

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4998963号
(P4998963)

(45) 発行日 平成24年8月15日 (2012. 8. 15)

(24) 登録日 平成24年5月25日 (2012. 5. 25)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 3 B 71/06 (2006. 01)

A 6 3 B 71/06 R

A 6 3 B 69/36 (2006. 01)

A 6 3 B 69/36 5 2 2 W

A 6 3 B 69/36 Z

請求項の数 18 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2009-529762 (P2009-529762)
 (86) (22) 出願日 平成19年9月27日 (2007. 9. 27)
 (65) 公表番号 特表2010-504786 (P2010-504786A)
 (43) 公表日 平成22年2月18日 (2010. 2. 18)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB2007/003681
 (87) 国際公開番号 W02008/038005
 (87) 国際公開日 平成20年4月3日 (2008. 4. 3)
 審査請求日 平成22年9月10日 (2010. 9. 10)
 (31) 優先権主張番号 0619014. 4
 (32) 優先日 平成18年9月27日 (2006. 9. 27)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)
 (31) 優先権主張番号 0705382. 0
 (32) 優先日 平成19年3月21日 (2007. 3. 21)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(73) 特許権者 509081322
 リンドセイ、ノーマン マセソン
 イギリス、HP 7 9 A H ブッキングハム
 シェアー、アマーシャム、バッチェラーズ
 ウエイ 1 9
 (74) 代理人 100081053
 弁理士 三俣 弘文
 (72) 発明者 リンドセイ、ノーマン マセソン
 イギリス、HP 7 9 A H ブッキングハム
 シェアー、アマーシャム、バッチェラーズ
 ウエイ 1 9

審査官 大澤 元成

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定する方法とシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ゴルフボールが飛び出した複数の飛び出し位置から、落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定する方法において、

(A) 前記落下中のゴルフボールの落下時間と落下仰角に依存する値を得るために、前記落下中のゴルフボールの落下パラメータを測定するステップと、

(B) 前記落下中のゴルフボールの飛行時間の予測値を、前記落下仰角の測定値の関数として計算するステップと、

(C) 飛び出し位置に関し、各飛び出したゴルフボールの飛び出し時間と、落下中のゴルフボールの落下時間との間の時間間隔を測定するステップと、

(D) 前記飛び出し位置に関し、前記の測定した前記時間間隔と、落下中のボールの飛行時間の予測計算値とを比較するステップと、

これにより、どの飛び出し位置に関し、それぞれの時間間隔が、計算した予測値と最もマッチするかを決定し、

(E) 前記落下中のゴルフボールが飛び出した位置を、前記最もマッチした飛び出し位置で特定するステップと、

を有する

ことを特徴とする落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定する方法。

【請求項 2】

前記の測定した落下パラメータは、落下仰角を与えるために、前記落下中のゴルフ

ボールの落下速度成分の測定値を含む
ことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記飛行時間の予測値は、前記落下仰角の線形関数に従って、計算する
ことを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記線形関数は、少なくとも下記の第 1 項と第 2 項の和であり、
第 1 項は、定数であり、
第 2 項は、定数と落下仰角に依存する値の積である
ことを特徴とする請求項 3 記載の方法。

10

【請求項 5】

前記第 1 項と第 2 項の各定数は、飛距離と少なくとも下記の中の 1 つに依存する
キャリー距離、風速、風の方向、飛び出し角、飛び出し速度、空気の密度、落下中
のゴルフボールの落下速度、落下中のゴルフボールの落下方位角
ことを特徴とする請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

前記落下中のゴルフボールの落下方位角の測定値は、測定された落下パラメータか
ら得られ、

前記 (E) ステップは、近いマッチが存在する複数の飛び出したゴルフボールの飛
び出し位置を区別するステップを有し、

20

前記区別するステップは、近いマッチが存在する飛び出したゴルフボールに関し、
前記落下中のゴルフボールの落下方位角の測定値と、それに対する計算値とのマッチが存
在する程度に基づいて行われ、

前記計算値は、前記飛び出したゴルフボールの飛び出し方位角の測定値と、前記飛
び出したゴルフボールの飛び出し位置からの落下中のゴルフボールの挙動の測定値の関数
として、計算される

ことを特徴とする請求項 1 - 5 のいずれか記載の方法。

【請求項 7】

前記落下中のゴルフボールの落下方位角の計算値は、

前記飛び出したゴルフボールの飛び出し位置からの落下中のゴルフボールの挙
動の測定値と、

30

前記挙動と前記飛び出したゴルフボールの飛び出し方位角の測定値の間の差分
に依存する項と

の和である

ことを特徴とする請求項 6 記載の方法。

【請求項 8】

前記落下中のゴルフボールの水平方向速度は、測定された落下パラメータから得ら
れ、

前記 (E) ステップは、近いマッチが存在する複数の飛び出したゴルフボールの飛
び出し位置を区別するステップを有し、

40

前記区別するステップは、飛び出したゴルフボールに関し、(a) と (b) との間
にマッチが存在する程度に基づいて行われる、

(a) 飛び出し時のゴルフボールの水平速度の測定値の、落下中のゴルフボールの
水平速度の測定値に対する計算された比率と、

(b) 飛び出し位置からの飛び出したゴルフボールの予測飛行時間の値に依存する
関数

ことを特徴とする請求項 7 記載の方法。

【請求項 9】

前記落下中のゴルフボールの落下パラメータの測定は、地上から 2 m 以下で行われ
る

50

ことを特徴とする請求項 1 - 8 のいずれか記載の方法。

【請求項 10】

ゴルフボールが飛び出した複数の飛び出し位置から、落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定するシステムにおいて、

(A) 前記落下中のゴルフボールの落下時間と落下仰角に依存する値を得るために、前記落下中のゴルフボールの落下パラメータを測定する手段と、

(B) 前記落下中のゴルフボールの飛行時間の予測値を、前記落下仰角の測定値の関数として計算する手段と、

(C) 飛び出し位置に関し、各飛び出したゴルフボールの飛び出し時間と、落下中のゴルフボールの落下時間との間の時間間隔を測定する手段と、

(D) 前記飛び出し位置に関し、前記の測定した前記時間間隔と、落下中のボールの飛行時間の予測計算値とを比較する手段と、

これにより、どの飛び出し位置に関し、それぞれの時間間隔が、計算した予測値と最もマッチするかを決定し、

(E) 前記落下中のゴルフボールが飛び出した位置を、前記最もマッチした飛び出し位置で特定する手段と、

を有する

ことを特徴とする落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定するシステム。

【請求項 11】

前記の測定した落下パラメータは、落下仰角を与えるために、前記落下中のゴルフボールの落下速度成分の測定値を含む

ことを特徴とする請求項 10 記載のシステム。

【請求項 12】

前記飛行時間の予測値は、前記落下仰角の線形関数に従って、計算することを特徴とする請求項 10 又は 11 記載のシステム。

【請求項 13】

前記線形関数は、少なくとも下記の第 1 項と第 2 項の和であり、

第 1 項は、定数であり、

第 2 項は、定数と落下仰角に依存する値の積である

ことを特徴とする請求項 12 記載のシステム。

【請求項 14】

前記第 1 項と第 2 項の各定数は、飛距離と少なくとも下記の中の 1 つに依存する キャリー距離、風速、風の方向、飛び出し角、飛び出し速度、 空気の密度、落下中のゴルフボールの落下速度、落下中のゴルフボールの落下方位角

前記線形関数は、前記第 1 項と、第 2 項と落下方位角の積の和である

ことを特徴とする請求項 13 記載のシステム。

【請求項 15】

前記落下中のゴルフボールの落下方位角の測定値は、測定された落下パラメータから得られ、

前記特定する手段 (E) は、近いマッチが存在する複数の飛び出したゴルフボールの飛び出し位置を区別する手段を有し、

前記区別する手段は、近いマッチが存在する飛び出したゴルフボールに関し、前記落下中のゴルフボールの落下方位角の測定値と、それに対する計算値とのマッチが存在する程度に基づいて行われ、

前記計算値は、前記飛び出したゴルフボールの飛び出し方位角の測定値と、前記飛び出したゴルフボールの飛び出し位置からの落下中のゴルフボールの挙動の測定値の関数として、計算される

ことを特徴とする請求項 10 - 14 のいずれか記載のシステム。

【請求項 16】

前記落下中のゴルフボールの落下方位角の計算値は、

10

20

30

40

50

前記飛び出したゴルフボールの飛び出し位置からの落下中のゴルフボールの挙動の測定値と、

前記挙動と前記飛び出したゴルフボールの飛び出し方位角の測定値の間の差分に依存する項との和である

ことを特徴とする請求項 15 記載のシステム。

【請求項 17】

前記落下中のゴルフボールの水平方向速度は、測定された落下パラメータから得られ、

前記特定する手段 (E) は、近いマッチが存在する複数の飛び出したゴルフボールの飛び出し位置を区別する手段を有し、 10

前記区別する手段は、飛び出したゴルフボールに関し、(a) と (b) との間にマッチが存在する程度に基づいて行われる、

(a) 飛び出し時のゴルフボールの水平速度の測定値の、落下中のゴルフボールの水平速度の測定値に対する計算された比率と、

(b) 飛び出し位置からの飛び出したゴルフボールの予測飛行時間の値に依存する関数

ことを特徴とする請求項 10 - 16 のいずれか記載のシステム。

【請求項 18】

前記落下中のゴルフボールの落下パラメータの測定は、地上から 2 m 以下で行われる 20

ことを特徴とする請求項 10 - 17 のいずれか記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定する方法とシステムに関する。本発明とシステムを、例えばゴルフの練習場等で行われるゴルフショットを例に説明する。

