# VR ヘッドマウントディスプレイとエクササイズバイクを組 み合わせたアミューズメント向け疑似サイクリングシステム の開発

荒木 俊哉<sup>1,a)</sup> 古庄 裕貴<sup>1,b)</sup> 中西 恒夫<sup>1,c)</sup>

概要:運動不足を実感しつつも日常的に運動を継続できていない人は少なくない。本稿では日常的な運動が継続できるようエクササイズバイクと VR ヘッドマウントディスプレイを連動させるアミューズメント性を高めた疑似サイクリングシステムを開発する。Unity を用いて 3D 空間内に自転車を作成し,実物のエクササイズバイクと連動させる。エクササイズバイクをセンシングすることで得たデータと Unity の 3D 空間内のデータを送受信することで映像の変更やペダルにかかる負荷の変動させることでユーザーに疑似サイクリングを体感させる。実際にシステムを利用してもらうことで評価を行い,より楽しくエクササイズバイクによるフィットネスを行うことができること,実際の動作と表示される映像の挙動にずれが生じ違和感があるという結果を得た。

# Development of an Amusement Cycling Simulation System Using a Head-Mounted Display and an Exercise Bike

Abstract: Many people realizes the lack of exercise but are not able to continue exercise on a daily basis. In this work, the authors develop an amusement cycling simulation system using a head-mounted display and an exercise bike that enables people to enjoy and continue exercises with the system every day. The virtual scene visible to the bike rider is rendered by the Unity 3D framework. The exercise bike reproduces load expected for the virtual scene and applied to the pedals as well as obtains pedal rotation by the bike rider. The virtual scene, load, and pedal rotation are synchronized. Evaluation by examinees shows that the simulation system can make fitness by the exercise bike more enjoyable; however, a sense of discomfort brought by virtual reality should be alleviated.

# 1. はじめに

平成 25 年より施行されている第四次国民健康づくり対策 (「健康日本 21(第二次)」と呼ばれる.)では、目標の一つとして「栄養・食生活、身体活動・運動、休養、飲酒、喫煙及び歯・口腔の健康に関する生活習慣及び社会環境の改善」が掲げており、身体活動や運動について国民の意識を向上させ、身体活動量の増加を推進している [1]. 国民の運動不足は年々改善傾向にあるが、平成 25 年 1 月に文部科学省で実施された「体力・スポーツに関する世論調査」で

は74.6%の人が運動不足であることを自覚しているものの 運動が継続出来ていないことがわかる[2]. さらに、過去 1年間に運動を行った人の動機にはトップの「健康・体力 づくりのため」(56.4%)に次いで「楽しみ、気晴らしとし て」(49.0%)が挙げられることが世論調査で報告されてい る.こうした報告から、スポーツを始めても次第に新鮮味 が薄れ、楽しみや気晴らしとして機能しなくなり、継続で きていない人が大勢いるのではないかと推察され、常に新 鮮なスポーツ体験を提供することがその多くの人にとって 運動継続の支援になると思われる.また、運動が継続出来 ていないと感じる人のうち、仕事が忙しく時間がないから と答えた人が50.7%いたことが世論調査から確認でき、準 備の手軽さも運動継続の重要な要因となっている.

そこで本稿では運動の面白さや達成感を上げることで継

<sup>1</sup> 福岡大学 工学部 電子情報工学科 Department of Electronics Engineering and Computer Science, Fukuoka University

a) tl151236@cis.fukuoka-u.ac.jp

 $<sup>^{\</sup>mathrm{b})}$  furusho@fukuoka-u.ac.jp

c) tun@fukuoka-u.ac.jp

続した運動を促すことためにフィットネス支援サービスを構築する。本稿では運動を行うまでにかかる時間を減らすべく室内で行えること、高いアミューズメント性を持たせることに重点を置く。そこで室内で手軽に利用できる運動機器として一般的に普及していると考えられるエクササイズバイクに注目し、没入感があり、変化する映像を描写して退屈しない刺激を与えることのできる VR ヘッドマウントディスプレイを組み合わせることでサービスの構築を行った。本システムの評価として、使用した際の楽しさと実際のサイクリングと比較して感じる違和感に関して官能評価を行った。

以下,本論文の第二章では関連研究について述べ,第三章で本稿の説明に必要な基礎知識を述べる.第四章にて本稿のシステム概要について述べ,第五章にて本稿の実験および結果,第六章で結果からの考察を述べ,最後に第七章で本論文を総括する.

