

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-161361

(P2016-161361A)

(43) 公開日 平成28年9月5日(2016.9.5)

(51) Int.Cl.  
G01C 19/00 (2013.01)F1  
G01C 19/00テーマコード(参考)  
2F105

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-39708 (P2015-39708)  
(22) 出願日 平成27年2月28日 (2015.2.28)(71) 出願人 504151365  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
茨城県つくば市大穂1番地1  
(74) 代理人 100093816  
弁理士 中川 邦雄  
(72) 発明者 久米 達哉  
茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内  
Fターム(参考) 2F105 BB08

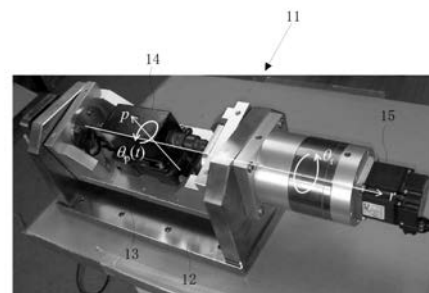
(54) 【発明の名称】 ジャイロレートオフセット除去方法

## (57) 【要約】

【課題】高速のレートオフセットの変動に追従し、それを除去するジャイロレートオフセット除去方法及びジャイロ回転装置を提供する。

【解決手段】ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセットを除去する方法であって、前記ジャイロを、前記ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに一定の角速度で回転させ、得られた角度信号から前記ジャイロの回転周期の半周期後と一周期後の二階差分値を得て、レートオフセット成分を導出することで、前記ジャイロが有する角度オフセットとレートオフセットを除去することを特徴とするジャイロレートオフセット除去方法の構成とした。

【選択図】 図10



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセットを除去する方法であって、

前記ジャイロを、前記ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに一定の角速度で回転させ、得られた角度信号から前記ジャイロの回転周期の半周期後と一周期後の二階差分値を得て、レートオフセット成分を導出することで、

前記ジャイロが有する角度オフセットとレートオフセットを除去することを特徴とするジャイロレートオフセット除去方法。

## 【請求項 2】

前記ジャイロが、2台で、それらが互いに反対方向に回転し、2台の前記ジャイロから得られる前記二階差分値を用いて、レートオフセット成分を導出することで、地球自転に代表されるジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット成分を除去することを特徴とする請求項 1 に記載のジャイロレートオフセット除去方法。

## 【請求項 3】

ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセットを除去するジャイロ回転装置であって、

枠と、前記枠に回転可能に備えられる回転台と、前記回転台に固定されたジャイロと、前記回転台を回転させるモータと、

からなり、

前記モータで前記回転台を回転させることで、前記ジャイロを前記ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに一定の角速度で回転させ、得られた角度信号から前記ジャイロの回転周期の半周期後と一周期後の二階差分値を得て、レートオフセット成分を導出することで、

前記ジャイロが有する角度オフセットとレートオフセットを除去することを特徴とするジャイロ回転装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセット（角速度誤差）、さらに高速のレートオフセット変動にも追従し、レートオフセットを除去する方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

ここで、ジャイロレートオフセット（単に、レートオフセットということもある）とは、ジャイロが静止状態では角速度出力値が 0 でなければならないところ、実際に出力される角速度値（信号値）のことである。

## 【0003】

回転角度をジャイロにより検出測定する場合にレートオフセットが存在すると、検出角速度を積分して得られる検出角度にはオフセット値が時間的に積分された角度誤差も含まれることになる。従って、正確な角度検出、測定を実施するためには、ジャイロは、レートオフセットが極く小さくしなければならない。

## 【0004】

従来のレートオフセットの除去方法として、次の技術が知られている。

・従来技術（1）は、ジャイロを一定時間静止させ、得られた信号をレートオフセットと定め、その後の測定値から静止状態の信号（値）を測定値から差し引く方法である。

・従来技術（2）は、図 1 に示すように、ジャイロ角度検出方向と直交する方向に、周期的にジャイロを揺動し、得られた信号からレートオフセット分を除去する方法（特許文献 1）である。

・従来技術（3）は、図 2 に示すように、ジャイロ角度検出方向と直交する方向に、ジャ

10

20

30

40

50

イロを反転させ得られた信号からレートオフセット分を除去する方法（特許文献２）である。

【０００５】

しかしながら、上記従来のレートオフセット除去方法（１）は、ジャイロレートオフセットの変動に追従した除去をすることができない。従来技術（２）の方法では、レートオフセット値の変動に追従し除去することが可能であるが装置が複雑となる。従来技術（３）の方法では、ジャイロの反転に追従するレートオフセット成分を除去することができるが、地球自転のように、ジャイロの反転に追従しないレートオフセット成分を除去することができない。

【０００６】

そこで、発明者は、ジャイロレートオフセットの変動に追従し、簡易な構成で、かつジャイロの反転にも追従するとともに、地球自転のようなジャイロの反転に追従しないレートオフセット成分をも除去することができる、簡便なジャイロレートオフセット除去方法、ジャイロ装置を提供するため、従来技術（４）である特許文献３の発明を特許出願している。

