

風洞実験による硬式野球ボールの空力特性 (回転軸の方向の違い)

Aerodynamic force on spinning baseball with change of rotation axis direction by wind tunnel test

○長谷川淳哉 (福岡工業大学大学院) 坂本誠馬 (福岡工業大学) 田多輝洋 (福岡工業大学)
正 鳴尾丈司 (ミズノ株) 正 溝田武人 (福岡工業大学)

Junya Hasegawa, Fukuoka Institute Technology
Seima Sakamoto, Fukuoka Institute Technology
Teruhiro Tada, Fukuoka Institute Technology
Takeshi Naruo, Mizuno Corporation
Taketo Mizota, Fukuoka Institute Technology

With tunnel experiments for aerodynamic force of spinning baseball ball are conducted for various direction of spinning axes. The characteristic side force results in opposite direction by seam arrangements, which we call 2-seam or 4-seam balls.

Key Words: rotation, aerodynamic force, baseball, trajectory, slider

1. はじめに

野球の投手は打者を抑えるために数多くの球種を投げている。直球には2シームや4シーム、変化球にはスライダー、カーブ、フォーク、シュートなどあり個人によりその変化は多種多様である。それらの変化の違いは球速、回転軸、回転数の違いによる飛翔軌道の差である。しかし、ボールの細かい回転軸の傾き具合でどの程度の空力特性及び飛翔軌道の違いが出るのかはまだ分かっていない。今回、回転軸を傾けるため従来の実験装置を改良し、今まで出来なかった細かい角度の調整が可能となった。そこで本研究ではボールの回転軸を 30° おきに 360° 、そして直球時の回転軸から 10° 傾け、その時の空力特性を求める。その結果から軌道計算を行い検証する。

2 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

Photo.1 に風洞装置測定部を示す。従来は上下のパネルにより測定を行っていたが、今回新たに左右にパネルを取り付けることにより様々な回転軸にも対応できるようになった。測定部の中心に硬式野球ボール中心に通した $\phi 10$ [mm] のシャフトを $\phi 0.3$ [mm] のピアノ線により支持する。シャフトにはベアリングが取り付けられており回転するようになっている。さらにアクリル板の細い穴から通してアルミフレームと繋ぐ。このアルミフレームを3分力ロードセルに乗せ空気力を測定する。

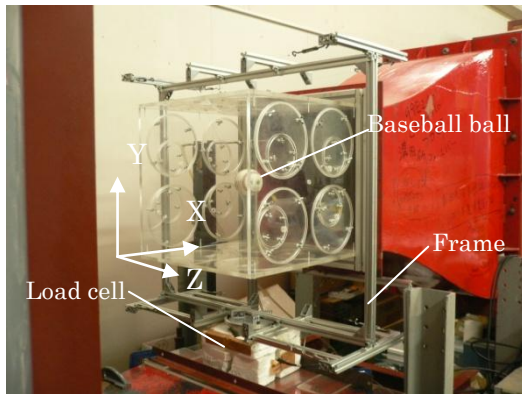


Photo.1 Experimental set-up for force measurement on spinning baseball ball

2.2 フレームの構造

Fig.1 にフレームの構造を示す。フレームはロードセルの上で回転出来るようになっている。しかし、風洞壁があるため最大 15° までの可動しか出来ない、そこで左右の風洞壁にアクリルパネルを取り付けることによりあらゆる角度が取れるようにしている。

