

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4865735号
(P4865735)

(45) 発行日 平成24年2月1日(2012.2.1)

(24) 登録日 平成23年11月18日(2011.11.18)

(51) Int.Cl.

F 1

A 63 B 47/00 (2006.01)
G 01 S 13/50 (2006.01)A 63 B 47/00
G 01 S 13/50Z
Z

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2007-557328 (P2007-557328)
 (86) (22) 出願日 平成18年2月28日 (2006.2.28)
 (65) 公表番号 特表2008-538085 (P2008-538085A)
 (43) 公表日 平成20年10月9日 (2008.10.9)
 (86) 國際出願番号 PCT/DK2006/000117
 (87) 國際公開番号 WO2006/092141
 (87) 國際公開日 平成18年9月8日 (2006.9.8)
 審査請求日 平成21年2月24日 (2009.2.24)
 (31) 優先権主張番号 60/657,704
 (32) 優先日 平成17年3月3日 (2005.3.3)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 507002457
 ト ラ ッ ク マ ン ・ ア ク テ ィ ゼ ル ス カ ブ
 T R A C K M A N A / S
 デンマーク、デー コー - 2 9 5 0 ヴ ェ ズ ベ
 ク、ストウッペレズ 2 番
 (74) 代理人 100084146
 弁理士 山崎 宏
 (74) 代理人 100081422
 弁理士 田中 光雄
 (74) 代理人 100118625
 弁理士 大富 康
 (72) 発明者 フレドリク・トゥクセン
 デンマーク、デー コー - 2 9 7 0 ヘルスホ
 ルム、ガメル・ビヴァイ 2 3 番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】スポーツボールの回転パラメータの決定

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

飛行中に回転しているスポーツボールの回転速度又は回転振動数を推定する方法であつて、

1. 飛行中の多数の時点で、回転しているスポーツボールから反射された電磁波を受けて、対応する信号を提供することと、

2. 信号の振動数解析を実行し、少なくとも振動数が実質的に等間隔で離れた位置にあって、時間的に継続している、二、又は、それ以上の、離散スペクトルトレースを特定することと、

3. 異散スペクトルトレース同士の間ににおける振動数の間隔から回転速度 / 回転振動数を推定することと、

を含んでいる、

方法。

【請求項2】

請求項1記載の方法であつて、

ステップ1が、受信機を用いて反射電磁波を受信すること、を含み、ステップ2が、振動数解析に統いて、受信機に近づく方向又は離れる方向においてボールの速度に対応する第一の振動数を特定することを含んでおり、離散スペクトルトレースの特定が、第一の振動数のまわりで対称的に位置する離散スペクトルトレースを特定すること、を含んでいる、

10

20

方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の方法であって、

ステップ 2 が、各時点に対して、及び時間的に連続して、

ある時点に対して、振動数解析と、等間隔にある候補振動数の特定と、を実行することと、

次に、一つ以上前の時点における候補振動数から、丁度所定量だけ逸脱した振動数を各々が有している候補を、特定することと、

そして、離散スペクトルトレースとして、特定された候補の離散スペクトルトレースを特定することと、

10

を含んでおり、

ステップ 3 が、特定された離散スペクトルトレースに基づいて回転速度 / 回転振動数を推定すること、を含んでいる、

方法。

【請求項 4】

飛行中に回転しているスポーツボールの回転速度又は回転振動数を推定するシステムであって、

1. 飛行中の多数の時点で、回転しているスポーツボールから反射された電磁波を受信して、対応する信号を提供するように、構成されている受信機と、

2. 信号の振動数解析を実行し、少なくとも振動数が実質的に等間隔で離れた位置にあって、時間的に継続している、二、又は、それ以上の離散スペクトルトレースを特定する手段と、

20

3. 離散スペクトルトレース同士の間ににおける振動数の間隔から、回転速度 / 回転振動数を推定する、手段と、

を含んでいる、

システム。

【請求項 5】

請求項 4 記載のシステムであって、

手段 2 が、振動数解析に続いて、受信機に近づく方向又は離れる方向におけるボールの速度に対応する第一の振動数を特定し、離散スペクトルトレースとして、第一の振動数のまわりで対称的に位置する離散スペクトルトレースを特定するように、構成されている、システム。

30

【請求項 6】

請求項 4 又 5 に記載のシステムであって、

手段 2 が、各時点に対して、及び、時間的に連続して、

ある時点に対して、振動数解析と、等間隔にある候補振動数の特定と、を実行し、

次に、一つ以上前の時点における候補振動数から、丁度所定量だけ逸脱した振動数を有する候補を特定し、

そして、離散スペクトルトレースとして、特定された候補の離散スペクトルトレースを特定するように、構成されており、

40

手段 3 が、特定された離散スペクトルトレースに基づいて回転速度 / 回転振動数を推定するように構成されている、

システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、飛行中におけるスポーツボールの回転パラメータの決定に関し、特に、スポーツボールの回転軸及び / 又は回転速度の決定に関する。

【背景技術】

【0002】

50

このようなパラメータは、スポーツボールや他のスポーツ用具の、利用及び開発の、双方において興味深いものである。スポーツ用具としては、ゴルフクラブ、アイアンクラブ、ラケット、バット、又は、スポーツボールを打つために用いられる用具がある。

