

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6936620号
(P6936620)

(45) 発行日 令和3年9月15日(2021.9.15)

(24) 登録日 令和3年8月31日(2021.8.31)

(51) Int. Cl.	F I
B 6 4 C 13/40 (2006.01)	B 6 4 C 13/40
B 6 4 C 9/00 (2006.01)	B 6 4 C 9/00
B 6 4 C 13/00 (2006.01)	B 6 4 C 13/00 Z
F 1 6 H 25/22 (2006.01)	F 1 6 H 25/22 Z
F 1 6 H 25/24 (2006.01)	F 1 6 H 25/24 B
請求項の数 15 外国語出願 (全 35 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2017-93514 (P2017-93514)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成29年5月10日 (2017.5.10)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2018-24412 (P2018-24412A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成30年2月15日 (2018.2.15)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	令和2年5月11日 (2020.5.11)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	15/159,706	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成28年5月19日 (2016.5.19)		園田・小林特許業務法人
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	フォックス, マイケル ティー.
			アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 回転式イナーター及びアクチュエータを減衰させる方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

アクチュエータ(202)を減衰させるための装置であって、イナーター(300)を備え、前記イナーター(300)は、

イナーター軸(306)に沿って互いに対して可動であり、支持構造体(116)及び前記アクチュエータ(202)によって作動される可動デバイス(124)に相互に排他的に連結されるように構成された第1の末端部(302)及び第2の末端部(304)と

、
前記第1の末端部(302)に連結され、前記第1の末端部とともに可動であるロッド(308)と、

前記第2の末端部(304)に連結され、前記第2の末端部とともに可動であるねじ山付きシャフト(322)と、

前記ロッド(308)及び前記ねじ山付きシャフト(322)のうちの少なくとも1つに連結されたフライホイール環(318)を有するフライホイール(314)であって、前記アクチュエータ(202)による前記可動デバイス(124)の作動に対応して、前記ねじ山付きシャフト(322)に対する前記ロッド(308)の軸方向加速に比例して回転するように構成されたフライホイール(314)と

を含み、

前記ねじ山付きシャフト(322)が、前記第2の末端部(304)に回転不能に連結されており、

前記ねじ山付きシャフト(322)に対する前記ロッド(308)の軸方向加速が、前記フライホイール(314)の比例する回転加速を引き起こすように、前記フライホイール(314)が、前記ロッド(308)に回転可能に連結され、前記ねじ山付きシャフト(322)にねじ式に係合されている、装置。

【請求項2】

前記アクチュエータ(202)が、前記可動デバイス(124)の作動中、互いに対して軸方向に可動であるロッド端(214)及びキャップ端(212)を有するリニアアクチュエータであり、前記ロッド端(214)及び前記キャップ端(212)は、前記支持構造体(116)及び前記可動デバイス(124)のうちの1つに相互に排他的に連結されている、請求項1に記載の装置。

10

【請求項3】

前記イナーター(300)が、前記アクチュエータ(202)に組み込まれていて、前記アクチュエータ(202)が、前記ロッド(308)の一端に連結され、ハウジング(228)内で軸方向にスライド可能なピストン(216)を有する油圧式アクチュエータ(204)であり、

前記アクチュエータ(202)の前記ロッド端(214)及び前記キャップ端(212)のうちの1つが、前記イナーター(300)の前記第1の末端部(302)として機能し、前記ロッド端(214)及び前記キャップ端(212)のうちの残りの1つが、前記第2の末端部(304)として機能し、

前記フライホイール(314)が、前記フライホイール環(318)において前記ピストン(216)及び前記ロッド(308)のうちの1つに回転可能に連結され、前記フライホイール(314)が、前記ねじ山付きシャフト(322)にねじ式に連結され、前記ねじ山付きシャフト(322)に対する前記ピストン(216)の軸方向加速に比例して回転方向に加速するように構成されている、請求項2に記載の装置。

20

【請求項4】

前記イナーター(300)が、前記アクチュエータ(202)に組み込まれていて、前記アクチュエータ(202)が、前記ロッド(308)の一端に連結され、ハウジング(228)内で軸方向にスライド可能なピストン(216)を有する油圧式アクチュエータ(204)であり、前記ピストン(216)が前記ハウジング(228)をキャップ端チャンバ(236)とロッド端チャンバ(238)に分割し、

30

前記アクチュエータ(202)の前記ロッド端(214)及び前記キャップ端(212)のうちの1つが、前記イナーター(300)の前記第1の末端部(302)として機能し、前記ロッド端(214)及び前記キャップ端(212)のうちの残りの1つが、前記第2の末端部(304)として機能し、

前記フライホイール(314)が、前記第2の末端部(304)に回転可能に連結され、

前記ねじ山付きシャフト(322)が、前記フライホイール(314)に固定して連結され、前記フライホイール(314)と一致して回転可能であり、

前記ねじ山付きシャフト(322)に対する前記ロッド(308)の直線並進運動が、前記アクチュエータ(202)による前記可動デバイス(124)の作動に対応して、前記フライホイール(314)及び前記ねじ山付きシャフト(322)の回転を引き起こすように、前記ピストン(216)が、前記ロッド(308)に固定して連結され、前記ねじ山付きシャフト(322)にねじ式に係合されている、請求項2に記載の装置。

40

【請求項5】

前記ロッド(308)と前記ねじ山付きシャフト(322)の相対的な軸方向運動に対応して前記フライホイール(314)の回転を能動的に制御するように構成されたモーター(350)を更に備える、請求項1に記載の装置。

【請求項6】

前記モーター(350)が、フライホイール外周(316)に取り付けられた1つ以上の永久磁石(354)並びにピストン内壁(222)及びハウジング側壁(232)のう

50

ちの1つに取り付けられた1つ以上の巻線(352)を含む永久磁石直流モーターである、請求項5に記載の装置。

【請求項7】

前記アクチュエータ(202)が、前記アクチュエータ(202)内のピストン(216)の直線位置を感知するように構成されたリニア位置センサを含み、

前記モーター(350)が、前記ピストン(216)の前記直線位置に対応して方向転換される、請求項5に記載の装置。

【請求項8】

前記可動デバイス(124)が、航空機(100)の動翼(122)である、請求項1又は請求項5に記載の装置。

【請求項9】

アクチュエータ(202)を減衰させる方法であって、

アクチュエータ(202)を用いて、可動デバイス(124)を作動させることと、

前記可動デバイス(124)に連結されたイナーター(300)を用いて、前記可動デバイス(124)の作動と同時に且つ当該作動に比例して、前記イナーター(300)の第2の末端部(304)に対して第1の末端部(302)を軸方向に加速させることと、

前記第2の末端部(304)に対する前記第1の末端部(302)の軸方向加速に比例して且つ前記軸方向加速と同時に、前記イナーター(300)のフライホイール(314)を回転方向に加速させることと、

前記フライホイール(314)を回転方向に加速させることに応じて、前記可動デバイス(124)及び前記アクチュエータ(202)のアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることと、

前記アクチュエータ(202)による前記可動デバイス(124)の作動に対応して前記フライホイール(314)の回転を能動的に制御することとを含む方法。

【請求項10】

アクチュエータ荷重振動振幅を減少させるステップは、

前記可動デバイス(124)の共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含む、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

前記イナーター(300)が、前記アクチュエータ(202)に組み込まれていて、前記アクチュエータ(202)が、ロッド(224)の一端に連結され、ハウジング(228)内で軸方向にスライド可能なピストン(216)を有する油圧式アクチュエータ(204)であり、

前記フライホイール(314)が、前記ピストン(216)及び前記ロッド(224)のうちの1つに回転可能に連結され、前記フライホイール(314)が、ねじ山付きシャフト(322)にねじ式に連結されている、請求項9又は請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記フライホイール(314)の回転を能動的に制御するステップが、

モーター(350)を用いて前記フライホイール(314)を加速させること及び減速させることのうちの少なくとも1つを含む、請求項9に記載の方法。

【請求項13】

前記フライホイール(314)の回転を能動的に制御するステップが、

指令された位置の方への前記可動デバイス(124)の前記アクチュエータ(202)による作動の開始の間、前記フライホイール(314)を、モーター(350)を用いて加速させることを含む、請求項9に記載の方法。

【請求項14】

アクチュエータ(202)を減衰させるための装置であって、イナーター(300)とモーター(350)とを備え、

前記イナーター(300)は、

10

20

30

40

50

イナーター軸（３０６）に沿って互いに対して可動であり、支持構造体（１１６）及び前記アクチュエータ（２０２）によって作動される可動デバイス（１２４）に相互に排他的に連結されるように構成された第１の末端部（３０２）及び第２の末端部（３０４）と、

前記第１の末端部（３０２）に連結され、前記第１の末端部とともに可動であるロッド（３０８）と、

前記第２の末端部（３０４）に連結され、前記第２の末端部とともに可動であるねじ山付きシャフト（３２２）と、

前記ロッド（３０８）及び前記ねじ山付きシャフト（３２２）のうちの少なくとも１つに連結されたフライホイール環（３１８）を有するフライホイール（３１４）であって、前記アクチュエータ（２０２）による前記可動デバイス（１２４）の作動に対応して、前記ねじ山付きシャフト（３２２）に対する前記ロッド（３０８）の軸方向加速に比例して回転するように構成されたフライホイール（３１４）とを含み、

前記モーター（３５０）は、前記ロッド（３０８）と前記ねじ山付きシャフト（３２２）の相対的な軸方向運動に対応して前記フライホイール（３１４）の回転を能動的に制御するように構成されている、装置。

【請求項１５】

請求項１から８のいずれか一項に記載の装置を使用してアクチュエータ（２０２）を減衰させる方法であって、

前記アクチュエータ（２０２）を用いて、前記可動デバイス（１２４）を作動させることと、

前記可動デバイス（１２４）に連結された前記イナーター（３００）を用いて、前記可動デバイス（１２４）の作動と同時に且つ当該作動に比例して、前記イナーター（３００）の前記第２の末端部（３０４）に対して前記第１の末端部（３０２）を軸方向に加速させることと、

前記第２の末端部（３０４）に対する前記第１の末端部（３０２）の軸方向加速に比例して且つ前記軸方向加速と同時に、前記イナーター（３００）の前記フライホイール（３１４）を回転方向に加速させることと、

前記フライホイール（３１４）を回転方向に加速させることに応じて、前記可動デバイス（１２４）及び前記アクチュエータ（２０２）のアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることと

を含む方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、アクチュエータに関し、より詳細には、回転式イナーター及びアクチュエータを減衰させる方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

航空機は、通常、乗務員又は自動操縦装置からの指令に応じた航空機の方向及び姿勢制御のための飛行制御システムを含む。飛行制御システムは、ロール制御のための翼上のエルロン、ピッチ制御のための尾部の水平尾翼上のエレベーター、ヨー制御のための尾部の垂直尾翼上のラダー、及び他の可動な制御面などの、複数の可動な動翼を含み得る。動翼の動きは、支持構造体（例えば、翼スパー）と動翼（例えば、エルロン）との間に機械的に連結された１つ以上のアクチュエータによって通常もたらされる。多くの航空機において、動翼のためのアクチュエータは、通常一定の作動圧力で動作する１つ以上の油圧システムによって駆動されるリニア油圧式アクチュエータである。

【０００３】

航空機設計者が直面する課題の１つは、飛行中における動翼のフラッターの発生を防止

10

20

30

40

50

することである。制御面のフラッターは、空気力学的に誘発された動翼の不安定な振動と言うこともでき、飛行制御システムの動作帯域が動翼の共振振動数と重なる飛行制御システムにおいて起こりうる。減衰されない場合、振動は、振幅が急速に増加し、動翼とアクチュエータの据え付けシステムの強度性能を超えることを含む、望ましくない結果をもたらす可能性がある。飛行制御システムにおける弾性が、制御面のフラッターの可能性に寄与している。例えば、油圧式アクチュエータは、油圧流体の圧縮性による荷重の下で線形バネ応答を示し得る。油圧流体の圧縮性は、アクチュエータピストンの断面積、油圧流体の体積、及び油圧流体の有効バルク弾性率によって特徴付けられ得る。

【0004】

制御面のフラッターに対処する1つの方法は、動作帯域が動翼の共振振動数と重ならない飛行制御システムを設計することを含み、アクチュエータに対する荷重の慣性を制限すること及び/又は慣性荷重に反応する手段としてピストン断面積を増加させることを含んでもよい。あいにく、上記の既知の方法は、アクチュエータに耐静荷重性能を与えずに、むしろ、動作帯域における共振を回避する手段として、より大きな慣性に反応する能力をアクチュエータに与えるようなサイズのアクチュエータシステムに帰結する。理解されるように、制御面の慣性を制限することは、制御面の面積の減少に対応する。航空機尾部の大きな慣性の制御面の表面積の減少は、航空機の姿勢制御可能性を減少させ得る。理解されるように、アクチュエータのピストン断面積の増加は、アクチュエータ、配管、貯蔵器、及び他の構成要素のサイズ及び重量を含む、油圧システム構成要素のサイズ及び重量の増加に対応する。アクチュエータの増加したサイズは、空気力学的表面の外側モールドラインの更に外側に突き出て、航空機の空気力学的抗力の増加をもたらし得る。姿勢制御可能性の低下、油圧システムの重量の増加、及び空気力学的抗力の増加は、航空機の安全性、燃料効率、航続距離、及び/又は最大積載量を減少させ得る。