【０００７】

従来技術（４）である特許文献３の発明は、ジャイロと、位置保障された測定対象面及び前記測定対象面との位置が保障された基準エッジとの位置関係を利用しながら前記ジャイロを前記測定対象面に垂直な反転軸を中心に周期的に反転させ、ジャイロレートオフセットの変動に追従してジャイロレートオフセットを除去するとともに、前記ジャイロの反転前後のジャイロ角度検出値の差分値の時間変化量から、前記ジャイロの反転に関係なく加わるジャイロレートオフセット成分を検出し、除去することを特徴とするジャイロレートオフセット除去方法、さらにジャイロレートオフセット変動、ジャイロ反転及びジャイロ反転に追従しないジャイロレートオフセットを除去できるジャイロ装置であって、測定対象面に載置される底面、側面を備えた枠と、前記枠に固定したジャイロと、前記測定対象面に対して垂直な位置に固定された第一基準エッジと、前記第一基準エッジと直角をなして前記測定対象面に対して垂直な位置に固定された第三基準エッジと、を備え、ジャイロレートオフセットを検出するに際し、前記枠の対向する２面を、交互に前記第一基準エッジ及び第三基準エッジに当接させる反転を繰り返すことを特徴とするジャイロ装置というものである。

【０００８】

しかしながら、特許文献３の発明でも、ジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット成分を検出し除去するには、ある程度長い反転間隔を用いる必要があり、高速のレートオフセットの変動に追従し、それを除去することが難しかった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】特開２００８－２３３０９５号公報

【特許文献２】特開２００９－０９２５８３号公報

【特許文献３】特願２０１４－３９９３９号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

そこで、本発明は、高速のレートオフセットの変動に追従し、それを除去するジャイロレートオフセット除去方法及びジャイロ回転装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

上記の課題を解決するために、本発明は、

（１）

ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセットを除去する方

10

20

30

40

50

法であって、

前記ジャイロを、前記ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに一定の角速度で回転させ、得られた角度信号から前記ジャイロの回転周期の半周期後と一周期後の二階差分値を得て、レートオフセット成分を導出することで、前記ジャイロが有する角度オフセットとレートオフセットを除去することを特徴とするジャイロレートオフセット除去方法。

(2)

前記ジャイロが、2台で、それらが互いに反対方向に回転し、2台の前記ジャイロから得られる前記二階差分値を用いて、レートオフセット成分を導出することで、地球自転に代表されるジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット成分を除去することを特徴とする請求項1に記載のジャイロレートオフセット除去方法。

10

(3)

ジャイロを用いた角度検出において大きな誤差要因となるレートオフセットを除去するジャイロ回転装置であって、

枠と、前記枠に回転可能に備えられる回転台と、前記回転台に固定されたジャイロと、前記回転台を回転させるモータと、

からなり、

前記モータで前記回転台を回転させることで、前記ジャイロを前記ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに一定の角速度で回転させ、得られた角度信号から前記ジャイロの回転周期の半周期後と一周期後の二階差分値を得て、レートオフセット成分を導出することで、

20

前記ジャイロが有する角度オフセットとレートオフセットを除去することを特徴とするジャイロ回転装置。

とした。

【発明の効果】

【0012】

本発明は、ジャイロを一定の角速度で回転させるだけで、地球自転の影響を含むあらゆるレートオフセットとジャイロの角度オフセットの影響が除去できる。また、ジャイロ回転角速度を高速にすることで、より高速のレートオフセット変動をも除去することが可能となり、より小型安価であるが低安定なジャイロを、高精度を必要とする用途に用いることが可能となる。これらは一定の角速度でジャイロを回転させることで実現できるため、装置や制御が簡単になる。

30

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】従来(特許文献1)の周期的にジャイロを揺動し、得られた信号からレートオフセットを除去した角度値を導出する技術の説明図である。

【図2】従来(特許文献2)の周期的にジャイロを反転し、得られた信号からレートオフセットを除去する方法の説明図である。

【図3】特許文献3の先の出願の基準面と基準エッジを用いたジャイロレートオフセット除去方法に用いる、ジャイロ装置1の斜視写真(A)、及び反転軸3cを回転中心として、ジャイロ4を固定した枠3(ジャイロユニット1a)を反転方向3dに交互に180°反転させて、ジャイロ角度検出軸4aを回転中心としたジャイロ4の傾き角度を測定する場合の模式図(B)(C)である。図3(B)の枠3を180°反転方向3dに反転させると、図3(C)になる。

40

【図4】回転するジャイロの説明図である。

【図5】  $r = 2n$  (nは整数)の場合の回転するジャイロの説明図である。

【図6】  $r = /2 + 2n$  (nは整数)の場合の回転するジャイロの説明図である。

【図7】図4にジャイロに固定した直交座標系(p、q、r)を加えたときの説明図である。

【図8】図7において、ジャイロ角度検出軸pの方向が、ジャイロ回転軸と直交する方向

50

p' に対して だけ傾いた場合のモデルである。

【図 9】地球自転のモデルである。

【図 10】本発明のジャイロ回転装置の写真である。

【図 11】ジャイロ回数 2、1、0.5 rps (回転/秒) とした場合の測定値から導出された r 軸の振れ角の時間変化 (1) のグラフである。

【図 12】ジャイロ回転数 0.2、0.1、0.05 rps (回転/秒) とした場合の測定値から導出された r 軸の振れ角の時間変化 (2) のグラフである。

【図 13】ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに反転、回転、逆転させる機構の模式図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0014】

