

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560255

研究課題名(和文) 柔剛合わせ持つ把持装置を有するスポーツマシンの開発

研究課題名(英文) Development of sports practice machine with gripping device from soft to hard things

研究代表者

酒井 忍 (SAKAI, Shinobu)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：80196039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、軽量性と高速性が要求されるバドミントンと卓球用の高性能スポーツ用練習機の開発を行った。開発したバドミントンマシンは、シャトルを最高初速約300km/h、落下位置精度0.4m以内で発射することが可能である。また、卓球マシンは、ボールの最高球速150km/h、スピン数12,000rpmを超え、多様なスピンのボールを発射できる。両マシンともトップアスリートの練習に使用できる高性能マシンである。

研究成果の概要(英文)：In this study, sports practice machines of high performance for a badminton and table tennis to require lightweight and high-speed had been developed. The developed badminton machine can project the shuttlecock the highest at initial speeds of approximately 300km/h and a drop position accuracy of less than 0.4m. The table tennis machine is able to shoot the balls of assorted spin types with the highest speeds up to 150km/h and the maximum spin rate (over 12,000rpm). Both sports machines can be used for hard practice by professional badminton and table tennis players.

研究分野：機械工学

キーワード：スポーツ工学 スポーツ用具 バドミントン 卓球 発射機構

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 現在、球技スポーツ用練習機として、野球では 30 年以上前から投手の代わりを努める投球機(ピッチングマシン)が市販されており、今では一流のプロ野球投手をも凌ぐ球速、球種、投球精度を有している。一方、バドミントンや卓球の練習では、監督やコーチなど、もっぱら人手に頼っている。

(2) バドミントン用練習機が現在までほとんど開発されなかった一番の理由は、シャトルの特殊性にある。シャトルは、水鳥の羽根 16 枚で作られた複雑形状を有し、質量が僅か 5g しかないが、スマッシュ時の最高初速は 300km/h を超える。他方、卓球のスマッシュ時の最高球速は約 150km/h で野球とほぼ同等であるが、スピン数は桁違いに高く、スピンパラメータ (SP: 球速に対するスピン数) は野球の 0.2~0.3 に対し、卓球では 10 倍以上の 3.0 以上にも達し、かつ回転軸は 360° 変化する。現在、このような球速や多様な球種のボールを発射できる練習機は、ほぼ皆無である。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では、軽量性と高速性が最も要求されるバドミントンと卓球を対象とし、高度な練習が可能な高性能スポーツ用練習機の開発を研究目的とした。

(2) 開発する練習機(マシン)のシャトルや卓球ボールの把持装置には、ヒトの指を模倣した剛性可変把持装置とリンク機構を採用する。この柔らかく滑りにくい柔剛合わせ持つ把持装置を申請者が考案した二ローラ式バドミントンマシンに搭載し、未だ誰も達成していない 300km/h を超えるシャトル初速度を実現する。

(3) 次に、開発した把持装置を初速 150 km/h 以上で 8,000min<sup>-1</sup> 超の高スピンボールを発射できる卓球マシンを開発する。この卓球マシンでは、二ローラ式と二つのジャイロローラを用いた新たな発射機構を採用する。

### 3. 研究の方法

(1) 申請者が開発した二つのローラで、シャトルのコルク部分を挟持し発射する機構の二ローラ式バドミントンマシンをさらに進化させる。予備発射実験の結果、ローラが高回転になると、扇風作用によってシャトルの姿勢が安定せず初速 300km/h を得ることは難しい。このため、把持装置の把持力や把持位置、開閉のタイミングを、CAE を用いて発射シミュレーションから決定し、シャトルの羽根を損傷させずに 300km/h 超の高速発射を実現する。開発したバドミントンマシンの発射実験を行い、マシンの発射性能を評価する。

