

研究者の利用を目的としたオープンなVRゲームの試作

柴田 光^{1,a)} 前田 天良¹ 飯田 和也¹ 林 大智² 築瀬 洋平³ 渡邊 恵太¹

概要: 我々はビデオゲームを用いた研究に使いやすいオープンビデオゲームライブラリを開発した。研究者はオープンビデオゲームライブラリのゲームを使用することで、ゲームを用いた研究を簡単かつ安心して行える。本論分ではVR リズムゲームとVR テニスゲームの研究利用事例を調べ、研究用ゲームとして必要な要件を分析した。そしてオープンビデオゲームライブラリのゲームとして、VR リズムゲームとVR テニスゲームの2つのVR ゲームを試作した。

1. はじめに

我々は、研究者が開発したデバイスの評価実験やアプリケーション、デモンストレーションとして安心して利用できるオープンビデオゲームライブラリ [1][2](図 1) を開発した。オープンビデオゲームライブラリとは、ビデオゲームを利用する研究の為にライブラリであり、研究者は研究に使うビデオゲームやツールを見つけたり、ビデオゲームを用いた研究の知識を深めたりできる。オープンビデオゲームライブラリのビデオゲームは、研究者のニーズを満たすように設計し、研究に利用しやすいように OSS (Open Source Software) として公開した。これまで、研究者のニーズに対応した3つのビデオゲームを開発した。その後、研究用ビデオゲームとして求められる構成要素を洗い出し、研究者が利用しやすいテニスゲーム [3] や FPS ゲーム [4] を開発した。本研究では、研究での利用事例が多い VR (Virtual Reality) ゲームについて調査を行い、研究に利用しやすい VR ゲームを試作する。

VR はシュミレートされた環境にユーザが没入することを可能にする技術である。エンタテインメントコンテンツとしての利用が一般的だが、リハビリテーション [5] などのヘルスケア分野、自動車製造に使用する [6] などの製造分野、テニスのサービスリターントレーニング [7] などのトレーニング分野を例として、様々な分野へも応用される。VR コンテンツの人気のあるジャンルの一つに、体を積極的に動かすエクササイズとゲームを組み合わせたエクサゲームがある。



図 1 オープンビデオゲームライブラリは、研究に利用しやすいビデオゲームを開発・提供し、ビデオゲームを用いた研究の発展を促進する。ビデオゲームはオープンソースで公開する。

VR エクサゲームの例として VR リズムゲームと VR テニスゲームがあり、様々な研究目的で利用される。

まず、VR リズムゲームの研究利用事例を挙げる。Lemmens ら [8] は、市販の VR リズムゲームを用いて、VR リズムゲームにおけるスキルと難易度の一致がフロー体験に与える影響を調査した。Dongas らの研究 [9] では、人気の VR リズムゲームがどのように臨場感と没入感を活用してプレイヤーを魅了しているか調査した。Albert らの研究 [10] では、音楽と運動の同期がユーザ体験、生理学的測定、認知負荷、およびゲームパフォーマンスに与える影響を調査するために、VR リズムゲームを使用した。

次に、VR テニスゲームの研究利用事例を挙げる。Saito ら [11] は、テニスのサービス・リターンにおける経験者と初心者の違いを、VR テニスゲームを使用して調査した。Hamanishi らの研究 [12] は、VR において高速で移動するオブジェクトの認識が難しい問題を解決、検証するシステムとして、VR テニスゲームを製作した。Rahimi ら [13] の研究では、テニスの対戦相手 AI に関する提案モデルの学習と検証に VR テニスゲームを使用した。

¹ 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科

² 明治大学大学院 先端数理科学研究科
先端メディアサイエンス専攻

³ ユニティ・テクノロジーズ・ジャパン株式会社

a) ev210509@meiji.ac.jp

以上のように、VR リズムゲームと VR テニスゲームを用いた研究は多数ある。そのため、権利問題やゼロから制作するコストを気にせず安心かつ手軽に研究利用できるオープンな VR リズムゲームと VR テニスゲームは需要が見込める。

