

HoverBall: 三次元空間移動が可能なボールを用いた オーグメンテッドスポーツ

新田 慧^{†1,a)} 樋口 啓太^{†1,†2,b)} 田所 祐一^{†3,c)} 暦本 純一^{†1,†4,d)}

概要: スポーツは記録や勝敗を競うだけでなく、健康維持やコミュニケーションといった目的のためにも利用されている。しかし、熟練者と非熟練者でスポーツをする場合、技能や運動能力に差があるため、両者が楽しめないという状況が起こりうる。この問題を解消するために、ハンディキャップを設定するという対応が取られるが、スコアや人数の調整などの範囲に留まってしまう。もし、運動能力や技能に直接ハンディキャップを導入する事が出来れば、誰もがスポーツを楽しみながら取り組めるようになるかもしれない。本研究ではボールに自律移動能力を付加したボール型デバイス HoverBall を提案する。HoverBall は内蔵した UAV (Unmanned Aerial Vehicle) とモーションキャプチャシステムによる空間位置計測により、ボールの軌道と球威を動的に制御することができる。そのため、HoverBall を使ったスポーツでは、競技中にプレイヤーの技能差を埋めることが可能となる。

HoverBall: Augmented Sports with a Flying Ball

KEI NITTA^{†1,a)} KEITA HIGUCHI^{†1,†2,b)} YUICHI TADOKORO^{†3,c)} JUN REKIMOTO^{†1,†4,d)}

Abstract: “HoverBall” is a ball-shaped device which realizes tuning sports abilities in order to overcome skill gaps between players. Sports have been changed by innovations of technologies. Professional players are improving their skills using up-dated tools, clothing, and training methods. Its innovations can also help enjoying sports as leisure for communication or health promotion. Novel sports with augmented fields, tools or players are called “Augmented Sports.” In this paper, we use information and robotic technologies to tune the sports abilities of expert and non-expert players to fill gaps in their skills. We develop a self-actuated ball which flies via a ball-shaped quadcopter. The ball can change speed and trajectory depending on a player’s skill. This paper explains a design concept and implementation of HoverBall, and discusses the user experience and future research directions.

1. はじめに

スポーツの分野ではより良い性能をもつ用具やウェアを開発するため、先端技術が積極的に導入されてきた。情報

処理技術や電子機器も、フェンシングの電子判定や、サッカーやテニスで使用されているビデオ判定システムなど、競技の判定の補助に使われている。またトレーニングの分野では Nike 社の Nike+^[11] のような小型のウェアラブルデバイスによって、プレイ中の運動データの取得とその可視化を実現している。しかしこれらは判定やトレーニングなどへの導入に留まっており、スポーツ自体に直接的な影響が発生しないように注意が払われていた。

一方で 1990 年代の終わりから、スポーツにおける楽しさを向上させるため、スポーツ用具やフィールドの高度化による既存のスポーツそのものの拡張を目指した研究が実施されるようになってきた。スポーツそのものの拡張とは、

^{†1} 現在, 東京大学
Presently with The University of Tokyo
^{†2} 現在, 日本学術振興会
Presently with Japan Society for the Promotion of Science
^{†3} 現在, 東京工業大学
Presently with Tokyo Institute of Technology
^{†4} 現在, ソニーコンピュータサイエンス研究所
Presently with Sony Computer Science Laboratories
a) keinita74@gmail.com
b) khiguchi@acm.org
c) tadokoro@sc.ctrl.titech.ac.jp
d) rekimoto@acm.org

