

ウェアラブルだるまさんがころんだ： プレーヤ及び観客の納得感を考慮した 機械判定システムを用いたゲームの実装と運用

柳生 遥¹ 三木 隆祐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、一般に人間の目や耳で行うよりも正確である。しかし、スポーツの種類によっては厳密すぎる判定が必ずしもプレーヤ及び観客の納得にはつながらない。厳密な機械判定であっても、プレーヤや観客が判定に納得できなければ、審判やシステムに対する信頼感、スポーツへの意欲が著しく損なわれると考えられる。そこで本研究では、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のため、プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因を調査する。プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因として、本稿では機械判定システムにおける判定根拠の提示に着目し、プレーヤ及び観客の納得感を調査する実験を行った。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」は、だるまさんがころんだの動いているかどうかの判定を、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。実験結果から、判定の根拠である判定値と閾値の提示がプレーヤ及び観客の納得感に影響することがわかった。

1. はじめに

スポーツにおける機械判定システムは、人間や物の動きを詳細に計測した結果を判定に利用できるため、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。例えば、水泳では圧力センサを内蔵したタッチ板を使い、選手のスタートやターン、ゴールの瞬間のタッチを信号として捉え、それらタイムを瞬時に記録する自動審判計時装置 [1] が用いられている。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 [2] が導入されている。機械判定システムの導入は、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。

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。例えば、テニスのボールがコートに入ったか否か、競泳や陸上競技において競技者がフライングをしたか否かなどの、判定基準が明確に定められている局面においては、機械判定システム

による厳密な判定がプレーヤ及び観客の納得感を向上させると考えられる。

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。例えば、サッカーにおけるプレーヤ同士の体の接触によって起こるファール反則、柔道や剣道における一本の判定、新体操における音楽と動作のシンクロ度、芸術的な表現力などの評価などが挙げられる。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。しかし、機械判定システムにおいて、プレーヤ及び観客の納得感に寄与する要因は筆者らの知る限り調査されていない。

そこで本研究では、プレーヤ及び観客の納得感を考慮した機械判定システムの構築に向けて、プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因を調査する。プレーヤ及び観客の納得感に大きく影響する要素を考慮することで、より公平で納得しやすい機械判定ができると考えられる。プレーヤ及び観客の納得感への影響を調査するため、本研究では「だるまさんがころんだ」というゲームに着目する。ゲームの模式図を図 1 に示す。だるまさんがころんだは 1 名の「鬼」

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

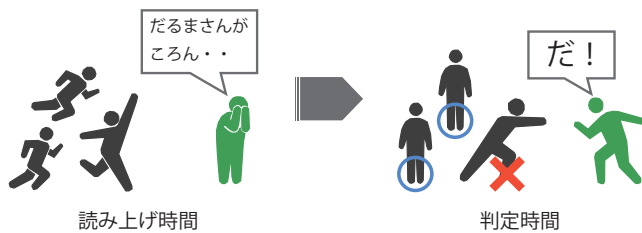


図 1: だるまさんがころんだのゲーム概要

と鬼以外の「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」と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。本研究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」[3]を用いて、機械判定においてプレーヤ及び観客の納得感を高める要因を調査する実験を行った。本稿では、特に機械判定システムの判定要因の提示がプレーヤ及び観客の納得感にどのような影響を与えるかを調査した。

以下、2章では関連研究を紹介し、3章でシステム設計について述べる。4章で機械判定システムについて説明し、5章で評価実験と考察を行う。6章で実験結果と考察に対する議論を行い、7章で本論文のまとめと今後の課題について述べる。

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細かい判定や厳密さが要求される局面での判定については、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 [4]。また小沢らは、Shin らの提案するシステムに加えて、演技動画及びルールブックに示されたテンプレートから骨格モデルを抽出する手法を確立し、それらに基づいて技の種類の判別と判定を行うシステムを構築した [5]。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 [6]。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。Sasaki らは 3D センシング技術を使用した体操採点支援シ

ステムを提案している [7]。このシステムでは、3D レーザセンサが体の動きを正確に感知し、感知したデータから骨格の動きを把握することで四肢の位置や関節の角度を表示する。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 [8]。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 [9]。フェンシングに導入された電気審判機は、先端がスイッチ状になって剣身に電線を埋め込んだ剣と胴体から足の付け根までを覆う通電されたベストを用い、相手選手を突くことによって電気回路が閉じてブザーが鳴り、審判に突きが有効であったことを知らせる。Alvarez らは、フェンシングにおける突きの判定は人間の目で判断することが極めて困難であるため、電気審判機による厳密な判定がプレーヤや観客の納得感を高めていると述べており、また選手の剣が有線で結ばれていた従来のフェンシングの電気審判機を無線化する開発を進めている [10]。このように力学的な仕事量や微小な時間の差異が判定において重要になるスポーツでは、機械判定の精度の向上が納得感の向上につながると考えられる。しかし、本研究で対象とする新体操や剣道などのスポーツでは、機械判定の精度の向上が必ずしも納得感の向上につながるとは限らない。本研究では、曖昧な判定局面における機械判定に対する納得感への影響要因を調査する。

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 [11]。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 [12]。Takahashi らが提案したバレーボール追跡システムは、Hawk-Eye と同様に複数のカメラを用いて、ボールの位置を正確に追跡し、測定されたボールの軌跡を CG で描画する演出が取り入れられている [13]。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 [14]。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おり、機械判定を用いるかどうかを審判が決定することで納得感を高

