

SomaticBall: 「ボールが体に吸い付く感覚」を提示するボール型デバイスの提案

道貝 駿斗^{1,a)} 沖 真帆^{1,b)} 塚田 浩二^{1,c)}

概要: 情報技術によってスポーツ体験を拡張する Augmented Sports の研究が注目されている。Augmented Sports では、スポーツプレイヤーの身体/道具/フィールドなどに、センサ/アクチュエータ/コンピュータなどを搭載することでスポーツの様々な要素を拡張し、スポーツ体験を豊かにすることを目指している。本研究では、多くのスポーツで使用される「ボール」に着目し、スポーツ体験を拡張する。具体的には、ボールと身体のインタラクションを制御することで、多くのボールスポーツで比喩表現として使用される「ボールが身体に吸い付く感覚」を提示するインタラクティブシステム「SomaticBall」を提案する。今回作製したプロトタイプでは、ボールの動作を制御する手段として磁力の利用を検討し、電磁石を組み込んだウェアブルデバイスと、磁力に反応する磁性体ボールから成るシステム構成とした。

SomaticBall: Ball-Type Device Presenting “Sticking Feeling”

DOGAI HAYATO^{1,a)} OKI MAHO^{1,b)} TSUKADA KOJI^{1,c)}

Abstract: Many research projects on Augmented Sports have been proposed, which try to extend sport experiences using computer technologies. We focus on interaction with “balls”, which are used in various sports. In this paper, we propose a ball-type device, “SomaticBall”, which can present feelings as if a ball is sticking to the body.

1. 背景

近年、人間の身体的な能力をセンサ/アクチュエータ/コンピュータを駆使して拡張する「Augmented Human」の研究が盛んに行われている。その中でも特に、人間の身体的な能力が最大限に発揮される「スポーツ」を拡張する「Augmented Sports」の研究が注目されてきている [1]。スポーツを分析するスポーツ科学の研究は長い歴史を持つが、Augmented Sports はスポーツ体験を拡張する新しい研究分野である。

Augmented Sports では、スポーツプレイヤーの身体/道具/フィールドなどに、センサ/アクチュエータ/コン

ピュータを搭載することで、プレイヤーや観客の体験を豊かにすることを目指している。例えば、ドッジボールに情報技術を組み込んで、テレビゲームなどでよく使用される「ヒットポイント」という概念を実現させ、プレイヤー同士の身体的能力差を解消した Augmented Dodgeball[3] や、卓球と情報技術を組み合わせて卓球台にプロジェクションマッピングを投影し、卓球のエンターテインメント性を向上させた PingPongPlus[4] などが Augmented Sports の例として挙げられる。

本稿では、多くのスポーツで使用される「ボール」に着目し、ボールと人間の身体とのインタラクションを拡張することで、新しいスポーツ体験の実現を目指す。具体的には、ボールを扱うスポーツにおいて比喩表現として使用される「ボールが身体に吸い付く感覚」(図 1) を提示するインタラクティブシステム「SomaticBall」を提案する。プレイヤーの身体の一部に磁力を発生させる装置を装着し、ボールと身体の間をインタラクティブに制御することで、新

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate, 2-116, Kamedanakano, Hakodate, Hokkaido, 041-8655, Japan

