

スポーツにおける機械判定システムのための 人の納得感に基づく判定基準調整手法

柳生 遥¹ 大西 鮎美¹ 土田 修平¹ 寺田 努¹ 塚本 昌彦¹

概要: スポーツ等における機械判定は、センサやカメラの使用により、人間の目や耳で行うよりも厳密な判定を下せる。しかし、人間の主観によって判断される判定基準の曖昧な局面においては、機械判定システムによる厳密な判定が必ずしもプレーヤや観客の納得感を向上させるとは限らない。今後新しいスポーツに機械判定を導入する場合、厳密に判定を行うだけでなく、判定に対してプレーヤ及び観客が納得できるシステムを構築することが重要である。本研究では、機械判定システムの設計において、判定基準を決定する手法を提案する。評価実験では、だるまさんがころんだというゲームに機械判定を導入した「ウェアラブルだるまさんがころんだ」を用いた。「ウェアラブルだるまさんがころんだ」では、だるまさんがころんだの「動いたら失格」というルールを、加速度センサ値を基にした判定値が事前に設定した時系列変化のある閾値を超えるかどうかと置き換えた。この「動いたら失格」という判定基準は人によって異なる曖昧なものであり、この判定基準を明確に決定することで、プレーヤ及び観客の納得感を向上できると考えられる。本稿では、だるまさんがころんだにおける「プレーヤが動いたかどうか」の判定基準を定義する評価実験を行った。実験の結果、だるまさんがころんだの掛け声の最後の「だ」が唱え終わった瞬間にプレーヤが静止した場合は、セーフと判定することで納得感を向上できることを確認した。

1. はじめに

スポーツにおける機械判定システムは、カメラやセンサを活用し、人間や物の動きを詳細に計測した結果を判定に利用するため、人間の目や耳で捉えて判断するよりも正確な判定を下せる。機械判定システムの導入により、人間の主観に基づいた判定による多くの誤審を防ぎ、人間では判断が困難な細かい判定を下すことができるため、プレーヤや観客が納得できる公平な判定を行えるシステムとして期待されている。例えば、トランポリン競技では、トランポリンベットに設置した赤外線センサを用いて、選手の跳躍時間を測定し、審判の採点の援助を行う TMD[1] が導入されている。機械判定システムの判定基準は、一般にはルールに則った厳密な基準を採用しており、判定が正確であるほどプレーヤや観客の納得感の向上が期待できる。しかし、人間の主観によって判断される判定基準の曖昧な局面においては、機械判定システムによる厳密な判定が必ずしもプレーヤや観客の納得感を向上させるとは限らない。人間の主観による判定を単純に機械で置き換えるだけでは、プレーヤや観客が判定に納得できない状況が起きると考えられる。このような局面において機械判定システムを

導入する場合には、プレーヤや観客の納得感を考慮した判定を下すべきである。

そこで本研究では、筆者らの先行研究である「ウェアラブルだるまさんがころんだ」[2]を用いて、機械判定システムの判定基準を決定する手法を提案する。ここで、だるまさんがころんだとは1名の「鬼」と鬼以外の「参加者(プレーヤ)」の対戦形式のゲームである。だるまさんがころんだには鬼が視界を覆って「だるまさんがころんだ」の掛け声を発声する読み上げ時間と、プレーヤが動いているかどうかを鬼が目で見えて判定する判定時間がある。だるまさんがころんだの判定要素であるプレーヤが動いているかという基準は人の主観によって異なる曖昧なものであり、人間が動いているかどうかを厳密に判定するだけでなく、判定に対してプレーヤや観客が納得しなければゲームとして成立しない。だるまさんがころんだというゲームの特性は他のスポーツの曖昧な判定局面においても応用できると考えられる。

「ウェアラブルだるまさんがころんだ」では、だるまさんがころんだの「動いてはいけない」というルールを、プレーヤの装着したスマートフォンの加速度センサの値が事前に設定した時系列変化のある閾値を超えるかどうかと置き換えた。この閾値を変化させることで、プレーヤが動いたかどうかの判定を調整できるため、閾値の設定方法がブ

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University

プレーヤ及び観客の納得感に影響を与えられ。しかし、プレーヤが動いているかという判定基準は人によって異なる曖昧なものであり、閾値を設定するには、判定基準の明確な定義が必要である。本研究では、納得感を考慮した閾値設定に向けて、だるまさんがころんだにおける判定基準を定義する評価実験を行った。評価実験の結果を基に、適切な閾値設定を行うことで判定の精度向上を試みた。

2. 関連研究

2.1 スポーツに機械判定を取り入れる研究

スポーツなどにおいて、人間では判断が難しい局面における細かい判定については、機械判定が多く導入されている。Shinらは体操競技のように選手が演技を行い審判が主観的に採点するスポーツを対象として、画像処理技術を用いて競技映像から選手の動作を解析、自動採点する手法を提案している [3]。Díaz-Pereiraらは新体操競技において、技の自動スコアリング手法を検討している [4]。この手法では、過去の競技映像を基に技の軌跡データを生成し、この軌跡データと実際の演技中に撮影した映像と比較することで、技の自動スコアリングを行う。これらの研究は、プレーヤが正解データの存在する姿勢をとれているかどうかを映像から判定するシステムであり、人の目で行われている判定を機械で再現したものといえる。

