

(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2004-361237

(P2004-361237A)

(43) 公開日 平成16年12月24日(2004.12.24)

| | | |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
| (51) Int. Cl. ⁷ | F I | テーマコード (参考) |
| GO1C 9/12 | GO1C 9/12 P | 2F105 |
| B81B 3/00 | B81B 3/00 | 4M112 |
| B81B 7/02 | B81B 7/02 | |
| GO1C 9/06 | GO1C 9/06 E | |
| HO1L 29/84 | GO1C 9/06 R | |
| 審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁) 最終頁に続く | | |

| | | | |
|-----------|------------------------------|----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2003-159713 (P2003-159713) | (71) 出願人 | 000001247 光洋精工株式会社 大阪府大阪市中央区南船場3丁目5番8号 |
| (22) 出願日 | 平成15年6月4日(2003.6.4) | (74) 代理人 | 100092705 弁理士 渡邊 隆文 |
| | | (74) 代理人 | 100104455 弁理士 喜多 秀樹 |
| | | (74) 代理人 | 100111567 弁理士 坂本 寛 |
| | | (72) 発明者 | 藤本 靖一 大阪市中央区南船場三丁目5番8号 光洋精工株式会社内 |
| | | Fターム(参考) | 2F105 AA01 BB13 4M112 AA02 CA41 CA47 CA52 EA02 EA20 FA03 |

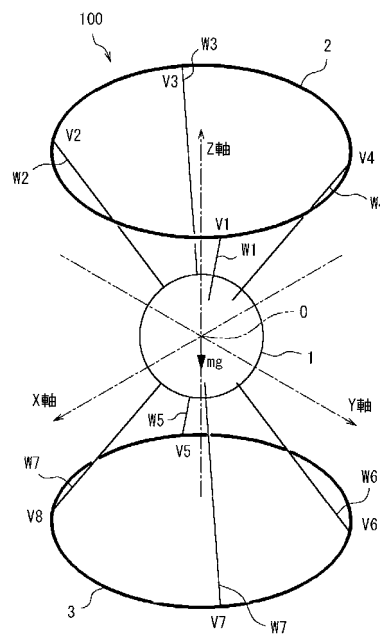
(54) 【発明の名称】 傾斜計

(57) 【要約】

【課題】角速度のドリフトに影響されることなく、傾斜角度を精度よく検出することができる傾斜計を提供する。

【解決手段】ロール及びピッチの角度について、角速度を積分するのではなく、球体1を歪抵抗ワイヤW1~W8で支持する傾斜計100において、ロール及びピッチの角度に応じた歪抵抗ワイヤW1~W8の支持負担の変化(抵抗変化)に基づいて、演算により求める。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 m の物体に作用する重力 $m g$ を複数の方向から支持する構成を有し、当該複数の方向における支持負担を、重力方向に対する当該構成の姿勢の傾斜に応じて変化させる傾斜センサ部と、

前記支持負担に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置とを備えたことを特徴とする傾斜計。

【請求項 2】

質量 m の物体と、

前記物体に作用する重力 $m g$ を、前記物体の上下方向からそれぞれ少なくとも 3 本の歪抵抗ワイヤによって支持する支持体と、

前記物体を前記支持体によって支持する構成全体が重力方向に対して姿勢を傾斜させたとき、前記歪抵抗ワイヤの抵抗変化に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置と

を備えたことを特徴とする傾斜計。

【請求項 3】

質量 m の物体と、

前記物体に作用する重力 $m g$ を、互いに直交する 3 軸方向に配置された支持力発生装置により磁氣的に非接触支持する支持装置と、

前記支持装置の各軸に一对配置され、前記物体の変位を検出する変位センサと、

前記物体を前記支持装置によって支持する構成全体が重力方向に対して姿勢を傾斜させたとき、前記変位センサの出力に基づいて前記物体を所定位置に支持すべく前記支持装置を制御し、各軸の前記支持力発生装置に供給する電流又は電圧に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置と

を備えたことを特徴とする傾斜計。

【請求項 4】

少なくとも前記支持装置及び変位センサが、MEMS 技術により基板にマイクロ化して構成された請求項 3 に記載の傾斜計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばジャイロスコープの一部として用いられる傾斜計に関する。

【0002】

【従来の技術】

ジャイロスコープは、例えば移動体のロール、ピッチ、ヨーの動きを検出する装置として使用されており、原理的には、機械式、光学式（例えば特許文献 1 参照。）、流体式、振動式（例えば特許文献 2）が知られている。このようなジャイロスコープでは、コリオリの力やサンニャック効果等に基づいて、 X 、 Y 、 Z 3 軸周りのロール、ピッチ、ヨーの各角速度を計測する。また、角速度を積分してロール及びピッチの傾斜角度を求める。

【0003】

【特許文献 1】

特開平 10 - 122865 号公報（第 4 ~ 5 頁、図 1）

【特許文献 2】

特許番号第 2899664 号公報（第 3 ~ 4 頁、図 1）

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記のようなジャイロスコープでは、ロール及びピッチの傾斜角度を求めるにあたって角速度の積分を行うことにより、角速度の計測値のドリフト（ゼロ点のずれ）に基づく誤差が出る。この誤差を小さく抑え込むには、ドリフトの許容値を厳しく制限する必要があり、その結果として、装置は大型化・複雑化し、高価なものとなる。従って

