

# 首を自在に伸縮できるビデオシースルー AR システム のための操作方法の検討

山崎晋之介<sup>1,a)</sup> 大西鮎美<sup>1,b)</sup> 寺田 努<sup>1,c)</sup> 塚本昌彦<sup>1,d)</sup>

**概要：**ヘッドマウントディスプレイなどの頭部装着型デバイスの普及に伴い、それらを用いた人間の身体拡張に関する研究が注目を集めている。身体拡張システムの操作方法においてコントローラなどの入力デバイスを用いると咄嗟の操作が難しいことや操作を覚える必要があることといった問題がある。そこで、本研究では直観的に操作が行えるように人間の自然な動作(ジェスチャ)を入力キーにする。本論文では、広角・高解像度のカメラが搭載されているビデオシースルー AR を用いて首を自在に伸縮・移動することによって視点の移動を拡張する身体拡張システムを題材とし、このようなシステムのためのジェスチャ入力方法を検討した。今回は提案システムのプロトタイプとして、屋外で利用するような AR システムではなく、VR 空間でインタフェースの使い心地を試せるような VR システムを構築し、ジェスチャ入力方法を検討できるようにした。そして、検討したジェスチャによる操作とコントローラによる操作で操作性を比較するための評価実験を行った。実験の結果、被験者に共通してコントローラによる操作が操作性において優れていることが分かった。また、主観評価ではジェスチャによる操作で没入感が得られるということが分かった。

## 1. はじめに

ヘッドマウントディスプレイ (HMD) などのウェアラブルデバイスが普及している。例えば、HTC 社の HMD である VIVE Pro Eye[1] は高精度なアイトラッキングができ、さらに同社の VIVE フェイシャルトラッカ [2] を取り付けることでリアルな表情と口の動きといった人間のしぐさを正確に捉えることができる。また、株式会社 JVC ケン伍ドの HMD である HMD-VS1W[3] は、ハーフミラーを用いることで高画質・広視野角なデジタル映像を実世界に違和感なく融合できる。

このような高い性能を持った HMD を利用し、人間の身体拡張システムに関する研究が数多く行われている。例えば、Higuchi らの Flying Head では、人間の頭部動作とカメラを搭載した無人航空機 (UAV) を同期させ、ユーザが装着する HMD に UAV のカメラ映像を提示することによって、視点が自由に空中移動する視覚効果が得られる [4]。このような研究と HMD といったウェアラブルデバイスの高性能化が進むことにより、日常的に身体拡張を行う機会が増えると予想される。

身体拡張システムの操作にコントローラなどの入力デバイスを用いると、ゲーム内でキャラクタを操作するのと同じ感覚で身体操作が行えるという利点がある。しかし、コントローラを手を持つ必要があるため、咄嗟の操作が難しいことや操作方法を覚える必要があることといった課題がある。また、日常生活での利用を想定するとハンズフリーで操作できることが望まれる。

そこで本研究では、身体拡張システムの入力方法としてユーザが身体拡張したいと思ったときに表れる自然な動作(ジェスチャ)をキーにして直観的に入力を行う方法を考える。直観的に入力が行える方法を採用することで、思い通りに操作でき、習熟にかかるコストが低いシステムの設計が期待できる。

本研究では、首を自在に伸縮・移動させるような身体拡張によって人間の視点移動を拡張するシステムを題材とし、首が上方向、前方向、後ろ方向に自在に伸びる身体拡張システムのためにジェスチャ入力方法を検討する。図 1 は提案システムのイメージである。HMD には広角・高解像度なカメラが搭載されているビデオシースルー AR を用いることを想定している。HMD に搭載されている広角・高解像度なカメラから映像を取得し、そこから首を仮想的に動かした後の映像を生成して、HMD に提示する。例えば、日常生活で自分の身長より高い壁の反対側を見ようと

<sup>1</sup> 神戸大学大学院工学研究科

a) shinnosuke-yamazaki@stu.kobe-u.ac.jp

b) ohnishi@eedept.kobe-u.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp

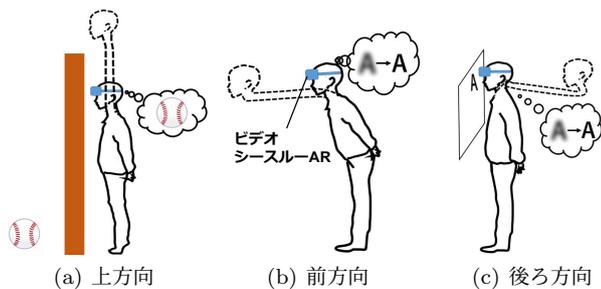


図 1 提案システムのイメージ

するとき、顎を突き上げる動作は人間にとって自然である。このような視覚的制限があるときに行う人間の動作をシステムが認識し、頭部装着カメラが上方向に伸びれば、自然な動作の倍率が上がるように視点移動の拡張ができる。

本論文では、このシステムのジェスチャ入力方法の検討のために、そのような視覚的制限があるときに人間が行う動作を観察した。今回は提案システムのプロトタイプとして屋外で利用するような AR システムではなく、VR 空間でシステムの使い心地を試せるような VR システムを構築した。そして、その VR システムを用いてコントローラによる操作方法とジェスチャによる操作方法で操作性を比較し、検討したジェスチャ入力方法が適切であるか確かめるための評価実験を行った。

