

# Tribology in baseball pitching machine with rollers

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/34695">http://hdl.handle.net/2297/34695</a>

## 野球用ローラ式ピッチングマシンのトライボロジー

酒井 忍\*

## Tribology in Baseball Pitching Machine with Rollers

Shinobu SAKAI\*

Key Words : tribology, friction, baseball, pitching machine, finite element analysis

## 1. はじめに

野球やソフトボール用の投球機いわゆるピッチングマシンには様々なタイプのものが市販されているが、投球機構で分類するとアーム式、ローラ式(ローラ式)、エア式の三つに大別される。アーム式は、ばねの復元力を利用し、球速を変更することは容易であるが、カーブなどの変化球を投げることは難しい。二つの回転ローラを用いる二ローラ式は、変化球も投球可能であるが、即座にそれを変更することは困難である。圧縮空気を利用するエア式では、最近種々の変化球を投球できるタイプのものが開発されたが、実戦的な打撃練習を行うには、投球時の発射導管の動作速度や精度、ボール発射のタイミングと同期させた映像装置が必要不可欠であり、やや高価格になる。

そこで、投球機構が単純で低価格でありながら、高い投球性能を有し実戦的な打撃練習ができるマシンとして、著者らによって三つの回転ローラで投球する三ローラ式ピッチングマシンが発案され、開発されてきた。

一方、硬式野球用ピッチングマシンの投球精度に着目すると、従来のいずれのマシンも任意のコースに投げ分けることは極めて困難であり、最新のものでもホームベース上で縦 300 mm、横 150 mm 程度の位置精度(制球精度)である<sup>1)</sup>。実際の野球の投手、特にプロ野球の投手では、150 km/h を超える球速かつ多彩な変化球のボールをコント

ロール(制球)良く投球する。一方、ピッチングマシンは、50年以上も前から開発されてはいるものの制球精度については、未だ一流投手の方が上回っている。事実、市販のピッチングマシンでは、真中のコースを狙って投球したボールがストライクゾーンを外れなければ十分な制球精度があると言われている。その最大の理由は、硬式野球ボール特有の縫い目にあると言っても過言ではない。投手は縫い目を利用して様々な変化球を投球するのに対し、ピッチングマシンにとって縫い目は、投球精度を悪化させる一番の要因である<sup>1)</sup>。

したがって、縫い目の影響を考慮した設計・開発を行えば、投球精度が格段に向上する可能性がある。ボールの縫い目が投球後の変化球(フォークボール、ナックルボール等)の飛翔軌道に大きく影響することが、溝田<sup>2)</sup>や姫野<sup>3)</sup>らによって報告されている。しかし、投球中の縫い目との接触や摩擦等のトライボロジー現象に着目したピッチングマシンの研究、開発はほとんどなされていない。

本稿では、ローラ式ピッチングマシンに対し、硬式野球ボールの縫い目が、球速やスピン、投球精度に与える影響について解説する。

## 2. 三ローラ式ピッチングマシン

開発された新型の三ローラ式ピッチングマシンの外観を図1に示す<sup>4)</sup>。ボールは、投射位置周りに120°間隔でY字型に設置された三つのゴム製ローラとの摩擦力で投球される。三つのローラに

金沢大学 機械工学系 (〒920-1102 石川県金沢市角間町)  
School of Mechanical Engineering, Kanazawa University (Kakuma-machi, Kanazawa-shi, Ishikawa 920-1192)

\* Corresponding author : E-mail: sakai@t.kanazawa-u.ac.jp

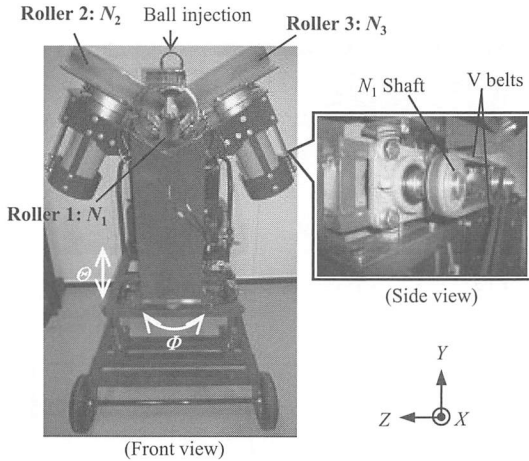


図1 三ローラ式ピッチングマシン [出典：文献4])