以下、添付の図面 3 - 8 を参照し、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、本発明は下記実施例に限定されるものではない。

【0015】

はじめに、角度検出軸と直交する軸周りに回転するジャイロを用いる方法 (以下「方法 (1)」という) について説明する。

【0016】

まず、回転するジャイロについて、図 4 を参照して説明する。ここで、ジャイロは p 軸周りの回転角  $\theta_p$  を検出し、p 軸をジャイロの角度検出軸、p 軸を法線とする面 P をジャイロの角度検出面と呼ぶ。

20

【0017】

また、ジャイロは p 軸と直交する r 軸周りに回転すると考え、その回転角をジャイロの回転角  $\theta_r$  とする。次にジャイロ初期状態での p 軸方向を z 軸、r 軸方向を y 軸とした、直交座標系 (x、y、z) を定義し、x および z 軸周りの回転角  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  を考える。したがって、 $\theta_x$ 、 $\theta_z$  は、r 軸の y 軸に対する偏角の x、z 軸周り成分となる。

【0018】

ここでは、回転するジャイロから得られる角度信号をもとに、r 軸の偏角  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  を、ジャイロの角度オフセットやレートオフセットの影響を受けることなく検出することを目的とする。r 軸の偏角  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  は、ジャイロの回転角  $\theta_r$  でこれらを変調した下記数式 1 のような角度変化としてジャイロに作用する。

30

【0019】

【数 1】

$$\sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \theta_r + \sin \theta_x \sin \theta_r)$$

【0020】

数式 1 の特別の場合として、 $\theta_r = 2n$  (n は整数) の場合を図 5 に、 $\theta_r = \pi/2 + 2n$  (n は整数) の場合を図 6 にそれぞれ示す。前者の場合ジャイロには  $\theta_z$  が作用し、検出される。一方、後者の場合ジャイロには  $\theta_x$  が作用し、検出される。

【0021】

図 4 にジャイロに固定した直交座標系 (p、q、r) を加え、図 7 に示す。ここで、ジャイロは r 軸周りに一定の角速度  $\omega_r$  で回転しながら、p 軸周りの角度  $\theta_p(t)$  を検出する。t は時刻を表し、t = 0 の初期状態において、p 軸は z 軸と、r 軸は y 軸と、それぞれ一致すると考える。ジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット  $\theta_s$  を考え、その x、y、z 成分を、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$  とすると、その p 軸周りの成分は、下記数式 2 として表される。

40

【0022】

【数 2】

$$\omega_z \cos \theta_r + \omega_x \sin \theta_r$$

50

【 0 0 2 3 】

微小時間  $d$  間にジャイロに作用するレートオフセット  $\omega_s$  に起因する角度成分は、下記数式 3 として表される。

【 0 0 2 4 】

【 数 3 】

$$(\omega_z \cos \theta_r + \omega_x \sin \theta_r) d\tau$$

時刻 0 ~ t 間にジャイロに作用する角度成分は、下記数式 4 として表される。

【 0 0 2 5 】

【 数 4 】

$$\int_0^t (\omega_z \cos \theta_r + \omega_x \sin \theta_r) d\tau$$

【 0 0 2 6 】

時刻  $t = 0$  のときのジャイロ回転角  $\theta_r = 0$  とすると、時刻  $t$  のジャイロ回転角  $\theta_r$  は、ジャイロ回転の角速度  $\omega_r$  を用いて、 $\theta_r = \omega_r t$  と示されることから、数式 4 は数式 5 のように書き換えられる。

【 0 0 2 7 】

【 数 5 】

$$\int_0^t (\omega_z \cos \omega_r \tau + \omega_x \sin \omega_r \tau) d\tau$$

ここで数式 5 を解くと、数式 6 が得られる。

【 0 0 2 8 】

【 数 6 】

$$\frac{\omega_z}{\omega_r} \sin \omega_r t - \frac{\omega_x}{\omega_r} (\cos \omega_r t - 1)$$

【 0 0 2 9 】

数式 6 が、ジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット  $\omega_s$  に起因するジャイロの角度出力となる。ここで、ジャイロが持つ角度オフセットとレートオフセットをそれぞれ  $\theta_0$ 、 $\omega_0$  とすると、時刻  $t$  に検出されるジャイロ角度信号  $\theta_p(t)$  は、下記数式 7 として表される。

【 0 0 3 0 】

【 数 7 】

$$\theta_p(t) = \theta_0 + \sin^{-1}(\sin \theta_2 \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) + \frac{1}{\omega_r} \{\omega_z \sin \omega_r t - \omega_x (\cos \omega_r t - 1)\} + \omega_0 t$$

【 0 0 3 1 】

数式 7 の右辺において、第一項はジャイロが持つ角度オフセット成分、第二項は検出することを目的とする数式 1 で示される角度成分、第三項はジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット  $\omega_s$  に起因する角度成分、第四項はジャイロの方位変動に追従するレートオフセット成分  $\omega_0$  に起因する角度成分であり、第二項以外は、除去すべき誤差成分となる。

【 0 0 3 2 】

したがって、ジャイロ回転の半周期後のジャイロ角度信号は、数式 7 の  $t$  を  $t + \pi / \omega_r$  として、下記数 8 として表される。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