# 2. 関連研究

近年「人工現実感 (Virtual Reality:VR)」が着目され、様々な研究による多くの成果が上がっている。主にシミュレータ分野の利用が多かったが、計算機の高速化などに伴い、産業や医療分野、アミューズメント分野などでの利用も進んでいる [3]. VR ヘッドマウントディスプレイとエクササイズバイクを組み合わせて使用した例としては、宮之上らの対面車両とのすれ違いの挙動特性の分析を行うために自転車シミュレータを作成している例がある [4].

一方で、運動の面白さや達成感を上げることで継続した 運動を促す研究も行われており、益子らはユーザの心拍数 を取得しゲームに反映させた工夫を施したボクササイズ のフィットネス支援ゲームの構築を行っている [5]. また Mokka らはエクササイズバイクで VR 空間を探検するシ ステムの構築を行っている [6]. このようにエクササイズ にアミューズメント性を持たせる運動支援の研究が進んで いる.

また、商用コンテンツとしての提供も増えつつあり、 VR ゲームとエクササイズバイクを連動させたゲーム機器「VIRZOOM」[7] や、うつ伏せ姿勢で体感や全身のバランス能力を養うことのできるフィットネス機器「ICAROS」[8] などが存在し、これらを体験することのできるスポーツジムやアミューズメント施設も出てきている.

# 基礎知識

本項目では,本稿にて使用した技術や使用機器について 説明する.

# 3.1 Unity

VR アプリケーション開発においてはゲームエンジンが

利用されることが多い. ゲームエンジンとはゲームアプリケーションの動作に必要なグラフィックス,入力,サウンド,物理シミュレーション,リソース管理などのランタイムやシーンエディタ,コードエディタなので開発環境などゲームアプリケーション開発に必要な機能がひとまとまりで提供されているソフトウェアを指す.このゲームエンジンで特に有名なものは Unity と Unreal Engineの二つである. それ以外にも Lumberyard, PhyreEngine, PlayCanvas, Godot Engine など商用ゲームエンジンや内製ゲームエンジン,オープンソースのゲームエンジンが存在する.

本稿にて利用する Unity について説明する. Unity とは Unity Technologies で開発された統合開発環境を内蔵した、複数の機材に対応するゲームエンジンである. Windows と Mac に対応したオールインワン型のエディターであり、3D と 2D ゲームの両方に対応している. Unity 自体は C 言語と C++で書かれており、ゲームアプリを作成する際に使用するスクリプト言語としては C#, Unity Script (Java Scuript), Boo の三種類のプログラミング言語に対応している. 数あるゲームエンジンの中で Unity が支持されている理由として、

- 個人や年商 10 万米ドル以下の組織は, 無料で Unity を利用できること.
- PC, モバイル, 家庭用ゲーム機といった様々なプラットフォームに対応していること.
- モデリングツールなどとの相性がよく多くのツールに 対応していること.
- 全世界で 400 万人以上が利用しており、情報が豊富に あること
- アセットストアを利用することで使用する素材など簡単に購入し追加が可能であること.

などが挙げられる.

Unity を用いた開発の大まかな流れを説明する. 初めに シーン (Scene) と呼ばれる一つのゲーム世界のデータを作 成する. Unity ではゲーム画面はこのシーンごとに管理さ れる. 次にオブジェクトと呼ばれるゲーム世界での物体を 作成する. このオブジェクトには様々な機能 (コンポーネ ントと呼ぶ.)が設定されており、例えばオブジェクトが重 力の影響を受けるように変更するなど用途に応じて変更を 行う. また, スクリプトを作成することでオブジェクトに ゲーム独自の動作をさせることが可能である. アセットス トアと呼ばれるゲームで使用するモデル素材や音楽素材, ゲーム制作をサポートするツールなどが販売または配布を 行っているサイトがあり、そこからダウンロードした素材 をゲーム開発に使用することができる. 最後に Camera と 呼ばれる特殊なオブジェクトを作成及び変更を行い完成と なる. この Camera はゲーム画面を映し出すカメラの役割 を持ったオブジェクトで位置や角度を自由に変更し、カメ

ラに映った映像を出力する.

