

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6524100号
(P6524100)

(45) 発行日 令和1年6月5日 (2019. 6. 5)

(24) 登録日 令和1年5月10日 (2019. 5. 10)

(51) Int. Cl.	F 1
F 1 6 M 13/02 (2006. 01)	F 1 6 M 13/02 T
B 6 4 D 45/00 (2006. 01)	B 6 4 D 45/00 A
F 1 6 M 11/20 (2006. 01)	F 1 6 M 13/02 H
F 1 6 M 11/42 (2006. 01)	F 1 6 M 11/20 B
F 1 6 M 13/00 (2006. 01)	F 1 6 M 11/42

請求項の数 40 (全 40 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-543128 (P2016-543128)	(73) 特許権者	516189039 ビーブイ ラボズ インク. P V L A B S I N C. カナダ国 オンタリオ エル7ティー 4 エー8, バーリントン, 1 0 7 4 クック ビーエルブイディー.
(86) (22) 出願日	平成26年12月23日 (2014. 12. 23)		
(65) 公表番号	特表2017-508109 (P2017-508109A)	(74) 代理人	110001999 特許業務法人はなぶさ特許商標事務所
(43) 公表日	平成29年3月23日 (2017. 3. 23)	(72) 発明者	ルイス, マイケル ディー. カナダ国 オンタリオ エル7エム 3ジ エイ2, バーリントン, 3 2 0 3 フィリ ップ ストリート
(86) 国際出願番号	PCT/CA2014/000912		
(87) 国際公開番号	W02015/095951		
(87) 国際公開日	平成27年7月2日 (2015. 7. 2)		
審査請求日	平成29年12月15日 (2017. 12. 15)	審査官	米澤 篤
(31) 優先権主張番号	14/140, 130		
(32) 優先日	平成25年12月24日 (2013. 12. 24)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラットフォーム安定化システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

支持フレームの運動から負荷を分離するためのプラットフォーム安定化システムであって、

支持フレームと、
負荷を搭載するためのプラットフォームと、
各々が前記支持フレームと前記プラットフォームとの間で直接的に延びる複数の分離器と、を含み、

各分離器は、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線運動を3自由度で許容し、

各分離器は、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの回転運動を3自由度で許容し、

前記複数の分離器は、協働して、前記支持フレーム内で前記プラットフォームを直接支える分離器群を形成し、

該分離器群は、前記支持フレームから前記プラットフォームを離間させ、
前記分離器群は、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの限定的な直線運動を、直交する3本のプラットフォーム軸に沿った3自由度で許容し、

前記分離器群は、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの限定的な回転運動を、前記3本のプラットフォーム軸を回転軸とした3自由度で許容し、

前記分離器群は、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの回転運動に対して

よりも、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線運動に対しての方が、より抵抗力があり、

前記プラットフォームは、前記分離器群によって回転に関する拘束を受けないことを特徴とするプラットフォーム安定化システム。

【請求項 2】

前記分離器群は、前記プラットフォーム軸に沿った前記プラットフォームの直線運動について、前記プラットフォーム軸を回転軸とした前記プラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも 2 倍の非減衰固有振動数を有していることを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 3】

前記プラットフォーム軸に沿った前記プラットフォームの直線運動についての前記非減衰固有振動数が、前記プラットフォーム軸を回転軸とした前記プラットフォームの回転運動についての前記非減衰固有振動数の、少なくとも 3 倍であることを特徴とする請求項 2 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 4】

前記プラットフォーム軸に沿った前記プラットフォームの直線運動についての前記非減衰固有振動数が、前記プラットフォーム軸を回転軸とした前記プラットフォームの回転運動についての前記非減衰固有振動数の、少なくとも 5 倍であることを特徴とする請求項 3 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 5】

前記プラットフォーム軸に沿った前記プラットフォームの直線運動についての前記非減衰固有振動数が、前記プラットフォーム軸を回転軸とした前記プラットフォームの回転運動についての前記非減衰固有振動数の、少なくとも 10 倍であることを特徴とする請求項 3 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 6】

各分離器は、各自がばね軸を有する少なくとも 1 つの圧縮ばねを含むと共に、前記分離器群を形成し、

前記圧縮ばねは、各々のばね軸が前記プラットフォーム内の共通の点から外側へ放射状に伸びる態様で配置され、

前記共通の点は、前記プラットフォームの質量の中心であり、

前記圧縮ばねは、小さな横方向のばねレートが発生するように、軸方向に予圧がかけられることを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 7】

前記分離器群は、仮想立方体の角に配置された 8 つの圧縮ばねを含み、前記共通の点が前記仮想立方体の質量中心であることを特徴とする請求項 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 8】

前記分離器群は、仮想正四面体の角に配置された 4 つの圧縮ばねで構成される群を少なくとも 1 群含み、前記共通の点が前記仮想正四面体の質量中心であることを特徴とする請求項 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 9】

前記分離器群は、仮想立方体の質量中心から、前記仮想立方体の 6 つの面の中心を通過して外側へ放射状に伸びた、6 つの圧縮ばねを含むことを特徴とする請求項 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 10】

前記分離器群は、対称配置の圧縮ばね群を含むことを特徴とする請求項 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 11】

前記圧縮ばねが、機械加工された多条螺旋の圧縮ばねであることを特徴とする請求項 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

各分離器は、屈曲ピボット部材を含むことを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 1 3】

各屈曲ピボット部材は、直列に配置された 3 つの単軸式屈曲ピボットを含み、各屈曲ピボットがピボット軸を有しており、

各屈曲ピボット部材について、各屈曲ピボットの前記ピボット軸が、前記プラットフォームの質量の中心で交わり、

前記屈曲ピボット部材は、前記分離器群を形成するように、対称的に整列されて配置されることを特徴とする請求項 1 2 記載のプラットフォーム安定化システム。

10

【請求項 1 4】

各屈曲ピボット部材が、一体構造物であることを特徴とする請求項 1 3 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 1 5】

各分離器が、ダイヤフラム式分離器であることを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 1 6】

各ダイヤフラム式分離器は、

前記支持フレームに搭載される第 1 のハウジングと、

前記プラットフォームに搭載される第 2 のハウジングと、

各ハウジングの内部に設けられ、互いに対向するダイヤフラム受け部と、

2 つの対向するダイヤフラムと、を含み、

各ダイヤフラムは、その周縁部が一方の前記ハウジングにより支持され、該ハウジングの前記ダイヤフラム受け部を横切って延びており、これにより、各分離器について、一方の前記ダイヤフラムが前記支持フレームと連結されると共に、他方の対向するダイヤフラムが前記プラットフォームと連結され、

前記 2 つのダイヤフラムは、該ダイヤフラムの半径方向中心部の間で延びる捩じれ屈曲部材によって互いに連結されることを特徴とする請求項 1 5 記載のプラットフォーム安定化システム。

20

【請求項 1 7】

前記捩じれ屈曲部材は、軸方向に弾性を有することを特徴とする請求項 1 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

30

【請求項 1 8】

前記捩じれ屈曲部材が、つる巻ばねであることを特徴とする請求項 1 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 1 9】

前記ダイヤフラムは、型加工された弾性構造体であることを特徴とする請求項 1 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 2 0】

前記ダイヤフラムは、ベローフラム状の金属構造体であることを特徴とする請求項 1 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

40

【請求項 2 1】

各ダイヤフラム式分離器は、更に、前記捩じれ屈曲部材の横方向の移動を制限するために、該捩じれ屈曲部材に搭載されるストッパを含むことを特徴とする請求項 1 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 2 2】

各ダイヤフラムは、流体不浸透性を有し、

各ハウジングは、各々のダイヤフラムと協働してダンピングリザーバを形成し、

各ダンピングリザーバは、各々のシンクリザーバと流体連通状態にあり、ダンピング流体を各ダンピングリザーバから各シンクリザーバへと移すことで、各々のダイヤフラムの

50

軸方向運動を制振することを特徴とする請求項 16 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 23】

各ハウジングは、各々のダイヤフラムと協働して収容部を形成し、

各収容部を横切って仕切部材が延びることで、各収容部を前記ダンピングリザーバと前記シンクリザーバとに分割し、

各ダンピングリザーバは、各仕切部材にある少なくとも 1 つの開口部を介して、各シンクリザーバと流体連通状態にあることを特徴とする請求項 22 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 24】

更に、前記支持フレームと前記プラットフォームとの間に直接作用する能動型駆動システムと、

該能動型駆動システムと接続され、センサ入力を受信して該センサ入力に応じて前記能動型駆動システムを制御する制御システムと、を含むことを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 25】

前記制御システムは、前記プラットフォームの運動を安定させるように、前記センサ入力を使用して前記能動型駆動システムを制御することを特徴とする請求項 24 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 26】

前記制御システムは、前記プラットフォームを能動的に制振するように、前記センサ入力を使用して前記能動型駆動システムを制御することを特徴とする請求項 24 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 27】

前記能動型駆動システムは、少なくとも 3 つの磁性ボイスコイル・アクチュエータで構成される群を 1 群含み、

各磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記支持フレームに搭載される第 1 部材と、前記プラットフォームに搭載される第 2 部材とを含み、

各磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記支持フレームと前記プラットフォームとの間に直接作用して、第 1 のプラットフォーム位置決め力を、第 1 のモータ軸に沿って前記プラットフォームへ付与すると共に、第 2 のプラットフォーム位置決め力を、第 2 のモータ軸に沿って前記プラットフォームへ付与し、同時に、第 3 のモータ軸に沿った前記プラットフォームの自由な直線運動を許容すると共に、前記 3 本のモータ軸を回転軸とした前記プラットフォームの自由な回転を許容し、この際、前記第 1 のモータ軸、前記第 2 のモータ軸、及び、前記第 3 のモータ軸は、互いに直交しており、

前記磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記プラットフォーム軸に沿った、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線運動を選択的に行わせるように、かつ、前記プラットフォーム軸を回転軸とした、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの回転を選択的に行わせるように、前記プラットフォームに対して配置され、

前記制御システムは、管理されたモーメント及び直線力が前記プラットフォームに対して付与されるように、前記磁性ボイスコイル・アクチュエータの通電を制御することを特徴とする請求項 24 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 28】

前記少なくとも 3 つの磁性ボイスコイル・アクチュエータが、仮想円の円周上に 90 度間隔で配置された 4 つの磁性ボイスコイル・アクチュエータであることを特徴とする請求項 27 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 29】

前記能動型駆動システムは、少なくとも 6 つの磁性ボイスコイル・アクチュエータで構成される群を 1 群含み、

各磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記支持フレームに搭載される第 1 部材と、

10

20

30

40

50

前記プラットフォームに搭載される第2部材とを含み、

各磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記支持フレームと前記プラットフォームとの間に直接作用して、第1のプラットフォーム位置決め力を、第1のモータ軸に沿って前記プラットフォームへ付与し、同時に、各々の第2のモータ軸及び第3のモータ軸に沿った前記第2部材の自由な直線運動を許容すると共に、各々の前記第2のモータ軸及び前記第3のモータ軸を回転軸とした前記第2部材の自由な回転を許容し、この際、前記第1のモータ軸、前記第2のモータ軸、及び、前記第3のモータ軸は、互いに直交しており、

前記磁性ボイスコイル・アクチュエータは、前記プラットフォーム軸に沿った、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線運動を選択的に行わせるように、かつ、前記プラットフォーム軸を回転軸とした、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの回転を選択的に行わせるように、前記プラットフォームに対して配置され、

前記制御システムは、管理されたモーメント及び直線力が前記プラットフォームに対して付与されるように、前記磁性ボイスコイル・アクチュエータの通電を制御することを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項30】

更に、前記プラットフォーム軸を回転軸とした、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの角度位置示す信号を、感知及び提供するための角度センサシステムを含み、該角度センサシステムが前記制御システムに接続されていることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項31】

更に、前記プラットフォーム軸上での前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線変位を示す信号を、感知及び提供するための直線変位センサシステムを含み、該直線変位センサシステムが制御システムに接続されていることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項32】

前記プラットフォームは、前記プラットフォーム軸を回転軸とした前記プラットフォームの角運動を示す信号を感知及び提供するための、少なくとも3つの慣性角速度センサを搭載し、該慣性角速度センサが前記制御システムに接続されていることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項33】

前記慣性角速度センサが、光ファイバ式ジャイロであることを特徴とする請求項32記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項34】

前記プラットフォームは、前記プラットフォーム軸に沿った前記プラットフォームの直線運動を示す信号を感知及び提供するための、少なくとも3つの慣性加速度センサを搭載し、該慣性加速度センサが前記制御システムに接続されていることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項35】

更に、前記プラットフォーム軸についての前記プラットフォームの直線運動及び角運動を示す信号を、感知及び提供するための慣性計測装置を含み、該慣性計測装置が前記制御システムに接続されていることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項36】

更に、前記制御システムに接続されたGPS受信器を含み、

前記制御システムは、プラットフォームの目視線が地球表面と交差する地理的位置を算出するための、慣性航法装置に対する命令を保有していることを特徴とする請求項2記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項37】

前記制御システムは、地理的位置を指定する前記プラットフォームの目視線が維持されるように、地理ベースの操向制御ループを閉じるための命令を保有していることを特徴と

10

20

30

40

50

する請求項 3 6 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 3 8】

前記制御システムは、当該プラットフォーム安定化システムを搭載している軌道に乗って周回する航空機の回転運動によって引き起こされる、地球に対する負荷目視線の相対的な回転運動を、前記負荷の画像統合期間中に制限するように、前記プラットフォームに搭載された負荷の前記負荷目視線を、その限定された運動の範囲内で進めて固定するためのパラメータを、算出する命令を保有していることを特徴とする請求項 3 7 記載のプラットフォーム安定化システム。

【請求項 3 9】

前記支持フレームが、外部ジンバル機構に搭載されることを特徴とする請求項 1 記載のプラットフォーム安定化システム。

10

【請求項 4 0】

支持構造の運動から負荷を分離するための方法であって、

支持フレームに対するプラットフォームの限定的な直線運動を、直交する 3 本のプラットフォーム軸に沿った 3 自由度で許容すること、

前記支持フレームに対する前記プラットフォームの限定的な回転運動を、前記 3 本のプラットフォーム軸を回転軸とした 3 自由度で許容すること、

前記支持フレームに対する前記プラットフォームの回転運動に対してよりも、前記支持フレームに対する前記プラットフォームの直線運動に対して大きい抵抗力を、前記プラットフォームの回転を拘束することなく提供すること、を含むことを特徴とする方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、プラットフォーム安定化システムに関するものであり、より具体的には、支持構造の角運動及び直動的な角振動から負荷を分離するための、プラットフォーム安定化システムに関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

安定化されたプラットフォームシステムは、幾年も前から存在しており、プラットフォームに搭載された負荷を、プラットフォームを搭載している構造物の運動から分離するために使用される。その構造物は、航空機、ヘリコプター、又は自動車といった乗り物であってもよく、或いは、風で揺さぶられる背の高いポールといった幾分かの運動を静的に受ける、相対的な固定構造物であってもよい。それらには、安定化されたプラットフォームシステムの負荷として搭載され得るものについて、実質的に制限がなく、安定化されたプラットフォームシステムは、負荷についての様々な適用で利用することができ、それらの適用には、静止写真用及びビデオ用（映画用も含む）カメラ、電気光学式及び赤外線式の撮像装置、分光計、アンテナ、レーザー、そして兵器システムさえも含まれるが、それらに限定されることはない。この安定化技術のカテゴリで他と区別されるものは、負荷を搭載するプラットフォームが安定化され、かつ、慣性空間を進むものである。フレイアーの米国特許第 4, 7 9 6, 0 9 0 号は、長距離で高解像度の監視システムにおいて、積分回数（integration times）を低減した利点と共に、プラットフォームの安定化に必要なものを詳細に説明している。

30

40

【0 0 0 3】

センサ負荷（sensor payload）を搭載した構造の運動を補正する様々な技術が、欠点や制約と共に知られている。

【0 0 0 4】

カメラシステム等の撮像用の負荷のための 1 つの方法は、負荷自体を安定化させるのではなく、負荷により撮られる画像をデジタル的に安定させるといふ試みである。ゴラン名義の米国特許出願公開第 2 0 1 2 0 0 1 9 6 6 0 A 1 号は、画像をデジタル的に安定させる方法として、連続画像解析、デジタルウィンドウ、及びピクセルシフト技術を利用し、

50

更に、低次元の (coarse) パンノチルト・ジンバルシステムへ向けてカメラ操作信号を算出することを開示している。フォンフロトの米国特許第 7, 876, 359 号は、類似のデジタル安定化技術を開示しており、グロットデンらの米国特許第 6, 720, 994 号は、画像を撮る際の、検出器群における個々のピクセルライン間のサンプル時間を調整する技術を開示している。それらのデジタル安定化技術での問題は、画像を構成するピクセルの統合時間中に、負荷の目視線 (line of sight) の動揺を補正するために、何も行わないことである。これは、撮像した画像に、動揺に起因したブレをもたらすことになる。