【0005】

理解されるように、アクチュエータの動作帯域が、振動応答なしで、可動なデバイスの共振振動数と調和する又はそれを包含することを可能にするシステム及び方法に対する要求が、当該技術分野において存在する。

【発明の概要】

【0006】

アクチュエータに関連付けられた上記要求が、アクチュエータを減衰させるイナーターを含む装置を提供する本開示によって具体的に対処され、軽減される。イナーターは、イナーター軸に沿って互いに対して可動であり、支持構造体及びアクチュエータによって作動される可動デバイスに相互に排他的に連結されるように構成された第1の末端部及び第2の末端部を含む。一例において、イナーターは、第1の末端部に連結され、第1の末端部とともに動くことができるロッドを更に含む。イナーターはまた、第2の末端部に連結され、第2の末端部とともに動くことができるねじ山付きシャフトを含む。イナーターは、ロッドに連結されたフライホイール環を有するフライホイールを更に含む。フライホイールは、アクチュエータによる可動デバイスの作動に対応する、ねじ山付きシャフトに対するロッドの軸方向加速に比例して回転するように構成される。

【0007】

航空機の支持構造体に枢動可能に連結された動翼を有する航空機もまた開示される。航空機は、動翼を作動させるように構成された油圧式アクチュエータを更に含む。加えて、航空機は、支持構造体及び動翼に相互に排他的に連結された第1の末端部及び第2の末端部を有するイナーターを含む。イナーターは、第1の末端部とともに動くことのできるロッド、及び第2の末端部とともに動くことのできるねじ山付きシャフトを更に含む。イナーターはまた、ロッド及びねじ山付きシャフトに連結されたフライホイールを含む。フライホイールは、アクチュエータによる動翼の作動に対応する、ねじ山付きシャフトに対するロッドの軸方向加速に比例して回転するように構成される。

【0008】

加えて、アクチュエータを減衰させる方法が開示される。本方法は、アクチュエータを

10

20

30

40

50

用いて、可動デバイスを作動させることを含む。加えて、本方法は、可動デバイスに連結されたイナーターを用いて、可動デバイスの作動と同時に且つ可動デバイスの作動に比例して、イナーターの第2の末端部に対して第1の末端部を軸方向に加速させることを含む。更に、本方法は、第2の末端部に対する第1の末端部の軸方向加速に比例して且つ軸方向加速と同時に、イナーターのフライホイールを回転方向に加速させることを含む。加えて、本方法は、フライホイールを回転方向に加速させることに応じて、可動デバイス及びアクチュエータのアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含む。

【0009】

論じられた特徴、機能、及び利点が、本開示の種々の例において独立に達成されることができ、又は更に別の例において組み合わせられてもよく、その更なる詳細が、以下の説明及び図面を参照して、理解することができる。

10

【0010】

本開示のこれら及び他の特徴が、図面を参照すると、より明らかになるであろう。ここで、同様な数字は、全体を通して、同様な部分を指す。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】動翼を作動させる油圧式アクチュエータを含み、油圧式アクチュエータを減衰させるイナーターを更に含む航空機の飛行制御システムのブロック図である。

【図2】油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例のブロック図である。

【図3】航空機の透視図である。

20

【図4】エルロンに動作的に連結されたアクチュエータ及びイナーターを示す、翼の一部分の上面図である。

【図5】図4の線5に沿って得られた翼の断面図であり、翼スパーとエルロンの一端部の間に機械的に連結されたりニア油圧式アクチュエータの例を示す。

【図6】図4の線6に沿って得られた翼の断面図であり、アクチュエータの反対側の端部でエルロンに連結されたイナーターの例を示す。

【図7】アクチュエータハウジング内で軸方向にスライド可能なピストンを有するリニア油圧式アクチュエータの例の断面図である。

【図8】第1の末端部に連結されたロッド及び第2の末端部に連結されたねじ山付きシャフトを有し、ねじ山付きシャフトにねじ式に係合され、ねじ山付きシャフト及び第2の末端部に対するロッド及び第1の末端部の軸方向加速に比例して回転するように構成されたフライホイールを含むイナーターの例の断面図である。

30

【図9】図8の線9に沿って得られたフライホイールの拡大断面図であり、フライホイール環をイナーターロッドに回転可能に連結するベアリングを示し、ねじ山付きシャフトへのフライホイールのねじ式の係合を更に示す。

【図10】平衡でない油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図であり、油圧式アクチュエータのピストンに回転可能に連結されたイナーターフライホイールを示す。

【図11】フライホイールの回転中に油圧流体内に粘性減衰を発生させるフライホイール突出部を有するイナーターの例の断面図である。

40

【図12】図11の線12に沿って得られたイナーターの例の透視図であり、フライホイールの外周に間隔をおいて配置された半径方向に延在する複数のフライホイールブレードを示す。

【図13】ピストンロッド内で軸方向にスライド可能な内部ピストンを有する部分的に平衡な油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図である。

【図14】実質的に同等の断面積を有する対向するピストン側面を有する平衡な油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図である。

【図15】油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図であり、フライホイールが、油圧式アクチュエータのピストン内に回転可能に収納されており、フライホイールの回転を能動的に制御するための電気フライホイールモーター及びブレーキを含む

50

。【図16】図15の線16に沿って得られたフライホイール及びピストンの拡大断面図であり、電気フライホイールモーターが、フライホイール外周に取り付けられた永久磁石及びピストン内壁に取り付けられた巻線を有することを示す。

【図17】油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図であり、フライホイール及びねじ山付きシャフトが、アクチュエータ端壁に回転可能に連結され、ピストンがロッドに固定して連結されている。

【図18】図17の線18に沿って得られたフライホイール及びピストンの拡大断面図であり、ねじ山付きシャフトに対するロッドの直線並進運動が、フライホイール及びねじ山付きシャフトの回転を引き起こすように、フライホイール環が、アクチュエータ端壁に回転可能に連結され、ピストンが、ねじ山付きシャフトにねじ式に係合されていることを示す。

10

【図19】アクチュエータ端壁に回転可能に連結され、フライホイール外周に取り付けられた永久磁石及びアクチュエータハウジング側壁に取り付けられた巻線を含む電気フライホイールモーターを有するフライホイールの例の断面図である。

【図20】電気フライホイールモーターを有し、フライホイールの動的制動を提供するように構成されたブレーキを更に含むフライホイールの更なる例の断面図である。

【図21】リニア電気機械式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図であり、フライホイールが、アクチュエータモーターに回転可能に連結され、ねじ山付きシャフトにねじ式に係合されていることを示す。

20

【図22】油圧式アクチュエータに組み込まれたイナーターの例の断面図であり、記号 x 、 x_0 、 x_1 、及び x_2 は、それぞれ、ロッド端、キャップ端、ピストン、及びフライホイールの並進運動のための参照点を示し、これらの記号は、組み込まれたイナーターを有するアクチュエータの応答を特徴付ける伝達関数の導出に用いられる。

【図23】3000psi、5000psi、及び8000psiの作動圧力の下で動作するアクチュエータについての振動数対大きさ（例えば、振幅）をプロットするグラフであり、イナーターによって減衰されていないアクチュエータの振幅に対するイナーターによって減衰されたアクチュエータの振幅の減少を示す。

【図24】イナーターを用いてアクチュエータを減衰させる方法に含まれ得る1つ以上の工程を有するフローチャートである。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

本開示の様々な例を示す目的である図面を参照すると、支持構造体116と可動デバイス124の間に連結され、可動デバイス124を動かす又は作動させるように構成された油圧式アクチュエータ204のブロック図が、図1に示される。ブロック図は、アクチュエータ202を減衰させるための回転式イナーター300を有利に含む。イナーター300は、以下に詳細に説明されるように、支持構造体116と可動デバイス124の間に連結され、アクチュエータ202による作動中の可動デバイス124の動的応答を改善するように構成される。図1及び図4～図9に示される例において、イナーター300は、アクチュエータ202とは別個の構成要素として提供される。しかしながら、以下に説明する他の例（例えば、図2及び図10～図21）では、イナーター300は、アクチュエータ202に組み込まれている。

40

【0013】

アクチュエータ202は、ピストンロッド224に連結されたピストン216を含む。ピストン216は、アクチュエータハウジング228（例えば、シリンダー）内でスライド可能である。アクチュエータ202は、アクチュエータハウジング228内部のピストン216の一方又は両方の側面に平衡でない仕方で作用する加圧された油圧流体に応じて、互いに対して軸方向に可動なロッド端214及びキャップ端212を更に含む。示された例では、ロッド端214は、可動デバイス124に連結されており、キャップ端212は、支持構造体116に連結されている。しかしながら、アクチュエータ202は、ロッド

50

ド端 2 1 4 が、支持構造体 1 1 6 に連結され、キャップ端 2 1 2 が、可動デバイス 1 2 4 に連結されるように、取り付けられてもよい。

【 0 0 1 4 】

なおも図 1 を参照し、イナーター 3 0 0 は、アクチュエータ 2 0 2 による可動デバイス 1 2 4 の作動に対応して、イナーター軸 3 0 6 (図 8) に沿って互いに対して軸方向に可動又は並進運動可能である第 1 の末端部 3 0 2 及び第 2 の末端部 3 0 4 を含む。示された例では、第 1 の末端部 3 0 2 は、可動デバイス 1 2 4 に連結されており、第 2 の末端部 3 0 4 は、支持構造体 1 1 6 に連結されている。しかしながら、イナーター 3 0 0 は、第 1 の末端部 3 0 2 が、支持構造体 1 1 6 に連結され、第 2 の末端部 3 0 4 が、可動デバイス 1 2 4 に連結されるように、取り付けられてもよい。図示されていないが、一例において、イナーター 3 0 0 が連結されている支持構造体は、アクチュエータ 2 0 2 が連結されている支持構造体 1 1 6 と異なる支持構造体であってもよい。

10

【 0 0 1 5 】

イナーター 3 0 0 は、第 1 の末端部 3 0 2 に連結され、第 1 の末端部 3 0 2 とともに軸方向に可動な (例えば、並進運動可能な) イナーターロッド 3 0 8 を含む。イナーターロッド 3 0 8 は、イナーター軸 3 0 6 と一直線又は平行であってよい。イナーターロッド 3 0 8 は、ロッドボア 3 1 0 を画定するように中空であってもよい。ねじ山付きシャフト 3 2 2 が、第 2 の末端部 3 0 4 に連結され、第 2 の末端部 3 0 4 とともに軸方向に可動 (例えば、並進運動可能) である。ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、イナーター軸 3 0 6 と一直線又は平行であってよい。ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、ロッドボア 3 1 0 の中に受け入れることができる自由端 3 2 4 を有する。ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、中空であってもよく、又はねじ山付きシャフト 3 2 2 の自由端 3 2 4 で開いているシャフトボア 3 2 3 を含んでもよい。ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、シャフトボア 3 2 3 からねじ山付きシャフト 3 2 2 の外側に半径方向に延在し、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の外側とシャフトボア 3 2 3 との間の流体の流れを可能にする半径方向通路 3 2 5 を含んでもよい。シャフトボア 3 2 3 は、流体 (例えば、油圧流体 (図示せず)) が、第 2 の末端部 3 0 4 (組み込まれていないイナーターの場合 (図 1)) 又はキャップ端 2 1 2 (組み込まれているイナーターの場合 (図 2)) における流体キャピティから、シャフトボア 3 2 3 を通って、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の自由端 3 2 4 (図 8) における流体キャピティの中に流れ、ベアリング 3 2 8 及びノ又はフライホイール環 3 1 8 の可動部に潤滑油を差すことを可能にし得る。シャフトボア 3 2 3 のサイズ (例えば、直径) 並びに半径方向通路 3 2 5 のサイズ (例えば、直径) 及び量は、ベアリング 3 2 8 及びフライホイール環 3 1 8 へ流体の流れを配分するように構成され得る。

20

30

【 0 0 1 6 】

図 1 に示されるように、イナーター 3 0 0 は、フライホイール 3 1 4 (例えば、回転する質量) を含む。幾つかの例において (例えば、図 6 及び図 8 ~ 図 1 6) 、フライホイール 3 1 4 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に連結されており、これは、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の直線運動をフライホイール 3 1 4 の回転運動に変える。フライホイール 3 1 4 は、アクチュエータ 2 0 2 による可動デバイス 1 2 4 の作動に対応する、ねじ山付きシャフト 3 2 2 に対するイナーターロッド 3 0 8 の軸方向運動に比例して回転するように構成される。この点で、フライホイール 3 1 4 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 (例えば、第 2 の末端部 3 0 4 に連結された) に対するイナーターロッド 3 0 8 (例えば、第 1 の末端部 3 0 2 に連結された) の軸方向加速及び減速に比例して回転方向に加速及び減速するように構成される。

40

【 0 0 1 7 】

図 1、図 8 ~ 9、及び図 1 4 に示され、以下に詳細に記載されるように、有利には、フライホイール 3 1 4 は、フライホイール環 3 1 8 においてイナーターロッド 3 0 8 に連結され、ねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に係合されている。しかしながら、他の例では、フライホイール環 3 1 8 は、図 1 0 ~ 図 1 3 及び図 1 5 ~ 図 1 6 に示され、以下に記載されるように、ピストン 2 1 6 に連結され得る。更に別の例では、フライホイール環 3 1