Helmerらが提案した自動ボクシングスコアリングシステムは、アマチュアボクシングのトレーニング支援と公平なスコアリングを提供することを目的としたシステムである [5]。このシステムでは、衝撃を検知するセンサを装備した薄型の軽量ベストによって、ヒットの場所を記録し、各ボクサーのスコアを表示する。Chiらは格闘技において、圧力センサを内蔵したユニフォームを開発した [6]。内蔵された圧力センサによって、衝撃の大きさを検知し、その大きさをもとにスコアリングを行う。Yamagiwaらが提案したスキーのスコアリングシステムは、3軸加速度センサを用いて雪の斜面とスキーの体の間の角度を図り、ボディバランス制御のスキルを自動的に採点している [7]。これらの研究は人の目で判断することが困難な力学的な仕事量や微小な時間変化での差異を機械を用いて判定するシステムであり、人間よりも厳密に判定を行える機械の利点が最大限に活かされている。

既に導入されているいくつかの機械判定システムには、厳密な判定を行うとともに、プレーヤ及び観客の納得感を高める工夫がされている。Baljinderらが提案したテニスのボール軌道予測システム Hawk-Eye は、試合中に複数のハイスピードカメラを用いてボールの位置や軌道を分析し、それらをCGで再現することで、審判が下す判定の補助を行うコンピュータ映像処理システムである [8]。Owensらは、Hawk-Eyeではボールの位置や軌道の統計を作成し、ボールがライン際をどのようにバウンドしているかを画面

に表示する演出が取り入れられており、このような情報提示がプレーヤ及び観客の納得感を高めていると述べている [9]。SelectSportとFraunhoferが共同開発したGoalRefはサッカーのゴール判定システムであり、ゴールの周りに低周波磁場を生成し、ボール内のコイルがライン上を通過することにより発生する磁場の変化を検出することでゴールかどうかを判定する [10]。審判はGoalRefの判定に必ずしも従う必要はなく、用いるかどうかは審判の意思に委ねられている。このように判定結果の演出やシステムの運用方法によって、判定に対する納得感が変化すると考えられる。

3. システム設計

本研究では、プレーヤ及び観客が納得できる判定を行う機械判定システムの構築を目的として、「だるまさんがころんだ」というゲームに着目する。このゲームに着目した理由として、だるまさんがころんだの判定要素であるプレーヤが動いているかという基準は人によって異なる曖昧なものであり、人間が動いているかどうかを厳密に判定するだけでなく、判定に対してプレーヤや観客が納得しなければゲームとして成立しないというゲームの特性が他のスポーツの曖昧な判定局面においても応用できると考えたからである。よって本稿では、先行研究である「ウェアラブルだるまさんがころんだ」 [2] を用いて、機械判定システムの判定基準を決定する手法について検討する。また検討した手法を基に、新しい競技やスポーツに機械判定を導入する際の汎用的なガイドラインへの応用を目指す。

3.1 だるまさんがころんだのルール定義

まず、だるまさんがころんだのルールの定義を行う。だるまさんがころんだのルールは県や地域により掛け声等の細部に違いがある。しかし、「鬼」と「参加者(プレーヤ)」に分かれていることや鬼が掛け声を行うこと、鬼が振り返った際に動いているプレーヤが失格になるといった基本的なルールは同じである。そこで、伝承遊び大百科 [11] の記述に基づき、本研究におけるだるまさんがころんだのルールを定義する。だるまさんがころんだの模式図を図1に示す。

- (1) はじめに鬼の陣地(木、電柱など)を決める(図1(1))。
- (2) 鬼以外のプレーヤは一定の距離を置いたスタートラインに立って、「始めの1歩(第1歩)」と言いながら前に1歩飛び出す(図1(2))。
- (3) 鬼は壁の方を向いて「だるまさんがころんだ」と唱える。プレーヤは鬼が掛け声を唱えている間に鬼に近づいていく(図1(3))。
- (4) 鬼が掛け声を唱え終わると振り向いて周囲を見渡す。その時、鬼以外のプレーヤは動くことができない。鬼が振り向いたときに動いてしまうと、鬼に名前を呼ば



図 1 だるまさんがころんだのゲーム概要

れ、捕まってしまう(図1(4)).

- (5) 鬼に捕まったプレーヤは、捕まった順に鬼から手をつないでいく。3から5を繰り返す。プレーヤが全て捕まったら、鬼を交代する。この場合は最初に捕まったプレーヤが次の鬼となり、2からゲームを再開する(図1(5)).
- (6) プレーヤの誰かが鬼にタッチするか、つないでいる手を切ることができたら全員逃げる事ができる(図1(6)).
- (7) 鬼が「止まれ」と言ったら逃げるのをやめる(図1(7)).
- (8) 鬼はあらかじめ決められた歩数(地域によって異なる)を移動し、逃げたプレーヤを捕まえに行く(図1(8)).
- (9) 最初に捕まったプレーヤが次の鬼になる。もし複数捕まった場合はじゃんけんで次の鬼を決める(図1(9)).

