

民生用高速度カメラを用いた素振り練習の精度可視化

新野 大輔¹ 木坂 綺花² 平林 晃² 井尻 敬^{1,2}

概要: 野球の打撃練習方法のひとつである素振りでは、ボールが飛んでくるコースや位置を常にイメージすることが重要であると言われている。しかし、実際に素振り練習を行っても、それがイメージと一致したかどうかを確認することが困難である。そこで本研究では、高速度カメラを用いて素振り練習の精度を可視化する手法を提案する。具体的には、バッティングティー状の打撃目標を用いた素振り練習を高速度カメラで撮影し、得られた高速度動画を解析することでバット上の打撃目標位置とバットの軌跡を推定し練習者に提示する。提案手法の精度を確認するため、インパクト時のフレーム番号とバット上の打撃目標位置を複数の動画像から手作業で抽出し、これと提案手法による自動推定結果との比較を行った。結果、練習目的としては十分な推定精度が得られることを確認した。提案手法の有用性を確認するため、3名の実験協力者の素振りの様子を解析し、素振りの精度を可視化できていることを確認した。

Visualizing Performance of Bat Swing Practice via Consumer Grade High Speed Camera

DAISUKE NIINO¹ AYAKA KISAKA² AKIRA HIRABAYASHI² TAKASHI IJIRI^{1,2}

Abstract: For efficient practice swing, it is important for players to imagine the ball and impact position; however, they usually cannot confirm whether the actual practice swing was consistent with the imagination or not. In this paper, we propose a technique to visualize the performance of a practice swing by using a high speed camera. We capture a practice swing with batting tee with a high speed camera, detect the frame at which the bat impact to the tee, track the trajectory of the bat in two dimensional video space, and then visualize the impact position of the tee and the bat posture during the impact. The accuracy of our technique was confirmed by comparing the detected results to these of full-manual tracking. To illustrate the feasibility of our system, we analyze multiple practice swings of three participants.

1. はじめに

素振り練習とは、良い打撃フォームの習得や筋力・スイングスピードの増強などを目的とした誰もが実施する打撃練習方法である。バットにはスイートスポットと呼ばれる点が存在し、この点にボールが当たると初速の速い打球が得られるため [1]、バットのスイートスポットでボールを捕らえることが打撃練習の目的となる。素振り練習の効果を高めるためには、ただバットを振るだけではなく、ボールが飛んでくるコースやボールを捕らえる位置を意識することが重要であると言われている。しかし、ボールをイメー

ジして素振り練習を行ったとしても、その素振りがイメージしたボールをうまく捉えたかどうかを確認することは困難であるという課題がある。

そこで本研究では、効率的な素振り練習を支援するため、民生用高速度カメラを用いて素振り練習の精度を解析し打者に提示するシステムを提案する。具体的には、バッティングティー状の打撃目標に対して素振りを行うシーンを高速度カメラで撮影し (図 1 a), 得られた動画像からインパクト時のバット上の打撃目標位置 (インパクト位置, 図 1b) とインパクト前後の 2 次元的なバット姿勢 (図 1 c) を推定する。動画像が入力されると、提案手法は、バットと打撃目標が接触するインパクトフレームを検出し、続いてインパクトフレームの前後フレームにおいてバット追跡を行う。インパクトフレーム検出にはフレーム間差分を用い

¹ 芝浦工業大学 工学部 情報工学科
Shibaura Institute of Technology

² 立命館大学 情報理工学部 メディア情報学科
Ritsumeikan University

た手法を提案し、バット追跡には距離画像を用いたテンプレートマッチング法 [2] を応用する。これにより比較的短時間で素振り動画の解析が可能である。

提案法の精度を評価するため、手作業による解析結果と提案法による解析結果を比較し、練習支援目的としては十分な精度が得られていることを確認した。また、提案法の有用性を確認するために、実験協力者 3 名によるユーザスタディを行い、コースごとに素振りの精度を可視化できることを確認した。提案法は、比較的安価な民生用高速度カメラで動作するため、アマチュアスポーツ選手など幅広いユーザ層が利用可能であるという利点を持つ。

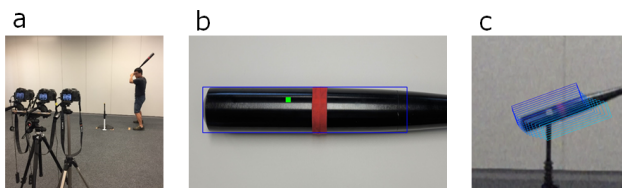


図 1 提案手法は、素振り練習シーンを撮影した高速度動画から (a)、インパクト位置 (b) とバット姿勢 (c) を推定する。

Fig. 1 We capture a practice swing with high speed camera (a) to visualize the impact position (b) and bat posture (c).

