

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26282177

研究課題名(和文) 野球の打撃におけるグリップ様式の変化に伴うバットの振動特性変化と打球速度

研究課題名(英文) Coefficient of restitution of a baseball bat is not a set quantity, but it is altered as angular and translational swing velocities and the point of impact are changed

研究代表者

矢内 利政 (Yanai, Toshimasa)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：通常のパッシングではバットの芯付近でボールの中心を打撃することにより高い打球速度が獲得でき、バントにおいてはバットの芯とそのやや先でボールの中心を打撃することにより打球速度は低くなるという現象を力学的に説明することを目的とした。その結果、ヘッド速度が一定の条件でも、スイング速度と並進速度の組み合わせにより打球速度、及び打球速度を最大化するインパクト位置は変化することが明らかになった。これらの現象は、スイング角速度、重心速度、インパクト位置の条件の変化に伴いバットの反発係数が変動することに加え、ボールとバットが有する運動量が互いの間で転移する方向と大きさの変化により生じることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study revealed that even with the same bat head velocity during a swing, varying combinations of angular swing velocity and translational swing velocity can result in different batted ball velocities, and that a large translational swing velocity results in a greater batted ball velocity than a large angular swing speed. In other words, the point of impact that maximizes batted ball velocity changes based on the combination of angular swing velocity and translational swing velocity. These phenomena occur because (a) the coefficient of restitution of the bat is not a set quantity, but it is altered as angular swing velocity, translational swing velocity and the point of impact are changed and (b) the magnitude and the direction of the linear and angular momenta transferred between the bat and the baseball is altered by varying angular swing velocity, translational swing velocity and the point of impact.

研究分野：スポーツ科学(バイオメカニクス)

キーワード：野球 打撃 インパクト 振動特性

1. 研究開始当初の背景

野球の打撃において、打者は試合状況に応じて様々な方向に様々な速度の打球を放つことができるよう打撃技術を磨く。高速度の打球を放つバッティング技術を磨くことにより長打やホームランを放つことを可能にし、低速度の打球を意図する方向に打ち返すバント技術を磨くことにより確実に走者を進塁させることを可能にする。通常のバッティングにおける打球の速度や方向は、バットスイング速度やバットとボールのインパクト位置によって決定される。バットの芯付近でボールの中心を打撃することにより、高い打球速度が獲得でき、バットの芯付近を大きく外れた位置(先端や末端)でのインパクトやボール上・下部への打撃が打球の速度や運動エネルギーを低下させることは、基礎力学の原理に基づいて分析しても明白であり、我々の実測データにおいても示されている。この一貫した観測結果は、打球速度を最大化するには、バットの芯付近でボールの中心を打撃することが極めて重要であることを示している。

同様の原理でバントについて考えた場合、バットの芯から外れた位置(特にバットの先端部)でボールの上部または下部をインパクトすることが、打球速度を低くするためには重要であると推測できる。しかしながら、我々の実測研究から得られた100試技を超えるバントによる打球データの分析結果は、これら論理的推測や机上の論理に反し、打球速度はバットの芯付近とそのやや先でボールの中心をインパクトした際に最も低くなったのである。このような結果は国内外を通じてこれまでに報告されたことのないものであり、バットの芯付近が最も強くボールを反発する位置であるという、これまで当然のように考えられてきた前提を覆すものである。本研究は、この疑問に4つの視点(バットスイング速度の大きさと向き、バットの固有振動特性、打者の手・腕部の共振に伴うバットの振動特性変化、打者がバットに加える力系の特性)からアプローチすることで、そのメカニズムを解明することを目的とした。

2. 研究の目的

以下の3つの課題を解決することを目的とする。課題1: 最大・最小打球速度の獲得されるボールインパクト位置はどのように変化するか? 課題2: インパクト位置、打球速度、グリップ位置の力学的関係を正確にモデル化する。課題3: ボールインパクト位置と打球速度との関係はどのように規定されるのか?

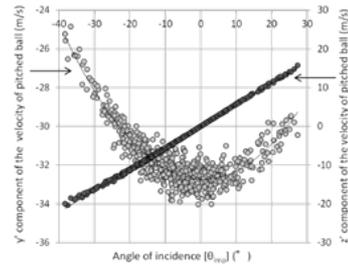
3. 研究の方法

課題1: 最大・最小打球速度の獲得されるボールインパクト位置はどのように変化するか?

