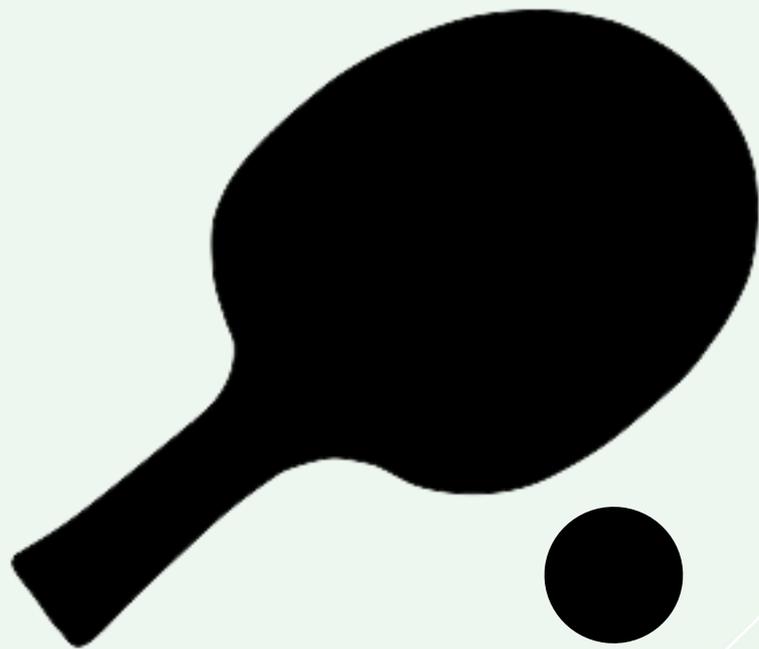


ピンポン・レボリューション

～ 卓球サーブ 3次元計測表示システム～



課題部門
登録番号10004

1. 背景と目的

ロンドン五輪に続いて、リオ五輪、そして東京五輪でメダルが期待される卓球競技。その卓球競技を、会場の**観衆**やテレビの前の**視聴者**にとって、より魅力あるものにしたと考えました。

そこで、私たちは「**サーブの回転&球速の可視化**」を提案します。



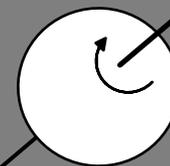
【出典：Youtube】 [Men's Table Tennis Singles Gold Medal Match-china v china | London 2012 -2012/8/2](https://www.youtube.com/watch?v=yiqFxDx2WW4)
<https://www.youtube.com/watch?v=yiqFxDx2WW4>

卓球競技において**サーブ**は勝敗の行方を左右する重要な要素であり技術です。選手がどのようなサーブを出したのか、そのサーブを定量的に知ることができたら、すなわち、サーブの**回転**と**球速**を可視化することができたら、きっと卓球がもっと面白くなるのではないかと考えました。

～実況アナウンサーの解説～

ただ今のサーブは
右斜め下回転
回転数は80rps
球速は10km/h
でした。

～画面表示～

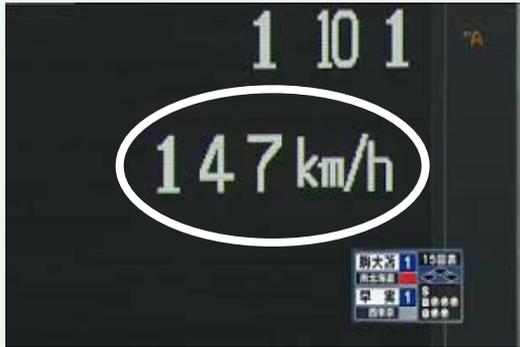


右斜め下回転
回転数：80rps
球速：10km/h

1. 背景と目的 (続き)

スピードガンを用いて、野球ではピッチャーの投球の球速が、テニスではサーブの球速が、バレーボールではスパイクの球速が、それぞれ会場の電光掲示板やテレビ画面に表示され、観る人を楽しませてくれています。

[野球]



【出典：Google画像検索】

<http://pinkpepper.blog47.fc2.com/blog-date-20060821.html>

[テニス]



【出典：Youtube】

2015Day5Highlights,NovakDjokovicvsBernardTomich-2015/7/3

<https://www.youtube.com/watch?v=38Qq6LRkN2E>

[バレーボール]