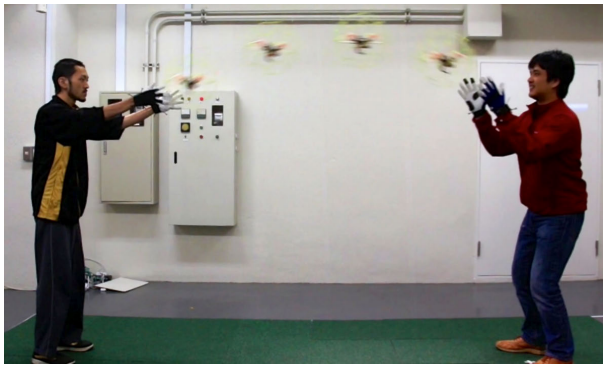


図 1 HoverBall をもちいたボールのパス

電子機器や情報処理技術によりフィールドやプレイヤー、スポーツ用具に新たな機能を追加することで、ゲーム性の向上や遠隔地同士での競技を実現することである。例えば、従来の卓球はボールを打ち合う行為そのものを楽しむスポーツだったが、石井らの pingpongplus では、テーブル上でボールがバウンドした場所に映像効果を発生させる、音響効果を発生させるなどといった効果により、エンタテインメント性の高い卓球を実現している [1]。また、Mueller らは遠隔地にいる複数プレイヤー同士のスポーツを通じたコミュニケーションを可能にするために、スクリーンに実際のボールを当てて行うネットワーク同時対戦ゲームを開発した [2]。このように情報技術とスポーツ競技の融合によってより多くのプレイヤーがスポーツを楽しめるようにすることを、本研究ではオーグメンテッドスポーツと呼ぶ。

本研究ではスポーツの中でも特に種類が豊富な球技に着目し、運動能力や技能を動的に調整することで、誰もが楽しめるスポーツの実現を目指す。そのために、HoverBall という三次元自律移動能力を付加したボールを開発した。ボールに内蔵されたクアドコプターという UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の飛行により、ボールの球威や軌道の制御ができる。HoverBall を使う事で、プレイヤー間のスキル差の調整や、ボールとの新たなインタラクションを活用したスポーツのデザインが可能となる (図 1)。

本論文では最初に、オーグメンテッドスポーツによる既存スポーツの拡張や新たな球技などの関連研究を示し、本研究の位置づけを明確にする。次に、HoverBall の設計方針と、どのようにプレイヤー間の技能差を埋めるのかを論じる。また、プロトタイプシステムの実装と、それを利用した実験について報告をする。最後に、実装や実験から得られた知見を基にして、HoverBall の改善点や今後の展望を議論する。

2. 関連研究

2.1 既存のスポーツの拡張に関する研究

本節ではデジタル技術により、既存のスポーツ競技を拡張することを目的とした関連研究を述べる。野嶋らは、

球技においてチームメンバーに異なる役割を与えることで、TV ゲームの要素を応用してルールを複雑化し競技の難易度調整とエンタテインメント性の向上を図った [12]。この研究で提案されているドッジボールは TV ゲームでよく見られるヒットポイント制を採用しており、プレイヤーにも攻撃特化や防御特化、ダメージの回復役などの異なる特性を付与している。このようにプレイヤーの役割を分散し戦略に幅を持たせることで、各プレイヤーの役割を明確化し、競技のレベル調整を行っている。Mueller らの開発した Jogging over distance はマイクと立体音響を使うことで遠隔地のランナーとコミュニケーションをとりながらランニングをすることができる [14]。このシステムを使うことによってユーザはジョギング中のモチベーション維持やペース管理をすることで、トレーニングの質を高めることが出来る。また、Baudisch らの開発した Imaginary Reality gaming では実際のボールを使わずに、ボールの保持者、ゴール判定、ライン判定を音声でフィードバックすることでバスケットボールのようなゲームを行っている [3]。実際のボールを使わないことで、物理的制約に縛られない TV ゲームのように競技のルールを設定できる。

2.2 デジタル技術を利用した新しい球技に関する研究

スポーツにはきわめて多くの種類があるが、特にボールを使ったスポーツは種類も多く、多数の人々に親しまれている。このような理由から、オーグメンテッドスポーツの分野では、スポーツのフィールドや、ボールの高機能化に着目した研究が多数出現している。菅野らの開発した Shootball [4] は、電子機器を用いることで既存のスポーツと異なるスポーツを提案した。Shootball は 4 つのスクリーンで囲まれたフィールドで行うハンドボールのような対戦型の球技である。専用のフィールドには、スクリーンに映像を投影する為のプロジェクタ、ゴールを検出する為のカメラ、サウンドエフェクトを流すためのスピーカがあり、無線モジュール及び衝撃センサを内蔵したボールを用いることでゴールの場所を入れ替えるなどボールとフィールドとの間でインタラクションを行うことが可能である。また、出田らの Bouncing Star [5] ではボールの中に加速度センサや赤外線、可視光の LED が内蔵されており、ボールに加えられた衝撃によってボールの光り方が変化する。同時に外部カメラによってボール内部の赤外線 LED を認識することでその位置も把握することが出来るため、ボールがフィールドにぶつかった瞬間にボールと周りの色を変えろといった、フィールドも含めた映像効果を実現することが出来る。

