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

特許第6152119号
(P6152119)

(45)発行日　平成29年6月21日(2017.6.21)　(24)登録日　平成29年6月2日(2017.6.2)

(51)Int.Cl.　F I
H02K 35/02 (2006.01)　H02K 35/02
F02B 71/04 (2006.01)　F02B 71/04

請求項の数 17　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2014-552691 (P2014-552691)
(86)(22)出願日　平成25年1月18日 (2013.1.18)
(65)公表番号　特表2015-509356 (P2015-509356A)
(43)公表日　平成27年3月26日 (2015.3.26)
(86)国際出願番号　PCT/GB2013/050106
(87)国際公開番号　WO2013/108034
(87)国際公開日　平成25年7月25日 (2013.7.25)
審査請求日　平成27年12月11日 (2015.12.11)
(31)優先権主張番号　1200889.2
(32)優先日　平成24年1月19日 (2012.1.19)
(33)優先権主張国　英国 (GB)

(73)特許権者　514035084
リバティーン　エフピーイー　リミテッド
イギリス国　ＹＯ１９　４ＳＱ　ヨーク　クロッキー　ヒル　ウェルドレイク　レーン　リンク　ホール
(74)代理人　100096873
弁理士　金井　廣泰
(74)代理人　100155871
弁理士　森廣　亮太
(72)発明者　コッカリル，サミュエル　エドワード
イギリス国　ＹＯ１９　４ＳＱ　ヨーク　クロッキー　ヒル　ウェルドレイク　レーン　リンク　ホール

審査官　土田　嘉一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】直線型電気機械

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
直線型電気機械であって、
ピストンシャフトに沿って同軸上に配置された１つまたは複数の要素を含むピストンと、
少なくとも一つの透磁性セグメントと、複数のコイルと、を含み、中にボアを画定する軸方向にセグメント化されたシリンダステータであって、前記透磁性セグメントが前記ピストンが前記ボア内を往復運動することを許容するように同軸に構成され、前記複数のコイルが前記ピストンに近接して配置され、前記コイルとステータ要素とピストン要素とが前記ピストンの進行方向と同軸であるトロイド状の磁束回路を提供するように配置され、前記ピストンが移動することで前記コイル内の磁束が変動するシリンダステータと、
前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータを受容するためのボアを有するシリンダハウジングと、
前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータを前記シリンダハウジング内に固定するための手段と、
を含み、
前記少なくとも１つの透磁性セグメントが、すべての方向で５．０×１０$^{-6}$Ω・ｍを超える等方性電気抵抗を有する透磁性材料から形成され、
前記ピストン要素は、すべての方向で５．０×１０$^{-6}$Ω・ｍを超える等方性電気抵抗を有する透磁性複合材料から形成される、直線型電気機械。

【請求項２】
前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータを所定位置に固定するための前記手段は、使用時に軸方向の圧縮が前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータに作用するように前記シリンダハウジングに取り付けられる少なくとも一つのクランププレートを含む、請求項１に記載の直線型電気機械。
【請求項３】
前記シリンダボアは、軟鋼よりも高い硬度を有する材料でコーティングされる、または、該材料から形成される、請求項１または２に記載の直線型電気機械。
【請求項４】
前記シリンダハウジングは、均一な断面を有する、請求項１～３のいずれか１項に記載の直線型電気機械。
【請求項５】
前記シリンダハウジングは、前記シリンダハウジングの全長の少なくとも一部における前記共通の断面に形成された冷却フィンを組み込む、請求項４に記載の直線型電気機械。
【請求項６】
シリンダセグメントの少なくとも１つは、１０ＧＰａ（１０×１０^{9}Ｎ／ｍ^{2}）より小さい弾性係数を有する、請求項１～５のいずれか１項に記載の直線型電気機械。
【請求項７】
前記コイルによって印加される磁束を少なくとも１００Ｈｚの周波数で変化させることができるスイッチング手段をさらに含む、請求項１に記載の直線型電気機械。
【請求項８】
冷却剤および／または潤滑液体を前記ピストンの表面に直接噴霧することを可能にする液体噴射手段を有する自由ピストンエンジンに配置される、請求項１～７のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項９】
前記ピストン要素の少なくとも１つは非磁性材料で形成され、各要素は、隣接する要素間の接触が維持されるように固定される、請求項１～８のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項１０】
ピストンの一方または両方の末端に設けられたピストンクラウンをさらに含む、請求項１～９のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項１１】
前記ピストンクラウンはセラミックである、請求項１０に記載の直線型電気機械。
【請求項１２】
前記ピストンクラウンは凹状である、請求項１０または１１に記載の直線型電気機械。
【請求項１３】
前記ピストンクラウンの露出した表面積は、前記ピストンの断面積の少なくとも２倍であり、露出した表面の材料は、燃焼室内容物の酸化を促進する触媒として機能する、請求項１０～１２のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項１４】
前記ピストンシャフトは中空である、請求項１０～１３のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項１５】
前記ピストンシャフト上に同軸に配置された前記要素は、同じ外径を有する環状リングとして形成される、請求項１０～１４のいずれか一項に記載の直線型電気機械。
【請求項１６】
請求項１～１５のいずれか一項に記載の直線型電気機械を製造するための方法であって、
前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータの内部ボアは、前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータが所定位置に固定された後、研かれ、あるいは仕上げられ

る、方法。
【請求項１７】
前記軸方向にセグメント化されたシリンダステータは、前記シリンダハウジングに軸方向の荷重を作用させることによって生じる軸方向の圧縮荷重によって所定位置に固定される、請求項１６に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、直線型電気機械に関し、特に、自由ピストンエンジン発電機用の直線型電気機械に関する。
【背景技術】
【０００２】
標準的な燃焼機関では、ピストンは、クランクシャフトに連結されることで、それらのシリンダ内に機械的に拘束され、クランクシャフトは、シリンダ内でのピストンの往復直線運動により回転駆動される。一方、自由ピストンエンジンでは、ピストンは、米国特許第７３８３７９６Ａ号明細書に教示された外部機械式リンク機構を有するタイプのエンジン内に設けることができるが、クランクシャフトに連結されない。
【０００３】
さらに、自由ピストンエンジン内で往復運動するピストンの動作により、磁束を変化させる１つまたは複数の電気コイルを通じて電力を発生させることができるのは、例えば、米国特許第７３１８５０６Ａ号明細書などから公知である。この構成では、ピストンは第１のコイルを担持し、ピストンがシリンダ内を往復運動するときに、シリンダを囲む第２のコイルに電流を発生させる。しかし、ピストンは、透磁性のある中実材料片から構築され、ピストンが第２のコイルを通るときに磁束変化を誘導できるように、シリンダの全長に対して必然的にきわめて短くなる。
【０００４】
既存の自由ピストンエンジンでは、ピストンの長さは、通常、燃焼室のシリンダボアの直径の５倍未満である。自由ピストンエンジンの電気機械の電力出力は空隙の面積によって決まり、直径および行程容積で決まる所与の燃焼室幾何形状に対して十分な空隙面積を達成するために、電気機械の直径は通常、燃焼室の直径よりも大きい。直径のこの変化により、各燃焼室を封止するために、ならびに燃焼室が互いに、および介在する電気機械の軸と同軸上に整列するのを確実にするために、複雑で高価な機械式の問題解決手段が必要になる。
【０００５】
自由ピストンエンジン発電機の３つの基本的設計課題は、
－第１に、エンジンの燃焼動力出力に適した大きさとされた電気機械で高い電気効率を達成することと、
－第２に、燃焼プロセスの効率および完全性を保証できるように、良好なピストン動作制御性および燃焼室設計を達成することと、
－第３に、最初の２つの課題を可能な限り安いコストで解決することと、
である。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
本発明は、共同して高い効率の燃焼プロセスをもたらし、燃焼動力出力の高効率な電力変換を可能にし、より一貫性のある燃焼プロセス制御のために、小さいピストン質量に作用する高い電気機械制御力を付与し、ピストンでのコストのかかる希土類磁石材料の使用と、エンジン内の燃焼機構と発電機構との間の構造接合部が複雑になることとを回避する、直線型電気機械、ピストン、および燃焼室の構造に関する特徴部の有益な組み合わせを提供する。したがって、本発明は、各明確化された設計課題に取り組む。

