

## 統一球と日米硬式野球ボールの空力特性

## Wind tunnel testing of new ball, U.S and Japanese baseball balls

○坂本誠馬 (福岡工業大学) 長谷川淳哉 (福岡工業大学大学院) 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)

Seima Sakamoto. Fukuoka Institute Technology

Junya Hasegawa. Fukuoka Institute Technology

Teruhiro Tada. Fukuoka Institute Technology

Takeshi Naruo. Mizuno Corporation

Taketo Mizota. Fukuoka Institute Technology

The new NPB Ball was adapted to the Japanese NPB from this year. Compared with the old NPB ball and new one, seem height and width became 0.2[mm] lower and 1.0[mm] wider respectively. In this report, aerodynamics characteristics are measured by using wind tunnel tests. Some calculations of flight trajectory for pitcher's throwing ball and batter's hitting one are conducted.

Key words: wind tunnel experiment, baseball ball, new NPB ball, orbital calculation

## 1. はじめに

今年、日本プロ野球に新しい統一球が導入<sup>1)</sup>され、一般的には飛ばなくなったと言われている。実際に、今年のホームランの本数は昨年に比べて減少傾向にある。このような飛ばない統一球が開発された背景には、WBCで縫い目の高さや幅、手触りの違うボールに対して選手が戸惑いを持っていたことや、昨年まで日本国内の各球団内で使用するボールが違っていたために公平性が失われる点が疑問視されていたことが挙げられる。

野球ボールは公認野球規則により、重量(141.7-148.8[g])、円周長さ(22.9-23.5[cm])、反発係数(0.41-0.44)が決められている。縫い目の高さや幅の違いでそれぞれのボールの空力特性は変化する。今年から導入された統一球は、縫い目の高さが1.1[mm]から0.9[mm]に低くなり、縫い目の幅が7.0[mm]から8.0[mm]に広がった<sup>2),3)</sup>。

この研究では、統一球・旧硬式球・メジャーリーグ硬式球についての空力特性を風洞実験により求めた。

実験では、4シーム直球の場合を想定して風洞装置を用いて空気力の測定をした。また、求めた空力特性から投球時及びホームランボールの軌道計算を行い、軌道の違いについても検討した。

## 2. 実験装置および実験方法

## 2.1 実験に使用する無次元量と使用したボール

風洞気流方向に対するボールの縫い目と回転軸方向の関係が決まれば空気力はレイノルズ数  $Re$  とスピンパラメータ  $Sp$  で表すことが出来る。回転するボールに加わる空気力を抗力  $D$ [N]、揚力  $L$ [N]、横力  $S$ [N]、空力トルク  $M$ [Nm] で表す。抗力係数  $C_D$ 、揚力係数  $C_L$ 、横力係数  $C_S$ 、空力トルク係数  $C_M$ 、無次元量のレイノルズ数  $Re$  とスピンパラメータ  $Sp$  を次式に示す。

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

$$C_M = \frac{2M}{\rho U^2 A d} \quad Re = \frac{Ud}{\nu} \quad Sp = \frac{\pi d N}{U}$$

U:流速[m/s]

 $\rho$ :空気密度[kg/m<sup>3</sup>]

d:ボール直径[m]

A:ボールの直径断面積[m<sup>2</sup>] $\nu$ :動粘度係数[m<sup>2</sup>/s]

N:ボールの回転速度[rps]

研究では、以下の3種類のボールを使用した。

- ・日本プロ野球硬式球 (ミズノ社製): 統一球と称する。Photo.1に統一球の写真を示す。
- ・旧日本プロ野球硬式球 (ミズノ社製): 旧硬式球と称する。Photo.2に旧硬式球の写真を示す。
- ・メジャーリーグ硬式球 (ローリングス社製): メジャーリーグ硬式球と称す。Photo.3にメジャーリーグ硬式球の写真を示す。

