

# Development research of intelligent pitching machine using neural network

著者	Oda Juhachi, Sakai Shinobu, Haba Yoshihiro
journal or publication title	日本機会学会論文集C編
volume	71
number	702
page range	555-560
year	2005-02-01
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/2175">http://hdl.handle.net/2297/2175</a>

# ニューラルネットワークを用いた変化球制御型ピッチングマシンの開発\*

尾田 十八<sup>\*1</sup>, 酒井 忍<sup>\*1</sup>, 米村 茂<sup>\*2</sup>  
河田 憲吾<sup>\*2</sup>, 堀川 三郎<sup>\*3</sup>, 山本 博之<sup>\*3</sup>

## Development Research of Pitching Machine Controlling Variable Ball using Neural Network

Juhachi ODA<sup>\*4</sup>, Shinobu SAKAI, Shigeru YONEMURA  
Kengo KAWATA, Saburo HORIKAWA and Hiroyuki YAMAMOTO

<sup>\*4</sup> Department of Human & Mechanical Systems Engineering, Kanazawa University,  
2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan

The most common commercial pitching machines are the "two rollers" type and also the "arm" type. These machines tend to have certain limitations. In particular it is very difficult to simultaneously change both ball speed and direction. Also some types of pitches, such as the curve or sinking ball, are not easily achieved. In this study, the hardware and software design of a new "intelligent" pitching machine which is able to pitch repeatably with selectable speed, direction and ball rotation, is presented. The machine had three rollers and the motion of each was independantly controlled by a heirarchical neural network. This network accepted ball speed, direction and rotation as inputs and produced detailed motion control of the three rollers as output.

**Key Words:** Pitching Machine, Base Ball, Neural Network, Intelligent Machine, Learning

### 1. 緒 言

ピッチングマシンは野球のバッティング練習の際に投手の代わりに投球を行うマシンであり、プロ野球からバッティングセンターまで幅広く利用されている。ピッチングマシンの一番の目的は、攻略したい相手投手のピッチングを再現し、バッティング技術を向上させることである。既存のピッチングマシンを用いればハイスピードボールや変化球も投球することは可能である。しかしながら、従来使用されているアーム式または、2ローラ式のピッチングマシンでは投球の速度とコースを同時かつ即座に変更することは困難である。さらに任意の球種（カーブ、シュート等）いわゆる変化球を希望するコースおよび速度に投げ分けることはほとんど不可能に近い。

そこで本研究では3個のローラを用いそのローラの回転数を各々独立に制御すると同時に、ボールの発射角を制御することによって、従来不可能であった任意の球種のボールを希望するコース、速度に投げ分けることのできる新型のピッチングマシンの製作を試みた。これは著者らがすでにコースと速度のみを可変できるものとして開発してきたピッチングマシン<sup>(1)</sup>をさらにレベルアップしたもので、その制御法にはニューラルネットワーク（以下NN）を用いている。このNNでは各コース、速度、球種を入力データ、各ローラの回転数および上下、左右の発射角を出力データとして学習を行い、バッターが希望するピッチングが可能となるようにしている。ここではそのようなピッチングマシンのシステムとその性能評価について記述する。

### 2. ピッチングマシンの現状とその問題点

ピッチングマシンにとって重要な性能の一つは、所定のスピードを発揮できる能力を有することである。それには、現在市販されているような人間の腕を模倣してボ

\*原稿受付 2004年5月28日。

<sup>\*1</sup>正員, 金沢大学工学部 (〒920-8667 金沢市小立野240-20)

<sup>\*2</sup>学生員, 金沢大学大学院自然科学研究科

<sup>\*3</sup>(株)キンキクレスコ (〒563-0025 大阪府也田市城南33-12)

E-mail: oda18@t.kanazawa-u.ac.jp

ールを投球する機構で、ばねとクランクを応用したアーム式 (図1) と、ローラを2個用いそれらを回転させ、ローラとボールとの摩擦力を利用してボールを発射させる2ローラ式 (図2) の2つがある。一般にアーム式の場合は速度のみ可変できるが、コースの変更は不可能である。また2ローラ式ではボールに与えられる回転の方向はローラが回転する平面上でしか与えられないのでボールはその平面上にしか飛んで行かない。つまりその平面上では回転数を変えることによって変化球やスピードを変えることが可能であるが、任意の変化球を得るためには、その平面を手動で回転させ、また試行錯誤的に回転軸を決定しているのが現状である。このように、既存のピッチングマシンは機構的にはある程度完成されたものとなっているが以上述べた欠点があるため、バッターが希望する球種やスピードのボールを任意のコースに投げ分けることが不可能である。

