

フラフープ型ゲームコントローラ “Connected Hoop” の提案

土井伸洋^{†1} 栗原一貴^{†2}

本稿では、新たなゲーム体験を提供するためのデバイスであるフラフープ型ゲームコントローラ“Connected Hoop”を提案する。このデバイスは、一般的なフラフープと同じ形状を持ち、同じ操作性を保持しながらも、内蔵されたセンシングユニットにより「回す」「転がす」「揺らす」などの状態をデバイス単体で識別することが可能である。さらに、このデバイスは一般的な Bluetooth ゲームコントローラとしてのインタフェースを有し、フラフープの状態をボタンの押し込みやスティックの傾きとしてプラットフォームに伝達できる。本稿では、このデバイスの利用面と開発面での特徴や利便性について述べるとともに、このデバイスを活用したゲームが提供しうる体験について報告する。

Connected Hoop: A Hula Hoop-Shaped Game Controller and its Application in Enhancing Gaming Experiences

NOBUHIRO DOI^{†1}
KAZUTAKA KURIHARA^{†2}

In this paper, we propose the “Connected Hoop”, a hula hoop-shaped game controller designed to provide a new gaming experience. This device, while maintaining the same shape and operability as a conventional hula hoop, can detect states such as “spinning”, “rolling”, and “shaking” on its own, thanks to its built-in sensing mechanism. Furthermore, this device features a standard Bluetooth game controller interface, transmitting the hula hoop’s state to the platform as button presses and stick tilts. In this paper, we discuss the features and convenience of this device in terms of its use and development, and report on the experiences that games utilizing this device can offer.

1. はじめに

運動を通じての体力の維持や健康の増進、ストレスの発散は、老若男女問わず人が健やかな生活を送るために大切な事項のひとつである。特に 2020 年以降に全世界的にコロナウイルス感染症が広まった際は、外出制限やリモートワークが急激に増えことで、運動不足やこれに端を発する体調不良やストレスを訴える人が増えたことは記憶に新しい。[1]では、ロックダウンにより移動（交通行動）が禁止されたことが主要因となり、期間中、人々の身体活動量はおおむね 2~3 割低下したことが報告されている。このような状況を経て、能動的に運動することの価値や必要性が再認識されている。

運動を継続的に行う、また正しく効果的に行うには、モチベーションの喚起や、目標の設定、動きの観察と修正を行うことが望ましい。近年、特に器具を用いた運動において、それらに内蔵されたセンサにより、動きの強度や回数を計測したり、姿勢を視覚化することができるものが複数発売されている。また器具の動きをゲームの操作入力として活用することで、運動継続のモチベーションとするアプリケーションも複数発売されている。一方で、それらの付加機能が万人に対して効果的なモチベーションとなるかは疑問がある。

例えば、動きを計測する機能について考える。普段より運動を継続している人であれば、数値の変化により運動継続の効果を定量的に確認でき、それがさらなる継続のモチベーションになりえると考えられる。しかし、新たに運動を始めようとする人や始めて日が浅い人にとって、利用するのに心理的ハードルが高かったり、数値化できることだけでは十分なモチベーションになりづらい可能性がある。実際、同種の機器の多くはハイアマチュア向けのものがほとんどである。

より万人に対するモチベーション方法のひとつとして、デジタルゲームを活用する方法が考えられる[2]。例えば、ウォーキングへのモチベーション喚起を狙いとしたスマートフォン向けゲーム、Pokémon GO[3]やドラゴンクエストウォーク[4]は広く知られている。これらアプリケーションは、年齢、体格、性別によらず利用できるようにデザインされており Pokémon GO によって利用者の歩行量が増加したという報告もある[5]。“動きを計測する機器”という観点でこれら事例を分類するならば、“スマートフォンという歩行数（あるいは歩行数と自己位置）を計測する機器”とみなせる。

一方で、これら“動きを計測する機器”が計測できるのは、多くの場合特定の 1 つの動きに限られ、得られる数値の次元数も低い。そのためこれらから得られる情報を入力

^{†1} (有) 来栖川電算
Kurusugawa Computer Inc.

^{†2} 津田塾大学
Tsuda University

とした魅力的なデジタルゲームを構築することは簡単ではない。ゲーム内で使用する IP（知的財産）に、すでに高い人気があるものを利用することで魅力を向上させることは可能であるが、費用等の面から実現できるのは限られたデベロッパーのみであり、結果としてアプリケーションのバリエーションも少なくなってしまう。また機器の多くはクローズドな仕様になっており、機器付属のアプリケーションからしか利用することができない。

このような状況を鑑み、筆者らは、年齢、体格、性別に寄らず簡便に利用可能であり、多様な動きを認識可能な運動器具の新たな形態について模索をおこなった。さらにこれをデジタルゲームと組み合わせ、より多くの人々に新しい体験や、個々の事情にそった体験を提供でき、また運動のモチベーションとなりうる形態について考えた。

