

# 博士学位論文審査要旨

2023年1月17日

論文題目： ゴルフクラブの設計値とスイングエクササイズがゴルフスイング動作に与える影響に関する研究

学位申請者： 岡崎 弘祐

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 辻内 伸好

副査： 理工学研究科 教授 青山 栄一

副査： 理工学研究科 教授 伊藤 彰人

要旨：

ゴルフプレーヤーのゴルフスイングに合ったシャフトを提案するために、シャフトの変化がゴルフスイングやシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにする必要がある。また、短期間でゴルフスイング動作を習得するために練習方法を提案する必要がある。本論文では、シャフトの設計値である質量とキックポイントに着目し、質量の変化がゴルフスイング動作中にプレーヤーが発揮したトルクに与える影響と、キックポイントの変化がゴルフスイング動作中のシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにすることを目的としている。また、本論文では、ゴルフスイング動作に関連する基本動作であるスイングエクササイズに着目し、スイングエクササイズがゴルフスイング動作を構成する協調動作に与える影響を明らかにすることを目的としている。

本論文は全 8 章で構成されている。第 1 章では、本研究の背景および目的について述べている。第 2 章では本研究を行うための動作計測実験について述べている。第 3 章では本研究で使用するシミュレーションモデルやデータ解析手法について述べている。第 4 章では、シャフトの設計値である質量に着目し、シャフト質量の変化がゴルフスイング動作中に発揮したトルクの最大発揮タイミングや最大発揮量に与える影響を明らかにし、シャフト先端速度の変化に寄与するトルクの成分を特定している。第 5 章では、シャフトの設計値であるキックポイントに着目して、シャフトの変形挙動から特異値分解によって主要な変形挙動を抽出し、キックポイント変化が主要な変形挙動に与える影響を求めることで、フィーリングに影響を与える変形挙動を明らかにしている。第 6 章では、インパクト付近におけるシャフトの変形挙動に着目し、キックポイントの変化によって変形挙動に差が見られた被験者群におけるゴルフスイング動作の特徴点を抽出している。第 7 章では、特異値分解によってゴルフスイング動作より協調動作を抽出し、スイングエクササイズが各協調動作に与える影響を明らかにしている。これらの成果は、プレーヤーへの最適なゴルフクラブの提案や、プレーヤーのゴルフスイング動作の習得と改善に向けた重要な要素であり、本論文は工学的に極めて価値のあるものと評価できる。よって、本論文は、博士（工学）（同志社大学）の学位論文として十分な価値を有するものと認められる。

## 総合試験結果の要旨

2023年1月17日

論文題目： ゴルフクラブの設計値とスイングエクササイズがゴルフスイング動作  
に与える影響に関する研究

学位申請者： 岡崎 弘祐

審査委員：

主査： 理工学研究科 教授 辻内 伸好

副査： 理工学研究科 教授 青山 栄一

副査： 理工学研究科 教授 伊藤 彰人

要 旨：

本論文の提出者は、本学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程（前期課程）を2011年3月に修了し、2011年4月に住友ゴム工業株式会社に入社した。その後、2020年4月に本学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程（後期課程）に入学し、現在在学中である。

本論文の主たる内容は、International Sports Engineering Association 2022, <https://doi.org/10.5703/1288284317492>, The 19th Asia Pacific Vibration Conference, Proceedings CNKIに掲載され、すでに十分な評価を受けている。

2022年12月24日午前11時00分より、約2時間にわたり、提出論文に関する博士論文公聴会が開かれ、種々の質疑応答が行われたが、提出者の説明により十分な理解が得られた。さらに公聴会終了後、審査委員により、論文に関する諸問題につき口頭試験を実施した結果、本人の十分な学力を確認することができた。なお、提出者は、英語による論文発表や語学試験にも合格しており、十分な語学能力を有すると認められる。以上より、本論文提出者の専門分野に関する学力並びに語学力は十分であることが確認できた。よって総合試験の結果は合格であると認める。