【出典：Sportsnavi】

<http://sports.yahoo.co.jp/video/player/101704>

しかし・・・卓球競技には、このようなスピードガンに相当するものはありません。



そこで、私たちは、2台のハイスピードカメラを用いて、卓球のサーブにおけるピン球の回転の種類・回転数および球速を3次元で自動計測し表示する『ピンポン・レボリューション (Ping Pong Revolution: 以下PPRと呼ぶ)』を開発することにしました。

(ピン球の移動軌跡や台上のバウンド位置など『コース』についての計測・表示は今後開発する予定です。)

2. システムの概要

(1) システムの構成

本システムは、卓球台の両サイドに設置した2台のハイスピードカメラおよび画像処理用PCで構成します。

しかし、
プロコンでは



・省スペース
・低コスト
を目指して

ミニ卓球台と2台のハイスピードデジカメおよび画像処理用PCで構成するプロタイプシステムを開発することにしました。



ハイスピードカメラ：
(株)ナックイメージテクノロジー製
MEMRECAM HX-6 (LAN接続)

図1. PPRシステム構成



ハイスピードデジカメ：
CASIO製 EXILIM EX-100PRO
(USBケーブル接続 & Wi-Fi接続)

図2. PPRプロタイプシステムの構成

2. システムの概要 (続き)

(2) システムの機能

選手の打ち出す両方向のサーブの回転の種類、回転数および球速を、ピン球のイラストを使って、PC画面およびタブレットに表示します。

【回転の種類 (10種類)】 (奥側コートから手前側にサーブが打ち出された場合。括弧内は逆方向の場合)

