

知的ピッチングマシンの開発とその周辺技術に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 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	http://hdl.handle.net/2297/26897

氏 名	酒井 忍
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博乙320号
学 位 授 与 の 日 付	平成20年3月22日
学 位 授 与 の 要 件	論文博士（学位規則第4条第2項）
学 位 授 与 の 題 目	知的ピッチングマシンの開発とその周辺技術に関する研究
論文審査委員（主査）	尾田 十八（自然科学研究科・教授）
論文審査委員（副査）	神谷 好承（自然科学研究科・教授）、岩田 佳雄（自然科学研究科・教授）、 米山 猛（自然科学研究科・教授）、坂本 二郎（自然科学研究科・准教授）

Summary

The most common commercial pitching machines for baseball are the "roller" type and the "arm" type. These machines are very difficult to simultaneously change ball speed, direction and variations. In the present study, the design and development of a new "intelligent" pitching machine which is able to pitch repeatedly with selectable speed, direction and ball types, are described. The machine has three rollers which are independently controlled by a hierarchical neural network. The network accepts ball speed, direction and rotation as inputs and produce detailed motion control of the three rollers, horizontal and vertical angles as output. The pitching machine has high performance which adopts wide range of speeds of up to 44.4m/s (160km/hr), ball types (the fast, curve, screw and fork balls) and a wide range of arbitrary direction hoped for, can be pitched.

Next, the moving behavior and contact stress state of the ball pitched with the rollers type pitching machine is analyzed using dynamic finite element analysis. And the effect which a seam of a baseball gives to the throw accuracy is analyzed numerically. The initial velocity and the spin rate of the pitched ball are filmed using a high-speed videograph, and those pictures are compared with the finite element analysis. The results show that the ball's velocity and spin rate are relatively unaffected by the seam orientation, while the throw's horizontal and vertical angles are notably affected by the relative angular velocity of the rollers and the orientation of the seam.

1. 緒 言

ピッチングマシンとは、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、現在プロ野球から少年野球あるいはバッティングセンターまで幅広く利用されている。しかし、現在市販されているアーム式や二ローラ式ピッチングマシンでは、投球の球速とコースを即座に変更することは困難である。また、カーブ、シュート等の変化球を希望するコースおよび球速に投げ分けることはほとんど不可能に近い。

そこで、本研究では幅広い球速（70～150km/h）で多様な変化球のボールを、打者が要求するコースに、次々に制球よく投球できるマシン、つまり既存のマシンを遥かに凌ぐ高い投球性能を有したピッチングマシンを設計・開発することを目的とした。さらに、そのマシンが使用される環境などに対して適応して進化していくような知的なマシンを開発する。知的マシンとは、たとえば風、地面の傾き、気温などが変化した状況下でも何球か試球を行えばその環境に順応しマシン自身がその特性を変化させ、求めるコースや球速の投球を行うマシンをいう。

他方、実際の野球の投手、特にプロ野球の投手は 150km/h を超える球速で、かつ多彩な変化球のボールをコントロール良く投球している。しかしながら、既存のピッチングマシンの投球精度

は低く、むしろ人間の投手の方が現状では上回っている。その大きな理由は、硬式野球ボール特有の縫い目にある。野球の投手は、この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ボールの縫い目は、投球精度を悪化させる要因となるからである。しかし、現状のピッチングマシンではボール縫い目を考慮した設計・開発がなされてはいない。このため、本研究では、ピッチングマシンのローラと硬式野球ボールの縫い目による投球性能や投球精度の影響を考察し、開発した知的ピッチングマシンの実用化に向けた、さらなる投球精度向上法の検討および提案をする。

2. 新型の三ローラ式ピッチングマシン

設計・開発した新型の三ローラ式ピッチングマシンを図 1 に示す。ボールは発射位置周りに 120° の等間隔で Y 字型に設置された三つのゴム製ローラとの摩擦力を利用して投球される。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、インバータ装置によりその回転数は $0 \sim 2300 \text{min}^{-1}$ の範囲内を 2min^{-1} の精度で各々独立に制御できる。また、マシン前方下部にモータ M_4 および M_5 を設置し、マシン本体の上下角 θ 、左右角 ϕ を可変できるようにした。これらの新しい機構および構造を採り入れた結果、新ピッチングマシンは球速が最低 70km/h ～最高 160km/h 、任意の多様な球種のボールを希望する広範囲のコースに投球することが可能となった。なお、各モータはコントローラを介してパーソナルコンピュータ (PC) に接続されており、PC 上ですべてのモータの回転数および発射角を一括に制御することができる。