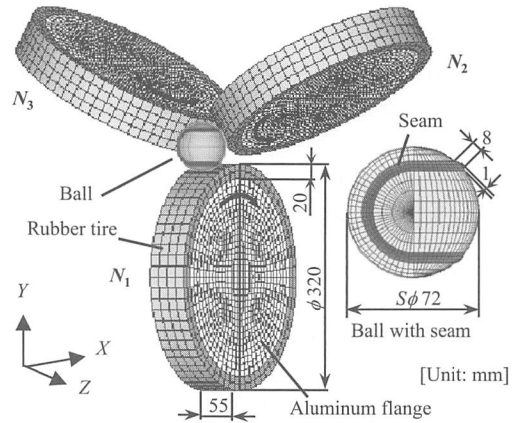


図2 縫い目付野球ボールとローラの有限要素モデル [出典：文献4])

はそれぞれモータを設置し、種々の球速や変化球(球種)を投球する。また、ボール発射部の縦投射角  $\theta$ 、横投射角  $\phi$  を可変する機構により、任意のコースにボールを投げ分ける。なお、モータ等はコントローラを介して一括制御されている。

三ローラ式を採用することで、広い速度範囲で多様な変化球のボールを瞬時に任意のコースに投球することが可能となっている。

### 3. 解析モデルと解析条件

三ローラ式ピッチングマシンのローラ部と硬式野球ボールの各寸法および有限要素モデルを図2に示す。ボールは、幅8mm、高さ1mmの縫い目形状を模擬したモデルとなっている。

図2の解析モデルにマシン投球時と同様の初期条件(初速1.0m/s、スピンの数273  $\text{min}^{-1}$ )をボールに与え、表1に示すような3種類の球種〔無回転(No-spin ball)、直球(Fastball)、カーブ(Curveball)〕で投球解析が行われた。 $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ は各ローラの回転数を表し、三つのローラ回転数の総和は4500  $\text{min}^{-1}$ で一定であり、ボールとゴムローラとの摩擦係数 $\mu$ の値を変化させている。

代表的なボールの回転方向としては、ボール1回転あたり縫い目が2回現れる二シームおよび4回現れる四シームがあり、縫い目姿勢を変えた解析モデルがそれぞれ作成されている。解析には、汎用の動的有限要素解析ソフトウェアが使用され、投球後の縦・横の投射角( $\theta$ 、 $\phi$ )は、ボールの中心

表1 投球条件(無回転、直球、カーブ) [出典：文献4])  
unit ( $\text{min}^{-1}$ )

	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_1+N_2+N_3$
No-spin ball	1500	1500	1500	4500
Fastball	1700	1400	1400	4500
Curveball	1325	1750	1425	4500

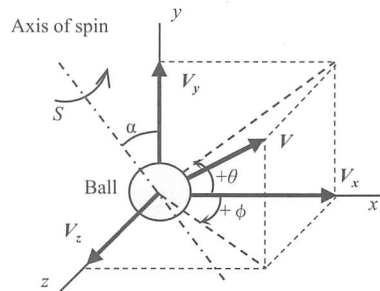


図3 投球後のボールの座標系 [出典：文献4])

を原点とする局所座標系(図3)で定義されている。

### 4. 投球解析の結果

$\mu$ の値を0.3、0.5、0.8に変化させた解析結果の一例として、二シームの直球投球時のボールのX方向速度の時刻歴変化を図4に示す。同図には、各ローラ回転数を1.67倍に増速した結果も示している。これより、いずれの場合もボールがローラと接触し始めると急激に速度が上昇し、リリースの直前にピークを生じる。一方、リリース後は一定の球速でボールが投球されていることが

わかる. また, 投球に要する時間は,  $\mu$  の値によって異なり 5~15 ms 前後のばらつきがある.

