

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-516222

(P2005-516222A)

(43) 公表日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(51) Int.Cl.⁷

G O 1 P 21/00

F 1

G O 1 P 21/00

テーマコード(参考)

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2003-564596 (P2003-564596)
 (86) (22) 出願日 平成15年1月24日 (2003.1.24)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年9月9日 (2004.9.9)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2003/002188
 (87) 國際公開番号 WO2003/065054
 (87) 國際公開日 平成15年8月7日 (2003.8.7)
 (31) 優先権主張番号 10/056,718
 (32) 優先日 平成14年1月25日 (2002.1.25)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

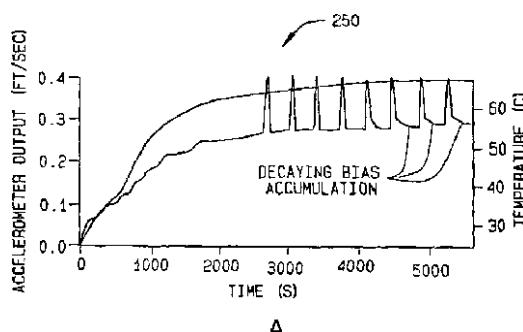
(71) 出願人 500575824
 ハネウェル・インターナショナル・インコ
 一ポレーテッド
 アメリカ合衆国、07962-2245・
 ニュージャージー・モーリスタウン・ピー
 オー・ボックス・2245・コロンビア・
 ロード・101
 (74) 代理人 100089705
 弁理士 社本 一夫
 (74) 代理人 100076691
 弁理士 増井 忠式
 (74) 代理人 100075270
 弁理士 小林 泰
 (74) 代理人 100080137
 弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

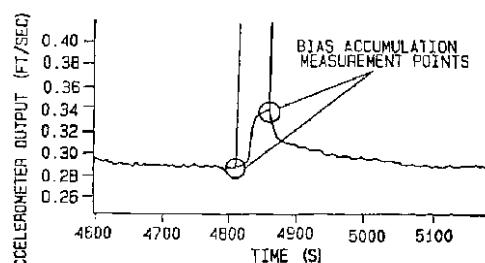
(54) 【発明の名称】バイアス不安定性を有する加速度計を訂正および較正する方法およびシステム

(57) 【要約】

バイアス過渡現象を提示する加速度計の補償係数を決定する方法を開示する。該方法は、測定加速度計出力からバイアス累積を推定するステップと、訂正加速度計出力を決定するステップと、加速度計の補償係数を決定するステップとを備える。バイアス累積は、短期間高加速度期間の前後の低加速度出力値を比較することによって推定される。バイアス累積は、訂正加速度値を決定するために、高加速度中に得られる値から減算される。



A



B

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

加速度計の補償係数を決定する方法であって、
 測定加速度計出力からバイアス累積を推定するステップと、
 訂正加速度計出力を決定するステップと、
 前記訂正加速度計出力を使用して、前記補償係数を決定するステップと、
 を備える方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法であって、バイアス累積を推定するステップは、高加速度試験休止サイクルを約 5 秒に限定するステップを備え、高加速度は、1 g より大きい、方法。 10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の方法であって、
 高加速度試験休止サイクルの間ににおいて少なくとも 5 分間、-1 g と +1 g との間の負荷において前記加速度計を動作するステップを、
 さらに備える方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法であって、バイアス累積を推定するステップは、
 高加速度が 1 g より大きい高加速度負荷間隔の中心時間点において、加速度計出力を測定するステップと、
 前記高加速度間隔の前記中心時間点における前記バイアス累積を決定するステップと、 20
 を備える、方法。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の方法であって、前記バイアス累積を決定するステップは、
 前記高加速度間隔の開始前の時間における加速度計出力を測定するステップと、
 前記高加速疎間隔の終了後の時間における加速度計出力を測定するステップと、
 前記高加速度間隔の前記終了後の前記時間の加速度計出力から、前記高加速度間隔の前記開始前の前記時間の加速度計出力を減算するステップと、
 前記測定加速度計出力の差に 2 分の 1 を乗算するステップと、
 を備える、方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の方法であって、訂正加速度計出力を決定するステップは、前記測定加速度計出力から前記乗算差を減算するステップを備える、方法。 30

【請求項 7】

請求項 5 に記載の方法であって、前記高加速度間隔の前記開始前の前記時間および前記高加速度間隔の前記終了後の前記時間は、前記測定加速度計出力の 2 次導関数を使用して決定される、方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法であって、バイアス累積を推定するステップは、

【数 1】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

40

に従って、高加速度が 1 g より大きい高加速度負荷間隔の中心時間点 a_c におけるバイアス累積を推定するステップを備え、 $a(t_1)$ が、前記高加速度負荷間隔の開始前の時間における測定加速度計出力であり、 $a(t_2)$ が、前記高加速度負荷間隔の終了後の時間における測定加速度計出力である、方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の方法であって、訂正加速度計出力を決定するステップは、
 前記中心時間点において加速度計出力を測定するステップと、

【数2】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

に従って加速度計出力を訂正するステップと、
を備え、 $a(t_c)$ が、前記中心時間点における測定加速度計出力である、方法。

【請求項10】

請求項9に記載の方法であって、補償係数を決定するステップは、

【数3】

$$\left(\frac{r_{p/n} \pm dr_{error}}{r_{p/n}} \right) dv_{load} = (w_0 + w_1 T + a_c (w_2 + w_3 T + w_4 T^2 + w_5 T^3) + w_6 a_c^2)$$

