

硬式野球用ボールと軟式野球用ボールの打ち出し特性の比較

田渕 規之^{*1}, 鳴尾 丈司^{*2}

Comparison of the batted ball of baseball and rubber-ball baseball

Noriyuki TABUCHI^{*1} and Takeshi NARUO

^{*1} Mizuno Corporation
Nanko-Kita 1-12-35, Suminoe-ku, Osaka, 559-8510 Japan

In Japan, there are two major baseball competitions, which are baseball and rubber-ball baseball. Players are often confused by the difference because many baseball players go through the transition between those competitions. Purposes of this study were to reveal the difference of the characteristics of the balls for baseball and rubber-ball baseball when those balls are hit by a metal baseball bat and to research experienced perception of the baseball players toward the difference. A bat swing robot was used for researching physical characteristics of those batted balls under stable condition with changing the vertical offset between the center of a bat and that of a ball. As a result, a rubber-ball recorded maximum range by smaller offset than a baseball and it also tended to generate larger vertical angle and smaller speed of the batted ball. Furthermore, the result of the robot test corresponded to the experienced perception of baseball players, which was revealed by a questionnaire.

Key Words : Robot, Baseball, Rubber-ball Baseball, Impact, Perception.

1. 緒 言

日本の野球競技においては硬式野球と軟式野球が特に盛んである。硬式野球と軟式野球では使用する用具が異なることは言うまでもないが、その競技者の構成にも違いがあり、特に高等学校においては硬式野球が盛んであるという特徴がある。平成25年度の日本高等学校野球連盟による調査では、硬式野球が加盟校4048校(部員167088名)に対して、軟式野球が加盟校466校(部員10945名)と発表されており、野球を行う高校生の多くは硬式野球を行っているということが分かる⁽¹⁾。しかし、一般成人になると逆に硬式野球のチームはその数が限られ、多くの一般成人は軟式野球を行っている。平成24年度 of 全日本軟式野球連盟による調査において、一般の軟式野球の登録チーム数は34849チームにのぼるとされている一方で⁽²⁾、日本野球連盟に加盟する硬式野球チームは平成25年4月現在362チームにすぎない⁽³⁾。これらのデータから、日本では多くの硬式野球を経験したプレイヤーが軟式野球へシフトするケースは少なからずあると推測される。また、これとは逆に、少年期に軟式野球を経験したプレイヤーが硬式野球へシフトするというケースもある。このような野球競技の環境において、硬式野球・軟式野球間のシフトを経験したプレイヤーが、使用するボールの違いに起因すると思われる打撃時の感覚の違いを感じることは少なからずあるようで、あるべきバッティング時のインパクトの違いはしばしば野球の競技者の興味の対象となってきた。例えば、硬式野球の競技者でありながら、軟式野球用ボールのマシン打撃で練習を行うこともあったという元プロ野球選手の山本和範氏は、その感覚の違いを“軟球の場合、プロの選手でもボールのシンを正確にとらえないことには飛んでいってくれません。それほど軟球を打つのは難しいことなのです。”と述べている⁽⁴⁾。

そもそも、野球の打撃とは数あるスポーツのスキルの中でも特に難しいものとされ、メジャーリーグの歴史を

^{*1} ミズノ(株) (〒559-8510 大阪市住之江区南港北1-12-35)

^{*2} 正員, ミズノ(株)

E-mail: notabuch@mizuno.co.jp

代表する好打者の一人である Ted Williams でさえも、自身の著書の中で“バッティングは全てのスポーツの中で最も難しいタスクである”と述べている⁽⁵⁾。その理由の一つとしてあげられるのが、動作に要求される高い時間的・空間的正確性である。硬式野球に関する先行文献においては、ヒット性の打球を打つため許容される空間的誤差はわずか $\pm 13\text{mm}$ 程度に過ぎないとされ⁽⁶⁾、硬式野球の典型的な直球を前提とした物理的な計算によれば、飛距離を最大化するには、ボールの軌道を基準としてボールの中心より少し下(26.5mm)をややアップスイング(0.16rad)してとらえるのが理想的なインパクトであるとされている⁽⁷⁾。

