

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-106910

(P2006-106910A)

(43) 公開日 平成18年4月20日(2006.4.20)

(51) Int. Cl.	F 1			テーマコード (参考)	
G05D 3/00 (2006.01)	G05D 3/00	L	5H303		
G05D 3/12 (2006.01)	G05D 3/00	A			
	G05D 3/12	306Z			

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号	特願2004-289445 (P2004-289445)	(71) 出願人	000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号
(22) 出願日	平成16年9月30日(2004.9.30)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
		(74) 代理人	100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
		(74) 代理人	100100929 弁理士 川又 澄雄
		(74) 代理人	100108707 弁理士 中村 友之
		(74) 代理人	100095500 弁理士 伊藤 正和
		(74) 代理人	100101247 弁理士 高橋 俊一

最終頁に続く

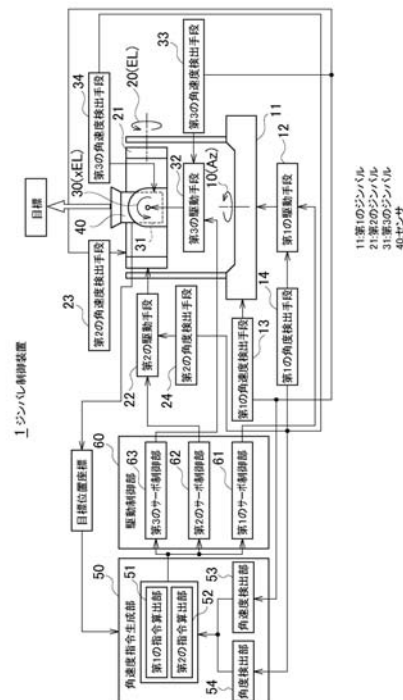
(54) 【発明の名称】 ジンバル装置

(57) 【要約】

【課題】 実現可能なジンバル可動範囲を越えることなく、ジンバルロックを避け、全天にわたり連続的な追尾制御を安定して実現することができるジンバル装置を提供する。

【解決手段】 ジンバル装置1は、天頂からEL軸20の回転方向と直交する方向に目標が移動する場合、角速度が過大にならないように、Az軸10とxEL軸30との動作を配分しながら追尾動作を行う。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 のジンバル軸を中心に回転する第 1 のジンバルと、
 前記第 1 のジンバル軸に直交する第 2 のジンバル軸を中心に回転し、前記第 1 のジンバルに支持された第 2 のジンバルと、
 前記第 1 のジンバル軸と同一直交点において前記第 2 のジンバル軸に直交する第 3 のジンバル軸を中心に回転し、前記第 2 のジンバルに支持された第 3 のジンバルと、
 前記第 3 のジンバルに支持され、目標の位置データを出力する目標位置認識手段と、
 前記第 1 のジンバルを回転駆動する第 1 の駆動手段と、
 前記第 2 のジンバルを回転駆動する第 2 の駆動手段と、
 前記第 3 のジンバルを回転駆動する第 3 の駆動手段と、
 前記第 1 のジンバル軸を中心に回転する前記第 1 のジンバルの角速度を検出する第 1 の角速度検出手段と、
 前記第 2 のジンバル軸を中心に回転する前記第 2 のジンバルの角速度を検出する第 2 の角速度検出手段と、
 前記第 3 のジンバル軸を中心に回転する前記第 3 のジンバルの角速度を検出する第 3 の角速度検出手段と、
 前記第 1 のジンバルの前記第 2 のジンバルに対する回転角度を検出する第 1 の角度検出手段と、
 前記第 2 のジンバルの前記第 3 のジンバルに対する回転角度を検出する第 2 の角度検出手段と、
 前記第 3 のジンバルのジンバル固定部に対する回転角度を検出する第 3 の角度検出手段と、
 前記目標位置認識手段から出力される位置データ、前記第 1 乃至第 3 の角速度検出手段のそれぞれにより検出した角速度データ及び前記第 1 乃至第 3 の角度検出手段のそれぞれにより検出した角度データに基づき、目標の追尾において、前記第 1 から第 3 のジンバルの角速度から生成する角速度ベクトルの大きさを最小にする第 1 の角速度指標値を算出する第 1 の角速度指令算出部と、
 前記位置データ、前記角速度データ及び前記角度データに基づき、前記第 3 のジンバルを可動範囲の中央に位置させ、前記第 2 のジンバルの姿勢を天頂方向から遠ざける第 2 の角速度指標値を算出する第 2 の角速度指令算出部と、
 前記第 1 の角速度指令算出部により算出された第 1 の角速度指標値及び第 2 の角速度指令算出部により算出された第 2 の角速度指標値に基づき、前記第 1 乃至第 3 のジンバルのそれぞれの角速度指令値を生成する角速度指令生成部と、
 前記角度指令生成部により生成された角速度指令値に基づき、前記第 1 乃至第 3 の駆動手段に対して個別にサーボ制御を行う駆動制御部と、
 を備えたことを特徴とするジンバル装置。

10

20

30

40

【請求項 2】

前記目標位置認識手段はエリアセンサであり、このエリアセンサの視軸は前記第 3 のジンバル軸に直交することを特徴とする請求項 1 に記載のジンバル装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ジンバル装置に関し、特に地上に設置され若しくは車両、船舶、航空機等に搭載され、任意の位置に存在する目標を追跡するジンバル装置に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、保安監視や交通情報支援に使用される工業用テレビカメラを備えた追跡装置においては、図 15 に示すように、垂直軸（アジマス（Az）軸）と仰軸（エレベーション

50

(EL)軸)の2つのジンバル軸を設定することにより、空間の任意の方向に存在する目標を指向することができる。ジンバル装置においては、全天にわたり、目標の動きに対して遅れなくカメラの視軸の制御を行い、目標を連続的に追跡することが要求されている。

【0003】

ところが、2軸構造を有するジンバル装置には、図16に示すように、天頂101の方向においてジンバルの角速度が制御不能になるジンバルロックと呼ばれる現象が存在する。天頂101の方向はEL角が90度になる方向である。

【0004】

図17に示すように、2軸構造を有するジンバル装置110は、Az軸を中心軸として回転する第1のジンバル111と、EL軸を中心軸として回転する第2のジンバル112と、第2のジンバル112に取り付けられたカメラ113とを備えている。このジンバル装置110においては、EL軸を中心軸として水平から垂直に向かってカメラ113が90度回転上昇すると、カメラ113の視軸は、図101に示す天頂101の方向と一致する。このカメラ113の視軸と天頂101の方向とが一致した状態において、追跡中の目標100が天頂101からEL軸に沿う矢印A方向に向かって移動した場合、カメラ113はEL軸に沿って動くことができない。従って、カメラ113の視軸は目標100を追跡することができない。

10

【0005】

そこで、ジンバル装置110は、Az軸を中心軸として第1のジンバル111を90度回転させることにより、矢印A方向に向かってカメラ113の視軸を移動する制御を行う。しかしながら、第1のジンバル111の回転にはその回転を行うモータの駆動能力の範囲において一定の移動時間が必要であり、目標100の動きに遅れなく追従することは原理的に不可能である。また、目標100が完全な天頂101の位置、すなわちEL角が90度ではなく天頂101の近傍に存在する場合にも、同様の理由により、ジンバル装置110においては、追尾制御が不安定になったり、或いは追尾制御が不能に陥る可能性がある。

20

【0006】

下記特許文献1には、このような技術的課題を解決することができる、3軸構造を有するジンバル装置が開示されている。このジンバル装置は、Az軸及びEL軸にこのEL軸に直交するクロスエレベーション軸(xEL軸)を更に備えている。また、このジンバル装置は、天頂領域を定義し、この天頂領域とそれ以外の領域とのそれぞれにおいて制御方法の切り替えを行っている。すなわち、低仰角域においては2軸制御を行い、高仰角域においては3軸制御を行う制御方法が採用されている。

30

【特許文献1】特開平11-308604号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、前述の特許文献1に開示されたジンバル装置においては、以下の点について配慮がなされていなかった。

【0008】

(1)天頂領域の定義の仕方、つまり2軸制御と3軸制御との切り替え位置の決め方によって、ジンバル装置の制御性能は次のような影響を受ける。まず、目標が切り替え位置(境界領域)を通過するとき、軸駆動のオン、オフに伴う加減速が発生し、ジンバル装置の追尾性能が悪くなる。更に、目標が切り替え位置を頻繁に遷移する場合、制御方法の切り替えが頻繁に発生し、ジンバル装置の追尾制御が不安定になる。

40

【0009】

(2)3軸制御の一手法として、Az軸の角速度指令を誤差角 [ターゲット角度 - 現在のAz角度] x ゲインKpにより与え、Az軸が目標方向を向くように動かす制御方法が提案されている。ところが、誤差角 の大きさやゲインKpの与え方によってAz角速度指令の大きさが変わるので、適切なAz角速度となるように制御系を調整することが