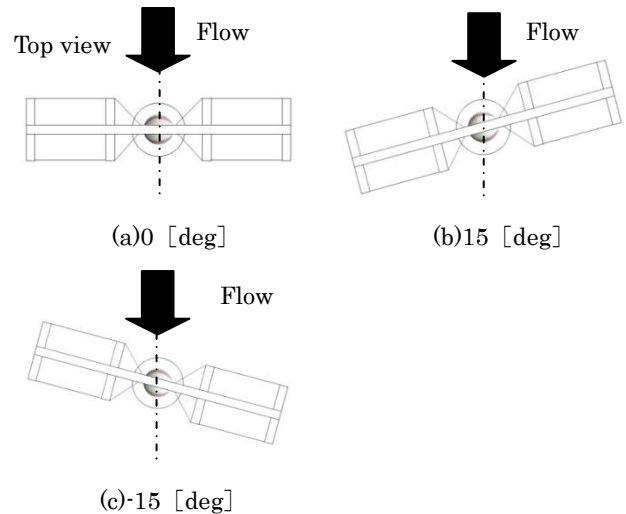


Fig.1 Ball rotation direction ($-15^\circ \sim +15^\circ$)

2.3 実験方法

実験はバックスピンをする4シームの直球を 0° とし、そこから 30° 置きに 360° 横に回転軸を傾けていく。風速は $32\sim 44$ [m/s] の範囲で 2 [m/s] ずつ変化させる。ボールの回転はエアコンプレッサーの圧縮空気をボールの円周上に噴射し $70\sim 80$ [rps] まで回転させる。その後 $60\rightarrow 10$ [rps] まで回転数が減衰する過程で、抗力、揚力、横力を測定する。

2.4 実験に使用する無次元量

回転するボールに加わる空気力の (X, Y, Z) 方向の力を抗力 D [N]、揚力 L [N]、横力 S [N] で表す。ピアノ線に加わる抗力は抗力の測定値から差し引いている。抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、横力係数 C_S の空力3分力は次式で定義する。また、他の無次元量のレイノルズ数 Re とスピンパラメータ Sp も次式

に示す.

$$C_D = \frac{2D}{\rho U^2 A} \quad C_L = \frac{2L}{\rho U^2 A} \quad C_S = \frac{2S}{\rho U^2 A}$$

$$S_p = \frac{\pi d N}{U} \quad Re = \frac{Ud}{\nu}$$

U : 流速 [m/s], ρ : 空気密度 [kg/m³],

d : ボール直径 [m]

A : ボール直径断面積[m²], ν : 動粘性係数 [m²/s]

N : ボールの回転数 [rps]

主流方向に対する回転軸方向の関係を決めれば、空気力はレイノルズ数 Re とスピンパラメータ S_p で表すことができることが次元解析からわかっている。

3. 実験結果

3.1 回転軸を $\phi=60^\circ \sim 120^\circ$ 傾けた場合の3分力測定結果

(a) 回転軸角度 $\phi=90^\circ$ の時

Fig. 2 に流速 32~44 [m/s]、投手側から観て時計周りの時の抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、横力係数 C_S の測定結果を示す。抗力係数は S_p が上がるにつれて下がり、揚力、横力は 0 である。

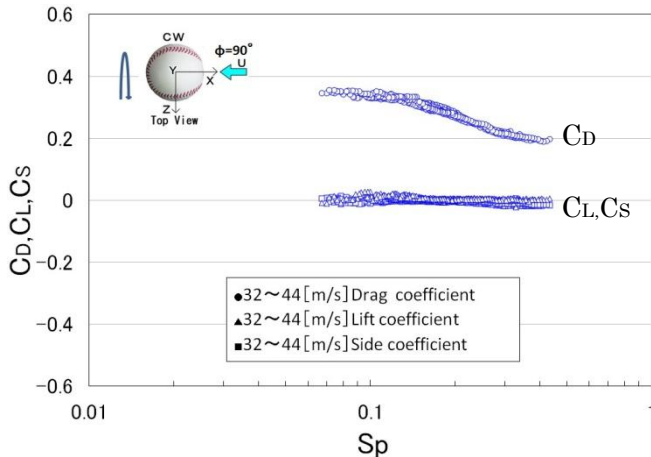


Fig. 2 Aerodynamic forces on spinning ball with rotation axis' s angle $\phi=90^\circ$ with C.W. rotation

