

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2011年10月20日(20.10.2011)



(10) 国際公開番号
WO 2011/129288 A1

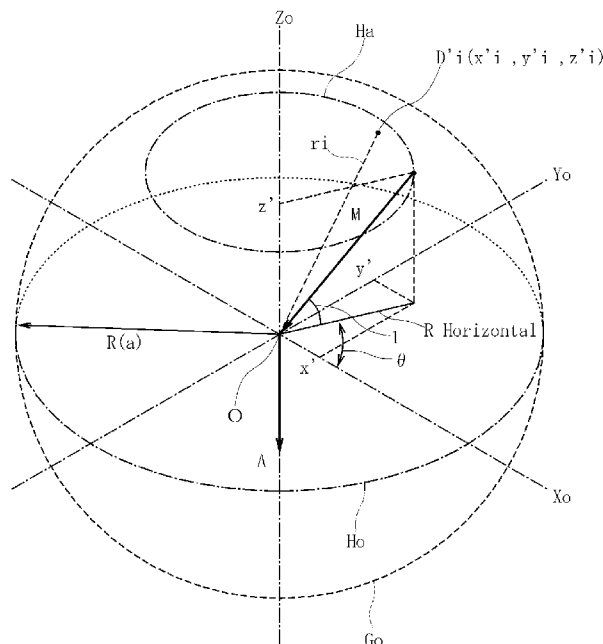
- (51) 国際特許分類:
G01C 17/38 (2006.01) G01C 17/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/058974
- (22) 国際出願日: 2011年4月11日(11.04.2011)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2010-094969 2010年4月16日(16.04.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): アルプス電気株式会社 (ALPS ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 青柳 欽也 (AOYAGI, Kinya) [JP/JP]; 〒1458501 東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 野▲崎▼ 照夫, 外 (NOZAKI, Teruo et al.); 〒1700013 東京都豊島区東池袋1-21-11 オーク池袋ビルディング3F Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: TERRESTRIAL MAGNETISM DETECTION DEVICE

(54) 発明の名称: 地磁気検知装置

【図6】



(57) Abstract: Disclosed is a terrestrial magnetism detection device in which a triaxial sensor is employed to detect terrestrial magnetism, wherein the accuracy of subsequent detection or calculation can be evaluated when calibration processing is performed to obtain a reference point of origin for spherical coordinates. Correction coordinate point data (Di') of a terrestrial magnetic vector is calculated on the basis of detection output from three terrestrial magnetism sensors. The calculated correction coordinate point data (Di') is expressed as coordinate points on correction spherical coordinates ($G0$) calculated by means of calibration processing. $R \cdot \cos I$ is obtained from the angle of magnetic dip (I) of a terrestrial magnetic vector (M) and the radius (R) of the terrestrial spherical coordinates ($G0$), and the accuracy of the detection or calculation is evaluated from the $R \cdot \cos I$ and the deviation (δR) of the correction coordinate point data (Di') with respect to the radius (R).

(57) 要約: 【課題】 地磁気を検知する3軸のセンサを用いた地磁気検知装置において、球面座標の基準原点を求めるキャリブレーション処理を行ったときにその後の検知精度または演算精度を評価できるようにする。【解決手段】 3つの地磁気センサからの検知出力に基づいて、地磁気ベクトルの補正座標点データ Di' を演算する。演算された補正座標点データ Di' は、キャリブレーション処理で演算された補正球面座標 $G0$ 上の座標点として現れる。地磁気ベクトル M の伏角 I と、補正球面座標 $G0$ の半径 R とから $R \cdot \cos I$ を求め、半径 R に対する補正座標点データ Di' の偏差 δR と前記 $R \cdot \cos I$ とから、検知精度または演算精度を評価する。



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

— 補正された請求の範囲 (条約第 19 条(1))

明 細 書

発明の名称：地磁気検知装置

技術分野

- [0001] 本発明は、地磁気センサで検出された地磁気ベクトルが、球面座標上の座標点データとして求められる地磁気検知装置に係り、特に、球面座標の中心の座標点を求めるキャリブレーション処理を行った後に、検知精度や演算精度を計算値から評価することができる地磁気検知装置に関する。

背景技術

- [0002] 3軸に配置された地磁気センサを使用した地磁気検知装置は、方位センサや角速度センサなどとして使用される。この地磁気検知装置は、互いに直交するX軸とY軸およびZ軸に向けて配置された地磁気センサによって地磁気を検知されると、その検知出力に基づいて、地磁気ベクトルが三次元座標上の座標点として認識される。
- [0003] この種の地磁気検知装置は、電源を投入した時点で、オフセット磁界の存在や外部からの地磁気以外の磁気ノイズの影響で、地磁気ベクトルが三次元座標上のどの位置に現れるか不明である。そのため、キャリブレーション処理を行って、検知された座標点データを、予め決められている原点を中心とする三次元座標上のデータに変換することが必要である。
- [0004] 以下の特許文献1には、地磁気検知装置で検知された方位データが楕円に近似する座標系上に現れることが指摘されており、演算により、測定値の座標系を数学的に理想的な円形リングに変換して補償することが記載されている。
- [0005] 以下の特許文献2には、少ないデータ量で三次元座標上の基準原点を求める方法として、複数の地磁気ベクトルを検知して3つの座標点データが得られたときに、3つの座標点データから等距離の点を求め、この点を基準原点とする発明が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特表平7-507874号公報

特許文献2：特開2007-163389号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] キャリブレーション処理は、地磁気検知装置を回転させるなどして複数の座標点データを検出し、この座標点データを用いて球面座標の基準原点を算出することが必要である。

[0008] そのため、方位などの演算結果には、磁気センサの感度のばらつきや検知回路の特性のばらつきに加えて、キャリブレーション処理による演算の誤差が加算されることになり、方位の演算結果に加算される誤差の累積が大きくなる。したがって、キャリブレーション後に得られる方位などの演算結果に、どの程度の誤差が含まれているかを常に評価することが必要になる。

[0009] また、赤道付近以外では、地磁気ベクトルを地平と水平な座標面に投影した投影ベクトルから方位を算出することが必要になるが、緯度が高く、地磁気ベクトルの伏角が大きい地域では、投影ベクトルが短くなるため、演算された投影ベクトルに対して誤差が占める割合が大きくなる。この場合に、方位などの演算結果にどの程度の誤差が含まれているかを常に評価することがさらに必要になる。

[0010] 本発明は上記従来の課題を解決するものであり、キャリブレーション後の座標点データの演算結果にどの程度の誤差が含まれているかを算出できるようにし、方位などの演算結果の信頼性を正確に評価できる地磁気検知装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の地磁気検知装置は、三次元検知座標が予め決められた地磁気検知部および演算部を有し、

前記地磁気検知部に、三次元検知座標のX方向が地磁気の方角に向けられ

たときに検知出力の絶対値が極大値となるX軸センサと、Y方向が地磁気の方
方向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大値となるY軸センサ、およ
びZ方向が地磁気の方方向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大値とな
るZ軸センサが搭載されて、

前記演算部は、前記検知出力に基づいて、地磁気ベクトルの向きを、三次
元検知座標上の座標点データとして求め、

複数の座標点データを得たときに、複数の座標点データとの誤差が最小と
なる補正球面座標と、三次元検知座標上での前記補正球面座標の中心の座標
点を求めるとともに、それぞれの座標点データを、三次元検知座標の原点に
中心を有する前記補正球面座標上の補正座標点データに換算し、

前記原点から複数の補正座標点データまでの距離（ r_i ）と、前記補正球
面座標の半径（ R ）との偏差（ δR ）を、検知精度または演算精度の評価基
準として使用することを特徴とするものである。

[0012] 本発明の地磁気検知装置は、前記地磁気検知部の姿勢を検知する加速度セ
ンサを有し、前記演算部は、前記加速度センサの検知出力から重力ベクトル
を求め、重力ベクトルに垂直なXO-YO平面から地磁気ベクトルまでの伏
角（ I ）を求め、 $R \cdot \cos I$ と前記偏差（ δR ）とを、検知精度または演
算精度の評価基準として使用することが可能である。

[0013] 例えば、本発明の地磁気検知装置は、 $R \cdot \cos I$ と前記偏差（ δR ）と
の比に基づいて、方位角（ θ ）の偏差（ $\delta \theta$ ）を求めて、前記偏差（ $\delta \theta$ ）
を検知精度または演算精度の評価基準として使用するものである。

[0014] 本発明は、地磁気検知部が配置されている位置の地図情報を表示する表示
装置が設けられており、前記表示装置が回転したときに、方位角（ θ ）の変
化に伴って、前記地図情報の向きを所定の角度ずつ切換え可能とされており
、方位角（ θ ）の偏差（ $\delta \theta$ ）に応じて前記角度が切換えられるものとする
ことが可能である。

[0015] 本発明は、数1で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c 、 y_c 、 z_c およ
び a 、 b 、 c を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c

、 y_c 、 z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 a 、 b 、 c は、X軸センサ、Y軸センサ、Z軸センサの感度に基づく係数である）。

[0016] あるいは、前記（b）では、前記数2で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c 、 y_c 、 z_c と R を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c 、 y_c 、 z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 R は補正球面座標の半径である）。

発明の効果

[0017] 本発明の地磁気検知装置は、補正球面座標と補正座標点データを求めるキャリブレーション処理を行った後に、補正球面座標を基準とした補正座標点データの偏差を求めることで、演算後の補正球面座標と補正座標点データの評価を行えるようにしている。

[0018] そのため、偏差が大きい場合に、そのときに得られたデータを削除したまたは無視したり、あるいは、誤差の大きいデータであることを使用者に知らせることができる。または、直ちにキャリブレーション処理をやり直すことができる。さらに、表示装置に地図情報を表示して地磁気検知装置の動きに応じて地図情報の向きを切換える場合に、演算結果における誤差の程度に応じて、地図情報の向きを切換えるときの角度を変化させることなどが可能になる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の実施の形態の地磁気検知装置の回路ブロック図、
[図2]データバッファの処理動作を示す説明図、
[図3]地磁気検知部に設けられたX軸センサとY軸センサおよびZ軸センサの説明図、
[図4]三次元検知座標上での補正前の球面座標および座標点データを示す説明図、
[図5]伏角の演算を示す説明図、
[図6]三次元検知座標の原点に中心を有する補正球面座標と補正座標点データ