50

8は、図17～図20に示され、以下に記載されるように、アクチュエータハウジング228に連結され得る。

【0018】

フライホイール314が連結される構成要素にかかわらず、フライホイール314は、フライホイール314をイナーターロッド308(図1、図8～図9、図14)、ピストン216(図10～図13及び図15～図16)、又はアクチュエータハウジング228(図17～図20)に回転可能に連結させるために、フライホイール環318に少なくとも1つのベアリング328(例えば、スラストベアリング328)を含み得る。ベアリング328は、フライホイール314が、ねじ山付きシャフト322に対するイナーターロッド308の軸方向運動に応じて、ねじ山付きシャフト322のねじ山上で回転しながら、イナーターロッド308とともに軸方向に並進運動することを可能にする。有利には、フライホイール314を、フライホイール外周316ではなく、フライホイール環318において構成要素(すなわち、イナーターロッド308、ピストン216、又はアクチュエータハウジング228)に連結することによって、フライホイール314は、第2の末端部304に対する第1の末端部302の高振動数の、振動性の、軸方向加速の間、軸方向の曲げが制限される。さもなければ、フライホイールのそのような軸方向の曲げは、高振動数の、振動性の、軸方向加速の間、フライホイールの回転運動を減少させるであろう。

10

【0019】

図1の例を更に参照すると、支持構造体116が、航空機100の翼114のスパー118として構成されているのが示されている。可動デバイス124は、航空機100の飛行制御システム120の動翼122として示される。動翼122は、翼スパー118又は他の構造などの堅い支持構造体116にヒンジ式に連結され得る。動翼122は、ヒンジ軸126の周りに枢動可能であってもよい。動翼122は、スポイラー、エルロン、エレベーター112、エレボン、フラップロン、ラダー108、高揚力装置、例えば前縁スラット、後縁フラップ、又は任意の他のタイプの可動デバイス124を含むが、それらに限定されない、様々な異なる構成のうちの任意の1つを含み得る。

20

【0020】

アクチュエータ202は、乗務員又は自動操縦装置からの指令入力に応じて、動翼122を指令された位置に移動させる正の力を与える。イナーター300は、動翼122の変位の制御及び減衰を提供する。1つ以上のイナーター300が、飛行制御システム120に含まれてもよい。一例では、1つ以上のイナーター300が、動翼122の共振振動数で空気力学的に誘発され得るような制御面のフラッターを抑制又は防止するように構成され得る。例えば、本開示のイナーター300は、航空機100の動翼122のフラッター振動数に対応し得る最大で約20Hz(例えば、±5Hz)までの(例えば、共振振動数の)共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させるように構成され得る。追加的又は代替的に、イナーター300は、以下に詳細に記載されるように、可動デバイス124の作動速度を増加させる、及び/又は可動デバイス124の指令された位置の位置オーバーシュートを防止するなどの、可動デバイス124の動的応答を改善するための追加機能を提供し得る。

30

40

【0021】

一例において、イナーター300は、フライホイール314の回転が、連結されたアクチュエータ202と可動デバイス124の共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を、さもなければイナーター300なしで同じアクチュエータ202を用いて生ずるであろうアクチュエータ荷重振動振幅に対して少なくとも約10パーセント減少させるように、構成され得る。有利には、本開示のイナーター300は、アクチュエータ202の動作帯域が、振動応答の可能性なしで、動翼122とアクチュエータ202の据え付けシステム(図示せず)の強度性能を超える可能性なしで、及び/又は航空機100を空気力学的に不安定にし得る動翼122の偏りの可能性なしで、連結された可動デバイス124とアクチュエータ202の共振振動数を包含する又はそれと調和することを可能にする。

50

【 0 0 2 2 】

イナーター 3 0 0 の本開示の例は、振動応答の可能性なしで、アクチュエータ 2 0 2 システムの全体的なサイズ及び重量の減少を可能にする。更に具体的には、イナーター 3 0 0 は、アクチュエータ 2 0 2 に対する慣性荷重の低減を可能にし、これにより、アクチュエータ 2 0 2 のピストン断面積の低減並びに貯蔵器、配管直径、アキュムレータ、ポンプ、及び他の構成要素を含む他の油圧システム構成要素のサイズ及び重量の減少を可能にする。この点で、イナーター 3 0 0 は、動的応答がピストン断面積又は荷重慣性によって制限される任意のアプリケーションにおいて、油圧式アクチュエータシステムのための出力密度を増加させる。本開示のイナーター 3 0 0 の例は、少なくとも 5 0 0 0 p s i の作動圧力で動作するように構成された油圧式アクチュエータ 2 0 4 とともに実施され得る。例えば、イナーター 3 0 0 の例は、約 3 0 0 0 p s i の作動圧力で動作する油圧式アクチュエータ 2 0 4 とともに実施されてもよく、幾つかの例では、油圧式アクチュエータ 2 0 4 は、約 8 0 0 0 p s i の作動圧力で動作してもよい。油圧式アクチュエータ 2 0 4 の比較的高い作動圧力は、油圧システム（例えば、飛行制御システム 1 2 0 ）を通る油圧流体の総流量の低減を容易にし、このことは、油圧流体の貯蔵器及びアキュムレータに対する体積要件の低減を可能にし得る。

10

【 0 0 2 3 】

航空機 1 0 0 の場合、アクチュエータ 2 0 2 のサイズの低減は、そのようなアクチュエータ 2 0 2 が航空機 1 0 0 の外側モールドライン（図示せず）の外側に突き出る量を低減し、その結果、空気力学的抗力が低下し得る。更に、本開示のイナーターの例は、航空機推進ユニット（例えば、ガスタービンエンジン）からの離陸出力の量の低減を可能にし、これは、民間航空機用途などにおいて高バイパス比ガスタービンエンジンを用いる可能性を提供し得る。油圧システムのサイズの減少、空気力学的抗力の低減、及び/又は離陸出力の低減は、限定しないが、燃料効率、航続距離、及び/又は最大積載量の増加を含む航空機性能の向上をもたらし得る。

20

【 0 0 2 4 】

本開示のイナーターの例は、リニア油圧式アクチュエータ 2 0 4 の文脈で記載されているけれども、イナーター 3 0 0 は、限定されないが、ロータリ油圧式アクチュエータ、電気油圧式アクチュエータ（例えば、ロータリ又はリニア）、機械式アクチュエータ、電気機械式アクチュエータ、及び他のタイプのアクチュエータを含む他のタイプのアクチュエータ 2 0 2 で実施され得る。一例では（図 2 1 参照）、電気機械式アクチュエータ 2 4 2 が、可動デバイス 1 2 4 に連結されたねじ山付きシャフト 3 2 2 を有するリニア電気機械式アクチュエータであってもよい。図 2 1 を参照して以下で詳細に説明されるように、リニア電気機械式アクチュエータ 2 4 2 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の軸方向運動を引き起こすための電気アクチュエータモーター 2 4 4 を含んでもよい。フライホイール 3 1 4 が、ねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に係合され、リニア電気機械式アクチュエータ 2 4 2 による可動デバイス 1 2 4 の作動中に、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の軸方向加速及び減速に比例して回転方向に加速及び減速するように構成され得る。

30

【 0 0 2 5 】

本開示のイナーターの例は、航空機飛行制御システム 1 2 0 の文脈で記載されているけれども、イナーター 3 0 0 のうちのいずれかが、限定しないが、任意の産業における種々の異なるアプリケーションのうちの任意の 1 つにおける使用のための任意のタイプの開ループ又は閉ループ制御システムで実施されてもよい。この点で、本開示のイナーター 3 0 0 は、任意の乗り物用途又は非乗り物用途で実施され得る。例えば、イナーター 3 0 0 は、任意の海の、地上の、空の、及び/又は宇宙のアプリケーションで、並びに任意の乗り物又は非乗り物システム、サブシステム、アセンブリ、サブアセンブリ、構造物、建築物、機械、及び可動デバイスを作動させるためにアクチュエータを使用するアプリケーションで、実施され得る。

40

【 0 0 2 6 】

幾つかの例では、イナーター 3 0 0 は、乗り物の移動の方向を制御するように構成され

50

た可動デバイスの運動を減衰させるために実施され得る。例えば、イナーターは、空の乗り物の空気力学的制御面、船舶の流体力学的制御面、航空機又は打上げ機（例えば、ロケット）の推力偏向ノズルを含む推力案内器、又は乗り物の移動の方向に影響を及ぼし、振動性の外力を受けやすい任意の他のタイプの機械装置の運動を減衰させるために、実施され得る。陸上を移動するように構成された車輪付き乗り物の特定の例において、本開示のイナーターの例の任意の1つが、前脚などの航空機の着陸装置の操舵可能な車輪に発生し得るような、車輪の異常振動を制御又は回避するための操舵システムで実施され得る。

【0027】

図2は、航空機100の支持構造体116と飛行制御システム120の動翼122との間に連結された油圧式アクチュエータ204に組み込まれたイナーター300の例のブロック図である。示された例において、アクチュエータ202は、ロッド（例えば、ピストンロッド224）に連結され、ハウジング（図示せず）内で軸方向にスライド可能なピストン216を有するリニア油圧式アクチュエータ204である。示された例において、イナーター300のフライホイール314が、フライホイール環318においてピストン216に回転可能に連結されている。フライホイール314は、ねじ山付きシャフト322にねじ式に連結されており、ねじ山付きシャフト322に対するピストン216及びロッドの軸方向加速に比例して回転方向に加速するように構成される。しかしながら、上記のように、フライホイール314は、ピストン216（例えば、図10～図16）に回転可能に連結されてもよいし、又はフライホイール314は、アクチュエータハウジング228のキャップ端212（例えば、図17～図20）若しくはロッド端214に回転可能に連結されてもよい。

【0028】

上記のように、ねじ山付きシャフト322は、自由端324で開いており、流体（例えば、油圧流体）が、キャップ端212のキャップ端チャンバ236から、シャフトボア323を通して、ねじ山付きシャフト322の自由端324から流れ出ることを可能にし、流体がベアリング328及び/又はフライホイール環318の可動部に潤滑油を差すことを可能にする半径方向通路325を有する、シャフトボア323を含んでもよい。シャフトボア323及び半径方向通路325は、本明細書に開示されたイナーター300の例の任意の1つに含まれてもよい。

【0029】

本開示で、イナーター300がアクチュエータ202に組み込まれる例において、アクチュエータ202のロッド端214又はキャップ端212は、イナーター300の第1の末端部302として機能し、アクチュエータ202の残りのロッド端214又はキャップ端212は、イナーター300の第2の末端部304として機能する。この点で、「第1の末端部」及び「第2の末端部」という用語は、「ロッド端」及び「キャップ端」という用語と交換可能に、一対一対応ではなく用いられる。加えて、イナーター300がアクチュエータ202に組み込まれる例において、「ロッド」という用語は、「ピストンロッド」及び「イナーターロッド」という用語と交換可能に用いられる。同様に、イナーター300がアクチュエータ202に組み込まれる例において、「ハウジング」という用語は、「アクチュエータハウジング」及び「イナーターハウジング」という用語と交換可能に用いられる。

【0030】

図3は、1つ以上のアクチュエータ202の制御及び/又は減衰のための1つ以上のイナーター300を有する航空機100の透視図である。航空機100は、胴体102及び胴体102から外側に延在する1対の翼114を含み得る。航空機100は、1対の推進ユニット（例えば、ガスタービンエンジン）を含み得る。上記のように、各翼114は、イナーター300によって減衰及び/又は支援されるアクチュエータ202によって作動され得る動翼122として構成された1つ以上の可動デバイス124を含み得る。翼114におけるそのような動翼122は、限定しないが、スポイラー、エルロン、並びに1つ以上の高揚力装置、例えば前縁スラット及び/又は後縁フラップを含んでもよい。胴体10

10

20

30

40

50

2の機尾端において、尾部104は、1つ以上の水平尾翼110及び垂直尾翼106を含んでよく、そのうちの任意の1つ以上が、エレベーター112、ラダー108、又はイナーター300によって減衰及び/又は支援されるアクチュエータ202によって作動され得る他のタイプの可動デバイス124などの動翼122を含み得る。

【0031】

図4は、図3の翼114の一部分の上面図であり、エルロン的一端に配置された油圧式アクチュエータ204によって作動され、エルロン130の反対端に配置されたイナーター300を有するエルロンを示す。エルロン130は、スパー118などの翼114の固定された支持構造体116にヒンジ式に連結され得る。図4では、油圧式アクチュエータ204及びイナーター300が、別々の構成要素として提供され、各々が、支持構造体116（例えば、スパー118）とエルロン130の間に連結され得る。

10

【0032】

図5は、図4の翼114の断面図であり、翼スパー118とエルロン130の一端の間に機械的に連結されたりニア油圧式アクチュエータ204の例を示す。示された例において、油圧式アクチュエータ204のロッド端214が、ベルクランク128に連結されている。ベルクランク128は、油圧式アクチュエータ204の線形作動が、ヒンジ軸126の周りのエルロンの枢動を引き起こすように、エルロンにヒンジ式に連結される。油圧式アクチュエータ204のキャップ端212は、翼スパー118に連結される。

【0033】

図6は、図4の翼114の断面図であり、翼スパー118とエルロン130の間に連結されたイナーター300の例を示す。上記のように、イナーター300は、油圧式アクチュエータ204と反対側のエルロンの端に配置されている。イナーター300の第1の末端部302が、ベルクランク128に連結される。イナーター300の第2の末端部304が、翼スパー118に連結される。油圧式アクチュエータ204とイナーター300が、同じ可動デバイス124（すなわち、エルロン130）に連結されているため、アクチュエータ202のキャップ端212とロッド端214の相対的な軸方向加速が、イナーター300の第1の末端部302と第2の末端部304の比例する軸方向加速を引き起こし、その結果、フライホイール314の回転加速が生じる。

20

【0034】

図7は、可動デバイス124の作動中に互いに対して軸方向に可動なキャップ端212とロッド端214を有する複動油圧式アクチュエータ204の例の部分切取断面図である。上記のように、ロッド端214とキャップ端212は、支持構造体116と可動デバイス124に相互に排他的に連結され得る。例えば、ロッド端214が支持構造体116に連結され、キャップ端212が可動デバイス124に連結されてもよいし、又はロッド端214が可動デバイス124に連結され、キャップ端212が支持構造体116に連結されてもよい。

30

【0035】

図7において、ピストン216が、ピストンロッド224の自由端324に連結され、アクチュエータハウジング228内で軸方向にスライド可能である。ピストン216は、キャップ端チャンバ236とロッド端チャンバ238にアクチュエータハウジング228を分割する。複動油圧式アクチュエータ204のアクチュエータハウジング228は、1対の流体ポート234を含み、それを通して、加圧された油圧流体が、キャップ端チャンバ236とロッド端チャンバ238に出入りし、アクチュエータハウジング228内でピストン216を移動させる。本開示の任意の例において、油圧式アクチュエータ204は、単動アクチュエータ（図示せず）として構成されてもよく、そこでは、アクチュエータハウジング228は、アクチュエータハウジング228内で一方向に沿ってピストン216を移動させる手段として、アクチュエータハウジング228内に加圧された油圧流体を受け入れるための単一の流体ポート234を含み、ピストン216を反対方向に移動させるための付勢部材（例えば、バネ（図示せず））を任意選択で含む。

40

【0036】

50

図 8 は、フライホイール 3 1 4 を包含し、イナーター側壁 3 3 4 及び対向するイナーター端壁 3 3 2 を有するイナーターハウジング 3 3 0 を有するイナーター 3 0 0 の例の部分切取断面図である。1 つのイナーター端壁 3 3 2 が、ハウジングボアを含んでもよく、それを通してイナーターロッド 3 0 8 が延在し、第 1 の末端部 3 0 2 で終わる。イナーター 3 0 0 は、第 2 の末端部 3 0 4 に配置されたイナーター端壁 3 3 2 に連結されたねじ山付きシャフト 3 2 2 を含む。図 8 の例では、フライホイール 3 1 4 が、イナーターロッド 3 0 8 の一端に連結され、ねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に係合される。フライホイール 3 1 4 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 及び第 2 の末端部 3 0 4 に対するイナーターロッド 3 0 8 及び第 1 の末端部 3 0 2 の軸方向加速に比例して、回転する。

【 0 0 3 7 】

図 9 は、図 8 の拡大断面図であり、フライホイール環 3 1 8 においてイナーターロッド 3 0 8 に連結されたフライホイール 3 1 4 を示す。フライホイール環 3 1 8 はまた、ねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に係合される。示された例において、ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、ボールベアリングを受けるためのらせん状の溝を有するボールねじ 3 2 6 として構成され、ボールベアリングは、フライホイール環 3 1 8 の同様に構成されたらせん状の溝を、最小限の摩擦でボールねじ 3 2 6 に連結する。図示されていないけれども、フライホイール環 3 1 8 は、フライホイール 3 1 4 をボールねじ 3 2 6 に連結するボールベアリングを回すためのボールナットを含んでもよい。図示されていない別の例では、ねじ山付きシャフト 3 2 2 は、フライホイール環 3 1 8 が直接に係合されるねじ山を有する送りねじを含んでもよい。理解され得るように、フライホイール 3 1 4 は、種々の異なるタイプの構成の任意のねじ山付きシャフトに係合されるように構成することができ、図 9 に示されたボールねじ 3 2 6 の例に限定されない。

【 0 0 3 8 】

フライホイール 3 1 4 が、ねじ山付きシャフト 3 2 2 とのねじ式の係合のため回転すると、イナーターロッド 3 0 8 とフライホイール 3 1 4 が、一致して並進運動するように、フライホイール環 3 1 8 をイナーターロッド 3 0 8 に連結するためのベアリング 3 2 8 の例もまた、図 9 に示される。ベアリング 3 2 8 はボールベアリングとして示されているけれども、ベアリング 3 2 8 は、最小限の量の軸方向の遊びでフライホイール 3 1 4 をイナーターロッド 3 0 8 に軸方向に連結することができる様々な異なる任意の構成で提供され得る。例えば、ベアリング 3 2 8 は、ローラーベアリング（図示せず）として構成されてもよい。更に別の例では、フライホイール 3 1 4 が、ねじ山付きシャフト 3 2 2 に対するイナーターロッド 3 0 8 とフライホイール 3 1 4 の並進運動の間に回転することをなおも可能にしながら、フライホイール 3 1 4 は、ベアリングなしでイナーターロッド 3 0 8 に連結されてもよい。

【 0 0 3 9 】

図 10 は、ピストン 2 1 6 を包含するハウジングを有する油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれたイナーター 3 0 0 の例の断面図である。アクチュエータ 2 0 2 は、ピストン 2 1 6 の両側に位置するキャップ端チャンバ 2 3 6 とロッド端チャンバ 2 3 8 に加圧された油圧流体を受け入れるための 1 対の流体ポート 2 3 4 を含む複動アクチュエータである。アクチュエータ 2 0 2 は、ピストン側面 2 1 8 のうちの一方が、反対側のピストン側面より大きい断面積を有する平衡でないアクチュエータ 2 0 6 である。ピストン 2 1 6 は、アクチュエータ側壁 2 3 2 に対してピストン外周 2 2 0 を密封するためのピストン外周 2 2 0 の周りに延在するピストン 2 1 6 シール（例えば、Oリングシール（図示せず））を含んでもよい。

【 0 0 4 0 】

上記のように、イナーター 3 0 0 がアクチュエータ 2 0 2 に組み込まれる例において、アクチュエータ 2 0 2 のロッド端 2 1 4 又はキャップ端 2 1 2 は、イナーター 3 0 0 の第 1 の末端部 3 0 2 として機能し、アクチュエータ 2 0 2 の残りのロッド端 2 1 4 又はキャップ端 2 1 2 は、イナーター 3 0 0 の第 2 の末端部 3 0 4 として機能する。示された例では、フライホイール 3 1 4 が、キャップ端チャンバ 2 3 6 に取り付けられ、フライホイー

10

20

30

40

50

ル環 3 1 8 においてピストン 2 1 6 に回転可能に連結されている。フライホイール 3 1 4 は、ピストン 2 1 6 を貫通し、ロッドボア 3 1 0 の中に延在するねじ山付きシャフト 3 2 2 にねじ式に係合される。フライホイール 3 1 4 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 に対するピストン 2 1 6 及びピストンロッド 2 2 4 の軸方向加速に比例して回転方向に加速するように構成される。

【 0 0 4 1 】

図 1 1 は、フライホイール 3 1 4 が油圧流体に浸されているときに、フライホイール 3 1 4 の回転中に粘性減衰を発生させるためのフライホイール突出部 3 2 0 を有するイナーター 3 0 0 の例を示す。フライホイール突出部 3 2 0 は、フライホイール 3 1 4 の回転中にイナーター 3 0 0 の粘性減衰性能を発生又は増加させ、それによりイナーター 3 0 0 の減衰性能を増加させる。

10

【 0 0 4 2 】

図 1 2 は、フライホイール外周 3 1 6 に円周方向に間隔をおいて配置された半径方向に延在する複数のフライホイールブレードを有するイナーター 3 0 0 の例の透視図である。フライホイール 3 1 4 の回転中に、フライホイールブレードは、粘性減衰性能を発生させ、イナーター 3 0 0 のイナーティング性能を増加させ得る。図 1 2 は、半径方向に延在するフライホイールブレードとしてフライホイール突出部 3 2 0 を示しているけれども、フライホイール 3 1 4 には、フライホイール 3 1 4 の対向する側面の一方又は両方を含むフライホイール 3 1 4 の任意の部分から延在するフライホイール突出部 3 2 0 を設けることができる。加えて、フライホイール突出部 3 2 0 は、限定なしに、任意の幾何学的サイズ、形状又は構成で提供されてもよく、フライホイールブレードに限定されない。

20

【 0 0 4 3 】

図 1 3 は、部分的に平衡なアクチュエータ 2 0 8 として構成された油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれたイナーター 3 0 0 の例の断面図である。部分的に平衡なアクチュエータ 2 0 8 は、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の自由端 3 2 4 に連結された内部ピストン 2 2 6 を含む。内部ピストン 2 2 6 は、ロッドボア 3 1 0 の内部で軸方向にスライド可能であってもよく、ねじ山付きシャフト 3 2 2 に対するピストンロッド 2 2 4 の軸方向運動中に内部ピストン 2 2 6 がロッドボア 3 1 0 に対して回転可能でないように、ねじ山付きシャフト 3 2 2 の当該端に回転可能に連結されてもよい。図示されていないけれども、内部ピストン 2 2 6 の外周が、ロッドボア 3 1 0 のロッド壁 3 1 2 に対して（例えば、リングによって）密封されてもよい。内部ピストン 2 2 6 を包含することは、内部ピストン 2 2 6 のない例（例えば、図 8）においてキャップ端チャンバ 2 3 6 を満たすために必要とされる油圧流体の増加した体積に比べて、ピストンロッド 2 2 4 の伸長中にキャップ端チャンバ 2 3 6 を満たすために必要とされる油圧流体の全体積を減少させ得る。

30

【 0 0 4 4 】

図 1 4 は、実質的に同等の断面積を有する対向するピストン側面 2 1 8 を有する平衡なアクチュエータ 2 1 0 として構成された油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれたイナーター 3 0 0 の例の部分切取断面図である。ハウジングは、ピストン 2 1 6 を包含するハウジングの部分からフライホイール 3 1 4 を包含するハウジングの部分を分離する分離壁 2 4 0 を含み得る。キャップ端チャンバ 2 3 6 が、ピストン側面 2 1 8 の一方に位置し、ロッド端チャンバ 2 3 8 が、反対側のピストン側面 2 1 8 に位置する。ピストン 2 1 6 が、ピストンロッド 2 2 4 に取り付けられてもよい。図 1 4 では、ピストンロッド 2 2 4 の一端が、アクチュエータ端壁 2 3 0 を通って延在し、ロッド端 2 1 4（例えば、第 1 の末端部 3 0 2）で終わる。ピストンロッド 2 2 4 の反対端が、分離壁 2 4 0 を通って延在する。フライホイール 3 1 4 は、上記の仕方でピストンロッド 2 2 4 に回転可能に連結される。

40

【 0 0 4 5 】

図 1 5 は、油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれた電気フライホイールモーター 3 5 0 を有するイナーター 3 0 0 の例の部分切取断面図である。フライホイールモーター 3 5 0 は、組み込まれたフライホイールモーター 3 5 0 からの電動力をを用いてフライホイー

50

ル 3 1 4 の回転の能動的制御を容易にし得る。能動的制御は、第 2 の末端部 3 0 4 に対する第 1 の末端部 3 0 2 の軸方向加速に起因してフライホイール 3 1 4 によって生成されるトルクに抵抗する又は促進するため、フライホイール 3 1 4 にトルクを印加するために、フライホイールモーター 3 5 0 を用いることを含み得る。フライホイールモーター 3 5 0 は、アクチュエータ 2 0 2 及び荷重慣性の能動的減衰及び / 又は能動的制動を提供するように構成され得る。

【 0 0 4 6 】

図 1 6 は、図 1 5 の拡大断面図であり、アクチュエータハウジング 2 3 0 の中で実際にスライド可能である概して中空のピストン 2 1 6 に回転可能に連結され且つピストン 2 1 6 の中に包含されたフライホイール 3 1 4 を示す。フライホイール 3 1 4 及びピストン 2 1 6 に組み入れられ、ロッドとねじ山付きシャフト 3 2 2 の相対的な軸方向運動に対応するフライホイール 3 1 4 の回転を能動的に制御するように構成されたフライホイールモーター 3 5 0 もまた示される。フライホイールモーター 3 5 0 は、フライホイール 3 1 4 の回転方向に対応して（例えば、同じ方向）又はフライホイール 3 1 4 の回転方向と逆のいずれかで、フライホイール 3 1 4 にトルクを印加することによって、フライホイール 3 1 4 を加速及び / 又は減速するようにして、動作し得る。このように、フライホイールモーター 3 5 0 は、第 2 の末端部 3 0 4 に対する第 1 の末端部 3 0 2 の軸方向加速に起因して生成されるフライホイールトルクに抵抗する又は促進するためのトルクを、フライホイール 3 1 4 に印加し得る。

