

## 加速度センサとのれん状スクリーンを用いた ピッチング VR アプリケーション

伊豫田 旭彦 木村 秀敬 武井 悟 垣内 祥史 杜 暁冬  
藤井 宗太郎 益田 義浩 枡野 大輔 宮田 一乗

北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科

E-mail: {h-kimura, a-iyoda, y-kakiu, s-takei, xiaodong,  
sfujii, y-masuda, d-masuno, miyata}@jaist.ac.jp

### 概要

加速度センサと、のれん状スクリーンを用いた野球におけるピッチングを体感する VR アプリケーションを提案する。従来の入力デバイスにはない、直接かつ直感的な入力方式を開発した。加速度センサを埋め込んだボールを用いることで、実際のピッチングと同じ動作で変化球を投げることができる。また、現実空間と仮想空間をシームレスにつなぐスクリーンを開発することで、プレイヤーは、投げたボールが仮想空間に飛び込むという新感覚を体験できるようになった。

## A VR application for pitching

Akihiko Iyoda, Hidetaka Kimura, Satoru Takei, Yoshifumi Kakiuchi, Xiaodong Du,  
Sotaro Fujii, Yoshihiro Masuda, Daisuke Masuno and Kazunori Miyata

School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and  
Technology

### Abstract:

This paper presents two virtual reality applications that give real baseball experience by means of wireless acceleration sensor and strip screen. These applications have more direct and intuitive input method than traditional baseball video games. Wireless acceleration sensor allows us the same motion as real pitching motion. Strip screen connects the real world where the player and the real ball are and the virtual world where the virtual ball and virtual actors are seamlessly.

## 1 はじめに

コンピュータを用いたエンターテインメントでは、ボタンやマウスなどの入力デバイスが主として用いられている。しかし、実世界においてわれわれは指先のみを使って物体を操作するわけではなく、身体全体を用いたインタラクションを行っている。特にスポーツは身体運動そのものであり、スポーツを体感するVRアプリケーションでは、ボタンやマウスによる間接的な操作では十分な操作感覚が得られない。この問題に対する現実に近い操作感覚を与える試みとして、卓球[1]や、ボクシング[2]などを題材としたバーチャルリアリティ製品が挙げられる。しかし野球の投球動作を直接的に体感できるアプリケーションは、存在しない。

本論文では、加速度センサと、のれん状スクリーンを用いた野球の投球動作を体感するVRアプリケーションを提案する。以降、第2章において本研究が対象とする身体動作に直結したインターフェースの現状と課題について触れ、第3章では、投球動作に対するインタラクション手法とその実装について述べる。つづいて第4章では、予備動作による球種選択法を適用したピッチングVRアプリケーション(球魂 Ver.1)[3]を紹介し、第5章では、球魂 Ver.1 を改良した予備動作によらないVRアプリケーション(球魂 Ver.2)を紹介する。最後に、第6章において、まとめと今後の課題を述べる。

## 2 研究の背景

本章では、新たなインタラクションの可能性を探るとともに、本論文の研究背景について述べる。

### 2.1 背景

スポーツ、特に球技における身体動作の醍醐味の一つに、ボールコントロールが挙げられる。

例えば、ボウリングであれば中央のピンにボールを当ててストライクをとることであり、卓球では卓球台の任意の位置にボールを打ち返すことである。すなわち、ボール操作の随意性が球技における醍醐味であると考えられる。本論文のテーマである野球のピッチングでは、狙ったコースに球を投げ入れたり、意図したとおりに変化球を投げ分けることが醍醐味であると考えられる。

また、スポーツにおけるもうひとつの醍醐味に身体全体を用いるという要素が挙げられる。身体全体を用いて体験させる例として、画面に向かってボールを蹴り入れる“筋肉番付フットボールマスターズ™”[4]や、音楽のリズムに合わせて踊る“Dance Dance Revolution™”[5]などが挙げられる。本論文のテーマである野球では、ボールを投げる行為そのものが身体全体を使った動作であり、醍醐味であると考えられる。

### 2.2 関連研究

野球は日本において非常にメジャーなスポーツであり、野球を題材としたドラマや漫画も多く制作されている。野球を体験するアプリケーションとしては、“プロ野球スピリッツ 2™”[6]や“エキサイトスタジアム DX™”[7]などがある。前者はPlayStation2™用のアプリケーションで、ピッチングやバッティング、守備など野球を総合的に体験させるものである。ただし、投球はボタンを用いた間接的な操作であり、その操作感覚は現実の投球動作から遠い印象を受ける。後者は専用デバイスを用いてバッティングとピッチングを体験させるものである。投球は、ボールデバイスを握り、デバイス上のボタンを押しながら振り下ろすことで行う。この際、振り下ろしの速度から球速を、押されたボタンの組み合わせで球種を選択する。ボタン入力のみであった“プロ野球スピリッツ 2”に比べて現実の身体動作に近づいてはいるが、ボールにはケーブルが接続されており、実際に投