# 3.2 VR ヘッドマウントディスプレイ

VR ヘッドマウントディスプレイ (VRHMD) とは両眼を覆うように頭部に装着し、目の前に映像を表示させる特殊なディスプレイである。VR ゴーグルとも呼ばれる。左右二つのディスプレイにずらした映像を表示させることで立体的に映像を表示させることができる。ディスプレイを近い位置で眺めることになるので一時間程度ごとの休息が推奨される。VRHMD には大きく分けてスマーフォン用、コンシューマーゲーム機用、PC 用の三種類が存在する。

#### ● スマーフォン用 VRHMD

ユーザーが所有するスマーフォンをディスプレイとして使用するヘッドマウントディスプレイである.PC 用やコンシューマーゲーム機用と比較すると没入感は劣るが,安価な製品も多くスマーフォン向け VR コンテンツを気軽に体験することができる.スマーフォンの機種によっては専用の VRHMD も存在する.

### • コンシューマーゲーム機用 VRHMD

コンシューマーゲーム機 (家庭用ゲーム機) に連動した 専用の VRHMD である. TV モニターを利用してプレイするゲームを VR で体験することができる. PC 用 VRHMD やスマーフォン用 VRHMD と異なり,要求される環境などを気にすることなく専用のゲーム機器だけで利用することができる. 代表的なものに PlayStation 4 用の PlayStation VR[9] がある.

# • PC 用 VRHMD

スマーフォン用 VRHMD と比較して高価なものが多いが画面の解像度が高く、様々な VR ゲームに対応するものが多い. PC の環境によって動作が左右される. 専用のコントローラーが付属するものもある. 代表的なものに Oculus Rift[10] や HTC VIVE System[11] などがある.

### 3.2.1 FOVE0

本稿では視線追跡型 VRHMD「FOVE0」(図 1)を使用する.この VRHMD の大きな特徴として視線追跡システム(アイトラッキング)が採用されていることがある.ディスプレイとは別に内部にユーザーの眼球の動きを撮影するカメラがあり,ユーザーが見ている部分の情報を得ることができる. Unreal Engine や Xenko,本稿で使用する Unity もサポートしており, SDK(Software Development Kit) やサンプルを公式サイトから配布している.

### 3.3 エクササイズバイク

エクササイズバイク (フィットネスバイク) とは自転車型 のトレーニングマシンである. 家庭用の安価でコンパクト な製品もあり,スポーツジムにも多く設置されている.家



図 1 VRHMD FOVE0

庭で気軽に利用できるフィットネス器具として広く一般に 普及しているといえる. エクササイズバイクにはデザイン で分類して四つの種類が存在する.

### アップライトタイプ

上半身を起こした状態でサドルにまたがるオーソドックスなエクササイズバイクである. 一般的な自転車と同じ感覚で漕ぐことができる.

#### 小型タイプ

折り畳み式のエクササイズバイクの総称で小型と呼ばれる. またフレームの形から X バイクとも呼ばれる.

### • リカベントタイプ

大きめの背もたれがついたエクササイズバイクで長期間,長時間継続してエクササイズが行えるように快適 さを重視している.

### • スピンバイクタイプ

ロードバイクのように前傾姿勢で乗るロードバイクで、重いホイールを使用しているのが特徴である.ホイールを圧迫することで負荷をかけるため、高い運動強度を得ることができる.

また,負荷の生成する方法も分かれており,大きく分けて 三種類存在する.

# • マグネット負荷方式

ホイールに永久磁石を近づけることで負荷を発生させる。永久磁石を稼働させるために電源が必要である。この方式は永久磁石が熱を持つため長時間の駆動ができない。非接触型のため摩擦音はなく静かに駆動する。

# • 電磁負荷方式

回転ホイールの内側に組み込まれた電磁石 (コイル) に電流を流すことで負荷を生成する方式である.マグネット負荷方式と同様に非接触型のため静かに駆動する.また,コイルを使用するため電源が必要となる.このコイルに流す電流に応じた負荷が生成される.長時間高い電流を流し続けるとコイルが熱を持つ場合もある.

