

身体性を重視した VR 空間操作コマンドとしての アイジェスチャの試作と考察

内村 裕也*1 大槻 麻衣*2 柴田 史久*1 木村 朝子*1

Design and Trial Use of Eye-Gestures as Physical Interaction Commands in VR Space

Yuya-Uchimura*1, Mai-Otsuki*2, Fumihisa-Shibata*1, Asako-Kimura*1

Abstract - Hand and finger gestures are in practical use as physical interaction commands in virtual reality space. Similar to these gesture commands, we aim for designing physical interaction commands using eye gestures. This paper is the early report of our trial. Firstly, we developed an initial set of eye gesture commands. To find out the characteristics of the initial set commands and to examine the factors required for eye gesture commands, we applied them to the multi-layered seeing-through system, as a specific application, which enables users to observe the invisible area to be observed by switching the layers to be displayed.

Keywords: Eye gesture, Virtual reality space, Interaction command, and Augmented human

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を意図している。

一般的に言えば「物を見るために目を開く」「眠るために目を閉じる」「移動するために歩く」のように、人は目的のために自然に身体を動かすことを身につけている。情報機器に対する恣意的な入力操作でも、自分の身体機能の1つとして自然に扱えることが望ましく、本研究ではこれを「身体感覚を伴う／伴っている」と定義する。

近年、ポスト WIMP 研究が活発化する中で、Microsoft 社の Kinect に見られるような、入力として身体部位を利用する UI が増えてきている。また、Augmented Human に関する研究が脚光を浴び、電子情報技術で身体機能を増強・拡張する研究が盛んである [1][2]。この場合、拡張した身体部位に関わる動作を UI として使うのが、直観的であり、操作コマンドとして覚えやすいと考えられる。

目に関して言えば、例えば、スーパーヒーローのように体内や建物内を透視したい場合、眉をひそめて凝視する、右折左折の方向指示を出したい場合、軽く眼球をその方向に動かす等々である。

こうした「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ば、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、アイジェスチャは検出しにくく、動作も安定せず、誤検出が少なくない。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。

本研究は、その第1ステップで、まだ予備実験レベルに過ぎないが、具体的にアイジェスチャ・コマンドを複数種類設計し、その内の「初期セット」を実装して、具体的な応用対象に適用することで、今後の研究に役立つ知見を得ることができた。

2. VR 空間操作に適したアイジェスチャ・コマンド

2.1 本研究が意図するアイジェスチャ・コマンド

我々の目指すアイジェスチャ・コマンドは、以下のような条件での利用を想定している。

- 座して、PC やビデオゲーム機の画面に向かっての利用するものではなく、VR/AR/MR のような空間型体験での対話コマンドとして使う。
- 当該身体部位である「目」＝「視覚機能」に関わる操作を、直観的で覚えやすく、かつ誤認識しないようなシチュエーションで利用する。
- 目的とする操作は先に設計されていて、適用対象に対

*1: 立命館大学大学院 情報理工学研究科

*2: 筑波大学 システム情報系

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

*2: Faculty of Engineering, Information, and Systems, University of Tsukuba

して、母集団となるコマンド体系から最適なコマンドセットを選択し、各操作と対応づけする。

- アイジェスチャだけで問題解決できない場合は、他の身体部位コマンド（手足、発話、首振りでの操作等）や非身体部位デバイス（ボタン、レバー等）との組み合わせも考える。

2.2 関連研究

身体性のある UI コマンドの代表例としては、ハンドジェスチャ、フィンガジェスチャ等があり、これまでに多数の研究例がある[3][4]。一方、眼球の動き、視線方向を検出し、分析する対象としては、「視線検出」が昔から試みられており、実施例も多い[5]。「視線検出」は注視点や動きそのものを分析して、心理学的な分析に使うことが多いが、注視点ではなく、目を動かす動作だけを我々の意図するアイジェスチャに使えなくはない。

我々の意図に最も近い研究事例として、Orlosky らの「ModulAR」がある[6]。これは、双眼鏡のような機器に目の動きを入力とすることで、景色を拡大縮小して観察できるシステムである。この研究では、拡大縮小機能の入力方法として、「目を細める」「2回連続で瞬きを行う」「一定時間目を閉じる」等の動作を提案し、それらを比較している。

2.3 アイジェスチャの検出装置

目的に応じた机上のデザインはできるが、それを安定して検出できる装置が必要となる。

アイトラッキングは大きく分けると、(i) 赤外線を用いる方法、(ii) 眼電位を用いる方法、(iii) 画像認識を用いる方法、の3つに分類できる。

(i) 赤外線を用いた手法では、眼球に赤外線を反射させることで、視線方向と、目の開閉を検出可能である。この手法は精度が良く、多くの機器で使われている。

(ii) 眼電位を用いた手法は、目の動きによって生じる電位差を測定することで、視線方向と、瞬きを検出する。しかし、現状精度が悪いという問題点がある。

(iii) 画像認識を用いた手法では、目の画像を取得してそれらを解析することで、目の動きを検出する。視線や目の開閉に加えて、目を細めるなどの動作対応可能となるが、検出装置が高額なものが多い[7]。

また、映像提示と同時に目の周辺の画像を撮影し、アイジェスチャを検出できる HMD も存在する[8]。

3. アイジェスチャ・コマンドの検討と整理

前章の前提での対話コマンドとして「アイジェスチャ」の体系を考えて行くのに、まずは制約条件なしで、どのようなアイジェスチャがあり得るかから考え、以下のようなアイジェスチャを列挙した。

「注視」「目を細める」「目を見開く」「寄り目」「両目を閉じる」「片目を閉じる」「瞬き（両目）」「ウインク（片目）」「視線の動き（例、上から下に視線移動）」...