以上に示しただるまさんがころんだのルールにおいて、本研究では、鬼が担当する「だるまさんがころんだ」の掛け声、プレーヤが実際に動いたかどうかを判断する役割を機械に置き換えた。また本稿では、鬼が「だるまさんがころんだ」と唱える時間を「読み上げ時間」、鬼がプレーヤが動いているかを判定する時間を「判定時間」と定義する。

3.2 ウェアラブルだるまさんがころんだの設計

「ウェアラブルだるまさんがころんだ」は、だるまさんがころんだの動いたかどうかの判定を、プレーヤの装着したスマートフォンの加速度センサ値を基にした判定値が閾値を超えるかどうかと置き換えたゲームである。ウェアラブルだるまさんがころんだでは、PCが鬼の役割を果たし、プレーヤは投影されたPC画面を確認しながらゲームをプレーする。プレーヤは設置されたクリアボタンを押すことを目的とし、ゲーム進行の中でPCによって繰り返される「だるまさんがころんだ」と読み上げる読み上げ時間とプ

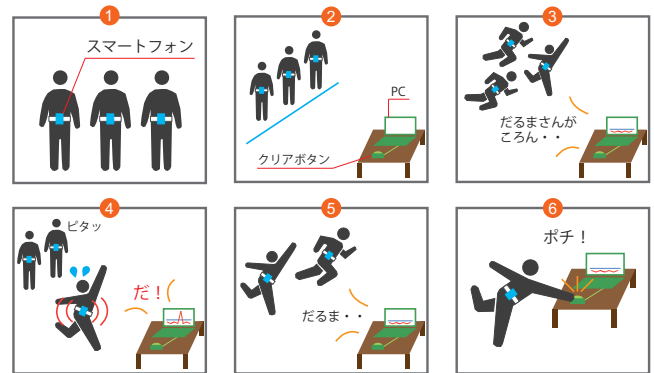


図 2 ウェアラブルだるまさんがころんだのゲーム概要

レーヤが動いたかどうかを判定する判定時間に合わせて接近と静止を繰り返す。この読み上げ時間1回と判定時間1回を合わせて1ターンとする。「ウェアラブルだるまさんがころんだ」の模式図を図2に示す。

- (1) プレーヤは加速度センサを搭載したスマートフォンを腰に装着する(図1(1)).
- (2) スマートフォンとPCを通信させ、PCを机などの台に設置させた後、プレーヤはPCから一定の距離を置いたスタートラインに立つ(図1(2)).
- (3) PCが鬼に代わって、「だるまさんがころんだ」と唱える。この読み上げ時間の中にプレーヤはPCに近づいていく(図1(3)).
- (4) 読み上げ時間が終了すると、プレーヤが動いているかを判定する判定時間が始まる。このとき、プレーヤの装着したスマートフォンの加速度センサ値を基にした判定値が事前に設定した閾値を超えた場合にプレーヤが動いたと判定される。判定時間中に動いたとシステムに判定されると失格となり、プレーヤはゲームから離脱する(図1(4)).
- (5) 離脱したプレーヤは他のプレーヤの邪魔にならない場所で待機する。3から5を繰り返す(図1(5)).
- (6) プレーヤの誰かがクリアボタンを押すと、プレーヤの勝利となり、ゲームが終了する(図1(6)).

ゲームの終了条件及びプレーヤの勝利条件、PCの勝利条件は以下のようにする。

- プレーヤが全員失格となる: PCの勝利でゲーム終了
- プレーヤがクリアボタンを押す: プレーヤの勝利でゲーム終了
- 20ターンが経過する: 引き分けでゲーム終了

3.3 ハードウェア

「ウェアラブルだるまさんがころんだ」を構成するハードウェアは、プレーヤが判定時間中に動いているかどうかを検知する加速度センサを搭載したスマートフォン、UDP通信によってスマートフォンから送られる信号を基にプレーヤが動いていたかを判定し、競技の進行を行うPC、勝利判

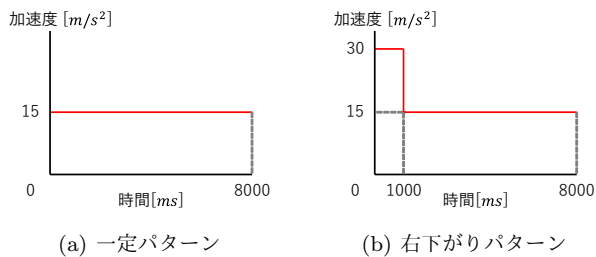


図 3 各パターンにおける閾値の時間変化

定に用いるボタン、PC 画面の投影を行うためのスクリーンとプロジェクタ、だるまさんがころんだの掛け声の読み上げを行うスピーカである。

3.4 ソフトウェア

各スマートフォンは 500ms に 1 回、加速度センサから体幹の動きを取得し、PC へ送信する。PC は送られてきた加速度センサ値を用いた判定値が判定時間中に設定した閾値を超えた場合、プレーヤを失格と判定する。PC から失格であるという情報を受け取ったスマートフォンは振動でプレーヤに通知する。