一方、軟式野球においても、その教本の中で、バットをボールに乗せることが目指すべきインパクトとされている⁽⁸⁾ことから考えると、硬式野球と同じくボールの中心からやや下をとらえることが理想的であると考えられていると推測される。すなわち、衝突時のバットとボールの鉛直方向の位置関係は軟式野球でも同じく打球に対して大きな影響を与えると考えられるが、軟式野球におけるその最適値についてはこれまで議論がなされていない。しかし、軟式野球と硬式野球ではボールの性質が大きく異なることから、最適なインパクト条件には違いがあり、それが打者の感覚の違いを生んでいるのではないかという仮説が生じる。これまで、硬式野球用ボールと軟式野球用ボールの特性の差異は、空力特性⁽⁹⁾やバットに対してボールを投射してボールがほぼまっすぐ跳ね返るような限定された条件下での反発特性⁽¹⁰⁾に関して明らかにされているが、実際の打撃に近いような条件下での特性の差異については明らかになっていない。一方で、硬式野球用バットの性能評価に関する先行研究⁽¹¹⁾においては、投げられたボールに対して実際に選手がバットをスイングすることによって打球のデータを収集する方法も用いられているが、そのような方法ではばらつきの大さきのために、数多くのデータが必要となる。

そこで、本研究の目的は、繰り返し同じ条件でバットをスイングさせることが可能なバットスイングロボットを用いて、安定的に硬式野球用ボールと軟式野球用ボールをそれぞれ打ち出し、バットとボールの衝突条件が打球の特性に与える影響の差異を明らかにすることとした。さらに、硬式野球と軟式野球の両方を経験したプレイヤーの感覚も調査し、実験的に明らかになった現象との対応関係を明らかにした。

2. 硬式野球と軟式野球の打撃時のインパクトの感覚に関するアンケート調査

2.1 調査対象者とアンケート

高等学校以降での硬式野球の競技経験があり、かつそれ以降に軟式野球の競技を行っている一般成人男性 24 名に対して、以下のようなアンケートを行った。

設問：硬式野球と軟式野球の打撃時のインパクトの感覚について、もっともよく当てはまるものを以下から一つ選んでください。

選択肢 1：硬式ではとらえた（理想的な角度の打球が打てた）という感覚のインパクトが軟式ではフライになることがある。

選択肢 2：硬式ではとらえた（理想的な角度の打球が打てた）という感覚のインパクトが軟式ではゴロになることがある。

選択肢 3：選択肢 1 の感覚も選択肢 2 の感覚も感じたことがある。

選択肢 4：選択肢 1 の感覚も選択肢 2 の感覚も感じたことはない。

2.2 アンケート結果

アンケートの結果は、24 名中 22 名の回答が“選択肢 1：硬式ではとらえたという感覚のインパクトが軟式ではフライになることがある”であり、選択肢 3 と選択肢 4 が各 1 名ずつであった。すなわち、硬式野球・軟式野球の両競技経験者の大半がインパクト時の感覚の差異を経験しており、かつ軟式野球の方が打球がフライになりやすいと感じているということが示された。

3. バットスイングロボットを用いた計測

3.1 用具およびバットスイングロボット

本研究では金属製の硬式野球用バット(ミズノ社製, Vkong02, 0.84m, 0.918kg)を使用した。ボールは硬式野球用ボール(ミズノ社製, 直径 74mm, 質量 0.148kg)および軟式野球用 A 号球(ナガセケンコー社製, 直径 72mm, 質量 0.136kg)の 2 種類を使用した。

ボールの打ち出しはティー上のボールを打撃することが可能な専用のバットスイングロボット(ミズノ社製)を用いて行った。このロボットは図 1 に示すようなものであり、先端にバットのグリップ部を固定するための治具を備えたアームを持ち、アームおよびグリップ固定治具部を高速度で回転運動させることで、バットを地面に対して水平な面内でスイングさせ、ティー上に置かれたボールを打撃することが可能なシステムである。



Fig.1 Bat swing robot

3・2 バットおよびボールの挙動計測

ロボットに取り付けられた金属バットは先端キャップの中心部にマーキングし、これをバット先端の高さとした。バッティングロボットのスイングの挙動は高速度カメラ(Photron 社製, FASTCAM-MAX 120KC)で 4000 フレーム/秒にてインパクト直前のバット先端側の方向から撮影し、スイング中のバット先端の高さがスイング始動前に設定したものとずれていないことを確認しながら計測を行った。いずれの試行においても、高さの誤差が $\pm 0.5\text{mm}$ を超えないことを確認した。