【0005】

別の方法は、負荷を搭載するプラットフォームを安定化させることによって、支持構造に対して負荷を実際に安定させようとするものである。この「プラットフォーム安定化システム」のカテゴリには、受動型システムと能動型システムとが存在する。受動型安定化システムの一例は、ブラウンの米国特許第 4, 017, 168 号及び第 4, 156, 512 号と、ディジュリオらの米国特許第 5, 435, 515 号とに開示された、STEADICAM (登録商標) システムである。別の受動型システムは、スレイターの米国特許第 5, 243, 370 号に開示されている。しかしながら、最も多いプラットフォーム安定化システムは、サーボモータ、慣性センサ、及び制御システムを利用して、プラットフォームの固有の慣性力を増大させるもの、すなわち、能動型システムと呼ばれるものである。

【0006】

プラットフォーム安定化システムは、初期の頃、船や航空機等の動く乗り物に、航行用計器を取り付けるように開発されていた。ストローザーらの米国特許第 2, 551, 069 号により教示されるようなジャイロコンパスや垂直ジャイロは、プラットフォーム安定化システムの初期の例である。やがて、例えば、イッセルテットの米国特許第 2, 490, 628 号、アスチエンブレナーらの米国特許第 2, 523, 267 号、カールステンらの米国特許第 2, 883, 863 号、ブレナーらの米国特許第 3, 060, 824 号、及び、ロマンズの米国特許第 3, 775, 656 号により教示されるように、画像の取得中に乗り物の好ましくない動揺を取り除くために、それらの安定したプラットフォームに写真撮影用カメラが取り付けられた。しかしながら、撮像中により適正な安定性が求められる撮影機は、更に画像間に滑らかな操向制御を必要としていた。

【0007】

マンツの米国特許第 2, 506, 095 号により教示されるような新規の分離用装具は、乗り物のある種の振動を減衰させると共に、カメラを手動で操向できるように開発されていた。そのカメラには固定ジャイロが付加され、操向の安定性及び円滑性が更に改善されていた。カメラの操作者は、通常、固定ジャイロを装備して安定性が付加された分離用装具が取り付けられたカメラを、一方の肩に据えた状態で、ヘリコプターの開放された出入口に座る。カメラの操作者は、操縦士と慎重に連携してカメラを操向する。これは、ムービーショットの撮影対象をフレームに収めることや、視覚的に満足のいくカメラ操作の達成を、極めて困難なものにすることが明らかである。

【0008】

1960 年代の終わりに、ウェスティングハウス・カナダは、WESCAM (登録商標) プラットフォーム安定化システムを開発して、それらの問題に対処した。これは、初めての市販のジャイロ安定式遠隔操向カメラシステムであり、リーヴィットらの米国特許第 3, 638, 502 号の主題である。この種の安定化技術は、直交 3 軸式の、大型の機械式レート・ジャイロスコープ (ジンバル式フライホイール (gimbaled flywheels)) で生じる角運動量に依存しており、カメラプラットフォームの固有の慣性力を増大させる。この不自然な量の慣性力又は合成的な慣性力は、僅かに揺れる安定したプラットフォームを維持するように受動的に使用され、この際、負荷 (カメラ) は、その安定化されたプラットフォームに対して操向されている。そして、能動型サーボシステムが、ジャイロの歳差により計測される角速度を使用して、サーボモータを浪費するあらゆる障害を解消する。

ドーム型の収容部が、風及び気象を締め出し、又、内部の受動型振動分離システムが、システムへの振動入力を最小化する。

【 0 0 0 9 】

能動的なプラットフォーム安定化技術に関する従来技術は、4つの大まかな種類又は「世代」に分類することができ、それらは、ジャイロ安定化システム（第1世代）、標準的な能動型ジンバルシステム（第2世代）、移動が制限された能動型フォローアップシステム（第3世代）、及び、制約を受けないアクチュエータの能動型フォローアップシステム（第4世代）である。各世代には、実行する方法及び長所の点で微細な差異が存在するかもしれないが、基礎となる技術は同じものである。米国特許第3,638,502号に開示された、最初のWESCAM（登録商標）プラットフォーム安定化システムの技術は、第1世代のプラットフォーム安定化技術に分類される。それは更に改良され、リーヴィットの米国特許第4,821,043号に開示されているように、上下方向に従属するウィンドウが追加されて、システムの光学性能が改善されている。別の第1世代のプラットフォーム安定化システムは、グッドマンの米国特許第4,989,466号と、タイラーの米国特許第5,184,521号及び第5,995,758号とに開示されている。第1世代のプラットフォーム安定化システムは、意義深い安定性を成し遂げたが、それらは不十分な操向用帯域幅の不利益を被るものであり、この帯域幅は、ビデオトラッカーとの不適合性をもたらし、この不十分な操向性能を補正するために、高い技術力を有する操作者を必要とする。

【 0 0 1 0 】

第2世代の能動的なプラットフォーム安定化技術は、早期の第1世代のプラットフォーム安定化システムの、不十分な操向性能に対処するように開発された。それら第2世代の能動的なプラットフォーム安定化システムは、「標準的な能動型ジンバルシステム」と呼ばれるものであり、複数のジンバルを構造物とプラットフォームとの間に介在させ、各ジンバル軸について直接的にレートループ（rate loops）を閉じるものである。小型の機械式感知ジャイロといった慣性角速度センサが、慣性空間に対するプラットフォームの角速度を感知するために利用される。それらの角速度は、安定化及び各軸の操向のために、操向コマンドと合わせられる。ティズマらの米国特許第3,986,092号、コクシュラの米国特許第5,868,031号、エリントンらの米国特許第6,396,235号、メルカダルらの米国特許第7,000,883号、チャップマンらの米国特許第8,100,591号、及び、ベイトマンらの米国特許第8,564,499号は、何れも、標準的な能動型ジンバルシステムの例である。各特許文献は微妙に異なる方法及び長所を開示しているが、それらは何れもプラットフォームを支持するジンバルのシステムを使用し、同時に、慣性加速度センサを用いて各ジンバル軸についてレートループを直接的に閉じるものである。そのアクチュエータは、ダイレクトドライブ式のモータであってもよく、或いは、ギヤ式のモータであってもよい。ギヤ式のアクチュエータの利用は、実質的に連結力を増大させ、バックラッシュをもたらし、更にシステムの操向用帯域幅を制限することになる。連続する各ジンバル軸間の構造は、アクチュエータの高周波トルクにさらされる。この制約的構造に従うことは、制御システムの帯域幅を制限することになる。この理由により、標準的な能動型ジンバルシステムは、通常、大きい負荷で高帯域性能を実現することができない。ベヘラーの米国特許第6,198,452号は、標準的な能動型ジンバルシステムに関して、互い違い（alternate）で非直交性のジンバル・ジオメトリを開示しており、又、プレスらの米国特許第6,609,037号は、標準的なジンバルシステム用の制御システムを開示し、これは、各軸について、レートのフィードバック及びフィードフォワード制御ループを、位置のフィードバック及びフィードフォワード制御ループと組み合わせて使用することで、操向性能を更に改善するものである。標準的な能動型ジンバルシステムは、上述した米国特許第4,821,043号に開示されたような上下方向に従属するウィンドウを備えたドーム型収容部の形態の、独立した外部ジンバルの追加によって改善されており、受動型の分離器がドームと内部のプラットフォーム安定化システムとの間に設置されている。大型のジンバル・ベアリング及びモータブラシからの摩擦

は、制約的なジンバルシステムの構造的な共振と結合して、このシステムの安定性能の達成を制限していた。

【 0 0 1 1 】

標準的な能動型ジンバルシステムによって達成されたものから、より一層プラットフォームの安定性を改善するために、第3世代の能動型プラットフォーム安定化システムが開発された。それは、より高い帯域を利用し、受動型分離器に移動制限型の内部ジンバルが取り付けられ、低帯域の終盤 (final stage) に順々に当てはめられる (mounted)、大移動型の外部フォローアップ・ジンバルシステムである。このため、この種のプラットフォーム安定化システムは、「移動制限型の能動型フォローアップ」システムと呼ばれる。内部ジンバルが、高帯域の安定性と良好な操向性能とを提供する一方、外部ジンバルは、関連する広い分野 (large field of regard) にわたって粗い操向を提供する。内部ジンバルは高性能のダイレクトドライブ式アクチュエータを使用し、外部ジンバルはギヤ式アクチュエータを使用する。但し、高周波のトルクが内部ジンバルの制約的構造を介して付与されているが、内部ジンバルのベアリングはとても小さく、モータは決まってブラシレスである。負荷が小さく、かつ、光ファイバ式ジャイロを利用する限り、この種の内部/外部ジンバルシステムの安定性能は十分であり、負荷が大きい場合、大型のジンバルリング構造を受け入れることは、安定化システムの帯域幅を制限する。アイヒャーら名義の米国特許出願公開第2010/0171377A1号、及び、ウィーバーらの米国特許第8,385,065号は、「移動制限型の能動型フォローアップ」プラットフォーム安定化システムの最近の例である。

【 0 0 1 2 】

「移動制限型の能動型フォローアップ」プラットフォーム安定化システムにおける、制約的なシステムの構造的な共振によってもたらされる帯域幅の制限に対処するために、第4世代の能動型プラットフォーム安定化システムが開発された。この種類のシステムは、本明細書では「非制約的アクチュエータ式の能動型フォローアップ」システムと示され、制約的構造を介する代わりに制約的構造を横切るトルキング処理を利用することで、「移動制限型の能動型フォローアップ」システムの帯域幅の制限を回避するものである。高周波トルクは、外部ジンバルからプラットフォームへ直接付与される。このシステムは、高性能の光ファイバ式ジャイロ型慣性計測装置と結合して、安定性を維持しながら操向用帯域幅を著しく向上させる。「移動制限型の能動型フォローアップ」プラットフォーム安定化システムの例は、マルーグの米国特許第4,033,541号及び第4,498,038号、パデラの米国特許第4,828,376号、キウンケらの米国特許第5,368,271号、トリッチューらの米国特許第5,897,223号、キーンホルツの米国特許第6,196,514号、ルイスの米国特許第6,263,160号、フォクトらの米国特許第6,454,229号及び第6,484,978号、及び、フォクトらの米国特許第6,849,980号に開示されている。各特許は、微妙に異なる方法及び長所を記載しているが、それらは何れも、

- ・ 介在型ジンバルのシステムを利用して、支持フレーム上でプラットフォームを支えるが、ジンバルがプラットフォームの運動を、3軸での限定的な回転に制約する。

- ・ 制約的なジンバルシステムを介するのではなく、そのジンバルシステムを横切るトルクを付与するように構成された、ボイスコイル・アクチュエータ群を使用する (時としてジンバルを横切り、分離器群が連続している)。

- ・ 安定化及びプラットフォームを操向するために、角度慣性センサ群を利用して、ボイスコイル・モータを駆動し、これによって負荷の目視線を制御する。

【 0 0 1 3 】

それとは別に、非直交型の内部ジンバル構造が、ゲリスの米国特許第4,733,839号に示されている。ピボット周囲のシェル間で利用可能な限定空間が、「自由型ジンバル (free gimbal)」、ミサイル・シーカ・ヘッド、或いは、非制約的アクチュエータ式の能動型フォローアップ・プラットフォーム安定化システムとして、その意図された使用を示唆している。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

能動型のプラットフォーム安定化技術において、現状の技術での根本的な問題は、コスト、複雑さ、そして信頼性である。現状の技術の複雑な機械式ジンバルシステムは、定期的なコストに支配される。それらは、ベアリング接点の厳しい加工許容差、複雑な検査及び試験の必要性、組み立て中のジンバル・ベアリングの正確な配置及び負荷、そして、継続する検査及びメンテナンスを含んでいる。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本明細書は、介在型のジンバル、リング、又は他の回転制約物を利用することなく、支持フレーム内で分離器群がプラットフォームを直接支持し、支持フレームに対するプラットフォームの回転を許容しながら直線的な分離を提供する、プラットフォーム分離システムを説明する。

【0016】

支持構造の運動から負荷を分離するプラットフォーム安定化システムは、支持フレーム、負荷を搭載したプラットフォーム、及び、支持フレームとプラットフォームとの間で各々が直接的に延びる複数の分離器を含んでいる。各分離器は、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動を3自由度で許容し、更に、各分離器は、支持フレームに対するプラットフォームの回転運動を3自由度で許容する。複数の分離器は、協働して、支持フレーム内でプラットフォームを直接支える分離器群を形成し、この分離器群は、プラットフォームに支持フレームからの間隔を付与する。又、分離器群は、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な直線運動を、直交する3本のプラットフォーム軸に沿った3自由度で許容し、更に、分離器群は、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な回転運動を、3本のプラットフォーム軸を回転軸とした3自由度で許容する。分離器群は、支持フレームに対するプラットフォームの回転運動よりも、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動の方に、実質的に抵抗力があり、又、プラットフォームは、分離器群によって回転に関する拘束を受けない。

【0017】

好ましくは、分離器群は、プラットフォーム軸に沿ったプラットフォームの直線運動について、プラットフォーム軸を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰(undamped)固有振動数の、少なくとも2倍の非減衰固有振動数を有している。より好ましくは、プラットフォーム軸に沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも3倍である。なお好ましくは、プラットフォーム軸に沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも5倍であり、より一層好ましくは、プラットフォーム軸に沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも10倍である。

【0018】

ある実施形態において、各分離器は、各自がばね軸を有する少なくとも1つの圧縮ばねを含んでおり、又、分離器群を形成するように、圧縮ばねは、プラットフォーム内の共通の点から実質的に外側へ放射状に延びる、各自のばね軸で配置され、ここで、共通の点はプラットフォームの質量の中心であり、圧縮ばねは、軸方向に予圧がかけられて、横方向の小さいばねレートを発生する。ある特定の実施形態では、分離器群が8つの圧縮ばねを含んでおり、それらは実質的に仮想立方体の角に配置され、共通の点が仮想立方体の質量中心である。別の特定の実施形態では、分離器群が4つの圧縮ばねで構成される群を少なくとも1群含んでおり、4つの圧縮ばねは、実質的に仮想正四面体の角に配置され、共通の点が仮想正四面体の質量中心である。更に別の特定の実施形態では、分離器群が、仮想

10

20

30

40

50

立方体の6つの面の中心を通して、実質的に仮想立方体の質量中心から外側へ放射状に延びる、6つの圧縮ばねを含んでいる。

【0019】

ある実施形態において、分離器群は、対称配置の圧縮ばね群を含んでいる。

【0020】

圧縮ばねが分離器に用いられる場合、圧縮ばねは、機械加工された多条 (multi-start) 螺旋の圧縮ばねであることが好ましい。

【0021】

別の実施形態において、各分離器は、屈曲ピボット (flexural pivot) 部材を含んでいる。各屈曲ピボット部材は、直列に配置される3つの単軸式屈曲ピボットを含むことができ、各屈曲ピボットがピボット軸を有している。屈曲ピボット部材の各々について、各屈曲ピボットのピボット軸は、実質的にプラットフォームの質量の中心で交わり、屈曲ピボット部材は、実質的に対称的に整列されて配置され、分離器群を形成している。屈曲ピボット部材の各々は、一体構造であることが好ましい。

【0022】

更なる実施形態では、各分離器がダイヤフラム式分離器である。ダイヤフラム式分離器の各々は、2つの対向するダイヤフラム、支持フレームに搭載される第1のハウジング、プラットフォームに搭載される第2のハウジング、及び、各ハウジングの内部に設けられ、互いに対向するダイヤフラム受け部を含むことができる。各ダイヤフラムは、その周縁部が一方のハウジングにより支持され、そのハウジングのダイヤフラム受け部を横切って延びており、これにより、各分離器について、一方のダイヤフラムが支持フレームと連結され、他方のダイヤフラムがプラットフォームと連結される。ダイヤフラムは、ダイヤフラムの半径方向中心部の間で延びる捩じれ屈曲部材によって、互いに連結される。捩じれ屈曲部材は、軸方向に弾性があることが好ましく、つる巻きばねであってもよい。ダイヤフラムは、例えば、型加工された弾性構造や、ベローフラム状 (bellows) の金属構造であってもよい。更に、ダイヤフラム式分離器の各々は、捩じれ屈曲部材の横方向の移動を制限するために、捩じれ屈曲部材に搭載されるストッパを含んでいてもよい。

【0023】

ある特定の実施形態において、各ダイヤフラムは、流体不浸透性 (fluid-impermeable) を有し、又、ハウジングの各々は、各ダイヤフラムと協働してダンピングリザーバを形成し、ダンピングリザーバの各々は、各シンクリザーバと流体連通状態にあり、ダンピング流体を各ダンピングリザーバから各シンクリザーバへ移すことで、各ダイヤフラムの軸方向運動を制振する。この実施形態の特定の実装例では、ハウジングの各々が各ダイヤフラムと協働して収容部を形成し、各収容部を横切って仕切部材が延びることで、各収容部をダンピングリザーバとシンクリザーバとに分けており、ダンピングリザーバの各々は、各仕切部材の1つ以上の開口部を介して、各シンクリザーバと流体的に連通している。

【0024】

プラットフォーム安定化システムは、更に、支持フレームとプラットフォームとの間に直接作用する能動型駆動システムと、センサ入力を受信するように能動型駆動システムと接続され、そのセンサ入力に応じて能動型駆動システムを制御する制御システムと含むことが好ましい。制御システムは、センサ入力を利用して、プラットフォームの安定した運動のために能動型駆動システムを制御し、及び/又は、プラットフォームの能動的制振のために能動型駆動システムを制御する。