3.5 判定値と閾値の設定

プレーヤが動いているかを判定するために用いる判定値 J は、(1) 式で定義し、現在の 3 軸加速度の絶対値の和とする。式中の $AccX$, $AccY$, $AccZ$ はそれぞれ, x , y , z 軸の加速度である。

$$J = |AccX| + |AccY| + |AccZ| \quad (1)$$

本研究では、プレーヤのセーフあるいは失格を判定するための閾値として、先行研究で用いた一定パターンと右下がりパターンの 2 種類を使用する。プレーヤが動いているかを判定するための時間は、「だるまさんがころんだ」の最後の「だ」が読み終わってから、最初の「だ」の読み上げが始まるまでの時間とした。この判定時間中に判定値 J が閾値を超えた場合、プレーヤは失格となりゲームから離脱し、越えなかった場合はゲームを続行する。

3.5.1 一定パターン

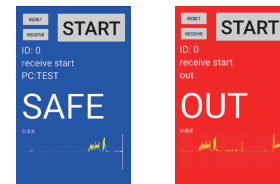
図 3(a) に示す時間変化のない一定の閾値パターンである。閾値は、重力加速度、呼吸や脈動による腹部の振動、及び生理的振戦などを考慮して 15m/s^2 とした。

3.5.2 右下がりパターン

図 3(b) のように判定時間開始直後の閾値を高くに設定した閾値パターンである。判定時間開始直後、時間経過に伴って一定パターンと同じ閾値になる。プレーヤが静止した瞬間は進行方向と逆向きの加速度がかかるため、実際は停止しているように見えても、判定値は大きくなる。これにより、機械判定の結果がプレーヤ及び観客の主観と異なるものになる。したがって、判定開始直後の閾値を大きく設定することで、この差異が小さくなると考えた。



図 4 提案システム



(a) セーフ時 (b) 失格時

図 5 アプリケーション (スマホ画面)

よって本研究では、図 3(b) に示すように、まず判定開始直後の閾値を 30m/s^2 とし、判定開始後から 1000ms 後に基準の閾値である 15m/s^2 へ下降するように設定した。本稿における閾値や閾値の変化時間の決定についての詳細は、MoMM2020 で発表した論文 [2] で述べている。

4. 実装

実装したシステムを図 4 に示す。システムは、プレーヤの動作検知を行う加速度センサを搭載したスマートフォン、プレーヤが動いたかどうかの判定とゲーム進行を行う PC の 2 つから構成される。スマートフォンは HTC 社の HTV31(サンプリング周波数: 約 60Hz) を 1 台、ASUS 社の Zenfone5(サンプリング周波数: 約 50Hz) を 2 台用い、PC は Lenovo 社の ThinkPad を用いた。スマートフォンと PC の通信方式は UDP 通信とした。スマートフォンは伸縮性のある腰サポータに固定し、プレーヤの腰に装着する。

4.1 スマートフォンアプリケーション

ゲームを行う際のスマートフォン側のアプリケーションを図 5 に示す。アプリケーションは Android Studio を用いて、Java 言語で作成した。画面には、PC と通信を行うボタン、検出した加速度センサ値のグラフなどが表示されている。ゲーム開始画面は全体が青く、「SAFE」と表示されている。プレーヤが失格と判定された場合、振動によってプレーヤに失格を通知する。失格となった場合は画面全体が赤くなり、「OUT」と表示される。

4.2 PC アプリケーション

ゲームを行う際の PC 側のアプリケーションを図 6 に示す。アプリケーションは、Microsoft 社の Visual C # を用いて作成した。画面には各スマートフォンに割り当てられ

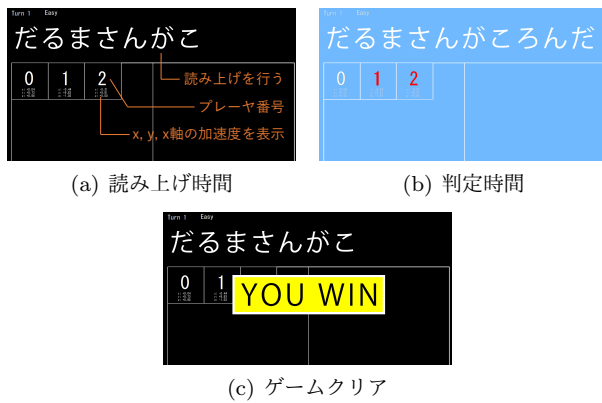


図 6 アプリケーション (PC 画面)

たプレイヤー番号が白色で表示されており、プレイヤー番号の下には、スマートフォンの加速度センサ値による x, y, z 軸の加速度をそれぞれ表示している。画面上側には「だるまさんがころんだ」の文字列が一文字ずつ表示され、同時にその文字列を読み上げる音声再生される。文字列の表示が終わった直後に判定時間が始まり、画面の色が青色に変化する。判定時間中に失格となったプレイヤー番号は赤色となる。プレイヤーが読み上げ時間中にクリアボタンを押した場合はゲームクリアとなり、画面に「YOU WIN」の文字が表示される。

5. 評価実験

本研究では、だるまさんがころんだのルールを伝承遊び大百科 [11] の記述に基づいて定義したが、判定時間中にプレイヤーが動いたかどうかを判断するための明確な規定や基準は存在せず、地域性や個人の主観に委ねられている。しかし、プレイヤー及び観客が納得しやすい判定システムを構築するには、この「動いたかどうか」の判定基準を明確にする必要があると考えられる。よって、実装したシステムを用いて、だるまさんがころんだにおける「動いたかどうか」の判定基準を定義するための実験を行った。