【背景技術】

【0002】

本発明は、ゴルフボールが飛び出した複数の飛び出し位置から、落下中のゴルフボールの飛び出し位置を特定する方法とシステムである。本発明の方法又はシステムは、(A) 前記落下中のゴルフボールの少なくとも落下時間と、その落下仰角の測定値を得るために、前記落下中のゴルフボールの落下パラメータを測定するステップ又は手段と、(B) 前記落下中のゴルフボールの飛行時間の予測値を、前記落下仰角の測定値の関数として計算するステップ又は手段と、(C) 各飛び出したゴルフボールに関し、落下中のゴルフボールの飛び出し時間と落下時間との間の時間間隔を測定するステップ又は手段と、(D) 前記飛び出したゴルフボールに関し、前記の測定した前記時間間隔と、飛行時間の予測計算値とを比較するステップ又は手段(これにより、どの飛び出したゴルフボールの前記時間間隔が計算した予測値とマッチするかを決定する)と、(E) 前記落下中のゴルフボールが飛び出した位置を、前記マッチが存在する飛び出したゴルフボールの飛び出し位置で特定するステップ又は手段と、を有する。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】米国特許第 6 1 7 9 7 2 0 号明細書

【特許文献 2】米国特許公開第 2 0 0 7 / 0 1 6 7 2 4 7 号明細書

【特許文献 3】英国特許公開第 2 2 9 4 4 0 3 号

【特許文献 4】特開平 8 - 2 2 4 3 3 1 号公報

【特許文献 5】米国特許第 6 6 0 7 1 2 3 号明細書 50

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】Quintavalla, S.J. 2002. A generally Applicable Model for the Aerodynamic Behavior of Golf Balls. In Science and Golf IV, ed. E. Thain, 346-348. London: Routledge

【0005】

落下中のゴルフボールの落下仰角は、落下軌跡の速度成分の測定値から得られる。

【0006】

本明細書において、「ゴルフボールの落下」とは、ゴルフボールのキャリー（飛距離）を意味し、ゴルフボールの飛行の軌跡の終了点を意味する。その後にかかる「跳ね上がり」或いは「転がり」を含まない。「落下中のゴルフボール」とは、キャリーの軌跡の終了時の近くの飛行中のゴルフボール（好ましくは、その飛行軌跡の最後の10%のゴルフボール）を意味する。キャリーの軌跡の終了点は、ボールが最初の飛び出し位置からある距離離れた「目標」に落ちた地点を意味する。飛び出し位置とは、例えばゴルフ練習場の複数の打席の内の1つの打席である。以下「ゴルフボール」は単に「ボール」とも称する。

10

【0007】

本発明は、あらゆるゴルフショットに応用可能であり、空力学的な正味の力（即ち、揚力と抗力のベクトル）が、 1.0 m/s^2 、より好ましくは 1.0 m/s^2 以上であるようなショットに応用可能である。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、ゴルフショットを特定する方法とシステムであって、ゴルフボールの飛行の予測或いは飛行軌跡の追尾には依存せず、またマークの付した或いは電氣的にタグを付したゴルフボールを必要としないで、ゴルフショットを特定する方法とシステムを提供することである。

【0009】

ゴルフボールの飛行予測方法は、ゴルフボールの回転成分を測定できる高価なボール飛び出しの測定器具を必要とする。これは時に特殊なゴルフボールを必要とすることもある。ゴルフボールの飛行予測は、変化する風と/又はボールの空力学特性（表面の劣化/凹凸により変化する）のランダムな変動に起因する大きなシステムティックなエラーを含む。ボールの飛行予測方法は、ボールの着地点と飛行時間を測定する事により向上させることができる。しかし着地位置と着地時間のみの測定に依存するシステムは十分ではない。その理由は、ボールの飛行履歴に関する情報の大部分は着地時に失われてしまうからである。ボールの飛行の予測と着地位置の測定を用いて、個々のゴルフショットを特定するシステムは特許文献1, 2に開示されている。

30

【0010】

ボールの飛行軌跡追跡方法（例、ビデオ追跡システム或いはレーダ追跡システム）は、非常に高価であり、大量のデータ処理手段を必要とし、飛行空間に複数の同時に飛行するボールが存在する時には、信頼性高く機能することができない。通常1つ或いは複数のビデオカメラ又はレーダ追跡装置は、一時に1つのボールの飛行パスにロックされ、最初の打ち出しから少なくとも最終の着地点までのその飛行全体を通して、そのボールを追跡している。このことは、カメラまたはレーダは、数秒間はほとんど連続的にデータを捕獲しなければならないことを意味する。これに対し本発明においては、ボールの飛行軌跡は、最初の飛び出し時から着地する直前までの数ミリ秒間を必要とするだけである。特許文献3は、ビデオの追跡によるゴルフショットをスウィングの測定と組み合わせて特定する方法を開示している。

40

【課題を解決するための手段】

【0011】

50

タグを付する手段（例；埋め込んだRFIDチップ）で個々のボールを特定することは、コストが高く、RFIDデータを解析するために、ボールを集める機械的手段が煩雑であり、信頼性は高くない。RFIDタグを使用して個々のゴルフボールを特定するシステムは、特許文献4，5に開示されている。

【0012】

落下パラメータと飛び出しパラメータの測定は、電子 - 機械、電子 - 音響、電子 - 磁気、電子 - 光学、ドプラマイクロウェーブレーダ、超音波ドプラ、高速ビデオ或いは信号処理に適した電子測定器を提供する技術を利用する。

【0013】

落下パラメータの測定は、ボールがゴルフ練習場の目標に近づく時に行われる。この目標は、マークで示された円形、楕円形、四角形の領域、或いはゴルフのグリーン、（実際のゴルフコースのグリーンを真似たもの）である。様々な他の目標を用いることもできる。例えば大きなアーチェリーの目標を真似た地形或いは構造物、ボールが着地し弾むことなく消えてしまうウォーターハザード又はバンカー或いは様々な形態である。別の構成として、測定は、落下中のゴルフボールがゴルフ練習場のいずれかの場所に着地する時に或いはその一部の時間に行われる。しかし落下パラメータは、ボールのキャリーの終了点（飛距離の最後の5%又は最後の2%）から短い距離内で測定される。

【0014】

落下点の測定範囲を限定することにより、測定装置のコストを下げ、測定の信頼性を上げることができる。本発明の一実施例においては、落下パラメータは、落下点の2m以下の範囲で行われ、且つ地上から2m以下に配置された装置で測定される。屋外に配置される検出装置の高さを制限することにより、景観の目障りを減らし、より好ましい。

【0015】

各目標点で落下パラメータを測定する好ましい手段は、少なくとも4個の「検出面」を用いる。上記の検出面は、検出面に直交する非常に小角度の視野（field of view）と検出面と同一面の広い視野とを有するファン・ビームを有する。ボールが検出面を通過する時の角度位置（ファン・ビーム内で）とその時間とを検出する手段を具備する。通常、検出面は、平行で且つオフセットし、異なった方向を向いている2つの共面对内に配置される。その結果、ボールが共通の視野の面を通過する時のボールの2次元位置は、三角測量法で見いだすことができる。ボールが2つの検出面を通過した時間差と、視野の中心を含む面の間の分離距離が、ボールの速度ベクトルの測定値と飛行空間における瞬時位置とを与える。好ましくは、全ての検出面のセンサーの視野は、水平もしくはほぼ水平で、屋外の地表に近い位置に置かれる。

【0016】

飛び出したボールのパラメータの測定は、低コストで、信頼性が高く、広い「ショット・アクセプタンス」を有する手段で行うのが望ましい。本明細書において、「ショット・アクセプタンス」とは、打席から様々な速度と角度で飛び出すあらゆる種類のショットを測定できる測定手段の性能を意味する。好ましくは、最初の飛行パラメータは、ボールの飛行軌跡の最初の短い距離（例；5m以下より好ましくは2m以下）で測定される。その結果、隣接する打席から打ち出された複数のボールは、測定に際し干渉し合うことはない。しかし、他の飛行中のゴルフボールの存在の下で、1個のゴルフボールの初期の飛び出しパラメータを測定する手段を採用することもできる。信号処理手段は、練習場の打席を特定するデータを必要とし、ゴルフ練習場の各目標に対する各打席の並びと、方位角方向と、高さとを記録する。

【0017】

打席において、ゴルフボールのインパクト（打撃）の時間は、1つ或いは複数のマイクロフォンを用いて、インパクトの音を検出することにより、測定できる。必要によっては、ボールの飛び出し速度と方向の粗い測定値が、複数のマイクロフォン（好ましくは、位相差を持ったアレイとして構成される）からの信号を解析することにより得られる。別の構成として、インパクトの時間は、光学手段により、例、1つ或いは複数の光学検出