【課題を解決するための手段】
【０００７】
本発明によれば、可動ピストントランスレータと、ボアを画定するとともに少なくとも１つの透磁性セグメントを含む軸方向にセグメント化されたシリンダステータであって、ピストンがボア内を移動することを許容するように構成されたシリンダステータと、セグメント化されたシリンダを受容するためのボアを有するシリンダハウジングと、セグメント化されたシリンダを所定位置に固定するための手段と、を含む直線型電気機械が提供される。
好ましくは、１つまたは複数の軸方向セグメントは、すべての方向において５．０×１０$^{-6}$Ω・ｍを超える等方性電気抵抗を有する、軟磁性複合材（ＳＭＣ）などの導電性複合材料から形成されている。
好ましくは、円筒ステータは、クランプ、接着、嵌め合い、または他の固定手段によってシリンダハウジング内に固定される。シリンダハウジングは、円筒ステータに冷却手段および構造的支持を提供するとともに、ステータの外径と同寸法の内部ボアを有することで、シリンダハウジングは円筒ステータのセグメント要素の同軸位置合わせを提供する。
好ましくは、シリンダハウジング内に固定されたステータ要素の少なくとも１つは、１０ＧＰａ（１０×１０^{9}Ｎ／ｍ^{2}）以下の低ヤング率（弾性係数）を有し、軸方向のクランプ荷重の作用によってステータ要素が径方向に膨張することで、円筒ステータ要素外径とシリンダハウジングボアとの間のクリアランスが低減される。
好ましくは、シリンダハウジングは、その全長における少なくとも一部において、典型的には、全長の三分の一において均一な断面を有し、シリンダハウジング内の円筒ステータ要素から伝達される熱を増加させるように冷却チャネル及び冷却フィン構造が提供されてもよい。
好ましくは、各セグメントステータ要素の円筒内部ボアは、例えば、窒化ケイ素、炭化ケイ素、またはその他のセラミックのような耐摩耗材料、あるいは類似の硬質材料でコーティングされ、これら材料は、一度セグメントステータ要素がクランプまたは他の手段によってシリンダハウジング内の所定位置に固定されることで、研かれ、あるいは仕上げられる。
直線型電気機械のピストントランスレータは、好ましくは、等方性の透磁率および電気抵抗を有する１つまたは複数の透磁性要素を含み、透磁性要素は、隣接する要素間の接触が維持されるようにピストンシャフトに沿って配置され、クランプまたは他の手段によって固定され、ピストンの全長は、ピストンの最大径の少なくとも５倍である。
【０００８】
ピストン直径に対するピストン全長のこの比率により、燃焼室の動力出力と、細長いピストンの円筒面に等しい面積を有する空隙の動力容量との間の整合が良好になる。その結果、空隙および燃焼室の直径を等しくすることができ、ピストンの両端部にある燃焼室間での直径の変化が不必要になる。その結果、この直線型電気機械は、自由ピストンエンジンが、既存のタイプの自由ピストンエンジンよりも低コストで構築されるのを可能にする。
【０００９】
さらに、本発明は、ピストンが中で往復運動する複数の円筒ステータ要素に収容されるまたは隣接して設けられる複数のコイルを有するエンジン発電機において特に有効である直線型電気機械を提供し、そのコイルにより、トロイド状の磁束回路がピストンの進行方向と同軸である軸方向磁束電気機械トポロジが得られる。ピストンおよびステータ要素の等方性の透磁率および電気抵抗により、ピストンの渦電流損失を最小にするこの軸方向の磁束トポロジが可能になり、他の自由ピストンエンジンの電気機械概念のものよりも高い効率および制御力が得られる。さらに、この軸方向磁束構成における移動ピストンの質量は、等価の横方向磁束構成で可能な質量よりも小さく、コイルで生じる電磁力の制御の信頼性を向上させ、横方向磁束構成と比較して改善されたピストン動作制御を可能にする。
【００１０】

ピストンクラウンは、燃焼の影響からコア要素およびスペーサ要素を保護するために、ピストンの各末端に設けられる。あるいは、各ピストンは、燃焼室に対向する単一のピストンクラウンを有することができ、ピストンの反対側の端部は、各発動工程の終わりにピストンの方向を逆転させる働きをする跳ね返しチャンバに対向する。あるいは、各ピストンは、完全に平衡がとられたエンジンユニットを得るために、互いに逆位相で移動する２つの対向するピストン間にある中央燃焼室に対向する単一のピストンクラウンを有することができる。

【００１１】

ピストンクラウンは、セラミックまたはチタンなどの軽量な耐熱性および断熱性の材料で構築され、かつ／または上死点での熱損失を低減する凹面を有するのが好ましい。ピストンクラウンは、燃焼室での燃焼の一貫性および完全性を改善する酸化触媒材料でコーティングまたは構築されるのが好ましい。燃焼触媒の効果を高めるために、ピストンクラウンの露出した表面積は、ピストンの断面積の少なくとも２倍であるのが好ましい。

【００１２】

ピストンシャフトは、ピストンの質量を減らすために中空であるのが好ましく、ピストンシャフト上に同軸に配置された１つまたは複数の透磁性要素は、同じ外径を有する環状リングとして形成される。シリンダの円周面の一部は、摩擦を低減する耐摩耗性材料でコーティングされるのが好ましい。

【００１３】

ここで、本発明の例が、以下の図を参照して説明される。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】本発明の例による２つの直線型電気機械を有する自由ピストンエンジン発電機の長手方向断面図を示しており、ピストンは、両端部にピストンクラウンを有している。

【図２】図１のピストンの長手方向断面図であり、中空のピストンシャフト上に同軸に配置された要素でできた構造を示している。

【図３】ピストンの垂直断面図であり、シャフトおよび円形要素の同心配置を示している。

【図４】１つの端部だけにピストンクラウンを有するピストンの代替実施形態の長手方向断面図である。

【図５】コイルと本発明によるピストンの移動とによって生じる、スイッチドステータ要素内の磁束を示す、図１の直線型電気機械のうちの一つの断面図である。

【図６】近接して配置された直線型発電機ステータとピストン内の透磁性要素とを示す、直線型電気機械の垂直断面図である。

【図７】吸気移動掃気段階時の吸気弁、吸気スライドポート弁開孔、および燃料噴射装置のより詳細な長手方向断面図である。

【図８】排気段階時の排気弁およびアクチュエータを含む排気手段のより詳細な長手方向断面図である。

【図９】全エンジンサイクルを通じた自由ピストンエンジンシリンダ内のピストン位置の変化を示す時間－変位プロット図、およびこの期間中のエンジンサイクル事象のタイミング図である。

【図１０】全エンジンサイクルを通じた典型的な自由ピストンエンジンシリンダ圧力のプロットを示す圧力－容積プロット図である。

【図１１】第１のチャンバでの上死点位置にあり、圧縮段階の終わりで、かつ火花点火および燃焼事象開始時点付近の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。

【図１２】第１のチャンバの膨張段階の途中における自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。

【図１３】膨張段階の終わりであるが、吸気および排気弁が開く前の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。

【図１４】吸気弁が充填チャンバ１に対して開いた後の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図であり、吸入充填流体圧力が、第１のチャンバ内の低い方のシリンダ圧力と等しくなるのを可能にしている。
【図１５】排気弁が開いた後であり、一方、吸気弁が開いたままで第１のチャンバから掃気している自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図１６】吸気弁が閉じた後の第１のチャンバへの燃料噴射時の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図１７】ピストン外側面への潤滑剤および／または冷却剤の注入時の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図１８】排気弁は開いているが、ピストンの移動によって第１のチャンバから排気ガスが連続的に排出されるように、吸気弁およびスライドポート弁が閉じた後のシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図１９】第１のチャンバの圧縮段階の途中の自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図２０】２つのクランププレートによってシリンダハウジング内に固定されたシリンダ組立体によって構成される自由ピストンエンジンシリンダの概略的な長手方向断面図である。
【図２１】シリンダハウジングセクション内に組み込まれた冷却形状部を示す、シリンダハウジング内に固定されたシリンダ組立体によって構成される自由ピストンエンジンシリンダの概略的な垂直断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
本明細書と図面では、以下の符号が使用されている。
１　シリンダボア表面層
１ａ　第１の吸気ポート開孔
１ｂ　第２の吸気ポート開孔
１ｃ　シリンダボア
２　ピストン
２ａ　ピストン外側面
２ｂ　ピストン端面
２ｃ　ピストンシャフト
２ｄ　ピストンクラウン
２ｅ　潤滑制御形状体
２ｆ　透磁性ピストンコア要素
２ｇ　非透磁性ピストンスペーサ要素
２ｈ　ピストンシャフト端部
２ｉ　ピストンシャフトキャップ
３　第１の燃焼室
３ａ　第１の燃焼室高さ
４　第２の燃焼室
５　燃料噴射手段
５ａ　燃料
６　吸気手段
６ａ　吸気スライドポート弁開孔
６ｂ　吸気口
６ｃ　吸気弁
６ｄ　吸気弁アクチュエータ
６ｅ　吸気コンプレッサ
６ｆ　吸気マニホルド
６ｇ　吸気弁凹部