競技力の高い野球選手グループに、スイング速度とグリップ位置を大きく変化させた打撃(バント、遅いスイング、通常のスイング)を繰り返し行わせ、最大・最小打球速度の獲得されたインパクト位置を各スイング速度及び各グリップ位置について求めた。1500試技を超える打撃の実測データを分析した。

野球選手31名に同一のバットを使用させてバントを行わせた540試技分のデータを分析し、インパクト位置、グリップ位置、打球速度の関係を定量的に解析した。

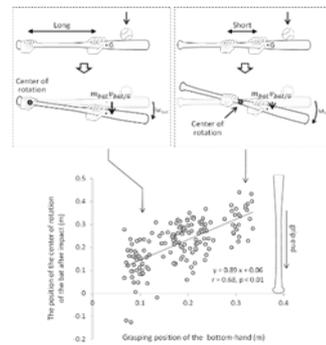
その結果、
・ 投球速度と打球速度の間には関連がないこと、
・ バットの短軸方向のインパクト位置が打球速度



バントにおける短軸方向のインパクト位置 (angle of incidence) と打球速度の関係。バイオメカニクス研究 2015 より

の変動の70%を説明できること、
・ バットの正面でボールをインパクトした場合は、インパクト位置がバットヘッドに近づくほど

打球速度が小さくなること、
・ トップハンドをヘッド寄り、ボトムハンドをグリップエンド寄りに位置してバントを把持した試技ほど打球速度が小さくなることになった。

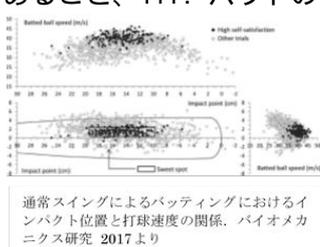


バントにおける手部の把持位置と打球速度の関係。バイオメカニクス研究 2015 より

これらの結果から、バントにおいて最小打撃速度を獲得するためには、ボールの中心を正面衝突させることが最も重要であること、及び打者は左右の手を広く離してバットを持ち、インパクト直前にはバットを捕手方向へ引きながら、バットのヘッド側へボールをインパクトすることが次に重要であることが示された。これらの分析結果は、原著論文としてバイオメカニクス研究 19(3): 126-136. 2015 に発表された。

一方、遅いスイング及び通常スイングによるバッティングについては、野球選手延べ70名に同一のバットを使用させてバントを行わせた1050試技を超えるデータを分析し、インパクト位置、グリップ位置、打球速度の関係を定量的に解析した。i. 最大打球速度を獲得するにはバットヘッドから長軸方向に9.64~19.29cmの間で短軸方向に中心

から上部へ0.39~2.46 cm の範囲でボールをインパクトする必要があること、ii. その際には、インパクト直前のバット速度を最大化することが重要であること、iii. バットの上部や下部でボールをインパクトすると低い速度の打球がフライまたはゴロになること、が示された。つまり、バットをスイングして行うバッティングにおいて高い速度の打球を放つには、バットの芯でボールを正面衝突させることが最も重要であること、及びインパクト直前のバット速度を最大化することが次に重要であることが示された。これらの分析結果の一部は、原著論文としてバイオメカニクス研究 21 (2): 52-64. 2017 に発表された。

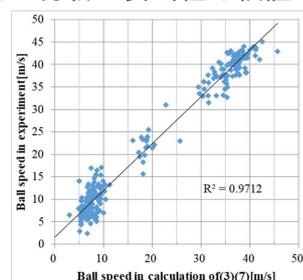


以上の結果より、バットの芯付近をボール中心に正面衝突させるようなインパクトすることが、バットをスイングして行うバッティングにおいては打球速度の最大化に大きく貢献し、バントにおいては打球速度の最小化に大きく貢献することが確認された。また、打球速度が最大化されるインパクトポイントは、バントにおいてはバットの『上っ面』または『下っ面』であるが、バットをスイングして行う打撃ではバットの『ほぼ上下の中心』であった。