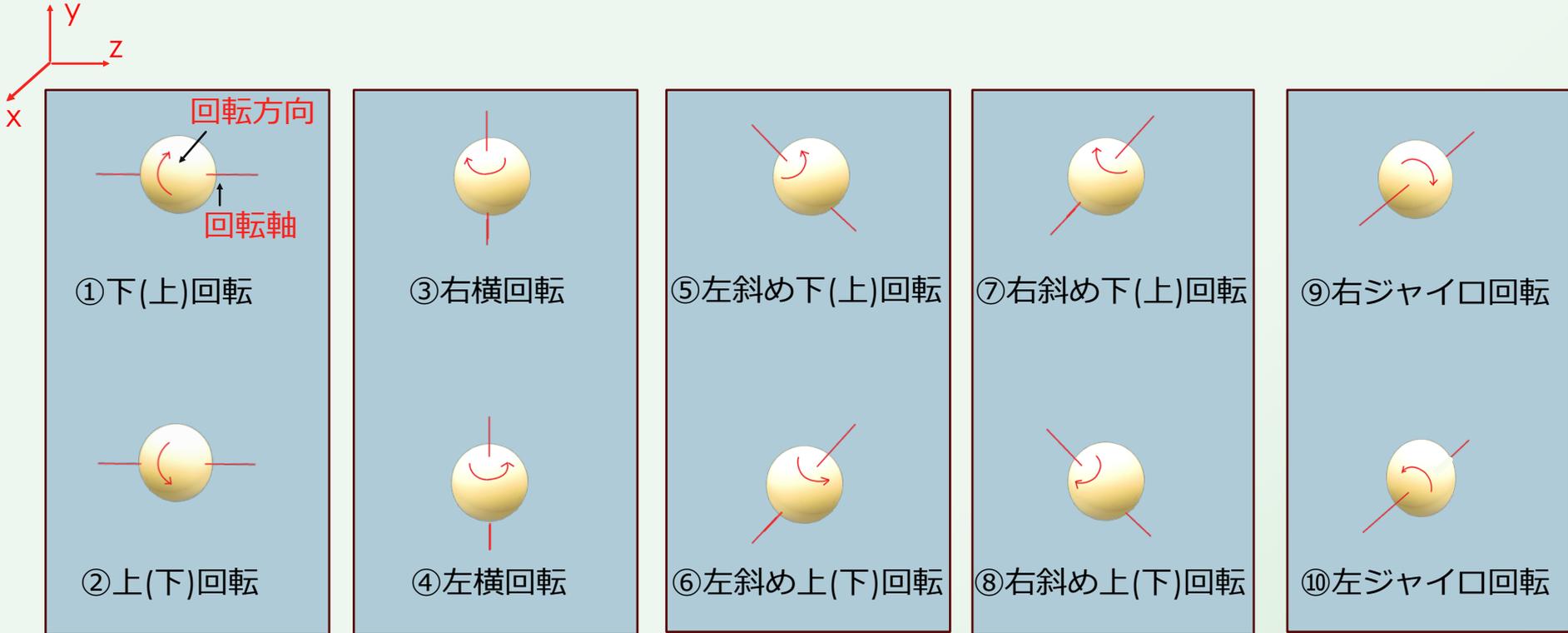


図3. 回転の種類

【回転数】 1秒間の回転数で表します。
単位は[回転/秒] = [rps]

【球速】 時速で表します。
単位は[km/h]

3. 対象者と独創的な点

【対象者】

- ①卓球会場で観戦する**観客**
 - ②テレビの前で観戦する**視聴者**
 - ③卓球会場で競技を運営する
卓球連盟・協会の関係者
 - ④卓球会場で競技を放映する
テレビ局の関係者
- } 観る人
- } 使う人