【数 8】

$$\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) = \theta_0 - \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) \\ + \frac{1}{\omega_r} \{-\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x (\cos \omega_r t + 1)\} + \omega_0 t + \frac{\pi \omega_0}{\omega_r}$$

【0034】

数式 7、8 から、ジャイロで検出される角度信号のジャイロ回転の半周期後との差を求めると数式 9 が得られる。

10

【0035】

【数 9】

$$\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) - \theta_p(t) = -2 \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) \\ + \frac{2}{\omega_r} (-\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{\pi \omega_0}{\omega_r}$$

【0036】

一方、ジャイロ回転の 1 周期後のジャイロ角度信号は、数式 7 における  $t$  を  $t + 2 / \omega_r$  として、下記数式 10 として表される。

20

【0037】

【数 10】

$$\theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) = \theta_0 + \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) \\ + \frac{1}{\omega_r} \{\omega_z \sin \omega_r t - \omega_x (\cos \omega_r t - 1)\} + \omega_0 t + \frac{2\pi \omega_0}{\omega_r}$$

【0038】

数式 7、10 からジャイロで検出される角度信号のジャイロ回転の 1 周期後との差を求めると数式 11 が得られる。

30

【0039】

【数 11】

$$\theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - \theta_p(t) = \frac{2\pi \omega_0}{\omega_r}$$

また、数式 9、11 から、下記数式 12 が得られる。

【0040】

【数 12】

$$\sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) \\ = \frac{1}{\omega_r} (-\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{1}{4} \left\{ \theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_p(t) \right\}$$

40

【0041】

数式 12 が、ジャイロの回転角  $\omega_r$  で変調された、 $r$  軸の偏角  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  の導出数式である。ここで、数式 12 の右辺第一項は、ジャイロの方位変化に追従しないレートオフセットの影響を示す。一方、第二項はジャイロから得られる角度信号の、ジャイロの回転周期  $2 / \omega_r$  の半周期後と一周期後との二階差分値に相当する。

【0042】

ここで、 $\cos \omega_r t = 1$  のとき、 $\sin \omega_r t = 0$  となることから、数式 12 は数式

50

1 3 のように変形できる。

【 0 0 4 3 】

【 数 1 3 】

$$\theta_z = \frac{\omega_x}{\omega_r} + \frac{1}{4} \left\{ \theta_p \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_p \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_p(t) \right\}$$

ただし、 $t = 2n$  ( $n$  は整数) である。

【 0 0 4 4 】

一方、 $\sin_r t = 1$  のとき  $\cos_r t = 0$  となることから、数式 1 2 は数式 1 4 のように変形できる。

【 0 0 4 5 】

【 数 1 4 】

$$\theta_x = -\frac{\omega_z}{\omega_r} + \frac{1}{4} \left\{ \theta_p \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_p \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_p(t) \right\}$$

ただし、 $t = 2n + \pi/2$  ( $n$  は整数) である。

【 0 0 4 6 】

数式 1 3、1 4 には、ジャイロが持つ角度オフセット  $\theta_0$  およびレートオフセット  $\dot{\theta}_0$  が含まれない、即ち、当該関係式より、 $\theta_0$  および  $\dot{\theta}_0$  の影響を受けずに、 $\theta_x$ 、 $\theta_z$  を導出できる。

【 0 0 4 7 】

ここで、数式 1 3、1 4 に残留した  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  はジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット成分である。それらの最大の要因となる地球自転の影響については、ジャイロ設置位置の緯度  $\phi$  とジャイロ回転軸方向の子午線からの偏角  $\alpha$  により補正し、除去することが可能である。それについては、下記、< b . 地球自転の影響 > に説明する。

【 0 0 4 8 】

一方、ジャイロの回転角速度  $\omega_r$  を  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  に対して十分に大きくする、即ちジャイロの回転角速度を十分に速くすることで、数式 1 3、1 4 の  $\theta_x / \omega_r$ 、 $\theta_z / \omega_r$  を無視できるほど小さくし、それらの影響が除去できる。

【 0 0 4 9 】

このようにして、従来技術 ( 3 ) が持つ、ジャイロの方位変動に追従しない地球自転に起因するようなレートオフセットが除去できない、といった問題は、解決できる。さらに、このとき同時に、従来技術 ( 4 ) において問題となる、レートオフセットの高速変動に追従し、それを除去することが可能となる。

【 0 0 5 0 】

ジャイロの回転角速度をさらに大きくすることで、より高速のレートオフセットの変動を除去することが可能となり、より小型安価ではあるが低安定なジャイロを用いることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

このことは、ジャイロ回転装置全体の小型軽量化と低価格化を可能とするとともに、回転機構の更なる高速化を可能として、より高速なレートオフセットの変動への対処と、より小型安価なジャイロの適用が可能となる。

【 0 0 5 2 】

また、本発明のジャイロレートオフセット除去方法を実現するには、ジャイロを一定の角速度で回転させれば良いため、ジャイロ回転装置の構成や制御を簡単にすることが可能となって、従来技術 ( 2 ) が有する装置や制御が複雑、かつ、難しくなるといった問題は回避される。さらに、この方法ではレートオフセットの変動に追従できることから、従来技術 ( 1 ) が有するレートオフセットの変化に追従できないといった問題を解決できる。