# • 摩擦負荷方式

ベルトを用いて回転ホイールを押さえつけ摩擦を発生

させることで負荷を生成する. 構造がシンプルなため 低コストで省スペースである. また, 回転ホイールに フェルトを押し付けることで摩擦を発生させ負荷を生 成する方法も存在する. この方式はベルトを用いた方 法よりも高い負荷をかけられるため自転車競技を行う アスリートのトレーニング機材に採用されることもあ る. どちらも摩擦を利用した負荷生成のため使用時に 摩擦音が発生する.

使用するエクササイズバイクは図2である.電磁負荷方式のエクササイズバイクで高さが調整可能のハンドルとサドルがあり、ほかにペダル、コイルによる負荷生成器(図3)、前輪に相当する回転ホイールの回転を測る回転センサ(図4)がついている.負荷生成器で生成された負荷はベルトを介してペダル及び漕ぎ手にかかる.コイルに流す電流を変えることで負荷を変更できる.付属している回転センサは透過型のフォトセンサで回転ホイールと連動した回転盤が遮ることで回転を検出する光スイッチである.フォトセンサが遮られている場合に電流が出力され、遮られていない場合はグラウンドに落ちる仕様となっている.



図 2 使用するエクササイズバイク

# 4. システム概要

# 4.1 全体の構成

システム全体の構成を図5に示す.

このシステムではユーザーの PC 内で Unity を用いて 3D 空間及び仮想車体が作成され、この車体と物理的装置 であるエクササイズバイクの挙動が同一になるように連動 させる. ユーザーの PC とエクササイズ及び各装置との直接のデータの受け渡しが困難であるため Raspberry Pi を中継して通信を行う. エクササイズバイクから回転数を取得し速度を算出して Unity に渡すことで移動距離を算出し 3D 空間内の仮想車体を移動させるとともに VRHMD に映す映像も変化させる. 同時に仮想車体の傾きと速度から負荷の大きさを算出し、Raspberry Pi を介してユーザーが見ている映像とエクササイズのペダルにかかる負荷が連動するように制御する.

システムを構成する要素は大きく分けて



図3 負荷生成器 (コイル)

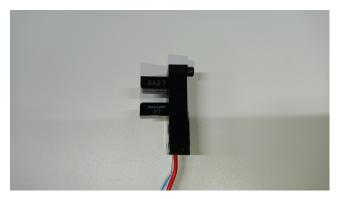


図 4 回転センサ

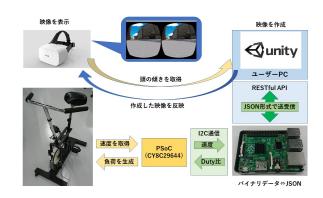


図 5 システム概要図

- 3D 空間の作成及び仮想車体のシミュレート.
- エクササイズバイクの回転センサ及び負荷生成器の 制御.
- Unity とエクササイズバイク間の通信. の三つである. 要素に分けて詳細に説明する.

# 4.2 3D 空間の作成及び仮想車体のシミュレート

#### 4.2.1 3D 空間

地面、建造物、景観を表現する様々なオブジェクト使って 3D 空間を構築する、続いて仮想の車体を作成する、Camera をこの車体に付属させることで車体の移動に連動して VRHMD に表示される映像変化するように設定できる。また、この時付属させる Camera は FOVE0 に対応したコンポーネントを設定し、FOVE0 に映像が表示できるものとする。

### 4.2.2 仮想車体のシミュレート

仮想車体のシミュレートのために仮想車体に三つの機能を持たせる。一つ目はエクササイズバイクの負荷を生成する際に使用する Duty 比の値を計算するスクリプトである。車体の傾きを Unity が最初から持つ機能によって取得することが出来る。これから重力による負荷を計算し、次に回転センサから得た速度を使用し、漕ぎはじめの際にかかる負荷を計算し、これらを足し合わせることで Duty 比の値を作成する。車体の進行方向に対して通常 0 度の傾きが大きくなる時 (上り坂を上るとき) は Duty 比が大きくなりペダルにかかる負荷が大きくなる。逆に傾きが 0 度以下になる時 Duty 比が小さくなりペダルにかかる負荷が小さくなる。

