

平成 29 年度 公立はこだて未来大学卒業論文
Virtual Environment における不安の学習

曲木 拓朗

システム情報科学部 複雑系知能学科 学籍番号 1014188

指導教員 (主) マイケル ヴァランス

提出日 2018 年 1 月 29 日

Anxiety in a Virtual Environment for Learning

By

Takuro Magaki

BA Thesis at Future University Hakodate, 2018

Advisor: Prof. Michael Vallance

Department of Complex and Intelligent Systems

Future University Hakodate

January 29, 2018

Abstract

In recent years, the technology of Virtual Reality (VR) has developed remarkably. However, some users have negative symptoms during VR experiences or post-experiences. Generally, these symptoms are called VR Sickness or CyberSickness. It is a major challenge for current VR implementations to establish a countermeasure or a reduction method because an absolute solution has not been discovered yet. Therefore, this research's purpose was to compare and evaluate 'anxiety' as a proxy for mild VR Sickness in an environment where a person can experience VR; known as a Virtual Environment (VE). The research implemented the currently known methods of reducing VR Sickness, and subsequently considered more effective methods. To measure VR Sickness a validated Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) undertaken by subjects after doing experimental tasks in a developed VE was utilized. In addition, subjects wore a customized biological sensor called Bitalino, in order to evaluate the subject by measuring a biological response, within 3 minutes, of three kinds of natural states and two kinds of VR experience states. In addition, this quantitative data as objective evaluations according to the biological responses was analyzed and considered alongside subjective qualitative evaluations according to the SSQ. The analysis of the experiments subsequently proposes VR Sickness reduction methods.

Keywords : Virtual Reality, Biological Response, VR Sickness, Anxiety, Reducing Method

概要

近年, Virtual Reality(VR)における技術が著しい発展を遂げている。しかしながら, VR 体験中, あるいは体験後に体調不良を訴えるユーザがいる。一般的にこれは VR 酔いといわれ, 未だ絶対的な解決方法は示されていない。そのため, 現在の VR において, VR 酔いの対策, あるいは効果的な軽減方法の確立が大きな課題となっている。本研究では, VR を体験することができる環境である Virtual Environment (VE) において, 現在挙げられている VR 酔いの軽減手法を実装し, 軽度の VR 酔いとなる不安 (Anxiety) の計測と比較評価を行い, より効果的な軽減手法の検討を行うことを目的とした。実験参加者に対して自らが開発した VE 内における実験タスク後に Simulator Sickness Questionnaire といわれるシミュレータ酔いのアンケートを用いて VR 酔いの程度を計測した。また, 実験参加者に対して Bitalino という生体センサの ECG センサを装着し, 3 分間の自然状態と VR 体験状態 2 回の合計 3 回の状態において, 生体反応の計測を行った。アンケートによる主観評価と, 生体反応による客観評価を踏まえたうえで, VR 酔いの軽減手法に対する分析と考察を行った。

キーワード : Virtual Reality, 生体反応, VR 酔い, 不安, 軽減手法

目次

第1章 序論 Introduction	1
1.1 背景 Background.....	1
1.2 目的 Purpose	1
第2章 関連研究 Related research	3
2.1 VR 酔い VR Sickness	3
2.1.1 ベクシオン Vection.....	3
2.2 VR 酔いの計測 Measuring of VR Sickness	4
2.3 VR 酔いの軽減手法 Reducing methods of VR Sickness	4
2.3.1 Controlling Field of View	4
2.3.2 Virtual Nose.....	5
2.3.3 その他の方法 Other Methods	6
第3章 課題 Problem	7
第4章 システム System	8
4.1 システムの概要 Abstract of system	8
4.2 システムの実装 Implementation of system.....	8
4.2.1 Virtual Environment	8
4.2.1.1 プログラミング Programing.....	15
4.2.2 軽減手法 Reducing methods	17
4.2.3 Bitalino	18
4.2.4 実験タスク Task of experiment	20
第5章 実験 Experiment	22
5.1 実験材料 Experimental components.....	22
5.2 実験1の方法 Method of experiment 1	26
5.3 実験1結果 Result of experiment 1	27
5.4 実験2の方法 Method of experiment 2.....	30
5.5 実験2結果 Result of experiment 2.....	31
第6章 評価 Evaluation	34
6.1 Simulation Sickness Questionnaire	34
6.2 Nausea Score	35
6.3 Oculomotor Score.....	36
6.4 Disorientation Score	38

6.5	Total Score.....	39
第7章	考察 Consideration	41
第8章	結言 Conclusion	43
謝辞	Acknowledgement	45
参考文献	Bibliography	46
付録その1	SSQ.....	47
付録その2	Letter Acceptance	48
図目次	49
表目次	50

第1章 序論

Introduction

1.1 背景

Background

近年、Virtual Reality (VR)の技術が著しい発展を遂げている。VR技術は人工的に現実感を発生させる技術であり、見かけは現実ではないが本質的には現実であるものと言われている [1]。そして、VR技術はゲームやアートといった娯楽産業での活用が主であるが、医療や教育などの分野での活用も期待されている。しかしながら、VR技術は現実では不可能なことを可能にすることができる技術であるが、現時点では数点の問題を抱えている。現在のVRコンテンツの多くは、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた立体視を行うことで表現を行っている。その際に起こる問題点として、VR酔いが挙げられる。

In recent years, the technology of Virtual Reality (VR) has made remarkable progress. VR technology is artificially generated reality, and it is said the reality exists in essence or effect though not in actual fact or form [1]. VR is able to realize 'virtually' things that can be impossible in reality. VR is currently being promoted in entertainment industries such as games and art, but it is also expected to gain greater traction in fields such as engineering, medicine, military, design and education. Consumer VR content is expressed by performing stereoscopic viewing using a head mounted display (HMD). However, currently VR has several problems; symptoms like dizziness or discomfort. It is called VR Sickness or CyberSickness.

1.2 目的

Purpose

本研究において、Virtual Environment (VE)という用語をVirtual Reality (VR)の経験を可能にする環境として定義するために用いる。この定義は、VEはVirtualな空間である環境に関連するものであるのに対し、VRは技術を強調するものである。そして、異なる軽減手法を適用したVEにおいて、混乱や心理的動揺、不安状態の際に生じる反応である心拍数の上昇や発汗といった生体反応を計測することに加え、VR体験後の実験参加者に対して Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)を実施することで軽度のVR酔いである不安(Anxiety)の発生の判断を行う実験を行う。そして実験で得られたデータを用いて軽減手法の効果の比較を行うことと、より効果的な軽減手法の検討を目的とする。

In this research, the Virtual Environment (VE) is defined as an environment where one is able to experience Virtual Reality (VR). This distinction is important because Virtual Reality emphasizes the

technology whereas Virtual Environment relates to the virtual spaces (i.e. the environment). The research measures biological responses such as elevation of heart rate and perspiration, which are responses caused by confusion, biological disturbance and being in an anxious state while active in the VE, and are applied in different conditions as reducing methods of VR Sickness. In addition, the research will do an experiment to judge the occurrence of 'anxiety' as a proxy for mild VR sickness by using a recognized and validated Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) undertaken by subjects after doing experiment tasks. The purpose is to compare and evaluate data obtained in the experiment and to consider more effective methods of reducing VR sickness.

第2章 関連研究

Related research

2.1 VR 酔い

VR Sickness

VR 酔いで発生する症状として、乗り物酔いやシミュレータ酔いに似た症状が生じる。しかし、同じような「酔い」ではあるが厳密には異なるものであると言われている [2]。乗り物酔いは乗り物に乗った際に生じる酔いであり、吐き気やめまいに付随する不快感である。また、シミュレータ酔いはシミュレータ上で仮想の乗り物に乗った際に生じる酔いであり、倦怠感や姿勢の不安定がみられ、乗り物酔いよりは軽度で発生頻度が低い傾向がみられる。一方で VR 酔いは、Virtual Environment(VE)上で動いたときに生じ、吐き気や眼精疲労、めまいといった症状がみられ、シミュレータ酔いの3倍重い症状であることが示されている [2]。

The VR Sickness symptom is also similarly known as motion sickness and simulator sickness. It is said that these have symptoms that are similar but also strictly different. VR Sickness occurs when a user moves in a virtual environment(VE). VR Sickness such as nausea, asthenopia, and dizziness are experienced, and it has been shown that it is three times as severe as simulator sickness [2].

2.1.1 ベクシオン

Vection

VR 酔いの根本的なメカニズムは完全には解明されていない。そのような現状ではあるが、視覚誘導性自己移動感覚(視覚ベクシオン)に起因した感覚不一致説が有力な原因として挙げられている。ベクシオンとは、止まっている車に乗っている際、隣の車が動き始めると自分が動いているような感覚を得るものであり、視覚と体性感覚、前庭感覚における感覚の不一致が酔いを引き起こすという説である [1, 3]。ほかにも、毒を摂取するような幻覚を経験した際に、有害物質を排出するために生存本能が働くという説や姿勢が不安定である期間が長いと重い症状がみられる姿勢不安定説が挙げられているが、これらは症状が限定的であり、あまり有力ではないとされている [2]。

妹尾らは、ベクシオンの指標として、潜時、持続時間、マグニチュード(主観的強度)の3つがあり、これらにはそれぞれ相関があると示した [3]。潜時が短いと持続時間が長くなる傾向があり、持続時間が長くなるとマグニチュードの値が大きくなる傾向があり、マグニチュードの値が大きいほど潜時は短くなること示されている。また、生理指標は必ずしもベクシオンの強さと完全な相関を示さないと述べている。視野に対する刺激の位置と大きさにも言及しており、刺激面積の大きさとマグニチュードには強い正の相関があり、面積の大きさだけではなく中心視野より周辺視野に対する刺激のほうがマグニチュードは強いと示した。また、刺激は縞が適度に粗いとベクシオンを誘発させやすく、周辺視野では粗く、中央視野では細かい方が誘発させやすいと述

べている。そのほかにも小川らは不自然な色合いはマグニチュードを弱め、自然な色合いほどマグニチュードを強めると示している [4].

The underlying mechanism of VR Sickness is not yet clear. However, the sensory inconsistency theory to the visual inductive self-movement sensation (Visual Vection) is cited as a possible cause. Vection can be described as feeling similar to ‘being in motion’ when in fact one is not moving at all. An example of Vection is when one is sitting on a stationary train at a train station when suddenly the adjacent train starts to move, and for a brief moment you believe it is your train that is moving. The factors that induce Vection include the position, color of the stimulus to the field of view, and roughness of the stimulus [3, 4].

2.2 VR 酔いの計測

Measuring of VR Sickness

VR 酔い自体を計測する研究も行われている。SSQ は、1993 年に Kennedy らによって開発された、Simulator Sickness や VR 酔いの研究で広く用いられている計測ツールである [5]。16 の症状を 4 段階で評価し、気持ち悪さ(Nausea)、眼精疲労(Oculomotor)、めまいやふらつき(Disorientation)と総合点(Total)の各スコアを算出する。異なる Simulator Sickness や VR 酔いの研究において、SSQ データを計算し比較することができる。ほかにも、吐き気の程度を分析する Nausea Profile [6]、VR 酔いにおいて頻繁に報告される症状 47 種から 2 割以上報告された 13 種をピックアップした Virtual Reality Symptom Questionnaire [7]などがある。SSQ などのアンケート方式の主観評価に加えて、生体反応を計測することで、客観的なデータを得ることを目的とした研究も行われている。例えば中川は、心電図(ECG)、呼吸、血圧、胃電図、皮膚電気活動(EDA)、脈波を計測し、軽度から中度の動揺病の発症推定手法の開発を目的とした研究を行った。この研究では、心電図や呼吸を計測することが動揺病の発症の判断指標として有力であることを示した [8]。また、左脇腹の裏側周辺の発汗にも影響しているとししており、Miller の研究からも胃の活動が動揺病に関わっていると示されている [9].