このような経緯を経て、本項ではフラフープ型のゲームコントローラ “Connected Hoop” を提案する（図 1）。提案デバイスは一般的なフラフープと同じ外見や操作性を保持しながら、内蔵されたセンサにより複数の状態を識別することができる。さらにデバイスは一般的な Bluetooth ゲームコントローラとしてのインタフェースを有し、フラフープの状態をボタンの押し込みやスティックの傾きとしてゲームプラットフォームに伝達することができる。これによりアプリケーション開発の間口を広げ、多様な人々に新しい体験を提供できる可能性があると考ええる。

提案デバイスを活用したアプリケーション（＝コンピュータゲーム）の構築や、これを展示した際の試遊者の反応を観察し分析することで、その有効性を示す。

2. 関連研究

2.1 センシング機能をもつスポーツ器具

センシング機器やバッテリーの小型化や高性能化により、主にプロフェッショナルやハイアマチュアをターゲットとした、状態のセンシングが可能なスポーツ器具が複数発売されている。状態を数値化することで、人間の審判が観測しがたい部分を補助したり、使用者の上達を補助する目的で使われる。

例えば KINEXON 社とアディダス社は慣性センサを内蔵したサッカーボールを開発した [6, 7]。このデバイスは、競技用のボールと同じ重量やサイズを維持しつつ、内蔵センサによりボールのスピードや回転数、軌道、位置などを計測できる。計測したデータは無線を通じて取得できる。すでに国際試合で使われているほか、安価なモデルについては購入することもできる。球技については類似する製品が複数開発されており、野球ボール[8]、バスケットボール[9]、ラグビーボール[10] などがある。

SONY 社やほかの複数の企業は、テニスラケットやゴルフクラブの動きを数値化し視覚化できるセンサユニットを開発した[11]。インパクト時の姿勢やスピード等を定量的

に計測・分析することで、利用者の上達に貢献できるとしている。

それ以外にはスポーツ自転車用のセンサが挙げられる。走行時のスピードやパワーを計測し、スマートフォンアプリケーションなどに転送・視覚化・分析することができる機器が複数発売されている[12,13]。また、[14]などのバーチャルサイクリングアプリケーションと組み合わせることで、仮想のサイクリングやレースが楽しめるものもある。これは走行距離やスピードに応じた走行画面をスマートフォンやタブレット上に表示することで、スポーツ自転車の室内トレーニングにおける使用者のモチベーションを喚起しようとするものである。

いずれのデバイスも、センシング機能を備えながらも、もとのデバイスの操作性を損なうことがないように設計されている。

2.2 センシング機能をもつフラフープおよび類似デバイス

市販されている複数のフィットネス用フラフープのうち、腰にデバイスを巻き付けるタイプのものでは、メカニカルな回転数カウント機構を持つものが複数販売されている。一般的なリング形状を持つものの例としては VHOOP[15] がある。これは、回転数や消費カロリーを数値化できるセンシング機能付きフラフープである。フラフープ本体に慣性センサが内蔵されており、センシング結果は Bluetooth 経由で専用スマートフォンアプリに送信され利用される。

またフラフープそのものではないが、リング形状のものとして Nintendo リングコンと専用アプリケーションが挙げられる[16]。この製品は、押し込む/引っ張るなどの状態とその強度をセンシングできる。そしてこの情報を活用した専用ゲームが提供されており、楽しみながら運動を行えるアプリケーションとして広く知られている。

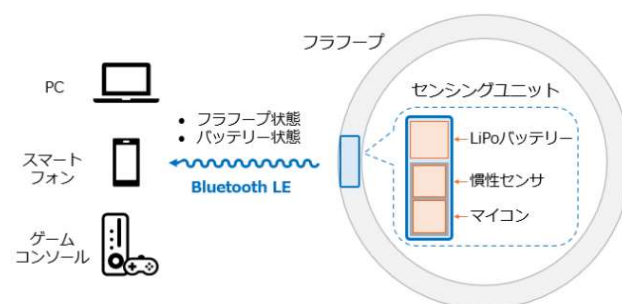


図 1 “Connected Hoop” の概略構成
Figure 1 Outline block diagram of “Connected Hoop”

3. Connected Hoop

本章では、まず提案するデバイスの構成概要と機能について述べ、そののち各部の実現方法について説明する。

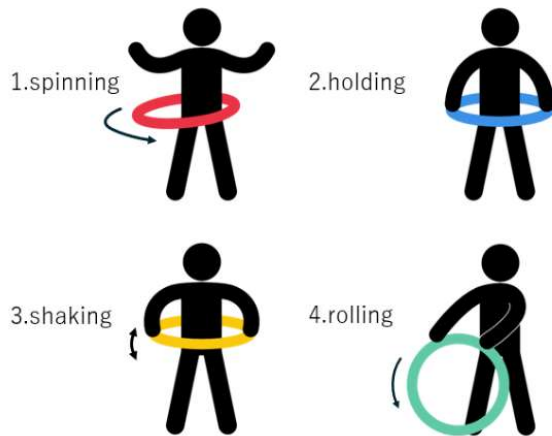


図 2 識別可能なフラフープ状態
Figure 2 Defined hula-hoop states.