めている考えられる。Winand らは、GoalRef に用いられる高い技術や審判による運用方法等が選手や観客の納得感を高めていると述べている [15]。

2.2 人が行う判定の精度に関する研究

人間が判定を行う際の精度に関する研究もスポーツ分野では取り組まれている。山内ら及び小林らは、スポーツの判定を審判が視覚で行う際の特徴を報告している [16], [17]。これらの研究では、審議の熟練者は、球技におけるボールの動きなどの、プレーのポイントとなる動きに着目するだけでなく、それ以外のプレーヤの動きも適切に追跡することができると述べられている。Elsworthy らは、優れた審判員であれば、プレーのポイントとなる場所の距離が 10 m 以上離れていても、判定の精度に影響はないと報告している [18]。しかし、判定直前のプレーの速度が速く、審判員も動いている状況であれば、誤審が起きる可能性が高くなると述べている。このように優れた審判であっても、全ての局面において完璧な判定を下せるとは限らない。判断が難しい局面においては機械による判定を取り入れることでプレーヤや観客が納得しやすい判定が行えると考えられる。

2.3 判定要因が曖昧なスポーツに関する研究

判定が審判の主観に依存する要素があり、判定基準が曖昧なスポーツに関する研究は多く行われている。大石は、剣道における勝敗の判定が審判の技術観や価値観に基づいていると報告している [19]。この研究では、剣道では、3 人の審判員の視覚・聴覚・経験則で現象を捉え、所定の条件に照らして「有効打突」の有無が判定されており、勝敗に関わるポイント獲得の有無が機械で判定されるフェンシングとは大きく異なっていると述べられている。浦谷は、新体操やフィギュアスケートといった、表現力が重視される芸術的な色彩の濃いスポーツでは、客観的な評価をすることは極めて困難なことでありと述べている [20], [21]。この要因として、何を美しいとするかがそれぞれの人間の価値観や経験値に左右されることや、人間の背後に存在する民族的な文化の違いを挙げている。小俣らは、柔道競技では、細かな配点基準が明文化されているわけではないため、その判定は必ずしも客観的ではなく、主観的な判断に依存すると報告している [22]。そのため、その判定が妥当なのか問題となることもあり、審判員に不信感を抱くことにつながる可能性があることも述べている。このように判定基準が曖昧で、人の主観によって判定が異なるスポーツでは、プレーヤや観客が判定に納得できない状況が起こる。このようなスポーツに機械判定を導入した場合は、判定の厳密さが納得感の向上に必ずしもつながるわけではなく、プレーヤ及び観客の納得感を考慮した設計をするべきであると考えられる。

2.4 機械判定がスポーツにもたらす影響に関する研究

Carlos らは、FIFA 主催大会で導入されたビデオアシスタントレフェリーによって、正確な判断が下され、危険な反則の抑止力になるといったメリットがあると報告している [23]。一方で、Saito らは、競技の醍醐味が失われる、機械判定を重視するあまりプレーヤや観客の審判に対するリスペクトがなくなるといった否定的な意見も少なくないと述べている [24]。牧野らは、公正を期すために機械判定などの科学技術が取り入れられているが、裁定を行う際に基盤となる主審の判定が覆るという事態が頻発すれば、審判員の権威が低下し、競技の進行に支障を来す危険性が高まると言及している [25]。柏原は、スポーツにおける審判の誤審もスポーツの一部であり、それを醍醐味と捉えている観客は多く、誤審を受容しつつ、そこにスポーツの面白さを見出す立場もあると報告している [26], [27]。Collins は、新技術による判定を導入する際に維持しなければならない判定の公平性は、判定の精度や厳密さに必ずしも同調するわけではなく、プレーヤだけでなく、観客などの第三者も納得できる判定を行うシステムであるべきだと述べている [28]。このように人間による判定を単純に機械で置き換えるだけでは、スポーツの魅力を損ね、プレーヤ及び観客が納得できない状況が起こる可能性があり、機械判定を導入する際には、これらの要素をふまえてシステムを構築する必要があると考えられる。

3. システム設計

本研究では、プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因を調査するため、「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、だるまさんがころんだ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」[3]を用いて、プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因を調査する。

「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」の模式図を図 2 に示す。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

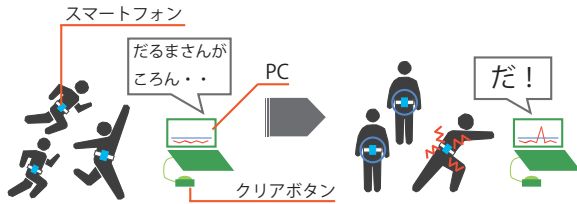


図 2: ウェアラブルだるまさんがころんだのゲーム概要

間とプ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。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。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 の勝利としてゲーム終了
- プレーヤがクリアボタンを押す: プレーヤの勝利としてゲーム終了
- 20 ターンが経過する: 引き分けとしてゲーム終了

ここで、プレーヤ及び観客の納得感を高める要因として、機械判定システムの精度を高めることが挙げられる。しかし、だるまさんがころんだというゲームの特性上、判定の精度を高めるだけでは必ずしもプレーヤ及び観客の納得感が高まるとは限らない。判定の精度向上以外にもプレーヤ及び観客の納得感に影響する要因を調査することが重要である。本研究では、プレーヤ及び観客の納得感に影響する要因として、機械判定システムを用いる際の判定の提示方法に着目する。判定の提示方法は以下の 2 項目が考えられる。

- プレーヤ及び観客に判定結果のみを提示する。
- プレーヤ及び観客に判定結果に加えて、判定結果の理由や判定に用いられた要因を提示する。

これらの提示方法によってプレーヤ及び観客の納得感に違いが生じると予想される。その理由は、(a) に対して (b) では、判定結果に加えて判定要因を提示することで、プレーヤ及び観客はその判定結果に至る明確な過程や根拠を把握でき、判定に納得しやすくなるためと考えたためである。2 つの提示方法を比較すれば、どのような判定要因が納得感に影響を及ぼしているか明らかにできる。よって本稿では、納得感についての調査を実施するために、「ウェアラブルだるまさんがころんだ」に判定結果に加えて判定要因を提示できるシステムを設計・実装する。そのシステムを基に、プレーヤ及び観客が判定要因の提示によって、納得感が増えるかを調査する。