二つ目は Raspberry Pi と RESTful API を用いて通信する機能である. 330ms ごとに GET メソッドで Raspberry Pi から速度の取得し、100ms ごとに PUT メソッドで Duty 比を Raspberry Pi に送信する. この周期が早すぎると Raspberry Pi に多数のリクエストが送られ、Raspberry Pi に負荷がかかりすぎてしまう. 一方遅すぎるとエクササイズを漕いだ時に車体への反映が遅く、表示される映像の遷移に違和感が生じてしまう. 実際にエクササイズを漕ぎ映像の変動を確認し周期を調節した.

三つ目は取得した速度を車体に反映させ車体を全身させる機能である.通信で取得した速度を1フレーム (1/60 秒) ごとに車体に反映させ、進行方向に車体を動かす.車体が移動すると同時にカメラも付随して移動するので FOVE0 に映る映像が変化する.現時点ではハンドルの舵角を測る手段が無いため、あらかじめ規定された経路を走行し続ける.

# 4.3 エクササイズバイクの回転センサ及び負荷生成器の 制御

エクササイズバイクに取り付けられた回転センサから速度を取得し、負荷生成器を用いて負荷を生成する制御回路を作成する。回路図を図 6 に示す.

回転センサと負荷生成器をまとめて制御をしやすくする ために PSoC を使用する. PSoC(Programmable Systemon-Chip) とは Cypress Semiconductor Corporation が製造

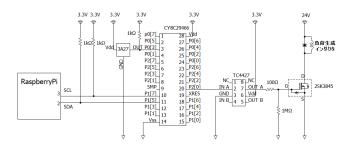


図 6 エクササイズバイク制御回路図

しているワンチップ・マイコンの製品群である [12]. アナログ信号とディジタル信号の両方を直接扱えること,内部の I/O のファンクションやブロック同士の相互結線状態などを動的に変更可能で,周辺回路を含むシステムを丸ごとワンチップ化できることが特徴である。本稿で使用するものは CY8C29466 で 16 個のディジタルブロックと 12 個のアナログブロックを持った 28 ピンの製品である。PSoCが行う機能は以下の三つである。

- 回転センサが取得したホイールの回転回数の記録
- 負荷生成器の制御
- Raspberry Pi との I2C 通信

### 4.3.1 回転センサが取得したホイールの回転回数の記録

回転センサは回転ホイールに付属した回転盤が遮っているかを判断するのみである。PSoC には立ち上がりを検出してデクリメントを行うカウンタ機能がある。これを用いて回転の回数のカウントを行い、一定時間ごとに回転数カウンタの値を Raspberry Pi に送信し速度の算出に利用する。時間は 500ms ごとに計測している。この時間が早すぎると回転の回数が検出ができなくなり、ずっと 0 のままになることがある。逆に遅すぎると映像への反映が遅くなり、感覚と映像に違和感が生じてしまう。普段自転車を利用する被験者(20 代男性)にエクササイズバイクを漕いでもらい、全力で漕いだ場合と自転車が転倒しない最低限の速度を想定した感覚で漕いだ場合の動画を撮影し、1 秒間あたりの回転回数を調べることで設定した。

# 4.3.2 負荷生成器の制御

コイルを使用した負荷生成器は流す電流によって負荷を変動させる。電界効果トランジスタの一種である MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) と入力信号の大きさに応じてパルス幅のデューティ・サイクル (パルス幅の H と L の比)を変えてモーターを制御する手法の PWM 制御によるスイッチング回路でコイルに流す電流を調節する。しかし、高速のスイッチングを行うためには MOSFET のゲートは容量成分が多いためその容量に蓄えられた電荷を急速に充放電させる必要がある。そこで MOSFET ドライバ (別名:ゲートドライバ IC)を回路に組み込むことで高速スイッチングを実現する。本稿で使用するものはシリコン N チャネルの MOSFET 2SK3140

と MICROCHIP 社製の TC4427 である.

