Vol.2021-HCI-194 No.12
2021/8/24

ボウリング初心者のための投球フォームリフレクション支援システムの提案と実装

浦谷 成敏[1,a)]　竹川 佳成[1,b)]　平田 圭二[1,c)]

概要：本研究では，ボウリング初心者を対象とした投球フォームのリフレクションを支援するシステムの提案を目的とする．正しい投球フォームを身に着けることは安定して高いスコアを獲得するための重要要素である．身体能力・ボールの重さ・疲労などの影響でフォームは崩れやすい．投球時のフォームをビデオカメラで記録することで，どういう投げ方をしていたか視覚的に確認できるが，投球フォームの崩れや誤りに気付くことは難しい．提案システムは，学習者の投球時の様子をカメラで記録する．記録した投球映像，手本となる投球者の映像，学習者自身が適切に投球できたときの映像などを，ストロボ残像形式で見比べることができる機能をもつ．また，ボールをリリースする瞬間など投球フォームにおけるタイミングごとに複数の比較映像の頭出しをする機能をもつ．開発したシステムの評価機能を使用する提案手法と，投球映像を視聴する比較手法で評価実験を行った結果，提案手法を利用した被験のクイズの平均正答率は比較手法を利用した被験者の平均正答率よりも 45%高くなり，有意水準 5%で両側検定の Student の t 検定を適用したところ，提案手法と比較手法の平均正答率の差に有意差を確認できた．

1. 背景

ボウリングにおける投球の流れは，ボールを投球する際に行う投球位置の決定，その後の助走，ボールを離すといった順になる．正しい投球フォームを身に着けることは安定して高いスコアを獲得するための重要な要素である．身体能力・ボールの重さ・疲労などの影響でフォームは崩れやすい．投球時のフォームをビデオカメラで記録することでどういう投げ方をしていたか視覚的に確認できるが，投球フォームの崩れや誤りに気付くことは難しい．

近年，スポーツに ICT を導入することで技能の獲得を支援する研究が盛んである．ゴルフのトレーニングに複合現実を取り入れユーザに教師のモーションデータを提示するシステム [2]，スキーのトレーニングに VR を取り入れ，コーチの滑りの可視化やコーチと学習者の動きの違いをグラフ形式で可視化するシステム [6]，反復練習を支援するために学習者のフォームに同期したコーチの手本映像の提示機能をもつシステム [1] などが提案されている．これらの研究のように手本映像の提示は技能の上達において有効な手段といえるが，学習者自身がどのような動きをしていたのか学習者がリフレクションすることは，学習者自身の誤りの理解の促進，修正方法の創案だけでなく自分の誤りの傾向を理解するメタ認知的な学びも期待できる．

そこで本研究では，ボウリング初心者を対象とした投球フォームのリフレクション支援システム「なげれる君」の提案を目的とする．

2. 関連研究

現在，ボウリングに限らずスポーツ用具の IoT 化が進んでいる．例えば，株式会社アクロディアが開発した「Technical Pitch」では野球ボールの内部に 9 軸センサを搭載し，投げたときのデータを専用のアプリでデータ解析を行う [4]．ボウリングを対象とした小川ら [9] の研究では，ボウリング選手が投球している様子を撮影し，自身の投球をフィードバックするためのソフトウェアを提案した．本研究ではこの先行研究を参考とし，視覚的なリフレクション支援を提案する．当該研究は動画ベースである一方，本研究では投球フォームにおける重要イベントを頭出しできる機能をもつストロボ残像形式によるリフレクション支援を提案している点が異なる．

ボウリング以外に身体のモーションの分析や可視化に取り組んでいる研究は多数ある．例えば，Urribarri ら [5] は，空手の型から取得したモーションキャプチャデータに対し，DTW(Dynamic Time Warping) による時間補正を適用し，複数のモーションデータを比較可能な手法を提案して