2. 関連研究

野球におけるデータ解析は重要視されており、様々な研究が行われている。本章では、高速度カメラやモーションキャプチャシステムを用いた投球や打撃のパフォーマンス解析に関する研究を紹介する。

投球解析. 手軽に利用できる練習支援システムの実現は重要な課題であり、様々な研究が発表されている。佐藤 [3] は、各関節にマーカーをつけた投手のピッチング動作を撮影することで、投手の動作の悪い箇所を明示するアプリケーションを開発した。このシステムは、スマートフォン上で動作するため、練習環境に手軽に持ち込むことが可能である。一方、ボールの回転解析に関する研究も行なわれている。Hubert ら [4] は、十字状のマーカーを塗布したボールを用意し、その投球シーンを高速度カメラで撮影することでボールの回転軸・回転速度・軌跡を解析する手法を提案した。一方、Ijiri ら [5] は、マーカーを用いることなくボールの回転軸と回転速度を解析する手法を提案した。特に、後者のシステムは、比較的安価な民生用高速度カメラの利用を想定しており、カジュアルなユーザにも利用できるという利点がある。

打撃解析. 打撃練習支援のため、そのフォームを解析し数値化する研究がなされている。大室ら [6] は、高速度カメラを利用して、野球経験者と非経験者のスイングスピードとスイングの再現性を解析し、この 2 点が練習において向

上する能力であることを示した。十河ら [7] は、モーションキャプチャシステムを用いてスイングスピードや回転軸、体重心を解析することで、野球経験者と未経験者の打撃動作の定量的な比較を行った。樋口ら [8] は、高速度カメラを用いて、ソフトボールと野球で使うボールおよびバットを用いたティバッティングを撮影し、スイングスピードおよびインパクト時のボールの中心とバット芯の距離を調べることで、2つの打撃を比較した。Higuchi ら [9] は、高速度カメラを利用して、視覚を妨害した状況でのバッティングを解析し、視覚とボールの軌道予測がヒットの精度とどのように関係しているのかを示した。

これらの研究は、スポーツ科学の見地から打撃パフォーマンスの定量化を行なうため、打撃時におけるバット軌跡を解析している。これらの研究では、ほぼすべての画像解析が手作業にて行われており、手間と時間がかかるという問題点がある。

効率的な解析のため、我々研究グループは、バッティングティを用いた素振り練習シーンの自動解析手法を提案した [10]。この研究では、バットに貼付されたマーカーの色によりバット追跡を行なっていた。本研究は、テンプレートフィッティングを利用して処理時間の短時間化を図るとともに、詳細な精度評価を行なうものである。

3. 提案法の概要

3.1 撮影環境

本研究における素振りシーンの撮影環境を図 2 に示す。ホームベースから約 3.8m、高さ約 1.2m の位置にカメラを設置し (図 2a)、ホームベースの手前にバッティングティ状の打撃目標を配置する (図 2c)。撮影には、民生用高速度カメラ Sony RX10MII (図 2d) を使用し、打撃目標にピン트가合うように設定する。また、バットの軌跡だけでなくバッティングフォームも同時に撮影できるようにレンズの焦点距離を広角 (24mm) に設定した。カメラ設定の詳細を表 1 に示す。このカメラは 2 秒の動画記録に 30~40 秒を要し、この間は次の撮影ができない。一方、通常の素振りは 5 秒程度の間隔で実施されることが多い。こうした素振り動作すべてを記録するために、我々は 3 台のカメラを設置し、これらを順番に切り替えて使用した。

前述のセットアップの下、ユーザはバットのスイートスポット (図 2e、赤マーカー) が、打撃目標 (図 2f) を捕らえる様にスイングを行なう。本来、素振りとはバットのみを用いて行う練習法であるが、ユーザが素振り時にイメージする理想的な打点を計測可能にするため、本研究ではこのバッティングティを用いた。また、打者がバットのスイートスポットと認識する場所を統一するため、バットのスイートスポットに赤マーカーを貼付した。

表 1 カメラ (SonyRX10MII) の詳細設定.

Table 1 Camera setting.

項目	設定
F 値	F2.8
記録設定	30p 50M
フレームレート	960fps
優先設定	画質優先
撮影タイミング	スタートトリガー

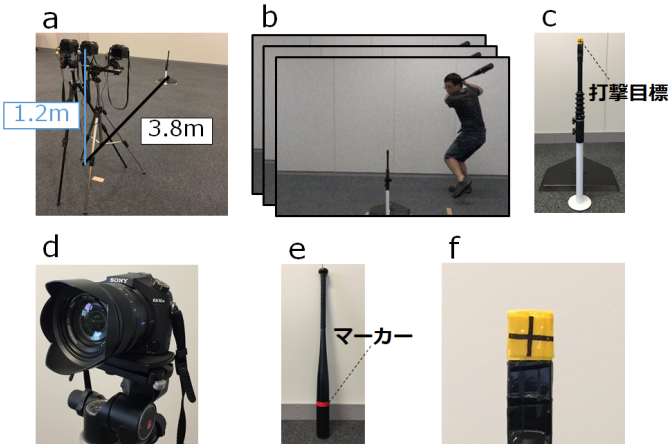


図 2 撮影環境 (a). 練習者は、スイートスポットにマーカーを塗布したバットを用いて (e), バッティングティー状の打撃目標 (c,f) に向かって素振りを行なう. この様子を打者正面に配置した高速度カメラ (d) により撮影し, 高速度動画を取得する (b).