(2) 球速 150 km/h, SP=3.0, 回転軸 360° を実現するために新たな発射法として、対向する二つのローラによって並進速度を、二つのジャイロローラによって回転軸とスピン数を任意に選択できる発射機構を考案した。これより、一流卓球選手の高スピンサーブの代表例であるチキータサーブが再現可能となり、既存の卓球マシンをはるかに凌ぐ高性能卓球マシンとなる。

### 4. 研究成果

#### (1) 高性能バドミントンマシンの開発

図 1 に開発したバドミントンマシンの外観を示す。本バドミントンマシンでは、二ローラ式発射機構によって、シャトルの羽根を損傷することなく、幅広い球速でスマッシュやドライブ等の種々のショットが発射できる。

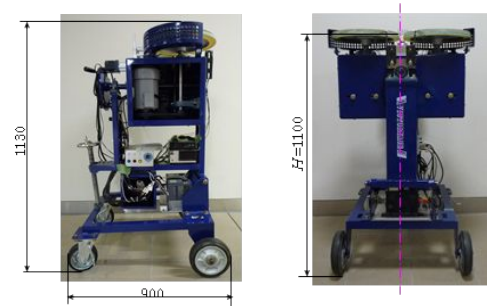


図 1 開発したバドミントンマシン

本バドミントンマシンにシャトルを自動供給し連続的に発射できるシャトル連射装置を設計・製作し、連射機能を付加した。さらに、シャトル発射速度のさらなる高速化を図るため、シャトルの把持姿勢の検討を行った。検討結果の一例として、シャトル発射時の発射シミュレーションとマシンによる 2ms ごとのシャトル発射時の様子をそれぞれ図 2、3 に示す。発射後 10ms までは、両者のシャトル挙動は、よく一致していることがわかる。

次に、マシンの把持具の改良、高速モータへの変更等を行った。改良後のバドミントンマシンによるシャトルの初速度と両ローラ回転数の関係を図 4 に示す。これより、シャトルの初速度は、両ローラ回転数に比例して速くなり、最高初速度は 81.8m/s (約 300km/h) に達していることがわかる。このときの発射速度におけるシャトルの落下位置の発射方



図 2 シャトルの発射シミュレーション



図 3 マシンによるシャトル発射の様子

向と横方向の標準偏差を図5に示す。発射方向の標準偏差は、両ローラ回転数が速くなるほど大きくなり、8000 $\text{min}^{-1}$ を境にその値は急激に増加する。これは、図4に示したように高速域では初速度のバラツキが大きいことが起因しているものと推察される。一方、横方向の標準偏差は、発射方向よりも小さく、ローラ回転数が6000 $\text{min}^{-1}$ までは多少増加するものの、それ以上ではほぼ一定値である。横方向の標準偏差は、発射方向よりも小さく最大0.09 m前後であった。

本研究により開発した二ローラ式パドミントンマシンの発射性能は、最高初速度300 $\text{km/h}$ 、最大飛距離11m、発射方向および横方向の落下位置誤差は、それぞれ0.67m、0.09mであり、1球当り約1.5秒間隔で12球（最大96球）の連続発射が可能である。

以上より、開発した二ローラ式パドミントンマシンは、トップレベル選手を対象とした実戦的練習マシンと言える。

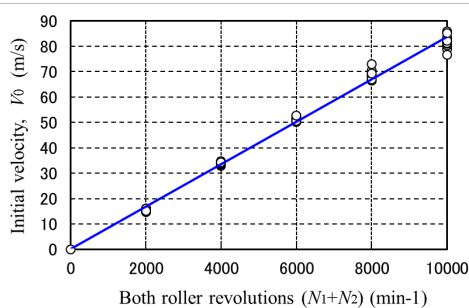


図4 シャトル初速度とローラ回転数

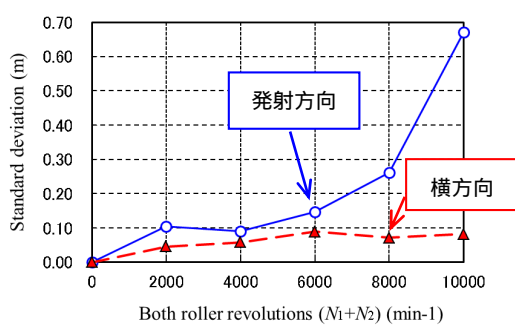


図5 落下位置の標準偏差とローラ回転数

## (2) 高性能卓球マシンの開発

開発した卓球マシンの外観を図6に示す。横回転系のカーブドライブやジャイロ回転の代表であるチキータを発射するため、図に示すように上下の二つローラに新たに左右方向に二つのジャイロローラを付加した四ローラ式発射機構を採用した。二つのジャイロローラは、発射フレームの側面に対し、回転可能な構造となっており、ボールにねじりモーメントを与えることができる。これら四つのローラは、それぞれモータに直結され、モータへ印加する電圧をコントローラで調整することにより、各ローラの回転方向と回転数を独立に制御できる。

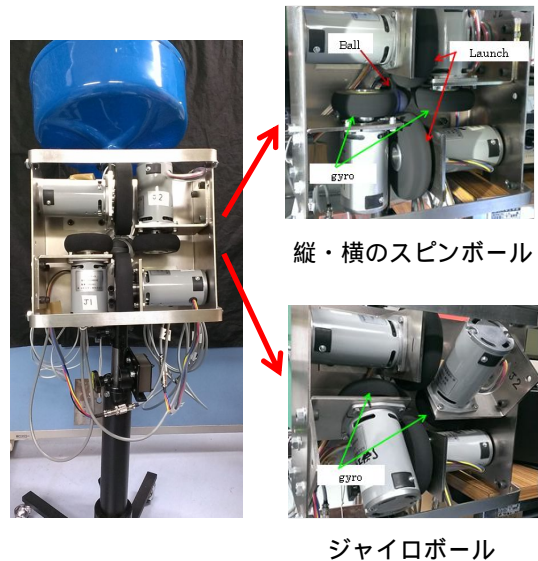


図6 開発した卓球マシン

開発した卓球マシンの各ローラ回転数を種々変化させて発射実験を行った。代表的な球種の一例として、図7は横回転ボール、図8はジャイロボールのストロボ画像をそれぞれ示す。なお、ボールの球速 $V$ とスピン数 $S$ を合わせて表記している。各球種ともスピンの特徴をよく表していることがわかる。



図7 横回転ボール ( $V=80\text{km/h}$ ,  $S=12,250\text{rpm}$ )

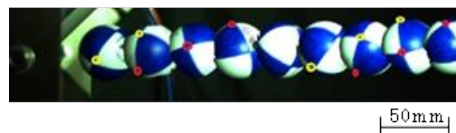


図8 ジャイロボール ( $V=60\text{km/h}$ ,  $S=6,000\text{rpm}$ )

開発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153 $\text{km/h}$ に達し、横回転やジャイロ回転のスピン数も12,000 $\text{rpm}$ を超えている。本卓球マシンは、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(8,000 $\text{rpm}$ )を遥かに超えたボールを発射できる高性能マシンである。

表1 卓球マシンの発射性能仕様

Category	Specification
Maximum ball speed	42.5 m/s (153 km/h)
Maximum top and back spin rate	3 500 rpm
Maximum side spin rate	12 500 rpm
Maximum gyro spin rate	15 000 rpm
Shot types of ball	Any type
Direction of ball spin axis	Any direction

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計5件)

酒井 忍, 白山 広樹, バドミントン用アーム式発射マシンの開発, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 81, No. 822, p. 14-00366, (2015).

DOI: 10.1299/transjsme.14-00366

酒井 忍, 蜂谷 祥吾, 宮野 良平, ニローラ式バドミントンマシンの高性能化, 日本機械学会論文集, 査読有, Vol. 81, No. 821, p. 14-00441, (2015).

DOI: 10.1299/transjsme.14-00441

酒井 忍, 野球用ローラ式ピッチングマシンのトライボロジー, トライボロジスト, 特集・スポーツとトライボロジー(3), 査読有, Vol. 58, No. 1, pp.24-29, (2013).

