原著論文

ゴルフクラブスイング時の上肢の運動計測とその解析
—ジャイロセンサによるコック運動計測—[†]

穂 莉 真 樹* 土 岐 仁* 永 作 清*

Measurement and Analysis of Arm Motion in Golf Club Swing
— Measurement of Cock Motion by Using Gyro Sensor —[†]

Masaki HOKARI*, Jin DOKI* and Kiyoshi NAGASAKU*

Abstract

To measure and analyze the golf swing form, there is a method that uses a high-speed camera or video camera. However, it is difficult to measure the motion of a thin part like the wrist or ankle by using this method. In golf, the cock motion is one of the wrist motions that is done at the near point of contact between the body and the club. It is regarded as the position that transmits the energy stored in the rotation of the body to the club.

In this paper, we proposed a new measurement method that uses a gyro sensor in order to measure cock motion. To measure this motion, the sensor was attached to the left wrist and the forearm. Finally, the features of the cock motions that middle and novice class players exhibit were measured by the experiment. Although this method was developed for cock motion measurement in golf swing, it can be applied to baseball, tennis and so on.

Key words : Golf Driver Swing, Cock Motion, Gyro Sensor, Measurement

1. 緒 言

スポーツのなかで競技人口が多く、マーケットの規模も大きいゴルフに関して多くの研究がなされている。特に、ドライバーはアイアン、パターとともに実際のゴルフラウンドで使用頻度の高いクラブであり、ドライバーショット時のクラブヘッドの移動軌跡と姿勢¹⁾、ボールの回転運動や打球方向に関する研究²⁾³⁾、プレイヤーのスイング身体動作の解析に関する研究⁴⁾⁶⁾など多くの研究が行われている。

インパクトの瞬間のゴルフクラブのヘッド

スピード、インパクト後のボールの飛距離や方向に影響を及ぼすプレイヤーの運動要素として肩、腰、左上肢といった身体の回転運動がある。特に、手首の運動の運動要素の一つであるコック運動はプレイヤーの身体とクラブの接点近くで行われるため、身体の回転運動で蓄えられたエネルギーをクラブに伝達する部位として注目されている。

コック運動の計測には、従来スポーツフォームの計測で使用されている高速度カメラや加速度センサを用いる方法⁷⁾¹⁰⁾が考えられる。これらの方法は、並進運動の計測には優れている

[†]原稿受付 2005 年 3 月 3 日

*秋田大学

〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1

*Akita University, 1-1, Tegatagakuen, Akita, Akita, Japan (010-8502)

Fig. 1 Cock motion of golf driver swing form

が、回転運動の計測には若干の困難さを伴う。高速度カメラは手首に取り付けたマーカを撮影し、画像処理から並進運動を計測し、回転運動を求めるものである。しかし、手首は他の身体部位にくらべ細く、画像の分解能から精度よく計測できない、回転運動中にマーカが隠れるといった問題点がある。さらに、高速度カメラと加速度センサを用いる方法は、並進運動を計測しリンクモデルと運動学から回転運動を求める逆問題アプローチであるため、非線形方程式の解法が必要である。

本研究では、ジャイロセンサを用いたゴルフスイング中のコック運動の計測法とその計測システムを提案する。ジャイロセンサは回転運動を計測するので、回転運動である上肢やコック運動の計測に有用である。さらに、提案する計測システムはその簡易さゆえ個人における練習に使える。

2. ゴルフドライバースイング中のコック運動と課題の記述

コック運動は、ゴルフスイング中の左手関節の橈屈と尺屈である。橈屈は、母指側に手を曲げる運動であり、尺屈は小指側に手を曲げる運動である。ゴルフでは、橈屈をコック、尺屈をアンコックと呼ぶ。Fig. 1にドライバースイング中のコック運動の様子を示す。(a) アドレスでは左手と左前腕は直線的な位置にある。(b) バックスイング開始とともにコックを開始する。(c) トップオブスイングではコックはほぼ最大となり、(d) ダウンスイング開始とともにアンコックを開始する。(e) インパクトで、アドレス時の状況に近づき、インパクト直後でアドレス時の状況になる。(f) フォロースイングの開始とともに、再びコックも開始し、(g) フィニッシュとなる。

以上より、本研究では次の3つの課題について取り組む。

Fig. 2 The definition of rotational motion

- (P1) コック運動の計測法
- (P2) 計測システムの構築
- (P3) コック運動の特徴を表すパラメータの抽出

3. 計 測 法

課題 (P1) について検討する。

3.1 左上肢の運動

ドライバースイング中の左前腕、左手の回転運動を Fig. 2(a), コック運動を Fig. 2(b) にそれぞれ示す。Fig. 2(a) に示すように、左前腕はある任意の点 O を中心に角速度 $\omega_f(t)$ 、角度 $\theta_f(t)$ で回転運動し、左手も同様に角速度 $\omega_h(t)$ 、角度 $\theta_h(t)$ で回転運動する。一方、コック運動は Fig. 2(b) に示すように、左手が手首を中心とし、角速度 $\omega_c(t)$ 、角度 $\theta_c(t)$ で回転する運動である。

3.2 コック運動計測

3.1 の左前腕、左手およびコック運動を計測するためのセンサとしてジャイロセンサを用いる。この運動を計測するためのセンサとして、加速度センサの利用も考えられるが、加速度センサは速度、変位を求めるために 1 回積分、2

回積分する必要がある。これにより、大きなドリフト誤差が生じる恐れがある。また、逆問題アプローチで回転運動を求めるため非線形方程式を解かなければならない。ジャイロセンサを使用した場合、角度は 1 回積分、角加速度は 1 回微分で求められ、計算が容易である。また多くの回転運動を含むゴルフでは、回転角度および回転角速度の計測は重要である。

Fig. 2(a) に示す左前腕と左手の角速度 $\omega_f(t)$ 、 $\omega_h(t)$ をジャイロセンサで計測し、アドレス静止時のそれぞれの角度を初期値として積分すると、左前腕と左手の角度 $\theta_h(t)$ 、 $\theta_f(t)$ は次式から求まる。

$$[\theta_f(t) \theta_h(t)] = \int [\omega_f(t) \omega_h(t)] dt \quad (1)$$

よって、Fig. 2(b) に示すコック運動の角速度、角度は次式から求まる。

$$\theta_c(t) = \theta_h(t) - \theta_f(t) \quad (2)$$

$$\omega_c(t) = \omega_h(t) - \omega_f(t) \quad (3)$$

4. 計 測 シ ス テ ム

課題 (P2) について検討する。

使用するジャイロセンサは梶村田製作所ジャイロスター ENC-03J である。ゴルフスイング中のコック運動の角速度はジャイロセンサの計測保証範囲を超えることが予想されるため、

Fig. 3 Attachment of gyro sensors

キャリブレーションを行った。モーターの軸にジャイロセンサを取り付け、モーターの回転速度を 10deg/s から 1800deg/sec まで徐々に上昇させ、ジャイロセンサの回転角速度と比較した。結果、モーターとジャイロセンサは $R^2 = 0.96$ で高い線形関係にあることを実験で検証した。したがって、本実験の計測範囲内で十分使用できることを確認した。サイズは $22\text{mm} \times 9\text{mm} \times 8\text{mm}$ 、重さ 2.7g と小型、軽量である。ジャイロスターは長時間使用するとドリフトが生じる。しかしスイングに要する時間範囲では、ドリフトによる影響はほとんどない。実際にはスイング開始までの静止状態も計測しており、この間で生じる直流成分を計測時間全体のデータから差し引き、ドリフトが生じた場合に対処している。Fig. 3 のように左前腕に設置するセンサはバンド型ホルダーに取り付け、左手に設置するセンサはゴルフグローブに入れて固定するので、スイング中のセンサの設置場所からのずれを防ぎ、被験者ごとに簡単に設置調整でき

る。

Fig. 4 に信号処理システムを示す。左前腕、左手に取り付けたジャイロセンサでスイング中の角速度を計測する。AD 変換して PC に取り込み、(1) 式により左前腕と左手の角度を求め、(2) 式と (3) 式からコックの角速度と角度を求める。