課題2： インパクト位置、打球速度、グリップ位置の力学的関係の正確なモデル化

実測による打撃実験にて使用した木製バットを線形弾性体とみなし、曲面を小さな平板の集合として近似した3次元シェル要素としてFEモデル化した。ヤング率は一般的な木材において木目に沿って中立面が発生する曲げを考慮した場合の値とした。バットは全体が均質材料からなると仮定できるため、密度は実物のバットの体積をバットの質量で除することで算出した。また、シェル要素のヤング率と肉厚を調節することにより、モデル化されたバットの慣性モーメントが実物バットの値と同等になるようにした。モデルの妥当性を検証するため、実物バットとモデル化したバットの両方について共振実験(FEモデルについてはシミュレーション分析)を実施し、FFTアナライザを使った加振点移動法により周波数応答関数と位相データを収集した。実物バットの測定では加速度センサをバットのグリップエンドに固定し、専用ハンマーを用いて50mm間隔で加振した。バットは、拘束条件は、ラバーを用いてバットを吊るすというフリー条件に加えてバントする際の位置(3種類)でバットを把持した条件とした。その結果、実物とシミュレーションの両方において1次曲げモードの共振周波数と節の位置はよく一致した。ま

た、モデルを用いてバントからフルスイングに至るまでの連続的なスイング速度、幅広いインパクト位置で打撃を行った際のシミュレーション分析結果の妥当性を検証した。大学野球選手によるセンター方向ヘライナー性の打球を打ち返した109試技の実測のバッティングから得られたデータと、投手方向ヘ打ち返されたバントの130試技の実測値を用いて、本研究で構築したFEモデル及びシミュレーション分析の妥当性を検証した。その結果、打球速度の算出値と実測値の間には高い相関関係($r = 0.9$)が認められた。



バットをスイングして行う打撃 109試技とバント 130試技を対象とした、シミュレーション算出値と実測値の相関関係

また、バットを通常のスイングで行った打撃で打球が「流し打ち方向(右打者については右翼方向)」へ放たれた場合においては、実測値とシミュレーション値の間に1%水準で有意な相関関係(打球速度の大きさ $r=0.837$ 、飛翔角度 $r=0.919$ 、流し打ち角度 $r=0.865$)が認められた。

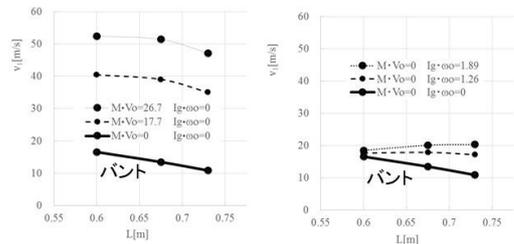
以上の妥当性検証結果より、本研究で定義されたFEモデル及びシミュレーション分析は、バッティング条件により変化する打球の運動学的性質を正確に反映することが示された。この結果の一部は、シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2016 にて発表され、同講演論文集(Online ISSN : 2432-9509)に出版され(<https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2016.C-4>)。

課題3： ボールインパクト位置と打球速度との関係はどのように規定されるのか？

(解析1)バントからフルスイングに至るまでの連続的なスイング速度、幅広いインパクト位置における打球速度をシミュレーションにより算出し、スイング速度、インパクト位置、打球速度の3者の関係を明らかにする分析を行った。具体的には、打球速度に対してインパクト直前のバットの運動量と角運動量、さらにはバットに生じる振動に伴うエネルギー損失の影響に着目し、異なる打球が生じる原因を追究した。

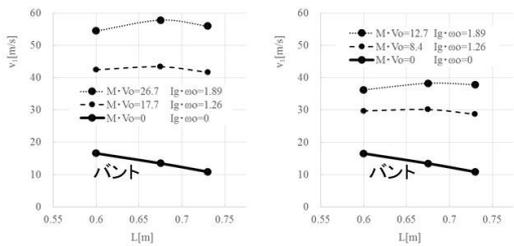
その結果、バットの並進運動によりヘッド速度を上昇させる場合(つまり、バット重心まわりの角運動量($I\dot{\theta}$)が0の場合)、打球速度はインパクト位置が0.6mの時に最大となる値となるが、ヘッド速度の上昇と共に0.675mの位置(バットの1次曲げモードの節:バットの芯)における打球速度が0.6mの位置における打球速度に近づく。一方、バットの回転運動によってヘッド速度を上昇させる場合(つまり、バットの運動量($M \cdot V_0$)が0の場合)、打球速度が最大となるイ

ンパクト位置はヘッド速度の上昇に伴い 0.6m の位置よりバットの先端に近づくことが明らかになった。ボールインパクトにより発生する振動エネルギーに着目すると、バツ



