

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3656095号  
(P3656095)

(45) 発行日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(24) 登録日 平成17年3月18日(2005.3.18)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 C 17/38

F I

G O 1 C 17/38

J

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平9-532219	(73) 特許権者	ヴェクトロニクス アーゲー
(86) (22) 出願日	平成9年2月10日(1997.2.10)		スイス ツェーハー・9435 ヘルプ
(65) 公表番号	特表平11-505620		ルッグ マックス・シュミートハイニー・
(43) 公表日	平成11年5月21日(1999.5.21)		シュトラーセ 202
(86) 国際出願番号	PCT/EP1997/000583	(74) 代理人	弁理士 藤田 アキラ
(87) 国際公開番号	W01997/034125		グネプフ ジルヴィオ
(87) 国際公開日	平成9年9月18日(1997.9.18)	(72) 発明者	スイス ツェーハー・9435 ヘルプ
審査請求日	平成15年12月26日(2003.12.26)		ルッグ ヴェートシュトラーセ 6
(31) 優先権主張番号	19609762.2	(72) 発明者	ヴァイレンマン ユルク
(32) 優先日	平成8年3月13日(1996.3.13)		スイス ツェーハー・9443 ヴィトナ
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		ウ エーゲテンシュトラーセ 42アー
		審査官	本庄 亮太郎
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地磁場の方向の算定のための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

装置に固定された磁気的な材料及び電流の磁場によって乱されている可能性のある地磁場の方向を、三つの磁場センサー及び二つの傾斜感知装置をもっている一つの電子工学的な磁気コンパスを用いて算定するための方法にして、

当該電子工学的な磁気コンパスがN個の異なる空間的な位置に配置され、

これらのN箇所のそれぞれにおいて、前記傾斜感知装置の信号及び前記磁場センサーの信号が測定され、且つこれらの信号から傾斜値及び磁場値が算定され、

これらの傾斜値及び磁場値に基づいて地磁場ベクトルの大きさが、ベクトル方程式

$$\text{const} = b_g = b_E \sin(i) = \mathbf{g}^T \mathbf{b}_E = \mathbf{g}^T \mathbf{m} (\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0)$$

その際、

$b_g$  = 重力ベクトル  $\mathbf{g}$  に平行な磁場成分

$b_E$  = 磁場ベクトル  $\mathbf{b}_E$  の長さ

$\mathbf{b}_{\text{gem}}$  = 測定された磁場ベクトル

$\mathbf{b}_E$  = 測定箇所での実際の地磁場ベクトル

$\Delta \mathbf{M}$  = ソフトマグネティックな場のひずみ、すなわち地磁場によつて誘導される磁力

$\mathbf{M} = \mathbf{I} + \Delta \mathbf{M}$  ここで、 $\mathbf{I}$  = 単位行列

$$\mathbf{m} = \mathbf{M}^{-1}$$

$\mathbf{b}_0$  = ハードマグネティックなノイズ場ベクトル

$i$  = 傾角

を用いて算出され、

その際、 $N$  が当該ベクトル方程式の決定すべきパラメータの数に少なくとも等しくなければならぬ、前記の方法。

【請求項 2】

以下のスケール固定、すなわち

$$\mathbf{b}_g = \text{const.}; \quad m_{11} = \text{const.}; \quad m_{11} + m_{22} + m_{33} = \text{const.};$$

$$m_{11}^2 + m_{22}^2 + m_{33}^2 = \text{const.};$$

$$m_{11}^2 + m_{12}^2 + \dots + m_{33}^2 = \text{const.}; \quad \det \mathbf{m} = \text{const.};$$

(ここで  $m_{ij}$  は、行列  $\mathbf{m}$  の成分を表す)

のうちの一つが選択されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

ソフトマグネティックなノイズ場を考慮に入れる必要がない場合に、

$$\Delta \mathbf{M} = \mathbf{0}$$

とおかれることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

異なる位置での測定の数  $N$  が与えられている方程式の数よりも大きいときに、前記磁場ベクトルが最適化計算を用いて算定されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

地磁場ベクトルの大きさが、前記算定された傾斜値及び磁場値に基づいて、以下の方程式

10

20

30

40

$$\text{const} = b_E^2 = b_E^T b_E = (b_{\text{gem}} - b_0)^T m^T m (b_{\text{gem}} - b_0)$$