There are questionnaire methods such as Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), Nausea Profile and Virtual Reality Symptom Questionnaire as tools to measure VR sickness [5, 6, 7]. On the other hand, research aiming at obtained objective data for VR Sickness is undertaken by measuring biological responses. It shows that it is effective as a judgement indicator by biological responses such as Electrodermal Activity (EDA) and Electrocardiogram (ECG) [8, 9].

2.3 VR 酔いの軽減手法

Reducing methods of VR Sickness

2.3.1 Controlling Field of View

Fernandes らは、Field of View の範囲を操作することで、VR 酔いが軽減されるということを示

した(Fig. 2-1). 30人の参加者による複数日における2セッションの実験を行った。実験参加者はHMDを装着して固定椅子に座り、VE内において移動を行う。その際に視野を操作することでVR酔いを軽減し、VRへの主観的没入感を低下させずに視野操作への意識を最小限に抑えられると示した [10]。計測方法として、SSQとVEにおける不快スコアを記録し、記録された不快スコアの時間に対する加重平均を計算したAverage Discomfort Score、実験参加者がVE内で費やした時間を考慮するRelative Discomfort Scoreの3つの指標で分析を行った。

Fernandes *et al*, showed that VR sickness is reduced by controlling the Field of View range when moving in a VE [10]. There were 30 subjects. They experimented over two sessions on separate days. The experiment consisted of subjects moving around in a VE while a controlled field of view was automatically applied. The measurement method was analyzed by SSQ, Average Discomfort Score which calculate the weighted average with time, and Relative Discomfort Score which considered the time spent by subjects in the VE.



Fig. 2-1 Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification [10]

2.3.2 Virtual Nose

Whittinghillらは、VE上に鼻を挿入する実験を行った(Fig. 2-2)。41人の実験参加者はHMDを装着し、2種類のVRアプリケーションを操作した。VR空間内を歩き回るアプリケーションでは、平均94.2秒、ローラーコースターのアプリケーションでは、平均2.2秒長く体験を続けることができ、Virtual NoseはVR酔いを軽減するということを示した [11]。実験参加者はアプリケーション操作時にVirtual Noseの存在に気付かず、実験後の報告により存在に気付いたという。また、EDAセンサを使用して、興奮による発汗の影響を計測し、鼻ありとなしの実験参加者間での差異を示した。

Whittinghill et al (2015)'s experiment displayed a virtual nose in VE. There were 41 subjects, and they played two types of VR applications that demonstrated walking around and also a roller coaster game. Measuring each time that they could continue, the researchers measured the effect of perspiration caused by excitement by using an EDA sensor. The researchers showed the difference of effects between subjects for the display of the virtual nose and without the virtual nose.

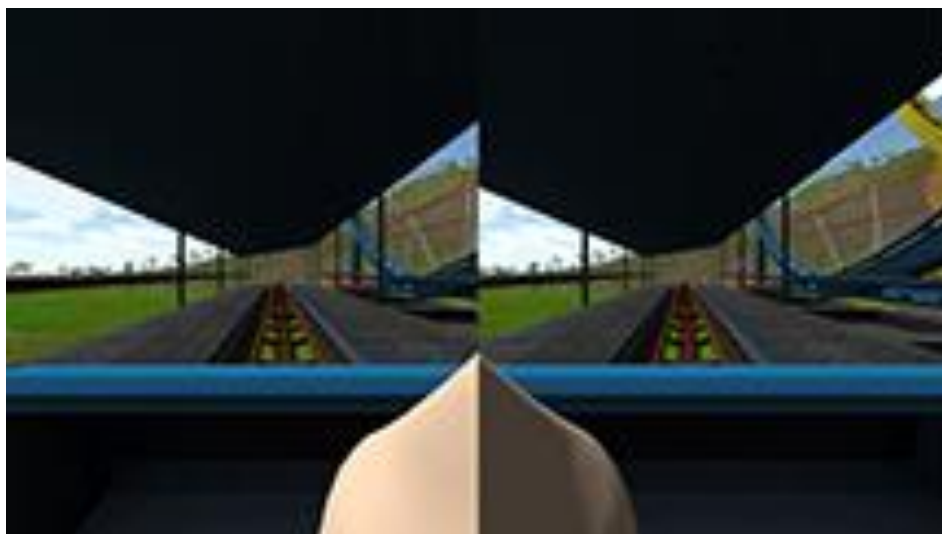


Fig. 2-2 Virtual Nose

2.3.3 その他の方法

Other Methods

その他の方法として、VEにおいてユーザから安定した位置にオブジェクトを配置することでユーザはユーザ周辺の予測可能になり、VR酔いが軽度になるということが言われている [12]. 例として車の運転席や、宇宙船の操縦席といったものが挙げられている.

As another method, it is said that a user can predict the surrounding things by deploying an object in a stable position for users in VE. For example, driver's seat of a car or the cockpit of a spacecraft. Thereafter, users felt a mild VR Sickness [12].

第3章 課題

Problem

VE による不安を計測するために、4つの課題が挙げられる。

1つ目は、実施する軽減手法の選定と再現である。今回は Field of View の操作と Virtual Nose を扱う。また、これらの軽減手法を実装するためのオブジェクトは公開されていないため、自らオブジェクトを作成して軽減手法を再現する必要がある。

2つ目は、VR 空間内で実験を行うために必要な VE の開発である。前述した2つの軽減手法で用いられた VE は、それぞれ異なる独自の VE であり、比較を行うためには同一の VE において実験を行う必要がある。そのため、実験参加者に対して不安状態を誘発することができる VE を開発しなければならない。また、VE の情報量によって軽減手法の効果に違いが出るか判断するために、情報量の異なる2種類の VE の開発を行う。

3つ目は、生体データにより不安を計測するための生体センサの準備である。取得する生体データとしては、関連研究 [8, 9]でも用いられている EDA と ECG の取得を目標とする。

4つ目は、実験時に実験参加者が行うタスクの考案である。実験参加者によって行動が異なってしまうと比較を行うことが難しくなるため、実験参加者が VE 内で統一して行うことができる、適切な実験タスクを考える必要がある。

There are four problems to measure Anxiety due to experiences in a VE.

The first is selection and reproduction of the reducing methods of VR Sickness to be implemented. At this time, an experiment controlling the Field of View and a Virtual Nose is considered. In addition, it is necessary to reproduce the reduction methods because these object solutions for implementing these reduction methods has not yet been published; hence the uniqueness of this research.

The second is the development of VE to experiment for VR. There needs to be a development of a single VE for an experiment because two reduction methods are different VEs. Therefore, a VE must be developed that is able to induce anxiety state to subjects. In addition, it is required to develop two types of VE because in order to judge whether the effect of reduction methods' difference depends on the information volume of the VE.

The third is preparation of a biosensor for measuring anxiety by biological data. And to target obtaining the biological data about EDA and ECG which are also used in related research [8, 9].

The fourth is to devise a task to be enforced by subjects during the experiment because it is difficult to compare when there is a behavior difference depending on subjects. Therefore, it is necessary to think about appropriate experimental tasks which each subject can almost unify in the VE.

第4章 システム

System

4.1 システムの概要

Abstract of system

本研究では、軽減手法どうしを比較するための実験を行うために必要なシステムとして、VRアプリケーションと生体センサの開発を行った。

VRアプリケーションでは、情報量が比較的少ないVEと情報量が比較的多いVEの2種類のVE条件と、前述した2種類の軽減手法条件に軽減手法を適用しない条件を加えた、3種類の軽減手法条件を扱うことができる。

生体センサには、Bitalinoという生体センサキットを用いた。医療用の生体センサは高価であり、入手が困難であるのに対して、比較的安価で信頼性が高く、入手が容易であり、EDAとECGのセンサも扱うことができるため、Bitalinoを選定した。このBitalinoのキットを用いて、VRアプリケーション体験中の実験参加者に装着することができる生体センサの回路を作成した。

In this research the aim is to design and develop a VR application and biosensor as a system necessary for experiments for comparing reduction methods of VR Sickness. In VR application, two types of VE conditions with different information volume, and three types of reduction method condition which are controlling Field of View, Virtual Nose and actually not applying reduction method are utilized.

For the biosensor, a biosensor kit called Bitalino was selected. Biological sensors for medical use are expensive and difficult to obtain. On the other hand, Bitalino is relatively inexpensive, highly reliable, easy to obtain and can use sensors of EDA and ECG. Using a Bitalino kit, a biosensor circuit can be created and customized that can be worn by subjects who are experiencing VR applications.

4.2 システムの実装

Implementation of system

4.2.1 Virtual Environment

VEの開発では、3DゲームエンジンのUnity 2017.1.2f1を用いて開発を行い(Fig. 4-1)、動作に必要なスクリプトはVisual Studio 2017を用いてC#で記述した(Fig. 4-2)(4.2.1.1)。また、3Dモデルの製作には3DモデリングソフトウェアであるBlender 2.7を使用した(Fig. 4-3)。