2.3 関連研究における本研究の位置づけ

従来のオーグメンテッドスポーツに関する研究は、競技に映像や音を追加して拡張を行っているものが多く、ス

スポーツ用具の物理的な挙動を拡張したものは少なかった。また、スポーツのプレイヤー同士の熟練度の隔たりにおける問題においても言及されていない。ボールの機能を拡張するという面においてもある特定の競技に焦点を合わせているため、ボールスポーツ全体に適用可能な汎用性を持ち合わせていない。本研究はスポーツの重要な要素である物理的な機能に対して働きかけ、様々なボールスポーツにおいて研究成果が応用できるという点で重要であると考えられる。

3. HoverBall の設計方針

スポーツは熟練者同士による競争を目的とするだけでなく、健康維持やコミュニケーション手段などの目的としても広く行われている。そのような目的を達成するためにはスポーツを継続して続けていかなければならないが、そのモチベーションを維持するために競技自体を楽しむことが重要であると考えられる。Csikszentmihalyi は自身が提案したフロー理論において、スポーツにおける楽しさはプレイヤー自身のスキルと課題の難易度のバランスがとれているときに感じると主張している [13]。現実におけるスポーツ、特に球技では互いに同じスキルレベルを有しているプレイヤー同士の競技を行える機会が少ないことや、そもそも初心者にとっては、その競技を楽しむまでに必要なスキルの習得が困難な競技が存在する。これがスポーツを楽しむながら継続することを難しくし、目的を達成できない人々が生まれてしまう原因であると考えられる。Hoverball では、これら熟練度の低いプレイヤーに対して、高度なスキルレベルを与えることによって、プレイヤーの競技スキルに関係なく平等に競技を楽しむことを実現する。

3.1 Imaginary Dynamics

SF やファンタジーで描写されるスポーツ・トレーニングでは、度々空中を浮遊するボールが登場する。例えば J.K. Rowling の小説 Harry Potter では、空飛ぶボールを複数のプレイヤーが追いかける架空のスポーツが登場する。本研究ではボールに三次元空間を自由移動が可能なアクチュエータを搭載することで、プログラム可能な仮想的な力学系 (Imaginary Dynamics) をスポーツに取り入れることが出来る。Imaginary Dynamics では、投げる、打つ、蹴る、転がすなどボールに対する従来のインタラクションに加えて、空中で静止する (Anti-Gravity)、投げたボールがプレイヤーに帰ってくる (Boomerang)、地面に落ちること無く水平移動する (Gliding) など、アクチュエータを持たないボールでは実現不可能な動きが可能となる (図 2)。

空中で移動可能なアクチュエータを持ったボールの研究として、太田らが開発した TAMA が挙げられる。TAMA はボール内部にガス噴射アクチュエータ、加速度センサ、ジャイロセンサ、無線モジュールを搭載している。搭載し

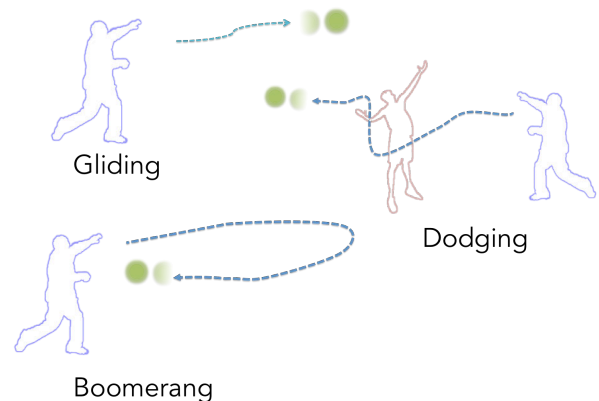


図 2 Imaginary Dynamics のコンセプト

たセンサでボールの姿勢を認識し、ガスの噴射機構の制御をすることで、投擲したボールの軌道の動的に変化させている [7]。これにより、野球の変化球のようなボールを誰でも投げることが出来る。しかし、TAMA ではプレイヤーとの距離に応じたアクチュエータ制御が出来ない。さらに、ガスアクチュエータの出力やガスタンク容量の問題があるため、軌道を曲げる以上の制御は難しい。

一方、HoverBall ではアクチュエータとしてクアッドコプターと呼ばれる UAV を採用すると共に、モーションキャプチャシステムによりボールとプレイヤーの三次元位置計測を行っている。これによりボールとプレイヤーの距離に応じたボールの軌道制御や、従来では不可能なボールの軌道の設計ができる。

