

# 加速度センサーを用いた回転物体の運動解析

Motion analysis of the rotated object using the acceleration sensor.

野田茂穂<sup>1</sup> 姫野龍太郎<sup>1,2</sup> 奥野敬丞<sup>1</sup>

Shigeho NODA<sup>1</sup>, Ryutaro HIMENO<sup>1,2</sup>, and Keisuke OKUNO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 理化学研究所 情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

<sup>1</sup>CEA, ACCC, RIKEN

<sup>2</sup> 理化学研究所 情報基盤センター

<sup>2</sup> ACCC, RIKEN

**Abstract:** Movement of a flying object is determined by the angular velocity in addition to the initial velocity. The flying speed can be measured immediately, but it is not easy to measure the angular velocity immediately. In this report, we discuss about the measurement device and the processing method for obtaining the angular velocity immediately.

## はじめに

これまで我々は球技において流体力が軌跡に及ぼす影響を実験とシミュレーション (Fig 1) で明らかにしてきた。その中でも特に、回転する野球ボールが空気力を受け、軌跡が変化することを詳細に研究してきた。[1] その結果、回転するボールでは回転軸の方向と回転数がわかれば軌跡を予測ができる事がわかっている。

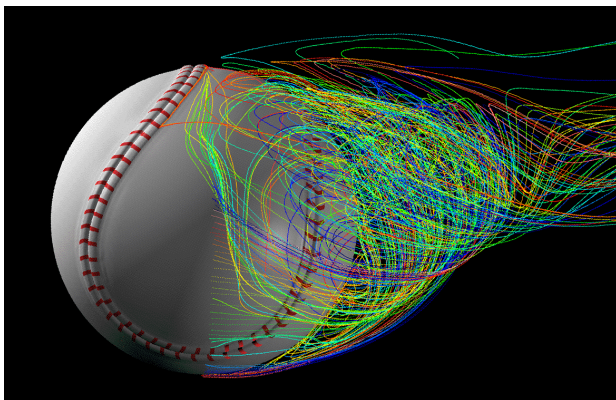


Fig 1 Stream Line around the ball

同様な現象は他の球技でも適用でき、卓球やテニスといったものにも適用できる。

我々は、実験結果やシミュレーションの結果をわかりやすく説明する事にも取り組んでおり、バーチャルリアリティなどを利用したシステムも開発してきた。[2] ビデオ画像からボールの回転数や回転軸の情報を推察し、ボールの軌跡をシミュレーション

し、バーチャルリアリティを用いた説明は、軌跡の変化と回転の情報の違いを体感的に示すことができ、理解を深めることができる。しかしながら、画像処理技術や様々な制約から、即時に競技者にこのような情報をフィードバックすることはできていない。競技者のパフォーマンス向上という視点では、即時に情報を提供することが手技の修正などに活かせる。そこで我々は、リアルタイムなセンシングシステムの構築を目指している。

まずは市販のセンサーを用いてアメフトボールのシミュレータの構築を試みた。結果、市販のセンサーでは様々なセンサーが含まれており、重く電源も長持ちしない。また、測定データのノイズなどでそのままの使用は難しいものがある。そのため我々は飛行中の物体の回転軸と回転数を計測するセンサーシステムを開発した。

## システムの概要

本センサーシステムはセンサー部、通信部、処理部で構成されている。センサー部は複数の三軸加速度センサーで構成されており、加速度センサーの出力値を処理することで回転情報を得ることができる。(Fig 2, Table 1) また、内部のメモリーに記録することができる。通信部はUSB通信と無線通信で構成されており、計測中のデータのモニタリングやメモリーに格納されたデータを取り出すために用いられる。処理部は加速度センサーで取得したデータを処理するソフトウェアであり、通信部を通じて得られたデータをパーソナルコンピュータなどで処理を行う。

処理の結果として回転数、回転軸を得ることができる。

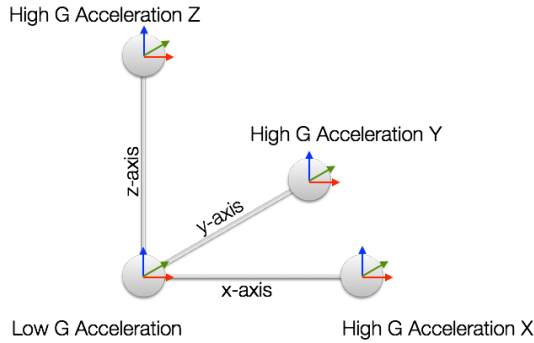


Fig 2 Layout of the sensors

Type	Measuring range
Low G Acceleration Sensor	±5G, ~100Hz
High G Acceleration Sensor	±200G, ~100Hz

Table 1: Type of the sensors

無線通信を用いてセンサー部と処理部を接続することによりタイムラグなく計測結果を競技者に示すことが可能になる。

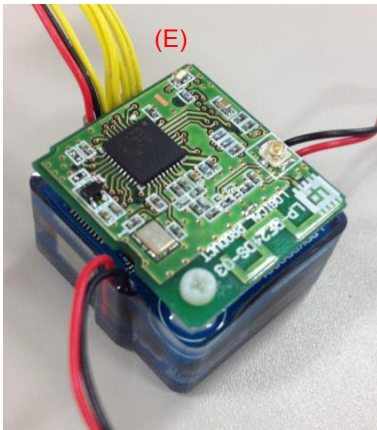


Fig 3: Picture of the sensor with WiFi system.