Comparing Methods of Reducing VR Sickness

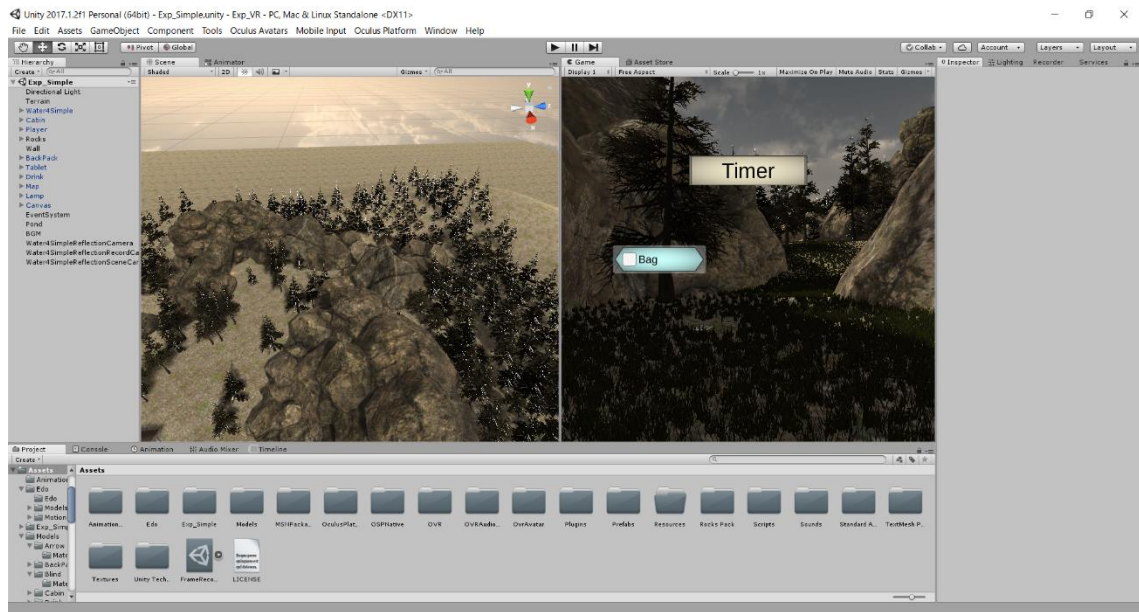


Fig. 4-1 Unity view

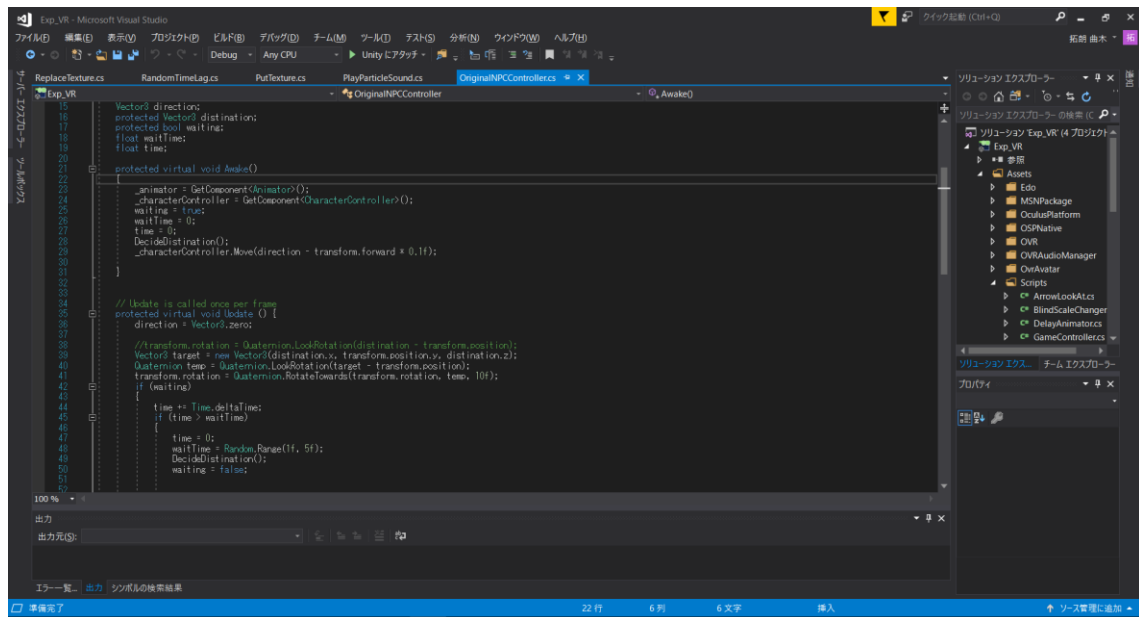


Fig. 4-2 Visual Studio 2017 and C#

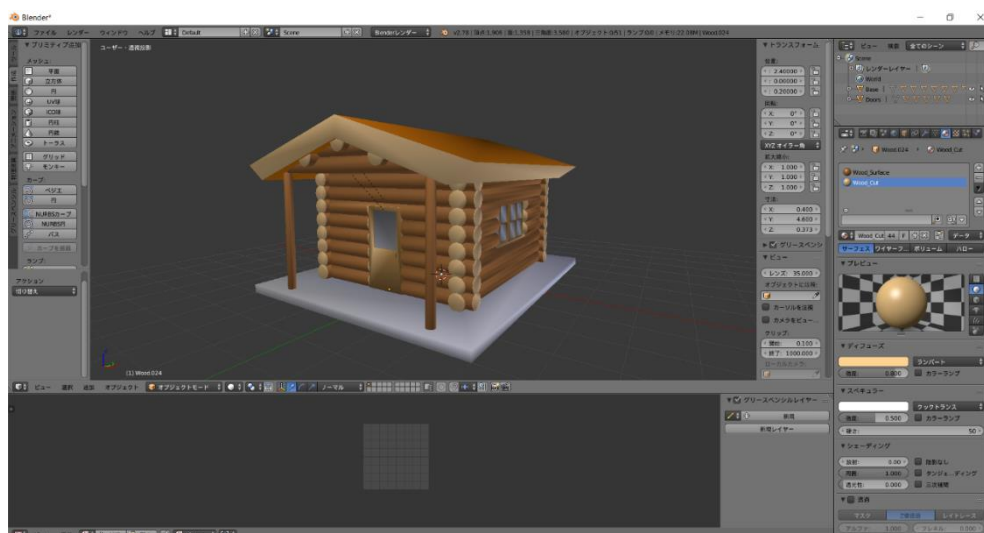


Fig. 4-3 Blender view

異なる情報量の VE を示すため、2 種類の VE の開発を行った。一つは自然に囲まれた山の中をモチーフとした VE(VE1)(Fig. 4-4)を開発し、もう一つは日本の江戸時代の街並みをモチーフとした VE(VE2)(Fig. 4-6)を開発した。VE1 は全てのオブジェクトが動かず、主に岩、木、家の 3 種類となっている。対して VE2 は、主に家や屋台に、動かないノンプレイヤーキャラクター (NPC) とランダムに動き回る NPC を多数追加した。



Fig. 4-4 VE1



Fig. 4-5 VE1 view



Fig. 4-6 VE2

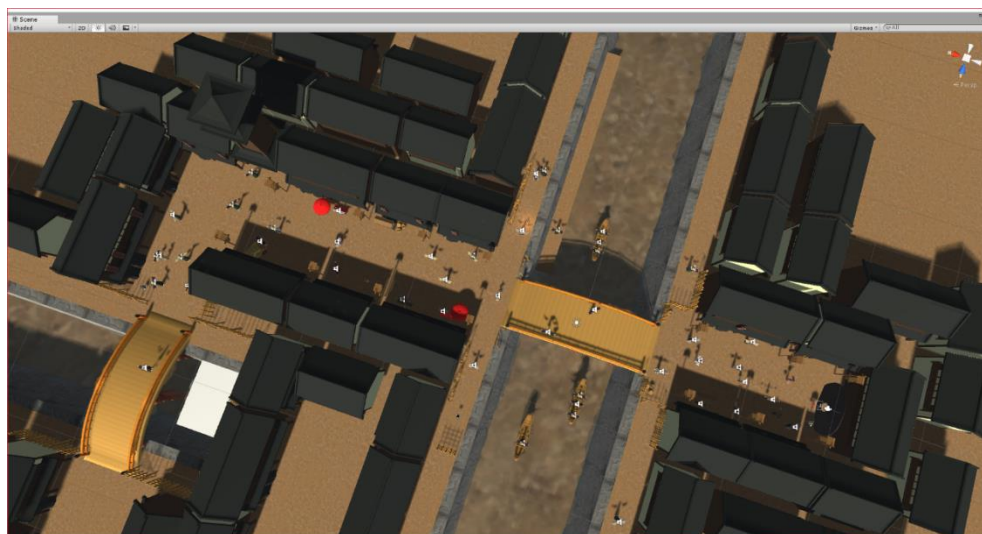


Fig. 4-7 VE2 view

また、実験参加者へのタスクに用いる VE 内のアイテムとして、「Bag」(Fig. 4-8), 「Drink」(Fig. 4-9), 「Map」(Fig. 4-10), 「Tablet」(Fig. 4-11), 「Lamp」(Fig. 4-12)の 5 種類の 3D モデルに加え、実験参加者の移動を補助する矢印の 3D モデル(Fig. 4-13)を作成した。



Fig. 4-8 Bag



Fig. 4-9 Drink

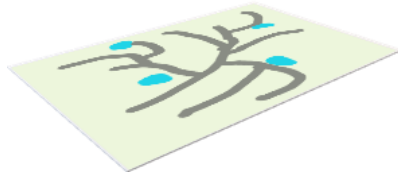


Fig. 4-10 Map



Fig. 4-11 Tablet



Fig. 4-12 Lamp



Fig. 4-13 Arrow

プレイヤーの操作は、コントローラによるジョイスティック入力を想定した。向いている方向に対してジョイスティックを倒した方向に移動することができるように実装を行った。

In the development of VE, the Unity 3D game engine application (see Fig. 4-1) and scripts for the operation produced in C# using Visual Studio 2017 (see Fig. 4-2) were utilized (see 4.2.1.1). In addition, the research used Blender (see Fig. 4-3), that is a 3D modeling software for making 3D models which are necessary objects in the experiments (see Fig. 4-8, Fig. 4-9, Fig. 4-10, Fig. 4-11, Fig. 4-12, Fig. 4-13).

Developing the two VEs, one is a VE with a motif in the mountain surrounded by nature (see Fig. 4-4 and Fig. 4-5), the other is VE with the motif of the Japanese Edo period street (see Fig. 4-6 and Fig. 4-7). Five 3D models as items used for experiment tasks were created. In the VE1, the all the objects do not move. The objectsThese are mainly three types of rock, tree, and house. On the other hand, in the VE2, there is aare mainly house and stalls, pluswhich is added a lot of non-moving non-player characters (NPC) and randomly moving NPC. The operation of the player assumed the joystick input by the controller. It was implemented so that the joystick could be moved for tilt in the direction facing at the front.

4.2.1.1 プログラミング

Programing

本研究において、以下の7つのスクリプトを作成した。

- ArrowLookAt.cs
- BindScaleChanger.cs
- GameController.cs
- ItemPickUp.cs
- ObjectAccessor.cs
- PlayerController.cs
- Timer.cs

ArrowLookAt.cs は、アイテムの位置をプレイヤーに把握させるため、赤い矢印を対象となるオブジェクトの方向を指すようにするスクリプトである。

BindScaleChanger.cs は、プレイヤーの移動時に、Fig. 4-14 のオブジェクト¹を拡大または縮小するためのスクリプトである。

GameController.cs は、Timer.cs に対してのタイマーの開始と停止、アイテムの表示と管理、タスク終了までの一連の操作を行うためのスクリプトである。

ItemPickUp.cs は、オブジェクトに付与した ObjectAccessor.cs の参照を基に、アイテムの回収を行うためのスクリプトである。

ObjectAccessor.cs は、各オブジェクトに対しての参照を明示したスクリプトである。

PlayerController.cs は、プレイヤーの操作に関わるスクリプトである。

Timer.cs は、実験タスクにおける制限時間を扱うためのタイマーのスクリプトである。

本研究において作成したスクリプトの例として、PlayerController.cs を Table 4-1 に表記する。

また、その他のスクリプトは添付の DVD にて参照することができる。

In this research, the following seven scripts were created.

- ArrowLookAt.cs
- BindScaleChanger.cs
- GameController.cs
- ItemPickUp.cs
- ObjectAccessor.cs
- PlayerController.cs
- Timer.cs

ArrowLookAt.cs is where a player is instructed to grasp the position of the item by pointing the red arrow to the direction of the targeted object.

BindScaleChanger.cs is changing of the object scale in Fig. 17 when the player moves.

GameController.cs is operating start and stop the timer from Timer.cs, displaying and managing items, and finishing the task.

ItemPickUp.cs is collecting items based on the reference of ObjectAccessor.cs attached to the object.

ObjectAccessor.cs is clearly indicating references to each object.

PlayerController.cs is that relating to player's operation.

¹ Unity における GameObject を意味する。

This Object means the GameObject on the Unity.

Timer.cs is a timer about handling the time limit in experiment tasks.

To exemplify programming in this research development, PlayerController.cs can be viewed in Table 4-1.

And, the other scripts utilized can be referenced on the attached the DVD.

Table 4-1 PlayerController.cs

```
using UnityEngine;
namespace MyScripts
{
    [RequireComponent(typeof(CharacterController))]
    public class PlayerController : MonoBehaviour
    {
        [SerializeField]
        GameObject _camera;

        CharacterController cc;
        void Start()
        {
            cc = GetComponent<CharacterController>();
        }
        void Update()
        {
            float vert = Input.GetAxis("Vertical");
            float hori = Input.GetAxis("Horizontal");

            Vector3 temp = (_camera.transform.forward * vert)
                + (_camera.transform.right * hori);
            temp += Physics.gravity;
            cc.Move(temp * speed * Time.deltaTime);
        }
    }
}
```

4.2.2 軽減手法

Reducing methods

Field of view の操作と Virtual Nose の 2 つを再現するために 2 種類のモデルを作成する.

一つ目は, Fernandes らの実験で用いた Field of View の操作を行うための 3D モデルである(Fig. 4-14). このモデルは, プレイヤー移動時に視野を制限するために用いる. プレイヤーの操作が止まっているときには拡大を行い, 移動をしているときには縮小を行うことで視野の制限を行う.



Fig. 4-14 Controlling Field of View

二つ目は, Whittinghill らの実験で用いられた Virtual Nose の 3D モデルである(Fig. 4-15). このモデルは, 常にプレイヤーの視界に入るように Unity 上で設置する.



Fig. 4-15 Virtual Nose

Two models to reproduce the Controlling Field of View and Virtual Nose were created.

The first is a 3D model for controlling Field of View (see Fig. 4-14). This model is used to limit the field

of view when self-moving the player. When the operation of the player is moving, the view is limited by performing the reduction.

The second is a 3D model for Virtual Nose (see Fig. 4-15). This model inserts on Unity so that it always into view of the player.

