



VR ボウリンググローリング

VR Bowling Rolling Inside the Ball

古谷尚之¹⁾, 野々村雅一¹⁾, 西滉平¹⁾, 北村祐稀¹⁾

Naoyuki FURUYA, Masakazu NONOMURA, Kohei NISHI and Yuki Kitamura

1) 大阪大学 情報科学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5, furuya.naoyuki@lab.ime.cmc.osaka-u.ac.jp, {nonomura.masakazu, nishi.kohei, kitamura.yuki} @ist.osaka-u.ac.jp)

概要: 本企画では, VR 空間でボウリングのボールの中に入り, ボールに回転を与え, ボールを動かす体験を提供する. 体験者は椅子に座り, HMD・ローラー付きの靴・4つのトラッカーを装着する. 曲面状の床と球面を模した壁を用意し, 手と足で球面を感じる. 手足を使い, ボールに任意の向きに回転を与え, HMD とモータを通して視覚・聴覚・触覚フィードバックを行う. ボールの表面の迷彩模様が回転することにより発生するベクシオンにより, 体験者は自分が動いていると錯覚する. 体験者は, 子供が投げたボールの中から多くのピンを倒せるように, 内側から回転をかけ, 操作することで多くのピンを倒す事を目指す.

キーワード: ベクシオン, 運動視, 錯覚, ボウリング,

1. はじめに

ボウリングはボールを転がして二投の間にどれだけピンを倒せるかを繰り返し, 高スコアを目指すスポーツであり, 日本でも昔から老若男女問わず親しまれている. ボウリングのボールは手元から離れた後, ピンに当たるかガーターレーンに吸い込まれるまでの間は外から力がかかる事が出来ない. 狙いとは違う場所に向かったとしても, 投げた人にできる事は曲がれ曲がれと念じる事だけである.

そこで, もしもボウリングのボールの中から回転を与えられれば狙ったピンの位置に当てられるのではないかと考えた. 実際に透明なボールの中に入るアトラクションはいくつかの施設で体験できる. 海外でも, 透明なボールの中に入って雪山の斜面を下り, ボウリングのピンにぶつかるアトラクションもあり, 人気もある[1].

しかし, このような体験はボウリングのボールの内側から動かしている体験といえるのか疑問に感じた. 確かに, ボールの中に入り, ある程度は自身の移動でボールを操作できるのかもしれないが, 基本的に重力に身を任せてしまうので, 最終的に球体の内部で自分自身も回転してしまって平衡感覚もなくなり, あまり操作出来るとはいえないのではないかと感じた. また, このような体験には, 雪が積もっているかという時期の条件や, 人が入れるボールと巨大なピン, そしてそれができる巨大な空間等, 様々な条件が揃って初めて可能となる.

そこで, VR を駆使することで, 巨大な空間も季節の条件も巨大なピンも必要とせず, 図 1 のように, 人間がボウリングの球の中に入る体験を提供したいと考える.

類似のコンテンツとして, IVRC2022 にて出展された「壁歩き体験～ヤモリになろう!～」や「やがて雪だるまになる」が挙げられる. 両作品とも, バランスボールやローラーといった球体を外側から触る感覚を提示するため, 球体を内側から触る感覚という点が本企画と異なる点である. また, 本企画では座った状態ではあるが, 足と手の両方を使って球体内部を回転させる感覚を得られる事も差別化点と考えられる.

本企画では, 子供が投げたボールを内側から操り, 少しでも多くのピンを倒せるように頑張るボウリングのボールの中の精霊になったような体験を提供する. そのために必要な要素として, 実際のボウリングのボールの中にいるように, 「手足を使ってボールに回転を与えらる事」「その場で走り続けられる事」「狙った方向に回転を与えらる事」が挙げられる. その場で走り続けるには, KATWALKC2[2] のようなデバイスの使用も考えられるが, 高価である事や, 入手の難しさから, 椅子とローラー付きの靴を使ってシステムを自作することで, その場で走り続けられるようにする. そのため, 後述するようなシステムを使って, 体験者がボウリングのボールを操れるようにし, フィードバックを通して自分で動かしている実感を得られる体験を本企画では開発する.

