

(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
2010 年 4 月 29 日(29.04.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/047078 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/38 (2006.01) *G01C 19/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/005448
- (22) 国際出願日: 2009 年 10 月 19 日(19.10.2009)
- (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 2008-270244 2008 年 10 月 20 日(20.10.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友精密工業株式会社 (SUMITOMO PRECISION PRODUCTS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 10 号 Hyogo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 孫崎太 (MAGOSAKI, Futoshi) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町 1 番 10 号住友精密工業株式会社内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 上羽秀敏, 外(UEBA, Hidetoshi et al.); 〒5300004 大阪府大阪市北区堂島浜 1 丁目 4 番 16

号 アクア堂島西館 インテリクス国際特許事務所 Osaka (JP).

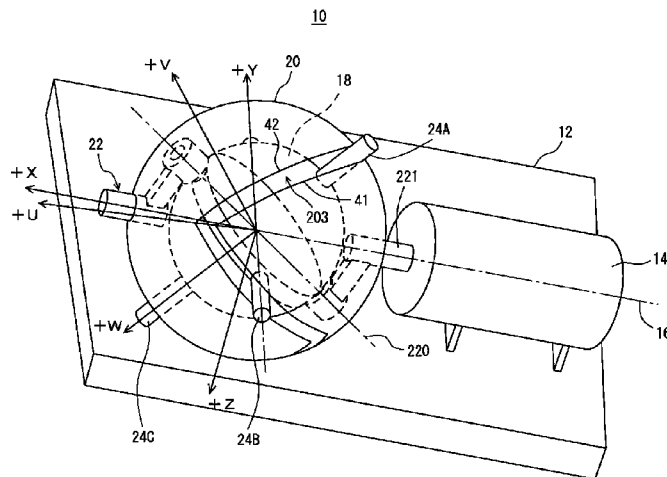
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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, 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, 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 (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, 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: SIX-DIRECTION ORIENTING DEVICE

(54) 発明の名称: 6 方向指向装置

FIG.1



(57) **Abstract:** A six-direction orienting device (10) comprises a shaft (221) mounted within an X-axis in an XYZ orthogonal coordinate system and located on the X-axis, a rotating member (18) capable of rotating about a tilt axis tilted 35.26° relative to a rotation axis, guide pins (24A to 24D) raised from the rotating member (18), and a guide member (20) installed around the X-axis so as to surround the rotating member (18). The guide member (20) comprises a zigzag slit track (203) alternately bent in a ridge-and-valley form in the X-axis direction at 60° intervals about the X-axis. The guide pins (24A to 24D) are inserted in the slit track (203) and are moved along the slit track (203) when the shaft (221) is rotated. The guide pins (24A to 24D) point, at 60° intervals about the X-axis, the positive or negative direction of each of U-axis, V-axis, and W-axis which cross each other.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/047078 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

6 方向指向装置 (10) は、X Y Z 直交座標系内に設置され、X 軸上のシャフト (221) と、回転軸に対して 35.26 度傾斜した傾斜軸周りを回転可能な回転部材 (18) と、回転部材 (18) に立設されるガイドピン (24A~24D) と、回転部材 (18) の周りを囲むように X 軸周りに周設されるガイド部材 (20) とを備える。ガイド部材 (20) は、X 軸周りの 60 度おきに X 軸方向に山状及び谷状に交互に曲折したジグザグ状のスリット軌道 (203) を有する。ガイドピン (24A~24D) は、スリット軌道 (203) に挿入され、シャフト (221) の回転によりスリット軌道 (203) 上を周回する。そして、X 軸周りの 60 度おきに、互いに交わる U 軸、V 軸及び W 軸の各軸の + 及び - 方向のいずれかを指向する。

明 細 書

発明の名称： 6方向指向装置

技術分野

[0001] 本発明は、6方向指向装置に関し、さらに詳しくは、1軸ジャイロを利用して真北を検知する真北検知器（North Finder）に利用可能な6方向指向装置に関する。

背景技術

[0002] 磁北は真北から少しずれているため、磁気コンパスでは真北を計測することはできない。しかしながら、行政地図は真北を基準に作成され、建築基準法も真北を基準に定められている。したがって、土木・建築の分野においては、真北を正確に計測する必要がある。特に地下トンネル工事では鉱脈等の影響で、磁気コンパスは正しく機能しない。

[0003] 真北を正確に計測する真北検知器として、従来より、地球の自転角速度を検知して真北を検知するジャイロコンパスが用いられている。特開2002-296037号公報、米国特許第6594911号及び米国特許第6918186号にて開示されるように、ジャイロコンパスは一般に直交3軸タイプである。これらのジャイロコンパスは大型でかつ高コストである。

[0004] そこで、小型化及び低コスト化のために、1軸又は2軸タイプがいくつか提案されている。特開平6-3149号公報に記載の方位計は1軸タイプで、水平な台上で角速度センサ（ジャイロセンサ）を一定角速度で回転させる。特開平6-11350号公報に記載の方位計は1軸タイプで、水平な台上でジャイロセンサを回転させて仮の真北を求める。この仮の真北における角速度計測値と、別に入力した緯度からバイアスを求めて再度真北を求める。特開平11-160072号公報に記載の真方位計測装置は水平面を必要としない2軸タイプで、2個の回転台上でジャイロセンサを90度又は120度ごとに回転させて計測し、バイアスを除去する。特開平11-190633号公報に記載の方位計は水平面を必要としない1軸タイプで、回転台上で

ジャイロセンサと加速度センサとを3方向に指向させる。ただし、緯度を入力する必要がある。特開2001-215121号公報に記載の方位検出装置は1軸タイプで、水平面上でジャイロセンサを回転させて正弦波状のジャイロ出力から真北を求める。

[0005] これらのジャイロコンパスの多くは、ジャイロセンサ及び加速度センサを回転台の上で回転させるタイプであるが、回転角度が大きく、大きな空間を確保する必要があるため、小型化に限界がある。また、1軸タイプのジャイロコンパスの多くは水平面を必要とし、取扱いが不便である。また、水平面を必要としない1軸タイプのジャイロコンパスも提案されているが、方位計測精度が3軸タイプと比較して劣っている。

[0006] そこで、本出願人は特開2008-215956号公報にて1軸タイプでかつ水平面を必要としない方位計測装置を提案した。この文献に記載の方位計測装置では、XYZ直交座標系に加え、UVW直交座標系を想定する。+U、-U、+V、-V、+W、-Wの6方向はYZ平面に垂直に投影されると60度おきに離間して配置される。また、U、V、W軸がYZ平面となす仰角は35.26度である。方位計測装置は、UVW直交座標系において、各軸周りの自転角速度 ω_U 、 ω_V 及び ω_W を検出する自転角速度センサと、各軸方向の重力加速度 g_U 、 g_V 及び g_W を検出する重力加速度センサと、X軸周りに自転角速度センサ及び重力加速度センサを $(60 \times n)$ 度(n は自然数)回転させて位置決めする第1のステップモータと、X軸に直交する軸周りに自転角速度センサ及び重力加速度センサを ± 35.26 度揺動させて位置決めする第2のステップモータとを備える。方位計測装置は、各軸周りの自転角速度 ω_U 、 ω_V 、 ω_W 及び重力加速度 g_U 、 g_V 、 g_W を計測し、計測された自転角速度 ω_U 、 ω_V 、 ω_W 及び重力加速度 g_U 、 g_V 、 g_W をXYZ直交座標系における自転角速度 ω_X 、 ω_Y 、 ω_Z 及び重力加速度 g_X 、 g_Y 、 g_Z に座標変換する。そして、自転角速度 ω_X 、 ω_Y 、 ω_Z 及び重力加速度 g_X 、 g_Y 、 g_Z に基づいて方位角 ψ を算出する。この方位計測装置では、自転角速度センサ及び重力加速度センサは ± 35.26 度しか揺動されないので、回転角度が

小さく、従来の方位測定装置よりも大きな空間を必要としない。そのため、従来の１軸タイプの方位計測装置よりも小型化が可能である。

発明の開示

[0007] しかしながら、特開２００８－２１５９５６号公報の方位計測装置は回転駆動源であるステッピングモータを２つ使用する。１つの回転駆動源のみで６方向を指向できれば、さらに小型化が可能となる。

[0008] 本発明の目的は、１つの回転駆動源で６方向を指向できる６方向指向装置を提供することである。

[0009] 本発明による６方向指向装置は、ＸＹＺ直交座標系内に設置される。６方向指向装置は、傾斜クラंक機構と、駆動源と、ガイド部材とを備える。傾斜クラंक機構は、Ｘ軸方向に延びたシャフトと、回転部材とを備える。回転部材は、シャフトに対して傾斜した傾斜軸周りを回転可能であり、シャフトと連結される。駆動源は、シャフトをＸ軸周りに回転する。ガイド部材は、傾斜クラंक機構のＸ軸周りに配置され、Ｘ軸周りの６０度おきにＸ軸方向に山状及び谷状に交互に曲折したジグザグ状の周縁を有する。回転部材は、ガイドピンを備える。ガイドピンは、回転部材の傾斜軸周りに立てられ、周縁と接触し、シャフトの回転により周縁上を周回し、Ｘ軸周りの６０度おきに、互いに交わるＵ軸、Ｖ軸及びＷ軸の各軸の＋及び－方向のいずれかを指向する。

[0010] 本発明による６方向指向装置は、回転部材に立てられたガイドピンがガイド部材の周縁と接触する。シャフトを回転させると、回転部材がＸ軸周りに回転するとともに、傾斜軸周りにも回転する。そのため、ガイドピンは、Ｘ軸と傾斜軸とがなす角度に応じてＸ軸方向に揺動しながら、Ｘ軸周りを周回し、互いに交わるＵ軸、Ｖ軸及びＷ軸の±方向（合計６方向）を指向できる。

図面の簡単な説明

[0011] [図１]本発明の第１の実施の形態による６方向指向装置の外観構成を示す斜視図である。

[図2] 図 1 中のクランク機構の外観構成を示す斜視図である。

[図3] 図 2 中の回転部材の外観構成を示す斜視図である。

[図4A] 図 1 に示した 6 方向指向装置を設置する X Y Z 座標系と自転角速度及び重力加速度を計測する U V W 座標系との間の位置関係を示し、- X 方向に見た Y Z 平面図である。

[図4B] 図 1 に示した 6 方向指向装置を設置する X Y Z 座標系と自転角速度及び重力加速度を計測する U V W 座標系との間の位置関係を示し、+ Y 方向に見た Z X 平面図である。

[図5] 図 1 中のガイドの側面図である。

[図6] 図 5 と反対側のガイドの側面図である。

[図7] 図 1 中のガイド及び回転部材の斜視図である。

[図8] 図 7 中の回転部材及びスリットの関係を示す図である。

[図9] 図 1 を装置正面から見たときの回転部材及びスリットの関係を示す図である。

[図10] 図 9 中の左側斜め上から見た回転部材の側面図である。

[図11] 図 9 中の左側斜め下から見た回転部材の側面図である。

[図12] 図 9 中の真下から見た回転部材の側面図である。

[図13] 図 9 中の右側斜め下から見た回転部材の側面図である。

[図14] 図 9 中の右側斜め上から見た回転部材の側面図である。

[図15] 図 1 に示した 6 方向指向装置の構成を示す機能ブロック図である。

[図16] 図 1 に示した 6 方向指向装置が指向する方向と動作時間との関係を説明するための図である。

[図17] 図 1 6 に示した動作のうち、第 1 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図18] 図 1 6 に示した動作のうち、第 2 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図19] 図 1 6 に示した動作のうち、第 3 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図20] 図 1 6 に示した動作のうち、第 4 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図21] 図 1 6 に示した動作のうち、第 5 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図22] 図 1 6 に示した動作のうち、第 6 ステップでの回転部材の状態を示す図である。

[図23] 図 1 に示した 6 方向指向装置の他の例の外観構成を示す斜視図である。

[図24] 図 1 及び図 2 3 と異なる、6 方向指向装置の他の例の外観構成を示す斜視図である。

[図25] 図 1、図 2 3 及び図 2 4 と異なる、6 方向指向装置の他の例の外観構成を示す斜視図である。

[図26] 図 2 5 に示す 6 方向指向装置の側面図である。

[図27] 図 2 5 中のガイドピン近傍の回転部材の断面図である。

[図28] 図 4 A 及び図 4 B に示した X Y Z 及び U V W 座標系における仰角 α 及び交角 β の関係を示すグラフである。

[図29] X 軸方向の誤差評価関数 f_1 及び Y, Z 軸方向の誤差評価関数 f_2 と仰角 α との関係を示すグラフである。

[図30] $\alpha = 35.26$ 度の直角三角形を示す図である。

[図31] $f_2 / f_1 - 1$ と仰角 α との関係を示すグラフである。

[図32A] 図 1 に示した 6 方向指向装置の方位角 ψ を示す図である。

[図32B] 図 1 に示した 6 方向指向装置のピッチ角 θ を示す図である。

[図32C] 図 1 に示した 6 方向指向装置のロール角 ϕ を示す図である。

[図33] $\theta = 0$ 度の場合における方位角誤差評価関数 f と仰角 α との関係を示すグラフである。

[図34] $\theta = 45$ 度の場合における方位角誤差評価関数 f と仰角 α との関係を示すグラフである。

[図35A] 従来の方位計測装置が自転角速度センサ及び重力加速度センサを回動

させた場合におけるエンベロープを示す図である。

[図35B] 図1に示した6方向指向装置が自動角速度センサ及び重力加速度センサを回動させた場合におけるエンベロープを示す図である。

[図36] 図35に示したL/Rと仰角 α との関係を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

[0012] 以下、図面を参照し、本発明の実施の形態を詳しく説明する。図中同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰り返さない。

[0013] [6方向指向装置の構成]

[0014] 図1を参照して、6方向指向装置10は、駆動源であるステッピングモータ14と、傾斜クラंक機構22と、ガイド部材20とを備える。傾斜クラंक機構22は、ステッピングモータ14のモータ軸16に連結されたシャフト221と、シャフト221に対して傾斜した傾斜軸220の周りを回転可能な回転部材18とを備える。ガイド部材20は、回転部材18の周りに周設された球状の外殻である。6方向指向装置10のうち、ステッピングモータ14及びガイド部材20は土台12に固定されている。ここでは駆動源としてステッピングモータを用いた例を説明するが、ステッピングモータの代わりに超音波モータを用いてもよく、モータの種類は特に制限されない。

[0015] 6方向指向装置10は、XYZ直交座標系内に設置される。この座標系は、X、Y、Z軸が互いに90度をなす直交座標系である。具体的には、X軸をステッピングモータ14のモータ軸16上に割り当て、XY平面を土台12の表面と平行に割り当てる。

[0016] 図2を参照して、傾斜クラंक機構22の2つのシャフト221は、いずれもX軸上に配置される。2つのシャフト221の間には、回転部材18が配置される。各シャフト221と回転部材18の間には、アーム部材224が配置される。回転部材18は、アーム部材224を介して各シャフト221と連結される。図1に示すとおり、2つのシャフト221はガイド部材20に回転可能に支持される。

[0017] 図2及び図3を参照して、回転部材18は、円板状の基板184と、内殻

181とを備える。内殻181は、球状であり、基板184の上面及び下面を覆う。図3に示すように、基板184の側面には、2つの軸部材185が形成されている。2つの軸部材185は、基板184の中心を通る同一直線上に配置される。

[0018] アーム部材224は、クランクアーム222とボス223とを含む。ボス223は、クランクアーム222の端部に形成される。軸部材185は、ボス223内に嵌め込まれる。これにより、基板184は、シャフト221に対して α 度傾斜した傾斜軸220の周りを回転可能に取り付けられる。

[0019] 基板184の側面のうち軸部材185と直交する位置には、2本のガイドピン24B及び24Dが立てて配置される。ガイドピン24B及び24Dは、長手方向に延びた棒状の部材である。ガイドピン24B及び24Dは、傾斜軸220と直交する。さらに、内殻181の表面には、基板184の中心を通る基板184の法線の上に、2つのガイドピン24A及び24Cが立てて配置される。ガイドピン24A及び24Cは、長手方向に延びた棒状の部材である。

[0020] ガイドピン24A～24Dの各々は、傾斜軸220と直交する。また、ガイドピン24A及び24Cは同一直線上に配設され、ガイドピン24B及び24Dは同一直線上に配設される。さらに、いずれのガイドピン24A～24Dも同一平面上に配置される。

[0021] 基板184上には、自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28が取り付けられる。これらのセンサ26及び28の指向方向は、ともに、基板184の法線方向である。つまり、ガイドピン24Aの軸方向と一致する。自転角速度センサ26は、指向方向（つまり、ガイドピン24Aの軸方向）周りの自転角速度成分を検出する。また、重力加速度センサ28は、指向方向の重力加速度成分を検出する。

[0022] 上述のとおり、6方向指向装置10はXYZ直交座標系内に設置される。本実施の形態ではさらに、UVW座標系を想定する。XYZ直交座標系とUVW座標系との関係を図4A及びBに示す。図4Aは-X方向に見たYZ平

面図を示し、図 4 B は +Y 方向に見た Z X 平面図（図 4 A の右側面図）を示す。U、V、W 軸が Y Z 平面となす仰角を α 度とする。つまり、シャフト 221 に対する傾斜軸 220 の角度 α は、この仰角と一致する。さらに、U、V、W 軸が互いになす交角を β とする。

[0023] +U、-U、+V、-V、+W、-W の 6 軸は Y Z 平面上においては常に 60 度ごと離間して配置される。具体的には、+U 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると -Z 軸に対して 60 度をなす。-U 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると +Z 軸に対して 60 度をなす。+V 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると -Z 軸に対して 60 度をなす。-V 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると +Z 軸に対して 60 度をなす。+W 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると +Z 軸に一致する。-W 軸は Y Z 平面に垂直に投影されると -Z 軸に一致する。ここで、仰角 α は 30 ~ 40 度が好ましいが、35.26 度が最も好ましい。また、交角 β は 90 度が最も好ましい。その理由は後述するが、以下では、 $\alpha = 35.26$ 、 $\beta = 90$ の場合を説明する。

