

跳ね星：電子機器を組み込んだデジタルスポーツ用ゴムボールの開発

BouncingStar: Development of a Rubber Ball Containing Electronic Devices for Digital Sports

出田 修 佐藤 俊樹 間宮 暖子 芝崎 郁 中村 潤 児玉 幸子 小池 英樹*

Summary. ボールは古くから人間にとって身近な遊具であり、科学技術の向上によってその性能は進歩を遂げてきた。近年は、発光するボールが製品化されるなどボールに電子技術が用いられるようになってきた。これにより、従来のボールとは異なる機能を持つボールが誕生し始めている。そこで本研究では、無線モジュール、加速度センサ、音センサ、LED 等の電子機器を搭載した新しいスポーツ用ゴムボール「跳ね星」を製作し、これを用いるアプリケーションを実装した。「跳ね星」は今までの光るボールとは違い、実際の球技に用いることができるだけの耐久性を持ち、加速度センサと音センサおよび無線通信を用いることによって、ボールの動きにあわせてボールの色やプレイフィールドのグラフィックスを操作できる。また高速度カメラと画像認識を用いることで数百 fps での高速な位置検出が可能である。本研究により、スポーツとコンピューターゲームの垣根を越えた新たなデジタルスポーツの創造が期待できる。

1 はじめに

近年、従来のボールとは異なった新しい機能を持つボールが誕生し始めている。また、加速度センサを内蔵したデバイスを用いて直感的に体を動かしてプレイするゲームに注目が集まっている状況がある。本研究は、各種センサや無線モジュールといった電子機器を組み込んだゴムボール「跳ね星」の開発を行い、これを用いたアプリケーションにおけるインタラクションについて検討を行う。

ボールを用いたインタラクションに関する先行研究として、石井らの "PingPongPlus" [1] や、菅野らの "SHOOTBALL" [2] がある。これらはプレイ環境がゲームの状況に応じて変化をするが、使われるボール自体は変化しない。また、赤外線 LED を内蔵したボール型デバイスとしてロボサッカー用のウィルトロニクス社製 IR ロボボール [3] があるが、表面は硬質プラスチックケースとなっており、非弾性ボールであり、ボール自体が発光するものではない。

この他に加速度センサを内蔵したボールを用いるものとして、伊豫田らの "球魂" [4] がある。これはボールにかかる加速度の強さをアプリケーションのエフェクトの変化に用いているが、ボールの位置特定のシステムが野球のピッチングゲーム専用に作ってあるため、その他の球技に用いることが難しい。

「跳ね星」ではボール自体が発光し、ボールにかかる加速度とボール内部に響く音に応じて発光色や発光周波数を変えることができる。衝撃に強く、投げる、打つ、弾ませるといった使用ができる。また、無線通信によって PC との双方向通信を行うことが



図 1. 本研究の展示 (SIGGRAPH2008)

できる。さらに、高速度カメラを用いた数百 fps での画像認識によってボールの位置検出を行い、その位置情報とボールからの無線通信による加速度情報、音情報を用いて、ゲームの演出等をダイレクトにフィールドに生成することが可能である (図 1)。

2 システム構成

「跳ね星」はボールデバイスとして以下の 6 つの特性を持つ。

- 衝撃に対する耐久性

Copyright is held by the author(s).

* Osamu Izuta, Toshiki Sato, Haruko Mamiya, Kaoru Shibasaki, Jun Nakamura, Sachiko Kodama, Hideki Koike, 電気通信大学

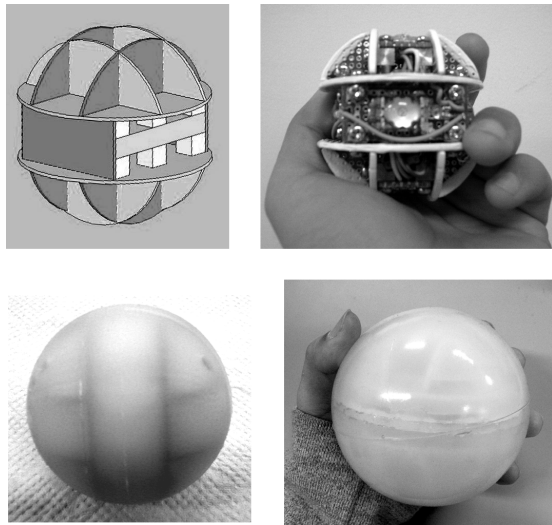


図 2. 立体格子球構造（左上）組み上げた球形回路（右上）白色シリコンで球体に固めた球形回路（左下）回路を透明シリコンで被った完成形（右下）

- フルカラー LED によるボール自体の発光
- 二次電池の内蔵
- 加速度センサと音センサによるフルカラー LED の制御
- 無線モジュールによる外部との双方向通信
- 赤外光 LED と高速度カメラを用いた画像認識による位置特定

