

## 空気圧式ボール発射装置の高機能化に向けて

溝田 武人<sup>\*1</sup>, 田中 完二<sup>\*2</sup>, 田中 慎一郎<sup>\*2</sup>, ○大野 富生<sup>\*3</sup>, 伊藤 篤志<sup>\*1</sup>, 神田 峻輔<sup>\*1</sup>,  
楠 卓朗<sup>\*1</sup>, 市川 勇太<sup>\*4</sup>, 永留 脩平<sup>\*4</sup>, 福島 大樹<sup>\*4</sup>, 前屋 諒<sup>\*4</sup>

### On the developments of functional shooting machine of baseball ball with compressed air

Taketo MIZOTA<sup>\*1</sup>, Kanji TANAKA, Shinichiro TANAKA, ○Tomio OHNO,  
Atsushi ITO, Shunsuke KANDA, Takuro KUSUNOKI, Yuta ICHIKAWA,  
Shouhei NAGATOME, Daiki FUKUSHIMA, and Ryo MAEYA

<sup>\*1</sup> Fukuoka Institute of Technology, Dept. of Intelligent Mechanical Engineering  
Wajiro-higashi 3-30-1, Higashi-ku, Fukuoka, 811-0295 Japan

According to the observations of pitched ball in real baseball game and aerodynamic characteristics clarified by wind tunnel experiments, there are many strange changing ball in baseball ball. In this research, special attention was focused on spinning axes direction, which oriented toward ball flight direction. There are no convenient pitching machines to be able to generate such kind of balls, easily. We had developed a pitching machine with pressurized air method into higher functional one, in which be able to generate purely oriented toward ball proceeding direction, with 2 and 4-seams ball arrangements. In this reports, we describe the strange characteristics of such kind of balls, and then some trial developments of the pitching machine. High speed camera images of shooting balls of 2 and 4-seams balls showed the success in this idea.

**Key Words** : aerodynamics, baseball, shooting machine, rolling spin, changing ball

### 1. はじめに

硬式野球ボールの発射装置である共和技研製の“Topgun”<sup>(1)</sup>に改良を加えて、ボール回転軸がボールの進行方向を向いて回転する縦スライダー系の変化球を発生できるように高度機能化させた研究成果を述べる。

硬式野球の投手が投げる変化球のなかでボールの回転軸がボールの進行方向成分を持ってローリング回転しながら進む変化球がある。これらはスライダー、縦スライダー、横スライダー、ジャイロ回転ボール、2-シームボール、4-シームボール、あるいはカットボールやフォークボールなどと様々な呼称で表現されている。このような変化球は昔からすぐれた投手により使われてきたが、それらが大きな武器になる優れた投手の出現がめざましいので大きく注目されている。特に日本では身体能力が増した高校生によってもこのような魔球と呼べるボールが投げられ、大きな注目を浴びている。それに対して、それらの魔球の発生に関する空気力学的なメカニズムの研究は後追いで進んでいるのが現状である。

打者の立場から考えると、そのようなボールに関して打撃練習をしようにも同一チームにそのような魔球を投げる投手が多くいることは望むべくもない。またピッチングマシンでそのようなボールを再現させて打撃練習をしようとしても、これまでのマシンでは容易には発生させることが困難である、という現実である。わずかに映像による学習の手段が残されているが、イメージトレーニングだけでは魔球に

<sup>\*1</sup> 正員, 福岡工業大学工学部知能機械工学科 (〒811-0295 福岡市東区和白東 3-30-1)

<sup>\*2</sup> 共和技研(株)

<sup>\*3</sup> 福岡工業大学総合研究機構

<sup>\*4</sup> 学生員, 福岡工業大学知能機械工学科

E-mail: mizota@fit.ac.jp

成功裏に対処することは難しい。世の中に数あるこれまでのピッチングマシンの中でも、原理的にこのようにボール進行方向に回転軸が向いて回転させることが可能なものは現状ではジャイロ技研のピッチングマシン<sup>(2)</sup>のみであり、優れた実績を蓄積しつつある。この発射装置は上下2個のローラー式の発射装置であるが、このローラーを互いに交叉させて配置することによって、ボールの回転を進行方向軸まわりの成分を生み出させた優れた発明であり、あらゆる変化球を発射することが可能である。しかしさらに改良を進めて利用現場ベースで容易に自在にそれらの変化球をセットできるように改良することが望まれている。