[0024] 図 5 はガイド部材 20 の側面図であり、図 6 は図 5 と反対側の側面図である。ガイド部材 20 のうち、X 軸上の部分には、傾斜クランク機構 22 の 2 つのシャフト 221 を通す孔 205 が形成されている。2 つのシャフト 221 はそれぞれ、対応する孔に挿入される。そのため、回転部材 18 はガイド部材 20 に支持される。孔 205 には、図示しないベアリングが配置される。

[0025] ガイド部材 20 はさらに、中央全周に渡って X 軸周りに軌道スリット 203 が形成されている。軌道スリット 203 は、X 軸周りに 60 度おきに、X 軸方向に山状及び谷状に交互に曲折されたジグザグ状のスリットである。

[0026] ガイド部材 20 は、第 1 ガイド部材 201 と、第 2 ガイド部材 202 とを備える。第 1 ガイド部材 201 は、軌道スリット 203 を境にステッピングモータ 14 側に配置される。第 2 ガイド部材 202 は、軌道スリット 203 を境にステッピングモータ 14 と反対側に配置される。第 1 ガイド部材 201 は、周壁 2010 と周縁 41 とを備える。周壁 2010 は、X 軸周りに傾

斜クランク機構 22 配置され、X 軸方向に開口を有する。周縁 41 は、周壁 2010 の端であり、X 軸周り 60 度おきに、山部 MO1 及び谷部 VA1 が交互に形成されている。

[0027] 第 2 ガイド部材 202 も第 1 ガイド部材 201 と同様に、周壁 2020 と周縁 42 とを備える。周壁 2020 は、X 軸周りに配置され、X 軸方向に開口部を有する。周縁 42 は、周壁 2020 の端であり、X 軸周り 60 度おきに山部 MO2 及び谷部 VA2 が交互に形成される。

[0028] 軌道スリット 203 は、第 1 ガイド部材の周縁 41 と第 2 ガイド部材 202 の周縁 42 とにより形成される。周縁 41 と周縁 42 とは互いに離れて対向する。周縁 42 の山部 MO2 及び谷部 VA2 は、周縁 41 の山部 MO1 及び谷部 VA1 と 60 度ずれて X 軸周りに配置される。そのため、周縁 41 と 42 との間で隙間がジグザグ状に形成され、軌道スリット 203 が形成される。

[0029] 各山部 MO1 及び MO2 の山頂と、各谷部 VA1 及び VA2 の谷底は、U 軸、V 軸及び W 軸にそれぞれ対応する。周縁 41 の谷底 VA1_{-v} 及び山頂 MO1_{+v} と、周縁 42 の山頂 MO2_{-v} 及び谷底 VA2_{+v} とは、いずれも V 軸に対応する。つまり、V 軸は、軌道スリット 203 のうち、谷底 VA1_{-v} 及び山頂 MO2_{-v} で形成される曲折地点と、山頂 MO1_{+v} 及び谷底 VA2_{+v} とで形成される曲折地点とを通過する。同様に、山頂 MO1_{+u}、谷底 VA2_{+u}、山頂 MO2_{-u} 及び谷底 VA1_{-u} は U 軸に対応し、山頂 MO1_{+w}、谷底 VA2_{+w}、山頂 MO2_{-w}、谷底 VA1_{-w} は W 軸に対応する。

[0030] 図 1 に戻って、回転部材 18 上に立てて配置された 4 つのガイドピン 24A ~ 24D は、軌道スリット 203 に挿入される。各ガイドピン 24A ~ 24D は、周縁 41 及び／又は 42 に接触する。ステッピングモータ 14 の駆動によりシャフト 221 が回転を開始すると、シャフト 221 と連結された回転部材 18 も回転する。このとき、各ガイドピン 24A ~ 24D は、周縁 41 及び 42 と接触しながら、軌道スリット 203 上を周回する。換言すれば、ガイドピン 24A ~ 24D は、周縁 41 及び／又は周縁 42 上を周回す

る。

- [0031] ガイドピン24A～24Dが軌道スリット203上を周回することにより、回転部材18に配設された自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28は、UVW軸上の6方向（±U方向、±V方向、±W方向）を指向できる。
- [0032] ガイド部材20は、ガイドピン24A～24Dが軌道スリット203上を周回するとき、ガイドピン24A～24Dが土台12に当たらない程度の高さで土台12に固定される。
- [0033] 図7は、図1に示す6方向指向装置10の傾斜クランク機構22及びガイド部材20を真上から（つまり、+Z方向に）見た図（上面図）であり、図8は、説明を容易にするために、図7中の回転部材18と軌道スリット203のみを表示した上面図である。以降の説明では、ジグザグ状の軌道スリット203の各屈曲地点を、ガイド部材201の周縁41の山頂 $MO1_{+u}$ 、 $MO1_{+v}$ 、 $MO1_{+w}$ 及び谷底 $VA1_{-u}$ 、 $VA1_{-v}$ 、 $VA1_{-w}$ で呼ぶこととする。また、以降の図では、図面中の軌道スリット203の幅はガイドピン24A～24Dよりも小さく記載しているが、実際には上述のとおり軌道スリット203の幅はガイドピン24A～24Dよりも大きい。
- [0034] 図7及び図8を参照して、4つのガイドピン24A～24Dはいずれも、軌道スリット203に挿入される。そして、ガイドピン24Aの先端は、-W方向を指向している。つまり、図7及び図8の状態では、自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28は-W方向を指向している。
- [0035] 図9は、6方向指向装置10を正面から見た（つまり、-X方向に見た）場合の回転部材18及び軌道スリット203を示す図である。また、図10～図14は、図9に示すとおり、X軸周りに $(60 \times n)$ 度（nは1～6）傾斜した方向に見た回転部材18及び軌道スリット203を示す図である。
- [0036] 図15を参照して、6方向指向装置10はさらに、コンピュータ等からなる情報処理装置30を備える。情報処理装置30は、モータ制御部32と、自転角速度計測部36と、重力加速度計測部38と、自転角速度座標変換部

40と、重力加速度座標変換部46と、方位角算出部44とを備える。

[0037] モータ制御部32は、ステッピングモータ14を制御する。自転角速度計測部36は、自転角速度センサ26により検出された自転角速度成分 ω_u 、 ω_v 及び ω_w を計測する。重力加速度計測部38は、重力加速度センサ28により検出された重力加速度成分 g_u 、 g_v 及び g_w を計測する。

[0038] 自転角速度座標変換部40は、自転角速度計測部36により計測された自転角速度成分 ω_u 、 ω_v 及び ω_w を次の式(4)により自転角速度成分 ω_x 、 ω_y 及び ω_z に座標変換する。

[数4]

$$\begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_u \\ \omega_v \\ \omega_w \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0039] 重力加速度座標変換部46は、重力加速度計測部38により計測された重力加速度成分 g_u 、 g_v 及び g_w を次の式(5)により重力加速度成分 g_x 、 g_y 及び g_z に座標変換する。

[数5]

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_u \\ g_v \\ g_w \end{bmatrix} \quad (5)$$

[0040] 方位角算出部44は、自転角速度座標変換部40により得られた自転角速度成分 ω_x 、 ω_y 及び ω_z と、重力加速度座標変換部46により得られた重力加速度成分 g_x 、 g_y 及び g_z とに基づいて、次の式(6)により方位角 ψ を算出する。

。

[数6]

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{-\omega_y \cos \phi + \omega_z \sin \phi}{\omega_x \cos \theta - \omega_y \sin \phi \sin \theta + \omega_z \cos \phi \sin \theta} \right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{g_y}{g_z} \right)$$

$$\theta = -\sin^{-1} \left(\frac{g_x}{G} \right) \quad (6)$$

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

[0041] [6方向指向装置の動作]

[0042] 以上の構成を有する6方向指向装置10の動作を説明する。

[0043] 図16は6方向指向装置10の動作の一例を示すシーケンス図である。図16を参照して、モータ制御部32は、ステッピングモータ14を制御することにより、自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28を「-W」→「+V」→「-U」→「+W」→「-V」→「+U」の方向に順に向けていく（S1～S6）。モータ制御部32が、各ステップS1～S6において、シャフト221を装置正面から（つまり、-X方向に）見て反時計回りに240度回転すれば、シャフト221と、回転部材18と、ガイド部材20との相互作用により、各センサ26及び28を各ステップで対応する方向に向けることができる。つまり、1つの駆動源で1軸を回転するだけで、各センサ26及び28を6方向（±U方向、±V方向及び±W方向）に指向させることができる。以下、図16～図22を用いて、6方向指向装置10の動作を詳述する。図17～図22では、6方向指向装置10の動作を理解しやすくするために、各センサ26及び28の指向方向と一致するガイドピン24Aの先端部分を丸印で囲んでいる。

[0044] 図17を参照して、ステップS1において、ガイドピン24Aは、ガイド部材201の谷底VA1_{-W}に位置しており、その先端は-W方向を指向する

。上述のとおり、ガイドピン 24 A は、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 の指向方向と一致するため、図 17 において、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 は、 $-W$ 方向を指向する。この状態において、自転角速度計測部 36 は、所定の測定時間（たとえば 30 秒から 1 分）の間、自転角速度センサ 26 で検出された自転角速度成分 ω_w を所定のサンプリング周期（たとえば 1 ～ 10 ミリ秒）ごとにサンプリングし、その値を順に図示しないメモリに格納していく。重力加速度計測部 38 も同様に、重力加速度センサ 28 で検出された重力加速度成分 g_w を所定のサンプリング周期（たとえば 1 ～ 10 ミリ秒）ごとにサンプリングし、その値を順にメモリに格納していく。

[0045] 続いて、ステップ S2 において、 $+V$ 方向で自転角速度成分 ω_v 及び重力加速度成分 g_v をサンプリングするために、ガイドピン 24 A ～ 24 D を軌道スリット 203 上で周回させ、ガイドピン 24 A を谷底 $V A 1_{-w}$ から $M O 1_{+v}$ に移動させる。このとき、モータ制御部 32 がステッピングモータ 14 を制御して、シャフト 221 を、6 方向指向装置 10 の正面から見て反時計回りに 240 度回転する。すると、図 18 に示すように、ガイドピン 24 A が軌道スリット 203 上を移動して山頂 $M O 1_{+v}$ に到達し、各センサ 26 及び 28 が $+V$ 方向を指向する。以下、この動作を詳述する。

[0046] 図 17 の状態において、傾斜軸 220 は W 軸と直交している。この状態から、シャフト 221 を装置正面から見て反時計回りに 240 度回転すると、傾斜軸 220 は V 軸と直交する状態で停止する（図 18 参照）。

[0047] ここで、仮にガイド部材 20 が存在せず、かつ、回転部材 18 が傾斜軸 220 周りを回転することなくシャフト 221 に固定されていれば、回転部材 18 はシャフト 221 とともに X 軸周りを反時計回りに 240 度回転する。この場合、ガイドピン 24 A の先端は、 $-V$ 方向に向いてしまう。

[0048] しかしながら、回転部材 18 は、傾斜軸 220 の周りを回転可能である。そのため、傾斜軸 220 と直交するガイドピン 24 A は、傾斜軸 220 の周りを回転する。傾斜軸 220 は、 X 軸（シャフト 221）と α 度（本例では

35. 26度) 傾斜しているため、シャフト221が回転することにより、ガイドピン24AをX軸方向に $\pm\alpha$ 度の範囲で揺動できる。

[0049] 要するに、ガイドピン24Aは、シャフト221の回転により、X軸周りを自由に回転でき、かつ、傾斜軸220の周りを回転することによりX軸方向に $\pm\alpha$ 度の範囲で揺動できる。そのため、XYZ直交座標系と図4A及び図4Bに示す関係を有するU軸、V軸及びW軸の各+及び-方向に、ガイドピン24Aを指向させることができる。

[0050] ガイド部材20の周縁41及び42で構成される軌道スリット203は、ガイドピン24Aを上述のU軸、V軸及びW軸上に移動させ、その先端を6方向(±U方向、±V方向及び±W方向)に向けて位置決めする役割を果たす。たとえば、軌道スリットが本実施の形態のようなジグザグ状ではなく、X軸に対して平行な直線状である場合、ガイドピン24Aは、シャフト221の回転により、X軸に沿って揺動するのみである。

[0051] これに対して、本実施の形態による軌道スリット203は、X軸周りに60度おきに山状(山頂 $MO1_{+U}$ 、 $MO1_{+V}$ 及び $MO1_{+W}$)及び谷状(谷底 $VA1_{-U}$ 、 $VA1_{-V}$ 、 $VA1_{-W}$)に交互に曲折したジグザグ状になっている。つまり、X軸に対して斜め方向に軌道が形成されている。そのため、ガイドピン24Aは、X軸方向に揺動するだけでなく、X軸周りを周回できる。さらに、山頂 $MO1_{+U}$ 及び谷底 $VA1_{-U}$ はU軸に対応し、山頂 $MO1_{+V}$ 及び谷底 $VA1_{-V}$ はV軸に対応し、山頂 $MO1_{+W}$ 及び谷底 $VA1_{-W}$ はW軸に対応する。そのため、シャフト221が回転することにより、ガイドピン24AはX軸周りを周回しながらX軸方向に $\pm\alpha$ 度の範囲で揺動し、山頂及び谷底に到達したときにU軸、V軸、W軸上に配置される。

[0052] 図17及び図18を参照して、ステップS2では、シャフト221が回転している間、ガイドピン24Aは周縁41と接触しながら、谷底 $VA1_{-W}$ から山頂 $MO1_{+V}$ に向かって軌道スリット203上を移動する。このとき、ガイドピン24Aは、シャフト221の回転により、X軸周りを装置正面から(−X方向に)見て反時計回りに回転する。さらに、ガイドピン24Aは、

軌道スリット203を構成する周縁41と接触するため、周縁41からの力を受ける。そのため、回転部材18が傾斜軸220周りを装置正面から見て時計回りに回転し、ガイドピン24Aの先端が-X方向から+X方向に揺動する。つまり、ガイドピン24Aは、軌道スリット203により、X軸周りを回転しながらX軸方向に揺動する。

[0053] シャフト221が反時計回りに240度回転したとき、軌道スリット203により、ガイドピン24AはX軸周りを反時計回りに60度回転する。さらに、ガイドピン24Aが周縁41と接触することにより、回転部材18は傾斜軸220周りを時計回りに回転する力を与えられ、傾斜軸220周りを時計回りに180度回転する。その結果、ガイドピン24Aは、図18に示すように山頂MO1_{+V}に到達する。このとき、ガイドピン24AはV軸上に配置され、その先端は+V方向を指向する。つまり、各センサ26及び28は+V方向を指向する

[0054] ガイドピン24Aが山頂MO1_{+V}に到達したとき、ステップS1と同様に、自転角速度計測部36は自転角速度成分 ω_V をサンプリングし、メモリに格納する。また、重力加速度計測部38も重力加速度成分 g_V をサンプリングし、メモリに格納する。

[0055] ステップS3～ステップS6も上述のステップS2と同様に、シャフト221を反時計回りに240度ずつ回転し、ガイドピン24Aの先端をUVW座標上の各方向（±U方向、±V方向、±W方向）に指向する。ステップS3では、図18の状態からシャフト221を装置正面から見て反時計回りに240度回転する。すると、ガイドピン24Aは、-X方向に 2α （=70.52）度揺動し、かつ、装置正面から見てX軸周りを反時計回りに60度回転する。その結果、図19に示すように、ガイドピン24Aは、軌道スリット203の谷底VA1_{-U}に到達する。このとき、ガイドピン24AはU軸上に配置され、その先端は-U方向を指向する。この状態で、自転角速度計測部36は自転角速度成分 ω_U をサンプリングし、重力加速度計測部38も重力加速度成分 g_U をサンプリングする。

- [0056] ステップS 4では、シャフト221を図19の状態からさらに反時計回りに240度回転する。すると、ガイドピン24Aが+X方向に 2α ($=70.52$)度揺動し、かつ、装置正面から見てX軸周りを反時計回りに60度回転する。そのため、図20に示すように、ガイドピン24Aは山頂 $MO1+W$ に到達し、W軸上に配置され、その先端は-W方向を指向する。この状態で、自転角速度計測部36は再び自転角速度成分 ω_W をサンプリングし、重力加速度計測部38も重力加速度成分 g_W をサンプリングする。つまり、6方向指向装置10は、W軸において、+W及び-Wの両方向で自転角速度 ω_W 及び重力加速度成分 g_W を計測する。
- [0057] 同様に、ステップS 5では、シャフト221を図20の状態から装置正面から見て反時計回りに240度回転する。このとき、ガイドピン24Aは-X方向に 2α 度揺動し、かつ、X軸周りを装置正面から見て反時計回りに60度回転する。そのため、図21に示すように、ガイドピン24Aは、軌道スリット203に沿って、山頂 $MO1+W$ から谷底 $VA1-V$ に移動する。谷底 $VA1-V$ に到達したとき、ガイドピン24AはV軸上に配置され、その先端は-V方向を指向する。この状態で、自転角速度計測部36は再び自転角速度成分 ω_V をサンプリングし、重力加速度計測部38も重力加速度成分 g_V をサンプリングする。
- [0058] ステップS 6では、シャフト221を図21の状態から反時計回りに240度回転する。このとき、ガイドピン24AはX軸周りの反時計回りに60度回転し、かつ、+X方向に 2α 度揺動する。その結果、図22に示すとおり、ガイドピン24Aは、谷底 $VA1-V$ から山頂 $MO1+U$ に到達する。このとき、ガイドピン24AはU軸上に配置され、その先端は+U方向を指向する。この状態で、自転角速度計測部36は再び自転角速度成分 ω_U をサンプリングし、重力加速度計測部38も重力加速度成分 g_U をサンプリングする。
- [0059] 自転角速度計測部36は、各ステップS 1～S 6においてサンプリングしたデータを用いて、最小二乗法や算術平均などにより、UVW直交座標系における自転角速度 ω_x , ω_y , ω_z を算出する。一方、重力加速度計測部38は、

最小二乗法や算術平均などにより、UVW直交座標系における重力加速度 g_x , g_y , g_z を算出する。上述のとおり、ここでは、UVW軸のいずれにおいても、+及び-の両方向で測定した自転角速度 (ω_u , ω_v , ω_w) 及び重力加速度 (g_u , g_v , g_w) を平均する。そのため、6方向指向装置10に特有のバイアスが相殺され、計測誤差を小さくすることができる。

[0060] 続いて、自転角速度座標変換部40は、自転角速度計測部36で算出された自転角速度 (ω_u , ω_v , ω_w) をXYZ直交座標系における自転角速度 (ω_x , ω_y , ω_z) に座標変換する。一方、重力加速度座標変換部46は、重力加速度計測部38で算出された重力加速度 (g_u , g_v , g_w) をXYZ直交座標系における重力加速度 (g_x , g_y , g_z) に座標変換する。

[0061] 最後に、方位角算出部44は、自転角速度座標変換部40及び重力加速度座標変換部46で得られた自転角速度 (ω_x , ω_y , ω_z) 及び重力加速度 (g_x , g_y , g_z) に基づいて方位角 ψ を算出する。

[0062] 以上のとおり、6方向指向装置10では、回転部材18とガイドピン24Aとジグザグ状の軌道スリット203を形成する周縁41及び周縁42とにより、1つの回転駆動源のみでガイドピン24Aを6方向(±U方向、±V方向及び±W方向)に指向でき、各センサ26及び28を6方向に指向できる。

[0063] また、6方向指向装置10は、UVW軸を利用するため、自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28は、6方向を指向するのに± α (=70.52)度しか揺動せずに済み、回転角度が小さく、回転のための大きな空間を必要としない。さらに、上述のとおり1つの回転駆動源で動作可能であるため、さらに小型化することができる。

[0064] 上述の実施の形態では、仰角 α = 35.26度としたが、仰角 α はこれに限らず30~40度であればよい。また、角度 β は80~100度であればよい。

[0065] 6方向指向装置10は、必ずしも第1及び第2ガイド部材201及び202の両方を備えている必要はない。たとえば、図23に示すように、6方向

指向装置 10 は第 2 ガイド部材 202 を備えず、第 1 ガイド部材 201 のみを備えていてもよい、その逆であってもよい。このとき、第 1 ガイド部材 201 の周縁 41 がジグザグ状の軌道を構成する。つまり、ガイドピン 24A ~ 24D は周縁 41 に接触し、X 軸周りを周回する。

[0066] 図 23 の構成の場合、回転部材 18 が少なくとも互いに同一直線上に配置されるガイドピン 24A 及び 24C を備えていれば、上述のとおりシャフト 221 の回転のみでガイドピン 24A 及び各センサ 26、28 を 6 方向（±U 方向、±V 方向、±W 方向）に指向できる。なお、図 1 に示すようにガイド部材 20 が第 1 及び第 2 ガイド部材 201 及び 202 で構成される場合、ガイドピンは最低 1 つあれば足りる。つまり、ガイドピン 24B ~ 24D がなく、ガイドピン 24A のみが回転部材 18 に立設されている場合でも、ガイドピン 24A は周縁 41 及び 42 と接触しながら軌道スリット 203 上を移動できる。

[0067] 回転部材 18 がガイドピンを 4 本配設する場合（ガイドピン 24A ~ 24D）、各ガイド部材 201 及び 202 の山頂は必ずしも各 UVW 軸上に配置される必要はない。たとえば、6 方向指向装置 10 が、第 2 ガイド部材 202 を備えず、ガイド部材 20 として第 1 ガイド部材 201 のみを備えている場合であって、回転部材 18 が 4 つのガイドピン 24A ~ 24D を備えている場合、図 24 に示すように、第 1 ガイド部材 201 の周縁 41 のうち、各山部 MO1 の山頂 $MO1_{+U}$ 、 $MO1_{+V}$ 、 $MO1_{+W}$ は図 1 と比較して低くてもよく、UVW 軸に対応していなくてもよい。図 24 では、各山部 MO1 は、台形状であり、谷部 VA1 から山頂に向かって幅が徐々に狭くなる。ただし、谷底 $VA1_{-U}$ 、 $VA1_{-V}$ 、 $VA1_{-W}$ は、U 軸、V 軸及び W 軸と対応している。このような構成であっても、ガイドピン 24A は、6 方向（±U 方向、±V 方向、±W 方向）を指向できる。

[0068] 図 24 では、第 1 ガイド部材 201 の周縁 41 は 3 つの山部 MO1 と 3 つの谷部 VA1 とを有するが、山部及び谷部はそれぞれ 2 つであってもよい。2 つの各山部は 60 度おきに配置され、2 つの谷部も 60 度おきに配置され

ていればよい。

- [0069] 図2では、シャフト221は、クランクアーム222を介して回転部材18と連結することにより、傾斜クランク機構22を構成したが、シャフト221、クランクアーム222及び傾斜軸220上に配置されるクランクピンとで構成されるクランクシャフトと、クランクシャフトのクランクピンが挿入され、クランクピン（つまり、傾斜軸220）周りを回転可能な回転部材18とによりクランク機構22が構成されてもよい。
- [0070] 上述の実施の形態では、傾斜クランク機構22は、2つのシャフト221を備えているが、シャフト221は1つであってもよい。
- [0071] 図25及び図26を参照して、6方向指向装置10Aは、ステッピングモータ14と、傾斜クランク機構22Aと、ガイド部材20Aとを備える。
- [0072] ステッピングモータ14は、モータケース500に収納され、モータケース500の内面に固定される。モータケース500は、土台12に固定される。ステッピングモータ14の端には、シャフト221が取り付けられる。
- [0073] ガイド部材20Aは、傾斜クランク機構22を挟んでステッピングモータ14と反対側に配置される。ガイド部材20Aは円筒状であり、X軸方向の両端に開口を有する。ガイド部材20Aは、ガイド部材20と同様に、土台12に固定される。ガイド部材20Aは、円筒状の周壁2020Aと、周壁2020Aの傾斜クランク機構22側の端である周縁42Aとを有する。周縁42Aには、X軸周りに60度おきに山部M02と他に部VA2とが交互に形成される。
- [0074] 周壁2020Aの周縁42Aと反対側の端には、開口2030が形成されている。開口2030には、傾斜クランク機構22Aに接続される複数の配線が通される。
- [0075] ガイド部材20Aは、上述の第2ガイド部材202に対応する。周縁42Aの3つの山部M02の山頂はUVW軸に対応しておらず、台形状となっている。一方、周縁42Aの3つの谷部VA2はそれぞれ、各UVW軸に対応する。

- [0076] 傾斜クランク機構 22 A は、シャフト 22 1 と、アーム部材 22 4 と、回転部材 18 A とを備える。
- [0077] 回転部材 18 A は回転部材 18 と同じく、シャフト 22 1 に対して α 度傾斜した傾斜軸周りを回転する。回転部材 18 A は、アーム部材 22 4 を介してシャフト 22 1 に取り付けられる。
- [0078] 回転部材 18 A は、回転部材 18 と同様に、円板状の基板 18 4 を備える。そして、回転部材 18 A は、内殻 18 1 の代わりに、円環部材 18 1 A を備える。円環部材 18 1 A は、基板 18 4 上に形成され、基板 18 4 と直交する。
- [0079] 図 26 に示すように、基板 18 4 の側面には、1 つの軸部材 18 5 が形成されており、軸部材 18 5 はアーム部材 22 4 の先端の形成された孔に挿入される。これにより、回転部材 18 A は、傾斜軸周りを回転可能に支持される。
- [0080] 基板 18 4 の側面には 2 本のガイドピン 24 B 及び 24 D が立てられる。ガイドピン 24 B 及び 24 D は、基板 18 4 の中心を通る直線上に配置される。ガイドピン 24 B 及び 24 D は、傾斜軸 22 0 と直交する。円環部材 18 1 A の側面のうち、基板 18 4 の中心を通る基板 18 4 の法線上に、2 つのガイドピン 24 A 及び 24 D が立てられる。
- [0081] 基板 18 4 上には、図 2 と同様に、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 が取り付けられる。これらのセンサ 26 及び 28 の指向方向は、ガイドピン 24 A の軸方向と一致する。つまり、ガイドピン 24 A は、センサ 26 及び 28 を指向方向を示す指向ピンとして機能する。
- [0082] 傾斜クランク機構 22 A は、1 つのシャフト 22 1 のみを備える。つまり、傾斜クランク機構 22 A は、ステッピングモータ 14 側にのみシャフト 22 1 を備え、ガイド部材 20 A 側にはシャフト 22 1 を備えない。
- [0083] 6 方向指向装置 10 A はさらに、受け台 510 と、弾性部材 520 とを備える。受け台 510 は、モータケース 500 の端面に配置される。受け台 510 は、円筒であり、内部にシャフト 22 1 が挿入される。受け台 510 は

、モータケース５００に固定されている。そのため、ステッピングモータ１４によりシャフト２２１が回転したとき、受け台５１０は回転しない。

[0084] 弾性部材５２０は、螺旋状のバネであり、受け台５１０とアーム部材２２４との間に配置される。弾性部材５２０の内部には、シャフト２２１が挿入される。弾性部材５２０は、アーム部材２２４を介して回転部材１８Ａに対してガイド部材２０Ａ方向に力を付与する。弾性部材５２０により、回転部材１８Ａはガイド部材２０Ａ方向に押すため、ガイド部材２０Ａ側にシャフト２２１を配置しなくても、１つのシャフト２２１で安定して支持される。

[0085] 回転部材１８Ａは、弾性部材５２０により、ガイド部材２０Ａに押しあてられながら回転する。そのため、１つのシャフト２２１でも回転部材１８Ａは安定して支持される。シャフト２２１を１つにでき、かつ、ガイド部材も１つにできるため、６方向指向装置１０Ａは、６方向指向装置１０と比較して、小型化することができる。さらに、自転角速度センサ２６及び重力加速度センサ２８に接続される配線を配置するスペースを確保しやすい。

[0086] 図２５及び図２６に示すとおり、周縁４２Ａは、６０度おきに交互に配置された台形状の山部ＭＯと、谷部ＶＡとを有する。周縁４２Ａはさらに、山部ＭＯの上辺部（つまり、山頂部）の端に、くぼみ４１０を有する。くぼみ４１０には、ガイド部材２４Ｂ及び２４Ｄがはまる。

[0087] ガイドピン２４Ｄと、ガイドピン２４Ｄと同軸に配置されるガイドピン２４Ｂ（図２５及び図２６ではガイドピン２４Ｂは図示せず）とは、ガイドピン２４ＡがＵ軸、Ｖ軸及びＷ軸上に正確に配置されるための補助ピンとして機能する。以降、ガイドピン２４Ｂ及び２４Ｄを補助ピン２４Ｂ及び２４Ｄと称し、ガイドピン２４Ａを指向ピン２４Ａと称する。

[0088] くぼみ４１０は、指向ピン２４ＡがＵ軸、Ｖ軸及びＷ軸のいずれかに配置されたときに、補助ピン２４Ｂ及び２４Ｄのいずれかが周縁４２Ａと接触する位置に形成される。より具体的には、くぼみ４１０は、指向ピン２４Ａの先端が＋Ｕ軸、－Ｕ軸、＋Ｖ軸、－Ｖ軸、＋Ｗ軸及び－Ｗ軸のいずれかを指向するときに、補助ピン２４Ｂ及び２４Ｄのいずれかが周縁４２Ａと接触す

る位置に形成される。

[0089] 6方向指向装置10Aが動作を開始すると、回転部材18AがX軸周り及び傾斜軸220周りを回転する。たとえば、指向ピン24Aの先端が、+U軸方向を指向したとき、補助ピン24B及び24Dのいずれかが、くぼみ410にはまる。そのため、指向ピン24Aは、正確に+U軸を指向できる。同様に、指向ピン24AがU軸、V軸及びW軸のいずれかの軸上に配置されるとき、補助ピン24B及び24Dのいずれかが、弾性部材520から付与された力により、くぼみ410にはまる。そのため、指向ピン24Aの指向精度は向上する。

[0090] くぼみ410は浅いため、ステッピングモータ14がシャフト221を回転すれば、補助ピン24B及び24Dはくぼみ410から容易に抜け出す。そして、補助ピン24B及び24Dは、周縁42A上を再び周回する。

[0091] 図27に示すように、補助ピン24Dの根元は、ベアリング530に挿入される。ベアリング530は、基板184の側面内部に固定される。要するに、補助ピン24Dは、補助ピン24Dの軸周りに回転可能に回転部材18Aに取り付けられる。6方向指向装置10Aが動作している間、補助ピン24Dは、周縁42Aと接触しながら、周縁42A上を移動する。補助ピン24Dは補助ピン24Dの軸周りに回転するため、補助ピン24Dと周縁42Aとの摩擦を抑えることができる。補助ピン24Bも補助ピン24Dと同様に、その根本がベアリングに挿入されており、補助ピン24Bの軸周りに回転可能に回転部材18Aに取り付けられる。

[0092] 以上、6方向指向装置の外観構成及び動作について説明した。上述の実施の形態では、ガイド部材20の周縁41及び42を軌道をスリットとしたが、軌道は、スリット以外の構成であってもよい。たとえば、軌道スリット203が形成されたガイド部材20の代わりに、スリットが形成されていないガイドの内面のX軸周りに、上述の軌道スリット203と同様のジグザグ形状の溝を設けたものを設置し、その溝を軌道として利用してもよい。このような場合であっても、ガイドピン24Aの先端がその溝（軌道）の周縁に接

触すれば、上述の動作を実現できる。また、軌道スリット 203 の代わりにレールを用い、レール頂上に形成される周縁を軌道としてもよい。つまり、ガイド部材 20 は、ガイドピン 24 が X 軸周りを周回するときに接触する周縁を有すれば、特に限定されない。

[0093] また、上述の実施の形態では、装置正面から見た軌道スリット 203 の形状（つまり、ガイド部材 201 の周縁 41 の形状）は円形であるが、軌道スリット 203 の形状は円形以外の形状であってもよい。たとえば、装置正面から見た軌道スリット 203 の形状が六角形状であってもよいし、X 軸周りに 60 度おきに山状及び谷状に交互に曲折した軌道が形成されれば、他の形状であってもよい。

[0094] 図 25 及び図 26 に示した 6 方向指向装置 10A において、弾性部材は螺旋状のばねに限らず、板バネやゴムを用いてもよい。また、弾性部材をガイド部材 20A 側に配置し、回転部材 18A を弾性部材により引っ張って周縁 42A に押し当ててもよい。要するに、弾性部材は、回転部材に対して前記ガイド部材の方向に力を付与するものであれば特に限定されない。

[0095] また、6 方向指向装置 10A において、指向ピン 24A が U 軸、V 軸及び W 軸のいずれかの軸上に配置されたとき、補助ピン 24B 及び 24D のいずれかが周縁 42A と接触する位置にくぼみ 410 が形成された。しかしながら、くぼみ 410 の位置はこの例に限定されない。たとえば、6 方向指向装置 10A の周縁 42A が、U 軸、V 軸及び W 軸に対応する頂上を有する山部 M02 を有する場合であって、ガイドピン 24A が U 軸、V 軸及び W 軸のいずれかの軸上に配置されたとき、ガイドピン 24A と傾斜軸 220 周りに 180 度離れて配置されたガイドピン 24C と周縁 42A が接触する位置にくぼみが形成されてもよい。また、ガイドピン 24A が U 軸、V 軸及び W 軸のいずれかの軸上に配置されたとき、ガイドピン 24A と周縁 42A とが接触する位置にくぼみが形成されてもよい。要するに、回転部材 18 が、傾斜軸 220 周りに互いに 90 度又は 180 度離れて配置される複数のガイドピン 24A ~ 24D を備える場合、ガイドピン 24A が U 軸、V 軸及び W 軸のい

ずれかを指向するときに、ガイドピン 24 A～24 D のいずれかが周縁 42 A と接触する位置に、くぼみが形成されていれば、上述の効果を奏する。

[0096] [角度 α 及び β について]

[0097] 次に、仰角 α は 30～40 度が好ましく、さらに 35.26 度が最も好ましく、交角 β は 90 度が最も好ましい理由について説明する。

[0098] U, V, W の各軸の先端の位置 i_U, i_V, i_W は、XYZ 直交座標系において次の式 (7) で表される。

[数7]

$$i_U = \begin{bmatrix} \frac{\sin \alpha}{2} \\ -\frac{\sqrt{3} \cos \alpha}{2} \\ -\frac{\cos \alpha}{2} \end{bmatrix}, \quad i_V = \begin{bmatrix} \frac{\sin \alpha}{2} \\ \frac{\sqrt{3} \cos \alpha}{2} \\ -\frac{\cos \alpha}{2} \end{bmatrix}, \quad i_W = \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ 0 \\ \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad (7)$$

[0099] U, V, W 軸の交角 β は、上記の列ベクトル間の内積より次の式 (8) で表される。

[数8]

$$\cos \beta = \sin^2 \alpha - \frac{\cos^2 \alpha}{2} \quad (8)$$

$$\therefore \beta = \cos^{-1} \left(\sin^2 \alpha - \frac{\cos^2 \alpha}{2} \right)$$

[0100] 横軸に仰角 α 、縦軸に交角 β をプロットした結果を図 28 に示す。同図から明らかなように、仰角 α が 0 度のとき交角 β は 120 度となり、仰角 α が 90 度のとき交角 β は 0 度となる。

[0101] ここで、U, V, W 軸周りの自転角速度成分 $\omega_U, \omega_V, \omega_W$ は、式 (7) より、X, Y, Z 軸周りの自転角速度成分を $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$ を用いて次の式 (9) で表される。

[数9]

$$\begin{bmatrix} \omega_U \\ \omega_V \\ \omega_W \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} \sin \alpha & -\frac{\sqrt{3} \cos \alpha}{2} & -\frac{\cos \alpha}{2} \\ \sin \alpha & \frac{\sqrt{3} \cos \alpha}{2} & -\frac{\cos \alpha}{2} \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} |A| &= \frac{\sqrt{3}}{2} \cos^2 \alpha \sin \alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos^2 \alpha \sin \alpha + 0 + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos^2 \alpha \sin \alpha + \frac{\sqrt{3}}{4} \cos^2 \alpha \sin \alpha - 0 \\ &= \frac{3\sqrt{3}}{2} \cos^2 \alpha \sin \alpha \end{aligned}$$

[0102] 式（９）中、 A は $X Y Z$ 直交座標系から $U V W$ 座標系への座標変換行列、 $|A|$ は座標変換行列 A の行列式である。

[0103] 以下、自転角速度 ω を代表的に説明するが、重力加速度 g も同様である。
すなわち、 X 、 Y 、 Z 軸方向の重力加速度成分を g_X 、 g_Y 、 g_Z とすると、 U 、 V 、 W 軸方向の重力加速度成分 g_U 、 g_V 、 g_W は、式（９）と同様に表される。

[0104] $\alpha = 0$ 又は 90 の場合、 $|A| = 0$ となり、行列 A の逆行列は存在しない。
それ以外の場合、行列 A の逆行列 C は次の式（１０）で表される。

[数10]

$$\begin{aligned}
 C \equiv A^{-1} &= \frac{2}{3\sqrt{3}\cos^2\alpha\sin\alpha} \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}\cos^2\alpha}{2} & \frac{\sqrt{3}\cos^2\alpha}{2} & \frac{\sqrt{3}\cos^2\alpha}{2} \\ -\frac{3\cos\alpha\sin\alpha}{2} & \frac{3\cos\alpha\sin\alpha}{2} & 0 \\ -\frac{\sqrt{3}\cos\alpha\sin\alpha}{2} & -\frac{\sqrt{3}\cos\alpha\sin\alpha}{2} & \sqrt{3}\cos\alpha\sin\alpha \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

[0105] 直交座標系から直交座標系への通常の座標変換行列の場合、逆行列は元の行列の転置行列であるが、この場合は通常の座標変換行列と異なり、逆行列Cは行列Aの転置行列ではない。

[0106] 式(9)及び(10)より、X、Y、Z軸周りの自転角速度成分 ω_x 、 ω_y 、 ω_z は、次の式(11)で表される。

[数11]

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_U \\ \omega_V \\ \omega_W \end{bmatrix} \\
 \therefore \omega_x &= \frac{\omega_U + \omega_V + \omega_W}{3\sin\alpha} \\
 \omega_y &= \frac{-\omega_U + \omega_V}{\sqrt{3}\cos\alpha} \\
 \omega_z &= \frac{-\omega_U - \omega_V + 2\omega_W}{3\cos\alpha}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

[0107] 次に、自転角速度センサ26及び重力加速度センサ28の計測誤差について説明する。

[0108] 式（１１）を微分すると、次の式（１２）が得られる。

[数12]

$$\begin{aligned}\delta\omega_x &= \frac{\delta\omega_U + \delta\omega_V + \delta\omega_W}{3\sin\alpha} \\ \delta\omega_y &= \frac{-\delta\omega_U + \delta\omega_V}{\sqrt{3}\cos\alpha} \\ \delta\omega_z &= \frac{-\delta\omega_U - \delta\omega_V + 2\delta\omega_W}{3\cos\alpha}\end{aligned}\quad (12)$$

[0109] 式（１２）の左辺の二乗平均の期待値 $\langle \delta\omega_x^2 \rangle$, $\langle \delta\omega_y^2 \rangle$, $\langle \delta\omega_z^2 \rangle$ は、 $\delta\omega_x$, $\delta\omega_y$, $\delta\omega_z$ が相互に独立であることから、次の式（１３）で表される。

[数13]

$$\begin{aligned}\langle \delta\omega_x^2 \rangle &= \frac{\langle \delta\omega_U^2 \rangle + \langle \delta\omega_V^2 \rangle + \langle \delta\omega_W^2 \rangle}{9\sin^2\alpha} \\ \langle \delta\omega_y^2 \rangle &= \frac{\langle \delta\omega_U^2 \rangle + \langle \delta\omega_V^2 \rangle}{3\cos^2\alpha} \\ \langle \delta\omega_z^2 \rangle &= \frac{\langle \delta\omega_U^2 \rangle + \langle \delta\omega_V^2 \rangle + 4\langle \delta\omega_W^2 \rangle}{9\cos^2\alpha}\end{aligned}\quad (13)$$

[0110] U, V, Wの３軸で誤差が同じ場合、式（１３）において、 $\langle \delta\omega_U^2 \rangle$, $\langle \delta\omega_V^2 \rangle$, $\langle \delta\omega_W^2 \rangle \equiv \langle \delta\omega^2 \rangle$ とおくと、次の式（１４）が得られる。

[数14]

$$\begin{aligned}\langle \delta\omega_x^2 \rangle &= \frac{\langle \delta\omega^2 \rangle}{3\sin^2\alpha} \\ \langle \delta\omega_y^2 \rangle &= \frac{2\langle \delta\omega^2 \rangle}{3\cos^2\alpha} \\ \langle \delta\omega_z^2 \rangle &= \frac{2\langle \delta\omega^2 \rangle}{3\cos^2\alpha}\end{aligned}\quad (14)$$

[0111] さらに、式（１４）を無次元化すると、X, Y, Z軸方向の誤差評価関数 f_1 , f_2 は次の式（１５）で表される。

[数15]

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \sqrt{\frac{\langle \delta \omega_x^2 \rangle}{\langle \delta \omega^2 \rangle}} = \frac{1}{\sqrt{3} \sin \alpha} \\
 f_2 &= \sqrt{\frac{\langle \delta \omega_y^2 \rangle}{\langle \delta \omega^2 \rangle}} = \sqrt{\frac{\langle \delta \omega_z^2 \rangle}{\langle \delta \omega^2 \rangle}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \cos \alpha}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

[0112] 式(15)より、Y軸方向の誤差とZ軸方向の誤差とは同じである。このことは、図4A及び図4Bに示したY軸及びZ軸の対称性からも予想されるところである。

[0113] 横軸に仰角 α 、縦軸に誤差評価関数 f_1 、 f_2 をプロットした結果を図29に示す。同図から明らかなように、 $\alpha=0$ の場合、 $f_1=\infty$ となる。Y軸及びZ軸方向の計測ができないからである。

[0114] $f_1=f_2$ となる仰角 α は、式(15)より、次の式(16)で表される。

[数16]

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\sqrt{3} \sin \alpha} &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \cos \alpha} \\
 \therefore \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} &= \tan \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \\
 \therefore \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 35.26(\text{deg})
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

[0115] 式(16)の関係を図30に示す。同図から次の式(17)が導かれる。

[数17]

$$\begin{aligned}
 \cos \alpha &= \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \\
 \sin \alpha &= \frac{1}{\sqrt{3}}
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

[0116] したがって、この場合における座標変換行列Cは、次の式(18)で表される。

[数18]

$$C = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & \sqrt{\frac{2}{3}} \end{bmatrix} \quad (18)$$

[0117] また、この場合における交角 β は、式(8)より、次の式(19)で表される。

[数19]

$$\beta = \cos^{-1} \left(\sin^2 \alpha - \frac{\cos^2 \alpha}{2} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \right) = \cos^{-1} 0 \quad (19)$$

$$\therefore \beta = 90(\text{deg})$$

[0118] 交角 β が90度であるから、この場合におけるUVW座標系は直交座標系である。

[0119] 次に、仰角 α が35.26度からずれた場合、式(15)の誤差評価関数 f_1 、 f_2 がどの程度ずれるかを次の式(20)で表す。

[数20]

$$\frac{f_2}{f_1} - 1 = \frac{\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3} \cos \alpha}}{\frac{1}{\sqrt{3} \sin \alpha}} - 1 = \sqrt{2} \tan \alpha - 1 \quad (20)$$

[0120] 横軸に仰角 α 、縦軸に式(20)の値をプロットした結果を図31に示す。同図から明らかなように、仰角 α が30～40度の範囲内であれば、U、V、W軸間の差は約20%以内に収まる。

[0121] 次に、方位角誤差への影響を説明する。

[0122] 地球の自転角速度 Ω 及び重力加速度 G は、次の式(21)で表される。

[数21]

$$\Omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2 + \omega_z^2} \quad (21)$$

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

[0123] また、6方向指向装置10の姿勢は、図32に示したオイラー角（方位角 ψ 、ピッチ角 θ 及びロール角 ϕ ）で表される。方位角 ψ は、図32Aに示すように、鉛直方向Down（又はZ軸+方向）を向いて時計回りを正とし、北方向NorthとX軸+方向（又は東方向EastとY軸+方向）のなす角である。ピッチ角 θ は、図32Bに示すように、東方向East（又はY軸+方向）を向いて時計回りを正とし、北方向NorthとX軸+方向（又は鉛直方向DownとZ軸+方向）のなす角である。ロール角 ϕ は、図32Cに示すように、北方向North（又はX軸+方向）を向いて時計回りを正とし、東方向EastとY軸+方向（又は鉛直方向DownとZ軸+方向）のなす角である。

[0124] ロール角 ϕ 、ピッチ角 θ 及び方位角 ψ は、次の式（22）で表される。

[数22]

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{g_y}{g_z} \right)$$

$$\theta = -\sin^{-1} \left(\frac{g_x}{G} \right) \quad (22)$$

$$\psi = -\tan^{-1} \left(\frac{-\omega_y \cos \phi + \omega_z \sin \phi}{\omega_x \cos \theta - \omega_y \sin \phi \sin \theta + \omega_z \cos \phi \sin \theta} \right)$$

[0125] また、6方向指向装置10が設置されている場所の緯度 λ は、次の式（23）で表される。

[数23]

$$\lambda = -\sin^{-1} \left(\frac{\omega_x \sin \theta - \omega_y \sin \phi \cos \theta - \omega_z \cos \phi \cos \theta}{\Omega} \right) \quad (23)$$

[0126] したがって、図 15 に示した情報処理装置 30 はさらに、ロール角算出部、ピッチ角算出部、緯度算出部を備えていてもよい。

[0127] 式 (21) ~ (23) より、方位角 ψ の誤差と自転角速度センサ 26 の計測誤差との関係は、次の式 (24) で表される。

[数24]

$$\langle \delta\psi^2 \rangle = \frac{(\cos\theta \sin\psi)^2 \langle \delta\omega_x^2 \rangle + (\cos\phi \cos\psi + \sin\phi \sin\theta \sin\psi)^2 \langle \delta\omega_y^2 \rangle + (\sin\phi \cos\psi - \cos\phi \sin\theta \sin\psi)^2 \langle \delta\omega_z^2 \rangle}{(\Omega \cos\lambda)^2} \quad (24)$$

[0128] 式 (24) に式 (14) を代入すると、次の式 (25) が得られる。

[数25]

$$\begin{aligned} \langle \delta\psi^2 \rangle &= \frac{\langle \delta\omega^2 \rangle}{(\Omega \cos\lambda)^2} \left[\frac{(\cos\theta \sin\psi)^2}{3 \sin^2 \alpha} + \frac{2(\cos\phi \cos\psi + \sin\phi \sin\theta \sin\psi)^2}{3 \cos^2 \alpha} + \frac{2(\sin\phi \cos\psi - \cos\phi \sin\theta \sin\psi)^2}{3 \cos^2 \alpha} \right] \\ &= \frac{\langle \delta\omega^2 \rangle}{(\Omega \cos\lambda)^2} \left[\frac{\cos^2 \theta \sin^2 \psi}{3 \sin^2 \alpha} + \frac{2(\cos^2 \psi + \sin^2 \theta \sin^2 \psi)}{3 \cos^2 \alpha} \right] \\ \therefore f(\alpha, \theta, \psi) &= \sqrt{\frac{\langle \delta\psi^2 \rangle}{\langle \delta\omega^2 \rangle / (\Omega \cos\lambda)^2}} = \sqrt{\frac{\cos^2 \theta \sin^2 \psi}{3 \sin^2 \alpha} + \frac{2(\cos^2 \psi + \sin^2 \theta \sin^2 \psi)}{3 \cos^2 \alpha}} \quad (25) \end{aligned}$$

[0129] 式 (25) 中の方位角誤差評価関数 f から明らかなように、方位角誤差 $\delta\psi$ は 6 方向指向装置 10 の姿勢（方位角 ψ 及びピッチ角 θ ）に応じて変化する。横軸に仰角 α 、縦軸に方位角誤差評価関数 f をプロットした結果を図 33 及び図 34 に示す。図 33 は $\theta = 0$ の場合を示し、図 34 は $\theta = 45$ の場合を示す。図 33 及び図 34 から明らかなように、仰角 α が $30 \sim 40$ 度の範囲内であれば、誤差は比較的小さくなる。特に $\alpha = 35.26$ の場合、式 (24) より次の式 (26) が得られる。

[数26]

$$\begin{aligned}
\sqrt{\langle \delta \psi^2 \rangle} &\rightarrow \sqrt{\frac{\langle \delta \omega^2 \rangle}{(\Omega \cos \lambda)^2} \left[\frac{\cos^2 \theta \sin^2 \psi}{3 \times \frac{1}{3}} + \frac{2(\cos^2 \psi + \sin^2 \theta \sin^2 \psi)}{3 \times \frac{2}{3}} \right]} \\
&= \sqrt{\frac{\langle \delta \omega^2 \rangle}{(\Omega \cos \lambda)^2} [\cos^2 \theta \sin^2 \psi + (\cos^2 \psi + \sin^2 \theta \sin^2 \psi)]} \\
&= \sqrt{\frac{\langle \delta \omega^2 \rangle}{(\Omega \cos \lambda)^2} [(\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \sin^2 \psi + \cos^2 \psi]} \\
&= \sqrt{\frac{\langle \delta \omega^2 \rangle}{(\Omega \cos \lambda)^2} [\sin^2 \psi + \cos^2 \psi]} \\
&= \frac{\sqrt{\langle \delta \omega^2 \rangle}}{(\Omega \cos \lambda)}
\end{aligned} \tag{26}$$

[0130] 式(26)から明らかなように、この場合の方位角誤差 $\delta\psi$ は、6方向指向装置10の姿勢に影響を受けることなく常に一定となる。

[0131] 以上より、UVW座標系の仰角 α は30～40度の範囲が望ましい。このときの交角 β は図28より約100～80度の範囲である。また、仰角 α は35.26度が最も望ましい。このときの交角 β は90度であり、UVW座標系は直交座標系となる。

[0132] UVW座標系が直交座標系であれば、XYZ座標系との相対的な位置関係に関わらず、計測誤差は同じになるが、以下、この場合の長手方向(X軸方向)のエンベロープについて説明する。

[0133] 仰角を α とすると、U、V、W軸の単位ベクトルの先端位置 i_U 、 i_V 、 i_W は、XYZ座標系において次の式(27)で表される。

[数27]

$$i_U = \begin{bmatrix} \frac{\cos \alpha}{\sqrt{2}} \\ 1 \\ -\frac{\sin \alpha}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \quad i_V = \begin{bmatrix} \frac{\cos \alpha}{\sqrt{2}} \\ 1 \\ \frac{\sin \alpha}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}, \quad i_W = \begin{bmatrix} \sin \alpha \\ 0 \\ \cos \alpha \end{bmatrix} \tag{27}$$

[0134] 図35A及び図35Bに示すように、X軸方向のエンベロープをLとし、ベクトルの回転半径をRとすると、それらの比L/Rは、U、V、Wの各軸の正負で6方向を考慮すると、次の式(28)で表される。

[数28]

$$\frac{L}{R} = 2 \times \max\left(\frac{\cos \alpha}{\sqrt{2}}, \sin \alpha\right) \quad (28)$$

[0135] 横軸に仰角 α 、縦軸に式(28)のL/Rをプロットした結果を図36に示す。同図から明らかなように、 $\alpha = 0$ の場合、W軸はYZ平面内にあつてZ軸に一致する。 $\alpha = 90$ の場合、W軸はYZ平面に垂直でX軸に一致し、U、W軸はYZ平面内にある。

[0136] L/Rが最小となるのは、式(28)及び図36より、次の式(29)のとおり $\alpha = 35.26$ のときである。

[数29]

$$\begin{aligned} \frac{\cos \alpha}{\sqrt{2}} &= \sin \alpha \\ \therefore \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} &= \tan \alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \therefore \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 35.26(\text{deg}) \end{aligned} \quad (29)$$

[0137] また、このとき、U、V、W軸の単位ベクトルの先端位置 i_U 、 i_V 、 i_W は、式(27)より、次の式(30)で表される。これらは、式(18)の第1列、第2列及び第3列に相当する。

[数30]

$$i_U = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} \end{bmatrix}, \quad i_V = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{6}} \end{bmatrix}, \quad i_W = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \quad (30)$$

- [0138] 以上、本実施の形態によれば、シャフト 221、回転部材 18 及びガイド部材 20 の相互作用により、1 つの駆動源（本例ではステッピングモータ 14）を用いてシャフト 221 を回転すれば、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 を UVW 座標系の全ての軸方向（±U 方向、±V 方向、±W 方向：合計 6 方向）に指向させることができる。さらに、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 が ±35.26 度しか揺動されないので、回転角度が小さく、回転のために大きな空間を必要としない。その結果、小型化することができる。
- [0139] また、UVW 座標系が直交座標系で、仰角 α が 35.26 度であれば、XYZ 直交座標系における自転角速度成分 ω_x 、 ω_y 及び ω_z の計測誤差が互いに同じなり、かつ、XYZ 直交座標系における重力加速度成分 g_x 、 g_y 及び g_z の計測誤差が互いに同じになる。また、方位角 ψ の計測誤差が 6 方向指向装置 10 の姿勢に依存することなく小さくなる。また、6 方向指向装置 10 を任意の姿勢で設置すればよいので、水平面等の基準を全く必要とせず、容易に方位を計測することができる。
- [0140] また、方位角 ψ だけでなく、6 方向指向装置 10 を設置した場所の緯度も正確に計測することができる。さらに、方位角だけでなく、ロール角 ϕ 及びピッチ角 θ も算出することにより、設置した 6 方向指向装置 10 の姿勢も計測することができる。
- [0141] また、UVW 軸のいずれにおいても、+ 及び - の両方向で計測した自転角速度（ ω_u 、 ω_v 、 ω_w ）及び重力加速度（ g_u 、 g_v 、 g_w ）を平均しているため、6 方向指向装置 10 に特有のバイアスが相殺され、計測誤差を小さくすることができる。
- [0142] 上述の実施の形態では、6 方向指向装置は、U 軸、V 軸及び W 軸において、それぞれ自転各速度成分及び重力加速度成分をサンプリングした。しかしながら、6 方向指向装置は、U 軸、V 軸及び W 軸のいずれか 2 軸のみでサンプリングしてもよいし、いずれか 1 軸のみでサンプリングしてもよい。
- [0143] また、図 16 では、各ステップ S1～S6 において、6 方向指向装置 10