2.1 衝撃に対する耐久性

「跳ね星」は直径 98mm、重量約 660g、反発係数 0.68 の球体である（ちなみに、ソフトボールの公式球は直径 98mm、重量約 180g、反発係数 0.67）。激しい球技に耐えうる耐久性と、内部からの光を透過させるための透明性を持つ素材として、内部回路を被う厚さ 14mm のゴムには東レシリコン製シリコンゴム DY-32-379Y を使用した。NC 旋盤で削り出した金型にシリコンゴムの原料を入れ、約 180℃ の熱と 80t の圧力を加え成型した。

また、内部の電気回路にも耐久性を持たせるため、基板を球状の格子状に組む「立体格子球構造」を用いた。直径 60mm の円形に切り出したユニバーサルガラス繊維基板 6 枚を立体格子球構造に組み、各部品を基板上に配置した。その後、信越シリコン製シリコンゴム KE-106 を白色に着色して流し込み、直径 70mm の球形に固めた（図 2）。これは、内部の基板類を視覚的に隠すためと、基盤類を球形にし、バウンドの際に均一にバウンドするようにするため、そして、その周りを被う透明シリコンゴムを内部から傷つけないようにするためである。

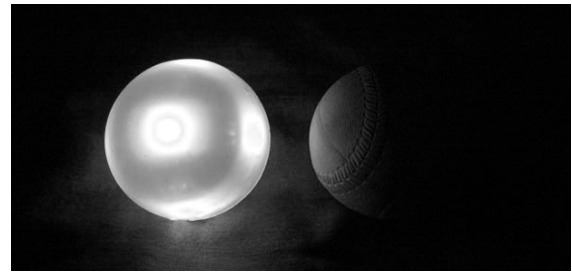


図 3. 暗間での「跳ね星」とソフトボール



図 4. 3.5mm ステレオプラグを利用した充電用プラグ（左）充電中の様子（右）

2.2 フルカラー LED によるボール自体の発光

「跳ね星」には、PARA LIGHT 製 3 波長合成フルカラー LED EP204K-35G1R1B1-CA と波長 940nm 赤外光 LED OSIR5113A が、上下左右前後 6 方向にそれぞれ 1 個ずつ配置されている。この 6 方向配置により、ボールがどんな方向を向いていても可視光を視認し、赤外光を撮影することができる。

このフルカラー LED を内蔵していることによって、暗間でのボールの使用を可能にした（図 3）。

2.3 二次電池の内蔵

電子機器を内蔵したボールを従来のボール同様に無線状態で使用するため「跳ね星」には電源として 3.7V 720mAh の三洋電機製リチウムイオン二次電池 DB-L20 を内蔵している。充電時間は約 90 分、連続使用時間は使用条件にもよるが約 120 分である。

充電は「跳ね星」に一つだけ空いた穴へ、三洋電機製リチウムイオン二次電池 DB-L20 用充電器 VAR-L20 に接続されている充電用プラグを挿して行う。この充電用プラグおよびジャックには 3.5mm ステレオプラグおよびジャックを利用している（図 4）。

また、電源 ON/OFF 用の小型スライドスイッチと発光モード切替用の小型タクトスイッチを充電ジャックの隣に配置しており、これらのスイッチは充電用の穴に細い棒を差し込むことによって操作が可能である（図 5）。