10

20

30

40

50

面をボールが通過することを検出することにより、測定できる。この光学手段は、ボールの打撃時間を測定するよう構成される。選択的事項として、ボールの飛び出し速度と、飛び出し方位角と、飛び出し仰角の内の少なくとも1つを測定するよう構成される。

【0018】

標準的なゴルフボールを使用できる本発明においては、反射性表面を有するゴルフボールを使用するのが好ましい。反射性ゴルフボールを使用する利点は2つある。第一に、ゴルフボールは光学センサー手段により特に長距離で検出することが容易となることである。第二に、夜間または薄暗い状況において、ボールがゴルフファに近い光源により照射された時に、遙かに見やすくなる点である。これにより、光源のパワーと強度を、大幅に減らすことができ、環境にも優しい。

10

【0019】

反射性のゴルフボールの使用の主な不利な点は、製造コストが上がり、ボールを頻繁に使用することにより反射性表面が劣化することである。本発明の目的は、標準の即ち何の加工も施していないゴルフボールを使用するゴルフショットを特定する方法とシステムを提供することであり、更に反射性のゴルフボールでも動作できる方法とシステムを提供することである。

【0020】

本発明の目的は、様々な種類のゴルフボールとその状態における空力学特性の差に耐えられる方法とシステムを提供することである。様々な種類のゴルフボールの直径と質量は、全て似かよっているが、そのディンプル（凹凸）のパターンは大きく異なり、これにより初期の飛び出し状態におけるキャリー（飛距離）と飛行時間に差が生じる。このことは、ゴルフボールの飛行予測に関するUSGAの研究論文、例えば非特許文献1に開示されている。この論文において、著者は、ディンプルパターンの差のみに起因する飛距離と飛行時間の変動を示す様々なボールを使用している。その飛距離の差は、25m（平均飛距離238mに対し）で、飛行時間の差は1秒（平均飛行時間6.3秒に対し）である。この研究に含まれていない他のディンプル・パターンは、これらの差を十分に超えて、表面劣化の効果は、表面劣化が限界になると、更に重大になる。

20

【0021】

空力学的な揚力と抗力は、様々な表面特性のゴルフボールに、様々な影響を及ぼす。しかし短いアプローチショット（最大25m）の揚力と抗力は、重力に比べ非常に弱い。その結果、ボールの軌跡は、放物線に近く、落下角度と落下速度は、飛び出し角度と飛び出し速度（水平表面上で）に等しくなる。短いチップ・ショットを上から見ると、ゴルフボールは、常に直線で飛んで行き、右や左に大きく曲がることはない（即ちスライスまたはフックすることはない）。この理由は、サイドスピンとノまたは横風は、低速のゴルフボールの飛行には無視できる程度の影響しかないからである。従って、ボールの落下速度を測定すると、ボールを打った時が判る。但し、ボールが所定の水平面（グラウンドレベル）で飛び出したと仮定した場合である。更に、その方位角方向と速度を測定すると、初期のインパクトの位置（ボールの飛び出し位置）を正確に計算できる。かくして、ボールを打った人を、ボールのディンプルパターンあるいは一般的にはその表面状態に関わりなく、特定できる。このことは、本発明の原理は、短いチップ・ショットにも適用できることを意味する。

30

40

【0022】

しかしゴルフ練習場の打席建物は、時には何階建てかになっており、ボールはグラウンドレベルから打ち出されたとは仮定できない。短いピッチ・ショットが、非常に鋭角で打ち出されるような場合には、その落下パラメーターの測定誤差で、ボールが階上或いは階下からの何れかから打ち出されたかを、予測することはできなくなる。この為、全てのショットに対するインパクトの時間（打ち出された時間）を測定するのが好ましい。この追加的な情報により、短い距離のゴルフショットが行われた場所（打席）と時間とを信頼性高く特定できる。インパクトの時間は、各打席で何個のボールがプレイされたかの記録を与えることができる。これにより、ボールの顧客の使用をモニターし、ボールの持ち去

50

りを防止できる。

【0023】

飛び出し速度と飛行時間が増加すると、揚力と抗力が大きくなる。この為、前方方向の速度が飛行の間急激に減少する。これにより、飛行軌跡の落下部分は、上昇部分よりも遙かに短くなる。それ故に、落下角度（仰角）が飛び出し角度（仰角）よりも大きくなり、落下速度は飛び出し速度より小さくなる。様々な種類のショット条件と風の条件のフライト・シミュレーションによれば、所定の飛行距離に対しあらゆるショットの飛行持続時間は、落下角から極めて正確に予測できることが分かる。ボールが目標点に着地すると、光学センサー又はレーダーが、着地直前の落下速度成分を測定する。その後中央のコンピュータが、飛行持続時間を予測し、この飛行持続時間と最新のボールの打たれた各時間からのインターバルとマッチするのを求める。

10

【0024】

多くの場合、予測した打撃時間と実際の打撃時間のマッチングのプロセスは、ゴルフショットを特定するのに必要とされる全てである。しかし一般的に、複数の予測打撃時間と実際の打撃時間は、信頼できる特定を行うためには、考慮する必要がある。かくして、ある落下中のゴルフボールの最初の打ち出し（打撃）位置を特定するためには、ある特定のショットに対する落下パラメータの1つの組と、ほぼ同時に打たれた複数の「可能性のあるショット」の内の1つの最初の飛び出しパラメータを一致させようとする試みが、必要である。

【0025】

20

「可能性のあるショット」に関連するパラメータを文字 k で表す。 k は、1 から K の間の値を取り、ボールを特定するプロセスにより決定される「可能性のあるショット」の全数であり、ゴルフ練習場を利用するプレーヤーの数を超えることはない。

【0026】

k 番目のショットに対する予測飛行時間 $E d u r k$ は、次式から非常に正確に予測できる。

$$E d u r k = C 1 k + C 2 k \times \quad (1)$$

【0027】

上記の式において、 $E d u r k$ は、予測飛行時間（単位：秒）である。 $C 1 k$ と $C 2 k$ は、 k 番目の打席から落下位置までの飛距離に依存する既知の定数である。 θ は、落下位置におけるゴルフボールの落下角（度）である。

30

$E d u r k$ の k は下付文字であるが、下付文字にすると、小さくなりすぎるので、そのままに記載した。即ち、「 $E d u r k$ 」は、「 $E d u r_k$ 」である。他の文字についても同様である。

【0028】

他の計算式も用いることができる。例えば、式（1）の右側は、他の落下パラメータ、飛行方向に沿った平均風速と空気密度に依存する更なる項を含めることができる。選択的事項として、計算は、ルックアップテーブル或いは他の形式のアルゴリズムで実行できる。

【0029】

40

本発明の一実施例においては、 $E d u r k$ の値は、落下角度（仰角） θ と飛距離にのみ依存する計算で決定できる。より好ましくは、 $E d u r k$ は、落下仰角と、飛距離と、次の要素の少なくとも1つに依存する。即ち落下絶対速度と、落下方位角と、ボールの飛行方向に沿った風速と、空気密度。

【0030】

$E d u r k$ に加えて、他の2つのパラメータも本発明で用いることができる。これらのパラメータは、予測方向 $E d i r k$ と予測減速比 $E d e c k$ である。 $E d u r k$ は、落下パラメータのみ、或いは風のパラメータの組合せた落下パラメータを用いて予測する。予測方向 $E d i r k$ と予測減速比 $E d e c k$ は、風のパラメータと組み合わせた飛び出しパラメータと落下パラメータの両方から計算する。

50

【 0 0 3 1 】

k 番目の可能性のあるショットに対する予測方向 $E d i r k$ 即ち挙動（飛行）の方位角は、以下の式で表すことができる。

$$E d i r k = F k + C 3 k \times (F k - L k) \quad (2)$$

【 0 0 3 2 】

上記（ 2 ）式において、 $C 3 k$ は定数であり、 $L k$ は、k 番目の打席で測定された飛び出し方位角であり、 $F k$ は、k 番目の打席での最初の位置に対する落下中のゴルフボールの位置の方位角である。角度 $E d i r k$ 、 $L k$ 、 $F k$ は、一定の基準方向から、従来と同様に、時計方向に測定した。

【 0 0 3 3 】

本発明の一実施例においては、 $C 3 k$ の値は、全ての k の値に対し、好ましくは 1 . 0 である。より好ましくは、 $C 3 k$ は、飛距離と次の要素の内の少なくとも 1 つに依存する。即ち、横方向の風の大きさと方向、飛距離の偏差、全ての風の風速とその方向、飛び出し仰角と、飛び出し速度と、飛行時間と、空気密度。

【 0 0 3 4 】

サイドスピンと横風が存在しない場合で、打席が正しくマッチしている時には、 $(F k - L k)$ の項はゼロである。即ち、ゴルフボールは、打席から落下点まで真っ直ぐ（上から見た場合）に飛ぶ。サイドスピンと/または横風により、ボールがストレートラインからずれる時には、式（ 2 ）は、サイドスピンと横風の大きな変動に対しても、落下方位角の非常に正確な予測を与えることができるということが、シミュレーションの結果判った。

【 0 0 3 5 】

$E d i r k$ の様々な値と、落下点（落下パラメータの測定値から得られる）における実際の方位方向とを比較すると、落下中のゴルフボールに対応する正確な打席を特定できる手段を提供できる。