1 公立はこだて未来大学
a) g2219001@fun.ac.jp
b) yoshi@fun.ac.jp
c) hirata@fun.ac.jp

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan

いる．また，Liu ら [3] は，ジェスチャーをベクトルとして表現し球体にプロットする可視化手法を提案している．さらに，筋野ら [7] は，指導が必要など注目箇所を強調する可視化手法を提案している．田中ら [10] は．顔の向きとリズムについて着目し，指導者と学習者のダンスを簡単に見比べることができる上達支援システムを開発している．紅林ら [8] は，KINECT を用いて取得したモーションデータから，ダンスをアニメーションとして再現する機能や，グループでのダンスにおける時間経過による差分などを可視化する機能をもつシステムを提案している．このように，モーションの可視化に関係する研究は数多く存在するが，本研究のようにボウリングに特化したストロボ残像形式の可視化に関しては検討されていない．

3. プロボウラへのインタビュ

初心者を対象とした投球フォームのリフレクション機能を検討するために，ボウリング上で初心者にボウリングを教えているプロボウラ 1 名に depth interview を実施した．インタビュ時間は約 1 時間であった．また，インタビュアは本論文の著者 1 名が実施した．さらに，インタビュを IC レコーダで記録した．IC レコーダで記録することは，インタビュイに事前に合意をとった．

インタビュイが初心者を指導している様子を観察するという行動観察法に基づき，本論文の著者 2 名でインタビュ方法や質問項目を検討した．その結果，具体性を高めるために，異なる初心者 3 名の投球動画をインタビュイに視聴してもらい，その上で「投球フォームのどこに注目して指導するのか？」と質問することにした．

3.1 インタビュ結果

インタビュ内の発言を文字に起こし，分析を行った．

投球フォームの注目箇所

投球フォームを指導する際に注目する箇所としては以下という言質が得られた．また，各注目箇所における時点で四肢とボールとの関係を分析するだけでなく，ある注目箇所から別の注目箇所へと移行するためにかけていた時間も重要であるという言質が得られた．

- 立ち位置：レーン上に残存するボウリングのピンに応じて，適切な立ち位置から投げ始めているかどうか確認する．一般的に，1 投目の投球の際にはボールが中央に行くように投球し，2 投目の投球はピンにボールが触れやすくするために，角度をつけて投球するのが好ましい．
- 振り上げ最大：バックスイング時にボールを振り上げた時のボールの高さや，振り上げ最大時の手首の向きを確認する．一般的に，ボールの最大位置は腰の高さと同じかそれ以上だと良く，手首の向きは親指がレーンの方向を向いているような向きだと好ましい．
- 離す瞬間：ボールが手から離れた後，ボールとレーンとの衝突の具合を確認する．一般的にボールに与える衝撃が少ない方が好ましい．
- 投球直後：投球後のポーズを確認し，レーンに対する足の向きや，腕の位置より確認する．一般的に，足の向き，腕の位置共にレーンに対して水平である方が好ましい．
- 4 歩助走：ボウリングの投球は，ボールを胸の高さで構えてから，ボールを離すまでの助走を 4 歩で行う．一般的に，1 歩目ではボールを胸の高さで構える．2 歩目ではボールを振り下ろす．3 歩目では振り子の原理でボールを高く振り上げ，身体を前傾姿勢にする．4 歩目でボールを勢いよく前に押し出すような形で投球する．

過去の投球や，他者の投球との比較による指導

「ほとんどの初心者は自分がどういうフォームで投げたか正しくイメージできていないため，自分自身がどういう投げ方をしているのか生徒に具体的にイメージしてもらうことが重要」「生徒にどういう投げ方をしていたのか言葉で説明したり，言葉だけでわかりづらい場合は，その場で再現したりする．また，疲労などで投球フォームは少しずつ変化するため，フォームが崩れてきたとき，フォームが改善したときは，その都度，生徒の過去の投球フォームと比較して，直前の投球フォームのどこが異なっているのか具体的に説明する」「グループで受講している生徒には，同レベルや少し上のレベルの他の生徒の投球フォームと照らしあわせて，直前の投球におけるフォームのどこが異なっているのか説明する」とコメントしており，投球フォームを具体的に理解してもらうために，比較による投球フォームのリフレクションを実施していることが明らかになった．

映像による注目箇所の確認の難しさ

「この投球動画のように生徒が映像で自分の投球フォームを確認することは重要だと思うが，漫然と映像を見てもうまくならないと思う．注目箇所をちゃんと確認できるようにすることや，手本との違いを確認できるようにすることが大事．特に投球フォームの各注目箇所は映像中では一瞬の出来事なので，初心者である生徒に判断することは難しいと思う」とコメントしており，投球中の映像を見せるだけでは不十分であることがわかった．また，「どれだけズレがあるのかを示す工夫があれば良いと思う」とコメントしていた．