3.1 構成概要および機能

図 1 は提案する Connected Hoop の概略構成である。Connected Hoop には、慣性センサ（6 軸）および Bluetooth 通信機能（BLE 5.0）を備えたマイコン基板と、LiPo バッテリー（容量 150mAh）からなるセンシングユニットが取り付けられている。慣性センサはフラフープの動作をセンシングし、マイコンに送信する。マイコンは送られてきたセンシングデータを処理し、Bluetooth 通信（BLE）によってゲームプラットフォームへフラフープの状態を送信する。センシング結果処理機能として次の 2 種類を備える。

① 状態識別処理

慣性センサの値を元に、フラフープの動作状態を以下 5 種に識別する処理である（図 2）。

1. spinning（フラフープが水平に回されている状態）
2. holding（フラフープが水平に静止している状態）
3. shaking（2 の状態を基準に、フラフープが上下にゆすられている状態）
4. rolling（フラフープを縦にして転がしている状態）
0. unstable（それ以外の状態。水平以外の静止や、1~4 に相当しないすべての動き）

② 状態計測処理

慣性センサの数値をそのまま取得する処理である。計測値を分析することで、フラフープの回転回数や回転速度を求めることに利用する想定である。省電力化のため、取得するのは加速度センサ（3 軸）のみとした。

計測結果の一例を図 3 に示す（“フラフープを腰で回しているが、次第に回転速度が落ち、最後には落下させてしまう”ときの慣性センサの値）。

また、センシングユニットからゲームプラットフォームへの通信処理機能として次の 2 種類を備える。いずれも Bluetooth LE 仕様に準拠する形で実装した。

- HID over GATT profile（BLE 上でゲームコントローラ機能を提供する仕様）

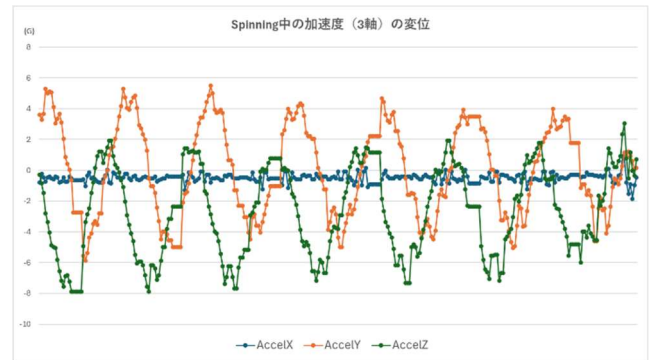


図 3 状態計測処理結果例
Figure 3 An example result of measurement.

- Battery service profile（BLE 上でバッテリー状態通知を提供する仕様）

ゲームプラットフォームへフラフープの状態を送信する際は、一般的な Bluetooth ゲームコントローラの操作情報へ変換して送信する。動き識別処理の結果については、0:unstable を除く 4 状態をゲームコントローラのボタン（1~4）の押し込み状態で表現する。また動き計測処理の結果は、ゲームコントローラのスティックの傾き（3 軸）で表現する。

これにより、ゲームプラットフォーム上で稼働するアプリケーションやアプリケーションの開発者は、フラフープをあたかも通常の Bluetooth ゲームコントローラとみなして利用できる、という仕組みである。

なお、省電力化のため、センシングユニットからゲームプラットフォームへの通信はフラフープの状態あるいは計測値が変化したときのみ行うようにした。

3.2 ハードウェア部の実現方法

図 4 は、実現した Connected hoop の外観である。本体は市販の組み立て式フラフープをそのまま利用しており、直径は 73cm~98cm、重量は 713g~950g の範囲で調整可能である。表面は 4.4mm のゴムでおおわれており、使用者への負荷が分散される構造となっている。



図 4 Connected hoop の外観
Figure 4 An overview of Connected hoop.

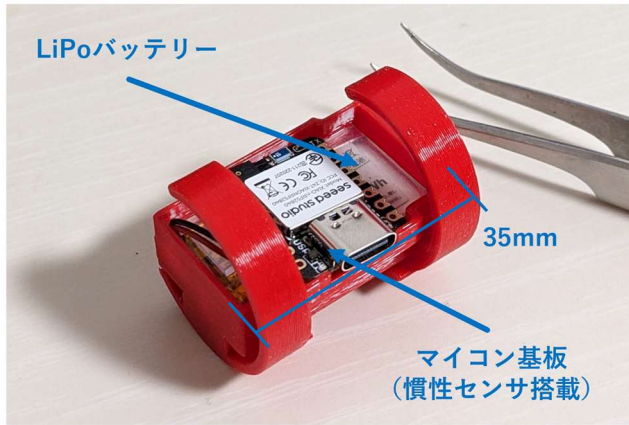


図 5 センシングユニット

Figure 5 A sensing unit.