【0003】

ゴルフボールについては、このような決定は、通常、ゴルフボールに、レーダー反射素材のストリップやパターンを追加することによって行われてきた。しかし、このようなことは、高度に標準化されたこの種のボールにおけるテスト目的のために、行うことができるだけである。この種の技術は、米国特許第6244971号明細書、及び、米国特許出願公開第2002/0107078号明細書に開示されている。

【特許文献1】米国特許第6244971号明細書

10

【特許文献2】米国特許出願公開第2002/0107078号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、スポーツボールを改造することなく、これらの決定を実行できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

第一の態様において、本発明は、飛行中におけるスポーツボールの回転軸を推定する方法に関し、

20

この方法は、

1. 飛行するスポーツボールの三次元軌跡の少なくとも一部を決定することと、
2. 軌跡に沿った所定位置におけるスポーツボールの加速度、好ましくは全加速度を、軌跡に基づいて、推定することと、
3. 所定位置における、重力によって生じたスポーツボールの加速度を推定することと、
4. 所定位置における、空気の抵抗 / 抗力によって生じたスポーツボールの加速度を推定することと、
5. 推定された加速度に基づいて、所定位置における回転軸を推定することと、

を含んでいる。

30

【0006】

一般に、飛行中に回転対称であるスポーツボールについては、三つの力のみが作用することを論じればよく、それは、ボールに対する、重力、空気の抵抗や抗力、なんらかの回転により引き起こされる所謂揚力である。このように、個々の加速度を推定することは、ボールの回転によって引き起こされた揚力や方向についての決定を、容易とする情報を、もたらす。このため、重力及び抗力によって加速度が引き起こされる一垂直面に、位置する軌跡からの、変位が、回転によって引き起こされるかもしれない。しかしながら、揚力及び回転も、この垂直面内で作用するかもしれない。

【0007】

全体の加速度のみが決定される所定位置のまわりの小領域においてのみ、知見が必要であることに注意すべきである。このことは、例えば、位置と速度とが既知である軌跡に沿った二点から、決定できる。

40

【0008】

好ましくは、回転軸の測定は、ボールの軌跡に沿った多くの位置で行われる。このため、好ましくは、少なくともステップ2 - 4は、複数の時点の各々において実行される。それから、ステップ5は、複数の時点で決定された加速度（例えばそれらの平均の加速度）に基づいて一度実行され、又は、回転軸の時間変化を決定するために、各時点に対して実行される。

【0009】

また、軌跡の情報は、レーダー、三次元撮像機器などの、適切な方法で、引き出すこと

50

ができることは、明らかである。当然に、軌跡は、一以上の時点におけるボールの座標として描かれる。座標系は、どのような方法で選ばれたものであってもよい。

【0010】

好ましくは、ステップ5は、ステップ2で推定された加速度からステップ3、4で推定された加速度を差し引くことと、残留加速度を決定することと、残留加速度の方向に基づいて回転軸を推定することと、を含んでいる。このように、回転軸は、簡単なベクトル計算を用いて決定できる。

【0011】

この状況で、ボールの回転軸は、ボールの回転がボールの方向を変化させるように作用する残留加速度の方向に対して、垂直である。

10

【0012】

また、ステップ4は、所定位置におけるボールの速度を軌跡に基づいて推定することと、推定された速度、又は、むしろ、軌跡上の二点間における速度差、に基づいて加速度を推定することと、を含んでいる。

【0013】

本発明の別の態様は、飛行中におけるスポーツボールの回転軸を推定するためのシステムに関し、

このシステムは、

1. 飛行しているスポーツボールの三次元軌跡の少なくとも一部を決定する手段と、
2. 軌跡に沿った所定位置におけるスポーツボールの加速度、好ましくは全加速度を、軌跡に基づいて、推定する手段と、
3. 所定位置における、重力によって生じたスポーツボールの加速度を推定する手段と、
4. 所定位置における、空気の抵抗／抗力によって生じたスポーツボールの加速度を推定する手段と、
5. 推定された加速度に基づいて、所定位置における回転軸を推定する手段と、を含んでいる。

20

【0014】

また、手段2-4は、複数の所定位置の各々で推定を実行するように構成できる。手段5は、例えば回転軸の決定が容易となるように、ステップ2で推定された加速度からステップ3、4で推定された加速度を差し引き、残留加速度を決定し、残留加速度の方向に基づいて回転軸を推定するように構成できる。加速度が複数の位置で推定されると、回転軸は、全てのこれらの位置に対して、又は、各位置に対して、一度、決定される（手段5）。

30

【0015】

また、手段4は、所定位置における、ボールの速度を軌跡に基づいて推定して、推定された速度に基づいて加速度を推定するように、構成できる。

【0016】

本発明の第三の態様は、飛行中に回転しているスポーツボールの回転速度又は回転振動数を推定する方法に関し、

40

この方法は、

1. 飛行中の多数の時点で、回転しているスポーツボールから反射された電磁波を受けて、対応する信号を提供することと、
2. 信号の振動数解析を実行し、少なくとも振動数が実質的に等間隔で離れた位置にあって、時間的に継続している、又は、それ以上の、離散スペクトルトレースを特定することと、
3. 離散スペクトルトレース同士の間における振動数の間隔から回転速度／回転振動数を推定することと、を含んでいる。

【0017】

50

現状では、可視光、赤外線、超音波、電波などの、どんなタイプの電磁波でも、使用できる。

【0018】

更に、多数の時点を使用できる。有意義な検出が可能な間、又は、信号でスペクトルトレースを決定できる間は、放射線を受け取ることが、好ましい。通常は、受け取ることとそれに続く信号解析とは、等間隔時点で行われている。