解析結果より,  $\mu$  の値によらず同じ投球条件ならば, ローラとの接触時間が多少異なるもののほぼ同様な速度-時間曲線を描き, 投球後の球速はほぼ等しく, 各ローラ回転数を 1.67 倍に増速すると球速は 25 から 41 m/s となり, 約 1.67 倍速くなる. これは, ボールがローラと接触し始める接触初期は, すべり状態であり  $\mu$  の大小でその接触時間は変化するが, ボールをリリースする瞬間は, ボールとローラの接触状態はほぼ全域で固着状態であり, 投球後の球速は  $\mu$  の値によってあまり変化しないものと考えられる. なお, 投球後のボールのスピンの数も球速同様,  $\mu$  の値にほとんど影響しない.

これより, 投球中の  $\mu$  の値を正確に同定することは困難であるが, 投球後のボールの球速やスピン等の動的挙動は  $\mu$  の値に影響されないため, 以降の解析では摩擦係数を  $\mu=0.5$  として, 実施されている.

二シーム投球時の  $x-y$  断面のせん断応力分布を図 5 に示す. (a)無回転よりも (b)直球の方がその絶対値は大きい. 直球を投球するには,  $N_1$  ローラの回転を速くしバックスピンをかけるため,  $N_1$  ローラとの接触面のせん断応力値が高くなっている.

二シームのボールを表 1 の 3 球種で投球した時の球速  $V$  の時刻歴を図 6 に示す. いずれの球種もほぼ同様な速度-時間曲線を描き, リリース直前にピークを生じ, リリース後はいずれの球種もほぼ一定の球速で投球されている. 球速は, 理論

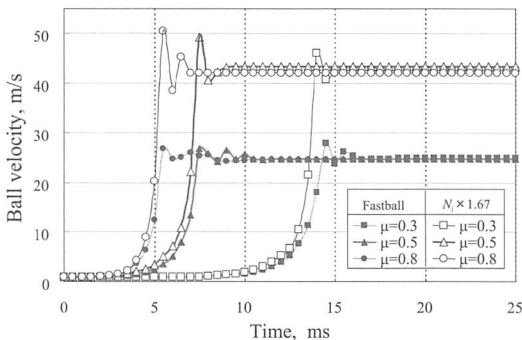


図 4 直球 (二シーム) 投球時の摩擦係数  $\mu$  による球速  $V$  の時刻歴変化 [出典: 文献 5)]

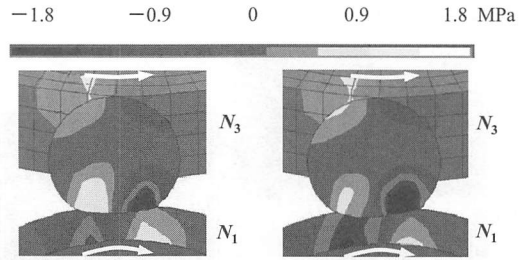


図 5 二シーム投球時の  $x-y$  方向のせん断応力分布 [出典: 文献 5)]

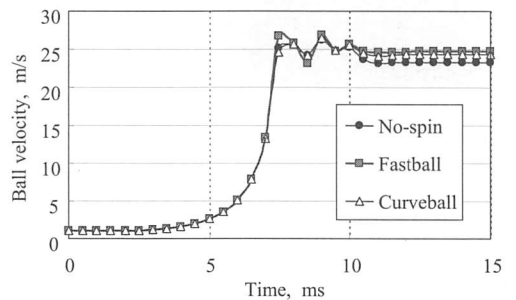


図 6 3 球種による二シーム投球時の球速  $V$  の時刻歴 [出典: 文献 5)]

的には, 各ローラの外周速度の平均値で表わされ, ローラ回転数の総和が等しい場合は, 球速はほぼ等しくなる<sup>1)</sup>.

図 7 は, 二シームの直球投球後のボールの飛翔の様子を示している.