4.2.3 Bitalino

生体センサは Plux 社の Bitalino(r)evolution(Bitalino)を利用する. Bitalino にはいくつか種類があり, 基板にセンサ類が全て一体化している「Board Kit」, それぞれセンサが分離しており, はんだ付けが必要となるがオリジナルのウェアラブルデバイスを開発することができる「Freestyle Kit」, Board Kit と同じだがセンサとメイン基板の間にプラグがあり, Arduino などの基盤などと接続可能な「Plugged Kit」という 3 種類がある. また, それぞれに Bluetooth4.0 対応の「BLE」, Bluetooth2.0 対応の「BL」が存在する. 今回はこれらの中から, Freestyle Kit の BLE のキットを利用する. センサ類が分離しているため, はんだ付けを行い, 回路を作成した(Fig. 4-17). しかし, 回路を作成後に BLE のバージョンでは, 2 種類のセンサを同時に扱うことはできないということが判明した.

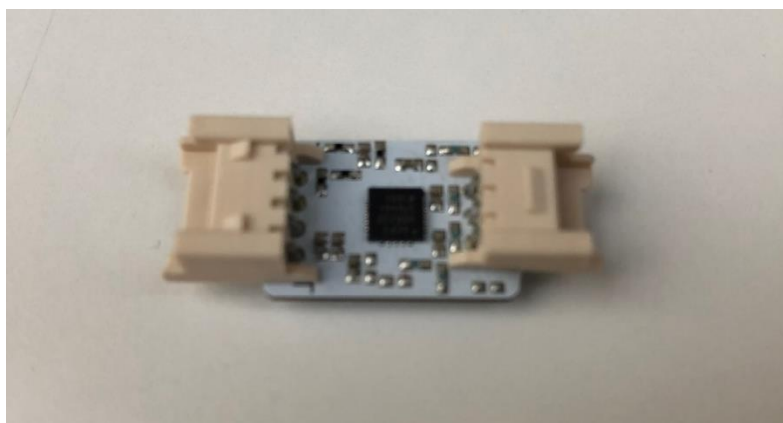


Fig. 4-16 Bitalino ECG Sensor

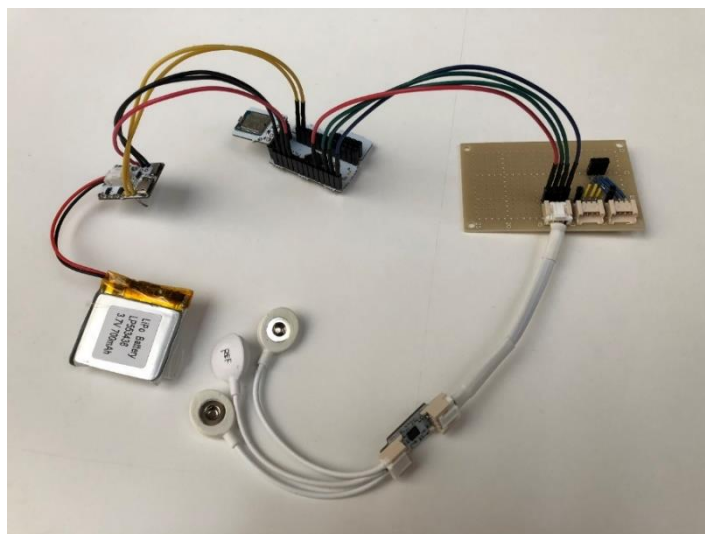


Fig. 4-17 My Bitalino Circuit

Bitalino で取得した生体データは、Bluetooth 経由でコンピュータと接続し、コンピュータ上で OpenSignals というソフトウェアを使用することで、時間当たりの生体データの記録と再生を行うことができる(Fig. 4-18)。全てのセンサにおいて横軸は時間として扱い、センサごとに縦軸が表す値は異なる。例えば、EDA は電気伝導率(μS)であり、ECG は電位 (mV) である。

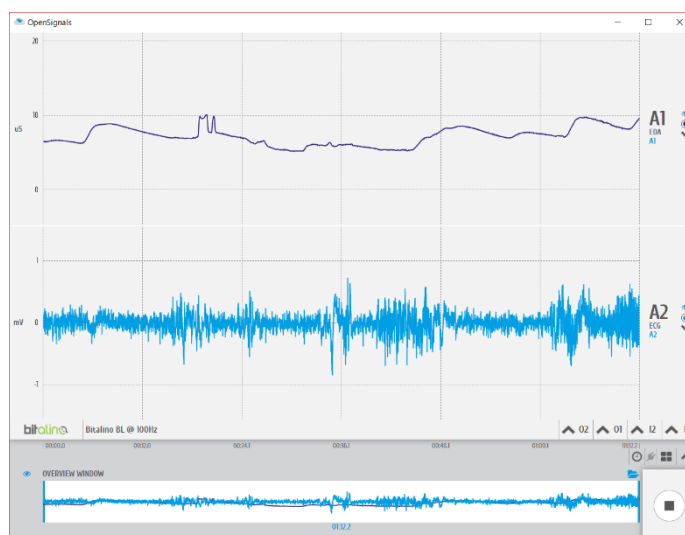


Fig. 4-18 OpenSignals

The biosensor uses Plux's Bitalino (r) evolution. There are three types of Bitalino, namely Board Kit, Freestyle Kit and Plugged Kit. Board Kit is all-in-one on-board sensor and actuator. Freestyle Kit is all sensors and actuators are separated, so soldering is necessary. Plugged Kit is the same as Board Kit but there is a plug between the sensor and the main board which can be connected to a base such as an Arduino.

In addition, each kit has BLE corresponding to Bluetooth 4.0, and BL corresponding to Bluetooth 2.0. At this time, Freestyle Kit BLE was used to create a circuit by soldering because the sensors were separated from the board. However, after creating the circuit, it turned out BLE cannot use two or more sensors at the same time.

Biological data obtained with Bitalino can be connected to a computer via Bluetooth, and by using software called OpenSignals on the computer, and it can record and reproduce data about measured biological data. The horizontal axis represents the time, but the vertical axis represents different values for each sensor. For example, vertical axis of EDA represents an electrical conductivity and vertical axis of ECG represents voltage.

4.2.4 実験タスク

Task of experiment

VE 内で行うタスクを設定した。これは課題でも挙げたように、実験参加者間での実験内での行動を統一させるためである。タスクとしては、3分間の制限時間を設け、5つのアイテムを順番に回収させることとした。Fig. 4-19は実験参加者の視界である。画面中央の白色のUIの「Timer」と表示されているところに制限時間が表示される。また、画面左側の青色のUIには、次回回収するアイテムが表示される。そして赤い矢印は、実験参加者が向いている方向の50cmほど前方に表示され、次に回収するべきアイテムの位置を指す。



Fig. 4-19 Subject's view

VE1 では、「Bag」、「Drink」、「Lamp」、「Map」、「Tablet」の順番でアイテムを表示する。 Fig. 4-20 は VE1 のルートである。



Fig. 4-20 VE1 route

VE2 では、「Bag」、「Lamp」、「Map」、「Drink」、「Tablet」の順番でアイテムを表示する。Fig. 4-21 は VE2 のルートである。

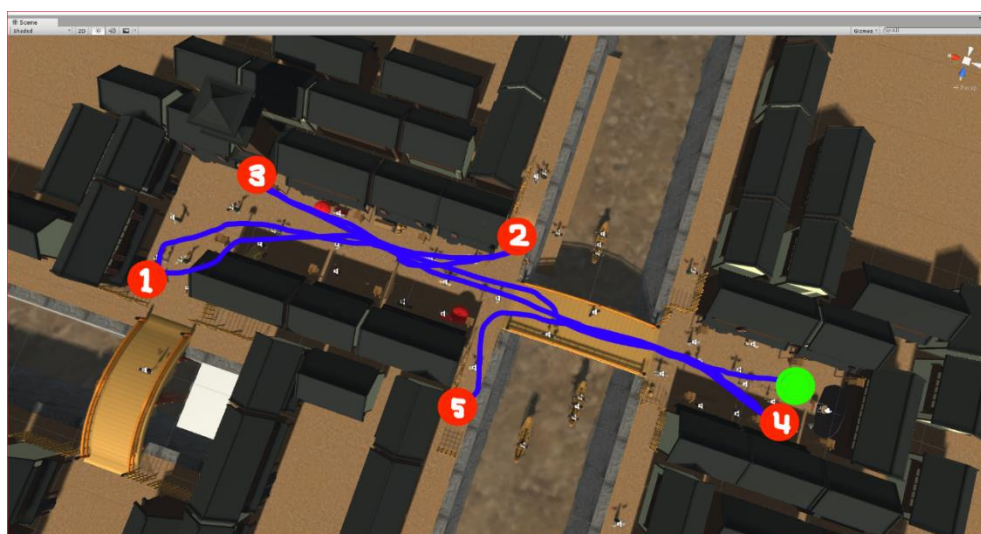


Fig. 4-21 VE2 route

To set a task to be done within VE. This is to almost unify subject's behavior within the experiment. The goal of the task was set to collect five items in order over three minutes.

In the UI, the time limit is displayed in the white frame, and the item to be collected next in the blue frame are displayed (see Fig. 4-19).

The route assumed in collecting items in order in VE1 is Bag, Drink, Lamp, Map and Tablet, and VE2 is that Bag, Lamp, Map, Drink and Tablet.

第5章 実験

Experiment

5.1 実験材料

Experimental components

実験では2種類のVE条件と3種類の軽減手法条件を用いる。Table 5-1はVE条件と軽減手法条件の組み合わせの対応表である。VE条件であるVE1を1、VE2を2とした。また、軽減手法条件をMethodとし、軽減手法なしをA、Field of Viewの操作をB、Virtual NoseをCとした。