【 0 0 5 3 】

次に、角度検出軸と直交する軸周りに互いに逆回転する 2 台のジャイロを用いる方法 (

10

20

30

40

50



以下「方法(2)」という)について、説明する。なお、2台のジャイロを、ジャイロの角度検出軸と直交する軸周りに互いに逆回転する機構としては、航空機のプロペラやヘリコプターのメインブレードで採用される同軸二重反転機構を用いる方法などが例示できる。

【0054】

数式7において  $\omega_r$  を  $-\omega_r$  とすることで、ジャイロを逆回転させた場合のジャイロ角度信号  $\theta_c(t)$  を求めると、下記数式15となる。

【0055】

【数15】

$$\theta_c(t) = \theta_{c0} + \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) - \frac{1}{\omega_r} \{-\omega_z \sin \omega_r t - \omega_x (\cos \omega_r t - 1)\} + \omega_{c0} t \quad 10$$

【0056】

ここで  $\theta_{c0}$ 、 $\omega_{c0}$  は、ジャイロが持つ角度オフセットおよび角速度オフセットとする。このとき、ジャイロ回転の半周期後と1周期後に検出されるジャイロ角度信号は、それぞれ、下記数式16、17となる。

【0057】

【数16】

$$\theta_c\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) = \theta_{c0} - \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) - \frac{1}{\omega_r} \{\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x (\cos \omega_r t + 1)\} + \omega_{c0} t + \frac{\pi \omega_{c0}}{\omega_r} \quad 20$$

【0058】

【数17】

$$\theta_c\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) = \theta_{c0} + \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) - \frac{1}{\omega_r} \{-\omega_z \sin \omega_r t - \omega_x (\cos \omega_r t - 1)\} + \omega_{c0} t + \frac{2\pi \omega_{c0}}{\omega_r} \quad 30$$

【0059】

よって、ジャイロで検出される角度信号のジャイロ回転の半周期後、および、1周期後との差は、それぞれ、下記数式18、19となる。

【0060】

【数18】

$$\theta_c\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) - \theta_c(t) = -2 \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) - \frac{2}{\omega_r} (\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{\pi \omega_{c0}}{\omega_r} \quad 40$$

【0061】

【数19】

$$\theta_c\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - \theta_c(t) = \frac{2\pi \omega_{c0}}{\omega_r}$$

【0062】

また、数式18、19から数式20の関係式が得られる。

【0063】

【数 2 0】

$$\begin{aligned} & \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) \\ &= -\frac{1}{\omega_r}(\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{1}{4} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\} \end{aligned}$$

【0064】

ここで、 $\cos \omega_r t = 1$  のとき、 $\sin \omega_r t = 0$  となることから、数式 2 0 は数式 2 1 のようになる。

【0065】

【数 2 1】

$$\theta_z = -\frac{\omega_x}{\omega_r} + \frac{1}{4} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\}$$

ただし、 $t = 2n$  ( $n$  は整数) である。

【0066】

一方、 $\sin \omega_r t = 1$  のとき  $\cos \omega_r t = 0$  となることから、数式 2 0 は数式 2 2 のように変形できる。

【0067】

【数 2 2】

$$-\theta_x = -\frac{\omega_z}{\omega_r} + \frac{1}{4} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\}$$

ただし、 $t = \pi/2 + 2n$  ( $n$  は整数) である。

【0068】

さらに、数式 1 3、2 1 より、下記数式 2 3 の関係式が導出される。

【0069】

【数 2 3】

$$\begin{aligned} \theta_z &= \frac{1}{8} \left\{ \theta_p \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_p \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_p(t) \right\} \\ &+ \frac{1}{8} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\} \end{aligned}$$

ただし、 $t = 2n$  ( $n$  は整数) である。

【0070】

同様に、数式 1 4、2 2 より、下記数式 2 4 の関係式が導出される。

【0071】

【数 2 4】

$$\begin{aligned} \theta_x &= \frac{1}{8} \left\{ \theta_p \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_p \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_p(t) \right\} \\ &- \frac{1}{8} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\} \end{aligned}$$

ただし、 $t = \pi/2 + 2n$  ( $n$  は整数) である。

【0072】

数式 2 3、2 4 は、ジャイロの持つ角度オフセット  $\theta_{p0}$ 、 $\theta_{c0}$  およびレートオフセット  $\omega_{p0}$ 、 $\omega_{c0}$  を含まないことに加えて、ジャイロの方位変動に追従しないレートオフセット  $\omega_{x0}$ 、 $\omega_{z0}$  も含まない。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 3 】

即ち、数式 2 3、2 4 は、正回転するジャイロから得られる角度信号  $\theta_p(t)$  と逆回転するジャイロから得られる角度信号  $\theta_c(t)$  の、ジャイロ回転の半周期後と一周期後との二階差分相当値である数式 2 5 と、数式 2 6 のみより  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  が導出できることを示す。

【 0 0 7 4 】

【 数 2 5 】

$$\theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_p(t)$$

10

【 0 0 7 5 】

【 数 2 6 】

$$\theta_c\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_c\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_c(t)$$