(b) 回転軸角度 $\phi=60^\circ$ (C.W)の時

Fig. 3(a) にボールの回転軸が投手から観て1塁側に $\phi=60^\circ$ 傾いた場合で、時計回り (C.W) に回転させた場合の結果を示す。この時、揚力、抗力は直球時 ($\phi=0^\circ$) のように S_p が高くなるにつれて上がっていく。また横力がマイナス側に作用する。

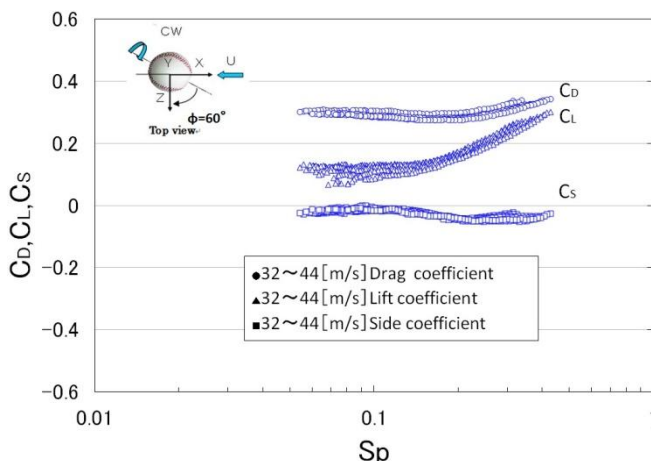


Fig. 3(a) Aerodynamic forces on spinning ball with rotation axis' s angle $\phi=60^\circ$ with C.W. rotation

(c) 回転軸角度 $\phi=60^\circ$ (C.C.W)の時

Fig. 3(b) にボールの回転軸が投手から観て1塁側 $\phi=60^\circ$ 傾いた場合で、反時計回り (C.C.W) に回転させた場合の結果を示す。

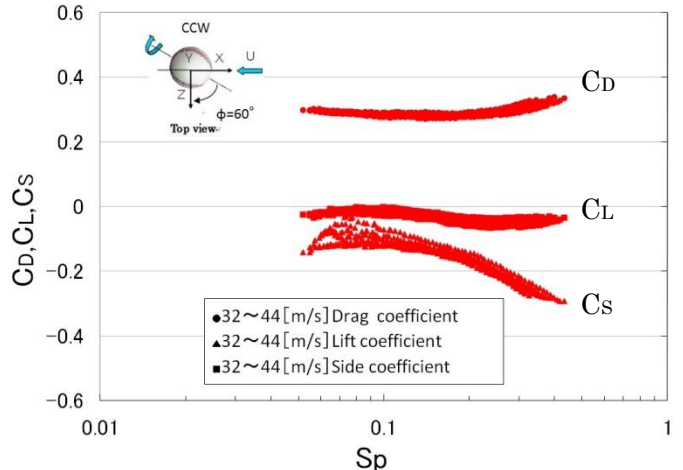


Fig. 3(b) Aerodynamic forces on spinning ball with rotation axis' s angle $\phi=60^\circ$ with C.C.W. rotation

Fig. 3(a) と比べて抗力係数 C_D はほぼ同等の値を示した。揚力係数 C_L はマイナス値を示し、(a) とは対称的な値を示している。横力係数 C_S は前のグラフと同等である、これによりボールは3塁側に曲がる。揚力に関してはレイノルズ数による依存性が見られるが、Fig. 3(a) に比べ抗力、横力は同じ、揚力是对称に出ているので精度のよい実験結果となった。

(d) 回転軸角度 $\phi=30^\circ$ の時

Fig. 4 はボールの回転軸が投手から観て1塁側に $\phi=30^\circ$ 傾いた場合で、時計回り (C.W) に回転させた場合の結果を示す。この時、抗力係数 C_D は $\phi=60^\circ$ より高い値を示し、 0° に近づく結果となった。揚力係数 C_L は S_p が低い領域では値が下がっているが、高い S_p 領域ではより直球時の揚力係数に近づいている。横力係数 C_S は $\phi=60^\circ$ 時より大きい値を示しており、ボールは3塁側に大きくシフトする。