# 博士学位論文要旨

論文題目： ゴルフクラブの設計値とスイングエクササイズがゴルフスイング動作に与える影響に関する研究

氏名： 岡崎 弘祐

## 要旨：

ゴルフはハンディキャップ制が採用されているため、老若男女問わず楽しめるスポーツである。現在日本での競技人口は500万人を超え、オリンピック競技への採用や、COVID-19の影響により、屋外で行われるスポーツへの人気の高まりもあり、新規ゴルフプレーヤーの人口は増加している。また、スマートフォンの普及により、自分のゴルフスイング動作を撮影し、ソーシャルネットワークサービスに投稿することが容易となり、スコアを競うだけでなくゴルフを楽しみたいというプレーヤーも増加している。スコアに加え、ゴルフを楽しむためには、ドライバーと称されるウッド型ゴルフクラブによってゴルフボールを遠く、かつ正確に飛ばすことが重要となる。そのため、ドライバーを構成するクラブヘッド、グリップ、シャフトそれぞれの部材に関する多くの先行研究が行われ、その成果を応用することで、長い飛距離と高い正確性を持つドライバーの開発が行われてきた。

一方で、過度な飛距離と正確性を持つドライバーはゴルフの面白さを軽減させる恐れがあるため、2008年に制定されたルールによってドライバーのクラブヘッドの設計値に制限が設けられた。そこで、ゴルフクラブメーカーはこれまでの製品開発に加え、プレーヤーのゴルフスイング動作に着目し、プレーヤーに合った製品の開発に着手した。また、近年ではゴルフスイングを計測し、プレーヤーに適したゴルフクラブを提案する「フィッティング」と呼ばれるサービスが提供されている。「フィッティング」では、ゴルフクラブの部材の中でも種類が一番多いシャフトが主に選定され、シャフトの設計値の中でも打球後のゴルフボールの軌道に影響を与えると考えられるシャフトの質量と調子（キックポイント）が選定される。しかし、「フィッティング」により選定されたシャフトの質量とキックポイントがプレーヤーの使用するシャフトと異なる場合、選定されたシャフトを使用した際にゴルフスイング動作やシャフトの変形挙動が変化する可能性がある。そのため、「フィッティング」を行う際には、設計値がゴルフスイング動作やシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにすることが求められる。

また、ゴルフスイングは全身で行うため、全身動作に関する多くの先行研究が行われてきた。ゴルフスイング中の全身動作の解析結果はプレーヤーが容易に理解できることもあり、先行研究で得られた知見は、ゴルフスイング習得のための指導や練習方法の提示に応用されている。しかし、ゴルフスイング動作中は身体の個々の部位が協調した動作を行っているため、身体の単一部位の動作を変化させるだけではゴルフスイングの習得や改善は困難である。先行研究において特異値分解によってゴルフスイング動作から協調動作を抽出する手法や、協調動作を用いたシナジー解析の手法が提案されているように、全身を用いるスポーツでは、協調動作を確認することが重要であり、動作の習得や改善のためには協調動作を改善する必要がある。また、先行研究では、ゴルフスイング動作の改善のために体幹のトレーニングを提案しているが、ゴルフスイング動作から得られる協調動作の改善に効果的な練習方法については言及されていない。そのため、ゴルフスイングの習得を目的とした、協調動作の改善に効果的な練習方法の提案が求められる。

これら背景のもと、本研究では、シャフトの設計値である質量とキックポイントの差がゴルフスイング動作に与える影響を明らかにすることを目的とする。ゴルフスイング動作中、プレーヤーは腕とゴルフクラブを回転させるためにトルクを発揮する。そのため、プレーヤーが発揮したトルク

クを算出し、質量とキックポイントが変化した際の発揮トルクの変化を確認する。プレーヤが発揮したトルクは時系列で変化するため、時間一周波数変化を確認することが可能な短時間フーリエ変換を用いて発揮トルクに与える影響を明らかにする。

次に、シャフトのキックポイントの差がゴルフスイング動作中のシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにする。ゴルフスイング中のシャフトの変形挙動の計測には歪ゲージやモーションキャプチャを用いて計測する機会が多いが、歪ゲージによる質量の変化や、マーカの貼り付け誤差によってシャフトの変形挙動の比較を行うことが困難であった。そこで、シャフトの弾性変形挙動を再現可能なシミュレーションモデルを用いてシャフトの変形挙動を算出する。シャフトの変形は複雑な挙動を示すため、特異値分解によって主要な変形挙動を抽出し、その挙動の差を確認することでシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにする。