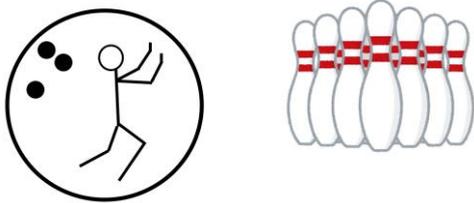


図1：人間ボウリングの概要図

2. システム構成など

システムの全体図を図2に示す。

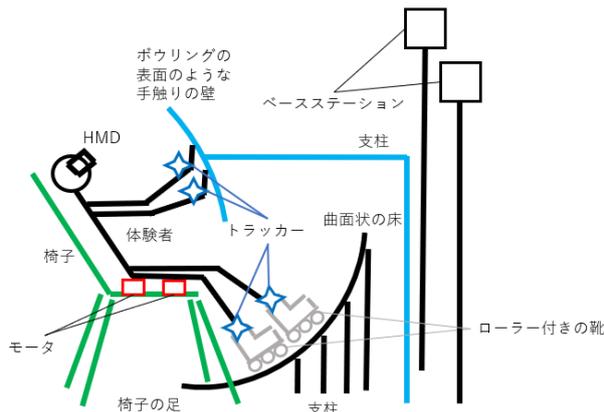


図2：システム全体図

体験者は、椅子に座って背もたれにもたれた状態で体験を行う。HMD に映し出されるボウリングのボールとしてピンに向かっていく映像を見ながら、手で壁を擦ったり、ローラー付きの靴で曲面状の床を走るといった動作を行う事で、その方向に回転をかけ、ボウリングの球に勢いをつけたり、狙った方向に曲げたりする。最終的にピンが倒れる事でボウリングの球となる体験は終了となる。

次に、システムを上から見た図を図3に示す。

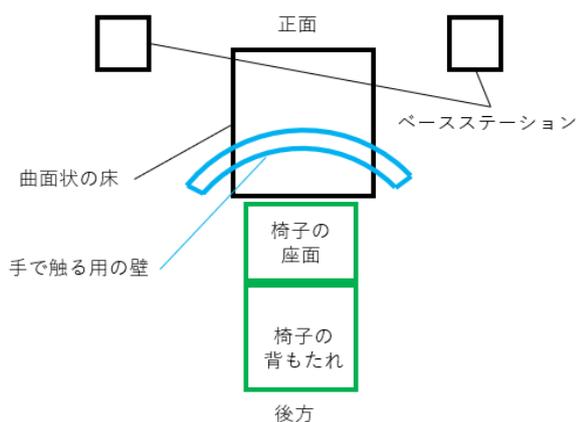


図3：上から見たシステム図

3. 体験の流れのイメージ

3.1 HMD を被るまで

1. 体験者は椅子に座り、両手にはトラッカー付きリストバンド、両足にはトラッカーとローラー付きの靴を履いてもらい、合計4つのトラッカーを装着

してもらう。

2. HMD を装着する。

3.2 HMD 装着後

1. HMD には体験者が洞窟のような暗い場所にいる映像が映し出される。
2. 体験が始まると、レールが動き始める。明るい場所=ボール置き場に出ることで、ボウリングのボールのボールの中にいる事を実感してもらう。
3. 体験者は手足を使って内側からボールに回転を与え、ボールを誘導してストライクを目指す
4. ピンに当たり、ボールが運ばれていくと体験は終了となる。

4. システム概要・使用機材

本システムは PC・HMD と両手両足に装着するトラッカーから構成される。体験者は VR 空間で座っており、ボールの内部からボール表面と外の景色が認識できるように映像提示する。ボールは半透明で、ボール表面と外の景色を重畳表示する。体験者は、視覚でボールの回転方向と位置を認識し、ピンに向かって回転するよう手足を動かす。手足の動きは両手両足に装着したトラッカーを通して取得する。視覚情報は HMD を通して提示し、ボールが地面やピンに接触した衝撃は椅子を通してモーターの振動・衝撃を与える事で椅子を通じた触覚提示を行う。Unity 上でのボールの動作に応じてマイコンでモーターの回転数を制御する。また、視覚提示される映像に合わせた聴覚提示も HMD に搭載のスピーカーを通して行う。

4.1 HMD による音声・映像提示

本企画において、体験者への映像提示は HMD を通して行う。映像の作成には Unity を使用する。HMD は VIVE Pro Eye [3]を使用する。

4.2 ベースステーションでのトラッカーの検知

体験者の動作の検知するトラッカーは、Vive Tracker を用いる。体験者には両手両足に合計4つのトラッカーを装着してもらう。Vive Tracker の位置を取得するために、体験スペースの後方から、Vive ベースステーションでトラッキングする。取得したトラッカーの位置は PC の Unity 上で検知し、Unity 内のプログラムでトラッカーの動きから体験者がどの向きにどのような速度で回転をかけようとしているのかを認識し、HMD を通して体験者にボールの回転として視覚提示する。また、手を左右に動かすことで視点の変更を可能にする。

4.3 トラッカー付きリストバンド

体験者には手の位置のトラッキングのため、両手首にトラッカー付きリストバンドを装着してもらう。

4.4 トラッカー・ローラー付きの靴

その場で足でボールを内側から回転させる体験として、ローラー付きの靴でその場を繰り返し走ってもらう。靴のかかと側の少し高い位置にトラッカーを付け、トラッカーの位置のトラッキングを行う。

