

氏名	溝口 正人
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第735号
学位授与の日付	平成17年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	ゴルフスイング計測システムの開発と打撃用具評価
論文審査委員(主査)	米山 猛(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	佐藤 秀紀(自然科学研究科・教授), 山越 憲一(自然科学研究科・教授), 坂本 二郎(自然科学研究科・助教授), 香川 博之(自然科学研究科・講師)

## 学位論文要旨

The purpose of this study is to develop a measuring system for the evaluation of the matching property between the golf club and the golfer in order to obtain the index of the specification for the functional golf clubs. The system for the analysis of the golf swing in detail consists of a head speed sensor, 3D motion analysis equipment, tow force plates, grip force measurement division and so on. In this system, the sensor grip using the force sensor chip has been developed which can detect the gripping force in radial( $F_z$ ), tangential( $F_x$ ), and axial direction( $F_y$ ). The sensor grip was attached on the shaft of the test club and the dynamic gripping force on fingers and palm in swing action was examined. As a result, some useful knowledge for design guidelines of grip and globe were obtained. Next, the effect of the shaft length on the head speed in golf swing has been investigated in order to obtain a longer distance of driving shot. Seven driving clubs, which have almost the same specifications except the shaft length, were manufactured for the experiments. The head speed at the impact was measured by fifteen experienced golfers of both sexes in comparison with that by a golf robot. Results showed that the increase in the length of the club shaft created an increase in the head speed at the impact on all the subjects. It is considered that these results will offer the many useful data in order to develop a high-performance golf clubs which have appropriate specification for each player.

1. 緒言

近年のゴルフクラブにおいては、様々な科学的アプローチによる機能向上が図られている。一方、近年のクラブにはゴルファーとの調和が求められており、ゴルファーからみた使い易さや振り易さが重要な要求仕様となりつつある。このなかで、ゴルファーとクラブとの接点であるグリップについては、フィッティング性やクラブの操作性を考慮したデザイン開発が重要となる。また、身体のスイング運動を増幅してヘッドに伝えるシャフトの長さに関しては、その効果を調べ飛距離増大の可能性と最適な仕様を検討する必要がある。

これらの課題に応えるため、本研究では、人間工学的な視点からゴルファーとクラブを計測・評価するための計測システムを開発し、クラブの適合性評価を行うことを目的とする。計測システムにおいては、従来十分に解明されていなかったスイング中のグリップに作用する力を測定するセンサを開発した。一方、クラブ仕様の適合性評価の実例として、シャフトの長尺化の効果とスイング動作の解析による評価手法について検討した。

2. ゴルフスイング計測システム

本論文では、まず、ゴルフスイングを詳細に解析するための計測システムを構築した。

システムは、ヘッドスピード測定装置、三次元動作解析装置、スイングタイミングを出力する各種センサ、フォースプレートおよびグリップ力測定部により構成されており、スイングの経過とグリップ力の動的変化、シャフト長さによるヘッドスピードの変化やスイング動作の違いを抽出することができる。さらに、クラブの打撃性能を評価するため、ゴルフロボットによる打撃解析システムを構築した。スイング計測システムと打撃解析システムの構成を図1に示す。

