

令和 3 年 5 月 1 日現在

機関番号：23304

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10884

研究課題名（和文）高性能スポーツマシンの開発と魔球ジャイロボールの解明

研究課題名（英文）Development of high-performance sports machine and elucidation of flight trajectory in gyroball

研究代表者

酒井 忍（Shinobu, Sakai）

公立小松大学・生産システム科学部・教授

研究者番号：80196039

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、幅広い球速かつ多様な変化球（球種）のボールを高い投球精度で投球できる野球用および卓球用高性能スポーツマシンを設計・製作した。開発する両マシンともに、ボールの球速、スピン数、スピン軸を独立に制御できる4ローラ式発射機構を採用した。発射実験の結果、野球では「ツーシーム」や「ジャイロボール」を、卓球では「チキータ」などの高度な球種を任意の球速でかつ高精度で発射できることを確認した。また、これらの高度な球種の空力特性や飛翔軌道を球速とスピンの関係から明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、実投手の示指を模倣した柔剛合わせ持つ剛性可変把持装置と縫い目姿勢を揃えるトレッドパターンの発射ローラを新たに開発し、ジャイロボール等の高度な球種における縫い目姿勢とスピン数によって飛翔軌道やバウンド挙動などがどのように変化するかを明らかにした点である。

本研究の社会的意義は、開発した高性能マシンを活用することにより、自チーム内にトップ選手が不在でもハイレベルの練習が体験できることである。また、飛翔軌道等がわかるため対戦相手の効果的な対策を行え、当該スポーツ分野の発展に大きく貢献し、その波及効果は大きい。

研究成果の概要（英文）：In this study, we designed and manufactured high-performance sports machines for a baseball and a table tennis that can throw balls of a wide range of ball speeds and various breaking balls with high pitching accuracy. Both machines to be developed adopted a 4-roller launch mechanism that can independently control the ball speed, spin rate and spin axis.

From the results of the launch experiments, it was confirmed that advanced breaking balls such as "two seam" and "gyroball" for the baseball and "chiquita" for the table tennis can be launched at any speeds and with high accuracy. We also clarified the aerodynamic characteristics and the flight trajectory of these advanced balls from the relationship between the ball speed and spin.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：スポーツ科学 野球 卓球 投球機 球種

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

野球の代表的な変化球には、カーブ、フォークボール、ナックルボール等があるが、これは溝田らによって明らかにされている。1995年、手塚に提唱されたジャイロボールは最強の変化球とも言われ、また、最近注目されているツーシームも打撃し難い球種であることは事実上わかっているものの、詳細な理由は未だ不明である。

ジャイロボールに関する先行研究は、国内では姫野や宮寄らを中心に CFD や投球試験によって空力特性や飛翔軌道等がある程度解明され、海外では、カーブやフォークボール等については、球速やスピンパラメータが飛翔軌道に与える影響を考察している。しかしながら、ジャイロボールについては、ほとんど研究がなされていない。

そこで本研究では、新型の高性能投球マシンを開発することにより、ツーシームやジャイロボールの縫い目姿勢による飛翔軌道が詳細に解明できるのではないかと考えた。これらの高性能マシンによる実投球実験では、得られるデータの信頼性および再現性が高いため、詳細な分析が可能となる。また、卓球ではジャイロボールのパウンド挙動が解明できる。これより、魔球と呼ばれるジャイロボールの飛翔軌道とパウンドの秘密が解き明かされ、先進的かつ極めて有用な成果をもたらす研究になると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、幅広い球速で、多様な球種を縫い目姿勢も揃えながら高い精度で投球可能な野球用と卓球用投球マシンを開発し、両マシンを用いて、縫い目姿勢ごとの飛翔軌道やパウンド挙動など、未だ解明されていない高度な球種の正体を定量的に解明することである。

3. 研究の方法

本研究目的を達成するため、次の(1)、(2)の研究を行う。

(1) 野球用 4 ローラ式ピッチングマシンの開発

上下 2 つの発射ローラ、左右 2 つのジャイロローラを用いた 4 ローラ式ピッチングマシンの設計・製作をする。各ローラ回転数とジャイロローラの交差角を調整することにより、ツーシームやジャイロボールはもちろん、任意の球速かつスピン数のあらゆる球種(変化球)のボールを投球可能とする。

