

# 投げずに投球動作を入力できるボール型ゲームインタフェース

中津留 義樹<sup>†</sup>

星野 准一<sup>†</sup>

本研究ではユーザが投球動作を意図した前後に発生する微少な力を利用して投球動作を検出するボール型ゲームインタフェースを提案する。本インタフェースを使用することでユーザは実際に投球を行うことなく投げる振りによって投球動作を簡単に VR アプリケーションに入力することができる。投球という能動的な動作を加えることにより、身体を使って遊ぶことができる身体動作ゲームの幅を広げることができ、生活習慣病の原因となる運動不足を軽減し健康維持を行うことができる。評価実験として、多数のユーザに本インタフェースを体験してもらいアンケートや観察から評価を行っている。

## Ball-shaped Game Interface of Pitching without Throwing

YOSHIKI NAKATSURU<sup>†</sup>

JUNICHI HOSHINO<sup>†</sup>

This paper presents the ball-shaped interface device to input a pitch. The player is able to throw a ball in video game freely by using this interface, even if actually the player throw nothing. This interface senses the moment when a ball is thrown by Force Sensing Resistor(FSR). A direction and the speed that the ball flies are calculated by the value of a 3-Axis accelerometer, a 3-Axis gyro sensor and a digital compass. We review about this interface gotten through the exhibition..

### 1. はじめに

本稿では、ユーザが投球動作を意図した前後に発生する微少な力を検出することで誰もが手軽に投球動作を入力できるゲームインタフェースの提案を行う。家庭用ゲーム機において身体動作をゲーム入力に取り入れられるようになっているが、現実世界では当たり前に行われる「投げる」という動作の検出を行うものはあまり多くない。あるとしても、投球動作の認識は実際に物を投げることによって行われる場合が多く、システムが広いスペースを必要である、投球動作の入力間隔が長いといった問題があり VR ゲームアプリケーションに投球動作を取り入れる障壁となっている。

実際には何も投げずに投げる振りだけで投球動作を入力することができれば、上述の問題を解決することができる。この場合の問題は、ユーザがいつボールから手を離すことを意図した時（リリースタイミング）を検出しなければ、投球方向を決定できないことである。これは腕の軌跡が同じ投球動作でもリリースタイミングによってボールが飛んでいく軌道が変わるからである。

運動不足が原因の一因となる糖尿病や心筋梗塞といった生活習慣病が社会問題となって久しい<sup>1)</sup>。健康維持の為には常日頃からの適度な運動が欠かせない。し

かし、運動不足の人が健康維持を目的として一般的なトレーニングを行う場合、意欲が継続せず途中で止めてしまう場合が多い<sup>2)</sup>。運動を継続させるには、運動自体への楽しさ<sup>3)</sup>を競技型のスポーツにおける勝敗<sup>4)</sup>等の要素が考えられる。競技スポーツでは楽しみながら身体を動かしやすいが、競技を成立させるための人数を集めることや場所の確保が難しく頻繁に行えないという問題がある。この問題を解決する手法の一つとして手軽に競技型のスポーツを行える VR ゲームアプリケーションが考えられる。

投げるという動作は能動的に行うものであり、自由なタイミングで自由に外部に働きかけることができるものである。投げるという動作は、競技スポーツである球技などで多く用いられている基本動作であり、これを取り込むことができれば健康運動支援の為の VR ゲームアプリケーションの幅を増やすことができる。それにより、ユーザを飽きさせずに VR ゲームアプリケーションを通じて運動をさせることができると考える。また、投げるという動作自体にも運動効果<sup>5)</sup>があり、運動支援としての役割を期待できる。

提案するボール型インタフェースでは、ユーザが投げる振りをした時に指の表面に発生する力を解析することにより、ユーザが意図したリリースタイミングを検出することを可能にしている。ボタンといったスイッチを明示的に押す必要がなくリリースタイミングを検出することができるので、ユーザは投球動作を実際のボールのように入力でき、簡単な説明で使用すこ

<sup>†</sup> 筑波大学大学院 システム情報工学研究科  
University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Engineering

