

Tribology in golf

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/34673

1. はじめに

ゴルフの愛好者は国内で1,000万人を数え、根強い人気を維持している。ゴルフに夢中になる理由の一つとして、打たれたボールの最大飛距離が他の打撃種目に比べてはるかに大きいことが挙げられる。全てのゴルファーにとって、ボールをより遠くに、かつ正確に飛ばすことは大きな魅力であり、これを実現するべく技能向上を目指してトレーニングに励む一方で、より良い用具を求めるための購買意欲をかき立てている。このようなゴルファーの動向を受け、メーカー各社では従来から「より飛んで曲がらないクラブ」の開発に力が注がれている。

ゴルフは14本以内のクラブでプレーすることが規則で定められている。このなかで、最大飛距離を生むドライバーはそのヘッド材質が従来の木製から金属製に移行したことで性能が大きく向上した。金属ヘッドの材質は鉄系、アルミ系を経て現在はチタン合金製が主流となっている。金属ヘッドは中空構造のため設計の自由度が高く、特にチタン材は比強度（引張強度／密度）が大きく弾性率にも優れていることから、ヘッドの大型化や慣性モーメントの増大および高い反発係数を実現し、これに加えて形状や重心によるスイートエリアの最適設計などの技術開発により打撃性能が飛躍的に向上し、飛距離増大と方向安定性の恩恵を多くのゴルファーに与えてきた。このような開発は、本来はアマチュア向けに「より易しく遠くに打てる」クラブを提供することを目的としたものであったが、間もなくプロゴルファーにも受け入れられ、今やスキルレベルや老若男女を問わず全てのゴルファーに浸透している。

一方、「飛びすぎるクラブや易しすぎるクラブの普及は、ゴルフ競技の健全な発展を阻害する恐れがあり、好ましい状況ではない」という理由から、最近になって用具規則の変更により仕様を制約するような改正が相次いで行われ、ドライバーヘッドの体積や反発係数、慣性モーメントのほか、シャフト長さやアイアンのスコアライン（フェースの溝）形状の細部に至るまで規制値が設けられるなど、クラブ性能の改善に対して一定のブレーキがかけられることとなった。

これらの規制により、近年の世界的な用具技術を牽引してきた国内メーカーの勢いが削がれることも懸念されたが、このような状況下でもメーカー各社の開発意欲は旺盛であり、重量や重心位置の調整機能を内蔵したヘッド、ボールの最適軌道を生み出すクラブ設計、さらにはゴルファーの技能や体力に合わせたフィッティング理論や感性工学的視点による構えやすいデザインなど、より斬新な切り口による技術開発と商品設計が行われ、ゴルファーの消費マインドを刺激している。最新のドライバークラブの一例を図1に示す。



図1 最新のドライバークラブの一例

さて、ゴルフクラブはヘッド、シャフト、グリップの3つのパーツで構成されているが、近年のヘッドやシャフトの性能向上が著しい一方で、グリップはやや取り残されている感が否めない。ゴルフの上達のためには、巧みなクラブ操作により良いスイングを得ることが重要であり、ゴルファーとクラブの調和を図ってパフォーマンスを高めるためにもグリップの果たす役割は大きい。

本稿では、これまで比較的研究事例が少ないスイング中のグリップ作用力にスポットを当て、グリップ各部の圧力や摩擦方向の力を測定するために開発された3分力センサの概要と測定結果について紹介する。

2. ゴルフにおけるグリップ力測定の意義

ゴルフ、テニス、野球など打具を把持するスポーツ種目においては、グリップが人間と用具の唯一の接点であり、パフォーマンスを左右する重要な要素の一つである。一方、握りやすさや振りやすさなどのグリップに関する情報については、その評価基準が曖昧なことから、競技者が用具を選択する場合に軽視されがちである。