図 5 はフラフープ管内（直径 26mm）に取り付けたセンシングユニットの拡大図である。取り付けのためのケースは CAD ソフトにて設計を行い、3D プリンタで出力した。表 1 に使用したマイコン基板のスペックを記載する。

表 1 マイコン基板のスペック（抜粋）

Table 1 A microcontroller board specification.

製品名	Seeed Studio XIAO nRF52840 Sense
プロセッサ	Nordic nRF52840 64MHz Arm Cortex-M4 with FPU
寸法	21 x 17.5 mm
無線機能	Bluetooth 5.0 / BLE / NFC
メモリ	256KB (RAM) 1MB Flash(on chip), 2MB Flash(on board)
センサ	6 DOF IMU (LSM6DS3TR-C) PDM Microphone

フラフープ外観に対する変更は直径約 10mm の充電用穴のみである。これは利便性のために設けられたものであり、利便性を犠牲にすれば不要である。この場合、フラフープの外観に対する変更は全くないことになる。また取り付けしたセンシングユニットの重量は 13g である。いずれの変更も元のフラフープの操作性を損なうものではないと考える。なお現行の実装では取り付けするセンシングユニットは 1 つとしてあるが、複数取り付けることでより詳細なデータを取得することも可能である。

3.3 ファームウェア部の実現方法

マイコン用のファームウェア開発は Arduino IDE[17]上で行った。センシング結果処理機能および通信処理機能のいずれについても、Arduino IDE を通じて提供されるオープンソースライブラリおよびマイコン基板製造者から提供させるライブラリを用いて開発を行った。

センシング結果処理機能のうち“状態識別機能”の実装には深層学習技術を用いた。以下に詳細を述べる。

3.3.1 状態識別処理の実現方法

識別処理の入力となるセンサデータはマイコン基板上

に搭載される慣性センサから取得する。センシングサイクルは 40msec 毎 (=25Hz) とし、加速度データ (3 軸) のみを用いた。慣性センサからはジャイロデータ (3 軸) も取得できるが、省電力化および 5 クラスの識別を行うには過剰であることを鑑み使用しなかった。識別器は 4 層のニューラルネットからなり、16 sample (640 msec 分のセンサデータ) を入力とし 5 状態を出力する。実装には深層学習フレームワーク TensorFlow Lite for Microcontrollers[18] を用いた。識別器の性能については次節で述べる。

あわせて、識別器を構築するための教師データ採取をおこなった。これは、データ採取用のファームウェアを書き込んだセンシングユニットをフラフープに組み込み、実際にフラフープを操作してデータを採取した。1 回の操作時間は 10~25 秒とし、これを繰り返す形でデータを採取した。採取したデータ量と種類を表 2 に示す。このデータの 80% を学習に、20%を検証に用いた。

表 2 教師データの採取量

Table 2 Recorded sensor data for model training

状態	合計データ量(sec)
spinning	256 sec
holding	449 sec
shaking	400 sec
rolling	359 sec
unstable	649 sec

3.4 提案デバイスの特徴と利点

3.4.1 市販されているフラフープと同じ外見・操作性をもつ

提案デバイスはセンシング機構を備えているが、市販されているフラフープと比べ、外見の変更はほぼなく、操作性も変わらないと考える。センサ類はすべて内蔵され、デバイス表面にゴムクッションが備えられているため、落下などの衝撃による破損についても意識せず利用することができる。

同じくリング形状である Nintendo リングコンは、通信用のコントローラが目に見える状態でセットされている。1 台当たり 4 千円相当のコントローラがセットされた器具を運動に利用する場合、人によってはこれを意識してしまい、全力で運動することにためらいを感じる人もいかもしれない。

3.4.2 複数の状態を識別可能であることで多様な体験を提供できる

フラフープ形状をした類似製品が「回る」状態のみを識別し数値化できるのに対して、提案デバイスは図 2 に挙げた複数の状態を識別できる。これにより多様な体験を利用者に提供できる。

例えば未就学児などの非常に小さな子供では、体格や筋力の不足によりフラフープを回すことができない場合もある。このような場合でも、「回す」以外の状態に対してエン

タイムメント性を付加することで、楽しめる環境を提供できる。これについての具体的を5章にて提示する。

3.4.3 大多数の人がフラフープの使い方を知っている

国内であれば初等教育課程でフラフープを扱うことが多く、それ以外にも他人が使用しているのを見たことのある人がほとんどである。そのため、ほとんどの人にとって説明書を読まなくても利用できるデバイスであるといえる。これは独自形状をもつ他のコントローラに対するメリットである。利用者にとっては手に取るときの敷居が低く、またまたアプリケーション開発者にとっては使用方法についての説明が不要、もしくは最小限で済む。

3.4.4 光学カメラでの認識が困難な状況にも対応できる

近年、光学カメラを用いた認識技術の向上はめざましく、デバイスにセンシングユニットを埋め込まずとも画像認識によってフラフープの状態識別ができる可能性はある。しかしそれらを考慮しても、現構成はやはりメリットがあると考ええる。

