

修 士 論 文

ウェアラブルデバイスによる身体動作のリアルタイム・
フィードバックシステムの開発
-エンターテインメント・理学療法における応用-

平成 28 年度

指導教員 渡邊英徳

(15893513)

小宮 慎之介

首都大学東京大学院
システムデザイン研究科 博士前期課程
インダストリアルアート学域

提出日：平成 29 年 1 月 25 日

ウェアラブルデバイスによる身体動作のリアルタイム・フィードバックシステムの開発-エンターテインメント・理学療法分野における活用-

—

要旨

本研究では、ウェアラブルデバイスが十分に活用されていないエンターテインメントと理学療法分野における応用可能性について検討する。前者においては鬼ごっこをベースに、新たな駆け引きの要素を取り入れたコンテンツ「PetaPeta」を開発し、伝統的な鬼ごっこにはない楽しさの創出が可能かを検証する。後者においては歩行のリハビリ時の患者の体動を取得するデバイス「smarTcane」及びソフトウェアの開発を行い、患者の歩行時の体動から、理学療法士が利用可能なデータを取得できるかを検討する。これらの実装例を通して、両分野において、ウェアラブルデバイスが定量データを取得し、リアルタイムに装着者の状態をフィードバックすることを可能にする。

近年、ウェアラブルコンピューティング技術の発達により、「Google Glass」[1]や「Apple Watch」[2]を始めとするウェアラブルデバイスの研究開発が盛んである。これらのデバイスのおかげで我々は、身近な生活環境において今までは取得が困難であった定量データを取得することができるようになった。収集された様々なデータをもとに装着者へのフィードバックを行い、事故を未然に防いだり、情報を適切なタイミングで通知したりなどの活用も行われている。また取得したデータの解析を行い、様々な企業や行政において新たな知見の発見や業務の高度化・効率化にも繋がっている。

一方、エンターテインメントや理学療法の分野においてはウェアラブルデバイスの活用は未だ黎明期であり、その性能や活用にも限界がある。例えば、「HADO」[3]や「FUMM」[4]のようなエンターテインメントコンテンツは、体験できる場所が限定されている。そのため、いつ誰でもどこでも楽しめるコンテンツにはなっておらず、エンターテインメント産業における普及が困難となっている。理学療法分野においては、患者の日常生活の歩行をサポートするデバイスとして「高齢者支援杖」[17]、「歩行介助杖」[18]、「Communication Stick」[19]のような事例はみられるものの、患者の細かな体の動きを定量的に取得し、リアルタイムにモニタリングしている事例は見られない。

そこで本研究ではエンターテインメント分野において体験できる場所を限定せず、既存の鬼ごっこにはない楽しさを加えた「PetaPeta」というシステムの開発を行い、理学療法分野において患者の歩行時の体動を定量的に取得できるデバイス「smarTcane」の開発

を行う。

1. 従来の鬼ごっこにはない仕組みを取り入れた新しい鬼ごっこシステムの開発

本章では、場所を問わずに遊べる「鬼ごっこ」をベースとして、さらに新たな遊びの要素を取り入れたエンターテインメントコンテンツを開発する。従来の鬼ごっこにはない、俯瞰視点から他のプレイヤーの動向を観察するという駆け引きのファクターを加えるために、各プレイヤーの身体の動きの変化をリアルタイムに取得し、各プレイヤーのもつスマートフォン上のアプリケーションに位置が表示されるしくみとインターフェースを実装する。

まず、圧力センサ、3軸加速度センサと Bluetooth を搭載したインソール型デバイスによってプレイヤーの身体動作をセンシングし、そのデータを、スマートフォンを介してリアルタイムにサーバに送信する。各プレイヤーの行動は最終的に、プレイヤーの持つスマートフォン上のアプリケーションとウェブ上のマップにリアルタイムに送信され、プレイヤーと観衆にフィードバックされる。

インソールのセンサーはプレイヤーが走っているか歩いているのかを判別し、走っているときには全プレイヤーに自分の位置がリアルタイムに表示される。さらに、専用の観戦画面を開発し、参加していないプレイヤーもゲームの様子を観戦できるようにする。これにより従来の鬼ごっこにはない、俯瞰視点から他のプレイヤーの動向を観察するという駆け引きのファクターを加える。

ゲームの体験イベントを開催し、ゲーム後のアンケートの結果を検証したところ、「PetaPeta は既存の鬼ごっこに比べてどのような点が面白かったですか」という問いに対し、参加者の 48% が何らかの回答をし、その内、72% が「スマートフォンを使って遊ぶところ」と答えた。参加者の回答の中には「中敷き型のデバイスを使って行うところ」や「逃げた距離がポイントに換算される」点が面白かったなどの意見も得られた。これらの結果から、開発したシステムは目的を達成しており、従来の鬼ごっこにはない駆け引きのファクターを用いた楽しさを創出することができたと考える。

2. 歩行リハビリにおいて定量データを取得するための T 字杖の開発

理学療法の分野において、患者の歩行リハビリ時の細かな体動データを取ることができるデバイスの事例は見られない。そこで本章では、加速度センサとロードセルを搭載した T 字杖「smarTcane」（以後「本プロダクト」）とそのデータをリアル

タイムに閲覧することのできるソフトウェアを開発し、歩行者の定量的な体動データを取得することができるかを検討する。

本プロダクトでは杖の傾きや体重のかかり具合が計測でき、ソフトウェアでは理学療法士がそれをリアルタイムに閲覧することを可能にする。実際に歩行実験を行ったところ、従来の歩行テストでは得られない杖の動きや、杖にかかる荷重データを本プロダクトから取得することができるようになる。同時に本プロダクトから送信したデータを理学療法士がリアルタイムに閲覧できるソフトウェアにより、歩行の体動をグラフとして視覚化し、リアルタイムに歩行者に定量データをもとにアドバイスを与えることができた。このことから、従来の理学療法士の目視や歩行テストでは取得できなかった定量データを本プロダクトからリアルタイムに取得し、装着者にフィードバックすることが可能と言える。

これらの開発・検証からエンターテインメント分野においては、誰でも知っている古来からの遊び「鬼ごっこ」をベースとして、ウェアラブルデバイスならではの機能による駆け引きの要素を加えた、新たなエンターテインメントコンテンツを実現することができたと言える。理学療法の分野においても、従来の歩行テストや理学療法士の目視では不可能であった杖を用いた歩行時の体動の定量化を行い、そのデータをリアルタイムに理学療法士が閲覧し、そのデータをもとに患者へのアドバイスを可能にする。

本研究の貢献は、人々の生活に深い関わりを持つエンターテインメント及び理学療法の分野において、未だ黎明期にあるウェアラブルデバイスの機能を活かし、定量化されていないデータを定量化した上で、リアルタイムにフィードバックできるコンテンツを実装し、その有用性を実証したことである。このことによって、既に社会において確立している遊びや研究成果を、ウェアラブルデバイスを用いたセンシング技術がさらに拡張するための道筋を示すことができた。

Development of real-time body motion feedback system with wearable system

— Application in Entertainment and Physical therapy.

Summary

The purpose of this research is reviewing usability of wearable devices in the field of entertainment and physical therapy.

First, in the case of entertainment, I developed PetaPeta based on tag game. which has brand new tactics and player can enjoy it with smart phone and insole devices. I examine if PetaPeta can make enjoyment which tag game doesn't have or not via questionnaire in the events I held.

Second, in the case of physical therapy, I made smarTcane which has a 3-axis acceleration sensor, a loadcell sensor, and a Bluetooth module. It makes physical therapists possible to judge patients can walk or not with quantitative data feedback via smart devices in real time.

Finally, I demonstrate the usability of wearable devices which can feedback to users in real time in these two fields.

目次

要旨	i
Summary	iv
1 序論	1
1.1 本研究の概要	1
1.2 研究背景	1
1.2.1 ウェアラブルコンピューティングの発達	1
1.2.2 エンターテインメント分野と理学療法分野におけるウェアラブルデバイスの現状	2
1.3 研究目的	4
1.4 本論文の構成	4
2 先行研究・先行事例	5
2.1 エンタメ分野における先行研究・事例	5
2.2 理学療法分野における先行研究・事例	7
2.2.1 既存の計測方法	7
2.2.2 既存の理学療法におけるデバイスや杖型スマートデバイス	7
2.3 本研究のアプローチ	10
3 エンターテインメントにおけるウェアラブルデバイスの開発とその応用	11
3.1 PetaPeta の概要	11
3.1.1 鬼ごっこの定義	11
3.1.2 PetaPeta のルール	12
3.1.3 従来の鬼ごっこの違い	19
3.2 システム全般の概要	21
3.2.1 ハードウェア概要	22
3.2.2 ソフトウェア概要	25
3.3 ゲーム体験イベントの開催による評価	35
3.3.1 TDW について	35
3.3.2 アンケート内容	40
3.3.3 アンケート結果と考察	41
3.3.4 「下田遊ぼう祭 2016」までの改善	42
3.3.5 「下田遊ぼう祭 2016」について	50
3.3.6 アンケート内容	53
3.3.7 考察	54
3.4 結論	54
3.5 今後の展望・課題	54
4 医療現場におけるウェアラブルデバイスとソフトウェアの開発と応用	55

4.1	smarTcane システム概要	55
4.1.1	ハードウェア概要	55
4.1.2	ソフトウェア概要	58
4.1.3	システム全般の流れ	61
4.2	検証	66
4.2.1	歩行ログの取得	67
4.2.2	評価・考察	69
4.3	結論	79
4.4	今後の展望	79
5	まとめ	83
6	謝辞	83
付録 A	ルールブック	85

1 序論

1.1 本研究の概要

本研究ではウェアラブルデバイスが十分に活用されていないエンターテインメント（以後「エンタメ」）と理学療法の分野における応用可能性について検討する。そのために前者においては鬼ごっこをベースに、新たな駆け引きの要素を取り入れたコンテンツ「PetaPeta」を開発し、従来の鬼ごっこにはない楽しさの創出が可能かを検証する。「PetaPeta」を使用したゲームイベントを開催し、参加者へアンケートを実施し検証した結果、開発したシステムは従来の鬼ごっこにはない駆け引きのファクターを用いた楽しさを創出することができたといえる。したがって、「PetaPeta」は誰でも知っている古来からの遊び「鬼ごっこ」をベースとして、ウェアラブルならではの機能による駆け引きの要素を加えた、新たなエンタメコンテンツを実現することが出来た。後者においては歩行のリハビリ時の患者の体動を取得するデバイス「smarTcane」及びソフトウェアの開発を行い、患者の歩行時の体動から、理学療法士が利用可能なデータを取得できるかを検討する。これらの実装例を通して、両分野において、ウェアラブルデバイスが定量データを取得し、リアルタイムに装着時の状態をフィードバックすることを可能にした。このデータをもとにリアルタイムに理学療法士が閲覧し、患者へのアドバイスが可能になる。本研究は人々の生活に深い関わりを持っている両分野において、未だ黎明期にあるウェアラブルデバイスの機能を活かし、定量化されていないデータを定量化した上で、リアルタイムにフィードバックできるコンテンツを実装し、その有用性を実証した。このことによって既に社会において確立している遊びや研究成果を、ウェアラブルデバイスを用いたセンシング技術がさらに拡張するための道筋を示すことが出来た。

1.2 研究背景

1.2.1 ウェアラブルコンピューティングの発達

近年、ウェアラブルコンピューティング技術の発達により、小型でハイスペックなデバイスの開発が可能になった。製品としてもメガネ型のデバイス「Google Glass」(図1)や腕時計型デバイス「Apple Watch」(図2)を始めとするウェアラブルデバイスの研究開発が盛んである。これらのデバイスのおかげで我々は、身近な生活環境において今までは取得が困難であった脈拍、活動量、心拍、体動などの定量データを取得することができるよう

うになっている。これらの収集された様々なデータをもとに装着者や非装着者、外部デバイスへのフィードバックを行い、事故や疾病を未然に防いだり、情報を適切なタイミングで通知するなどの活用もされている。また取得したデータの解析を行い、様々な企業や研究機関、行政において新たな知見の発見や業務の高度化・効率化にも繋がっている。

1.2.2 エンターテインメント分野と理学療法分野におけるウェアラブルデバイスの現状

一方で、エンタメや理学療法の分野においてはウェアラブルデバイスの活用は未だ黎明期であり、その性能や活用にも限界がある。例えば「HADO」[3]や「FUMM」[4]のようなエンタメコンテンツは、体験できる場所が商業施設の一角や遊園地などのレジャー施設など限定されている。そのためいつでも、誰でも、どこでも楽しめるコンテンツにはなっておらず、エンタメ産業における普及が困難となっている。

理学療法分野においては、理学療法士が歩行の自立度判定をする際に歩行の観察による判断に委ねられることが多く、経験によって判断基準が異なってしまうという現状がある中[11]、患者の日常生活の歩行をサポートするデバイスとして「高齢者支援ロボット杖」[17]、「歩行介助杖」[18]、「Communication Stick」[19]のような事例は見られるものの、理学療法士が患者の細かな体の動きを定量的に取得し、リアルタイムにモニタリングできる杖型のウェアラブルデバイスの事例は見られなかった。



图 1 Google Glass 出典 [1]



图 2 Apple Watch 出典 [2]

1.3 研究目的

以上の背景を踏まえ、エンタメ分野における研究目的は、容易に普及可能なリアルタイムフィードバックを用いたエンターテインメントコンテンツを開発し、その有用性を実証することであり、理学療法分野における研究目的は、従来の杖歩行計測では定量化出来ていない体動のデータを定量化し、利用可能なデータとして患者または理学療法士にリアルタイムに提示することである。

1.4 本論文の構成

本論文の構成は以下のとおりである。

1. 序論 … 本研究の概要、背景、目的について触れ、本論文の構成について説明する。
2. 先行研究 … 本研究に関連する研究について触れ、本研究の位置づけを行う。
3. エンターテインメントにおけるウェアラブルデバイスの開発とその応用 … エンターテインメントにおけるウェアラブルデバイスの先行事例に基づき、筆者の開発したシステム全般の概要とハードウェア・ソフトウェアの要件やインターフェースの説明を述べる。そのシステムをゲームイベントの開催を通じて評価し、その結果について考察する。
4. 医療現場におけるウェアラブルデバイスとソフトウェアの開発と応用 … 理学療法におけるウェアラブルデバイスの先行事例に基づき、筆者の開発したシステム全般の概要とハードウェア・ソフトウェアの要件やインターフェースの説明を述べる。そのシステムの利用・データの取得を行い、その結果について考察する。
5. まとめ … 本研究の結論及び、研究成果が持つ社会的貢献について述べる。

2 先行研究・先行事例

本章では、エンタメ分野におけるウェアラブルデバイスの先行活用事例をあげ、理学療法分野においてはウェアラブルデバイスの先行研究・活用事例、患者の体動を検知に関する先行研究をあげ、本研究の位置づけを行う。

2.1 エンタメ分野における先行研究・事例

エンタメの例として、音楽、ダンス、映像、ゲームなどがあげられる。本研究は古来からの遊び、鬼ごっこをベースとしたシステムであり、エンタメの中でもゲームの領域が一番近いと言える。ゲームにおける先行事例として、meleap が手がける「HADO」[3](キービジュアル: 図4) や KDDI が手がける「FUMM ADVENTURE」[4](キービジュアル: 図3) があげられる。これらは手や足に装着したデバイスからの体動データをもとにゲームの画面やスマートフォン上にフィードバックをするプロダクトである。「HADO」では手首にスマートウォッチを着用することで腕の動きを加速度センサで捉え、頭につけたヘッドマウントディスプレイ上に現れたモンスターに攻撃を発射することができる。このシステムでは多人数でプレイが可能で、他人の行動によりゲームの状況を変化させることができるという点では本研究と類似している。「FUMM ADVENTURE」では靴型のウェアラブルデバイス「FUMM」を用いてアトラクション施設を楽しむことができる。靴型のデバイスに実装されている加速度センサや感圧センサを用いて子供の足踏みやジャンプなどの動きを検知する点では、インソール型のデバイスに実装されている加速度センサや感圧センサを用いてユーザーの体動を取得する本研究と類似している。しかし、両者とも特定のアトラクション施設内でのみ遊ぶことが可能であるため、時間、場所の制限があるという点では本研究とは異なる。