一方、ピッチングマシン”Topgun”は空気圧によりボールスピードを与える。発射させた直後に抵抗体と称するゴム部品を飛行中のボール表面に接触させて、ボールの進行方向に対して垂直平面内に回転軸を持つ変化球の全てを発生させることができる発射装置であり、世の中に次第に受け入れられている。この装置はヤフオクドームの”王貞治ベースボールミュージアム<sup>(3)</sup>”にも導入され、王貞治打者がホームランの世界新記録を達成した時の投球ボールの再現実演にも使われている。ボールを発射させる加圧空気圧も0.3MPa程度であり、非常に効率よくスピードボールを発射できる優秀な機械である。しかしながら現在のところ、この発射装置によって変化球を発生させるにはその原理からは直球やカーブ、シュートなどの変化球を容易に生成可能であるが、縦スライダーのようにボール回転軸が進行方向を向いたボールを発生させることはできない。

そこで本研究では、このTopgunを改良してそのようなボールを発射できる工夫を加えた結果を記述する。そのために、縦スライダー系のボールの面白い性質から述べる。

## 2. 変化球の回転軸

### 2.1 変化球のボール回転軸条件

図1に示すようにボールに固定した回転軸と縫い目の関係で回転するボールは4-seamと呼ばれる。ボールの進行方向+xに対して、回転軸の方向を $(\phi, \theta)$ で示す。 $\phi$ は+z軸方向からの水平方向角度であり、 $\theta$ はx-z平面からの立ち上がり角度である。もっとも標準的な4-seam直球では、ほぼ $(\phi, \theta) = (0^\circ, 0^\circ)$ である。投手によってこの値は微妙に異なりその結果後述のように横力が発生して、打者には厄介なボールになる。回転方向は投手から見てバックspinである。この図に示す回転軸に対して直交する回転軸は2本あるが、いずれも2-seamボールと称される。

一方硬式野球ボールの変化球は、ボールの回転軸と縫い目の関係を定めておいて、Fig. 1で示す回転軸の方向角度を $(\phi, \theta) = (0 \sim 360^\circ, 0 \sim 360^\circ)$ について変化させた場合の空力3分力とトルク係数を求めれば、その軌道は計算で求めることが可能である。その種類は無数あるが、現実的には1, 2, 4-seamボール+ $\alpha$ について求めておく必要があるであろう。

### 2.2 ボールの初期条件の決定

投手の指先からボールが離れる瞬間の初期条件が決まれば変化球の球道は自然に決まる。初期条件を決めるプロセスを分析するとおおよそ以下のようになる。

- (1) ボールの縫い目配置と回転軸の関係の決定：ボールを握った時に縫い目に対してどのように指をセットするかにより決めている。多くの投手は捕手のサインをのぞき込む動作中あるいはwindアップやセットポジションの動作中に決めている。筆者のTV観察のわずかに1例であるが、野茂英雄投手の場合、セットポジション中はミットの中で直球の握りであったものが、投球動作に入ると右足の膝あたりまで

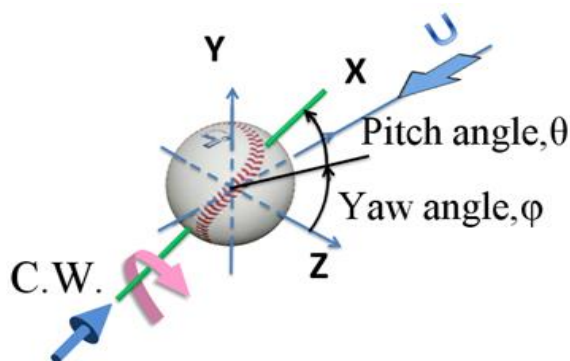


Fig. 1 Definition  $(\phi, \theta)$  of direction of spinning axes. Yawing angle  $\phi$  is based on +Z-axes, and pitching angle is based on X-Z plane. Straight ball of 4-seam is  $(\phi, \theta) = (0^\circ, 0^\circ)$  and back spin.