そこで著者らは以上述べたような既存のピッチングマシンに不足していると考えられる基本的な機能、すなわちバッターが希望する球種 (変化球) およびスピードのボールを希望するコースに自在に投げ分けることが可能な構造をもつピッチングマシンを開発することにした。そしてさらにそのマシンが使用される環境に対して適応して進化していくようなマシンを考えた。例えば風速、地面の傾き、気温、ボールの種類などが変化した状況下でも何球か試球をすればその環境における適性を学習してマシン自身の特性を変化させ、求めるコースや速度の投球を行うようなものである。このようなマシンを著者らは知的ピッチングマシンと呼んでいる。

### 3. 新型ピッチングマシンとその構造

さて、著者らはコースと速度の2つのパラメータを任意に制御し得る知的なピッチングマシンをすでに開発している<sup>0</sup>。これはボールの発射位置周りに3個のローラを配置したもので、各ローラの回転数を様々に変えることによってボールの回転方向は、3個のローラの回転軸を結ぶ平面に対して垂直に360度とることが可能である。

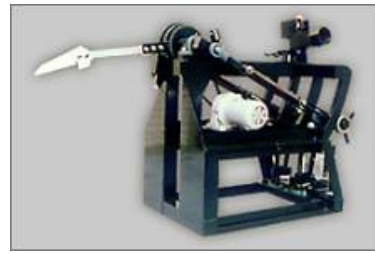


Fig.1 Pitching machine (arm type)



Fig.2 Pitching machine (2 rollers type)

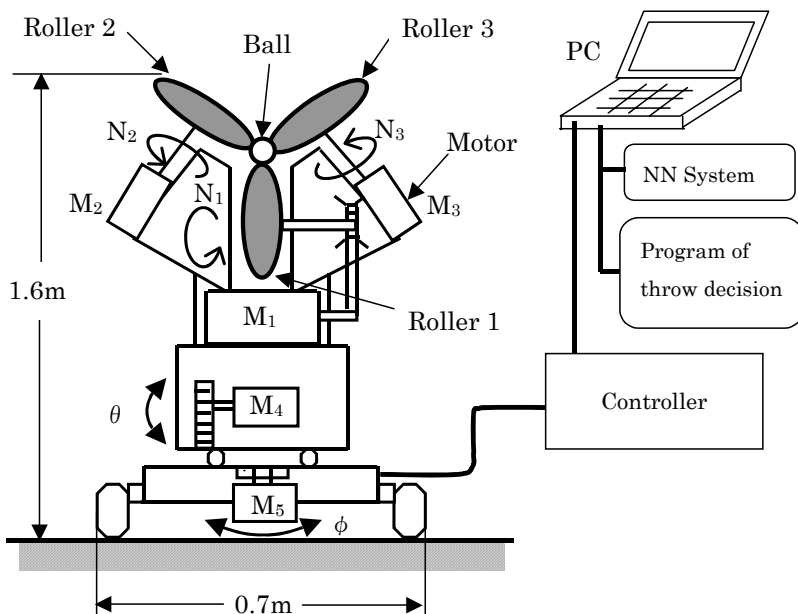


Fig.3 Constitution of the new pitching machine



Fig.4 New pitching machine (3 rollers type)

よってこの構造であれば3次元空間内の様々な球速、コースのみならず種々の球種の投球も可能であると考えられる。ただ前開発マシンでは、コースと球速制御のみに注目したが、この分野のニーズを調査したところ球速と球種の選定が特に重要であり、コースの選定はこれらに次ぐものであることが明らかとなった<sup>(2)</sup>。そこで、本報では、球速、球種、コースの3つを制御し得る新しい知的ピッチングマシンを開発することにした。