50

難しい。

【0010】

(3) 更に、実際のジンバル装置においては、 xEL 軸は EL 軸上に設置されているので、この xEL 軸を中心軸として回転するジンバルの可動範囲は、 EL 軸を中心軸として回転するジンバルに制約され狭くなる。すなわち、実際には xEL 軸上の可動範囲が考慮されておらず、可動範囲限界において、 xEL 角の制御が他の2軸の制御となり不連続になるので、ジンバル装置は良好な追尾を行うことができない。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、天頂領域かそれ以外の領域かに関係なく、ジンバルの駆動制御を連続して行い、追尾性能を向上することができるとともに、可動範囲限界における追尾性能を向上することができるジンバル装置を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明の実施の形態に係るジンバル装置は、第1のジンバル軸を中心に回転する第1のジンバルと、第1のジンバル軸に直交する第2のジンバル軸を中心に回転し、第1のジンバルに支持された第2のジンバルと、第1のジンバル軸と同一直交点において第2のジンバル軸に直交する第3のジンバル軸を中心に回転し、第2のジンバルに支持された第3のジンバルと、第3のジンバルに支持され、目標の位置データを出力する目標位置認識手段と、第1のジンバルを回転駆動する第1の駆動手段と、第2のジンバルを回転駆動する第2の駆動手段と、第3のジンバルを回転駆動する第3の駆動手段と、第1のジンバル軸を中心に回転する第1のジンバルの角速度を検出する第1の角速度検出手段と、第2のジンバル軸を中心に回転する第2のジンバルの角速度を検出する第2の角速度検出手段と、第3のジンバル軸を中心に回転する第3のジンバルの角速度を検出する第3の角速度検出手段と、第1のジンバルの第2のジンバルに対する回転角度を検出する第1の角度検出手段と、第2のジンバルの第3のジンバルに対する回転角度を検出する第2の角度検出手段と、第3のジンバルのジンバル固定部に対する回転角度を検出する第3の角度検出手段と、目標認識手段から出力される位置データ、第1乃至第3の角速度検出手段のそれぞれにより検出した角速度データ及び第1乃至第3の角度検出手段のそれぞれにより検出した角度データに基づき、目標の追尾において、第1乃至第3のジンバルのそれぞれの角速度ベクトルの大きさを最小にする第1の角速度指標値を算出する第1の角速度指令算出部と、位置データ、角速度データ及び角度データに基づき、第3のジンバルを可動範囲の中央に位置させ、第2のジンバルの姿勢を天頂方向から遠ざける第2の角速度指標値を算出する第2の角速度指令算出部と、第1の角速度指令算出部により算出された第1の角速度指標値及び第2の角速度指令算出部により算出された第2の角速度指標値に基づき、第1乃至第3のジンバルのそれぞれの角速度指令値を生成する角速度指令生成部と、角度指令生成部により生成された角速度指令値に基づき、第1乃至第3の駆動手段に対して個別にサーボ制御を行う駆動制御部とを備えている。

20

30

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、天頂領域かそれ以外の領域かに関係なく、ジンバルの駆動制御を安定かつ連続して行い、追尾性能を向上するジンバル装置を提供することを可能とする。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

以下、本発明の実施の形態に係るジンバル装置を、図面を参照しながら説明する。

【0015】

[ジンバル装置の構造]

図1に示すように、ジンバル装置1は、第1のジンバル軸10を中心に回転する第1のジンバル11と、第1のジンバル軸10に直交する第2のジンバル軸20を中心に回転し、第1のジンバル11に支持された第2のジンバル21と、第1のジンバル軸10と同一

50

直交点において第2のジンバル軸20に直交する第3のジンバル軸30を中心に回転し、第2のジンバル21に支持された第3のジンバル31と、第3のジンバル31に支持され、目標の位置データを出力する目標位置認識手段と、第1のジンバル11を回転駆動する第1の駆動手段12と、第2のジンバル21を回転駆動する第2の駆動手段22と、第3のジンバル31を回転駆動する第3の駆動手段32と、第1のジンバル軸10を中心に回転する第1のジンバル11の角速度を検出する第1の角速度検出手段13と、第2のジンバル軸20を中心に回転する第2のジンバル21の角速度を検出する第2の角速度検出手段23と、第3のジンバル軸30を中心に回転する第3のジンバル31の角速度を検出する第3の角速度検出手段33と、第1のジンバル11の第2のジンバル21に対する回転角度を検出する第1の角度検出手段14と、第2のジンバル21の第3のジンバル31に対する回転角度を検出する第2の角度検出手段24と、第3のジンバル31のジンバル固定部に対する回転角度を検出する第3の角度検出手段24と、目標位置認識手段から出力される位置データ、第1乃至第3の角速度検出手段13、23、33のそれぞれにより検出した角速度データ及び第1乃至第3の角度検出手段14、24、34のそれぞれにより検出した角度データに基づき、目標の追尾において、第1から第3のジンバル11、21、31の角速度が生成された角速度ベクトルの大きさを最小にする第1の角速度指標値を算出する第1の角速度指令算出部51と、位置データ、角速度データ及び角度データに基づき、第3のジンバル31を可動範囲の中央に位置させ、第2のジンバル21の姿勢を天頂方向から遠ざける第2の角速度指標値を算出する第2の角速度指令算出部52と、第1の角速度指令算出部51により算出された第1の角速度指標値及び第2の角速度指令算出部52により算出された第2の角速度指標値に基づき、第1乃至第3のジンバル11、21、31のそれぞれの角速度指令値を生成する角速度指令生成部50と、角度指令生成部50により生成された角速度指令値に基づき、第1乃至第3の駆動手段12、22、32に対して個別にサーボ制御を行う駆動制御部60とを備えている。

【0016】

図2に示すように、第1のジンバル軸10はアジマス軸（以下、単に「Az軸」という。）、第2のジンバル軸20はエレベーション軸（以下、単に「EL軸」という。）、第3のジンバル軸30はクロスエレベーション軸（以下、単に「xEL軸」という。）である。ジンバル装置1は、これらのAz軸10、EL軸20及びxEL軸30が一点において直交する3軸構造を備えた3軸回転装置である。

【0017】

第1のジンバル11は、地上に設置される、又は車両、船舶若しくは航空機等に搭載される座面側になる。実施の形態において、第1のジンバル11は、Az軸10を中心として回転する円盤であり、この円盤上のAz軸10を中心として対向する位置には第2のジンバル21を支持する支持部11A及び11Bが配設されている。第2のジンバル21は、一端が支持部11Aに、他端が支持部11Bに回転自在に支持され、凹型部材により構成されている。第3のジンバル31は、第2のジンバル21の凹型部材の中央部分に回転自在に支持され、第2のジンバル21に比べて一回り小さい凹型部材により構成されている。

【0018】

この第3のジンバル31に目標位置認識手段が搭載されている（図4及び図5参照）。実施の形態において、目標位置認識手段はセンサ40（以下、目標位置認識手段はセンサ40として説明する。）により構成されている。センサ40には工業用テレビカメラ、詳細には保安監視、交通情報支援等の分野において追尾装置を構築する赤外線カメラを実用的に使用している。CCDカメラ、CMOSセンサカメラ等のエリアセンサも利用することができる。センサ40は、目標に向かう視軸がxEL軸30と直交するように、第3のジンバル31に配設される。

【0019】

図3には、Az軸10、EL軸20及びxEL軸30の関係と、Az軸10の座標系及びセンサ40の座標系（赤外線カメラの座標系）の関係とを示す。Az軸10の三次元座

標は X_0 、 Y_0 及び Z_0 において定義することができ、センサ 40 の三次元座標は X_C 、 Y_C 及び Z_C において定義することができる。

【0020】

図 4 及び図 5 には、ジンバル装置 1 の 3 軸ジンバル装置部分の具体的な構造を示す。図 4 に示すジンバル装置 1 は、センサ 40 の視軸 r を正面に向けた状態にある。第 1 のジンバル 11、第 2 のジンバル 21、第 3 のジンバル 31 及びセンサ 40 は、天頂方向（図 4 中、上側）を半球とする円柱形状の外装ケース 2 で覆われている。外装ケース 2 は、第 1 のジンバル 11 の支持部 11A、11B のそれぞれを覆う部分に不透明な外装領域 2A を備え、この外装領域 2A 間の円柱の対向する側面と天頂領域とに透明な可視領域 2B とを備えている。可視領域 2B はセンサ 40 の可視範囲になる。図 5 に示すジンバル装置 1 は、センサ 40 の視軸 r を天頂に向けた状態にある。

10

【0021】

前述の図 1 に示す第 1 の駆動手段 12 には第 1 の実施の形態において電動モータが使用され、この電動モータの回転軸は A_z 軸 10 に相当し第 1 のジンバル 11 に連結されている。第 1 の角度検出手段 14 には電動モータの回転角度を検出するエンコーダを使用することができる。第 1 の角速度検出手段 13 には、第 1 のジンバル 11 に配設されたジャイロセンサを使用することができる。

【0022】

同様に、第 2 の駆動手段 22 には電動モータが使用され、この電動モータの回転軸は E_L 軸 20 に相当し第 2 のジンバル 21 に連結されている。第 2 の角度検出手段 24 にはエンコーダを、第 2 の角速度検出手段 23 にはジャイロセンサを使用することができる。第 3 の駆動手段 32 には電動モータが使用され、この電動モータの回転軸は x_{EL} 軸 30 に相当し第 3 のジンバル 31 に連結されている。第 3 の角度検出手段 34 にはエンコーダを、第 3 の角速度検出手段 33 にはジャイロセンサを使用することができる。

20

【0023】

駆動制御部 60 は、第 1 の駆動手段 12 の回転制御を行う第 1 のサーボ制御部 61 と、第 2 の駆動手段 22 の回転制御を行う第 2 のサーボ制御部 62 と、第 3 の駆動手段 32 の回転制御を行う第 3 のサーボ制御部 63 とを備えている。第 1 のサーボ制御部 61、第 2 のサーボ制御部 62、第 3 のサーボ制御部 63 のそれぞれは角速度指令生成部 50 から出力される角速度指令に基づき動作するようになっている。

30

【0024】

[ジンバル装置の制御方法]

次に、前述のジンバル装置 1 の制御方法を説明する。

【0025】

ジンバル装置 1 において、追尾目標はセンサ 40 のセンサ座標系の原点（中心点） O にくるように捕捉追尾されているので、図 6 に示すように、目標位置座標は原点からの追尾誤差（ X 、 Y ）として与えることができる。追尾誤差は、原点 O から目標位置までのカメラ（例えば CCD）の画素数を算出することにより求めることができる。追尾制御は、センサ 40 によるトラッキングを行い、図 7 に示すように、センサ座標系において追尾誤差（ X 、 Y ）を A_z 軸 10、 E_L 軸 20、 x_{EL} 軸 30 の目標速度指令に変換し、第 1 のジンバル 11、第 2 のジンバル 21、第 3 のジンバル 32 の角速度制御を行なう。センサ 40 の追尾誤差は原点 O からの二次元変位（ X 、 Y ）として得ることができる。結果的に、図 1 に示す角速度指令生成部 50 は、3 軸の A_z 軸 10、 E_L 軸 20、 x_{EL} 軸 30 のそれぞれの目標角速度指令（ ω_1 、 ω_2 、 ω_3 ）を生成する。

