

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 UI 特性分析~

夏目達也^{†1} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要: アイジェスチャは片手/両手が別の用途やデバイスで塞がっている場合は、ハンズフリーで使うことができる。特に、VR や AR/MR のような空間体験の場合は、両手両足を使うことも多く、「アイジェスチャ UI」の存在意義が高い。しかし、VR 空間操作においてアイジェスチャがどの程度容易に使えるのかといった UI 特性に関する知見は十分でない。そこで我々は、これまでに、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、各々がどのような操作に適しているのかについて分析・考察を行った。しかしこれらのアイジェスチャを実際に入力として利用する場合、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、アイジェスチャを複数組み合わせる用いる並列型アイジェスチャに着目し、その定義・整理を行うとともに、VR 空間における入力方法としてどのような UI 特性があり、どのような操作に適しているのか、分析と考察を行った。

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

1. はじめに

本研究は、「アイジェスチャ」と呼ぶべき UI コマンドの設計と実装に関する研究である。既に実用域に達しているハンドジェスチャやフィンガジェスチャ[1][2]に近い感覚で、眼球や脛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を意図している。

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ないかといえ、できなくもない。しかし、片手/両手が別の用途やデバイスで塞がっている場合は、ハンズフリーで使える「アイジェスチャ技術」は有力な操作ツールとなる。特に、VR や AR/MR のような空間体験の場合は、両手両足を使うことも多く、「アイジェスチャ UI」の存在意義が高い。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、使い物になるかどうかの見極めも大切である。そうしたフィージビリティスタディも含め、我々は「アイジェスチャ技術」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][5]では、複数のアイジェスチャを組み合わせた直列型アイジェスチャの UI 特性分析に取り組んだ。

本研究では、VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャに関する UI 特性分析の次なるステップとして、継続的なアイジェスチャを行うと同時に、別のアイジェスチャを行う並列型アイジェスチャに注目し、これに対して VR 空間における入力方法としてどのような特性があり、どのような操作に適しているのかの分析を行った。

2. アイジェスチャの設計

2.1 単一アイジェスチャ

ここでは、本稿で扱う並列型アイジェスチャに関する定義を行う前に、単一アイジェスチャの種類と動作としての定義について確認する。

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る。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。言い換えると、継続的な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り、例えば、左ウインクをしながら細めるといった動作を指す(図 1)。本研究では前者の継続的な

^{†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

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，2.1 で挙げた 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，注視は並列型アイジェスチャの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。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。主動作瞬き，見開く&細めるなどの定義上不可能な組合せや，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（表 1）。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。



図 1 並列型アイジェスチャ
(主動作：左ウインク，副動作：細める)



図 2 システム構成



図 3 電極の貼り付け位置

表 1 並列型アイジェスチャ一覧

副動作 \ 主動作	瞬き	左ウインク	右ウインク	見開く	細める
瞬き		Lw&Bk	Rw&Bk	Op &Bk	Sq &Bk
左ウインク			*2	Op &Lw	Sq &Lw
右ウインク		*1		Op &Rw	Sq &Rw
見開く		Lw&Op	Rw&Op		
細める		Lw&Sq	Rw&Sq		

*1:Lw&Bkと同動作
*2:Rw&Bkと同動作

2.3 アイジェスチャによる VR 空間操作の分類

我々は，先行研究 [3] と同様に，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 つのパターンである。

- ・タスク 1：単発的な入力&ON/OFF 操作（選択操作）
- ・タスク 2：継続的な入力&ON/OFF 操作（掴み操作）
- ・タスク 3：単発的な入力&値変更操作（色変更操作）
- ・タスク 4：継続的な入力&値変更操作（拡大操作）

3章の実験では，この4パターンの入力操作を評価する。

3. 実験準備

3.1 実験システム

実験で使用する VR システムのシステム構成を図 2 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，筋電位計測機器では，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。電極の貼り付け位置を図 3 に示す。

2.2 で述べた 12 通りの並列型アイジェスチャの認識には，先行研究[3] の単一アイジェスチャを認識したアルゴリズムを拡張し，主動作，副動作の認識を行った。

3.2 評価指標

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項目について、7段階のリッカート尺度で回答させた。さらに、どのタスクにどのアイジェスチャを割り当てたいかについても聴取した。