図 3 FUMM ADVENTURE(KDDI 株式会社)



図 4 HADO(株式会社 mealeap)

2.2 理学療法分野における先行研究・事例

2.2.1 既存の計測方法

理学療法分野において、杖を用いた歩行は医師や理学療法士が視覚的に評価している。しかし、それは歩容や、杖と下肢の時間的および空間的關係や歩行速度についてであり、定量的な評価は困難であるとされている [11][14]。杖にかかる荷重量の計測についても患者や観測者の主観的な評価に頼っているのが現状である [16]。

2.2.2 既存の理学療法におけるデバイスや杖型スマートデバイス

理学療法分野において、杖についての報告の多くは免荷効果や関節モーメントへの影響、運動学的因子の測定などに関するものである [12]。T 字杖を用いた歩行時の体動や自立度の判定を定量化した報告もいくつかある。貴嶋ら [11] は腰に装着した加速度センサによって T 字杖を持って歩行した際の歩行計測を行っている。この研究からは杖自体の挙動については定量化することが難しく、本研究とは異なる。他にも永田 [14] や渡邉ら [13] や松山ら [15] は床にフォースプレートや体重計を用いて計測しているが、これらは大変高価であり、場所も限定してしまうため臨床現場での実践導入は難しい。さらには歩行等の動的な測定には適していない。河西ら [16] の研究では本研究と同様に杖のみでの計測を試みており、杖に装着されたひずみゲージの値を元に計測している。しかし、彼らのシステムから電気信号を送るために有線のシステムを使用しており、臨床現場でのつまづき等のリスクがある。しかし、本研究では「smarTcane」にバッテリーと Bluetooth を搭載することで無線でのデータの送信に成功しているため、このリスクは限りなく少ない。製品の例として、患者の日常生活の歩行をサポートするデバイスとして高齢者支援杖 [17](図 5)、歩行介助杖 [18](図 6)、Communication Stick[19](図 7) のような事例はみられるものの、これらは屋外にて日常的に使用することを想定しており、本研究とは異なっている。



図5 高齢者支援ロボット杖 (伊藤 友孝)



図6 歩行介助杖 (東興電気株式会社)



図7 Communication Stick(三枝 友仁)

2.3 本研究のアプローチ

これまでの議論を踏まえ、エンタメ領域において、本研究では場所や時間を選ばずに、誰でも、いつでも、どこでも遊べるコンテンツ「PetaPeta」を開発し、理学療法分野において、理学療法士が歩行自立度の判定を定量データをもとに行うことを可能にし、杖歩行のデータをリアルタイムにフィードバックできるシステム「smarTcane」を開発することで両分野における研究目的を達成可能であると考え、次章以降ではこれらのシステムの開発の指針を定める。

3 エンターテインメントにおけるウェアラブルデバイスの開発とその応用

本章では、エンタメ分野におけるウェアラブルデバイスを活用したエンタメコンテンツを開発し、その実装の概要に触れ、開発したシステムの有用性についてゲームイベントの開催を通して評価を行い、明らかにする。

3.1 PetaPeta の概要

本章では誰でも知っている従来の鬼ごっこを元にした「頭脳戦おにごっこ PetaPeta」を開発する。PetaPeta はインソール型デバイスとスマートフォンを連動した鬼ごっこゲームである。ここではその PetaPeta の概要と詳細について説明する。

3.1.1 鬼ごっこの定義

PetaPeta のルールについて触れる前に、鬼ごっこのルールについて定義付けを行う。鬼ごっこには「いろ鬼」、「こおり鬼」、「増え鬼」など様々なルールが存在するが、本研究における鬼ごっこのルールは以下の通りとする (参考：遊びの四季 [5])。

- 2人以上の参加者によって行われ、1人の鬼とその他の子に別れる。
- 鬼は子の体の一部に触れることで「タッチ」となり鬼であったプレイヤーは子になり、子であったプレイヤーは鬼になる。
- 逃げる範囲は予め参加プレイヤーの間で設定し、その範囲を逸脱することは禁じられている。
- 絶対的に鬼が「タッチ」できない状況を作り出し隠れるなどの行為は禁止。

3.1.2 PetaPeta のルール

1. 基本ルール



図8 PetaPeta の基本ルール

PetaPeta のルールの概要を図8に沿って説明する。

- (a) PetaPeta は鬼ごっこをしながら移動距離を競うゲームであり、鬼を Betan、逃げる人を Petan と呼称する。ゲーム時間内に Petan で移動した距離に応じてポイントを得られる。
- (b) 走るとポイントを多く獲得できるものの、早く移動するほど自分の足跡が地図に表示されてしまう。すると Betan に見つかりやすくなってしまう。
- (c) 一方、Betan の間はどんなに移動してもポイントを稼ぐことが出来ない。地図に残された足跡を頼りに Petan を探す。
- (d) Betan が Petan に近づく「タッチ」となり、お互いの立場が入れ替わる。タッチした人はタッチした Petan からポイントを奪うことができる。

(e) ゲーム終了時にそのポイントが一番多かったプレイヤーの勝利となる。

2. ゲームの流れ

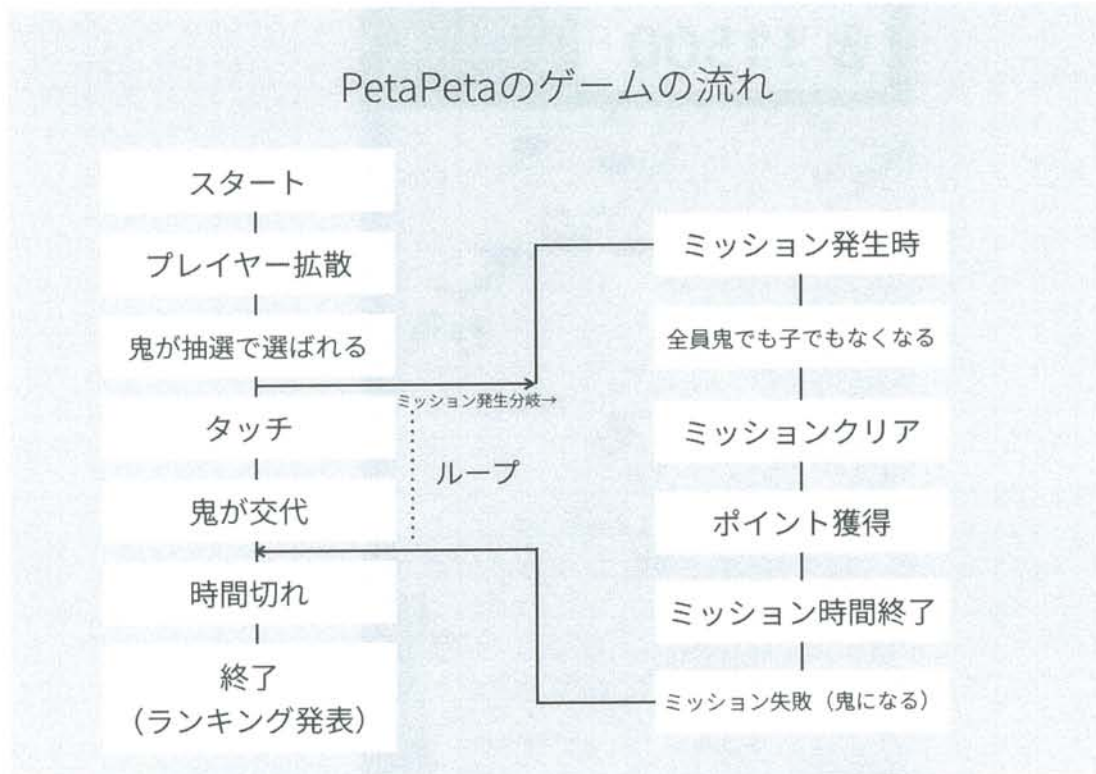


図9 PetaPeta のゲームの流れ

ゲーム全体の流れとしては図9のようになる。

3. 体の動きによるルールの変化



図 10 足跡が見える時の地図インターフェース

走ることによって距離を稼ぎ、ポイントを多く稼ぐことが可能だが、走ることによりインソールデバイスのセンサが反応し、全プレイヤーのスマートフォン上のアプリケーションの地図インターフェース上に走ったプレイヤーの足跡のアイコンが表示され、そのプレイヤーの位置が可視化される。(図 10)

4. Betan の際のルール



図 11 Betan 時の地図インターフェース

Betan になっている際はどんなに移動をしてもポイントは加算されない。上記に示した体の動きによる地図への足跡の表示は例外なくされる。ゲーム開始直後は Betan は一人もおらず、開始数秒後 (秒数の指定は可能) システムが抽選し、ランダムに Betan が選出される。Betan の人数はゲーム開始前に管理画面より設定できる。(図 11)

5. Betan と Petan の切替



図 12 Betan にタッチされた際のインターフェース

Betan が Petan に 3～5m 近づくと鬼ごっこで言う「タッチ」となり，Betan が入れ替わる．一度 Betan と Petan と切り替わった直後，同じ相手との入れ替えは行えない．Betan はタッチした Petan が持つポイントから一定の割合（ゲーム開始前に設定可能）のポイントを奪うことが可能である．（図 12）

6. ミッション機能



図 13 ミッションスタート時にプレイヤー全員に表示されるインターフェース



図 14 ミッション中全員に表示されるインターフェース



図 15 ミッションクリア時に表示されるインターフェース



図 16 ミッション失敗時に表示されるインターフェース

ゲーム進行中に一定のタイミングでミッションが発火される（タイミングはゲーム開始前に管理者により変更可能）ミッションが開始されるとプレイヤーは Betan でも Petan でもない状態となる。ミッション開始直後にプレイヤーの画面には図 13 のような画面が表示され、プレイヤーはミッションの内容を確認する。その後図 14 のような地図ユーザーインターフェースへと切り替わり、目的地が地図に表示され

る。プレイヤーは表示されたポイントにたどり着くとその順位に応じてポイントが加算される。(図 15)

$(\text{全プレイヤーの人数}) - (\text{ミッションをクリアした人数}) = (\text{設定した Betan の人数})$
となるとミッションは終了し、クリアできなかったプレイヤーが次の Betan として選出されるようになっている。(図 16)

3.1.3 従来の鬼ごっこの違い

従来の鬼ごっこと PetaPeta とで相違する点を以下にあげる.

- 勝敗条件

上記の鬼ごっこのルールの通り, 従来の鬼ごっこでは勝敗の条件は確立されておらず, 最後に鬼であったプレイヤーが負けとなったり, 勝敗がつかないままゲームが終了するという事が多い. この点が鬼ごっこというゲームのルール上の破綻を起している要因である. しかし PetaPeta では時間制限が設けられ, ポイントの総量による勝敗がつけられるため全プレイヤーに対して段階的な勝敗 (ランキング) をつけることが可能である.

- 位置情報の可視化

従来の鬼ごっこでは, どのような条件下においても目視以外の方法で他プレイヤーの位置を確認することはできないが, PetaPeta ではポイントと位置情報のトレードオフにより, 走ることで他プレイヤーに位置がバレてしまうというしくみを実装している.

- タッチ領域の拡張

従来の鬼ごっこでは体の一部をタッチしないと鬼の交代が出来ないが, PetaPeta では 3~5m 近づくことでタッチが可能のため, 従来の鬼ごっこでは不可能だった顔を知らない人同士でのプレイも可能になる. また, 足の遅いプレイヤーでもタッチ領域が広いので, 戦略次第では簡単にタッチをすることが可能になる.

- 観戦システムの有無

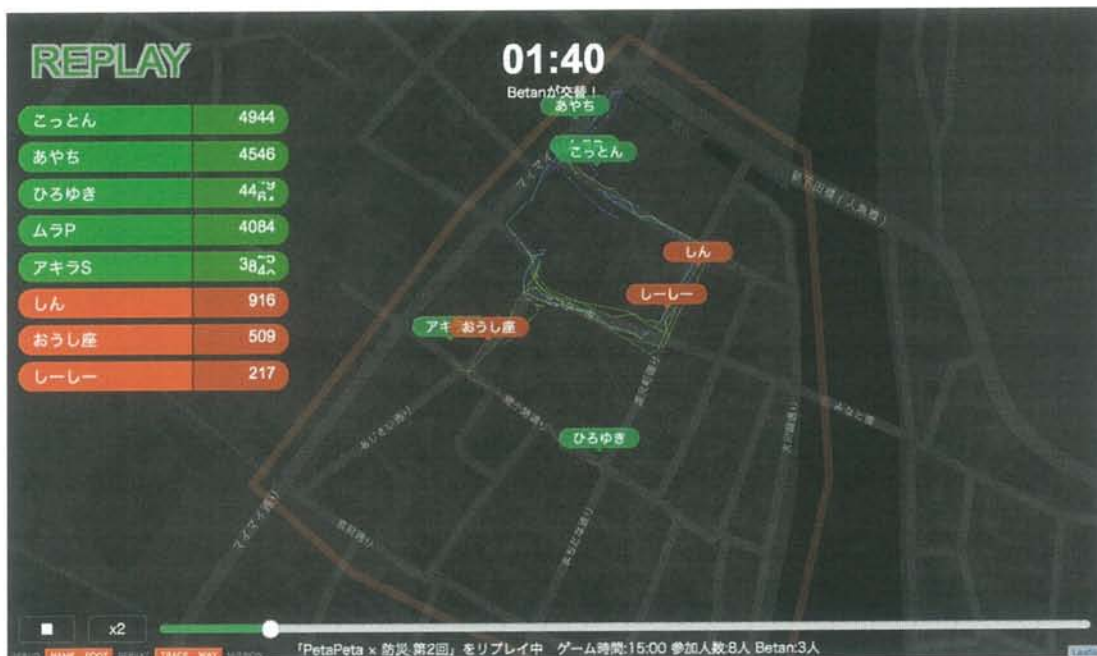


図 17 観戦画面インターフェース

従来のおにごっこは参加者以外の人間はゲームを楽しむ術がなかったが，PetaPetaには観戦システムがあり，参加していないプレイヤーも俯瞰的にゲームを観戦することができ，全プレイヤーの位置も把握することができるようになっている．観戦システムの概観を図 17 に示す．

3.2 システム全般の概要

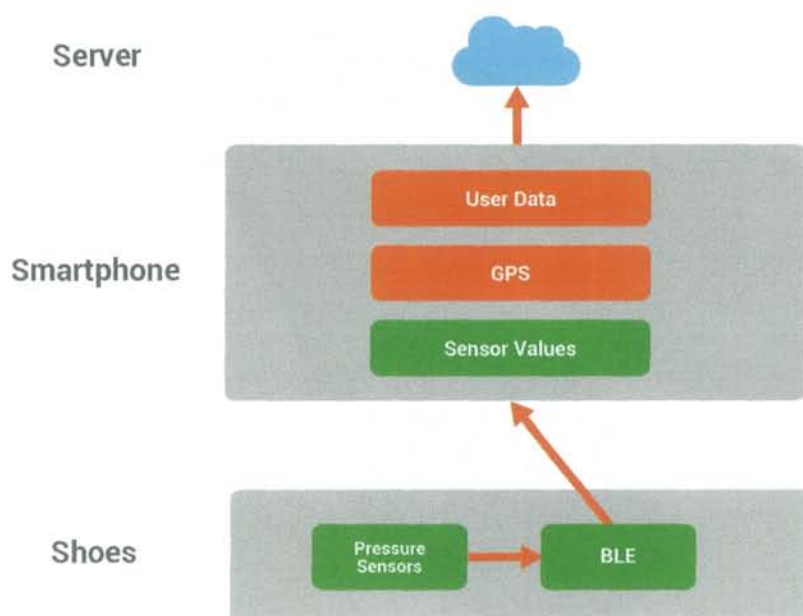


図 18 PetaPeta システム構成図

PetaPeta のシステム全体の構成図を図 18 に示す。リアルタイムにインソール型デバイスから取得したデータと自身の位置情報やプレイヤー情報 (獲得ポイントや Betan なのか Petan なのかのデータ) を送信し、同時に全プレイヤーの情報を取得している。

3.2.1 ハードウェア概要



図 19 PetaPeta ハードウェア全貌



図 20 PetaPeta ハードウェア構成図

ハードウェアは図 19 のような全貌となっており，構成は図 20 のようになっている．100 円ショップで安価に購入可能なインソールの厚さに留まるように回路の設計と厚さの調整を行った．これにより装着者は通常販売されているインソールと変わらない履き着心地で本デバイスを装着することが可能になる．

圧力センサ（FSR402）を親指部，小指部，踵部に取り付け，足にかかる圧力を計測している．踵部にある基盤部分には 3 軸加速度センサ（KXSC7-2050）を使用し，足の振りや衝撃などの計測を可能にしている．これらのデータを踵部のマイコン（ATMEGA328-P）から Bluetooth モジュール（浅草ギ研・BLESerial2）を通してスマートフォンへ 2Hz のサンプリングレートで送信している．電源には市販の単 4 の乾電池を用いており，電圧の昇圧に昇圧回路モジュール（AE-XCL101C501BR-G）を用いて 5V まで昇圧している．以前のプロトタイプでは ATMEGA328-P の代わりに Arduino Micro を用い，BLESerial2 の代わりに BLESerial（浅草ギ研）を用いていたため，今回のモデルでは消費電力の削減に大きく成功し，以前は 20 分ほどの起動時間（Bluetooth 接続状態時）だったものが 40 分ほどまで伸びた．これによりゲーム自体の制限時間も大きく変更が可能になっている．ハードウェアプログラミングに用いた開発環境は Arduino IDE(1.6.0) を用いる．マイコンの書き込みには Arduino UNO を書き込み機として用いて ATMEGA328-P の書き込み

を行う。

3.2.2 ソフトウェア概要

PetaPeta は iOS, Android のスマートデバイス上で遊ぶことができ, Web の画面上で観戦画面をリアルタイムに閲覧することが可能なアプリケーションである. ここではそのアプリケーションそれぞれの構成について述べる.