製作した新型のピッチングマシンの構造および制御システムを図3に、またその写真を図4に示す。図3から分かるように、ボールは発射位置周りに120度間隔でY字型に設置された3個のゴム製のローラとの摩擦力を利用して発射される。各ローラにはそれぞれモータが設置されておりVベルトを介して連動し、回転数は0~2300rpmまで可変でき各モータは各々独立に制御される。さらにこれらのボールを任意のコースに投げ分けるため、マシン下部にモータM<sub>4</sub>およびM<sub>5</sub>を設置し、マシン本体の上下角θを-6~+6°、左右角φを-5~+5°まで可変できるようにした。これらの新機構を採用した新型ピッチングマシンでは、最高速160kmhまでの任意の球速で、かつ広範囲の希望するコースに、任意の球種のボールを投球することが可能である。

なお、各モータはコントローラを介してPCに接続されており、PC上でモータの回転数を制御可能にしている。また、各種センサを用いて3個のローラの回転数N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>、マシンの上下角θ、マシンの左右角φ、ボールの初速度Vを実測している。

#### 4. NNを用いた投球制御方法について

3章で説明した多機能な知的ピッチングマシンの制御には、階層型NNを用いている。次にその制御方法について述べる。本制御では、基本的に投球したいボールのコース座標X, Y, 速度Vおよび後述する球種パラメータB<sub>x</sub>,

B<sub>y</sub>の5つの入力情報から、そのような投球をするための各ローラの回転数N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>とマシンの上下角θ, 左右角φの5変数を出力情報とするシステムを構築すればよい。それには理論的にボールの飛翔方向を算出する方法<sup>(3)</sup>がまず考えられる。そして、その手法については、著者らはすでに前報<sup>(1)</sup>で述べているようにボールの抗力係数やマグナス力等を測定することで一応可能ではあるが、これらには非常に手間と時間を要し、かつその割に精度の良いものとはならない。

そこで、複雑な理論式を用いなくとも入出力間関係を学習できる階層型NN<sup>(4)</sup>を本研究では採用した。NNを用いれば、いくつかの教師データを与えることによってNN自体が学習し、正しい出力をするようになる。ゆえに本マシンのようにマシン自体の特性が、その置かれた環境や使用法等に影響されるような非常に複雑な事象の制御問題に対して、NNは有効な手段である。そこで本研究で用いた階層型NNは、図5に示すような入力情報としてボールのコース座標X, Y, 速度Vおよび球種パラメータB<sub>x</sub>, B<sub>y</sub>の5つを、一方3個のローラの回転数N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>, N<sub>3</sub>とマシンの上下角θおよび左右角φの5変数を出力情報とする3層のネットワークとした。