【 0 0 3 6 】

$E d e c k$ は無次元パラメータである。このパラメータは、ゴルフボールの水平速度の全体的な減速に関連し、飛び出し位置における水平方向速度と落下点における水平方向速度の比率で定義できる。この比率は、キャリーの持続時間と距離に強く依存する。短いチップ・ショットにおいては、この比率は、水平方向速度の変化が無視できる程度なので、1 に近づく。長いドライブ・ショットにおいては、この比率は 3 . 0 以上である。 $E d e c k$ は次式で計算できる。

$$E d e c k = C 4 k + C 5 k \times D u r k \quad (3)$$

【 0 0 3 7 】

前記（ 3 ）の式において、 $C 4 k$ と $C 5 k$ は定数であり、 $D u r k$ は、複数の打席の 1 つに対応する可能な持続時間である。かくして、 $E d e c k$ と $D u r k$ は、それぞれ複数の値を有し、各 $E d e c k$ と実際の飛び出し速度と落下速度の比率から得られる減速比の値とを比較することにより、正確な打席を特定する手段を与える。

【 0 0 3 8 】

$C 4 k$ と $C 5 k$ の値は、ショットの飛距離と初期飛び出し角度に依存する。より好ましくは、飛（キャリー）距離と、飛び出し角と、風速と、風の方向と、空気密度に依存する。

【 0 0 3 9 】

$E d u r k$ 、 $E d i r k$ 、 $E d e c k$ は、異なる誤差分布を有する。この誤差分布は、利用可能となった実際の測定値を解析することにより、決定できる。しばしば、実際のパラメータに正しく予測されるマッチングは、1 0 0 % の正確さで達成できる。これは、本発明のゴルフ練習場を利用するプレーヤの数が少なく、ボールを打つ時間が数秒間隔の場合に当てはまる。しかし、このような状況は、時として練習場が混み合う時にもある。「1 0 0 % の正確さ」のショットの記録と周囲の環境と風の状態の記録を用いて、ショット特定アルゴリズムを改善し、誤差分布データを蓄積できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 0 】

所定の落下ボールに対応する打席を特定する好ましい方法は、 k 番目のキャリー時間 Dur_k ($k = 1, 2, \dots, K$) の 1 つと、対応する予測持続時間 $Edur_k$ との間のマッチにのみ依存する特定である。数字 K は、飛距離と風の状態に依存するよう、決められるが、達成可能な持続時間内の全てのショットを含むよう選択される。別の方法として、 K に対するデフォルト値は、前の 10 秒間に打たれた全てのショットを含めることにより、設定できる。 K 番目のキャリー持続時間 Dur_k は、時間差 ($t_D = t_k$) に等しい。ここで、 t_D は、落下を観測した時間であり、 t_k は、 k 番目の打席のショットの打撃時間である。ある実施例においては、近いマッチが 1 つ存在することがあるが、これは、他のショットが 3 - シグマ以上のミスマッチである場合である。この場合、唯一のマッチが正しいと見なすことができる。

10

【 0 0 4 1 】

2 つの実際の打撃時間がマッチする場合、即ち、 $Edur_k$ が 3 - シグマ (或いは他のエラー限界内) にある場合、このマッチは、誤差分布から見いだされる 3 つの事象の確率 $P(Dur_k)$ と $P(Dir_k)$ と $P(Dec_k)$ の内の少なくとも 2 つの確率を用いて、行われる。 $P(Dur_k)$ は、実際のキャリーの持続時間が、 $Edur_k$ を中心に $\pm (Edur_k - Dur_k)$ の範囲内にあるような事象の確率の補集合として定義できる。その理由は、 $Edur_k$ は、前のショットの大量のサンプルを解析することにより得られる最も可能性のある持続時間の値であり、累積分布関数 $F(Edur_k)$ の値は、0.5 であり、 $F(Dur_k)$ は、それが $Edur_k$ よりも大きいのか小さいかにより、0.5 以上か以下のある値を採る。かくして、 $P(Dur_k)$ は、次式で定義できる。

20

$$P(Dur_k) = 1 - 2 \times F(Dur_k) - 0.5 \quad (4)$$

【 0 0 4 2 】

$Edur_k$ と Dur_k の値が非常に近い場合には、確率 $P(Dur_k)$ は 1 に近づく。逆にこの値が 3 - シグマ以上離れる場合には、 $P(Dur_k)$ はゼロに近づく。

【 0 0 4 3 】

$P(Dir_k)$ と $P(Dec_k)$ は、同様な方法で、方向誤差分布と減速比誤差分布から定義できる。正確なマッチは、そのショットが最大の結合確率を有すると見なされる。結合確率は、 $P(Dur_k, Dir_k)$ 、 $P(Dur_k, Dec_k)$ のいずれか、好ましくは、 $P(Dur_k, Dir_k, Dec_k)$ である。

30

【 0 0 4 4 】

持続時間と減速との間には相関関係が有る。その結果、 Dur_k と Dec_k は、独立した事象ではない。しかし予測したパラメータと実際のパラメータとの間の誤差は、極端に小さく、これは、非システムティックな測定エラーに起因し測定できないパラメータ、例えばバックスピンやボールの凹凸の変動に起因する。かくして、 $Edur_k$ の誤差は、 $Edec_k$ の誤差とは独立している。その結果、結合確率 $P(Dur_k, Dec_k)$ は、個々の確率の積に等しいという事ができる。

【 0 0 4 5 】

例えば仮定として、 $Edur_k$ 、 $Edir_k$ 、 $Edec_k$ の誤差が、それぞれ 0.1 秒、 0.7° 、0.1 の 1 - シグマの値の誤差分布を有し、

40

$$Edur_2 = 4.32 \text{ 秒} \quad Dur_2 = 4.32 \text{ 秒}$$

$$Edir_2 = 81.5^\circ \quad Dir_2 = 85.0^\circ$$

$$Edec_2 = 2.2 \quad Dec_2 = 2.4$$

であるとする、

$$P(Dur_2) = 1 \quad P(Dir_2) = 0 \quad P(Dec_2) = 0.046$$

となる。

【 0 0 4 6 】

上記の例においては、落下するゴルフボールの予測持続時間が、2 番目のショット ($k = 2$) の実際の打撃時間と完全に一致すると、 $P(Dur_2)$ は 1.0 に等しい。しかし、 $P(Dir_2)$ はゼロになる。その理由は、予測方向と実際の方向との差が、3 -

50

シグマ以上大きいからである。かくして正確なマッチである第2候補の結合確率は、ゼロとなり、その結果、このショットはマッチしないことになる。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】ゴルフ練習場におけるショット特定手段を提供するのに用いられる本発明のシステムのブロック図。

【図2】横から見たゴルフショットの一般的な飛行ルートを表す図。

【図3】代表的なゴルフショットの飛距離とバックスピントとの関係を表すグラフ。

【図4a】模擬したゴルフショットの飛行時間Tと落下角との関係を表すグラフ。

【図4b】模擬したゴルフショットの飛行時間Tと落下角との関係を表すグラフ。

【図5】2つのゴルフショットの軌道を表すゴルフ練習場の平面図。

【図6】模擬したゴルフショットの方位角の誤差と横風の風速との関係を表す図。

【図7】模擬したゴルフショットの減速比と飛行時間との関係を表すグラフ。

【図8】本発明によるボール落下測定装置と目標とを表す平面図。

【図9】図8のボール落下測定装置と目標の関係を表す側面図。

【発明を実施するための形態】

【0048】

本明細書の図面では、Z軸は垂直方向であり、Y軸は水平でゴルフショットの飛行ラインに沿った方向を表し、X軸はY軸とZ軸に直交して、飛行距離を上から見て左から右への方向を表す。

【0049】

図1は、本発明のゴルフ場/練習場用のシステムを表す。同システムは、複数のプレイヤーがゴルフボールをほぼ同一方向に打ち、各ショットの最初のティーの場所（ボールの飛び出し位置）を特定する検出手段を有する。

【0050】

ブロック1は第1入力を示す。この第1入力は、座標軸 X_n 、 Y_n 、 Z_n を有するランダムな打席からランダムな時間 t_n に打たれた（飛び出した） n 個のボールのシーケンスである。ブロック2、3は第2入力を示す。この第2入力は、様々な擾乱即ち測定不可能な入力を有する。例えばボールの回転速度と、その回転軸傾斜と、ボールの表面粗さと、ボールの飛行パスに沿った連続する瞬間の風の速度と方向と、空気密度（大気温度と圧力によって変わる）である。

【0051】

ブロック4は、ボールが飛行中に受ける揚力と抗力を表す。これらの全てがゴルフボールの飛行の軌道と持続時間を表す。ブロック5は、ボールの飛び出しを解析する装置を表す。この装置は、インパクト（打撃）後の各ボールの線形パラメータを測定する。この線形パラメータは、速度ベクトルと、インパクトの場所の座標軸と、インパクトの時間を含む。一般的にボールの飛び出し解析速度は、スピン（回転）パラメータを測定しない。その理由は、このスピンの測定は困難であり、高価な設備を必要とするからである。飛び出し解析装置からのデータは、中央コンピュータ6に与えられる。