4. 実験

4.1 目的

VR空間操作コマンドとしての各アイジェスチャの特性を分析するためにアイジェスチャの評価実験を実施した。実験では、VR空間で行う4種類のタスクを通して、各アイジェスチャ入力動作を評価・分析することを目的とする。そして、各アイジェスチャがどのようなVR空間操作に適しているのか、そして各々にどのようなUIとしての特性があるのか考察する。

4.2 課題と手続き

実験で使用する4種類のタスクは先行研究[3]と同様である。タスク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。タスク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。タスク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。最後にタスク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。

以上のタスクを1回成功を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。

4.3 条件

本実験では、表1で挙げた全ての並列型アイジェスチャを対象とした。タスク1、タスク3の評価対象は12通であり、タスク2、タスク4は継続的な入力であり操作対象を視認する必要があるため、並列型アイジェスチャの内、副動作が瞬きの組合せを除外した8通りを評価対象とした。

4.4 参加者

成人12名が実験に参加した。矯正を含め、全員が正常視力を有した。

4.5 結果と考察

図4, 5, 6, 7はそれぞれ容易性、疲れにくさ、適合性、好みの結果を示したグラフで、図中の箱ひげ図の×印は平均値を表す。容易性、疲れにくさに関しては、タスク1と3、タスク2と4で結果の傾向が似ていたため、ここではタスク1と2のグラフのみ示すこととする。また、入力方法(12/8条件)に対して参加者内計画の1要因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の方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、これらの結果を並列型アイジェスチャの主動作、副動作それぞれの観点から分析する。また、主動作と副動作を組み合わせたアイジェスチャとして、どのアイジェスチャがどのようなVR空間操作タスクで好まれるのかについても分析する。

4.5.1 アイジェスチャの主動作としてのUI特性

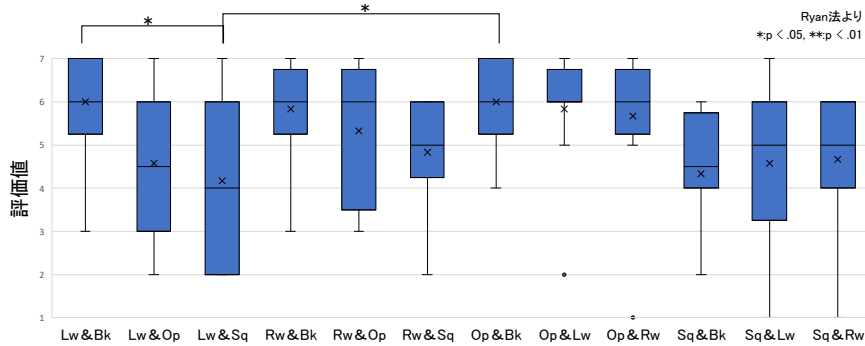
並列型アイジェスチャにおいて、主動作は副動作への導入・予備動作であり、副動作と比べて主動作の方が長い時間継続することになる。このため、主動作は容易性や疲れにくさが重要となる。ここでは、容易性(図4)、疲れにくさ(図5)、好み(図7)の観点から各アイジェスチャ(ウインク、見開く、細める)の主動作としての特性を分析する。ただし、ウインクについては、実験では左と右に分けていたが、ここではまとめて述べることにする。

【ウインク(左ウインク、右ウインク)】

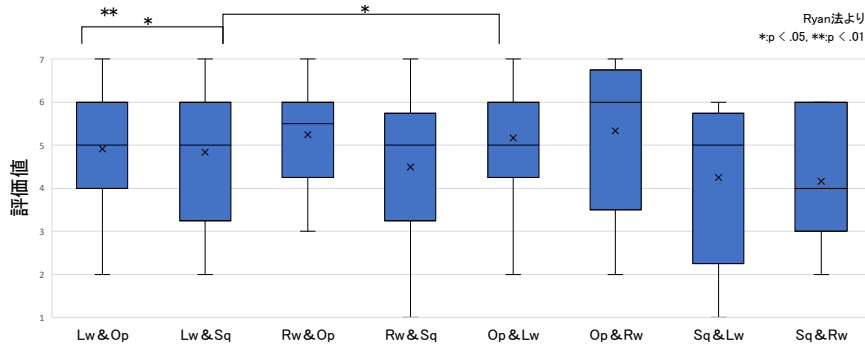
全体としては、容易性に関しては、主動作におけるウインク(片目を閉じる)は副動作が瞬きと、見開くまたは細めるの場合で評価が大きく別れた。副動作が瞬きである場合は容易性の評価が高かった一方で、副動作が見開くまたは細めるであるものは評価が低かった。容易性という点では、本実験では事前にウインクが十分に出来る人を対象に参加者を募ったが、一部の参加者からは、ウインクという動作自体が苦手であるといった意見が寄せられた。参加者ごとに左ウインクと右ウインクのどちらがより入力が容易であるかの聴き取りを行った結果、7/12人が右ウインクの方が、入力が容易であると回答した。次に、疲れにくさについては、副動作が瞬きである場合は疲れにくく、副動作が見開くまたは細めるの場合は疲れやすいという結果が得られた。また、参加者からのコメントで「主動作がウインクであるものは、副動作に関わらずやりづらい」という意見があった。これは、主動作がウインク(片目を閉じる)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、副動作を行う際に左右の目で異なる動作を行わなければならないとこれが難しさの原因となっていると考えられる。副動作が瞬きの場合はある程度許容されるものの、副動作が見開くや細めるの場合、ウインクを主動作にするのは適当でない。