６ｈ　吸気チャネル
７　排気手段
７ａ　シリンダヘッド
７ｂ　排気弁
７ｃ　排気弁アクチュエータ
７ｄ　排気マニホルドチャネル
８　点火手段
９　セグメント円筒ステータ
９ａ　コイル
９ｂ　スイッチング装置
９ｃ　透磁性ステータ要素
９ｄ　制御モジュール
９ｅ　電気出力手段
１０　潤滑剤および冷却剤注入手段
１１　シリンダハウジング
１１ａ　シリンダハウジング内に形成された冷却チャネル
１１ｂ　シリンダハウジング内に形成された冷却フィン
１２　クランププレート
Ｔ１、Ｔ２、Ｔ３、Ｔ４　ステータおよびピストン要素内のトロイド状磁束路

【００１６】

図１は、自由ピストンエンジン発電システムの単一シリンダ内に設けられた本発明の例を示している。ピストン２は、シリンダの全長に沿って自由に移動でき、シリンダボア１ｃと同軸に整列して拘束され、それにより、シリンダ容積を第１の燃焼室（燃焼チャンバ）３および第２の燃焼室（燃焼チャンバ）４に効果的に分割し、それぞれのチャンバは、シリンダ内のピストン２の位置に応じた可変容積を有することが分かる。ピストン２のどの部分もシリンダボア１ｃから外に延びていない。第１のチャンバ３を例として使用すると、各チャンバ３、４は、可変高さ３ａ、およびシリンダボア１ｃの直径に一致した固定直径を有する。セグメント化された円筒ステータ９および吸気手段６の内部ボア表面はそれぞれ、本実施例では、耐摩耗層がコーティングされている。それら要素の内部ボアコーティングが一体となって連続するシリンダボア表面層１を形成する。図においてシリンダ内面上の薄表面層１で示しているが、本発明は、分割された耐摩耗層によってではなく、磁性及び非磁性材料自体の軸方向セグメントによって、シリンダの内面層１を設ける実施例も含む。

【００１７】

シリンダボア１ｃは、その軸に関して回転対称であるのが好ましく、その軸に垂直な中央平面に関して対称である。本発明を実施するのに、場合によっては、例えば、正方形または長方形の断面のピストンを有するなど、他の幾何形状を使用することもできるが、円形断面のピストンを有する構成が好ましい。シリンダボア１ｃは、その全長に沿い、好ましくは中央位置に両端部から離れて設けられた一連の開孔１ａ、１ｂを有する。下記に詳細に説明するように、開孔１ａ、１ｂは、ピストン２の動作を通じて、シリンダボア１ｃの少なくとも一部分のまわりに設けられた吸気口６ｂと共同して機能するように構成されたスライドポート吸気弁開孔６ａを形成している。

【００１８】

図２は、外側面２ａを有し、一連の円筒要素が取り付けられた中心シャフト２ｃを含むピストン２を示している。これらの円筒要素には、中心シャフト２ｃの各端部にあるピストンクラウン２ｄを含めることができ、各ピストンクラウン２ｄは、セラミック、チタン、チタン複合材などの耐熱性の断熱材料から構築されるのが好ましい。ピストンクラウン端面２ｂは、上死点での第１のチャンバ３および第２のチャンバ４の表面積対容積比を小さくし、それにより、熱損失を低減するために、若干凹状であるのが好ましい。あるいは、ピストンクラウン２ｄは、燃焼の完全性を確実にするために、酸化触媒として作用する

材料で形成またはコーティングすることができ、その場合に、ピストンクラウンの露出した端面２ｂは、燃焼室空間の内容物に作用する触媒界面活性が向上するように、ピストンの断面積よりもかなり大きい面積を有するのが好ましい。当然、シリンダが異なる幾何形状である場合、これらの要素の構成は相応して適合される。

【００１９】

ピストン外側面２ａの一部は、摩擦を低減する耐摩耗性材料でコーティングすることができる。ピストンクラウン２ｄは、エンジンの動作中のシリンダボア１ｃの潤滑濡れ度を制御するための潤滑制御形状体２ｅを含むことができる。これらの潤滑制御形状体は、従来からの内燃機関で一般的に採用されている溝およびオイル制御リングを含むことができる。

【００２０】

１つまたは複数の透磁性コア要素２ｆは、ピストンシャフト２ｃに取り付けられている。各コア要素２ｆは、エンジンの動作中の渦電流損失を低減するために、等方性の透磁率および等方性の電気抵抗を有する透磁性材料から構築されている。

【００２１】

スペーサ要素２ｇもピストンシャフト２ｃに取り付けられている。各スペーサ要素２ｇは、理想的には低い透磁率を有し、アルミニウム合金またはセラミックなどの軽量な材料で構築されるのが好ましい。

【００２２】

透磁性コア要素は、すべての方向に電気用鋼の２倍より大きく、５．０×１０$^{-6}$Ω・ｍを超える等方性電気抵抗を有する、軟磁性複合材（ＳＭＣ）などの導電性複合材料から形成されている。この等方性特性は、図５に示し、下記に説明するものなどの非平面状の磁束回路の使用を可能にし、これらの磁束回路は、誘導された渦電流によって大きな鉄損を引き起こすことがない。この非平面状の磁束回路トポロジが、従来の鋼製積層体を使用して適用された場合、積層体平面の電気抵抗は通常非常に低いので、そのような渦電流は、大きな電気損失を引き起こす。

【００２３】

透磁性コア要素２ｆおよび非透磁性スペーサ要素２ｇの設計では、例えば、移動ピストン２と、セグメント化された円筒ステータ９とを含む直線型スイッチドリラクタンスまたはスイッチド磁束発電機の一部として効率的に動作するために、コア要素２ｆが正確なピッチで配置される。そのような機械としては、ピストンが中で往復運動するシリンダの全長に沿って離間した複数のコイルを含んでよい。

【００２４】

ピストンの全長は、その直径の少なくとも５倍であるのが好ましく、いずれも場合でも、ピストンの全長は、一周期の間のどの時点においても、吸気チャネル６ｈにより燃焼室３、４がつながることが可能にならないように、少なくとも、吸気ポート開孔１ａ、１ｂの両方を完全に閉じ、かつ同時に覆うのに十分な長さとされる。

【００２５】

ピストンシャフト端部２ｈは、ピストンシャフト２ｃに取り付けられた要素２ｆ、２ｇが、ピストンシャフト２ｃ内に維持された圧力の作用下で確実に保持されるように、機械的に変形されるか、あるいはピストンクラウン２ｄに固定される。

【００２６】

図３は、ピストン２の断面図であり、コア要素２ｆを貫通するピストンシャフト２ｃを示している。

【００２７】

図４は、ピストン２が一方の端部だけにピストンクラウン２ｄを有し、他方の端部は、軽量のピストンシャフトキャップ要素２ｉで封止された本発明の代替実施形態を示している。この実施形態は、対向ピストン自由ピストンエンジン、または各シリンダが一方の端部に単一の燃焼室を有し、他方の端部が、各発動工程の終わりにピストンの方向を逆転させる働きをする跳ね返しチャンバを有する自由ピストンエンジンで使用するのに適してい

る。

【００２８】

図５は、透磁性ステータ要素９ｃおよびコイル９ａを有する軸方向にセグメント化された円筒ステータ９を含む直線型電気機械の例を示している。セグメント化された円筒ステータ９は、中をピストン２が自由に移動する共通のシリンダボア１ｃを提供するように構成されている。この構成は、ピストン２と電気出力手段９ｅとの間のエネルギの伝達を容易にし、ピストンの位置および移動を制御する力を提供する。セグメント化された円筒ステータ９は、その全長に沿って分配される、複数のコイル９ａおよび複数のステータ要素９ｃを含む。

【００２９】

セグメント化された円筒ステータ９は、例えば、直線型スイッチドリラクタンス発電機または直線型スイッチド磁束発電機など複数の異なる電気機械タイプとして、ピストン２と協働して動作するように構成することができる。示した構成では、コイル９ａは、ステータ９ｃおよびピストンコア要素２ｆ内に磁界を誘導するように、スイッチング装置９ｂによってスイッチングされる。この実施形態では、スイッチング装置９ｂは、少なくとも１００Ｈｚの周波数でコイル９ａ内の電流を変化させる。このスイッチングは、ピストンの移動が、コイル内の電流によって生じた磁束を切って、ピストンに力を加え、ピストンからの運動エネルギをコイル内の電力に変換するように、ピストンの移動に対して正確にタイミングを合わされる。

