(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5107575号
(P5107575)

(45)発行日　平成24年12月26日(2012.12.26)　(24)登録日　平成24年10月12日(2012.10.12)

(51)Int.Cl.		F I		
F16F 15/02	(2006.01)	F16F	15/02	A
F16F 15/027	(2006.01)	F16F	15/027	
B60G 17/018	(2006.01)	B60G	17/018	
B60G 17/015	(2006.01)	B60G	17/015	C

請求項の数 13　(全 17 頁)

(21)出願番号	特願2006-525222 (P2006-525222)
(86)(22)出願日	平成16年8月17日 (2004.8.17)
(65)公表番号	特表2007-504415 (P2007-504415A)
(43)公表日	平成19年3月1日 (2007.3.1)
(86)国際出願番号	PCT/IB2004/051472
(87)国際公開番号	WO2005/024266
(87)国際公開日	平成17年3月17日 (2005.3.17)
審査請求日	平成19年8月14日 (2007.8.14)
(31)優先権主張番号	03103305.3
(32)優先日	平成15年9月5日 (2003.9.5)
(33)優先権主張国	欧州特許庁 (EP)
(31)優先権主張番号	04101604.9
(32)優先日	平成16年4月19日 (2004.4.19)
(33)優先権主張国	欧州特許庁 (EP)

(73)特許権者　590000248
コーニンクレッカ　フィリップス　エレクトロニクス　エヌ　ヴィ
オランダ国　５６２１　ベーアー　アインドーフェン　フルーネヴァウツウェッハ　1
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東　忠彦
(74)代理人　100091214
弁理士　大貫　進介
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東　忠重

最終頁に続く

(54)【発明の名称】慣性基準質量を有する能動型防振用アクチュエータ構成

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

アクチュエータと、

基準質量と、

少なくとも１自由度を持った所定のバネ特性を少なくとも持つ第一のサスペンションと、

第一のセンサと、を有し、

前記アクチュエータは、該アクチュエータによって安定化させられる第一の物体と該アクチュエータを支持する床面又は第二の物体との間に力を加えるように構成され、

前記基準質量は、前記第一の物体から独立しており、且つ、前記第一のサスペンションを介して、前記床面又は第三の物体に支持されるように構成され、

前記第一のセンサは、減衰される振動の方向における、前記基準質量と前記第一の物体との間の第一の距離に応じた第一の距離信号を生成して、この第一の距離信号を、前記アクチュエータを動かすコントローラへ供給するように構成される、アクチュエータ構成。

【請求項２】

請求項１記載のアクチュエータ構成であって、

前記アクチュエータは、ローレンツ・アクチュエータである、ことを特徴とするアクチュエータ構成。

【請求項３】

請求項１又は２記載のアクチュエータ構成であって、

減衰される振動の方向における、前記第一の物体と前記床面との間の第二の距離を測定する第二のセンサと、
前記第一のセンサに接続され、前記コントローラに入力される第一のフィルタ出力信号を生成する第一のフィルタと、
前記第二のセンサに接続され、前記コントローラに入力される第二のフィルタ出力信号を生成する第二のフィルタと、を更に有する、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項４】
請求項１乃至３のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記基準質量及び前記第一のサスペンションを保護するように構成されたハウジングを更に有し、
前記ハウジングは、前記第一の物体と前記基準質量との間に位置する面を有し、
前記第一のセンサは、第一のサブセンサと、第二のサブセンサとを有し、
前記第一のサブセンサは、減衰される振動の方向における、前記基準質量と前記ハウジングの前記面との間の第三の距離を測定するように構成され、
前記第二のサブセンサは、減衰される振動の方向における、前記ハウジングの前記面と前記第一の物体との間の第四の距離を測定するように構成される、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項５】
請求項１乃至３のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記第一のセンサは、第一のサブセンサと、第二のサブセンサとを有し、
前記第一のサブセンサは、減衰される振動の方向における、前記第一の物体と前記床面又は前記第三の物体との間の第三の距離を測定して、第三の出力信号を生成するように構成され、
前記第二のサブセンサは、減衰される振動の方向における、前記基準質量と前記床面又は前記第三の物体との間の第四の距離を測定して、第四の出力信号を生成するように構成され、
前記第三の出力信号は、前記第四の出力信号を差し引いてから、前記コントローラへ供給される、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項６】
請求項５記載のアクチュエータ構成であって、
前記基準質量及び前記第一のサスペンションを保護するハウジングを更に有する、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項７】
請求項１乃至６のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
別のセンサと、フィルタとを更に有し、
前記別のセンサは、減衰される振動の方向における、前記基準質量と前記床面又は前記第三の物体との間の別の距離を測定して、前記フィルタへの別の出力信号を生成するように構成され、
前記フィルタは、前記コントローラが前記床面の振動の前記第一の物体への伝達を補償できるように、フィルタ出力信号を生成して、前記コントローラへ送るように構成される、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項８】
請求項１乃至７のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記第一のサスペンションは、
第二のアクチュエータと、
減衰される振動の方向における、前記基準質量と前記床面又は前記第三の物体との間の更に別の距離を測定する更に別のセンサと、
前記更に別のセンサから前記更に別の距離に応じた更に別の出力信号を受信して、前記第二のアクチュエータを動かすように構成された別のコントローラと、によって実現され、