これらの単独利用の他に、「瞬き」や「ウインク」等を「視線の方向」を組み合わせることも考えられる。

ここで、アイジェスチャを VR 空間操作コマンドとして設計・実装する上で、次の3点が重要であると考えた。

(a) 動作の単純化：目や瞼の動作が複雑であると、覚えるのにも、習熟するのにも時間がかかる、疲れるなどの問題が発生するため、なるべく単純な動作が望ましい。

(b) 誤認識の最小化：アイジェスチャはすべて意図的な操作コマンドだが、人は無意識の内に瞬きや視線移動を行ってしまう。それらの誤認識を最小化するため、なるべく恣意的な動作を操作コマンドとして選ぶ。

(c) 認識精度の安定化：認識精度が悪いと、正しく入力が行われず、操作に時間がかかる、疲れるなどの問題が発生する。「目を見開く」「寄り目」等は恣意的な動作であっても、レベル設定が難しく、安定した識別結果を得にくいと言える。

そこで、上記3つの条件を満たすアイジェスチャの「初期セット」として、後述の対象事例での利用を想定しつつ、比較的単純で認識精度の安定した以下の4種類の動作を選択した（図1）。

【3秒間注視】操作対象を3秒間注視する。注視している間機能が発動し、目を逸らすと停止する。ここでいう注視とは、視線を動かさずに一点を一定時間見続ける動作である。注視は日常生活でもしばしば用いる動作であるため、3秒間注視するという条件を加え、非意図的な目の動きとの誤認識を少なくする。1~2秒間の条件では、ただ見ているだけで誤って動作してしまうことが頻発した。そこで、誤認識が起こりにくく、かつ必要とされる時間ができるだけ短い3秒間の注視を採用した。

【2回瞬き】操作対象を見て2回連続で瞬きを行う。2回瞬きを行うと機能が発動し、もう一度行くと停止する。瞬きの回数に2回なる条件を加えることで、無意識の瞬きと識別できる。ダブルクリックとして、受入れられやすい。瞬き3回も試したが、回数が多く疲れやすかった。

【片目閉じ】操作対象を見て片目を閉じる動作。片目を閉じるは意図的な動作であり、無意識にすることは少な

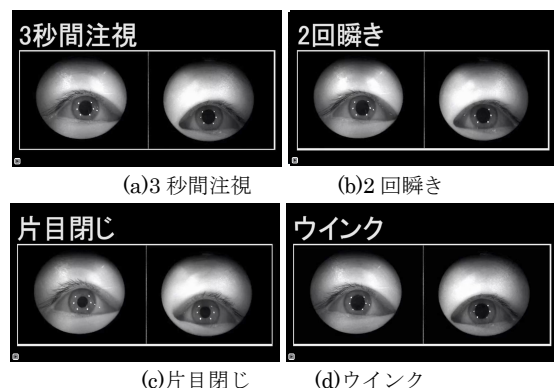


図1 アイジェスチャ初期セット

Fig.1 Initial set of eye gestures.

い。片目を閉じている間機能が発動し、開くと停止する。また、この入力方法では、左目と右目、どちらの目でも入力を行えるようにした。

【ウイंक】操作対象を見てウイंकを行う。ウイंक実行で機能が発動し、もう一度行うと停止する。ウイंकはさらに意図的な動作であり、誤動作は少ない。また、左目と右目、どちらの目でも入力できるようにした。

4. 対象事例：多層透視型映像体験システム

4.1 多層透視型映像体験システムの概要

上記で選んだ初期セットのコマンド 4 種を適応させる対象として、「多層透視型映像体験システム」を選択した。

多層透視型映像体験システムは、現実物体を視覚的に隠蔽・消去する隠消現実感(Diminished Reality; DR)の一形態である半隠消表示 (Half-DR) の応用例として考案したシステムである[9]。体験者の視野を遮断する建物などに対して、その奥にある光景の映像を重畳表示することで疑似的な透視機能を有している。

この多層透視型映像体験システムには、以下の 2 つのモードが存在する。

(A) **多層シースルー・モード**: 展望台等にある望遠鏡(双眼鏡)をメタファとし、山や建物の向こう側を電子的に拡大透視できる。体験者位置、視点位置が共に固定されていて、視線方向に存在する対象の層を透明化し、奥に存在する肉眼では観測できない不可視層を次々と透視し、同時に望遠観測を可能にする定点透視である(図 2(a))。

(B) **ムーブスルー・モード**: 上記の拡張形で、視点の自由度を向上させ、体験者位置は固定であるが、擬似的移動感覚を体験者に与えることで視点位置を移動させ、不可視領域である層を次々と透視することを可能にする。これによって、パースの異なる光景を順次視認できる。WWW で利用できる Google Street View の基本形が道路に沿った移動しかできないのに対して、本モードは建物を突き抜けて移動する体験を可能にする(図 2(b))。