開発したピッチングマシンのローラ回転数や発射角の制御には、階層型ニューラルネットワーク (NN) を用いている。本投球制御に用いた変化球制御用の階層型 NN モデルを図 2 に示す。NN の入力情報としては、投球したいボールのコース座標 X , Y 、球速 V および球種パラメータ B_X , B_Y の五つの入力情報から、そのような投球をするための各ローラの回転数 N_1 , N_2 , N_3 およびマシンの上下角 θ 、左右角 ϕ の五変数を出力情報とするシステムを構築し、それらの重みを同定する。一般に、ボールの飛翔軌跡を理論的に算出するためにはボールの抗力係数やマグナス力等を正確に測定す

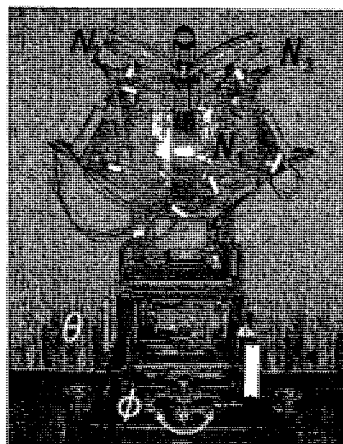


Fig.1 New Pitching machine

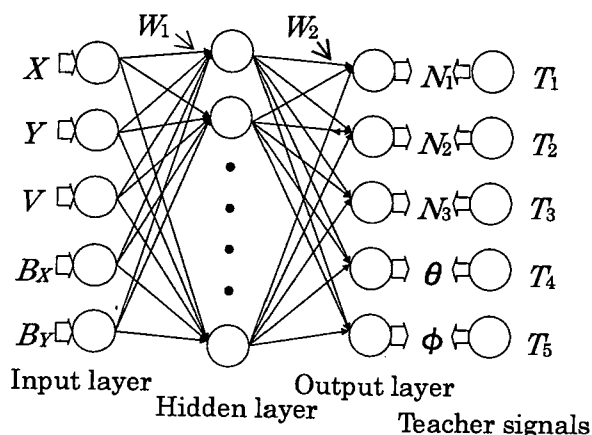


Fig.2 Hierarchical NN model

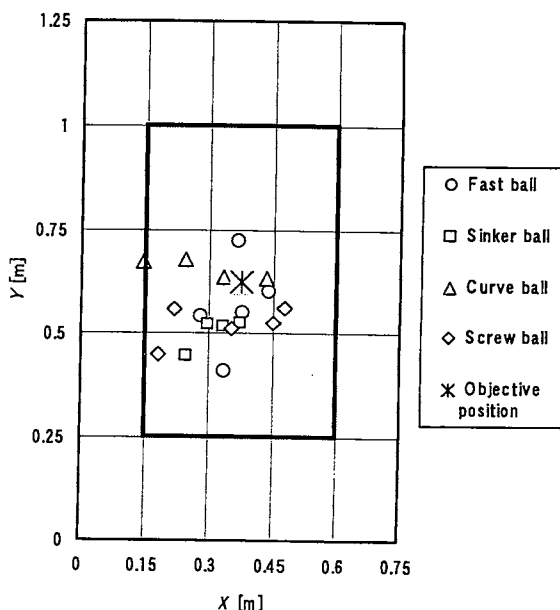


Fig.3 Experimental results using NN control

ることが必須となるが、NN を用いることでその必要はなくなり、いくつかの試投を行って教師データを NN に与えることによって、NN 自身が入出力間の関係を学習（自己組織化）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 はきわめて有効な手段となり得ると考えられる。