前記第二のアクチュエータは、前記第二のアクチュエータによって安定化させられる前記基準質量と前記第二のアクチュエータを支持する前記床面又は前記第三の物体との間に力を加えるよう構成される、
ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項９】
請求項１乃至８のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記第二の物体及び前記第三の物体は、１つの同じ物体である、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項１０】
請求項１乃至８のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記第三の物体は、第二のサスペンションを介して、前記床面に支持され、
前記アクチュエータは、第四の物体に支持され、
前記第四の物体は、第三のサブペンションを介して、前記床面に支持される、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項１１】
請求項１乃至１０のいずれか一項記載のアクチュエータ構成であって、
前記第一の物体の変位を制御するスカイフック制御構成を更に有する、ことを特徴とするアクチュエータ構成。
【請求項１２】
請求項１乃至１１のいずれか一項記載のアクチュエータ構成を少なくとも１つ有する能動型防振システム構成であって、
少なくとも前記アクチュエータを制御する前記コントローラを有する、ことを特徴とする能動型防振システム構成。
【請求項１３】
請求項１２記載の能動型防振システム構成であって、
前記第一の物体を支持する少なくとも１つの空気バネを有する、ことを特徴とする能動型防振システム構成。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、慣性基準質量を有する能動型（アクティブ）防振用アクチュエータ構成に関する。
【背景技術】
【０００２】
図１は、従来技術による能動型防振システム（Ａｃｔｉｖｅ　Ｖｉｂｒａｔｉｏｎ　Ｉｓｏｌａｔｉｏｎ　Ｓｙｓｔｅｍ）を示している。この防振システムは、負荷（ペイロード）２を有する。負荷２は、例えば、リソグラフィー機におけるメトロフレーム（ｍｅｔｒｏｆｒａｍｅ）である。負荷２には、速度センサ４が取り付けられる。速度センサの代わりに、加速度センサが用いられてもよい。速度センサ４は、例えば、受振器である。
【０００３】
速度センサ４は、コントローラ６に接続される。コントローラ６は、「スカイフック（ｓｋｙ　ｈｏｏｋ）」コントローラと呼ばれるときもある。コントローラ６は、適切なプログラム済み（マイクロ）コンピュータであれば任意のものでよい。
【０００４】
しかしながら、場合によっては、アナログ回路及びデジタル回路が用いられもよい。
【０００５】
負荷２と「床面（ｅａｒｔｈ）」１６との間には、アクチュエータ８が設けられる。アクチュエータ８には、アクチュエータ８に適切な制御信号を供給するコントローラ６が接続される。図では、速度センサ４、コントローラ６、及び、アクチュエータ８の間の接続は、有線接続であるものとして示されているが、当業者には既知のように、これらの接続

は無線接続であってもよい。これは、本発明の他の実施形態において示された他の接続にも当てはまる。

【０００６】

アクチュエータ８は概略的に図示されている。アクチュエータ８は、コントローラ６による制御に応じて力を生成するように構成された適切なアクチュエータであれば任意のものでよく、例えばローレンツ（Ｌｏｒｅｎｚ）・モータである。

【０００７】

また、図１には、ピストン１２とハウジング１４とを有する空気バネ１０も示されている。ピストン１２は、ハウジング１４内において、上下動が可能である。使用中、ハウジング１４には、空気（又は任意の他の適切な気体）が充填される。管路２１を用いてハウジング１４へ接続された弁２０が設けられる。弁２０にはその作動を制御するコントローラが接続される。空気バネ１０のハウジング１４と負荷２の間の距離ｚ１を測定するセンサ１８が設けられる。センサ１８は、比較器１７に接続される。比較器１７は、基準信号ｚ１ｒｅｆを受信する。センサ１８は、距離ｚ１を表す出力信号を生成する。比較器１７は、ｚ１ｒｅｆとセンサ１８の出力との差分に比例した出力信号を生成し、それをコントローラ１９へ入力する。コントローラ１９は、距離ｚ１が所望レベルｚ１ｒｅｆに制御されるように、弁２０を動かす。

【０００８】

コントローラ６及び１９は、物理的に別体である必要はない。コントローラ６及び１９は、同じコンピュータ上で動く別々のプログラムとして実現されてもよい。

【０００９】

実際には、負荷２は非常に重い（例えば３，０００キログラム以上）場合もある。空気バネ１０は、能動的に（アクティブに）制御される構成である必要は厳密にはなく、受動的な（パッシブな）防振構成であってもよい。空気バネ１０の代わりに、スプリングバネなどの他の防振構成が用いられてもよい。

【００１０】

実際の状況では、当業者には明らかなように、たいていは３つ又は４つの空気バネ１０で負荷２を支持する。加えて、図１は、センサ４、コントローラ６、及びアクチュエータ８を含む１つのアクチュエータ構成を示しているが、実際には、複数のアクチュエータ構成であってもよい。その場合、複数のアクチュエータ構成は、６つの自由度（ｘ、ｙ、ｚ、ｘまわりの回転、ｙまわりの回転、及び、ｚまわりの回転）のうちのいずれか又は任意の組み合わせにおいて振動を防止するように構成される。

【００１１】

図２ａは、図１に示した従来の能動型防振システムの伝達率を示している。図２ａを明確にするために、図２ｃを参照する。図２ｃは、床面１６上に立っている能動型防振構造ＡＶＩによって支持された負荷２を示している。能動型防振構造ＡＶＩは、空気バネ１０及び能動型アクチュエータ８をいずれも有すると共に、図１に示した複数のセンサ及び複数のコントローラも有する。負荷２は、上下に動くことができる。この振幅をｚとする。また、床面１６も上下に動き得る。この振幅をｈとする。ここで、伝達率は比ｚ／ｈとして、すなわち周波数の関数として表されたｚのｈに対する依存度として、定義される。曲線Ａは、この依存度の一例である。曲線Ａは、２Ｈｚより上で防振を示している。２Ｈｚ未満のとき、負荷２は、単純に、床面１６のあらゆる振動に追従している。すなわち、この防振システムの固有振動数は２Ｈｚである。当業者には明らかなように、この固有振動数は十分に減衰されている。

【００１２】

ここで、能動型防振構造ＡＶＩは、固有振動数が０．５Ｈｚとなるように設計されているものとすると、２Ｈｚより大きい同じ大きさの周波数を持つ振動に対して、最初のケースより比ｚ／ｈが約１／１６になると言える。このより良い性能は、図２ａにおいて曲線Ｂとして示されている。

【００１３】

しかし、これも、図２ｂに示すような欠点を持っている。図２ｂは、図２ｃに示した防振システムの追従性を示している。この追従性は比ｚ／Ｆとして定義される。ここで、Ｆは（例えば負荷２上を動く物体の反力などによって）負荷に直接作用する力に等しい。当業者には知られているように、能動型防振構造ＡＶＩの固有振動数を低くすると、追従性が悪くなる。例えば、図２ｂの曲線Ｄは、固有振動数が２Ｈｚである能動型防振構造の追従性ｚ／Ｆを示している。しかしながら、この能動型防振構造ＡＶＩが固有振動数０．５Ｈｚとなるように設計された場合、曲線Ｄは曲線Ｃへとシフトする。固有振動数０．５Ｈｚ未満の周波数に対して、追従性ｚ／Ｆは、上述の固有振動数が２Ｈｚの場合と比べて、約１６倍になると言える。

【００１４】

このように、図２ａ及び２ｂは、図１に示した従来の能動型防振システムにおいて、伝達率と追従性とは関連していることを示している。サスペンション周波数を低くすることによって伝達率を向上させる場合、追従性が犠牲となり、追従性を向上させる場合、周波数が高くなって伝達率が犠牲となる。

【００１５】

非特許文献１には能動型低周波防振システムが開示されている。非特許文献１には、床面からの振動から防振され、安定化された負荷を有する地震計が記載されている。この負荷は、第一のバネによって「床面」から懸架されている。そして、この第一のバネと平行に、振動を減衰させるアクチュエータが設けられている。