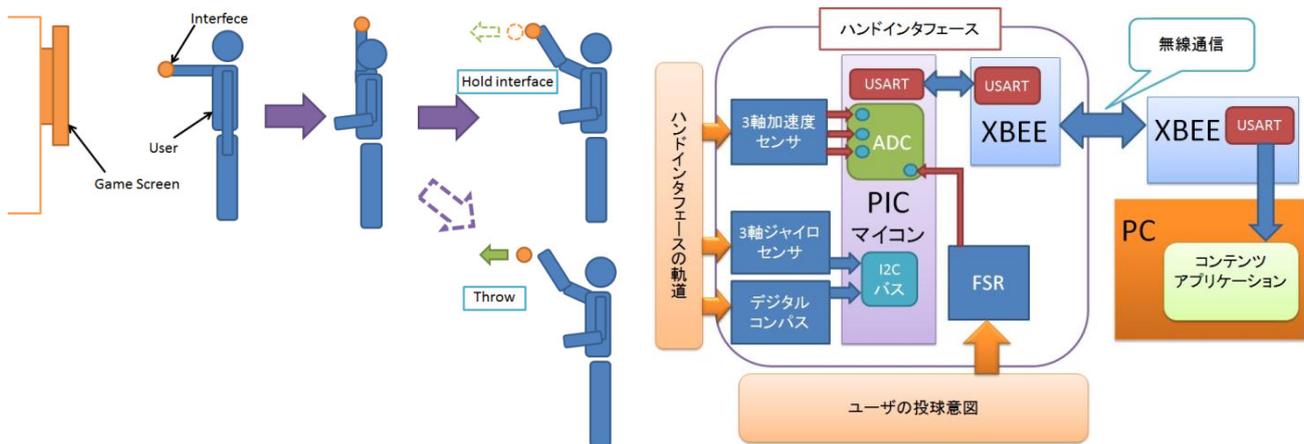


図 1 システムの概要と構成図

とができる。

本稿で提案するインタフェースは主に投球動作を使用するスポーツである野球で使用される公式ボールと同等の大きさとなるようにしている。ボールのリリースのタイミングを圧力センサである Force Sensing Resistor(FSR)を用いて検出を行い、同時に加速度センサやジャイロによる測位によってボールの軌跡を測定しボールが飛んでいく速度、方向をコントロールできるものとなっている。本稿では、評価実験として多数の児童に体験してもらい、242 人から得られたアンケート結果から本インタフェースの評価を行っている

## 2. 関連研究

投球動作を扱った研究として、伊豫田らののれん型のディスプレイに向けて加速度センサを内蔵したボールを投げ入れ、ボールが通過したディスプレイの位置を検出して入力とする VR アプリケーション<sup>6)</sup>や、佐川らが行った加速度センサと角速度センサを用いた装着型センサシステムによるユーザの投球フォームの前腕の動きを計測する<sup>7)</sup>という試みがある。

これらは実際にボールを投げることによって、前者はディスプレイを通過するまでの経過を、後者はボールのリリースタイミングをそれぞれ検出して投球動作を認識している。実際に投げることで検出を行う場合、確実な投球動作の認識ができるという利点があるが、広い場所が必要、検出方法によっては投球方向に制約がつく、実際に飛んでいくボールの挙動と VR ならではの非現実的な表現との食い違いに違和感を生じる、次の投球動作までに時間を要するといった問題がある。

球形をしたインタフェースとしては、平松らのぶよこん<sup>8)</sup>や出田らの跳ね星<sup>9)</sup>などがある。また、本システムで使用する圧力センサを用いたものとして山本

らの研究<sup>10)</sup>が挙げられる。

本研究で開発した本インタフェースは、現実に投球を行わずとも把持した状態でユーザがボールをリリースしようとするタイミングを検出し、投球動作を入力とすることができることを目的とした。把持した状態で使用できることによって、ユーザは短い間隔で連続した投球動作をアプリケーションに入力できるようになる。同時にその他の身体動作を取り込む別のユーザインタフェースとの連携を行いやすくすることでアプリケーションの幅を広げることができる。

## 3. システム概要

### 3.1 システム概要

本システムは狭い室内でも投球動作を VR ゲームコンテンツに利用できるようにすることを目的としている。それを実現するために本システムは投球動作を実際には物を投げずに認識することができるボール型ゲームインタフェースとそれを利用する VR ゲームコンテンツから成っている。