げることができない。以上述べたように、従来のアプリケーションでは、ボタンによる球種の指定に限定されていた。

また、投球体験の実装例として、投球王国ガシャーン[10]が挙げられる。これは通常の液晶パネルにボールをぶつけて遊ぶインタラクティブシステムである。ボール位置判定は衝突面で行われ、衝突したボールは落下する。このアプリケーションのように通常の固定平板への映像投影方法を採用した場合、ボールは投影面と衝突するため、ボールがキャッチャーミットに収まるというピッチングの感覚を十分に再現できない。

一方、ヘッドマウントディスプレイなどの普及型 VR ディスプレイの問題点を克服する VR 用ディスプレイが、いくつか提案されている。例えば、公園やアトラクション施設で用いられる投影法として、水幕への映像投影法が挙げられる。この場合、幕は透明で、触れると水が飛散するという短所がある。また、FOG SCREEN[11]では、噴出した水蒸気によって作られた幕に投影を行う。この幕は通り抜け可能で、半透明であるという特徴があるが、大規模なシステムとなり、他のスクリーンと比較して投影された映像の輝度が低いという欠点がある。これらの例と比較して、のれんスクリーンでは、投影された映像が十分な輝度を持ち、また投影面は透過しないという特長を持っている。

野球のピッチングでは、ボールを投げてキャッチャーミットに収めるという過程をとる。投球を再現するための要件として、空中のボール状態の検知と、投球の距離感の表現が必要となる。投げられたボールは回転や球速により変化するため、空中でのボールの状態を検出する必要があるが、これまで試みがなかった。また、ピッチングでは、バッターボックスまでの距離感、すなわち、ある程度のタイムラグを伴う表現が必要となるが、投球体験を実装した投球王国ガシャーンは距離感の表現を行わずにいた。本手法では、これら

の問題点を克服し、これまで実現が困難であったピッチングの体験環境を提供するものである。

## 2.3 目的

本論文では、ゲームパッドのような複雑な操作を必要とせず、身体動作に直結した、直接的な操作を可能とする新たなインタラクティブ手法の開発を第一の目的とした。提案する VR アプリケーションでは、ボールを実際に投げて体験することを可能にすることで、実際のピッチングに近い操作感覚を体験できる

また、既存の VR アプリケーションでは、ディスプレイや単純な平面状のスクリーンに映像を映すことが多く、現実空間と仮想空間を融合するには、透過型のヘッドマウントディスプレイなどの特殊かつ高価な装置を必要とした。これに対し、のれんスクリーンを用いることで、安価かつ簡易な現実空間と仮想空間をシームレスに融合した。

## 3 アプリケーションシステム

本章では、はじめにシステム構成について触れ、つづいて、ボールデバイスやのれんスクリーンなどの構成要素の実装方法について述べる。

### 3.1 システム構成

本システムは、図1に示すように、のれん状スクリーンと、それを支える筐体、および野球ボールを改造したボールデバイスで構成する。

のれん状スクリーンは図2に示すような箱状の筐体内に懸下されており、PC でリアルタイムに合成した野球のバッターボックスの映像を投影する。スクリーンがのれん状であるため、ボールデバイスはスクリーンを容易に通過する。プレイヤーは、後述する専用のボールデバイスをスクリーンに向かって投げ込む。

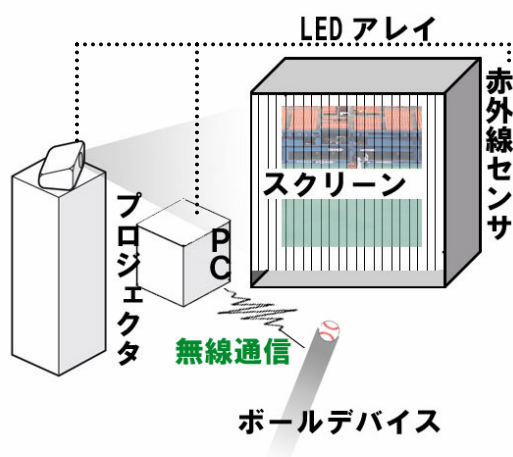


図1 システム概要



図2 のれん状スクリーン

ボールデバイスには小型の3軸加速度センサが内蔵されており、デバイスのローカルな直交座標系の3軸方向に対する加速度を読み取り、そのデータを無線でPCに伝える。PCではボールデバイスの回転速度や球速など解析し、スクリーンに投影する変化球の球種を選択する。