本論文では、以降 2 章で関連研究を紹介する。3 章で提案手法を説明し、4 章で評価実験について述べる。結果をふまえて 5 章で議論し、6 章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

本章では、様々な身体拡張システムに関する研究を紹介する。

### 2.1 HMD を用いた人間の身体拡張に関する研究

HMD を用いて人間に 360° の視野を提供するシステムに関する研究が行われている。Liang らはユーザの HMD に提示する 360° カメラ映像の歪みを減らし、関心のある方向の領域を拡大するための 3 つの手法で最適なものを調査している [5]。3 つの手法とは視線選択、ポインティング選択、自動選択である。視線選択手法はユーザの注視点の歪みを減らす手法である。ポインティング手法はユーザが手に持ったコントローラで歪みを減らしたい方向を指す手法である。自動選択手法は顔検出モジュールを利用して、近くの人を自動検出し、その方向に関心のある方向とみなす手法である。これらの手法で日常のタスクを実行し、主観的なシュミレータ酔いを評価した。主観評価では視線選択が最も酔いにくいと回答した被験者が多く、最適な手法であることが分かった。

また、HMD と UAV を用いた人間の視覚拡張システムに関する研究が行われている。Okan らは人間の視覚をド

ローンによって拡張するシステムを提案している [6]。このシステムは屋内環境のような狭い空間を探索する際でも UAV を外心視点で間接的に操作することで、X 線視覚をシュミレートできる。このインターフェースは 3 つの機能を持っている。Pick-and-place 機能は、ユーザが UAV を見て、ピンチのジェスチャーで UAV を摘み、手を動かすことで 3D 空間内で UAV を再配置することができる。Gaze-to-see 機能は、HMD で取得できるユーザの視線を用いて、ユーザが注視している部分に UAV を動かすことができる。Overview-and-detail 機能は、UAV を目的の地点に誘導した後、UAV に搭載されているカメラ映像を一人称視点にする自己中心視点と外心視点を選択することができる。実験では閉塞した空間内の文字を探索するというタスクを、従来の UAV リモート操作であるジョイパッドと提案手法による操作で行い、操作性を比較した。実験結果では、提案手法である外心視点による操作方法で操作性が高く、アンケート調査では Pick-and-place 機能が最も好みであるという回答が得られた。

Higuchi らの Flying Head では、人間の頭部動作とカメラを搭載した無人航空機 (UAV) を同期させ、ユーザが装着する HMD に UAV のカメラ映像を提示することによって、視点が自由に空中移動する視覚効果が得られる [4]。このシステムでは頭部動作と UAV を同期させる手法として、モーションキャプチャカメラによって外部からユーザの動きを捉え、ユーザの移動量を UAV の移動量にマッピングしている。

これらの身体拡張システムではユーザのジェスチャによって入力を行っているが、どういったジェスチャが入力方法として適しているかについての検討は行っていない。本研究では観察調査を行うことによって、首を自在に伸縮・移動できる身体拡張システムにおける直観的な入力方法を検討する。

### 2.2 身体動作を入力方法として用いた人間の身体拡張システムに関する研究

身体動作を入力方法として用いた人間の身体拡張に関する研究は数多く行われている。吉田らは、三次元空間で高い移動性を持つ小型の飛行ロボット (UAV) を用いて、人間の身体性を拡張する方法を提案している [7]。深度カメラを用いて、ユーザの両腕を飛行機の翼に見立てたジェスチャを取得し、UAV の操作を行う手法を提案している。

小川らは、バーチャルなピアノ演奏を行うアプリケーションにおいて、運動と同期する視聴覚フィードバックによる擬似的な触力覚を生起させた [8]。これにより、ユーザはあたかも自分自身の手が変形したかのような体験を得ることができる。

蟹江らは「首の伸び」を甲骨帯の「挙上」「引き下げ」の動作であると仮定し、肩や背中に加速度センサを取り付け

ること首の伸びを認識する手法を提案している [9]. そしてその動作をエンタテインメントに向けた VR コンテンツに操作方法として取り入れている.

中村らは, 実世界の視覚情報の上にさらに仮想世界の情報を重層表示する AR 技術に, 眉間の動きによって情報量をフェーダー操作する手法を提案している [10]. 眉間による操作は, ユーザの無意識的な感情表出と意識的な操作のどちらにも対応したデザインが可能となる.

本研究では, 首が自在に伸びる身体拡張システムを日常生活で利用することを想定している. そのため, コントローラを手を持つ設計にすることは難しく, これらの研究のように人間の身体動作によって操作を行う. しかし, どのような身体動作が人間にとって直感的に行えるかの検討はされていない. 本論文では, 身体拡張システムにおける直観的なジェスチャ入力方法を検討する.

### 2.3 VR 空間で身体所有感を誘発させるための工夫に関する研究

没入型バーチャルリアリティを用いて, 仮想体に対する身体所有感の錯覚を誘発できることは示されている. Tabitha らは, 肌が明るい被験者を対象として VR 空間内で肌の色が異なる仮想体を体現させ, 暗黙の人種バイアスの変化について調べた [11]. この研究では, VR 空間で自身の動きに同期する仮想体を操作する実験において, 仮想ミラーで自らの姿を確認させるフェーズを取り入れている. このことによって, 被験者により高い主観的な所有感をもたらしたと述べられている. 本研究でも, VR 空間で仮想体を利用した実験を行う際に, 被験者の仮想体に対する身体所有感を高めるため, 同様のフェーズを採り入れる.

