

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10857

研究課題名(和文)筋発揮の推定および用具挙動にもとづくゴルフクラブの統合評価システムの開発

研究課題名(英文) Development of an evaluation system for a golf club based on its behavior and muscle activity during swing

研究代表者

田中 克昌 (Tanaka, Katsumasa)

工学院大学・工学部・准教授

研究者番号：90313329

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、スイングからインパクトまでにおけるクラブやボールの挙動を高い精度で表現できるシミュレーションモデルを構築するとともに、スイング時における筋発揮を推定することにより、スイング中のクラブ挙動および身体負荷を考慮した各指標の提案を行い、用具挙動および身体負荷の両面からクラブを評価するシステムを開発することを目的として行った。その成果として、スイング中の身体負荷を表す指標を用いることによって、使用者に適したクラブを選定できる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スイング中におけるゴルフクラブの力学的特性と筋発揮による身体負荷との関係を調査することにより、両者を融合させた指標を提案し、それをもとにクラブの性能を評価する試みは、これまでの学術的研究の中でも前例がないものである。

また、この研究により得られた評価方法は、コーチングの点から、よりよいスイング動作の指導や使用者に適したクラブの選定指針を提供したり、ゴルフを生涯スポーツとして取り組みやすくする環境や機会を整えたりすることなどへ活用する可能性が期待される。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to suggest a method for evaluation of a golf club by estimating the muscle force during swing using an inverse dynamics analysis. A swing was represented by prescribing the positional coordinate data of markers attached to the body of a subject, which were obtained using a 3D motion capture system, into the musculoskeletal model. The motion of the club was also represented by introducing the positional data of the grip, shaft and head into the club model. The body burden and the swing weight during swing were defined using the muscle force which was estimated from the simulation, and using mechanical properties of the club, respectively. The relationship between the proposed indexes was investigated to evaluate the club with a focus on the physical load. The load tends to be predictable from the swing weight, which depends on the body burden. The trend suggests the possibility that the proposed method makes it possible to select a suitable club.

研究分野：スポーツ工学

キーワード：スポーツ工学 有限要素解析 逆動力学解析 ゴルフクラブ 筋骨格モデル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ゴルフクラブの開発は、主にボールの飛距離や方向性の向上の視点から行われている。ボールの飛距離や方向性を支配するのは、空力的な問題を除けばインパクトから弾道に繋がるボールの打ち出し(速度、角度、スピン)に集約され、この打ち出しは、クラブとボールの相互作用により決定される。このために、クラブの開発においてボールの打ち出しを正確に把握することが重要である。

また、クラブの開発は用具規則への対応も重要である。近年、開発の方向性に大きく影響したクラブヘッドに関する規則として、ヘッドの反発係数などに上限値が設定されたことが挙げられる。これにより、開発の方向性は、従来までのヘッドを高反発にすることから、シャフトを含めたクラブとし、シャフトの特性を活かしてクラブ全体として飛距離を向上させることが重要になっており、そのために特にスイングを考慮した開発が求められている。

このように変化する規則や多様な要求に対応するために、数値解析を用いた開発設計が不可欠であり、そのための解析モデルにはより高い精度が要求されている。また一方で、クラブの性能をより発揮できるスイングの検討や、プレーヤーのスキルや体力に適したクラブの選定を客観的に行うためには、プレーヤーの身体負荷を考慮したクラブの評価が求められる。

2. 研究の目的

本研究では、有限要素法を用いて、スイングからインパクトまでにおけるクラブやボールの挙動を高い精度で表現できるシミュレーションモデルを構築するとともに、筋骨格シミュレーションを用いてスイング時における筋発揮を推定することにより、スイング中のクラブ挙動および身体負荷を考慮した各指標の提案を行い、用具挙動および身体負荷の両面からクラブを統合的に評価するシステムを開発することを目的としている。

3. 研究の方法

スイングの三次元動作計測

本研究では、筋骨格モデルを用いてスイングを表現するために必要となる動作データを、モーションキャプチャシステム(MAC3D System(Motion Analysis社))を用いて取得した。図1に示すように、実験は床面にフォースプレートが設置された室内で行われ、打球の跳ね返りがないように安全性を配慮したネットを設置した。被験者は男子プロゴルファー1名とした。使用クラブはドライバーとし、異なるクラブ6本(このうち、3本は被験者が所有)を使用した。

