

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4447911号  
(P4447911)

(45) 発行日 平成22年4月7日(2010.4.7)

(24) 登録日 平成22年1月29日(2010.1.29)

(51) Int. Cl. F I  
**G O 1 C 19/02 (2006.01)** G O 1 C 19/02 A

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2003-544417 (P2003-544417)	(73) 特許権者	504152580
(86) (22) 出願日	平成14年10月11日 (2002.10.11)		インヘニエリア, ディセーニョ イ アナ
(65) 公表番号	特表2005-539202 (P2005-539202A)		リシス, ソシエダ リミタダ
(43) 公表日	平成17年12月22日 (2005.12.22)		スペイン国, エー-28009 マドリッ
(86) 国際出願番号	PCT/ES2002/000482		ド, イビサ, 37
(87) 国際公開番号	W02003/042632	(74) 代理人	100099759
(87) 国際公開日	平成15年5月22日 (2003.5.22)		弁理士 青木 篤
審査請求日	平成17年8月12日 (2005.8.12)	(74) 代理人	100092624
(31) 優先権主張番号	P-200102290		弁理士 鶴田 準一
(32) 優先日	平成13年10月17日 (2001.10.17)	(74) 代理人	100102819
(33) 優先権主張国	スペイン (ES)		弁理士 島田 哲郎
		(74) 代理人	100110489
			弁理士 篠崎 正海
		(74) 代理人	100082898
			弁理士 西山 雅也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ジャイロアクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ジャイロアクチュエータであって、それが搭載されるプラットフォームに、ジャイロアクチュエータの内部機構における運動量保存法則の適用によってトルク又はモーメントを生み出すために使用される種類のジャイロアクチュエータにおいて：

a) トルクベクトルが、一旦発生すると、慣性基準系における固定された、方向と回転方向とを有することと、

b) プラットフォームに供給されるトルクの大きさが、一定の値、又は平均値の20%未満の周期的擾乱をもつ平均値を有することと、

c) 前述の条件の下でのトルクの持続が、トルクを生み出すパラメーターが意図的に変更されない限り無限であり、そのような場合にジャイロアクチュエータが次のオプション、つまり、トルク供給の停止、及びトルクの大きさの値の増大又は減少、及びトルクベクトルの方向及び/又は回転方向の変更というオプションのどれをも必要に応じて実施することができることと、

言及された条件でトルクを生み出すために、ジャイロアクチュエータが、全て同心に配置された複数のリングの複数のペアからなる基本的機構を有し、前記リングの複数のペアの各々が、スピン回転及び章動回転で作動し、前記リングの複数のペアの前記スピン回転及び前記章動回転が該複数のペアの間で協調されることと、を特徴とするジャイロアクチュエータ。

【請求項 2】

10

20

基本的機構を構成する同心のリングの全てが、同一の主慣性モーメントを有することを特徴とする、請求項 1 に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 3】

スピン回転の関数が、線形であって、一定の回転速度を提供し、また章動回転の関数が  $\arcsin(pt \pm q)$  の種類のものであり、ここで  $t$  は独立した時間の変数でありまた  $p$  及び  $q$  は二つの定数であり、その結果機構において一定の大きさを有するトルクベクトルが獲得可能であることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 4】

ジャイロアクチュエータが、リングの各ペアの一つのリングにスピン回転が到達するように従属的な二つの運動学的連鎖を有していて、該リングの各ペアの一つのリングがそのペアの片方に、該リングの各ペアの一つのリング自身の回転の、反対の回転方向と、同一回転数とを伝えることを特徴とする、請求項 3 に記載のジャイロアクチュエータ。

10

【請求項 5】

章動回転が、独立した運動学的連鎖によってリングの各ペアに伝達され、各運動学的連鎖の最後の歯車の軸が、各ペアの一つのリングのウェッジに固定されていて、該ウェッジが、章動で回転して、この回転を、反対の回転方向で各ペアの他方のリングのウェッジに伝えることを特徴とする、請求項 3 に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 6】

前記請求項の関数によって定義される章動における回転が、章動におけるスタートのための追加の関数と、停止のための追加の他の関数とを考慮し、それら関数が、移行関数として働いて、章動における運動が要求されるところの状態にリングを配置す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ジャイロアクチュエータ。

20

【請求項 7】

ジャイロアクチュエータが、それが搭載されるところのプラットフォームに生み出すトルクを反転させる装置を有することを特徴とする、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 8】

ジャイロアクチュエータが、ピッチング、ローリング、及びヨーイングにおいて船舶を制御することができるように船舶のプラットフォームで使用されることが可能であって、舵又は他の制御システムに取って代わること並びに実際のプラットフォームを安定化することができることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

30

【請求項 9】

ジャイロアクチュエータが、固定翼航空機で使用可能であって、前記固定翼航空機にピッチング、ローリング、及びヨーイングの制御の可能性を与えることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 10】

ジャイロアクチュエータが、尾部の補償プロペラを有する現代のタイプのヘリコプターで使用されることが可能であって、尾部回転翼と、尾部回転翼の支持構造物と、尾部回転翼に結びついた機構とを撤去することを可能にして、ヨーイングの制御を与えることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

40

【請求項 11】

ジャイロアクチュエータが、陸上自動車に使用されることが可能であって、方向変化を伴う操作が実行されたとき、安定性不足を打ち消す補正トルクを発生させることによりシヤシの動的安定性不足を補正することを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 12】

ジャイロアクチュエータが、駆動車及び非駆動車の両方において列車で使用されることが可能であって、この種の車両の動安定を達成することを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のい

50

ずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

【請求項 13】

ジャイロアクチュエータが、航空宇宙プラットフォームで使用されることが可能であって、前記航空宇宙プラットフォームの姿勢を約  $10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$  の値に到達可能なトルクで変化させることを特徴とする、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のジャイロアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

ジャイロアクチュエータは、それが取り付けられるプラットフォームが配向することを可能にする装置であり、そのようにするために運動量保存の法則を応用している。この配向は、周囲環境（水又は大気）の物理的特性に頼ることなく達成される。従ってプラットフォームはどんな（空力的又は流体力学的）操縦舵面も有する必要はない。

10

【0002】

その予定される用途は以下のとおりである。

- ・固定翼航空機のための航空術：航空機の空力操縦舵面（翼、方向舵等）に取って代わることができることで、ピッチング、ローリング、又はヨーイングの回転をジャイロアクチュエータを使って実施する。

- ・ヘリコプター：主回転翼に起因する反動トルクに対する補償トルクを生み出す尾部回転翼に取って代わることによる。アクチュエータは、この補償トルクを生み出すことと、ヨーイングにおけるヘリコプターの制御とを担う。