なかでも、ゴルフのグリップに関しては、グリップの軸に対して手や指が斜めに位置することから、単に把持しただけでも手や指に相当の摩擦方向の力（以下、本稿では摩擦力と呼ぶ）が作用していると考えられる。また、スイング中のグリップ部にはクラブの遠心力に対するシャフト軸方向の力や、ボール打撃反力となる円周方向の力が作用することから、これらの力を測定することはグリップのデザインやグローブの設計に有用な情報となる。また、ゴルフのグリップはスイング中のリストのコック、アンコック、前腕のロール動作などの動きをクラブに伝える役目を果たしており、ゴルファーはスイング全般においてクラブを操作するために俊敏かつ複雑なグリップコントロールを行っていることから、これらのデータは技能向上のためのコーチングにも役立つ。

3. 圧力分布センサによるグリップ力の測定

グリップ力の測定は、例えば図2に示すような市販の圧力分布センサを用いることで可能であり、シート状のセンサ（図2(a)）をグリップに巻いたり、検力素子が複数配置されたグローブ型のセンサ（図2(b)）を手に装着する方法などがある。結果の一例として、図2(a)のシートセンサによるゴ

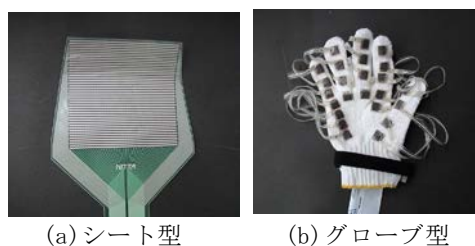


図2 圧力分布センサの例

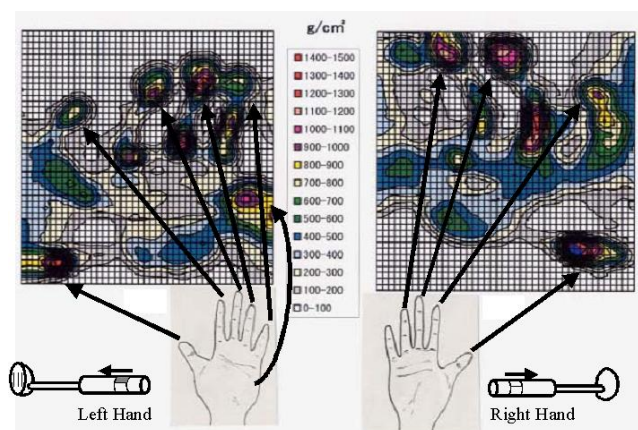


図3 グリップの圧力分布測定結果例〔出展:文献1〕

ルフグリップの圧力分布の展開図を図3に示す。

これより、両手各部に作用する力の分布を把握することができる。しかし、これらのセンサでは測定面に対して垂直方向の力（圧力）のみが検出可能であり、ゴルフのように摩擦力が作用するグリップの力を詳細に調べることはできない。そこで、グリップ力測定用の小型3分力センサが新たに開発され、センサを装着したテストクラブを用いたスイング実験が行われた。

4. 3分力グリップセンサの開発

ゴルフグリップの外観を図4に示す。



図4 ゴルフグリップの外観

ゴルフのグリップは、国際的な用具規則によりその形状と寸法が規定されている。近年の市販クラブの一般的なグリップ形状は、グリップエンドの直径が約27mm、ヘッド側が約16mmのテーパを有する円形断面で、長さが約250mm、質量は50g前後（パターを除く）である。この制限の中で、グリップ各部の垂直力(F_z)と摩擦力(F_x , F_y)の3分力を検出するセンサを内蔵するためには、小型かつ軽量のセンサ構造が必要となる。

これらを考慮して開発されたグリップ力センサの検出原理を図5に示す。センサは、平行平板構造⁽²⁾と歪みゲージによる検出方式を採用している。

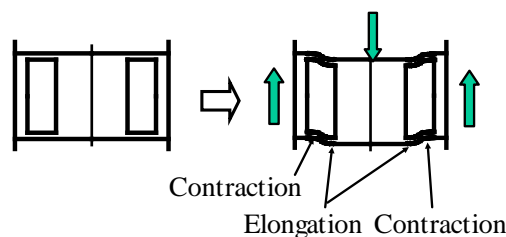


図5 平行平板構造の検出原理〔出展:文献3〕

平行平板構造とは、図5に示すように薄肉平板形状を有するブロックで形成され、矢印のような力が加わると両端固定支持条件のたわみ変形を起こし、平板表面に伸びと縮みの部分を生じる。この変形部に歪みゲージを貼付してその変形量を検出することで作用力を求めることができる。