10

20

30

40

50

、装置の大型化・複雑化の回避を優先すれば、傾斜角度の検出に誤差が出ることは避けられないのが現状であった。

【 0 0 0 5 】

上記のような従来の問題点に鑑み、本発明は、角速度のドリフトに影響されることなく、傾斜角度を精度よく検出することができる傾斜計を提供することを目的とする。

【 0 0 0 6 】

【課題を解決するための手段】

本発明の傾斜計は、質量 m の物体に作用する重力 $m g$ を複数の方向から支持する構成を有し、当該複数の方向における支持負担を、重力方向に対する当該構成の姿勢の傾斜に応じて変化させる傾斜センサ部と、前記支持負担に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置とを備えたものである。

10

上記のように構成された傾斜計では、物体を複数の方向から支持する構成を有する傾斜センサ部において変化する支持負担に基づいて、重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度が演算される。従って、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、当該傾斜角度を精度よく検出することができる。

【 0 0 0 7 】

また、本発明の傾斜計は、質量 m の物体と、前記物体に作用する重力 $m g$ を、前記物体の上下方向からそれぞれ少なくとも 3 本の歪抵抗ワイヤによって支持する支持体と、前記物体を前記支持体によって支持する構成全体が重力方向に対して姿勢を傾斜させたとき、前記歪抵抗ワイヤの抵抗変化に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置とを備えたものであってもよい。

20

上記のように構成された傾斜計では、物体を上下方向から支持する歪抵抗ワイヤの抵抗変化に基づいて、重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度が演算される。従って、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、当該傾斜角度を精度よく検出することができる。

【 0 0 0 8 】

また、本発明の傾斜計は、質量 m の物体と、前記物体に作用する重力 $m g$ を、互いに直交する 3 軸方向に配置された支持力発生装置により磁気的に非接触支持する支持装置と、前記支持装置の各軸に一对配置され、前記物体の変位を検出する変位センサと、前記物体を前記支持装置によって支持する構成全体が重力方向に対して姿勢を傾斜させたとき、前記変位センサの出力に基づいて前記物体を所定位置に支持すべく前記支持装置を制御し、各軸の前記支持力発生装置に供給する電流又は電圧に基づいて重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度を演算する装置とを備えたものであってもよい。

30

上記のように構成された傾斜計では、物体を支持する支持装置の支持力発生装置に流れる電流に基づいて、重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度が演算される。従って、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、当該傾斜角度を精度よく検出することができる。

【 0 0 0 9 】

また、上記傾斜計において、少なくとも支持装置及び変位センサが、MEMS 技術により基板にマイクロ化して構成されたものであってもよい。

40

この場合、基板に全部品又は一部の部品をマイクロ化して作り込むことにより、傾斜計を、小型で、高精度なものとすることができる。

【 0 0 1 0 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態による傾斜計 100 における機械系の概略構造を示す斜視図である。図において、互いに直交する 3 軸を、X 軸、Y 軸及び Z 軸とし、X - Y 平面が水平面、Z 軸の下向き方向が重力方向とする。当該傾斜計は、自動車やロボット等の X - Y 2 次元平面内で運動する対象について、X 軸周り（ロール）の傾斜角度及び Y 軸周り（ピッチ）の傾斜角度を計測するために用いられ、これに基づいて姿勢の自動制御が行われる。なお、Z 軸周り（ヨー）の傾斜角度は、自動車であれば運転手により制御されるもの

50

であり、自動制御されるべきものではないため、計測は不要である。

【0011】

図において、導電性材料からなる質量 m の球体 1 は、 $X - Y - Z$ 3 軸の原点 O に位置している。一方、絶縁性材料からなり、 $X - Y$ 平面に平行な支持リング 2 及び 3 は、 Z 軸上にある中心点から一定半径の円を描くものであり、原点 O から Z 方向へ上下に等距離離れた位置に固定されている。

【0012】

球体 1 は、上方の支持リング 2 及び下方の支持リング 3 から、それぞれ 4 本の歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_4$ 及び $W_5 \sim W_8$ によって引っ張られ、これにより、原点 O に安定して支持されている。歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_4$ は、その上端が支持リング 2 に対して位相角 $\theta / 2$ で等配された位置に接続され、下端は、その延長線上に原点 O が存在するように球体 1 に接続されている。同様に、歪抵抗ワイヤ $W_5 \sim W_8$ は、その下端が支持リング 3 に対して位相角 $\theta / 2$ で等配された位置に接続され、上端は、その延長線上に原点 O が存在するように球体 1 に接続されている。また、 $W_1 - W_5$, $W_2 - W_6$, $W_3 - W_7$, $W_4 - W_8$ が原点 O を挟んで同一線上にある。このようにして、支持リング 2, 3 と、歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_8$ とからなる支持体により、球体 1 に作用する重力 mg が支えられ、球体 1 は原点 O に安定して支持される。