【００３０】

図５に示す構成では、コイル９ａ内のスイッチングされた電流の作用を受けて、トロイド状の磁束回路Ｔ１～Ｔ４が、ステータ９ｃおよびピストンコア要素２ｆに形成されている。セグメント化された円筒ステータ９及びピストン２は一緒になって、直線型スイッチドリラクタンス装置、または直線型スイッチド磁束装置として機能する。電力は、磁束回路Ｔ１～Ｔ４が、ピストン２の動作によって切られ、それにより、コイル９ａに電流が誘導された結果として電気出力手段９ｅで発生する。磁束回路のトロイド状トポロジにより、顕著に高い磁束密度と、透磁性トランスレータ要素２ｆの単位質量当たりの顕著に高い磁束切断率とが得られ、それにより、ピストントランスレータの各単位質量に作用する制御力が大きくなり、そのため、ピストン２の位置および移動に関する電気機械の制御の信頼性が高まる。さらに、この構成は、ピストンで永久磁石を使用することなく、非常に効率的な発電手段を可能にするが、この永久磁石は、内燃機関内の高温条件下で減磁されることがあり、その他の点では、コストの高い希土類金属を使用するために、エンジンのコストを大幅に増加させる。

【００３１】

さらに、下記に説明するように、いくつかの異なる制御手段を含む制御モジュール９ｄを使用することができる。ピストン２と電気出力手段９ｅとの間の所望のエネルギ伝達率を達成して、最大電気出力を送出し、一方で、圧縮率および圧縮比、膨張率および膨張比、ならびに各チャンバ３、４の上死点でのピストン滞在時間を含む、ピストン２の所望の動作特性を満たすために、様々な制御手段が設けられる。

【００３２】

弁制御手段は、吸気弁６ｃおよび排気弁７ｂを制御するために使用することができる。排気弁７ｂの閉止を制御することで、弁制御手段は、圧縮段階の開始を制御することができる。同様に、弁制御手段は、排気ガス再循環（ＥＧＲ）、吸気、および圧縮比を制御するために使用することもできる。

【００３３】

このタイプの電気機械に適切な圧縮比制御手段を使用することもできる。例えば、スイッチドリラクタンス機械の場合、圧縮比制御は、位相、周波数、およびスイッチドコイル９ａに加えられる電流を変えることで部分的に行うことができる。これは、誘導された横断磁束が、ピストン２の動作によって切られる量を変え、ひいては、ピストン２に加わる力を変える。したがって、コイル９ａは、排気弁７ｂの閉止した時点およびその後のピス

トン２の減速時の両方で、ピストン２の運動エネルギを制御するために使用することができる。

【００３４】

この場合に、下記の通り、圧縮比の任意のサイクル間残差変動に対処して、エンジン排出物および効率に及ぼすこの残差変動の悪影響が最小限になるのを確実にするために、火花点火タイミング制御手段を使用することができる。通常、各圧縮段階の終わりにおける予測される圧縮比は、ターゲット圧縮比に、対向する燃焼室３、４で行った燃焼事象などのシステムの変動性および制御システム特性に関連する誤差をプラスしたものである。火花点火タイミング制御手段は、接近するピストン２の測定した速度および加速度に応じて、火花点火事象のタイミングを調整して、各圧縮段階の終わりにおける予測される圧縮比に対して燃焼事象を最適化することができる。

【００３５】

ターゲット圧縮比は通常、使用される燃料５ａに応じた定数である。一方、圧縮比誤差は、上死点での最終燃焼室高さ３ａのばらつきから導出することができる。したがって、±２０％のチャンバ高さのばらつきが生じ、ターゲット圧縮比が１２：１である場合、実際の圧縮比は１０：１～１５：１の範囲を取り得る。したがって、火花点火タイミング制御手段により、火花点火事象を進ませる、または遅らせることで、この誤差の排出物および効率に及ぼす悪影響が軽減される。

【００３６】

さらに、スライドポート弁開孔６ａが閉じる直前に、燃料５ａを燃焼室３、４に噴射して、掃気時の炭化水素（ＨＣ）排出物を減らすように、燃料５ａの噴射のタイミングを制御するために、燃料噴射制御手段を使用することができる。

【００３７】

さらに、コイル９ａ、電子装置、および高温の影響を受けやすい他の要素に近接して配置された１つまたは複数の温度センサを含む温度制御手段を設けて、検出した温度変化に応じて、冷却剤注入手段１０によって注入される冷却流体の流れと、コンプレッサ６ｅによって冷却チャネル１１ａへ供給される冷却空気の流れとを制御することができる。温度制御手段は、高温が持続している読み取り値が検出された場合に、エンジン動力出力を制限して、エンジンの損傷を回避するために、弁制御手段と通信することができる。

【００３８】

制御モジュール９ｄが使用できるさらなるセンサには、排気ガス（λ）センサと、所与の燃料タイプに対して、加えられた空気の量に応じてチャンバに噴射される燃料５ａの量を決めるための空気流センサとが含まれるのが好ましい。相応して、燃料センサを使用して、使用される燃料のタイプを求めることもできる。

【００３９】

図６は、ステータ要素９ｃの１つの垂直断面を示しており、シリンダボア表面層１の肉厚分だけ分離されたスタータ要素９ｃおよび透磁性ピストン要素２ｆが近接しているのが分かる。さらに、図６は、透磁性要素２ｆと中空ピストンシャフト２ｃとの同軸配置を示している。

【００４０】

図７は、吸気手段６を示しており、吸気手段６は、スライドポート弁開孔６ａと吸気口６ｂとを含む。吸気手段６のスライドポート弁開孔６ａは、吸気弁６ｃが設置されたチャネル６ｈでつながっている。チャネル６ｈは、膨張段階中のチャネル６ｈ内の無制御膨張損失を最小限にするために最小の容積とされ、長さが短いか、断面積が小さいか、またはそれら両方の組み合わせのいずれかである。代わりに、吸気弁６ｃを個別に各スライドポート弁開孔６ａに近接して設けてもよく、この代替の構成によってもチャネル６ｈへの無制御膨張損失が抑制される。

【００４１】

吸気弁６ｃは、吸気口６ｂの一部として、吸気マニホルド６ｆからチャネル６ｈを封止する。吸気弁６ｃは、電動ソレノイド手段、または他の適切な電気式もしくは機械式手段

とすることができる吸気弁アクチュエータ６ｄで作動する。

【００４２】

スライドポート吸気弁開孔６ａおよび吸気弁６ｃが、第１のチャンバ３または第２のチャンバ４の１つに対して共に開くと、吸気マニホルド６ｆは、チャネル６ｈを介してそのチャンバと流体連通する。吸気手段６には、完全に開いた場合に吸気弁６ｃを受け入れて、流体がチャネル６ｈを自由に貫流できるのを保証するように構成された凹部６ｇが設けられるのが好ましい。

【００４３】

吸気口６ｂはまた、電気式でか、機械式でか、または吸気口６ｂから生じる圧力波の作用で作動することができる吸気コンプレッサ６ｅを含む。吸気コンプレッサ６ｅは、下記に説明するように、シリンダボア１ｃの各端部に設けられた排気手段７から生じた圧力または圧力波の作用で作動することもできる。吸気コンプレッサ６ｅは、容積型装置、遠心装置、軸流装置、圧力波装置、または任意の適切な圧縮装置とすることができる。吸気コンプレッサ６ｅは、吸気口６ｂが開いたときに、吸気マニホルド６ｆ内の圧力が、吸気マニホルド６ｆに接続されたチャンバ３または４内の圧力よりも高くなり、それにより、吸入充填流体の流れを可能にするように、吸気マニホルド６ｆ内の圧力を上げる。

【００４４】

ソレノイド式噴射装置または圧電式噴射装置５などの燃料噴射手段５も吸気手段６内に設けられている。中央に配置された単一の燃料噴射装置５も適切であり得るが、各スライドポート弁開孔６ａに隣接して配置された燃料噴射装置５が好ましい。燃料噴射装置５は、ピストン２が、障害なくスライドポート吸気弁開孔６ａおよび吸気口６ｂを通り越すことができるように、吸気手段６に凹設されるのが好ましい。燃料噴射装置５は、各スライドポート吸気弁開孔６ａを介してそれぞれのチャンバ３、４に燃料を噴射するように構成されている。

