

実空間における捕球時の振動を提示する VR キャッチングシステムの提案

江草 浩仁^{†1} 栗原 渉^{†1} 兼松 祥央^{†1} 三上 浩司^{†1}

概要：VR (Virtual Reality) は普及し、多岐にわたる分野で VR コンテンツが提供されている。それに伴い、振動や衝撃などの触覚提示を追加することで、体験や没入の向上を目指す研究が行われている。球技スポーツ分野においても、触覚提示を用いてよりリアリティの高い体験の実現を目指されている。しかし、球技を題材とした研究は、打撃感覚に関するデバイスは多いが、捕球感覚のデバイスは少ない。本研究は、キャッチャーの VR 体験の没入感を与えることを目指す。そのために、触覚提示デバイスのキャッチャーミット型デバイスと提示する実世界音、コンテンツの仮想空間を利用した VR キャッチングシステムを開発した。

1. はじめに

VR (Virtual Reality) 技術は、スポーツや医療、観光など、さまざまな分野で活用されている[1][2][3]。中でも、スポーツ分野において、様々な球技スポーツに関連するコンテンツや体験向上を目的とした触覚提示の研究が数多く行われている。しかし、球技に着目した研究の多くは打撃感覚に関する研究が多く、捕球感覚に着目した研究は少ない。

そこで、本研究では野球のキャッチャーに着目し、キャッチャーミット型デバイス（以下、「ミット型デバイス」）を用いてキャッチングを体験可能な VR コンテンツを提案する。本コンテンツではミット型デバイスに実世界の音を振動として提示する。また、1 箇所での振動提示のみでなく、複数箇所から振動を提示することで、没入感の向上を目指す。

2. 関連研究

2.1 VR を用いた野球に関する研究

加藤ら[4]は VR を活用したバッティング訓練システムを開発した。モーションセンサ付きのバットを振ることによって VR 内でタイミングを解析し、結果を提示することで訓練に活用した。藤田ら[5]はしびれ感覚の提示による打撃感覚のリアリティ向上のため、振動と熱を提示するデバイスを開発した。検証の結果、しびれ感覚が体験向上に有効であることが示された。加藤ら[6]は VR を用いてストライクゾーンの見視化を利用した球審判定練習システムの制作および実験を実施した。鈴木ら[7]は VR で時空間歪曲を行うことで認知能力を向上させる捕球学習システムの実装と検証を行った。VR を用いて時間や空間のパラメータを変更することで、体験前よりも捕球能力が向上した。

このように、VR を利用した野球に関わる研究は訓練システムと触覚提示システムに分けられる。訓練システムには打撃、球審判定、捕球の 3 つが存在し、触覚提示シス

テムには打撃に着目したものがある。

2.2 触覚デバイスを利用した VR 球技体験の向上

藤井ら[8]はハプティック技術を用いた球技の疑似体験システムについて検討した。研究ではバスケットボールの疑似体験を行い、ボールが接触した感覚を指の関節部分に振動として提示した。池田ら[9]は手掌部へ瞬発的な牽引力を起こし、手への撃力提示装置の開発と評価を行った。この手法ではユーザの手掌部にビニール膜を取り付け、体に装着させた駆動ユニットと糸でつなげる。VR 空間でボールを捕球した際、糸の自由を制御するモータを静止させ手掌のビニール膜を瞬間的に制止することで撃力を提示する。比較実験において何も持たない体験、既存の Oculus Touch を使用した体験に比べ、提案したデバイスを使用した体験が再現率を向上させる結果が得られた。Tsai ら[10]は空気噴出を用いた打球衝撃の感覚を提示するデバイスの提案と構築をした。ラケットで球を打った際に感じる衝撃と回転力を提示するため、ラケット面に 3 つの空気噴出口を設置し、圧縮した空気の噴出を利用し衝撃と回転力を提示した。この研究では、提案したデバイスを用いて評価実験を実施し、3 種類のスポーツ（テニス・バドミントン・卓球）全てにおいて体験の向上を示す結果が得られた。

このように、触覚提示は VR 体験の向上に重要なことが示されている。

2.3 本研究のアプローチ

関連研究において、VR スポーツ体験において触覚提示が体験向上につながることを示されている。また、野球に関連した研究では訓練システムや触覚提示システムが存在する。訓練システムについては打撃、球審判定、捕球に着目したものがあるが、触覚提示システムの多くは打撃感覚に着目しており、捕球感覚に着目したものは著者らの知限りでは存在しない。

