え、有意差は認められなかったものの他の直列型アイジェスチャと比較すると評価の高い容易性・好みの結果より、片目を閉じるだけの動作であるため簡単であり、かつ短時間で動作を終えることができる瞬き→左ウインクが最も多く選ばれたと考える。

次に、2番目に多く1位として選ばれたのは、瞬き→細めると細める→細める(4/17人)であった。これらは実験後のコメント聴取において、「縮小というタスクに対しての

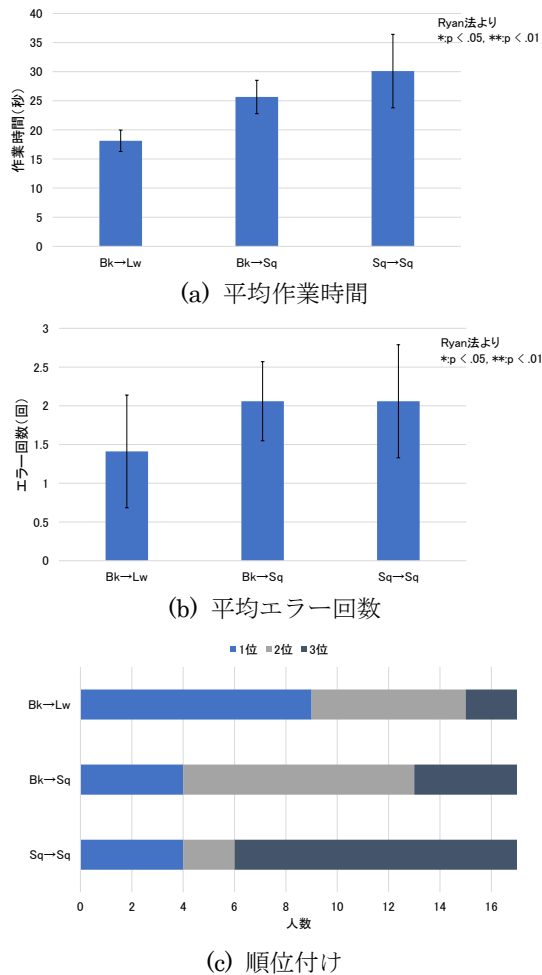


図6 実験5の結果

Fig.6 Results of Experiment 5

イメージから目を細めるような動作が最も直観的である」というコメントがあり、そのイメージを強く抱いている人を選ばれた傾向があった。このことより、直観的に「縮小は目を細めるジェスチャが最も適している」というイメージを強く持っている人は、様々な客観評価や主観評価の結果よりもイメージを優先した結果として、このアイジェスチャを選んだと考えられる。また、目の開き具合の微調整に時間がかかり得意でない人は、第1動作に素早くかつ簡単に行える瞬きを選択し、縮小に細めるのイメージを特に強く持っている人や細めるが得意な人は第1動作にも細めるを選択していると考えられる。

4. 各操作に適した直列型アイジェスチャの提案

実験結果より、各操作に最も適した直列型アイジェスチャを提案する。特定の操作に適したジェスチャを決定する研究は数多く行われており、その中で評価方法として Agreement Score [8]-[11] が多く使用されている。Agreement Score の値が高いほど特定の操作にそのジェスチャが適していることを表すため、Agreement Score を使用することで、多くの人が特定の操作に適していると思う

表3 各操作における直列型アイジェスチャの順位と Agreement Score

Table 3 Sequential Eye Gestures Rank and Agreement Score for Each Operation

操作内容	直列型アイジェスチャ	Agreement Score
選択	1位: 瞬き→瞬き	0.433
	2位: 左ウインク→瞬き	0.433
	3位: 見開く→瞬き	0.481
掴み	1位: 瞬き→左ウインク	0.343
	2位: 瞬き→右ウインク	0.453
	3位: 瞬き→細める	0.488
色変更	1位: 瞬き→瞬き	0.446
	2位: 瞬き→左ウインク	0.433
	3位: 左ウインク→右ウインク	0.489
拡大	1位: 瞬き→右ウインク	0.619
	2位: 瞬き→見開く	0.516
	3位: 見開く→見開く	0.391
縮小	1位: 瞬き→左ウインク	0.391
	2位: 瞬き→細める	0.419
	3位: 細める→細める	0.488

