

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2008

課題番号：19500522

研究課題名 (和文) 力覚情報に基づく野球打撃技術の解明

研究課題名 (英文) Elucidation of hitting technique in baseball by using kinetic information

研究代表者

小池 関也 (KOIKE SEKIYA)

筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授

研究者番号：50272670

研究成果の概要：

センサーバットを用いて、異なる打点高における打撃動作中の身体各関節のキネティクスの分析を行った結果、ノブ側の上肢関節では、主としてレベルスウィング局面にて打点の高低に対応しているのに対して、バレル側（バットヘッド側）上肢関節では、ダウンスウィング局面にて対応していることが示唆された。つぎに、左右上肢一バットの運動方程式からバットヘッドスピードの生成メカニズムを定量化した結果、ヘッドスピード獲得には、身体が多リンク系であることによって生じるコリオリ・遠心力の貢献が非常に大きいことが明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：野球打撃，センサーバット，キネティクス，順動力学的貢献度，運動方程式

1. 研究開始当初の背景

野球の打撃動作では、下肢や体幹が作り出した力学的エネルギーすなわち仕事を、左右の上肢を協調させながら、バットへと伝えることにより、ヘッドスピードの獲得やバットコントロールを実現している。しかし、その力学についての定量化はされていないのが現状である。

この主な理由として、右手一バットー左手で構成される閉ループの存在がある。野球の打撃動作では、両手によってバットを扱う。この場合には、両手と打具によって構成される機構的な閉ループのために、身体およびバ

ットの動きを測定しても、バッターが左右各手によって、バットにどのような力・モーメントを作用させているかはわからない。このことは、動作データのみによる打撃動作の力学的な分析を不可能とする。このことが打撃動作の主な研究をスウィングフォーム研究に終始させてきた理由である。

申請者が考案したセンサーバットは上記問題点を解決し、左右各手がバットに作用させる力・モーメントを測定可能としている。しかし、種々の条件下における四肢各関節の役割の共通点と相違点については、明らかにされていない。さらに、野球打撃動作では、

比較的重い打具を四肢を用いて高速に運動させるために、剛体多リンク機構の動力学的な要素がヘッドスピードの生成に大きく寄与していることが考えられるが、閉ループ系の存在と、そのダイナミクスの複雑さのために、バットスピード獲得メカニズムを定量的に扱うことはなされていない。

2. 研究の目的

- ① 究めて重要であるにも関わらず、これまでに殆ど報告されていない、打撃動作におけるキネティクスの諸量（例えば、関節トルク・トルクパワー・仕事等）を求め、バッティングを力学的かつ定量的に考える上での基礎的資料を得る。
- ② 上記の力学量が、打撃条件（打点高）の違いにより、どのような影響を受けるのかを明らかにする。
- ③ 対象とする系の運動方程式に基づく動力学的解析により、上肢関節トルクのヘッドスピードへの貢献度を求め、バットヘッドスピード獲得技術のメカニズムを定量化する。

3. 研究の方法

左右各手のバット作用力、作用モーメントを測定するために、図1に示す力覚検出型センサーバットを設計・製作した。なお、このバットは、センサーグリップハンドルとバット打撃部が分離可能となっており、特性の異なるバットを取り付けることができる。

本学硬式野球部員21名を被験者として、異なる打点高におけるティー・バッティングのスウィング動作を計測した。身体各部位（46点）およびセンサーバット各部位（6点）に反射マーカーを貼付し、その三次元座標を光学式三次元自動動作分析装置（VICON612, 250Hz）によって検出した。なお、分析では、16人分の結果を用いた。