ボール型インタフェースは投げることを意図して投げる振りをするだけで投球動作を入力することができるようになっており、簡単な説明でユーザは使用することができるようになる。この簡易さより、本システムは VR ゲームが理解できる小学生以上の児童からお年寄りまで幅広い年齢層を対象にできる。

### 3.2 ゲームインタフェースの使い方

#### 3.2.1 ユーザの操作方法

本インタフェースではユーザがボールを手から離しリリースしようとした意図を指に発生する圧力によって判断している。ユーザはこの圧力を検出する FSR のセンサ部分に人差し指の腹を置くように握る。ユーザは投球動作を入力したい場合に投げるつもりで投げ



図 2 ゲームインタフェースの外観と回路基板

る振りをする事で投球動作を入力することができる。

### 3.2.2 アプリケーションにおける使用方法

アプリケーションには本インタフェースから無線通信を通じて搭載する各センサのデータが 16bit 整数データで送られている。これらをアプリケーションの要求に応じて利用することで投球動作だけでなく、腕の動きによるジェスチャ入力などもアプリケーションの操作法として取り入れられる。

## 4. ハードウェアの構成

本システムは投球動作の検出を独立したインタフェースのみで行い、その他のカメラや大がかりな外部システムを必要としない構成となっている。また検出できる投球動作についてもフォームを固定せず、ユーザ個々の投げやすい投げ方で利用できることを念頭に開発を行っている。

### 4.1 ハードウェアの構成

ユーザが使用する時に邪魔にならないように本インタフェースは、無線通信ユニットと内蔵バッテリーの搭載することで有線接続を排している。内蔵バッテリーには 3.7[V]850[mAh]のリチウムイオンポリマー製のものを採用している。連続使用時間は 10 時間以上となっており、途中で充電を必要とせず一日中使用することができる。充電回路も内蔵しており、miniUSB コネクタを接続することでバッテリーを本インタフェースから外さずに充電できる。

制御用マイコンには MICROCHIP 製 PIC18LF2553 を使用し、センサとしてリリースタイミングの取得に利用する INTERLINK 製圧力センサ FSR と軌道推定の為の InvenSense 製 3 軸角速度センサ ITG-3200、freescall 製 3 軸加速度センサ MMA7260Q 及び Honeywell 製デジタルコンパス HMC6343 を搭載している。FSR と加速度センサはマイコンの AD コンバータに接続されている。AD コンバータの分解能は 12bit である。ジャイロセンサとデジタルコンパスは I2C インタフェースでマイコンと接続されている。センサのサンプルレートはデジタルコンパスのみ

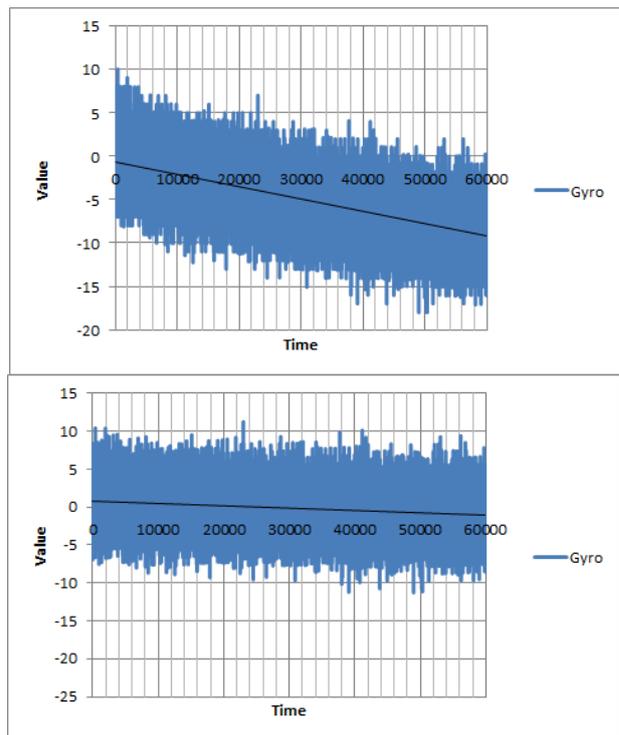


図 3 角速度センサの補正前(上)と補正後(下)のデータ

10[Hz] となっており、それ以外のセンサは 200[Hz]となっている。

本インタフェースの外形は直径 7.5[cm] の球形で重さは 100g であり、野球ボール大の大きさに公式球のおよそ 3 分の 2 の重量となっている。安全対策としてストラップを備えており、使用時にユーザの手首に固定することで不慮の事故が起こらないようにしている。