さらに、協調動作の改善に効果的な練習方法の提案のために、スイングエクササイズと呼ばれるゴルフスイングに関連する基本動作の繰り返し運動に着目し、この運動がゴルフスイング動作に与える影響を明らかにする。スイングエクササイズはインストラクタの模範動作をプレーヤが目視で確認し再現を試みるが、全プレーヤが再現できるとは限らない。そこで模範動作との一致度を評価する手法を構築し、インストラクタの指導によって再現性が改善するかを確認する。そして、特異値分解によってゴルフスイングから協調動作を抽出し、スイングエクササイズ前後の協調動作を比較することで、スイングエクササイズがゴルフスイングに与える影響を明らかにする。

本論文は、緒論、結論を含め全8章で構成されている。

第1章では、ゴルフクラブの設計値の変化がゴルフスイング動作やシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにする必要性、スイングエクササイズがゴルフスイング動作に与える影響を明らかにする必要性について述べた。

第2章では、本研究を行うための動作計測実験方法や実験条件、第4章以降で使用するデータの算出方法について述べた。

第3章では、本研究でシミュレーションモデルとして使用する、ゴルフスイングを再現しスイング中にプレーヤが発揮するトルクを算出するための力学モデル、シャフトの弾性変形挙動を算出するための計算モデルの構築手法について述べた。また、解析手法として用いる短時間フーリエ変換、ウェーブレット変換、特異値分解の理論について述べた。

第4章では、シャフトの質量の変化がプレーヤの発揮トルクに与える影響について論じた。プレーヤの発揮トルクに短時間フーリエ変換を行い、時間一周波数変化について確認した。次に、短時間フーリエ変換の結果より、シャフトの質量が変化した際の発揮トルクの変化を明らかにした。また、短時間フーリエ変換によって得られた各周波数を低周波帯域、高周波帯域に分類し、シャフトの質量が変化した際の各帯域における最大スペクトログラム値の母平均推定値とシャフト先端速度の変化傾向を比較することで、シャフト先端速度の変化に寄与する発揮トルクを特定した。

第5章では、シャフトのキックポイントの変化が発揮トルクに与える影響と、シャフトの変形挙動に与える影響について論じた。第4章と同様に、短時間フーリエ変換の結果より、シャフトのキックポイントが変化した際の発揮トルクの変化を明らかにした。さらに、特異値分解によってシャフトの変形から主要な変形挙動を抽出し、キックポイントの変化が主要な変形挙動に与える影響を確認した。また、主要な変形挙動の変化とシャフトのフィーリング評価結果を比較することで、フィーリング評価に影響を与える変形挙動を特定した。

第6章では、シャフトの変形挙動とゴルフスイング動作の関係について論じた。第5章において、特異値分解によって抽出した主要な変形挙動が被験者間で差が見られたことに着目し、変形挙動に影響を与えるゴルフスイング動作の特徴を抽出した。さらに、ゴルフスイング動作にウェーブレット変換を行い、ゴルフスイング動作における時間一周波数変化について確認した。そし

て、ウェーブレット変換によって得られた結果から、インパクト付近におけるシャフトの変形挙動に着目し、キックポイントの変化によって変形挙動に差が見られた被験者群におけるゴルフスイング動作の共通点を抽出した。

第7章では、スイングエクササイズがゴルフスイング動作に与える影響について論じた。ゴルフスイング動作を習得していない初級者、中級者がスイングエクササイズを適切に再現できているかを確認するため、特異値分解によってスイングエクササイズから協調動作を抽出し、インストラクタの模範動作と比較した。次に、模範動作との一致度を評価する手法を構築し、インストラクタの指導によってスイングエクササイズを適切に再現できることを確認した。さらに、特異値分解によってゴルフスイング動作から協調動作を抽出し、スイングエクササイズ前後での協調動作を比較することで、初級者、中級者はスイングエクササイズを先に習得することが短期間でのゴルフスイング動作習得につながることを示した。また、ゴルフスイング動作を習得した上級者であってもスイングエクササイズを行うことで、ゴルフスイング動作の改善が可能であることを示した。

本研究によってゴルフクラブの設計値がゴルフスイング動作やシャフトの変形挙動に与える影響を明らかにするとともに、スイングエクササイズがゴルフスイング動作に与える影響を明らかにすることができた。これらの技術は、プレーヤーへの最適なゴルフクラブの提案や、プレーヤーのゴルフスイング動作の習得と改善に向けた重要な要素となる。