を示す説明図、

[図7]方位角の偏差の求め方を示す説明図、

[図8]地図情報の表示画面の切り換え動作を示す説明図、

発明を実施するための形態

[0020] 図1に示す本発明の実施の形態の地磁気検知装置1は、主に方位センサとして使用されるものであり、地磁気検知部2と3軸加速度センサ8とを有している。

[0021] 図3に示すように、地磁気検知装置1は、互いに直交する基準軸であるX1軸とY1軸およびZ1軸が固定軸として決められている。X1軸とY1軸およびZ1軸で三次元検知座標が決められている。地磁気検知装置1は携帯用機器などに搭載されており、三次元検知座標のX1軸とY1軸およびZ1軸の直交関係を維持したまま、空間内で自由に移動できる。

[0022] 図3に示すように、地磁気検知部2には、X軸センサ3がX1軸に沿って固定され、Y軸センサ4がY1軸に沿って固定され、Z軸センサ5がZ1軸に沿って固定されている。X軸センサ3とY軸センサ4およびZ軸センサ5は、いずれもGMR素子（巨大磁気抵抗効果素子）で構成されている。GMR素子は、Ni-Co合金やNi-Fe合金などの軟磁性材料で形成された固定磁性層および自由磁性層と、固定磁性層と自由磁性層との間に挟まれた銅などの非磁性導電層とを有している。固定磁性層の下に反強磁性層が積層され、反強磁性層と固定磁性層との交換結合により、固定磁性層の磁化が固定されている。

[0023] X軸センサ3は、地磁気ベクトルのX1方向に向く成分を検知するものであり、固定磁性層の磁化の向きがX1軸に沿うPX方向に固定されている。自由磁性層の磁化の向きは地磁気の向きに反応する。自由磁性層の磁化の向きがPX方向と平行になるとX軸センサ3の抵抗値が極小になり、自由磁性層の磁化の向きがPX方向と逆向きになるとX軸センサ3の抵抗値が極大になる。また、自由磁性層の磁化の向きがPX方向と直交すると、抵抗値が前記極大値と極小値との平均値となる。

- [0024] 図 1 に示す磁場データ検知部 6 では、X 軸センサ 3 と固定抵抗とが直列に接続され、X 軸センサ 3 と固定抵抗との直列回路に電圧が与えられており、X 軸センサ 3 と固定抵抗との間の電圧が X 1 軸の検知出力として取り出される。X 軸センサ 3 に X 1 方向に向く磁界が与えられていないとき、または P X に対して直交する磁界が与えられているときに、X 1 軸の検知出力が中点電位となる。
- [0025] 地磁気検知部 2 の全体を傾け、X 軸センサ 3 の固定磁性層の磁化の固定方向 P X を地磁気ベクトル V と同じ向きにすると X 軸センサ 3 に与えられる磁界成分が極大値となる。このときの X 1 軸の検知出力は、前記中点電位に対してプラス側の極大値となる。逆に、X 軸センサ 3 の固定磁性層の磁化の固定方向 P X を地磁気ベクトル V と反対に向けると、X 軸センサ 3 に与えられる逆向きの磁界成分が極大値となる。このときの X 1 軸の検知出力は、前記中点電位に対してマイナス側の極大値となる。
- [0026] Y 軸センサ 4 と Z 軸センサ 5 も、それぞれ固定抵抗とが直列に接続され、Y 軸センサ 4 または Z 軸センサ 5 と固定抵抗との直列回路に電圧が与えられており、各センサと固定抵抗との間の電圧が Y 1 軸または Z 1 軸の検知出力として取り出される。
- [0027] Y 軸センサ 4 の固定磁性層の磁化の固定方向 P Y を地磁気ベクトル V と同じ向きにすると、Y 1 軸の検知出力は、中点電位に対してプラス側の極大値になる。Y 軸センサ 4 の固定磁性層の磁化の固定方向 P Y を地磁気ベクトル V と反対に向けると、Y 1 軸の検知出力は、中点電位に対してマイナス側の極大値となる。同様に、Z 軸センサ 5 の固定磁性層の磁化の固定方向 P Z を地磁気ベクトル V と同じ向きにすると、Z 1 軸の検知出力が、中点電位に対してプラス側の極大値になる。Z 軸センサ 5 の固定磁性層の磁化の固定方向 P Z を地磁気ベクトル V と反対に向けると、Z 1 軸の検知出力は、中点電位に対してマイナス側の極大値となる。
- [0028] 地磁気ベクトル V の大きさが一定であれば、X 軸センサ 3 と Y 軸センサ 4 および Z 軸センサ 5 からの検知出力は、いずれもプラス側の極大値の絶対値

と、マイナス側の極大値の絶対値とが同じである。

[0029] X軸センサ3としては、地磁気ベクトルの向きによってプラス側の検知出力とマイナス側の検知出力が得られ、プラス側の検知出力の極大値とマイナス側の検知出力の極大値とで絶対値が同じになれば、GMR素子以外の地磁気センサで構成することもできる。例えば、X1軸に沿ってプラス側の磁界強度のみを検知できるホール素子またはMR素子と、マイナス側の磁界強度のみを検知できるホール素子またはMR素子を組み合わせて、X軸センサ3として使用してもよい。これは、Y軸センサ4とZ軸センサ5においても同じである。

[0030] 図1に示すように、磁場データ検知部6で検知されたX軸とY軸およびZ軸の検知出力は、演算部10に与えられる。演算部10は、A/D変換部とCPUおよびクロック回路などから構成されている。演算部10のクロック回路の計測時間に応じて、磁場データ検知部6で検知されたX軸とY軸およびZ軸の検知出力が、短いサイクルで間欠的にサンプリングされて演算部10に読み出される。それぞれの検知出力は、演算部内に設けられた前記A/D変換部によってデジタル値に変換される。

[0031] 演算部10を構成するCPUにはメモリ7が接続されている。メモリ7には、演算処理のためのソフトウェアがプログラミングされて格納されている。演算部10の演算処理は前記ソフトウェアによって実行される。

[0032] 演算部10は、ソフトウェアに基づいて演算処理を行う。デジタルデータに変換されたX1軸の検知出力とY1軸の検知出力およびZ1軸の検知出力は、演算部10で演算処理され、図4に示すX1-Y1-Z1の三次元検知座標上の座標点データ $D_i(x_i, y_i, z_i)$ に変換されて、図2に示すデータバッファ（バッファメモリ）11に格納される。クロック回路と同期して短いサイクルでサンプリングされて演算された前記座標点データ D_i は、データバッファ11の格納部11aに与えられる。座標点データ D_i が格納部11aに与えられる毎に、その前に得られた座標点データ D_i が格納部11aから11mまで順に送り出され、最終段の格納部11mの座標点デ

ータ D_i が捨てられる。地磁気検知装置 1 が動作している間は、磁場データ検知部 6 から最新のデータが一定時間毎に読み出され続け、演算後の座標点データ D_i がデータバッファ 11 に順番に格納されていく。

[0033] 図 1 に示すように、地磁気検知装置 1 には、3 軸加速度センサ 8 が設けられている。この 3 軸加速度センサ 8 は、 X_1 軸と Y_1 軸および Z_1 軸のそれぞれに沿う向きの加速度を検知するものであり、その検知出力が姿勢検知部 9 に与えられる。姿勢検知部 9 では、 X_1 軸と Y_1 軸および Z_1 軸のそれぞれに沿う向きの加速度から、図 5 に示す重力加速度ベクトル A が算出され、その情報が演算部 10 に与えられる。

[0034] 図 4 に示すように、地磁気検知部 2 が地球上のいずれかの場所に置かれると、地磁気検知部 2 の X 軸センサ 3 から検知出力 x_i が得られ、 Y 軸センサ 4 から検知出力 y_i が得られ、 Z 軸センサ 5 から検知出力 z_i が得られる。図 2 に示す演算部 10 において、各軸の検知出力 x_i , y_i , z_i から、 $X_1 - Y_1 - Z_1$ 軸の三次元検知座標上で、地磁気ベクトル V の向きを示す座標点データ $D_i (x_i, y_i, z_i)$ が演算される。

[0035] 測定場所が北半球の場合、地磁気ベクトル V は地平線に向かって所定の伏角で入射する。よって、図 4 に示すように、 $X_1 - Y_1 - Z_1$ 軸を有する三次元検知座標では、地磁気ベクトル V がキャリブレーション前の球面座標 G_1 の中心 O_c に向かい、地磁気ベクトル V の向きは、地磁気ベクトル V の絶対値を半径とする球面座標 G_1 上の座標点データ $D_i (x_i, y_i, z_i)$ として表わされる。

[0036] 座標点データ $D_i (x_i, y_i, z_i)$ はサンプリング周期毎に次々と得られ ($i = 1, 2, 3, 4, \dots$)、データバッファ 11 に順に格納されていく。これら複数の座標点データ $D_i (x_i, y_i, z_i)$ は、前記球面座標 G_1 の表面に分布する。

[0037] 電源が投入されて、検知動作が開示された時点では、球面座標 G_1 の中心 O_c の座標 (x_c, y_c, z_c) が不明であり、球面座標 G_1 の形状や半径も不明である。 $X_1 - Y_1 - Z_1$ 軸を有する三次元検知座標の原点 O と、球

面座標 G 1 の中心 O c との位置ずれは、地磁気以外の外部磁界の影響や X 軸センサ 3 と Y 軸センサ 4 および Z 軸センサ 5 の感度のばらつきや回路からのノイズなどに起因するオフセット量である。