$b_{\text{gem}}$  = 測定された磁場ベクトル

$b_E$  = 測定箇所での実際の地磁場ベクトル

$\Delta M$  = ソフトマグネティックな場のひずみ、すなわち地磁場によって誘導される磁力

$M = I + \Delta M$  ここで、 $I$  = 単位行列

$m = M^{-1}$

$b_0$  = ハードマグネティックなノイズ場ベクトル

を付加的に使用して、統計学的な最適化法を用いて算定されることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

傾斜感知装置として傾斜センサーが使用されることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

傾斜感知装置として回転率センサー（ジャイロ）が使用され、回転率情報の統合によって傾斜角が導出されることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

傾斜感知装置としてエンコーダが使用され、当該エンコーダによって基準点に関して角度が測定されることを特徴とする、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

本発明は、装置に固着した磁気的な材料及び電流の磁場により乱されている可能性のある地磁場の方向を、三つの磁場センサーと二つの傾斜感知装置とをもっている電子工学的な磁気コンパスを用いて算定するための方法に関する。

米国特許第 4686772 号明細書により、例えば戦車（Panzer）の進行方向を算定するといわれる、電子工学的な磁気コンパスが知られている。戦車は、二つの鉄製ボディー（Eisenkörper）、

すなわち、砲塔（Turm）及び車両ボディー（Fahrzeugkörper）

を有する。これらは、互いに相対的に鉛直の軸線のまわりで回転可能である。磁気コンパスは、車両ボディーに配置されており、振り子のない三軸の磁力計（pendelfreies dreiachsiges Magnetometer）を備える。当該磁力計は、当該磁力計の位置における三つの磁場成分を示す電気的な磁場信号を出力する。二つの傾斜センサーが設けられており、当該傾斜センサーが、当該傾斜センサーが取り付けられている車両ボディーのピッチ角（Nickwinkel）及びロール角（Rollwinkel）を示す電気的な信号を出力する。さらに、角度測定装置が二つの鉄製ボディーの間の角度についての回転角度信号を与える。記憶装置には、複数の予め較正された修正ファクター（Korrekturfaktoren）が記憶されている。これらの修正ファクターが、両方の鉄製ボディーの間の複数の回転角についての磁力計の測定への車両によって誘導される磁場の影響を修正するとされている。コンピューターを使って、リアルタイムで戦車の進行方向が、電気的な磁場信号と、対応する回転角についての記憶された修正ファクターによって修正された傾斜センサーの信号とから算出される。記載された磁気コンパスが使用できるようになる前には、較正測定を行うことが必要不可欠である。このために、車両が少なくとも二つの異なる互いに平行でない平面上に配置される。

これらの位置で、車両ボディーの異なる方向づけでしかし装甲砲塔の等しい相対的な方向づけの場合に、方位角 (Azimutwinkel)、ピッチ角、及びロール角の測定が行われる。これらの角度を測定できるように、例えば経緯儀 (Theodolit) が必要不可欠である。較正の際には、測定箇所における地磁場が知られていることが前提とされる。このために、そのときどきの測定箇所についての地磁場の磁気的な傾角及び偏角 (magnetische Inklination und Deklination) の値がカード資料から読み取られる。

米国特許第4539760号明細書には、三つの磁気センサー (Magnetsensoren) を有する、車両のための電子工学的な磁気コンパスが記載されている。これらの磁気センサーは、地磁場及び車両と結びついた付加的なノイズ場 (Störfeld)

を含む磁場の三つの直交する成分に反応を示す。当該磁気センサーは、これらの成分に対応する電気的な信号を発生させる。さらに、傾斜センサーが水平な平面に関しての車両の傾斜に反応を示す。車両が磁気コンパスの較正のために一つの円上を回って回転させられると、データ処理装置と記憶装置とを用いて、較正修正値 (Kalibrierkorrekturwerte) として測定センサーから導出される信号が記憶される。磁気的なノイズ場の影響を排除するために、データ処理装置が較正過程の終了後に較正修正値を考慮に入れて車両の位置での地磁場についての修正された値を算出する。それから、これらの修正された値を出発点として、水平線 (Horizont) の算定に用いる傾斜センサーの値を使用して、車両進行方向の方位が算出される。これらの算出の際には、修正行列 (Korrekturmatrix) が対称であることを出発点とする。このことが当てはまるケースは、そもそも、まれにしかない。本発明の課題は、比較的少ない経費で (weniger aufwendig) が実行され得る、電子工学的な磁気コンパスを用いて地磁場の方向を算定するための方法を提供することである。本発明により、この課題は、請求項1の特徴的構成によって解決される。