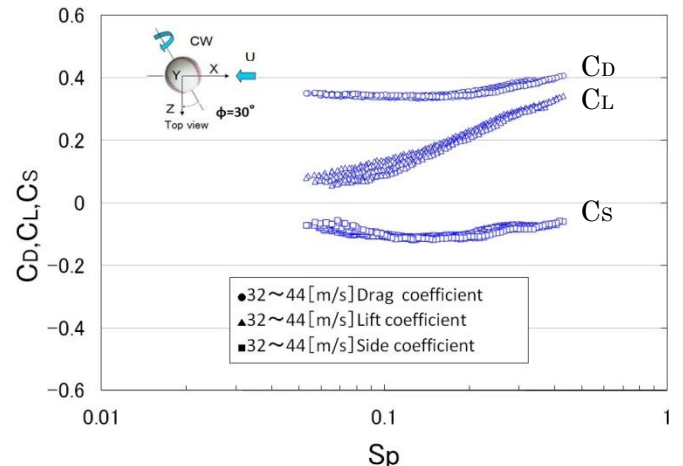


Fig. 4 Aerodynamic forces on spinning ball with rotation axis' s angle $\phi=30^\circ$ with C.W. rotation

3.2 回転軸が $\phi=0\sim 90^\circ$ 時の空力特性

前述で述べた $\phi=30\sim 90^\circ$ に直球時の $\phi=0^\circ$ を加えたグラフを Fig. 5 に示す。グラフを見やすくするため、それぞれの係数を近似曲線で表示する。 $\phi=0^\circ \sim 90^\circ$ の範囲で抗力係数 $\phi=90^\circ$ の時は S_p が上がると抗力係数が下がるが $\theta=0^\circ \sim 60^\circ$ の場合 S_p が高くなるにつれ抗力係数は上昇する。また $\theta=0^\circ$ に近づくにつれて抗力係数の全体の値が上昇する結果となった。揚力係数 C_L は $\phi=0^\circ \sim 90^\circ$ になるにつれて 0 から徐々に減少していく傾向となった。横力係数 C_S は $\phi=0^\circ \sim 30^\circ$ の

範囲で力が 0 から上昇し $\phi=30^\circ$ で最大になるが、 $\phi=60^\circ$ で再び力が現象して $\phi=90^\circ$ で再び 0 になる結果となった。これらの結果から直球から回転軸を横にわずかに変化をつけた場合、直球時の軌道で横にスライドするので打者にとって厄介なボールになると思われる。

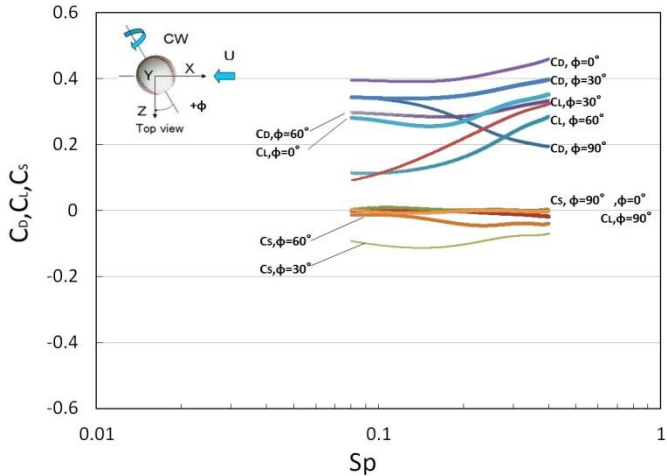


Fig. 5 Aerodynamic force with C.W. rotation $\phi=0\sim 90^\circ$

3.3 回転軸が $\phi=10^\circ \sim 30^\circ$ 時の空力特性

先の結果より直球時の回転軸から角度を横に傾けると横力が生じることがわかった。そこでより細かい 10° 毎で空力特性を測定した。Fig. 6 に $10^\circ \sim 30^\circ$ の空力特性を近似曲線にしてまとめたものを示す。このグラフから 10° の角度の場合でも横力が発生していることが分かる。また抗力係数と揚力係数は 0° 時の時とほぼ同等の値を示している。つまりわずか 10° 傾けるだけで直球に近い威力のボールが横にスライドすることになる。この時の横力は実際にマウンドからホームベースまで投げた場合どの程度曲がるかは後に述べる軌道計算で明らかにする。