## 3. システム設計

### 3.1 想定環境

本論文では, 日常生活での使用を想定した首を自在に伸縮・移動させるような身体拡張によって人間の視点移動を拡張するシステムを題材とし, このようなシステムのための自然なジェスチャ入力方法を検討する. 首を自在に伸縮させるためには, 伸ばしたいと思ったときに伸び, その場でとどめたいと思ったときに伸縮がとまり, さらに元の首の長さに戻りたいと思ったときに縮むようなシステムを設計する. 人間の首は現実には伸びないが, 伸ばすことを想像したときに現れる動作のうち, 被験者間で共通なものがあれば, それを自然なしぐさとして入力ジェスチャに採用する. なお, 本論文で提案するシステムは日常利用を想定しているため, 入力ジェスチャによる操作に対してユーザは十分習熟した状態で使用する.

### 3.2 入力ジェスチャ決定のための自然なしぐさの調査

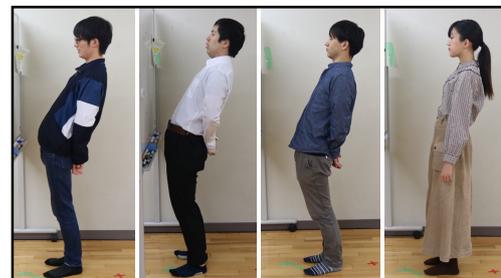
首が上方向, 前方向, 後ろ方向に自在に伸びる身体拡張



(a) 上方向



(b) 前方向



(c) 後ろ方向

図 2 被験者の動作

システムの入力方法となるジェスチャを決めるために予備調査を行った. 人間が首を各方向に伸ばしたいと思う状況を想定して被験者には普段行うように次の (a) から (c) の動作をさせて観察した.

(a) 上方向 身長より高い壁の反対側を見ようとする動作

(b) 前方向 遠くを見ようとする動作

(c) 後ろ方向 目の前の大きなものを見ようとする動作

被験者は, 成人 4 名 (男性 3 名, 女性 1 名) である. (a) から (c) の動作では, 足の場所は固定し, 上体は自由に動いても良いこととした.

予備調査の結果について図 2 は被験者の (a) から (c) の各動作で最も見ようとする気持ちが表れていると筆者が判断した場面を抜き出したものである. 図 2(a) より身長より高い壁の反対側を見ようとする動作では, 被験者らが壁の反対側を見ようとするときに視線を上げようとするので「顎を上突き上げる動作」, 「胸を張る動作」, 「つま先立ちになる動作」が全員に共通して観察された. 図 2(b) より遠くを見ようとする動作では, 被験者らが遠くのものを見ようとするときに近づこうとすることで「顔を前に突き出す動作」, 「腰を前に曲げる動作」, 「目を細める動作」が



(a) 顎を上突き上げ (b) 顔を前に突き出す (c) 首を後ろに引く動作

図 3 各動作を認識するためのセンサ配置

全員に共通して観察された。図2(c)より近くにある大きなものを見ようとする動作では、被験者らが目の前のものを視野に入れて見やすくしようとする事で「首を後ろに引く動作」、「腰を反らす動作」が全員に共通して観察された。

予備調査の結果から首が上方向、前方向、後ろ方向に自在に伸びる身体拡張システムのための入力ジェスチャを設定した。各方向に首が自在に伸びる身体拡張システムの入力ジェスチャは以下の動作が適していると考えた。

- (a) 上方向 顎を上突き上げる動作
- (b) 前方向 顔を前に突き出す動作
- (c) 後ろ方向 首を後ろに引く動作

これらの動作は頭部周辺に表れたものである。想定しているシステムはHMDを用いるため、頭部周辺でまとまったシステム設計を目指し、これらの動作を入力ジェスチャとした。

### 3.3 ジェスチャ認識のためのセンサ配置

予備調査の結果から検討した入力ジェスチャを認識するためのセンサ配置を設定した。図3は、「顎を上突き上げる動作」、「顔を前に突き出す動作」、「首を後ろに引く動作」を認識するためのセンサとその配置を示したものである。首の前方にIMAGES SCIENTIFIC INSTRUMENTS社のストレッチセンサFlexible Stretch Sensor[12]、首の前後に株式会社ヒロテックの曲げセンサFLEX SENSOR[13]を配置して、首の前方の伸びと首の前後の角度を取得すれば、それらの値に基づき認識可能と考えた。

### 3.4 センサの閾値設定

図4は3.4節で検討した首が上方向に伸びる身体拡張システムの入力ジェスチャを認識するストレッチセンサ値の時間波形とそのときのユーザの様子である。図4に示すように閾値 $Th_1$ 、 $Th_2$ を決める。この閾値の決め方はユーザが正面を向いた自然な状態で強めにストレッチセンサを張り、そのときのセンサ値を $Th_1$ とする。そして、顎を上突き上げ、ストレッチセンサが伸びきる少し前のセンサ値を $Th_2$ とする。このように閾値を二つ設定することで首を止めたいときや縮めたいときの制御も可能となる。