この構造を組み合わせることにより、一体構造で剛性の高い多方向センサの構成が可能となる。開発された3分力センサの基本構造を図6に示す。センサは、金属円管の一部を切り出した湾曲状の四角板にスリット加工を施し、円周方向(X)、軸方向(Y)、垂直方向(Z)のそれぞれに平行平板構造を配置してあり、図6の矢印に示すような各方向の力が作用したときに生じるスリット部の変形を歪みゲージにより検出する構造となっている。1つのセンサには、XYZの各方向に4枚ずつ、計12枚の超小型ゲージ(ベース長1.6mm×幅1.2mm)が配置されており、各方向に作用する力に比例した薄肉部の変形により出力を得る。センサの大きさは縦横各20mmで、肉厚は1.5mmである。

力分布データを収集した。センサグリップを市販クラブのシャフト端部に固定し、テストクラブとした。センサの外観を図7に、センサグリップとテストクラブ(ドライバー)を図8に示す。

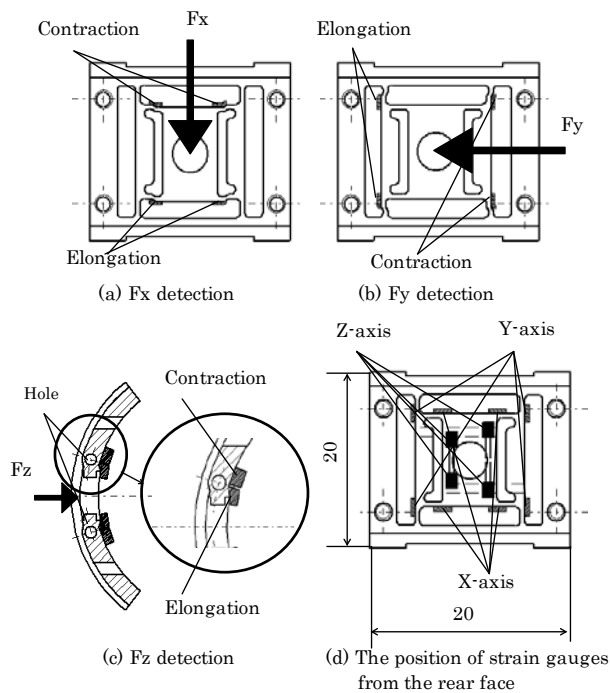


図6 グリップ3分力センサの構造 [出展：文献3]

半割した樹脂パイプ(外径26mm, 内径16mm, 長さ130mm)の外周部に3分力センサを埋め込んだグリップ部分を4個製作し、これを組み合わせた2対のセンサグリップを構成した。センサグリップは、2対間の角度を変えることができるため、被験者によるグリップ形態の違いに対応してセンサ位置を変えることができる。実験の際には、センサが手指の測定部位にあたるように調整しながらスイングを繰り返し、手指全体のグリップ

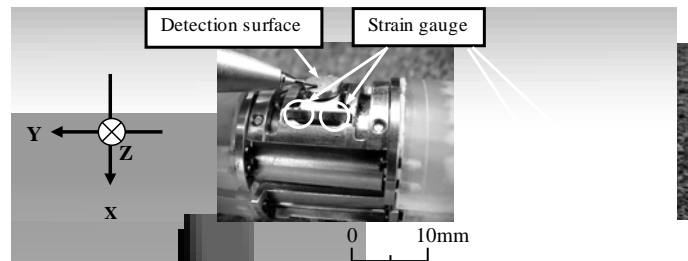


図7 センサの外観 [出展：文献3]