【見開く】

主動作における見開くは、副動作に関わらず全体的に高評価であった。容易性については、主動作における見開くはすべてのタスクにおいて副動作に関わらず高評価であった。これは、見開くというアイジェスチャが、瞬き、ウインク、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ことが理由として考えられる。そのため、主動作が副動作に影響せず、容易性が高くなったのだと考えられる。次に、疲れにくさについては、

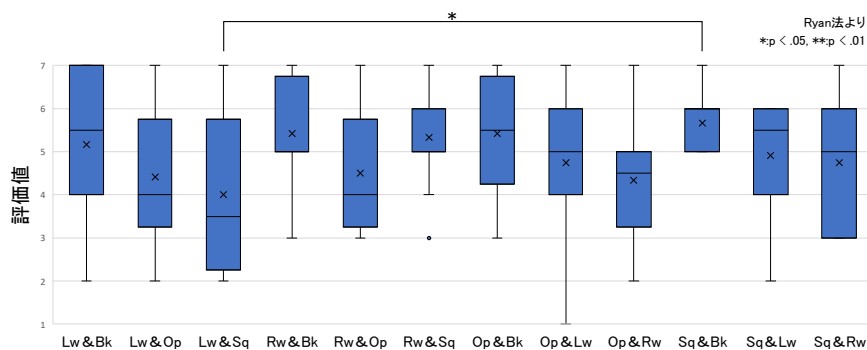


(a)タスク 1

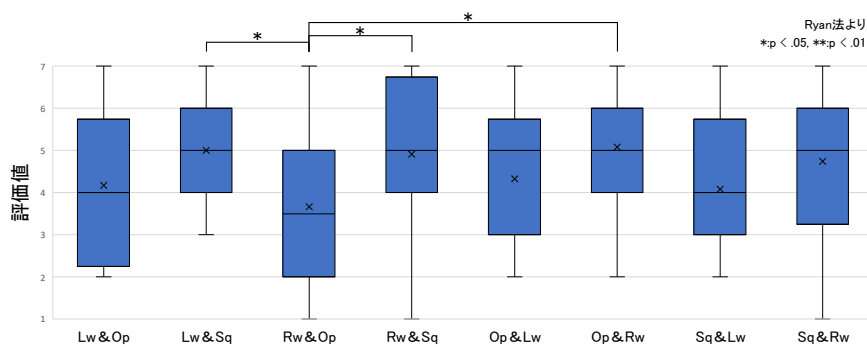


(b)タスク 2

図 4 容易性の結果



(a)タスク 1

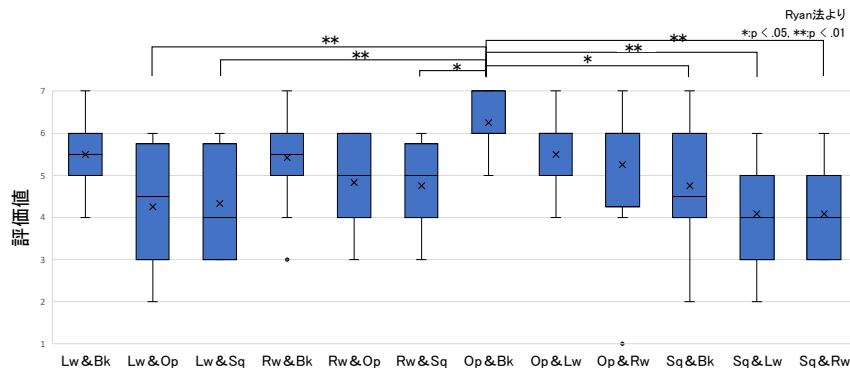


(b)タスク 2

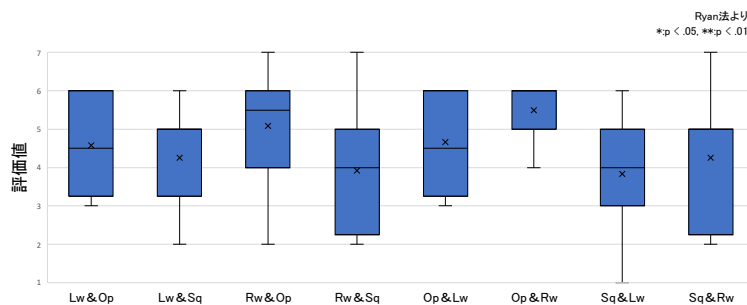
図 5 疲れにくさの結果

タスク 1, 2, 3 においては平均的であったものの、タスク 4 では、最も低く評価された。これは、タスク 4 が他のタスクに比べ、アイジェスチャを継続する時間が長かったことが原因として考えられる。タスク 2 も同様にアイジェス

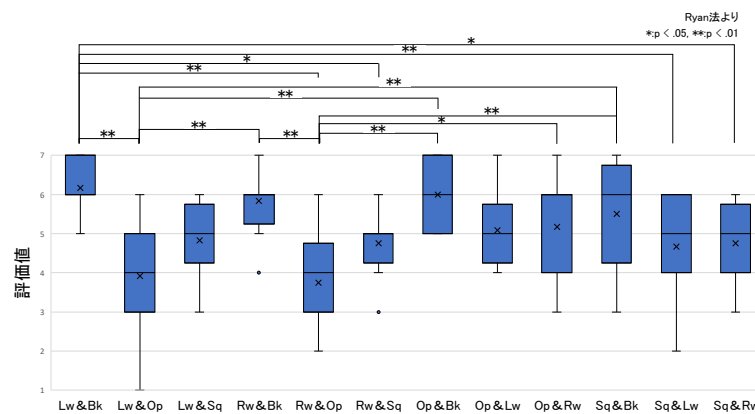
チャを継続する必要があるタスクではあるが、主動作が見開くものは視線がブレにくいといった特徴があり、タスク遂行に要した時間が他の入力手法に比べ短くなったことによって疲れにくくなったと考えられる。また、どのタス



