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

特許第5438761号
(P5438761)

(45)発行日　平成26年3月12日(2014.3.12)　(24)登録日　平成25年12月20日(2013.12.20)

(51)Int.Cl.　　F I
F16F 9/53 (2006.01)　　F16F 9/53
F16F 9/36 (2006.01)　　F16F 9/36

請求項の数 40　(全 28 頁)

(21)出願番号　特願2011-512599(P2011-512599)
(86)(22)出願日　平成21年6月2日(2009.6.2)
(65)公表番号　特表2011-522196(P2011-522196A)
(43)公表日　平成23年7月28日(2011.7.28)
(86)国際出願番号　PCT/US2009/046037
(87)国際公開番号　WO2009/149132
(87)国際公開日　平成21年12月10日(2009.12.10)
審査請求日　平成24年6月1日(2012.6.1)
(31)優先権主張番号　61/058,203
(32)優先日　平成20年6月2日(2008.6.2)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　501337605
ロード・コーポレーション
アメリカ合衆国ノースカロライナ州２７５１１　ケリー，ロード　ドライブ１１１
(74)代理人　100147485
弁理士　杉村　憲司
(74)代理人　100134005
弁理士　澤田　達也
(74)代理人　100149249
弁理士　田中　達也
(72)発明者　デイビット　ジェイ　カールソン
アメリカ合衆国　ノースカロライナ州　２７５１１　ケーリー　オークリッジ　ロード　４２９

最終頁に続く

(54)【発明の名称】オン状態の降伏強度を向上させた磁気粘性流体ダンパ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
磁気粘性流体ダンパであって、
磁気粘性流体を収容するための内部空洞を有するダンパハウジングと、
少なくとも１つのダンパハウジング内部空洞チャンバを有する前記ダンパハウジングの内部空洞内に配置され、極長L_mの少なくとも第１の磁極を有する磁界発生器を備えた磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリと、
前記磁界発生器に隣接し、間隙幅ｇを有し、比率L_m／ｇが２０以上である少なくとも第１の流路と、
を備え、
前記ダンパハウジングの内部空洞には、磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体が供給され、前記磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体は、前記比率L_m／ｇを有する前記少なくとも第１の流路内を制御可能に流れ、前記ダンパハウジングに対する前記ピストンアセンブリの運動を制御する、
磁気粘性流体ダンパ。
【請求項２】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記磁界発生器を取り囲むフラックスリングを更に備え、前記少なくとも１つの流路は、前記フラックスリングと前記磁界発生器の間に画定される、磁気粘性流体バルブ。

【請求項３】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記間隙幅ｇは、前記少なくとも１つの流路の流れ間隙長さに沿ってほぼ一定である、磁気粘性流体バルブ。
【請求項４】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記少なくとも１つの流路は、環状である、磁気粘性流体バルブ。
【請求項５】
請求項２に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間に画定され、間隙幅g_1を有し、L_m/g_1が２０以上である少なくとも１つの追加的な流路を更に備える磁気粘性流体バルブ。
【請求項６】
請求項５に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間に配設されるフロースプリッタを更に備え、前記フロースプリッタは、前記少なくとも１つの流路と、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間の前記少なくとも１つの追加的な流路とを画定する、磁気粘性流体バルブ。
【請求項７】
請求項６に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記少なくとも１つのフロースプリッタの半径方向厚さは、前記フラックスリングの半径方向厚さの１／２以下である、磁気粘性流体バルブ。
【請求項８】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記透磁性コアは、内側コア部および外側コア部を同心円状に離間された構成で備え、前記電磁コイルは、前記外側コア部に含められる、磁気粘性流体バルブ。
【請求項９】
請求項８に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記内側コア部と前記外側コア部の間に画定され、間隙幅g_1を有し、L_m/g_1が２０以上である少なくとも１つの追加的な流路を更に備える、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１０】
請求項９に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記少なくとも１つの追加的な流路は、前記少なくとも１つの流路と同心である、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１１】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記電磁コイルは、前記少なくとも１つの流路に隣接する前記磁界発生器の表面からオフセットされる、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１２】
請求項２に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記磁界発生器は、前記フラックスリングと結合される、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１３】
請求項１に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記磁界発生器は、それぞれ透磁性材料で作成されるプレートの積層体を備え、前記電磁コイルは、前記プレートのうちの少なくとも１つに形成される陥凹部内に配設される、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１４】
請求項１３に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記少なくとも１つの流路は、前記プレート内に形成される複数の溝によって提供される、磁気粘性流体バルブ。
【請求項１５】
請求項１に記載のダンパであって、前記磁界発生器を取り囲むフラックスリングを更に備え、前記少なくとも第１の流路は、前記フラックスリングと前記磁界発生器の間に存在する、ダンパ。
【請求項１６】
請求項１に記載のダンパであって、前記間隙幅ｇは、前記少なくとも第１の流路の長さに沿ってほぼ一定である、ダンパ。

【請求項１７】
請求項１に記載のダンパであって、間隙幅ｇ１を有し、Ｌｍ／ｇ１が２０以上である少なくとも第２の流路を更に備える、ダンパ。
【請求項１８】
請求項１５に記載のダンパであって、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間に存在し、間隙幅ｇ１を有し、Ｌｍ／ｇ１が２０以上である少なくとも第２の流路を更に備える、ダンパ。
【請求項１９】
請求項１５に記載のダンパであって、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間に配設されるフロースプリッタを更に備え、前記フロースプリッタは、前記少なくとも第１の流路と、前記磁界発生器と前記フラックスリングの間に存在し、間隙幅ｇ１を有し、Ｌｍ／ｇ１が２０以上である少なくとも第２の流路と、を画定する、ダンパ。
【請求項２０】
請求項１９に記載のダンパであって、前記磁気粘性ダンパ流体は、鉄体積分率が２６％を超えない、ダンパ。
【請求項２１】
請求項１９に記載のダンパであって、前記磁気粘性ダンパ流体は、鉄体積分率が１８％未満である、ダンパ。
【請求項２２】
請求項１９に記載のダンパであって、外部アキュムレータを有するダンパ。
【請求項２３】
請求項１９に記載のダンパであって、外部ベース取り付け型アキュムレータを有するダンパ。
【請求項２４】
請求項１９に記載のダンパであって、前記磁気粘性ダンパは、外部ベース取り付け型アキュムレータを有し、ダンパベース通常流れ導管により、ダンパ端ベースから前記外部ベース取り付け型アキュムレータ内に続く曲線状の通常転送流れ経路が提供される、ダンパ。
【請求項２５】
請求項１に記載のダンパであって、前記磁気粘性ダンパは、外部ベース取り付け型アキュムレータを有し、ダンパベース通常流れ導管により、ダンパ端ベースから前記外部ベース取り付け型アキュムレータ内に続く曲線状の通常転送流れ経路が提供され、前記外部ベース取り付け型アキュムレータは、前記ピストンアセンブリの運動と反対の運動により、前記外部ベース取り付け型アキュムレータ内で軸線方向に往復動するアキュムレータピストンを有する、ダンパ。
【請求項２６】
請求項２５に記載のダンパであって、インボードシールおよびピストンロッドベアリングを受ける軸線方向延在フィルタ部材を備えたピストンロッドガイドを有するダンパ。
【請求項２７】
請求項２６に記載のダンパであって、前記ピストンロッドガイドは、第２のアウトボードロッドシールと、アウトボードロッドワイパと、を有する、ダンパ。
【請求項２８】
請求項２７に記載のダンパであって、前記軸線方向延在フィルタ部材は、鉄体積分率が２６％を超えない磁気粘性ダンパ流体から磁性鉄粒子を濾過し、前記磁性鉄粒子が前記第２のアウトボードロッドシールに到達するのを阻止する、ダンパ。
【請求項２９】
請求項２６に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記ピストンロッドガイドは、アキュムレータを備える、磁気粘性流体ダンパ。
【請求項３０】
請求項２６に記載の磁気粘性流体ダンパであって、前記ピストンロッドガイドにチャン

バが設けられ、前記チャンバ内には、前記ダンパハウジングの前記内部空洞から前記チャンバ内で受け取られる磁気粘性流体から粒子を濾過するためのフィルタが配設される、磁気粘性流体ダンパ。

【請求項３１】

磁気粘性流体ダンパを作成する方法であって、

磁気粘性流体を収容するための内部空洞を有するダンパハウジングを設けるステップと、

前記ダンパハウジングの内部空洞を第１のダンパハウジング内部空洞チャンバおよび第２のダンパハウジング内部空洞チャンバに分割し、極長L_mの少なくとも第１の磁極を有する磁界発生器を備えた磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリを設けるステップと、

前記磁界発生器に隣接し、間隙幅ｇを有し、比率L_m／ｇが２０以上である少なくとも第１の流路を設けるステップと、

磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体を供給するステップと、

前記ピストンアセンブリおよび前記磁気粘性ダンパ流体を前記ダンパハウジング内に配設するステップと、

を有し、

前記磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体は、前記比率L_m／ｇを有する前記少なくとも第１の流路内を制御可能に流れ、前記ダンパハウジングに対する前記ピストンアセンブリの運動を制御する、

方法。

【請求項３２】

請求項３１に記載の方法であって、磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体を供給する前記ステップは、前記磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体を、３０％未満の様々な磁性鉄粒子総体積分率を有する複数の異なる磁気粘性ダンパ流体から構成される多様な一群の磁気粘性ダンパ流体から選択するステップを有する、方法。

【請求項３３】

請求項３２に記載の方法であって、少なくとも第１の選択ダンパ流体は、鉄体積分率が２６％を超えない、方法。

【請求項３４】

請求項３２に記載の方法であって、少なくとも第２の選択ダンパ流体は、鉄体積分率が１６％を超えない、方法。

【請求項３５】

請求項３１に記載の方法であって、前記ダンパハウジングの第１の端部を、曲線状の通常転送流れ経路を有するダンパ端ベースで終端するステップを有し、前記曲線状の通常転送流れ経路は、前記ダンパ端ベースに取り付けられた外部ベース取り付け型アキュムレータの内外にダンパ流体流れを転送する、方法。

【請求項３６】

請求項３５に記載の方法であって、ダンパベース通常流れ導管により、前記ダンパ端ベースから前記外部ベース取り付け型アキュムレータ内に続く前記曲線状の通常転送流れ経路が提供され、前記外部ベース取り付け型アキュムレータは、前記ピストンアセンブリの運動と反対の運動により、前記外部ベース取り付け型アキュムレータ内で軸線方向に往復動するアキュムレータピストンを有する、方法。

【請求項３７】

請求項３６に記載の方法であって、前記ダンパハウジングの第２の端部を、軸線方向延在フィルタ部材を備えたピストンロッドガイドで終端するステップを有し、前記軸線方向延在フィルタ部材は、インボードシールおよびピストンロッドベアリングを受ける、方法。

