

# 高時間分解次元画像情報を用いた インパクト時におけるゴルフボールのバックスピン推定

三関 悠名見<sup>†</sup> 鏑木 崇史<sup>†</sup> 栗原 陽介<sup>†</sup>  
 青山学院大学 理工学部 経営システム工学科<sup>†</sup>

## 1. はじめに

ゴルフにおいて近年シミュレーションゴルフといった娯楽施設が増加している。ゴルフスイングに関する先行研究ではスイングフォームに着目したものとゴルフクラブ・ボールの軌跡に着目したものがある[1][2]。それらの研究は大規模で高価という問題点がある[3]。そこで本研究では、ゴルフボールのバックスピンに着目し、それらの問題点を解決するためにラインスキャンカメラを用いて正確かつ簡易に計測する新たな手法を提案する。

## 2. 提案手法

### 2.1 座標の定義

図1に提案するシステムにおける座標系を示す。ボールの最下点を原点とし、ボールの飛翔方向をx軸、鉛直方向をy軸、x軸とy軸に直行する軸をz軸とする。z軸上にラインスキャンカメラを設置し、走査面がy-z平面と平行になるように設定する。ボールには球の中心を通る直線をマーキングしておく。

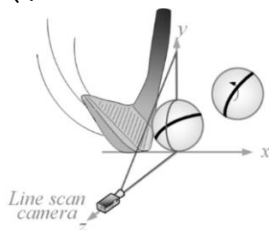


図1 座標系の定義

図2にx-y平面におけるボールの軌道を示す。インパクトの瞬間を $k = k_1$ とすると、この瞬間ボールは、x軸に対して $\theta$ [rad]で打ち出される。このとき、時刻 $k$ におけるボールの直線を

$$y = a(k)x + L(k)$$

とする。回転後のボールの直線式は中心 $(x_c(k+1), y_c(k+1))$ を通るので、回転後の直線のy切片 $L(k+1)$ は、

$$\begin{aligned} L(k+1) &= y_c(k+1) - a(k+1)x_c(k+1) \\ &= y_c(k+1) \\ &\quad - \frac{a(k) + \tan\{\Delta t \omega(k)\}}{1 - a(k)\tan\{\Delta t \omega(k)\}} x_c(k+1) \end{aligned}$$

となり、バックスピンをモデル式に表すと、

$$\omega(k) = \frac{1}{\Delta t} \tan^{-1} \left[ \frac{y_c(k+1) - L(k+1) - a(k)x_c(k+1)}{-a(k)\{L(k+1) - y_c(k+1)\} + x_c(k+1)} \right] \dots (2)$$

となる。従って、ボールの中心座標とマーカ位置から、バックスピン $\omega(k)$ が求まる。

ボールの中心座標を求める際、カルマンフィルタを用いてノイズを除去する。さらに、最小法二乗法をすることによりボールの中心座標とマーカ位置を求める。

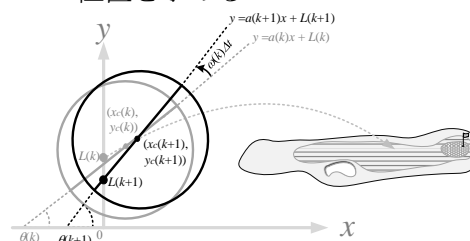


図2 x-y平面におけるボールの軌道

## 3. シミュレーションによる検証実験

### 3.1 実験目的

提案手法が正確であるかを確認するために三次元レンダリングソフトウェア POV-Rayを用いて、打ち出し時のボールの動きをシミュレーションし、ラインスキャンカメラを模した1次元の画像を時間方向に展開した画像を作製する。そのうえで提案手法の推定精度を確認する。さらに、リファレンスとしてハイスピードカメラを模した通常の2次元画像を2枚作製し、精度を比較する。

### 3.2 実験システム

本実験では提案の座標軸に合わせ、カメラを(0, 0, 0.4) (単位 m) に設置し原点に焦点を合わせる。照明は(-0.05, 0.05, -0.05)に設置する。ゴルフボールの中心を原点に置き、直径は実際に

使用するボールの大きさ 0.0428m とする. ボールの回転が分かるように球の赤道表面を通る太さ 3mm の直線をマーキングした.

実際にボールを打つ瞬間を撮影し求めた値をもとに, 初速度を 35m/s, 打ち出し角度を 15 度 に設定し, 実際にラインスキャンカメラを想定し, フレーム間隔は  $18.8\mu\text{s}$  とし, 50 フレーム実行する. バックスピンは 50 フレームで 35 度回転するよう設定した.

