

Development research of pitching machine controlling variable ball using neural network

著者	Oda Juhachi, Sakai Shinobu, Yonemura Shigeru, Kawata Kengo, Horikawa Saburo, Yamamoto Hiroyuki
journal or publication title	日本機械学会論文集C編
volume	69
number	678
page range	431-436
year	2003-02-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/2178

doi: <https://doi.org/10.1299/kikaic.69.431>

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*

尾田 十八^{*1} , 酒井 忍^{*2} , 羽場 吉博^{*3}

Development Research of Intelligent Pitching Machine using Neural Network

Juhachi ODA^{*4}, Shinobu SAKAI and Yoshihiro HABA

^{*4} Department of Human & Mechanical Systems Engineering, Kanazawa University,
2-40-20 Kodatsuno, Kanazawa-shi, 920-8667 Japan

It is very difficult to change simultaneously the pitching speeds and the courses in the usual used pitching machines of the arm type and the two rollers type. In this study, the pitching machine which is able to pitch exactly a base ball into various courses and speeds using the three rollers controlled independently the number of rotations, is developed. In the pitching machine, the layered neural network system in which the learning data use each course and speeds as input data and the number of rotation of each roller as output data is used. This machine is one of the intelligent sport machine. In this paper, the system and its mechanism are described.

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

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、現在プロ野球界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究極的な目的は、有名投手など、攻略したい相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一度マシンをセッティングすると限定されたコース、速度でしか投球することができず、投球のコース、速度を同時かつ即座に変更することは不可能である。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ことにより従来得ることのできなかった様々なコース、速度に投げ分けることのできる3ローラ式ピッチングマシンを開発した。な

おその制御法にはニューラルネットワーク (NN) を用い、各コース、速度を入力データ、各ローラの回転数、マシンの傾斜角を出力データとして学習を行う方法を用い、使用者が希望した投球をすることを可能にした。ここではそのような新しいピッチングマシンの構造、制御システムとその性能について記述する。

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必要かつ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。このため、ボールに対し力を瞬間的に加える必要がある。それには、実際に市販されているようなローラを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1) やバッティングセンターで多用されているばねとクランク機構を応用したアーム式がある。しかし、これらの装置ではボールの速度や、ボールの回転数、一定方向のコースの変化をボールに与えることはできるが、様々な方向へのコースの投げ分けやボールの回転軸を変化させることは機構的に不可能である。例えばアーム式の場合、速度のみを可変できるが、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

*原稿受付 2002年3月 日。

^{*1}正員, 金沢大学工学部 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

^{*2}正員, 金沢大学工学部

^{*3}金沢大学大学院

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

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、その平面からずれたところへは投球できない。さらにこれはローラで押さえつけるように投球するのでローラに対して垂直な方向にブレが生じ再現性が低い。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種々の欠点があるため、バッターが希望するコースや速度を投げ分けることが不可能である。つまりこれまでのマシンではバッターが容易に打てるボール、あるいはバッターの弱点を克服するようなボールなど、正確なコントロールを必要とする練習や、人間が投げるボールに近いような実践的な練習を行うことができなかった。

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コースに希望するスピードで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用いられる環境に対して適応していくようなもの考えた。例えば風速、地面の傾き、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ぶことにする。

3. 新方式ピッチングマシンとその構造

さて既存の2ローラ式のピッチングマシンはそのモータの回転数を制御するだけで容易に速度を変化させられることや、また2個のローラの回転数差を変えればローラの回転面内ではあるが変化球も投球可能である。そこでこれらの利点をさらに生かす形で3ローラ式ピッチングマシンを考えた。つまりボールの発射位置周りに3個のローラを配置すれば、各々の回転数を様々に変化させ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。よってこの構造であれば3次元空間内の様々なコース、スピード、球種の投球が可能であると考えられる。ただこの3個のローラの回転数を目的とする投球種に対し、いかに制御するかは難しい問題となってくる。

考えた装置の簡略図を図2に、また試作したマシンを図3に示す。図2から分かるように3個のローラの配置位置はボールの発射位置周りに120度の等間隔とした。ローラはどのように配置しても回転数の兼ね合いで様々な方向に投球可能であると考えられるが、左右対称かつ



Fig.1 Pitching machine (2 rollers type)