5. 実験システム

5.1 実験システムと被験者

Fig. 5 に実験システムを示す。このシステムは次の 2 要素から構成される。

(a) コック運動計測センサ：Fig. 3 のようにジャイロセンサを被験者の左前腕、左手に取り付け、スイング中の回転角速度を計測する。

(b) インパクト検出センサ：インパクトで発生する音をマイクロフォンで検出する。

被験者は Table 1 に示す中級者と初級者の各 1 名である。この 2 名の被験者は普段のドライバースイングでコック運動を意識せずスイングしている。本研究では、中級者と初級者のスイング、中級者の普段のスイングとコックを意識したスイングを計測し、本計測システムでその違いが計測できるか検証する。実験は初級者に普段のスイングを 10 回、中級者にコックを意識しない普段のスイングとコック運動を意識したスイングを各 10 回行った。なお、コックを意識したスイングを行う前に、中級者には口頭でコックを意識してスイングするようにとだけ指示した。

Fig. 4 The data processing flow to obtain cock motion (angular velocity and angle)

Fig. 5 Experimental system

Table 1 The attributes of golf player

	Middle	Novice
Age	46	31
Height [cm]	167.0	174.7
Weight [kg]	63.0	66.5
Experimental year	6	2
Average score	90	140

5.2 実験結果

初級者の普段のスイング、中級者のコックを意識しない普段のスイングとコックを意識したスイングのそれぞれ1スイング (Fig. 1(a) アドレスから (f) フォロースルー) の計測結果について Fig. 6 に左前腕と左手の角速度, Fig. 7 に角度, Fig. 8 にコックの角速度と角度をそれぞれ示す。なお、図中の (a) ~ (f) は Fig. 1 のドライバースイング中におけるコック運動の様子を示し、インパクトは全て 0.0s とする。

5.2.1 初級者と中級者のコック運動

初級者と中級者のスイングを Fig. 6(a),(b) と Fig. 7(a),(b) で比較する。

Fig. 6(a) に示すように初級者のスイングはアドレスからバックスイングにかけて、左手の角速度は急激な増加が見られるのに対し、Fig. 6(b) に示すように中級者のスイングは滑らかに増加する。これは、Fig. 7(a),(b) に示す

角度からも確認できる。トップオブスイングからインパクトにかけて、初級者の左前腕と左手の角速度が最小値付近で変動しているのに対し、中級者のスイングではこのような変動が見られない。この左上腕と左手の角速度変動の違いは、トップオブスイングからインパクト、特にインパクトの瞬間のクラブヘッドスピードに影響を及ぼすと考えられる。

コック運動について Fig. 8 で比較する。初級者のスイングのコック角速度 (Fig. 8(a) の細実線) は、バックスイング開始からトップオブスイングにかけて変動が見られるのに対し、中級者のスイングの角速度 (Fig. 8(a) の破線) には、そのような傾向がみられない。初級者のトップオブスイングはインパクト前 0.4s 付近であるが、コック角度 (Fig. 8(b) の細実線) の最大値は 61.7 度であり、トップオブスイングからインパクトにかけて生じている。一方、中級

(a) Swing of novice class player without conscious for cock

(b) Swing of middle class player without conscious for cock

(c) Swing of middle class player with conscious for cock

Fig. 6 Angular velocity of left fore arm and hand

(a) Swing of novice class player without conscious for cock

(b) Swing of middle class player without conscious for cock

(c) Swing of middle class player with conscious for cock

Fig. 7 Angle of left fore arm and hand

(a) Angular velocity of cock

(b) Angle of cock

Fig. 8 Cock motion of middle and novice players

者のコック角度 (Fig. 8(b) の破線) は 46.3 度であり, トップオブスイング付近で発生している。

5.2.2 中級者のコック運動

中級者のコックを意識しない普段のスイングとコックを意識したスイングを Fig. 6(b), (c) と Fig. 7(b), (c) で比較する。

左前腕の角速度と角度について, 両スイングで大きな違いがないことが Fig. 6(b), (c) と Fig. 7(b), (c) から確認できる。一方, 左手の運動は, コックを意識しない普段のスイングに比べ, 意識したスイングのほうが早く開始され, 角速度, 角度, 特にトップオブスイング付近での角度に大きな差があることが Fig. 6(b), (c) と Fig. 7(b), (c) からわかる。