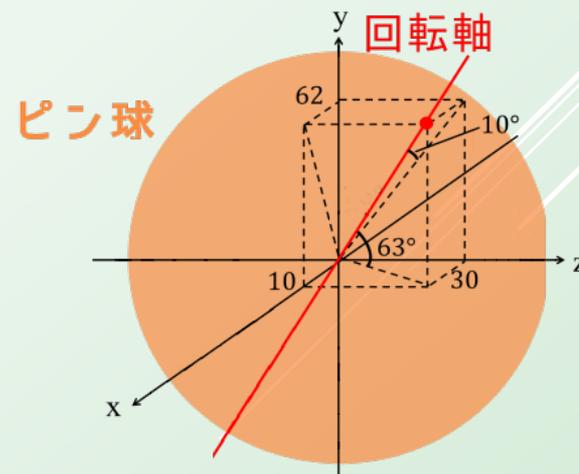


【出典：Google画像検索】

<https://www.nittaku.com/tournament/detail.php?id=198>

【独創的な点】

ハイスピードカメラ（あるいはハイスピードデジカメ）2台を用いて、ピン球の回転の3次元計測(回転軸・回転方向・回転数)を動画像処理を用いて行うところです。



4. ピン球の回転の検出方法

【座標軸の定義】 図3のようにx,y,zおよびx',z'軸を定義する。

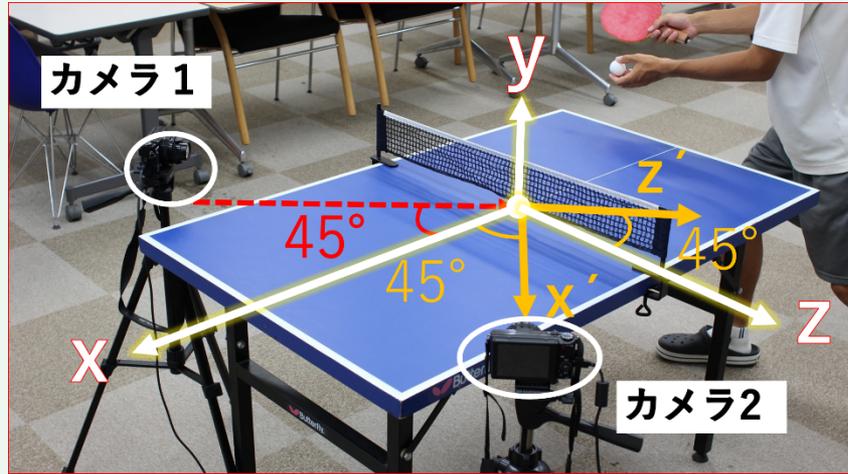


図4. 座標軸の定義



図5.1 カメラ1での撮影画像



図5.2 カメラ2での撮影画像

【回転軸・回転方向の定義】 (1) 回転軸がyz平面内にある場合

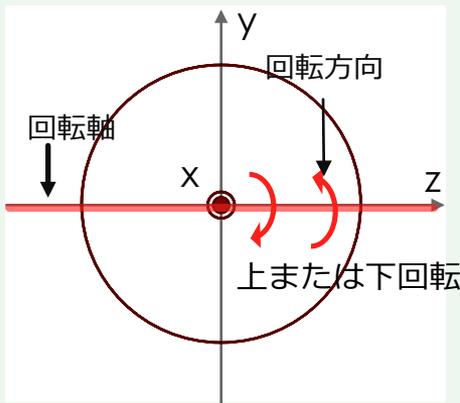


図6.1 回転軸がz軸と重なる場合

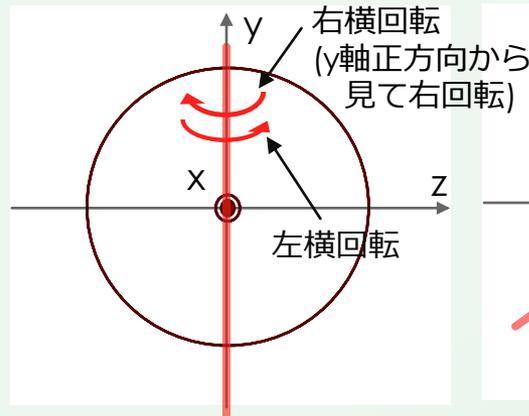


図6.2 回転軸がy軸と重なる場合

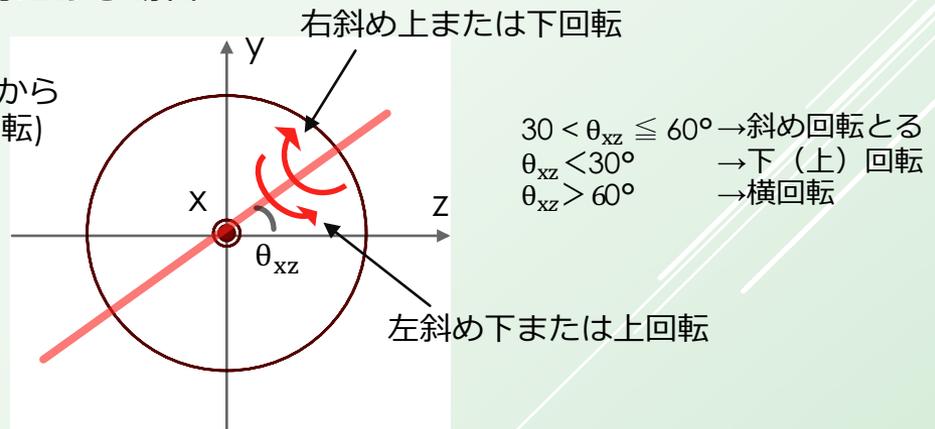


図6.3 回転軸が斜めの場合

4. ピン球の回転の検出方法 (続き)

【回転軸・回転方向の定義(続き)】

(2) 回転軸がyz平面に対して傾いている場合

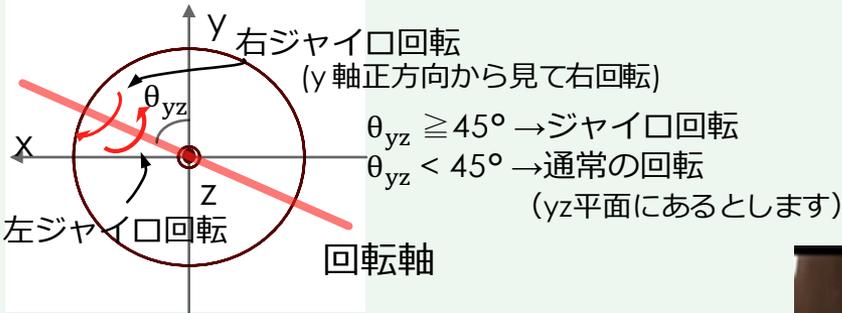


図6.4 ジャイロ回転の場合

【回転軸の求め方】

マークの中心座標の平均値とピン球の中心座標を結ぶことにより回転軸を求めます。yx'平面(カメラ1)とyz'平面(カメラ2)に投影された回転軸の写像x'0, z'0を座標変換しx0, z0を求め、次式で傾きtheta_xz、theta_yzを求めます。

