

# ゴルファーの諸特性に合致した最適クラブの開発と評価

Development and Evaluation of Optimum Golf Club for Golfer

(平成17年9月受理)

松尾 忠利\* (MATSUO Tadatoshi)  
 鈴木 浩史\*\* (SUZUKI Hirofumi)  
 福島 澄夫\*\*\* (FUKUSHIMA Sumio)  
 佐東 信司\* (SATO Shinji)

## Abstract

A lot of golfers are interested in flying golf ball far away. It is enumerated that the head speed is raised as one method. In this paper, therefore, two kinds of golf shafts are developed. The former is a shaft with two kick points, and other is a shaft used reinforcement to swing at a fast head speed. The rise of the head speed and flight distance of a golf ball was confirmed through outdoor hitting experiment using the golf robot.

## 1. 緒言

ゴルフボールを遠くへ飛ばすことは、全てのゴルファーの関心事と言っても過言ではない。その方法の1つとして、ヘッドスピードを上昇させること<sup>(1)~(3)</sup>が挙げられる。そのためには、

- (1) ゴルファーが筋力トレーニングを実施する
- (2) クラブ長さを長くする
- (3) スイング時のクラブのしなりを大きくする

等の方法が考えられる。(1)の方法は、あまりにも現実的ではない。(2)の方法は、数年前は長尺クラブとして流行したが、方向性が安定しないなどの理由から、現在では、一般的なゴルファーの使用は少ないようである。(3)の方法が最も注目されていて、ゴルフクラブメーカーが、さまざまな構造のゴルフシャフトを開発している。

本研究の最終目標は、ゴルファーのスイングをゴルフロボットで模擬試打し、それらの打球特性をコンピュータ解析することによって、ゴルファーに最適なゴルフクラブを提供するゴルフクリニックを開設することである<sup>(4)~(6)</sup>。そこで本論文では、大きなシャフト

のしなりを利用してヘッドスピードを上昇させることを目的として、キックポイントを2ヶ所設けたツインキックシャフトと振動数の低い軟らかいシャフトでありながら、より高いヘッドスピードでもスイング可能な、クロスシート補強シャフトを作製した。ゴルフロボットを用いて、2種類のゴルフクラブについてそれぞれ試打実験を行い評価する。

## 2. 実験方法

### 2.1 シャフトの作製方法

#### (1) 従来のカーボンシャフトの作製方法

カーボンシャフトの素材料として、カーボンプリプレグシートが用いられている。カーボンプリプレグシートとは、炭素繊維を一方方向に配列し、半硬化状のマトリクス樹脂を含浸させたシート状の成形材料である。本研究で用いたカーボンプリプレグシートの特性を表1に示す。また、カーボンプリプレグシートを用いた、従来のシャフトの作製方法(シートの積層順序)を図1に示す。まず、バット部(グリップ部)を補強するためのストレート層①を巻き、次に繊維を配列し

\* 福島工業高等専門学校 機械工学科 (いわき市平上荒川字長尾 30)

\*\* 福島工業高等専門学校 機械電気システム工学専攻 (いわき市平上荒川字長尾 30)

\*\*\* 株式会社 柳田産業 (埼玉県南埼玉郡白岡町岡泉 1000-2)

て裁断したバイアス層②を巻いていく。その後③、④番目にストレート層を巻き、最後にシャフトのチップ部(先端部)の補強、あるいは太さをコントロールするための異形のストレート層⑤を巻く。カーボンプリプレグシートの巻き始めの点を考慮して、シートの重層が均等になるような巻き方にする。また、⑥のクロスシート層は新たに導入するもので、詳細は後述する。

Table 1 Characteristic of carbon prepreg sheet

Elastic modulus of fiber (GPa)	240, 300, 400
Volume ratio of fiber (%)	67
Thickness of sheet (mm)	0.125
Orientation angle of fiber (°)	0, 30, 35, 40