3.1 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

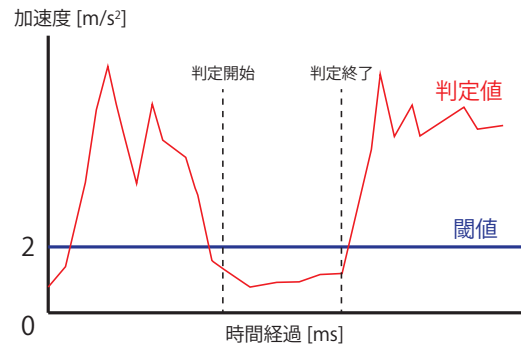


図 3: 判定値と閾値

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する PC、勝利判定に用いるボタン、情報提示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読み上げを行うスピーカである。

3.2 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。失格と判定されなければ、ゲームを続行する。

3.3 判定値アルゴリズム

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 S_n と 500ms 前の 3 軸加速度の絶対値の和 S_{n-1} との差分の絶対値とする。式中の $AccX$, $AccY$, $AccZ$ はそれぞれ、 x , y , z 軸の加速度である。

$$J = |S_n - S_{n-1}| \quad (1)$$

(ただし、 $S_n = |AccX| + |AccY| + |AccZ|$ とする)

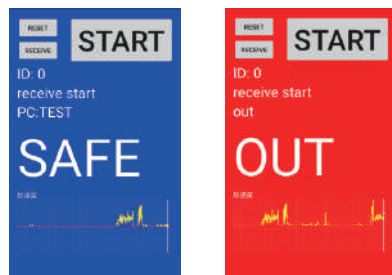
プレーヤの失格を判定するための閾値を、重力加速度、呼吸や脈動による腹部の振動、及び生理的振戦 [29] などの不随意運動を考慮して $2m/s^2$ とした。判定値 J と閾値を図 3 に示す。プレーヤが動いているかを判定するための時間は、「だるまさんがころんだ」の最後の「だ」が読み終わってから、最初の「だ」の読み上げが始まるまでの時間とした。この判定時間中に判定値 J が閾値である $2m/s^2$ を超えた場合、プレーヤは失格となりゲームから離脱し、越えなかった場合はゲームを続行する。

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、



図 4: 提案システム



(a) セーフ時の画面 (b) 失格時の画面

図 5: アプリケーション (スマホ画面)

閾値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 台使い, 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。

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。

ゲームを行う際の PC 側のアプリケーションを図 6(a) 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た番号が白色で表示されており, 失格となったプレーヤ番号は赤色となる。プレーヤ番号の下には, 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, 画面の色が変化する。また, 機械判定の判定要因の提示を行うため, 判定値 J と閾値を PC 画面上に表示するシステムを実装した。図 6(b) に表示を行う PC 画面を示す。図より判定値 J を赤の折れ線グラフ, 閾値を



(a) 判定要因の提示無し

(b) 判定要因の提示有り

図 6: アプリケーション (PC 画面)

青の直線を表示し, 判定時間中に判定値 J が閾値を超えていた場合にプレーヤは失格となる。判定値 J と閾値の表示によって, プレーヤはどれくらいの振動で判定値 J が閾値を超えるかを常に確認しながらプレーでき, また自分が失格となったときに, どのくらい動いていたのかが明確となる。観客はプレーヤが実際に動いているかどうかを自分の主観だけでなく, 加速度センサの値によって客観的に判断でき, さらにプレーヤが失格となった場合に, 実際にどれくらい動いていたのかを確認できる。

5. 評価実験

スポーツや競技において機械判定が用いられるときに, プレーヤ及び観客が実際に会場にいて機械判定を確認する場合(実プレー現場)と, 観客がテレビ等による中継を観戦して機械判定を確認する場合(ビデオ観戦)が想定される。この 2 つの状況での機械判定において, 判定値 J と閾値の折れ線グラフの提示がプレーヤ及び観客の納得感に影響するかどうかを調査するために, 以下 3 つの実験を行った。

- プレーヤにウェアラブルだるまさんがころんだを実際にプレーさせたときの納得感の評価
- 観客にウェアラブルだるまさんがころんだをプレーヤがプレーしている様子を観賞させたときの納得感の評価
- 観客にウェアラブルだるまさんがころんだをプレーしている様子を撮影したビデオを観賞させたときの納得感の評価

5.1 実プレー現場での評価実験

プレーヤや観客が実際に会場にいてリアルタイムでスポーツをプレー, 観賞する状況において, 機械判定における判定値と閾値の折れ線グラフによる提示がプレーヤ及び観客の納得感に影響するかを調査した。

5.1.1 実験方法

実験参加者は, 既存のゲームのだるまさんがころんだを行った経験がある 20 代の男性 7 名と女性 5 名である。実験風景を図 7 に示す。実験手順を図 8 に示す。参加者を A と B のグループに分け, 片方のチームをプレーヤ, もう一方のチームを観客とし, 提案システムによる判定値 J と閾値の提示無しと有りの 2 種類のパターンにおいてそれぞれ 10 ゲームずつ, 計 20 ゲームのウェアラブルだるま