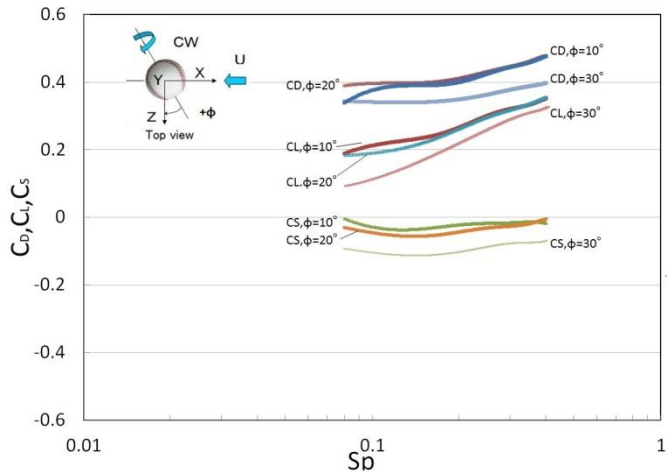


Fig. 6 Aerodynamic force with C.W. rotation $\phi=10^\circ \sim 30^\circ$

4. 風洞実験に基づく 3 次元飛翔軌道計算

過去に述べた $0^\circ \sim 90^\circ$ 時の空力特性の近似曲線より 6 次の近似式を求め、時間ステップを $\Delta t=0.001$ 秒で 3 次元軌道計算を行った。計算結果を Fig. 7(a) 3 塁側から見た軌道、(b) 上空から見た軌道。 (c) では捕手から見た図。さらに、 $0^\circ \sim 30^\circ$ までの 10° おきの軌道計算を Fig. 7(a)、Fig. 7(b)、Fig. 7(c) に示す。それぞれの軌道はピッチャーのマウンドからホームベースまでを想定している。

Fig. 7(a) の 3 塁側から見た軌道計算によると、回転軸が 0° から 90° になるにつれてボールは落ちやすくなる。また回転軸がマイナス側に働くと揚力が負に働くのでボールは 180° になるにつれて落ちやすくなる。

Fig. 7(b) の上空からの観察では、回転軸方向がプラスの際は 1 塁側に曲がる。またその力は 60° で最大となる。回転軸方向がマイナスの場合は 3 塁側に曲がり、横力はプラス側とほぼ同等の力が出ている。

Fig. 7(c) の捕手目線からの軌道では 30° で最大 0.31 [m] 横に動く、直球時 $\phi=0^\circ$ より 0.14 [m] 落ちるボールとなる。 $\phi=150^\circ$ では 0.35 [m] $\phi=30^\circ$ 時の反対方向の横力が生じた。また、直球時より 1.61 [m] ボールが落ちる。これは投手から見てボールがトックスピンになっているからである。

Fig. 8(a) に回転軸が $0^\circ \sim 30^\circ$ で 3 塁側から見た軌道計算を示す。 30° の場合では軌道が他と比べて落ちているが、 $0^\circ \sim 20^\circ$ まででは軌道はほとんど同じ落ち方をする。

Fig. 8(b) は回転軸が $0^\circ \sim 30^\circ$ 時の上空から見た軌道計算である。この時、 20° では 3 塁側に 0.13 [m] 動く計算となる。