4.5 椅子

ローラー付き靴を使うため、立ったままでは危険なので、安全性のため、椅子を用いる。

4.6 マイコン(Arduino)・モータ

椅子の座面の裏にモータを設置する。モータはVR空間のボールの回転する速度に応じるフィードバックである。Unityを通し、ボールの速度によってマイコンを使ってモータの回転数を変更する。椅子を通し、振動として体験者はフィードバックを受ける。モータの回転の制御にはマイコン(Arduino)を利用する。

4.7 曲面状の床・壁

湾曲した床と壁を制作し、球面内部の感覚提示を行う。アルミ板で滑り台のような曲面の床を制作し、そこを足場として体験者はローラー付きタイヤでその場で走る動作を行う。

5. 提示する感覚

5.1 回転の視覚提示

ボールを内側から回転させている感覚はHMDを通して、回転と連動した映像提示で実現する。完全にボールの内側だけを表示してしまうと、目指すべきピンの位置がわからないので、半透明にする事で、ボールの内壁と外側の景色を両方見えるようにする。ボールの内側に模様が無い場合、回転を知覚しにくいので、実際のボールに多く見られる迷彩模様をテクスチャとして採用する。これは、HMDの視覚ディスプレイを通した表面の迷彩模様の運動視により、実際にボール内部から回転している様子を感じられると考えるからである。

5.2 投げられた時・ピンに当たった時の衝撃

ボールが投げられた時とピンに当たった時にはボールには衝撃が加わる。このボールに加わる衝撃は椅子を通して衝撃を与えることで再現する。モータによって椅子の座面に振動を与える事で想定された衝撃が得られるかどうかはプロトタイプを制作する過程で確認していく。

5.3 ボールが転がる振動

ボールが転がる振動はモータを使い、椅子の座面を通して触覚提示として与える。また、モータの回転数はボールの回転速度に応じて変化する。変化させた回転が座面を通して体験者に触覚フィードバックとして返ってくる。

5.4 手でボウリングのボールの内壁を触っている感覚

手でボウリングのボールを触っている感覚は実際にボウリングのボールに近い材質を体験者が手を伸ばした位置に設置し、実際に触ってもらって直接提示する。

5.5 手でボウリングのボールの内側の壁を触ってボールを回す感覚

体験者には右手と左手にそれぞれトラッキングデバイスを装着してもらい、右手と左手の動きをトラッキングし、向き・速度をボールに反映することで、手で回した視覚フィードバックが返ってくるようにする。

5.6 足でボウリングのボールの内壁を回転させる感覚

ローラーブレードのようにローラー付きの靴を体験者には履いてもらい、椅子に座った状態でローラー付きの靴で走る事で、その場で走り続ける事が可能となる。また、体験者のローラー付き靴の接地面を球面にする事で、自身がいる場所が球面内部である感覚を提示する。床は曲面のため、足の接地可能な距離と面積は変わらない。また、平面と違い、広い可動域を取ることができる。この時、体験者の足にはトラッキングデバイスを装着しておき、その速度と方向をVR上で表示されるボールに反映し、足でボウリングのボールの内側を走り、その方向に回転をかけている感覚を提示する。また、手でスワイプのような動作をすることで、回転をかける向きを変更することができる。これにより、ボールにかかる回転の向きを変更することが可能となる。

ボールの回転の向きとして、ピッチ・ロール・ヨーの3パターン存在する。ボウリングのボールでは、ピッチは前進・後退、ロールはピンに向かうための横回転、ヨーは進行方向に無関係な回転に対応する。そのため、ボウリングにおいてはヨー方向の回転は不要である。この体験では、視界を回転させ、内側から回転をかける向きを変更可能にしているため、ピッチとロール方向への回転に体験者は影響を与えることができる。

6. 体験を阻害する要因と対策

6.1 手足の長さの違い

手足の長さの違いから、同一の球面では手が届かない可能性がある。そこで、現実とVRに齟齬があったとしてもある程度なら人間は気づきにくい事を活かし、VR上での映像表示によって解決を試みる。手足同じ球面を触るのではなく、手と足が届く位置にそれぞれ「手にとっての球の内壁」、「足にとっての球の内壁」をそれぞれ用意する。この2つの内壁は、現実においては直径の異なる球の内壁である。違和感緩和のために、VR空間では、手を長く、足を短く表示することで、同じ球面を触っているように認識させる。

6.2 安全性について

本企画では「ローラー付き靴で転倒する危険」が考えられる。そこで、本企画では椅子に座り、背もたれにもたれる事で安定性を向上させる。椅子に座る事でバランスを崩すこともなく、ローラー付き靴で立つ必要も無い。そのうえ、回転や足の動きの体験は損なわれないので、体験の質を担保しつつ、安全性を実現できると考える。

