

# バドミントンシャトルの羽の開閉による競技の拡張

馬場 亮平\*<sup>1</sup> 杉浦 裕太\*<sup>1</sup>

Augmentation of Badminton by Changing the Feather-Opening-State of a Badminton Shuttle

Ryohei Baba\*<sup>1</sup> Yuta Sugiura\*<sup>1</sup>

**Abstract** – This study focuses on the characteristic of the badminton shuttle that changes the distance depending on the opening of its feathers, and propose a new entertainment system using the badminton shuttle. The shuttle is equipped with an Arduino and a servo motor, and the opening and closing mechanism of the shuttle feathers is controlled by the rotation of the servo motor. Furthermore, by using a motion capture camera, we were able to open and close the shuttle feathers in the air after launching. This paper describes the specific applications of the shuttle, with an emphasis on measuring the change in distance caused by the opening and closing of the feathers.

**Keywords** : entertainment, motion sensing, augmented sports

## 1. はじめに

テクノロジーの進歩は私たちの生活をより快適で便利に、そしてより刺激的なものにしてくれている。昨今ではテクノロジーはありとあらゆる分野に応用されており、スポーツも例外ではない。

こうした、テクノロジーを通じて拡張されたスポーツはオーグメンテッド・スポーツと呼ばれることもある。戦術の分析やバーチャル空間を利用したスポーツ、スポーツ観戦の拡張など使われ方は様々である。

そのうちの一つに、スポーツをよりエキサイティングなものにするために球技におけるボールの挙動を変化させる研究が存在する。ボールの軌道を変更するなどその手法は豊富でありガス噴射や超音波などが使われている [1][2]。しかしながら、これらの研究は通常、球の形をしたボールの軌道変化に焦点を当てていることが多い。

本研究では、球の形状をもつボールではなく、錐体に近い形状を持つバドミントンのシャトルを対象としている。バドミントンのシャトルならではの形状に着目し、羽の開閉の度合いによって軌道の変更を目指すというアイデアをもとに研究に取り組んだ。本稿では特に、羽の閉じ具合や空中で羽の開閉を行った場合にどのように飛距離に変化が生じるかについて得られた実験結果を報告する。さらに、応用としてこの羽を開閉させることのできるシャトルを使って考えられる遊びを提案する。

## 2. 関連研究

### 2.1 新しい形のスポーツの創造を目指した研究

スポーツをテーマにした研究の中でも、既存のスポーツの枠組みを超えて新たなスポーツの形を作り出す研究が存在する。Izutaらは”Bouncing Star”と呼ばれるLEDやセンサを搭載したボールや特殊なフィールドを用いたゲームを提案している [3]。ボールの動きの状態や位置を把握することができ、ボールの動きに合わせて特定の音や視覚的なエフェクトを生み出すことができる。Suganoらはカメラやスクリーンで囲まれた特殊なフィールド内でセンサを搭載したボールを使う”Shootball”と呼ばれる新たなゲームを考案した [4]。3対3で競うチームスポーツであり、プレイヤーを囲っているスクリーンに向かってボールを当てることによって自チームの短い映像の投影を目指す。相手の映像が流れているスクリーンに向けてボールを当てることで自分のチームの映像に切り替えることができポイントが加えられるといった独自のルールが設けられている。いずれの研究もプレイのための特殊で複雑なフィールドを必要とするためどこでもプレイできるわけではない。一方で、テクノロジーを活用して今までに体験したことのないようなスポーツ体験を味わうことができる点や独創性が大きな特徴となっている。

### 2.2 既存のスポーツを拡張する事例

既存のスポーツに手を加えて新たなエンタテインメント性の創出を目指す取り組みもある。例えば、Ishiiらは卓球台にデジタルテクノロジーを活用することによって卓球というスポーツの拡張を目指した [5]。卓球台にマイクをつけることによってテーブルのどこに卓球のボールが落ちたのかが分かる。このシステムを使うことによって様々な視覚的表現を卓球台に投影した