a) g2116029@fun.ac.jp

b) okimaho@acm.org

c) tsuka@acm.org



図 1 ボールが身体に吸い付く感覚のイメージ図。

しいインタラクションの実現を目指す。

2. 関連研究

本章では、本研究に関連する研究事例について「Augmented Sports」「ボールの拡張」「電磁石を用いたインタラクション」という領域から紹介する。

2.1 Augmented Sports

Augmented Sports とは、情報技術を駆使してスポーツ体験を拡張する研究分野である。Augmented Dodgeball[3] は、プレイヤーの体力を提示する「ヒットポイント」という概念を導入することで、プレイヤー間の身体的な能力差を解消したドッジボールシステムである。PingPongPlus[4] は、卓球台にボールが当たった瞬間のボールの位置に合わせて、映像を投影することで、卓球のエンターテイン性を向上させた。Designable Sports Field[5] は、個人の身体能力に適した運動が行える新しいスポーツシステムである。このシステムは、「プレイヤー」と「デザイナー」から成る二人一組で使用する。プレイヤーはスクリーン上のバーチャルフィールドで、アイテムをタッチすることで運動し、デザイナーが、プレイヤーが適切な心拍数を維持できるように運動を行えるように画面上にアイテムを配置する。

本研究では、「ボールが身体に吸い付く感覚」を提示することで、ボールと人間の身体とのインタラクションを拡張した、新しいスポーツ体験の実現を目指す。

2.2 ボールの拡張

本研究では、「ボールが身体に吸い付く感覚の実現」を目指しており、そのためにはボールの動きを拡張/制御する必要がある。ここでは、ボールの拡張を行った研究事例について紹介する。Bouncing Star[7] は、ボールの内部にフルカラー LED やセンサなどを搭載したボール型デバイスである。フルカラー LED の搭載によってボール自体が発光し、また、加速度センサなどと連動して LED の発光パターンを制御することが可能である。しかし Bouncing Star では、ボール自体の動きの拡張は行われなかった。HoverBall[8] は、プレイヤーに合わせて空中での動きを動的に制御することが可能なボールである。球状の筐体の中

心にドローンを内蔵し、プレイヤーのハンドエスチャなどの情報を取得することで、ボールの軌道や速度などを変化させることが可能である。しかし、ドローンの積載重量の問題から、ボールの機構が骨組みのみであり、通常の球技のようにボールに直接力を加えることができなかった。TAMA[9] は、内部に圧縮空気噴射機を内蔵した、空中での軌道の変化が可能なインタラクティブボールである。しかし、ボールに内蔵された圧縮空気噴射機の機能は一度しか使えないため、連続して使用することができなかった。

これらの関連研究では、ボール自体にアクチュエータが組み込まれており、ボールとしての機能が拡張された一方で、「投げる」「蹴る」「続けて使用する」などの従来のボールのように扱うことが難しかった、本研究では、従来のボールの性質を維持したまま、ボールの機能を拡張することを目指している。

2.3 電磁石を用いたインタラクション

本研究では、磁力を利用して、ボールの動きを制御することを目標としている。ここでは、電磁石を利用したインタラクションに関する研究事例を紹介する。ZeroN [10] は、磁気浮上装置をプログラムによって制御することで、三次元空間上での球体の動きの制御が可能となったインタラクティブシステムである。FluxPaper[11] は、通常の紙素材の裏面に薄く磁性パウダーを塗布することで、磁力を用いて壁面上を移動させることができるシステムである。

これらの関連研究では、電磁石をアクチュエータとして、三次元空間上及び壁面での物体の動作を制御している。本研究では、「ボールが身体に吸い付くような動き」を実現するために、磁性体を組み込んだボールの動きを、電磁石によって制御する。

3. SomaticBall

本章では、「SomaticBall のコンセプト」「ボールの動作制御手法の検討」「SomaticBall のシステム構成」について述べる。

3.1 コンセプト

SomaticBall のコンセプトは、以下の 2 点である。

- (1) 「身体に吸い付くような」ボールの動きの制御
- (2) 身体的負担の少ないウェアラブルデバイス

(1) は、SomaticBall の大目標である「ボールが身体に吸い付く感覚の実現」を達成するために、ボールの動きを制御するという点である。ボールと身体の間引力や斥力を発生させ、ボールの動きを制御することで、ボールを身体の方へ引き寄せることや、身体から引き離すことが可能となり、「ボールが身体に吸い付く感覚」が実現できると考えられる。(2) は、スポーツ中のプレイヤーの動きに影響を及ぼさないよう、ウェアラブルデバイスにすること