本発明の対象物の有利な別の構成は、従属項に記載されている。

本発明に係る方法は付加的な測定装置による特殊な較正測定を必要としないことが有利である。当該電子工学的な磁気コンパスの場合には、使用するためにそれを準備するための、特別なデータの入力も行われぬ。当該磁気コンパスをさまざまな任意の空間位置に配置することだけが必要である。それぞれの空間位置において、三つの磁場成分が算定されることが有利である。望まれるならば、これらの磁場成分が互いに直交しているとよいが、しかしそうでなければならぬわけではない。それぞれの空間位置で付加的に測定された傾斜量、すなわちピッチ角及びロール角を用いて、そのときどきの磁場成分から地磁場の実際の磁場ベクトルの方向が算定され得る。

本発明に係る方法は、電子工学的な磁気コンパスがその取り付けのまえに較正されていなければならぬということ并要求しない。本発明に係る方法によって、磁気的なノイズ場だけでなく製造公差、センサーの異なった感度の高さ等も考慮に入れられる。従って、すでに製造者によって較正された磁気コンパスを使用することが必要不可欠ではない。本発明に係る方法の場合には、それぞれの固定した箇所での重力ベクトルと地磁場ベクトルとの間の傾角がシステムの一時的な位置に依存せず一定のままであるという真実が使用される。

本発明の理解を容易にするために図を示す。

図1は、電子工学的な磁気コンパスとソフトマグネティックな及びハードマグネティックなノイズ場発生源との配置を図式的に示している。

図2は、地磁場の測定に関連したベクトルを示す図である。

ポアソン (Poisson) はすでに19世紀に以下のような問題と取り組んでいた。すなわち、磁力計 (Magnetometer) がそれ自体に磁気的な構成要素 (magnetische Komponenten) を有するシステムに取り付けられているときに、どのようにすれば実際に存在する磁場を算定できるか、という問題である。この状況を記述するポアソンの公式は、そのような場合には測定された磁場は実際に存在する場の一次関数 (lineare Funktion) であることをあらわしている。従って、アフィン・マッピング (affine Abbildung) の問題である。これに関しては、すでに言及した米国特許第4686772号明細書、第2欄、第26行～第30行を参

10

20

30

40

50

照のこと。

一般的な場合には、測定された磁場が測定箇所でのソフトマグネティック (weichmagnetisch) にひずまされた地磁場から及びハードマグネティックな成分 (hartmagnetische Komponente) から構成されることが意味され得る。ソフトマグネティックにひずまされた地磁場には、地磁場によって誘導された磁力 (磁気、Magnetismus) がかわっている。ハードマグネティックな成分は、例えば当該システムにおける電流あるいは永久磁石によって発生させられる磁力計の位置での一定の磁場を含む。ハードマグネティックな成分は外場の変化によって影響を及ぼされ得ない。

数学的には、上述のポアソンの公式は、いくらか変形されて以下のように示される：

$$\mathbf{b}_{\text{gem}} = \mathbf{M}\mathbf{b}_E + \mathbf{b}_0 = \mathbf{b}_E + \Delta\mathbf{M}\mathbf{b}_E + \mathbf{b}_0 \quad (1) \quad 10$$

ここで、

$\mathbf{b}_{\text{gem}}$  = 測定された磁場ベクトル

$\mathbf{b}_E$  = 測定箇所での実際の地磁場ベクトル

$\Delta\mathbf{M}$  = ソフトマグネティックな場のひずみ (Feldverzerrung)、

すなわち地磁場によって誘導される磁力

$\mathbf{M} = \mathbf{I} + \Delta\mathbf{M}$ ;  $\mathbf{I}$  = 単位行列

$\mathbf{b}_0$  = ハードマグネティックな成分

前記の記述において並びに以下の説明において、ベクトル及び行列は太字で記載されている。ベクトルは、通常デカルト座標系に適用される。行列は一般的に  $3 \times 3$  行列である。