【請求項３８】
請求項３７に記載の方法であって、前記ピストンロッドガイドは、第２のアウトボードロッドシールと、アウトボードロッドワイパと、前記ピストンアセンブリを往復動させる往復動ピストンと、を有する、方法。
【請求項３９】
請求項３８に記載の方法であって、前記軸線方向延在フィルタ部材は、鉄体積分率が２６％を超えない磁気粘性ダンパ流体から磁性鉄粒子を濾過し、前記磁性鉄粒子が前記第２のアウトボードロッドシールに到達するのを阻止する、方法。
【請求項４０】
請求項１に記載のダンパであって、前記ピストンアセンブリは、第１のダンパハウジング内部空洞チャンバおよび第２のダンパハウジング内部空洞チャンバからなる、ダンパ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の相互参照）本願は、２００８年６月２日に出願した米国仮出願第６１／０５８２０３号の利益を主張し、その開示内容を参照により本明細書に援用する。
【０００２】
本発明は、一般に制御可能な流体バルブおよび装置の分野に関する。より詳細には、本発明は、制御可能な磁気粘性流体ダンパ装置に関する。
【背景技術】
【０００３】
磁気粘性（magneto-rheological：ＭＲ）流体ダンパ装置は、典型的にはＭＲ流体を収容するシリンダと、該シリンダ内の往復動をもたらすために配置されるピストンアセンブリと、を有する。ピストンアセンブリは、シリンダ内に２つのチャンバを画定する。ピストンアセンブリは、それらの２つのチャンバ間のＭＲ流体の流れを制御するＭＲ流体バルブ装置を有する。ＭＲ流体バルブ装置は、典型的には２つのチャンバ内のＭＲ流体に対して開口する流路と、該流路内のＭＲ流体に磁界を印加する磁界発生器と、を有する。流路内のＭＲ流体が印加磁界に曝されると、ＭＲ流体の見掛け粘度が上昇し、その結果ピストンアセンブリ全体の差圧が増加する。この差圧の増加は、ダンパ力の増加としても認識される。差圧またはダンパ力は、磁界の強度が高くなると増加する。ＭＲ流体ダンパ装置は、流路内のＭＲ流体に磁界が印加されているときはオン状態になり、流路内のＭＲ流体に磁界が印加されていないときはオフ状態になると考えられる。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特に、ダンパ装置を高いダンパ速度で動作させるときに、オン状態で高いダンパ力を達成し、オフ状態で低いダンパ力を示すＭＲ流体ダンパ装置が必要とされている。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
一実施形態では、本発明は、磁気粘性流体バルブを有する。前記磁気粘性流体バルブは、少なくとも１つの電磁コイル、および極長L_mの少なくとも１つの磁極を有する磁界発生器を有することが好ましい。前記磁気粘性流体バルブは、前記電磁コイルに隣接し、間隙幅ｇを有し、比率L_m／ｇが好ましくは１５以上である少なくとも１つの流路を有することが好ましい。
【０００６】
追加的な一実施形態では、本発明は、磁気粘性流体ダンパを有する。前記磁気粘性流体ダンパは、磁気粘性流体を収容するための内部空洞を有するダンパハウジングを有することが好ましい。前記磁気粘性流体ダンパは、前記ダンパハウジングの内部空洞を第１のダンパハウジング内部空洞チャンバおよび第２のダンパハウジング内部空洞チャンバに分割するピストンアセンブリを有することが好ましい。前記ピストンアセンブリは、極長L_m

の少なくとも第１の磁極を有する磁界発生器を備えた磁気粘性流体バルブと、前記磁界発生器に隣接し、間隙幅ｇを有し、比率$Ｌ_{m}$／ｇが好ましくは１５以上である少なくとも第１の流路と、を有することが好ましい。前記ダンパハウジングの内部空洞には、磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体が供給されることが好ましく、前記磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体は、好ましい前記比率$Ｌ_{m}$／ｇを有する前記少なくとも第１の流路内を制御可能に流れ、それによって前記ダンパハウジングに対する前記ピストンアセンブリの運動を制御することが好ましい。

【０００７】

追加的な一実施形態では、本発明は、磁気粘性流体ダンパを有する。前記磁気粘性流体ダンパは、磁気粘性流体を収容するための内部空洞を有するダンパハウジングを有することが好ましい。前記磁気粘性流体ダンパは、前記ダンパハウジング内に配設されるピストンアセンブリを有することが好ましい。前記ピストンアセンブリは、少なくとも１つの電磁コイルおよび極長$Ｌ_{m}$の少なくとも１つの磁極を有する磁界発生器を備えた磁気粘性流体バルブと、前記少なくとも１つの電磁コイルに隣接し、間隙幅ｇを有し、比率$Ｌ_{m}$／ｇが好ましくは１５以上である少なくとも第１の流路と、を有することが好ましい。

【０００８】

追加的な一実施形態では、本発明は、磁気粘性流体ダンパを作成する方法を有する。前記磁気粘性流体ダンパを作成する方法は、磁気粘性流体を収容するための内部空洞を有するダンパハウジングを設けるステップを有することが好ましい。前記磁気粘性流体ダンパを作成する方法は、前記ダンパハウジングの内部空洞を第１のダンパハウジング内部空洞チャンバおよび第２のダンパハウジング内部空洞チャンバに分割するピストンアセンブリを設けるステップを有することが好ましい。前記ピストンアセンブリは、極長$Ｌ_{m}$の少なくとも第１の磁極を有する磁界発生器を備えた磁気粘性流体バルブと、前記磁界発生器に隣接し、間隙幅ｇを有し、比率$Ｌ_{m}$／ｇが１５以上である少なくとも第１の流路と、を有することが好ましい。前記磁気粘性流体ダンパを作成する方法は、磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体を供給するステップを有することが好ましい。前記磁気粘性流体ダンパを作成する方法は、前記ピストンアセンブリおよび前記磁気粘性ダンパ流体を前記ダンパハウジング内に配設するステップを有することが好ましく、前記磁気粘性流体磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である磁気粘性ダンパ流体は、好ましい前記比率$Ｌ_{m}$／ｇを有する前記少なくとも第１の流路内を制御可能に流れ、それによって前記ダンパハウジングに対する前記ピストンアセンブリの運動を制御することが好ましい。

【０００９】

上述の概略説明および後述の詳細な説明は、いずれも本発明を例示するものであり、特許請求の範囲の各請求項に記載した本発明の性質および特徴を理解するための概要および枠組みを提供するものであることを理解されたい。

【００１０】

後述する添付図面は、本発明の典型的な諸実施形態を例示したものであり、本発明の範囲を限定するものではない。本発明は、その他の等しく有効な実施形態も包含する可能性がある。各図面は、本発明の理解を深めるためのものである。各図面は、本明細書に組み込まれ、本明細書の一部を構成する。図中の要素は必ずしも縮尺どおりではなく、明瞭且つ簡潔な記載を期すために、これらの要素のいくつかの特徴および外観を強調して示すことも概略的に示すこともある。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】流れモードで動作し、内部アキュムレータを有する磁気粘性流体ダンパ装置の断面図である。

【図２Ａ】流れモードで動作し、外部アキュムレータを有する磁気粘性流体ダンパ装置の断面図である。

【図２Ｂ】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、ピストンロッドガイドを含む部分を示す図２Ａの線２Ｂに沿った拡大図である。
【図２Ｃ】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、内部アキュムレータを有するピストンロッドガイドを含むセグメントの断面図である。
【図３】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【図４】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、単一流路を有する磁気粘性流体バルブを備えるピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【図５】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、複数の流路を有する磁気粘性流体バルブを備えるピストンアセンブリを含む部分を示す図２Ａの線５に沿った拡大図である。
【図６】低流量および低圧で動作する３つの同心流路を備える磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリにおける圧力対流量をプロットした図である。
【図７】図６の場合よりも高い流量で動作する３つの同心流路を備える磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリにおける圧力対流量をプロットした図である。
【図８】図７の場合よりも高い流量で動作する３つの同心流路を備える磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリにおける圧力対流量をプロットした図である。
【図９】L_m／ｇが大きい磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリに関する降伏応力対磁界強度をプロットした図である。
【図１０】磁気粘性流体バルブの降伏応力を測定する流れモードレオメータの斜視図である。
【図１１】L_m／ｇ＝２５およびL_m／ｇ＝５０の各磁気粘性流体バルブ内における磁気粘性流体の鉄粒子体積分率の関数として降伏応力をプロットした図である。
【図１２】磁気粘性流体を収容する磁気粘性流体バルブ内の鉄粒子体積分率が１５％～４０％の体積範囲であり、且つL_m／ｇ＝２５であるときの降伏応力を印加磁界の関数としてプロットした図である。
【図１３】本発明の諸実施形態および既存の磁気粘性流体ダンパ装置に関する降伏進行領域のマップを示す図である。
【図１４】L_m／ｇ＝２３．７のデュアルチャネル磁気粘性流体バルブの実測およびモデル予測性能データを示す図である。
【図１５】磁気粘性流体バルブの３ピースフロースプリッタの断面図である。
【図１６】磁気粘性流体バルブの１ピースフロースプリッタの断面図である。
【図１７】剪断モードで動作する磁気粘性流体ダンパ装置を示す図である。
【図１８Ａ】線１８Ａ－１８Ａに沿った図１８Ｃの断面図である。
【図１８Ｂ】図１８Ａに示す断面の斜視図である。
【図１８Ｃ】２つの流路間に電磁コイルが配置された磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリの上面図である。
【図１９Ａ】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、積層透磁性プレートで作成されるピストンアセンブリを含むセグメントの上面図である。
【図１９Ｂ】図１９Ａの線１９Ｂ－１９Ｂに沿った断面図である。
【図２０Ａ】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、複数のチャネルからの流れを合流させるチャンバを備える磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【図２０Ｂ】磁気粘性流体ダンパ装置のうち、複数のチャネルからの流れを合流させるチャンバを備える磁気粘性流体バルブを有するピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【図２１Ａ】流れモードで動作する磁気粘性流体ダンパ装置のうち、２つのコイルを有するピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【図２１Ｂ】部分的に剪断モードで動作する磁気粘性流体ダンパ装置のうち、２つのコイルを有するピストンアセンブリを含むセグメントの断面図である。
【発明を実施するための形態】

【００１２】
以下、添付図面に示したいくつかの好ましい実施形態を参照して本発明について説明する。好ましい諸実施形態に関する以下の説明では、本発明の十分な理解が得られるように諸種の具体的な詳細を記載する。しかしながら、これらの具体的な詳細の一部または全部が欠けている場合にも本発明が実施され得ることは、当業者には理解されるだろう。他の例では、発明が不必要に曖昧になるのを避けるために、周知の機能および／またはプロセスステップについては詳細に説明していない。更に、共通のまたは同様の要素は、同様のまたは同一の参照符号で識別する。
【００１３】
図１は、流れモードで動作する磁気粘性（ＭＲ）流体ダンパ装置１００を概略的に示す。ＭＲ流体ダンパ装置１００は、ダンパハウジング１０２を有する。ダンパハウジング１０２は、ほぼ円筒形であり、閉鎖された第１の先端１０４と、開孔１０８を有する第２の先端１０６と、を有する。ダンパハウジング１０２は、ピストンアセンブリ２００が内部に配置される内部空洞１１０を有する。ピストンアセンブリ２００は、内部空洞１１０を第１のチャンバ１１４と第２のチャンバ１１６に分割する。第１および第２のチャンバ１１４、１１６は、それぞれＭＲ流体１１８を収容することができる。ピストンアセンブリ２００は、ダンパハウジング１０２の長手方向軸線に沿って往復動し、これに応答して流体チャンバ１１４、１１６間に差圧が生じる。このような差圧は、ピストンロッド１２４とダンパハウジング１０２の間に印加される外部刺激力によって生じる可能性がある。無摩擦材料で作成された１つまたは複数の摩耗バンド（wear band）１２０をピストンアセンブリ２００上に取り付けて、ピストンアセンブリ２００の内部空洞１１０内の往復動を支承することができる。摩耗バンド１２０は、ダンパハウジング１０２の内壁と係合し、ピストンアセンブリ２００とダンパハウジング１０２の間の流体シールも提供することができる。ピストンアセンブリ２００は、ＭＲ流体ダンパ装置１００の外部からの刺激に応答してチャンバ１１４、１１６間のＭＲ流体１１８の流れを制御するＭＲ流体バルブを有する。このような刺激は、ピストンロッド１２４を通じて受け取られ得る。ピストンロッド１２４は、１つの端部１２６がピストンアセンブリ２００と結合され、別の端部１２８が運動の制御または制動を必要とする車両座席やシャシのような構造体（図示せず）との結合に利用可能である。ピストンロッド１２４は、開孔１０８を通って延び、ダンパハウジング１０２に対して軸線方向に摺動することができる。開孔１０８とダンパハウジング１０２の間にシール１３０を設けて、内部空洞１１０からの流体の漏れを制御することができる。
【００１４】
ＭＲ流体ダンパ装置１００は更に、ダンパハウジング１０２の内部空洞１１０内にアキュムレータ１３２を有することができる。別法として、以下に示すように、このアキュムレータは、ダンパハウジング１０２の外部に配置することも、ピストンロッドガイドと一体化することもできる。アキュムレータ１３２は、ダンパハウジング１０２内に収容されるＭＲ流体１１８の圧力の過渡変動を最小限に抑え、それによってダンパハウジング１０２内のキャビテーションまたは陰圧のリスクを最小限に抑える働きをすることができる。図１に示す実施形態では、アキュムレータ１３２は、内部空洞１１０内のＭＲ流体チャンバ１１４に隣接するガス充填チャンバとして提供される。ガス充填チャンバ１３２とＭＲ流体チャンバ１１４の間には浮動ピストン１３４を設けることができる。浮動ピストン１３４は、チャンバ１１４、１３２間の差圧に応答して内部空洞１１０内で軸線方向に往復動することができる。浮動ピストン１３４上にシール部材１３６を取り付けて浮動ピストン１３４とダンパハウジング１０２の間を封止し、それによってチャンバ１１４、１３２内の流体の混合を防止することができる。代替的な実施形態では、浮動ピストン１３４の代わりにダイヤフラムまたは他の適切な仕切り部材を使用することができる。ガス充填チャンバ１３２には、充填バルブ１３８を通じてガスを充填することができる。充填ガスは、窒素のような不活性ガスであってよい。代替的な実施形態では、ＭＲ流体ダンパ１００の内部空洞１１０内でブラダ型アキュムレータのような他の形態のアキュムレータを使用

