

審査の結果の要旨

氏名 下野 智史

本論文では、数理的なアプローチを用いて個人のスイング特性に応じたテーラーメイドのゴルフシャフトの最適設計手法を構築した。従来は熟練設計者の主観に頼らざるを得なかったが、本手法により客観的にテーラーメイド設計が可能であることを示した。またその精度は熟練設計者に匹敵するものであり、ゴルフシャフト選択システムとして実用化された。本論文は以下の6章で構成される。

第1章は序論である。スポーツ科学の発展を概観し、他の分野における技術開発の重要なドライビングフォースの1つとなっていることが述べられている。スポーツ用具、とりわけゴルフシャフトに顕著な課題として各選手に応じたテーラーメイドの最適設計がある。従来はゴルファーや設計者の経験と勘に頼らざるを得なかったため、最適とは言い難い設計となることもしばしば起こり得た。テーラーメイドの最適設計を行うには、先行研究でそれぞれ個別に発展してきた用具・人間・計測・解析の4つの複合領域を扱う必要があり、単純な最適化問題として捉えられないためである。そこで、本研究ではこれらの複合領域を扱うことで、設計者の主観による精度を上回る客観的な設計手法を確立することを目的としている。

第2章では、有限要素法を用いてゴルフシャフトの弾性モデルを作成し、繰り返し計算によって最適設計を行うことが述べられている。陽解法と陰解法、それぞれの有限要素モデルを作成し、その計算時間と精度を比較した。計算時間、精度の両面から陰解法を選択した。また、熟練設計者4名の設計手法を模したアルゴリズムを構築することで、計算時間の短縮と精度向上を試みた。被検者3名のうち、女子プロゴルファー1名に対しては良好な結果が得られたが、他の2名については十分な解が得られないことが明らかとなった。

第3章では、前章で十分な精度の解が得られなかった原因を考察し、その解決のために実験計画法と応答曲面法を用いた最適設計手法について述べられている。前章の結果考察により、多くのゴルファーがシャフト性能に応じてスイングを変化させていることが明らかとなった。このスイング変化を定量的に捉え最適設計を行うことが本章の主題である。実験計画法を用いることで最小限の実験負荷(9本)で各ゴルファーのスイング変化の傾向を把握し、応答曲面法を用いて任意のシャフトでのスイング変化を定量的に算出した。このスイング変化量も考慮した時刻歴応答解析を行うことで、正確な解析結果が得られることを確認した。また、一般的なアマチュアゴルファー用のシャフト市場では、最適設計=シャフト選定であることから、本手法を用いて最適シャフト選定システムを開発し、実用化にまで至った。

第4章では、第3章では解決しきれなかった課題とその1つの解決策が述べられている。

初級者においては 9 本のシャフトを安定してスイングすることができず、上述の手法から最適設計を見出すことが困難であった。そこで本章では、中上級者のスイングデータ変化量から初級者のスイングデータ変化量を予測することで、初級者の試打本数を削減することとした。まず、9 本のうち基準シャフトでのスイングデータを自己組織化マップと K-means 法を用いてクラスタリングした。次に、初級者の基準シャフトでのスイングデータがどのクラスタと類似しているかを特定した。続いて、中上級者のスイング変化量を初級者のスイング変化量として、その他のシャフトでのスイングデータを得た。その後、基準シャフトを 3 本としてその予測精度が最大となるように、予測式の重み係数を最適化した。確認試験の結果、初級者の場合は 9 本の実測データを用いるよりも、3 本の実測データと 6 本の予測データを用いた方が、最適設計の精度が向上することが明らかとなった。

第 5 章では、飛距離と再現性を両立するための多目的最適設計について述べられている。ゴルフショットにおける再現性の指標として身体負荷量を提案し、閾値を考慮した上半身が発揮する関節トルクの総量と定義される。飛距離の指標となるクラブスピードと、再現性の指標となる身体負荷量はトレードオフの関係にあるため、これらを多目的最適化問題として定式化しパレート解を得た。実証実験の結果、トレードオフ問題が解決され、飛距離と再現性を両立させ得る最適設計が可能であることが示された。

第 6 章は結論であり、本研究のまとめと共に、ゴルフ以外の製品に適用するために各章の手法を一般化したフローチャートが記載されている。

以上、本研究では数理モデルを用いたテーラーメイドのゴルフシャフトの最適設計手法を構築した。先行研究でこれまで個々に扱われてきた用具・人間・計測・解析の 4 つの複合領域を扱うことで構築した手法であり、新規性が認められる。さらに、熟練設計者に匹敵する精度を達成することで、本手法をゴルフシャフト選択システムとして実用化した。本研究で得られた知見は、広く個別化が必要な最適設計問題に適用できるものであり、特にこれまでモデル化や最適化が困難であった人間が扱う用具、あるいは環境に応じた設計が必要な製品に応用できる。今後ますます多様化するニーズに対応することで、将来の産業発展に貢献し得るものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。