【0052】

目標センサ7は、データを中央コンピュータ6に送る。目標センサ7が測定したデータは、落下中のゴルフボールのベクトル形式の速度と位置座標軸である。 n 個のボール衝撃シーケンス1の全てのボールが目標に到達する訳ではないので、目標センサ7が測定するボールのサンプルは、打たれた n 個のボールの内の m 個（ $m < n$ ）のボールである。別の構成として、目標センサは、敷地全体にわたって延びて、その結果、敷地に到達する全てのボールを測定できるよう構成することもできる。選択的事項として、風速計8からのデータも中央コンピュータ6に送られる。

【0053】

中央コンピュータ6は、様々な入力からのデータを処理して、どのティー位置（どの打席のプレイヤー）が、目標センサ7が測定した各 m 個のボールに対応するかを、決定す

10

20

30

40

50

る。プレーヤーがボールを目標地にうまく落とした時には、中央コンピュータ 6 はスコアの表示を読み出し装置 9 に送る。読み出し装置 9 は、ゴルフ練習場のユーザー全体にサービスする中央装置である。例えばプレーヤーが打席で所定の期間を終了すると、このプレーヤーは、各ショットに対するスコアを示すプリントアウトした紙を集めることができる。更に各打席は、個々のスコア表示手段を具備することもできる。このスコア表示手段は、音声表示、ＬＥＤランプ表示器等の単純な装置、あるいはタッチスクリーン・ディスプレイのようなより高級な手段でもよい。

【 0 0 5 4 】

本発明の一実施例においては、本発明のシステムは、スコア或いは他の情報を表示する複数の手段を具備する。屋外に置かれたフラグ（旗）は、複数の目標の各中心を表し、各フラグには、３種類の色のＬＥＤピーコンを具備する。このＬＥＤピーコンは、打席のプレーヤーに容易に見えるよう場所にあり、打席の方向を向いている。スコアリングの簡単な形式は、目標の１０％範囲、５％範囲、２％範囲内に着地したショットに対し、１点、２点、３点のスコアを与える。これが、例えば赤、白、青の光に対応する。ピーコンからの光は、オンオフし、その結果、より観察しやすく、スコアリング・ショットが完了した後数秒間で徐々に消える。目標エリア上でフラグに搭載されたピーコンは、第１の表示手段を提供する。それと対に配置された第２表示手段が各打席内に配置される。この第２表示手段は、音声信号あるいは第１表示手段にマッチするよう着色したＬＥＤであり、スコアを得られるショットが、その打席から打たれた時に、その打席内の第２表示手段が活性化される。

【 0 0 5 5 】

簡単な音響生成装置あるいはＬＥＤインディケータの利点は、非常に低コストでかさの大きい点である。その結果、より高級な小型装置に比較すると、窃盗あるいは破壊行為を受ける可能性が低い。しかしプレーヤーは、コンピュータで生成されたディスプレイとタッチスクリーン装置等を好む傾向にある。その結果、このような装置を永久設備として搭載することもできる。別の構成として、これらのディスプレイを、永久組み込み装置として提供する代わりに、携帯機器として提供することもできる。このような携帯機器は、そのゲームの間プレーヤーにより採用される目的にあったディスプレイ、ユーザーの所有するラップトップ・コンピュータ、携帯用機器、例えばパーソナル・デジタル・アシスタント（ＰＤＡ）或いはスマート・フォーン等である。最新のＰＤＡとラップトップコンピュータは、ブルートゥース（登録商標）のような短距離のデータ通信機能を具備し、適宜のソフトウエア・アプリケーションを搭載している。その結果、ショットを識別しスコアを付ける本発明のシステムと通信することができる。この場合、本発明のシステムは、ブルートゥース（登録商標）の機能で通信できなければならない。無線あるいは赤外線技術を含む他の適宜の無線通信標準を用いることもできる。ショット毎のスコアリングに加えて、ソフトウエア・アプリケーションが、他のサービス例えばオンラインブッキング、支払い、複数のプレーヤー用のスコアリング、コンペの登録、ショットの解析、個々のプレイの履歴等を提供できる。

【 0 0 5 6 】

通常、練習場のプレーヤーは、ユーザーのＩＤコードを含む電子的に読み取り可能なプレイカードあるいは他の等価の装置を保有することができる。ゴルフ練習場内の全ての打席（或いはその一部）は、プレイカード・リーダーを搭載する。プレイカードが所定の打席で読み取られると、その打席に関連した飛び出し検知センサーと読み出し手段が、活性化される。プレーヤーは、単純な読み出し表示或いは携帯用コンピュータを利用することもできる。プレーヤーの携帯用コンピュータは、自分のプレイカードに保持されたＩＤコードに特有のデータと制御装置とリンクするようプログラムされる。好ましくは、練習場の一部のユーザーは、プレイカードを用いずに練習場でボールを打つことができるが、この場合、その打席に関連するデータリンクは活性化されない。

【 0 0 5 7 】

目標センサ 7 は、目標に着地したボールのリバウンドを測定するよう構成すること

もできる。この測定値は、ショットの識別には用いられない。その理由は、リバウンドはランダムに変動するグラウンドの状態たとえば地表の凹凸や衝撃の吸収度等に大きく依存するからである。しかし、この追加的なデータは、ゴルフファにとって非常に有効である。その理由は、そのキャリーの軌道からのゴルフボールの実際の跳ね上がりに関する情報、即ち、ゴルフボールの最終的なラン（即ち、跳ね上がりと転がり）の量に関する直接的な情報を提供できるからである。更にキャリーに続く跳ね上がりと転がりの予測は、所定の領域においては極めて正確に校正することができる。

【 0 0 5 8 】

図 2 は、ゴルフボールの一般的な飛行軌跡の側面図である。キャリーの軌跡 2 0 はボールの飛び出し位置 2 1 から最初の着地点 2 2 までのゴルフボールの飛行パスを含む。このキャリーの軌跡 2 0 は非対称であり、飛び出し角 は落下角 よりも小さい。この両方の角度ともに水平方向に対するものである。この非対称（ > ）は、実際のゴルフショットに対してはほとんど全てに当てはまるが、短いチップ・ショット（ 2 5 m 以下）においては、キャリーの軌道は、ほぼ対称となる。

【 0 0 5 9 】

図 3 は、飛び出し角が 12° で、飛び出し初速が 57 m/s で、無風状態における通常の飛行距離において、バックスピンの関数としての飛行距離のパーセントを表す。キャリーの距離とキャリーの持続時間の値は、実際のゴルフボールの挙動を模擬した揚力係数と抗力係数の標準の公式とモデルを用いて計算した。最大のキャリーは、バックスピンの約 4500 rpm の時であるが、バックスピンの 3000 rpm から 7000 rpm までの広い範囲において、キャリーの飛距離は、5% 減少する。飛行時間 T と落下角 を、3つのプロット即ち、 2000 rpm 、 4500 rpm 、 8000 rpm で示す。このことはバックスピンの増加すると、飛行時間 T と落下角 も増加することを示す。

【 0 0 6 0 】

飛行時間と落下角の間には強い相関関係がある。即ち、同じ距離を飛ぶボールと比較すると、より長く空中にあるボールは、空中により高く舞い上がり、そのため鋭い（大きな）落下角となる。無風の練習場内の全てのボールが、よりマッチした空力学特性を有する場合には、全てのボールの飛行時間 T は、落下角 を測定することにより、高い精度で決定できる。一般的に、風と表面粗さ（空力学特性に影響を及ぼす）の変動は、飛行時間 T に影響を及ぼす。

【 0 0 6 1 】

ボールの表面の凹凸は、意図的なものと偶発的なものとがある。意図的なものとは、例えば製造段階でボールの表面にモールドしたディンプルのパターンである。偶発的なものは、使用中の切り欠き、剥離、表面の汚れに起因する凹凸である。表面の凹凸と空力学特性との間の関係は、極めて複雑であるが、単純化するため、表面の凹凸の増加にともなって、空力学の揚力と抗力が増加すると仮定する。ボールにかかる空力学的な力は、周囲の表面に対するボールの速度の 2 乗に比例する。

【 0 0 6 2 】

本発明の一態様は、1 次オーダで、風、バックスピン、表面粗さの全てが、ボールの飛行に同様な影響（効果）を及ぼすという理解に基づく。向かい風は、ボールの揚力と抗力を増加させる。その理由はボールの周囲の空気に対する速度が増加するからである。追い風は逆の影響がある。かくして、大きなバックスピン、向かい風、大きな表面粗さの共通の効果（影響）は、所定の飛行距離に対し、飛行時間 T の増加と落下角 の増加になる。逆に小さなバックスピン、追い風、なめらかな表面粗さは、飛行時間を短くし落下角を小さくする。

【 0 0 6 3 】

図 4 a、4 b はシミュレーションで得られた飛行時間 T と落下角 の関係を示す。

【 0 0 6 4 】

図 4 a において、 3.5 m/s から 8.5 m/s の間で、その平均値は 6 m/s である向かい風で、全てのショットは 91.4 m （100 ヤード）のキャリーがある。飛び

