

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 2 月 14 日(14.02.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/022019 A1

- (51) 国際特許分類:
F02B 71/00 (2006.01) F02B 23/02 (2006.01)
F01L 7/06 (2006.01) F02B 75/28 (2006.01)
F01L 21/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/070175
- (22) 国際出願日: 2012 年 8 月 8 日(08.08.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-173625 2011 年 8 月 9 日(09.08.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 学校法人早稲田大学 (WASEDA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒1698050 東京都新宿区戸塚町 1 丁目 1 〇 4 番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 内藤 健 (NAITOH, Ken) [JP/JP]; 〒1698050 東京都新宿区戸

塚町 1 丁目 1 〇 4 番地 学校法人早稲田大学内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 榎本 英俊 (ENOMOTO, Hidetoshi); 〒1920071 東京都八王子市八日町 8-1-1 4 1 3 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシ

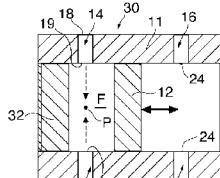
[続葉有]

(54) Title: FREE-PISTON ENGINE

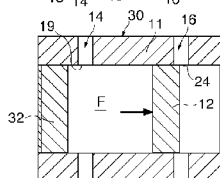
(54) 発明の名称: フリーピストンエンジン

[図4]

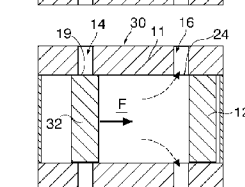
(A)



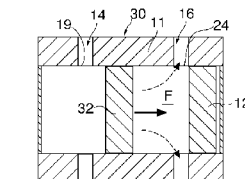
(B)



(C)



(D)



(57) Abstract: This free-piston engine (10) includes a combustion space (F) for combusting an air-fuel mixture, a piston (12) capable of reciprocation between a most-compressed position and a most-expanded position, a suction port (14) for introducing outside air into the combustion space (F), and an exhaust port (16) for directing the exhaust gas to the outside. Power is extracted by movement of the piston (12) from the most-compressed position to the most-expanded position by fuel explosive force and, meanwhile, the piston (12) returns from the most-expanded position to the most-compressed position through action of a piston drive device. Further, when the piston (12) reaches the most-expanded position, said piston opens the exhaust port (16) to the combustion space (F), and when in a different position, closes the exhaust port (16) to the combustion space (F).

(57) 要約: フリーピストンエンジン 10 は、混合気を燃焼させる燃焼空間 F と、最圧縮位置と最膨張位置との間で往復運動可能なピストン 12 と、燃焼空間 F に外気を導入する吸気用ポート 14 と、排気ガスを外部に導く排気用ポート 16 とを含んでいる。ピストン 12 は、燃焼爆発力により最圧縮位置から最膨張位置に移動して動力を取り出す一方、ピストン駆動装置の作動により、最膨張位置から最圧縮位置に戻る。また、ピストン 12 は、最膨張位置に達したときに、燃焼空間 F に対して排気用ポート 16 を開放する一方、それ以外の位置に存在するときに、燃焼空間 F に対して排気用ポート 16 を閉塞する。

WO 2013/022019 A1



(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称 : フリーピストンエンジン

技術分野

[0001] 本発明は、フリーピストンエンジンに係り、特に、外気若しくは当該外気と燃料との混合気を燃焼空間の一定領域に向かって放射状に噴射し、当該一定領域での気体の衝突による圧縮作用を利用して混合気を燃焼する方式に相性の良いフリーピストンエンジンに関する。

背景技術

[0002] 従来のエンジンとして、ピストンにクランクシャフト等が機械的に接続されずに、ピストンのストローク範囲が固定されないフリーピストンエンジンが知られている。このフリーピストンエンジンとして、特許文献1には、ピストンの移動により、シリンダの側壁に開口された掃気ポート、吸気ポート及び排気ポートを開閉するピストン弁方式の構造のものが提案されている。特許文献1のフリーピストンエンジンは、発電装置に組み込まれるものであって、シリンダ内に一対のピストンが対向配置され、各ピストンの対向面間に燃焼空間が形成される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2007-107475号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、前記特許文献1のフリーピストンエンジンにあっては、他のレシプロ型エンジン同様、燃焼空間での混合気の圧縮がピストン運動のみで行われ、燃焼空間での混合気の高圧縮化に限界があり、ジェットエンジン等に要求される程の高出力が得られない。また、ここでのピストンは、燃焼行程後に、ピストン前後にシリンダ内の空間に供給される気体のバランス調整によって移動するようになっており、ピストン的高速運動に対応可能な構

造になっていない。従って、前記特許文献1のフリーピストンエンジンにあっては、従前のエンジン同様、要求される出力の適用範囲が狭いものになる。

[0005] また、従来の様々なエンジンでは、高効率高出力、騒音低減、排気クリーン化を全て満足することは難しい。その一方で、現状の常温核融合炉は、これら三者を同時に満足する可能性を有するものの非常に不安定で実用化には至っていない。

[0006] 更に、自動車や飛行機等の移動体に動力を付与する従来のエンジンとして、レシプロ型エンジンの他に、ジェット型エンジン、スクラム型エンジンがあるが、それぞれの構造上、適用可能となる移動体の速度域が限られており、一つのエンジンで各速度域をカバーできるものは存在しない。

[0007] 本発明は、このような課題に着目して案出されたものであり、その目的は、高効率高出力、騒音低減、排気クリーン化を全て満足することができ、発電用、自動車用の低出力用から航空機、ロケット用の高出力用まで広範囲の出力を一つでカバーすることができるフリーピストンエンジンを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 前記目的を達成するため、本発明は、主として、外気と燃料の混合気を燃焼させる燃焼空間と、当該燃焼空間の容積を最小にする最圧縮位置と当該容積を最大にする最膨張位置との間で往復運動可能に設けられたピストンと、当該ピストンを動作させるピストン駆動装置と、前記燃焼空間に前記外気若しくは前記混合気からなる気体を導入する吸気用ポートと、前記燃焼空間で発生した排気ガスを外部に導く排気用ポートとを備えたフリーピストンエンジンにおいて、前記ピストンは、前記燃焼空間での前記混合気の燃焼による爆発力により、前記最圧縮位置から前記最膨張位置に移動して動力を取り出す一方、前記ピストン駆動装置の作動により、前記最膨張位置から前記最圧縮位置に戻るよう設けられるとともに、前記排気用ポートのバルブとして機能し、前記最膨張位置に達したときに、前記燃焼空間に対して前記排気用

ポートを開放する一方、それ以外の位置に存在するときに、前記燃焼空間に対して前記排気用ポートを閉塞する、という構成を採っている。

- [0009] なお、本明細書及び請求の範囲において、「一定領域」は、燃焼空間の外側から離れた、すなわち、噴出口が形成されたエンジン壁（シリンダの内壁）から離れた燃焼空間の中心の点又は中心軸付近の一定領域を意味する。当該一定領域は、ピストンの移動速度や空燃比を変えても変位せず、方向性を有する各噴出口からの噴流が衝突する一定の領域である。また、前記一定領域は、エンジン壁から離れた燃焼空間の中心部分に存在し、当該一定領域で主たる気体圧縮がなされることから、エンジン壁での気体圧縮が殆どなされないために、シリンダの内壁への熱移動の損失が少ない。なお、前記一定領域は、噴出口から燃焼空間内に噴流が供給されて衝突噴流圧縮が生成開始されるときに、幾何学的に、ピストン及びピストン型バルブの各表面に接触しない微小点か又は微小線分上に存在する。

発明の効果

- [0010] 本発明によれば、ピストンが最圧縮位置から最膨張位置に移動して動力を取り出す際は、燃焼空間での混合気の燃焼による爆発力によりピストンを動作させる一方で、ピストンを最膨張位置から最圧縮位置に戻すときには、ピストン駆動装置の作動によりピストンを動作させるため、前記特許文献1の構造に比べ、ピストンの高速往復運動が可能になり、エンジンの高出力化にも対応可能となる。
- [0011] また、本発明では、燃焼空間に対する吸気用ポート及び排気用ポートの開閉には、ピストン、ロータリーバルブ、若しくはピストン型バルブが用いられるため、噴流を阻害するようなポペットバルブ等のバルブ機構が不要となり、エンジン全体の小型化、軽量化に寄与することができる他、吸排気の細かいタイミング調整を容易に行うことができ、要求される幅広い出力に適用可能となる。
- [0012] 更に、燃焼空間では、ピストンによる気体の圧縮に、吸気用ポートの噴出口からそれぞれ噴出された気体の衝突による圧縮を併用することができ、燃

焼空間での気体の高圧縮化が図れ、高効率高出力のエンジンを提供できる。加えて、燃焼空間に衝突噴流が発生することにより、排気ガスの有害物質の残存量が低減して排気ガスのクリーン化に寄与でき、燃焼時における燃焼空間での気体の膨張により発生する騒音の拡散を抑制し、エンジン騒音の低減にも寄与できる。また、衝突噴流を多重に発生させることにより、燃料が燃焼空間の中心部分に集まり、前記一定領域と前記ピストン及び前記ピストン型バルブの一部以外には、圧縮ガスや燃焼ガスが到達しないようにでき、燃焼後の高温ガスが燃焼空間の外側に分散しにくくなり、燃焼空間の壁面部分との接触によるガスの冷却損失を大幅に低減することができ、この点からも、エンジンの効率及び出力を大幅に向上させることができる。更に、エンジンの始動をスムーズに行うことができる。