まず提案デバイスでは、カメラの画角に収まらない動き、例えばフラフープを転がしつつ走ったり、宙に向かって投げる、などの動きの識別にも対応できる。これらの動作は新体操等で見られる動きであり、特に非現実的な身体動作ではない。光学カメラを用いる方法でこれらに対応する場合、離れて撮影する、あるいは対象を追いかけながら撮影する、ことが必要であり、そのための機材や人手が必要になる。一方、現構成によれば、デバイス単体で完結できる。

またデバイスの使用者が複数いる状況や、1人が複数のデバイスを同時に扱う場合にも、現構成であれば対応が容易である。

3.4.5 安価に構成できる

著者が提案デバイスを試作したときにかかった費用は約5700円である(フラフープ 2200円、マイコン基板 2893円、LiPo バッテリー575円)。手で操作する Bluetooth ゲームパッドと比較すると高価であるが、比較対象である Nintendo リングコン(約9000円、リングコン本体 4950円、リングコンに取り付ける Joycon 3980円)に比べれば安価である。

さらに各部品については、複数台購入することでボリュームディスカウントを受けられるため、費用をさらに低減できる可能性がある。

3.4.6 一般的な Bluetooth ゲームコントローラのインタフェースが提供されている

提案デバイスは一般的な Bluetooth ゲームコントローラと同じインタフェース (HID over GATT profile) を提供しているため、開発者は独自のプロトコル処理を書かずとも提案デバイスを活用できる。また多様なゲームプラットフォームやゲーム制作フレームワークへの接続についても規格にて保証される。2章で述べたほぼすべてのデバイスは仕様がクローズドであり機器固有のアプリケーションを通じ

てしか利用ができない。仕様がオープンであることは開発者にとって大きなメリットであると考ええる。

3.5 基礎性能評価

実装したセンシングユニットについて、識別精度、識別速度および稼働時間の評価を行った。

3.5.1 識別性能

識別性能の評価には、作成した教師データのうち学習に使用しなかったものを用いた。これは全体の20%に相当する。表3に識別結果を示す。結果は混同行列の形で示しており、縦軸が真の状態、横軸が推論結果である。

識別結果を確認するに、構築した識別器は spinning / holding / shaking の3状態については高い識別性能を示す。一方、rolling についてはそれ以外の3状態と比べると性能低下が見られた。ただし、これは教師データの性質によるところが大きく、数値が示すほど操作性に悪影響を与えるものではないと考えている。このことについて説明する。

前節で述べた通り、教師データはフラフープを実際に動かし、この時のセンサデータを記録する形で行った。この中で rolling についてはデータ採取上の課題があった。rolling は「フラフープを縦にして転がしている状態」と定義した。つまり「フラフープを縦にして止まっている状態」はこれに含めない。この状態を採取するには「フラフープが転がし続け、この時のセンサデータを記録する」ということが必要であるが、実現には広いスペースが必要であり困難であった。

そこで、フラフープを右に2m程度転がし、折り返して左に2m程度転がすという形で rolling 状態のデータを採取した。並行して「フラフープを縦にして止まっている状態」を unstable 状態のデータとして採取した。

しかし、このようにデータを採取した場合、「転がしている状態」(rolling)のデータには「止まっている状態」(unstable)が含まれる(折り返している瞬間がこれに相当する)。そのため評価上は rolling 状態と unstable 状態の混同が見られるという結果になる。

表3 フラフープ状態識別の混同行列

Table 3 Confusion matrix of hula-hoop state classification.

	spinning	holding	shaking	rolling	unstable
spinning	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
holding	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
shaking	0.000	0.000	0.986	0.000	0.014
rolling	0.000	0.000	0.000	0.928	0.072
unstable	0.000	0.004	0.021	0.038	0.937

Predicted values

3.5.2 識別速度

識別速度はファームウェア中に実行速度計測用のデバッグコードを挿入して計測した。識別処理を1000回行っ

た場合、平均識別速度は 3.25 msec、最大識別速度は 5.86 msec であった。これはセンシング間隔 (40 msec) と比べても十分高速であるといえる。計測結果を詳細に確認すると、5 msec 以上かかる状況は通信処理を行うときのみ発生しており、通信処理が優先された影響で識別処理が待たされるという状況であった。それ以外での識別処理は 3~4 msec に収まっていた。

なお、構築した識別器について量子化は行っておらず、単精度浮動小数点 (FP32) 精度のまま計算を行っている。マイコンが浮動小数点演算ユニットを備えていることに加え、深層学習モデルが軽量であることから、量子化せずとも実用に十分な識別速度を達成できたことが理由である。

3.5.3 稼働時間

稼働時間の評価においては、①状態識別処理のみを実装したファームウェア A と、①状態識別処理と②状態計測処理の双方を実装したファームウェア B の 2 種を対象とし、バッテリー満充電状態での連続稼働時間を計測した。ホストには Bluetooth 5.3 通信機能を有する Windows PC を使用した。

前記の通り、通信処理はフラフープの状態あるいは計測値が変化したときのみ行う実装としている。そのため変化が少ないファームウェア A では、より長い稼働時間を達成できると考え、計測対象を 2 種とした。なおファームウェア A 使用時は、フラフープの状態が変化する頻度に応じて通信回数が変わるため、頻度について前提を設ける必要がある。今回は、後述する専用コンピュータゲーム (HoooPizza) をプレイし続けたと仮定して頻度を定めた (状態変化発生回数 = 0.41 回/sec(avg))。結果を表 4 に示す。

表 4 稼働時間

Table 4 Battery life.