40

【0026】

3 軸制御において必要な 2 変数（ X 、 Y ）から 3 変数（ ω_1 、 ω_2 、 ω_3 ）への変換は、無数の解が存在するので、一通りに決定することができない（不定）。しかし、角速度の組み合わせによっては、その解の制御において系が発散し、制御不能となることがあるため、本実施の形態に係るジンバル装置 1 においては、この複数解の中から、ジンバルロックを回避し、かつ x_{EL} 軸 30 の可動範囲内において良好な制御を行う、指標となる、

50

できる限り小さな角速度指令値を算出する。

【0027】

×EL軸30の可動範囲を考慮する必要性は、例えば、図4及び図5において説明した外装ケース2の不透明な外装領域2Aを有する構造上の制約に基づくものであり、第3のジンバル31の可動範囲は、実用上、±10度～±20度の角度範囲内になる。

【0028】

角速度指令の大きさについては、各軸の角速度からなる角速度ベクトル

【数1】

$$\dot{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \theta_3)^t$$

10

【0029】

の大きさ

【数2】

$$|\dot{\theta}|$$

【0030】

を小さくすることと定義する。ここで、記号tは転置を表す。

【0031】

今、ジンバル軸数をmとする。例えば、2軸ジンバル構造であればジンバル軸数m=2であり、3軸ジンバル構造であればジンバル軸数m=3である。図8に示す、センサ40の視線方向を表す視軸ベクトル

20

【数3】

$$r_c = (r_x, r_y, r_z)^t \in \mathcal{R}^3$$

【0032】

とジンバルの軸角度ベクトル

【数4】

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)^t \in \mathcal{R}^m$$

30

【0033】

との関係は下記(1)式において表すことができる。

【数5】

$$r_c = f(\theta) \quad (1)$$

【数6】

$$\mathcal{R}^m$$

40

【0034】

はm次のベクトル空間を表す。上記(1)式の微小変化を表す関係式は下記(2)式で表すことができる。

【数7】

$$\delta r_c = J_c(\theta) \delta \theta \quad (2)$$

【0035】

この(2)式は下記ヤコビ行列を係数として表されている。

【数 8】

$$J_c(\theta) \in \mathbb{R}^{3 \times m}$$

【0036】

角速度制御系を構成する場合、視軸速度ベクトル

【数 9】

$$\dot{r}_c$$

10

【0037】

とジンバルの軸角速度ベクトル

【数 10】

$$\dot{\theta}$$

【0038】

との関係を表す下記(3)式が使用される。

【数 11】

$$\dot{r}_c = J_c(\theta)\dot{\theta} \quad (3)$$

20

【0039】

上記(3)式により、ジンバル角速度

【数 12】

$$\dot{\theta}$$

【0040】

からカメラ視軸速度

30

【数 13】

$$\dot{r}_c$$

【0041】

を求めることができる。

【0042】

今、センサ40の視軸ベクトル

【数 14】

$$r_c$$

40

【0043】

を図3に示すカメラ座標系

【数 15】

$$\Sigma_c$$

【0044】

において表した視軸ベクトルを

【数 16】

$${}^c r_c$$

50

【 0 0 4 5 】

とする。センサ 4 0 上において目標が微小移動した場合、この微小移動した視軸ベクトルは下記 (4) において表すことができる。

【 数 1 7 】

$$\delta^c r_c = (\delta^c r_x, \delta^c r_y, \delta^c r_z)^t \quad (4)$$

【 0 0 4 6 】

上記 (4) 式の x、y 成分はセンサ 4 0 上における目標誤差に相当し、z 方向成分

【 数 1 8 】

$$r_z$$

10

【 0 0 4 7 】

はゼロとなる。そこで、

【 数 1 9 】

$${}^c r_c$$

【 0 0 4 8 】

の x、y 成分のみに着目して、新たに下記 (5) 式から (8) 式を定義する。

【 数 2 0 】

$${}^c \dot{r}_c = ({}^c \dot{r}_x, {}^c \dot{r}_y)^t \in \mathcal{R}^2 \quad (5)$$

$$\dot{\theta} = (\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dots, \dot{\theta}_m)^t \in \mathcal{R}^m \quad (6)$$

$${}^c \dot{r}_c = J(\theta)\dot{\theta} \quad (7)$$

$$J(\theta) \in \mathcal{R}^{2 \times m} \quad (8)$$

20

30

【 0 0 4 9 】

2 軸ジンバル構造の場合、

【 数 2 1 】

$$J(\theta) \in \mathcal{R}^{2 \times 2}$$

【 0 0 5 0 】

であり、

【 数 2 2 】

$$\det J(\theta) \neq 0$$

40

【 0 0 5 1 】

(d e t は行列式記号) ならば J () は正則であり逆行列が存在し、下記 (9) 式において表すことができる。

【 数 2 3 】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^{-1} {}^c \dot{r}_c \quad (9)$$

【 0 0 5 2 】

50

すなわち、センサ 4 0 上の目標の移動に対して、センサ 4 0 を移動するためのジンバル角速度が存在する。

【 0 0 5 3 】

しかしながら、 $\det J(\theta) = 0$ の場合には、上記 (9) 式は成立せず、上記 (7) 式を満足するジンバル角速度は存在しない。このような姿勢は特異姿勢と呼ばれている。2 軸ジンバルタレットにおいては、センサが天頂を向いた場合に $\det J(\theta) = 0$ になり、追尾制御が不能になる。また、特異姿勢近傍においては、 $\det J(\theta)$ が非常に小さな値になり、追尾制御が不安定になる。

【 0 0 5 4 】

一方、ジンバル軸数が 3 軸以上の場合、

10

【数 2 4】

$$J(\theta) \in \mathcal{R}^{2 \times m}$$

【 0 0 5 5 】

は正則でないため逆行列を持たない。 $J(\theta)$ が正則でない場合、フルランクでない場合には擬似逆行列を適用することができる。ある角速度ベクトル

【数 2 5】

$$\dot{\theta}^k$$

20

【 0 0 5 6 】

を与えた場合、上記 (7) 式の解

【数 2 6】

$${}^c \dot{r}_c^*$$

【 0 0 5 7 】

は下記 (1 1) 式により表すことができる。

【数 2 7】

$${}^c \dot{r}_c^* = J(\theta^*) \dot{\theta}^* \quad (10)$$

30

【 0 0 5 8 】

このとき、目標の移動速度

【数 2 8】

$${}^c \dot{r}_c$$

【 0 0 5 9 】

との誤差の大きさ (以下、誤差ノルムという。)

40

【数 2 9】

$$\left\| {}^c \dot{r}_c - {}^c \dot{r}_c^* \right\|$$

【 0 0 6 0 】

を考え、この誤差を最小にする角速度ベクトル

【数 3 0】

$$\dot{\theta}$$

【0 0 6 1】

の解を求める。

【0 0 6 2】

上記(7)式において、新値に対する誤差の大きさを示す下記(11)式において表される誤差ノルムを考える。

【数 3 1】

$$\|J(\theta)\dot{\theta} - {}^c\dot{r}_c\| \quad (11)$$

10

【0 0 6 3】

この(12)式の値を最小にする解は下記(12)式により与えられる。

【数 3 2】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^+ {}^c\dot{r}_c + (I - J(\theta)^+ J(\theta))k \quad (12)$$

【0 0 6 4】

ここで、

【数 3 3】

$$J(\theta)^+ \in \mathcal{R}^{m \times 2}$$

20

【0 0 6 5】

は擬似逆行列であり、

【数 3 4】

$$I \in \mathcal{R}^{m \times m}$$

30

【0 0 6 6】

は単位行列であり、

【数 3 5】

$$k \in \mathcal{R}^m$$

【0 0 6 7】

は任意ベクトルである。上記(7)式が解を持つ場合には、上記(12)式が一般解を与え、解を持たなければ、(11)式に示す誤差ノルムが最小になる近似解を与える。kは任意のベクトルであるから、上記(12)式の第2項は冗長項を表す。(12)式において表される一般解の中で、特にジンバル角速度の解

40

【数 3 6】

$$\dot{\theta}$$

【0 0 6 8】

のノルム

【数 3 7】

$$\|\dot{\theta}\|$$

【0069】

を最小にする理想的な解は下記(13)式において表すことができる。

【数 3 8】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^+ \dot{r}_c \quad (13)$$

10

【0070】

また、詳細は省略するが、

【数 3 9】

$$\text{rank } J(\theta) = 2$$

【0071】

の場合において、擬似逆行列は下記(14)式により与えられる。

【数 4 0】

$$J(\theta)^+ = J(\theta)^T (J(\theta)J(\theta)^T)^{-1} \quad (14)$$

20

【0072】

前述の通り、角速度ベクトルのノルムを最小にするには(13)式に従って各軸の角速度指令を計算すればよい。ところが、この計算だけでは不十分であり、3軸目のx E L軸30の可動範囲が例えば±10度の極端に狭い可動範囲に設定されている場合も考慮する必要があり、上記(13)式を用いた計算だけでは容易にx E L軸30の可動範囲を越えてしまう。

【0073】

x E L軸30を中心として回転する第3のジンバル31の動作について簡単に説明する。例えば、図8に示すように、センサ40の視軸が正面を向くような姿勢にタレットがあり、目標がAz軸10周(1軸)に移動する場合を考える。このとき、上記(13)式によれば、角速度ベクトルの最小値を与える条件は

30

【数 4 1】

$$\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_3$$

【0074】

となり、Az軸10及びx E L軸30が同じ角速度で回転し続ける。Az軸10は無限に回転することができるが、x E L軸30はすぐに可動範囲を超えてしまい、追尾制御が不連続になる。

40

【0075】

また、図9に示すように、センサ40の視軸が天頂を向く姿勢にタレットがあり、かつ目標がx E L軸30周(3軸)に移動する場合を考える。このとき、上記(14)式を満たす最適な解は

【数 4 2】

$$\dot{\theta}_3 = \text{目標速度}$$

【0076】

50

となり、x E L 軸 3 0 だけが回転し続けることになる。2 軸ジンバル構造の場合は、ジンバルロックにはならないものの、x E L 軸 3 0 の可動範囲を超える時点において追尾制御は不能になる。上記 (1 3) 式とは別に、x E L 軸 3 0 の動作にしきい値などの方法を加えて制約条件を与えることもできるが、しきい値に該当する条件の領域において追尾制御が不連続になる。以上のような理由に基づき、上記 (1 3) 式による 3 軸制御だけでは、実用上、課題が残る。

【 0 0 7 7 】

上記 (1 2) 式の第 2 項の冗長項には k という任意に選択することができるベクトルが存在する。この k を使って x E L 軸 3 0 の可動範囲の制約条件を角速度指令の生成に反映させることを考える。下記 (1 5) 式に示す、あるスカラー評価関数を考え、この関数の値 をできる限り大きくするベクトル k を考える。

10

【 数 4 3 】

$$\sigma = \Psi(\theta) \quad (15)$$

【 0 0 7 8 】

このようなベクトル k は関数 () の最急勾配ベクトルであるから、 による関数 () の偏微分を取ればよい。すなわち、下記 (1 6) 式から (1 8) 式において表すことができる。

【 数 4 4 】

20

$$k = \mu \cdot k_p \quad k_p : \text{定数} (> 0 \text{ 正定数}) \quad (16)$$

$$\mu = [\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m]^t \quad (17)$$

$$\mu_i = \frac{\partial \Psi(\theta)}{\partial \theta_i} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (18)$$

【 0 0 7 9 】

このとき、上記 (1 2) 式は下記 (1 9) 式となる。

30

【 数 4 5 】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^+ \cdot {}^c \dot{r}_c + (I - J(\theta)^+ J(\theta)) \mu \cdot k_p \quad (19)$$

【 0 0 8 0 】

この上記 (1 9) 式の第 1 項は本実施の形態に係る第 1 の角速度指令の算出値であり、同様に第 2 項は第 2 の角速度指令の算出値である。上記 (1 5) 式の評価関数の微分を取ると、下記 (2 0) 式になる。

【 数 4 6 】

40

$$\begin{aligned} \dot{\sigma} &= \mu^t \cdot \dot{\theta} \\ &= \mu^t J(\theta)^+ \cdot {}^c \dot{r}_c + \mu^t (I - J(\theta)^+ J(\theta)) \mu \cdot k_p \end{aligned} \quad (20)$$

【 数 4 7 】

$$I - J(\theta)^+ J(\theta)$$

【 0 0 8 1 】

は少なくとも非負対称行列であるから、2 次形式における非負定行列になる。すなわち、(1 9) 式の第 2 項は常に非負 (常にゼロ以上) になる。従って、上記 (1 6) 式から (

50

18)式において定められたベクトルkは評価関数の値を大きくすることができる。

【0082】

評価関数()は自由に選定することができる。本実施の形態においては、以下の要求に基づき決定された。

【0083】

(1) x E L軸30はできる限り可動範囲の真ん中にくるようにしたい。

【0084】

(2)但し、要求(1)においてx E L軸30の位置が極端に真ん中に制約されることは避けたい。可動範囲内外の境界に近づいた場合には、強い制動を与えたい。

【0085】

(3) E L軸20はできる限り天頂方向を向かないようにしたい。

【0086】

3軸ジンバル構造において冗長成分は1自由度しかないので、上記要求(1)と(3)とをそれぞれ別個の評価関数により達成することはできない。そこで、評価関数として、下記(21)式から(24)式を考える。

【数48】

$$\Psi(\theta) = |\cos(\theta_2)| \cdot \alpha + \left(\frac{1}{(\theta_{max} - \theta_3)^2} + \frac{1}{(\theta_3 - \theta_{min})^2} \right) \cdot \beta \quad (21)$$

$$\theta_{min} < \theta_3 < \theta_{max} \quad (22)$$

$$\alpha > 0 \quad (23)$$

$$\beta < 0 \quad (24)$$

【0087】

上記(21)式の第1項は2軸ジンバル構造の場合のヤコビ行列の行列式のノルムに相当する。E L軸20が天頂に近づくにつれて値が小さくなり、天頂すなわち $\theta_2 = 90$ 度において値がゼロになる。第2項は、 θ_3 の可動範囲を上記(22)式において $-10 < \theta_3 < 10$ (単位は「度」)のように与えた場合、図10に示すなべ底型の関数になる。図10において、横軸はx E L軸30の角度を示し、縦軸はを除く第2項の値を示す。各項の係数の符号を上記(23)式、(24)式のように与えることで、評価関数()をできる限り大きくする冗長項ベクトルkを求めることができる。この算出方法は上記(16)式及び(17)式に示す通りである。

【0088】

冗長項ベクトルkの各項を具体的に求めてみると、上記(21)式を(18)式へ代入すると、下記(25)式から(27)式が得られる。

【数49】

$$\mu_1 = 0 \quad (25)$$

$$\mu_2 = -\text{sgn}(\cos(\theta_2)) \cdot \sin(\theta_2) \cdot \alpha \quad (26)$$

$$\mu_3 = \left(\frac{1}{(\theta_{max} - \theta_3)^3} + \frac{1}{(\theta_3 - \theta_{min})^3} \right) \cdot 2\beta \quad (27)$$

【0089】

この評価関数は、タレットが天頂から離れている場合には第2項のx E L軸30の可動範囲に関する制約が支配的となる。また、天頂に近づくると第1項のE L軸20の条件が効

10

20

30

40

50

果を表す。 と は自由に選ぶことができる。

【 0 0 9 0 】

次に、上記 (1 9) 式の具体的な算出方法を説明する。まず最初に、前述の図 3 に示すように、ベース座標系 ${}_0$ と各軸の座標系 ${}_i$ ($i = 1, 2, 3$)、及びセンサ座標系 ${}_c$ を定義する。Az 軸 1 0 から x E L 軸 3 0 までのジンバル角は θ_i ($i = 1, 2, 3$) とする。更に、各座標系間の変換行列は

【数 5 0】

$${}^i R_j$$

10

【 0 0 9 1 】

($i, j = 0, 1, 2, 3, c$) とする。ここで、変換行列は ${}_i$ 座標系から ${}_j$ 座標系への変換行列 (3×3 行列) を表す。このとき、下記 (A 1) 式から (A 5) 式が成り立つ。

【数 5 1】

$${}^0 R_1 = \begin{pmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (A1)$$

$${}^1 R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\sin(\theta_2) & -\cos(\theta_2) & 0 \end{pmatrix} \quad (A2)$$

20

$${}^2 R_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 \end{pmatrix} \quad (A3)$$

$${}^3 R_c = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (A4)$$

30

$${}^0 R_c = {}^0 R_1 \cdot {}^1 R_2 \cdot {}^2 R_3 \cdot {}^3 R_c$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) + \sin(\theta_1)\cos(\theta_3) & -\cos(\theta_1)\sin(\theta_2) & \cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - \sin(\theta_1)\sin(\theta_3) \\ \sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\sin(\theta_3) - \cos(\theta_1)\cos(\theta_3) & -\sin(\theta_1)\sin(\theta_2) & \sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) + \cos(\theta_1)\sin(\theta_3) \\ -\sin(\theta_2)\sin(\theta_3) & -\cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) \end{pmatrix} \quad (A5)$$

40

【 0 0 9 2 】

この (A 5) 式の

【数 5 2】

$${}^0 R_c$$

【 0 0 9 3 】

はベース座標系から見たセンサ 4 0 の座標系の変換行列であり、(A 5) 式の第 3 列は視

50

軸ベクトル（センサ 40 の z 軸方向のベクトル）

【数 5 3】

$$r_c = (r_x, r_y, r_z)^t$$

【0094】

に一致するので、上記（1）式は下記（A6）式に示すように、視軸ベクトルを電動モータの回転角度において表現することができる。

【数 5 4】

$$r_c = f(\theta) \tag{A6}$$

$$= \begin{pmatrix} \cos(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) - \sin(\theta_1)\sin(\theta_3) \\ \sin(\theta_1)\cos(\theta_2)\cos(\theta_3) + \cos(\theta_1)\sin(\theta_3) \\ -\sin(\theta_2)\cos(\theta_3) \end{pmatrix}$$

【0095】

この（A6）式から上記（3）式の視軸速度ベクトル

【数 5 5】

$$\dot{r}_c \tag{20}$$

【0096】

とジンバルの軸角速度ベクトル

【数 5 6】

$$\dot{\theta}$$

【0097】

との関係は下記（A7）式において表すことができる。すなわち、上記（A6）式を微分することにより速度を抽出することができる。

【数 5 7】

$$\dot{r}_c = J_c(\theta)\dot{\theta}$$

$$= \begin{pmatrix} -S_1C_2C_3 - C_1S_3 & -C_1S_2C_3 & -C_1C_2S_3 - S_1C_3 \\ C_1C_2C_3 - S_1S_3 & -S_1S_2C_3 & -S_1C_2S_3 + C_1C_3 \\ 0 & -C_2C_3 & S_2S_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{pmatrix}$$

【0098】

但し、三角関数は

【数 5 8】

$$C_1 = \cos(\theta_1), S_1 = \sin(\theta_1)$$

【0099】

のように記述するものとする（以降同様）。

【0100】

前述の図 3 に示すように、センサ 40 の視軸ベクトル

10

20

30

40

【数 5 9】

$${}^c r_c$$

【0 1 0 1】

をセンサ 4 0 の座標系

【数 6 0】

$$\Sigma_c$$

10

【0 1 0 2】

において表したものを

【数 6 1】

$${}^c r_c$$

【0 1 0 3】

と定義すると、下記 (A 8) 式を得ることができる。

【数 6 2】

$$\begin{aligned} {}^c \dot{r}_c &= {}^c R_0(\theta) \dot{r}_c & (A 8) \\ &= \begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2 S_3 & C_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

20

【0 1 0 4】

上記 (5) 式、(6) 式、(7) 式及び (8) 式に基づき、下記 (A 9) 式から (12) 式を定義することができる。

【数 6 3】

$${}^c \dot{r}_c = ({}^c \dot{r}_x, {}^c \dot{r}_y)' \in \mathbb{R}^2 \quad (A 9)$$