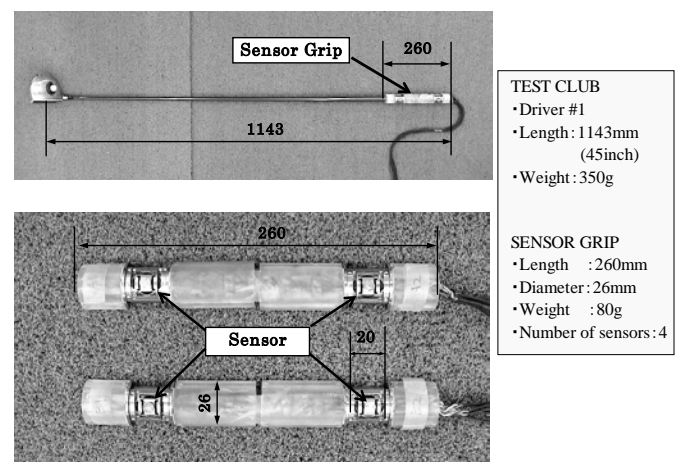


図8 センサグリップとテストクラブ [出展：文献3]

5. グリップ力の測定

実験では、トーナメントプロゴルファー(男性, 右打ち)を被験者とし、センサグリップを装着したドライバーを使用してスイングを行った。センサからの出力は200Hzのサンプリング速度で収集した。グリップ力の測定点は、左手が20点、右手が13点の最大33点とした。測定点を図9に示す。

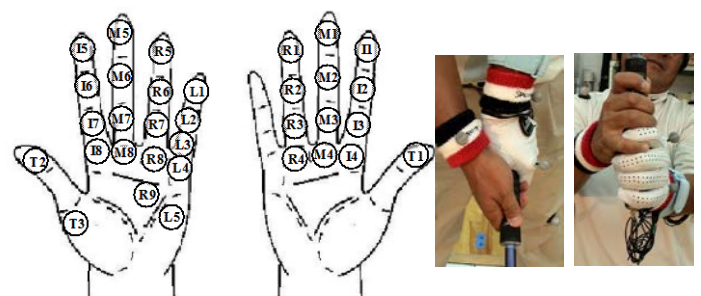


図9 測定点の概要 [出展：文献4]

手指各部のグリップ力の測定結果を図10に示す。②両手の差異

ここでは、スイングの代表的な局面として、アドレス、トップ、ダウンスイングおよびインパクトの4つを選び、各局面間におけるグリップ力について考察する。図の横軸は両手各部の測定点を、縦軸はスイング中の各タイミング期間における垂直力 F_z と摩擦力 F_x (円周方向), F_y (軸方向)の最大値を示している。主な結果を以下にまとめる。

①グリップ力が作用している部位

全般に力が大きく作用している部位は、右手は人差し指と中指、左手では中指、薬指、小指であることがわかる。これらの結果は、図3の圧力分布シートセンサで把持圧力値が高く検出された部位と良い相関がみられる。

グリップ力の大きさは、全般に右手よりも左手の方が大きく、特に小指、薬指、中指の作用力が大きい。これは、ゴルフスイングの指導書等で解説されている「スイングの支点となる左手のグリップエンド側の指でしっかりクラブを保持する」ことを示している。

③スイングタイミングによる時間変化

アドレス時には、両手全体のグリップ力は小さい。スイング開始後にグリップ力は増加し、トップからダウンスイングにおいてグリップ力はさらに大きくなる。この間、各部位ではそれぞれ垂直力 F_z と摩擦力 F_x, F_y が複雑に作用している。インパクトでは左手の F_z は大きいままだが、右