【0013】

上記歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_8$ は、張力（支持力）に応じて歪を生じ、その抵抗値が変化するものである。従って、例えば球体 1 を接地して、歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_8$ に電流を流すことにより支持リング 2, 3 側の端部にそれぞれ生じる電位 $V_1 \sim V_8$ は、歪に応じて変化する。なお、支持リング 2, 3 は、導電性材料からなるものであってもよいが、その場合には、歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_8$ との接続箇所に絶縁を施し、各電位 $V_1 \sim V_8$ を独立して生じさせることが必要である。

【0014】

図 2 は、上記のような機械系の構造を有する傾斜計 100 について、その電気系の構成を示す図である。図において、ジャイロスコープ 300 は、傾斜計 100 と、既知の 3 軸レートジャイロ 200 とにより、構成されている。3 軸レートジャイロ 200 は、機械式、光学式、流体式、振動式等、いずれのタイプを用いてもよい。

【0015】

傾斜計 100 は、接地された球体 1 に対して、所定電圧 V_s の電源 4 から図示のように抵抗を介して回路を形成したものと、図示の各電圧 $V_1 \sim V_4$ 及び $V_5 \sim V_8$ に対して必要に応じて所定の信号処理（サンプルホールドや増幅等）を行う信号処理回路 5 と、信号処理回路 5 の出力を A/D 変換して出力する A/D コンバータ 6 と、A/D コンバータ 6 の出力を取り込む演算装置 7 とを備えたものである。抵抗 R_0 はすべて同一の抵抗値であり、また、抵抗 $R_1 \sim R_8$ は、それぞれ、歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_8$ の有する抵抗値である。ここで、 $R_0 \gg R_1 \sim R_8$ となるように抵抗 R_0 を選択することにより、例えば、 $V_1 = V_s (R_1 / (R_0 + R_1)) \approx V_s (R_1 / R_0)$ となり、抵抗 R_1 に比例する電圧 V_1 を得ることができる。 $V_2 \sim V_8$ についても同様である。

【0016】

なお、支持力に応じた電圧 $V_1 \sim V_8$ を得る回路としては、図 2 の構成の他、例えば図 3 に示すように、一定の電流 I_s を供給する定電流源 8 を用いてもよい。この場合、電圧 V_n ($n = 1 \sim 8$) は、 $V_n = I_s \cdot R_n$ となり、各抵抗 $R_1 \sim R_8$ に比例する電圧 $V_1 \sim V_8$ を得ることができる。

【0017】

上記の構成において、図 1 に示す傾斜計 100 の機械系は、重力の方向（ Z 軸のマイナス方向）に対して傾斜していない場合には、上部側の 4 本の歪抵抗ワイヤ $W_1 \sim W_4$ による支持力（張力）は互いに均等であり、電圧 $V_1 \sim V_4$ は互いに同一である。また、下部側の 4 本の歪抵抗ワイヤ $W_5 \sim W_8$ による支持力（張力）も互いに均等であり、電圧 $V_5 \sim$

10

20

30

40

50

V 8 は互いに同一である。一方、機械系が重力の方向に対して X 軸、Y 軸周りの傾斜、すなわちロール、ピッチの姿勢変化を生じると、各歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 の負担する支持力が変化する。ロール及びピッチの傾斜角度と各歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 の負担する支持力とは、一定の幾何学的関係から 1 対 1 に対応し、支持力がわかればロール及びピッチの傾斜角度がわかる。そこで、演算装置 7 は、入力された電圧 V 1 ~ V 8 に基づいて各歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 の負担する支持力を求め、ロール及びピッチの傾斜角度を演算する。このようにして、ロール及びピッチの傾斜角度は、傾斜計 1 0 0 の演算装置 7 から出力される。また、3 軸レートジャイロ 2 0 0 は、ロール、ピッチ、ヨーの各角速度を出力する。

【 0 0 1 8 】

以上のように、各歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 に対してどのように支持負担がかかっているかによって、ロール、ピッチの傾斜角度がわかる。従って、球体 1 を支持リング 2 , 3 及び歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 によって支持する構成全体により、当該構成の姿勢の傾斜に応じて歪抵抗ワイヤ W 1 ~ W 8 の支持負担を変化させる「傾斜センサ部」が構成されている、と考えることができる。

【 0 0 1 9 】

このようにして、角速度を積分して角度を演算するのではなく、3 軸レートジャイロ 2 0 0 は角速度の計測のみを担当し、角度については傾斜計 1 0 0 から出力することとしたので、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、傾斜角度を精度よく検出することができる。なお、傾斜計 1 0 0 自体にもドリフトは存在するが、積分を行わないため、それによる誤差は、角速度を積分することで生じる誤差に比べて非常に小さく、無視し得るレベルである。また、3 軸レートジャイロ 2 0 0 には厳しい許容ドリフトが求められることもないので、全体としてコンパクトなジャイロスコープ 3 0 0 を提供することができる。