【 0 0 4 7 】

図 1 6 の例において、フライホイールモーター 3 5 0 は、フライホイール 3 1 4 に取り付けられた 1 つ以上の永久磁石 3 5 4 を有する永久磁石直流（DC）モーターである。例えば、複数の永久磁石 3 5 4 が、フライホイール外周 3 1 6 に円周方向に間隔をおいて配置されてもよい。加えて、フライホイールモーター 3 5 0 は、ピストン 2 1 6 に取り付けられた複数の巻線 3 5 2 を含んでもよい。一例において、複数の巻線 3 5 2 は、ピストン内壁 2 2 2 の周りに円周方向に間隔をおいて配置されてもよい（例えば、図 1 5 ~ 図 1 6）。別の例では、複数の巻線 3 5 2 は、下記のように、ハウジングの側壁 2 3 2 の周りに円周方向に間隔をおいて配置されてもよい（例えば、図 1 9 ~ 図 2 0）。他の例では、フライホイールモーター 3 5 0 は、ブラシレス DC モータ又は何か他のモーター構成であってもよく、図 1 5 ~ 図 1 6 及び図 1 9 ~ 図 2 0 に示されるような永久磁石 DC モーター構成に限定されない。図示されていない例において、リニア位置センサが、アクチュエータ 2 0 2 とともに含まれ、ピストン 2 1 6 の直線位置を感知し、ピストン位置に対応してフライホイールモーター 3 5 0 を方向転換するための、リニアピストン位置を表す信号を生成してもよい。

【 0 0 4 8 】

上記のように、図 1 5 ~ 図 1 6 のフライホイールモーター 3 5 0 は、可動デバイス 1 2 4 の指令された運動方向にフライホイール 3 1 4 を回転させるにあたり支援又は促進するように構成され得る。例えば、フライホイールモーター 3 5 0 は、指令された位置に向かう可動デバイス 1 2 4 の運動の開始時に、フライホイール 3 1 4 を加速するトルクを提供し得る。フライホイールモーター 3 5 0 によってフライホイール 3 1 4 に印加されるトルクは、ロッドに対するねじ山付きシャフト 3 2 2 の軸方向加速に起因してフライホイール 3 1 4 を回転方向に加速させるために必要なトルクと大きさがほぼ等しくてもよい。フライホイール 3 1 4 を回転方向に加速させるために必要なトルクを取り除くためにフライホイールモーター 3 5 0 を用いることにより、ピストン 2 1 6 は、フライホイールモーター 3 5 0 がフライホイール 3 1 4 を加速しなかった場合よりも、指令された位置に迅速に移動し得る。このように、フライホイールモーター 3 5 0 は、従来のアクチュエータ 2 0 2 よりも、可動デバイス 1 2 4 のより速い応答性を可能にし得る。フライホイール 3 1 4 の能動的制御を有するイナーター 3 0 0 によって提供される減衰の水準は、制御システムの不安定性のリスクのため能動的制御のない閉ループ制御システムにおいて可能である減衰より大きいことがある。図 1 5 ~ 図 1 6 は、アクチュエータ 2 0 2 と統合されたイナーター

10

20

30

40

50

ー 3 0 0 に組み入れられたフライホイールモーター 3 5 0 を示すけれども、フライホイールモーター 3 5 0 は、アクチュエータ 2 0 2 とは別個の構成要素であるイナーター 3 0 0 に組み入れられてもよい（例えば、図 4 ~ 図 8）。

【 0 0 4 9 】

能動的制御の別の例では、フライホイールモーター 3 5 0 は、可動デバイス 1 2 4 が指令された位置に接近したときに、フライホイール 3 1 4 を減速させるトルクを提供するように、動作してもよい。この点で、フライホイールモーター 3 5 0 は、ピストンロッド 2 2 4 に対するねじ山付きシャフト 3 2 2 の軸方向減速によって生成されるフライホイールトルクに対抗するブレーキとして動作し得る。フライホイール 3 1 4 の回転をこのように能動的に制御することは、可動デバイス 1 2 4 の位置オーバーシュートを防止又は制限し、それにより可動デバイス 1 2 4 の安定性を増加し得る。そのような配置において、アクチュエータ 2 0 2 及びイナーター 3 0 0 は、能動的なモーター制御なしで、アクチュエータ 2 0 2 が、可動デバイス 1 2 4 の不足減衰を防止する仕方で、望ましい減衰応答を示すことができることを保証する故障モードを有してもよい。能動的制御のためにフライホイールモーター 3 5 0 を有するイナーター 3 0 0 は、アクチュエータ 2 0 2 の一部であることなしに、可動デバイス 1 2 4 に接続され、アクチュエータ 2 0 2 が可動デバイス 1 2 4 から切り離された場合、又はアクチュエータ 2 0 2 が可動デバイス 1 2 4 の荷重を保持できない場合に、フライホイールモーター 3 5 0 が、所与の故障モードにおいて可動デバイス 1 2 4 の不足減衰運動を防止するように動作してもよい。

【 0 0 5 0 】

更に図 1 6 を参照し、能動的制御の別の例では、フライホイールモーター 3 5 0 は、フライホイール 3 1 4 の動的制動を提供するように構成されたブレーキ 3 6 0 を含んでもよい。この点で、ブレーキ 3 6 0 は、フライホイール 3 1 4 を減速させる、又はフライホイール 3 1 4 の現在の減速を増加させるように、動作し得る。フライホイールモーター 3 5 0 を含む例において、ブレーキ 3 6 0 は、フライホイールモーター 3 5 0 の回転抗力によって引き起こされたフライホイール 3 1 4 の現在の減速を増加させるように、動作し得る。加えて、フライホイールモーター 3 5 0 は、アクチュエータ 2 0 2 の乱れ（例えば、望ましくない動き）に対抗するように動作してもよい。

【 0 0 5 1 】

図 1 6 の例において、ブレーキ 3 6 0 は、ブレーキパッド 3 6 4 を有するディスクブレーキとして構成されてもよい。フライホイール 3 1 4 は、ブレーキローターとして機能し、それに対してブレーキパッド 3 6 4 が、制動中に摩擦性の係合をし得る。図示されていない他の例において、フライホイール 3 1 4 と直接的又は間接的に連結され得る独立したブレーキローターが設けられてもよい。図示された例において、油圧ブレーキシリンダー（図示せず）が、フライホイール 3 1 4 を減速させるためにフライホイール 3 1 4 の対向する軸方向面 3 6 2（例えば、平坦な面）の一方又は両方と摩擦性の係合をするようにブレーキパッド 3 6 4 を作動させるために、含まれてもよい。好ましくは、ブレーキ 3 6 0 は、ブレーキローターの直径方向両側に配置された対向するブレーキパッド 3 6 4 の少なくとも 2 つの対を含み得る。ブレーキパッド 3 6 4 の各対は、ブラケット 3 6 6 によって所定の位置に保持され得る。ブレーキ 3 6 0 は、ディスクブレーキとして記載及び図示されているけれども、イナーター 3 0 0 は、ドラムブレーキ又はフライホイール 3 1 4 を減速させることができる任意の他のタイプのブレーキなどの任意の 1 つ以上の異なるタイプのブレーキを組み入れてもよい。

【 0 0 5 2 】

図 1 7 を参照すると、油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれたイナーター 3 0 0 の別の例の部分切取断面図が示される。フライホイール 3 1 4 は、第 2 の末端部 3 0 4 に連結され得るアクチュエータ端壁 2 3 0 に回転可能に連結又は取り付けられる。ピストン 2 1 6 が、ピストン 2 1 6 からアクチュエータ端壁 2 3 0 を通って延在し、第 1 の末端部 3 0 2 に連結されるピストンロッド 2 2 4 に固定して連結又は取り付けられる。図示されていない代替的な例では、フライホイール 3 1 4 は、第 1 の末端部 3 0 2 に取り付けられた

10

20

30

40

50

アクチュエータ端壁 230 に回転可能に連結され、ピストンロッド 224 が、第 2 の末端部 304 に連結されてもよい。

【0053】

図 18 は、図 17 の拡大断面図であり、ベアリング 328 によってアクチュエータ端壁 230 に回転可能に連結されたフライホイール環 318 を示す。ねじ山付きシャフト 322 が、フライホイール 314 に固定して連結され、フライホイール 314 と一致して回転可能である。上記のように、ピストン 216 が、ピストンロッド 224 に固定して連結され、ねじ山付きシャフト 322 にねじ式に係合され、ねじ山付きシャフト 322 に対するピストンロッド 224 の直線並進運動が、フライホイール 314 とねじ山付きシャフト 322 の一致した回転を引き起こす。上記のように、ピストンロッド 224 に対するねじ山付きシャフト 322 の軸方向運動は、アクチュエータ 202 による可動デバイス 124 の作動に対応し得る。

10

【0054】

図 19 は、アクチュエータ端壁 230 に回転可能に連結され、上記の仕方でフライホイール 314 の回転を能動的に制御するためにフライホイールモーター 350 を組み入れているフライホイール 314 の例を示す。フライホイールモーター 350 は、フライホイール外周 316 に取り付けられた永久磁石 354 を含んでよい。例えば、図 16 に関して前述したように、複数の永久磁石 354 が、フライホイール外周 316 の周りに円周方向に間隔をおいて配置されてもよい。図 19 はまた、アクチュエータハウジング 228 のアクチュエータ側壁 232 の周りに円周方向に間隔をおいて配置された複数の巻線 352 を示す。

20

【0055】

図 20 は、フライホイール 314 の動的制動を提供するように構成されたブレーキ 360 を含むフライホイール 314 の例を示す。示された例において、ブレーキ 360 は、フライホイール 314 の対向する軸方向面 362 と摩擦性の係合をするための 1 つ以上の対のブレーキパッド 364 を有するディスクブレーキとして構成される。図 20 のブレーキ 360 は、図 16 に示され上述された配置と同様に構成され、動作し得る。

【0056】

図 21 は、リニア電気機械式アクチュエータ 242 に組み込まれたイナーター 300 の例を示す。電気機械式アクチュエータ 242 は、支持構造体 116 (図 2) と可動デバイス 124 (図 2) の間に延在し得る。電気機械式アクチュエータ 242 は、アクチュエータハウジング 228 によって支持された電気アクチュエータモーター 244 を含み得る。第 1 の末端部 302 が、可動デバイス 124 に連結され得る。電気機械式アクチュエータ 242 は、支持構造体 116 に連結され得る第 2 の末端部 304 を含み得る。代替的に、第 1 の末端部 302 が、支持構造体 116 に連結され、第 2 の末端部 304 が、可動デバイス 124 に連結されてもよい。

30

【0057】

電気機械式アクチュエータ 242 は、アクチュエータモーター 244 を通って延在し、第 1 の末端部 302 で終わるねじ山付きシャフト 322 (例えば、アクメねじシャフト、ボールねじ、等) を含み得る。アクチュエータモーター 244 は、ねじ山付きシャフト 322 にねじ式に係合され得るモーターシャフト連結器 246 によってねじ山付きシャフト 322 に動作可能に連結され得る。アクチュエータモーター 244 の動作は、可動デバイス 124 を作動させるためのねじ山付きシャフト 322 の軸方向運動を引き起こし得る。この点で、ねじ山付きシャフト 322 は、アクチュエータモーター 244 の角度変位に比例して (例えば、大きさと方向において) 軸方向に移動し得る。フライホイール 314 は、ねじ山付きシャフト 322 にねじ式に係合され得る。加えて、ねじ山付きシャフト 322 の軸方向加速が、フライホイール 314 の回転加速を引き起こすように、フライホイール環 318 が、ベアリング 328 を介してアクチュエータモーター 244 に回転可能に連結され得る。フライホイール 314 は、可動デバイス 124 の作動中、(例えば、アクチュエータモーター 244 に対する) ねじ山付きシャフト 322 の軸方向加速及び減速に比

40

50

例して、回転方向に加速及び減速するように構成され得る。

【 0 0 5 8 】

この点で、図 2 1 の電気機械式アクチュエータ 2 4 2 の作動中のフライホイール 3 1 4 の回転は、電気機械式アクチュエータ 2 4 2 による作動中の可動デバイス 1 2 4 の動的応答を改善するための、本明細書に記載された利点のうちの任意の 1 つ以上を提供し得る。例えば、フライホイール 3 1 4 は、連結された電気機械式アクチュエータ 2 4 2 / 可動デバイス 1 2 4 の共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させ得る。加えて、図 2 1 に示されていないけれども、フライホイールモーター 3 5 0 (例えば、図 1 6) 及び/又は動的ブレーキ 3 6 0 (図 1 6) が、本明細書に記載されたフライホイール制御技法のうちの任意の 1 つ以上を用いて、フライホイール 3 1 4 の回転の能動的制御を可能にするために、フライホイール 3 1 4 とともに任意選択で含まれてもよい。

10

【 0 0 5 9 】

図 2 2 は、上述され図 1 0 に示されたような、油圧式アクチュエータ 2 0 4 に組み込まれたイナーター 3 0 0 の例の断面図である。図 2 2 は、それぞれ、ロード端 2 1 4、キャップ端 2 1 2、ピストン 2 1 6、及びフライホイール 3 1 4 の並進運動のための参照点を示す記号 x , x_0 , x_1 , 及び x_2 を含む。記号 x , x_0 , x_1 , 及び x_2 は、図 2 2 の装置の応答を数学的に特徴付ける伝達関数

$$\frac{X(s)}{F(s)} \quad (\text{式 2 2 0})$$

20

の下記の導出に用いられるパラメータである。表 1 は、伝達関数の導出に用いられるパラメータの一覧表を含む。表に載っている各パラメータとともに、パラメータの物理的タイプの表示とパラメータの短い説明が含まれている。