Fig. 2 Capturing environment (a). A player swing a bat (e) to hit the target (c,f). We capture the swing with a high speed camera mounted in front of the player (d) to obtain a video (b).

3.2 インパクト位置とバット姿勢

本研究では, 素振りシーンを撮影した高速度動画を解析し, インパクト位置 (図 1b) とバット姿勢 (図 1c) をユーザに提示する. インパクト位置とは, バットが打撃目標に接触した瞬間におけるバット上の打撃目標位置である. また, バット姿勢とは, バットが打撃目標に接触した前後数フレーム分のバットの 2 次元画像中における姿勢 (傾き) である. 一般的に, 素振り練習ではイメージした打点に向かってバットをスイングすることが効果的と考えられているため, このインパクト位置とバット姿勢をユーザに提示することで, より効果的な練習を支援できると考えられる. また, 複数の動画を解析し, 複数のインパクト位置を同時に可視化することで, 練習者の素振り精度を可視化することも可能である (5 章参照).

4. 提案法の解析アルゴリズム

高速度動画が入力されると, (1) 打撃目標の検出, (2) インパクトフレームの検出, (3) バットの追跡の 3 ステップによりインパクト位置とバット姿勢を検出する (図 3). 各

ステップの詳細を以下の節にて順に説明する.

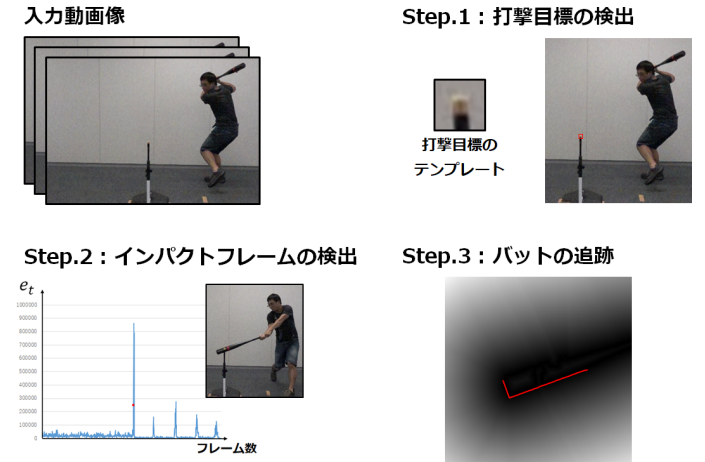


図 3 動画処理の概要.

Fig. 3 Overview of our video processing.

4.1 打撃目標の検出

提案システムは, まず動画の中から打撃目標の位置を検出する. ユーザが素振りを行うまで打撃目標は動かないため, 我々は入力動画の初期フレームに対してテンプレートマッチングを施すことで, 打撃目標の位置 c^{tm} を取得する (図 4a). ただし打撃目標のテンプレート画像 (図 4b) は, $l \times l$ の打撃目標を中心とした $3l \times 3l$ の画像であり, 事前に与えられているものとする.

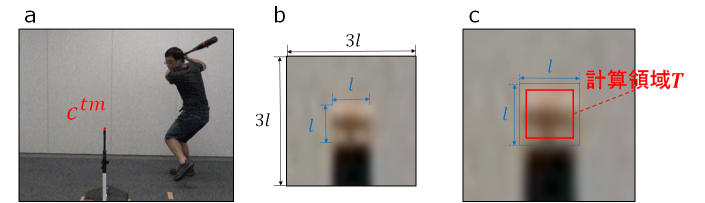


図 4 テンプレートマッチングによる打撃目標の位置 c^{tm} の検出.

Fig. 4 Templated matching to detect the position of the hitting target.

4.2 インパクトフレームの検出

打撃目標の検出が終わると, 次に提案システムは, バットが打撃目標に接触するフレーム (インパクトフレーム) を検出する. バットが打撃目標に接触すると打撃目標が大きく動くため, 前節で検出した打撃目標位置 c^{tm} 付近の画像が大きく変化すると考えられる. そこで, 入力動画像について, 連続するフレーム間差分 e_t を計算する,

$$e_t = \sum_{\mathbf{p} \in T} (I_{t+1}(\mathbf{p}) - I_t(\mathbf{p}))^2. \quad (1)$$

ただし, $I_t(\mathbf{p})$ は画素位置 $\mathbf{p} \in R^2$, フレーム t における画

素値, T は計算領域である. 打撃目標部分のみの変化を正確に取得するため, 我々は, 計算領域 T を \mathbf{c}^{tm} を中心とし幅 $(l-2)$ 画素, 高さ $(l-2)$ の矩形領域と定義する (図 4c).