【 0 0 2 0 】

なお、上記実施形態においては、球体 1 を、その上下方向からそれぞれ 4 本の歪抵抗ワイヤにより支持したが、この支持本数は 4 本に限られるものではない。すなわち、5 本以上でもよいし、3 本でもよい。2 本でも、互いに 1 8 0 度位相がずれた 2 本を上下で互いに 9 0 度位相をずらして配置すれば支持及び傾斜角度の演算が可能ではあるが、安定性に欠けるので、少なくとも 3 本設けることが好ましい。

また、歪抵抗ワイヤに一定の剛性が確保できる場合（ほぼ一定の線状形態を維持できる場合）には、上方の歪抵抗ワイヤのみで球体 1 を吊り下げるように支持するか、又は、下方の歪抵抗ワイヤのみで球体 1 を持ち上げるように支持することもできる。

【 0 0 2 1 】

図 4 は、第 2 実施形態による傾斜計 1 0 0 における機械系の概略構造を示す斜視図である。図において、互いに直交する 3 軸を、X 軸、Y 軸及び Z 軸とし、X - Y 平面が水平面、Z 軸の下向き方向が重力方向とする。X , Y , Z 軸には、磁性体からなる質量 m の球体 1 を挟んで各一対合計三組の電磁石 M x 1 , M x 2 , M y 1 , M y 2 , M z 1 , M z 2 が配置されている。また、各電磁石 M x 1 , M x 2 , M y 1 , M y 2 , M z 1 , M z 2 の軸心にはそれぞれ、変位センサ S x 1 , S x 2 , S y 1 , S y 2 , S z 1 , S z 2 が埋め込まれている。変位センサ S x 1 , S x 2 , S y 1 , S y 2 , S z 1 , S z 2 の出力に基づいて後述の制御回路により電磁石 M x 1 , M x 2 , M y 1 , M y 2 , M z 1 , M z 2 を制御することによって、球体 1 に作用する重力 m g は磁力（吸引力）により支持され、球体 1 が X - Y - Z 各軸の原点に磁気浮上の状態で位置する。

【 0 0 2 2 】

図 5 は、上記第 2 実施形態による傾斜計 1 0 0 の制御系の構成を示すブロック回路図である。第 1 実施形態と同様に、傾斜計 1 0 0 及び 3 軸レートジャイロ 2 0 0 により、ジャイロスコープ 3 0 0 が構成されている。図において、変位センサ S x 1 , S x 2 の出力電圧はそれぞれ、A / D コンバータ 9 によりデジタル信号 V x 1 , V x 2 に変換された後、演算装置 1 0 に入力される。演算装置 1 0 は、これらの信号に基づいて、電磁石 M x 1 ,

10

20

30

40

50

M × 2 の駆動信号を決定する。駆動信号は D / A コンバータ 11 によってアナログ信号に変換された後、増幅器やフィードバック回路を含む駆動回路 12, 13 によって増幅され、その出力により電磁石 M × 1, M × 2 が励磁される。電磁石 M × 1, M × 2 に流れる電流はそれぞれ電流検出回路 14, 15 によって検出され、駆動回路 12, 13 にフィードバックされるとともに、A / D コンバータ 9 によりデジタル信号に変換され、演算装置 10 に入力される。なお、図示しているのは X 軸の電磁石 M × 1, M × 2 についての回路であるが、Y 軸の電磁石 M_y 1, M_y 2、Z 軸の電磁石 M_z 1, M_z 2 についても同様の回路が構成されている。電磁石 M × 1, M × 2, M_y 1, M_y 2, M_z 1, M_z 2 及びこれらを駆動する演算装置 10、D / A コンバータ 11 及び駆動回路 12, 13 は、球体 1 の支持装置を構成している。

10

【0023】

上記のような第 2 実施形態の傾斜計 100 において、Z 軸が重力の方向と一致し、球体 1 が目標位置である X 軸原点にあるときは、(V_{x1} - V_{x2}) の値は 0 である。しかし、もし球体 1 が X 方向の変位を生じると、その変位に応じて (V_{x1} - V_{x2}) の値が 0 以外の値となる。その場合、演算装置 10 は、PID 制御により、(V_{x1} - V_{x2}) の値が 0 に向かうように、電磁石 M × 1, M × 2 の駆動信号を決定する。従って、外乱加速度等に対して十分に速い応答速度を制御系に確保することによって、球体 1 が X 方向に変位を生じると、元の位置 (原点) に戻す制御が高速に実行され、球体 1 は常に原点位置に支持されるように制御が行われる。Y, Z 方向についても全く同様の制御が行われる。従って、球体 1 は常に、X - Y - Z 3 次元の原点位置にある、と考えることができる。

20

【0024】

上記のような前提の下で、ロール、ピッチによって Z 軸が重力の方向と一致しない状態になったとき、過渡的に球体 1 に変位が生じ、これを元に戻そうとする制御が行われる。その結果、球体 1 を原点に支持しようとする、各電磁石 M × 1, M × 2, M_y 1, M_y 2, M_z 1, M_z 2 による重力 m g の支持負担が変化する。すなわち、本実施形態の傾斜計 100 は、電磁石の支持負担の変化に基づいて、ロール、ピッチの傾斜角度を求めようとするものである。また、球体 1 を電磁石によって支持する構成全体により、当該構成の姿勢の傾斜に応じて電磁石の支持負担を変化させる「傾斜センサ部」が構成されている、と考えることができる。

