

学位被授与者氏名	鳴尾 丈司 (Takeshi NARUO)
学位の名称	博士 (工学)
学位番号	博 (一) 第6号
学位授与年月日	平成16年9月30日
論文題目	ゴルフボールの3次元飛翔軌道解析における空気力学的研究
論文題目 (英訳または和訳)	An aerodynamic study of 3-D trajectory analysis of a golf ball
論文審査委員	論文審査委員会 委員主査 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 溝田武人 同審査委員 : 福岡工業大学大学院物質生産システム工学専攻教授 田中宏史 同審査委員 : 福岡工業大学大学院知能情報システム工学専攻教授 赤木文男 同審査委員 : 金沢大学工学部教授 岡島 厚
論文審査機関	福岡工業大学大学院工学研究科
論文内容の要旨 (英文)	<p>A golf ball in flight is subject to various aerodynamic conditions due to varying velocity and spin rate. On launch, a maximum flight velocity of 80 m/s and a maximum spin rate of 10,000 rev/min may be reached, and since these values are extremely high, obtaining aerodynamic measurements under actual conditions is quite difficult.</p> <p>In the present study, a wind tunnel and a ball-rotating device that provides flow velocity and spin to the ball that match actual flight conditions were developed.</p> <p>On the other hand, the formula expression of trajectory analysis of the golf ball was limited to two dimensions. And the cause of slicing or hooking of a ball was explained by using the general idea named as the side spin, and this side spin was computed experientially as for three-dimensional trajectory calculation as well so far.</p> <p>In the present study, the 3-dimension equation of motion of a golf ball in flight was formulated. The trajectory equation of a golf ball in flight was obtained under two assumptions of (1) the mechanism of slicing or hooking of a ball is caused by an inclining of the ball rotating axis and (2) the direction given to the rotating axis of the ball is constant.</p> <p>The initial conditions immediately after the ball is launched were measured and a comparison was made between the actual measured flight distance and that obtained by numerical calculation using the known initial conditions and aerodynamic coefficients. Comparison of flight distance was made with numerical analysis results and actual measured values and an extremely favorable matching of results was seen. Thus the validity of the measured aerodynamic coefficient was verified.</p> <p>Furthermore, the device that can measure the initial conditions after the ball is launched and calculate trajectory precisely and automatically by using the measured aerodynamic coefficient and 3-D trajectory equation.</p> <p>Also, by conducting trajectory analysis of various initial conditions, conditions for obtaining maximum distance were investigated.</p>
論文内容の要旨 (和文)	<p>ゴルフボールはウッド、アイアン、ウェッジと種々のゴルフクラブで打ち出され、ボールの飛び出し速度はドライバーで最大80m/s、回転速度はショートアイアンで最大10000rpm以上になる。これら様々なショットの弾道を正確に計算するためには、ゴルフボールの様々な条件下で空気力学特性を知る必要がある。</p> <p>本研究において、実際のゴルフボールを風洞気流中で高速回転させ、空気力を計測する装置を開発した。一方、これまでは2次元に限られていたゴルフボールの飛翔軌道解析の数式表現を3次元軌道解析に拡張し、定式化した。従来、ボールがフック・スライスする曲がりの原因はサイドスピンと称される概念を用いて説明されており、3次元の飛翔軌道計算においてもこのサイドスピンによる力を経験的に計算していた。本研究では、ボールの回転軸が傾いていることにより揚力の分力が生じ、これがボールの曲がりの空気力学的な原因であるとして、3次元飛翔軌道方程式の定式化を行った。風洞実験により求めた空気力を用い、3次元のゴルフボールの飛翔軌道計算を行った。これに基</p>

づいた計算結果とロボットを用いたゴルフボールの発射実験結果を比較し、定式化の妥当性を示した。また、ゴルフボール飛び出し直後の初期条件を自動的に計測し、精緻な飛翔軌道解析ができる小型システムを構築し、製品開発を行った。さらに、本研究で開発した飛翔軌道解析方法を用いて、様々な初期条件について飛距離を計算し、飛距離におよぼす初期条件の影響を明示した。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章で研究の目的が、次の2点であることを明示した。