[0038] そこで、演算部 10 では、複数の座標点データ D i (x i , y i , z i) が得られたら、以下のキャリブレーション処理を行う。

[0039] 演算部 10 は、図 4 に示すキャリブレーション前の球面座標 G 1 を、以下の数 3 の方程式で認識する。

[0040] [数3]

$$\text{数3} \quad \left(\frac{x - x_c}{a} \right)^2 + \left(\frac{y - y_c}{b} \right)^2 + \left(\frac{z - z_c}{c} \right)^2 = 1$$

[0041] x c , y c , z c は、X 1 - Y 1 - Z 1 軸の三次元検知座標における、球面座標 G 1 の中心 O c の座標である。a は X 軸センサ 3 の感度に関する係数、b は Y 軸センサ 4 の感度に関する係数、c は Z 軸センサ 5 の感度に関する係数である。X 軸センサ 3 と Y 軸センサ 4 および Z 軸センサ 5 の感度が高精度に一致しているときは、数 3 は球の方程式である。実際には、X 軸センサ 3 と Y 軸センサ 4 および Z 軸センサ 5 に感度の差があり、それぞれのセンサが接続される回路にもばらつきがあるため、数 3 は球の方程式ではなく、楕円球などの方程式となる。

[0042] キャリブレーション処理は、数 3 の x c , y c , z c および a , b , c の値を求めるために行われる。複数得られる座標点データ D i (x i , y i , z i) にばらつきが無く、それぞれの座標点データ D i が同じ球面座標（球面や楕円球などの座標）G 1 に現れるのであれば、複数得られる x i , y i , z i (i = 1 , 2 , 3 , 4 , \dots) のそれぞれの値を数 3 の x , y , z に代入して、連立方程式を解くと、x c , y c , z c および a , b , c の値を求めることができる。

[0043] しかし、実際にはそれぞれの座標点データ D i (x i , y i , z i) にばらつきが存在している。そこで、以下の数 4 に示すように、数 3 の方程式を

、 F_i で表し、 F_i の二乗の累積値の $1/2$ である J が最小となる x_c 、 y_c 、 z_c および a 、 b 、 c の値を求める。すなわち、最小二乗法により、複数の座標点データ D_i との誤差が最も小さくなる球面または楕円球の方程式を求める。

[0044] [数4]

$$\text{数4} \quad F_i = \left(\frac{x_i - x_c}{a} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{b} \right)^2 + \left(\frac{z_i - z_c}{c} \right)^2 - 1$$

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2$$

[0045] 上記数4の F_i の方程式を簡素化するために、 a 、 b 、 c を以下の数5とする。数5は、X軸センサ3の検知出力の感度に関する係数 a を R とし、 A_y は、Y軸センサ4の検知出力の感度に関する係数 b を a に対する比で表わし、 A_z は、Z軸センサ5の検知出力の感度に関する係数 c を、 a に対する比で表わしている。 R と A_y および A_z を用いて、数4の F_i と J を表わすと以下の数6の F_i' と J' になる。

[0046] [数5]

$$\text{数5} \quad R = a$$

$$A_y = \frac{b}{a}$$

$$A_z = \frac{c}{a}$$

[0047] [数6]

$$\text{数6} \quad F_i' = R^2 F_i = (x_i - x_c)^2 + A_y^2 (y_i - y_c)^2 + A_z^2 (z_i - z_c)^2 - R^2$$

$$J' = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i'^2$$

[0048] そして、上記 J' が最小となるときの x_c 、 y_c 、 z_c および R 、 A_y 、 A_z の値を求める。以下の数7に示すように、 J' を x_c 、 y_c 、 z_c およ

び R , Ay , Az のそれぞれの未知数で偏微分し、偏微分して得られた連立方程式を解くことで、 J' が最小となるときの x_c , y_c , z_c および R , Ay , Az の値を求めることができる。

[0049] [数7]

$$\begin{aligned}
 \text{数7} \quad \frac{\partial J'}{\partial x_c} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial x_c} = -2 \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] (x_i - x_c) = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial y_c} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial y_c} = -2 Ay^2 \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] (y_i - y_c) = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial z_c} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial z_c} = -2 Az^2 \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] (z_i - z_c) = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial Ay} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial Ay} = 2Ay \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] (y_i - y_c)^2 = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial Az} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial Az} = 2Az \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] (z_i - z_c)^2 = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial R} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial R} = -2R \sum_{i=1}^N \left[(x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \right] = 0
 \end{aligned}$$

ただし、

[数8]

$$\begin{aligned}
 \text{数8} \quad \frac{\partial F'_i}{\partial x_c} &= -2(x_i - x_c) \\
 \frac{\partial F'_i}{\partial y_c} &= -2(y_i - y_c) \\
 \frac{\partial F'_i}{\partial z_c} &= -2(z_i - z_c) \\
 \frac{\partial F'_i}{\partial Ay} &= 2Ay(y_i - y_c)^2 \\
 \frac{\partial F'_i}{\partial Az} &= 2Az(z_i - z_c)^2 \\
 \frac{\partial F'_i}{\partial R} &= -2R
 \end{aligned}$$

である。

[0050] 前記数7は非線形連立方程式であるため、一般的な解法で解くことができず、Gauss-Newton法などの数値解法による反復計算により求められる。

[0051] あるいは、上記反復計算によらずに、数6の F_i' を以下の数9に示す線

形方程式に変形してから、 x_c , y_c , z_c および R , A_y , A_z の値を求めることも可能である。

[0052] [数9]

$$\begin{aligned} \text{数9} \quad F'_i &= (x_i - x_c)^2 + Ay^2 (y_i - y_c)^2 + Az^2 (z_i - z_c)^2 - R^2 \\ &= x_i^2 - 2x_i x_c + x_c^2 + Ay^2 y_i^2 - 2Ay^2 y_i y_c + Ay^2 y_c^2 + Az^2 z_i^2 - 2Az^2 z_i z_c + Az^2 z_c^2 - R^2 \end{aligned}$$

[0053] 数9における各未知数および未知数の方程式を以下の数10とする。

[0054] [数10]

$$\begin{aligned} \text{数10} \quad a_1 &= Ay^2 \\ a_2 &= Az^2 \\ a_3 &= -2x_c \\ a_4 &= -2Ay^2 y_c \\ a_5 &= -2Az^2 z_c \\ a_6 &= x_c^2 + Ay^2 y_c^2 + Az^2 z_c^2 - R^2 \end{aligned}$$

[0055] 数10を用いて、 F'_i と J' を書き換えると、以下の数11のようになる。

[0056] [数11]

$$\begin{aligned} \text{数11} \quad F'_i &= x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6 \\ J' &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F'^2_i \end{aligned}$$

[0057] 数11の J' を未知数である a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 で偏微分して0と置くと以下の数12の連立方程式となる。

[0058]

[数12]

$$\begin{aligned}
 \text{数12} \quad \frac{\partial J'}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) y_i^2 = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial a_2} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_2} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) z_i^2 = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial a_3} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_3} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) x_i = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial a_4} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_4} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) y_i = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial a_5} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_5} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) z_i = 0 \\
 \frac{\partial J'}{\partial a_6} &= \sum_{i=1}^N F'_i \frac{\partial F'_i}{\partial a_6} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + a_1 y_i^2 + a_2 z_i^2 + a_3 x_i + a_4 y_i + a_5 z_i + a_6) = 0
 \end{aligned}$$

[0059] 数 1 2 を行列式で表わすと以下の数 1 3 となる。

[0060] [数13]

$$\begin{aligned}
 \text{数13} \quad & \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N y_i^4 & \sum_{i=1}^N y_i^2 z_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i^3 & \sum_{i=1}^N y_i^2 z_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 \\ \sum_{i=1}^N y_i^2 z_i^2 & \sum_{i=1}^N z_i^4 & \sum_{i=1}^N x_i z_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i z_i^2 & \sum_{i=1}^N z_i^3 & \sum_{i=1}^N z_i^2 \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i z_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N x_i z_i & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N y_i^3 & \sum_{i=1}^N y_i z_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i z_i & \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N y_i^2 z_i & \sum_{i=1}^N z_i^3 & \sum_{i=1}^N x_i z_i & \sum_{i=1}^N y_i z_i & \sum_{i=1}^N z_i^2 & \sum_{i=1}^N z_i \\ \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N z_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i & \sum_{i=1}^N y_i & \sum_{i=1}^N z_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^N x_i^2 y_i^2 \\ -\sum_{i=1}^N x_i^2 z_i^2 \\ -\sum_{i=1}^N x_i^3 \\ -\sum_{i=1}^N x_i^2 y_i \\ -\sum_{i=1}^N x_i^2 z_i \\ -\sum_{i=1}^N x_i^2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

[0061] 上記行列式は未知数 a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 を含む線形連立方程式であるため、ガウスの消去法などの数値解析で解くことができる。この数値解析は、数 7 に示す非線形方程式を解く場合のような反復計算が不要になるため、CPU などにおいて比較的短時間で解を得ることができる。

[0062] 未知数 a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 を解くことで、以下の数 1 4 に示すように、 x_c , y_c , z_c と R , A_y , A_z を求めることができる。

[0063]

[数14]

$$\begin{aligned}
 \text{数14} \quad & Ay = \sqrt{a_1} \\
 & Az = \sqrt{a_2} \\
 & x_c = -\frac{a_3}{2} \\
 & y_c = -\frac{a_4}{2a_1} \\
 & z_c = -\frac{a_5}{2a_2} \\
 & R = \sqrt{\frac{a_3^2}{4} + \frac{a_4^2}{4a_1} + \frac{a_5^2}{4a_2} - a_6}
 \end{aligned}$$

[0064] また、X軸センサ3とY軸センサ4およびZ軸センサ5の感度にばらつきがない場合、あるいは各センサの感度のばらつきを無視して演算を簡素化したいときは、図4に示す球面座標G1を以下の数15で表わすことができる。数15は、球面の方程式である。