20

- ・船舶：小型船及び大型船の舵に取って代わることができ、またジャイロアクチュエータを使って操船を実行する。

- ・陸上車両（自動車、トラック、バス及び列車）の安定化：車両走行中における方向変換のさいの転倒トルクに対抗するトルクを生み出すことが可能である。

【0003】

本発明は、その用途が関係する範囲で、航空分野、船舶分野、及び自動車分野に係るに違いない。本発明は、次の、機械、電気、及び電子の技術分野を利用する。

【背景技術】

【0004】

このタイプの装置は航空宇宙分野で開発された。多くの特許、とりわけ北米の特許があり、それらはこの分野の最新技術を表している。次のもの、米国特許第 6 1 3 5 3 9 2 号明細書、米国特許第 5 8 2 6 8 2 9 号明細書、米国特許第 5 9 3 1 4 2 1 号明細書を例として提示することができ、それらも他の特許を参照している。

30

【0005】

このタイプの装置の使用は、プラットフォームの姿勢制御の場合、搭載機器の適切な配向を達成することを人工衛星に与える。使用されるジャイロ装置は、慣性輪アセンブリ、つまり反動輪アセンブリ（RWA）又はモーメントムホイールアセンブリ（MWA）として知られている。それらは、三つのホイール又は円板を持つアセンブリから構成されており、前記三つのホイール又は円板は、人工衛星の基準系の三次元軸に従って直交して配置され、スピン回転したときにそれらの軸の各一つにトルクを生み出す。人工衛星の配向を変化させる確実なトルクを生み出すために、三つの発生トルクの直交する構成により結果として生み出されたトルクが構造を要求に応じて移動させるのに適するように、ホイールが回転する。

40

【0006】

基準系の特定の軸に、より大きいトルク又はより小さいトルクを作り出す方法は、相対 RWA 又は MWA のスピンを加速させること又は減速させることである。この装置については、1.6 ニュートンメートル（ $\text{N} \cdot \text{m}$ ）の最大トルクを作り出すことができる。

【0007】

ハネウエル（Honeywell）によって提供される例えば型番号 HR 1 2、HR 1 4、HR

50

16、HM4520及びHR2010/HR4510のようなRWA/MWA装置があり、それらの基本的特性は、スピン速度が約5000rpm、重量が9~11kg、最大直径が300から40mm、及び発生トルクが0.1~0.2N・mである。

【0008】

発生トルクの値が非常に小さいので、トルクを僅かに増大させることをどうにか成し遂げる他の装置が開発されてきた。これは、米国特許第5112012号明細書に記載された所謂モーメントホイールプラットフォーム(MWP)の場合であり、前記モーメントホイールプラットフォームは、平坦な三角形板に取り付けられた三つのRWA/MWAに基礎を置いており、またコーナーに一連のねじを含んでいて、前記一連のねじはモーターによって少しずつ移動され、その結果、回転して三角形板を傾斜させるねじを移動させることによって三角形板の配向を制御することができ、前記モーメントホイールプラットフォームは発生運動量の増大を生み出す。しかしながら、急速な動きは、ねじを回すことによって獲得されないので、得られる増大量は依然として非常に小さい。

10

【0009】

後に、やはりハネウェルから販売されたコントロールモーメントジャイロスコープ(CMG)と呼称される新しい装置が開発され、この装置は、多軸ジンバルアセンブリに搭載されて6000rpmで回転する球形周囲物体から成るものである。それは、305N・mの最大トルクを達成するが、その寸法は大きく直径が1メートルで重量が53kgである。

20

【0010】

宇宙空間におけるトルク発生装置は、所与の限られた値とそれらの高コストとに起因して、用途次第で所要トルクが非常に大きいことがある地上での運用には特に実行不可能である。

【発明の開示】

【0011】

本ジャイロアクチュエータは、それが求められる用途に適した寸法をもつ装置として考えられ、また必要なトルクの範囲を作り出すことができる。ジャイロアクチュエータは、これらの能力をスピン運動及び章動運動を組み合わせることにより、慣性ホイールの代わりにリングを使用するという独特の構造で達成し、リングはジャイロアクチュエータに本発表に見られるであろう重要な可能性を与える。例として、いくつかの単純な材料(鉄鋼)を使って、スピン速度3500rpm、最大直径300mm及び最大高さ350mm、合計重量10kgで、本ジャイロアクチュエータは650N・mを超えるトルクを無期限に生み出すことをなし遂げる。他の寸法で相当に大きな発生トルクを獲得可能であることが明らかである。

30

【0012】

ジャイロアクチュエータの概念の原理は、供給されるトルクの限界が機構のリングを作り上げている材料の剛性及び章動運動を生じさせるモーターに結び付けられた電子機器の剛性により確立されるという事実に基づいている。

【0013】

ジャイロアクチュエータが配置されるプラットフォームに機械的トルクを発生させる可能性、及び結果としてこのプラットフォームの配向を変化させる可能性をジャイロアクチュエータがもつことに起因して、ジャイロアクチュエータの可能な用途は前述されたように非常に広い。以下に、示された用途の各々に対する必要性が、正しいと判断される。

40

【0014】

・航空術：固定翼航空機のピッチング、ローリング、及びヨーイングにおける制御は、翼、安定板及び尾翼方向舵に配置された空力操縦舵面によって実施される。多くの変形形態が基本構造形にあるとはいえ、この制御のやり方は、要求された操縦を実行するために操縦舵面の最初の配置を変化させたとき、これらの操縦舵面が生み出す空力抵抗に基づいている。操縦舵面が生み出す空力抵抗によって、運動量と力が航空機の構造アセンブリに結果として発生し、従って獲得しようと努めた操縦が実行される。

50

## 【 0 0 1 5 】

ジャイロアクチュエータは、一連のトルクを航空機の構造アセンブリに発生させ、その結果航空機が、航空機に結び付けられた基準系の三軸における航空機の配向を強制的に変化させられ、それに伴って、要求された操縦を達成する、ピッチング、ローリング、及びヨーイングにおける回転を生み出す。

## 【 0 0 1 6 】

ジャイロアクチュエータが、在来の方法（空力面）に対する以下の利点を提示するので、必要性は明らかになってくる。

\* ジャイロアクチュエータに固有の動作に結びついた空力抵抗が発生しないことであり、また前記空力抵抗は付加的エネルギー消費を含むものである。

\* ジャイロアクチュエータが現行の操縦舵面に結びついた全ての機構を取り除くことを成し遂げるだけでなく、航空機の外側の構築物（翼及び安定板）の単純化も成し遂げることである。このことは、より大きな搭載容量につながる。