(a). グリップハンドル部の構造



(b). バット全体図

図1. 力覚検出型センサーバット

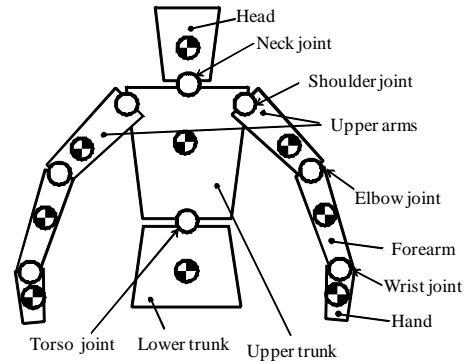


図2. 上半身の剛体セグメントモデル図

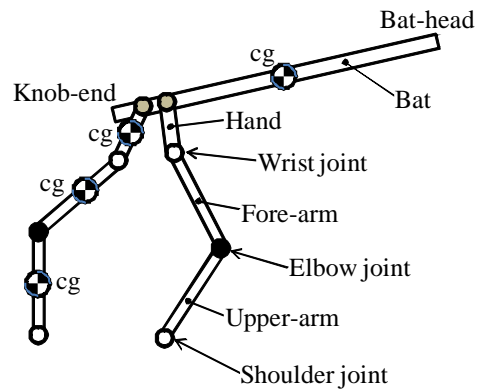


図3. 上肢-バット系のモデル図

分析では、身体各関節のキネティクスの分析に加えて、左右上肢およびバットの運動方程式に基づく順動力学的分析を行った。

図2に各節を剛体セグメントによりモデル化した上半身モデルを示す。体幹については、上胴セグメントと下胴セグメントに分割し、両セグメントの連結点に仮想の関節である腰部関節(Torso joint)を設けている。

図3には、順動力学的分析に用いた、バット-両手系の運動方程式算出のためのモデル図を示す。ここで、図中の白丸および黒丸は、関節の自由度を示し、それぞれ3自由度、および1自由度を表している。また灰色丸は、運動方程式導出過程で3自由度とし、その後0自由度(固定)とする関節を表している。

以下に、順動力学的分析手法について、その導出過程の概略を示す。

まず、バットと左右各手の個々のセグメントの運動方程式を次式として表し、

$$M_{bh} \dot{V}_{bh} = P_{bh} F_{bh} + Q_{bh} N_{bh} + H_{bh} + G_{bh} \dots (1)$$

これら各セグメントの幾何学的連結条件式である加速度拘束式は

$$C_{k,hb} \dot{V}_{b,h} + D_{k,hb} = 0 \quad \dots (2)$$

と表すことができる。

次に、上腕-前腕系（左右各腕）の運動方程式を行列形式で表すと次式となり、

$$M_{k,A} \dot{V}_{k,A} = P_{k,A} F_{k,A} + P_{ext,k,A} F_{ext,k,A} + Q_{k,A} N_{k,A} + H_{k,A} + G_{k,A} \quad \dots (3)$$

上腕-前腕系と手セグメントとの連結条件式は、次式となる。

$$C_{k,h,F} \dot{V} + D_{k,h,F} = 0 \quad (k=1,2) \quad \dots (4)$$

式(1), (3)をまとめると次式となり、

$$M \dot{V} = P F + P_{ext} F_{ext} + Q N + H + G \quad \dots (5)$$

また、式(2), (4)をまとめると次式となる。

$$C \dot{V} + D = 0 \quad \dots (6)$$

式(5), (6)を連立することによって、対象とする系である左右上肢-バット系の運動方程式を下式として求めることができる。

$$\begin{aligned} \dot{V} &= A_N N + A_{F,ext} F_{ext} + A_H H + A_G G \quad \dots (7) \\ A_N &= -M^{-1} P (C M^{-1} P)^{-1} C M^{-1} Q + M^{-1} Q \\ A_{F,ext} &= -M^{-1} P (C M^{-1} P)^{-1} C M^{-1} P_{ext} + M^{-1} P_{ext} \\ A_H &= -M^{-1} P (C M^{-1} P)^{-1} (C M^{-1} H + D) + M^{-1} H \\ A_G &= -M^{-1} P (C M^{-1} P)^{-1} C M^{-1} + M^{-1} \end{aligned}$$

バットの重心速度および角速度ベクトルは、選択行列を用いて、次式のように抽出することができる。

$$V_b = \begin{bmatrix} \dot{x}_b^T & \omega_b^T \end{bmatrix}^T = S_b V \quad \dots (8)$$

