

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4026937号
(P4026937)

(45) 発行日 平成19年12月26日(2007.12.26)

(24) 登録日 平成19年10月19日(2007.10.19)

(51) Int.Cl.

G O 1 C 17/28 (2006.01)

F I

G O 1 C 17/28

C

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平10-182088	(73) 特許権者	000166247
(22) 出願日	平成10年6月29日(1998.6.29)		古野電気株式会社
(65) 公開番号	特開2000-9468(P2000-9468A)		兵庫県西宮市芦原町9番52号
(43) 公開日	平成12年1月14日(2000.1.14)	(74) 代理人	100062144
審査請求日	平成17年2月22日(2005.2.22)		弁理士 青山 稔
		(72) 発明者	佐藤 定雄
			兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内
		(72) 発明者	前野 仁
			兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内
		(72) 発明者	和田 秀二
			兵庫県西宮市芦原町9番52号 古野電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子磁気コンパス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

3軸の地磁気 $H(x, y, z)$ を検出する3軸磁気センサとピッチおよびロールの傾斜角 $k(p, r)$ を検出する2軸傾斜センサを用いた電子磁気センサであって、
 所定の角度だけ旋回する間に前記両センサで検出したデータを記憶する記憶手段を備え、

前記記憶手段のデータに基づき、 z 軸の地磁気データを各方位で一定にするように補正し、 x, y 軸の地磁気がなす出力円を楕円から円に正規化するように補正し、正規化された出力円の中心を原点に移動し、傾斜角と水平方向の誤差(残差)から得られる z 軸のオフセット値 h_z を求めて、測定モード時に検出される磁気データ $H(x, y, z)$ を段階的に補正するとともに、この測定モード時に検出した傾斜角 k を用いて磁気方位 m を出力することを特徴とする電子磁気コンパス。

【請求項2】

3軸の地磁気 $H(x, y, z)$ を検出する3軸磁気センサとピッチおよびロールの傾斜角 $k(p, r)$ を検出する2軸傾斜センサを用いた電子磁気センサであって、
 所定の角度だけ旋回する間に前記両センサで検出したデータを記憶する記憶手段と、

前記記憶手段のデータに基づき、 z 軸の地磁気データを各方位で一定にするための補正係数 S_1 、 x, y 軸の地磁気がなす出力円を楕円から円に正規化するための補正係数 S_2 、正規化された出力円の中心を原点に移動するためのオフセット値 h_x, h_y 、および傾斜角と水平方向の誤差(残差)から得られる z 軸のオフセット値 h_z を求める補正用データ作

10

20

成部とを備え、

測定モード時に検出される磁気データ $H(x, y, z)$ を、補正用データ作成部で作成された前記係数 S_1 、オフセット値 h_x, h_y, h_z 、及び前記係数 S_2 を用いて段階的に補正するとともに、この測定モード時に検出した傾斜角 k を用いて磁気方位 m を出力することを特徴とする電子磁気コンパス。

【請求項 3】

前記補正用データ作成部で作成された各データを記憶する方位補正テーブルを設けたことを特徴とする請求項 2 記載の電子磁気コンパス。

【請求項 4】

3 軸の地磁気 $H(x, y, z)$ を検出する 3 軸磁気センサとピッチおよびロールの傾斜角 $k(p, r)$ を検出する 2 軸傾斜センサを用いた電子磁気センサであって、

360° 旋回する間に前記両センサで検出したデータを記憶する記憶手段 (4, 5) と、前記記憶手段のデータに基づき、 z 軸の地磁気データを各方位で一定にするための補正係数 S_1 、 x, y 軸の地磁気がなす出力円を楕円から円に正規化するための補正係数 S_2 、正規化された出力円の中心を原点に移動するためのオフセット値 h_x, h_y 、および傾斜角と水平方向の誤差 (残差) から得られる z 軸のオフセット値 h_z を求める補正用データ作成部 (6) と、

補正用データ作成部で作成したデータを記憶する方位補正テーブル (7) と、測定モード時に検出される磁気データ $H(x, y, z)$ を前記係数 S_1 で補正して $H_1(x, y, z)$ を得る z 軸ソフトアイロン補正手段、前記磁気データ $H_1(x, y, z)$ を前記オフセット h_x, h_y, h_z で補正して $H_2(x, y, z)$ を得るハードアイロン補正手段、前記磁気データ $H_2(x, y, z)$ を前記係数 S_2 で補正して磁気データ $H_3(x, y, z)$ を得る x, y 軸ソフトアイロン補正手段、前記磁気データ $H_3(x, y, z)$ とこの測定モード時に検出した傾斜角 k とから磁気方位 m を出力する 3 軸方位演算手段を含む磁気方位補正部 (8) とを備えたことを特徴とする電子磁気コンパス。

