

# 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～

夏目達也<sup>†1</sup> 柴田史久<sup>†1</sup> 木村朝子<sup>†1</sup>

概要：人工現実感 (Virtual Reality; VR) 技術が発達し、入力方法として身体の動きを利用する研究も活発化している。最近では視線移動や目の動き (アイジェスチャ) を入力とする研究も登場してきている。しかし、VR 空間操作においてアイジェスチャを入力として用いた研究はまだ数が少なく、その UI 特性に関する知見は十分でない。そこで我々は、VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャの体系化を目的として研究を進めている。先行研究では、そこで我々の先行研究では、VR 空間における入力方法として各アイジェスチャ (注視、瞬き、ウインク、見開く、細める) にどのような特性があり、各々がどのような操作に適しているのかについての分析・考察を行った。しかし先行研究では基礎実験からアイジェスチャの UI 特性分析を行っているため、実際の応用事例を操作した場合でも同様の UI の特性となるとは限らなかった。そこで本研究では、先行研究で得られたアイジェスチャの UI 特性を基に 2 種類応用事例を実装し、これらを利用してアイジェスチャの UI 特性評価及び事例のユーザビリティの評価を行った。

**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

人工現実感 (Virtual Reality; VR) の技術が発達したことによって、これまで平面のディスプレイ上に映像として表示されていた世界に、自身が入り込んだような体験が可能となった。それに伴い、身体の動きを入力とする手法の研究が活発化している。

また、身体の動きを入力方法とした研究では、これまでハンドジェスチャと呼ばれるユーザの手や腕の動きを入力として利用するものが主であった [1][2]。最近では、視線移動や瞬きなどの目の動き (以降、アイジェスチャ) を入力とする研究も登場してきた [3][4]。しかし、アイトラッキング機能が搭載された HMD が普及し始めてから間もないこともあり、VR 空間においてアイジェスチャを入力として用いた研究はまだ数が少なく、アイジェスチャに関する知見は十分ではないと考えられる。そこで我々は、VR 空間操作コマンドとしてのアイジェスチャの体系化を目的として研究を進めている。

まず先行研究 [5] では、アイジェスチャの列举と整理を行い、「注視」「瞬き」「ウインク」「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対象とした。また VR 空間操作を抽象化して整理を行い、単一アイジェスチャによる操作を、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によって 4 パターンに分類した。さらに、これらの VR 空間操作において、各種単一アイジェスチャにどのような特性があるのか、そしてどのようなアイジェスチャがどのような操作に適しているのかについて基礎実験と分析、考察を行った。

次に先行研究 [6] では、アイジェスチャを複数用いる直列型アイジェスチャについて定義・整理を行い、先行研究

[5] と同様に、各種直列型アイジェスチャに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について基礎実験と分析、考察を行った。

しかし、先行研究 [5][6] では各々の VR 空間操作だけを切り取った基礎実験を実施し、アイジェスチャの UI 特性分析を行っているため、実際の応用事例で様々なアイジェスチャを併用する場合にも、同様の UI の特性となるとは限らない。

そこで本研究では、先行研究で得られたアイジェスチャの UI 特性をもとに複数のアイジェスチャを併用する応用事例を 2 つ実装し、これらの事例を利用して UI 特性評価を行うことで、基礎実験から得られた各種アイジェスチャの UI 特性が実際の応用事例で様々なアイジェスチャを併用する場合にも適用可能か確認する。

## 2. アイジェスチャの定義

### 2.1 単一アイジェスチャ

単一アイジェスチャは、「注視」「瞬き」「ウインク」「見開く」「細める」の 5 種類である。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。

### 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 つ以上のアイジェスチャを連続して行う動作を指す。つまり、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・・・と連続し

<sup>†1</sup> 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

でアイジェスチャを行うことで1つの直列型アイジェスチャ・コマンドとして動作する。例えば、左ウイंकした後右ウイंकするといった動作を指す。連続するアイジェスチャをその動作を行う順に、第1動作、第2動作、・・・と呼ぶ。先行研究 [6] では、実際に利用する際の簡便さなどの観点から第2動作までを対象とした直列型アイジェスチャのUI特性を分析した。

以降、本文中で直列型アイジェスチャを示す際に、「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。例えば、瞬き→左ウイंकと記されている場合、それは瞬きをした後すぐに左ウイंकをする、という直列型アイジェスチャを表す。

### 2.3 アイジェスチャによる VR 空間操作の分類

#### 【単発的な入力と継続的な入力】

アイジェスチャを操作コマンドとして利用する際、例えば同じ「目を閉じる」アイジェスチャでも、目を閉じるたびに値が変わるような使い方と、目を閉じている間値が変わり続けるといった使い方があり得る。本研究では、前者を「単発的な入力」、後者を「継続的な入力」と呼ぶ。