ファームウェア	稼働時間
ファームウェア A	1284 min
ファームウェア B	1275 min

結果を見るに、Connected Hoop をフィットネスやゲームコントローラとして利用するのに十分な稼働時間を実現できていると考える。必要であれば、BLE 通信パラメータのチューニングや、アプリケーションに特化した BLE 通信ソフトウェアモジュールを独自に開発することでさらに稼働時間を延ばせる余地はある。

一方、ファームウェア A とファームウェア B の稼働時間はほとんど変わらなかった。BLE では、接続を維持するために、送るべきデータがなくとも一定間隔で通信をする必要があることが主原因であると推測される。

4. 応用事例

提案デバイスを入力装置として用いた応用事例について説明する。なお事例を公開展示したことによる結果や、

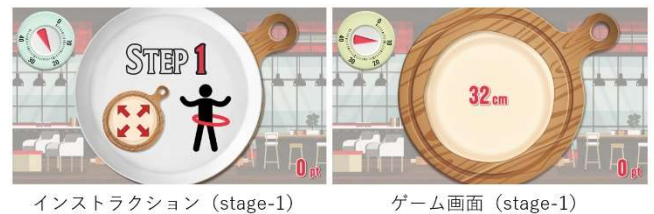
試遊者の反応については次章で述べる。

“HoooPizza” は提案デバイス向けに作成した専用コンピュータゲームであり、ピザの調理をテーマにしたものである (図 6)。ゲームは以下 3 ステージから構成され、それぞれで図 2 示す状態を活用する。

Stage-1: ピザ生地を広げる (spinning することでピザ生地を広げる。フラフープをピザ生地に見立てている。レストランにて生地を指先で回して大きくするパフォーマンスに着想を得ている)

Stage-2: 食材をトッピングする (shaking することで、食材をトッピングする。また hold することで食材を変更できる。フラフープを手に見立てている)

Stage-3: 焼きあがったピザをカットする (タイミングにあわせて rolling することでピザをカットする。フラフープをピザカッターに見立てている)。



試遊時の様子

図 6 応用例 “HoooPizza”

Figure 6 Application example “HoooPizza”.

各ステージは、5 秒程度のインストラクション (図 6 左上) と、ゲーム画面 (図 6 右上) から構成されており、試遊者を戸惑わせないようにした。さらに、各ステージで行うフラフープの動きは、現実の動作を関連付けられるものとした。

5. 展示評価

提案デバイスが、使用者にとって受け入れやすいものであるか、また本来の操作性を損なっていないか、を検証するために、応用事例 HoooPizza を用いた展示評価を実施した。このうち展示 B/C においては、試遊者の Stage-1 にお

ける行動確認やヒアリング実施による簡易分析をおこなった（表 5）。行動確認ができた件数を“試遊状況確認数”列に、観察者の離席などにより行動確認ができなかった件数を“試遊状況未確認数”列に記した。以下に観察結果を記す。

表 5 展示評価の概要

Table 5 Overview of exhibition evaluations.

ID	場所	総試遊人数	試遊状況 確認数	試遊状況 未確認数
展示 A	海外（台北） 3 日間	>200	-	-
展示 B	国内（愛知） 2 日間	136	108	28
展示 C	国内（東京） 2 日間	101	91	10

5.1 フラフープであることの効果

コントローラがフラフープそのものであることから、ゲーム開始時に使用方法の説明がほぼ不要であった spinning のほか、holding, rolling については、ほとんどの試遊者が操作を自然に受け入れているように見られた。展示 B/C においてインタビューを試みたところ「学校でやったことある」と答える子供が複数見られた。唯一 shaking については、振りの強さや頻度をアドバイスすることがあった。特に試遊者が未就学児の場合、体格的に揺らす強さや頻度が不足することで shaking と判定されない事例が複数あった。これについては学習用データの追加や識別モデル改良で対応できる可能性があると考えられる。

また外観への変更がわずかであることで、試遊者は提案デバイスを一般的なフラフープと同様に扱う光景が見られた。試遊中、フラフープを「回すのに失敗し地面に落とす」「回している途中に人にぶつける」「足で踏む」という事例が複数回発生したが、デバイス自体の破損を心配する試遊者は上記展示中にはいなかった。なお、これらの衝撃によりセンシング機能が失われるような事態も、展示中一度も発生しなかった。