5.1 実験内容

被験者は、実験協力者に「ウェアラブルだるまさんがころんだ」をプレーしてもらった様子をビデオカメラで撮影した動画を視聴し、機械の判定に納得できたかを調査するアンケートに回答した。

5.1.1 実験用動画データの作成

実験協力者に実際に「ウェアラブルだるまさんがころんだ」をプレーしてもらい、その様子をビデオカメラで撮影した。実験協力者に「ウェアラブルだるまさんがころんだ」をプレーしてもらった様子を図 7 に示す。実験協力者は 20 代の男性 3 名であり、それぞれ実験協力者 A, B, C とする。まず、実験協力者は指定されたルートを通り、スタート地点からおよそ 5m 離れたクリアボタンを押すとゲームクリアとした。一定パターンと右下がりパターンの 2 種類

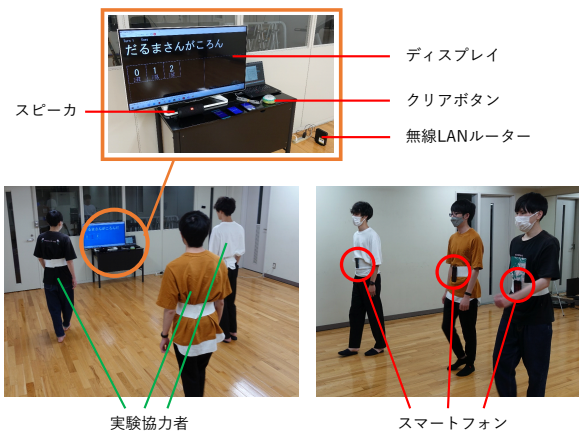


図 7 「ウェアラブルだるまさんがころんだ」のプレー中の様子

表 1 実験用動画のパターン

	動画の特徴
D/Out	読み上げの最後の「だ」で静止したが失格
D/Safe	読み上げの最後の「だ」で静止してセーフ
AD/Out	読み上げの最後の「だ」が読み終わった後に動いて失格
AD/Safe	読み上げの最後の「だ」が読み終わった後に動いたがセーフ
L/Small	笑ったことによる腹部の振動で失格 (腹部の振動が肉眼で判断できないほど僅か)
L/Big	笑ったことによる腹部の振動で失格 (腹部の振動が肉眼で判断できるほど大きい)

の判定方法を用いて、それぞれ 20 ゲームずつ、計 40 ゲームを実験協力者にプレーしてもらった。2 種類の閾値の適用順序はランダムである。

実験で使った動画データは、実験協力者のプレー中の様子を撮影した動画の中から、1 判定分の動画を切り出したものである。作成した実験用動画は合計 24 本である。また作成した 24 本の実験用動画の特徴に沿って、表 1 のように、計 6 種類のパターンに分類した。この 6 種類のパターンの動画を被験者に視聴してもらい、判定に納得できたかを調査することで、だるまさんがころんだにおける「動いたかどうか」の判定基準を明確にできると考える。

5.1.2 実験手順

被験者は、20 代の男性 36 名と女性 4 名である。被験者に作成した 24 本の実験用動画をランダムな順番で提示した。被験者は動画の視聴の際は、動画の再生・停止等の操作を自由に行えるようにした。1 つの映像が終了するごとに、被験者に判定の納得感を 5 段階で評価する以下のアンケートを実施した。

- 機械の判定に納得できた:
 - 1: まったくそう思わない
 - 2: あまりそう思わない

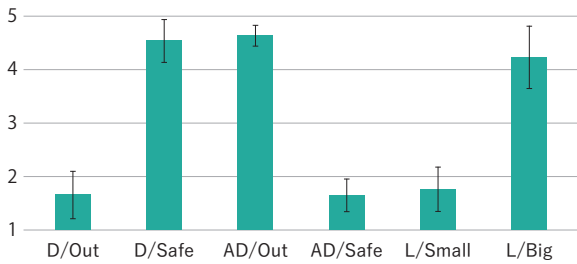
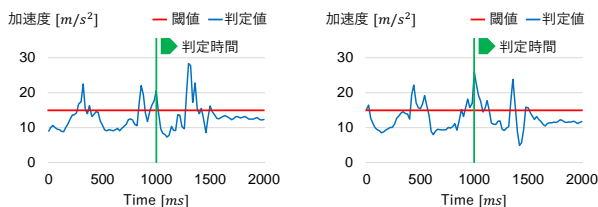
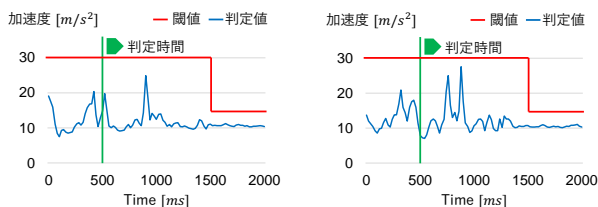