実際の動画像から計算された e_t の一例を図 5 a に示す. この例の通り, バットが打撃目標に接触する時点でフレーム間差分が増大することが観察できる. 我々は, このフレーム間差分が最初に $e_t > \text{Threshold}$ となる時点を入力フレーム t^* として検出した (図 5 b).

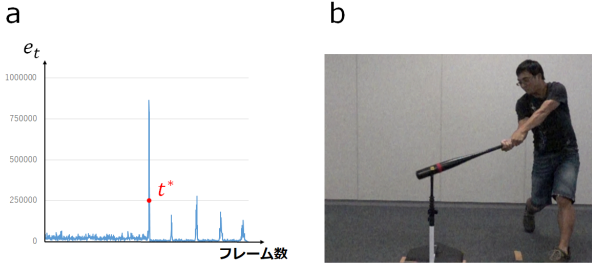


図 5 フレーム間差分を利用したインパクトフレーム検出. ある動画像から計算されたフレーム間差分 e_t (a) と, このフレーム間差分から検出されたインパクトフレーム (b).

Fig. 5 Impact frame detection using the inter frame difference.

4.3 バットの追跡

インパクトフレームが検出されると, 次にシステムはバットの追跡を行う. インパクト時, バットは打撃目標付近に存在するため, 先に検出した打撃目標位置 \mathbf{c}^{tm} を中心とする $w \times h$ 画素, インパクトフレーム t^* の前後 N フレームを切り出し, この小さな動画クリップに対してバットヘッドの位置を検出する.

バット位置はテンプレートフィッティングにより検出される. まず, バットヘッドを表す L 字型のテンプレートを用意する (図 6a). ただし, W はバットヘッドの長軸方向長であり, H は単軸方向長 (太さ) である. 次に, 入力動画の各フレームに対し背景差分法を適用し動物体を抽出し (図 6bc), 得られた 2 値画像のエッジ画素のみを抽出した画像を作成する (図 6d). テンプレートを回転・平行移動させ, このエッジ画像にフィットする位置を検索する. この検索は以下の最適化問題として定式化できる,

$$(\mathbf{c}_x^*, \mathbf{c}_y^*, \theta^*) = \arg \min_{\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta} E(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta). \quad (2)$$

ただし, $\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y$ はテンプレートの平行移動成分, θ はテンプレートの回転角度である. 右辺のフィッティングを表すコスト関数は, Andrew の手法 [2] に基づき以下の通り定義する,

$$E(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta) = \frac{1}{|\mathcal{B}|} \sum_{\mathbf{p} \in \mathcal{B}} D(T(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta, \mathbf{p})). \quad (3)$$

ここで, D はエッジ画像の距離変換画像 (図 6e) である. また, \mathcal{B} はテンプレート画像 (図 6b) における前景画素集合, $|\mathcal{B}|$ は全景画素数, $\mathbf{p} = (p_x, p_y)$ は前景画素位置であり, $T(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta, \mathbf{p}) \in \mathbb{R}^2$ は, 回転・平行移動を施した画素位置である,

$$T(\mathbf{c}_x, \mathbf{c}_y, \theta, \mathbf{p}) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{c}_x \\ \mathbf{c}_y \end{pmatrix}. \quad (4)$$

つまり, コスト関数 (3) は, テンプレート画像を回転・平行移動して距離画像に重ね合わせ, テンプレート画像の前景画素上で距離画像の画素値をサンプリングした総和を表している. これは, テンプレート画像がエッジ画像に最も適合するとき最小値をとる.

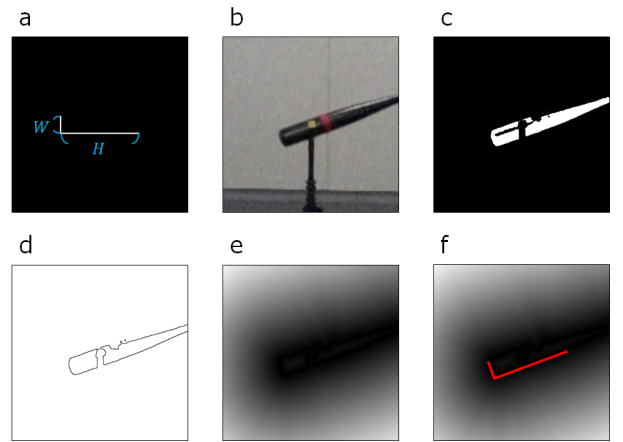


図 6 バット追跡. L 字型のテンプレート (a) を入力画像 (b) にフィッティングする. 背景差分法により 2 値化画像 (c), エッジ画像 (d), 及び, 距離変換画像 (e) を生成し, テンプレートを距離変換画像に重ね合わせて (f) コスト関数を評価する.

