

ハイスピードカメラを用いた卓球のサービスにおける ピン球の回転の3次元自動計測と可視化

○大野 貴昭* 小林 峻平* 佐倉 康* 地頭 知章* 森 翔一* 矢島 駿* 河野 清尊*
* 米子工業高等専門学校

3-dimensional automatic measurement and visualization for revolution of a table tennis ball using two high speed cameras

○Takaaki OHNO*, Shunpei KOBAYASHI*, Yasushi SAKURA*, Tomoaki JITO*, Shouichi MORI*, Shun YAJIMA*, Kiyotaka KOHNO*
*National Institute of Technology, Yonago Collage

Abstract: We proposed 3-dimensional automatic measurement method for revolution of a table tennis ball in our past study. We developed a prototype system using two high speed digital cameras, mini table-tennis table and PC. In this paper, we present the results of 3-dimensional automatic measurement and visualization for revolution of a table tennis ball and the effectiveness of our prototype system.

1. 緒言

卓球競技においては、ピン球の回転や球速を表示するスピードガンに相当するものが実用化されていない。これは、卓球台が狭い (274cm×152.5cm) うえに、ピン球の回転と球速が最大で約 200 回転/秒 [rps] および 100[km/h] と極めて速く、3次元計測が困難であることが理由として挙げられる。

そこで、我々は、2台のハイスピードカメラを用いて卓球のサービスにおけるピン球の回転と球速を3次元で自動計測し可視化・定量化できないかと考え、その計測方法を提案した¹⁾。

本研究では、ミニ卓球台とハイスピードデジカメを用いたプロトタイプシステムの開発を行い、卓球のサービスにおけるピン球の回転と球速の可視化の実現に取り組んだ。

2. ピン球の回転の定義

座標軸、回転軸、回転方向と回転の種類、回転数および球速を以下のように定義する¹⁾。

[1] 座標軸

卓球台のサイドラインに平行な方向を x 軸、エンドラインに平行な方向を z 軸、プレイングサーフェイスに鉛直な方向を y 軸とするとともに、各軸の正方向を Fig.1 のように定義する。

サービスは x 軸の正方向に向けて打ち出されるものとする。

また、ハイスピードカメラは卓球台の両サイドに置くものとし、その撮影方向を x' 軸、z' 軸とし、それぞれ y 軸正方向から原点を見て反時計回りに 45° 回転させたものと定義する。

[2] 回転軸

Fig.2 に示すように、回転軸を xy 平面、yz 平面それぞれからの傾き θ_{xy} 、 θ_{yz} で表す。 θ_{xy} は z 軸正方向への傾きを正、負方向への傾きを負、 θ_{yz} は x 軸正方向への傾きを正、負方向への傾きを負とする。

[3] 回転方向と回転の種類

ピン球の回転軸を、y 軸正方向から見て時計回りを右回転、反時計回りを左回転、z 軸正方向から見て時計回りを下回転、反時計回りを上回転と定義する。ジャイロ回転は、x 軸正方向から見て時計回りを右回転、反時計回りを回転とする (Fig.3)。

これにより、x 軸正方向から見たピン球の回転は、

Fig.4 に示すような 10 種類を定義する。

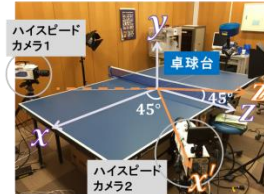


Fig.1 Position of photograph devices and definition of axis

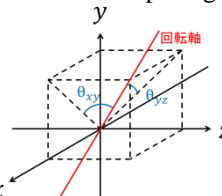


Fig.2 Axis of revolution

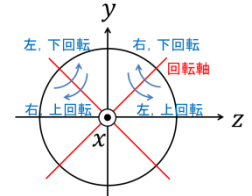


Fig.3 Direction of revolution



Fig.4 Kind of revolutions

[4] 回転数および球速

回転数は、1秒間に何回転したか、すなわち回転/秒 [rps] で表すものとする。また、球速はキロメートル/時 [km/h] で表す。

3. プロトタイプシステムの開発

卓球のサービスにおけるピン球の回転と球速を3次元で計測し、可視化できることを確認するために、プロトタイプシステム (以下、本システムと呼ぶ) の開発に取り組んだ。

3. 1 システム構成

本システムは、省スペース・低コストを考慮して、Fig.5 に示すように、ミニ卓球台と2台のハイスピードデジカメ (CASIO 製「EXILIM EX-100PRO」²⁾) および画像処理用 PC で構成した。

ピン球の回転の認識には、表面のロゴマークを利用するが、本システムでは画像処理を容易にするために、Fig.6 に示すようにロゴマークを黒く塗りつぶした物を使用した。同様に、背景については Fig.7 に示すように黒色とした。

撮影速度については、1000[fps] まで撮影可能であるが、解像度を考慮して 480[fps] (解像度 224×160px)