握ったボールが降りて来る過程で打者から見えない位置にある時に、握りを突然フォークボールに変化させる場合もあった。

- (2) ボールの初速の決定：ボールを指先からリリースする時の体全体の運動により初速は決まる。
- (3) ボールの回転軸の方向と回転速度の決定：ボールを指先からリリースする瞬間までの動作により、ボール初期飛翔方向に対して、回転軸の方向と回転数が決まる。

### 3. 回転軸がボール進行方向側に向いている変化球

#### 3.1 松坂大輔投手の縦スライダー<sup>(4)</sup>

図 2(a) のストロボ写真は、1999 年に西武ライオンズからプロ野球界にデビューした西武ライオンズの松坂大輔投手の投げる縦スライダーと称される変化球である。高速度カメラ映像で回転の様子を見ると、回転軸はほぼ真っ直ぐボール進行方向を向いており、縫い目と回転軸との関係は抗力がより小さい U タイプと呼ぶ 2-seam ボールで投げられている。その結果、ボールは、もし同じ速度で直球や X-type と呼ぶ 4-seam スライダーが投げられたとしても、鋭く落下しながら、より早くホームベースに到達する。また、ボールのわずかな横力の作用で微妙に横にずれる（動く）、という打者にとってみればきわめて厄介なボールである。

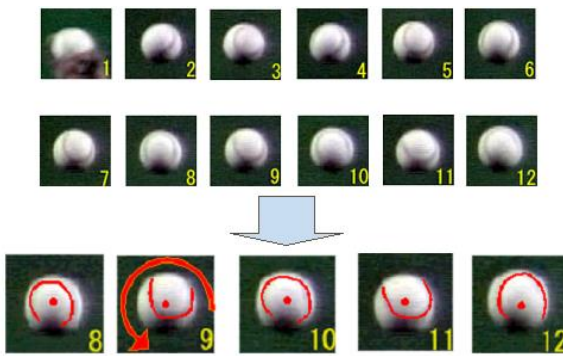


Fig. 2 (a) High-speed camera images of ball flight from catcher's view.

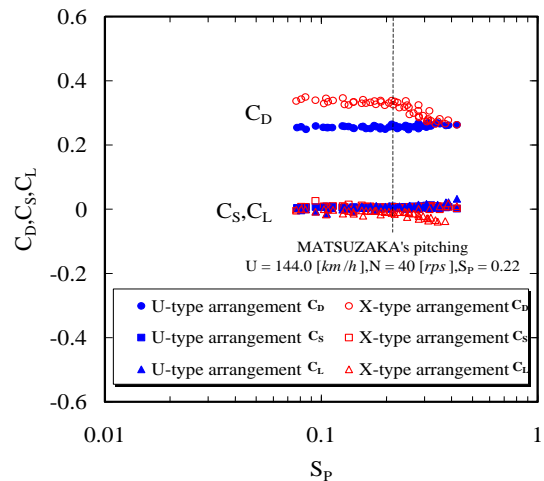


Fig. 2 (b) Aerodynamic coefficients of baseball ball by Ball-seam arrangement was U type and  $U=144\text{Km/h}$ ,  $N=40\text{rps}$ ,  $Sp=0.22$ . wind tunnel