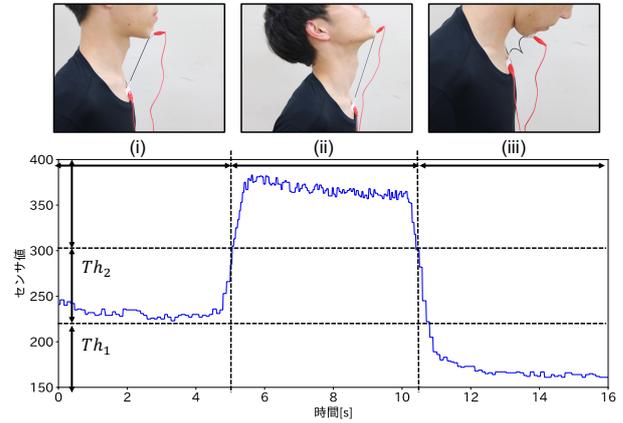


図 4 センサの閾値設定

### 3.5 プロトタイプシステムの構成

VR空間での迷路に首が上方向に伸びる身体拡張システムを実装した。入力ジェスチャは3.3節で設定したセンサ配置で認識を行った。プロトタイプシステムの構成を図5に示す。HMDはOculus社のOculus Rift S[14]を用いた。3.2節で検討した入力ジェスチャのうち、顎を上突き上げる動作を、顎と首を繋いだストレッチセンサで認識する。ストレッチセンサの値はArduino HoldingsのマイコンArduino Nano[15]を通してPCに送信される。その値をPC上で受信し、センサ値の閾値に基づいてHMDに提示する視野映像を変化させる。VR空間の実装はUnity Technologiesの3DゲームエンジンUnity[16]を利用した。

### 3.6 VR空間でのテスト用アプリケーションの実装

#### 視野映像の制御

HMDに提示する視野映像の制御はストレッチセンサ値で行う。3.4節で設定した閾値 $Th_1$ 、 $Th_2$ を用いる。ユーザが自然な状態で正面を向き、センサ値が $Th_1$ から $Th_2$ の間で視野映像は一時停止、ユーザが顎を上突き上げ $Th_2$ を超えると視野映像が上方向に移動し、ユーザが顎を下げてストレッチセンサが $Th_1$ より下回ると視野映像は下方向に移動する。

#### 実装

VR空間で図5のHMDに提示されている映像のような迷路を作成した。この迷路はVR空間内の視点よりも高い壁でできており、見通しが悪くゴールするまでに時間がかかる。そこで、提案システムでは、ストレッチセンサを装着したユーザの俯瞰で迷路を見たいという気持ちで行った動作が、入力ジェスチャのキーとなり、視点が上方向に移動し、迷路全体を俯瞰で見ることができる。

## 4. 評価実験

首が上方向に伸びる身体拡張システムの操作方法に関して、3.2節で検討した入力ジェスチャが適切であるかを確かめるために従来手法であるコントローラによる操作と操作

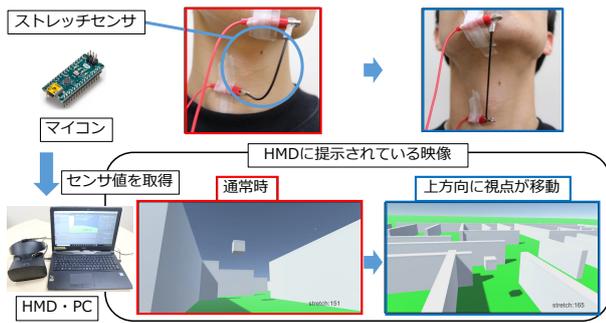


図 5 プロトタイプシステムの構成



図 6 実験中の被験者の様子

性を比較した。今回は計測を容易にするため、提案システムを単純化し、移動をなくして VR 空間で首が上方方向に伸びる身体拡張システムの実装し、評価に用いた。評価実験では被験者にそれぞれの操作方法でタスクをさせ、タスク完了までの時間を比較することで操作性を確かめた。被験者は成人男性 2 名（うち 1 名は第一著者）である。検討したジェスチャ入力を筆者の所属する研究室のメンバーに使用させた結果、本システムのジェスチャ入力に関して操作経験が操作の習熟に影響しているらしいことがわかった。そのため今回の実験の被験者は、VR を利用したアプリケーションの操作経験が豊富な者を選んだ。

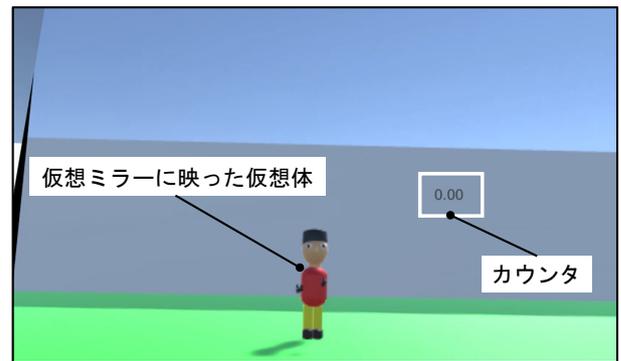


図 7 評価実験開始時に HMD に提示される視野映像

#### 4.1 実験方法

##### 実験環境

図 6 に実験中の被験者の様子、図 7 に評価実験開始時に提示される視野映像を示す。視野映像の制御は提案システムと同様にストレッチセンサの閾値で行う。評価実験のために作成した VR アプリケーションではユーザの仮想体を VR 空間に配置した。この仮想体は被験者の動きにリアルタイムで同期して動く。実験中、被験者の両手には、図 8 の Oculus Touch コントローラを持たせ、それによって両手の動きをトラッキングしている。頭部動作は HMD によってトラッキングしている。被験者が右手を挙げれば、VR 空間内の仮想体も右手を挙げ、被験者が左を向くと、仮想体も同じ動作をする。そして、被験者が首を伸ばす入力を行えば、仮想体の首が伸びる。しかし、VR 空間では一人称視点であるため、首が伸びている様子が自分では分かりにくい。そのため、図 6 に示すように VR 空間で仮想体の正面に仮想ミラーを配置することで首が伸びている様子が確認できるようにした。