3.2 要件

プロボウラへのインタビュを分析した結果，以下に示す機能的要件が明らかになった．

(A) 投球フォームにおける注目箇所の効果的な提示

(B) 注目箇所のズレに着目した投球フォームの比較

4. なげれる君

第 3 節で実施したインタビュ結果をもとに，初心者の投球フォームリフレクション支援システム「なげれる君」を提案する．

図 1 になげれる君のスクリーンショットを示す．図 1 を用いて提案システムが提案するコンテンツについて説明する．図中の番号は，以下の括弧内の番号に対応している．

(1) 表示画像シフト機能

(1) は，表示している画像のスクロールが可能なボタンを設置している. これはその時に表示されている画像を全てまとめて進めたり，戻したりすることが可能である．また，それぞれの画像の左右には個別にボタンがついており，このボタンはその投球者の画像だけ個別に移動させることが可能なため，他の投球者との腕の振り方の僅かなズレなど，細部を確かめたい時などに利用する．

(2) 頭出し機能

(2) は，ストロボ残像形式で見比べるのに利用できる位置合わせボタンである．これはプロボウラへのインタビュ結果を元に，図 2 の投球位置 (POSITION)，ボールの振り上げ最大 (MAX)，ボールから手を離す瞬間 (RELEASE)，投げ終わった後の投球フォーム (POSE) の 4 種類のタイミングを対応したボタンを押すことで瞬時にそのタイミングのストロボ残像形式の画像で見比べることができる．また，ボウリングにおける基本である 4 歩助走の各歩数時の瞬間 (1stSTEP-4thSTEP) をまとめて提示するボタンも存在する．

(3) 表示画像の増減

(3) は，ストロボ残像形式の画像で見比べている画像の増減ができるボタンである．最大で 6 人分の投球画像を 10 コマ分まで表示できる．図 1 では同一人物の 3 回分の投球画像が表示されているが，例えば異なる投球者の投球を見比べることなども可能になる．ストライクの時とそうでない時の投球フォームを比較する際にも，一見すると同じように見えてもわずかなズレがあることがある．表示画像を増やすことで動画では見逃してしまうような違いを見つけることができる．同じストライクだったとしても，投げ始めて 1 ゲーム目のストライクと，5 ゲーム目のストライクでは疲労などの身体的要素でフォームなどの違いが生じている可能性がある．そういった面でも気づきや学びを得ることができる．

また，初心者のようにどのような投げ方をするのがベストなのかわからないような人にとっては，図 4 のように自分とは異なる人 5 人分の投球画像を見比べることで，他にどのような投げ方があるかの確認ができるだけでなく，自分が今何を修正するべきなのかを理解するためのよい資料となる．例えば，図 4 の 5 人の投球の一番左側の画像を横に並べたものが図 5 になるが，3 段目の男性が一番ボールを高く振り上げているのがわかる．図 5 から，もし投球者が 3 段目の男性であれば，ボールは 5 人の中で最も高く振り上げているが，腰が 1，2，5 段目の投球者よりは高く，4 段目の投球者よりは低いことがわかる．

(4) スクリーンスナップショット

(4) では，現在表示している画像をスクリーンスナップショットとして保存する機能を持つボタンである．システム利用者がシステム利用後に改めて見比べたい時に，画像として保存しておくことで振り返りやすくなる．

(5) 区間計測機能

(5) では，区間計測機能を使用することができる．これまでの機能では投球における瞬間のタイミングの頭出しをしていたが，この機能ではタイミングとタイミングの区間の長さを可視化できる．例えば，図 6 では，4 歩助走の 3 歩目からボールを最も振り上げる区間までの投球画像を全て表示している．また，画像が多過ぎて枠内に収まり切らない際には，画面下のボタンを押すことで，表示画像を 1 枚〜5 枚まで飛ばして表示することができる．図 8 は図 7 の連続画像から 5 枚分画像を飛ばして次の画像を表示した連続画像である．左下の「START」と「STOP」はどのタイミングからどのタイミングまでの区間を表示しているのかを表している．右上のアイコンを左クリックすると「START」，右クリックすると「STOP」にクリックしたタイミングが表示される．これによって，どの長さで投球した時にスコアが向上したかどうかなどが明確になる．例えば，図 6 の区間である 3rdSTEP から MAX までの区間はタイミングがほぼ一致していると投球の動きとして無駄がないと考えられ，表示される画像枚数は少ない方が良いとされている．図 6 の場合では一番下の段の投球が画像の枚数が一番少なく無駄がないため，一番良いと考えられる．