することができる。

【００１５】

図２Ａは、ＭＲ流体ダンパ装置１００の好ましい一実施形態を示し、アキュムレータ１３３は、ダンパハウジング１０２の外部に配置されることが好ましい。この好ましい実施形態では、ダンパベース取り付け型外部アキュムレータ１３３は、流体チャンバ１３５、１３７と、これら流体チャンバ１３５、１３７の間に配設される浮動ピストン１３４と、を有する。浮動ピストン１３４は、浮動ピストン１３４とアキュムレータ１３３の内壁との間のシールを提供するシール部材１４１を担持し、それによって流体チャンバ１３５と流体チャンバ１３７を互いに隔離することができる。ダンパベース通常流れ導管（normal flow conduit）１３９は、ダンパベース取り付け型外部アキュムレータ１３３内の流体チャンバ１３５をダンパハウジング１０２内のＭＲ流体チャンバ１１４に連結する。このダンパベース取り付け型外部アキュムレータ１３３は、ダンパ端ベース１３１に取り付けられることが好ましい。ここで、ダンパベース通常流れ導管１３９は、ＭＲ流体をダンパ端ベース１３１内に通すための曲線状の通常転送流れ経路（normal redirecting flow path）を提供する。ここで、ＭＲ流体は、ダンパハウジング１０２から外部に出て、ダンパベース通常流れ導管１３９を経てダンパベース取り付け型外部アキュムレータ１３３内に流入し、その後、ダンパベース取り付け型外部アキュムレータ１３３の内部を流れてダンパハウジング１０２内に戻る。アキュムレータ１３３のチャンバ１３７は、ガス充填チャンバであることが好ましい。ダンパベース取り付け型外部アキュムレータの浮動ピストン１３４は、ピストンアセンブリ２００およびピストンロッド１２４の運動方向と反対の運動方向に、アキュムレータ１３３内で軸線方向に往復動することが好ましい。図２Ａでは、ダンパハウジング１０２の先端１０４は、ピストンロッド１２４と連結された結合部材１２９内に受けられる。結合部材１２９は、先述したような運動の制御または減衰を必要とする構造体にピストンロッド１２４を連結するのに使用することができる。好ましい諸実施形態では、ダンパハウジング１０２は、アキュムレータが内部に存在しないという点でアキュムレータを有さず、ダンパ装置は、外部アキュムレータ、好ましくはダンパベース取り付け型外部アキュムレータを有することが好ましい。

【００１６】

図２Ａは、ＭＲ流体ダンパ装置１００の好ましい一実施形態を、ピストンロッドガイド１４２の好ましい一実施形態と共に示している。図２Ｂは、このピストンロッドガイド１４２の好ましい実施形態の拡大図である。図２Ｂでは、ピストンロッドガイド１４２は、ダンパハウジング１０２の先端１０４に固定され、ダンパハウジング１０２は、ピストンロッドガイド１４２を受け、ピストンロッドガイド１４２は、ピストンロッド１２４を受けるための通路１２７を有する。ピストンロッドガイド１４２は、任意の適切な方法でダンパハウジング１０２に固定される案内体１４３を有する。図２Ｂに示す実施形態では、取り付け体１４３は、ダンパハウジング１０２の内壁にねじ式連結１４４によって固定される。取り付け体１４３とダンパハウジング１０２の内壁との間を封止するために、取り付け体１４３の外面上にシール１４５が設けられる。取り付け体１４３は、環状チャンバ１４６を有し、環状チャンバ１４６の内側にはフィルタ１４９が取り付けられる。フィルタ１４９は、内側にベアリング１５０が取り付けられるポケットを有する。ベアリング１５０は、フィルタ１４９とピストンロッド１２４の間に置かれ、それによってピストンロッド１２４と係合してピストンロッド１２４の往復動を支承するように取り付けられる。フィルタ１４９は、環状チャンバ１４６内でエンドプレート１５１によって保持され、エンドプレート１５１は、チャンバ１１６内のＭＲ流体がそれを通じてフィルタ１４９に到達できるようになる流体流れポートを有する。フィルタ１４９とピストンロッド１２４の間を封止するために、フィルタ１４９とピストンロッド１２４の間にはロッドシール１５２が設けられる。フィルタ１４９は、流体チャンバ１１６から環状チャンバ１４６に進入するＭＲ流体１１８の磁化可能粒子を濾過除去する。フィルタ１４９は、多孔性の非磁性耐食材料で作成されることが好ましい。好ましい一実施形態では、フィルタ１４９は、細孔径が２５０ｍｍ以下であり、ステンレス鋼で作成される。フィルタ１４９は、ピストン

ロッド１２４に沿って長手方向に且つ軸線方向に延在する焼結ステンレス鋼製の軸線方向延在フィルタ部材と、シール１５２を受けるシールポケットと、ベアリング１５０を受けるベアリングポケットと、から構成されることが好ましい。取り付け体１４３は、第２のアウトボード空洞を有し、この空洞内には第２のアウトボードロッドシール１５３が取り付けられる。ロッドシール１５３は、フィルタ１４９の上方のアウトボード位置で、取り付け体１４３とピストンロッド１２４の間のシールを提供する。取り付け体１４３は更に、第３のアウトボード空洞も有し、この空洞内にはワイパ１５４が取り付けられる。ワイパ１５４は、ピストンロッド１２４が開孔１０８に出入りするときに、ピストンロッド１２４をきれいに拭う。ロッドシール１５２、１５３、およびワイパ１５４は、エラストマー材料のようなシール材料で作成されることが好ましい。

【００１７】

図２Ｃに示す異なる実施形態では、ピストンロッドガイド１７３の案内体１７０は、外側空洞１５５を有するように改変されている。外側空洞１５５上にはダイヤフラム１５７が取り付けられ、ダイヤフラム１５７は、ピストンロッドガイド１７３がダンパハウジング１０２の先端に所定位置で固定されたときにダンパハウジング１０２の内壁に隣接するように配設される。ダイヤフラム１５７および外側空洞１５５は、内部アキュムレータ１５９として機能する空気体積を画定する。アキュムレータ１５９には、ダンパハウジング１０２の壁部内のポート（図示せず）を通じて窒素のような不活性ガスを充填することができる。ダイヤフラム１５７は、ダンパハウジング１０２の内壁とピストンロッドガイド１７３の外面との間の間隙１６９を通じてチャンバ１１６内の流体に曝される。ダイヤフラム１５７は、チャンバ１１６内の圧力の過渡変動に応じて押し下げられまたは膨張する。アキュムレータ１５９を有するピストンロッドガイド１７３は、ＭＲ流体ダンパ装置の内部に続くピストンロッド入口に隣接して内部アキュムレータを設ける。

【００１８】

図３は、ＭＲ流体ダンパ装置に含まれ得る例示的なピストンアセンブリ２００の概略断面図である。ピストンアセンブリ２００は、ほぼ円筒形である。ピストンアセンブリ２００内に設けられるＭＲ流体バルブ２０１は、磁界発生器２０２を有する。一般に、「磁界発生器」という用語は、オン状態においてその強度が制御可能に可変となる制御可能な磁界を発生させる１つまたは複数の電磁（ＥＭ）コイルと、該ＥＭコイルに隣接する磁極とを提供する任意の構造体または構造体の組立体を意味するものと理解されたい。「磁極」とは、磁束を担持する構造体を指す。図３の実施形態では、磁界発生器２０２は、低炭素鋼や他の透磁性の強磁性材料のような透磁性材料で作成されたコア２０６に巻装されるＥＭコイル２０４（例えばマグネットワイヤ）を有する。一般に、コア２０６、ピストンアセンブリ２００の他の構成部品、およびそれらの変形物において使用される透磁性材料の特性を決定する要因の一部は、透磁率、飽和、保磁力、および残留磁気である。透磁率および飽和の値は高いほど望ましく、保磁力および残留磁気の値は低いほど望ましい。ＭＲ流体ダンパにおいて透磁性材料が使用される場合、透磁性材料の相対透磁率は、ダンパ内に収容されるＭＲ流体の相対透磁率よりもずっと大きいことが好ましい。透磁性材料の相対透磁率は、ＭＲ流体の透磁率よりも少なくとも１００倍、好ましくは少なくとも２００倍、より好ましくは少なくとも１０００倍大きいことが好ましい。

【００１９】

コア２０６は、中央片２０６Ａと、中央片２０６Ａの両端のフランジに見える極片２０６Ｂ、２０６Ｃと、を有する。各極片２０６Ｂ、２０６Ｃは、極長L_mの磁極をそれぞれ提供する。極片２０６Ｂ、２０６Ｃ間の間隔は、極間隔Ａとして指定される。いくつかの代替的な実施形態では、磁極は、コア２０６と一体化されなくてもよく、代わりにコア２０６の上下にある他の透磁性構造体によって提供することができる。中央片２０６Ａは、円筒形であってもよい。ＥＭコイル２０４は、中央片２０６ＡにＮ回巻回される。ＥＭコイル２０４は、中央片２０６Ａの陥凹部内に配設されるボビン上に巻装することができる。ＥＭコイル２０４は、極片２０６Ｂ、２０６Ｃ間に配置される。コア２０６は、外部配線２２３、２２５をＥＭコイル２０４に接続することを可能にする通路（図示せず）を有

することができる。ＥＭコイル２０４は、極片２０６Ｂおよび２０６Ｃの周面２０６Ｂ１および２０６Ｃ１と同一平面となるように中央片２０６Ａ上に配置することができる。エポキシのような非磁性材料を使用してＥＭコイル２０４を中央片２０６Ａ上の所定位置に固定することができる。この非磁性材料は、ＥＭコイル２０４の空間を埋め、それによって流体がＥＭコイル２０４の間に入るのを防止することもできる。別法として、図４に示すように、ＥＭコイル２０４は、極片２０６Ｂ、２０６Ｃの各周面２０６Ｂ１、２０６Ｃ１と同一平面にならない（各周面より窪む）ようにすることもできる。ＥＭコイル２０４に隣接してスペーサ２１２を配置することにより、極片２０６Ｂ、２０６Ｃによって提供される磁極を分離する磁気的不連続性を生み出すことができる。スペーサ２１２は、アルミニウムやプラスチックのような非磁性材料、または透磁率が非常に低い材料で作成することができる。

【００２０】

図３に戻ると、ピストンアセンブリ２００内に設けられたＭＲ流体バルブ２０１は更に、磁界発生器２０２を取り囲むフラックスリング２１４を有する。フラックスリング２１４の断面は、典型的には円形であるが、正方形や六角形のような他の断面形状が使用されてもよい。フラックスリング２１４は、コア２０６に関して上述したような透磁性材料で作成される。好ましい一実施形態では、フラックスリング２１４は、磁界発生器２０２と同心であり、磁界発生器２０２から半径方向に離間される。ＭＲ流体バルブ２０１は更に、磁界発生器２０２とフラックスリング２１４の間に画定される流路２１６を有する。流路２１６は、環状であってよく、磁界発生器２０２と同心とすることができる。図３に示す例では、フラックスリング２１４の長さは、磁界発生器２０２の長さ（L_p）とほぼ同じである。フラックスリング２１４は、例えばエンドプレート２２０、２２２を使用して磁界発生器２０２と結合される。エンドプレート２２０、２２２は、それぞれフラックスリング２１４の陥凹部と係合するリップ２２０Ａ、２２２Ａを有する。エンドプレート２２０、２２２は、それぞれコア２０６上の隆起部と係合する陥凹部２２０Ｂ、２２２Ｂを有する。エンドプレート２２０、２２２は、それぞれ流路２１６と整列するオリフィス２２０Ｃ、２２２Ｃを有する。オリフィス２２０Ｃ、２２２Ｃの鋭い端縁がある場合は、流路２１６の先端において流れが阻害されるのを回避するために、それらの端縁は流路２１６からセットバックされることが好ましい。エンドプレート２２０、２２２を使用して磁界発生器２０２をフラックスリング２１４と結合させる代替的な手法は、フラックスリング２１４の先端とコア２０６の間に連結リブ（図示せず）を形成することである。