2.4 加速度センサと音センサによるフルカラー LED の制御

球技に用いた際にボールの動きをボールの色やアプリケーションに反映させるため「跳ね星」には浅

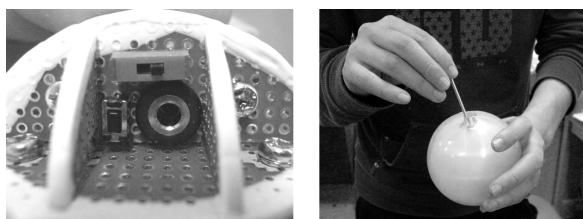


図 5. 充電用ジャックとその周辺のスイッチ（左） スイッチ操作の様子（右）

草ギ研製 3 軸加速度センサ AS-3ACC が内蔵されている．この加速度センサは X 軸，Y 軸，Z 軸それぞれ - 6G から 6G の範囲で加速度を測定することができる．ボールは使用中，不規則的に回転するので，式 (1) で表す加速度の大きさ A をフルカラー LED の制御に用いている．X，Y，Z はそれぞれ加速度センサが測定した加速度の値である．

$$A = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (1)$$

「跳ね星」には内部に響く音を拾うために音センサとして小型アンプ内蔵マイク SP0103NC3-3 も内蔵されており，バウンドやキャッチの際の跳ね星内部に響く音を拾うことができる．加速度センサと音センサと併用することによって，PC 上でボールがバウンドした瞬間と投げられた瞬間を区別することが可能になった（表 1）．

表 1. 加速度センサと音センサによる「跳ね星」の状態

	加速度強	加速度弱
音あり	バウンド or キャッチ	(なし)
音なし	投げられた	停止

加速度センサ，音センサ共に「跳ね星」に内蔵されたマイコン MICROCHIP 製 PIC16F88 の AD コンバータ機能を使って 256 段階の精度でデータを取得している．また，発光モード切替用のタクトスイッチを押すことによって，フルカラー LED の点灯状態を「常時点灯モード」か「加速度に比例した周波数で点滅モード」のどちらかに選ぶことができる．

2.5 無線モジュールによる外部との双方向通信

「跳ね星」はベストテクノロジー製 ZIG-100B を内蔵し，2.4GHz 帯の周波数を利用した ZigBee 規格の無線通信を行うことが可能である．[ボールの個体識別番号，加速度センサが計測した X 軸，Y 軸，Z 軸方向の各加速度値，音センサが計測した音量値，現在の発光色] の 6 種のデータを PIC16F88 の USART 機能を用いたシリアル通信により，常時約 160fps の速度で PC に無線で送信している．ま

た，PC からフルカラー LED と赤外光 LED の制御が可能である．

2.6 赤外光 LED と高速度カメラを用いた画像認識による位置特定

「跳ね星」の位置を求めるためには，内蔵したデバイスのみでは困難である．そこで，フィールド全体が撮影できる位置に固定したカメラと，画像認識を用いて「跳ね星」の位置を特定した．プロジェクタによる映像の影響を避けるため，内蔵した複数の赤外光 LED の発する赤外光と，赤外線透過フィルタを装着した PointGreyResearch 製高速度カメラ DragonflyExpress を用いている．

まず，予めカメラ座標とフィールド座標を変換するため，射影変換を用いたキャリブレーションを行っておく．カメラに撮影された画像は一定の閾値で 2 値化後，ラベリングを行い，赤外光源の位置を求めた．ボール内部には 6 個の赤外光 LED が設置されているため，ボールの角度によっては，1 つのボールに対し複数の光源が検出される場合がある．そこで，近い位置に複数の光源が検出された場合は，それらの重心位置にボールがあるとみなすようにしている．得られた位置情報は，座標変換後，フィールドに投影を行うプログラムと，ボールの制御を行う無線プログラムにリアルタイムに送信される．

本システムで行う画像処理には，できるだけプレーヤに入力の遅延を感じさせず，ボールの高速な動きにも対応できるように高速度カメラを用いたため，解像度 640×480pixel，フレームレート 200fps 以上での複数の「跳ね星」の追跡が可能である．

3 アプリケーション

「跳ね星」用アプリケーションとしてこれまでに「SPACE BALL」と「BOUNCING STAR」を開発している．

3.1 SPACE BALL

「SPACE BALL」は「跳ね星」に無線モジュールと音センサが内蔵されていない段階に開発したアプリケーションである．このアプリケーションでは高速度カメラを 2 台用いて，画像認識によるバウンド認識も行った．3m×3m のフィールドに 10 個×10 個のターゲットが敷き詰められ，それを 2 チームが奪い合う対戦ゲームである「跳ね星」がターゲット上を転がることにより得点することができる．ターゲットをすべて取り終えるとゲームは終了し，得点の多いチームが勝利する（図 6）．

このアプリケーションはこれまでに，第 11 回文化庁メディア芸術祭協賛展 先端技術ショーケース'08，情報処理学会インタラクシオン 2008，Laval Virtual2008 の 3 つの学会および展示会に出展した．