そこで、本研究では、野球におけるキャッチャーの捕球感覚に着目し、VR キャッチングシステムを提案する。本シ

^{†1} 東京工科大学

システムで用いる振動は実際のミットの揺れと捕球音を録音し、その波形を基にして制作した振動である。制作した振動をミット型デバイスに実装した振動子から提示することで、野球における捕球感覚の向上を目指す。

3. 提案コンテンツ

本研究では、仮想空間内でボールを捕球した感覚を提示する VR コンテンツを制作した。図 1 に示すように、体験者は頭部に HMD (Head Mounted Display)、左手にミット型デバイスを装着し、右手に Meta Quest 2 Touch コントローラ (以下、「コントローラ」とする) を把持する。そして体験者が仮想空間内でボールを捕球した際にミット型デバイスが振動することで VR 捕球体験が可能となる。このときの振動は、実際にボールを捕球した際のミットの動きや音を再現したものであり、本研究ではこの振動を実世界音振動と定義する。



図 1 コンテンツを体験している様子

4. 実装

4.1 システム概要

本研究で提案する VR キャッチングシステムのシステム図を図 2 に示す。仮想空間内でボールとミットが接触すると、VR コンテンツを実行している PC から Wi-Fi を経由しミット型デバイスに信号が送信される。その後、送信された信号によって選択された 2 種類の振動のいずれかがミット型デバイスに実装された振動子から提示される。図 2 内の赤い矢印は体験者へのフィードバックを示している。VR コンテンツからは視覚情報が、デバイスからは振動子からの振動と音が体験者へ提示される。青い矢印は VR コンテンツへの入力を示しており、体験者はコントローラのボタンを押す入力操作とデバイスの座標情報を入力としてコンテンツを操作することが可能である。

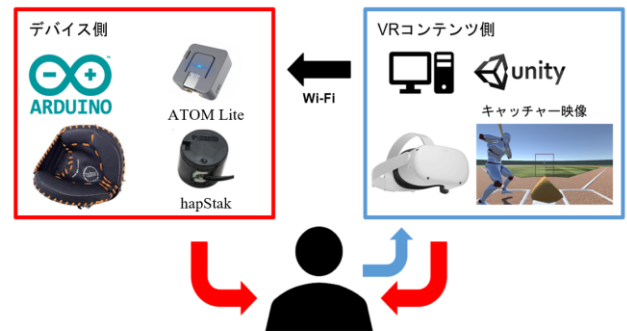


図 2 VR のシステム図

4.2 キャッチャーミット型デバイス

4.2.1 デバイス構成

本研究では捕球感覚を提示するミット型の触覚提示デバイスを制作した。このデバイスは軟式用キャッチャーミット (KAISER KW-340)、hapStak デジタル版 (Bit Trade One 社、以下、「hapStak」とする) 5 つ、ATOM Lite 5 つ、左手用コントローラ、半球にカットした軟式野球用ボールで構成されている。VR のデバイス開発の多くは、体験するコンテンツで実際に使用している道具や、似た形状を使用することで没入感を高めることから、本研究においてもキャッチャーミットや軟式野球ボールを用いた。音を振動として提示するため、様々な音を振動として表現可能な hapStak を使用し、振動と音響フィードバックを行う。また、ミットを閉じた際に挿込んだ感覚を与える要素として、半分にかットしたボールを図 3 のミットの捕球面に設置する。コントローラや ATOM Lite はミットを閉じる動作を妨げないように図 4 のように背面に固定する。



図 3 デバイスのキャッチ面の外観

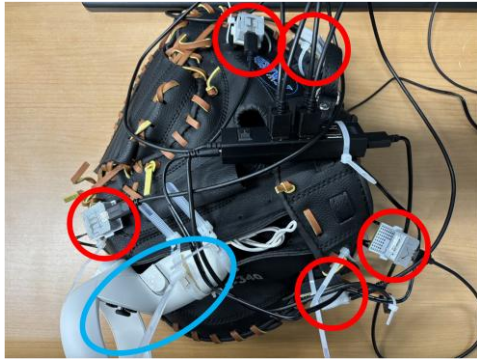


図 4 デバイスの背面の外観

4.2.2 提示する振動の構成要素

ミット型デバイスから提示する振動は 2 種類である。1 つ目は、捕球時に衝撃がミットの周囲に伝わり揺れることで発生する振動である。この振動をラルト振動とする。2 つ目は、ミットでボールを捕球した際の衝撃で発生する振動である。この振動をインパクト振動とする。なお、インパクト振動は図 5 のように捕球位置が捕球面とウェブのどちらであったかにより異なるため、ポケット振動とウェブ振動に分けられる。