### 5. 投球実験と解析結果の比較

図 1 のマシンを用いて, 図 7 と同じ投球条件の投球実験が行なわれた. そのときのボールの飛翔の様子が高速度ビデオカメラを用いて撮影された. 3 ms ごとのストロボ画像を図 8 に示す. 同条件の解析結果 (図 7) と比較すると, 両者の球速  $V$  やスピン数  $S$  は, ほぼ等しいことがわかる.

図 9 は, 二, 四シームで投球したときの球種ごとのスピン数  $S$  を比較したもので, いずれの球種においても実験値と解析値のスピン数はほぼ等しい. また, スピン数は, 三つのローラ回転数によって決定され, 縫い目姿勢による違いはほとんどないことがわかる.

投球後の横投射角  $\phi$  を各球種ごとに比較したものを図 10 に示す. 縫い目姿勢ごとに実験値と解析値をそれぞれ比較すると, 3 球種とも実験値

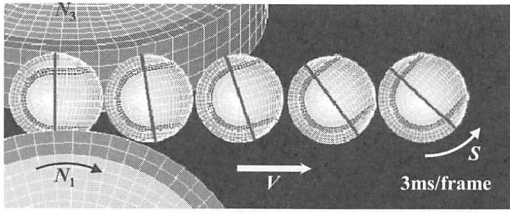


図7 ニシーム直球の飛翔の様子(解析)  $V=24.7\text{m/s}$ ,  $S=584\text{min}^{-1}$  [出典：文献5]]

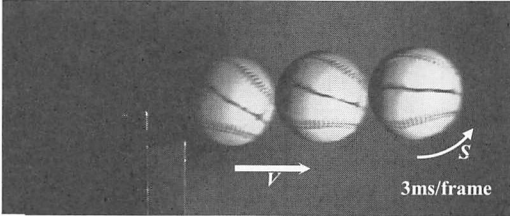


図8 ニシーム直球の飛翔の様子(実験)  $V=25.1\text{m/s}$ ,  $S=610\text{min}^{-1}$  [出典：文献5]]

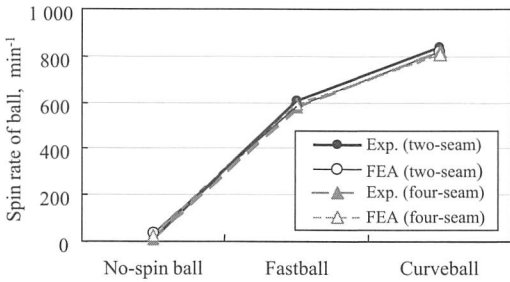


図9 3球種によるスピンの数  $S$  [出典：文献5]]

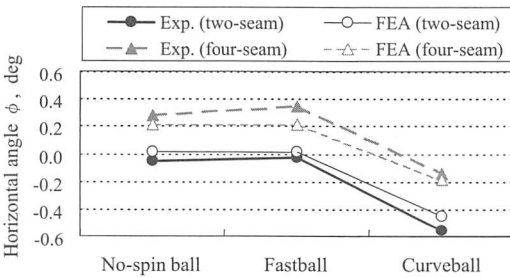


図10 3球種による横投射角  $\phi$  [出典：文献5]]

の方が絶対値はやや大きく多少差がある。また、二シームと四シームの実験値では、いずれの球種もその差が  $0.3\sim 0.4^\circ$  程度あることがわかる。

この差が、硬式野球ボールの縫い目による投球精度や制球精度の悪化の大きな要因と考えられる。もちろん縫い目姿勢(二、四シーム)が同じでも縫い目位置が異なれば、縦、横の投射角はさらに

ばらつくことが予想される。なお、本投球条件(初速  $25\text{m/s}$ )において、飛翔理論から横投射角  $\phi$  の差が  $0.2^\circ$  あるとホームベース上でその軌道が約  $70\text{mm}$  (ボール1個分) 横方向にずれる<sup>1,2)</sup>。