【 0 0 7 6 】

なお、 $t = \frac{\pi}{\omega_r} + 2n$  ( $n$  は整数) の場合には、下記数式 2 7 の関係式が導出できる。

【 0 0 7 7 】

【 数 2 7 】

$$\theta_z = -\frac{1}{8} \left\{ \theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_p(t) \right\} \\ - \frac{1}{8} \left\{ \theta_c\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_c\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_c(t) \right\}$$

20

【 0 0 7 8 】

また、 $t = \frac{3\pi}{2\omega_r} + 2n$  ( $n$  は整数) の場合には、下記数式 2 8 の関係式が導出できる。

【 0 0 7 9 】

【 数 2 8 】

$$\theta_x = -\frac{1}{8} \left\{ \theta_p\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_p\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_p(t) \right\} \\ + \frac{1}{8} \left\{ \theta_c\left(t + \frac{2\pi}{\omega_r}\right) - 2\theta_c\left(t + \frac{\pi}{\omega_r}\right) + \theta_c(t) \right\}$$

30

【 0 0 8 0 】

以上のように、数式 2 7、2 8 から  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  を導出することができる。この場合、ジャイロの方位変動に追従する、しないに関わらずあらゆるレートオフセットの影響されることなく方位角  $\theta_x$ 、 $\theta_z$  が導出できることから、従来技術 (1)、(3) の問題が解決できる。また、任意のジャイロ回転角速度  $\omega_r$  を用いることが可能であることから、従来技術 (4) の問題も無い。

40

【 0 0 8 1 】

さらに、本発明のジャイロレートオフセット除去方法を実現するには、ジャイロを一定の角速度で回転させれば良いため、装置や制御を簡単にすることが可能となって、従来技術 (2) の持つ問題は回避される。なお、2 台のジャイロの回転周期 (角速度) を一致させる必要はあるが、それらの回転位相を同期させる必要は無い。さらに、ジャイロの回転角速度をさらに大きくすることで、より高速のレートオフセットの変動を除去することが可能となり、より小型安価ではあるが低安定なジャイロを用いることが可能となる。このことは、装置全体の小型軽量化と低価格化を可能とするとともに、回転機構の更なる高速

50

化を可能として、より高速なレートオフセットの変動への対処と、より小型安価なジャイロの適用が可能となる。

【 0 0 8 2 】

次に、< a . ジャイロ回転検出軸の方向ずれの影響 > について説明する。

図 8 に、ジャイロ角度検出軸 p の方向が、ジャイロ回転軸 r に直交する方向 p ' に対してだけ傾いた場合のモデルを示す。この場合、数式 7 で示されるジャイロ角度信号  $\theta_p(t)$  は、数式 29 と示される。

【 0 0 8 3 】

【 数 2 9 】

$$\theta_p(t) = \theta_0 + \sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) + \frac{1}{\omega_r} \{ \omega_z \sin \omega_r t - \omega_x (\cos \omega_r t - 1) \} + (\omega_0 - \omega_r \sin \psi) t$$

10

【 0 0 8 4 】

このような場合であっても、 $\theta_p(t)$  の値に関わらず数式 12、20 の関係が成り立つことから、

【 0 0 8 5 】

【 数 1 2 】

$$\sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t + \sin \theta_x \sin \omega_r t) = \frac{1}{\omega_r} (-\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{1}{4} \left\{ \theta_p \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_p \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_p(t) \right\}$$

20

【 0 0 8 6 】

【 数 2 0 】

$$\sin^{-1}(\sin \theta_z \cos \omega_r t - \sin \theta_x \sin \omega_r t) = -\frac{1}{\omega_r} (\omega_z \sin \omega_r t + \omega_x \cos \omega_r t) + \frac{1}{4} \left\{ \theta_c \left( t + \frac{2\pi}{\omega_r} \right) - 2\theta_c \left( t + \frac{\pi}{\omega_r} \right) + \theta_c(t) \right\}$$

30

【 0 0 8 7 】

前記方法 1、2 の方法は、 $\theta_p(t)$  の値に関わらずそのまま適用可能である。即ち、前記方法 1、2 の方法は、ジャイロ角度検出軸 p の方向が、ジャイロ回転軸 r に直交する方向 p ' に対して傾いた場合であっても適用可能である。

【 0 0 8 8 】

次に、< b . 地球自転の影響 > について説明する。

図 9 に地球自転のモデルを示す。地球は角速度  $7.3 \mu\text{rad/s}$  で回転している。ここで、ジャイロ角度検出軸 p の初期方向が鉛直方向であるとして、ジャイロ設置位置の緯度を  $\psi$ 、ジャイロ回転軸が子午線となす角度を  $\theta_0$  とした場合、図 7 の解析モデルにおいて、

40

$\theta_z = \sin \psi$ 、 $\theta_x = \cos \psi \sin \theta_0$  となる。

【 実施例 1 】

【 0 0 8 9 】

図 10 に、ジャイロレートオフセット除去方法に用いるジャイロ回転装置 11 を示す。ジャイロ回転装置 11 は、コの字型の枠 12 と、枠 12 に回転可能に備えられる回転台 13 と、回転台 13 に固定されたジャイロ 14 と、回転台 13 を回転させる AC サーボモータ 15 とからなる。