表 1		
パラメータ	物理的タイプ	説明
F	力	アクチュエータの作用した力 (ニュートン)
F_1	力	ピストンの作用した力 (ニュートン)
F_2	力	フライホイールの作用した力 (ニュートン)
F_3	力	ピストンに対するフライホイールのコンプライアンス力 (ニュートン)
T_2	トルク	フライホイール加速トルク (ニュートン・メートル)
\dot{x}	並進運動	アクチュエータロッド端並進運動参照点 (メートル)
$x_1, \dot{x}_1, \ddot{x}_1$	並進運動	ピストン並進運動参照点 (メートル)
$x_2, \dot{x}_2, \ddot{x}_2$	並進運動	回転から変換されたフライホイール並進運動 (メートル)
$x_0, \dot{x}_0, \ddot{x}_0$	並進運動	アクチュエータキャップ端並進運動参照点 (メートル)
$\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$	回転	フライホイール回転参照点 (ラジアン)
J	質量慣性モーメント	回転におけるフライホイール慣性 (キログラム・メートル ²)
B	減衰係数	$\dot{\theta}$ に抵抗するフライホイールトルク (ニュートン・メートル/ラジアン/秒)
Z	剛性	フライホイール回転剛性 (ラジアン/ニュートン・メートル)
M	質量	ロッド端におけるアクチュエータの作用した慣性 (キログラム)
C	減衰係数	\dot{x} に抵抗するアクチュエータの力 (ニュートン/メートル/秒)
K	剛性	アクチュエータ剛性 (メートル/ニュートン)
r	ねじ山レート	並進運動当たりの回転 (ラジアン/メートル)
ω_n	固有振動数	二次のモデルの特性 (ラジアン/秒)
ζ	ダンピングファクター	二次のモデルの特性 (単位なし)
c	定数	共通参照点に対してゼロオフセット

【 0 0 6 0 】

式 1 0 0 から式 2 1 0 までは、式 2 2 0 の伝達関数の導出の背後にある仮定である。図 2 2 の例示的な装置を参照すると、作用した力の総計 F (例えば、ロッド端 2 1 4 における) は、式 1 0 0 に示されるように、ピストン 2 1 6 の作用した力 F_1 とフライホイール 3 1 4 の作用した力 F_2 の和として計算され得る。ここで、 F_1 と F_2 の符号は、乱れの排除の意味から同じである。

$$F = F_1 + F_2 \quad (\text{式 1 0 0})$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 1 】

フライホイール 3 1 4 によって展開されるトルク T_2 は、フライホイール回転慣性 J とフライホイール回転加速度

$$\ddot{\theta}$$

の積と、フライホイール減衰係数 B とフライホイール回転速度

$$\dot{\theta}$$

の積の和として、式 1 1 0 を用いて決定され得る。

$$T_2 = J\ddot{\theta} + B\dot{\theta} \quad (\text{式 1 1 0})$$

10

【 0 0 6 2 】

フライホイールの作用した力 F_2 は、フライホイールトルク T_2 とねじ山付きシャフト 3 2 2 のねじ山レート r (例えば、ねじ山ピッチ) の積として式 1 2 0 を用いて計算され得る。ねじ山レートは、1 回転当たりのフライホイール 3 1 4 の移動の直線距離として記載され得る。

$$F_2 = r(J\ddot{\theta} + B\dot{\theta}) \quad (\text{式 1 2 0})$$

【 0 0 6 3 】

フライホイール 3 1 4 の回転は、式 1 3 0、式 1 4 0、及び式 1 5 0 によってそれぞれ表されるように、フライホイールの角度変位又は回転角度

$$\theta$$

、回転速度

$$\dot{\theta}$$

、及び回転加速度

$$\ddot{\theta}$$

によって特徴付けられ得る。フライホイール回転角度

$$\theta$$

30

は、式 1 3 0 によって表されるように、ねじ山レート r とフライホイール並進運動 x_2 の直線距離の積である。パラメータ c は、共通の参照点に対する直線オフセットを表す定数である。フライホイール回転速度

$$\dot{\theta}$$

は、式 1 4 0 によって表されるように、ねじ山レート r とフライホイール 3 1 4 の直線速度

$$\dot{x}_2$$

40

の積である。フライホイール回転加速度

$$\ddot{\theta}$$

は、式 1 5 0 によって表されるように、ねじ山レート r とフライホイール 3 1 4 の直線加速度

$$\ddot{x}_2$$

の積である。

$$\theta + c = rx_2 \quad (\text{式130})$$

$$\dot{\theta} = r\dot{x}_2 \quad (\text{式140})$$

$$\ddot{\theta} = r\ddot{x}_2 \quad (\text{式150})$$

【0064】

ピストン216に対するフライホイール314のコンプライアンス力 F_3 は、フライホイール回転剛性 Z と、フライホイール並進運動 x_2 とピストン並進運動 x_1 の間の差の積として、式160を用いて計算され得る。イナーター（例えば、フライホイール314）がアクチュエータ202に組み込まれている図22の例示的な装置において、式190に下記されるように、フライホイール並進運動 x_2 とピストン並進運動 x_1 が同じになるように、フライホイール314は、ピストン216とともに動く。この点で、ピストンのコンプライアンス力 F_3 は、式190に下記されるように、 $x_2 = x_1$ という仮定により、ゼロ(0)である。

10

$$F_3 = Z(x_2 - x_1) \quad (\text{式160})$$

【0065】

フライホイール速度

$$\dot{\theta}$$

20

及びフライホイール加速度

$$\ddot{\theta}$$

に対する式140及び式150を、式120に代入すると、フライホイールの作用した力 F_2 は、以下のように表され得る。

$$F_2 = r^2(J\ddot{x}_2 + B\dot{x}_2) \quad (\text{式170})$$

【0066】

ピストンの作用した力 F_1 は、式180に示されるように、ロッド端214におけるアクチュエータ（例えば、ピストン）の作用した慣性 M とピストン加速度

30

$$\ddot{x}_1$$

の積、アクチュエータ（例えば、ピストン）の抵抗する力 C とピストン速度

$$\dot{x}_1$$

の積、及びアクチュエータ剛性 K とピストン変位 x_1 の積の和として計算され得る。

$$F_1 = M\ddot{x}_1 + C\dot{x}_1 + Kx_1 \quad (\text{式180})$$

【0067】

40

上記のように、フライホイール314とピストン216が一致して動くように、イナーター（例えば、フライホイール314とねじ山付きシャフト322）がアクチュエータ202に組み込まれている図22に示された例において、式190によって表されるように、フライホイール並進運動 x_2 とピストン並進運動 x_1 は同じである。加えて、ロッド端214とピストン216は、式200によって表されるように、一致して動く。 x_0 におけるキャップ端212は、式210によって表されるように、固定されている（例えば、並進運動しない）と仮定される。

$$x_2 = x_1 \quad (\text{式 } 190)$$

$$\dot{x}_1 = \dot{x} \quad (\text{式 } 200)$$

$$\ddot{x}_0 = \dot{x}_0 = x_0 = 0 \quad (\text{式 } 210)$$

【 0 0 6 8 】

図 2 2 に示される例示的な装置の固有振動数を表す微分方程式 (図示せず) に対してラプラス変換を実行し、その結果としての伝達関数

$$\frac{X(s)}{F(s)} \quad 10$$

が、式 2 2 0 に示されるように、表される。ここで、 $X(s)$ は、図 2 2 の装置の応答を表し、 $F(s)$ は、装置への入力を表す。

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{s^2 + \frac{r^2 B + C}{r^2 J + M} s + \frac{K}{r^2 J + M}} \quad (\text{式 } 220)$$

【 0 0 6 9 】

図 2 2 の例示的な装置の振動の固有振動数 ω_n 20

は、式 2 3 0 に示されるように、表され得る。ここで、上記のように、 K はアクチュエータ剛性であり、 r はねじ山レートであり、 J はフライホイール回転慣性である。

$$\omega_n = \left(\frac{K}{r^2 J + M} \right)^{1/2} \quad (\text{式 } 230)$$

【 0 0 7 0 】

式 2 4 0 は、入力 (例えば、動翼のフラッター) に対する振動応答の減衰を特徴付ける、図 2 2 の例示的な装置のダンピングファクター ζ 30

ζ

を表す。

$$\zeta = \frac{r^2 B + C}{2(K(r^2 J + M))^{1/2}} \quad (\text{式 } 240)$$

【 0 0 7 1 】

図 2 3 は、3つの異なる作動圧力 (3 0 0 0 p s i , 5 0 0 0 p s i , 及び 8 0 0 0 p s i) の下で動作するアクチュエータ 2 0 2 における、振動数 3 8 0 対動的荷重に対する振動応答の大きさ 3 8 2 (振幅) をプロットするグラフである。垂直中心線は、動的荷重に対応する 2 0 H z のフラッター振動数を表す。図 2 3 のプロットは、図 2 2 のイナーター 3 0 0 が組み込まれているアクチュエータ 2 0 2 によって提供された応答振幅の、イナーターなしで動作する同じアクチュエータの応答振幅に対する減少 3 8 4 を示す。応答振幅の減少は、イナーター 3 0 0 とともに 8 0 0 0 p s i で動作するアクチュエータ 2 0 2 のフラッター振動数における応答振幅を、イナーター 3 0 0 なしで 3 0 0 0 p s i で動作するアクチュエータ 2 0 2 のフラッター振動数における応答振幅に等しく設定すること、並びにねじ山付きシャフト 3 2 2 のねじ山ピッチ 3 2 2 r 、フライホイール回転慣性 J 、及びダンピングファクター ζ 40

ζ

(式 2 4 0) を最適化することに基づく最適化を表す。8 0 0 0 p s i で動作するアクチ 50

ユエータ 202 に対して、イナーター 300 は、20 Hz のフラッター振動数における、ほとんど 5 dB の応答振幅の減少 384 を促進する。

【0072】

図 24 は、イナーター 300 を用いてアクチュエータ 202 を減衰させる方法 400 に含まれ得る 1 つ以上の工程を有するフローチャートである。上記のように、アクチュエータ 202 の減衰は、イナーター 300 を用いてアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含み得る。上記のように、幾つかの例では、イナーター 300 は、アクチュエータ 202 とは別の構成要素であり、アクチュエータ 202 と同じ可動デバイス 124 に連結されてもよい（例えば、図 1 及び図 4 ~ 図 9）。他の例では、イナーター 300 は、アクチュエータ 202 に組み込まれてもよい（例えば、図 2 及び図 10 ~ 図 22）。

10

【0073】

方法 400 のステップ 402 は、アクチュエータ 202 を用いて可動デバイス 124 を作動させることを含む。航空機 100 の飛行制御システム 120 の例では、本方法は、リニア油圧式アクチュエータ 204 又はリニア電気機械式アクチュエータ 242 などのリニアアクチュエータを用いることを含み得る。例えば、図 4 ~ 図 6 は、航空機 100 の翼 114 に枢動可能に取り付けられたエルロン 130 を作動させるように構成されたリニア油圧式アクチュエータ 204 を示す。しかしながら、上記のように、可動デバイス 124 は、アクチュエータ 202 によって作動させられ得る任意のタイプの可動デバイスであってよい。

【0074】

20

本方法 400 のステップ 404 は、可動デバイス 124 に連結されたイナーター 300 を用いて、イナーター 300 の第 1 の末端部 302 をイナーター 300 の第 2 の末端部 304 に対して軸方向に加速させることを含む。上記のように、イナーター 300 は、支持構造体 116 と可動デバイス 124 の間に連結され得る（例えば、図 4 及び図 6）。例えば、第 1 の末端部 302 が可動デバイス 124 に連結され、第 2 の末端部 304 が支持構造体 116 に連結されてもよいし、又は第 1 の末端部 302 が支持構造体 116 に連結され、第 2 の末端部 304 が可動デバイス 124 に連結されてもよい。代替的に、イナーター 300 は、支持構造体 116 と可動デバイス 124 の間に連結され得るアクチュエータ 202 に組み込まれてもよい（例えば、図 10 ~ 図 21）。そのような例では、上記のように、アクチュエータ 202 のロッド端 214 又はキャップ端 212 は、イナーター 300 の第 1 の末端部 302 として機能し（例えば、全く同一である）、アクチュエータ 202 の残りのロッド端 214 又はキャップ端 212 は、イナーター 300 の第 2 の末端部 304 として機能する（例えば、全く同一である）。

30

【0075】

本方法 400 のステップ 406 は、第 2 の末端部 304 に対する第 1 の末端部 302 の軸方向加速と同時にフライホイール 314 を回転方向に加速させることを、含む。イナーター 300 とアクチュエータ 202 は、同じ可動デバイス 124 に連結されているので（例えば、図 1 及び図 4 ~ 図 9）、又はイナーター 300 は、アクチュエータ 202 に組み込まれているので（例えば、図 2 及び図 10 ~ 図 21）、第 2 の末端部 304 に対する第 1 の末端部 302 の軸方向加速は、アクチュエータ 202 による可動デバイス 124 の作動と同時に且つ作動に比例している。この点で、フライホイール 314 は、アクチュエータ 202 による可動デバイス 124 の作動に対応する第 2 の末端部 304 に対する第 1 の末端部 302 の軸方向加速及び減速に比例して回転方向に加速及び減速する。