【請求項 5】

2 軸傾斜角センサで常時発生する定常傾斜角 k' を求め、上記傾斜角 k から k' を減じる請求項 4 記載の電子磁気コンパス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気センサを用いて方位を計測する電子磁気コンパスに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の電子式コンパスを、本出願人が先に提出した特開平 7 - 223186 号「電子磁気コンパス」を引用して説明する。

図 10 に示すように、地磁気方位センサ部として、リング状のパーマロイコア 51 に対して互いに直交する二つのコイル L_x, L_y が巻回され、これらのコイルにはそれぞれ電圧計 V_x, V_y が接続される。そして、このパーマロイコア 51 のリングに励磁コイル L_0 が巻回され、この励磁コイル L_0 には励磁電源 2 より、パーマロイコア 51 が磁気飽和するような最小限の交流電流が供給される。

【0003】

この励磁により、コイル L_x (L_y でも同じ) において、図中、コア 51 が交わる上側の箇所磁束 ϕ_1 が鎖交し、そして、下側の箇所において磁束 ϕ_2 が鎖交するが、両磁束の大きさは等しく、向きが互いに逆なため、コイル L_x 全体に対して鎖交する全磁束は 0 であり、従って $V_x = 0, V_y = 0$ となる。

【0004】

ここで、図示したように、横方向の水平磁場 H_e が作用する時、この磁場 H_e がパーマロイコア 51 中を図中、右方向に向かう一定の磁束 ϕ_0 (ϕ_1, ϕ_2 は交番磁束) がバイアスとして与えられ、コイル L_y の上側での鎖交磁束数は、 $(\phi_1 + \phi_0)$ となり、コイル L_y の下側

10

20

30

40

50

での鎖交磁束数は、 $(\theta_2 - \theta_0)$ となる。これにより、コイル L_y における全鎖交磁束数は 0 でなくなり、 V_y はある値を持つ。一方、前記磁束はコイル L_x と交差しないため V_x は 0 である。

【0005】

次に、地磁気 H_e' で示されるように、コイル L_x に対して θ の角度をなす時、この地磁気 H_e' により、コイル L_x, L_y に作用する地磁気成分 H_{0x}, H_{0y} は、 $H_{0x} = H_e' \cdot \cos \theta$ 、 $H_{0y} = H_e' \cdot \sin \theta$

となり、この地磁気成分に対応して V_x, V_y がある値を持つようになる。その時の検出電圧 (V_x, V_y) は、数式 1 でわかるように、 θ が変化すると (つまり車体が旋回すると)、図 11 で示した出力横軸を V_x 、縦軸を V_y とした座標上で円をプロットする。この円を電子コンパスの出力円という。この時の θ は、

$$\theta = \tan^{-1}(V_y / V_x)$$

で与えられ、この θ からこの電子コンパスを搭載する車両の進行方位を知ることができる。

【0006】

ここで、地磁気 H_e 以外に、車両の着磁による外乱磁気 G が発生すると、それがベクトル加算されることにより、前記出力円が偏移してその中心座標も移動する。このように偏移した出力円上に得られる検出電圧に基づき方位を求めると方位誤差が生じる。

【0007】

このような外乱磁場による方位誤差を排除するために、例えば実開平 1 - 144814 号では、実際に車両を走行させ、その間に複数 N 個の出力電圧 $\{X(i), Y(i)\}$ を収集し、次式より、この時の出力円の中心座標 (X_0, Y_0) を求めている。

$$X_0 = (\sum X(i)) / n, Y_0 = (\sum Y(i)) / n$$

【0008】

この演算に並行して、その時点での出力円の半径 R_0 を算出する。この半径は地磁気の大さを示すものであり、初期磁化強度と呼ばれる。

中心座標 (X_0, Y_0) および初期磁化強度 R_0 を算出すれば、この電子コンパスから逐次出力される出力電圧 $\{X(i), Y(i)\}$ と前記中心座標との距離 R_i と、初期磁化強度 R_0 との差の 2 乗和 J が算出させる。

$$\text{即ち、} R_i = \sqrt{\{X(i) - X_0\}^2 + \{Y(i) - Y_0\}^2}$$

$$J = \sum (R_i - R_0)^2$$

次に最小 2 乗法の演算手法を用いて、この 2 乗和 J を最小にするような中心座標を求め、これを前記中心座標 (X_0, Y_0) に対する補正座標として採用する。