に従って加速度計試験に基づいて較正係数を計算するステップを備え、 d_{load} が、
加えられた負荷および近似的半径アーム $r_{p/n}$ についての速度の変化であり、 a_c が、
訂正加速度計出力であり、 T が、温度であり、 $r_{p/n}$ が、正の $g(p)$ および負の $g(n)$ の配向についての近似的半径アームであり、 dr_{error} が、加速度計感知要素半
径誤差であり、 w_i が、較正係数である、方法。

【請求項11】

請求項10に記載の方法であって、
複数の温度および複数の負荷において加速度計を試験するステップと、
各加速度計試験の d_{load} 、 a_c 、および T を含む試験結果を使用して、 dr_{error}
および w_i の較正係数を決定するステップと、
をさらに備える方法。

【請求項12】

請求項11に記載の方法であって、
誤差を最小限に抑えるために、 w_i について計算された前記値を使用して、

【数4】

$$dv_{load} = (w_0 + w_1 T + dv_{out} (w_2 + w_3 T + w_4 T^2 + w_5 T^3) + w_6 dv_{out}^2)$$

に従って温度および加速度計出力誤差を補償するステップを、
さらに備え、 d_{out} が、前記加速度計出力である、方法。

【請求項13】

加速度計のバイアス不安定性を補償する方法であって、
温度循環により温度サイクル・ヒステリシスを除去するステップと、
高加速度が1gより大きい加速度である高加速度負荷休止時間の持続時間を限定するス
テップと、
前記高加速度負荷休止時間中に累積するバイアスを補償するために、訂正加速度計出力
を決定するステップと、
を備える方法。

【請求項14】

請求項13に記載の方法であって、高加速度負荷休止時間の持続時間を限定するス
テップは、高加速度試験休止サイクルの間ににおいて少なくとも5分間、-1gと+1gとの間
の負荷において前記加速度計を動作するステップを備える、方法。

【請求項15】

請求項13に記載の方法であって、訂正加速度計出力を決定するステップは、
高加速度負荷休止の中心時間点において加速度計出力を測定するステップと、
前記高加速度負荷休止の前記中心時間点における前記バイアス累積を推定するス
テップと、

10

20

30

40

50

を備える、方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 5 に記載の方法であって、前記バイアス累積を推定するステップは、
前記高加速度間隔の終了後の時間における加速度出力から、前記高加速度間隔の開始前の時間における加速度計出力を減算するステップと、
加速度計出力の差に 2 分の 1 を乗算するステップと、
前記中心時間点における前記測定加速度計出力から前記乗算差を減算するステップと、
を備える、方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の方法であって、前記高加速度間隔の前記開始前の前記時間および前記高加速度間隔の前記終了後の前記時間は、前記測定加速度計出力の 2 次導関数を使用して決定される、方法。 10

【請求項 1 8】

加速度計測定出力からバイアス累積を除去する方法であって、前記出力が、高加速度負荷間隔の中心時間点において測定され、高加速度が、1 g より大きい負荷であり、該方法は

、

【数 5】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

20

に従って前記中心時間点 t_c におけるバイアス累積を推定するステップであって、 $a(t_1)$ が前記高加速度負荷間隔の開始前の時間における 1 g の負荷の測定加速度出力であり、 $a(t_2)$ が、前記高加速度負荷間隔の終了後の時間における 1 g 負荷の測定加速度計出力である、ステップと、

【数 6】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

に従って加速度計出力を訂正するステップであって、 $a(t_c)$ が、前記中心時間点における測定加速度計出力である、ステップと、 30

を備える方法。

【請求項 1 9】

加速度計の補償係数を決定するように構成されるシステムであって、該システムは、
プロセッサおよびメモリを備えるコンピュータと、

室を備えるレートテープルと、

前記コンピュータに接続され、かつ、前記レートテープル上で、前記コンピュータの前記メモリに記憶される加速度負荷プロファイルを実行するように構成されるレートテープル制御装置と、

前記コンピュータに接続され、かつ、前記室において、前記コンピュータの前記メモリに記憶される温度プロファイルを実行するように構成される温度制御装置と、 40

前記加速度計の出力を測定するように構成される装置と、

を備え、

前記コンピュータは、前記装置から出力データを受信して記憶するように構成され、前記コンピュータは、測定加速度計出力からバイアス累積を推定し、訂正加速度計出力を決定し、かつ前記訂正加速度計出力を使用して補償係数を決定するように構成される、システム。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、加速度計の高加速度試験休止サイクルを約 5 秒に限定するように構成され、高加速度は、1 g より大きい、システム。 50

【請求項 2 1】

請求項 1 9 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、高加速度試験休止サイクルの間において少なくとも 5 分間、 - 1 g と + 1 g との間の負荷において前記加速度計を動作するように構成される、システム。

【請求項 2 2】

請求項 1 9 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、
高加速度が 1 g より大きい高加速度負荷間隔の中心時間点において加速度計出力を測定し、

前記高加速度負荷間隔の前記中心時間点における前記バイアス累積を決定するように構成される、システム。 10

【請求項 2 3】

請求項 2 2 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、
前記高加速度負荷間隔の開始前の時間において、加速度計出力を測定し、
前記高加速度負荷間隔の終了後の時間において、加速度計出力を測定し、
前記高加速度間隔の前記終了後の前記時間における測定加速度計出力から、前記高加速度間隔の前記開始前の前記時間における測定加速度計出力を減算し、
加速度計測定出力の差に 2 分の 1 を乗算し、
前記高加速度負荷間隔の前記中心時間点における前記測定加速度計出力から前記乗算差を減算するように構成される、システム。 20