両モードの基本機能としては、以下がある。

- (1) 手前の層の一部(透視窓)を透かし奥の層を表示
- (2) さらに奥の層への前進・後退と初期位置への復帰
- (3) 透視窓の拡大・縮小と窓形状の変形(デフォルトは円形で、楕円形等への変形可能とする)(図 3)
- (4) 観察視野の回転移動(パン&チルトでの見直し)
- (5) 観察視野の拡大・縮小(ズームイン/アウト)
- (6) 事前観測映像とライブ映像の切り替え
- (7) A, B 両モード間での切り替え

ムーブスルー・モードでは、(1)~(3)の機能が、次のような独自の仕様となっている。

(B-1) 遮蔽物の先への透過移動(視野は全画面表示)

(B-2) 上記移動後に、その層内での観察視点移動

(B-3) 上記 2 つの後退移動(逆回し)と初期位置復帰

本システムは、実世界の実写映像を多用した VR シス

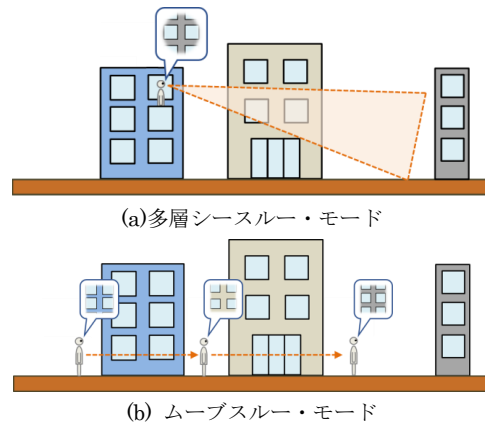


図 2 多層透視型映像体験システム

Fig.2 Multi-layered seeing-through system.



(a) 視界中央の円形窓内を透視 (b) 透視窓の変形と拡大表示

図 3 多層透視型映像体験の画面例

Fig.3 Examples of multi-layered seeing-through system.

テム、もしくは実世界中で体験する MR システムであり、透視対象となる光景は、実世界を事前に観測した静止画像、収録済みの動画(ビデオ映像)から生成している。

このシステムは、本研究とは独立に設計・開発されたもの(現在は PC の KB かゲームパッドで利用)[15]で、それ故に、今回のアイジェスチャとは素直に組み合わせを試すことができる。ここでは、上記 2 パターンのうちまずムーブスルー・モードの機能 (1)(2) に対して、初期セットコマンドを適用する。

4.2 透視のパターン

本研究での多層透視型映像体験システムでの透視とは、屋外で手前から順に建物を透視する「ムーブスルー・モード」であるが、その方式における透視には 2 パターンの透視方法が考えられる。即ち、建物 1 つずつ透視(透過移動)を行い、1 つ透視するごとに機能が停止する「離散的な透視」と、一時停止コマンドを発動しない限り次々と奥の建物を透視し続ける「連続的な透視」である(図 4)。

「離散的な透視」とは、ユーザが透視を開始した際に透視している建物の透過が完了すると、そこで透視が自動的に一時停止するものである。つまり、建物を透視し終わるとその場で止まるため、建物と建物の間で目標物を探す場面や建物間の景色を観測したい場面など、各層の状況を把握したい場合に用いられる透視であると考えられる。

一方、「連続的な透視」とは、ユーザが透視を開始した際にその時透視している建物の透過が完了すると、そのま

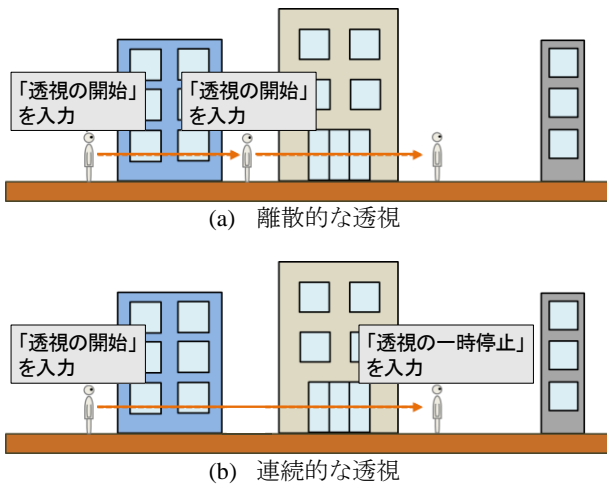


図4 離散的な透視と連続的な透視

Fig.4 Discrete perspective and continuous perspective.

またの建物の透視が始まり、ユーザが透視を一時停止させない限り、透視が連続的に続くものである。つまり、透視の一時停止を入力しない限り透視し続けるため、遠くの状況を可能な限り早く把握したい場面などにおいて、用いられる透視であると考えられる。

5. 初期セットによる試行実験結果と考察

5.1 実験の目的

今回は、アイジェスチャの初期セット4種をすべて多層透視型映像体験システムの同一機能に適用することで、4つのアイジェスチャ・コマンド各々のUI特性を確認するとともに、UIとして利用する際に必要となる検出項目を抽出することを目的とし、2種類の実験を行った。

実験1では、同じコマンドを繰り返し実行する場合、実験2では、コマンドとコマンドの間に異なるタスクが入る場合について実験する。



図5 システム構成
Fig.5 System configuration.