【0009】

この説明では、外乱磁気 G が作用すると出力円が偏移するが、偏移後も出力円は真円としている。つまり、車体が方位を変えた時、それに追従して外乱磁気 G の方位も変化するが外乱磁気 G 自身の大きさは変化しないこと (無方位性) を前提としている。

【0010】

しかしながら実測データを調べて見ると、外乱磁気を受けた場合、中心座標が偏移すると共に出力円が真円ではなく楕円になる。このことは、外乱磁気は方位によってその大きさが変化していることを示す (方向性を持つ)。このような外乱磁気は、地磁気 H_e が車体に作用し、これにより車体が部分的に磁化したような場合に起きる。このような方向性を有する外乱磁気が生じている場合には、上述の磁場補正では正確な検出方位の修正はできない。

【0011】

そこでこの公報 (特開平 7 - 223186 号) では、地磁気方位センサの測定値をプロットして得られる楕円形状の出力円を求め、その出力円を表すパラメータを求め、そのパラメータに基づき、真円の出力円に戻す処理を行っている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、平面上の x, y 方向の地磁気しか検出しない 2 軸地磁気センサでは船体が

10

20

30

40

50

動揺した場合に x , y 方向の地磁気成分が変化して方位誤差が生じる。この誤差を排除するには、3軸の地磁気センサを用い、船が旋回した時のデータを集め、3軸のデータからその各点が構成する“出力球”(形状は楕円球)を推定し、そのパラメータにより補正を行う方法がある。理論的にはこれが一番スマートな解き方であるが、この場合、3軸方向のパラメータを推定するためには船体自体を $\pm 15^\circ$ 程度傾ける必要があり、実際に巨大な船体をそのように自在に傾けることは実施不可能であった。

【0013】

本発明は、上述した課題を解決するためになされたものであり、特に船体を大きく動揺させることなく通常の航行モードで船を旋回させ、そのときに得られる磁気センサおよび傾斜センサのデータをサンプルし、磁気センサの外乱磁気の性質およびパラメータの誤差による影響を考慮し、3軸地磁気センサの出力に段階別に補正を行うことにより、動揺に伴う方位誤差を排した磁気方位を得る電子磁気コンパスを提供することを目的とする。

10

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記請求項4にあるように、 z 軸の地磁気データを各方位で一定にするための補正係数 $S1$ を求め、次いで、 x , y 軸の地磁気がなす出力円を楕円から円に正規化するための補正係数 $S2$ を求め、この正規化された出力円の中心を原点に移動するためのオフセット値 h_x , h_y を求め、更に傾斜角と水平方向の誤差(残差)から得られる z 軸のオフセット値 h_z を求めておき、測定モード時、このとき検出される磁気データ $H(x, y, z)$ を前記係数 $S1$ で補正して、 z 軸の地磁気を均一とした $H1(x, y, z)$ を得る。そして前記磁気データ $H1(x, y, z)$ を前記オフセット値 h_x , h_y , h_z で補正して、中心点を原点に移動した磁気データ $H2(x, y, z)$ を得る。この磁気データ $H2(x, y, z)$ を前記係数 $S2$ で補正して、 x および y 軸の地磁気を円に正規化して磁気データ $H3(x, y, z)$ を得る。この磁気データ $H3(x, y, z)$ とこの測定モード時に検出した傾斜角 $k(p, r)$ とから3軸補正した磁気方位 m が出力される。

20

【0015】

このように本発明は段階別に順次補正を行うことで所望の補正方位を得るものであり、楕円球に対するパラメータを特定する必要がないため、船体を大きく傾ける必要はない。

【0016】

【発明の実施の形態】

30

図1は、本発明の1実施形態を示した電子磁気コンパス10の制御ブロック図である。1は、 x 軸、 y 軸および z 軸の磁気データ H_x , H_y , H_z を検出する3軸磁気センサであり、 x 軸、 y 軸および z 軸とにそれぞれ配された3組みの検出コイルを備える。2は、船体の動揺成分としてピッチ角 k_p およびロール角 k_r を検出する2軸傾斜センサであり、この傾斜センサのピッチおよびロールの検出方向が磁気センサ X 軸、 Y 軸の検出方向と合致する方向に配置される。