## 6. ローラ式ピッチングマシンのローラ数による投球性能の比較

市販されている二ローラ式および二ローラ式に加え水平方向にも二つのローラを設けた四ローラ式ピッチングマシンのボール縫い目の影響を紹介する。両解析モデルを図11, 12にそれぞれ示す。両モデルを用いて投球解析が実施されている。なお、解析条件は、三ローラ式と同じである。

二シームの直球を投球した時のボール速度の時刻歴をローラ数ごとに比較したものを図13に示す。これより、速度上昇率はローラ数が多いほど大きくなるが、投球後の球速  $V$  はローラ数によらずほぼ一定の速度である。

図14は、各縫い目姿勢におけるスピンの数  $S$  をローラ数で比較したものである。図より、直球やカーブでは、二ローラに比べて三、四ローラの方がスピンの数は高い。スピンの数は、直球や変化球の変化量を左右するため、二ローラ式ではその性能が低いと言える。また、スピンの数は、ローラ数、縫い目姿勢にあまり影響しないことがわかる。

次に投球精度を比較する。縦投射角  $\theta$ 、横投射

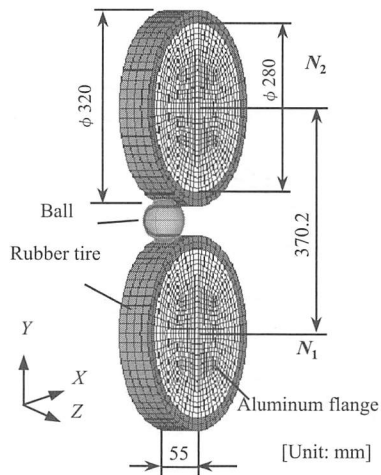


図11 二ローラ式ピッチングマシンの有限要素モデル [出典：文献1]]

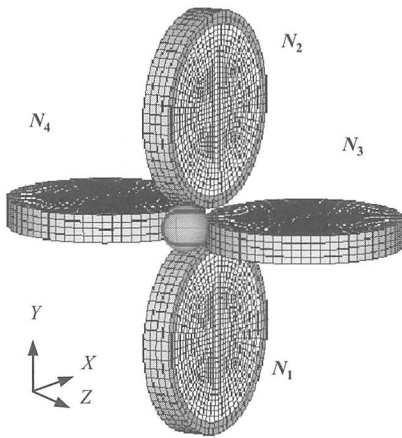


図 12 四ローラ式ピッチングマシンの有限要素モデル  
〔出典：文献 1〕

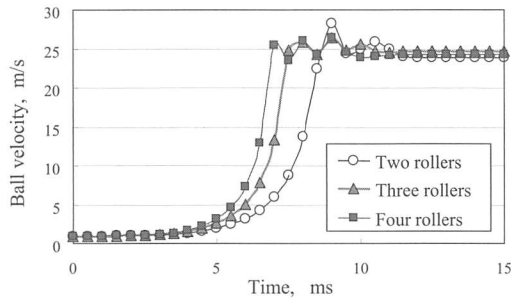


図 13 ローラ数による二シーム直球投球時の球速の時刻歴  
〔出典：文献 1〕

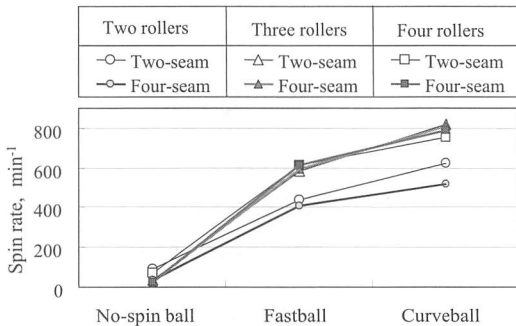


図 14 ローラ数による球種ごとのスピンの数  
〔出典：文献 1〕

角  $\phi$  の差をそれぞれ  $\Delta\theta = |\theta_2 - \theta_4|$ ,  $\Delta\phi = |\phi_2 - \phi_4|$  (なお、添字 2, 4 はそれぞれ二, 四シームを表す) とし、各ローラ数でこれらと比較したものを図 15, 16 にそれぞれ示す。