ボールは打感を損なわないように反射テープを貼り付けたものを打させた。服装は身体にフィットするものを着用させ、身体のランドマークとなる箇所衣類の上からマーカを貼り付け固定した。その箇所は、Plug-in-gait に従い全身41点、クラブ6点に取り付けた。実験開始時には環境や服装に慣れるまで十分な練習を行わせた。

スイング動作は、10台のカメラを用いてサンプリング周波数500 Hzで測定した。座標軸はy軸を飛球線方向、z軸を鉛直方向とした。同時に2台のフォースプレート(Kistler社、600×900 mm)により左右脚に作用する地面反力をサンプリング周波数1 kHzで計測した。なお、本実験は本学の倫理委員会の承認を得た上で実施した。



図1 実験風景

筋骨格モデルによるスイングの再現

本研究では、筋骨格モデルにモーションキャプチャシステムにより取得したデータをもとに、スイングを表現させ、逆動力学計算により筋発揮を推定した。本研究における筋骨格モデルでは、身体は筋を伴う剛体リンクモデル、筋はワイヤーとしてモデル化される。身体モデルは、欧米人の体格をもとに作成されていることから、解析に用いるモデルは、被験者の身長や腕の長さ、体重およびマーカの情報などを用いて、一様にスケールリングすることにより作成した。

ゴルフスイングは野球のバッティングおよびテニスのダブルハンドストロークなどのように、両手によって打具を扱うため、右手 - クラブ - 左手で構成される機構的な閉ループ系が存在する。このため、閉ループ問題を解決するにあたり、両手とクラブの間に接触点(仮想筋)を設け、そこに反力が作用するようにし、手でクラブを把持していることを表現した。

また、クラブのモデルは質量と重心まわりの慣性モーメントをそれぞれ与えることにより表現した。なお、筋骨格モデルによるスイング動作の解析範囲は、クラブの変形が大きいダウンスイング開始からインパクトまで(この範囲をDSw)とした。