【請求項 2 4】

請求項 2 2 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、測定加速度計出力の 2 次導関数を使用して、前記高加速度間隔の前記開始前の前記時間および前記高加速度間隔の前記終了後の前記時間を決定するように構成される、システム。 30

【請求項 2 5】

請求項 2 2 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、

【数 7】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

に従って、高加速度負荷間隔の中心時間点 a_c におけるバイアス累積を推定するように構成され、 $a(t_1)$ が、前記高加速度負荷間隔の開始前の時間における測定加速度計出力であり、 $a(t_2)$ が、前記高加速度負荷間隔の終了後の時間における測定加速度計出力であり、高加速度が、 1 g より大きい、システム。 30

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、

前記中心時間点において加速度計出力を測定し、

【数 8】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

に従って加速度計出力を訂正するように構成され、 $a(t_c)$ が、前記中心時間点における測定加速度計出力である、システム。 40

【請求項 2 7】

請求項 2 6 に記載のシステムであって、前記コンピュータは、

【数 9】

$$\left(\frac{r_{p/n} \pm dr_{error}}{r_{p/n}} \right) dv_{load} = (w_0 + w_1 T + a_c (w_2 + w_3 T + w_4 T^2 + w_5 T^3) + w_6 a_c^2)$$

に従って加速度計試験に基づいて較正係数を計算するように構成され、 d_{load} が、 50

加えられた負荷および近似的半径アーム $r_{p/n}$ に対する速度変化であり、 a_c が、訂正加速度計出力であり、 T が、温度であり、 $d r_{e_r r_o r}$ が、試験結果を使用して決定される加速度計感知要素の半径誤差であり、 w_i が、各試験の特有の d_{load} 、 a_c 、および T を使用する試験結果を使用して決定される較正係数である、システム。

【請求項 28】

加速度計測定出力からバイアス累積を除去するためのコンピュータであって、前記出力が、高加速度負荷間隔の中心時間点において測定され、高加速度が、1 g より大きい負荷であり、該コンピュータは、

$a(t_1)$ を前記高加速度負荷間隔の開始前の時間における測定加速度計出力として、
および $a(t_2)$ を前記高加速度負荷間隔の終了後の時間における測定加速度計出力として、

【数 10】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

に従って、前記中心時間点 t_c におけるバイアス累積を推定し、

$a(t_c)$ を前記中心時間点における測定加速度計出力として、

【数 11】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

10

20

により加速度計出力を訂正するように構成されるコンピュータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に、加速度計の較正および補償に関し、より具体的には、バイアス不安定性を有する加速度計の較正および補償に関する。

【背景技術】

【0002】

ほとんどの加速度計は、2つのタイプの感知要素の一方を組み込む。1つの感知要素タイプは、圧電抵抗センサであり、この場合、加速により、感知要素自体の抵抗が変化する。抵抗の変化により、加速度計の出力が基にする時定数が変化する。他の感知要素タイプは、容量センサである。そのようなセンサでは、容量の変化は、加速度のために容量要素間の距離が変化することによって生じる。したがって、容量の変化により、加速度計の出力が基にする時定数が変化する。

30

【0003】

ある既知の加速度計は、バイアス不安定性を呈示する。バイアス不安定性は、通常、温度サイクル・ヒステリシス、および高重力バイアス累積の1つまたは複数である。高重力バイアス累積は、非弾性バイアス応答と呼ばれることがある。これらの不安定性は問題であり、誘導装置産物などの特定の応用分野では、ある種の加速度計の使用を妨害する可能性がある。しかし、適切な較正および補償により、具体的には、バイアス累積が試験中には生じるが、実際の応用分野では生じない応用分野である、いくつかの応用分野では、加速度計を有效地に使用することができる。

40

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【0004】

(発明の簡単な説明)

一態様では、加速度計の補償係数を決定する方法が提供される。該方法は、測定加速度計出力からバイアス累積を推定するステップと、訂正加速度計出力を決定するステップと、訂正加速度計出力を使用して補償係数を決定するステップとを備える。

50

【0005】

他の態様では、加速度計のバイアス不安定性を補償する方法が提供される。該方法は、温度循環によって温度サイクル・ヒステリシスを除去するステップと、高加速度負荷休止時間の持続時間を限定するステップと、高加速度負荷休止時間中に累積したバイアスを補償するために、訂正加速度計出力を決定するステップとを備える。

【0006】

他の態様では、加速度計測定出力からバイアス累積を除去する方法が提供される。出力は、1 g より大きい高加速度負荷間隔の中心時間点 t_c において測定される。該方法は、

【0007】

【数1】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

10

【0008】

に従って時間中心点 t_c におけるバイアス累積を推定するステップであって、 $a(t_1)$ が、高加速度負荷間隔の開始前の時間において 1 g の負荷について測定された加速度計出力であり、 $a(t_2)$ が、高加速度負荷間隔の終了後の時間に 1 g の負荷について測定された加速度計出力である、ステップと、