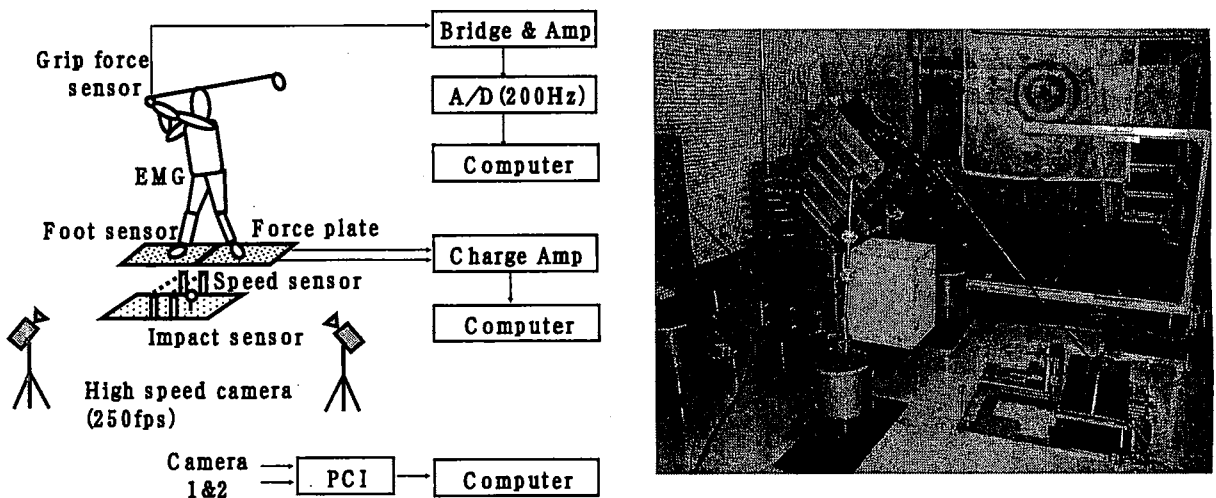


Fig.1 Golf swing measurement system and golf robot shot analysis system

3. ゴルフクラブ用グリップセンサの開発とグリップ力の測定

本研究では、スイング中のグリップ作用力を調べるためのグリップ内蔵型センサを新たに設計した。このセンサの特徴は、これまで計測されることがなかった摩擦方向の作用力が検出でき、スリップ性やフィット性評価のためのデータが得られる点にある。

まず、歪みゲージを検出原理としたブリッジ構造型および平行平板型の2種類のセンサ

を設計・製作し、感度や直線性などの基本性能を調べた結果、精度や堅牢度の面から平行平板型センサが優れていた。そこで、平行平板型センサを内蔵したグリップを試作した。センサの基本構造を図2に、センサとセンサグリップの外観を図3に示す。

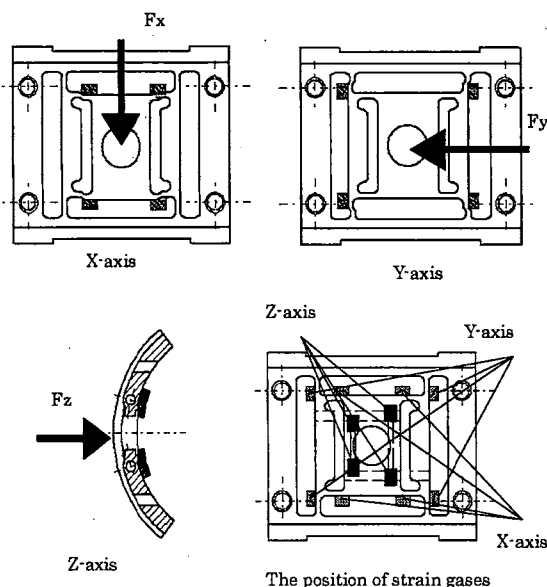


Fig.2 Structure of a sensor chip

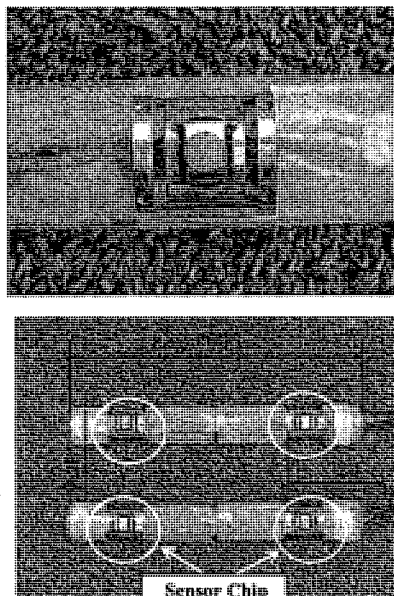


Fig.3 View of the sensor grip

次に、センサを4個内蔵したグリップをテストクラブに装着し、プロゴルファーを含む被験者数名を対象として、スイング中の動的なグリップ力の変化と手指各部における圧力および摩擦力の分布データを収集した。その結果、スイング中には手指の各部位で特徴的な圧力と摩擦力が作用していること、グリップに作用する力はダウンスイングからインパクトにおいて大きく、特にインパクト前後で急峻な変動がみられること、クラブの違いによるグリップ力の相違は小さいこと、スイング技能のレベルによりグリップ力に差異があることなどが明らかとなった。また、手指各部における力の大きさや方向に関する結果は、グリップやグローブの商品設計のために有益な情報となることを示した。グリップ力測定点を図4に、ダウンスイングにおける手指各部の作用力の概略を図5に示す。