\*1: 慶應義塾大学

\*1: Keio University

り、ラリーに応じた音を出すことができるようになってい  
 る。Muellerらはエアホッケーを拡張させて離れた  
 ところにいる者同士でもプレイできるようにした [6]。  
 2台のエアホッケーテーブルをネットワークでつなぎ、  
 ビデオ会議ツールを用いる。中央のネットに当たる部  
 分にディスプレイを設置し物理的に離れたところでプ  
 レイする相手コートを映し出す。特殊な機構によって  
 相手が打ってきた通りに物理的なパックを射出する  
 ことができる。そのため、まるでその場でプレイして  
 いるかのようにパックを行き来させることが可能にな  
 っている。

本研究も既存のスポーツであるバドミントンの羽を  
 改良していることから「既存の競技を拡張」に分類で  
 きる。

### 2.3 バドミントンを扱った事例

本稿でテーマとしたバドミントンについてもテクノ  
 ロジを使った研究は存在する。Shishidoらは従来観測  
 ノイズだと考えられてきたモーションブラー（ブレ）に  
 着目することでバドミントンシャトルの3D位置を推  
 定する研究に取り組んだ [7]。非同期マルチビュービデ  
 オを用いて正確な位置推定が可能になった。Kurniaら  
 はピアソンの相関を使ってバドミントンのスマッシュ  
 とドロップという2種類のショットの動きを分析した  
 [8]。この研究の目的は各ショットの時の動きの正しい  
 パターンを取得することにある。モーションセンサを  
 体の4カ所につけて2人のコーチを基準の動きとして  
 計測したのち5人のアスリートと5人の参加者の計測  
 データと類似性を比較をした。結果としてアスリート  
 の動きのほうがコーチの基準データに近いことを確か  
 められた。

Kimらは視覚障害者でも楽しめるオーディオ拡張さ  
 れたバドミントンゲームである Sonic-Badminton を  
 考案した [9]。音のフィードバックによって仮想的な  
 シャトルを作り出すことによって視覚に障害がある人  
 でも楽しむことが可能である。以上のようにバドミン  
 トンの研究にはショットや体の動きを分析するものが  
 多い。Sonic-Badmintonは既存の競技の拡張という分  
 類に含まれるものではあるが、視覚障害者のための研  
 究であるため本研究とは異なっている。また、いずれ  
 の研究もバドミントンのシャトルや軌道を変更するも  
 のではない点も本研究とは異なる。

### 2.4 ボールの軌道を変更する事例

球技で使うボールの軌道を変更することを目的とし  
 た研究も行われている。例えば Morisakiらは超音波を  
 ピンポン玉に当てることによって軌道を変更する卓球  
 のシステムを提案した [2]。彼らが開発した Hopping-  
 Pong では卓球台の左右からピンポン玉だけに音響放  
 射圧を送ることが可能でピンポン玉の軌道を左右に曲

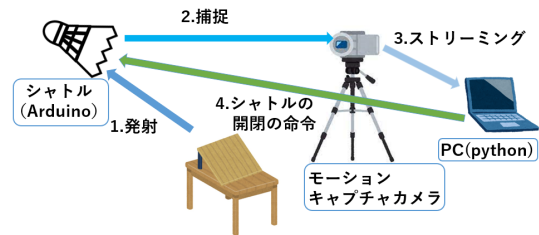


図1 システム概略  
 Fig.1 Abstract of the System.

げることができる。どちらの方向に曲げるかはラケット  
 に装着してあるゲームコントローラによってプレイ  
 ヤ自身が決定できる。Ohtaら [1]はTAMAと呼ばれ  
 る、空中で軌道を変えることができるボール型のイン  
 タフェースを開発した。TAMAではボールの内部に  
 ガスを噴射する装置を組み込み、空中で射出するこ  
 とによってボールの軌道に変化が生まれる。真上にボ  
 ールを放り投げ、空中でガスを噴射をして左右に落下  
 点がずれること実際に観測できている。

いずれの研究もボールの軌道を変更することによ  
 ってエンタテインメント性の向上に貢献しているとい  
 える。本研究はボールではなく形状が違うバドミン  
 トンのシャトルを使っている点においてこれらの研究と  
 異なる。また、Hopping-Pongのような複雑な装置を必  
 要とせず、TAMAと比べると連続で使用することが  
 できるようにバドミントンのシャトルにサーボモータ  
 を組み込む方法を採用している。この機構については  
 次節で詳しく説明する。