スクリーン周辺部には赤外線センサを設置し、ボールデバイスが飛び込んだ位置とタイミングを検知する。ボールデバイスがスクリーンを通過すると同時に、ボールデバイスがキャッチャーミットに収まるまでの映像を生成し、スクリーンに投影する。ここで、図3に示すようにボールデバイスが

スクリーンを通過する位置とタイミングを、仮想空間のボールの投影される位置とタイミングに合わせることで、体験者に、現実空間で自分の投げたボールがシームレスに仮想空間へと飛び込んだような印象を与える。



図3 (上)ボールデバイスがのれんスクリーンに飛び込んだ瞬間の様子 (下)飛び込み位置にあわせてボール映像が投影された様子

### 3.2 投球位置センサ

ボールデバイスがスクリーンを通過した位置を検知するために、赤外線LEDと赤外線センサを用いた。

#### 赤外線 LED

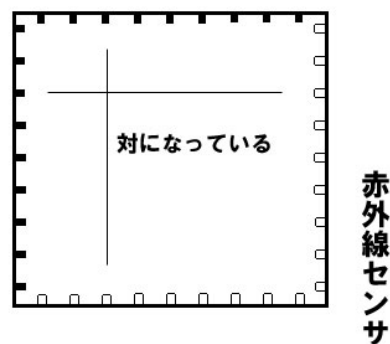


図4 赤外線LEDとセンサの設置

図4に示すように、スクリーン上部に水平に 16 本赤外線 LED(図 4 中の黒矩形. 東芝製: TLN115A)を並べて設置し、左部にも同様に垂直に並べて設置した。これらと対になるように赤外線センサ(図 4 中の白矩形. 東芝製: TPS703)をスクリーン下部、右部にそれぞれ設置する。ここで、赤外線 LED の間隔を 7cmとし、ボールデバイスがディスプレイを通過するときに必ず赤外線 LEDレーザを遮るようにした。遮られた赤外線 LED に対応する赤外線センサを検知し、ボールデバイスがスクリーンを通過した位置を求める。

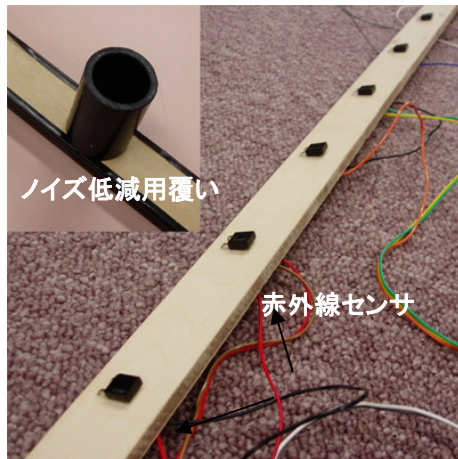


図5 赤外線センサアレイ

実装にあたり、図5に示すように、赤外線センサと赤外線 LED には直径2cm塩化ビニルパイプを4cmに切断した被いをつけ、外乱光によるノイズを低減させた。そして、AD コンバータ(タートル工業:TUSB-1612ADSM-X)を用いて赤外線センサの出力値を常に監視し、赤外線センサの定常状態の値から一定の閾値以上外れた場合に赤外線センサが遮られたとして、対応する赤外線センサの ID を PC に伝える。ここで、定常状態の値には、計測時点までの 100 回の測定値の平均値を用いた。

### 3.3 ボールデバイス

ボールデバイスは野球ボールとほぼ同じ大きさとし、発泡スチロール製の心材を実際の野球ボ

ールの皮で覆ったものを用いる。そして図 6 に示すように、ボールの心材にワイヤレス3軸加速度センサ(日立金属製:H34C)[8]を埋め込んだ。このセンサは、200Hz のサンプリングレートで X, Y, Z のそれぞれの軸にかかる-4G~4G の加速度を、半径 10m 以内の受信機に送る。

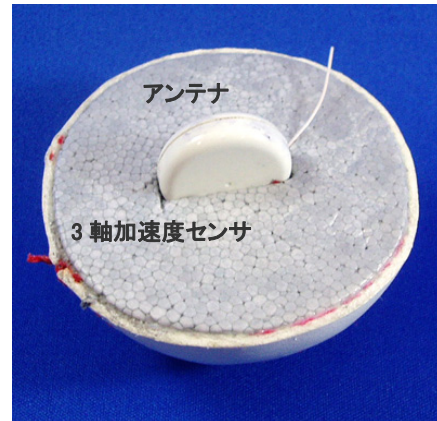


図6 ボールデバイス

### 3.4 のれんスクリーン

2.5cm 巾の帯状の塩化ビニルを、のれん状に並べたものをスクリーンとした。ここで、スクリーンサイズは 1.2m×1.2mとし、投影像の鮮明さを確保するために、スクリーン表面を白く塗装した