## 【 0 0 1 7 】

最新技術に関して、固定翼航空機のいくつかのタイプ、即ち戦闘機のいくつかのモデルが、エンジンノズルで発生する推力ベクトルを変化させることにより操縦舵面の操縦を強化することが可能である。それらは、実際のノズルの中に排気ガスを逸らすことによってこの強化を達成し、前記ノズルは、適切な形体でその外形を変化させるように構成されている。

## 【 0 0 1 8 】

・ヘリコプター：ヘリコプターは知られているように回転翼航空機のタイプであり、またエンジンによって作動される主プロペラを有していて、前記主プロペラによってヘリコプターは支持されて移動することもできる。主プロペラを動かすトルクは、反対符号の別のトルクを生み出し、前記別のトルクは、現在までに開発されたいくつかの解決法がなかったならプロペラの側とは反対側に飛行室を回転させるであろう。次のものは最も重要である（ビル・ガンストン及びマイク・スピック、現代戦闘ヘリコプター、1998年 グリニッチ版（Modern Fighting Helicopters, Bill Gunston and Mike Spick, 1998 Greenwich Editions））

\* 尾部補償プロペラ（ペニー - ファーシング（Penny-farthing））：この構造形の例はリンクス（Lynx）である。この構造形はヘリコプター全ての中で最も一般的なものである。補償トルクは、胴体の尾部におけるプロペラによって生じ、前記プロペラは航空機のヨーイングにおける配向の制御も可能にする。

\* タンデム主回転翼（ツインタンデム（Twin tandem））：チヌック（Chinook）が例である。この構造形は二つの主回転翼を有しており、前記二つの主回転翼は同一平面にあって転置されており、また反対方向に回転して、その結果二つの主回転翼のそれぞれのトルクを補償することを成し遂げる。

\* 両側面主回転翼（ツインサイド（Twin side））：V - 12が例である。二つの回転翼は、胴体の両側に配置されて、トルクが補償されるような方法で反対に回転する。

\* 両側面交差主回転翼（ツインインターメッシュ）：例えばHH - 43である。これは前述のものの変形形態であり、そこでは回転翼が互いに噛み合うまで近接して、それ故よりコンパクトな構造形を達成する。

\* 同軸主回転翼（ツイン同軸）：例えばKa - 25である。二つの回転翼の軸は、同軸でありまた反対符号をもつ等しいトルクを発生する。

## 【 0 0 1 9 】

（最初の）最も一般的な構造形では、エンジン（通常はタービンタイプである）から高温ガスを噴出させて胴体の尾部を通すことによって、尾部回転翼を撤去する試みがなされてきた。これの例は、マクダネルダグラス（McDonnell Douglas）からのノタル（NOTAR）である。このタイプの構造形の主な欠点が多大な燃料消費であるという事実にもかかわらず、いくつかのモデルが開発され、それらの全てはこの技術に基礎を置いている。

## 【 0 0 2 0 】

10

20

30

40

50

ヘリコプターの胴体の内側に適切に配置されたジャイロアクチュエータは、ヘリコプターが、単一の回転翼、つまり主回転翼を有することを可能にし、その結果生み出されるトルクは、アクチュエータにより補償され、またヨーイングの配向を可能にする。

【 0 0 2 1 】

従来の方法に対する利点は、第二の回転翼と共に胴体尾部を撤去することから得られる。この利点は以下のとおりである。

\* 第二回転翼を撤去することにおける、航空機の機械的単純化。

\* 総重量の低減。新たな装置（ジャイロアクチュエータ）を組み入れることが必要であるが、第二の回転翼に関連する、胴体及び機構が撤去され、その結果生じる総質量は当初のものより小である。

\* 空力的形状の改善。第二の回転翼及びその支持構造物を撤去することにおいて、回転楕円体に類似のより連続的な空力的外側形状が達成され、それは航空機に対してより多くの可能性を与える。

\* より大きな積載容量。ヘリコプターは新しい形状でより大きな体積及びより重い重量を輸送することが可能である。

【 0 0 2 2 】

・ 船舶：小型船又は大型船のどのようなタイプにおいても、操船を実行するために舵が使用されており、舵は、航空機の場合に行われたように、一言でいえば構造物に結果として生じるモーメントを作り出して、構造物を所望の方向に配向することを成し遂げる。

【 0 0 2 3 】

舵は、それ自身の作用に結びついた流体力学的抗力を生み出し、水流線に向き合う舵の相当面が広がるほど前記流体の力学的抗力は大きくなる。

【 0 0 2 4 】

目的に適うように寸法を決められて適切に配置された、大型船に載せられたジャイロアクチュエータは、この大型船において、全体アセンブリの配向を変化させることができる適切なトルクを生み出し、その結果所望の操船が、一つの舵又は複数の舵を使用することなく実行可能である。

【 0 0 2 5 】

この装置の利点は主に、アクチュエータが、水流線に関する相当面の増大による追加抗力無しで操船を可能にする能力を大型船に与えることにある。

【 0 0 2 6 】

船舶のプラットフォームにおけるジャイロアクチュエータの他の用途は、船舶を安定化させる能力であり、また操船のあらゆるタイプを安定に作り出すために、ピッチング、ローリング、及びヨーイングの際の正しい姿勢を与えさえもする。このことは、エンジン又は帆をもつスポーツ船で特に有用である。このことに関しては、次の、米国特許第 4 8 6 3 4 0 4 号明細書及び米国特許第 4 8 1 7 5 5 0 号明細書が挙げられる。

【 0 0 2 7 】

・ 陸上車両：この技術分野に関して予見される当面の用途は、車両の移動の間における車両の安定化である。自動車（並びにバス及びトラックも）の場合には、現在のところ二つのタイプの装置があり、前記装置は、車両が例えば相当の転倒トルクを構造アセンブリに生み出すような十分に際立った方向変化に直面したとき、車両に安定性を与える。これらの装置は、スタビライザ及び能動減衰システムである。両方の場合において、車両の懸架装置の剛性の増大が、転倒に起因する回動が生じるところの車両の側に求められ、また低下が反対側に求められ、その結果車両は、転倒方向とは反対方向にロールする傾向を有し、従って車両自身の転置された質量による安定性の欠如に対抗する。次の、米国特許第 5 8 7 6 1 4 8 号明細書、米国特許第 4 9 3 0 8 0 7 号明細書、米国特許第 4 5 5 0 9 2 6 号明細書、米国特許第 5 8 7 6 1 4 8 号明細書、米国特許第 4 3 4 5 6 6 1 号明細書、英国特許出願公開第 2 0 3 9 8 3 4 号明細書、独国特許出願公開第 4 1 1 6 8 3 7 号明細書、及び特開昭 5 7 - 1 8 2 5 0 5 号公報が参考として挙げられる。