PSoC は波形を出力する機能をもつ.この機能を利用しUnity にて取得した Duty 比を用いて波形を生成する.波形は PSoC 内部のクロックが 250 周期のうちどのくらいの周期分を出力とするかを設定することができる.これを Duty 比と呼ぶ.これを用いて負荷生成器の負荷を変更する.

# 4.3.3 Raspberry Pi との I2C 通信

Raspberry Pi と PSoC の 通信に I2C(Inter-Integrated Circuit) と呼ばれる PHILIPS 社で開発されたシリアル通信の方式を使用する. オープンコレクタのシリアルデータ (SDA) とシリアルクロック (SCL) の二本の信号線で直結したデバイスとシリアル通信を実現する. 本稿では Raspberry Pi がマスター, PSoC がスレーブとして使用する. Raspberry Pi から送信命令が来た場合は回転数カウンタの値を Raspberry Pi に送信する. 受信命令が来た場合は Duty 比を受信し, 作成する波形を変更するという動作を行う.

### 4.4 Unity とエクササイズバイク間の通信

3D 空間に作成した仮想の車体とエクササイズバイクの回転センサ及び負荷生成器と直接データの送受信を行うのは困難である。そこで中継としてイギリスのラズベリーパイ財団によって開発されたシングルボードコンピュータの Raspberry Pi を利用する。汎用性が高く、省スペースであることからこの Raspberry Pi を利用する。本稿で使用するものは Raspberry Pi2 ModelB+(図 7) である。Raspberry Pi の役割は大きく三つあり、一つは Unity とRESTful API を用いて通信を行うためにサーバとすること、前述した PSoC との I2C 通信を行うこと、I2C 通信で取得した回転数カウンタの値から速度を算出することである。



図 7 使用した Raspberry Pi2 ModelB+

# 4.4.1 Unity との通信

インターネットを経由して Unity と Raspberry Pi 間で 通信を行う. REST と呼ばれる 2000 年に Roy Fielding 氏 が提唱した分散システムにおいて複数のソフトウェアを連

携させるのに適した設計原則の集合を Web に適応したも のを RESTful API と呼び、これを利用して通信を行う. Unity から RESTful API を利用し通信を行うために Raspberry Pi をサーバーとして利用する. そこで Node.js とい うサーバーサイド JavaScript の「ノンブロッキング IO モ デル」と呼ばれるコールバック型が特徴であるフレームワー クを用いてサーバを構築する. Unity と Raspberry Pi 間で 送受信するデータは JSON 形式で取り扱う. JavaScuript である Node.js と親和性が高いことから JSON 形式を採用 している. サーバが対応しているメソッドは GET メソッ ドと PUT メソッドの二つである. データをユーザー PC に渡すための GET メソッドへの対応と、現時点でのデー タのみを参照する仕様となっていることから上書きを行う PUT メソッドに対応している. サーバは常にユーザー PC からのリクエストを待ち, GET リクエストがあれば JSON 形式で保存されているデータを返し、PUT リクエストが あれば保存されている JSON 形式のデータを上書きする.

### 4.4.2 PSoC との I2C 通信と速度計算

前述の PSoC と I2C 通信を行う. 100ms ごとに Unity から取得した Duty 比を付属させて受信命令を PSoC に送信する. また,500ms ごとに PSoC の回転数カウンタの値を送信する命令を PSoC に送り,回転数カウンタの値を取得する

速度を計算する方法は一つ前に取得した回転数カウンタの値と現在の回転数カウンタ値を記録しておき、一つ前の値から現在の値の差を計算することで算出する. 500ms ごとに回転数カウンタの値の取得を行うので、500ms 間の回転数が算出でき速度として扱うことができる.