図 1 には、磁気コンパス DMC が装置 (Gerät)

に配置されていることが図式的に示されている。当該装置ではハードマグネティックなノイズ源

(hartmagnetische Störer)

としての永久磁石とソフトマグネティックな材料とが協働し、DMC の測定値に影響を及ぼす。図 2 には、地磁場の測定に関連したベクトルと水平面への関連した射影が示されている。車両に固定して配置された磁気コンパスの場合には、目標方向 (Zielrichtung) が進行方向に対応する。

電子工学的な磁気コンパスは、三つの磁場センサーと二つの傾斜センサーとを有する。その際、前者が三つの磁場成分を算定する。それらの三つの磁場成分は必ずしも互いに直交している必要はない。

永久磁石及び電流は、磁場センサーの位置に固定した場を発生させる。この場は、前記磁場成分によって構成される座標系の零点変位 (ゼロシフト、Nullpunktverschiebung) と

して現われる。ソフトマグネティックな材料は、存在する場から、場方向における弱められたあるいは強められた場及びそれに対して垂直な方向における付加的な場成分を発生させる。これは、場方向  $x$ 、 $y$ 、及び  $z$  の「誘導される乱れ」

(Übersprechen)

と考えられ得る。

例えば製造者による較正 (Kalibrierung) なしの「未処理の」(roh) 磁力計のような、感度の異なる三つの非直交の磁場センサーと零点変位とを備える磁力計を観察するときもまた上記の同一の方程式が生じる。

そのような「未処理の」磁力計での磁場の測定は、数学的に次のように表現され得る：

10

20

30

40

50

$$\mathbf{b}_{\text{gem},i} = f_i \mathbf{e}_i \mathbf{b}_{Ei} + \mathbf{o}_i ; i = x, y, z$$

ここで、 $f_i$ は*i*番目のセンサーの増幅(Verstärkung)、 $\mathbf{e}_i$ は測定方向、すなわち単位ベクトル、 $\mathbf{o}_i$ はオフセットである。

$f_i \mathbf{e}_i = (M_{i1}, M_{i2}, M_{i3})$ 及び $\mathbf{o}_i = \mathbf{b}_{0i}$ と書くと、再び上記の方程式(1)が得られる。

実際の地磁場の大きさを算定するために、上記のベクトル方程式(1)を

$\mathbf{b}_E$

に関して解くことが必要不可欠である。逆行列(Inversion)及び減法(Subtraktion)によって以下の関係が得られる：

$$\mathbf{b}_E = \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0) = \mathbf{m}(\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0) \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{m} = \mathbf{M}^{-1}$

未知の量

$\mathbf{M}$ または $\mathbf{m} = \mathbf{M}^{-1}$ 及び $\mathbf{b}_0$

を方程式(1)あるいは(2)から算定するために、すでに言及した米国特許第4686772号明細書により知られているような解法(アプローチ、Lösungsweg)

をとることが可能である。そこでは、測定された磁場ベクトル

$\mathbf{b}_{\text{gem}}$

に対して常にさらに地磁場ベクトル

$\mathbf{b}_E$

も明確に知られていることを出発点とする。ベクトル方程式(1)及び(2)は、それぞれ、未知数 $M_{ij}$ または $m_{ij}$ 及び $b_{0i}$ についての線形方程式システム(lineares Gleichungssystem)である。少なくとも四つの幾何学的に異なる位置での測定によって、地磁場が知られている場合に、 $M_{ij}$ 及び $b_{0i}$ が、線形方程式システムを解くための基本的な方法を用いてすぐにわかる。

前述の米国特許第4539760号明細書に記載されている解決策の場合には、地磁場の大きさ(Betrag)は磁力計の位置に依存しないという事実を出発点とする。量 $m_{ij}$ 及び

$\mathbf{b}_0$

が正しく算定されていれば、磁力計のそれぞれの位置において同一の長さを有する地磁場ベクトル

$\mathbf{b}_E$

が生じる。従って：

$$\begin{aligned} \text{const} = \mathbf{b}_E^2 &= \mathbf{b}_E^T \mathbf{b}_E = (\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0)^T \mathbf{m}^T \mathbf{m} (\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0) \\ &= (\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0)^T \mathbf{U} (\mathbf{b}_{\text{gem}} - \mathbf{b}_0) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $\mathbf{U}^T = \mathbf{U}$ は、 $\mathbf{U}$ が対称行列であることを意味する。