【0017】

3は、各センサの検出信号をデジタル変換するA/D変換器である。4および5は、3軸磁気センサ1および2軸傾斜センサ2よりの出力を記憶するRAMである。6は、補正用データ作成部であり、船体の傾斜により、磁気データ H_x , H_y , H_z に生じる各誤差を補正するためのオフセット値 h_x , h_y , h_z や後述する補正係数 $S1$, $S2$ 等を作成する補正用データ作成部である。

40

【0018】

これらのオフセット値 h および補正係数データ $S1$, $S2$ 等は方位補正テーブル7に格納される。8は、磁気方位補正部であり、方位補正テーブル7のデータに基づき、3軸磁気センサ1より得られる磁気データ H および2軸傾斜センサ2よりの傾斜角データ k_p , k_r から補正方位 m を演算する。本実施形態ではこれらの各要素4~8はCPU9にて実現している。

【0019】

この電子磁気コンパス10の制御動作を図2のフローチャートに従って説明する。測定の

50

前準備として最初に補正用データの作成を行なう。船を360°旋回させ、その間に得られる磁気データHおよび傾斜角データkがステップS1にてRAM4および5にそれぞれ記憶される。ステップS2では補正用データ作成部6において以下に示す各項目の演算が行われる。

【0020】

(a) z軸の地磁気を各方位で一定にする補正(z軸のソフトアイロン補正)のための補正係数S1の演算

(b) x, y方向の地磁気がなす楕円形状の出力円を円に正規化する補正(x, y軸のソフトアイロン補正)のための補正係数S2の演算

(c) 正規化された出力円の中心を原点に移動する補正(x, y軸のハードアイロン補正)のためのオフセット値hx、hyの演算 10

(d) 定常的に発生する傾斜角の演算

(e) z軸のオフセット値hzの演算

以下これらの各演算を詳しく述べる。

【0021】

(a) z軸ソフトアイロン補正のための補正係数S1の演算

鉛直磁気の性質から基本的にz軸は方位に対して一定にはなくてはならない。そこでz軸の地磁気が一定になるようにz軸の方位に対する変動をなくす補正を行う。このソフト的に行うz軸補正をソフトアイロン補正と呼び、そのための補正係数S1を演算する。

【0022】

図3は、縦軸がz軸、横方向がx軸、奥行き方向がy軸の3次元グラフに磁気センサのデータをプロットしたものである。この図3でわかるように、z軸のデータは、水平方向の各方位で一定ではなく、幾何学的には一定角度傾いた1平面上に分布している。これはz軸の出力がシステムのソフトウエアの影響を受けているものと考えられ、それによる誤差は次式で示される。

$$Z_{\text{softerr}} = A \cos \theta + B \sin \theta$$

θ : 磁気方位 θ : $\tan^{-1}(B/A)$

【0023】

ところでz軸のソフトアイロン補正を行うということは、z軸の出力を一定にすることであるから、センサ出力の作る平面が水平になるようにセンサ出力を変換すればよい。そのためには、磁気データH(x, y, z)のデータより、その平面の法線ベクトルを解き、その法線ベクトルとz軸とのなす角度の分だけ平面を回転させてやることにより、前記変換を行える。具体的には、Hx, Hy, Hzのデータより平面の方程式は次式で与えられる。

$$aX + bY + cZ + d = 0$$

この平面の法線ベクトルは(a, b, c)で示されるから、センサのデータから最小二乗法等により、(a, b, c)を推定し、そして正規化した上でz軸単位ベクトル(0, 0, 1)へ変換するような3行、3列の回転行列を、補正係数S1として計算すればよい。図3のセンサ出力をここで述べた手法に従って変換した結果を図4に示す。図4では方位に関係なくz軸のデータが一定となっている。

【0024】

(b) x, y軸のソフトアイロン補正のための補正係数S2の演算

z軸に対する補正を行ったことにより、x, y軸データの構成するベクトルは水平面に移行する。図5は、z軸データが水平面上に移行したHx, Hyのデータを示す。この図5は図4のグラフを上方から見た図である。この出力円がギザギザになっているのは船体の動揺によるものである。又、この出力円は一般に楕円形状に歪んでいるため、その楕円のパラメータを求め、そのパラメータを解くことによって正規化した円に補正(ソフトアイロン補正)する。このソフトアイロン補正のための用いるのが補正係数S2であり、以下のようにして求める。

【0025】

20

30

40

50

楕円の方程式は、

$$a x^2 + 2 h x y + b y^2 + 2 g x + 2 f y + c = 0$$

で示され、収集した各方位の磁気データ H_x 、 H_y を x 、 y として入力し、最小二乗法により、 a 、 h 、 g 、 f 、 c のパラメータを求める。求めたこれらのパラメータから楕円の標準形、 $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$ を導く。次いで主軸変換の手法を用いて行列式を求める。この主軸変換は原点移動と回転行列による主軸回転とからなる。原点移動は上述のオフセット値 h_x 、 h_y による移動に相当する。又、回転行列の乗算により、主軸を回転させ、スケールを調整した(すなわち楕円を円に戻す)後、主軸を逆回転させて元の座標に戻す。オフセット値 h_x 、 h_y は、下記のようにパラメータをおき、

【 0 0 2 6 】

【 数 1 】

$$Q = \begin{pmatrix} a & h \\ h & b \end{pmatrix} \quad b = \begin{pmatrix} g \\ f \end{pmatrix} \quad x_0 = \begin{pmatrix} x a \\ y b \end{pmatrix}$$

【 0 0 2 7 】

$Q \cdot x_0 + b = 0$ を x_0 について解くことにより、

$h_x = x a$ 、 $h_y = y b$ で得られる。

又、回転行列とスケールングのための行列は、おのこの行列 Q の固有値ベクトルと固有値より求められ、回転行列を S 、スケールングのための行列を N とすると、上記係数 S^2 は、 $S^2 = S \cdot N \cdot S^{-1}$ で与えられる。

【 0 0 2 8 】

(c) x 、 y 軸のハードアイロン補正のためのオフセット値 h_x 、 h_y の演算

次にその正規化円の中心を原点移動するハードアイロン補正を行うべく、 x 軸および y 軸のオフセット値 h_x 、 h_y を演算する。

【 0 0 2 9 】

(d) 定常傾斜角に起因する誤差の演算

前記(a)項にて z 軸が一定になるように z 軸のソフトアイロン補正を行ったが、この時の z 軸の磁気センサ出力の方位による変化はすべてソフトアイロンの影響によるものという前提条件がある。しかし、実際には、船の定常的な傾斜によっても z 軸の出力が変化するのでこれに対する配慮が必要となる。この傾斜角の定常誤差を排除するには、ここでは船が旋回したときの p 、 r の各傾斜角データに対してそれぞれ平均値 $k p'$ 、 $k q'$ を求めておき、後で説明する測定時において生の傾斜角データ $k p$ 、 $k q$ の生のデータからそれらの平均値 $k p'$ 、 $k q'$ を減じる。

【 0 0 3 0 】

(e) z 軸のオフセット値 h_z の演算

図9において、ベクトル B は、センサが傾斜角 だけ傾いたときのセンサの x 、 y 軸方向成分、ベクトル C は、同じく z 軸成分であり、その合成ベクトルが A である。3軸補正ではこれを、実際の水平成分(ベクトル H)と鉛直方向成分(ベクトル V)とに分解し、ベクトル H の水平面内での方向を求めて方位を計算する。今、図9において、傾斜により z 軸成分がオフセットして、ベクトル C が C' になったとする。このとき、ベクトル A 、 A' 、ベクトル H 、 H' となり、この $H - H'$ が z 軸のオフセットに伴う水平方向の誤差 $Z h_{error}$ であり、オフセットの値を h_z とすると次式の関係式が得られる。

$$h_z = (H' - H) / \sin \theta = Z h_{error} / \sin \theta \quad \dots \quad 1$$

尚、 H' のベクトル表記を本明細書での使用文字種の制約から H' とした。

この $Z h_{error}$ は、図6の x 、 y 平面で考えると、円の半径方向の誤差であり、前項(a)で定義した残差と同じと考えことができる。従ってこの残差 $Z h_{error}$ と傾斜角 $\sin \theta$ により

10

20

30

40

50

z 軸のオフセット値 h_z が計算できることになる。この傾斜角 \sin は次のようにして求める。

【0031】

まず、実際の水平面とセンサの x , y 平面との角度を傾斜角と定義すると、ピッチとロールの回転により移動した平面での z 軸単位ベクトルと、移動前の単位ベクトルとの角度により次式で計算できる。

$$\cos = \cos p \cdot \cos r \quad \dots \quad 2 \quad \text{傾斜角}$$

前項(b)で用いた傾斜角は x , y 成分の構成するベクトル方向の傾斜角であり、 x , y ベクトルの方向とこの傾斜の方向が一致する場合は、同じものであるが、地磁気ベクトルの x , y ベクトルと傾斜の方向は全く別であり、実際に一致することはほとんどない。

10

【0032】

従って、この傾斜角の、 x , y ベクトル方向成分を求める必要がある。地磁気の方を表すベクトル \underline{F} はそのまま磁気センサの水平方向のベクトルの値となるので、 $\underline{F} = (x, y)$ となる。又、傾斜方向を表すベクトル \underline{K} は単純に $\underline{K} = (p, q)$ で表すことができる。従ってこのベクトルを正規化したものの内積をとって、

$$\cos = \underline{F}_{\text{nor}} \cdot \underline{K}_{\text{nor}} \quad \dots \quad 3$$

が計算でき、実際の x , y ベクトル方向傾斜角成分は、 $\sin \cdot \cos$ となる。(実際の計算では内積は $\underline{F} = (x, y)$ 、 $\underline{K} = (p, q)$ の成分により計算する) これにより、式 1 は次のようになる。

$$h_z = Z_{\text{error}} / \sin \cdot \cos \quad \dots \quad 4$$

20

この式 4 を用い最小二乗法により、 h_z を求める。

以上ですべてのオフセット値 h_x , h_y , h_z が求まったことになる。

【0033】

ここで求まった z 軸のオフセット値 h_z が正しいかどうかを評価するには、別の方法でその推定値を求めて両者を比較すればよい。例えば z 軸のオフセット値をパラメータとして変化させて 3 軸補正のシミュレーションを行い、これにより得られた正規化円の内で最も真円に近いときのオフセット値を推定値とする。図 7 は z 軸オフセット値(横軸)に対し縦軸に残差(測定点での半径 r と正規化値 1 との差の標準偏差)を示し、このグラフよりオフセット値は - 3 が得られた。実際にオフセット値 - 3 として図 6 のデータを補正したのが図 8 であり、歪みの少ない円が得られた。

30

【0034】

以上の演算で得られた補正用の各データ $h(x, y, z)$ 、 S_1 、 S_2 、 Z_{error} はステップ S 3 において、方位補正テーブル 6 に格納される。尚、このフローでは、 h_x 、 h_y 、 h_z を $h(x, y, z)$ と記し、 $H(x, y, z)$ も同様である。このようにして補正用データが作成されると、ステップ S 4 以降の測定モードに進む。

【0035】

ステップ S 4 では、通常の航行時に得られる磁気データ H_x 、 H_y 、 H_z および傾斜角データ k_p 、 k_q がリアルタイムで取り込まれる、水平方向の誤差 Z_{error} 等が演算される。そして、ステップ S 5 では、 z 軸の地磁気を各方位で一定に補正(z 軸のソフトアイロン補正)のために、磁気データ $H(x, y, z)$ に前記係数 S_1 を乗じて磁気データ $H_1(x, y, z)$ を得る。

40

【0036】

ステップ S 6 では、ステップ S 5 で求めた磁気データ $H_1(x, y, z)$ を、オフセット値 $h(x, y, z)$ を用いて原点移動する補正(ハードアイロン補正)を行なって磁気データ $H_2(x, y, z)$ を得る。

【0037】

ステップ S 7 では、 x , y 軸のソフトアイロン補正(円に正規化)のために、前記磁気データ $H_2(x, y, z)$ に前記係数 S_2 を乗じて磁気データ $H_3(x, y, z)$ を得ている。ステップ S 8 では、定常傾斜角による誤差の補正のために、ピッチおよびロールの傾斜角 k_p 、 k_r から上記値 k_p' 、 k_r' を減じて k_{1p} 、 k_{1r} を求める。

50

【 0 0 3 8 】

ステップ S 9 では、磁気データ H 3 と傾斜角データ k 1p、k 1r とから 3 軸補正して磁気方位 m (Heading) を求める。その演算のプログラムを以下に掲載する。