図より、 $\Delta\theta$  はややばらつきはあるもののロー

ラ数によらず無回転や直球よりもカーブの方が小さいこと、ローラ数の増加に伴って  $\Delta\theta$  は減少する傾向にあることがわかる。なお、初速 25 m/s (90 km/h) の直球投球時、 $\theta$  が  $+0.6^\circ$  ある場合、18.44 m 先のホームベース上では理論上、ボールは約 190 mm (ボール 2.5 個) 上方に軌道がずれる<sup>1)</sup>。

一方、 $\Delta\phi$  は、三ローラの場合、二, 四ローラに比べて、いずれの球種においても  $0.2^\circ$  前後で値が小さいことがわかる。また、初速 90 km/h のカーブ投球時、二ローラは  $\Delta\phi = 0.41^\circ$  なのでホームベース上では約 144 mm (ボール 2 個), 三, 四ローラでは  $\Delta\phi = 0.27^\circ$  なので約 94 mm (ボール 1 個強) 目標コースから横方向に軌道がずれる。

これより、四ローラは  $\Delta\theta$  が全体的に小さいものの  $\Delta\phi$  が三ローラよりも大きく、制御するローラ数が多くなる欠点がある。市販されている二ローラ式とアーム式の制球精度は、最新のものです縦 300 mm, 横 150 mm 程度であるが、三ローラ式の制球精度は、縦 185 mm, 横 94 mm であり、縫い目に対するロバスト性が高いと言える。なお、ロバストとは、「強靱な」または「頑強な」という意味であり、この場合、縫い目姿勢にばらつきがあってもその影響を受けにくく安定した (ロバ

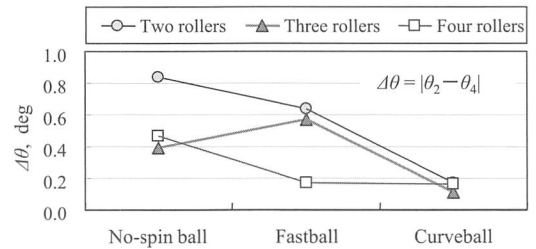


図 15 ローラ数による球種ごとの  $\Delta\theta$  の比較  
〔出典：文献 1〕

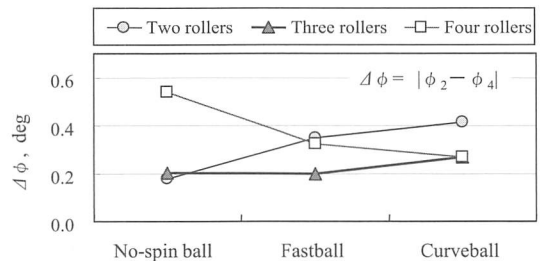


図 16 ローラ数による球種ごとの  $\Delta\phi$  の比較  
〔出典：文献 1〕

トな) 制球精度を維持できることを表している。

以上、構造・制御等の実用性を考慮すると、三ローラは最適なローラ数ではないかと考えられる。

### 7. ローラ間隔 $r$ の最適化

ローラでボールを挟持して投球するローラ式ピッチングマシンでは、各ローラの間隔  $r$  の値が投球性能に大きく影響する。そこで、著者らによって開発された三ローラ式ピッチングマシン(図1)のローラ間隔( $r=25.1$  mm)を可変した解析モデルを用いて、 $r$  の最適化が行われている。

ローラ間隔  $r$  を可変し、二、四シームの直球を投球した時の球速を図17に示す。これより、球速は縫い目姿勢にはほとんど影響されないことがわかる。また、 $23.1 \text{ mm} \leq r \leq 27.1 \text{ mm}$  の範囲では、 $25 \text{ m/s}$  前後の一定球速であるが、 $r$  の増加とともに球速もやや上昇し、 $r=31.1$  mm 近傍で最大球速となる。 $r \geq 32.1$  mm になると球速は急激に低下する。