以上の設定にもとづいて構築した筋骨格解析モデルを図2に示す。

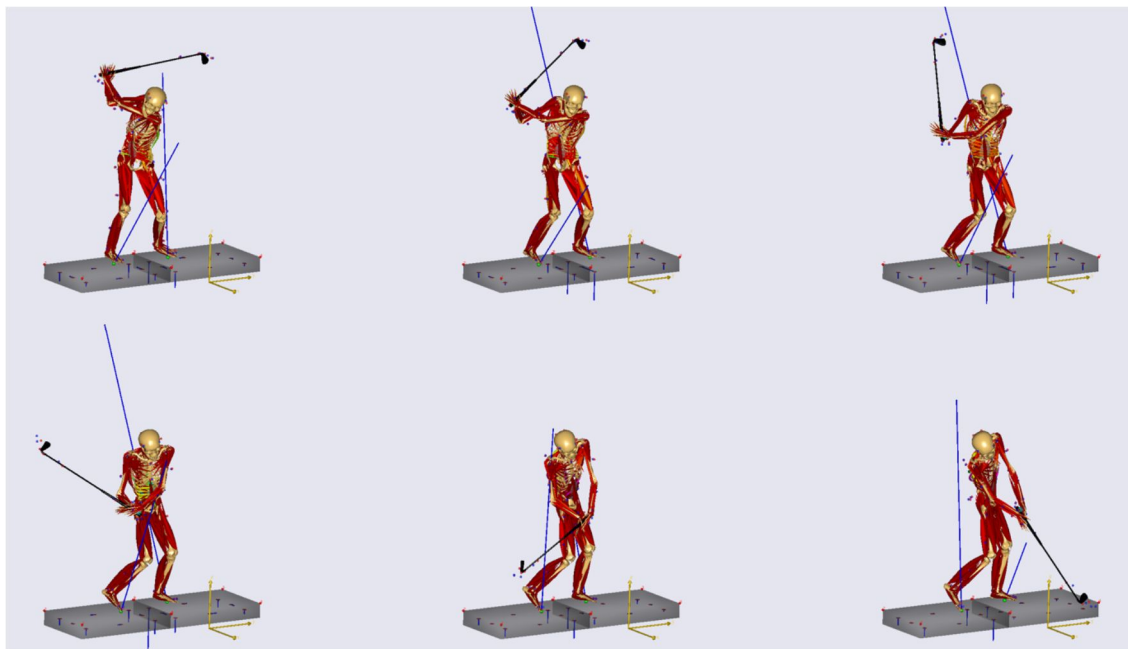


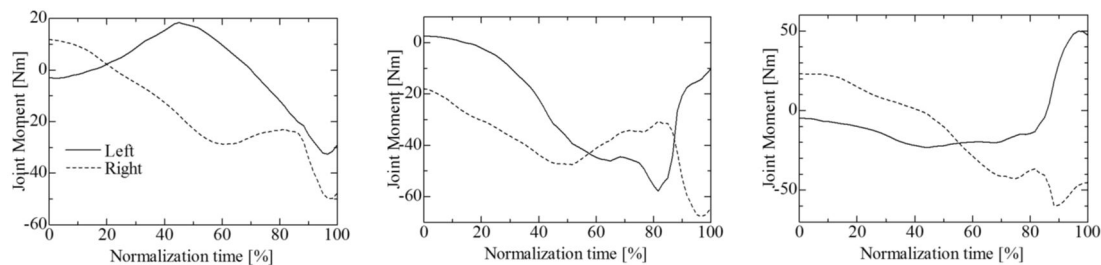
図2 筋骨格モデルによるスイングの表現

4. 研究成果

スイング中における筋発揮の推定結果

図3は、左右の肩の各関節軸まわりの関節トルクの時刻歴をそれぞれ示したものである。肩内外転トルクに関して、左肩ではトップから約50%まで外転トルクを作用させている。一方、右肩ではDSw初期の段階において、外転トルクを作用させているものの、インパクトに向けて大きく内転トルクを作用させている。これは左肩ではDSwにおいて左腕を外側(飛球線方向)に振り出そうとし、右肩ではそれに伴い右腕を内側に入れ込んでいる。また、60%以降では左腕が極端に外に振り出されないように反対のトルクをかけて抑制していることにより、このような傾向になっていると考えられる。

肩内外旋トルクは、左右とも内旋トルクを作用させている。これは、左肩は左腕を外に振り出す際に肩が開かないように内旋トルクを常に作用させていることを表していると考えられる。肩屈曲伸展トルクは、左肩はインパクト直前まで大きな変化がないまま伸展トルクを作用させ、インパクトに向けて急激に屈曲トルクを作用させている。これは、左右の肩ともクラブを振り下ろす動作において伸展トルクが作用しており、左肩のインパクト直前における屈曲トルクの作用は、クラブを上から振り下ろすために生じていると考えられる。



(a) 外転(+)/内転(-) (b) 外旋(+)/内旋(-) (c) 屈曲(+)/進展(-)

図3 左右の肩関節における各関節まわりの関節トルクの時刻歴

クラブの評価指標の提案

本研究では、クラブを評価するために、クラブに求められる性能であるボールの飛距離の向上および方向の安定性に対応する指標として、ヘッド速度および身体負荷量をそれぞれ提案した。また、クラブの質量、硬さやスイングなどを考慮したクラブの振りやすさを表す指標として、ス

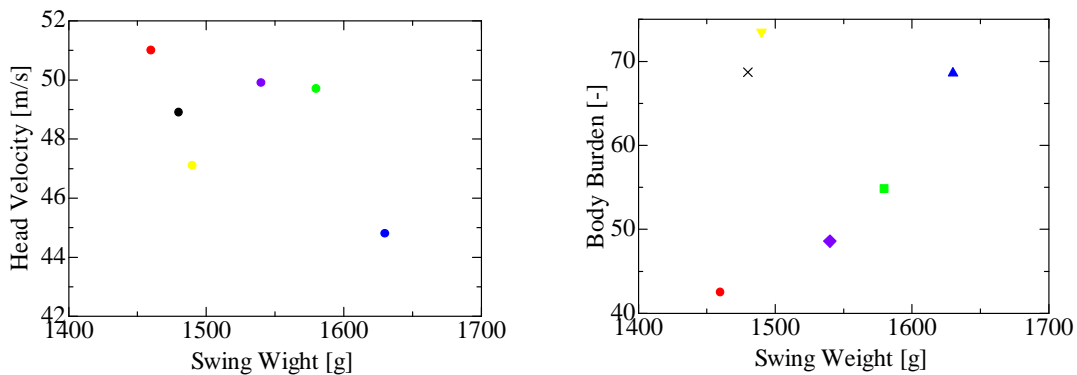
イングウェイトを定義して用いた。そして、身体負荷量 (BB) の定義は、下式に示すように、DSw において、部位別に発揮した筋力 (Fp) の総和を、体重 (BW) で除して正規化した値とした。