5.2 ゲームとして構成することによる効果

まず、ゲームのテーマとして「ピザの調理」という普遍的なテーマを扱ったことで、試遊者の年齢/性別/国籍によらず試遊にあたっての敷居を低くできたと考える。展示 B においては 108 件中 104 件、展示 C においては 91 件中 76 件が子供の試遊者であり、未就学児を含む多くの子供らが自ら試遊を申し出た。

このなかで、展示 A/B/C のいずれにおいても、「(Stage-2) どのようなトッピングが高得点に結びつくか?」、 「(Stage-3) 幾つに切り分けるのが良いのか?」といった質問は寄せられたが、「何をするゲームなのか?」という質問はなかった。

また、試遊した子供のほとんどは、Stage-1 の制限時間いっぱいフラフープを回そうと挑み続けた。展示 B/C におい

て、Stage-1 を試遊中の子供がとった行動を表 6 に示す。

表 6 Stage-1 における子供試遊者の行動

Table 6 Child players' behaviors in Stage-1

状況	展示 B	展示 C
一度も落とさず回す	33	32
落としながらも回す	58	41
途中で諦める	2	0
その他	11	3

「フラフープをまわそう」という直接的な目標ではなく「大きなピザをつくろう」という身近かつ分かりやすいな目標をゲームにより提示できたことがこのアクションに結びついていると考える。これが想像した以上の効果に結びついた事例も見られた。展示 B において、初日に試遊したある女兒（小学校低学年）は、初プレイ時においてはフラフープをほとんど回せず、1,2 回転して落としてしまうというレベルであった。しかしピザを大きくできなかったのを悔しがり、2 日間の展示の空きを見つけてはゲームに挑んだ結果、2 日目の展示終了時にはフラフープをほぼ完全に回せるまでに上達していた。ゲームにより運動などのモチベーションを喚起するゲーミフィケーションの好例であると考えられる。

5.3 複数の状態をセンシング可能であることの効果

展示 B/C では、試遊者のほぼすべてが子供であり、児童ならびに未就学児も含まれる状況であった。未就学児のなかにはフラフープを回転させるに体格的に不十分なものも含まれていた。彼/彼女らは、本人もしくは保護者を通じて「spinning を用いるステージ以外の部分だけでよいので遊びたい」と最初から申しでるものが計 9 件みられた。

もし提案デバイスが spinning の検出のみにしか対応していないのであれば、これらの人々に体験を提供できなかった。提案デバイスが複数の状態を検出できることで、より多様な人々へ体験を提供できることが、観察により明らかになったといえる。

5.4 その他、観察された事例

展示中、上記以外に観察された事例について以下にまとめる。いずれも制作時には想定していなかったものである。

5.4.1 チート行為

フラフープ本体でセンシングをしていることをプレイヤーが即座に理解し spinning をチートしようとする事例が発生した。彼/彼女らはいずれも腰で回すのに失敗してからチート行為に挑んだ。展示 A においては 2 件発生し、いずれも成功した。1 名はフラフープを持ったまま体全体で回転する、もう 1 名は上腕をつかって縦方向に回転させるという方法とった。展示 B においては 1 件発生し、失敗に終わった。試した方法は前記と同じフラフープを持ったまま体全体で回転するものであった。

上記にあげた行為は「フラフープを腰で回さないが、回

したとセンサに誤認させる」という意味ではチート行為とみなせるが、“制作者が想定していない動作”という観点では、新たなエンタテインメント創出に利用可能かもしれない。例えば、手や足でフラフープを回転させる技術は、新体操などにおいては一般的に行われている動きであり、具体的な応用事例として参考にできる。

5.4.2 協力してゲームを進めようとするもの

プレイヤー本人の体格が小柄でフラフープを扱うのに力不足な場合に、両親や兄妹がこれを助けるという事例が複数あった。例えば、展示 B/C においては spinning をできないプレイヤーに対して、両親が代行する事例が計 5 件、兄妹が代行するものが計 3 件発生した。他にも、兄妹や友人が holding 実施時に水平にならない場合に水平度合い補助をしたり、shaking 実施時に揺れの強度を補助する事例があった。

また、上記とは逆に子供が大人を助けようとする事例もあり、展示 B においては 1 件、展示 C においても 1 件発生した。これは、子供が学校でフラフープを習って間もないことで回せる人が多いのに対して、大人は使用していない期間が長く回せない人が多い、ということが背景にあった。観察母数が十分といえるかは検討の余地があるが、展示 C においては、Stage-1 で一度もフラフープを落とさず回しきる人の割合が、子供で 42% (32/76 件)、大人で 27% (4/15 件) と、子供のほうがフラフープを得意としている可能性がうかがえた。展示においては、フラフープを回すのに苦戦する両親に対し、子供が「こうやって回すんだよ!」と、ジェスチャーで懸命に説明する姿が見られた。

一般社会において、子供が大人に教えるという事例はまれだと考える。今回見られたような状況を適切に活用することができれば、子供に“教わるのではなく教えること”を学ぶ機会を提供できるかもしれない。