【0025】

ある実施形態では、能動型駆動システムが、少なくとも3つの磁性ボイスコイル・アクチュエータで構成されるアクチュエータ群を含んでいる。磁性ボイスコイル・アクチュエータの各々は、支持フレームに搭載される第1部材と、プラットフォームに搭載される第2部材とを含んでいる。又、磁性ボイスコイル・アクチュエータの各々は、支持フレームとプラットフォームとの間に直接作用して、第1のプラットフォーム位置決め力 (positioning force) を、第1のモータ軸に沿ってプラットフォームへ付与すると共に、第2の

10

20

30

40

50

プラットフォーム位置決め力を、第2のモータ軸に沿ってプラットフォームへ付与し、同時に、第3のモータ軸に沿ったプラットフォームの自由な直線運動を許容すると共に、3本のモータ軸を回転軸としたプラットフォームの自由な回転を許容し、ここで、第1、第2、及び第3のモータ軸は、実質的に互いに直交している。磁性ボイスコイル・アクチュエータは、プラットフォーム軸に沿った、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動を選択的に行わせるように、かつ、プラットフォーム軸を回転軸とした、支持フレームに対するプラットフォームの回転を選択的に行わせるように、プラットフォームに対して配置され、更に、制御システムは、管理されたモーメント (moments) 及び直線力 (linear forces) がプラットフォームに対して付与されるように、ボイスコイル・アクチュエータの通電を制御する。ある特定の実施形態では、能動型駆動システムが、仮想円の円周上に約90度間隔で配置された、4つの磁性ボイスコイル・アクチュエータを含んでいる。

10

【0026】

別の実施形態において、能動型駆動システムは、少なくとも6つの磁性ボイスコイル・アクチュエータで構成される群を含んでいる。各磁性ボイスコイル・アクチュエータは、支持フレームに搭載される第1部材と、プラットフォームに搭載される第2部材とを含んでいる。又、磁性ボイスコイル・アクチュエータの各々は、支持フレームとプラットフォームとの間に直接的に作用して、第1のプラットフォーム位置決め力を、第1のモータ軸に沿ってプラットフォームへ付与し、同時に、第2のモータ軸及び第3のモータ軸の各々に沿った、第2部材の自由な直線運動を許容すると共に、第2のモータ軸及び第3のモータ軸の各々を回転軸とした、第2部材の自由な回転を許容し、ここで、第1、第2、及び第3の軸は、実質的に互いに直交している。磁性ボイスコイル・アクチュエータは、プラットフォーム軸に沿った、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動を選択的に行わせるように、かつ、プラットフォーム軸を回転軸とした、支持フレームに対するプラットフォームの回転を選択的に行わせるように、プラットフォームに対して配置され、又、制御システムは、管理されたモーメント及び直線力がプラットフォームに対して付与されるように、ボイスコイル・アクチュエータの通電を制御する。

20

【0027】

更に、プラットフォーム安定化システムは、プラットフォーム軸を回転軸とした支持フレームに対するプラットフォームの角度位置を示す信号を、感知及び提供するための、角度センサシステムを含んでいてもよく、この角度センサシステムは、制御システムと接続される。

30

【0028】

更に、プラットフォーム安定化システムは、プラットフォーム軸上での支持フレームに対するプラットフォームの直線変位を示す信号を、感知及び提供するための、直線変位センサシステムを含んでいてもよく、この直線変位センサシステムは、制御システムと接続される。

【0029】

ある実施形態では、プラットフォームが、プラットフォーム軸を回転軸としたプラットフォームの角運動を示す信号を、感知及び提供するための、少なくとも3つの慣性角速度センサを搭載しており、これらの慣性角速度センサは、制御システムと接続される。慣性角速度センサは、光ファイバ式ジャイロであってもよい。

40

【0030】

ある実施形態において、プラットフォームは、プラットフォーム軸に沿ったプラットフォームの直線運動を示す信号を、感知及び提供するための、少なくとも3つの慣性加速度センサを搭載しており、これらの慣性加速度センサは、制御システムと接続される。

【0031】

更に、プラットフォーム安定化システムは、プラットフォーム軸についてのプラットフォームの直線運動及び角運動を示す信号を、感知及び提供するための、慣性計測装置を含んでいてもよく、この慣性計測装置は、制御システムと接続される。

50

【 0 0 3 2 】

更に、プラットフォーム安定化システムは、制御システムと接続されるGPS受信器を含んでいてもよく、又、制御システムは、プラットフォームの目視線が地球表面と交差する地理的位置を算出するための、慣性航法装置に対する命令を保有していてもよい。制御システムは、地理的位置を指定するプラットフォームの目視線が維持されるように、地理ベースの操向制御ループを閉じるための命令を保有していてもよい。更に、制御システムは、プラットフォーム安定化システムを搭載している軌道に乗って周回する (orbiting) 航空機の回転運動によって引き起こされる、地球に対する負荷目視線の相対的な回転運動を、負荷の画像統合期間 (image integration period) 中に制限するように、プラットフォームに搭載された負荷の負荷目視線を、その限定された運動の範囲内で進め (step) て固定する (stare) ためのパラメータを、算出する命令を保有していてもよい。

10

【 0 0 3 3 】

プラットフォーム安定化システムの支持フレームは、外部ジンバル機構に搭載されていてもよい。

【 0 0 3 4 】

支持構造の運動から負荷を分離するための方法は、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な直線運動を、直交する3本のプラットフォーム軸に沿った3自由度で許容すること、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な回転運動を、3本のプラットフォーム軸を回転軸とした3自由度で許容すること、及び、支持フレームに対するプラットフォームの回転運動に対してよりも、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動に対して実質的に大きい抵抗力を、プラットフォームの回転を拘束することなく提供すること、を含んでいる。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 5 】

それらの及びその他の特徴が、添付の図面への参照が付与された以下の説明から、より一層明らかになる。

【図1】模式的なプラットフォーム安定化システムの分解斜視図である。

【図2a】図1のプラットフォーム安定化システムの、センサパッケージを除いた状態の前方断面図である。

【図2b】図1のプラットフォーム安定化システムの、センサパッケージを除いた状態の側方断面図である。

30

【図3a】ばねの簡易数理モデルを示している。

【図3b】図1のプラットフォーム安定化システムの分離器群内で使用するための、適切な圧縮ばねの円柱不安定現象を示すグラフである。

【図3c】図1のプラットフォーム安定化システムの分離器群の、模式的な実施形態の回転特性を示すグラフである。

【図3d】ダイヤフラム式分離器についての簡易数理モデルを示している。

【図4a】第1の立方体配置の分離器群の概略図である。

【図4b】四面体配置の分離器群の概略図である。

【図4c】模式的な屈曲ピボット部材型分離器の2つの斜視図を示している。

40

【図4d】ダイヤフラム式分離器の断面図である。

【図4e】図4cの屈曲ピボット部材型分離器を複数含む、模式的な四面体配置の分離器群の概略図である。

【図4f】図4dのダイヤフラム式分離器を複数含む、模式的な四面体配置の分離器群の概略図である。

【図4g】図4aに示された立方体配置の分離器群が、如何にして、同じ大きさの2つの、図4bの四面体配置の分離器群から形成されるものと考えられるかを示す概略図であり、他方に対して180度回転された四面体配置の一方の分離器群が、他方に重ねられている。

【図4h】第2の立方体配置の分離器群の概略図である。

50

【図 5 a】4 つの 2 軸式ボイスコイル・アクチュエータを含む模式的な能動型駆動システムにおける、ボイスコイル・アクチュエータの位置関係及び方向を示している。

【図 5 b】6 つの単軸式ボイスコイル・アクチュエータを含む模式的な能動型駆動システムにおける、ボイスコイル・アクチュエータの位置関係及び方向を示している。

【図 5 c】3 つの 2 軸式ボイスコイル・アクチュエータを含む模式的な能動型駆動システムにおける、ボイスコイル・アクチュエータの位置関係及び方向を示している。

【図 6 a】模式的な 2 軸式ボイスコイル・アクチュエータの詳細な斜視図である。

【図 6 b】図 1 のプラットフォーム安定化システムの支持構造の実装用突起と位置合わせされて配置される模式的な実装機構に組み込まれた、図 6 a のボイスコイル・アクチュエータの詳細な斜視図である。

【図 7】模式的な無制振及び受動的制振の分離システムと、本明細書に記載する模式的な能動的制振の分離システムとを比較したグラフである。

【図 8】能動型駆動システムと制御システムとを含む、図 1 のプラットフォーム安定化システムの回路図である。

【図 9 a】第 1 の模式的な 2 軸式外部ジンバル機構に取り付けられた、図 1 のプラットフォーム安定化システムを示している。

【図 9 b】模式的な 3 軸式外部ジンバル機構に取り付けられた、図 1 のプラットフォーム安定化システムを示している。

【図 9 c】第 2 の模式的な 2 軸式外部ジンバル機構に取り付けられた、図 1 のプラットフォーム安定化システムを示している。

【図 10】本技術の態様を実現する際に利用可能な、模式的なコンピュータシステムを示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

本明細書は、航空機やその他の乗り物、或いは、例えば風によって運動する固定された定置物といった支持構造の運動から、負荷を分離するプラットフォーム安定化システムの、いくつかの模式的な実施形態を記述している。このプラットフォーム安定化システムは、通常、支持フレームと、負荷を搭載するように適合されたプラットフォームと、各々が支持フレームとプラットフォームとの間に直接的に延びる複数の分離器とを含んでおり、更に好ましくは、支持フレームとプラットフォームとの間に直接作用する能動型駆動システムを含んでいる。本明細書で用いる「分離器 (isolator)」という用語は、2 つの質量を接続する装置を意味しており、その構造は、各質量の振動性の運動を分離するように作用する。このため、1 つの分離器は、1 つの分離要素、或いは、協働して動作するように互いに連結された複数の分離要素を含むことができる。複数の分離器は、協働して分離器群を、好ましくは姿勢的に独立した分離器群を形成し、分離器群は、支持フレーム内でプラットフォームを直接支えるものであり、この際、プラットフォームは、分離器群によって回転に関する拘束を受けない。本明細書で用いる「分離器群 (isolation array)」という用語は、空間的に離された分離器の群を示しており、分離器群は、別の質量に取り付けられた質量を支えるように構成されており、これにより、それらの質量の振動的な運動が互いに分離されるものである。分離器、能動型駆動システム、及びその構成部品に関連して本明細書で用いられる、「支持フレームとプラットフォームとの間に直接的に」という用語、及びそれに類似した用語は、分離器及び能動型駆動システムの構成部品とは別に、プラットフォームと支持フレームとの間に介在するジンバル、リング、又は他の運動制約構造 (motion-constraining structures) が無いことを意味している。同様に、分離器群に関連して使用される、「支持フレーム内でプラットフォームを直接支える」という用語は、介在型のジンバル、リング、又は他の回転制約物を使用することなく、支持フレーム内でプラットフォームを支えるのが分離器群のみであること、すなわち、分離器だけが支持フレーム内でプラットフォームを支持し、さもなければ支持フレーム内でプラットフォームが支持されないことを意味している。例えば、電気配線をプラットフォームと支持フレームとの間に延ばすことがあるが、そのような配線は、支持フレーム内でプラット

10

20

30

40

50

フォームを支えるものではない。又、プラットフォーム及び支持フレームは、分離器及び能動型駆動システムの構成部品を取り付けるための機構を含むが、プラットフォーム安定化システムが組み立てられる際、そのような機構は、通常、プラットフォーム及び支持フレームの夫々に対して取り付けられる。このため、「支持フレームとプラットフォームとの間に直接的に」、及び、「支持フレーム内でプラットフォームを直接支える」という用語を解釈する際、それらの取り付け機構は、結果としてプラットフォーム及び支持フレームの夫々の一部と考えることができる。更に、本明細書で用いる「プラットフォーム」及び「支持フレーム」という用語は、ジンバル、リング、又は他の回転制約物を、支持フレームとプラットフォームとの間の機械的な連結の一部として含む構造を包含するものではない。更に、本明細書で用いる「回転に関して拘束された」という用語は、他方に対する一方の物体の運動が、有効な直線運動なしで、1本以上の軸を回転軸とした回転について制限された状態を示しており、一方の物体に他方に対する回転に関する拘束をもたらす機械的な配置は、本明細書で「回転に関する拘束」として示されている。この文脈における「有効な直線運動」という用語は、回転に関する拘束の固有の公差 (inherent tolerance) によって許容される以上の直線運動を意味している。従来のプラットフォーム安定化システムで用いられるジンバル及びリングは、回転に関する拘束の一例である。一方の物体が他方の物体に対して回転に関して拘束されていない場合、それは「回転に関して拘束されない」と言うことができる。「回転に関して拘束している」という用語は、回転に関する拘束を課している動作を示している。従って、本明細書で説明しているようなプラットフォーム支持システムは、回転に関する拘束が直線的な分離構造と直列に配された、従来の配置を回避するものであり、その代わりとして、本明細書で説明する分離器群は、支持フレーム内でプラットフォームを直接支えながら、プラットフォームを回転に関して拘束しないものである。

【0037】

さて、図1を参照すると、第1の模式的なプラットフォーム安定化システムが、全体として符号100により示されている。模式的なプラットフォーム安定化システム100は、支持フレーム102とプラットフォーム104とを含んでおり、プラットフォーム104は、センサパッケージ106、センサパッケージ106に90度程度の間隔で取り付けられる4つの実装機構108、及び、プラットフォーム104内に配置される慣性計測装置110の形態で、負荷を搭載するものである。従って、センサパッケージ106へ取り付けられるのと同時に、実装機構108及び慣性計測装置110は、プラットフォーム104の一部となる。センサパッケージ106内の1つ以上のセンサは、センサパッケージ106に対して独立的に操作が可能であり、従って、プラットフォーム104に対して独立的に操作が可能である。センサパッケージ106内の操向機構や別の負荷の要素は、それらの仕組みの一部として回転に関する拘束を受けることがあるが、それらの回転に関する拘束は、支持フレームとプラットフォームとの間の、機械的な連結の一部を成すものではない。

【0038】

航空宇宙や航法の分野では、X軸、Y軸、Z軸が、北、東、下の位置を示す、「NED」座標系が一般的に利用されている。これは、航空機については、X軸の正方向が航空機の胴体に沿って機首へ向かい、Y軸がX軸と直交して右翼方向に正と定められ、Z軸がX軸及びY軸と直交して水平飛行中の下方向が正と定められる、X、Y、Zとして拡張される。この座標参照構造は、プラットフォーム安定化システムについては、X軸が通常は負荷の目視線になり、Y軸が目視線に関して負荷の右側を指し、Z軸が目視線に関して負荷の下を指すように拡張される。これは、X軸がロール軸、Y軸がピッチ軸、Z軸がヨー軸であることを意味する。本明細書で用いる「プラットフォーム軸」及び「複数のプラットフォーム軸 (platform axes)」という用語は、支持フレームに対するプラットフォームの運動を参照する座標構造を提供するように、支持フレームに対して固定保持される、それらのロール (X) 軸、ピッチ (Y) 軸、ヨー (Z) 軸を示すものであり、 X_p 、 Y_p 、 Z_p という符号は、ロール (X) 軸、ピッチ (Y) 軸、ヨー (Z) 軸の夫々を示すために

使用される。当業者は、制御システム 142 を実行する際に、例えば、ロール (X) 軸、ピッチ (Y) 軸、ヨー (Z) 軸が、プラットフォームに対して固定保持されることもあるといった、異なる参照構造を使用してもよいことは、理解されるであろう。

【0039】

支持フレーム 102 が取り付けられる支持構造は、航空機等の乗り物や、十分に高さのある固定構造物に搭載され、センサパッケージ 106 は、例えば、撮像システム (imaging system) や他のセンサ群であってもよい。前方及び後方取付部品 112、114 は、夫々、支持フレーム 102 へ取り付けることができ、密閉された収容環境を提供する。図示の実施形態において、制御システム 142 のための電子部品は、後述するが、支持フレーム 102 の上部及び下部のプラットフォーム安定化電子装置ユニット 116A、116B の内部に配置されている。代わりの実施形態では、制御システムが収容部の外側に配置されていてもよく、一部が収容部に内側に、一部が収容部の外側に配置されていてもよい。プラットフォーム安定化システム 100 全体は、支持フレーム 102 を、少なくとも 1 本、好ましくは 2 本又は 3 本の直交する軸を回転軸として、それらに対する多量の角運動をできるように形成された、当業界では既知の外部ジンバル機構といった支持構造に取り付け可能である。図 9a は、第 1 の模式的なヨー/ピッチ (又は方位/仰角) 2 軸式の外部ジンバル機構 118a 内に設置された、模式的なプラットフォーム安定化システム 100 を示しており、図 9b は、模式的なヨー/ロール/ピッチ 3 軸式の外部ジンバル機構 118b 内に設置された、模式的なプラットフォーム安定化システム 100 を示しており、図 9c は、第 2 の模式的な 2 軸式の外部ジンバル機構 118c 内に設置された、模式的なプラットフォーム安定化システム 100 を示しており、外部ジンバル機構 118c は、ロール/ピッチの 2 軸の、「下向き (look down)」の外部ジンバル形態である。従って、ある好ましい実施形態では、支持フレーム 102 が、外部ジンバル機構 118a、118b、118c によって保持される。特に、外部ジンバル機構は、プラットフォーム安定化システム 100 (故に固定されたプラットフォーム 104) の、全体の (gross) 操向のために使用され、如何なる安定化の機能も提供する必要はない。