### 5. 評価実験

#### 5.1 評価方法

実際に VR ヘッドマウントディスプレイを装着して疑似 サイクリングシステムを体験してもらい, 官能評価を行う. 今回は株式会社ゼンリンが配布している福岡天神の街並み の 3D モデル [13](図 8) を 3D 空間のベースとして使用し, その中の片側四車線道路の直線部分約 90m をテストコー スとする. この道路上に進行方向に対して図9のような角 度10度の上り坂、下り坂を設置する.評価実験で使用す る仮想車体(図10)は高さと幅が0.5mで奥行きが0.6m の長方体に、半径 0.2m の車輪 4 つを取り付けたものであ る. 地上から高さ 1.3m の位置にカメラを設定し, 仮想車 体とともに移動する. 負荷を生成するために車体が傾く必 要があるが、2輪の仮想車体とすると転倒し正常に走行で きないため4輪の車体とする、被験者はFOVE0を装着し て仮想車体視点の映像を観測しながら,エクササイズバイ クのペダルを踏んで仮想車体を移動させ, 上り坂と下り坂 を通過する. 坂道の昇り降りの際にペダルにかかる負荷量 や負荷変動時の感覚、自転車の速度に意識して走行を行い

評価する. 評価は7名の被験者により行った. なお評価の際に用いたユーザPCのスペックは表1の通りである.

表 1 ユーザ PC スペック

オペレーティングシステム	Windows10 64-bit
CPU	Intel Core i7-8700
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1080
RAM	16GB
ROM	SSD 1TB



図 8 天神の 3D モデル



図 9 作成した坂道

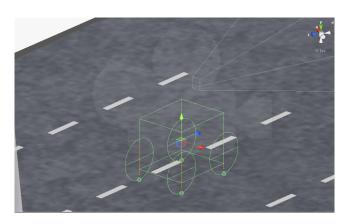


図 10 作成した仮想車体

# 5.2 実験結果

実際にシステムを利用し、走行を行った被験者にアンケートを行い、以下のような意見及び感想を得た.類似した意見、感想は統合して表示する.

### 速度関連

- 想定よりも移動の際の速度が速すぎる.
- 坂道の上り下りの速度変化に違和感はなかった.

#### ペダル負荷関連

- 平面を走行している状態でのペダルの負荷が軽すぎる.
- 漕ぎ始めのペダルは今よりも重い方がより実際の走行 に近い.

#### 身体感覚関連

- 通常のエクササイズバイクと比較してより楽しくエク ササイズを行える.
- 下り坂から平地に移動し、傾きが変わる時に強く違和 感を感じる.
- 実際の自転車と比べ振動やハンドルの反力がないため, 気持ちが悪い.
- 坂道で繰り返しの昇り降りがなければ長時間の利用は 可能である.
- 映像にリアリティがないことは受け入れられるが、坂 道の際の重力の差異が大きな違和感を生んでいる.

# 6. 考察

本項目では第5章の評価実験の結果の考察を述べる.

本稿で作成したアミューズメント向け疑似サイクリングシステムを体験した被験者全員から「楽しい」という評価を得た.このことから、エクササイズバイクに VR ヘッドマウントディスプレイを組み合わせることでアミューズメント性を持たせることができると考える.しかしながら、振動がないことで大きな違和感が生じているという評価も得られた.特に坂道の昇り降りの際に表示される視点と実際に体感する重力の差が大きな違和感を発生させていると考えられる.振動及び傾きを作成する装置を実装することで違和感を払拭することができるのではないかと考える.

また、VR ヘッドマウントディスプレイを長時間使用すると「VR 酔い」が発生する可能性がある。VR 酔いとはVR 技術を体験している際に発生する乗り物酔いに似た症状のことであり、症状には胃のむかつきや吐き気、頭痛などがある。今回の実験中にも気分の悪さを訴えた場合があり、VR 酔いになりやすい人、なりにくい人がいることが実感できた。VR 酔いを訴えた場合が多く、現段階ではシステムの継続した利用は困難であった。よって継続的に利用するために VR 酔いを緩和及び予防する必要がある。VRの研究とともに VR 酔いに関しても研究が進んでおり、中川は酔い自体の原因として「感覚不一致説」を紹介し、VR 酔いも同様の原因であると予測している。経験の感覚情報と現在の感覚情報が比較され、予期されるものと異なると

きに酔いが発生すると述べている [3]. また,田中は VR 酔い対策の設計に求められる知見に関して述べており [14], VR 環境に求められるものは各感覚情報間の再現性の物理法則的な正確さとバランスであると述べている.そこで映像と連動し実際にエクササイズバイクを傾斜させる機能を実装することで VR 酔いを緩和,予防することができると考える.