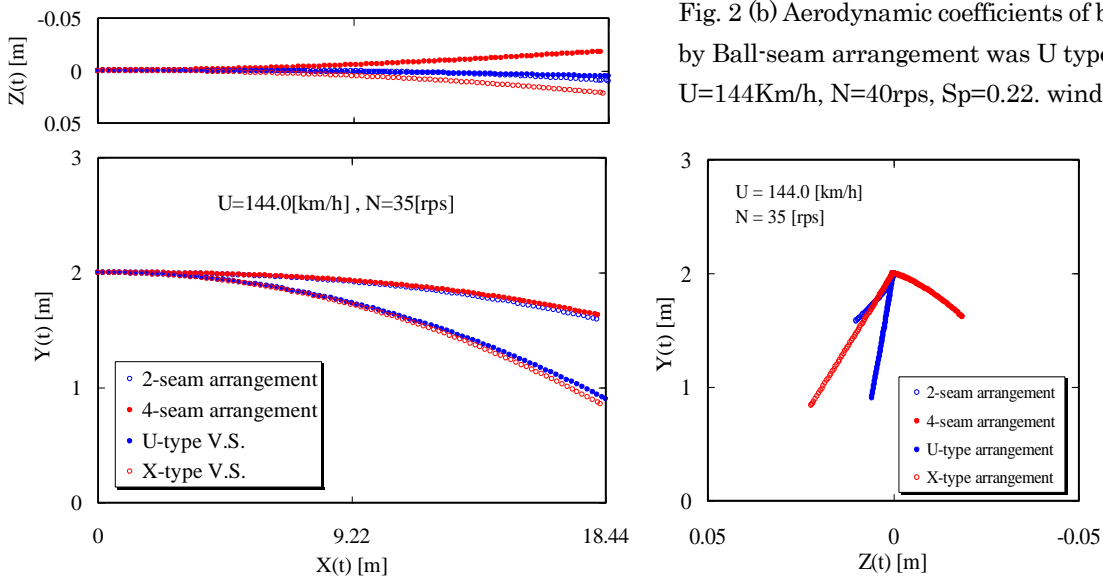


Fig. 2 (c) Pitching ball trajectory according to Fig. 2(b)

Fig. 2(a), (b), (c) Pitching ball aerodynamics. Real images of pitching ball showed U-type seam arrangements. (b) Aerodynamic force data by wind tunnel experiments. (c) Three-directions view of ball flight. Top view (X-Z plane), side view (Y-X plane) and front view (Y-Z plane, catcher's view).

図 2 (b) は風洞実験によってボールに加わる空気力を測定した結果を基に、スピンパラメータ  $Sp$  に対する抗力係数  $C_d$ 、揚力係数  $C_L$ 、横力係数  $C_s$  の数値をプロットした結果であるが、(a) のストロボ写真の解析により得られた回転数  $N=40\text{rps}$  と、球速  $U=144\text{km/h}$  から、松坂大輔投手の投球する変化球のスピンパラメータ  $Sp$  は 0.22 程度と評価できる。

図 2 (c) は (b) で評価された  $Sp$  値を基に解析されたボールの弾道である。本解析では  $U=144\text{km/h}$  及び  $N=35\text{rps}$  としているが、2 シーム及び 4 シームによりボールの弾道が異なっていることが本解析結果からも分かる。

### 3.2 回転軸の方向 $\phi$ がボール進行からずれている場合<sup>(6)</sup>

ボール回転軸がボール進行方向に対して、同じ方向を向いているにも関わらず、空力特性の内の横力が逆に作用する例がある。Fig. 3 (a), (b) に示すのは、スピンパラメータ  $Sp$  に対して抗力や揚力は両者ほぼ同じように変化しているにも関わらず、図のように (a) 4-seam では + 方向に横力が作用しているが、(b) 2-seam ボールではこれが - 方向に作用しており、お互いに逆方向に作用している。

これらの結果から、図 4 に比較的右投げ投手が投げやすいとされる回転軸方向を有するスライダーとして説明する。図 4 (a) は 4-seam スライダーであり、図 1 で  $(\phi, \theta) = (60^\circ, 0^\circ)$  の回転軸方向を持って投手側から見て C. W. で回転するボールである。図 4 (b) は 2-seam スライダーであり、同じく C. W. で回転している。この場合前者には左方向の横力が作用し、後者には逆に右方向の横力が作用する。この結果は、風洞実験による空力 3 成分の測定で発見されたが、フラッタ実験と実際の投球による高速度カメラ映像で確かめられた。これを見た王 貞治氏は即座に“ダルビッシュが投げているボールだろう”，と指摘 (March 10, 2012)) した。