【 0 0 3 9 】

```
magvec0=h3data[[ct,1]];
magvec1=h3data[[ct,2]];
magvec2=h3data[[ct,3]];
gvec0=-sin[k2data[[ct,1]] degree]
gvec1=sin[k2data[[ct,2]] degree]
buffer=1.0-gvec0*gvec0-gvec1*gvec1;
gvec2=sqrt[buffer];
compNdotE=magvec2 gvec1-magvec1 gvec2;
gdotB=magvec0 gvec0+magvec1 gvec1+magvec2 gvec2;
compNdotN=magvec0-gdotB gvec0;
z=N[gdotB];
y=N[compNdotE];(*sin*)
x=N[compNdotN];(*cos*)
h4data[[ct]]={x,y,z};
magvec1=invh3data[[ct,2]];
magvec2=invh3data[[ct,3]];
compNdotE=magvec2 gvec1-magvec1 gvec2;
gdotB=magvec0 gvec0+magvec1 gvec1+magvec2 gvec2;
compNdotN=magvec0-gdotB gvec0;
z=N[gdotB];
y=N[compNdotE];(*sin*)
x=N[compNdotN];(*cos*)
Heading=ArcTan[y/x]/Degree //N;
```

10

20

【 0 0 4 0 】

この後はステップ S 4 に戻り、方位測定が継続して実行される。尚、ステップ S 3 にて方位補正テーブル 7 に格納された Z h error の値は、ステップ S 4 にて新たに演算される Z h error で定期的に更新するようにすれば、より正確な Z h error を得ることができ出力方位精度が高まる。

30

【 0 0 4 1 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明は、このように本発明は、船を 3 6 0 ° 旋回させる間に各種補正用データを予め作成しておき、測定された磁気データに対して、前記補正用データを用いて段階別に補正を行うことで所望の方位補正を得るものであり、楕円球に対するパラメータを特定して補正する手法ではないために船体を大きく傾ける必要はなく、通常の航行モードで 3 軸補正のための補正用データを得ることができる。

40

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の 1 実施形態を示した電子磁気コンパスの制御ブロック図

【 図 2 】 図 1 の電子磁気コンパスの制御動作を示したフローチャート

【 図 3 】 3 次元グラフに 3 軸磁気センサの出力をプロットした図

【 図 4 】 図 3 において Z 軸に関して方位補正して得られたデータのプロット図

【 図 5 】 図 4 の 3 次元グラフを上方から見た 2 次元のデータ、即ち、出力円を示した図

【 図 6 】 図 5 の出力円を円に正規化し、その中心を原点に移動した正規化出力円を示した図

【 図 7 】 z 軸のオフセット値(横軸)に対し残差(縦軸)を示した図

【 図 8 】 図 7 において、残差が最小となるオフセット値値で図 6 のデータを補正して得た出力円の図

50

【図 9】 z 軸のオフセットと、このオフセットにより水平方向で生じる誤差との関係を示した図

【図 10】 2 軸の電子磁気コンパスの概略構成図

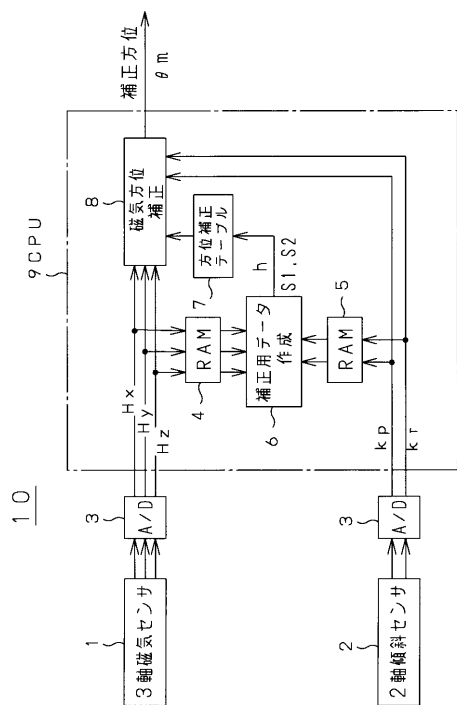
【図 11】 図 10 の電子磁気コンパスより得られる出力円の中心が外乱磁場により原点から偏移した様子を示す図

【符号の説明】

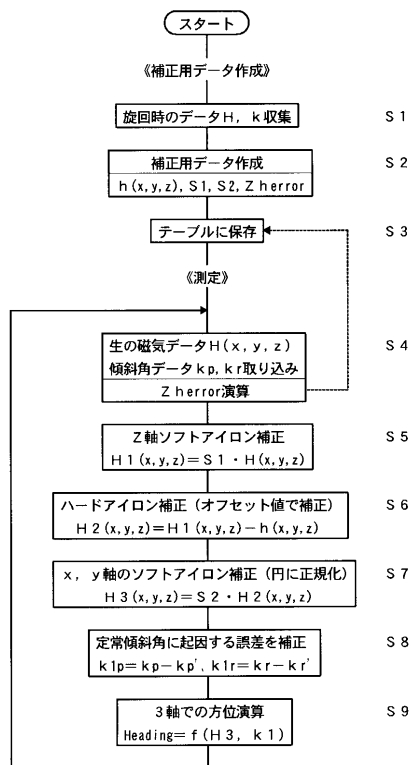
- 1 3 軸磁気センサ
- 2 2 軸傾斜センサ
- 3 A / D 変換器
- 4, 5 RAM
- 6 補正用データ作成
- 7 方位補正テーブル
- 8 磁気方位補正部
- 9 CPU
- 10 電子磁気コンパス