これはボール約 2 つ分に近いもので、もし投手がこの角度を自在に操れば打者にとって極めて打ちづらいボールになるだろうと思われる。

Fig. 8(c) では $0^\circ \sim 30^\circ$ 時の捕手目線の軌道である。 20° では、 0.13 [m] 横に動く。また、直球時 $\theta=0^\circ$ よりボール 0.03 [m] 落ちる。 10° の場合、 0.07 [m] 横に動き、直球時より 0.01 [m] 落ちるボールとなる。

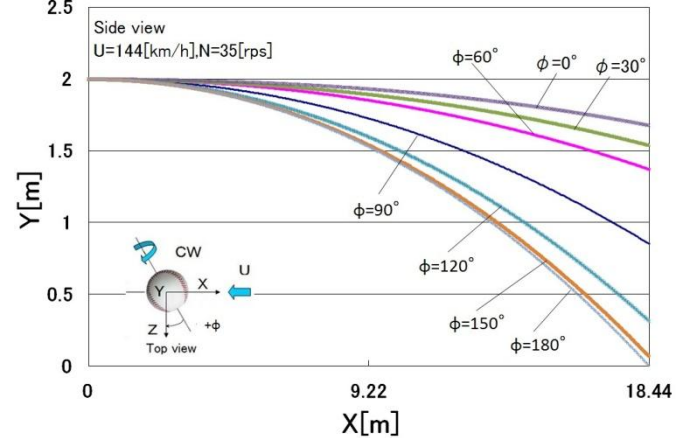


Fig. 7(a) Ball trajectory of X-Y plane

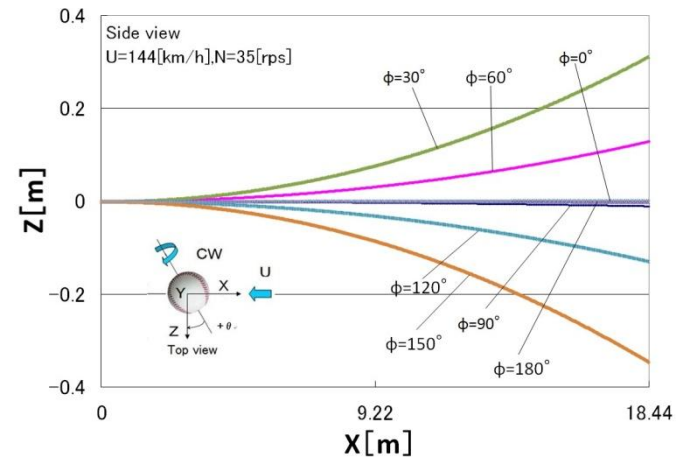


Fig. 7(b) Ball trajectory of Z-X plane

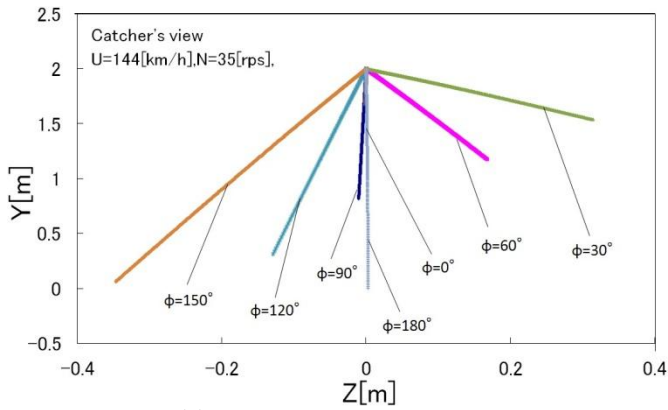


Fig. 7(c) Ball trajectory of Y-Z plane

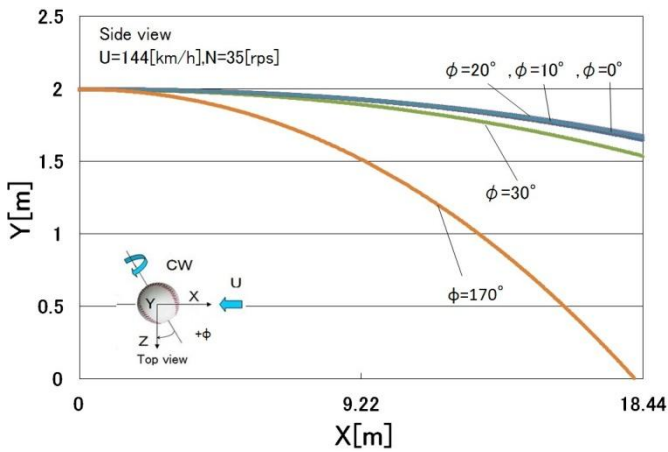


Fig. 8(a) Ball trajectory of Y-X plane

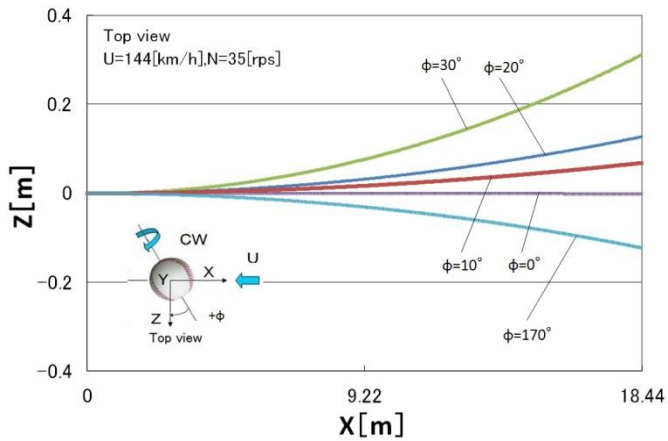