そこで本研究では、VR リズムゲームと VR テニスゲームの研究利用事例を調べ、研究においてゲームに求められる要素を整理する。その要素を基に、研究利用しやすい VR リズムゲームと VR テニスゲームを試作する。

2. VR ゲームにおける要件分析

研究において VR ゲームは、VR 特有の没入感や臨場感に関する研究だけでなく、スポーツや音楽の学習トレーニングを対象とした研究も多い。本章では VR リズムゲームと VR テニスゲームを用いた研究事例を挙げ、研究に利用しやすい VR ゲームの要件を分析する。

2.1 VR リズムゲームを用いた研究例

VR リズムゲームの利用例として、音楽における楽器の習得やリズム感などのトレーニング手段がある。Pesek ら [14] は、VR を用いた学習の有用性とユーザーのリズム感覚や知覚能力への影響を調査するため、タワーディフェンスをベースとしたリズムゲームを開発した。本ゲームは、正面から迫る敵を仮想のドラムをリズムカルに叩くことで城を守ることが目的である。Pesek らは、リズムパターンの異なる 3 種類の音楽を用いて 14 日間プレイしてもらい、リズム感覚が向上するかを検証した。Rutkowski ら [15] は、VR での音楽ゲームが楽器の習得を早めることにつながるかどうかを検証するため、市販の VR リズムゲームである Beat Saber^{*1}を用いて、VR でのトレーニングが手と目の動きの協調性と反応時間に与える影響を調査した。本研究では、国立音楽学校の生徒 14 名が、1 日 1 回 15 分のトレーニングを 5 日間行い、初日と最終日に行われるテストの結果を比較した。

没入度の高い VR リズムゲームは、ユーザのゲーム体験を評価する目的で利用される。Lemmens ら [8] は、リズム VR ゲームにおけるスキルと難易度の一致がフロー体験にどのような影響を与えるかを調査するため、先述した研究でも使用された市販の Beat Saber を研究に利用した。Beat Saber を用いた実験では、参加者のスキルに合わせた難易度の曲を 8 種類用意し、フロー体験の評価を行った。

2.2 VR テニスゲームを用いた研究例

VR テニスゲームを利用した研究には、スポーツ初心者への学習トレーニングの研究がある。Saito ら [11] は、スポーツを初心者トレーニングするために、熟練者と初心

者の動きの違いに着目した。そこで、プレイヤーの視線や動作をキャプチャできる自作の VR テニスゲームを用いて、熟練者と初心者のサービスとリターンの動作、またその動作からのボールの軌道を比較した。参加者は、腰やラケットにトラッカーを取り付け、同じ球種で 3 種類の異なるコースのサーブをリターンする実験と、同じコースで 4 種類の異なる球種のサーブをリターンする実験に参加した。その際に実験者は、参加者のリターン時の動作を記録した。

テニスゲームでは対戦相手が AI によって制御されるものがあるため、学習 AI の研究に VR テニスゲームを利用した研究もある。Rahimi ら [13] は、テニスのような複雑なタスクを処理し、戦略を組み立てる AI を開発し、その検証手段に VR テニスゲームを採用した。Rahimi らは提案するシステムを VR テニスゲームに適用し、学習なし・試合後に学習・試合中に学習の 3 種類に分けて実験を行い、得点やボールの位置から AI の学習を評価した。

医療分野で VR テニスゲームを利用した研究も存在する。Silva de Sousa ら [16] は、脳卒中患者に対して、過度に体を酷使せずに有酸素運動を行う方法を調査するため、テニスとボクシングの VR ゲームを利用した。Silva de Sousa らは、Xbox 360 Kinect を用い、参加者がテニスゲームとボクシングゲームを交互にプレイすることで、心拍数と酸素消費量を基に比較を行い評価した。