【 0 0 9 0 】

ジャイロ 14 は、角度検出軸 ( p ) と直交する軸 ( r ) 周りに回転するもので、市販の

50

光ファイバジャイロ ( F O G ) ユニットである T A 4 2 6 5 N 1 5 1 0 ( 大きさ、 6 5 m m × 1 3 0 m m × 8 5 m m ; 質量、 1 . 5 k g ; 測定範囲、 ± 1 8 0 ° ; 演算サイクル、 1 0 0 H z ; ドリフト、 3 ° / h - r m s ; 多摩川精機 ) を用いた。

【 0 0 9 1 】

回転台 1 3 は、ジャイロ 1 4 設置面の大きさが 2 0 0 m m × 4 0 0 m m であった。回転台 1 3 は、回転数が 0 ~ 4 r p s の間で連続可変であり、 A C サーボモータ 1 5 で駆動される。

【 0 0 9 2 】

図 1 1、 1 2 に、数式 1 2 から得られたジャイロの回転角  $\theta_r$  で変調された、ジャイロ回転軸  $r$  の偏角  $\theta_x$ 、  $\theta_z$  の時間変化を示す。ここでは、ジャイロ設置場所の緯度  $\phi = 3 6 \text{ deg}$ 、ジャイロ回転軸  $r$  の子午線からの偏角  $\alpha = 0 \text{ deg}$ 、地球自転の角速度  $\omega = 7 3 \mu \text{ rad / s}$  として補正を行っている。

10

【 0 0 9 3 】

これらのグラフには、それぞれ、ジャイロ回転周期と同期した、振幅数 1 0 ~ 数 1 0 0  $\mu \text{ rad}$  の正弦波状の波形が得られている。

【 0 0 9 4 】

以上より、本発明であるジャイロレートオフセット除去方法は、方位測定、慣性航法、角度測定、形状測定、測量技術に応用でき、既存機器に大きな改造を施すことなく、高精度で、前記技術に適用することができる。

20

【 符号の説明 】

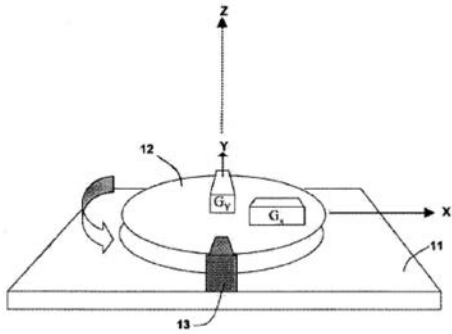
【 0 0 9 5 】

- 1 ジャイロ装置
- 1 a ジャイロユニット
- 2 測定対象面
- 2 a 基準
- 3 枠
- 3 a 第一面
- 3 b 第二面
- 3 c 反転軸
- 3 d 反転方向
- 3 e 第三面
- 3 f 第四面
- 4 ジャイロ
- 4 a ジャイロ角度検出軸
- 4 b ジャイロ角度検出方向
- 4 c 配線
- 5 基準プレート
- 5 a 第一基準エッジ
- 5 b 第二基準エッジ
- 5 c ボルト
- 6 基準バー
- 6 a 第三基準エッジ
- 1 1 ジャイロ回転装置
- 1 2 枠
- 1 3 回転台
- 1 4 ジャイロ
- 1 5 A C サーボモータ