さらに、ヘッド部の速度ベクトルは、幾何学的関係式より、次式として求まる。

$$\dot{x}_{b,Head} = S_{Head} V_b, \quad S_{Head} = \begin{bmatrix} E & -[P_{b,cgH} \times] \end{bmatrix} \quad \dots (9)$$

そして、ヘッド速度ベクトルの単位ベクトルは次式となるため、

$$e_{b,Head} = \dot{x}_{b,Head} / |\dot{x}_{b,Head}| \quad \dots (10)$$

ヘッドスピードに対する各項の貢献が次式として表すことができる。

$$\dot{x}_{b,Head} = C_N + C_{F,ext} + C_H + C_G \quad \dots (11)$$

$$C_N = e_{b,Head}^T S_{Head} S_b \int A_N N dt$$

$$C_{F,ext} = e_{b,Head}^T S_{Head} S_b \int A_{F,ext} F_{ext} dt$$

$$C_H = e_{b,Head}^T S_{Head} S_b \int A_V dt$$

$$C_G = e_{b,Head}^T S_{Head} S_b \int A_G G dt$$

ここで、 C_N 、 $C_{F,ext}$ 、 C_H 、および C_G はそれぞれ手部速さに対する総関節トルク、肩関節作用力、運動依存項、および重力の貢献度を表す。さらに、総関節トルクの貢献度 C_N は、各関節軸トルクの貢献度 $C_{T,j}$ を用いて、

$$C_N = \sum C_{T,j} \quad \dots (12)$$

と表記できる。

以上に提案した手法によって、ヘッド速度ベクトル生成に対する関節トルク、肩関節作用力、コリオリ・遠心力等の運動依存項、そして、重力の貢献度を定量化することを可能とする。

4. 研究成果

- (1). キネティクスの分析 (図 4-1~図 4-3)
 - ① 上肢各関節のトルク積から、ノブ側上肢の肩および肘関節において、ダウン・スウィングならびにレベル・スウィング局面にて大きなトルク積を示したのに対して、パレル側上肢では、ダウン・スウィング局面でのトルク発揮が殆どであった。
 - ② 腰部関節軸まわりのトルク積から、下胴によって後屈ならびに回旋トルクが作用されていること、および、レベル・スウィング局面においてもその値が大きかった。
 - ③ 上肢の各関節トルク仕事から、ノブ側上肢肩関節の伸展および外転、および肘関節の伸展による正仕事が大きく、また、パレル側上肢肩関節の内転による正仕事が大きなことから、これらの軸トルクがバットヘッドスピード獲得に寄与していることがわかった。
 - ④ 下胴から上胴に対してなされる仕事では、その殆どで正仕事が大半を占め、特に上胴の回旋トルクによるものが最大であることから、この回旋トルクによって上半身の角加速がなされているものと考えられる。
 - ⑤ 打点位置の高さを変化させたティー打撃実験条件において、センサーバットを利用して得た左右各手のキネティクスの情報から、逆動力学演算によって、上半身の各関節におけるキネティクスの分析を行い、上半身の各関節の諸量の特徴について明らかにした。すなわち、ノ

ブ側の上肢関節では、主としてレベルスウィング局面にて打点の高低に対応していたのに対して、バレル側（バットヘッド側）上肢関節では、ダウンスウィング局面にて対応していた。

- ⑥ ピッチングマシンによって投球されたボールでの打撃実験では、センサーバットの長軸力測定用半導体ひずみゲージの耐久打撃数は、60試技程度であることがわかった。このため、今後、投球打撃を行う際に、グリップハンドルとバット間の結合部分に衝撃緩和装置を挿入することによって、投球打撃における衝撃に対応できるものと考えられる。

(2). ヘッドスピード獲得メカニズムの定量化 (図 5-1, 図 5-2)

- ① 順動力学的分析手法を、機構的な閉ループ系を有する動作である野球の打撃動作に拡張・適用することによって、上肢によるバットヘッド速度獲得のメカニズムを解明するための定式化を行った。
- ② 具体的には、関節の幾何学的拘束条件を考慮して剛体セグメントによりモデル化した左右の各上肢、ならびにバットから構成される多体系の運動方程式を導出し、この運動方程式を変形することによって、バットヘッド速度に対する左右上肢の肩・手首関節モーメントおよび肘