開発するピッチングマシンでは、野球ボールの縫い目を巧みに利用した把持・リリース動作を行う実投手の人差指(示指)を模倣した柔らかく滑りにくい柔剛合わせ持つ剛性可変把持装置と、縫い目を利用してボールを発射するローラを新たに開発する。

(2) 卓球用 4 ローラ式発射マシンの開発

卓球ボールは、縫い目がないものの低強度で滑りやすい。このためボールを適切な力で把持し、精度良く案内できるように、卓球ボールに適した把持装置およびローラ(材質、形状等)に改良する。また、卓球ではスマッシュの最高球速は野球とほぼ同じ約 150 km/h であるが、スピン数は桁違いに高く 8000 rpm 以上に達する。この高スピン数を実現するため、ブラシレス DC モータを用いる。これより、卓球トップアスリート選手の練習に十分耐え得る球速範囲、ドライブやカット、チキータを含むすべての球種を高精度で発射する卓球マシンを開発する。

4. 研究成果

(1) 野球用 4 ローラ式ピッチングマシンの開発

4 ローラ式発射機構を用いた 4 ローラ式ピッチングマシンを開発した(図 1)。各ローラは、モータを直結し、インバータ装置によって精密な回転速度制御を行っている。また、マシン全体の仰俯角、偏角を変更できるようにし、球速測定や打撃タイミング用ランプ等の付属装置も組み込み、実用性を向上させた。

開発したマシンを用いて、代表的な 3 つの球種(直球、カーブ、ジャイロボール)を 10 球ずつ、14m 離れた的に向かって投球した。

投球したボールの球種の一例として、ジャイロボールのストロボ画像を図 2 に示す。図より、ジャイロボールのスピン軸 ω_B はボールの進行速度方向 v_B と同じ $+X$ 軸方向を向いており、理想的なスピン軸の方向であることがわかる。これより、4 ローラ式投球機構を用いれば、ボールのスピン軸方向を三次元のあらゆる方向

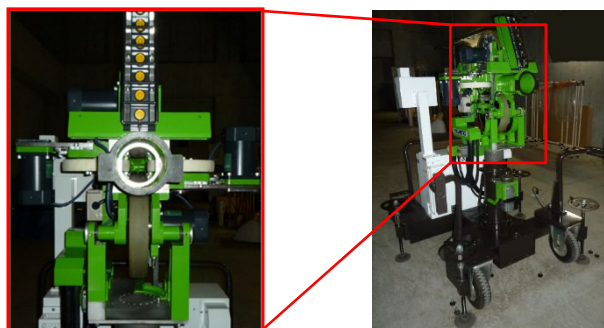


図 1 野球用 4 ローラ式ピッチングマシン

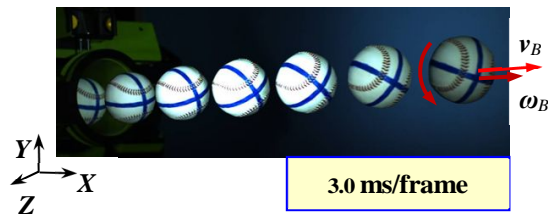


図2 ジャイロボールの飛翔の様子

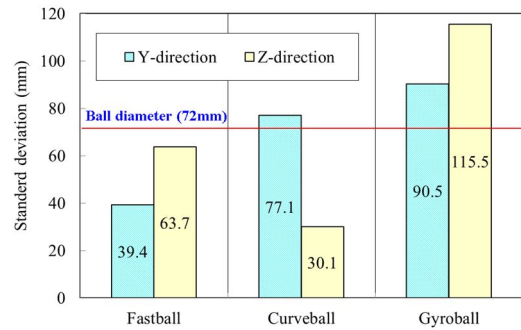


図3 3球種のコース位置誤差

に向けることが可能で、すべての球種のボールが投球できる。

3球種を各10球ずつ投球したときの的に当たったコース位置を計測した。球種ごとの位置誤差の標準偏差を図3に示す。これより、直球とカーブではY,Z方向とも77mm以下であり、ボール1個分(直径72mm)程度の誤差である。一方、ジャイロボールの位置誤差は最大116mmでボール1.5個分に相当し、他の球種よりも投球精度がやや劣る。しかしながら、現在市販されている最新型ピッチングマシンの投球精度が約150mmであることを考慮すると、本マシンは既存のピッチングマシンの中でもトップクラスの投球精度を有していると言える。