[0065] [数15]

$$\text{数15} \quad (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 + (z - z_c)^2 = R^2$$

[0066] この場合の未知数は、 x_c 、 y_c 、 z_c とRだけであるため、数3における未知数 x_c 、 y_c 、 z_c および a 、 b 、 c を求めるよりも演算を簡素化できる。前記Rは、図4に示す球面座標G1の中心 O_c からの半径であり、これは地磁気ベクトルの絶対値に相当している。

[0067] 数15における未知数 x_c 、 y_c 、 z_c およびRを、数3の未知数を求めるのと同様にして演算すると以下の通りである。以下において、数16は数4に相当し、数17と数18は数7と数8に相当している。数19と数20および数21は、数9と数10および数11に相当している。数22と数23は、数12と数13に相当している。

[0068]

[数16]

$$\begin{aligned} \text{数16} \quad F_i &= (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 - R^2 \\ J &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2 \end{aligned}$$

[0069] [数17]

$$\begin{aligned} \text{数17} \quad \frac{\partial J}{\partial x_c} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial x_c} = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial y_c} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial y_c} = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial z_c} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial z_c} = 0 \\ \frac{\partial J}{\partial R} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial R} = 0 \end{aligned}$$

[0070] [数18]

$$\begin{aligned} \text{数18} \quad \frac{\partial F_i}{\partial x_c} &= -2(x_i - x_c) \\ \frac{\partial F_i}{\partial y_c} &= -2(y_i - y_c) \\ \frac{\partial F_i}{\partial z_c} &= -2(z_i - z_c) \\ \frac{\partial F_i}{\partial R} &= -2R \end{aligned}$$

[0071] [数19]

$$\begin{aligned} \text{数19} \quad F_i &= (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 - R^2 \\ &= x_i^2 - 2x_i x_c + x_c^2 + y_i^2 - 2y_i y_c + y_c^2 + z_i^2 - 2z_i z_c + z_c^2 - R^2 \\ &\equiv x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 z_i + a_4 \end{aligned}$$

[0072] [数20]

$$\begin{aligned}
 \text{数20} \quad a_1 &= -2x_c \\
 a_2 &= -2y_c \\
 a_3 &= -2z_c \\
 a_4 &= x_c^2 + y_c^2 + z_c^2 - R^2
 \end{aligned}$$

[0073] [数21]

$$\text{数21} \quad J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2$$

[0074] [数22]

$$\begin{aligned}
 \text{数22} \quad \frac{\partial J}{\partial a_1} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 z_i + a_4) x_i = 0 \\
 \frac{\partial J}{\partial a_2} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial a_2} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 z_i + a_4) y_i = 0 \\
 \frac{\partial J}{\partial a_3} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial a_3} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 z_i + a_4) z_i = 0 \\
 \frac{\partial J}{\partial a_4} &= \sum_{i=1}^N F_i \frac{\partial F_i}{\partial a_4} = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2 + a_1 x_i + a_2 y_i + a_3 z_i + a_4) = 0
 \end{aligned}$$

[0075] [数23]

$$\text{数23} \quad \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N x_i^2 & \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N x_i z_i & \sum_{i=1}^N x_i \\ \sum_{i=1}^N x_i y_i & \sum_{i=1}^N y_i^2 & \sum_{i=1}^N y_i z_i & \sum_{i=1}^N y_i \\ \sum_{i=1}^N x_i z_i & \sum_{i=1}^N y_i z_i & \sum_{i=1}^N z_i^2 & \sum_{i=1}^N z_i \\ \sum_{i=1}^N x_i & \sum_{i=1}^N y_i & \sum_{i=1}^N z_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) x_i \\ -\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) y_i \\ -\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) z_i \\ -\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) \end{bmatrix}$$

[0076] 上記演算により、数24に示すように、未知数 x_c , y_c , z_c および R を求めることができる。

[0077]

[数24]

数24

$$x_c = -\frac{a_1}{2}$$

$$y_c = -\frac{a_2}{2}$$

$$z_c = -\frac{a_3}{2}$$

$$R = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}{4} - a_4}$$

[0078] 上記キャリブレーション処理は、電源が投入されて地磁気検知装置1が起動し、その後に所定数の座標点データ $D_i(x_i, y_i, z_i)$ が得られたときに行われる。あるいは、定期的に行われる。

[0079] 上記キャリブレーション処理により、図4に示す、座標点データ $D_i(x_i, y_i, z_i)$ が現れる球面座標G1の中心 O_c の、 $X_1-Y_1-Z_1$ 軸の三次元検知座標上での座標位置 (x_c, y_c, z_c) が明らかになる。また、球面あるいは楕円球である球面座標G1の形状を決める各定数が明らかになる。キャリブレーション処理の後、演算部10内のメモリに、中心 O_c の座標位置および球面座標G1の形状を決める各定数を保持する。その後、得られる座標点データ $D_i(x_i, y_i, z_i)$ は、メモリに保持されている定数を用いて補正される。

[0080] 球面座標G1の方程式を数3で定義し、数14において、未知数 x_c, y_c, z_c および R, A_y, A_z が求められたときは、キャリブレーション処理後に得られる座標点データ D_i の座標点 x_i, y_i, z_i を以下の数25に代入して補正座標点データ $D_i'(x_i', y_i', z_i')$ を得る。

[0081] (数25)

$$x_i' = x_i - x_c$$

$$y_i' = A_y \cdot (y_i - y_c)$$

$$z_i' = A_z \cdot (z_i - z_c)$$

[0082] 球面座標G1の方程式を数15で定義し、数24において、未知数 $x_c,$

y_c , z_c および R が求められたときは、キャリブレーション処理後に得られる座標点データ D_i の座標点 x_i , y_i , z_i を以下の数 26 に代入して補正座標点データ D_i' (x_i' , y_i' , z_i') を得ることができる。

[0083] (数 26)

$$x_i' = x_i - x_c$$

$$y_i' = y_i - y_c$$

$$z_i' = z_i - z_c$$

[0084] キャリブレーション処理によって補正された補正座標点データ D_i' (x_i' , y_i' , z_i') は、図 5 に示すように、 $X_1-Y_1-Z_1$ 軸の三次元検知座標の原点 O に中心 O_c を有し、数学的に正確な球面形状である補正球面座標 G_0 上の座標点として表わされる。補正球面座標 G_0 の半径は R である。この R は数 5 と数 15 で使用されている R に相当するものであり、 X 軸センサ 3 の感度を基準として決められる値である。

[0085] 補正球面座標 G_0 の中心は、 $X_1-Y_1-Z_1$ 軸の三次元検知座標の原点 O に一致しているため、この補正球面座標 G_0 に現れる補正座標点データ D_i' (x_i' , y_i' , z_i') と、図 1 に示す 3 軸加速度センサ 8 の検知出力とから、地磁気ベクトルの伏角 I を求めることができる。

[0086] 図 5 には、3 軸加速度センサ 8 で検知された重力加速度ベクトル A が示されている。また、地磁気検知装置 1 が空間上で同じ姿勢で停止しているときに補正座標点データ D_i' (x_i' , y_i' , z_i') から得られる地磁気ベクトルを M で示している。

[0087] 以下の数 27 に示すように、重力加速度ベクトル A と静止時の地磁気ベクトル M との内積から、両ベクトルの相対角度 α を求めることができ、 α から 90 度を減算することで地磁気ベクトル M の伏角 I を求めることができる。

[0088]

[数27]

$$\begin{aligned} \text{数27} \quad \mathbf{A} \cdot \mathbf{M} &= |\mathbf{A}| |\mathbf{M}| \cos \alpha \\ \alpha &= \cos^{-1} \frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{M}}{|\mathbf{A}| |\mathbf{M}|} \\ I &= \alpha - 90 \end{aligned}$$

[0089] 図6は、重力加速度ベクトルAがZ軸のマイナスに向くように補正したXO-YO-ZO軸の三次元補正座標を示している。三次元補正座標は、XO-YO平面が水平面の向きに一致する。測定場所が北半球のとき、地磁気ベクトルMは、XO-YO平面からプラス側の角度（伏角）Iを有する向きで示される。

[0090] 次に、前記キャリブレーション処理後の、検知精度または演算精度の評価を以下のようにして行う。

[0091] キャリブレーション処理後に、図6に示す三次元補正座標上の補正球面座標GO上に現れる複数の補正座標点データ D_i' （ x_i' 、 y_i' 、 z_i' ）と、三次元補正座標の原点Oとの距離 r_i を以下の数28により算出する。以下の数29では、複数得られた前記距離 r_i と補正球面座標の半径Rとの偏差 δR を求める。

[0092] [数28]

$$\text{数28} \quad r_i = \sqrt{x_i'^2 + y_i'^2 + z_i'^2}$$

[0093] [数29]

$$\text{数29} \quad \sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (r_i - R)^2}{N}}$$

[0094] 演算部10では、半径Rと前記偏差 δR との比に基づいて検知精度または演算精度を評価することが可能である。ただし、以下の演算により検知精度

または演算精度をさらに高精度に評価できるようになる。

[0095] 三次元補正座標のX O－Y O平面に地磁気ベクトルMを投影し、その投影ベクトルとX O軸などとの角度を求める。この角度が方位角 θ である。ここで、地磁気ベクトルMの伏角Iが大きければ大きいほど、X O－Y O座標面に投影された投影ベクトルが短くなる。その結果、数29で示した偏差 δR が投影ベクトルに占める割合が大きくなり、検知精度または演算精度が低下して、方位角 θ の測定誤差が大きくなる。

[0096] そこで、演算部10では、以下数30によってRhorizontalを求めている。Rhorizontalは、図6に示す補正球面座標G Oにおいて、地磁気ベクトルMの補正座標点データD i'が現れる緯度線H aのZ O軸からの平面半径に相当している。

[0097] [数30]