### 3.5 システムの全体像

図 7 に示すように、塩ビ製パイプを用いてシステムの筐体を設置した。筐体のサイズは、高さ 150cm, 横幅 120cm, 奥行き30cm の直方体状である。スクリーン背面に捕球ネットを設置し、ボールデバイスの飛び出しを防いだ。また、5.1ch スピーカーを設置し、球場の臨場感を演出する音を再生した。





図7 システム内部の様子

## 4 予備動作による球種選択法を適用した VR アプリケーション

本章では、予備動作による球種選択法を適用した VR アプリケーション(球魂 Ver.1)について述べる。

### 4.1 予備動作による球種選択法

球種は、ボールの回転速度と回転方向および、速度でほぼ決定される。投手の手を離れたボールは、100～140km/h の速度で空中を飛び、その間にボールは空気抵抗を強く受ける。ボールは1秒あたり 10～40 回転しており、空気からのマグナス力を受けて、軌道の変化が起きる[9]。ボールの回転軸が鉛直方向に対して垂直かつバックスピンしている場合はストレートとなる。回転軸が鉛直に対して右方向に回転している場合はカーブ、左方向に回転している場合はシュートとなる。

球魂 Ver.1 では、当初、この原理を用いてボールに内蔵した加速度センサの測定値から回転方向を解析し、球種を決定することを目指した。ローカル座標系における回転軸の検出は、加速度センサの測定値によって求めることが出来る。先述した原理によって球種を選択するには、この回転軸を、鉛直方向を基準としたワールド座標

系における回転軸に置換する必要がある。そのため、センサが滞空中に重力方向の検出が可能であるかを調べるための予備実験を行った。

この実験では、加速度センサを鉛直方向に投げ上げ、測定される加速度の変化を観測した。図8は加速度を時間軸に沿ってプロットしたグラフである。この結果から、センサが滞空中(グラフ中央付近)は、自由落下の無重力状態となり、加速度がほぼ 0 になることがわかる。したがって、滞空中のセンサは鉛直方向の識別が不可能となり、回転方向による球種を選択が出来ないことが判明した。

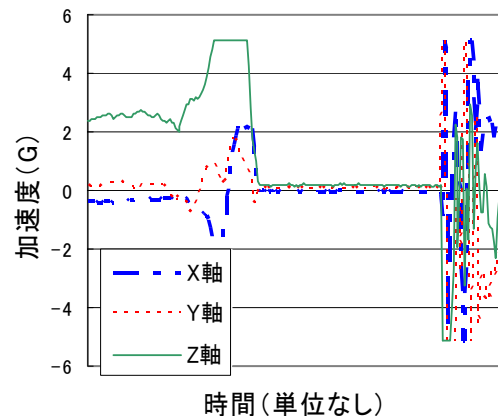


図8 空中での加速度変化

以上の結果をふまえ、ボールに与える予備動作で球種を選択することとした。魔球の球種は、投球前にさまざまな予備動作をボールデバイスに与えて、図9に示すような魔球メーターで表示される、祈り、炎、風の3つのパラメータを変化させて選択する。魔球メーターの値が一定以上になった後に投球すると、魔球の演出をした映像をスクリーンに投影する。



図 9 魔球メーター

表1 加速度と動作, 球種の関係

| 加速度変化 | 動作    | 球種   |
|-------|-------|------|
| ～1.2G | 祈る    | 分身魔球 |
| 3～4G  | 大きく回す | 電撃魔球 |
| 6G～   | 細かく振る | 火炎魔球 |

魔球の種類は火炎魔球, 電撃魔球, 分身魔球の3種類とした。火炎魔球ではボールを細かく振ることで熱をためる, 電撃魔球はボールを大きくまわすことで電撃エネルギーをためる, 分身魔球はボールを手にもちとどめることで天に祈る, という動作にそれぞれ対応づけた。各動作は表1に示した加速度変化の絶対値で対応させ, それぞれの魔球メーターの値を増加させた。また, 動作とは別に一定時間ごとに魔球メーターのすべての値を減少させた。図10に魔球の映像演出の例を示す。

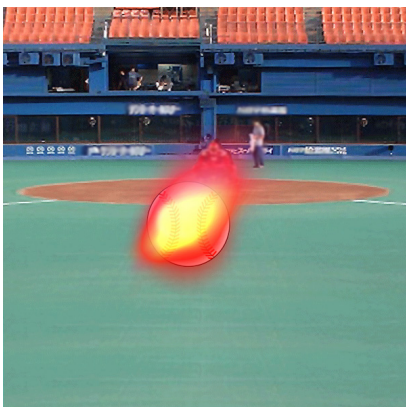


図 10 魔球の演出

## 4.2 球魂 Ver.1 の演出

球魂 Ver.1 の趣旨は変化球の投げ分けを楽しむんでもらうことである。この楽しさの演出のため, ただボールの軌道を曲げる体験だけではなく, あたかも野球選手になったかのごとく振舞い, 仮想空間に没入する総合的な演出をした。具体的には, 野球場でリリーフを任されるという場面設定で, 3球の投球を体験するようにした。