この違いは、明らかに縫い目と回転軸の関係の違いに基づくものである。横力の作用方向の測定結果からは、Fig. 3 (a) の後流は -X 軸よりも右側に傾き、Fig. 3 (b) では後流は -X 軸よりも逆の左側に傾いているものと考えられる。さらに、Fig. 3 (a), (b) の横力は、いずれの  $Sp$  範囲でもそれぞれ同一の方向を示している。したがって横力方向の違いに関する縫い目の回転効果については準定常的な説明で大丈夫と考えられるが、詳細は不明である。

投げる側の投手から見れば、回転軸の方向を変えずにただ縫い目の関係を変えれば良い (言葉にするのは簡単であるがこれすら大変な技量であることは容易に想像がつく) のであるから、これを知って自在に操れば大きな武器になるであろう。

とにかく、硬式野球ボールの変化球の不思議さの一つとして考えられ、このようなボールの発射装置を製作することは大いに意味がある。

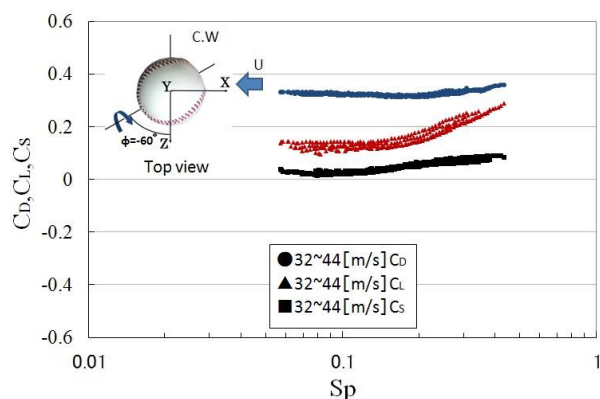


Fig. 3(a) 4-seam ball with  $\phi=-60^\circ$

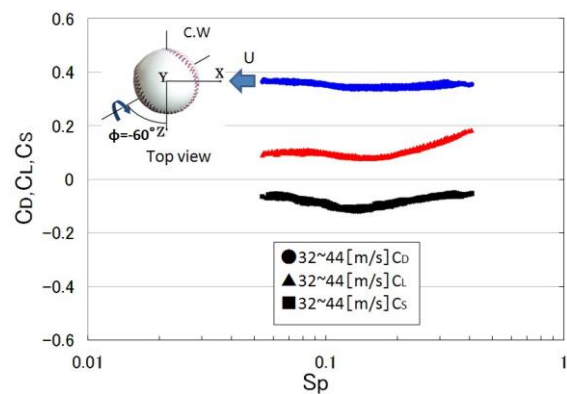


Fig. 3(b) 2-seam ball with  $\phi=-60^\circ$

Fig. 3 (a), (b) Aerodynamic characteristics of 4-seam and 2-seam balls which are same direction angle of spinning axes  $(\phi, \theta) = (-60^\circ, 0^\circ)$ .

## 4. ボール回転軸を進行方向に向ける装置の検討

### 4.1 回転方式-1- (ローラー方式の検討と発射実験結果)

既存の空気圧方式による発射装置<sup>(1)</sup>を高機能化してボールの進行方向の回転軸を持たせるために2つの方法が考えられる。

一つは、ボールが砲身を出た後に、図5(a)のように交叉配置させた2本の円筒の間隙部分を通し、ボールに進行方向を向く回転軸まわりに回転させる方法である。あるいは、図5(b)のように、4本の円筒を配置し、個々の回転数を変化させて、その中を通過するボールに接触する接線速度を変化させることも考えた。このなかでFig. 5(a)の方法によって図6(a), (b)のように、進行方向を向く回転軸まわりに回転するジャイロ回転ボールを実現できた。この場合原理的に2本の円筒はアイドリング回転させるように設計しておけば、ボールの進行速度によって円筒が回転し、結果的にボールの進行方向回転軸まわりにまわるはずである。しかし、2本の円筒の慣性モーメントや表面摩擦の程度に検討が必要であった。そこであらかじめ回転を与えておけば図6(a), (b)のようにジャイロ回転ボールを発射させることができた。なお、図5(b)の方法についてはこれまでに詳しい検討を行っていない。