で、身体への負担が少なくなるよう配慮する。本提案では、SomaticBallの形状として、様々なスポーツに応用できるよう、サポーター型/シューズ型/グローブ型などの形状を検討しているが、まずは手の平や指先に装着できる形状のプロトタイプを作製する。

3.2 ボール動作制御手法の検討

「ボールが身体に吸い付く感覚」を提示するためには、ボールに適当な力を働かせ、「身体に向かって吸い付いてくるような動き」や、「身体から離れていくような動き」が実現されるようにボールを制御する必要がある。そのためボール動作の制御手法として、磁力や風力の利用が考えられるが、ボールのみに効果を発生させたり、引力/斥力を制御できる可能性がある点から、本研究では、磁力を利用したボール動作の制御を検討する。

3.3 システム構成

SomaticBallは、磁性体が組み込まれたボールと、磁力を発生させるウェアラブルデバイスから構成される(図2)。ウェアラブルデバイスからは電磁石によって磁力を発生させ、ボールに対して引力/斥力を働かせる。ボールは磁力に反応するようにするため、磁性体を組み込む。ボールが身体に向かって来たタイミングで、ユーザーが身につけているデバイスから引力を発生させ、ボールをデバイスに引きつけ、さらに身体の動きに合わせて電磁石を制御することで、「ボールが身体に吸い付く感覚」の提示を目指す。まずは、引力の提示を目的として、ボールの構造や電磁石の配置を検討するために、プロトタイプを試作する。

磁性体を持ったボール

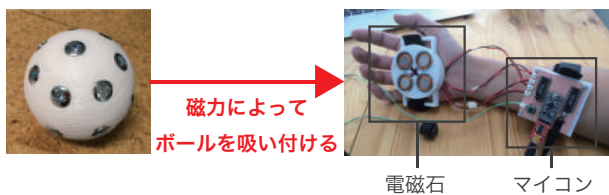


図2 システム構成図

4. 実装

本章では、SomaticBallの実装について述べる。

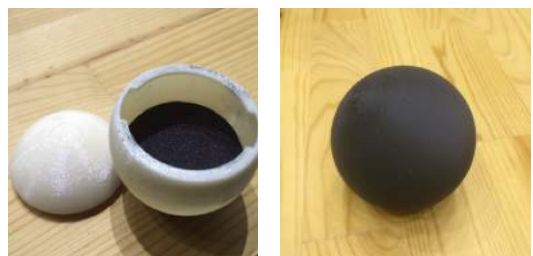
4.1 ボールの実装

磁性体を組み込んだボールのプロトタイプとして、表面に永久磁石(直径4.5mm,吸着力0.43kgf)を埋め込んだボール(図3-1)、ステンレス素材のネジ(M3 x 10mm)を埋め込んだボール(図3-2)、内部に砂鉄を入れたボール(図3-3)、磁性フィラメントを素材としたボール(図3-4)の4種類を試作した。なお、磁性フィラメントボールは、内部

を空洞にし、表面の厚さを3mmとした。また、これらのボールの直径はそれぞれ72mm(野球ボール程度)とし、重さは、永久磁石を埋め込んだボールが220g、ネジを埋め込んだボールが205g、砂鉄を入れたボールは308g、磁性フィラメントで作製したボールは80gとなった。これらのボールは、表面や内部に磁性体を組み込むための穴を開けて設計した上で、3Dプリンターにて出力した。*1



(1) 永久磁石を組み込んだ (2) ネジを組み込んだボール



(3) 砂鉄を入れたボール (4) 磁性フィラメントボール

図3 磁性体ボールのプロトタイプ。

本研究では、ボール表面の磁性体部分の面積の大きさ、ボールの重量などの問題を考慮して、ネジを埋め込んだボールと磁性フィラメントで作製したボールの2種類を中心に検証を進める方針とした。