バットの並進運動によりヘッド速度を上昇させる条件

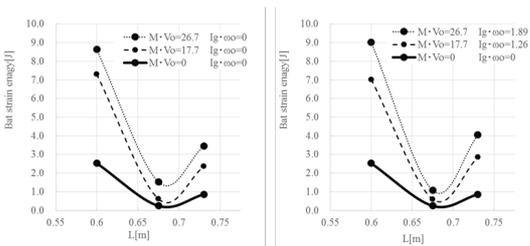
バットの回転運動によりヘッド速度を上昇させる条件



バットの並進運動と回転運動の和によりヘッド速度を上昇させる条件

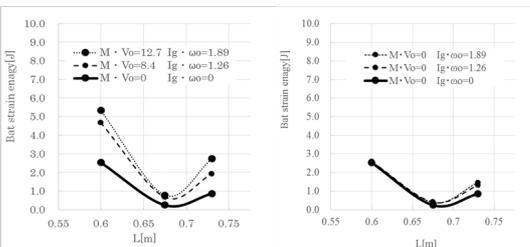
様々なスイング条件で異なる位置でボールをインパクトした際の打球速度

トのスイング条件に関わらず、バットの1次曲げ振動の節である 0.675m のときに最小で 0.6m のときに最大となった。この現象は、曲げ1次モードの振動の節から外れた位置、す



バットの並進運動によりヘッド速度を上昇させる条件

バットの回転運動によりヘッド速度を上昇させる条件



バットの並進運動と回転運動の和によりヘッド速度を上昇させる条件

様々なスイング条件で異なる位置でボールをインパクトした際のバットの振動エネルギー

なわち振動の腹に近い位置でインパクトすることで振動が励起されることが起因して生じると考えられる。

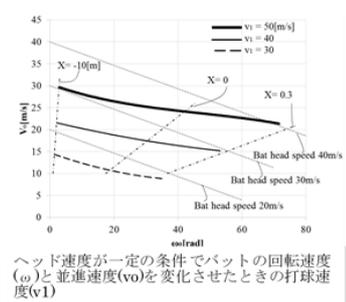
これらの結果は、打球速度を最大化するインパクト位置はインパクト直前のバットの重心周りの角運動量と運動量の影響を受けることを意味する。そして、グリップエンド寄りにインパクトした場合は、バントでは最大となっていた打球速度がバット運動量の

増大に伴いバットの芯でインパクトした場合の値に近づくこと、及び、バットの角運動量の増大に伴いバットヘッド寄りにインパクトした場合の打球速度の方がバットの芯やそれよりグリップ寄りにインパクトした場合の打球速度よりも増大することを示すものである。これらの現象は、曲げ1次モードの振動の節から外れた位置、すなわち振動の腹により近い位置でインパクトすることで振動が励起されることが起因して生じると考えられる。

(解析2)バットスイングの回転速度とバットの重心速度(以下並進速度)、さらにバットとボールのインパクト位置が打球速度におよぼす影響を広範囲の条件下で明らかにし、その力学的なメカニズムを考察することを目的とした解析を行った。本分析では、野球の打撃における反発係数(e)をバット固有の単一数値とみなすのではなく、インパクト位置や投球速度、バットスイングの回転速度(ω_0)や並進速度の影響によって変動する数値として定義した。そのため、反発係数はバットの角運動量を構成する因子である慣性モーメントと角速度の次元を有する4変数、インパクトによるエネルギー損失の要因と考えられるバットの芯からインパクト位置までの距離、さらにこれら5変数の2乗の値を加えた10変数を独立変数として重回帰式で表した。この反発係数eを推定する重回帰式の妥当性を2種類の方法で検証した。

FEMで計算された打球速度から逆算して得られた63条件での反発係数と、重回帰式から得られる値の相関関係を検証したところ、相関係数が0.97、決定係数(R²)が0.94であった。大学野球選手によるセンター方向ヘライナー性の打球を打ち返した109試技の実測のバッティングから得られたデータを用いて算出した打球速度を検証したところ、高い相関関係が得られた。またバントの130試技についても同様の検証を実施したところ、中程度の相関関係が認められた。

このシミュレーションモデルを用いて、バットの芯(グリップエンドから0.675mの位置)における3種類の各打球速度($v_1, v_2, v_3 = 30, 40, 50\text{m/s}$)を実現する V_0 と ω_0 の組み合わせを連続的に変化させ、各組合せにおける打球速度をボールのインパクト位置に応じて算出した。その結果、バットの芯でボールをインパクトした場合において、一般に打球速度に大きく影響するとされるヘッド速度が一定の条件であっても、並進速度 V_0 とスイング速度 ω_0 の組み合わせ