単発的な入力とは、ボタンを押す動作やマウスのクリックのような、入力動作を行う毎に入力が行われる動作のことであり、アイジェスチャを行うたびに入力の実行されるといった入力方法のことである。

一方、継続的な入力とは、指を押し広げるピンチ操作やマウスのスクロール操作のような、入力動作を行っている間は入力が継続される動作のことであり、アイジェスチャを行っている間は入力が継続されるといった入力方法である。

#### 【ON/OFF 操作と値変更操作】

さらに、アイジェスチャによる入力の結果、ON/OFF のように2種類の状態が切り替わる場合と、それよりも多い3種類以上の状態が切り替わる場合で区別することとした。

これらを踏まえて、アイジェスチャで行う VR 空間操作を、単発的な入力であるか、継続的な入力であるかという2種類の入力と、入力の結果 ON/OFF 操作が行われるか、値変更操作が行われるかという2種類の操作を組み合わせた4種類に分類する。先行研究 [5][6] では、(A) 単発的な入力&ON/OFF 操作、(B) 継続的な入力&ON/OFF 操作、(C) 単発的な入力&値変更操作、(D) 継続的な入力&値変更操作の4種類の入力操作を対象に、単一アイジェスチャ、直列型アイジェスチャそれぞれの特性を評価している。

## 3. アイジェスチャの UI 特性

### 3.1 単一アイジェスチャの UI 特性

ここでは、先行研究 [5] から得られた単一アイジェスチャのUI特性を要約する。

【注視】注視は誰でも簡単に扱えて疲れにくい、複数回入力や継続的な入力には適していないことから、単発的な

入力&ON/OFF 操作に適している。

#### 【瞬き】

瞬きは単発的な入力で行うタスクにおいて、いずれの評価項目でも有意に高い評価を得ていた。よって瞬きは単発的な入力に適していると考えられる。

#### 【ウイंक】

ウイंकは得意な人にはエラーが少なく使いやすいが、複数回入力には適しておらず、苦手な人には難しく疲れやすい。継続的な入力&ON/OFF 操作に適している。

#### 【見開く】

見開くは人によって得意不得意が分かれにくい動作であるものの、単発的な入力には適していない、エラーが起こりやすい、疲れやすい。継続的な入力&値変更操作に適している。

#### 【細める】

細めるも人によって得意不得意が分かれにくい動作であるが、単発的な入力には適しておらず、エラーが起こりやすい。継続的な入力&値変更操作に適している。

### 3.2 直列型アイジェスチャの UI 特性

ここでは、先行研究 [6] から得られた直列型アイジェスチャのUI特性について示す。

まず直列型アイジェスチャの第1動作は、すべてのタスクにおけるほとんどの項目で瞬きが最も高く評価された。これはもっとも簡単なアイジェスチャである瞬きは、単一アイジェスチャでは他のジェスチャと比べて誤認識が起こりやすかったのに対して、直列型アイジェスチャとすることで起こりにくくなるのが理由として考えられる。以上のことから、直列型のアイジェスチャの第1動作としては瞬きを採用するのが適切と考えられる。

第2動作のアイジェスチャのUI特性は以下の通り。

#### 【瞬き】

第1動作、第2動作ともに瞬きの場合は、単発的な入力で行うタスクにおいて、いずれの評価項目でも有意に高い評価を得ていた。よって瞬きは単発的な入力に適していると考えられる。

#### 【ウイंक】

ウイंकを第2動作に設定した場合、継続的な入力で行う操作に対するタスクでは、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かった。つまり、ウイंकは継続的な入力&ON/OFF 操作に適していると考えられる。

#### 【見開く】

見開くを第2動作に設定した場合、継続的な入力&値変更操作のタスクで比較的评价が高かったが、他のタスクではほとんどの項目で評価が低かった。よって、単発的な入力には不適であり、継続的な入力&値変更操作に適していると考えられる。

#### 【細める】

細めるを第2動作に設定した場合、見開くと同様に、継

続的な入力&値変更操作以外では適合性、好みの評価が低く、単発的な入力には不適であることが示唆された。一方で、継続的な入力&値変更操作でウイंकや見開くと評価に差がみられなかったことから、継続的な入力で行う値変更操作で、かつ目を細めるという動作が自然なタスクであれば採用しても問題ないと考えられる。

## 4. 実験準備

### 4.1 システム構成

実験で使用するシステムの構成を図1に、筋電位計測装置を図2に示す。実験では、赤外線によるアイトラッキング機能を有するHMDであるHTC VIVE Pro Eye（以降、VIVE Pro Eye）と筋電位計測装置（前頭筋に電極を貼付）を利用してアイジェスチャを認識する。実験タスクの構築には、Unityを用いている。