図 8 コントローラでの操作方法

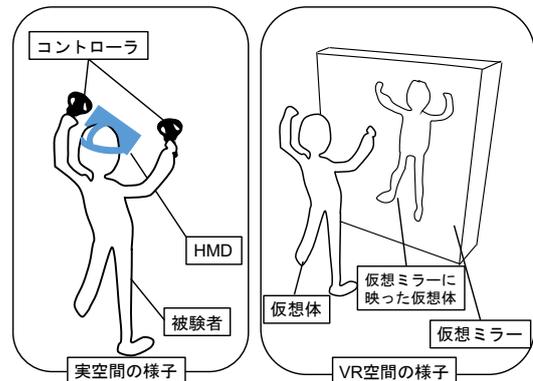


図 9 被験者に仮想体に対する身体所有感を生起させるためのフェーズ

図 9 に被験者に仮想体に対する身体所有感を生起させるための方法を示す。Tabitha らの研究 [10] を参考として、VR 空間での実験で、仮想ミラーの前でいくつかの動きをさせるフェーズを取り入れることで被験者に仮想体を自身の体であるように思わせる工夫をした。なお、被験者は直立した状態で実験に取り組んだ。

また、首が伸びている感覚を被験者に持たせるための工

夫をした。視野映像の制御方法と同様の方法で効果音を再生し、視点が移動するときに伸びるイメージを与える効果音を被験者に聞かせることで、より没入感を高める工夫をした。

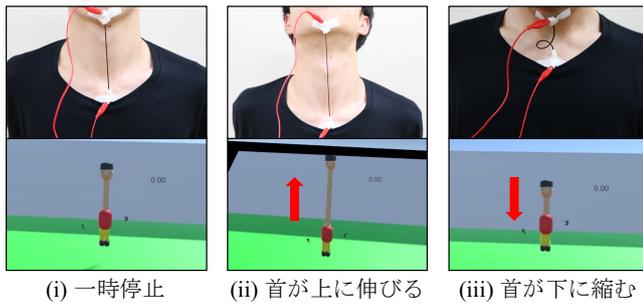


図 10 自然なジェスチャでの操作方法

## 操作方法

コントローラでの操作方法とジェスチャでの操作方法について説明する。全てのタスクを通して、図 8 の Oculus Touch コントローラを両手に持って操作を行う。

コントローラによる操作は、図 8 に示すように左手に持ったコントローラで行う。コントローラでの操作は、左手のコントローラの親指の位置にあるスティックを前に倒すと首が伸び、後ろに倒すと首が縮む。スティックを離すことで首の伸縮を停止する。

自然なジェスチャでの操作方法は 3.2 節で検討した方法を用いる。図 10 にジェスチャでの操作方法を示す。顎を上突き上げる動作を顎と首を繋いだストレッチセンサで認識する。首の伸縮は 3.4 節の提案システムの視野映像と同様に行った。顎を上突き上げると首は上方向に伸び、下を向く動きで首が縮む。自然な状態で首の伸縮を停止する。

## 実験の手順

被験者は HMD を装着し、図 8 のコントローラを両手で持つ。HMD に提示されている映像は図 7 に示すように一人称視点で、被験者の動きに同期して動く仮想体が仮想ミラーの前に立っている状態である。被験者には直立した状態で指示した動きをさせる。この指示は両手の上げ下げや頭部を左右に向けるといった上半身の適当な動きである。これにより、ミラーに映る仮想体も同期して動くことで仮想体に対して身体所有感を生起させる。

次に、被験者に、コントローラによる操作方法、ジェスチャによる操作方法で各 8 回ずつタスクをさせた。各操作方法で 1 回目のタスクの前に操作に慣れる時間を設けた。被験者には、図 11 に示すように、頭上にあるオブジェクトまで首を伸ばし、そのオブジェクトの位置で 3 秒間、首を留めるといったタスクをさせた。オブジェクトはその位置まで首を伸ばすと色が変わり、視野映像に提示されているカウンタが動き出す。カウンタが 3 秒間経ち「clear!」という表記に変わると完了となる。タスクが完了するまでの時間と仮想体の頭部の  $y$  座標を記録した。被験者 1 にはこのタスクを先にコントローラによる操作で 4 回、ジェスチャによる操作で 4 回を 1 セットとし、それを 2 セット行う。