は、シャフト 221 を装置正面から（つまり、 $-X$ 方向に）見て反時計回りに回転したが、時計回りに回転してもよい。

[0144] 上述の実施の形態では、6 方向指向装置は自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 を備え、方位計測装置として機能した。しかしながら、6 方向指向装置は、方位計測装置以外の他の用途にも利用可能である。

[0145] たとえば、自転角速度センサ 26 及び重力加速度センサ 28 に代えて、ガイドピン 24A 方向を映す CCD カメラを回転部材 18 上に設置すれば、6 方向を撮影可能な監視カメラとして 6 方向指向装置を利用できる。また、6 方向指向装置を受信アンテナに利用することもできる。要するに、本発明による 6 方向指向装置は、センサやカメラ、アンテナ等回転部材上に設置するデバイスを 6 方向に指向する必要性のある全ての用途に利用可能である。

[0146] また、地上で擬似的な無重力状態を生成する装置として、従来から、2 軸周りの回転により重力方向を常に変化させて無重力に近い状態を実現する 2 軸のジンバル機構が用いられているが、2 軸のジンバル機構に代えて、本発明による 6 方向指向装置を疑似無重力状態生成装置として用いることもできる。

[0147] 以上、本発明の実施の形態を説明したが、上述した実施の形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。よって、本発明は上述した実施の形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施の形態を適宜変形して実施することが可能である。

請求の範囲

[請求項1]

X Y Z 直交座標系内に設置された 6 方向指向装置であって、
X 軸方向に延びたシャフトと、前記シャフトに対して傾斜した傾斜軸周りを回転可能であり前記シャフトと連結された回転部材とを含む傾斜クランク機構と、
前記シャフトを X 軸周りに回転する駆動源と、
前記傾斜クランク機構の X 軸周りに配置され、X 軸周りの 60 度おきに山状及び谷状に交互に曲折したジグザグ状の周縁を有するガイド部材とを備え、
前記回転部材は、
前記回転部材の傾斜軸周りに配置され、前記周縁と接触し、前記シャフトの回転により前記周縁上を周回し、X 軸周りの 60 度おきに、互いに交わる U 軸、V 軸及び W 軸の + 及び - 方向のいずれかを指向するガイドピンを備えることを特徴とする 6 方向指向装置。

[請求項2]

請求項 1 に記載の 6 方向指向装置であって、
前記ガイド部材は、
前記 X 軸周りに配置される周壁を備え、
前記周縁は、前記周壁の端であって、X 軸周りの 60 度おきに交互に配置された山部及び谷部を有することを特徴とする 6 方向指向装置。

[請求項3]

請求項 1 に記載の 6 方向指向装置であって、
前記ガイド部材は、前記回転部材を挟んで前記駆動源と反対側に配置され、
前記 6 方向指向装置はさらに、
前記回転部材に対して前記ガイド部材の方向に力を付与する弾性部材を備えることを特徴とする、6 方向指向装置。

[請求項4]

請求項 3 に記載の 6 方向指向装置はさらに、
互いに傾斜軸周りに 90 度又は 180 度離れて配置される複数の前

記ガイドピンを備え、

前記周縁はさらに、

前記ガイドピンが前記U軸、V軸及びW軸のいずれかを指向するときに前記複数のガイドピンのいずれかが前記周縁と接触する位置に、くぼみを有することを特徴とする、6方向指向装置。

[請求項5]

請求項1に記載の6方向指向装置であって、

前記傾斜軸は、前記シャフトに対して α 度 ($\alpha = 30 \sim 40$) 傾斜し、

前記U軸、V軸及びW軸は、互いに β 度 ($\beta = 80 \sim 100$) で交わることを特徴とする6方向指向装置。

[請求項6]

請求項5に記載の6方向指向装置であってさらに、

前記回転部材に配設され、U軸、V軸及びW軸周りの自転角速度成分 ω_U 、 ω_V 及び ω_W を検出する自転角速度センサと、

前記回転部材に配設され、U軸、V軸及びW軸方向の重力加速度成分 g_U 、 g_V 及び g_W を検出する重力加速度センサと、

前記回転軸の回転により前記ガイドピンが前記軌道上を周回してU軸、V軸、W軸の+及び-方向を指向したときに前記自転角速度センサにより検出された自転角速度成分 ω_U 、 ω_V 及び ω_W と、前記重力加速度センサにより検出された重力加速度成分 g_U 、 g_V 及び g_W とを計測する計測手段と、

前記計測された自転角速度成分 ω_U 、 ω_V 及び ω_W を自転角速度成分 ω_X 、 ω_Y 及び ω_Z に座標変換する自転角速度座標変換手段と、

前記計測された重力加速度成分 g_U 、 g_V 及び g_W を重力加速度成分 g_X 、 g_Y 及び g_Z に座標変換する重力加速度座標変換手段と、

得られた自転角速度成分 ω_X 、 ω_Y 及び ω_Z 及び重力加速度成分 g_X 、 g_Y 及び g_Z とに基づいて、方位角 ψ を算出する方位角算出手段とを備えることを特徴とする6方向指向装置。

[請求項7]

請求項6に記載の6方向指向装置であってさらに、

前記自動角速度座標変換手段は、前記自転角速度成分 ω_U 、 ω_V 及び ω_W を次式（１）により前記自転角速度成分 ω_X 、 ω_Y 及び ω_Z に座標変換し、

[数1]

$$\begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_U \\ \omega_V \\ \omega_W \end{bmatrix} \quad (1)$$

前記重力加速度座標変換手段は、前記重力加速度成分 g_U 、 g_V 及び g_W を次式（２）により前記重力加速度成分 g_X 、 g_Y 及び g_Z に座標変換し、

[数2]

$$\begin{bmatrix} g_X \\ g_Y \\ g_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} & \frac{1}{3\sin\alpha} \\ -\frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & \frac{1}{\sqrt{3}\cos\alpha} & 0 \\ -\frac{1}{3\cos\alpha} & -\frac{1}{3\cos\alpha} & \frac{2}{3\cos\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_U \\ g_V \\ g_W \end{bmatrix} \quad (2)$$

前記方位角算出手段は、前記自転角速度成分 ω_X 、 ω_Y 及び ω_Z と前記重力加速度成分 g_X 、 g_Y 及び g_Z とに基づいて、次式（３）により方位角 ψ を算出することを特徴とする６方向指向装置。

[数3]

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{-\omega_y \cos \phi + \omega_z \sin \phi}{\omega_x \cos \theta - \omega_y \sin \phi \sin \theta + \omega_z \cos \phi \sin \theta} \right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{g_y}{g_z} \right)$$

$$\theta = -\sin^{-1} \left(\frac{g_x}{G} \right) \quad (3)$$

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

[請求項8]

請求項7に記載の6方向指向装置であって、

 $\alpha = 35.26$ 、 $\beta = 90$ であることを特徴とする6方向指向装置

。

[請求項9]

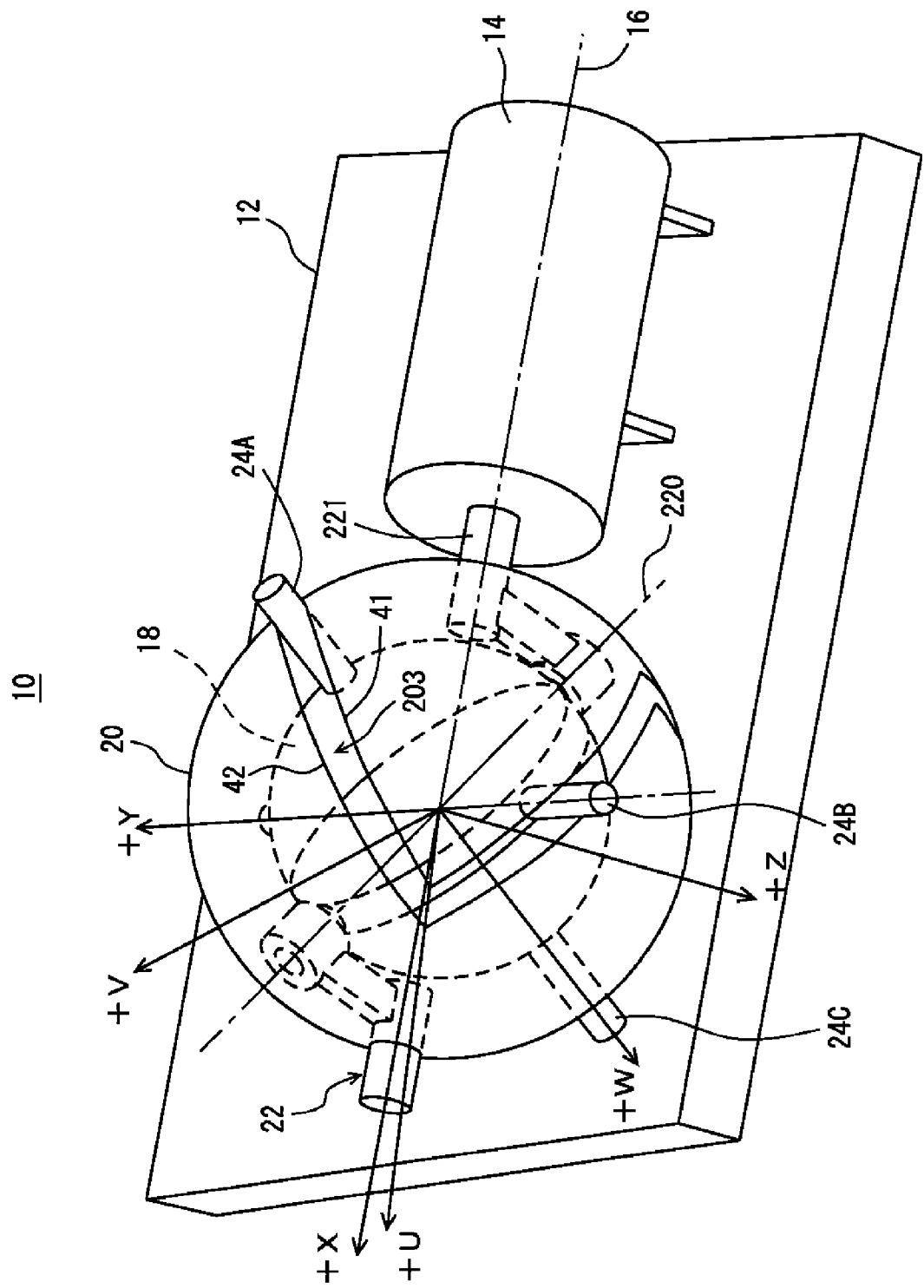
請求項1に記載の6方向指向装置であってさらに、

少なくとも2本の前記ガイドピンを備え、

各ガイドピンは前記傾斜軸まわりに180度離間して同一直線上に配設されることを特徴とする6方向指向装置。

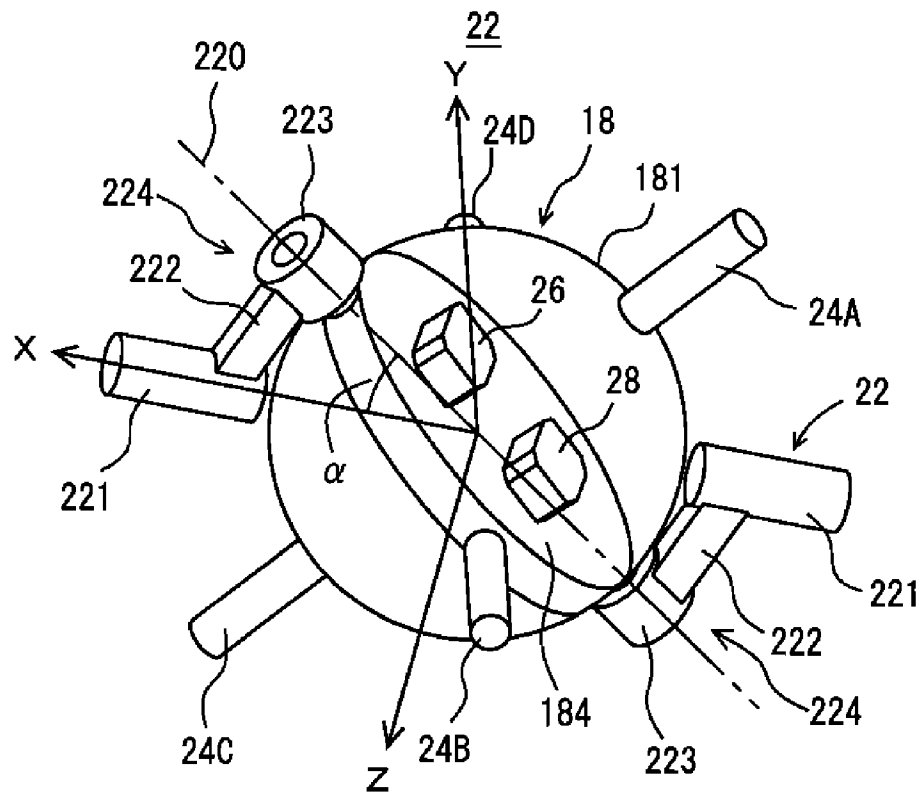
[図1]

FIG. 1



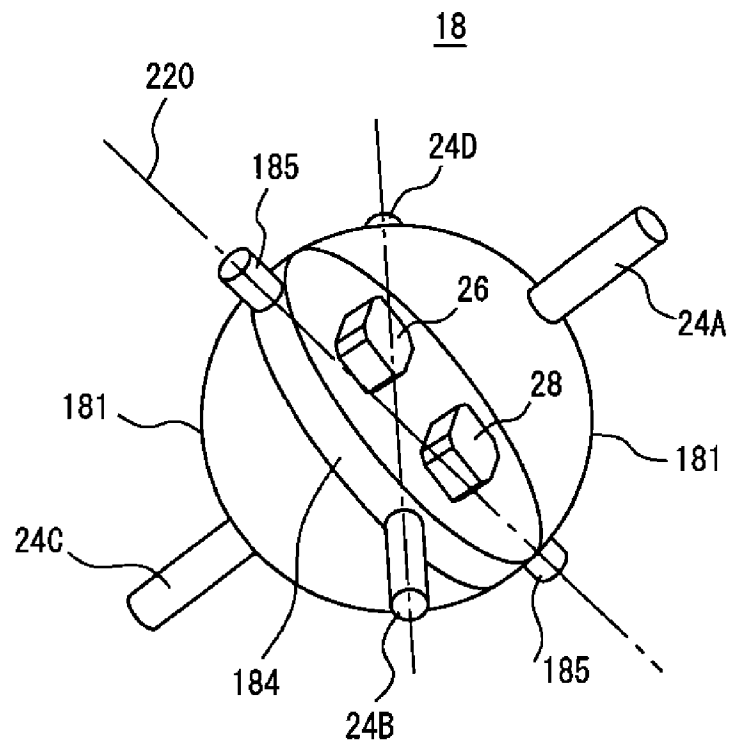
[図2]

FIG. 2



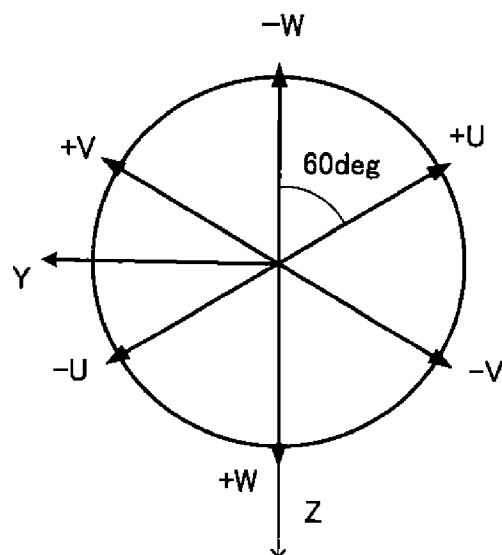
[図3]

FIG. 3



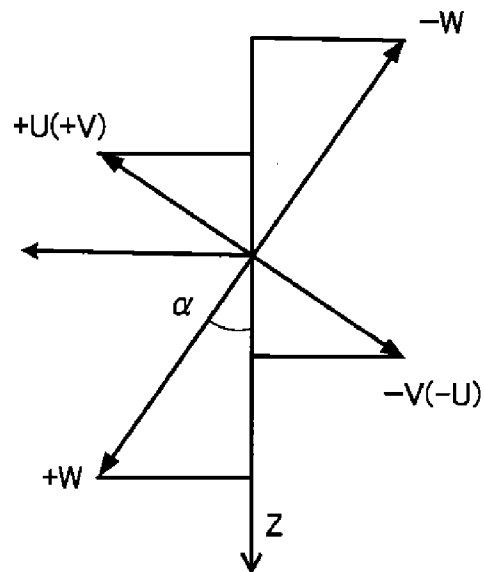
[図4A]

FIG.4A



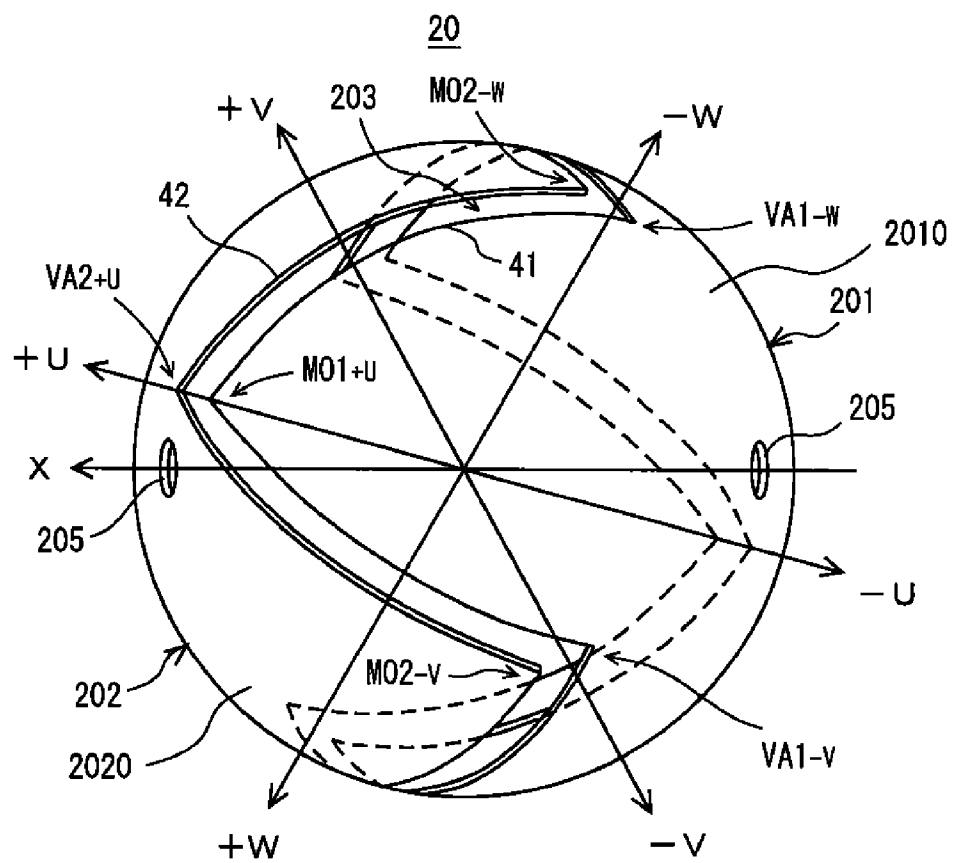
[図4B]