バットのヘッドスピードの測定はゴルフの打球分析システム(ミズノ社製, Pythagoras)のレーザー遮蔽検出型の速度センサを用いて行った。また、ボールにはあらかじめ複数箇所にマークが打たれており、同システムの DLT(Direct Linear Transformation)法を用いた演算システムによって、打球の初速度、鉛直方向の打ち出し角度、回転数を算出した⁽¹²⁾。打球の飛距離は、ティーから打球が最初にバウンドした地点までの距離とし、実験者が着地点を確認したうえで、レーザー式の飛距離測定器(Nikon 社製, Laser800)を用いて測定した。さらに、屋外での測定のため、ティーの位置からボールの打ち出し方向に約 100m、高さ 15m の地点に設置された風車型風向風速計(大田計器製作所製, No.111-DG-553B)から 1 秒ごとの風向・風速データを収集し、打ち出し時の条件間に有意な差がないことを確認した。

3・3 データ収集条件

ロボットによるバットスイングのヘッドスピードは $41.2 \pm 0.2\text{m/s}$ であった。バットの長軸方向に対するティーの位置は、インパクト時のボールの中心がバット先端から 152mm となるように設定した。また、ティーの高さは 5 段階に設定した。スイングされるバットの先端の中心の高さとティー上に置かれたボールの中心の高さの差をオフセット量として定義し、オフセット量が 20mm, 24mm, 28mm, 32mm, 36mm となるような 5 段階のティーの高さでボールの打ち出しを行った。硬式野球用ボール、軟式野球用ボールはそれぞれのオフセット量で 6 試行ずつ打ち出した。なお、データに一部欠損があり、一部条件(硬式野球用ボールのオフセット量 20mm および 28mm の条件)では解析データが 5 試行分となった。

3・4 データ処理

打球の評価パラメータは打球の飛距離、速度、鉛直方向の打ち出し角度、回転数とした。それぞれのパラメータについて、ボールの種類とオフセット量を要因とする二元配置の分散分析を適用した。市販の統計ソフト(StatSoft 社製, STATISTICA10)を用いて計算を行い、有意水準は5%とした。

3・5 バットスイングロボットによる計測の結果

飛距離のデータは図2に示すとおりであり、ボールの種類とオフセット量の要因間に有意な交互作用が認められ ($F(4,48) = 29.65, p < 0.001$)、ボールの種類、オフセット量の有意な主効果も認められた(ボール: $F(1, 48) = 217.59, p < 0.001$ 、オフセット量: $F(4, 48) = 33.46, p < 0.001$)。飛距離が最大となるオフセット量は硬式野球用ボール 28mm であったのに対し、軟式野球用ボールでは 20mm であった。

打球速度のデータは図3に示すとおりであり、ボールの種類とオフセット量の要因間に有意な交互作用が認められ($F(4,48) = 14.01, p < 0.001$)、ボールの種類、オフセット量の有意な主効果も認められた(ボール: $F(1, 48) = 519.80, p < 0.001$ 、オフセット量: $F(4, 48) = 90.00, p < 0.001$)。いずれのボールもオフセット量の増大と共に打球速度は低下する傾向であったが、全体として軟式野球用ボールの方が打球速度は低く、かつオフセット量の増大とともにより急激な低下が見られた。

打球の鉛直方向の打ち出し角度のデータは図4に示すとおりであり、ボールの種類とオフセット量の要因間に有意な交互作用が認められ ($F(4,48) = 3.22, p = 0.020$)、ボールの種類、オフセット量の有意な主効果も認められた(ボール: $F(1, 48) = 176.81, p < 0.001$ 、オフセット量: $F(4, 48) = 174.81, p < 0.001$)。いずれのボールもオフセット量の増大と共に打球の打ち出し角度は増大していたが、全体として軟式野球用ボールの方が角度は大きく、かつオフセット量の増大とともにその差は大きくなる傾向が見られた。

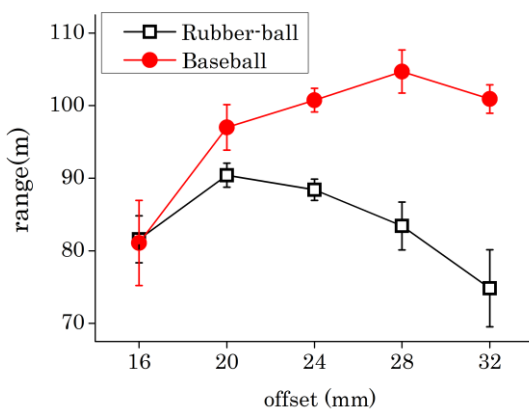


Fig.2 Range of the batted ball

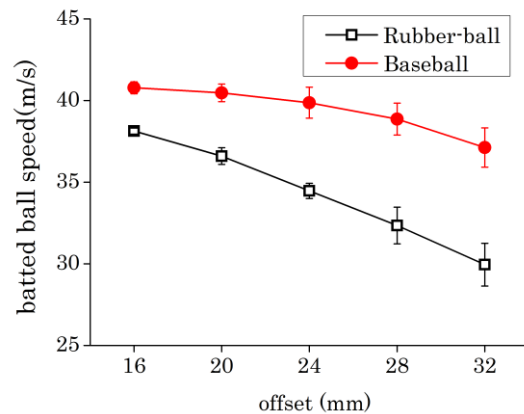


Fig.3 Speed of the batted ball

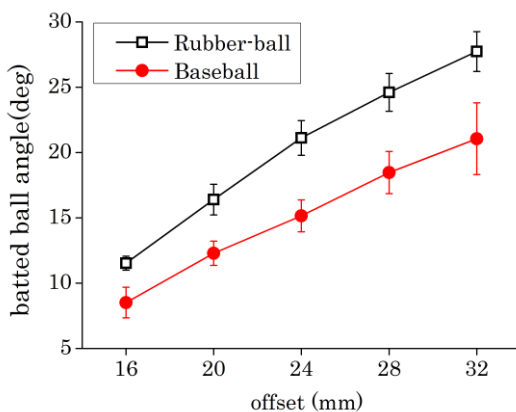


Fig.4 Vertical angle of the batted ball

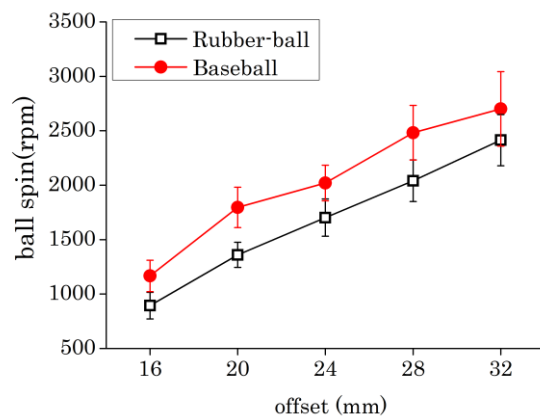


Fig.5 Ball spin of the batted ball

ボールの回転数のデータは図5に示すとおりであり、ボールの種類とオフセット量の要因間に有意な交互作用は認められなかった($F(4,48)=0.46, p=0.763$)。ボールの種類、オフセット量の主効果は共に有意であった(ボール： $F(1, 48)=43.54, p<0.001$ 、オフセット量： $F(4, 48)=102.51, p<0.001$)。いずれのボールにおいても、オフセット量が増大するほど回転数も増大し、軟式野球用ボールに比べて硬式野球用ボールの方が回転数は大きかった。

4. 考 察

4・1 各ボールの打球の打ち出し特性と経験者の感覚について

今回の計測から、バットスイングロボットを用いて同一条件で硬式野球用ボールと軟式野球用ボールを打ち出した場合、硬式野球用ボールの方が打球の飛距離、速度、回転数が高く、鉛直方向の打ち出し角度が低いことが示された。また、飛距離、速度、鉛直方向の打ち出し角度についてはオフセット量が大きくなるほど軟式野球用ボールとの差が大きくなることも示された。特に飛距離に関しては、最大の飛距離となるオフセット量が硬式野球用ボールで28mmであったのに対し、軟式野球用ボールでは20mmと8mm小さい値であり、また、全体として軟式野球用ボールの方が鉛直方向の打ち出し角度が大きかったことを考えると、多くの競技経験者が感じた“硬式ではとらえた(理想的な角度の打球が打てた)”という感覚のインパクトが軟式ではフライになることがある。”という感覚は物理的現象と一致しているといえる。

先行研究の計算が示す理想のとおり、硬式野球の打者がボールのやや真ん中より下を打つことを目指しているであれば⁽⁷⁾、硬式野球から軟式野球へシフトしたばかりのプレイヤーに対しては、硬式野球よりもボールの中心寄りを打つことをイメージさせるべきといえるかもしれない。さらに、軟式野球においては、同一のオフセット量の増大に対する打球速度の低下と打ち出し角度の増加がより大きいことを考慮すると、軟式野球の打撃で許容される空間的誤差はより小さいとも考えられ、元プロ野球選手による前述の“軟球を打つのは難しいこと”というコメント⁽⁴⁾は、的を射ているといえるかもしれない。

4・2 打ち出し特性が異なる要因について

硬式野球用ボールと軟式野球用ボールにおいて同一オフセット量での打球の特性が異なっていたことから、高速度カメラにてバットとボールのインパクトを撮影した映像からその要因を検討することとした。

図6には硬式野球用ボールのオフセット量28mmにおけるバットとボールのインパクト開始の瞬間およびその1ms後、2ms後の画像を示している。動画からバットとボールの接触時間は1ms程度と推定されたが、これは硬式野球の物理的な知見に関する先行文献で示されている値⁽¹³⁾と一致している。画像からも分かるようにボールの変形は小さく、2ms後には低い弾道でボールが飛び出し始めていた。

一方、図7には軟式野球用ボールのオフセット量28mmにおけるバットとボールのインパクト開始の瞬間およびその2ms後、4ms後の画像を示している。動画からバットとボール接触時間は4~5ms程度と推定されたが、これは上述の硬式野球用ボールの接触時間より長く、軟式野球用ボールをバットに投射した際の接触時間を報告した先行研究⁽¹⁰⁾と同程度である。その間の軟式野球用ボールのふるまいを観察すると、硬式野球用ボールとは異なり、衝突によって大きくつぶれて変形したボールは、バットの周囲を上方へ移動しながらその形状が元のものへと近づき、接触が終わる頃にはボールが相対的に高い位置に到達していた。軟式野球用ボールの鉛直方向の打ち出し角度が大きくなりやすく、打者が実際にそう感じるのは、つぶれたボールが接触中にバットの上方へ移動することに起因するものであると推測される。

4・3 本研究の限界と今後の課題

本研究においては、スイング速度を単一の条件でのみ実験しているため、衝突速度の影響を明らかにするには更なる研究が必要である。しかし、ボールとバットのインパクトに関する先行研究においては、衝突速度の増大に伴う反発係数の低下は軟式野球用ボールで特に顕著であることが示されていることから⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾、衝突速度が増大すれば、本研究で示された結果以上に、軟式野球用ボールと硬式野球用ボールの打球の各パラメータに差が生じると推測される。また、実際の競技場面を想定すると、投げられるボールとスイングされるバットはそれぞれ回転しながら衝突していることから、それらを考慮した検証方法の構築も必要である。さらに、先行研究において

バットの材質が打球の特性に対して影響を与えることが示されているが⁽¹¹⁾、本研究では金属バットの事例に限られているため、他の材質のバットでの検証も必要である。

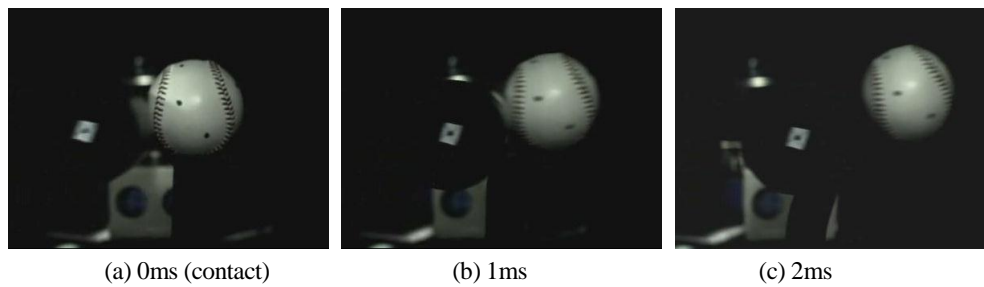


Fig.6 Bat-ball collision of baseball (offset = 28mm)

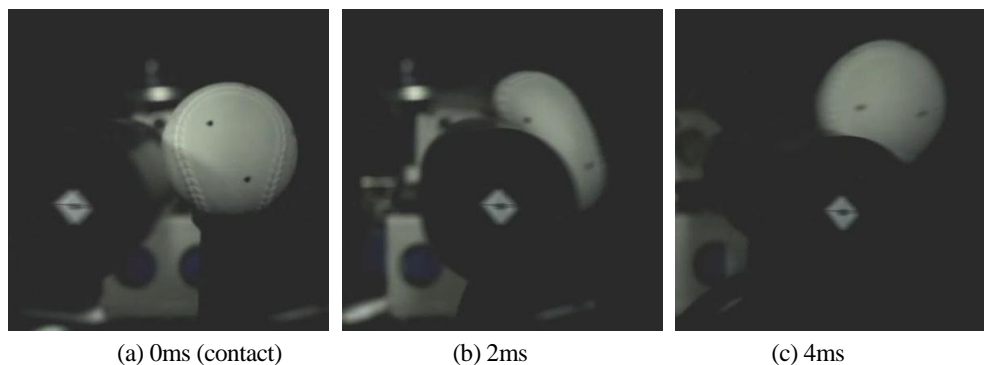


Fig.7 Bat-ball collision of rubber-ball (offset = 28mm)

5. 結 論

バットスイングロボットを用いたボール打ち出し実験において、軟式野球用ボールは、硬式野球用ボールに比べ、オフセット量の増大が打球の鉛直方向の打ち出し角度の増大、打球速度の低下に与える影響が大きかった。また、硬式野球用ボールの方がより大きいオフセット量で最大飛距離を得られることが確認された。さらに、硬式野球と軟式野球を両方経験したプレイヤーへのアンケート調査から、その大半が軟式野球では打球がフライになりやすいと感じたことがあることが明らかになった。つまり、実験的に示された硬式野球用ボールと軟式野球用ボールの打ち出し特性の違いが打者の感覚と対応していると思えることのできる結果であった。

謝 辞

バットスイングロボットを活用した実験実施の際には松尾健一氏(ミズノテクニクス株式会社)、城市直也氏(ミズノ株式会社)の多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

文 献

- (1) 公益財団法人 日本高等学校野球連盟ホームページ http://www.jhbf.or.jp/data/statistical/index_koushiki.html (参照日 2013年9月17日)
- (2) 公益財団法人 全日本軟式野球連盟ホームページ <http://jsbb.or.jp/outline/teams> (参照日 2013年9月17日)
- (3) 公益財団法人 日本野球連盟ホームページ <http://www.jaba.or.jp/team/clubteam/> (参照日 2013年9月17日)
- (4) 池田哲雄編, “月刊ヒットエンドラン”, ベースボール・マガジン社. Vol. 4, No. 5 (2007), pp. 3-8
- (5) Williams, T. and Underwood, J., “The Science of Hitting”, Simon & Schuster, (1986), pp. 7
- (6) Watts, R.G., and Bahill, A.T., “Keep your eye on the ball”, W.H.Freeman & Company, (2000), pp. 153-170

- (7) Sawicki, G.S., Hubbard, M., and Stronge, W.J., "How to hit home runs: Optimal baseball bat swing parameters for maximum range trajectories" *American Journal of Physics*, Vol. 71, No. 11 (2003), pp. 1152-1162
- (8) 株式会社ヤクルト球団 監修, "東京ヤクルトスワローズの野球教本 少年軟式野球バッティング編", 舵社, (2011), pp. 38-39
- (9) 鳴尾丈司, 楠卓朗, 伊藤篤志, 神田峻輔, 溝田武人, "軟式野球ボールと硬式野球ボールの空力特性比較", 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, (2012), pp. 79-82
- (10) 香山博之, 米山猛, 那須英彰, 五十嵐重人, 北山雄二郎, 高橋昌也, 佐藤一孝, "野球バットの打撃性能評価システムの製作とバット支持方法の選択", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 77, No. 783 (2011), pp. 4218-4227
- (11) Crisco, J.J., Greenwald, R.M, Blume, J.D., and Penna, L.H., "Batting performance of wood and metal baseball bats", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 34, No. 10 (2001), pp. 1675-1684
- (12) 鳴尾丈司, "ゴルフインパクトの計測と弾道シミュレーション", 電子情報通信学会誌, Vol. 85, No. 1, (2005), pp. 2-5
- (13) Adair, R.K., "The physics of baseball", *Physics Today*, Vol. 48, No. 5, (1995), pp. 26-31
- (14) 神田芳文, 鳴尾丈司, "軟式野球ボールとバットの衝突シミュレーション", 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 73, No. 729, (2011), pp. 1307-1313