1. ネイティブアプリケーション (iOS, Android)

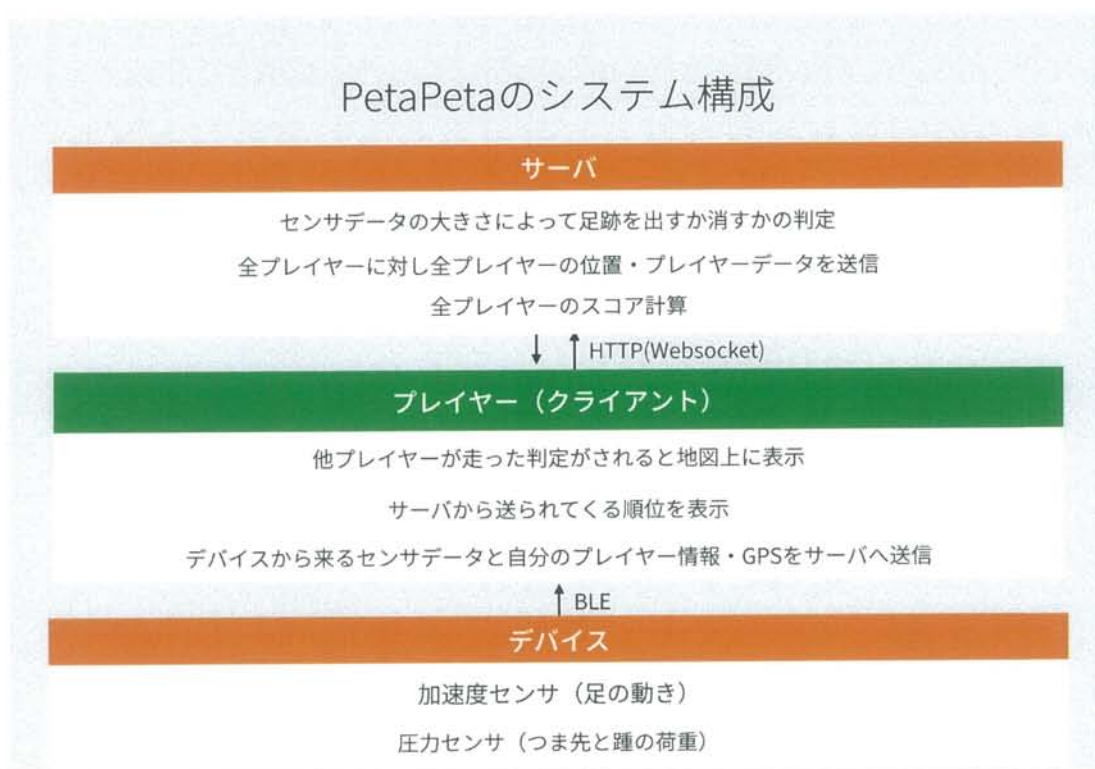


図 21 PetaPeta アプリケーションのフロー

ネイティブアプリケーションではサーバサイドから Websocket を用いてデータを取得し, アプリケーション上の地図上にデータをプロットする機能を実装している. Bluetooth を介し, インソールデバイスから送られてくるセンサデータをユーザの ID や位置情報などのメタデータとマージし, サーバサイドに送信する. Android 版のみ, 端末により Beacon を発信できないものが存在するため, その端末を持って参加する人のために別途 Beacon(Estimote) を用意し, この Beacon の UUID を Android 端末に認識させることで, Android が Beacon を発信する役割の代わりと

した．この一連の流れを図 21 に示す．



図 22 Bluetooth 接続画面



図 23 Bluetooth 接続確認画面

ネイティブアプリケーションにはユーザがゲーム中に操作するインターフェースも実装している。図 22 はゲーム開始前にインソールデバイスと接続する画面である。左右のデバイスと接続すると接続済みかどうか分かるようなインターフェースになっている。接続後しっかりとセンサが動いているかの確認ができるように足踏みをするすると円がアニメーションするしくみも取り入れる (図 23)。



図 24 Betan の時の地図インターフェース



図 25 Petan 時の地図インターフェース

図 24 と図 25 はそれぞれゲームが始まったあとの Betan と Petan のインターフェースである。Betan の基本色は赤色 (#FD5826), Petan の基本色は黄緑 (#20BF58) とし、それぞれ上部の背景色に用いている。Betan の間はポイントが獲得できないことがわかりやすいように、ポイントの文字色を灰色にする工夫をしている。



図 26 Betan にタッチされた時のインターフェース

Petan が Betan にタッチされたり，Betan が Petan にタッチした際には図 26 のようなカットインが差し込まれ，誰にタッチしたのか，誰からタッチされたのかが一瞬でわかるためのインターフェースとバイブレーションによるフィードバックを加えている．これによりユーザは移動しながらスマートフォンを確認せずともタッチの成功のフィードバックが感じられる．



図 27 ミッションスタート時にプレイヤー全員に表示されるインターフェース



図 28 ミッション中全員に表示されるインターフェース



図 29 ミッションクリア時に表示されるインターフェース



図 30 ミッション失敗時に表示されるインターフェース

ゲーム中のミッションが発生するとプレイヤー全員に配信される画面を図 27 に示す。この画面が表示された後、図 28 に示す普段と変わった地図インターフェースの画面に切り替わる。ミッション中は Betan と Petan という概念がなくなることから画面上部の背景はアラートを示す赤 (#C1312B) へと変わり、Betan, Petan どちらでもないということを示している。その背景の上にはユーザがミッションの内容をわかるような表示と、地図上には目的地にピンが置かれた状態になる。ミッショ

ン成功時，ミッション失敗時にはそれぞれ図 29 と図 30 の画面が配信される。



図 31 ゲーム終了時のインターフェース

制限時間を迎え、ゲームが終了すると参加プレイヤー全員に図 31 のようなゲーム終了の旨を伝える画面と結果発表の画面が表示される。

2. サーバサイドアプリケーション

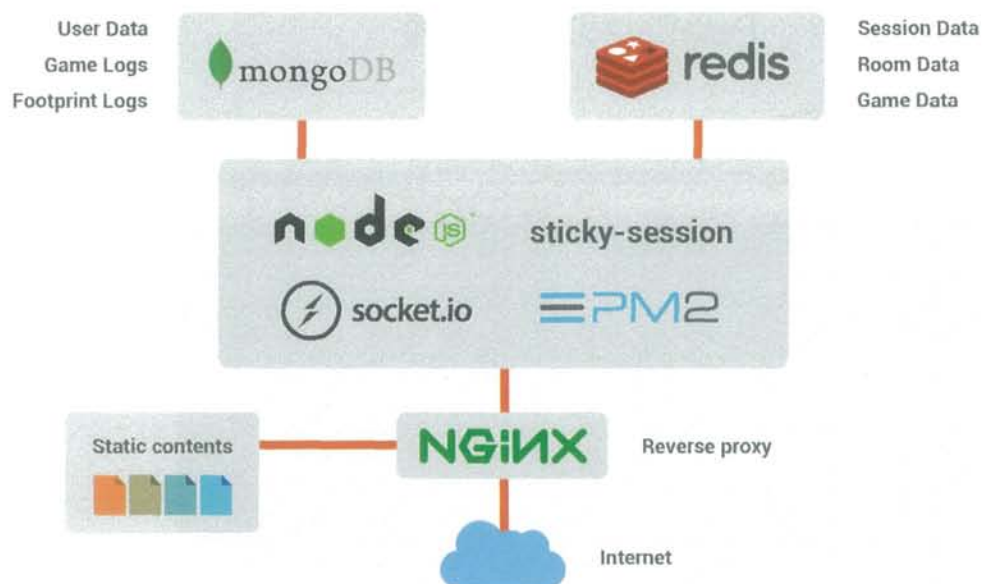


図 32 PetaPeta のサーバサイド

サーバサイドアプリケーションには Node.js のフレームワーク express を用いて WebAPI サーバを構築し，Socket-IO を使ってリアルタイム通信を可能にしている．データベースには MongoDB と Redis を使い，ユーザデータなどの普遍データは MongoDB へ，ゲーム中の大量のデータ（位置情報やインソールデバイスのセンサデータなど）は Redis へ保存する仕組みを実装している．サーバマシンには Amazon Web Service の t2.small インスタンスを用いている．この流れを図 32 に示す．

3. ウェブフロントエンドアプリケーション (観戦画面)

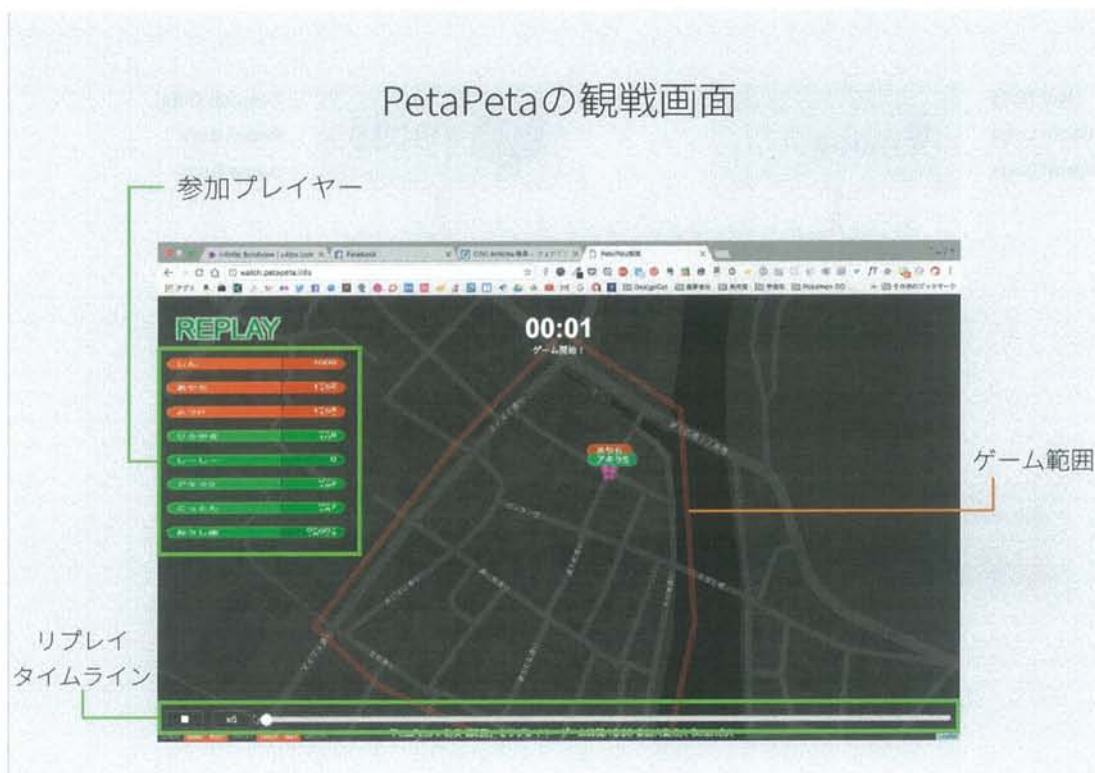


図 33 PetaPeta リプレイ画面

ゲームがスタートするとリアルタイムに観戦画面も連動して、自動的にゲームの状態を表示する仕組みとなっている。参加しているプレイヤーの取得しているポイントや現在位置、移動ルートの軌跡、さらには足跡の表示の有無まで確認することができる。ゲーム内でのイベント(鬼が切り替わる、ミッションの開始・終了など)が発生した際にもそのイベントの発火がわかるようになっている。それに加え、「下田遊ぼう祭 2016」の際には、過去のゲームのリプレイ機能も実装した。リプレイ機能では過去の閲覧したいゲームを選択することで初めから最後までゲームを再生することができる。再生のスピードは1倍、2倍、5倍、10倍と選択が可能でリアルタイム閲覧の機能と同様にプレイヤーのデータやイベントの表示も可能である。(図 33)

3.3 ゲーム体験イベントの開催による評価

本研究の目的は、PetaPeta が容易に普及可能なエンターテインメントコンテンツとして有効性を示すことである。その評価として、2015 年 10 月 24 日～2015 年 11 月 3 日の期間で行われた Tokyo Design Week(以後「TDW」)にて PetaPeta のブースを出展し、2016 年 10 月 22 日に静岡県下田市で行われた「下田遊ぼう祭 2016」にて PetaPeta を開催する。TDW では 21 名の参加者にアンケートを実施した。TDW の概要については表 1 に示す。下田遊ぼう祭 2016 では、25 名の参加者からアンケートを頂いた。以下にはそれらの手法と詳細について述べる。

3.3.1 TDW について

TDW は TOKYO DESIGN WEEK(株) が主催するクリエイティブの祭典であり、デザイン・アート・ミュージック・ファッション 4 つのジャンルから、企業、ブランド、デザイナー、学校がそれぞれのクリエイティブを発表するイベントである。2015 年のテーマは「INTERACTIVE」であり、このテーマを元に多くの企業、学校、個人のデザイナーやアーティストが出展をした。TDW のイベントの概要と参加者に行ったアンケートの概要について以下に述べる。

1. イベント概要

行われたイベント全体の概要については表 1 の通りである。当日は図 35 のようなレイアウトで、PetaPeta のデモ動画と簡単な体験が可能な展示とイベントの参加募集を行った。会場は図 34 のように障害物も多く、PetaPeta には適したフィールドであった。PetaPeta 自体の実施に関する詳細は表 2 に示す。

表 1 Tokyo Design Week 概要

名称	Tokyo Design Week 2015
日程	2015 年 10 月 24 日～2015 年 11 月 3 日
時間	11:00 21:00(最終日 20:00 まで)
会場	東京都新宿区霞ヶ丘町 2-3 明治神宮外苑絵画館前 (中央会場)
来場者数	115,000 名 (2014 年実績)
入場料 (当日)	大人 3,000 円
主催	TOKYO DESIGN WEEK(株)
共催	DESIGN ASSOCIATION NPO
開催プログラム (一部抜粋)	CREATIVE LIFE 展, ヤングクリエイター展, 学校作品展, インタラクティブ展 (企業)
PetaPeta 参加者数	21 名