次に、115 個の投球実験データを学習させた NN を用いて希望球種の投球実験を行った。これは、あらかじめ希望するコースと五つの球速（70, 90, 110, 130, 150 km/h）および四つの球種（直球、シンカー、カーブ、シュート）を決め希望する投球を選択する。NN システムは、これらの入力情報を基に各ローラ回転数およびマシンの発射角を出力し、これらを用いて投球実験を行い、投球精度評価を行った。

投球実験結果の一例を図 3 に示す。図中の * 印が狙ったコース位置（的の真中）、○は直球、□はシンカー、△はカーブ、◇はシュートをそれぞれ示している。これより、球速や球種による明確な相関関係は特にみられない

が、いずれの投球も多少バラツキはあるもの目標位置周辺にボールが分布していることがわかる。また、プロ投手級である球速 150 km/h のボールをはじめ、いずれのボールもその位置は太線枠内のストライクゾーンを外れてはいない結果を得た。これらの結果を定量的に評価するため、球速誤差 ΔV および位置誤差 Δr を次式で定義する。

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

ただし、 V : 球速（目標値）、 V' : 球速（実験値）

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

ただし、 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 4 は、希望球速と対応する投球の球速誤差 ΔV の平均値を四つの球種ごとに算出した結果を示したものである。図より、球種により多少バラツキがあるもののその差は最小値で 2.6%，最大値でも 3.4%であり、その値は非常に小さい結果となった。また、図 5 は希望コースと対応する投球の位置誤差 Δr の平均値を ΔV 同様四つの球種ごとに算出した結果を示したものである。これより、球速誤差と同様、球種により多少バラツキが生じているもののその差は、最小の直球では 105mm，最大のシュートでも 150mm であった。ボールの直径が約 70mm なので、その誤差はボール 2 個程度に収まっている。これより、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、硬式野球ボール特有の縫い目によってローラとの接触状態が複雑に変化するため起こると予測される。

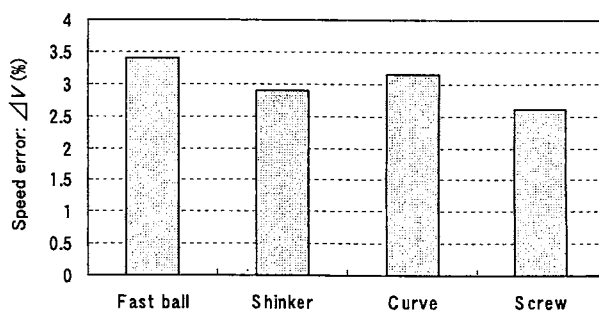


Fig.4 Relation between ball's speed error and ball types

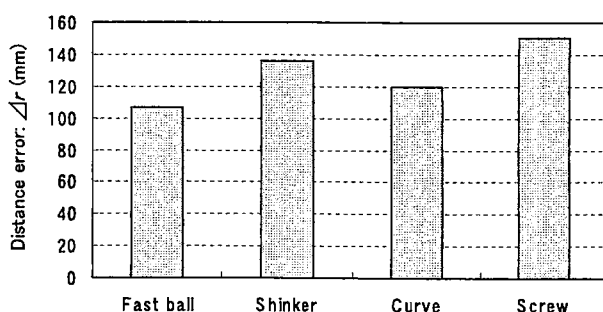


Fig.5 Relation between distance error and ball types

3. ピッチングマシンの投球精度向上法

さて、開発したピッチングマシンは高い投球性能を有していたが、本マシンを実用化するには安全上、さらなる投球精度向上が必要となる。そのためには、ボールの縫い目による投球精度の影響を考慮したピッチングマシンの設計・開発が必要不可欠である。そこで、有限要素法（FEM）を用いて、ピッチングマシンのローラと硬式野球ボールの縫い目による投球精度の影響を考察し、さらなる投球精度向上法の検討を行う。

図 1 の三ローラ式マシンの解析モデルを図 6 に示す。解析は、マシン投球時の初期条件（初速 1.0m/s、スピン数 273 min^{-1} ）をボールに与え、各ローラ回転数を種々変化させて行った。解析条件を表 1 に示す。また、ボールの回転方向としては、縫い目が二回現れるニシームおよび四回現れる四シームがあり、縫い目姿勢を変えたものと縫い目の無い（真球）モデルを作成し、縫い目を与える影響について検討した。なお、解析には汎用動的有限要素解析ソフトウェア ANSYS/LS-DYNA を用いた。