5.4.3 ゲーム中に実生活に根付いたアクションをとるもの

ゲーム中、おのおののステージの最後にスコアリングがなされる。例えば Stage-1 であれば、ピザ生地を大きくすればするほどスコアが高くなる。ゲームであることを考えれば、より高い得点を目指すのが一般的な行動であろうが、それに反して、実生活での行動に基づいたアクションをとる事例があった。例えば、Stage-1 において spinning を実施できるにも関わらず、中断する事例があった。プレイヤーに理由を聞いたところ「小さい自分には、小さいサイズがちょうどよい」とのことであった。また Stage-2 においては、自分の好きな具材を沢山乗せたり、逆に苦手な具材（ピーマンなど）を除外するというものもあった。Stage-3 においては、低得点となる「非均一サイズの切り分け」を意図して実施したプレイヤーがいた。理由を聞いてみると「パパには大きいもの（＝ピース）をあげたい」ということであった。

現時点での HoooPizza のゲームデザインは、フラフープ

を意図通りに制御し、人々が想像するピザのイメージ（円形で、具材が十分に載せられ、均等に切り分けられてる）に沿うものを作り上げた場合に高いスコアが得られるものとなっている。だが、こういった状況を鑑みれば、別の観点到重点を置いたゲームデザインも考えられる。例えば、Stage-1 において、「回す」以外の何らかの操作により、円以外の好みの形状（例：三日月形、星形）の生地を製作できるゲームデザインとすれば、体格的にフラフープを回すことが困難な子供に対しても、楽しめる機会を増やせる可能性がある。

6. まとめ

本稿では、フラフープ型のゲームコントローラの提案と実装、および応用した結果について述べた。展示状況を観察するに、提案デバイスは、Nintendo リングコンなどの比較対象デバイスとくらべ、開発者にとっても利用者にとっても、使いやすいデバイスとなっていると考える。そして「フラフープを回す」以外の状態をもゲームに利用できることで、未就学児をふくむ多様な人々に体験をもたらしうることが確認できた。

一方で十分確認できなかった項目として、「運動する」「フラフープを回す」という目標に対してゲームによるモチベーション喚起がどの程度貢献したか、が挙げられる。効果を測るには比較実験を行うことが必要と考える。

提案デバイスのさらなる応用案としては「フラフープ上達に向けてのリアルタイムフィードバックの提示」が考えられる。提案デバイスより、3 軸加速度を取得可能であることを利用し、例えば「回し始めるときにもっと速度をあげれば、うまくいきやすいよ」というアドバイスを機械的に生成し提示できる可能性がある。

エンタテインメント性をより高める方向での応用案としては、提案デバイスを複数台利用する案が考えられる。例えば、2 人の試遊者がそれぞれフラフープを操り、その状態をゲーム入力とすることで、協力あるいは競争といった要素をもつゲームに利用できる可能性がある。これにより「運動する」「フラフープを回す」という目標に対するモチベーション喚起を、さらに効果的にできるかもしれない。

これらについては今後の検討課題とする。

参考文献

- 1) 日本運動疫学会 - 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) と身体活動に関する研究の紹介
<http://jaee.umin.jp/news210420.html>
- 2) Sween, J., Wallington, S. F., Sheppard, V., Taylor, T., Llanos, A. A., & Adams-Campbell, L. L.: The role of exergaming in improving physical activity: a review, *Journal of Physical Activity and Health*, 11(4), 864-870. (2014).
- 3) Niantic, Inc.: Pokémon GO (2016).
- 4) スクウェア・エニックス.: ドラゴンクエストウォーク

(2019).

5) Ma, B. D., Ng, S. L., Schwanen, T., Zacharias, J., Zhou, M., Kawachi, I., & Sun, G.: Pokémon GO and physical activity in Asia: multilevel study, Journal of medical Internet research, 20(6), e217 (2018).

6) Aurel COZA, Christian Dibenedetto.: Sport ball motion monitoring methods and systems, US20200398132A1 (2020).

7) KINEXON Sports: Live Ball Tracking
<https://kinexon-sports.com/technology/ball-tracking/>

8) Mizuno: MAQ
<https://jpn.mizuno.com/baseball/products/MAQ>

9) Wilson X: Connected Basketball
<https://www.wilson.com/en-gb/explore/labs/basketball/wilson-x>

10) GILBERT: Inside the smart rugby ball
<https://www.gilbertrugby.com/blogs/news/inside-the-smart-rugby-ball>

11) SONY: スポーツソリューション
<https://ict.sonymnetwork.co.jp/sports/>

12) SHIMANO: BIKE
<https://bike.shimano.com/>

13) GARMIN: GARMIN サイクリング
<https://www.garmin.co.jp/minisite/cycling/>

14) ZWIFT
<https://www.zwift.com/>

15) VHOOP
<https://www.kickstarter.com/projects/234991626/vhoop-a-new-fitness-device>

16) Nintendo: リングフィットアドベンチャー
<https://www.nintendo.com/jp/ring/>

17) Arduino IDE
<https://www.arduino.cc/en/software>

18) TensorFlow Lite for Microcontrollers
<https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers>