

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

酒井 忍^{*1}, 蜂谷 祥吾^{*2}

A study of Indoor Type Batting Machine Using Badminton Shuttlecock

Shinobu SAKAI^{*1} and Shogo HACHITANI

^{*1} Kanazawa University, Dept. of Mechanical Engineering
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192 Japan

For professional badminton players, the highest initial speed of the shuttlecock exceeds 84m/s (300km/h), which is the fastest speed for a ball, racket or projectile sports. Many shuttlecock launcher machines have been developed, however it is difficult for the shuttlecock to be launched at speeds of more than 42m/s. In previous study, the launcher machine using the two turn rollers can launch the shuttlecock at the speeds of 52.8m/s. In this study, rubber material and new insertion equipment were proposed to rise up the highest initial speeds of the shuttlecock. From the results of the launcher experiments, it is attached guide pole makes the state of shuttlecock insertion. In addition, the launcher machine is used for the indoor type baseball batting machine, the launch conditions of the shuttlecock are examined.

Key Words : Badminton, Sport Engineering, Shuttlecock Launcher, Flight Trajectory

1. 結 言

老若男女幅広く、手軽に楽しめるスポーツの一つとしてバドミントンが挙げられる。バドミントンの競技人口は2004年の調査^[1]において国内で24万人、世界ではアジア諸国を中心に160カ国、5000万人以上にもものぼる。子供から高齢者まで楽しめる反面、競技としては前後左右に素早く移動、様々な打撃を繰り出すなど高い瞬発力と反射神経が要求される。中でもスマッシュは球技スポーツ中最も打球の初速度が速く、一流バドミントン選手の場合シャトルコック(以下、シャトル)の最高初速度は84m/s(300km/h)以上にも達する。

一般にバドミントンの練習は人手に頼っており、優れた技術や運動能力を持つコーチや練習相手が必要とされ、このような環境が揃っているチームが強い。そのため学校や地域で技能の差が生じやすくなっており、これを埋めるためにも対人練習の代替手段として練習機の開発を要望する声が多く、これまでもいくつかの練習機が既に考案、試作されている。シャトルの発射方法としては圧縮空気の空気圧を利用し発射させるもの、ラケットでシャトルを打撃するもの、バネの復元力やクランク機構を利用して発射させる等の方式^{(2)~(4)}であるが、いずれの練習機もシャトルの初速は28m/s(100km/h)以下、最大飛距離は5~8m程度であり高校生や大学生、社会人や一流バドミントン選手の練習機としては非常に物足りない性能であり、またシャトルも損傷しやすいものもある。

そのため先行研究において著者らはシャトルを最高初速52m/s(187km/h)、最大飛距離11.5mで発射できる二ローラ式の練習機⁽⁵⁾を開発した。これは中学生のバドミントン選手用の実用的練習機としては十分な性能を有するものであり、従来の練習機よりシャトルが損傷しにくいものである。しかし最高初速はまだ一流選手の速度には達しておらず、より競技レベルの高い練習用として活用するには、さらに性能を向上させる必要がある。

そこで本研究では更なるシャトルの初速向上を目的として、ローラやシャトルの挿入装置の改良を行う。またシャトルは飛距離が短く危険性が少ないため、本練習機を積雪等で冬季に屋外練習が困難な野球の屋内打撃練習機として用いることができるのではないかと考えた。そのため屋内打撃練習機として用いるための発射条件について検討を行った。

^{*1} 正員, 金沢大学 機械工学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

^{*2} 学生員, 金沢大学大学院 自然科学研究科
E-mail: sakai@se.kanazawa-u.ac.jp

2. 従来のマシン

先行研究で開発された練習機の外観および主要寸法を図1に示す。前述したように二ローラ式マシンであり、シャトルは2つのウレタンゴム性ローラの間挟持され、ローラとシャトルの摩擦力を利用して発射される。各ローラの回転数は0~3200min⁻¹の範囲で変化させることができ、最高50m/s(180km/h)程度でシャトルを発射させることが可能である。またマシンの下部の仰角調整ハンドルを操作し、発射仰角を変化させることもできる。

3. シャトルの飛翔速度および飛翔軌道

3・1 シャトルの飛翔理論

まず従来のマシンを屋内型打撃マシンとして用いるため、シャトルの速度および飛翔軌道を推定し、野球ボールとの比較検討を行う。シャトルの鉛直平面内の飛翔を考え図2のように水平前向きにx軸、鉛直方向上向きにy軸をとり、質量*m*のシャトルの長軸とx軸のなす角を β 、重心速度*v*の方向とx軸のなす角を θ 、シャトルの長軸と重心速度方向のなす角を α とする。シャトルのピッチ角方向の重心周りの慣性モーメントを*I_y*、重力を*F*、重心位置に働く抗力を*D*、揚力を*L*、ピッチングモーメントを*M*、ピッチング回転運動の減衰係数を*c*で表せばx軸方向、y軸方向、ピッチ角方向の運動方程式はそれぞれ次式のように表せる。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -D \cos \theta - L \sin \theta \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -F - D \sin \theta + L \cos \theta \quad (2)$$

$$I_y \frac{d^2 \beta}{dt^2} + c \frac{d\beta}{dt} + \left| \frac{dM}{d\alpha} \right| \alpha = 0 \quad (3)$$

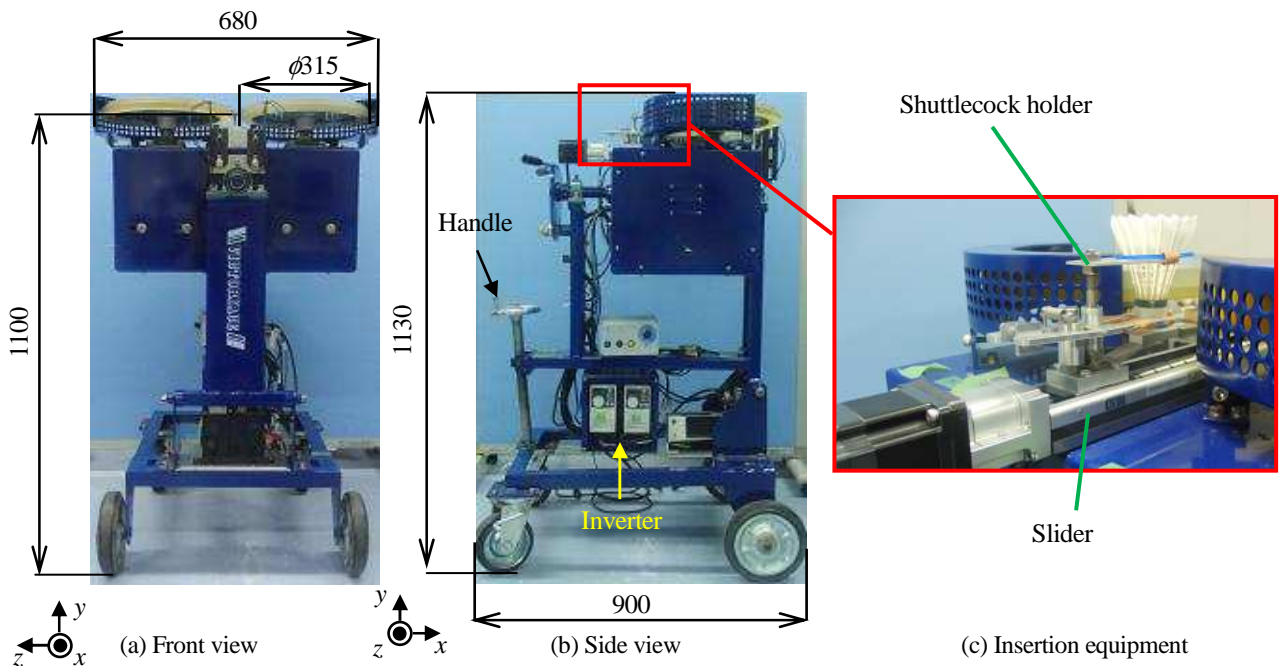


Fig.1 Roller type shuttlecock launcher machine for badminton

ここで、重力 F は、重力加速度を g とすると

$$F = mg \quad (4)$$

と表せる。また、抗力 D および揚力 L はスカート部末尾の投影円形断面積を A 、空気密度を ρ 、抗力係数を C_D 、揚力係数を C_L とすると、それぞれ次式のように表せる。

$$D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \quad (5)$$

$$L = \frac{1}{2} C_L \rho A v^2 \quad (6)$$

一般に、シャトルの空気力学特性である抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、ピッチングモーメントの迎角による微分 $\frac{dM}{d\alpha}$ 、減衰係数 c については、レイノルズ数 Re および迎角 α の関数として定めていることが多い。本研究では先行研究^{(6)~(8)}を参考に6つの定数 $a_1 \sim a_6$ を用いて次式のように空気力学特性の関数形を仮定した。

$$C_D = a_1 \alpha + a_2 Re + a_3 \quad (7)$$

$$C_L = a_4 \sin\left(\frac{90}{70} \alpha\right) \quad (8)$$

$$\frac{dM}{d\alpha} = a_5 Re^2 \quad (9)$$

$$c = a_6 Re \quad (10)$$

なお、これらの定数の値は先行研究⁽⁷⁾を参考にし、本研究で実施したシャトルの飛翔実験の結果と一致するように求めた。これらの関係をもとに式(1)~(3)の数値時間積分を4次のRunge-Kutta法を用いて行い、シャトルの速度変化および飛翔軌道を算出した。

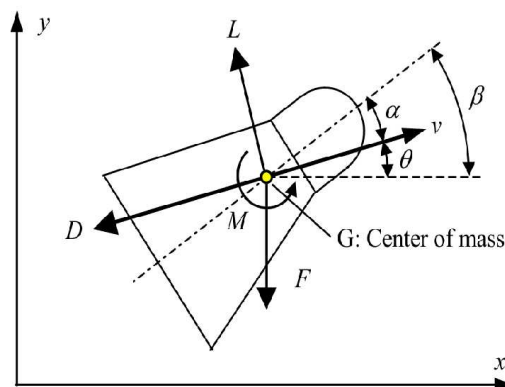


Fig.2 Coordinate and 2-dimension force system of shuttlecock

3・2 シャトルと野球ボールの速度変化と飛翔軌道

前節の飛翔理論を用いシャトルと野球ボールの速度変化の比較を行いシャトルの発射速度について検討をする。なお、野球ボールの速度や飛翔軌道に関しては先行研究⁹⁾の結果を参考にした。図3に初速 $V_0=32\text{m/s}(115\text{km/h})$ の直球で投球された野球ボール、野球ボールと同じ初速で発射されたシャトルの実験値およびシミュレーション値、発射可能な最高の初速 $V_0=50\text{m/s}(180\text{km/h})$ のシャトルのシミュレーション値の速度の時刻歴変化を示す。 $V_0=32\text{m/s}$ におけるシャトルの実験値とシミュレーション値を比較するとおおよそ一致していることから十分シミュレートできているものと考えられる。

$V_0=32\text{m/s}$ で投球されたボールがマウンドからホームベースに到達するまでは約 0.5 秒を要し、この間にシャトルとの減速度の差が非常に大きくなっていることがわかる。最高初速で発射しても両者の差が縮まらないことはシミュレーションから明らかであり、このことからシャトルが打者に到達したときの速度を野球ボールの場合と一致させることは非常に困難と考えられる。このため今回は打者までの到達時間 t を一致させることを優先して考え、マシンと打者の距離を定める。図4にシャトルを発射してからのシャトルが進んだ距離の時刻歴を示す。 $V_0=32\text{m/s}$ でシャトルを発射させたときの $t=0.5$ 秒におけるシャトルの位置からマシンと打者の距離を 7m と決定した。また $V_0=42\text{m/s}(150\text{km/h})$ で投球された野球ボールが打者まで到達するまでは $t=0.41\text{s}$ となり、シャトルを $V_0=40\text{m/s}$ で発射すれば同等の練習が可能であると考えられる。

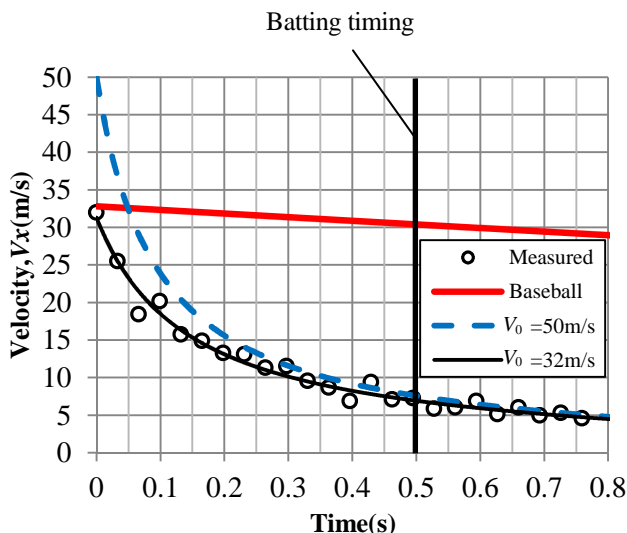


Fig.3 Shuttlecock and baseball velocities

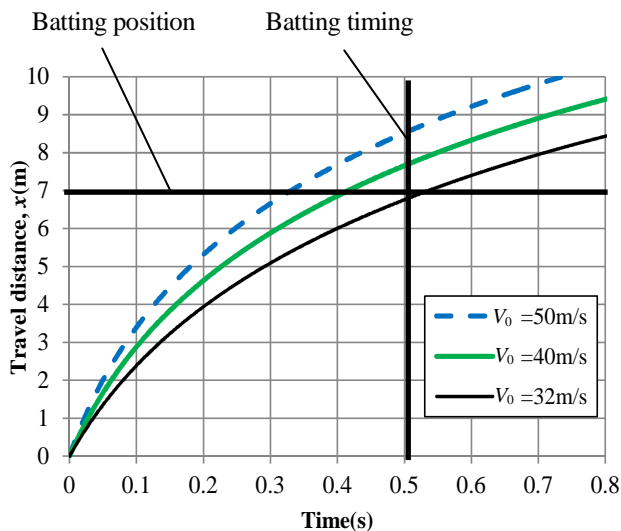


Fig.4 Time history of travel distance

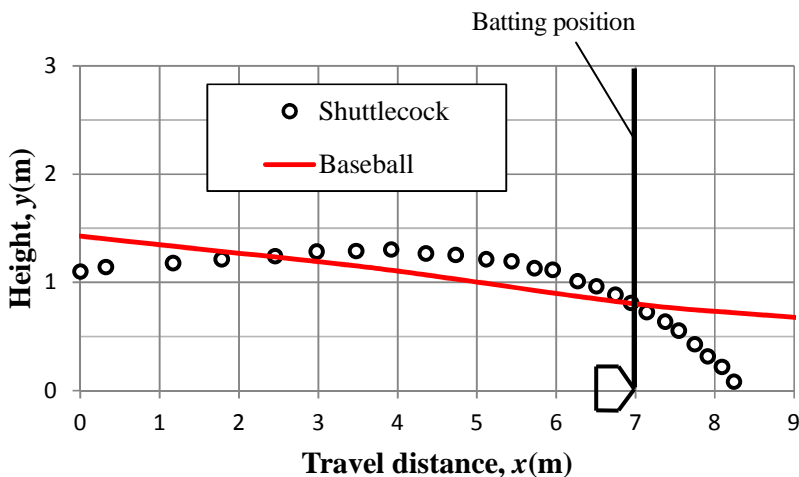


Fig.5 Shuttlecock and baseball trajectories in x-y plane

4. シャトルの発射速度の向上

4.1 ローラ材質の変更

シャトルの発射速度を向上させるためにマシンに改良を施す。シャトルを発射する際、ローラの周速とシャトル初速には差があり、ロスが生じている。また発射速度の上昇に伴い、シャトルに加わる負荷も大きくなり破損しやすくなる。そのためゴムローラの材質を従来から用いているウレタンゴムから、より柔らかいシリコンゴムに変更し問題の解決を試み、シャトルの発射実験を行った。ローラ回転数とシャトル初速の関係を図6に示す。

既存のローラはローラ回転数とシャトル初速が線形的な関係であり、最大回転数までシャトル初速が上昇していることがわかる。しかし変更後の柔らかいローラは 2000min^{-1} 以降シャトル初速の増加が見られないことがわかる。この原因としては、変更後の柔らかいローラを用いると図7に示すように、ローラ外径が遠心力により大きくなりローラ同士が干渉し、実際のローラ回転数が低くなっているためだと考えられる。

このため今後は高速発射域を対象とし、高速回転してもローラ同士が干渉しないようなローラ外径のものを製作し、さらに検討を行う。

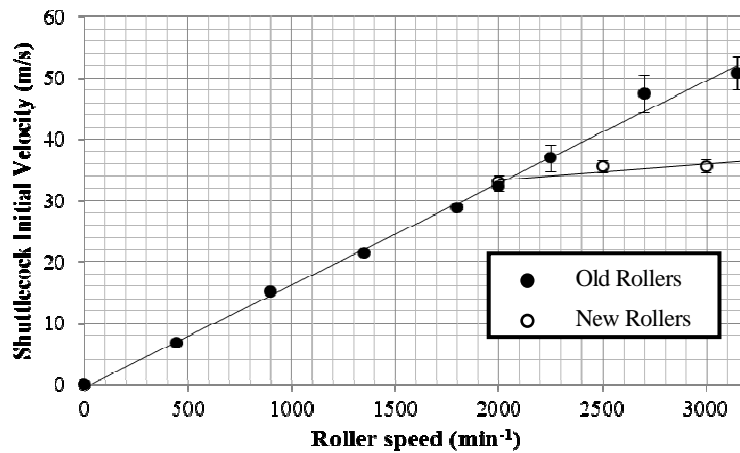


Fig.6 Relationship between shuttlecock initial velocity and roller speed

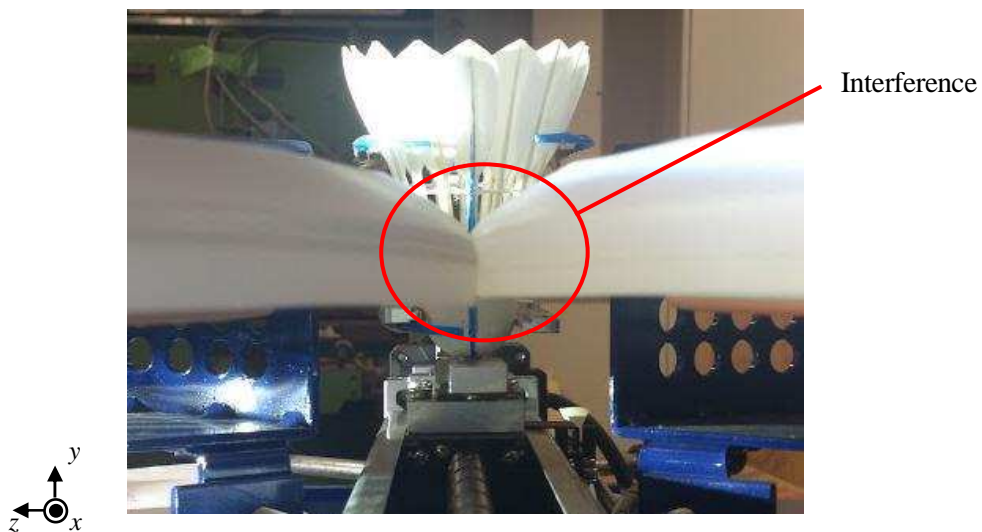


Fig.7 Interference of two rollers (2000min^{-1})

4・2 シャトル挿入装置の改良

シャトル発射初速を上げるためにローラの回転数を速くするとシャトルが十分に把持具に挟持されずに発射されてしまい、想定外の方向に発射され、かつ初速も低下する。またシャトルが破損しやすいことが先行研究⁽⁶⁾で報告されている。このためシャトルをローラに挿入する装置の改良を試みた。

現状の挿入装置を図 8(a)に示す。シャトルを羽根部とコルク部と底面で支持し、コルク上部をローラに掴ませるという機構である。この挿入装置ではシャトルを支えているだけでありローラの回転数が速くなったとき、シャトルがローラに正常な状態で挟まれるよう調整したり、はじかれたりすることを防ぐことができない。

そのため本研究ではローラに挟まれた後でもシャトルの位置、特に高さを一定に保つためにガイド棒を設けた挿入装置を考案した。考案した新しい挿入装置を図 8(b)に示す。ガイド棒がシャトルに串刺しにした状態でシャトルを発射するため、ローラにはじかれることを防止できる。

この装置と従来のローラを用いてローラ回転数 3000min^{-1} にて発射実験を行った。発射の様子を図 9 に示す。シャトルはガイド棒に沿って発射されたが、ガイド棒の剛性が低いため多少曲がっていることがわかる。しかしシャトルをローラに掴ませる範囲では十分効果があると考えられ、また形状を変更し剛性を高めればさらにローラ速度が上がった場合でもシャトルの正確な案内が十分に期待できると考えられる。

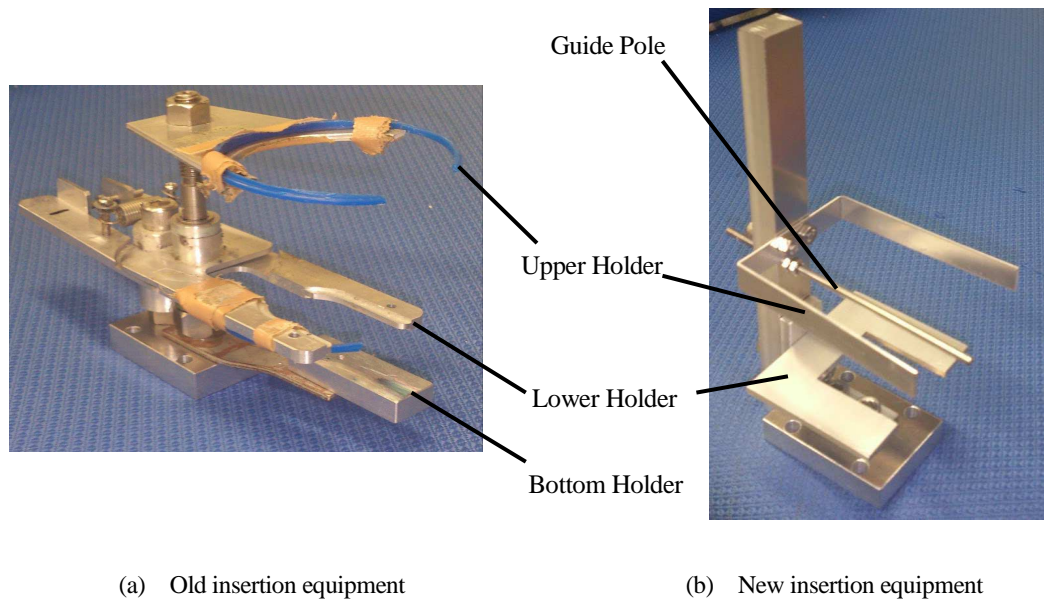


Fig.8 Insertion equipment

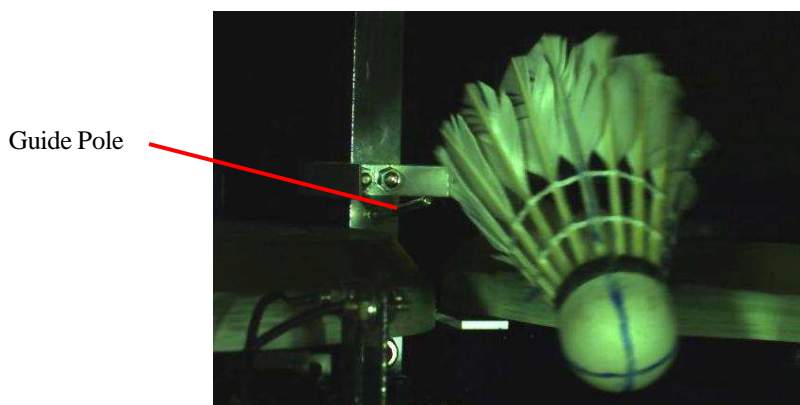


Fig.9 The state of launching shuttlecock with new insertion equipment

5. 結言

バドミントン用シャトルを高速で発射することを目的とし、バドミントンマシンの改良を行った。またシャトルの飛翔特性を明らかにし、本マシンを野球の屋内打撃練習に用いることができるかについて検討をした。

マシンの改良の結果として、ローラに柔らかいゴムを用いるとゴム自身が膨張し、左右のローラが干渉しシャトルを高速で発射することが困難となることが明らかとなり、遠心力を考慮してローラ外径を設計しなくてはならないことがわかった。また、挿入装置にシャトルの挿入高さを一定にするためのガイド棒を取り付けることによって、シャトル発射時の挟持状態が改善されることが明らかとなった。

マシンを野球の屋内打撃練習に用いる際にはマシンから打者の距離を7mとすることにより、効果的な練習を行うことができると考えられる。

6. 謝辞

なお本研究は、JSPS 科研費 24560255 の助成を受けたものである。ここに、感謝の意を表す。

文 献

- (1) 笹川スポーツ財団, “スポーツ白書～スポーツが目指すべき未来～”
- (2) 田中裕一, 石崎繁利, 英崇夫, “卒業研究におけるゼロからのものづくり-バドミントン練習機の開発-”, 工学・工業教育研究講演会論文集-VII, No.4-326(2008), pp.506-507
- (3) 市屋卓, 安達幸弘, 伊藤宏比古, 太平洋, 末田豊, 鈴木孝侑, 乗越博之, 三浦恭平, 相原広忠, 梶原逸朗, “打ち出し機および球出し機”, 日本国特許庁公開特許公報, 特許公開 2007-160045, 東京工業大学, (2007).
- (4) 鍋谷幸大, 田中裕一, 石崎繁利, 英崇夫, “卒業研究におけるゼロからのものづくり-バドミントン練習機の開発”, 工学・工業教育研究講演会論文集-VI, No.2-215(2009), pp.218-219.
- (5) 酒井忍, 野辺亮太, 水口さゆり, 村口さよ, “二ローラ式バドミントンマシンの開発”, 日本機械学会論文集(C編), Vol.77, No.781, (2011), pp.3415-3426.
- (6) C.M. Chan and J.S. Rossmann, “Badminton shuttlecock aerodynamics: synthesizing experiment and theory”, Sports Engineering, Vol.5, No.2, (2012), pp.61-71.
- (7) 神田芳文, “シャトルコックの飛翔軌道シミュレーションのための高速度ビデオカメラによる空気力学特性の計測”, 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.64-69.
- (8) 橘田征吾, 長谷川裕晃, 村上正秀, “シャトルコック後流での渦の挙動と流体力特性”, ジョイント・シンポジウム 2009, No.09-45, pp.56-59.
- (9) 永見智行, 樋口貴俊, 矢内利政, 彼末一之, “野球投手が投じる様々な球種の飛翔起動を決定する要因”, 日本機械学会, No.12-39, スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集, pp.74-78