3.2 プレイヤー間のスキルギャップの解消

3.1 節で述べた Imaginary Dynamics を球技のパスという動作に取り入れ実現したのが Shepherd Pass である。従来のボールを相手に投げる場合は (a) 相手の距離を見極める、(b) ボールをコントロールする、(c) 相手プレイヤーまでボールが届くまでの時間にどのようにプレイヤーが移動するのかを予測する、(d) 山なりにゆっくりと届くようにするのか直線的に早いボールで届けるのか軌道と球威を決定するという 4 つのプロセスを経る (図 3)。

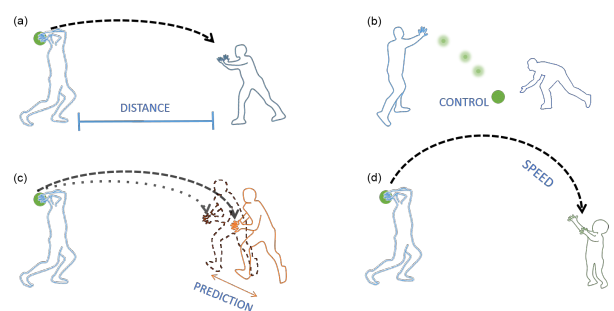


図 3 ボールパスに要求される技能

HoverBall により実現した Shepherd Pass では、このプロセスを簡略化またはサポートする。図 4 のように、ボールがパスの出し手の手を離れたあとに自動で相手プレイヤーの動きを追跡したり (図 4(A)), 相手がとりやすいスピードに減速したり (図 4(B)) することができる。また、受け手がボールを受け取りたい位置にボールを誘導することが可能になる。

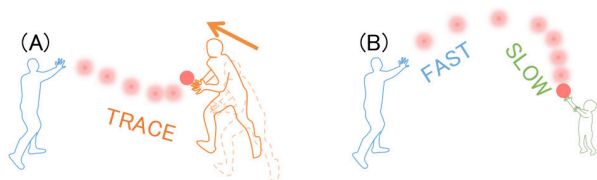


図 4 Shepherd Pass のコンセプト

4. HoverBall の実装

我々は HoverBall のプロトタイプとして、格子状の外装を持ったボール型のクアッドコプターと、それを飛行させる為のモーションキャプチャシステムを利用した制御システムの開発した (図 5)。本システムではモーションキャプチャシステムを使った外部からの位置計測による UAV の飛行制御と内部に搭載された慣性センサによる姿勢制御の二つを併用している。モーションキャプチャシステムを使って UAV を制御する手法は The Flying Machine Arena project [8] でも採用されており、高速で精密な計測が可能であるという特徴がある。また、本システムでは再帰性反射材マーカータがついたグローブを手に装着することによってプレイヤーの位置も同時に計測しているため、プレイヤーとボール、相手プレイヤーの位置関係やプレイヤーの向き、予め決められたゲームのルールに従って GameManager がクアッドコプターをどのような速度、軌道で飛行させるかを決定できる。

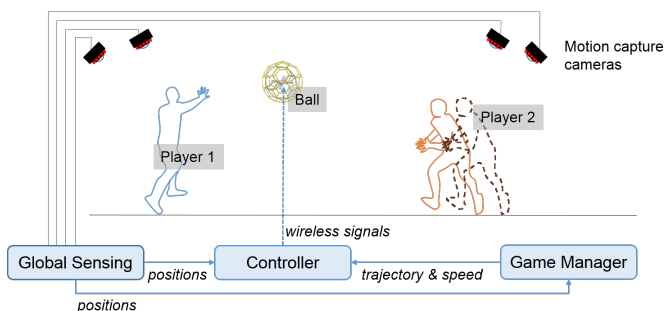


図 5 HoverBall の実験環境とシステムデータフロー

4.1 スポーツフィールド

実験に用いた環境では $5\text{m} \times 5\text{m}$ のフィールドの周りに 8 個のモーションキャプチャカメラ (Optitrack S250e) が設置されている。このカメラはプレイヤーの手や HoverBall についている再帰性反射材マーカークの三次元位置を 120fps, 1mm の解像度で計測することが出来る。

システムはすべてのマーカークの位置情報と ID を取得する事が出来る。システムは事前にどの ID がどのプレイヤーのそれぞれの手に割り振られているかを記録している。