数30

$$R_{Horizontal} = R \cdot \cos I$$

[0098] 前記数29で得られた偏差 δR と、数30で得られたRhorizontalとの比を基準とすることで、検知精度または演算精度の評価を高精度に行うことが可能になる。数30で得られた平面半径Rhorizontalに対する、前記偏差 δR の割合が、地磁気ベクトルの検出値に対する誤差の割合に相当すると考えられる。したがって、補正座標点データD iが現れる緯度が高いほど、地磁気ベクトルの検出値に対する誤差成分の割合が大きくなる。

[0099] 次に、測定された地磁気ベクトルの検出値に対する誤差成分の割合が、そのまま方位角 θ の測定値に対する誤差成分の割合として反映され则认为られるため、以下の数31では、緯度線H aの平面半径Rhorizontalと偏差 δR とから方位角 θ の偏差 $\delta \theta$ を求めている。

[0100] [数31]

数31

$$\delta \theta = \tan^{-1} \frac{\sigma_R}{R_{Horizontal}}$$

- [0101] 図7は、図6に示す補正球面座標G Oを、赤道線H Oを通る平面に投影したものである。前記数31に示すように、緯度線H aの平面半径R_{horizontal}と偏差 δR との比が、そのままの割合で、方位角 θ の偏差 $\delta \theta$ として現れると仮定している。この方位角 θ とその偏差 $\delta \theta$ との比からも、検知精度または演算精度を高精度に評価できる。
- [0102] 演算部10では、緯度線H aの平面半径R_{horizontal}に対する偏差 δR の比が所定の割合を越えたとき、あるいは、方位角 θ に対する偏差 $\delta \theta$ の比が所定の割合を越えたときに、検知精度または演算精度が低下していると判断し、例えば、その時点でデータバッファ11に格納されている複数の座標点データD_iを使用して前記キャリブレーションをやり直す処理が可能である。
- [0103] あるいは、演算部10で、方位角 θ に対する偏差 $\delta \theta$ の比を監視して前記比により、方位角 θ の信頼度を%で算出し、その信頼度を携帯機器などの表示装置に表示してもよい。あるいは、方位角 θ に対する偏差 $\delta \theta$ の割合が大きい場合に、その方位角 θ のデータを信頼性の低いものとして無視してもよい。
- [0104] 次に、地磁気検知装置1にGPS装置などの現在位置を検知する手段が設けられているものでは、現在位置に相当する地図データがメモリ7から引き出されて、図6に示すように表示装置15の表示画面15aに地図情報を表示することができる。
- [0105] この装置では、前記演算で得られた方位角 θ の情報にしたがって、表示装置15の表示画面に表示されている地図情報の向きが切り換えられる。例えば、地磁気検知装置1が携帯用機器に搭載されている場合に、携帯用機器を保持した人が回転して、表示装置15の向きを変えると、表示画面に表示されている地図情報の向きが段階的に切り換えられる。
- [0106] 図6は、表示画面15aの向きと地図情報の表示の向きとの関係を示している。携帯機器を北(N)に向けているときは、表示画面15aの前方に地図情報の北(N)が向けられる。反時計方向へ回転して、携帯機器を北西(

NW) に向けると、表示画面 15 a に表示されている地図情報が時計方向に回転し、表示画面 15 a の前方に地図情報の北西が向けられる。さらに、携帯機器が西 (W) に向けられると、表示画面 15 a に表示されている地図情報が時計方向に回転し、表示画面 15 a の前方に地図情報の西が向けられる。

[0107] このような機能を有する地磁気検知装置 1 において、緯度線 H a の平面半径 $R_{horizontal}$ に対する偏差 δR の比、あるいは、方位角 θ に対する偏差 $\delta \theta$ の比の大小に応じて、表示画面 15 a に表示される地図情報を回転させるときの分割角度を切り換えるようにする。緯度線 H a の平面半径 $R_{horizontal}$ に対する偏差 δR の比が大きいとき、あるいは、方位角 θ に対する偏差 $\delta \theta$ の比が大きいときは、携帯機器を回転させたときに、地図情報を回転させるときの分割数を少なくし、大きな角度回転しないと地図情報の向きが切り換わらないようにする。逆に前記比が小さいときは、分割数を多くし、小さな角度で回転させたときに地図情報の向きが切り換わるようにする。

[0108] 例えば、地磁気検知装置 1 が地平に沿って 1 回転したときに、図 8 に示す表示画面 15 a の地図情報が 36 分割で切り替わる場合、地磁気検知装置 1 が 10 度回転する度に、地図情報の向きが切り替えられる。この場合に、偏差 $\delta \theta$ が 10 度程度存在していると、地磁気検知装置 1 が回転していないにもかかわらず、画面の地図情報がバタバタと切り替わるチャタリングが発生するおそれがある。したがって、偏差 $\delta \theta$ が 10 度程度のときは、例えば、地磁気検知装置 1 が地平に沿って 1 回転するときに 18 分割とし、回転角度が 20 度にならないと地図情報の向きが切り替わらないようにすることで、チャタリングを防止でき、地図情報を安定して表示させることができるようになる。

[0109] したがって、地図情報の向きが切り替わるときの地磁気検知装置 1 の回転角度 θ_d は、 $2 \cdot \delta \theta \leq \theta_d$ であることが好ましい。

[0110] これにより、方位角 θ に対する偏差 δR の比が大きいときでも、表示画面 15 a に表示されている地図情報を安定させることができ、例えば表示画面

15 aに表示されている地図情報が、方位角 θ の演算値のばらつきに追従して細かく揺れるなどの問題を解消できるようになる。

符号の説明

- [0111] 1 地磁気検知装置
2 地磁気検知部
3 X軸センサ
4 Y軸センサ
5 Z軸センサ
6 磁場データ検知部
7 メモリ
10 演算部
8 3軸加速度センサ
11 データバッファ
G1 球面座標
G0 補正球面座標
X1-Y1-Z1 三次元検知座標
X0-Y0-Z0 三次元補正座標
Di 座標点データ
Di' 補正座標点データ

請求の範囲

- [請求項1] 三次元検知座標が予め決められた地磁気検知部および演算部を有し、
- 前記地磁気検知部に、三次元検知座標のX方向が地磁気の方
 向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大値となるX軸センサと、Y方
 向が地磁気の方
 向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大値とな
 るY軸センサ、およびZ方向が地磁気の方
 向に向けられたときに検知
 出力の絶対値が極大値となるZ軸センサが搭載されて、
- 前記演算部は、前記検知出力に基づいて、地磁気ベクトルの向きを
 、三次元検知座標上の座標点データとして求め、
- 複数の座標点データを得たときに、複数の座標点データとの誤差が
 最小となる補正球面座標と、三次元検知座標上での前記補正球面座標
 の中心の座標点を求めるとともに、それぞれの座標点データを、三次
 元検知座標の原点に中心を有する前記補正球面座標上の補正座標点デ
 ータに換算し、
- 前記原点から複数の補正座標点データまでの距離（ r_i ）と、前記
 補正球面座標の半径（ R ）との偏差（ δR ）を、検知精度または演算
 精度の評価基準として使用することを特徴とする地磁気検知装置。
- [請求項2] 前記地磁気検知部の姿勢を検知する加速度センサを有し、前記演算
 部は、前記加速度センサの検知出力から重力ベクトルを求め、重力ベ
 クトルに垂直なXO-YO平面から地磁気ベクトルまでの伏角（ I ）
 を求め、 $R \cdot \cos I$ と前記偏差（ δR ）とを、検知精度または演算
 精度の評価基準として使用する請求項1記載の地磁気検知装置。
- [請求項3] $R \cdot \cos I$ と前記偏差（ δR ）との比に基づいて、方位角（ θ ）
 の偏差（ $\delta \theta$ ）を求めて、前記偏差（ $\delta \theta$ ）を検知精度または演算精
 度の評価基準として使用する請求項2記載の地磁気検知装置。
- [請求項4] 地磁気検知部が配置されている位置の地図情報を表示する表示装置
 が設けられており、前記表示装置が回転したときに、方位角（ θ ）の

変化に伴って、前記地図情報の向きを所定の角度ずつ切換え可能とされており、方位角（ θ ）の偏差（ $\delta \theta$ ）に応じて前記角度が切換えられる請求項 3 記載の地磁気検知装置。

[請求項 5]

以下の数 1 で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c , y_c , z_c および a , b , c を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c , y_c , z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 a , b , c は、 X 軸センサ、 Y 軸センサ、 Z 軸センサの感度に基づく係数である）請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の地磁気検知装置。

[数 1]

$$\begin{aligned} \text{数 1} \quad F_i &= \left(\frac{x_i - x_c}{a} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{b} \right)^2 + \left(\frac{z_i - z_c}{c} \right)^2 - 1 \\ J &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2 \end{aligned}$$

[請求項 6]

前記（b）では、以下の数 2 で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c , y_c , z_c と R を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c , y_c , z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 R は補正球面座標の半径である）請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の地磁気検知装置。

[数 2]

$$\begin{aligned} \text{数 2} \quad F_i &= (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 - R^2 \\ J &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2 \end{aligned}$$

補正された請求の範囲
[2011年8月25日(25.08.2011)国際事務局受理]

[請求項 1] (補正後) 三次元検知座標が予め決められた地磁気検知部と、前記地磁気検知部の姿勢を検知する加速度センサ、および演算部を有し、

前記地磁気検知部に、三次元検知座標の X 方向が地磁気の方
向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大値となる X 軸センサと、
Y 方向が地磁気の方
向に向けられたときに検知出力の絶対値が極大
値となる Y 軸センサ、および Z 方向が地磁気の方
向に向けられたと
きに検知出力の絶対値が極大値となる Z 軸センサが搭載されて、

前記演算部は、前記検知出力に基づいて、地磁気ベクトルの向き
を、三次元検知座標上の座標点データとして求め、

複数の座標点データを得たときに、複数の座標点データとの誤差
が最小となる補正球面座標と、三次元検知座標上での前記補正球面
座標の中心の座標点を求めるとともに、それぞれの座標点データを、
三次元検知座標の原点に中心を有する前記補正球面座標上の補正座
標点データに換算し、