図 8 各パターンにおける納得感



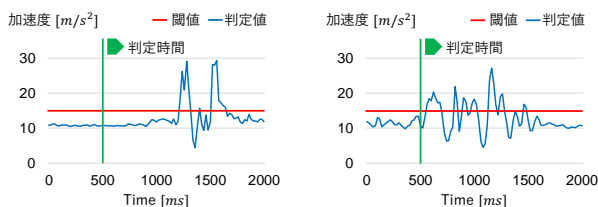
(a) 判定値 (実験協力者 A) (b) 判定値 (実験協力者 B)

図 9 D/Out における判定値の時間変化



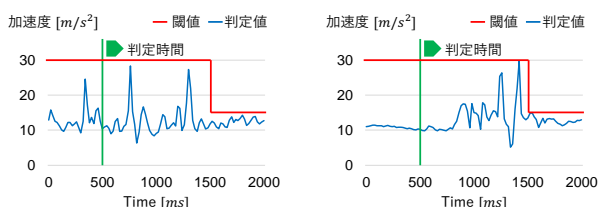
(a) 判定値 (実験協力者 A) (b) 判定値 (実験協力者 B)

図 10 D/Safe における判定値の時間変化



(a) 判定値 (実験協力者 A) (b) 判定値 (実験協力者 C)

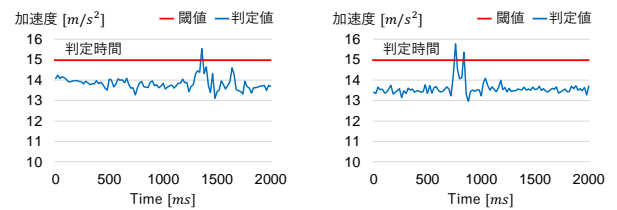
図 11 AD/Out における判定値の時間変化



(a) 判定値 (実験協力者 B) (b) 判定値 (実験協力者 C)

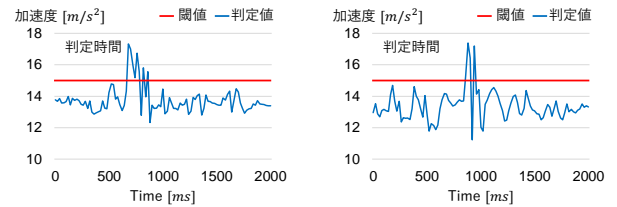
図 12 AD/Safe における判定値の時間変化

- 3: どちらともいえない
- 4: まあそう思う
- 5: 非常にそう思う



(a) 判定値 (実験協力者 C) (b) 判定値 (実験協力者 C)

図 13 L/Small における判定値の時間変化



(a) 判定値 (実験協力者 A) (b) 判定値 (実験協力者 C)

図 14 L/Big における判定値の時間変化

5.2 実験結果と考察

実験用動画の各パターンにおける納得感を図 8 に示す。まず、D/Out と D/Safe に着目する。図 8 から、D/Out において被験者の多くは判定に納得していなかった。一方、D/Safe では納得感の高い被験者の割合が高いことが確認できた。また、アンケート調査の自由記述から「読み上げが言い終わった瞬間に静止した場合は、セーフの範囲内である」という意見があった。よって、だるまさんがころんだの読み上げが終わった瞬間に静止したときは、多くの人がセーフと判断していることから、この場合はセーフと定義する必要がある。ここで、D/Out 内の 2 つの動画において、実験協力者 A, B の判定値の時間変化を図 9 に示す。D/Out の動画の閾値は全て一定パターンである。図 9 より、実験協力者 2 名はだるまさんがころんだの読み上げの最後の「だ」の部分で静止したが、静止した際の反動によって、判定時間開始から約 500ms 間、判定値が大きくなっていた。これにより、肉眼では静止できていたにもかかわらず、システムの判定が失格となったため、納得感が下がったと考えられる。次に、D/Safe 内の 2 つの動画において、実験協力者 A, B の判定値の時間変化を図 10 に示す。D/Safe の動画の閾値は全て右下がりパターンである。図 10 より、読み上げの最後の「だ」の部分で静止した場合は、実験協力者 A, B の判定値はどちらも判定時間開始から約 500ms 間は大きくなっている。しかし D/Safe は、閾値の設定が右下がりパターンなので、判定時間開始から 1000ms 間は閾値が大きく、静止した際の反動を考慮できている。よって、納得感が高くなったと考えられる。以上より、読み上げの最後の「だ」でプレーヤが静止した場合は、セーフと判定することで納得感を向上できることがわかった。また、右下がりパターンでは、プレーヤが静止した際の反動による判定値の増加を考慮でき、読み上げの最