【0019】

スペクトルトレース間の距離が正確に決定されることを保証するためには、二つ以上の等間隔にあるスペクトルトレースが特定されることが好ましい。

【0020】

当然に、振動数解析は、信号のスペクトルをもたらす。しかし、このことは、等間隔にあるスペクトルトレースのみが必要とされるという点で、必要ではない。

10

【0021】

これに関連して、スペクトルトレースは、少なくとも実質的に時間的に連続するが時間とともに変化する、振動数の連続体である。現状では、トレースは、通常は、ゆっくりと減衰する関数であるが、どのような形でも、原則として、許容可能であり、且つ、決定可能である。

【0022】

好ましくは、ステップ1は、受信機を用いて反射電磁波を受信すること、を含み、ステップ2は、振動数解析に続いて、受信機に近づく方向又は離れる方向においてボールの速度に対応する第一の振動数を特定すること、を含んでおり、スペクトルトレースの特定は、第一の振動数のまわりで対称的に位置するスペクトルトレースを特定すること、を含むものである。

20

【0023】

このように、等間隔のスペクトル線が正しく決定されるのを保証することを助ける別の振動数が決定される。加えて、この振動数のまわりで対称であることを必要とすることが、安定した決定を更に保証する。

【0024】

好ましい実施形態では、ステップ2は、各時点に対して、及び時間的に連続して、ある時点に対して、振動数解析と、等間隔にある候補振動数の特定と、を実行すること、

30

次に、一つ以上前の時点における候補振動数から、丁度所定量だけ逸脱した振動数を各々が有している候補を、特定することと、

そして、振動数トレースとして、特定された候補のトレースを特定することと、を含んでいる。

ここで、ステップ3は、特定されたスペクトルトレースに基づいて回転速度／回転振動数を推定すること、を含んでいる。

【0025】

このことは、例えば反射された放射線の受信と並行して、決定が連続的に行われる、という利点を有している。また、一回の測定において有効な等間隔のスペクトル線に似ているものが、近傍位置での測定のような他の測定において対照物を有していない場合に、雑音消去は実行され、それによって、それは、候補として削除される。

40

【0026】

これに関連して、候補とすべき所定量又は不定量は、固定量、又は、固定率、又は、例えば全体的に決定された信号 - 雑音比に依存する基準値、である。

【0027】

本発明の第四の態様は、飛行中に回転しているスポーツボールの回転速度又は回転振動数を推定するシステムに関し、

このシステムは、

1. 飛行中の多数の時点で、回転しているスポーツボールから反射された電磁波を受信

50

して、対応する信号を提供するように、構成されている、受信機と、

2. 信号の振動数解析を実行し、少なくとも振動数が実質的に等間隔で離れた位置にあって、且つ、長期間継続している、二、又は、それ以上の離散スペクトルトレースを特定する、手段と、

3. 離散スペクトルトレース同士の間における振動数の間隔から、回転速度／回転振動数を推定する、手段と、

を含んでいる。

【0028】

当然ながら、第三の様態に関する説明が、再び関連する。

【0029】

このように、手段2は、振動数解析に続いて、受信機に近づく方向又は離れる方向におけるボールの速度に対応する第一の振動数を特定し、スペクトルトレースとして、第一の振動数のまわりで対称的に位置するスペクトルトレースを特定するように、構成される。

【0030】

回転速度／回転振動数を測定する好ましい方法は、次のようなものである。すなわち、手段2は、各時点に対して、及び時間的に連続して、

ある時点に対して、振動数解析と、等間隔にある候補振動数の特定と、を実行し、

次に、一つ以上前の時点における候補振動数から、丁度所定量だけ逸脱した振動数を有する候補を特定し、

そして、振動数トレースとして、特定された候補のトレースを特定するように、

構成されており、

手段3は、特定されたスペクトル線に基づいて回転速度／回転振動数を推定するように、構成されている。

【0031】

本発明の第五の態様は、飛行中のスポーツボールにおける、回転軸と回転振動数とを含む、回転を、推定する方法に関し、

この方法は、

本発明の第一の態様におけるような回転軸を推定することと、本発明の第三の様態によるところの回転振動数を推定することと、

を含んでいる。

【0032】

本発明の第六であり最後である態様は、飛行中のスポーツボールにおける、回転軸と回転振動数とを含む、回転を、推定するシステムに関し、

システムは、

回転軸を決定するために、本発明の第二の態様によるところのシステムと、

回転振動数を決定するために、本発明の第四の態様によるところのシステムと、

を含んでいる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0033】

以下で、発明の好ましい実施形態が、図面を参照して記述される。

【0034】

スポーツボールの回転振動数を測定するためにドップラーレーダーを用いることは、長い間知られている：米国特許6244971号明細書、米国特許出願公開第2002/0107078号明細書を参照。しかし、これら全ての発明は、一般的にボールの覆いの上か下に導体を加えることによって、ボールのいくらかの領域からの反射を変更することに基づいている。本実施形態もドップラーレーダーを用いるが、回転振動数を抽出するためにボールを変化させることを必要としない。この態様は、本発明の商業的価値を大きく増大させる。

【0035】

従来は、回転しているボールの回転軸の方向は、発射領域に近い位置に配置されたカメ

10

20

30

40

50

ラを用いて測定されていた。これらのシステムは、発射の直後に、空間上的一点における回転軸の方向を提供するだけである。本発明は、飛行中の回転軸方向を測定するための三次元軌跡測定器材を用いている。