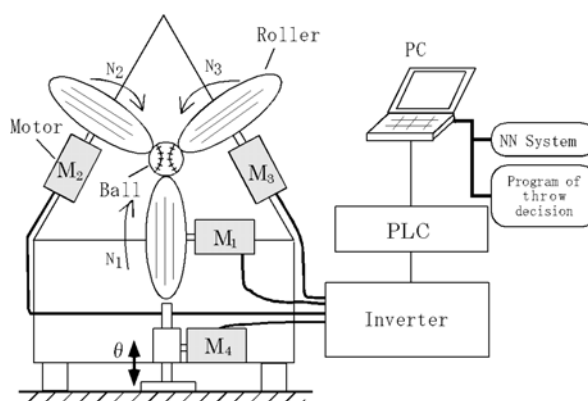


Fig.2 Pitching machine model

等間隔に配置することで投球の安定性、回転数を選定したときにある程度飛翔方向が予測可能、製作の容易さなどの利点があった。ただこの構造でマシンの角度を固定して投球試験を行ったところ、各々のローラの回転数を変更することで様々なコースに投球することは可能であったが、高い位置に遅い速度で投球することや、速い速度で低い位置に投球することが難しいなど性能の限界もあった。そこで、マシン自体の角度を自在に変更できるようにマシン前方にもう1個のモータを配置して角度可変機構を設けた。各モータはインバータ、プログラブルロジックコントローラ (PLC) 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なっている。また、各種のセンサを用いて3個のローラの回転数 N_1, N_2, N_3 、マシンの傾斜角 θ 、ボールの初速度 V を実測している。

4. 投球の制御方法について

2章で定義した知的ピッチングマシンを前章で述べた構造のみ、すなわちハード的方法のみで実現するのは非常に困難である。そこで本研究ではソフト的にその役割を負わせることを考えた。つまり3ローラ式ピッチングマシンの各ローラ等の制御方法を工夫し、ピッチングマシンが決定的化することを考えた。その制御方法についてここで述べる。

4・1 ボールの飛行軌跡の理論

本研究では、基本的には投球したい速度 V 、コース X 、 Y の3変数を入力すると、そのような投球をするための各ローラの回転数 N_1, N_2, N_3 とマシンの傾き θ の4変数を出力するシステムを構築する。まず、理論的にボールの飛行方向を算出する方法を考える。マシンから見て左右方向を X 、上下方向を Y 、ボールの進行方向を Z とする座標系を考える(図4)。空气中を進むボールは進行方向から空気抵抗力 F_d を受ける。

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad \dots (1)$$

ρ : 空気密度

C_d : 抗力係数

A : ボールの赤道断面積

ボールはマシンから発射された時に3個のローラによって回転数の回転を与えられる。なおその回転軸は X - Y 平面上にあり、回転軸の傾き α も3個のローラの回転数の兼ね合いによって変化する。回転しているボールには空気の流れる方向とボールの回転軸のいずれにも直行する方向にマグナス力 F_m が働く(図5)。

$$F_m = K f V C_d \quad \dots (2)$$

K : 定数

ボールの放物運動の方程式に空気抵抗力および、マグナス力の効果を考慮すると式(3)が得られる⁽¹⁾。しかしこの式を利用するために、野球ボールのように凹凸があるような球の抗力係数 C_d を求めるにはそれを風洞実験で計測しなければならない。また回転数や回転軸の傾き α を求めるには、高速度カメラで観測しローラの回転数との関係を定式化しなければならないなどと非常に手間と時間を要する作業が必要になってくる。またたとえそれらが可能となっても信頼性のあるデータを種々の投球条件下で求めることはきわめて難しい。そこで本研究ではこのような式を用いなくとも入出力間関係を学習できる階層型NNを採用することにした。

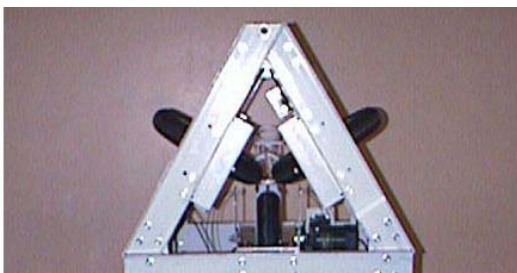


Fig.3 Pitching machine (3 rollers type)