[0013] また、ピストン及びピストン型バルブを用いた構造と、吸気用ポートを中心にピストン及び排気ポートを対称に配置する構造は、既存型のエンジンの燃焼方式にも適用することができる。特に、後者の対称配置構造に、噴出口から気体を多重に衝突させて気体を圧縮させる燃焼方式を組み合わせ、所定の燃料と触媒を用いることで、常温核融合を発生させ易くすることができる。

[0014] 更に、穴部の形成縁が非円弧状の曲線に形成され、外周側領域が中心に向かって次第に増大する肉厚を有するロータリーバルブによれば、穴部を通過する気体剥離を抑制可能になり、その結果、外気を吸気用バルブに導入する際に発生する騒音を抑制することができる。

[0015] また、吸気用ポートの吸入口を移動体の表面部分に開放し、当該移動体の移動時に、表面部分に沿う空気流がその途中で層流から乱流に遷移することを抑制可能な構造になっているため、乱流の発生による移動体の空気抵抗を大幅に低減することができ、移動体全体のエネルギー損失を大幅に削減することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]第1実施形態に係るフリーピストンエンジンの構造を概念的に示した概

略断面図である。

[図2] (A) は、図 1 の A－A 線に沿う方向の前記フリーピストンエンジンの概略断面図であり、(B) は、ロータリーバルブを概念的に示した正面図である。

[図3] (A)、(B)、(C) は、図 1 の状態からのフリーピストンエンジンの動作を説明するための概略断面図である。

[図4] (A) は、第 2 実施形態に係るフリーピストンエンジンの構造を概念的に示した概略断面図であり、(B)、(C)、(D) は、(A) の状態から排気行程までのフリーピストンエンジンの動作を説明するための概略断面図である。

[図5] (A)、(B)、(C)、(D) は、図 4 (D) の状態から吸気行程までのフリーピストンエンジンの動作を説明するための概略断面図である。

[図6] ピストンとピストン型バルブの 1 サイクルにおける動作を説明するためのグラフである。

[図7] (A) は、第 3 実施形態に係るフリーピストンエンジンの構造を概念的に示した概略断面図であり、(B)、(C)、(D) は、(A) の状態からのフリーピストンエンジンの動作を説明するための概略断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。

[0018] (第 1 実施形態)

図 1 には、第 1 実施形態に係るフリーピストンエンジンの構造を概念的に示した概略断面図が示されている。この図において、フリーピストンエンジン 10 は、円筒状のシリンダ 11 と、シリンダ 11 の内部空間に収容され、当該内部空間の中心軸に沿う方向（図 1 中左右方向）に移動可能に設けられたピストン 12 と、シリンダ 11 の同図中左端側に形成され、シリンダ 11 内に外気を導入するための吸気用ポート 14 と、シリンダ 11 の同図中左方に隣接し、吸気用ポート 14 への外気の流入をコントロールするロータリーバルブ 15 と、シリンダ 11 の同図中右端寄りの部分に形成され、シリンダ

１１内に発生した排気ガスをエンジン外部に排出するための排気用ポート１６とを備えている。

[0019] 前記ピストン１２は、シリンダ１１の内径とほぼ同一若しくは僅かに小さい外径の円柱状若しくは円盤状に形成されており、吸気用ポート１４側に位置する端面（図１中左端面）とシリンダ１１の内壁部分との間で囲まれる空間が、吸気用ポート１４から導入された外気と燃料との混合気が燃焼する燃焼空間Ｆを構成することになる。このピストン１２は、燃焼空間Ｆの容積を最小にする最圧縮位置と当該容積を最大にする最膨張位置との間で往復運動可能となっている。ここで、ピストン１２が、最圧縮位置から燃焼空間Ｆの容積を増大させる膨張方向（図１中右方）に移動するときには、燃焼空間Ｆでの混合気の燃焼による爆発力がピストン１２の駆動力となり、このとき、ピストン１２に繋がる動力抽出機構（図示省略）により、動力すなわち仕事を取り出されるようになっている。この動力抽出機構としては、特に限定されるものではなく、フリーピストンエンジン１０に併設された電磁気効果を用いたリニア発電機等の発電機のモータを回転させる機構や、自動車の車軸を回転させるためのクランクなどの機械的構造等、様々な公知の機構が適用可能となる。一方、ピストン１２が、最膨張位置から前記膨張方向と逆方向、すなわち、燃焼空間Ｆの容積を減少させる圧縮方向（同図中左方）にピストン１２を移動させるときには、図示省略したピストン駆動装置の駆動力が用いられる。このピストン駆動装置としては、モータ等を例示できるが、ピストン１２を圧縮方向に動作させることができる限り、種々の構造のものを採用することができる。

[0020] なお、図示省略しているが、シリンダ１１には、燃焼空間Ｆに燃料を噴射する噴射手段が設けられ、当該噴射手段からの燃料と吸気用ポート１４から導入された外気との混合気を燃焼空間Ｆで生成するようになっている。ここで、吸気用ポート１４の途中に前記噴射手段が設けられ、吸気用ポート１４から燃焼空間Ｆに混合気を供給してもよい。

[0021] 前記吸気用ポート 14 は、シリンダ 11 の図 1 中左端面に開放する吸入口 18 から燃焼空間 F に開放する噴出口 19 まで延びる流路であり、図 2 (A) に示されるように、シリンダ 11 の周方向に沿って等間隔となる複数位置（本実施形態では 8 箇所）に形成されている。各噴出口 19 は、相互に同一形状となっており、ピストン 12 の移動に拘らず、常にシリンダ 11 内に開放する位置に設けられている。また、各噴出口 19 は、シリンダ 11 の内周壁の周方向ほぼ等間隔となる位置から、燃焼空間 F の一定領域、すなわち、内部中央の衝突部 P に向かって外気を噴出して噴流を形成可能に設けられ、当該衝突部 P では、各噴出口 19 から噴出された外気の噴流を衝突させて混合気を圧縮するようになっている。ここで、噴出口 19 付近の吸気用ポート 14 の流路は、コアンダー効果による噴流の噴出方向を不安定にしないように、直線的に延びる部分すなわち直管部分を設けることが好ましい。

[0022] 前記ロータリーバルブ 15 は、円盤状をなし、燃焼空間 F の中心軸回りに回転可能にシリンダ 11 に支持されており、図示省略した回転装置の駆動により、所定のタイミングで正逆回転可能になっている。すなわち、ロータリーバルブ 15 は、その回転動作により、吸気用ポート 14 から燃焼空間 F への外気の取り込みを許容する開位置と、吸気用ポート 14 から燃焼空間 F への外気の取り込みを規制する閉位置との間で切り替え可能になっている。このロータリーバルブ 15 は、図 2 (B) に示されるように、外縁寄りの複数位置（本実施形態では 8 箇所）に周方向等間隔で形成された丸穴状の穴部 21 と、当該穴部 21 を除く面部 22 とからなる。各穴部 21 は、吸気用ポート 14 の各吸入口 18 に相対して相互に連通可能となる位置及び大きさに形成されている。前記面部 22 は、ロータリーバルブ 15 の回転によって各吸入口 18 に相対したときに、当該各吸入口 18 を全て閉塞するように形成されている。なお、本実施形態では、ロータリーバルブ 15 が閉位置にあるときには、吸入口 18 が外部空間に対して完全に閉塞されるようになっているが、吸入口 18 が外部空間に対して僅かに開放する状態にしても良い。

[0023] 前記排気用ポート 16 は、シリンダ 11 の周方向に沿って等間隔となる複

数位置（本実施形態では8箇所）に形成されており、各排気用ポート16は、図1中右寄りの位置でシリンダ11内に開放する排気口24を備えている。排気口24は、同図中破線に示される最膨張位置にピストン12が達したときに、燃焼空間Fに開放するようになっており、そのときに、燃焼空間Fで発生した排気ガスが、排気用ポート16からフリーピストンエンジン10の外側に排出可能になる。なお、それ以外の位置にピストン12が存在するときには、ピストン12によって、燃焼空間Fと排気口24との間の気体の流通を阻止するようになっている。従って、ピストン12は、排気用ポート16のバルブとしても機能することになる。

[0024] 次に、前記フリーピストンエンジン10の動作について図1及び図3を用いて説明する。

[0025] 先ず、図1に示されるように、ロータリーバルブ15が開位置にされ、フリーピストンエンジン10の外部から吸気用ポート14に外気が導入され、当該外気が燃焼空間Fに供給される。この際、燃焼空間Fに供給される外気は、噴流として各噴出口19から衝突部Pに向かって放射状に噴射され、燃料と混合しながら衝突部Pで衝突して圧縮される。このとき、衝突部Pの周囲に衝突噴流が発生する。これと同時に、ピストン駆動装置（図示省略）の駆動により、ピストン12が前記圧縮方向（同図中左方）に移動し、燃焼空間Fの容積が減少して、混合気が更に圧縮されることになる。このとき、ピストン12は、吸気用ポート14の噴出口19と排気用ポート16の排気口24との間に存在することになり、当該ピストン12により、燃焼空間Fと排気口24との間の気体の流通が遮断されることになる。

[0026] そして、ピストン11が最圧縮位置かそれに近い位置に存在する時点で、燃焼空間Fの混合気が燃焼爆発すると、図3（A）に示されるように、ピストン12が前記膨張方向（同図中右方）に移動し、動力抽出機構（図示省略）により動力が取り出される。なお、混合気を燃焼爆発させる手法としては、特に限定されるものではなく、プラグ等を用いた火花着火の他、レーザー着火等に例示される図示しない着火手段を用いる手法の他、当該着火手段を

用いずに、燃料の特性により圧縮時に燃焼爆発可能な自己着火方式を採用することもできる。

[0027] 更に、図3（B）に示されるように、ピストン12が、排気口24の同図中右側となる最膨張位置に移動すると、燃焼空間Fが排気口24に通じ、燃焼空間Fで発生した排気ガスが排気口24から排気用ポート16に排出されることになる。この際、ロータリーバルブ15は、閉位置にされて吸気用ポート14から燃焼空間Fへの外気の導入が遮断される。このとき、燃焼空間Fに対するロータリーバルブ15の遮断と排気口24の開放により、シリンダ11内の噴出口19側の領域に負圧が発生することになる。

[0028] そして、図3（C）に示されるように、ロータリーバルブ15が閉位置のまま、前記ピストン駆動装置（図示省略）の駆動により、ピストン12が前記圧縮方向（同図中左方）に移動し、燃焼空間Fから排気口24への気体の流出を阻止した状態で、燃焼空間Fの気体が圧縮される。そして、ピストン12が所定の位置に達し、燃焼空間Fがある程度の圧縮状態になったときに、ロータリーバルブ15が再び開位置にされ、既に燃焼空間Fに発生している負圧を利用して外気が燃焼空間Fに導入され、以上を1サイクルとして前述の動作が繰り返し行われる。

[0029] なお、前記ピストン駆動装置（図示省略）によるピストン12の動作タイミング、及び前記回転装置（図示省略）の駆動によるロータリーバルブ15の開閉タイミングは、ピストン12の位置、燃焼空間Fの圧力状態等、図示しない各種センサの計測結果に基づき、図示しない制御装置により制御される。

[0030] 従って、このような第1実施形態によれば、ロータリーバルブ15の開位置と閉位置との間を切り替える開閉動作が繰り返し行われ、各噴出口19から衝突部Pに向かって外気が噴流として間欠的に放射状に噴出され、衝突部Pで多重の気体衝突が間欠的に発生し、燃焼空間Fにパルス状の衝突噴流が発生することになる。また、ロータリーバルブ15が開位置から閉位置に切り替わるときに、燃焼空間Fの圧力を一時的に低下させて燃焼空間Fを負圧

状態にすることができ、ロータリーバルブ 15 が閉位置から開位置に切り替わったときに、各噴出口 19 からの外気の取り込みが促進され、燃焼空間 F への吸気効率を高めることができる。更に、燃焼空間 F での混合気の圧縮は、衝突噴流とピストン 12 の移動の両方で行われることから、高い圧縮効果を得られるとともに、ピストン 12 のストロークを短くすることができ、従来よりも高周波数でピストン 12 を往復運動させることができる。また、レシプロ型エンジンのようなバルブ機構が不要になるため、圧縮比、膨張比、吸排時期、エンジン回転数を無限的に可変とすることができる。更に、衝突部 P での混合気の燃焼爆発時に、衝突部 P の周囲に生じる高速気流で、燃焼空間 F での騒音を拡散させずに閉じ込めることができ、従来のエンジンに比べ騒音を低減することができる。また、衝突噴流の発生により、排気ガス中の有害物質を効率的に燃焼させることができ、当該有害物質の残存量が低減し、排気ガスのクリーン化を図ることができる。

[0031] 以上により、本実施形態のフリーピストンエンジン 10 は、衝突噴流による混合気の圧縮方式に相性の良い構造であり、従来のエンジンに比べ、高効率化、且つ、高出力化を図ることができ、広範な出力要請に対応可能になるとともに、エンジン騒音の低減や排気ガスのクリーン化に寄与できるという効果を得る。

[0032] なお、吸入口 18 及びロータリーバルブ 15 の形状として、吸入口 18 及び穴部 21 の形成縁を滑らかな非円弧状の曲線にすることで、ロータリーバルブ 15 の開位置と閉位置との間での切り替え時における外気の剥離による騒音を大幅に抑制することができる。また、穴部 21 の周囲に位置する面部 22 の肉厚をロータリーバルブ 15 の穴部 21 から離れるに従って増大させることにより、同様に騒音を抑制することができる。

[0033] 次に、本発明の他の実施形態について説明する。なお、以下の説明において、前記第 1 実施形態と同一若しくは同等の構成部分については同一符号を用いるものとし、説明を省略若しくは簡略にする。

[0034] (第 2 実施形態)

図4（A）には、第2実施形態に係るフリーピストンエンジン30の構造を概念的に示した概略断面図が示されている。この図において、本実施形態に係るフリーピストンエンジン30は、前記第1実施形態のフリーピストンエンジン10に対し、ロータリーバルブ15の代わりに、シリンダ11内にピストン型バルブ32を設けたところに特徴を有する。

[0035] 前記ピストン型バルブ32は、シリンダ11の内径とほぼ同一若しくは僅かに小さい外径の円柱状若しくは円盤状に形成されており、ピストン12の図4（A）中左方に相対配置されている。本実施形態における燃焼空間Fは、シリンダ11内におけるピストン12とピストン型バルブ32との間に囲まれる空間に形成されることになる。このピストン型バルブ32は、図示しないモータによって構成されたバルブ駆動装置により、ピストン12の動作方向と同一の方向、つまり、同図中左右方向に移動可能になっている。なお、ピストン型バルブ32にも前記動力抽出機構を繋げ、ピストン型バルブ32の動作によっても仕事を抽出可能にしてもよい。

[0036] 次に、前記フリーピストンエンジンの動作について図4を用いて説明する。

[0037] 先ず、図4（A）に示されるように、ピストン型バルブ32は、同図中左端の初期位置に移動不能に固定されるとともに、ピストン12は、外気が噴出口19から燃焼空間Fに導入可能となるように配置される。この際、燃焼空間Fに供給された噴流状態の外気は、第1実施形態と同様、燃料と混合しながら衝突部Pで衝突し、衝突噴流を発生させながら混合気が圧縮される。これと同時に、前記ピストン駆動装置（図示省略）の駆動により、ピストン12が前記圧縮方向（同図中左方）に移動し、燃焼空間Fの混合気が更に圧縮されることになる。このとき、ピストン12は、噴出口19と排気口24との間に存在することになり、ピストン12により、燃焼空間Fと排気口24との間の気体の流通が遮断される。

[0038] そして、ピストン12が最圧縮位置かそれに近い位置に存在する時点で、燃焼空間Fの混合気が燃焼爆発し、同図（B）に示されるように、ピストン

１２が前記膨張方向（同図中右方）に移動して動力が取り出される。この際、ピストン型バルブ３２は、前記初期位置に固定された状態に維持される。

[0039] 次に、図４（Ｃ）に示されるように、ピストン１２が排気口２４の同図中右側となる最膨張位置に移動すると、燃焼空間Ｆが排気口２４に通じ、燃焼空間Ｆで発生した排気ガスが排気口２４から排気用ポート１６に排出される。このとき、ピストン型バルブ３２は、前記バルブ駆動装置（図示省略）の駆動により、ピストン１２との間の離間距離を狭めながらピストン１２に接近するように移動する。これにより、ピストン１２とピストン型バルブ３２との間の燃焼空間Ｆの容積が次第に減少し、燃焼空間Ｆに発生した排気ガスが排気用ポート１６に排出され易くなる。このとき、図４（Ｄ）に示されるように、ピストン型バルブ３２は、噴出口１９と排気口２４との間に存在することになり、ピストン型バルブ３２により、噴出口１９から燃焼空間Ｆへの外気の導入が遮断される。そして、ピストン型バルブ３２は、図５（Ａ）に示されるように、排気口２４の近傍位置でピストン１２にほぼ接触するように移動し、燃焼空間Ｆの容積をほぼゼロにし、これにより、燃焼空間Ｆの排気ガスが強制的に排気口２４から排気用ポート１６に排出されることになる。なお、ピストン型バルブ３２は、同図中の位置、すなわち、排気口２４をほぼ完全に閉塞する位置まで移動しなくても良い。

[0040] そして、図示しないピストン駆動装置及びバルブ駆動装置の駆動により、図５（Ｂ）に示されるように、ピストン１２とピストン型バルブ３２が、相互の離間距離を拡げながら、噴出口１９の方向（同図中左方）に共に移動する。このとき、図５（Ｃ）に示されるように、ピストン１２とピストン型バルブ３２が、噴出口１９及び排気口２４と燃焼空間Ｆとの間の気体の流通を阻止する位置に移動すると、燃焼空間Ｆが閉塞される。この状態で、ピストン１２とピストン型バルブ３２が相互の離間距離を拡げながら、噴出口１９の方向（同図中左方）に共に移動すると、閉塞した燃焼空間Ｆの体積が膨張し、燃焼空間Ｆ内に負圧が発生することになる。そして、図５（Ｄ）に示されるように、ピストン型バルブ３２が噴出口１９の同図中左方の位置に戻る

と、燃焼空間Fの負圧を利用しながら外気が噴出口19から燃焼空間Fに導入され、以上を1サイクルとして前述の動作が繰り返し行われる。ここで、衝突噴流の生成時に、ピストン型バルブ32をピストン12方向に多少移動させることで、ピストン12近傍に存在する燃焼空間Fの負圧領域に衝突噴流が誘引され、燃焼時におけるピストン12の振動抑制効果を高めることもできる。

[0041] なお、ピストン12及びピストン型バルブ32は、排気後に燃焼空間Fに負圧を生成可能となるように非対称に動作するが、それらの動作タイミングは、ピストン12の位置、燃焼空間Fの圧力状態等、図示しない各種センサの計測結果に基づき、図示しない制御装置により制御される。

[0042] 従って、このような第2実施形態によれば、第1実施形態に対し、ロータリーバルブ15を不要とした構成となっているため、ロータリーバルブ15の開閉動作に伴う動作音が発生せず、全体的な騒音抑制効果を更に高めることができる。また、ロータリーバルブ15の回転機構等が不要となって、エンジン全体の一層の小型化及び軽量化を図ることができるとともに、エンジンの耐久性を向上させることができる。

[0043] また、ピストン型バルブ32の移動によって排気用ポート16への排気ガスの排出が促進され、排気をより効率的に行うことができ、エンジンの高効率化、高出力化を一層促進することができる。

[0044] なお、第2実施形態のフリーピストンエンジン30にあっては、燃焼空間Fに衝突噴流を発生させず、単に、噴出口19から燃焼空間Fに外気を導入し、燃料との混合気を燃焼爆発させるタイプとしても良い。この場合、シリンダ11内に開放する噴出口19、排気口24を1箇所のみにもすることもできる。

[0045] また、前記制御装置では、排気ガスの排出終了後にピストン12及びピストン型バルブ32が移動する際に、それらの離間距離を調整可能にし、所望の前記負圧を得られるようにすることもできる。例えば、エンジン始動直後に前記負圧をゼロとし、当該負圧が次第に増大するように、前記ピストン駆

動装置及び前記バルブ駆動装置の作動を制御することも可能である。

[0046] 更に、ピストン 1 2 及びピストン型バルブ 3 2 は、ピストン型バルブ 3 2 が 1 サイクル動作する間に、ピストン 1 2 が整数回（例えば 3 回が好ましい、図 6 参照）のサイクルで動作するように機械的に構成することができる。この場合は、ピストン 1 2 とピストン型バルブ 1 3 の移動と動力の取り出しは、クランク等の機械的構造のみでの単純な正弦波に近い動作で、本実施形態の動作と同等かそれ以上の性能実現が可能となる。ここで、当該動作を前記制御装置による制御によって行ってもよい。これによれば、ピストン 1 2 の移動範囲を少なくし、ピストン 1 2 の低ストローク化が可能になる。なお、図 6 において、上側の曲線は、ピストン 1 2 における 1 サイクルの間でのピストン位置を表しており、下側の曲線は、ピストン型バルブ 3 2 における 1 サイクルの間でのピストン位置を表している。同図でのピストン位置は、同図中下端がシリンダ 1 1 内の左端の位置に相当し、同図中上端がシリンダ 1 1 内の右端の位置に相当する。なお、逆に、ピストン 1 2 が 1 サイクル動作する間に、ピストン型バルブ 3 2 が整数回のサイクルで動作するように構成することも可能である。

[0047] また、排気口 2 4 を噴出口 1 9 と同数設け、各排気口 2 4 を各噴出口 1 9 に対しそれぞれ燃焼空間 F の軸線方向に対応して配置し、つまり、各噴出口 1 9 及び各排気口 2 4 について、燃焼空間 F の周方向の位置を一致させるとともに、各吸気用ポート 1 4 と各排気用ポート 1 6 との間にそれぞれ連なって通じる EGR ポートを設け、排気口 2 4 から排出された排気ガスの一部を、対応する噴出口 1 9 から外気とともに噴出可能にするとよい。この構成によれば、燃焼空間 F での圧縮及び燃焼をさらに安定的に行うことができる。すなわち、一部の噴出口 1 9 から噴出される気体の上流側に外乱が生じると、各噴出口 1 9 からの噴流に強弱が生じ、噴流の弱い噴出口 1 9 の方向に噴流衝突後のジェット気流が押されるが、これに伴い、当該噴出口 1 9 に対応する周方向位置の排気口 2 4 への排気ガスの量が増えるため、次のサイクルでは、当該噴出口 1 9 からの噴流の量が増えることになり、位置ずれしたジ

ェット気流を正常な位置に導くように機能する。なお、各噴出口 19 からの噴流の量を含む燃焼空間 F の燃焼状態をセンサ等で検出し、これら検出値に基づいて、各噴出口 19 からの排気ガスの噴出量を電磁的に制御する手段を設けることもできる。当該手段としては、EGR ポートに設けた電磁弁と当該電磁弁を制御する制御装置等が挙げられる。

[0048] 更に、各噴出口 19 は、衝突部 P が排気口 16 寄りに形成される向きで、前記噴流を燃焼空間 F に供給可能に設けることもでき、これにより、ピストン型バルブ 32 のストロークを短くすることができる。

[0049] (第 3 実施形態)

図 7 (A) には、第 3 実施形態に係るフリーピストンエンジンの構造を概念的に示した概略断面図が示されている。この図において、本実施形態に係るフリーピストンエンジン 40 は、前記第 1 実施形態に対し、ロータリーバルブ 15 を設けずに、ピストン 12 及び排気用ポート 16 を燃焼空間 F の中心軸に沿う方向にそれぞれ一対設け、吸気用ポート 14 を中心に同図中左右対称にそれぞれ配置したところに特徴を有する。

[0050] ここでの一対のピストン 12, 12 は、図 7 (A) 中左右対称に動作可能となっている。また、吸気用ポート 14 は、特に限定されるものではないが、シリンダ 11 の周囲に 3 列 1 セットとして、シリンダ 11 の周方向に複数セット形成されており、中央に存在する吸気用ポート 14 を中心として、他の 2 箇所の吸気用ポート 14, 14 が同図中左右対称になるように形成されている。ここで、3 列の吸気用ポート 14 の各噴出口 19 は、前記各実施形態同様、それぞれ、衝突部 P に向かって放射状に外気を噴出可能に設けられており、衝突部 P では、噴流状態の混合気が前記各実施形態よりも多重に衝突し、衝突噴流を発生させて混合気を圧縮可能になっている。更に、排気用ポート 16 は、同図中左右両端側で対称に配置される。

[0051] 次に、前記フリーピストンエンジン 40 の動作について図 7 を用いて説明する。

[0052] 先ず、図 7 (A) に示されるように、同図中左右の各ピストン 12, 12

は、それらの間に燃焼空間Fを形成するように一定の隙間を隔てて配置されるとともに、各吸気用ポート14の各噴出口19が全て燃焼空間Fに開放するように配置される。この状態では、各吸気用ポート14に外気が導入され、当該外気が各噴出口19を通じて燃焼空間Fに供給される。この際、燃焼空間Fに供給された外気は、燃料と混合しながら衝突部Pに向かってそれぞれ放射状に噴出され、多重衝突噴流を発生させ、混合気を圧縮する。これと同時に、ピストン駆動装置（図示省略）の駆動により、各ピストン12、12が相互に接近する方向に移動し、燃焼空間Fの容積が減少して、燃焼空間Fの混合気が更に圧縮されることになる。このとき、各ピストン12、12は、噴出口19と排気口24との間にそれぞれ存在するようになっており、当該各ピストン12、12により、燃焼空間Fと各排気口24、24との間の気体の流通が遮断されることになる。

[0053] そして、各ピストン12、12が最も接近する最圧縮位置かそれに近い位置に存在する時点で、燃焼空間Fの混合気が燃焼爆発し、当該爆発力によって、図7（B）に示されるように、各ピストン12、12が相互に離間する方向に移動し、各ピストン12、12から動力が抽出される。

[0054] 更に、図7（C）に示されるように、各ピストン12、12が各排気口24、24の同図中左方の最膨張位置に移動すると、燃焼空間Fが排気口24に通じ、燃焼空間Fに発生した排気ガスが排気口24を通じて排気用ポート16に排出されることになる。この際、各ピストン12、12の間の燃焼空間Fに負圧が発生する。

[0055] 次に、図示しないピストン駆動装置を動力として、図7（D）に示されるように、各ピストン12、12が相互に接近する方向に移動する。このとき、燃焼空間Fと排気口24との間に各ピストン12、12が位置し、各ピストン12、12の存在により、燃焼空間Fと排気口24との間の気体の流通が遮断される。また、この際、既に発生している燃焼空間Fの負圧を利用して、外気が各噴出口19から燃焼空間F内に導入されるとともに、各ピストン12、12が相互に接近する方向に更に移動することにより、燃焼空間F

の混合気が圧縮され、以上を１サイクルとして前述の動作が繰り返し行われる。

[0056] なお、図示しないピストン駆動装置によるピストン１２，１２の動作タイミングは、前記各実施形態同様に、図示しない制御装置により制御される。

[0057] このような第３実施形態によれば、前記各実施形態の効果を一層高めることができる。

[0058] なお、以下の変形例は、前記各実施形態それぞれの構成において、採用することができる。

[0059] 前記吸気用ポート１４の吸入口１８は、フリーピストンエンジン１０が搭載される移動体（図示省略）の表面部分に開放するように形成すると良い。これにより、当該移動体が移動する過程で、その表面部分を通過する空気の一部が吸入口１８から吸気用ポート１４に導入され、前記表面部分に沿う空気の流れが、当該表面部分の途中で層流から乱流に遷移することが抑制されるため、当該遷移に起因する空気抵抗を大幅に低減することができる。

[0060] また、燃料として、炭化水素燃料、水素又は重水素を用い、プラチナ、ニッケル、パラジウム、リチウム若しくは、硫黄とそれに近い原子番号の原子分子からなる触媒を１又は複数併用することで、燃焼空間Ｆでの常温核融合による大きなエネルギー発生が可能になる。この際、触媒の粒径を１０ｎｍ以下にするとよい。また、炭化水素燃料を用いる場合は、燃焼後に水素が生成されるように、局所的混合比が理論混合比よりも燃料リッチとすることが好ましい。更に、前記触媒は、燃料に混入せずに、ピストン１２における燃焼空間Ｆ側の表面中央部に薄膜状に塗布形成してもよい。

[0061] また、前記各噴出口１９は、好ましくは、燃焼空間Ｆの中心軸に対して軸対称に配置され、且つ、シリンダ１１の周方向３箇所以上に設けられる。これにより、各噴出口１９からの噴流を確実に衝突部Ｐに集めることが可能になり、衝突噴流による圧縮効果を高めることができる。また、噴出口１９の形成縁を非円形の曲線状にすると、噴出口１９の開閉に際しその開口面積が経時的に増減する際に、噴出口１９からの噴流流量の時間変化の割合を可変

にすることができ、騒音振動がより低減可能になる。

[0062] 更に、燃焼空間Fでの燃焼直前に、ピストン12を前記最圧縮位置から前記最膨張位置に向かう方向に移動させ、及び／又は、ピストン型バルブ32を前記初期位置から排気用ポート16方向に移動させるとよい。これにより、仕事が最大限に取り出され、熱効率を最適化させることができる。

[0063] また、前記制御装置では、燃焼空間Fに衝突噴流を発生させずに、ピストン12の圧縮のみによる燃焼を行う第1モードと、燃焼空間Fに前記衝突噴流を発生させて燃焼を行う第2モードとを切り換え可能に制御することも可能である。前記第1モードでは、従前のレシプロエンジンを用いた機械的圧縮のように、燃焼空間F内で均一な圧縮が行われる一方、前記第2モードでは、前述したように、燃焼空間Fの内部中央の衝突部P近傍で主として圧縮が行われる。

[0064] 更に、燃焼空間Fでは、噴出口19からの気体とともに、排気ガスを導入し、当該排気ガスを前記衝突噴流に衝突可能にすることもできる。これにより、圧縮比を増大させ、空燃比増大によりデトネーションを抑制し、ピストン12の不要な振動を抑制することができる。なお、ここでの排気ガスの燃焼空間Fへの導入は、吸気用ポート14に排気用ポート16を接続して行う構成の他に、前記制御装置でピストン12の動作を制御し、噴出口19からの気体の導入時に、排気口24から排気ガスを導入する構成等、噴出口19から気体とともに排気ガスを導入できる限りにおいて種々の構成を採用することができる。

[0065] また、燃料を含まない外気のみが燃焼空間Fに導入されて燃焼を行わない停止サイクルを生成する手段を備えることもできる。これにより、自動車用エンジン等、一定の出力を要求されないエンジンのパワー制御を容易に行うことができる。

[0066] 更に、吸気用ポート14の上流側に過給機を設け、吸気用ポート14に導入される外気（空気）の圧力を上げ、燃焼空間F内の圧力が大気圧以上の状態のときにおいても、燃焼空間Fに複数の噴流を送り込んで、衝突噴流を発

生させる構成を採用することができる。これにより、圧縮比が更に上がって着火性が向上し、より多くの仕事を取り出すことができる。

[0067] また、前記各実施形態によれば、前記衝突部Pで複数の噴流の衝突が繰り返し行われ、パルス状の衝突噴流が生成されることでプラズマ流を発生させることが可能になるが、このプラズマ流を用いた電磁気効果による発電も可能である。具体的には、衝突部P付近に磁石を配置し、プラズマ流によるMHD (M a g n e t o H y d r o D y n a m i c s) 効果により発電させる。これにより、ピストン12やピストン型バルブ32が動作していない場合や遅い動作の際でも発電可能になるとともに、燃焼空間Fの気流エネルギーの一部を発電に用いることができ、気流速度が下がり、効率的なエネルギー生成が可能になる。また、当該発電を前述のピストン駆動装置、バルブ駆動装置、過給機等の動力源とすることも可能である。

[0068] その他、本発明における装置各部の構成は図示構成例に限定されるものではなく、実質的に同様の作用を奏する限りにおいて、種々の変更が可能である。例えば、吸気用ポート14、排気用ポート16を滑らかに湾曲した形状にすることもできる。

産業上の利用可能性

[0069] 本発明は、発電機や自動車の動力の発生源として好適である他、航空機、ロケット等の推力の発生源としても利用可能であり、広範な装置の動力としても利用可能である。

符号の説明

[0070] 10 フリーピストンエンジン
12 ピストン
14 吸気用ポート
15 ロータリーバルブ
16 排気用ポート
18 吸入口
19 噴出口

- 2 1 穴部
- 2 2 面部
- 2 4 排気口
- 3 0 フリーピストンエンジン
- 3 2 ピストン型バルブ
- 4 0 フリーピストンエンジン
- F 燃焼空間
- P 衝突部

請求の範囲

[請求項1]

外気と燃料の混合気を燃焼させる燃焼空間と、当該燃焼空間の容積を最小にする最圧縮位置と当該容積を最大にする最膨張位置との間で往復運動可能に設けられたピストンと、当該ピストンを動作させるピストン駆動装置と、前記燃焼空間に前記外気若しくは前記混合気からなる気体を導入する吸気用ポートと、前記燃焼空間で発生した排気ガスを外部に導く排気用ポートと、前記燃焼空間の中心軸方向に沿って移動することで、前記吸気用ポートを開閉可能にするピストン型バルブと、当該ピストン型バルブを動作させるバルブ駆動装置とを備え、

前記ピストンは、前記燃焼空間での前記混合気の燃焼による爆発力により、前記最圧縮位置から前記最膨張位置に移動して動力を取り出す一方、前記ピストン駆動装置の作動により、前記最膨張位置から前記最圧縮位置に戻るよう設けられるとともに、前記排気用ポートのバルブとして機能し、前記最膨張位置に達したときに、前記燃焼空間に対して前記排気用ポートを開放する一方、それ以外の位置に存在するときに、前記燃焼空間に対して前記排気用ポートを閉塞するように配置され、

前記ピストン型バルブは、前記ピストンに相対配置され、当該ピストンとの間に囲まれる空間に前記燃焼空間を形成し、前記バルブ駆動装置の作動により、前記燃焼空間での燃焼後に、前記吸気用ポートが前記燃焼空間に開放する初期位置から、前記排気用ポートへの前記排気ガスの排出を促進する方向に移動し、前記排気ガスの排出が終了した後に前記初期位置に戻ることを特徴とするフリーピストンエンジン。

[請求項2]

前記ピストン駆動装置及び前記バルブ駆動装置は、前記ピストンと前記ピストン型バルブを、非対称に動作可能に設けられるとともに、前記排気ガスの排出が終了した後に、前記ピストン及び前記ピストン型バルブで前記燃焼空間を閉塞した状態で、前記ピストンと前記ピ

ストン型バルブとの離間距離を拡げながら、前記気体の導入前の前記燃焼空間に負圧を発生可能に設けられることを特徴とする請求項 1 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項3] 前記吸気用ポートは、前記気体を前記燃焼空間の内部中央に位置する一定領域に向かってそれぞれ噴出可能に形成された複数の噴出口を備え、

前記燃焼空間では、前記ピストンの移動による前記混合気の圧縮に加え、前記各噴出口からそれぞれ噴出された噴流状態の前記気体を前記一定領域で衝突させることで、衝突噴流を発生させながら前記混合気を圧縮させることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項4] 前記各噴出口は、前記燃焼空間の中心軸に対して軸対称に配置され、