FIG.4B



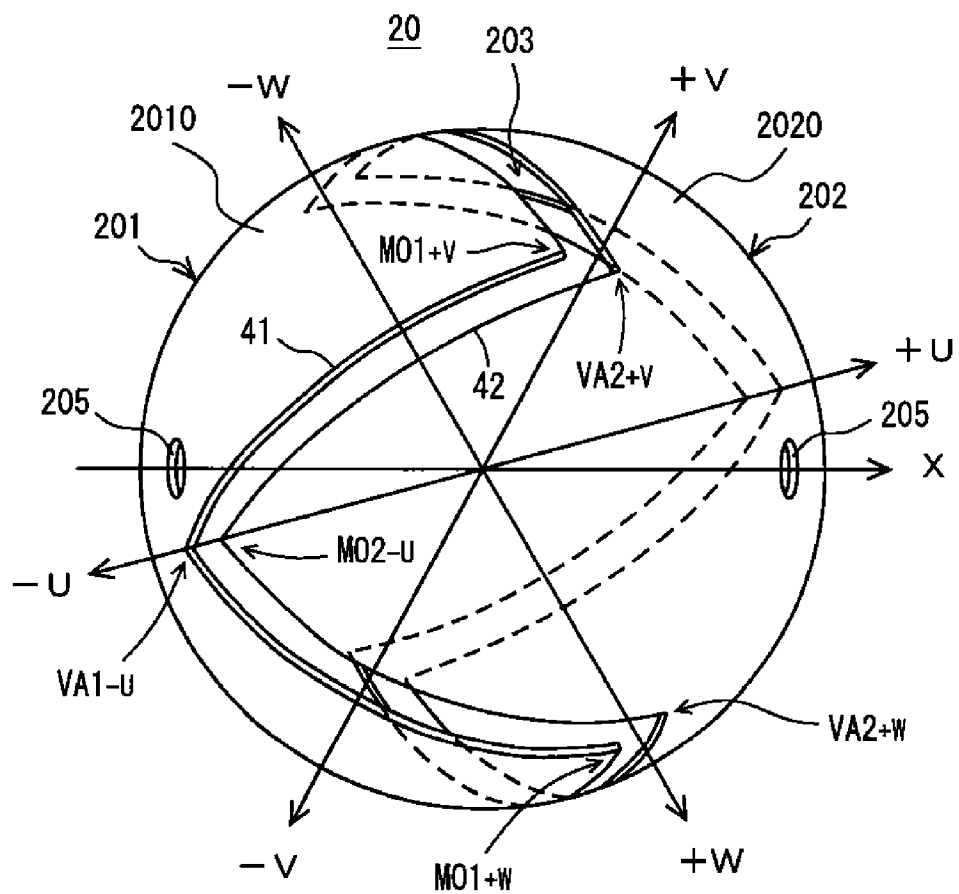
[図5]

FIG. 5



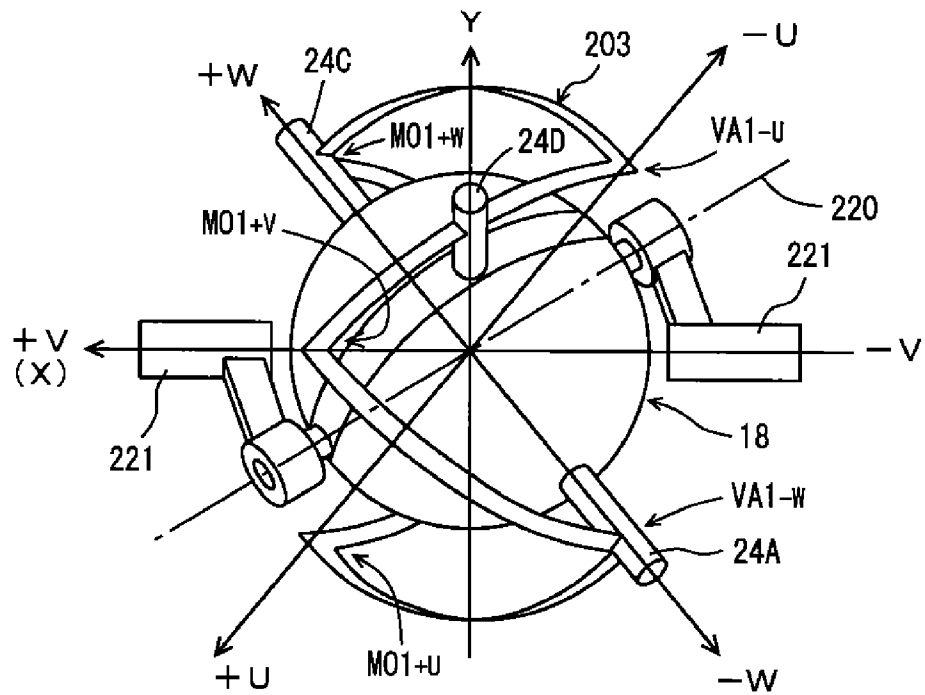
[図6]

FIG. 6



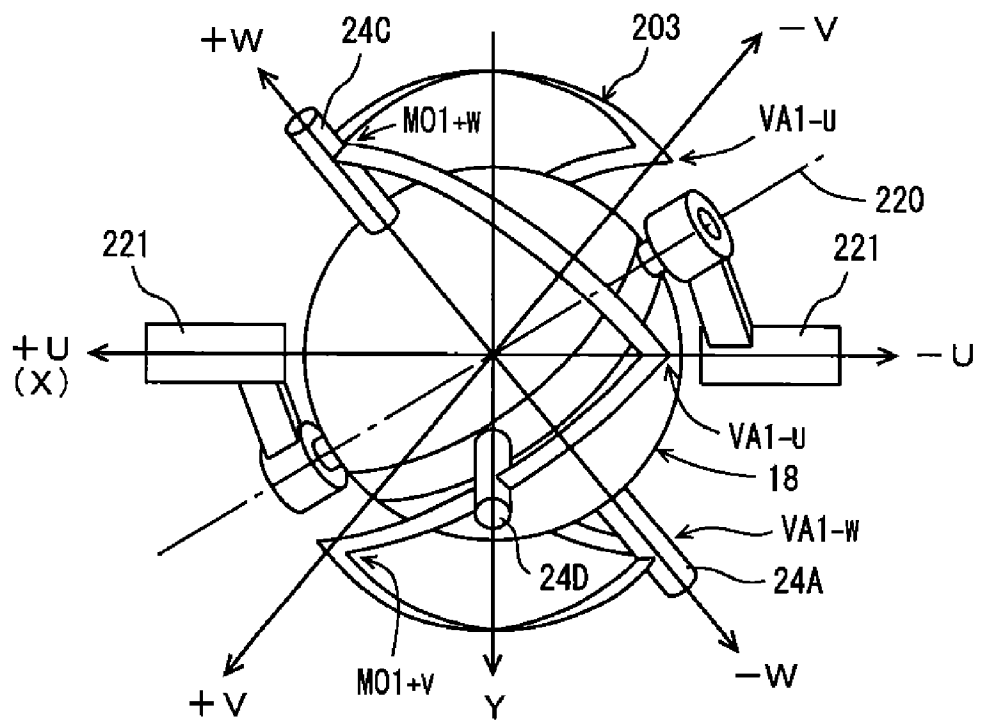
[図10]

FIG. 10



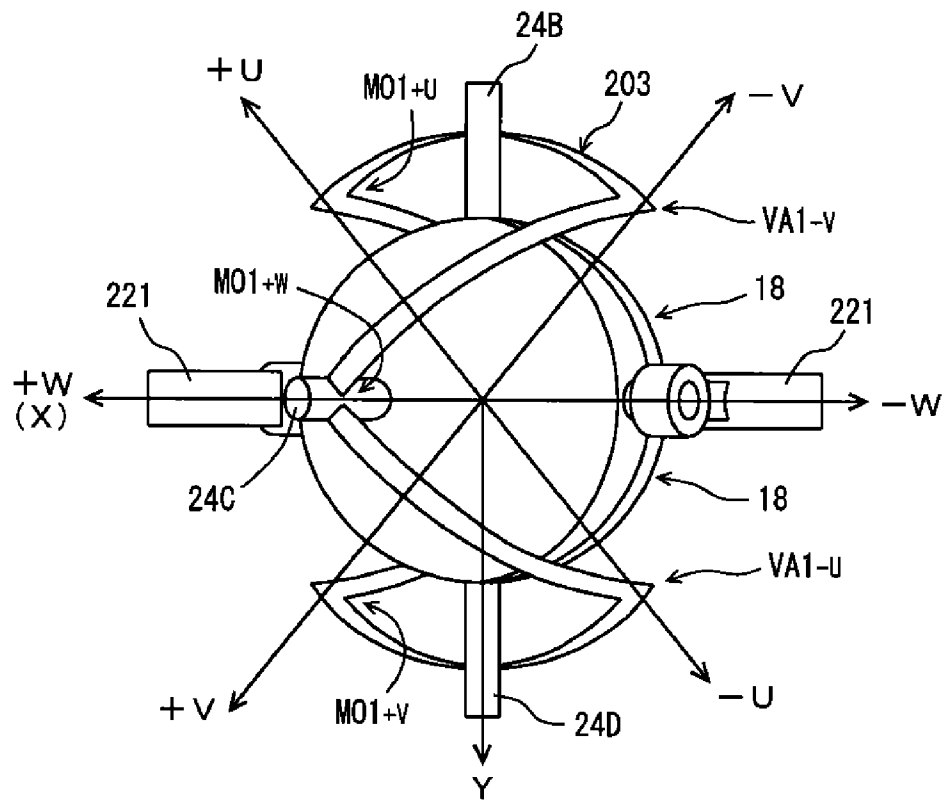
[図11]

FIG. 11



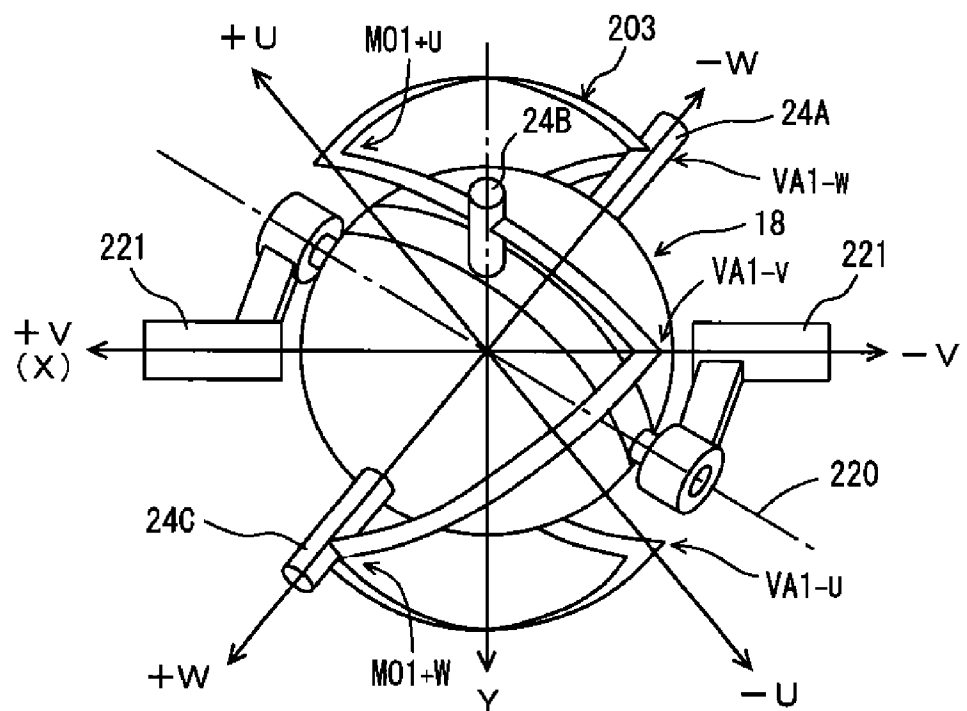
[図12]

FIG. 12



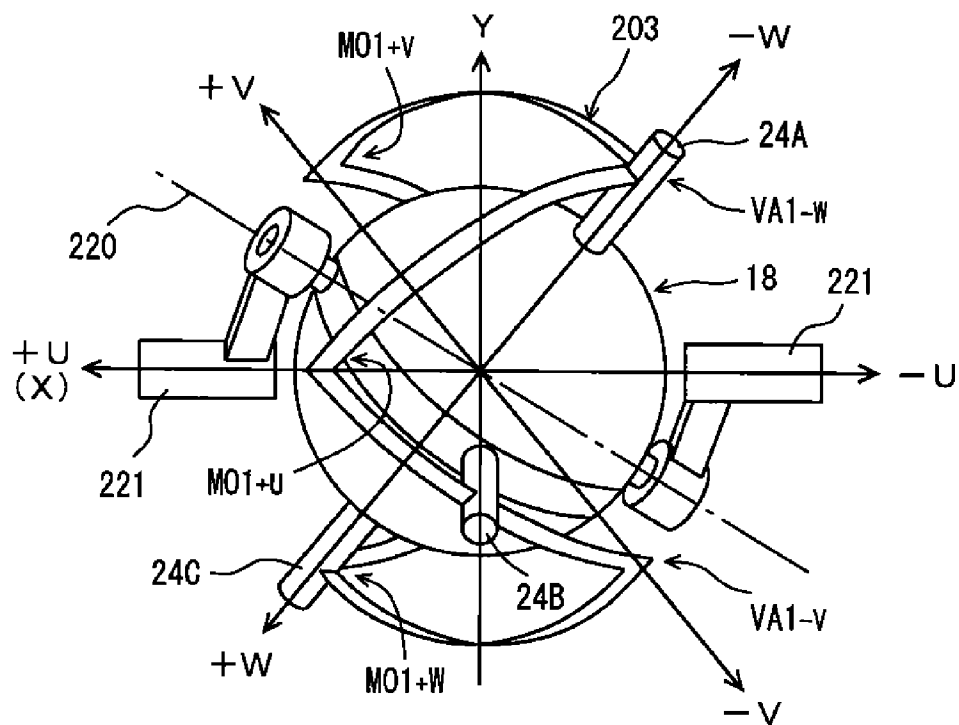
[図13]

FIG. 13



[図14]

FIG. 14



[図15]

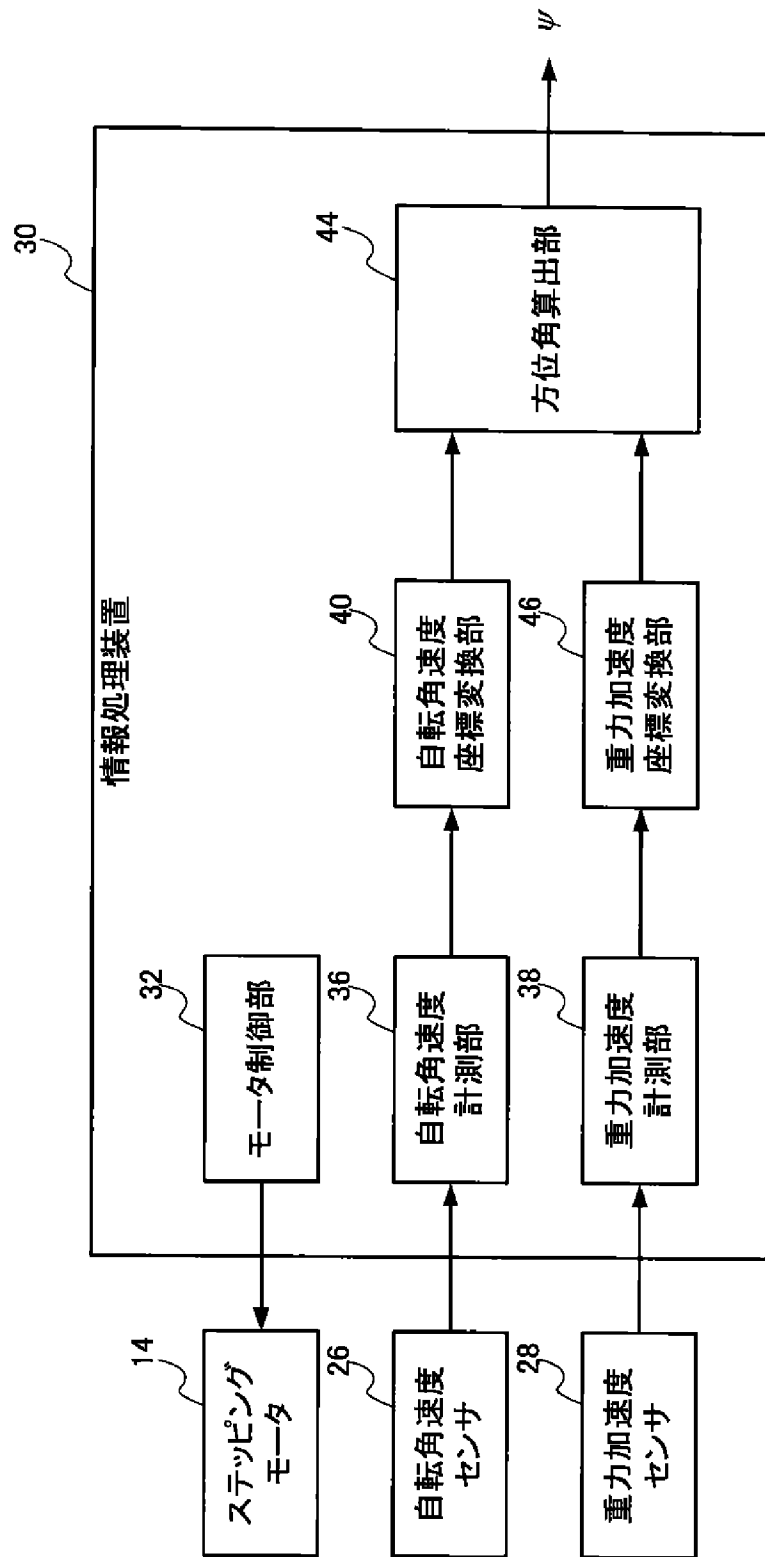
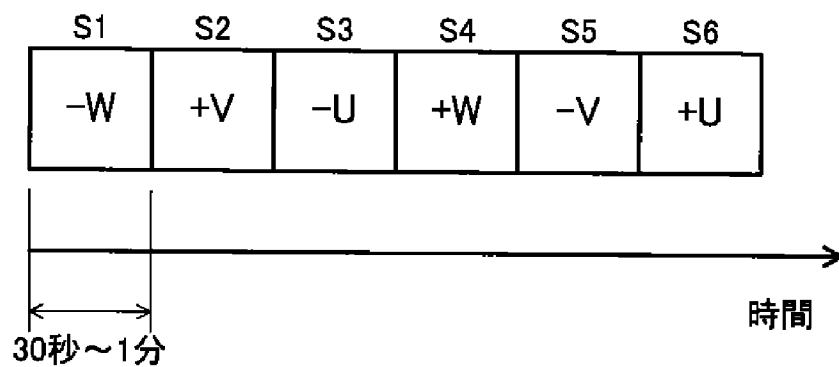