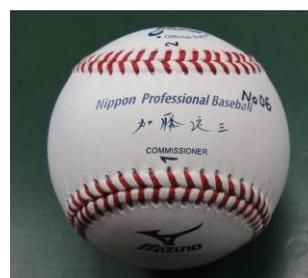


Photo.1 New NPB ball

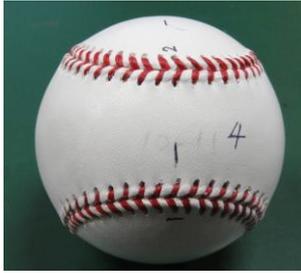


Photo.2 Old NPB ball

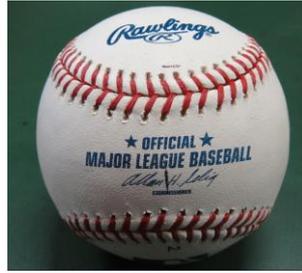


Photo.3 MLB ball

## 2.2 実験装置

風洞実験は吹き出し型風洞で行い、測定部は0.40[m]×0.40[m]×0.45[m]である。Photo.4 に示す風洞装置は、流速0~44 [m/s]まで得ることができ、乱れ度は0.08[%]程度である。

空気力の測定は、3分力ロードセルで行う。3分力ロードセルとは、空力3分力（抗力・揚力・横力）をロードセルの歪み量として検出し、動歪計で電圧に換算したものを「wave shot! 2000」というソフトに出力する。

回転数の測定は、デジタルタコメーターで行う。

## 2.3 実験方法

キャリブレーション結果は、相互干渉もなく直線性も良い。実験で使用する硬式野球ボールには、φ10[mm]のシャフトの中にミニチュアボールベアリングを取り付けたφ3[mm]の回転軸を入れている。φ3[mm]の軸にφ0.3[mm]の4本のピアノ線を通して、アクリルのフレームの穴を通りアルミフレームで吊るしている。アルミフレームとピアノ線の間には、ターンバックルを入れる。ターンバックルをいれて8方向から引っ張ることで、ピアノ線は緩むことなく吊るすことができる。

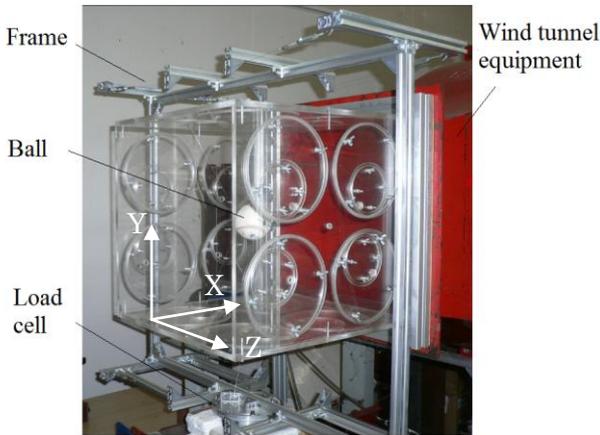


Photo.4 The measurement part of a wind tunnel experimental device when a ball is hung with an aluminum frame



Photo.5 Processed to new NPB ball

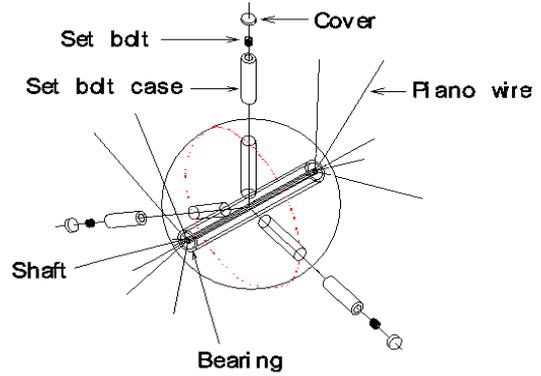


Fig.1 Cover to give a smooth surface into a set of bolts for the ball to rotate smoothly