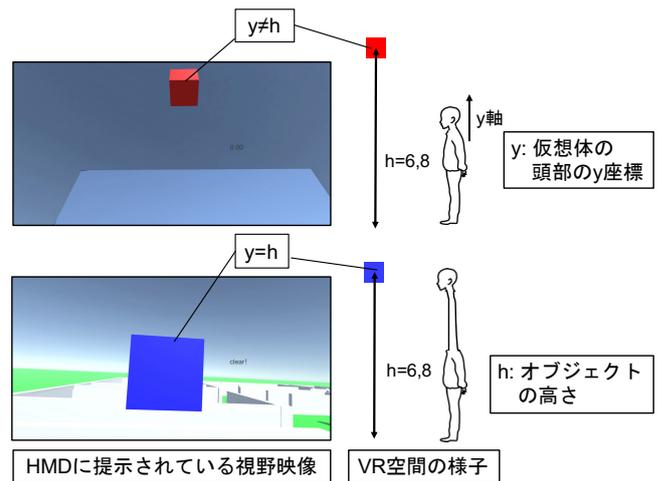


図 11 実験のタスク

被験者 2 には先にジェスチャによる操作で 4 回、次にコントローラによる操作で 4 回を 1 セットとし、それを 2 セット行った。また、操作の慣れによってタスクが単純になり過ぎてしまうことを防ぐために、目標物であるオブジェクトの高さ ( $h=6.8$ ) を交互に入れ替えた。ジェスチャを認識するためのストレッチセンサは、ジェスチャによる操作でのタスクを行う前に取り付け、終わると都度取り外している。そのため、ジェスチャによる操作でのタスクを行う前に HMD、ストレッチセンサを装着した状態で、検討したジェスチャをさせキャリブレーションを行っている。

タスクが完了するまでの時間と座標といった客観的な指標に加え、主観的な首の拡張感、疲労度、没入度等を質問紙により評価する。この質問紙による調査を行うタイミングは各操作方法でタスクが完了したあとに行った。評価項目は、首の拡張感、操作の難易度、疲労度、酔い具合、没入感、操作の感度を 5 段階で評価する。また、システムに対する自由なコメントを回答させた。

## 4.2 実験結果

図 12, 図 13 は被験者 1 と被験者 2 の各操作方法で、タスク完了までにかかった平均時間を示し、縦軸は首を伸ばし始めてからタスクが完了するまでの経過時間、横軸は各操作方法である。C1 はコントローラの 1 セット目、すなわちコントローラによる操作で 1 回目から 4 回目に行ったことを表し、データは 4 回のタスク完了までにかかった平均時間を表す。同様に、C2 はコントローラの 2 セット目、G1, G2 はジェスチャの 1 セット目, 2 セット目を表す。エラーバーは標準偏差を示している。

両被験者で同じ傾向が見られ、コントローラによる操作の方がジェスチャによる操作に比べて、タスクが完了するまでにかかる時間が短い。これはジェスチャではコントローラに比べて位置の微調整といった細かい操作が難しいことが考えられる。図 14 に各操作方法の特徴を示す。図

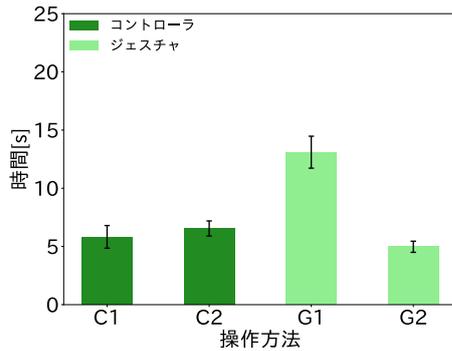


図 12 被験者 1 の結果

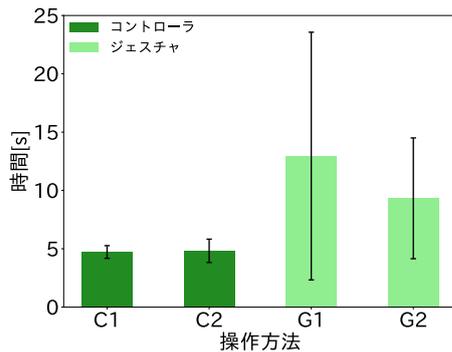


図 13 被験者 2 の結果

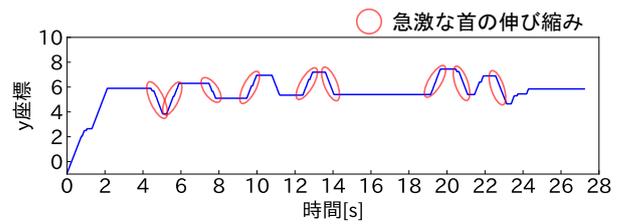
14 では、縦軸が仮想体の頭部の y 座標、横軸が首を伸ばし始めてからの経過時間である。このときは、高さ  $y=6$  の位置にあるオブジェクトまで首を伸ばすタスクである。図 14(a) が示すようにジェスチャでの操作では、 $y=6$  を少しだけ通り過ぎて首を伸ばしたあと、大きく首を縮め過ぎてしまうことや逆に、勢いよく伸ばし過ぎてしまうことで目標点に合わせられずにタスクが完了するまでに時間がかかっていることが分かる。それに対して、図 14(b) が示すようにコントローラは細かな操作ができる。目標点に頭部を合わせるために調整しながら操作していることが分かる。

ジェスチャによる操作では思い通りに操作ができない要因として、適切にストレッチセンサが取り付けられていないことや、閾値の設定が適切にできていないことが考えられる。これらの設定がうまくできれば、図 12 の被験者 1 の G2 のようなコントローラと変わらない性能で操作できると考える。