図 34 TDW2015 の会場の様子



図 35 TDW2015 の PetaPeta ブースの様子

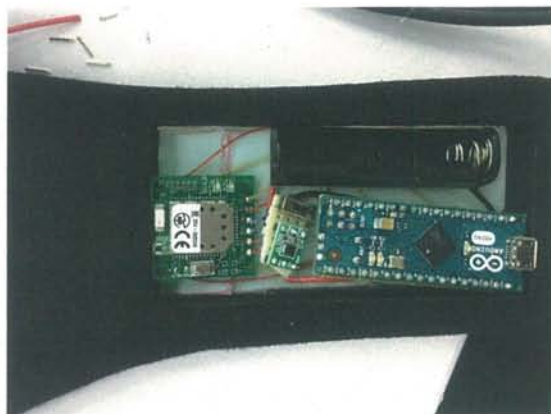


図 36 PetaPeta インソールデバイス ver1 : 表



図 37 PetaPeta インソールデバイス ver1 : 裏

2. PetaPeta の流れ

以下には TDW での PetaPeta の体験会のプログラムの流れと概要について述べる。
会期中にブース出展を行いながら会場内でゲームを 3 回行った。参加者には指定の
時間に集合してもらい、表 2 の流れでルール説明と進行を行った。

表 2 PetaPeta のプログラム概要

プログラム概要	ルール	基本は 3.1.2PetaPeta のルールの通りだが、ミッション機能はこの時は未実装
	進行	1. ルール, ゲーム概要説明 (5 分) 2. デバイスの準備・装着、アプリインストール 3. ゲーム (8 分) a) 30 秒のカウントの間散らばり, 30 秒経った後に Betan が発表される (Betan の人数は 1 人) b) 8 分間地図上に表示された範囲内で PetaPeta を遊んでもらう c) ゲーム終了後ブースに再集合し, デバイスを回収 d) 参加者にアンケートを記入してもらう

3.3.2 アンケート内容

TDWに参加した来場者のうちPetaPetaに参加した21名の方からアンケートの解答を得る事ができた。TDWでの参加者に向けたアンケートの概要は表3の通りである。また、回答者の属性については表4に示す。

表3 TDWにおけるPetaPeta参加者アンケートの項目

設問1	本日の鬼ごっこの満足度はいかがでしたか？
設問2	足のサイズについて教えてください
設問3	あなたの性別は？
設問4	今日はどんな靴で参加しましたか？（スニーカー・サンダル・ブーツ・パンプス・その他（自由記述）から選択）
設問5	足は痛くありませんでしたか？（痛かった～痛くなかったの5段階）
設問6	履き心地はいかがでしたか？（気持ち悪かった～心地よかったの5段階）
設問7	楽しかった瞬間を教えてください（自由記述）
設問8	もっとこうして欲しいなどご要望はありますか？（自由記述）
設問9	今日のご感想をお願いします（自由記述）
設問10	また機会があれば参加してみたいですか？（参加したくない～参加したいの5段階）

表4 TDWにおけるPetaPetaアンケート回答者の属性

回答者総数	21名	
性別	男	女
	9名	12名

3.3.3 アンケート結果と考察

以上のアンケートの結果を以下に設問ごとに考察をしていく。設問1の「本日の鬼ごっこの満足度はいかがでしたか？」という問いに対して95.2%の参加者が4または5と回答したことから、ゲームとしての全体の満足度は高かったとわかる。設問5の「足は痛くありませんでしたか」という問いに対しては28%の参加者が2を選択し、残りの72%が4または5と回答した。設問6の「履き心地はいかがでしたか」という問いに対して、4または5と回答したのは33%の参加者であり、残りの67%は2または3と回答し、この2つの設問から決して履き心地が良いとは言えない結果となっている。設問8の「もっとこうして欲しいなどご要望はありますか？」の問いでも履き心地に関して「足がちょっと痛かったので、そこが良くなると、もっと楽しいです！！！！！」という要望を頂いた。設問8では他にも「たくさんの人とやりたいです」、「相手の点数がリアルタイムでわかるといいかも」、「鬼になったときに分かりやすいアイコンや知らせが欲しいです」などの要望も見られ、アンケート以外にも参加者の声として「時間が長く感じた」、「足の早い人が有利になってしまう」、「プレイヤーが一箇所に集中してしまった際取り残されたプレイヤーが楽しめない」、「逆転するための術がない」などの改善すべき点を聞くことが出来た。

以上の考察を踏まえ、以下に述べる「下田遊ぼう祭 2016」にむけてシステムの改良を行った。

3.3.4 「下田遊ぼう祭 2016」までの改善

以下には TDW 終了後から下田遊ぼう祭までに改善した点を述べる。

1. ルール説明の効率化



図 38 PetaPeta ルールブック

ゲームを開始する上で一番運用の時間的・人的コストが高くなってしまっていたの

が準備とルールの説明である。そこでルールの説明を簡略化し、ビジュアルでわかりやすく伝えるために図 38 のルールブックを作成した。ルールブックを参加者に渡し、デバイスの準備中に見てもらうことで、今までスタッフ一人で参加者数名へ説明をしていたものをスタッフなしでもルールの理解をしてもらうことに成功した。これにより準備全体にかかる時間の短縮と人的コストの縮小に成功した。

2. インソールデバイスの改良

インソールデバイスには運営上の課題点と設計上の改善点がいくつか見られた。以下にはその詳細について示す。

・断線の改善 … インソールのデバイスは TDW の際には断線が多く見受けられ、電気回路に知見のあるスタッフが修理をしなくてはならない機会が多々あった。これでは運営無しでの実現が難しいと判断し、Ver.1 ではモジュール同士を直接配線し、はんだ付けを行っていたが、ユニバーサル基板上に回路を設計し、実装を行った。その結果、遊ぼう祭での断線はほとんど見受けられず、複数回ゲームを行う際もメンテナンスを行わずに開催することが出来た。

・小型化・消費電力の低減 … 断線の改善のための基板実装の際、同時にモジュールの小型化と消費電力の低減にも尽力した。マイコンとして Arduino Micro を使用していたものを ATMEGA328-P へ変更し、Bluetooth のモジュールとして BLESerial を利用していたものを BLESerial2 へ変更した。その結果、今までの占有面積よりも 72% 縮小させることに成功し、厚さも 3mm ほど少なくすることが出来た。消費電力としては、5V 電源電圧で動かしていたものを 3.3V で動作できるようになったことと、マイコンの消費電力が低下したため、同じ単 4 電池を使用しても 200% の利用時間を確保することが出来た。(BLE 接続時) マイコンと Bluetooth モジュールを変更したことにより、金額的な製作コストも 45% 削減することに成功した。

・加速度センサ実装 … Ver.1 では走っているのか歩いているのかを判断するのに親指、小指、踵部に配置した圧力センサのみで判断していたため、足跡の表示に個人差が生じることが多い。そこでデータの次元数を増やし、歩行の精度を上げるため 3 軸加速度センサを実装した。その結果、Ver.1 よりも正確に走っているか歩いているかの判断が可能となった。

3. 既存ルールの改善

アンケートからのフィードバックとして「足の早い人が有利になってしまう」という意見を幾つか頂いた。そこでゲーム全体のバランスを調整するため「Betan は Petan にタッチした際にタッチした相手の所持ポイントの 20% を奪うことができる」というルールを追加した。これによりポイントの多いプレイヤーから逆転をすることが可能となる。

4. ミッション機能の追加

既存のルールの改善に加え、新たにミッション機能も実装した。ミッション機能ではゲーム中にミッションが発生し、そのミッションをクリアした順位に応じてプレイヤーにポイントが加算される。今回実装したミッションは、「制限時間内に地図上に表示されたポイントへたどり着く事」を達成条件とし、ミッション時間中は全プレイヤーが Betan でも Petan でもなくなり、ミッションに集中してもらうこととした。尚、ミッションの制限時間が訪れた際、または

$$(\text{全プレイヤーの数}) - (\text{ミッションクリアした人数}) = (\text{最初に設定した Betan の人数})$$

となったときにミッションは終了し、クリアできなかった人間の中から最初に設定した Betan の人数のプレイヤーが Betan として選出される。これにより、広いフィールドでもバラバラになってしまっているプレイヤーをある程度集めることができ、ゲームに動きを出す頻度を増やすことが可能になるのに加え、ゲーム中の逆転の機会を増やす事ができた。

5. ゲーム中のユーザインターフェースの改善



図 39 ランキングが表示されているインターフェース

ゲーム中のインターフェースに関してもアンケートを元に改善を加えた。まずはじめに自分の順位を追加した(図 39)。これによりゲームの中での自分の位置がはっきりし、俯瞰的に他プレイヤーの点数を見た時に狙うべき相手を決める指標となる。それによりゲーム中に移動する際の戦略性が広がる。

次に、Betan の切替時、誰からタッチされたのか、誰にタッチしたのかを表示する。この機能を実装前には、タッチされた相手にタッチをし返すことが出来ないというルールの特性上、誰からタッチされたのかわからずゲーム中に混乱を招く機会が何

度が見られた。この機能を実装後、誰からタッチされたのかが明らかになり、追いかけても無駄な相手を追いかけてしまうという事象が減少した。

6. 観戦画面の改善

観戦画面では主に視認性の向上とプレイヤーが自分のプレイを振り返って楽しむためのリプレイ機能を実装した。

まず、地図インターフェースの視認性を上げるため、GoogleMap から OpenStreetMap(以下「OSM」) + Mapbox の実装に切り替えた。Mapbox は OSM のデザインを自由に変更できるウェブサービスである。Mapbox を使用することで GoogleMap よりも表現の幅を広げることが可能である。次に、リプレイ機能を実装した。ゲームのリプレイが可能になることにより、ゲームに参加していたプレイヤーもゲーム終了後に自分や他プレイヤーの動きを確認して楽しむことができる。本機能には再生速度の切替も実装しており、1,2,5,10 倍と再生速度の変更が可能である。リプレイ機能に加えて、プレイヤーの移動の軌跡も地図上に表示する機能も実装した。これにより静止画としてもプレイヤーそれぞれの移動の軌跡が確認できるため、動画で流さずとも自分たちのプレイを振り返って楽しむことができるようになった。

これらのシステム改善を試みた後、「下田遊ぼう祭 2016」に挑み、再び機能やコンテンツの有用性について検証を行う。

表 5 TDW における PetaPeta アンケート回答者の属性

回答者総数	25 名		
性別	男	女	不明
人数	14 名	10 名	1 名

表 6 下田遊ぼう祭 2016 概要

名称	遊ぼう祭 2016
日程	2016 年 10 月 22 日
時間	10:00 - 16:00
場所	NanZ VILLAGE(静岡県下田市一丁目 6-18) 及びその周辺
主催	a) 下田遊ぼう祭 2016 実行委員会
共催	一般社団法人子ども安全まちづくりパートナーズ 株式会社 DesignCat NPO 法人 伊能社中 ファクター宮
特別協力	NanZ VILLAGE 伊豆急行 (株)
協力	NPO 法人 CrisisMappers Japan 千葉大学木下勇研究室 明治大学山本俊哉研究室 首都大学東京渡邊英徳研究室 青山学院大学古橋大地研究室
後援	下田市 下田市教育委員会 下田市商工会議所 下田市観光協会
協賛	河津建設 (株) 下田建設業組合 サガミシード (株) (株) 下田漁具 小林テレビ設備 (有) (一社) 伊豆下田法人会下田支部 長田建設工業 (株) (株) 辻村衛生社 (株) 外岡組

表 7 下田遊ぼう祭 2016 プログラム一覧

名称	開催概要	実施団体
PetaPeta ×防災	位置情報を用いた鬼ごっこゲーム	首都大学東京, 株式会社 DesignCat
キツネを探せ!	スマートフォンと映像を用いた謎解き防災ゲーム	明治大学, ファクター宮
すごい災害訓練 DECO	地域や防災について学び, 自ら実践するアクティブラーニング型災害訓練	NPO 法人伊能社中
逃げ地図ワークショップ	避難時間を可視化する地図作り	明治大学, 千葉大学
DRONEBIRD マッピングパーティ	災害用ドローンの紹介・操縦体験 OpenStreetMap を用いた地域のマッピング体験	NPO 法人 CrisisMappers Japan
下田市の取り組み紹介	下田市の防災コンテンツの紹介	下田市地域防災課

3.3.5 「下田遊ぼう祭 2016」について

以下には本研究で実施したイベントの詳細や当日の様子、チラシなどのデザインについて述べる。「下田遊ぼう祭 2016」は2016年10月22日に静岡県下田市一丁目にある複合施設「NanZ VILLAGE」の広場を会場として開催したイベントであり、「自分の身は自分で守れ！」をコンセプトに「まちで遊ぶ」ことが防災に繋がるという考えに基づき、地域の防災活動にアートやデザイン、エンターテインメントの要素を取り入れた防災イベントとなっている。(表6参照)「下田遊ぼう祭 2016」では表7に示すとおり、PetaPeta以外にも2つのイベント(ツマムレプロジェクト「キツネを探せ」参照, すごい災害訓練 DECO 参照)や4つのブース出展(逃げ地図作成ワークショップ, DRONEBIRD, マッピングパーティー, 下田市地域防災課)が行われた。PetaPetaはこの「下田遊ぼう祭 2016」にて1つのコンテンツとして開催し、25名の参加者に体験して頂いた。

1. イベント概要

運営として筆者を含むPetaPetaを開発したメンバーならびに研究室のメンバー10名程度にブースやゲームの進行をして頂いた。



図 40 下田遊ぼう祭 2016 の PetaPeta ブース

当日は図 40 のようなレイアウトでイベントの参加募集を行った。



図 41 下田遊ぼう祭 2016 の PetaPeta のゲーム範囲

PetaPeta のフィールドとしては図 41 の範囲で行った。この範囲内では車の通りもあるため、各地交差点にスタッフを配置し交通安全には最新の注意を払った。PetaPeta 自体の実施に関する詳細は表 8 に示す。

2. PetaPeta の流れ

表 8 PetaPeta の遊ぼう祭でのプログラム概要

プログラム概要	ルール	3.1.2PetaPeta のルールの通り
	進行	1. ルール, ゲーム概要説明 (5 分) 2. デバイスの準備・装着、アプリインストール (5 分) 3. ゲーム (10 15 分) a) 30 秒のカウントの間散らばり, 30 秒経った後に Betan が発表される (Betan の人数は参加人数の 3 分の 1) b) ゲーム開始から 3 分後, 1 つ目のミッションが開始 c) ゲーム開始から 6 分後, 2 つ目のミッションが開始 d) ゲーム開始から 9 分後, 3 つ目のミッションが開始 e) ゲーム開始から 12 分後, 4 つ目のミッションが開始 f) 制限時間になるとゲーム終了 g) ゲーム終了後ブースに再集合し, デバイスを回収 h) ブースにてゲームログを振り返る i) 参加者にアンケートを記入してもらう

「下田遊ぼう祭 2016」ではブース出展を行いながら会場範囲内でゲームを 3 回行った。参加者には指定の時間に集合してもらい、表 2 の流れでルール説明と進行を行った。