4.2 ハードウェアの実装

設計した機体はプレイヤーに投擲される際にかかる回転の影響を最小限にするため、機体は切頂二十面体の外装とジンバル機構を有したジョイント部、そして飛行アクチュエータとしてのクアッドコプターで構成されている。この構成は Briod らの開発した三軸ジンバルを有した球状 UAV を参考とした [9]。この UAV は瓦礫の多い廃墟などでの探索を目的として開発されたもので、障害物にぶつかった時の衝撃によって UAV が墜落しないよう、衝撃を受け流す為の球状の外装に 3 軸のジンバル構造を採用している。Briod らの機体では飛行アクチュエータに 2 重反転プロペラをもつマルチロータを使用していたが、我々の機体ではより機動力と安定性を向上させるため、プロペラが 4 つあるクアッドコプターを採用した。本来はピッチ、ロール、ヨーに対応する 3 軸以上が理想だが、プロトタイプのジンバル機構は、機体のペイロードとの兼ね合いで内部のクアッドコプターにおけるピッチ軸のみの実装とした。

図 6 にクアッドコプターの構成を示す。このクアッドコプターは 4 つのブラシレスモータと ESC (Electronic Speed Control), 通信モジュール, フライトコントローラ, バッテリーからなっており、各パーツは 3D プリンタで出力された ABS 樹脂のフレームに取り付けられている。

バッテリーを含めたクアッドコプター単体の重量は 125g で、搭載されているフライトコントローラはプロセッサに STM32F103CB を搭載した OpenPilot 社の CC3D [10] を使用している。このフライトコントローラには三軸加速度センサと三軸のジャイロセンサが搭載されており、これらを用いて姿勢制御を行っている。外装は長さ 57mm, 直径 2mm の 102 本のカーボンロッドと 62 個の 3D プリンタで作成された樹脂パーツによって組み立てられており、この切頂二十面体の外接球の直径は約 280mm, 全体の重量は 174g である。

ボールと制御システムとの通信は ErSky 社のラジコン用 2.4GHz 送受信機 (受信: D6FR-II, 送信: DFT) を介して行っている。この送受信機はデジタルプロポーショナル式で送受信を行うラジオコントロールを使った通信モジュールにより、制御信号を PWM (Pulse Width Modulation) 形式で通信している。送信モジュールを Arduino という開発

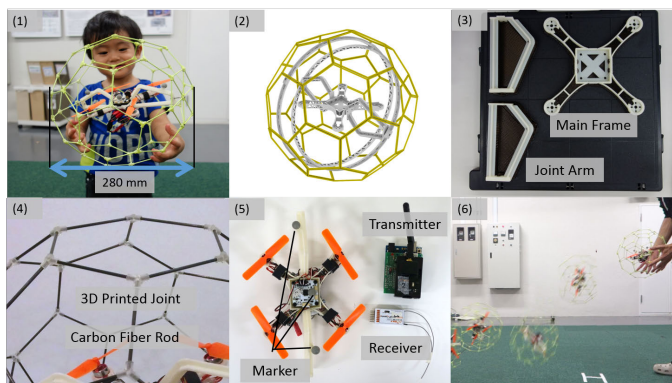


図 6 実装した HoverBall : (1)HoverBall の外観 (2) 3 軸ジンバルを有する HoverBall の図案 (3)3D プリンタで出力したフレーム (4) 外装を構成するジョイントパーツとカーボンロッド (5) 実装したクアッドコプターと送受信モジュール (6)HoverBall を地面に弾ませた様子

ボードに取り付けることで、クアッドコプター側で解析できる形で信号を生成・発信することが可能になる。送信する信号の種類はピッチ、ロール、ヨー、スラストの 4 種類でそれぞれ機体の前後、左右、垂直方向を軸とした回転、垂直方向の移動と対応している。

4.3 UAV の制御手法

HoverBall の飛行を制御するために、PID(Proportional-Integral-Derivative) 制御理論を用いたフィードバック制御を行うプログラムを実装した。

クアッドコプターの飛行速度は機体のピッチ、ロール角の傾きによって決定される。HoverBall ではこの角度の最大値を調節することで球威の調節を行う。例えば小さな子供に向かって飛んで行くときは最大角度を小さくすることで緩やかに飛んで行き、大人に向かって飛んで行くときは最大角度を大きくすることで勢よく飛んで行くように設定できる。この設定はモーションキャプチャシステムによる位置情報をもとにプレイヤー全員に個別の ID を割り振ることができるため、予め決めたゲームの難易度によって速度を調整する。

また飛行経路に関しては、制御の開始点である投擲するプレイヤーから、目標点となる受取手のプレイヤーの位置までを直線で結んだ最短経路を複数ステップに分割して行っている。目標点となる位置は、プレイヤーの両手につけられたマーカーの中心位置としている。目標点と開始点を比較した PID 制御では、目標地点までの距離に応じて速度が変化し、目標点と開始点が離れるほど加速してしまうため意図した速度で HoverBall を制御できない問題が生じる。そこで本研究では飛行経路を分割し各ステップごとにボールの現在地点と目標地点の距離を計算して細かく制御を行うことで、単純な PID 制御と比べより本来のボールに近い挙動で飛行することが可能になる。現在のプログラム