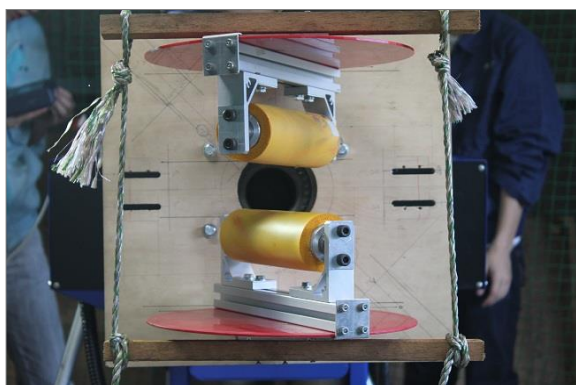


Fig.5(a) Two-idling roller method of shooting machine of rolling ball

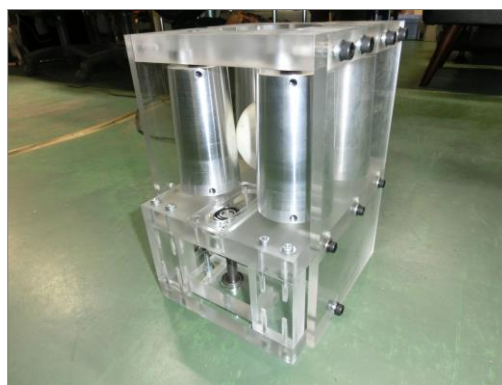


Fig.5(b) Four-roller method of shooting machine.  
(The ball is shot from a center hall of this figure passing between two cylindrical rollers with twisted arrangement.)

Fig.5 Two kinds of trial experiments of roller methods.

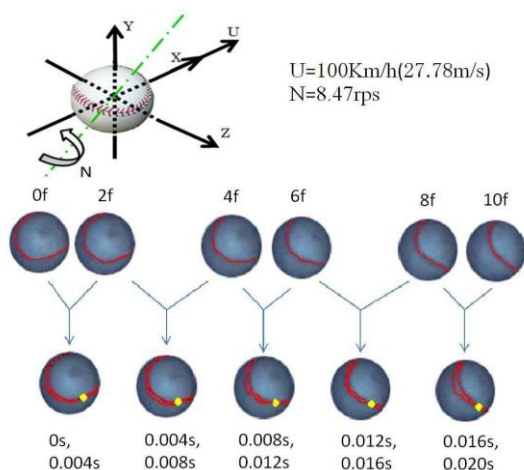


Fig. 6(a)  $U=100\text{Km/h}$ ,  $N=8.47$  rps

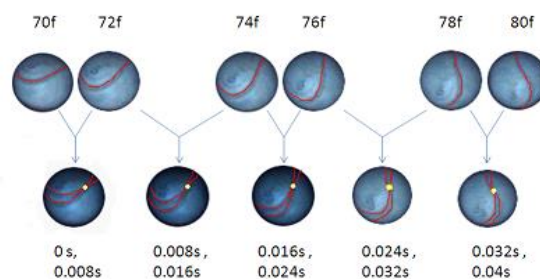


Fig. 6(b)  $U=110\text{km/h}$ ,  $N=4.5$  rps.

Fig.6 High-speed camera images of rolling ball in flight. Seam cross marks show the one side of spinning axis on the ball surface.