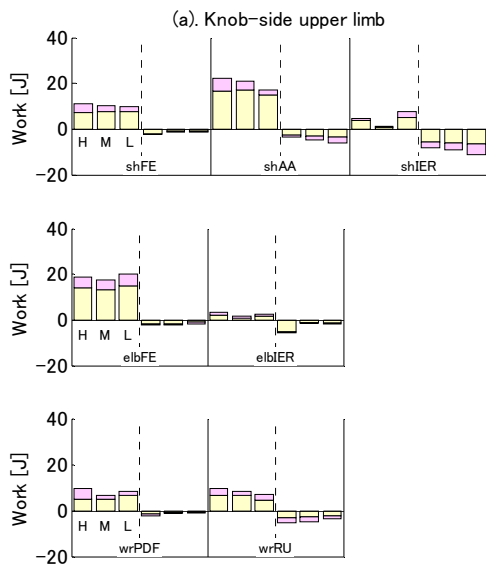


図 4-1. 異なる打点高におけるノブ側上肢関節仕事 * 図中記号の説明：打点高 (H: 高, M: 中, L: 低), 局面分け (黄色: ダウンスウィング, ピンク色: レヴェルスウィング), 関節記号 (sh: 肩, elb: 肘, wr: 手首), 動作記号 (FE: 屈曲伸展, AA: 内外転, IER: 内外旋, PDF: 掌背屈, RU: 橈尺屈) 値は 16 人分の平均

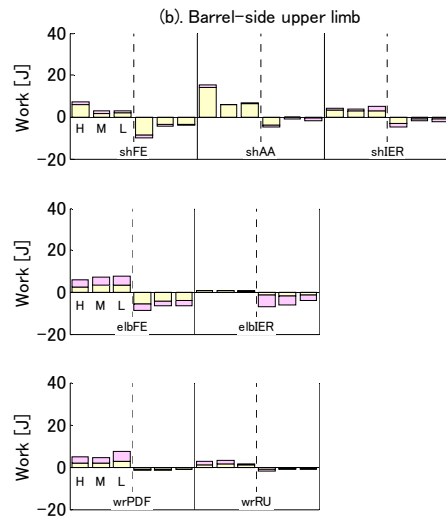


図 4-2. 異なる打点高におけるバレル側上肢関節仕事 * 図中記号の説明：打点高 (H: 高, M: 中, L: 低), 局面分け (黄色: ダウンスウィング, ピンク: レヴェルスウィング), 関節記号 (sh: 肩, elb: 肘, wr: 手首), 動作記号 (FE: 屈曲伸展, AA: 内外転, IER: 内外旋, PDF: 掌背屈, RU: 橈尺屈) 値は 16 人分の平均

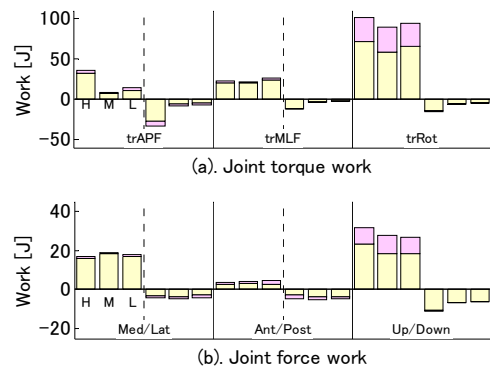


図 4-3. 異なる打点高における腰部関節 (Torsojoint) 仕事: (a) トルク仕事, (b) 関節力仕事 * 図中記号の説明：打点高 (H: 高, M: 中, L: 低), 局面分け (黄色: ダウンスウィング, ピンク色: レヴェルスウィング), 動作記号 (trAPF: 前後屈軸トルク, trMLF: 側屈トルク, trRot: 回旋トルク, Med/Lat: 側方作用力, Ant/Post: 前後方向作用力, Up/Down: 上下方向作用力) 値は 16 人分の平均