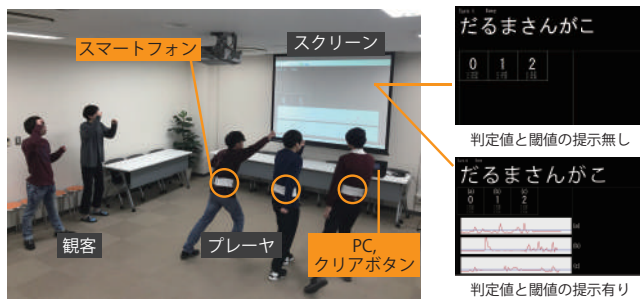


図 7: 実験環境の様子

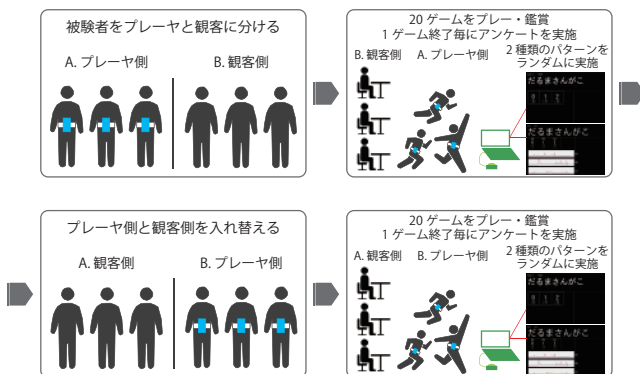


図 8: 実験手順

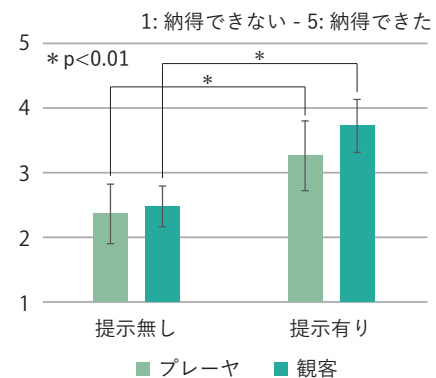
んがころんだをプレーヤにプレーしてもらった。その際、観客にはそのプレーの様子を観賞してもらった。また、プレーヤと観客を入れ替えて同様に 20 ゲーム実施し、合計 40 ゲーム行ってもらった。判定値 J と閾値の提示無しと有りの 2 種類のパターンのゲームの順番はランダムとした。プレーヤ及び観客に 1 ゲーム終了ごとに、判定の納得感、機械判定の厳しさをそれぞれ 5 段階で評価する以下 2 項目のアンケートを実施した。

- 判定の納得感: 1: 納得できない - 5: 納得できる
- 機械判定の厳しさ: 1: 厳しい - 3: 適切 - 5: あまい

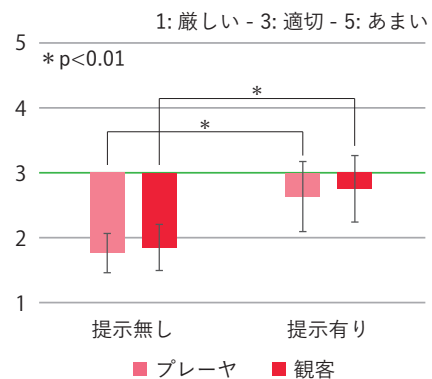
5.1.2 実験結果と考察

全ゲームにおける全プレーヤ及び全観客の納得感と判定の厳しさのアンケート結果の平均を図 9 に示す。図 9(a) より、判定値 J と閾値の提示がない場合はプレーヤ及び観客は多くの判定に納得しておらず、納得感の割合にばらつきが見られた。一方判定値 J と閾値の提示を加えると、納得感が高いプレーヤ及び観客の割合が高くなったことがわかる。また、図 9(b) より、判定値 J と閾値の提示がない場合はプレーヤ及び観客は多くの試行において機械判定が厳しいと感じていたが、判定値 J と閾値の提示を加えることによって判定が適切であると感じたプレーヤ及び観客が増加したことが確認できた。

ここで、プレーヤ及び観客の納得感について、判定値 J と閾値の提示の有無及び参加者の役割の 2 要因で参加者内 2 要因分散分析を行った結果、判定値 J と閾値の提示の有無に有意差がみられた ($F_{(1,11)} = 14.61, p < 0.01$) が、参加



(a) 納得感の変化

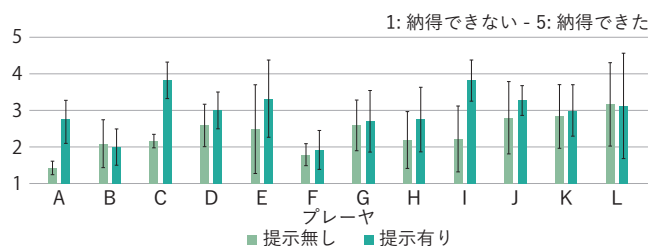


(b) 判定の厳しさの変化

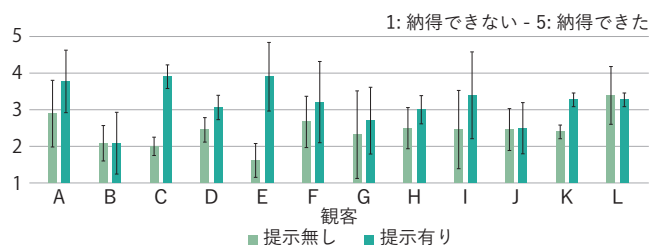
図 9: プレーヤ及び観客の納得感と判定の厳しさ

者の役割には有意差がみられなかった。また、プレーヤ及び観客の判定の厳しさについて、同様に参加者内 2 要因分散分析を行った結果、判定値 J と閾値の提示の有無に有意差がみられた ($F_{(1,11)} = 14.89, p < 0.01$) が、こちらも参加者の役割には有意差が見られなかった。よって、判定要因である判定値 J と閾値の提示はプレーヤ及び観客の納得感、判定の厳しさに影響し、参加者の役割は影響しないことがわかった。

各参加者の納得感について考察する。全ゲームにおけるプレーヤの納得感の平均を図 10(a) に、観客の納得感の平均を図 10(b) に示す。結果より、判定値 J と閾値の提示がない場合はプレーヤ及び観客の納得感が低いことがわかる。これは判定値 J や閾値の提示がないため、プレーヤが失格となったときに動いていたかどうかを確認できないため、プレーヤ及び観客の主観による判定と機械による判定に違いが生じ、判定に納得できなかったためと考えられる。一方、判定値 J と閾値の提示を加えることでプレーヤ及び観客の納得感が向上したことがわかる。これは判定要因の提示によってプレーヤ及び観客は判定値 J が閾値を超えていないかを常に確認しながらプレー、観賞できることで、プレーヤが失格となった場合に動いていたかどうか明確となり、納得しやすくなったためと考える。またアンケートの結果から、「自分の主観では動いていたと思ったが、セン