【0040】

プラットフォーム 104 は、複数の分離器 120 を介して、支持フレーム 102 によって保持される。図 1 に示された模式的な実施形態において、分離器 120 は、プラットフォーム 104 内の共通の点 A から実質的に外側へ放射状に延びる、各自のばね軸 120A に配置された圧縮ばねであり、支持フレーム 102 とプラットフォーム 104 との間に直接的に延びている。共通の点 A は、センサパッケージ 106 の質量を含んだプラットフォーム 104 の質量の中心である。ばね軸 120A は、センサパッケージ 106 を除いたプラットフォーム安定化システム 100 の、正面及び側面の断面図を夫々が示す、図 2a 及び図 2b に、より明確に示されている。

【0041】

各分離器 120 は、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の直線運動を 3 自由度で許容し、更に、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の回転運動を 3 自由度で許容する。複数の分離器 120 は、協働して、支持フレーム 102 内でプラットフォーム 104 を直接的に支持する、実質的に対称配置の分離器群 124 を形成し、プラットフォーム 104 へ、支持フレーム 102 に対する 6 自由度を提供する。分離器群 124 は、好ましくは、姿勢的に独立している (attitude-independent)。本明細書で用いる「姿勢的に独立している」という用語は、全方向への移動量限界が、分離器群について、全体として、実質的に 1G を超える配置を示している。

【0042】

分離器群 124 は、プラットフォーム 104 が支持フレーム内で動くことができるように、支持フレーム 102 から間隔を空けてプラットフォーム 104 を配置し、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の運動の、受動的な分離を提供する。プラットフォーム 104 は、模式的な分離器 120 や、複数の分離器により形成される模式的な分離器群 124 によって、回転に関して拘束されるものではない。

【 0 0 4 3 】

図 4 a に概略的に示されているように、図 1 に示された特定の模式的なプラットフォーム安定化システム 1 0 0 において、分離器群 1 2 4 は、仮想立方体 C の角に配置され、仮想立方体 C の質量中心 A から実質的に外側へ放射状に延びる、実質的に同じ 8 つの圧縮ばね 1 2 0 を含む、立方体配置の分離器群である。別の実施形態では、分離器群が、関連するハードウェアに適合するように変更された、異なる配置の圧縮ばねを分離器として含んでいてもよい。例えば、図 4 b は、仮想正四面体 T の角に配置された 4 つの圧縮ばね 1 2 0 で構成される群を 1 群含む、四面体配置の分離器群 4 2 4 の概略的な描写を示しており、ここで、圧縮ばね 1 2 0 は、仮想正四面体 T の質量中心 M から実質的に外側へ放射状に延びている。図 4 a に示されている立方体配置の分離器群は、2 つの等しい大きさの、図 4 b に示されるような、四面体配置の分離器群 4 2 4 により形成されるものと考えことができ、この場合、図 4 g に示されるように、他方に対して 1 8 0 度回転された一方の四面体配置の分離器群 4 2 4 が互いに重ね合わされており、更に、任意の適切な組み合わせの、四面体配置の分離器群を利用することができる。別の模式的な分離構造は、本明細書により直ちに教示されて、当業者には明らかになるであろう。例えば、図 4 h に示されているように、分離器群 4 2 4 h は、仮想立方体 C の 6 つの面 F の中心を通して、仮想立方体 C の質量中心 A から外側へ放射状に延びる、6 つの分離器 4 2 0 h を含んでいてもよい。従って、圧縮ばねを分離器として利用する場合、ばね軸は、好ましくは、プラットフォーム内の共通の点から実質的に外側へ放射状に延びて、互いに反対に配置される実質的にバランスが取れたばね群を提供し、これにより、分離器群 4 2 4 h は、姿勢的に独立して、プラットフォーム軸 X、Y、Z (図 1 参照) に沿った直線運動のための、実質的に同じばねレート (spring rate) を有することとなる。従って、分離器群は、任意の対称配置の圧縮ばね群を含むことができるため、それらのばね軸が、プラットフォームの外周の範囲内で、共通の点から実質的に外側へ放射状に延びている。共通の点は、通常、組み込まれた負荷を含むプラットフォームについての質量の中心であるか、或いは、それに非常に近いものである。

【 0 0 4 4 】

第 1 の模式的なプラットフォーム安定化システム 1 0 0 において、分離器として使用される圧縮ばね 1 2 0 は、好ましくは、機械加工された多条螺旋の圧縮ばねであり、これは、同時に (in parallel) 作用する 2 つ以上のばね要素を形成するように機械加工された一体構造物である。このため、多条螺旋の圧縮ばねは、協調して作用する複数の個別のばね要素として考えることができる。分離器群 1 2 4 が、その適度な直線剛性 (stiffness) と比較して小さい回転剛性を有するように、圧縮ばね 1 2 0 は、軸方向に予圧がかけられて、正の横方向の (positive lateral) 小さなばねレートを生じる。これは、圧縮ばねにおける円柱不安定現象 (columnar instability phenomenon) を利用することによって達成される。

【 0 0 4 5 】

図 3 a は、ばねの簡易数理モデル 3 0 0 を示しており、そこでは、

- 「 K_a 」が軸方向のばねレートであり、
- 「 K_l 」が横方向のばねレートであり、
- 「 K_b 」が曲げのばねレートであり、
- 「 K_t 」(図 3 a には図示せず) が捩じれのばねレートであり、
- 「 x 」が横方向の変位量であり、
- 「 z 」が作動高さ (operating height) であり、
- 「 L 」が自由長さ (図示せず、自由長さはばねの標準の仕様) であり、
- 「 l 」が長さであり、
- 「 θ 」が中心線の傾きであり、
- 「 ϕ 」が終端の傾きである。

又、図 3 a の簡易数理モデル 3 0 0 には、下記の等式が当てはまる。

$$\text{予圧 } F_a = K_a (L - l)$$

$$\text{横力 (Lateral) } F_L = F_a \sin \theta + K_L x + K_b (\theta / z) + K_b (\theta / z)$$

【0046】

直径に対するばね長の比率が増大するため、ばねの予圧が増大すると、図3bに示すように、図3aに示したばねの数理モデルに基づき、横方向のばねレートが減少することになる。X軸を横切り、故に負のY値を有する予圧の曲線は、横方向に不安定であるが、X軸を横切らず、故に正のY値を有する予圧の曲線は、安定していると考えられる。従来の適用例では、概して、横方向のばねレートが負となる動作領域が回避される。ばね120が負のばねレートを有すると共に、ばね120が図4aや図4bに示されたように配置される場合、各個別のばねの横方向の不安定性は、全体として、分離器群についての、回転の不安定性に帰着する。各ばね120について、正の横方向の小さなばねレートをもたらす予圧（すなわち、X軸に近いが横切らない予圧）を選択することによって、分離器群124、424は、所望の小さな回転特性及び適度な直線特性を達成するように構成することができ、それらの特性は、ジンバルやジンバルリング、及びそれらに関連する機械的装具を使用することなく、プラットフォーム104が、図1に示された直交する3本のプラットフォーム軸X、Y、Zを回転軸として及びそれらの軸に沿って、制限された量の角運動及び直線運動を行うことを可能にする。従って、分離器群124、424は、支持フレーム102に対するプラットフォーム104の限定的な直線運動を、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿った3自由度で許容することになり、又、支持フレーム102に対するプラットフォーム104の限定的な回転運動を、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸とした3自由度で許容することになり、そして、支持フレーム102に対するプラットフォーム104の回転運動よりも、支持フレーム102に対するプラットフォーム104の直線運動についての方が、実質的により抵抗力がある。

【0047】

上述した分離器群124、424、及び、後述する分離器群424C、424Dのような、所与の直線剛性用に構成された、プラットフォーム安定化システムで使用するための分離器群は、好ましくは、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動について、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも2倍の非減衰固有振動数を有している。より好ましくは、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも3倍である。なお好ましくは、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも5倍であり、より一層好ましくは、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも10倍である。プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数は、特定の適用例に合うように調整する必要があるかもしれないが、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pを回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数は、実際的に可能な限り低くするべきである。しかしながら、回転剛性に対する直線の比率を得るために、プラットフォーム軸X_p、Y_p、Z_pに沿ったプラットフォームの直線運動についての非減衰固有振動数を、適用例単独の要求以上に大きくする必要はない。

【0048】

図3cは、図1及び図4aに示した分離器群の、模式的な実施形態の回転特性を示している。この模式的な実施形態において、個別の分離器120の各々は、2条に（dual start）機械加工されたばねであり、軸方向のばねレートが約180ポンド/インチ（31.52 N/mm）、横方向のばねレートが無負荷で約30ポンド/インチ（5.254 N/mm）、予圧時で約10ポンド/インチ（1.751 N/mm）、曲げのばねレートが約

0.35 インチ・ポンド/度 (2266 Nmm/rad)、捩じれのばねレートが約 0.25 インチ・ポンド/度 (1618 Nmm/rad)、そして直径に対する自由長さの比率が約 3.7 であった。試験の負荷の重量は約 20 ポンド (9.07185 kg) であった。これは、システムに、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った直線運動についての非減衰固有振動数が約 15 Hz、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数が約 1.5 Hz、という結果をもたらし、従って、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った直線運動についての非減衰固有振動数が、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸としたプラットフォームの回転運動についての非減衰固有振動数の、少なくとも 10 倍になっている。これらは、航空用の (airborne) プラットフォーム安定化システムにふさわしい特性である。

10

【0049】

図1で確認できるように、分離器120の各々は、支持フレーム102と、4つの実装機構108を含むプラットフォーム104との間に直接的に延びている。上述したように、プラットフォーム及び支持構造は、実装機構108や実装用突起128といった、分離器を取り付けるための機構を含むが、これらの構成部品は、プラットフォーム及び支持構造の一部を形成するものであり、更に、プラットフォームの運動を制約するものではない。

【0050】

図1にも示されているが図6bで最もよく分かるように、模式的な図示の実施形態において、実装機構108の各々は、外側へ反対方向に延びるフィンガー部126を有し、又、支持フレーム102は、外側へ反対方向に延びる実装用突起128を4組含んでおり、各組が90度間隔で配置されている。プラットフォーム安定化システム100が組み立てられる際、実装機構108上のフィンガー部126と実装用突起128とは、互いに位置決めされるため、それらは、フィンガー部126と実装用突起128との、支持フレーム102の一方側に90度間隔で配置される複数の対向するペアとなる。フィンガー部126及び実装用突起128の各々は、1つの分離器120の端部を受けるための、各自の凹部を有し、それらの凹部が互に対向しており、そして、各分離器120は、フィンガー部126と実装用突起128との間の夫々で延び、従って、支持フレーム102とプラットフォーム104との間に直接的に延びている。

20

【0051】

模式的な分離器群124は、更に後で説明する別の模式的な分離器群と同様に、プラットフォーム安定化システムにおいて、3自由度での受動的な直線分離を提供すると同時に、3自由度を有する屈曲ピボットとして機能するという、2つの役割を果たすものである。

30

【0052】

プラットフォーム安定化システムにおける受動的な分離の役割は、システムへ加えられた振動を制振すること、すなわち、制御システムへの作業負荷を低減することである。受動的な分離で制振する目的は、共振現象での動的な増幅を制限するためである(図7参照、後述する)。機械的な制振は、全振動数にわたって作用して、負荷の目視線を乱すことがある連結力(coupling forces)を引き起こす。能動的制振(active damping)は、制御システムを利用して、当業界では周知の「スカイフック(sky hook)」技術を用いた制振を適用することができる。シャルトンらの米国特許第3,606,233号、ピンソンの米国特許第4,531,699号、トレスコット名義の米国特許出願公開第2008/0158371A1号は、受動型分離器の能動的制振の一例である。

40

【0053】

回転軸(rotational pivot)を横切る制振は回避すべきであり、本明細書に記載している分離器群はプラットフォームと支持構造との間に直接的に延びているため、従来の機械的な制振は、本明細書に記載している分離器群には不適当であり、制振からプラットフォームを回転的に切り離すような、連続したジンバルシステムは存在しない。結果として、機械的な制振を、回転運動に適用することなく、プラットフォームの直線運動へ適用する

50

ことは困難であり、回転的な制振 (rotational damping) は、乱す力をプラットフォームへ加えることになる。トリッチューらの米国特許第 5, 897, 223 号及びマイヤーらの米国特許第 7, 320, 389 号は、玉継手ピボットに取り付けられた機械的なダッシュポット・ダンパーを利用して、主に制振を分離器の直線運動へ適用することを開示しているが、これは、玉継手ピボット内の摩擦が、妨害する回転力を負荷へ加えるため、本発明のプラットフォーム安定化システムで使用するについては不適當である。従って、能動的制振が、本明細書により教示するような分離器群に適用される場合、6 自由度を有するボイスコイル・アクチュエータ群を含む能動型駆動システムが利用され、制振力が直線軸にのみ付与されると同時に、それが 3 回転自由度内でプラットフォームの目視線を安定化させる。図 4 d に示した種類の分離器 (後述する) は、必要な制振のいくつか又は全てを、受動的に提供することができる。

10

【0054】

従って、模式的なプラットフォーム安定化システム 100 は、更に、支持フレーム 102 とプラットフォーム 104 との間に直接的に作用する能動型駆動システム 140 (図 1、図 5 a、図 8 参照) と、その能動型駆動システム 140 へ連結され、センサ入力を受信してセンサ入力に応じて能動型駆動システムを制御するための制御システム 142 (図 8 参照) とを含む。本明細書で用いる「能動型駆動システム」という用語は、支持フレーム 102 に対する管理された運動を、プラットフォーム 104 に行わせるためのシステムを示している。後により詳しく説明するように、制御システム 142 は、能動的制振と、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の安定した運動とのために、センサ入力を利用して能動型駆動システム 140 を制御する。模式的なプラットフォーム安定化システム 100 において、能動型駆動システム 140 は、6 自由度の能動型駆動システムであり、この能動型駆動システムは、直交するプラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の直線運動を選択的に行わせることができると共に、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸とした、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の回転運動を選択的に行わせることができる。分離器群 124 のような 6 自由度の分離器群と同時に、6 自由度の能動型駆動システムを使用することは、駆動システムが制振力を提供することもできるため、受動的で無制振 (undamped) でさえもある分離器の使用を可能にする。

20

【0055】

模式的なプラットフォーム安定化システム 100 の図示の実施形態では、能動型駆動システム 140 が、仮想円 S の円周上に約 90 度間隔で配置された、4 つの 2 軸式磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 (図 5 a 参照) を含んでいる。図 1、図 6 a、図 6 b で最もよく確認できるように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 の各々は、支持フレーム 102 に搭載される第 1 部材 144 A と、プラットフォーム 104 に搭載される第 2 部材 144 B とを含んでいる。図示の実施形態では、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 の各々が、支持フレーム 102 に搭載されるコイル部材 144 A と、プラットフォーム 104 に搭載される磁気構造部材 144 B とを含んでおり、別の実施形態では、コイル部材と磁気構造部材との位置関係が逆であってもよい。コイル部材 144 A の各々は、互いに直交するように配置されたループの形で、コイル保持部材 146 によって支持フレーム 102 の内面に固定された、2 つの通電可能なコイル 144 A 1、144 A 2 (図 6 a、図 6 b 参照) を含んでいる。又、磁気構造部材 144 B の各々は、プラットフォーム 104 に搭載されると共に間隔を空けて配置される、一对の X 字状プレート 148 を含んでおり、各プレート 148 が、プレート 148 間の隙間に磁束領域を発生させるための、1 つ以上の磁石を有している。プラットフォーム安定化システム 100 を組み立てる間、コイル 144 A 1、144 A 2 と磁気構造部材 144 B とは、最も外側のプレート 148 がコイル 144 A 1、144 A 2 によって形成されるループ内に設置され、コイル 144 A 1、144 A 2 によって形成されるループの最も内側の部材がプレート 148 間に設置されるように、配置される。図示及び説明した磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 は、単に代表的なものに過ぎず、別の種類の磁性ボイスコイル・アクチュエータを利用

30

40

50

することもできる。

【 0 0 5 6 】

制御システム 1 4 2 は、プラットフォーム・サーボ駆動装置 1 8 0 (図 8 参照) を介して、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 へ連結され、プラットフォーム・サーボ駆動装置 1 8 0 は、制御システム 1 4 2 から制御信号を受信して増幅し、各磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の夫々のコイル 1 4 4 A 1、1 4 4 A 2 へ電流を送るものである。従って、制御システム 1 4 2 は、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の通電を制御して、管理されたモーメント及び直線力を、プラットフォーム 1 0 4 に対して付与することができる。