【００１６】

さらに、第二のバネによって、追加基準質量が負荷から懸架され、負荷とこの追加基準質量の間隔を測定するセンサが設けられる。負荷と「床面」との間のアクチュエータは、このセンサの出力信号に基づいて制御される。非特許文献１に開示された追加基準質量は、床面に支持されたものではく、また、負荷が追従対象する基準として用いられるものでもない。

【非特許文献１】Ｐ．Ｇ．Ｎｅｌｓｏｎ，“Ａｎ ａｃｔｉｖｅ ｖｉｂｒａｔｉｏｎ ｉｓｏｌａｔｉｏｎ ｓｙｓｔｅｍ ｆｏｒ ｉｎｅｒｔｉａｌ ｒｅｆｅｒｅｎｃｅ ａｎｄ ｐｒｅｃｉｓｉｏｎ ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔ”，Ｒｅｖ．Ｓｃｉ．Ｉｎｓｔｒｕｍ．６２，（９），１９９１年9月，２，０６９～２，０７５頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１７】

本発明の目的は、伝達率を維持したまま又は伝達率を向上させつつ、追従性を大幅に向上させることを可能にする能動型防振構成を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【００１８】

このため、本発明は、アクチュエータと、基準質量と、少なくとも１自由度を持った所定のバネ特性を少なくとも持つ第一のサスペンションと、第一のセンサとを有し、アクチュエータは第一の物体と第二の物体の間に力を加えるように構成され、基準質量は第一のサスペンションによって第三の物体に支持されるように構成され、第一のセンサは基準質量と第一の物体の間の第一の距離に応じた第一の距離信号を生成して、この第一の距離信号をアクチュエータを動かすコントローラへ供給するように構成される、アクチュエータ構成を提供する。

【００１９】

このように、本発明は、第一の物体（例えば負荷）が追加基準質量に追従する能動型防振システムを提供する。追加基準質量は、サスペンションによって、第二の物体（例えば床面）から絶縁される。これにより、後に詳述するように、（能動型振動制御が作動する周波数レンジ内で）独立した伝達率及び追従性が実現される。従来の防振システムでは、伝達率と追従性は関連するパラメータであるが、本発明に係る構成では、それらは独立している。従来技術において、防振システムの固有振動数を変更することによってこれら２

つのパラメータのうちの一方を向上させると、他方が劣化する。これに対し、本発明では、これら２つのパラメータの双方又は一方のみを向上させることができる。追加基準質量及びそのサスペンションは、そのデザイン及び第二の物体による励振に対してのみ反応し、他のすべての寄生外乱が極力回避された質量－バネ系又は質量－ダンパ－バネ系のように振る舞うという意図された機能に関連して最適に設計することができる。

【００２０】

一実施形態において、上記アクチュエータ構成は、第一の物体と第二の物体の間の第二の距離を測定する第二のセンサと、第一のセンサに接続され、コントローラに入力される第一のフィルタ出力信号を生成する第一のフィルタと、第二のセンサに接続され、コントローラに入力される第二のフィルタ出力信号を生成する第二のフィルタとを更に有する。

【００２１】

本発明に係るアクチュエータ構成は、基準質量及び基準質量を支持するサスペンションを保護するように構成されたハウジングを更に有することができる。

【００２２】

別の一実施形態において、上記アクチュエータ構成は、別のセンサと、フィルタとを更に有し、当該別のセンサは、基準質量と第二の物体の間の距離を測定して、フィルタへの出力信号を生成するように構成され、フィルタは、コントローラが第二の物体の振動の第一の物体への伝達を補償できるように、フィルタ出力信号を生成して、コントローラへ送るように構成される。

【００２３】

上記サスペンションは、当業者に既知の任意の方法で適切に実現することができる。一例として、上記サスペンションは、例えば、第二のアクチュエータと、追加基準質量と第二の物体の間の距離を測定する更に別のセンサと、該更に別のセンサから出力信号を受信して、第二のアクチュエータを動かすように構成された別のコントローラとによって実現されてもよい。この構成において、上記サスペンションは、例えばバネがアクティブである必要がある期間などの設計事項に応じて所望されるバネ定数を持つように、能動的に制御される。

【００２４】

また、本発明は、上記アクチュエータ構成を少なくとも１つ有する能動型防振システム構成であって、少なくとも上記アクチュエータを制御する上記コントローラを有する能動型防振システム構成にも関連する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２５】

以下、図面を参照して、本発明を詳細に説明する。

【００２６】

図面は、本発明を明確にし、単にいつくかの実施形態を示すことのみが意図されたものである。図面は、本発明を多少なりとも限定することが意図されたものではない。本発明は、請求項及びその均等物によってのみ限定される。

【００２７】

すべての図面を通じて、同じ符号は同じ要素又は部品を示している。

【実施例】

【００２８】

図３は、本発明の第一の実施形態を示している。

【００２９】

図３の構成においては、図１の構成からセンサ４、１８が取り除かれている。

【００３０】

サスペンション２４によって床面１６上に支持された追加基準質量２２が設けられる。サスペンション２４は、例えば、あるバネ定数を持ったスプリングバネであるが、所定のバネ特性を持ったスプリングバネと所定の減衰特性を持ったダンパ（例えば、スカイフックダンパ）との組み合わせであってもよい。以下では、便宜上、サスペンション２４のこ

とをバネ２４と呼ぶ場合が多い。

【００３１】

現実には、様々な自由度を持ったより多くのサスペンションが存在してもよい。その場合、質量２２は、２以上の自由度の基準質量として用いられる。

【００３２】

追加基準質量２２と負荷２の間隔ｚ２を測定するセンサ２６が設けられる。センサ２６は、出力信号を比較器２８へ送る。また、比較器２８は、基準信号ｚｒｅｆを受け取り、ｚｒｅｆからセンサ２６から受け取った上記出力信号を差し引く。この比較に基づく出力信号が比較器２８からコントローラ６へ入力される。コントローラ６は、アクチュエータ８へ接続されている。また、コントローラ６は、弁２０へ接続することもできる。

【００３３】

当業者には明らかなように、追加基準質量２２は、バネ２４によって、床面１６自体の上に支持される必要はない。追加基準質量２２は、バネ２４によって、例えば床面１６上に立つベースフレーム上に支持されてもよい。

【００３４】

図３の構成の概念は、追加基準質量２２がその支持体と共に、そのデザイン及び第二の物体１６による励振に対してのみ反応し、摩擦やクロストークなどの他のすべての寄生外乱が極力回避された質量－バネ系又は質量－ダンパ－バネ系のように振る舞うという意図された機能に関連して最適に設計することができる、というものである。