実験では、ボールをバックspinさせるためにエアコンプレッサーの圧縮空気を噴出して回転させ、最大80[rps]まで回転させる。また、実験結果には17~60[rps]までの安定に回転数がゆっくりと減少する過程を使用する。流速は、30[m/s]・35[m/s]・40[m/s]・44[m/s] 4種類の流速で行う。空気力は3分力ロードセルで電圧を読み取ることができる。読み取った電圧からキャリブレーションで求めた関係式を使用して、抗力・揚力・横力を求める事ができる。ここでの電圧は、ボールとピアノ線に加わる空気力に相当する電圧となっているが、計算の際にピアノ線の抗力は差し引いてある。

使用するボールは、Fig.1のようにセットボルトをボールの中央に向かって入れることで静バランスをとる。これによりスムーズにボールは回転した。Photo.5は実際に使用した実験球である。セットボルトを埋め込んだ表面は、ボール表面の皮と同じ素材で凹凸がないように埋め戻している。表面を滑らかにして空気力の測定時に影響が出ないようにしている<sup>4)</sup>。

## 3. 実験結果

### 3.1 4シーム直球の空力特性

一般的な直球の場合を想定して、4シームでバックspinをさせて、3種類のボールについて実験をした。この場合の全流速域(30[m/s]~44[m/s])における結果を回転速度17~60[rps]での空力係数とスピンパラメータの関係を示す。

Fig.2 に統一球・Fig.3 に旧硬式球・Fig.4 にメジャーリーグ硬式球の実験結果を示す。

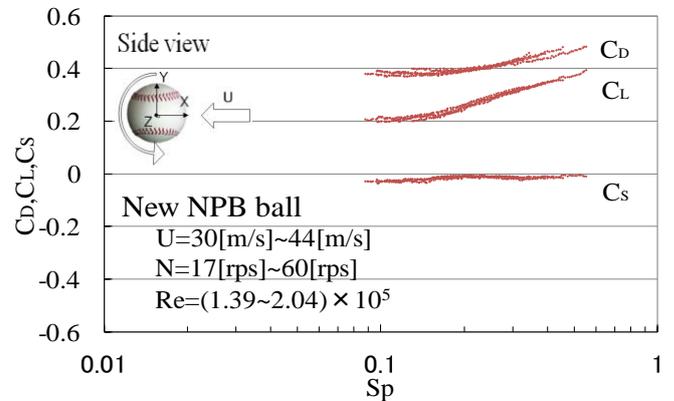


Fig.2 Aerodynamics characteristic of 4 seam fast ball (New NPB ball) [Re=(1.40~2.05) × 10<sup>5</sup>]

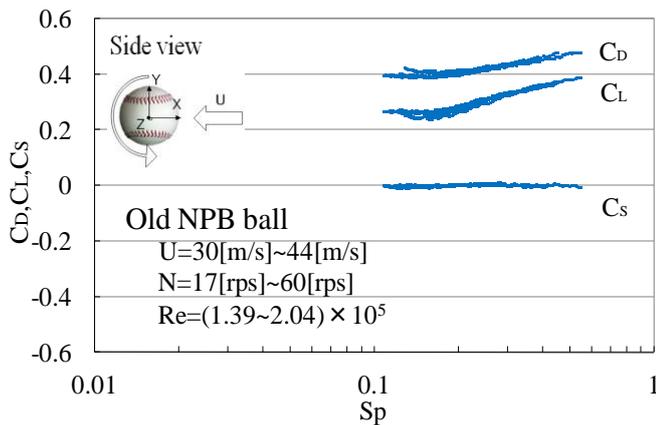


Fig.3 Aerodynamics characteristic of 4 seem fast ball (Old NPB ball)[ $Re=(1.39\sim 2.04) \times 10^5$ ]