5.2 システム構成

この実験のためのシステム構成を図5に示す。アイジェスチャ認識と頭の位置を認識するヘッドトラッキングを達成するHMD型デバイスであるFOVE 0を用いて仮想空間で多層透視型映像体験システムに近い実験環境を実装した。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。

5.3 実験1

5.3.1 目的

実装したすべての入力方法を用いて透視のみを繰り返し行わせ、主観評価と作業時間から各入力方法にどのような特性があるのかを分析する。

5.3.2 内容

仮想空間において、実験協力者の正面に建物を等間隔で20個配置し、3.2節で述べた各入力方法を用いて建物をすべて透視させ、最奥に設置してある目標物を視界内に捉えさせた(図6)。また、この実験では各入力方法を用いた透視の作業時間の計測を行うため、実験協力者にはすべての目標物を可能な限り急いで透視させた。

5.3.3 条件・手順

実験1で評価する透視の開始・一時停止の入力方法は、アイジェスチャ6種類(初期セット4種+片目操作の2種)×2種類(連続/離散)の透視方法の12通りである。主観評価(表1)、作業時間から各入力方法を評価・分析する。主観評価は非常に悪いを「1」、非常に良いを「7」として評価する。実験協力者は20代の男性10名で、実験手順は以下の通りである。

- (1) 協力者毎に目の動きの検出精度に差が出ないようにFOVE 0を用いてキャリブレーションを実行
- (2) 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
- (3) 提示した入力方法を用いて透視を行わせ、最奥に

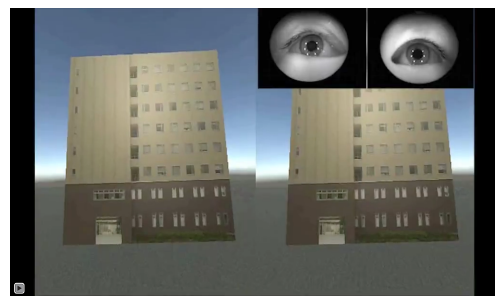


図6 実験1の様子
Fig.6 Scene of experiment 1.

表1 7項目の主観評価

Table 1 Subjective evaluation of 7 items.

a	慣れやすさ(初めて操作したときからどれくらいで慣れたか)
b	入力動作の容易さ(この入力方法をどれくらい簡単に扱えたか)
c	類似性(日常的に行う動作との類似性はどれくらいだったか)
d	自然さ(この動作によってどれくらい自分が透視していると感じたか)
e	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)
f	タスクの達成度(どれくらい予想通りに目標を達成できたか)
g	総合評価(この入力方法をどれくらい好んだか)

設置してある目標物を発見させる

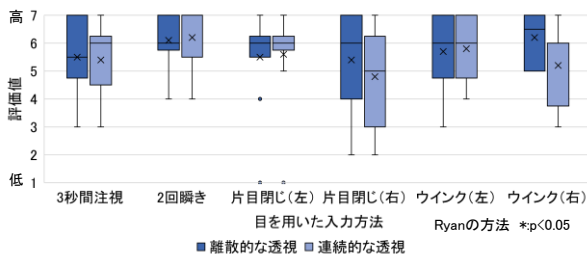
- (4) 目の疲労を排除するため、1分の休憩を設ける
- (5) 手順(3)~(4)を同じ入力方法で3回繰り返す
- (6) 実験後、体験した入力方法に関して主観評価を実施
- (7) 残りの入力方法についても手順(2)~(6)を繰り返す

5.3.4 結果

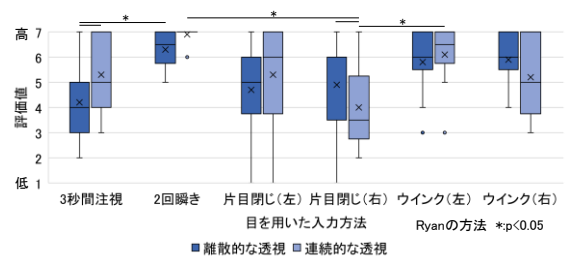
実験1における主観評価の結果を図7に示す。グラフの縦軸が7段階のリッカート尺度の中央値を表しており、横軸は入力方法を表している。主観評価の分析には、透視方法(2水準、離散的/連続的な透視、アイジェスチャ(6水準)を要因として、2要因分散分析を行った。その結果、入力動作の容易さ(図7(b))では、入力方法で

主効果が有意であった ($F(5, 45) = 4.33, p < 0.005$)。また、透視方法と入力方法の交互作用が有意であった ($F(5, 45) = 3.881, p < 0.01$)。

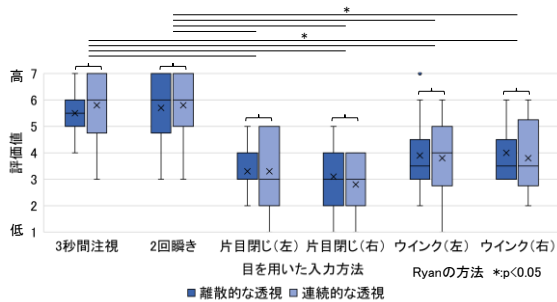
下位検定として、同一の入力方法における透視方法間の有意差を確認するため、単純主効果の検定を行った。その結果、入力方法が3秒間注視、片目閉じ(右)の場合に、透視方法間で有意差が見られた ($p < 0.05$)。次に、同一の透視方法における入力方法間の有意差を確認するために単純主効果の検定を行ったところ、離散的な透視と連続的な透視の両方で入力方法間に有意差が見られた。さらに、Ryanの方法を用いた多重比較を行った結果、離散的な透視の場合には2回瞬きと3秒間注視、連続的な