30

【0025】

次に、電磁石の支持力と傾斜角度との関係について説明する。今、仮に、重力 m g の方向と Z 軸とが互いに一致しない状態になったとする。このとき、重力 m g を支えるためには、それと逆方向に同じ大きさの力が、電磁石によって作り出されていることが必要であるので、X, Y, Z 各軸と m **g** (**g** はベクトル) との関係は図 6 のように表現できる。なお、実際には m **g** が鉛直上向きで、X, Y, Z が全体として傾くが、便宜上、図 6 のように考えても同じである。

【0026】

図 6 において、m **g** 方向の単位ベクトルを **e**₀ とし、その極角は θ 、方位角は ϕ とする。この場合、単位ベクトル **e**₀ を、X, Y, Z 成分で表すと、

40

$$\mathbf{e}_0 = (\cos \theta \sin \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta)$$

となる。また、m **g** は、

$$m \mathbf{g} = (m g \cos \theta \sin \phi, m g \sin \theta \sin \phi, m g \cos \theta)$$

である (但し、右辺の g はスカラー)。すなわち、重力の X 方向、Y 方向、Z 方向成分をそれぞれ G_x, G_y, G_z とすると、

$$G_x = m g \cos \theta \sin \phi \quad \dots (1)$$

$$G_y = m g \sin \theta \sin \phi \quad \dots (2)$$

$$G_z = m g \cos \theta \quad \dots (3)$$

となる。

【0027】

積分型フィードバックによる磁気浮上制御を行うと、平衡点 (球体 1 が X - Y - Z 空間の

50

原点に静止浮上する状態)では、磁力と重力との平衡により、電磁石 $M \times 1$, $M \times 2$, $M y 1$, $M y 2$, $M z 1$, $M z 2$ に流れる電流をそれぞれ $i x 1$, $i x 2$, $i y 1$, $i y 2$, $i z 1$, $i z 2$ とすると、以下の式が成り立つ。

$$G x = K_0 (i x 1 - i x 2) \quad \dots (4)$$

$$G y = K_0 (i y 1 - i y 2) \quad \dots (5)$$

$$G z = K_0 (i z 1 - i z 2) \quad \dots (6)$$

但し、 K_0 は電磁石定数であり、各電磁石 $M \times 1$, $M \times 2$, $M y 1$, $M y 2$, $M z 1$, $M z 2$ で同じ値とする。ここで、式(1)~(3)と式(4)~(6)とにより、

$$G x = m g \cos \theta \sin \theta = K_0 (i x 1 - i x 2) \quad \dots (7)$$

$$G y = m g \sin \theta \sin \theta = K_0 (i y 1 - i y 2) \quad \dots (8)$$

$$G z = m g \cos \theta = K_0 (i z 1 - i z 2) \quad \dots (9)$$

となる。

【0028】

ここで、 $\tan \theta = \sin \theta / \cos \theta = G y / G x$ であり、式(7), (8)より、

$$\tan \theta = G y / G x = (i y 1 - i y 2) / (i x 1 - i x 2)$$

である。従って、

$$\theta = \tan^{-1} \{ (i y 1 - i y 2) / (i x 1 - i x 2) \} \quad \dots (10)$$

となる。すなわち、電流 $i x 1$, $i x 2$, $i y 1$, $i y 2$ に基づいて、方位角 θ を求めることができる。電流 $i x 1$, $i x 2$, $i y 1$, $i y 2$ は、電流検出回路14, 15等で検出され、演算装置10に入力されるので、式(10)により方位角 θ を演算することができる。

【0029】

次に、極角 θ を求める関係式を導く。まず、式(1), (2)より、

$$\begin{aligned} G x^2 + G y^2 &= m^2 g^2 \cos^2 \phi \sin^2 \theta + m^2 g^2 \sin^2 \phi \sin^2 \theta \\ &= m^2 g^2 (\cos^2 \phi + \sin^2 \phi) \sin^2 \theta \\ &= m^2 g^2 \sin^2 \theta \quad \dots (11) \end{aligned}$$

である。また、式(4), (5)より、

$$G x^2 + G y^2 = K_0^2 (i x 1 - i x 2)^2 + K_0^2 (i y 1 - i y 2)^2 \quad \dots (12)$$

であるから、式(11), (12)より、

$$m^2 g^2 \sin^2 \theta = K_0^2 (i x 1 - i x 2)^2 + K_0^2 (i y 1 - i y 2)^2$$

である。ここで、 $K_0 > 0$ であり、0 $\leq \theta < \pi$ では $\sin \theta \geq 0$ であるから、

$$m g \sin \theta = K_0 \{ (i x 1 - i x 2)^2 + (i y 1 - i y 2)^2 \}^{1/2} \quad \dots (13)$$