FIG.15

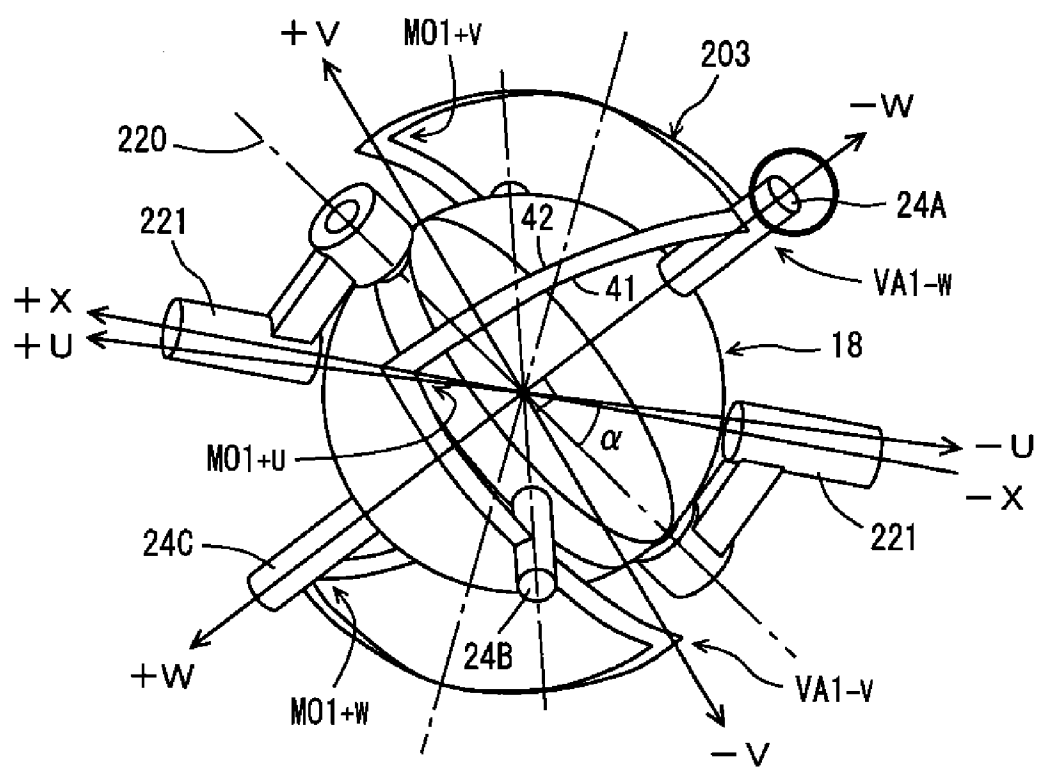
[図16]

FIG.16



[図17]

FIG. 17



[図22]

FIG. 22

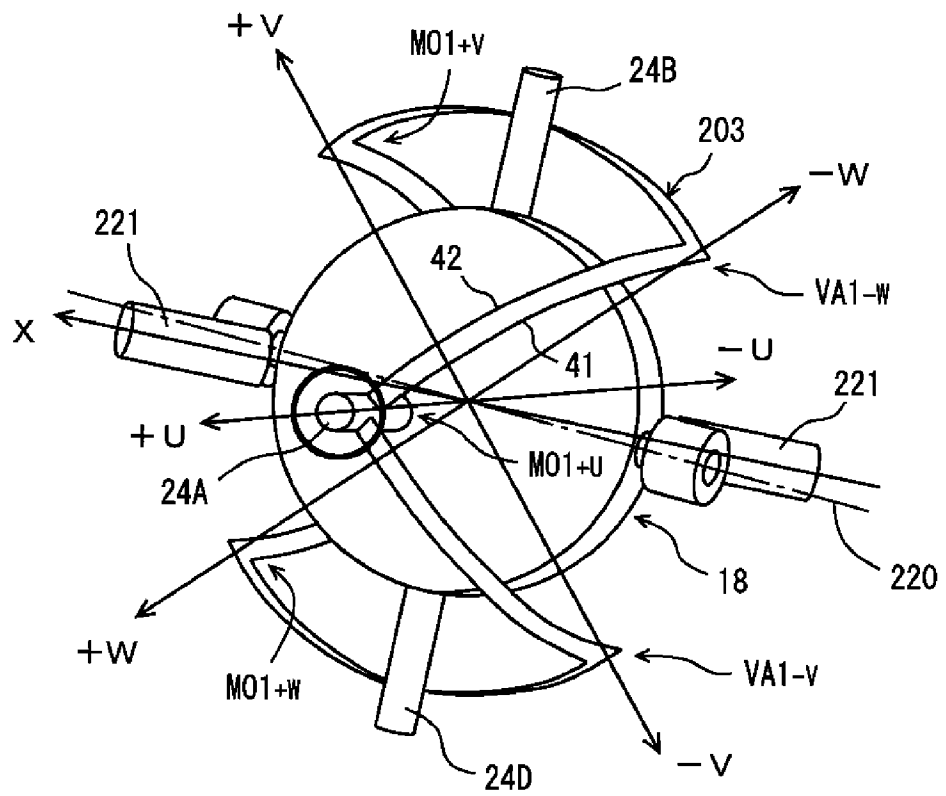
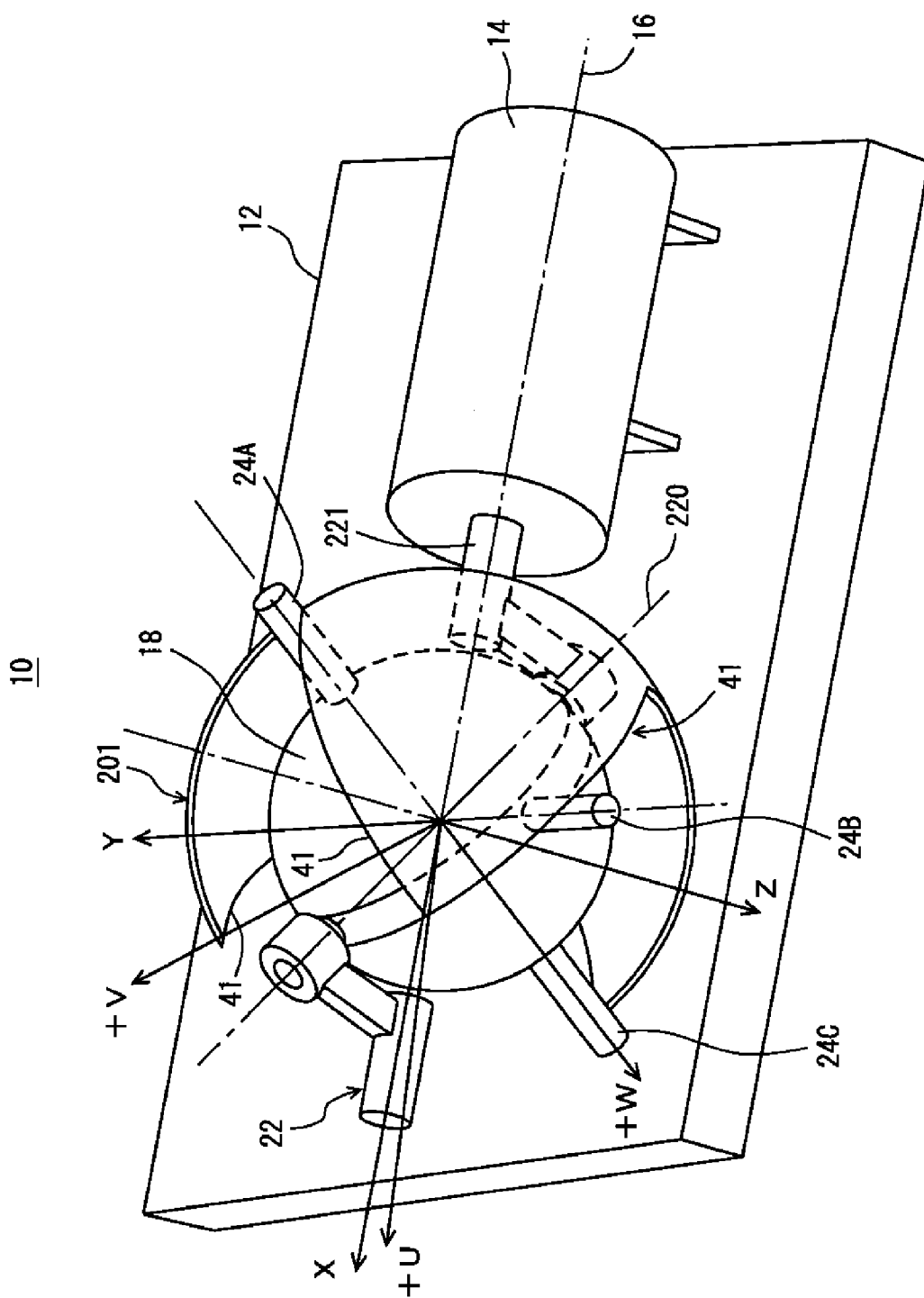
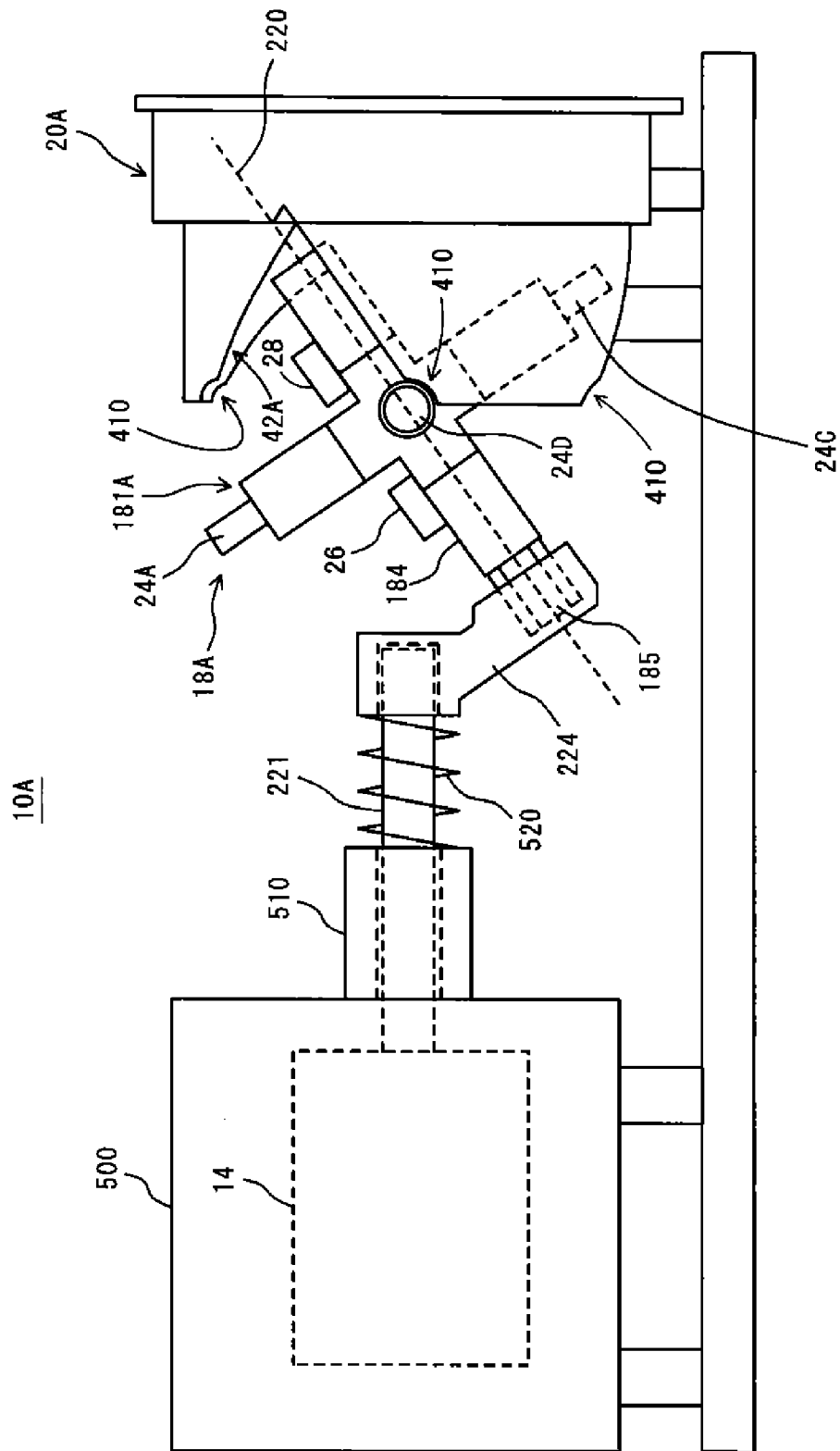


FIG. 23



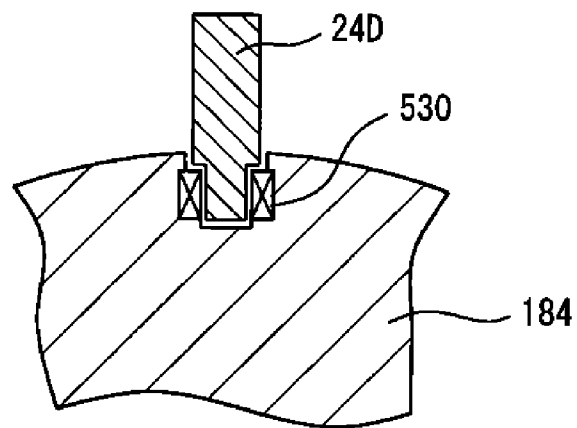
[図26]

FIG. 26



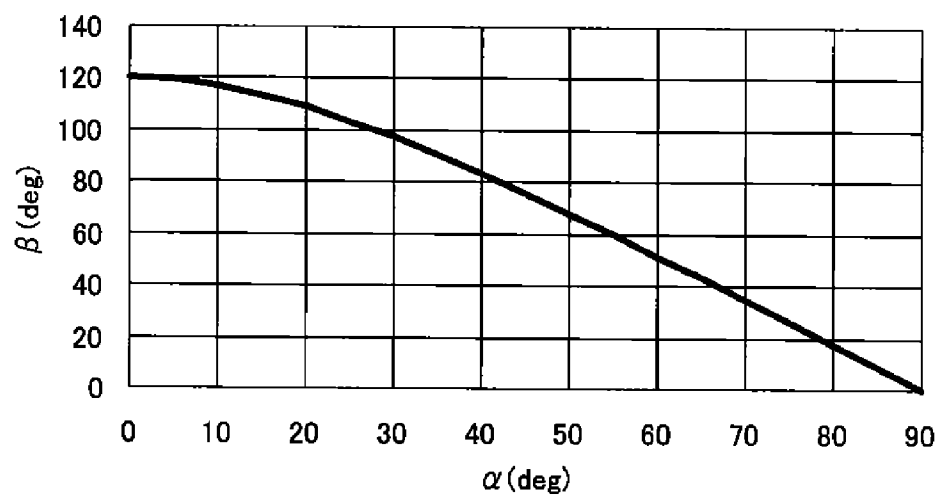
[図27]

FIG. 27



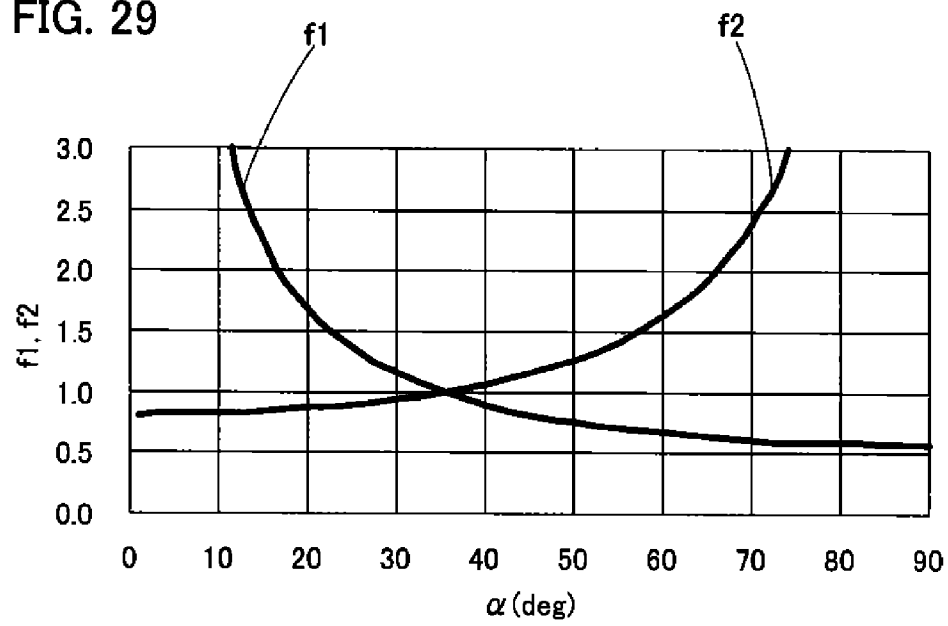
[図28]