図 5 捕球面とウェブの位置

4.2.3 振動提示

本研究で制作するデバイスは、図 6 に示すようにミット捕球面周囲の内面に 4 つ（青色）、ミット下部の外面に 1 つ（赤色）配置されており、それぞれの hapStak から振動が提示される。



図 6 hapStak の位置

内蔵した hapStak は、ラルト振動を提示するため、手全体に振動が提示されるよう手を包み込むように配置した。また、振動が伝達されやすいように掌に近くなるように配置した。加えて、指に近くなるように捕球面付近に配置した。ミット下部外面の hapStak は、インパクト振動を提示する。親指の付け根付近は振動を知覚しやすいことから、振動が伝わりやすいように配置した。振動はミット内の捕球位置によって 2 パターンのいずれかが提示される。1 つ目はミット中央にある捕球面で捕球した場合に提示されるパターンである。図 6 で示した青い箇所配置された 4 つの hapStak からのラルト振動、赤い箇所からのポケット振動で構成される。2 つ目はミットのウェブ面で捕球した場合に提示される。図 6 に示した左側 2 つの hapStak からのラルト振動と赤い箇所の hapStak からのウェブ振動で構成される。

4.3 提示する振動音

4.3.1 録音環境

本研究では提示する振動音として、実際にボールを捕球した際に発生するラルト振動およびインパクト振動を録音した実世界音を用いる。実世界音を hapStak で再生することにより実世界振動として提示する。実世界音は iPhone15 にピンマイク（FIFINE C2A）を接続し録音した。実世界音には、野球経験者である筆頭著者がバッティングセンターで 120km/h のストレートをミットで捕球した際の音を使用した。録音時に使用したキャッチャーミットは制作デバイスと同じ型番のキャッチャーミットである。環境音を減らすため、周りに人がいない状況で録音した。ラルト振動を録音する際は、ミット内部にマイクを固定し録音した。インパクト振動は、ラルト振動を録音した際とは異なりマイクをミットの下部に固定し録音した。

4.3.2 録音と編集

録音後、音声編集用ソフトである Audacity を使用して不要な録音箇所を切り取った。不要な箇所とは、ラルト振動の音とインパクト振動の前後に録音された環境音である。

揺れの音はそのままでは振動が十分に感じられなかったため、音圧を増幅する編集を行った。ラルト振動は Adobe Audition のエフェクトを用いて出力ゲインを最大値(+96 dB)にした。Audacity で音圧やボリュームを増加させた場合、音が割れ振動として不適切であったため Adobe Audition を使用した。生成された音の波形を図 7 に示す。

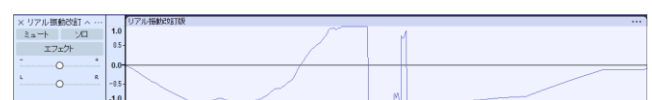


図 7 ラルト振動の波形

インパクト振動は 2 種類の音の録音をおこなった。ポケ

ット振動を図 8 に，ウェブ振動を図 9 に示す．



図 8 ポケット振動の波形



図 9 ウェブ振動の波形

4.4 仮想空間

制作した VR コンテンツにおける仮想空間は Unity を用いて制作した．ユーザの視点を図 10 に示す．制作した仮想空間には，プレイヤーがボールを捕球するキャッチャーミットモデル（以下，「ミットモデル」），ピッチャーモデル，バッターモデル，可視化されたストライクゾーンが存在する．競技フィールドは現実と同じ寸法を使用した．

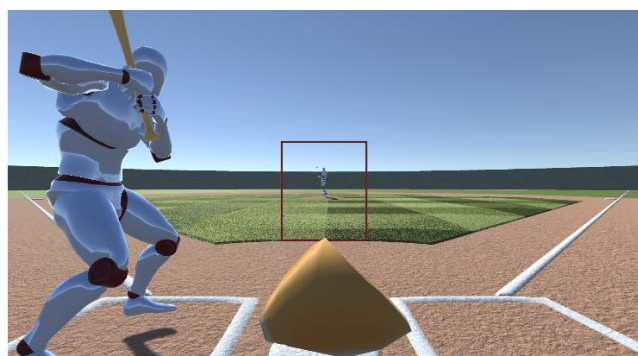


図 10 制作した VR コンテンツ

ミットモデルは，Meta Quest2 の左コントローラにより位置が取得され左手に追従し移動する．体験者が右コントローラの B ボタンを押すとピッチャーは投球モーションを開始し，体験者に向かって投球を行う．この時，投球される球種はストレートのみである．捕逸を防止するため，ボールは同じ軌道を描き必ずストライクゾーンに投げられる．ミットモデルには図 11 のような捕球面とウェブ面の 2 種類の当たり判定があり，捕球位置の判定によってデバイスから提示される振動が異なる．2 種類の当たり判定は隣接しているが，両者に跨って捕球された場合は捕球面を優先するため重複しての接触判定は行われない．