この式(3)によって、求められる行列

$\mathbf{m}$ の積 $\mathbf{U} = \mathbf{m}^T \mathbf{m}$

だけが算出され得ることがすぐにわかる。この行列が対称であることが受け入れられるとき及び対角成分(Diagonale)が正であるときにだけこの行列の成分が算出され得る。し

10

20

30

40

50

かし、最初に述べた仮定 (Annahme) は、まれなケースでしか該当しない。というのは、それが、ソフトマグネティックな対称を意味したからである。このソフトマグネティックな対称は、例えば飛行機あるいは動力車のような技術的な装置の場合には、与えられることが極めてありそうにない。

本発明により、量

$\mathbf{b}_E$

を決めるために、すなわち前記のベクトル方程式を解くために、地理学上の同一箇所での測定システムのそれぞれの位置で水平面と地磁場との間の角度、すなわち傾角 (Inklinationswinkel) が一定のままであるという事実を利用した式を出発点とする。そのとき、このことは明らかに重量ベクトル

$\mathbf{g}$  の方向と地磁場ベクトル  $\mathbf{b}_E$

10

との間の角度にも当てはまる。従って、以下のように書くことができる：

$$\text{const} = \mathbf{b}_g = \mathbf{b}_E \sin(i) = \mathbf{g}^T \mathbf{b}_E = \mathbf{g}^T \mathbf{m} (\mathbf{b}_{gem} - \mathbf{b}_0) \quad (4)$$

ここで、

$\mathbf{b}_g$  = 重力ベクトル  $\mathbf{g}$  に平行な磁場成分

$\mathbf{b}_E$  = 磁場ベクトル  $\mathbf{b}_E$  の長さ

20

$i$  は傾角である。

この方程式は、重力場の方向における、従って水平面に対して垂直な磁場ベクトルの成分がすべてのシステム位置において同一のままであることを意味する。

この方程式において、量

$\mathbf{m}$

はリニア (一次) であり、積としては存在しない。重力ベクトル

$\mathbf{g}$

は、傾斜センサーを使って算定され得る。それ故に、この量

$\mathbf{m}$

30

は、前述の米国特許第4686772号明細書に示されているような場の測定を実行する必要なしに、あるいは前述の米国特許第4539760号明細書に示されているような特別な対称条件を前提とする必要なしに直接に算出され得る。

決定すべきパラメータの数は、以下ようになる：

$$\mathbf{m} = 3 \times 3 = 9$$

$$\mathbf{b}_0 = 3$$

$$\mathbf{b}_g = 1$$

40

したがって、全部で  $9 + 3 + 1 = 13$  のパラメータが生じる。それらの決定のために少なくとも13個の方程式が必要とされる。

例えば前述の米国特許第4539760号明細書 (第4欄、第3行以下) から知られているように、さらに、任意のスケールファクター (Ma stabsfaktor) が選ばれ得る。可能なスケール固定 (Ma stabsfestlegung) は、例えば以下の一欄、すなわち

$$b_g = \text{const.}$$

$$m_{11} = \text{const.}$$

$$m_{11} + m_{22} + m_{33} = \text{const.}$$

$$m_{11}^2 + m_{22}^2 + m_{33}^2 = \text{const.}$$

$$m_{11}^2 + m_{12}^2 + \dots + m_{33}^2 = \text{const.}$$

$$\det \mathbf{m} = \text{const.}$$

10

の一つ、あるいは別の適当なものであるだろう。その際、定数としては1を選んでよい。スケール固定によって、パラメータの数は1だけ減らされる。その結果、なお12個のパラメータが残っているままである。これらのパラメータに対して対応する数の方程式が必要とされる。そのために、磁気コンパスの最初の較正の際に、12個の異なる幾何学的な位置  $j = 1, \dots, 12$  が占められる。それらの位置において三つの磁場成分と両方の傾斜角 (Neigungswinkel) とが測定される。