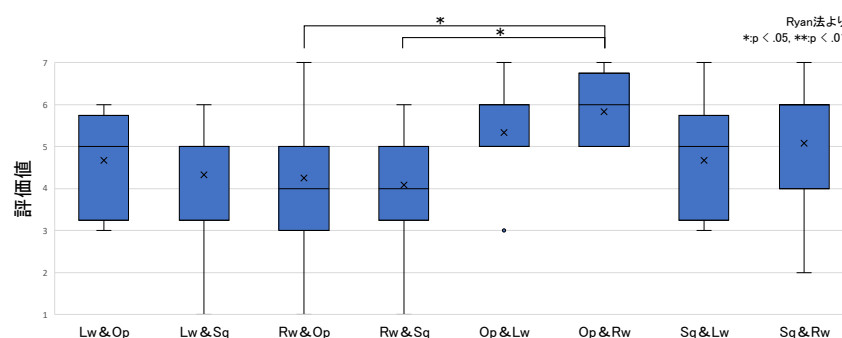
(a) タスク 1



(b) タスク 2



(c) タスク 3



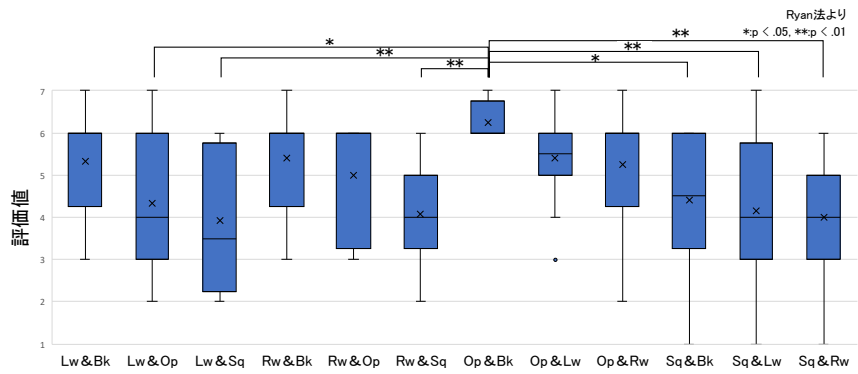
(d) タスク 4

図 6 適合性の結果

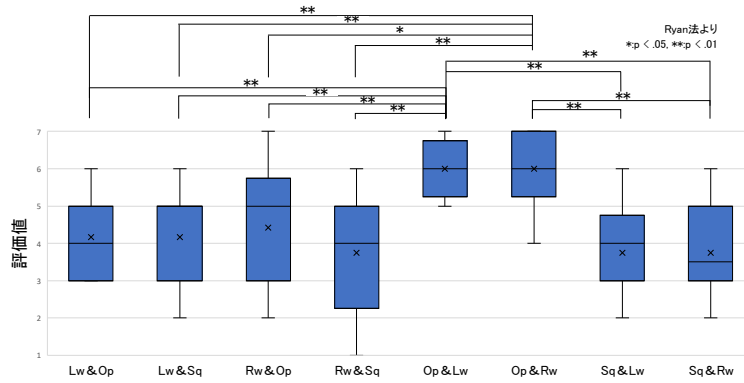
クにどのアイジェスチャを割り当てたいかという問いに関しても、主動作が見開くであるものが半数 (24/48) 選ばれている。

【細める】

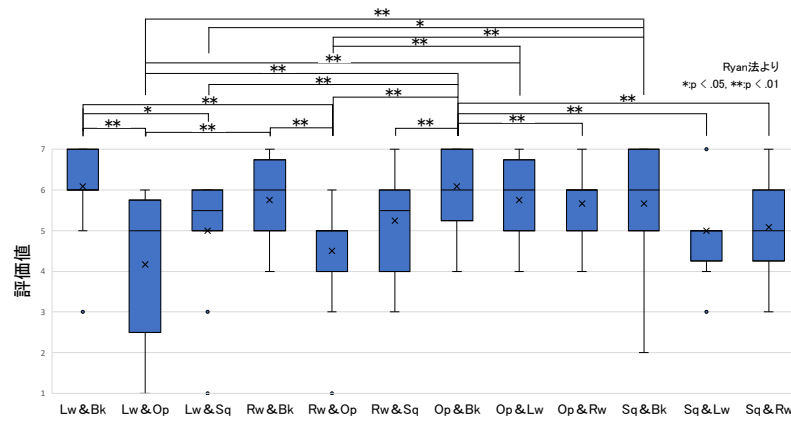
主動作における細めるは、副動作に関わらず全体的に低評価であった。まず容易性については、タスクに関わらず



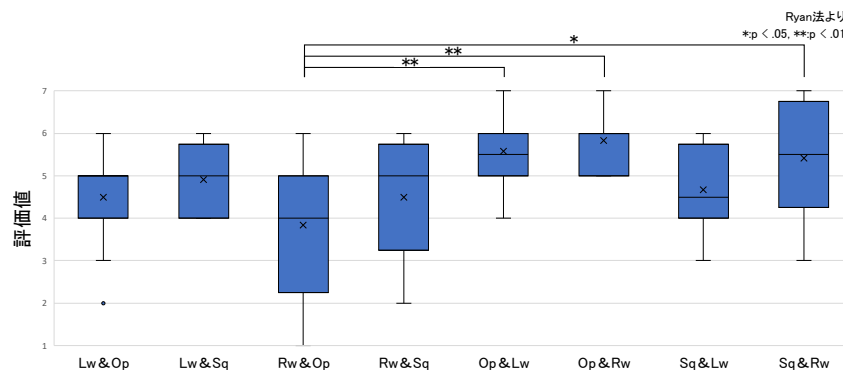
(a) タスク 1



(b) タスク 2



(c) タスク 3



(d) タスク 4

図 7 好みの結果

低評価であった。これは、細めるが、開眼度合いの調整が必要な入力方法であるため、エラー率が高い、視線検出制度が下がりやすいことが原因であると考えられる。次に、疲れにくさについては見開くとは異なり、有意に低い評価を得ているタスクがなかったため、必ずしも不適であるとはいえない。参加者から得たコメントの中で、「細めるは注視に近いイメージを持った」というものがあり、これと作業時間が有意に長かったことを踏まえて、その操作内容の種類にかかわらず、時間的な制約がない、かつ注目して行う必要があるような操作であれば採用する余地があると考えられる。このことから、主動作としての細めるは疲れにくいアイジェスチャではあるものの、容易性が低く、主動作としてはあまり適していないと考えられる。