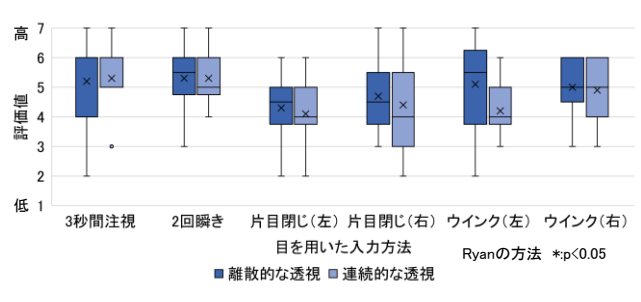
(a) 慣れやすさ



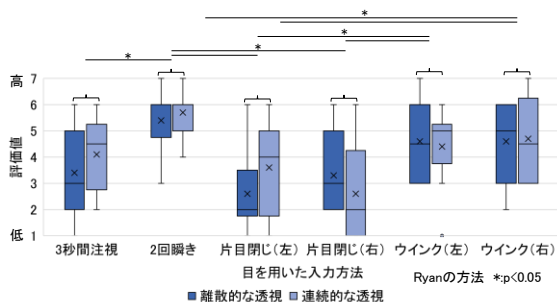
(b) 入力動作の容易さ



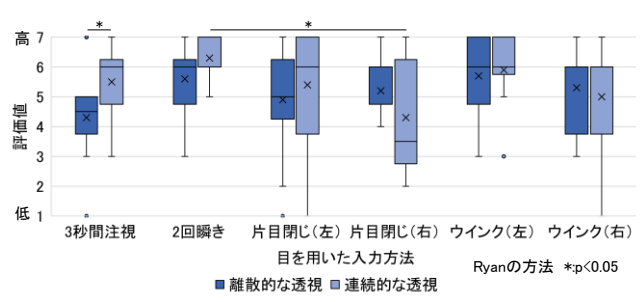
(c) 類似性



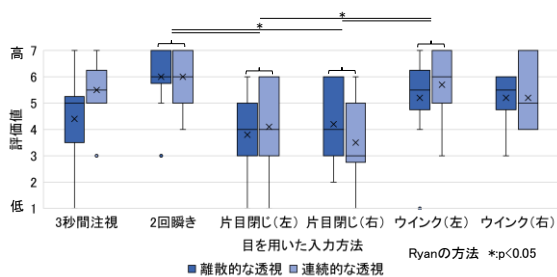
(d) 自然さ



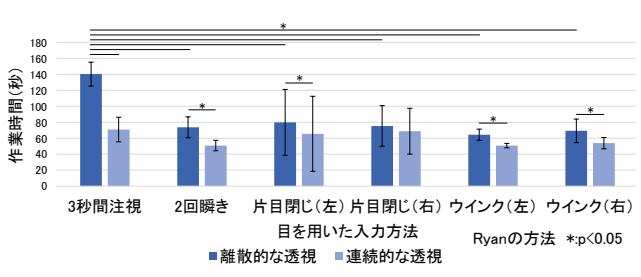
(e) 疲れにくさ



(f) タスクの達成度



(g) 総合評価



(h) 平均作業時間

図7 実験1 主観評価と平均作業時間の結果

Fig.7 The results of subjective evaluation and average time spent on the task in experiment 1.

透視の場合には2回瞬きと片目閉じ(右), ウィンク(左)と片目閉じ(右)の間に有意差が見られた ($p < 0.05$). また, 類似性(図 7(c)), 疲れにくさ(図 7(e)), タスクの達成度(図 7(f)), 総合評価(図 7(g))においても同様の処理を行い有意差を確認した.

次に, 実験 1 における平均作業時間を図 7(h)に示す. 縦軸が1 試行あたりの平均作業時間を表しており, 横軸は入力方法を表している. 平均作業時間の分析には, 透視方法(2 水準, 離散的/連続的な透視), 入力方法(6 水準)を要因として, 2 要因分散分析を行った. その結果, 透視方法, 入力方法ともに主効果が有意であった(それぞれ $F(1, 9) = 110.225, p < 0.001$, $F(5, 45) = 6.169, p < 0.001$). また, 透視方法と入力方法の交互作用が有意であった($F(5, 45) = 23.928, p < 0.001$).

下位検定として, 同一の入力方法における透視方法間の有意差を確認するため, 単純主効果の検定を行った. その結果, 入力方法が3 秒間注視, 2 回瞬き, 片目閉じ(左), ウィンク(左), ウィンク(右)の場合に, 透視方法間で有意差が見られた ($p < 0.05$). 次に, 同一の透視方法における入力方法ごとの有意差を確認するために単純主効果の検定を行ったところ, 離散的な透視で入力方法間に有意差が見られた. さらに, Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果, 離散的な透視における3 秒間注視と, ウィンク(左), ウィンク(右), 2 回瞬き, 片目閉じ(右), 片目閉じ(左)の間に有意差が見られた ($p < 0.05$).