【0009】

【数2】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

20

【0010】

に従って加速度計出力を訂正するステップであって、 $a(t_c)$ が、高加速度負荷間隔の中心点において測定された加速度計出力である、ステップと、を備える。

【0011】

他の態様では、加速度計の補償係数を決定するように構成されるシステムが提供される。該システムは、プロセッサならびにメモリを備えるコンピュータと、室 (chamber) を備えるレートテーブル (rate table) と、コンピュータに接続され、かつレートテーブル上で加速度負荷プロファイルを実行するように構成されるレートテーブル制御装置と、を備える。加速度負荷プロファイルは、コンピュータのメモリに記憶される。該システムは、コンピュータに接続され、かつ室の温度プロファイルを実行するよう構成される温度制御装置を備える。温度プロファイルも、コンピュータのメモリに記憶される。該システムは、加速度計の出力を測定するように構成される装置をも備え、コンピュータは、装置から出力データを受信して、記憶するよう構成される。コンピュータは、測定加速度計出力からバイアス累積を推定し、訂正加速度計出力を決定し、訂正加速度計出力を使用して補償係数を決定するよう構成される。

【0012】

他の態様では、加速度計測定出力からバイアス累積を除去するためのコンピュータが提供される。出力は、1 g より大きい高加速度負荷間隔の中心時間点において測定される。コンピュータは、 $a(t_1)$ が高加速度負荷間隔の開始前の時間に 1 g の負荷について測定された加速度計出力であり、 $a(t_2)$ が高加速度負荷間隔の終了後の時間に 1 g の負荷について測定された加速度計出力である、

【0013】

【数3】

$$\frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

30

【0014】

40

50

に従った中心時間点 t_c においてバイアス累積を推定し、 $a(t_c)$ が中心時間点において測定された加速度計出力である。

【0015】

【数4】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

【0016】

に従って加速度計出力を訂正するように構成される。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0017】

図1は、高速レートテーブル・システム10のブロック図である。システム10は、一実施形態では、温度サイクルおよび加速度負荷サイクルの適用によって加速度計12の温度試験および加速度試験を実施するように構成される。加速度負荷サイクルは、高速レートテーブル14を使用して実施される。レートテーブル14は、加速度計12が取り付けられる室(chamber)16を含む。室16内の温度は、温度制御装置18によって制御され、温度循環を可能にする。室16内の加速度は、レートテーブル制御装置20によって制御される。温度および加速度の循環プログラムは、コンピュータ制御22のメモリ(図示せず)に記憶される。そのようなプログラムを実行することにより、温度制御装置18およびレートテーブル制御装置20は、テーブル14において温度および加速力を循環させる。コンピュータ制御22は、さらに、加速度計出力測定装置24から加速度計出力データを受信して記憶する。

20

【0018】

一実施形態では、システム10は、例えばバイアス累積などのバイアス不安定性を除去する方法を実施するように構成される。バイアス累積は、加速度計について計算される補償係数の精度に影響を与えることがある。補償係数は、通常、個々の加速度計について計算され、全制御プログラムの一部として加速度計出力を処理する装置(例えば、誘導装置製品など)のメモリに記憶される。

30

【0019】

図2は、バイアス不安定性を除去する方法30のプロセス・ステップを示すフローチャートである。方法30は、たとえば、システム10(図1に示す)によって実施することができる。方法30は、バイアス累積を除去するために、訂正加速度計出力を決定することを含む。温度サイクル・ヒステリシスが、加速度計の温度循環により除去される32。バイアス累積が、高加速度負荷休止時間を限定することによって、最小限に抑えられる34。訂正加速度計出力が、高加速度試験中に生じるバイアス累積を相殺するように決定される36。

30

【0020】

図3は、加速度計の補償係数を決定する方法40のプロセス・ステップを示すフローチャートである。方法40は、たとえば、システム10(図1に示す)によって実施することができる。バイアス累積が、測定加速度計出力から推定され(42)、訂正加速度計出力を計算することが可能になる44。補償係数が、訂正加速度計出力を使用して計算される46。

40

【0021】

図4は、温度循環によるバイアス不安定性を示すグラフ60である。本明細書において温度サイクル・ヒステリシスと呼ばれる温度循環によるバイアス不安定性が既知であり、温度循環により不安定性(ヒステリシス)の量を低減する方法も既知である。グラフ60には、3つのサンプル加速度計の累積バイアスシフト部分62およびバイアスシフト部分の変化64が含まれる。部分62および部分64の垂直軸は、1秒あたりのフィート(ft/sec)で表された100Hz統合加速度計出力を表し、1gの負荷は、32.15 ft/sec² × 0.01sec (= 9.8 m/sec² × 0.01sec)、または0

50

.32 f t / sec (= 9.8 cm/sec) に対応する。ヒステリシスは、f t / sec の単位で、加速度計出力変化として測定され、グラフ化されている。累積部分 62 を参照すると、累積温度ヒステリシスは、加速度計出力の累積変化が漸近線に到達する点である約 60 番目の温度サイクルまで、ほぼ指数関数的である。部分 64 を参照すると、加速度計出力が、初めの約 40 の温度サイクルにわたって 0.1 f t / (sec 3.05 cm/sec) 程度に変化することにあることに留意されたい。約 60 のサイクル後、温度循環による加速度計バイアスの変化は、ほとんどの加速度計の応用分野について、許容可能な変化レベルに到達する。

【0022】

摂氏温度 / 分で表された温度上昇を有する温度範囲と、ある試験温度における休止時間とを含めて、標準的な温度循環方法が使用される。一実施形態では、標準的な温度循環は、加速度計のバイアス不安定性を低減する方法の一部である。10