Fig. 8(b) Ball trajectory of Z-X plane

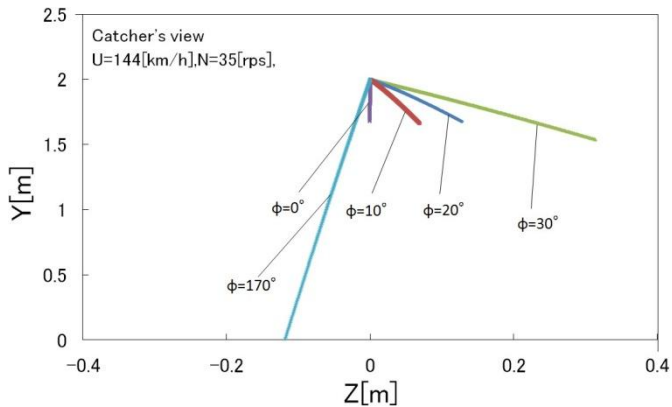


Fig. 8(c) Ball trajectory of Y-Z plane

5. 結論

$\phi=90^\circ$ のジャイロ回転ボールでは揚力も横力も発生せず、抗力により落ちるだけのボールとなる。回転軸が直球時からわずかに傾けることで横力が大きく発生することが分かった。 10° では直球と比べ Y-X 軸での軌道計算では 0.01 [m] しか変わらず、Z-Y 軸では 0.07 [m] とボール一つ分の横力が発生している。もしこの傾きを投手が自在に操れたら打者にとっては大いに脅威になりうるであろうと思われる。

参考文献

- 1) 加藤弘晃, 古賀勇揮: 風洞実験データに基づく硬式野球ボールの投球軌道の計算, 福岡工業大学 工学部 知能機械科 卒業論文, 2009 年
- 2) 鳴尾丈司: ゴルフボールの 3 次元飛翔軌道解析における空気力学的研究, 福岡工業大学 大学院工学研究科 物質生産システム工学専攻 博士論文 (2004-6)
- 3) 溝田武人, 錦織大介, 小西和明: 硬式野球ボールの縦スライダーに関する流体力測定と飛翔軌道解析, 日本機械学会論文集 (B 編集), 73 巻, 734 号 (2007-10), 論文 No. 1094, pp1987-1992