【００２１】

ピストンアセンブリ２００がＭＲ流体ダンパ１００、１４０内に配設されると、ＭＲ流体ダンパ内のＭＲ流体１１８によって流路２１６が満たされる。ＭＲ流体は、ミクロサイズの磁化可能粒子、好ましくは鉄粒子の非コロイド懸濁液である。ＥＭコイル２０４には電気配線２２３、２２５を通じて電流が供給され、それによってＥＭコイル２０４が通電するとともに磁界が発生し、この磁界が流路２１６内のＭＲ流体全体に印加される。磁束２１８は、コア２０６を経て流路２１６を横切り、好ましくはフラックスリング２１４を通過し、再び流路２１６を横切ってコア２０６内に入る経路内を移動することが好ましい。磁束２１８（破線および矢印で示す）は、極片２０６Ｂ、２０６Ｃに対して垂直であることが好ましい。流路２１６に磁界が印加されると、流路２１６内のＭＲ流体の見掛け粘度が上昇し、その結果、制御可能な磁界のオン状態がもたらされる。流路２１６内のＭＲ流体の降伏強度は、オン状態になった磁界の強度を変更することによって制御することができる。ＭＲ流体ダンパ（図１の１００または図２の１４０）は、流れモードで動作する。つまり、流路２１６を画定する各表面が垂直磁界および流路２１６内の軸線方向の流れに対して静止状態で保持される。極片２０６Ｂ、２０６Ｃおよびフラックスリング２１４の流路２１６に面する各表面は、慣性および遷移効果を最小限に抑えるためにそれぞれ平滑であることが好ましい。

【００２２】

流路２１６は、流路２１６を横切る磁束２１８の流れ方向に沿って測定される間隙幅ｇ

を有する。流路２１６の間隙幅ｇは、流路２１６の流れ間隙長さに沿って一定またはほぼ一定であることが好ましい。後で証明するように、このＭＲ流体ダンパは、$Ｌ_{m}$／ｇが大きいときに高いオン状態降伏強度を達成する。$Ｌ_{m}$／ｇが大きいというのは、$Ｌ_{m}$／ｇが１５以上であることを指す。より好ましくは、$Ｌ_{m}$／ｇは２０以上である。最も好ましくは、$Ｌ_{m}$／ｇは２５以上である。他の好ましい実施形態では、$Ｌ_{m}$／ｇは２０～５０である。図３に示すピストンアセンブリの幾何形状であれば、$Ｌ_{m}$／ｇは、$Ｌ_{m}$を増加またはｇを減少させることにより、より大きい値とすることができる。しかしながら、$Ｌ_{m}$を増加させると、ピストンアセンブリの全長が望ましくないほど長くなり、コア２０６およびフラックスリング２１４の磁気飽和も発生する。磁気飽和を回避するには、コア２０６の直径$Ｄ_{core}$およびダンパハウジング１０２の厚さ$ｔ_{wall}$を増加させる必要がある。そのため、ダンパ寸法が大きくなる。ｇを急激に減少させると、許容できない高さのオフ状態力がもたらされる。

【００２３】

ＭＲ流体ダンパの寸法を大幅に増加させることなく$Ｌ_{m}$／ｇを大きくする好ましい一手法は、間隙幅$ｇ_{i}$（ただし、ｉは１～Ｎ、Ｎ＞１）を有するＮ個の流路を利用することである。この場合、各流路ｉの$Ｌ_{m}$／$ｇ_{i}$が大きくなる。間隙幅ｇが０．５ｍｍ、$Ｌ_{m}$／ｇが２５のとき、$Ｌ_{m}$は約１２．５ｍｍとなる。間隙幅$ｇ_{1}$、$ｇ_{2}$（$ｇ_{1}$および$ｇ_{2}$はそれぞれ０．５ｍｍ）の２つの流路を有する系では、ＭＲ流体チャンバ間の流体流れが合計１．０ｍｍの総間隙幅を利用することが可能となる。単一流路を有する系において間隙幅＝１ｍｍ、$Ｌ_{m}$／ｇ＝２５を達成するには、$Ｌ_{m}$を２５ｍｍとする、すなわち、２つの流路を有する系で必要とされる$Ｌ_{m}$の２倍の長さが必要となる。この例は、オン状態降伏強度が向上したコンパクトなダンパが複数の流路を利用して実現され得ることを証明する。先述のとおり、高いオン状態降伏強度は、$Ｌ_{m}$／ｇを大きくすることによって達成される。$Ｌ_{m}$／ｇが大きいというのは、$Ｌ_{m}$／ｇが１５以上であることを指す。より好ましくは、$Ｌ_{m}$／ｇは２０以上である。最も好ましくは、$Ｌ_{m}$／ｇは２５以上である。他の好ましい実施形態では、$Ｌ_{m}$／ｇは２０～５０である。

【００２４】

図５は、複数の流路を有する好ましい一実施形態のピストンアセンブリ２００を示す。好ましい複数の流路を形成するために、磁界発生器２０２とフラックスリング２１４の間にフロースプリッタ２３０が配設され、それによって磁界発生器２０２とフラックスリング２１４の間の２つの流路２３２、２３４が画定される。エンドプレート２２０、２２２は、フロースプリッタ２３０をフラックスリング２１４および磁界発生器２０２のコア２０６と結合させる機能を有することができる。好ましい一実施形態では、フロースプリッタ２３０は、リング形状であり、磁界発生器２０２およびフラックスリング２１４と同心である。その結果、磁界発生器２０２およびフラックスリング２１４と同心の環状流路２３２、２３４が得られる。３つ以上の流路が望まれる場合は、磁界発生器２０２とフラックスリング２１４の間に追加的なフロースプリッタを配設することができる。一般に、Ｎ個の流路（ただし、Ｎ＞０）を画定するのにＮ－１個のフロースプリッタが必要となる。流路２３２は間隙幅$ｇ_{1}$、流路２３４は間隙幅$ｇ_{2}$を有する。一般に、磁界発生器２０２とフラックスリング２１４の間に形成される各流路は、間隙幅$ｇ_{i}$（ただし、ｉは１～Ｎ、Ｎは流路数）を有することができる。各流路の間隙幅は、同じであっても異なっていてもよい。上述のとおり、高いオン状態降伏強度では、$Ｌ_{m}$／$ｇ_{i}$は大きくなる（ただし、ｉは１～Ｎ、Ｎは流路数）。$Ｌ_{m}$／$ｇ_{i}$は流路単位で計算されることに留意されたい。

【００２５】

間隙幅$ｇ_{i}$＝ｇが等しく流路内の磁界が等しい複数の環状流路をピストンアセンブリ２００が有する場合、ＭＲ流体ダンパ内に配置されたときのピストンアセンブリ２００全体の差圧は、近似的に次式で与えられる。

【００２６】

【数１】

$$P=\frac{12\cdot\eta\cdot Q\cdot L_p}{w\cdot g^3}+\frac{6\cdot c\cdot\tau_{MR}(H)\cdot L_m}{g}+\frac{k\cdot Q^2\cdot\rho}{w^2\cdot g^2} \qquad (1)$$

【００２７】

上式で、

η：ＭＲ流体粘度

Ｑ：ＭＲ流体体積流量（ダンパ速度×ピストンアセンブリの直径の２乗に比例）

L_p：ピストンアセンブリの長さ

ｇ：流路の間隙幅

ｗ：ＭＲ流体バルブの横幅。公称的には

【００２８】

【数２】

$$\pi\sum_{i=1}^{N}D_i$$

【００２９】

と等しい（ただし、D_iはｉ番目の間隙の平均直径）。

τ_{MR}（Ｈ）：磁界ＨにおけるＭＲ流体の降伏応力

L_m：電磁石の極長

２＊L_m：電磁石の有効極長

ｃ：２～３の動的流量計数

ｋ：０～１．５の動的流量計数

【００３０】

式（１）の定数「ｃ」は、流路内の特定の流れ条件に依存する。流路内の流量がゼロであれば、ｃは２となる。流量が高く、粘度が高く、間隙ｇが非常に狭い条件下では、係数ｃは、３の値に近付く。定数「ｋ」は、主に流路内のレイノルズ数、すなわち乱流度に依存する。レイノルズ数が非常に高い場合には、ｋはほぼ１．０となる。レイノルズ数が低い層流の場合には、ｋはオフ状態でほぼ０．６８となる。ＭＲ流体ダンパがオン状態であり、大きい誘起降伏強度を有するとき、ｋはほぼ０．５となる。

【００３１】

式（１）において、第１項は、流体粘度および体積流量に比例するオフ状態の粘性項であり、第２項は、オン状態の磁界誘起による降伏強度によって追加される圧力であり、第３項は、流体密度と体積流量の２乗とに依存する慣性項である。粘性項は、wg^3の逆数に比例する。第２項は、磁気粘性項であり、ｇの逆数に比例する。慣性項は、w^2g^2の逆数に比例する。高いダンパ速度では、圧力と２次の関係を有する慣性項は、オフ状態の粘性項と同等または該粘性項より何倍も大きくなる可能性がある。このことが意味するのは、オフ状態の慣性項が最小化されていなければ、オフ状態の差圧（またはダンパ力）が非常に大きくなる可能性があるということである。本発明では、L_m／ｇを大きくし、電磁石とフラックスリングの間に複数の流路を設け、各流路の間隙幅を小さくすることにより、オン状態のダンパ力を低下させずにオフ状態の慣性項が最小化される。間隙幅は、大きいL_m／ｇを達成するために可能な限り小さくすることができ、典型的には約０．５ｍｍとすることができる。

【００３２】

L_m／ｇを大きくすることに加えて、D_{piston}／ｇも大きくすることができる。D_{piston}は、ピストンアセンブリの直径である。D_{piston}／ｇを大きい比率にすることの重要性は、流路内の流体速度、および高い流体速度における式（１）の第３項である慣性項の２次増加と関係付けられる。流路内の流体速度は、ピストンアセンブリの速度にピストンアセンブリの直径D_{piston}の２乗を掛け、それを流路面積ｗ＊ｇ

で割った値に比例する。ただし、ｗは、式（１）に関して説明したように、ピストンアセンブリ内に設けられるバルブの横幅である。複数の間隙を設けることによりｗを増加させることができ、それにより、慣性項を小さく維持しながらｇを減少またはＤ$_{piston}$を増加させることが可能となる。ｇを減少させると、オン状態の差圧が増加し、Ｄ$_{piston}$を増加させると、差圧とピストン面積の積である全体のダンパ力が増加する。好ましくは、Ｄ$_{piston}$／ｇは６６より大きい。より好ましくは、Ｄ$_{piston}$／ｇは８０より大きい。更に好ましくは、Ｄ$_{piston}$／ｇは９０より大きい。最も好ましくは、Ｄ$_{piston}$／ｇは１２０より大きい。

【００３３】

ピストンアセンブリ２００内の流路が等しくない場合、および／または異なる流路の磁界誘起による降伏強度が等しくない場合は、ピストンアセンブリ全体の圧力は、以下の１組の方程式によって記述される。

【００３４】

【数３】

$$P_i = \min\left[\left\{\frac{12\cdot\eta\cdot Q\cdot L_p}{w_i\cdot g_i^{3}}+\frac{6\cdot c\cdot\tau_{MR}(H_i)\cdot L_m}{g_i}+\frac{k_i\cdot Q_i^{2}\cdot\rho}{w_i^{2}\cdot g_i^{2}}\right\},P_{k\neq i}\right] \qquad (2)$$

【００３５】

$$P_{piston}=P_1=P_2=\ldots=P_i \qquad (3)$$

【００３６】

式（２）に記述した状況は、流路に応じて流量が異なるため、式（１）に記述した状況よりも遥かに複雑である。場合によっては、結果として得られるＰ$_{piston}$に応じて、一部の間隙に流れがまったく存在しない可能性もある。式（２）は、それ自体Ｎ個の方程式の集合である（ただし、Ｎは同心流路の数、添え字ｉおよびｋの範囲は１～Ｎである）。一例として、ｉ＝１のとき、式（２）は、流路１に起因する差圧が波括弧内の第１項の最小値となるか、または他の流路、すなわちｋ＝２，３，．．．，Ｎのうちの１つにおける差圧となることを意味すると解釈される。なお、各間隙の差圧は、最終的に同じになり、式（３）に示すようにピストンアセンブリ全体の差圧と等しくなる。