【００３５】

負荷２が追加基準質量２２の位置に追従するようにコントローラ６を設計することによって、伝達率及び追従性の組み合わせを、図４ａ、４ｂ、５ａ、及び５ｂに示すように、劇的に向上させることができる。

【００３６】

図４ａは、図２ａの曲線Ａ及びＢに対応する曲線Ａ及びＢ’を示している。曲線Ａは、固有振動数が２Ｈｚの場合の図１の防振システムの伝達率を示している。この場合、空気バネ１０は、２Ｈｚ空気バネと呼ばれる。曲線Ｂ’は、固有振動数が０．５Ｈｚの基準質量と２Ｈｚ空気バネである空気バネ１０とを備えた図３のアクチュエータ構成に関する伝達率を示している。図４ａの右下の部分において曲線Ｂ’は増加しているが、これは選択された制御ループの帯域幅によって決まるものである。

【００３７】

図４ｂは、追従性を表す曲線を示している。ここでも、曲線Ｄは、固有振動数が２Ｈｚである図１の構成についての追従性を示している。曲線Ｅは、図３のアクチュエータ構成についての追従性を示している。曲線Ｅは、追従性が劇的に、すなわち曲線Ｄから制御ループによって決まる周波数まで約１２５倍以上、改善したことを示している。

【００３８】

図５ａにおいて、曲線Ｂは、固有振動数が０．５Ｈｚで、空気バネが０．５Ｈｚ空気バネである場合の図１の防振システムの伝達率を示している。図５ａにおいて、曲線Ｂ’は、図４ａに既に示した曲線Ｂ’と同一のものであり、固有振動数が０．５Ｈｚの基準質量と２Ｈｚ空気バネ１０とが用いられた場合の図３のアクチュエータ構成の伝達率に関するものである。このように、図５ａは、制限された帯域幅と組み合わせて空気バネを選択すると、図３の構成の伝達率は、高周波について、図１の既知の構成よりも悪くなる、ことを示している。

【００３９】

図５ｂは、曲線Ｃを用いて、固有振動数が０．５Ｈｚの場合の図１の既知構成の追従性を示している。また、図５ｂは、既に図４ｂに示した図３の構成に関する曲線Ｅも示している。ここで、図３の防振システムと比較した場合、固有振動数がより低い０．５Ｈｚである従来の防振システムの方が固有振動数が２Ｈｚである従来の防振システムよりも変化がより大幅に劇的である。すなわち、図５ｂは、２，０００倍を上回る改善を示している。

【００４０】
このように、図４ａ、４ｂ、５ａ、及び５ｂは、本発明に係る構成を用いれば、伝達率と追従性の双方を改善することができることを示している。もはや、伝達率及び追従性は、従来技術の場合のように関連していないため、これらの双方を改善することも、いずれか一方を他方を悪化させずに改善することも、いずれも可能となる。このような改善は、負荷２が追加基準質量２２のような独立した基準質量に追従するようにしたことによって可能となったものである。
【００４１】
図３の構成において、コントローラ６は、弁２０を制御する必要はないことが分かる。空気バネ１０は、（大型の）スプリングバネのような受動型の防振システムで置き換えることができる。更に別の変形例として、空気バネ１０も、等価に機能するスプリングバネも全く存在しない構成も可能である。アクチュエータ８、追加基準質量２２、バネ２４、及びセンサ２６を有するアクチュエータ構成は、任意の能動型防振システムに適用される別体のユニットとすることができる。図３（又は後述の他の実施形態）に示した防振システムに適用されるとき、追加基準質量２２の固有振動数を低く（例えば０．５Ｈｚ）なるように設計することができる。その場合、あたかもその防振システムが０．５Ｈｚ空気バネを備えているかのように所定の周波数まで負荷が伝達率に応じて動くようにしつつ、負荷２を支持する空気バネ１０を、より高い（例えば２Ｈｚ）固有振動数を持つように設計することも、さらには受動型のものとすることもできる。このような空気バネ１０は、固有振動数が０．５Ｈｚの空気バネ１０よりも安価である。
【００４２】
図３の防振システムに適用され、固有振動数が０．５Ｈｚの基準質量を用いる場合も、空気バネ１０の固有振動数を０．５Ｈｚに設計することができる。このような状況において、追従性が劇的に改善している間、伝達率は、アクチュエータ構成をオン／オフ切替しても変化しない。
【００４３】
バネ２４自体が能動型防振構成として実施されてもよいことは明らかである。例えば、質量２２及びバネ２４が図１に示した防振システムとして設計されてもよい。その際、追加基準質量２２は、負荷２そのものであるのに対し、バネ２４は、センサ４、１８、弁２０、管路２１、空気バネ１０（又はスプリングバネ或いは受動型）、アクチュエータ８、及びコントローラ６を含むように構成される。この場合、当然、これらの要素は所望レベルへサイズ変更される必要がある。
【００４４】
図６は、本発明の別の一実施形態を示している。図６において、バネ２４は、アクチュエータ３０、センサ３２、及びコントローラ３４によって実現されている。センサ３２は、質量２２と床面１６の間隔ｚ３を測定するように構成されている。センサ３２は、出力信号をコントローラ３４へ出力する。コントローラ３４は、アクチュエータ３０を作動させるように構成される。アクチュエータ３０は、適切なアクチュエータであれば任意のものでよく、例えばローレンツ・アクチュエータである。
【００４５】
アクチュエータ３０、センサ３２、及びコントローラ３４の組み合わせは、所定のバネ定数又は所定のバネ定数及び減衰定数を備えたサスペンションとして作動するように構成される。例えば、追加基準質量２２と共に、図６の「質量－バネ」系（質量２２とバネ２４とを有する）の固有振動数が０．５Ｈｚとなるように設計することができる。これは、図示した能動型バネ２４を用いることによって容易に実現可能である。この０．５Ｈｚという低い固有振動数は、すべての寄生効果を予防又は最小化しなければならないことを考慮すると、物理的バネでは実現困難であることに注意。例えば、機械式バネは、内部共振によって生じた寄生力を容易にバネ自体へ導入してしまう。
【００４６】
加えて、センサ３２の出力信号は、基準高さと比較され、質量２２が所定のオフセット

高さｚ３に維持されるようにコントローラ３４がアクチュエータ３０を制御する。このような基準高さは、本構成がクライアントの要求に応じて距離ｚ３を制御できるようにする。この距離ｚ３は、負荷２と第二の物体１６との間の所望のオフセット距離に応じた所定値でよい。