### 4.2 データ通信

データ通信には無線通信ユニットである Digi 製 XBee を使用している。短距離無線通信規格の IEEE802.15.4 に対応したもので、最大 115200bps の USART 通信を無線化することができる。本システムでは、PC と本インタフェースに XBee を搭載し 115200bps でデータ通信を行っている。バイナリ形式のプロトコルを用いて一回のデータ通信量を低減している。

### 4.3 ジャイロの温度ドリフト補正

MEMS 技術により制作されたセンサでは温度によるオフセット値のドリフトが問題となる。図 3 に補正を行う前の角速度のデータを示す。静止状態での計測結果であるが時間経過と共に温度ドリフトにより基準点に変化していることがわかる。この状態では温度ドリフトによる積分誤差が発生し正しい姿勢を測定することができない。

温度ドリフトを軽減するために使用している角速度センサに内蔵された温度センサによる温度データからデータ補正を行っている。事前に計測した温度データと温度ドリフトの関係の結果から、比例定数を  $k$  として(1)式によってデータを線形補完している

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_{raw} * Temp * k - offset_{\theta} \quad (1)$$

これにより温度ドリフトの影響を大幅に軽減することができ、300[deg/h]程度あった誤差を 20[deg/h]程度まで抑えられた。これ以上の積分誤差の補正は、加速度センサやデジタルコンパスを用いて静止時に行う。

## 5. 投球動作の意図検出

### 5.1 投球動作の意図検出の概要

本インタフェースではユーザが投げようと手から離すリリースを意図した際に指先に発生する圧力を検出することで実際に投げることなく投球動作を検出している。このリリースを意図した際に圧力が発生することは実験的に発見している。この時に指先に発生する圧力変動については仮説として投げてしまわないように把持するためのものであると考えている。この圧力変化から次の式で表せる条件を満たした時点リリースタイミングとしている。

$$Force_t - Force_{t-1} > Threshold_{Force} \quad (2)$$

$$Acceleration > Threshold_{Acceleration} = 2G \quad (3)$$

実際に投球を行った場合と投球を行わず把持したまま投球動作を行った場合の加速度の大きさと生じた圧力のデータが図4と図5になる。加速度センサからのデータの傾向が両者ともリリースタイミング前まで大まかに一致している。図4におけるリリースタイミングを指が圧力センサから完全に離れ、センサの値が0になった時点として同じ投げ方ができていたと仮定すると両者のリリースタイミングには約 100[ms]の時間差が生じている。実際にユーザが指を離し始めたタイミングは圧力センサのデータがピークとなる辺りからと推測され、大きな差は出ない。今後より詳細な検証をする必要があるが、後述する検証実験結果から体感のずれは相応に小さいと推測される。

この方式の大きな利点は難しい投球タイミングの検出を大きなタイムラグを伴わず、ユーザに意識させずに容易に行えることと、ほとんど個人差がなく上投げや横投げ等のような投げ方でもこの方式で投球意図を検出することができる点である。