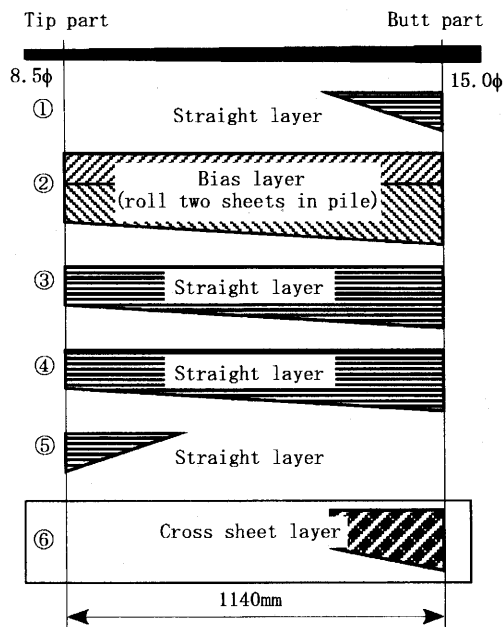


Fig. 1 Laminating order of prepreg sheet

(2) ツインキックシャフトの作製方法

ツインキックシャフトとは、キックポイントを2ヶ所に増やしたシャフトである。図1に示した、従来型のシャフトは1ヶ所のキックポイントでシャフトが曲がるシングルキックシャフトであったが、ツインキックでは2ヶ所で曲がるので、より大きなたわみの発生が期待できる。より大きなたわみを発生させることによって、より大きな復元力が発生し、ヘッドスピードが上昇すると予想される。したがって、インパクト時に大きなエネルギーを伝えることが可能となり、飛

距離を伸ばすことができると考えられる。

ツインキックシャフトの構造は、図2に示すようなシートを図1の③層に使用する。このシートは、I II間およびII III間の2ヶ所にキックポイントができるようにI、III部にはカーボンプリプレグシートを巻き、II部には巻かずに強度を弱くする工夫をした。シャフトに弱い部分と強い部分を意図的に設けることによって、スイングしたときに二段階でたわむツインキックポイントのシャフトを製作することができると考えられる。カーボンプリプレグシートがある部分とない部分の境界では、シートを20mm分斜めに裁断して強度の低下を抑制させる傾斜構造としている。

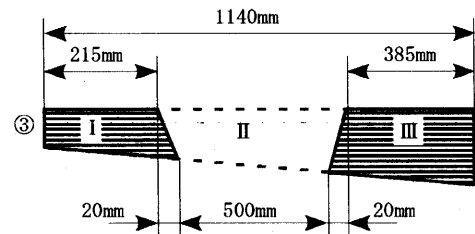


Fig. 2 Shape of prepreg sheet for twin-kick shaft

(3) クロスシート補強シャフトの作製方法

シャフトのたわみ効果を増すことは、シャフトの固有振動数を下げることによって達成できる。しかし、シャフトの振動数を下げるためにはストレート層(図1の③、④層)に使用するシートの弾性率を低くしなければならないため、シャフトの強度も低下してしまう。表2に示すように、従来、シャフトの硬さを表すフレックスは、クラブの固有振動数によって定義されている<sup>(7)(8)</sup>。これは、ゴルファーのヘッドスピードにも対応しているので、クラブ選択の基準とされてきた。

Table2 Relation between flexibility and frequency

Flexibility	Frequency (cpm)	Head speed (m/s)
LL	~229	~ 26
L	230~239	~ 30 ~
A	240~249	~ 34 ~
R	250~259	~ 38 ~
S	260~269	~ 42 ~
X	270~279	~ 45 ~
XX	280~	50 ~

しかし、本報では、振動数を下げたシャフトでも、高いヘッドスピードでスイングできるよう、強度を確保するために、図3示すような炭素繊維が4方向に編み込まれた、クロスシートを最外层(⑥層)に用いてシャフトを設計した。