Fig. 6 Tracking the bat position. We fit a template (a) to the input image (b). We adopt the background subtraction to obtain the binary image (c), and compute its edge (d) and distance transform (e). We overlay the template to the distance image to evaluate the cost function.

本研究では, まずインパクトフレーム t^* に対し, テンプレートのフィッティングを行う. この時, 粗い全探索を施すことで初期解を取得し, 続いて最急降下法を適用することで式 (2) を最適化する. インパクトフレームへのフィッティングが済むと, 次に, 隣接フレームに対してテンプレートフィッティングを伝播させる. 例えば, インパクトフレームの次フレーム ($t^* + 1$) に対しては, インパクトフレームにおけるフィッティング結果を初期解とし, 最急降下法を適用する. これを繰り返すことで, インパクトフレームの前後 N フレームにおけるフィッティング結果を得る.

フレーム t^* に対する初期解の取得では, 粗い全探索を施す. 以下では, 右バッターの動画像 (バットヘッドが画像中の左に位置する) を仮定する. まず, 回転角度 θ を,

$[-50^\circ, 5^\circ]$ の範囲で 2° 間隔でサンプリングする．ある角度 θ に対し，図 7a のとおりテンプレートを回転させ，さらにテンプレートを短軸方向に $[-H, H]$ の範囲で 5 画素間隔で動かし，最もコストが小さくなる短軸方向のオフセットを取得する (図 7b)．次に，図 7c のとおり，テンプレートを長軸方向に $[-\frac{W}{2}, \frac{W}{2} - \epsilon]$ の範囲で 5 画素間隔で動かし，最もコストが小さくなる長軸方向のオフセットを取得する．これをすべての角度に対し計算し，最もコスト関数を小さくする回転角度・平行移動の組を取得する．ただし， ϵ は打撃目標をバットヘッドと誤検出しないためのオフセットである．ここで，粗い全探索により求めた角度 θ ，長軸方向の移動量 y ，短軸方向の移動量 x から，初期解は以下の通り計算できる，

$$\begin{pmatrix} c_x^0 \\ c_y^0 \\ \theta^0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ \theta \end{pmatrix}. \quad (5)$$

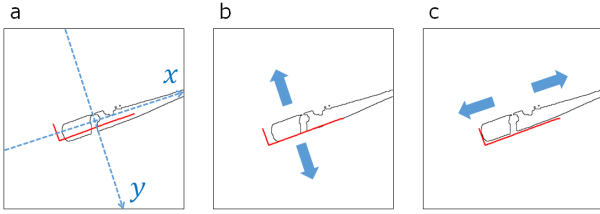


図 7 初期解取得のための粗い全探索．ある角度 θ について，テンプレートを回転させ，短軸方向 y ，長軸方向 x へ移動し，コストを最小とする移動量を発見する．

Fig. 7 Coarse brute force search to obtain initial solution. Given an angle θ , we rotate the template, translate it in its minor axis to search the best fitting offset, and translate it in its major axis to search the best offset.

粗い全探索で得られた初期解 c_x^0, c_y^0, θ^0 を，最急降下法により次の通り更新する，

$$\begin{pmatrix} c_x^{k+1} \\ c_y^{k+1} \\ \theta^{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_x^k \\ c_y^k \\ \theta^k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \frac{\partial E}{\partial c_x} h_x \\ \frac{\partial E}{\partial c_y} h_y \\ \frac{\partial E}{\partial \theta} h_\theta \end{pmatrix}. \quad (6)$$

ただし， h_x, h_y, h_θ はステップサイズである．上式を計算する際に，コスト関数 E の偏微分が必要になる．これは，以下のとおり計算できる，

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial E}{\partial c_x} \\ \frac{\partial E}{\partial c_y} \\ \frac{\partial E}{\partial \theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial E}{\partial T_x} \frac{\partial T_x}{\partial c_x} + \frac{\partial E}{\partial T_y} \frac{\partial T_y}{\partial c_x} \\ \frac{\partial E}{\partial T_x} \frac{\partial T_x}{\partial c_y} + \frac{\partial E}{\partial T_y} \frac{\partial T_y}{\partial c_y} \\ \frac{\partial E}{\partial T_x} \frac{\partial T_x}{\partial \theta} + \frac{\partial E}{\partial T_y} \frac{\partial T_y}{\partial \theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_x}{\partial c_x} & \frac{\partial T_y}{\partial c_x} \\ \frac{\partial T_x}{\partial c_y} & \frac{\partial T_y}{\partial c_y} \\ \frac{\partial T_x}{\partial \theta} & \frac{\partial T_y}{\partial \theta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial D}{\partial T_x} \\ \frac{\partial D}{\partial T_y} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

ここで， $\frac{\partial D}{\partial T_x}$ と $\frac{\partial D}{\partial T_y}$ はそれぞれ，距離画像 D の横方向と縦方向の微分画像 D_x, D_y である．

本研究における全ての実験では， $Threshold = 2.5 \times 10^5$ ， $w = 200$ ， $h = 200$ ， $W = 180$ ， $H = 40$ ， $N = 7$ ， $h_x = 0.4$ ， $h_y = 0.4$ ， $h_\theta = 1.0 \times 10^{-5}$ ， $\epsilon = 50$ を利用した．これらの

表 2 提案法の精度評価結果．

Table 2 Accuracy evaluation result.