30

$$\dot{\theta} = (\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3)' \quad (A 10)$$

$${}^c \dot{r}_c = J(\theta) \dot{\theta} \quad (A 11)$$

$$J(\theta) \in \mathbb{R}^{2 \times 3} \quad (A 12)$$

【0 1 0 5】

上記 (A 12) 式のヤコビ行列は上記 (A 8) 式より、下記 (A 13) 式において表すことができる。

【数 6 4】

$$J(\theta) = \begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2 S_3 & C_3 & 0 \end{pmatrix} \quad (A 13)$$

40

【0 1 0 6】

よって、視軸ベクトル

【数 6 5】

$${}^c r_c$$

【0 1 0 7】

を表す上記 (A 11) 式を書き下すと、下記 (A 14) を得ることができる。

50

【数 6 6】

$$\begin{pmatrix} {}^c \dot{r}_x \\ {}^c \dot{r}_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2 S_3 & C_3 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{pmatrix} \quad (\text{A } 14)$$

【0 1 0 8】

すなわち、電動モータの角速度を与えると、センサ 4 0 の座標系においてセンサ 4 0 の視軸ベクトルの移動速度を算出することができる。

【0 1 0 9】

上記 (A 1 1) 式及び (A 1 4) 式において、

【数 6 7】

$${}^c r_c$$

【0 1 1 0】

から

【数 6 8】

$$\dot{\theta}$$

【0 1 1 1】

を求めるには、上記 (1 2) 式、つまり下記 (A 1 5) 式に示す関係を用いる。

【数 6 9】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^+ {}^c \dot{r}_c + (I - J(\theta)^+ J(\theta))k \quad (\text{A } 15)$$

【0 1 1 2】

ここで、

【数 7 0】

$$J(\theta)^+ \in \mathcal{R}^{3 \times 2}$$

【0 1 1 3】

は擬似逆行列であり、

【数 7 1】

$$I \in \mathcal{R}^{3 \times 3}$$

【0 1 1 4】

は単位行列であり、

【数 7 2】

$$k \in \mathcal{R}^3$$

【0 1 1 5】

は任意ベクトルである。本実施の形態においては、常に

【数 7 3】

$$\text{rank } J(\theta) = 2$$

10

20

30

40

50

【 0 1 1 6 】

であり、擬似逆行列

【 数 7 4 】

$$J(\theta)^+$$

【 0 1 1 7 】

は上記 (1 4) 式と (A 1 3) 式との関係を用いて下記 (A 1 6) に示すように計算することができる。

【 数 7 5 】

10

$$\begin{aligned} J(\theta)^+ &= J(\theta)'(J(\theta)J(\theta)')^{-1} \\ &= \begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2S_3 & C_3 & 0 \end{pmatrix}' \left[\begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2S_3 & C_3 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -C_2 & 0 & -1 \\ S_2S_3 & C_3 & 0 \end{pmatrix}' \right]^{-1} \\ &= \frac{1}{2C_2^2C_3^2 - C_2^2 + 1} \begin{pmatrix} -C_2C_3^2 & S_2S_3 \\ C_2S_2C_3S_3 & (C_2^2 + 1)C_3 \\ C_2^2S_3^2 - 1 & -C_2S_2S_3 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

(A 16)

20

【 0 1 1 8 】

ここで、

【 数 7 6 】

$$J(\theta)'$$

【 0 1 1 9 】

は

【 数 7 7 】

30

$$J(\theta)$$

【 0 1 2 0 】

の転置行列であり、

【 数 7 8 】

$$(J(\theta)J(\theta)')^{-1}$$

【 0 1 2 1 】

40

は

【 数 7 9 】

$$J(\theta)J(\theta)'$$

【 0 1 2 2 】

の逆行列を表す。更に、上記 (A 1 5) 式の第 2 項の冗長項の係数行列

【数 8 0】

$$(I - J(\theta)^+ J(\theta))$$

【0 1 2 3】

は上記 (A 1 3) 式及び (A 1 6) 式を用いて下記 (1 7) 式として表すことができる。

【数 8 1】

$$(I - J(\theta)^+ J(\theta)) = \frac{1}{2C_2^2 C_3^2 - C_2^2 + 1} \begin{pmatrix} C_3^2 & -S_2 C_3 S_3 & -C_2 C_3^2 \\ -S_2 C_3 S_3 & S_2^2 S_3^2 & C_2 S_2 C_3 S_3 \\ -C_2 C_3^2 & C_2 S_2 C_3 S_3 & C_2^2 C_3^2 \end{pmatrix} \quad 10$$

(A17)

【0 1 2 4】

そして、上記 (A 1 5) 式の 3 軸制御を上記 (1 9) 式、(2 5) 式、(2 6) 式、(2 7) 式と、上記 (A 1 6) 式、(A 1 7) 式とを用いて書き直すと、下記 (A 1 8) 式を得ることができる。

【数 8 2】

$$\dot{\theta} = J(\theta)^+ \dot{r}_c + (I - J(\theta)^+ J(\theta))k \quad 20$$

$$= \frac{Kc}{2C_2^2 C_3^2 - C_2^2 + 1} \begin{pmatrix} -C_2 C_3^2 & S_2 S_3 \\ C_2 S_2 C_3 S_3 & (C_2^2 + 1) C_3 \\ C_2^2 S_3^2 - 1 & -C_2 S_2 S_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{pmatrix}$$

$$+ \frac{1}{2C_2^2 C_3^2 - C_2^2 + 1} \begin{pmatrix} C_3^2 & -S_2 C_3 S_3 & -C_2 C_3^2 \\ -S_2 C_3 S_3 & S_2^2 S_3^2 & C_2 S_2 C_3 S_3 \\ -C_2 C_3^2 & C_2 S_2 C_3 S_3 & C_2^2 C_3^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -\text{sgn}(C_2) S_2 \cdot \alpha \\ \left(\frac{1}{(\theta_{\max} - \theta_3)^3} - \frac{1}{(\theta_3 - \theta_{\min})^3} \right) \cdot \beta \end{pmatrix} \quad 30$$

(A18)

【0 1 2 5】

この (A 1 8) 式において、第 1 項は、目標を追尾する際の、各ジンバル 1 1、2 1、3 1 の駆動手段 (電動モータ) 1 2、2 2、3 2 の回転速度から成る角速度ベクトルの大きさが最小となるような第 1 の角速度指標値である。第 1 の角速度指標値は第 1 の指令算出部 5 1 において生成される。第 2 項は、x E L 軸 3 0 が可動範囲を越えず、できる限り可動範囲の中央にあるように制御し、かつ第 2 のジンバル 2 1 の姿勢が天頂方向から遠ざかるように各ジンバル軸を制御する第 2 の角速度指標値である。この第 2 の角速度指標値は第 2 の指令算出部 5 2 において生成される。

40

【0 1 2 6】

角度指令生成部 5 においては、第 1 の角速度指標値と第 2 の角速度指標値とを加算して、角速度指令値を算出し、各軸のサーボ制御部 6 1、6 2、6 3 に対して角速度指令値を送出する。

【0 1 2 7】

[ジンバル装置の追尾性能]

前述の構成並びに制御方法を備えたジンバル装置 1 においては、図 1 1 に示すように、センサ 4 0 の視軸が天頂方向に向いている位置からジンバルロックが発生する矢印 A 方向に移動する場合も、良好な追尾を行うことができる。目標 (ターゲット) が天頂から矢印

50

A方向に移動する場合、本実施の形態に係るジンバル装置1は、図12に示すように、15度/秒の速度において目標を追尾することができる。図12において、横軸は時間を示し、縦軸は視軸の角度を示す。

【0128】

このとき、本実施の形態に係るジンバル装置1においては、図13及び図14に示すように、Az軸10は約1.5秒かけて実現可能な角速度において180°回転している。また、xEL軸30も実現可能な角速度において移動し、かつ角度移動量は6°程度に収まり、xEL軸30の可動範囲内において連続的な追尾制御を実現することができる。

【0129】

以上説明したように、本発明の実施の形態に係るジンバル装置1においては、天頂からEL軸20の回転方向と直交する方向に目標が移動する場合、角速度が過大にならないように、Az軸10とxEL軸30との動作を配分しながら追尾動作を行うことができる。すなわち、実現可能なジンバル可動範囲を越えることなく、ジンバルロックを避け、全天にわたり連続的な追尾制御を安定して実現することができるジンバル装置1を提供することができる。

【0130】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されるものではない。例えば、本発明は、xEL軸30を中心に回転する第3のジンバル31に、レーザ、赤外線、レーダ等のセンサを搭載したジンバル装置としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図1】本発明の実施の形態に係るジンバル装置の全体構成を示すブロック図である。
 【図2】図1に示すジンバル装置のジンバルの斜視図である。
 【図3】図1に示すジンバル装置の座標系を示す図である。
 【図4】図1に示すジンバル装置の具体的な要部の外観構造を示す斜視図である。
 【図5】図1に示すジンバル装置の具体的な要部の外観構造を示す斜視図である。
 【図6】図1に示すジンバル装置のセンサ座標系を説明する図である。
 【図7】図1に示すジンバル装置において追尾誤差から角速度指令を生成する流れを説明する図である。

【図8】図1に示すジンバル装置の要部の斜視図である。

【図9】図1に示すジンバル装置の要部の斜視図である。

【図10】図1に示すジンバル装置の制御方法においてxEL軸と評価関数との関係を示す図である。

【図11】図1に示すジンバル装置の要部斜視図である。

【図12】図1に示すジンバル装置のセンサの動作特性を示す図である。

【図13】図1に示すジンバル装置の各軸の角度軌跡を示す図である。

【図14】図1に示すジンバル装置の各軸の角速度軌跡を示す図である。

【図15】従来技術に係るAz軸とEL軸とを説明する図である。

【図16】従来技術に係る天頂方向を説明する図である。

【図17】従来技術に係る2軸ジンバル装置の斜視図である。

【符号の説明】

【0132】

1 ... ジンバル装置、
 10 ... 第1のジンバル軸 (Az軸)、11 ... 第1のジンバル、12 ... 第1の駆動手段、13 ... 第1の角速度検出手段、14 ... 第1の角度検出手段、20 ... 第2のジンバル軸 (EL軸)、21 ... 第2のジンバル、22 ... 第2の駆動手段、23 ... 第2の角速度検出手段、24 ... 第2の角度検出手段、30 ... 第3のジンバル軸 (xEL軸)、31 ... 第3のジンバル、32 ... 第3の駆動手段、33 ... 第3の角速度検出手段、34 ... 第3の角度検出手段、40 ... センサ、50 ... 角速度指令生成部、51 ... 第1の指令算出部、52 ... 第2の指令算出部、53 ... 角速度検出部、54 ... 角度検出部、60 ... 駆動制御部、61 ... 第1のサーボ制