前記原点から複数の補正座標点データまでの距離 (r_i) と、前
記補正球面座標の半径 (R) との偏差 (δR) を求めるとともに、
前記加速度センサの検知出力から得られた重力ベクトルに垂直な X
O-YO 平面から地磁気ベクトルまでの伏角 (I) を求め、 $R \cdot \cos I$
と前記偏差 (δR) とを、検知精度または演算精度の評価基
準として使用することを特徴とする地磁気検知装置。

[請求項 2] (削除)

[請求項 3] (補正後) $R \cdot \cos I$ と前記偏差 (δR) との比に基づいて、
方位角 (θ) の偏差 ($\delta \theta$) を求めて、前記偏差 ($\delta \theta$) を検知精
度または演算精度の評価基準として使用する請求項 1 記載の地磁気
検知装置。

[請求項 4] 地磁気検知部が配置されている位置の地図情報を表示する表示装置

が設けられており、前記表示装置が回転したときに、方位角（ θ ）の変化に伴って、前記地図情報の向きを所定の角度ずつ切換え可能とされており、方位角（ θ ）の偏差（ $\delta\theta$ ）に応じて前記角度が切換えられる請求項3記載の地磁気検知装置。

【請求項5】 （補正後） 前記（b）では、以下の数1で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c 、 y_c 、 z_c および a 、 b 、 c を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c 、 y_c 、 z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 a 、 b 、 c は、 X 軸センサ、 Y 軸センサ、 Z 軸センサの感度に基づく係数である）請求項1、3、4のいずれかに記載の地磁気検知装置。

【数1】

$$\text{数1} \quad F_i = \left(\frac{x_i - x_c}{a} \right)^2 + \left(\frac{y_i - y_c}{b} \right)^2 + \left(\frac{z_i - z_c}{c} \right)^2 - 1$$

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2$$

【請求項6】 （補正後） 前記（b）では、以下の数2で、 F_i を演算し、 J が最小となる x_c 、 y_c 、 z_c と R を求めて、補正球面座標およびその中心位置を算出する（ x_c 、 y_c 、 z_c は、三次元検知座標での補正球面座標の中心の座標点であり、 R は補正球面座標の半径である）請求項1、3、4のいずれかに記載の地磁気検知装置。

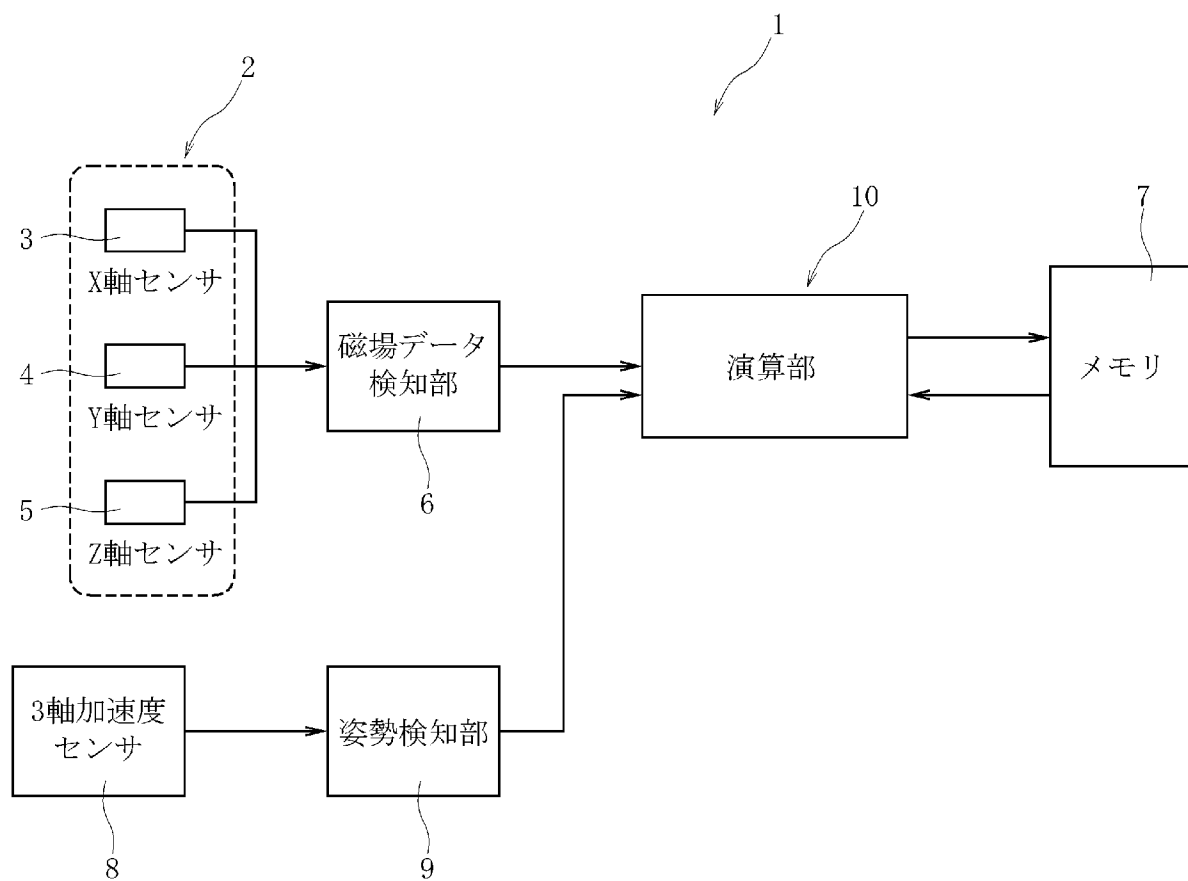
【数2】

$$\text{数2} \quad F_i = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 + (z_i - z_c)^2 - R^2$$

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N F_i^2$$

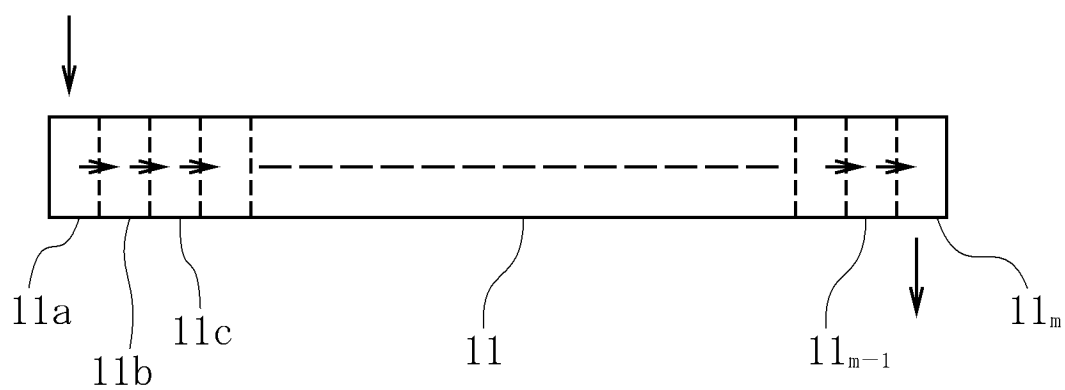
[図1]

図1



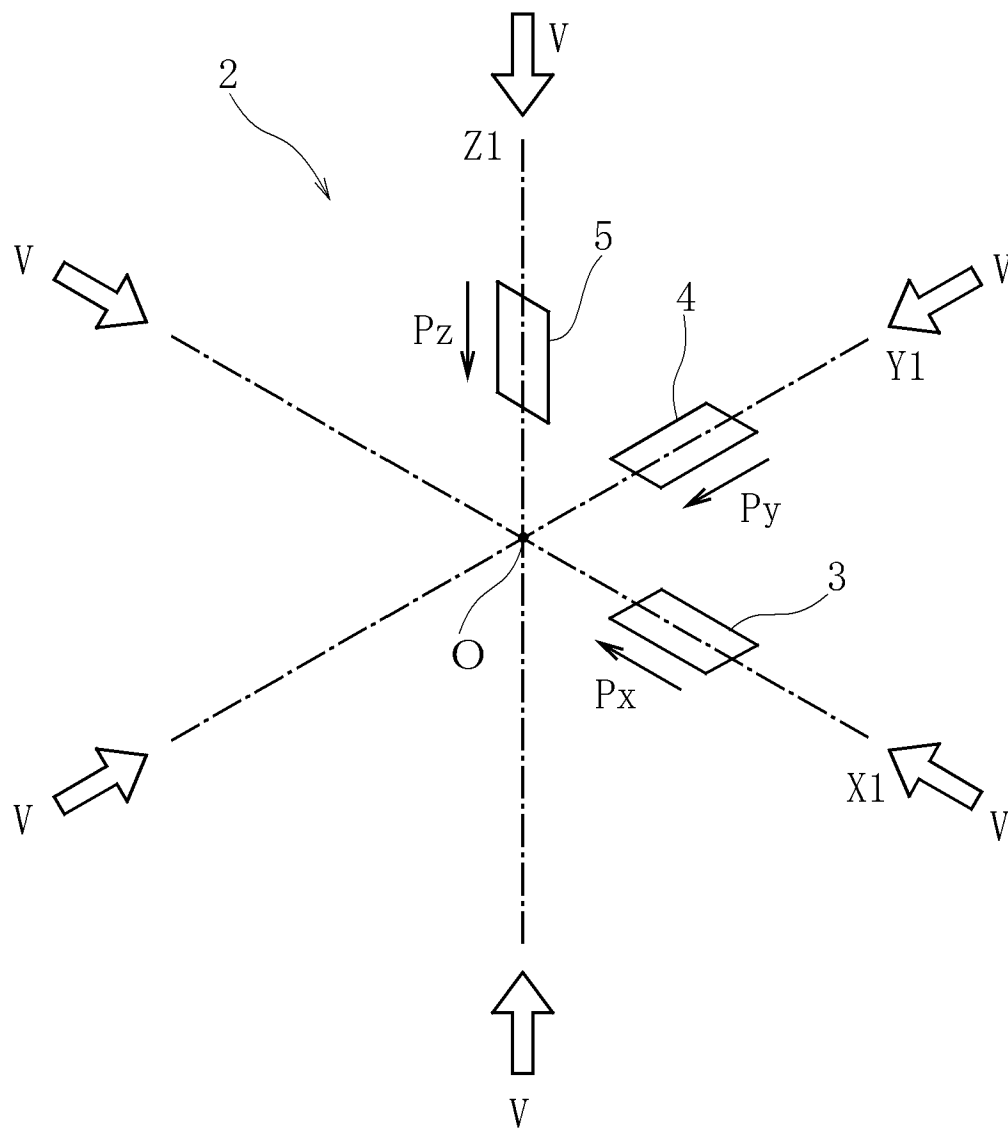
[図2]