【００３７】

上記の１組の方程式は、図６～図８を参照すればより理解が深まるだろう。図６は、３つの同心流路の流量および圧力が低い場合を示す。３つの曲線は、式（２）の波括弧部分で与えられる、３つの流路それぞれの理論上の圧力対流量である。この場合、最小圧力降下は破線Ａで示される。ここで、非ゼロ流量の流れを有する唯一の流路は、チャネル３である。チャネル１および２に関する曲線は、いずれも最小圧力降下を上回っており、したがって、すべてのチャネルの全体の圧力は、Ａによって与えられる。図７は、全体の流量が増加し、その結果、破線Ｂによって与えられるようにチャネル２とチャネル３の両方に流れが存在するようになったときに何が起こるかを示す。チャネル１には依然として流れは存在しない。チャネル２の流量はＱ$_2$、チャネル３の流量はＱ$_3$である。Ｑ$_2$とＱ$_3$は同じではない。図８は、全体の流れが増加し、その結果、互いに異なる３つのすべてのチャネルＱ$_1$、Ｑ$_2$、Ｑ$_3$に流れが存在するようになったときに何が起こるかを示す。この場合、圧力は破線Ｃによって与えられる。

【００３８】

図９は、降伏応力を磁界強度の関数としてプロットした図である。プロット内には実測および予測降伏応力が示されている。本例では、Ｌ$_m$／ｇは２５であり、ＭＲ流体の鉄含有量は２２体積％である。このプロットは、実測降伏応力が予測降伏応力の２倍より大きいことを示しており、Ｌ$_m$／ｇを大きくすることによって達成可能な降伏応力の増加現象を指示する。測定は、流れモードレオメータを使用して行った。図１０は、ＥＭコイル（図示せず）が巻装されたプラスチックボビン３０２を有するレオメータ３００を示す。プラスチックボビン３０２は、鋼製の極片３０６、３０８に挟まれる。極片３０６、３０８

は、ステンレス鋼製の非磁性スペーサ３１０によって離間される。非磁性スペーサ３１０は、流路（図示せず）を有する。入口管３１２および出口管３１４は、非磁性スペーサ３１０内の流路と整列するように非磁性スペーサ３１０の両端と結合される。この流路は、間隙幅ｇの矩形断面を有する。極片３０６、３０８は、極長L_mを有する。測定を行うために、レオメータ３００を金属シリンダ（図示せず）内に配置する。レオメータ３００および金属シリンダをインストロン試験機（図示せず）内に配置し、インストロン試験機は、プランジャを指定のレートで押し下げ、それによりＭＲ流体をスペーサ３１０内の流路に送り込む。ロードセルは、その結果プランジャにかかる力を測定する。この力から、レオメータによる圧力を計算する。計算した圧力を使用して、印加磁界によって生じるＭＲ流体の降伏強度を決定する。

【００３９】

図１１および図１２は、L_m／ｇを大きくすることによって達成される降伏強度の増加現象の他の例を示す。図１１は、磁界強度１００ｋＡ／ｍにおける、L_m／ｇ＝２５およびL_m／ｇ＝５０のＭＲ流体の降伏応力対鉄粒子体積分率を示す。図１１は、鉄粒子体積分率が減少するに従って降伏応力が増加することを示している。図１１は、L_m／ｇが大きいほど降伏強度が高くなることも示している。図１２は、L_m／ｇ＝２５のＭＲ流体の様々な鉄粒子体積分率に関する降伏応力対印加磁界を示す。図１２は、鉄粒子体積分率が減少すると、印加磁界の強度に関わらず降伏応力が増加することも示している。図１１および図１２から、上述のようなL_m／ｇが大きいときに生じる降伏の進行は、体積分率の低い磁化可能粒子、好ましくは鉄粒子を有するＭＲ流体を使用することによって更に改善され得ると結論付けることができる。

【００４０】

ＭＲ流体は、＜３０体積％の磁性鉄粒子を含有することが好ましく、好ましくは≦２６体積％の磁性鉄粒子、好ましくは＜２５体積％の磁性鉄粒子、好ましくは＜２３体積％の磁性鉄粒子、好ましくは＜２１体積％の磁性鉄粒子、好ましくは≦１９体積％の磁性鉄粒子、好ましくは≦１７体積％の磁性鉄粒子、好ましくは≦１６体積％の磁性鉄粒子を含有する。ＭＲ流体は、約２６体積％（（２６±１）体積％）の磁性鉄粒子を含有することが好ましい。ＭＲ流体は、約１５体積％（（１５±３）体積％）の磁性鉄粒子を含有することが好ましい。ＭＲ流体の磁性鉄粒子の体積百分率は、約１０～２０（総体積の百分率）であることが好ましい。

【００４１】

ＭＲ流体は、好ましくは≦１９体積％（総体積の百分率）の磁性鉄粒子、および≧６０体積％（総体積の百分率）のキャリア流体で構成され、キャリア流体は、好ましくは≧６４体積％のキャリア流体、≧６６体積％のキャリア流体、≧６９体積％のキャリア流体であり、また、好ましくは約７１体積％（（７１±３）体積％）のキャリア流体であり、好ましくは油キャリア流体であり、好ましくは炭化水素油キャリア流体である。キャリア流体は、ポリアルファオレフィンで構成されることが好ましい。

【００４２】

磁性鉄粒子は、鉄で構成されることが好ましい。磁性鉄粒子は、カルボニル鉄粒子で構成されることが好ましい。代替的な好ましい一実施形態では、磁性鉄粒子は、水アトマイズした鉄粒子で構成される。磁性鉄粒子の密度は、７～８．２ｇ／ｍｌであることが好ましく、好ましくは約７．５～８．２ｇ／ｍｌ、好ましくは約７．８６ｇ／ｍｌ（７．８６±０．３０ｍｌ）である。

【００４３】

ＭＲ流体は、磁性鉄粒子およびキャリア流体に加えて添加剤も含むことが好ましい。好ましくは、ＭＲ流体は、耐摩耗添加剤を含む。ＭＲ流体は、ＭＲ流体装置の寿命および耐摩耗性を高め、ＭＲ流体の作用に関する摩耗を阻止するとともに、磁性鉄粒子によるＭＲ流体装置の構成部品の摩擦および摩損を阻止する少なくとも１つの耐摩耗添加剤を含むことが好ましい。好ましくは、ＭＲ流体の耐摩耗添加剤は、モリブデンを含み、好ましくは有機モリブデンを含む。ＭＲ流体は、酸化防止添加剤を含むことが好ましい。ＭＲ流体は

、ＭＲ流体の作用に関するＭＲ流体およびＭＲ流体装置の酸化を阻止するとともに、磁性鉄粒子によるＭＲ流体装置の構成部品の摩擦および摩損を阻止する少なくとも１つの酸化防止添加剤を含むことが好ましい。好ましくは、ＭＲ流体の酸化防止添加剤は、リン酸化防止添加剤を含み、好ましくは無灰ホスホロジチオアート酸化防止添加剤を含む。ＭＲ流体は、沈降防止添加剤を含むことが好ましい。ＭＲ流体は、キャリア流体内の磁性鉄粒子の懸濁を補助して粒子の沈降を阻止し、それらの懸濁状態を維持するのに役立つ少なくとも１つの沈降防止添加剤を含むことが好ましい。ＭＲ流体の沈降防止添加剤は、クレーを含むことが好ましく、好ましくは有機クレー、好ましくは有機クレーゲル化剤を含み、好ましくは活性剤で活性化され、好ましくは炭酸プロピレンを含む。ＭＲ流体は、ＭＲ流体シール膨潤コンディショナー添加剤（swelling conditioner additive）を含むことが好ましい。ＭＲ流体は、流体に曝されるＭＲ流体装置内のシールの状態を調整し、好ましくはシールを膨潤させ、ＭＲ流体装置からの流体の漏れを阻止する少なくとも１つのＭＲ流体シール膨潤コンディショナー添加剤を含むことが好ましい。ＭＲ流体シール膨潤コンディショナー添加剤は、セバシン酸を含むことが好ましく、好ましくはセバシン酸ジオクチルを含む。

【００４４】

磁性鉄粒子は、好ましくはキャリア流体と混合されてキャリア流体内に分散されることが好ましい。磁性鉄粒子およびキャリア流体に加えて添加剤も含む場合は、添加剤もキャリア流体に混合されることが好ましい。好ましい諸実施形態では、ＭＲ流体は、好ましくは回転式ロータステータ混合により、キャリア流体内の磁性鉄粒子および添加剤を混合および分散させるための混合期間にわたって、回転ミキサによって回転混合される。

【００４５】

磁性鉄粒子の総体積が＜３０体積％であるＭＲ流体は、体積百分率測定に基づく各成分からＭＲ流体を作成、提供することによって提供されることが好ましい。ＭＲ流体には、３０％未満の磁性鉄粒子総体積百分率が与えられることが好ましい。多様な一群のＭＲ流体に対して３０％未満の様々な磁性鉄粒子総体積百分率が与えられ、それにより、ダンパ装置およびそれらのピストンの複数の環状流路を充填するための、磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満であるＭＲ流体の選択群が提供されることが好ましい。少なくとも、磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である第１のＭＲ流体と、磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である異なる第２のＭＲ流体とが、選択およびダンパ装置の充填用に提供され、それにより、少なくとも２つの異なる車両ダンパ性能が提供されることが好ましい。好ましい一実施形態では、本発明は、少なくともＶ通り（ただし、Ｖ＞１）の磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満であるＭＲ流体を提供するステップと、前記少なくともＶ通りの磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満であるＭＲ流体群から、比率L_m／ｇが１５以上である少なくとも１つの流路にとって好ましい車両ダンパ性能を実現する、磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満であるＭＲ流体を選択するステップと、を含む。好ましい諸実施形態では、ここで選択される磁性鉄粒子総体積百分率が３０％未満である第１および第２のＭＲ流体は、図５の好ましい複数の環状流路を有する図２Ａの好ましいダンパに関して選択したような磁性鉄粒子１５体積％のＭＲ流体および磁性鉄粒子２６体積％のＭＲ流体である。好ましい磁性鉄粒子１５体積％のＭＲ流体は、密度７．８６ｇ／ｍｌの１５体積％のカルボニル鉄粒子；密度０．９２ｇ／ｍｌの１０体積％のセバシン酸ジオクチル；密度１．６０ｇ／ｍｌの１．６５体積％の有機クレーゲル化剤；密度１．１８９ｇ／ｍｌの０．４８体積％の炭酸プロピレン；密度１．０６ｇ／ｍｌの．７０体積％の無灰ホスホロジチオアート；密度１．０４ｇ／ｍｌの０．８７体積％の有機モリブデン錯体；および密度０．８１ｇ／ｍｌの７１．３０体積％のポリアルファオレフィン炭化水素油キャリア流体から作成した。約８０パーセントの炭化水素油キャリア流体の初期混合物は、有機クレーゲル化剤、炭酸プロピレン、および回転式ミキサロータステータ内で混合した有機モリブデン錯体の半分で作成し、次いでカルボニル鉄粒子を混合し、その後残りの成分を追加して混合した。その結果得られた＜３０体積％の磁性鉄粒子を有し、好ましい磁性鉄粒子レベルが１５体積％であるＭＲ流体は、好ましくは約１．８８ｇ／ｍｌの密度を有し、摂氏０

度の粘度が約１４４ｃＰ、摂氏２５度の粘度が約４５ｃＰであった。同様に、磁性鉄粒子総体積百分率が２６体積％であるＭＲ流体は、２６体積％のカルボニル鉄粒子から作成した。同様に、磁性鉄粒子総体積百分率が２２体積％であるＭＲ流体は、２２体積％のカルボニル鉄粒子から作成した。

【００４６】

ＭＲ流体の磁性鉄粒子は、鉄粒子体積分率が０．１～０．４５、好ましくは０．１～０．４であることが好ましい。ＭＲ流体の磁性鉄粒子は、鉄粒子体積分率が０．３未満、好ましくは０．２未満であることが好ましい。