10

20

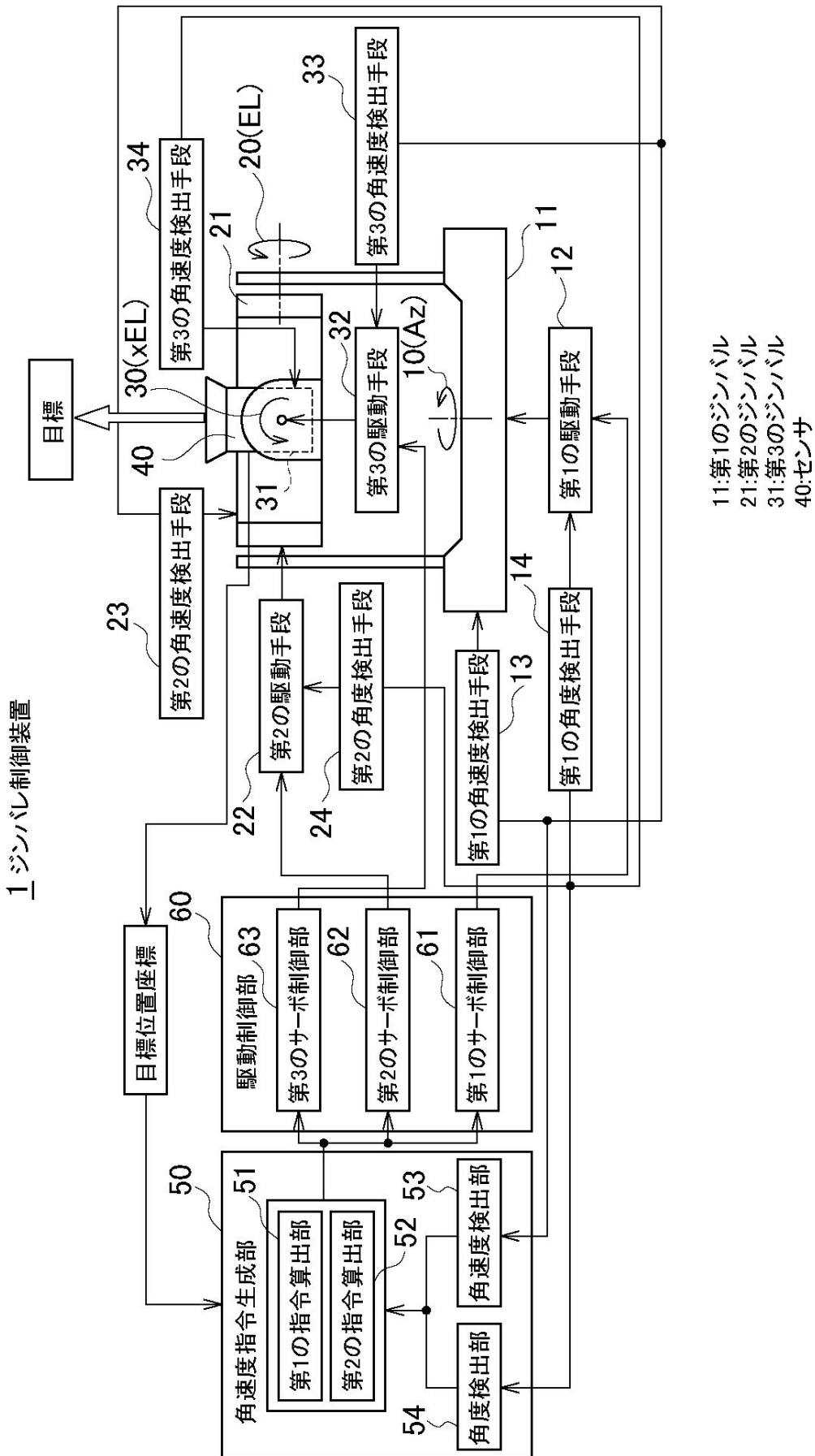
30

40

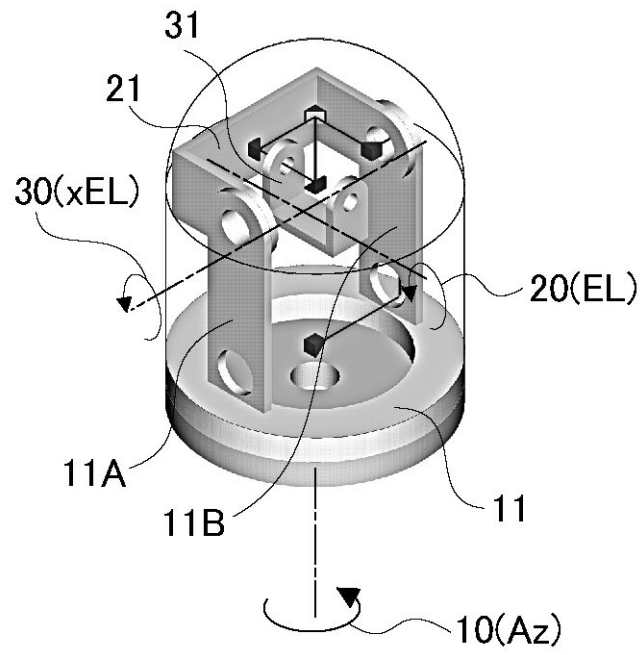
50

御部、62...第2のサーボ制御部、63...第3のサーボ制御部。

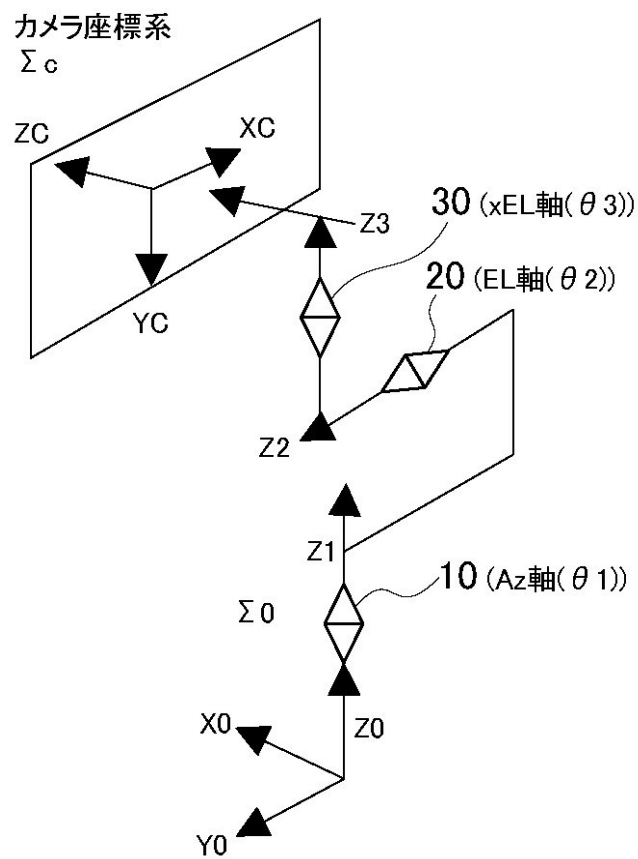
【 図 1 】



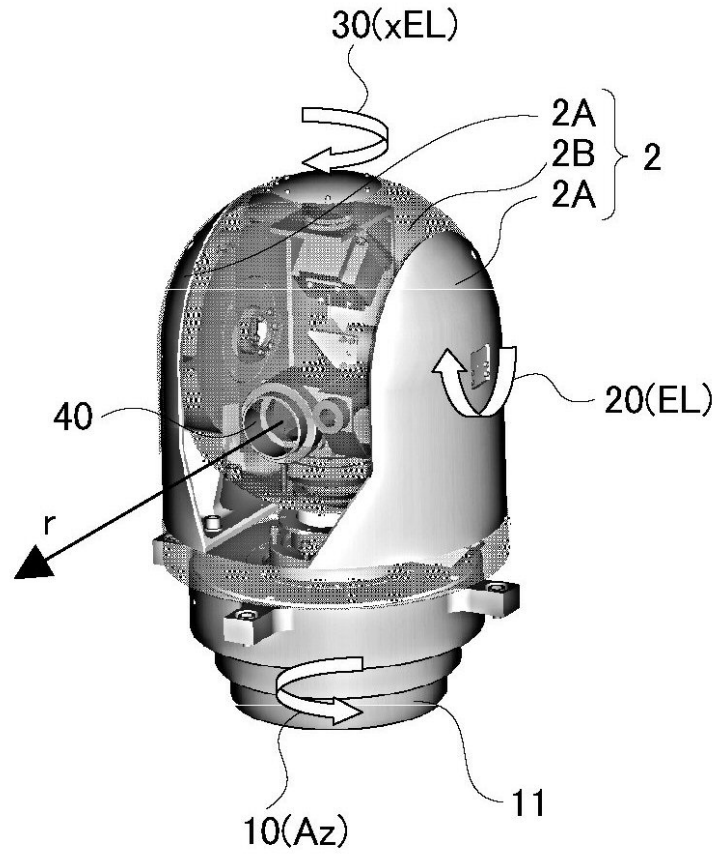
【 図 2 】



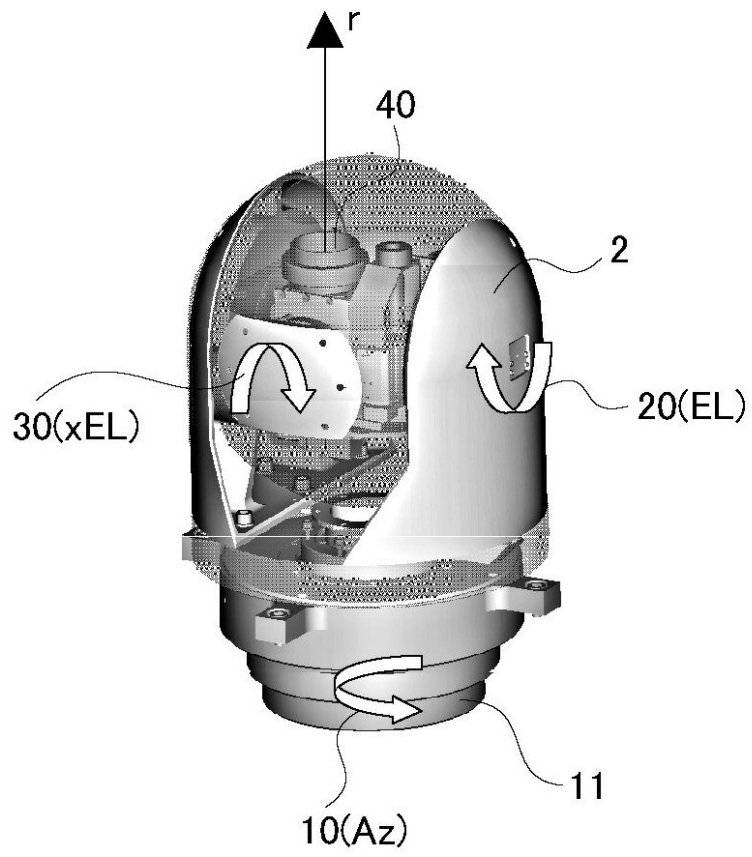
【 図 3 】



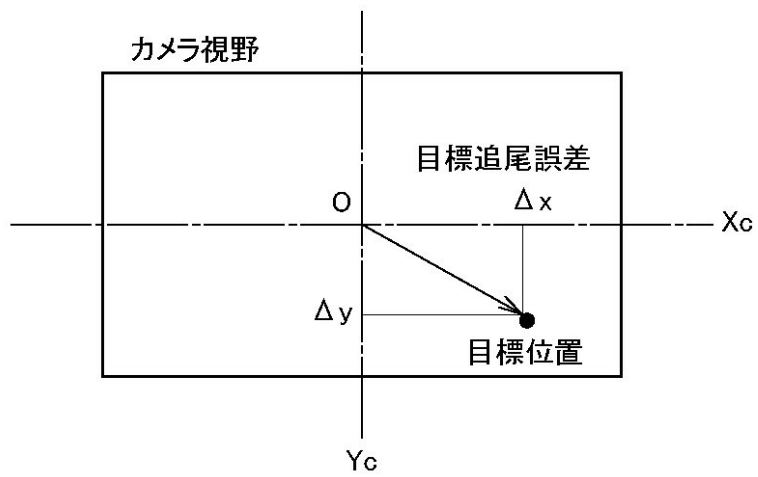
【 図 4 】



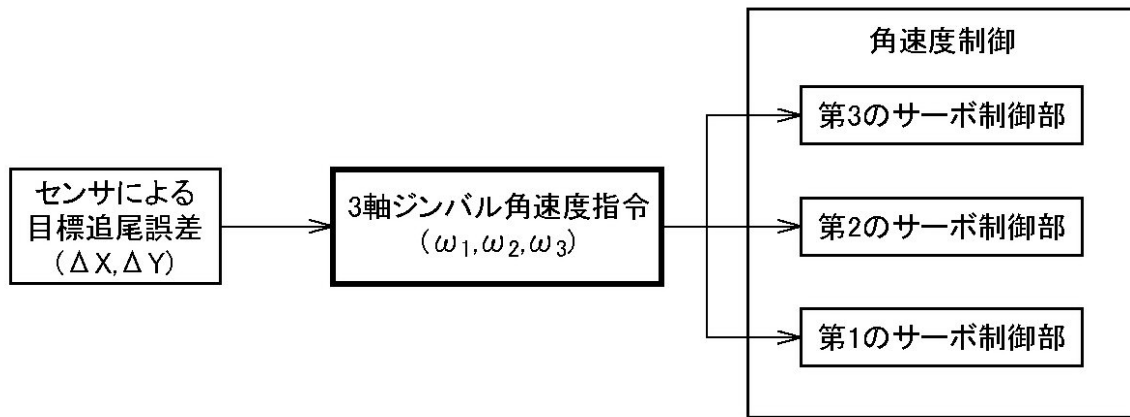