図1 システム構成

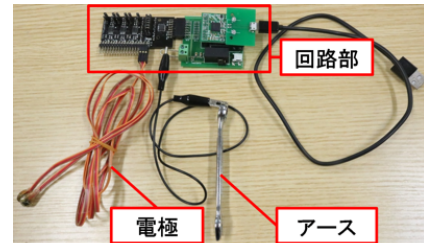


図2 筋電位計測デバイス

### 4.2 アイジェスチャ認識

本研究で使用しているアイジェスチャのアルゴリズムは、先行研究 [5][6] と同様である。

### 4.3 応用事例

実験で使用する、アイジェスチャを入力としたVR空間操作を伴う応用事例について説明する。

#### 4.3.1 電子書籍閲覧システム

1つ目の応用事例は電子書籍閲覧システムである(図3)。この事例では、先行研究 [5] で評価対象となっていたすべての単一アイジェスチャを、3.1 で述べたUI特性を踏まえて、「図鑑の選択・削除」「3Dオブジェクトの表示・非表示」「ページめくり」「3Dオブジェクトの回転」「3Dオブジェクトの拡大」「3Dオブジェクトの縮小」の6つの操作に割り当てた。

以下、それぞれの操作の詳細とアイジェスチャの割り当てについて説明する。

#### 【図鑑の選択・削除】

図鑑の選択・削除は、単発的な入力&ON/OFF操作として設計した。ここでは、単発的な入力&ON/OFF操作に最も適している注視を割り当てた。図鑑を3.0秒(3000ms)の間注視し続けることで注視と判定され、正面の書見台に図鑑が表示される。

#### 【3Dオブジェクトの表示・非表示】

3Dオブジェクトの表示・非表示も、単発的な入力&



図3 電子書籍閲覧システム

ON/OFF操作として設計した。ここでは、単発的な入力&ON/OFF操作に2番目に適していた瞬きを割り当てた。図鑑内の任意の動物の写真に視線を合わせ、単発の瞬きを行うことで視線を合わせている動物の3Dオブジェクトが図鑑上に表示される。また、3Dオブジェクトが表示されている状態で、単発の瞬きを行うことで動物の3Dオブジェクトが非表示となる。

#### 【ページめくり】

ページめくりも、単発的な入力&ON/OFF操作として設計した。単発的な入力&ON/OFF操作において注視の次にエラー率が低く、注視・瞬きの次に主観評価が高かったウイंकを採用した。また、左右にページをめくるといった特性上、左右で区別できるウイंकが操作として直観的であると考えた。単発の右ウイंकを行うことでページを1ペ

表1 「電子書籍の閲覧」におけるアイジェスチャと操作一覧

操作内容	VR空間操作の分類	アイジェスチャ
図鑑の選択・削除	単発的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	注視
3Dモデルの表示・非表示	単発的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	瞬き
ページめくり	単発的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	ウイंक
3Dモデルの回転	継続的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	ウイंक
3Dモデルの拡大	継続的なアイジェスチャを用いた値変更操作	見開く
3Dモデルの縮小	継続的なアイジェスチャを用いた値変更操作	細める

ページ右に、単発の左ウイंकを行うことでページを1ページ左にめくることができる。

**【3D オブジェクトの回転】**

3D オブジェクトの回転は、継続的な入力&ON/OFF 操作として設計した。ここでは、継続的な入力&ON/OFF 操作に適しているウイंकを割り当てた。3D オブジェクトが表示されている状態で、継続の右ウイंकを行うことで3D オブジェクトが右回転、継続の左ウイंकを行うことで3D オブジェクトが左回転する。

**【3D オブジェクトの拡大・縮小】**

3D オブジェクトの拡大・縮小は、継続的な入力&値変更操作として設計し、継続的な入力&値変更操作に適している見開くと細めるを割り当てた。3D オブジェクトが表示されている状態で、継続の見開くを行うことで3D オブジェクトが拡大され、継続の細めるを行うことで3D オブジェクトが縮小される。

以上をまとめると、電子書籍閲覧システムにおけるそれぞれのVR空間操作に割り当てられたアイジェスチャ・コマンドは表1のようになる。

**4.3.2 家具配置システム**

2つ目の応用事例は家具配置システムである(図4)。この事例では、先行研究[5]で評価対象となっていた瞬きを第1動作としたすべての直列型アイジェスチャと注視を利用し、「家具の切り替え」「家具の選択・解除」「家具の回転」「家具の拡大」「家具の縮小」の5つの操作に割り当てた。