後の「だ」で静止した場合をセーフと判定できるため、納得感を向上できることを確認した。

次に、AD/Out と AD/ Safe に着目する。図 8 から、AD/Out では被験者の納得感が高く、AD/ Safe では被験者の納得感が低いことがわかる。ここで、アンケートの自由記述から「読み上げが終わった後に動いたにも関わらず、セーフなのは納得できない」という意見が多数あった。よって、一般的なだるまさんがころんだにおいても、鬼の読み上げが終わった後にプレーヤが動いていた場合は失格と認識されており、機械判定を導入した際も、この場合を失格と判定するように設計する必要があると考えられる。ここで、AD/Out 内の 2 つの動画において、実験協力者 A, C の判定値の時間変化を図 11 に示す。AD/Out の動画の閾値は全て一定パターンである。図 11 より、実験協力者 2 名の判定値はどちらも、判定時間開始から約 1000ms 間、大きくなっている。AD/Out では閾値が一定パターンであったため、システムはプレーヤが動いたと判定でき、納得感が高くなったと考えられる。次に、AD/ Safe 内の 2 つの動画において、実験協力者 B, C の判定値の時間変化を図 12 に示す。AD/ Safe の動画の閾値は全て右下がりパターンである。図 12 より、AD/ Safe も AD/Out と同様に、読み上げの最後の「だ」が読み終わった後に動いた場合、2 名の実験協力者の判定値は、判定時間開始から約 1000ms 間、大きい値を取っていることがわかる。しかし AD/ Safe では、閾値が右下がりパターンであり、判定開始から 1000ms 間、閾値を大きく設定している。よって、プレーヤが動いたとしても、システムはセーフと判定してしまい、納得感が下がったと考えられる。以上より、読み上げの最後の「だ」が読み終わった後にプレーヤが動いた場合は、失格と判定することで納得感を向上できることがわかった。また右下がりパターンでは、判定開始から 1000ms 間閾値を大きく設定しているため、読み上げが終わった直後にプレーヤが動いた場合でも、セーフと判定してしまうことから、閾値の設定を改善する必要があると考えられる。

次に、L/ Small と L/ Big に着目する。図 8 から、L/ Small では納得感が低く、L/ Big では納得感が高いことがわかる。また、アンケートの自由記述から「体が動いていないのに失格と判定されたため、納得できなかった」という意見があった。よって、だるまさんがころんだにおいて、笑った際に腹部の振動が肉眼で判断できるほど大きい場合を失格、腹部の振動が肉眼では判断できないくらい僅かな場合をセーフと定義する必要があると考えられる。ここで、L/ Small 内の 2 つの動画において、実験協力者 C の判定値の時間変化を図 13 に示す。L/ Small の動画は全て、読み上げが終わった後の判定時間が開始されてから、ある程度時間が経過した後に、笑ったことによる腹部の振動によって、失格と判定されたものである。図 13 より、笑った動作によって腹部が僅かに振動した場合、実験協力者 C

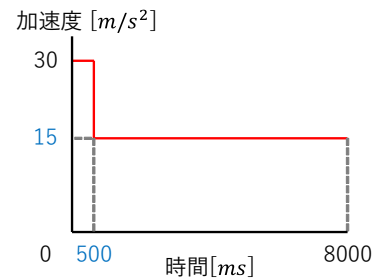


図 15 再設計した閾値

の判定値は、閾値の 15m/s^2 を僅かに超えていることが確認できる。しかし、人の肉眼では腹部の振動が判断できなかったため、システムが失格と判定したことに納得できなかったと考えられる。次に、L/ Big 内の 2 つの動画において、実験協力者 A, C の判定値の時間変化を図 14 に示す。L/ Big の動画も L/ Small と同様に、読み上げが終わった後の判定時間が開始されてから、ある程度時間が経過した後に失格と判定されたものである。図 14 より、腹部の振動が肉眼で確認できるほど大きい場合、実験協力者の判定値は約 17m/s^2 付近まで増加していることを確認した。よって、基準である閾値の 15m/s^2 を超えたことから、システムもプレーヤが動いたと判定し、納得感が高くなったと考えられる。以上より、プレーヤが笑ったことによる腹部の振動が肉眼で判断できるほど大きい場合を失格と判定し、振動が肉眼で判断できないほど微小な場合をセーフと判定することで納得感を向上できると考えられる。また、現在設定している 15m/s^2 の閾値では、人間の呼吸や脈動のみに着目していたため、プレーヤが笑ったことによる腹部の振動を考慮できていない。よって閾値をより大きく設定するなど、笑った際の振動を考慮する必要がある。

5.3 閾値の再設計

実験結果をもとに、再度設計した閾値を図 15 に示す。再設計した閾値では、判定開始から 500ms 間の閾値を大きく設計している。従来の一一定パターンの設定では、読み上げの最後の「だ」でプレーヤが静止した際の反動による判定値の増加を考慮できておらず、最後の「だ」で静止した場合を失格と判定していたが、この設計によって、この場合をセーフと判定できるようになった。また従来右下がりパターンの設定では、読み上げが終わった後にプレーヤが動いていた場合でもセーフと判定してしまうことがあったが、再設計した閾値の時系列変化であれば、この場合を失格と判定することが可能となり、納得感の向上が期待できると考える。また、再設計した閾値では基準となる閾値を 16m/s^2 に設定している。従来判定システムでは、プレーヤが笑うことによる腹部の僅かな振動を考慮できておらず、目視で判断できない微小な振動を失格と判定していた。しかし、再設計した閾値では基準となる値を大きく設

定しており、人間の目視で判断できない僅かな振動をセーフと判定することができるため、納得感が向上できると考える。以上より、実験結果をもとに再設計した閾値によって、従来よりも納得感の高い機械判定システムを構築できたと考えられる。