【 図 5 】



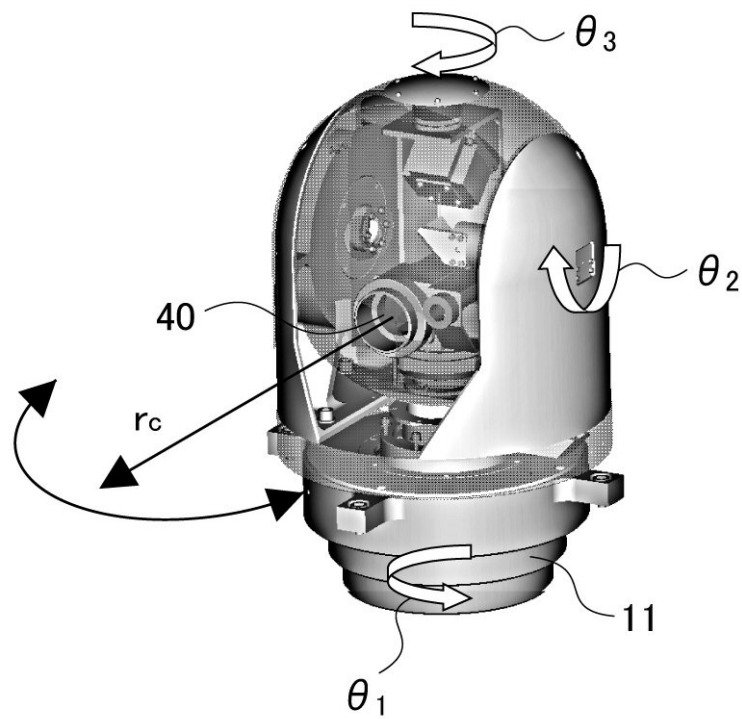
【 図 6 】



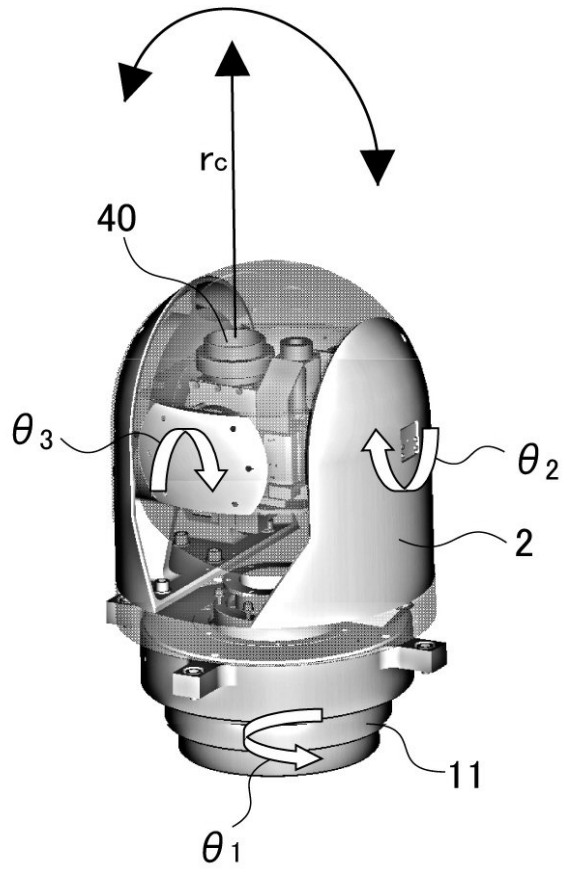
【 図 7 】



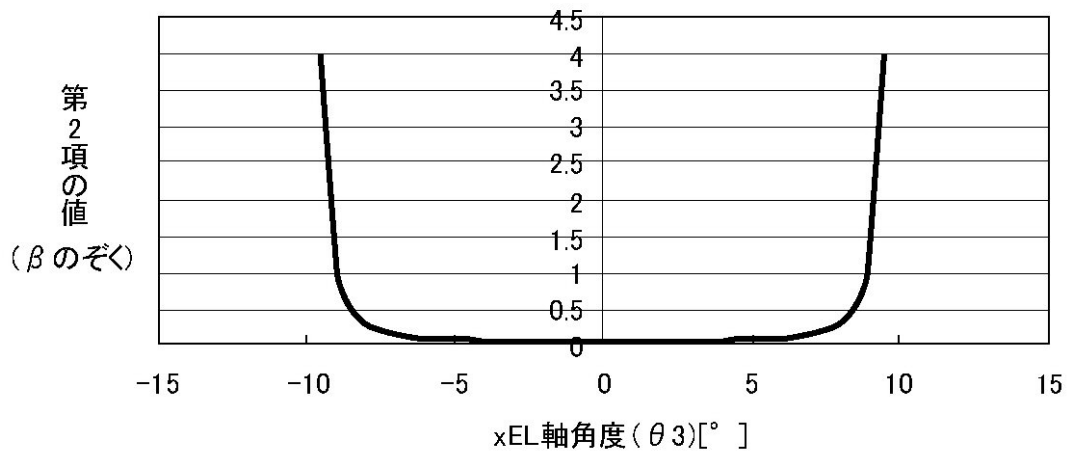
【 図 8 】



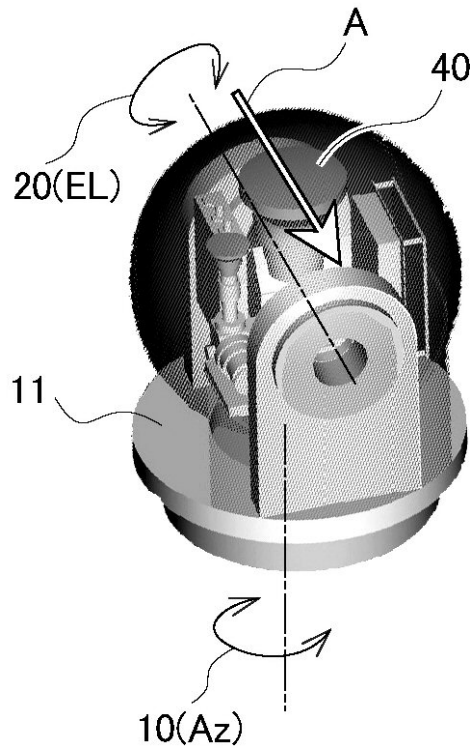
【 図 9 】



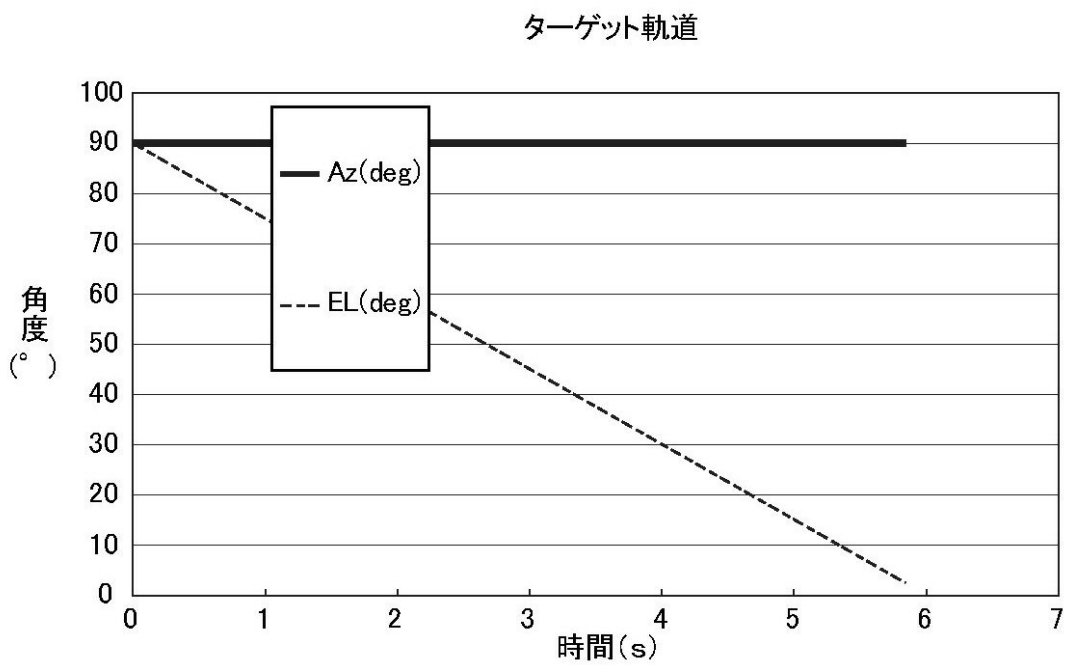
【 図 1 0 】



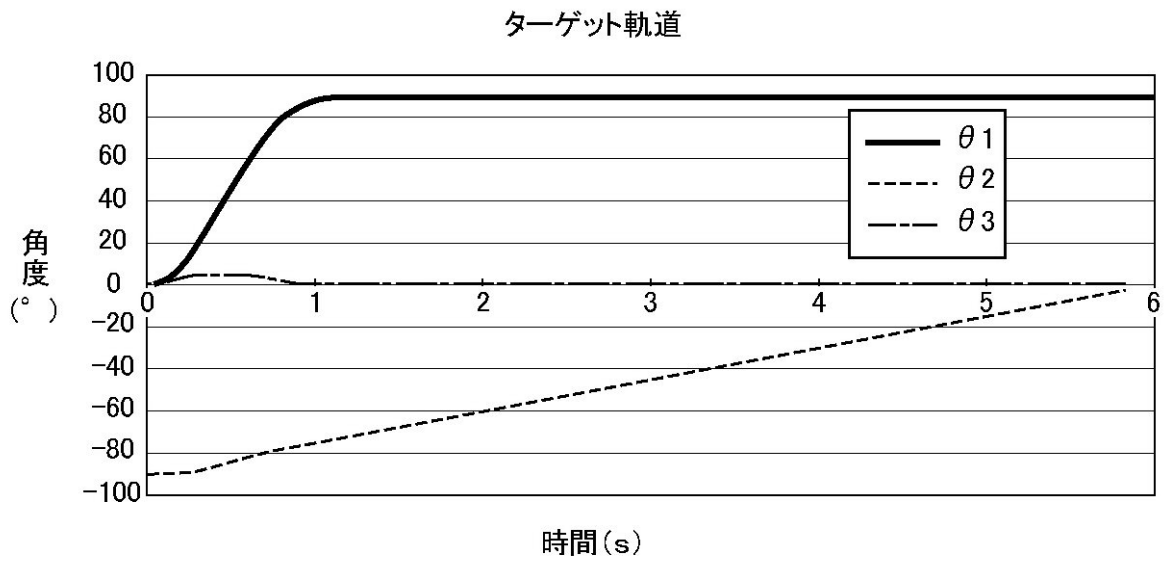
【図 1 1】



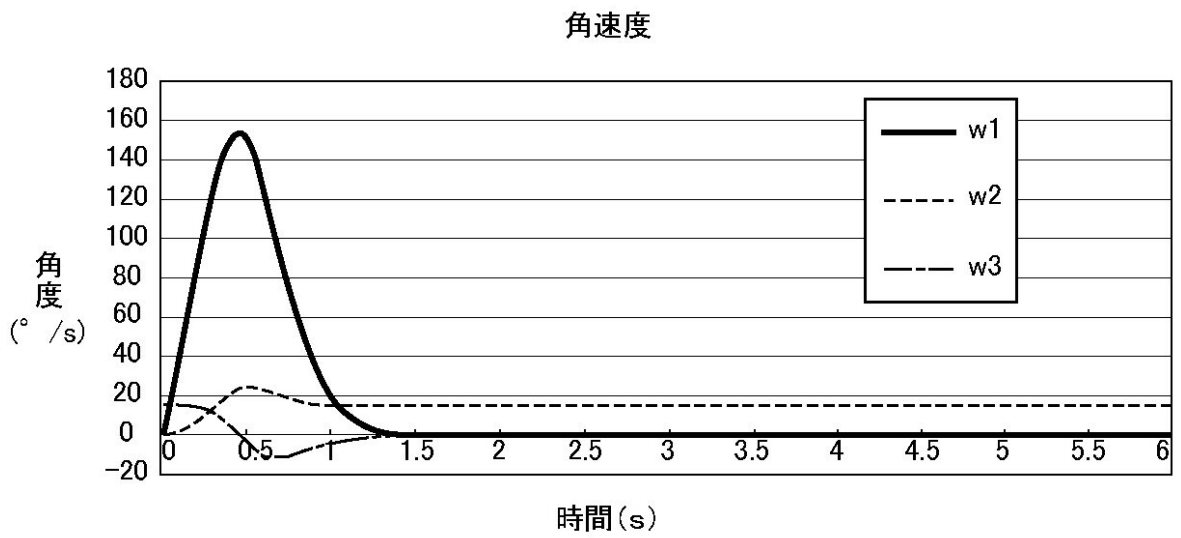