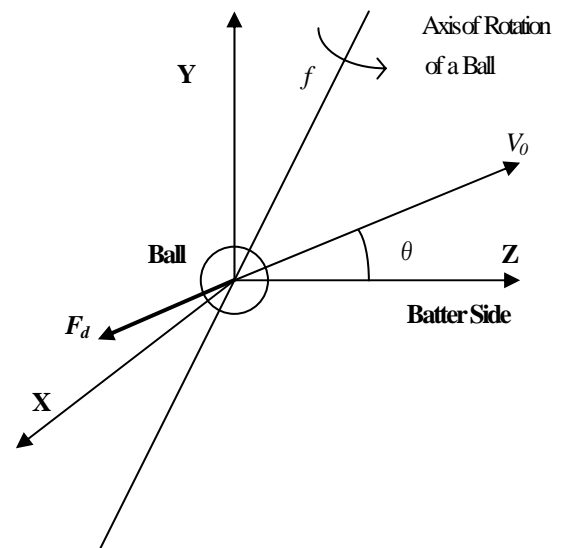


Fig.4 X-Y-Z coordinates

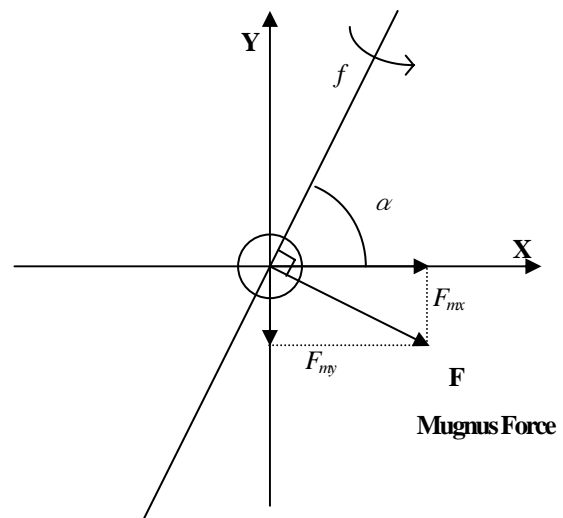
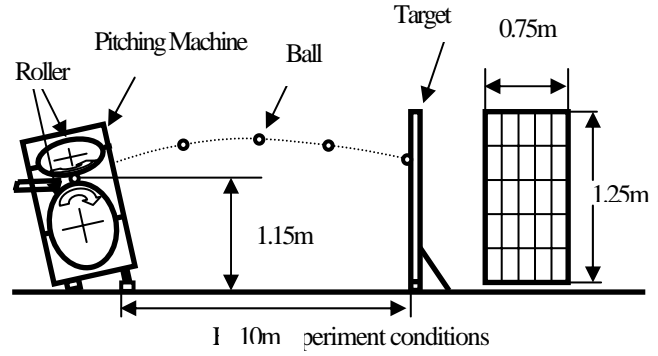


Fig.5 X-Y coordinates

$$\begin{cases} X(t) = -\frac{1}{2m} F_m \cos \alpha t^2 \\ Y(t) = V \sin \theta t - \frac{1}{2m} F_m \sin \alpha t^2 - \frac{1}{2} g t^2 \\ Z(t) = V \cos \theta t - \frac{1}{2m} F_d t^2 \end{cases} \dots (3)$$

g: 重力加速度
m: ボールの質量
t: 時間



4・2 NNを用いた制御方法 (2)~(3)

階層型NNを用いれば、前節のような複雑な数式によって入出力間の相関関係を求めなくても、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や、その置かれた環境に影響するような非常に複雑な関数関係があると思われる事象の制御に対して、NNは非常に有効な手段である。本研究では、階層型NNを用いる場合、その入力をボールの速度V、ボールの位置の座標値X、Yの3つで与え、3個のローラの回転数 N_1 、 N_2 、 N_3 とマシンの傾き θ の4変数を出力するものと考えた。つまり図6に示すネットワークを構築した。NNは教師データ 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になる。このような方法による制御が有効であるかどうかについて、閾値を使用するモデルと閾値を使用しないモデルを用い、また与える教師データ数を増加させそれぞれの効果を検討した。