では、受取手のプレイヤーの両手の中間を目標点とし、投擲するプレイヤーの手から離れた瞬間に HoverBall を設定された速度で飛行を開始する。

5. 実験

実装した HoverBall を使用して Shepherd Pass を何人かの被験者に体験してもらい、質問とインタビューをした。実験に参加した被験者は 22~30 歳の男性 5 人である。ボールの投擲方法はチェストパスのように胸元から押し出す方法に限定して行った。

まず最初に実験 (A) として、3 人のプレイヤーにバスケットボールを使って何度かキャッチボールを行ってもらい、その後プレイヤーに向かって誘導されるよう設定した HoverBall を使って同様にキャッチボールをしてもらった。受取手となるプレイヤーの順番は、実験前に事前定義した。この実験では、あるプレイヤーに向かってボールを投げたときに、途中で進路を変更し違うプレイヤーにボールが向かって行くというアプリケーションも同時に体験してもらった。図 7 はそのときの様子で、飛行データ（青線）である。飛行データには、プレイヤー A から投げられたボールがプレイヤー C の前でカーブし、プレイヤー B に向かっている様子が示されている。

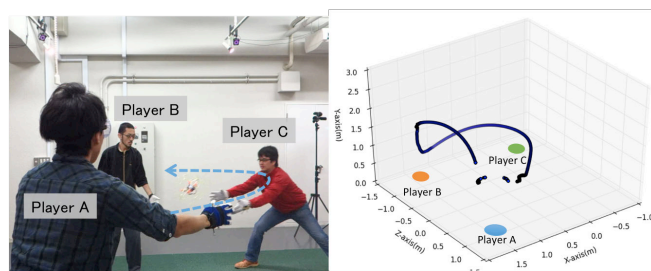


図 7 実験 (A) の様子と飛行データ

続いて実験 (B) として、一人のプレイヤーに歩いてフィールド内を歩いて移動してもらい、もう一人のプレイヤーが投げた HoverBall が相手プレイヤーの位置まで誘導されるかを確認した。図 8 は実験 (B) の様子で、そのときの飛行データである。飛行データはプレイヤー E の移動に伴い、ボールの軌道が変化していることを示している。

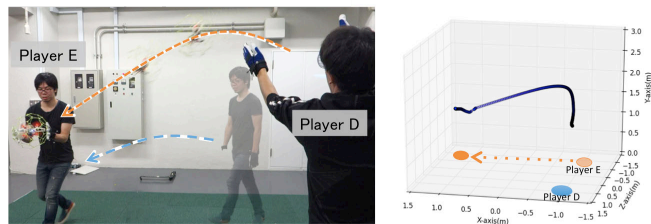


図 8 実験 (B) の様子と飛行データ

実験後に (i) ボールを上手くキャッチすることが出来たか？ (ii) ボールを投げたあとに誘導することが出来たか？という2つの問いに答えてもらった。まず (i) については、すべての被験者から通常のボールと比べて、体の手前で減速するため受け取り易かったという意見が出た。(ii) については立ち止まっているときは誘導されたが、移動しているときはキャッチするために多少手を伸ばす必要があったとの回答を得た。全体の感想としては、5人すべての被験者がボール型デバイスの扱い方に対して大きな問題が無いとした上で、HoverBall を使った新しいスポーツ体験を楽しめたと回答した。しかし、現在の構造では強い力に耐えられないため、力をセーブせざるをえないという問題点もでた。

また、幼児(2歳半、男性)を対象に、周囲に HoverBall を浮遊させた際にどのような印象を受けるか行動観察を行った(図9)。子供は数秒感ボールの様子を観察した後、空中の HoverBall をジャンプをして触ろうとしたり、HoverBall を手招きして呼ぼうとしたり、蹴ったりするなどの行動が見られた(図9)。HoverBall に対して「キャッチ」や「キック」という動作が自然に誘発されたことから、この幼児は HoverBall をボールとして捉えていると見られるような行動が観察された。