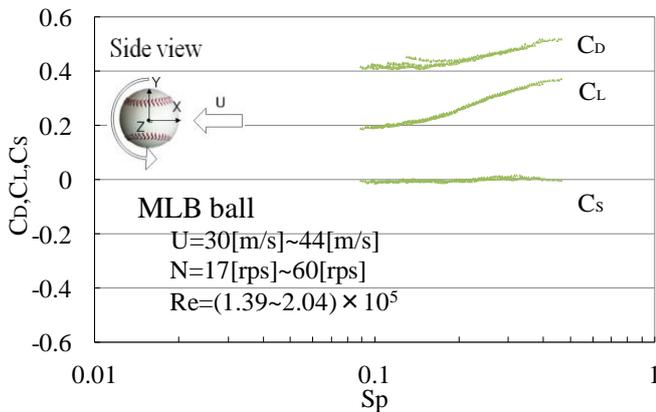


Fig.4 Aerodynamics characteristic of 4 seem fast ball (MLB ball ) [ $Re=1.40\sim 2.06) \times 10^5$ ]

### 3.2 3種類の比較

3種類の硬式球の結果を全流速(30[m/s]~44[m/s])において比較するために、Fig.5 に回転速度 17~60 [rps]における空力係数とスピンパラメータ Sp の関係を示す。

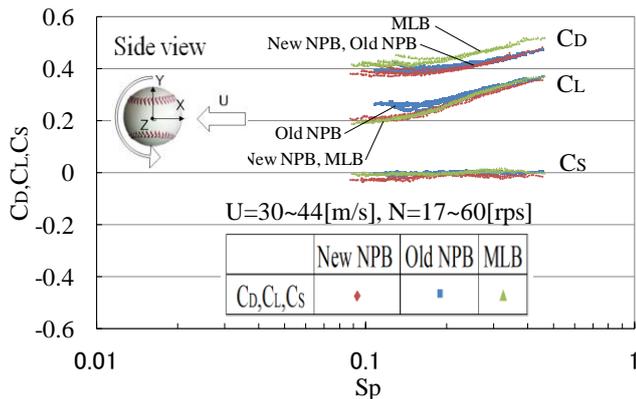


Fig.5 Aerodynamics characteristics of three kinds of balls, and the relation of spin parameter [ $Re=(1.39\sim 2.06) \times 10^5$ ]

Fig.5 より、抗力係数  $C_D$  は、メジャーリーグ硬式球が他の2球に比べて全体的に高い値を示している。揚力係数  $C_L$  に関しては、旧硬式球が  $Sp=0.1\sim 0.25$  の間で特に高い値を示している。これは、低回転で揚力が発生していることが読み取れる。この抗力・揚力の違いが次章で述べる軌道計算での軌道の違いに影響している。横力係数  $C_s$  は3種類ともに0付近の値を示している。

旧硬式球は、抗力係数  $C_D$  がメジャーリーグ硬式球より低い値を示し、揚力係数  $C_L$  は高い値を示している。統一球は、抗力係数  $C_D$  がメジャーリーグ硬式球より低い値を示しているが、揚力係数  $C_L$  はほとんど同じ値であると言える。つまり、統一球は旧硬式球に比べて、メジャーリーグ硬式球に空力特性が近づいていることがいえる。

### 3.3 空力トルク係数の比較

統一球と旧硬式球とメジャーリーグ硬式球の空力トルク係数には違いがみられなかった。錦織大介著の修士論文、「硬式野球ボールの魔球に関する空気力学的研究」でも同じ程度の空力トルク係数を示していたため、今回求めた値は信頼できるものといえる<sup>4)</sup>。

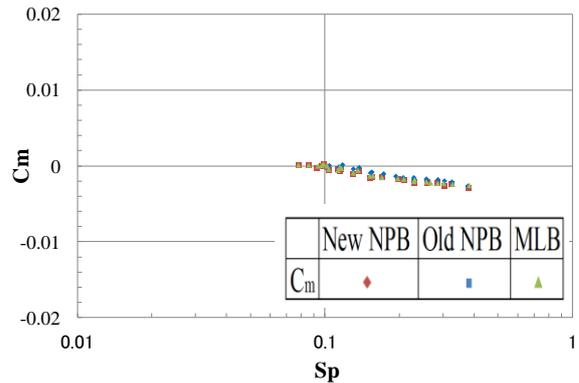


Fig.6 Torque coefficient of baseball ball

## 4. 軌道計算

### 4.1 4シーム直球の軌道比較

Fig.7 に、ピッチャーが流速 40[m/s] (球速 144[km/h])、回転数 40[rps]でピッチャーマウンドからホームベースに向かって投げたと仮定した時の4シーム直球の軌道計算結果を示す。また、Fig.7 の 18.44[m]付近での到達点を拡大したのが Fig.8 である。