【００４７】

また、図６の構成は、測定中に、追加基準質量２２及びバネ２４の固有振動数を変更することができる。例えば、ある期間は固有振動数を例えば１０Ｈｚとし、その後は０．５Ｈｚとしたい場合、などが考えられる。

【００４８】

さらに、図６の構成は、ヒステリシスを全く持たないように設計することができる。

【００４９】

また、バネ２４の一部として負のバネ定数ｋを持ったバネを用いてバネ２４を実現することができることも明らかである。これは、当業者には既知であり、ここでは更なる詳細な説明は不要である。例えば、ウェブサイトｗｗｗ．ｍｉｎｕｓｋ．ｃｏｍなど参照のこと。

【００５０】

図７は、本発明の更に別の一実施形態を示している。

【００５１】

図７の構成は、これまでの図面で既に説明した部品／要素以外に、負荷２と床面１６の間隔ｚ４を測定するセンサ３６を有する。センサ３６は、低域通過フィルタ３８に接続されている。低域通過フィルタ３８は、比較器２８に接続されている。

【００５２】

追加基準質量２２と負荷２の間隔ｚ２を測定するセンサ２６は、これまでの図面のように比較器２８に直接接続されてはおらず、高域通過フィルタ４０に接続されている。高域通過フィルタ４０は、比較器２８に接続されている。

【００５３】

低域通過フィルタ３８により、センサ３６の出力信号は、フィルタ設計に応じて、低周波が支配的となる。また、センサ２６の出力信号は、主として、高域通過フィルタ４０のカットオフ周波数より上の周波数について示されるフィードバックに影響を与える。フィルタ３８、４０のカットオフ周波数は、バネ２４を備えた追加基準質量２２の固有振動数に関連していることが好ましい。このように、図７に示した構成において、負荷２は、低周波領域では、主として床面１６の動きに追従し、高周波領域では、主として追加基準質量２２の動きに追従する。この構成は、基準質量が十分に減衰されない状況に対する解決策となる。

【００５４】

バネ２４は、これまでに説明したいずれの方法で設計されてもよいことに注意。また、フィルタ３８、４０のカットオフ周波数は異なっていてもよいことにも注意。さらに、フィルタ３８、４０は、具体的な運動力の作用を補償する（複数の）汎用二次フィルタを備えるように拡張することができることにも注意。フィルタ４０は、例えば、センサ２６の影響が所定の周波数領域において最小化されるように、すなわちノッチフィルタとなるように、設計することができる。その際、フィルタ３８は、センサ３６が当該所定の周波数領域において大きな影響力を持つように、帯域通過フィルタとして設計することができる。

【００５５】

図８は、本発明の更に別の一実施形態を示している。

【００５６】

図８の構成において、ハウジング４４は、追加基準質量２２及びバネ２４の周囲に設けられる。ハウジング４４は、追加基準質量２２を振動させ得る外乱から追加基準質量２２及びバネ２４を保護することが意図されている。このような外乱の一例は、音響信号である。

【００５７】
図８の構成において、追加基準質量２２とハウジング４４の上面の間隔ｚ５を測定するセンサ４２が設けられる。ハウジング４４の上面と負荷２の間隔ｚ６を測定する別のセンサ４３も設けられる。センサ４２は、出力信号を比較器２８へ送る。センサ４３も、出力信号を比較器２８へ送る。容易に明らかであるように、距離ｚ４及びｚ５の合計が、これまでの実施形態の距離ｚ２と線形関係を持っている。このように、図８の構成は、フィードバックシステムの点では、図３、６、及び７の構成と等価である。
【００５８】
ハウジング４４は、空間４６を囲む。音響信号のあらゆる影響を更に低減するために、空間４６は、一実施形態として、真空（すなわち、圧力が10^{5}Ｐａ未満）であってもよい。
【００５９】
また、図８は、空気バネ１０の代替例も示している。代替空気バネ１０’は、空気バネ１０’のハウジング１４内を自由にシフトできるピストン１２を有しない代わりに、じゃばら構造又は膜構造を用いてハウジング１４に固定されたピストン１２’を有する。
【００６０】
これまでの実施形態のように、空気バネ１０’は、能動的に制御される空気バネである必要はない。受動型空気バネ（又は任意の他の能動型／受動型スプリングバネ構成）であってもよく、或いは、重力補正器であってもよい。追加基準質量２２及びバネ２４を外乱から保護できるという利点以外にも、図８の構成は距離ｚ５及びｚ６の測定に関してより多くのオプションを提供する。
【００６１】
図９は、本発明の更に別の一実施形態を示している。
【００６２】
図９の構成は、図８の構成に類似している。異なるところは、センサ４２、４３がセンサ３６及び３２によって置き換えられている点である。センサ３６は、（図７のように）負荷２と床面１６の間隔ｚ４を測定する。センサ３６の出力信号は、直接、比較器２８に入力される。センサ３２は、（図６のように）追加基準質量２２と床面１６の間隔ｚ３を測定し、この距離ｚ３に対応する出力信号を比較器２８へ送る。比較器２８は、センサ３２の出力信号を基準信号ｚｒｅｆへ加えると共に、センサ３６の出力信号を差し引く。このようにして、比較器２８は、図３、６、及び７の構成における距離ｚ２に比例したｚ４－ｚ３を表す出力信号をコントローラ６へ入力する。
【００６３】
センサ４３及び３６は、技術的に等価であることは明らかである。ハウジング４４が固定された剛体であるため、センサ４３及び３６の出力信号は、所定の定数のみが異なる。センサ４２及び３２も、定数及びマイナス符号が異なる。
【００６４】
図１０は、本発明の更に別の一実施形態を示している。
【００６５】
図１０の構成は、図６、８で説明したように、距離ｚ３、距離ｚ５、及び距離ｚ６をそれぞれ測定するセンサ３２、４２、及び４３を有する。センサ３２の出力信号は、乗算器５０へ送られる。乗算器５０は、センサ３２の出力信号に係数－ｋ１を乗算する。乗算器５０の出力信号は、比較器２８に入力される。比較器２８は、ｚ５＋ｚ６－ｋ１・ｚ３に比例した出力信号をコントローラ６へ送る。本実施形態において、信号－ｋ１／ｚ３は、負荷２と床面１６の間のあらゆる種類の機械的構造（例えば、ケーブル、冷却水、空気バネ、など）を通じて負荷２に到達し得る床面１６の振動を補償するフィードフォワード信号として用いられる。この補償信号は、他の実施形態においても用いることができる。
【００６６】
ここでも、ｚ３とｚ５は固定定数及びマイナス符号のみが異なることに注意。したがって、図１０の構成は、センサ３２又は４２のいずれかを単独で用い、その出力信号を同じ