以上のことから、主動作としてはすべてのタスクにおいて見開くが最も適切なアイジェスチャであることが示唆された。

4.5.2 アイジェスチャの副動作としての UI 特性

並列型アイジェスチャにおいて、副動作は実質的にその操作を決定する動作である。よって、副動作ではアイジェスチャの操作に対する適合性や好みが重要になると考えられる。ここでは、これらの観点から各アイジェスチャ（瞬き、ウイंक、見開く、細める）の副動作としての特性を分析する。ただし、主動作同様、ウイंकについては左右の結果をまとめて述べることにする。

【瞬き】

副動作における瞬きは、主動作に関わらず適合性、好みで高評価であった。これは瞬きという動作自体が日常的に、かつ無意識に行っており慣れている動作であるからであると考えられる。また、単発的な入力で行う選択であるタスク 1, 3 において、副動作が瞬きであるものがいずれの評価項目でも有意に高い評価を得ていた。特に見開く&瞬きはタスク 1, 3 における適合性、好みの項目において最も高い評価を得ていた。これらのことから、単発的な入力で行う操作に対して並列型アイジェスチャを割り当てる場合は、瞬きが最も副動作として適切なアイジェスチャと考えられる。

【ウイंक (左ウイंक, 右ウイंक)】

単発的な入力で行う操作に対するタスクにおいてウイंकは、瞬きと比べると適合性、好みで劣るものの、両目を閉じてしまう瞬き（両目と閉じ）と比べ、片目しか閉じなくてよいため、継続的な入力において画面を見ながら操作ができるという利点がある。継続的な入力操作（タスク 2 の掴みとタスク 4 の拡大）の内、掴みでは見開くや細めると比較して高い評価を得ている項目が多く認められた。これはウイंकができる参加者にとっては、片目がしっかり開いているので視線ブレの影響が少なく、制御が容易であったことが理由として考えられる。つまり、継続的な入力の場合、副動作ウイंकは、見開くや細めるより高い評

価を得ており、副動作として適しているといえる。また、単発的な入力で行う操作に対するタスクについても、副動作ウイंकは瞬きに次いで高評価であった。特に見開く&左/右ウイंकは適合性、好みのどちらの項目においても、左/右ウイंक&瞬きと同程度に高く評価されていた。つまり、継続的な入力の場合は副動作ウイंकが最も適しており、単発的な入力に対しては瞬きの次点として、特に主動作が見開くである場合に副動作のウイंकが適していると考えられる。

【見開く】

副動作における見開くは、すべてのタスクにおいて低評価であった。副動作が見開くのジェスチャは、タスク 1, 2 では副動作が細めるの場合よりも好みの評価が高く、タスク 3, 4 では副動作が細めるの場合よりも評価が低かった。これは、副動作が見開くの場合の方が、副動作が細めるの場合よりも視線のブレが少なく、視線情報を伴うタスク 1, 2 においては好みの評価が高くなったと考えられる。つまり、副動作見開くは基本的に評価が低いものの、視線情報を伴うタスクにおいては、瞬き、ウイंकの次点に位置する。

【細める】

副動作細めるも、見開くと同様に全てのタスクにおいて適合性、好みの評価が低く、特に単発的な入力には不適であることが示唆された。更に、視線情報を伴うタスク 2 でも評価が低かった。これは、細める動作が視線ブレの影響を受けやすいことが原因として考えられる。しかし、視線情報を伴わないタスク 3, 4 では副動作見開くよりも好みの評価は高かった。つまり、副動作細めるは基本的に評価が低いものの、視線情報を伴わないタスクにおいては、瞬き、ウイंकの次点に位置する。

以上のことから、副動作では、タスク 1, 3 では瞬きが、タスク 2, 4 ではウイंकが適していることが示唆された。

4.5.3 各タスクで好まれる並列型アイジェスチャの分析

ここでは、好みの主観的な評価結果と、どのタスクにどのアイジェスチャを割り当てたいかに関する結果を踏まえて、どの並列型アイジェスチャがどのような VR 空間操作タスクで好まれるのかについても分析する。