【0023】

図 5 は、たとえば、50 g の高加速度負荷および摂氏 33 度の温度 74 で動作している加速度計のバイアス累積 72 を示すグラフ 70 である。グラフ 70 に示したように、高加速度負荷がかけられ、特に、より高い温度において、加速度計は、バイアスを「累積」させる。具体的には、試験された加速度計は、50 g の負荷を加える前に、1 g で 5 分間動作された。グラフ 70 に示すように、約 5 分から 10 分継続する高加速度負荷が加えられたとき、バイアスは、ほぼ線形に累積する。負荷が、20 分など、より長い時間加えられたとき（図示せず）、累積バイアス 72 は、漸近線に近付く。20

【0024】

図 6 は、累積バイアス 102 の崩壊を示すグラフ 100 である。グラフ 100 は、グラフ 70（図 5 に示す）の時間に続く。グラフ 100 に示した崩壊は、50 g の負荷を 10 分間加えた後、1 g の負荷に低減した後のものである。累積バイアス 102 は、2 分程度の時定数でほぼ指数関数的に崩壊する。崩壊のサイズは、50 g などの高負荷の適用中に累積したバイアスにほぼ等しい。1つの特定の加速度計および試験では、約 0.04 f t / sec (= 1.22 cm/sec) のバイアスが、高負荷間隔中に累積した。基準として、高負荷間隔前の 1 g の加速度計出力 104 も示されている。20

【0025】

そのような累積および崩壊に基づいて、バイアス累積の影響の近似的レート方程式 b は、 $b = c_1(T) 1 - c_2(T) b$ によって与えられる。c_i は、特定の加速度計の温度 (T) 依存定数、1 は、加えられる負荷、c₂(T)b は、崩壊項である。30

【0026】

一実施形態では、加速度計は、図 4 に関して上記で記述したように、温度循環が温度サイクル・ヒステリシスを許容可能なレベルに低減した後でのみ補償される。バイアス累積を低減するために、加速度計の試験も実施される。特定の実施形態では、バイアス累積を最小限に抑えるために、高加速度負荷休止時間が、5 秒の持続時間に限定される。他の比較的短い高加速度負荷休止時間も考慮される。加速度計に対する g の負荷が第 1 レベルから第 2 レベルに増大する時間期間である負荷上昇が、一実施形態では、約 20 秒の時間期間にわたって行われる。他の負荷上昇時間期間も考慮される。記述する実施形態では、負荷上昇は、1 g の負荷から 50 g の負荷である負荷休止時間の開始時と、50 g から 1 g である負荷休止時間の終了時の両方において行われる。この実施形態では、その後の高加速度負荷の前に、加速度計は、累積が崩壊するのを可能にするように、5 ~ 10 分間 ± 1 g の負荷で動作された。本明細書において記述する例は、高加速度負荷を 50 g と記載し、低加速度負荷を 1 g と記載するが、本明細書において記述する方法は、他の加速度負荷の値に適用可能であることが理解されるであろう。バイアス累積が許容可能な場合は無視可能であるあらゆる負荷値を低加速度負荷値と見なすことができ、バイアス累積が許容可能ではないあらゆる負荷値を高加速度負荷値と見なすことができる。40

【0027】

図 7 は、摂氏 70 度において実施された通常の加速度計試験の負荷 202 および温度 250

04のプロファイルのグラフ200である。追加の加速度計試験が、1つまたは複数の異なる温度において実施される。

【0028】

グラフ200を参照すると、加速度計試験の初めの30から45分は、摂氏70度など、近似的温度レベルまで上昇させるために使用される。グラフ200によって示すプロファイルに示すように、高加速度負荷の適用と適用との間には、約5分のバイアス累積崩壊時間（すなわち、低加速度時間）が含まれる。摂氏45度以上の温度では、いくつかの加速度計は、バイアス累積から回復するために、高加速度負荷の適用と適用との間に、10分以上の低加速度負荷時間を必要とする。図8は、加速度計試験の高加速度負荷期間中に累積し、低加速度間隔中に崩壊するバイアス累積を示すグラフ250である。グラフ250は、グラフ200に示したのと同じ加速度計試験であるが、加速度計出力軸は、より微細な加速度計出力スケールを使用して、それにより、バイアス累積の崩壊を見ることを可能にするように図示されている。10

【0029】

加速度計試験からのデータの分析を使用して、バイアス累積を説明する。加速度計が組み込まれる機器のいくつかの飛行プロファイルは、4秒のミサイル飛行時間など、持続時間が短いので、バイアス累積は、飛行中は無視可能である。したがって、加速度計の試験中に行われるバイアス累積は、補償係数が決定される前に、試験データから除去する必要がある。バイアス累積は、3つの仮定を行うことによって、試験データから除去される。第1に、バイアス累積は、各高加速度試験間隔の開始時には無視可能であると仮定する。この仮定は、高加速度間隔間の5～10分の低加速度負荷時間により、以前に累積したバイアスが崩壊することが可能になるので、有効である。20

【0030】

第2に、崩壊項 $c_2(T)b$ は、間隔の持続時間が比較的短い時間であるので、各高加速度負荷間隔中に無視可能であると仮定する。そのような近似は、ほとんどの試験間隔にわたって $|c_1(T)l| > |c_2(T)b|$ であるので、妥当である。 $c_1(T)l$ は、高加速度負荷試験中のバイアス累積率である。20

【0031】

第3の仮定は、温度が、高加速度負荷間隔の短い期間中に著しく変化しないことである。較正実行の開始時における30～45分の温度上昇および1gの負荷休止により、この近似を行うことが可能になる。30