5.4 実験 2

5.4.1 目的

実験 2 では, 実装したすべての入力方法を用いて透視を行い, 遮蔽物の奥に設置してある目標物を探させた. これは, 障害物である建物を透視させて建物の奥に設置されている目標物を探させることで, 主観評価とエラー回数から透視を必要とする場面における各入力方法の使用感を評価・分析するためである.

5.4.2 内容

仮想空間において, 実験協力者の正面に建物を等間隔で4 つ配置し, それぞれの建物の前方に設置してある 6×6 でランダムに並んでいる図形パターンから目標物である赤色の円形を各層で探させ, 1 秒間注視させる(図 8). この実験では, 各層で目標物を見つける必要があるため, 1 つの層で目標物を見つけて透視を行い, 次の層でまた目標物を見つけるために一時停止する必要がある.

目標物を見つける前に誤って透視を行ってしまった場合はエラーとしてカウントし, そのまま続行させる.

5.4.3 条件・手順

配置された図形には静止しているパターン, 縦に移動するパターン, 横に移動するパターン, 縦横に移動するパターンの4 つがある(図 8). また, それぞれのパターンが各層に登場する順番はランダムである.

実験で使用するアイジェスチャは実験 1 と同様であり,

主観評価, エラー回数から各入力方法を評価・分析する. 実験 2 では透視を必要とする場面における各入力方法の使用感を評価するため, 実験 1 の主観評価の項目にあった慣れやすさ, 類似性, 自然さを除外し, 表 1 の a ~ d の項目について評価を行った. 実験協力者は 20 代の男性 10 名であり, 実験手順は実験 1 とほとんど同じで, 手順(3)のみ, 「提示した入力方法を用いて透視を行わせ, 全ての層で目標物を探させる」とした.

5.4.4 結果

実験 2 における主観評価の結果を図 9 に示す. 主観評価の分析には, 透視方法(2 水準, 離散的/連続的な透視), アイジェスチャ(6 水準)を要因として, 2 要因分散分析を行った. その結果, 入力動作の容易さ(図 9(a))では, 透視方法, 入力方法ともに, 主効果が有意であった($F(1, 9) = 21.202, p < 0.005$, $F(5, 45) = 7.807, p < 0.001$). また, 透視方法と入力方法の交互作用が有意であった($F(5, 45) = 13.48, p < 0.001$). 下位検定として, 同一の入力方法における透視方法間の有意差を確認するため, 単純主効果の検定を行った. その結果, 入力方法が2 回瞬き, ウィンク(左)とウィンク(右)の場合に, 透視方法間で有意差が見られた ($p < 0.05$). 次に, 同一の透視方法における入力方法ごとの有意差を確認するために単純主効果の検定を行ったところ, 離散的な透視と連続的な透視の両方で入力方法間に有意差が見られた. さらに, Ryan の方法を用いた多重比較を行った結果, 離散的な透視の場合には3 秒間注視と2 回瞬き, ウィンク(右), ウィンク(左), 片目閉じ(右), 片目閉じ(左), 連続的な透視の場合にはウィンク(右)と片目閉じ(左), 片目閉じ(右), また, 片目閉じ(左)と3 秒間注視, 片目閉じ(右)と3 秒間注視の間に有意差が見られた ($p < 0.05$). また, 疲れにくさ(図 9(b)), タスクの達成度(図 9(c)), 総合評価(図 9(d))においても有意差を確認した.

次に, 平均エラー回数を図 10 に示す. 縦軸が1 試行あたりの平均エラー回数を表しており, 横軸は入力方法を表している. 平均エラー回数の分析には, 透視方法(2 水準, 離散的/連続的な透視), 入力方法(6 水準)を要因として, 2 要因分散分析を行った. その結果, 透視方法, 入力方法ともに主効果が有意であった($F(1, 9) = 17.725, p <$

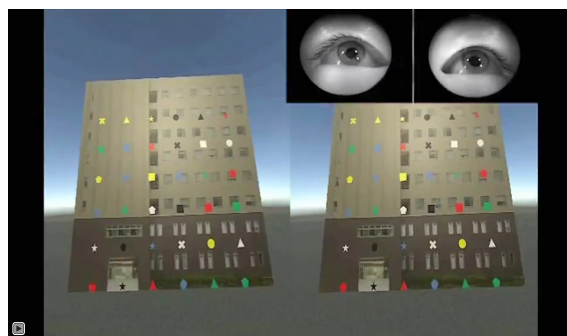
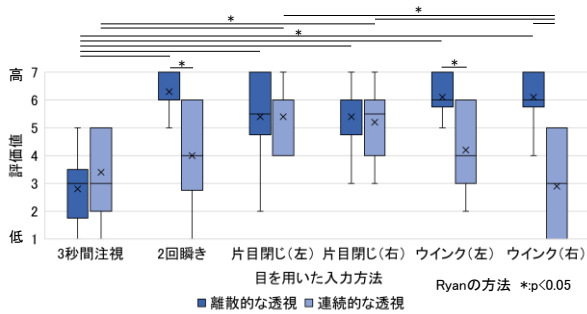
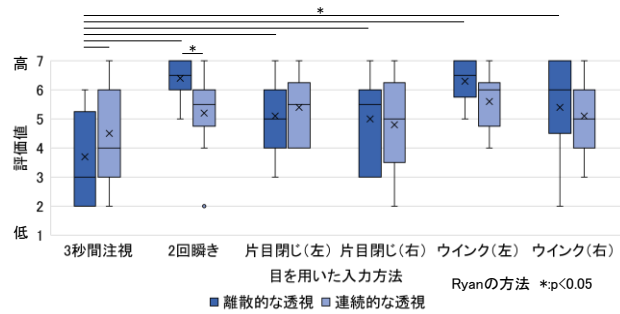