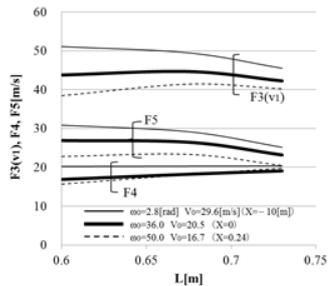


ヘッド速度が一定の条件でバットの回転速度(ω_0)と並進速度(v_0)を変化させたときの打球速度(v_1)

により異なる速度の打球が放たれることが確認された。具体的には、ヘッド速度が同値となる条件においては、並進速度が大きいときに打球速度は増大し、スイング速度大きいときには打球速度は低下した。

次に、異なるバットスイング条件において打球速度を最大化するインパクト位置を分析した。回転速度と並進速度の大きさが異なる3種類のスイング条件でシミュレーション解析したところ、回転速度と並進速度の組み合わせにより打球速度を最大化するインパクト位置が変化することが確認された。

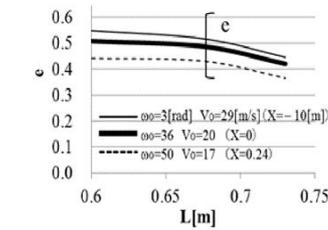
例えば、回転速度が小さく並進速度が大きい組み合わせにおいては打球速度を最大化するインパクト位置はバットの芯よりもグリップエンド寄りの位置(L=0.6m)となるが、回転速度が上昇し並進速度が低下すると



異なるバットスイング条件において打球速度 (F3) を最大化するインパクト位置 (L) と、その際の打球速度を構成する成分 (F4: 剛体とみなしたバットとボールの角運動量が保存されることに起因する打球速度、F5: 反発係数、バットとボールの慣性モーメントの大きさの割合、バットとボールの速度差に起因する打球速度)。F3=F4+F5となる。

打球速度を最大化するインパクト位置はバットヘッド寄りに移動した。これらの解析結果は、i. 一般に打球速度に大きく影響するとされるヘッド速度が一定の条件でも並進速度とスイング速度の組み合わせにより異なる打球速度が生じること、及び ii. スイング速度と並進速度の組み合わせにより打球速度を最大化するインパクト位置が変化することを示すものである。これらの現象は、スイング角速度、重心速度、インパクト位置の条件の変化に伴い、バットの反発係数、

バットとボールの速度差、インパクト位置とバットスイング回転中心との距離の値が変動することにより生じることが示された。この結果

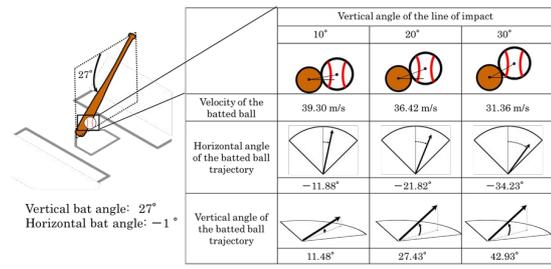


異なるバットスイング条件におけるインパクト位置と反発係数の関係

の一部は、シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマンダイナミクス 2016 にて発表され、同講演論文集 (Online ISSN : 2432-9509) に出版された (<https://doi.org/10.1299/jsmeshd.2016.C-4>)。

(解析3) 本研究において構築されたシミュレーションモデルを持ちいて、『流し打ち(右打者が右翼方向へ打球を放つ打撃)』にてライナーやフライを打ち出すことが可能なバットの水平面・鉛直面上の方位とバットの短軸上の衝撃位置の組み合わせを特定し、打球

速度を最大にするインパクト条件を明らかにする分析を行った。その結果、i. 指定された流し打ち方向に最大の打球速度を獲得するには、バット水平角が意図した流し打ち角度の約 60%の角度となるようにインパクト位置を定め、そこでほぼ正面衝突もしくはボールのわずかに下部をインパクトする必要があること、ii. 同一バット角度でボールを打撃した場合でも、よりボールの下部を打撃した試技ほど打球は右翼寄りに飛翔すること、ii. バットの打撃面を中堅方向に向けてボールを打撃した場合でも、バット鉛直角と衝撃線角度の組み合わせを変化させることによりフェアグラウンド右半分の全ての方向