## 4.2 回転方式-2-(ボール保持部の回転方式と発射実験結果)

第二の方法は、砲身内でボールを保持しているオイルシール材をローリング回転させることである。所定の回転数に達した後、Topgunの機能をそのまま使ってボール背後を空気圧で加圧すれば、ボールはジャイロ回転したまま飛翔するはずである。問題点はいくつかあって、(1)ボールを回転させないで発射する既存の方法では発射後に砲身内をボールが通過する過程でボールが砲身内壁にほとんど接触しない、という優れた特徴があるが、ボールの回転時にも実現するか?という点、(2)ボールがオイルシール材に保持されたまま安定して高速度回転するか?という懸念がある。このうち、(1)はボールを100rps回したとしても、20cm弱の長さの砲身内ではボールは180°程度回るにすぎないので、接触しないであろう、と考えられた。(2)は装填前に実験すると100rpsまでは安定回転することが分かった。

図7には空気タービン方式で回転させる構造の部品(図7(a))と組立の様子図(7(b))を示す。既存のTopgunのボール装着の心臓部に対して、わずかに100mm程度の長さを占めるタービン部を装着するだけで良い。

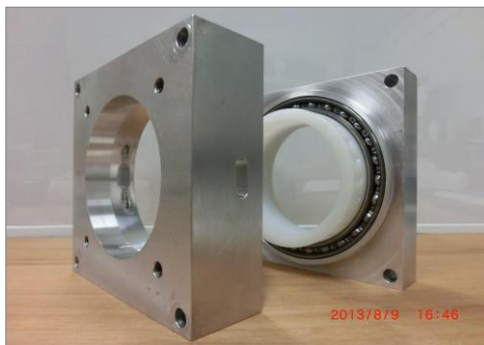


Fig. 7(a) Casing of air turbine parts and ball bearing.



Fig 7(b) Set-up results between Topgun units.

Fig. 7 Air turbine and its bearing parts were occupied only 100mm length in the Topgun center part.

図8(a)にはエアタービン部とボール装着部およびベアリング部分の相互の関係をソリッドモデラーとして描いた様子を示す。また、図8(b)にはこれらの心臓部になるエアタービン部の組立の様子を、ワイヤーフレーム図として描いた様子を示す。エアジェットの導入口とエアを受けるタービン部およびエアの吐出部の様子が理解できる。タービン部にあてるエアを逆方向から導入すれば、容易にC.W., C.C.W両方のボールの回転が実現できる。従来のTopgunではボールは発射前にオイルシール材の内側に装填された後に手前側に加圧空気が作用してボールは飛び出す。オイルシール材はボール周辺からの空気圧の漏れを防ぐ役割を果たしている。今回の改良ではこのオイルシール材が保持部のケーシング部分がエアタービン部と直結して回転する機構になっている。ただし、この図に示す現在の設計段階では、ボールの回転効率や空力騒音の低減および最高回転数への到達時間などについて十分満足な結果は得られていない。さらに改良中である。

これらの装置を使って、発射実験を行って得た飛翔中のボールの回転の様子を2例をFig. 9(a), (b)に示す。発射装置後方から高速度カメラにより250fpsのフレーム速度で撮影した画像の縫い目部分を描いている。Fig. 9(a)はボールを4-seamに装填して回転数がN=10rpsに達した後発射した結果であり、N=8.26rpsで回転している様子を示す。飛翔中も2-seam回転がきれいに実現されていることが分かる。

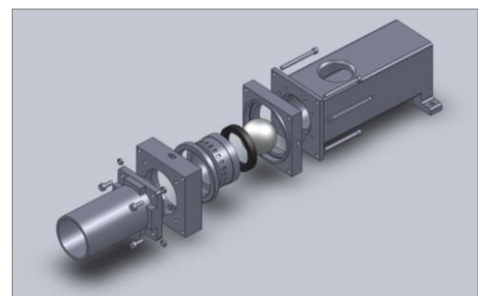


Fig.8(a) Parts arrangements of air turbine and bearing

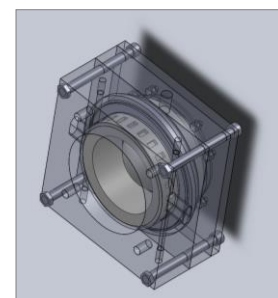


Fig.8(b) Set-up of air turbine

Fig.8 Solid modeller of turbine and air bearing with ball spinning apparatus in rolling mode

Fig.9(b)には、2-seam に装填して、回転数が 28rps になった時に発射した結果である。この場合もきれいに 2-seam ボールの回転で、27rps の回転数で飛翔している。