	最大誤差	平均誤差
インパクトフレーム	1.0 frame	0.2 frame
バット位置	縦移動成分	6.0 pixel
	横移動成分	5.0 pixel
	回転成分	2.0°

値は，カメラやバットなどのセットアップに依存して変更する必要がある．

5. 結果と考察

5.1 提案法の精度評価

提案法の精度を評価するため，提案法による解析結果を手作業による結果と比較した．収集した素振り動画からランダムに 10 個の動画を選び，手作業によりインパクトフレームとインパクト位置を検出し，これと提案法による自動検出結果と比較した．ただし，提案手法が明確な誤検出 (後述する) を起こす動画については，比較対象から除外した．

インパクトフレームの検出には，精度評価用に作成した簡易動画プレイヤーを使用した．このプレイヤーでは，動画をコマ送りで確認し，任意のフレームを画像ファイルとして記録することができる．検証者は，バットが打撃目標に接触したと思われるフレーム番号をインパクトフレームとして記録する．次に，精度評価用に作成したアプリケーションを用いて，インパクトフレームにおけるバット位置を手作業で指定する．バット位置指定では，インパクトフレームにおいてテンプレートを回転・平行移動させ，バットにフィッティングする．得られたテンプレートの回転・平行移動量を記録する．

手作業による検出と提案手法による自動検出を比較した結果を表 2 に示す．特に，インパクトフレーム検出については検出誤差の絶対値を計測し，バット位置検出については，回転角度と平行移動量の検出誤差の絶対値を計測した．本実験環境において，インパクト時のバット上における 1 画素はおおよそ 1.7 mm である．つまり，1.3 画素の検出誤差は，2.2 mm 程度の検出誤差に対応し，これは練習支援目的としては十分な精度であると考えられる．

5.2 素振りの精度解析

提案法の有用性を確認するために，3 名の実験協力者 (打者 A, 打者 B, 打者 C) によるユーザスタディを行った．図 8 に示すとおり，内角低め，真ん中低め，外角低め，内角高め，真ん中高め，外角高めの 6 コースを用意した．このとき，バッティングティーの一番低い位置を「低め」と定め，打撃目標がバットを構えたユーザのベルト位置にくる高さを「高め」と定めた．各コース 12 スイングずつ (72 スイング) の素振りを実験協力者に行なってもらい，その

シーンを Sony RX10MII により撮影した。ただし、このカメラは高速度動画の記録に 30~40 秒程度を要するため、素振りの間隔が記録時間より短い場合、複数スイングをカメラ 1 台で円滑に撮影することは難しい。そこで、我々は、3 台のカメラを設置しこれらを順番に切り替えて使用した。3 台のカメラを使用しても記録が間に合わない場合は、カメラが動画を記録している間に 1 分程度のインターバルをとることとした。

図 9 に、各打者の真ん中低めコースにおけるバット姿勢を解析した結果を示す。この図により、打者によってスイングが異なることが確認できる。例えば、打者 A・B はバットを上から下に振り抜くダウンスイングだが、打者 C はバットを水平に振り抜くレベルスイングである。この情報を練習者に提示することで、自身のスイング時のバット姿勢をひと目で確認できる。

図 10 に、各打者・各コースにおける、インパクト位置を解析した結果を示す。本図では、各コースにおける 12 スイング全てのインパクト位置を同時に表示している。ただし、明らかに検出を失敗したものは除いて表示している。この図を見ると、スイートスポットの近くにインパクト位置が偏っている結果ほど、ユーザの得意コースではないかと考察できる。例えば、打者 C は内角のコースは、他のコースよりも多くスイートスポットに近い位置で捕らえることができている。このように、複数スイングの精度を同時に可視化することで、素振りの精度を知るだけでなく、得意・不得意なコースを知ることや、打者の技能評価を行なえる可能性がある。ただし、本研究の目的は素振り精度の可視化と提案手法の精度評価であり、選手のパフォーマンス評価は今後の課題である。また、本実験では、実験協力者のものではなく、我々が用意したバットを利用したため、感覚をつかむのに苦戦した打者がいた。

検出エラー。 今回収集した 216 個の動画に対する提案法の解析結果を確認したところ、9 個の動画(約 5%)について、明確な検出エラーが確認された。このエラーの主な原因は、打撃目標から大幅に離れた場所を打ったときに起こる初期解の誤検出であった。例えば、バット先端で打撃目標を打ったとき、粗い全探索の範囲外にバットが存在するためバット先端を正しく検出できず、誤検出が起こる。このような誤検出を減らし、精度を高めることは今後の課題である(図 11)。