2.3 要件分析

本節では、研究に利用しやすい VR ゲームを開発するために、研究用 VR ゲームに求められる要件を分析する。分析は、VR リズムゲームと VR テニスゲームそれぞれの研究利用パターンを基に行う。没入感の高い VR ゲームでは、その没入感の要因や、より没入感を促進させるための手法の提案などに利用されることが多かった。モバイルゲームやビデオゲームなどのプラットフォームに対して、VR ゲームはゲームの中に入り込んでプレイするため、没入感の検証は VR ゲームならではの特徴である。

その中でも VR リズムゲームは、正面から来る敵やブロックを自らの手で処理する操作方法であるため、リーチングタスクによって評価実験が行われた [14]。同じ VR リズムゲームである Beat Saber には、武器の種類を変更したり、武器の幅や長さを変更したりする機能は初期設定として備わっていない。そのため、武器の種類や細かいパラメータを調節できれば、様々な種類でのリーチングタスクを行える可能性がある。また、VR リズムゲームでは、初心者に対して VR ゲームを用いてリズム感のトレーニングを行う利用パターンが多かった。これは、リズム感を鍛えるために、実際に体を動かしてプレイすることが多いからである。このようなモーションコントロールは、初心者を対象とした VR ゲームでのトレーニングや、ゲームの没入感の分析において重要な役割を果たす。そのため、ゲームコ

^{*1} <https://beatsaber.com>

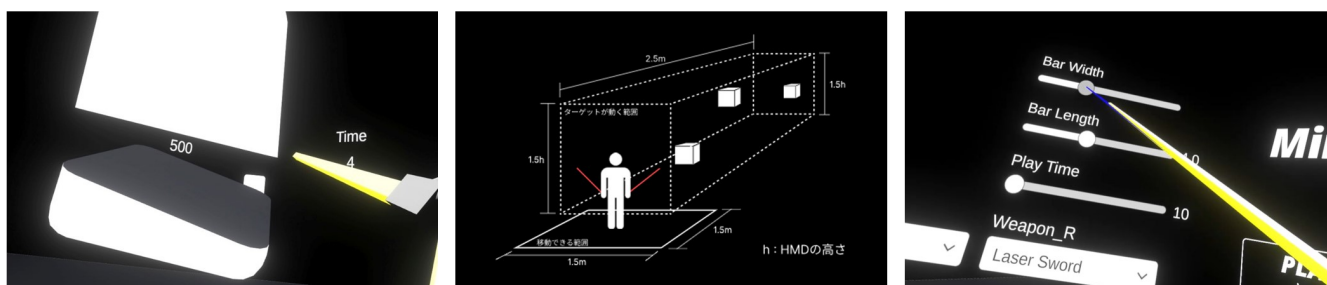


図 2 Melody Crashers のプレイ画面 (左), イメージ図 (中央), パラメータ調整の様子 (右)

ントローラのボタン操作ではなく、実際に身体を動かす操作手法は必須である。以上の分析によって得られた VR リズムゲームに求められる要件を以下に示す。

- 武器の調節機能
- 実際に身体を動かすことによる操作

VR テニスゲームでは、テニス初心者に向けたトレーニングが多かった。現実におけるテニスの指導に比べて、VR ではボールの挙動やラケットでボールを当てる位置、ストロークの動作を数値化できる。そのため、仮想空間でトレーニングをする際、経験者の動きを記録することで、初心者の模倣が容易になる点から、ストロークの打点や動作を数値化できる機能が役立つ可能性がある。また、対戦相手の動きを制御する自作 AI を検証する利用パターンも多かった。テニスの対戦相手を制御する AI を開発する際、球種の使い分けや打つ方向など複雑な戦略が必要であるため、AI 開発の検証にテニスゲームが採用される。オープンビデオゲームライブラリは、オープンソースのゲームを提供しており、研究者は自分の研究に合わせてプログラムを編集できる点が大きな魅力である。そのため、自ら開発した AI を、既にベースが作られたビデオゲームに組み込める機能があれば、研究者の助けになる可能性がある。このような考えから、自作で開発した AI を対戦相手に組み込む機能は必要である。以上の分析によって得られた VR テニスゲームに求められる要件を以下に示す。