# 7. まとめ

運動の継続性の向上を目的とし、エクササイズバイクに VR ヘッドマウントディスプレイを組み合わせることでアミューズメント性を持たせた疑似サイクリングシステムを作成した。実験の結果、通常のエクササイズバイクでの運動よりも楽しく運動ができる。しかしながら実際の自転車と比較して速度や振動などが存在しないため違和感があり長時間の使用が難しいという課題も残った。今後の課題として、

- ブレーキ装置による速度及び負荷の制御
- ハンドルを用いての進行方向制御
- 扇風機による走行時の風の再現
- 振動及び傾きを生成するための装置の実装
- 現在の速度を反映させたペダルの重さの制御
- VR 酔いを緩和させるために Unity に映す映像の改善
- VR 酔いを緩和できた場合に運動の継続性の向上が可能であるかの長期的な調査

などが挙げられる.

謝辞 本稿は、科学研究費補助金 (課題番号: JP15H05708) の助成を受けています。

# 参考文献

- [1] 厚生労働省:健康日本 21(第二次),厚生労働省(オンライン),入手先 〈https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou.iryou/kenkou/kenkounippon21.html〉(参照 2019-01-23).
- [2] 文部科学省: 体力・スポーツに関する世論調査, 文部科学省(オンライン), 入手先 〈http://www.mext.go.jp/b\_menu/toukei/chousa04/sports/1338692.htm〉 (参照 2019-01-23).
- [3] 中川千鶴, 大須賀美恵子: VE 酔い研究および関連分野に おける研究の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文 誌, Vol. 6, No. 3, pp. 136-144 (2007).
- [4] 宮之上慶,鈴木美緒,高川剛,細谷奎介 and 屋井鉄雄: 自転車シミュレータを用いた対面通行自転車道における すれ違い挙動特性分析及び再現性検証,土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 71, No. 5, pp. 589-604 (2015).
- [5] 益子宗, 星野准一: 心拍数制御を用いた運動支援ゲーム, 芸術科学会論文誌, Vol. 6, No. 3, pp. 136-144 (2007).
- [6] Mokka, S., Väätänen, A., Heinilä, J. and Välkkynen, P.: Fitness Computer Game with a Bodily User Interface, Proceedings of the Second International Conference on Entertainment Computing, ICEC '03, Pittsburgh, PA, USA, Carnegie Mellon University, pp. 1–3 (2003).
- [7] VirZOOM: VirZOOM, VirZOOM (オンライン), 入手先 〈https://www.virzoom.com/〉 (参照 2019-01-23).

- [8] ICAROS GmbH: ICAROS, ICAROS GmbH(オンライン), 入手先 (https://www.icaros.com/) (参照 2019-01-23).
- [9] Sony Interactive Entertainment: PlayStation VR, Sony Interactive Entertainment (オンライン), 入手先 (https://www.jp.playstation.com/psvr/) (参照 2019-01-23).
- [10] Oculus: Oculus, Oculus (オンライン), 入手先  $\langle \text{https://www.oculus.com/} \rangle$  (参照 2019-01-23).
- [11] HTC: VIVE $^{TM}$  | Discover Virtual Reality Beyond Imagination, HTC (オンライン), 入手先  $\langle \text{https://www.vive.com/us/} \rangle$  (参照 2019-01-23).
- [12] 桑野雅彦: PSoC マイコン・トレーニング・キット解説 書, CQ 出版社 (2008).
- [13] 株式会社ゼンリン: Unity 向け 3D 都市モデルデータ「ZENRIN City Asset Series」, 株式会社ゼンリン(オンライン), 入手先 〈https://www.zenrin.co.jp/contents/product/service/3d/asset/index.html〉(参照2019-01-23).
- [14] 田中信壽: VR 酔い対策の設計に求められる知見の現状, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 129-138 (2005).