【 0 0 2 8 】

10

20

30

40

50

ジャイロ安定化プラットフォーム及びプロセッサと一緒にになったジャイロアクチュエータから成るアセンブリは、車両の転倒トルクに対して反対方向のトルクを作り出して、安定性の欠如を生み出す旋回の実行の間に車両を安定化する。アセンブリが作動する方法は次のとおりである。ジャイロ安定化プラットフォームが、車両によって生み出されたピッチング、ローリング、及びヨーイングの変化を（車両が停止しているか又は安定性不足なしに運動しているときの）車両の待機状態位置に対して検出する。取得された測定値がプロセッサに送られ、プロセッサは、車両構造体の安定性不足を軽減するトルクを作り出すための、アクチュエータに対する補正命令を作り出す。

【 0 0 2 9 】

アクチュエータに基づくシステムの、挙げられた他のものに比較した主要な利点は、第二の場合におけるように、前記システムがもつ大きな動作マージンであり、転倒トルクに対抗して作り出される同等のトルクは、その実際の性質に起因して非常に小さなマージンに依存することとなるが、ジャイロアクチュエータに基づくシステムを使うことにより、トルク生成の可能性は、実際の装置の設計に依存して構造的アセンブリには依存せず、機構が説明されたとき後で実現されるように、非常に高いことが可能である。

【 0 0 3 0 】

鉄道輸送車両の場合には、列車の最も重要な速度制限要因のいくつかは、軌道配置の水平曲率半径であり、また列車がカーブを通るとき乗客に遠心加速度が生じ、前記遠心加速度の最大値は各国で通用している規則によって制限されているので、アクチュエータは、自動車に関して説明された用途に類似である。この値を低下させるために、二つのタイプの解決法がある。第一のものは、パテスタルゴ (PATENTES TALGO) 社によって開発され、またポルチコ (portico) から成る車両の構造で構成されたものであり、前記ポルチコから乗客区域構造体が吊り下げられ、その結果カーブを通るとき乗客区域はロールして傾き、そして乗員によって経験される遠心加速度は、乗客区域の基部に向かう普通の加速度とこの加速度に垂直な、規則が適用される加速度との二つに分かれるが、前記規則が適用される加速度は、乗客区域が完全に水平に保たれた場合に存在するものに対して小である（振り子効果）。

【 0 0 3 1 】

第二のタイプの解決法は、自動車に関して前述されたものに類似の能動減衰から構成され、前記能動減衰は、車両の乗客区域の適切な傾斜を作り出す。

【 0 0 3 2 】

上述のことに関係する次の特許、仏国特許出願公開第 2 5 6 3 4 8 7 号明細書、仏国特許出願公開第 2 5 6 3 4 8 7 号明細書、及び米国特許第 5 5 7 3 2 6 5 号明細書が引用される。

【 0 0 3 3 】

（安定化プラットフォーム及びプロセッサを持つ）上述のもののようなアセンブリの部分形成するジャイロアクチュエータは、貨車の乗客区域の所望の傾斜を作り出すことができるだけでなく、相対的対転倒トルクを作り出して構造体の完全な安定性にも貢献することができる。

【 0 0 3 4 】

鉄道輸送に関する主な利点は、現行のものよりも速い速度で、更にできれば安全で快適な状態で移動できることの可能性からなる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 5 】

前述の全ての適用例は、この特許から導き出される新しい特許の主題である。この項はジャイロアクチュエータの動作モードを説明するものであり、ジャイロアクチュエータは、記述される予定のことをいずれにしろ修正しない、その周囲の状況へのいくつかの適合をとおして、前述された適用例に適した異なる構造形を可能にする。

【 0 0 3 6 】

ジャイロアクチュエータは、運動量保存の法則に基礎を置いている。ニュートン基準系

10

20

30

40

50

O x y z に関して速度  $v$  で移動している質量  $m$  の質点 ( 図 1 ) の運動量の定義は、運動量のベクトル  $m v$  と質点の位置ベクトル  $r$  とのベクトル積から生じる値  $h$  として定義される。

【 0 0 3 7 】

運動量保存の法則は、質点への力  $F$  の適用により生み出される、質点の運動量  $h$  の時間に関する変化が、モーメント又はトルク  $N$  に等しいことを確立し、また前記質点の運動量  $h$  の時間に関する変化が、基準系の原点  $O$  に関するその力  $F$  を生み出す。

【 数 1 】

$$\frac{d}{dt} \vec{h} = \vec{N}$$

10

【 0 0 3 8 】

アクチュエータは、例えば二ペアのリングペアの集団のリングアセンブリからなる機構を有しており、前記機構は、協調されたスピン回転と章動回転によって、次の要求事項を満足するトルク  $N$  を生み出す。

1 . トルク  $N$  のベクトルは、慣性基準系において一定の方向及び回転方向を有していなければならない。

2 . トルク  $N$  の 大きさ は、トルク  $N$  を作り出すパラメータが意図的に変えられるまで、一定でなければならない。

20

3 . 前述の条件の下でのトルク  $N$  の持続時間は、トルク  $N$  を作り出すパラメータが意図的に変えられるまで、無限である。

【 0 0 3 9 】

リングが平面 でスピンしているとき、図 2 に示されたそのような状況で、リングは、章動回転を受けて軌道面 ' に変わって運動量  $h$  の変化が生じ、この運動量  $h$  の変化がトルク  $N$  の出現を含む。機構は四つのリングを有しており、前記四つのリングは、対になって順に働いて、次の三つの要求条件を満足するように生み出されたトルク  $N$  を得る。

【 0 0 4 0 】

四つのリングは、言われていることによると、スピン ( ) 及び章動 ( ) の二つの自由度を有しており、歳差運動 ( ) は常にゼロである。

30

【 0 0 4 1 】

全ての円筒形状リングは、それらの主軸に関する同じ慣性モーメントをもっていなければならない。図 3 において、リングの一つに結び付けられた基準系が見られる。スピン回転が、Z 軸周りに発生し、又章動回転が X 軸周りに発生する。リングは、1、2、3、及び 4 と名づけられ、番号 1 が最も内側のものであり、又番号 4 が最も外側のものである。リングは等しい速度で、交互の方向で、つまりリング 1 は +、2 は -、3 は +、及び 4 は - 方向でスピンする。

【 0 0 4 2 】

リングの組み合わせられた動作はペアによるものであり、つまりリング 1 はリング 2 と、又リング 3 はリング 4 と結び付けられる。このことは、1 と 2 が共に作動するときトルクを生み出し、その後で 3 と 4 が作動するとき同一のトルクを生み出し、その結果動作サイクルは、1 及び 2 の作動の第一半サイクルと、3 及び 4 の作動の第二半サイクルとである、二つの半サイクルからなるものである。

40

【 0 0 4 3 】

リングのペアの作動は、( それらがスピンドで連続的に運動している ) 章動回転として理解される。章動運動は、リング 1 に関して、水平な X Y に関して位置する一つの平面からの角度 = - から別の角度 = + へ変化することから成るものである。同時にリング 2 に関して、章動運動は、やはり水平な X Y に関して位置する一つの平面からの角度 = + から別の角度 = - へ変化することから成るものである。

50



## 【 0 0 4 4 】

リング 3 及び 4 が動作に入るとき、それらは、リング 1 及び 2 に関して示された章動回転と同じ章動回転を行う。このようにしてサイクルは完了する。次のサイクルが、再びリング 1 及び 2 の章動回転から始まり、章動回転は今回は前回のものとは反対の様態であり、つまりリング 1 は、角度  $\theta = \theta_0$  から  $\theta = \theta_0 - \Delta\theta$  へ、リング 2 は、角度  $\theta = \theta_0$  から  $\theta = \theta_0 + \Delta\theta$  へ変化する。このサイクルにおいて、リング 3 及び 4 もリング 1 及び 2 と同様のことをする。即ち、ペアで作動するリングは、最初のサイクルで章動回転をし、次のサイクルで章動回転を元に戻す。

## 【 0 0 4 5 】

図 4 では、リング歯車の Z Y 平面上の投影が見られる。スピン速度の方向 (+ 又は - ) が各リング歯車に関して示され、また矢印によって章動回転の方向と向かう側とが示されている。生み出されるモーメントも観察される。この場合には、成分 X は図示された平面に対して垂直であるので、成分 Y 及び Z だけが図示されている。

10

## 【 0 0 4 6 】

リングのペアが作動するとき、発生モーメントの X 成分及び Z 成分は、各リングに関して、互いに正反対のものを有していて、無効にされる。しかしながら、成分 Y は、両方のリングに関して同じ方向と回転方向を有しており、その結果成分 Y は合計される。これが機構の原理であり、またこれが図 4 に示されたことであり、従って、求めるトルクを生み出すトルクの有用な成分は、 $N_y$  になる。

## 【 0 0 4 7 】

各リングが供給するトルク  $N_y$  の値は、次のとおりである。

20

## 【 数 2 】

$$N_y(t) := -I_z \cdot \left[ \left( \frac{d}{dt} \theta(t) \right) \cdot \frac{d}{dt} \psi(t) \cdot \cos(\theta(t)) \right]$$

ここで、 $I_z$  は、上述の基準系による、論議されているリングの Z 軸に関する主慣性モーメントである。

## 【 0 0 4 8 】

( t ) で示されるスピン関数の値は、線形タイプであり、それによりリングは一定速度でスピンする。しかし、章動関数 ( t ) は、可逆循環タイプの一つであるに違いなく、その結果トルクの Y 軸への射影は、章動回転の推移の間に一定である。これらの関数と、リングのペアでの組み合わせられた動作とのやり方は、一定の方向 ( 以下にコメントされた回転方向ではない ) のトルクベクトル、及び一定の 大きさ、及び ( 所望される間の ) 制御可能な作動時間を保証し、それらは、前述の要求事項の一部である。

30

## 【 0 0 4 9 】

図 6 は、X Z 平面に投影された四つのリングと、歯車列を含む運動学的連鎖とをもつジャイロアクチュエータの機構の略図であり、運動学的連鎖はスピン回転 及び章動回転を歯車列に到達させる。機構の組合わされた動作がこの図をとおして理解できる。

40

## 【 0 0 5 0 】

機構は、基本的にリングにおけるスピン運動及び章動運動の協調によって作動することを念頭において、この図で、スピン が歯車 e 1 5 をとおしてどのように運動学的連鎖に達するかを見ることができ、前記運動学的連鎖は歯車 e 1 6、e 1 7、e 1 8、e 1 9、e 2 0、及び e 3 0 から構成されており、歯車 e 3 0 はリング 4 に接続し、リング 4 は上外側部分に歯のある区域を有しており、前記歯のある区域はスピン運動 ( - 回転方向 ) を直接的に伝える。リング 4 はその内側下部分に e 3 1 と噛み合う別の歯のある区域を有しており、前記 e 3 1 は e 3 2 に取り付けられている。歯車 e 3 2 は、リング 3 の上外側部分の歯のある区域に噛み合う。従って、このリングはスピンさせられるがリング 4 の方向とは反対方向 ( + 回転方向 ) でスピンさせられる。こうして、両方のリングは、正確に同

50

じ回転数であるが反対方向に回転する。

【0051】

リング2は、運動学的連鎖 e16、e17、e18、e19、e21、e22、e23、e24、e25、e26、及びe27をとおして歯車 e15 の同じスピン運動を受ける。このe27はスピン運動をリング2に伝え、次にスピン運動は、リング4及びリング3に関して示されたのと同じやり方で、e28及びe29によって反対方向でリング1に伝えられる。

【0052】

章動運動は独立してリングペア1、2及び3、4に伝えられる。第一の場合では、章動は歯車 e36 によって、又運動学的連鎖 e35、e34、e33、e8及びe7によって受け取られ、またe7の軸はウェッジC2に取り付けられている。ウェッジC2は、リング2の区域を取り囲んでいる部分であり、また支持体として機能し、リングはこの部分(ウェッジ)によって取り囲まれて運動し、ウェッジはリングを支えるのを助け、またリングがスピンで回転しているときでさえもリングを章動で回転させることも助ける。従って、e7が+から-への章動において回転したとき、取り付けられたウェッジC2及びそれ故リング2は回転する。が70度の値を超えてはならないことが理解される。

10

【0053】

ウェッジC2が、示された状態で章動で回転するとき、歯車 e3、e2、及びe1をとおして、e3及びe2が衛星・遊星アセンブリを形成して、e2が、内歯車であるe1と噛み合っているので、回転が反対の回転方向でウェッジC1に伝えられる。ウェッジC1は-から+への章動でリング1を回転させる。

20

【0054】

リング3及び4に関する章動運動は歯車 e14 で受け取られる。前記章動運動は、運動学的連鎖 e12、e11、e10、及びe9をとおして伝えられる。この歯車 e9 の軸はウェッジC4に取り付けられており、ウェッジC4は+から-への章動でリング4を回転させる。リング1及び2について説明したのと同じ状態で、ここで章動運動は、歯車 e6、e5、e4及びウェッジC3によってリング4から3へ伝達される。

【0055】

後のサイクルで、章動の伝達は、符号を、リング2及び4に関しては-から+へ、リング1及び3に関しては+から-へ変える。

30

【0056】

スピン  $(t)$  及び章動  $(t)$  の運動学的関数は、電気的回転とトルク制御とを有する三つのモーターから構成される動力アセンブリによって生み出されて、それぞれの歯車 e15、e14、及びe36に到達する。モーターの一つは関数  $(t)$  を歯車 e15 に提供し、他の一つは関数  $(t)$  を歯車 e36 に提供し、最後の一つも関数  $(t)$  を歯車 e14 に提供する。

【0057】

見られるように、最初のサイクルでリング1及び2が作動するとき、 $-2Ny$  のトルクが得られる(マイナス符号は図4の命名法に従うべきである)。後で、リング3及び4が作動するとき、同じトルク  $-2Ny$  が再び得られる。しかし、次のサイクルで、リング1及び2が作動して以前の章動運動を元に戻すとき、得られるトルクは符号変化をともなって  $2Ny$  である。同じことがこの第二のサイクルでリング3及び4が作動するとき起こり、リング3及び4はやはりトルク  $2Ny$  を生み出す。従って、トルクインバーターと呼ばれる装置が必要であり、トルクインバーターは、図5に図示されており、また機構が取り付けられるプラットフォームに機構が供給するトルク符号が常に同じであるように各サイクルにおいて交互に介在する。

40

【0058】

図5では、トルクインバーターは、(それがトルクの反転を実行する)左側の稼動位置、及び(それがトルクの反転を実行しないで、それが受け取るのと同じトルクをフレーム

50

に引き渡す)右側の非稼働位置で与えられる。インバーターは、二つの開口を有し且つ軸によってフレームに固く取り付けられた第一の内歯車、及び衛星と、二つの突起をもつ遊星とを形成する二つの歯車からなるアセンブリ、及び遊星歯車の軸に取り付けられたロッドから構成される。

【0059】

インバーターは次のとおり動作する。ロッドがA位置にあるとき、トルクインバーターは稼働させられ、また衛星の歯が内歯車に対向する。機構のトルクは遊星の軸をとおして受け取られ、遊星は、内歯車によって受け取られるトルクを衛星によって反転する。この反転されたトルクは、フレームに伝えられ、その結果として、ジャイロアクチュエータが配置されるところのプラットフォームに伝えられる。

10

【0060】

ロッドが位置Bにあるとき、トルクインバーターは非稼働であって、衛星の歯はもはや内歯車に対向しない。しかし、遊星の突起は、内歯車の開口の中に挿入される。この状態でトルクが遊星軸に受け取られると、トルクは反転無しで内歯車に伝えられ、内歯車は反転無しでトルクをフレームに伝える。

【0061】

トルクインバーター装置によって、トルクベクトルの回転方向は、機構の全動作サイクルの間において一定に維持され、その結果この項の開始時において挙げられた三つの要求条件を満足する。

【0062】

永続的作動形態にある機構の挙動を参照してこれまで与えられた説明は、しかしリング歯車の章動回転(開始)が開始されようとするとき、リング歯車が章動速度ゼロから永続的作動形態の関数により要求される速度(この速度は章動関数  $d(t)/dt$  から導き出される)へ推移するとき、移行時間間隔を通過することが必要である。

20

【0063】

この状況は不連続性を示し、前記不連続性はこれのための特別な関数を使って克服されなければならない。前記特別な関数は  $g(t)$  であって、リングが停止されるところの  $g(0) = -$  (又は  $g(0) = +$ ) の値に関して、効力のない章動速度を有しており、運動(章動回転)は特定の時間(移行時間)でスタートされることが可能であり、前記特別な関数は、移行間隔の終わりで永続的作動形態の関数への連結を可能にし、到達された点と(つまり  $g(t_1) = (t_1)$ 、ここで  $t_1$  は、移行時間の終わりにおける時刻の値である)、一次導関数  $(dg(t)/dt)|_{t_1} = d(t)/dt|_{t_1}$  ) とにおける連続性を達成し、このことは、角度値と章動速度とにおける連続性が移行間隔の終わりにあることと同じである。図7は説明されたプロセスを示している。

30

【0064】

同じことは、リングが、章動回転におけるリングの行程の終わりに達して、停止しなければならないときに起こる。章動回転は、式  $d(t)/dt$  により与えられる一つの回転速度からゼロの値に即座に移ることができない。章動回転は、移行間隔を通過することを必要とし、移行間隔はリングが停止するまでリングを減速させる。これは制動プロセスである。制動プロセスは他の運動の関数  $h(t)$  をとおして実施され、前記関数  $h(t)$  は、永続的作動形態の間隔の終わりに印を付ける時刻  $t_2$  に関してスタートして、時刻  $t = t_a$  にあるリングを回転速度がゼロであり且つ章動におけるリング位置が  $(t_a) = \mu$  (又は  $(t_a) = -\mu$ ) であるところの状態に到達させる。ここで  $\mu$  は1に近い係数である。この状態が図8に示されている。

40

【0065】

移行開始関数は、作動しているリングのペア(1及び2、又は3及び4)に適用される。移行開始関数は、リングの対立するペア(3及び4、又は1及び2)の移行停止関数と時間的に一致し、その結果各ペアに関して生み出されるトルク(一方はスタートにおけるもので他方は停止時におけるもの)は、合計されるとき、機構が供給するトルクの重大な変化を生み出さない。この状態において、オーバーラップが、図9で見られるように、リ

50

ングの組み合わせられた動作で獲得される。この領域は、突発的振る舞いなしに、機構の良好な作動を達成するために重要であり、前記突発的振る舞いはトルク  $N_y(t)$  の大きさに影響する。いかなる場合でも、与えられた用途に関する機構の特定の寸法に起因して、 $N_y(t)$  の値の不均一な振る舞いがオーバーラップ領域で生ずるなら、ダンパーが、機構のフレームと機構が取り付けられるプラットフォームとの間に使用可能であり、前記ダンパーはこの不規則性を許容できる値に和らげる。

【 0 0 6 6 】

図 9 に現れるサイクルは、実際の状況では、ジャイロアクチュエータのトルクが求められなくなるまで連続的に繰り返される。

【 0 0 6 7 】

図 10 は、ジャイロアクチュエータの構成の図表であり、そこでは、前述の説明の中で考慮された部分を図式的に見ることができる。前に挙げられていない装置、つまり動作コントローラを見ることができる。これは電子制御装置であり、この電子制御装置は、所望のトルクとそれの継続を引き起こす運動学の法則の形で、モーターによって生み出されるに違いない動作を引き起こす。