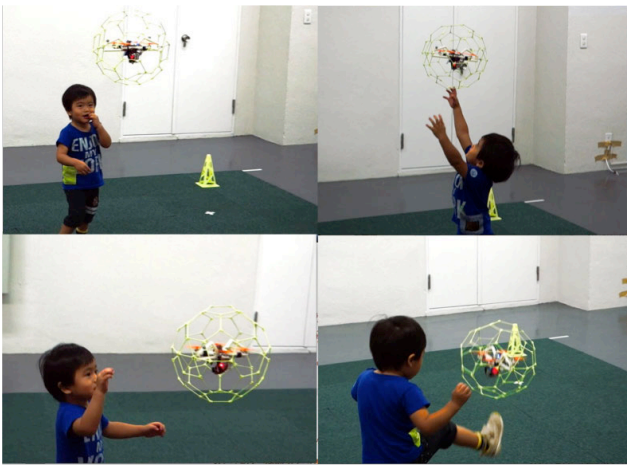


図9 幼児を対象とした実験の様子

6. 議論

これまでの実験により、HoverBall による軌道制御が実現できたことと、被験者が問題なく Shepherd Pass を利用できたことが確認をした。しかし、実装に対する問題点も見つかった。現在の構造では、スポーツで生じる強い力に耐えられないため、投擲の際に力をセーブせざるをえないという問題点があった。また、子供の保護者からは手がプロペラに巻き込まれたり、プロペラの回転音が大きいため子供の年齢によっては音に恐怖心を抱いたりしてしまうかもしれないという懸念事項も寄せられた。

6.1 ボールの改善点

現在 HoverBall で行っているフィードバック制御では、スポーツのような激しい運動中においてボールの姿勢制御が間に合わないような場合も想定される。そのため、モデルベース理論などを利用したフィードフォワード制御を併用する必要があると考えられる [8]。機体の動きを数学モデルに置き換え、実行に移す前にシミュレーションを行うことで学習させることで、高速な姿勢制御が可能になる。

また、ハードウェアに関しても何点かの改善すべき点がある。機体の外装については、現在の構成では可搬重量の制約から、外装とクアッドコプターの接続部のジンバル構造が1軸のみとなっている。しかし、人間が投げたときにかかるボールの回転や床、壁などへの衝突時の衝撃を考慮すると3軸以上のジンバルの実装が必要である。プロペラの回転音に関しては、現在の二枚羽のプロペラから三枚羽のものに変えることで、可搬重量を維持しつつ回転数を下げることが出来るため改善が見込める。また指が外装内部に入り込みプロペラと接触することによる怪我を防ぐ為に、外装をメッシュで覆う必要もある。これに関しては5mm×5mm ほどのメッシュを覆って飛行可能なことは確認できた。

6.2 今後の展望

実験では、静止または移動するプレイヤーに向かってボールが飛行するように、軌道と速度が制御可能であることを示した。今後は HoverBall を実際のスポーツの中でどう活用していくのかに着目し、研究を進める必要がある。

Mueller らはスポーツ環境を構成する情報のフレームワークとして、プレイヤーの身体からの距離に応じて図10のような4つの領域を提唱している [6]。一番内側の The Responding Body は体内の心拍、体温といった生理情報の領域で、その外側の The Moving Body が身体を動かす為の筋肉を動かす領域である。そして身体から離れた所にボールや他のプレイヤーの位置などのプレイヤーを取り巻く環境を認識するための The Sensing Body という領域があり、一番外側の The Relating Body はスポーツ中継を始めとするスポーツを取り巻くメディアに関する領域となっている。

HoverBall は3.1節で説明した Imaginary Dynamics により、この力学が作用する The Affecting Body という領域を創り出すことができる。The Affecting Body はプレイヤーの The Moving Body と The Sensing Body の間に位置する。これにより、触る事なくボールの軌道を変更したり、速度を制御したりできる。これをスポーツの中に取り入れるためには、ボールに到達点を指示するなどのインタラクション手法が必要となる。この領域におけるボールの挙動をデザインするために、プレイヤーとボール間のインタラクションに関しても取り組んで行きたい。