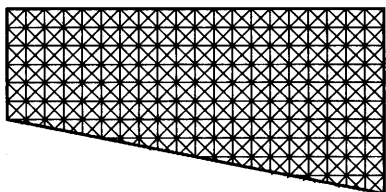


Fig.3 Schematic diagram of cross sheet layer

2.2 シャフトのたわみ量の測定

たわみ量の測定には、図4に示すたわみ量測定器を用いる。クラブを床面に対して水平に取り付けるために、調節ねじによってクラブを測定器背面の平行線と一致させる。クラブ先端から40mmの位置に2.7kgの重りをつるし、50mm 間隔でたわみ量を測定した。また、ゴルフロボットでスイングしたときのクラブをハイスピードカメラで撮影し、クラブの変形状態について検討した。

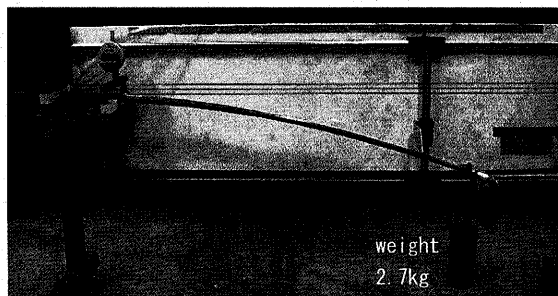


Fig.4 Measuring device of deflection

2.3 屋外試打実験

屋外試打実験は小名浜オーシャンホテル&ゴルフクラブ 10 番ホールにおいて行った。ゴルフロボットをゴルフ場にあるカート駐車場に設置し、ゴルフロボットからの距離 100m の地点から 5m おきに 230m までコースに旗を立てた。また、これらの旗と直角に、ゴルフロボットの位置から見て右側をプラス方向、左側をマイナス方向とし、5m おきに 20m まで旗を立てた<sup>(6)</sup>。

飛距離を正確に測定するためにゴルフロボットからの距離は、測量器を用いて測定した。飛距離の測定は、落下地点から縦方向をキャリア、横方向を打球のぶれとし、それぞれの値を 1m の精度で測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 ツインキックシャフトの評価

ツインキックシャフトは、その利点であるシャフトの変形の復元力によるヘッドスピードの増加という特性を明瞭に観察するため、表2を基準として、フレックス L、A の軟らかいクラブを作製した。また、キックポイント差による比較をするために、フレックス L、A のシングルキッククラブも作製した。これらのクラブの特性を表3に示す。

Table3 Characteristic of golf club

	D-1	D-2	S-1	S-2
Number of kick points	2	2	1	1
Club length (inch)	46.0	46.0	46.0	46.0
Frequency (cpm)	233	249	235	244
Flexibility	L	A	L	A

たわみ量の計測結果を図5に示す。図よりツインキックであるD-1は、シングルキックのS-1と比較して、より大きくくなっていることがわかる。これは、設計時に意図的に作ったカーボンシートの2ヶ所の境界(I II間とII III間)にキックポイントが生じたためであると考えられる。したがって、ツインキックシャフ