$r$  を可変したときの  $\Delta\theta$  および  $\Delta\phi$  を図18に示

す。図より、 $\Delta\theta$  は  $r=33.1$  mm のとき最小値  $0.19^\circ$ 、 $\Delta\phi$  は  $r=27.1$  mm のとき最小値  $0.10^\circ$  である。

これより、 $r$  は  $23.1 \text{ mm} \leq r \leq 31.1 \text{ mm}$  が実用的な範囲で、その範囲内に限定すると、 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\phi$  とも最小値になる  $r=27.1$  mm 近傍に最適値があると推測される。最適値  $r=27.1$  mm のとき  $\Delta\theta=0.42^\circ$ 、 $\Delta\phi=0.10^\circ$  であり、このとき理論上の制球精度は、縦  $140$  mm、横  $50$  mm となる。

### 8. まとめ

本稿では、ローラ式ピッチングマシンにおいて、硬式野球ボールの縫い目が、球速やスピン、投球精度に与える影響について、トライボロジーの観点から解説をした。その結果、三ローラ式ピッチングマシンは、二、四ローラ式に比べて横方向の投球精度がよいことが明らかとなった。

今後の目標は、魔球の一つであるジャイロボール<sup>3)</sup>が投球可能で、針の穴をも通す高いコントロール精度を有するプロ野球の投手を超える夢の高性能ピッチングマシンを開発することである。

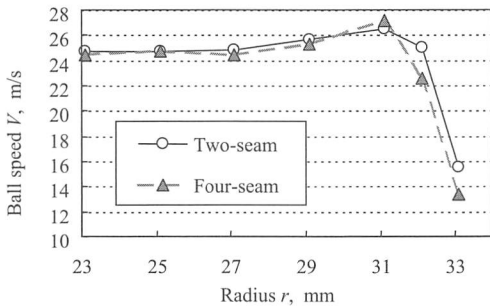


図17 ローラ間隔  $r$  を可変したときの球速  $V$   
 [出典：文献5)]

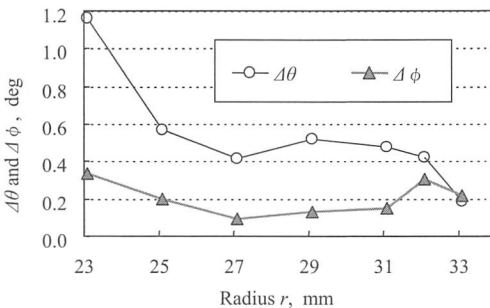


図18 ローラ間隔  $r$  を可変したときの  $\Delta\theta$ 、 $\Delta\phi$   
 [出典：文献5)]

### 文 献

- 1) 酒井 忍・尾田十八・北河勇一郎：ローラ式ピッチングマシンの投球精度向上に関する研究, 設計工学, **43**, 5 (2008) 39-44.
- 2) 溝田武人・久羽浩幸・大原慎一郎・岡島 厚：フォークボールの不思議? (沈む魔球フォークボールの空気力学), 日本風工学会誌, **70**, (1997) 27-38.
- 3) 姫野龍太郎：野球がおもしろくなる変化球の大研究, 岩波アクティブ新書, 岩波書店(2002).
- 4) 酒井 忍・角田裕俊・野辺亮太・中山 均・田辺壽一・北山哲士：野球用ローラ式ピッチングマシンの投球性能, 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009 CD-ROM 論文集, 415(2009) 1-5.
- 5) 酒井 忍・尾田十八・野辺亮太・角田裕俊・中山 均：三ローラ式ピッチングマシンの投球性能の向上研究, 設計工学, **45**, 1(2010) 24-29.

#### ■■■■■■■■■■ 著者プロフィール ■■■■■■■■■■

酒井 忍

1964年生まれ。石川工業高専機械工学科を卒業。博士(工学)。現在、金沢大学機械工學系、助教。主として、スポーツ工学、機械設計、知的設計に関する研究に従事。代表的な研究は、「卵殻の力学的解析」、「知的ピッチングマシンの研究」など。現在興味を持っているテーマは、「各種スポーツマシンの開発」など。日本機械学会、日本設計工学会、日本技術士懇談会に所属。