【0032】

図9は、図8に示した高加速度負荷間隔の1つなど、高加速度負荷間隔中の加速度計出力を示すグラフ300である。加速度計出力は、対称性、および高加速度間隔の時間の中心点付近において生じる約5秒の安定領域を示す。一実施形態では、補償係数は、安定領域の中心 t_c における加速度計出力 $a(t)$ に基づいて決定される。たとえば、1つの既知の試験シナリオでは、高加速度間隔の中心において、加速度テーブルレートは、グラフ300に示すように、約5秒間安定である。グラフ300を参照すると、加速度計出力 a は、時間 t の関数として図示されている。高加速度間隔のそれぞれの安定領域の中心点 t_c における加速度計出力は、補償係数の決定に使用される。しかし、上記で記述したように、バイアスは、加速度上昇（高加速度負荷の適用）中に累積し、加速度テーブルレートが安定する時間期間中に累積し続ける。中心点 $a(t_c)$ において加速度計出力を使用して、加速度計の補償係数を決定するために、時間 t_c の累積したバイアスは除去されるべきである。40

【0033】

高加速度負荷間隔の対称性により、間隔の中心においてバイアス累積を近似することが可能になる。図10は、加速度計試験の高加速度負荷間隔の開始前の時間における1g負荷加速度計出力と、終了後の時間における1g負荷加速度計出力との差を示すグラフ350である。高加速度負荷の開始前の時間と終了後の時間との加速度計出力の差により、具体的には間隔の中心におけるバイアス累積の近似である、高加速度負荷間隔中に累積した50

バイアスを近似することが可能になる。安定領域の中心におけるバイアス累積は、高加速度間隔の終了までに累積したバイアスの半分と考えられる。安定領域の中心において累積したバイアスを近似するために、高加速度間隔の終了後の時間に測定された1 g出力と、高加速度間隔の開始前の時間とに測定された1 g出力との差の2分の1が使用される。高加速度間隔の終了後の時間、および高加速度間隔の開始前の時間は、本明細書では、高加速度間隔端点と呼ばれることがある。次いで、近似されたバイアス累積は、補償係数を決定する前に、高加速度負荷中心点における加速度出力から減算される。

【0034】

図11は、加速度計出力 $a(t) \sim 402$ 、および加速度計出力の2次導関数 $a''(t) \sim 404$ のグラフ400である。これらは、一実施形態では、高加速度間隔の安定領域の中心におけるバイアス累積を決定するために使用される。高加速度間隔端点の位置および安定高加速度負荷領域の中心は、加速度計出力データを使用して決定される。一実施形態では、加速度計出力の2次導関数を使用して、高加速度間隔端点を決定するが、その理由は、補償されていない加速度計からの1 g出力は、加速度計および温度によって変化するからである。グラフ400は、2次導関数404によって提供される高加速度負荷間隔の鮮鋭な画定を示す。高加速度間隔の開始前の時間および終了後の時間における1 gの時間および出力 $a(t)$ と2次導関数 $a''(t)$ とは、それぞれ、 $(a(t_1), a''(t_1))$ および $(a(t_2), a''(t_2))$ として示される。高加速度間隔端点 t_1 および t_2 を見つけた後、較正データ点が、

【0035】

【数5】

$$t_c = \frac{1}{2}(t_1 + t_2)$$

【0036】

および

【0037】

【数6】

$$a_c = a(t_c) - \frac{1}{2}(a(t_2) - a(t_1))$$

【0038】

により、バイアス累積について決定され、訂正される。加速度計出力の1次導関数など、高加速度間隔端点を決定する他の方法も考慮される。

【0039】

加速度レートテーブルの熱膨張および遠心力による加速度レートテーブルの半径アームに対する影響など、加速度計の補償係数を決定するとき、他の誤差源が考慮される。正のgおよび負のgの半径アームが、1つの既知の加速度レートテーブルの温度の関数として、

【0040】

【数7】

$$r_p = 4.466 + 0.0001T + 2.13 \times 10^{-11} \dot{\theta}^2$$

【0041】

インチ、および

【0042】

【数8】

$$r_n = 1.552 + 0.00005T + 1.22 \times 10^{-11} \dot{\theta}^2$$

【0043】

10

20

30

40

50

インチ、によって記述される。Tは、摂氏温度、 $\dot{\theta}$ は、1秒あたりの回転度である。他の加速度レートテーブルの半径アームに依存する温度および回転レートを決定することが可能である。特定の温度、回転レート、および配向について、上記の正および負のgの半径アームの式の訂正を使用して、静止室温半径に対する変更を決定することができる。

【0044】

特定の回転レート、温度、および配向について、0.01秒にわたってシミュレーションした速度変化は、加速度計補償係数の決定に使用され、

【0045】

【数9】

$$dv_{load} = \frac{r_{p/n}}{1200} \left(\frac{2\pi\dot{\theta}}{360} \right)^2 \quad (\text{ft/sec})$$

10

【0046】

によって与えられる。

【0047】

しかし、 $r_{p/n}$ における負荷は、感知要素における負荷とは異なる可能性があるが、その理由は、加速度計パッケージ内において、感知要素の位置が変化するからである。半径の誤差は、方向に関して非対称であり、補償モデルの一部として決定される。感知要素の位置による2次の影響は、無視可能である。

【0048】

一実施形態では、加速度計出力の較正は、

20

【0049】

【数10】

$$\left(\frac{r_{p/n} \pm dr_{error}}{r_{p/n}} \right) dv_{load} = (w_0 + w_1 T + dv_{out} (w_2 + w_3 T + w_4 T^2 + w_5 T^3) + w_6 dv_{out}^2)$$