10

20

30

40

50

出し角は 27.0° から 33.4° でランダムに変わり、初期のバックスピン量は、平均値が 2710 rpm でランダムに変わった。平均飛び出し速度が 36.7 m/s で、キャリーが 91.4 m となるように、各ショットに対し飛び出し速度を調整した。

【0065】

図4bのデータは、追い風の平均が 6 m/s で、飛び出し角が同一のランダムな値で得られた。平均 91.4 m のキャリーに必要な平均飛び出し速度は、 33.6 m/s であり、対応する平均バックスピンは 2500 rpm であった。図4aと4bを比較すると、向かい風(図4a)は、飛行時間を大幅に増やし、追い風(図4b)に比較してデータが広く分散することが分かる。

【0066】

図4a、4bから明らかなように、 T と k の関係は、各場合において、ほぼ線形である。かくして、データの各組をなぞった最適のラインは、 T の正確な予測値を k の関数として与える。予測飛行時間 E_{durk} を k の関数として予測する簡単な式を導き出すことができる。ここで k は1から K までの値を採り、 K は特定プロセスにより決定された可能なショットの全数である。

$$E_{durk} = C1k + C2kx \quad (1)$$

【0067】

式(1)は、上式の形態あるいは別の形式で表され、公知ではないが、しかし、飛行時間 E_{durk} の極めて正確な予測を与えるが、これはボールの表面の凹凸、風、バックスピンの量に関係しない。定数 $C1k$ 、 $C2k$ は、 k 番目の打席からの落下位置までのキャリー距離関数として、決定できる。特に長いキャリー距離に対しては、これらの定数は、いくつかのパラメータ、例えば飛距離、風速、風の方向、飛び出し角、飛び出し速度、空気密度のパラメータで決まる。

【0068】

好ましいことは、小さな範囲の値の k に特定の $C1k$ と $C2k$ の値を選択することである。好ましくは、少なくとも1つの風力計で測定した予定の飛行経路に沿った小さな範囲の風速の値に特定の小さな範囲の $C1k$ と $C2k$ の値を選択することである。向かい風は、無風状態あるいは追い風に比較すると、大きな誤差を生み出す。この理由は、向かい風は、空力学の影響を増加させ、所定の飛距離に対しては飛行時間を増加させるからである。このことは、向かい風に対応する図4aと、追い風に対応する図4bの測定値の分布を見ると明らかである。

【0069】

風は、一定点で測定すると、ほとんど安定しておらず、通常突風で乱れる。この突風は、平均風速の1.3倍から1.6倍で、その持続時間は2、3秒程度である。この時間は、通常のドライバー・ショットの飛行時間の半分以下である。更に「Talor's Frozen turbulence Hypothesis」によれば、風の乱れ(突風)は、平均的な風の方向に沿って平均の風速で動く。かくして、平均風速が 5 m/s の場合には、ポイントAにおけるある強度とある持続時間の突風は、ポイントAよりも 10 m 下流側にあるポイントBで、2秒後に現れる。この「Frozen Turbulence」理論は、ゴルフボールの飛行に与える風の影響について重大な示唆を与える。ゴルフボールの速度は、練習場で経験する平均風速よりも遙かに速い。従って、ゴルフボールは、突風の中を極めて速く飛んで行き、その結果、ゴルフボールの飛行パスに沿った突風の最高速度と最低速度は平均化される。かくして、突風においては、ゴルフボールが受ける瞬間風速は、飛行の間数倍変化するが、ゴルフボールの飛行の前半の半分の平均風速は、ゴルフボールの飛行の後半の半分の平均風速と同じになる。このことは、突風が向かい風の場合に当てはまる。かくして、ゴルフボールの飛行に対する向かい風の影響を模擬するためには、ボールは、その飛行中は一定の風速を受けると仮定してもよいことになる。

【0070】

シミュレーションを用いて、様々なキャリー距離における $C1k$ と $C2k$ の適宜な値を見出した。表1は、向かい風が 3.5 m/s から 8.5 m/s にランダムに変動し、

10

20

30

40

50

飛び出し角とバックspinは、に対する様々な値を生成するよう、ランダムに変えた。
飛び出し速度は、上記の飛距離を与えるように調整した。

表 1

飛距離 (ヤード)	50	100 *	200
飛行時間最小 / 最大	2.7 / 3.3	4.4 / 5.9	4.3 / 6.4
最小 / 最大 (度)	35.7 / 47.8	45.9 / 63.0	24.8 / 49.7
C1k (秒)	0.94	0.97	2.2
C2k (秒 / 度)	0.048	0.076	0.085
(ms)	27	70	86

* 図 4 a からのデータ

飛行時間の単位は秒 (s) である。

【0071】

一般的に、C1k, C2k の値は、k に依存して変わるが、表 1 のデータを生成するために、図に示すように、正確な飛距離と 6 m/s の平均の向かい風の状態でショットをシミュレートした。その結果、この状況においては、C1k と C2k は、3 個の飛距離のシミュレーションに対し、一定の値を有する。

【0072】

表 1 の行 () は、ミリ秒で表した予測誤差の標準偏差を表す。この誤差は、非常に小さく、その決定には、の測定値と風の状態の大まかな測定値のみを必要とする。この為、飛び出し速度、バックspin、飛び出し角は、必要ではない。これらの予測値の精度の利点を得るためには、の値は正確に測定しなければならない。その理由は、定数 C2k の値は、1 度当たり 40 から 90 ミリ秒のオーダだからである。かくして、における 1.0° の測定誤差は、40 - 90 ミリ秒の予測誤差を引き起こす。かくして、落下パラメータの測定は、ゴルフボールの落下仰角の測定に対し、1.0° 未満の標準偏差のエラー、より好ましくは、0.5° 未満の標準偏差のエラーを引き起こす。

【0073】

飛行時間の予測値の誤差は通常非常に小さい為、落下中のゴルフボールの打撃 (飛び出し) 場所の特定は、多くの場合、このパラメータを計算することだけで決定できる。これにより、非常に高速な位置の特定が、可能となる。

【0074】

図 5 は、一般的なゴルフ場 / 練習場の平面図 (上から見た図) である。このゴルフ場 / 練習場は、円弧状に配置された打席 50 と、屋外に配置された遠い場所にある目標 51 とを具備する。この実施例においては、目標 51 は、打席 50 から 100 m - 200 m 離れた場所にあり、その結果、大きなスライスやフックが観測できる。以下を仮定する。隣接する打席 52 と 53 にいる 2 人のゴルファが、ほぼ同時に、ほぼ同一の、飛び出し速度と、飛び出し角と、バックspinでショットしたとする。そのショットは、等しい飛距離を飛び、同時に着地する。しかし打席 52 からのショットは、スライスし、打席 53 からのショットは、サイドspinが掛からず、直進するものとする。両方のボールの飛行パスに対する横風の影響はないものとする。

【0075】

実線 54 は、打席 52 からのショットの方位角の軌道 (スライス軌道) を表し、実線 55 は、打席 53 からのショットの方位角の軌道 (直進軌道) を表す。ショット 54 は、目標 51 内の落下点 56 に落下し、ショット 55 は、目標 51 の右側の落下点 57 に落下する。しかし、ショット 55 が、フックスピンで打ち出された場合には (点線 58 で示すように)、ショット 55 は、ショット 54 と同一のスポット落下点 56 に落下する。

【0076】

中央のコンピュータ (図示せず) は、落下点 56 に落下したボールが飛び出した打席を特定しなければならない。この場合、両方の打席は、k = 2 とした打席 52 の座標軸の候補と、k = 1 とした打席 53 の座標軸の候補として、選択される。しかし、実際の打撃時間 Dur2, Dur1 は、予測時間 Edur2 対応するが、方位角の測定差が、打席

10

20

30

40

50

5 2 を選択し、打席 5 3 を排除する手段を提供する。

【 0 0 7 7 】

打席において、各ショットの最初の飛び出し方位角 L と、目標に到達したボールの落下方位角 des とを測定する。全ての角度は、一定の方向を基準に、時計方向あるいは反時計方向に測定する。図 5 において、 $-X$ 軸に対し測定した角度は、時計方向である。各打撃（飛び出し）点と各落下点に対しては、最終角 F と称する角度がある。この最終角 F は、衝撃点（打ち出し点）と落下点との間を結ぶ仮想的な直線ラインによる角度（図 5 のショット 5 4 に対しては点線 5 9 で示す）である。

【 0 0 7 8 】

ショット 5 5 は、ストレートであるために、最初の飛び出し角と、最終角と、落下角は、全て等しい。ショット 5 4 に対しては、スライス・スピンにより、方位軌道がほぼ円弧状に湾曲し、これらの角度は全て異なる。方位角の軌道は正確に円弧を描かない。特に横風がボールの飛行パスに影響を及ぼす場合には、驚くほど多くの場合において、シミュレーションから、 $(F - L)$ は、 $(des - F)$ にほぼ等しく、これは円弧に対応する。

【 0 0 7 9 】

この関係を用いて、 F_k と L_k の測定値から、ボールの方位方向 $Edirk$ の正確な予測をすることができる。あるショットにおいては、所定の打席からの $Edirk$ の値と des の間のクロス・マッチは、前記の所定のショットは、前記の所定の打席に正確に対応するという高い確率を与える。図 5 を参照すると、打席 5 2 に対する予測された $Edir2$ の値は、 des の測定値に極めてマッチするために、中央コンピュータは、打席 5 2 をショット 5 4 のソースとして正確に特定できる。 $Edir1$ は、 des の測定値にマッチしない。