【００４５】

潤滑剤および冷却剤注入手段１０は、吸気手段６内に設けられ、好ましくは凹設され、ピストン２が障害なく吸気手段６を通り越すことができるように配置され、１つまたは複数の流体を注入することで、ピストンを潤滑および冷却することができる。注入される流体には、従来の潤滑オイルが含まれ得る。さらに、流体には、水または気化熱が高い他の揮発性液体が含まれ得る。この冷却剤流体が蒸発するときに、ピストンの熱は流体に伝達され、得られたガスは、ピストンが移動すると共に燃焼室に送られるか、または燃焼室が膨張するときに、燃焼ブローバイガスの漏れを防止する。送られた冷却剤ガスは、膨張する燃焼室内のガスの量を増やし、それにより、燃焼室圧力を漸進的に上げる。このようにして、磁束の変化によって生じた渦電流のために、および燃焼室からの熱伝導により、ピストンに蓄積された熱は、燃焼室容積の膨張によってピストンに加えられる有益な仕事として回収することができる。さらに、送られたガスは、ガスベアリングとして機能して、ピストン２ａの外側面の摩擦および摩耗を低減することができる。

【００４６】

図８は、シリンダボア１ｃの各端部に設けられた排気手段７を示している。排気手段７は、ねじ手段または同様なものによって、シリンダハウジング１１の端部に取り外し可能に取り付けられたシリンダヘッド７ａを含む。各シリンダヘッド７ａ内には、シリンダボア１ｃの軸と同軸上に整列した排気弁７ｂが配置されている。排気弁７ｂは、電動ソレノイド手段または他の電気式もしくは機械式手段とすることができる排気弁アクチュエータ７ｃで作動する。したがって、第１の燃焼室３または第２の燃焼室４内の吸気弁６ｃまたは吸気スライドポート弁開孔６ａおよび排気弁７ｂが共に閉じられると、チャンバは事実上封止され、チャンバに封入された作動流体は、圧縮されるか、または膨張することができる。

【００４７】

排気手段７はまた、シリンダヘッド内に設けられた排気マニホルドチャネル７ｄを含み、排気ガスは、隣接する第１のチャンバ３または第２のチャンバ４と排気マニホルドチャ

ネル７ｄ内の流体との間の圧力差の作用により、排気弁７ｂが開いたときに排気マニホルドチャネル７ｄに流入することができる。

【００４８】

スパークプラグなどの点火手段８もシリンダボア１ｃの各端部に設けられており、点火手段８は、シリンダヘッド７ａ内に配置され、好ましくは、エンジンの通常の動作サイクル時にピストン２を妨害しないように凹設される。

【００４９】

排気弁７ｂとシリンダボア１ｃの軸との好ましい同軸配置により、チャンバ３、４の直径に対する排気弁７ｂの直径を従来の内燃機関よりも遙かに大きくすることができる。

【００５０】

各シリンダヘッド７ａは、放熱を最小限にし、分離した弁座要素の必要性をなくすように、セラミックなどの耐摩耗性で、かつ高断熱性の材料から構築されている。

【００５１】

図９は、本発明によるエンジンの時間－変位プロット図を示し、全エンジンサイクルにわたるピストン２の移動を示している。この場合に、第１のチャンバ３に関連してエンジンの動作が説明されるが、第２のチャンバ４の事象の作用および順序は、第１のチャンバ３と完全に同じであるが、位相が１８０°ずれると当業者には分かるであろう。言い換えると、ピストン２は、第２のチャンバ４の下死点に達すると同時に、第１のチャンバ３の上死点に達する。

【００５２】

エンジンサイクル全体を通して強調されている事象Ａ～Ｆは、図１０に示す事象Ａ～Ｆに対応し、図１０は、同じエンジンサイクルにわたる、燃焼室３、４の典型的な圧力－容積プロット図を示している。図９～１０に取り上げた事象は、図１１～１９についての以下の説明において言及される。

【００５３】

ここで全エンジンサイクルを検討すると、エンジンサイクルの開始において、第１のチャンバ３は、主に前もって混合された燃料および空気からなる圧縮混合物を、前のサイクルから保持された少量の残留排気ガスと共に収容している。制御された量の排気ガスが存在することは、この存在により、従来の火花点火エンジンにおける損失の大きな原因である、エンジン出力調整の手段としての吸気絞りの必要性を低くするか、またはなくすことができることから、エンジンの効率的な動作にとって有益であることは公知である。さらに、ピーク燃焼温度および圧力が、排気ガスが残留しないエンジンよりも低いので、亜酸化窒素汚染ガスの形成が少なくなる。これは、排気ガス分が燃焼反応に寄与しない結果であり、保持されたガス中の二酸化炭素および水の熱容量が高いためである。

【００５４】

図１１は、上死点（Ａ）における第１のチャンバ３の幾何形状を画定する、シリンダボア１ｃに対するピストンの位置を示している。これは、燃焼段階ＡＢの開始点の近くでもある。ピストンの上部２ｂと第１のチャンバ３の端部との間の距離は、第１のチャンバ３の直径の少なくとも半分であり、従来の内燃機関の燃焼室と比較して、より小さい表面積対容積比を付与し、燃焼中の第１のチャンバ３からの熱損失を低減する。点火手段８は、ピストン２が上死点に無制御の態様で接近した場合に、点火手段８とピストンクラウン２ｄとの間の接触の可能性がないように、シリンダヘッド７ａ内に凹設されている。その代わりに、圧縮は、第１のチャンバ３内でのほぼ断熱性の圧縮に起因する圧力の連続的な増大によってピストン２の動作が止まるまで続く。図１０を参照すると、燃焼膨張段階ＡＢは、点火事象（Ａ）から開始される。

【００５５】

図１２は、膨張段階（ＡＢおよびＢＣ）の途中でのピストン２の位置を示している。第１のチャンバ３は、ピストン２が第１のチャンバ３と第２のチャンバ４との間の圧力差の作用によって移動すると共に膨張する。この時点での第２のチャンバ４内の圧力は、吸気マニホルド６ｆ内の圧力にほぼ等しい。第１のチャンバ３の膨張は、セグメント化された

円筒ステータ９によって印加される電磁力の作用により妨害されるが、この作用を調整して、エンジンの性能、効率、および排出物の各目標を満たす所望の膨張率を得ることができる。

【００５６】

図１３は、下死点における、第１のチャンバ３に対するピストン２の位置を示している。膨張段階の終わり（Ｃ）において、ピストン２の動作は、セグメント化された円筒ステータ９によって印加される電磁力の作用および第１のチャンバ３と第２のチャンバ４との間の圧力差により止まる。この時点での第２のチャンバ４内の圧力は、上死点位置（Ａ）での第１のチャンバ３内の高い圧力にほぼ等しい。膨張比は、圧縮比の少なくとも２倍であるのが好ましく、圧縮比は１０：１～１６：１の範囲内である。これは、膨張比が圧縮比と同様である従来の内燃機関と比較して熱効率を向上させる。

【００５７】

図１４は、吸気平衡化段階（ＣＤ）中の下死点の時点におけるピストン２および吸気手段６の配置、ならびに吸気の初期流れを示している。この配置は図７でも見ることができる。この時点で、スライドポート吸気弁開孔６ａは、ピストン２がスライドして、シリンダボア１ｃに沿って設けられた開孔１ａ、１ｂを通り過ぎたために開いている。第１のチャンバ３内の圧力は、過膨張により第１のチャンバ３内の流体圧力が下がったために、かつ吸気コンプレッサ６ｅが吸気マニホルド６ｈ内の圧力を上昇させたために、吸気マニホルド６ｆ内の圧力よりも低い。この時点付近で、吸気弁６ｃは、吸気弁アクチュエータ６ｄによって開かれて、吸気がシリンダボア１ｃ内の第１のチャンバ３に流入するのを可能にし、第１のチャンバ３の圧力は、吸気マニホルド６ｆにおける圧力とほぼ等しくなる。吸気弁６ｃが開いて短時間後に、排気弁７ｂも開いて、排気ガスが、第１のチャンバ３と、ほぼ環境大気圧のままである排気マニホルドチャンネル７ｄとの間の圧力差の作用によって、第１のチャンバ３から流出するのを可能にする。

【００５８】

図１５は、吸気移動掃気段階（ＤＥ）中のピストン２の位置を示している。排気ガスの掃気は、第１のチャンバ３のピストン端部に導入された新鮮な吸気によって、第１のチャンバ３内の排気ガスを排気マニホルドチャンネル７ｄに連続的に移動させることで行われる。意図する量の吸気が第１のチャンバ３に入った後、下記に説明する図１７に示すように、吸気弁６ｃは閉じられ、排気ガスの排出はピストン２の移動により続く。