Table 5-1 Table of Experiments

		Method		
		A	B	C
VE	1	1A	1B	1C
	2	2A	2B	2C

実験タスクは3分間の時間制限を設けているが、3分以内にアイテムをすべて回収した場合はVE内で自由に移動を行わせる。

また、それぞれの条件の視野は次のようになっている。Fig. 5-1は条件1Aにおける実験参加者の視野である。



Fig. 5-1 1A view

Fig. 5-2 は条件 1B における実験参加者の視野である。

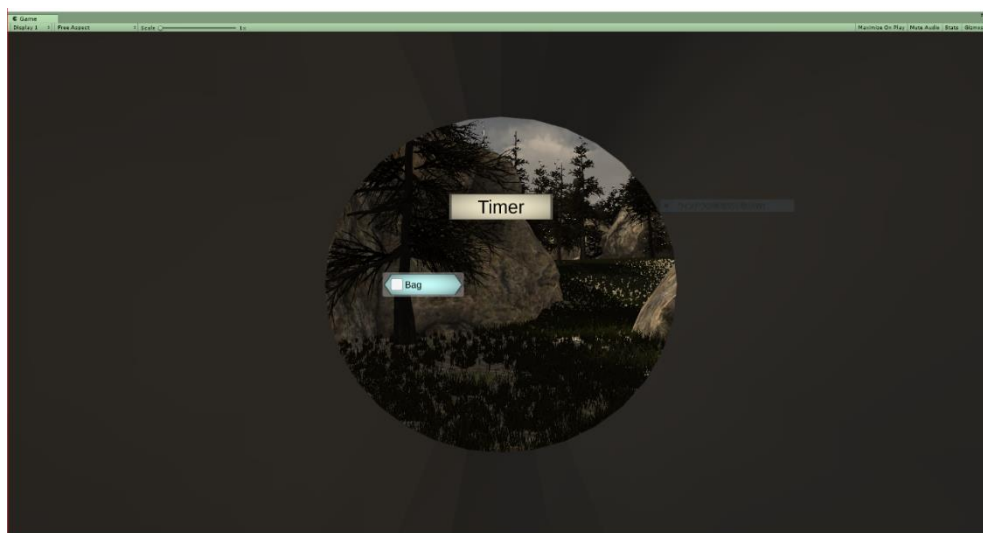


Fig. 5-2 1B view

Fig. 5-3 は条件 1C における実験参加者の視野である。



Fig. 5-3 1C view

Fig. 5-4 は条件 2A における実験参加者の視野である。



Fig. 5-4 2A view

Fig. 5-5 は条件 2B における実験参加者の視野である。

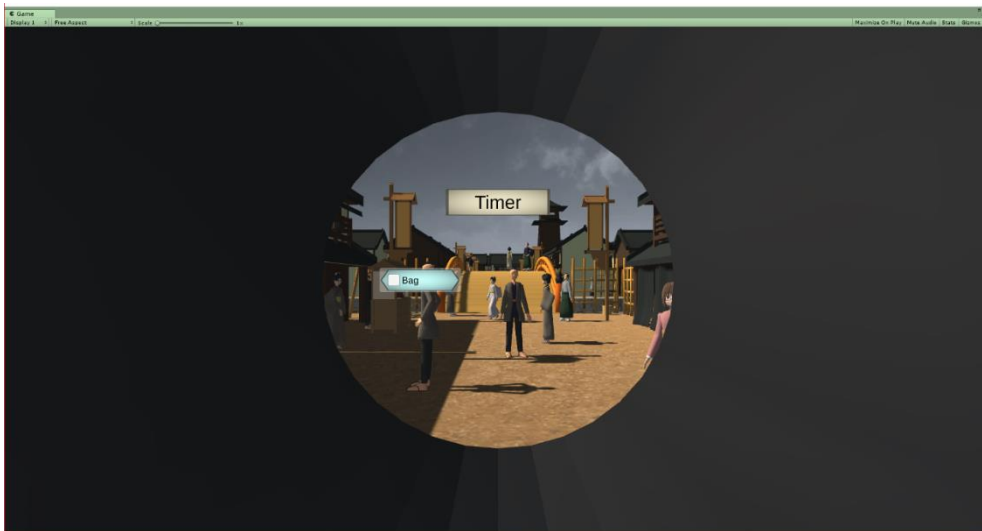


Fig. 5-5 2B view

Fig. 5-6 は条件 2C における実験参加者の視野である。

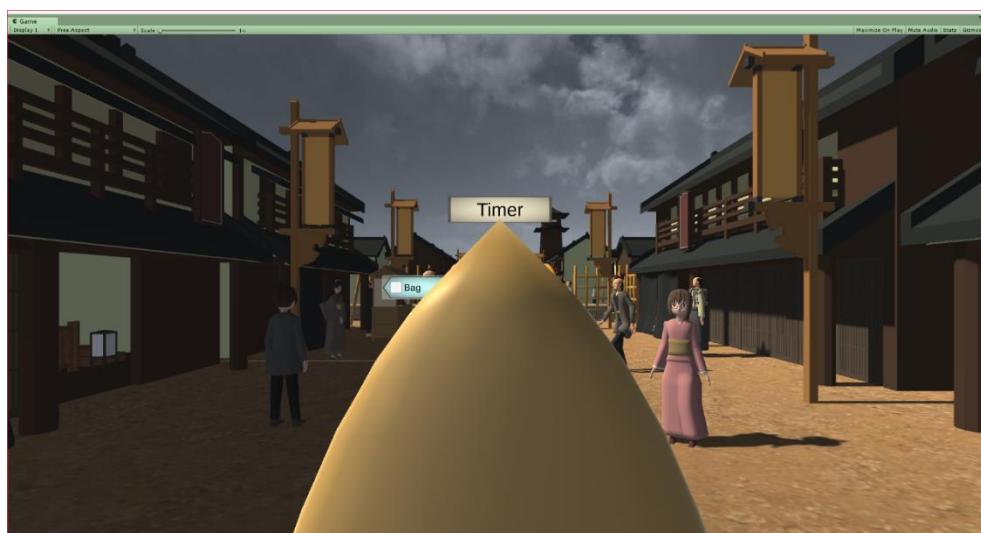


Fig. 5-6 2C view

また、酔いの程度を計るアンケートとして、SSQを用いる。SSQは16項目からなるアンケートで、各項目に対し、「なし」、「軽度」、「中度」、「深刻」の4段階の回答がある。Table 5-2はSSQの原文の項目と、今回用いる日本語訳を行った項目の対応表である。

Table 5-2 SSQ Item Correspondence (E/J)

Item	English	日本語
Q1	General discomfort	不快感
Q2	Fatigue	疲労感
Q3	Headache	頭痛
Q4	Eye strain	眼精疲労
Q5	Difficulty focusing	目の焦点が合わせにくい
Q6	Salivation increasing	唾液の分泌
Q7	Sweating	発汗
Q8	Nausea	吐き気
Q9	Difficulty concentrating	集中ができない
Q10	Fullness of the Head	頭がぼうっとする
Q11	Blurred vision	視界がぼやける
Q12	Dizziness with eyes open	目を開いている状態のめまい
Q13	Dizziness with eyes closed	目を閉じている状態のめまい
Q14	Vertigo	ぐるぐるとしためまい
Q15	Stomach awareness	胃の違和感
Q16	Burping	げっぷが出る

実験環境として、OSはWindows 10 Home、CPUはインテル® Core™ i7-7700HQプロセッサ、グラフィックはNVIDIA® GeForce® GTX1070のノートPCを用いる。また、HMDにOculus

Rift Development Kit 2, コントローラに Xbox One Wireless Controller を用いる。

In the experiment, there are two types of conditions of VE and three types of conditions of reduction methods of VR Sickness. Conditions of VE, VE1 is 1 and VE2 is 2. Conditions of reduction methods of VR Sickness as Method, A is none, B is controlling Field of View and C is Virtual Nose.

The experiment task has a time limit of 3 minutes but if all the items are collected within 3 minutes, subject will move freely in the VE.

In addition, SSQ is used as a questionnaire to measure the degree of sickness [5]. The SSQ is a questionnaire consisting of 16 items, and there are four answers for each item, none, mild, moderate and serious.

For the experimental environment, the laptop OS is Windows 10 Home, the CPU uses the Intel® Core™ i7-7700 HQ processor, and the graphics uses the of NVIDIA® GeForce® GTX 1070. Also, HMD is Oculus Rift Development Kit 2, and controller is Xbox One Wireless Controller.

5.2 実験 1 の方法

Method of experiment 1

実験 1 では、生体センサと SSQ を用いた実験を行う。手順としては、実験参加者に実験の承諾を得た後、

1. 電極を Fig. 5-7 の O と P の位置の 2 か所に装着する。
2. 安静状態にある実験参加者に対して 3 分間の ECG の計測を行う。
3. 計測終了後、HMD を装着させ、3 分間の実験タスクを行わせる。その間に ECG の計測を行う。
4. 実験タスク終了後、SSQ に回答させ、十分な休憩を取らせる。
5. その後条件を変更し、もう一度 2. と 3. の操作を行う。
6. 全ての操作を終えた後、1 回目と 2 回目実験タスクにおいて目や体の疲れ、操作感に違いがあるか質問を行う。



Fig. 5-7 Position of Electrode

In Experiment 1, using a biosensor and SSQ.

As for the procedure, after gaining consent for experiment to subjects,

1. Place the electrode in two places.
2. Measure the ECG of 3 minutes of subjects who are in a natural state.
3. After completion of measurement, wear HMD and do the experimental task for 3 minutes. Measure ECG during that time.
4. After completing the experiment task, subjects answer SSQ, and take a sufficient break.
5. Then change the conditions, and repeat steps 2 and 3.
6. After finishing all the operations, ask questions as to whether there is a difference in tired eyes or body, and operation feeling in the first and second experiment tasks.

5.3 実験 1 結果

Result of experiment 1

大学倫理委員会への申請と承認のもと、全ての実験参加者は実験データの匿名性に関する合意に署名した。

実験参加者は18–20歳の健康な大学生15人(男14, 女1)であり、14人がVR体験をしたことがなく、1人はVR体験を1, 2回程度経験したことがあった。Fig. 5-8は実験している状態である。



Fig. 5-8 Experiment 1

実施した VE 条件と軽減手法条件に対する実験参加者数は Table 5-3 に示す。Subjects は実験参加者数であり，T1，T2 は条件を適用して計測を行った回である。

Table 5-3 Number of subjects in the experiment 1

Subjects (<i>n</i>)	T1	T2
6	1A	2A
3	1B	1C
3	2B	2C
3	2C	1B

実験 1 を行った結果，ECG データは通常 0mv を基準として記録されるが，15 人に対しそれぞれ 3 回計測を行った ECG データは全て Fig. 5-9 のような異常な値で記録されていた。

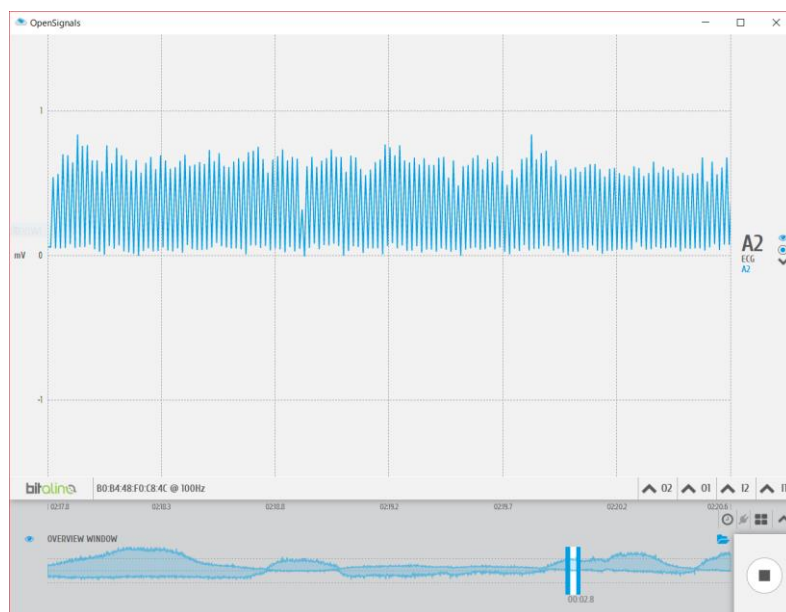


Fig. 5-9 Abnormal data

また、Table 5-4 は実験 1 における SSQ の結果である。S の列は実験参加者、1 から 16 の列の
 数値は回答であり、0 が「なし」、1 が「軽度」、2 が「中度」、3 が「深刻」を示す。

Table 5-4 Result of SSQ in the experiment 1

S	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0
3	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	2	0	1
4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	1	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0
5	0	1	0	1	1	1	2	1	1	1	0	1	1	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

S	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16
10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

実験後の目や体の疲れ, 操作感に違いはあるかという質問に対する回答として, VE 条件では,

- 違いは見られなかった.
- VE1 のほうが疲れなかった.
- VE2 は情報量が多かった.
- VE1 のほうが疲れた.

といった回答を得た. また, 軽減手法条件では,

- 違いは見られなかった.
- Method B は見づらかった.

といった回答を得た.

The university ethics application was approved and so all participants signed an agreement about the anonymity of their experimental data.

Subjects were 15 healthy students aged 18 to 20 years (male 14, female 1), 14 had never experienced VR and 1 had very limited experience (once or twice).

As a result of experiment 1, all ECG data was not normally recorded.

As an answer to questions about feeling tired in the experiment, in conditions of VE,

- No difference was seen.
- VE 1 got tired.
- VE 2 has a large amount of information.
- VE 1 got tired.

Also, conditions of Method

- No difference was seen.
- Method B was hard to see.

5.4 実験 2 の方法

Method of experiment 2

実験 2 では, 実験 1 で生体センサが異常な値を記録したため, 生体センサを用いず, SSQ のみを用いた実験を行う. 手順としては, 実験参加者に実験の承諾を得た後,

1. HMD を装着させ、3 分間の実験タスクを行わせる。
2. 実験タスク終了後、SSQ に回答させ、十分な休憩を取らせる。
3. その後条件を変更し、もう一度 1. と 2. の操作を行う。
4. 全ての操作を終えた後、1 回目と 2 回目実験タスクにおいて目や体の疲れ、操作感に違いがあるか質問を行う。

In Experiment 2, using only SSQ without biological sensor because unfortunately ECG sensor obtained abnormal values in Experiment 1.