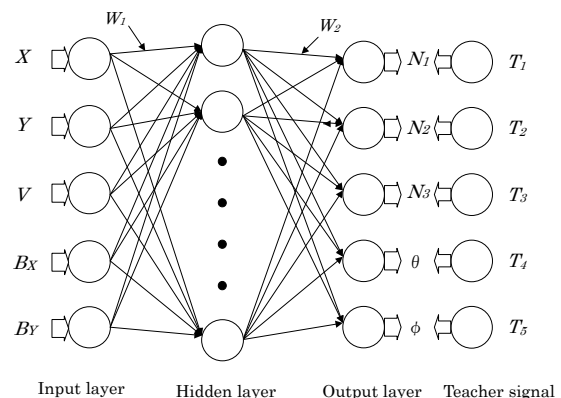


Fig.5 Neural network model

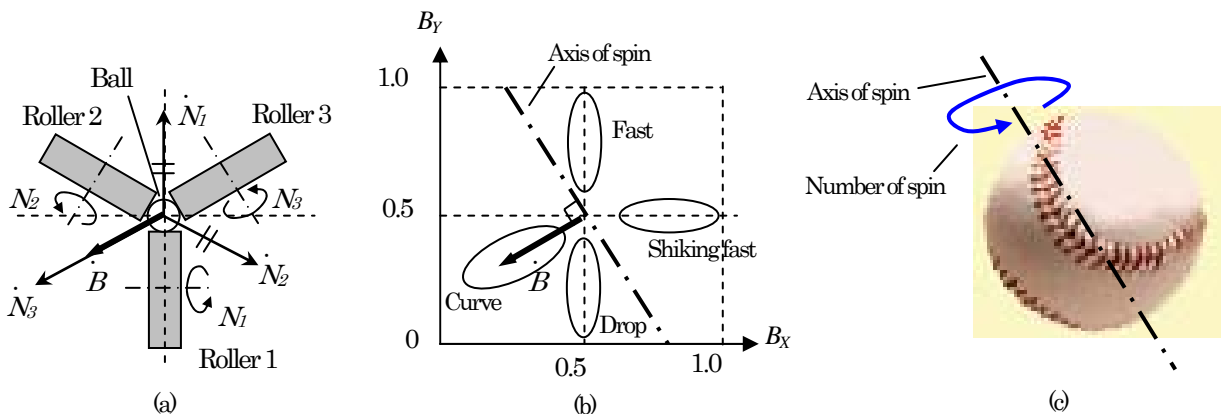


Fig.6 Variable ball parameter : B<sub>x</sub>, B<sub>y</sub>

このNNに教師データ $T_i$ を与え、出力 $N_i$ と教師データとの差の2乗、すなわち2乗誤差： $(T_i - N_i)^2 / 2$ をバックプロパゲーション法（誤差逆伝播法）によって減少させて行くことによって学習し、正確な出力をするようなNNを構築した。

## 5. 球種パラメータ $B_x, B_y$

さて、カーブやシュートなどの変化球を本報では球種と呼んでいるが、これを球種パラメータ $B_x, B_y$ の2つで表現する手法を提案する。

今、開発したピッチングマシンの3つのローラの回転数 $N_1, N_2, N_3$ を変化させ、 $N_3 > N_1 = N_2$ の関係にあるとする。このとき、各ローラがボールに与える回転モーメントをベクトルで表現すると、各ローラに対応したベクトル $N_1, N_2, N_3$ はそれぞれ120度間隔なので図6(a)で示される。またこの場合、 $N_3$ による回転ベクトル $N_3$ の大きさが最も大きく、 $N_1, N_2$ による回転ベクトル $N_1, N_2$ の大きさは互いに等しいものとなる。これら3つのベクトルを合成すると、図中の $B$ となる。このベクトルの大きさをローラの最大回転数で無次元化し横軸が $B_x$ 、縦軸が $B_y$ で、 $B_x = B_y$ を中心とする座標系に写像すると、図6(b)のように示される。このように定義されるベクトル $B$ の大きさが実際のボールに与えられる自転回転数（スピン）を、ベクトル $B$ と直交する方向がボールの回転軸を示すことになる。たとえば、先の $B$ の場合、ボールに対して図6(c)の状態となり、これは球種がカーブとなる。同様に、シュート、ドロップなども同図(b)に示す範囲として表現することができる。なお、 $0 < B_y < 0.5$ の範囲では、ボールの回転は順回転（フォロースピン）、一方 $0.5 < B_y < 1.0$ の範囲では、逆回転（バックスピン）、 $B_x = B_y = 0.5$ では、無回転ボールとなる。一般に、変化球は回転軸とスピんで決定できるため、2つの球種パラメータ $B_x, B_y$ で、あらゆる変化球を表現することが可能であると考えられる。なお、この手法の妥当性については、次章の基本性能試験で検討する。

## 6. 知的ピッチングマシンの性能評価

### 6.1 基本性能試験

本ピッチングマシンで3つのローラの回転数 $N_1, N_2, N_3$ および角度 $\theta, \phi$ を変化させることで、どのようなボールが投げられるかをまず調べた。実験用のボールは現在プロ野球に使用されている硬式ボールと同じボールを用いた。実験は、図7に示すようなピッチングマシンと距離14mにおいて幅0.75m、高さ1.25mの的を設置し、室

内で行った。また3つのローラの回転数とマシンの上下角、左右角を任意に選定して投球を行った。図8はその一例で115パターンを投球したとき、的に当たったコースの位置座標の結果を示す。すべてのデータは1パターンの投球に対して3球投球を行いその平均値を用いている。これより、ほとんどすべての領域にボールを投球できることがわかる。次に、図9は3つのローラの回転数の総和（ $N_1 + N_2 + N_3$ ）とボールの速度 $V$ との関係を示したものである。これより、両者にはほぼ線形性があること、また本マシンでは球速70~160km/hの範囲のボールが投球可能であることなどがわかる。また、高速度ビデオカメラを用いて各球種におけるボールの回転の様子を撮影