1球目は練習とし, スクリーンの特定位置に球を投げるように指示する。2球目は魔球の説明になっており, 特定の予備動作を指示する。3球目は前の2球をふまえ, 自由に投げるができる。1,2球目で指示以外の球を投げるとバッターに打たれ, ゲームオーバーとなる設定である。

球魂 Ver.1 での球種選択の行為は, 漫画的な状況を連想させるため, 図11に示すような映像演出を行った。



図 11 投影される指示の映像

変化球の映像演出には Direct Graphic を用い, DirectSound による 5.1ch サラウンドで球場の歓声などを再生した。

## 4.3 球魂 Ver.1 の評価実験

2005 年8月 25,26 日に東京科学未来館にて開催された IVRC (国際学生対抗ヴァーチャルリアリティコンテスト) 東京予選大会において球魂

Ver.1 を展示し、評価実験を行った。表2および、図 12 に 73 件のアンケートの集計結果を示す。

表2 代表的な意見およびアドバイス

| 代表的な意見                                                                                                            | 代表的なアドバイス                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・つくりこんである</li> <li>・わかりやすい</li> <li>・PCを意識しない</li> <li>・演出、映像いい</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・魔球の選び方が不自然</li> <li>・判定を細かくしてほしい</li> <li>・弾道が不自然</li> </ul> |

評価実験の結果、仮想空間にボールが飛び込んでいく感覚が得られたという点が確認できた。これは、のれんスクリーンが現実空間と仮想空間をある程度違和感なく融合していることを示す。おもしろさの点でも高評価を受けた。その理由としては、操作の直感性の高さや投げた球が魔球に変わる面白さなどが挙げられる。一方で、実際にピッチャーの体験をしているような投球感にはさらなるリアリティの向上を求める人も多くいた。

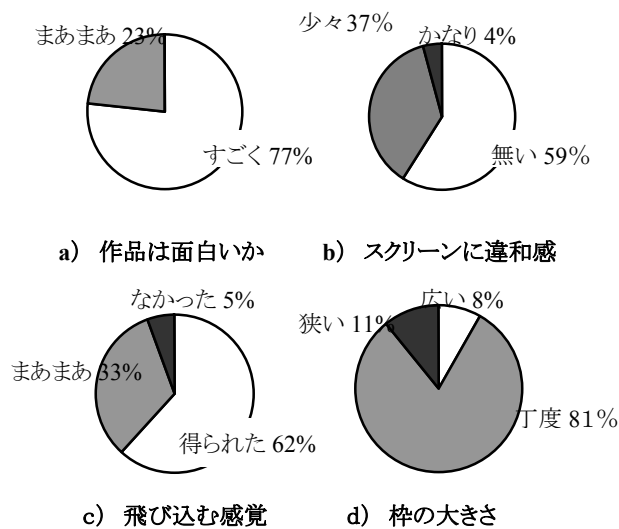


図 12 アンケートの集計結果

また、山なりにボールデバイスを投げ入れているのを数多く見受けた。全体として、多くの人が他の体験者と会話をしながら予備動作による球種選択を楽しんでいた。「球が投げ込まれた瞬間、スクリーンに違和感がありましたか？」という設問に対して 41%が違和感があると述べた。この主要因は、のれんの乱れによるものと考えられる。

## 4.4 球魂 Ver.1 の考察と課題

球魂 Ver.1 では、のれんスクリーンとボールデバイスによる投球インタラクションを実装した。球魂 Ver.1 の実装上の特徴として、のれんスクリーンとボールデバイス以外に特別な装置が目立たず、コンピュータを意識せずに、ボールを投げ込むだけで体験できるという点が挙げられる。

解決すべき課題としては、以下の2点が挙げられる。

### 1) 全力で投げる体験者が少なかった:

身体全体で体感するアプリケーションを目指したが、展示においては山なりでボールを放り込む体験者の数が多かった。この理由としては、1) 速い球を投げる動機付けがなされていないこと、2) 投球を誤るとボールが装置外に飛び出す恐れがあるため、全力で投げることを躊躇する、という2点が考えられる。

### 2) 予備動作による球種選択:

ボールへの予備動作は、現実の野球からやや乖離している。予備動作は体験者に好意的に受け入れられたが、本研究の目的であるピッチングの醍醐味の創出には至っていない。したがって、より直感的で現実のピッチングに近い球種選択法が求められる。