5. 評価実験

提案したシステムにおける評価機能に関する有用性を検証するために，評価実験を実施した．同一人物の 3 投分の映像を割り当てられた動画視聴アプリケーションを使いながら見てもらい，指定された時間内にクイズに回答してもらうというタスクを実施した．4 章で説明したなげれる君を用いて実験タスクに取り組む群と，既存の動画再生アプリケーション (Quick Time) を用いて実験タスクに取り組む群にそれぞれわけて実験を実施した．クイズの正答率が高いほど，フォームの差異を正しく理解できているといえる．

なお，投げれる君を提案手法，既存の動画再生アプリケーションを比較手法と以降記述する．

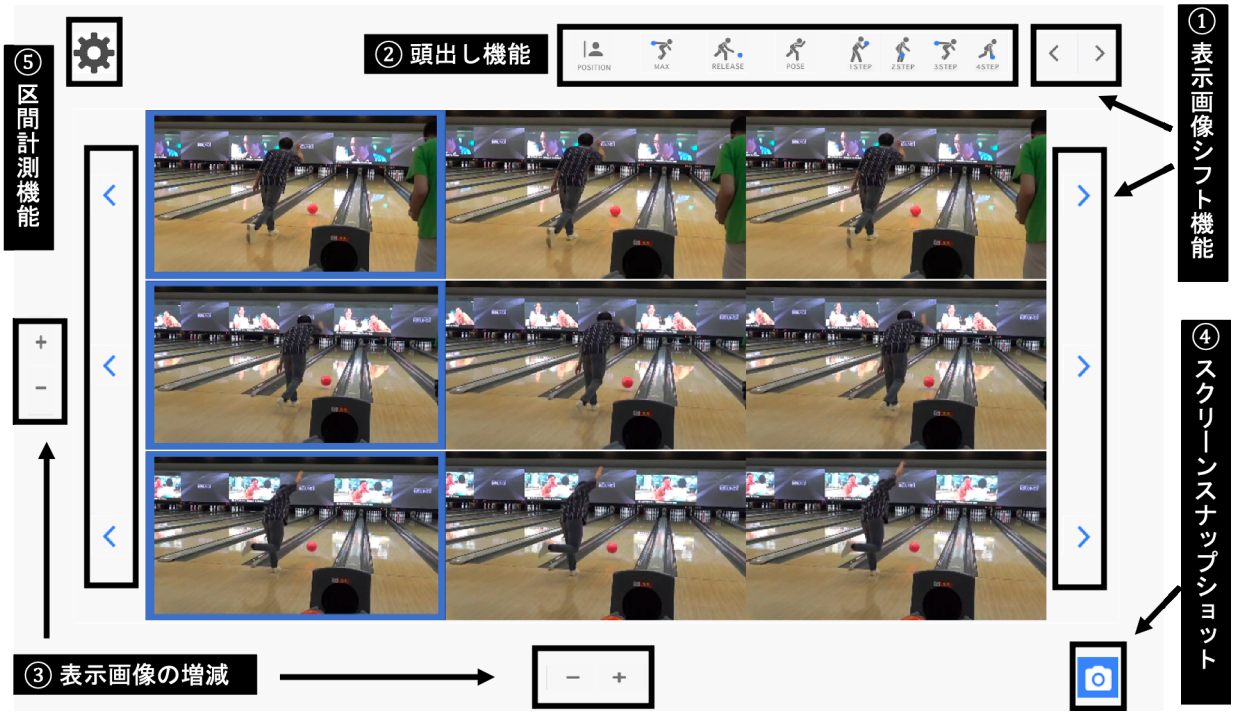

図 1 「なげれる君」のスクリーンショット

図 2 4 種類のタイミング

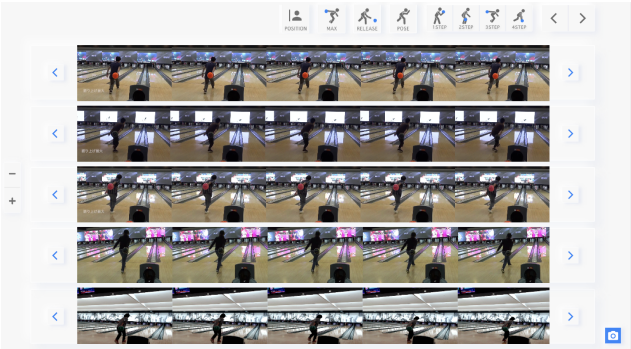

図 4 5x5 まで拡張したデザイン

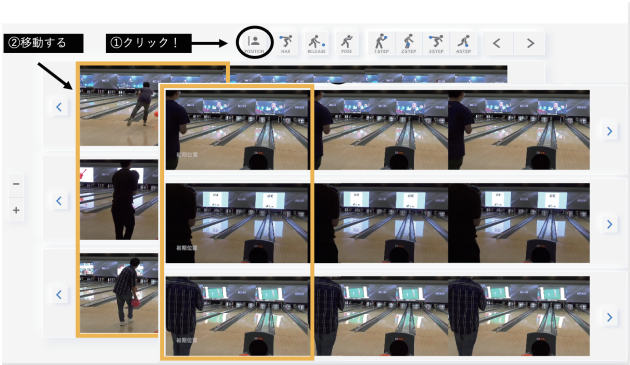

図 3 頭出し機能

図 5 瞬間のタイミングの比較

5.1 被験者

実験に参加した被験者は 21 歳から 25 歳の男女 16 名で，全員がボウリング初心者であった．比較手法，提案手法それぞれに 8 名ずつ割り当てた．実験は一人の被験者に対し，いずれかの手法のみ実施した．また，被験者にはそれぞれの手法におけるシステムの操作方法を説明した．