As for the procedure, after gaining consent for experiment from subjects,

1. Wear HMD and do the experimental task for 3 minutes.
2. After completing the experiment task, answer SSQ, and take a sufficient break.
3. Then change the conditions, and repeat steps 1 and 2.
4. After finishing all the operations, ask questions as to whether there is a difference in tired eyes or body, and operation feeling in the first and second experiment tasks.

5.5 実験 2 結果

Result of experiment 2

大学倫理委員会への申請と承認のもと、全ての実験参加者は実験データの匿名性に関する合意に署名した。

実験参加者は 18–20 歳の健康な大学生 21 人(男 20, 女 1)であり、9 人が VR 体験をしたことがなく、11 人は VR 体験を 1, 2 回程度経験したことがあった。

実施した VE 条件と軽減手法条件に対する実験参加者数は Table 5-5 に示す。Subjects は実験参加者数であり、T1, T2 は条件を適用して計測を行った回である。

Table 5-5 Number of subjects in the experiment 2

Subjects (<i>n</i>)	T1	T2
5	1A	1C
5	2A	2B
2	1B	2B
2	2C	1C
1	1C	2B
5	2C	1B
1	2A	1A

また、Table 5-6 は実験 2 における SSQ の結果である。S の列は実験参加者であり、実験 1 から引き継いで 16 からナンバリングしている。1 から 16 の列の数値は回答であり、0 が「なし」、1 が「軽度」、2 が「中度」、3 が「深刻」を示す。

Table 5-6:Result of SSQ in experiment 2

S	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16
16	2	1	0	2	1	1	0	2	2	1	1	1	0	1	0	0
16	1	1	0	1	2	0	0	2	1	1	1	0	0	1	1	0
17	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
17	2	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	2	1	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
22	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
23	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
31	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
33	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0
34	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
34	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
35	3	2	2	2	1	1	0	2	2	1	1	2	0	2	0	0
35	1	1	0	2	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0

S	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15	Q16
36	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

実験後の目や体の疲れ, 操作感に違いはあるかという質問に対する回答として, VE 条件では,

- 違いは見られなかった.
- VE1 のほうが気持ち悪かった.
- VE2 のほうが気持ち悪かった.
- VE2 は情報量が多く疲れた.
- VE2 は目の疲れがあった.

といった回答を得た. また, 軽減手法条件では,

- 違いは見られなかった
- (Method A と比べて)Method C のほうが気持ち悪くなった.
- (Method C と比べて)Method A のほうが気持ち悪くなった.
- (Method A と比べて)Method C のほうが違和感はなかった.
- Method B は見づらかった.
- Method B は見づらく, 体を大きく動かす必要があるため疲れた.

といった回答を得た.

The university ethics application was approved and so all participants signed an agreement about the anonymity of their experimental data.

Subjects were 21 healthy students aged 18 to 20 years (male 20, female 1), 9 had never experienced VR and 11 had very limited experience (once or twice).

As answers to questions about feeling tired in the experiment, in conditions of VE,

- No difference was seen.
- VE 1 was bad feeling.
- VE 2 was bad feeling.
- VE 2 got tired of the amount of information.
- VE 2 was tired from the eyes.

Also, conditions of Method,

- No difference was seen
- Method C was bad feeling (compared to Method A).
- Method A was bad feeling (compared to Method C).
- Method C had no sense of incongruity (compared to Method A).
- Method B was hard to see.
- Method B is hard to see, and I got tired because I needed to move my body physically

第6章 評価

Evaluation

実験で得られたデータを用いて評価を行う。しかし、生体データである ECG について、自然状態、実験タスク 1、実験タスク 2 においてそれぞれ異常な波形で記録されており、実験参加者内、実験参加者間の両方において比較することができなかった。そのため、SSQ を主とした評価を行う。

The data obtained in the experiment was evaluated. However, ECG biological data was recorded as abnormal waveforms in natural state, experiment task 1, and experiment task 2, and it was subsequently not possible to compare between subjects. Therefore, only SSQ was evaluated.

6.1 Simulation Sickness Questionnaire

SSQ の計算方法として、回答項目である「なし」、「軽度」、「中度」、「深刻」の 4 段階を、0 から 3 としてスコアを与える。また、質問項目である 16 項目を Nausea, Oculomotor, Disorientation の 3 つのクラスに分類し、各項目に加重度を与え、定数を掛けることにより、各クラスに対するスコアを算出する。Nausea Score(NS)は加重和に 9.54 掛け、Oculomotor Score(OS)は加重和に 7.58 を掛け、Disorientation Score(DS)は 13.92 を掛ける。そして、3 つのクラスの加重和を足し合わせ、3.74 を掛けたものが Total Score(TS)となり、VR 酔いの重症度を求めることができる。Table 6-1 は SSQ の 16 項目に対する各クラスの加重度の分布である。これら 4 つの重みづけされた値は、異なる Simulator Sickness や VR 酔いの研究において、SSQ データを計算し比較するための定数である。

Table 6-1 Weights for symptoms

Symptoms	Weights for Symptoms		
	Nausea	Oculomotor	Disorientation
General discomfort	1	1	0
Fatigue	0	1	0
Headache	0	1	0
Eye strain	0	1	0
Difficulty focusing	0	1	1
Salivation increasing	1	0	0
Sweating	1	0	0
Nausea	1	0	1
Difficulty concentrating	1	1	0
Fullness of the Head	0	0	1

Symptoms	Weights for Symptoms		
	Nausea	Oculomotor	Disorientation
Blurred vision	0	1	1
Dizziness with eyes open	0	0	1
Dizziness with eyes closed	0	0	1
Vertigo	0	0	1
Stomach awareness	1	0	0
Burping	1	0	0

The calculation method of SSQ is important and is detailed in [5]. To summarize, give four scores of None, Mild, Moderate, Severe as answer items with scores of 0 to 3. In addition, divide the 16 items, which are question items, into three classes of Nausea, Oculomotor, Disorientation, give weights to each item, multiply them by constants, and calculate scores for each class. Nausea Score (NS) multiplies the weighted sum by 9.54 times, the Oculomotor Score (OS) multiplies the weighted sum by 7.58 and the Disorientation Score (DS) multiplies by 13.92. Then, the weighted sum of the three classes is added up and multiplied by 3.74 which becomes Total Score (TS), and the severity of VR sickness can be obtained. These four weighted values are constants for calculating and comparing the SSQ data in different Simulator Sickness and VR sickness research.

6.2 Nausea Score

SSQ の NS における VE 条件と軽減手法条件の分散分析を行った。

1A($n=12$)におけるスコアの平均は 12.72($SD=18.41$), 1B($n=12$)は 9.54($SD=10.30$), 1C($n=12$)は 8.75($SD=15.80$), 2A($n=12$)は 10.34($SD=16.27$), 2B($n=12$)は 4.79($SD=7.29$), 2C($n=12$)は 10.34($SD=21.14$)であった。Table 6-2 と Fig. 6-1 は NS における平均と分散を示す。各条件について 2 要因被験者間の分散分析を行った結果、有意な差は見られなかった。また、Table 6-3 は分散分析の結果を示す。

Table 6-2 Mean and S.D.(NS)

VE	Method	n	Mean	S.D. (Standard Deviation)
1	A	12	12.72	18.41
1	B	12	9.54	10.30
1	C	12	8.75	15.80
2	A	12	10.34	16.27
2	B	12	4.77	7.29
2	C	12	10.34	21.14

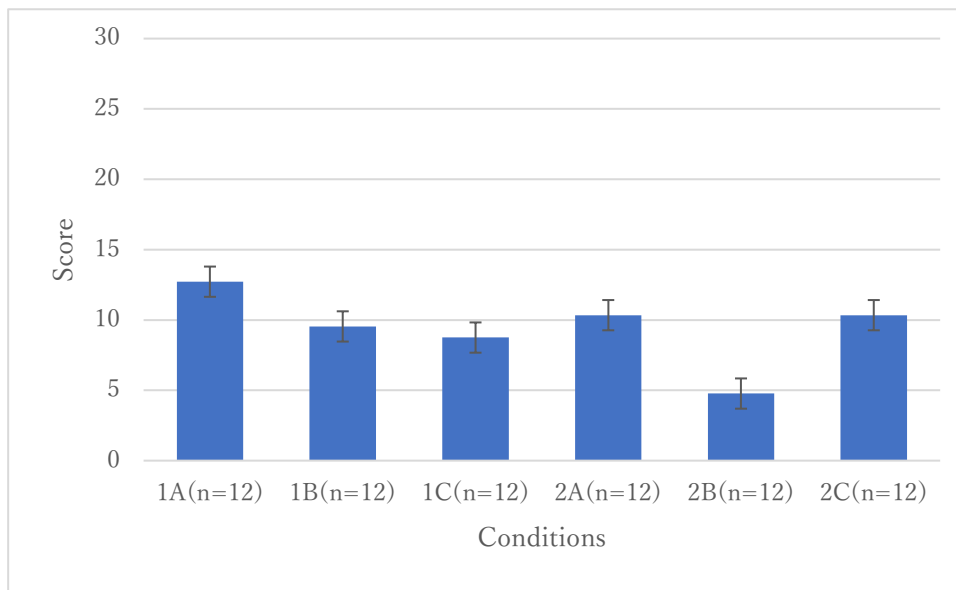


Fig. 6-1 Mean of NS(n=72)

Table 6-3 Analysis of variance(NS)

S.V (source of variance)	SS (sum of squares)	df (degree of freedom)	MS (mean square)	F
VE(2)	61.94	1	61.94	.23 ns
Method(3)	230.06	2	115.03	.43 ns
VE×Method	123.88	2	61.94	.23 ns
subj	17512.15	66	265.34	
Total	17928.02	71	+p<.10 *p<.05 **p<.01	

Variance analysis of VE condition and Method condition in NS of SSQ was carried out. As a result of two-way ANOVA to analyze the conditions of 1A, 1B, 1C, 2A, 2B and 2C, there were no significant differences between the two conditions.

6.3 Oculomotor Score

SSQ の OS における VE 条件と軽減手法条件の分散分析を行った。

1A(n=12)におけるスコアの平均は 18.32(SD=19.44), 1B(n=12)は 8.84(SD=10.65), 1C(n=12)は 12.63(SD=17.04), 2A(n=12)は 13.27(SD=12.81), 2B(n=12)は 8.21(SD=10.92), 2C(n=12)は 17.06(SD=26.46)であった。Table 6-4 と Fig. 6-2 は NS における平均と分散を示す。各条件について 2 要因被験者間の分散分析を行った結果、有意な差は見られなかった。また、Table 6-5 は分散

分析の結果を示す.