4.2 ウェアラブルデバイスの実装

デバイスは、マイコンを配置する制御部と、電磁石を配置する電磁石固定部の二つから構成される(図4)。また、デバイスは腕から手にかけて装着できる形状とした。

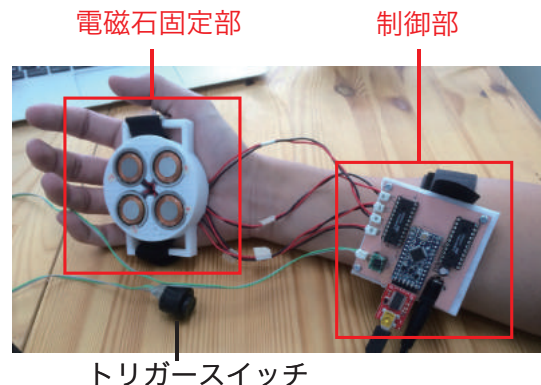


図4 ウェアラブルデバイスの外観

*1 野球ボールの重さは約143g

4.2.1 制御部

制御部は、6cm × 6cm の正方形型基板上に、マイコン / モータードライバ / センサなどを備える (図 5)。マイコンには Arduino Pro Mini を使用し、PC とのシリアル通信やモータードライバの制御、センサ値の取得などを行う。また、モータードライバ (NJM2670D2) を二つ搭載し、最大 4 つまでの電磁石を制御できるようにした。センサは、装着者の腕の動きを認識できるようにするために加速度センサ (KXR94-2050) を搭載した。また、電磁石接続用のコネクタを 4 つ、スイッチ用のコネクタを 1 つ搭載した。これらの制御部を固定する筐体は、腕に巻きつけられる形状に設計し、3D プリンターにて出力した。

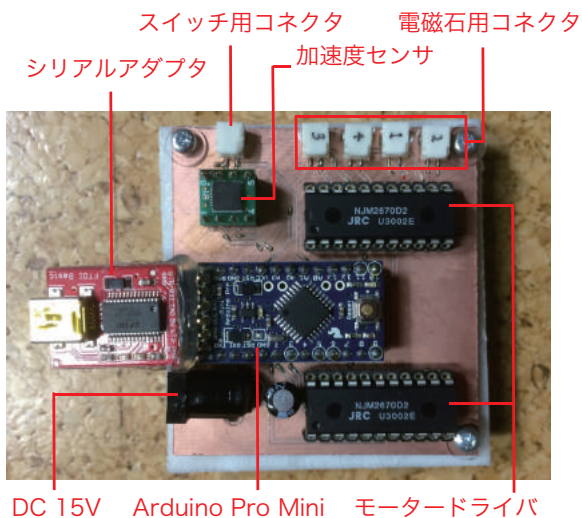
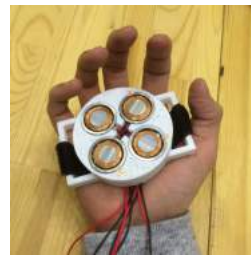


図 5 制御部の構成

4.2.2 電磁石固定部

電磁石固定部は、4 つの電磁石と、その電磁石を固定する筐体から成る。電磁石は、TMN-2613S (26 × 15mm, 60N ~ 175N) を使用した。また、電磁石の配置パターンを複数種類検討するために、平面型 / 指ユニット型 / 半球体型の 3 種類の筐体を作製した (図 6)。平面型固定具は、4 つの電磁石全てが手の平上に水平に配置されるようになっており、磁力の力が及ぶ範囲の面積が大きくなるようにした (図 6-1)。指ユニット型固定具は、手の平 / 親指 / 人差し指 / 薬指に電磁石が一つずつ配置されるようになっており、ボールを手で掴む時にボールに対して 4 方向から磁力をかけられるようにした (図 6-2)。半球体型固定具は、内部を空洞にした半球体に電磁石を組み込むことにより、ボールの形に沿って磁力を 4 方向からかけられるようにした (図 6-3)。組み込んだ電磁石はシリアル通信を介して、磁力の強さや極性を個別に制御できる。さらに、スイッチを押すだけで電磁石のオン / オフをまとめて切り替えるデモ用機能も実装した。