5.2 実験の流れ

実験の流れは以下の通りである．

(1) 実験に使用するシステムの操作方法について説明を受け，システムを確認してもらった．

(2) 15 分を限度とし，システムを利用しながら，クイズに回答してもらった．

システムの操作方法を説明する際，「クイズに答えている中で，理解できない単語や，複雑だと感じる設問があればいつでも聞いてください．」と被験者に指示した．また，

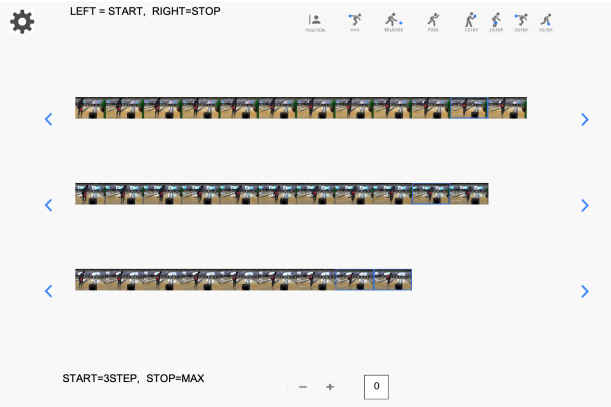

図 6　区間計測機能

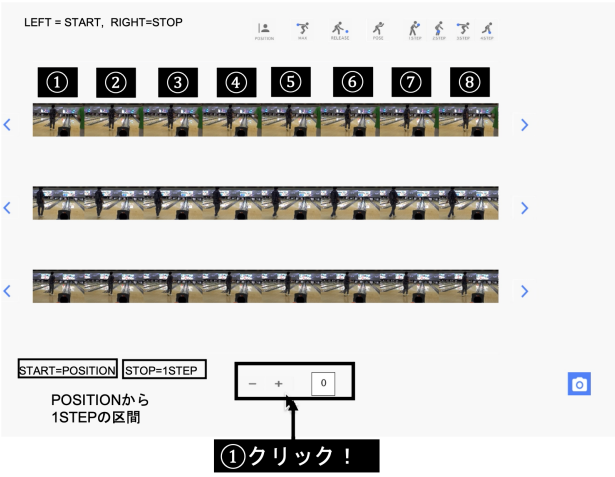

図 7　区間計測機能の画面変更前

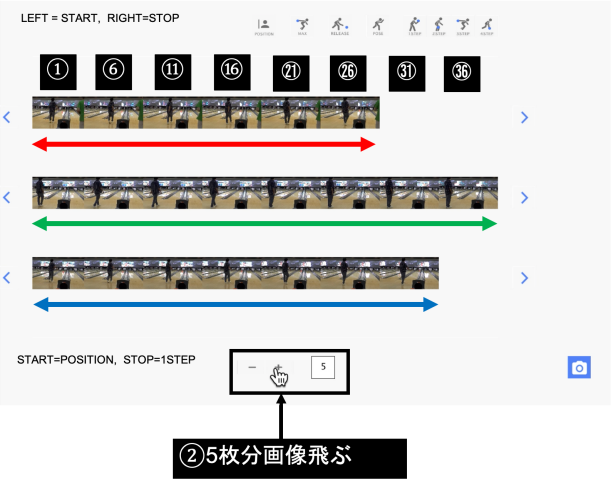

図 8　区間計測機能の画面変更後

「割り当てられた手法を利用して，限られた時間内に，できるだけ早く正確にクイズに回答してください.」と被験者に指示した．被験者がどのように割り当てられた手法を用いてクイズに回答しているかを確認するため，実験中の画面を録画した．なお，いずれの練習方法においても，難しすぎて練習を放棄した被験者はいなかった．また，システムの機能をまったく使用せずに独自の方法で練習した被験者もいなかった．

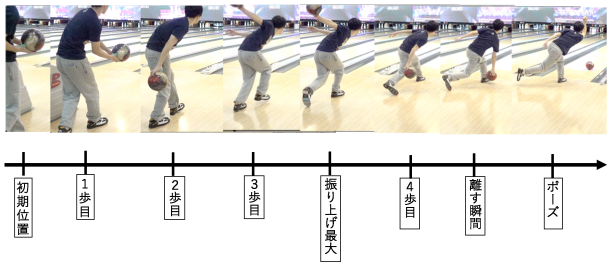

図 9　重要なタイミングの時系列

クイズ

今回作成したクイズの設問内容について表 1 に示す．今回の質問項目は，3 章で実施したプロボウラにインタビュした内容を参考にし，プロボウラがレッスンを行う際の注目箇所についてボウリング初心者がどの程度理解できるのかを確認するためのものである．