30

【0050】

として計算される試験中の負荷を計算することを含む。 d_{load} は、加えられた負荷および近似的半径アーム $r_{p/n}$ についての速度変化、 d_{out} は、加速度計出力、Tは、温度、 dr_{error} は、決定される加速度計感知要素の半径誤差、 w_i は、決定される較正係数である。 dr_{error} および w_i の係数を決定するために、加速度計は、上記で記述したように、複数の温度および複数の負荷において試験され、それにより、複数の出力を生成する。次いで、これらの複数試験の結果は、既知の数学的方法を使用して、実施された各加速度計試験の特定の d_{load} 、 d_{out} 、およびTを使用して dr_{error} および w_i について解くために使用される。 $r_{p/n}$ は、正g(p)および負g(n)の配向についての近似的半径アームである。項 d_{out} について上記で記述した方法を使用して決定される訂正加速度計出力 a_c を減算することによって、 dr_{error} および w_i の訂正值を決定することができる。

【0051】

誘導装置製品など、ある応用分野における動作使用中に温度および負荷を精確に補償するために、製品は、 w_i について計算された値を使用して、補償モデル

40

【0052】

【数11】

$$dv_{load} = (w_0 + w_1 T + dv_{out} (w_2 + w_3 T + w_4 T^2 + w_5 T^3) + w_6 dv_{out}^2)$$

【0053】

で構成され、したがって、製品は、任意の動作温度および出力において誤差を最小限に抑えることができる。この応用分野では、バイアス累積は、 d_{out} から除去されない。

【0054】

50

本発明について、様々な特有の実施形態の観点で記述してきたが、当業者なら、請求項の精神および範囲内において修正して、本発明を実施することができることを理解するであろう。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】高速レートテープル・システムのブロック図である。

【図2】加速度計のバイアス不安定性を補償する方法のフローチャートである。

【図3】補償係数決定方法のフローチャートである。

【図4】温度循環によるバイアス不安定性を示すグラフである。

【図5】高加速度負荷において動作されている加速度計のバイアス累積を示すグラフである。 10

【図6】累積バイアスの崩壊を示すグラフである。

【図7】通常の加速度計の試験について負荷および温度のプロファイルを示すグラフである。

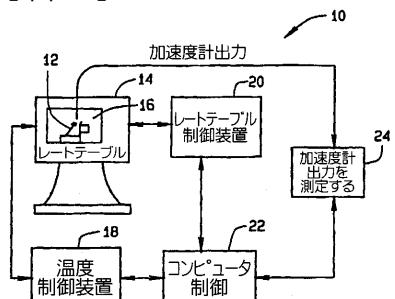
【図8】加速度計試験の高加速度負荷期間中に累積し、低加速度負荷間隔中に崩壊したバイアス累積を示すグラフである。

【図9】高加速度負荷間隔中の加速度計出力を示すグラフである。

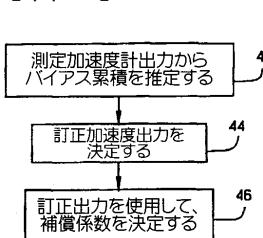
【図10】高加速度負荷間隔の開始時の加速度計出力と終了時における加速度計出力との、バイアス累積によるバイアス差を示すグラフである。