【 0 0 6 8 】

モーターからの命令が運動学的連鎖で受け取られ、前記運動学的連鎖がリングをスピン及び章動で動かし、従ってトルクを作り出す。トルクは、トルクインバーターを通過させられ、前記トルクインバーターは当該のサイクルに依存して稼動されるか又は非稼動であるかである。稼動は、動作コントローラにより制御される。次にトルクは、サイクルオーバーラップ領域における変化を和らげるためにダンパーを通過して、最後にプラットフォームに到達させられて、プラットフォームの配向の変化を引き起こす。

【 0 0 6 9 】

機構により生み出されるトルクは、基本的に次の三つのパラメーターに依存する。

- ・リングの慣性：これは外形（寸法）及びリングを構成する材料を含む。
- ・リングのスピン回転速度
- ・各々の協調されたリングペアにおける章動関数の作動時間（図 9 の  $t_a$ ）。

【 0 0 7 0 】

挙げられた三つのパラメーターの、それ（章動時間）は最後のものになり、前記章動時間は、基本的にトルクベクトルの大きさを増大させるか又は減少させるために、この増大又は減少が要求された場合に使用される。このことは、関係するモーターの動作に依存するので最速の応答をもつものであり、前記モーターは動作コントローラから受けた命令に従って運動学的法則を作り出す。前述のトルクの式  $N_y(t)$  において、式  $d(t)/dt$  に暗示的な、章動関数の作動時間への依存がどのように逆比例するか、つまり章動作動時間が減少すると、生み出されるトルクは大きくなることが観察される。

【 0 0 7 1 】

他の二つのパラメーターは、ジャイロアクチュエータにおいて速い応答を生み出すためには、非常に重要性があるわけではない。スピンにおける変化が、章動のように容易に変化し得るものではないこと、及びリングの慣性が、永久的であってどんなタイプの変化も受けないことは明らかである。

【 0 0 7 2 】

章動法則の適用時間が短くなると発生トルクは大きくなるのが起こるので、トルク発生の限界は、リングを構成する材料の能力に依存し、もし前記能力が、例えば非常に大きな剛性の良好な機械的特性を有するなら、リングはその章動作動の間にほんの僅かな変形を受け、慣性モーメントは一定のままであり、著しい変形の出現に起因して材料の特性がリングの慣性を保つのに不十分になるまで、発生トルクはより更に高くなるのが可能である。この状態では、材料の可能性の限界は、所与の外形寸法と当初から確立されたスピン速度とにより、到来する。

【 0 0 7 3 】

図 9 によると、また一定トルクが絶対的に必要ではなく且つ平均トルク値に関して  $\pm 2$

10

20

30

40

50

0%の擾乱変化が許容されるいくつかの用途においては、リングの単一ペアを有するジャイロアクチュエータを使用することで十分である。

【0074】

大部分の用途では、リングの二つのペアが使用され、また高精度の場合にはリングの三つのペアが使用される。

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】図1は、基準系 $Oxyz$ において、速度 $v$ で経路を進む空間内の質量 $m$ の質点を表しており、そこでは質点は、位置ベクトル $r$ と運動量 $h$ とを有している。本図は、本発明が基礎を置く物理法則を図解するために使用される。

【図2】図2は、平面 $\sigma$ 上のリングと、他の平面 $\sigma'$ 上の同じリングも表しており、前記他の平面 $\sigma'$ は最初の平面 $\sigma$ に対して回転されている。回転の軸線はリングの直径線を通り抜けている。

【図3】図3は、本機構で使用されるタイプの総称的リングに結び付けられた基準系を示している。中心 $O$ はリングの中心と同一であり、 $Z$ 軸は、リングの平均円周面に垂直な主軸に一致しており、また $X$ 軸及び $Y$ 軸は、 $Z$ 軸に直交して互いの間に右旋性の系を形成し、また平均円周面内にある。

【図4】図4は、慣性基準系の $ZY$ 平面に投影された、本機構を作り出す四つのリングを示しており、前記慣性基準系の $Z$ 軸及び $Y$ 軸は、図3に提示された固体に結び付けられた基準系に一致する。同心に配置されたリングの1及び3が角度 $-$ の平面で、また2及び4が角度 $+$ の平面で回転される。下方の区画のリング(1及び3)は、負のスピンの回転速度を有している。上方の区画のリング(2及び4)は、正のスピンの速度を有している。矢印は、上に示された条件でリングが引き起こす章動の回転を示している。最初に1と2が回転して、位置 $+$ 及び $-$ にそれぞれ変化し、前記位置でリングはトルクの成分 $N_x$ 、 $-N_y$ 、 $+N_z$ (リング1)及び $-N_x$ 、 $-N_y$ 、 $-N_z$ (リング2)を作り出し、このことが図に示されるベクトル $-2N_y$ という結果になる。同じことがリング3及び4についても生じ、前記リング3及び4は、他の二つのリングの運動の終了時点で回転を始める。

【図5】図5は、トルクインバータと呼ばれる装置の線図である。その名称が表すように、四つのリングの複合運動によって作り出されたトルクの反転を実行する。以下に説明されるように、リングの動作サイクルは逆符号のトルクを交互に作り出す。この装置は、同一符号のトルクが結果として生じるようにトルクを交互に反転させる。従って、装置は、稼動(左側位置)であるか又は不稼動(右側位置)であることが可能である。装置は遊星歯車 $e_2$ から構成され、前記遊星歯車 $e_2$ の軸はロッドを有しており、前記ロッドは、 $A$ (左図)または $B$ (右図)に配置され得る。このロッドは、トルクインバータを稼動又は不稼動にさせる。遊星歯車 $e_2$ は衛星 $e_3$ と接触しており、前記衛星 $e_3$ は(稼動位置において)さらに内歯車である $e_1$ と噛み合う。歯車 $e_3$ は二つの突起を有しており、前記二つの突起は、内歯車 $e_1$ に設けられた二つの穴に挿入可能である(不稼動位置)。以下にこの装置の動作が説明される。

【図6】図6は、四リング歯車機構の略図であり、前記四リング歯車機構は、スピン回転及び章動回転を協調した状態で実行することができ、またジャイロアクチュエータの目的のトルクを作り出す。四リング歯車機構は慣性基準系の $XY$ 平面に投影されている。四リングのこの平面への投影(リングの直断面)が観察される。リングの支持手段も、ウェッジと呼ばれる部品( $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $C_4$ )によって見ることが可能である。ウェッジは、リングを取り囲むいくつかの区域から構成されて、リングがウェッジの中で滑動することを可能にする(スピン回転)。スピン回転( )及び章動回転( )を対応するトルクでリングに到達させる運動学的連鎖を見ることができる。

【図7】図7は、章動の角度値が縦座標に示されたグラフであり、これはスタート時点で総称的リングを有しており、時間が $x$ 座標に示されている。この図は、リングがその章動運動を開始するときに生じる転移を説明するために使用される。