$$BB = \sum \frac{F_p}{BW}$$

飛距離の向上と方向の安定性を考慮したクラブの評価例

図 4 はスイングウェイトとヘッド速度および身体負荷量との関係をそれぞれ示したものである。ヘッド速度については、ヘッド速度が大きくなるスイングウェイトの範囲があることがわかる。このことから、使用者にとって適切なスイングウェイトの範囲が存在することが考えられる。また、身体負荷量については、スイングウェイトが大きくなると身体負荷量も大きくなることがわかる。このような相関の傾向から、スイングウェイトによって負荷の程度が予測可能であるといえる。

このような各指標間の関係を踏まえて、クラブの評価を試みた。図 5 は身体負荷量とヘッド速度との関係を示したものである。図 5 から、ヘッド速度が大きく、かつ身体負荷量が小さいクラブは ID:d であり、反対にヘッド速度が小さく、かつ身体負荷量が大きいクラブは ID:e であることがわかる。このように本研究の被験者にとって、ドライバーショットにおけるボールの飛距離の向上と方向の安定性に優れたクラブの選定ができており、本研究で提案した指標を用いて適したクラブの選定の可能性を示すことができた。



(a) スイングウェイトとヘッド速度の関係 (b) スイングウェイトと身体負荷量の関係

図 4 スイングウェイトと各評価指標との関係

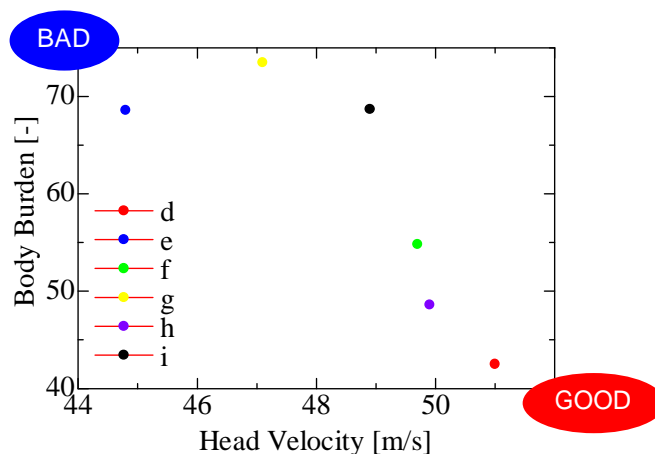


図 5 ヘッド速度と身体負荷量との関係

以上のように、本研究において提案した評価指標の関係から、スイング時のスイングウェイトを観察することによって身体的負荷の程度が予測でき、さらに、身体負荷量とヘッド速度とを照らし合わせるにより、被験者にとって適切なクラブを選定する有効な手段となり得ることが示唆できた。このようなクラブの挙動と身体的負荷を考慮することによるクラブの評価は、過去に例を見ない研究として位置づけられる。一方で、本研究では被験者およびクラブの対象が少ないことから、提案した評価方法の有効性については検討の余地を残している。対象をより増やすことによって評価方法の精度を向上させることが、本研究で得られた成果の有効性をより高めることにつながると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Katsumasa Tanaka, Ryoji Tsuchiya
2. 発表標題 Evaluation of a golf club based on muscle activity during swing by using inverse dynamics analysis
3. 学会等名 2019 KSME-JSME Bioengineering joint symposium (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Katsumasa Tanaka, Kazuhiro Sekizawa
2. 発表標題 Construction of a finite element model for collisions of a golf ball with a club during swing based on high-speed images
3. 学会等名 The 32nd International Congress on High-Speed Imaging and Photonics (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------