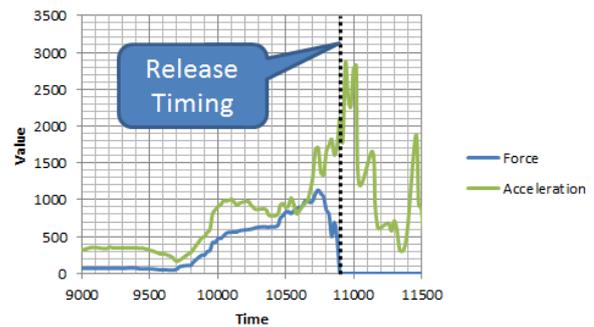


図4 実際に投げた場合の加速度と圧力のグラフ

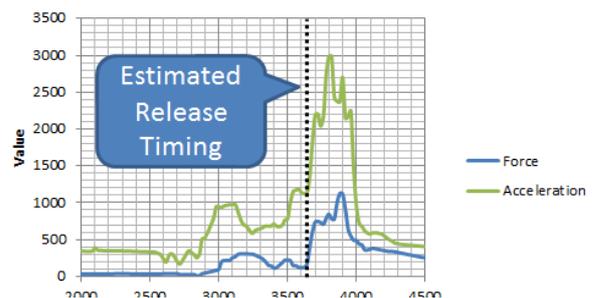


図5 投げずに投球動作をした場合の加速度と圧力のグラフ

### 5.2 Force Sensing Register

投球動作におけるリリースを意図した時に発生する力を検出するセンサとして本インタフェースではFSRを使用している。これは対面した導電性ポリマー同士の接触面の面積が加わることで変化することを利用した一種の可変抵抗器である。

圧力を検出するセンサは他にも空気圧センサ等があるが、それらと比較した場合のFSRを利用した利点は大きな変形を伴わず圧力を検出できるため、ユーザにセンサの存在を意識させずに済むことや変形部位や脆弱な部位が存在しないため機械的な耐久性が高いことが挙げられる。

## 6. 体験アプリケーション

### 6.1 投球動作について

投球動作をアプリケーションで用いる場合、投球方向や速度の制御はアプリケーションに合わせてそれぞれアルゴリズムを変更する必要がある。それを決定する上で重要なのは実際のユーザとスクリーンとの位置関係とアプリケーション内での投球位置である。ユーザは腕の振り方だけでなく、スクリーンに対する向きや位置によって投球方向を制御しようとするので、場合によってはユーザの立ち位置を固定してアプリケーションを体験してもらう必要がある。位置関係の中で特に影響が大きいのはディスプレイの高さとユーザの身長の関係であり、これによって変わる視線の向きによってユーザの投球動作が大きく変わってしまう。

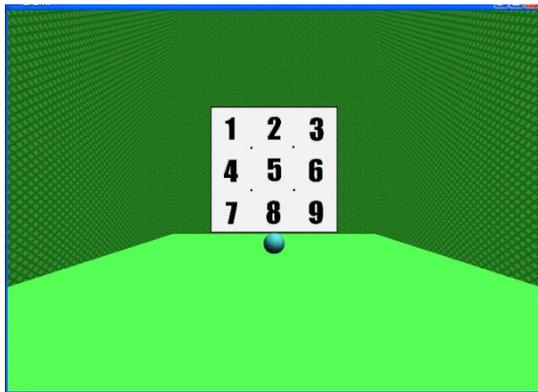


図 6 ストラックアウト

## 6.2 ストラックアウト

体験アプリケーションとして 9 枚の的を狙うストラックアウトを用意した。ユーザはこのアプリケーションが表示されたスクリーンに対して、本ハンドインタフェースを用いて投球動作を行うことで的に対してボールを投げることができるようになっている。この評価アプリケーションでは投球方向の制御を投球の瞬間から 500ms の前の情報を元に行っている。その為、同じように投げたつもりでも、腕を振り上げてから振り下ろすまでの時間差でボールが飛んでいく方向が変わってしまう、厳密な方向を見ていないためにスクリーンではない方向を向いた状態で投球動作を行っても正面を向いた時のようにボールが飛んでいくことになっている。また、基本的にスクリーンを向いて操作することが前提であったため投球方向に制限を行って画面外に飛んでいくことがないようにしている。

## 7. 検証実験

### 7.1 実験概要

2011 年 10 月 29 日と 30 日に行われたいしかわ夢未来博において本インタフェースの体験展示を行った。体験者数は 300 名以上、体験者の年齢は 5 歳から 60 歳代で、主な年齢層は小学生以下の児童であった。体験者の内、242 名には本インタフェースの体験後に簡単なアンケートに答えてもらった。