効果が得られるようにフィルタリングすることによって、簡素化できる。

【００６７】

また、乗算器５０は、一般的に、－ｋ１を乗算すること以外の処理も行うフィルタであってもよいことは明らかである。乗算器５０は、例えば、低域通過フィルタである。

【００６８】

図１１は、本発明の更に別の一実施形態を示している。

【００６９】

図１１の実施形態は、図３のものに似ている。相違点を以下に述べる。

【００７０】

まず、基準質量２２は、床面１６に直接支持されていない。代わりに、基準質量２２は、バネ２４を介して第一のサブフレーム５６によって支持されている。第一のサブフレーム５６は、バネ５７を介して床面１６によって支持されている。

【００７１】

また、アクチュエータ８は、床面１６に直接支持されていない。代わりに、アクチュエータ８は、第二のサブフレーム５４によって支持されている。第二のサブフレーム５４は、バネ５５を介して床面１６によって支持されている。

【００７２】

さらに、空気バネ１０は、床面１６に直接支持されていない。代わりに、空気バネ１０は、第三のサブフレーム５２によって支持されている。第三のサブフレーム５２は、バネ５３を介して床面１６によって支持されている。

【００７３】

第一、第二、及び第三のサブフレーム５２、５４、５６は、互いに接続されていない。

【００７４】

アクチュエータ８に関し、図１１の構成は、以下の利点を有する。センサ２６は、基準質量２２に対する負荷２の変位を測定する。コントローラ６は、上述のように、アクチュエータ８が負荷２に対する制御された力を生み出すように、センサ２６の出力信号に基づいてアクチュエータ８に対する制御信号を生成する。これにより、基準質量２２に対する負荷２の位置が制御される。図３の構成において床面１６の質量が有限であるものとすると、床面１６は、アクチュエータ８によって生み出された力によって変位し得る。図３の構成において、床面１６が変位すると、バネ２４を通じて伝達された力によって基準質量２２も動き得る。その結果：

・望まれていない基準質量２２の動きにより、本制御システムの性能が劣化する：物体は、位置に関してできる限り安定した基準質量２２を持つべきである；

・アクチュエータ８によって生み出された力の伝達により、制御ループが不安定となり得る。基準質量２２が変位すると、センサ２６によって測定されるｚ２の値が変化し、よってアクチュエータ８により生み出される力も変化してしまう。このような不安定な制御ループとならないようにするためには、図３の構成において、制御ループの帯域幅を低減することが必要となるが、これは性能劣化をもたらす。

【００７５】

バネ５５によって床面に支持され、アクチュエータ８を支持するサブフレーム５４を追加することによって、アクチュエータ８によって生成されるあらゆる力を直接床面１６へ伝達させずに、フィルタリングすることができる。これにより、図３の構成よりも、床面１６の変位を小さくすることができ、よって基準質量２２の変位も小さくすることができる。当然、フィルタリングの量及び全体としての改善量は、第一のサブフレーム５４の質量及びバネ５５のバネ定数（及び減衰）に関する設計に依存する。

【００７６】

サブフレーム５４及びバネ５５を追加することによって実現される改善は、バネ５７によって床面１６に支持され、バネ２４を通じて基準質量２２を支持するサブフレーム５６を追加することによって、更に改善することができる。すると、アクチュエータ８と基準質量２２の間の力の伝達を更にフィルタリングする効果が得られる。サブフレーム５４及

び５６の双方を追加することは必ずしも必要ではない。また、図３の構成を上回る改善は、サブフレーム５４を用いずにサブフレーム５６を用いることでも実現できる。

【００７７】

実際の状況においては、上記のようなアクチュエータ８を４つと、センサ２６を３つと、基準質量２２を３つとが存在するようにすることもできることに注意。これら３つのセンサ２６及び３つの基準質量２２は、それぞれが１つのセンサ２６と１つの基準質量２２とを有する３つのセンサユニットとして実現することも可能である。これらセンサユニット及びアクチュエータ８は、互いに離れて配置することも可能である。

【００７８】

最後に、図３の構成に加えて、或いは、図３の構成とは別に、床面１６のあらゆる変位に起因して床面１６から空気バネ１０へ力が直接伝達することを防ぐために、空気バネ１０がサブフレーム５２上に支持されるようにしてもよい。

【００７９】

図１２は、本発明の更に別の一実施形態を示している。

【００８０】

図１２の構成は、図３の構成に、図１において既に説明したスカイフック構成を組み合わせたものである。センサ４は、コントローラ６２への出力信号を生成する。この出力信号は、比較器６０へ入力される。比較器６０は、この出力信号を基準信号Ｚｒｅｆ，ａと比較する。比較器６０は、コントローラ６２への出力信号を生成する。コントローラ６２は、比較器６０から受信した信号に基づいて、制御信号を生成する。この制御信号は、加算器５８において、コントローラ６によって生成された制御信号へ加算される。このようにして、コントローラ６、６２双方からの両制御信号がアクチュエータ８によって生成される力を制御する。当業者には明らかなように、２つの別々のコントローラ６、６２が存在する必要はない。要求される機能は、適切にプログラムされた１つの単体のコントローラによっても提供することが可能である。

【００８１】

図１の従来構成は、０．５～５Ｈｚのサスペンション周波数レンジを持った低周波サスペンションシステムとなる。しかし、図１２の構成では、センサ２６及びコントローラ６を通じた制御ループによって、サスペンション周波数をより高く、例えば２０～８０Ｈｚのレンジ、とすることができる。その場合、図１２の構成において、センサ４は、典型的には２０～８０Ｈｚであるサスペンション周波数を持ったシステムにおける機能に適したものであればよい。実際には、これはより容易なタスクである：０．５～５Ｈｚのレンジでセンサ４を用いることは、当業者には既知のストレッチフィルタを用いるなどの追加的な手段を必要とする。図１２の構成では、このようなフィルタを省くことができる。