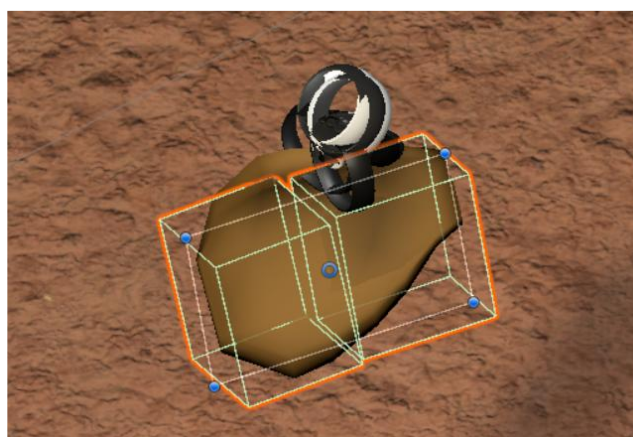


図 11 ミットモデルの当たり判定

5. ユーザ体験

本研究で提案した VR キャッチングシステムを 5 名（20 代男性 5 名）に体験してもらった．ゲームを体験したユーザからは，「どこにボールが当たったかわかって，面白い」という意見が多くみられた．しかし，「デバイスが重く長時間の体験は難しい」という意見もみられた．

6. おわりに

本研究では，VR 内の捕球感覚に注目し，実世界音から構成される振動パターンを捕球位置に応じて提示する VR コンテンツを制作した．

今後は投手投球する球速や球種などを増やし，ユーザが自由に設定できたり，ランダムで変化させたりなど，より訓練につながる機能の実装を検討したい．

さらに，システムを用いて評価実験を行い，本研究で提案したデバイスと実世界音の振動と既存の提示手法を比較し，提示手法が没入感向上に影響があるのか評価する．

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K11731 の助成を受けたものです．

参考文献

- [1] 三上弾，西條直樹，高橋康輔，五十川麻理子，藪下浩子，柏野牧夫，草地良規．VR 技術を活用したスポーツトレーニングの試み．日本画像学会誌．2019，vol. 58，no. 3，p. 316-323．
- [2] 渋谷寛美，江藤千里，鈴木真由美，今井亮，山下明美，川鍋紗織，横田素美，渋谷賢．熟練看護師の看護技術を疑似体験するバーチャルリアリティ教材の開発．日本シミュレーション医療教育学会雑誌．2020，vol. 8，p. 21-27．
- [3] 崎山皓平，佐久間康富．観光コンテンツにおける CGVR の実態と利用者の評価からみた可能性と課題に関する研究．日本都市計画学会関西支部研究発表会講演概要集．2022，vol. 20，p. 73-76．
- [4] 加藤雅人，森悠登，坂口正道．タイミングの精度を向上させる VR バッティング訓練システム．ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集．2017．
- [5] 藤田光，細井十楽，伴祐樹，割澤伸一．振動・熱刺激を用いたしびれ感覚の提示による衝撃感の向上．第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集．2024．

- [6] 加藤義春, 正木智也, 水谷賢史. ストライクゾーン 3D 可視化による球審判定精度向上用 VR アプリケーションの提案. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. 2024.
- [7] 鈴木湧登, 岩崎謙汰, 金沢慧, 金沢慧, 小林育斗, 永見智行, 坂本大介, 小野哲雄. Gino .Baseball: 時空間歪曲を用いた野球の捕球技術習得ソフトウェアの提案. 第 29 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集. 2024.
- [8] 藤井光雪, 蛭間大介, 黄啓新. ハプティクス技術を用いた球技の疑似体験システムの検討. 第 17 回情報科学技術フォーラム. 2018.
- [9] 池田尚登, 嵯峨智. 撃力提示装置の身体搭載化手法とこれに伴う提示力の評価. 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会論文誌. 2020.
- [10] Ching-Yi Tsai, I-Lun Tsai, Chao-Jung Lai, Derrek Chow, Lauren Wei, Lung-Pan Cheng, Mike Y. Chen. AirRacket: Perceptual Design of Ungrounded, Directional Force Feedback to Improve Virtual Racket Sports Experiences. CHI '22: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2022, pp. 1-15.