- ストロークの記録機能
- 自作 AI を組み込む機能

3. 実装手法

3.1 VR リズムゲームの試作

2 章で述べた研究用 VR リズムゲームの要件を基に、研究利用に冗長な不必要なゲームの構成要素は排除し、VR リズムゲームを試作した。また、本ゲームを Melody Crashers(図 2) と名付けた。

3.1.1 ゲームの概要

Melody Crashers は、両手に持った剣を使って、前方から迫ってくる立方体のターゲットをタイミング良く切り、高得点を目指す研究用 VR リズムゲームである。プレイヤーはヘッドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、HMD

付属のコントローラを両手に持ち、実際に身体を動かすことでゲームをプレイする。また、様々な研究に対応できるよう、ゲーム内の各種パラメータを調節できる機能を実装した。

3.1.2 ルールと終了条件

プレイヤーは HMD 付属のコントローラを両手に持ち、立った状態でプレイする (図 2)。また、1.5m 四方のバーチャル環境内を移動できる。ターゲットはプレイヤーの 2.5m 奥から出現し、HMD の高さを h としたとき、 $8/9h$ を中心とした一辺 1.5h の正方形の範囲内にランダムに飛んでくる。1 つのターゲットを切るごとにスコアが 10 点増える。

ゲームは、設定したプレイ時間が経過すると終了する。その後、最終的なスコアが表示される。

3.1.3 パラメータ調節機能

パラメータ調整機能では、ゲーム内のパラメータを調整できる。調整できるパラメータ (図 2) を以下に示す。

- 武器の幅
- 武器の長さ
- プレイ時間
- 左右それぞれの武器の種類
- ターゲットの大きさ
- ターゲットの速度
- ターゲットが生成される位置
- ターゲットのタイミング

「武器の幅」では、所持する武器の幅を変更できる。「武器の長さ」では、所持する武器の長さを変更できる。「プレイ時間」では、ゲームを開始してから終了するまでの時間を変更できる。「左右それぞれの武器の種類」では、Laser Sword, No Weapon, Hummer, Gun, Sword の中から左右で 1 種類ずつ選べる。なお、Hummer は先端のみ当たり判定が付いており、持ち手の部分がターゲットに当たっても破壊できない。また、Gun は放った弾丸に当たり判定があり、連射できる。「ターゲットの大きさ」では、ターゲットの大きさを変更できる。「ターゲットの速度」では、ターゲットが出現しプレイヤーに向かう速度を変更できる。「ターゲットが生成される位置」では、ターゲットが生成される位置の奥行き具合を変更できる。「ターゲットのタイミング」では、ターゲットが生成される間隔を変更できる。

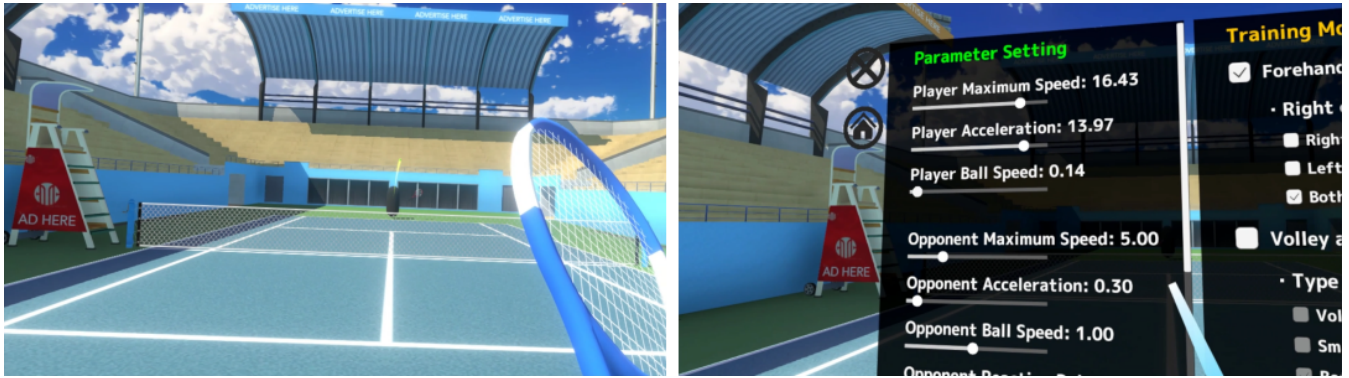


図 3 Minimum Tennis VR のプレイ画面 (左), パラメータ調整の様子 (右)