【００８２】

当業者には既知のように、本発明は、上述の複数の実施形態に限定されるものではない。複数の代替例が可能である。

【００８３】

例えば、本発明に係る構成は、実際には、図示した並びと上下逆にすることも可能である。また、コントローラ６、３４は、別体のユニットとして図示されているが、実際には、同じコンピュータ上の別々のプログラムとして実現することも可能である。同じ距離を測定するセンサには、同じ符号が付されているが、それらは異なるものであってもよい。フィルタ３８、４０は、コントローラ６の一部であってもよい。フィルタ３８、４０は、アナログフィルタとして実現されてもよく、或いは、デジタルフィルタとして実現されてもよく、或いは、コンピュータ上で動くプログラムの一部として実現されてもよい。比較器２８は、別体のユニットである必要はない。比較器２８は、ユニットとして、又は、コンピュータプログラムの一部として、コントローラ６に組み込まれてもよい。比較器６０は、別体のユニットである必要はない。比較器６０は、ユニットとして、又は、コンピュータプログラムの一部として、コントローラ６２に組み込まれてもよい。乗算器５０も、同様に、コントローラ６に組み込まれた一部分であってもよい。空気バネ１０、１０’は

、重力補正器によって置き換えることができる。センサは、容量性センサであってもよく、或いは、干渉計であってもよい。必要に応じて、コントローラとアクチュエータの間に増幅器を設けることも可能である。

【００８４】

また、様々な実施形態の異なる部分を組み合わせることもできる。例えば、図９の実施形態において、ハウジング４４を省くこともできる。また、図１０において、ハウジング４４を省くこともできる。その場合、センサ４２、４３は、センサ２６によって置き換えられる。

【００８５】

また、負荷２を支持する空気バネを複数個設けることもできる。追加基準質量２２を、２以上の自由度で懸架することも可能である。その場合、追加基準質量２２は、負荷２の位置を２以上の自由度で測定するための良好な基準となる。また、その場合、負荷２と基準質量２２の間隔を測定するためのセンサを複数個設けて、距離及び回転角に関する情報を２以上の自由度で取得することもできる。これらセンサの出力は、負荷２を所望の自由度で作動させる複数のアクチュエータを（適切な増幅器を通じて）制御する多入力・多出力プロセッサに入力される。サスペンション２４を備えた追加基準質量２２を１つ設ける代わりに、複数個設けることもできる。これらすべての代替物／追加物は、請求項の範囲内に含まれる。

【図面の簡単な説明】

【００８６】

【図１】従来の能動型防振システムを示す図である。

【図２ａ】図１の防振システムの伝達率に関する曲線を示す図である。

【図２ｂ】図１の防振システムの追従性に関する曲線を示す図である。

【図２ｃ】図２ａ及び２ｂを説明するための図１の防振システムの概略図である。

【図３】本発明の一実施形態に係る能動型防振システムを示す図である。

【図４ａ】図３及び図１に示した防振システムの伝達率に関する曲線を示す図である。

【図４ｂ】図３及び図１に示した防振システムの追従性に関する曲線を示す図である。

【図５ａ】図１の防振システムの具体的構成における伝達率に関する曲線を示す図である。

【図５ｂ】図１の防振システムの具体的構成における追従性に関する曲線を示す図である。

【図６】本発明に係る能動型防振システムの別の一実施形態を示す図である。

【図７】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

【図８】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

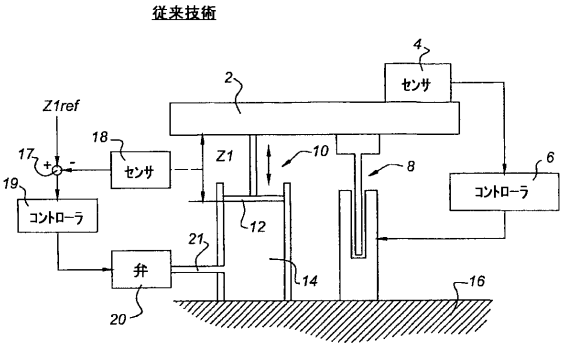
【図９】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

【図１０】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

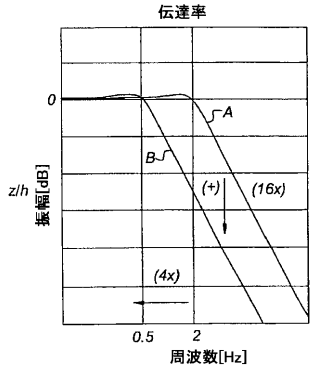
【図１１】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