## 3. 提案手法

### 3.1 システムの概要

本稿では、スポーツのプレイ中に羽を動的に制御す  
 るシステムの開発を目指し、次のシステムを構築した。  
 射出をモーションキャプチャ（以下、MoCap）カメラ  
 で捉えてその値をPCにストリーミングし、pythonを  
 用いたコードでシャトルに取り付けられたArduinoに  
 シリアル通信を行うというシステムを考案した。その  
 概略を図1に示す。PCとArduinoの通信は無線通信  
 を行うためにXbeeをシャトル側とPC側に計2つ利  
 用した。

### 3.2 羽の開閉を制御する機構

本研究では、バドミントンのシャトルの羽によっ  
 て生じる空気抵抗に着目し、シャトルの羽の開き具合  
 を調整することで飛距離を変えることを目指した。シャ  
 トルの羽が閉じた状態では空気抵抗が少なくなって飛  
 距離が長くなり、開いた状態では短くなると考えた。  
 そこでシャトルの開閉を制御するにあたって、シャト  
 ルの隙間に16本の紐を通し、その紐がサーボモータ

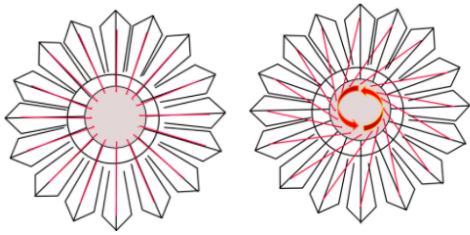


図2 羽の開閉の機構. 回転前(左), 回転後羽が引っ張られて閉じる様子(右)  
Fig. 2 Mechanism of Closing the Feather.



図3 3Dプリンタで作成した部品  
Fig. 3 A Component Created by 3D Printer.

の回転によって引っ張られて閉じるような構成を考案した。(図2)

### 3.3 ハードウェアの詳細

本研究では、バドミントンのシャトル自体にサーボモータや Arduino Pro mini (3.3V), リチウムポリマバッテリーを取り付けることによって羽の開閉の制御を目指した。一方で、通常バドミントンの競技で使われるシャトルを用いるのでは重さや大きさの観点からうまくいかない。そこで今回は市販されている、BIG SHUTTLECOCK という全長約18cmのシャトルを実験に用いた。シャトルにサーボモータを取り付けるために3DCADを用いて図3のような部品を設計し、3Dプリンタで印刷した。この部品をコルクにさすことによってサーボモータをきれいに取りつけることができるとともに Arduino やバッテリーを収納することが可能になった。

BIG SHUTTLECOCK の元の重さが21.1g, 3Dプリンタで作成した部品が13.1g, ArduinoProMiniが20.8g, バッテリーが8.6g, サーボモータやその他配線で23.2g, モーションキャプチャの認識用のマーカーで8.6gであり重さの合計は95.4gであった。MoCapカメラにはOptiTrack V120 Trioを利用しており、認識するためのマーカーをシャトルのコルク付近に4つ装着した。作成した部品を含むシャトル全体の様子を図

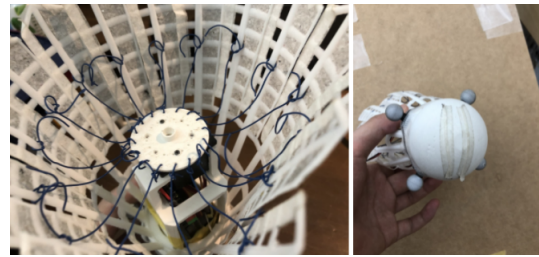


図4 シャトルの様子  
Fig. 4 Photograph of the Shuttlecock.



図5 射出装置  
Fig. 5 Launching Pad.