コック運動について Fig. 8 で比較する。コックを意識しない普段のスイング (Fig. 8(a) の破線) は, アドレスからバックスイング (Fig. 1(b)) にかけて角速度が増加している。同様にコックを意識したスイング (Fig. 8(a) の太線) のアドレスからバックスイングにかけて角速度は増加しているが, その大きさは普段のスイングよりも大きな値である。バックスイング中, 被験者はコック運動を手が右大腿付近に位置するところから意識してスイングしていたことから, 定性的ではあるが実験結果とほぼ一致した。一方, コック角度もアドレスからバックスイングにかけて増加し, トップオブスイング (Fig. 1(c)) で最大値となる。普段のスイング (Fig. 8(b) の破線) では 46.3 度に対し, コッ

Fig. 9 The definition of cock motion

クを意識したスイング (Fig. 8(b) の太線) では 61.5 度と大きな値であった。ダウンスイング開始 (Fig. 1(d)) からインパクト (Fig. 1(e)) 前までの間角度は減少する。インパクト近傍 (Fig. 1(e)) で角度は 0 度となり、フォロースルー (Fig. 1(f)) となる。

6. コック運動の特徴を表すパラメータの抽出

コック運動を特徴付けるために、Fig. 9(a) に角速度に関する変数、Fig. 9(b) に角度に関する変数をそれぞれ定義する。

コック運動の角速度変数：

- (1) ω_{cmax} : コック運動の最大角速度
- (2) $t_{\omega_{cmax}}$: コック運動の最大角速度発生時刻
- (3) ω_{cip} : コック運動のインパクト瞬間角速度

コック運動の角度変数：

- (4) θ_{cmax} : コック運動の最大角度
- (5) $t_{\theta_{cmax}}$: コック運動の最大角度発生時刻
- (6) θ_{cip} : コック運動のインパクト瞬間角度

コック運動はプレイヤーの身体とクラブの接点近くで行われ、身体の回転運動で蓄えられたエネルギーをクラブに伝達する運動である。最終的にボールを目標遠方に打球するためには、一連のドライバースイング中におけるコック運動も肩や腰などの運動と同様に重要である。よって、本研究ではインパクト前におけるコックの最大角速度、最大角度ならびにその発生時刻に注目した。一方、コック運動はインパクトの瞬間におけるクラブヘッドスピード、インパクト直後のボールの初速度および打球方向に影響を及ぼす身体の回転運動の一つであり、クラブに最も近い回転運動であることから、インパクトの瞬間の角速度と角度に着目した。従来、コック運動の研究はほとんど行われておらず、本計測法と計測システムはこの運動の定量計測を実現した。

初級者の普段のスイング、中級者のコックを意識しない普段のスイングとコックを意識し

Table 2 The comparison between no conscious swing cock motion and conscious swing

Variabl es	Unit	Novice class player	No consciousness of cock at middle class player	Consciousness of cock at middle class player
$\omega_{c\max}$	deg/s	-415.8 ± 24.7	-374.2 ± 15.7	-432.7 ± 12.4
$t_{\omega_{c\max}}$	s	-0.12 ± 0.07	-0.14 ± 0.02	-0.16 ± 0.05
ω_{cip}	deg/s	-319.4 ± 29.2	-307.4 ± 26.1	-408.0 ± 12.9
$\theta_{c\max}$	deg	59.1 ± 9.1	43.9 ± 5.8	60.5 ± 8.7
$t_{\theta_{c\max}}$	s	-0.31 ± 0.06	-0.39 ± 0.02	-0.35 ± 0.04
θ_{cip}	deg	-24.2 ± 5.1	-22.4 ± 4.1	-7.4 ± 10.8

たスイングの計測結果から、Fig. 9 で定義したコック運動変数の平均と標準偏差を Table 2 に示す。

初級者のコック最大角速度平均と最大角度平均は中級者の普段のスイングよりも大きい。しかし、中級者に比べ初級者のコック運動変数標準偏差は全て大きい。すなわち、初級者に比べ中級者のドライバースイング中のコック運動は安定して行われていることがわかる。