解析結果の一例として、摩擦係数 μ を変化させたときのケース 2 およびケース 2 のすべてのローラ回転数を 1.67 倍にしたときのボール速度の時刻歴変化を図 7 に示す。図より、いずれの条件で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ている。一方、リリース後はほぼ一定の球速でボールが投球されていることがわかる。図 8 は、有限要素解析によるニシーム、ケース 2（直球）のボールの飛翔挙動を示す。また、同投球条件における投球実験の様子を高速度ビデオカメラ（nak 製：fx-k3）を用いて 1ms 間隔で撮影した。その画像の様子を図 9 に示す。両図ともボールはバックspinしながら飛翔し、その様子はよく一致していることがわかる。

図 10 は、ボール投球後の縦投射角 θ を各球種ごとに比較したものである。ニシームの実験

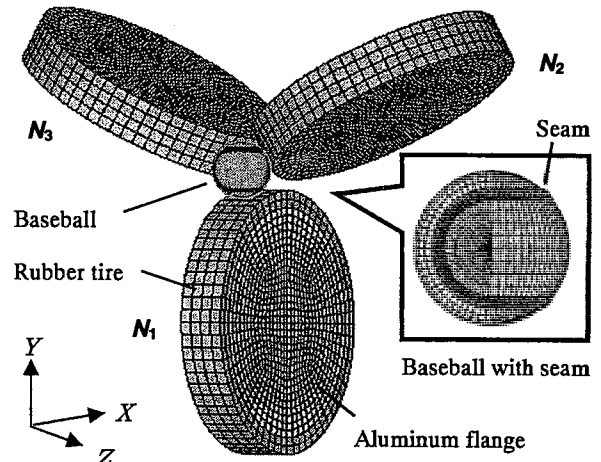


Fig.6 Finite element models of baseball and three rubber rollers (15 104 elements)

Table 1 Analytical conditions

	N_1	N_2	N_3	unit (min^{-1}) $N_1+N_2+N_3$
Case 1 (No-spin ball)	1 500	1 500	1 500	4 500
Case 2 (Fast ball)	1 700	1 400	1 400	4 500
Case 3 (Curve ball)	1 325	1 750	1 425	4 500

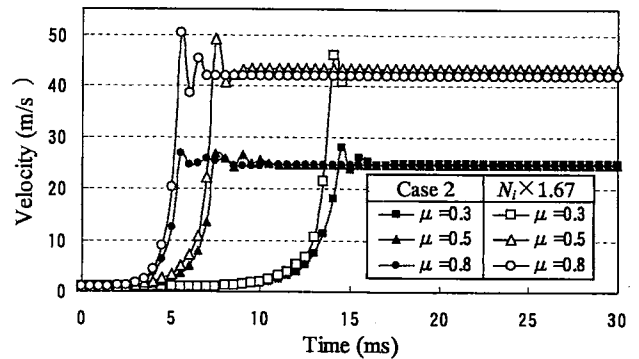


Fig.7 Time history of velocity for pitched fast ball

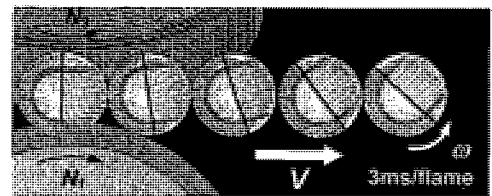


Fig.8 Behavior of the ball using finite element analytical results in Fast ball ($V = 25.1 \text{ m/s}$)

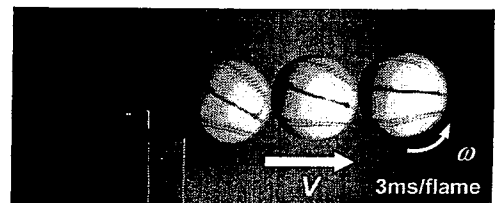


Fig.9 Behavior of the ball using high-speed camera in Fast ball ($V = 24.2 \text{ m/s}$)