【0036】

本発明は、ボールの飛行中全ての間、回転振動数及び回転軸方向の連続的な測定を可能とする。

【0037】

[回転振動数]

図1のドップラーレーダー3を考慮せよ。ドップラーレーダー3は、送信機4と受信機5とを含んでいる。振動数 F_{tx} の送信波6はボール1上で反射され、ボール1からの反射波7は、振動数 F_{tx} とは異なる振動数を有している。反射波と送信波との間の相違は、ドップラーバイアラフ F_{dop} と呼ばれている。 F_{dop} は、レーダー3に対するボール1上の反射点Aの相対速度 V_{rad} に比例している。

【0038】

【数1】

$$F_{dop,A} = 2/\lambda * V_{rad}$$

[1]

【0039】

ここで、 λ は送信波の波長である。

【0040】

座標系2は、ボールの中心に原点を持ち、常にX軸がレーダーから離れる方向に位置すると共に、Z軸が水平面内に位置するように定義される。

【0041】

V_{rad} は、時間に対するドップラーレーダー3からの距離の変化である ($V_{rad} = dR/dt$)。図1の座標系2において、 V_{rad} は、ボール1の速度のX成分に等しい。

【0042】

ボール1からの最大強度の反射は、常に、レーダーからの照準線に対して直角となる点Aである。ボール1が回転しているとき、最大強度の反射となる点Aは、実際には時間と共に物理的に異なる位置となる。

【0043】

ボール上の点Aでの反射からのドップラーレーダー受信機5の出力信号は、次のように表現される。

【0044】

【数2】

$$x_A(t) = a(t) * \exp(-j * F_{dop,A} * t)$$

[2]

40

【0045】

ここで、 $a(t)$ は、受信信号の振幅である。

【0046】

Z軸のまわりをボールの角速度が ω で、ボール1が回転している状況を考慮せよ。ボール1上の固定点Bからの反射は、半径を r として、次のようなレーダー1に対するドップラーバイアラフを有している。

【0047】

【数3】

$$F_{\text{dopp},B} = 2/\lambda * (V_{\text{rad}} - r * \omega * \sin(\omega * t)) \quad [3]$$

【0048】

ボール上の点 B での反射からの受信機 5 の出力信号は、次のように表現される。

【0049】

【数4】

$$x_B(t) = a(t) * d(t) * \exp(-j * F_{\text{dopp},B} * t) \quad [4]$$

10

【0050】

ここで、 $d(t)$ は、ボール 1 の点 A からの受信信号に対する点 B からの受信信号の相対的な振幅である。

【0051】

[4] に [2] と [3] とを代入することによって、次が得られる。

【0052】

【数5】

$$x_B(t) = x_A(t) * d(t) * \exp(j * 2/\lambda * r * \omega * \sin(\omega * t) * t) \quad [5]$$

20

【0053】

点 B からの出力信号は、信号 $X \bmod B(t)$ によって調整された点 A からの出力信号から成ることがわかる。

【0054】

【数6】

$$x_{\text{modB}}(t) = d(t) * \exp(j * 2/\lambda * r * \omega * \sin(\omega * t) * t) \quad [6]$$

30

【0055】

調整された信号の指数関数の項は、変調振動数が $/2$ で振動数偏差が $2/\lambda * r * \omega$ である、振動数変調 (FM) 信号であると認められる。

【0056】

変調理論からは、シヌソイド振動数変調のスペクトルは、変調振動数 $/2$ 及びこの高調波における離散振動数線を伴うスペクトルを与えることが知られており、m 番目の調波のスペクトル線の強度は、 $J_m(4\pi r / \lambda)$ に等しい。ここで、 $J_m()$ は、m 次の第一種ベッセル関数である。

40

【0057】

[6] における変調信号の振幅信号 $d(t)$ は、時間に依存する変化もある。 $d(t)$ は、[6] における指数関数の項のように、周期 $T = 2\pi / \omega$ で周期的である。したがって、 $d(t)$ からのスペクトルは、 $/2$ の間隔を等しく空けられた離散スペクトル線 (離散スペクトルトレース) をも有しているであろう。 $d(t)$ の個々の調波における相対的な強度は、アスペクト角が異なるために、反射の特性に依存している。

【0058】

要約すると、回転しているボール上の物理的な点 B からの反射のため、この点がレーダーに最も近いとき (点 A にあるとき) と比べて、他の位置からの受信信号は、ボールの速

50

度に起因する、ドップラー偏移 $F_d \propto p$ のまわりで対称に等間隔に配置された側波帯を有する。この側波帯は、複数の高調波を有し、正確にボールの回転振動数 $/2$ で間隔が空けられている。完全な球面のボールの場合だけ、変調側波帯が存在しない。

【0059】

通常のスポーツボールでは、ボール上に完全な球面ではない領域がいくつかある。これらの点の各々は、回転振動数で間隔を空けた離散側波帯を与える。ボール上の全ての散乱のためにスペクトルの全体は、結果として、当然に回転振動数の間隔が空けられた離散側波帯をも有する受信信号を生じさせる。

【0060】

上記において、回転軸は、時間によらず一定で、Z 軸に対して平行であると仮定している。もし回転軸が Y 軸まわりに回転し、そのときに X 軸まわりに回転するとしたら、点 B の速度の X 成分は次に等しいことが簡単に示しうる。