以下のような線形方程式システムが得られる：

$$b_g = \mathbf{g}_j^T \mathbf{m} (\mathbf{b}_{\text{gem},j} - \mathbf{b}_0) = \mathbf{g}_j^T \mathbf{m} \mathbf{b}_{\text{gem},j} - \mathbf{g}_j^T \mathbf{u}_0 \quad (5)$$

20

ここで、 $\mathbf{u}_0 = \mathbf{m} \mathbf{b}_0$  であり、例えば  $b_g = 1$  である。その場合、明示的に以

下のようになる：

$$1 = g_{j1} b_{\text{gem},1} m_{11} + g_{j1} b_{\text{gem},2} m_{12} + \dots \\ \dots + g_{j1} u_{01} + g_{j2} u_{02} + g_{j3} u_{03}$$

12より多くの方程式が与えられれば、ここで例えば最も良い適合が、一般的に知られている最小二乗偏差の方法 (das Verfahren der kleinsten quadratischen Abweichung) によって決定され得る。

30

本発明のフレームにおいて、同一の固定した箇所での傾角または

$$b_g$$

の不変性の事実を磁場ベクトルの長さ

$$(\mathbf{b}_E = |\mathbf{b}_E|)$$

の存在する不変性の事実とともに利用することの可能性も考慮に入れられている。換言すると、このことは、上述の方程式 (5) だけでなく方程式 (3) も当該方法のために使用され得ることを意味する。そのとき、付け加えてさらにパラメータ

$$b_E$$

40

が決定される必要がある。その結果、パラメータの数  $N$ 、従って必要不可欠な測定の数  $N$  が  $N = 13 \rightarrow 1$  だけ増加する。

有利には、方程式 (3) 及び (5) の使用によって、与えられているデータのより良い利用が得られる。なぜならば、それぞれの測定が二つの方程式において使用されるからである。それゆえに、必要不可欠な測定の数は半分になる。この方法の実行のためには、統計学上の補整計算 (statistische Ausgleichsrechnung) が要求される。この補整計算は、例えば最小二乗偏差の方法に基づいてされ得る。

以下に記述される方法では、上述の方程式 (3) 及び (5) が統計学上の適切な方法で使用される。

次に、磁場センサーシグナル  $\mu_{ij}; i = 1, 2, 3$  と地磁場ベクトル

50

**$b_{Ej}$** 

との間にある関係を詳細に説明する。これは、以下の方程式によって表わされ得る：  
 $\mu_j = \mu_0 + M b_{Ej} + \varepsilon_j$  ;  $j = 1, \dots, N$  (測定位置)

$$\mu_j = \begin{pmatrix} \mu_{1j} \\ \mu_{2j} \\ \mu_{3j} \end{pmatrix} \text{ 測定位置 } j \text{ における三つの磁場センサーの測定値}$$

10

$$\mu_0 = \begin{pmatrix} \mu_{01} \\ \mu_{02} \\ \mu_{03} \end{pmatrix} \text{ オフセット及びハードマグネティックなノイズ場に対するベクトル}$$

$$M = \begin{pmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{pmatrix} \text{ ソフトマグネティックなひずみの行列}$$

 **$b_{Ej}$**  = 地磁場ベクトル

20

$\varepsilon_j$  = 偶然性ベクトル (確率ベクトル、Zufallsvektor)、これはセンサーのノイズである。

$$\langle \varepsilon_j \rangle = 0; \langle \varepsilon_j \varepsilon_j^T \rangle = \sigma_\mu^2 I_3; \langle \varepsilon_j \varepsilon_k^T \rangle = 0 \quad j \neq k;$$

$\langle \rangle$  = 統計学上の期待値

地磁場ベクトルの成分

 **$b_{Ej}$** 

30

は、磁気コンパスのさまざまな位置においては知られていない。しかし、それらを傾斜センサーを使って部分的に示すことは可能である。その際、二つの傾斜センサーが、それぞれ、重力場の 1 に規格化されたベクトルの一つの成分を測定する。このベクトルは鉛直方向 (Lotrichtung) に延びる。

$$\mathbf{b}_{Ej} = s\mathbf{g}_j + c\boldsymbol{\eta}_j$$

$$s = \sin(i) ; c = \cos(i)$$

$$|\mathbf{b}_{Ej}| = 1 \quad \text{地磁場強度} = 1$$

$$i = \text{地磁場の傾角}$$

$$\boldsymbol{\eta}_j = \cos(\alpha_j)\mathbf{e}_j + \sin(\alpha_j)\mathbf{f}_j;$$