前記排気用ポートは、前記燃焼空間に開放する排気口を備え、当該排気口は、少なくとも前記噴出口と同数設けられるとともに、当該各噴出口に対しそれぞれ前記燃焼空間の軸線方向に対応して配置され、前記排気口から排出された排気ガスの一部が、対応する前記各噴出口から前記気体とともに噴出可能に設けられていることを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項5] 前記排気用ポートは、前記燃焼空間に開放する排気口を備え、当該排気口から排出された排気ガスの一部が、前記各噴出口から前記気体とともに噴出可能に設けられ、

前記燃焼空間の燃焼状態に応じて前記各噴出口からの前記排気ガスの噴出量を制御する手段を備えたことを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項6] 前記燃焼空間での燃焼直前に、前記ピストンを前記最圧縮位置から前記最膨張位置に向かう方向に移動させ、及び／又は、前記ピストン型バルブを前記初期位置から前記排気用ポートへの前記排気ガスの排

出を促進する方向に移動させることを特徴とする請求項 1、2 又は 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項7] 前記ピストン駆動装置及び前記バルブ駆動装置の作動と、前記燃焼空間に導入される前記気体の状態とを制御する制御装置を備え、

前記制御装置では、前記燃焼空間に前記衝突噴流を発生させずに、前記ピストンの圧縮のみによる燃焼を行う第 1 モードと、前記燃焼空間に前記衝突噴流を発生させて燃焼を行う第 2 モードとを切り換え可能に前記制御を行うことを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項8] 前記ピストン駆動装置及び前記バルブ駆動装置の作動を制御する制御装置を備え、

前記制御装置では、前記ピストンと前記ピストン型バルブの離間距離を調整することで、前記負圧がエンジン始動時から次第に増大するように、前記ピストン駆動装置及び前記バルブ駆動装置の作動を制御することを特徴とする請求項 2 又は 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項9] 前記燃焼空間は、前記気体の導入とともに、前記排気用ポートから前記排気ガスを導入し、当該排気ガスを前記衝突噴流に衝突可能に設けられることを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項10] 前記噴出口は、その形成縁が非円形の曲線状をなす形状に設けられていることを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項11] 前記ピストン及び前記ピストン型バルブは、前記ピストン型バルブが前記初期位置から当該初期位置に戻るサイクルを 1 回行う間に、前記ピストンが前記最圧縮位置から前記最圧縮位置に戻るサイクルを整数回行い、若しくは、前記ピストンの前記サイクルを 1 回行う間に、前記ピストン型バルブの前記サイクルを整数回行うように構成されることを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項12] 前記燃料を含まない外気のみが前記燃焼空間に導入されて燃焼を行

わない停止サイクルを生成する手段を備えたことを特徴とする請求項3記載のフリーピストンエンジン。

[請求項13] 前記各噴出口は、前記一定領域が前記排気ポート寄りに形成される向きで、前記噴流を前記燃焼空間に供給可能に設けられていることを特徴とする請求項3記載のフリーピストンエンジン。

[請求項14] 外気と燃料の混合気を燃焼させる燃焼空間と、当該燃焼空間の容積を最小にする最圧縮位置と当該容積を最大にする最膨張位置との間で往復運動可能に設けられたピストンと、当該ピストンを動作させるピストン駆動装置と、前記燃焼空間に前記外気若しくは前記混合気からなる気体を導入する吸気用ポートと、前記燃焼空間で発生した排気ガスを外部に導く排気用ポートとを備えたフリーピストンエンジンにおいて、

前記ピストンは、前記燃焼空間での前記混合気の燃焼による爆発力により、前記最圧縮位置から前記最膨張位置に移動して動力を取り出す一方、前記ピストン駆動装置の作動により、前記最膨張位置から前記最圧縮位置に戻るよう設けられるとともに、前記排気用ポートのバルブとして機能し、前記最膨張位置に達したときに、前記燃焼空間に対して前記排気用ポートを開放する一方、それ以外の位置に存在するときに、前記燃焼空間に対して前記排気用ポートを閉塞し、

前記吸気用ポートは、前記気体を前記燃焼空間の内部中央に位置する一定領域に向かってそれぞれ噴出可能に形成された複数の噴出口を備え、

前記燃焼空間では、前記ピストンの移動による前記混合気の圧縮に加え、前記各噴出口からそれぞれ噴出された前記気体を前記一定領域で衝突させることで、衝突噴流を発生させながら前記混合気を圧縮させることを特徴とするフリーピストンエンジン。

[請求項15] 前記吸気用ポートから前記燃焼空間への前記気体の取り込みを許容する開位置と、前記吸気用ポートから前記燃焼空間への前記気体の取

り込みを阻止する閉位置との間で切替可能なロータリーバルブを更に備え、

前記ロータリーバルブは、前記開位置のときに前記吸気用ポートに連なって通ずる穴部と、当該穴部の周囲に位置し、前記閉位置のときに前記吸気用ポートに相対する面部とを備え、前記燃焼空間の中心軸回りに回転することで、前記吸気用ポートの開閉を切り替えることを特徴とする請求項 1 4 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項16] 前記ロータリーバルブは、前記穴部の形成縁が非円弧状の曲線に形成され、及び／又は、外周側の領域の肉厚が中心に向かって次第に増大するように形成され、前記穴部を通過する際の気体剥離を抑制可能に設けられていることを特徴とする請求項 1 5 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項17] 前記ピストン及び前記排気用ポートは、前記燃焼空間の中心軸に沿う方向に一对設けられるとともに、前記吸気用ポートを中心に相互に対称となるように配置され、前記燃焼空間は、前記各ピストンの間に形成され、前記ピストンは、相互に離間接近するように移動することを特徴とする請求項 1 4 記載のフリーピストンエンジン。

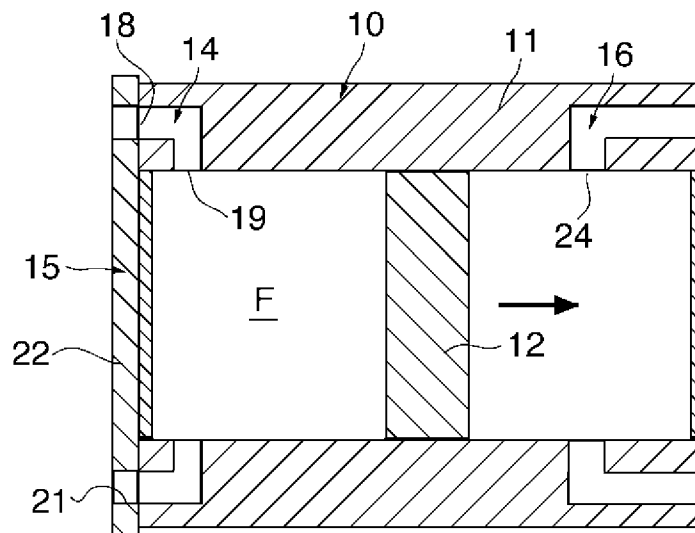
[請求項18] 前記吸気用ポートは、前記外気を外部から取り込む吸入口を含み、当該吸入口は、フリーピストンエンジンが搭載される移動体の表面部分に開放することで、当該移動体の移動時に、前記表面部分に沿う空気流の層流から乱流への遷移を抑制可能に形成されていることを特徴とする請求項 1、2 又は 1 4 記載のフリーピストンエンジン。

[請求項19] 前記吸気用ポートの上流側には、前記吸気用ポートに導入される前記気体の圧力を上げ、前記燃焼空間の圧力が大気圧以上の状態のときにおいても、前記気体を噴流状態で前記燃焼空間に導入可能にする過給機を設けたことを特徴とする請求項 3 記載のフリーピストンエンジン。

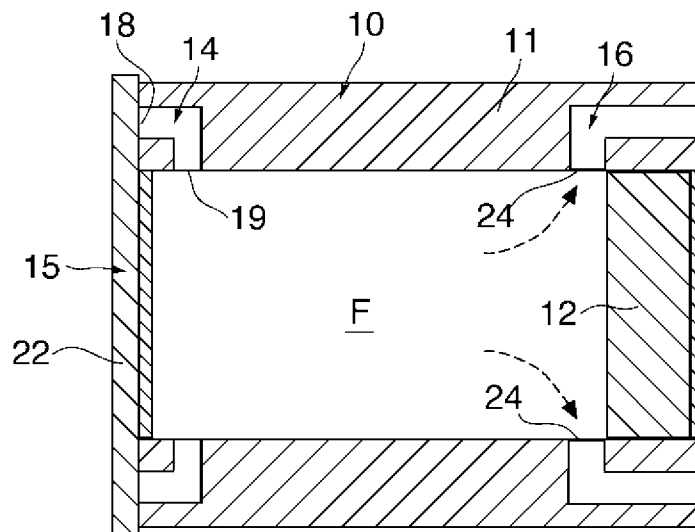
(B)

Diagram (B) shows a top view of a circular substrate 15. Eight circular openings 21 are arranged in a ring within the substrate. A label 22 points to the substrate area.

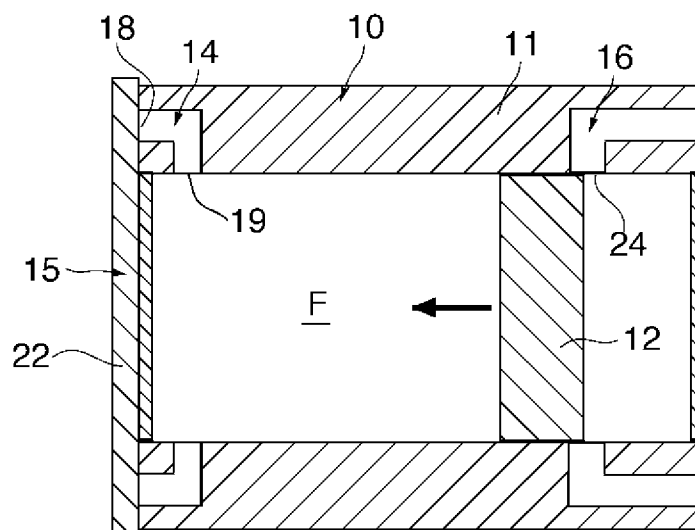
[図3]
(A)



(B)

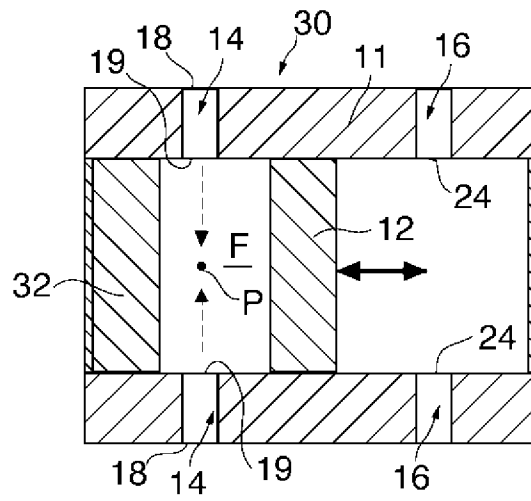


(C)

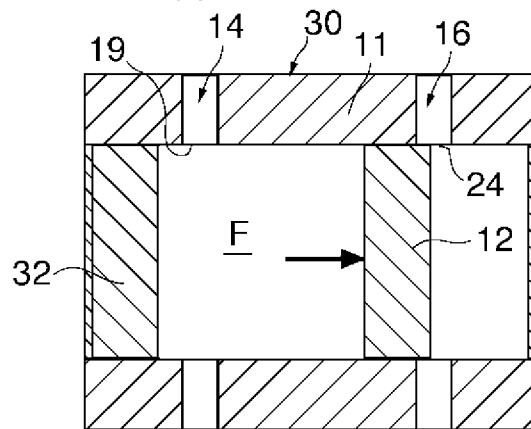


[図4]

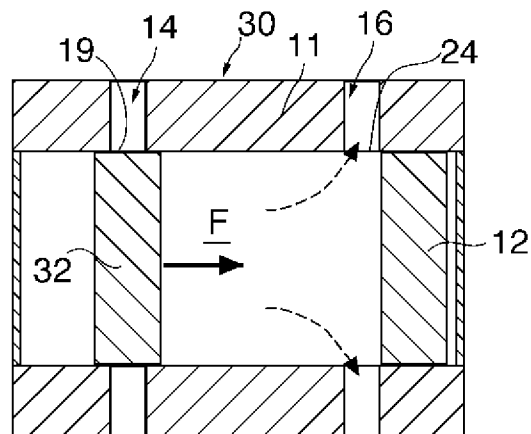
(A)



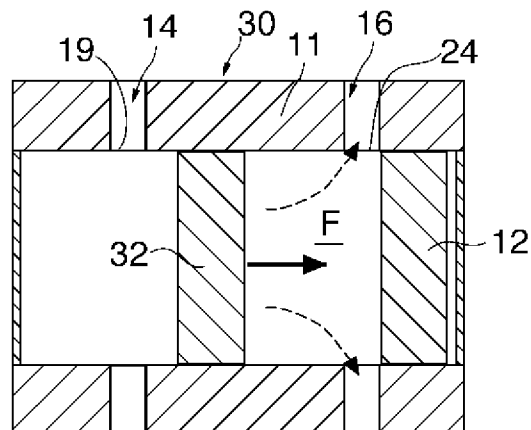
(B)



(C)

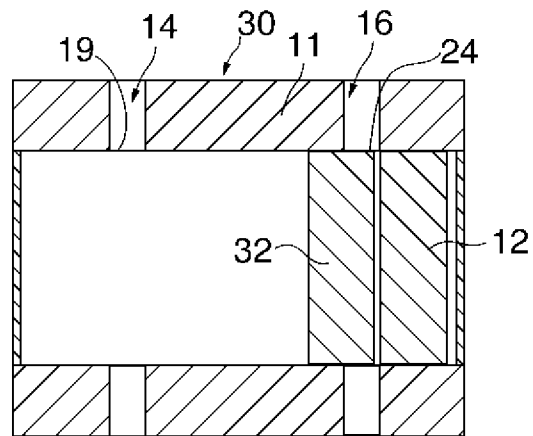


(D)

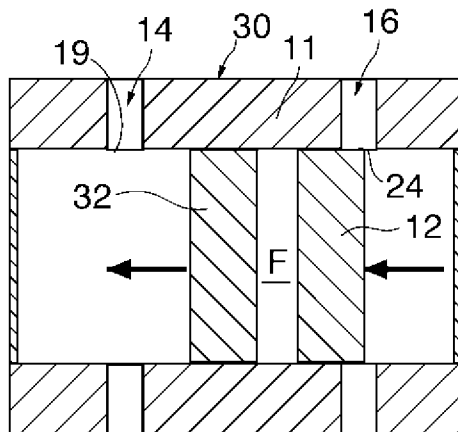


[図5]

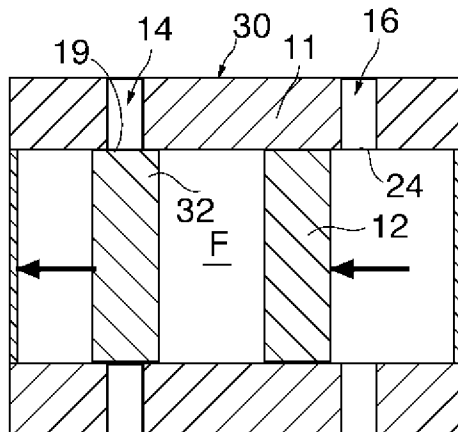
(A)



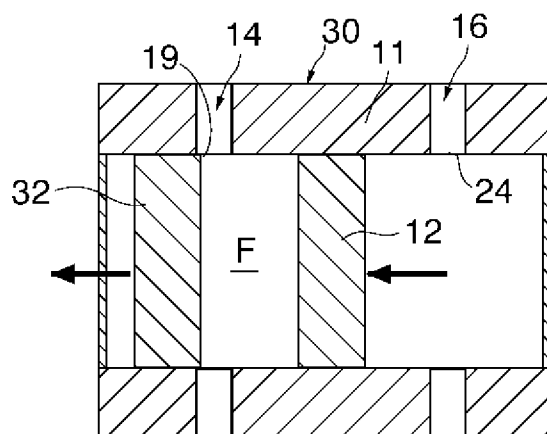
(B)