6. 議論

本研究では、「だるまさんがころんだ」に機械判定を導入し、プレーヤ及び観客の納得を考慮した機械判定システムの構築を検討した。機械判定システム導入の手法として、本研究ではまず、「だるまさんがころんだ」のルールを定義を行った。次に「だるまさんがころんだ」における鬼の役割に機械判定を導入することを決定し、機械判定システム構築に必要なハードウェアとソフトウェアを選別し、「ウェアラブルだるまさんがころんだ」を実装した。ここで「だるまさんがころんだ」では、判定基準である「プレーヤが動いているかどうか」の判断には明確な基準が存在しなかったため、この基準を明確に決定するための評価実験を行った。評価実験としては、実装システムを実際に体験してもらい、判定基準が曖昧な状況に着目して、データの分析、納得感調査を行った。分析したデータや納得感を基に、判定基準を決定し、判定システムを修正した。今回は「だるまさんがころんだ」というゲームに着目したが、この機械判定システムの導入手順は、他の様々な競技やスポーツに応用できると考えられる。

今後新しい競技やスポーツに機械判定システムを導入する際は、まず、新しい競技やスポーツのルールを把握し、どの部分に機械判定システムを導入するかを決定する。次に、機械判定システムの構築に必要なハード・ソフトウェアを決定し、実際に判定システムを実装する。実装したシステムが正常に稼働するかを検証し、また実装システムを用いる際の判定基準が明確に定まっていない場合は、判定基準を定義する。判定基準を定義する際には、実装システムを実際に運用し、判定基準が曖昧な状況を抽出し、センシングデータなどの客観的評価やアンケート調査などの人の主観評価など、様々な評価方法を用いてシステムの修正を繰り返す。これによって、納得感の向上が期待できる機械判定システムを構築できると考える。

7. まとめ

本研究では、機械判定を導入した「ウェアラブルだるまさんがころんだ」を用いて、機械判定における判定基準を決定する手法を提案した。本稿では、「だるまさんがころんだ」における「プレーヤが動いたかどうか」の判定基準を明確に定義するための評価実験を行った。実験の結果、だるまさんがころんだにおける鬼の掛け声の最後の「だ」が唱え終わった瞬間にプレーヤが静止した場合をセーフと判定し、また掛け声の最後の「だ」が読み終わった後でプ

レーヤが動いていた場合を失格と判定することで、納得感を向上できることを確認した。さらに、プレーヤが笑うことによる腹部の振動が肉眼では判断できないほど微小なものであった場合をセーフと判定することで、納得感が向上できることを示した。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)の支援によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] K. Ferger and M. Hackbarth: New Way of Determining Horizontal Displacement in Competitive Trampolining, *Science of Gymnastics Journal*, Vol. 9, No. 3, pp. 303–310 (Jan. 2017).
- [2] H. Yagyu, T. Miki, A. Ohnishi, S. Tsuchida, T. Terada, and M. Tsukamoto: Wearable Statues Game: A Real-World Multiplayer Game Using Automatic Judgment with Accelerometers, *Proc. of the 17th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia (MoMM 2020)*, pp. 192–201 (Dec. 2020).
- [3] J. Shin and S. Ozawa: A Study on Motion Analysis of an Artistic Gymnastics by Using Dynamic Image Processing-for a Development of Automatic Scoring System of Horizontal Bar, *Proc. of the 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE SMC 2008)*, pp. 1037–1042 (Oct. 2008).
- [4] M. P. Díaz-Pereira, I. Gomez-Conde, M. Escalona, and D. N. Olivieri: Automatic Recognition and Scoring of Olympic Rhythmic Gymnastic Movements, *Human movement science*, Vol. 34, pp. 63–80 (Apr. 2014).
- [5] R. J. N. Helmer, A. G. Hahn, L. M. Staynes, R. J. Denning, A. Krajewski, and I. Blanchonette: Design and Development of Interactive Textiles for Impact Detection and Use with an Automated Boxing Scoring System, *International Journal of Procedia Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 3065–3670 (Mar. 2010).
- [6] E. H. Chi, J. Song, and G. Corbin: “Killer App” of Wearable Computing: Wireless Force Sensing Body Protectors for Martial Arts, *Proc. of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2004)*, pp. 277–285 (Oct. 2004).
- [7] S. Yamagiwa, O. Hiroyuki, and S. Kazuki: Skill Scoring System for Ski’s Parallel Turns, *Proc. of the 2nd International Congress on Sports Sciences Research and Technology Support (icSPORTS-2014)*, pp. 121–128 (Oct. 2014).
- [8] B. Bal and G. Dureja: Hawk Eye: A Logical Innovative Technology Use in Sports for Effective Decision Making, *Sport Science Review*, Vol. 21, No. 1-2, pp. 107–119 (Apr. 2012).
- [9] N. Owens, C. Harris, and C. Stennett: Hawk-eye Tennis System, *Proc. of the 2003 International Conference on Visual Information Engineering (VIE 2003)*, pp. 182–185 (July 2003).
- [10] P. Shah, R. Muchhala, and G. Shah: A Review Paper on Goal-Line Technology, *International Journal of Current Engineering and Technology*, Vol. 4, No. 5, pp. 3387–3390 (Oct. 2014).
- [11] 西村 誠, 山口孝治, 二澤善紀, 梶岡義明, 青木好子: 伝承遊び大百科 現代アレンジで遊ぶ, 昭和堂, pp. 22–23 (Apr. 2021).