40

【0076】

本方法 400 のステップ 408 は、フライホイール 314 を回転させることに応じて、アクチュエータ 202 の運動を減衰させることを含む。一例では、本方法は、フライホイール 314 を回転方向に加速させることに応じて、可動デバイス 124 のアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含み得る。イナーター 300 が、アクチュエータ 202 とは別の構成要素であるか、又はイナーター 300 が、アクチュエータ 202 に組み込まれているかどうかにかかわらず、本方法は、アクチュエータ 202 に連結された可動デバ

50

イス 1 2 4 の共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させるように、フライホイール 3 1 4 を回転方向に加速させることを含み得る。一例では、本方法は、上記のように、同じアクチュエータによって、しかしイナーターなしで作動される可動デバイス 1 2 4 における振動振幅に対して、少なくとも 5 0 % だけアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含み得る。イナーター 3 0 0 は、最大で約 2 0 H z (例えば、 ± 5 H z) までの共振振動数におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させるように構成され得る。可動デバイス 1 2 4 は、航空機 1 0 0 の動翼 1 2 2 (例えば、油圧式に作動するエルロン 1 3 0) であってもよく、共振(例えば、共振振動数)は、動翼 1 2 2 に作用する空気力学的な力によって引き起こされるような動翼 1 2 2 のフラッターに対応してもよい。

【 0 0 7 7 】

10

上記のように、イナーター 3 0 0 がアクチュエータ 2 0 2 に組み込まれている例では、フライホイール 3 1 4 は、フライホイール 3 1 4 から外側に延在する複数のフライホイール突出部 3 2 0 (例えば、フライホイールブレード(図 1 1 ~ 図 1 2 を参照))を含んでもよい。フライホイール 3 1 4 及びフライホイール突出部 3 2 0 は、キャップ端チャンバ 2 3 6 内に含まれる油圧流体に浸されていてもよい。そのような例において、本方法は、油圧流体内でフライホイール 3 1 4 を回転させること、及び可動デバイス 1 2 4 の作動に対応してフライホイール 3 1 4 を回転させることに応じて、アクチュエータ 2 0 2 の運動の粘性減衰を発生又は増加させることを含み得る。粘性減衰は、フライホイール 3 1 4 の回転慣性によって提供される減衰に寄与し得る。

【 0 0 7 8 】

20

更に別の例において、本方法は、ピストンロッド 2 2 4 とねじ山付きシャフト 3 2 2 の相対的な軸方向運動に対応するフライホイール 3 1 4 の回転を能動的に制御することを含み得る。例えば、イナーター 3 0 0 は、図 1 5 ~ 図 1 6 及び図 1 9 ~ 図 2 0 に示される例において前述したように、電気フライホイールモーター 3 5 0 を含む又は組み入れてよい。幾つかの例では、上記のように、アクチュエータ 2 0 2 は、アクチュエータ 2 0 2 内のピストン 2 1 6 の直線位置を感知し、ピストン位置を表す信号を生成するように構成されたリニア位置センサ(図示せず)を含んでもよい。本方法は、位置センサによって生成された信号によって表されるようなピストン 2 1 6 の直線位置に対応してフライホイールモーター 3 5 0 を方向転換することを含んでもよい。

【 0 0 7 9 】

30

フライホイール 3 1 4 の回転の能動的制御は、フライホイールモーター 3 5 0 を用いてフライホイール 3 1 4 を加速させること及び/又は減速させることを含んでもよい。例えば、フライホイールモーター 3 5 0 は、フライホイール 3 1 4 の回転の方向に対応して、又は回転の方向に、トルクをフライホイール 3 1 4 に印加するように動作し得る。この点で、フライホイールモーター 3 5 0 は、アクチュエータ 2 0 2 の運動の指令された方向を支援し得る。幾つかの例では、フライホイール回転の能動的制御は、指令された位置に向かう可動デバイス 1 2 4 のアクチュエータ 2 0 2 による作動の開始の間、フライホイール 3 1 4 を加速させることを含んでもよい。この点で、フライホイールモーター 3 5 0 は、アクチュエータ 2 0 2 による可動デバイス 1 2 4 の作動によって第 1 の末端部 3 0 2 及び第 2 の末端部 3 0 4 で生成された力を少なくとも部分的に又は完全に除去する量だけ、第 2 の末端部 3 0 4 に対する第 1 の末端部 3 0 2 の軸方向加速の開始時にフライホイール 3 1 4 を回転方向に加速してもよい。軸方向加速の開始時にフライホイール 3 1 4 を回転方向に加速させるために、フライホイールモーター 3 5 0 を用いることによって、第 2 の末端部 3 0 4 に対して第 1 の末端部 3 0 2 を軸方向に移動させるのに必要な力が、低減され、又は除去され、このことは、アクチュエータ 2 0 2 が、指令された位置の方に可動デバイス 1 2 4 を移動させる速さを増加させ得る。

40

【 0 0 8 0 】

代替的に、フライホイールモーター 3 5 0 は、フライホイール 3 1 4 の回転と逆の方向にトルクをフライホイール 3 1 4 に印加するように動作してもよい。この点で、フライホイール 3 1 4 の回転と逆の方向へのモーター生成トルクの印加は、第 1 の末端部 3 0 2 及

50

び第2の末端部304の相対的な軸方向加速によって生成されたトルクに抵抗し得る。この点で、フライホイールモーター350による能動的制御は、指令された位置に達したアクチュエータ202の運動の終わりに、終わりに現れたトルクに対抗し得る。このように、フライホイール314の回転を能動的に制御するステップは、アクチュエータ202が、指令された位置に接近したときに、フライホイール314を動的に制動又は減速させて、位置オーバーシュートを防止するために、フライホイールモーター350を用いることを含み得る。

【0081】

更なる例において、フライホイール314の回転の能動的制御は、アクチュエータ202が、可動デバイス124の指令された位置に接近したときに、フライホイール314を減速させて、指令された位置の位置オーバーシュートを防止するために、ブレーキ360（例えば、図16及び図20）を用いることを含んでもよい。本方法は、アクチュエータ202の乱れ（例えば、望ましくない動き）に対向するなどのために、フライホイール314の回転を動的に制動することを、更にも含んでもよい。フライホイール314の動的制動（例えば、回転速度を減速又は低下させる）のステップは、フライホイール314に動的に係合可能なブレーキ360（例えば、図16及び図20）又はフライホイール314に固定して連結され得るブレーキローター（図示せず）に動的に係合可能なブレーキ360を用いて、実施され得る。代替的に又は追加的に、フライホイール314を動的に制動するステップは、上記のように、フライホイールモーター350によって発生した回転抗力を用いて実施され得る。

【0082】

更に、本開示は、以下の条項による実施形態を含む。

【0083】

条項1.

アクチュエータを減衰させるための装置であって、

イナーター軸に沿って互いに対して可動であり、支持構造体及びアクチュエータによって作動される可動デバイスに相互に排他的に連結されるように構成された第1の末端部及び第2の末端部と、

第1の末端部に連結され、第1の末端部とともに可動なロッドと、

第2の末端部に連結され、第2の末端部とともに可動なねじ山付きシャフトと、

ロッド及びねじ山付きシャフトのうちの少なくとも1つに連結されたフライホイール環を有し、アクチュエータによる可動デバイスの作動に対応する、ねじ山付きシャフトに対するロッドの軸方向加速に比例して回転するように構成されたフライホイールと、を含むイナーターを備える装置。

【0084】

条項2.

ねじ山付きシャフトが、第2の末端部に回転不能に連結されており、

ねじ山付きシャフトに対するロッドの軸方向加速が、フライホイールの比例する回転加速を引き起こすように、フライホイールが、ロッドに回転可能に連結され、ねじ山付きシャフトにねじ式に係合されている、条項1の装置。

【0085】

条項3.

イナーターが、リニア電気機械式アクチュエータに組み込まれている、条項1の装置。

【0086】

条項4.

アクチュエータが、可動デバイスの作動中、互いに対して軸方向に可動なロッド端及びキャップ端を有するリニアアクチュエータであり、ロッド端及びキャップ端は、支持構造体及び可動デバイスのうちの1つに相互に排他的に連結されている、条項1の装置。

【0087】

条項5.

イナーターが、アクチュエータに組み込まれていて、アクチュエータが、ロッドの端に連結され、ハウジング内で軸方向にスライド可能なピストンを有する油圧式アクチュエータであり、前記ピストンが前記ハウジングをキャップ端チャンバとロッド端チャンバに分割し、

アクチュエータのロッド端及びキャップ端のうちの1つが、イナーターの第1の末端部として機能し、ロッド端及びキャップ端のうちの残りの1つが、第2の末端部として機能し、

フライホイールが、フライホイール環においてピストン及びロッドのうちの1つに回転可能に連結され、フライホイールが、ねじ山付きシャフトにねじ式に連結され、ねじ山付きシャフトに対するピストンの軸方向加速に比例して回転方向に加速するように構成されている、条項3の装置。

10

【0088】

条項6.

イナーターが、アクチュエータに組み込まれていて、アクチュエータが、ロッドの端に連結され、ハウジング内で軸方向にスライド可能なピストンを有する油圧式アクチュエータであり、ピストンが分割し、

アクチュエータのロッド端及びキャップ端のうちの1つが、イナーターの第1の末端部として機能し、ロッド端及びキャップ端のうちの残りの1つが、第2の末端部として機能し、

20

フライホイールが、第2の末端部に回転可能に連結され、

ねじ山付きシャフトが、フライホイールに固定して連結され、フライホイールと一致して回転可能であり、

ねじ山付きシャフトに対するロッドの直線並進運動が、アクチュエータによる可動デバイスの作動に対応して、フライホイール及びねじ山付きシャフトの回転を引き起こすように、ピストンが、ロッドに固定して連結され、ねじ山付きシャフトにねじ式に係合されている、条項3の装置。

【0089】

条項7.

フライホイールが、フライホイールから外側に延在し、フライホイールの回転中、粘性減衰を発生させる複数のフライホイール突出部を含む、条項1の装置。

30

【0090】

条項8.

アクチュエータが、少なくとも5000psiの作動圧力の下で動作するように構成された油圧式アクチュエータである、条項1の装置。

【0091】

条項9.

ロッドとねじ山付きシャフトの相対的な軸方向運動に対応するフライホイールの回転を能動的に制御するように構成されたモーターを更に備える、条項1の装置。

40

【0092】

条項10.

モーターが、フライホイール外周に取り付けられた1つ以上の永久磁石並びにピストン内壁とハウジング側壁のうちの1つに取り付けられた1つ以上の巻線を含む永久磁石直流モーターである、条項6の装置。

【0093】

条項11.

アクチュエータが、アクチュエータ内のピストンの直線位置を感知するように構成されたリニア位置センサを含み、

モーターが、ピストンの直線位置に対応して方向転換される、条項6の装置。

50

【 0 0 9 4 】

条項 1 2 .

フライホイールに動作的に連結され、フライホイールを減速させるように構成されたブレーキを更に備える、条項 1 の装置。

【 0 0 9 5 】

条項 1 3 .

可動デバイスが、乗り物の移動の方向を制御するように構成される、条項 1 の装置。

【 0 0 9 6 】

条項 1 4 .

可動デバイスが、航空機の動翼である、条項 1 の装置。

10

【 0 0 9 7 】

条項 1 5 .

支持構造体に枢動可能に連結された動翼と、
動翼を作動させるように構成された油圧式アクチュエータと、
イナーターであって、
支持構造体及び動翼に相互に排他的に連結された第 1 の末端部及び第 2 の末端部と、
第 1 の末端部とともに可動なロッドと、
第 2 の末端部とともに可動なねじ山付きシャフトと、
ロッド及びねじ山付きシャフトのうちの少なくとも 1 つに連結されたフライホイールであって、アクチュエータによる動翼の作動に対応する、ねじ山付きシャフトに対するロッドの軸方向加速に比例して回転するように構成されたフライホイールと、を含むイナーターと、を備える航空機。

20

【 0 0 9 8 】

条項 1 6 .

アクチュエータを減衰させる方法であって、
アクチュエータを用いて、可動デバイスを作動させることと、
可動デバイスに連結されたイナーターを用いて、可動デバイスの作動と同時に且つ作動に比例して、イナーターの第 2 の末端部に対して第 1 の末端部を軸方向に加速させることと、

第 2 の末端部に対する第 1 の末端部の軸方向加速に比例して且つ軸方向加速と同時に、イナーターのフライホイールを回転方向に加速させることと、

30

フライホイールを回転方向に加速させることに応じて、可動デバイス及びアクチュエータのアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることと、を含む方法。

【 0 0 9 9 】

条項 1 7 .

アクチュエータ荷重振動振幅を減少させるステップは、
可動デバイスの共振におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含む、条項 1 0 の方法。

【 0 1 0 0 】

条項 1 8 .

アクチュエータ荷重振動振幅を減少させるステップは、
最大で約 2 0 H z までの共振振動数におけるアクチュエータ荷重振動振幅を減少させることを含む、条項 1 0 の方法。

40

【 0 1 0 1 】

条項 1 9 .

可動デバイスが、航空機の動翼である、条項 1 0 の方法。

【 0 1 0 2 】

条項 2 0 .

イナーターが、アクチュエータに組み込まれていて、アクチュエータが、ロッドの端に連結され、ハウジング内で軸方向にスライド可能なピストンを有する油圧式アクチュエー

50

タであり、

フライホイールが、ピストンとロッドのうちの1つに回転可能に連結され、ねじ山付きシャフトにねじ式に連結されている、条項10の方法。

【0103】

条項21.