4に示す。

### 3.4 射出機構

本研究では独自に設計した射出装置によってシャトルの射出を行っている。Umetaniら[10]が紙飛行機の射出に使った射出の機構を参考にし、移動式機、カメラ用クランプ、ゴム紐、300×600×6mmのMDF材と呼ばれる板を組み合わせて以下の図5のような射出装置を作成した。射出する力を強めるためにゴム紐は二重にした。この射出装置で同じ距離だけゴム紐を引いて飛ばせば、同じシャトルの状態において、ある程度一定の飛距離でシャトルを飛ばすことができるようになった。

### 3.5 ソフトウェアの実装

サーボモータを動かすには Arduino Pro Mini を用いており、ArduinoIDEを使用して実装を行った。MoCapカメラでストリーミングされたシャトルの位置の値がPCにストリーミングされて、その値の変化を検知すると Arduino にPCから無線で命令を出してシャトルの開閉の状態を変更させるようなプログラムを作成した。MoCapカメラでシャトルに付いたマーカーを認識すると認識した剛体の座標が60fpsで取得できる。MoCapカメラ用のソフトである Motive からその座標データをPCに送り、Pythonを用いて受け取った値をもとにシャトルの状態を変えた。取得した座標が一定以上動いたのを確認すると開閉の命令をす



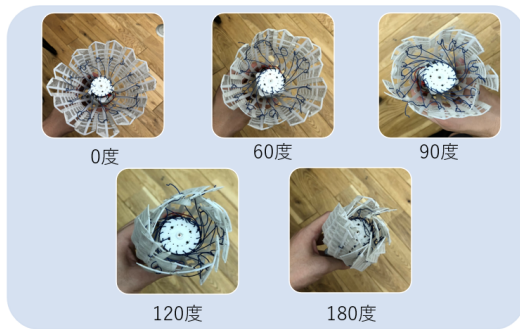


図6 サーボモータの回転角と羽の閉じ具合  
 Fig.6 Photographs of the Feather by Each Angle of Rotation.

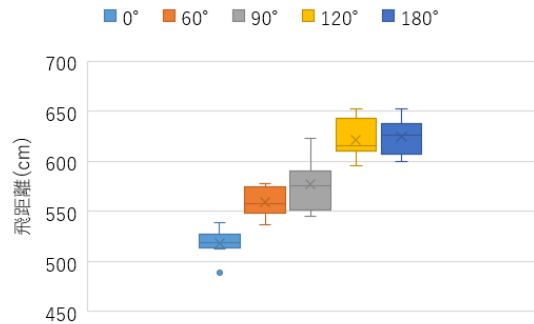


図7 実験1の結果  
 Fig.7 Result of Experiment 1.

るようなプログラムにて、開いた状態から閉じた状態に変更するモードと閉じた状態から開いた状態に変更するモードをキーボード操作で切り替えることができるように工夫した。

#### 4. 実験1

##### 4.1 実験目的

実験1ではバドミントンのシャトルの羽の閉じ方によって飛距離が変わるのかを調査する。また、飛距離が変わるのであれば具体的にどの程度飛距離が変わるのか5つのシャトルの状態において実験を行った。

##### 4.2 実験手法

今回使用している機構の関係上、羽の開閉の度合いはサーボモータの回転角によって決定する。なお図2の左図のように、サーボモータとシャトルの羽をつなぐ紐がひねりなく放射状に結ばれた時のサーボモータの状態を0度と定義した。本実験では回転角0度、60度、90度、120度、180度の5つの状態で10回ずつシャトルを射出させて、飛距離を測定した。(図6) おおむね0度ごとの状態を選んだが目視によって隣接した角度における羽の状態に違いがあまり見られなかったため30度と150度を除いている。この時、射出装置のゴム紐を引く位置を一定にすることで羽の閉じ方以外の面で飛距離に差が出ないように気をつけた。なお、この実験においてはMoCapカメラを使用していない。

##### 4.3 実験結果

測定の結果を図7に示す。測定の結果サーボモータの角度を大きくするほど(すなわちシャトルを閉じるほど)飛距離が伸びるという相関を確かめることができた。ただ、120度と180度を比べてみるとシャトルの飛距離に有意な差は認められなかった。この実験より120度以上サーボモータの角度を大きくしても飛距離に差が生まれにくいという結論を導くことができた。