【タスク 1: 選択】

好みについては、図 7 (a) より、見開く&瞬きが有意に好まれていたことがわかる。実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、選択操作に並列型アイジェスチャを 1 つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、右ウイंक&瞬き、見開く&瞬きが共に最も多く割り当てられた (3/12 人)。また、主・副動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、主動作では見開く (6/12 人)、副動作では瞬き (9/12 人) が最多であった。回答の際に特に割り当ての順番は指定していなかったが、色変更タスクに、まず見開く&瞬きを割り当てるといった実験参加者が多かった。その

ため、選択タスクには、それ以外の並列型アイジェスチャから割り当てを選ぶことになる。しかしこのタスクでも見開く&瞬きにおいて評価が高い傾向が見られたため、割り当て結果に差が見られなかったのだと考える。また、優先して割り当てられなかったということは、選択タスクよりも、色変更タスクの方がより見開く&瞬きのジェスチャが適している可能性もある。

以上のことから、選択（タスク 1）に関しては、主動作が見開く、または、副動作が瞬きである並列型ジェスチャが適していると考えられる。

【タスク 2：掴み】

好みについては、図 7 (b) より、見開く&左ウイंक、及び見開く&右ウイंकがその他のアイジェスチャに比べ、有意に好まれていたことが示された。実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、掴み操作に並列型アイジェスチャを 1 つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、見開く&右ウイंकが最も多く割り当てられた（4/12 人）。また、見開く&左ウイंकも次点で多く割り当てられた（3/12 人）。また、主・副動作ごとの操作割り当ての内訳をみると、主動作では見開く（7/12 人）、副動作では瞬き（4/12 人）が最多であった。

以上のことから、掴み（タスク 2）に関しては主動作が見開くである並列型ジェスチャが適していると考えられる。

【タスク 3：色変更】

好みについては、図 7 (c) より、見開く&瞬きがその他のアイジェスチャに比べ、有意に好まれていたことが示された。また、見開く&左ウイंक及び細める&瞬きもいくつかのアイジェスチャに対して有意に好まれていたことが示された。実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、色変更操作に並列型アイジェスチャを 1 つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、見開く&瞬きが最も多く割り当てられた（5/12 人）。また、主・副動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、主動作では見開く（5/12 人）、副動作では瞬き（11/12 人）が最多であった。

以上のことから、タスク 3（色変更）に関しては副動作が瞬きの並列型ジェスチャ、特に見開く&瞬きが適していると考えられる。

【タスク 4：拡大】

好みについては、図 7 (d) より、特別好まれたアイジェスチャは無かったものの、右ウイंक&見開くがいくつかのアイジェスチャに対して有意に好まれていないことが示された。実験終了後、体験した全ての入力方法の中で、拡大操作に並列型アイジェスチャを 1 つだけ割り当てるとしたらどれを選ぶかを聴取したところ、見開く&左ウイंक、見開く&右ウイंकが他と比べて多く割り当てられた（3/12 人）。また、主・副動作ごとに操作割り当ての内訳をみると、主動作では見開く（6/12 人）、副動作では右ウイंक（5/12 人）が最多であった。

以上のことから、タスク 4（拡大）に関しては、タスク 2 と同様に主動作が見開く&右ウイंकの並列型ジェスチャが適していると考えられる。

5. むすび

本研究では、継続的な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並列型アイジェスチャの UI 特性の分析を行った。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を評価する実験を実施した。実験では、VR 空間における操作として選択、掴み、色変更、拡大の 4 つをタスクに設定した。実験結果をもとに、各並列型アイジェスチャを主動作、副動作ごとに分析し、主動作には容易性、疲れにくさに優れた見開くが適していること、副動作では、選択、色変更には瞬きが、掴み、拡大にはウイंकが適していることが示唆された。また、どの並列型アイジェスチャがどのような VR 空間操作タスクで好まれるのかについて分析した結果、タスク 1 は主動作が見開く、または、副動作が瞬きである並列型ジェスチャ、タスク 2、4 は主動作が見開くである並列型ジェスチャ、タスク 3 は副動作が瞬きの並列型ジェスチャ、特に見開く&瞬きのジェスチャが適していることが示唆された。今後の展望として、これまで分析してきた単一アイジェスチャ、直列型アイジェスチャ、並列型アイジェスチャのすべてを適用した場合について確認・検討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.