(1) 平面型固定具



(2) 指ユニット型固定具



(3) 半球体型固定具

図 6 電磁石固定具のプロトタイプ。

5. 予備実験

本章では、デバイスから発する磁力によって静止した状態のボールを手で吸い付けることができるかどうかを確認するための基礎的な予備実験について述べる。

5.1 評価手法

本実験は以下の手順で行った。

- (1) ボールを机上に静止した状態で置く。
- (2) ボールに対してデバイスを装着した手で上からかざすように触れる。
- (3) ボールに触れた状態でスイッチを押し、電磁石から磁力を発生させ、その状態のまま手を垂直上方に 15cm ほど上げる。
- (4) 手を上げた時に、ボールが手に吸い付いたままかどうかを確認する。
- (5) この過程を、各組み合わせ (ボール 2 種類 × 電磁石固定具 3 種類) で 20 回ずつ行う。

本実験で使用するボールは、適切な重さや磁力への反応度合いを考慮して、ネジを埋め込んだボールと、磁性フィラメントボールの 2 種類を使用する。また、ユーザーが身に付けるデバイスは平面型固定具、指ユニット型固定具、半球体型固定具の 3 種類を使用する。なお、本実験では比較対象のボールとして、市販している調理器具のボウル (直径 15cm, 高さ 6.5cm) を 2 つ繋ぎ合わせたものをボールに見立て、同様に実験を行う (図 7)。

このボウルの素材には、18-0 ステンレスという、ステンレスの中でも磁力に反応しやすい素材を用いて作られており、直径約 8mm の平面部分があることを考慮し、電磁石

に吸い付きやすい比較対象として採用した。本実験は、それぞれのボールとデバイスの組み合わせ合計8通り（サイズの関係上、ステンレスボール×半球体型を除く）と、ステンレスボールにおける「平面部分」と「球面部分」の2通りの合計10通りの組み合わせで行った。



図7 比較対象用ステンレスボール

5.2 結果

実験の結果を表1に示す。平面型固定具を用いた実験では、ステンレスボールの平面部分が最も成功確率が高かったが、ステンレスボールの「球面部分」やその他のボールに対しては成功率は0%だった。指ユニット型固定具を用いた実験では、ステンレスボールの「平面部分」「球面部分」がそれぞれ100%、85%と、高確率で成功したが、ネジを組み込んだボールに対する成功率は5%、磁性フィラメントボールに対しては0%となった。半球体型固定具を用いた実験では、ネジを埋め込んだボールは55%の確率で成功したが、磁性フィラメントボールの成功率は0%だった。

5.3 考察

本実験結果について、ボールと電磁石固定具それぞれの観点から考察する。

5.3.1 ボールについて

ネジを埋め込んだボールは、半球体型固定具を用いれば、55%の確率で吸い付けることができた。この要因として、ボール表面の磁性部分を担うネジの部分の面積が十分ではなかったため、電磁石に吸い付く場合と吸い付かない場合が発生したことが考えられる。これにより、安定して電磁石と接地させるには、ボール表面のネジの部分の面積を広げるためにネジを埋め込む間隔を狭めるなどの工夫が必要であると考えられる。

磁性フィラメントボールは、全ての固定具を用いても吸い付けることができなかった。この要因として、素材自体の磁性が弱かったことが考えられる。本プロトタイプでは、ボール表面の厚さを3mmとし、密度を粗めで設計したが、表面の厚さや密度を調整することで改善に繋がる可能性がある。