Table.1 には旧硬式球とメジャーリーグ硬式球の到達点距離の差を、Table.2 には旧硬式球と統一球の到達点距離の差を示す。

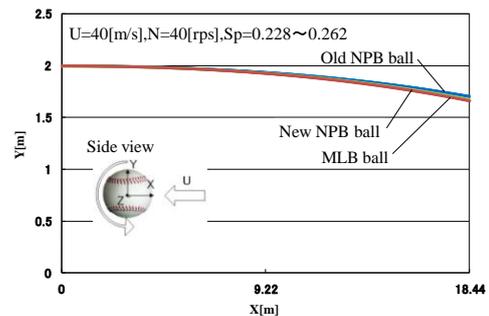


Fig.7 The orbit calculation by Aerodynamics characteristics of baseball ball

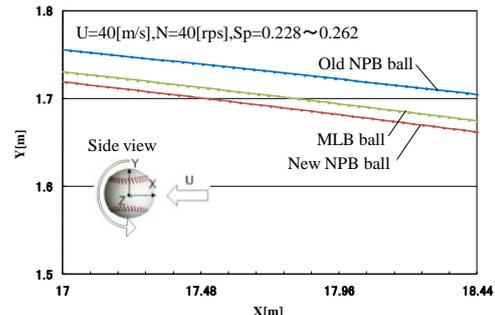


Fig.8 The orbit calculation by aerodynamics characteristics of baseball ball (final stage zoom-up of Fig.7)

Table.1 The difference of a reaching point  
(Old NPB ball, MLB ball)

	X[m]	Y[m]
Old NPB ball	18.44	1.70
MLB ball	18.44	1.67
The difference of height		0.030

Table.2 The difference of a reaching point  
(Old NPB ball, New NPB ball)

	X[m]	Y[m]
Old NPB ball	18.44	1.70
New NPB ball	18.44	1.66
The difference of height		0.043

Fig.7 からはボールの軌道に違いが見られた。また、Fig.8の結果からメジャーリーグ硬式球に比べて統一球のほうが到達点が高いため、抗力特性による影響に比べて揚力特性による影響が大きいことがわかる。到達点距離の違いを数値として表したのが、Table.1 と Table.2 である。旧硬式球とメジャーリーグ硬式球の到達点の差は 0.030[m]である。旧硬式球と統一球の到達点の差は 0.043[m]である。

Fig.5 による3種の比較ではメジャーリーグ硬式球と統一球の揚力係数  $C_L$  の値がほぼ同一値を示しているの、この軌道の差は誤差によるものと考え<sup>5),6)</sup>。

#### 4. 2 ホームランボールの飛翔軌道

Fig.9 に初期条件を流速 40[m/s]、回転数 20[rps]、打球角度 22[deg]としたときの飛翔軌道を示す。Table.3 は初期条件を与えた位置を X=0[m]、Y=0[m]としたときに、打ち出したボールが再び Y=0[m]の地点に落ちた距離を表したものである。