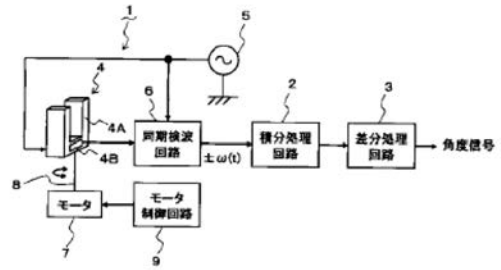
30

40

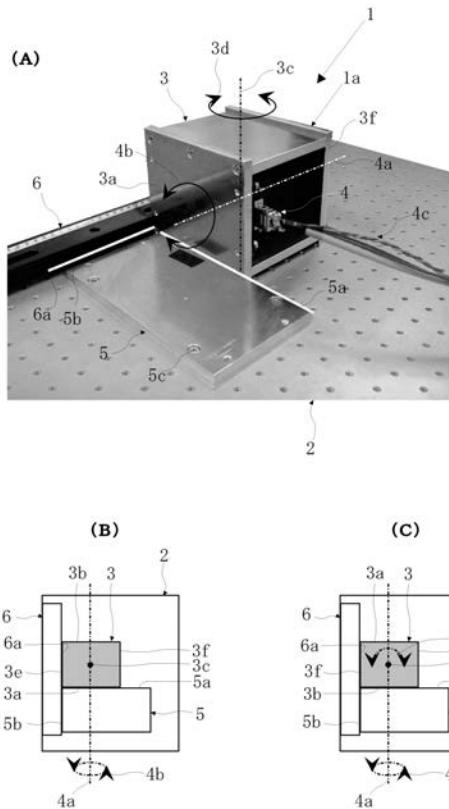
【 図 1 】



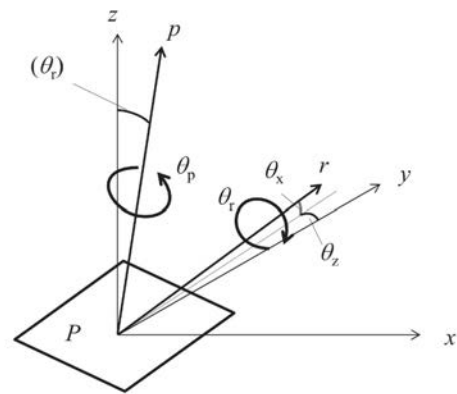
【 図 2 】



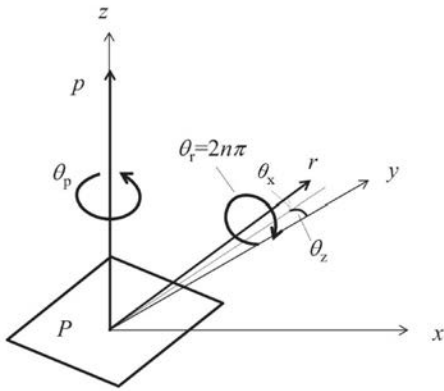
【 図 3 】



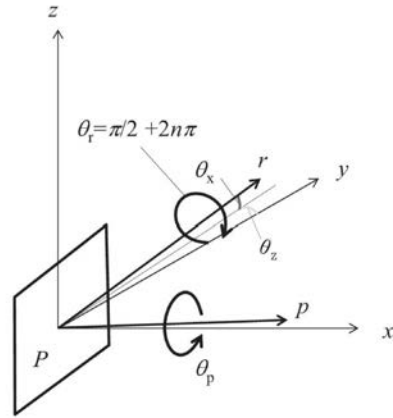
【 図 4 】



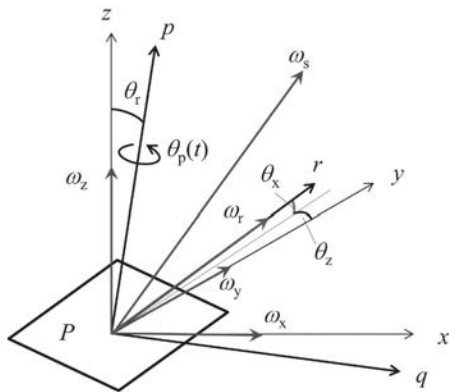
【 図 5 】



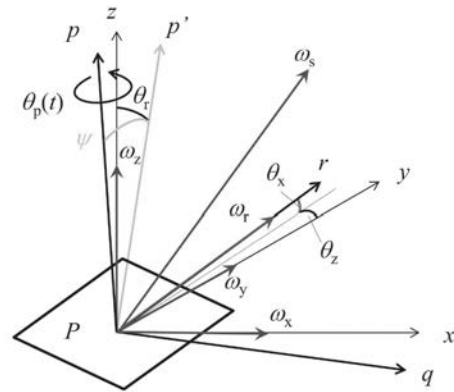
【 図 6 】



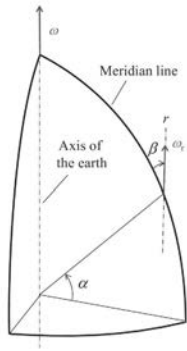
【 図 7 】



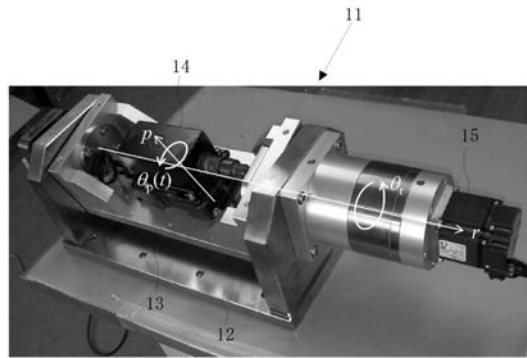
【 図 8 】



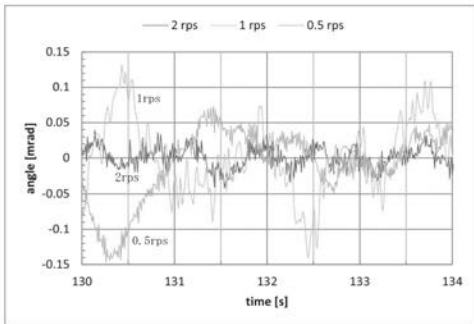
【 図 9 】



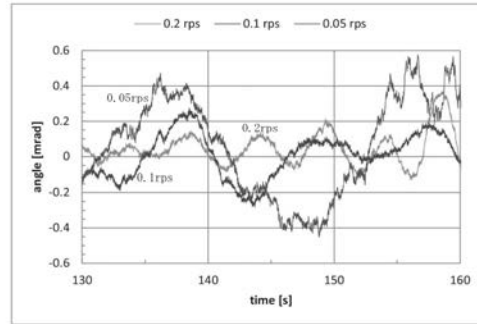
【 図 10 】



【 図 11 】






【 図 12 】





【 図 1 3 】

	A	B	C
形態			
形態	手動による反転測定	回転機構による反転測定	反対方向に回転する2台の反転測定
反転間隔	× 数秒～	○ (1/10秒程度の高速化可能)	○ (1/10秒程度の高速化可能)
レートオフセット	○ 検出し除去可能	○ 検出し除去可能	○ 検出し除去可能
地球自転	○ 検出し除去可能	△ 補正可能	◎ 公転等を含めて除去可能