(1) 実際の飛翔中の条件下でゴルフボールに働く流体力の計測方法の構築と計測

(2) ゴルフボールの3次元飛翔軌道解析の定式化

第2章はゴルフボールの流体力に関する過去の研究を概観し、解決すべき問題点を明らかにした。第3章は本研究で行った風洞実験および流体力の計測方法を説明した。第4章は風洞実験において、ゴルフボールの空気力学係数を計測した結果について考察した。第5章で3次元ゴルフボールの飛翔軌道の定式化に関する考察を行った。そして、初期条件と空力パラメータを用いた数値計算方法の手順を詳細に示した。第6章はボール飛び出し後の初期条件計測方法と飛翔軌道解析の検証実験方法を記述した。第7章は検証実験との比較により、飛翔軌道解析の妥当性について検証した。第8章は本研究において開発した飛翔軌道を自動的に計測し、解析できる小型システムの説明を行った。第9章は本研究において開発した飛翔軌道解析方法を用いて、様々なボール飛び出し後の初期条件で飛距離を計算した。その結果より、ボール飛び出し後の初期条件と飛距離の関係を考察し、最大飛距離の得られる条件を探った。第10章で本研究の結論をまとめた。

論文審査結果

この研究は、ゴルフボールの3次元飛翔軌道を空気力学的な立場で求めたものである。ゴルフボールは最大 80m/s の初速、10,000rpm の初期回転数で運動する。このような条件で飛翔するゴルフボールの飛翔軌道を求めるには飛翔中に作用する正確な空気力が必要であるが、これらの空気力の精度の高い測定は極めて難しく、信頼すべきデータも乏しい。また、ゴルフボールが3次的に飛翔する場合の運動方程式も定式化されていない。本研究では、まず飛翔中のゴルフボールに加わる空気力を風洞実験により正確に求める実験的手法を確立させている。次に、これまで 100 年にわたって行われて来たゴルフボールが曲がるメカニズムの説明には種々な矛盾があり、定式化が困難であったことを指摘している。そこで、物理的に妥当な諸条件を巧みに取り入れた3次元運動方程式を初めて構築し、風洞実験で求めたボールに作用する空気力を用いて運動方程式の数値計算を行っている。この計算には、ボールの運動の初期条件を求める必要があるが、本研究では、ゴルフ・ロボットによる打撃実験を行い、それを撮影して画像処理によって高精度で求める手法を用いている。さらに、これらの研究結果の妥当性を検証するために、ゴルフ・ロボットによる野外飛翔実験を実施し、飛距離や横ぶれなどに対し、両者、良く一致する結果を得ている。また、ゴルフボールを打つ場合の最適のスピンパラメータと飛び出し角度を解析モデルによる計算によって見出し、多くの新しい知見を得ている。これらの一連の研究成果により、社会人博士課程の学生の研究に相応しく、種々の特許申請を行い、ゴルフボールの打球分析装置として製品化されている。

公聴会は、2004年9月1日13時から15時の間に学内外55名の参加者を得て行われた。口頭発表後の質疑応答では参加者から、定式化における仮定の妥当性、ボール初期条件の測定方法、空気力測定に関する他の実験結果の評価等について行われたが、いずれも参加者に納得の行く説明がなされた。参加者からは、スポーツ流体力学の分野でこの研究が重要な内容であること、プロゴルファーからも説明された事実は実際のプレーで感じることに矛盾がないこと等のコメントがあった。

また公聴会後の最終試験において、鳴尾氏は学位論文に関連する分野の学識を有し、今後自立して研究を進めていくための総合的研究能力を備えていることが判明した。国際会議への発表論文は英文で書かれていることから、英文論文作成能力も十分であると判断した。

以上の結果から、学位審査委員会は、この論文が博士(工学)の学位に適格であると判定した。