となる。

【0030】

$\tan \theta$ は、 $m g \sin \theta$ を用いて表すと、 $\tan \theta = (m g \sin \theta) / (m g \cos \theta)$ であるから、式(9), (13)より、

$$\begin{aligned} \tan \theta &= (m g \sin \theta) / (m g \cos \theta) \\ &= [K_0 \{ (i x 1 - i x 2)^2 + (i y 1 - i y 2)^2 \}^{1/2}] / \\ & \quad [K_0 (i z 1 - i z 2)] \\ &= \{ (i x 1 - i x 2)^2 + (i y 1 - i y 2)^2 \}^{1/2} / (i z 1 - i z 2) \quad \dots (14) \end{aligned}$$

である。従って、

$$\theta = \tan^{-1} \{ \{ (i x 1 - i x 2)^2 + (i y 1 - i y 2)^2 \}^{1/2} / (i z 1 - i z 2) \}$$

10

20

30

40

50

- $i_z 2$)] . . . (15)

となる。すなわち、極角 θ は、電流 i_{x1} , i_{x2} , i_{y1} , i_{y2} , i_{z1} , i_{z2} に基づいて、演算装置 10 内で式 (15) の演算を行うことにより、求めることができる。なお、 θ が、 $0 < \theta < \pi/2$ 又は $\pi/2 < \theta < \pi$ のいずれにあるかは、 $(i_{z1} - i_{z2})$ の符号により、これを判断することができる。

【 0031 】

以上のように、電磁石 M_{x1} , M_{x2} , M_{y1} , M_{y2} , M_{z1} , M_{z2} の電流に基づいて、傾斜の方位角 θ 及び極角 ϕ を、演算装置 10 における演算によって求めることができる。また、ロールの角度 r は、単位ベクトル e_0 を Y - Z 平面上に投影した、Z 軸からの角度であるから、

10

$$\tan r = \sin \theta \sin \phi / \cos \theta = \sin \theta \tan \phi$$

であり、

$$r = \tan^{-1} (\sin \theta \tan \phi) \quad . . . (16)$$

により求めることができる。同様に、ピッチの角度 p は、単位ベクトル e_0 を X - Z 平面上に投影した、Z 軸からの角度であるから、

$$\tan p = \cos \theta \sin \phi / \cos \phi = \cos \theta \tan \phi$$

であり、

$$p = \tan^{-1} (\cos \theta \tan \phi) \quad . . . (17)$$

により求めることができる。従って、演算装置 10 は、ロール及びピッチの角度 r 及び p を式 (16) , (17) により演算し、出力することができる。

20

【 0032 】

このようにして、第 1 実施形態の場合と同様に、角速度を積分して角度を演算するのではなく、3 軸レートジャイロ 200 は角速度の計測のみを担当し、角度については傾斜計 100 から出力することとしたので、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、傾斜角度を精度よく検出することができる。また、3 軸レートジャイロ 200 には厳しい許容ドリフトが求められることもないので、全体としてコンパクトなジャイロスコープ 300 を提供することができる。

なお、変位センサ S_{x1} , S_{x2} , S_{y1} , S_{y2} , S_{z1} , S_{z2} によって検出される球体 1 の変位に基づいて、演算装置 10 において、球体 1 の運動軌跡を解析することができる。これにより、X - Y - Z 3 軸方向の加速度を計測することが可能である。

30

【 0033 】

次に、上記第 2 実施形態による傾斜計 100 を、MEMS (Micro Electro - Mechanical System) 技術を利用して、マイクロ化して実現した一例を示す。図 7 の (a) は、MEMS 技術により基板に形成した傾斜計の平面図であり、(b) は、その側面図である。(a) において、強磁性体からなる球体 1 は基板 51 の中央に埋設され、その周りに電磁石 M_{x1} , M_{x2} , M_{y1} , M_{y2} を構成する磁性体と、変位センサ S_{x1} , S_{x2} , S_{y1} , S_{y2} とが配置されている。また、基板 51 上には、各軸用の、図 5 に示す傾斜計 100 の回路 101 ~ 106 が設けられている。但し、場合によっては、傾斜計 100 の回路の一部は外部に設けてもよい。

【 0034 】

40

一方、(b) において、球体 1 の周りに電磁石 M_{z1} , M_{z2} を構成する磁性体と、変位センサ S_{z1} , S_{z2} とが配置されている。基板 51 は、電磁石 M_{z1} 及び変位センサ S_{z1} を含む第 1 層シリコン基板 51 a と、電磁石 M_{x1} , M_{x2} , M_{y1} , M_{y2} 及び変位センサ S_{x1} , S_{x2} , S_{y1} , S_{y2} を含む第 2 層シリコン基板 51 b と、電磁石 M_{z2} 及び変位センサ S_{z2} を含む第 3 層シリコン基板 51 c とにより、構成されている。