図 8 実験 2 の様子

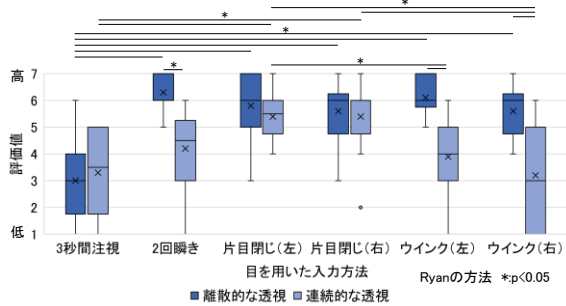
Fig.8 Scene of experiment 2.



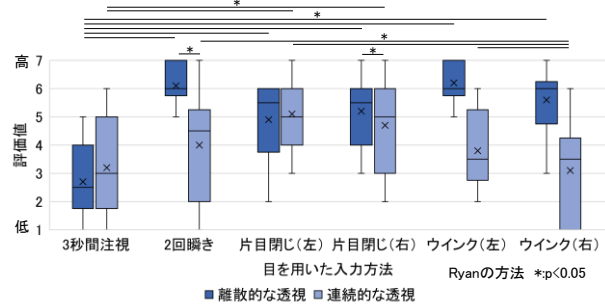
(a) 入力動作の容易さ



(b) 疲れにくさ



(c) タスクの達成度



(d) 総合評価

図9 実験2の主観評価結果

Fig.9 The results of subjective evaluation in experiment 2.

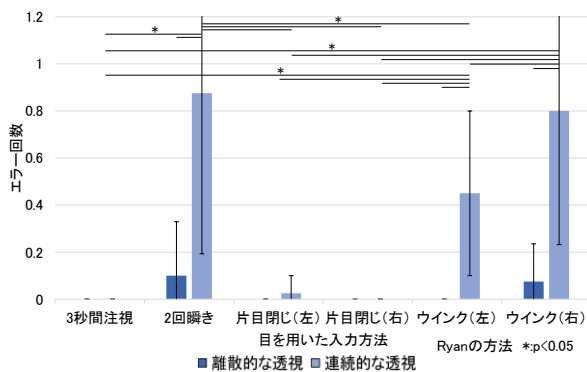


図10 実験2 平均エラー回数

Fig.10 Average error count in experiment 2.

0.005, $F(5, 45) = 11.408$, $p < 0.001$). また、透視方法と入力方法の交互作用が有意であった ($F(5, 45) = 10.692$, $p < 0.001$). 下位検定として、同一の入力方法における離散的と連続的な透視の間の有意差を確認するため、単純主効果の検定を行った。その結果、入力方法が2回瞬き、ウィンク(左)、ウィンク(右)の場合に、透視方法間で有意差が見られた ($p < 0.05$)。次に、同一の透視方法における入力方法ごとの有意差を確認するために単純主効果の検定を行ったところ、連続的な透視で入力方法間に有意差が見られた。さらに、Ryanの方法を用いた多重比較を行った結果、連続的な透視における2回瞬きと、ウィンク(右)以外の全入力方法、ウィンク(右)と2回瞬き以外の全入力方法、ウィンク(左)と3秒間注視、ウィンク(左)と片目閉じ(右)、ウィンク(左)と片目閉じ(左)の間に有意差が見られた ($p < 0.05$)。

6. 考察・検討

実験1, 2の結果から、多層透視型映像体験システムにおいてアイジェスチャを用いた適切な入力方法を考える際にどのような要素が必要なのかを考察した。

【慣れやすさ】アイジェスチャを用いたどの入力方法においても7段階中5以上の評価があったため、どの入力方法においても慣れやすい感覚があることを確認した。これは、アイジェスチャは元々人が行う動作であるため、入力動作に複雑な手順などを組み合わせない限り、慣れやすさに悪い影響を与えることはないと思われる。このことから、普段使用する目の動きと似通ったアイジェスチャであれば、慣れやすさを重視する必要がないことを確認した。

【入力動作の容易さ、疲れやすさ】2回瞬き、ウィンクは他の入力と比べると、入力動作が容易な傾向にあることが分かった。これは、両者の入力動作を行う時間が短いためだと考えられる。具体的には、3秒間注視と片目閉じは、透視をしている間ずっと入力動作をしなければならないが、2回瞬きとウィンクに関しては、透視を開始する際に一度入力動作を行うことで一時停止しない限り透視が継続する。また、入力動作の容易さが高評価の場合、疲れにくさや総合評価も高評価である傾向にあるため、入力動作の容易さ、疲れにくさは適切な入力方法を考える際に重要な要素だと推測できる。