【 0 0 5 7 】

図 6 a に示されているように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の各々は、実質的に直交する 2 本のモータ軸 M_1 及び M_2 を有しており、プラットフォーム位置決め力を、2 本のモータ軸 M_1 及び M_2 に沿って付与できるが、2 本のモータ軸 M_1 及び M_2 と互いに実質的に直交する第 3 のモータ軸 M_3 に沿って運動する自由を有している。従って、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の各々は、支持フレーム 1 0 2 とプラットフォーム 1 0 4 との間に作用して、第 1 のプラットフォーム位置決め力を、その第 1 のモータ軸 M_1 に沿ってプラットフォームへ付与すると共に、第 2 のプラットフォーム位置決め力を、その第 2 のモータ軸 M_2 に沿ってプラットフォームへ付与しながら、その第 3 のモータ軸 M_3 に沿ったプラットフォームの自由な直線運動を許容する。同時に、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の各々は、その 3 本のモータ軸 M_1 、 M_2 、 M_3 を回転軸とした、プラットフォーム 1 0 4 の自由な回転を許容する。モータ軸 M_1 、 M_2 、 M_3 に沿った直線運動、及び、モータ軸 M_1 、 M_2 、 M_3 を回転軸とした回転運動の文脈で用いている「自由」という用語は、限定された運動の範囲を課すように影響する物理的な停止を含む、磁性ボイスコイル・アクチュエータの物理的構造によって課される限定された運動の範囲内で、自由であることとして理解される。更に、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 が支持機能を提供しないものとして、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 のコイル 1 4 4 A 1、1 4 4 A 2 が、プレート 1 4 8 から間隔を空けて配置されるように、分離器群 1 2 4 が、支持フレーム 1 0 2 内にプラットフォーム 1 0 4 を支持することは、理解されるであろう。従って、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 は、支持フレーム 1 0 2 内にプラットフォーム 1 0 4 を支持せず、プラットフォーム 1 0 4 は、分離器群 1 2 4 によってのみ支持される。

【 0 0 5 8 】

図 1 及び図 5 a で確認できるように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 は、直交するプラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った、支持フレーム 1 0 2 に対するプラットフォーム 1 0 4 の直線運動を選択的に行わせるように、かつ、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸とした、支持フレーム 1 0 2 に対するプラットフォーム 1 0 4 の回転を選択的に行わせるように、プラットフォーム 1 0 4 に対して配置される。より詳しくは、特にここで図 5 a を参照すると、コイル 1 4 4 A 1 を電流が通過するとき、それはモータ軸 M_1 に沿った起電力を発生させる。同様に、コイル 1 4 4 A 2 を電流が通過するとき、それはモータ軸 M_2 に沿った起電力を発生させる。モータ軸 M_3 は、磁気構造 1 4 4 B のプレート 1 4 8 間の隙間において、それらの起電力を発生させるために使用される磁束領域の、全体的な方向を示している。全ての磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 のコイル 1 4 4 A 1 が、同じ電流極性で通電された場合、合力のベクトルは、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 の各々のモータ軸 M_1 と平行な、プラットフォーム軸 X_p に沿うものとなる。しかしながら、下方の 2 つの磁性ボイスコイル・アクチュエータ 1 4 4 における電流の極性が反転していた場合、それらの力は、それらのモータ軸 M_1 の各々と反対方向になる。その直線力は、模式的な実施形態においてはピッチ軸であるプラットフォーム軸 Y_p を回転軸としたモーメントを、打ち消すと共に作り出す。従って、コイル 1 4 4 A 1、1 4 4 A 2 内の電流の極性を変えることによって、能動型駆動システム 1 4 0 は、直線力及び回転モーメントを生じさせることができる。直線力は制振のために利

10

20

30

40

50

用され、回転モーメントは、プラットフォーム 104 が負荷としてセンサ群を搭載している場合に特定の適用性 (application) を有する目視線を、安定化するために利用される。

【0059】

上述したように、図示の実施形態では、慣性計測装置 110 がプラットフォーム 104 内に配置されている。図 8 に概略的に示されているように、慣性計測装置 110 は、好ましくは光ファイバ式ジャイロ型のセンサである、3つの慣性角速度センサ (inertial rate sensor) 152、154、156 を含んでおり、それらは、支持フレーム 102 に対して規定される所定のプラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p (図 1 及び図 6a 参照) を回転軸とした、プラットフォーム 104 の角運動を示す信号を提供する。好ましくは、図 8 に示されているように、プラットフォーム 104 に搭載される慣性計測装置 110 は、更に 3つの慣性加速度センサ 158、160、162 を含んでおり、それらは、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った、プラットフォーム 104 の直線運動を示す信号を提供する。慣性角速度センサ 152、154、156、及び、慣性加速度センサ 158、160、162 は、制御システム 142 と接続され、慣性角速度センサ 152、154、156 と慣性加速度センサ 158、160、162 とによって生成された信号が、制御システム 142 へ送信される。従って、慣性計測装置 110 は、制御システム 142 と接続されており、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に関するプラットフォームの直線運動及び角運動を示す信号を、感知及び提供することができる。3つの慣性角速度センサと3つの慣性加速度センサとが図 8 に示されているが、他の実施形態は、3つよりも多くの慣性角速度センサ、及び/又は、3つよりも多くの慣性加速度センサを含んでいてもよい。

【0060】

好ましくは、プラットフォーム安定化システム 100 は、更に、プラットフォーム 104 に搭載され、角度センサシステム 165 と直線変位センサシステム 171 とを含む、位置センサシステム 164 を含んでいる。角度センサシステム 165 は、支持フレームに対するプラットフォーム 104 の角度位置を示す信号を、感知及び提供するものであり、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に対するプラットフォーム 104 の角度位置を示す信号を夫々が提供する、3つの角度位置センサ 166、168、170 を含んでいる。同様に、直線変位センサシステム 171 は、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の直線変位を示す信号を、感知及び提供するものであり、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿ったプラットフォーム 104 の直線変位を示す信号を夫々が提供する、3つの直線変位センサ 172、174、176 を含んでいる。更に、位置センサシステム 164 は、制御システム 142 と接続され、制御システム 142 へセンサ入力信号を送信する。

【0061】

制御システム 142 は、慣性計測装置 110 及び/又は位置センサシステム 164 からの入力を利用して、プラットフォーム・サーボ駆動装置 180 を介して、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 を駆動することで、支持フレーム 102 に対するプラットフォーム 104 の運動の能動的制振を提供することができる。プラットフォーム安定化システム 100 は、好ましくは、更に、制御システム 142 と通信可能に接続された、全地球測位システム (GPS) 受信器 184 を含んでいる。GPS 受信器 184 は、外部ジンバル (例えば、図 9 の外部ジンバル機構 118a、118b、118c) の固定 (ヨーイングしない) 部位や、プラットフォーム安定化システム 100 を搭載する航空機の内部に配置することができる。GPS 受信器 184 は、GPS 衛星の良好な視野に入るように、航空機の上部に取り付けてもよい。通常、GPS 受信器 184 は、前方及び後方取付部品 112、114 と支持フレーム 102 とによって形成される収容部の内部に配置されることはなく、これは、その収容部が通常は電磁氣的にシールドされているためであるが、それがシールドされていなければ、GPS 受信器 184 は、そのような収容部の内部に配置されていてもよい。このため、制御システム 142 は、慣性計測装置 110 及び GPS 受信器 184 からの信号を利用して、慣性航法処理を実行することができ、負荷の目視線の、地

10

20

30

40

50

球表面との交点の地理的位置を計算する。この文脈において、「地球表面」という用語は、地球の実表面上のポイントを含むだけでなく、地球表面より上の特定の高さにあるポイントも含んでおり、そのポイントは多くの場合に「ターゲット (target)」と呼ばれる。更に、制御システム 142 は、慣性計測装置 110 及び GPS 受信器 184 からの信号を利用して、画像式自動追跡装置 (image based auto-trackers) を使用することなく、地理的位置やベクトル上の操向ループ (steering loops) を閉じることができる。この地理的な操向は、本発明に係るプラットフォーム安定化システムを、広範囲の継続的な監視 (surveillance) といった多くの監視の適用について、自律的に動作させることができる。又、制御システム 142 は、プラットフォーム安定化システム 100 を搭載している軌道に乗って周回する航空機の回転運動によって引き起こされる、地球に対する目視線の相対的な回転運動を、所与の負荷の画像統合期間中に最小化するために、負荷の目視線をその限定された運動の範囲内で「進め」て「固定」するように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 を駆動するために必要な、操向パラメータを算出する命令を保有している。これは、特に、広範囲の継続的な監視の適用において用いられる、超高ピクセル数の画像によく適している。

【0062】

上述したように、プラットフォーム安定化システム 100 全体は、図 8 で符号 118 により示された外部ジンバル機構に固定されるものであり、制御システム 142 が、外部ジンバル機構 118 をも制御することが好ましい。外部ジンバル機構 118 は、少なくとも方位軸駆動装置 186 と仰角軸駆動装置 188 とを含んでおり、3 軸式の外部ジンバル機構については、更にロール軸駆動装置 (図 8 には図示せず) を含んでいる。更に、外部ジンバル機構 118 は、制御システム 142 へ接続された外部ジンバル・慣性角速度センサ 192、194、196 を含んでいる。制御システム 142 は、1 つ以上の外部ジンバル・サーボ駆動装置 198 を介して、方位軸駆動装置 186 及び仰角軸駆動装置 188 と、更に存在するならばロール軸駆動装置と接続される。制御システム 142 は、プラットフォーム安定化システム 100 及び外部ジンバル機構 118 を搭載する航空機の制御部といった、ジンバル制御入力ソース 190 から、ジンバル制御信号を受信し、更に、外部ジンバル・慣性角速度センサ 192、194、196 からセンサ信号を受信し、この入力を利用して、方位軸駆動装置 186 及び仰角軸駆動装置 188 を作動させ、存在するならばロール軸駆動装置も同様に作動させる。

【0063】

制御システム 142 は、汎用のコンピュータや専用のコンピュータであってもよく、或いは、他のプログラム可能なデータ処理装置であって、磁性ボイスコイル・アクチュエータ 144 を制御するため、及び、方位軸駆動装置 186 及び仰角軸駆動装置 188 (3 軸式の外部ジンバル機構の場合は同様にロール軸駆動装置) を制御するための命令を実行する、命令実行システムとして機能するものであってもよい。又、制御システム 142 は、任意の適切なハードウェア及びソフトウェアの組み合わせとして実現されてもよい。模式的なプラットフォーム安定化システム 100 において、制御システム 142 は、プラットフォーム安定化制御アルゴリズム 202、慣性航法アルゴリズム 204、慣性座標計算アルゴリズム 206、地理的操向アルゴリズム 208、電力管理アルゴリズム 210、及び、外部ジンバル制御アルゴリズム 212 を含む命令を実行する。

【0064】

プラットフォーム安定化制御アルゴリズム 202 の典型的な実装例において、制御システム 142 は、ヨー、ピッチ、及びロールの目視線 (LOS) の要望レート (rates) を表す、ジンバル制御入力ソース 190 からの外部のジンバル制御入力から得たデータを受け入れ、それらを、慣性計測装置 110 の慣性加速度センサ 158、160、162 により返される、LOS の計測レートと比較して、エラー信号を作り出す。ヨー、ピッチ、及びロールの目視線 (LOS) の要望レートは、外部のジンバル制御入力から、或いは、後述する地理的操向アルゴリズム 208 によって、算出することができる。制御システム 142 は、比例 - 積分 - 微分 (PID) 式の制御を実行して、算出したエラー信号に基づい

10

20

30

40

50

てLOSを安定化させるために必要な、ヨー、ピッチ、及びロールの要求トルクを算出することができる。PID制御は、計測値と要求値との間の差を、エラー信号として算出した後、エラーの削減を試みて入力変数を変更する。又、別の方式の制御方法を利用してもよい。そして、能動型駆動システム140を形成する磁性ボイスコイル・アクチュエータ144の各コイル144A1、144A2において、要求トルクを生み出すために必要な電流が、磁性ボイスコイル・アクチュエータ144の電磁気特性と、能動型駆動システム140の幾何学的配置(geometry)とに基づいて算出される。更に、プラットフォーム・サーボ駆動装置180は、目視線を安定化させるために必要なトルクが生み出されるように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ144のコイル144A1、144A2に対して、正確な起電力を発生させるための正確な電流が供給されることを保証する。この処理は、通常、毎秒何千回も繰り返される。

10

【0065】

慣性航法アルゴリズム204の典型的な実装例において、制御システム142は、GPS受信器184からGPSデータ(時間、位置、速度)を、慣性計測装置110から内部レート及び加速度データを、位置センサシステム164から角度位置データを、更に、外部ジンバル・慣性角速度センサ192、194、196から角度位置データを受け入れる。位置センサシステム164及び外部ジンバル・慣性角速度センサ192、194、196からの角度位置データは、GPSデータを慣性計測装置110の座標構造へ変換するために使用される。そして、慣性計測装置110についての慣性位置、慣性速度、及び慣性加速度が、当業界では周知の標準の慣性航法装置(INS)アルゴリズムを用いて算出される。更に、位置センサシステム164及び外部ジンバル・慣性角速度センサ192、194、196からのデータは、プラットフォーム安定化システムを搭載している乗り物(例えば航空機)についての慣性位置、姿勢、進路、及び、軌道を、逆演算(back-compute)するために使用される。

20

【0066】

慣性座標計算アルゴリズム206の典型的な実装例において、制御システム142は、慣性航法アルゴリズム204からの出力を使用し、地球についての数値標高マップ(DEM)と組み合わせて、負荷の目視線が地球表面と交差するポイントの位置及び速度を算出する。この文脈において、「地球表面」という用語は、地球の実表面上のポイントを含むだけでなく、地球表面より上の特定の高さにあるポイントも含んでおり、そのポイントは多くの場合に「ターゲット」と呼ばれる。従って、制御システム142は、負荷の目視線が地球表面と交差するポイントの地理的位置を、慣性航法装置に算出させるための命令を保有する。

30

【0067】

地理的操向アルゴリズム208の典型的な実装例において、制御システム142は、ジンバル制御入力ソース190から、所望のターゲットの地理的位置及び速度についてのジンバル制御入力を受け入れ、それを慣性座標計算アルゴリズム206の出力と比較して、位置及び速度のエラー信号を作り出す。制御システム142は、PID制御を利用して、エラーを最小限にするために必要な要求操向レートを計算することができ、要求操向レートは、PID制御の前又は後に、慣性計測装置110の座標構造へ変換してもよい。又、他の方式の制御方法を利用してもよい。地理的操向アルゴリズム208の出力は、プラットフォーム安定化制御アルゴリズム202へ、ヨー、ピッチ、及びロールの目視線(LOS)の要望レートとして提供される。従って、地理的操向アルゴリズム208は、地理的位置を指定する負荷の目視線が維持されるように、地理ベースの操向制御ループを閉じるための命令を含んでいる。

40

【0068】

電力管理アルゴリズム210の典型的な実装例において、制御システム142は、システム全体の電圧センサ、電流センサ、及び温度センサ(図示省略)からの入力を、システムの電流状態に関する他のデータと共に受け入れてもよい。様々なサブシステムにおいて、消費電力に関して既往値、現在値、及び予測値を用いることによって、システム全体の

50

パフォーマンスを最大限にしながらも、システム全体の電力を特定範囲内に維持することができる。例えば、ヒーターやファン（図示省略）用の電力は、通常の要求よりも高い実行値の間、能動型駆動システム 140 へより多くの電力を供給するために、一時的に低減することができる。この方法では、競合するサブシステム間で、毎秒何千回も電力をやりくりすることができる。システム用の総体的な電力範囲は、総体的な消費電力を利用可能な電力範囲内に維持しながら、総体的なパフォーマンスを最大化するために、動的にすることができ、これにより、外部の主制御部が、いくつかのシステムに跨ったリアルタイムな電力管理を行うことができる。

【0069】

外部ジンバル制御アルゴリズム 212 の典型的な実装例において、制御システム 142 は、外部ジンバル機構 118 から角度位置、レート、及び慣性角速度入力を、位置センサシステム 164 から角度位置データを、更に、ジンバル制御入力ソース 190 から（或いは、そこからのデータに基づいて地理的操向アルゴリズム 208 により算出した）要望レートデータを受け入れる。制御システム 142 は、位置センサシステム 164 からのデータを、外部ジンバル機構 118 の座標構造へ変換し、PID 制御において、外部ジンバル機構 118 が目視線に倣うようにするためのエラー信号として使用する。加えて、制御システム 142 は、ジンバル制御入力ソース 190 からの要望レート、及び／又は、地理的操向アルゴリズム 208 の出力を、フィードフォワード項（feed-forward term）として使用してもよい。又、制御システム 142 は、外部ジンバル・慣性角速度センサ 192、194、196 からのデータを、外部ジンバル機構 118 の座標構造へ変換された要望レートとの比較に使用して、PID 式制御で要求レートを計算するために利用するエラー信号を作り出してもよい。位置センサシステム 164、フィードフォワード計算、及び、外部ジンバル・慣性角速度センサ 192、194、196 からの要求レートの総計は、外部ジンバル機構アクチュエータに対する最終的な要求として使用される。