Table 6-4 Mean and S.D.(OS)

VE	Method	n	Mean	S.D.
1	A	12	18.32	19.44
1	B	12	8.84	10.65
1	C	12	12.63	17.04
2	A	12	13.27	12.81
2	B	12	8.21	10.92
2	C	12	17.06	26.46

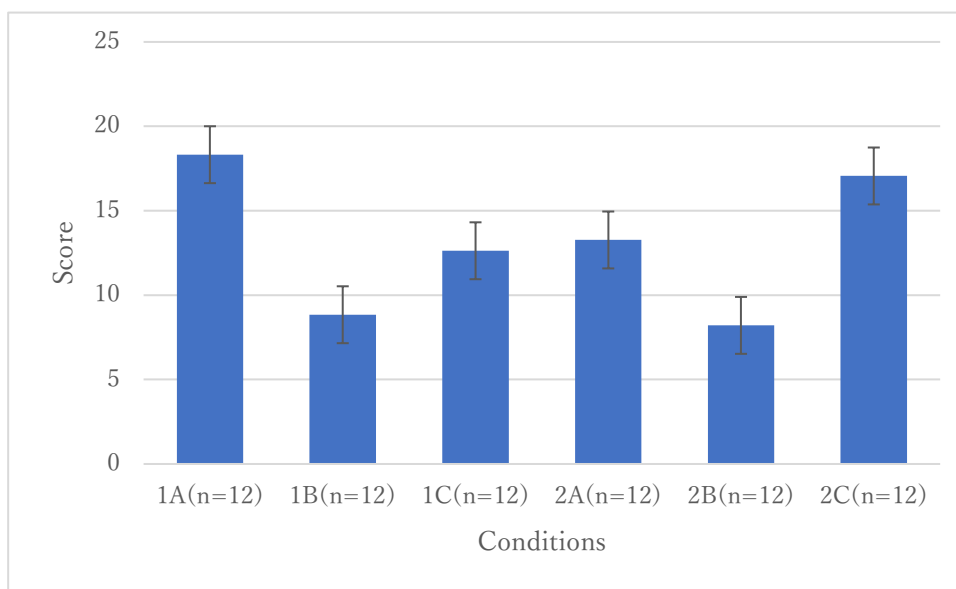


Fig. 6-2 Mean of OS(n=72)

Table 6-5 Analysis of variance(OS)

S.V	SS	df	MS	F
VE(2)	3.19	1	3.19	.01 ns
Method(3)	748.53	2	374.27	1.17 ns
VE×Method	269.73	2	134.86	.42 ns
subj	21182.26	66	320.94	
Total	22203.70	71	+p<.10 *p<.05 **p<.01	

Variance analysis of VE condition and Method condition in OS of SSQ was carried out. As a result of

two-way ANOVA to analyze the conditions of 1A, 1B, 1C, 2A, 2B and 2C, there were no significant differences between the two conditions.

6.4 Disorientation Score

SSQ の DS における VE 条件と軽減手法条件の分散分析を行った。

1A($n=12$)におけるスコアの平均は 23.20($SD=29.16$), 1B($n=12$)は 12.76($SD=18.38$), 1C($n=12$)は 25.52($SD=28.88$), 2A($n=12$)は 24.36($SD=24.85$), 2B($n=12$)は 13.92($SD=16.07$), 2C($n=12$)は 25.52($SD=34.02$)であった。Table 6-6 と Fig. 6-3 は NS における平均と分散を示す。各条件について 2 要因被験者間の分散分析を行った結果、有意な差は見られなかった。また、Table 6-7 は分散分析の結果を示す。

Table 6-6 Mean and S.D.(DS)

VE	Method	n	Mean	S.D.
1	A	12	23.20	29.16
1	B	12	12.76	18.38
1	C	12	25.52	28.88
2	A	12	24.36	24.85
2	B	12	13.92	16.07
2	C	12	25.52	34.02

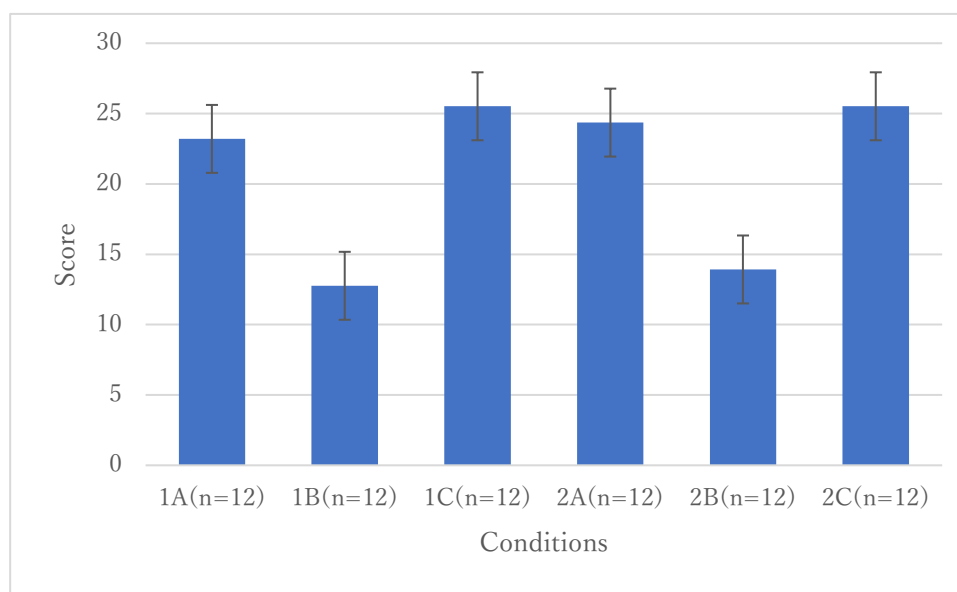


Fig. 6-3 Mean of DS($n=72$)

Table 6-7 Analysis of variance(DS)

S.V	SS	df	MS	F
VE(2)	10.77	1	10.77	.01 ns
Method(3)	2082.99	2	1041.49	1.41 ns
VE×Method	5.38	2	2.69	.00 ns
subj	48667.66	66	737.39	
Total	50766.80	71	+p<.10 *p<.05 **p<.01	

Variance analysis of VE condition and Method condition in DS of SSQ was carried out. As a result of two-way ANOVA to analyze the conditions of 1A, 1B, 1C, 2A, 2B and 2C, there were no significant differences between the two conditions.

6.5 Total Score

SSQ の TS における VE 条件と軽減手法条件の分散分析を行った。

1A(n=12)におけるスコアの平均は 20.26(SD=28.82), 1B(n=12)は 11.53(SD=11.57), 1C(n=12)は 16.52(SD=21.78), 2A(n=12)は 17.14(SD=17.64), 2B(n=12)は 9.66(SD=10.18), 2C(n=12)は 19.32(SD=29.48)であった。Table 6-8 と Fig. 6-4 は NS における平均と分散を示す。各条件について 2 要因被験者間の分散分析を行った結果、有意な差は見られなかった。また、Table 6-9 は分散分析の結果を示す。

Table 6-8 Mean and S.D.(TS)

VE	Method	n	Mean	S.D.
1	A	12	20.26	23.82
1	B	12	11.53	11.57
1	C	12	16.52	21.78
2	A	12	17.14	17.64
2	B	12	9.66	10.18
2	C	12	19.32	29.48

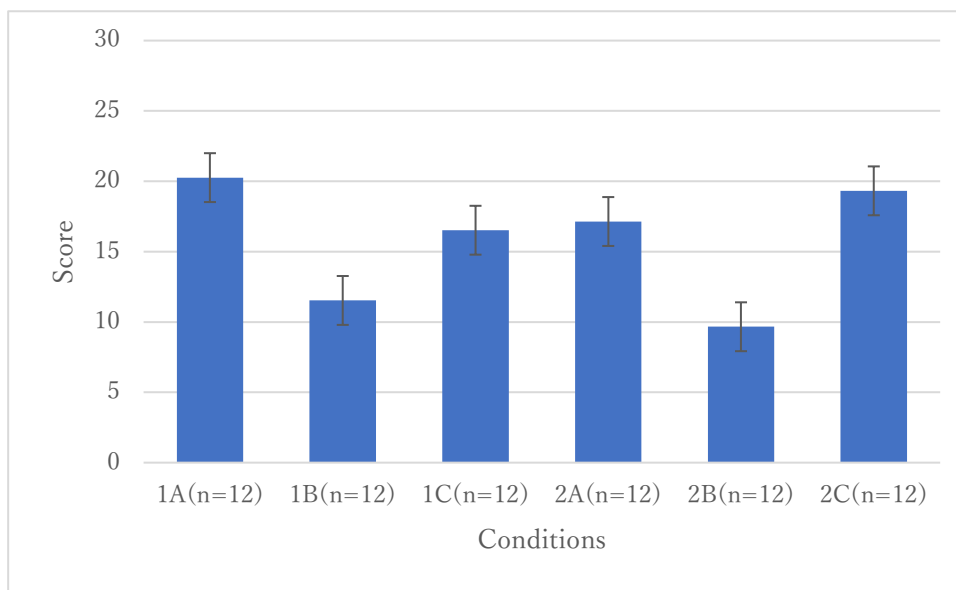


Fig. 6-4 Mean of TS(n=72)

Table 6-9 Analysis of variance(TS)

S.V	SS	df	MS	F
VE(2)	9.52	1	9.52	.02 ns
Method(3)	959.32	2	479.66	1.07 ns
VE×Method	116.95	2	58.48	.13 ns
subj	29517.33	66	447.23	
Total	30603.12	71	+p<.10 *p<.05 **p<.01	

Variance analysis of VE condition and Method condition in TS of SSQ was carried out. As a result of two-way ANOVA to analyze the conditions of 1A, 1B, 1C, 2A, 2B and 2C, there were no significant differences between the two conditions.

第7章 考察

Consideration

実験で得た SSQ のデータを基に評価を行った結果、どの SSQ スコアにおいても統計学的な有意差は見られなかった。これは、SSQ の各スコアにおける分散が大きく、個人差が大きいためであるということが考えられる。しかし、軽減手法条件における各スコアの平均を比較すると、Method B を体験した実験参加者の SSQ スコアは NS, OS, DS, TS の全てにおいて Method A と比べて低い値を示している。一方 Method C は、Method A, B と比べて共に平均による差は見られなかった。これらのことから、Method B は個人差があるが、VR 酔いを軽減させる効果があると考えられ、Method C は VR 酔いの軽減効果はないと考えられる。また、VE 条件における各スコアの平均を比較すると、OS と DS では VE2 のスコアが僅かに VE1 のスコアを上回っているが、誤差範囲以内であるため、情報量による VR 酔いの程度に違いはないと考えられる。

次に、VR 酔いの軽減手法として必要なものを考える。Method B において効果が見られたのは、Field of View の操作を行うことで、ベクシオンを抑えることができたからだと考える。視覚によるベクシオンは、中心視野より周辺視野に刺激を提示した方が効果的であるため、移動時に周辺視野を制限することによって刺激を減らすことでベクシオンの強度を抑えるためだと考えられる。Method C について、2.3.3 のように安定した位置に鼻というオブジェクトがあることにより、鼻を追加することで VR 酔いの発生が抑えられるのではないかと考える。これらのことから、周辺視野への影響と、安定した位置へのオブジェクトの配置という考えを基に、Fig. 7-1 のようなメガネ型のオブジェクトを表示することで VR 酔いの軽減が可能ではないかと考える。



Fig. 7-1 Glasses

As a result of evaluations based on the SSQ data obtained in the experiment, no statistically significant difference was found in any SSQ score. It can be considered that individual differences are large because variance in each score of SSQ is large. However, comparing the average of scores in the Method condition, SSQ score of subjects who experienced Method B showed lower scores than that of Method A in all of NS, OS, DS and TS. On the other hand, Method C did not show any difference by average as compared with Method A and B. From these facts, Method B, although has individual differences, seems to have an effect of reducing VR sickness, and Method C has no effect of reducing VR Sickness. In addition, comparing the

average of each score in the VE condition, the score of VE2 is slightly higher than the score of VE1 in OS and DS, but it is within the error range. Therefore, it is considered that there is no difference in the degree of VR Sickness due to the information volume.

Next, to consider what is necessary as reducing methods of VR Sickness. It is considered that the effect was seen in Method B because it is able to reduce Vection by controlling Field of View. Visual vision is considered to be advantageous because it is more effective to present the stimulus to the peripheral visual field rather than the central visual field. Therefore, it is considered reducing the magnitude of the Vection by reducing the stimulus by limiting the peripheral visual field during movement. Moreover, about Method C, it is considered that displaying the nose can reduce the occurrence of VR Sickness because there is an object (i.e the nose) in a stable position. From these facts, an idea based on the effect of peripheral visual field and deploying the object in a stable position, it is suggested that it is possible to reduce VR Sickness by displaying virtual objects through virtual glasses (see Fig. 7-1).