【 0035 】

上記のようにして、基板 51 に全部品又は一部の部品をマイクロ化して作り込むことにより、傾斜計 100 を、小型で、高精度なものとすることができる。

【 0036 】

なお、上記各実施形態における傾斜計は、ジャイロスコープの一部として使用した例を示

50

したが、当該傾斜計は、ジャイロスコープとは関係なく、単独の傾斜計として各種用途に使用することができる。

また、上記各実施形態では球体 1 を使用したが、必ずしも球体に限定されるものではなく、基本的には、他の形状の物体であってもよい。

また、上記第 2 実施形態においては電磁石が発生する磁力を、電磁石に流れる電流に基づいて求めたが、電流を電圧に置き換えて、電圧に基づいて磁力を求めてもよい。

【 0 0 3 7 】

【 発明の 効果 】

以上のように構成された本発明の傾斜計によれば、物体を複数の方向から支持する構成を有する傾斜センサ部において変化する支持負担に基づいて、重力に直交する 2 軸周りの傾斜角度が演算されるので、ドリフトを含む角速度を積分することによる誤差の発生を回避して、当該傾斜角度を精度よく検出することができる。

10

【 図面の 簡単な 説明 】

【 図 1 】 本発明の第 1 実施形態による傾斜計における機械系の概略構造を示す斜視図である。

【 図 2 】 図 1 に示す機械系の構成を有する傾斜計について、その電気系の構成を示す図である。

【 図 3 】 図 2 とは異なる他の構成を示す図である。

【 図 4 】 第 2 実施形態による傾斜計における機械系の概略構造を示す斜視図である。

【 図 5 】 上記第 2 実施形態による傾斜計の制御系の構成を示すブロック回路図である。

20

【 図 6 】 上記第 2 実施形態による傾斜計における X , Y , Z 各軸と m g との関係を示す図である。

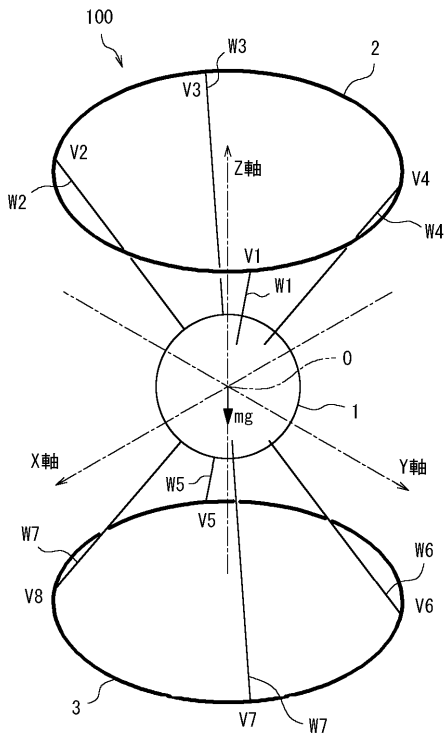
【 図 7 】 (a) は、MEMS 技術により基板に形成した傾斜計の平面図であり、(b) は、その側面図である。

【 符号の 説明 】

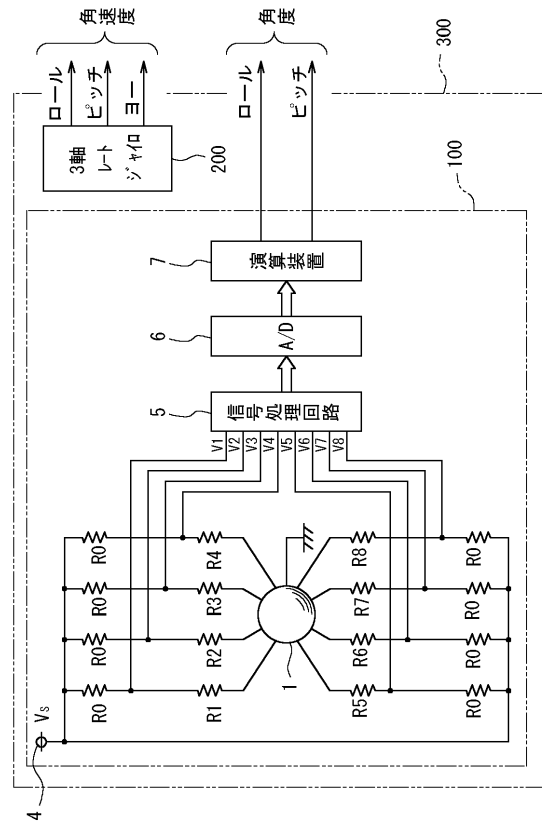
1 球体
 2 , 3 支持リング (支持体)
 6 , 9 A / D コンバータ
 7 , 1 0 演算装置
 1 1 D / A コンバータ
 1 2 , 1 3 駆動回路
 1 4 , 1 5 電流検出回路
 5 1 基板
 1 0 0 傾斜計
 M x 1 , M x 2 , M y 1 , M y 2 , M z 1 , M z 2 電磁石 (支持力発生装置)
 (1 0 ~ 1 3 , M x 1 , M x 2 , M y 1 , M y 2 , M z 1 , M z 2) 支持装置
 S x 1 , S x 2 , S y 1 , S y 2 , S z 1 , S z 2 変位センサ
 W 1 ~ W 8 歪抵抗ワイヤ (支持体)