(a) プレーヤーの納得感の変化



(b) 観客の納得感の変化

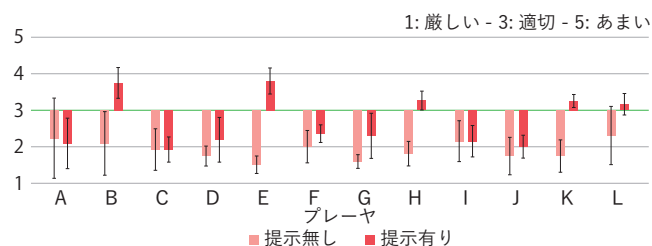
図 10: 各参加者の納得感の変化

サ値のほうが主観よりも信用できるため納得できた。また客観的な判断材料が増えたため、納得しやすくなった」という意見があった。よって判定要因を提示することで人間の主観だけでなく、機械による客観的な要素を判定に組み込むことができ、納得感だけでなく判定の信用を高めることにもつながると考えられる。

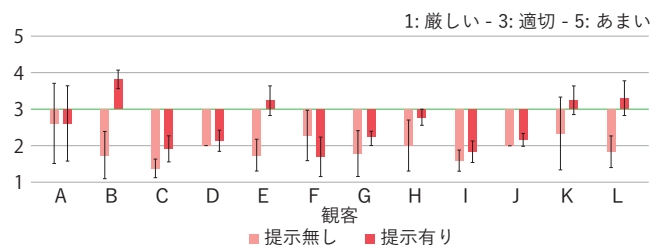
各参加者の判定の厳しさについて考察する。全ゲームにおけるプレーヤーの判定の厳しさの平均を図 11(a) に、観客の判定の厳しさの平均を図 11(b) に示す。結果より、判定値 J と閾値の提示無しの場合、プレーヤー及び観客は多くの試行において判定が厳しいと感じていた。しかし判定値 J と閾値の提示を加えると、プレーヤー及び観客が感じた判定の厳しさが適切に近づいたことがわかる。これは判定値 J と閾値が表示されることで失格の基準が明確になったからであると考えられる。よって、判定要因を提示することは、プレーヤー及び観客が感じる判定の厳しさにも影響することがわかった。

判定の厳しさに特徴があった参加者 B, E, K, L について考察する。この 4 名は判定値 J と閾値を提示した場合、プレーヤー及び観客双方の立場において判定があまいと感じていた。この 4 名にインタビュー調査を行ったところ、「センサによる判定値と閾値を常に確認できるため、どれくらい動けば失格になるかが明確となり、ゲームの難易度が下がり、判定があまくなったと感じた」という意見があった。また「自分の主観では失格と感じたが、判定値に大きな変動がなく、失格と判定されなかったため、判定があまいと思った」と回答した参加者がいた。よって、判定要因を提示した場合、プレーヤー及び観客が感じるゲームの難易度が変化し、判定があまいと感じる可能性があることがわかった。

次に納得感と判定の厳しさに特徴があった参加者 A, I



(a) プレーヤーの判定の厳しさの変化



(b) 観客の判定の厳しさの変化

図 11: 各参加者の判定の厳しさの変化

について考察する。参加者 A, I の判定の厳しさについては、判定値 J と閾値の提示があった場合となかった場合で変化は見られなかったが、判定値 J と閾値の提示があった場合に納得感が高くなる結果となった。この 2 名にインタビュー調査を行ったところ、参加者 A は「機械判定の厳しさは判定値 J と閾値の提示の有無に関わらず厳しいと感じたが、センサによる判定値と閾値を確認できることで、判定が厳しくても自分が動いていたかどうかは明確になったから、納得しやすくなった」と回答した。よって、判定要因を提示することで、プレーヤー及び観客は判定が多少厳しい場合でも判定に納得しやすくなると考えられる。

5.2 ビデオ観戦の評価実験

実際の会場ではなく、観客がテレビ等による中継映像を観戦する状況において、機械判定における判定値と閾値の折れ線グラフによる提示が観客の納得感に影響するかを調査した。

5.2.1 実験方法

実験参加者は、既存のゲームのだるまさんがころんだを行った経験がある 20 代の男性 15 名と女性 5 名である。実験風景を図 12 に示す。参加者には、実プレー現場での評価実験のプレー中の様子をビデオカメラで撮影した動画を見てもらった。動画は、Adobe Premiere Pro で編集し、Windows Media Player を用いて PC 画面全体に表示される。PC は Lenovo 社の ThinkPad を用いた。筆者が予め実プレー現場での評価実験の 1 判定分の動画を 10 本選び、図 13 に示すように判定値 J と閾値の提示を加えた場合と加えなかった場合の 2 種類の動画をそれぞれ 10 本ずつ、計 20 本をランダムな順番で参加者に提示した。その間、参加者は自由に動画の再生・停止等の操作を行えるようにした。1 つの映像が終了するごとに、判定の納得感、機械判



図 12: ビデオ実験の様子



(a) 判定値 J と閾値の提示有りの場合



(b) 判定値 J と閾値の提示無りの場合

図 13: ビデオ実験の様子

定の厳しさを実プレー現場での評価実験と同様のアンケート項目でそれぞれ 5 段階で評価してもらった。

- 判定の納得感: 1: 納得できない - 5: 納得できる
- 機械判定の厳しさ: 1: 厳しい - 3: 適切 - 5: あまい

5.2.2 実験結果と考察

全ゲームにおける全参加者の納得感の平均を図 14(a) に、判定の厳しさの平均を図 14(b) に示す。図 14 よりビデオ実験においても判定値 J と閾値の提示を加えることで、参加者の納得感が高まり、判定の厳しさが適切に近づく傾向が確認できた。よって、機械判定システムの判定要因の提示は、テレビ中継等でスポーツを観戦する観客の納得感や判定の厳しさにも影響する可能性があることを確認した。