図 6. SPACE BALL プレイ中の様子 (長時間露光による電気通信大学構内での撮影)

3.2 BOUNCING STAR

"BOUNCING STAR" はボールを転がす動きに加え、投げてぶつけるといったより激しい動きを取り入れたアプリケーションである。4m×4m のフィールドに 10 個×10 個のターゲットが敷き詰められている。ターゲットは色で 6 種に分類されており、「跳ね星」のその時の発光色と同色のターゲットのみが表示される。ボールがターゲット上を通過することにより得点でき、ターゲットに投げてぶつけると、そのターゲットの周囲にあるターゲットも同時に得点できる。このゲームには 60 秒の制限時間があり、プレーヤは 2 人以上で協力してプレイする。

ボールに加速度を与え発光色を変えることによって、得点しやすいターゲット配置を選び、効率よく得点することによって、ハイスコア獲得に挑戦する。

このアプリケーションは SIGGRAPH2008 New Tech Demo に出展した (図 1)。

4 考察

SIGGRAPH2008 での体験者からは「Cool」という声が多く、他には「綺麗だ」「多くのデバイスが入っていて驚いた」「どうして壊れないのか」「いい運動になる」という意見があった。反対に「重い」「傍から見ていてルールがわからない」といった意見もあったため、今後の課題としたい。

「跳ね星」は展示を行う度に耐久性を上げてきた。しかし、衝撃による故障が全く無くなったわけではない。回路の断線など、耐久面での課題は未だに残る。そして、シリコンで覆われているため制作や故障した際の修理に手間がかかるのも問題である。これからは、耐久性の向上と共に製作および修理の簡略化を進めていくことが重要である。

「跳ね星」は重量が約 660g で、ソフトボール大のボールにしては重い。これは従来のボールと違い、内部が電子機器とシリコンでできているためだと考えられる。シリコン部分をチューブ形状にし中を空気にすることで、軽量化できると考えている。

高速度カメラによる画像認識と無線通信は「跳ね星」の複数個使用に対応させているのだが、画像認識で得た複数個のボールの位置情報と、PC が受信した複数の無線情報の関連付けがまだできていないため、「跳ね星」の複数個使用は実現していない。赤外光を無線で個別に ON/OFF することによって関連付けができるのではないかと考えている。

「跳ね星」は着実に発展を遂げており、直近の展示である SIGGRAPH2008 では無線モジュールと音センサを搭載し、アプリケーションとのインタラクションが高度なものとなった。これからもここに挙げた問題点の解決し、この多機能ボールデバイスを発展させていく。

5 まとめ

本研究では、加速度センサ、音センサ、フルカラー LED、赤外光 LED、リチウムイオン二次電池、無線モジュールを内蔵した衝撃に強いシリコンゴムボール「跳ね星」を開発した。

現存する様々な球技に「跳ね星」は対応できる可能性を秘めている。そして既存のスポーツに留まらず、スポーツとコンピューターゲームの垣根を越えた新たなデジタルスポーツの創造が期待できる。

今後は「跳ね星」の複数個使用の対応や、さらなる耐久性の向上と軽量化、製作および修理作業の簡略化、デバイスの有用性の評価実験、アプリケーションの改良などの発展をさせていく予定である。

謝辞

電気通信大学の猪又溪吾氏、細見龍一氏、河合聡志氏、JST ERATO の福地健太郎氏にご協力頂いた。

本研究は (独) 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 (CREST) の助成を受け「デバイスアートにおける表現系科学技術の創成」研究プロジェクトの一環として進められた。

参考文献

- [1] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Julian Orbanes, Ben Chuu, and Joe Paradiso. PingPongPlus: Design of an Athletic-Tangible Interface for Computer-Supported Cooperative Play. *Proceedings of CHI '99*, pp.394-401, 1999.
- [2] Yoshiro Sugano, Jumpeo Ohtsuji, Toshiya Usui, Yuya Mochizuki, Naohito Okude. SHOOTBALL: The Tangible Ball Sport in Ubiquitous Computing. *ACM ACE2006 Demonstration Session*, 2006.
- [3] IR-RoboBall. <http://www.wiltronics.com>
- [4] 伊豫田 旭彦, 木村 秀敬, 武井 悟, 垣内 祥史, 杜 曉冬, 藤井 宗太郎, 益田 義浩, 枡野 大輔, 宮田 一乗. “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*, pp.33-44, 2006.