以下、それぞれの操作の詳細とアイジェスチャの割り当てについて説明する。

**【家具の選択・選択解除】**

家具の選択・選択解除は、単発的な入力&ON/OFF 操作として設計した。ここでは、単発的な入力操作に適してい

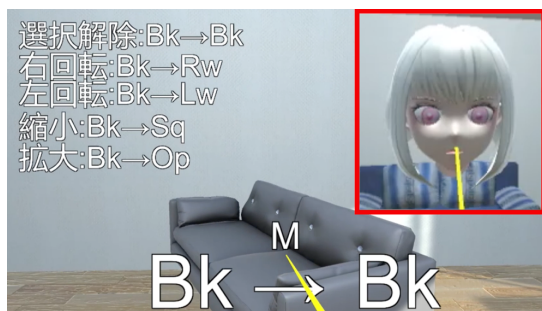


図4 家具配置システム

る瞬き→瞬きの直列型アイジェスチャを割り当てた。選択したい家具に視線を合わせ、瞬き→瞬きを行うことによって家具が選択される。家具の選択中は、視線によって家具の位置を移動することができる。また、家具の選択中に瞬き→瞬きを行うことで選択が解除される。

**【家具の回転】**

家具の回転は、継続的な入力&ON/OFF 操作として設計した。家具の回転操作には、継続的な入力&ON/OFF 操作に適している瞬き→ウイंकを割り当てた。家具を選択している状態で、瞬き→右ウイंकを継続することで家具が右回転、瞬き→左ウイंकを行うことで家具が左回転する。

**【家具の拡大・縮小】**

家具の拡大・縮小は、継続的な入力&値変更操作として設計した。継続的な入力&値変更操作に適している瞬き→見開く、瞬き→細めるを割り当てた。家具にはS・M・Lの3段階があり、家具を選択している状態で、瞬き→見開くを2.0秒(2000ms)継続することで家具が1段階大きなサイズに変更され、瞬き→細めるを2.0秒(2000ms)継続することで家具が1段階小さなサイズに変更される。

**【家具の切り替え】**

家具の切り替えは、単発的な入力&ON/OFF 操作として設計した。単発的な入力&ON/OFF 操作に適している単一アイジェスチャである注視を割り当てた。家具を選択していない状態で、切り替えたい家具に視線を合わせ3.0秒(3000ms)の間注視することで、家具選択画面に切り替わる。家具選択画面では、類似した家具が3種類表示され、変更したい家具に視線を合わせ、瞬き→瞬きを行うことで家具が切り替わる。

以上をまとめると、家具配置システムにおけるそれぞれのVR空間操作に割り当てられたアイジェスチャ・コマンドは表2のようになる。

**4.4 評価方法**

評価方法は先行研究[5][6]と同様である。主観的指標(表3)として容易性、学習容易性、適合性、疲れにくさ、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。7を最高評価、1を最低評価として回答させている。また、各事例のユーザビリティを評価・分析するためSUS[7](表4)を用いた。

表2 「部屋の家具配置」におけるアイジェスチャと操作一覧

操作内容	VR空間操作の分類	アイジェスチャ
家具の切り替え	単発的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	注視
家具の選択・選択解除	単発的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	瞬き→瞬き
家具の回転	継続的なアイジェスチャを用いた ON/OFF 操作	瞬き→ウイंक
家具の拡大	継続的なアイジェスチャを用いた値変更操作	瞬き→見開く
家具の縮小	継続的なアイジェスチャを用いた値変更操作	瞬き→細める

表3 5項目の主観評価

項目	主観評価の内容
1	容易さ(この入力方法をどれくらい簡単に扱えるか)
2	学習容易性(この入力方法を覚えるのはどれくらい簡単だったか)
3	適合性(タスクに対してこの入力方法はどれくらい適していたか)
4	疲れにくさ(始める前と比べてどれくらい目が疲れなかったか)
5	好み(全体的にこの入力方法をどれくらい好んだか)

表4 SUSの評価項目

項目	主観評価の内容
1	この事例を頻繁に使用したいと思う
2	事例は不必要に複雑だった
3	事例が使いやすいと感じた
4	この事例を利用するには、技術者のサポートが必要だと思う
5	この事例のさまざまな機能は上手くまとまっていると思う
6	この事例には矛盾がとても多いと感じた
7	ほとんどの人がすぐ使いこなせるようになる事例だと思う
8	この事例は使うのがとても面倒だと感じる
9	自信を持って事例を操作できた
10	この事例を使いこなすには事前にたくさんの知識が必要だと思う

## 5. 実験

### 5.1 目的

本実験では、比較的实践に近い応用事例におけるインタラクション方法としてアイジェスチャを体験した場合でも、先行研究で行った基礎実験で得られた UI 特性が有効であるか確認するために実施した。4章で述べた「電子書籍閲覧システム」をタスク1、「家具配置システム」をタスク2とし、これらのタスクの体験後に得られた主観評価と SUS の結果から、VR 空間操作コマンドとしての各アイジェスチャの UI 特性について改めて分析するとともに、アイジェスチャを入力として用いた2つの事例のユーザビリティについても評価・分析する。