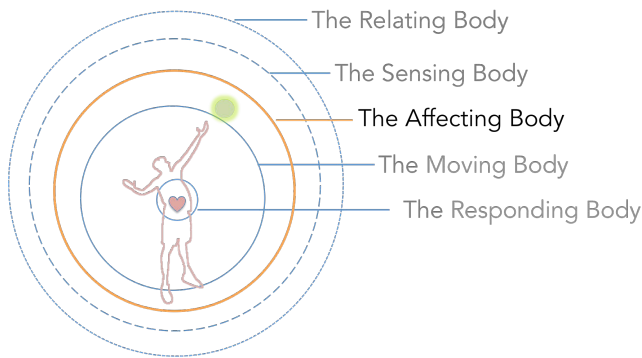


図 10 スポーツ環境を構成する情報のフレームワーク：本研究では、ボールに触れずに制御できる The Affecting Body の領域を作り出すことができる

7. 結論

HoverBall はボール状の外装にクアッドコプターを内蔵したボールである。ボールが三次元空間内を自由に移動できるようにすることで、ボールスポーツにおけるプレイヤーの能力を拡張することができる。ボールとプレイヤーの位置はフィールドに設置した複数のモーションキャプチャーシステムによって三次元的に計測されており、この位置情報とゲームのルールに基づいてボールの軌道や球威を制御できる。これによってプレイヤーが投げたボールを目標位置まで誘導したり、シニアプレイヤーや幼児など肉体的なハンディキャップがあるプレイヤーにはボールがゆっくり向かっていくよう予めプログラムできる。これにより、新たなボールゲームの創出や誰もが対等に楽しむことのできるスポーツが設計できる。

本論文では HoverBall のプロトタイプを開発すると共に Shepherd Pass というボールのパスに焦点を当てたアプリケーションの実装とその実験を行った。実験の結果、ボールの球威や軌道を制御できることが実証できたが、スポーツのように激しい動きに対応するためには制御手法や機体の耐久性の改善が必要であることが分かった。今後は、実際のスポーツのなかで HoverBall を取り入れられるようにするための、インタラクションデザインについても取り組みたい。

謝辞

本論文を執筆するにあたり、東京大学暦本研究室の皆様とインタラクション 2015 の査読者の方々より多くのご助言を頂きました。この場を借りて感謝の意を表させていただきます。

参考文献

[1] Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B., Paradiso, J. PingPongPlus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play. Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing

Systems (1999), 394–401.

[2] Mueller, F., Gibbs M. Evaluating a distributed physical leisure game for three players. Proceedings of the 19th Australasian conference on Computer-Human Interaction: Entertaining User Interfaces (2007), 143–150.

[3] Baudisch, P., Henning, P., Reinicke, S., Wittmers, E., Lhne, P., Knaust, M., Khler, S., Schmidt, P. and Holz., Imaginary reality gaming: ball games without a ball. Proceeding UIST '13 Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology(2013), 405–410.

[4] Sugano, Y., Mochizuki, Y., Usui, T., Okude, N. Shoot-ball: the ball sport using dynamic goals. Proceedings of the international conference on Advances in computer entertainment technology (2007), 262–263.

[5] Izuta, O., Sato, T., Kodama, S., Koike, H. Bouncing Star project: design and development of augmented sports application using a ball including electronic and wireless modules. Proceedings of the 1st Augmented Human International Conference (2010), Article No.22.

[6] Mueller, F., Edge, D., Vetere, F., Gibbs, M., Agamanolis, S., Bongers, B., Sheridan, J. Designing Sports: A Framework for Exertion Games. CHI '11 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems(2011), 2651–2660.

[7] Tomoya Ohta, Shumpei Yamakawa, Takashi Ichikawa, and Takuya Nojima. 2014. TAMA: development of trajectory changeable ball for future entertainment. In Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference (2014), Article 50:1–8.

[8] Lupashin, S., Hehn, M., Mueller, M. W., Schoellig, A. P., Sherback, M., and D'Andrea, R. A platform for aerial robotics research and demonstration: The flying machine arena. Mechatronics Volume 24(2014), 41–54.

[9] Briod, A., Kornatowski, P., Zufferey, J.-C., and Floreano, D. A collision-resilient flying robot. Journal of Field Robotics 31, 4 (2014), 496–509.

[10] OpenPilot “<http://www.openpilot.org/>” (Accessed 10/1/2014)

[11] Nike+ “<https://secure-nikeplus.nike.com/plus>” (Accessed 10/1/2014)

[12] 野嶋琢也, 小池英樹, 佐藤俊樹, ノックホンハフーング, 太田智也, 甲斐貴大. デジタルスポーツの提案. 情報処理学会研究報告. EC, エンタテインメントコンピューティング (2013), 1–6.

[13] M.Csikszentmihalyi(著), 今村 浩明(訳). 楽しみの社会学, 新思索社,2000.

[14] Mueller, F., O'Brien, S., Thorogood, A. Jogging over a Distance: Supporting a "Jogging Together" Experience Although Being Apart. CHI EA '07(2007), 2579–2584