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

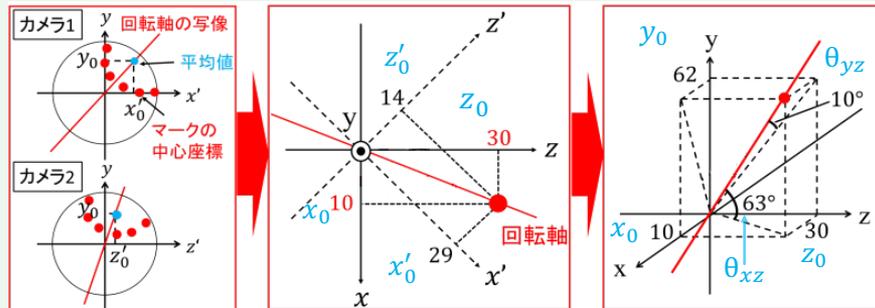


図7 回転軸の求め方

【画像処理によるピン球の検出】

ピン球とそのロゴマークを画像処理で検出します。

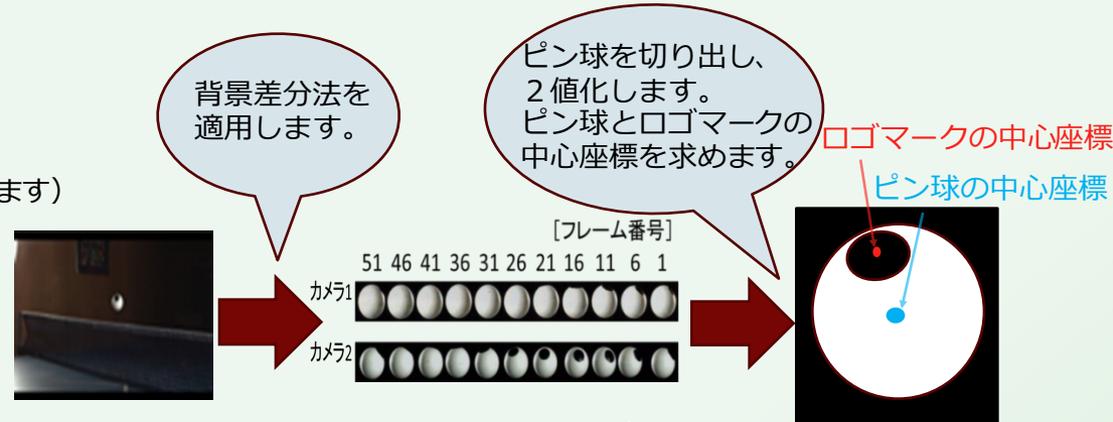


図6.5 画像処理によるピン球の検出方法

【回転数】

$$\text{回転数} = \frac{\text{撮影速度 [fps]}}{1 \text{ 回転のフレーム数 [rps]}}$$

$$\begin{aligned} \theta_{xz} &= \tan^{-1} \frac{y_0}{\sqrt{x_0^2 + z_0^2}} \\ &= \tan^{-1} \frac{62}{\sqrt{10^2 + 30^2}} \\ &\cong 63^\circ \\ \theta_{yz} &= \tan^{-1} \frac{x_0}{\sqrt{y_0^2 + z_0^2}} \\ &= \tan^{-1} \frac{10}{\sqrt{62^2 + 30^2}} \\ &\cong 8^\circ \end{aligned}$$

右斜め下回転

【球速】

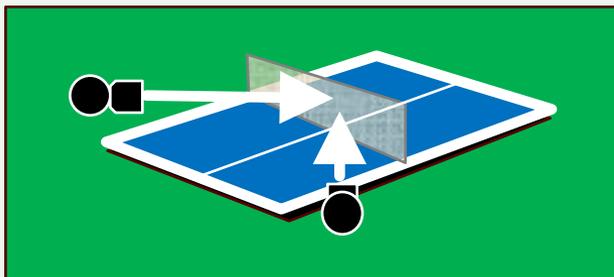
画像内でピン球が見え始めてから消えるまでの時間および距離で求めます。距離はあらかじめ測定しておきます。

$$\text{球速} = \frac{\text{距離 [m]}}{\text{フレーム総数 / 撮影速度}} \times 3.6 \text{ [km/h]}$$