【００５９】

図１６は、燃料噴射時点（Ｅ）でのピストン２および吸気手段６の配置を示している。液体燃料を使用する場合、この燃料５ａは、接近するピストンクラウン２ｄに直接導入することができ、これは、燃料を急速に気化させ、ピストンクラウン２ｄを冷却し、本来なら膨張段階中に第２のチャンバ４内で蒸発する、シリンダボア１ｃ上の湿潤膜としての未燃焼燃料の損失および排出物を最小限にする効果を有する。

【００６０】

図１７は、潤滑（Ｅ）中のピストン２の位置を示し、ピストン２が吸気スライドポート弁６ａを通過するときに、少量の潤滑剤および／または冷却剤が、潤滑剤および冷却剤注入手段１０によってピストン外側面２ａに直接、周期的に導入される。この構成は、シリンダ内壁の潤滑剤濡れ性に関係する炭化水素排出物を最小限にし、シリンダ内壁の油膜への燃料の溶解量を低減することもできる。潤滑制御リング形状体２ｅは、ピストンクラウン２ｄに収容されて、第１のチャンバ３および第２のチャンバ４における潤滑剤の壁濡れ量をさらに低減する。

【００６１】

図１８は、ピストン移動掃気段階ＥＦ中のピストン２の位置を示している。吸気弁６ｃは閉じられ、排気ガスの排出はピストン２の移動により続いている。この時点のピストン２は、第２のチャンバ４の燃焼事象のために排気手段７に向かって移動していて、第１のチャンバ３の容積を縮小させている。

【００６２】

燃焼室直径と比べた排気弁直径がより大きいために、弁システムを通り過ぎる排気流の制限面積は、シリンダボアの断面積のほぼ４０％にすることができ、その結果、吸気移動掃気段階（ＤＥ）およびピストン移動掃気段階（ＥＦ）の両方の間の排気ガス背圧損失が小さくなる。

【００６３】

図１９は、圧縮段階（ＦＡ）の途中でのシリンダボア１ｃに対するピストン２の位置の長手方向断面図を示している。排気ガスが十分に排出されて、第１のチャンバ３内の流体における排気ガスの割合が意図したレベルに近くなると、排気弁７ｂは閉じられ、圧縮段階（ＦＡ）が始まる。ピストン２は、第１のチャンバ３と第２のチャンバ４との間の圧力差の作用と、セグメント化された円筒ステータ９によって印加される電磁力の作用とによって加速および減速するので、圧縮は可変比率で続く。第２のチャンバ４内の圧力は、膨張段階（ＡＢおよびＢＣ）中のこの時点で落ちつつある。直線型発電機の力を調整して、エンジンの性能、効率、および排出物の各目標を満たす所望の圧縮率を得ることができる。第１のチャンバ３における体積圧縮比は、チャンバ４における体積膨張比と実質的に等しく、かつ逆である。

【００６４】

図２０は、２つのクランププレート１２によってシリンダハウジング１１内に固定された２つのセグメント円筒ステータ９および吸気手段６によって構成される自由ピストンエンジンの長手方向断面図である。　クランププレート１２は、軸方向の圧縮荷重がシリンダハウジング１１内に収容された要素に作用するように、シリンダハウジング１１に固定される。

【００６５】

シリンダハウジングは、セグメント化された円筒ステータ９のための冷却手段を提供すべく、エアまたは他の冷却流体が中を通過することができる冷却チャネル１１ａを提供する。シリンダハウジング１１は、円筒ステータ９のセグメント要素の同軸位置合わせを提供できるように、セグメント化された円筒ステータ９の外径と同寸法の内部ボアを有する。

【００６６】

図２１は、シリンダハウジング１１内に固定された軸方向にセグメント化された円筒ステータ９を有する自由ピストンエンジンの垂直断面図である。

この図におけるシリンダハウジング１１は、他の図と同様、シリンダハウジング１１の全長の少なくとも一部、典型的には、全体の長さの少なくとも三分の一において、共通の断面を有する。これは、断面の外形が押し出し成形によって形成されるように均一であることを意味する。開口部または他の特徴構造は、共通の断面を変えることなくハウジング内に形成されてよい。

【００６７】

さらに、冷却チャネル１１ａおよび冷却フィン１１ｂは、中に収容された円筒ステータ要素からの熱伝達を増加させるように設けられてよい。各セグメントステータ要素９ｃのシリンダボア１ｃは、ピストン２のための耐摩耗性表面を提供するため、例えば、窒化ケイ素、炭化ケイ素、またはその他のセラミックのような硬質材料によってコーティングされる（図５参照）。

【００６８】

好ましくは、コーティング材料は、軟鋼よりも高い硬度を有する。例えば、一般的に使用される軟（低炭素）鋼種ＡＳＴＭ　Ａ３６は、一般的にブリネル硬度スケールで１８０以下、ロックウェル硬度スケールでおよそ２０以下の硬度を計測する。

【００６９】

これらセグメント化されたステータ要素の内部ボアコーティングが一緒になってひと続きのシリンダボア表面層１を形成する。この表面層は、これら材料は、一度ステータ要素９ｃがクランプまたは他の手段によってシリンダハウジング１１内の所定位置に固定されることで、研かれ、あるいは仕上げられる。クランプ手段は、シリンダハウジング１１の

各端部に取り付けられたクラッププレート１２によって提供することができる。代わりに、クランプは、シリンダハウジング１１の一端に取り付けられた単一のクラッププレート１２によって提供してもよく、セグメント化された円筒ステータ９を、シリンダハウジングの特徴的構造、または、接着、圧縮嵌め合い、またはネジのような他の固定手段によって軸方向に押さえつけることにより、圧縮荷重を作用させる。代わりに、セグメント化された円筒ステータ９は、クラッププレート１２を使用せず、接着、圧縮嵌め合い、またはネジのような他の手段によって、シリンダハウジング１１内の所定位置に固定してもよい。