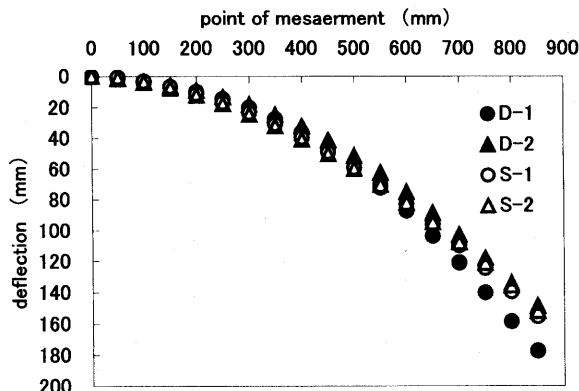


Fig.5 Comparison of deflection

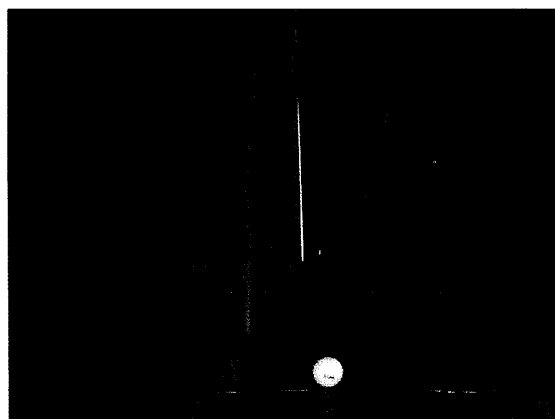
トの設計は成功したと考えられる。なお、D-2はD-1に比べて硬いシャフトであるため、シングルキックのクラブと比較しても大きな変形は見られなかった。したがって、以下の考察では、D-1とS-1のクラブについて、比較検討を行う。

ゴルフロボットにクラブを取り付け、スイング中のシャフトの映像をハイスピードカメラで撮影し、キックポイント差によるシャフトの変形を比較検討した。ロボットの出力を60%に設定したときの画像を図6に示す。表3に示したように、両クラブは同一の特性であり、カメラの位置および倍率も等しい。また、ハイスピードカメラは駆動ベルトに設置したセンサーからの信号によって自動的に撮影するので、両写真の各撮影点におけるロボットのスイングは等しい状態である。両写真において、最も濃く撮影されているシャフトは、バックスイング開始時のものであるので無視する。

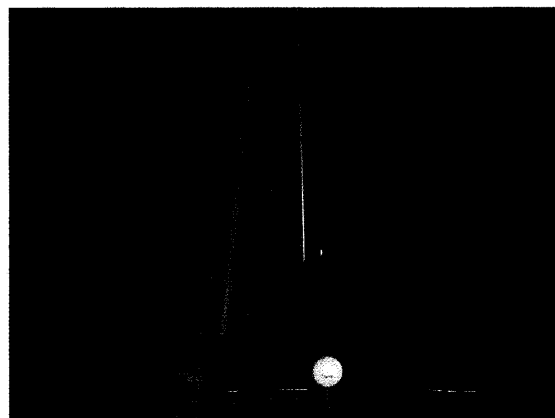
図より最初の撮影点における両クラブ位置を比較すると、D-1の方がS-1よりもボールに近いことがわかる。これはツインキック化によるシャフトのキック効果によって、ヘッドスピードが上昇したことを示している。ヘッドスピードメータを用いた測定では、D-1、S-1のヘッドスピードはそれぞれ、35.6m/s、34.8m/sであり、ツインキック化により約1m/sのヘッドスピードの上昇が達成された。

次に、シャフトのしなり方に注目すると、D-1はS-1と比較して、2ヶ所のキックポイントで大きくしなっている様子が確認される。実験前はインパクト直前までシャフトが後ろ側にしなる(クラブヘッドが遅れる)と予想していたが、実際の写真からは、インパクトする前にシャフトがわずかに前にしなっていることが明らかになった。これはシャフト構造によっての違いが生じていると考えられ、ロボットのスイング特性やインパクト位置によっても大きく影響を受けると考えられる。インパクト時において、シャフトはまっすぐな状態であることが望ましいと思われるので、今後はロボットのスイング特性やインパクト位置などを改善することでツインキックシャフトの利点をさらに引き出すことができると考えられる。

また、ゴルフ場において、ロボットの出力を60%に設定して試打実験を行った。10球連続で試打したときの飛距離の平均値は、D-1、S-1についてそれぞれ、145m、141mであった。なお、ヘッドスピードの平均値は、前述の値と同じであった。したがって、ツインキックのD-1は、たわみの復元によって得られるキック効果により、ヘッドスピードが約1m/s上昇し、平均飛距離も4m延長する結果が得られ、ツインキック化の有効性が確認された。