その際、 $\alpha_j$ は方位角、すなわち、水平面における空間に固定された座標系に対してのセンサー固有の座標系の回転角である。

$$\mathbf{g}_j = \text{重力ベクトル}$$

$$|\mathbf{g}_j| = 1$$

$$\mathbf{g}_j = \begin{pmatrix} g_{1j} \\ g_{2j} \\ g_{3j} \end{pmatrix} ; \mathbf{e}_j = (1-g_{1j}^2)^{-1/2} \begin{pmatrix} 1-g_{1j}^2 \\ -g_{1j}g_{2j} \\ -g_{1j}g_{3j} \end{pmatrix} ; \mathbf{f}_j = (1-g_{1j}^2)^{-1/2} \begin{pmatrix} 0 \\ -g_{3j} \\ g_{2j} \end{pmatrix}$$

$$g_{1j}, g_{2j} : \text{傾斜センサー測定値、} g_{3j} = (1-g_{1j}^2 - g_{2j}^2)^{1/2}$$

パラメータ  $M_{11} \dots M_{33}, \mu_{01}, \mu_{02}, \mu_{03}, \alpha_1 \dots \alpha_N$  及び  $i$  の値はそれ自体公知の最適化計算 (Optimierungsrechnung) の使用のもとで決定され得る。その際、例えば、統計学上の和

$$L(\mathbf{M}, \mu_0, \alpha_1 \dots \alpha_N, i) = \sum_{j=1}^N (\mu_j - \mu_0 - \mathbf{M}\mathbf{b}_{Ej})^2$$

についてミニマムが要求される。本発明のフレームにおいては、例えばカルマンフィルタ (Kalmanfilter)、ファジー法 (Fuzzy-Verfahren)、あるいはニューロン・ネットワーク (neuronalen Netze) によってのようにさまざまな別の解法が可能である。

$$\Delta \mathbf{M} = 0$$

であると、本質的に数学的な簡単化が生じることがわかる。これは、ソフトマグネティックなノイズ場が考慮に入れられる必要がない場合である。そのとき、

$$\mathbf{M}$$

は単位行列に合致する。

以上では、傾斜センサーを引き合いにだして説明した。これらの代わりに、二つの直交して取り付けられたエンコーダも使用され得る。これらによって、角度が基準点 (Bezugspunkt) に関して測定されるだろう。しかしそのとき、実際的な実行の場合には、固定取り付けされた取り付け具が設けられねばならないだろう。当該取り付け具に対して、磁気コンパス及び妨害する系が相対回転するだろう。

望ましい傾斜角を、システムに取り付けられた二つの回転率センサー (Drehratensensoren)、すなわちジャイロ (Gyros) を用いて決定してもよいだろう。回転率情報 (Drehrateinformationen) の統合によって回転角が導出され得る。

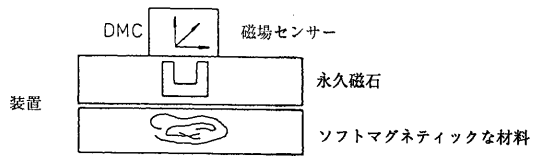
10

20

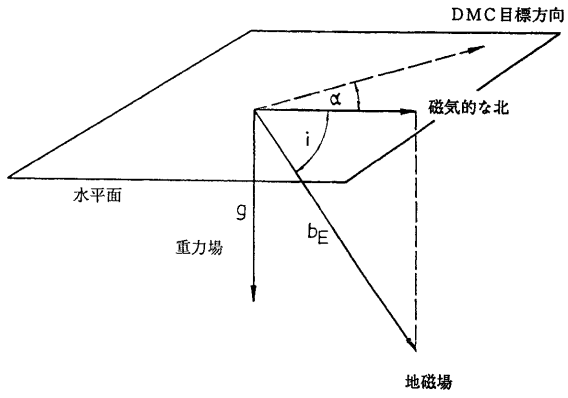
30

40

【 図 1 】  
Fig.1



【 図 2 】  
Fig.2



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特公平03 - 076685 (JP, B2)

特開平08 - 285602 (JP, A)

特開平08 - 278137 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

G01C 17/38