次に, ラインスキャンカメラの走査面と仮定した画像中央で幅 1 ピクセルを切り取り, 50 フレーム分繋ぎ合わせることで, 実際にラインスキャンカメラで撮影する 1 次元画像を時間方向に展開した画像を得る. さらに, ラインカメラでは, ボールのインパクト前とフレームアウト後を模した画像を, それぞれ 1 フレーム目と 50 フレーム目を任意の回数繰り返すことによりシミュレートした. 図 2 にラインカメラを模した画像を, 図 3 と図 4 にハイスピードカメラを模した画像を示す.



図 3 ラインスキャンカメラを模したシミュレーション画像. 縦軸は y 軸方向, 横軸は時間方向を示す.



図 4 ハイスピードカメラを模したシミュレーション画像. 左が 1 フレーム目, 右が 50 フレーム目を示す. 縦軸は y 軸方向, 横軸は x 軸方向を示す.

上記のシミュレーションで得られた画像を提案手法により, 初速度, 打ち出し角度, バックスピン角度を推定する. 実装は MATLAB を用いた.

まず, 読み込んだ画像を二値化し, 画像上のピクセル空間から実世界の座標系へと単位変換する. その中でバックスピンを求めるのに必要なボールの中心座標  $(x_c(k), y_c(k))$  とマーカ位置  $(L(k))$  を求める. インパクト時からボールがフレームアウトするまでの時間を求め, x 軸方向の初速度  $v_x[\text{m/s}]$  を推定する. さらに, ノイズを除去する目的でボールの中心座標にはカルマンフィルタを適用し, 放物線で近似する. 近似した曲線

のボールインパクト時の接線を打ち出し角の推定値  $\phi[\text{deg}]$  とする. 打ち出し角  $\phi$  と x 方向の初速度より, 打ち出し方向の初速度  $v[\text{m/s}]$  を求める. ボールの中心座標とマーカ位置から (2) 式よりバックスピン  $\omega(k)[\text{deg}]$  を推定することができる.

シミュレーション設定値と提案手法による推定値, リファレンス用ハイスピードカメラの推定値それぞれの誤差を求め, 提案手法の精度を評価する.

### 3.3 実験結果

ラインスキャンカメラ画像をプログラムで処理した結果を図 5 に示す. 図 5 において中心座標を赤色, マーカ位置を黄色で表している.

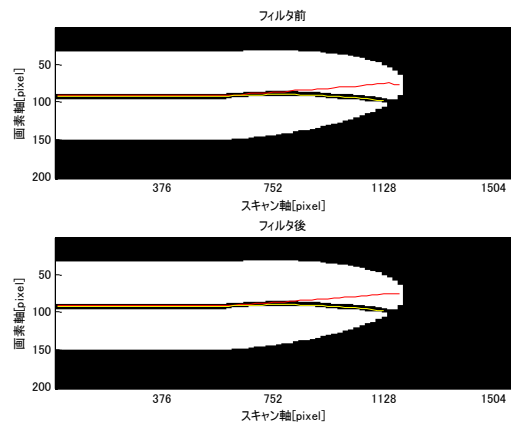


図 5 ラインスキャンカメラ画像のプロット

最初に設定した値とラインスキャンカメラ, リファレンスのバックスピン等の値は表に示す結果となった.

表 ラインスキャンカメラとハイスピードカメラの比較

	提案手法 (誤差)	リファレンス (誤差)	設定値
打ち出し角 [deg]	13.74 (1.26)	15.95 (0.95)	15
初速度 [m/s]	36.72 (1.72)	35.52 (0.52)	35
バックスピン [deg/50 frame]	55.50 (20.50)	33.51 (1.49)	35

### 4. 考察

ラインスキャンカメラとリファレンスにおいて, 比較的高精度に推定することが出来た. 今後は提案手法を実環境に適用する.

### 参考文献

- [1] 嶋津恵子: 素人向けゴルフスイングの効率的指導ポイントの発見, 身体知研究会, (2013)
- [2] 細川健治, 小林泰基: スイング中のゴルフクラブの挙動解析(2 リンクモデルの適用), 機械力学・計測制御講演文集, No. 334, pp. 1-10, (2014)
- [3] 株式会社ゴルフ用品会社: 2013 年度版韓国ゴルフ白書, (2013)