【図１】

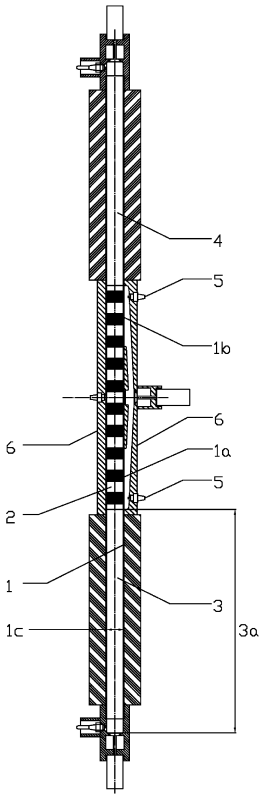

FIG 1

【図２】

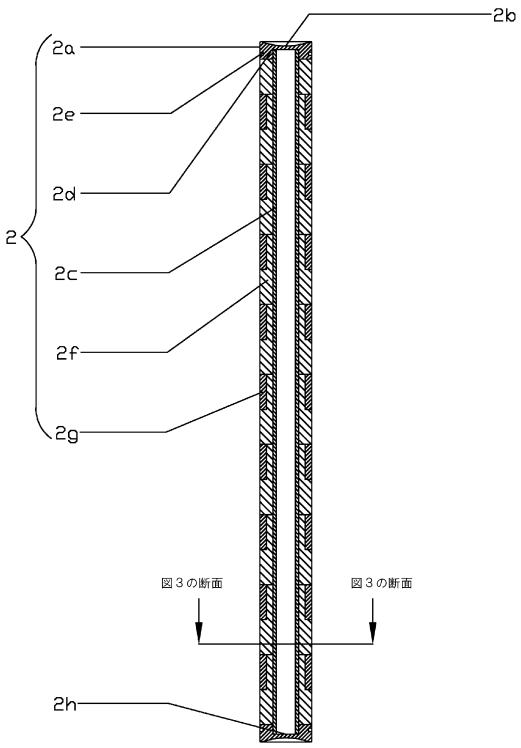

FIG 2

【図３】

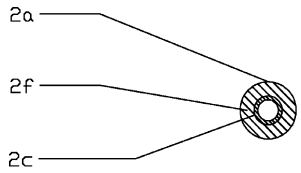

FIG 3

【図４】

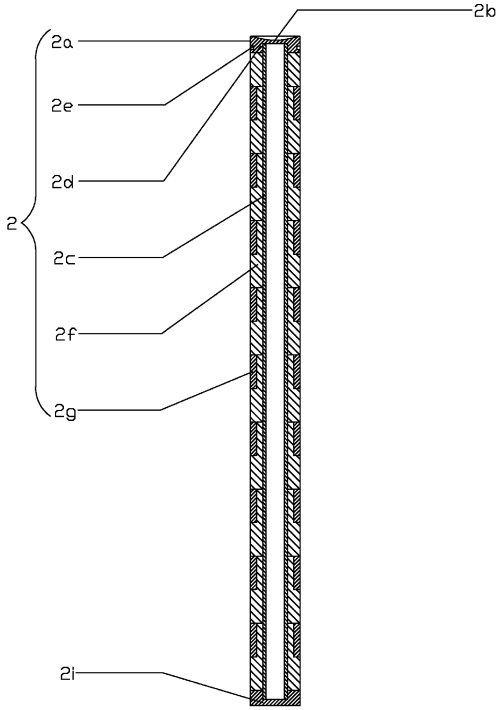

FIG 4

【図５】

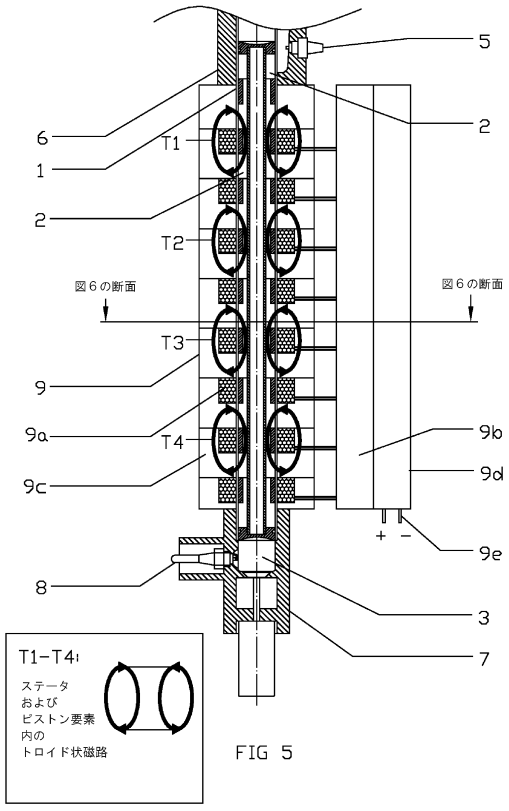

FIG 5

【図６】

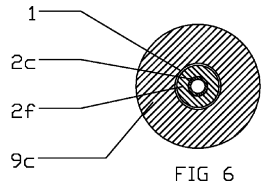

FIG 6

【図７】

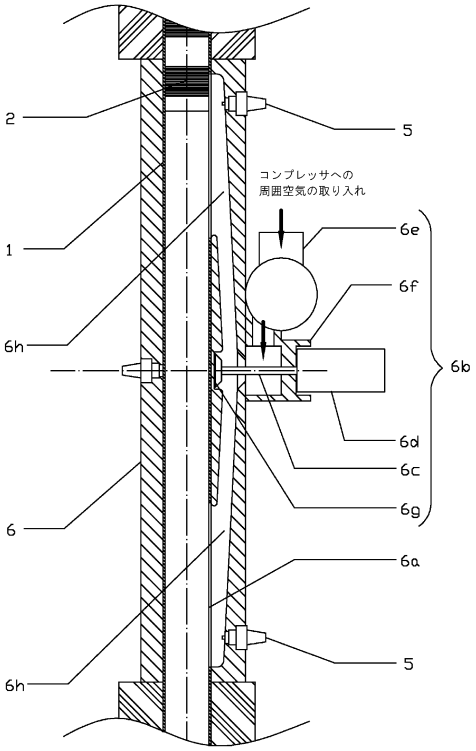

FIG 7

【図８】

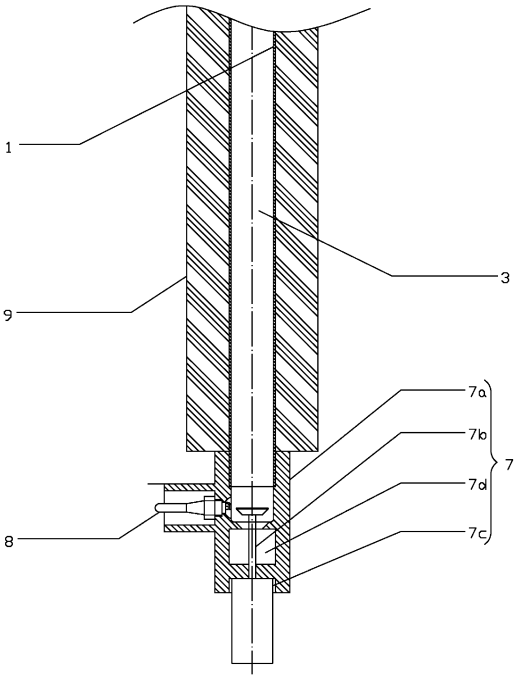

FIG 8

【図９】

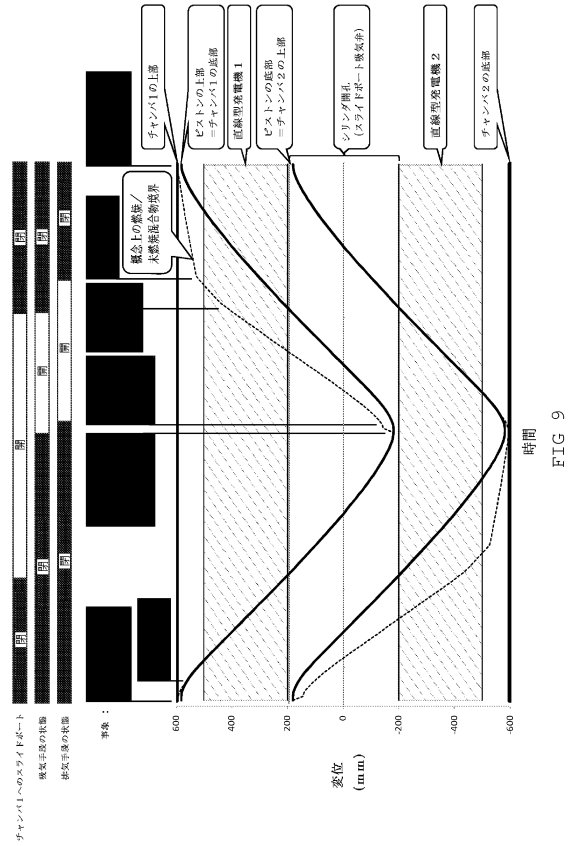

FIG 9

【図１０】

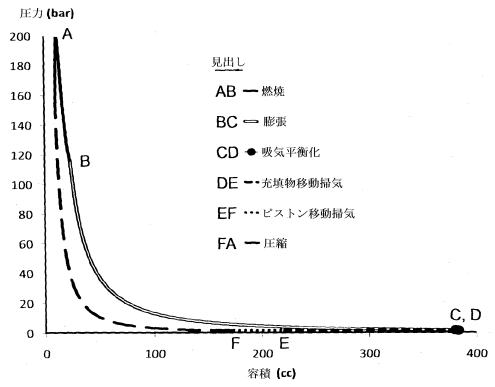

FIG 10

【図１１】

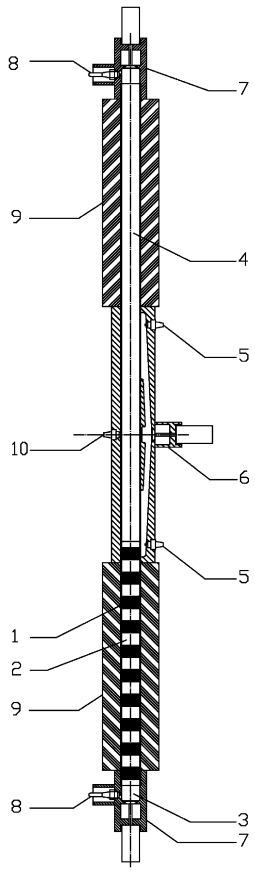

FIG 11

【図１２】

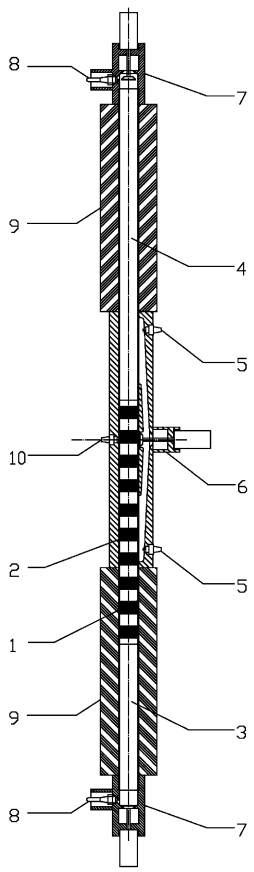

FIG 12

【図１３】

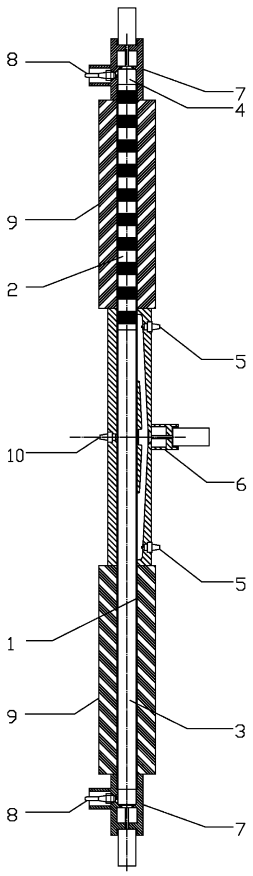

FIG 13

【図１４】

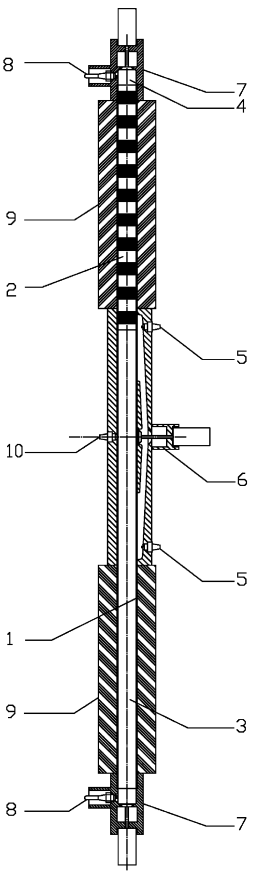

FIG 14

【図１５】

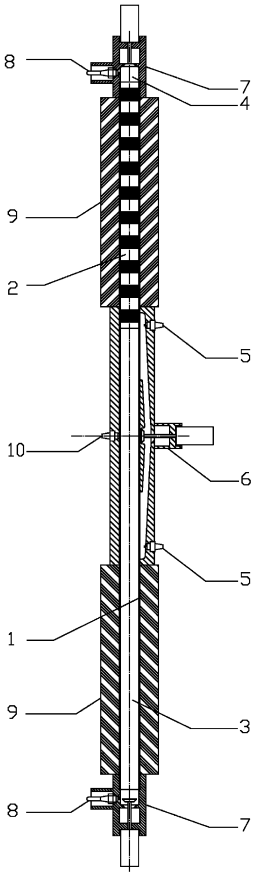

FIG 15

【図１６】

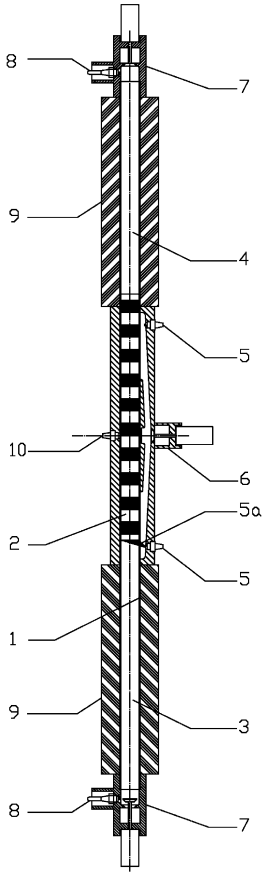

FIG 16

【図１７】

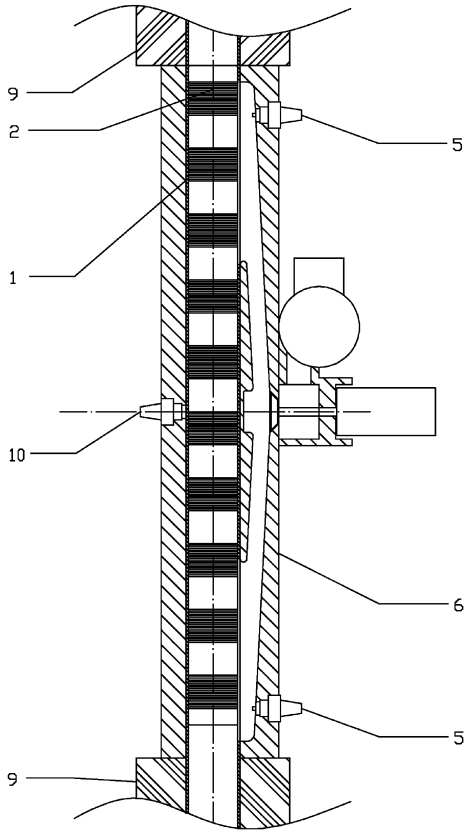