3.3.6 アンケート内容

表 9 TDW における PetaPeta 参加者アンケートの項目

設問 1	遊ぼう祭 2016 は楽しかったですか？
設問 2	<p>どのプログラムに参加・見学しましたか？ (複数回答可)</p> <p>すごい災害訓練 DECO, キツネを探せ!, PetaPeta, 逃げ地図ワークショップ, DRONE BIRD, マッピングパーティー, 下田市の取り組み紹介</p>
設問 3	<p>どのプログラムが良かったと感じましたか？ (複数回答可)</p> <p>すごい災害訓練 DECO, キツネを探せ!, PetaPeta, 逃げ地図ワークショップ, DRONE BIRD, マッピングパーティー, 下田市の取り組み紹介</p>
設問 4	<p>それはなぜですか？</p> <p>防災を考える機会になったから, 楽しかったから, 役立つ知識が得られたから, 参加者との交流を持てたから, その他 (自由記述)</p>
設問 5	<p>PetaPeta は既存の鬼ごっこと比べてどのような点が面白かったですか？</p> <p>スマートフォンを使って遊ぶところ, 中敷き型デバイスを使用して遊ぶところ, タッチする・される瞬間, 他の参加者の位置がわからないところ, 走ると自分や他人の足跡が見えるところ, 移動距離に応じたポイントで競うところ, ミッション, その他</p>

参加者 25 名にアンケートを実施し、回答を得た。回答者の属性については表 5 の通りである。アンケートの項目は表 9 に示した内容を伺った。

3.3.7 考察

ゲーム終了後のアンケートの結果を検証したところ、「どのプログラムが良かったと感じましたか?」という問いに対し、参加者の72%がPetaPetaと回答し、その内55%が理由として「楽しかったから」と回答していた。このことからPetaPetaのコンテンツとしての満足度は高いとわかる。「PetaPetaは既存の鬼ごっこに比べてどのような点が面白かったですか」という問いに対し、参加者の84%が「スマートフォンを使って遊ぶところ」や「中敷き型を使うところ」、「足跡が見えるところ」と答えた。これらの回答はPetaPetaのシステムを通して鬼ごっこをすることに楽しみを見出したものと推測できる。回答の中には「逃げた距離がポイントに換算される」や「ミッション」が面白かったなどの意見も得られた。これらの回答は従来の鬼ごっこでは実現できないPetaPetaならではの仕組みに対しての価値を示しており、遊ぼう祭のために実装した機能も作用していると考察できる。

3.4 結論

これらの結果から、開発したシステムは目的を達成しており、従来の鬼ごっこにはない駆け引きのファクターを用いた楽しさを創出することができたと考える。またTDWと下田遊ぼう祭2016を通して、PetaPetaは実施するにあたり準備などにかかる人的コストを削減することで、デバイスさえ用意できればどこでも安価に実施が可能なシステムであると示すことができた。しかし、開催の際の場所によっては交通整理などの安全管理に務める必要もあるため、公道を含んだフィールドでの開催には注意をする必要がある。

3.5 今後の展望・課題

以上の結論より、TDWや遊ぼう祭2016のようにジャンルの全く異なるイベントにおいてもPetaPetaはコラボレーションが可能であり、あらゆる場所やジャンルでの開催が可能であると考えられる。またデバイスにおいてもVer.2はまだプロトタイプのため、消費電力・サイズ・金額などあらゆる改善が可能であり、デバイスの改善が進むことでより普及可能なシステムになると思われる。しかし、現状のシステムでは完全に運営コストを0にした状態での開催が困難であり、運営コストを削減するしくみを導入する必要がある。

4 医療現場におけるウェアラブルデバイスとソフトウェアの開発と応用

本章では、1.2, 1.3 で述べた研究背景と目的に基づき、理学療法分野におけるウェアラブルデバイスを活用したシステム「smarTcane」を開発し、その実装の概要に触れ、実験と解析を通して開発したシステムの評価を行う。

4.1 smarTcane システム概要

「smarTcane」は杖型デバイスと iOS スマートデバイス上のアプリケーションで構成されている。患者は杖型のデバイスを使用して歩行をし、理学療法士はスマートデバイス上のアプリケーションにて杖型デバイスと接続し、送信されるデータをリアルタイムに確認することができる。以下にハードウェアとソフトウェアの構成とシステム全体のワークフローについて触れる。

4.1.1 ハードウェア概要



図 42 プロトタイプ「Ver.1」

smarTcane のハードウェアの規格を検証するためにプロトタイプ (以後「Ver.1」) を作成した。Ver.1 は市販の T 字杖 (アルミ製 300g) に取り付ける形で実装した。実装イメージを図 42 に示す。

1. ロードセル

ロードセルは杖にかかる垂直方向の荷重を計測するために用いる。杖の先端部に取り付け、普段の使用感に近くなるようにするため、ディスク型のロードセルである TAS606 を用いた。ロードセルを先端につけるだけでは杖をつく際に滑ってしまう危険性があるため、市販のゴム製のストッパーを先端に取り付けた。ロードセルの変化をアナログ値として取得するためアンプとして HX711 を利用した。

2. 3 軸加速度センサ

杖の傾きや突き方など、挙動をより詳細に取得するため、3 軸加速度センサ (KXR94-2050) を取り付けた。

3. Bluetooth

Bluetooth はロードセルと 3 軸加速度センサから取得した値を iOS のデバイスに送信するために搭載した。Bluetooth モジュールには BLESerial2(浅草ギ研) を用いた。本モジュールは実装もしやすく、安価で手に入るため採用した。センサから得られたデータはサンプリング周波数 333Hz でスマートデバイスに送信される。

4. マイコン

マイコンには Arduino Nano を用いた。Arduino Nano は杖に実装するサイズとしても小型で軽量のため採用した。ハードウェアプログラミングの開発環境には Arduino(v1.8.0) を用いた。

5. バッテリー

杖型デバイスを無線で動作させるため杖にはリチウムイオンバッテリーを搭載した。バッテリーと Arduino Nano を接続することで全てのセンサと Bluetooth モジュールに電源が行き渡るようになっている。

これらのセンサとマイコンはブレッドボード上に回路を組み、杖の柄から 10cm 下方に取り付けた。その反対側にはバッテリーを同じように取り付けた。ブレッドボードとバッテリーそれぞれと杖の接着には常温時に硬化後の物性が優れているアロンアルファを用いた。ロードセルからのリード線はブレッドボードまで杖の本体を沿うように配置し、グ

ルーガンを用いて杖と固定した。

4.1.2 ソフトウェア概要

The screenshot shows an iPad interface with a status bar at the top displaying 'iPad', '15:23', and '8%' battery. The main content area has a light gray background with a white form. The form contains the following fields and controls:

- 名前** (Name): A text input field.
- 身長** (Height): A text input field.
- 年齢** (Age): A text input field.
- 体重** (Weight): A text input field with the value '0' entered.
- 性別** (Sex): A selection control with two buttons: '男性' (Male) in blue and '女性' (Female) in white.
- 杖の経験** (Cane experience): A text input field.
- 怪我疾病の有無** (Injury/illness status): A text input field with the placeholder text 'ある場合は詳細を' (If there is, provide details).

At the bottom center of the screen is a blue button labeled **登録** (Register).

図 43 被験者に基本データを入力してもらうインターフェース

ソフトウェアは iOS(10.2) のスマートデバイスで動作するものとなっている。開発環境には Xcode(v8.2.1)，プログラミング言語には Swift3.0 を用いた。ソフトウェアでは Bluetooth を通じて杖型デバイスと接続することが可能であり，杖型デバイスから送信されるデータをグラフでモニタリングすることが可能である。

検証のためのデータ取得をできるように被験者の基本データ (名前・身長・体重・年齢・杖の経験・怪我または疾病の有無) を入力してもらうインターフェースを実装した。(図 43)

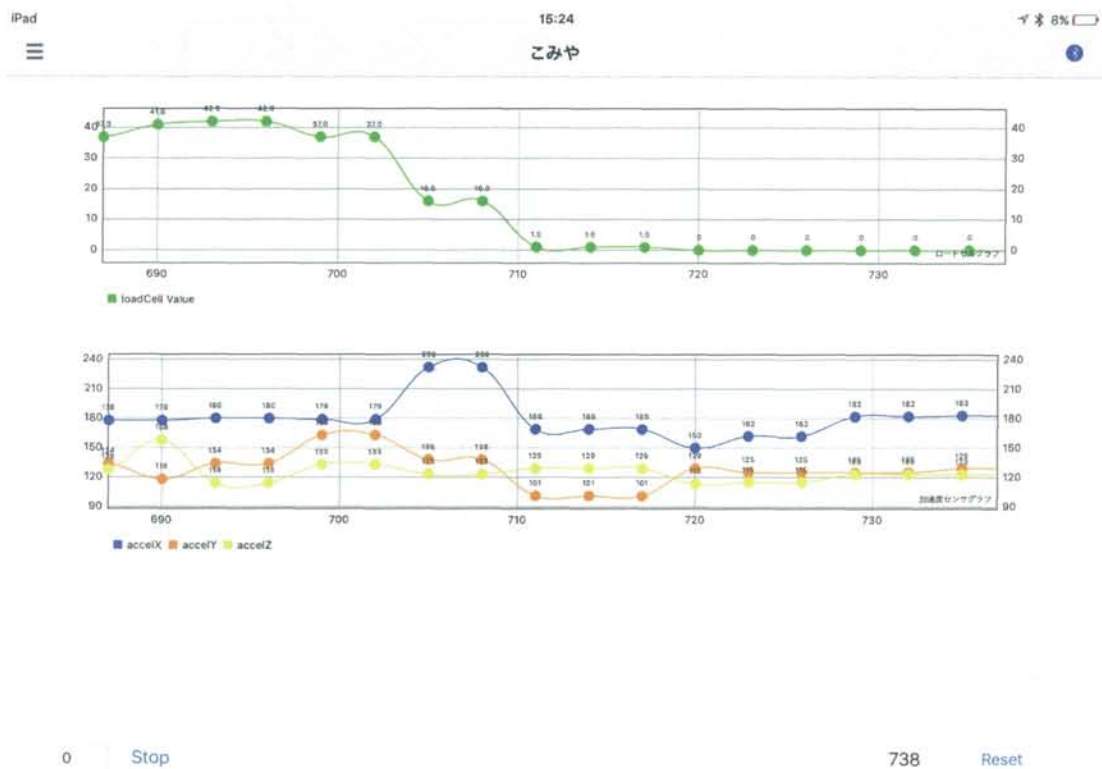


図 44 杖歩行計測中のインターフェース

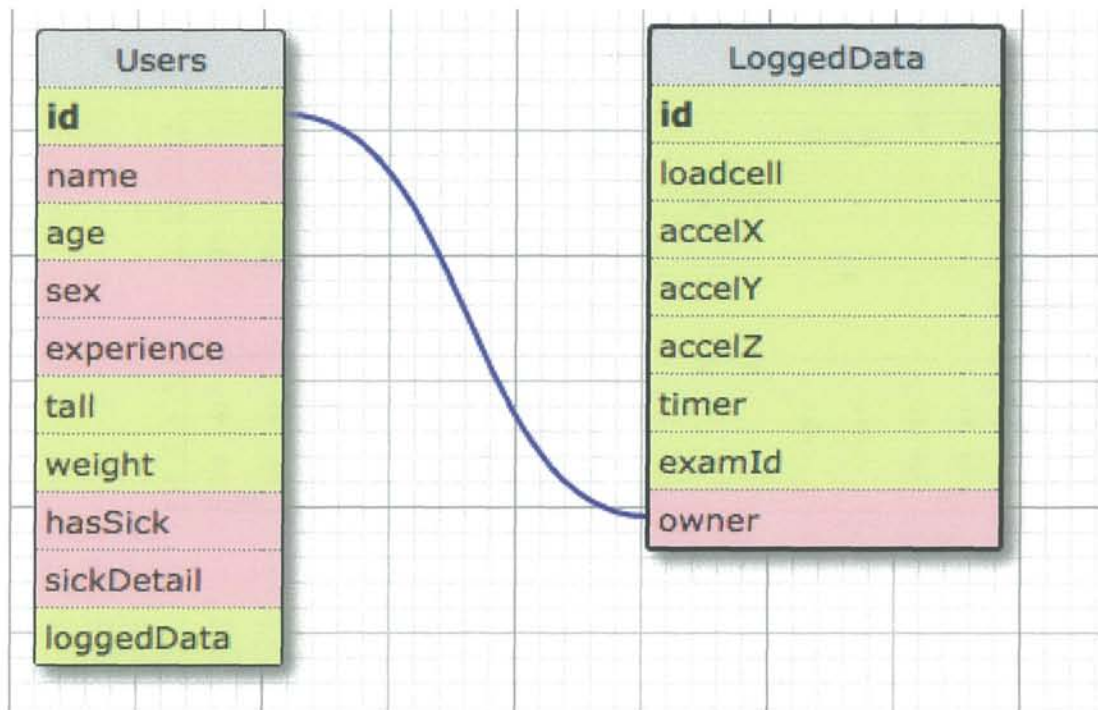


図 45 データベースの ER 図

入力してもらったデータと計測したセンサのデータは Realm というライブラリを用いて iOS スマートデバイス内のデータベースに保存されるしくみを実装した。実装したインターフェースは図 44 に示す。データベースの ER 図は図 45 に示す。User テーブルが被験者に紐づくデータ群であり、LoggedData テーブルは User テーブルとひとひも付き、333Hz のサンプリングレートでセンサのデータが入力される。

4.1.3 システム全般の流れ

データを取得するためのシステムの使用の流れを示す。図 46 が本システムの流れである。

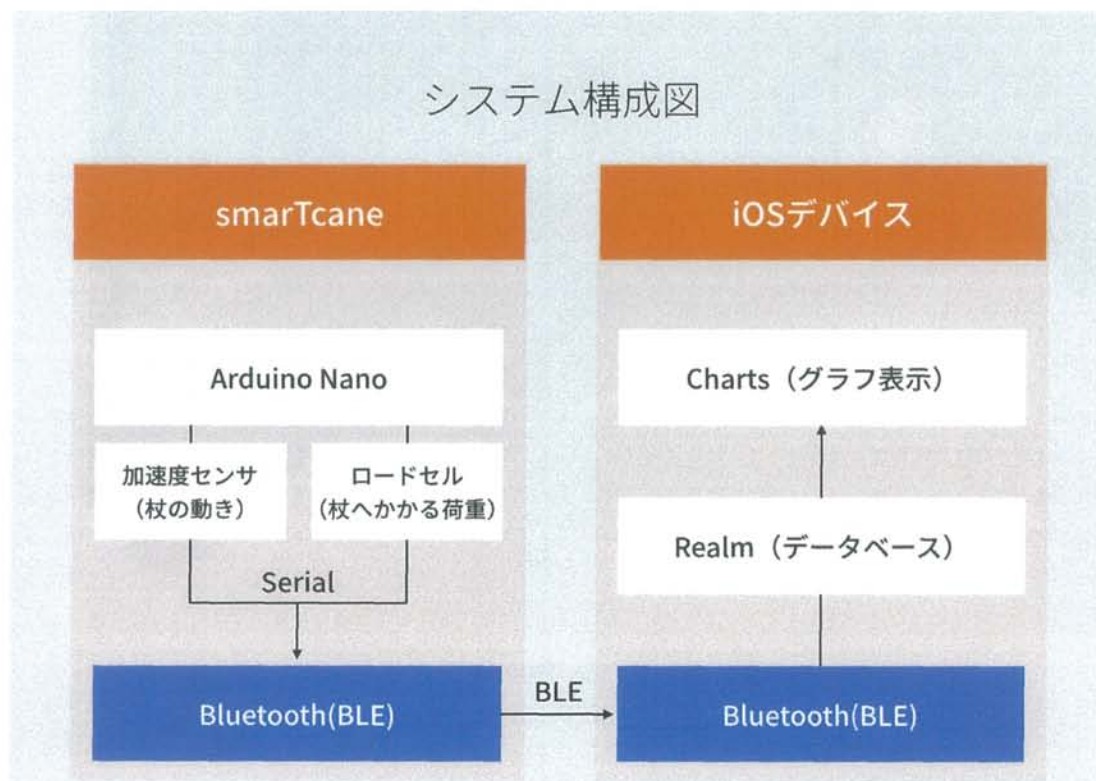


図 46 smarTcane のシステムの流れ

1. 杖型デバイスの電源を入れ，Bluetooth を待機状態にする (図 47).