【図11】高加速度負荷間隔中について、加速度計出力および加速度計出力の2次導関数を示すグラフである。 20

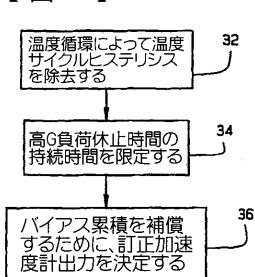
【図1】



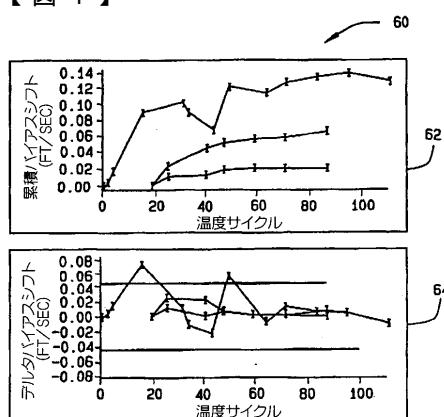
【図3】



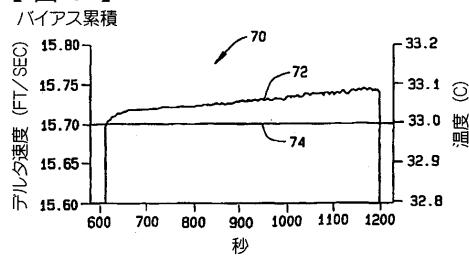
【図2】



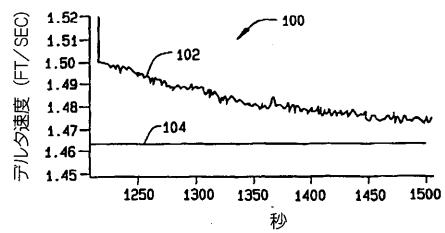
【図4】



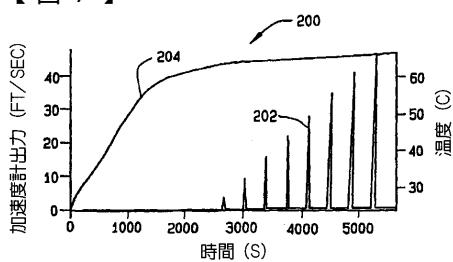
【図5】



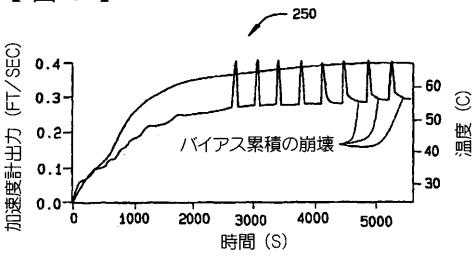
【図6】



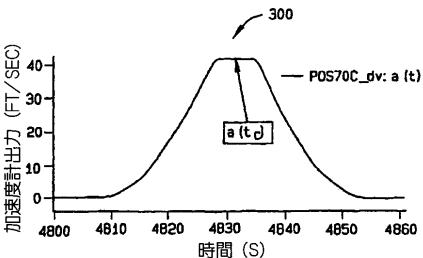
【図7】



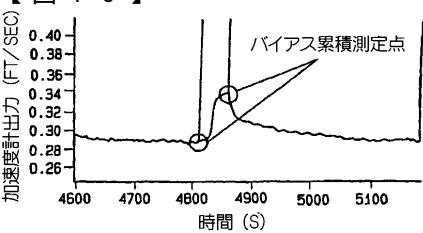
【図8】



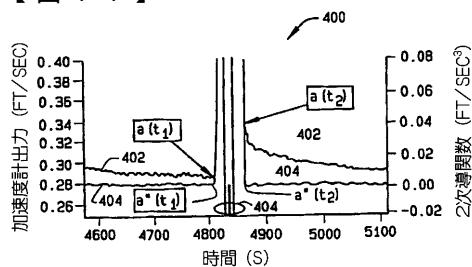
【図9】



【図10】



【図11】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 03/02188
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 GO1P21/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 GO1P		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category ^a	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	"IEEE STANDARD SPECIFICATION FORMAT GUIDE AND TEST PROCEDURE FOR LINEAR, SINGLE-AXIS, PENDULOUS, ANALOG TORQUE BALANCE ACCELEROMETER" IEEE STD 337-1972, XX, XX, 1971, pages 8-53, XP002927393 page 44 -page 45 page 49 -page 53 ---	1,13,19
A	US 5 353 642 A (HASEGAWA OSAMU ET AL) 11 October 1994 (1994-10-11) abstract; figure 8 ---	1,13,19
A	WO 01 11318 A (ALLIED SIGNAL INC) 15 February 2001 (2001-02-15) page 2, paragraph 1 -page 3, paragraph 1 page 7, line 10 -page 8, line 8 ---	1,13,19
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/>	Further documents are listed in the continuation of box C.	<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
* Special categories of cited documents:		
A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		
E earlier document but published on or after the International filing date		
L document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		
O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		
P document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed		
T later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention		
X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone		
Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.		
& document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the International search report	
2 May 2003	12/05/2003	
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl. Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Felicetti, C	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No PCT/US 03/02188
C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 58 621 A (AUTOFLUG GMBH) 6 July 2000 (2000-07-06) page 3, line 35 -page 4, line 35 ---	1,13,19
A	US 6 151 553 A (NOY KOEN ANTONIE ET AL) 21 November 2000 (2000-11-21) column 7, paragraph 6; claim 1 ---	1,13,19
A	US 4 611 304 A (BUTENKO R BRUCE ET AL) 9 September 1986 (1986-09-09) abstract; figure 4 column 3, paragraph 5 -column 4, paragraph 1 ----	1,13,19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/US 03/02188

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 5353642	A	11-10-1994	JP	2824812 B2	18-11-1998
			JP	4246799 A	02-09-1992
			JP	2913520 B2	28-06-1999
			JP	4258768 A	14-09-1992
WO 0111318	A	15-02-2001	US	6498996 B1	24-12-2002
			CA	2381196 A1	15-02-2001
			EP	1200802 A1	02-05-2002
			JP	2003506702 T	18-02-2003
			WO	0111318 A1	15-02-2001
DE 19858621	A	06-07-2000	DE	19858621 A1	06-07-2000
			WO	0037891 A1	29-06-2000
			EP	1144955 A1	17-10-2001
US 6151553	A	21-11-2000	US	2002116130 A1	22-08-2002
			US	6529834 B1	04-03-2003
			AU	749937 B2	04-07-2002
			AU	1628399 A	16-06-1999
			CA	2312742 A1	10-06-1999
			GB	2347224 A ,B	30-08-2000
			GB	2369188 A ,B	22-05-2002
			NO	20002859 A	03-08-2000
			WO	9928594 A1	10-06-1999
US 4611304	A	09-09-1986	AU	553358 B2	10-07-1986
			AU	2992684 A	07-02-1985
			BE	900235 A1	16-11-1984
			DE	3421736 A1	14-02-1985
			ES	8600519 A1	01-01-1986
			FR	2549985 A1	01-02-1985
			GB	2144225 A ,B	27-02-1985
			HK	44188 A	17-06-1988
			JP	60042617 A	06-03-1985
			NL	8402336 A	18-02-1985
			NO	842851 A	28-01-1985
			SE	8403823 A	28-01-1985
			ZA	8405137 A	27-03-1985

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT, BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN, GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC, EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,M X,MZ,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,RU,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100120558

弁理士 住吉 勝彦

(72)発明者 サヴァード,トーマス・エイ

アメリカ合衆国ミネソタ州55116,セント・ポール,ケニス・ストリート 1392