ステンレスボールの「平面部分」は、平面型固定具を用いた実験では100%の確率で吸い付けることができた。この要因として、ボールの平面部分とデバイスの電磁石との接地面が安定し、十分な磁力がボールに対して働いたことや、ステンレスボールの素材となっている18-0ステンレスが、電磁石を用いて吸い付けられることに適していることなどが考えられる。また、ステンレスボールの「球面部分」は、指ユニット型固定具を用いた実験で、85%の確率で吸い付けることができた。この要因として、先に述べたステンレスボールの素材が適当なことなどが考えられる。

以上のことから、ボールの素材としては、18-0ステンレスなどの強い磁性を持つステンレス素材の利用も検討しつつ、磁性フィラメントの磁性を最大化できるような調整を進める。また、ボールの形状としては、表面に磁性体が密に配置され、電磁石と十分な接地面積を持つことが重要である。また、近年は3Dプリンターで扱える素材が増えてきており、いろいろな素材や形状を視野に入れて検証を続けていきたい。

5.3.2 デバイスについて

まず、平面型固定具を使用した実験では、ネジを埋め込んだボールと磁性フィラメントボール、ステンレスボールの「球面部分」を吸い付けることができなかった。この要因は、電磁石の配置方法にあったと考えられる。電磁石を平面状に並べて磁力が及ぶ範囲の面積を大きくしても、実際にボールと電磁石が接地するのはボール表面上の一点のみであり、無駄が多かったと考えられる。

次に、指ユニット型固定具では、ステンレスボールの平面部分/球面部分で高確率で吸い付けることに成功した。また、半球体型固定具では、他の固定具ではほとんど反応しなかったネジを組み込んだボールを、約半分の確率で吸い付けることに成功した。

このように、指ユニット型/半球体型の固定具はそれぞれ一定の性能を持つことが確認できたが、以下のような一長一短の特徴を持つ。指ユニット型固定具では、手指での握り方で電磁石の配置が変わるため、様々なボールのサイズに対応できたり、ユーザの持つボールスキルをある程度活用できると考えられる。一方、システムの効果に個人差が大きくなり、安定した性能を発揮できなくなる可能性もある。半球体型固定具では、指ユニット型固定具ではほとんど反応しなかったネジを組み込んだボールを一定確率で吸着できたことから、サイズの合ったボールに対しては最も高い吸着力を発揮すると考えられる。また、手指の動きが電磁石の配置に影響しないため、ユーザのスキルに依存せず、システムの効果を安定して発揮できると考えられる。例えば、電磁石の強さを個別に制御することで、ユーザが腕を振るだけで、ボールの保持/リリース/回転などを動的に制御して手軽に変化球を投げられるシステムな

表 1 実験結果 . 試行 20 回に対する成功回数 .

電磁石固定具 \ ボール	ネジを組み込んだボール	磁性フィラメントボール	ステンレスボール (平面部分)	ステンレスボール (球面部分)
平面型	0/20	0/20	20/20	0/20
指ユニット型	1/20	0/20	19/20	17/20
半球体型	11/20	0/20	-	-

どを実現できる可能性がある . 一方 , デバイスの大きさをボールの大きさに合わせて設計する必要があるという課題がある .

以上のことより , 現段階のプロトタイプ of 改良指針としては , ボールに対して安定して電磁石が接地できる指ユニット型固定具 / 半球体型固定具のそれぞれを拡張し , それぞれのメリット / デメリットを考慮して使い分けることを検討していく .