【0070】

好適なプラットフォーム安定化制御アルゴリズム 202、慣性航法アルゴリズム 204、慣性座標計算アルゴリズム 206、地理的操向アルゴリズム 208、電力管理アルゴリズム 210、及び、外部ジンバル制御アルゴリズム 212 の展開（development）は、当業者の能力（capability）の範囲内にあり、本明細書により直ぐに教示される。例えば、これに限定されるものではないが、ルイスの米国特許第 6,263,160 号の図 8 は、プラットフォーム安定化ループを示しており、トリッチューラの米国特許第 5,897,223 号の図 7a 及び図 7b は、2 軸式又は 3 軸式外部ジンバルシステム用の、内部及び外部制御ループのブロック図を示している。これらの特許内容は、参照によって本明細書に組み込まれる。

【0071】

典型的な無制振の分離システム、能動的制振の分離システム、及び、受動的制振（弾性力を有する（elastomeric））の分離システムの伝達性能（transfer functions）を、図 7 において比較している。図 7 は、本明細書で説明したプラットフォーム安定化システムで利用する能動的制振によって提供される、改善された分離器の性能を示している。非減衰固有振動数を優に超える振動数では、能動的制振のシステムについての伝達率（transmissibility）が、振動数比（ W_n / W ）の 2 乗（square）に比例して転落（rolls off）する一方、受動型システムについての伝達率が、振動数比（ W_n / W ）により倍化される（multiplied）制振比率（ C / C_c ）の 2 倍に比例して転落している。これは、より高い制振が、より高い振動数での対応する伝達率の不利益を被ることなく、共振での動的増幅や Q 値を低減するために適用できることを意味している。更に、この転落が急傾斜のため、非減衰固有振動数は、分離システムの静的変位を低減するのに十分に押し上げることができる。弾性力を有する典型的な受動型システムは、 $\pm 2 G$ のみの範囲で、停止に必要な移動量が $\pm 1 / 4$ " であるが、図 1 に示され、その性能が図 7 のグラフに記された能動型分離器は、 $\pm 3 G$ の範囲で、停止に必要なプラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p での移動量が $\pm 3 / 16$ " のみである。これは、負荷量の効率の対応する増加に必要となる、動揺

空間の有効な縮小を表している。この動揺空間の縮小は、更に、負荷量の効率を増大させるために必要な、分離器及びボイスコイル・アクチュエータの大きさ及び重量を低減させる。

【0072】

模式的なプラットフォーム安定化システム100において、能動型駆動システム140は、4つの磁性ボイスコイル・アクチュエータ144で構成される群を1群含んでいる。他の実施形態では、プラットフォーム安定化システムの能動型駆動システムが、より多くの、又はより少ない磁性ボイスコイル・アクチュエータを含んでいてもよい。

【0073】

図5bは、6つの単軸式磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bで構成される群を1群含む、模式的な能動型駆動システム540Bの配置を示しており、磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bの各々は、支持フレームに搭載され、この場合には磁気構造部材である第1部材544B2と、プラットフォームに搭載され、この場合にはコイル部材である第2部材544B1とを含んでいる。又、磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bの各々は、プラットフォーム位置決め力がそれに沿って適用可能な1本のアクティブなモータ軸 M_2 と、それらに関しての運動が自由である2本の非アクティブなモータ軸 M_1 、 M_3 とを有しており、3本の軸 M_1 、 M_2 、 M_3 は、実質的に互いに直交している。従って、磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bの各々は、支持フレームとプラットフォームとの間で作用することで、第1のプラットフォーム位置決め力を、第1のモータ軸 M_2 に沿ってプラットフォームに対して付与させるのと同時に、第2のモータ軸 M_1 及び第3のモータ軸 M_3 の夫々に沿った、第2部材の自由な直線運動を許容し、更に、第2のモータ軸 M_1 及び第3のモータ軸 M_3 の夫々を回転軸とした、第2部材544B1の自由な回転を許容する。図5bで確認できるように、磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bは、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った、支持フレーム（図5bでの図示は省略）に対するプラットフォーム（図5bでの図示は省略）の直線運動を選択的に行わせると共に、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸とした、支持フレームに対するプラットフォームの回転を選択的に行わせるように、プラットフォームに対して配置される。より詳しくは、この磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bについては、コイル544B1を電流が通過するとき、それがモータ軸 M_2 に沿った起電力を発生させる。対向する2つの磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bの極性が同じである場合、それらの磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bは、モータ軸 M_2 と平行な直線力を生じさせることになり、対向する2つの磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bが反対の極性を有する場合、それらの磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bは、モータ軸 M_2 と直交する軸を回転軸としたモーメントを生じさせることになる。従って、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った所望の直線運動、及び、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸とした所望の回転運動を、選択的な通電を介して達成することができる。図5bに符号542Bで概略的に示されている制御システムは、磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Bの通電を制御して、管理されたモーメント及び直線力をプラットフォームへ付与する。

【0074】

図5cは、3つの2軸式磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Cで構成される群を1群含む、模式的な能動型駆動システム540Cの配置を示している。磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Cの各々は、支持フレーム（図5cでの図示は省略）とプラットフォーム（図5cでの図示は省略）との間で作用することで、第1のプラットフォーム位置決め力を、第1のモータ軸 M_1 に沿ってプラットフォームに対して付与させると共に、第2のプラットフォーム位置決め力を、第2のモータ軸 M_2 に沿ってプラットフォームに対して付与させ、同時に、第3のモータ軸 M_3 に沿った、プラットフォームの自由な直線運動を許容すると共に、実質的に互いに直交する3本のモータ軸 M_1 、 M_2 、 M_3 を回転軸とした、プラットフォームの自由な回転を許容する。磁性ボイスコイル・アクチュエータ544Cは、プラットフォームのプラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p に沿った、支持

10

20

30

40

50

フレームに対するプラットフォームの直線運動を選択的に行わせると共に、プラットフォーム軸 X_p 、 Y_p 、 Z_p を回転軸とした、支持フレームに対するプラットフォームの回転を選択的に行わせるように、プラットフォームに対して配置される。特に、図 5 c で確認できるように、全ての磁性ボイスコイル・アクチュエータ 5 4 4 C の同じコイル 5 4 4 C A 1 が、同じ電流極性で通電された場合、合力のベクトルは、(磁性ボイスコイル・アクチュエータ 5 4 4 C の各々のモータ軸 M_1 と平行な) プラットフォーム軸 X_p に沿うものとなる。しかしながら、下方(図 5 c の左下)の磁性ボイスコイル・アクチュエータ 5 4 4 C のコイル 5 4 4 C A 1 における電流の極性が反転しており、かつ、図 5 c の右側のコイル 5 4 4 C A 1 における電流がゼロであった場合、合力は、プラットフォーム軸 Y_p を回転軸としたモーメントを生み出すことになる。上方及び下方(図 5 c の左側)の磁性ボイスコイル・アクチュエータ 5 4 4 C が、それらのモータ軸 M_1 に沿ったユニット力(unit force)を発生させるように通電され、かつ、3 つ目(図 5 c の右側)の磁性ボイスコイル・アクチュエータ 5 4 4 C が、反対の極性を有することになり、更に 2 ユニットの力(force of two units)を発生させるように通電された場合、それらはプラットフォーム軸 Z_p を回転軸としたモーメントを生み出すことになる。コイル 5 4 4 C A 1、5 4 4 C A 2 における電流の大きさ及び方向を変えることで、6 自由度での制御が可能となる。制御システム 5 4 2 C (540C) は、ボイスコイル・アクチュエータの通電を制御して、管理されたモーメント及び直線力をプラットフォームへ付与する。

【0075】

図 1 から図 3 c、図 5 a、図 6 b、及び図 8 に示した模式的なプラットフォーム安定化システム 1 0 0 では、分離器が圧縮ばね 1 2 0 の形態を採用している。これは単に代表的な分離器の一例に過ぎず、別の種類の分離器を使用して、本明細書の開示に従うプラットフォーム安定化システムを構築してもよい。

【0076】

図 4 c は、直列に配置された 3 つの単軸式屈曲ピボット 4 2 2 C を含む 3 軸式の屈曲ピボット部材 4 2 0 C の形態をとった、模式的な分離器 4 2 0 C を示しており、屈曲ピボット 4 2 2 C は、間隔保持部材 4 3 0 C によって互いに離されている。各屈曲ピボット 4 2 2 C は、各自のピボット軸 4 3 2 C を有しており、それらのピボット軸 4 3 2 C は、プラットフォーム(図 4 c では図示省略)内の共通の点 P で実質的に交差している。屈曲ピボット部材 4 2 0 C は、一体構造であることが好ましく、又、間隔保持部材 4 3 0 C は、例えば図 4 e に示すような分離器群に用いられたときに、直線剛性と回転剛性との所望の比率をもたらすように設計することができる。

【0077】

図 4 e は、各々が支持フレーム 4 0 2 C とプラットフォーム 4 0 4 C との間に直接的に延びる、複数の 3 軸式屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C を含む、模式的な対称構造の分離器群 4 2 4 C を示している。分離器 4 2 0 C を構成する屈曲ピボット 4 2 2 C が対称配置ではないが、分離器群 4 2 4 C が対称配置である。

【0078】

支持フレーム 4 0 2 C が複数の実装用突起 4 2 8 C を含むと共に、プラットフォーム 4 0 4 C が外側へ延びた複数のフィンガー部 4 2 6 C を含んでおり、フィンガー部 4 2 6 C と実装用突起 4 2 8 C との間の夫々で、屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C の各々が延びている。図示の実施形態では、屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C が、仮想四面体 T の頂点に配置されているが、別の実施形態は、図 4 a に示した配置と同じ様に、仮想立方体の頂点に配置された屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C を有する等といった、他の配置を利用してもよい。各屈曲ピボット部材 4 2 0 C の 3 本のピボット軸 4 3 2 C は、プラットフォーム 4 0 4 C 内の同じ共通の点 P で実質的に交差しており、従って、図 4 e には 4 つの屈曲ピボット部材 4 2 0 C が存在し、夫々が 3 本のピボット軸 4 3 2 C を有しているため、合計で 12 本のピボット軸 4 3 2 C となり、そして、12 本全てのピボット軸 4 3 2 C が、同じ共通の点 P で実質的に交わっている。共通の点 P は、プラットフォーム 4 0 4 C の質量の中心である。

【 0 0 7 9 】

屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C の各々は、支持フレーム 4 0 2 C に対するプラットフォーム 4 0 4 C の直線運動を 3 自由度で許容し、更に、支持フレーム 4 0 2 C に対するプラットフォーム 4 0 4 C の回転運動を 3 自由度で許容する。屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C は、協働して、姿勢的に独立した分離器群 4 2 4 C を形成し、この分離器群 4 2 4 C は、支持フレーム 4 0 2 C 内でプラットフォーム 4 0 4 C を直に支持し、プラットフォーム 4 0 4 C に支持フレーム 4 0 2 C からの間隔を設けている。圧縮ばね 1 2 0 を分離器として用いた分離器群 1 2 4 と同様に、屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C を用いた分離器群 4 2 4 C は、支持フレーム 4 0 2 C に対するプラットフォーム 4 0 4 C の限定的な直線運動を 3 自由度で許容すると共に、支持フレーム 4 0 2 C に対するプラットフォーム 4 0 4 C の限定的な回転運動を 3 自由度で許容し、更に、支持フレーム 4 0 2 C に対するプラットフォーム 4 0 4 C の直線運動の方が、実質的に抵抗力がある。屈曲ピボット 4 2 2 C は、回転に関する拘束が考慮されることがあるが、プラットフォーム 4 0 4 C は、模式的な屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C による、或いは、屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C によって形成される模式的な分離器群 4 2 4 C (図 4 e 参照) による、回転に関する拘束を受けない。

10

【 0 0 8 0 】

図 4 d は、分離器について更に別の模式的な構成を示しており、この場合にはダイヤフラム式 (diaphragm-based) 分離器 4 2 0 D である。模式的なダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、一端が開口した略円柱状で中空の、第 1 及び第 2 のハウジング 4 3 0 D を含んでおり、各ハウジングが、その内部に備えられたダイヤフラム受け部 4 3 1 D を有している。ハウジング 4 3 0 D は、ダイヤフラム受け部 4 3 1 D が互いに対向するように配置される。更に、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、2 つの対向する実質的に同一の、略円形のダイヤフラム 4 3 2 D を含み、ダイヤフラム 4 3 2 D の各々は、その周縁部 4 3 3 D が一方のハウジング 4 3 0 D によって支持され、そのハウジング 4 3 0 D のダイヤフラム受け部 4 3 1 D を横切って広がっている。ダイヤフラム 4 3 2 D は、ダイヤフラム 4 3 2 D の半径方向中心部 4 3 5 D の間で延びる、掬じれ屈曲部材 4 3 4 D によって互いに連結される。従って、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、互いに連結されて協働して作用する、複合的な分離器要素の一例である。分離器群 (例えば、図 4 f に示す分離器群 4 2 4 D) に利用された場合、一方のハウジング 4 3 0 D が支持フレーム 4 0 2 D へ接続されると共に、他方のハウジング 4 3 0 D がプラットフォーム 4 0 4 D へ接続され、これにより、各分離器 4 2 0 D について、一方のダイヤフラム 4 3 2 D が支持フレーム 4 0 2 D へ接続され、他方のダイヤフラム 4 3 2 D がプラットフォーム 4 0 4 D へ接続される。図示の実施形態において、ダイヤフラム 4 3 2 D は、同心円状にひだが設けられたベローフラムの形を成す金属構造であり、他の実施形態では、放射状 (spoked) 構造、クロックスプリング構造、或いは、型加工された弾性構造を採用してもよい。掬じれ屈曲部材 4 3 4 D は、軸方向に弾性があることが好ましく、軸方向の剛性と横方向の剛性との、所望の比率をもたらすのに、十分な長さを有している。いくつかの実施形態では、掬じれ屈曲部材 4 3 4 D が、つる巻きばねを含んでいてもよい。ある種の屈曲部材は、ダイヤフラムの間に作用する回転に関する拘束が考慮されることがあるが、プラットフォーム 4 0 4 D は、模式的なダイヤフラム式分離器 4 2 0 D による、或いは、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D によって形成される模式的な分離器群 4 2 4 D (図 4 f 参照) による、回転に関する拘束を受けない。

20

30

40

【 0 0 8 1 】

図示の実施形態において、掬じれ屈曲部材 4 3 4 D は、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D の横方向の移動を制限するために、ストッパ 4 3 6 D を搭載している。図 4 d に示されている代表的なストッパ 4 3 6 D は、ディスク状を成しており、横移動中にディスク状のストッパ 4 3 6 D が、ハウジング 4 3 0 D の縁 4 3 7 D に接触するまで傾く (tip) ことにより、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D の更なる横移動を阻止するものである。

50

【 0 0 8 2 】

図 4 d に示された模式的な実施形態において、ダイヤフラム 4 3 2 D の各々は、流体不浸透性を有し、又、ハウジング 4 3 0 D の各々は、各ダイヤフラム 4 3 2 D と協働して、ダンピングリザーバ 4 3 8 D を形成している。ダンピングリザーバ 4 3 8 D の各々は、各シンクリザーバ 4 3 9 D と流体連通状態にあり、ダンピング流体を各ダンピングリザーバ 4 3 8 D から各シンクリザーバ 4 3 9 D へ移すことで、各ダイヤフラム 4 3 2 D の軸方向運動を制振する。より詳しくは、図示の実施形態では、ハウジング 4 3 0 D の各々が各ダイヤフラム 4 3 2 D と協働して、収容部 4 4 1 D を形成している。各収容部 4 4 1 D を横切って円錐台状のフランジ付き仕切部材 4 4 3 D が延びており、各収容部 4 4 1 D を、ダンピングリザーバ 4 3 8 D とシンクリザーバ 4 3 9 D とに分けている。ダンピングリザーバ 4 3 8 D の各々は、各仕切部材 4 4 3 D の中心にある開口部 4 4 9 D を介して、各シンクリザーバ 4 3 9 D と流体的に連通している。ダンピングリザーバ 4 3 8 D は、オイル等の適切な流体で満たすことができ、その流体は、ダイヤフラム 4 3 2 D の中心における軸方向運動によって、各仕切部材 4 4 3 D の中心にある開口部 4 4 9 D を介して、シンクリザーバ 4 3 9 D へと送出され、これにより、軸方向運動の速度にのみ釣り合った制振力が発生する。横方向運動中のキャピティにおける容量変化はととても小さいため、横方向運動のための部材における横方向の制振は、最小化されることになる。各仕切部材 4 4 3 D のフランジ部 4 4 5 D と、各ダイヤフラム 4 3 2 D の周縁部 4 3 3 D とは、各ハウジング 4 2 0 D の内面にある各環状凹部 4 4 7 D で支えられている。

10

【 0 0 8 3 】

模式的なダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、開口部 4 4 9 D を介した流体の移動により、受動的な制振を提供するが、それらは、能動的な制振を提供するように変更されてもよく、これは、開口部の領域を制御するアクチュエータを使用することによって実現されるか、或いは、開口部で電気コイルを使用し、更に制振用の流体として適切な磁性流体を使用することで、開口部のあたりにある流体の粘度を制御することによって実現される。