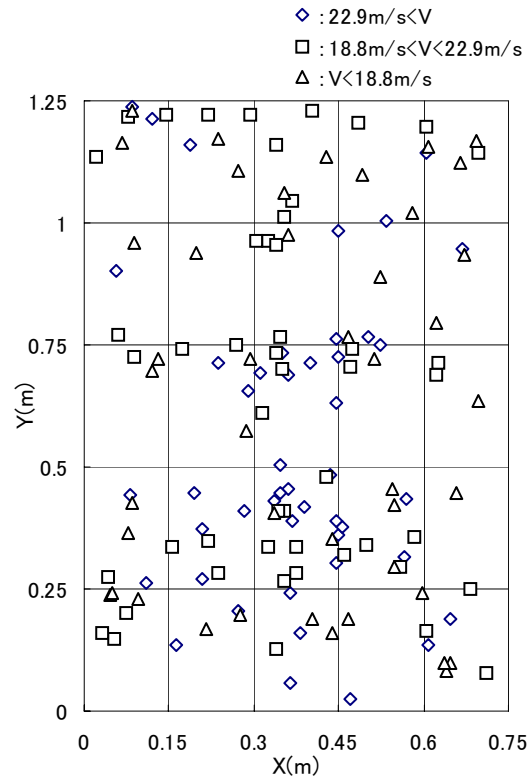
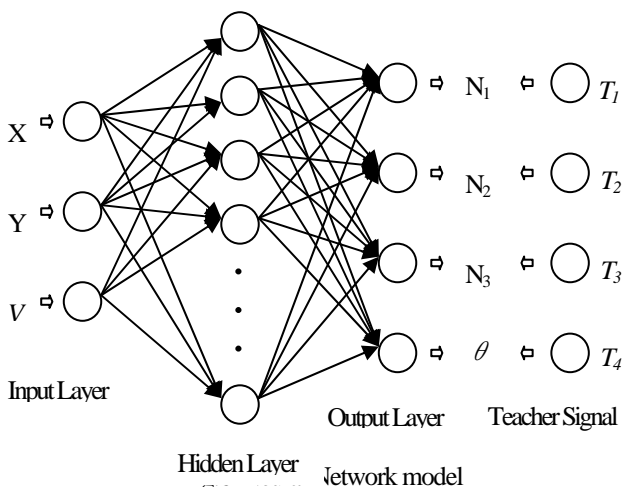


Fig.8 Examples of pitching ball

5. 知的ピッチングマシンの性能評価

5・1 基本性能試験

本ピッチングマシンで3個のローラの回転数 N_1 、 N_2 、 N_3 を変化させることで、どのような球が投げられるかをまず調べることにした。実験は図7に示すような、ピッチングマシンと距離10m、幅0.75m、高さ1.25mの的を設置し、室内で行った。また3個のローラの回転数とマシンの傾斜角を任意に選定して投球を行った。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をとっている。図8,9はその結果を示したものである。図8は的にあたった位置を示しており、的全域に様々な速度で投球することが可能であることがわかる。NNにはこの結果を教師データとして与え、入出力間の相関関係を学習させる。一方、図9は3個のローラの回転数の総