センサー部は複数の三軸加速度センサーを組み合わせて樹脂で固めることで構成されている。(Fig 3) 加速度センサーは、軽量(Table 2)であり、消費電力も小さいため、長時間の測定が可能となる。加速度センサーで角速度ベクトルを測定するために、設置位置をずらした複数の加速度センサーで同時に計測できるものとした。(Fig 2)

コンポーネント名称	質量
下基板	2.26g
中基板	2.25g
上基板(RF モジュール)	1.70g
電池	2.13g
有線ケーブル	0.74g
樹脂包埋後の重量 (電池 1 個含む)	16.7g

Table 2: Weight of sensor

回転しながら飛翔する物体の運動では、空気力は進行方向逆向きの空気抵抗と回転により生じるマグナス力に分けることができる。

式 1 に回転半径  $r$  の位置にあるセンサーの加速度の式を示す。

$$\ddot{r} = -M_{\omega} a_d + \omega^2 r - \omega^2 (l \cdot r) l \quad (1)$$

$\ddot{r}$  : Acceleration

$M_{\omega}$  : Rotation\_Matrix

$a_d$  : Force\_from\_Air

$\omega$  : Anguler\_Velocity

$r$  : Rotation\_Radius

$l$  : Axis\_of\_rotation

回転マトリクス  $M$  は回転軸と角速度すなわち角速度ベクトルから求めることができる。

右手系の各座標軸の  $dL$  の位置に加速度センサーを配置し、その座標中心にも加速度センサーを配置し、合計四つの加速度センサーを用いている。

加速度センサーの値から角速度は 2 式で求められる。

$$\omega^2 = \frac{(\ddot{r}_X - \ddot{r}_B)_x + (\ddot{r}_Y - \ddot{r}_B)_y + (\ddot{r}_Z - \ddot{r}_B)_z}{2dL} \quad (2)$$

センサーは Fig 4 に示すように 3D プリンターで作成した球体の殻に格納され、表面は硬式野球の革を貼り付けて実際の硬式球と同じ重量になるように調整されている。



Fig 4: The ball with sensor

## テスト結果

テスト投球での計測結果を Fig 5 に示す。投手がモーションを開始し、指からボールがリリースされるときに大きな加速度を検出し、捕球時にはさらに大きな加速度を検出する。Fig 6 Left は飛翔中の各加速度センサーの値をプロットしたものである。回転による周期的な値を示している。1 式を時間平均した処理を行うため、2 次の最小二乗法を用いてデータを平滑化し、処理を行っている。(Fig 6 Right)

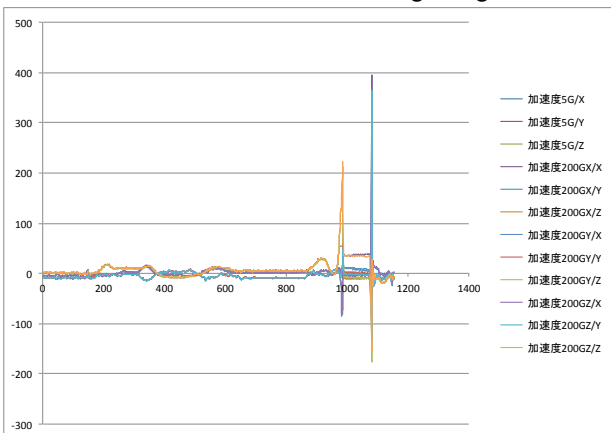


Fig 5 Results of test case.

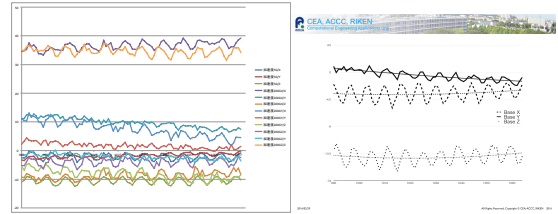


Fig 6 Left : Close up for flying section., Right : The graph of smoothed data.

本テスト結果では回転数が 12[rpm]程度であり、別途開発している高速度ビデオを用いた計測システムと同等な値を示している。

## まとめ

タイムリーにボールの回転情報が得られるセンサーシステムの開発を行っている。高速度ビデオを用いたシステムとの計測結果の評価を行っているところであるが、概ね良好な結果を得ており、今後検証を進めていく。

本システムは比較的安価に作成することもでき、計測結果をタイムリーに競技者にフィードバックすることができ、パフォーマンスの向上に寄与できるシステムとして開発を進めていく。

## 参考文献

- [1] 高見圭太,宮寄武,姫野龍太郎,:バックスピンする球体に働く負のマグナス力 ~飛翔実験による測定~,ながれ, Vol. 28, pp. 347-356, (2009)
- [2] 重谷隆之, 黒川原佳, 吉川広幸, 野田茂穂, 姫野龍太郎,:4D Visualizer を用いたグラフィックス・クラスタの開発, 可視化情, Vol. 24, Suppl. No. 1 (2004 年)