20

【 0 0 8 4 】

図 3 d は、代表的な分離器 4 2 0 D のようなダイヤフラム式分離器の簡易数理モデル 3 2 0 を示している。この数理モデルは、一端が開口した対向する 2 つのハウジング 3 3 0 から形成されており、各ハウジング 3 3 0 は、開口した一端を横切って延びるダイヤフラム 3 3 2 を有し、ダイヤフラム 3 3 2 は、その中心部において捩じれ屈曲部材 3 3 4 により連結されている。ダイヤフラム式分離器の簡易数理モデル 3 2 0 では、

30

- 「 K_{aD} 」がダイヤフラムの軸方向のばねレートであり、
- 「 K_{lD} 」がダイヤフラムの横方向のばねレートであり、
- 「 K_{mD} 」がダイヤフラムの回転方向 (moment) のばねレートであり、
- 「 K_{tD} 」がダイヤフラムの捩じれのばねレートであり、
- 「 K_{aT} 」が捩じれ屈曲部材の軸方向のばねレートであり、
- 「 K_{lT} 」が捩じれ屈曲部材の横方向のばねレートであり、
- 「 K_{bT} 」が捩じれ屈曲部材の曲げのばねレートであり、
- 「 K_{tT} 」が捩じれ屈曲部材の捩じれのばねレートであり、
- 「 L 」が捩じれ屈曲部材の長さである。

40

又、図 3 d の簡易数理モデル 3 2 0 では、

横方向の剛性が「 $2 K_{mD} L$ 」により支配され (dominated)、

捩じり剛性が「 K_{tT} 」により支配され、

軸方向の剛性 $K_a = 1 / ((2 / K_{aD}) + (1 / K_{aT}))$ 、となる。

【 0 0 8 5 】

ここで、各々が支持フレーム 4 0 2 D とプラットフォーム 4 0 4 D との間に直接的に延びた複数のダイヤフラム式分離器 4 2 0 D を含む、模式的な分離器群 4 2 4 D を示す図 4 f を参照する。屈曲ピボット部材型分離器 4 2 0 C を採用した図 4 e に示した実施形態と同様に、図 4 f に示した実施形態では、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D が、プラットフォーム 4 0 4 D の質量中心から外側へ放射状に延びるように、仮想四面体 T の頂点に配置さ

50

れているが、他の実施形態は別の配置を使用してもよい。例えば、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、図 4 A に示した配置と同様に、仮想立方体の頂点に配置されていてもよい。

【 0 0 8 6 】

ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D の各々は、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の直線運動を、3 自由度で許容し、更に、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の回転運動を、3 自由度で許容する。従って、ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D は、協働して、姿勢的に独立した分離器群 4 2 4 D を形成し、この分離器群 4 2 4 D は、支持フレーム 4 0 2 D 内でプラットフォーム 4 0 4 D を直に支持し、プラットフォーム 4 0 4 D に支持フレーム 4 0 2 D からの間隔を設けている。分離器群 4 2 4 D は、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の限定的な直線運動を、3 自由度で許容すると共に、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の限定的な回転運動を、3 自由度で許容する。ダイヤフラム式分離器 4 2 0 D の構造及び配置により、分離器群 4 2 4 D は、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の回転運動よりも、支持フレーム 4 0 2 D に対するプラットフォーム 4 0 4 D の直線運動の方が、実質的に抵抗力がある。

【 0 0 8 7 】

図 4 c の分離器群 4 2 4 C のような、屈曲ピボット部材型分離器を含む分離器群や、図 4 d の分離器群 4 2 4 D のような、ダイヤフラム式分離器を含む分離器群は、図 5 a、図 5 b、図 5 c の夫々に示した能動型駆動システム 1 4 0、5 4 0 B、5 4 0 C、及び、図 8 に示した制御システム 1 4 2 のような、能動型駆動システム及び制御システムと組み合わせることができる。

【 0 0 8 8 】

上述した模式的なシステムは、支持構造の運動から負荷を分離する方法の模式的な実装例である。この方法は、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な直線運動を、直交する 3 本のプラットフォーム軸に沿った 3 自由度で許容すること、支持フレームに対するプラットフォームの限定的な回転運動を、3 本のプラットフォーム軸を回転軸とした 3 自由度で許容すること、同時に、プラットフォームを回転に関して拘束することなく、支持フレームに対するプラットフォームの回転運動よりも、実質的に大きい抵抗力を、支持フレームに対するプラットフォームの直線運動の方に提供すること、を含んでいる。

【 0 0 8 9 】

様々な実施形態に従った方法、装置（システム）、及びコンピュータプログラム製品を示すブロック図（図 8）を参照して、本技術の態様を説明してきた。この点について、図 8 のブロック図は、本技術の様々な実施形態に従ったシステム、方法、及びコンピュータプログラム製品の、可能な実装の構成、機能、及び動作を示している。例えば、ブロック図内の各ブロックは、モジュール、セグメント、或いは、特定の（複数の）論理機能を実行するための実行可能な命令を 1 つ以上含むコードの一部を示している。更に、ブロック図の各ブロック、及び、ブロック図の複数ブロックの組み合わせは、特定の機能や動作を実行するハードウェアベースの専用システム、或いは、専用のハードウェアとコンピュータ命令との組み合わせによって、実現可能であることも述べておく。

【 0 0 9 0 】

更に、ブロック図内の各ブロック、及び、ブロック図内の複数ブロックの組み合わせが、コンピュータプログラム命令によって実現できることは、理解されるであろう。これらのコンピュータプログラム命令は、汎用コンピュータのプロセッサ、専用コンピュータのプロセッサ、或いは、他のプログラム可能なデータ処理装置のプロセッサへ提供され、そして、コンピュータのプロセッサや他のプログラム可能なデータ処理装置のプロセッサを介して実行される命令が、ブロック図内に明示された機能 / 動作を実行する手段を生み出すような、機械装置が構築される。

【 0 0 9 1 】

更に、これらのコンピュータプログラム命令は、コンピュータへ、他のプログラム可能なデータ処理装置へ、或いは、他のデバイスへ指示することができる、コンピュータ読み

取り可能な媒体に格納して、特定の方法で機能することができ、これにより、コンピュータ読み取り可能な媒体に格納された命令は、ブロック図内の単数や複数のブロックで明示された機能／動作を実行する命令を含む製品を作り出す。又、コンピュータプログラム命令は、コンピュータ上、他のプログラム可能なデータ処理装置上、或いは、他のデバイス上へ読み込まれ、そして、コンピュータ上、他のプログラム可能な装置上、或いは、他のデバイス上で実行されて、コンピュータ実行処理を生じることになる、連続した作業ステップを与えることができ、これにより、コンピュータや他のプログラム可能な装置上で実行される命令は、ブロック図のブロックで明示された機能／動作を実行するための処理を提供する。

【0092】

10

本明細書に記載された方法を実行することができるコンピュータシステムの実例を、図10にブロック図として示している。コンピュータシステムの実例は、全体として参照符号1000で示されており、表示装置1002、キーボード1004Aとポインティングデバイス1004Bとで形成される入力装置、コンピュータ1006、及び、外部装置1008を含んでいる。ポインティングデバイス1004Bがマウスとして図示されているが、他の種類のポインティングデバイスやタッチスクリーン式の表示装置を使用してもよいことは、理解されるであろう。

【0093】

コンピュータ1006は、中央処理装置(CPU)1010等の、1つ以上のプロセッサ又はマイクロプロセッサを含むことができる。CPU1010は、算術計算及び機能制御を行い、ランダムアクセスメモリ(RAM)及び/又は読み出し専用メモリ(ROM)であることが好ましい内部メモリ1012に格納された、或いは、追加メモリ1014に格納された、ソフトウェアを実行する。追加メモリ1014には、例えば、大容量記憶装置、ハードディスクドライブ、光学ドライブ(CD及びDVDドライブを含む)、磁気ディスクドライブ、磁気テープドライブ(LTO、DLT、DAT、DCCを含む)、フラッシュドライブ、ビデオゲーム装置で見られるようなプログラム・カートリッジ及びカートリッジ・インターフェース、EPROMやROMといったリムーバブル・メモリチップ、ホログラフィック記憶装置等の新興の記憶媒体、或いは、当業界で周知の類似の記憶媒体が含まれる。この追加メモリ1014は、物理的にコンピュータ1006の内部にあってもよく、図10に示すように外部にあってもよく、それら双方にあってもよい。

20

30

【0094】

更に、コンピュータシステム1000は、コンピュータプログラムや他の命令を読み込ませることができる、別の類似手段を含んでいてもよい。そのような手段には、例えば、コンピュータシステム1000と外部システムとネットワークとの間で、プログラム及びデータを送信することが可能な、通信インターフェース1016が含まれる。通信インターフェース1016の例には、モデム、イーサネット(登録商標)カード等のネットワーク・インターフェース、無線通信インターフェース、或いは、シリアル又はパラレル通信ポートが含まれていてよい。通信インターフェース1016を介して送信されるソフトウェア及びデータは、電子信号、音響信号、電磁信号、光学信号、或いは、通信インターフェース1016によって受信可能な他の信号であってもよい、信号の形式になる。当然のことながら、1つのコンピュータシステム1000に複数のインターフェースを備えることができる。

40

【0095】

コンピュータ1006への入力、及び、コンピュータ1006からの出力は、入出力(I/O)インターフェース1018により管理される。このI/Oインターフェース1018は、表示装置1002、キーボード1004A、外部装置1008、及び、コンピュータシステム1000の他のそのような構成品の、制御を管理し、同じく、様々なセンサからの入力を管理する。更に、コンピュータ1006は、画像処理装置(GPU)1020を含んでいる。GPU1020は、算術計算用にCPU1010の補助役として、又はCPU1010の代わりに、計算的な用途に使用することができる。

50

【 0 0 9 6 】

コンピュータシステム 1 0 0 0 の様々な構成部品は、直接的に、或いは、適切なバスに接続されることで、互いに接続される。本明細書で説明したようなプラットフォーム安定化システムの制御システム用に使用されるコンピュータシステムが、上述したいくつかの構成部品を省いてもよいことは、理解されるであろう。

【 0 0 9 7 】

本明細書で使用している「コンピュータシステム」という用語は、任意の特定種類のコンピュータシステムに限定するものではなく、サーバ、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、スマートフォン等のネットワーク接続された携帯無線遠距離通信計算装置、タブレット型コンピュータ、他の種類のコンピュータシステムも同様に含むものである。

10

【 0 0 9 8 】

当業者により理解されるように、本明細書で説明した技術の態様は、システム、方法、又はコンピュータプログラム製品としての形態を取り得るものである。従って、本明細書で説明した技術の態様は、完全なハードウェア形態、完全なソフトウェア形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコード等を含む）、或いは、ソフトウェア及びハードウェアの態様を組み合わせた形態の形式を取り得るものであり、それらの全てが、「回路」、「モジュール」、「システム」として、概略的に本明細書に示されている。更に、説明した本技術の態様は、コンピュータ読み取り可能なプログラムコードを実装した、1 つ以上のコンピュータ読み取り可能な媒体の形態を成す、コンピュータプログラム製品の形式を取り得るものである。

20

【 0 0 9 9 】

本明細書で説明した技術の態様が、コンピュータプログラム製品として実現される場合、1 つ以上のコンピュータ読み取り可能な媒体を、任意に組み合わせて利用することができる。コンピュータ読み取り可能な媒体は、コンピュータ読み取り可能な信号媒体であってもよく、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体であってもよい。コンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、例えば、これらに限定されるものではないが、電子式、磁気式、光学式、電磁式、赤外線式又は半導体式の、システム、装置又はデバイスであってもよく、或いは、それらを適切かつ任意に組み合わせたものであってもよい。コンピュータ読み取り可能な記憶媒体のより具体的な例（包括的でないリスト）には、1 本以上の配線を有する電気接続、携帯式のコンピュータ・フロッピーディスク、ハードディスク、ランダムアクセスメモリ（RAM）、読み出し専用メモリ（ROM）、消去及びプログラム可能な読み出し専用メモリ（EPROM やフラッシュメモリ）、光ファイバ、携帯式コンパクトディスク型の読み出し専用メモリ（CD-ROM）、光記憶装置、磁気記憶装置、又は、それらの適切かつ任意の組み合わせが含まれる。本明細書の文脈において、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体は、命令を実行するシステム、装置、又はデバイスにより使用するための、或いは、それらに関連して使用するためのプログラムを、包含又は格納することが可能な任意の有形媒体であってもよい。従って、本明細書で説明した技術の態様を実現するコンピュータ読み取り可能なプログラムコードは、コンピュータ 1 0 0 6 のメモリ 1 0 1 2、コンピュータ 1 0 0 6 の外側にあるコンピュータ使用可能な又はコンピュータ読み取り可能な媒体、或いは、それらの任意の組み合わせに、包含又は格納されてもよい。

30

40

【 0 1 0 0 】

コンピュータ読み取り可能な信号媒体は、ベースバンド方式で、又は搬送波の一部として、内部にコンピュータ読み取り可能なコードが組み込まれた、伝達データ信号を含んでもよい。そのような伝達信号は、電磁式、光学式、又はそれらの適切かつ任意の組み合わせを含むが、これらに限定されるものではない、任意の様々な形式を取ることができる。コンピュータ読み取り可能な信号媒体は、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体ではなく、かつ、命令を実行するシステム、装置、又はデバイスにより使用するための、或いはそれらに関連して使用するためのプログラムを、通信、伝達、又は送信することができる、任意のコンピュータ読み取り可能な媒体であってもよい。

50

【 0 1 0 1 】

コンピュータ読み取り可能な媒体に組み込まれたプログラムコードは、無線、有線、光ファイバケーブル、無線周波数、及びそれに類似したもの、又はそれらの適切かつ任意の組み合わせを含むが、それらに限定されるものではない、任意の適切な媒体を使用して送信することができる。ここで説明した技術の態様についての動作を実行するためのコンピュータプログラムコードは、オブジェクト指向のプログラミング言語と、手続型の従来のプログラミング言語とを含む、1つ以上のプログラミング言語を任意に組み合わせて書き込むことができる。プログラムコードは、全体的に利用者のコンピュータ上で、部分的に利用者のコンピュータ上で、スタンドアローン型のソフトウェアパッケージとして、部分的に利用者のコンピュータ上かつ部分的にリモートコンピュータ上で、或いは、全体的にリモートコンピュータ又はサーバ上で、実行することができる。その後半のシナリオにおいて、リモートコンピュータは、ローカルエリア・ネットワーク（LAN）やワイドエリア・ネットワーク（WAN）を含む任意の種類のネットワークを介して、利用者のコンピュータと接続することができ、或いは、その接続が外部のコンピュータ（例えば、インターネット・サービスプロバイダを利用したインターネットを介して）により成されるものであってもよい。

10

【 0 1 0 2 】

最後に、本明細書で使用される用語は、特定の実施形態のみを説明する目的のものであり、本発明を限定することを意図したものではない。本明細書で使用されている単数形の「1つの（a）」、「1つの（an）」及び「その（the）」は、文脈がそうではないことを明らかに示さない限り、同様に複数形を含むように意図されている。更に、「含む（comprise）」及び／又は「含んでいる（comprising）」という用語は、本明細書で使用された場合、所定の特徴、整数（integers）、ステップ、動作、構成要素、及び／又は、構成部品が存在することを明示しており、1つ以上の別の特徴、整数、ステップ、動作、構成要素、構成部品、及び／又は、それらの集合が、存在すること又は付加されることを妨げるものではないことは、理解されるであろう。

20

【 0 1 0 3 】

添付のクレーム内の、対応する構造、部材、動作、及び全ての方法又はステップの同等物、更に機能要素（function elements）は、明確な請求として別のクレーム要素と組み合わせられた機能を果たすための、あらゆる構造、部材、又は動作を含むように意図されている。本明細書は、解説及び説明を目的として記載されているが、網羅する又は開示の形態に限定することを意図したものではない。当業者には、クレームの範囲から逸脱せずに、多くの部分的変更及びバリエーションが明らかになる。本技術の本質及び実践的な適用を好適に説明するために、かつ、他の当業者が、意図した特定の利用に適したものとして、様々な変更が成された様々な実施形態についての技術を理解することができるように、実施形態が選択されて記載されている。

30

【 0 1 0 4 】

いくつかの一般に好適な実施形態を、例を挙げて説明してきた。クレームで規定したような本発明の範囲から逸脱することなく、複数のバリエーション及び部分的変更が可能なことは、当業者には明らかであろう。

40

【符号の説明】

【 0 1 0 5 】

100：プラットフォーム安定化システム、102、402C、402D：支持フレーム、104、404C、404D：プラットフォーム、110：慣性計測装置、118a、118b、118c：外部ジンバル機構、120、420h：分離器（圧縮ばね）、120A：ばね軸、124、424、424C、424D、424h：分離器群、140、540B、540C：能動型駆動システム、142、542C：制御システム、144、544B、544C：磁性ボイスコイル・アクチュエータ、144A、544B2：第1部材、144B、544B1：第2部材、152、154、156：慣性角速度センサ、158、160、162：慣性加速度センサ、165：角度センサシステム、171：直