図 9 は重点的にみているタイミングを時系列順に並べたものである．この図にあるボウリングにおける投げ始めから投げ終わるまでの投球区間に関するクイズにボウリング初心者が正しく回答できるかを分析する．分析のために 14 問の設問を比較手法，提案手法ともにどれくらいの正答率が出るのかを確認するために実施した．

なお，初期位置や離す瞬間に関しては，各投球において違いが観測されなかったため，クイズに含めなかった．

5.3　結果

提案手法と比較手法の結果を表 1 および表 2 に示す．正答率が高いほど，被験者が正しく回答できたことを意味する．正答率の結果より，全体に着目すると 2 の「(1)〜(7) 合計の平均正答率」，「(8)〜(14) 合計の平均正答率」のどちらも提案手法の正答率の方が比較手法の正答率よりも高い．「(8)〜(14) 合計の平均正答率」においては，有意水準 5% の両側検定の Student の t 検定を適用したところ有意差 ($t(7) = 2.3$，$p < .05$) が観測され，全体で有意水準 5%の両側検定の Student の t 検定を適用したところ有意差 ($t(14) = 2.0$，$p < .05$) が観測された．したがって，提案手法を使用した被験者は，比較手法を利用した被験者よりも有意に平均正答率が高くなった．

5.4　考察

5.4.1　平均正答率について

提案手法の正答率は，比較手法の正答率と比べて全体的に高くなった．この原因として，(1)〜(7) の部分は提案手法の頭出し機能が，(8)〜(14) の部分は区間計測機能が影響を与えたと考えられる．これは，比較手法では被験者自身が各クイズに対応するタイミングを視覚的に判断し，検討していた．一方，提案手法を利用した被験者は，各クイズ