### 5.2 タスクと手続き

#### 【タスク1:電子書籍の閲覧】

タスク1で評価するアイジェスチャは、単一アイジェスチャである注視、瞬き、ウインク、見開く、細めるの5種類である。

実験手順は以下の通りである。

- (1) 参加者毎に目の動きの検出精度に差が出ないように VIVE Pro Eye を用いてキャリブレーションを実行
- (2) 実験参加者毎に筋電位の閾値を設定
- (3) 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
- (4) 実験者の指示によって事例を体験させる
- (5) 目の疲労が排除されるまで休憩を設ける
- (6) 5分間、実験参加者に事例を自由に体験させる
- (7) 目の疲労が排除されるまで休憩を設ける
- (8) 体験した全ての入力方法に対する主観評価に回答させる
- (9) 本事例全体に対する SUS に回答させる

#### 【タスク2:継続的な入力&ON/OFF操作(掴み操作)】

タスク2で評価する入力方法は、直列型アイジェスチャである瞬き→瞬き、瞬き→ウインク、瞬き→見開く、瞬き→細めると注視の5種類である。実験手順はタスク1と同

様である。

### 5.3 実験協力者

実験協力者は21~23歳の男性11名、女性1名で、矯正を含め、全員が正常視力を有した。

### 5.4 実験結果

タスク1、タスク2における主観評価の結果を図5、6に示す。グラフの縦軸が7段階のリッカート尺度を表しており、横軸は評価項目を表している。

また、タスク1、タスク2における SUS の結果を図7、8に示す。グラフの縦軸が5段階のリッカート尺度を表しており、横軸は評価項目の番号を表している。また、SUS のスコアはタスク1においては75.63であり、タスク2においては70.42であった。

### 5.5 考察

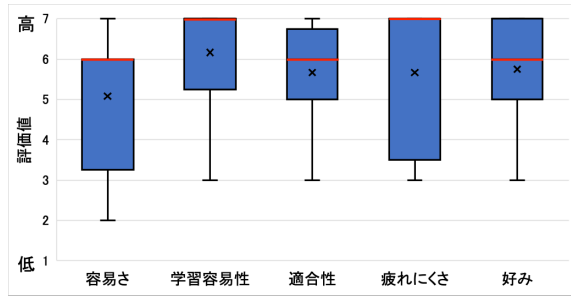
#### 5.5.1 アイジェスチャの分析

実験結果から、VR 空間操作コマンドとしての各アイジェスチャ(注視、瞬き、ウインク、見開く、細める)にどのような特性があるのか、また、どのような操作に適しているのかについて、先行研究の結果と比較しつつ考察する。

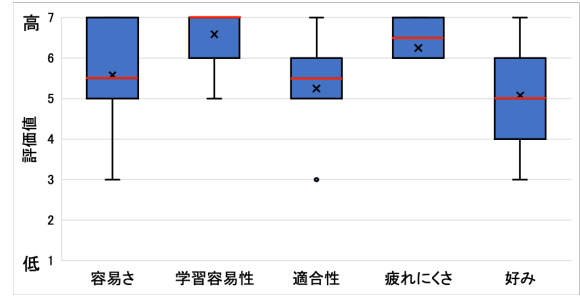
#### 【注視】

先行研究で行った基礎実験では、注視は誰でも簡単に扱えて疲れにくいアイジェスチャとして単発的な入力&ON/OFFとの組み合わせで非常に評価高かったが、本実験でも注視と単発的な入力&ON/OFFの組み合わせは評価が高かった。しかし、今回の実験を通して、意図せずに目標物に視線を向けていたことによる誤操作が見られた。本実験タスクでは、1つの目標物を3秒間見続けることで注