【 0 0 8 0 】

一般的に $Edirk$ は、次式から得られる。

$$Edirk = F_k + C3_k \times (F_k - L_k) \quad (2)$$

【 0 0 8 1 】

シミュレーションから判ったことは、係数 $C3_k$ を 1.0 にすることにより、大部分のゴルフショットに対し良好な予測値を与えることである。より具体的には、 $C3_k$ は、飛距離と少なくとも次の内の 1 つに依存する。横風の大きさと方向、キャリーの偏差値、全風速と方向、飛び出し仰角、飛び出し速度、キャリーの持続時間、空気密度。

【 0 0 8 2 】

選択的事項として、第 1 風速計 6 0 を打席 5 0 の近傍に、第 2 風速計 6 1 を外野の隅に配置する。風速計は、風の速度と方向を非常に短期間に解析できる 2 軸の音響検知手段を利用する。風速計からのデータは、毎秒 10 サンプル以上のサンプリング速度で記録される。このデータを用いて、外野を流れる風の速度と方向を計算する。これは内挿プロセスと外挿プロセスで行う。風速計は、高さが 10 m のマスト、或いはゴルフショットの平均高さの位置に搭載される。他の構成においては、2 軸の風速計を 1 個のみ用いて現在の風の強さと方向を得るか、或いは 2 軸或いは 3 軸タイプの複数の風速計を用いて、より正確な風の速度と方向を得ることができる。音響の測定のパスの長さが、数 cm ではなく数 m にわたるような目的にあった風速計は、市販されている。

【 0 0 8 3 】

図 6 は、模擬したドライブショットの $Edirk$ の誤差と横風の速度との関係を示す。サンプル中の各ショットのキャリーは、220 m (240 ヤード) であり、ランダムな仰角とバックスピンで打ち出された。更に、各ショットは、大きな（ランダムに変化する）サイドスピン成分を有する。この成分は、無風状態において平均で 27 m ずれるのに十分な量である。横風は、 -4 m/s から $+12 \text{ m/s}$ まで変化する。最適なヒットライン 6 2 は、データの複数のポイントを通り誤差の一般的な傾向を示す。弱い横風の場合は、誤差は無視できるが、横風が増加すると誤差も増加する。この誤差の増加は、横風が 1 m/s 当たり 0.25° 以下である。最適なヒットライン 6 2 に対する誤差の標準偏差は

、 0.25° 未満である。これは、加えられたサイドスピンにのみ起因する平均角度偏差の $1/100$ である。横風の修正（測定した場合）と組み合わせた式（2）は、大きなサイドスピンと横風が存在する場合でも、E d i r k の極めて正確な予測値を提供する。

【0084】

ミスマッチの確率を非常に低くするため、可能なマッチとして、実際の打撃時間と予測したキャリー持続時間 E d u r k との間の差を、3 - シグマ以下さらには4 - シグマ以下になるような打席を含めるのが好ましい。これは、3 - シグマが $1/10$ 秒の値を有する場合でさえ、可能なマッチとして含まれる複数の打席となる。E d i r k を、前記複数の打席の選択に用いることができる。正しいマッチのより高い確実性は、マッチングプロセスに第3のパラメータ（ショットの落下速度と飛び出し速度とのマッチ）を含めることによって、提供できる。飛び出し時のボールの水平速度と落下時の水平速度との比率（これを減速比率と称する）は、ボールがそのキャリー長さに沿ってかなり減速する場合でも、正確に予測することができる。

【0085】

図7は、キャリーの持続時間に対する減速比率の変動を示すシミュレートしたゴルフショットを示す。図7に示す全てのショットは、飛び出し角とバックスピンと風のランダムな値を採るが、その飛び出し速度は、 220 m （ 240 ヤード）のキャリーを与えるよう調整する。最初の飛び出しパラメータの「ばらつき」は、次の通りである。飛び出し速度は、 $69.4 - 77.2\text{ m/s}$ 、バックスピンは、 $1010 - 3140\text{ rpm}$ 、飛び出し仰角は、 $12^\circ - 14^\circ$ である。さらに飛行方向に沿った風速は、 $\pm 1.3\text{ m/s}$ （ $\pm 3\text{ mph}$ ）で、これらのデータは、通常典型的なツアープレイヤー或いは非常にうまいアマチュアのプレイヤーの非常に長いロングドライブを表す。

【0086】

図7から判るように、減速比率と飛行時間（ $5.2 - 6.8$ 秒）の間には良好な相関関係がある。ライン70は、これらのデータを通る最適な直線である。この直線に対する等式は、次に示すが、 k 番目の打席に対する減速比率 E d e c k の予測値を k 番目の可能な飛行時間 D u r k との関数として最適な値を示す。

$$E d e c k = C 4 k + C 5 k \times D u r k \quad (3)$$

【0087】

定数 $C 4 k$ と $C 5 k$ は、放出仰角と、達成した飛距離と、風速と、風の方向と、空気密度に主に依存する。

【0088】

飛び出し条件が大きく変化するにも関わらず、E d e c k と図7の実際のデータとの間の誤差の分布は、僅か 3.2% の標準偏差を有するだけである。大部分のショットにおいては、E d e c k は、更に実際の値に近い。このことは、極めて低い飛び出し速度のショットに当てはまる。その理由は、減速比は1に近づき、誤差は無視可能となるからである。かくして、飛び出し水平速度と、飛び出し仰角と、落下水平速度の正確な測定値が得られると、様々な打席におけるE d e c k と減速比率の可能なマッチとの差が、ゴルフショットを特定するのに非常に信頼できる手段を提供する。E d e c k の精度は、風の速度と方向の測定値が判ると、更に改善できる。

【0089】

ショット識別プロセスは、打席からの複数のショットの中の1つのショットの、実際の飛び出し時間と、更に（必要によっては）、実際の飛び出し方向と/又は実際の飛び出し水平速度が、ボールの測定した落下パラメータに対応する確率を評価することに、依存して行う。この確率を得るために、前のショットのサンプルからのデータを最初に解析して、E d u r k , E d i r k , E d e c k を見出す。これらは、最も高い確率密度を有する3個の関連するパラメータの値である。E d u r k , E d i r k , E d e c k の上下の結果の分布が、誤差の対応する3個の標準偏差に対する値を与える。この標準偏差から確率が予測される。E d u r k , E d i r k , E d e c k と、落下パラメータと風のパラメータと飛び出しパラメータの各可能な組み合わせに対する標準偏差を決定することは、

実際的ではないが、データ解析によりモデルを生成できる。その結果、条件の特定の組に対する値が、ルックアップテーブル或いは他の計算手段の内挿法から決定できる。

【 0 0 9 0 】

E_{durk} , E_{dirk} , E_{deck} と、近い可能性のあるショットに対する実際のパラメータとの間の差が非常に小さいと、誤差分布は対称となり、正規分布をし、その結果、確率は、標準の公式を用いて得られる。

【 0 0 9 1 】

例えば、可能性のあるショットの組内の k 番目のショットの打撃時間が、所定の落下ボールがヒットしたときの実際の時間である確率は、次式で表される。

$$P(Durk) = 1 - 2 \times |F(Durk) - 0.5| \quad (4)$$

ここで $F(Durk)$ は、 $Durk$ に対する累積的確率関数である。この方向と減速に対する確率は、同様な方法を用いて見出される。

【 0 0 9 2 】

図 8, 9 において、フラグボール 80 は、円形の目標 81 の中心を示す。この目標 81 は、ゴルフ練習場の中心にあり、打席の列から 50 - 250 m の距離にある。このような目標が、複数個練習場の長さ方向に沿って配置され、その大きさと形状は異なる。目標の境界は、打席にいるプレーヤーにより見えるようにマークされる。或いは目標 81 は、フラグボール 80 からの一定半径にある屋外の円形の領域として示される。

【 0 0 9 3 】

センサ・ユニット 82, 83 が、支持部材 90 によりグラウンドレベルよりも若干高い位置に固定される。センサ・ユニット 82, 83 は、ゴルフボールが通常落下すると予測される範囲の右外側近傍に配置される。跳ね返り構造物 84 が、目標の左側にゴルフボールが着地しないと予測されるような場所で、ある長さ（必要によってはそれより短い距離）で配置される。

【 0 0 9 4 】

センサ・ユニット 82, 83 と跳ね返り構造物 84 の位置は、必要によっては逆にしてもよく、好ましいしくは、センサ・ユニット 82, 83 と跳ね返り構造物 84 は、目標の両側に配置してもよい。

【 0 0 9 5 】

センサ・ユニット 82, 83 は、受光器 93 の上下に配置される上部投光器 91 と下部投光器 92 とを有する。センサ・ユニット 82, 83 用の受光器 93 は、それぞれ点線 85, 86 で示す水平視界を有する。水平視界は、円形目標 81 に越えるスパンに対し十分であるが、図に示すように、軸方向は若干ずれている。センサ・ユニット 82, 83 用の投光器は、同時に動作する受光器 93 の視野を少なくとも越えて延びる水平方向の光放射フィールドを有する。各センサーユニット内の上部投光器 91 と下部投光器 92 は、跳ね返り構造物 84 の前面に取り付けられた反射板 94, 95 を照射するのに十分なように拡散する。反射板 94, 95 の水平方向の分離距離 H_r と、上部投光器 91 と下部投光器 92 の垂直方向の分離距離 H_e は、それぞれ等しく、10 - 50 cm の範囲である。