表 1　実験タスクで使用したクイズ

クイズ	提案手法 正答率 (%)	提案手法 標準偏差	比較手法 正答率 (%)	比較手法 標準偏差
(1) ボールを最も高く振り上げた投球は？	90	± 4.5	100	± 0
(2) 投球後のポーズが最も良かった投球は？	81	± 9	36	± 31
(3) 1 歩目〜2 歩目区間で右肩が最も下がっている投球は？	72	± 13	36	± 31
(4) 2 歩目〜3 歩目区間でボールを最も高く振り上げた投球は？	63	± 18	36	± 31
(5) 3 歩目〜4 歩目区間で最も前傾姿勢だった投球は？	54	± 18	36	± 31
(6) 4 歩目〜投げるまででボールを最も高く振り上げた投球は？	100	± 0	81	± 9
(7) 3 回の投球で最も上手い投球フォームは？	63	± 18	0	± 50
(8) 初期位置〜1 歩目区間で最も時間がかかった投球は？	81	± 9	81	± 9
(9) 1 歩目〜2 歩目区間で最も時間がかかった投球は？	100	± 0	36	± 31
(10) 2 歩目〜3 歩目区間で最も時間がかかった投球は？	100	± 0	45	± 27
(11) 3 歩目〜振り上げ最大区間で最も時間がかかった投球は？	100	± 0	9	± 45
(12) 振り上げ最大〜4 歩目区間で最も時間がかかった投球は？	100	± 0	36	± 31
(13) 4 歩目〜離す瞬間区間で最も時間がかかった投球は？	90	± 4	27	± 36
(14) 離す瞬間〜投球ポーズ区間で最も時間がかかった投球は？	100	± 0	18	± 40

表 2　クイズの平均正答率

	提案手法 正答率 (%)	提案手法 標準偏差	比較手法 正答率 (%)	比較手法 標準偏差	検定 t 値	検定 p 値
(1)〜(7) 合計	75	± 20	45	± 43	2.1	$p = 0.05$
(8)〜(14) 合計	96	± 10	36	± 34	2.3	$p = 0.00$
(1)〜(14) 合計	85	± 15	40	± 27	2.0	$p = 0.00$

に対応する注目すべきタイミングがボタンとして存在しており，かつその際の投球者の格好がピクトグラムとして表示されており，11 人中 9 人が各クイズに対応する適切なボタンを選択できていた．したがって，提案手法を利用した被験者は，比較すべき 3 投球において，自動的に表示される各ストロボ画像を見比べ判断すればよいため，正答率が高くなったといえる．

提案手法の正答率が比較手法の正答率より低くなったクイズが，「ボールを最も高く振り上げた投球は？」という設問である．このクイズは，なげれる君の頭出し機能の MAX ボタンをクリックし，ボールをもっとも高く振り上げた投球を判断するが，提案手法で唯一間違えた被験者は，2 番目に高く振り上げた投球を 1 番目に高いと回答している．これは，投球者が振り上げたボールの位置と腰の位置を見比べて高いか低いかを判断したのではないかと考える．

提案手法を利用した被験者において，(4)，(5)，(6) の設問も正答率が低くなった．これは投球者が投げ始める初期位置がズレていたことが原因ではないかと考えられる．実際の投球映像を確認すると，2 投目だけ初期位置が右側にズレていた．これにより，投球の確認をする際に被験者によっては 1 番目ではなく，2 番目の投球に投票したと考察した．実際，今回は全てのクイズに対して 1 番目から 3 番目まで順位付けをしてもらったが，間違えた被験者は全員 (4)，(5)，(6) の設問において 1 番目と 2 番目の順位付けが逆になっていた．

提案手法を利用した被験者において，(8)〜(14) の設問の正答率が比較手法に比べて非常に高くなった．これは提案手法の区間計測機能が開始点と終了点を選択し，その区間の長さを可視化するためだと考える．一方，比較手法は動画を飛ばしながら繰り返し視聴することしかできず，秒数も測れないような短さであるため，正答率が低くなった．