3.1.4 プレイ中における音楽の変更機能

プレイ時に流れる曲は利用者が任意の曲を設定でき、実験に合わせて曲を変更できる。利用者は、JSON ファイルを Unity 内に読み込むことで好きな曲で遊べる。

3.2 VR テニスゲームの試作

また、2 章で述べた研究用 VR テニスゲームの要件を基に、以前開発した Minimum Tennis[3] の VR 版を試作した。非 VR 版と区別するため、本ゲームを Minimum Tennis VR と名付けた。

3.2.1 ゲームの概要

Minimum Tennis VR(図 3) は、現実のテニスの仕様やルールに則った研究用 VR テニスゲームである。以前開発した Minimum Tennis を基にして制作した本ゲームでは、非 VR 版にも実装したパラメータ調節機能に加え、ストロークの打点や動作を記録する機能と、自作で開発した AI を対戦相手に組み込む機能を追加した。プレイヤーは HMD を装着し、HMD 付属のコントローラを片手に持ち、ラケットのように振ることでゲームをプレイする。

3.2.2 パラメータ調節機能

調節できるゲーム内パラメータ (図 3) を以下に示す。

- プレイヤと対戦相手の移動速度
- プレイヤと対戦相手の加速度
- プレイヤと対戦相手の打つボールの速度
- プレイヤと対戦相手の反応速度
- 対戦相手のショットに辿り着くまでの移動距離
- 試合終了条件

「プレイヤーと対戦相手の移動速度」では、プレイヤーと対戦相手それぞれの移動速度の最大値を変更できる。「プレイヤーと対戦相手の加速度」では、プレイヤーと対戦相手が止まった状態から動き出し、移動速度の最大値に達するまでの加速度をそれぞれ変更できる。「プレイヤーと対戦相手の打つボールの速度」では、プレイヤーと対戦相手の打つボールの速さがそれぞれ変更できる。「プレイヤーと対戦相手の反応速度」では、プレイヤーの移動を自動化した際の、プレイヤーがボールに反応して動き始めるまでの時間と、対戦相

手がボールに反応して動き始めるまでの時間をそれぞれ変更できる。「対戦相手のショットに辿り着くまでの移動距離」では、敵がプレイヤーからどの程度離れた位置を狙ってボールを打つか変更できる。「試合終了条件」では、試合を終了するまでのセット数とゲーム数を変更できる。

3.2.3 ストローク記録機能

本ゲームでは、プレイヤーがゲーム中に行ったラケットのストロークの軌跡と打点を記録できる。これにより研究者は実験後、プレイヤーの動作を確認、比較できる。

3.2.4 自作 AI 搭載機能

自作 AI 搭載機能では、研究者が自作 AI についての調査を行う際、簡単に自作 AI を本ゲームに組み込める。これにより、自作 AI についてスムーズに実験、調査できる。

4. おわりに

本研究では、研究に利用しやすい VR ゲームとして Melody Crashers と Minimum Tennis VR を試作した。ゲームを実装するにあたり、先行研究における VR ゲームの利用パターンを分析し、研究用 VR ゲームに求められる機能を明らかにした。また、先行研究での利用パターンを踏まえ、VR ゲームを実装した。開発したゲームの主な特徴は、実験において余分な干渉や過度なエフェクトを避けた最小限のゲームデザインであることと、研究者が自分の研究に合わせてコードを編集し利用できるオープンソース性にある。最低限の構成要素を持つため、多様な研究分野の実験に適応可能であり、自身の研究のためにゲームを開発する研究者の負担を減らせる。今後は、Melody Crashers と Minimum Tennis VR が研究に利用しやすいかを調査するユーザスタディを行い、多くの研究者が使いやすいと思えるように、グラフィックやゲームシステム、利便性の改善を行う。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K12336 の助成を受けたものです。