各参加者の納得感の平均を図 15(a) に、判定の厳しさの平均を図 15(b) に示す。結果より、実プレー現場での評価実験と同様に、判定値 J と閾値の提示を加えることで多くの参加者の納得感が向上し、判定の厳しさが適切に近づいたことがわかる。これは判定値 J と閾値の表示によって、判定における失格の基準が明確となり、失格となった場合にプレーヤが動いていたかどうかははっきりしたためであると考えられる。また動画を複数回再生することによって、判定の様子を何度も確認できることで納得感が高まったと考えられる。

ここで各参加者の納得感について、判定値 J と閾値の提示の有無の 1 要因で t 検定を行った結果、有意差がみられた ($t_{(19)} = 3.21, p < 0.01$)。また、各参加者の判定の厳しさについても同様に t 検定を行った結果、有意差がみられた ($t_{(19)} = 3.58, p < 0.01$)。よって判定要因である判定値 J と閾値の提示は実際の会場での観賞時と同様に、映像を観賞する観客の納得感、判定の厳しさに影響することがわ

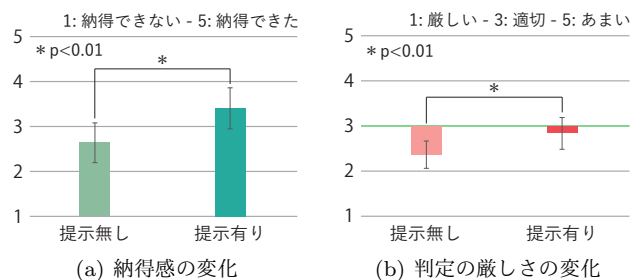


図 14: ビデオ観客の納得感と判定の厳しさ

かった。

納得感の判定の厳しさに特徴があった参加者 E, I, S について考察する。この 3 名は他の参加者と異なり、判定値 J と閾値の提示を加えた動画を観賞した場合の納得感が減少し、判定の厳しさが適切から遠ざかる結果となった。この 3 名にインタビュー調査を行ったところ、参加者 E と参加者 I から「主観では映像においてプレーヤが止まっていると思った場合でもセンサ値が変動していたため、判定値の設定やシステム構成が間違っているのではないかという疑問が生じ、納得できなかった」という意見があった。また参加者 S は「動画を複数回確認できることで、プレーヤの動きとセンサ値が一致しているか曖昧な状況を何度も見たため、システムの信用性が低くなり、納得できなかった」と回答した。実際にこの 3 名以外の参加者の 1 つの動画の平均視聴回数が 3 回以下であり、判定値 J と閾値の提示を加えた場合の納得感が高かったことに対して、参加者 E, I, S の 1 つの動画の平均視聴回数は 7 回以上であり、判定値 J と閾値の提示がある場合に納得感が下がる結果となった。このように、判定要因の提示を加えることでプレーヤ及び観客の納得感が高まる傾向が強いが、一部のプレーヤ及び観客が判定に納得できない状況が起こりえる可能性もある。この原因としては映像を繰り返し見返すことができたため、自分の主観の判定と機械による判定が一致しない曖昧な状況を何度も確認してしまい、システムの信用性が下がったためであると考えられる。よって、判定要因の提示は、システムの信用性に影響する場合があります、システムの信用性が低くなるほど判定への納得感も減少する可能性があることがわかった。

5.3 評価実験のまとめ

実プレー現場での評価実験の結果より、プレーヤ及び観客がウェアラブルだるまさんがころんだを実際にプレー、鑑賞する場合において、判定値 J と閾値の提示を加えることでプレーヤ及び観客の納得感が向上し、プレーヤ及び観客が感じた判定の厳しさが適切に近づいた。また、判定の厳しさが、判定値 J と閾値の提示がある場合と無い場合で変化がなかったとしても、判定値 J と閾値の提示があった場合に納得感が高くなった被験者がいた。よって判定要因

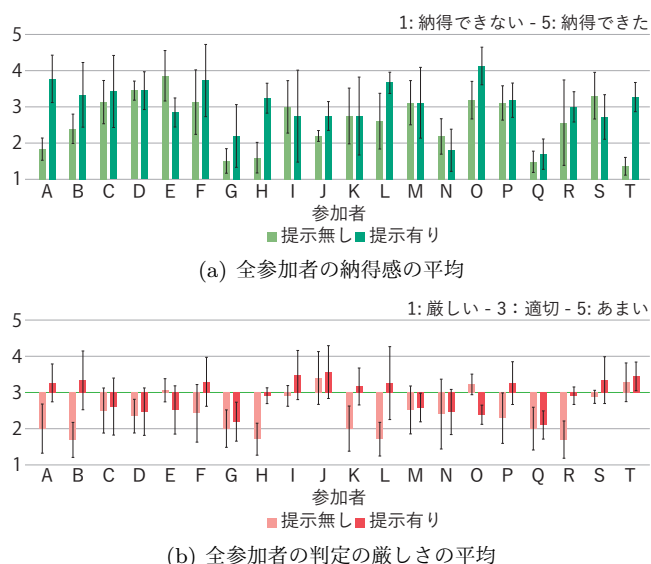


図 15: 各参加者の納得感と判定の厳しさの変化

を提示することで、プレーヤ及び観客は判定が厳しい場合でも判定に納得しやすくなると考えられる。ビデオ観戦の評価実験より、観客がウェアラブルだるまさんがころんだをプレーしている様子を撮影したビデオを観賞する場合において、判定値 J と閾値の提示を加えることで、観客の納得感が高まり、判定の厳しさが適切に近づいた。しかし、映像を繰り返し見返し、自分の主観の判定と機械による判定が異なる状況を何度も確認した観客の納得感は減少した。よって、判定要因の提示がプレーヤ及び観客の納得感を減少させる可能性があることを確認した。