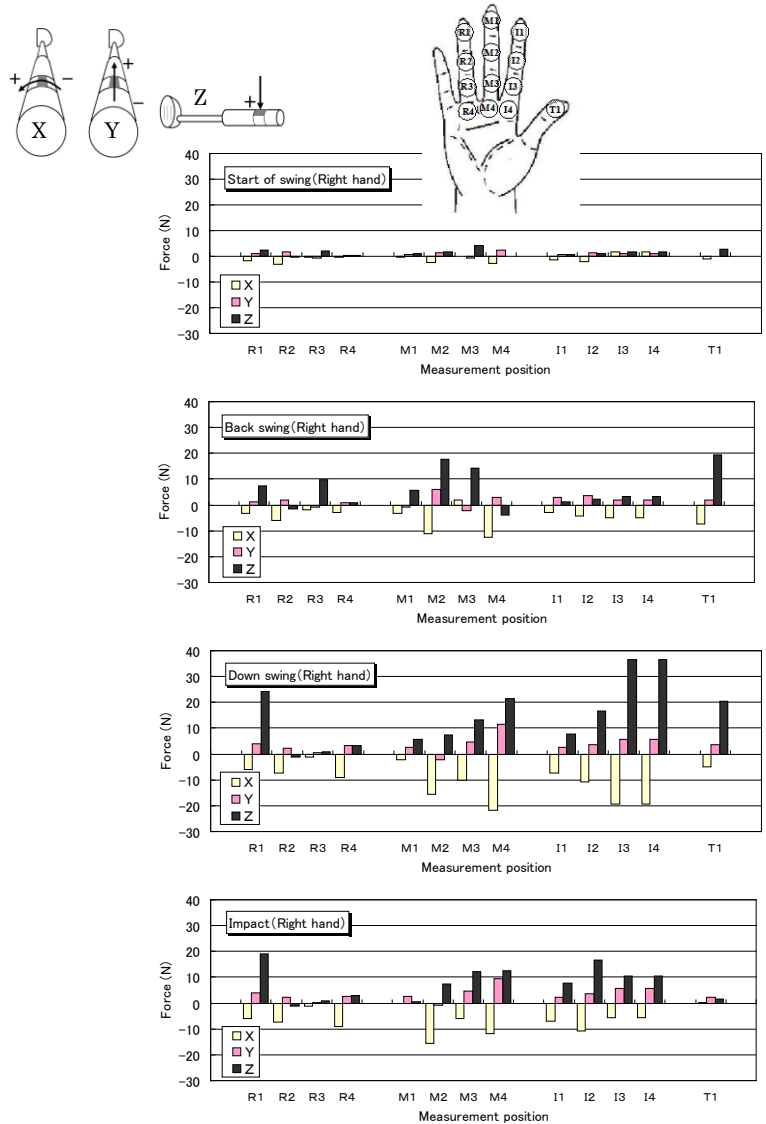
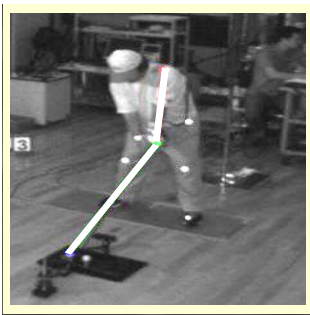


図10 スイング中の手指各部のグリップ3分力 [出展：文献4]

手では逆に小さくなる傾向がみられる。このように、ゴルファーはスイング中に手指各部のグリップ力を調整し、結果的にヘッドを走らせるようなクラブ操作を行っていることが示唆される。

④摩擦方向の作用力

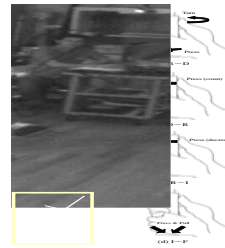
円周方向の摩擦力 F_x は、右手で比較的大きく検出され、全般的にグリップエンド側からみて時計回りの力が作用している。円周方向の摩擦力は、シャフト軸回りの回転を行う力であることから、右手はクラブのロール動作を操作しながらクラブフェースの向きをコントロールする役割を果たしていると考えられる。一方、軸方向の摩擦力 F_y は、主に左手の指でグリップエンド方向の力が検出され、特にダウンスイング以降インパクトまで大きく作用している。これは、スイング時の遠心力に対抗して、クラブを身体側に引きつけている力であることから、クラブ回転の支点としてグリップを保持していることを示している。