和とボールの速度の関係を示すグラフであり、非常にきれいな一次直線を描いており両者間にはほぼ比例関係があることがわかる。

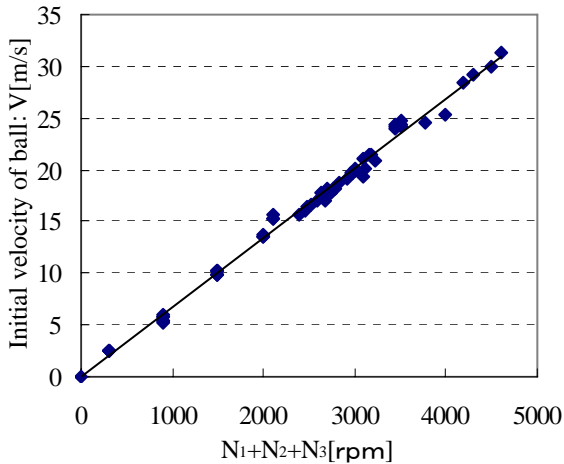


Fig.9 Relation between ball speed and revolution number of roller

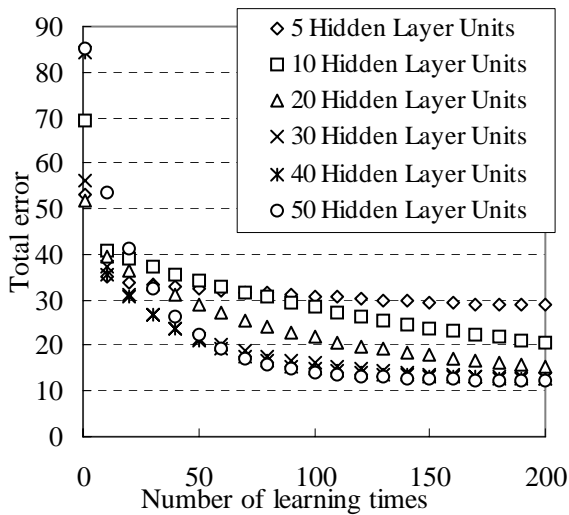


Fig.10 Error convergence situation

5.2 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、それを用いた実際の投球試験を行った。ここで、閾値を用いないNNの中間層ユニット数は50個に、閾値を用いたNNの中間層ユニット数は14個に固定した。これは中間層ユニット数を変化させてみて、教師データを学習させた場合に、もっとも正確に教師データを学習した中間層ユニットの数を採用したものである。たとえば図11は閾値なしの場合の学習状況を示す。

以上のようなNNを用いて、的の指定した9点(図11中の▲の位置)と、その速度を一つの点に対してそれぞれ3種類(16.7m/s, 20.7m/s, 25.0m/s), つまり計27パターンに対し、それらのX座標, Y座標, ボールの初速度Vを入力して、各ローラの回転数 N_1, N_2, N_3 , マシンの傾斜角 θ を出力させた。それらを用いて実際に投球した結果について次に述べる。

図11での◇, △, ○印のデータは閾値を用いたNNに139パターンの教師データを学習させたものを用いて以上述べた希望球種の投球試験を行った結果である。これよりNNにより N_i と θ を用いた投球結果はほぼ希望したもの的一致していることがわかる。ただこれらをもう少し定量的に評価するため、次のような球速度誤差 ΔV と、位置誤差 Δr を定義することにした。

つまり、速度誤差は次式で与える。

$$\Delta V = \left| \frac{V' - V}{V} \right| \times 100 \quad \dots (4)$$

V: 速度 (目標値)

V': 速度 (実験値)