【００４７】

図１３は、本発明の好ましい諸実施形態による降伏進行領域を定義するマップである。横軸は比率L_m/g、縦軸は$L_m/g/\phi$である。ここで、φは鉄粒子体積分率を指す。本発明の好ましい諸実施形態によるＭＲ流体ダンパは、大きいボックス３１１の範囲内である。表１に示すL_m、ｇ、φの各特性を有する既存のＭＲ流体ダンパは、小さいボックス３１２の範囲内である。表１に列挙した（図１３の小さいボックス３１２の範囲内の）すべてのダンパは、L_m/gが１３以下、$L_m/g/\phi$が５０未満である。小さいボックス内のバルブについては、大幅な降伏強度増加は観察されない。本発明によるＭＲ流体バルブは、大きい方のボックスの範囲内である。本発明による流体バルブは、L_m/gが１５を上回り、$L_m/g/\phi$が５０を上回る。

【００４８】

【表１】

ダンパＩＤ	Ｌｍ（ｍｍ）	ｇ（ｍｍ）	L_m/g	ϕ	$L_m/g/\phi$
A	24	2.0	12	.40	27
B	16	1.5	10.7	.40	24
C	6.5	0.7～1.3	5～9.3	.22～.26	19～42
D	6	0.5	12	.28	42
E	13	1.0	13	.32～.35	37～41
F	20	2	10	.32	31
G	～17	3	5.7	.35	16
H	10	2	5	.32	16
I	20	1.5	13	.32	41
J	17	3	5.7	.35	16.2
K	12	1.25	9.6	.26	37

【００４９】

図１４は、外径７６ｍｍのデュアルチャネルダンパに関する実測性能データを示す。本ダンパには、１５体積％の鉄粒子を含有するＭＲ流体が充填される。本ダンパは、０．５ｍｍ幅の均一な間隙ｇを有し、L_mは１１．８５ｍｍであり、したがってL_m/gは２３．７ｍｍである。本ダンパについて測定された力は、図中の実線および各データ点で指示される。３アンペアの入力電流で観察された力を達成するには、本ダンパ内の流体は、２．２５の降伏強度進行係数を示さなければならない。上側の破線２１１は、本ダンパが２．２５の降伏進行係数を示す１５％のＭＲ流体を含む場合、すなわち、ＭＲ流体の見掛け降伏強度が回転式直接剪断レオメータで通常測定される降伏強度の２倍より大きい場合の予測性能である。

【００５０】

図５に戻ると、フロースプリッタ２３０における磁束損失および磁界の漏れにより、フラックスリング２１４に最も近い流路２３２内の磁束密度は、フラックスリング２１４か

らより離れた流路２３４内の磁束密度よりも小さくなる傾向がある。したがって、フラックスリング２１４に最も近い流路２３２内の流体は、フラックスリング２１４からより離れた流路２３４内の流体よりも先に降伏し流れることになる。このような影響は、フラックスリング２１４に最も近い流路２３２の間隙幅g_1をフラックスリング２１４からより離れた流路の間隙幅g_2よりも小さくすることによって補償することができる。

【００５１】

フロースプリッタ２３０は、高い磁束密度で磁気的に飽和し、それにより、磁束がフロースプリッタ２３０の軸線方向長さに沿って流れるように制限することが好ましい。例えば、図１５に示すように、フロースプリッタ２３０は、１対の透磁性部２３８に挟まれ、それらと連結される非磁性部２３６を有する。別法として、フロースプリッタ２３０は、非磁性部２３６および透磁性部２３８を有し、非磁性部２３６がＥＭコイル（図５の参照符号２０４）と対向する関係になるように透磁性部２３８の中央部に埋め込まれると考えることもできる。非磁性部２３６は、１対の透磁性部２３８の間の磁束の流れを防止する。透磁性部２３８は、高透磁率強磁性材料のような高透磁率材料で作成されることが好ましい。別の実装環境では、図５に示すように、フロースプリッタ２３０は、低炭素鋼のような透磁性材料で作成される非常に薄い、例えば半径方向厚さが１ｍｍ程度の単一のリングである。この薄い単一のリングの中央領域２３９は、磁気的に飽和状態となり、それによって磁束の軸線方向の流れが制限される。別の実施形態では、図１６に示すように、フロースプリッタ２３０は、低炭素鋼のような透磁性材料で作成され、薄くされた中央部２４０を有する単一のリング２４２とすることができる。先述の例の場合と同様に、薄くされた中央領域２４０は、磁気的に飽和状態となるのが早く、フロースプリッタ２３０内の磁束の軸線方向の流れを制限する。薄くされた中央領域２４０は、エポキシのような非磁性材料２４４で埋め戻すことによってフロースプリッタ２３０の軸線方向長さに沿った半径方向厚さを均一にすることができ、それによって円滑且つ均一な流体流れ経路を保持することができる。ＨｙＭｕ８０（ニッケル８０％と鉄２０％）や、初期の透磁性が非常に高く比較的低い磁束密度で飽和するその他の鉄‐ニッケル合金等の強磁性合金で１ピースフロースプリッタ２３０を作成すれば、性能改善を達成することができる。

【００５２】

フロースプリッタ２３０の中央領域が薄くされる場合（図１６の参照符号２４０参照）、または非磁性材料を含む場合（図１５の参照符号２３６参照）には、薄くされた領域または非磁性材料の長さ（Ｂ）は、極間隔（図５のＡ）よりも小さいことが好ましい。好ましくは、Ｂ＜Ａ－２ｇである。より好ましくは、Ｂ＜Ａ－５ｇである。最も好ましくは、Ｂ＜Ａ－１０ｇである。パラメータ「ｇ」は、流路の間隙幅である。Ｎ個の流路が存在する場合、パラメータ「ｇ」は、複数の流路の間隙幅の平均として定義することができる。流路２３２、２３４（図５）が存在する場合、ｇは、（g_1＋g_2）／２と定義することができる。

【００５３】

フロースプリッタ２３０は、磁気飽和を回避するのに十分な厚さのコンパクトなピストンアセンブリ２００およびフラックスリング２１４が提供できるようにするために、半径方向厚さは薄いことが好ましい。一例として、フロースプリッタ２３０は、半径方向厚さを２ｍｍ以下、好ましくは半径方向厚さを１ｍｍ以下とすることができる。フロースプリッタ２３０の半径方向厚さは、フラックスリング２１４の半径方向厚さを大幅に下回るべきである。これは、フロースプリッタ２３０内の磁束の軸線方向の流れを制限しながら、フラックスリング２１４内の磁束の軸線方向の流れを容易にするためである。スプリッタ２３０の厚さは、フラックスリング２１４の厚さの１／２以下であることが好ましい。フロースプリッタ２３０の厚さは、フラックスリング２１４の厚さの１／３以下であることがより好ましい。スプリッタ２３０の厚さは、フラックスリング２１４の厚さの１／４以下であることがより好ましい。

【００５４】

これまで、ＭＲ流体バルブの１つ（または複数）の流路がピストンアセンブリ２００内

に配置される例およびその変形例に関して、ＭＲ流体ダンパ装置の説明を行ってきた。しかしながら、１つ（または複数）の流路をピストンアセンブリ２００の外部に配置することも可能であり、その変形例も同様に可能である。図１７は、ＭＲ流体バルブの流路３０４がピストンアセンブリ３２４とダンパハウジング３２０の間に配置される系の一例を示す。流路３０４は、間隙幅ｇを有する。本例では、ピストンアセンブリ３２４は、先述した磁界発生器２０２を有する。先述の例の場合と同様に、L_m／ｇは大きい。本例では、ダンパハウジング３２０は、透磁性材料で作成されるフラックスリングとして機能する。一般に、動作中に磁界発生器２０２を取り囲むダンパハウジング３２０の少なくとも一部分は、透磁性材料で作成すべきである。磁界発生器２０２は、通電したときに流路３０４内のＭＲ流体全体に磁界を印加する。磁束３０５は、磁界発生器２０２のコア２０６の下から上へと進んで流路３０４を横切り、ダンパハウジング３２０の上から下へと進んで流路３０４を横切り、再びコア２０６の下から上へと進む単一の連続経路内を移動する。この場合、ＭＲ流体ダンパ装置は、剪断モードで動作する。つまり、流路３０４を画定する表面のうちの１つまたは複数が、流路２１６内の垂直磁界および軸線方向の流れに対して静止状態で保持されないことになる。ここで、磁界発生器２０２は、流路３０６、３０８の差圧に応答して、ダンパハウジング３２０に対して軸線方向に移動する。

【００５５】

図１８Ａ～図１８Ｃは、複数の環状流路を有するＭＲ流体バルブを有し、且つＥＭコイル４０５を有する磁界発生器４０２がフロースプリッタとして機能する、ＭＲ流体ダンパ装置と共に使用されるピストンアセンブリ４００を示す。先述の例の場合と同様に、ピストンアセンブリ４００は、ほぼ円筒形である。図１８Ａ～図１８Ｃに示す実施形態では、磁界発生器４０２は、先述したような透磁性材料で作成されるフラックスリング４０４と同心である。磁界発生器４０２のコア４０６は、互いに同心である内側コア部４０８および外側コア部４１０を有する。外側コア部４１０は、ＥＭコイル４０５および極片４１６、４１８を有する。極片４１６、４１８は、長さL_mの磁極を提供する。内側コア部４０８は、内側コア部４０８と外側コア部４１０の間に流路４１２が画定されるように、外側コア部４１０から半径方向に離間される。流路４１２は、間隙幅g_2を有する。先述のとおり、L_m／g_2は大きい。フラックスリング４０４と磁界発生器４０２の間には流路４０３が画定される。流路４０３は、間隙幅g_1を有する。先述のとおり、L_m／g_1は大きい。間隙幅g_1およびg_2は、同じであっても異なっていてもよい。必要に応じて、磁界発生器４０２とフラックスリング４０４の間には、１つまたは複数のフロースプリッタを使用して追加的な流路を画定することもできる。内側コア部４０８と外側コア部４１０の間にも、１つまたは複数のフロースプリッタを使用して追加的な流路を画定することができる。ＥＭコイル４０５は、非磁性材料で作成され得るケーシング４１４内に設けることができる。ＥＭコイル４０５は、外側コア部４１０内の極片４１６、４１８間で支持されるケーシング４１４のコイル部４２４に設けることができる。ケーシング４１４は、内側コア部４０８内に支持されるハブ部４２２を有する。コイル部４２４とハブ部４２２は、リブ部４２６によって連結することができる。リブ部４２６は、電気配線４２０をハブ部４２２に挿入してコイル部４２４内のＥＭコイル４０５に接続することを可能にする導管を有することができる。適切な連結機能を有するエンドプレート４２８、４３０を使用して、内側コア部４０８および外側コア部４１０をフラックスリング４０４と結合させることができる。エンドプレート４２８、４３０は、流路４０３、４１２と連結される溝４２９、４３１を有する。

【００５６】

図１９Ａおよび図１９Ｂは、積層プレートで作成される、ＭＲ流体ダンパ装置と共に使用されるピストンアセンブリ４５０を示す。ピストンアセンブリ４５０は、上述したような透磁性材料で作成されるプレート４５２の積層体を有する。各プレート４５２には、例えばウォータジェットを使用して複数の溝４５４が外側円形経路４５６に沿って刻まれる。各プレート４５２には、例えばウォータジェットを使用して複数の溝４５５も内側円形経路４５８に沿って刻まれる。内側円形経路４５８および外側円形経路４５６は、同心で

ある。代替的な諸実施形態では、ＭＲ流体バルブで望まれる流路数に応じて、複数の溝は、プレート４５２内の１つの円形経路に沿って刻まれることも３つ以上の円形経路に沿って刻まれることもある。各円形経路は、流路を表す。円形経路４５６に沿った溝４５４は、ブリッジ４６０によって分断される。また、円形経路４５８に沿った溝４５５は、ブリッジ４６１によって分断される。円形経路４５６と４５８の間に閉じ込められるプレート４５２の部分４５７は、スプリッタとして機能する。スプリッタは、側剛性を得るために比較的厚くすることができる。溝４５４、４５５は、ＭＲ流体バルブの流路を提供する。図１９Ｂは、中間プレート４５２がＥＭコイル４６５を取り付けるためのポケットと、ピストンロッド１２４と係合する表面とを有する例を示す。中間プレート間の（ＥＭコイル４６５に隣接する）間隙４５９は、エポキシのような非磁性材料で埋め戻すことができる。プレート４５２は、ボルト４６３で互いに保持される。ダンパハウジング１０２内のピストンアセンブリ４５０の往復動を支承するために、プレート４５２のうちの１つまたは複数に摩耗バンド４６７を装着することができる。図１９Ａおよび図１９Ｂに示すピストンアセンブリは、ＭＲダンパにマルチ環状流路ピストンアセンブリを提供することが好ましい。