第8章 結言

Conclusion

本研究では、VR酔いの軽減手法を実装したVEにおいて軽度のVR酔いとなる不安の計測と比較評価を行い、より効果的な軽減手法の検討を行った。

得られたものとして、SSQを用いたVR酔いの軽減手法の比較評価を行うことができた。VE条件、軽減手法条件ともに統計学的な有意差は見られなかったが、軽減手法条件であるField of Viewの操作については多少の影響が見られた。そして、既存のVR酔いの軽減手法を基に一つのVR酔いの軽減手法の考案を行った。

反省点として、実験材料の不備と実験デザインが不十分であった点が挙げられる。実験材料の不備について、本研究ではBitalinoのEDAセンサとECGセンサの同時利用を目標としていたが、最終的にBitalinoのECGセンサのみの使用となった。加えて、ECGセンサが正常な記録ができないという問題が発生した。これらについて、生体センサとして選定したBitalino (r)evolution Freestyle Kit BLEであるが、Bluetooth 4.0対応であるBLEバージョンでは一つのセンサでしか動作せず、Bluetooth 2.0対応であるBLバージョンであれば複数のセンサが動作するということが分かった。また、回路についてハンドメイド型であるFreestyle Kitではなく、基板にEDAやECGなどのセンサ類が予めはんだ付けが行われているBoard Kitを選定することで解決できたと考える。実験デザインについて、今回2種類のVE条件と3種類の軽減手法条件の合計6条件で実験を行った。そこで、実験参加者に対する条件の割り当てについて、1回目と2回目の計測で重複が起これないように割り当てたため、1回目に1A、2回目に2AというVE条件を実施した実験参加者もいれば、1回目に2A、2回目に2Cという軽減手法条件を実施した実験参加者もいる。そのため、評価において実験参加者内で比較をすることができなくなり、実験参加者間での比較では人数が不十分であった。実験デザインの段階で評価の方法があいまいであったため、実験デザインを行う際には求めたいデータと、行いたい実験とを見極め、適切な実験デザインを行う必要がある。

展望として、本研究によって得られた知見と反省点を踏まえ、効果的なVR酔いの軽減手法の研究を継続するとともに、提案したメガネ型オブジェクトの効果の計測行いたい。

In this research, 'anxiety' as a proxy for mild VR Sickness was measured, compared and evaluated in VEs which implemented the reducing methods of VR Sickness, and also studied more effective reducing methods of VR Sickness. As a result, it was possible to compare and evaluate the VR sickness reduction method by using SSQ. There was no statistically significant difference in both VE condition and Method condition, but the influence was observed on controlling Field of View which is Method condition. In addition, reducing methods of VR Sickness based on existing reducing methods of VR Sickness were devised.

Upon reflection, it is considered that the development of the experimental materials and the experimental design were not enough. Regarding the deficiencies of experimental materials, this research aimed to use Bitalino's EDA sensor and ECG sensor at the same time, but finally it was only Bitalino ECG sensor. In addition, the problem that ECG sensor could not perform normal recording had occurred. These are Bitalino (r) evolution Freestyle Kit BLE selected as a biological sensor, but in the BLE version compliant with Bluetooth 4.0, it operates only one sensor. If it is the BL version, which is compliant with Bluetooth 2.0, the multiple sensor operates. In addition, it is considered that the problem of the circuit was solved by

selecting Board Kit in which sensors such as EDA and ECG are soldered in advance, rather than hand-made Freestyle Kit.

Regarding the experimental design, a total of 6 conditions about two VE conditions and three Method conditions in this time were experimented. At that time, assignment of conditions to experiment subjects was allocated so that duplication did not occur in the first and second measurements. Therefore, some subjects not only performed VE condition of 1A for the first time and 2A second time, but also some subjects performed the Method condition of 2A for the first time and 2C at the second time. For this reason, the research could not compare within the subjects in the evaluation, and there were not enough number of subjects for comparison among the subjects. Since the method of evaluation was not clear at the stage of experimental design, when conducting experimental design, it is necessary to explicitly and exactly determine the data that the researcher wants to obtain and the experiments wants to perform, and to subsequently design appropriate experiments.

As a future prospect, based on the findings and reflections obtained in these experiments, research about effective reducing methods of VR Sickness will be continued, and subsequently measure the effect of a customized glasses type object.

謝辞

Acknowledgement

卒業論文を作成するにあたり，ご指導いただきました Michael Vallance 先生をはじめ，研究について助言をいただいた Ian Frank 先生，評価分析において助言をいただいた富永敦子先生に深く感謝いたします。また，実験にご協力いただいた皆様にお礼申し上げます。

Thank you to Professor Michael Vallance who supported and taught me about my research. I received a lot of ideas and advice from various view points, and I was able to proceed successfully with my research. Professor Ian Frank who gave me advice on my research, and Associate Professor Atsuko Tominaga who gave me advice on the evaluation and analysis. And Michael Vallance's laboratory members and the students who helped me collect the experiment data.

参考文献

Bibliography

- [1] S. Tachi, M. Sato and M. Hirose, *Virtual Reality Studies*, Coronasha, 2011.
- [2] S. Davis, K. Nesbitt and E. Nalivaiko, "A Systematic Review of Cybersickness," *Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment*, pp. 1-9, 2014.
- [3] T. Seno and H. Suzuki, *Vection toha nanda!?*, Kyoritsu Shuppan, 2017.
- [4] M. Ogawa and T. Seno, "Colorful stimuli might inhibit vection," *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*, vol. 21, no. 1, pp. 31-33, 2016.
- [5] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum and M. G. Lilienthal, "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness," *The International Journal of Aviation Psychology*, vol. 3, no. 3, pp. 203-220, 1993.
- [6] E. R. Muth, R. M. Stern, J. F. Thayer and K. L. Koch, "Assessment of the multiple dimensions of nausea: the Nausea Profile (NP)," *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 40, no. 5, pp. 511-520, 1996.
- [7] S. L. Ames, J. S. Wolffsohn and N. A. McBrien, "The development of a symptom questionnaire for assessing virtual reality viewing using a head-mounted display," *Optometry and Vision Science : Official Publication of the American Academy of Optometry*, vol. 82, no. 3, pp. 168-176, 2005.
- [8] C. Nakagawa, "Seirihannou wo motiita douyoubyou no hyouka ni kansuru kenkyuu," 2008.
- [9] J. C. Miller, T. J. Sharkey, G. A. Graham and M. E. McCauley, "Autonomic Physiological Data Associated with Simulator Discomfort," *Aviation, space and environmental medicine*, pp. 817-819, 1993.
- [10] A. S. Fernandes and S. K. Feiner, "Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification," *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, pp. 201-210, 2016.
- [11] D. Whittinghill, B. Ziegler, T. Case and B. Moore, "Nasum virtualis: A simple technique for reducing simulator sickness," 24 3 2015. [Online]. Available: <http://www.purdue.edu/newsroom/releases/2015/Q1/virtual-nose-may-reduce-simulator-sickness-in-video-games.html>. [Accessed 2 11 2017].
- [12] D. Tambovtsev, N. Floksy and O. Peshé, "How to Avoid the Effect of Motion Sickness in VR," *VRScout*, 1 7 2016. [Online]. Available: <https://vrscout.com/news/avoid-motion-sickness-developing-for-vr/>. [Accessed 5 12 2017].

付録その1 SSQ

No. _____

Date _____

SIMULATOR QUESTIONNAIRE

手順：以下の症状に対して、あなたが感じる現在の程度を丸で囲んでください。

- | | | | | |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. 不快感 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 2. 疲労感 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 3. 頭痛 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 4. 眼精疲労 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 5. 目の焦点が合わせにくい | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 6. 唾液の分泌 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 7. 発汗 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 8. 吐き気 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 9. 集中ができない | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 10. 頭がぼうつとする | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 11. 視界がぼやける | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 12. 目を開いている状態のめまい | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 13. 目を閉じている状態のめまい | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 14. ぐるぐるとしためまい | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 15. 胃の違和感 | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |
| 16. げっぷが出る | <u>なし</u> | <u>軽度</u> | <u>中度</u> | <u>深刻</u> |

付録その2 Letter Acceptance

承諾書

◎ 下記の実験概要について、ご理解をお願いいたします。

実験内容

- ・ 3D コンピューターゲームを体験してもらう実験です。
- ・ この実験によって、3D コンピューターゲームの評価を行います。
- ・ 実験の所要時間（待ち時間含む）は20分以内を予定しています。

実験結果の利用

- ・ 実験の様子をビデオで録画した後、質問紙調査を行います。
- ・ 本実験は、個人の特性を評価するものではありません。録画データおよび質問紙の結果は、研究目的以外に使用することはありません。個人情報外部に漏れることはありません。研究発表などにおいて直接それらを用いる場合には、個人が特定できないように配慮いたします。尚、録画したデータ、採取した質問紙については請求があればいつでもお見せいたします。
- ・ 本実験は、自発的同意に基づいてのみ行われ、被験者はいつでも拒否する権利を保持し、拒否によってなんらかの不利益を被ることはありません。

実験代表者および連絡先

公立はこだて未来大学システム情報科学部 教授 Michael Vallance

Tel : 0138-34-526 E-mail: michael@fun.ac.jp

公立はこだて未来大学システム情報科学部 4年 Takuro Magaki

Email: b1014188@fun.ac.jp

◎ 以上の事項について確認・承認いただきましたら自筆にて署名をお願いいたします。

年 月 日

私は、本実験における主旨を理解のうえ、上記の事柄について承諾いたします。

氏名 _____

住所 _____

年齢 () 歳 性別 (男 ・ 女)

図目次

Fig. 2-1 Combating VR sickness through subtle dynamic field-of-view modification [10].....	5
Fig. 2-2 Virtual Nose	6
Fig. 4-1 Unity view.....	9
Fig. 4-2 Visual Studio 2017 and C#.....	9
Fig. 4-3 Blender view	10
Fig. 4-4 VE1	10
Fig. 4-5 VE1 view	11
Fig. 4-6 VE2	11
Fig. 4-7 VE2 view	12
Fig. 4-8 Bag.....	12
Fig. 4-9 Drink	13
Fig. 4-10 Map.....	13
Fig. 4-11 Tablet.....	13
Fig. 4-12 Lamp	14
Fig. 4-13 Arrow	14
Fig. 4-14 Controlling Field of View	17
Fig. 4-15 Virtual Nose	17
Fig. 4-16 Bitalino ECG Sensor.....	18
Fig. 4-17 My Bitalino Circuit.....	19
Fig. 4-18 OpenSignals	19
Fig. 4-19 Subject's view.....	20
Fig. 4-20 VE1 route	21
Fig. 4-21 VE2 route	21
Fig. 5-1 1A view	22
Fig. 5-2 1B view	23
Fig. 5-3 1C view	23
Fig. 5-4 2A view	24
Fig. 5-5 2B view	24
Fig. 5-6 2C view	25
Fig. 5-7 Position of Electrode.....	27
Fig. 5-8 Experiment 1	28
Fig. 5-9 Abnormal data	29
Fig. 6-1 Mean of NS(n=72)	36
Fig. 6-2 Mean of OS(n=72)	37
Fig. 6-3 Mean of DS(n=72)	38
Fig. 6-4 Mean of TS(n=72).....	40
Fig. 7-1 Glasses	41

表目次

Table 4-1 PlayerController.cs	16
Table 5-1 Table of Experiments.....	22
Table 5-2 SSQ Item Correspondence (E/J).....	25
Table 5-3 Number of subjects in the experiment 1	28
Table 5-4 Result of SSQ in the experiment 1	29
Table 5-5 Number of subjects in the experiment 2	31
Table 5-6:Result of SSQ in experiment 2	32
Table 6-1 Weights for symptoms	34
Table 6-2 Mean and S.D.(NS)	35
Table 6-3 Analysis of variance(NS).....	36
Table 6-4 Mean and S.D.(OS)	37
Table 6-5 Analysis of variance(OS).....	37
Table 6-6 Mean and S.D.(DS)	38
Table 6-7 Analysis of variance(DS).....	39
Table 6-8 Mean and S.D.(TS).....	39
Table 6-9 Analysis of variance(TS)	40