(a) Deformation of D-1 (Head speed=35.6m/s)



(b) Deformation of S-1 (Head speed=34.8m/s)

Fig. 6 Deformation of golf club before and after impact

### 3. 2 クロスシート補強シャフトの評価

表4に示す積層条件において、補強材として用いるクロスシートの長さを変化させた2種類のシャフトを製作した。クロスシートの長さを長くすることで、シャフトの強度が上昇し、振動数も上昇する。また、これらのシャフトと特性を比較するために、バイアス層とストレート層は同一条件のシートを用いて、クロ

シートによる補強を行わないシャフトも作製した。

さらに、シャフト a、b、c に同一特性のヘッドを取り付け、ゴルフクラブ A、B、C を作製した。測定したクラブ特性を表 5 に示す。なお、クラブ D は従来の積層方法で作製されたシャフトを用いたクラブである。

Table 4 Laminating condition for cross sheet shaft

	a	b	c
Elastic modulus of straight sheet ③, ④ (GPa)	240	240	240
Elastic modulus of bias sheet ② (GPa)	400	400	400
Fiber orientation angle (°)	35	35	35
Cross sheet length (mm)	500	400	0

Table 5 Characteristic of golf club

	A	B	C	D
Club length (inch)	45.0	45.0	45.0	45.0
Frequency (cpm)	243	237	233	250
Club head weight (g)	200	200	200	195
Loft angle (°)	10.5	10.5	10.5	10.5

試打は、ロボット出力を低(55%、36m/s 程度)、中(60%、39m/s 程度)、高(65%、42m/s 程度)の3段階に変化させて行った。試打実験結果を図 7 に示す。なお、クラブ C は高出力での試打中に破断したため、飛距離の測定はできなかった。クロスシート補強クラブ A、B は、クラブ D と比較して、飛距離が約 3~5m 延長し、このときヘッドスピードも約 1m/s 上昇していることが確認された。したがって、クロスシート補強シャフトは、たわみ効果を有効に活用できる優れたシャフトであると考えられる。

また、ゴルフロボットの出力を 60% で一定に保ち、試打した時の振動数と飛距離の関係を図 8 に示す。これは、同一ゴルファーが異なるゴルフクラブをスイングした時の結果に対応する。図より、クラブ振動数と飛距離の間の明瞭な相関関係が得られた。すなわち、同一ヘッドスピードでスイングした場合、シャフトの変形が大きいほどキック効果によって、飛距離の上昇が期待できることが明らかとなった。