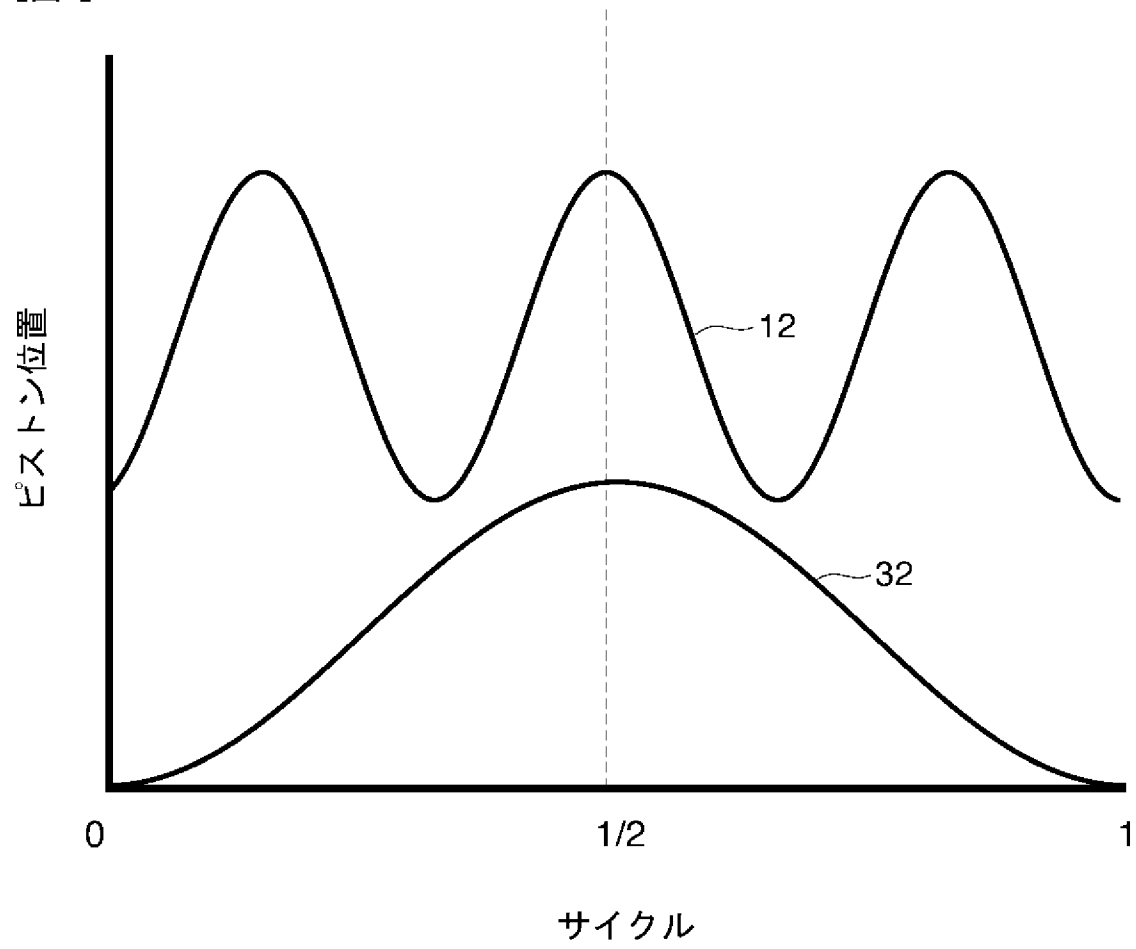
(C)



(D)

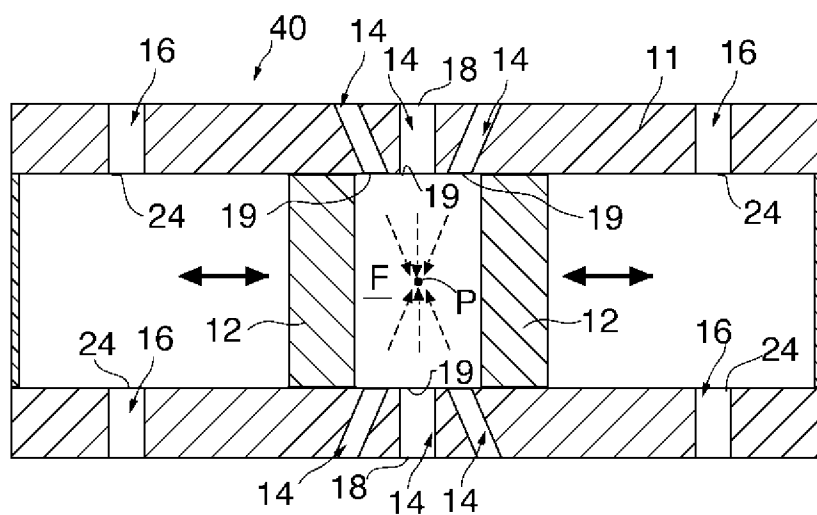


[図6]

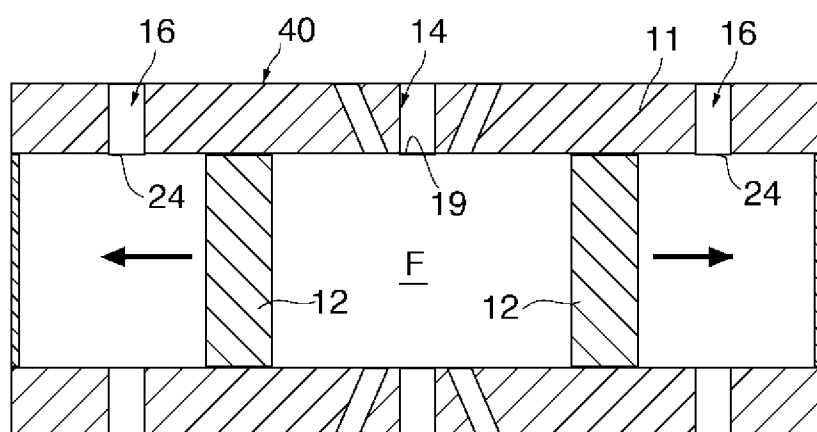


[図7]

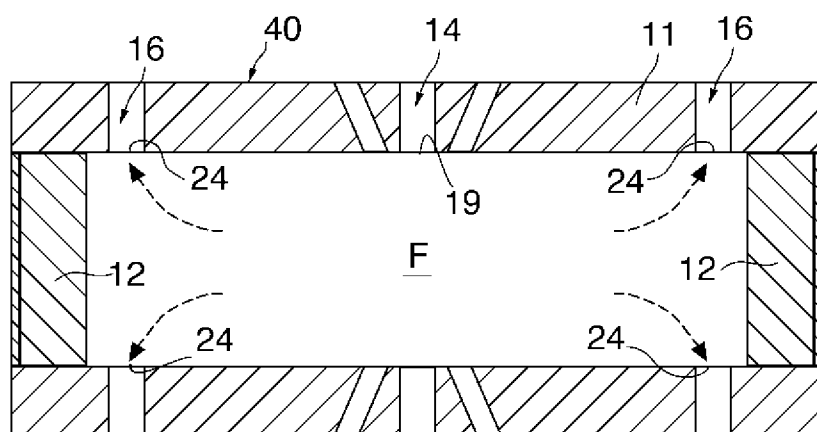
(A)



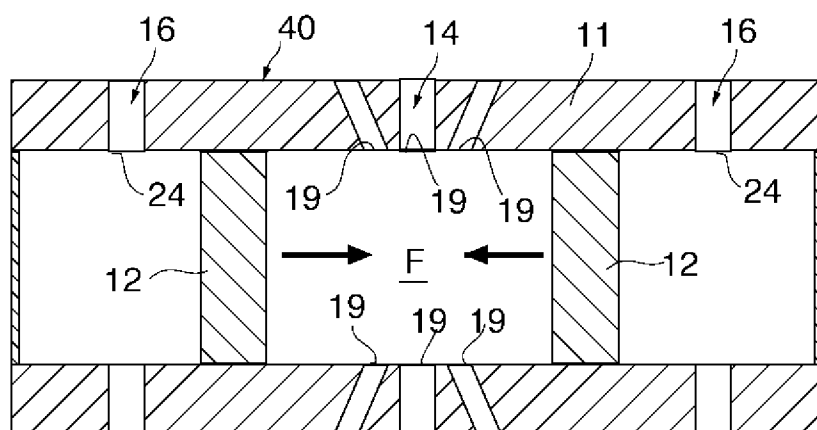
(B)



(C)



(D)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/070175

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F02B71/00(2006.01)i, F01L7/06(2006.01)i, F01L21/02(2006.01)i, F02B23/02(2006.01)i, F02B75/28(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02B71/00, F01L7/06, F01L21/02, F02B23/02, F02B75/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2008-223657 A (Mazda Motor Corp.), 25 September 2008 (25.09.2008), paragraphs [0017] to [0019]; fig. 2 (Family: none)	14, 18 1-13, 15-17, 19
X A	JP 2003-519328 A (Honeywell Inc.), 17 June 2003 (17.06.2003), paragraphs [0013] to [0016]; fig. 1, 2 & US 6276313 B1 & EP 1242728 A & WO 2001/049999 A1 & AU 2111601 A & CA 2395911 A	14, 18 1-13, 15-17, 19
A	JP 2008-522101 A (Sarcos Investments LC), 26 June 2008 (26.06.2008), paragraphs [0024] to [0028], [0062] to [0064]; fig. 1, 4 & US 2006/0144041 A1 & WO 2006/060695 A2	1-19



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 November, 2012 (06.11.12)

Date of mailing of the international search report
20 November, 2012 (20.11.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02B71/00(2006.01)i, F01L7/06(2006.01)i, F01L21/02(2006.01)i, F02B23/02(2006.01)i,
F02B75/28(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02B71/00, F01L7/06, F01L21/02, F02B23/02, F02B75/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2008-223657 A (マツダ株式会社) 2008.09.25, 段落【0017】 - 【0019】, 第2図 (ファミリーなし)	14, 18 1-13, 15-17, 19
X A	JP 2003-519328 A (ハネウェル・インコーポレーテッド) 2003.06.17, 段落【0013】 - 【0016】, 第1,2図 & US 6276313 B1 & EP 1242728 A & WO 2001/049999 A1 & AU 2111601 A & CA 2395911 A	14, 18 1-13, 15-17, 19

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 6 . 1 1 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 0 . 1 1 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

後藤 泰輔

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 9 5

3 T

4 6 4 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-522101 A (サーコス・インヴェストメンツ・エルシー) 2008.06.26, 段落【0024】 - 【0028】, 【0062】 - 【0064】, 第 1, 4 図 & US 2006/0144041 A1 & WO 2006/060695 A2	1-19