体験に当たっての使用法の説明は簡潔なものとして、FSR の動作原理について意識させないようにしている。説明は以下の、

- (1) FSR 部分に指を置き動かさない
- (2) 手から離さないで投げるつもりで投げる素振りという 2 点のみに留めた上で、使用してもらった。

### 7.2 アンケート結果

体験車にアンケートとして以下の設問に答えてもらった。

- (1) Q1. 実際にボールを投げる感覚で使えたか?
- (2) Q2. ボールが画面に現れるタイミングはどうだったか?
- (3) Q3. 投げる方向を自由にコントロールすることができたか?
- (4) 命中させたパネルの枚数

(1)と(5)の質問にはそれぞれ該当するものを(2)(3)(4)の質問には 5 段階評価で回答を得た。(2)と(4)については 1 を最高、5 を最低評価による回答で、(3)については 3 を最高として 1 と 5 が最低評価となるように回答してもらっている。

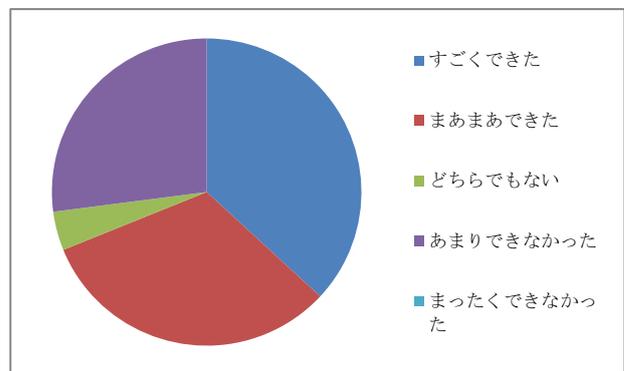


図 7 Q1 実際にボールを投げる感覚で使えたか?

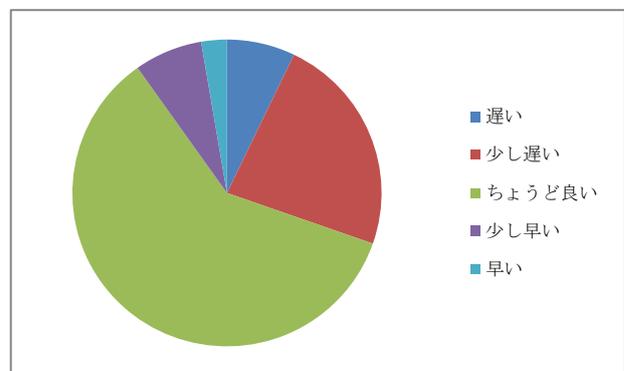


図 8 Q2. ボールが画面に現れるタイミングはどうだったか?

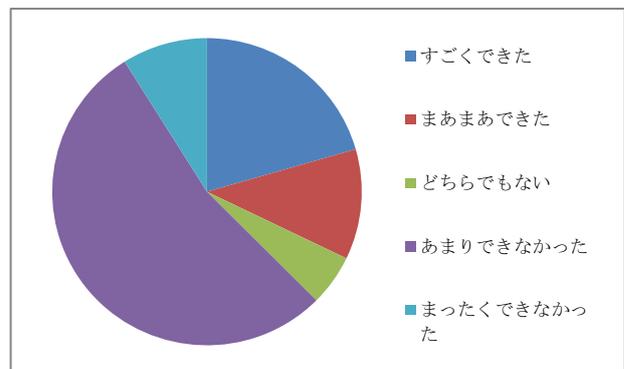


図 9 Q3. 投げる方向を自由にコントロールすることができたか?

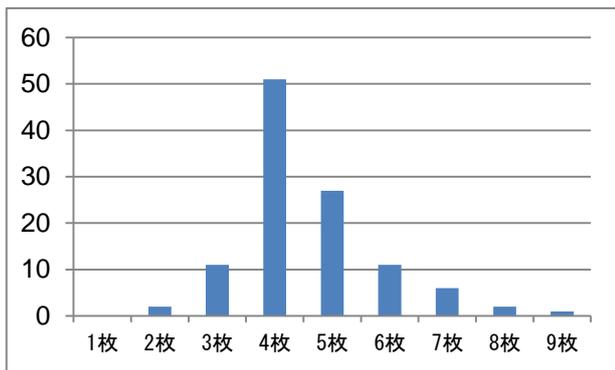


図 10 命中させた的の数

### 7.3 考察

アンケートでは本インタフェースに対するエンタテインメント性については特に質問を行っていないが、録画映像や展示の様子からユーザの評価は良好であった。特に使用の制限をつけていないと疲れるまで使い続けようとするユーザも見られた。