とした。これにより、1回転の検出に10フレーム必要とすると最大で48[rps]まで計測が可能となる。

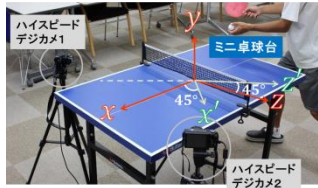


Fig.5 The configuration of prototype system

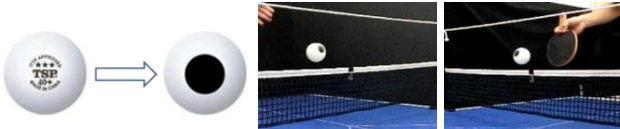


Fig.6 Ball used in the Shooting Fig.7 Examples of capture image

3.2 回転軸・回転方向の判定方法

回転軸および回転方向は、 θ_{xy} と θ_{yz} の値によって、以下のように判定することとした。回転軸および回転方向の例をFig.8に示す。

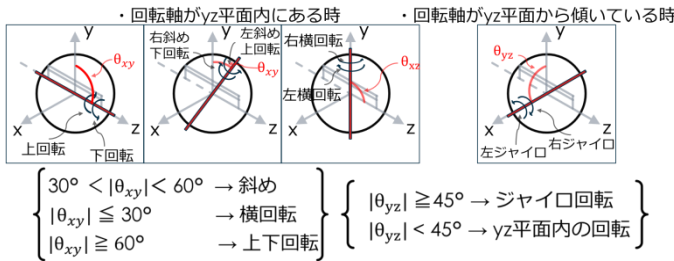


Fig.8 Examples of revolution axis and direction

3.3 画像処理によるピン球の検出

動画画像処理の手順は以下の通りである。

- ① 動画像を読み込み、1フレームごとに取り出す
- ② 背景差分法³⁾により停止物体を除去する
- ③ ピン球を識別し中心座標を求めるとともに、ピン球だけを切り出し2値化する
- ④ 切り出し2値化したピン球画像のサイズを合わせ、マークの中心座標を計測する
- ⑤ 計測開始フレームを決定する
- ⑥ 1回転計測するまで、①~④を繰り返す
- ⑦ ピン球およびマークの中心座標とその軌跡から回転の種類、回転数、回転方向、球速を求める

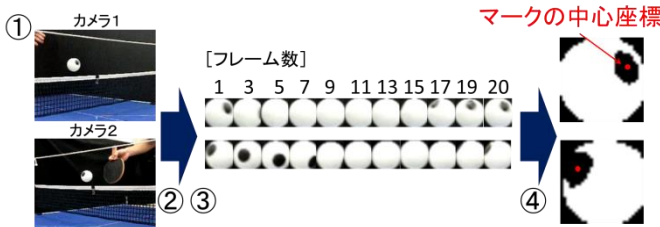


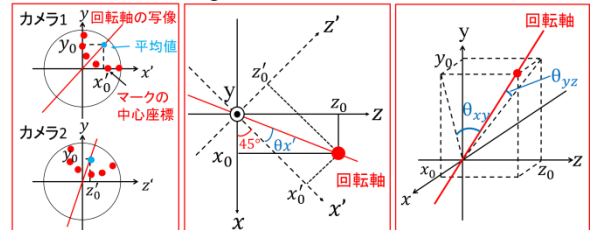
Fig.9 Image processing procedure

3.4 回転・球速の計測方法

[1] 回転軸

2つの動画像から1回転中のマークの中心座標を計測し、それぞれの平均座標を求める。ピン球中心を座標軸の原点とし、求めたマークの平均座標と結ぶことにより、 $x'y$ 平面(カメラ1)および yz 平面(カメラ2)に投影された回転軸の傾きを求める(Fig.10(a)). 次に、 y 座標(y_0)を共通とした時の x' 座標(x'_0)および z' 座標

(z'_0)を求め、 x 座標(x_0)および z 座標(z_0)に変換する(Fig.10(b)). これにより、(1), (2)式を用いて θ_{xy} , θ_{yz} を求める事ができる(Fig.10(c)).



(a) Projected axis (b) Coordinate transformation (c) Angle
Fig.10 Measurement method of revolution axis

$$\theta_{xy} = \tan^{-1} \frac{z_0}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \quad (1) \quad \theta_{yz} = \tan^{-1} \frac{x_0}{\sqrt{y_0^2 + z_0^2}} \quad (2)$$

[2] 回転方向

マークの中心座標の変化を記録し、回転軸をまたぐときの方向により、回転の左右・上下を判定する。

[3] 回転数

マークの中心座標が再び同じ場所に現れるまでのフレーム数 n を求める。撮影速度480[fps]の場合、回転数 N は $N=480/(n-1)$ で求めることができる。

[4] 球速

1回転中に移動するピン球の始点と終点の座標から三平方の定理より距離 L を、始点終点時の計測半径の平均 R を求める。実物のピン球半径を20mmとすると球速 S [km/h]は以下の式で求めることができる。

$$S = \frac{L}{R \cos 45^\circ} \times \frac{480}{n} \times 20 \times 10^{-6} \times 3600 \quad (3)$$

3.5 アプリケーションの開発

Fig.11にVisualStudio2015C#を用いて作成したアプリケーションの動作画面を示す。

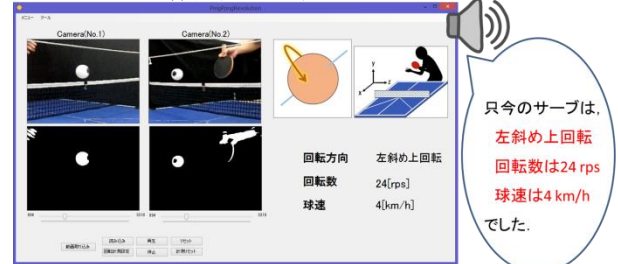


Fig.11 Execution screen of program

4. 結言

本研究では、プロトタイプシステムの開発を行い、卓球のサーブにおけるピン球の回転と球速の可視化が行えることを確認した。今後の課題を以下に示す。

- ① 専用ハイスピードカメラを用いたリアルタイム化
- ② 競技会場で使うための、撮影速度、照明、画像処理方法等の検討
- ③ 選手の競技力向上に役立つシステムの構築

参考文献

- 1) 大野貴昭・河野清尊：ハイスピードカメラを用いた卓球のサーブにおけるピン球の回転の自動計測と3次元解析、第24回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.200-201.
- 2) CASIO, EX-100PRO, http://casio.jp/dc/products/ex_100pro/
- 3) 末松良一・山田宏尚：画像処理工学, p193-195, コロナ社, (2000)