6. 応用例と課題

5章における実験結果と考察を踏まえて、本研究で得られた結果の応用例と、今回の実験で調査できなかった今後の課題点に関する検討を行う。

6.1 応用例

実験結果より、判定要因であるセンサ値を基にした判定値と閾値を提示することによりプレーヤ及び観客が判定に対して納得しやすくなることがわかった。この応用例として、例えば、アーティスティックスイミングや新体操などの判定要因が曖昧なスポーツに今後機械による判定を導入していく場合、プレーヤや観客が実際に会場にいてリアルタイムでスポーツをプレー、観賞する状況において、機械判定が行われた際に判定結果だけを提示するのではなく、判定に用いられた要因も提示することでプレーヤ及び観客がより納得できる判定を行える機械判定システムにできると考えられる。判定に用いられた要因の例として、カメラを使って撮影したりプレイ映像やその映像を解析した結果、センサ値を基にした判定基準などを大型スクリーン等に常時で提示するなどが挙げられる。ほかにも、今後新し

いスポーツや競技に加速度センサや圧力センサといったセンサを用いた機械判定を導入する場合には、センサ値やそれを基にした判定値をスクリーン等に投影し、プレーヤや観客にリアルタイムで提示することで、プレーヤ及び観客が納得しやすい機械判定システムになると考えられる。また、観客がテレビ等による中継映像を観戦する状況においても、機械判定が行われた際に判定要因を常時リアルタイムで提示する、または観客が判定要因を確認したときのみ表示することで会場にいない観客の納得感も高まると考えられる。さらに、今後プレーヤ及び観客がHMDなどのデバイスを装着したVR/ARスポーツなどに機械による判定を取り入れた場合、HMDに判定要因や判定理由をリアルタイムでAR表示し、プレーヤや観客が見たい場合のみ表示などの切り替え機能を搭載することで、VR/ARスポーツにおいてもプレーヤ及び観客の納得感を高めることができると考えられる。このように既存のスポーツだけでなく、デバイスを用いた新しいスポーツにも判定要因の提示は応用できると考える。

6.2 課題

今後の課題点として、判定要因は必ずリアルタイム表示でなければいけないのか、また判定に至る理由を提示した場合に納得感に変化が起きるのかを調査することが挙げられる。今回の実験では、全ての試行において、プレーヤ及び観客に判定要因をリアルタイムで提示していたが、実際のスポーツや競技ではプレーヤがプレーに集中しているため、常に判定要因を確認できるとは限らず、プレーを阻害してしまう可能性も考えられる。その場合は機械判定が行われた瞬間や機械判定によってプレーが一時中断した際に、判定要因を提示し、それによってプレーヤ及び観客の納得感が高まるのであれば、常に判定要因をリアルタイムで提示し続ける必要はないと考えられる。また、判定に納得しやすくなるとしても、全ての観客やプレーヤが判定要因を常に見たいとは限らないため、個人によって、表示の有無を切り替えることができるシステムが必要であると考えられる。

今回の実験では判定要因であるセンサ値を基にした判定値と閾値をリアルタイムで提示していたが、例えば、「体のこの部分が動いていたため失格」、「身体が左右に大きく動いたため失格」などの判定結果に至る理由や説明を提示していなかった。このような判定に至る理由を文章やイラストを使って提示することでプレーヤ及び観客の納得感は向上すると考えられるため、今後は判定に至る理由や説明をプレーヤ及び観客に提示するシステムを構築し、それによってプレーヤ及び観客の納得感が向上するか、また判定要因と判定理由を同時に提示する場合にプレーヤ及び観客の納得感に変化が起きるかを調査する必要がある。

今回は判定値と閾値をリアルタイムで提示する視覚的な

フィードバックを用いたが、視覚以外にも聴覚を使ったプレーヤや観客へのフィードバック方法があると考えられる。例えば、視覚障がいを持った方々が参加されるパラリンピック等の大会では視覚的なフィードバックではなく、音声を用いた聴覚的フィードバックが有効であると考えられるため、今後聴覚による判定要因の提示がプレーヤ及び観客の納得感に影響するかを調査する必要があると考える。

判定要因を情報として提示することで、プレーヤや観客が機械判定に対して納得しやすくなることを確認できたが、スポーツの魅力を阻害し、プレーヤや観客が純粋にスポーツを楽しめなくなる可能性も考えられる。例えば、テニスにおけるボール軌道予測システム Hawk-Eye やサッカーのゴール判定システム GoalRef は、大型スクリーンに CG を使った再現映像などを投影することで、判定結果を詳細にわかりやすくプレーヤ及び観客に提示するなど、エンターテインメント性があり、プレーヤや観客が納得しつつ、スポーツの面白さを阻害しないように工夫された提示手法を用いている。よって、これらの判定システムを参考に、プレーヤ及び観客の納得感を高めるだけでなく、プレーヤや観客がスポーツを純粋に楽しめる工夫や提示手法を考えることが課題として挙げられる。

7. まとめ

本研究では、プレーヤ及び観客の納得感を考慮した機械判定システム構築のため、機械判定を取り入れた「ウェアラブルだるまさんがころんだ」を用いて、プレーヤ及び観客の納得感を調査する実験を行った。本稿では機械判定システムにおける判定要因の提示がプレーヤ及び観客の納得感に与える影響について調査するため、実際に提案システムを参加者にプレーしてもらい納得感を調査するリアルタイム実験とシステムをプレー中の映像を観賞してもらい納得感を調査するビデオ実験を行った。その結果、判定要因である判定値と閾値を提示することで、プレーヤ及び観客の納得感が高まり、機械判定の厳しさが適切であると判断しやすくなることがわかった。しかし、判定要因を詳細に提示しすぎた場合では、システムの信用性が下がり、その影響で納得感が減少してしまう可能性があることを確認した。