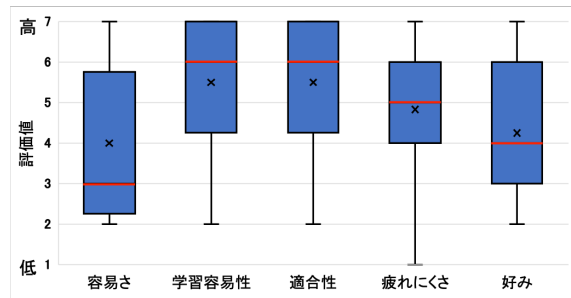




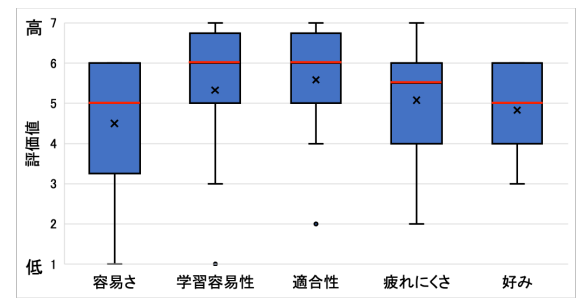
(a) 注視



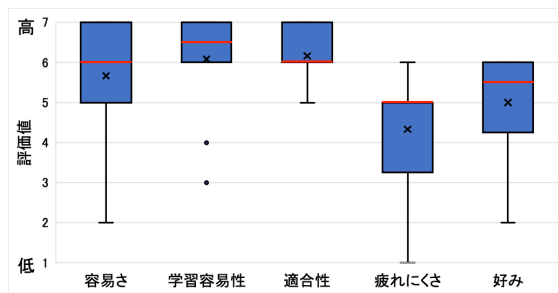
(b) 瞬き



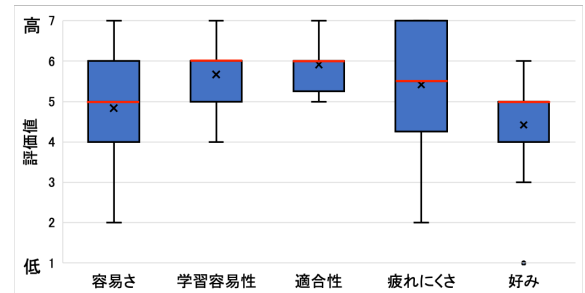
(c) 左ウインク



(d) 右ウインク



(e) 見開く



(f) 細める

図5 タスク1における5項目の主観評価結果

視と判定されるため、視線が無意識に仮想物体の方を向かないよう注意する必要があるとのコメントがあった。この問題を解決するために、実際に注視を利用する場合には、注視対象となる物体の制限が必要であると考えられる。具体的には、注視対象となるオブジェクトの数を限定するなどが挙げられる。

**【瞬き】**

先行研究で行った基礎実験では、瞬きは、誰でも簡単に扱え、疲れにくいアイジェスチャとして単発的入力&ON/OFF と単発的入力&値変更操作との組み合わせで評価が高かった。本実験でも、先行研究同様、瞬きの評価は高かった。しかし、今回の実験では、特にタスク1において、意図しないタイミングでの誤認識が多く見られた。瞬きは、目の渇きを防ぐために無意識にしてしまう動作であるため、エラーに繋がりがやすい。一方で、タスク2で採用した瞬き→瞬きのような直列型のアイジェスチャとして使

用する場合は、単一での瞬きと比べ、不随意にアイジェスチャとして認識されてしまう回数は大きく減少した、そのため、アイジェスチャとして瞬きを採用する場合は、直列型の瞬き→瞬きを採用するか、何か別の動作と併用するなど工夫する必要がある。後者の例として、ある物体に視線を合わせている場合のみ瞬きが識別されるなどの方法が考えられる。

**【ウインク】**

先行研究で行った基礎実験では、ウインクは得意な人にはエラーが少なく使いやすいが、苦手な人には難しく疲れやすいアイジェスチャであり、継続的入力&ON/OFF 操作との組み合わせで評価が高かった。しかし本実験では、容易さ・好み以外の項目では、ウインクの評価は低くなかったが、今回の実験協力者11名中7名が「ウインクが苦手である」と回答していることもあり、容易さ・好みが低い評価となった。直列型のアイジェスチャである瞬き→ウイ