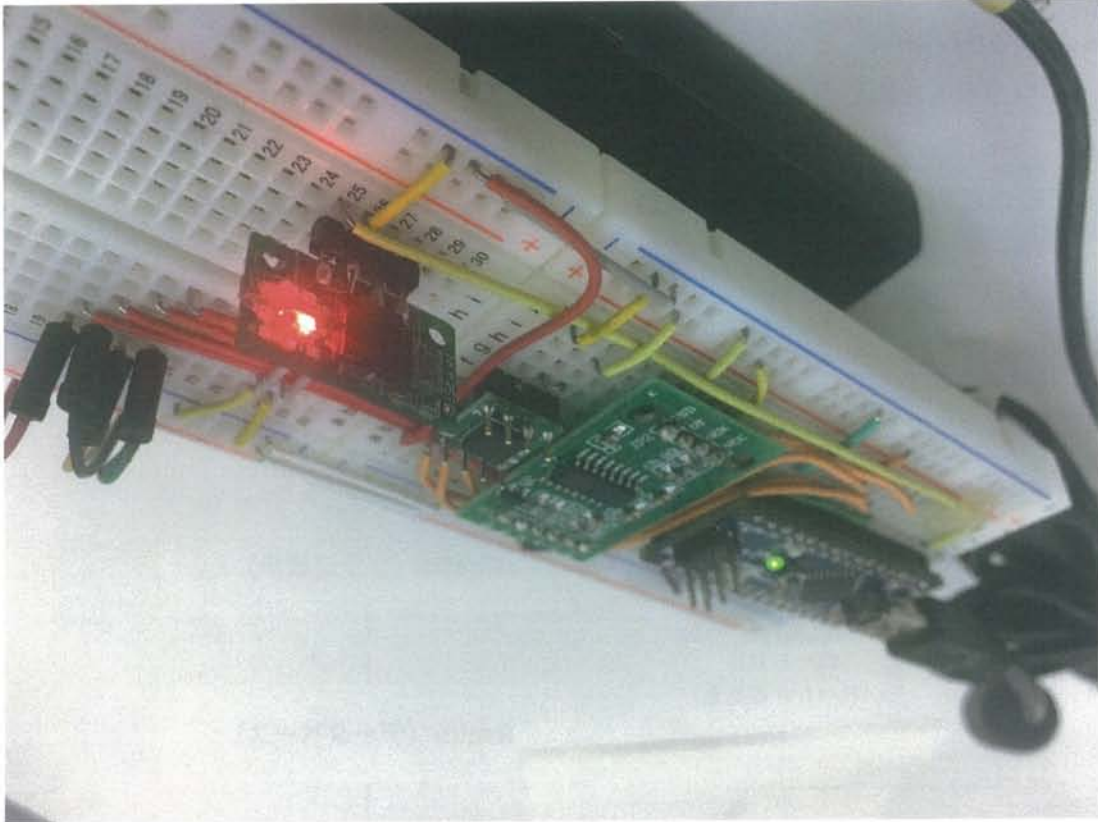


図 47 Bluetooth アドバタイジング時のインジケータ

2. iOS デバイスのアプリケーションを立ち上げる.
3. アプリケーションを立ち上げると被験者のデータを入力する画面が表示される. (図 48)

iPad 15:23 8%

名前 身長

年齢 体重

性別 杖の経験 怪我疾病の有無

男性 女性

0

ある場合は詳細を

登録

図 48 ユーザ情報登録画面

4. 被験者にデータを入力してもらう。
5. データ入力完了後、画面左上のメニューアイコンをタップし、Users の欄を選択する。
6. Users を選択すると、登録されている被験者の名前の一覧が表示される。
7. その後、データを取得する被験者の名前をタップする
8. 名前をタップすると、データを取得するための画面に遷移する。(図 49)



図 49 データ取得前のインターフェース

9. 右上の Bluetooth アイコンをタップし、杖型デバイスと接続をする。
10. 接続確認後、画面左下の ID 欄に検証 ID を指定する (後ほどデータの参照をしやすくするため)
11. その後、画面下の「Start」ボタンをタップすると、ストップウォッチが動き出し、計測を開始する。計測開始と同時に画面のグラフにセンサの値が表示されるしくみとなっている。(図 50)

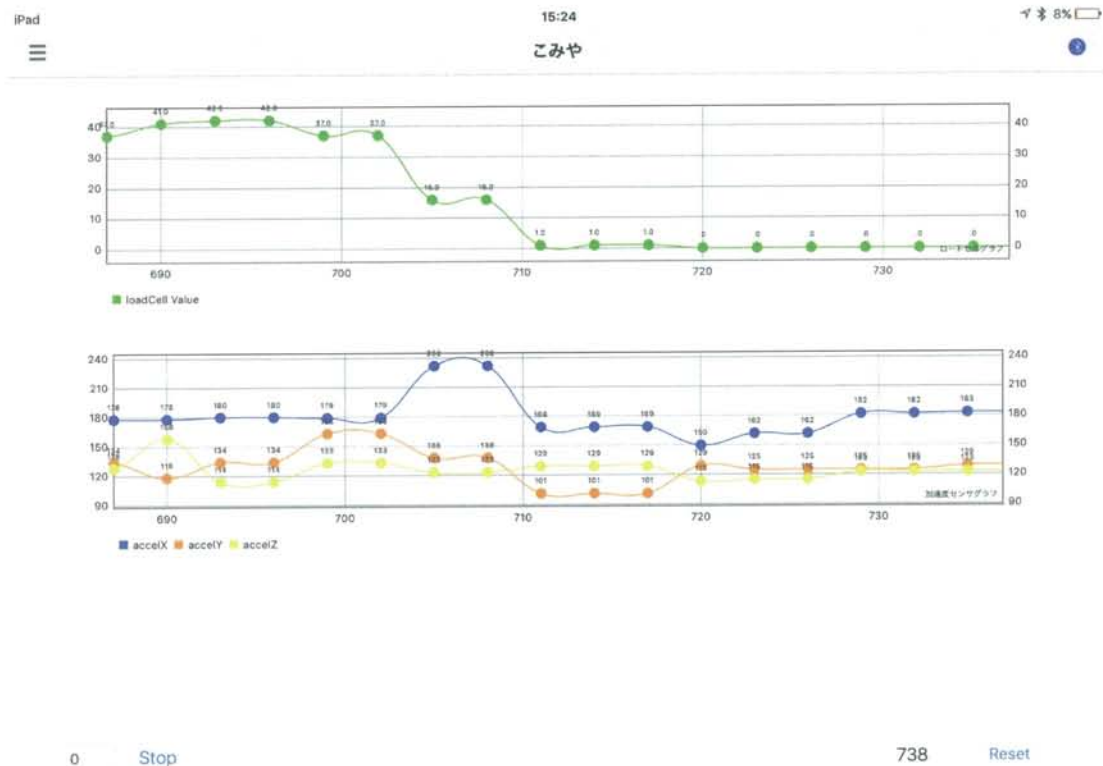


図 50 データ取得時のインターフェース

12. 計測終了後、「Stop」ボタンをタップすると計測が終了する。
13. 再び計測する場合には検証 ID を変更し、「Reset」ボタンをタップ後、再び「Start」をタップする。

以上の流れで取得したデータを後ほど検証に用いるため、iOS デバイスを MacOS を搭載した PC と接続し、Realm Browser を用いてデータベースに格納されているデータを CSV 形式で取得する。

4.2 検証

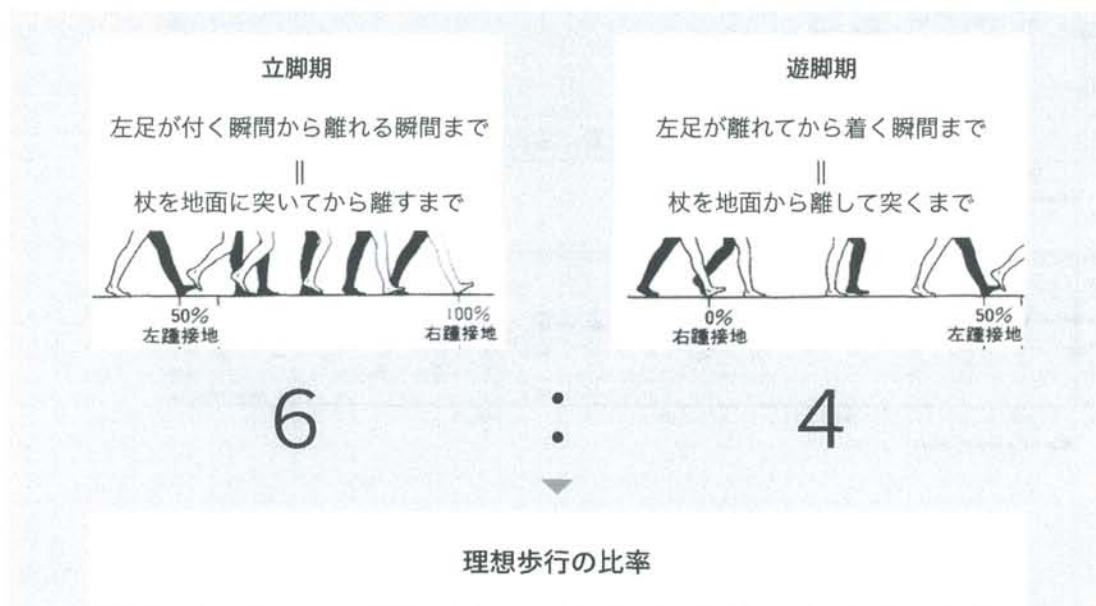


図 51 理想歩行の比率について

この章では上記のシステムを用いて行ったデータの取得方法とその検証について述べる。歩行ログの取得に際し、自然歩行では1歩行周期の立脚期と遊脚期の時間が6:4になるような歩行が理想とされている[9][10]。(図51に示す) また、足が地面について体重を支持するとき、両足で支持する時期を両足支持期と呼ぶ。両足支持期は立脚期の10%を占め、両足支持期は歩行速度が早くなるにつれて歩行周期における立脚相と両足支持期の占める比率が減少し、遊脚相の比率が増加する。この比率を実際の歩行から測定が可能であるかを検証する。労働者健康安全機構 東京労災病院にて理学療法士として従事している星川希洋氏(以後「星川氏」)から杖の突き方や長さの調整などのアドバイスを受け、実験に臨んだ。

4.2.1 歩行ログの取得



図 52 計測中の様子

杖歩行のデータを取得するため、10 人の健常な成人（平均年齢 23.7 ± 1.58 歳、平均身長 $169.9 \pm 4.85\text{cm}$ ）を被験者に口頭で同意を得た上で実験を行った。被験者には杖型デバイスを肘関節 30 度程度の屈曲位で大転子下縁の高さに握りが来るように高さを調整し、右足小指の前外側 15cm につくように右手で保持してもらい、2 動作歩行を説明した後、20m の歩行を行った。歩調あるいは歩行速度については特に規定しなかった。歩行開始後 5000ms 程を加速期、歩行終了直前 5000ms 程を減速期とし、加速期と減速期の間を等速移動領域とした。歩行者にスタートの合図を送り、iOS アプリケーション上でスタートとストップを押してもらう人とその歩行の様子を動画にて撮影するスタッフの計 3 人で計測を行った。図 52 に計測の様子を示す。測定は各人 3 回ずつ行った。また杖歩行の模範例として星川氏の協力を頂き、同様に歩行データを取得した。今回は星川氏の歩行の例を元に論述する。

4.2.2 評価・考察

1. 評価

以上の実験で取得したデータをもとにグラフ描画と解析処理を行った。解析処理には Microsoft Excel(v15.30) を用いた。

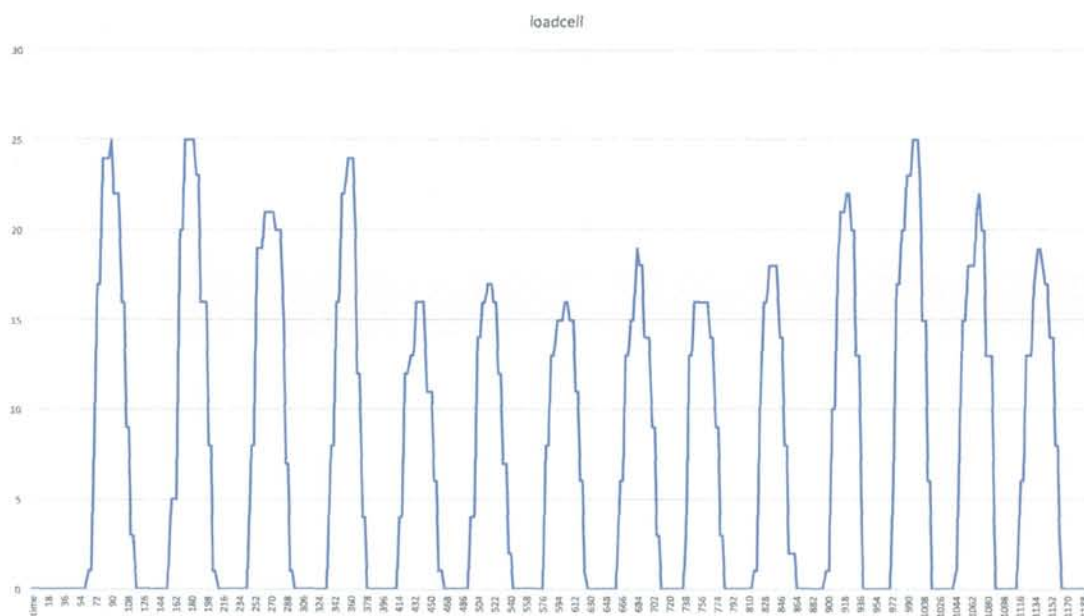


図 53 計測した代表的なロードセルから取得した値

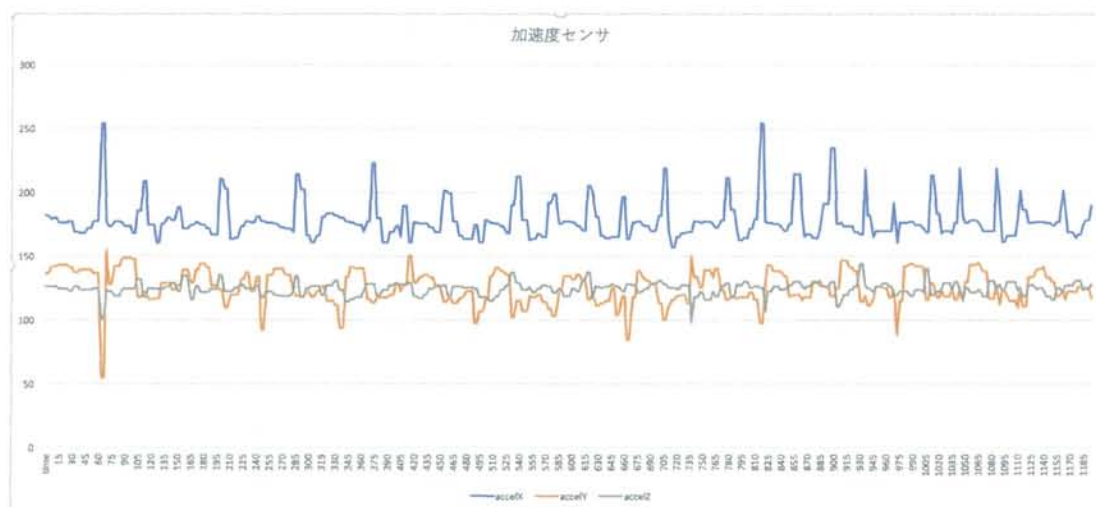


図 54 計測した代表的な加速度センサから取得した値

杖歩行から取得できたセンサの生データの代表例を図 53 と図 54 に示す。

ロードセルと加速度の特徴点を抽出するため、ロードセルから得られたセンサの値を l 、加速度センサから得られた X 軸の値を x 、Y 軸の値を y 、Z 軸の値を z とすると、それぞれのセンサの微分値の絶対値の和を L と A とし、 L と A は式 1 と 2 から求められる。