4-seam ジャイロ  
 U=84[Km/h] (23.33[m/s])  
 N=10[rps]  
 495.8[rpm]=8.26[rps]

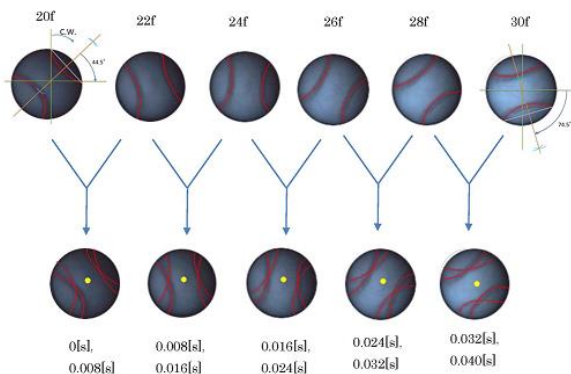


Fig.9(a) 4-seam ball, U=84km/h, C.W., N=8.26 rps.

2-seam ジャイロ  
 U=90[Km/h] (25[m/s])  
 N=28[rps]  
 1622.9[rpm]=27.05[rps]

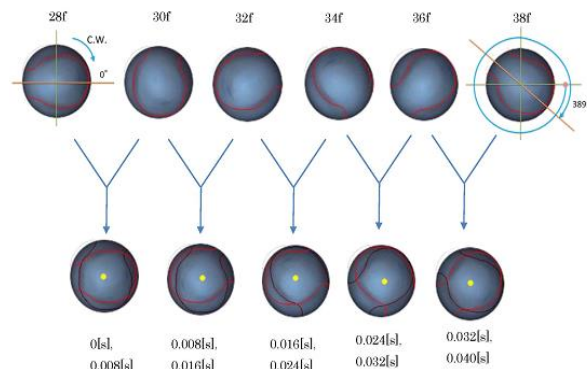


Fig.9(b) 2-seam ball, U=90km/h, N=27rps

Fig.9 Flight experiments of rolling ball with 4-seam and 2-seam balls grabbed with oil-seal ring. Frame speed of high-speed camera is 250fps, and these images were captured from shooting machine side. So, this is backward view of ball flight.

## 5. 本研究で得られた結論

この研究で得られた現段階の主要な結論は以下の通りである。

- (1) 硬式野球ボールの投手が投げる変化球の内、回転軸がボール進行方向を向くボールを発射させる装置を発射装置に組み込んだ。
- (2) ボール発射装置 Topgun のボール装着部のオイルシール材を回転させながら、ボールを発射させることで、2-seam, 4-seam ボールを実現できた。
- (3) ボールの回転効率の向上、ボールの回転軸方向の自由なセッティング、ボールの縫い目配置を自動的にかつ自在にセッティングすること、などの技術的な問題が残っている。

## 6. 謝 辞

この研究は、平成 25 年度第 1 回研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム (A-STEP) フィージビリティスタディ・ステージ探索タイプ、課題番号 AS251Z03019K (空気圧方式によるピッチングマシンの高機能化への商品開発：研究責任者溝田武人、コーディネータ大野富生) の支援を受けている。

## 文 献

- (1) 馬場豊治, ジャイロ技研, <http://www.gyrogiken.jp/>, “ピッチングマシーン”, 特許公報, 特許第 3986124(登録日 2007.7.20), 出願日 1997. 7.7.
- (2) 田中完二, 田中慎一郎, 共和技研, <http://www.pmx-topgun.co.jp/>,
- (3) 王貞治ベースボールミュージアム, <http://oh89.jp/>
- (4) 溝田武人, 他, 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ばし軌道解析, 日本機械学会論文集 (B 編), 73 巻, 734 号(2007-10)
- (5) 長谷川淳哉, 坂本誠馬, 田多輝洋, 鳴尾丈司, 溝田武人, 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), 日本機械学会 スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクススポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス, 京都大学 2011 年 10 月 31 日~11 月 2 日.