今後の課題として、実験結果やアンケート結果をもとに、システムの信用性を高めることが挙げられる。また判定要因の提示以外にもスポーツにおいてプレーヤ及び観客の納得感を高める要因がないかを引き続き調査する。この工程を繰り返すことで、機械判定においてプレーヤ及び観客の納得感に影響する要因の特定を目指す。さらにこの工程で特定した納得感を高める要因を、既にスポーツや競技等で用いられている従来の機械判定システムに導入する方法を探り、最終的に実際のスポーツや競技の場での実用化を目指す。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR16E1, 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] 佐久間賢司: 競泳計時システム-水泳プール場の電気設備の特徴-, 電気設備学会誌, Vol. 30, No. 7, pp. 540-543 (July 2010).
- [2] 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).
- [3] 三木隆裕, 大西鮎美, 出口嵐似貴, 土田修平, 伊藤悠真, 寺田 努, 塚本昌彦: ウェアラブルだるまさんがころんだ: 加速度センサによる機械判定を用いた多人数型ゲームの実装と運用, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, pp. 174-183 (Sep. 2017).
- [4] 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).
- [5] 小沢慎治, 小塚一宏, 斎藤英雄: 演技スポーツにおける画像処理による動作解析～自動採点を目指して～, 科学研究費助成事業研究報告書 (June 2012).
- [6] 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).
- [7] K. Sasaki, S. Masui, and K. Tezuka: 3D Sensing Technology for Real-Time Quantification of Athletes' Movements, *Fujitsu Scientific & Technical Journal*, Vol. 54, No. 4, pp. 8-16 (Sep. 2018).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] J. A. Alvarez, M. V. Cristobal, M. T. Gamalinda, A. Malino, and J. Miguel: Design of A Wireless Scoring System for Fencing Using RFID Technology, *International Journal of Sports Science and Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 79-85 (May 2008).
- [11] 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).
- [12] 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).
- [13] M. Takahashi, K. Ikeya, M. Kano, H. Ookubo, and T. Mishina: Robust Volleyball Tracking System Using Multi-View Cameras, *Proc. of the 2016 23rd International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*

- 2016), pp. 2740–2745 (Dec. 2016).
- [14] 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).
 - [15] M. Winand and C. Fergusson: More Decision-Aid Technology in Sport? An Analysis of Football Supporters' Perceptions on Goal-Line Technology, *International Journal of Soccer & Society*, Vol. 19, No. 7, pp. 966–985 (Dec. 2018).
 - [16] 山内正毅, 中山雅雄, 篠原隆俊: バスケットボールにおける審判の眼球運動, 長崎大学教育学部教育科学研究報告, Vol. 38, pp. 39–45 (May 1990).
 - [17] 小林久幸, 瀬戸 進, 宮村茂紀, 川合 悟: サッカー試合の国際主審及びボールの移動距離に関する研究, 帝塚山短期大学紀要. 人文・社会科学編・自然科学編, Vol. 33, pp. 154–165 (Oct. 1996).
 - [18] N. Elsworth, D. Burke, and B. J. Dascombe: Factors Relating to the Decision-Making Performance of Australian Football Officials, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, Vol. 14, Iss. 2, pp. 401–410 (Aug. 2014).
 - [19] 大石純子: 国際開発における剣道の現状と可能性, 筑波大学体育系紀要, Vol. 39, pp. 1–12 (Mar. 2016).
 - [20] 浦谷郁子: 新体操と芸術の関係における一考察: 目的のスポーツと美的スポーツの区別の過ちについて, 日本体育大学スポーツ科学研究, Vol. 3, pp. 1–9 (Nov. 2014).
 - [21] 浦谷郁子: 新体操の採点規則に関する哲学的研究: 運動特性および競技性と採点規則との適合性を中心に, 日本体育大学紀要, Vol. 41, No. 1, pp. 13–24 (Sep. 2011).
 - [22] 小俣幸嗣, 青柳 領, 竹内善徳, 中村良三, 山口 香, 中村 勇: 柔道試合「判定」における主観的判断の選手と審判との差異, 武道学研究, Vol. 29, No. 3, pp. 24–35 (Mar. 1997).
 - [23] L. P. Carlos, R. Ezequiel, and K. Anton: How Does Video Assistant Referee (VAR) Modify the Game in Elite Soccer?, *International Journal of Performance Analysis in Sport*, Vol. 19, No. 4, pp. 646–653 (July 2019).
 - [24] S. Saito and U. Wakaki: Psychological Study of Referees' Judgement : Investigation of the Impression of Referees' Judgement for University Soccer Players, *The Journal of Matsumoto University*, Vol. 15, pp. 37–49 (Jan. 2017).
 - [25] 牧野 円, 鈴木秀人: スポーツ審判員が有する二つの機能に関する研究: ラグビーフットボールのレフリーに着目して, 日本体育学会大会予稿集, Vol. 69, p. 86 (Aug. 2018).
 - [26] 柏原全孝: 判定者について : 審判と判定テクノロジーをめぐる社会学的考察, 追手門学院大学社会学部紀要, Vol. 9, pp. 1–15 (Mar. 2015).
 - [27] 柏原全孝: 可能性としての誤審, 追手門学院大学社会学部紀要, Vol. 10, pp. 1–16 (Mar. 2016).
 - [28] H. Collins: The Philosophy of Umpiring and the Introduction of Decision-Aid Technology, *Journal of the Philosophy of Sport*, Vol. 37, Iss. 2, pp. 135–146 (Jan. 2012).
 - [29] 福本一朗: 生理的振戦のシミュレーション的研究, 電子情報通信学会技術研究報告 (ME とバイオサイバネティクス), Vol. 93, No. 356, pp. 7–14 (Nov. 1993).