7. ベクシヨンの利用

7.1 ベクシオンとは

ベクシオンとは、実際には自分は動いていないのに、自分の体が動いて感じる錯覚である[4]。例えば、対向の電車が進む事で自分の電車は止まっているにも関わらず、自分の電車が進みだしたと錯覚する現象がある。これは

「列車の錯覚」などと呼ばれ、視覚誘発性自己運動知覚の代表例である[5]。ベクションが HMD を利用した場合にも発生することは様々な研究で示されている[4]。

7.2 直線運動と回転運動によるベクションの組み合わせ

ベクションは、直線的な運動を知覚する直線運動感覚 (Linear Vection; LV) と、自身が回転しているような運動を知覚する回転運動感覚 (Circular Vection; CV) に分けられる[6]。古賀ら[7]は直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果について調査を行った。その結果、LV と CV を組み合わせた場合、直線と回転でより強い刺激を示す方のベクションを強く感じ、刺激が弱い方は弱く感じてしまう反比例関係にあるとわかった。しかし、弱い直線刺激の後に強い回転刺激を与えた場合、直線と回転の両方を刺激を与えた時に比べて LV の強度が減少する幅を下げられる事も同時にわかっている。また、この実験では HMD を使わず、ドーム状の半球の内側からプロジェクタを使用して視覚提示を行っている。

7.3 本企画でのベクション

7.3.1 ベクションの対応

古賀ら[7]の研究を参考にすると、本企画でのボウリングのボールの中から見る運動は「ボールの回転運動」と「ボールがピンに向かう直線運動」の二種類に分けられる。ボールの回転運動には CV が、ボールがピンに向かう直線運動には LV がそれぞれのベクションとして対応する。本企画では体験者にボールを内側から回転させてもらい、その回転をボール表面の模様が回転する事で認識してもらおうと考えている。また、このボールの表面の模様はランダムドットのような役割をし、回転の認識を強化すると考える。本企画ではプロジェクタではなく HMD を通して視覚提示を行い、HMD であってもベクション効果が得られる事を期待する。

7.3.2 ベクションの共存による問題と解決策

しかし、ボールがピンに向かう直線運動より回転に注意が向くため、前述の理由より、LV が感じにくいと考える。そこで、回転より先に直線運動の刺激を与える。ボウリングのレーンにはオイルが塗られているため、ボールが進み出してから回転するまで時間がかかる場合がある。性質を活かし、LV の強度が減少する幅を下げる工夫を行う。

ボウリングのボールが投げられてピンに向かうという映像を先に表示し、その後、時間差でボール内部から回転させてもらうようにする。これにより、問題となっていた LV の強度の減少を緩和する事が期待できる。

これは体験の流れで自然に再現できる。体験の流れとしては、体験者が入ったボールが投げられ、そのボールを真ん中に向かうように内側から回転をかける。この時、体験者はボールが向かっている方向を見てからどの方向に回転をかけるか考える。この考える時間こそが前述した時間差となり、結果的に CV の提示前に LV が提示され、強い CV による LV の強度の減少幅を抑えられる。

8. まとめ

本企画では、VR 空間内でボウリングのボールの中に入った体験を提供する。手足を使ってボールを回転させてもらい、視覚・聴覚・触覚刺激をフィードバックとして与える。また、ボールの前進とボールの回転のタイムラグを利用することで、強い回転刺激により発生する回転運動感覚により、直線運動感覚が減少する事を抑えられることを期待する。この体験を通し、体験者が実際に VR 空間内の物体の中から動かしている感覚を実感してもらう事を期待する。

参考文献

- [1] “巨大ボールの中に入って転げ落ちる「雪上人間ボウリング」が楽しそう”。BMBB.JP. 2014-2-13.<http://bmbb.jp/2014/02/humanbowling/>, (参照:2023-05-29)
- [2] “商品紹介 -KAT WALK C2”。KATVRJAPAN. <https://katvr.jp/katwalk-c2.html>, (参照:2023-05-30)
- [3] HTC Corporation, <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/>, (参照:2023-07-20)
- [4] 妹尾武治. “ベクションの多感覚性について—視覚にとどまらないダイナミクス—”. 日本音響学会誌 76.1 (2019): 46-52.
- [5] 北崎充晃, and 佐藤隆夫. “視覚からの自己運動知覚と姿勢制御.” 心理学評論 51.2 (2008): 287-300.
- [6] Fisher, M. H. “Optokinetisch ausgeloste Bewegungswahrnehmung und optokinetischer Nystagmus.” Journal für Psychologie und Neurologie 41 (1930): 273-308.
- [7] 古賀有摩, et al. “直線運動と回転運動が共存する場合のベクション効果.” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 24.1 (2019): 31-41.