(2) 4ローラ式卓球マシンの開発

開発した4ローラ式卓球マシンを図4に示す。縦・横スピン系のボール発射時の十字型配置の基本姿勢とジャイロボール発射時のジャイロ姿勢の両姿勢に変更可能である。マシンの大きさは幅500mm、奥行700mm、最大高さ1500mm、総重量は約70kgfである。なお、ボールを発射する発射口の高さの調整には、ラック・ピニオン機構を用い、発射口の高さを容易に750~1050mmの範囲で正確に位置決め可能である。

本マシンの発射装置は、上下2つの発射ローラと左右2つのジャイロローラで構成され、各モータがそれぞれ直結されている。また、4つのローラとも交差角がそれぞれ $\pm 30^\circ$ の範囲で任意の角度に設定が可能である。マシン上部のボールホッパーは、20ダース(240球)以上のボールが入る容量があり、連続発射(連射)による実用的な練習もできる。

発射したボールの球種の一例として、ジャイロボール(チキータ)のストロボ画像を図5に示す。図より、ボールはきれいなジャイロ回転をしながら飛翔していることがわかる。

製作した卓球マシンの発射性能仕様を表1に示す。ボールの最高球速は152km/h、縦・横回転のスピン数は9000rpmを超える。開発した本マシンは、卓球競技における大学生や国際トップアスリートの打球の球速とスピン数を超えるすべての球種のボールが発射できており、本研究目標を超える高性能マシンを開発することに成功した。

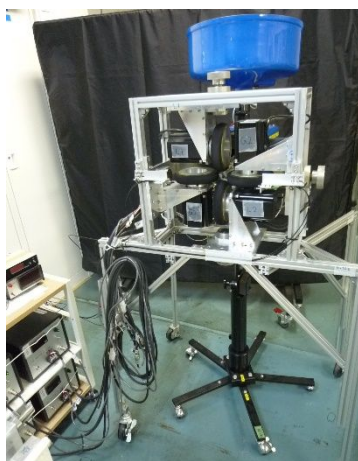


図4 4ローラ式卓球マシン



図5 チキータの飛翔と回転の様子

表1 卓球マシンの発射性能仕様

Category	Specification
Maximum ball speed	42.3 m/s (152 km/h)
Maximum top and back spin rate	9500 rpm
Maximum side spin rate	9700 rpm
Maximum gyro spin rate	7800 rpm
Shot types of ball	Any type
Direction of ball spin axis	Any direction

<引用文献>

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学), 日本風工学会誌, No.70, 1997, 27-38

手塚一志, 姫野龍太郎, 魔球の正体, ベースボールマガジン社, 2001, 43-73

横山佳之, 宮寄 武, 姫野龍太郎, ジャイロボールのドラッグクライシス, 日本流体力学会誌, ながれ, Vol.27, No.5, 2008, 403-409

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 SAKAI Shinobu, YASUTOMI Daisuke, SHI Jin-Xing, URAKAMI Akira, MIZOGUCHI Masato	4. 巻 85
2. 論文標題 Study on restitution characteristics of new/old rubber baseballs and metal baseball bat adapting to the new rubber baseball	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Transactions of the JSME (in Japanese)	6. 最初と最後の頁 19-00118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.19-00118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 酒井 忍、史 金星
2. 発表標題 四ローラ式ピッチングマシンの投球性能の向上
3. 学会等名 日本機械学会 シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinobu Sakai and Jin-Xing Shi
2. 発表標題 Development of New Baseball Pitching Machine with Four-Roller Throwing Mechanism
3. 学会等名 ISEA 2020, The 13th Conference of the International Sports Engineering Association, (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒井 忍、保富 大輔、史 金星
2. 発表標題 新旧軟式用野球ボールの反発特性
3. 学会等名 日本機械学会 2019年度年次大会講演会 No.19-1, J23201
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井 忍、史 金星、田中 敦也
2. 発表標題 四口ーラ式卓球ボール発射機の開発
3. 学会等名 日本機械学会 スポーツ工学シンポジウム2019 No.19-306, C-33
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 酒井 忍, 樋口 翼, 保富 大輔
2. 発表標題 四口ーラ式ピッチングマシンの投球性能に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者一覧(酒井 忍) https://www.komatsu-u.ac.jp/common/images/005_shinobu_sakai.pdf リサーチマップ(酒井 忍) https://researchmap.jp/read0009912 酒井忍, 研究シーズ集 2018-2020 https://www.komatsu-u.ac.jp/common/images/005_shinobu_sakai.pdf</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------