【0061】

【数7】

$$V_x, B = \cos\alpha * r * \omega * \sin(\omega * t)$$

[7]

【0062】

V_x, B が、X 軸の周りで回転に対して独立していることに注意せよ。回転軸が X 軸 ($\alpha = 90$ 度) に沿う特殊な場合を除いて、 V_x, B は周期 $T = 2\pi / \omega$ で周期的でもあるため、回転した回転軸に対応する点 B からのドップラー偏移も、ちょうどボールの回転振動数 $/2$ で間隔を空けられた離散側波帯を有するものとなろう。このことは、回転軸の方向が回転振動数と比較してゆっくりと変化する限り、受信信号のスペクトルがボールの回転振動数 $/2$ で間隔を空けられた離散側波帯を含むであろうことを、意味する。

【0063】

図 2 には、飛行中のゴルフボールの受信信号のスペクトルが示されている。図 2 において、スペクトルは、この速度 (X 軸方向の速度) のまわりで回転振動数の間隔を等しく空けられた対称的な側波帯だけでなく、ボールの速度に対応する強さの振動数 (第一の振動数) 線を含んでいることが、明らかに示されている。

【0064】

まず、標準的な追跡記録方法を用いることで、ボールの速度が追跡記録される (トレースされる) (8)。それから、ボールの速度のまわりで対称的な振動数のピークが、検出される (9)。図 3 には、対称な側波帯が相殺された振動数が、ボールの速度と比較して示されている。標準的な追跡記録方法を用いることで、高調波の異なる回転 (振動数) の側波帯が、追跡記録される (10)。高調波の異なる (側波帯の) 追跡記録は、振動数の間隔が等しいことを必要とすることから、(高調波の) 異なる (側波帯の) 追跡記録は、限定される (11)。(高調波の) 異なる (側波帯の) 追跡記録は、それらに対応する調波の番号を用いて解決される (12)。この後、回転振動数が、各々の調波数で除算されるならば、回転振動数は、限定された調波追跡記録の何れかから、決定できる (13)。

【0065】

図 5 に、回転振動数の時間変化の表が示されており、図 5 は全ての調波数の追跡記録を含んでいる。

【0066】

回転振動数を測定するための段階的な手続きは、図 7 に記述されている。

【0067】

【回転軸の方向】

飛行中のボールの三次元軌跡は、適切な用具によって得られる。本発明の好ましい実施形態において、回転振動数の測定のために用いられるレーダーは、飛行中のボールの三次

10

20

30

40

50

元軌跡を提供するのにも用いられる。図 4 を見よ。

【0068】

ボールが高い程度に回転対称である球面であると仮定すると、三つ、三つだけの力がボールに作用するであろう。図 8 を参照して、加速度は次のようなものとなろう。

- ・重力の加速度、G
- ・空気の抵抗 / 抗力による加速度、D
- ・揚力の加速度、L

【0069】

飛行中のボールに作用する全加速度は、次のようになる。

【0070】

【数 8】

10

$$\underline{A} = \underline{G} + \underline{D} + \underline{L}$$

[8]

【0071】

回転対称の基準を満たすボールの例は、次である：ゴルフボール、テニスボール、野球ボール、クリケットボール、サッカーボールなど。

【0072】

抗力は、常に、空気速度ベクトル V_{air} に対して 180 度の関係にある。揚力の加速度 L は、ボールの回転によって発生するものであり、常に $\times \underline{V_{air}}$ (\times はベクトルの外積を意味する) によって与えられる方向を向いており、すなわち回転ベクトル ω に対して 90 度かつ空気速度ベクトル V_{air} に対して 90 度となる方向を向いている。回転ベクトル ω は、回転軸の方向を記述し、単位回転ベクトル e と結び付けられ、回転ベクトル ω の大きさは、図 7 に記載の段階的手法を通じて見つけられる回転振動数 である。

20

【0073】

空気速度ベクトルは、軌跡速度ベクトル V との間に次のような関係がある。

【0074】

【数 9】

30

$$\underline{V_{air}} = \underline{V} - \underline{W}$$

[9]

【0075】

回転ベクトル ω の方向を計算する手続きは、図 9 に記述されている。

【0076】

測定された三次元軌跡から、軌跡速度 V 及び加速度 A は、微分法によって計算される (14)。

【0077】

空気速度ベクトルは、方程式 [9] を用いて、風速度ベクトル W についての演繹的知識を用いて、計算される (15)。

40

【0078】

重力加速度 G は、緯度及び海拔についての演繹的知識から計算される (16)。

【0079】

抗力及び揚力の加速度が互いに対し垂直であるので、抗力の加速度 D の大きさや方向は、方程式 [10] を用いて計算されうる (17)。

【0080】

【数10】

$$D = [(A - G) \cdot V_{air} / |V_{air}|^2] * V_{air} \quad [10]$$

【0081】

ここで、 \cdot は、ベクトルの内積を意味する。

【0082】

この後、揚力の加速度 L （残留加速度）の大きさと方向は、[11]から容易に見つけられる（18）。

【0083】

【数11】

$$L = A - G - D \quad [11]$$

【0084】

上述したように、定義上、揚力のベクトル L は、次のことが意味するように、回転ベクトル e に対して直角である。

【0085】

【数12】

$$L \cdot \omega e = 0 \quad [12]$$

【0086】

単位回転ベクトル e は通常、回転運動をしている物体の影響のため、回転対称の物体においては、時間によらず一定であると仮定できる。もし、単位回転ベクトル e が時間間隔 $[t_1; t_n]$ の間は一定であると仮定できるのであれば、方程式[12]は一組の一次方程式[13]を構成する。