値と解析値を比較すると、ほぼ等しい値となっていることがわかる。他方、二シームと四シームの解析値を比較すると球種が無回転やストレートでは大きく異なることがわかる。これは、縫い目姿勢によって、投射角が変化することを表わしており、これが縫い目による投球時のコントロール精度低下の大きな要因であることが明らかとなった。

次に、実際のマシンのローラ間隔 r を 2mm ピッチで変更したモデルを作成し、同様に解析を行った。その結果の一例として、図 11 に横投射角 ϕ の結果を示す。これより、シーム無や二シームでは r の値によらず ϕ は小さいことがわかる。一方、四シームでは r の値によって ϕ は大きく変動し、横方向 ϕ の投射角の差が小さくなる r の範囲 ($27\text{mm} < r < 31\text{mm}$) があることがわかる。つまり、縫い目に投球精度が影響されにくいロバストなローラ間隔のあることが明らかとなった。

4. 結 論

本研究では、野球用ピッチングマシンとして三ローラ式の構造を提案し、その制御方法に NN を適用することで、任意の球速、変化球のボールを希望するコースにボール 2 個分の精度で投球可能な新型知的ピッチングマシンを開発した。

また、硬式野球ボールの縫い目が投球精度に及ぼす影響を明らかにし、三ローラ式の優位性、最適なローラの材質や間隔などを明らかにし、開発したピッチングマシンの実用化上の有意義な知見を得た。

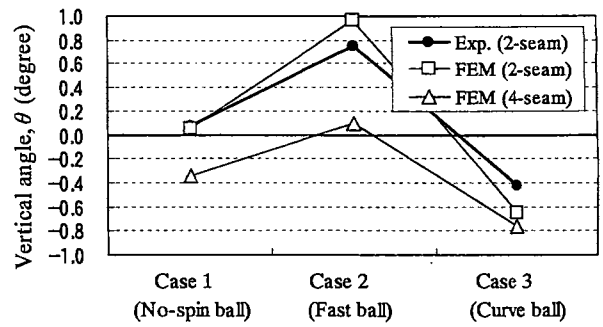


Fig.10 Comparison of vertical angle θ of pitched ball by experimental and analytical values

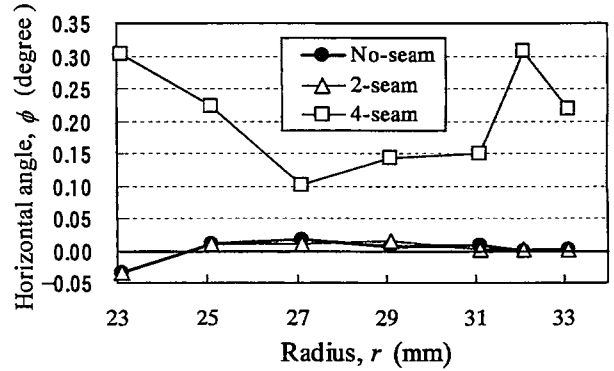


Fig.11 Relation of horizontal angle ϕ and radius r

学位論文審査結果の要旨

提出された学位論文ならびに学位申請書類に関して、各審査委員が個別に審査し、平成19年度12月26日の第1回学位論文審査会および平成20年1月30日の口頭発表と第2回学位論文審査会において協議した結果、以下の通り判定した。

本研究は、球速、球種、コースを任意に選択できる新しい、知的ピッチングマシンの設計、開発およびその投球精度評価の理論およびそのマシンの試作とそれを用いた生体工学的研究を行ったものである。提案のマシンは、3つの回転ローラと縦・横の向きを可変する機構を有しており、その制御には階層型ニューラルネットワークを用い、その制御精度向上の研究を行っている。また、ボールの投球精度にはボールとローラの接触問題、特にボール縫い目の影響の大きいことを実験的に明らかにし、その精度向上策として、ローラの形状、材質、ボール把持条件をパラメータとする設計問題を設定し、これを有限要素法を用いて明らかにしている。さらに、試作したマシンを用いて、ボールが人体（バッター）に衝突する場合の生体損傷状態を実験および数値シミュレーションによって解明し、その損傷軽減の方策を提案している。

以上より、本論文は設計工学、制御工学、スポーツ工学、バイオメカニクスおよび生体工学に寄与する所が大きく、博士（工学）の学位論文に値するものと判定した。