10

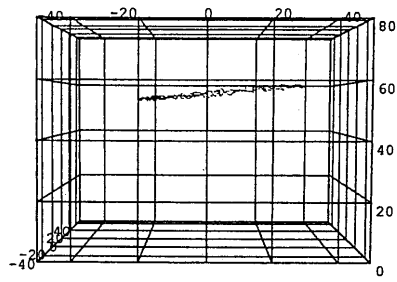
【図 1】



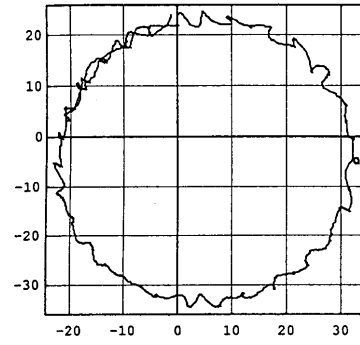
【図 2】



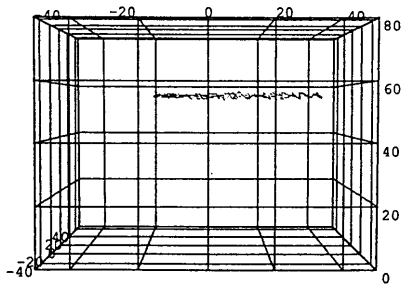
【図 3】



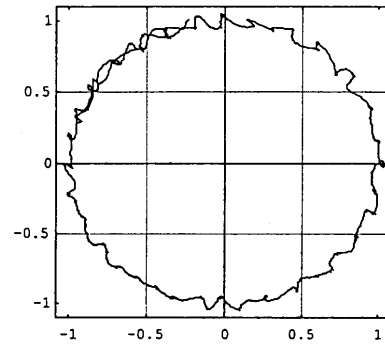
【図 5】



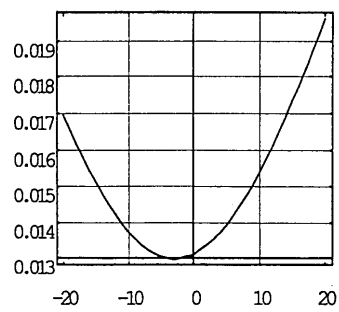
【図 4】



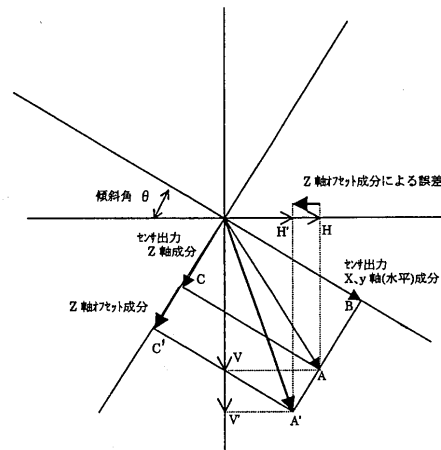
【図 6】



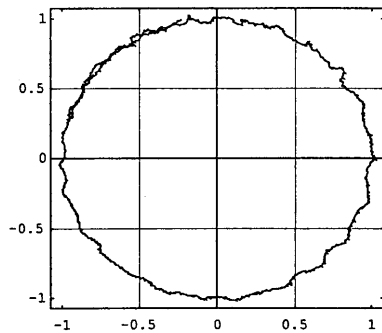
【図 7】



【図 9】



【図 8】



The diagram illustrates the relationship between two coordinate systems, V_x, V_y and $V_{x'}, V_{y'}$. The $V_{x'}, V_{y'}$ system is rotated by an angle θ relative to the V_x, V_y system. Two circles are shown, centered at the origin of the V_x, V_y system, representing the locus of points in the two systems.

フロントページの続き

審査官 村上 哲

(56)参考文献 特開平08-278137(JP,A)
特開平08-201059(JP,A)
特開昭61-254817(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01C 17/28