Sakai, S., Nobe, R., Yamazaki, K. and Nakayama, H., Optimization and Development of New Badminton Machine with Launching Roller, Journal of Mechanics Engineering and Automation, 査読有, Vol. 2, No. 11, pp.671- 681, (2012).

Sakai, S. and Nakayama, H., Optimization and Improvement of Throwing Performance in Baseball Pitching Machine Using Finite Element Analysis, InTech, Published, 査読有, Chapter 14, pp.297-324, (2012).

DOI: 10.5772/3249

### 〔学会発表〕(計10件)

酒井 忍, 蜂谷 祥吾, 宮野 良平, ニローラ式バドミントンマシンの発射性能の向上, 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2014 講演論文集, No.14-40, B-4, (2014.10.29), アオーレ長岡, 長岡.

酒井 忍, 木川 祐太, 伊藤 謙太, 四ローラ式卓球マシンの試作研究, 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, No.14-1, G2310101, (2014.9.9), 東京電機大学, 東京.

Sakai, S., Yamazaki, K., Suzuki, T. and Asada, K., A Study on Thermal Deformation Estimation of Crankshaft Miller, The 15th International Conference on Precision Engineering (ICPE2014), Paper No. P75, (2014.7.24), Hotel Nikko Kanazawa, Kanazawa.

Sakai, S., Maenaka, K. and Yamazaki, K., Design Optimization of Laminated Glass Plate, 8th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and

Mechanical Systems (CJK-OSM8), No. M2C\_5\_023, (2014.5.26), Gyeongju (Korea).

酒井 忍, 蜂谷 祥吾, バドミントン用シャトルを用いた屋内型打撃マシンの研究, 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013 講演論文集, No.233, (2013.11.3), 工学院大学, 東京.

Sakai, A. and Sakamoto, J., Stress Analysis on Musculoskeletal System of Giraffe's Neck Considering Muscle Force, Proc. The 7th Asian Pacific Conference on Biomechanics, No. ORS12\_003, (2013.8.30), Seoul (Korea).

Sakai, S., Maenaka, K., Kaluda, H. and Yamazaki, K., Optimum Design of Impact Resistance of Laminated Glass Plate, 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, (WCSMO-10), No. 5136, (2013.5.24), Orlando (USA).

酒井 忍, 蜂谷 祥吾, バドミントンシャトルを用いた屋内式打撃練習機の開発, 日本機械学会 北陸信越支部 第50期総会・講演会, No.137-1, No.209, (2013.3.9), 福井大学, 福井.

酒井 忍, 村口 さよ, 白山 広樹, アーム式バドミントンマシンの試作研究, 日本機械学会 シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集, No.12-39, pp.176-179, (2012.11.17), 愛知大学, 豊橋.

Sakai, S., Nobe, R., Yamazaki, K. and Nakayama, H., Development of New Badminton Server Machine and Its Optimum Design for Launching Roller, The Seventh China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems (CJK-OSM7), Paper No. J-007, (2012.6.20), Huangshan (China).

### 〔産業財産権〕

#### ○取得状況(計1件)

名称: バドミントン用のシャトル発射装置

発明者: 酒井 忍, 村口 さよ

権利者: 金沢大学

種類: 特許

番号: 特許第 5403746 号

出願年月日: 平成 21 年 10 月 15 日

取得年月日: 平成平成 25 年 11 月 8 日

国内外の別: 国内

### 〔その他〕

ホームページ等

<http://bios.w3.kanazawa-u.ac.jp/design/naiyou.html>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

酒井 忍 (SAKAI, Shinobu)  
金沢大学・機械工学系・助教  
研究者番号：80196039

(2)研究分担者

坂本 二郎 (SAKAMOTO, Jiro)  
金沢大学・機械工学系・教授  
研究者番号：20205769

(3)連携研究者

なし