スイング全体の各タイミング期間における全体的なグリップ動作の様子を図 11 に示す。これより、両手の主要部位がスイング中のクラブ操作にどのように関与しているのかをおおまかに理解することができる。

以上のような手指各部の作用力に関する測定データから、グリップに求められる機能としては、グリップエンド側では強固に把持するためのホールド性が、右手側ではクラブ操作のためのフィット感が重要であることが示唆され、今後のより機能性の高いグリップ開発の指標となることが期待できる。また、これらの知見を初心者やアベレージゴルファー等に提供することにより、技能向上のためのトレーニングにも有益な情報になると考えられる。

6. おわりに

ゴルフスイングにおけるグリップの役割とグリップ力の測定事例を紹介した。実際には、ゴルファーが普段行うスイングの動きの中で繊細かつ瞬間的にグリップを調整することはかなり難しいであろう。将来的には、無意識のうちに効果的な手指の力が発揮できることを促進するよう



(a) Swing start ~ top

(b) Down swing ~ wrist release

(c) Wrist release ~ impact

(d) Impact ~ follow

図 11 スイング中のグリップ動作 [出展：文献 4]

な高機能なグリップが開発されることを期待したい。

なお、本稿では触れなかったが、ゴルフ上達のためにはクラブの他にも、ボール、ウェア、シューズなども深く関与しており、これらの機能向上もスコアやプレーの快適性に大きく貢献している。これら全ての用具の相乗効果により、今後もゴルフ種目がさらに進化していくことは間違いない。

余談になるが、被験者をお願いしたプロゴルファーの手指には、いわゆるマメらしきものが全く見られなかった。もちろん本人の体質も関係しているのだろうが、日々相当数のスイングや打撃を欠かさないにもかかわらず、その手が女性のように柔らかい状態であることに驚いた。逆に考えてみれば、我々は普段のスイングにおいて、正しくない軌道で下りようとしているクラブを理想のフェースの向きやボールに合わせようとして無理矢理グリップを操作しているのかもしれない。その際クラブの運動方向と手指にずれが生じてグリップ内に過度な力や摩擦が生じ、その結果マメができたり、手指の故障を招いたりするのではないだろうか。著者もゴルフを嗜む一人だが、このような観点から自らのスイングを見つめ直してみると、案外ゴルフ上達への近道になるのかもしれない。

文 献

- 1) 溝口正人・羽柴利直・佐藤一男・米山 猛・香川博之・長谷川真俊：ゴルフスイングにおけるグリップ力の測定，ジョイント・シンポジウム講演論文集 2003，スポーツ工学&ヒューマンダイナミクス (2003)。
- 2) 米山 猛：デザインテクノロジー，培風館 (2004)
- 3) 溝口正人・米山 猛・長谷川真俊：ゴルフスイングにおけるグリップ力センサの開発，日本機械学会 論文集 (C 編)，72，714 (2006) 261。
- 4) 溝口正人・米山 猛：ゴルフスイングにおけるグリップ力分布の測定，ジョイント・シンポジウム講演論文集 2005，スポーツ工学&ヒューマンダイナミクス (2005)。



溝口 正人（みぞぐち まさと）

1961年生まれ．東北大学工学部卒業，同大学院工学研究科精密工学専攻修士課程修了．現在，富山県工業技術センター生活工学研究所に勤務，博士(工学)(金沢大学)．専門は機械工学，スポーツ工学．スポーツ用具やウェアの特性評価や最適設計による商品開発支援および動作解析など人間工学的手法に関する技術開発に従事．日本機械学会，日本スポーツ産業学会，砥粒加工学会に所属．



米山 猛（よねやま たけし）

1954年生まれ．東京大学大学院工学系研究科博士課程修了．金沢大学工学部助手，助教授を経て，現在，金沢大学理工研究域機械工学系教授，工学博士．主な研究分野は，機械設計，塑性加工，射出成形，スポーツ工学，手術用マニピュレータの開発など．日本機械学会，日本塑性加工学会，精密工学会，日本生体医工学会，プラスチック成形加工学会，型技術協会，International Sports Engineering Association (ISEA) に所属