$$L = \sqrt{\left(\frac{dl}{dt}\right)^2} \quad (1)$$

$$A = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \quad (2)$$

ロードセルの生の値と A についてグラフに再度描画した (図 55)。

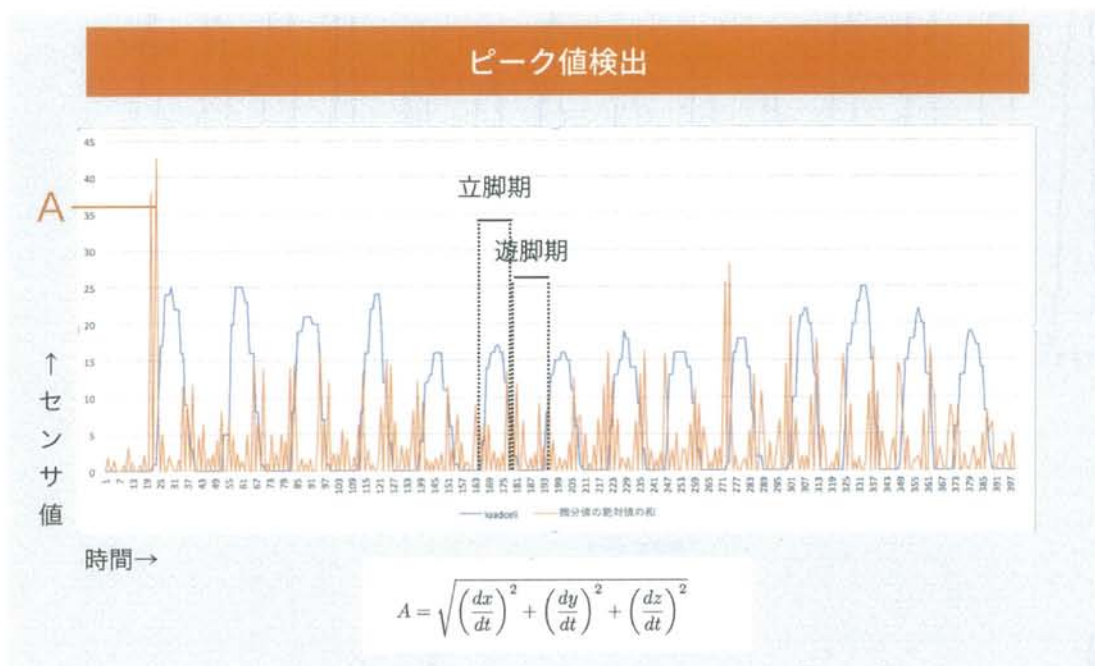


図 55 ロードセルの生の値と加速度センサの微分値の絶対値の和のグラフ

(a) ピーク検出による評価

図 55 を見ると、ロードセルと加速度の微分値の絶対値の和 L と A から約 80～100ms 毎に歩行の周期性と推測できるピーク値らしきものが見られる。さらに L の値が 0 である箇所は杖を浮かせている時と推測できることから、このグラフから 1 歩行周期の立脚期と遊脚期が算出可能である。そこで、以下の条件に基づき、 A のピークポイント $PT_{70}(i)(ms)$ (i はそれぞれピーク出現時の番号とす

る)を算出した。

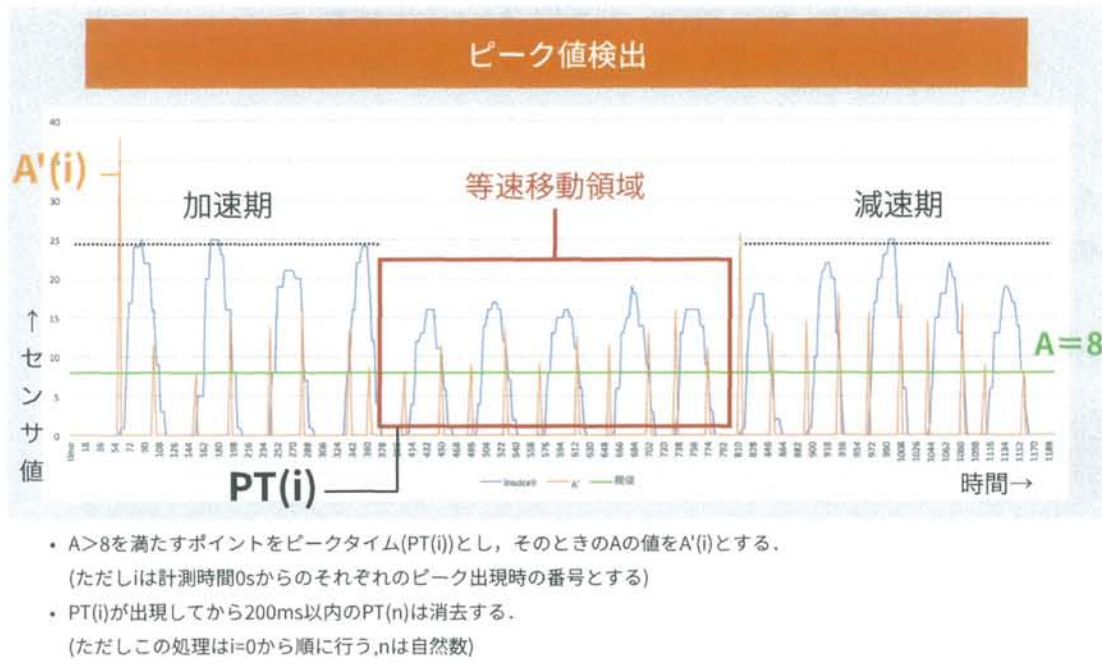


図 56 $A=8$ を閾値とした時のグラフ

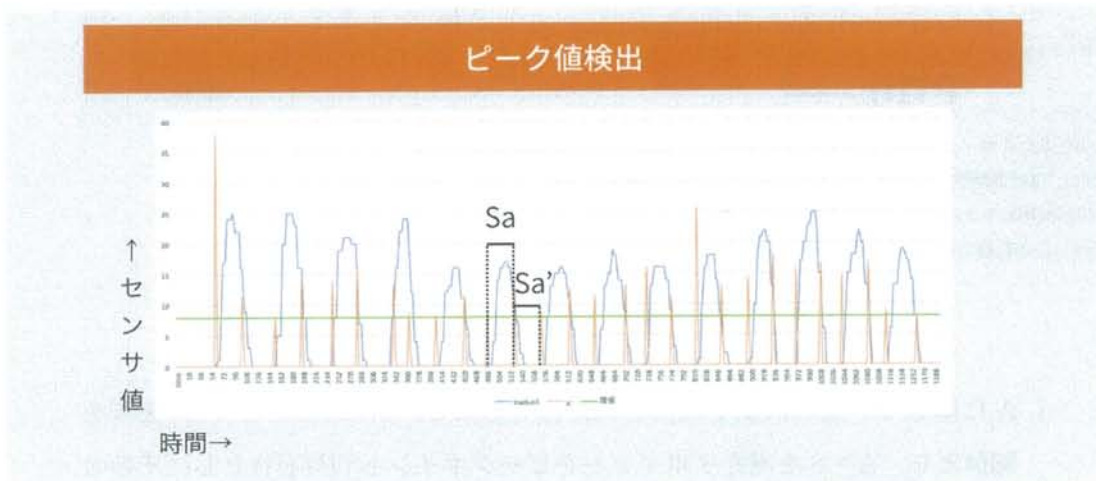
i. A に関して一度の計測で検出された最大値の 31 %にあたる $A=8$ の箇所を閾値とし、 $A \geq 8$ を満たすポイントをピークポイント ($PT(i)$) とし、そのときの A の値を $A'(i)$ とする。(ただし i は計測時間 0s からのそれぞれのピーク出現時の番号とする) $PT(i)$ が出現してから 200ms 以内の $PT(n)$ は全て消去する。(ただしこの処理は $i = 0$ から順に行う, n は自然数) これにより算出されたグラフを図 56 に示す。

- iii. グラフより，ロードセルの値が増加する直前と，0 に近づく直前に PT が観測できる．
ピークポイント毎のスパンを以下の式 3 と式 4 に習って Sa と Sa' を算出する．

$$Sa = PT(4k - 2)) - PT(4k - 3)(ただし k \geq 1, k \text{ は自然数}) \quad (3)$$

$$Sa' = PT(4l) - PT(4l - 1)(ただし l \geq 1, k \text{ は自然数}) \quad (4)$$

Sa はロードセルの増加する直前と，0 に近づく直前に観測された $PT(k)$ と $PT(k+1)$ のスパンを表す． Sa' はロードセルの値が 0 に近づく直前に観測された $PT(l)$ と次にロードセルの値が増加する直前の $PT(l+1)$ のスパンを示す．グラフより Sa の期間が立脚時の杖型デバイスの挙動であり， Sa' の区間を遊脚時の杖型デバイスの挙動と推測できる． Sa と Sa' の代表例をそれぞれ示したグラフを図



立脚期 $Sa = PT(4k - 2)) - PT(4k - 3)(ただし k \geq 1)$

遊脚期 $Sa' = PT(4l) - PT(4l - 1)(ただし l \geq 1)$

図 57 Sa と Sa' の代表例を示したグラフ

iv. S_a , S_a' それぞれの平均, 分散, 標準偏差を求め, その結果を表 10 と 11 に示す.

平均	40.38
分散	60.39
標準偏差	7.77

表 10 S_a の平均・分散・標準偏差

平均	40.38
分散	32.70
標準偏差	5.72

表 11 S_a' の平均・分散・標準偏差

(b) FFT 解析によるパワースペクトルの評価

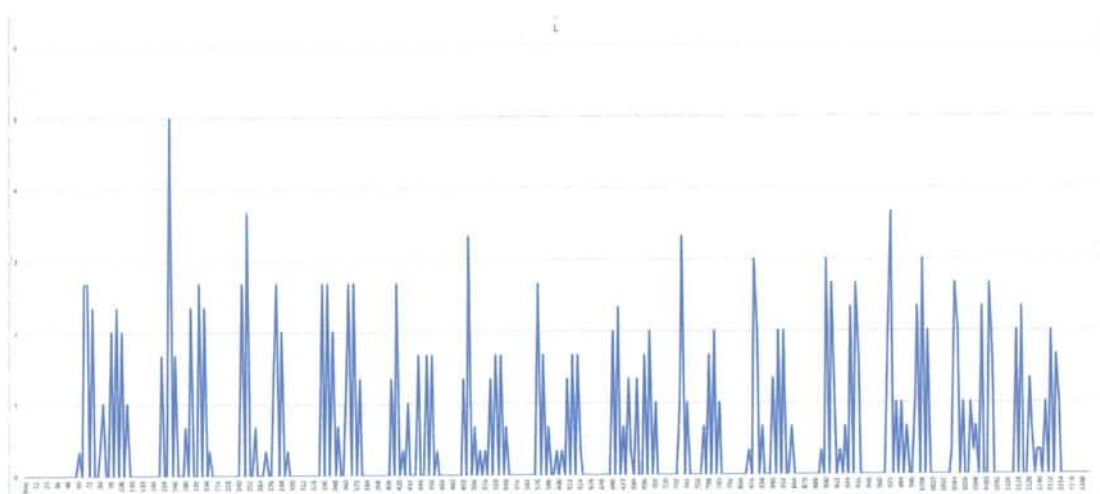


図 58 ロードセルの微分値の絶対値の和 (L)

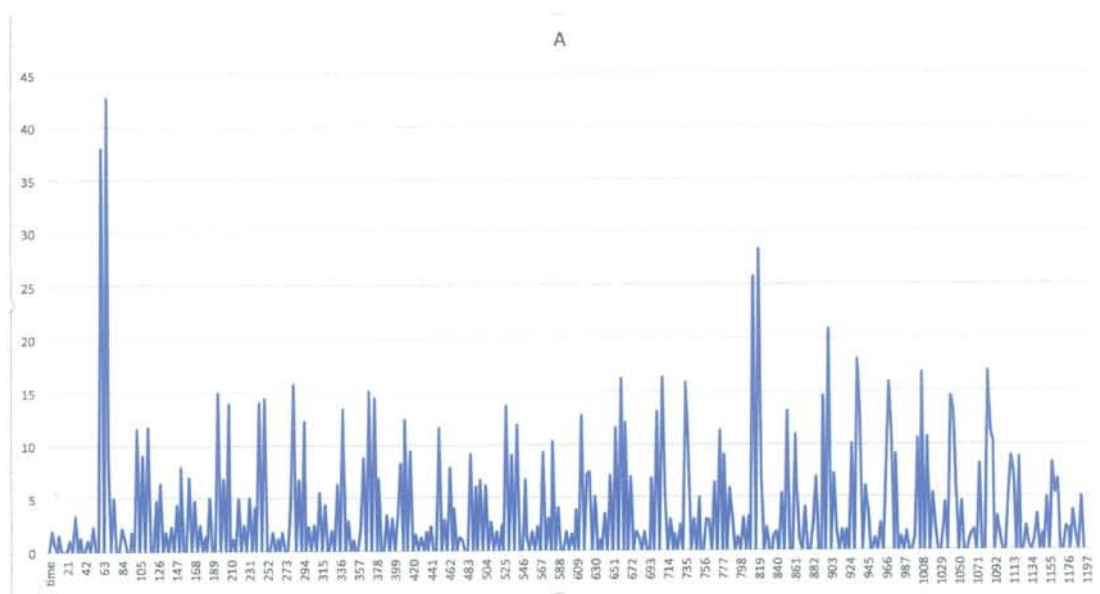


図 59 加速度の微分値の絶対値の和 (A)

式 1 と式 2 で求めた L と A について図 58 と図 59 に示す。このグラフからロードセルと加速度センサについて FFT(高速フーリエ変換) により周波数解析を行った。この周波数解析により、どの周期で強いパワーが検出できるかを検証する。以下にその手順を示す。

- i. 加速期・減速期の両者を除いた 256 個のデータ ($30\text{ms} \times 256 \text{ 個} = 7680\text{ms}$ 分) を用い、 t を時間、 k を周波数、波形をそれぞれ $fl(t)$ 、 $fa(t)$ として FFT を用いて周波数解析を行った。ロードセルの波形に対する結果を $Fl(k)$ 、加速度センサの波形に対する結果を $Fa(k)$ とする。(式 6)

$$Fl(k) = \int fl(t)e^{i2\pi kt} dt \quad (5)$$

$$Fa(k) = \int fa(t)e^{i2\pi kt} dt \quad (6)$$

この時の周波数 k における $Fl(k)$ と $Fa(k)$ は一般的に複素数であり、

$$F(k) = x + iy \quad (7)$$

とした場合、振幅 $\|Fl(k)\|$ と $\|Fa(k)\|$ は以下の式で示すことができる。

$$|F(k)| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (8)$$

その後、ロードセルと加速度センサのパワースペクトル Pl と Pa を算出した。

$$Pl = |Fl(k)|^2 \quad (9)$$

$$Pa = |Fa(k)|^2 \quad (10)$$

Pl と Pa のグラフはそれぞれ図 60 と図 61 に示す。

FFTによる解析

$$Pl = |Fl(k)|^2$$

$$7560\text{ms} / 20 = 378 \div \text{約}2.5\text{Hz}$$

歩行時の杖をつくテンポと同様

立脚期のパワーと推測できる



図 60 Pl のグラフ

FFTによる解析

$$Pa = |Fa(k)|^2$$

$$7560\text{ms} / 20 = 378 \div \text{約}2.5\text{Hz}$$

杖を離して再び突くまでの周期と同様

遊脚期のパワーと推測できる



図 61 Pa のグラフ

図 60 と図 61 のグラフにより，ロードセルと加速度のパワースペクトル $Pa(f)$ では

約 2.5Hz の周波数で最も強いパワーが見られた。これは同被験者の歩行の周期を示していると観察できる。

2. 考察

ピーク検知による評価より，立脚期と遊脚期の所要時間の比率がリアルタイムに計測が可能であることが示された．この比率は約 1:1 であり，この比率により，立脚期と遊脚期の比率を推測することが可能である．「ペリー歩行分析原著 正常歩行と異常歩行」[9]，「基礎運動学」[10] で述べられているように，立脚期と遊脚期の比率が歩行の判定に用いられている．したがって，今回算出した立脚期と遊脚期の比率を用いることで，歩行の安定性の判断を行う指標に繋がると言える．また，パワースペクトルの評価の結果を見ると，ロードセルのパワーが現れる周期と加速度のパワーが現れる周期の比率は約 1:1 という結果を確認することが出来た．理想歩行の立脚期と遊脚期の比率は 6:4 が理想とされているが，歩容が早くなることで 5:5 に近づくというのが通例である [9]．そして，ピーク検出によって算出された立脚期と遊脚期の比率とパワースペクトルにより算出された立脚期と遊脚期の比率はほぼ等しく，この比率を用いることで上記のピーク検出アルゴリズムがうまく動作しない個人においても評価が可能となると推測できる．また，FFT を使うことにより，リアルタイムに計測が可能となり，アプリケーションに実装することで患者へのフィードバックもリアルタイムに行うことができる．