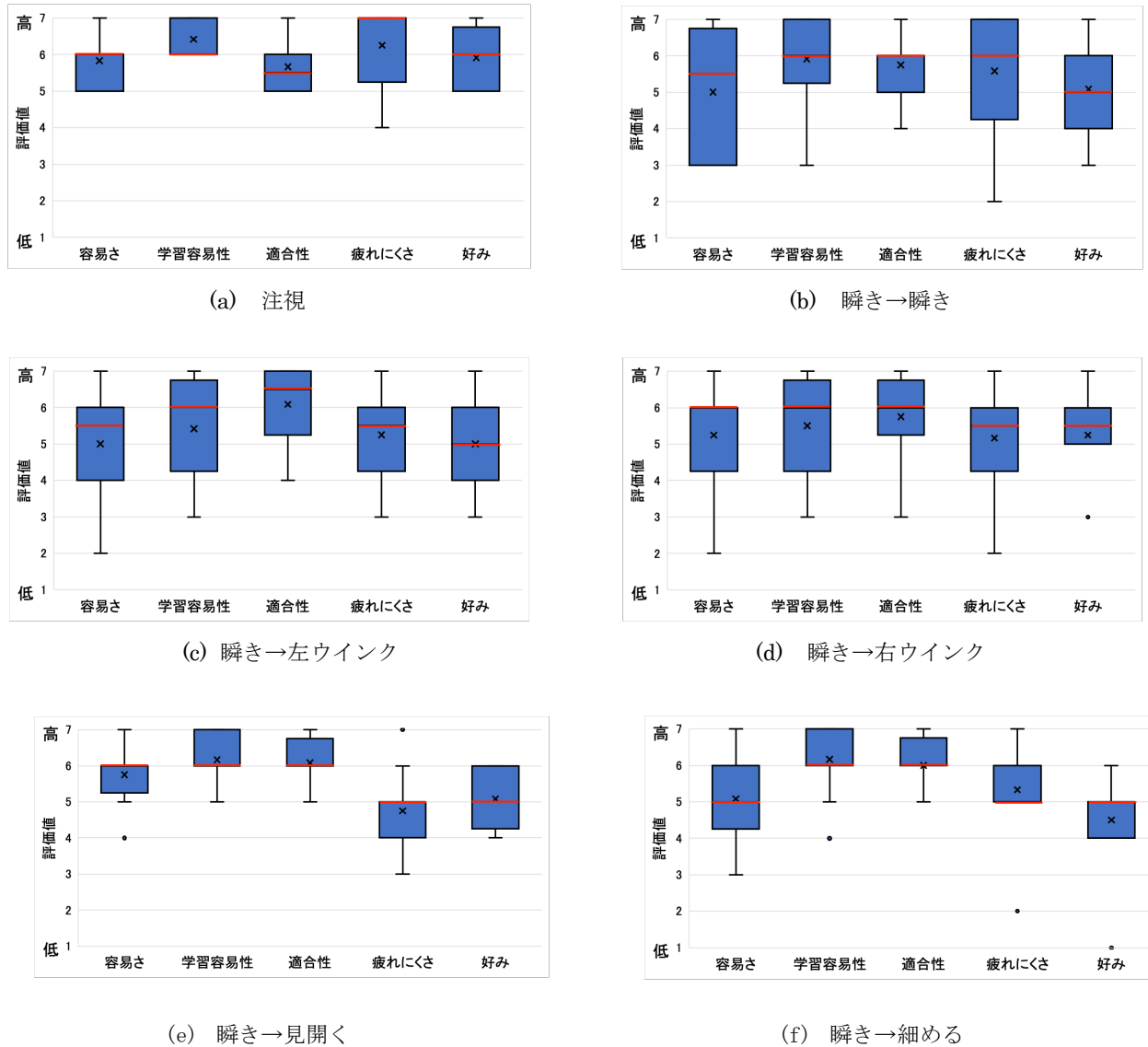


図7 タスク2における5項目の主観評価結果

ンクに関しても単一のウイंकと同様の傾向が見られた。

ウイंकは得意な人には大変使いやすいが、そうでもないという人にとっては、繰り返し入力を強いられると入力が難しく、万人向けとは言えない。

**【見開く】**

先行研究で行った基礎実験では、見開くは人によって得意不得意が分かれなない動作であり、エラー率が低い、疲れやすい、視線検出精度が下がりやすいといった特性があった。VR空間操作としては、継続的入力&値変更操作には比較的適しているという結果であった。本実験の結果も同様に、疲れやすいものの、他の評価項目は比較的評価が高かった。また、直列型のアイジェスチャの瞬き→見開くに関しては、単一の見開くとほぼ同様の特性が見られた。

**【細める】**

先行研究で行った基礎実験では、細めるは人によって得意不得意が分かれなない動作であるが、エラー率が高い、視

線検出精度が下がりやすいといった特性が見られた。また、見開くと同様に、VR空間操作としては継続的入力&値変更操作には比較的適しているという結果であった。本実験の結果も、先行研究における基礎実験と大きな違いはなかった。また、直列型のアイジェスチャの瞬き→細めるに関しても単一の細めると同様の特性が見られた。

さらに、本研究で使用した全てのアイジェスチャにおいて、適合性の評価平均が5.00を超えており、先行研究で得られたUI特性の有効性を確認した。

**5.5.2 2つの事例のユーザビリティ**

タスク1のSUSのスコアが75.63、タスク2のSUSのスコアが70.42と、SUSスコアの標準平均の68 [8]を上回っている。よって、本研究で構築した2つの応用例は共によりユーザビリティであったといえる。タスクごとのSUSスコアの差に注目すると、タスク1の方がスコアが5.21高い。これに関して、実験協力者からは、瞬き→瞬き