今回の実験の体験者が対象としている年齢層よりも低年齢だったこともあり、現状のシステムにおける幾つかの問題点が判明している。

本インタフェースでの力を用いたリリースの検出法における年齢の下限は5歳前後であることがわかった。主に手の大きさが原因となっており、5歳未満の児童の手に対してインタフェースのサイズが大きく把持することが限界となっていたためと考えられる。

投球の操作性について、いくつかの要因が評価に大きな影響を与えている。最大の要因は、现阶段のアプリケーション側の実装で上投げに限定して認識を行っており個人の投げ方の違いを吸収できていないことである。

ユーザとディスプレイの位置関係とアプリケーション内のボールが出現する位置との差異である。アプリケーションではディスプレイの中心がユーザの胸部あたりの高さであることを想定しているが、今回の展示では大人と比べて身長の高い児童が中心であったために頭よりディスプレイが高い位置となっていた。

## 8. 応用例

投げる動作を用いたコンテンツとして、本インタフェースの他に移動を検出することができるインタフェースと組み合わせて身体全体で遊べる雪合戦ゲームや投球動作だけでなく、FSRを用いてボールを掴む際の握る力を検出してキャッチボールを再現することもできると考えている。また、投球動作の入力と認識までの時間差が小さいことから本インタフェースを複数使った同時多人数プレイができるコンテンツにも

使用することが可能である。

## 9. まとめ

実際に投げることなく投球動作を入力することができるボール型ゲームインタフェースの開発を行った。300名以上に体験してもらい提案したインタフェースについての評価をした。投球タイミングについては意図した結果が得ることができたが、投球方向の制御など体験展示を通じていくつかの問題点が見つかった。今後それらに対する改善をソフトウェア中心に行いより使いやすいものにしていきたい。また、本インタフェースを利用することによるインタフェース単体や他のインタフェースとの組み合わせによる運動効果の検証も行っていく。

## 参考文献

- 1) 厚生労働省：“厚生労働白書（平成19年度）”，pp29-32(2007)
- 2) 山地啓司：“体力向上のための運動プログラム実施中の途中脱落率とプログラム実施率”，*体育の科学*, 38, pp.607-612(1998)
- 3) 中村恭子, 古川理志：“健康運動の継続意欲に及ぼす心理的要因の検討—ジョギングとエアロビックダンスの比較—”，*順天堂大学スポーツ健康科学研究 第8号*, pp1-13(2004)
- 4) 徳永幹夫, 橋本公雄：“体育授業の「運動の楽しさ」に関する因子分析的研究”，*健康科学 第2巻*(1980)
- 5) 厚生労働省：“健康づくりのための運動基準2006” (2006)
- 6) 伊豫田昭彦, 木村秀敬, 武井悟, 他：“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”，*芸術科学会論文誌 Vol.5 No.2* pp33-44(2006).
- 7) 佐川貢一, 森山靖子, 塚本利明, 他：“装着型センサによる投球フォーム前腕の軌道推定”，*日本機械学会論文集 C 編*, Vol.74, No.738, pp.400-408 (2008).
- 8) Ryosuke Hiramatsu, Junichi Hoshino : A soft body controller that can be thrown. New feeling of operation and touch “PUYO-CON” , ACM SIGGRAPH ASIA 2009 Emerging Technology, A Publication of ACM SIGGRAPH DVD-ROM , ISBN:978-1-60558-858-2 (2009).
- 9) Osamu Izuta, Jun Nakamura, Toshiki Sato, Sachiko Kodama, Hideki Koike, Kentaro Fukuchi, Kaoru Shibasaki, Haruko Mamiya, “Digital Sports Using the “Bouncing Star Rubber Ball Comprising IR and Full-color LEDs and an Acceleration Sensor, SIGGRAPH 2008 New Tech Demo
- 10) 山本 景子, 南部 俊輔, 佐藤 宏介：“ものの把持に基づくコンテンツ検索支援”，*芸術科学会論文誌 Vol. 9, No. 1* pp.29-37(2010)