6. 議論

本研究では , 磁力によってボールの動作を制御し , 最終的にはスポーツへ応用できるシステムの開発し , 今までになかった新しいスポーツの提案につなげることを目指している . 現段階では , 静止した状態のボールに対して磁力を働かせることが可能になった状態であり , 実際のスポーツに应用させるには , 実際に動いているボールの動作制御や , ウェアラブルデバイスの身体的負担を減らすための軽量化 , 電磁石を動かす電源の問題など , 多くの課題がある . また , プロトタイプとして , ボールを手に吸い付けるタイプのデバイスを開発しているが , 今後はラケットやシューズなどの他のスポーツ器具に電磁石を組み込んだデバイスを作製し , 様々な場面で「ボールが身体に吸い付く感覚」を再現できる可能性を検討していく . 一方 , 実際のスポーツを模した VR コンテンツへの応用可能性もあるので , 併せて検討していく .

7. まとめと今後の展望

本研究では , 多くのボールスポーツで比喩表現として使用される「ボールが身体に吸い付く感覚」を磁力を用いて提示するインタラクティブシステム「SomaticBall」を提案した . 今回作製したプロトタイプは , 磁性体を組み込んだボールと , マイコンと電磁石を組み込んだウェアラブルデバイスから構成される . また , 基礎的な性能を評価する予備実験を行った結果より , ボール表面の磁性体部分の範囲を可能な限り大きくすることや , 電磁石とボール接地面の安定性などが重要であると考えられた .

今後は , 実験結果から判明したプロトタイプの利点 / 欠点を踏まえて , 本システムの改良を進める . さらに , ラケット等のスポーツ器具に電磁石を組み込んだプロトタイプの試作や , 磁力以外の動力の利用なども視野に入れつつ , より実践的なボールの動きの制御手法を検討し , 「ボール

が身体に吸い付く感覚」の実現と Augmented Sports への応用を目指す .

参考文献

- [1] 堀田高太, スポリビューション × テクノロジー AugmentedSports 「概論」 - 電通報, <http://dentsu-ho.com/articles/1916>, 最終アクセス 2016 年 8 月 4 日.
- [2] 超人スポーツ委員会, 超人スポーツ協会, <http://superhuman-sports.org/>, 最終アクセス 2016 年 8 月 4 日.
- [3] Takuya Nojima, Ngoc Phuong, Takahiro Kai, Toshiki Sato, Hideki Koike. Augmented Dodgeball: An Approach to Designing Augmented Sports. Proceedings of Augmented Human 2015, pp.137-140, 2015.
- [4] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Julian Orbanes, Ben Chun, and Joe Paradiso. PingPongPlus: Design of an Athletic-Tangible Interface for Computer-supported Cooperative Play. Proceedings of CHI '99, pp.394-401, 1999.
- [5] Ayaka Sato, Jun Rekimoto. Designable Sports Field: Sport Design by a Human in Accordance with the Physical Status of the Player. Proceedings of AH 2015, pp.129-136, 2015.
- [6] Samantha Bielli, Christopher G.Harris. A Mobile Augmented Reality System to Enhance Live Sporting Events. Proceedings of AH 2015, pp.141-144, 2015.
- [7] Osamu Izuta, Toshiki Sato, Sachiko Kodama, Hideki, Koike. Bounding Star project: design and development of augmented sports application using a ball including electronic and wireless modules. Proceedings of Augmented Human 2010, Article No.22, 2010.
- [8] Kei Nitta, Keita Higuchi, Jun Rekimoto. HoverBall: augmented sports with a flying ball. Proceedings of Augmented Human 2014, Article No.13, 2014.
- [9] Tomoya Ohta, Syumpei Yamakawa, Takashi Ichikawa, Takuya Nojima. TAMA: development of trajectory changeable ball for future entertainment. Proceedings of Augmented Human 2014, Article No.50, 2014.
- [10] Jinha Lee, Rehmi Post, Hiroshi Ishii. zeroN: Mid-Air Tangible Interaction Enabled by Computer Controlled Magnetic Levitation. Proceedings of UIST 2011, pp.327-336, 2011.
- [11] Masa Ogata, Masaaki Fukumoto. FluxPaper: Reinventing Paper with Dynamic Action Powered by Magnetic Flux. Proceedings of CHI 2015, pp.29-38, 2015.