計算時間。 提案手法は、python と OpenCV ライブラリを用いて実装されている。全ての実験は、Intel Core i7 3GHz の計算機を用いて行なった。提案システムが動画解析にかかる時間は、一つの動画あたり当たり約 4~7 秒であった。ただし、これは動画の長さによって左右される。我々の前手法 [10] は、一つの動画に対し約 170~200 秒程度の計算時間がかかっていたが、距離画像を用いた最適化を導入することでこれを大幅に改善できた。更なる高速化は今後の

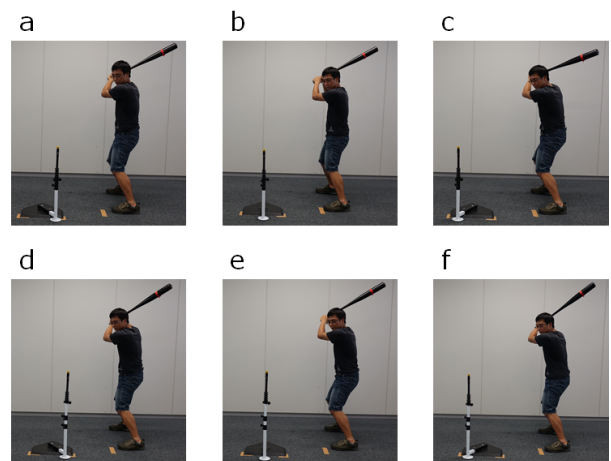


図 8 異なる打撃 6 コース。内角低め (a), 真ん中低め (b), 外角低め (c), 内角高め (d), 真ん中高め (e), 外角高め (f).

Fig. 8 Batting target positions; low-inside (a), low-middle (b), low-outside (c), high-inside (d), high-middle (e), high-outside (f).

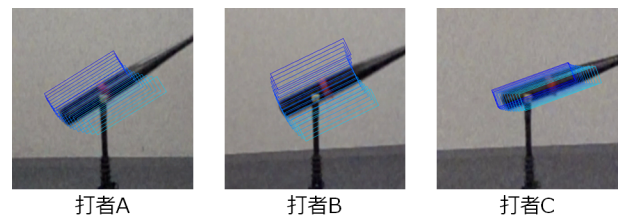


図 9 提案手法により得られたバット姿勢の可視化結果。各打者の真ん中低めにおけるバット姿勢を示す。

Fig. 9 Estimated bat postures. These panes provide bat posters of three participants when swinging with the low-middle target.

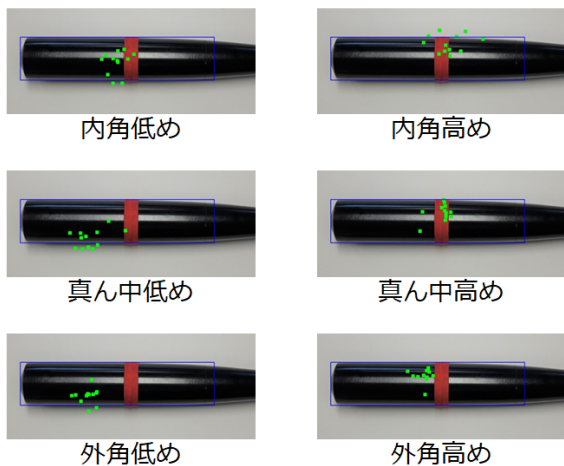
課題である。

6. まとめ

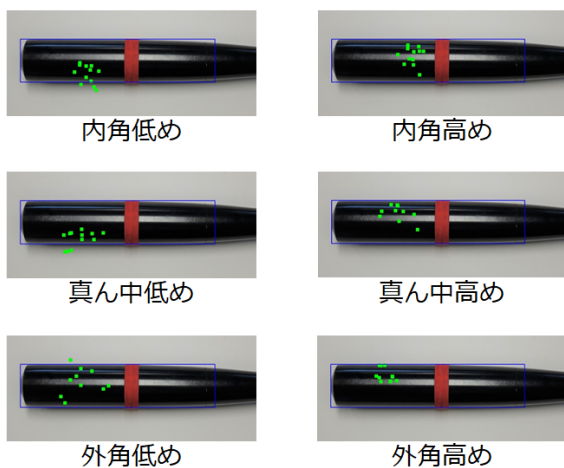
6.1 結論

本研究では、効率的な素振り練習を支援することを目的とし、素振り練習時にインパクト位置、および、バット姿勢を解析し可視化できる手法を提案した。提案法の精度評価を行い、練習支援目的としては十分な精度が得られていることを確認した。提案法の有用性を検証するため、実験協力者 3 名の素振りを高速度カメラにより撮影し、インパクト位置とバット姿勢を解析・可視化する実験を行なった。その結果、素振り精度やバット姿勢を可視化でき、また、コース別にインパクト位置を表示することで、得意・苦手コースを確認できることを確認した。提案システムを用いると、練習者は行った素振りの精度を知ることができるため、提案システムは、インパクト位置・バット姿勢を意識した素振り練習に寄与すると期待できる。