30

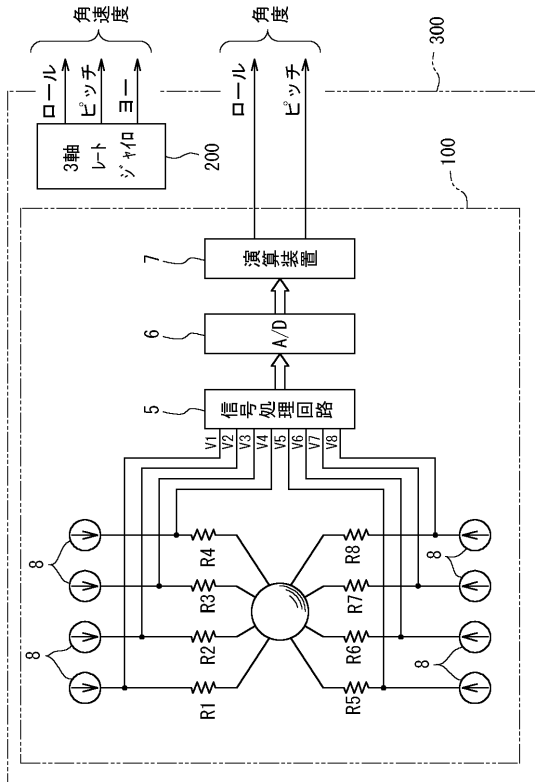
【 図 1 】



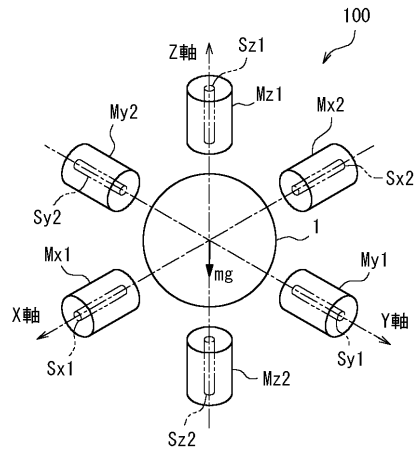
【 図 2 】



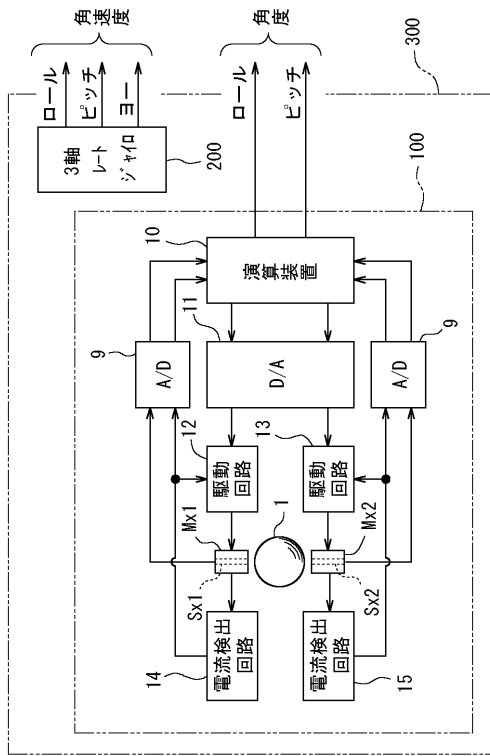
【 図 3 】



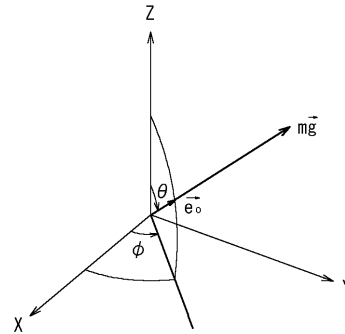
【 図 4 】



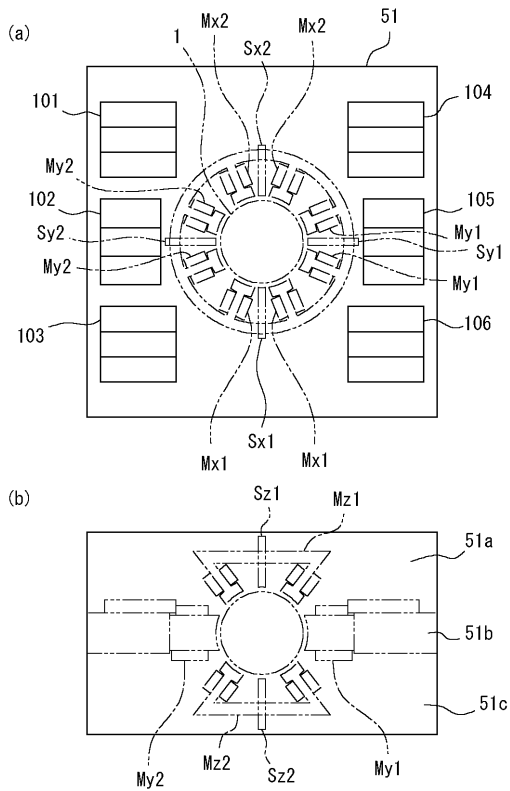
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

// G 0 1 C 19/00

F I

H 0 1 L 29/84

G 0 1 C 19/00

テーマコード(参考)

Z

Z