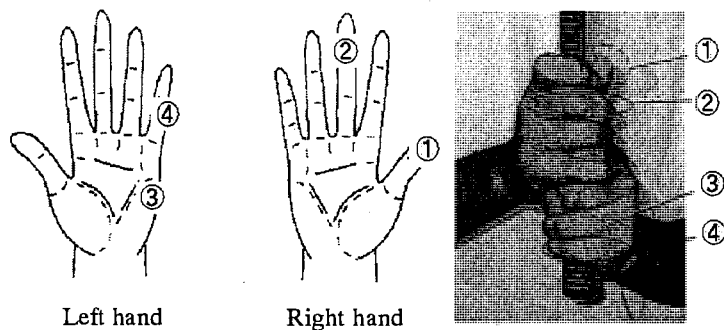


Fig.4 Measured points of grip force

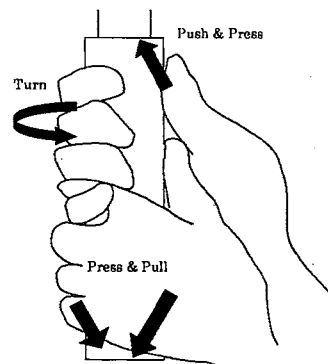


Fig.5 The grip force in down swing

#### 4. ゴルフクラブのシャフト長尺化によるヘッドスピードの向上効果と動作への影響

ドライビングクラブにおける飛距離の増大を目的として、シャフトを長尺化するとともに、振り易さを考慮してヘッドを軽量化したクラブを提案し、シャフト長さの異なる7本のテストクラブを試作した。試作したクラブの主な仕様を表1に示す。

これらのクラブを用いて、プロゴルファーを含む15名の男女ゴルファーおよびゴルフロボットによるスイングを対象として、ヘッドスピードの向上効果を調べた。被験者の概要を表2に示す。

Table 1 Specifications of test club

Length (inch)	Head Weight (g)	Club Weight (g)	Balance	Moment of Inertia (kg·m <sup>2</sup> )	Frequency of Shaft (cpm)
42	210	317	D0	0.275	257
44	200	307	D0	0.277	254
45	193	300	D0	0.283	253
46	185	292	D0	0.287	251
47	180	287	D0	0.289	250
48	176	283	D0	0.292	248
50	172	273	D6	0.311	247

Table 2 Characteristics of subjects

Group	Number of sub.	Sex	Age	Experience (years)	H'cp (Skill)	
-	1	male	4	3	over 20	professional
①	4	male	37~48	over 20	0~5	
②	4	male	28~49	over 10	10~25	
③	3	female	21~23	over 3	skilled	
④	3	female	17~24	under 4	unskilled	

テストクラブによるスイング実験の結果、全被験者においてヘッドスピードの増加が確認された。全被験者のヘッドスピード増加量を図6に示す。また、ロボットやプロはシャフト長さの増加率とほぼ同じヘッドスピード増加率を示したのに対し、男性ゴルファーはそれより大きく、逆に女性は小さい増加率を示す結果が得られた。さらに、ロボットによる打撃試験により、テストクラブのヘッド質量の変化によるボール初速度への影響を検討した。その結果、本研究の長尺クラブはヘッドが軽量化されているため、同じボール初速度を得るためには、より大きなヘッドスピードが必要になるが、ほとんどの被験者においては、これよりも大きなヘッドスピード増加率が得られており、本研究で提案した長尺クラブにより、飛距離増大が見込めることを明らかにした。