#### 5. 実験2

##### 5.1 実験目的

実験2はシャトルの開閉の状態の条件を変化させたときの飛距離の差異を測定することを目的として行う。単純な開いた状態と閉じた状態以外に、射出直後に開閉状態を変更した場合の飛距離の差異も含めて調査した。仮説では射出直後に開いた状態から閉じた状態に変更すると空気抵抗が少なくなるため開いたままの状態より飛距離が伸び、射出直後に閉じた状態から開いた状態に変更すると空気抵抗が大きくなり飛距離が落ちると予想した。

##### 5.2 実験手法

a. 開いたまま, b. 開いた状態から閉じる, c. 閉じたまま, d. 閉じた状態から開くという4つの状態でそれぞれ10回ずつ飛ばして飛距離を計測した。測定方法としては、落下地点にテープでマークしてメジャーを用いて飛距離を記録した。本実験からMoCapカメラを採用して射出を捕捉すると開閉の命令を出すプログラムを用いて実験を行った。MoCapカメラの配置や飛距離の測定を含めた実験の様子を図8に示す。なお、射出の仕方と飛距離の測定の方法は実験1も同様の方法で行った。

本実験において開いた状態はサーボモータの回転角が0度の状態、閉じた状態を120度の状態と定義した。閉じた状態を120度としたのは、実験1よりこれ以上羽を閉じて飛距離に差が生まれにくいことが分かったためである。無理に180度に近い角度にしまうとサーボモータに負担がかかるともに閉じ終えるまでの時間が余計にかかってしまうというデメリットもあるため120度を採用した。なお、射出の距離を出すために前実験で使っていた射出装置のゴムを新たに一つ追加し、ゴム紐を引く位置は板の斜面の一番下にした。(図9)この改良により開いたままの状態において実験1では平均520cm程度の飛距離だったのに対して200cm以上飛距離を伸ばすことに成功した。



図8 実験2の様子。装置の配置(上), 飛距離の測定(下)  
 Fig.8 Abstract of Experiment 1.



図9 射出機構の改良  
 Fig.9 Improved Version of the Launching Pad.

### 5.3 実験結果

測定の結果を図10に示す。ボンフェローニ補正をしたt検定の結果開いた状態から閉じた時と閉じた状態から開いた時の飛距離間以外に有意差があるという結果になった。特筆すべきは、閉じた状態から開いた時は閉じたままの状態よりも飛距離が大きく落ちているのに対して開いた状態から閉じた時元の開いたままの状態よりも飛距離が伸びている点である。これは本実験のために設定した仮説を裏付けるものであると考

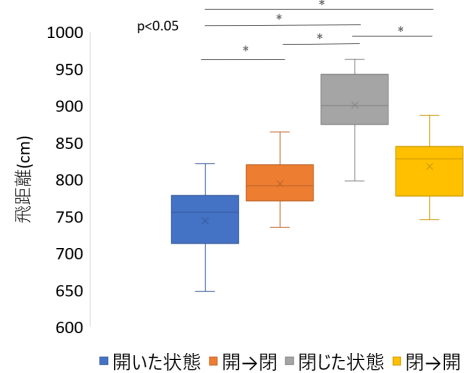


図10 実験2の結果  
 Fig.10 Result of Experiment 2.

えられる。

## 6. 本研究の応用

バドミントンのシャトルであるため実際にラケットを使って打つような遊びを考案するのが望ましい。しかし、本研究ではハードウェア上の都合によりラケットで強くシャトルを叩くと破損してしまう恐れがある。そこで現状の実装における遊びへの応用例としてこのシャトルを使ったキャッチボールを考えた。

本研究で開発したシャトルを使えば、視覚的に面白いキャッチボールができるだけでなく微量ではあるがシャトルの飛距離を変更することができるということが明らかになった。今回はユーザの任意のタイミングで羽の状態を変えるか否かを選ぶことができるようにした。PCをそばにおいて投げの人が入力すればシャトルを受ける側はシャトルが元の状態のままであるのか、空中で変化するのか分からないというような楽しみ方もある。

また、キャッチボールには、大人と子供など投げる力が異なる人の間でキャッチボールを行うとき力が弱い人が届くような距離でキャッチボールを行わなければならない。このため、力が強い人は加減をして投げなければならないという課題がある。このシャトルを用いて力が弱い方が投げるときには飛距離が伸びるように羽を閉じた状態にし、力が強い人が投げるときには飛距離が落ちるように羽を開いた状態にすれば力の強い人が加減する必要性が軽減し、能力差を考慮したキャッチボールをすることができる。力の強弱の差を埋めることを目的とするため射出してから空中で状態を変化させるのではなくシャトルを受け取ってから手元で開閉を切り替えるようなプログラムを作成した。実際にキャッチボールをしている様子を図11に示す。



図 11 キャッチボールの様子。開いている様子  
(上), 閉じている様子(下)

Fig. 11 Photograph of Playing Catch.