付録

オープンビデオゲームライブラリ GitHub

<https://github.com/open-video-game-library>

オープンビデオゲームライブラリ Web サイト

<https://openvideogame.cc>

参考文献

- [1] 岡拓也, 川島拓也, 林大智, 渡邊恵太. 研究利用しやすく標準性を目指したビデオゲームの設計と開発. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集, 第 2021 巻, pp. 181–186, aug 2021.
- [2] Kazuya Iida, Yuma Ina, Daichi Hayashi, Yohei Yanase, and Keita Watanabe. Open video game library: Developing a video game database for use in research and experimentation. In *Proceedings of the 29th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '23*, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [3] 飯田和也, 岡拓也, 川島拓也, 築瀬洋平, 渡邊恵太. 研究者が利用しやすいオープンなスポーツゲームの試作. インタラクション 2022 予稿集, feb 2022.
- [4] 林大智, 岡拓也, 川島拓也, 築瀬洋平, 渡邊恵太. FPS ゲームの要素分析とそれに基づくオープンな FPS ゲームの開発. No. 11, mar 2022.
- [5] Tyler Rose, Chang S. Nam, and Karen B. Chen. Immersion of virtual reality for rehabilitation - review. *Applied Ergonomics*, Vol. 69, pp. 153–161, 2018.
- [6] Glyn Lawson, Davide Salanitri, and Brian Waterfield. Future directions for the development of virtual reality within an automotive manufacturer. *Applied Ergonomics*, Vol. 53, pp. 323–330, 2016. Transport in the 21st Century: The Application of Human Factors to Future User Needs.
- [7] Katsutoshi Masai, Takuma Kajiyama, Tadashi Muramatsu, Maki Sugimoto, and Toshitaka Kimura. Virtual reality sonification training system can improve a novice's forehand return of serve in tennis. In *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 845–849, 2022.
- [8] Jeroen S. Lemmens and Constantin Freiherr von Münchhausen. Let the beat flow: How game difficulty in virtual reality affects flow. Vol. 232, p. 103812, 2023.
- [9] Robert Dongas and Kazjon Grace. Designing to leverage presence in vr rhythm games. *Multimodal Technologies and Interaction*, Vol. 7, No. 2, 2023.
- [10] Iannis Albert, Nicole Burkard, Dirk Queck, and Marc Herrlich. The effect of auditory-motor synchronization in exergames on the example of the vr rhythm game beat-saber. *Proc. ACM Hum.-Comput. Interact.*, Vol. 6, No. CHI PLAY, oct 2022.
- [11] Kei Saito, Katsutoshi Masai, Yuta Sugiura, Toshitaka Kimura, and Maki Sugimoto. Development of a virtual environment for motion analysis of tennis service returns. In *Proceedings of the 1st International Workshop on Multimedia Content Analysis in Sports*, MMSports'18, p. 59–66, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [12] Natsuki Hamanishi and Jun Rekimoto. Ttt: Time synchronization method by time distortion for vr training including rapidly moving objects. In *Proceedings of the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, VRST '19*, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [13] Elham Rahimi and Ali Ahmadi. An ai-based tennis game by application of virtual reality components. In *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, pp. 2165–2170, 2017.
- [14] Klara Žnideršič et al Matevž Pesek, Nejc Hirci. Enhancing music rhythmic perception and performance with a vr game. 2023.
- [15] Pastuła A Gos E Luque-Moreno C Rutkowska A Rutkowski S, Adamczyk M. Training using a commercial immersive virtual reality system on hand-eye coordination and reaction time in young musicians: A pilot study. 2021.
- [16] Julio Cesar Silva de Sousa, Camila Torriani-Pasin, Amanda Barboza Tosi, Rafael Yokoyama Fecchio, Luiz Augusto Riani Costa, and Cláudia Lúcia de Moraes Forjaz. Aerobic stimulus induced by virtual reality games in stroke survivors. Vol. 99, pp. 927–933, 2018.