## 5 予備動作によらない球種選択法を適用した VR アプリケーション

本章では、4章で述べた球魂 Ver.1 の評価実験の結果を反映し、改善したアプリケーション(球魂 Ver.2)について述べる。

### 5.1 改善点

ボールが装置外に飛び出す問題に対しては、図 13 に示すように装置の周辺にシートを張るこ



とで対処した。これにより、体験者が安心して速い球を投げられるとともに、安全性が向上した。

次に、速い球を投げる動機付けに対しては、球速を球種判定条件に加えることで対処した。



図 13 周辺部にシートを張った装置

最後に、ボールに与える予備動作が現実のピッチング動作と乖離しているという問題に対しては、ボールの空中での回転速度を、球種の判定条件に加えることで対処した。ボールの回転と球速のみで魔球の球種を判定することで、実際のピッチングに近い投げ分けの体験が可能となる。

## 5.2 球種の判定法

球種の判定を、ボールの速度と遠心力で以下のように行う。

### 5.2.1 ボールの速度による球種判定

ボールの速度は、センサの加速度変化から算出される滞空時間で求める。ボール内のセンサが測定する X, Y, Z 軸の加速度は、図 14 のようになる。各軸の加速度を  $x, y, z$  とすると、ボールの回転による遠心力  $F$  の大きさは、式(1)で表される。

$$F = C\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

ここで、 $C$  は定数である。

遠心力の大きさは、手からのリリースの瞬間に非常に大きな値を示す。これを始点とし、赤外線センサを通過した時刻を終点とすることで、ボールの滞空時間を算出する。ボールの速度はこの滞空時間に比例した値として求め、速度が一定以上の値の場合は、すべて火炎魔球とする。

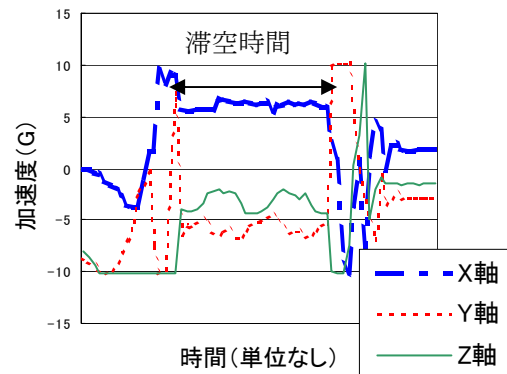


図 14 リリース時の加速度の変化

### 5.2.2 ボールの遠心力による球種判定

実際の変化球の球種がボールの回転速度に大きく影響を受けるのは 4.1 で述べたとおりであるが、ボールにかかる遠心力は回転速度に依存するため、遠心力を球種判定のパラメータに用いることにする。式(1)によって求まる遠心力  $F$  が閾値以上の場合は回転魔球、閾値以下の場合は分身魔球とする。

表3に遠心力および滞空時間と球種の関係を示す。以上の条件に当てはまらない場合は、魔球ではない普通の球とする。

表 3 ボールデバイスの遠心力および滞空時間と球種の関係

| 遠心力\滞空時間 | 120ms 以下 | 120ms 以上 |
|----------|----------|----------|
| 2G 以上    | 火炎魔球     | 回転魔球     |
| 0.3～2G   | 火炎魔球     | 普通の球     |
| 0.3G 以下  | 火炎魔球     | 分身魔球     |

### 5.3 球魂 Ver.2 の演出

プレイヤーの置かれた状況は球魂 Ver.1 とほぼ同様とし、以下のような演出を追加した。

スクリーン中央に設定されたストライクゾーンから外れた場合にボールと判定し、ボールカウントをする。これにより狙ったところに投げるという遊びを演出する。ただし、回転魔球や分身魔球を投げた場合は、ボールがスクリーンのどこに飛び込んでもストライクとした。また、ストライクゾーンから外れた火炎魔球は、ワイルドピッチとした。

体験者に球種の投げ分けを体験させるために、3ストライク目は魔球を投げたときのみ取るものとし、魔球でない球を投げた場合はファールとする。

四球やワイルドピッチなどで相手チームの走者を進塁させ、その結果押し出しとなり逆転された場合、ゲームオーバーとした。

投影される映像は、より現実に近い投球感を与えるために、図 15 に示すような実写を用いたものに変更した。



図 15 球魂 Ver2 の映像

投げられたボールの速度は、投影されるボールの速度を反映しているが、操作性を向上させるために、実空間と仮想空間の速度の完全な一致は取っていない。例えば実空間で 70km/h のボールは、30km/h 程度に減速した状態で映像として表示するため、投げたタイミングと打者に届くまでの時間にずれが生じている。実際の距離を