## 7. 議論と制約

今回のバドミントンのシャトルは実際にバドミントンの競技で使われるシャトルよりも大きさが大きく、シャトルの内部に様々な部品を取り付けている。そのため通常のバドミントンの競技のようにラケットを使って打つことが困難であるという欠点がある。また、モーションキャプチャによるシャトルのトラッキングを失敗することがあった。機器の変更などで正確にシャトルの速度を取ることができれば、その速度をもとにシャトルの羽の開閉を調整できるかもしれない。すなわち異なる射出速度でも最終的に飛距離をある程度統一するようなことが実現できる可能性がある。

## 8. 終わりに

本研究では、サーボモータを組み込んで羽の開閉を行うことができるバドミントンシャトルを開発し、羽の開閉による飛距離の変化を計測した。また空中での羽の開閉においても飛距離に影響が出ることがわかった。この開閉が調整可能なバドミントンシャトルの応用例として、キャッチボールの拡張を示した。今後はシャトルの軽量化によるさらなる飛距離差の創出や別手法を用いたシャトルのトラッキングの精度の向上に取り組む。

## 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP20H04228 の助成を受けたものである。

## 参考文献

[1] Ohta, T., Yamakawa, S., Ichikawa, T., Nojima, T.: TAMA: Development of Trajectory Changeable Ball for Future Entertainment; AH '14: Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference, March (2014), Article No.50, Pages 1–8

- [2] Morisaki, T., Mori, Ryoma, Mori, Ryosuke, Makino, Y., Itoh, Y., Yamakawa, Y., Shinoda, H.: Hopping-Pong: Changing Trajectory of Moving Object Using Computational Ultrasound Force; ISS '19: Proceedings of the 2019 ACM International Conference on Interactive Surfaces and Spaces, November (2019), Pages 123–133
- [3] 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; In Proc. AH 2010, ACM Press (2010), Article No.22.
- [4] Sugano, Y., Ohtsuji, J., Usui, T., Mochizuki, Y., Okude, N.: Shootball: the tangible ball sport in ubiquitous computing; In Proc. ACE 2006, ACM Press (2006), Article No.31.
- [5] Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B., Paradiso, J.: PingPongPlus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play; In Proc. CHI 1999, ACM Press (1999), 394-401.
- [6] Mueller, F.F., Cole, L., O'Brien, S., Walmink, W.: Airhockey over a distance: a networked physical game to support social interactions; In Proc. ACE 2006, ACM Press (2006), Article No.70.
- [7] Shishido, H., Kameda, Y., Kitahara, I., Ohta, Y.: 3D Position Estimation of Badminton Shuttle Using Unsynchronized Multiple-View Videos; In Proc. AH '16: Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference (2016). Article No.47 Pages 1–2
- [8] Rahmadi Kurnia, Adbian Pasmai, Ikhwana Elftri.: Analysis of the Smash and Dropshot Movement Patterns in Badminton Sports using Pearson Correlation; ICBET 2020: Proceedings of the 2020 10th International Conference on Biomedical Engineering and Technology, September (2020), Pages 164–169
- [9] Kim, S., Lee, K., Nam, T.: Sonic-Badminton: Audio-Augmented Badminton Game for Blind People; CHI EA '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, May (2016), Pages 1922–1929
- [10] Umetani, U., Koyama, Y., Schmidt, R., Igarashi, T.: Pteromys: Interactive Design and Optimization of Free-formed Free-flight Model Airplanes; ACM Transactions on Graphics, Volume 33, Issue 4, July (2014) Article No. 65, pp 1–10