5. 実現にあたっての問題点と解決策

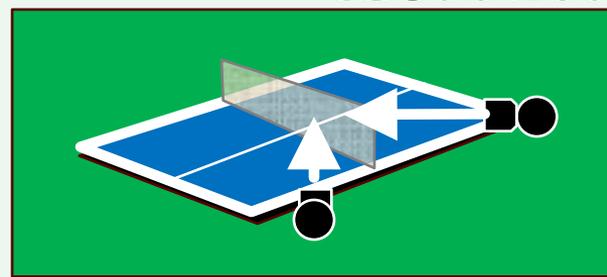
(1) 2台のハイスピードカメラの位置

①同一方向・両サイド⇒現在はこちらを採用しています。



利点：画面上のピン球の出現から消滅までの時間が両カメラでほぼ同じになること。

②同一サイド・両方向⇒会場に合わせてこちらでもできるようにします。



利点：どちら方向のサーブか進行方向の検出が容易になること。

(2) ハイスピードデジカメを用いることによる課題

① 2台のデジカメを同期して撮影することができるか？

⇒CASIOのSynchroShot (Android用) アプリを使用することで、2台のデジカメの同期撮影が可能になります。

②撮影後の動画データ画像データを画像処理用PCに自動的に取り込めるか？

(デジカメの撮影モードとUSB接続モードを自動的に切り替えられるか？)

⇒デジカメで撮影後、USBケーブルをPCに繋いで画像データを取り込みますが、再び撮影しようとするUSBケーブルを切り離さなければなりません。そこで、自動切り替えUSBハブを自作しようと考えています。

(3) リアルタイム化はできるか？

サーブを出し終わり、ポイントが決定して、次のサーブ動作に入るまでには計測結果を表示する必要があります。(サーブが出し終わってから約5秒以内)

⇒デジカメを使ったプロトタイプシステムでのリアルタイム化は難しいと考えます。

リアルタイム化を実現するためには専用の機器が必要になります。

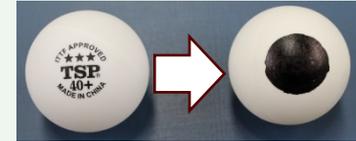
(株)ナックイメージテクノロジー製 MEMRECAM n-Box (リアルタイム転送小型ハイスピードカメラ)

5. 実現にあたっての問題点と解決策（続き）

（4）動画像処理により移動するピン球の認識が可能か？

①ロゴマークを識別できるか？

⇒当面はロゴマークを黒く塗りつぶして画像処理を容易にします。



②ハイスピードカメラの撮影速度[fps]、解像度、照明の問題

⇒最大回転数160[rps]、1回転の検出に10フレーム必要とすると、撮影速度は1600[fps]が必要になります。この速度では専用の照明が必要となってきます。

ハイスピードカメラでは2000[fps]（解像度1280×780px）で撮影が可能ですが、ハイスピードデジカメでは最大1000[fps]（224×64px）、480[fps]（224×160px）、240[fps]（512×384px）または120[fps]（640×480）でしか撮影が行えません。

そこで、プロトタイプシステムでは、回転数を50[rps]程度までとし、480[fps]（224×160px）で撮影して画像処理を試みます。

解像度を上げる必要があれば、240[fps]（512×384px）にしたいと考えています。

この程度の撮影速度であれば、専用の照明は必要ないと考えます。

③計測の開始と終了のタイミング

⇒ネット上を通過するピン球の回転と球速を計測しようと考えています。

したがって、ピン球がコートにバウンドしてから1秒間分のフレーム画像を計測対象とします。

④背景（選手）の動きがピン球の認識に影響を与えるか？

⇒背景差分法をうまく利用してピン球のみを抽出できるように工夫します。

⑤ピン球およびロゴマークの中心座標を正確に抽出できるか？

⇒各フレームで取り出したピン球を同じ大きさに合わせることで誤差を小さくします。

6. 類似品との相違点

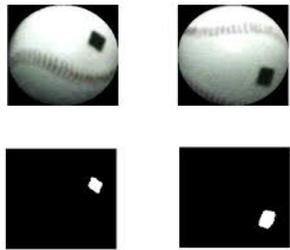
①画像処理を使ったボールの回転の時間測定
(九州工業大学：木村研究室)

②卓球ボール回転測定器
(株式会社ペリテック)

③動く物体を高速トラッキングするカメラ
(東京大学：石川研究室)