図12は各NNについて27パターンの投球を行ったこの値の平均値が教師データ数の変化によってどのようにかわるかを示したものである。

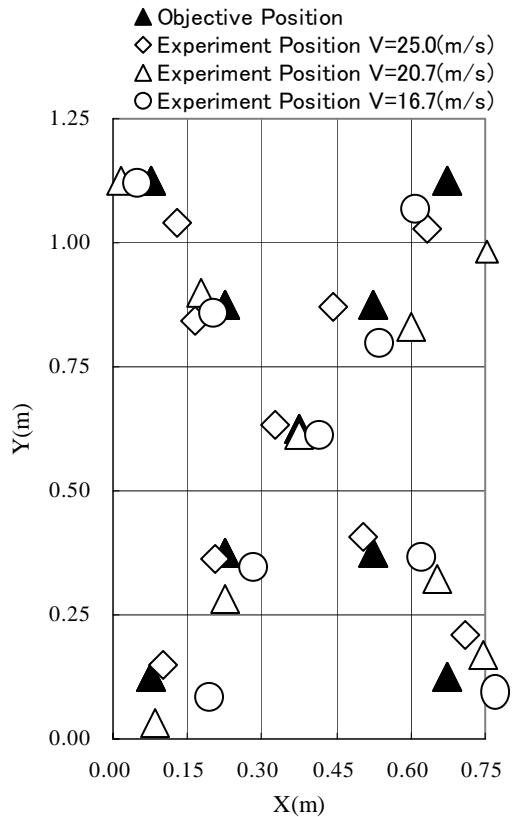


Fig.11 Experimental results using NN control

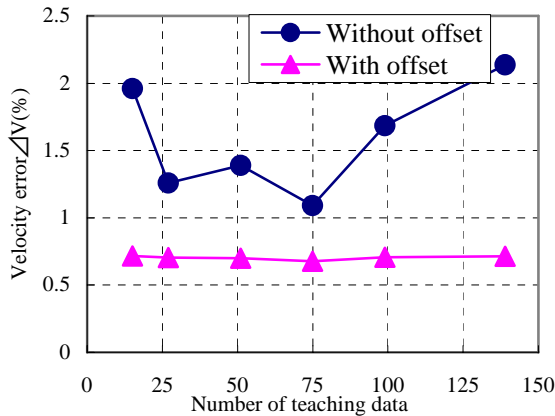


Fig.12 Relation between velocity error and teaching data

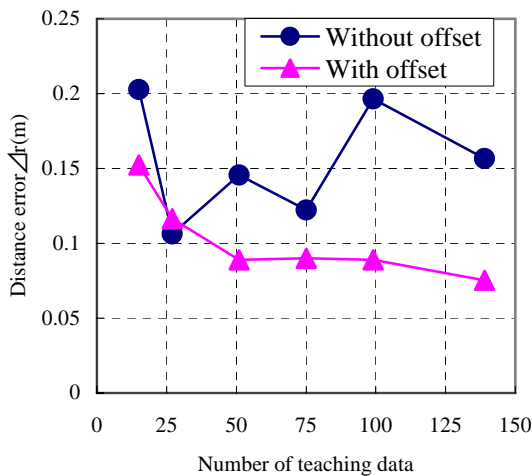


Fig.13 Relation between distance error and teaching data

また位置誤差を次式で定義する.

$$\Delta r = \sqrt{(X' - X)^2 + (Y' - Y)^2} \quad \dots (5)$$

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 13は各 NNについて 27 パターンの投球を行った平均値と教師データ数との関係を示したものである.

まず図 12 より速度誤差の平均は、閾値がない場合では 1~2%の間をばらつくが、閾値がある場合は教師データの数に関係なく約 0.7%を示している。これより速度に関しては入出力間がもともと図 9 に示すように一次直線関係にあることから教師データが 15 個程度と非常に少なくても正しい出力をすることが可能であることがわかる。一方、位置誤差に関しては、図 13 より閾値のない NN では教師データを増加させても必ずしもその値は減少せず、最小値は教師データが 27 個の時点で 10.6 (cm)を示した。

これに対して閾値を用いた NN では教師データが 51 個を超えると減少割合は低下するものの、距離誤差は減少していき、139 個になった時点で最小値 7.5 (cm)を示した。これより位置の制御は、入出力間が非常に複雑な関数を示すことからより自由度のある関数として閾値を有するものが良く、また教師データもある程度多く必要であることがわかる。

なお以上の実験の範囲で最も ΔV 、 Δr の少ない結果が出た条件は、閾値のある NN で、教師データ数 139 個の時に、 $\Delta V = 0.71$ (%), $\Delta r = 7.5$ (cm)であった。これはボールの直径が 7.0 (cm)であるので位置誤差はボール約 1 個分の精度であることがわかる。以上のことから本マシンは角度可変機構と閾値を用いた NN を用いることで従来のピッチングマシンに比べるとさらに自由度が高くかつ精度の高いマシンで、十分に実用性があるレベルに到達しているといえる。また階層型 NN の特性より、マシンの使用環境が変化しても、その環境下で教師データを求め、それらを学習すれば以上で述べた精度は確保されることが考えられる。これらのことから知的ピッチングマシンの開発が行えたものと言えよう。

6. 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し、ニューラルネットワークを用いてその回転数、マシンの傾きを決定することにより希望した速度とコースに投球させることを目的とした。速度については非常に正確に予測することが可能であった。またコースについても教師データを増加させることによって誤差は減少しボール 1 個程度の精度で予測が行え、非常に実用性の高い新方式ピッチングマシンを開発することに成功した。

最後に、本研究にあたり、当時本学 4 年生であった戸市進之介君、高桑啓介君にはマシンの製作や実験の際に多大なるご協力をいただいた、ここで謝意を表したい。

また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 2001-045941) していること述べておきたい。

文 献

- (1) Robert K. Adair, (中村和幸訳), ベースボールの物理学, 紀伊国屋書店, (1996) .
- (2) Bahman Kermanshahi, ニューラルネットワークの設計と応用, 昭晃堂, (1999) .
- (3) ニューロンネットワーク+桐谷滋著, 入門と実習 ニューロコンピュータ, 技術評論社, (1989) .