

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

○大野 貴昭* 河野 清尊*

* 米子工業高等専門学校

Automatic measurement about revolution of served a table tennis ball from videos recorded by High Speed Camera and three dimensional analysis

○Takaaki OHNO* and Kiyotaka KOHNO*
*National Institute of Technology, Yonago Collage

Abstract: We propose a automatic measurement method about revolution of served a table tennis ball. Revolution is defined as revolution axis, revolution direction and revolution speed. They are measured by performing image processing to videos recorded by two High Speed Cameras. In addition, we perform three dimensional analysis based on a measurement results.

1. 緒言

平成 25 年度末に本校電子制御工学科に導入された「リアルタイム複合画像統合計測分析システム」は、動作解析用カメラ 8 台と動作解析用ソフト、ハイスピードカメラ 2 台と 3 次元解析用ソフト、眼球運動追跡装置、生体信号計測装置及び 3D プリンタから構成されている。

このシステムを用いた卓球の研究の第一歩として、本研究では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自動計測と 3 次元解析に取り組んだ。

2. ピン球の回転の定義と検出方法

2. 1 回転の定義

[1] 座標軸の定義

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。また，サービスは x 軸正方向に向かって打ち出されるものとし，ハイスピードカメラは，ネットと同じ高さで x 軸に対して $\pm 45^\circ$ の角度から，卓球台の中心に向かって撮影するものとする。

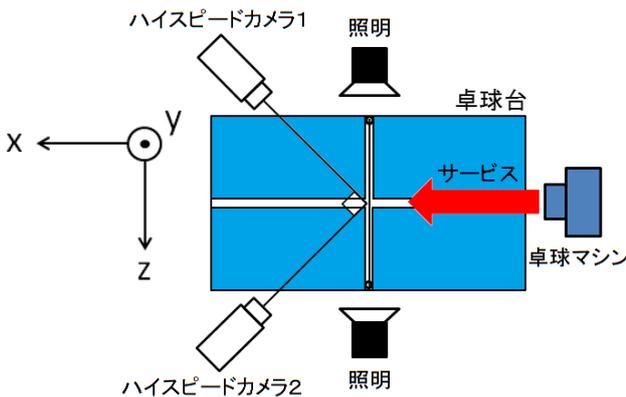


Fig.1 Position of photograph devices

[2] 回転軸

yz 平面および xz 平面からの傾きで表すものとする。

[3] 回転方向

Fig.2 のように，ピン球の中心を原点とする座標軸を考え，回転軸を第 I 象限または第 IV 象限から原点方向に見て，時計回りを正，反時計回りを負と定義する。ただし，回転軸が y 軸上にあるときは y 軸の正方向から原点を見るものとする。

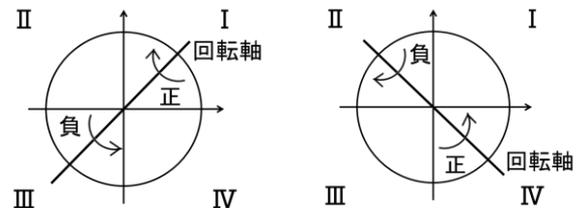


Fig.2 Example of revolution direction

[4] 回転数

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。

2. 2 検出方法

ピン球にはメーカーのロゴマークがあるので，これを利用して回転を検出する。本研究では Fig.3 に示すように，マークを黒く塗り潰して，画像処理で扱いやすいようにした。

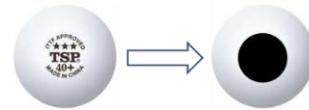


Fig.3 Ball for recording videos

3. 撮影方法

ハイスピードカメラは，(株)ナックイメージテクノロジー製の「MEMRECAM HX-6」を使用した。このカメラは，最大で約 67 万フレーム/秒[fps]の超高速撮影ができ，しかも 2 台を同期させて撮影を行うことで，軌跡などの 3 次元解析が行えるものである¹⁾。ピン球の回転の最大値を約 160[rps]，1 回転に少なくとも 10 フレームの画像が必要であるとすると，撮影速度は 1600[fps]以上が必要となる。そこで，本研究では 2000[fps]で撮影を行うことにし，撮影時の解像度を 1280×720px とした。

ハイスピードカメラ 1, 2 で撮影した動画像から、ピン球の 1 回転中の画像を 5 フレーム毎に抜き出したものを Fig.4 に示す。これより、1 回転中に約 50 フレーム撮影しているためこのピン球の回転数は約 40[rps]であることが分かる。