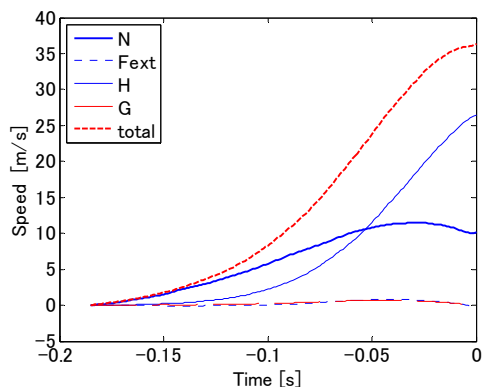


図 5-1. バットヘッドスピードに対する貢献度 * 図中記号の説明: 線種 (N: 関節モーメントの貢献, Fext: 肩関節力の貢献, H: コリオリ・遠心力等の運動依存項の貢献, G: 重力項の貢献, total: 全体の和)

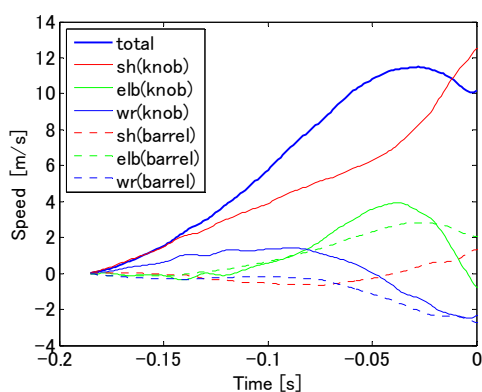


図 5-2. バットヘッドスピードに対する関節モーメントの貢献度の内訳 * 図中記号の説明: 記号 (sh: 肩関節モーメント, elb: 肘肩関節モーメント, wr: 手首関節モーメント, knob: ノブ側上肢, barrel: バレル側上肢, total: 全体の和)

関節トルク, 肩関節力, 運動依存項, ならびに重力の貢献を定量化可能とした. その際, 上肢とバットが構成する機構的閉ループ問題については, センサーバットによって得たキネティクス情報を用いて解決した.

- ③ 分析の結果, バット速度生成には, 関節モーメントだけでなく, 運動依存項も大きく貢献することがわかった. このことは, 左右上肢ならびにバットの動きを利用したヘッドスピードの獲得が行われていることを示している.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 小池 関也, 川村卓, 阿江通良: 野球のバットヘッド速度生成に対する左右各手の機能抽出. 第 20 会日本バイオメカニクス学会大会論集, 2008, pp. 72-72, 査読無
- ② 小池 関也, 阿江敦通, 川村卓, 阿江通良: 野球打撃動作における上半身のキネティクス的分析. 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2008 (スポーツ工学シンポジウム, シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス) 講演論文集, 2008, pp. 112-116, 査読無
- ③ 小池 関也, 川村卓, 阿江通良: 野球のバットヘッド速度生成に対する左右各手の機能抽出. 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2008 (スポーツ工学シンポジウム, シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス) 講演論文集, 2008, pp. 117-122, 査読無

[学会発表] (計 3 件)

- ① 小池 関也, 阿江敦通, 川村卓, 阿江通良: 野球打撃動作における上半身のキネティクス的分析. 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2008, 2008 年 11 月 7 日, 秋田県生涯学習センター
- ② 小池 関也, 川村卓, 阿江通良: 野球のバットヘッド速度生成に対する左右各手の機能抽出. 日本機械学会ジョイント・シンポジウム 2008, 2008 年 11 月 7 日, 秋田県生涯学習センター
- ③ 小池 関也, 川村卓, 阿江通良: 野球のバットヘッド速度生成に対する左右各手の機能抽出. 第 20 会日本バイオメカニクス学会大会, 2008 年 8 月 27 日, 仙台大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小池 関也 (KOIKE SEKIYA)

筑波大学・大学院人間総合科学研究科・准教授

研究者番号: 50272670