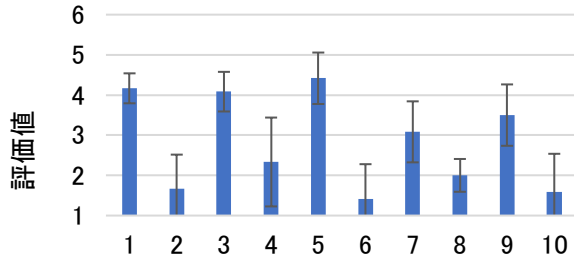


図7 タスク 1 における SUS の評価平均

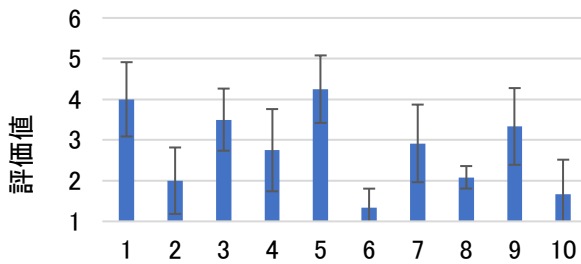


図8 タスク 2 における SUS の評価平均

に関しては、瞬き単一よりも直列型の方がエラーが減るが、ウイंक、見開く、細めるなど、日常動作による誤認識が少ないアイジェスチャに関しては、直列型にすることで余分な動作が増え、逆にエラーが増えるというコメントがあった。今回の実験で、直列型のジェスチャとした場合に、第2動作のアイジェスチャのUI特性が引き継がれる傾向が見られたことから、一つのアプリケーションに多くの種類のアイジェスチャ・コマンドを必要としないのであれば、瞬きは直列型、それ以外のアイジェスチャは単一ジェスチャとして採用することで、ユーザビリティもあがると思われる。

次に、SUSの各項目についての考察を述べる。「事例が使いやすいと感じた」の評価は高いが、「ほとんどの人がすぐ使いこなせるようになる事例だと思う」及び「自信を持って事例を操作できた」の評価は低かった。よって本研究で用いた応用事例は、使いこなせるようになるまでには練習が必要であるが、使いこなせれば快適に使うことができるといえる。また、「技術者のサポートが必要だと思う」の評価が高かった。これは視線や筋電位を使用するにあたってキャリブレーションが必要であることが主な理由として考えられる。また、「この事例のさまざまな機能は上手くまとまっていると思う」の評価が高く、「この事例には矛盾がとて多いと感じた」の評価が低かった。よって、本事例におけるアイジェスチャとVR空間操作の割当は自然でわかりやすかったと考えられる。また、「この事例を使いこなすには事前にたくさんの知識が必要だと思う」の評価が低かった。これは、瞬きやウイंकなど、日常的に行っている、またはやったことがあるアイジェスチャが多いためだと考えられる。

## 6. むすび

本研究では、先行研究で得られたアイジェスチャのUI特性をもとに複数のアイジェスチャを併用する応用事例を2つ実装し、これらの事例を利用してUI特性評価を行うことで、基礎実験から得られた各種アイジェスチャのUI特性が実際の応用事例で様々なアイジェスチャを併用する場合にも適用可能か確認した。

実験結果から、本研究で使用した全てのアイジェスチャにおいて、適合性の評価平均が5.00を超えており、先行研究で得られたUI特性は応用事例でも同様の結果が得られることを確認した。また、複数のアイジェスチャを併用したり、様々なタスクを自由に行う過程で、基礎実験では明らかになっていなかった無意識下での誤操作などが明らかになった。

また、先行研究で得られたUI特性を踏まえて設計された2つの応用事例が、いずれもSUSスコアの標準平均を上回っており、アイジェスチャを入力として利用してもユーザビリティに問題がないことが示唆された。

今後の展望としては、2種類のアイジェスチャを同時に行う並列型のアイジェスチャのUI特性の分析や、単一・直列型・並列型アイジェスチャ間でのUI特性の比較などが挙げられる。

本研究の使用機器を貸与していただいた京都大学工学研究科の中村裕一先生、筋電計測方法についてご指導いただいた井藤秀隆氏に感謝の意を表す。

## 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] V. Rajanna, J. Hansen: "Gaze typing in virtual reality: impact of keyboard design, selection method, and motion," Proc. Eye Tracking Research & Applications, No. 15, 2018.
- [4] J. Orlosky, T. Toyama, K. Kiyokawa, and D. Sonntag: "ModuLAR: Eye-controlled vision augmentations for head mounted displays," *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, vol.21, No.11, pp. 1259 - 1268, 2015.
- [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] 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.
- [7] Brooke, J. (1996): "SUS: a 'quick and dirty' usability scale," *Usability Evaluation in Industry*, pp. 189 - 194, 1996.
- [8] Jeff Sauro: *Measuring Usability with the System Usability Scale (SUS)*  
<https://measuringu.com/sus/> (最終閲覧: 2021年7月28日)