表4 各操作に最も適した直列型アイジェスチャ

Table 4 Sequential Eye Gestures Best Suited for Each Operation

操作内容	直列型アイジェスチャ
選択	左ウインク→瞬き
掴み	瞬き→細める
色変更	瞬き→瞬き
拡大	瞬き→右ウインク
縮小	瞬き→左ウインク

ジェスチャを考えることが可能である。以上より、各操作に最も適した直列型アイジェスチャを提案するために Agreement Score を採用した。また、実験の結果から得られた各操作に適している直列型アイジェスチャの順位とそれに対応する Agreement Score をまとめたものは表3のようになっている。各実験において実験対象となるタスクに最も適している直列型アイジェスチャであるとして1位として選ばれた数が最も多いものがその操作に最も適していると考えられる。そのため、基本的には各操作においてそれを最も適した直列型アイジェスチャとして採用する。しかし1位として選ばれた直列型アイジェスチャが他の操作と競合している場合、Agreement Score を比較し、値が高い方の操作に、最も適した直列型アイジェスチャとして採用する。もう一方は選ばれた数が2位だったものを採用する。最初に、この採用方法に基づいて決定すると、拡大の操作に対して瞬き→右ウインクが割り当てられる。次に、1位が重複している操作である選択と色変更、掴みと縮小について決定する。まず、選択と色変更について、それぞれの操作で1位として選ばれた瞬き→瞬きの Agreement

Score は、選択では 0.433, 色変更では 0.446 であるため、色変更に瞬き→瞬きが割り当てられる。よって、選択には 2 位である左ウインク→瞬きを割り当てる。次に、掴みと縮小について、こちらもそれぞれの 1 位である瞬き→左ウインクの Agreement Score は、掴みでは 0.343, 縮小では 0.391 であるため、縮小に瞬き→左ウインクが割り当てられる。よって掴みには 2 位である瞬き→右ウインクが割り当てられることになるが、この直列型アイジェスチャは既に拡大に割り当てられているため 3 位である瞬き→細めるが割り当てられることになる。これにより全ての競合が解決できたため、表 4 に最終的に確定した各操作に最も適している直列型アイジェスチャを示す。選択に割り当てた左ウインク→瞬きは、実験 1 の結果より、平均作業時間と疲れにくさで他の直列型アイジェスチャで有意差が認められ、かつ有意差は認められないものの平均エラー回数が最も少なかったことから適したアイジェスチャであると考え。また、実験 2 の結果より、客観評価と主観評価において有意差は認められず、順位付けにおいても最も多く 1 位として選ばれたもので 7 票、他の 2 つは共に 5 票ずつで大きな差は認められなかったため、Agreement Score の結果より 3 位である瞬き→細めるを掴みに割り当てたが、大きな問題はないと考える。次に、色変更に割り当てた瞬き→瞬きについて。実験 3 の結果より、平均作業時間と学習容易性において有意差が認められ、かつ順位付けでも他のアイジェスチャに得票数で大きな差をつけていたため適当であると考え。続いて、拡大に割り当てた瞬き→右ウインクについて。これは順位付けで他の直列型アイジェスチャに得票数で大きな差をつけており、かつ実験 4 の結果より疲れにくさにおいて有意差が認められたため適当であると考え。最後に、縮小に割り当てた瞬き→左ウインクについて。これは実験 5 の結果より、客観評価と主観評価において有意差は認められなかったものの、順位付けで過半数の票を獲得していたため適当であると考え。

5. むすび

本研究では、空間における各操作に対して、どのような直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、直列型アイジェスチャの定義と整理を行い、直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、それらの直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、各操作に適した直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、各直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 [11]

縮小には瞬き→左ウインクが適することが示唆された。今後の展望として、直列型アイジェスチャだけでなく、これまで分析してきた単一アイジェスチャや並列型アイジェスチャにおいても同様に聴き取り調査と実験を行い、各操作に適している単一アイジェスチャや並列型アイジェスチャを確認することが考えられる。

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] 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.
- [4] 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.
- [5] 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 (3) ~アイジェスチャ・コマンドの利用事例開発と UI 特性の評価~, 第 194 回 HCI 研究会, 2021.
- [6] 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.
- [7] Christian Arzate Cruz, Natsume Tatsuya, Mizuto Ichihara, Fumihisa Shibata, and Asako 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.
- [8] Zhao, Xuan, Mingming Fan, and Teng Han: "'I Don't Want People to Look At Me Differently" Designing User-Defined Above-the-Neck Gestures for People with Upper Body Motor Impairments," CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, No.1 pp. 1 - 15 2022.
- [9] Jaime Ruiz, Yang Li, and Edward. "User-Defned Motion Gestures for Mobile Interaction," Association for Computing Machinery, pp. 197 - 206, 2011.
- [10] Jacob O Wobbrock, Htet Htet Aung, Brandon Rothrock, and Brad A. "Maximizing the guessability of symbolic input," CHI'05 extended abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 1869 - 1872, 2005.
- [11] Jacob Wobbrock, Meredith Ringel Morris, and Andrew D. Wilson. "UserDefined Gestures for Surface Computing" Association for Computing Machinery, pp. 1083 - 1092, 2009.