考慮した場合、ストライクゾーンは非常に小さく表示され、その範囲にボールを投げ込むことは熟練者でなくては難しい。本アプリケーションでは、ストライクゾーンを広く投影し投げやすくしたため、ピッチャーとキャッチャーとの距離が、実際より非常に近くなっている。したがって、現実のボール速度と仮想空間内のボール速度を一致させると、ピッチャーとキャッチャーの距離の短さから滞空時間がほとんどなくなり、投球感覚が弱くなってしまう。以上の理由から、投影される球速は、測定した球速を減速させたものを反映した。

### 5.4 球魂 Ver.2 の評価実験

2005 年 10 月 28,29 日に岐阜県 各務原市 テクノプラザにて開催された IVRC 本選において、球魂 Ver.2 を展示し、評価実験を行った。表 4 および図 16 に 53 件のアンケートの集計結果を示す。

表 4 代表的な意見およびアドバイス

| 代表的な意見                                                                                           | 代表的なアドバイス                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・簡単に操作できる</li> <li>・演出、映像いい</li> <li>・リアリティがある</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・位置検出の精度</li> <li>・ボール飛び込み時、映像が歪む</li> <li>・ボールデバイスが軽い</li> </ul> |

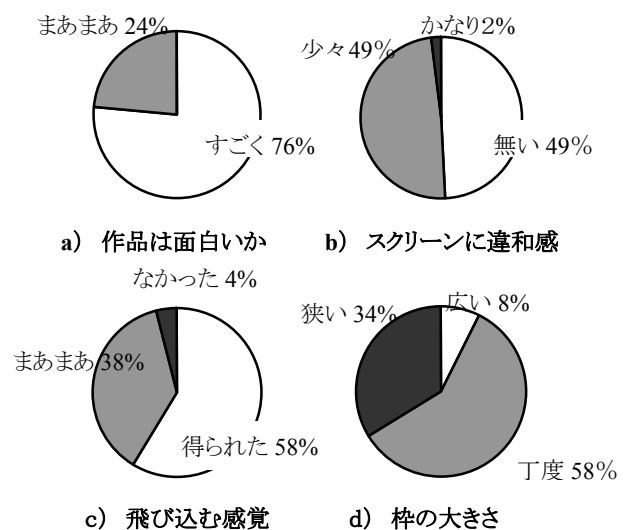


図 16 アンケートの集計結果

評価実験の結果、多くの体験者が身体全体を使って勢いよくボールを投げていることを確認した。これは体験者が現実のピッチングと同じ動作で体験していたと考える。

Ver.1と比較して、スクリーンの大きさに変化はないにもかかわらず、スクリーンの大きさが狭いという意見が23%増加した。

魔球の投げ分けに関しては、数回の練習を行うだけで多くのプレイヤーが行えていた。

ボールデバイスが軽いため操作しづらいという意見が多くあった。

映像表現について、球魂 Ver.1と Ver.2を両方体験した体験者から「リアリティがあって良い」、「Ver.1の漫画的なほうが良い」という相対する意見が寄せられた。これは体験者の嗜好に左右されるものと考えられる。

スクリーンの違和感を指摘する意見の比率は、Ver.1での41%に対し、Ver.2では51%と増加した。スクリーンの違和感は、ボールの衝突時におけるのれん面の乱れが原因と考え、Ver.2ではのれん面に弱い張力をかけることで乱れを抑える改良を施したものの、その効果はなかった。これは、Ver2では体験者の投げる球の速さが大幅に上昇したため、Ver1よりもののれんの乱れが増加したためと考えられる。また、投影される映像を漫画的映像演出から実写映像にしたために、体験者が投影画像に求めるリアリティが上昇したことも、違和感の増加の原因として考えられる。

飛び込む感覚については、Ver.1と Ver.2との間に特に大きな差は見られなかった。これは、のれんとボールのインタラクション自体の根本的な改良がなかったためと考えられる。実空間の物体が仮想空間へと遷移する際に、こういった要件を満たせば認知的に違和感を感じないかについては、今後も研究の必要があると考えられる。

## 5.5 球魂 Ver.2 の考察と課題

以上、直接的な動作による、ボール操作の随意性を楽しめる VR アプリケーションについて述べた。球魂 Ver.2 では身体全体を用いて操作をすることができ、従来の野球ゲームに欠けていた身体動作の醍醐味を演出できた。

評価実験の結果得られた意見として、スクリーンの大きさが狭くなったというものがある。これは体験者が勢いよくボールを投げるようになったために、コントロールの精度が落ち、心理的にスクリーンの狭さを感じたものと考えられる。また、新たにスクリーン周辺部に設置した黒いシートも、視覚的な影響を与えていると考える。