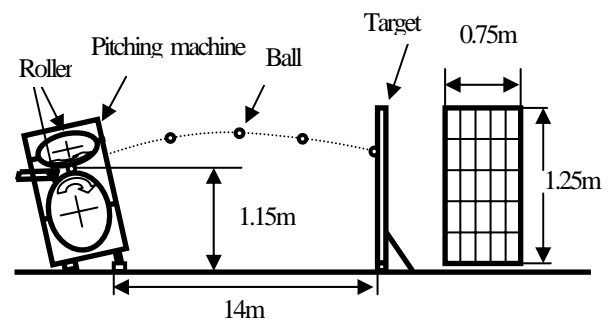


Fig.7 Experiment conditions

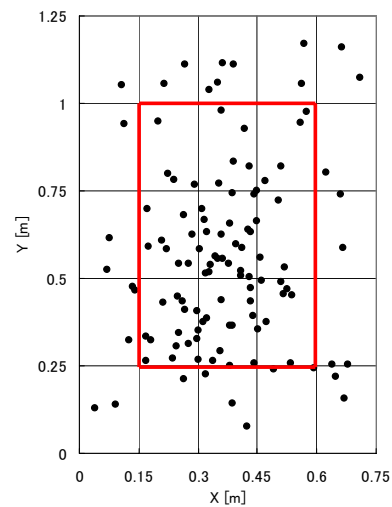


Fig.8 Example of pitching ball

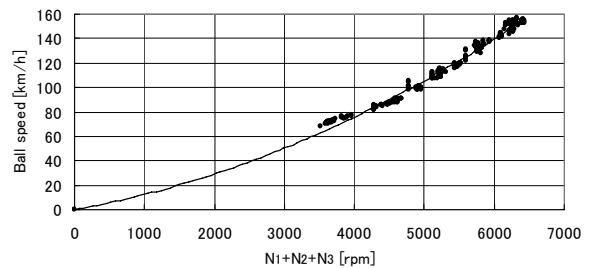


Fig.9 Relation between ball speed and revolution number of roller



した。図10はその一例で、 $N_1=2100\text{rpm}$ 、 $N_2=N_3=1500\text{rpm}$ 、 $\theta=\phi=0^\circ$  ( $B_x=0.5$ 、 $B_y=0.6$ ) の条件、つまり球種がストレートのときのボールの回転の様子を示したものである。これより、本マシンで投球したボールは実際のピッチャーの投球と同様、きれいなバックspin回転をしている。同様に図11は ( $B_x=0.4$ 、 $B_y=0.42$ ) の条件、カーブの回転の様子を示したものである。これを見るとボールの回転軸は鉛直方向からやや傾いた方向で、その回転はフォローspin回転をしており、先の図6(c)の回転軸方向、spinとほぼ一致していることがわかる。また、図には示していないが、ドロップ、シュート等についてもビデオ撮影を行いその回転の様子を確認している。これらのことから、種々の変化球を前章の球種パラメータ  $B_x$ 、 $B_y$  の2つで表現する本手法が十分妥当であるといえる。

### 6・2 総合性能評価

前節の実験データを教師データとして、NNをバックプロパゲーション法により学習させた。なお、 $N_1 \sim N_3$ 、 $\theta$ 、 $\phi$  を変えて投球し求められた  $X$ 、 $Y$ 、 $V$  および球種パラメータ  $B_x$ 、 $B_y$  (ただし、これらは5章で述べた  $N_1 \sim N_3$  から求めたものである) の組を学習データとしてNNを構築している。図12に学習過程の一例を示す。これより、教師データ数にかかわらず、学習回数とともに誤差が減少していることがわかる。

学習済みのNNを用いて実際の投球試験を行った。図8に示した115個の投球データを教師データとして学習させたネットワークで希望球種の投球試験を行った結果の一例を図13に示す。つまりあらかじめ希望したコース、5つの速度 (70, 90, 110, 130, 150 km/h) および4つの球種 (ストレート、ドロップ、カーブ、シュート) を決めておき、それに対するNN出力の  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  および  $\theta$ 、

$\phi$  を用いて投球した結果である。図中の\*印が希望したボールの位置 (的的真中) を示し、図13(a)では投球試験結果を各球種ごとに○□△◇印で示している。なお、○はストレート、□はドロップ、△はカーブ、◇はシュートをそれぞれ示している。一方図13(b)では同様の実験結