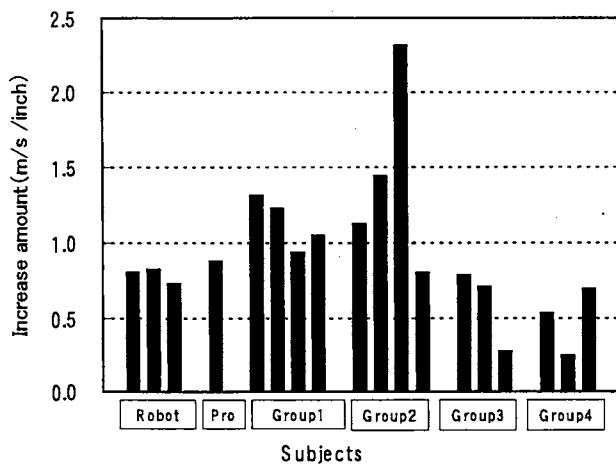


Fig.6 Increase of the head speed on all subjects

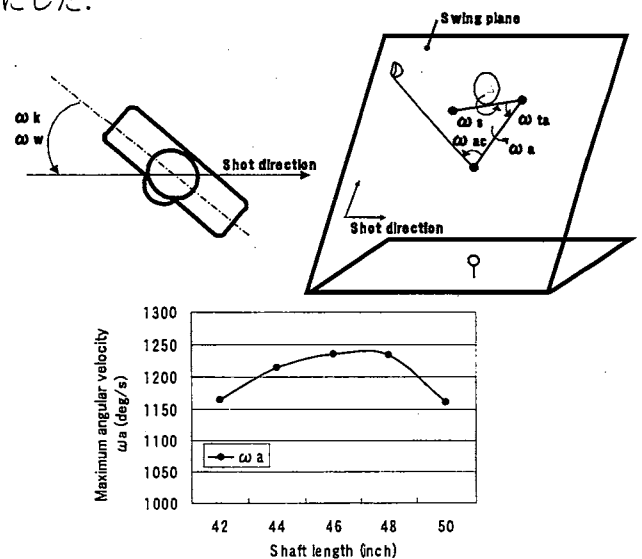


Fig.7 The outline of motion analysis

さらに、シャフト長さの違いによるスイング動作の変化を調べるため、スイングの動作解析や床反力および身体の筋電位の測定により、スイングの差異を抽出した。その結果、シャフトの長尺化にともない、肩や左腕、リスト解放などの身体の回転運動および右足の踏み込み力が増加するが、シャフトが長すぎる場合には逆に減少する傾向がみられることから、これらが極大値を示すシャフト長さの範囲が存在し、最適長さの判断指標となる知見が得られた。動作解析結果の一例として、ダウンスイング時における左腕の最大回転角速度のシャフト長さによる変化を図7に示す。

以上、本研究では、ゴルファーのスイング動作とクラブの性能評価を行うことができる計測・打撃システムを構築したうえで、グリップセンサの開発によるグリップ作用力の計測システムを新たに付加し、スイング動作およびスイング中の動的なグリップ力の検出に取り組んだ。その結果、手指各部のグリップに作用する圧力と摩擦力の特徴が明らかとなり、耐スリップ性やフィット性を備えたグリップやグローブ設計の指針が得られた。さらに、シャフト長さの効果やスイングの変化について調べ、飛距離増大のための長尺クラブの有効性を検証した。これらの結果は、人間工学的な視点からゴルファーとクラブの調和を図るための基礎的なデータとなり、これらの結果を応用することにより、握り易さや振り易さを考慮した高機能なゴルフ用具の開発が期待できる。

## 学位論文審査結果の要旨

平成17年1月25日に第1回学位論文審査委員会を開催し、平成17年1月26日に口頭発表ならびに第2回審査委員会を開催して審議した結果、以下のように判定した。

本論文は、ゴルフ用具のゴルファーとの適合性評価ならびに性能向上を目的として、ゴルフスイングにおける新たな計測システムを開発するとともに、用具の適合性評価として、シャフト長尺化の効果を評価したものである。開発した計測システムにおいては、これまで圧力しか計測されていなかったグリップ力について、摩擦力も検出するセンサを開発し、スイング時のグリップ力の特徴を明らかにしている。左手においては、スイングにおける向心力が軸方向の摩擦力として作用し、右手においてはヘッドフェイス面をコントロールするための円周方向の摩擦力が作用するなど、グリップの設計と性能向上に役立つ知見を得ている。一方、シャフトを長尺化することでヘッドスピードが向上し、長尺化にともなうヘッド軽量化の影響を差し引いても、大多数のゴルファーにおいてボール初速度の向上が得られ、飛距離増大が見込めることを明らかにしている。

以上のように本論文は、新たな計測システムの開発により、スイング時のグリップ力に関する新しい知見を得るとともに、適合性評価を通じた新しい用具開発への知見を得る成果を上げており、その内容は、博士(工学)論文に値すると判定する。