ボールデバイスが軽くて投げづらいという意見は球魂 Ver.1 の評価実験時には見られなかったものである。これは体験者が身体全体をつかってピッチングを行ったために、現実の野球ボールとの差異が目立ったためと考えられる。

今後の課題としては、ボールの位置検出に対する精度の向上が挙げられる。この課題の解決法としては、例えば赤外線 LED による検知を、レーザーダイオードに変更することが考えられる。また、ボールが飛び込んだ瞬間にのれんスクリーンが捲れ、投影画像が歪むという課題がある。この課題に対しては、スクリーンの素材をゴム紐などの伸縮性に富む素材に変更し、上下を固定して張力を与えることで対処することが考えられる。

## 6 まとめ

以上、加速度センサとのれん状スクリーンを用いた新たなインタラクション手法を考案し、VR アプリケーションへの応用事例を2件紹介した。

球魂 Ver.1 では実世界で投げたボールが仮想空間に飛び込むインタラクション法を実現した。また、予備動作による球種選択法を実現し、ボタ

ンやマウスを用いずに球種を選択することができた。しかし、体験者がボールを山なりに投げるなど、身体性を活かしていなかった。また、球種選択手法が現実の野球における操作と乖離しているという問題があった。これらの諸問題に対し、球魂 Ver.2 では装置を改良して暴投を防ぎ、球速とボールの回転速度を用いた球種選択法で対処した。これにより、ボール操作の随意性と身体動作の演出ができた。

本論文では、動画再生による映像演出を実装したが、リアルタイム CG による細かな映像演出の可能性も残されている。この場合、バッターのスイング動作をキャプチャし、アニメーション生成に用いるなど、キャラクタの個性付けなども可能である。

本論文で述べたVRアプリケーション以外への応用例として、他球技への適応や、現実世界と仮想世界を結ぶ応用システムも考えられる。たとえば、サッカーボールやラグビーボールにセンサを埋め込むことで、提案した VR アプリケーションと同様な身体全体で操作するアプリケーションの制作が可能になる。また、2台の装置をネットワークで接続し、遠隔地でキャッチボールをしたり、打者と投手が対戦できるアプリケーションも考えられる。また、打者や投手をカメラで取り込み投影することで、遠隔地であっても同一の場所で対戦しているような演出も可能になる。本手法を拡張することで、これまで主として文字や映像のみを扱ってきたテレコミュニケーションに身体性を加えるという新たな展開が期待できる。

本 VR アプリケーションでは、操作を実際の投球に近づけることを目的とした。このように、入力法を実際の動作へと近づけるアプローチを進めることで、スポーツ教育や、身体知を探るシステムへの応用も期待される。本手法でいえば、例えば、指の微妙なリリースポイントやフォームの違いが変化球に及ぼす影響や、ナックルの無回転のための投げるコツなど、日常生活は意識していな

い手や筋肉の賢さ、すなわち身体知を仮想世界で表現することで、変化球の仕組みを体感し楽しく学習するなど、エディティメントとしての応用が考えられる。

## 謝辞

研究開発助成をいただいた IVRC 実行委員会（日本バーチャルリアリティ学会）及び、無線三軸加速度センサの提供をいただいた日立金属株式会社に深謝いたします。

## 参考文献

- [1] エポック社:エキサイトピンポン,  
<http://epoch.jp/taikan/pin2/top.htm>
- [2] エポック社:エキサイトボクシング,  
<http://epoch.jp/taikan/boxing/top.htm>
- [3] 伊豫田・垣内・木村・武井・杜・藤井・益田・杵野・宮田,"加速度センサとのれんディスプレイを用いた VR アプリケーション",NICOGRAPH2005 秋季大会,セッション II Virtual Reality,pp.43-48
- [4] KONAMI, 筋肉番付フットボールマスターズ,  
<http://www.konami.jp/am/footballmasters>
- [5] KONAMI,Dance Dance Revolution  
<http://www.konami.co.jp/am/ddr/>
- [6] KONAMI,プロ野球スピリッツ 2,  
<http://www.konami.jp/gs/game/prospi/2/>
- [7] エポック社,エキサイトスタジアム DX,  
<http://epoch.jp/taikan/esdx/top.htm>
- [8] 日立金属 ワイヤレス3軸加速度センサ,  
<http://www.hitachi-metals.co.jp/press/news/2005/n0404.htm>
- [9] 姫野龍太郎, “魔球をつくる 究極の変化球を求めて”, 2000, 岩波書店
- [10] KONAMI,投球王国ガシャーン  
<http://www.konami.co.jp/am/gashaaaaan/>
- [11] FOG SCREEN,  
<http://www.fogscreen.com/>