【類似性、自然さ】3秒間注視と2回瞬きは他の入力と比べると、日常的な動作に近いことが分かった。また、自然さについて、どの入力方法においても7段階中4以上の評価があったため、評価の高い入力方法はもちろん、

評価の低い入力方法でも透視している感覚があることを確認した。日常的な動作と類似しているかどうか、透視している感覚に何らかの影響を与えると予想していたが、結果としては差が見られなかった。これは、入力方法にアイジェスチャを用いることで、一定の透視している感覚を得られることと、人によって透視のイメージが異なるからだと考えられる。このように、入力方法に目を用いた時点で透視している感覚は得られているため、類似性や自然さは不自然な入力動作でない限り、考慮する必要はないと考えられる。

【タスクの達成度】 離散的な 3 秒間注視は他の入力と比べてタスクの達成度が低い傾向にあることが分かった。これは、実験 2 では目標物を見つけさせるために、建物間に多数のオブジェクトが設置してあり、他のものに視線を奪われやすく、無意識に注視を中断してしまい透視を一時停止してしまうことが原因だと考えられる。一定時間注視する動作は周りの景色によって影響されやすい。アイジェスチャの設計・選択では、実行時に集中力を必要とするかどうかとも考慮すべきである。

【総合評価】 実験 1 において 2 回瞬きとウイंक、実験 2 においては離散的な透視の 2 回瞬き、ウイंकの総合評価が高いことが分かった。先述の通り、これらの結果が、入力動作の容易さと疲れにくさの評価と近似していることから、入力動作が容易で疲れにくいことが適切な入力方法に必要とされる要素と考えられる。

また 2 回瞬きとウイंकにおいて、実験 1 では離散的な透視と連続的な透視の総合評価には差がなく、実験 2 では離散的な透視の総合評価が高かった。実験 1 の多層に渡り繰り返し透視を行う際には、連続的な透視の評価が高くなると予想していたが、予想に反して差は見られなかった。これは、透視方法によって評価は変わらず、アイジェスチャそのものが評価の要因であることを表している。また、実験 2 の各層を観測する必要がある際には、連続的な透視のエラー回数が離散的な透視と比べて多いことも理由として考えられる。連続的な透視は各層でタスクを行うために一時停止を入力する必要があるが、一時停止を入力するタイミングが遅れて通り過ぎてしまう、一時停止させるために焦って何度も入力を行ってしまい一時停止してすぐに透視を再開して通り過ぎてしまうといったことがエラー回数が多い原因である。これらのことから、透視方法としては、離散的な透視であることが求められる。

上記で述べたことから、透視を行う際の入力動作を行う時間が短く、かつ人によって得意不得意が分かれぬ要素を含んでいるアイジェスチャを用いた離散的な透視が、多層透視型映像体験システムにおいて、適切な入力方法であると言える。

7. むすび

本研究では、身体感覚がある UI 設計の事例として「ア

イジャスチャ」を考え、その操作コマンド体系構築の第 1 歩としての試験的な研究の結果を報告した。

予備的な実験と検討の結果、「初期セット」として 4 種類のアイジェスチャ・コマンドを設計・実装した。応用対象事例として、独立して開発された「多層透視型映像体験システム」を選び、「初期セット」を適用し、その結果の分析、考察を行った。

検討結果として、透視を行う際の入力動作を行う時間が短く、かつ人によって得意不得意が別れない要素が必要であることを確認した。また、透視方法としては離散的な透視が適切であることが分かった。

今後は、「コマンドセット」の種類を増やし、安定性も増して、目的とする「アイジェスチャ・コマンド体系」の充実を目指して行きたい。

参考文献

- [1] 吉田成朗, 他: ジェスチャ操作型飛行ロボットによる身体性の拡張; 情報処理学会インタラクション 2012, IPSJ Interaction 2012, pp. 403 - 408 (2012).
- [2] 遠山茂樹: 農業用パワーアシストスーツの開発; 農業機械学会誌, 第 72 巻, 第 2 号, pp. 109 - 113 (2010).
- [3] E. Chan, et al.: User elicitation on single-hand microgestures. Proc. CHI'16, pp. 3403 - 3414 (2016).
- [4] E. Krupka, et al.: Toward realistic hands gesture interface; Proc. CHI'17, pp. 1923 - 1934 (2018).
- [5] 中村亮太, 他: Web ページ評価のための視線測定と文書構造解析を組み合わせた注視情報視覚化; 情報処理学会論文誌, Vol.52, No. 12, pp. 3868 - 3875 (2011).
- [6] J. Orlosky, et al.: Modular: Eye-controlled vision augmentations for head mounted displays; Proc. IEEE transactions on visualization and computer graphics, pp. 1259 - 1268 (2015).
- [7] <http://ni4muraano.hatenablog.com/entry/2018/01/24/205253>
- [8] FOVE 0 (<http://ex-press.jp/wp-content/uploads/2017/08/20170817Osram.pdf>)
- [9] 石橋朋果, 他: 多層透視型映像体験システムの再設計とユーザーインタフェースの検討, 情報全集, 3X-09, pp. 4-93 - 4-94 (2018).