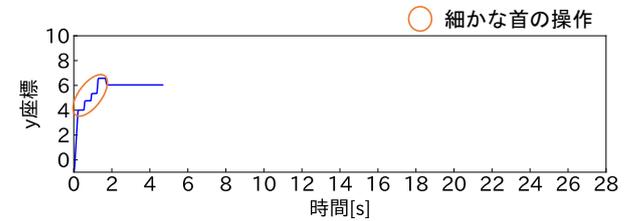
また、首を大きく伸ばし過ぎてしまうことや縮め過ぎてしまうことの解決方法として首の伸び縮みの速度を多段階にすれば解決できるかもしれない。ジェスチャと首の適切な移動量の関係を調べる必要がある。

#### 質問紙調査

図 15 に主観評価の結果を示す。どのくらい首が伸びるようように感じたか、没入感、酔いやささという項目では、コントローラによる操作よりジェスチャによる操作で評価が高かった。一方、操作のしやすさや難易度ではコントローラによる操作で高い評価となった。また、自由記述



(a) ジェスチャ



(b) コントローラ

図 14 各操作方法の特徴

で以下のようなコメントを得た。

- コントローラによる操作では、タスクを重ねるうちに首が伸びている感じが薄れていったように感じた。理由としては、初めは鏡を見て首が伸びていることを確認していたが次第に作業のようにタスクをこなすようになった。一方で、ジェスチャでの操作は実際に自分の身体を動かして操作するので首が伸びている感じが薄れなかった。
- ジェスチャでの操作では首を縮めさせるのが難しかった。
- センサの装着によって常に顎が引っ張られている感覚があり、少し疲れを感じた。

これらのことから、今回の実験では被験者はジェスチャでの操作方法でより没入感を感じ、タスクをする上ではコントローラでの操作方法が思い通りに、簡単に操作していたこと分かった。

## 5. 議論

検討したジェスチャ入力方法では従来の手法であるコントローラによる操作に比べて操作性が低いことがわかった。ジェスチャ入力方法の操作性を上げる方法としては、適切にストレッチセンサを装着するための工夫が必要であると考えた。正面を向いた自然な状態で緩くセンサを装着してしまうと、首を縮めるときに下を向いてもなかなか思い通りに首を縮めることができない。実験中の被験者の様子を見ていると思い通りに操作ができていない被験者は何度も下を向き、首を縮めようとしていた。

また、現在は被験者の肌に直接センサを貼り付けており、センサの装着によって疲労感を感じたという被験者もいた。そのため、センサの装着、閾値の設定が簡単にできるシステムを作らなければならない。マスクの顎の部分と首に巻いたチョーカをストレッチセンサで繋ぐことで着脱が楽になり、適切な閾値を設定できると考えた。

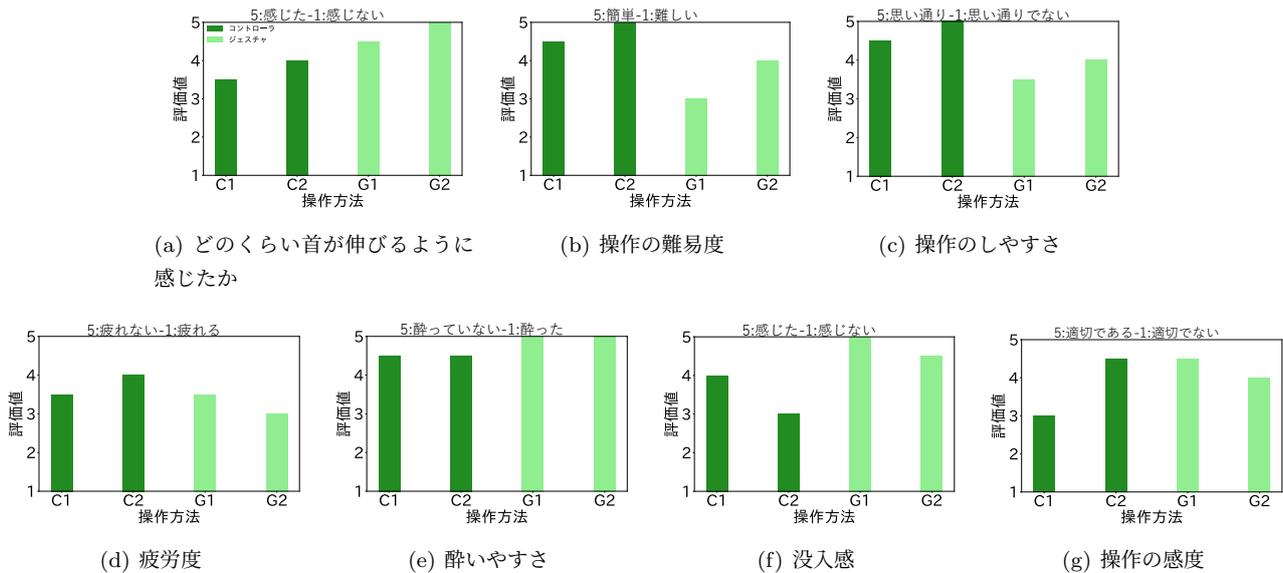


図 15 質問紙調査

主観評価では、ジェスチャによる操作を行うと没入感、酔いに関して高い評価であった。これは被験者が身体を動かし、ジェスチャ入力を行うことで視点が移動するため、身体の動きと視点の動きで連動性が高まり没入感を感じやすくなったり、酔いにくくなることが考えられる。この結果から効果音に加えて、首の伸縮感を感じるための工夫を増やしていきたいと考えている。