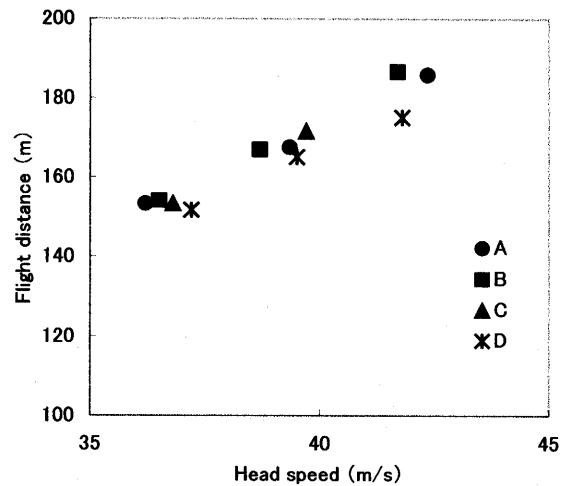


Fig. 7 Relation between head speed and flight distance

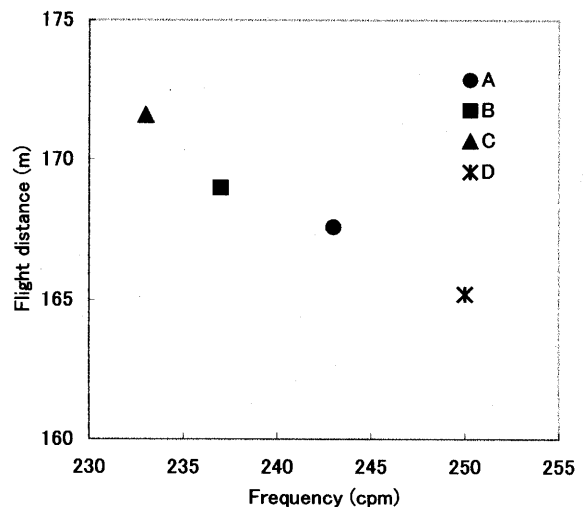


Fig. 8 Relation between frequency and flight distance

以上の結果より、フレックスを定義するにあたり、表 2 の定義に基づくのではなく、新しい定義を導入することが適当であると考えられる。上述したように、軟らかいシャフトを使ったクラブの方が、キック効果を活用できるため、飛距離が大きくなることが明らかになった。したがって、ゴルファーのヘッドスピードに対応するクラブのフレックスは、振動数のみで決定されるのではなく、ゴルファーのスイングスピードにシャフトが十分に耐えられるかどうかによってフレックスを決定するのが適当であると考えられる。さらに、キックポイントの位置、キックポイント数なども振動数に影響を与えるため、シャフトの安全性を考慮してフレックスを決定することも重要である。

これまでの結果を総合すると、クラブ B がフレックス S (ヘッドスピード 42m/s) に十分耐えるものであ

り、従来のシャフトよりも約 4m のキャリーが伸びているため、優れたシャフトであると考えられる。したがって、ゴルファーに最適なクラブを提供できる指針を得ることができた。

#### 4. 結言

本報では、シャフトのキック効果を有効活用し、ヘッドスピードを上昇させることを目的として、2種類のゴルフシャフトを開発した。ゴルフロボットを用いて試打実験を行った結果、以下の知見が得られた。

(1) シャフト中に強度の弱い部分を意図的に設けることで、キックポイントが2ヶ所生じる、ツインキックシャフトの製作が可能となった。キック効果を活用することによって、従来のシングルキックシャフトと比較して、ヘッドスピードが 1m/s 上昇し、飛距離も 4m 延長した。

(2) バット領域部をクロスシートで補強することによって、振動数の低いシャフトでも、より高いヘッドスピードにおけるスイングが可能となった。その結果、従来のシャフトに比べて、ヘッドスピードが 1m/s 上昇し、飛距離も 4m 延長した。

(3) 振動数を基準にするのではなく、スイングスピードにシャフトが耐えられるかによって、フレックスを決めるのが適当であることが示された。

したがって、ゴルファーの諸特性に合致した、最適なクラブを提供する指針が得られた。

#### 謝辞

屋外試打実験を計画するにあたり、小名浜オーシャンホテル&ゴルフクラブにはいろいろと便宜を図っていただきました。また、研究に協力いただいた卒業研究生、佐藤登君・佐藤貴是君・関渉君・廣川綾子さん・渡辺剛君に感謝いたします。

#### 参考文献

- (1) 保国隆、クラブを科学する、飛鳥新社、1989.
- (2) 増田正美、新・飛ばしの科学、廣濟堂出版、1994.
- (3) 岩上真人、ゴルフの科学、ナツメ社、1998.

(4) 佐東信司、松尾忠利、岩松幸雄、福島工業高等専門学校研究紀要、第 40 号、pp.1-6、2000.

(5) 佐東信司、松尾忠利、岩松幸雄、福島工業高等専門学校研究紀要、第 41 号、pp.1-5、2001.

(6) 佐東信司、松尾忠利、岩松幸雄、福島工業高等専門学校研究紀要、第 42 号、pp.7-11、2002.

(7) 廣谷禎二、インストラクター資格認定制度教本、社団法人日本プロゴルフ協会.

(8) 齊藤今朝雄、ゴルフクラブ大全科、廣濟堂出版、1998.