【概要】

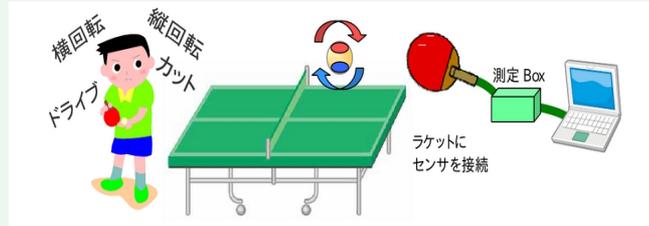
- ・投げられた野球ボールの回転数と回転軸の測定を行います。
- ・一般のデジカメで撮影した動画像から、野球ボールの部分の切り出し、画像処理を用いて野球ボールの縫い目パターンを抽出します。
- ・あらかじめ用意しておいた縫い目パターンと照合して、回転の動きを明らかにします。



【出典：卒業論文（九工大）】

【概要】

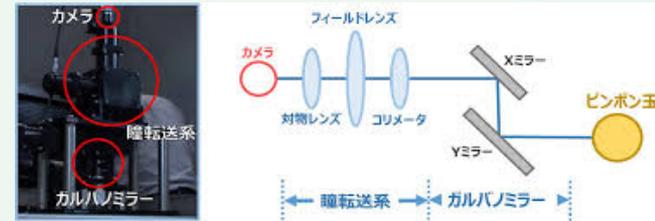
- ・ラケットに付属されているセンサで値を読み取ります。
- ・回転がかかっている方向を8方向で表示します。
- ・回転数、角度、推進力を数値で表示します。
- ・表示されている画面を画像として表示可能です。



【出典：イプロス製造業 製品カタログ】

【概要】

- ・人間の目のように常に動くピンポン玉にフォーカスを合わせるシステムです。
- ・1000分の1秒単位で補正をかけることができる当システムでは、撮影対象に対してプロジェクターを用いて映像を投影することが可能で、動体に対してコンテンツを表示するARアプリケーションも可能です。



【出典：Technity】

<http://www.melt.kyutech.ac.jp/2012/umezu.pdf>

<https://www.ipros.jp/catalog/detail/206160/>

<http://ggsoku.com/tech/ut-developed-high-speed-tracking-system/>

以上のような類似品とをPPRと比較したところ、以下のような違いがわかりました。

| | PPR | (株)ペリテック | 九工大 | 東大 |
|--------------|-----|----------------------|-----|----|
| ハイスピードカメラの使用 | ○ | × ラケットにセンサを取り付ける。 | × | ○ |
| 三次元計測 | ○ | △ | △ | × |
| 回転方向の計測 | ○ | ○ | △ | × |
| 回転数の計測 | ○ | △ | △ | × |
| 球速の計測 | ○ | × | × | ○ |

図8. 類似品との相違点

7. 開発環境・実行環境および開発計画

【開発環境】

- 3次元動画画像処理プログラム開発用PC
 - ・ Windows7 Professional service pack1 64bit
 - メモリ 8GB
 - HDD 1TB
 - プロセッサ Intel® Core™i7-2600
 - ・ 統合開発環境 Microsoft Visual C++ 2010 Express
- タブレット表示アプリ作成用PC
 - ・ MacBookPro
 - MacOSX10.7.4
 - プロセッサ2.4GHz
 - IntelCore2Duo
 - メモリ4GB 1067MHz
 - HDD 250GB
 - ・ Xcode 4.4.1

【実行環境】

- 3次元動画画像処理プログラム実行用PC
 - ・ 開発用と同様
- Androidアプリ実行用端末
 - ・ Nexus 10 Androidバージョン 5.1.1
- ハイスピードデジカメ
 - ・ EXILIM EX-100PRO
 - 動画ファイル形式 MOV形式
 - 記録画素数 最大1000fps(その際224×64px)
 - ワイヤレス転送部
 - IEEE 802.11 b/g/n、1~11ch、WPA2
 - メモリ 32GB
- 表示用タブレット
 - ・ iPadAir3 64GB Wi-Fi+Cellularモデル OS iOS9.3.2

【開発計画】

| 開発種 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 |
|------------------|----|----|----|----|-----|
| 自動切り替えUSBハブの開発 | → | | | | |
| 3次元動画画像処理プログラム開発 | → | | | | |
| タブレット表示プログラム開発 | | → | | | |
| システム動作確認・検証 | | | | → | |
| 本選プレゼン・デモ準備 | | | | | → |