打者A



打者B



打者C

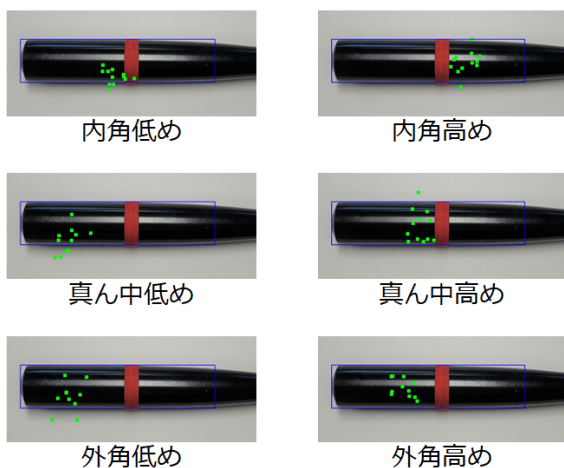


図 10 提案手法により得られたインパクト位置の可視化結果. 上から, 打者 A, 打者 B, 打者 C における各コースの複数動画のインパクト位置.

Fig. 10 Estimated impact positions of the participants A, B and C from top to bottom. Each pane visualize multiple impact positions of each batting target position.

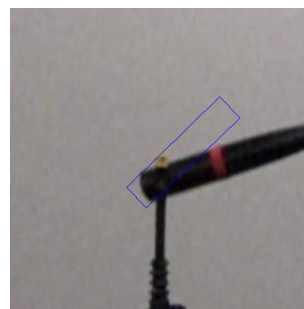


図 11 初期解の誤検出. バット先端で打撃目標をとらえたときの誤検出結果である.

Fig. 11 Error detection when catching the batting target at the bat tip

6.2 展望

提案法では静止したバッティングティーを用いた素振り練習を解析した. 飛んで来るボールに対して同様の解析を行うことが, 我々の将来課題である. さらにこれを, 近年普及してきている高速度カメラを搭載したスマートフォン上で実装し, バッティングセンター等で利用できるようにすることで, 幅広いユーザが手軽に利用できる, バッティング練習システムを実現したい.

謝辞 本研究を進めるにあたり, システム評価実験の協力者の方々, 芝浦工業大学 Interactive Graphics 研究室の方々, 立命館大学 Media Sensing 研究室の方々にご協力頂きました. ここに謝意を表します.

参考文献

- [1] H. Brody: The sweet spot of a baseball bat, *American Journal of Physics*, Vol. 54, No. 7, pp. 640-643, 1986.
- [2] Andrew W. Fitzgibbon: Robust Registration of 2D and 3D Point Sets, *Image and Vision Computing*, Vol. 21, pp. 1145-1153, 2003.
- [3] 佐藤邦彦: 野球のピッチング動作を定量的に解析するアプリケーション, インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, No. 2 - R22, 2015.
- [4] H. Shum, T. Komura: Tracking the Translational and Rotational Movement of the Ball Using High-speed Camera Movies, *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol. 3, pp. 1084-1087, 2005.
- [5] T. Ijiri, A. Nakamura, A. Hirabayashi, W. Sakai, T. Miyazaki, R. Himeno: Automatic spin measurements for pitched Baseballs via consumer-grade high-speed cameras, *Signal, Image and Video Processing*, 1-8, 2017.
- [6] 大室康平, 坂元龍斗, 永見智行, 大部隆志, 長谷川伸, 野村徹, 彼末一之: 野球のバットスイングの解析-速さか安定性か-, 日本機械学会シンポジウム講演論文集, pp. 108-112, 2004.
- [7] 十河宏行, 逸見知弘, 吉澤恒星, 南部彰伸, 平山大貴: 動作解析を用いた野球打撃動作における技術差の定量的比較, 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 137, No. 1, pp. 60-67, 2017.
- [8] 樋口貴俊, 大嶋匠, 彼末一之: 一流ソフトボール打者のソフトボール打撃と野球打撃の比較, スポーツ科学研究, Vol. 10, pp. 26-33, 2013.
- [9] T. Higuchi, T. Nagami, H. Nakata, M. Watanabe, T. Isaka, K. Kanosue: Contribution of Visual Informa-

tion about Ball Trajectory to Baseball Hitting Accuracy, *PLOS ONE*, Vol. 11, No. 2, 2016.

- [10] 木坂綺花, 井尻敬, 平林晃: 高速度カメラを用いた素振り練習の支援システム, インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, No. 2 - B01, 2016.