【図 1 2】



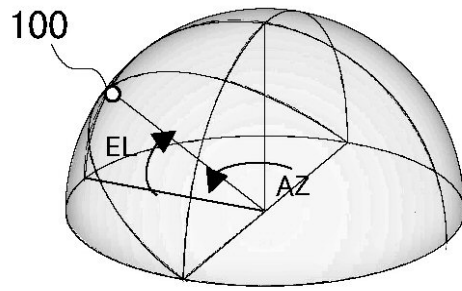
【 図 1 3 】



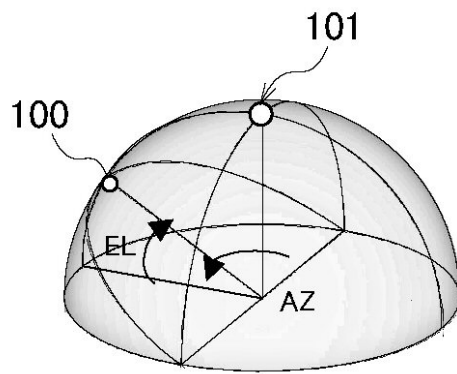
【 図 1 4 】



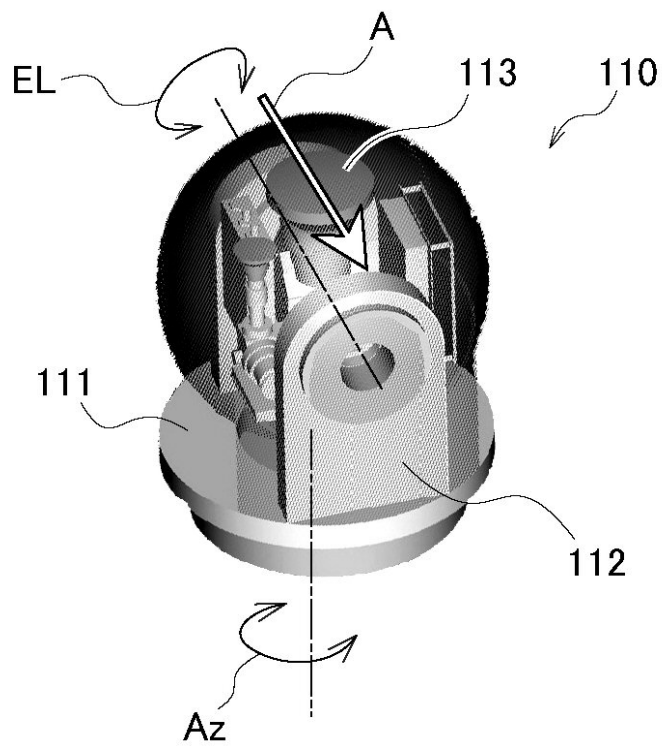
【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】



フロントページの続き

(74)代理人 100098327

弁理士 高松 俊雄

(72)発明者 豊嶋 毅

神奈川県横浜市磯子区新磯子町3番地 株式会社東芝生産技術センター内

Fターム(参考) 5H303 AA20 BB03 BB08 BB14 CC06 DD01 FF06 JJ01 KK17 QQ09