FIG 17

【図１８】

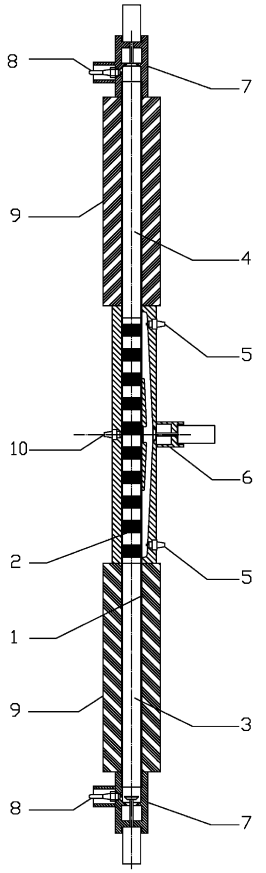

FIG 18

【図１９】

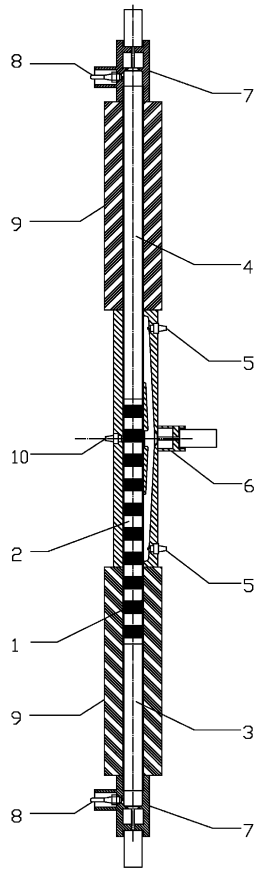

FIG 19

【図２０】

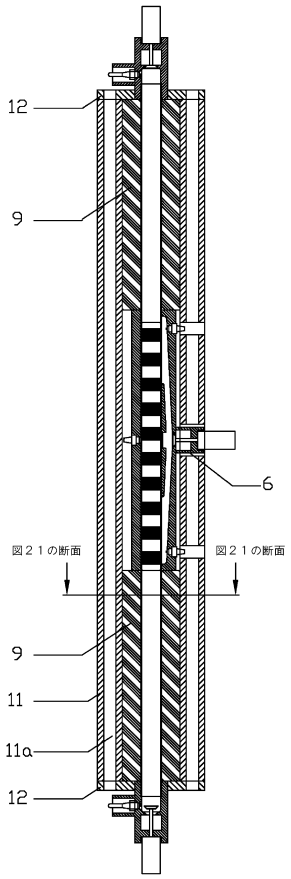

FIG 20

【図２１】

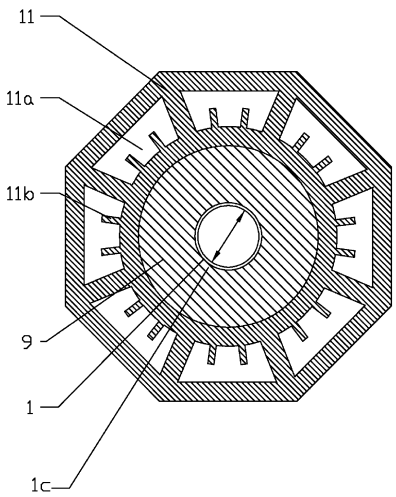

FIG 21

フロントページの続き

(56)参考文献 特表２００３－５１８３５８（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１１８７２５（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－１８９１８５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６０－１５５６６６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１１／０７７１１９（WO，Ａ２）
特開昭５７－１７３３６６（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１３６１６４（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－２３５５１７（ＪＰ，Ａ）
特表２００５－５２４０１６（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－２２５５７０（ＪＰ，Ａ）
特表２００７－５２７６８６（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０７５５６２（ＪＰ，Ａ）
特表２００２－５１１１３０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｋ　３５／０２
Ｆ０２Ｂ　７１／０４