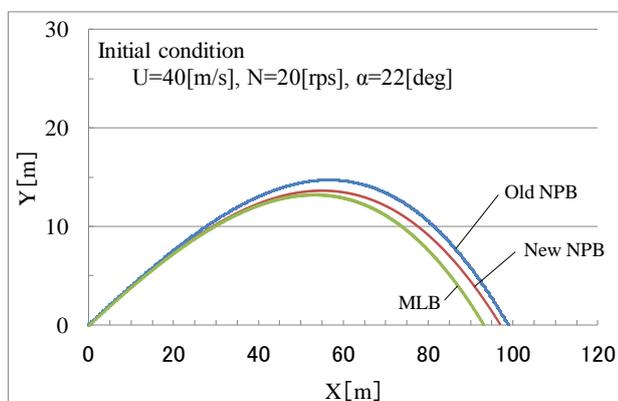


Fig.9 Flight orbit by aerodynamics characteristics of baseball ball

Table.3 Landing site of flight orbit

	X[m]
Old NPB ball	98.9
New NPB ball	97.1
MLB ball	93.2

Fig.9, Table.3 よりそれぞれのボールの飛距離は違いが見られた。Old NPB と MLB は飛距離に 5.7[m]の差がある。また、Old NPB と New NPB は飛距離に 1.8[m]の差がある。飛翔軌道計算により、New NPB は Old NPB よりも飛びにくいボールということになる。

この章での飛翔軌道計算は、抗力・揚力・横力による、3

分力の差が影響している。空力トルクに関しては慣性モーメントの計算を簡略化したものを使用しているため、Fig.9, Table.3 の飛翔軌道のデータは目安として捉えてもらいたい。

#### 5. 考察

2011年度の公認野球規則では、バットのもっとも太い部分の直径が 0.066[m]以下と定められている。例えば、日本国内で 0.066[m]のバットを使用し、旧硬式球の芯を捕らえていたとする。しかし、メジャーリーグ硬式球を投げた場合には 0.030[m]の到達点の差が生じ、統一球を投げた場合には 0.043[m]の到達点の差が生じる。バットの半径が 0.033[m]なので、バットにかすって選手は打ち損じを見舞ってしまうことになる。

Fig.6 より、選手がバットを振り始める時にはそれぞれの軌道には明確な違いが見られないため、到達点が 0.043[m]も違えばその変化に対応することは難しく、空振りや内野ゴロになってしまう。芯を捕らえたヒットと空振りとは、おそらく選手の感覚はまったくちがうものとなる。

また、ホームランボールの飛翔軌道結果では飛翔軌道が約 2.0[m]短くなった。そのため、旧硬式球でホームランだったものが統一球で長打になることや、外野フライとして処理されることがあると予想される。

今年の打者の打率の低下はこの様な事が理由ではないかと思われる。

#### 6. 結論

- 4 シーム直球の場合の日本と米国の硬式野球ボールの空気力学的特性の比較を行った。風洞実験に基づく軌道計算によりそれぞれの特性を調べた結果は以下のとおりである。
  - (1) 旧硬式球と統一球の抗力特性はスピンパラメータ  $Sp$  の広い範囲に亘ってほぼ同じ値であった。
  - (2) 統一球の揚力特性は旧硬式球よりも低い値を示した。
  - (3) ピッチャーの軌道計算の結果、統一球の方がより低い軌道を通る。揚力特性の違いが表れている。
  - (4) ホームランボールに関する飛翔軌道計算の結果、New NPB は Old NPB よりも約 2.0[m]飛ばないボールである。

#### 7. 参考文献

- 1) 朝日新聞社:asahi.com 統一ボールどう転ぶ プロ野球1軍来季からミズノ社製  
<http://www.asahi.com/sports/baseball/npb/news/TKY201012110138.html> (2010.12.11)
- 2) 長谷川淳哉他:日米硬式野球ボールの形状比較について、日本機械学会講演論文集 No.10-53 p.32-35, (2010)
- 3) mizuno:来季からプロ野球 12 球団に納品する統一球の仕様について  
<http://www.mizuno.co.jp/whatsnew/news/nr100823/nr100823.html> (2010.8.23)
- 4) 錦織大介:硬式野球ボールの魔球に関する空気力学的研究, 福岡工業大学大学院 工学研究科 知能機械工学専攻 修士研究論文, (2005)
- 5) 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 知能機械工学科 卒業論文, (2008)
- 6) 溝田武人, 小西弘明, 錦織大介: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, 日本機械学会講演論文集 No. 06-1094 (2007)