FIG. 28



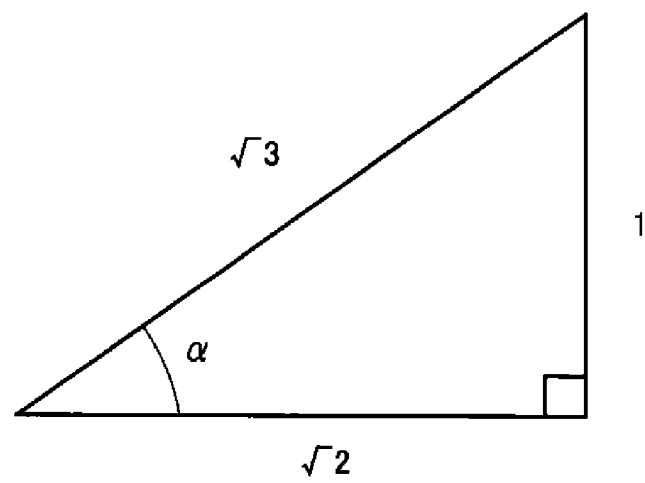
[図29]

FIG. 29



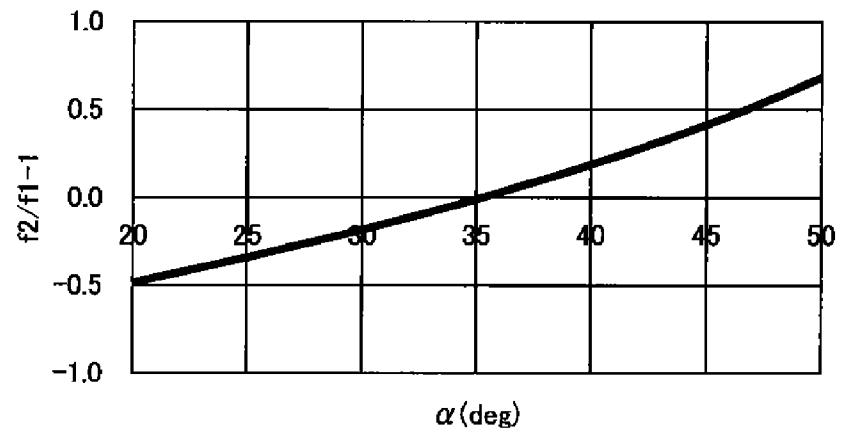
[図30]

FIG. 30



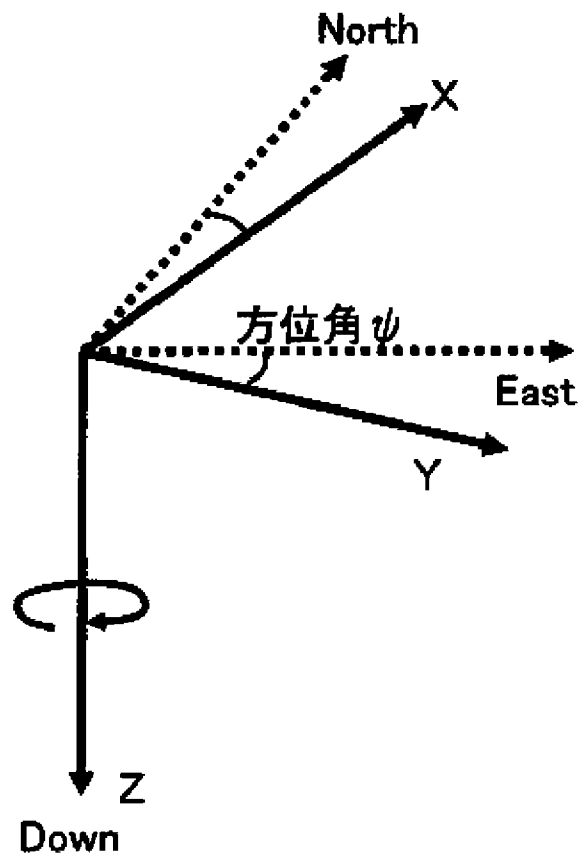
[図31]

FIG. 31



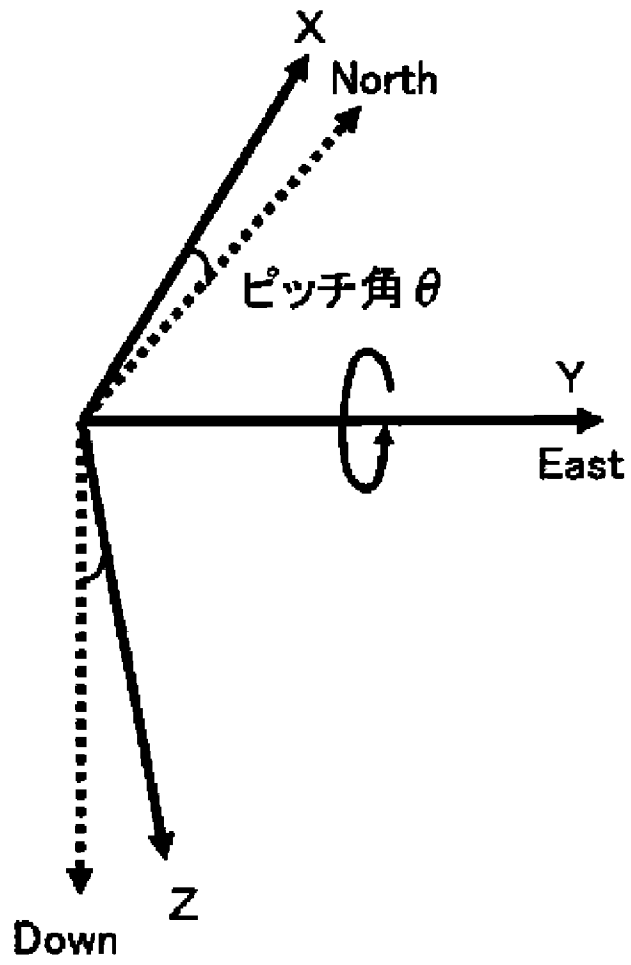
[図32A]

FIG.32A



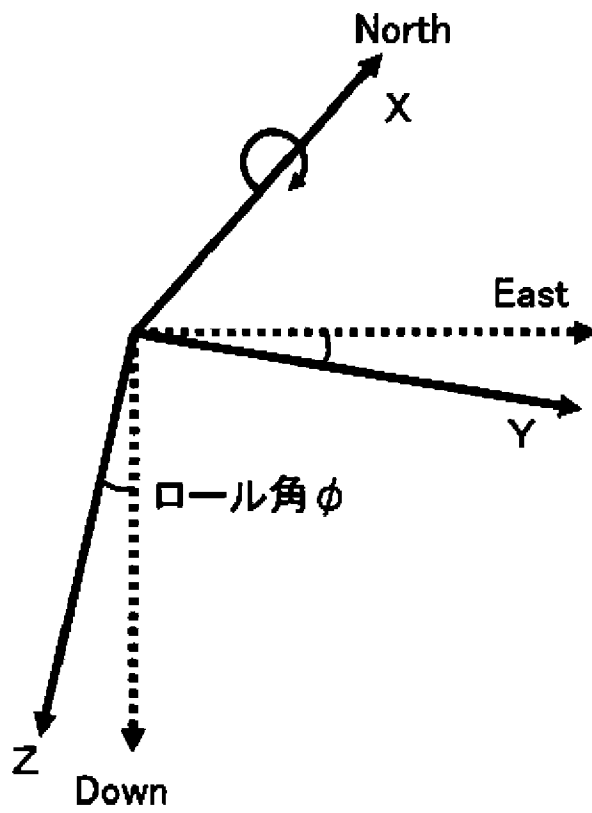
[図32B]

FIG.32B



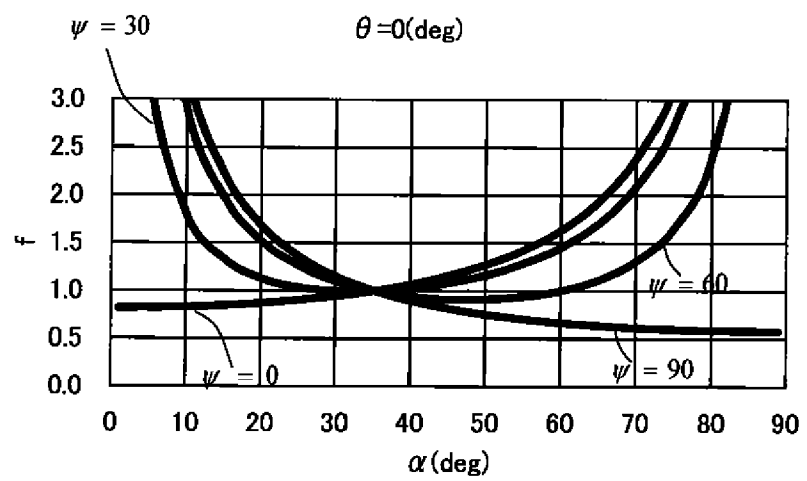
[図32C]

FIG.32C



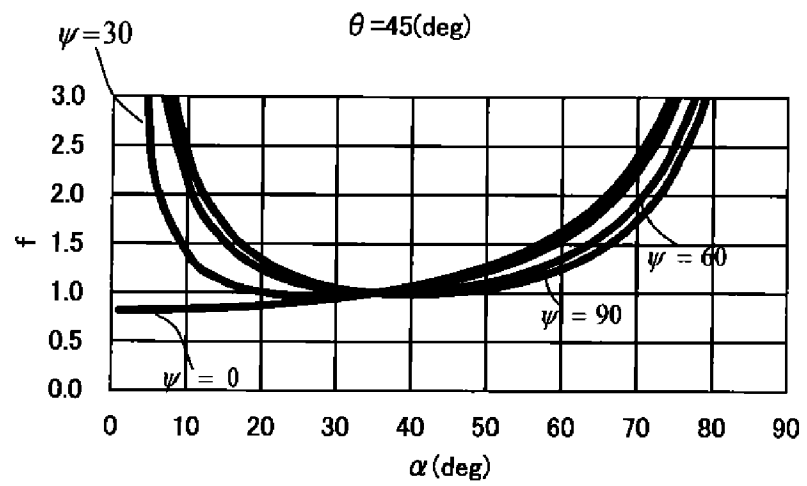
[図33]

FIG.33



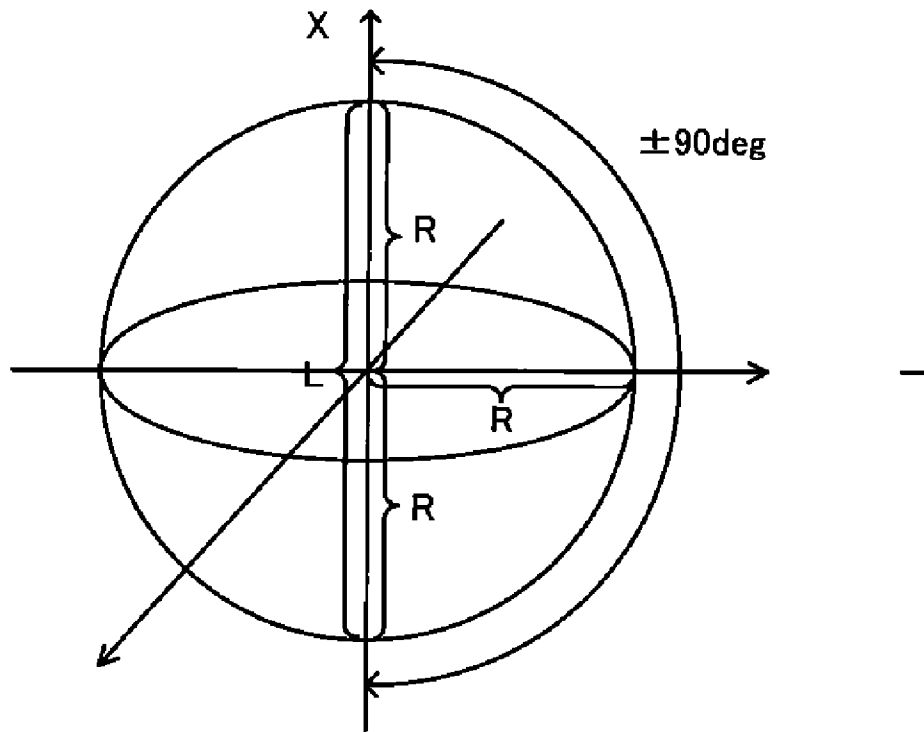
[図34]

FIG.34



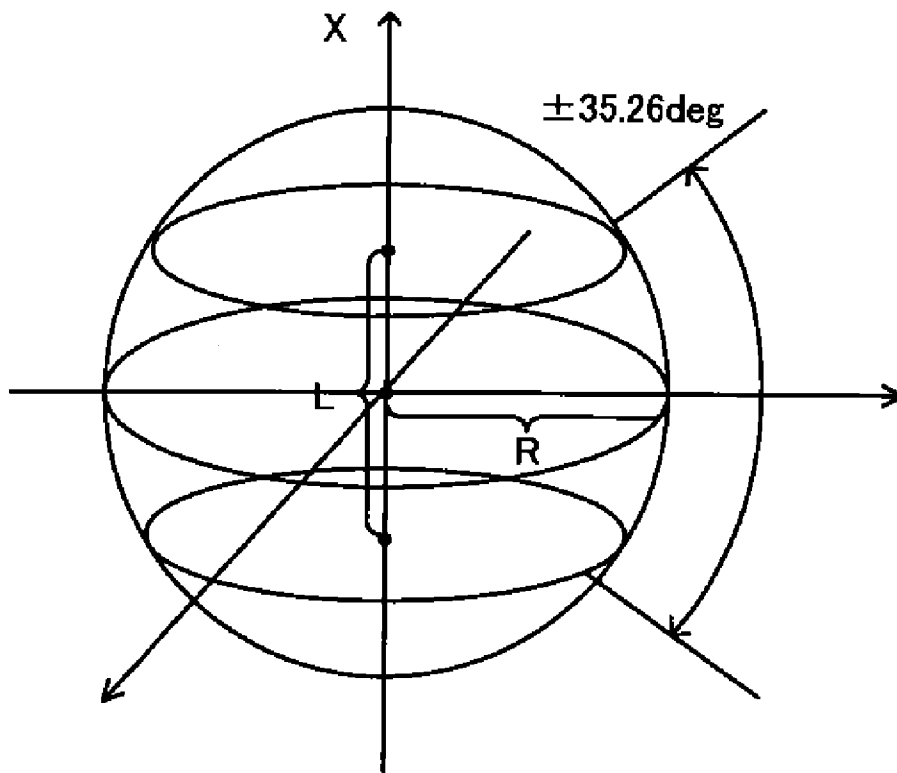
[図35A]

FIG. 35A



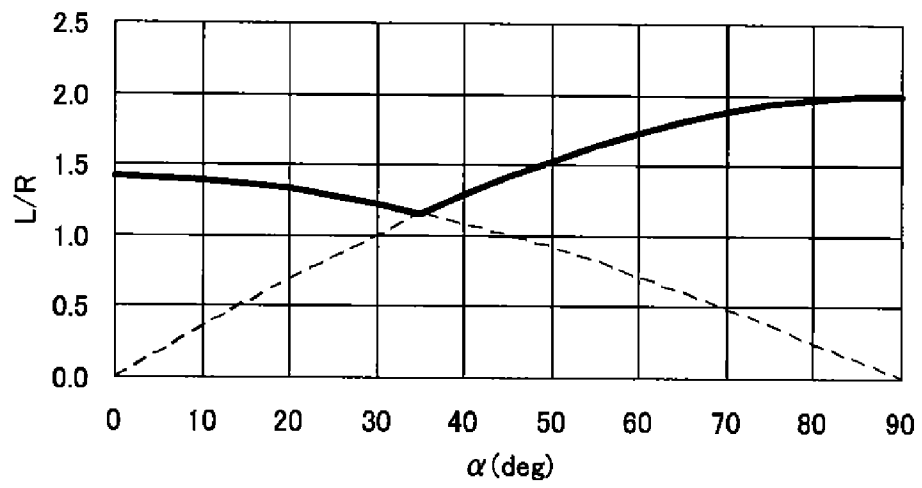
[図35B]

FIG. 35B



[図36]

FIG. 36



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/005448

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C19/38(2006.01) i, G01C19/00(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)

G01C19/38, G01C19/00, F16H21/48, F16H21/52

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 1996-2009

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

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.
A	JP 2008-215956 A (Sumitomo Precision Products Co., Ltd.), 18 September 2008 (18.09.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 2000-121364 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 28 April 2000 (28.04.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	JP 9-138128 A (Tokimec Inc.), 27 May 1997 (27.05.1997), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

☒ 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
13 November, 2009 (13.11.09)Date of mailing of the international search report
24 November, 2009 (24.11.09)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/005448

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 63-205512 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 25 August 1988 (25.08.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01C19/38(2006.01)i, G01C19/00(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. G01C19/38, G01C19/00, F16H21/48, F16H21/52

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 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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
A	JP 2008-215956 A(住友精密工業株式会社) 2008.09.18, 全文全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2000-121364 A(日本航空電子工業株式会社) 2000.04.28, 全文全図 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 9-138128 A(株式会社トキメック) 1997.05.27, 全文全図 (ファミリーなし)	1-9

☒ 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

1 3 . 1 1 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 4 . 1 1 . 2 0 0 9

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 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

谷口 智利

2 S

3 4 0 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

C (続き) . 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
A	JP 63-205512 A(住友電気工業株式会社) 1988. 08. 25, 全文全図 (ファミリーなし)	1-9