50

線変位センサシステム、184：GPS受信器、420C：分離器（屈曲ピボット部材）、422C：単軸式屈曲ピボット、432C：ピボット軸、420D：ダイヤフラム式分離器、430D：第1及び第2のハウジング、431D：ダイヤフラム受け部、432D：ダイヤフラム、433D：周縁部、434D：捻じれ屈曲部材、435D：半径方向中心部、436D：ストッパ、438D：ダンピングリザーバ、439D：シンクリザーバ、441D：収容部、443D：仕切部材、449D：開口部、A、M、P：共通の点（質量中心）、C：仮想立方体、F：6つの面、 A_F ：面の中心、 M_1 、 M_2 、 M_3 ：モータ軸、S：仮想円、T：仮想正四面体

【図1】

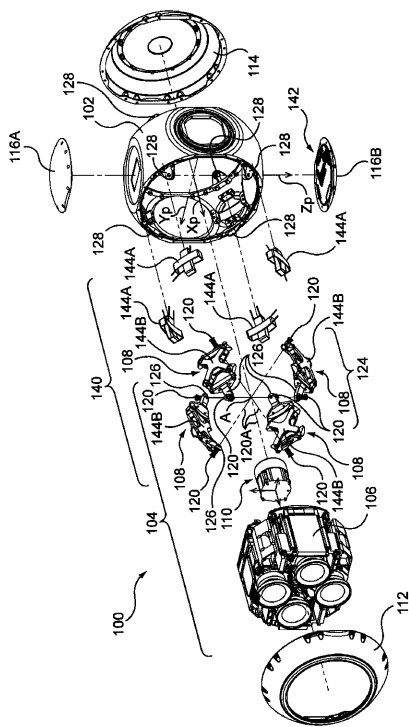


FIG. 1

【図2a】

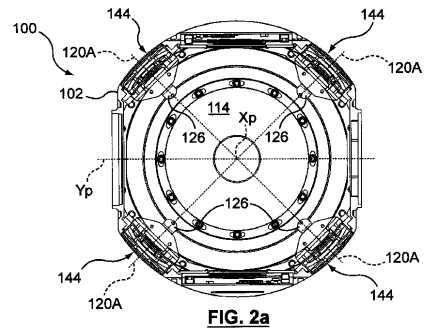


FIG. 2a

【図2b】

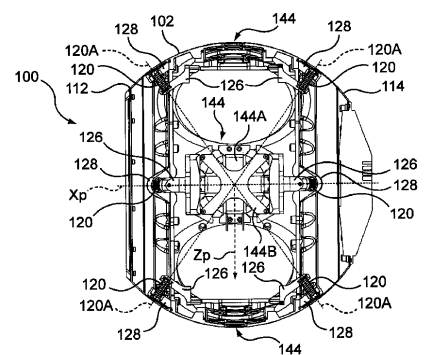


FIG. 2b

【 図 3 b 】

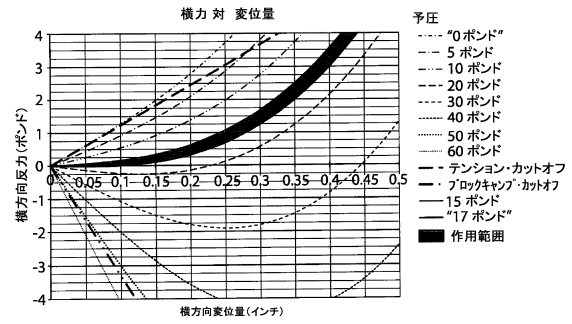


FIG. 3b

FIG. 3a

【 図 3 d 】

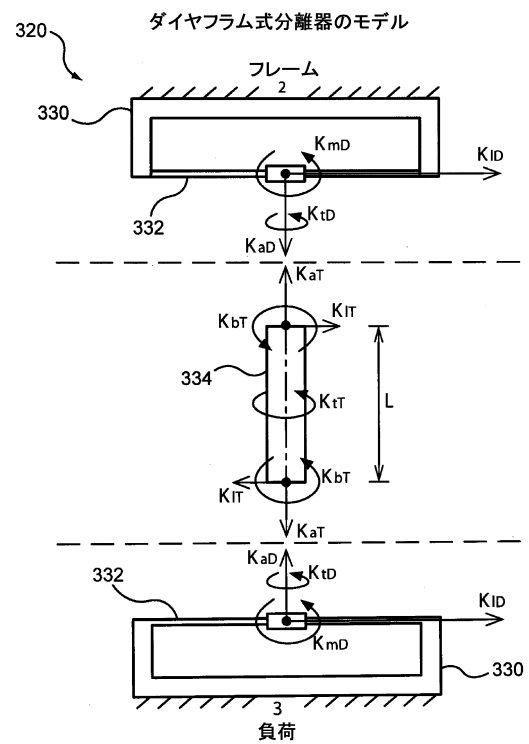
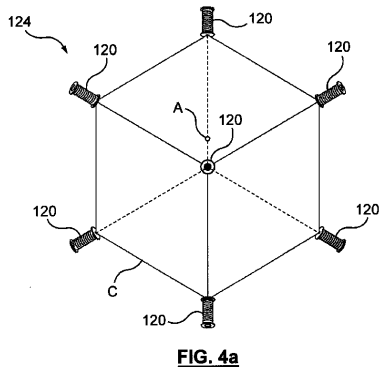
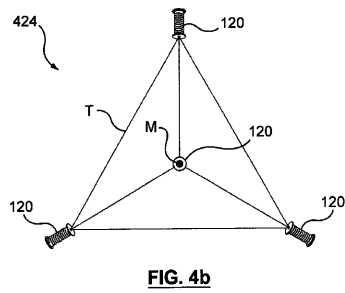


FIG. 3d

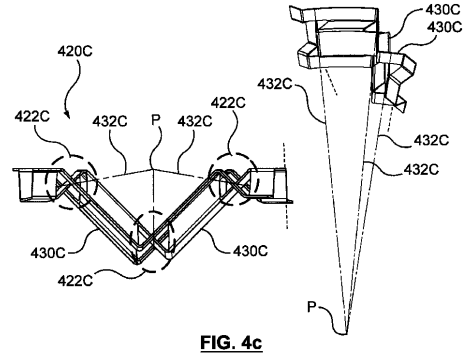
【図 4 a】



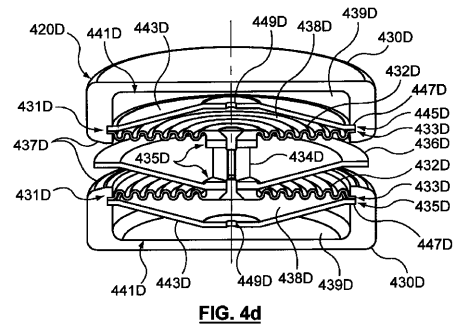
【図 4 b】



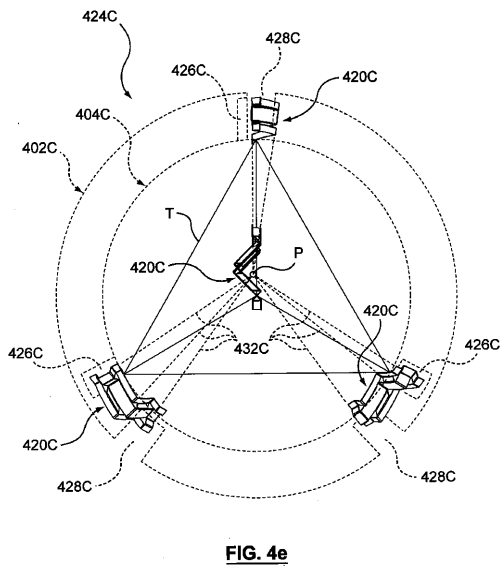
【図 4 c】



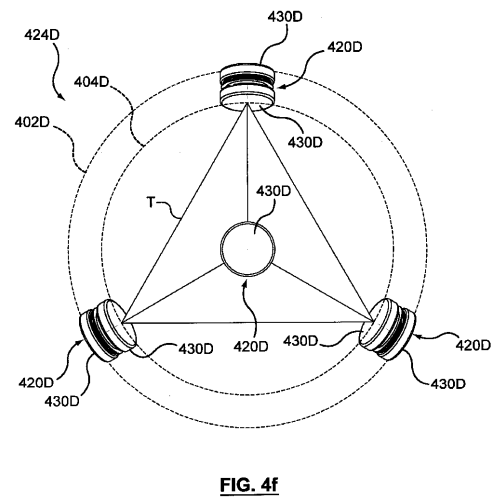
【図 4 d】



【図 4 e】



【図 4 f】



【 図 5 c 】

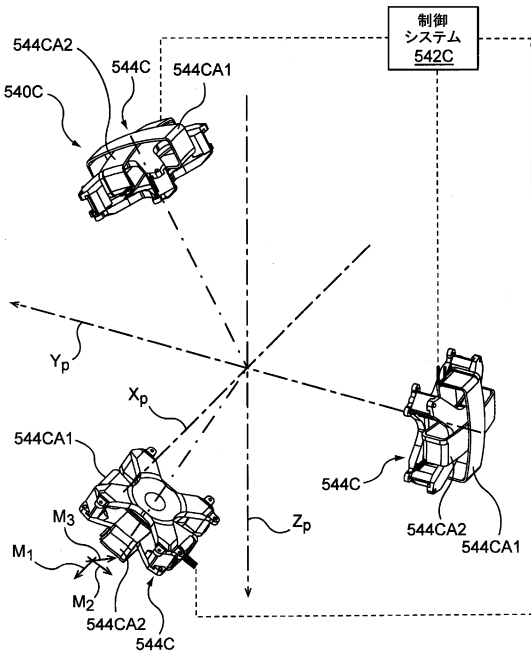


FIG. 5c

【 図 6 a 】

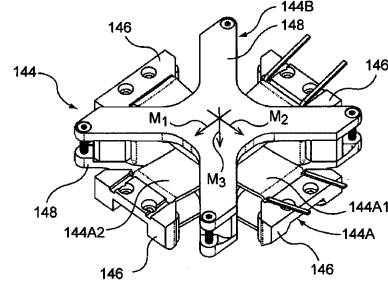


FIG. 6a

【 図 6 b 】

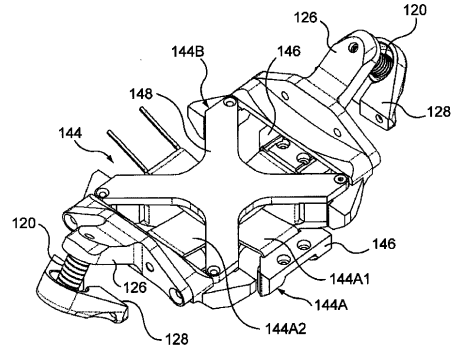


FIG. 6b

【 図 7 】

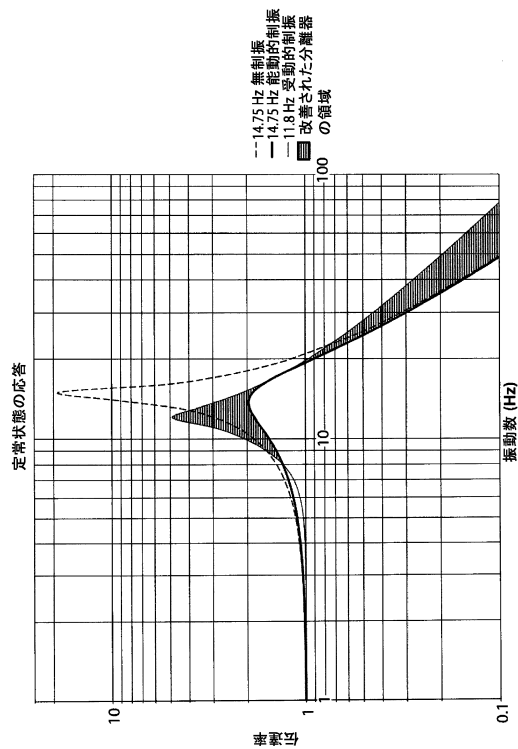


FIG. 7

【 図 8 】

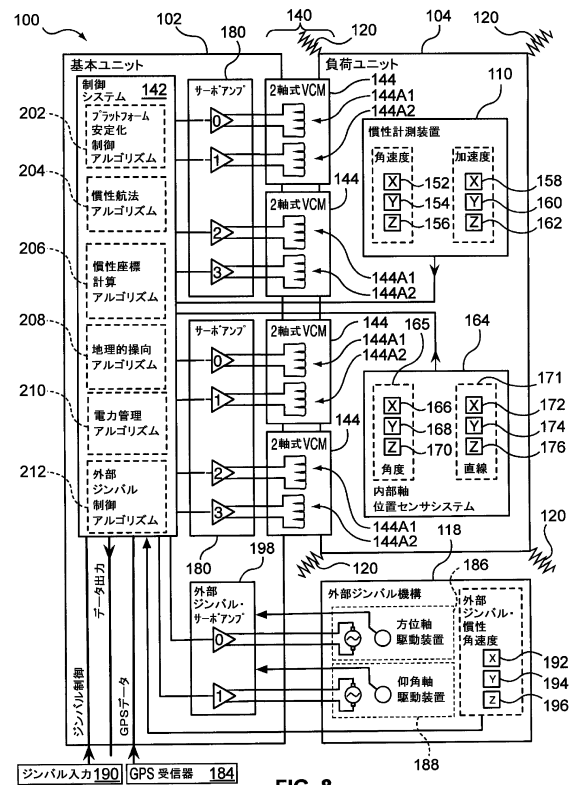
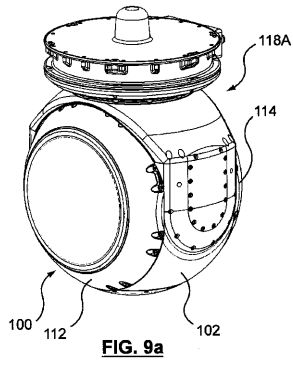
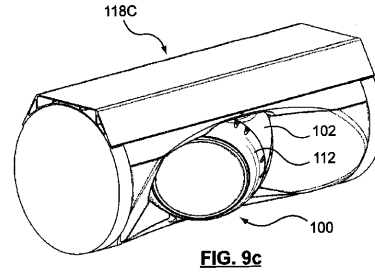


FIG. 8

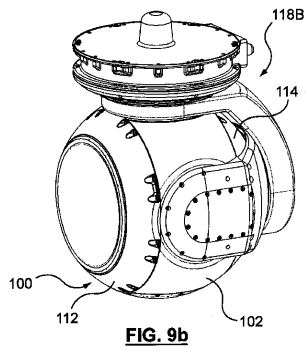
【図 9 a】



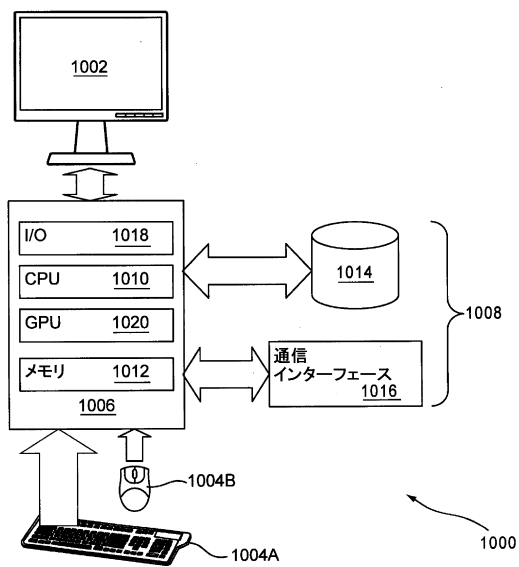
【図 9 c】



【図 9 b】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>F 1 6 F</i>	<i>15/02</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 M</i>	<i>13/00</i>	<i>S</i>
<i>F 1 6 F</i>	<i>15/06</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 M</i>	<i>13/02</i>	<i>W</i>
<i>B 6 4 C</i>	<i>13/20</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 F</i>	<i>15/02</i>	<i>A</i>
			<i>F 1 6 F</i>	<i>15/06</i>	<i>D</i>
			<i>B 6 4 C</i>	<i>13/20</i>	<i>C</i>

- (56)参考文献 特開平 7 - 3 2 5 6 2 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 2 7 1 8 7 1 (J P , A)
 特開 2 0 0 7 - 1 0 0 8 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 1 5 3 2 8 0 (J P , A)
 特開 2 0 0 0 - 4 6 9 7 7 (J P , A)
 特開平 9 - 2 0 3 4 3 1 (J P , A)
 国際公開第 2 0 1 3 / 0 3 9 4 0 1 (W O , A 1)
 特開 2 0 0 5 - 2 9 1 4 4 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 1 - 4 1 3 9 5 (J P , A)
 特開平 6 - 2 0 0 9 7 8 (J P , A)
 特開 2 0 0 2 - 2 7 7 2 4 5 (J P , A)
 特開 2 0 0 7 - 1 0 6 2 6 9 (J P , A)
 米国特許第 6 2 6 3 1 6 0 (U S , B 1)
 特開 2 0 0 1 - 2 7 2 8 0 (J P , A)
 特開 2 0 0 6 - 3 4 9 1 3 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

F 1 6 M *1 3 / 0 0* - *1 3 / 0 2*
B 6 4 D *4 5 / 0 0*
F 1 6 F *1 5 / 0 2* - *1 5 / 0 6*
F 1 6 M *1 1 / 2 0*
F 1 6 M *1 1 / 4 2*
B 6 4 C *1 3 / 2 0*