【 0 0 9 6 】

投光器 91, 92 には、周期的にエネルギーが加えられ、その結果、あるハーフサイクルで上部投光器 91 が ON で下部投光器 92 が OFF になり、そして別のハーフサイクルで、その逆となる。各ハーフサイクルの間、一対の投光器 91, 92 から放射された光は、反射板 94, 95 で反射され、受光器 93 が受光する。この受光器 93 は、広い開口と高いゲイン集光光学機構を有する。受光器 93 は、反射された光を、線形の光受信サブシステム内の光センサーアレイ（図示せず）に集光する。

【 0 0 9 7 】

反射板 94, 95 は、均一の垂直方向の幅を有する。この垂直方向の幅は、20 - 30 mm の範囲内で、例えば 25 mm であり、ゴルフボールの直径よりも若干小さい。上部投光器 91 の垂直方向開口は、反射板 94, 95 の高さと同じ高さ（例、25 mm である）を有するよう配置される。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

上部投光器 9 1 が ON の時に、赤外線ファンビームが、反射板 9 4 , 9 5 の一部を照射すると、このファンビームは、点線 9 6 , 9 7 で示す 2 本の光学パスを含む。ゴルフボールが光パス 9 6 に入ると、反射板 9 4 から光の一部は遮られ、これをセンサ・ユニット 8 2 , 8 3 の両方が検出する。各受光器において、少なくとも 1 つの光センサーアレイのピクセルが、光の遮断を検出する。前記の少なくとも 1 個のピクセルが、反射板 9 4 から光を光パス 9 7 を介して受領していると、前記少なくとも 1 個のピクセル内の信号が、 - 6 d b だけ変化する。これは、ゴルフボールがその光学パス内に存在しているのを検出するのに十分な量である。光を遮断するゴルフボールのセンサ・ユニット 8 2 , 8 3 に対する角度位置は、検出ピクセルのそれぞれの位置により、決定できる。光を遮断したゴルフボールの瞬時の高さは、光パス 9 6 の高さで決定できる。かくして、ゴルフボールの 2 個のセンサーユニットに対する角度位置と高さををることにより、瞬間的な三次元位置を決定できる。ゴルフボールが、4 本の光パス 9 6 - 9 9 の全てを通過すると、その速度ベクトルが測定できる。中間の光パス 9 7 , 9 8 は、ゴルフボールの速度ベクトルを測定するには必要ではないが、上部投光器 9 1 からファンビームが反射板 9 4 のみに集光させるのは、実際的ではなく、また同様に、下部投光器 9 2 からファンビームを反射板 9 5 のみに集光させるのも、実際的ではない。

10

【 0 0 9 9 】

フラグボール 8 0 は、ショット表示手段 8 7 を具備する。ショット表示手段 8 7 は、検出されたゴルフボールがフラグボールに近づくに従って、スイッチが ON となる 3 種類の光ビーコンを有する。これにより、様々なゴルフショットの正確さと、距離に依存したスコアを与える方法が提供できる。

20

【 0 1 0 0 】

図 8 , 9 のセンサーユニットと反射ストリップの他の変形例を用いて、打席内の飛び出しパラメータを測定することもできる。この場合、光ファンビームと光センサーの視野フィールドは、垂直面を向くのが好ましい。

【 0 1 0 1 】

以上の説明は、本発明の一実施例に関するもので、この技術分野の当業者であれば、本発明の種々の変形例を考え得るが、それらはいずれも本発明の技術的範囲に包含される。特許請求の範囲の構成要素の後に記載した括弧内の番号は、図面の部品番号に対応し、発明の容易なる理解の為に付したものであり、発明を限定的に解釈するために用いてはならない。また、同一番号でも明細書と特許請求の範囲の部品名は必ずしも同一ではない。これは上記した理由による。

30

【 符号の説明 】

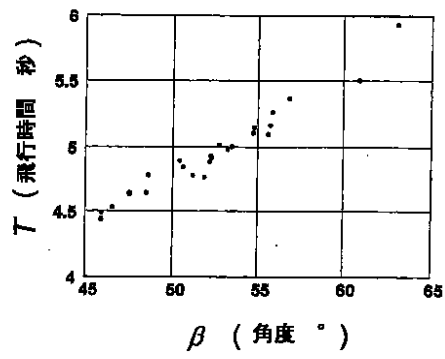
【 0 1 0 2 】

- 1 ボールインパクト・シーケンス
- 2 ボールインパクト・ディスターバンス
- 3 空力学ディスターバンス
- 4 空力学と重力
- 5 線形飛び出しパラメータ・センサ
- 6 中央コンピュータ
- 7 目標センサ
- 8 風速計
- 5 0 円弧
- 5 1 目標
- 5 2 , 5 3 打席
- 5 4 ショット
- 5 5 ショット
- 5 6 落下点
- 5 7 落下点

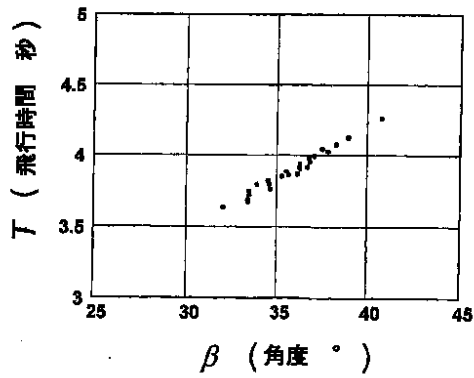
40

50

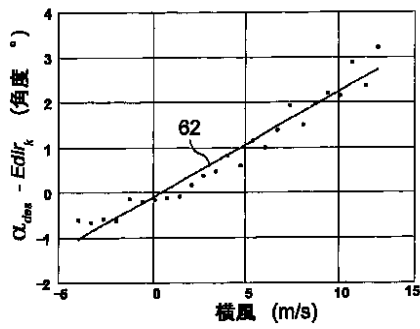
【図4a】



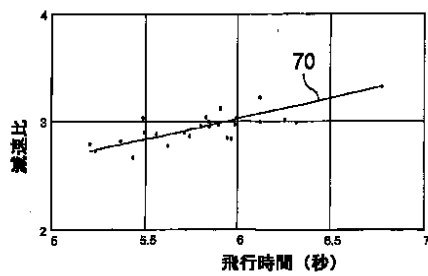
【図4b】



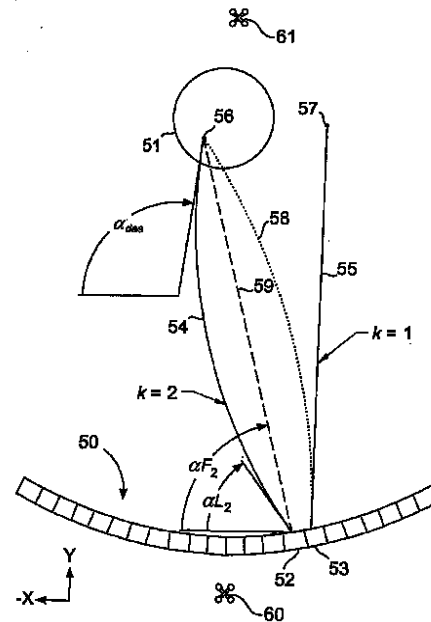
【図6】



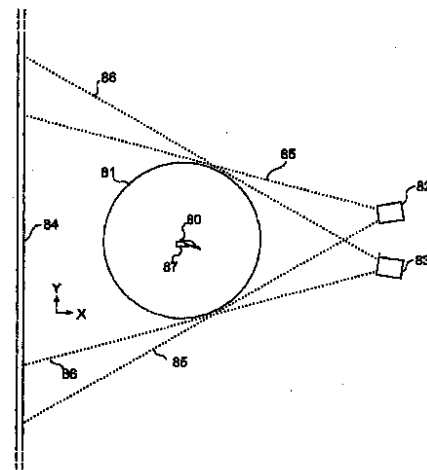
【図7】



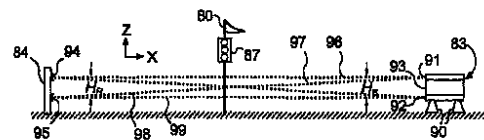
【図5】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 0710129.8

(32)優先日 平成19年5月26日(2007.5.26)

(33)優先権主張国 英国(GB)

(31)優先権主張番号 0712687.3

(32)優先日 平成19年6月29日(2007.6.29)

(33)優先権主張国 英国(GB)

(56)参考文献 特開平09-168621(JP,A)

特開平08-224331(JP,A)

実開平07-007677(JP,U)

特開2004-226134(JP,A)

特開2003-042716(JP,A)

特開平6-323852(JP,A)

国際公開第2006/002640(WO,A1)

国際公開第2005/116678(WO,A2)

米国特許第5631654(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

A63B 71/06

A63B 69/36

G01P 1/00-21/00

G01S 1/00-19/00