本論文は、首が上方向、前方向、後ろ方向に伸びる身体拡張システムのための入力方法として、人間の自然な動作による入力方法を提案し、操作性を確かめるために従来手法であるコントローラによる操作と比較した。今回の結果では、操作性においてコントローラによる操作の方がジェスチャによる操作に比べて優れていた。しかし、被験者によってはコントローラの性能と変わらない操作ができていたことが分かった。今回は被験者2名のデータで評価したが、ある程度一貫した結果が得られた。今後はセンサの装着方法を再検討し、多数の被験者でコントローラとの操作性を比較することで、首が自在に伸縮できる身体拡張システムのための最適な入力方法を検討する。

## 6. まとめ

本研究では、首が上方向に自在に伸縮できる身体拡張システムの操作方法を検討した。まず、首を上方向、前方向、後ろ方向に自在に伸縮できる身体拡張システムのための入力方法となるジェスチャを検討するために予備調査を行った。各方向に人間が首を伸ばしたいと思うときにす動作を被験者にさせそれを観察した。調査の結果、上方向、前方向、後ろ方向に首が伸びる身体拡張システムのための入力ジェスチャは、上方向は「顎を上突き上げる動作」、前方向は「顔を前に突き出す動作」、後ろ方向は「首を後ろに引く動作」が良いと考えた。各動作を首の前方に配置したス

トレッチセンサ、曲げセンサ、首の後方に配置した曲げセンサで首の前方の伸び、首の前後の角度を捉えることで入力ジェスチャを認識できると考えた。

首が上方向に伸びる身体拡張システムを VR 空間で実装し、検討したジェスチャによる操作方法と従来の手法であるコントローラによる操作方法で操作性を比較するための評価実験を行った。被験者にはそれぞれの操作方法でタスクをさせ、タスクが完了するまでにかかった時間を比較することで操作性を比較した。結果は、操作性の面でコントローラによる操作の方がタスクが完了するまでの時間が短かった。これは、ジェスチャによる操作では細かい位置の調整が難しいからであると考えられる。

今後はセンサの装着方法を検討し直し、被験者を増やしてコントローラとの操作性を比較することで評価を行う。また、実世界での利用に向けて、リアルタイムカメラ映像を使った実装や首の伸縮感を持たせるための工夫について調査を行う予定である。

## 謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- [1] HTC: VIVE Pro Eye, <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/>
- [2] HTC: VIVE フェイシャルトラッカー, <https://www.vive.com/jp/accessory/facial-tracker/>
- [3] 株式会社 JVC ケンウッド: HMD-VS1W, <https://www.jvc.com/jp/pro/hmd/lineup/hmd-vs1w/>
- [4] K. Higuchi and J. Rekimoto: Flying Head: A Head Motion Synchronization Mechanism for Unmanned Aerial Vehicle Control, *CHI 2013 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2029–2038

- (Apr. 2013).
- [5] F. Liang, S. Kevin, H. Baldauf, K. Kunze, and Y. Suen: OmniView: An Exploratory Study of 360 Degree Vision using Dynamic Distortion based on Direction of Interest, *CHI 2013 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2029–2038 (Apr. 2013).
  - [6] O. Erat, W. A. Isop, D. Kalkofen and D. Schmalstieg: Drone-Augmented Human Vision: Exocentric Control for Drones Exploring Hidden Areas, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 24, No. 4, pp. 1437–1446 (Apr. 2018).
  - [7] 吉田成朗, 鳴海拓志, 橋本直, 谷川智洋, 稲見昌彦, 五十嵐健夫, 廣瀬通孝: 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, インタラクシオン 2012, Vol. 2012, pp. 403–408 (Mar. 2012).
  - [8] 小川奈美, 伴祐樹, 櫻井翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム, 情報処理学会, インタラクシオン 2016, Vol. 2016, pp. 1022–1027 (Mar. 2016).
  - [9] 蟹江秀俊, 王鴻宇, 北村勇喜, 西澤博大, 畠山巧幹, 森健斗, 浦正広, 宮田一乗: 首伸びを検知するデバイスの開発と VR コンテンツの提案, 情報処理学会, インタラクシオン 2017, Vol. 2017, pp. 851–855 (Mar. 2017).
  - [10] 中村裕美, 宮下芳明: F.A.R Vision: 拡張現実感の情報量を制御する眉間フェーダー, 情報処理学会, インタラクシオン 2010, Vol. 2010, pp. 177–180 (Mar. 2010).
  - [11] T. Peck, S. Seinfeld, S. Aglioti, and M. Slater: Putting Yourself in the Skin of a Black Avatar Reduces Implicit Racial Bias, *IEEE Virtual Reality Conference (VR) 2013*, Vol. 22, No. 3, pp. 111–114 (Sep. 2013).
  - [12] IMAGES SCIENTIFIC INSTRUMENTS: Flexible Stretch Sensor, <https://www.imagesco.com/sensors/stretch-sensor.html>
  - [13] 株式会社ヒロテック: FLEX SENSOR, <https://www.hiro-tec.com/spectra/pdf/flex4.4.jp.pdf>
  - [14] Oculus: Oculus Rift S, [https://www.oculus.com/rift-s/?locale=ja\\_JP](https://www.oculus.com/rift-s/?locale=ja_JP)
  - [15] Arduino Holdings: Arduino Nano <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>
  - [16] Unity Technologies: Unity, <https://unity.com/ja>