【００５７】

図２０Ａは、ＥＭコイル５０３を含む磁界発生器５０２を備えたＭＲ流体バルブを有するピストンアセンブリ５００を示す。ピストンアセンブリ５００は、磁界発生器５０２を取り囲む磁束体（flux body）５０４を有する。ピストンロッド１２４は、磁界発生器５０２と結合される。ピストンアセンブリ５００は、ダンパハウジング１０２内に配設される。フロースプリッタ５０８は、磁束体５０４と磁界発生器５０２の間の環状間隙５０５内に配設され、それによって間隙内に同心の環状流路５１０、５１２が形成される。フロースプリッタ５０８は、１つまたは複数のタック（tack）５１４を使用して、磁束体５０４と磁界発生器５０２の間の所定位置に保持することができる。フロースプリッタ５０８は、間隙５０５の全長にわたっては延在せず、それにより、流路５１０および５１２からの流体が合流するチャンバ５１６が間隙５０５内に形成されるようになっている。磁束体５０４のベース５１５は、合流チャンバ５１６と連通する溝または孔部５１８を有する。ダンパハウジング１０２内のピストンアセンブリ５００の往復動を支承するために、磁束体５０４に摩耗バンド５２０を装着することができる。図２０Ａでは、フロースプリッタ５０８は、ＥＭコイル５０３の真上の位置で停止する。図２０Ｂは、ＥＭコイル５０３の上部の下方まで延在するフロースプリッタ５２２が環状流路５１０および５１２の形成に使用され得る例を示す。これにより、合流チャンバ５１６の寸法が縮小される。図２０Ａおよび図２０Ｂでは、追加的なフロースプリッタを使用して磁界発生器５０２と磁束体５０４の間に３つ以上の環状流路を形成することができる。

【００５８】

図２１Ａは、２つのＥＭコイル５３４、５３６を含む磁界発生器５３２を備えたＭＲ流体バルブを有するピストンアセンブリ５３０を示す。ピストンロッド１２４は、磁界発生器５３２と結合される。ピストンアセンブリ５３０は、磁界発生器５３２および磁極片５４０、５４２を取り囲むフラックスリング５３８を有する。磁界発生器５３２とフラックスリング５３８の間の間隙内には、流路５４４が形成される。磁界発生器５３２内には流路５４６が形成される。流路５４６は、例えばウォータジェットを使用してプレートに刻まれる複数の溝であってよい。流路５４４、５４６は、同心である。磁極片５４０、５４２は、流路５４４、５４６に対して開口する孔部５４８、５５０をそれぞれ有する。ピストンアセンブリ５３０は、ダンパハウジング１０２内に配設される。ダンパハウジング１０２内のピストンアセンブリ５３０の往復動を支承するために、フラックスリング５３８に摩耗バンド５５４を装着することができる。

【００５９】

図２１Ｂは、ボルト５６９で互いに保持されるプレート５７０の積層体で作成されるコア５６３を有する磁界発生器５６２を備えたＭＲ流体バルブを有するピストンアセンブリ５６０を示す。磁界発生器５６２は、ピストンロッド１２４と結合される。プレート５７

０は、透磁性材料で作成される。ＥＭコイル５６４、５６８は、中間プレート５７０ａ、５７０ｂのポケット内に配置される。プレート５７０間の（ＥＭコイル５６４、５６８に隣接する）陥凹部５７１は、エポキシのような非磁性材料で埋め戻すことができる。ＥＭコイル５６４、５６８の上下にあるプレート５７０の各部分は、磁極として作用する。プレート５７０は、流路５７４を画定する溝５７２を有する。ピストンアセンブリ５６０は、ダンパハウジング５７８内に配設される。ピストンアセンブリ５６０の外径は、ダンパハウジング５７２の内壁とピストンアセンブリ５６０の外壁との間に流路５７６が形成されるように、ダンパハウジング５７８の内径よりも小さくなっている。したがって、図２１Ｂの実施形態では、ＭＲ流体ダンパ装置は、部分的に剪断モードで動作し、部分的に流れモードで動作する。

【００６０】

以上、限られた数の実施形態に関して本発明の説明を行ってきたが、本開示の利益を享受する当業者なら、本明細書に開示した本発明の範囲から逸脱しない他の実施形態が考案される可能性があることを理解するはずである。したがって、本発明の範囲は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるべきである。

【図１】

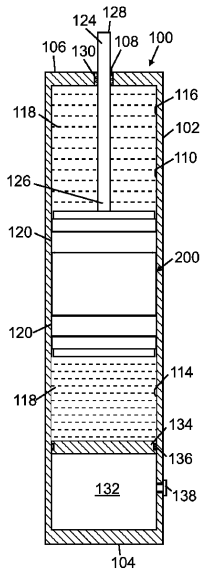


FIG. 1

【図２Ａ】

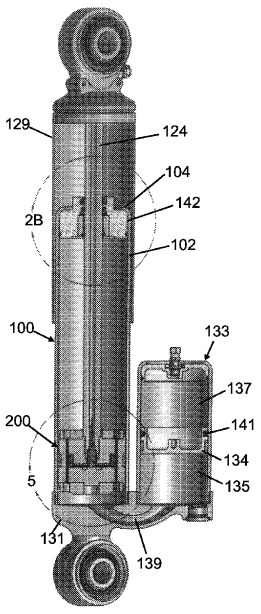


FIG. 2A

【図２Ｂ】

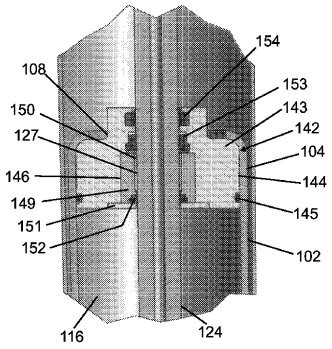


FIG. 2B

【図２Ｃ】

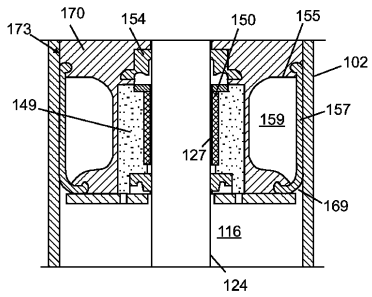


FIG. 2C

【図３】

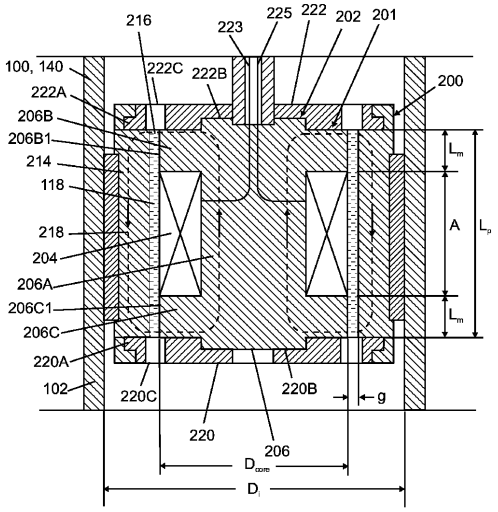


FIG. 3

【図４】

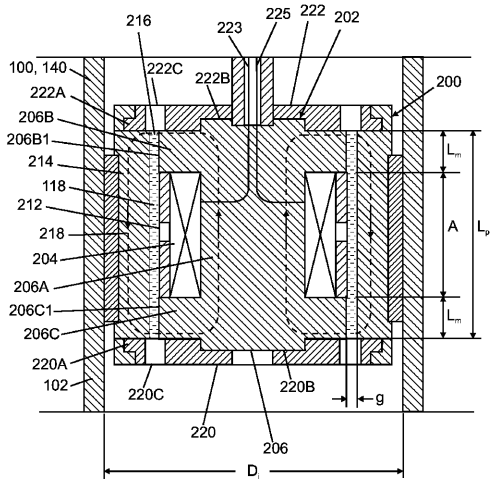


FIG. 4

【図５】

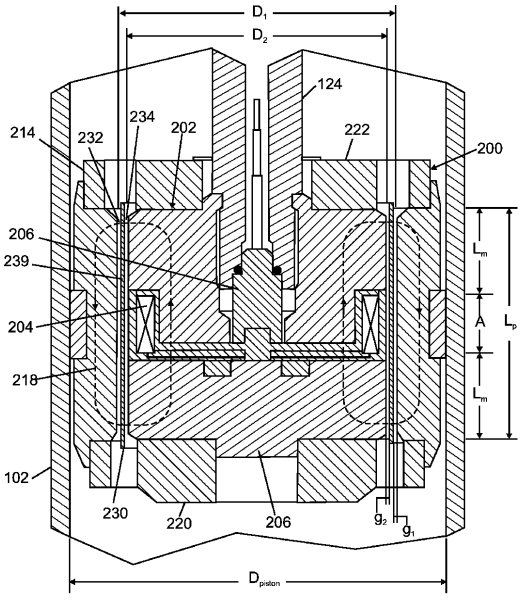
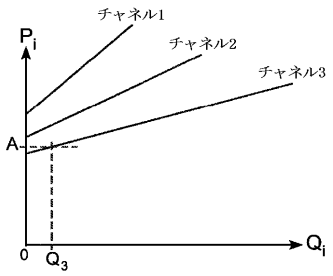
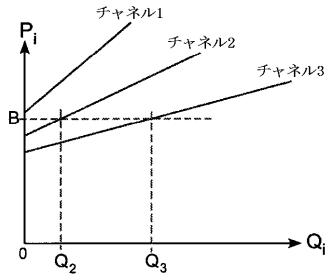


FIG. 5

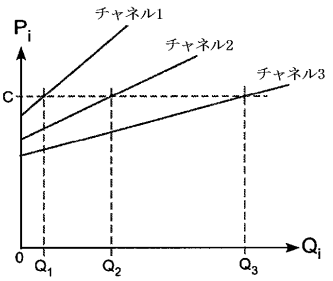
【図６】



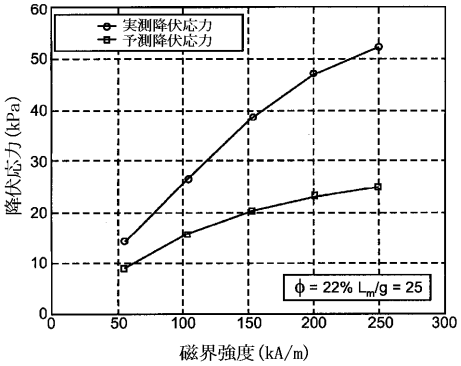
【図７】



【図８】



【図９】



【図１０】

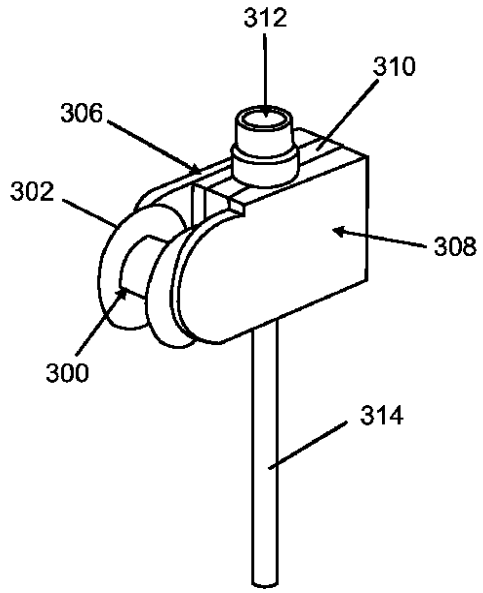
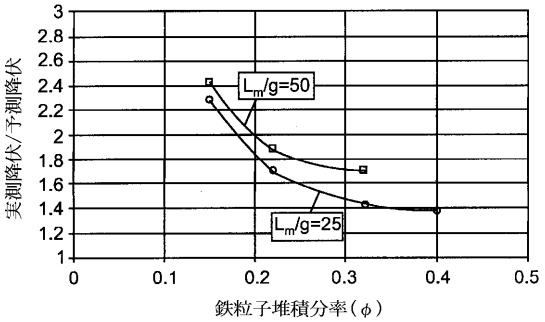
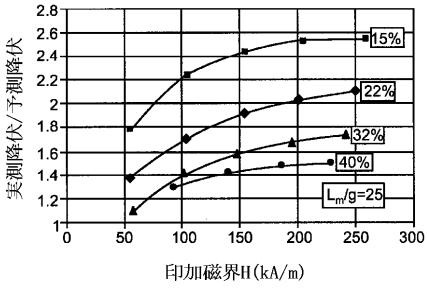