5.4.2　提案手法の改善点

実験終了後のアンケートから得られた，提案手法の改善点として，位置合わせボタンあるいは区間計測機能のボタンを押下してからその結果が表示されるまでのタイムラグについて指摘があった．このため，慣れるまでは，何度も当該ボタンを押下してしまい結果が表示されないなどのトラブルがあった．これは，プログラムの画像表示の処理を軽くすることや，押したボタンの色を変更するなどして改善していきたいと考えている．また，初心者が理解しにくい専門用語が多いという指摘があった．これに対しては，マニュアルの充実などで対応する予定である．

6.　まとめ

本研究では，ボウリング初心者のための投球フォームリフレクション支援システムを提案した．システムには，投球者の映像をストロボ残像形式で見比べる機能がある．また，投球におけるタイミングごとに頭出しをする機能がある．投球フォームの評価機能としては，手本と投球者の表示画像を比較できる機能がある．これらの機能を利用し，学習者に投球フォームの正誤をフィードバックする．被験者にクイズに回答してもらい，正答率が向上することを目

的とした．開発したシステムの評価機能を使用する提案手法と，システムは使用せずに投球映像を視聴して評価をする比較手法で比較実験を行った．その結果，提案手法を利用した被験者は，比較手法を利用した被験者よりも，クイズの平均正答率が優位になった．

今後の課題としては，なげれる君の利便性を向上するためのプログラムの改良の実施，各種イベントの自動抽出機能の実装などがある．また，初心者だけではなく中級者や上級者もシステムを利用できる可能性を考え，フィードバックを回収することで，技能の熟達を支援出来ると考える．現状だと実際にボウリング場でのシステムの利用ができていないため，ボウリング場での運用も視野に入れる．

参考文献

[1] Hamanishi, N. and Rekimoto, J.: PoseAsQuery: Full-Body Interface for Repeated Observation of a Person in a Video with Ambiguous Pose Indexes and Performed Poses, *Proceedings of the Augmented Humans International Conference*, AHs '20, New York, NY, USA, Association for Computing Machinery, (online), DOI: 10.1145/3384657.3384658 (2020).

[2] Ikeda, A., Hwang, D. H. and Koike, H.: AR based Self-sports Learning System using Decayed Dynamic TimeWarping Algorithm, *ICAT-EGVE 2018 - International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments* (Bruder, G., Yoshimoto, S. and Cobb, S., eds.), The Eurographics Association, (online), DOI: 10.2312/egve.20181330 (2018).

[3] Liu, L., Long, D. and Magerko, B.: MoViz: A Visualization Tool for Comparing Motion Capture Data Clustering Algorithms, *Proceedings of the 7th International Conference on Movement and Computing*, pp. 1–8 (2020).

[4] Technical Pitch: Technical Pitch, `https://technicalpitch.net/` (2017). (Accessed on 06/27/2021).

[5] Urribarri, D. K., Larrea, M. L., Castro, S. M. and Puppo, E.: Overview+ Detail Visual Comparison of Karate Motion Captures, *Argentine Congress of Computer Science*, Springer, Cham, pp. 139–154 (2019).

[6] Wu, E., Nozawa, T., Perteneder, F. and Koike, H.: VR Alpine Ski Training Augmentation using Visual Cues of Leading Skier, *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp. 3836–3845 (online), DOI: 10.1109/CVPRW50498.2020.00447 (2020).

[7] 筋野正太，森谷友昭，高橋時市郎：NPR 機能を付加したダンスの動作解析・指導システム，*IEICE Conferences Archives*, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (2012).

[8] 紅林秀治，小林健太，　兼宗進ほか：KINECT センサーを用いた簡易動作分析システムの開発，研究報告コンピュータと教育 (CE)，Vol. 2013, No. 20, pp. 1–7 (2013).

[9] 小川智史，賀川昌明：ボウリング選手を対象とした画像によるフィードバックソフトの開発と評価，鳴門教育大学情報教育ジャーナル= Journal of information education, Naruto University of Education，No. 7, pp. 1–7 (2010).

[10] 田中佑典，　齊藤剛ほか：モーションキャプチャを用いたダンス上達支援システムの開発，第 75 回全国大会講演論文集，Vol. 2013, No. 1, pp. 225–226 (2013).

ⓒ 2021 Information Processing Society of Japan