図2



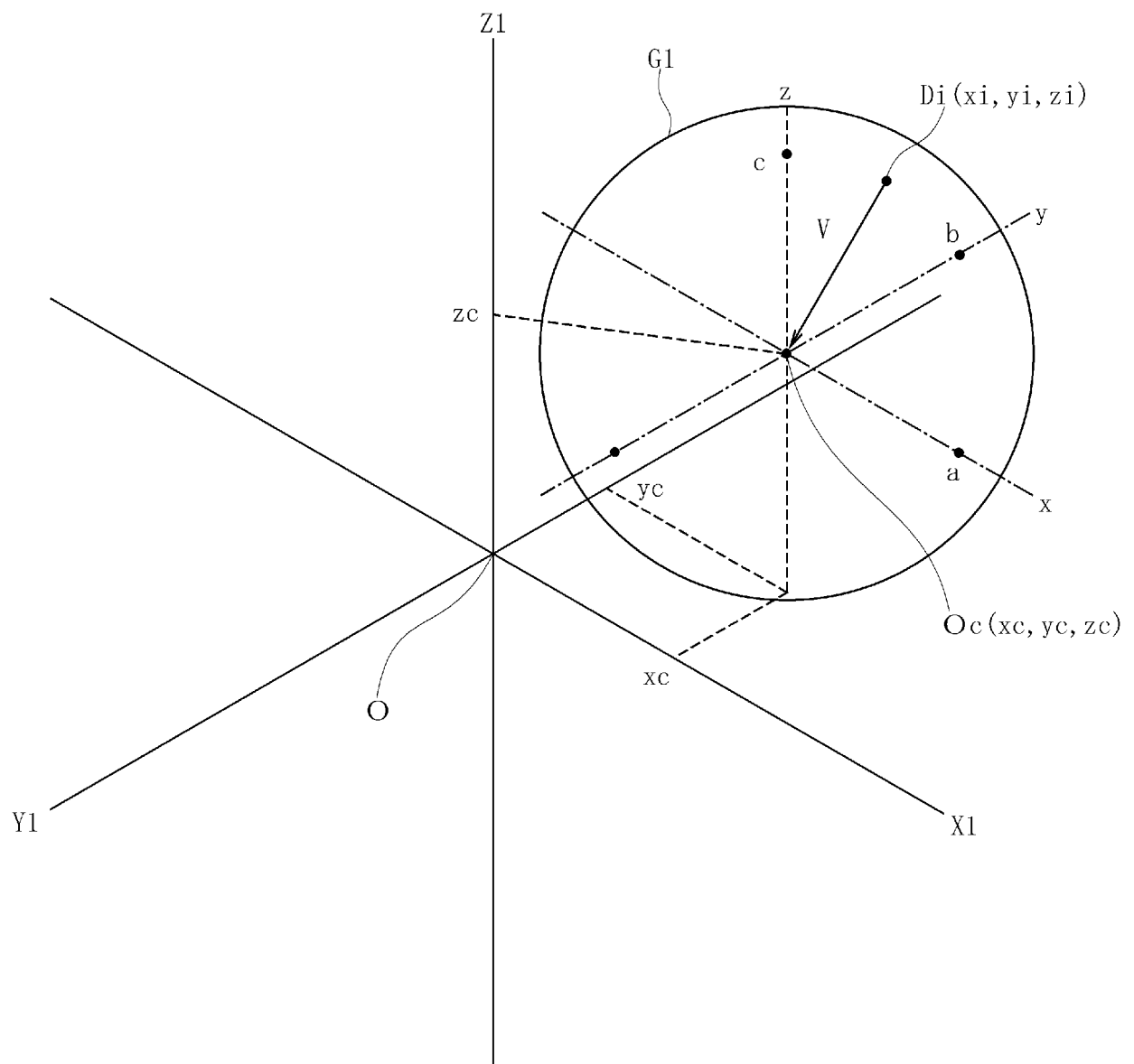
[図3]

図3



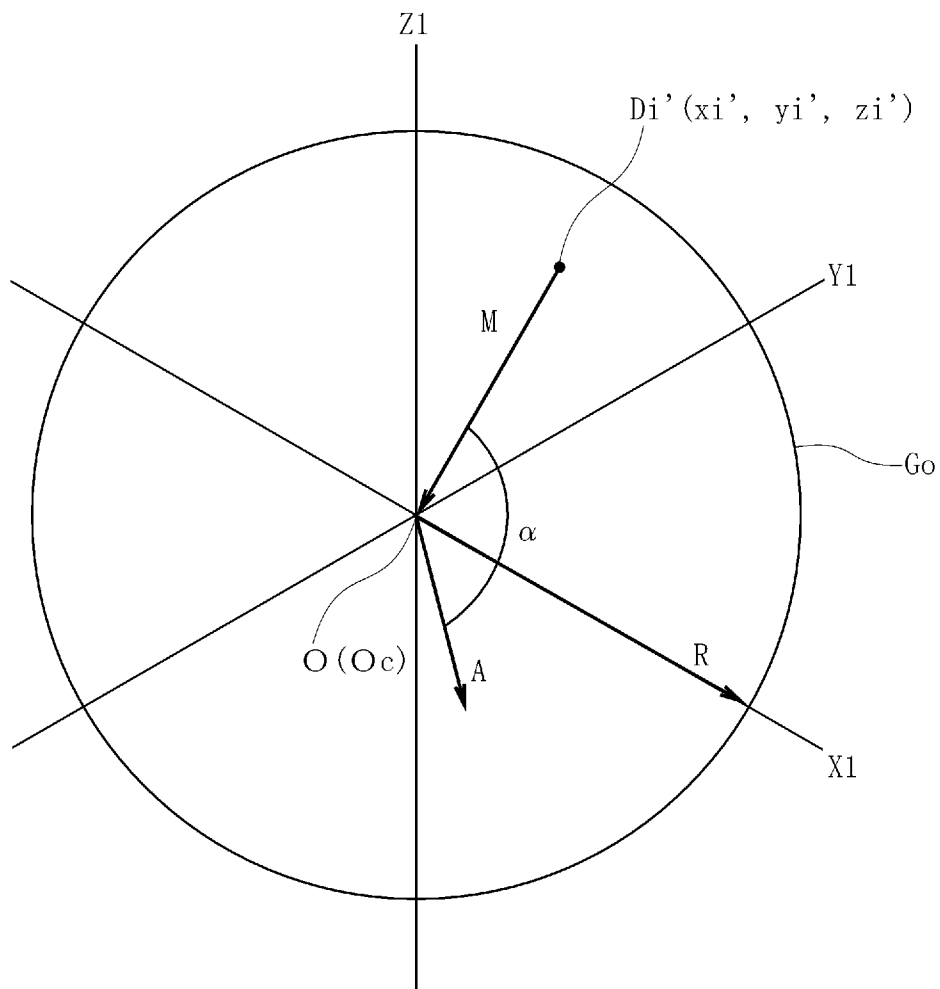
[図4]

図4



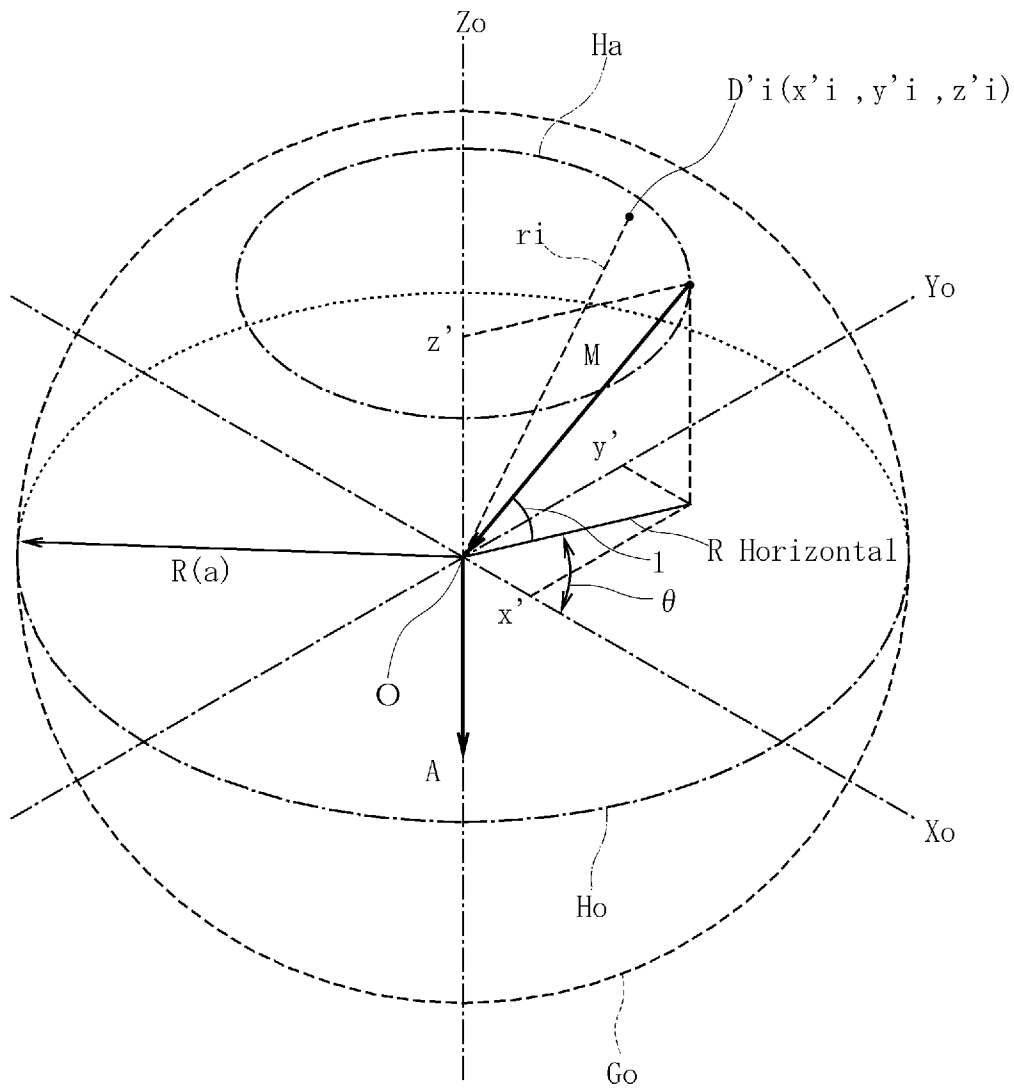
[図5]