FIG. 10

【図１１】



【図１２】



【図１３】

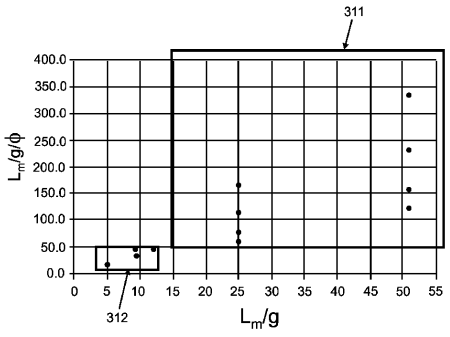
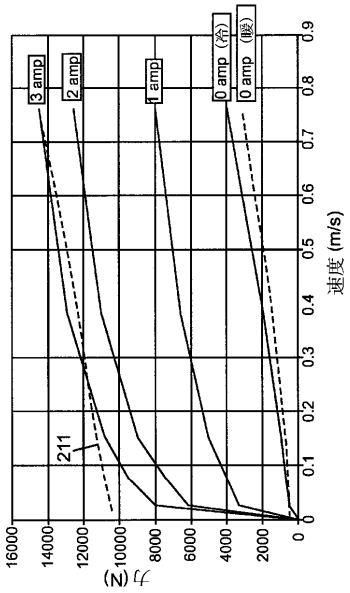


FIG. 13

【図１４】



【図１５】

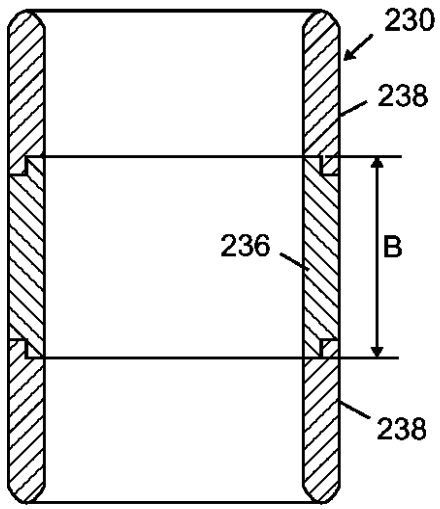


FIG. 15

【図１６】

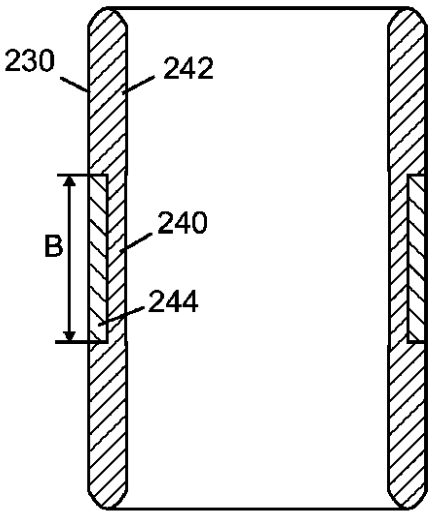


FIG. 16

【図１７】

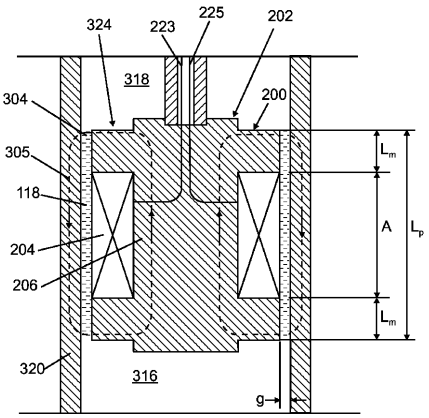


FIG. 17

【図１８Ａ】

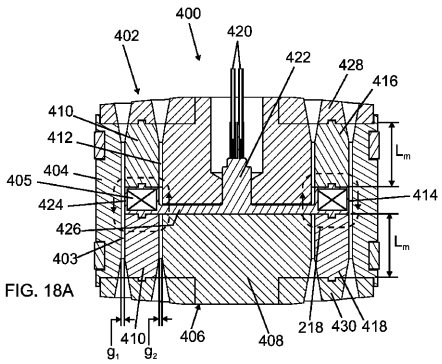


FIG. 18A

【図１８Ｂ】

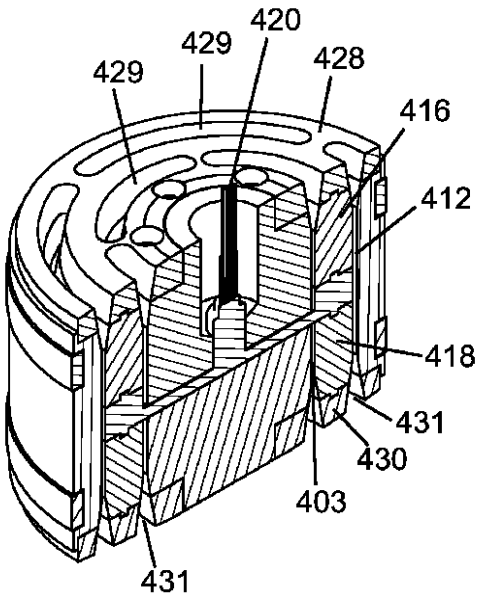


FIG. 18B

【図１８Ｃ】

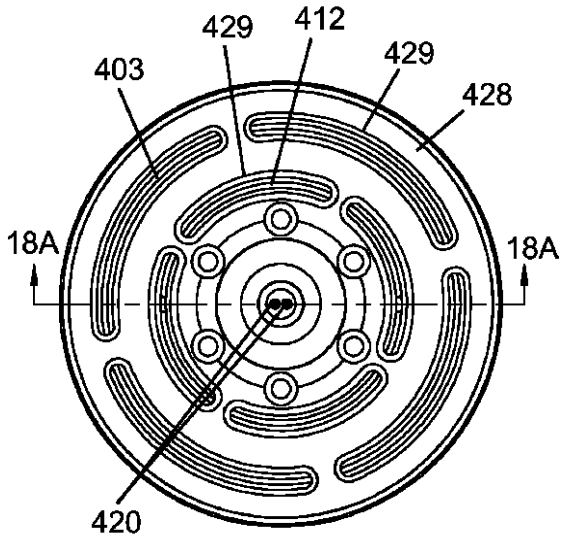


FIG. 18C

【図１９Ａ】

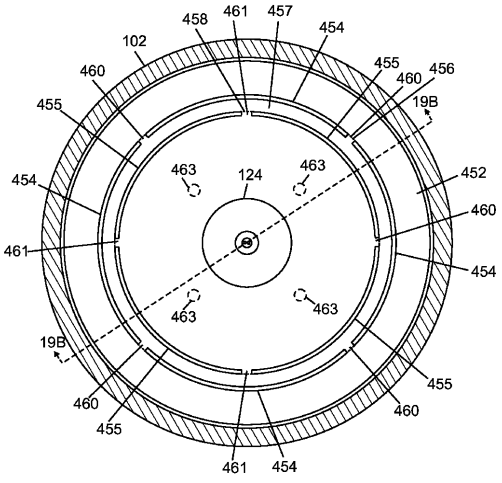


FIG. 19A

【図１９Ｂ】

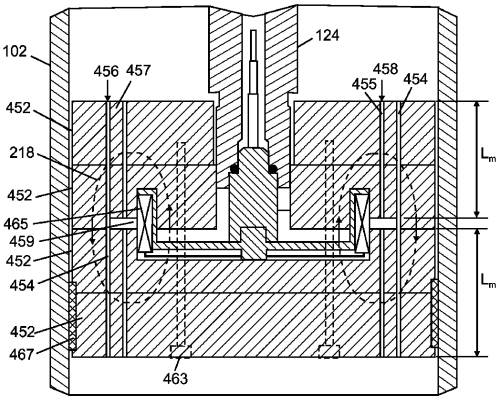


FIG. 19B

【図２０Ａ】

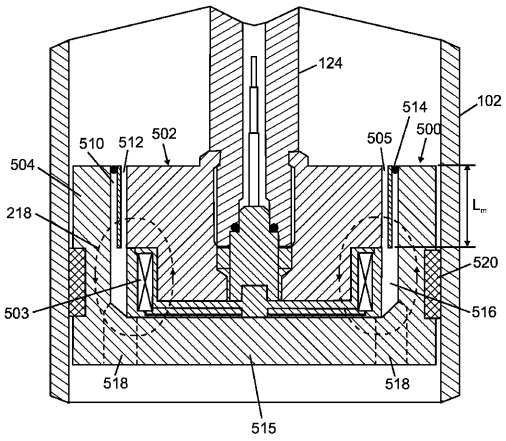


FIG. 20A

【図２０Ｂ】

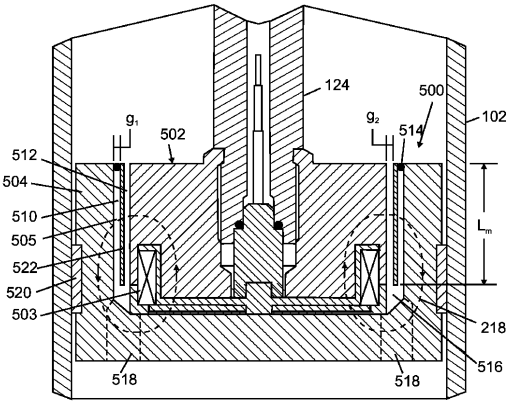


FIG. 20B

【図２１Ａ】

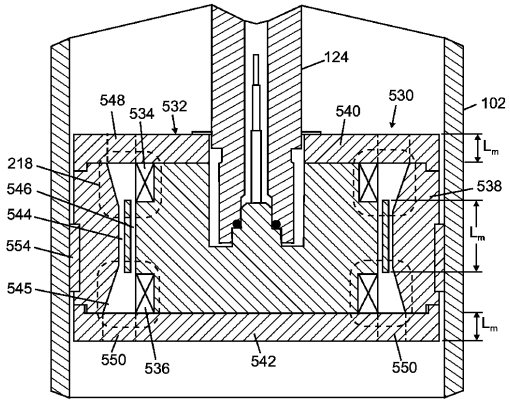


FIG. 21A

【図２１Ｂ】

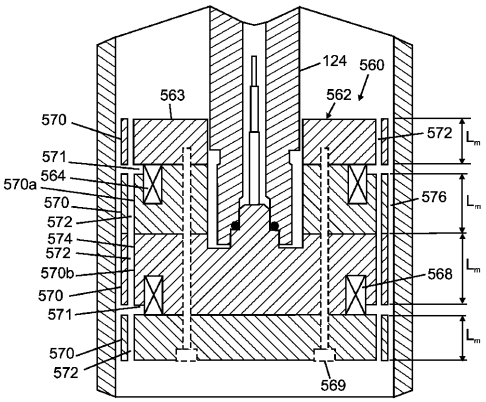

124
560
563
562
570
572
571
564
570a
570
572
574
572
570b
570
571
570
572
576
568
569
L_m
L_m
L_m
L_m

FIG. 21B

フロントページの続き

(72)発明者　マーク　アール　ジョリー
アメリカ合衆国　ノースカロライナ州　２７６０９　ローリー　ウェスト　レノア　ストリート　９０９
(72)発明者　ダグラス　イー　イバーズ
アメリカ合衆国　ノースカロライナ州　２７５１１　ケーリー　ツリアラン　レーン　１０３

審査官　岩田　健一

(56)参考文献　特開２００８－００２６１１（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６４７１０１８（ＵＳ，Ｂ１）
特表２００６－５０５９５７（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６２７９７００（ＵＳ，Ｂ１）
特開２００４－２７０７１９（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２５５７０５（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２７２７３２（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－２２０２６５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－１６７１３７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ１６Ｆ　　９／００－　９／５４