中堅方向を向いたバットで流し打ちをする方法

に打球を打ち出すことができること、が明らかになった。この分析結果の一部は、原著論文として体育学研究 (in press) に発表された。

4. 研究成果のまとめ

本研究の結果は以下のようにまとめられる。

1. バントにおいて最小打撃速度を獲得するためには、ボールの中心をバットに正面衝突させることが最も重要であることが500を超える試技において再確認された。
2. 一般に打球速度に大きく影響するとされるヘッド速度が一定の条件でも、並進速度とスイング速度の組み合わせにより異なる打球速度が生じる
3. スイング速度と並進速度の組み合わせにより打球速度を最大化するインパクト位置が変化する。
4. これらの現象は、スイング角速度、重心速度、インパクト位置の条件の変化に伴い、バットの反発係数、バットとボールの速度差、インパクト位置とバットスイング回転中心との距離の値が変動することにより生じることが示された。

上記に基づき、研究開始時に懐いた以下の疑問に対する回答を考察する。

(a) なぜバットの芯付近でバントすると打球速度が最小化されるのか?

通常の場合においてはインパクト前にバットは打撃方向への運動量を有しているため、ボールをバットに正面衝突させることにより効率よくバットの運動量がボールに転移し、高い打球速度を獲得できるが、バントの場合はインパクト前にバットは運動量を有していない(または無視できるほど小さい運動量を有する)。そのため、ボールは運動量

を失うのみである。バットに正面衝突させることにより、ボールの有する投球方向への運動量がバットに効率よく転移するため、ボールの運動量は効率よく低下し、打球速度が小さくなったと考えられる。

(b) なぜ最大・最小打球速度が獲得されるインパクト位置は通常のバッティングとバントでは異なるのか？

スイング角速度、重心速度、インパクト位置の変化に伴いバットの反発係数が変化すること、及び、反発係数の変化に応じてバットからボールに転移する運動量が大きく変化することが原因と考えられる。

(c) 打球速度を最大化・最小化するための打撃方法とは？

バントにおいて打球速度を最小化するには、ボールをバットと正面衝突させることに加え、ボールインパクトの撃力によって投球方向へ移動するバットの勢いをバットの(グリップエンドまわりの)回転運動として柔らかく受け止めることが最も大切な課題である。その際、ボールをバットの芯よりもやや先端よりでインパクトすることも、補助的な効果をもたらす。

バットをスイングして行う打撃においては、以下のようにすれば打球速度を最大化できると考えられる。並進速度の大きいスイングをする打者の場合は、反発係数が大きいため、ヘッド速度が比較的小さい場合でも高い打球速度が期待できる。一方、インパクト位置がずれると打球速度が変動しやすいため、所定の打球速度を獲得するためには打者にはインパクト位置のずれを抑制するバッティング技術が必要であると考えられる。

バットの回転速度の大きいスイングをする打者の場合は、ヘッド速度に対して打球速度が比較的低いことから、より高いヘッド速度が得られるよう打者に高いスイング速度を発生させるための技術やパワーが必要であると考えられる。一方でインパクト位置のずれによる打球速度の変動が小さいため、打球速度が変動しにくい確実なバッティングが期待できる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

志村芽衣、宮澤隆、矢内利政. 『流し打ち』における打球速度を最大にする最適なバットの向きとボールインパクト位置: 野球のインパクトシミュレーション. 体育学研究 [in press] 2018. 査読あり
城所収二、矢内利政. 野球における打ち損じた際のインパクトの特徴. バイオメカニクス研究 21(2): 52-64, 2017. 査読あり

城所収二、安藤義人、伊藤和、矢内利政. 野球のバントにおける打球速度を最小化させるインパクト特性. バイオメカニクス研究, 19(3): 126-136. 2015. 査読あり

宮澤隆, 志村芽衣, 矢内利政. 野球の打球速度を最大化するインパクト位置はスイング速度とバットの回転中心によって変化する: その力学的要因. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2016 講演論文集. 査読なし

志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政. 野球の『流し打ち』における飛距離を最大にする最適なインパクト. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2016 講演論文集. 査読なし

〔学会発表〕(計2件)

宮澤隆, 志村芽衣, 矢内利政. 野球の打球速度を最大化するインパクト位置はスイング速度とバットの回転中心によって変化する: その力学的要因. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2016

志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政. 野球の『流し打ち』における飛距離を最大にする最適なインパクト. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2016

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢内 利政 (Yanai, Toshimasa)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授
研究者番号: 50387619

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

城所 収二 (Kidokoro, Shuji)
宮澤 隆 (Miyazawa, Takashi)
志村 芽衣 (Shimura, Mei)