4.3 結論

これらの実験と評価から得られた結果から、本システムは2つのアルゴリズムによる評価を通して、従来の臨床現場で行う歩行計測をリアルタイムに定量化し、利用可能なデータとして提示することができるといえる。このシステムを利用して患者へのリアルタイムなフィードバックを可能にする指針となった。

4.4 今後の展望

今後の展望として、データの計測と解析面、またデバイスの改良や臨床現場でのニーズや課題について以下に示す。

1. 計測・解析

計測において、今回は被験者に歩行のペースを特に規定はしなかったが、一定ペースでの歩行を別途行い、テンポを早めることによる立脚相と遊脚相の推移を計測することでより正確に両足支持期の長さを計測可能になると思われる。また、床反力計など他の計測器との比較実験も行い、smarTcaneとの差について考察する。解析面では、杖使用時のロードセルと加速度のセンサの値を元に被験者のクラスタリングを行い、杖の使用の巧拙を判断できる分布になるかを検証する。

2. デバイス

本論文におけるプロトタイプはサイズについての課題があり、モジュールをいくつか変更することで軽量かつ、小型化が可能である。具体的には、Arduino NanoをATMEGA328-Pに変更し、専用のプリント基板を製造する。また、バッテリーは現在市販の携帯電話充電用バッテリーを用いており、今回の杖にはオーバースペックであるため、もっと小型で軽量のものを選定する必要がある。また計測したデータをもとにグリップへの負荷などを計測し、最適な杖の形状のデザインを考える指標にもなり得る。患者の足の状態によって使用する杖を変えるなどの指標にすることも可能であると考える。

3. インターフェース

アプリケーションのインターフェースには、今回の研究を通して、どんな情報をリアルタイムに表示すべきなのかを検討することが出来た。まだ臨床の現場での声は聞くことは多くないので、実験結果をもとにヒアリングを重ね、今後のインター

フェースの実装につなげていきたい。

4. 臨床現場での使用について



図 62 江口病院でのヒアリングの様子①



図 63 江口病院でのヒアリングの様子②

臨床現場では、今後の製品活用法として、星川氏曰く、本システムを応用し、患者が病院の外周を歩行するなどの長距離歩行のリハビリの際に、短距離では計測不能な疲労時の歩行についても定量化が可能になることは大変意義があるとのことのお言葉を頂いた。本システムは床反力計に比べて極めて安価であり、用意する設備も少ないことから簡単に臨床の現場に導入できる。加えて、計測の際も有線のシステムを要さず、患者の事故リスクも市販の杖同様のものに抑えることが可能である。杖から得たデータを元に患者へ歩き方を示唆することができる仕組みを取り入れることも可能になると考えられる。また、第一プロトタイプ作成後2017年2月16日に佐賀大学医学部江口有一郎教授の引率のもと、佐賀県小城市の江口病院にて理学療法士の方々にヒアリングを行ったところ、多くの意見を頂くことが出来た。その一部を表12に示す。(ヒアリングの様子は図62と図63に示す)

一般的に歩行の周期が早いと良い(社会では歩行が遅いと危ないから)
杖への荷重が減ってきているのがわかるとよい
T字杖と4本杖を比べた時に4本杖のほうが歩行が遅い人が使い、荷重を多くかけられる、T字杖のほうがブレが大きい
杖を突いていない人でも足が早すぎると転倒の可能性がある、そういった人に杖をもたせるとブレが少なくなるよとデータをもとに提案できる(ただ提案するだけだと患者が納得してくれない)
動画とグラフが連動していないと対応している部分がわからない
方向転換時の転倒が多く、右手に杖を持っている時は右回りを推奨している(左回りも練習した上で)
杖の長さによって荷重やブレが変わるのが見れるとよい
データとして経過が出ると患者のモチベーション向上に繋がる
脳梗塞患者のリハビリの成果が見えるようになる
足が悪くて杖を使ってるのか、腰が悪くてつえを使っているかにもよって変わってくる。足が悪いと立脚期と遊脚期の比率の差が出て来る
理学療法士以外の人(介護士のひとなど、杖歩行について知見がないスタッフ)が杖をもたせるか迷う時の指標にすることができる
300m歩いて疲労が出てくるとちょっと危ないとわかる
疲労度については現在は本人の自覚度によって決めてしまっている(その日のやる気によって左右されてしまう)
右回り、左回り、バックステップ(座るときとかの)でどう変わるのかがわかるとよい
杖を今まで使っていたものの加齢とともにT字杖は危ないのでは?ということもあり、その指標になりそう

表12 ヒアリングにより得られた意見

5 まとめ

エンタメ分野における目的として、従来の鬼ごっこにはない楽しさの創出がウェアラブルデバイスとそれに紐づくシステムによって可能であるかを評価することであり、「PetaPeta」の開発・2度のイベントによる検証の結果から、誰でも知っている古来からの遊び「鬼ごっこ」をベースとし、ウェアラブルデバイスならではの機能による駆け引きの要素を加えた、どんな場所でも体験可能な全く新しいリアルタイムフィードバックを用いたエンターテインメントコンテンツを実現することができ、本研究の目的を達成したと言える。尚、PetaPetaは2015年11月に行われたMashupAward11[6]にてIoT部門賞を頂いた。加えて、いくつかのウェブメディア[7]-[8]にも取り上げて頂いた。

理学療法の分野においても、従来の歩行テストや理学療法士の目視では不可能であった、杖歩行時の体動の定量化を行い、そのデータをリアルタイムに理学療法士が閲覧し、患者へのアドバイスを可能にする事の大きな指標になりうる計測と評価を行うことが出来た。これにより、定量化されたデータをもとに患者の歩行を診断することが可能になり、療法士間でもノウハウを共有することが容易になることが「smarTcane」の作成意図である。

本研究の貢献は、人々の生活に深い関わりを持つエンターテインメント及び理学療法の分野において、未だ黎明期にあるウェアラブルデバイスの機能を活かし、定量化されていないデータを定量化した上で、リアルタイムにフィードバックできるコンテンツを実装し、その有用性を実証したことである。このことによって、既に社会において確立している遊びや研究成果を、ウェアラブルデバイスを用いたセンシング技術がさらに拡張するための道筋を示すことができた。

6 謝辞

本論文の執筆にあたり、主査としてご指導いただいた首都大学東京システムデザイン学部インダストリアルアートコース渡邊英徳准教授、副査としてご指導いただいた串山久美子教授、難波治准教授、本研究の実施と開発にあたり技術的アドバイスならびに論文執筆のアドバイスを頂いた馬場哲晃准教授、PetaPetaの開発を協力していただいた、高田百合奈様、佐野大河様、木村汐里様、井口香穂様、井上洋希様、高田将吾様、イベントの運営に際しましてご協力いただいた首都大学東京渡邊英徳研究室の生徒の皆さまに大

変感謝申し上げます。加えてアンケート協力を頂いたイベント参加者の皆さまにも御礼申し上げます。smarTcane 開発にあたり，歩行ログの取得にご協力頂いた被験者の皆さま，並びにアドバイスやヒアリングにご協力いただいた佐賀大学医学部江口祐一郎教授，東京労災病院の星川希洋氏にお礼申し上げます。

付録 A ルールブック

PetaPeta

RULE BOOK

「PetaPeta」とは、

株式会社 DesignCat と首都大学東京渡邊英徳研究室で開発した、
インソール型デバイスとスマートフォンを連動した頭脳戦SFおにごっこです。



PetaPetaはおにごっこをしながら移動距離を競うゲームです。
ゲーム時間内にPtean(逃走者)で移動した距離に応じてポイントが貯まります。



走るとポイントをたくさん稼ぐことができますが、早く移動するほど自分の足跡が地図に残ってしまい、Betan(鬼)に見つかりやすくなります。



一方、Betan(鬼)の間は、どんなに移動してもポイントが稼げません。
地図に残された足跡を頼りに、Pteanを捕まえにいきましょう。



Betan(鬼)がPtean(逃走者)に近づくと「タッチ」となり、役割の交代です。
タッチした人は、タッチしたPteanからポイントを奪うことができます。

NEXT ▶ ゲームを始めるための準備をしましょう

ゲームを始めるための準備をしましょう

STEP1 スマートフォンの設定

- ① WiFi に接続されている場合、接続を解除してください。
- ② 画面の自動ロックがかかっている場合は設定を解除してください。iPhone をお使いの方は、
設定 > 一般 > 自動ロック > 「しない」を選択
で解除することができます。

STEP2 新規ユーザ登録



ゲームを始める前にプレイヤー情報の登録を行ってください。
好きなIDと、パスワードを入力し登録ボタンを押してください。
このIDとパスワードは次回ログイン時に利用するので忘れないようにしてください。
※使えるのは アルファベット小文字・数字・_のみ

STEP3 インソール型デバイスの接続



- ① デバイスのスイッチをオンにする
- ② デバイスとスマホを近づける
- ③ 接続画面で、一番パラメータが大きいやつを選択し、決定を押す（ここは画像と合わせて見せる感じで）
（④ デバイスを振ってみて、こんなサインが出たらOKです。的な機能をつける予定。
決まり次第連絡します）

STEP4 Beaconの接続



インソール型デバイス接続後、beaconの接続画面になります。受け取ったbeacon
をスマホに近づけて、電波強度が強いものをリスト一覧から選択し、決定ボタンを
押してください。



アプリ起動時に「お使いの端末はiBeaconに対応していません。ゲーム担当者からiBeaconを受け取ってください。」というアラートが出た場合は、事前にスタッフからbeaconを受け取ってください。

NEXT ▶ 画面の見方を説明します

図 65 PetaPeta ルール②

画面の見方



ポイント

現在の自分の獲得ポイントが表示されます。

制限時間

ゲームの残り時間が表示されます。

マップ

自分の現在地と他のプレイヤーの足跡が表示されます。

● 自分がPetanの時
他のプレイヤーは全員グレーの足跡



自分の足跡



他の人の足跡

● 自分がBetanの時
Petanは緑色の足跡
Betanはオレンジ色の足跡



自分の足跡



自分以外のBetan



Petanの足跡

ランキング

現在の自分の順位が表示されます。

インフォメーション

困った時はここからルールなどが見れます



図 66 PetaPeta ルール③

ルール説明

①
新規登録しデバイス接続
後、「部屋」が作成されて
いるのでそこに入ります。



②
ゲームがスタートすると、
30秒カウントが入るので
バラバラに逃げてください。



③
30秒のカウントが終わるとBetan(鬼)がランダムに決まり、鬼ごっこが開始されます。
※ Betanの人数はゲームによって異なり、自分以外は誰がBetanかPetanが知ることはできません。

Petan

Petan は逃走者です。
Petan ている間に移動した距離に応じてポイントを獲得することができます。
移動速度が速いほどポイントも多くなりますが、地図に足跡が表示され、鬼に見つかって
しまいます。



Map			
Point	×		

Betan

Betan は鬼です。
Betan ている間はポイントが入りません。一刻も早く Petan を捕まえましょう。
移動速度が速いと地図に足跡が表示され、Petan に気づかれてしまうかもしれません。



Map			
Point	×	×	×

図 67 PetaPeta ルール④

! MISSION



ゲームの途中で「ミッション」が発生します。ミッションの発生はバイブレーションで通知されます。ミッションが開始されると、鬼ごっこは一時中断されます。スマートフォンの画面に表示された指示に従い、ミッションをクリアしてください。

- ④
ゲーム終了時に、より多くのポイントを獲得した人が勝ちとなります。
途中でくるミッションをクリアしながら、なるべく沢山Petaでポイントを稼ごう！

注意事項

- 赤い枠で囲まれた範囲を出てしまうと、ポイントが入らなくなります。範囲外に出ると、バイブレーションでお知らせします。赤い枠の範囲内でゲームをお楽しみください。
- ゲーム中は、歩きスマホや車に十分注意してください。ゲーム中に、スタッフが注意を促す場合があります。
- ゲーム中の機材の不調や、困ったことがあった際は近くにいるスタッフにお声がけください。



PetaPeta
RULE BOOK

図 68 PetaPeta ルール⑤

参考文献

- [1] 「GoogleGlass」画像出典元：<http://www.ibtimes.co.uk/google-glass-new-version-works-1509277>
- [2] 「AppleWatch」画像出典元：<http://www.imore.com/apple-watch-help>
- [3] 株式会社 me leap 「HADO」(<http://meleap.com/>)
- [4] KDDI 株式会社「FUMM」(http://aufl.kddi.com/fumm_adventure/)
- [5] 加古里子「遊びの四季」，じゃこめてい出版，1975 年
- [6] 株式会社 リクルートホールディングス「MashupAward11」(<http://mashupaward.jp/>)
- [7] Flying スポーツ×テクノロジーで、ワクワクするメディア(<http://flying.hateblo.jp/entry/2016/01/26/185857>)
- [8] 4Gamer.net (<http://www.4gamer.net/games/999/G999902/20161005116/>)
- [9] Jacquelin Perry, Judith M.Burnfield, 武田 功「ペリー歩行分析原著 正常歩行と異常歩行」医歯薬出版株式会社，第 2 版，2012 年
- [10] 中村 隆一，齋藤 宏，長崎 浩「基礎運動学」医歯薬出版株式会社，第 6 版，2011 年
- [11] 貴嶋 芳文，桑江 豊，湯地 忠彦，緒方 匡，東 祐二，藤元 登四郎，関根 正樹，田村 俊世「屋内・屋外歩行自立者の自立度判定」，第 45 回日本理学療法学術大会 抄録集，Vol.37 Suppl. No.2，2010 年
- [12] 建内 宏重，市橋 則明，大畑 光司，楞田 眞弘，大野 博司，八幡 元清，秋元 喜英，山口 淳「T 字杖への荷重量の変化が片脚立位時の安定性と下肢筋活動に与える影響」，理学療法学，第 29 巻第 6 号，225-229 項，2002 年
- [13] 渡邊 観世子，谷 浩明「上肢と下肢の荷重制御の比較からみた部分荷重歩行における荷重制御の正確性」，第 50 回日本理学療法学術大会，2015 年
- [14] 永田 雅章「片麻痺患者の杖歩行の分析」，リハビリテーション医学，Vol.28 No.1，27-37 項，1991 年
- [15] 松山 徹，山田 雪雄，玉井 敦，光安 郁雄，宮下 智，山田 誠，高見 正利「脳卒中片麻痺患者の杖歩行の分析 (第 1 報) - 2 動作，3 動作歩行の一考察 -」，理学療法学，Vol.12，169 項，1985 年
- [16] 河西 理恵，篠原 優志，山口 凌，佐藤 翔太，武田 朴「ひずみゲージを用いた荷重測

定杖の製作と実用性の評価」, 理学療法学, Vol.31 No.4, 505-509 項, 2016 年

[17] 伊藤 友孝「高齢者支援ロボット杖」(<https://www.shizuoka.ac.jp/news/detail.html?CN=3423>)

[18] 東興電気株式会社「歩行介助杖」(<http://www.tohkoo.co.jp/media.html>)

[19] 三枝 友仁「Communication Stick」(<http://www.jamesdysonaward.org/ja/projects/communication-stick/>)