【0087】

【数13】

$$\begin{aligned} L_x(t_1) * \omega e_x + L_y(t_1) * \omega e_y + L_z(t_1) * \omega e_z &= 0 \\ L_x(t_2) * \omega e_x + L_y(t_2) * \omega e_y + L_z(t_2) * \omega e_z &= 0 \\ | & \quad | & & = | \\ L_x(t_n) * \omega e_x + L_y(t_n) * \omega e_y + L_z(t_n) * \omega e_z &= 0 \end{aligned} \quad [13]$$

【0088】

ここで、 $L(t) = [L_x(t), L_y(t), L_z(t)]$ で、 $e = [e_x, e_y, e_z]$ である。

【0089】

[13]における一次方程式を、多くの標準的な数学的手法により、 $[e_x, e_y, e_z]$ を求めて、解くことができる。ここで、時間間隔 $[t_1; t_n]$ における回転軸の三次元方向を、決定できる。唯一の仮定は、揚力のベクトル L の方向の変動と比較して回転軸はほぼ一定であること、である。

【0090】

図7に記述される段階的手法から見出される回転振動数 n に、方程式[13]から見出

10

20

30

40

50

される単位回転ベクトル $\underline{\omega}$ を結合させることによって、方程式 [14] を用いることにより回転ベクトル $\underline{\omega}$ が見出されうる (20)。

【 0 0 9 1 】

【 数 1 4 】

$$\underline{\omega} = \omega * \underline{\omega}e$$

[14]

【 0 0 9 2 】

【 既知の回転軸の方向のパートワイズ (p a r t w i s e) 】

10

多くの場合、ある特定の時点に対して、回転軸が既知の平面内にあることが演繹的に知られている。この平面を基準単位ベクトル \underline{n} によって特徴付けるものとする。このことは、次のことを意味する。

【 0 0 9 3 】

【 数 1 5 】

$$\underline{n} \cdot \underline{\omega} = 0$$

[15]

【 0 0 9 4 】

20

このような場合の一例は、ボールの発射直後の回転軸の方向である。ゴルフクラブに打たれたゴルフボールや足で蹴られたサッカーボールのように、ボールが衝突という手段によって運動状態に入れられたとき、回転ベクトル $\underline{\omega}$ は発射直後に高い度合いで、初期のボールの速度ベクトル \underline{V} に対して垂直である。 [15] における基準単位ベクトル \underline{n} は、この場合においては、方程式 [16] によって与えられる。

【 0 0 9 5 】

【 数 1 6 】

$$\underline{n} = \underline{V} / |\underline{V}|$$

[16]

30

【 0 0 9 6 】

回転ベクトルが基準単位ベクトル \underline{n} によって特徴付けられた既知の平面内にある時点 t_0 において、回転ベクトル $\underline{\omega}$ の方向を計算する手続きは、図 10 に記述されている。

【 0 0 9 7 】

まず、時点 t_0 における揚力の加速度を得るために、図 9 に記述されるのとまったく同一のステップ 14 - 18 を行うこと。

【 0 0 9 8 】

さて、基準座標系における基準単位ベクトル \underline{n} にとっての座標を、X 軸単位ベクトル [1, 0, 0] に変換する回転行列 R を、決定する (21)。方程式 [17] を見よ。回転行列 R は、 \underline{n} から標準的な代数方法によって見出されうる。

40

【 0 0 9 9 】

【 数 1 7 】

$$[1,0,0] = R * \underline{n}$$

[17]

【 0 1 0 0 】

方程式 [11] からの揚力の加速度 \underline{L} にとっての座標は、 R を通じて回転されて、今やベクトル \underline{L}_m によって描画される (22)。方程式 [18] を見よ。

50

【 0 1 0 1 】
【 数 1 8 】

$$\underline{Lm} = [Lxm, Lym, Lzm] = \mathbf{R} * \underline{L} \quad [18]$$

【 0 1 0 2 】

単位回転ベクトル \underline{e} の座標変換も似通っており、方程式 [1 9] を見よ。

【 0 1 0 3 】

【 数 1 9 】

10

$$\underline{\omega e m} = [\omega exm, \omega eym, \omega ezm] = \mathbf{R} * \underline{\omega e} \quad [19]$$

【 0 1 0 4 】

方程式「 1 5 」から、 $e \times m$ が 0 に等しく、そのため方程式 [1 3] が方程式 [2 0] に単純化される。

【 0 1 0 5 】

【 数 2 0 】

20

$$Lym * \omega eym + Lzm * \omega ezm = 0 \quad [20]$$

【 0 1 0 6 】

$\underline{e m}$ の長さが 1 に等しいことを用いることによって、単位回転ベクトル \underline{e} は方程式 [2 1] が方程式「 2 2 」から見出されうる (2 3)。

【 0 1 0 7 】

【 数 2 1 】

30

$$\underline{\omega e} = \mathbf{R}^{-1} * [0, -Lzm/Lym, 1] / |[0, -Lzm/Lym, 1]|, Lym \neq 0 \quad [21]$$

【 0 1 0 8 】

【 数 2 2 】

$$\underline{\omega e} = \mathbf{R}^{-1} * [0, 1, -Lym/Lzm] / |[0, 1, -Lym/Lzm]|, Lzm \neq 0 \quad [22]$$

【 0 1 0 9 】

図 7 に記述される段階的手法から見出される回転振動数 に、方程式 [2 1] - [2 2] から見出される単位回転ベクトル \underline{e} を結合させることによって、方程式 [1 4] を用いることにより回転ベクトル \underline{e} が見出されうる (2 0)。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 0 1 1 0 】

【 図 1 】回転しているボール及びドップラーレーダーの略図である。

【 図 2 】等間隔のスペクトル線を有しているスペクトルを示している。

【 図 3 】等間隔のスペクトル線の決定を示している。

【 図 4 】測定されたゴルフボールの 3 D 軌跡を示している。

【 図 5 】回転振動数の時間変化の表を示している。

【 図 6 】図 4 の軌跡に関連する回転ベクトルを示している。

50

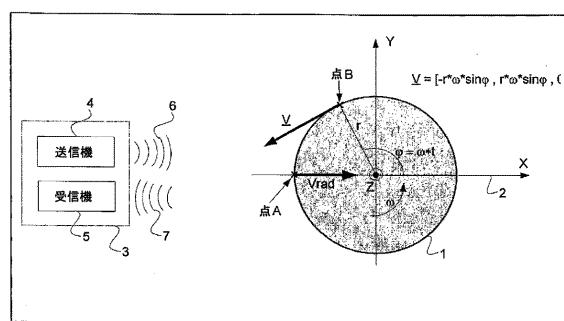
【図7】回転振動数の検知についてのフローチャートを示している。

【図8】回転ベクトルの方向の決定を示している。

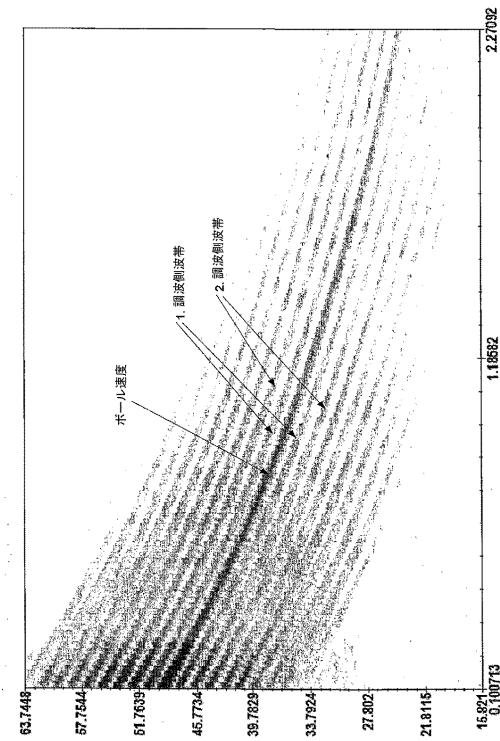
【図9】回転ベクトルの方向を決定するフローチャートを示している。

【図10】回転軸がある既知の面にあると仮定できたときにおける回転ベクトルの方向を決定するフローチャートである。

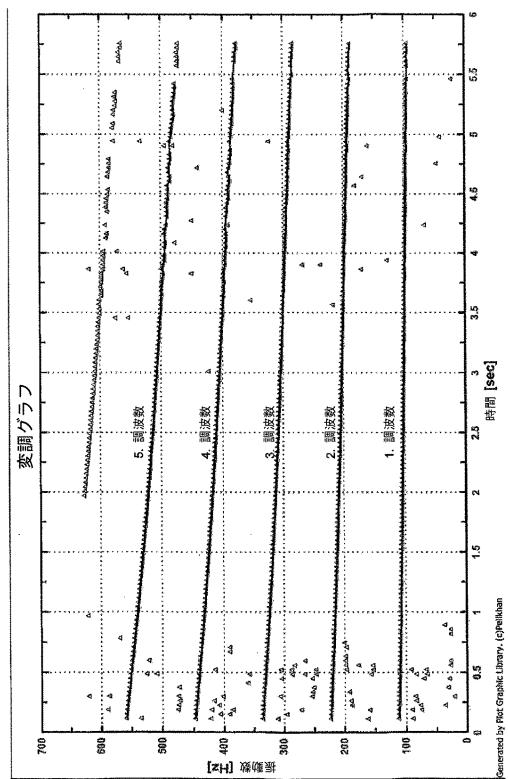
【図1】



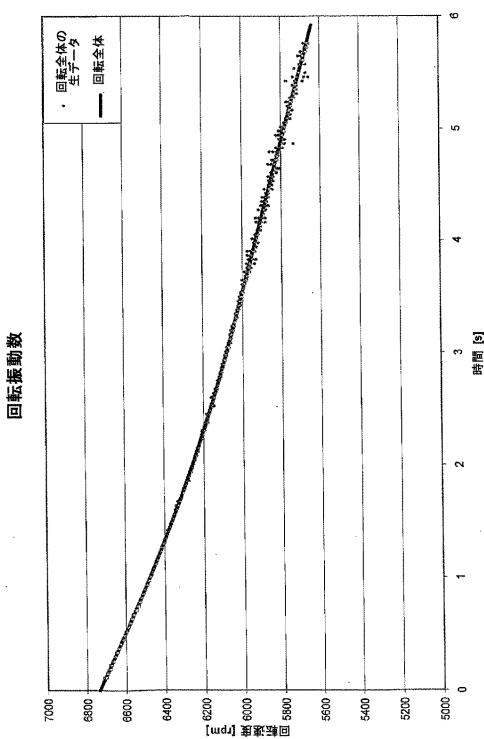
【図2】



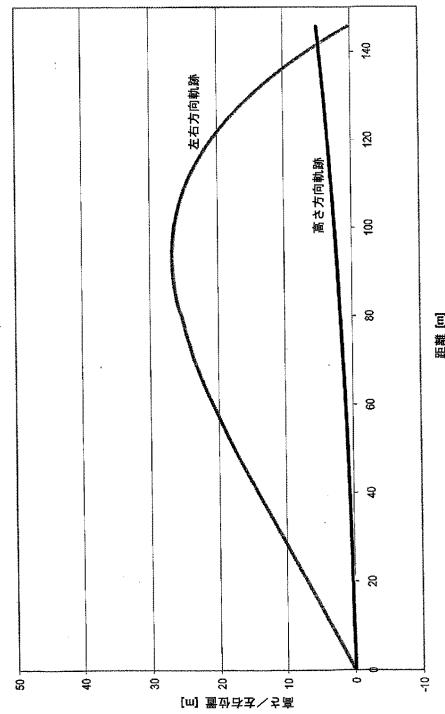
【図3】



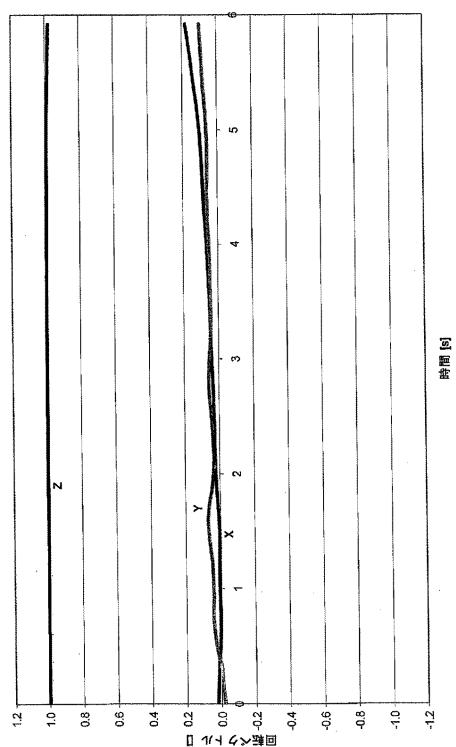
【図5】



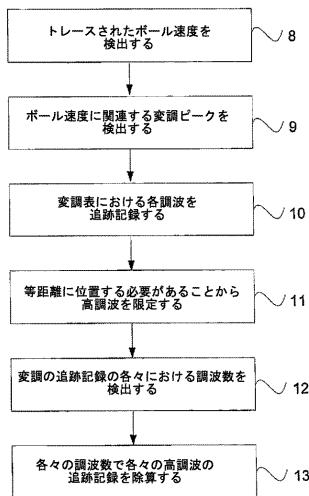
【図4】



【図6】

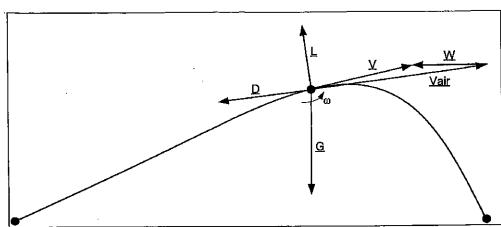


【図7】

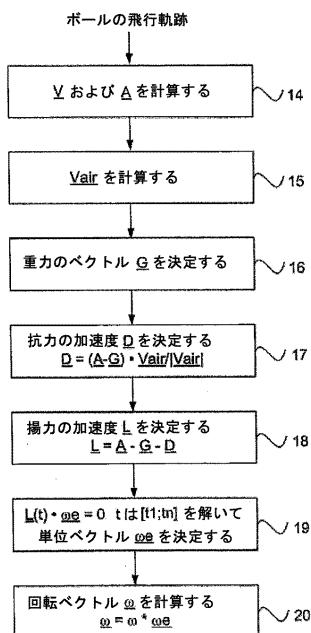


【図8】

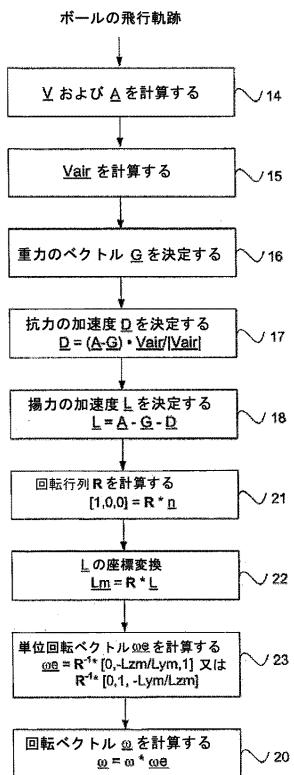
Figure 8



【図9】



【図10】



フロントページの続き

審査官 大澤 元成

(56)参考文献 特開2003-294777 (JP, A)
米国特許第06244971 (US, B1)
米国特許出願公開第2002/0107078 (US, A1)
特開2001-074837 (JP, A)
特表平06-510603 (JP, A)
英国特許出願公開第02380682 (GB, A)
米国特許第06292130 (US, B1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A63B 37/00-71/00
G01P 3/00
G01S 13/00