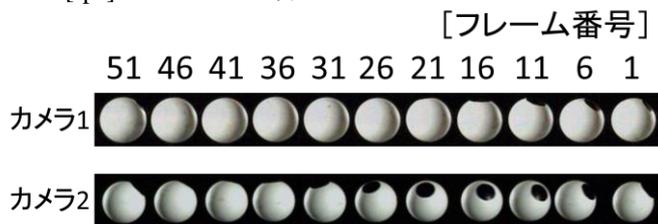


Fig.4 Images during one revolution

4. 動画像処理による回転の自動計測

4. 1 動画像処理手順

撮影・保存された動画像に、以下の画像処理を行う。

- ① 動画像を読み込み、1 フレーム毎に取り出す
- ② 背景差分法²⁾によりノイズを消去し、円検出³⁾によりピン球を識別し切り出す
- ③ 各フレームをモノクロ 2 値化する
- ④ 切り出したピン球の画像からマークを検出し、その中心座標を求める

4. 2 ピン球の回転の計測方法

[1] 回転軸

x, z 軸を、 y 軸正方向から原点をみて反時計回りに 45° 回転させたものを $x'yz'$ 座標系と定義し、撮影・保存した 2 つの動画像から得た $x'y$ 平面及び yz' 平面上に投影された回転軸から、この座標系上での 3 次元的な回転軸を求める。動画像から得られる回転軸は、Fig.5 に示すように、求めたマークの中心の x' 座標と y 座標または y 座標と z' 座標の平均値をとり、これとピン球の中心とを結ぶ直線として求めることができる。さらに、求めた回転軸を座標変換により xyz 座標系に表し、各平面からの傾きを求める。

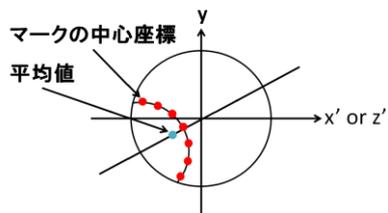


Fig.5 Measurement method of revolution axis

[2] 回転方向

ハイスピードカメラ 1 で撮影した動画像において、Fig.6(a)に示すように、マークの中心座標が回転軸を上から下に跨ぐ場合を負、下から上に跨ぐ場合を正として識別する。Fig.6(b)のようにマークの中心座標が回転軸を 2 度跨ぐ場合は、原点により近い位置で回転軸を跨ぐ方を同様に識別する。

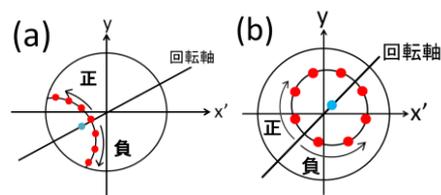


Fig.6 Measurement method of revolution direction

[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 2000[fps] の場合、回転数 N は $N=2000/(n-1)$ で求められる。

5. ピン球の回転の計測結果

Fig.4 で示したピン球より、それぞれの各フレームのマークの中心座標及び平均値を求めると Fig.7 のようになる。Fig.7 より、回転軸、回転方向、回転数を求める。

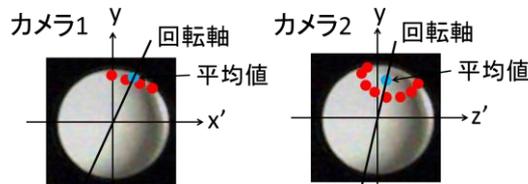


Fig.7 Measurement results

【回転軸】

任意の y 座標における x', z' 座標を求め、回転軸を $x'yz'$ 座標系に表し、 xyz 座標系への座標変換を行うと、 yz 平面からの傾き $\theta_{yz} \approx 10^\circ$ 、 xz 平面からの傾き $\theta_{xz} \approx 64^\circ$ であることがわかる。

【回転方向】

Fig.7(a)より、マークの中心座標は回転軸に対して下から上に跨いでいることが分かるので、回転方向は正（時計回り）である。

【回転数】

ピン球の 1 回転中に約 50 フレーム撮影しているため、回転数 N は $N=2000/50=40$ [rps] となる。

6. 結言

本稿では、卓球のサービスにおけるピン球の回転を定義して、検出方法を提案するとともに、ハイスピードカメラで撮影した動画像から回転を検出できることを確認した。

今後の課題としては以下のものが挙げられる。

- ① 回転の自動計測を行うプログラムの作成
- ② 90° 曲がるサービスの打球方法についての考察

参考文献

- 1) nac Image Technology, <https://www.nacinc.jp/analysis/memrecam-hx-3hx-4hx-5hx-6/>
- 2) 末松良一, 山田宏尚, 画像処理工学, コロナ社, p193-195
- 3) opencv 2.2 documentation 特徴検出 http://opencv.jp/opencv-2svn/cpp/feature_detection.html