【図１２】本発明に係る能動型防振システムの更に別の一実施形態を示す図である。

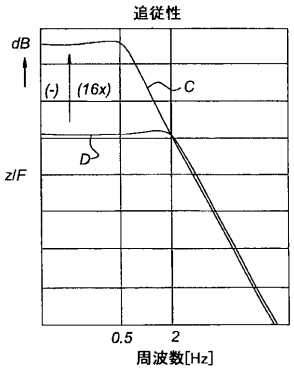
【図１】



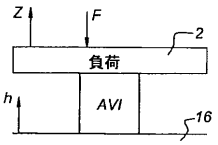
【図２ａ】



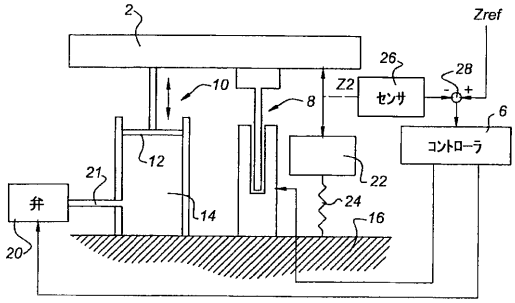
【図２ｂ】



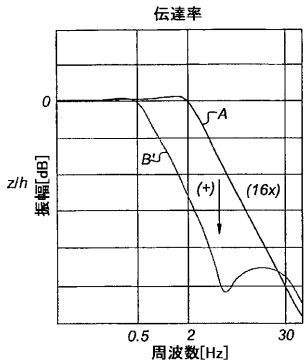
【図２ｃ】



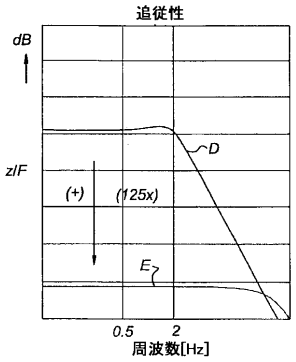
【図３】



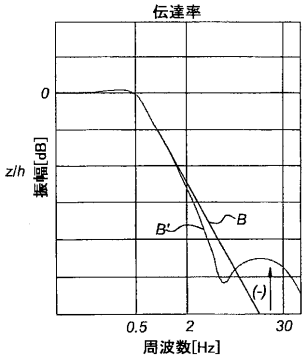
【図４ａ】



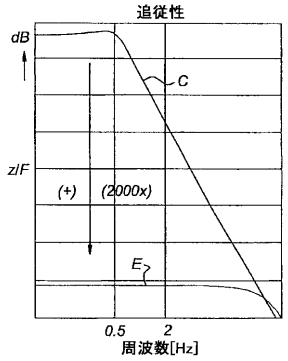
【図４ｂ】



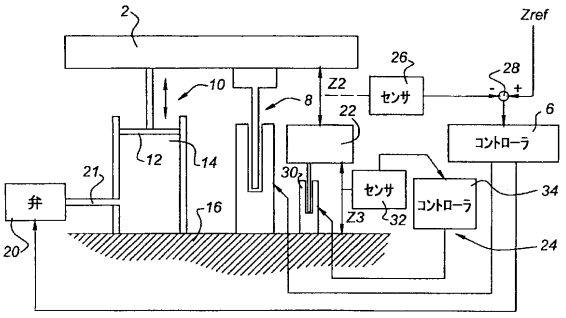
【図５ａ】



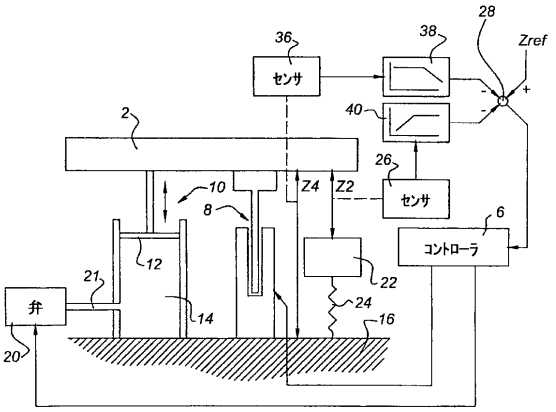
【図５ｂ】



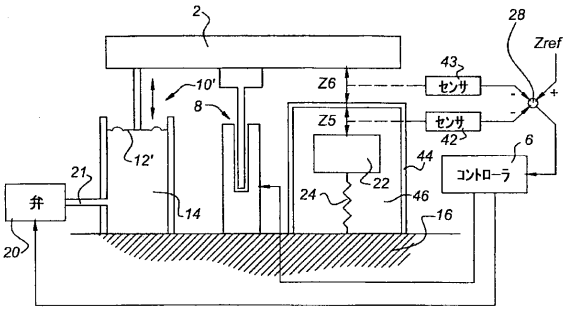
【図６】



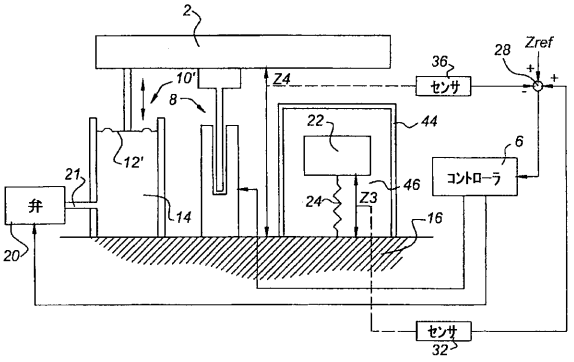
【図７】



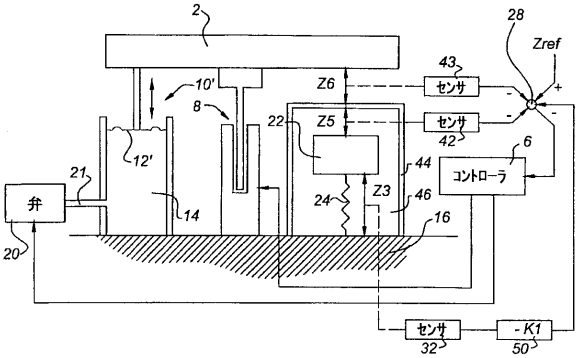
【図８】



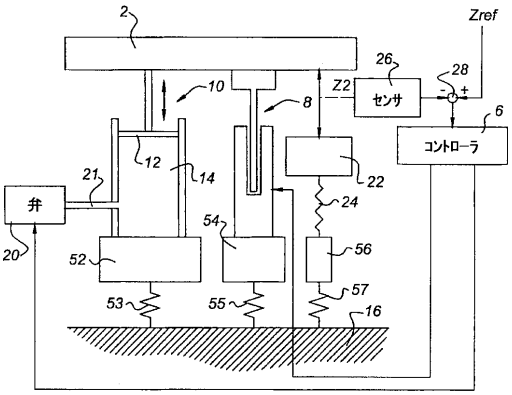
【図９】



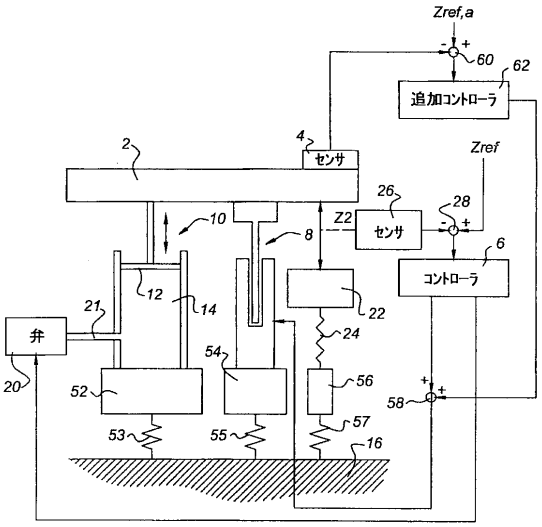
【図１０】



【図１１】



【図１２】


Zref,a
60
62
追加コントローラ
2
4
センサ
Zref
26
28
10
Z2
センサ
8
6
コントローラ
12
14
22
21
24
弁
54
20
52
56
58
53
55
57
16

フロントページの続き

(72)発明者　フェルフォールデルドンク，ミハエル　イェー
オランダ国，５６５６　アーアー　アインドーフェン，プロフ・ホルストラーン　６
(72)発明者　ライル，テオ　アー　エム
オランダ国，５６５６　アーアー　アインドーフェン，プロフ・ホルストラーン　６
(72)発明者　レイス，ロベルテュス　エム　ヘー
オランダ国，５６５６　アーアー　アインドーフェン，プロフ・ホルストラーン　６
(72)発明者　ミュレル，ヨーハネス　セー　アー
オランダ国，５６５６　アーアー　アインドーフェン，プロフ・ホルストラーン　６

審査官　柳楽　隆昌

(56)参考文献　特開平０６－３４７２２１（ＪＰ，Ａ）
実開平０４－０３４５３８（ＪＰ，Ｕ）
特開平０８－０５４０３９（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０６５１２８（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－６５１２８（ＪＰ，Ａ）
特開平７－３１０７７９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
F16F15/00-15/36