アクチュエータによる可動デバイスの作動に対応するフライホイールの回転を能動的に制御するステップを更に含む、条項10の方法。

【0104】

条項22.

フライホイールの回転を能動的に制御するステップが、
モーターを用いてフライホイールを加速させること及び減速させることのうちの少なくとも1つを含む、条項13の方法。

10

【0105】

条項23.

フライホイールの回転を能動的に制御するステップが、
指令された位置の方への可動デバイスのアクチュエータによる作動の開始の間、モーターを用いてフライホイールを加速させることを含む、条項13の方法。

【0106】

条項24.

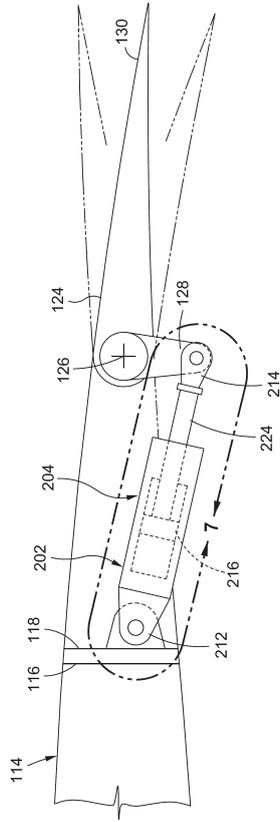
フライホイールの回転を能動的に制御するステップが、
アクチュエータが、可動デバイスの指令された位置に接近したときに、モーターとブレーキのうちの少なくとも1つを用いて、フライホイールを動的に制動することを含む、条項10の方法。

20

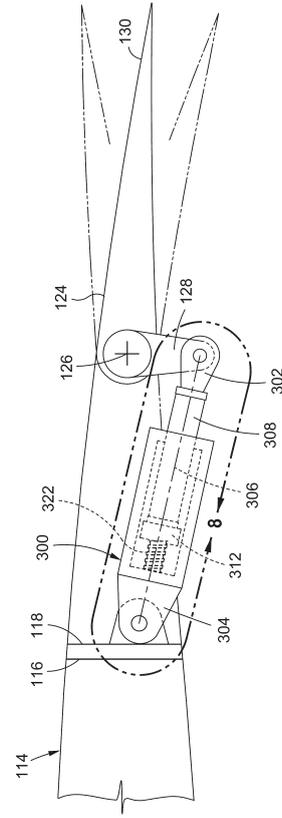
【0107】

本開示の追加の修正及び改良が、当業者には明らかであり得る。従って、本書に記載され図示された部分の特定の組合せは、本開示の幾つかの実施例のみを表すことが意図されており、本開示の精神及び範囲内における代替的な実施例又は装置についての限定として働くことが意図されてはいない。

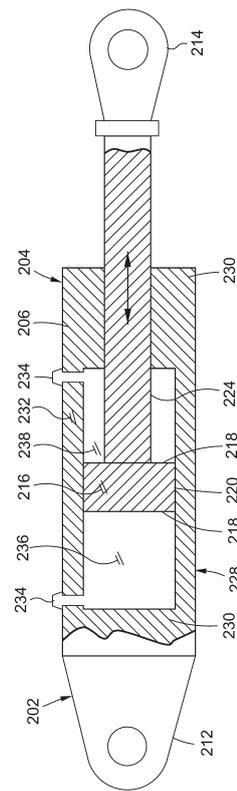
【 図 5 】



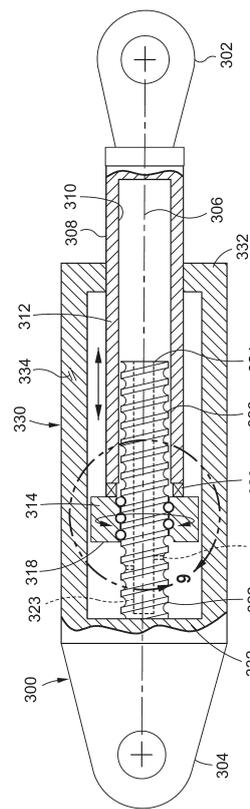
【 図 6 】



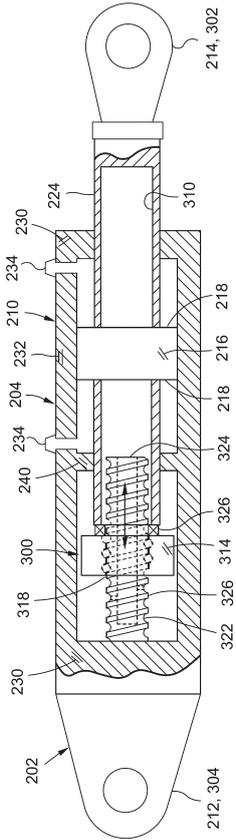
【 図 7 】



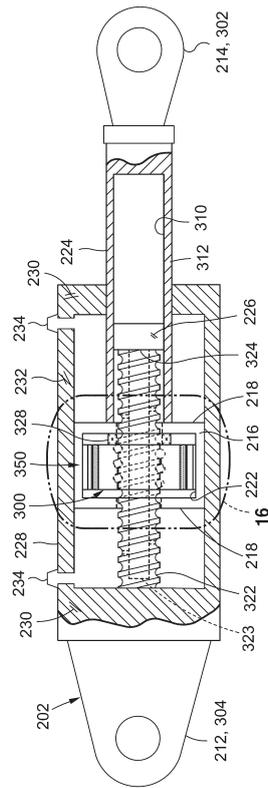
【 図 8 】



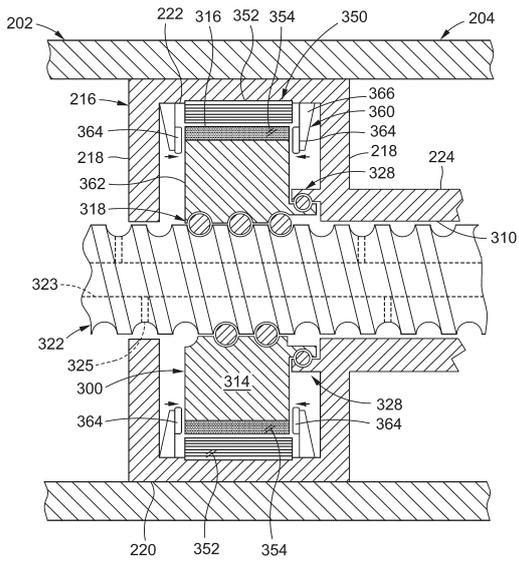
【図 14】



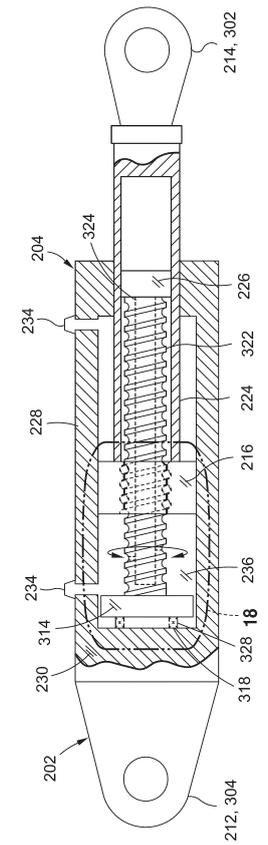
【図 15】



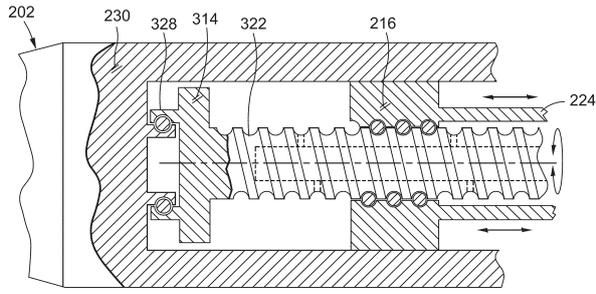
【図 16】



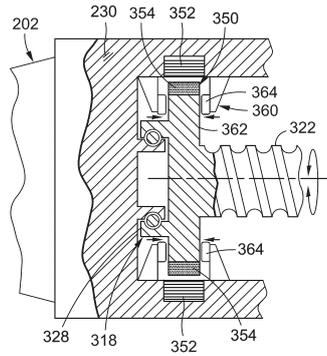
【図 17】



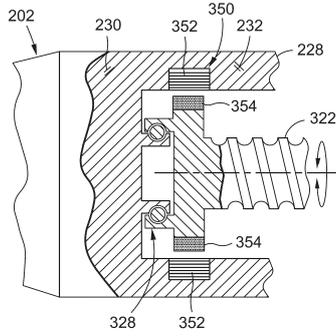
【図18】



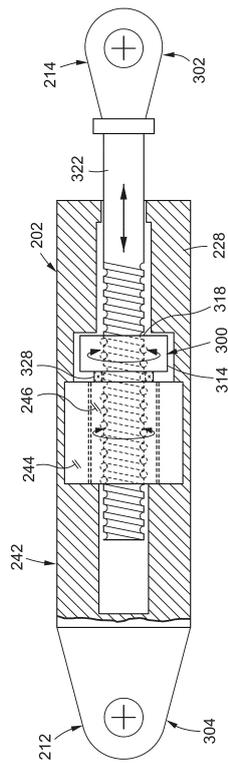
【図20】



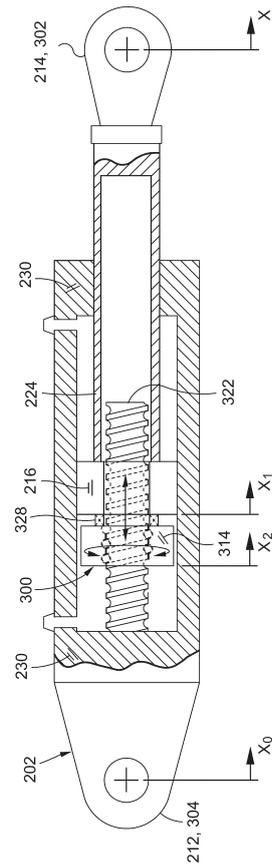
【図19】



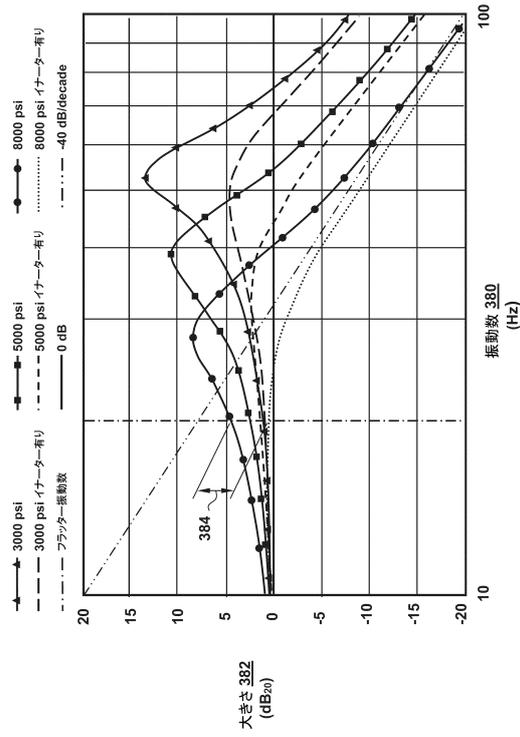
【図21】



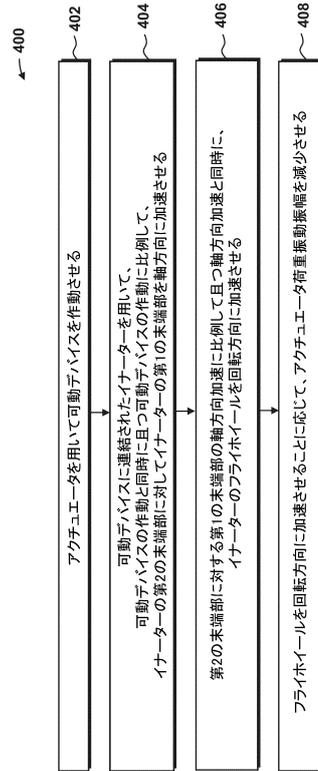
【図22】



【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I			
<i>F 1 6 H</i>	<i>25/20</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 H</i>	<i>25/20</i>	E
<i>F 1 6 F</i>	<i>15/02</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 H</i>	<i>25/24</i>	G
<i>F 1 6 F</i>	<i>7/10</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 1 6 F</i>	<i>15/02</i>	C
			<i>F 1 6 F</i>	<i>7/10</i>	

(72)発明者 ローチ, ジェフリー エム.
アメリカ合衆国 イリノイ 60606, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100

審査官 諸星 圭祐

(56)参考文献 米国特許第02679827(US,A)
独国特許出願公開第102012215614(DE,A1)
米国特許出願公開第2013/0319807(US,A1)
実開昭57-108680(JP,U)
実開昭56-165183(JP,U)
特開昭62-004937(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 4 C 9 / 0 0
B 6 4 C 1 3 / 0 0
B 6 4 C 1 3 / 2 4 - 1 3 / 5 0
F 1 5 B 1 5 / 0 0 - 1 5 / 2 4
F 1 6 F 7 / 1 0