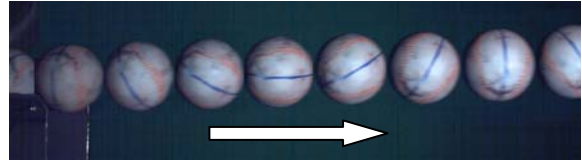


Fig.10 Behavior of the spin of fast ball using the high speed camera (2ms/frame)

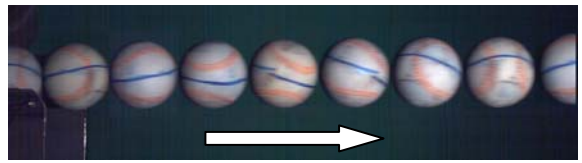


Fig.11 Behavior of the spin of curve ball using the high speed camera (2ms/frame)

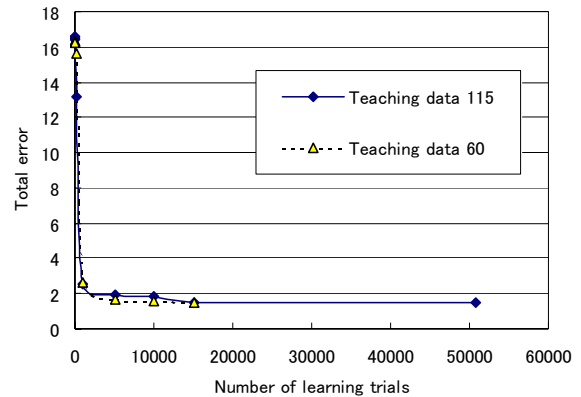
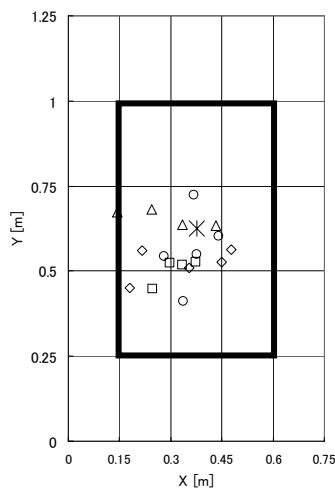
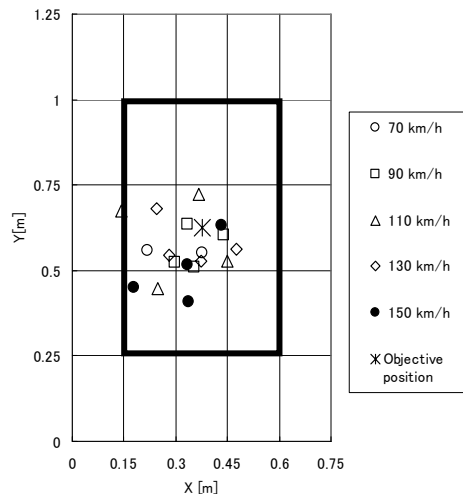


Fig.12 Error convergence situation



(a) Case by the variable ball



(b) Case by the speeds ball

Fig.13 Experimental results of ball using NN control

果を各速度をパラメータにして示している。これらの結果より、速度や球種では明確な相関関係はみられないが、全体としてある程度ばらつきはあるものの目標位置近傍に分布している。また、プロ級である速度 150kmh のボールをはじめ、いずれの速度や球種のボールにおいてもその位置は太線枠内のストライクゾーンを外れていない良い結果であった。これより、開発した本マシンは、プロ野球をも含む現状の野球で想定される広範囲の速度、多様な球種のボールを瞬時にかつ、ほぼ希望したコースに投げ分けることが可能で、市販のマシンに比べ高いポテンシャルを有しているといえよう。

なお以上述べた結果をより定量的に評価するため、次のような速度誤差 $\Delta V$ と、位置誤差 $\Delta r$ を定義した。

$$\Delta V = \left| \frac{V' - V}{V} \right| \times 100 \quad \dots (1)$$

$V$ : 速度 (目標値) ,  $V'$ : 速度 (実験値)

$$\Delta r = \sqrt{(X' - X)^2 + (Y' - Y)^2} \quad \dots (2)$$

$X$ :  $x$ 座標 (目標値) ,  $X'$ :  $x$ 座標 (実験値)