図5



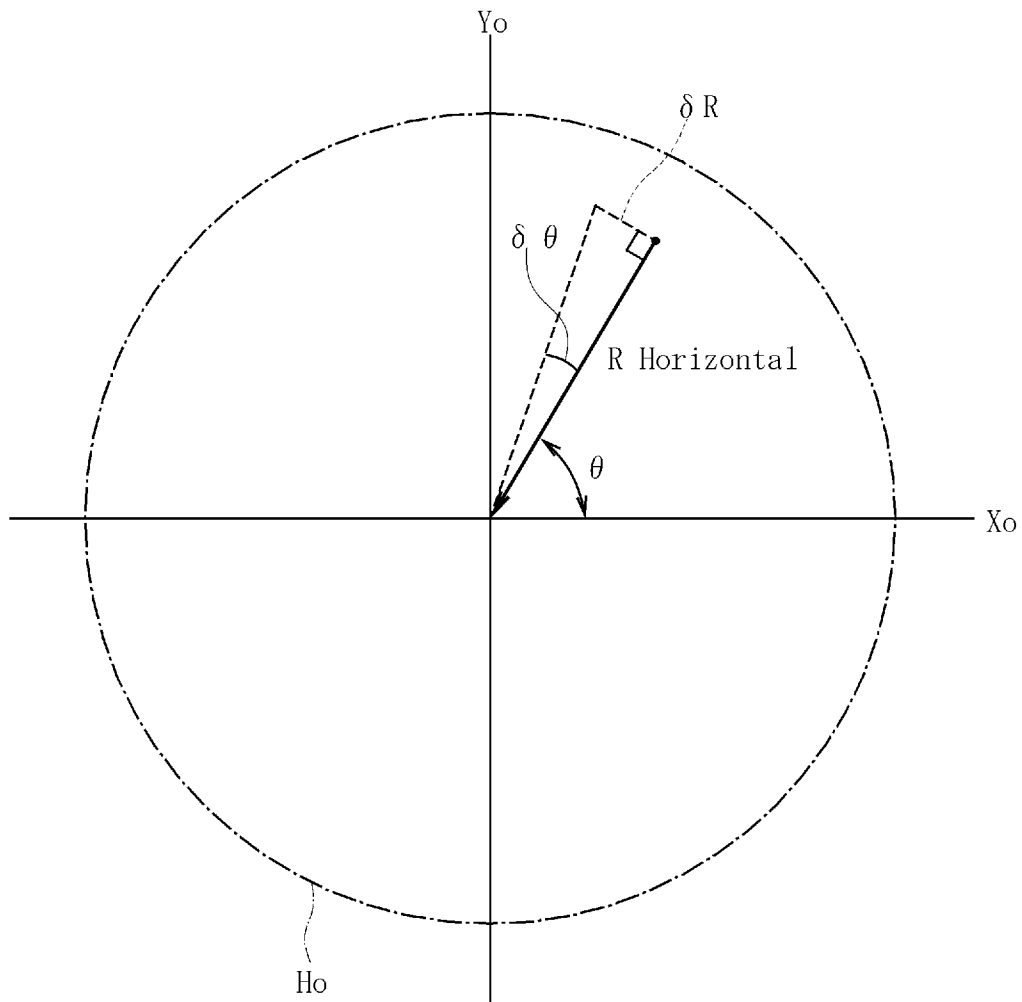
[図6]

図6



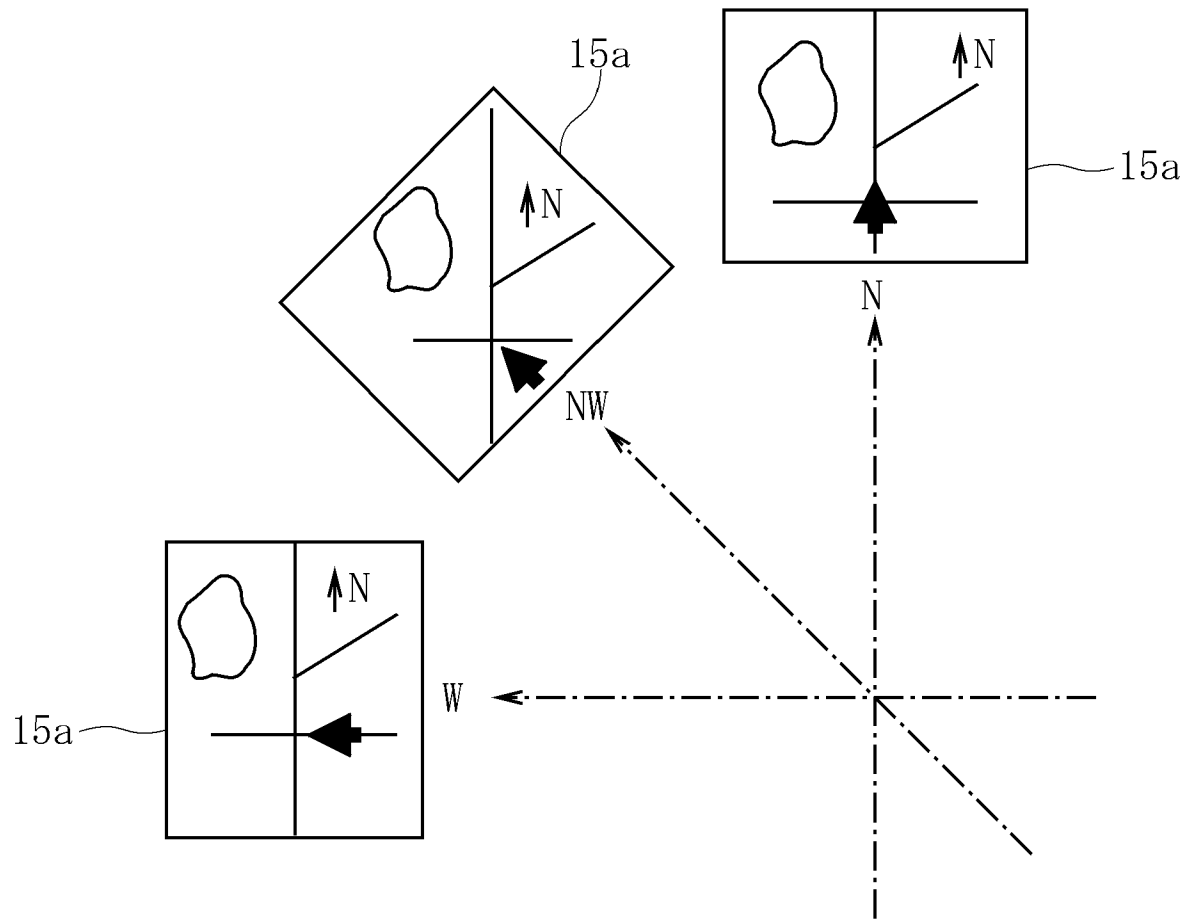
[図7]

図7



[図8]

図8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/058974

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C17/38 (2006.01) i, G01C17/32 (2006.01) i

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)

G01C17/38, G01C17/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2010-48826 A (Asahi Kasei EMD Corp.), 04 March 2010 (04.03.2010), claim 3; paragraph [0037] (Family: none)	1 5, 6 2-4
Y A	JP 2008-128649 A (Citizen Holdings Co., Ltd.), 05 June 2008 (05.06.2008), paragraphs [0010] to [0020], [0065] (Family: none)	5, 6 2-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family 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 application or patent 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
28 June, 2011 (28.06.11)

Date of mailing of the international search report
12 July, 2011 (12.07.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/058974

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention in claim 1 does not have a special technical feature, since the invention is described in JP 2010-48826 A.

Consequently, the inventions in claims 1 - 6 have no technical relationship involving one or more of the same or corresponding special technical features, and therefore cannot be considered to be so linked as to form a single general inventive concept.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01C17/38(2006.01)i, G01C17/32(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01C17/38, G01C17/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2010-48826 A（旭化成エレクトロニクス株式会社）2010.03.04, [請求項3][0037]（ファミリーなし）	1 5,6 2-4
Y A	JP 2008-128649 A（シチズンホールディングス株式会社） 2008.06.05, [0010]-[0020][0065]（ファミリーなし）	5,6 2-4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 8 . 0 6 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 2 . 0 7 . 2 0 1 1

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

根本 徳子

3 H

3 1 2 1

電話番号 03-3581-1101 内線 3316

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

請求項1に係る発明は、JP 2010-48826 A に記載されているから、特別な技術的特徴を有しない。

したがって、請求項1-6に係る発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。