次に中級者のコック運動を意識しないスイングと意識したスイングを比較する。コックの最大角速度はコックを意識しない普段のスイングより意識したスイングで大きな値を示していた。このことから、コックを意識したスイングのほうがクラブへのエネルギー伝達に有効ではないかと考えられる。また、両スイングとも最大角速度が発生した時刻は、インパクト前 0.1s 前後である。コックの最大角度は、コックを意識しない普段のスイングに比べ、意識したスイングは約 1.4 倍の値である。この最大角度をダウンスイング中維持することで、クラブの慣性モーメントが小さくなり、スイングの回転速度は上がる。そして、回転運動で蓄えられたエネルギーをインパクトの瞬間、もしくはインパクト直前でリリースすることでヘッドスピードや飛距離のアップにつながると考えられる。最大角度発生時刻は、両スイングともにインパクト前 0.4s 前後であり、トップオブスイング付近と推測される。また、普段のスイングに比べ、コックを意識したスイング変数のバラツキが大きい。この原因は、被験者の普段のスイングが

コックを意識したものでなく、コックを意識したスイングに慣れていないためである。

7. 結 言

本研究は、ジャイロセンサを用いたゴルフスイング中のコック運動の計測法とその計測システムについて述べ、次の 3 つの課題に取り組んだ。

- (P1) コック運動の計測法
- (P2) 計測システムの構築
- (P3) コック運動の特徴を表すパラメータの抽出

これらの課題に対し、次の結果を得た。

(1) コック運動は、ゴルフスイング中の左手関節の橈屈と尺屈、すなわち、左前腕からみた左手の回転運動である。これらの運動を計測するためにジャイロセンサを用いた計測法を確立した。

(2) ジャイロセンサをベースとするコック運動計測システムを構築した。このシステムを使用し、初級者と中級者のスイング、中級者のコックを意識しない普段のスイングとコックを意識したスイングの左前腕、左手およびコック運動を計測し、その違いを定量化した。

(3) コック運動の特徴を表すパラメータを抽出した。スキルの異なる被験者でパラメータを比較し、その特徴を示したことにより本パラメータの有効性を示した。

従来、コック運動の研究はほとんど行われておらず、本計測法と計測システムはこの運動の数量化を実現した。今後、コック運動とクラ

ブヘッド, ボール運動との関係について検討する.

参 考 文 献

- 1) 瀬川友輔, 他: ゴルフクラブスイング時のヘッドの三次元移動軌跡と姿勢の計測, 計測自動制御学会論文集, Vol.39, No.10, pp.887-895, 2003.
- 2) 穂苅真樹, 他: インパクト直後の打球方向とゴルフドライバースイングフォーム, スポーツ産業学研究, Vol.14, No.1, pp.37-49, 2004.
- 3) 佐野正樹, 他: 並列分散遺伝的アルゴリズムによるゴルフボールの回転角検出. 日本機械学会第15回計算力学講演会 講演論文集, No.02-02, pp. 51-52, 2002.
- 4) 穂苅真樹, 他: ドライバースイングとゴルフスキルー (2) ニューラルネットワークを用いた平均スコア推定ー, 日本スポーツ産業学会, スポーツ産業学研究, Vol.9, No.2, pp.35-45, 1999.
- 5) 穂苅真樹, 他: スポーツフォームの運動解析と計測ーゴルフドライバースイングフォーム計測ー, 計測自動制御学会論文集, Vol.38, No.11, pp.922-930, 2002.
- 6) 穂苅真樹, 渡辺嘉二郎: ゴルフドライバースイング計測とスキル評価の基礎研究, スポーツ産業学研究, Vol.13, No.2, pp.23-32, 2003.
- 7) 持丸正明: 身体運動計測技術の動向, 計測と制御, 第36巻, 第9号, pp.609-614, 1997.
- 8) 阿江通良: 体育・スポーツにおける動作分析手法の利用, 計測と制御, 第36巻, 第9号, pp.622-626, 1997.
- 9) 池上康男: 写真撮影による運動の三次元的解析法, Japan Journal of Sports Science, 2-3, pp.163-170, 1983.
- 10) 池上康男 他: DLT 法, Japan Journal of Sports Science, 10-3, pp.191-195, 1991.