10

20

30

40

50

【図8】図8は、図7に同様であるが、総称的リングの章動運動の停止を参照するものである。

【図9】図9は、発生トルク  $N_y(t)$  の値が、四つのリングの複合動作サイクルの間で示されているグラフである。サイクルは二つの半サイクルから構成されている。最初にリング1及び2が(0と  $t_1$  との間で)スタートし、次にリングは、(  $t_1$  と  $t_2$  との間に)割り付けられた章動関数に従って推移して、最後にそれらは(  $t_2$  と  $t_a$  との間で)停止する。この最後の区間の際に、リング3及び4が(それらの半サイクルの0と  $t_1$  との間で)スタートして、第二の半サイクルがスタートする。次にリング3及び4も(  $t_1$  と  $t_2$  との間に)割り付けられた章動関数に従って推移して、最後に(  $t_2$  と  $t_a$  との間で)停止する。このように第二の半サイクルが終了して動作サイクルが完了する。機構の作動は多くの継続するサイクルを必要とする。

10

【図10】図10は、ジャイロアクチュエータのブロック線図を示している。その説明は技術的説明の項で詳細に為される。

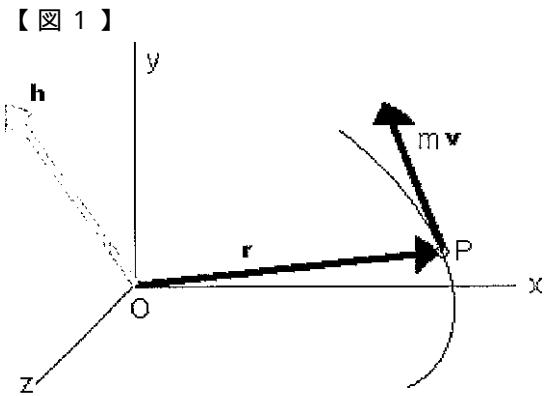


Figura 1

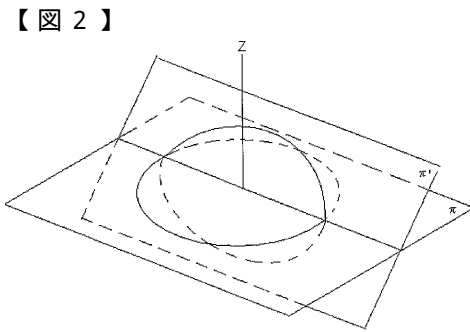
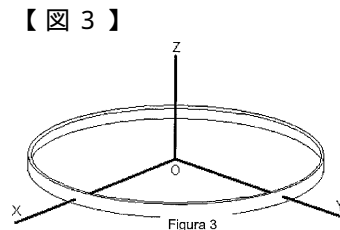


Figura 2



【図4】

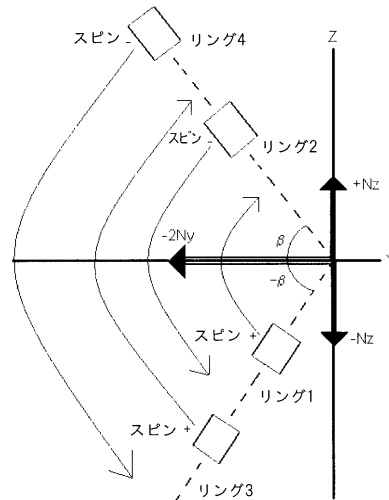
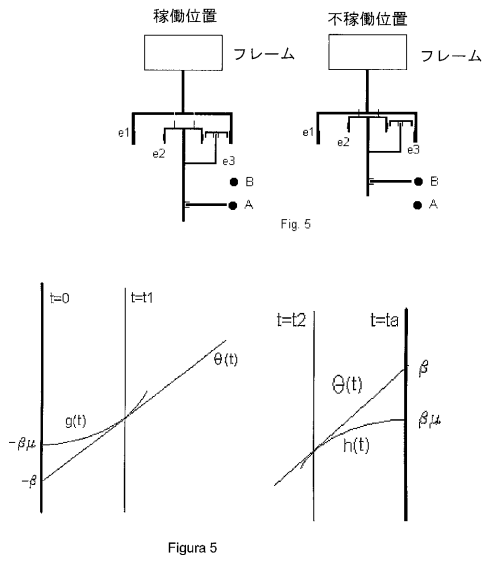
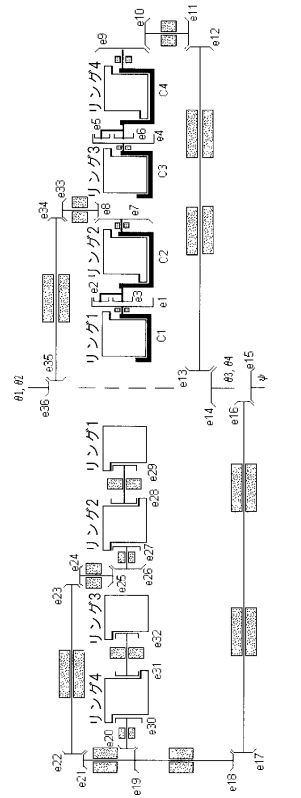


Fig. 4

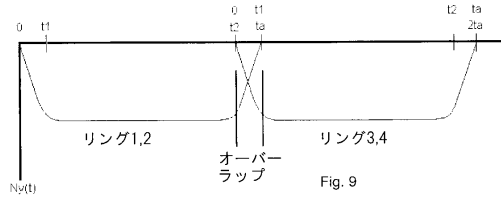
【図5】



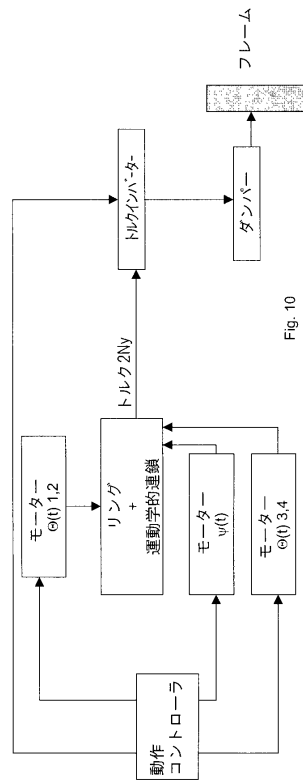
【図6】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ゲレロ パドロン, フアン ホセ  
スペイン国, エー - 2 8 0 0 9 マドリッド, イビサ, 3 7

審査官 谷口 智利

(56)参考文献 米国特許第03741500(US, A)  
英国特許出願公開第02225424(GB, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01C 19/02