$Y$ :  $y$ 座標 (目標値) ,  $Y'$ :  $y$ 座標 (実験値)

図 14 は、希望速度と対応する投球の速度誤差 $\Delta V$ を 4 球種 (ストレート、ドロップ、カーブ、シュート) ごとに算出した結果を示したものである。図より、球種により多少ばらつきがあるもののその差は最小で 2.6%、最大でも 3.4% で非常に小さい結果となった。これは本マシンの特性として、先の図 9 に示したローラの回転数の総和と投球速度にはほぼ線形に近い関係があり、この特性の学習が容易であったためと考えられる。

一方、図 15 は、希望コースと対応する投球の位置誤差 $\Delta r$ を 4 球種 (ストレート、ドロップ、カーブ、シュート) ごとに算出した結果を示したものである。図より、速度誤差同様、球種により多少ばらついているもののその差は、最小のストレートでは約 100mm、最大のシュートでも約 150mm であった。ボールの直径が約 70mm であるので、その誤差はボール 2 個分程度に収まっていることがわかり、本マシンは非常に高い投球精度を有していることがわかる。ただ、多少誤差を生じている原因としては、同じコースで同じ球速であってもそのような投球をする回転数の組み合わせが多く存在することや、ボールとローラの接触時の摩擦特性が回転数やボールの縫い目によって複雑に変化するためであると考えられる。

## 7. 結 言

本研究では 3 ローラ式の新型ピッチングマシンを開発

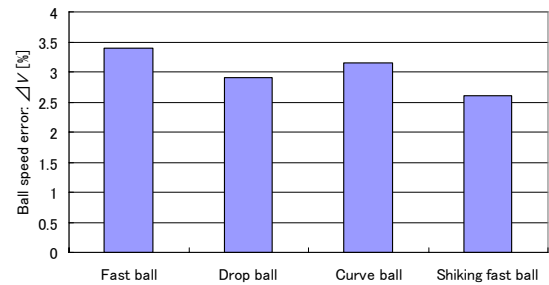


Fig.14 Relation between ball speed error and variable ball

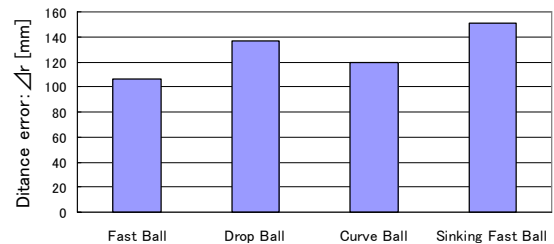


Fig.15 Relation between distance error and variable ball

し、ニューラルネットワークを用いてその回転数やボールの発射角を決定することにより希望したコースに、希望した速度と球種 (変化球) のボールを投球させることを試みた。その結果、多様な球種で球速が 70~160 kmh の広範囲で投球可能であり、またその投球精度は、速度と球種についてはほぼ完全に、またコースについても、ボール 2 個程度の精度で予測が行えた。これは、現状のピッチングマシンを遥かに凌ぐ十分な精度であり、非常に実用性の高い新型のピッチングマシンであるといえる。

最後に、本研究にあたり、当時本学 4 年生であった高桑啓介君、川村匠君にはマシンの製作や実験の際に多大なるご協力を頂いた、ここで謝意を表したい。

なお、ここで述べた新型ピッチングマシンについては、その構造と制御方法を含めてすでに科学技術振興事業団を通して特許申請 (特願 2001-45941) していること述べておきたい。

## 文 献

- (1) 尾田・酒井・羽場, ニューラルネットワークを用いた知的ピッチングマシンの開発研究, 機論, **69**-678, C (2003), 135-140.
- (2) 尾田・酒井・坂野, 人工知能技術を用いた新型知的ピッチングマシンの事業化研究, 金沢大学 平成 14 年度重点化経費研究抄録, (2003), 19-22.
- (3) Robert K Adair, (中村和幸訳), ベースボールの物理学, (1996), 10-36, 紀伊国屋書店.
- (4) 平野広美, C でつくるニューラルネットワーク, (1991), 15-46, パーソナルメディア.